

中国工程建设标准化协会标准

给水排水工程 埋地钢管管道结构设计规程

Specification for structural design of buried steel pipeline of water supply and
sewerage engineering

CECS 141:2002

主编部门：北京市市政工程设计研究总院

批准部门：中国工程建设标准化协会

施行日期：2 0 0 3 年 3 月 1 日

前 言

本规程的内容原属于《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中第七章。为了逐步与国际接轨，方便工程应用和今后修订，现按照中国工程建设标准化协会（94）建标协字第 11 号《关于下达推荐性标准编制计划的函》的要求进行修订。并独立成本。

本规程系根据国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 和《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 规定的原则，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法编制，并与有关的结构专业设计规范协调一致。

本规程在修订过程中，总结了近十多年来原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 的工程实践经验，吸取了国外相关标准的内容，并经中国工程标准化协会管道结构委员会多次讨论，使内容有了充实和完善。

根据国家计委标[1986]1649 号文《关于请中国工程建设标准化委员会负责组织推荐性工程建设标准试点工作的通知》的要求，现批准协会标准《给水排水工程埋地钢管管道结构设计规程》，编号为 CECS141：2002，推荐给工程建设设计、施工、使用单位采用。

本规程第 3.1.1、1.2.1、5.1.5、5.2.2、5.2.4、5.2.5、5.3.3、8.0.1、8.0.7、8.0.9、8.0.10 条建议列入《工程建设标准强制性条文》。

本规程由中国工程建设标准化协会管道结构委员会 CECS/ TC17（北京西城区月坛南街乙二号北京市市政工程设计研究总院，邮编：100045）归口管理，并负责解释。在使用中如发现需要修改或补充之处，请将意见和资料径寄解释单位。

主 编 单 位：北京市市政工程设计研究总院

主要起草人：刘雨生 沈世杰 潘家多 钟启承

中国工程建设标准化协会

2002 年 12 月 25 日

目 次

前 言	3
1 总 则	5
2 主要符号	5
3 材 料	7
3.1 材质标准	7
3.2 计算指标	8
4 钢管管道结构上的作用	8
4.1 作用分类和作用代表值	8
4.2 永久作用标准值	8
4.3 可查作用标准值、准永久值系数	9
5 基本设计规定	11
5.1 一般规定	11
5.2 承载能力极限状态计算规定	12
5.3 正常使用极限状态验算规定	14
6 承载能力极限状态计算	14
6.1 强度计算	14
6.2 稳定验算	16
7 刚度验算	17
8 构造规定	17
附录 A 钢管管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数	19
附录 B 管侧土的综合变形模量	20
本规程用词说明	22

1 总 则

1.0.1 为了在给水处理工程埋地钢管管道结构设计中，贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于城、镇公用设施和工业企业中一般给水排水工程埋地焊接钢管管道结构设计，其埋设条件为素土平基或人工土弧基础。

本规程不适用于工业企业中具有特殊要求的埋地钢管管道结构设计。

1.0.3 本规程是根据现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 规定的原则编制的。

1.0.4 对于建设在地震区、湿陷性黄土或膨胀土等特殊条件地区的给水排水工程埋地钢管管道结构，其设计尚应符合国家现行有关标准的规定。

1.0.5 钢管管道施工时，尚应遵守现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的规定。

2 主要符号

2.0.2 管道上的作用和作用效应

F_{vk} ——管内真空压力标准值；

$F_{fw,k}$ ——浮托力标准值；

$F_{sv,k}$ ——管道单位长度上管顶竖向土压力标准值；

F_{wk} ——管道的工作压力标准值；

$F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值；

F_{tk} ——温度作用标准值；

G_{1k} ——钢管管道结构自重标准值；

G_{wk} ——管道内水重标准值；

q_{vk} ——地面车辆轮压产生的管顶处的单位面积上竖向压力标准值；

q_{mk} ——地面堆积荷载产生的竖向压力标准值；

ω_{max} ——管道的最大竖向变形。

2.0.2 材料性能

E_p ——钢管管材弹性模量；

E_e ——管侧向填土的变形模量；

E_n ——基槽两侧原状土的变形模量；

E_d ——管侧土的综合变形模量；

f ——钢管管材或焊缝的强度设计值；

α ——钢管管材的线膨胀系数；

γ_s ——回填土重度；

ν_p ——钢管管材的泊桑比；

ν_s ——回填土的泊桑比。

2.0.3 几何参数

a ——单个车轮着地分布长度；

b ——单个车轮着地分布宽度；

b_0 ——管壁计算宽度；

D_1 ——管道外壁直径；

D_0 ——管道的计算直径；

H_s ——管顶至设计地面的覆土高度；

r_0 ——管的计算半径；

r_1 ——管的外壁半径；

t_1 ——管壁设计厚度；

t_0 ——管壁计算厚度。

2.0.4 计算系数

C_{G1} ——钢管管道结构的自重效应系数；

$C_{G,sv}$ ——竖向土压力效应系数；

C_{Gw} ——管道内水重效应系数；

$C_{Q,wd}$ 、 C_{Qv} 、 C_{Qm} 、 C_{Qt} 、 C_{QS} ——分别为设计内水压力、地面车辆荷载、地面堆积荷载、温度作用和地基不均匀沉降的效应系数；

D_L ——变形滞后效应系数；

k_{gm} 、 k_{vm} 、 k_{wm} ——分别为钢管管道结构自重、竖向土压力和管内水重作用下柔性管管壁截面的最大弯矩系数；

k_b ——竖向压力作用下柔性管的竖向变形系数；

K_s ——抗滑稳定性抗力系数；

K_{st} ——管壁截面的设计稳定性抗力系数；

K_f ——抗浮稳定性抗力系数；

γ_{G1} 、 $\gamma_{G,sv}$ 、 γ_{Gw} 、 γ_{Gs} ——分别为管道结构自重、竖向土压力、管内水重和地基不均匀沉降的分项系数；

γ_Q ——设计内水压力、地面车辆荷载、堆积荷载和温度作用的分项系数；

ψ_c ——可变作用的组合系数；

ψ_q ——可变作用的准永久值系数。

3 材 料

3.1 材 质 标 准

3.1.1 钢管的管材强度等级不应低于 Q235，其质量应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 的要求。

3.1.2 钢管的焊接材料应符合下列要求：

1 手工焊接用的焊条，应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117 的要求。选用的焊条型号应与钢管管材力学性能相适应。

2 自动焊或半自动焊应采用与钢管管材力学性能相适应的焊丝和焊剂。焊丝应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957 的要求。

3.2 计算指标

3.2.1 钢管管材和焊缝的强度设计值，应根据现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

3.2.2 钢材的物理性能指标应按表 3.2.2 采用。

表 3.2.2 钢材的物理性能指标

弹性模量 E_p (N/mm ²)	重度 γ_{st} (kN/m ³)	线膨胀系数 α (以每 计)	泊桑比 ν_p
2.06×10^5	78.5	12×10^{-6}	0.3

4 钢管管道结构上的作用

4.1 作用分类和作用代表值

4.1.1 钢管管道结构上的作用可分为永久作用和可变作用两类：

1 永久作用应包括管道结构自重、竖向土压力、管道内水重和地基的不均匀沉降。

2 可变作用应包括管道内的设计内水压力、管道真空压力、地面堆积荷载、地面车辆荷载、地下水浮力和温度变化作用。

4.1.2 钢管管道结构设计时，对不同性质的作用应采用不同的代表值。作用标准值为作用的基本代表值。

对永久作用，应采用标准值作为代表值。对可变作用，应根据设计要求采用标准值、组合值或准永久值作为代表值。作用的组合值或准永久值，应为作用的标准值乘以作用的组合系数或准永久值数。

4.1.3 当钢管管道结构承受两种或两种以上可变作用，且按承载能力极限状态的作用效应基本组合进行设计时，可变作用应采用组合值作为代表值。

4.1.4 当按正常使用极限状态的作用效应准永久组合进行设计时，可变作用应采用准永久值作为代表值。

4.2 永久作用标准值

4.2.1 钢管管道结构自重标准值可按下式计算：

$$G_{1k} = \gamma_{st} \pi D_0 t \quad (4.2.1)$$

式中 G_{1k} ——钢管管道结构自重标准值 (kN/m)；

D_0 ——钢管管道的计算直径，按圆心至管壁中线计算（m）；

t ——管壁设计厚度（mm）；

γ_{st} ——钢管管材重度，按表 3.2.2 采用。

4.2.2 作用在钢管管顶的竖向土压力，其标准值应按下列公式计算：

$$F_{sv,k} = \gamma_s H_s D_1 \quad (4.2.2)$$

式中 $F_{sv,k}$ ——竖向土压力标准值（kN/m）；

γ_s ——回填土重度（kN/m³）；

H_s ——管顶至设计地面的覆土高度（m）；

D_1 ——管外壁直径（m）。

4.2.3 钢管管道内水的重度标准值 γ_w 可取 10kN/m³。

4.2.4 地基不均匀沉降的标准值，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定计算确定。

4.3 可查作用标准值、准永久值系数

4.3.1 钢管管道设计内水压力的标准值，应按下列规定计算：

1 对给水工程，可按下列公式计算：

$$F_{wd,k} = F_{wk} + 0.5 \quad (4.3.1-1)$$

式中 $F_{wd,k}$ ——钢管管道的设计内水压力标准值，取不小于 0.9；

F_{wk} ——钢管管道的工作压力标准值（MPa）。

2 对排水工程，可按下列公式计算：

$$F_{wd,k} = 1.5 F_{wk} \quad (4.3.1-2)$$

4.3.2 钢管管道在运行过程中可能产生的真空压力，其标准值 F_{vk} 可取 0.05MPa，准永久值系数可取 $\psi_q = 0$ 。

4.3.3 地面堆积荷载产生的竖向压力标准值 q_{mk} 可取 10kN/m²，准永久值系数可取 $\psi_q = 0.5$ 。

4.3.4 地面车辆轮压产生的管顶处竖向压力标准值及其准永久值系数，可按下列规定确定：

1 单个轮压产生的管顶处竖向压力标准值，可按下列式计算（图 4.3.4-1）：

$$q_{vk} = \frac{\mu_d Q_{vk}}{(a+1.4z)(b+1.4z)} \quad (4.3.4-1)$$

式中 Q_{vk} ——车辆的单个轮压标准值（kN）；

q_{vk} ——地面车辆轮压产生的管顶处单位面积上竖向压力标准值（kN/m²）；

μ_d ——动力系数，按表 4.3.4-1 采用；

a ——单个车轮的着地分布长度（m）；

b ——单个车轮的着地分布宽度（m）；

z ——车行地面至管顶的距离（m）。

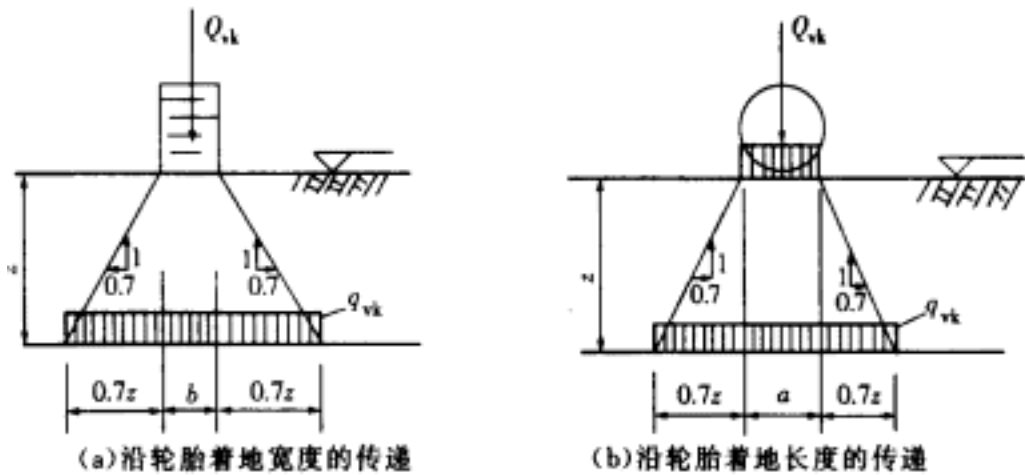


图 4.3.4-1 地面车辆单个轮压的传递分布

表 4.3.4-1 动力系数 μ_d

地面至管顶的距离(m)	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
μ_d	1.3	1.25	1.2	1.15	1.05	1.0

2 两个以上轮压产生的管顶处竖向压力标准值，可按下列式计算（图 4.3.4-2）：

$$q_{vk} = \frac{n\mu_d Q_{vk}}{(a+1.4z)(nb + \sum_{i=1}^{n-1} d_i 1.4z)} \quad (4.3.4-2)$$

式中 n ——车轮总数量；

d ——地面相邻两个轮压间的净距（m）。

3 地面车辆运行荷载的准永久值系数，应取 $\psi_q = 0.5$ 。

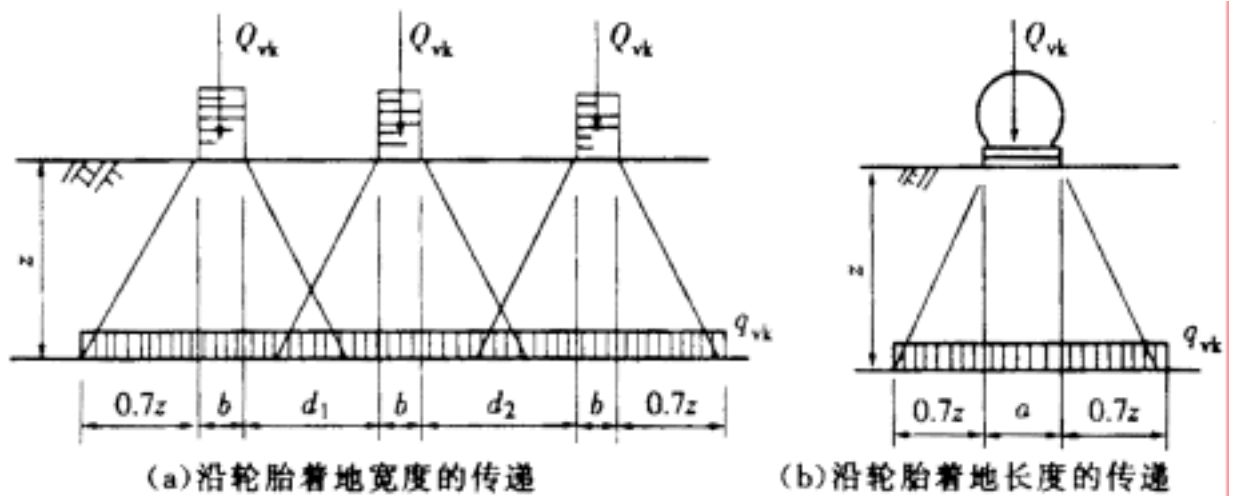


图 4.3.4-2 地面车辆两个以上轮压的传递分布

4.3.5 温度作用标准值可按管道闭合温差 ± 25 计算，准永久值系数可取 $\psi_q = 1.0$ 。

4.3.6 地下水的浮托力标准值应按最高地下水位计算，地下水的重度标准值可取 10kN/m^3 。

5 基本设计规定

5.1 一般规定

5.1.1 本规程采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以可靠指标度量管道结构的可靠度。除管道稳定验算外，均采用分项系数设计表达式进行设计。

5.1.2 钢管管道结构应按下列两种极限状态进行设计：

1 承载能力极限状态：管道结构达到最大承载能力，管壁因材料强度被超过而破坏；管道结构作为刚体失去平衡而上浮或滑移；管壁截面丧失稳定。

2 正常使用极限状态：管道的竖向变形超过正常使用的变形。

5.1.3 在确定结构分析模型时，钢管管道按柔性管计算，并按弹性体系计算内力，不考虑非弹性变形引起的内力重分布。

5.1.4 土弧基础设计和施工采用的土弧中心角度，应按下列规定确定：

1 应在结构计算采用的土弧中心角的基础上增加 $15^\circ \sim 20^\circ$ ；

2 对素土平基敷设的管道，可按土弧中心角为 20° 计算。

5.1.5 埋地钢管管道，当其敷设方向改变处的一侧或两侧没有柔性接头时，应对敷设方向改变处进行抗滑稳定验算，抗滑稳定性抗力系数 K_s 不应小于 1.5。

5.1.6 当采用重力式支墩或桩基抗滑时，应按相应规范的规定验算；当采用钢管管道与土壤间的摩擦力抗滑时，所需要的管道长度应按本规程第 6.2.4 条的规定进行验算。

5.2 承载能力极限状态计算规定

5.2.1 钢管管道结构按承载能力极限状态进行强度计算时，结构上的各种作用均应采用作用设计值。作用设计值应为作用分项系数与作用代表值的乘积。

5.2.2 钢管管道结构进行强度计算时，应满足下列要求：

$$\gamma_0 S \leq R \quad (5.2.2)$$

式中 γ_0 ——管道结构重要性系数，应根据现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定采用。对给水输水管道，当单线输水时取 1.1。

双线输水和配水管道取 1.0；污水管道取 1.0；雨水管道取 0.9；

S ——作用效应组合的设计值；

R ——钢管管道结构抗力设计值，应按第 3.2 节的规定确定。

5.2.3 钢管管道进行强度计算时，作用效应的基本组合设计值应按下列式确定：

$$S = \gamma_{G1} C_{G1} G_{1k} + \gamma_{G,sv} C_{sv} F_{sv,k} + \gamma_{Gw} C_{Gw} G_{wk} + \gamma_{Gs} C_{Qs} \Delta s + \psi_c \gamma_Q (C_{Q,wd} F_{wd,k} + C_{Qv} q_{vK} + C_{Qm} q_{mk} + C_{Qt} F_{tk}) \quad (5.2.3)$$

式中 γ_{G1} ——钢管管道结构自重分项系数，取 1.2，

$\gamma_{G,sv}$ 、 γ_{Gs} ——竖向土压力、地基不均匀沉降分项系数，取 1.27；

γ_{Gw} ——管内水重分项系数，取 1.2；

C_{G1} 、 $C_{G,sv}$ 、 C_{Gw} ——分别为钢管管道结构自重、竖向土压力及管内水重的效应系数；

γ_Q ——设计内水压力、地面车辆荷载、地面堆积荷载和温度作用的分项系数，取 1.4；

$C_{Q,wd}$ 、 C_{Qv} 、 C_{Qm} 、 C_{Qt} 、 C_{Qs} ——分别为设计内水压力、地面车辆荷载、地面堆积荷载、温度作用和地基不均匀沉降的效应系数；

G_{1k} ——钢管管道结构自重标准值（kN/m）；

$F_{sv,k}$ ——管道单位长度上管顶竖向土压力标准值；

$F_{wd,k}$ ——管道的设计内水压力标准值；

G_{wk} ——管道内水重标准值；

q_{vk} ——地面车辆轮压产生的管顶处单位面积上竖向压力标准值；

q_{mk} ——地面堆积荷载产生的竖向压力标准值；

F_{tk} ——温度作用标准值；

Δs ——地基不均匀沉降标准值；

ψ_c ——可变作用的组合系数，取 0.9。

5.2.4 对管壁截面进行稳定验算时，各种作用均应采用标准值，并满足设计稳定性抗力系数 K_{st} 不低于 2.0 的要求。

5.2.5 对埋地在地下水水位以下的钢管道，应根据最高地下水水位和管道复土条件验算抗浮稳定性。验算时各种作用应采用标准恒，并应满足抗浮稳定性抗力系数 K_f 不低于 1.1 的要求。

5.2.6 按承载能力极限状态计算时，各种作用组合的工况应按表 5.2.6 的规定采用。

表 5.2.6 按承载能力极限状态计算的作用组合

计算项目	计算工况	永久作用				可变作用					
		竖向土压力 F_{sv}	客自重 G_w	管自重 G_1	不均匀沉降 Δ_s	设计内水压力 F_{wd}	地面车辆荷载 q_v	地面堆积荷载 q_m	真空压力 F_v	浮托力 F_{fv}	温度作用 F_t
强度计算	1										
	2										
抗浮验算	1										
管壁	1										

稳定 验算	2									
注：表中“ ”标记的作用为相应工况应予计算的项目，“ ”标记的作用应按具体设计条件确定采用。										

5.3 正常使用极限状态验算规定

5.3.1 钢管管道按正常使用极限状态验算时，各种作用效应均应采用作用代表值计算。

5.3.2 钢管管道按正常使用极限状态进行变形验算时，作用效应设计值 S_d 可按下列公式计算：

$$S_d = C_{G,sv} F_{sv,k} + C_{Q,\psi} q_{ik} \quad (5.3.2)$$

式中 q_{ik} ——地面车辆荷载 q_{vk} 或地面堆积荷载 q_{mk} ，应根据设计条件采用其中较大者。

5.3.3 钢管管道在准永久组合作用下，最大竖向变形限值应按下列规定采用：

- 1 当内防腐为水泥砂浆时，最大竖向变形不超过 $0.02 D_0 \sim 0.03 D_0$ ；
- 2 当内防腐为延性良好的涂料时，最大竖向变形不应超过 $0.03 D_0 \sim 0.04 D_0$ 。

6 承载能力极限状态计算

6.1 强度计算

6.1.1 钢管管道的强度计算，应满足下列要求：

$$\eta \sigma_{\theta} \leq f \quad (6.1.1-1)$$

$$\gamma_0 \sigma \leq f \quad (6.1.1-2)$$

式中 σ_{θ} ——钢管管壁截面的最大环向应力 (N/mm^2)；

σ ——钢管管壁截面的最大组合折算应力 (N/mm^2)；

η ——应力折算系数，可取 0.9；

f ——钢管管材或焊缝的强度设计值，按第 3.2.1 条的规定采用。

6.1.2 钢管管壁截面的最大组合折算应力，应按下列公式计算：

$$\sigma = \eta \sqrt{\sigma_{\theta}^2 + \sigma_x^2 - \sigma_{\theta} \sigma_x} \quad (6.1.2)$$

式中 σ_x ——钢管管壁截面的纵向应力 (N/mm²)。

6.1.3 钢管管壁截面的最大环向应力 σ_θ 应按下列式确定：

$$\sigma_\theta = \frac{N}{b_0 t_0} + \frac{6M}{b_0 t_0^2} \quad (6.1.3-1)$$

$$N = \varphi_c \gamma_Q F_{wk,k} r_0 b_0 \quad (6.1.3-2)$$

$$M = \varphi \frac{(\gamma_{G1} k_{gm} G_{1k} + \gamma_{G,sv} k_{vm} F_{sv,k} + \gamma_{Gw} k_{wm} G_{wk} + \gamma_Q \psi_c k_{vm} q_{ik} D_1) r_0 b_0}{1 + 0.732 \frac{E_d}{E_p} \left(\frac{\gamma_0}{t_0}\right)^3} \quad (6.1.3-1)$$

式中 b_0 ——管壁计算宽度 (mm)；

φ ——弯矩折减系数，取 0.7 ~ 1.0；

t_0 ——管壁计算厚度 (mm)，取 $t_0 = t - 2$ ；

r_0 ——管的计算半径 (mm)；

M ——在荷载组合作用下钢管管壁截面上的最大环向弯矩设计值 (N·mm)；

N ——在荷载组合作用下钢管管壁截面上的最大环向轴力设计值 (N)；

E_d ——钢管管侧土的综合变形模量 (N/mm²)，当为单线敷设时可按附录 B 采用；

当为双线敷设或与其他管线合槽施工时，其取值应根据实际情况具体确定；

E_p ——钢管管材弹性模量 (N/mm²)；

k_{gm} 、 k_{vm} 、 k_{wm} ——分别为钢管管道结构自重、竖向土压力和管内水重作用下管壁

截面的最大弯矩系数，可按附录 A 确定；

D_1 ——管外壁直径 (mm)。

6.1.4 钢管管壁的纵向应力应按下列式计算：

$$\sigma_x = \nu_p \sigma_\theta \pm \psi_c \gamma_Q \alpha E_p \Delta T + \sigma_\Delta \quad (6.1.4)$$

式中 ν_p ——钢管管材泊松比；

α ——钢管管材线膨胀系数；

ΔT ——钢管管道的闭合温差；

σ_Δ ——地基不均匀沉降引起的纵向应力，可按弹性地基上的长梁计算确定。

6.2 稳定验算

6.2.1 钢管管壁截面的稳定性验算，应满足下式要求：

$$F_{cr,k} \geq K_{st}(F_{sv,k} + q_{ik}) \quad (6.2.1)$$

式中 $F_{cr,k}$ ——钢管管壁截面的临界压力 (N/mm²)；

$F_{sv,k}$ ——管内真空压力标准值 (N/mm²)；

K_{st} ——钢管管壁截面的设计稳定性抗力系数，应按第 5.2.4 条的规定采用。

6.2.2 钢管管壁截面的临界压力应按下列式计算：

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2 - 1)}{3(1 - \nu_p^2)} \left(\frac{t}{D_0}\right)^3 + \frac{E_d}{2(n^2 - 1)(1 + \nu_s)}$$

式中 n ——钢管管壁失稳时的折皱波数，其取值应使 $F_{cr,k}$ 为最小并为不小于 2 的正整数；

ν_s ——钢管两侧胸腔回填土的泊桑比，应根据土工试验确定。

6.2.3 钢管管道的抗浮验算，应满足下列式的要求：

$$\sum F_{Gk} \geq K_f F_{fw,k} \quad (6.2.3)$$

式中 $\sum F_{Gk}$ ——各种抗浮作用标准值之和；

$F_{fw,k}$ ——浮托力标准值；

K_f ——抗浮稳定性抗力系数，应按第 5.2.5 条的规定采用。

4 当钢管管道在敷设方向改变处一侧或两侧有柔性接头时，柔性接头距敷设方向改变处的距离 l 应满足下列式的要求：

$$l \geq \frac{K_s F_{wd,k} A(1 - \cos\alpha)}{F_{fk}} \quad (6.2.4-1)$$

$$A = \frac{\pi}{4} (D_1 - 2t_0)^2 \quad (6.2.4-2)$$

式中 A ——钢管横截面流水面积 (m²)；

$F_{wd,k}$ ——钢管管道的设计内水压力标准值 (kN/m²)；

K_s ——抗滑稳定性抗力系数，按 5.1.5 的规定采用；

F_{fk} ——管道单位长度摩擦力标准值 (kN/m)；

α ——管道转角；

6.2.5 管道单位长度摩擦力标准值 F_{fk} 可按下式计算：

$$K_s = \frac{\pi}{2} \mu_s \gamma_s D_1 \left(H_s + \frac{1}{3} H_s + \frac{D_1}{2} \right) + \frac{\pi \mu_s \gamma_w}{4} (D_1 - 2t_0)^2 \quad (6.2.5)$$

式中 μ_s ——钢管管道与土壤间的摩擦系数，应根据试验确定；当缺乏试验资料时，可采用 0.25 ~ 0.4。

7 刚度验算

7.0.1 钢管管道在准永久组合作用下的最大竖向变形验算，应满足下式要求：

$$\omega_{d,\max} \leq \varphi D_0 \quad (7.0.1)$$

式中 $\omega_{d,\max}$ ——管道在准永久组合作用下的最大竖向变形；

D_0 ——管道的计算直径，可按管壁中心计算；

φ ——变形百分率，按第 5.3.3 节的规定采用。

7.0.2 钢管管道在准永久组合作用下的最大变形竖向 $\omega_{d,\max}$ ，应按下式计算：

$$\omega_{d,\max} = \frac{D_L K_b r_0^3 (F_{sv,k} + \psi_q q_{ik} D_1)}{E_p I_p + 0.061 E_d r_0^3} \quad (7.0.2)$$

式中 D_L ——变形滞后效应系数，取 1.0 ~ 1.5；

K_b ——竖向压力作用下柔性管的竖向变形系数，按附录 A 确定；

I_p ——钢管管壁纵向截面单位长度的截面惯性矩 (mm^4)。

8 构造规定

8.0.1 钢管管道的设计厚度应采用计算厚度加构造厚度，构造厚度为 2mm。

8.0.2 钢管件的管壁设计厚度，应采用直管管壁的设计厚度加 1 ~ 2mm。

8.0.3 钢管件中的三通、四通、叉通等的开孔处，应进行孔洞加固。

8.0.4 钢管施工制作的下列指标，应在有关的设计文件中规定。

1 管子制作的椭圆度不得大于 $0.01 D_1$ ；在管节的安装端不得大于 0.005。

2 对接管节的管端切口角应吻合，误差不应超过壁厚的 1/4。管端接口间隙量不得大

于 2.5mm，当不符合要求时应补加短管连接。

3 对接管口的中心偏差，当管径小于 1200mm 时不得大于 1mm；当管径不小于 1200mm 时不得大于 2mm。

4 对接管节的管口平面偏差不得大于 1.5mm。

5 组装管节时，管节的纵向焊缝应放置在与铅直线成 45° 的部位，并应将相邻管节的纵向焊缝位置错开。

6 钢管的对接焊缝应予焊透。制作时，其对接焊缝的质量等级应不低于二级并符合设计文件的要求。施工安装时，其对接环向焊缝的质量应符合《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的规定。

8.0.5 管壁上的开孔和接入支管部位应避开焊缝，且不应开设矩形孔洞。

8.0.6 当钢管管道采用人工土弧基础时，人工土弧基础应采用中粗砂或细碎石铺设。管底以上部分人工土弧砂基础的尺寸可根据工程需要的砂基角度确定。管底以下部分人工土弧砂基础的厚度可按式确定，但不宜大于 0.3m。

$$h_d = 0.1(1+D) \quad (8.0.6)$$

式中 h_d ——管底以下部分人工土弧砂基础厚度 (m)；

D ——管内径 (m)。

8.0.7 管道周围回填土的压实系数，应在有关的设计文件中明确规定。当管底以下部分为人工土弧基础时，压实系数不得大于 0.9。管底以上部分的人工土弧基础和管两侧胸腔部分的回填土压实系数，应根据设计要求确定。

8.0.8 施工中应严格控制管道竖向变形。当管道直径较大，管顶覆土较深时，应采用预加变形等措施。

8.0.9 钢管管道内外壁的防腐做法，必须符合国家现行有关标准的规定。

8.0.10 钢管用于输送用水的给水工程管道时，其内防腐材料必须符合国家现行有关卫生标准的要求，确保对人体健康无害。

附录 A 钢管管道在各种荷载作用下的 最大弯矩系数和竖向变形系数

钢管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数，可按表 A 采用。

表 A 最大弯矩系数和竖向变形系数

项目		土弧基础中心角				
		20 °	60 °	90 °	120 °	150 °
弯矩系数	管道自重 k_{gm}	0.202	0.134	0.102	0.083	0.077
	竖向土压力 k_{vm}	0.255	0.189	0.157	0.138	0.128
	管内水重 k_{wm}	0.202	0.134	0.102	0.083	0.077
变形系数	竖向压力 k_b	0.109	0.103	0.096	0.089	0.085

附录 B 管侧土的综合变形模量

B.0.1 管侧土的综合变形模量应根据管侧回填土的土质、压实密度和基槽两侧原状土的土质，综合评价确定。

B.0.2 管侧土的综合变形模量 E_d 可按下式计算：

$$E_d = \xi E_e \quad (\text{B.0.2})$$

式中 E_e ——管侧口填土在要求压实密度下的变形模量 (MPa)，应根据试验确定；当缺乏试验数据时，可按表 B.0.2-1 采用；

ξ ——与 B_r (管中心处槽宽度) 和 D_1 的比值及 E_e 与基槽两侧原状土变形模量 E_n 的比值有关的计算参数，按表 B.0.2-2 确定。

表 B.0.2-1 管侧回填土和槽侧原状土的变形模量 (MPa)

回填压实系数 (%)		85	90	95	100
土的种类	原状土类别				
	贯入锤击数 $N_{63.5}$	4 < N 14	14 < N 24	24 < N 50	> 50
砾石、碎石		5	7	10	20
砂砾、砂夹石，细粒土含量不大于 12%		3	5	7	14
同上，细粒含量大于 12%		1	3	5	10
粘性土或粉土 ($\omega_L < 50\%$) 砂粒含量大于 25%		1	3	5	10
粘性土或粉土 ($\omega_L < 50\%$) 砂粒含量小于 25%		—	1	3	7

注：1 表中数值适用于 10m 以下覆土；当覆土超过 10m 时，上表数值偏低；

2 回填土的变形模量 可按要求的压实系数采用；表中的压实系数 (%) 指设计要求回填土压实后的于密度与该土相同压实能量下最大于密度的比值；

3 基槽两侧原状土的变形模量 E_n 可按标准贯入度试验锤击数确定；

4 ω_L 为粘性土的液限；

5 细粒土指粒径小于 0.075mm 的土；

6 砂粒指粒径为 0.075 ~ 2.0mm 的土。

表B.0.2-2 计算参数 ξ

B_r / D_1 E_e / E_n	1.5	2.0	2.5	3.0	4.0	5.0
0.1	3.06	2.04	1.63	1.40	1.17	1.05
0.2	2.50	1.83	1.52	1.34	1.15	1.04
0.4	1.80	1.35	1.35	1.24	1.11	1.03
0.6	1.43	1.29	1.21	1.15	1.07	1.02
0.8	1.18	1.18	1.09	1.07	1.03	1.01
1.0	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.5	0.73	0.78	0.82	0.86	0.93	0.98
2.0	0.57	0.64	0.7	0.76	0.86	0.95
2.5	0.47	0.54	0.61	0.68	0.81	0.93
3.0	0.40	0.47	0.54	0.61	0.76	0.90
4.0	0.30	0.37	0.44	0.51	0.67	0.87
5.0	0.25	0.30	0.37	0.43	0.61	0.83

本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的：

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做的：

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做的：

正面词采用“宜”或“可”；反面词采用“不宜”。

二、条文中指定应按其他有关标准执行时，写法为“应按……执行”或“应符合……要求（或规定）”。

中国工程建设标准化协会标准

给水排水工程 埋地钢管管道结构设计规程

CECS 141:2002

条文说明

目 次

1 总 则	4
2 主要符号	4
3 材 料	4
3.1 材质标准	4
3.2 计算指标	5
4 钢管管道结构上的作用	5
4.1 作用的分类和作用的代表值	5
4.2 永久作用标准值	5
4.3 可变作用标准值、准永久值系数	5
5 基本设计规定	5
5.1 一般规定	5
5.2 承载能力极限状态计算规定	7
5.3 正常使用极限状态验算规定	7
6 承载能力极限状态计算	8
6.1 强度计算	8
6.2 稳定验算	9
7 刚度验算	10
8 构造规定	10
附录 A 钢管管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形系数	12
附录 B 管侧土的综合变形模量	13

1 总 则

1.0.1~1.0.2 本设计规程是对原规范《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中第七章钢管一节的修订，主要适用于城镇公用设施及工业企业中一般给水排水工程埋地钢管管道的结构设计。按照过去市政工程的习惯，埋地钢管管道较多用于给水工程的输水管线和配水管网中。近年来，有些排水和污水资源化再利用工程也采用了埋地钢管管道。为此，本规程修订后适当增加了在排水工程中应用的条款。

1.0.3 本条明确本规程是按照现行国家标准《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 规定的原则进行编制。在结构设计上采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，改变了原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中采用的单一安全系数设计方法。同时，将原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中的柔性管设计模式，由原苏联提出的模式（以下简称“耶式”）改为国际通用的美国 Spangler 模式（以下简称“斯式”）。这是本次修订的主要方面。

1.0.4 本条说明，对于承受偶然荷载的或修建在特殊地基上的钢管管道，如地震区、湿陷性黄土或膨胀土等地区，应按照国家现行的有关标准进行设计，本规程不再重复规

1.0.5 埋地钢管管道属柔性管道，回填土的质量等对钢管管道受力的影响至关重要。因此，本条强调在施工中除符合本规程的有关规定外，尚应符合现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的规定。

2 主要符号

2.0.1、2.0.3 本节给出的主要符号，其构成方法以及主体符号和上、下标用字等，均按照《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132—90 的规定确定。

3 材 料

3.1 材质标准

3.1.1 本条规定了用于钢管管道的钢材，一般均采用 Q235 钢，其力学性能和化学成份应符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T700 的要求。对于重要的城市给水工程的输水管道，宜选用性能优良的平炉和氧化转炉生产的镇静钢。

3.1.2 本条规定了钢管焊接材料的质量要求，以保证钢管连接材料的强度等指标不低于母材的相关指标。

3.2 计算指标

3.2.1 本条规定，钢管的强度设计值应按照《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用。

3.2.2 本条给出了钢材的物理力学性能指标。

4 钢管管道结构上的作用

4.1 作用的分类和作用的代表值

4.1.1 本条针对施加于给水排水工程埋地钢管管道结构上的各种作用，根据《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 规定的原则，分为永久作用和可变作用两类。与原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 相比，在永久作用中增加了管道结构自重和管道内水重。对于大口径钢管道，此两项作用引起的内力不可忽略。

4.1.2~4.1.4 均按照《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 规定的原则确定。

4.2 永久作用标准值

4.2.1~4.2.3 在永久作用标准值中，管道结构自重、管顶竖向土压力和管道内水重等的计算方法均参照《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定采用。与原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 相比，将竖向土压力标准值的计算，由按刚性管道计算改为按柔性管道计算。

4.3 可变作用标准值、准永久值系数

4.3.1

1 设计内水压力标准值与工作压力标准值的关系，是沿用原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中对给水管道的要求。式中 0.5MPa 的数值，主要是考虑施工验收时试验压力或运行使用中的水锤余压。

2 考虑在排水工程中，当管道压力较低时，按照过去的工程经验，设计内水压力标准值与工作压力标准值之比可取 1.5。4.3.2~4.3.6 这些条款给出了真空压力、地面车辆等可变荷载的标准值，系沿用原规范的数据。其准永久值系数是按照《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的原则确定。

5 基本设计规定

5.1 一般规定

5.1.1~5.1.2 根据《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的要求，本规程按《工

程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 和《建筑结构可靠度设计统一标准》GB50068 规定的原则，采用以概率理论为基础的极限状态设计方法。除管道整体稳定验算外，均采用分项系数设计表达式进行设计，改变了原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 中单一安全系数的设计方法，这是本次修订的主要方面。对钢管管道按承载能力和正常使用两种极限状态进行设计。承载能力极限状态是以钢管结构的内力是否超过其承载力为依据；正常使用极限状态是以钢管结构的竖向变形是否超过允许限值为依据。表达式中的作用分项系数、作用组合系数、结构构件抗力分项系数和结构重要性系数均根据《工程结构可靠度设计统一标准》GB 50153 规定的原则，结合钢管管道运行的实际情况，经分析确定。

5.1.3 本条规定，埋地钢管管道进行内力分析时，应按柔性管计算。根据《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定，对于埋在地下的圆形管道结构，应根据管道结构刚度与管周土体刚度的比例 α_s 来判别属于刚性管道或柔性管道：

$$\alpha_s = \frac{E_p}{E_d} \left(\frac{t}{r_0}\right)^3$$

式中 E_p ——管材的弹性模量；

E_d ——管侧土的综合变形模量；

t ——钢管的管壁厚度；

r_0 ——钢管结构的计算半径。

当 $\alpha_s \geq 1$ 时按刚性管道计算；当 $\alpha_s < 1$ 时按柔性管道计算。根据给水排水工程中常用钢管的尺寸和一般土壤的特性，经核算 α_s 均小于 1，因此钢管道应按柔性管道计算。

5.1.4 考虑到施工中可能出现的不利因素，参考日本等国的经验，土弧基础的中心角要在计算中心角的基础上加大一定角度，一般 $15^\circ \sim 20^\circ$ 。

5.1.5 埋地有压管道在其敷设方向改变处将产生推力。在一般情况下，由于钢管管道整体连接，其推力可自身平衡。但当敷设方向改变处附近设有柔性接头时，管道将失去平衡，此时应根据柔性接头的位置采用不同的抗滑措施。当柔性接头距敷设方向改变处较远时，可采用钢管与土壤间的摩擦力抗滑。抗滑稳定性抗力系数 1.5，系根据《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定确定。

5.2 承载能力极限状态计算规定

5.2.1~5.2.2 本条根据《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的原则，规定了承载能力极限状态的计算要求。其中管道重要性系数 γ_0 ，对给水和排水工程中不同类别、不同可靠度要求的管道，规定了不同的取值。与原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 按材料种类给定不同的强度设计调整系数相比，更加符合工程实际。

5.2.3 本条给出了钢管管道强度计算时，作用效应组合设计值的表达式及各种作用的分项系数、组合系数。根据《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，作用效应组合设计值的表达式有两种，第一种是对永久作用和参与组合的各可变作用中效应最大的可变作用直接采用设计值效应，即 $\gamma_G C_G \gamma_k$ 和 $\gamma_{Q1} C_Q Q_{1k}$ ，对其他可变作用分别采用乘以组合值系数 φ_{ci} 的设计值效应；第二种是对全部参与组合的各可变作用统乘一个组合系数 φ_c 。对第二种方式，当组合系数 φ_c 等于 0.9 时，其可靠度与原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84 的安全度相协调，且应用简便，因此采用了公式（5.2.3）所列的表达式。其中自重及管内水重的分项系数 $\gamma_{G1}=1.2$ 、竖向土压力分项系数 $\gamma_{G1}=1.27$ 、设计内水压力和地面车辆荷载，地面堆积荷载和温度作用分项系数 $\gamma_Q=1.4$ ，均按《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的有关规定确定，其作用效应按第 6.1 节的规定计算。

5.2.4~5.2.5 条文对钢管管道的两种稳定验算做了规定，与原规范的规定基本协调，但有两点修改：一是管壁环向稳定安全系数由原规范的 2.5 改为 2.0，主要是考虑修改后的规范对原临界压力计算模式取消了土壤负抗力的作用，故相应调整了安全系数；二是将抗浮安全系数由 1.05，提高到 1.1，主要是考虑工程中浮托力变异性较大，很难精确计算，实践中普遍认为原取值偏低，应予提高。

5.2.6 本条给出了承载能力极限状态计算时的各种作用组合，补充了抗浮验算时作用的组合表。

5.3 正常使用极限状态验算规定

5.3.1~5.3.2 条文提出的要求，是根据《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定，进行正常使用极限状态验算时，作用效应均按作用代表值计算。对钢管管道，其代表值包括竖向土压力的标准值和地面可变作用准永久值。

5.3.3 本条针对钢管管道不同的内防腐材料，规定了在准永久组合作用下的最大竖向变

形限值。根据工程实践经验，该值的大小主要与材料的延性有关。对水泥砂浆内防腐，给出了一定的幅度，工程中可按手工涂抹或机械成型等不同延性情况选用。

6 承载能力极限状态计算

6.1 强度计算

6.1.1~6.1.2 条文给出的应力折算系数 $\eta=0.9$ ，是根据原《给水排水工程结构设计规范》GBJ 69—84的应力组合系数 $\varphi_m=1.12$ 换算确定。最大组合折算应力表达式与原规范GBJ 69—84一致，仍采用第四强度理论公式。

6.1.3 为了与《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332协调一致，对原规范GBJ 69—84的管壁应力计算模式进行了修改，采用了美国“斯式”模式。主要原因有：一是，原规范GBJ 69—84中原苏联的“耶式”模式存在一些问题，如对管周土壤负抗力是否可靠，水平向土压力与侧向土壤抗力重复计算是否合理等一直有争议；二是，国内外的资料说明，柔性管道在土压力作用下的内力和变形均采用“斯式”模式计算，能与国际做法协调一致。

钢管管道的内力和变形计算公式可做如下假定：

1 钢管管道在外压及内水压力等组合荷载作用下，管道的环向弯矩和竖向变形可由三部分组成，如下图所示：一为管顶竖向压力及与之平衡的反力产生的弯矩与变形；二为管道两侧土壤水平抗力形成的弯矩与变形；三为内水压力复圆产生的弯矩与变形。

2 竖向变形值近似等于水平变形值。

3 参考美国、日本等国的资料，在采用“斯式”计算外压与设计内水压力组合时，为考虑设计内水压力使管道竖向变形减小等因素而引入折减系数 φ ，当土壤回填模量较低、内压较高时可取0.7，对排水管道可取1.0。

4 管壁截面上最大弯矩 M 的计算公式，可利用竖向压力及与之平衡的反力产生的弯矩与变形的关系进行计算。

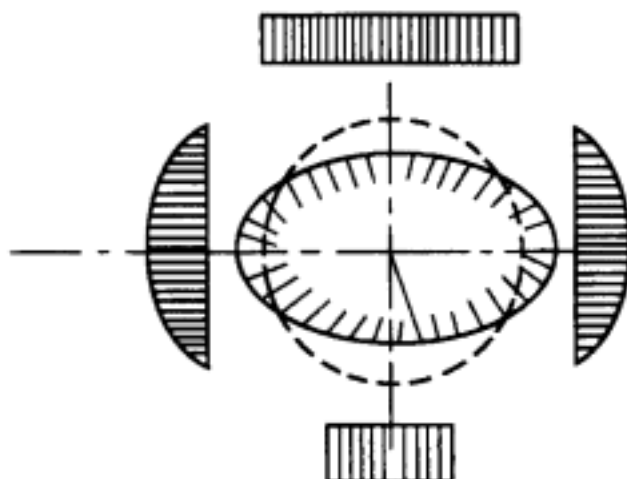
按上述假定给出了本条所列公式。

据第5.2节、第6.1.1、6.1.2条和本条的综合分析，修改后的设计可靠度与原规范GBJ 69—84的安全度基本一致。

6.1.4 纵向应力的计算基本沿用了原规范的公式。

增加了地基不均匀沉降引起的应力，该值的计算，可根据工程的实际情况，按照弹

性地基上的长梁计算确定)



6.2 稳定验算

6.2.1 本条沿用了原规范的规定。

6.2.2 在原规范 GBJ 69—84 中，钢管稳定计算中的临界压力是采用“耶式”得出的公式，即：

$$F_{cr,k} = \frac{2E_p(n^2 - 1)}{3(1 - V_p^2)} \left(\frac{t}{D_0}\right)^3 + \frac{E_d}{(n^2 - 1)(1 + V_s)}$$

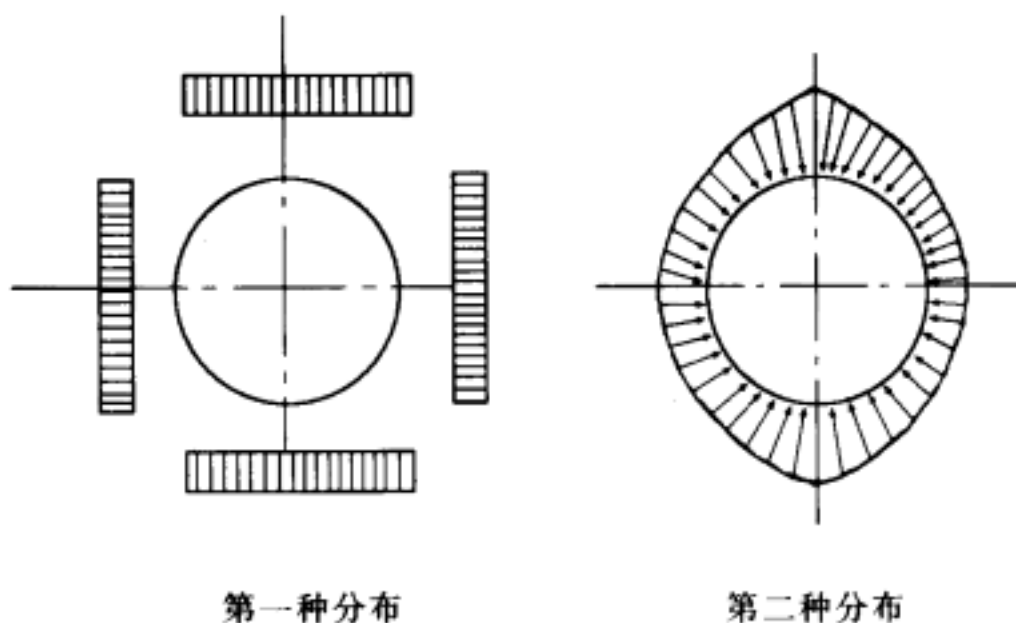
该式的第二部分是土壤抗力效应，该效应为整个管壁横截面上的全部正、负抗力效应。对负抗力效应的可靠性一直有争议，不宜考虑，因此修订后采用了日本藤田博爱氏提出的公式，将土壤抗力的效应减少了二分之一，即只计入正效应，在分母中增加了 2。

6.2.3 钢管管道的抗浮验算是这次修订中增加的内容。当地下水位较高时，在设计及施工中均应验算钢管管道的抗浮的稳定性。

6.2.4 根据管道运行和检修的要求，在输水管道及配水管网中往往设置闸门及柔性接头。当这些柔性接头距管道敷设方向改变处较近时，由于内水压力的作用将产生不平衡力。为保证此处钢管的稳定性，应采取下列抗滑稳定措施：在管道敷设方向改变处设置混凝土支墩、钢筋混凝土桩或利用管壁与土壤间的摩擦力等。显然，钢管管道利用管壁与土壤间的摩擦力来抵抗不平衡力是比较经济的。这样做不需要增加工程量，只需满足一定的安全长度。在一般情况下，柔性接头的布置是留有余地的。

6.2.5 管道单位长度上土壤摩擦力的计算公式，国内现行相关标准中有两种形式：第一种是假定作用于管道上的土压力沿管径的水平 and 垂直方向均匀分布，垂直方向的土压力值为管顶处土压力值，水平方向的土压力值按管中水平点的侧向土压力值计算，如图所

示。第二种认为作用于管道上的压力沿管周非均匀分布，管顶处的土压力值为该处的垂直土压力值，管中水平点的土压力值为该点的侧向土压力值，其余各点的压力值为该点垂直和水平土压力在径向的投影值。经比较，第二种比较符合实际。



7 刚度验算

本章对钢管的刚度验算做出了规定。将原规范 GBJ 69—84 中按“耶式”计算的管道竖向变形公式，改为按“斯式”计算。理由同 6.1.3 条说明。

本章采用的“斯式”变形公式，符合《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定。

8 构造规定

8.0.1~8.0.6 基本沿用了原规范 GBJ 69—84 的规定，主要从钢管的制造、施工等方面提出要求。其中第 8.0.2、8.0.3 条是根据以往的工程经验确定的。第 8.0.4 条中，增加了焊缝的质量等级要求。

8.0.7 本条强调了钢管管道回填土夯实密度的重要性。对柔性管道的强度和变形设计，均需考虑土壤的抗力作用。管道周围回填土夯实密度的高低，直接影响土壤抗力的大小，是钢管管道安全、经济、合理设计的关键，在设计、施工中均应充分重视。

8.0.8 本条强调施工中要严格控制管道的竖向变形。对口径较大的管道，为克服自重变形等不利因素可采用预加负变形等措施，例如可在回填土前在管道内设置临时的竖向支撑或加大管侧回填土的密实度等，使管道产生一定量的负变形。一些工程实践证明，采

用上述措施可取得良好效果。

8.0.9 钢管管道的防腐质量很重要，是影响钢管管道耐久性的关键因素，在设计、施工时均应充分重视。

8.0.10 对输送饮用水的管道，规定了内防腐材料必须符合国家现行卫生标准的要求，此点非常重要。对内防腐材料是否符合卫生标准的判断，必须由省级及以上部门指定的检测单位的正式检测报告做出，以确保对人体健康无害。

附录 A 钢管管道在各种荷载作用下的最大弯矩系数和竖向变形 系数

本附录给出的各种系数，是美国 Spangler 公式中所对应的各项系数。

附录 B 管侧土的综合变形模量

管侧回填土的变形模量是柔性管道设计的重要参数，在以往的柔性管道设计中采用了回填土本身的变形模量。实际上，该变形模量除与回填土土质、压实程度有关外，还受沟槽宽度和两侧原状土土质的影响。根据国外有关资料，应根据上述因素综合进行评价。按《给水排水工程管道结构设计规范》GB 50332 的规定，对管侧回填土变形模量进行修正时，综合修正系数可按下式计算：

$$\xi = \frac{1}{\alpha_1 + \alpha_2(E)_e / E_n} \quad (\text{B.0.1})$$

式中 ξ ——综合修正系数；

α_1 、 α_2 ——与沟槽宽和管外缘宽的比例有关的计算参数；

E_e ——管侧回填土的变形模量；

E_n ——沟槽两侧原状土的变形模量。

附录 B 表 B.0.2-2 中的数据，是根据公式 (B.0.1) 计算而得，方便使用。