

中华人民共和国行业标准

公路隧道设计规范

Design specification for highway tunnel

(附条文说明)

JTJ 026—90

主编部门：浙江省交通设计院

批准部门：交通部

实行日期：1990年12月1日

人民交通出版社

1990·北京



关于发布交通行业标准 《公路隧道设计规范》的通知

(90)交工字300号

交通行业标准《公路隧道设计规范》业经审查通过，现予批准发布。自1990年12月1日起实施。

此规范编号为JTJ 026—90。由人民交通出版社出版。

该规范的解释工作，授权浙江省交通设计院负责。请各单位在执行过程中注意总结经验，将发现的问题和意见函告该院，以便修订时参考。

中华人民共和国交通部

1990年6月1日

编制说明

根据交通部公路局(86)公技字56号文通知,由浙江省交通设计院为主编单位,交通部第一、第二公路勘察设计院、同济大学、西安公路学院、河南省交通规划勘察设计院、福建省交通规划设计院为参加单位,组成《公路隧道设计规范》编制组。

在编制过程中,编制组对全国已建和正在修建的隧道进行了广泛的调查研究,搜集了大量的国内外资料,并对设计理论、施工工艺、经济效益以及营运效果作了比较系统的分析论证。

本规范共分十一章及七个附录,主要内容有总则、总体设计、计算荷载、建筑材料、洞口及洞门、隧道衬砌及路面、结构计算、防水与排水、通风照明与供电、隧道营运管理设施、施工与辅助坑道等。

本规范系首次编制,由于各种条件限制,尚存在一些不足之处,请各单位在执行过程中将发现的问题和建议及时函告浙江省交通设计院。

目 录

基本符号	
第一章 总 则	1
第二章 总体设计	2
第一节 一般规定	2
第二节 隧道调查	2
第三节 隧道选址	4
第四节 隧道平曲线	4
第五节 隧道纵断面	5
第六节 隧道横断面	5
第七节 隧道接线	8
第三章 计算荷载	10
第一节 一般规定	10
第二节 荷载计算	11
第四章 建筑材料	13
第一节 一般规定	13
第二节 材料性能	15
第五章 洞口及洞门	18
第六章 隧道衬砌及路面	21
第一节 一般规定	21
第二节 隧道衬砌	21
第三节 明洞衬砌	22
第四节 特殊条件下的衬砌	25
第五节 行车道路面	25
第七章 结构计算	26
第一节 衬砌计算	26
第二节 明洞计算	30
第三节 洞门计算	30

第四节	构造要求	31
第八章	防水与排水	34
第一节	一般规定	34
第二节	防 水	34
第三节	排 水	35
第四节	洞口及明洞防排水	36
第九章	通风、照明与供电	37
第一节	一般规定	37
第二节	通 风	37
第三节	照 明	40
第四节	供 电	43
第十章	隧道营运管理设施	44
第一节	设置原则	44
第二节	电缆与电缆槽	44
第三节	通讯、信号及标志	45
第四节	消防及救援设施	46
第五节	其他设施	46
第十一章	施工与辅助坑道	48
第一节	隧道施工	48
第二节	辅助坑道	49
附录一	隧道围岩分类	52
附录二	明洞设计荷载的计算方法	56
附录三	浅埋隧道围岩压力计算	60
附录四	钢筋混凝土受弯和偏心受压构件的截面强度计 算	65
附录五	汽车CO产生量计算方法	72
附录六	本规范采用的计量单位	74
附录七	本规范用词说明	76
附加说明	77

附件	公路隧道设计规范条文说明	77
第一章	总则	79
第二章	总体设计	81
第一节	一般规定	81
第二节	隧道调查	82
第三节	隧道选址	86
第四节	隧道平曲线	88
第五节	隧道纵断面	88
第六节	隧道横断面	89
第七节	隧道接线	91
第三章	计算荷载	93
第一节	一般规定	93
第二节	荷载计算	94
第四章	建筑材料	97
第一节	一般规定	97
第二节	材料性能	100
第五章	洞口及洞门	105
第六章	隧道衬砌及路面	108
第一节	一般规定	108
第二节	隧道衬砌	111
第三节	明洞衬砌	116
第四节	特殊条件下的衬砌	122
第五节	隧道行车道路面	126
第七章	结构计算	128
第一节	衬砌计算	128
第二节	明洞计算	136
第三节	洞门计算	136
第四节	构造要求	137
第八章	防水与排水	140
第一节	一般规定	140
第二节	防水	141

第三节	排 水	144
第四节	洞口及明洞防排水	147
第九章	通风、照明与供电	148
第一节	一般规定	148
第二节	通 风	149
第三节	照 明	161
第四节	供 电	170
第十章	隧道运营管理设施	171
第一节	设置原则	171
第二节	电缆与电缆槽	171
第三节	通讯、信号及标志	172
第四节	消防及救援设施	173
第五节	其它设施	175
第十一章	施工与辅助坑道	177
第一节	隧道施工	177
第二节	辅助坑道	190
附录	钢筋混凝土受弯和偏心受压构件的截面	
	强度计算	197

基本符号

内外力、应力

- M ——弯矩
 N ——轴向力
 P ——垂直压力
 Q ——斜截面上的最大剪力
 e_i ——结构上任意点之间的侧向压力
 q_i ——垂直压力
 σ ——基底应力或围岩弹性抗力强度

材料指标

- E_n ——混凝土的弹性模量
 E_g ——钢筋的弹性模量
 R_b ——围岩饱和抗压极限强度
 R_a ——混凝土或砌体的抗压极限强度
 R_l ——混凝土的抗拉极限强度
 R_g, R'_g ——钢筋的抗拉、抗压设计强度
 R_w ——混凝土的弯曲抗拉极限强度
 R_j ——砌体的直接抗剪极限强度
 R_{w1} ——砌体的弯曲抗拉极限强度
 Q_{kh} ——斜截面上受压区混凝土和箍筋的抗剪强度
 σ ——弹性抗力强度
 γ ——围岩容重或回填土石容重

几何特征

- a, a' ——自钢筋 A_g 和 A'_g 的合力点到截面近边的距离

a_k ——单肢箍筋的截面面积
 $A_g、A'_g$ ——纵向受拉及纵向受压钢筋的截面面积
 A_k ——配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积
 b ——矩形截面的宽度或T形截面的肋宽
 b'_i ——T形截面受压区翼缘宽度
 B ——坑道宽度或隧道行车限界净宽
 d ——钢筋直径
 $e、e'$ ——钢筋 A_g 和 A'_g 的重心至轴向力作用点的距离
 E ——净空顶角宽度
 e_0 ——轴向力的偏心距
 h ——截面的高度
 h_0 ——截面的有效高度
 h'_i ——T形截面受压区翼缘的高度
 H ——隧道行车限界的净空高度、坑道高度或竖井中构件的提升高度
 I_0 ——混凝土全截面（包括钢筋）的换算截面惯性矩
 l ——构件的计算长度
 Δl ——温度变化引起隧道构件的变形值
 S ——沿构件长度方向上箍筋的间距
 x ——混凝土受压区的高度
 α ——地面坡度角或设计填土坡度角
 $\beta、\beta'$ ——内侧和外侧产生最大推力时的破裂角
 θ ——土柱两侧摩擦角
 ρ ——密度或侧压力作用方向与水平线的夹角
 ϕ ——围岩的计算摩擦角或回填土石计算摩擦角
 δ ——衬砌向围岩的变形值
 L ——隧道长度

计 算 系 数

E ——岩石静态弹性模量

f ——基底摩擦系数
 G ——车重
 K ——围岩弹性抗力系数、结构安全系数或风量附加系数
 K_0 ——倾覆稳定系数
 K_c ——滑动稳定系数
 m ——回填土石面坡率
 n ——开挖边坡坡率或地面坡率
 λ, λ' ——侧压力系数
 α ——材料的线膨胀系数或轴向力的偏心影响系数
 α_{kb} ——抗剪强度影响系数
 φ ——构件的纵向弯曲系数
 η ——偏心距增大系数
 ω ——宽度影响系数
 μ ——泊松比或回填土石与开挖边坡间的摩擦系数
 δ_{co} ——一氧化碳容许浓度
 q_{co} ——标准车每吨公里一氧化碳产生量
 f_v ——速度修正系数
 f_i ——坡度修正系数
 f_h ——海拔高度修正系数

其 他

N ——高峰小时交通量
 Q ——新鲜空气需求量
 RQD ——岩石质量指标
 S ——围岩类别
 I ——岩体完整性系数
 V_p ——岩体弹性波纵波速度
 V_s ——岩体弹性波横波速度
 U_p ——岩石弹性波纵波速度



(京新登字091号)

中华人民共和国行业标准

公路隧道设计规范

(附条文说明)

JTJ 026—90

人民交通出版社出版发行

(100013北京和平里东街10号)

各地新华书店经销

顺义飞龙印刷厂印刷

开本: $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张: 6.625 字数: 169千

1994年8月第1版

1994年8月第1版第1次印刷

印数: 0001—7400册 定价: 12.00元

ISBN7-114-01912-2

U·01269

第一章 总 则

第1.0.1条 本规范根据中华人民共和国交通部部标准《公路工程技术标准》(JTJ 101—88)所确定的原则和有关规定编制。

第1.0.2条 本规范适用于各级公路的山岭隧道。

第1.0.3条 隧道设计应有完整的勘测、调查资料,针对地形、地质、水文、气象、地震等条件,考虑营运和施工条件,进行多方案的技术、经济比较,使确定的方案符合安全、经济、适用的要求。

隧道主体结构物应按永久性建筑设计,具有规定的强度、稳定性和耐久性,且符合美观和环境要求。

第1.0.4条 公路隧道按其长度分为四类,如表1.0.4。

公路隧道分类

表1.0.4

隧道分类	特长隧道	长 隧 道	中 隧 道	短 隧 道
隧道长度(m)	$L > 3000$	$3000 \geq L \geq 1000$	$1000 > L > 250$	$L \leq 250$

注:隧道长度系指进出口洞门端墙墙面之间的距离,即两端墙墙面与路面的交线同路线中线交点间的距离。

第1.0.5条 隧道设计,必须符合国家有关土地管理、环境保护、水土保持等法规的要求,并应注意节约用地,尽量保护原有植被,妥善处理废方。

第1.0.6条 地震区隧道的设计,应符合交通部颁发的《公路工程抗震设计规范》(JTJ 004—89)的要求。

第二章 总体设计

第一节 一般规定

第2.1.1条 隧道设计应考虑远景规划，按远景交通量设计。当近期交通量不大，且投资有限时，可考虑分期修建。

第2.1.2条 高速公路、一级公路上的隧道和二、三、四级公路上的短隧道，其线形与公路的衔接应符合路线布设的规定。

二、三、四级公路上的特长及长、中隧道的位置，原则上应服从路线走向，路隧综合考虑。

第2.1.3条 隧道调查、选址，隧道线形（平、纵、横）、接线设计、洞内外排水系统、辅助坑道、弃碴处理、管理设施、交通工程设施、环保要求及绿化美化等，均应结合隧道规模、公路等级、施工方法、工期和营运要求作全面考虑。

第2.1.4条 当隧道对相邻建筑物有影响时，应在设计与施工中采取必要的措施。

第二节 隧道调查

第2.2.1条 隧道调查内容应包括：

一、自然地理概况：包括地形、地貌，气象、水文及区域地质等既有资料的搜集或调查及勘察的工作条件等。

二、环境调查：通过对场地、生态环境的调查，预测隧道的修建、营运对环境的影响程度，提出必要的环境保护措施。

三、地质调查：

1. 工程地质特征，如地层、岩性及地质构造等，着重查清地质构造变动的性质、类型、规模，断层、节理、软弱结构面特征及其与隧道的组合关系，围岩的基本物理力学性质等。

2. 水文地质特征，包括地下水类型，含水层的分布范围、水

量、补给关系、水质及其对混凝土的侵蚀性等。

3.不良地质和特殊地质现象，如崩塌、错落、岩堆、滑坡、岩溶、泥石流、湿陷黄土、盐渍土、盐岩、多年冻土、雪崩、冰川等，按勘察阶段要求，查明其发生、发展的原因及其类型和规模，根据其发展的趋势，判明其对隧道的影响程度。

4.隧道通过含有害气体的地层时，应查明其分布范围、成分和含量，预测对施工、营运的影响，并提出防治措施。

5.依隧道所处地区，按《中国地震烈度区划图》的规定或经地震部门鉴定，确定地震基本烈度等级。

当测区存在断裂构造，特别是存在全新活动断裂和发震断层时，宜对隧道工程的影响作出评价。

第2.2.2条 根据地质测绘、勘探、试验资料等，对隧道围岩作出质量评价，判定围岩类别。公路隧道围岩分类可按附表1.1、附表1.2确定。

第2.2.3条 当发现隧道（洞身）范围有影响隧道方案的重大不良地质、特殊地质现象时，应进一步搜集地质资料，综合分析，预报隧道开挖后可能出现塌方、滑动、挤压、岩爆、突然涌水及瓦斯冒出等地段，并提出相应的工程措施，为方案比选和隧道设计提供依据。

工程地质、水文地质条件复杂的特长及长隧道，应扩大区域地质调查的范围；地下水发育地区，应进行地下水动态勘测。

第2.2.4条 特长、长隧道及高速、一级公路隧道，应进行钻探或地层弹性波速度测试，按各测试参数指标〔如岩石质量指标（RQD）、弹性波纵波速度（ V_p ）、岩体完整性系数（ I ）等〕进行围岩类别划分，并结合第2.2.2条规定，综合评定围岩类别。测试参数指标与围岩类别划分，按附表1.2确定。

第2.2.5条 隧道施工期间，应随时了解和搜集洞身地质资料，发现设计文件与实际情况不相符时，应及时修改围岩类别，并变更衬砌设计。

高速公路、一级公路隧道，有条件时，在施工期间可通过声

波法测试（弹性波速度）和监控量测，以判定围岩松弛区和变形量，为验证围岩压力和调整支护、衬砌设计提供补充和修正的依据。

第2.2.6条 隧道结构计算所需要的围岩物理力学指标等设计参数，应通过勘探和试验手段取得。当无试验资料时，可按附表1.3所列数值选用，并应在施工中加以验证。

第三节 隧道选址

第2.3.1条 隧道位置应选择在稳定的地层中，尽量避免穿越地质不良地段；若必须通过时，应有切实可靠的工程措施。

第2.3.2条 越岭路线的隧道，应进行较大面积的方案选择，拟定不同的越岭标高进行全面的技術、经济比较，选择工程地质条件较好的地段穿越。

第2.3.3条 沿河傍山地段的隧道，其位置宜向山侧内移，避免隧道一侧洞壁过薄，产生偏压，并应注意水流冲刷对山体和洞身稳定的影响。

濒临水库地区的隧道，其洞口路肩设计标高应高出水库计算水位（含浪高和壅水高）不小于0.5m。

第2.3.4条 选定隧道位置时，应注意洞口位置和有关工程的处理。

第四节 隧道平曲线

第2.4.1条 隧道内应避免设置平曲线，如必须设置时，宜采用不设超高的平曲线半径，并应满足停车视距的要求。不设超高最小平曲线半径规定如表2.4.1。

第2.4.2条 当受地形条件及其他特殊条件限制时，隧道线形设计为曲线并设超高时，其各项技术指标应符合交通部颁发的《公路路线设计规范》（JTJ 011—84）的有关规定。

不设超高最小平曲线半径

表2.4.1

公路等级	汽车专用公路								一般公路					
	高 速				一		二		二		三		四	
地 形	平原 微丘	重 丘	山 岭		平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘
不设超高最小 半径 (m)	5500	4000	2500	1500	4000	1500	2500	600	2500	600	1500	350	600	150

第五节 隧道纵断面

第2.5.1条 隧道内的纵坡应不小于0.3%，并不大于3%；独立的明洞和短于50m的隧道其纵坡不受此限。

第2.5.2条 隧道内的纵坡形式，一般可设置成单面坡；地下水发育的隧道及特长和长隧道可用人字坡。

第2.5.3条 隧道内纵坡变更处均应设置竖曲线，凸形竖曲线最小半径和最小长度规定如表2.5.3。

各级公路凸形竖曲线最小半径和最小长度

表2.5.3

公路等级	汽车专用公路								一般公路						
	高 速				一		二		二		三		四		
地形	平原 微丘	重 丘	山 岭		平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	平原 微丘	山岭 重丘	
凸形竖曲线 半径 (m)	限 小 值	11000	6500	3000	1400	6500	1400	3000	450	3000	450	1400	250	450	100
	一 般 最 小 值	17000	10000	4500	2000	10000	2000	4500	700	4500	700	2000	400	700	200
竖曲线 最小 长度 (m)	100	85	70	50	85	50	70	35	70	35	50	25	35	20	

第六节 隧道横断面

第2.6.1条 各级公路隧道建筑限界一般规定如图2.6.1，在

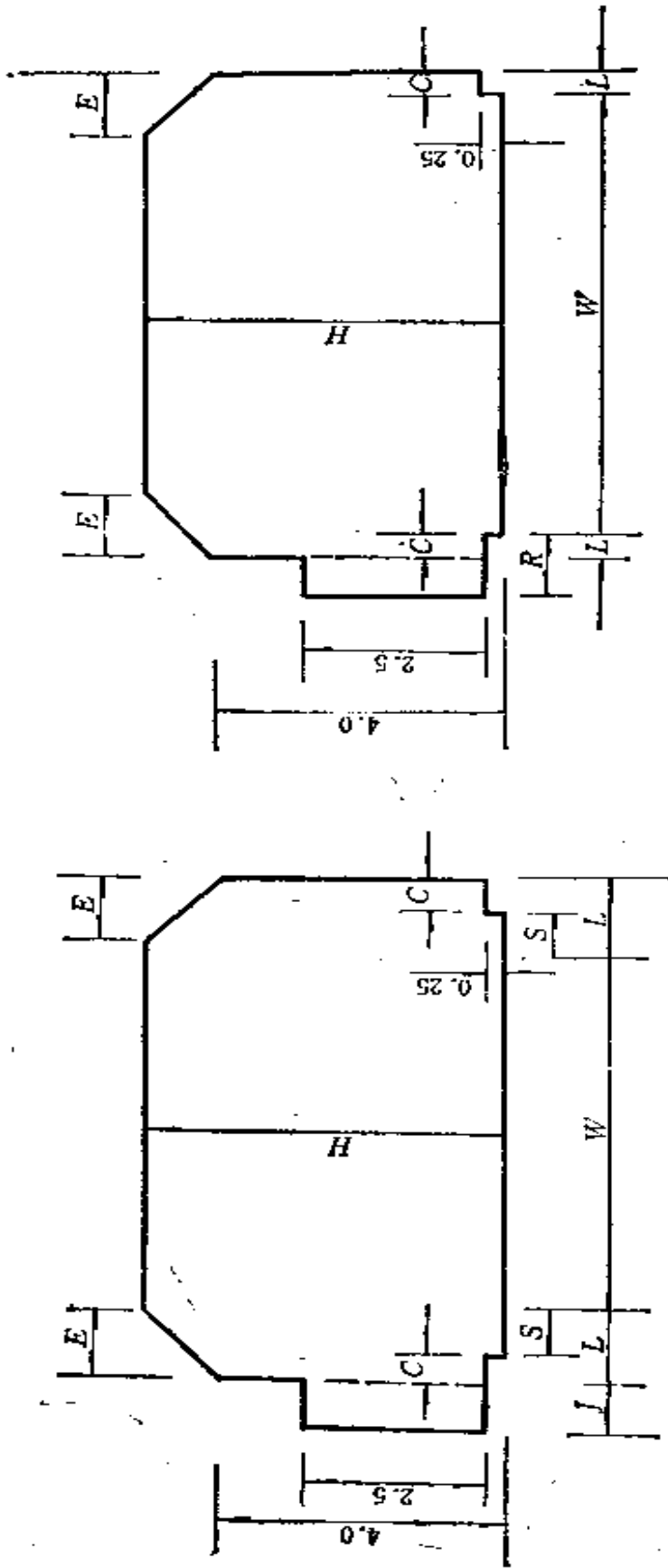


图2.6.1 隧道建筑限界 (尺寸单位: m)

图中: W -行车道宽度, 按表2.6.1的规定采用;
 S -行车道两侧路缘带宽度, 按表2.6.1的规定采用;
 C -余宽, 当计算行车速度 $\geq 100\text{km/h}$ 时为0.50m, 计算行车速度 $< 100\text{km/h}$ 时为0.25m;
 H -净高, 汽车专用公路、一般二级公路为5m, 三、四级公路为4.5m;
 E -建筑限界顶角宽度, 当 $L \leq 1\text{m}$ 时, $E = L$, 当 $L > 1\text{m}$ 时, $E = 1\text{m}$;
 L -侧向宽度, 如图2.6.1所示, 高速公路、一级公路上的短隧道, 其侧向宽度宜取硬路肩宽度;
 R -人行道宽度, J -检修道宽度。

一般公路

专用公路

建筑限界内，不得有任何部件侵入。

各级公路隧道建筑限界基本宽度，规定如表2.6.1。

各级公路隧道建筑限界基本宽度(m) 表2.6.1

公路分类	公路等级	地形	行车道宽度 (单洞) W	侧向宽度		人行道 R	检修道 (一侧) J	隧道建筑限界净宽		
				路缘带 S	余宽 C			设检修道或 不设人行道	设人行道	
汽车专用公路	高速	平原微丘	7.50	0.75	0.50		0.75	10.75		
		重丘	7.50	0.50	0.50		0.75	10.25		
		山岭	7.50	0.50	0.25		0.75	9.75		
			7.00	0.50	0.25		0.75	9.25		
	一级	平原微丘	7.50	0.50	0.50		0.75	10.25		
		山岭重丘	7.00	0.50	0.25		0.75	9.25		
		二级	平原微丘	8.00	/	0.25		0.75	9.25	
			山岭重丘	7.50		0.25		0.75	8.75	
一般公路	二级	平原微丘	9.00		0.25			9.50	10.50	
		山岭重丘	7.00		0.25	0.75		7.50	8.50	
	三级	平原微丘	7.00		0.25	0.75		7.50	8.50	
		山岭重丘	7.00		0.25			7.50	8.50	
	四级	平原微丘	7.00		0.25			7.50		
		山岭重丘	7.00/4.50		0.25			7.50/5.00		

注：1.汽车专用公路隧道只在左侧设检修道；

2.山岭重丘区的四级公路，只有当路基宽度为4.5m时，行车道宽度可采用4.5m；

3.四级公路一般可不设人行道。

第2.6.2条 横断面设计除应符合隧道建筑限界的规定外，还应考虑洞内排水、通风、照明、防火、监控、营运管理等附属设施所需要的空间，并考虑土压影响、施工方法等必要的富裕量，使确定的断面形式及尺寸，达到安全、经济、合理。

人行道的设计，应结合考虑隧道所在地区的行人密度、隧道长度、交通量及交通安全等因素而定。

不设人行道时，除短隧道外，应设置避车洞。

第2.6.3条 高速公路、一级公路一般应设计为上、下行分离的两座独立隧道。两相邻隧道最小净距视围岩类别、断面尺寸、施工方法、爆破震动影响等因素确定，一般情况可按表2.6.3的规定选用。

两相邻隧道最小净距 表2.6.3

围岩类别	VI	V~IV	III	II	I
净距 (m)	(1.5~2.0)B	(2.0~2.5)B	(2.5~3.0)B	(3.0~5.0)B	>5.0B

注：B—隧道开挖断面的宽度（m）。

第2.6.4条 高速公路、一级公路的特长和长隧道，应根据需要设置紧急停车带。

单车道隧道，除两端洞外应设错车道外，洞内视隧道长度设置错车道，错车道间距不宜大于200m。

隧道内边沟设计可结合人行道或余宽等布置。

第七节 隧道接线

第2.7.1条 隧道洞口的连接线应与隧道线形相配合。

第2.7.2条 隧道两端平面线形与路线线形相一致的最小长度规定如表2.7.2。

隧道两端平面线形与路线线形相一致的最小长度(m) 表2.7.2

公路等级	高速公路				一		二		三		四	
	平原微丘	重丘	山岭		平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘	平原微丘	山岭重丘
最小长度	100	80	60	40	80	40	60	20	40	15	20	10

第2.7.3条 隧道两端的接线纵坡应有一段距离与隧道纵坡保持一致，以满足设置竖曲线和保证各级公路停车或会车视距的要求。

第2.7.4条 当隧道净宽大于所在公路的路基宽度时，两端接线应有不短于50 m 的同隧道等宽的加宽段，并设计过渡段加以衔接。

当隧道净宽小于所在公路的路基宽度时，两端接线仍按等级公路标准设计，与隧道洞门端墙衔接。

第三章 计算荷载

第一节 一般规定

第3.1.1条 设计隧道结构时，应根据表3.1.1所列荷载，按其可能同时出现的最不利情况组合。

隧道荷载

表3.1.1

编号	荷载分类	荷载名称	
1	永久荷载 (恒载)	围岩压力	
2		结构自重力	
3		填土压力	
4		混凝土收缩和徐变的影响力	
5	可变荷载	基本可变荷载	公路车辆荷载，人群荷载
6			立交公路车辆荷载及其所产生的冲击力、土压力
7			立交铁路列车活载及其所产生的冲击力、土压力
8		其它可变荷载	立交渡槽流水压力
9			温度变化的影响力
10			冻胀力
11	偶然荷载	落石冲击力	
12		地震力	
13		施工荷载	

第3.1.2条 明洞荷载组合应符合以下规定：

一、明洞顶回填土压力，当有落石危害需验算冲击力时，只计洞顶实际填土重力和落石冲击力的影响，不计塌方堆积土石重力。

二、当明洞上方与公路立交时，应考虑公路车辆荷载。公路车辆荷载计算应按交通部颁发的《公路桥涵设计通用规范》（JTJ 021—89）的有关规定办理。

三、当明洞上方与铁路立交时，应考虑列车活载，列车活载按铁路标准活载的有关规定计算。

第3.1.3条 围岩压力应根据施工方法、围岩变形情况以及衬砌修筑时间对围岩压力的影响等因素确定。施工时如发现与设计不符，应及时修正荷载，调整衬砌结构。

第3.1.4条 本规范所列之外的特殊荷载，在荷载组合与计算时应作特殊处理。

第二节 荷载计算

第3.2.1条 用矿山法施工的深埋隧道，围岩压力按松弛荷载考虑，其垂直匀布压力可按下式计算：

$$q = 0.45 \times 2^{6-s} \gamma \omega \quad (3.2.1)$$

式中 q ——垂直匀布压力（ kN/m^2 ）；

s ——围岩类别；

γ ——围岩容重（ kN/m^3 ）；

ω ——宽度影响系数， $\omega = 1 + i(B - 5)$ ；

其中 B 为坑道宽度（ m ）； i 系 B 每增减1 m 时的围岩压力增减率，以 $B = 5\text{m}$ 的围岩垂直匀布压力为准，当 $B < 5\text{m}$ 时，取 $i = 0.2$ ； $B = 5 \sim 15\text{m}$ 时，取 $i = 0.1$ 。

围岩水平均布压力

表3.2.1

围岩类别	VI、V	IV	III	II	I
水平均布压力 _e	0	$< 0.15q$	$(0.15 \sim 0.3)q$	$(0.3 \sim 0.5)q$	$(0.5 \sim 1.0)q$

注：应用式（3.2.1）及表3.2.1时，必须同时具备下列条件：

1. $H/B < 1.7$ ， H 为坑道开挖高度（ m ）， B 为坑道开挖宽度（ m ）；
2. 不产生膨胀力的围岩及偏压不显著的隧道；
3. 采用钻爆法施工的隧道。

水平均布压力见表3.2.1。

第3.2.2条 隧道可能产生偏压时，应根据偏压的状态和程度采取相应的治理措施，当预期不能消除偏压影响时，应在荷载组合与分布中加以考虑。

第3.2.3条 明洞的回填土压力，应按洞顶设计填土的全部重力（如不计算落石冲击荷载时，应包括一定数量的塌方堆积土石重力）计算。填料的物理力学指标，当无试验资料时，可按表3.2.3采用；回填土石所产生的荷载，可按附录二的公式确定。

填料的物理力学指标 表3.2.3

填料名称	容 重 γ (kN/m ³)	计算摩擦角
干砌片石	20	50°
回填土石	19	35°

第3.2.4条 浅埋隧道围岩压力可按附录三计算。

第3.2.5条 作用于洞门墙背的主动土压力可按库伦理论计算；当墙背仰斜（即墙背向地层倾斜）和直立时，土压力采用水平方向。

第四章 建筑材料

第一节 一般规定

第4.1.1条 隧道工程的建筑材料可按表4.1.1-1和表4.1.1-2选用，其标号不应低于表列的数值。

洞门建筑材料

表4.1.1-1

材料种类 工程部位	混凝土或钢筋混凝土 土构件混凝土	片石混凝土	砌 体
端 墙	15号	15号	10号水泥砂浆砌片石、块石镶面或混凝土预制块镶面
顶 帽	15号		10号水泥砂浆砌粗料石
翼墙和洞口挡土墙	15号	15号	7.5号水泥砂浆砌片石(严寒地区用10号水泥砂浆砌片石)
侧沟、截水沟、护坡等			5号水泥砂浆砌片石(严寒地区用7.5号水泥砂浆砌片石)

注：1.砌体包括石砌体和混凝土块砌体；

2.严寒地区洞门用混凝土整体浇筑时，其标号不应低于20号；

3.片石砌体的胶结材料采用小石子混凝土砌筑时，其最低标号及相应的适用范围与水泥砂浆同。

衬砌建筑材料

表4.1.1-2

材料种类 工程部位	混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土 构件混凝土	喷 射 混凝土	砌 体
拱 圈	15号		20号	20号	10号水泥砂浆砌粗料石或混凝土块
边 墙	15号	15号	20号	20号	10号水泥砂浆砌片石
仰 拱	15号	15号	20号		
棚洞盖板			20号		
仰拱填充	10号	10号			10号水泥砂浆砌片石
水沟沟身及 电缆槽身	15号				
水沟盖板及 电缆槽盖板			15号		

第4.1.2条 建筑材料的选用，应符合下列规定：

一、选用的建筑材料应符合结构强度和耐久性的要求，并应考虑其抗冻、抗渗和抗侵蚀性的需要。

二、如有侵蚀性水经常作用时，结构物的混凝土或砂浆均应采用具有抗侵蚀性能的特种水泥，其抗侵蚀性能的要求，应视水的侵蚀性特征而定。

三、在寒冷及严寒地区隧道受冻害影响的地段，宜采用整体式混凝土衬砌，且混凝土标号应适当提高，并满足材料抗冻性指标(50)的要求。

注：1.抗冻性指标系指材料在含水饱和状态下经过 -15°C 的冻融循环的次数，试验后的材料应无明显损伤(裂缝、脱层)，其强度不低于试验前的0.75倍；
2.根据以往实践证明，材料确有足够抗冻性能者，可不作抗冻性试验。

第4.1.3条 砌体和混凝土(包括钢筋混凝土、片石混凝土)所用的工程材料，除应符合国家规定的标准和要求外，尚应符合下列规定：

一、片石、块石标号不应低于30号，粗料石不应低于40号，混凝土块标号不应低于15号。不得采用有裂缝和易风化的石料。

二、混凝土用的粗骨料，应使用砾石或碎石，亦可在砾石内掺入部分碎石。

三、片石混凝土内片石掺用量不应超过总体积的20%，片石标号不应低于30号。

注：石料的标号系指边长为20cm的立方体试块的抗压极限强度(MPa)，试验时取三个饱和湿度试块的抗压极限强度的平均值。

第4.1.4条 锚喷支护采用的建筑材料除应符合第4.1.1条及第4.1.2条的有关规定外，尚应符合下列要求：

一、喷射混凝土的水泥标号不得低于325号，并优先选用普通硅酸盐水泥；细骨料采用中砂或粗砂，细度模数宜大于2.5，含水率宜控制在5~7%；粗骨料采用砾石或碎石，粒径不应大于15mm。

二、锚杆的杆件材料宜采用II级钢筋，也可采用I级钢筋或5号钢筋，其直径一般为16~22mm。

三、采用灌浆锚杆时，其胶结材料可采用普通水泥砂浆或早

强水泥砂浆，砂浆标号不得低于20号。

四、钢筋网可采用 I 级钢筋，直径一般为4~10mm。

第4.1.5条 隧道内路面材料应符合交通部颁发的《公路柔性路面设计规范》(JTJ 014—86)、《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTJ 012—84)的有关规定。

第二节 材料性能

第4.2.1条 常用建筑材料的容重可按表4.2.1采用。

建筑材料容重 (kN/m³) 表4.2.1

材料名称	混凝土	片石混凝土	钢筋混凝土	浆砌粗料石	浆砌块石	浆砌片石	喷射混凝土
容重	23	23	25	25	23	22	22

第4.2.2条 混凝土和钢筋混凝土构件的混凝土标号及其极限强度应按表4.2.2采用。

混凝土的极限强度 (MPa) 表4.2.2

强度种类	符号	混 凝 土 标 号						
		10	15	20	25	30	40	50
轴心抗压	R_c	7.0	10.5	14.0	17.5	21.0	28.0	35.0
轴心抗拉	R_t	1.0	1.3	1.6	1.9	2.1	2.6	3.0

注：1.混凝土标号系指龄期为28d，尺寸为20×20×20cm³的标准立方体试件按标准方法测定的抗压极限强度；

2.片石混凝土的轴心抗压强度可采用表中数值。

第4.2.3条 混凝土的受压弹性模量应按表4.2.3采用。

混凝土的受压弹性模量 (MPa) 表4.2.3

混凝土标号	10	15	20	25	30	40	50
弹性模量 E_c	1.85×10^4	2.3×10^4	2.6×10^4	2.85×10^4	3.0×10^4	3.3×10^4	3.5×10^4

混凝土受剪时的弹性模量 G ，应按表4.2.3数值的0.43倍采用。

第4.2.4条 砌体的抗压极限强度应按表4.2.4-1、表4.2.4-2采用。

砌体的抗压极限强度 R_c (MPa) 表4.2.4-1

水泥砂浆或小石子混凝土标号	砌体种类 极限强度	片石砌体	小石子混凝土砌片石砌体	块石砌体	粗料石砌体	混凝土块砌体
		7.5	3.0	3.8		
10		3.4	4.2	5.3	8.0	5.5
15		4.0	4.8	6.0	8.7	6.0

注：1.砌体龄期28d；

2.块石、粗料石或混凝土预制块厚度为30~40cm者，抗压极限强度按表列数值乘以1.25，超过40cm者乘以1.45。

砌体极限强度 (MPa) 表4.2.4-2

强度种类	截面	砌体种类	砂浆标号		
			15	10	7.5
R_j 直接抗剪	通缝	各种砌体	0.40	0.33	0.27
		小石子混凝土砌片石砌体	0.36	0.30	0.25
	齿缝	片石砌体	0.80	0.66	0.54
		小石子混凝土砌片石砌体	0.60	0.48	0.45
		规则块材砌体	注(3)		
R_w 弯曲抗拉	通缝	各种砌体	0.60	0.48	0.42
		小石子混凝土砌片石砌体	0.60	0.48	0.42
	齿缝	片石砌体	0.66	0.60	0.54
		规则块材砌体	0.95	0.84	0.75
		小石子混凝土砌片石砌体	0.72	0.72	0.54

注：1.砌体龄期为28d；

2.规则块材砌体包括：块石砌体、粗料石砌体、混凝土块砌体；

3.规则块材在齿缝方向受剪时，系通过块材和灰缝剪破，此时不计灰缝抗剪作用；当块材抗剪时，不计入灰缝面积，块材直接抗剪极限强度按表4.2.4-3采用。

规则块材直接抗剪极限强度 (MPa) 表4.2.4-3

块材标号	≥20	15	10	7.5
直接抗剪 R_s	2.64	2.16	1.68	1.44

第4.2.5条 砌体的受压弹性模量采用:

各种砌体 $800R_a$ (MPa);

小石子混凝土砌片石砌体 $500R_a$ (MPa)。

第4.2.6条 钢筋混凝土结构及锚杆支护所用钢筋的性能指标应符合国家标准规定, 其强度及弹性模量等应按表4.2.6采用。

钢筋的强度及弹性模量 (MPa) 表4.2.6

钢筋种类	符号	标准强度	抗拉极限强度	抗拉或抗压设计强度	弹性模量	延伸率 (%)
I级钢筋	ϕ	240	380	240	2.1×10^5	25
II级钢筋	o	340	520	340	2.0×10^5	16
5号钢筋	o	280	500	280	2.0×10^5	19

第4.2.7条 喷射混凝土的标号为20号, 其极限强度为: 轴心抗压为14MPa, 弯曲抗压为17.5MPa, 抗拉为1.2MPa; 弹性模量为 2.0×10^4 MPa。

喷射混凝土与岩石的粘结力, IV类及以上围岩不低于0.8 MPa, III类围岩不低于0.5 MPa。

注: 1. 喷射混凝土的标号系指采用喷射大板切割法制作成边长为10cm的立方体试块, 在标准条件下养护 28d, 用标准试验方法所得的极限抗压强度乘以0.95的系数, 单位MPa;

2. 喷射混凝土强度试块亦可用喷 10cm或15cm 边长的无底试模或钻取 直径为 10cm的圆柱体等非标准方法制取, 但应通过在相同条件下与标准试块的对比试验, 求出换算系数或公式, 并换算为标准试块强度;

3. 粘结力可采用劈裂法或在喷层上直接拉拔测定。

第五章 洞口及洞门

第5.0.1条 洞口位置应根据地形、地质、水文条件并考虑边坡及仰坡的稳定，从保证施工和营运安全出发，通过经济、技术比较，综合研究确定。

一、洞口的边坡及仰坡必须保证稳定，避免大挖大刷。边坡及仰坡的设计开挖高度及坡度可按表5.0.1选用。

洞口边、仰坡高度和坡度 表5.0.1

围岩分类	坡 度	设计开挖高度(m)
V、VI	1 : 0.1~贴壁	<15
	1 : 0.3	<20
	1 : 0.5	<25
IV	1 : 0.5	<20
	1 : 0.75	<25
III	1 : 0.75	<15
	1 : 1	<20
	1 : 1.25	<20
I、II	1 : 1.25	<15
	1 : 1.5	<20

注：设计开挖高度系从路基边缘算起。

二、洞口位置应设于山坡稳定、地质条件较好处。

三、位于悬崖陡壁下的洞口，一般不宜切削原山坡；当坡面及岩顶稳定，无落石或坍塌可能时，可贴壁进洞；要避免在不稳定的悬岩陡壁下进洞，否则应延伸洞口设置明洞，或采取其他措施，以保证安全。

四、路线跨沟或沿沟侧进洞时，应考虑水文情况，结合防排水工程，充分比选后确定洞口位置。

五、漫坡地段的洞口位置，应结合洞外路堑地质、弃碴、排水及施工等因素综合分析确定。

六、洞口设计应考虑和附近的地面建筑及地下埋设物的相互影响，并采取防患措施。

第5.0.2条 洞口设施的规定

一、洞口边坡、仰坡顶面及其周围，应根据情况设置排水沟及截水沟，并和路堑排水系统综合考虑布置。

二、洞口边坡、仰坡应根据实际情况采取坡面防护措施，做到不留后患、保证安全、经济合理。

三、当洞口处有落石、泥石流等时，应采取清刷、延伸洞口设置明洞或支挡构造物等措施。

第5.0.3条 洞口应修建洞门，洞门型式应适用、经济、美观。设在城镇、旅游区附近及高速公路、一级公路的隧道，尤应注意与环境相协调，有条件时，洞门周围应植树绿化。

隧道内设有通风、照明设施时，洞门设计应综合考虑。

洞门应尽量与隧道轴线正交。

第5.0.4条 洞门构造及基础设置的规定

一、洞口仰坡坡脚至洞门墙背的水平距离不应小于1.5m，洞门端墙与仰坡之间水沟的沟底至衬砌拱顶外缘的高度不应小于1.0m，洞门墙顶应高出仰坡坡脚0.5m以上。水沟底下采用填土时，应夯填密实。

二、洞门墙应根据实际需要设置伸缩缝、沉降缝和泄水孔；洞门墙的厚度可按计算或结合其他工程类比确定。

三、洞门墙基础必须置于稳固地基上，应视地形及地质条件，埋置足够的深度，保证洞门的稳定性。

基底埋入土质地基的深度不应小于1.0m，嵌入岩石地基的深度不应小于0.5m；地基为冻胀土层时，基底标高应在冻结线以下不小于0.25m；墙基底埋设的深度应大于墙边各种沟、槽基底埋

设的深度。

四、松软地基上的基础，当地基强度不足时，可采取扩大、加固基础等措施。

第六章 隧道衬砌及路面

第一节 一般规定

第6.1.1条 隧道一般应衬砌，衬砌可采用整体式衬砌或复合式衬砌。在IV类及以上围岩的隧道中，除洞口外，可采用锚喷衬砌；VI类围岩也可采用喷浆防护。

第6.1.2条 衬砌结构类型和尺寸，应根据使用要求、工程地质条件、围岩类别、埋置位置及施工条件等，通过工程类比和结构计算综合分析确定。必要时，可通过试验论证确定。

第6.1.3条 隧道衬砌设计应符合以下规定：

一、隧道洞口内应设置加强衬砌段，其长度以伸入洞内深埋段一般不宜小于10m。

二、围岩较差段的衬砌应向围岩较好段延伸5m以上。偏压衬砌段应延伸至一般衬砌段内5m以上。

三、设仰拱的隧道，路面下应以浆砌片石或贫混凝土回填。

四、在软硬地层和衬砌结构类型变化处，应设置沉降缝。

第6.1.4条 辅助坑道、联络通道、避车洞等与主隧道连接处的衬砌设计应作加强处理。

第二节 隧道衬砌

第6.2.1条 隧道宜采用曲墙式衬砌，衬砌截面可设计为等截面或变截面形式。衬砌段之间应根据实际情况设置变形缝。III类及以下围岩地段，宜设置仰拱。

第6.2.2条 浅埋地段隧道应采用浅埋衬砌；因地形或地质构造、施工等引起有明显偏压的地段，应采用偏压衬砌或特殊衬砌，并与回填、压浆相配合。

第6.2.3条 当地质条件良好和干燥无水时，可采用拼装式

衬砌或砌体衬砌。

第6.2.4条 隧道边墙基底标高不得高于侧向水沟基底标高或路面基层标高；在洞门墙厚度范围内，应加深到与洞门基础相同标高。

第6.2.5条 下列情况可采用锚喷衬砌：

- 一、围岩良好、完整、稳定地段，可采用喷射混凝土衬砌。
- 二、在层状围岩中，如遇硬软岩石互层、薄层或层间结合差，或其产状对稳定不利以及块状围岩结构面组合对稳定不利且可能掉块时，可采用锚杆喷射混凝土衬砌。
- 三、当围岩呈块（石）碎（石）状镶嵌结构，稳定性较差时，可采用有钢筋网的锚杆喷射混凝土衬砌。

第6.2.6条 下列情况不宜采用锚喷衬砌：

- 一、大面积淋水地段。
- 二、膨胀性地层、不良地质围岩以及能造成衬砌腐蚀的地段。
- 三、严寒和寒冷地区有冻害的地段。
- 四、对衬砌有特殊要求的隧道或地段。

第6.2.7条 复合式衬砌应符合下列规定：

- 一、复合式衬砌设计应综合考虑包括围岩在内的支护结构、断面形状、开挖方法、施工顺序和断面的闭合时间等因素，力求充分发挥围岩所具有的自承能力。
- 二、复合式衬砌由外层和内层复合而成，其外层为初期柔性支护，可采用喷射混凝土、锚杆、钢筋网、钢支撑等支护形式，单一或合理组合而成；内层为二次衬砌，一般采用现浇混凝土衬砌。两衬砌层间宜采用防水夹层措施。
- 三、确定开挖尺寸时，应预留必要的初期支护变形量，其量值据围岩条件、支护刚度、施工方法等确定，并应量测校正。

第三节 明洞衬砌

第6.3.1条 下列情况可设置明洞

一、洞顶覆盖层薄，不宜大开挖修建路堑又难于用暗挖法修建隧道的地段。

二、路基或隧道洞口受不良地质、边坡坍方、岩堆、落石、泥石流等危害又不宜避开、清理的地段。

三、铁路、公路、沟渠和其它人工构造物必须在该公路上方通过，不宜采用隧道或立交桥涵跨越时。

四、为了保持洞口的自然环境，而延伸隧道洞口时。

第6.3.2条 选择明洞的结构类型，应根据地形、地质、稳定安全、经济实用以及施工条件等因素分析确定。

一、边坡坍方量较大、落石较多或基础设置条件较好时，宜采用拱形明洞。当路基外侧地形狭窄、外侧墙基工程较大或洞顶荷载较小、施工方便时，可采用棚洞。

二、在明洞净高、建筑高度受到限制或地基软弱的地方，可采用箱形明洞。

三、在滑坡地段不宜修建明洞。当明洞作为整治滑坡的措施时，应按支挡工程设计，并应采取综合治理措施，确保滑坡体稳定和明洞安全。

第6.3.3条 明洞衬砌设计

一、当采用拱形明洞断面型式时，宜按相应围岩隧道整体式衬砌进行验算。半路堑拱形洞之外边墙及拱圈宜适当加厚，并验算其整体滑动、倾覆稳定性。

当拱形明洞边墙背侧压较大及地层松软时，宜采用曲墙带仰拱型式，并应注意与同类围岩隧道边墙的衔接。拱形明洞拱圈宜采用混凝土或钢筋混凝土结构。

二、棚洞顶板一般可采用T形、I形或空心板截面构件，内边墙可采用重力式挡墙结构；当内侧岩体完整、坚固、无地下水时，可采用锚杆加固围岩式挡墙；外侧边墙可视地形、地基、边坡坍方、落石等情况选用墙式、柱式、刚架等类型。

三、在地质情况变化较大地段，应设置变形缝；气温变化较大地区，应根据长度等情况设置伸缩缝。

第6.3.4条 明洞基础应置于稳固的地基上，并符合第6.2.4条和下列规定：

一、当基岩埋深较浅时，基础可设置于基岩上；当基础位于软弱地基上时，基础可采用仰拱、整体式钢筋混凝土底板等结构。

二、外墙基础趾部，应保证一定的嵌入深度和护基宽度。在冻胀性土上设置明洞基础时，基底应埋于冰冻线以下25cm。

当地基为完整坚固的岩体时，基础可切割成台阶；当基础外侧受水流冲刷影响时，应采取加固和防护措施。

三、明洞外边墙基础埋置深度超过路面以下3m时，宜在路面以下设置钢筋混凝土横向水平拉杆，并锚固于内边墙基础或岩体中，或用锚杆锚固于稳定的岩体中。

当棚洞立柱的基础置于路面3m以下时，立柱可在路基平面处加设纵撑和横撑，以与相邻立柱及内边墙连接。

第6.3.5条 明洞顶填土厚度应视山坡病害和明洞用途而定，为防护一般的落石、崩坍危害时，填土的厚度不宜小于2.0m；为保护洞口自然环境时，则应按自然山坡坡度填土。

第6.3.6条 当山坡有严重的危石、崩坍威胁时，应予清除或作加固处理。

第6.3.7条 立交明洞上的填土厚度应结合公路、铁路、沟渠及其它人工构造物的标高、自然环境、美化要求和结构设计等研究确定。

第6.3.8条 明洞拱背和墙背的回填，应符合以下要求：

一、拱脚用贫混凝土或浆砌片石回填。

二、边墙背后超挖部分，宜用片石混凝土或水泥砂浆砌片石密实回填。

三、墙背后回填料的内摩擦角不应低于围岩的计算摩擦角或设计回填料计算摩擦角。

第6.3.9条 当明洞顶设置过水、泥石流等渡槽及其他构造物时，设计应考虑其影响。

第四节 特殊条件下的衬砌

第6.4.1条 通过不良地质和特殊围岩的隧道衬砌，应按下列原则设计：

一、衬砌应采用曲墙带仰拱的混凝土或钢筋混凝土结构，也可采用复合式衬砌，必要时可采用钢拱支撑混凝土衬砌结构。

二、衬砌背后应回填密实、全断面压浆，必要时应结合施工向围岩中压注水泥砂浆或其它化学浆液。

三、根据围岩含水及破碎情况，应采取妥善措施，尽量减少地面渗漏水及地下围岩涌水，使围岩趋于稳定。

四、通过软弱和膨胀性围岩的隧道衬砌，应尽量采用接近圆形的曲墙带仰拱的复合式衬砌形式。衬砌应与围岩密贴，并按围岩的变形和压力增长特性来决定衬砌施工和断面闭合的时间。

第6.4.2条 滑坡区的隧道衬砌设计，应充分考虑滑坡推力，隧道埋深离滑动面应有足够的距离。

第6.4.3条 黄土地层的隧道衬砌，应根据黄土围岩分类及其物理力学性能和施工方法等确定衬砌结构。衬砌背后应用浆砌片石等回填，不宜压浆。

第6.4.4条 穿越溶洞的隧道，应根据溶洞充填状况和水量大小及隧道所处的位置确定其衬砌类型和回填加固方法。

第6.4.5条 含瓦斯地层的隧道衬砌，应根据瓦斯地层含瓦斯的情况，采取隔离、封闭等措施。

第五节 行车道路面

第6.5.1条 洞内行车道路面，宜采用水泥混凝土路面。当洞内干燥无水、施工方便时，也可采用沥青混凝土路面。采用水泥混凝土路面时，墙部应设置变形缝，路面等处也应相应设置变形缝。

第6.5.2条 行车道路面设计应符合交通部颁发的《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTJ 012—84）和《公路柔性路面设计规范》（JTJ 014—86）的有关规定。

第七章 结构计算

第一节 衬砌计算

第7.1.1条 整体式衬砌应按破坏阶段计算构件截面强度。计算时，应根据不同的荷载组合，分别采用不同的安全系数，并不应小于表7.1.1-1和表7.1.1-2所列数值。验算施工阶段强度时，安全系数可采用表7.1.1-1和表7.1.1-2“永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载”栏内数值乘以折减系数0.9。

混凝土和砌体结构的强度安全系数 表7.1.1-1

破坏原因 \ 荷载组合	混凝土		砌体	
	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载
混凝土或砌体达到抗压极限强度	2.4	2.0	2.7	2.3
混凝土达到抗拉极限强度	3.6	3.0		

钢筋混凝土结构的强度安全系数 表7.1.1-2

破坏原因 \ 荷载组合	永久荷载+基本可变荷载	永久荷载+基本可变荷载+其他可变荷载
钢筋达到设计强度或混凝土达到抗压或抗剪极限强度	2.0	1.7
混凝土达到抗拉极限强度	2.4	2.0

第7.1.2条 计算整体式衬砌内力时，应考虑围岩对衬砌变形的约束作用，如弹性抗力等。弹性抗力的大小及分布，可根据衬砌在荷载作用下的变形、回填情况和围岩的变形性质等因素，采用局部变形理论，按式(7.1.2)计算确定。

$$\sigma = K\delta \quad (7.1.2)$$

式中 σ ——弹性抗力强度 (MPa)；

K ——围岩弹性抗力系数，可按附表1.3选用；

δ ——衬砌向围岩的变形值 (m)。

第7.1.3条 计算锚喷衬砌和复合式衬砌的初期支护，可采用弹塑性数值解法或近似解析法进行计算，并结合工程类比法和监控量测进行修正。

计算复合式衬砌时，初期支护应按主要承载结构计算。二次衬砌，在IV类及以上围岩可作为安全储备，按构造要求设计；在III类及以下围岩，应按承载结构设计。

第7.1.4条 锚喷衬砌和复合式衬砌初期支护的允许洞周水平相对收敛值，应根据围岩地质条件等因素和现场量测结果分析确定，也可按表7.1.4选用。

允许洞周水平相对收敛值(%) 表7.1.4

围岩类别	埋 深 (m)		
	<50	50~300	301~500
IV	0.1~0.3	0.2~0.5	0.4~1.2
III	0.15~0.5	0.4~1.2	0.8~2.0
II	0.2~0.8	0.6~1.6	1.0~3.0

- 注：1.水平相对收敛值系指实测收敛与两测点间距离之比；
 2.硬质围岩的隧道取表中较小值，软质围岩的隧道取表中较大值；
 3.本表所列数值，可在施工过程中通过实测和资料积累作适当修正；
 4.拱顶下沉允许值，一般按本表数值的0.5~1.0倍采用。

第7.1.5条 受温度影响显著的刚架和截面厚度大的超静定结构，应考虑温度变化和混凝土收缩的影响。

一、隧道衬砌各部构件受温度变化影响产生的变形值，应根据当地温度情况与施工条件所确定的温度变化值等按下式计算：

$$\Delta l = l \cdot \Delta t \cdot \alpha \quad (7.1.5)$$

式中 Δl ——温度变化引起的变形值 (m)；

l ——构件的计算长度 (m)；

Δt ——温度变化值 ($^{\circ}\text{C}$)；

α ——材料的线膨胀系数，钢筋混凝土和混凝土的线膨胀系数采用 1.0×10^{-5} 。

二、混凝土收缩的影响，可作为温度的降低来考虑，对于整体浇筑的混凝土结构相当于降低温度 20°C ；对于整体浇筑的钢筋混凝土结构相当于降低温度 15°C ；对于分段浇筑的混凝土或钢筋混凝土结构相当于降低温度 10°C ；对于装配式钢筋混凝土结构相当于降低温度 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

三、计算超静定拱圈温度应力和混凝土收缩应力时，混凝土徐变的影响，可分别采用混凝土弹性模量的 0.70 和 0.45 倍仍按弹性体系进行计算。

第7.1.6条 整体式衬砌的混凝土偏心受压构件，其轴向力的偏心距不宜大于截面厚度的 0.45 倍；对于砌体偏心受压构件，不应大于截面厚度的 0.3 倍。基底偏心距应符合表7.3.1的规定。

第7.1.7条 计算带仰拱的衬砌，当先做仰拱后建边墙时，应考虑仰拱对结构内力的影响；当仰拱在边墙之后修建时，则可不考虑。

第7.1.8条 混凝土和砌体矩形截面轴心及偏心受压构件的抗压强度应按下式计算：

$$KN \leq \varphi \alpha R_a b h \quad (7.1.8)$$

式中 R_a ——混凝土或砌体的抗压极限强度，按表4.2.2和表4.2.4-1采用；

K ——安全系数，按表7.1.1-1采用；

N ——轴向力 (kN)；

b ——截面宽度 (m)；

h ——截面厚度 (m)；

φ ——构件纵向弯曲系数，对于隧道衬砌、明洞拱圈及墙背紧密回填的边墙，可取 $\varphi = 1$ ；对于其他构件，应根据其长细比按表7.1.8-1采用；

α ——轴向力的偏心影响系数，按表7.1.8-2采用。

混凝土及砌体构件的纵向弯曲系数

表7.1.8-1

H/h	<4	4	6	8	10	12	14	16
纵向弯曲系数 η	1.00	0.98	0.96	0.91	0.86	0.82	0.77	0.72
H/h	18	20	22	24	26	28	30	
纵向弯曲系数 φ	0.68	0.62	0.59	0.55	0.51	0.47	0.44	

注: 1. H 为构件的高度, h 为截面短边的边长(当中心受压时)或弯矩作用平面内的截面边长(当偏心受压时);
2. 当 H/h 为表列数值的中间值时, φ 可按内插法求得。

偏心影响系数

表7.1.8-2

e_0/h	偏心影响系数 α	e_0/h	偏心影响系数 α
0	1	0.25	0.625
0.05	0.925	0.30	0.550
0.10	0.850	0.35	0.475
0.15	0.775	0.40	0.400
0.20	0.700	0.45	0.325

注: 1. e_0 为轴心的偏心距;
2. $\alpha = 1 \sim 1.5e_0/h$ 。

第7.1.9条 按抗裂要求, 混凝土矩形截面偏心受压构件的抗拉强度应按下式计算:

$$KN \leq \varphi \frac{1.75 R_t b h}{\frac{6e_0}{h} - 1} \quad (7.1.9)$$

式中 R_t ——混凝土的抗拉极限强度, 按表4.2.2采用;
其他符号同前。

注: 计算表明, 当为混凝土矩形截面构件, $e_0 \leq 0.20h$ 时, 系抗压强度控制承载能力, 可不必按本式计算; 当 $e_0 > 0.20h$ 时, 系抗拉强度控制承载能力, 可不必按式(7.1.8)计算。

第7.1.10条 整体式衬砌的拱脚截面, 当混凝土为间歇浇筑或边墙用砌体、拱圈用混凝土时, 根据式(7.1.8)计算截面的抗压强度, 其偏心距要求同第7.1.6条砌体构件规定, 安全系数应

采用表7.1.1-1所列砌体的数值。

第7.1.11条 钢筋混凝土受弯和偏心受压构件的截面最小配筋率（仅计受拉区钢筋）应符合表7.1.11规定。

截面最小配筋率(%) 表7.1.11

钢筋种类	混 凝 土 标 号			
	15	20	25~40	50
I级钢筋	0.10	0.15	0.20	0.25
5号钢筋	0.10	0.10	0.15	0.20
II级钢筋	0.10	0.10	0.15	0.20

第7.1.12条 钢筋混凝土受弯和偏心受压构件的截面强度可按本规范附录四的有关公式计算。

第二节 明洞计算

第7.2.1条 明洞衬砌应按破坏阶段计算构件截面强度，根据不同荷载组合，可采用表7.1.1-1和表7.1.1-2所列的安全系数值。

第7.2.2条 当墙背围岩对边墙变形有约束作用时，应按第7.1.2条考虑弹性抗力的影响。

第三节 洞门计算

第7.3.1条 洞门（包括隧道门和明洞门）可视作挡土墙，按极限状态计算其强度，并应验算绕墙趾倾覆及沿基底滑动的稳定，验算时应符合表7.3.1的规定，且应符合交通部颁发的《公路路基设计规范》（JTJ 013—86）、《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》（JTJ 022—85）、《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTJ 024—85）的有关规定。

对于高洞门墙（包括洞口路堑高挡土墙），为避免拉应力过大，设计时尚应适当控制截面拉应力。

第7.3.2条 洞门设计计算参数应按现场试验资料采用。当缺乏试验资料时，可采用表7.3.2所列数值。

洞门墙主要验算规定

表7.3.1

墙身截面荷载效应值 S_d	\leq 结构抗力效应值 R_d (按极限状态计算)
墙身截面偏心距 e	≤ 0.3 倍截面厚度
基底应力 σ	\leq 地基容许承载力
基底偏心距 e	岩石地基 $\leq B/4 \sim B/5$ 土质地基 $\leq B/6$ (B 为墙底厚度)
滑动稳定系数 K_s	≥ 1.3
倾覆稳定系数 K_o	≥ 1.5

洞门设计计算参数

表7.3.2

仰坡坡度	计算摩擦角 ϕ ($^\circ$)	容重 γ (kN/m^3)	基底摩擦系数 f	基底控制压应力 (MPa)
1:0.5	70	25	0.6	0.8
1:0.75	60	24	0.5	0.6
1:1	50	20	0.4	0.40~0.35
1:1.25	43~45	18	0.4	0.30~0.25
1:1.5	38~40	17	0.35~0.40	0.25

第7.3.3条 钢筋混凝土洞门的截面最小配筋率应符合第7.1.11条的规定。

第四节 构造要求

第7.4.1条 承载的隧道建筑物各部结构的截面最小厚度，不应小于表7.4.1所列的数值。

第7.4.2条 混凝土基础台阶的坡线和竖直线之间的夹角不应大于 45° ；当为砌体基础时，不应大于 35° 。

第7.4.3条 锚喷衬砌及复合式衬砌初期支护的设计参数可按表7.4.3-1和表7.4.3-2采用。

第7.4.4条 钢筋混凝土构件中受力钢筋的混凝土保护层最小厚度应符合表7.4.4的规定。

截面最小厚度(cm)

表7.4.1

建筑材料种类	隧道和明洞衬砌			洞门端墙、翼墙和洞口挡土墙
	拱 圈	边 墙	仰 拱	
混凝土	20	20	20	30
片石混凝土		50	50	50
浆砌粗料石或混凝土块	30	30		30
浆砌块石		30		30
浆砌片石		50		50

锚喷衬砌的设计参数

表7.4.3-1

围岩类别	单 车 道	双 车 道
VI	喷射混凝土厚度6cm	喷射混凝土厚度6~10cm;必要时设置锚杆,锚杆长1.5~2.0m,间距1.2~1.5m
V	喷射混凝土厚度6~10cm;必要时设置锚杆,锚杆长1.5~2.0m,间距1.2~1.5m	喷射混凝土厚度8~12cm;设置锚杆,长度2.0~2.5m,间距1.2m;必要时配置局部钢筋网
IV	喷射混凝土厚度8~12cm;设置锚杆长度2.0~2.5m,间距1~1.2m,必要时配置钢筋网	喷射混凝土厚度10~15cm;设置锚杆长度2.5~3.0m,间距1m,配置钢筋网

- 注: 1. III类及以下围岩采用锚喷衬砌时,设计参数应通过试验确定;
 2. 边墙喷射混凝土的厚度可取表列参数的下限值,如边墙围岩稳定,可不设置锚杆和钢筋网;
 3. 配置钢筋网的网格间距一般为15~30cm,钢筋网保护层不小于2cm。

复合式衬砌初期支护的设计参数

表7.4.3-2

围岩类别	单 车 道	双 车 道
IV	喷射混凝土厚度5~10cm;设置锚杆长度2.0m,间距1~1.2m,必要时局部设置钢筋网	喷射混凝土厚度10~15cm;锚杆长度2.5m,间距1~1.2m;必要时配置钢筋网
III	喷射混凝土厚度10~15cm;锚杆长度2~2.5m,间距1m;必要时配置钢筋网	喷射混凝土厚度15cm;锚杆长度2.5~3.0m,间距1m,设置钢筋网
II	喷射混凝土厚度15cm;锚杆长度2.5m,间距0.8~1.0m;设置钢筋网,应施作仰拱	喷射混凝土厚度20cm;锚杆长度3.0~3.5cm,间距0.8~1.0cm;设置钢筋网,必要时设置钢架,应施作仰拱
I	[喷射混凝土厚度20cm;锚杆长度3.0m,间距0.6~0.8m;设置钢筋网,必要时设置钢架,应施作仰拱	通过试验确定

- 注: 采用钢架时,宜选用轻型钢材制作,钢架外喷射混凝土保护层不小于4cm。

混凝土保护层最小厚度

表7.4.4

构件厚度 (cm)	保护层最小厚度 (cm)	
	非侵蚀性环境	侵蚀性环境
<15	1	1.5
15~30	3	1.5
31~50	3.5	4
>50	4	5

- 注：1.隧道衬砌用侵蚀性环境栏内数值；
 2.明洞和洞门均可用非侵蚀性环境栏内数值。

第八章 防水与排水

第一节 一般规定

第8.1.1条 隧道应结合衬砌采取可靠的防水和排水措施，保证使用期内行车安全、设备正常使用。

第8.1.2条 隧道防排水应视水文地质条件因地制宜地采取“以排为主，防、排、截、堵相结合”的综合治理原则，达到排水通畅、防水可靠、经济合理、不留后患的目的。

第8.1.3条 对地表水、地下水应采取妥善的处理，使洞内外形成一个完整的畅通的防排水系统。一般公路隧道应做到：

- 一、拱部不滴水、边墙不滴水。
- 二、路面不冒水、不积水、设备箱洞处不渗水。
- 三、冻害地区隧道衬砌背后不积水，排水沟不冻结。

汽车专用公路隧道则应达到拱部、墙部及设备箱洞处均不渗水。

第8.1.4条 当采取防排水工程措施时，应注意保护自然环境。

第二节 防水

第8.2.1条 隧道首先要重视防止地表水的下渗，其措施为填平、铺砌、勾补、抹面等。对于坑穴、钻孔等均应填实封闭。

第8.2.2条 围岩破碎、涌水易坍地段，宜直接向围岩内预压浆。当涌水量大时，应采用化学浆液。向衬砌背后压浆时，应防止因压浆而堵塞衬砌背后的排水设施。

第8.2.3条 隧道衬砌防水，首先采取引排措施，然后敷设衬砌内、外防水层；也可修建复合式衬砌，采用夹层防水层。

混凝土应满足抗渗要求，寒冷地区冻害地段和严寒地区所采

用混凝土的抗渗标号不宜低于S6，其余地区不宜低于S4。

施工缝、变形缝等处的防渗应采取专门的防水措施。

第三节 排 水

第8.3.1条 洞外排水应根据地形、地质、气象情况，结合农田水利情况全面规划，综合治理，因地制宜地设置疏水、截水、引水设施。

第8.3.2条 洞内一般应设置纵向排水沟、横向排水坡或横向排水暗（盲）沟等排水设施。排水沟应符合下列规定：

一、水沟坡度应与路线坡度一致，一般排水坡不小于0.5%，困难地段不小于0.3%。

路面横向排水坡不应小于1.0%，横向排水暗（盲）沟坡度不应小于2%。

二、隧道内宜设置双侧水沟。有仰拱的隧道或需设置深埋水沟的隧道宜设置中心水沟。水沟的侧面应设置足够的进水孔。

三、水沟过水断面应根据水力计算确定。必要时，水沟应设置沉沙井、检查井，并铺设盖板，其位置、结构构造应考虑便于清理和检查。

四、寒冷和严寒地区冬季有水的隧道，最冷月平均温度在 $-10\sim-15^{\circ}\text{C}$ 时，可采用双侧保温水沟；最冷月平均温度在 $-15\sim-25^{\circ}\text{C}$ 时，宜采用中心深埋水沟；最冷月平均温度低于 -25°C 时，宜在主隧道下设置防寒泄水隧洞。

隧道内可根据具体情况修筑防寒的环向、纵向盲沟，洞外可设暗沟、保温出水口等排水设施，使隧道内外形成一个通畅的防寒排水系统。

第8.3.3条 围岩疏导排水应符合下列规定：

一、地下水出露处，宜在衬砌背后设置竖向盲沟，或以排水管（槽）、钻孔等引排。

二、水量较大、出水面广时，衬砌背后应设置环向、纵向盲沟组成的排水系统，将水集排至排水沟内，还可根据需要设置反

滤层。

三、当地下水发育，含水层明显，又有长期充分的补给来源时，可根据实际情况，利用辅助坑道排水或设置泄水洞等截、排水设施。

第8.3.4条 当洞内水质有侵蚀性时，应采取适当措施，防止排水造成环境污染。

第8.3.5条 常年干燥的短隧道，且洞外无水流通过时，可不设洞内排水沟。

第四节 洞口及明洞防排水

第8.4.1条 隧道、明洞、辅助坑道的洞口（包括边仰坡）应设置截水沟和排水沟；洞口边坡、仰坡应采取防护措施，防止地表水的下渗和冲刷。

第8.4.2条 当洞口外路阶为上坡时，可在洞口外设置反向排水边沟和截流涵洞，防止洞外水流入隧道内。

第8.4.3条 明洞顶应设置排水系统，明洞回填顶面应设置不小于5%的排水坡，填土内或坡面宜铺设防水层，并与开挖边坡搭接良好。

第8.4.4条 靠围岩的边墙顶、边墙后，宜设置纵向和竖向盲沟，将水引至边墙底泄水孔排出。明洞侧洞应防止地面水侧向流入。

第8.4.5条 明洞衬砌外缘应敷设外帖式或喷涂式防水层。

第九章 通风、照明与供电

第一节 一般规定

第9.1.1条 隧道应根据其长度及交通量等的实际情况，进行通风和照明设计。

第9.1.2条 隧道通风、照明设计，应从安全、适用等因素综合考虑，采用经济、合理的设计方案。

第二节 通风

第9.2.1条 隧道应具备良好的通风条件，通风设计应考虑下列因素：

- 一、隧道长度、线形和交通状况。
- 二、隧道所处地区的地理、气候条件和周围环境的影响。
- 三、隧道内行驶的车辆和所处地层中排放的有害气体。
- 四、隧道内交通事故、火灾等非常情况。
- 五、隧道工程造价和维修保养费用等。

第9.2.2条 隧道内空气中影响行车安全的有害物浓度应低于允许的标准值。

隧道内一氧化碳(CO)允许浓度：

一、隧道内工作人员休息室和控制室等人员长期停留的工作间为24ppm。

二、正常营运时，为150ppm。

三、发生事故时，短时间(15min)以内为250ppm。

隧道内烟尘允许浓度：

一、高速公路，一、二级公路隧道为 0.0075m^{-1} 。

二、三、四级公路隧道为 0.0090m^{-1} 。

第9.2.3条 隧道通风方式应根据第9.2.1条、第9.2.2条要

求确定。在无可靠资料时，一般双向行驶的隧道可按下列界限值确定通风方式：

当 $LN \geq 630$ 时，采用机械通风；

$LN < 600$ 时，采用自然通风。

式中 L ——隧道长度 (km)；

N ——通过隧道的车辆高峰小时交通量 (辆/h)，应按照隧道的实际通行能力或实测的高峰交通量计算。

第9.2.4条 隧道内所需通风量，应根据稀释隧道内空气中的有害物浓度达到允许浓度时所需的新鲜空气量确定。

隧道内稀释CO所需的新鲜空气量可按下式计算：

$$Q_{CO} = K \cdot f_v \cdot f_1 \cdot f_h \cdot \frac{q_{CO} \cdot N \cdot G \cdot L}{\delta_{CO}} \times 10^6$$

式中 Q_{CO} ——新鲜空气需求量 (m^3/h)；

q_{CO} ——汽车每吨公里一氧化碳产生量 ($m^3/(t \cdot km)$)，

由实测数据计算确定，计算方法见附录V；

N ——通过隧道的车辆高峰小时交通量 (辆/h)；

L ——隧道长度 (km)；

δ_{CO} ——一氧化碳允许浓度 (ppm)；

f_v ——速度修正系数，按表9.2.4-1采用；

f_1 ——坡度修正系数，按表9.2.4-2采用；

f_h ——海拔高度修正系数，按表9.2.4-3采用；

G ——车重 (t)；

K ——风量附加系数， $K = 1.1 \sim 1.2$ 。

隧道内稀释烟尘所需的新鲜空气量可按下式计算：

$$Q_F = K \cdot f_1 \cdot f_h \cdot \frac{q_r \cdot G \cdot D \cdot L}{k}$$

式中 Q_F ——新鲜空气需求量 (m^3/h)；

D ——柴油车密度 $D = \frac{M}{V}$ (辆/km)；

M ——柴油车所占百分比折算出的柴油车交通量 (辆/h)；

系数 f_v

表9.2.4-1

速度 km/h \ 车辆种类	20	30	40~60	70	80
卡 车	1.25	1.05	1.0	1.30	/
小 车	1.25	1.05	1.0	1.15	1.25

注：小车车速大于80km/h时， f_v 按1.25计。

②

系数 f_s

表9.2.4-2

坡度(%)	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
f_s	0.85	0.90	0.95	1	1.50	2.00	2.50

系数 f_h

表9.2.4-3

海 拔 高 度 (m)	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
f_h	1.10	1.22	1.37	1.52	1.68	1.83	2.04	2.24	2.46	2.65

注：海拔高度小于400m时， f_h 按1.0计。

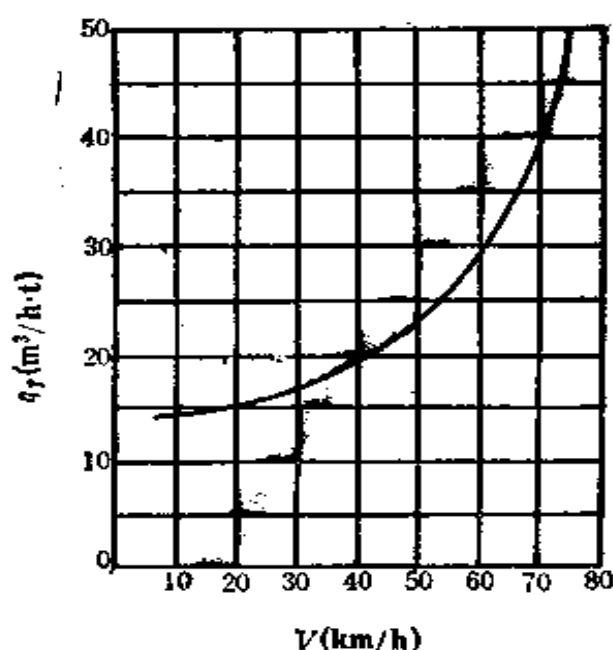


图9.2.4 柴油车产烟量 q_r 与车速关系

V ——隧道设计车速 (km/h) ;

G ——柴油车车重 (t) ;

q_r ——柴油车产烟量 ($m^3/(h \cdot t)$) , 由图9.2.4查出;

k ——烟尘允许浓度 (m^{-1}) ;

K 、 f_l 、 f_h 、 L 意义同前。

第9.2.5条 采用机械通风时,双向行驶的隧道不考虑车辆行驶的影响。隧道行车道内由于机械通风产生的最大风速,不宜超过8m/s。

第9.2.6条 机械通风的进风装置应安设在空气污染最小的地方。

通风机房应有防潮、防锈蚀等措施,在寒冷及严寒地区应有保暖措施。当考虑火灾和其他灾害产生的烟雾时,纵向和横向通风系统应能变换送、排风方向。

第9.2.7条 设机械通风的长隧道,可配置备用风机,备用风机的送排风量按正常通风需要量的50%选定。

第9.2.8条 通风机械传入隧道内的噪声,不得超过表9.2.8的规定。

噪声控制

表9.2.8

倍频程中心 频率(Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
倍频程声压级 (dB)	99	92	86	83	80	78	76	74

第三节 照 明

第9.3.1条 隧道一般应设电光照明。对于能通视、交通量较小、行人密度不大的短隧道,可不设白天的照明设施;长度超过100m的高速公路、一、二级公路隧道,应设置白天的照明设施。

第9.3.2条 隧道照明应以白天和夜间两种不同情况确定设计亮度。白天照明的隧道,其照明区段的划分和路面最低亮度可

按下列照明渐变梯度图9.3.2和表9.3.2设计。

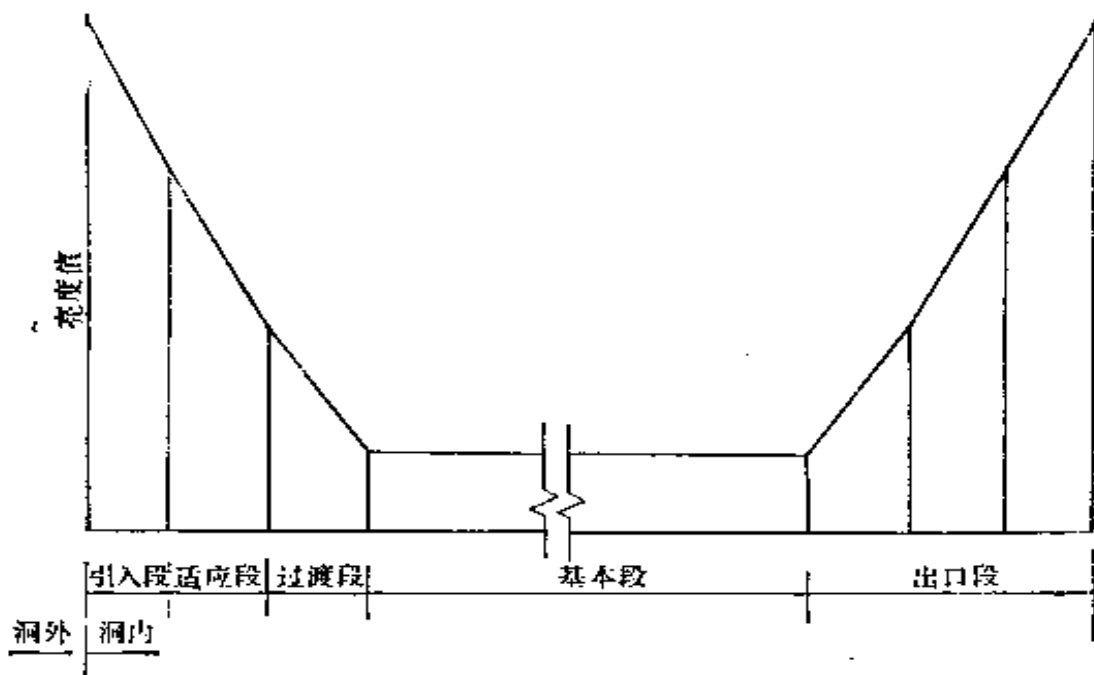


图9.3.2 白天照明渐变梯度图(双向交通)

区段照明长度及路面最低亮度

表9.3.2

设计车速 (km/h)	引入段		适应段		过渡段		入口照明区间 总长度 (m)
	距离 (m)	亮度 (cd/m ²)	距离 (m)	亮度 (cd/m ²)	距离 (m)	亮度 (cd/m ²)	
80	40	80	40	80~46	40	46~4.5	120
60	25	50	30	50~30	30	30~2.3	85
40	15	30	20	30~20	20	20~1.5	55
20及以下		1.0		1.0		1.0	

注：1.上表是以隧道口部环境亮度为4000cd/m²为基本亮度拟定的，如果洞外亮度大于或小于4000cd/m²，表值应乘以系数K_e， $K_e = \frac{\text{洞外环境亮度}}{4000}$ ，

2.表中数值适用于双向行驶的隧道；

3.当洞口设有减光措施时，可考虑缩短引入段或取代引入段；

4.当设计速度超过80km/h时，应作专门研究。

第9.3.3条 隧道内基本照明及夜间照明标准列于表9.3.3。

基本照明及夜间照明亮度

表9.3.3

设计车速 (km/h)	路面平均亮度 (cd/m ²)	换算平均照度(lx)	
		混凝土路面	沥青路面
80	4.5	60	100
60	2.3	30	50
40	1.5	20	35
20及以下	1.0	15	20

注：1.平均照度换算系数：13（混凝土路面）；22（沥青路面）；
2.当设计车速超过80km/h时，应作专门研究。

当隧道外有路灯照明时，隧道内路面亮度值不得低于露天路段亮度的2倍。

第9.3.4条 不设电光照明的隧道，宜设置防护栏和配置诱导视线的反光标志。

第9.3.5条 隧道内其他照明应符合下列规定：

一、隧道内应急照明必须有独立的供电系统，照明亮度值不得低于基本亮度值的1/10。

二、隧道内设紧急停车带时，停车处亮度应按基本亮度的1.5~2倍设计。

第9.3.6条 洞口外地段应尽量保持低亮度，可采取在路旁及洞口附近铺草坪和植树，洞外路面采用反射系数低的路面材料，洞口设遮阳棚或减光格栅等措施。洞门设计应有利于隧道照明。

第9.3.7条 照明光源宜选择在烟雾中有较好透视性的低压钠灯或显色性较好的荧光灯，寒冷和严寒地区宜选择启动温度较低的光源；隧道出入口照明，宜选择小型、大光通量的高压钠灯或高压荧光灯。

第9.3.8条 照明灯具的选择应符合照明要求，宜选择尺寸合理，耐腐蚀性强，不易老化，防潮和防喷流的灯具。

第9.3.9条 照明灯具布置应起到诱导行车的作用，应避免

一侧布设，并不得出现眩光。

隧道内路面、墙面亮度应分布合理，照明灯具宜呈线形分布；一般情况下，路面亮度均匀度不应小于1/3。

第9.3.10条 为充分发挥隧道照明设施的效能，隧道各段路面亮度应定期检测。

第四节 供 电

第9.4.1条 隧道供电系统设计必须执行国家技术经济政策，做到保障人身安全，供电可靠，技术经济合理。隧道电力负荷应根据其重要性和中断供电在政治、经济上所造成的损失或影响程度定出负荷等级。具体分级可按现行的《工业与民用供电系统设计规范》的有关规定执行。

第9.4.2条 设置通风、照明的高速公路、一级公路隧道，应设独立的备用电源。

第9.4.3条 隧道内一般采用三相四线制供电；供电系统宜采用380/200伏交流电的中性接地变压器。隧道内通风和照明以及事故用电应各自设置单独的回路。通风和照明供电的控制开关应集中设置在隧道口宜于操作处。

第十章 隧道营运管理设施

第一节 设置原则

第10.1.1条 隧道营运管理设施，应按安全、经济、适用的原则进行设计。分期修建时，隧道断面应能满足后期安装设施的建筑限界要求。

第10.1.2条 隧道营运管理设施的规模，应根据公路等级、隧道长度、设计交通量、地理位置与所在环境、使用条件等综合研究确定。

第二节 电缆与电缆槽

第10.2.1条 隧道内的动力网路宜使用无麻层的铠装电缆；照明网路宜使用穿管绝缘导线或铠装电缆。

第10.2.2条 通讯、信号与电力等电缆通过隧道时，宜设置电缆槽。电缆槽的布设，除应符合有关专业的要求外，尚应满足下列规定：

一、通讯、信号电缆可设在一个电缆槽内，也可分设，但必须和电力电缆分槽布设。当电力电缆沿隧道边墙或顶板架设时，应有必要的防护措施。

二、通讯、信号电缆的弯曲半径一般不小于1.2m，电力电缆槽的弯曲半径通常为电缆外径的6~30倍。

三、电缆槽底有高低差时，纵向应顺坡连续。

四、电缆槽一般宜与边沟一并考虑，并在适当地点预留引进或引出电缆的孔穴和检修洞。当电缆槽单独设置时，应设盖板，盖板顶面应与人行道或边沟盖板平齐。

第10.2.3条 电缆及电缆槽铺设应符合下列规定：

一、当采用混凝土槽敷设电力电缆时

1. 电缆槽内有可能浸水或油污时，应将电缆架在沟架上；
2. 电缆槽应铺设细砂或自熄性泡沫塑料垫层并加盖板；
3. 电缆在沟底敷设应互相分开，其间距不应小于10cm。

二、当沿隧道边墙架设电力电缆时

1. 支撑钢索用的托架，其间距在直线部分不宜大于20m，曲线部分不宜大于15m；
2. 钢索每隔300~500m应设一耐张段；
3. 钢索上悬挂电缆固定点的间距不宜超过以下数值：
电力电缆为0.75m
控制电缆为0.6m
4. 在潮湿流水处，电缆与墙壁之间的距离不应小于5cm。

三、500m以上的隧道，应在电缆槽同侧设置余长电缆腔，间距为500m（隧道长度500~1000m时，可只在隧道中间设一处）。

第10.2.4条 隧道内应设置供维修和养护作业用的电力插座，插座宜设在避车洞内或设在有人行道及检修道的侧墙上，安装高度（距地面）不得低于1.5m。在双车道隧道内，插座应配置在隧道的一侧，多车道的隧道，插座宜交错排列在隧道的两侧，两插座的间距一般不宜超过50m。

第三节 通讯、信号及标志

第10.3.1条 设人看守的隧道和隧道天井应设守护电话，并直接与隧道的管理机构相连通。高速公路、一级公路的长隧道和特长隧道内，宜每隔500~600m设置一部紧急电话。

第10.3.2条 隧道两端洞口附近应设置限制车速，禁止超车、停车等标志。

高速公路、一级公路的长隧道和特长隧道，可根据需要设置公路情报板和交通监视设施。

第10.3.3条 隧道内路面应划线，并与洞外路面划线保持连续性。曲线隧道应设置行车诱导标志，并宜采用反光标志或标

线。

第四节 消防及救援设施

第10.4.1条 相邻双孔隧道之间，宜按表10.4.1规定设置供巡查、维修、救援及车辆转换方向用的行人横洞及行车横洞。

横洞间距及尺寸(m) 表10.4.1

名 称	间 距	尺 寸	
		宽	高
行人横洞	200~300	2.0	2.2
行车横洞	400~500	4.0	4.5

注：1.隧道长度为400~600m时，可在隧道中间设一行人横洞，长度小于400m时，可不设行人横洞；
2.隧道长度为800~1000m时，可在隧道中间设一行车横洞，长度小于800m时，可不设行车横洞。

第10.4.2条 避车洞及横洞的衬砌类型，一般应和隧道相应部位衬砌类型相同，避车洞及行人横洞的底面应与人行道或边沟盖板顶面平齐。行车横洞两端应与路缘带顺坡，并设半径不小于5m的转弯喇叭口。

第10.4.3条 500m以上的高速公路、一级公路隧道，宜单独设置存放专用消防器材等的洞室，并作出明显标志。

第10.4.4条 采用机械间歇通风的隧道，宜在洞口进深100m处及隧道中间处，各设置一氧化碳浓度检测器和烟雾浓度探测器。

第10.4.5条 长大隧道必要时应设置报警、消防及其它应急设施。

第五节 其他设施

第10.5.1条 隧道一般不作内壁装饰，当需要时，内装应经济耐用，易于保养，并适当考虑美观。

内装不得侵入隧道建筑限界。

第10.5.2条 高速公路、一级公路的隧道宜采用消音设施。隧道长度在300~500m之间时，可只敷设洞口段吸音板，短隧道可不设消音设施。

若装置消音板时，隧道断面设计净宽应增加15~20cm。

第10.5.3条 征收通行费的隧道，可在隧道两端洞口引线段外适当地点设置收费站，并应设立预告标志牌。

设专人管理或养护的隧道，可根据需要设置管理养护人员的办公和生活设施。

第十一章 施工与辅助坑道

第一节 隧道施工

第11.1.1条 隧道施工必须贯彻安全生产的方针。在保证质量的前提下提高经济效益。

第11.1.2条 隧道施工中应尽量不占或少占农田，保护原有植被。对由于施工可能对环境造成的影响应有治理措施。

第11.1.3条 编制指导性施工组织设计的主要内容是：施工现场布置，供水方案，施工进度安排，工程数量和人员配备，材料、机具、设备、电力、运输车辆和通讯线路等的需求量及有关的安全、质量、技术和节约等措施。

第11.1.4条 施工方案应根据地质条件，结合隧道长度、断面宽度、工期要求、结构类型、施工技术力量及机具设备情况确定，一般宜优先采用全断面法和正台阶法。对地质变化较大的隧道，选择施工方法时要有较大的适应性，以便在围岩变化时易于变换施工方法，但变换施工方法时应有过度措施。

第11.1.5条 明洞和洞口工程土石开挖不得采用大爆破。石质陡坡应先加固再进洞，尽量保持原有仰坡稳定；松软缓坡开挖边仰坡时，应事先放出开挖线，由上而下进行，随挖随支护。

第11.1.6条 除完整稳定的围岩外，施工时必须配合开挖及时支护，确保施工安全。全断面开挖选择支护方式时，可优先考虑锚杆喷混凝土、锚喷联合和锚杆挂网、挂梁等支护形式。

第11.1.7条 隧道开挖应采用对围岩扰动小的开挖方法。当用钻爆法开挖时，应采用光面爆破或预裂爆破技术。在软弱、含水围岩或浅埋等不易自稳的地段施工时，应有辅助施工措施，或进行预先加固处理。

第11.1.8条 采用复合式衬砌时，应对围岩和锚喷支护的变

形进行监控量测，选定围岩和锚喷支护基本稳定的最佳时机施设二次衬砌，并根据监控量测信息反馈，及时修正衬砌参数。

第11.1.9条 采用复合式衬砌时，隧道的开挖轮廓应预留变形量，当设计无规定时，可按表11.1.9采用。

开挖轮廓预留变形量 (cm) 表11.1.9

围岩类别	跨 度 (m)	
	9~11	7~9
IV	5~7	3~5
III	7~12	5~7
II	12~17	7~10
I		10~15

注：跨度超过11m时可选用最大值。

第11.1.10条 隧道施工防排水应与永久性防排水设施相结合。

第11.1.11条 施工供水应尽量利用高山水源筑池蓄水，水池应有一定的贮量和高程，以保证工作面有不小于0.3 MPa的水压。严寒地区应注意管道保温，或采用压力罐供水。

第11.1.12条 坍方地段的衬砌，视坍穴大小和地质情况予以相应加强。完成衬砌后应及时回填坍穴，小型坍方按超挖有关规定回填，大型坍穴应先在拱背砌筑厚度不小于0.6m的浆砌片石护拱，然后以弃碴回填。

第11.1.13条 施工过程中应随时搜集、整理资料和数据，竣工后应及时提交竣工文件和原始纪录。

第二节 辅助坑道

第11.2.1条 辅助坑道的设置，应根据隧道长度、施工期限、地形、地质、水文、设备，并结合通风排水及出碴的需要，通过技术经济比较确定。

第11.2.2条 辅助坑道的洞口、岔洞及与正洞连接处，应加强支护；隧道竣工后的辅助坑道应尽量改造利用。

第11.2.3条 可以利用的辅助导坑，应设永久性支护，选用支护类型时优先采用锚喷。

无法利用的辅助坑道，隧道竣工后应作以下处理：

- 一、整理排水系统使其畅通无阻。
- 二、加强薄弱环节及易坍塌地段的衬砌。
- 三、封闭辅助坑道洞口及正洞相交的连接段。

第11.2.4条 辅助坑道的断面尺寸应根据运输要求、地质条件、支护类型、人行安全及管道设置等因素确定，当用于通风时，应按通风要求设计。

第11.2.5条 傍山、沿河隧道设辅助坑道时，宜先考虑采用横洞，设置的位置依地形条件和施工需要而定。横洞与正洞中线交角一般为 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ ，并应有向洞外不小于0.3%的下坡。

第11.2.6条 特长隧道或拟建双洞的隧道采用平行导坑时，其位置选定应符合下列要求：

- 一、应设在地下水来源一侧。
- 二、与正洞的净距，按本规范第2.6.3条的规定办理。
- 三、底面标高低于正洞0.2~0.5m。

第11.2.7条 埋置不深和地质条件较好地段的长隧道，需增加工作面时，可采用斜井或竖井。斜井和竖井井口不得设在可能被洪水淹没处，井口位置的标高应高出洪水频率为1/100的水位至少0.5m；当设于山沟低洼处时，必须有防洪措施。

第11.2.8条 斜井的倾角根据提升方式、提升量、井长及井口地形而定，不同提升方式的斜井倾角规定如下：

箕斗提升	不大于 35°
斗车提升	不大于 25°
胶带运输机提升	不大于 15°

井身纵断面不宜变坡，井口和井底变坡点应设竖曲线，竖曲线半径一般采用12~20m。

第11.2.9条 斜井必须设置不小于0.7m的人行道。倾角大于15°时，应设置台阶，轨道应有防爬和挡车设备，车辆应有防溜装置。

第11.2.10条 竖井、马头门及井身通过地质条件较差地段时，应设壁座，其型式、间距可根据地质条件、施工方法及衬砌类型确定。

第11.2.11条 竖井内应设安全梯和罐道，提升罐应有防坠设备。

附录一 隧道围岩分类

隧道围岩分类(一)

附表1.1

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态	
VI	硬质岩石(饱和抗压极限强度 $R_b > 60$ MPa),受地质构造影响轻微,节理不发育,无软弱面(或夹层);层状岩层为厚层,层间结合良好	呈大块状整体结构	围岩稳定,无坍塌,可能产生岩爆
V	硬质岩石($R_b > 30$ MPa),受地质构造影响较轻,节理较发育,有少量软弱面(或夹层)和贯通微张节理,但其产状及组合关系不致产生滑动;层状岩层为中层或厚层,层间结合一般,很少有分离现象,或为硬质岩石偶夹软质岩石	呈大块状砌体结构	暴露时间长,可能会出现局部小坍塌;侧壁稳定;层间结合差的平缓岩层,顶板易塌落
	软质岩石($R_b \approx 30$ MPa),受地质构造影响轻微,节理不发育;层状岩层为厚层,层间结合良好	呈大块状整体结构	
IV	硬质岩石($R_b > 30$ MPa),受地质构造影响严重,节理发育,有层状软弱面(或夹层),但其产状及组合关系尚不致产生滑动;层状岩层为薄层或中层,层间结合差,多有分离现象;或为硬、软质岩石互层	呈块(石)碎(石)状镶嵌结构	拱部无支护时可产生小坍塌,侧壁基本稳定,爆破震动过大易塌
	软质岩石($R_b = 5$ 以上~30MPa),受地质构造影响严重,节理较发育;层状岩层为薄层、中层或厚层,层间结合一般	呈大块状砌体结构	

类别	围岩主要工程地质条件		围岩开挖后的稳定状态
	主要工程地质条件	结构特征和完整状态	
III	硬质岩石($R_b > 30$ MPa),受地质构造影响很严重,节理很发育,层状软弱面(或夹层)已基本被破坏	呈碎石状压碎结构	拱部无支护时,可产生较大的坍塌;侧壁有时失去稳定
	软质岩石($R_b = 5$ 以上~30 MPa),受地质构造影响严重,节理发育	呈块(石)碎(石)状镶嵌结构	
	1.略具压密或成岩作用的粘性土及砂性土 2.一般钙质、铁质胶结的碎、卵石土、大块石土 3.黄土(Q_1 、 Q_2)	1.呈大块状压密结构 2.呈巨块状整体结构 3.呈巨块状整体结构	
II	石质围岩位于挤压强烈的断裂带内,裂隙杂乱,呈石夹土或土夹石状	呈角(砾)碎(石)状松散结构	围岩易坍塌,处理不当会出现大坍塌,侧壁经常小坍塌;浅埋时易出现地表下沉(陷)或坍至地表
	一般第四系的半干硬~硬塑的粘性土及稍湿至潮湿的一般碎、卵石土,圆砾、角砾土及黄土(Q_3 、 Q_4)	非粘性土呈松散结构,粘性土及黄土呈松软结构	
I	石质围岩位于挤压极强烈的断裂带内,呈角砾、砂、泥松软体	呈松软结构	围岩极易坍塌变形,有水时土砂常与水一齐涌出;浅埋时易坍至地表
	软塑状粘性土及潮湿的粉细砂等	粘性土呈易蠕动的松软结构砂性土呈潮湿松散结构	

注:表中“类别”和“围岩主要工程地质条件”栏,不包括特殊地质条件的围岩,如膨胀性盐岩、多年冻土等。

1. 岩石等级划分

将岩浆岩、沉积岩和变质岩依岩性、物理力学指标、耐风化能力划分为硬质岩石及软质岩石二级,又依饱和抗压极限强度 R_b 与工程的关系分为四种,其标准及代表性岩石见附表1.1-1。

2. 围岩受地质构造影响程度的等级划分见附表1.1-2。

3. 围岩节理(裂隙)发育程度的划分见附表1.1-3。

岩石等级划分

附表1.1-1

岩石等级		饱和抗压 极限强度 R_b (MPa)	耐风化能力		代表性岩石
			程度	现象	
硬质岩石	极硬岩	>60	强	暴露后 1、2 年尚不 易风化	1.花岗岩、闪长岩、玄武岩等岩 浆岩类 2.硅质、铁质胶结的砾岩及砂岩、 石灰岩、白云岩等沉积岩类 3.片麻岩、石英岩、大理岩、板 岩、片岩等变质岩类
	硬岩	>30			
软质岩石	软质岩	5以上~30	弱	暴露后 数日至 数月即 出现风 化壳	1.凝灰岩等喷出岩类 2.泥砾岩、泥质砂岩、泥质页 岩、灰质页岩、泥灰岩、泥岩、 劣煤等沉积岩类 3.云母片岩和千枚岩等变质岩 类
	极软岩	≤5			

围岩受地质构造影响程度等级划分

附表1.1-2

等级	地质构造作用特征
轻微	围岩地质构造变动小，无断裂（层），层状岩一般呈单斜构造，节理不发育
较重	围岩地质构造变动较大，位于断裂（层）或褶曲轴的邻近地段，可有小断层，节理较发育
严重	围岩地质构造变动强烈，位于褶曲轴部或断裂影响带内，软岩多见扭曲及拖拉现象，节理发育
很严重	位于断裂破碎带内，节理很发育，岩体破碎呈碎石、角砾状，有的甚至呈粉末、土状

围岩节理（裂隙）发育程度划分

附表1.1-3

等级	基本特征
节理不发育	节理或裂隙（1~2组）规则，为原生型或构造型，多数间距1m以上，多为密闭，岩体呈巨块状
节理较发育	节理或裂隙（2~3组）呈X形，较规则，以构造型为主，多数间距大于0.4m，多为密闭，部分微张，少有充填物，岩体呈大块状
节理发育	节理或裂隙（3组以上）不规则，呈X形或米字形，以构造型或风化型为主，多数间距小于0.4m，大部分微张，部分张开，部分为粘性土充填，岩体呈块（石）碎（石）状
节理很发育	节理或裂隙（3组以上）杂乱，以风化型和构造型为主，多数间距小于0.2m，微张或张开，部分为粘性土充填，岩体呈碎石状

4. 层状岩层的层厚划分

厚层：大于0.5m；

中层：0.1~0.5m；

薄层：小于0.1m。

5. 风化作用对围岩分类的影响

结构完整状态方面：当风化作用使岩体结构松散、破碎、软硬不一时，应结合因风化作用造成的各种状况，综合考虑确定围岩的结构完整状态；

岩石等级方面：当风化作用使岩石成分改变、强度降低时，应按风化后之强度确定岩石等级。

6. 遇有地下水时，可按下列原则调整围岩类别：

在VI类围岩或属于V类的硬质岩石中，一般地下水对其稳定性影响不大，可不考虑降低；

在VI类围岩或属于V类的软质岩石，应根据地下水的性质、水量大小和危害程度调整围岩类别，当地下水影响围岩稳定产生局部坍塌或软化软弱面时，可酌情降低1级；

III类、II类围岩已成碎石状松散结构，裂隙中有粘性土充填物，地下水对围岩稳定性影响较大，可根据地下水的性质、水量大小、渗流条件、动水和静水压力等情况，判断其对围岩的危害程度，可降低1~2级；

在I类围岩中，分类中已考虑了一般含水地质情况的影响，

隧道围岩分类（二）

附表1.2

围岩类别 测试 参数指标	VI	V	IV	III	II	I
RQD(%)	>95	85~75	75~85	50~75	25~50	<25
V_p (km/s)	>4.5	3.5~4.5	2.5~4.0	1.5~3.0	1.0~2.0	<1.0 <1.5(饱和状态的土)
I	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2	

注：锤击法采用低值（I）划分。

但在特殊含水地层（如处于饱水状态或具有较大承压水流时），需另作处理。

各类围岩的物理力学指标

附表1.3

围岩类别	密度 ρ (t/m ³)	弹性抗力系数 K (MPa/m)	弹性模量 (静态) E (GPa)	泊松比 μ	计算摩擦角 ϕ (°)	摩擦系数 (圬工与围岩) f
VI	2.6~2.8	1800~2800	>50	0.10~0.15	>78	0.6~0.7 (表面不光滑时)
V	2.5~2.7	1200~1800	20~50	0.12~0.20	67~78	0.6 (表面不光滑时)
IV	2.3~2.5	500~1200	5~25	0.15~0.30	55~66	0.5 (表面不光滑时)
III	1.9~2.2	200~500	2~10	0.20~0.35	43~54	0.3~0.5
II	1.7~2.0	100~200	<2	0.30~0.45	31~42	0.3~0.5
I	1.5~1.7	<100	<1	0.35~0.50	≤30	≤0.25

注：1.表中密度 ρ ，对 III类围岩的老黄土采用1.7~1.8，II类围岩的新黄土采用1.5；

2.表中弹性抗力系数 K ，一般可参考下列情况取值；

1)洞径在10m及以上的取较低值，在10m以下的取较高值；

2)裂隙发育的取较低值；

3)对受地下水作用强度降低的围岩和可能继续风化的围岩取较低值；

4)洞口、浅埋傍山隧道地段取低值；

3.表列数值适用于洞径在15m及以下的隧道，不适用于黄土、冻土及其它特殊土（膨胀土等）隧道；

4.表中摩擦系数 f ，对 III类围岩光滑的粘性土取用0.3，砂类土取用0.4，块、卵石取用0.5；II类围岩光滑的粘性土取用0.3，砂性土取用0.4，卵、砾石取用0.5。

附录二 明洞设计荷载的计算方法

设计明洞时，其设计荷载按下述方法计算确定，

一、拱圈回填土石垂直压力

$$q_i = \gamma_i h_i \quad (\text{附2.1})$$

式中 q_i ——明洞结构上任意点 i 的回填土石垂直压力值；

γ_1 ——拱背回填土石容重；

h_1 ——明洞结构上任意点 i 的土柱体高度。

二、拱圈回填土石侧压力

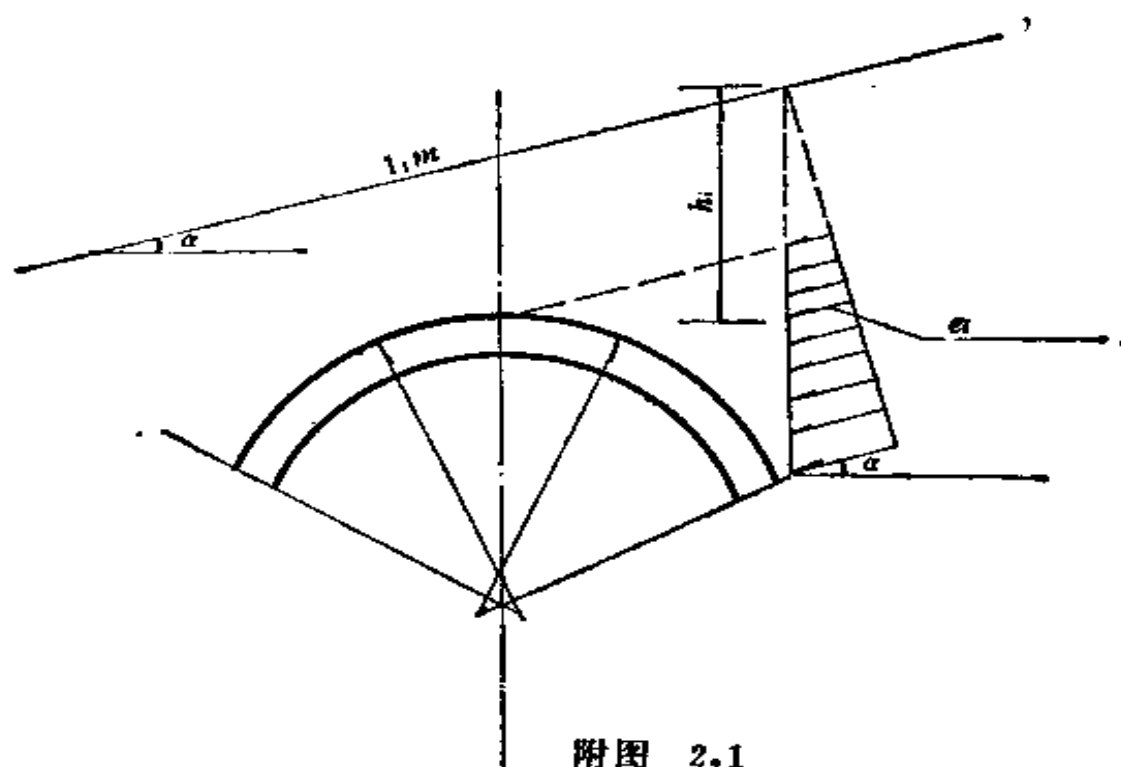
$$e_i = \gamma_1 h_1 \lambda \quad (\text{附}2.2)$$

式中 e_i ——任意点 i 的侧压力；

γ_1, h_1 ——符号意义同前；

λ ——侧压力系数，计算公式为：

填土坡面向上倾斜（附图2.1）按无限土体计算



附图 2.1

$$\lambda = \cos \alpha \frac{\cos \alpha - \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi_1}}{\cos \alpha + \sqrt{\cos^2 \alpha - \cos^2 \phi_1}}$$

填土坡面向上倾斜（附图2.2）按有限土体计算

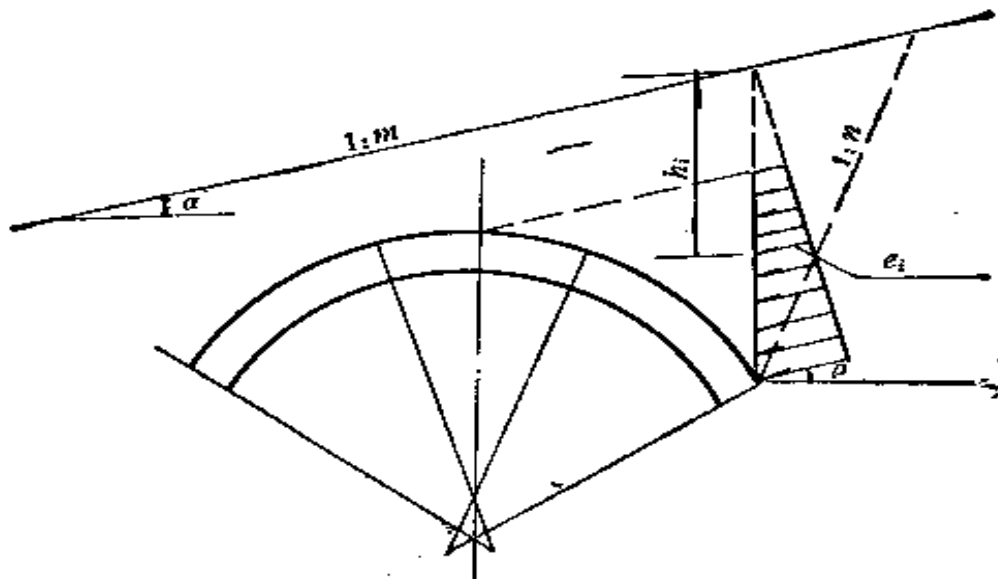
$$\lambda = \frac{1 - \mu n}{(\mu + n) \cos \rho + (1 - \mu n) \sin \rho} \cdot \frac{m n}{m - n}$$

式中 α ——设计填土面坡度角；

ϕ_1 ——拱背回填土石计算摩擦角；

ρ ——侧压力作用方向与水平线的夹角；

n ——开挖边坡坡率；



附图 2.2

m ——回填土石面坡率；

μ ——回填土石与开挖边坡面间的摩擦系数。

三、边墙回填土石侧压力

$$e_i = \gamma_2 h'_i \lambda \quad (\text{附}2.3)$$

式中 γ_2 ——墙背回填土石容重；

h'_i ——边墙计算点换算高度

$$h'_i = h''_i + \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \cdot h_i$$

h''_i ——墙顶至计算位置的高度；

h_i ——填土坡面至墙顶的垂直高度；

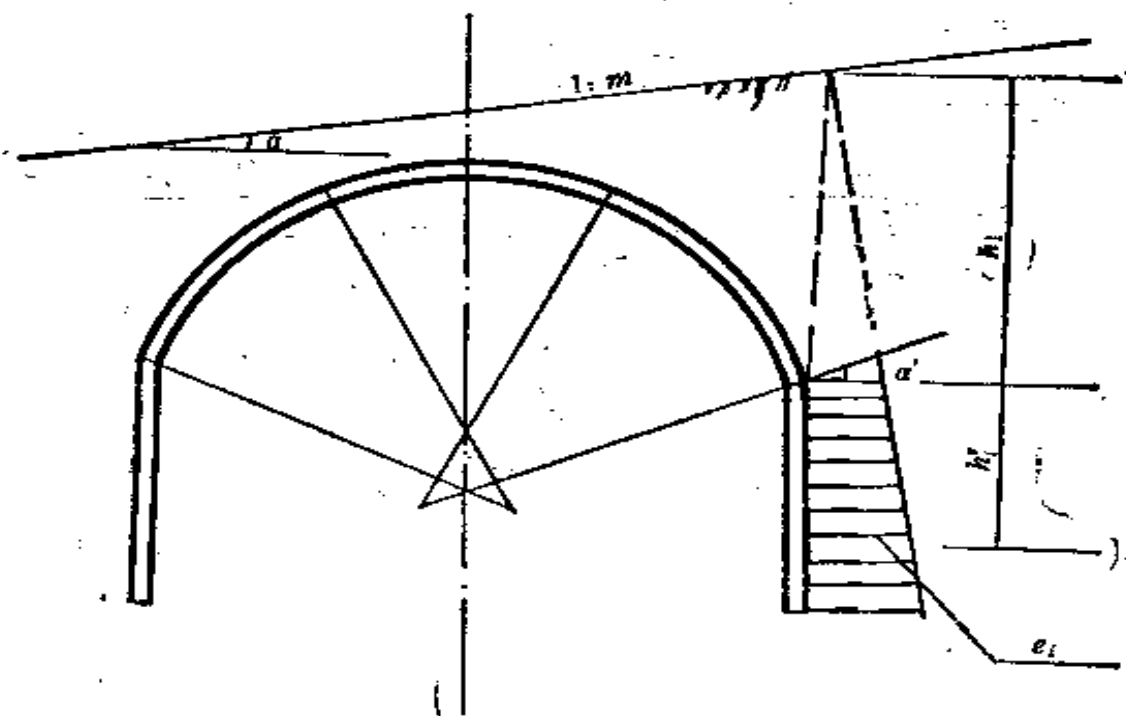
λ ——侧压力系数，计算公式为：

填土坡面向上倾斜（附图2.3）

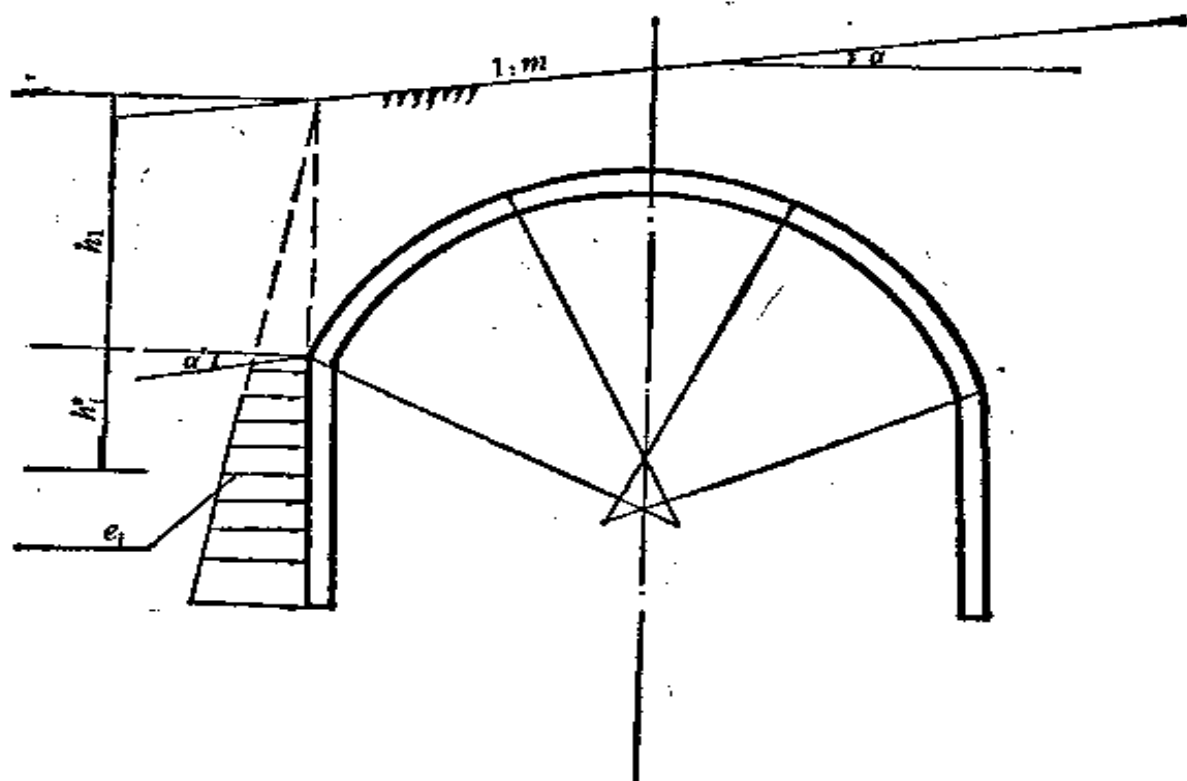
$$\lambda = \frac{\cos^2 \phi_2}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin \phi_2 \cdot \sin(\phi_2 - \alpha')}{\cos \alpha'}} \right]^2}$$

填土坡面向下倾斜（附图2.4）

$$\lambda = \frac{\text{tg} \theta_0}{\text{tg}(\theta_0 + \phi_2)(1 + \text{tg} \alpha' \text{tg} \theta_0)}$$



附图 2.3



附图 2.4

式中 $\alpha' = \operatorname{arctg}\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} \operatorname{tg}\alpha\right)$;

ϕ_2 ——墙背回填土石计算摩擦角;

$$\operatorname{tg}\theta_0 = \frac{-\operatorname{tg}\phi_2 + \sqrt{(1 + \operatorname{tg}^2\phi_2)(1 + \operatorname{tg}\alpha'/\operatorname{tg}\phi_2)}}{1 + (1 + \operatorname{tg}^2\phi_2)\operatorname{tg}\alpha'/\operatorname{tg}\phi_2}$$

附录三 浅埋隧道围岩压力计算

深埋和浅埋隧道的分界,按荷载等效高度值,并结合地质条件、施工方法等因素综合判定。按荷载等效高度的判定式为:

$$H_p = (2 \sim 2.5)h_q \quad (\text{附3.1})$$

式中 H_p ——深浅埋隧道分界深度;

h_q ——荷载等效高度,按下式计算:

$$h_q = \frac{q}{\gamma} \quad (\text{附3.2})$$

q ——用式(3.2.1)算出的深埋隧道垂直均布压力 (kN/m^2);

γ ——围岩容重 (kN/m^3)。

在矿山法施工的条件下, I~III类围岩取

$$H_p = 2.5h_q \quad (\text{附3.3})$$

IV~VI类围岩取

$$H_p = 2h_q \quad (\text{附3.4})$$

浅埋隧道围岩压力分下述两种情况分别计算:

1. 埋深 (H) 小于或等于等效荷载高度 h_q 时, 荷载视为均布垂直压力

$$q = \gamma H \quad (\text{附3.5})$$

式中 q ——均布垂直压力;

γ ——坑道上覆围岩容重;

H ——隧道埋深，指坑顶至地面的距离。
侧向压力 e ，按均布考虑时，其值为：

$$e = \gamma \left(H + \frac{1}{2} H_t \right) \operatorname{tg}^2 \left(45^\circ - \frac{\phi}{2} \right) \quad (\text{附3.6})$$

式中 e ——侧向均布压力；

γ ——围岩容重；

H ——隧道埋深；

H_t ——坑道高度；

ϕ ——围岩计算摩擦角，其值见附表1.3。

2. 埋深大于 h_a 、小于 H_p 时，为便于计算，作如下假定：

1) 假定土体中形成的破裂面是一条与水平成 β 角的斜直线，如附图3.1所示；

2) $EFHG$ 岩（土）体下沉，带动两侧三棱土体（如图中 FDB 及 ECA ）下沉，整个土体 $ABDC$ 下沉时，又要受到未扰动岩（土）体的阻力；

3) 斜直线 AC 或 BD 是假定的破裂面，分析时考虑内聚力 C 并采用了计算摩擦角 ϕ ；另一滑面 FH 或 EG 则并非破裂面，因此，滑面阻力要小于破裂滑面的阻力，若该滑面的摩擦角为 θ ，则 θ 值应小于 ϕ 值，无实测资料时， θ 可按附表3.1采用。

各类围岩的 θ 值

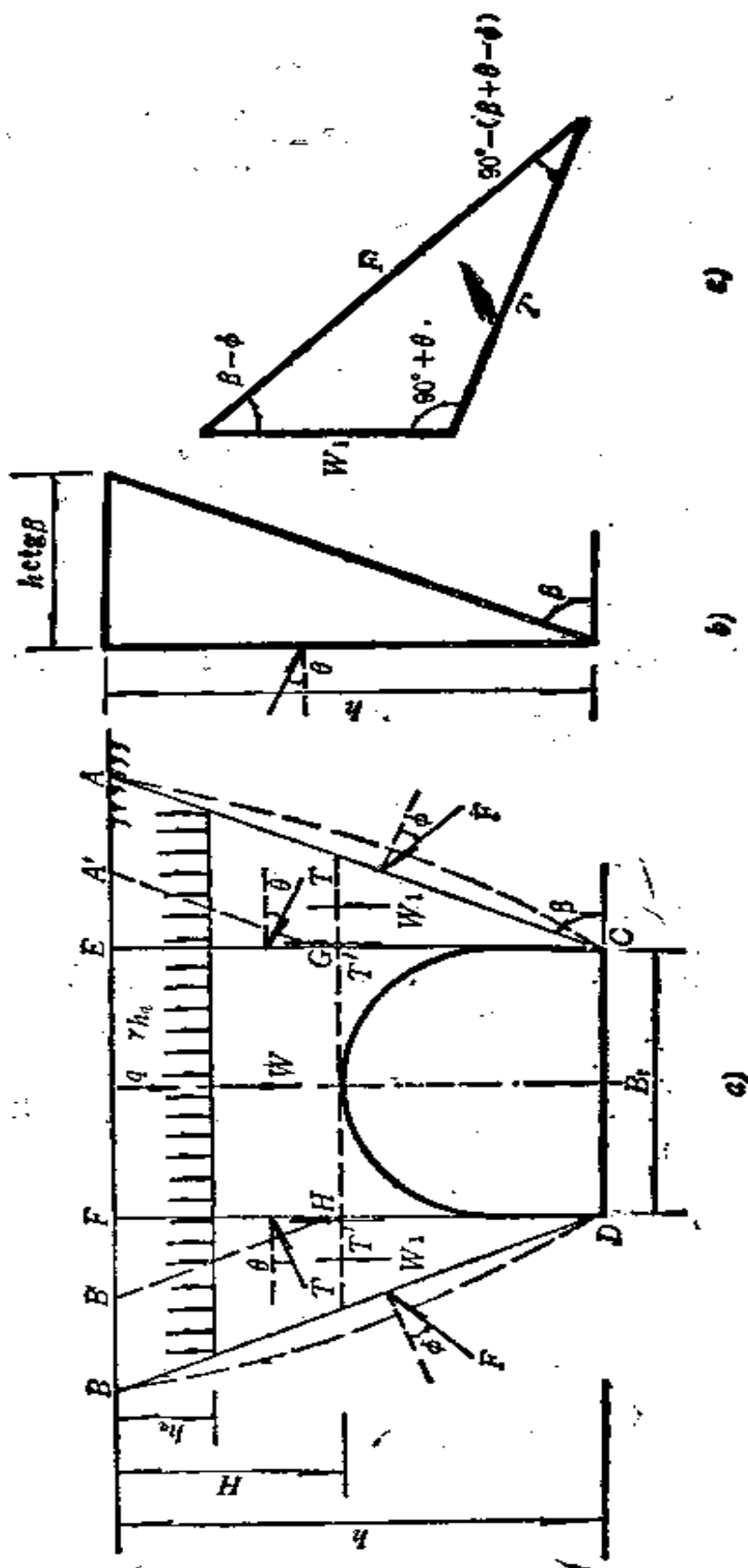
附表3.1

围岩类别	$\geq \text{IV}$	III	II
θ 值	0.9ϕ	$(0.7 \sim 0.9)\phi$	$(0.5 \sim 0.7)\phi$

设附图3.1中坑道上覆岩体 $EFHG$ 的重力为 W ，两侧三棱岩体 FDB 或 ECA 的重量为 W_1 ，未扰动岩体对整个滑动土体的阻力为 F ，当 $EFHG$ 下沉，两侧受到的阻力为 T 或 T' ，由附图3.1可见，作用于 HG 面上的垂直压力总值 Q 浅为：

$$Q_{\text{浅}} = W - 2T' = W - 2T \sin \theta \quad (\text{附3.7})$$

三棱体自重为：



附图 3.1

$$W_1 = \frac{1}{2} \gamma \cdot h \cdot \frac{h}{\operatorname{tg} \beta} \quad (\text{附3.8})$$

式中 γ ——围岩容重；
 h ——坑道底部到地面的距离；
 β ——破裂面与水平面的夹角。

由图（附图3.1）据正弦定律可得

$$\frac{T}{\sin(\beta - \phi)} = \frac{W_1}{\sin[90^\circ - (\beta - \phi + \theta)]}$$

$$\text{即 } T = \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin[90^\circ - (\beta - \phi + \theta)]} W_1 \quad (\text{附3.9})$$

将式（附3.8）代入式（附3.9），得

$$\begin{aligned} T &= \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin[90^\circ - (\beta - \phi + \theta)]} \cdot \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot \frac{1}{\operatorname{tg} \beta} \\ &= \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{1}{\cos \theta} \cdot \frac{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \beta [1 + \operatorname{tg} \beta (\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \theta) + \operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \theta]} \\ &= \frac{1}{2} \gamma h^2 \frac{\lambda}{\cos \theta} \quad (\text{附3.10}) \end{aligned}$$

式中 λ ——侧压力系数

$$\lambda = \frac{\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \beta [1 + \operatorname{tg} \beta (\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \theta) + \operatorname{tg} \phi \operatorname{tg} \theta]} \quad (\text{附3.11})$$

$$\operatorname{tg} \beta = \operatorname{tg} \phi + \sqrt{\frac{(\operatorname{tg}^2 \phi + 1) \operatorname{tg} \phi}{\operatorname{tg} \phi - \operatorname{tg} \theta}} \quad (\text{附3.12})$$

其他符号意义同前。

至此，极限最大阻力 T 值可求得。得到 T 值后，代入式（附3.7）可求得作用在 HG 面上的总垂直压力 $Q_{\text{浅}}$ ：

$$Q_{\text{浅}} = W - 2T \sin \theta = W - \gamma h^2 \lambda \operatorname{tg} \theta \quad (\text{附3.13})$$

由于 GC 、 HD 与 EG 、 FH 相比往往较小，而且衬砌与土之间的摩擦角也不同，前面分析时均按 θ 计，当中间土块下滑时，由 FH 及 EG 面传递，考虑压力稍大些对设计的结构也偏于安全，

因此，摩阻力不计隧道部分而只计洞顶部分，即在计算中用埋深 H 代替 h ，这样式 (附3.13) 为

$$Q_{\text{浅}} = W - \gamma H^2 \lambda \operatorname{tg} \theta$$

由于

$$W = B_t H \gamma$$

故 $Q_{\text{浅}} = B_t H \gamma - \gamma H^2 \lambda \operatorname{tg} \theta = \gamma H (B_t - H \lambda \operatorname{tg} \theta)$ (附3.14)

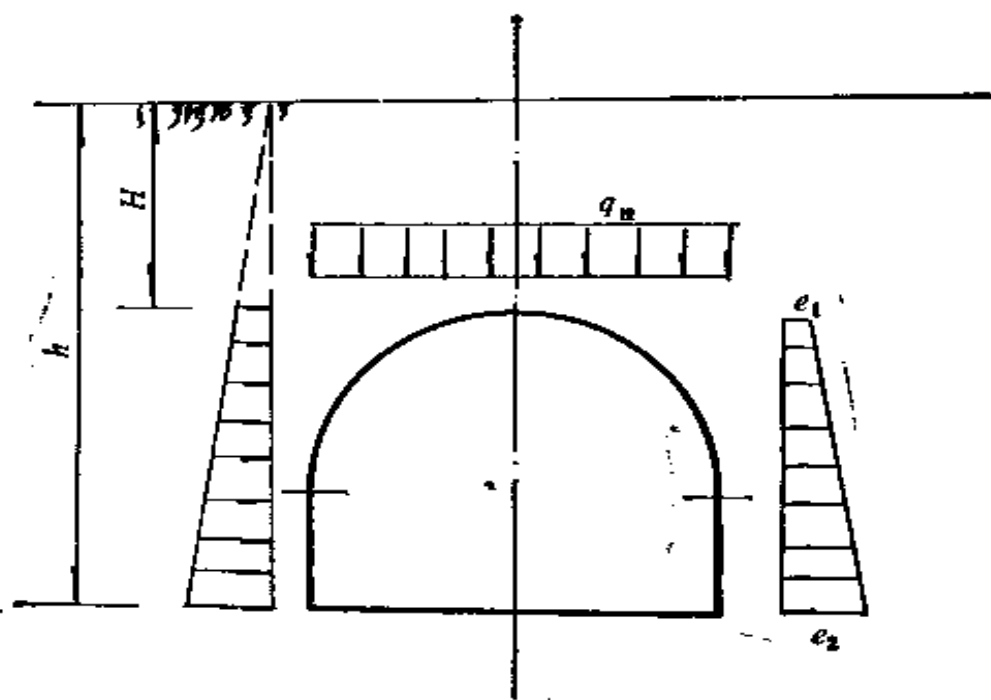
式中 B_t ——坑道宽度；

H ——洞顶至地面距离，即埋深；

λ ——侧压力系数，见式 (附3.11)；

γ ——围岩容重。

换算为作用在支护结构上的均布荷载见附图3.2，即



附图 3.2

$$q_{\text{浅}} = \frac{Q_{\text{浅}}}{B_t} = \gamma H \left(1 - \frac{H}{B_t} \lambda \operatorname{tg} \theta \right) \quad (\text{附3.15})$$

式中 $q_{\text{浅}}$ ——作用在支护结构上的均布荷载；
其他符号意义同前。

作用在支护结构两侧的水平侧压力为

$$\left. \begin{aligned} e_1 &= \gamma H \lambda \\ e_2 &= \gamma h \lambda \end{aligned} \right\} \quad (\text{附3.16})$$

式中符号意义同前。

侧压力视为均布压力时，为

$$e = \frac{1}{2}(e_1 + e_2) \quad (\text{附3.17})$$

附录四 钢筋混凝土受弯和偏心 受压构件的截面强度计算

一、钢筋混凝土受弯构件的截面强度，应按下列公式计算（附图4.1）：

1. 受压区面积为矩形时

$$KM \leq R_w b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_g A_g' (h_0 - a') \quad (\text{附4.1})^*$$

中性轴的位置按下式确定：

$$R_g (A_g - A_g') = R_w b x \quad (\text{附4.2})^*$$

2. 受压区面积为T形时

$$KM \leq R_w \left[b x \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + 0.8 (b_i' - b) h_i' \left(h_0 - \frac{h_i'}{2} \right) \right] + R_g A_g' (h_0 - a') \quad (\text{附4.3})$$

中性轴的位置按下式确定：

$$R_g (A_g - A_g') = R_w [b x + 0.8 (b_i' - b) h_i'] \quad (\text{附4.4})$$

按上述公式计算受弯构件时，混凝土受压区的高度应符合式（附4.5）、（附4.6）的要求，截面强度应符合式（附4.7）的要求。

* 为当T形截面时，式中的b应为b'。

但在构件中如无受压钢筋或计算中不考虑受压钢筋时，只需符合式（附4.5）的要求。

$$x \leq 0.55h_0 \quad (\text{附4.5})$$

$$x \geq 2a' \quad (\text{附4.6})$$

$$KM \leq 0.5R_w b h_0^2 \quad (\text{附4.7})$$

式中 K ——安全系数，按表7.1.1-2采用；

M ——弯矩；

R_w ——混凝土弯曲抗压极限强度， $R_w = 1.25R_a$ ；

R_g ——钢筋的抗拉或抗压计算强度，按表4.2.6采用；

A_g, A'_g ——受拉和受压区钢筋的截面面积；

a, a' ——自钢筋 A_g 或 A'_g 的重心分别至截面最近边缘的距离；

h ——截面高度；

h_0 ——截面的有效高度， $h_0 = h - a$ ；

x ——混凝土受压区的高度；

b ——矩形截面的宽度或T形截面的肋宽；

b'_i ——T形截面受压区翼缘计算宽度，按附表4.1所列各项中的最小值采用；

h'_i ——T形截面受压区翼缘的高度。

T形截面受压区翼缘宽度

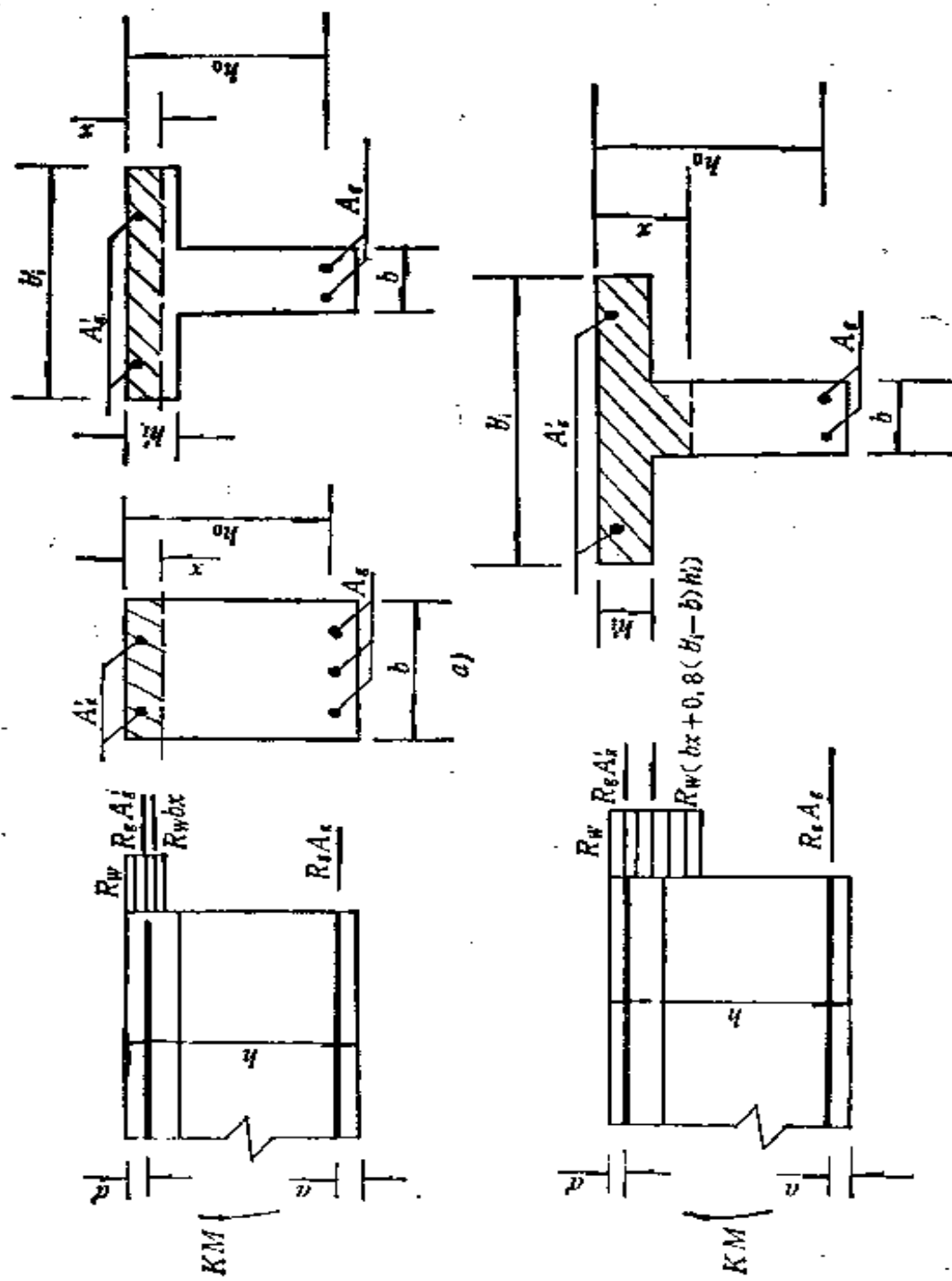
附表4.1

序号	考虑情况	肋形梁	独立梁
1	按跨度 l	$\frac{1}{8}l$	$\frac{1}{3}l$
2	按梁肋净距 s	$b+s$	
3	按翼缘高度 h'_i ($h'_i/h_0 \geq 0.1$)		$b+12h'_i$

二、矩形和T形截面的一般受弯构件，其截面应符合下式要求：

$$KQ \leq 0.3R_a b h_0 \quad (\text{附4.8})$$

式中 K ——安全系数，按表7.1.1-2采用；



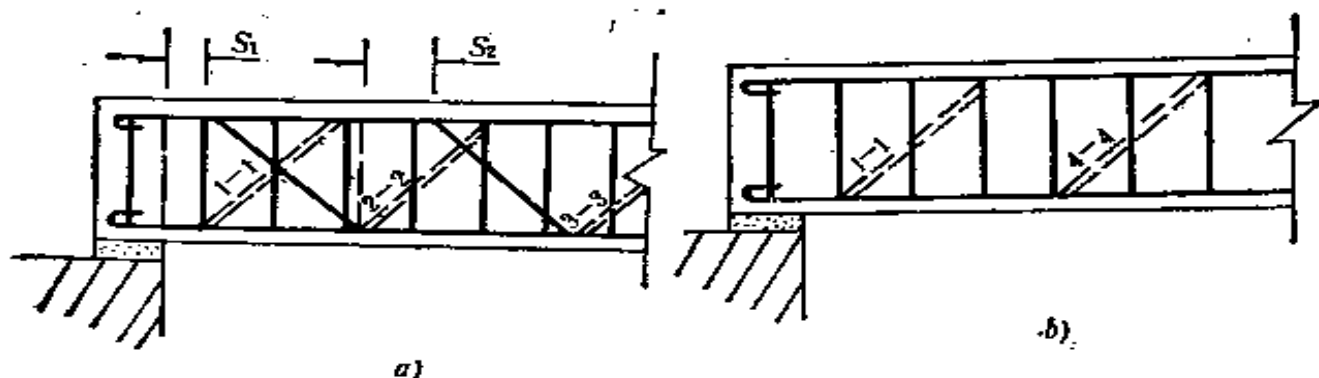
附图4.1 钢筋混凝土受弯构件截面强度计算图
 a) 受压区面积为矩形, b) 受压区面积为T形

Q ——剪力；

其他符号同前。

三、计算斜截面的抗剪强度时，其计算位置应按下列规定采用：

1. 支座边缘处的截面（附图4.2a、b截面1-1）；



附图4.2 斜截面抗剪强度的计算位置图

1-1-支座边缘处的斜截面；2-2、3-3-受拉区弯起钢筋弯起点斜截面处；
4-4-箍筋数量与间距改变处的斜截面。

2. 受拉区弯起钢筋弯起点处的截面（附图4.2a截面2-2、3-3）；

3. 受拉区箍筋数量与间距改变处的截面（附图4.2b截面4-4）。

四、矩形和T形截面的受弯构件，当仅配有箍筋时，其斜截面的抗剪强度应按下列公式计算：

$$KQ \leq Q_{kh} \quad (\text{附4.9})$$

$$Q_{kh} = 0.07R_a b h_0 + \alpha_{kh} R_g \frac{A_k}{S} h_0 \quad (\text{附4.10})$$

式中 Q ——斜截面上的最大剪力；

Q_{kh} ——斜截面上受压区混凝土和箍筋的抗剪强度；

α_{kh} ——抗剪强度影响系数，应按下列规定采用：

$$\text{当 } \frac{KQ}{bh_0} \leq 0.2R_a \text{ 时, } \quad \alpha_{kh} = 2.0$$

当 $\frac{KQ}{bh_0} = 0.3R_s$ 时, $\alpha_{kh} = 1.5$

当 $\frac{KQ}{bh_0}$ 为中间数值时, α_{kh} 值按直线内插法取用;

A_k —— 配置在同一截面内箍筋各肢的全部截面面积, $A_k = n\alpha_k$

n —— 在同一个截面内箍筋的肢数;

α_k —— 单肢箍筋的截面面积;

S —— 沿构件长度方向上的箍筋间距;

R_g —— 箍筋的抗拉计算强度, 按表4.2.6采用。

五、矩形和 T 形截面的受弯构件, 当配有箍筋和弯起钢筋时, 其斜截面的抗剪强度应按下列公式计算:

$$KQ \leq Q_{kh} + 0.8R_g A_w \sin\theta \quad (\text{附4.11})$$

式中 Q —— 配置弯起钢筋处的剪力, 按下列规定采用 (附图4.2a);

1. 当计算第一排 (对支座而言) 弯起钢筋时, 取用支座边缘处的剪力值;

2. 当计算以后的每一排弯起钢筋时, 取用前一排 (对支座而言) 弯起钢筋起点处的剪力值;

A_w —— 配置在同一弯起平面内的弯起钢筋的截面面积;

θ —— 弯起钢筋与构件纵向轴线的夹角。

六、矩形和 T 形截面的受弯构件, 如能符合下式

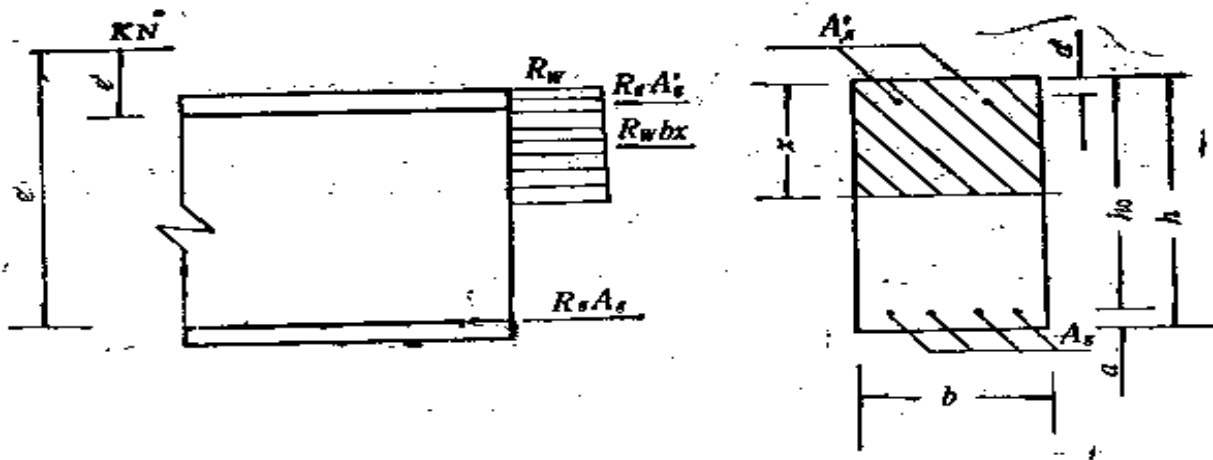
$$KQ \leq 0.07R_s bh_0 \quad (\text{附4.12})$$

要求时, 则不需要进行斜截面的抗剪强度计算, 而仅需按构造要求配置箍筋。

七、钢筋混凝土矩形截面的大偏心受压构件 ($x \leq 0.55h_0$), 其截面强度应按下列公式计算 (附图4.3):

$$KN \leq R_w bx + R_g (A_g - A'_g) \quad (\text{附4.13})$$

或 $KN_e \leq R_w bx \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) + R_g A'_g (h_0 - a')$ (附4.14)



附图4.3 钢筋混凝土大偏心受压构件截面强度计算图

中和轴的位置按下式确定：

$$R_g(A_g e \pm A'_g e') = R_w b x \left(e - h_0 + \frac{x}{2} \right) \quad (\text{附4.15})$$

当轴向力 N 作用于钢筋 A_g 的重心与钢筋 A'_g 的重心之间时，式(附4.15)中的左边第2项取正号；当 N 作用于 A_g 和 A'_g 两重心以外时，则取负号。

当考虑受压钢筋时，则混凝土受压区的高度应符合式(附4.6)要求，如不符合，则按下式计算：

$$K N e' \leq R_g A_g (h_0 - a') \quad (\text{附4.16})$$

式中 N —— 轴向力；

e, e' —— 钢筋 A_g 和 A'_g 的重心至轴向力作用的距离；

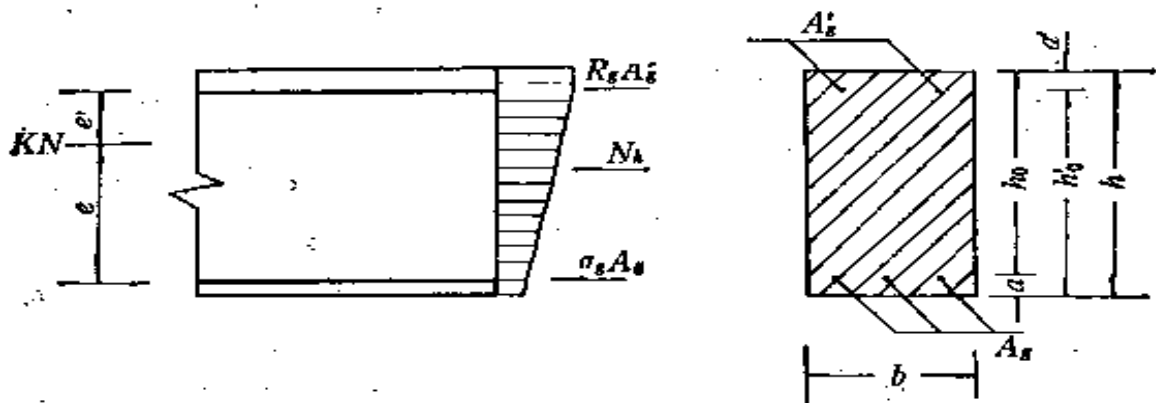
其他符号同前。

当按式(附4.16)求得的构件截面强度比不考虑受压钢筋更小时，则计算中不应考虑受压钢筋。

八、钢筋混凝土矩形截面的小偏心受压构件 ($x > 0.55h_0$)，其截面强度应按下式计算(附图4.4)：

$$K N e \leq 0.5 R_a b h_0^2 + R_g A'_g (h_0 - a') \quad (\text{附4.17})$$

当轴向力 N 作用于钢筋 A_g 的重心与钢筋 A'_g 的重心之间，则



附图4.4 钢筋混凝土小偏心受压构件截面强度计算图

尚应符合下列要求：

$$KN e' \leq 0.5 R_a b h_0'^2 + R_g A_g (h_0' - a) \quad (\text{附4.18})$$

式中符号同前。

九、计算钢筋混凝土矩形截面的偏心受压构件时，应考虑构件在弯矩作用平面内的挠度使轴向力偏心距增大的影响，此时，应将轴向力的偏心距 e_0 乘以偏心距增大系数 η ， η 值按下式计算：

$$\eta = \frac{1}{1 - \frac{KN}{10\alpha E_h I_0} H^2} \quad (\text{附4.19})$$

式中 K ——安全系数，按表7.1.1-2采用；

E_h ——混凝土的受压弹性模量，见表4.2.3；

I_0 ——混凝土全截面（包括钢筋）的换算截面惯性矩；

H ——构件的高度；

α ——与偏心距有关的系数，按下式计算：

$$\alpha = \frac{0.11}{0.3 + \frac{e_0}{h}} + 0.16$$

当 $e_0/h \geq 1$ 时，取 $\alpha = 0.24$

对于隧道衬砌、明洞拱圈和墙背紧密回填的明洞边墙以及当

构件高度与弯矩作用平面内的截面边长之比 $H/h \leq 8$ 时，可取 $\eta = 1$ 。

偏心受压构件，除应计算弯矩作用平面的强度以外，尚应按轴心受压构件验算垂直于弯矩作用平面的强度。此时，不考虑弯矩的作用，但应按附表4.2考虑纵向弯曲系数。

钢筋混凝土构件的纵向弯曲系数 附表4.2

H/h	≤ 8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
纵向弯曲系数 φ	1.00	0.98	0.95	0.92	0.87	0.81	0.75	0.70	0.65	0.60	0.56	0.52

附录五 汽车CO产生量计算方法

汽车平均CO产生量，与汽车行驶的燃烧消耗率呈线性关系，其平均值为：

$$m_i = 0.315f - 0.019$$

式中 m_i ——汽油车的CO排放量 (m^3/km)，

f ——燃料消耗率 (l/km)。

汽车每吨公里一氧化碳产生量：

$$q_{co} = \frac{m_i}{G}$$

式中 G ——车重 (t)。

部分国产汽车燃料消耗量的平均值和车重见附表5.1。

国产汽车耗油量

附表5.1

名称牌号	重量(kg)		燃料 种类	平均耗油量 (升/百公里)	同 类 车 型
	空车	总重			
北京BJ130	1880	4075	汽油	15	上海130, 天津130, 保定、长白山、包头130
跃进NJ130	2710	5360	汽油	20	武汉WH130
交通SH141	3740	8065	汽油	28	727牌QH140, 天津TJ140, 青岛09型, 山城SC328型
解放CA10B	3800	8025	汽油	29	解放CA-10BE, 吉尔3HA-150, 辽宁1号, 东风
北京212	1530	1955	汽油	17	天津TJ210E, 上海SH211, 嘎斯69
跃进NJ230 (有绞盘)	3440	5090	汽油	25	跃进NJ230, 嘎斯63
解放CA 30A 越野车	5650	10300	汽油	42	吉尔3HN-151
解放CA340 自卸	4210	7870	汽油	29	吉尔3HN-585
红旗小客车	2730	3290	汽油	20	红旗CA770A, CA770B, CA771
黄河JN150	6800	15060	柴油	25	黄河JN151, 斯柯达SKOD RT, 黑龙江牌HL150型
长征XD160	9300	21300	柴油	49~50	长征XD250, 太脱拉111, 交通SH256
黄河QD351	7565	14565	柴油	23.5	南阳351
北京BJ370自卸	15960	35900	柴油	17.0	上海SH380
二汽EQ140	4080	9290	汽油	28	
一汽CA30A解放	5650	10100	汽油	25.8	

附录六 本规范采用的计量单位

量的名称	单位名称	单 符 位 号	与米制单位近似换算关系	附 注
力、重力	牛(顿)	N	$1\text{N} = 0.1\text{kgf}$	
	千牛(顿)	kN	$1\text{kN} = 0.1\text{tf} = 100\text{kgf}$	
应 力 压 强 压 力	帕(斯卡)	Pa	$1\text{Pa} = 0.1\text{kgf}/\text{m}^2$	$1\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$
	千帕(斯卡)	kPa	$1\text{kPa} = 0.1\text{tf}/\text{m}^2$	
	兆帕(斯卡)	MPa	$1\text{MPa} = 1\text{N}/\text{mm}^2 = 10\cdot\text{kgf}/\text{cm}^2$	
力 矩	牛(顿)·米	N·m	$1\text{N}\cdot\text{m} = 10\text{kgf}\cdot\text{cm}$	
	千牛(顿)·米	kN·m	$1\text{kN}\cdot\text{m} = 0.1\text{tf}\cdot\text{m}$	
弹性模量 剪切模量	兆帕(斯卡)	MPa	$1\text{MPa} = 10\text{kgf}/\text{cm}^2$	
速 度	米每秒	m/s	与米制单位同	$1\text{m}/\text{s} = 3.6\text{km}/\text{h}$
	千米每小时	km/h	与米制单位同	
长 度	千米	km	与米制单位同	
	米	m	与米制单位同	
	厘米	cm	与米制单位同	
	毫米	mm	与米制单位同	
面 积	平方米	m ²	与米制单位同	
	平方厘米	cm ²	$1\text{cm}^2 = 10^{-4}\text{m}^2$	
体 积	升	L(l)	$1\text{L} = 1\text{dm}^3 = 10^{-3}\text{m}^3$	
	立方米	m ³	$1\text{m}^3 = 1\text{kL}$	
	立方厘米	cm ³	$1\text{cm}^3 = 10^{-3}\text{L}$	

续上表

量的名称	单位名称	单位符号	与米制单位近似换算关系	附注
密度	千克每立方米	kg/m ³	1kg/m ³ = 10 ⁻³ g/cm ³	
小时	秒	s	与米制单位同	
	分	min	1min = 60s	
	(小)时	h	1h = 60min = 3600s	
	天(日)	d	1d = 24h = 86400s	
	年	a		
平面角	弧度	rad	与米制单位同	
	(角)秒	([″])	1 [″] = (π/648000)rad	
	(角)分	([′])	1 [′] = 60 [″] = (π/10800)rad	
	度	([°])	1 [°] = 60 [′] = (π/180)rad	
噪声	分贝	dB		
摄氏温度	摄氏度	°C	与米制单位同	
光通量	流(明)	lm	与米制单位同	
光照度	勒(克斯)	lx		
发光强度	坎(德拉)	cd		
频率	赫(兹)	Hz	s ⁻¹	
电压	千伏(特)	kV	1kV = 10 ³ V	

注：①本规范中，法定计量单位与米制计量单位有关力的换算关系，采用1kgf = 10N。

②()内的字，是在不致混淆的情况下，可以省的字。

③()内的字为前者的同义语。

④角度单位度、分、秒的符号不处于数字后时，用括弧。

⑤构成十进倍数和分数单位的词头按国务院《关于我国统一实行法定计算单位的命令》的规定。

附录七 本规范用词说明

一、对执行条文严格程度的用词采用以下写法：

1. 表示很严格，非这样作不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2. 表示严格，在正常情况下均应这样作的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样作的用词：

正面词采用“宜”或“可”；

反面词采用“不宜”。

二、条文中应按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为“应按……执行”或“应符合……要求（或规定）”。如非必要按指定的其他有关标准、规范的规定执行，其写法为“可参照……”。

附加说明

主编单位：浙江省交通设计院

参加单位：交通部第一公路勘察设计院 交通部第二公路勘察设计院

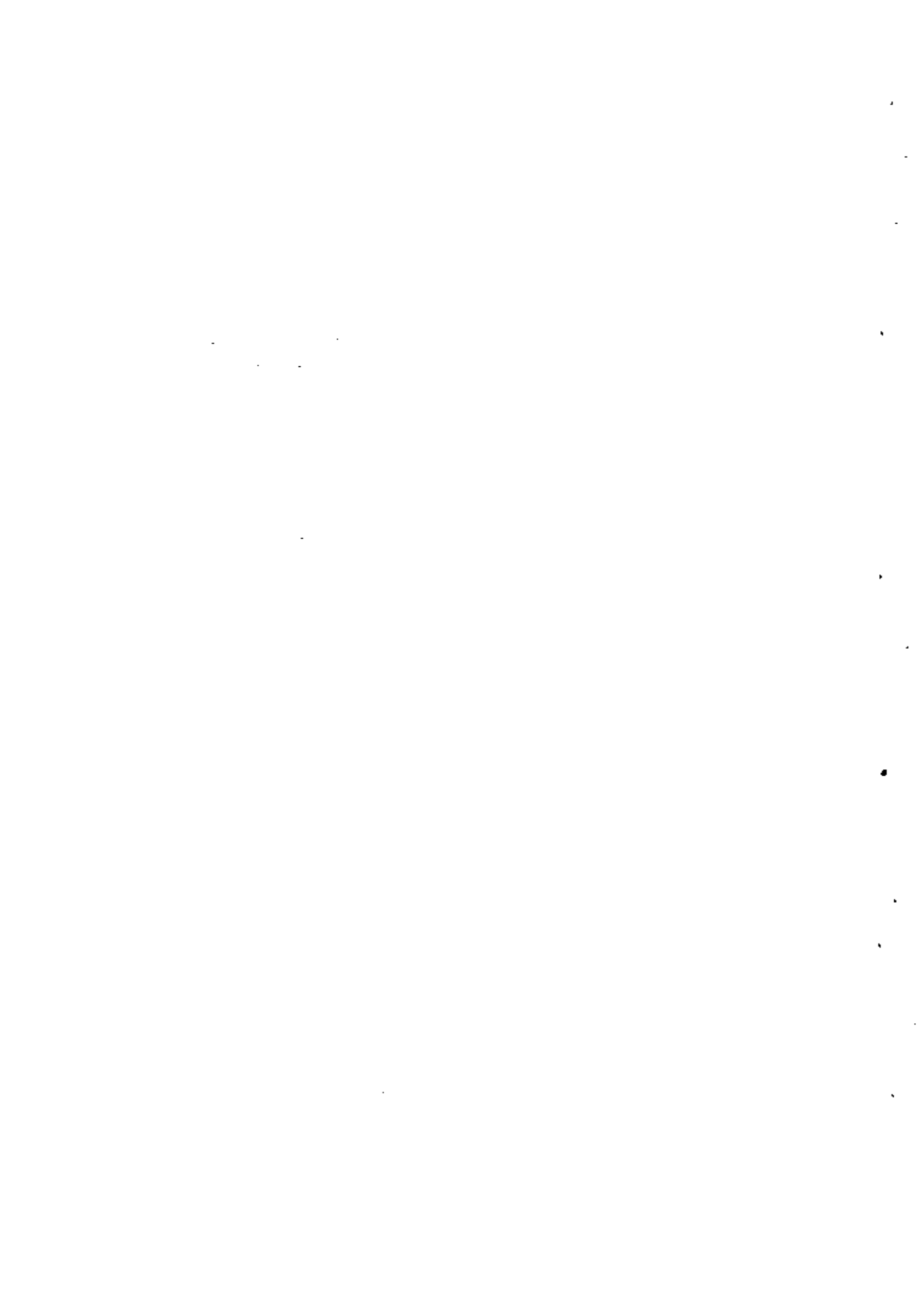
河南省交通规划勘察设计院 福建省交通规划设计院

西安公路学院 同济大学

主要起草人：王振民 贾玉林 朱大鹏 李方雪 陆同寿
 宋达炎 缪怀甫 李思德 朱光仪 戴文光
 李品飞 张吉昌 吴德兴

附件 公路隧道设计规范

条文说明



第一章 总 则

第1.0.2条 本规范主要适用于以钻爆法开挖的各级公路山岭隧道。

第1.0.3条 隧道的勘测、调查是隧道设计的依据，因此，所作的勘测、调查资料，必须完整正确，满足设计要求。公路隧道一般耗资大、修建困难、工期长，往往是修建各级公路的控制工程。因此，隧道主体结构物必须按永久性建筑设计，要有规定的强度、稳定性和耐久性。

隧道是公路行车中能见到的主要景观之一，隧道设计（尤其是洞门设计）与构造物，应在安全、可靠的前提下做到与当地环境相协调，适当注意美观。

第1.0.4条 公路隧道分类，从调查情况看，我国现有公路隧道总长度约76km，317座（截止1987年12月底），隧道长度在1km以下的占总长度80%，占全部隧道座数的97%，其中小于250m者占总长度的1/3，占全部隧道座数的75%。这样，分析我国已有公路隧道80%是属于中、短隧道，长隧道、特长隧道为数不多。因此，综合公路隧道在勘测、施工和管理中不同程度的技术要求和现状，将隧道标准定为四类：

- (1)短隧道——长度在250m及以下（不再细分直线或曲线隧道）；
- (2)中隧道——长度大于250m，小于1000m；
- (3)长隧道——长度1000m及以上至3000m；
- (4)特长隧道——长度3000m以上。

本规范与《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)是一致的，同时向国际隧道协会的分类标准逐步靠拢，有利于今后进行国际交流。

第1.0.6条 土地法、环境保护法国家都已颁布，公路隧道设计与之关系密切，必须认真遵守执行。我国耕地少，农业人口多，搞公路建设必须注意农田水利，尽量做到利用荒地、滩地及少占地，避免占用良田，或采取造地还田等措施。在设计中应注意生态平衡，保护环境。

第二章 总体设计

第一节 一般规定

第2.1.1条 隧道设计应根据各级公路的要求，结合远景规划，使设计的隧道结构和断面净空能适应长期运营的需要。关于远景规划，《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)对远景年限规定：高速公路、一级公路为20年；二级公路为15年；三级公路为10年；四级公路一般为10年。根据实际情况可适当缩短年限。

对于分期修建的隧道，在选择断面、线形及其它预留空间等方面，应充分考虑远景规划，为扩建提供有利条件。

第2.1.2条 见《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)第8.1.1条规定。

第2.1.3条 总体设计内容，《规范》着重对与隧道设计关系比较密切的隧道调查、选址、隧道线形、接线设计等作了原则规定和基本要求，而对其它各项，设计时有的还要与有关单位配合（如交通工程、环保等）。

隧道总体设计，除隧道工程主体结构物按照规定搜集必要的地形、地质等资料进行设计（包括隧道工程的平、纵面设计，横断面设计，隧道进、出口洞门设计，通风，照明，防、排水等附属设施）外，还须根据公路等级、隧道规模、场地条件、施工技术、工期等情况进行综合考虑，其主要内容如：1.隧道开挖后的弃碴处理。2.规模较大的长隧道，根据工期需要设置的辅助坑道（平行导坑、斜井、竖井）。3.洞口附属设施及洞外排水系统。4.其它布置等。都需要在隧道总体设计布置图上规划设计，以使整个设计完整。有关这方面的设计布置要求可按本规范有关章节规定执行。

总之，对公路隧道工程设计，应做到全面规划、全面考虑、

精心设计，达到安全、经济、适用、美观的要求。

第2.1.4条 隧道与其它建筑物相邻近有影响时，应会同有关部门商讨研究，并在设计、施工中加以考虑，采取相应措施。

一般可考虑采用隧道与其它建筑物不同时施工及加强封砌或原建筑物附近加强支撑、加固地基或防水等措施，保证隧道与其它建筑物不互相干扰，使之稳定安全。

第二节 隧道调查

第2.2.1条 隧道调查的内容和范围较广，除地质调查由地质专业承担外，其余有关内容应由各专业调查搜集。内容包括自然地理概况、环境调查和地质调查等。

环境调查包括场地环境和生态环境的调查。场地环境是指与隧道修建有关的既有（土工、水工）建筑物、农作物、景观、土地用途分类、开发计划、文物、天然纪念物、自然保护区等内容；生态环境调查的内容有气象、大气污染、动植物、噪音、振动等。

其各项有关内容与指标，以《中华人民共和国环境保护法》（1989.12.26.）和《基本建设项目环境保护管理办法》（1981.5.11.）（包括1985年重新制定的《建设项目环境保护管理办法》）等为依据，在隧道建设和营运过程中，凡涉及“保护法”和“管理办法”中有关条文者，应采取有效措施来控制新的污染。

地质调查勘测阶段的划分，按第1.0.5条规定办理。

各勘察阶段的工程地质工作，分为准备工作，调查、测绘、勘探、试验、资料整理等几个环节，实际工作时可依此顺序进行，并按勘察阶段要求提供工程地质勘察报告。

隧道工程地质勘察是综合性的地质调查。查明测区的工程地质、水文地质条件，对不良地质条件提出有效措施或建议，为工程设计提供正确的地质资料。

由于各类地质问题的复杂程度、规模、自然地理条件的不

同，很难划分初、详勘工作的基本内容，实际工作中常互有穿插。故条文中只提调查内容，在分阶段勘察时，应结合实际情况，安排调查内容之深度。一般在初勘（选址）阶段，以地质测绘为主要手段，辅以少量的勘探和试验，对隧道围岩的稳定性作出定性评价，初步划分围岩类别；在详勘（施工图）阶段，合理采用各种勘探手段，对各类地质现象进行综合分析、互相印证，以取得定量或半定量的正确的工程地质条件评价，详细划分围岩类别。

在对自然概况、地质条件、不良地质现象调查的基础上，发现新的情况，需继续查明。

测区存在有害气体或矿体时，按劳动保护、环境保护等条例，查明含量，预测释放程度，以对人体、环境不发生危害为限，超出规定的容许值时，须采取必要的防护措施。

气、矿体勘查可与专业技术单位协作进行勘查，对其分布范围、成分、含量及对隧道施工、营运的影响作出判别，提出相应措施。

地震基本烈度是指该地区未来100年内可能遭遇的最大地震烈度，按照《中国地震烈度区划图》规定的烈度确定。

必要时，在地震基本烈度7度、8度、9度地区，搜集调查断裂构造时，应特别注意全新活动断裂和发震断裂。全新活动断裂是指在近代地质时期（一万年）内有较强烈地震活动，或在近期正在活动，在将来（今后一百年）可能继续活动的断层。通过了解工程场地距震中距离或距可能发生强震（ ≥ 7 度地震区）的断裂的最小距离和构造应力场分布，以确定和比较施工场地的实际地震强度。

《公路工程抗震设计规范》（JTJ 004—89）不再采用“设计烈度”一词，而采用“地震基本烈度”、“重要性修正系数”的办法来调整和计算地震力。重要性修正系数是根据路线等级及构造物的重要性划分的，见表2.2.1。

第2.2.2~2.2.4条 西安公路学院和浙江省交通设计院先后在公路隧道围岩压力计算中采用铁路隧道围岩分类法，在围岩压

重要性修正系数 C_1

表2.2.1

线路等级及构造物	C_1
高速公路和一级公路上的抗震重点工程	1.7
高速公路和一级公路的一般工程, 二级公路上的抗震重点工程	1.3
二级公路的一般工程, 三级公路上的抗震重点工程	1.0
三级公路的一般工程, 四级公路上的抗震重点工程	0.6

力断面高跨比、施工条件、衬砌类型等各种情况下, 分别作了可行性和可靠性分析论证, 其结论认为适用于公路隧道的围岩压力计算。

从国内外多年来的实践经验看, 比较合理而行之有效的办法是岩体工程力学分析与岩体弹性波参数测试相结合的方法, 采用岩体的完整性指标、坑壁松弛带宽度等参数与多因素的铁路隧道围岩分类法综合评定围岩类别。因此在隧道工程地质勘察成果对围岩作出质量评价, 判定围岩类别的基础上, 再结合岩体完整性系数(I)、岩石质量指标(RQD)、松弛带宽度等参数来综合评价, 以资佐证, 是可取的。特别对于界限不清、有争议的围岩质量评价更是必要的。

完整性系数(I):

$$I = V_p^2 / U_p^2$$

式中: V_p ——岩体的纵波速度(km/s);

U_p ——岩块的纵波速度(km/s)。

按完整性系数划分围岩类别, 见表2.2.3。

完整性系数与围岩类别划分

表2.2.3

围岩类别	VI~V	IV	III	II	I
$I(V_p^2/U_p^2)$	0.8~1.0	0.6~0.8	0.4~0.6	0.2~0.4	<0.2

注: 锤击法采用低值(I)划分。

岩石质量指标 (RQD)：是指钻孔中，用大于75mm 双层岩心管、金刚石钻头获取的大于10cm 的岩芯段累计长度与计算总长度之比。

我国生产的常用钻具型号及双层岩心管合金钻头取芯，符合技术要求，具备钻探搜集 (RQD) 参数的条件，是可行的。当采用小孔径 (56mm) 钻探，遇软弱破碎岩层时，应作适当修正。

在比较铁路隧道围岩分类的结构体特征、主要工程地质特征、围岩压力计算 (荷载高度) 与泰沙基分类等有关资料，与迪尔的 (RQD) 指标相对照，得到岩石质量指标与围岩分类表，见表2.2.4。

岩石质量指标 (RQD) 与围岩类别划分 表2.2.4

围岩类别	VI	V	IV	III	II	I
RQD (%)	>95	85~95	75~85	50~76	25~50	<25

影响隧道围岩完整性、结构体特征及地下水发育程度，往往与所处地质构造部位有密切关联。通过地质测绘、构造应力场分析，确定构造类型、规模，构造线方向，给围岩类别判定和隧道选线、设计提供了必要的地质参数。所以对地质条件复杂的长隧道，应扩大区域地质调查的面积和地下水动态勘测。

勘察过程中，发现重大地质问题，如通过断层破碎带、强烈挤压带、突然涌水、有害气体等地段，经过进一步深入勘察，提出相应的工程措施 (预报和防备报告及增设勘察项目等)。

隧道在施工 (营运) 过程中，大量的废碴、废气的排放及地下水迳流条件的改变，对周围的生态环境产生一定的影响，通过地下水动态勘察和测区环境的资料分析，提出防治对策。

特长隧道及地形、地质条件复杂的长隧道，采取三阶段设计时，增设选址勘察与方案设计阶段相对应。也可按实际情况和需要，在前两次阶段勘察的基础上，进行专项地质调查。专项地质

调查亦可延续到施工期间进行。

第2.2.5条 为推广和促进新技术（地震仪勘探、声波仪测试、航摄地质判释等）的发展和应用，首先可以在高等级公路隧道、地质条件复杂的长隧道的勘察中使用，综合评定围岩类别。

各测试参数指标的应用和围岩类别划分，见第2.2.2条说明。

新奥法（NATM）施工已在隧道工程中应用和推广，根据施工阶段的围岩应变、监控量测信息反馈，核定支护参数，预报稳定安全性，已显示其优越性和科学性。目前公路隧道新奥法施工尚处于积累经验阶段。

通过坑道围岩的岩层、岩性、构造、坑壁变形量、松弛带宽度、地下水活动等情况的调查，进一步作出预报和确定坑道围岩的稳定性，发现设计文件与实际情况不相符时，应及时修改围岩类别，并变更衬砌设计。

坑道围岩的松弛带宽度的声波仪量测技术与要求，可参照《水文地质工程地质物探规程》（SLJ 7—82）及其他有关规定执行。其测值参数资料整理及工程应用可参照有关的成熟经验或文献，如《铁路隧道新奥法指南》等。

第2.2.6条 规范附表1.3所列各值，引自《公路隧道勘测规程》（JTJ 063—85）的附表4.3.1。

第三节 隧道选址

第2.3.1条 地质条件对隧道位置的选择往往起决定性的作用。隧道位置应选择在岩性较好和稳定的地层中，对施工和营运均有利，亦可节省投资。对岩性不好的地层、断层破碎带、含水层等不良地段应避免穿越，以免增大投资，造成施工与营运的困难，影响隧道安全，留下后患。若不能绕避而必须通过时，应采取可靠的工程处理措施，以确保隧道施工及营运的安全。

第2.3.2条 越岭线要翻越山岭，一般是利用各种有利地形进行展线。为缩短里程，克服高程或地形障碍，提高路线标准，

往往就要选择越岭隧道。由于公路的选线灵活性大，对一个较大的分水岭，在不偏离路线走向的前提下，有不少的垭口可供比选，越岭隧道的位置宜选择工程地质条件较好的一侧穿越。同时，越岭隧道设计位置的高程又直接决定隧道的建设长度，隧道选在山脚通过，隧道长、接线短、坡度平缓；在山腰通过，隧道短、接线纵坡较大，具有明显的可比性和优选价值。因此条文规定“越岭路线的隧道应进行较大面积的方案选择，对可能穿越的方案，拟定不同的越岭标高进行全面的、经济比较”。

第2.3.3条 沿河傍山隧道一般埋藏较浅，工程地质条件比较复杂，如有山体崩塌、滑坡、松散堆积等不良现象，应特别注意山体的稳定性；另受到河谷地形限制，若路线靠外而行，会使隧道一侧洞壁过薄，洞口出现深基础明洞或较大的河岸防护工程，路基难免病害。根据以往铁路部门修建隧道的经验，为方便施工，保证营运安全和防止隐患，故条文规定“沿河傍山隧道宜向山侧内移，避免隧道一侧洞壁过薄，产生偏压，并应注意水流冲刷对山体和洞身稳定的影响”。

通常隧道外侧最小覆盖厚度应根据山坡坡度、围岩类别和洞身断面大小等因素确定。在一般情况下，隧道拱脚处最小覆盖厚度(l)不得小于《公路隧道勘测规程》(JTJ 063—85)表3.1.2规定的数值。若隧道产生偏压，应参照有关偏压隧道设计。

濒临水库地区的隧道，由于受水库水位变化影响，易造成边坡坍岸、滑坡，将对隧道稳定产生不利影响，甚或危及隧道安全，因此，必须充分注意并采取可靠的工程措施，以确保隧道结构和营运安全。条文规定“濒临水库地区的隧道，洞口路肩设计标高应高出水库计算水位(含波浪高度和壅水高度)至少0.5m”，正是考虑了水库对隧道的影响，保证了隧道在最不利情况下的安全通行。

第2.3.4条 选定隧道位置的同时，应结合考虑洞口位置的处理。一般宜“早进洞晚出洞”，这是铁路隧道20多年来的经验总结。若洞口位置选择不当，不仅排水和施工困难，而且有可能

给隧道设计和施工带来不良后果，造成难以整治的病害，危及施工和营运安全。因此，条文规定“选定隧道位置时，必须注意洞口位置和有关工程的处理”。

第四节 隧道平曲线

第2.4.1条 如隧道位于曲线上，通常须设置超高和加宽，这将使施工变得复杂，断面不统一以及它们的相互过渡都给施工增加难度。另外，曲线隧道即使不加宽，在测量、衬砌、内装、吊顶等工作上也会变得复杂，并增加通风阻抗，对自然通风不利。从这些方面考虑，不希望在隧道内设置曲线。因此，条文规定“隧道内宜避免设置平曲线，如必须设置时，其半径宜采用不设超高的平曲线半径，并应满足停车视距的要求”。

在单向隧道出口附近设置合适的平曲线，可收到减小驾驶员晃眼的效果，这应根据隧道洞口部分的地形地质条件及引道线形的需要等来考虑决定。

规范表2.4.1不设超高最小平曲线半径的规定，系根据《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)的规定。

第2.4.2条 见《公路工程技术标准》第8.0.1条规定。曲线隧道需设超高时，其各项技术指标应符合《公路路线设计规范》(JTJ 011—84)的规定。此时，公路隧道的建筑限界应按《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)第3.0.5条规定作相应的加宽。

第五节 隧道纵断面

第2.5.1~2.5.3条 控制隧道纵坡主要因素之一是通风问题，一般把纵坡控制在2.0%以下为好。超过2.0%时，汽车排出的有害物质迅速增加，也就是说，汽车排出的有害物质随着纵坡的增大而急剧增多。所以，从公路隧道通过车辆尽量少排出有害气体观点出发，限制纵坡不得大于3%。

不存在通风问题的短小隧道，如独立明洞和短于50m的直线

隧道，可按公路所在等级规定设置纵坡。

规范规定“隧道内纵坡不应小于0.3%”，这是考虑到隧道在施工时和建成后洞内排水的需要，为了使隧道涌水和施工用水能在坑道内排水侧沟中流出，需要0.3%的坡度。在隧道内采用平坡是不可取的，应尽量避免。

当隧道采用单坡时，纵坡不宜大于3%。单坡隧道对通风有利，但处于高位的洞口，在隧道出渣及排水上有困难。当涌水量较大时应考虑减缓纵坡。

采用“人”字坡，从二个洞口开挖隧道时，施工涌水容易排出，但通风条件稍差，所以一般把纵坡控制在1%以下为宜，便于控制和排放有害气体。

隧道内纵坡变更处均应设置竖曲线，竖曲线半径应尽量选用大值，以利于通视和通风。

第六节 隧道横断面

第2.6.1条 隧道建筑限界是为保证隧道内各种交通的正常运行与安全，而规定在一定宽度和高度范围内不得有任何障碍物的空间限界。在设计中，应充分研究各种车道与公路设施之间所处之空间关系，任何部件（包括隧道本身的通风、照明、安全、监控、及内装等附属设施）均不得侵入隧道建筑限界之内。

隧道建筑限界由行车道宽度（ W ）、侧向宽度（ L ）、人行道（ B ）或检修道（ J ）等组成。当设置人行道时，含余宽（ C ）。

规范表2.6.1各栏数值，除检修道外，都采用《公路工程技术标准》（JTJ 01—88）有关条文规定。检修道的宽度0.75m，是考虑小型检修工具车通行需要。

为了消除或减少隧道边墙给驾驶员带来唯恐与之冲撞的心理影响（“墙效应”），保证一定车速的安全通行，应于行车道两侧设置一定宽度的路缘带、余宽或人行道，以满足侧向净空的需要。

设置路缘带的目的：（1）诱导驾驶员视线，增加行车安全；

(2)为行车道提供一部分必须的侧向净宽,保证行车道的充分使用。

设置余宽的目的:(1)作为防止汽车驶出行车道外的防冲设施;(2)养路工维修时的通道。余宽的宽度一般公路隧道定为0.25m,高速公路、一级公路隧道定为0.50m。

本规范所用的余宽值,就是《公路工程技术标准》(JTJ01—88)第2.0.4条建筑限界中的C值。

第2.6.2条 公路隧道横断面设计,除满足隧道建筑限界的要求外,还应考虑通风、照明、安全、监控等设施所需要的断面,并根据施工方法(矿山法或新奥法)确定断面形式及尺寸,达到安全、经济、合理。

在横断面设计时,应尽力选择净断面利用率高、结构受力合理的衬砌形式。

图2.6.2为横断面的一般布置形式。

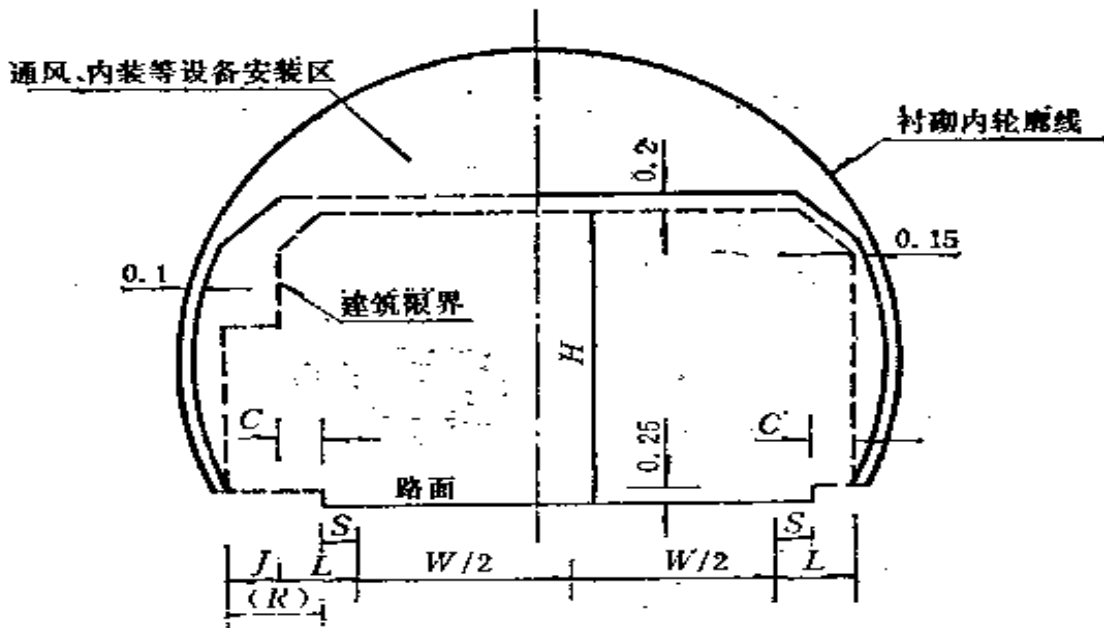


图2.6.2 隧道横断面示意图(尺寸单位:m)

有行人通行的公路隧道,原则上应设置人行道,人行道的宽度一般不宜小于0.75m,以便肩挑背负者使用。在有自行车通行的隧道,人行道宽度不宜小于1m,以供自行车下车推行。必要时可设置栏杆,以消除隧道内混合交通的干扰和隐患。城市附近

及人行众多的隧道，人行道的宽度应根据需要适当加宽，以保证非机动车及行人不侵占行车道。不设置人行道时，应视隧道长短设置避车洞。

第2.6.3条 以往经验表明，隧道宽度过大则不经济，施工上也增加难度，所以条文规定“高速公路、一级公路一般以建上、下行分离的两座独立隧道为宜”。

两相邻隧道最小净距表的规定系采用《铁路隧道设计规范》(TBJ 3—85)，其要求为保证隧道工程的安全。从理论上说，两相邻隧道应分别置于围岩压力相互影响及施工影响范围之外，或者说其间岩柱具有足够的强度和稳定，不致危及二相邻隧道的施工及结构的安全，保证车辆安全营运。但由于影响二相邻隧道间距的因素很多，而这些因素的影响也难以定量，因此还需根据经验通过工程类比分析确定。《公路隧道勘测规程》(JTJ 063—85)规定：“一般为30m”。日本公路协会规定亦为30m（约为开挖宽度的3倍）。

第2.6.4条 隧道内排水边沟设计可结合人行道、检修道或余宽一起考虑。

对在高速公路、一级公路上的特长、长隧道及交通量大的城郊隧道，应根据需要设置紧急停车带，这是考虑到车辆若在隧道内发生事故时，有一个应急的抢险、疏导车流的余地，便于较快地消解阻塞、减少损失。

紧急停车带（加宽带）的设置，可参照国际道路常设委员会（PIARC）隧道委员会推荐值办理：超过2km以上的隧道须考虑设置宽2.5m、长25m~40m的紧急停车带，间隔为750m。10km以上的特长隧道宜考虑回车道设施。

单车道隧道，为保证安全运输，洞内应设错车道，间距不大于200m，错车道的设置按《公路工程技术标准》(JTJ01—88)第3.0.7条的规定。

第七节 隧道接线

第2.7.1条 见《公路工程技术标准》(JTJ01—88)第8.0.1

条规定。

第2.7.2条 本条根据现行的《公路路线设计规范》(JTJ 011—84)制定。规范表2.7.2中高速公路一栏值系本规范所增列。由于这方面经验不足，望在实际执行中积累经验，为下次修订提供依据。

第2.7.3条 各级公路停车、会车视距值，按《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)第3.0.9条执行。当隧道两端地形条件受限制，确实不能满足表列数值时，应采取其他措施，确保行车安全。

策第三章 计算荷载

第一节 一般规定

第3.1.1条 围岩压力与结构自重力是隧道结构计算的基本荷载。明洞及明挖法施工的隧道，填土压力与结构自重力是结构的主要荷载。其他各种荷载除公路车辆荷载之外，在结构计算时考虑的机率很小，有的也很难准确的表达与定量，规范表3.1.1所列不论机率大小，力求其全，是为了体现荷载体系的完整，也是为了在结构计算时荷载组合的安全系数取值，并与《铁路隧道设计规范》（JBJ 3—85）的取值保持一致。同时又本着公路隧道荷载分类向公路荷载分类方法靠的原则，在形式上与《公路桥涵设计通用规范》（JTJ 021—89）保持一致，在取用荷载组合安全系数时又能与铁路隧道荷载分类相对应。表3.1.1中的永久荷载加基本可变荷载对应于铁路隧道设计规范中的主要荷载，其它可变荷载对应于铁路隧道的附加荷载，偶然荷载对应于铁路的特殊荷载。

因灌浆压力只存在于施工过程，灌浆除了防水亦有结构补强的作用，如把灌浆压力再列为永久荷载或可变荷载均有不妥，只能包含在施工荷载之中，故而不再单列。

表3.1.1所列的荷载及分类不适用于新奥法（NATM）设计与施工的隧道。

第3.1.2条 在一般情况下，明洞回填土压力按洞顶设计填土高度的全部重力（包括一定数量的坍方堆积土石重力）计算确定，计算时按静载考虑，不计坍方体冲击影响。

由于隧道设计中贯彻了“早进晚出”的原则，洞口接长明洞的边坡都不很高，加之落石多为滚滑、跳跃落下，直接砸落在明

洞上者极少。而当遇有大量落石和墮落高度较大的石块，可设法避开或者采取清除危石加固坡面等措施，故一般情况下落石冲击力可不考虑。

当有落石危害须检算冲击力时，则只计洞顶实际填土重力（不包括坍方堆积土石重力）和落石冲击力的影响。落石冲击力的计算，目前研究还不深入，实测资料也很少，故对其计算未做规定，具体设计时可通过现场量测或有关计算验证。

设计山岭公路隧道建筑物时，一般不需考虑列车活载及公路车辆活载，只有当隧道结构构件承受公路车辆活载及列车活载才按有关规定进行计算。

第3.1.3条 施工方法不同，衬砌修筑的时机都对围岩的稳定产生影响，但在设计中又无法准确的预料，只能在施工中通过施工量测的信息反馈，修正荷载调整衬砌结构参数，这是新奥法施工的重要环节。

第3.1.4条 在第3.1.1条中所列出的荷载种类虽然力图详尽，但却并未列出所有可能出现的全部荷载，对一切出现机率很小的荷载全部列出既有困难，也没有必要，故在此条中加以概括。

第二节 荷载计算

第3.2.1条 深埋公路隧道直接采用铁路隧道规范的围岩压力计算公式，经可行性分析结论是肯定的，但也应看到这个公式用于公路隧道围岩压力的计算有其明显的不足之处。公路隧道与铁路隧道相比，在限界、跨度、高跨比等方面有其自身的特点，铁路隧道经验公式是通过通过对127座单线铁路隧道的417个塌方资料的统计分析，以5m为基本跨度整理而成的，这与公路隧道的8m基本跨度差数较大，为此规范编写组仍以铁路的塌方调查资料为基础，经过多方面的论证，找出了更适合于公路隧道围岩压力的计算公式：

$$P = 0.8\gamma \cdot K_B \cdot e^{0.62(6-S)} \quad (3.1)$$

式中： P ——深埋隧道垂直均布围岩压力 (kPa)；

γ ——围岩容重 (kN/m³)；

S ——围岩类别；

K_B ——跨度影响系数，按下式计算：

$$K_B = \frac{B}{8}$$

B ——隧道开挖跨度 (m)；

e ——自然对数底。

公式适用条件：

1. 不产生显著偏压及膨胀力的围岩；
2. 用钻爆法施工的隧道。

经分析，式 (3.1) 用于公路隧道围岩压力计算方面比采用规范式 (3.2.1) 要优越、合理，但专家们认为目前缺乏足够的公路隧道坍方调查资料对以上两式进行验证评估，因此规范中以采用式 (3.2.1) 为宜。建议在使用过程中对以上两式进行对比分析，以求更加完善。

第3.2.2条 关于偏压隧道，因拱肩埋深较浅而造成偏压的情况已违背了隧道选线定位的原则，更况在选线定位上公路隧道比铁路隧道有更大的灵活性，本条文又肯定了对偏压隧道的先治理原则，鉴于规范应区别于手册，所以对偏压隧道荷载计算方法的附录不再收入。

第3.2.3条 本条明洞荷载计算方法列入本规范附录 II。

规范表3.2.3所列数值系以往明洞（主要是铁路经验）设计中普遍采用者，根据多年实践认为没有发现问题，故纳入规范。

回填土（石）侧压力的计算分两种情况，一为按无限土体计算，一为按有限土体计算。当地层无侧压力，开挖边坡稳定，其开挖边坡率陡于按有限土体计算得出的最大侧压力开挖坡率时，可根据实际开挖边坡，按有限土体计算其侧压力。反之，当开挖边坡率缓于或等于按有限土体计算得出的最大侧压力开挖坡率时，其侧压力应按无限土体计算。

第3.2.4条 所谓埋深较浅的含义，并非单纯指洞顶地层厚度而言，应结合上覆岩层的松散程度，围岩结构构造特征，风化、破碎、断层影响的程度以及地下水等因素，综合判定。另外，洞顶的稳定与否也与施工方法有直接关系，要严格确定深浅埋的界限是困难的，目前多用以荷载等效高度作为判定深浅埋界限。

第3.2.5条 关于土压力理论和计算方法，有不少方法和公式，这些方法均作一些假定，与实际情况有一定距离，各公式计算结果也有一定的出入，但是，比较起来还是计算指标选用不恰当而产生的误差较为突出，加以目前还没有更成熟的计算理论和方法，因此作用于洞门墙背的主动土压力一般仍可按库伦理论计算。

第四章 建筑材料

第一节 一般规定

第4.1.1条 条文规定的混凝土（包括钢筋混凝土中的混凝土）、小石子混凝土及砌体的标号值，与现行公路工程各规范的标号值一致，如15号混凝土即相当于《钢筋混凝土结构设计规范》（TJ 10—74）规定的150号混凝土。

本条石料名称系根据新修订的《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》（JTJ 022—85）而列的，石料规格应符合其表2.0.5-3要求。

石砌体中的水泥砂浆标号基本上参照《铁路隧道设计规范》（TBJ 3—85）规定，但取值名称上与（JTJ 022—85）规范保持一致。

关于严寒地区洞门墙采用整体灌注提高混凝土标号等级问题，主要是考虑严寒地区气温低，昼夜温差大，经常与冰雪接触，受冻膨胀等特点。为了提高混凝土衬砌抗渗、抗冻性能，及具有较高的抗拉强度和早期强度，特规定“其标号不应低于20号”。

根据我国目前料源情况和修建隧道工程中的现状，对隧道衬砌建筑材料提出可采用混凝土、喷射混凝土、砌体和钢筋混凝土等主要材料。具体应用时，应本着保证结构需要、因地制宜、就地取材的原则来考虑。

第4.1.2条

一、“选用的建筑材料应符合结构强度和耐久性的要求”是指在任何情况下，供使用的建筑材料必须具备的基本条件。当隧道修建于特殊地区时，如严寒、有侵蚀性水等，其所选用的衬砌

材料尚应具有适应这些特定条件要求的性能，故条文提出“同时，必须考虑其抗冻、抗渗和抗侵蚀性的需要”。

二、山岭隧道修建在有侵蚀性水的围岩中，若被忽视或者处理不够完善时，衬砌混凝土有可能会被腐蚀成豆腐渣状，严重影响衬砌的强度和安全性，需作事后补救。总结这方面的经验和教训，故条文强调有侵蚀性水时，隧道衬砌的混凝土或砂浆应采取抗侵蚀措施。

水中含有侵蚀物质种类较多，对水泥混凝土侵蚀的性质也各不相同。水对混凝土的侵蚀作用是一项复杂的物理化学反应过程，环境水的侵蚀性特征是决定抗侵蚀性措施的关键，故条文规定“其抗侵蚀性能的要求，应视水的侵蚀特征而定”。

三、寒冷及严寒地区的隧道衬砌经常与冰冻接触，一般说来，整体式混凝土衬砌的抗冻、抗渗性能比较高，故条文规定“在寒冷及严寒地区隧道受冻害影响的地段，宜采用整体式混凝土衬砌”。条文并规定“混凝土标号应适当提高，并满足材料抗冻性指标——50的要求”，这是根据交通部《公路桥涵设计规范》(JTJ 022—85)第2.0.4条规定的抗冻性指标确定的。

第4.1.3条

一、用于砌体的石料，应符合衬砌材料的基本要求。原铁路隧道规范以石料的抗压极限强度不低于30MPa为选用建筑材料的标准，从过去修建隧道用石料的实际情况来看，这一规定是合适的，故本条规定“片石、块石标号不应低于30号”。

二、根据国内外试验资料分析指出：在混凝土内按施工有关规定掺入片石量不超过其总体积20%，片石标号不低于30号，其圪工抗压强度略有提高。参照上述试验资料，片石混凝土对片石标号及片石掺量作了上述规定。

第4.1.4条

一、喷射混凝土优先选用普通硅酸盐水泥，是因为它含有较多的C₃A和C₃S，凝结时间较快，特别是与速凝剂有良好的相容性。

细骨料采用中粗砂及细度模数大于2.5的规定，不仅是为了有足够的**水泥包裹细集料**，有利于获得足够的混凝土强度，同时可减少粉尘和硬化后混凝土的收缩。砂的含水率控制在5~7%，主要是为了减少具有活性的水泥颗粒的损失，减少粉尘，也有利于水泥的充分水化。关于粗骨料粒径，目前国内的喷射机可使用最大粒径为25mm，但为了减少回弹和管路堵塞，故规定不大于15mm。

二、锚杆的杆体材料，按国标《钢筋混凝土用钢筋》（GBJ 499—84）主要为I级钢筋（即3号钢筋）、II级钢筋（20MnSi钢筋、16Mn钢筋）。今后5号钢钢筋不再大量生产，但考虑当前国内库存不少，并且仍有少数地方钢厂生产，因此仍将5号钢筋列入。杆体直径一般为16~22mm，除考虑强度要求外，由于钻孔孔眼一般为42~44mm，可便于注入必要的砂浆。

三、早强水泥砂浆，如采用硫铝酸盐水泥作胶结料，并在砂浆中掺入一定比例的早强剂，砂浆灌注后2~8h内，锚杆抗拔力可大于50kN。

四、钢筋网的钢筋不宜太粗，否则易使喷层产生裂纹，故采用钢筋直径不大于10mm。

第4.1.5条 隧道内路面材料主要根据路面等级及面层类型决定。由于交通部有关路面设计规范、施工技术规范十分详尽，为此这里不再摘录。具体采用时可参照有关规范办理，特别是有关材料性能指标，如沥青可参见《沥青路面施工及验收规范》（GBJ 092—86）第三章材料；石料见《道路建筑用天然石料强度技术分级标准》（JTJ 1003—66）；水泥混凝土路面可参见《水泥混凝土路面施工及验收规范》（GBJ 97—87）。

总的说，洞内路面结构要求坚固、耐久、反光好。由于山岭公路隧道路基一般多为岩石基础，其地基综合形变模量较高，因此隧道洞内修筑水泥混凝土路面较多。混凝土路面具有耐用、强度高的特点，厚度则比一般路面可稍薄一些，约16~22cm；缺点是：易打滑、接缝多，维修麻烦。

据国外资料看，70年代起国外公路隧道做成沥青混凝土淡色路面（掺白色粉料）的已为数不少，因它具有平整、抗滑性能好、易修复的特点。

以上两种路面均属高级路面，并且希望在隧道投入使用前，与隧道衬砌工程一起完成，不宜分期修建。

第二节 材料性能

第4.2.2条 参见1985年《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTJ 023—85）第2.1.2条有关混凝土的标准强度及《铁路隧道设计规范》（TBJ 3—85）第4.2.2条说明。

第4.2.3条 参见1985年《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTJ 023—85）第2.1.3条及《铁路隧道设计规范》（TBJ 3—85）第4.2.4条说明。

第4.2.4条 参见1985年《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》（JTJ 022—85）第2.0.5条及《铁路隧道设计规范》（TBJ 3—85）第4.2.5条说明。

规范表4.2.4所列砌体的极限强度，除小石子混凝土砌片石砌体外，其余基本根据《砖石结构设计规范》（GBJ 3—73）所规定的砌体强度计算公式计算，结合公路情况，稍作调整，并取整数得出。本规范与（GBJ 3—73）考虑不同之点的理由如下：

一、（GBJ 3—73）规定，当砌体用纯水泥砂浆（即不掺石灰或其他塑化剂的水泥砂浆）砌筑时，其抗压强度 R （即本规范的 R_s ，下同）及抗剪强度 R_j 应按该规范所列数值分别乘以0.85及0.75后采用。（GBJ 3—73）所取砂浆影响系数来自苏联规范，据我国公路部门部分试验分析，其值偏低，故将砂浆影响系数0.85提高至0.9。

二、（GBJ 3—73）规定了每层高度为40cm的砌块、料石砌体的抗压强度 R ，当其每层高度小于或大于40cm时， R 可分别乘以折减或提高系数。表4.2.4-1中 R_s 值拟定时，对块石、粗料石砌体每层高度均以原施工技术规范规定的石料最小厚度

20cm 为准，故不考虑当每层高度大于20cm 时 R_2 的提高。但对混凝土块砌体的 R_2 ，考虑到混凝土块系人造石，其厚度可随现场起重设备能力加大，且易做成一致，故以混凝土块厚度20cm 为准计算外，并规定超过20cm 时，可乘以提高系数。该提高系数是按（GBJ 3—73）的规定换算得出的。

计算规范表4.2.4-1中块石、粗料石及混凝土块砌体的 R_2 值时，每层高度按20cm 考虑，故由（GBJ 3—73）第5条之三的系数 C_2 的规定，应乘以尺寸影响系数0.7。

三、除以上影响系数外，尚需乘以加工程度影响系数。其系数值块石砌体为0.6，粗料石砌体为0.7，混凝土预制块砌体为1.0。

四、按上所述，规范表4.2.4-1所列的 R_2 值的计算式如下：

$$R_{2\text{片石}} = (0.01R_1 + 0.2\sqrt{R_1R_2}) \times 0.9 \quad (4.1)$$

$$R_{2\text{块石}} = (0.25R_1 + 0.4\sqrt{R_1R_2}) \times 0.9 \times 0.7 \times 0.5 \quad (4.2)$$

$$R_{2\text{粗料石}} = (0.25R_1 + 0.4\sqrt{R_1R_2}) \times 0.9 \times 0.7 \times 0.7 \quad (4.3)$$

$$R_{2\text{混凝土块}} = (0.25R_1 + 0.4\sqrt{R_1R_2}) \times 0.9 \times 0.7 \quad (4.4)$$

式中： R_1 ——石材标号，计算时，片石、块石取30号；粗料石取40号；混凝土块取15号；

R_2 ——水泥砂浆标号。

五、小石子混凝土砌片石砌体是以片石为主体，小石子混凝土作为胶结料铺填片石间空隙的一种砌体。据试验分析指出：其与同标号的水泥砂浆砌片石砌体比较，水泥用量可节省35%左右，抗压强度可提高30%左右，且工艺简单，操作方便，容易保证质量。经过国内几年来的实践，凡可用水泥砂浆砌片石的结构部位，均可用小石子混凝土砌片石代替，故本规范予以推荐。

规范表4.2.4-1所列的小石子混凝土砌片石砌体的抗压极限强度，基本是按四川省交通厅勘察设计院1964年11月所编《小石

子混凝土砌体强度试验研究报告》有关内容确定的。但四川省交通厅科研所根据试验分析所制定的小石子混凝土砌片石砌体强度计算公式，由于试验所用片石规格较高，所得强度也偏高，这从该所试验报告内片石砌体与块石砌体的强度较为接近可以看出。故经研究分析有关试验资料决定，将按公式计算取的 R_s 乘以0.8系数后采用。表4.2.4-1中小石子混凝土砌片石砌体的抗压极限强度计算公式为：

$$R_s = \left[A \cdot R_1 \cdot \left(1 - \frac{0.14}{0.16 + \frac{R_2}{2R_1}} \right) \right] \times 0.8 \quad (4.5)$$

式中： A ——片石强度利用系数， $A = (10 + R_1) / (10 + nR_1)$ ；

n ——系数，根据试验得，当 $R_1 \leq 50$ 号时， $n = 3.9$ ；

R_1 ——片石标号，按30号计算；

R_2 ——小石子混凝土标号。

式(4.5)是根据Л.И.奥尼西克砌体极限强度计算通式，结合我国小石子混凝土砌片石砌体试验资料，统计分析后换算得的。

根据上述砌体极限强度的计算公式(4.1)~(4.5)计算得的各种砌体的 R_s 值列于表4.1。

砌体抗压极限强度(R_s)的计算值及取值(MPa)

表4.1

水泥砂浆或 小石子混凝土 标号	砌体种类	片石 砌体	小石子混 凝土砌片 石砌体	块石 砌体	粗料石 砌体	混凝土 块砌体
7.5		2.97	3.35	—	—	—
10		3.39	4.32	5.45	7.94	5.45
15		4.09	4.98	6.04	8.73	6.14
依据的计算公式		4.1	(4.5)	4.2	(4.3)	(4.4)

六、砌体的直接抗剪 R_j ，弯曲抗拉 R_{wj} 强度取值同规范(JTJ

022—85)，是以《砖石结构设计规范》(GBJ 3—73)中的公式为依据而计算的。并考虑沿齿缝与沿通缝的不同取值，其计算公式为(参见规范JTJ 022—85条文说明第2.0.5条)：

直接抗剪 沿通缝： $R_j = (0.128\sqrt{R_2}) \times 0.8$

沿齿缝：上式计算值的两倍

弯曲抗拉 沿通缝： $R_{w1} = (0.128\sqrt{R_2}) \times 0.8 \times 1.5$

沿齿缝： $R_{w1} = (0.323\sqrt{R_2}) \times 0.8 \times 1.5$

(规则块材)；石砌体上式计算值的0.7倍。

计算值见规范第4.2.4条表4.2.4-2。

对于小石子混凝土砌体， R_j 及 R_{w1} 取值亦以四川省交通厅勘察设计院1964年11月编写《研究报告》为依据。(JTJ 022—85)规定 R_j ，沿齿缝与沿通缝取不同值，并考虑《研究报告》中的试验砌体提出的结果数值偏高，乘以折减系数0.8。

第4.2.5条

参见1985年《公路砖石及混凝土桥涵设计规范》(JTJ 022—85)第2.0.6条说明。

第4.2.6条

参见1985年《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTJ 023—85)第2.2.2条及第2.2.3条。公路桥涵规范关于钢筋指标的取值与规范(TJ 10—74)是一致的，本规范为与公路桥规取得一致，故钢筋设计强度与弹性模量两个指标与桥规取相同数值。规范表4.2.6所列标准强度为锚杆设计强度，抗拉极限强度及延伸率为检算锚杆用，以便控制锚杆承载能力。

第4.2.7条

本条与第4.1.4条均可参见1985年《铁路隧道设计规范》(TBJ 3—85)第4.2.10条与第4.1.4条说明。

喷射混凝土的极限强度，系参照《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)规定，但因喷射混凝土抗拉强度与抗压强度之比稍小于模筑混凝土，并根据冶金部主编的国标《锚杆喷射混凝土支

护技术规范》(GBJ 86—85) (1985.12) 的规定将抗拉极限强度适当降低。

喷射混凝土与岩石的粘结力，与岩石强度有关，本条粘结力的规定，以保证结合的界面上能传递拉应力和剪应力，有利于两者共同工作。

采用非标准方法制取的试块换算为标准试块的强度，其换算系数或公式应在本工程所用原材料、配合比、工艺技术和养护等条件相同的情况下，作对比试验求得。将试验数据进行整理分析时，先作方差分析，判断不同的试块制作方法对强度的影响是否显著，然后作回归分析。回归方程的表达式一般为 $B = a + bM$ (式中 B 、 M 分别为标准和非标准试块的强度， a 和 b 为回归系数)。

第五章 洞口及洞门

第5.0.1条 洞口位置的要求

确定洞口位置对于隧道的施工和营运安全是很重要的。如果洞口地质及水文条件差，山坡不稳定，一经施工就会不断出现边坡仰坡坍塌，顺层滑动，古滑动体复活等现象，给施工带来很大困难。如果不分地质及水文条件优劣，偏重考虑经济问题，片面缩短隧道长度，采取大挖大刷，就会造成边坡仰坡过高过陡，产生不良后果，所以本条文规定：“隧道洞口位置应根据地形、地质、水文等条件，看重考虑隧道洞口仰坡及路堑边坡的稳定等因素”。一般情况下，隧道宜早进洞晚出洞，洞口避免设在偏压大、地质不良地段及排水困难的沟谷低洼处，避免在不稳定的悬岩陡壁下进洞。同时还应考虑洞口附近的地上建筑物及地下埋设物的影响。这是因为洞口一般埋置较浅，与周围的建筑物很容易发生互相影响。总之要做深入细致的调查工作，避开干扰或是采取防患措施。

路线跨沟或沿沟侧进洞时，要考虑到水文情况，洞口路面应比山沟设计水位高不小于0.5m，要结合防排水工程处理。在漫坡地段的洞口位置，应考虑合理利用废碴，少占农田，有利施工等问题。

规范表5.0.1可参照选用，当开挖的坡度及高度超过表值时，应加强防护措施。

总的来说，洞口位置应通过技术经济比较，综合分析、研究确定。

第5.0.2条 洞口设施的规定

隧道洞口覆盖层较薄，也是地表水流经之口，很容易渗透到衬砌内部，所以在仰坡周围应该设置排水沟及截水沟，使地表水

归束入槽，避免渗水漏水，避免地表水漫流。洞顶排水沟要引向路堑排水沟，把水排出路基之外，否则会酿成水害，影响路基的稳定。

洞口边、仰坡应采取必要的防护措施，如护面墙、石砌护坡、铺草皮等。当洞口处有落石、坍方、泥石流等可能时，应采取清刷，或设置明洞及支挡构造物，以保证施工安全和正常营运。

第5.0.3条 洞门结构形式的要求

洞门是隧道两端的外露部分，也是联系洞内衬砌与洞口外路堑的支护结构，应保证洞口附近的边坡和仰坡的稳定。洞门也是标志隧道的建筑物，与隧道规模、使用特性以及周围建筑物、地形条件等要相协调，所以本条文中提出：“隧道洞口应修建洞门”。

洞门的形式很多，从构造形式、建筑材料以及相对位置可以划分许多类型。目前，我国公路隧道数量还不多，故洞门形式一般比较简单，有端墙式、翼墙式、柱式、台阶式及环框式。

1.端墙式洞门：或称为一字式洞门，是一种最常见的洞门，适应性比较强。其特点是：构造简单，施工方便，受力条件明确，但要求洞口有稳定的边坡和仰坡，不致产生很大的土压力。

2.翼墙式洞门：在岩层破碎、节理发育，容易产生坍塌地段修建洞门时，常采用此种型式。翼墙可做成端墙形式或八字式，翼墙顶根据地形可做成水平式或斜坡式。

3.柱式洞门：在端墙上增加对称的两个立柱，不但雄伟壮观，而且对端墙局部加强，增加洞门的稳定性。此种形式一般适用于城镇、乡村、风景区附近的隧道。

4.台阶式洞门：在沿溪线傍山隧道半路堑情况下常采用这种型式。为了适应山坡地形，故将端墙做成台阶式。

5.环框式洞门：此种型式最简单，一般适用于洞口地形陡峭、岩层完整、坚硬而无风化岩层，开挖后边坡和仰坡稳固，坡面无坍塌可能，坡面上汇水量少，对隧道的施工和营运无影响。

洞门型式应美观醒目，这是因为洞门的造价只占隧道总造价

的较小部分，隧道的标志在洞门，洞门美观合理与否直接影响对隧道工程的评价。特别是位于城镇、风景区附近的隧道，行人及旅游者多，车辆也多，设计一个好的洞门，将给后人留下美的感受。

第5.0.4条 洞门构造及基础设置的规定

洞口仰坡坡脚至洞门墙背应有一定的水平距离，以防仰坡土石掉落到路面上，危及安全。洞门端墙与仰坡之间水沟的沟底与衬砌拱顶外缘之间要求一定高度，以免落石破坏拱圈。洞门墙顶应高出仰坡脚，以防水流溢出墙顶，也可防止掉落土石弹出。水沟底下填土如果不夯实，则会使水沟变形，产生漏水，影响衬砌强度。

洞门墙应根据情况设置伸缩缝、沉降缝和泄水孔，以防止洞门变形。洞门墙的厚度可按计算或结合其他工程类比确定，但墙身厚度最小不得小于0.5m。

“洞门墙基础必须置于稳固地基上”，这是因为通常洞口位置的地形地质条件比较复杂，有的全为松散堆积覆盖层，有的半软半硬，有的地面倾斜陡峻，为了保证建筑物稳固，所以作此规定。

洞门墙基础必须埋入地基一定深度（地基面以路面边缘计算），埋入深度视地质好坏确定，保证结构物稳定。基础设置在岩石上时，应清除表面强风化层；当风化层较厚，难于全部清除时，可根据地基的风化程度及其相应的容许承载力，将基底埋在风化层中。斜坡岩基应挖台阶，以防墙体滑动，岩基的废渣均应清除干净，这样才能确保洞门稳定。在松软地基上，地基强度偏小时，可根据情况采用扩大基础、换土、桩基、压浆加固地基等措施。

一般冻胀性土壤特点是：冻结时土壤隆起、膨胀力大，而解冻时由于水融作用，土壤变软后沉陷，建筑物相应下沉，产生衬砌变形。条文根据公路工程一般设置基础的经验，要求基底设在冻结线以下不小于0.25m（所指的冻结线为当地最大的冻结深度）。如果冻结线较深，施工有困难，可采取非冻结性的砂石材料换填，也可设置桩基等办法。不冻胀土层中的地基，例如岩石、卵石、砾石、砂等，埋置深度可不受冻结深度的限制。

第六章 隧道衬砌及路面

第一节 一般规定

第6.1.1条 隧道所处的工程地质条件是多种多样的，围岩情况也十分复杂，既有良好的，也有很差的；隧道在岩土中埋置位置不同，围岩应力状况和稳定状况也不同。有些隧道，初期围岩较稳定，但随着时间的增加，风化剥落、掉块；随着水文状况的改变，围岩松弛，出现小坍塌，以至失去稳定。这时，要补做衬砌就很困难，技术经济方面更不合理。因此，不提倡完全不衬砌的隧道，而提出隧道应做衬砌的要求。就是很好的围岩，如Ⅵ类围岩，也应清除松动岩块后喷射薄层细粒混凝土支护或水泥砂浆防护，保证隧道能够安全、可靠的使用。

隧道衬砌是永久性的重要结构物，应有相当的可靠性和保证率，一旦破坏，运营中很难恢复。因此要求衬砌密实、抗渗、抗侵蚀、不产生病害，衬砌能够长期、安全地使用。

公路隧道与铁路、水工隧道相比，其使用目的有许多不同的地方。公路隧道使用目的和要求更具多样化，范围更广泛。道路行驶车辆有小汽车、大型卡车、民用、军用大型拖车，还有各种慢速机动车、非机动车等，在隧道内同一孔混合行驶，也有在多孔内多层内分道通过。还有专用隧道等。所以，设计隧道衬砌应与道路等级、交通功能及性质相适应，即与使用目的相适应，设计出相应的衬砌断面。如城市及郊区、高等级公路隧道，就要考虑与内装相结合；设计技术标准要求较高的隧道，其衬砌可靠性和防水性也要求较高，等等。

整体式衬砌是传统衬砌型式，已广泛采用，且有一定的经验，故一般情况下都可采用。

复合式衬砌是目前日本和西方国家常采用的衬砌型式。其设

计、施工艺过程，与其相应的衬砌及围岩受力状态均较合理；其质量较好，可靠性较强，能够达到较高的防水要求；也便于采用锚喷、钢支撑等较先进的工艺，是目前国内正在兴起并已开始较多的采用，应该推广的较先进的衬砌型式。它既能够充分发挥锚喷支护的优点，又能发挥二次衬砌永久支护的可靠作用。

当地质条件较好，围岩稳定，地下水很少，有场地，施工单位又有制造、运输和拼装衬砌的设备，并控制开挖和拼装工艺有一定的经验时，可采用拼装衬砌。当采用盾构施工，又考虑二次衬砌时，也宜采用拼装式衬砌，快速形成一次衬砌的强度。在山岭隧道建设中，很少采用拼装式衬砌。

洞口一般较洞身围岩条件差，节理裂隙发育，风化较重；再加隧道埋置浅薄，受地形、地表水、地下水、风化冻裂影响明显；容易形成偏压，甚至受仰坡后围岩纵向推力的影响，围岩容易失去稳定，使衬砌产生病害。故洞口一般采用加强的衬砌形式，包括复合式衬砌，而不采用锚喷衬砌。

在隧道内，规定在Ⅳ类及以上围岩中才采用锚喷支护，是由于在Ⅲ类及以下围岩中，采用锚喷支护经验不足，可靠性差，作为永久衬砌，目前是没有把握的。Ⅲ类及以下围岩中，按照目前较高的施工水平，可考虑将锚喷支护作为临时支护配合第二次模注混凝土衬砌，形成复合衬砌。

采用锚喷衬砌后，内表面总不是那么平整顺直，不太美观，加重了司机行车中的压抑、担心的感觉。如是高等级道路或城镇及附近的隧道，根据需要可考虑内装，以消除上述缺点外，也便于照明、通风的安装，提高洞内照明、防水、通风、视线诱导、减少噪音等的效果。

第6.1.2条 隧道衬砌结构类型和尺寸的影响因素十分复杂，设计中应因地制宜地进行研究。

使用要求不同，直接影响对衬砌的要求。

工程地质条件、围岩类别、埋置位置、施工情况直接影响围岩的应力状况及稳定，影响衬砌的荷载大小及荷载图式，也影响

围岩对衬砌的约束作用，所以衬砌结构类型及尺寸应该与围岩状态和对衬砌的作用相适应。

施工中开挖方式和衬砌方式、机械化水平也影响衬砌净高和支护类型、结构形状和尺寸。如传统矿山法爆破施工与掘进机开挖施工；先拱后墙法一般衬砌施工与全断面锚喷支护、复合衬砌施工，都对衬砌类型和尺寸的影响很大。

设计是在对上述极为复杂的因素综合分析的基础上拟定衬砌的结构类型和尺寸。由于上述诸因素形成的围岩压力大小和图形变化十分复杂，很难正确判断，衬砌结构工作特点、结构基本假定也未完全明确，所以结构计算都是在假定的荷载条件下和结构假定计算图式下进行，与衬砌实际工作状况是有差距的。所以对隧道衬砌结构光凭理论计算是不够的，应通过工程类比后综合分析、比较确定。

从科学、总结提高的角度，如能够将科研、设计、施工相结合，通过模型试验，现场实测设计参数，现场实体试验量测，论证地判定隧道衬砌结构类型和尺寸，那就更好了。

第6.1.3条 隧道衬砌设计规定说明如下：

一、正象第6.1.2条说明中所述洞口应采用加强衬砌，即按洞口围岩浅埋隧道衬砌考虑，最小长度不小于10m，并伸入深埋段10m，是安全、可靠方面的考虑。其因素是，洞口衬砌受力条件复杂；深浅埋界线实际不是理论上分的那么清楚；洞口岩体及围岩施工中扰动范围较大；调查已成隧道洞口病害较洞身为重。在有地震情况下，洞口也容易破坏。

加强衬砌段可按所在围岩类别降低1~2级设计。

二、围岩较差段的衬砌向围岩较好段延伸5m以上，偏压衬砌段向一般衬砌段内延伸5m以上，也是基于安全与可靠性方面的考虑。其中围岩和衬砌分类分界线的划分，在实际生产中总带有主观随意性，或者只是定性的，难以十分正确的判断。而且围岩的变化实际上也是渐变的，不是能够清楚地截然分开的，这样，衬砌强度就能够适应和超过上述围岩压力的变化。

三、隧道内设置水泥混凝土路面是基于将其既作为铺底，保护墙基、保护隧底，又作为行车道路面使用。仰拱上设置浆砌片石回填层是为了路面基层和隧底稳定可靠。

四、软硬地层交界处，也往往是衬砌结构类型变化处附近，由于围岩压力和地基承载力、地基压缩变形的明显差异，结构刚度和变形能力的不同，在软硬地层交界处和不同衬砌结构类型变化处很容易产生不规则的环向沉降裂缝，破坏衬砌完整。设置沉降缝后，就能顺应这种沉降，不破坏衬砌。

第6.1.4条 各种联络通道、辅助坑道、避车洞等与主隧道衬砌环节的连接处，围岩扰动次数多，暴露空间较大、时间较长，围岩应力状态和围岩压力、衬砌应力集中状态都十分复杂。这些连结处施工时很容易坍塌，使用后容易产生病害，故应特别注意这些连结处的衬砌结构和回填压浆的加强。

第二节 隧道衬砌

第6.2.1条 隧道采用整体式深埋衬砌时，应遵守的规定说明如下：

一、隧道一般跨度较大，荷载也较大。公路隧道内轮廓接近限界的高宽比较铁路双线隧道为小，其内轮廓拱部一般较铁路隧道平坦，墙高稍低，为减少拱肩及墙部的拉应力，提高围岩及结构的稳定性，衬砌结构型式宜采用曲墙式衬砌。施工时，公路隧道曲墙模板立柱（站带）是垂直的，对施工并不增加多少麻烦。

IV类及以上围岩，由于围岩稳定或基本稳定，拱部围岩荷载较小，且往往呈现较小的局部荷载；施工时，临时支撑，尤其是纵横梁一般都能撤走，超挖空间容易回填密实，不易形成偏载，衬砌工作条件较好，故衬砌截面可以采用等截面形式。而IV类以下围岩与上述情况往往相反，故以采用变截面形式为宜。

对IV类及以上围岩，墙部是稳定的，侧压力较小，故一般地区也可采用直墙式衬砌，便利施工，并可减少墙部开挖量。

严寒地区隧道，只要围岩有地下水，在墙后就很容易产生冻

胀，产生冻胀压力，使侧墙内移或开裂；而曲墙式衬砌其抗冻胀能力较强。在严寒地区调查，曲墙式衬砌隧道，墙部破坏的情况远小于采用直墙式衬砌的隧道，故严寒地区隧道，不管围岩等级如何，围岩只要有地下水，衬砌型式仍应采用曲墙式衬砌。

严寒地区隧道衬砌施工季节的温度远比严寒季节衬砌环境温度高，故严寒地区隧道衬砌特别要强调根据情况设置伸缩缝，防止或减少衬砌因温度降低而收缩，引起衬砌开裂和破坏，造成病害。

III类及以下围岩，地基松软，往往侧压力较大，故宜采用曲墙带仰拱的衬砌。设置仰拱以后，不光满足了地基承载力的要求，更重要的是能够减小沉降变形，调整围岩和衬砌的应力状态，提高侧墙抵抗侧压力的能力，使衬砌处于稳定状态。

二、隧道内轮廓形状和尺寸，应接近隧道建筑限界，并使内轮廓的面积为最小，即净空断面最小。

内轮廓形状直接影响到隧道衬砌轴线形状，影响到轴线的合理性、衬砌厚度、开挖数量。当然，由于所采用的通风方式和施工方法也直接控制着衬砌的净高大小，影响内轮廓的形状。

隧道衬砌轴线形状应与围岩压力大小、压力图形与衬砌周边约束条件相适应，力求接近围岩对衬砌作用的压力线。因此应根据地质条件、围岩压力和施工条件，通过技术经济比较，合理地确定内轮廓形状和尺寸，获得一个既实用且总造价最低、施工又方便的最小净空断面。

为了避免围岩和衬砌的应力集中，造成围岩压力增加和衬砌的局部破坏，应注意衬砌内外轮廓的圆顺，避免急剧弯曲和棱角。

第6.2.2条 洞口及浅埋地段采用浅埋衬砌是指没有偏压的情况，一般可按浅埋隧道围岩压力理论来设计衬砌。当因地形、地质构造、施工等造成围岩明显偏压的地段，应采用浅埋偏压曲墙式衬砌，或偏压曲墙式衬砌。这些情况下，单纯增加或调整厚度，从技术经济上并不是合理的，只有同回填、压浆设计相配

合，才是十分有效合理的措施。这里强调了要用偏压曲墙式，是由于其衬砌轴线接近压力线，而直墙式则偏心距较大。

公路交通汽车行驶状况和驾驶心理同铁路交通是不一样的，斜交洞口给司机造成洞口偏移、别扭、不舒顺、惧怕出事故的心理状态，造成过分的减速，是不好的。故不推荐采用斜交洞口衬砌，而宜适当增加明洞长度，同样达到减小洞口边仰坡高度的目的。

第6.2.3条 拼装式衬砌和砌体衬砌只有在条件适宜的特定情况下才宜采用，正如第6.1.2条条文中所述，山岭隧道中很少采用。

第6.2.4条 为了使水沟及路面施工时不致松动墙基，应使墙基底标高不高于水沟和路面基底标高；同样为了开挖洞门基础时，不影响衬砌墙基的稳定，并有利于使洞口衬砌与洞门墙形成一体，提高洞口衬砌墙基的稳定性，故在洞门墙厚度范围内，衬砌边墙基底应加深到洞门墙基础相同标高。

第6.2.5条 采用锚喷衬砌，宜在Ⅳ类及以上围岩中进行，其原因已在第6.1.2条条文中作了说明。下面就各项规定说明如下：

一、当围岩良好、完整、稳定地段，如Ⅴ类及以上，只需采用喷射混凝土衬砌即可。喷射混凝土起到：（1）局部稳定围岩表层少数已松动的岩块；（2）保护、加固围岩表面，防止风化，使其表面强度较高并与围岩密贴，与围岩形成表面较平整的整体支承结构，确保营运安全。

二、在层状围岩中，其结构面或产状可能引起不稳定，开挖后表面张裂、岩层沿层面滑移或受挠折断，可能引起坍塌。块状围岩受软弱结构面交叉切割，可能形成不稳定的危石。加入了锚杆支护，通过联结作用和组合原理保护和稳定围岩，并通过喷射混凝土表面封闭和支护的配合，使围岩和锚杆喷射混凝土形成一个稳定的承载结构。

锚杆与层面垂直，就能够充分发挥锚杆的锚固作用，有效地

增加层面或结构面间压应力和抗滑动摩阻力。锚杆应与稳定围岩相联结，它的含意有2个：（1）与没有松动的较完整的稳定的围岩体相联结；（2）有足够锚固长度，伸入松动围岩以外或伸入承载环以内。

三、当围岩呈块（石）碎（石）状镶嵌结构，稳定性较差时，锚喷混凝土的主要作用原理是整体加固作用。依靠锚杆和钢筋网喷混凝土的支护力和锚杆的联结及本身的抗剪强度，提高围岩承载圈的抗压强度和抗剪强度，达到对围岩的整体加固作用，使围岩和锚喷支护共同成为一个承载结构。

当围岩块度较小，围岩的稳定性较差时，围岩内缘及锚杆之间会出现松弛带，要通过钢筋网喷混凝土来保证其稳定性，使其不进一步松弛、甚至坍落，保证承载圈的有效性。而且在支护过程中也可能产生较大的形变和形变压力，因而加强喷层结构，提高其强度和变形能力都是必要的。要加入钢筋网，以提高其抗拉强度和整体强度，减少裂缝，并避免过厚的喷层厚度，且使结构更可靠。

四、锚喷衬砌的内轮廓线，建议采用曲墙式的断面形式，是为了使开挖时外轮廓线圆顺，尽可能减少围岩中的应力集中，减小围岩内缘的拉应力，尽可能消除围岩对支护的集中荷载，使支护只承受较均匀的形变压力，使喷层支护都处在受压状态而不产生弯矩。

锚喷衬砌外轮廓线除考虑锚喷变形量外宜再预留20cm，是由于：（1）锚喷衬砌目前还是正在推广的新型结构，无论设计、施工都经验不足，尤其是公路部门，正规施工实例不多；（2）锚喷支护是柔性结构，厚度较薄，变形量比较大，预留后就能保证以后有可能进行补强和达到应有的补强厚度，并留有余地；（3）预留20cm，还估计到如锚喷衬砌改变为复合衬砌时，能保证复合衬砌的第二次衬砌最小厚度20cm。

第6.2.6条 不宜采用锚喷衬砌的原因简要说明如下：

一、大面积淋水地段，喷射混凝土很难成型且即使成型，其强

度及与围岩的粘结力无法保证；锚杆与围岩的粘结，锚杆的锚固力也极难保证。这样，就难于发挥锚喷所应有的作用。

二、膨胀性围岩和不良地质围岩，如粘土质胶结的砂岩、粉砂岩、泥砂岩、泥岩等软岩，开挖后极易风化、潮解，遇水泥化、软化、膨胀，造成大的围岩压力，稳定性极差，甚至流坍。堆积层、破碎带等不良地质，往往有水，施工时缺乏足够的自稳能力和一定的稳定时间。这样，锚杆无法同膨胀性围岩和有水堆积层、破碎带形成可靠的粘结，喷射混凝土与围岩面也很难形成良好的粘贴。因此，锚喷支护就难于阻止围岩的迅速变形，克服很大的压力，也就难于通过锚喷支护形成可靠、稳定的承载圈。

围岩及其中的地下水如有侵蚀性，可能造成衬砌的腐蚀，则喷射混凝土较薄，锚杆材料等都经不起腐蚀，就不可能保证锚喷衬砌的长期使用。

三、寒冷和严寒地区有冻害的地方，衬砌后出现冻胀是完全可能的，但锚喷衬砌抗冻胀能力较差，故这些地区隧道内有可能有冻害的地段，就不宜使用锚喷衬砌。

四、对衬砌有特殊要求的隧道或地段，如洞口地段，要求衬砌内轮廓很整齐、平整；辅助坑道或其它隧道与主隧道的连接处及附近地段；有很高的防水要求的隧道；还有围岩及覆盖太薄，且其上已有建筑物，不能沉落或拆除者等，都不宜采用锚喷支护衬砌。

第6.2.7条 复合式衬砌规定说明如下：

一、复合衬砌的设计，目前以工程类比为主，理论验算为辅。结合施工，通过测量、监控取得数据，不断修改和完善设计。衬砌规划设计时应综合考虑条文中所述的各因素。

复合衬砌设计和施工密切相关，应通过量测及时支护，并掌握好围岩和支护的变形和应力状态，以便最大限度发挥由围岩和支护组成的承载结构的自承能力。通过量测，掌握好断面的闭合时间，保证施工期安全。确定恰当的支护标准和合适的二次衬砌时间，达到作用在承载结构上的形变压力最小，且又十分稳定。

III类及以下围岩或可能出现偏压时，应设置仰拱。这里较传统衬砌相比，使用仰拱的范围扩宽至IV类围岩，这一措施在这里更显得重要，且有新的含意。即仰拱不光是解决基础承载力不够，减少下沉，防止底基凸起变形，调整衬砌应力的作用，更重要的是起封闭围岩，制止围岩松弛变形，将围岩塑性变形和形变压力控制在允许范围；还增加底部和墙部的支护抵抗力，防止内挤而产生剪切破坏。

二、两层衬砌之间采用缓冲、隔离、防水夹层措施的目的是，当第一层产生形变及形变压力较大时，仍给予极少量形变的可能，可降低形变压力。而当一次衬砌支护力不够时，可将少量形变压力均匀的传布到二次衬砌上，并依靠二次衬砌进一步制止继续变形，且不使一次衬砌出现裂缝时，二次衬砌也出现裂缝。由于二层衬砌之间有了隔离层，即防水夹层，则防水效果良好，且可减少二次衬砌混凝土的收缩裂缝。

三、在确定开挖尺寸时，应预留必要的初期支护变形量，以保证初期支护稳定后，二次衬砌的必要厚度。当围岩呈“塑性”时，变形量是比较大的。由于预先设定的变形量与初期支护稳定后的实际变形量往往有差距，故应经常量测校正，使延续各衬砌段预留变形量更符合围岩及支护变形实际。

第三节 明洞衬砌

第6.3.1条 明洞的定义首先是以明挖法在明处修建。原则上在洞顶有回填土石遮盖，特殊情况下，没有回填土石，也可称之为明洞，如防雪棚、防雪明洞、遮阳棚洞等等。设置明洞的各情况说明如下：

一、第一点中还包括大开挖修建路堑和小开挖修建明洞的技术经济比较；暗挖法修建隧道和明挖法修建明洞的技术经济比较；还由于施工单位的施工技术条件和材料、设备条件，迫使本来可以用暗挖法修建隧道而改为按明洞修建的情况。所以，由于地质条件难于用暗挖法修建隧道和技术经济比较修建明洞合理是

选择明洞方案的关键。

二、路基或隧道口受不良地质等危害又不宜避开、清理的地段，包括受路线平纵横控制无法避开；清理会造成更大的病害的地段；也包括经技术经济比较后，不避开、不清理，而以明洞通过，技术经济效益为高的特殊情况。

明洞作为整治滑坡病害和支撑山坡稳定的措施，是作为在现场条件适宜时的一种特殊情况，一般不宜这样做；或者附近还有其它重要建筑，滑坡一定要整治时，可将整治滑坡和修建此类明洞一并考虑。

三、立交明洞往往是公路隧道口或明洞口向前延伸的部分，应与立交桥或过水渡槽进行技术经济比较，以确切的数据说明修建立交明洞的合理性。

四、为了保持洞的自然环境，明洞可伸出天然地面之外，也可不修洞门。

第6.3.2条 明洞结构类型可分为拱形明洞、箱形明洞和棚洞三类。明洞结构类型设计原则说明如下：

一、现浇拱形明洞结构整体性较好，承载力较大，能适应较大的山体压力。预计一次坍方量较大，基础设置条件较好时，宜采用拱形明洞。当路线外侧地形狭窄或外侧基岩埋藏较深，设置稳固的基础工程大时，就不宜设置拱形明洞。在上述条件下，洞顶荷载较小，施工又方便，则宜采用棚洞。

二、路线通过滑坡地段时，首先应研究绕避或采用路基整治方案。当采用明洞方案时，应与路基整治和滑坡整治方案作全面的技术经济比较。如将明洞修建在滑坡上，则明洞很难稳定。如必须修建时，则应将明洞基础修建在滑面以下较稳定的岩土上。明洞的设计应按支挡工程设计，充分考虑明洞上方滑坡体的推力，并要采取综合治理措施。常用的治理措施有，地表排水，减载反压，支撑墙，地下排水盲沟，支撑排水泄水洞，抗滑桩等。总之要确保明洞与滑坡的稳定。

三、在既有公路上修建明洞，宜采用棚洞和装配式上部结

构，这样能快速施工，减少对行车的干扰。

四、在平丘区交通繁忙的公路上，汽车道、非机动车、人行道等都存在的情况下，如修建立交明洞，可采用箱形明洞，分洞多孔行驶。箱形结构建筑高度较小，对地基要求较低。

五、为保护洞口自然环境而加长修建明洞，可采用拱形、箱形明洞，并可在洞顶以植保措施或建筑措施与环境配合。

第6.3.3条 明洞衬砌设计原则说明如下：

一、路堑拱形明洞荷载形式类似相应围岩隧道整体式衬砌荷载形式，不同的是明洞有1：5的设计填土坡的偏载，故应将相应围岩的隧道衬砌按明洞荷载进行验算，并按隧道衬砌规定设计。

半路堑拱形明洞由于衬砌荷载明显的不对称，所受单侧荷载较大，故外边墙及拱圈，特别是外侧拱圈宜适当加厚，使设计衬砌拱轴线形状和由荷载形成的压力线形状接近。除了衬砌各截面进行验算外，尚要对明洞整体滑动、倾覆可能性进行验算，以确保明洞整体稳定性。当山坡落石较多，体积较大时，应验算落石冲击荷载下的明洞结构安全性。由于明洞拱圈在明处施工，故宜采用钢筋混凝土结构。

二、棚洞盖板常采用T形或预制空心板等结构，以便于预制吊装。

当棚洞内侧净宽足够，岩层破碎有地下水，不适于修建锚杆挡墙的地段，且挡墙需承受结构和山体的全部水平力，则一般采用重力式结构。当内侧岩体完整坚固，能给锚杆提供足够的锚固力，且岩体无地下水或较少时，能够保持锚杆的强度和耐久性，则可在棚洞内侧采用锚杆挡墙作为内边墙。外侧使用墙式外边墙是在外侧地基承载力虽低，但属于地基稳定的半路堑的情况。柱式、刚架式棚洞外边墙是在外侧地形狭窄、基岩埋藏较深时，可将柱基放在较好的基岩上。

三、箱形明洞可将主车道、非机动车道、人行道分孔设置。

四、明洞除受地形、地质影响外，受气候影响也比较大，故

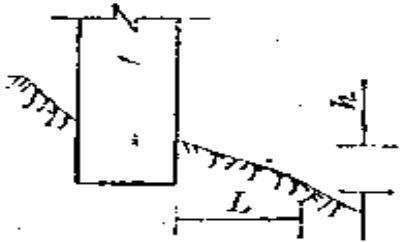
设置变形缝、伸缩缝更有必要，它有利于结构完整和稳定，减少环形裂缝病害。其设置位置应根据现场情况（视明洞长度、覆土、暴露情况、温差大小、地质情况等）通过理论计算并结合当地经验确定。

第6.3.4条 明洞基础设计有关规定说明如下：

一、明洞墙基应有一定的嵌入深度并应设在冻结线以下25cm，且保证一定的护基宽度，如表6.3.4所示。

明洞墙基嵌入深度

表6.3.4

岩层种类	埋深 h (m)	护基宽 L (m)	说 明
较完整的坚硬岩层	0.25	0.25~0.5	
一般岩层 (如砂页岩互层)	0.60	0.6~1.50	
松软岩石 (如千枚岩等)	1.00	1.0~2.0	
砂夹砾石	1.60	1.5~2.5	

明洞基础应遵守隧道衬砌基础第6.2.4条的有关规定。

当两侧边墙地基软硬不均时，应采取措施加以处理，以免引起过大的沉降和不均匀沉陷，使明洞结构产生裂缝或破坏。可采取下述措施：（1）基岩不深时可加深基础，设置于基岩上；（2）采用钢筋混凝土或混凝土仰拱；（3）采用钢筋混凝土底板，修筑整体式基础；（4）亦可采用桩基或加固地层等措施。

二、当地基可切割成台阶时，台阶平均坡度不陡于1:0.5；坡度线与水平线的夹角不得大于岩层的内摩擦角；台阶宽度不小于0.50m，最低一层基础台阶宽度不小于2m。

为了使基础外侧护基部分岩土稳定或为防止河岸冲刷的影响，应另采取挡墙、护岸、边坡加固等防护、防冲刷措施。

三、明洞外边墙、棚洞立柱基础埋置位置在路面 3 m 以下时（一般是指半路堑单压式明洞的外侧边墙及立柱），应在路基处设置钢筋混凝土横向水平拉杆或锚杆，或给立柱加设横撑和纵撑，以减小墙底转角，改善结构受力条件，增加墙柱约束，减小其长细比的影响，以确保整个结构的整体性、外侧边墙及立柱的整体及局部稳定性。

第6.3.5条 明洞顶设计填土厚度，应根据山坡病害的情况，预计明洞顶可能出现的坍塌量及将来明洞所要起的作用来确定。

在1975年以前，铁路隧道规范曾规定为3.0m，经过大量的实际调查，新规范确定为1.50m。公路隧道跨度一般比铁路单线隧道跨度大，公路系统设计施工经验少，养护力量弱，故规定不小于2.0m。明洞顶填土横坡以能顺畅排除坡面水为原则，不小于2%。但山坡崩落的石块，边坡冲刷的泥石，坡面坍塌多堆积于坡脚附近，因此设计填土坡应较实际填土坡适当加大，作为安全的储备。一般只考虑边坡的少量坍塌，故明洞顶设计填土坡度可为1:5~1:3。1:5是对称式明洞边坡基本稳定的情况，实际填土坡可为1:10~1:5。

当边坡有病害，未来可能发生较大的坍塌，而该隧道又处于地震烈度8度以上地区，地震时增加了坍塌的数量，应酌情增加填土厚度，如洞顶设计填土厚度可采用2.50~3.0m，设计填土坡度可为1:3~1:2，实际填土坡可为1:3~1:5。

当洞顶填土目的主要是为了支挡边坡的滑坍和为了防护山坡可能发生的大量坍方、泥石流时，则应将边坡的稳定情况、边坡的刷坡情况结合设计回填坡度，综合分析确定回填厚度，确保边坡和明洞的稳定与安全。一般设计回填坡度为1:3~1:1.5，实际填土坡度为1:5~1:3。

当明洞是为保护洞口自然环境，则应将明洞完全伸出自然山坡坡面，以不破坏自然地面及其景观为原则。开挖部分回填至原自然地面坡度，必要时可在其上采取植保。

第6.3.6条 当山坡有严重的危石、崩坍威胁时，应予清除

或作加固处理，以免对日后施工造成威胁或事故，对未来明洞造成破坏的隐患。

第6.3.7条 该条是属于立交明洞设计的特殊情况。如何填土，是否要填土，可由设计人员根据使用要求，结合结构构造物和环境具体情况灵活掌握。如城镇或城镇附近立交明洞顶，既可不填土，直接在其上修筑路面，也可填土绿化，与周围环境配合；甚至配合明洞设计，在其上修筑通风建筑或其它公用事业建筑。

第6.3.8条 明洞应重视拱背和墙背的回填，其中重视拱背的回填是为了保护拱背及拱脚，增强拱脚的固结，增加其稳定性，起加强的作用。墙背回填质量的好坏，直接影响到墙背岩石的稳定、侧压力的大小，也影响到墙背抗力的大小。实际采用回填措施时，应根据明洞类型、山坡岩土类别、设计要求、施工方法确定。一般III、IV、V类围岩其回填要求用片石混凝土或浆砌片石回填密实，并与围岩面的接合良好。对II类及I类围岩，墙背回填料的内摩擦角也应高于围岩的内摩擦角，如浆砌片石、干砌片石回填。

计算明洞墙背围岩主动土压力时，是按围岩计算摩擦角计算的，所以墙背回填料的内摩擦角应不低于围岩的计算摩擦角，不然的话，实际墙背的侧压力较计算的要大。另一意义是，较好的围岩与衬砌之间有低摩擦角的回填“软弱夹层”，徒然增加土压力和减小弹性抗力，技术、经济效益方面都是不适宜的。因此，也就要提高回填的质量。

条文中又指出，墙背回填料的内摩擦角，应不低于设计回填料计算的摩擦角，表示设计、施工措施应符合（或高于）设计要求，使之可靠。否则，墙背侧压力将比设计侧压力增大，影响结构安全。

第6.3.9条 明洞顶如设置过水渡槽，则要有足够的过水断面，并采取防水措施。明洞通过泥石流，则要从构造上采取措施，减少泥石流对明洞的冲击，并要考虑泥石流在明洞上大量淤

积、漫溢形成荷载的可能，并留够必要的通过断面。

第四节 特殊条件下的衬砌

第6.4.1条 特殊条件是指特殊的围岩、特殊的施工方法和特殊的衬砌措施。不良地质围岩，如松散堆积层、挤压破碎带、砂层，如地下水较丰，则围岩压力大，开挖后易变形坍塌甚至流坍，极不稳定，极难形成作业空间；衬砌易变形下沉、环裂。膨胀性围岩、瓦斯地层、黄土等则是较特殊的围岩，在这些围岩中修建隧道，都要采取特殊的设计、特殊的施工方法。

特殊条件下的隧道衬砌设计原则说明如下：

一、不良地质和特殊围岩的隧道，往往有很大的围岩压力，尤其是有较大的侧压力；地基松软时，还有一定的底压力，施工很困难，不可避免地会产生一些坍方，甚至大坍方；由于施工条件十分恶劣、包括开挖、支撑、背板、拱架模板十分密集，衬砌后的拱部、拱顶很难真正回填密实，存在有不少空隙，甚至有很大的空洞；拱部有些纵梁、横梁，有时很难抽出，甚至立柱无法替换，将来必然给衬砌造成较大的偏载、局部荷载或者集中荷载。衬砌结构应适应这种围岩压力情况，宜采用割圆拱、曲率稍大的曲墙带仰拱的衬砌型式。

设计衬砌厚度不宜太厚，如拱顶小于 $0.80\sim 0.90\text{m}$ ，则仍可采用施工较为方便的普通混凝土衬砌。

当围岩压力很大，围岩过于松软，使衬砌设计过厚，刚度过大，开挖跨度、自重过大，荷载更大，给施工造成很大的困难，形成衬砌设计技术经济恶性循环。这种情况下，单纯增加厚度是完全不合理的，也是无效的，而宁可采用钢筋混凝土结构。这样从结构本身来讲是合理了，但是由于压力很大、支撑密集，给结构施工带来很多困难。如拱架、模板、支撑的架立、抽换、顶替、拆除、钢筋安放、绑扎，灌注混凝土等干扰非常大，每道工序都是十分困难的，很容易造成围岩的再一次松弛与扰动，甚至造成难于收拾的坍方事故。这种情况下，根据我国缺钢材、更缺

木材的状况，必要时可采用钢拱支撑混凝土衬砌结构。钢拱支撑施工时代替扇形支撑作为支撑用，灌注混凝土时，则将其埋入混凝土中，成为永久衬砌的一部分（保证钢拱有10cm以上的混凝土保护层）。这样，解决了上述施工中的矛盾和困难，加强了衬砌，并加大了施工空间，便于作业、加快施工、减少事故。

在施工条件十分恶劣的环境下，再加地下水的渗漏，一次衬砌混凝土很难保证质量。在钢拱支撑情况下，采用二次复合式衬砌是较好的。在一次衬砌基本稳定之后，再作二次衬砌，能够获得合理可靠的衬砌。而且可以通过其中的夹层采取强有力的防水措施。

二、不良地质情况下，如本节上一点所述，过分增加衬砌厚度是无益的，除了增加截面强度（如采用钢筋混凝土、钢拱支撑衬砌）外，更积极的是应加强回填，对衬砌后边按第6.2.2条加强压浆，有条件或必要时，还应结合施工，向围岩中压注水泥砂浆或其它化学浆液。其积极意义是首先止水，稳定和加固了原有不良围岩，有利于施工开挖，避免或减少坍方，同时也减小了围岩压力，使衬砌在围岩的充分约束下抵抗围岩荷载。这条措施的重要性，不亚于加强衬砌本身。

三、围岩中的地下水是造成围岩不稳定的重要原因，应采取妥善处理措施，尽量减少地面渗漏水，减少地下围岩涌水是保证开挖、衬砌良好、不渗漏水的重要条件。至于如何妥善处理将在第八章隧道防排水中介绍。

四、通过软弱和膨胀性围岩，由于围岩垂直压力和侧压力、底压力都比较大，围岩在拱部和墙部都会因这种围岩的抗剪强度较低而剪切破坏，在墙拱腰部产生很大的推力，故应尽量采用接近圆形的或墙部曲率、侧拱度较大的曲墙带仰拱的衬砌断面。

这类围岩，施工开挖以后的沉落内挤、底部鼓起变形量比较大，且延续时间较长，一旦松散、坍塌就会产生上述的很大的衬砌荷载。故从设计、开挖施工、衬砌过程都适宜于采用新奥法，并且使用复合式衬砌，以便控制围岩和支护变形过程，并允许围

岩的塑性变形有一定发展，以充分发挥围岩的自承作用。通过控制初期支护变形过程和总变形量，使初期支护稳定时围岩对支护衬砌的形变压力较小，也使第二次衬砌完成后，其受力较小，并作为永久衬砌能够长期稳定。这样，围岩、初期支护、二次衬砌都处在较佳的共同工作状态，围岩对衬砌形变压力较小、较均匀；衬砌边界约束条件良好，接近无弯矩结构，形成较薄的合理衬砌总厚度。为了达到上述目的，设计、施工时就应掌握好衬砌与围岩的密贴，按围岩的变形和压力增长特性来决定衬砌施工和断面闭合时间。这方面的经验不多，今后要着重进行科学研究，以提高通过软弱和膨胀性围岩隧道的修建水平。

第6.4.2条 滑坡区修筑隧道，教训是很多的，往往施工极其困难，成本很高。修成后，难免仍有病害，极难整治好，随着时间的推移，难于使用，报废的也不乏先例，故应绕避为主。

隧道离滑面的距离，应使隧道不因滑坡的存在而产生偏压或浅埋的情况。

离滑面的距离一般可参照两相邻隧道最小净距值的上限值考虑。

当经过综合的技术经济比较，路线平、纵、横不宜更动，必须在滑坡区修筑隧道，并作为整治滑坡的主要措施时，应充分考虑滑坡的推力，采取特殊的设计措施，以确保滑坡及隧道的稳定与安全。这样，隧道只是滑坡体中的一个支挡结构物，没有滑坡的稳定，也就没有隧道的稳定性。因此，要采取全面规划、综合治理措施，以确保滑坡体的稳定，确保滑坡与隧道都不留后患。综合治理措施中主要有：（1）防水的截排水沟、支撑盲沟，支撑排、集、渗沟，支撑泄水隧道、涵洞；（2）支撑抗滑挡墙、抗滑桩等；（3）减载与反压，压浆加固软弱面、滑面等等。

第6.4.3条 黄土地区隧道的围岩是老黄土或新黄土。由于黄土的多孔性湿陷性，黄土的抗剪强度和抗压强度随含水量的增加而显著降低，因此，水对黄土地层的危害性极大，对黄土围岩的稳定性、围岩的压力有直接影响，且反应灵敏。所以隧道防水

第8.2.1条条文中对黄土地区地面水的防渗、引排，规定有较严格的要求。

黄土地区隧道衬砌背后回填措施中，不宜压浆，以免水对黄土围岩面和黄土裂隙中黄土的侵蚀、软化，影响围岩面的稳定和围岩的压力，并影响其与衬砌的密贴性。

通过黄土地层的隧道，新、老黄土物理力学性能和围岩稳定性有很大的差异，施工方法的不同也直接影响黄土的扰动情况，影响稳定性，影响荷载大小和荷载图式，故应据此来确定衬砌结构型式。

黄土隧道中，特别是新黄土、有水黄土甚至水中黄土，设计隧道衬砌时，应用可能的多种最不利荷载进行计算，使设计的衬砌能够适应施工期间和使用期间可能出现的各种荷载情况。常见的有拱部坍方荷载，拱腰坍方偏载，两侧拱腰坍方荷载，包括两侧拱腰纵梁压紧抽不出来的情况。

针对这些荷载情况，衬砌拱部宜用圆拱，墙部应用曲墙。老黄土墙基承载力强的可展宽墙基础，不设仰拱。一般情况下应设仰拱。

第6.4.4条 公路隧道穿越溶洞，设计上处理比较复杂，应根据溶洞的实际情况和隧道在其中所处的位置灵活确定。溶洞情况包括空穴大小，围岩壁稳定与否，水量大小和充填状况等等。各种情况处理措施说明如下：

一、水的处理，包括对隧道有影响的围岩壁的渗漏水 and 涌水，溶洞中的流水，充填物中的地下水，都宜妥善综合治理，“排”、“截”、“堵”、“防”相结合。

二、护拱压浆加固是当溶洞在拱的上方，施工时又遇到上部不宜全部清除后再来回填，而以护拱加固压浆来处治上部溶洞充填物并加固、稳定溶洞上部围岩。这样，既减少了回填量，又减小了衬砌荷载，也保护了衬砌拱部。

三、大溶洞、充填多、水量丰等均不宜堵塞、加固、封闭。如侧墙外侧高度不太大，则可以墙隔离支挡；如在隧低或隧低水

平以下，则宜采用梁、拱结构跨越；如在拱部以上，或是整个洞身的周围，则应尽可能绕越和避让。

第6.4.5条 通过含瓦斯地层的隧道，衬砌及防瓦斯层的一个特殊任务是防止围岩的瓦斯逸入隧道内。防瓦斯的基本措施是封闭。

一、瓦斯地层围岩往往较差，在Ⅳ类围岩以下，故应采用曲墙带仰拱的混凝土整体封闭式衬砌，能够较好地抵抗衬砌外面的瓦斯压力。在混凝土中，可加入发泡、增塑剂，提高混凝土的密实性和抗渗性，减少瓦斯的逸出量。如果采用双层复合式夹层衬砌，夹层接缝和夹层固定点又严密封焊，则是良好的防瓦斯的衬砌结构型式。

二、衬砌接缝往往是瓦斯逸出的薄弱环节，故应采取严密的密封堵塞措施。

三、衬砌背后压注水泥砂浆或沥青砂浆，是为了封闭围岩表面及裂隙，在衬砌周围形成防瓦斯逸出帷幕，减少瓦斯的逸出量。

外贴式防瓦斯层很难施工，且危险性和对人身危害都比较大，又难于保证质量。内贴式防瓦斯层，由于严密性和附着力都有限，故也难于彻底制止瓦斯的逸出。这两种措施，一般是作为衬砌作好以后的补救和使用期间的养护措施。防瓦斯层可用沥青玻璃布或沥青油毛毡等。

第五节 隧道行车道路面

第6.5.1条 公路隧道与其它隧道一样，隧道路面无日照，一般夏季隧道内比洞外气温低，“凉快”；冬季气温较洞外略高，“暖和”，尤其是北方。实际是全年保持在一个较低的温度状态。这样，隧道内如采用贯入式、路拌法、层铺法等沥青路面，一般就不易成型良好；隧道内比较潮湿，也直接影响沥青路面的使用和耐久。沥青路面颜色黑，反射率低，直接影响路面亮度。沥青路面的优点是易于修补，噪音小。所以，一般情况下，

都建议采用水泥混凝土路面。

洞内行车道水泥混凝土路面最小厚度采用18cm，是在下述条件下采用。(1)良好的岩石基础，如Ⅳ类及以上围岩。(2)清除浮渣。(3)水泥稳定石渣整平层。有关规定说明如下：

一、如路基软弱、松软或为上质，则应设置水泥稳定石渣、水泥、石灰稳定砂砾土类基层。它的厚度应根据刚性路面设计要求计算和工程类比确定。

二、路面上设置变形通缝是为了防止在人行道、路面处出现不规则的没有预先采取防水措施的裂缝。

三、洞内水泥混凝土路面应设缩缝，其设置办法同洞外水泥混凝土路面相同。洞口直接受洞外高气温的影响，故应设置胀缝。

第七章 结构计算

第一节 衬砌计算

第7.1.1条 关于隧道衬砌强度计算规定采用何种设计方法问题，经过多次研究讨论，并征求各地专家意见，认为对于隧道（包括明洞）衬砌强度计算，目前只能沿用综合系数形式的破坏阶段法。由于隧道工程复杂，目前又没有更可靠的隧道研究成果，试图把综合系数换算成分项系数形式表达的极限状态法还有许多困难。鉴于公路隧道与铁路隧道在结构与荷载方面的相近性，故决定采纳《铁路隧道设计规范》（TBJ 3—85）做法，待条件成熟后再行修改。

为此本章所用符号、术语基本上以《钢筋混凝土结构设计规范》（TJ 10—74）为准。表 7.1.1-1 和表 7.1.1-2 所列数值主要参照《铁路隧道设计规范》（TBJ 3—85），因这些安全系数均是以我国 41 条已成及新建的铁路近 400 座隧道的调查及实践经验为基础的前提下提出的，结构基本上是安全的。因此，可以认为在结构计算理论和材料指标没有较大变动的情况下，这些安全系数值基本上是合适的。特别是结合地下建筑的特点（如衬砌施工条件差、质量不易保证、荷载变异大、结构计算简图与实际受力状态有出入等），结构强度安全系数的取值应较地面结构略有提高，以保证隧道建筑物在正常设计施工条件下具有必要的安全储备。

考虑其它可变荷载时，安全系数 K 值可降低，降低的幅度各规范不同，本规范参照铁路隧道规范的经验，暂统一按 20% 取值。

检算施工阶段强度时，有关安全系数取值的问题，因隧道衬砌

和明洞结构在施工阶段的时间比之使用阶段短得多，施工阶段作用的荷载（如围岩压力）是逐渐增长的，一般情况下不会立即达到使用阶段的最大值。检算施工阶段强度的计算假定中，往往将实际上受力较好的空间结构简化为内力较大的平面结构，一些对衬砌受力有利的因素，如工作缝的粘结强度、围岩的阻抗及衬砌与围岩的粘结作用，在计算中常常忽略或取甚小的数值。为此，若施工检算仍保持和使用阶段同样的安全度，将使所得结果不甚合理，故本规范规定，安全系数可按照使用阶段的乘以0.9折减系数后采用。

参照《钢筋混凝土结构设计规范》（TJ 10—74）抗压与抗剪强度安全系数是采用同一数值，故本规范表 7.1.1-2 的抗压与抗剪两者也采用了同一安全系数。

第7.1.2条 由模型试验及理论分析说明：隧道衬砌承载后的变形受到围岩的约束，引起围岩的约束力，阻止衬砌变形的发展，从而改善了衬砌的工作状态，提高了衬砌的承载能力。这是地下结构区别于地面结构的主要特征。故在计算衬砌时，应考虑围岩对衬砌变形的约束作用。

弹性抗力、粘结力均属围岩的约束力，本规范鉴于以往衬砌计算中对粘结力作用问题研究不多，故仅提了弹性抗力的计算，但这不等于排斥对粘结力约束作用的考虑。相反，粘结力对衬砌结构受力比较重要，应予以注意。

为简化计算，弹性抗力的摩擦力对衬砌内力的影响可不考虑，这对衬砌结构安全储备是有利的。

其它参见第2.2.7条说明。

隧道衬砌的应力计算，是确定衬砌断面尺寸的重要依据之一。由于衬砌与围岩的共同作用，使衬砌结构计算复杂化，尽管目前地下结构分析方法很多，但精确解答很难实现。就公路隧道而言，当采用传统施工方法时，衬砌结构按“荷载-结构模式”分析是较合理的方法。

第7.1.3条 锚喷衬砌和复合式衬砌的初期支护计算，国内

外尚无统一的标准方法，当前多用弹塑性理论为基础的数值解法。一般常用有限单元法，能在每个开挖阶段计算出应力、位移和围岩的稳定性等，给出实际设计、施工阶段的信息。但由于不能准确地决定围岩物理力学性能的取值，因此还没有达到能用计算解决所有设计项目。近似解析解法或称理论分析法，一般都在某些假设条件下才能进行分析，所以计算中不能要求高精度的计算模型和计算方法。

由于目前尚无计算和评定围岩稳定性的标准方法，因此除计算以外，应结合工程类比法，参照过去施工实例，选取条件非常类似者来确定合适的支护参数。并且在施工现场进行监控量测，查验施工阶段围岩稳定情况，以便为修正设计提供依据。

计算复合式衬砌时，初期支护应按主要承载结构用上述计算方法验算。二次衬砌用于IV类及以上围岩时，由于围岩具有自承能力，变形量小，初期支护作为永久结构可保持围岩稳定，因而二次衬砌可按工程类比法选定厚度，衬砌结构作为安全储备，不必验算。对于III类及以下围岩，二次衬砌应按承载结构进行力学分析。但目前尚无统一计算方法，一般先推算围岩压力，再用荷载-结构模式计算衬砌应力。推算围岩压力的方法，如假定初期支护喷层开裂，锚杆腐蚀使轴力松弛，将产生初期支护向二次衬砌传递围岩压力。也有采用围岩蠕变推算围岩压力的方法等。

第7.1.4条 规范表7.1.4是参照国标《锚杆喷射混凝土支护技术规范》(GBJ 86—85)拟定的。此表主要依据国内一些地下工程测试实例，并参照国内同类资料拟定，具有一定的实用性。但由于工程实践的时间和数量的限制，特别是岩层性质的多变性和复杂性，表内所列数据不可能很准确，因此允许在施工实测中根据资料进行适当修正和补充。

第7.1.5条 对刚架、拱式超静定结构、大跨度隧道和截面厚度大的衬砌结构，应注意温度变化和混凝土收缩的影响。由于温度变化及混凝土收缩引起的变形将产生截面内力，如连续刚架式棚洞对温度变化及混凝土收缩均很敏感，以往设计曾考虑了该

部分应力。

本条文关于混凝土的收缩应力和徐变应力的影响，可作为湿度的额外降低考虑，系参照桥规拟定。混凝土收缩的原因，主要是由于水泥浆凝结而产生，也包括了环境干燥所产生的干缩现象。

本条中钢筋混凝土和混凝土的线膨胀系数按《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)第9条规定给出。

第7.1.6条 本条对隧道衬砌和明洞混凝土偏心受压构件的偏心距规定的用词由“应”改为“宜”，其理由是：

1. 当检算衬砌截面强度时，应同时满足安全系数和偏心距的要求。但在一般情况下，由于安全系数易于满足，而偏心距往往超出限值，这时，由于衬砌内轮廓受隧道限界限制，拱轴线不易调整，为了满足偏心要求，因此需加厚衬砌截面，这是不合理的。

2. 隧道衬砌刚度大，且衬砌背后一般均回填密实，衬砌结构不会因偏心大而失去稳定。

3. 以往衬砌计算时，实际算得的偏心距略超出容许偏心距亦未出问题，这主要是衬砌使用阶段与破坏阶段有距离，故在衬砌使用阶段不容许出现裂缝的前提下，偏心距没有必要作过严的限制。

目前国内地下建筑混凝土衬砌设计时，很多部门和单位均不计偏心。本规范对衬砌截面的偏心距仍作出规定，目的是使衬砌结构形式选择合理，以充分发挥混凝土的抗压能力。因为当偏心距超过一定数值后，衬砌截面系抗拉强度控制，而混凝土的抗拉强度远远低于其抗压强度，随着偏心距的增加，衬砌截面的承载能力将显著降低，故满足了强度要求外，对偏心距也应适当加以控制。当衬砌截面强度符合要求，而偏心距超出规定较多时，宜适当调整拱轴，使衬砌结构形式趋于合理。如拱轴不能调整，则可放宽偏心要求，而不宜加厚衬砌截面。

第7.1.7条 当基底围岩过于松软时，根据具体情况的需要，

有先做仰拱，稳定坑道底部，然后再建边墙的施工方法，此时，应考虑仰拱对隧道衬砌和明洞结构内力的影响。如果仰拱在边墙之后修建，一般不需计算仰拱的作用。但若遇到在隧道竣工后，围岩压力增长较显著的地层，则亦需考虑仰拱对结构内力的影响。

模筑衬砌考虑仰拱对结构内力的影响时，边墙基底和仰拱按作用在弹性地基上的结构考虑，边墙基底由于垂直方向的刚度很大可按弹性地基上的刚性梁计算，仰拱可按弹性地基上的曲梁计算。地基反力的分布情况，可采用局部变形理论计算确定。

第7.1.8条 关于混凝土和砌体结构构件偏心受压截面的计算，本规范参照《砖石结构设计规范》(GBJ 3—73)及《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)对受压构件强度计算的规定，将混凝土和砌体矩形截面构件中心受压、小偏心受压及大偏心受压截面强度的计算统一为一个计算公式，即式(7.1.8)。式中以偏心影响系数 α 表达不同偏心距对受压构件承载能力的影响。

关于混凝土和砌体构件的 α 值，国内外做过的试验研究不多，本规范 α 值就是在目前试验研究还不够充分的情况下，综合国内外试验资料，并吸取国内铁路隧道设计的经验拟定的。现说明如下：

《砖石结构设计规范》(GBJ 3—73)

$$\alpha = \frac{1}{1 + 12 \left(\frac{e_0}{h} \right)^2}$$

《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)

$$\alpha = 1 - 2 \frac{e_0}{h}$$

铁三院试验报告 $\alpha = 1 - \left(\frac{e_0}{h} \right) 1.5$

清华大学1964年研究报告 $\alpha = 1 - \frac{2e_0}{h}$ ($e_0 \leq 0.07h$ 时)

$$\alpha = \left(1 - \frac{2e_0}{h}\right) \left(0.96 + 0.56 \frac{e_0}{h}\right) \quad (e_0 > 0.07h \text{时})$$

苏联《混凝土与钢筋混凝土》杂志1971年第5期

$$\alpha = 1 - \sqrt{\frac{2e_0}{h}}$$

清华大学研究报告中的 α 值公式和苏联 α 值公式 都比较复杂，且比历来达到的 α 值都偏小，故不宜采用。

《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74) 认为，混凝土受压构件，当 $\frac{e_0}{h} = 0$ 时，承载能力 $KN = R_s b h$ ；当 $\frac{e_0}{h} = 0.5$ 时， $KN = 0$ (在不考虑受拉区混凝土的工作时)。由此两边界条件连成直线得 $\alpha = 1 - 2\frac{e_0}{h}$ ，其数值偏低。事实上，当构件在承受较小的轴向力及较大的弯矩时，出现 $e_0 \geq \frac{h}{2}$ 是完全可能的，此时构件的承载能力 $KN \neq 0$ 。

铁三院偏心受压试验小组试验报告中提出的 α 值，在实际应用范围内较所有资料都偏高，鉴于试验点少，尚难作为主要依据 (详见铁三院科技情报组1974年11月印《素混凝土单向偏心受压试验报告》)。

《砖石结构设计规范》(GBJ 3—73) 的 α 值是西南建研所依据17组共40个砖柱和砖砌体试件的试验结果，按数理统计法求得的，它虽有试验资料作依据，但从试点分布情况来看，不必以复杂的二次曲线来表达。如果将 $\alpha = \frac{1}{1 + 12\left(\frac{e_0}{h}\right)^2}$ 在 $\frac{e_0}{h} = 0$ 及 $\frac{e_0}{h} = 0.5$ 处的 α 值连成直线，则诸试验点仍在此直线两侧，这样对应更为方便 (详见西南建筑科学研究所《砖石结构设计规范中几个

问题的试验研究》1970年7月)。

针对以上分析,还考虑到:

一、以现阶段混凝土及砖石结构强度理论的水平还难以给出真实的 R_c 值和偏压时的 R_c' 值,所以目前修订规范还得参照以往经验数据。原规范公式,除很多试验证明在 $0.225h$ 附近 α 值偏高外,其余 α 值在没有充分依据时不宜大增大减,也就是要适当考虑规范的历史延续性。

二、由于隧道衬砌及明洞所用材料有混凝土也有砌体,而砌体与混凝土偏压构件强度计算写在本规范的一章中,故两者的 α 值最好采用同一数值简化。而两种材料虽然性质不同,破坏机理也不一样,但从试验数据来看,结合经验分析,二者也可以统一起来的。

根据上述理由,本条将(GBJ 3—73)的二次曲线的始点和终点连成直线,即以 $\alpha = 1 - 1.5 \frac{e_0}{h}$ 作为混凝土及砌体圬工的偏心影响系数(表7.1.8 2中所列 α 值即据此计算得出)。这样处理,在实际应用范围内 α 值大部分在钢筋混凝土和砖石结构设计规范规定值之间,和西南建研所的砖石构件试验结果也基本符合。

从以上所述来看,采用规范式(7.1.8)计算偏心受压构件的抗压强度是比较切合实际的,但也存在如下问题:

一、将偏心影响系数 α 与纵向弯曲系数 ϕ 结合起来而得的式(7.1.8),尚无直接试验资料。

二、尚缺乏有关混凝土和砌体相互关系的资料。

规范表7.1.8-1中所列纵向弯曲系数 ϕ 值,系参照(TJ 10 74)及(GBJ 3—73)拟定。

第7.1.9条 为与《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)取得一致,采用1.75。为计算方便,本条对混凝土矩形截面偏心受压构件按本规范给出的混凝土抗压、抗拉极限强度(R_c 、 R_t)、安全系数及偏心影响系数值,导出压强控制与拉强控制的分界偏心 e_0 取 $0.2h$,此控制分界偏心的意义不是受拉区或受压区

先破坏的实际分界偏心，而是判别抗拉或抗压控制的分界偏心。它不是依据试验得到，而是通过计算求得的，它的数值随 $N_{压} - \frac{e_0}{h}$ 及 $N_{拉} - \frac{e_0}{h}$ 曲线不同而不同，也随拉、压安全系数的比值及 $\frac{R_a}{R_t}$ 不同而变化。在此控制分界偏心处，抗拉和抗压承载力相等；在此分界偏心的两侧分别为抗压控制承载能力或抗拉控制承载能力（图7.1.9）。详见《铁路标准设计通讯》1974年8期所载“对混凝土及石砌衬强度检算方法的探讨”一文。

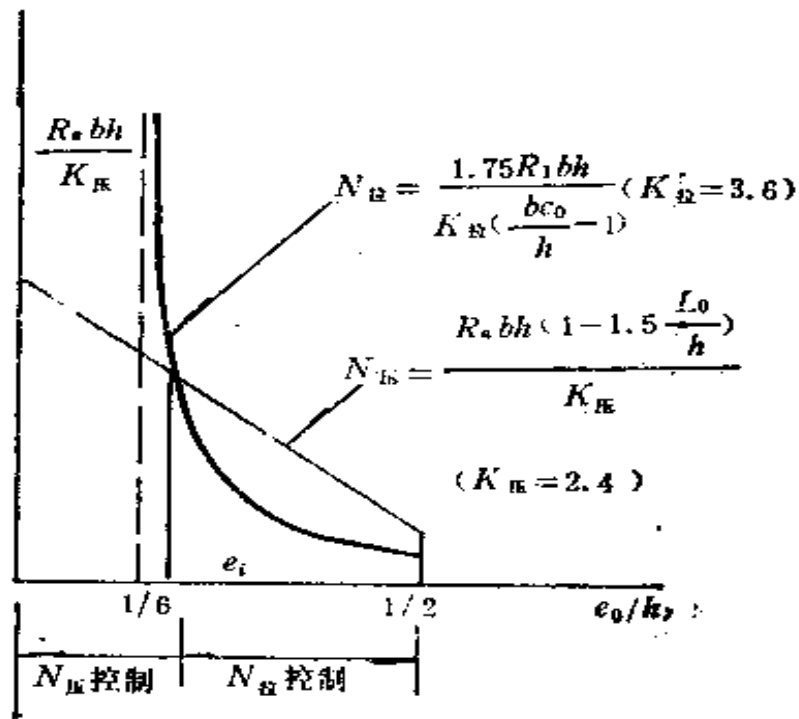


图 7.1.9

第7.1.10条 混凝土间歇灌注或边墙用砌体、拱圈用混凝土的拱脚截面，与砌体构件截面相似，可按砌体截面考虑，仅需检算其抗压强度。理由是：对砌体构件，如果也象混凝土构件那样，按第7.1.9条规定进行抗裂要求检算，则其承载能力很低。将是很不经济的。事实上砌体灰缝开裂并不影响结构的使用，如果砌筑质量不好，灰缝处就已存在裂缝了，故本规范规定，砌体

偏压构件只检算抗压强度，并按第7.1.6条控制偏心距 ($e_0 \leq 0.3h$)，使裂缝开展不致过大。

第7.1.11条 规范表7.1.11条中I级钢筋的配筋率是根据《铁隧规》的规定给出的，5号钢筋及II级钢筋的截面最小配筋率与《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10-74)规定相同。

第7.1.12条 本条的说明可参见本规范附录IV及《条文说明》附录的说明。

第二节 明洞计算

第7.2.1条 明洞结构的强度安全系数，本规范取与隧道衬砌相同的数值。其理由是明洞属于半隐蔽结构，其结构变形受周围地层的约束小，且有冲击荷载作用的可能，从这一不利因素看，明洞安全系数应比隧道衬砌取值大。但明洞有利因素是：外荷载较为明确，结构计算图式与实际情况比较接近；采用明挖法施工，施工条件较隧道好，圬工质量易于保证，从这一方面看，安全系数取值可比隧道衬砌小。综合以上有利及不利二方面因素考虑，其有利因素起主导作用，故对明洞取与隧道衬砌相同的结构强度安全系数值是较合适的。

第7.2.2条 当围岩对洞身有约束作用时，则应同普通隧道一样考虑围岩弹性抗力。同样，明洞洞身的内力计算亦应视结构及荷载特点，分别按隧道衬砌或其他结构分析方法确定之。

第三节 洞门计算

第7.3.1条 作用在洞门上的外力，主要是土压力，因此洞门可视为挡土墙，与路基挡土墙一样，根据现行《公路路基设计规范》(JTJ 013—86)中有关挡土墙设计的规定，洞门墙的强度计算应采用分项系数的极限状态设计法，为此一切有关强度计算公式和计算用参(系)数、符号以及计量单位等均应符合该规范的要求。

规范表7.3.1所列洞门墙检算要求与路基挡土墙检算要求是

统一的。洞门墙检算时，一般以压应力及偏心距两个条件控制，但遇高洞门墙（包括洞口路堑高挡土墙）时，为避免拉应力过大，设计时还需适当控制截面拉应力，此控制拉应力可按本规范表4.2.2中的 R_1 值或表4.2.4-2.3中的 R_1 值给以适当的安全系数（建议取1.5~2.0）拟定。

基底偏心距 $\leq \frac{B}{4}$ 一般均易满足，并不控制设计。

第7.3.2条 规范表7.3.2中第2、3、4项为地层的物理力学指标，系参照本规范附录1表3，第5项为考虑到洞门地基容许承载力按仰坡区分难以确定，故本条改列基底设计控制压应力指标。该指标在一般地质条件下，不会超过地基实际承载力，且根据以往洞门设计实践，采用此指标控制基底应力是可行的。但遇特殊情况，如黄土，坡度很陡，地基承载力却不大，此时应按地基实际承载力确定，而不能用品表7.3.2中的数值。

表7.3.2中仰坡坡度1:1和1:1.25的基底控制压应力，当基底为石质时取大值，为土质时取小值。

第四节 构造要求

第7.4.1条 规范表7.4.1规定的截面最小厚度，主要是从各种材料施工要求出发，使施工质量得以保证考虑的。

辅助坑道需要衬砌时，其截面最小厚度亦应符合表7.4.1规定。

第7.4.2条 扩大基础台阶的坡线和竖直线之间的夹角 α 的容许最大值随基础材料种类而异，根据国外的试验资料及国内1954年以来挡土墙设计方面的使用经验，本条采用的 α 角，混凝土为 45° ，砌体为 35° 。

从公路部门的实践来看，原《桥规》中 α 角，混凝土为 35° ，石砌为 30° 的规定是比较保守。自1966年以来，《桥规》也已打破这种规定，采用混凝土为 45° ，石砌为 35° 。

第7.4.3条 锚喷支护有关设计参数，是按国标《锚杆喷射

《混凝土支护技术规范》(GBJ 86—85)拟定的。详细可参照1985年《铁路隧道设计规范》(TBJ 3—85)第9.3.3条条文说明。

喷射混凝土的厚度，是考虑混凝土收缩较大，层厚小于5cm时，石子含量少，更易引起收缩开裂。同时，过薄的喷层控制围岩变形或抵抗可能发生滑移的能力低，因此常出现局部开裂或剥落现象。近年对锚喷支护现状进行调查的结果表明，喷层出现局部开裂或剥落的，绝大多数厚度在2cm左右。由于施工时喷射厚度较难准确掌握，故希望层厚不小于5cm。

喷射混凝土厚度也不宜过大，一般不要超过20cm。若喷层过厚（特别是在紧跟开挖，一次即施工很厚的情况下），会因刚度过大，对围岩变形约束过强，而使喷层招来较大的形变压力。如果认为采用薄层喷射混凝土支护把握不大，可以采用加设锚杆或调整锚杆参数来加强。一味采用加大喷层厚度的方法来提高支护的可靠性，则既不经济又达不到预期的安全要求。

采用钢架时，可选用H型钢、II型钢、钢管或钢筋弯制成的花拱钢架以及用其他轻型钢材制作的各种型式钢架，其背面向着围岩，必须利于喷射混凝土充填，同时要求钢架的混凝土保护层不少于4cm。

关于锚杆长度，通过国内地下工程112个工程实例统计，在不同围岩类别和不同跨度，一般为1.5~3.5m，适合公路单车道，双车道隧道。

锚杆间距主要指系统锚杆的间距。根据工程经验，为使一定深度的围岩形成承载拱，锚杆长度必须大于间距的两倍，因此规定系统锚杆间距不宜大于其长度的1/2。但锚杆长度超过2.5m时，不宜按上述规定办理，因为锚杆间距太大，锚杆间的岩石可能失去必要的咬合和联锁，所以一般规定锚杆间距不大于1.5m。

第7.4.4条 隧道建筑结构多与围岩（或土壤）直接接触，其所处的环境不同于一般地面结构，加之施工条件差，质量不易保证，如混凝土保护层薄，由于绑扎钢筋的误差，将不能起到保

护钢筋免遭锈蚀的作用。尤其汽车排放出的油烟等易沿衬砌裂纹侵入，故其混凝土保护层厚度就较地面钢筋混凝土结构规定略大。

规范表 7.4.4 所列混凝土保护层最小厚度，系根据铁路隧道经验，和《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)第 142 条的规定拟定的。

考虑到明洞一般多系洞口接长明洞，即使独立明洞，长度也不会很长，行驶汽车时受油烟中有侵蚀性介质的影响不大，故可采用非侵蚀性环境栏内数值。

对于不与围岩（或土壤）直接接触的钢筋混凝土构件，其保护层厚度可较表 7.4.4 规定值适当减小。

钢筋混凝土构件中的钢筋构造要求可参照现行的国标《钢筋混凝土结构设计规范》、《钢筋混凝土工程施工及验收规范》等规定执行。

第八章 防水与排水

第一节 一般规定

第8.1.1条 隧道渗漏水长期作用，可能造成隧道侵蚀破坏。围岩有地下水并具侵蚀性的情况下，对衬砌和隧道设备的腐蚀性更加严重。路面积水，行车环境恶化，降低轮胎与路面的附着力。寒冷地区，尤其是严寒地区，反复的冻融循环，在衬砌内部造成衬砌混凝土冻胀开裂破坏；在衬砌与围岩之间，造成冻胀，引起拱墙变形、破坏。拱墙上悬挂冰柱、冰溜，侵入净空。在隧底，可能冻起，并形成冰坡、冰锥，使行车滑溜，直至无法通过。各种附属结构及设备，由于绝缘、防锈、防蚀等等的要求，隧道不渗水是其正常工作的必要条件。因此，通过隧道排水与防水，使隧道衬砌不漏不渗，无论南北方，都是保证隧道能否长期使用、保证行车安全的重要条件。

第8.1.2条 隧道的水害、冻害是由洞内、洞外的多种条件决定的，影响因素十分复杂，所以决不能靠单一的办法就能奏效，而是要依靠综合治理的办法，有机配合，才能达到目的。其中排是主要的积极的办法，这是多年来隧道治水的经验总结。

“防”，是指衬砌抗渗和衬砌外围防水，包括衬砌外围防水层和压浆。

“排”，是指使衬砌背后空隙及围岩不积水，减少衬砌背后的渗水压力和渗水量。

“截”，是从地面截走，减少地面水下渗；从地下采取导坑、泄水洞、井点降水等截水措施，减少地下水流向衬砌周围。

“堵”，采用注浆、喷涂、嵌补抹面等方法堵住渗水裂缝、空隙、裂缝。

第8.1.3条 隧道防排水基本要求说明如下：

一、洞内、洞外防排水系统是有机联系的，应该形成一个有机的排水系统。

二、拱部不滴水这个要求是指拱部只出现“渗”的现象，地下水只从衬砌外向内渗，使衬砌内出现面积大小不等的润湿，但水仍附着在衬砌的内表面。

边墙不滴水是指不因漏水现象出现水连续顺边墙内侧流淌而下的状况。

对一般地区，不滴水可放宽至间断滴水或不滴水成线即可；对寒冷地区或严寒地区或地下水有侵蚀性时，则要求严，做到不渗水。

路面不冒水，也即不涌水，不产生有一定压头的水在路面处外冒。路面冒水、积水，不光影响行车，也会引起路面基层下翻浆冒泥和下沉，造成路面开裂下陷，引起水沟、人行道变形隆起，倾斜开裂破坏。

三、在冻害地区，隧道衬砌后，冻结范围内如积水，必然造成衬砌后的冻胀；而如果排水沟冻结，将造成整个隧道的冻胀病害。如果能做到衬砌背后不积水，排水沟不冻结，衬砌拱部和边墙基本不渗水，则隧道冻害就可消除。

四、汽车专用公路隧道，对行车环境、防水、防蚀、绝缘要求比一般公路隧道要高，故要求隧道内达到不渗水的地步。

第8.1.4条 排水造成公害的方面有二个，一个是将隧道所在地区原有的地下水、地面水排走，影响农田灌溉和使地下水位下降，改变该地区的自然环境，甚至使建筑物沉降；影响人民群众生活，包括生活用水的正常供应。另一个是排出污水、污泥、侵蚀性有害水造成下游或隧道下方的公害，如堵塞河道，下游水质污染，影响当地工农业生产和当地人民生活用水质量。以往由此而引起的教训和赔款都是很大的。

第二节 防 水

第8.2.1条 围岩地下水的来源大部分由地表水补给，所以

防止或减少地面水的往下渗漏，是减少围岩的渗漏水或涌水的重要措施。

采取的措施宜因地制宜，灵活应用，综合治理。洞顶截排水防水设施本身应该是抗渗漏的。

第8.2.2条 通过钻孔或通过压浆管向围岩内预压浆，达到止水和加固围岩的目的，往往应用在不良地质围岩中，如含水堆积层、含水断层（挤压）、破碎带等。

将不透水的凝胶物质（防水材料）通过钻孔注入扩散到岩层裂隙中，把裂隙中的水挤走，并堵住地下水的通路，减少或阻止涌水流入工作面或衬砌背后，同时还起到固结破碎岩层的作用，从而为开挖和衬砌创造较好的条件。

一般可采用水泥浆液（水泥砂浆或水泥浆）或水泥与水玻璃浆液、铬木素浆液（纸浆废液）等。当围岩涌水量大，水泥浆液难于止水与固结时，应采用化学浆液，如水泥-水玻璃、水玻璃-铝酸钠、铬木素-丙烯酰胺等缩短凝结时间，提高渗入能力和凝结强度。向衬砌背后空隙压浆，目的是填充空隙和围岩裂隙，堵水加固；形成衬砌外围的堵水防水加固充填层，并改善衬砌与围岩的结合。

为了防止因压浆而堵塞衬砌背后的排水设施，在灌注衬砌并回填时，应预先在排水设施两侧仔细设置片石混凝土或浆砌片石挡浆墙。

第8.2.3条 隧道工程地质条件与相应的施工方法，与隧道衬砌的防水方法直接有关，如围岩条件很差，岩体面涌水很大时，又没有预压浆固结，则外贴式防水层几乎做不成。就本条规定说明如下：

一、为了防水抗渗，衬砌混凝土不光要求有一定的强度，如15号~20号以上，同时也要求一定的抗渗标号，寒区不宜低于S6，一般地区不宜低于S4。这不光取决于混凝土的配合比设计（适当掺入附加剂），更重要的是在混凝土浇注过程中的施工、震捣质量。掌握好这二个环节，满足目前混凝土强度标号的情况

下，是容易达到它相应的抗渗标号的。这是衬砌防水抗渗的积极有效的方法。

由于衬砌背后已采取了排水、堵水措施，所以实际渗入衬砌的水压头不大，因此达到了抗渗标号的混凝土衬砌是可以满足不渗水要求的。

二、衬砌设计、施工中的各接缝（工作缝、伸缩缝、变形缝）防水防渗应采取专门的加强防水措施，是指不做一般的平缝。根据围岩地下水出露等具体情况，除按施工技术规则要求处理接缝外，应分别采用 L 型、企口型、铁皮或钢板型施工缝；橡胶或塑料止水带，沥青麻筋、防水砂浆等组成的止水变形缝。用防水砂浆、膨胀水泥配制的封顶封口防水混凝土等。

三、防治衬砌渗漏水，如以敷设衬砌内、外防水层，予以辅助或补救，则应根据衬砌后围岩涌水量的大小、分布地段等，采取引排措施，减少流向衬砌的地下水，消除外贴或内贴防水层的水压头，使其能够起到较好的防水效果。

一般衬砌内贴式防水层，因施工时衬砌内面免不了有水的影响，附着力和防水效果都不是很理想，故大部分在养护单位使用，作为最后局部渗漏水的补救措施。而外贴式防水层主要在明洞和明洞暗洞交接处，一般衬砌中只局限用在稳定围岩中的局部衬砌漏水。外贴式防水层虽然效果较好，但其施工作业空间狭窄、不安全；作业环境恶劣，铺设质量不易保证，造价也高，失效后难于维修。

当工程地质条件和施工单位施工条件适宜时，隧道衬砌可修建复合式衬砌，采用夹层防水层，能够收到良好的防水效果。夹层防水材料常用的是聚乙烯膜或板，或其它复合材料。

隧道附近水源的水渗漏到隧道中来，会直接影响当地农田灌溉及生活用水，也会影响当地的自然生态环境，由此而造成的农业减产损失，造成的经济赔偿损失往往是很大的。如何防止？实际上是个困难的工作。条文中“应当采取适当的措施”，宜根据设计隧道具体情况处理，有待进一步总结经验。一般地区，可对

衬砌混凝土防水、压浆止水、压浆堵水采取严密加强的措施；或规划替代水源。

第三节 排 水

第8.3.1条 隧道洞顶地形、地质、气象情况是影响洞顶排水方式的重要因素。实际设计时，应结合隧道具体情况，注意既有利于隧道上部的疏水、截水、引水，将地面水引排于隧道以外，减少下渗，也应考虑当地农田水利、灌溉、人民生活上的需要。

第8.3.2条 洞内排水的有关规定说明如下：

一、《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)规定隧道最小纵坡为0.3%，是为了排水的需要。洞内纵向排水沟坡度尽可能与隧道底坡度一致，避免加深或减小边沟深度，保持流水沟的正常断面。具体掌握一般不小于0.5%；困难地段隧道排水沟要铺砌，最小流水坡不小于0.3%。在隧道路线纵坡变坡的分坡范围内，由于是流水起始点，流量一般不大，且分坡范围的距离一般不长，减小坡顶水沟深度可作为特殊情况处理。

规定路面横向最小排水坡1.0%，路面下横沟最小排水坡2.0%，是为了加快路面及横沟的横向排水速度，防止路面积水，避免隧底积水。

二、由于公路隧道往往要设置人行道或0.25m以上的余宽及路缘带，公路隧道横向净宽一般都在7.50m以上，故一般宜设置双侧水沟。这样也有利于维修和交通安全。有仰拱的隧道或需要设置深埋水沟的隧道，为了避免过深的墙基深度和过低的仰拱底开挖标高，宜设置中心水沟。

如根据工程地质条件和水文状况设置单侧水沟时，可将单侧水沟设置在地下水来源的一侧，并是路面低侧，这样有利于汇集路面及围岩地下水。如经过技术经济比较，单侧水沟节省工程量不是很大时，仍采用双侧水沟方案。

进水口包括隧底进水孔的设置可密些(0.5~1.0m)；墙侧进水孔可间隔5~10m设置，可设泄水孔、泄水管等与墙侧盲沟相连。

三、寒冷和严寒地区排水设计是一个特殊的问题。只要使纵向排水沟和出水口不冻结，衬砌背后不积水，整个隧道形成一个通畅的防寒排水系统，则隧道就不致产生冻胀破坏，出现大的冻害，如侧墙内移、衬砌冻裂，衬砌表面挂冰、冰柱、冰溜、路面冻起和冰锥等冻害。

由于影响隧道内的气温、水温的因素较多，现在确定防寒水沟的形式和长度主要根据工程类比，按当地最冷月平均气温和当地冻结深度、隧道长度、跨度，参照邻近的或其它地方的类似隧道分析判断。

寒冷地区，最冷月平均气温在 $-10^{\circ}\text{C} \sim -15^{\circ}\text{C}$ 之间，当地粘性土冻结深度 $1.0 \sim 1.50\text{m}$ 范围内，在洞口段 $300\text{m} \sim 500\text{m}$ ，可采用双侧保温水沟，水沟不必专门加深。

严寒地区，最冷月平均气温在 $-15^{\circ}\text{C} \sim -25^{\circ}\text{C}$ 之间，当地粘性土冻结深度 $1.50 \sim 2.50\text{m}$ 范围内，在洞口段采用中心深埋水沟，将水沟埋置于洞内相应的冻结深度以下，利用正地温达到水沟内水流不致冻结。一般是这样考虑的：

1. 短于 1km 的隧道，中心沟的埋置深度可按当地砂性土最大冻结深度考虑。

2. 长于 1km 的隧道，洞口段 $400 \sim 500\text{m}$ 范围内，中心沟埋置深度可按当地砂性土最大冻结深度考虑；洞内其余部分可按当地粘性土最大冻结深度考虑。当然如能实测隧道内气温和冻结深度来确定中心沟的埋置深度就更理想。

严寒地区，最冷月平均气温低于 -25°C ，当地粘性土冻结深度大于 2.50m 时，如采用明挖中心沟时，埋深过大，施工困难，且有可能影响边墙和隧道的稳定时，可在主隧道下设置防寒泄水隧洞。在这类气候区，有些隧道围岩冻深达 5m 以上，接近或已在多年冻土区内，还需利用泄水洞作为冬季贮冰用，以便夏季融化或清除。这样断面较小的中心沟过水断面就无法解决。

泄水隧洞设置位置应低于当地围岩最大冻结深度，并且不因隧洞施工影响主隧道隧底围岩及结构稳定。

隧道内其它各项配套排水设施，也不能忽视。竖向盲沟，除在隧道围岩的出水部位要修筑外，应根据具体情况，按一定间距布设，以预防隧道营运期间衬砌背后围岩水文状况的改变。保温出水口也要修好，不致在冬季冻住，造成洞内涌水涌冰。这一点往往被忽视。

总之，只有使隧道内外形成一个通畅的防寒排水系统，才能达到隧道防冻，确保隧道衬砌及行车安全。

第8.3.3条 围岩排水有关规定说明如下：

一、该条第一点规定是适应于围岩地下水较少，出露比较集中的隧道。但也应注意隧道衬砌修好后，围岩水文状况还会改变的地段。

二、围岩地下水量较大，出露面广时，除出露处应该设置环向盲沟（包括拱部的环向盲沟和墙部的竖向盲沟和路面下的横向排水沟组成的环）外，还应按水量大小、出露面广度，控制环向盲沟间距，一般为10~30m，以适应衬砌施工后衬砌背后水文状况的改变。必要时设置竖向盲沟顶的集水钻孔。设置纵向盲沟，使环向盲沟之间的水也能得到通畅的疏导。

三、地下水水压较高、水量很大时，仅依靠盲沟和中心深埋水沟已不足于排泄丰富的地下水时，就要对衬砌形成水压，造成渗、漏水，故应根据实际情况利用或设置辅助坑道、泄水洞等作为截、排水设施，降低地下水位，尽可能使隧道处于地下水位线以上。

第8.3.4条 洞内地下水有侵蚀性，如含盐、含碱、含硫、含硫酸根离子较多时，以及隧道施工时排出的污泥浊水和大量废液，都可能严重污染附近环境，应采取适当措施防止隧道排水造成环境污染。如：（1）处理后排水；（2）排入地下，渗透过滤；（3）污泥浊水沉淀后排放；（4）先规划后堆放，如集中堆放至山谷、池沼，然后改造成良田。

第8.3.5条 不设排水沟的隧道长度，一般地区可控制在100m及以下；干旱地区可控制在300m及以下。

第四节 洞口及明洞防排水

第8.4.1条 洞口排水系统应是不渗漏的，才能起到截排水的作用，并将洞口边、仰坡地表水引出洞口以外。边仰坡也宜采用不渗漏的防护措施，防止坡面水下渗和边仰坡的冲刷，因此水沟宜用浆砌片石砌筑，再以水泥砂浆勾缝或抹面。仰坡也可根据情况采用浆砌片石防护或喷射混凝土、喷射砂浆防护。

第8.4.2条 洞外的水不宜流入隧道，是为了保证隧道的正常运行有一定的安全度。

洞口横向排水，一般只在傍山隧道时才可能出现。当出口方向的路堑为上坡时，一般可沿路线方向反坡排水；当地形条件限制，反坡排水有困难时，最好在隧道口设置有流水篦的横向路面截水沟，使洞外路面水不流入隧道中去。必须通过隧道排水时，水沟应保证有足够的过水断面和相应措施。

当有部分路堑水通过隧道时，洞口边沟沉砂井是必不可少的。

第8.4.3条 明洞顶受地表水及径流的影响比较大，如不设截排水系统，容易产生坡面冲刷，产生坍塌，甚至由于水的下渗浸泡回填料，增加明洞荷载。为了保证明洞结构安全、稳定与耐久，明洞顶应设置必要的截排水防护系统。

第8.4.4条 明洞边墙顶和边墙后设置纵向、竖向盲沟，是为了汇流围岩地下水和明洞顶渗入的地面水。

第8.4.5条 明洞与暗洞接缝处的防水，应注意将接缝处局部衬砌混凝土加厚0.05m以上，注意振捣密实，并将明洞外贴式防水层伸入暗洞衬砌外缘1.0m以上，使其搭接粘结良好。

明洞设置外贴式防水层是防水效果显著的防水措施。明洞填土上的隔水层与防水层应注意与开挖边坡搭接良好，以免填土与边坡的搭接处形成水流的通道，渗透与软化回填土体与交界面，产生回填土体的滑移。

第九章 通风、照明与供电

第一节 一般规定

第9.1.1条 部颁《公路工程技术标准》(JTJ 01—88)第8.0.5条对隧道内部通风、照明设施提出了明确的要求:隧道内应根据需要设置机械通风设备和照明设备。

由于隧道净空的限制,隧道的通风和照明应充分考虑到远期营运的交通需求,对于近期不需要机械通风和照明,而交通量增长后需设机械通风或照明设备的隧道,应预留空间或预埋件等,并采取合适的先期措施,保证隧道长期安全、有效地营运。

第9.1.2条 隧道内通风与照明的效果是相互影响的。国内某隧道的通车试验表明:当烟雾浓度很大,其透过率低于30%时,地面平均水平照度为46lx时的视距反而比地面平均水平照度为24lx时的视距要小,对前方同一目标的观察清晰度反而降低。

实验测得100m煤烟透过率、视距和照度的关系如表9.1.2。

煤烟透过率、视距和照度关系

表9.1.2

透过率 (%)	照度(lx)		
	46	24	13
50	133	164	141
45	153	138	129
39	119	115	107
36	110	107	97
33	62	57	51
32	61	56	48

从以上实验可以看出，过多的烟尘会影响光照效果，而通过通风稀释隧道内的烟雾可以提高能见度。

第二节 通 风

第9.2.1条 隧道内保持良好的空气是行车安全的必要条件。研究资料表明：隧道内空气中的有害物主要是汽车行驶时排出的CO，对人体最有危害。另外，隧道内汽车行驶排放或带起路面上的烟气和粉尘等，都会在隧道内造成空气污染，影响行车的安全。

通风设计应考虑的因素很多，只有充分考虑到各种因素在营运期间造成的最不利影响，综合分析后才能制定出相应的最经济、有效的通风设计方案。

隧道的长短、纵坡以及隧道在平面上的线型，对通风都有直接的影响。

交通状况主要包括车辆流量及车种组成，上、下行数量和变化规律等，另外也包括行人密度。

另外，隧道内的温度和湿度等因素也对隧道的通风产生一定的影响。

第9.2.2条 汽车排出的气体，包含有一氧化碳、氧化氮、碳化氢、氧化硫、醛、铅等对人体有害的成分。其中，一氧化碳由于其高度毒性，且在排气中所占含量极大，是最危险的成分。另外，柴油机车排出的煤烟（游离碳素等）不仅造成隧道内能见度下降，影响舒适度，而且也影响健康。

隧道是一个管道式的空间，通常只有进出口与大气相通，污染物很难扩散。当隧道内污染空气积累到一定程度后，就会对人体造成危害，影响行车安全。由于汽油车和柴油车排放污染物的形式不同，所以需要分别讨论CO和烟雾的容许浓度。

不同浓度的CO对人体的影响见图9.2.2。

国内某研究单位提出和图9.2.2类似的情况，用CO浓度 C (mg/l)与接触时间 T (h)的乘积来估算CO急性中毒的程度。即：

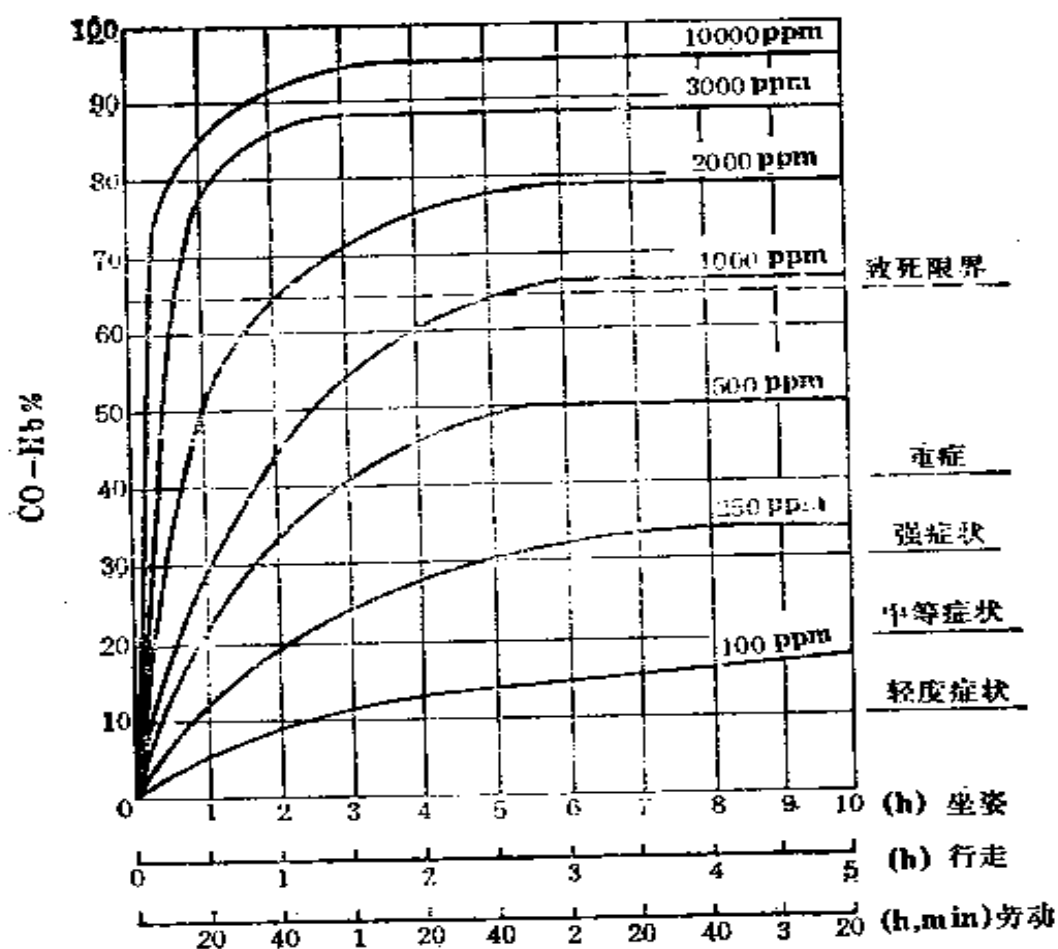


图9.2.2 不同浓度CO对人体的影响

当 $C \times T \leq 0.35$ 时，无中毒症状；

当 $C \times T \leq 0.7$ 时，刚出现微弱中毒症状；

当 $C \times T \leq 1.0$ 时，出现头痛和恶心等中毒症状；

当 $C \times T \geq 1.7$ 时，发生休克、严重中毒、死亡。

CO 浓度与接触时间与人体反应情况见表9.2.2-1。

据国外研究资料介绍，CO 浓度为250ppm 时，人员静坐一小时或步行半小时所形成的氧碳血红蛋白饱和度均接近，但不超过10%（无中毒症状）。

中国工业卫生国家标准、日本产业卫生学会及美国工业卫生局各规定了在一天8h，一周48h 时作业中接触有害物质（CO）的允许浓度如下：

中国：30mg/m³，折换为24ppm CO 浓度；

CO浓度与接触时间及中毒症状

表9.2.2-1

CO浓度(ppm)	接触时间(h)	症 状
100	6	有特殊感觉,但尚可忍耐
300	1	头痛、头重
500	1	晕眩、中等程度头痛
700	1	头痛较重,手足有麻木感
1000	1	能忍耐,但1h即危险
1500	1	危险
2000	1	危险
3000	30min	死亡
5000	10min	死亡

日本: 50ppm CO 浓度;

美国: 50ppm CO 浓度。

其中日本和美国还规定了在短时间(15min)的允许浓度为400ppm。

从以上对比可以看出,我国卫生标准的CO允许浓度要求比日本、美国定的都要高。

在隧道内的控制室和休息室等人员需要长期停留的空间,应符合国家卫生标准,CO允许浓度为24ppm。

公路隧道有其特殊的卫生要求,不仅要考虑人的生理忍耐能力,还要考虑到隧道内的行车安全和舒适性。CO允许浓度各国都有标准,其中:

瑞士采用的标准:

短于1km的隧道,CO浓度小于250ppm

长于3km的隧道,CO浓度小于200ppm

英国采用的标准:

CO浓度低于250ppm

我国交通部颁布的《公路养护技术规范》(JTJ 073-85)

第5.6.1条规定的CO浓度标准(在养护条件下)为100ppm。

1971年国际道路协会常设委员会(PIARC)推荐的CO允许浓度为:

山岭隧道 正常状态150ppm

阻塞状态250ppm(15min)

日本道路隧道手册CO与煤烟浓度的设计值如表9.2.2-2。

表9.2.2-2

道路等级	CO浓度	煤烟浓度(100m通过率)
一、二类	100ppm	50%
三、四类		40%

国内在几个隧道设计中采用的CO设计浓度值如表9.2.2-3。

表9.2.2-3

隧道名称	长度(m)	设计车流量(辆/h)	车行方向	CO浓度(ppm)	备注
上海××隧道	2761	530	双向	100	全横向式通风
上海××隧道	1750	420	双向	100	全横向式通风
太原××隧道	961	300	单向	100	全横向式通风
沈阳××隧道	1487	400	双向	100	半横向式通风
新疆×××隧道	1700	400	双向	150	半横向式通风
福建××隧道	1000	228	单向	100	自然通风
深圳×××隧道	2257	5000辆/口	暂为双向	100	全横向式通风

我国公路隧道通风起步较晚,从现有的机械通风的隧道来看,通风标准都已向国际标准看齐。研究资料表明,通风标准的确定,应将有害物的浓度和在此浓度下的作用时间作为直接的控制对象,在长、短隧道中进行区分。

从以上资料可以看出，各国根据不同的经济实力确定了不同的卫生标准。按我国目前的实力，标准不宜定得太高，按PIARC推荐的允许浓度比较适合。

影响隧道内行车安全，并与通风密切相关的另一个因素就是汽车行驶排放的煤烟和带进的灰尘。为了保证停车视距，必须控制烟雾浓度。隧道内的停车视距与很多因素有关，通常为综合车速、路面亮度、烟雾浓度等因素，应将烟雾浓度控制在容许标准之下，一般用光的透过率表示烟雾浓度。

透过率是光线在污染空气中的透过量与在洁净空气中的透过量之比。

$$\tau = \frac{E}{E_0} \quad (9.1)$$

式中： E 、 E_0 ——分别为同一光源通过污染空气和洁净空气后的照度。

容许透过率的大小首先取决于保证行车安全所需的可见度和适当考虑人的舒适感。

安全可见度可用驾驶员看到前方障碍物到刹车这段时间里汽车所走的距离来表示。这段距离由下述公式来计算：

$$x = \frac{V \cdot t}{3.6} + \frac{V^2}{254(\phi \pm i)} \quad (9.2)$$

式中： x ——距离(m)；

V ——车速(km/h)；

t ——驾驶员意识到需要刹车的反应时间+汽车制动机械传动的迟滞时间(s)，反应时间一般为0.3~1s，迟滞时间对于气压制动装置为0.2~0.5s，因此 $t = 1 + 0.5 = 1.5s$ ；

ϕ ——路面与轮胎附着系数，对湿沥青路面 $\phi = 0.45$ ；

i ——道路坡度(%)，上坡取(+)，下坡取(-)。

按上式计算所需的安全可见度和车速的关系见表9.2.2 4(坡度按3%计算)。

可见度与车速关系

表9.2.2-4

车速(km/h)	20	30	40	50
可见度(m)	12	21	32	44

透过率 τ 与烟雾浓度 k 的关系为:

$$k = -\frac{1}{l} \lg \tau \quad (9.3)$$

式中: τ 在隧道通风与照明中, 取 $l = 100\text{m}$, 故其容许浓度 $k = -\frac{1}{100} \lg \tau$

当烟雾浓度、透过率 ($l = 100\text{m}$) 和车速不同时, 对舒适程度的感觉也不同, 表9.2.2-5是行车速度为40km/h时, 司机对舒适水平的主观评价。

烟雾浓度与舒适性

表9.2.2-5

烟雾浓度 $k(\text{m}^{-1})$	$l = 100\text{m}$ 处透过率 τ (%)	舒适性
5×10^{-3}	60	空气洁净
7.5×10^{-3}	48	稍有烟雾
9×10^{-3}	40	舒适度下降
12×10^{-3}	30	不愉快的环境

透过率与隧道照明水平有关, 随着路面照度的增加, 透过率可乘以修正系数, 其修正值如表9.2.2-6。

透过率与照度关系

表9.2.2-6

路面照度(lx)	30	40	50	60	70	80
透过率修正值	1	0.93	0.87	0.80	0.73	0.67

世界上一些国家各自规定的隧道内烟雾浓度分别为:

法国 $5 \times 10^{-3}(\text{m}^{-1})$

日本	$(7.5 \sim 9) \times 10^{-3}(\text{m}^{-1})$
瑞士	$9 \times 10^{-3}(\text{m}^{-1})$
英国	$10 \times 10^{-3}(\text{m}^{-1})$

随着我国公路交通的日益增长，大型的载重柴油车将会越来越多，目前柴油车所占交通量已达到整个交通量的10~13%，正迅速赶上发达国家的水平，所以在公路（特别是高等级的公路）上应严格控制煤烟浓度。根据以上资料拟定在二级及以上公路隧道中烟雾允许浓度为 $7.5 \times 10^{-3}(\text{m}^{-1})$ ，三级及以下公路隧道烟雾允许浓度为 $9 \times 10^{-3}(\text{m}^{-1})$ 。

第9.2.3条 隧道通风受大气因素影响，其影响程度与通风的要求和方式有关，一般来说，自然通风受大气因素的影响最大，是由大气因素所控制，而机械通风受大气因素的影响则小。隧道通风方式的种类很多，选择时最主要的是考虑隧道的长度和交通条件，同时考虑气象、环境、地形及地质条件，选择既有效又经济的通风方式。

在选择通风方式时，首先需要决定隧道内所需通风量、然后讨论自然风能否满足需要，如果不能满足或缺乏可靠性，就应当采用机械通风。

自然通风相对机械通风是一种较简单、节约能源消耗的通风方式，在选择通风方式时应优先考虑，但受以下条件的限制：

(1)隧道两洞口高差较小，总的热压差不大；(2)隧道自然风变化复杂、不稳定；(3)隧道是双向行车，活塞风的作用不存在上述不利条件时，可利用对通风有利的因素，与机械通风并用，以利节能。

机械通风目前一般用在隧道长、交通密度大的重要隧道中。机械通风有三种，即纵向通风、半横向通风和全横向通风。国外倾向于应用纵向式通风和半横向式通风。

纵向式通风一般适用于单向行驶、长度约1500m以下的隧道。

半横向式通风一般适用于长度在1000~3000m的隧道。

全横向式通风方式普遍被认为是一种理想的机械通风方式，

但造价高，一般适用于2000m以上的长大、重要、交通密度高的隧道。

通风方式的确定，应充分考虑隧道内部及外部的各项不利因素，保证隧道的正常营运。但是，很多数据往往是不准确的，加之山岭公路隧道往往修建在人烟稀少的山区，资料收集很不容易，这样就有必要确定一个通常可以作为参考的界限值，以供工程设计人员作为参考，在设计时作为选择通风方式的依据。

根据《隧规》编写组拟定的“全国公路隧道调查表”收集的12省184座公路隧道情况表明，目前我国公路隧道的等级都较低，从二级到等外，长度从几十米到七百多米，基本上都无机械通风。采用自然通风效果不错，这主要是由于高等级公路隧道不多，交通密度不是很大，且隧道长度基本都在700m以内，连仅有的福建一级公路马尾隧道（单洞全长966m，单向行驶）也没有考虑机械通风。该隧道目前尚未通车，故采用自然通风效果如何，还不得而知。但通风充分考虑了行车“活塞风”的作用，可以说是一种大胆的尝试。

以世界各国（包括国内）一些实例来看，隧道长度在200m以下甚至200~500m时，在一定的交通量以下，可不设置机械通风设备。

另一方面，实行机械通风的隧道，一般都能满足 $LN \geq 600$ ，因此可以考虑用它作为天然换气和机械换气之间的界限。

由《城市道路设计规范》（报批稿86年）第十七章城市道路隧道第十节第17.10.4条的规定，自然通风与机械通风的界限值是 LN 为200或300（单向行驶），经过调查发现，这个标准对于我国目前的公路隧道通风标准明显偏高，这是因为城市道路车辆行驶速度偏低（相对山岭同等级公路而言），车辆怠速行驶时废气排放量偏高而引起的，显然不适用于山岭公路隧道。

对于 $LN \geq 600$ 作为机械通风与自然通风的界限值是否能适合我国公路隧道今后的发展这个问题，作了一些探讨。鉴于我国目前汽车排放废气污染尚没有一套严格的监督、管理办法，目前我国

汽车排放的废气对大气的污染要普遍大于先进国家汽车的单车排污量（先进国家汽车排放一氧化碳基本值为 $0.7\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{车}$ ，而在我国则平均达到 $0.9\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{车}$ ，甚至更高），基于这一点，界限值定为600似乎过大，但考虑随着我国交通事业的发展，大气环境将日益得到重视和保护，不久的将来必定会有一整套严格的管理制度。

根据各国的调查资料，对世界上一些有名的隧道的统计数据绘制的自然通风限界大体上可用图9.2.3中的虚线表示。图中的交通量是交通流中以小轿车为准计算的。

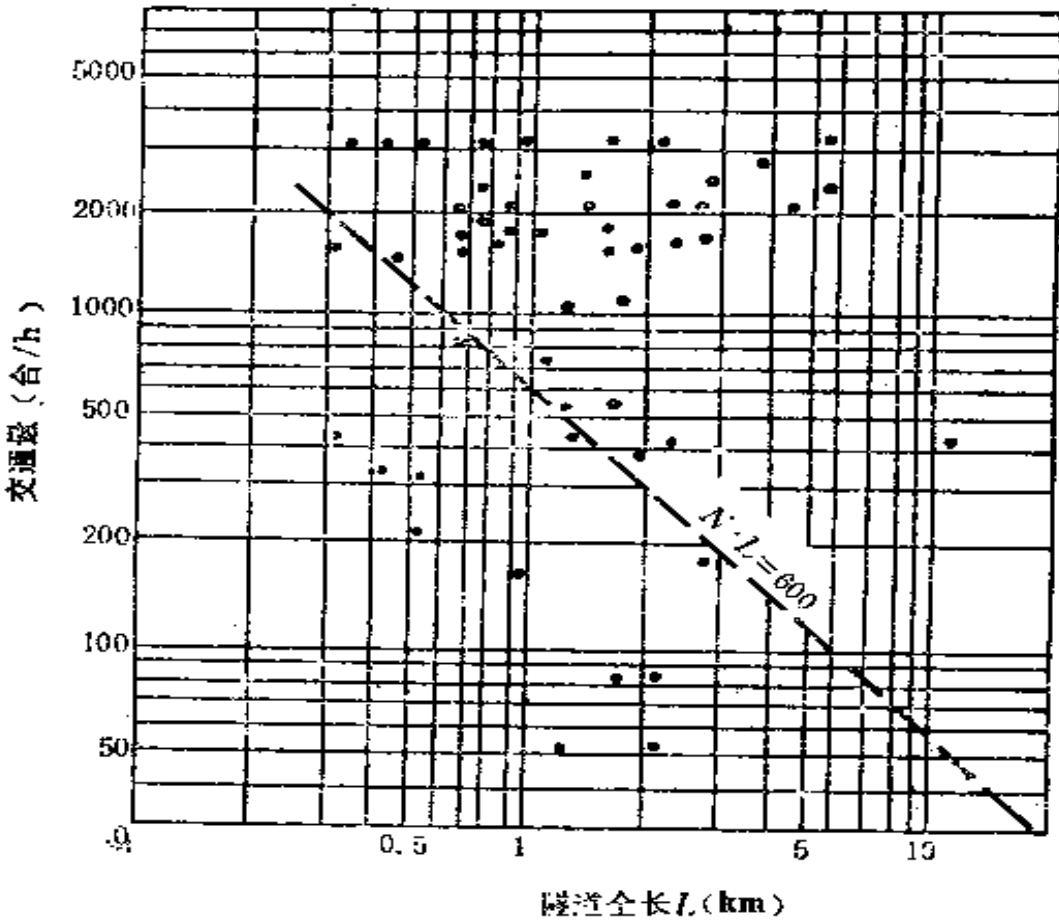


图9.2.3 自然通风的限界（对向交通）

上述限界指正常交通情况，如果考虑到可能发生的交通阻滞情况，当乘积 $L \cdot N$ 比较大时，作为一种弥补措施，可以考虑使用射流式通风。

图中 N 是设计交通量，以辆/h作单位，即每小时设计交通量。 L 是隧道长度，以公里为单位。

在无设计小时交通量资料时，可用高峰小时交通量或实测的高峰交通量计算，亦可取年平均日交通量的15%作为设计小时交通量。

高峰小时交通量 (DHT)：在一定时段范围内的最大小时交通量。

实测高峰交通量：对原有道路进行交通量观测后得出的在一定时段范围内的最大小时交通量。

第9.2.4条 隧道内所需风量主要的根据是冲淡隧道CO和煤烟等有害物的浓度，取其最大值为设计通风量，为此分别提出了计算CO换气量和煤烟换气量的公式。

计算公式各国都有一定的研究，从掌握的资料看，各种计算公式的计算理论和公式都是一致的，都是以一定的隧道外的新鲜空气来冲淡隧道内的污染空气，使其所含有害物的量低于允许的标准，其公式的基本形式可表示为：

$$Q = \sum K \cdot \frac{q}{\delta_{(k)}} \quad (9.4)$$

式中： Q ——通风量；

$\sum K$ ——各种修正系数；

q ——各种车辆排入隧道的有害物总量；

$\delta_{(k)}$ ——隧道内有害物的允许浓度。

各种公式的计算结果差异主要是表现在所选的修正系数 $\sum K$ 的差别而造成的。

下面对两个公式分别进行说明：

一、稀释CO新风量：

$$Q_{CO} = K \cdot f_v \cdot f_i \cdot f_h \cdot \frac{q_{CO} \cdot N \cdot G \cdot L}{\delta_{CO}} \times 10^4 \quad (9.5)$$

式中： q_{CO} ——汽车每吨公里CO产生量 ($m^3/t \cdot km$)，它是由车辆类型、车重、行驶速度、燃料种类、发动机性能和新旧程度以及驾驶员的技术水平等因素决定的(表9.2.4)，我国在这方面的研究刚刚起步，尚无

很成熟的成果，故很难给出具体的数据，一般在设计通风时，按下式算出CO排出量：

$$M_i = 0.315f - 0.019 \quad (9.6)$$

其中 M_i ——汽车CO排出量(m^3/km)；

f ——燃料消耗率(l/km)；

N ——通过隧道的车辆最大小时交通量(辆/h)，取值按隧道的实际通行能力或隧道设计要求确定，当无可靠资料时，可取年平均日交通量的15%作为计算值；

CO 排出量

表9.2.4

名称牌号	耗油 ($l/100km$)	CO (m^3/km)	总质量 (t)	CO ($m^3, t \cdot km$)	日本 资料	上海 实测
北京BJ130	15	0.0282	4.075	0.007		
跃进NJ130	20	0.044	5.36	0.0082		
交通SH141	28	0.0692	8.065	0.0086	大车 0.012	0.0091
解放CA10B	29	0.0723	8.025	0.009	大车 0.012	0.0091
北京212	17	0.0345	1.955	0.0176		
跃进NJ230	25	0.0597	5.090	0.0117		
解放CA30A	42	0.1133	10.30	0.011	大车 0.012	0.0091
解放CA340	29	0.0723	7.87	0.0092		0.0091
红旗小客车	20	0.044	3.29	0.013	小中 0.017	
黄河JN150	25	0.0597	15.06	0.0396		
长征XD160	40~50	0.107	21.30	0.0050		
黄河QD351	23.5	0.055	14.56	0.0037		
北京BT370自卸	170	0.516	35.90	0.0143		
二汽厂EQ140型	28	0.0692	9.29	0.0074	0.012	0.0091
一汽厂CA10型	25.8	0.062	8.375	0.0074	0.012	0.0091
一汽厂CA15型	26.5					

L ——隧道长度 (km) ;

G ——车质量 (t/辆) , 包括车重和载重, 应根据不同车辆类型分别计算;

f_v, f_i, f_h ——速度、坡度、海拔高度修正系数, 系采用国家现有资料制定, 其中 f_h 在海拔标高400m以下取 $f_h = 1.0$;

K ——风量附加系数, 一般取 $K = 1.1 \sim 1.2$, 主要是考虑车辆类型计算与实际情况会有出入, 根据实际情况作出的风量附加;

δ_{CO} ——CO允许浓度 (ppm) , 按规定的标准计算。

二、稀释烟尘的新风量:

$$Q_F = K \cdot f_i \cdot f_h \cdot \frac{q_T \cdot G \cdot D \cdot L}{k} \quad (9.7)$$

式中: q_T ——柴油车产烟量 ($m^3/t \cdot h$) , 按PIARC推荐, 由表中查出;

D ——柴油车密度 $D = \frac{M}{V}$ (辆/km) ;

M ——按第30h交通量中柴油车所占百分比折算出的柴油车交通量;

V ——隧道设计车速 (km/h) ;

G ——柴油车质量 (t) ;

k ——烟尘允许浓度 (m^{-1}) , 按规定的标准取值;

K, f_i, f_h, L 意义同前。

第9.2.5条 由于车辆行驶的不规则性, 很难找到一个计算甚至估算车辆在隧道内行驶引起的风流情况。对于单向行驶的隧道, 行车引起的交通风流有益于通风, 而双向行驶的隧道, 则由于对向行驶产生紊流, 所以在双向行驶的隧道中采用机械通风时就不应考虑车辆行驶的影响。

车道空间因纵向通风或半横向通风而引起的沿隧道纵向流动的风速过大时, 对车辆和行人均有影响, 使人有不舒适感。若发生火灾, 烟火会迅速蔓延, 危及下风方向行车和人员, 所以风速

应有一定的限制。日本规定从安全和舒适性上要求，风速应限制在12m/s以下；苏联规定由通风系统在隧道内所造成的风速不应超过6m/s，但在有技术经济论据的特殊情况下，可达到10m/s；PIARC推荐为8m/s，故推荐采用8m/s。

第9.2.6条 为保证送入隧道内的空气洁净，达到最佳的机械通风效果，机械通风的进风装置应安设在空气污染最小的地方，并与隧道空气出口隔开。排出的污染气体不应超过国家规定的排放标准，如有超出，应采取技术措施进行整治。

通风机械除需定期检查、维修外，还应进行妥善的保管，注意防潮、防锈蚀，寒冷地区还应有防冻措施。当隧道内出现火灾时，能及时变换送风方向，疏导火灾在隧道内造成的烟雾，所以规定通风系统应根据自然风向的变化进行调节，以利节能。

第9.2.8条 为应付隧道内的通风系统出现故障，避免因此而引起的人身伤亡事故，重要的长隧道中应设有备用风机以提供紧急通风。受投资限制时，备用风机可不在隧道使用初期配备（也可避免不必要的锈蚀），但一定期限后应装配备用。备用风机的送、排风量可按正常通风需求量的50%配备。备用风机提供通风后，应立即对出故障的通风系统进行检修，使通风系统尽快恢复正常运行。

第9.2.9条 噪声作为一种污染源在我国日益得到严格控制，在许多工程中已有明确的要求。我国《环境保护法》对噪声标准作了专门规定，其中城市交通干线道路两侧（指车流量每小时一百辆以上的道路，相当于公路沿线）环境噪声标准值为：昼间70（dB），夜间55（dB）。由于通风机的噪声较大，所以对噪声污染问题在设计时应予以充分重视。

第三节 照 明

第9.3.1条 汽车司机在白天从明亮的环境接近、进入和通过隧道过程中，与行走在一一般道路上是很不一样的，它将发生种种特殊的视觉问题：

1. 进入隧道前的视觉问题（白天）：由于隧道内、外的亮度差别极大，所以，从隧道外部去看照明很不充分的隧道入口会看到黑洞（长隧道）及黑框（短隧道）现象。

2. 进入隧道立即出现的视觉问题（白天）：汽车由明亮的外部进入即使是不太暗的隧道以后，要经过一定时间才能看清隧道内部的情况，这称为“适应的滞后现象”，这是因为急剧的亮度变化，使人的视觉不能迅速适应所致。

3. 隧道内部的视觉问题（白天、夜间）：隧道内部与一般道路不同，主要在于隧道内部汽车排出的废气无法迅速消散，形成烟雾，它可以将汽车头灯和道路照明器发出的光吸收和散射，降低了能见度。

4. 隧道出口处的视觉问题：白天，汽车穿过较长的隧道接近出口时，由于通过出口看到的外部亮度极高，出口看上去是个亮洞，出现极强的眩光，司机在这种极强的眩光效应下会感到十分不舒服。

夜间与白天正好相反，隧道出口看到的不是亮洞而是黑洞，这样就看不出外部道路的线型及路上的障碍物。

由于以上特殊情况，公路隧道一般应设电光照明，以利行车安全。

但是，电光照明成本是昂贵的，一条长100m的隧道，按照理论的方法设计照明设施，其照明成本与隧道总成本比经常是很高的，这就要求能找到一种成本低，安全又有保证的方法。

一种意见认为：由于考虑到短隧道中有一些长隧道中没有的视觉现象（特别是在引道区就能看到隧道出口处轮廓），或者是由于改变驾驶员视觉功能，因而降低照明程度，甚至取消照明，这一点与我国许多公路短隧道的现状很相适合。

长隧道的入口照明随线形而变化，但其变化很小，而没有人工照明短隧道的轮廓作用，却与线形密切相关，选择短隧道照明方法时必须考虑到这些因素。

很明显，由于在短隧道中行车明暗变化过程很快，如果为减小

明暗过渡而增强照明，势必增加造价。目前仅有日本认为短隧道照明应比长隧道加强，其它国家则采用比较折中的办法，如采用排照明灯法、光学引导系统和在隧道中部设置照明带等。

CIE 建议认为，长100m以上的隧道或长度超过直径7倍的隧道照明都必须按长隧道设计计算。

从法国3000m以下隧道一览表中可以看出，300m以下无照明隧道所占的比例很高。

CIE 认为，凡长度超过50m的直线隧道，弯道上超过25m的隧道都需要照明。

我国公路上大部分隧道都无照明或仅悬挂几盏路灯供行人照明，从调研得到的资料看，仅有几个隧道安装了照明，照明的标准也是很低的。结合国情，制定了在300m以下的行人稀少且交通量不大的隧道可不设照明，但二级以上公路隧道长度超过100m时必须要有可靠的照明设施。

第9.3.2条、9.3.3条 隧道照明分为白天和夜间两种情况来确定不同的亮度值，这是各国共同遵守的原则。长隧道的白天照明，按照不同的间段可划分为引入段、适应段、过渡段、基本段和出口段，由于目前我国公路隧道基本都是双向行驶，故出口段亮度没有列入标准，个别特殊情况可特殊考虑。日本的亮度值是取洞外环境亮度的十分之一作为出口段照明标准（单位lx）。

公路隧道照明标准的拟定，关键是站在什么样的出发点来考虑。国内外经验都表明，隧道照明困难主要是在白天，即由明亮的露天环境突然进到黑暗的洞口就会产生眼睛的不适应，什么也看不见（黑洞效应）。因此，国外在洞外露天的一段距离采取减光措施（如在两侧或顶部作钢筋混凝土减光格栅），逐步将视野环境亮度降低，并在洞口加强照明提高缓和亮度的下降比例。为此，国外采取的做法是将隧道内外分成几个区段，根据行车速度给予不同的亮度值。以下是美国、日本的区段划分情况。

美国：无露天减光格栅时，入口区应划分为二个或二个以上区段，当室外亮度为5000cd/m²时，入口亮度至少为500cd/m²，

第二区段至少为 $50\text{cd}/\text{m}^2$ ，这两个区段的通过时间应大于 2s 。

如有露天减光格栅，入口区的亮度为 $50\text{cd}/\text{m}^2$ 格栅区，入口区的通过时间应为 2s （CIE72）。

日本：分引入段：为驶向隧道洞口的汽车驾驶员能辨认洞口外处有无障碍物时所给的必要照明区段。

适应段：是驾驶员由更接近隧道到进入隧道所必要的照明区段。

过渡段：是驾驶员进入隧道适应隧道内部照明的必要照明区段（日本标准76）。

国外隧道设置减光格栅的经验表明，格栅在白天缓和洞内外亮度差方面起到很大作用，但增加投资，并在维护管理上提出更高的要求。鉴于目前我国的经济状况，提出的分段没有考虑在洞外设置减光格栅，而是采用绿化措施，在设计洞口建筑时，采用绿化措施尽量降低洞外适应亮度。

一、区段长度和对应亮度要求

不同国家的视觉试验，由于出发点不同，试验条件不同，其结论就不同，但主要结论基本一致，故国外某些结论仍可为我们借鉴，如美国提出洞口亮度和露天适应亮度减小比不能超过 $1:10$ ，通过时间不能少于 4s （CIE72）。

不同研究结论大体为，从阳光照射的露天进入照明很好的隧道所需要的适应时间约 $10\sim 15\text{s}$ （即从 $10000\text{cd}/\text{m}^2$ 减少到 $10\text{cd}/\text{m}^2$ ）（LDDT 75.7），隧道洞口往里的亮度可逐步下降，下降程度视通过时间而定。在 3s 内下降不能超过 $1/2$ ， 4s 以上可降至 $1/10$ （LDDT 81.2）。这些结论都是各国隧道照明规定的依据，对我们编制规范也有参考价值。

二、各国都是按车速提出不同分段的长度和亮度要求，如美国 CIE 照明手册（66年版）中刊出的隧道入口区照明要求见表 9.3.3-1，日本提出最低亮度值标准见表 9.3.3 2。

从上可看出，（1）两国都考虑了车速；（2）两国都考虑了分段，不同的只是美国以不同时间来划分；（3）两国的区别在于

美国不考虑墙、天棚的反射系数，对于以照度为单位时这是必要的，但如以亮度为单位时（如日本）就无必要；（4）美国是按通过时间15s来完成眼睛的适应过程，日本是随车速和洞长而变化，但都不超过10s。

苏联则仅考虑了分段，即没有考虑车速的作用，见表9.3.3-3°

显然，苏联不考虑车速的影响是比较片面，不适于在我国推广。参考国外视觉试验和各国的标准、气候条件和经济状况，制订出规范表中标准。

考虑的依据是：1.车速（km/h）分成80、60、40、20及以下，是依据我国《公路工程技术标准》（JTJ01—88）的规定。

2.各段长度是以在特定车速下2s的适应过程中汽车行走的路程。

3.引入段亮度值分别取为80、50、30cd/m²，是洞外亮度（4000cd/m²）的1/50、1/80和1/133，与1979年PIARC推荐的1/15~1/30虽有一定差距，但与日本推荐在车速为40km/h时，可为1/118~1/138是相适应的。

白天人口区照明（最低值）

表9.3.3-1

时 间	距洞口距离 (m)		墙、天棚 反射系数 (%)	最低平均照度 (lx)		最低平均亮度 (cd/m ²)		中间段亮度 (cd/m ²)	
	50km/h	100km/h		50km/h	100km/h	30km/h	100km/h	1200 辆/h	150~ 1200 辆/h
第一个5s	0~70	0~140	70	50	75	35	50		
			60	60	85	35	50		
第二个5s	70	140	70	30	50	20	35		
	140	280	60	35	60	20	35		
第三个5s	140	280	70	10	30	7	20	3.5	3.0
			60	12	35	7	20	3.5	3.0
	205	410	40	18	50	7	20	3.6	3.0

日本隧道照明入口区的最低亮度值

表9.3.3-2

设计车速 km/h	隧道全长 (m)	引入段		适应段		过渡段		基本段	
		l_1 (cd/m ²)	l_1 (m)	l_2 (cd/m ²)	l_2 (m)	l_3 (cd/m ²)	l_3 (m)	白天	夜间
100	75以下	116	40		0		0	10	洞外道路 照明2倍 以上
	100	111	50	106	10		0		
	125	105	50	91	35		0		
	150	103	50	77	55		0		
	175	99	50	67	80	}	0		
	200以上	95	50	47	150	10.0	35		
80	75以下	112	40		0		0	5	
	100	105	40	94	25		0		
	125	100	40	76	45		0		
	150	94	40	62	70		0		
	175	88	40	51	95	}	0		
	200以上	83	40	46	100	5.0	45		
60	75以下	108	30	103	10		0	2.5	
	100	97	30	76	30		0		
	125	87	30	57	55		0		
	150	78	30	45	75		0		
	175	70	30	35	75	}	15		
	200以上	63	30	35	75	2.5	40		
40	75以下	97	20	80	20		0	1.5	
	100	78	20	51	40		0		
	125	64	20	38	45		10		
	150	52	20	31	45		20		
	175	42	20	30	45	}	25		
	200以上	34	20	20	45	1.5	55		

注：1979年出版前日本隧道照明设计指南又有一些改变，在隧道长度方面增加了250m, 300m, 350m, 400m各档。最低车速时过渡段的亮度略有增加。

4.以后每经过2s行车，亮度递减1/10，是许多研究和实验证实可行的（看后面补充资料）。

5.基本照明的拟定，主要是依据第17届世界道路会议确定

不同长度的公路隧道内的水平照明度(lx) 表9.3.3-3

照 明 方 式	单车隧道入口或相对行车的隧道口 (m)					单 车 隧 道 出 口 (m)				
	0	25	50	75	100或 100以上	0	25	50	75	100或 100以上
白 天	750	600	400	200	30	400	210	150	100	30
黑 夜	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

的，在基本照明段这一区域的隧道内的位置、长度和亮度等级进行选择，以保证能够看到在该区前面的 $20 \times 20 \times 20 \text{cm}^3$ 的试验物体（其亮度系数小于70%）的轮廓。

6. 以降低车速而减少照明投资的方法，隧道内仅要求最低的保证行车的亮度。

下面对照明计算中的几个有关名词作些解释：

光通量：单位时间内光源发出的光能数量，单位为流明(lm)。

发光强度：光源在某方向的发光强度等于该方向每单位立体角内的光通量，单位为坎德拉(cd)。

照度：单位面积上的光通量，单位为勒克斯(lx)， $1 \text{lx} = 1 \text{lm} / \text{m}^2$ 。

亮度：发光表面（含反射光的表面）在某方向的发光强度与该方向投影面积之比，单位为 cd/m^2 。

亮度与照度既有联系又有不同。路面上某点的照度与照明器的光特性及被照射点的几何位置有关，而路面上某点的亮度除与上述因素有关外，还与路面的反射特性有关，二者的关系为：

$$\text{亮度： } L = E \frac{\rho}{\pi} \quad (9.8)$$

式中：E——照度(lx)；

ρ ——反射率，沥青路面为0.1~0.16；水泥路面为0.21~0.40。

在城市道路设计规范中，取 $L = E/15$ （水泥路面）和 $L = E/21$ （沥青路面）。考虑隧道环境的特殊作用，推荐采用 $L = E/13$

(水泥路面)和 $L = E/22$ (沥青路面)。

第9.3.4条 国内外很多资料认为,无灯光照明的隧道必须使用反光材料,反光标志应符合国家有关规章条例的要求,起到诱导行车的目的。利用反光材料的方法很多,以下介绍几种常用的办法。

一、无照明的双向隧道中的反光标线用白色反光线条划分车道,标线可采用球形玻璃珠反光。此外,还在标线上按一定间隔另加白色的、反光的、双向可压下、无压即复元的(自擦式)反光路灯。

二、隧道墙:为了进一步增强显示,可在隧道墙上距路面1m左右的高处设置红/白双向反光标志。这些标志可用反光片、叠层球面镜或棱镜(棱角块)材料制做,红色一侧面向紧邻车道上驶来的车辆。

三、标志:在隧道的引道上应安装标志,通知驾驶员开亮下倾前灯,并在隧道出口处提醒关灯。

利用反光材料做反光标志应进行高质量的保养,一般自擦式反光路灯和棱角块形的反光标志在隧道中较为有效,因其发光强度系数高,但对路面和隧道墙等易积灰尘和油污的部位应经常冲洗和清扫。

第9.3.5条 隧道内除了供行车交通照明外,还有许多其它的照明,其中最主要的是供紧急照明用的应急照明和临时停车、修车用的(指长隧道)避车处照明。这些照明都应能使其用途得到充分的发挥,条文中规定的标准是最基本必须达到的标准。

第9.3.6条 为减少照明投资,使行驶中的汽车顺利进入隧道,可以在洞外做一些人工减低洞口周围环境亮度的工作(白天照明)。在国外,经常被用到的措施是,充分利用白光的作用,如在洞口设遮阳棚、减光格栅或采光井,起到了很好的作用。但这些设施成本较高,且对管理的要求也较高,在我国目前阶段难以推广。另一些常用的方法是在进出洞口路旁及附近铺植草坪或种树,这些方法较经济、有效。此外,洞口应避免正对阳光,防止

阳光直射造成眩光。

第9.3.7条、9.3.8条 照明光源及灯具的选择是否适当，是隧道照明质量有无保证的关键。隧道照明的光源，除了应满足在隧道特定环境下的光效、光通量、寿命及工作特性、光色、显色性和控制配光的难易程度等主要要求外，还应选择在汽车排烟形成的烟雾中仍能保证有良好能见度的光源。因此，在通常情况下，应使用在烟雾中有较好的透视性的低压钠灯，如果是短隧道或柴油车比率较小的隧道，烟雾会少些，亦可使用显色性好的荧光灯。在隧道出入口照明，可用小型大光通量的高压钠灯或高压汞灯。随着新一代光源的不断问世，应积极选择、应用新光源。

隧道照明用的照明器的主要作用是控制配光及保护光源。在选择照明器时，应充分注意以下几点：

1. 照明器的配光特性是否符合照明目的，能否符合于设置该照明器场所的几何条件。
2. 形状和尺寸是否小而坚固，安装、维修应方便。
3. 材料应有良好的耐腐蚀性能，必要时施以表面处理。
4. 对隧道墙面的配光及烟尘的污染应充分注意。

第9.3.9条 为保证隧道内照明光线的柔和，应交叉布置灯具。布置的方法很多，可在拱顶、墙壁或在拱顶安设吊装顶棚上安装灯具，国外也有在余宽上布置投光照明的成功先例。总之，照明灯具的合理布置就是要在最经济的条件下达到最好的照明效果。

光亮分布合理表现在隧道内路面、墙面光线分布均匀，无刺激性眩光，也无昏暗的死角，保证无周期性的闪光现象。实验表明，1次/秒的闪光频率为瞌睡频率，驾驶员会很不适应，容易产生视力疲劳，容易出事故，所以应充分注意灯具的配光作用。

第9.3.10条 由于隧道内交通繁忙，又处于封闭的空间，汽车排放物不易散开，墙壁、灯具表面的污染相当严重，如果得不到及时清理、维修，久之，照明效果将会受到严重影响。

我国绝大部分公路隧道建成后都处于自然保养状态，缺乏正

常的维修管理，隧道内污染严重，光通利用率极低，只要将灯具和墙面作简单的周期性擦拭，就能使路面照度提高1~5倍，所以经常的清扫和维护是保证正常照明的必要条件。

第四节 供 电

第9.4.1条 根据国标《工业与民用供电系统设计规范》（GBJ 52—83）的规定，隧道供电系统设计必须执行国家技术经济政策，做到保证安全、供电可靠、技术经济合理。

第9.4.2条 隧道供电一般应与当地供电部门达成协议，就近解决隧道的动力负荷和照明负荷的用电。在偏僻、边远地区，缺乏相当功率的电源时，应当考虑自筹解决供电电源，如架设专线、自备发电机、建造小型发电站等。此外，对重要隧道应考虑应急电源的设置，应急电源可用蓄电池或发电机提供。

第9.4.3条 隧道内供电分动力供电和照明供电。我国的网络电压，在较低的交流电压范围内的标准等级为500、380、220、127、110、36、24、12V等，从安全出发，隧道内供电网络不采用对地大于250V的电压。在三相交流系统中，中性良好接地时，380/220V的网络对地电压不大于250V。

一般设照明和通风的隧道，都设有专门的电设备控制室，为便于控制，大多控制室都安设于隧道口（与管理、保养部门共同安排）。

第十章 隧道营运管理设施

第一节 设置原则

第10.1.1条 本章内容编入了一些现代化设备，但考虑到我国国情，不应该在任何隧道设计中都一一套用本规范所列的设施。即使是高速公路、一级公路，近期交通量较小或暂无条件设置时，可采用分期安装，但必须考虑远景，注意隧道断面净空，因为隧道净空不足时，会造成二次改建。至于设施规模，应正确贯彻国家的技术经济政策，按照公路等级、投资多少、当前的技术水平及建设部门的要求确定。

第10.1.2条 一般在高速公道、一级公路的隧道内，宜设置比较完备的设施。而在交通量大、隧道长度在1000m以上时，还应设置必要的“紧急设施”（“紧急设施”见第10.3.8条），以增强隧道的通过能力，减少事故，减少污染，延长隧道的使用期限。

通过福建至马尾一级公路的鼓山隧道与深圳至沙头角公路梧桐山隧道的修建表明，在高速、一级公路隧道内装置现代化的管理设施，是提高隧道使用效率的有效措施。

第二节 电缆与电缆槽

第10.2.1条 隧道是一个相对潮湿，且有火灾危险的空间，所以，供电导线的选择和敷设方式都应慎重处理。隧道内的动力网络主干线宜使用无麻层的铠装电缆；照明网络宜用穿管导线或铠装电缆，且其导线的额定电压不得低于500V。

第10.2.2条 本条基本参照铁路隧规（TBJ 3—85）8.2.1条，并作了修改，如系采取分期修建，应预留电缆槽或架设电缆的位置净空。

通讯、信号与电力电缆均指隧道内自用的电缆。工业和外线电缆不准通过隧道，要通过时，应与有关单位协议后，作特殊设计。

第10.2.3条 隧道内导线铺设方式可分为暗敷和明敷两种，明敷是除导线本身结构外，对导线的外表无附加保护；暗敷方式是将导线敷设在绝缘管或金属管内，而绝缘管或金属管则明装或暗装于建筑物的结构上。从隧道结构所处的环境，希望采用暗敷方式铺设导线，但也不排除明敷的可能。

第10.2.4条 为保证隧道的正常维护及修理，隧道中应安设临时供电装置。安设方法本着安全、方便的原则，在不同宽度的隧道内作不同的处理。

第三节 通讯、信号及标志

第10.3.1条 一般高速公路、一级公路及长度在1000m以上的隧道都应设人看守。巡守值班电话间隔500~600m，如果没有电源供给，可采用磁石式干电池电话或无线电对讲器。

隧道天井包括竖井及斜井。

隧道管理机构的设置原则，应根据公路等级、隧道长度以及隧道内设备安装（包括通风、供电、信号、照明、消防、通讯、报警、监测、广播系统）情况而定。对高速、一级公路的长隧道、特长隧道，安装有电子自动控制设备的，均应设置监测控制中心室或运营管理指挥室或隧道管理处，随时观测隧道设备的运转情况，监管车辆违章、处理事故，隧道维修、养护及收费等工作。

一般公路隧道，可由隶属的公路养护机构（养护道班）管理。

第10.3.2条 对油罐、汽罐、液体化学品、农药、易燃品、易爆品、生石灰等车辆，进洞前必须例行安全检查，限速或禁止通过。

隧道内禁止高压电线、煤气等燃料管道通过。隧道两端洞口

墙上,可考虑设置洞名标志,包括隧道名称、长度、修建年月等。

第10.3.3条 隧道内行车一般较洞外困难,故若洞外不划车道线,洞内仍应划线。

第四节 消防及救援设施

第10.4.1条 “相邻双孔隧道”是指双孔单向行车的隧道,其相邻距离如果很远或工程巨大时,也可不设或少设横洞。横洞的作用在于方便维修、养护和消防救援等工作,对于长隧道尤为必要,故在选定隧道位置时,就应考虑“相邻距离”这个因素,既要符合规范要求的最小值,又要考虑横洞工程量的大小。

第10.4.3条 “专用灭火器材”系指喷雾灭火筒、沙桶、水柜、水桶及消防皮管等,但不包括第10.4.5条的紧急救灾设施。

“救援故障汽车设备”系指钢丝缆索等,目的是能较快地把故障汽车拖出洞外,以免堵塞洞内交通。

第10.4.4条 根据有关资料,隧道内汽车排出的煤烟和有害气体的最高容许浓度(ppm)为:一氧化碳 ≤ 24 ,二氧化氮 ≤ 4 。隧道内烟雾粉尘影响透明度,不利于行车安全,故应控制在容许范围内。容许浓度 k 的计算公式见本文第9.2.2条说明。当超出容许浓度时,需启动通风机械。

第10.4.5条 在隧道发生火灾事故时,因受到狭小空间的限制会导致交通混乱,因而事故发生后,首先应对隧道外及隧道内的后续行驶车辆给以警报表示,防止后续车及对向车再驶入隧道,以减轻次生灾害。

对于灭火设施,一般在火灾发生时,由事故当事者以及发现者易使用的灭火器、消火栓等设备作初期灭火活动,继由隧道管理处消防人员使用消火栓、喷雾设备分别进行强力的灭火活动。除此以外,还要有排烟、避难、救援等设施,以减轻灾害程度。

另据国外统计,隧道内火灾频率为10~17次/亿车·公里,平均频率为13.5次/亿车·公里,可供拟定设防标准时参考。

高速公路、一级公路的隧道,根据隧道等级,可参照表10.4.5设置紧急救灾设施。一般应有以下设施:

一、通报设施:采用按钮式通报,也可采用自动通报装置,沿隧道边墙每隔15m一个。这些装置均应与隧道管理处及洞口音响报警器相联动。

二、紧急报警装置:可采用警报指示板、警报色灯或音响报警器,安装在两端洞口和隧道内,每隔500m设一处。

三、紧急灭火器:可采用自动灭火器或自动喷淋设施,每隔5m一个;消防水栓每50m一个。隧道内应设消防水管及消防用水源,消防水管应与电缆槽分开埋设。

四、其他紧急设施

排烟设备:在有机械通风设备的隧道,要考虑尽速排除火灾烟雾,当以风机作吸出式排烟时,应在通风机附近设管道内的喷雾器以冷却风扇。

避难设备:充分利用隧道内的横洞,设置紧急出入口、方向转换洞、避难引导标志和紧急广播器等。

紧急电源:在规划隧道供电时,应考虑当公用电源突然停电,隧道内设备能正常运转的设施。

紧急闸门:隧道两端洞口及洞内行人或行车横洞之间设置自动开关的金属闸门,火灾时关闭隧道,避免灾情扩大。

紧急救灾设备的设置标准见表10.4.5。

紧急救灾设备的设置标准

表10.4.5

隧道等级 设 备	隧道等级			
	特 长 隧 道	长 隧 道	中 隧 道	短 隧 道
通报设施	※	※	※	
警报设施	※	※	※	
灭火设施	※	※		
其它设施	※			

注:表中“※”表示应予考虑的设备。

第五节 其它设施

第10.5.1条 隧道内的内装，主要作用是：增强照明效果，并协调环境。因人眼对黄绿光最为敏感，所以内装材料应以淡黄和浅绿为佳。

未经内装的混凝土衬砌表面，很容易吸附引擎排出废气中的粘稠油分，并与烟雾、尘埃一起沾在表面，所以内装应是不易污染、耐高温、耐酸碱腐蚀、表面光洁的材料。鉴于多数隧道内存在漏水现象，内装又应是在水的长期浸泡下或在潮湿环境中不易变质的材料。

有镜面反射的材料，达到一定反射角度时，能直射刺激司机的眼睛，不宜采用。

第10.5.2条 隧道内的混响时间较长，在交通量大、噪音级较高的隧道内，噪声应控制在可以用电话（报话器）与管理处（或中心控制室）通话的程度，一般应保持在80dB(分贝)以下。采用的吸声材料，还应具有内装的特性，吸声结构应与内装结构相结合。

安装侧壁吸音板一般高为3~4m，顶板吸音板宽为5~8m，敷设长度：洞口两端各40~60m，洞内每隔40~60m敷设长40~60m。在适当段落安装噪音检测器。

关于消音墙预留净宽问题：双层空心板比单层能降低噪音5~10dB，双层板间空隙最好不小于10cm，每支板厚1.5~2cm，故装置消音板时，隧道断面设计净宽应增加15~20cm。

第10.5.3条 我国新建的福建鼓山隧道、深圳梧桐山隧道和香港海底公路隧道，都设有闭路电视和摄像机，由中心控制室进行监控，一般每200m至300m安设一台（架）。

我国南方城市如广州、深圳、重庆等市郊公路，都已设置雷达测速系统。

第10.5.4条 长和特长隧道的管理处，还宜配备洒水车和清扫车、升降式检修车。收费设备根据隧道长度和交通量、投资情

况，可采用人工、半自动或自动式收费办法。

隧道两端洞口附近如需设置饮食、卫生、供油、休息场所等服务设施时，必须在引线段外，并应由隧道（公路）管理部门统一规划。

第十一章 施工与辅助坑道

本章前几稿中定名为隧道施工，内容包括隧道施工和辅助坑道两部分，辅助坑道虽属施工措施但主要是设计问题。因公路目前长大隧道不多、辅助坑道相对用的也不多，所以与施工合列为一章。在设计规范中写施工本有两重目的：一是为设计规范的完整性，因有些施工问题直接、间接的与设计有关；二是在没有施工规范的现状下，代替施工规范使施工能有规可循。最先写施工部分时以上二者兼顾，结果施工部分篇幅太大，章节太多，后来放弃施工章节，保持其设计规范的单一性。这样以来，章名叫隧道施工就不能名符其实，故改为现在的施工与辅助坑道”，其目的已不是指导施工而是配合设计。

第一节 隧道施工

第11.1.1条 隧道施工属地下作业，洞内工作条件与地面工作有很大不同，工作面狭小，机具集中，光线不足，噪音大，施工中不安全因素甚多，所以隧道施工要特别强调安全，要有严格的安全生产制度和完备的安全设施。地下建筑一经完成，修复和改建都比较困难，施工要求高质量高标准。隧道开挖后围岩的变形有一定的规律，衬砌的设置最佳的时机，开挖面长时间的暴露会直接影响其自身的稳定，给后续施工造成困难，甚至形成坍塌，所以贯彻快速施工，是隧道施工的基本原则，经济效益亦体现在其中。

第11.1.2条 目前由于工业与交通运输事业的发展，在社会受益的同时，也对人类的生存环境造成种种影响。隧道施工中的噪音、废水、废气、弃碴等都将给工程环境造成不良影响，特别是弃碴堵塞水道、河道，造成水患和占用农田的事常有发生。以

往隧道的选位，洞门的设计，很少考虑与自然景观相协调，忽视隧道工程与自然景观相协调的意义。条文中规定隧道施工应与环境保护、道路总体规划和自然景观相协调，正是处于对以往失误的反思。对于施工可能对环境造成的影响应有治理措施，是与国家现行的环境保护法规相协调一致。

第11.1.3条 编制指导性施工组织设计，主要为使施工单位了解整个工程的全过程，然后据此编制实施性施工组织设计来指导施工。

第11.1.4条 选择施工方法，对设计与施工都有意义，施工方法选择是否正确，直接影响工程造价，工期长短，甚至工程的成败。地质条件是选择施工方法的主要依据，另外还要考虑到隧道的长度及辅助坑道的设置。断面跨度也是选择施工方法的重要因素，公路隧道一般跨度在8~13m之间。对大跨度隧道有其特定的施工要求，如方法选择不当就会给施工造成困难，直接影响工程造价和工期。对施工单位来说，选择施工方法除了考虑以上因素外，还要结合本单位的设备情况、技术力量和施工习惯等因素，要充分的发挥自己之长。

新奥法是已被工程实践所证实了的先进的隧道修筑方法，它是集设计与施工为一体的完整的工程概念，限于种种原因，在本规范中对这方法未能作出系统的规定，但这并不是对先进方法的否定，在规范的章节中体现它先进的内容，正是规范的编写原则之一。在选择掘进方法时，宜优先采用全断面法或正台阶法，并以锚喷为主要支护形式，充分发挥围岩的自承作用，逐步采用并进而完善围岩的变形与应力变化的量测手段，把握最佳的衬砌时机，提倡复合式衬砌。以上规定正是新奥法的内容与精神的具体体现。

对地质变化较大的隧道，选择施工方法时，要有较大的适应性，是为了在地质情况发生变化，原有施工方法不能继续使用时，能尽快的调整施工方法，而较少的影响施工进度。对方法变换中的措施要事先有计划、有准备，以达到改变施工方法时能顺

利过度之目的。

第11.1.5条 洞口施工由于方法不当而造成后患的教训很多，主要问题是如何能保持洞口原有岩体的稳定不被破坏。本条文所规定的正是维护洞口稳定的具体措施。洞口开挖本应先加固再开挖，避免对洞口的震动和人为的松动，而大爆破正是导致洞口岩体大范围松动失稳的主要原因，所以在洞口施工中应避免采用。对松软缓坡的开挖，应按设计放出边坡线，由上向下进行，随挖随支护，方能保证边仰坡开挖的稳定。在洞口位置的选择中，经多年工程实践的经验和教训，总结出了“早进晚出”的原则，这虽然是已被工程实践所证实的正确原则，却因涉及到要加长明洞，增加隧道长度而往往不能被接受。但工程实践最终仍将证明“早进晚出”利多弊少。不少隧道虽已作好了洞门，由于仰坡不稳，落石影响行车安全，迫不得已已在已修好的洞门外接长明洞再做洞门，有一座铁路隧道竟作了四座洞门，有的隧道三次接长明洞。以上虽然是典型的工程，但却能证明“早进晚出”原则的正确性。“早进晚出”是保证山体稳定，维护营运安全的积极措施。

第11.1.6条 支护是支撑和衬砌的统称。一般把施工中的临时支护称为支撑，把隧道的永久性支护称为衬砌。临时支护的目的是保证隧道的开挖及其后继工序得以安全顺利的进行，永久性支护的目的是长久的保持开挖空间的完整与稳定，使其满足营运的要求。这里所说的支护，它既是一种工程结构，也是一种施工过程。由于隧道的开挖，岩层的原始应力平衡状态被破坏，在围岩应力重新调整的过程中，围岩同时按一定规律变形。当开挖空间的周边围岩调整后的二次应力超过了周边围岩的允许应力时，围岩进入塑性变形状态，变形速度加快，如支护不及时将导致围岩的坍塌。有效的支护是用最佳的方式，在最适宜的时机对围岩进行加固，并通过对围岩的加固而调动围岩的自承能力，以达到稳定开挖空间之目的。

支护的方式有多种，但发展的方向是薄壁、轻型、高强度，

临时支护与永久性支护相结合，并由刚性支护向柔性支护的方向发展。传统的构件刚性支护，由于要消耗大量的材料，特别是木材，使支护成本增高，更因为这种支护是以限制围岩的变形为目的而对调动围岩自承能力方面效果有限，更要占用一定的空间给施工造成不便，因此被称为消极支护手段，并将逐步被喷锚支护所替代，或只作为喷锚支护的辅助手段。喷锚支护近年来得到迅速的发展，其优越性已被工程实践所证实。它的先进性正是体现在它符合支护发展的方向，它能充分地 与围岩结合，从积极的方面调动围岩的自承能力。临时支护又可作为永久性支护或作为永久性支护的一部分，使支护成本大大降低。特别是大断面隧道的全断面开挖，几乎是唯一可行的支护方式，所以条文规定：全断面开挖选择支护方式时优先考虑锚杆、喷射混凝土或锚喷联合的支护方式。挂网、挂梁等只是锚喷支护在软弱围岩中的辅助措施。在施工中挂网用的较多，锚杆挂网喷射混凝土也常被用作永久性衬砌，其工艺要求有以下几方面：

1. 钢筋网的钢筋以 6 ~ 8mm 为宜，材料宜选用 3 号钢，必要时可设置双层。

2. 钢筋间距以 150 ~ 300mm 为宜。

3. 钢筋网喷射混凝土的厚度不应小于 100mm，亦不宜大于 250mm。

4. 钢筋保护层厚度应不小于 20mm。

实践证明，即便是在一般的情况下，喷射混凝土中配置钢筋网有利于抵抗岩石塌落和承受冲击荷载，并能减少喷层的开裂。挂网喷锚，只是喷锚支护辅助措施中常用的一种，其它还有钢架、钢纤维喷射混凝土等。

第11.1.7条 隧道开挖有多种方法，主要的有矿山法、盾构法、全机械掘进（掘进机法）和高压射水等，这些方法都在限定的条件下被采用，不同的方法对围岩的扰动程度也不同。与矿山法相比，掘进机法是以机械切削的方式破岩，掘进对围岩的扰动最小，有利于围岩的稳定。矿山法是以钻爆为主要的掘进手段，

光面爆破和预裂爆破技术能使开挖轮廓线符合设计要求，减少对围岩的扰动破坏。光面爆破技术要点如下：

1. 根据围岩特点合理选择周边眼间距及周边眼的最小抵抗线。

2. 严格控制周边眼的装药量，并尽可能使药量沿炮眼全长均匀分布。

3. 周边眼宜采用小直径药卷和低爆速炸药。

4. 周边眼要求最后同时起爆。

光面爆破参数，当无试验资料时，可参照表 11.1.7-1 选用。

光面爆破参数

表 11.1.7-1

岩石种类	饱和单轴抗压极限强度 R_b (MPa)	装药不偶合系数 K	周边眼间距 E (cm)	周边眼最小抵抗线 W (cm)	相对距 E/W	周边眼装药集中度 q (kg/m)
硬岩	>60	1.25~1.50	55~70	70~85	0.8~1.0	0.30~0.35
中硬岩	$>30\sim60$	1.50~2.00	45~60	60~75	0.8~1.0	0.20~0.30
软岩	≤ 30	2.00~2.50	30~50	40~60	0.5~0.8	0.07~0.15

注：

1. 装药不偶合系数系指炮眼直径与药卷直径的比值。

2. 适用范围：

(1) 炮眼深度 1.0~3.5m；

(2) 炮眼直径 40~50mm，药卷直径 20~32mm；

(3) 装药集中度按 2 号岩石硝铵炸药考虑，当采用其他炸药时，应进行换算，换算时可采用相应炸药的猛度和爆力的平均值。

3. 开挖断面小于 $8m^2$ 或竖井爆破时，表 11.2.7-2 中 q 值宜相应增加 5~10%。

硬岩隧道采用全断面开挖，进尺为 3~5m 的深孔爆破时，单位体积岩石的耗药量一般为 $0.9\sim 2.0kg/m^3$ 。

软岩隧道采用半断面或台阶开挖，孔深为 1.0~3.0m 的浅孔爆破时，单位体积岩石的耗药量一般为 $0.4\sim 0.8kg/m^3$ ，同时，软岩隧道光面爆破的相对距宜取小值。

预裂爆破参数，当无试验资料时，可参照表 11.1.7-2 取值。

预裂爆破参数

表 11.1.7-2

岩石种类	饱和单轴抗压极限强度 R_b (MPa)	装药不偶合系数 K	周边眼间距 E (cm)	周边眼至内圈崩落眼间距 (cm)	周边眼装药集中度 q (kg/m)
硬岩	>50	1.2~1.3	40~50	50	0.35~0.40
中硬岩	$>30\sim50$	1.3~1.4	40~45	40	0.25~0.35
软岩	≤ 30	1.4~2.0	30~40	30	0.09~0.19

光面爆破和预裂爆破在钻凿周边眼时应满足以下要求：

1. 沿隧道设计轮廓线的炮眼间距误差不宜大于 5cm；
2. 周边眼外斜率不应大于 5cm/m；
3. 周边眼与内圈眼距离误差（最小抵抗线）不宜大于 10cm；
4. 除内圈眼的孔深宜比周边眼深 5~10cm 外，其他各类炮眼深度相差不宜大于 10cm。

因凿岩机外形尺寸所限，钻孔时需有一定的向外倾斜角度，国产支架式凿岩机的钻孔外斜角可控制在 $2^\circ\sim 3^\circ$ ，钻孔外偏值可以控制在 3~5cm/m 的范围内。

当隧道位于自稳时间短的软弱破碎岩体、浅埋软岩和严重偏压、岩溶流泥地段，砂层、砂卵（砾）石层，断层破碎带及大面积淋水或涌水地段，可采取辅助施工措施和锚喷支护相结合的加强办法。

辅助施工措施的主要内容有：

1. 超前锚杆，超前小钢管；
2. 管棚；
3. 地面砂浆锚杆；
4. 超前小导管注浆，深孔预注浆。

超前锚杆和超前小钢管设计宜符合下列要求：

1. 设计参数可按表 11.1.7-3 选用。

超前锚杆、超前小钢管设计参数

表11.1.7-3

围岩类别	锚杆直径 (mm)	小钢管直径 (mm)	锚杆、小钢管长度 (m)	环向间距 (cm)	外插角	
					锚杆	小钢管
II	20~24	32	3~5	30~50	5°~20°	5°~7°
III	18~22	32	3~5	40~60	5°~30°	5°~7°

注：1. 外插角为锚杆或小钢管与隧道纵向开挖轮廓线间的夹角；

2. 超前锚杆、超前小钢管的长度应与掘进循环进尺一起考虑，并应根据实际施工能力适当选择。

2. 超前锚杆、超前小钢管的设置应充分考虑岩体结构面特性，一般可仅在拱部设置，必要时也可在边墙局部设置。

3. 超前锚杆、超前小钢管纵向两排的水平投影应有不小于100cm的搭接长度，如图11.1.7所示。

4. 超前锚杆宜采用早强砂浆锚杆。

5. 超前锚杆、超前小钢管尾端一般应置于钢架腹部或焊接于系统锚杆尾部的环向钢筋，以增强共同支护作用。

6. 超前锚杆可根据围岩情况，采用双层或三层超前支护。

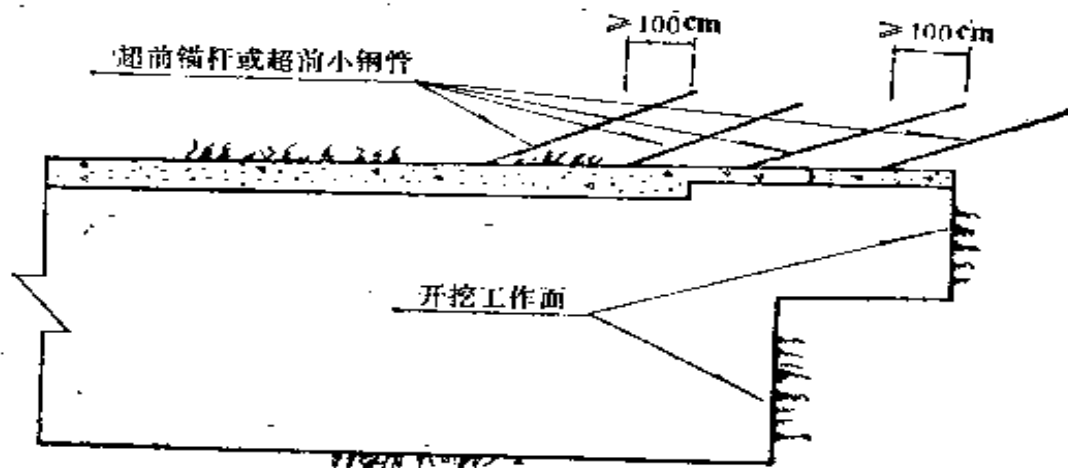


图11.1.7 超前锚杆、超前小钢管布置示意

管棚由钢管和钢架组成，钢管设计宜根据地质情况及施工条件参照下列要求进行：

1. 钢管直径宜选用80~180mm，钢管中心间距30~50cm；
2. 钢管长度一般为10~45m，当采用分段连接时，可采用长4~6m钢管并用丝扣连接；
3. 钢管宜采取沿隧道开挖轮廓纵向近水平方向设置；
4. 根据需要，钢管内可灌注水泥砂浆、混凝土或放置钢筋笼并灌注水泥砂浆；
5. 纵向两组管棚间应有不小于1.5m的水平搭接长度。

管棚适用于特殊困难地段，如极破碎岩体、塌方体、岩堆等地段，上述地段管内辅以灌浆效果更好。当遇流塑状岩体或岩溶严重流泥地段，采用管棚与围岩预注浆相结合的手段，也是行之有效的办法。

地面砂浆锚杆宜按下列要求设计：

1. 锚杆宜采用20锰硅螺纹钢，直径为16~22mm；
2. 地面砂浆锚杆的长度可根据洞室覆盖层厚度和实际施工能力确定；
3. 地面横向加固范围可根据地形和推测的破裂面确定；
4. 地面锚杆一般为垂直设置，根据地形及岩层层面具体情况也可倾斜设置，锚杆间距一般为1.0~1.5m，并按矩形或梅花形布置；
5. 安置地面锚杆的钻孔直径一般不小于50mm；
6. 地面锚杆宜采用全长粘结型普通水泥砂浆锚杆。

地表锚杆是一种地表预加固地层的措施，适用于浅埋、洞口地段和某些偏压地段。

小导管周壁预注浆，可根据地质情况、设备能力、施工条件等参照下列要求设计：

1. 小导管外径可根据钻孔直径选择，一般选用 $\phi 42 \sim 50$ mm的热轧钢管，长度3~5m，外插角 $10^\circ \sim 30^\circ$ ；管壁每隔10~20cm交错钻眼，眼孔直径6~8mm。

2. 采用水泥砂浆或水泥水玻璃浆液灌注时，浆液配合比应由现场试验确定，注浆压力一般为0.5~1.0MPa，必要时在孔口处设置止浆塞。

3. 纵向两组小导管间应有不小于100cm的水平搭接长度，环向间距20~50cm。

4. 浆液扩散半径可根据导管密度确定，考虑注浆范围相互重叠的原则，扩散半径 R_k 可按式计算：

$$R_k = (0.6 \sim 0.7) L_0$$

式中： L_0 ——导管之间中心距离。

5. 单根导管的浆液注入量 Q_1 可按式估算：

$$Q_1 = \pi R_k^2 l \eta$$

式中： R_k ——浆液扩散半径；

l ——导管长度；

η ——岩体孔隙率。

小导管周壁预注浆是沿开挖外轮廓线以一定角度打入管壁带孔的小导管，并以一定压力向管内压注浆液的施工措施。它既能将洞周岩体预加固，又能起超前预支护作用，适用于自稳时间很短的砂层、砂卵（砾）石层、断层破碎带、软弱围岩浅埋地段或处理塌方等地段。

深孔预注浆加固地层宜按下列要求设计：

1. 在进行地层预注浆设计前，应搜集有关注浆地段的岩性、涌水量、涌水压力、水温、涌水的化学性质等，以决定浆液、注浆压力和配合比。

2. 为了掌握浆液的配合比、凝结时间、注浆量、注浆压力、注浆效果、因注浆引起的周围变化等因素，应做现场单孔或群孔注浆试验。

3. 注浆范围应根据工程地质、水文地质、注浆目的及开挖方式等因素确定，洞周岩体被加固范围半径一般为毛洞开挖半径的2~5倍。每一循环注浆长度为15~40m。

4. 注浆压力应根据岩性、注浆目的、施工条件、涌水压力等

因素确定，一般最终压力为涌水压力的2~3倍。即：

$$P_z = (2 \sim 3)P$$

当涌水压力很小时，注浆最终压力可按下式计算：

$$P_z = P + (2 \sim 4 \text{MPa})$$

式中： P_z ——注浆压力；

P ——涌水压力(MPa)。

对密实性好、颗粒较小的中砂、细砂、粉砂及砂粘土，注浆压力可稍高些；有特殊要求的地段，如为防止地表隆起影响地面建筑物安全时，注浆压力应适当降低些。

5.浆液可采用水泥浆液、水泥水玻璃浆液或其他水泥类、化学类浆液。水泥浆液的水灰比可采用1:1~0.5:1，水泥与水玻璃两液的体积比可取1:0.5~1:1。

水玻璃模数 $n = 2.4 \sim 3.4$ ，波美度 $^{\circ}B'e = 30 \sim 40$ 。

6.注浆孔直径一般采用75~110mm，注浆孔孔底间距应根据各个注浆孔的扩散半径相互重叠的原则，一般按注浆孔孔底约1.0~1.5m间距布置。浆液扩散半径一般应通过现场试验确定，有困难时也可以工程类比法选用。

7.总注浆量根据岩体空隙率及浆液在其中的充填率进行估算，一般可按下式计算：

$$Q_z = V \cdot \eta \cdot \alpha / 10000$$

式中： Q_z ——总注浆量(m^3)；

V ——注浆有效范围内岩体体积(m^3)；

η ——岩体空隙率(%)；

α ——浆注充填率(%)，其取值为：粘土类20~40，砂类40~60，砾石类约60。

深孔预注浆加固地层的注浆设计参数(包括注浆范围、浆液的选定和设计配合比、胶凝时间、注浆量、注浆孔布置、注浆顺序、注浆压力等)，受岩性、注浆目的和开挖方法等因素的影响。

深孔预注浆加固地层，费工、费料，需要时间长，技术难度

大，投资高，故仅在特殊困难地段必要时采用。

第11.1.8条 采用复合式衬砌时的初期支护一般指锚杆喷射混凝土或配合使用钢筋网、钢架等。

对围岩和初期支护的监控量测是获得围岩和初期支护结构变形信息的主要手段。围岩和初期支护变形信息的反馈是二次支护设计和支护时机确定的主要依据。信息反馈修正设计，系指在隧道开挖后，根据施工观察、现场地质调查、现场监控量测等信息（以下称施工信息），对施工前预设计所确定的结构形式、支护参数、预留变形量、施工工艺、施工方法以及各工序施作时间等的检验和修正，是贯穿于整个施工过程的设计阶段。

施工信息是隧道开挖后围岩稳定性的动态反映，也是修正设计的依据。对各种信息进行综合分析，互相印证，对预设计支护参数的修正和施工方法的改进是不可缺少的过程。

及时整理量测资料，分析研究各项施工信息，是保证施工安全的需要。当出现异常现象时，应立即采取加强锚喷支护、改变施工对策（方法、顺序、工艺）及早形成闭合环等措施，使可能发生的塌方防患于未然，以保证隧道稳定。

信息反馈修正设计的内容：

1. 施工方法变更的建议；
2. 施工工序的更改；
3. 预留变形量的修正；
4. 设计参数修改或确认；
5. 采用辅助施工措施的建议。

增强初期支护可用降低围岩类别的办法，改用相应的设计参数，或选用如下加强措施：

1. 增设钢筋网或改用钢纤维喷射混凝土；
2. 加密或加长锚杆；
3. 增加喷射混凝土厚度；
4. 改用早强喷射混凝土或早强砂浆锚杆；
5. 采用或加密钢架；

6. 增设临时仰拱及时形成支护封闭环。

二次衬砌的加强措施：

1. 在满足隧道建筑限界的条件下，根据断面实际情况，增加衬砌厚度；

2. 由于净空限制，不能采用上述措施时，根据检算，改用钢筋混凝土衬砌；

3. 提高衬砌混凝土的标号。

第11.1.9条 规范表11.1.9中所列数值，在硬岩隧道时取小值，软岩（或土质）隧道取大值。开挖轮廓预留变形量的取值，可根据围岩类别和隧道宽度采用工程类比法确定，当无类比资料时，按表11.1.9值选用。

隧道周边围岩变形量不仅随围岩类别和隧道宽度不同而异，而且与施工方法、初期支护、辅助施工措施等密切相关，因此，施工中应根据本隧道现场监控量测数据及时调整下一段同类围岩的预留变形量，以防止实际变形量超过预留量时，影响二次衬砌厚度或造成侵入限界，同时也避免因预留变形量过大而造成二次衬砌厚度过大或增加回填量等现象。

V、VI类围岩变形量很小，施工前预设计时可不予考虑。

第11.1.10条 隧道施工防水，贯彻以排为主，防、截、排、堵相结合的原则是多年工程实践的经验总结，施工防水与隧道永久防水，在防、截、排、堵的内容上虽有不同含义，但防水原则相同。施工防排水与永久性防排水相结合，不但在防排水工程造价方面可有大幅度降低，而且又可使施工防排水标准提高，使排水和防水设施充分的发挥效益。

在以排为主，防、截、排、堵相结合的原则执行过程中，应始终明确治水以防水在先，以排为主，截、堵只是为排水能更好实施的措施。或者可说，截、堵是为了更好的排水，为排水创造有利的条件。

此外，应注意施工期间洞外排水。当单面纵坡延至高端洞门外的长路堑内及岩性松散时，易造成进洞困难、坡脚泡水、坡面

滑塌而带来的严重后果。如无妥善排水措施时，不可先拉槽进洞，而应考虑低端洞口单向掘进。

第11.1.11条 利用高山水池与隧道的高差获得所需要的供水压力，不但价廉而且供水压力稳定，是隧道施工常用供水方式。因为高山水池供水管道长而且一般裸露，在寒冷地区施工要重视保温。在冻结深度不大时，可采用埋入法，将管道埋入在冻结线以下；如在严寒地区，冻结线较深时，对深埋管道则要作经济分析，与采用压力罐供水相比较，以决定取舍。

第11.1.12条 条文规定只是在传统的刚性衬砌条件下采用的方法，由于大型塌穴在拱背要砌筑护拱、回填弃渣，这无疑增加了拱的负担，所以条文规定衬砌须相应加强，把护拱和回填的重量作为荷载的部分验算衬砌的强度。对于复合式衬砌，由于二次支护只承担荷载的一少部分，大部分围岩压力由围岩自身承担，遇有大型塌方时先对塌穴的围岩进行加固，使塌穴自稳，并对初期支护予以加强在围岩和塌穴充分稳定后方可进行二次支护。对塌穴不宜采用一般填料回填，以避免二次衬砌过多承载，可用增设锚杆钢筋网喷射混凝土（如图11.1.12）等措施以加强初期支护与二次衬砌间的支撑接触。

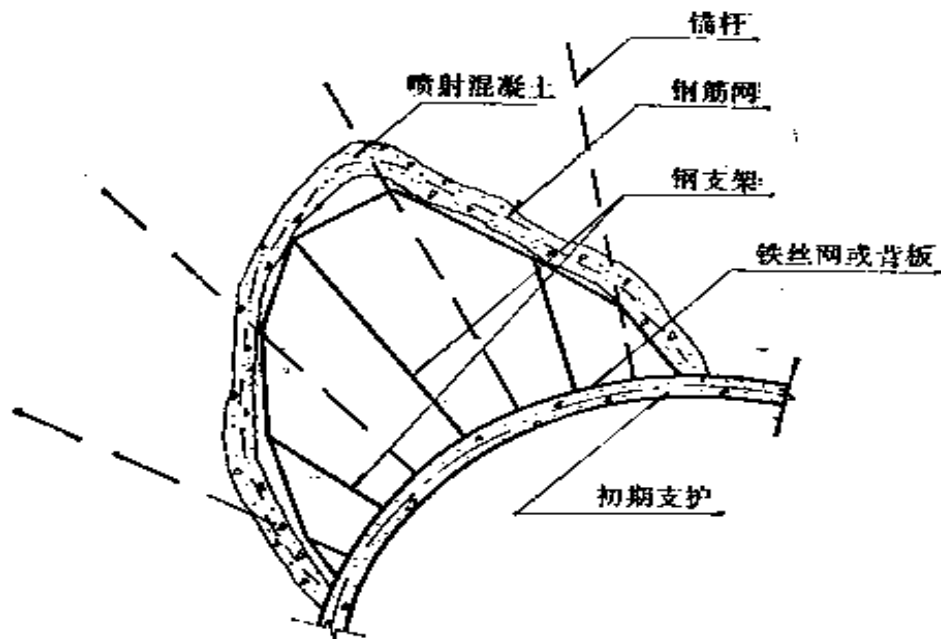


图11.1.12 较大空隙或塌穴处理

第11.1.13条 隧道施工的核心是对围岩的开挖，而最终暴露的是衬砌的表面，被隐蔽的围岩的性状直接影响隧道的质量和营运寿命，所以隧道的竣工文件中必须要有隐蔽工程准确的记录。而这些原始的记录是无法后补的，只能在施工的过程中不断的搜集记录，包括工程监理测试数据，与竣工文件同时提供构成工程档案的重要部分。原始资料又是竣工图的基本依据，所以在施工过程中对原始资料的搜集整理不可忽视。

第二节 辅助坑道

第11.2.1条 选设辅助坑道，条文提出“应根据隧道长度、施工期限、地形、地质、水文、弃碴场地等条件，并结合通风及排水需要，通过技术经济比较确定”，这些条件有其相互联系和辩证的关系，也有其特定场合的需要。一般的说来，隧道长度是选设辅助坑道的基本条件。施工期限是前提。当某条线路一经决定施工，必然就有一定工期的要求，在通盘安排施工组织计划之后，在正常的情况之下，当隧道以两个工作面掘进不能满足工期进度要求时，就有考虑设置辅助坑道的必要，以增辟工作面，适应施工工期的要求。根据目前实际情况来看，超过一定长度的隧道，为了解决出碴、运输、通风、排水和施工干扰等问题，以利组织快速施工，适合工期需要，一般需设置辅助坑道。有的洞口地形陡峭，无法从正面进洞，或者桥、隧工程干扰大，不能从正面施工；有的隧道虽然不长，但洞口地质不良，正面进洞相当困难；有的隧道地下水很大，正洞排水与施工互相干扰时，均应考虑采用合适的辅助坑道。辅助坑道的选设应通过技术经济比较确定，不能只从施工方便考虑。

第11.2.2条 辅助坑道洞口，由于开挖进洞破坏了山体原来的平衡状态，在边、仰坡不甚稳定的情况下，在施工中就需修建洞口衬砌，以保施工安全。即使施工中未作衬砌，当施工后不予利用时，为了保证长远的安全，也必须予以衬砌封闭处理。辅助坑道与隧道接头处，由于围岩受到较大的扰动，一般围岩压力较

之正常状态为大，而且围岩压力分布比较复杂，为了保证隧道的安全稳定和营运安全，采取永久性的衬砌处理措施甚为必要，故作上述规定。

岔洞处由于跨度大，地层压力作用复杂，有应力集中或偏压等现象，容易失稳坍塌，为保证安全，故条文提出应采取相应的加强措施。

第11.2.3条 从地下空间是一种资源的角度来看施工后的辅助坑道，如果不予综合改造利用则是对资源的浪费，而如何综合改造利用，在确保隧道稳定和营运安全的前提下，要从经济效益考虑，也可作为工程管理空间或布置服务设施等。如果利用则应设永久性衬砌。选用支护类型时，优先考虑锚喷是因为锚喷施工方便，而且成本低。如作为服务性设施而利用则还应有装修等。

对隧道竣工后无法利用的辅助坑道，如处理不当亦会造成不良后果。

以往不利用的辅助坑道，施工以后一般封闭了事，未能予以应有的重视。交付营运以后，一些有水的隧道，由于辅助坑道未作妥善处理，导坑内排水不良，以致倒灌入正洞。在地质不良地段，坑道内坍方严重，个别危及了正洞的安全，不得不返工整治。为此，条文规定了对无法利用的辅助坑道于隧道竣工后的处理措施。条文内容里强调了两点：第一，对于不予利用的辅助坑道，原则上要作处理，因而只提处理措施及选用材料的问题；第二，在处理措施和材料的选择上指出应考虑的因素，主要为地质条件和排水需要。

条文中列出的三项，只是必要的处理或是最基本的处理，而不是处理的全部措施。

第11.2.4条 辅助坑道的断面尺寸，对轨道运输而言，分单车道和双车道断面。平行导坑多用单车道，在一定的长度段内设置会车线。对无轨运输或皮带运输的辅助坑道，断面则要个别设计，除了考虑运输车辆的占用空间外，还要有排水、管线的设置空间和保证人员通行的安全空间。“如作为营运通风之用，则应

核算其面积”。这是根据过去某些隧道在设计辅助坑道时未考虑适应营运通风的要求，当以后需要结合利用时，往往发现坑道断面不能满足营运通风的需要而又进行改造或重建，因而提出来的。对于营运通风道断面的选定来说，一般认为良好的风道风速应在12m/s以下，可使克服坑道摩擦阻力需要的压力减小，因而可以节约通风所需的动力。克服风道内阻力所需的压头，其关系式如下：

$$h = RQ^2$$

$$= \alpha_{\text{摩}} \cdot \frac{Sl}{F^3} Q^2 \quad (11.1)$$

式中： $\alpha_{\text{摩}}$ ——沿程摩擦阻力系数；
 S ——断面周边长(m)；
 l ——风道长度(m)；
 F ——风道断面积(m²)；
 Q ——所需风量(m³/s)。

设坑道长度 $l = 200\text{m}$ ，所需通风量为 $120\text{m}^3/\text{s}$ 及 $240\text{m}^3/\text{s}$ ，其不同断面积需要的压头 h 和通风过程克服上述摩阻以及通风机所需的轴功率的关系列于表11.2.4及图11.2.4-1、11.2.4-2。

通风量与通风机所需轴功率 表11.2.4

Q (m ³ /s)	F (m ²)	S (m)	V (m/s)	R	$h = RQ^2$	$(N) = \frac{hQ}{1027} \text{ (kW)}$
120	5.0	8.78	24	0.004636	67	131
120	7.0	10.78	17.1	0.002074	30	58.8
120	10.0	12.78	12.0	0.0008105	12	23.5
240	5.0	8.78	48.0	0.004636	267	1047
240	7.0	10.78	34.2	0.002074	119	467
240	10.0	12.78	24.0	0.0008105	47	184
240	20.0	23.34	12.0	0.0001926	11	43

注： (N) ——通风机轴功率； $\alpha_{\text{摩}} = 0.00033$ ， $\eta = 0.60$ 。

从表11.2.4及图11.2.4-1、图 11.2.4-2 可以看出, 断面过小, 需要增加风机压头甚大。在风量 $Q = 120\text{m}^3/\text{s}$ 时, $F = 5\text{m}^2$

($V = 24\text{m}/\text{s}$) 比 $F = 10\text{m}^2$ ($V = 12\text{m}/\text{s}$) 压头增加 $\frac{67}{12} = 5.58$ 倍, 耗电量增加4.58倍 (克服风道摩擦阻力); 当风量在 $240\text{m}^3/\text{s}$ 时, $F = 5\text{m}^2$ ($V = 48\text{m}/\text{s}$) 比 $F = 20\text{m}^2$ ($V = 12.0\text{m}/\text{s}$) 压头增加 $\frac{267}{11} = 24.3$ 倍, 耗电量增加24.3倍。

根据上述计算资料, 说明断面的大小对消耗的动力影响很大。当辅助坑道同时要求作为通风道时, 在确定断面尺寸时, 应根据所需的通风量核算其面积, 若不满足营运通风要求时, 需将断面扩大。否则, 以后要重新扩大断面, 费工费料, 如勉强利用则需增加动力消耗, 都将造成浪费。

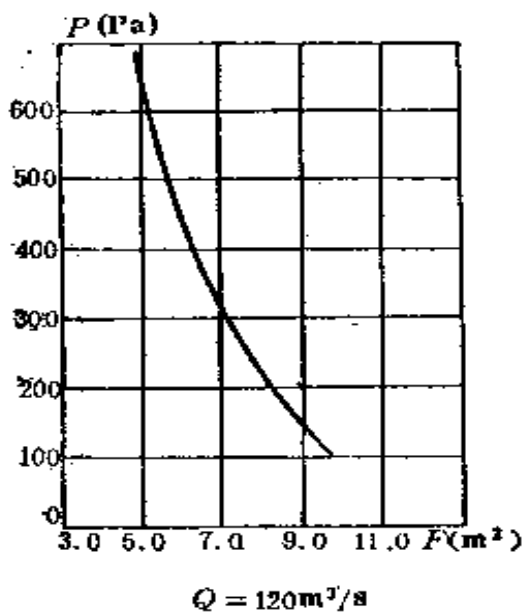


图11.2.4-1 $Q = 120\text{m}^3/\text{s}$

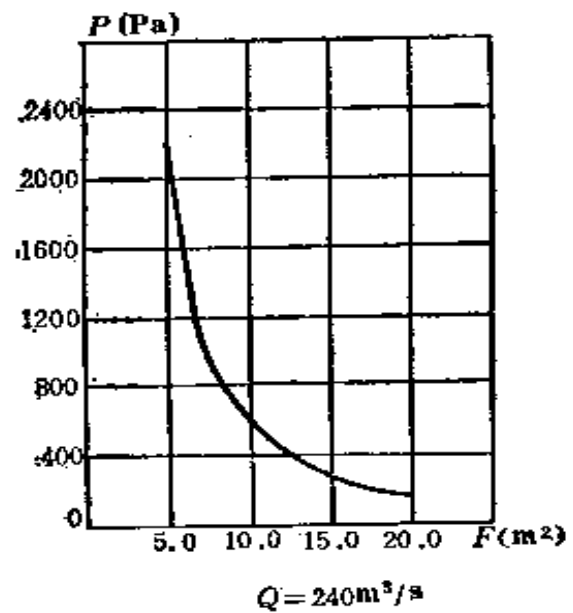


图11.2.4-2 $Q = 240\text{m}^3/\text{s}$

第11.2.5条 傍山沿河的隧道, 隧道轴线一般距河道一侧距离较短, 如需设置辅助坑道, 采用横洞经济方便。在横洞选位时, 应考虑隧道的主攻方向, 以发挥横洞增加工作面的最大效

益。横洞与正洞相交的平面角度方向应与横洞的主攻方向一致。规定平面交角以 $40^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 为宜，是考虑运输，特别是轨道运输的要求。向洞外应有0.3%的下坡，是考虑洞内出碴和排水的需要。

第11.2.6条 规范对隧道的等级划分，大于3000m的为特长隧道，特长隧道又多为越岭隧道，越岭隧道一般埋置较深，选用横洞、斜井等辅助坑道条件较差。长大隧道又往往控制工期，如不设辅助坑道将会给出碴、排水、通风等造成困难，拖长工期，则可采用平行导坑。平行导坑可减少施工干扰，解决出碴、通风、排水等问题，并可提供增辟工作面的条件。由于平行导坑超前于正洞，对探明地质、疏导地下水都有明显的作用，是加快施工进度的有力措施。在设有复线（或双孔）隧道时，平行导坑又可设在复线隧道的导坑位置，成为复线隧道的一部分，有很好的施工和经济效益。但设平行导坑特别不设复线隧道时，会增加工程造价。隧道越长，平行导坑的经济效益越好，而隧道越短，设平行导坑的经济效益比例越低。根据我国铁路隧道的调查分析，将3000m作为采用平行导坑的分界线，这正是条文所说的特长隧道的长度界线。对平行导坑的选位，条文所列出的三条是必须要考虑的。选设平行导坑，首先要考虑所要解决的主要矛盾，如果与复线隧道的位置设置不矛盾时，应考虑设在地下水来源一侧，与正洞最小净距在不设复线隧道时参照相邻隧道最小净距执行，如设置复线，平行导坑作为复线隧道考虑时，应按两隧道的间距要求考虑平行导坑的位置。平行导坑低于正洞0.2~0.5m是考虑排水和出碴的需要。

平行导坑与正洞连接的横通道的间距，据施工实践认为一般120m为宜，并与施工方法相协调。

平行导坑必须超前于正洞开挖面，其超前的距离不宜小于两个横通道的间距，只有当平行导坑有足够的超前量，方能达到探明地质、正洞排水、出碴调车、正洞开挖通风等目的，以提高施工进度。当条件允许时，平行导坑应争取多超前早贯通，这样可以为正洞增开新的工作面，又可避绕当正洞开挖面遇到的不良地

质障碍，以争取进度。

第11.2.7条 设置斜井与竖井的先决条件是隧道较长，在沿线存在埋置不深且地质良好的地段，却又不存在开挖横洞或平行导坑的条件时才被采用。从施工的角度说，竖井比斜井出碴、开挖都困难，只有不宜设置斜井时才考虑设置竖井。对于公路隧道，如考虑营运通风时，可与竖井的选设通盘考虑，把施工竖井纳入营运通风竖井，这样有利于施工，也降低了营运通风的成本。为缩短斜井或竖井的长度，在选位时往往选在地面低凹的地方，这也正是受洪水威胁最大的地方，所以条文规定斜井和竖井的井口不得设在能被洪水淹没的地方，对井口的设置高度作了规定，并特别强调了井口必须有防洪措施。

第11.2.8条 斜井的倾角主要取决于提升方式和提升量，并结合井长及井口地形，条文规定的是不同提升方式的最大倾角。资料来源于多年的工程实践。斜井设变坡，从工程角度说无意义，却增加了运输的不便。井口和井底设置竖曲线是为了斜井的运碴车辆能顺利的通过变坡点，不致发生脱轨脱钩现象，以保证牵引和运输的畅顺。

第11.2.9条 斜井坡度较大，出碴、进料的运输安全要特别强调，条文规定的就是基于这方面的要求。斜井运输车辆一般不允许人员乘坐，所以规定斜井必须设置不小于0.7m宽的人行道供上下班工人行走，如洞内发生骤急情况，作为紧急出口，人行道更是不可少，并尽可能的设置台阶。人在大于 15° 的坡道行走会出现打滑，所以规定倾角大于 15° 时应设置台阶。

第11.2.10条 竖井与正洞的连接有两种形式，一种是竖井的轴线在正洞的上方与正洞直交，一种是竖井的轴线在正洞的一侧与正洞以平道连接，其平洞长度一般为15~20m。两种连接形式各有利弊。在井口段，地质条件较差的井身段以及井底车场的上方（马头门上方），因为地质条件差，衬砌与岩壁间粘结力弱，地基承载能力低，可设置壁座，以扩散所承受的负荷，减轻局部地基的承载。壁座设置的间距，可根据地质条件、施工方法

及衬砌结构而定，一般在松软地层中相距为20~25m。

第11.2.11条 斜井和竖井在施工中，安全工作是一个重要问题。提升罐的坠落往往会造成严重的后果，作为应急通道竖井须设供人员进出的安全梯，并应加设扶手；吊笼应有罐道定位，以防吊笼摆动碰撞井壁和设备，确保安全梯的完好与畅通。

附录 钢筋混凝土受弯和偏心 受压构件的截面强度计算

本附录是对条文中附录Ⅳ的说明。

(一)关于钢筋混凝土受弯构件截面强度的计算,是按《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)第42、43、44、45各条的规定拟定的。其中T形截面受弯构件,当受压区面积为T形时,根据试验说明该处不能充分发挥 R_w 的作用,主要是翼缘与肋相交处截面传递剪应力受到限制,故用抗压极限强度 R_s 计算, $R_s = 0.8R_w$ 。

(二)按《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)第48条拟定的。该条文说明如下:

按照抗剪要求,规定了受弯构件的截面尺寸条件,其目的是防止当截面尺寸过小,抗剪钢筋过多,在抗剪钢筋尚未充分发挥作用时,混凝土先发生破坏,同时也可控制斜压破坏。公式(附4.1.8)的实质是最大配箍率条件,即截面剪压破坏强度的上限,也是梁的斜压破坏强度。根据工程实践的经验,对一般受弯构件,当截面尺寸能满足本条要求时,也可以防止在使用荷载下出现过宽的斜裂缝。

本条为了反映斜压破坏的实质,与公式(附4.1.10) Q_{kh} 的计算公式相协调,公式(附4.1.8)改用 R_s 表示。公式(附4.1.8)与(TJ 10—74)公式(34)是一致的。

(三)按(TJ 10—74)第49条拟定,无须说明。

(四)、(五)参照(TJ 10—74)第50条和第51条、第52条拟定的。根据该条文说明如下:

根据国内外有腹筋和无腹筋梁的抗剪试验结果,以及我国工程实践的经验,拟定了 Q_{kh} 的计算公式。

大量的试验证明，钢筋混凝土梁抗剪破坏时，可以归纳为三种主要的破坏形态：剪切破坏、剪压破坏和斜压破坏。现采用的计算公式，是通过最小配箍率[见本条(六)]来考虑剪压破坏；通过最大配箍率条件[见本条(二)]关于截面尺寸条件来考虑斜压破坏，因此，腹筋的计算主要考虑剪压破坏这种大量的常见的斜截面破坏形态。

附图1表示在斜截面上产生剪压破坏时的受力情况，从平衡条件可知，当临近破坏时，斜截面的抗剪强度为：

$$Q_p = Q_h + Q_k + Q_w$$

$$\text{即 } Q_p = Q_{kh} + Q_w$$

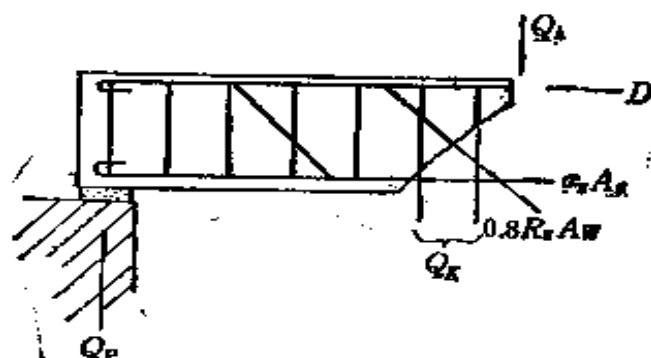
式中： Q_h ——斜截面上受压区钢筋混凝土的抗剪强度；

Q_k ——斜截面上箍筋的抗剪强度；

Q_w ——斜截面上同一弯起平面内的弯起钢筋的抗剪强度；

Q_{kh} ——斜截面上受压区混凝土和箍筋的抗剪强度。

试验表明，受压区混凝土和箍筋的抗剪强度可采用两项相加的关系式：



附图1 斜截面抗剪强度计算图

$$Q_{kh} = AR_s b h_0 + BR_g \frac{A_k}{S} h_0$$

根据国内外265根有腹筋梁的试验资料，并参照我国工程实践的经验，对公式中的系数确定如下：

$$Q_{kh} = 0.07R_s b h_0 + a_{kh} R_g \frac{A_k}{S} h_0$$

式中： a_{kh} ——抗剪强度影响系数，按下列规定采用：

当 $\frac{Q_{kh}}{bh_0R_s} \leq 0.2$ 时, $\alpha_{kh} = 2.0$

当 $\frac{Q_{kh}}{bh_0R_s} = 0.3$ 时, $\alpha_{kh} = 1.5$

当 $0.2 < \frac{Q_{kh}}{bh_0R_s} < 0.3$ 时, α_{kh} 按直接内插法取用。

当进行抗剪设计时, 还要考虑安全系数 K , 并应满足内力要大于或等于外力的原则:

$$KQ \leq Q_{kh}$$

为了便于计算, 当确定 α_{kh} 时, 上式中 $\frac{Q_{kh}}{bh_0R_s}$ 用 $\frac{KQ}{bh_0R_s}$ 代替, 同时不考虑 Q_w 的作用。

上述抗剪强度计算公式在运用上比较简便, 物理概念也较为直观。公式中的第一项 $0.07R_sbh_0$ 为有腹筋梁当配箍量少于或等于构造要求时, 斜截面上混凝土的设计抗剪强度, 也是按构造要求配置箍筋的界限; 第二项 $\alpha_{kh}R_g \cdot \frac{A_k}{S}h_0$ 反映箍筋对抗剪强度的综合影响。

第(五)中的公式(附4.1.11)中, 有关弯起钢筋的抗剪强度计算部分, $Q_w = 0.8R_gA_w \sin\theta$

试验表明, 与较密集的箍筋相比, 弯起钢筋系由个别的粗钢筋组成, 间距较大, 因而导致斜裂缝发展较快和较宽; 多排弯起钢筋的强度是否能达到 $0.8R_g$, 还缺少专门的验证资料, 因此本条只考虑同一弯起平面内的弯起钢筋。

(六)按规范式(附4.1.9)、(附4.1.10)计算, 当 $KQ \leq 0.07R_sbh_0$ 时, 仍应根据规范附表4.2.2-2的规定按构造要求配置箍筋。其理由是这种构造箍筋能防止构件发生突然的脆性剪切破坏, 抑制斜裂缝的开展, 抵抗由于温度和收缩等引起的拉力, 增加纵向钢筋的锚固, 因而是不可缺少的。

(七)、(八)关于钢筋混凝土矩形截面偏心受压构件截面强度的计算是按“钢筋混凝土结构设计规范”(TJ 10—74)第57、58条的规定拟定的。

在应用公式(附4.1.15)计算时,其“±”号的取用应注意:

1.计算中如用 $e = \frac{h}{2} + e_0 - a$ 或 $e' = \frac{h}{2} - e_0 - a'$, 则公式(附4.1.15)中的“±”号只承用正号。

2.因上式中 e 和 e' 的计算结果本身已带正负号,不必再按公式(附4.1.15)下面的一段条文考虑 N 的作用位置而另加正、负号。

(九)公式(附4.1.19)是参照《钢筋混凝土结构设计规范》(TJ 10—74)公式(64)拟定的。但由于本规范与(TJ 10—74)在计算构件的承载能力 KN 时混凝土和钢筋强度的取值不同,故本条中与偏心距有关的系数 α 的算式,近似地按本规范与(TJ 10—74) η 值相等的条件,由(TJ 10—74)中 $\alpha_0 =$

$$\frac{0.1}{0.3 + \frac{e_0}{h}} + 0.143 \text{ 换算得出。说明如下:}$$

对于小偏心受压构件,其 KN 主要决定于混凝土的抗压强度 R_a , 现以下角字“隧”表示本规范、“建”表示(TJ 10—74)(下同), 故得:

$$\frac{KN_{\text{隧}}}{KN_{\text{建}}} = \frac{R_{a\text{隧}}}{R_{a\text{建}}} = 1.20 \sim 1.27, \text{ 平均约} 1.25。$$

式中: $R_{a\text{隧}}$ ——见本规范表4.2.2混凝土的极限强度 R_a ;

$R_{a\text{建}}$ ——见(TJ 10—74)表1混凝土的设计强度 R_a 。

对于大偏心受压构件,其 KN 主要决定于钢筋的强度 R_g , 故得

$$\frac{KN_{\text{隧}}}{KN_{\text{建}}} = \frac{R_{g\text{隧}}}{R_{g\text{建}}} = 1.00$$

式中: $R_{g\text{隧}}$ ——见本规范表4.2.6钢筋的计算强度 R_g 或 R_g' ;

$R_{g建}$ ——见 (TJ 10—74) 表 5 钢筋的设计强度 R_g 或 R_g' 。

所以 $\frac{KN_{隧}}{KN_{建}} = \frac{1.25 + 1.00}{2} = 1.13 \approx 1.1$

取 1.1 目的是使 $\alpha - \frac{e_0}{h}$ 曲线无突变 (附图2)。

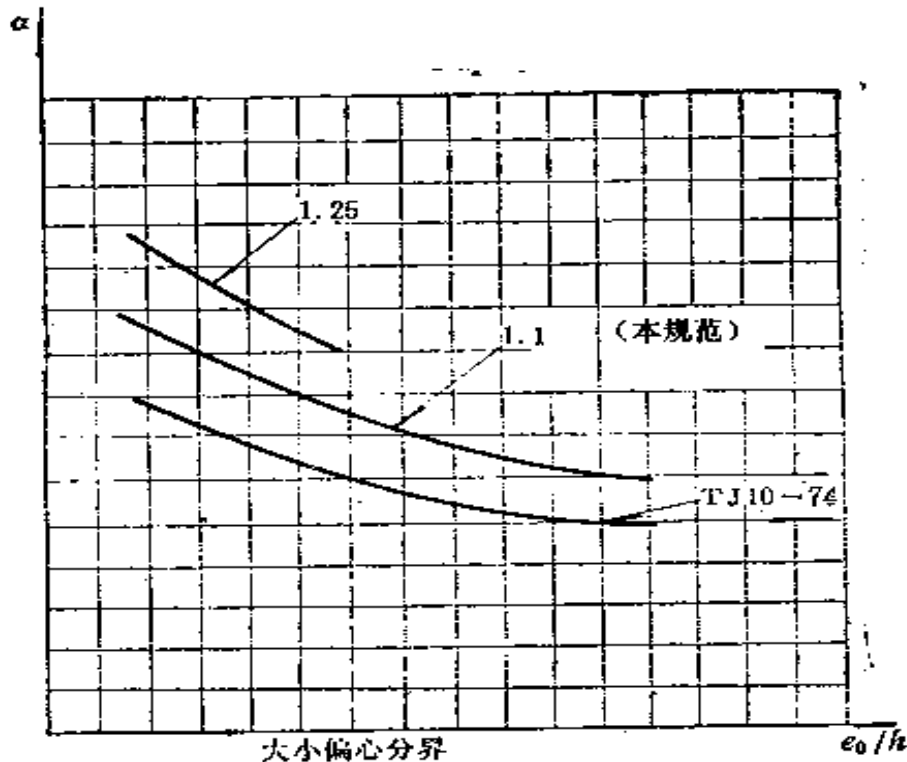
由 $\eta_{隧} \approx \eta_{建}$

即要求 $\frac{KN_{隧}}{\alpha_{隧}} = \frac{KN_{建}}{\alpha_{建}}$

所以 $\alpha_{隧} = 1.1\alpha_{建}$

$$= 1.1 \left(\frac{0.1}{0.3 + \frac{e_0}{h}} + 0.143 \right)$$

$$= \frac{0.11}{0.3 + \frac{e_0}{h}} + 0.16$$



附图2 $\alpha - \frac{e_0}{h}$ 曲线示意图

$$\text{当 } \frac{e_0}{h} \geq 1 \text{ 时, 取 } \alpha = \frac{0.11}{0.3 + 1} + 0.16 \approx 0.24$$

对于矩形截面偏心受压构件, 当弯矩作用平面的截面长度大于短边长度较多, 而偏心距不大时, 可能按偏心受压计算纵向弯曲的承载能力反而大于对短边长按中心受压计算的承载能力, 所以本规范除按偏心受压计算外, 还考虑了对短边长按中心受压进行稳定性的检算。

关于纵向弯曲系数, 规范附表4.1.2所列 ϕ 值系来自(TJ 10—74)表16。

根据建研院在短期荷载下的试验结果, 纵向弯曲系数的试验平均值可用下列经验公式表述:

$$\text{当 } H/h = 8 \sim 34 \text{ 时, } \phi = (1.177 \sim 0.021) H/h$$

$$\text{当 } H/h = 34 \sim 50 \text{ 时, } \phi = (0.87 \sim 0.012) H/h$$

规范附表4.1.2内的系数值, 是根据上述第一式得出。应当说明表中系数值并不等于上述经验公式计算结果, 在 $H/h < 20$ 的范围, 取值略高于经验公式, 而在 $H/h \geq 20$ 范围, 取值低于经验公式, 并且降低的程度随长细比增大而线性增加。这种处理主要是考虑以往的经验, 目的是使在 $H/h \geq 20$ 范围内不致用钢量增加过多, 而在大长细比时, 因荷载的偶然偏心及长期作用的不利影响较大, 应在短期试验结果的基础上留有一定余地, 以保证安全。该系数值与桥规也相同。