



CECS 126:2001

中国工程建设标准化协会标准

叠层橡胶支座隔震技术规程

**Technical specification for seismic-isolation
with laminated rubber bearing isolators**

2001 北 京

中国工程建设标准化协会标准

叠层橡胶支座隔震技术规程

**Technical specification for seismic-isolation
with laminated rubber bearing isolators**

CECS 126:2001

主编单位：广州大学

中国建筑科学研究院

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：2001年11月1日

2001 北 京

第 2 页

前 言

根据中国工程建设标准化协会（96）建标协字第 05 号文《关于下达夹层橡胶垫隔震技术规程》的要求，制订本规程。

在工业发达国家，叠层橡胶支座隔震技术已较广泛地应用于各种房屋和桥梁工程中。近年来，在我国也开始较多地采用这种技术。现对其设计、施工和维护的技术要求作出配套的规定，以促进其发展。

在编制本规程的过程中进行了深入的调查研究，认真总结了我国隔震技术的科研成果和工程设计、施工、应用等方面的实践经验，借鉴了国外的先进标准，针对主要技术问题进行了专题研究和试验验证，与《建设抗震设计规范》GB50011 相关内容进行了协调，并广泛征求了全国有关单位的意见，经反复修改后完成。

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《叠层橡胶支座隔震技术规程》，编号为 CECS126：2001，推荐给建设工程设计、施工、使用单位采用。

本规程第 1.0.3、1.0.4、4.2.3、4.2.5、4.4.4、4.5.1 条，已建议列入《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工程抗震委员会 CECS/TC29 归口管理，由广州大学工程结构抗震研究中心（广州市广园中路 248 号，邮编 510405）和中国建筑科学研究院工程抗震研究所（北京北三环东路 30 号，邮编 100013）负责解释。在使用过程中，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： 广州大学
中国建筑科学研究院

参编单位： 华中理工大学
铁道部第一设计院
中国地震局工程力学研究所
云南省设计研究院
和泰隔震器材有限公司

机械部设计研究院

江苏省地震局

主要起草人：周福霖 周锡元 唐家祥 廖蜀樵 高向宇 苏经宇
徐忠根 谢军龙 张敏政 吴仕元 苏应麟、张雪亮、张春俊

中国工程建设标准化协会

2001年8月15日

目 次

前 言	3
1 总 则	7
2 术语、符号	7
2.1 术 语	7
2.2 主 要 符 号	8
3 隔震结构基本要求	10
3.1 一 般 要 求	10
3.2 场 地 和 地 基	11
3.3 试 验 和 观 测	11
4 房屋结构隔震设计	11
4.1 一 般 规 定	11
4.2 地 震 作 用 和 地 震 反 应 计 算	13
4.3 隔 震 层 设 计	19
4.4 上 部 结 构 设 计	22
4.5 下 部 结 构 和 地 基 基 础 设 计	25
5 桥梁结构隔震设计	25
5.1 一 般 规 定	25
5.2 隔 震 支 座 设 计	26
5.3 地 震 作 用 和 地 震 作 用 效 应 计 算	27
5.4 构 造 要 求	33

6 隔震层部件的技术性能和构造要求	33
6.1 技术性能和试验要求.....	33
6.2 构造要求.....	34
7 隔震结构的施工和维护	35
7.1 施工安装.....	35
7.2 施工测量.....	36
7.3 工程验收.....	36
7.4 隔震层维护.....	36
本规程用词说明	37

1 总 则

1.0.1 在工程结构的上部结构与下部结构之间设置隔震层以阻隔地震能量的传递，是减少工程结构地震反应、减轻地震破坏的一种新技术。为在新建和加固改造的工程结构中合理应用这一技术，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于抗震设防烈度为 6~9 度地区房屋和桥梁结构的隔震设计与施工。抗震设防烈度大于 9 度的地区，可参照本规程执行。其它结构或设备的隔震设计与施工，也可参照本规程执行。

当同一结构物中采用多种隔震装置时，本规程适用于该结构物中叠层橡胶支座的设计与施工。

1.0.3 按本规程设计与施工的隔震结构，当遭受低于本地区设防烈度的多遇地震时应不损坏，且不影响使用功能；当遭受本地区设防烈度的地震时，应似产生非结构性损坏或轻微的结构损坏，一般不需修理仍可继续使用；当遭受高于本地区设防烈度的预估的罕遇地震时，应不致发生危及生命的破坏和丧失使用功能。

1.0.4 隔震结构的采用，应根据工程结构抗震设防类别、设防烈度、场地条件、建筑结构类型和使用要求，对隔震与非隔震的结构方案进行技术、经济综合对比分析后确定。

1.0.5 在设计隔震结构时，除应符合本规程外，尚应符合国家现行标准的有关规定。对采用叠层橡胶支座的桥梁，尚应满足国家现行标准《铁路工程抗震设计规范》GBJ111、《公路工程抗震设计规范》JTJ004 的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 隔震结构 isolation structure

在结构物中设置隔震装置而形成的结构体系。包括上部结构、隔震层、下部结构和基础。

2.1.2 隔震层 isolation layer

设置在被隔震的上部结构与下部结构（或基础）之间的全部隔震装置的总称。包括全部隔震支座、阻尼装置、抗风装置、限位装置，以及其它附属装置。

2.1.3 上部结构 structural elements above the isolation layer、

隔震结构中位于隔震层以上的部分。

2.1.4 下部结构 structural elements below the isolation layer

隔震结构中位于隔震层以下的部分，不包括基础。

2.1.5 隔震支座 seismic isolator

结构为达到隔震要求而设置的支承装置。例如叠层橡胶支座（或称隔震橡胶支座、夹层橡胶垫等）。它是一种水平刚度较小而竖向刚度较大的结构构件，可承受大的水平变形，可作为承重体系的一部分。

2.1.6 阻尼装置 dsmping deviee

吸收并耗散地震输入能量而使结构振动反应衰减的装置。可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置。

2.1.7 抗负装置 wind-restraint device

隔震结构中抵抗风荷载的装置。可以是隔震支座的组成部分，也可以单独设置。

2.1.8 限位装置 restraint device

限制隔震层在最不利状态下产生大位移的部件。

2.1.9 有效阻尼比 effective damping ratio

隔震结构往复运动时，与隔震层（或隔震支座）所耗散的能量相对应的有效阻尼与临界阻尼的比值。在有效阻尼中应包括粘滞阻尼和等效阻尼等。

2.1.10 有效刚度 effective stiffiless

隔震层（或隔震支座）所承受的荷载与相应位移的比值。其值一般可取荷载-位移曲线在相应位移点的割线刚度。

2.1.11 水平向减震系数 horizontal seismic reduction factor

计算隔震结构水平地震作用时引入的折减系数。按多遇地震作用下隔震房屋与非隔震房屋各层最大层间剪力的比值确定。

2.2 主要符号

2.2.1 本规程所采用的主要符号如下：

b ——隔震结构平面短边尺寸

d ——叠层橡胶支座有效直径

e ——上部结构质量中心与隔震层刚度中心的偏心

F_{ek} ——结构总水平地震作用标准值，即隔震房屋上部结构的底部剪力标准值

F_{ik} ——隔震结构第 i 层（或质点 i ）的水平地震作用标准值

F_{jk} ——隔震结构第 j 层（或质点 j ）的水平地震作用标准值

G ——结构总重力代表值
 H ——隔震结构楼层（或质点）高度
 K ——隔震层的水平有效刚度
 K_e ——叠层橡胶支座的水平有效刚度
 K_y ——叠层橡胶支座的屈服后水平刚度
 K_0 ——叠层橡胶支座的屈服前水平刚度
 K_{50} ——叠层橡胶支座在水平剪切应变为 50%时的水平有效刚度
 K_{100} ——叠层橡胶支座在水平剪切应变为 100%时的水平有效刚度
 K_{250} ——叠层橡胶支座在水平剪切应变为 250%时的水平有效刚度
 l ——隔震结构平面长边尺寸
 r ——叠层橡胶支座与隔震层刚度中心的距离
 S ——地震作用效应
 T_g ——场地相关设计反应谱特征周期
 T_1 ——隔震结构的基本周期
 t_r ——叠层橡胶支座橡胶层总厚度
 t_{r1} ——叠层橡胶支座每一橡胶层的厚度
 u ——隔震层（或叠层橡胶支座）的水平位移，以隔震层的刚度中心（或叠层橡胶支座的中心）为基准
 u_d ——叠层橡胶支座的水平设计位移
 u_{\max} ——在罕遇地震作用下考虑扭转影响时叠层橡胶支座的水平最大位移
 u_y ——叠层橡胶支座的水平屈服位移
 V ——隔震层的水平地震剪力设计值
 V_{ik} ——层间剪力标准值
 V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值
 α_{\max} ——水平地震影响系数最大值

α_1 ——相应于隔震结构基本自振周期的水平地震影响系数

β_i ——考虑扭转影响的水平位移修正系数

γ ——地震影响系数曲线下降段衰减指数

γ_h ——叠层橡胶支座的水平剪切应变，其数值等于叠层橡胶支座水平位移与叠层橡胶支座橡胶层总厚度之比值

ζ ——隔震层的有效阻尼比

ζ_e ——叠层橡胶支座的有效阻尼比

η_1 ——地震影响系数曲线倾斜段的斜率

η_2 ——水平地震影响系数的阻尼调整系数

λ_s ——近场系数

μ ——叠层橡胶支座的水平位移延性系数

ξ ——叠层橡胶支座的水平剪切应变硬化比

ψ ——水平向减震系数

3 隔震结构基本要求

3.1 一般要求

3.1.1 使用本规程时，房屋结构宜满足本规程第4章的要求，桥梁结构宜满足第5章的要求。当不满足这些要求时，应进行详细的结构分析并采取可靠的措施。

3.1.2 房屋的隔震层宜设置在结构第一层以下的部位。当有必要设在其它部位时，应进行详细的结构分析并采取可靠的措施。桥梁的叠层橡胶支座宜设置在桥墩（台）顶部。

3.1.3 房屋用叠层橡胶支座可选用圆形截面，桥梁用叠层橡胶支座可选用圆形或矩形截面。

3.1.4 隔震层的设计工作寿命不应低于上部结构的设计工作寿命，一般应大于50年。

3.1.5 隔震部件应符合下列要求：

1 隔震部件的耐久性和设计参数应由试验确定。

2 设置隔震部件时，除按计算确定外，尚应采取便于检查和替换的措施。

3 设计文件上应注明对隔震部件的性能要求。安装前应对工程中采用的各种类型和规格的原型部件进行抽样检测，每种类型和每一规格的抽样数量不应少于 3 个，抽样检测的合格率应为 100%。

3.2 场地和地基

3.2.1 宜选择对抗震有利地段作为隔震结构的场地，避开不利地段。当无避开时应采取有效措施。不应选用危险地段作为隔震结构的场地。

3.2.2 隔震结构的地基应稳定、可靠。

3.3 试验和观测

3.3.1 对于甲类建筑、体型复杂或有特殊要求的隔震结构，其隔震方案宜通过对结构模型的模拟地震振动台试验确定。

3.3.2 对于较重要的隔震结构，宜设置地震反应观测系统。

4 房屋结构隔震设计

4.1 一般规定

4.1.1 本章适用于采用叠层橡胶支座(以下简称隔震支座)隔震的各类房屋结构的设计。建筑结构采用的隔震方案，宜符合下列要求：

1 非隔震时，结构基本周期小于 1.0s。

2 体型基本规则，且抗震计算可采用《建筑抗震设计规范》GB50011 规定的底部剪力法的结构。

3 建筑场地宜为 I、II、III 类，并应选用稳定性较好的基础类型。

4 风荷载和其它非地震作用的水平荷载标准值产生的总水平力，不宜超过结构总重力的 10%。

5 隔震层宜设置在结构第一层以下的部位，应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼；穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接或其它有效措施，以适应隔震层在罕遇地震下的水平位移。

当不满足上述要求时，应进行详细的结构分析并采取可靠措施。

体型复杂或有特殊要求的结构采用隔震方案时，宜通过模型试验后确定。

4.1.2 房屋隔震设计应根据预期的水平向减震系数和位移控制要求，选择适当的隔震支座（含阻尼器）及为抵抗地基微振动与风荷载而提供初刚度的部件组成的结构隔震层。

隔震支座应进行竖向承载力的验算和罕遇地震下水平位移的验算：其水平刚度、竖向刚度、阻尼、荷载-位移关系等特性应根据本规程第 6 章的规定经试验确定。

4.1.3 隔震房屋两个方向的基本周期相差不宜超过较小值的 30%。

4.1.4 对满足第 4.2.1 条规定的隔震房屋，水平地震作用和地震反应可采用等效侧力法计算；对其他情况，除可采用等效侧力法计算外，尚应采用时程分析法计算。

4.1.5 隔震房屋可根据不同的结构类型，按下列原则调整对应非隔震结构的地震作用计算、抗震验算和抗震措施：

1 隔震层以上结构的水平地震作用应根据水平向减震系数确定。

2 竖向地震作用计算和抗震验算，凡本章未明确规定者，仍采用本地区设防烈度。

3 丙类建筑中隔震层以上结构的抗震措施，当水平向减震系数为 0.75 时不应降低非隔震时的有关要求；水平向减震系数不大于 0.50 时，可适当降低非隔震时的要求，但与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。

4 下部结构的地震作用计算、抗震验算和抗震措施，应满足本规程第 4.5.1~4.5.5 条的相关要求。

4.1.6 隔震房屋的地基基础设计和抗震措施，应符合本地区设防烈度的要求。当在设防烈度下非隔震房屋符合《建筑抗震设计规范》GB50011 规定的地基和基础不进行抗震验算的范围时，隔震房屋的地基和基础也可不进行验算。

4.1.7 计算隔震结构水平地震作用时，水平向减震系数可按下列原则确定：

1 在一般情况下，水平向减震系数应通过隔震房屋和非隔震房屋在多遇地震作用下各层最大层间剪力的比值确定。

当隔震结构各层最大层间剪力与非隔震结构对应层最大层间剪力的比值中的最大值不大于表 4.1.7 中数值时，可按表确定相应水平向减震系数；水平向减震系数的取值不应低于 0.25。

表 4.1.7 确定水平向减震系数的比值划分

层间剪力比值	0.53	0.35	0.26	0.18
水平向减震系数	0.75	0.50	0.38	0.25

2 砌体结构的水平向减震系数，可根据隔震体系的基本周期，按下式确定：

$$\psi = \sqrt{2}\eta_2(T_g / T_1)^\gamma \quad (4.1.7-1)$$

式中 ψ ——水平向减震系数；

γ ——地震影响系数曲线下降段衰减指数，可按本规程 4.2.4 条确定；

η_2 ——水平地震影响系数的阻尼调整系数，按本规程第 4.2.5 条确定；

T_g ——场地相关设计反应谱特征周期，当小于 0.4s 时按 0.4s 采用；

T_1 ——隔震体系的基本周期，不应大于 2.0s 和 5 倍特征周期的较大值。

3 与砌体结构周期相当的结构，其水平向减震系数可根据隔震体系的基本周期，按下式确定：

$$\psi = \sqrt{2}\eta_2(T_g / T_1)^\gamma(T_o / T_g)^{0.9} \quad (4.1.7-2)$$

式中 T_o ——非隔震结构的计算周期，当小于特征周期时应采用特征周期的数值；

T_1 ——隔震体系的基本周期，不应大于 5 倍特征周期值。

4 砌体结构及与砌体结构周期相当的结构，隔震体系的基本周期可按下式计算：

$$T_1 = 2\pi\sqrt{G / Kg} \quad (4.1.7-3)$$

式中 G ——上部结构总重力代表值；

K ——隔震层水平有效刚度，可按本规程第 4.2.6 条确定；

g ——重力加速度。

4.1.8 隔震层以上的首层梁板应作为隔震房屋的上部结构构件参与结构分析。

4.1.9 体型基本规则的隔震房屋可不设置防震缝。体型复杂的房屋不设防震缝时，应选用符合实际的结构计算模型进行较精确的抗震分析，并根据其局部应力、变形集中及扭转影响，采取措施提高抗震能力。

4.1.10 隔震房屋仅在上部结构首层以上设置伸缩缝时，缝的宽度应满足《建筑抗震设计规范》GB50011 对不同房屋防震缝宽度的要求。

4.1.11 隔震房屋上部结构与其他房屋或结构相邻时应设置隔离缝，缝宽不宜小于罕遇地震下隔震层水平位移值的 1.2 倍。

4.2 地震作用和地震反应计算

4.2.1 隔震房屋为砌体房屋或砌体房屋结构基本周期相当的房屋，并且满足第 4.1.1 条的要求时，可采用等效侧力法计算。

4.2.2 采用等效侧力法时，隔震房屋的地震作用可按第 4.2.3~4.2.9 条和第 4.2.13 条

计算。采用时程分析法时，隔震房屋的地、震作用可按第 4.2.10~4.2.14 条计算。

4.2.3 结构阻尼比为 0.05 时的地震影响系数 α ，应根据烈度、场地类别、特征周期分区和结构自振周期按图 4.2.3 采用，其最大值 α_{\max} 按第 4.2.5 条的规定确定。场地相关反应谱特征周期 T_g ，根据场地类别和特征周期分区按《建筑抗震设计规范》GB50011 的有关规定确定。隔震结构的自振周期 T 可采用与隔震结构相应的计算模型经计算确定。

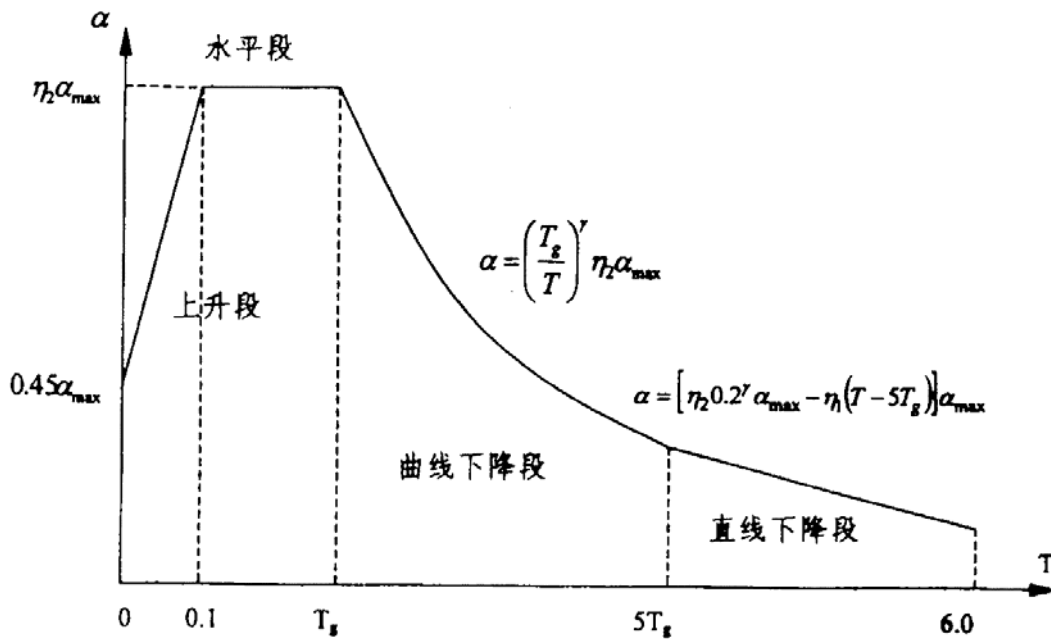


图 4.2.3 地震影响系数曲线

图中 α ——地震影响系数；

α_{\max} ——地震影响系数最大值；

T ——结构自振周期；

T_g ——地相关反应谱特征周期，按《建筑抗震设计规范》GB50011 确定；

γ ——曲线下降段的衰减指数；

η_1 ——直线下降段的斜率；

η_2 ——阻尼调整系数。

4.2.4 结构阻尼比不等于 0.05 时，水平地震影响系数曲线仍按图 4.2.3 确定，其中的形状参数应按下列规定调整：

- 1 曲线下降段的衰减指数，应按下式确定：

$$\gamma = 0.9 + \frac{0.05 - \zeta}{0.5 + 5\zeta} \quad (4.2.4-1)$$

式中 γ ——曲线下降段的衰减指数；

ζ ——阻尼比，隔震结构可近似取隔震层的有效阻尼比。

2 直线下降段的斜率，应按下式确定：

$$\eta_1 = 0.02 + \frac{0.05 - \zeta}{8} \quad (4.2.4-2)$$

式中 η_1 ——直线下降段的斜率，当 η_1 小于零时应取 $\eta_1=0$ 。

4.2.5 计算隔震房屋地震作用时，应符合下列规定：

1 结构阻尼比为 0.05 时，房屋结构的水平地震影响系数最大值应按表 4.2.5 采用。

表 4.2.5 水平地震影响系数最大 α_{\max} （阻尼比 0.05）及设计基本地震加速度值

设防烈度		6	7	8	9
地震影响	多遇地震	0.04	0.08(0.12)	0.16(0.24)	0.32
	罕遇地震	0.28	0.50(0.72)	0.90(1.20)	1.40
设计基本地震加速度值		0.05g	0.10g(0.15g)	0.20g(0.30g)	0.40g

注：地震影响栏中括号内的数值分别用于设计基本地震加速度为 0.15g 和 0.30g 的地区，g 为重力加速度。

2 阻尼比不等于 0.05 时，表 4.2.5 中的数值应乘以下列阻尼调整系数：

$$\eta_2 = 1 + \frac{0.05 - \zeta}{0.06 + 1.7\zeta} \quad (4.2.5)$$

式中 η_2 ——阻尼调整系数，当小于 0.55 时，应取 0.55。

3 计算水平地震作用时，水平地震影响系数的最大值可采用表 4.2.5 规定的水平地震影响系数最大值和第 4.1.7 条规定的水平向减震系数的乘积。隔震结构的总水平地震作用不得低于 6 度设防时非隔震结构的总水平地震作用。当考虑竖向地震作用时，竖向地震影响系数最大值不应降低。

4 相应于设防烈度的设计基本地震加速值，应按表 4.2.5 采用。

4.2.6 采用等效侧力法时，隔震房屋上部结构的地震作用标准值及其分布按下列规定计算（图 4.2.6）：

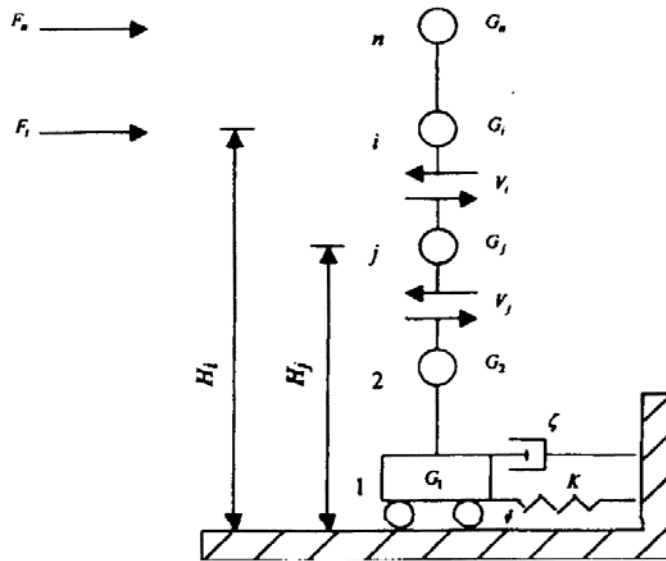


图 4.2.6 隔震房屋水平地震作用计算简图

1 结构总水平地震作用标准值应按下式计算：

$$F_{ek} = \alpha_1 G \quad (4.2.6-1)$$

式中 F_{ek} ——结构总水平地震作用标准值；

α_1 ——相应于隔震房屋基本自振周期的水平地震影响系数，根据烈度、特征周期分区、场地类别和结构基本自振周期按第 4.2.3~4.2.5 条计算确定；

G ——上部结构总重力代表值，等于集中于各质点重力代表值之和。集中于各质点的重力代表值应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定计算。

2 隔震层的水平有效刚度和有效阻尼比可按下式计算：

$$K = \sum_{i=1}^n K_i \quad (4.2.6-2)$$

$$\zeta = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \zeta_i}{K} \quad (4.2.6-3)$$

式中 K ——隔震层水平有效刚度，为隔震层所有隔震支座、阻尼装置的有效刚度之和；

K_i 、 ζ_i ——单个隔震支座或阻尼装置的有效刚度和有效阻尼；

ζ ——隔震层的有效阻尼比。

3 对一般隔震结构，质点 i （或第 i 层）的水平地震作用标准值可按下式计算：

$$F_{ik} = \frac{G_i H_i}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.2.6-4)$$

式中 F_{ik} ——作用于质点 i 的水平地震作用标准值；

G_i 、 G_j ——集中于质点 i 、 j 的重力代表值；

H_i 、 H_j ——分别为质点 i 、 j 的计算高度。

4 砌体结构和与砌体结构基本周期相当的结构，质点 i （或第 i 层）的水平地震作用标准值可按下式计算：

$$F_{ik} = \frac{G_i}{\sum_{j=1}^n G_j} F_{ek} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.2.6-5)$$

4.2.7 采用等效侧力法时，层间剪力应按下式计算：

$$V_{ik} = \sum_{j=1}^n F_{jk} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.2.7)$$

式中 V_{ik} ——层间剪力标准值；

F_{jk} ——作用于质点 j 的水平地震作用标准值。

4.2.8 采用等效侧力法时，隔震层水平位移可按下列规定计算：

1 隔震层的水平位移可按下式计算：

$$u = \lambda_s \frac{F_{ek}}{K} \quad (4.2.8-1)$$

式中 u ——隔震层水平位移；

λ_s ——近场系数。甲、乙类建筑距发震断层不大于 5km 时 λ_s 取 1.5；5~10km 时取 1.25；大于 10km 时取 1.0。丙类建筑可取 1.0。

2 考虑扭转影响时，第 i 个隔震支座或阻尼装置的水平位移宜乘以下列修正系数：

$$\beta_i = 1 + 12e_i / (b^2 + l^2) \quad (4.2.8-2)$$

式中 β_i ——考虑扭转影响的水平位移修正系数；

e ——上部结构质量中心与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的偏心距，取实际偏心和偶然偏心之和。实际偏心按静偏心距计算，偶然偏心可取结构物

垂直于地震作用方向的边长的 0.05 倍；

r_i ——第 i 个隔震支座或隔震装置与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的距离；

b 、 l ——结构平面的短边、长边尺寸。

当采取有效的抗扭措施或扭转周期小于平动周期的 70% 时， β_i 可取 1.15。

4.2.9 隔震支座由试验确定设计参数时，竖向荷载应符合第 4.3.2 条第 5 款中的平均压应力限值，对多遇地震验算，宜采用水平加载频率为 0.3Hz 且隔震支座剪切变形为 50% 的水平刚度和等效粘滞阻尼比；对罕遇地震验算，直径小于 600 mm 的隔震支座宜采用水平加载频率为 0.1Hz 比且隔震支座剪切变形不小于 250% 时的水平动刚度和等效粘滞阻尼比；直径不小于 600 mm 的隔震支座可采用水平加载频率为 0.21Hz 且隔震支座剪切变形为 100% 时的水平动刚度和等效粘滞阻尼比。

4.2.10 当采用时程分析时，选用的地震波应满足下列要求：

1 对甲、乙类建筑应选用符合工程地震和场地特性的人工模拟地震加速度时程曲线及实际强震记录的地震波。数量不宜少于 4 条，其中至少有 1 条人工模拟地震加速度时程曲线。

2 对其它类建筑，应选用符合工程地震和场地特性的人工模拟地震加速度时程曲线及实际强震记录的地震波。数量不宜少于 3 条，其中至少有 1 条人工模拟地震加速度时程曲线。

3 所选地震波的平均地震影响系数曲线应与图 4.2.3 给定的地震影响系数曲线在统计意义上相符。

4 地震加速度时程的最大值可按表 4.2.10 采用。

表 4.2.10 时程分析用地震加速度时程的最大值 (cm/S²)

地震影响	设防烈度			
	6	7	8	9
多遇地震	18	35 (55)	70 (110)	140
罕遇地震	—	220 (310)	400 (510)	620

注：括号内数值分别用于设计基本地震加速度取本规程表 4.2.5 中 0.15g 和 0.30g 的地区。

4.2.11 当采用时程分析法时，计算模型的确定应满足下列条件：

1 对甲、乙类建筑，隔震体系的计算模型宜考虑结构杆件的空间分布、隔震支座的位置、隔震房屋的质量偏心、在两个水平方向的平移和扭转、隔震层的非线性阻尼特性

以及荷载-位移关系特性，并有不少于两个不同力学模型的计算结果进行比较分析。

2 对一般建筑，可采用层间剪切模型，考虑隔震层的有效刚度和有效阻尼比。

3 隔震房屋上部结构和下部结构的荷载-位移关系特性可采用线弹性模型。

4.2.12 当采用多条地震波进行时程分析时，计算结果宜取平均值。当处于发震断层 10km 以内，且输入地震波未计入近场影响时，对甲、乙类建筑，计算结果尚应乘以近场影响系数：5km 以内取 1.5，5km 以外取 1.25。

4.2.13 当需要考虑双向水平地震作用下的扭转地震作用效应时，其值可按下式中的较大值确定：

$$S = \sqrt{S_x^2 + (0.85S_y)^2} \quad (4.2.13-1)$$

$$S = \sqrt{S_y^2 + (0.85S_x)^2} \quad (4.2.13-2)$$

式中 S_x ——仅考虑 X 向水平地震作用时的地震作用效应；

S_y ——仅考虑 Y 向水平地震作用时的地震作用效应。

4.2.14 平面不规则结构的隔震层水平位移可采用时程分析法进行二维分析计算，隔震层水平位移为考虑偏心的最大位移。

4.2.15 当上部结构考虑竖向地震作用时，在 8 度和 9 度时竖向地震作用标准值分别不应小于隔震层以上结构总重力代表值的 20% 和 40%。

4.3 隔震层设计

4.3.1 隔震层的布置应符合下列要求：

1 隔震层可由隔震支座、阻尼装置和抗风装置组成。阻尼装置和抗风装置可与隔震支座合为一体，亦可单独设置。必要时可设置限位装置。

2 隔震层刚度中心宜与上部结构的质量中心重合。

3 隔震支座的平面布置宜与上部结构和下部结构中竖向受力构件的平面位置相对应。隔震支座底面宜布置在相同标高位置上，必要时也可布置在不同的标高位置上。

4 同一房屋选用多种规格的隔震支座时，应注意充分发挥每个隔震支座的承载力和水平变形能力。

5 同一支承处选用多个隔震支座时，隔震支座之间的净距应大于安装和更换时所需的空间尺寸。

6 设置在隔震层的抗风装置宜对称、分散地布置在建筑物的周边。

7 抗震墙下隔震支座的间距不宜大于 2.0m。

4.3.2 隔震层的受压承载力验算应符合下列要求：

1 隔震层总受压承载力设计值应大于上部结构总重力代表值的 1.1 倍。

2 每个隔震支座的受压承载力设计值应大于上部结构传递到隔震支座的重力代表值。

3 当上部结构必须按第 4.3.7 条进行抗倾覆验算时，隔震支座的承载能力应符合第 4.3.7 条中第 4、5 款的要求。

4 当上部结构必须按第 4.4.1 条第 3 款考虑竖向地震作用时，上部结构传递到隔震支座的重力代表值，8 度和 9 度时可分别取上部结构重力代表值的 20%和 40%。

5 隔震支座的受压承载力设计值应符合下列规定：

1) 当形状系数 $S_1 \geq 15$ 、 $S_2 \geq 5$ 时，对于甲类建筑，压应力设计值不宜大于 10MPa；对于乙类建筑，压应力设计值不宜大于 12MPa；对于丙类建筑，压应力设计值不宜大于 15MPa，但对于直径小于 300mm 的隔震支座，压应力设计值不宜大于 12MPa。

2) 当形状系数不满足上述要求时，压应力设计值应适当降低。当 $5 > S_2 \geq 4$ 时，降低 20%；当 $4 > S_2 \geq 3$ 时，降低 40%。

4.3.3 隔震层连接部件（如隔震支座或抗风装置的上、下连接件，连接用预埋件等）应按罕遇地震作用进行强度验算。

4.3.4 抗风装置应按下列要求进行验算：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \quad (4.3.4)$$

式中 V_{Rw} ——抗风装置的水平承载力设计值。当抗风装置是隔震支座的组成部分时，

取隔震支座的水平屈服荷载设计值；当抗风装置单独设置时，取抗风装置的水平承载力，可按材料屈服强度设计值确定；

γ_w ——风荷载分项系数，采用 1.4；

V_{wk} ——风荷载作用下隔震层的水平剪力标准值。

4.3.5 隔震层中各隔震支座在罕遇地震作用下的最大水平位移应满足下列要求：

$$u_{\max} \leq 0.55d \quad (4.3.5-1)$$

$$u_{\max} \leq 3t_r \quad (4.3.5-2)$$

式中 u_{\max} ——在罕遇地震作用下考虑扭转影响时隔震支座最大水平位移，按第 4.2.8 条计算；

d ——隔震支座直径；

t_r ——隔震支座橡胶层总厚度。

4.3.6 隔震支座的弹性恢复力应符合下列要求：

$$K_{100} t_r \geq 1.40 V_{Rw} \quad (4.3.6)$$

式中 K_{100} ——隔震支座在水平剪切应变 100%时的水平有效刚度。

4.3.7 隔震房屋抗倾覆验算应符合下列要求：

1 隔震房屋的高宽比超过《建筑抗震设计规范》BG50011 的相应规定时，应进行抗倾覆验算。

2 隔震房屋抗倾覆验算包括结构整体抗倾覆验算和隔震支座承载力验算。

3 进行结构整体抗倾覆验算时，应按罕遇地震作用计算倾覆力矩，并按上部结构重力代表值计算抗倾覆力矩。抗倾覆安全系数应大于 1.2。

4 上部结构传递到隔震支座的重力代表值应考虑倾覆力矩所引起的增加值。

5 在罕遇地震作用下，隔震支座不宜出现受拉应力。当隔震支座不可避免处于受拉状态时，其拉应力不应大于 1.2MPa。

4.3.8 隔震层的构造应符合下列要求：

1 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接。

2 与隔震支座连接的梁、柱、墩等应考虑水平受剪和竖向局部承压，并采取可靠的构造措施，如加密箍筋或配置网状钢筋。

3 利用构件钢筋作避雷线时，应采用柔性导线连通上部与下部结构的钢筋。

4 穿过隔震层的竖向管线应符合下列要求：

1) 直径较小的柔性管线在隔震层处应预留伸展长度，其值不应小于隔震层在罕遇地震作用下最大水平位移的 1.2 倍；

2) 直径较大的管道在隔震层处宜采用柔性材料或柔性接头；

3) 重要管道、可能泄漏有害介质或燃介质的管道，在隔震层处应采用柔性接头。

5 隔震层设置在有耐火要求的使用空间中时，隔震支座和其他部件应根据使用空间的耐火等级采取相应的防火措施。

6 隔震层所形成的缝隙可根据使用功能要求，采用柔性材料封堵、填塞。

7 隔震层宜留有便于观测和更换隔震支座的空间。

8 上部结构及隔震层部件应与周围固定物脱开。与水平方向固定物的脱开距离不宜少于隔震层在罕遇地震作用下最大位移的 1.2 倍，且不小于 200mm；与竖直方向固定物的脱开距离宜取所采用的隔震支座中橡胶层总厚度最大者的 1/25 加上 10mm，且不小于 15mm。

4.4 上部结构设计

4.4.1 上部结构的截面抗震验算应符合下列规定：

1 上部结构的截面抗震验算，应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》BG50011 对非隔震结构的规定进行。其中的水平地震作用效应，可依据水平向减震系数确定。

2 上部结构为框架、框架-抗震墙和抗震墙结构时，隔震层顶部的纵、横梁和楼板体系应作为上部结构的一部分进行计算。上部结构为砌体结构时，隔震层顶部各纵、横梁可接受均布荷载的单跨简支或多跨连续托墙梁计算；当按连续梁计算的正弯矩小于按单跨简支梁计算的跨中弯矩的 0.8 倍时，应按 0.8 倍单跨简支梁跨中弯矩取值。当计算出现负弯矩时，应进行双向配筋。对托墙梁顶砌体应进行局部承压验算，并在构造上采取适当加强措施。

计算托墙梁的地震组合弯矩时，由竖向荷载产生的弯矩可按下列方法确定：

1) 当上部砖墙不超过 4 层时，墙体自重及其承担的重力全部计入；

2) 当上部砖墙超过 4 层且在跨中 1/2 区段的墙体仅有一个洞口时，墙体自重及其承担的重力可仅取 4 层计入；

3) 9 度时或 8 度且水平向减震系数为 0.25 时，上部结构应考虑竖向地震作用进行抗震验算；8 度且水平减震系数大于 0.25 且小于 0.5 时，宜考虑竖向地震作用进行抗震验算。

考虑竖向地震作用时，结构总竖向地震作用标准值，8 度和 9 度可分别取上部结构总重力代表值的 20%和 40%。

对砌体结构，在墙体截面抗震验算时，其砌体抗震抗剪强度的正应力影响系数可按减去竖向地震作用效应后的平均压应力取值。

4.4.2 当房屋内放置有特殊要求的仪器设备而需限制楼层绝对加速度反应时，楼层加速度不应大于在罕遇地震作用下楼层的容许加速度。

4.4.3 上部结构的抗震变形验算应按下列要求进行：

1 对框架、抗震墙和框架-抗震墙结构应进行多遇地震和罕遇地震作用下的层间位移验算；砌体房屋可不进行层间位移验算。

2 在多遇地震作用下，层间弹性位移角限值可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定执行。

3 在罕遇地震作用下，上部结构的层间弹塑性位移角限值可按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 规定值的 1/2 采用。

4.4.4 上部结构的构造措施应符合下列要求：

1 当上部结构设防烈度为 6 度及水平向减震系数为 0.75 时，丙类建筑应按设防烈度采取构造措施。当需要考虑竖向地震作用时，应按设防烈度采取构造措施。

2 上部结构的首层楼面宜采用现浇钢筋混凝土楼板，楼板厚度不宜小于 140mm。当采用装配整体式钢筋混凝土楼板时，现浇面层厚度不宜小于 50mm，且应双向配筋，钢筋直径不宜小于 6mm。间距不宜大于 250mm。隔震支座上部的纵横梁应采用现浇钢筋混凝土结构。首层楼面梁板体系的刚度和承载力宜大于一般楼面的刚度和承载力。

3 隔震层上部的钢筋混凝土结构的抗震等级应符合表 4.4.4-1 的要求。

4 隔震层上部结构为砌体结构时，首层楼板的纵横梁构造均应符合《建筑抗震设计规范》GB50011 关于底部框架砖房的钢筋混凝土托墙梁的构造要求。

5 砌体结构的构造措施尚应符合下列要求：

承重墙尽端至门窗洞边的最小距离和圈梁的配筋，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 按设防烈度的有关规定。

当水平向减震系数为 0.5 和 0.38 时，多层砖房钢筋混凝土构造柱的设置应符合表 4.4.4-2 的规定。当水平向减震系数为 0.25 时，构造柱的设置可按表 4.4.4-2 降低 1 度考虑。

当水平向减震系数为 0.5 和 0.38 时，多层混凝土小型空心砌块房屋芯柱的设置应符合表 4.4.4-3 的规定。当水平向减震系数为 0.25 时，芯柱的设置可按表 4.4.4-3 降低 1 度考虑。

表 4.4.4-1 隔震后现浇钢筋混凝土结构的高度限制和抗震等级

结构类型		7 度		8 度		9 度	
框架	高度 (m)	<20	>20	<20	>20	<15	>15
	一般框架	四	三	三	二	二	一
抗震墙	高度 (m)	<25	>25	<25	>25	<20	>20

	一般抗震震墙	四	三	三	二	二	一
--	--------	---	---	---	---	---	---

表 4.4.4-2 隔震后砖房构造柱设置要求

房屋层数			设置部位	
7度	8度	9度		
三、四	二、三		楼、电梯间四角、外墙四角，错层部位	每隔 16m 或单元横墙与外墙交接处
五	四	二	横墙与外纵墙交接处，较大洞口两侧，大房间内外墙交接处	每隔三开间的横墙与外墙交接处
六、七	五	三、四		隔开间横墙（轴线）与外墙交接处，山墙与纵墙交接处，9度四层，外纵墙与内墙（轴线）交接处
八	六、七	五		内墙（轴线）与外墙交接处，内墙局部较小墙垛处；8度时内纵墙与隔开间横墙交接处；9度时内纵墙与横墙（轴线）交接处

注：9度时甲乙类建筑层数不宜多于五层

表 4.4.4-3 隔震后混凝土小型空心砌块房屋芯柱设置要求

房屋层数			设置部位	设置数据
7度	8度	9度		
二、四	二、三		外墙转角，楼楼梯间四角，大房间内外墙交接处；每隔 16m 或单元横墙与外墙交接处	外墙转角，灌实 3 个孔；内外墙交接处，灌实 4 个孔。
五	四	二	外墙转角，楼梯间四角，大房间内外墙交接处；山墙与内纵墙交接处，隔三开间横墙（轴线）与外纵墙交接处。	
六	五	三	外墙转角、楼梯间四角，大房间内外墙交接处；隔开间横墙（轴线）与外纵墙交接处，山墙与内纵墙交接处；8、9度时，外纵墙与横墙（轴线）交接处，大洞两侧。	外墙转角，灌实 5 个孔；内外墙交接处，灌实 4 个孔；洞口两侧各灌实 1 个孔
七	六	四	外墙转角，楼梯间四角，各内墙（轴	外墙转角，灌实 7 个孔；

		线)与外纵墙交接处;内纵墙与横墙(轴线)交接处;8、9度时洞口两侧。	内外墙交接处,灌实4个孔;内墙交接处,灌实4~5个孔;洞口两侧各灌实1个孔。
--	--	------------------------------------	--

注:8度时甲乙类建筑层数不宜多于六层,9度时层数不宜多于四层。

4.5 下部结构和地基基础设计

4.5.1 隔震层以下结构(包括支墩,柱子,墙体,地下室等)的地震作用和抗震验算,应按罕遇地震作用下隔震支座底部的水平剪力、竖向力及其偏心距进行验算。

4.5.2 上部结构和隔震层传至下部结构顶面的水平地震作用,可按隔震支座的水平刚度分配;当考虑扭转时,尚应计及隔震层的扭转刚度。

4.5.3 地基基础的抗震验算和地基处理,可按照现行国家标准,《建筑抗震设计规范》BG50011规定的设防烈度进行。

4.5.4 当下部结构或地基基础需要考虑竖向地震作用时,可按照现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011规定的设防烈度进行验算。

4.5.5 当地基为液化土时,甲、乙类建筑的液化判别和抗液化措施应按提高一个液化等级确定,直至全部消除液化沉陷。

5 桥梁结构隔震设计

5.1 一般规定

5.1.1 本章适用于采用有铅芯的、在水平向的剪力-位移关系曲线具有双线性滞回特性的叠层橡胶支座(以下简称隔震支座)隔震的各级公路、铁路简支或连续梁桥的设计。

5.1.2 对采用隔震支座的桥梁,长大桥的梁结构宜分段等跨布置。当各桥墩高度相差悬殊时,宜采用连续梁结构。

5.1.3 当全桥各墩水平刚度相差较大时,可采用具有不同水平刚度的隔震支座设置于桥墩上,使各墩与隔震支座串联后在隔震支座顶面的组合水平刚度相接近。

5.1.4 对采用隔震支座的桥梁,当桥长超过200m时,根据温度变形的要求,应将全桥分成几段,每段中墩、台基础所处的地质条件应相近。

5.1.5 对采用隔震支座的桥梁,应在温差适中时架梁,以减小温度变形引起的内力和变形。

5.1.6 对采用隔震支座的桥梁,应按设防烈度进行支座、墩、台及基础的强度和稳定性验算;对应于各设防烈度的地震加速度应按表5.1.6采用。

表 5.1.6 水平地震加速度

设防烈度	6	7	8	9
水平地震加速度 (g)	0.05	0.1(0.15)	0.2(0.30)	0.4

5.1.7 采用隔震支座的 I、II、III 级公路、铁路桥，当出现下列情况之一时，必须限制隔震支座在设防烈度下的水平剪应变不大于 120%；建造墩、台用的混凝土强度等级不低于 C20；墩身从基础顶面至两倍墩身截面最小尺寸的高度范围内，所配箍筋直径应不小于 12mm，间距应不大于 100mm：

- 1 跨度大于 60m 或桥长大于 100m；
- 2 桥墩常年水深大于 5m；
- 3 桥墩、台基础位于松软或可液化土地基上；
- 4 桥墩高度大于 20m。

5.1.8 对抗震设防区内已有的公路、铁路桥梁，当桥墩、台及基础的强度不满足抗震要求时，在不影响桥梁正常使用的条件下，可采用隔震支座取代传统支座。

5.1.9 对采用隔震支座的桥梁，全桥各桥墩的基本周期不宜大于 1.0s。当桥墩的基本周期较长时，需要进行详细的分析研究。

5.2 隔震支座设计

5.2.1 每一孔（或一联）梁所有隔震支座的水平屈服剪力之和，应大于相应梁上承受的车辆或列车制动力、车辆摇摆力最大值的 1.2 倍。

5.2.2 每一孔（或一联）梁所有隔震支座的屈服前刚度之和，应使梁在承受车辆或列车制动力、或车辆摇摆力时产生的梁体最大位移设计值满足正常运营要求。

5.2.3 每个隔震支座与梁、墩、台连接锚栓的抗剪承载力设计值，应大于在设防烈度下隔震支座承受剪力设计值的 1.5 倍。在设防烈度下每个隔震支座承受的剪力设计值，可按下式计算：

$$V_B = V_y + K_y(u_d - u_y) \quad (5.2.3)$$

式中 V_B ——在设防烈度下每个隔震支座承受的剪力设计值；

V_y ——隔震支座的水平屈服剪力；

u_d ——隔震支座的水平位移设计值；

u_y ——隔震支座的水平屈服位移；

K_y ——隔震支座的屈服后水平刚度。

5.2.4 隔震支座的竖向承载力设计值应大于活荷载与恒荷载设计值产生的支座反力的 1.5 倍。

5.2.5 在设防烈度下隔震支座的剪切应变不应大于 160%。

5.2.6 在设防烈度下隔震支座的水平位移设计值应满足下式要求：

$$u_d \leq \frac{d}{3.5} \text{ (圆形支座)}, \text{ 或 } \frac{a}{3.5} \text{ (矩形支座)} \quad (5.2.6)$$

式中 d ——圆形隔震支座的直径；

a ——矩形隔震支座计算方向的边长。

5.2.7 隔震支座的屈服前水平刚度，不应小于屈服后水平刚度的 8 倍。

5.3 地震作用和地震作用效应计算

5.3.1 验算桥梁地震作用效应时，分别按顺桥向或横桥向的水平地震作用计算。

5.3.2 设置隔震支座的桥梁可采用下列计算方法：

1 满足下列条件的桥梁可采用反应谱法：

- 1) 各墩的高度和水平刚度相近，隔震支座特性相同的直线桥梁；
- 2) 在设防烈度地震作用下，除隔震支座外，桥墩和梁呈线性反应。

2 其它桥梁可采用时程分析法。

5.3.3 采用反应谱法分析公路、铁路桥梁时，按下列规定进行：

1 反应谱曲线应按图 4.2.3 采用。当全桥阻尼比为 0.05 时，水平地震影响系数最大值 α_{\max} 可按表 5.3.3 的规定取用，场地相关反应谱特征周期 T_g 可按第 4.2.3 条的规定取用。

表 5.3.3 设防烈度地震作用下的水平地震影响系数最大值 α_{\max} (阻尼比为 0.05)

设防烈度	6	7	8	9
α_{\max}	0.113	0.23(0.34)	0.45(0.67)	0.90

2 当全桥阻尼比不为 0.05 时，地震影响系数 α 值应乘以按公式 (4.2.5) 计算的调整系数 η_2 。

3 当桥墩质量影响较小时，顺桥向可按全桥（或一联桥），横桥向可按单墩简化为单质点模型，进行计算分析以及验算墩、台、基础和支座的强度与稳定性。

4 隔震支座的水平位移延性系数 μ 、水平剪切应变硬化比 ξ 、水平有效刚度 K_e 和有效阻尼比 ζ_e 可分别按下式计算：

$$\mu = \frac{u_d}{u_y} \quad (5.3.3-1)$$

$$\xi = \frac{K_y}{K_0} \quad (5.3.3-2)$$

$$K_e = \frac{1 + \xi(\mu - 1)}{\mu} K_0 (1 - 0.737 \frac{\mu - 1}{\mu^2})^{-2} \quad (5.3.3-1)$$

$$\zeta_e = \frac{2(1 - \xi)(1 - \frac{1}{\mu})}{\pi[1 + \xi(\mu - 1)]} \cdot \frac{\mu^{0.58}}{4.5} \quad (5.3.3-1)$$

式中 μ ——隔震支座的水平位移延性系数；

ξ ——隔震支座的水平剪切应变硬化比；

u_d ——隔震支座的水平位移设计值；

u_y ——隔震支座的水平屈服位移；

K_y ——隔震支座的屈服后水平刚度；

K_0 ——隔震支座的屈服前水平刚度；

K_e ——隔振支座的水平有效刚度；

ζ_e ——隔震支座的有效阻尼比。

5 每个桥墩与 n' 个隔震支座串联后在隔震支座顶面的组合水平刚度可按下式计算：

$$K_{pi}^i = \frac{K_{pi} \cdot n' K_e}{K_{pi} + n' K_e} \quad (5.3.3-5)$$

式中 K_{pi}^i ——第 i 个桥墩与隔震支座串联后在隔震支座顶面的组合水平刚度；

K_{pi} ——第 i 个桥墩顶面的水平刚度；

i ——桥墩（或桥孔）号， $i=1, 2 \cdots n$ （或 $i=1, 2 \cdots n+1$ ）；

n' ——每个桥墩上设置的隔震支座个数。

6 顺桥向全桥桥墩在隔震支座顶面的总组合水平刚度可按下式计算：

$$K = \sum_{i=1}^n (K_{pi}^i + n'Ke) \quad (5.3.3-6)$$

7 全桥的集中质量可按下式计算：

$$m = \sum_{i=1}^{n+1} m_b^i \quad (5.3.3-7)$$

式中 n ——全桥桥墩的个数；

m_b^i ——第 i 孔简支梁的质量（包括桥面结构）。

8 全桥的频率 ω_s ，和周期 T_g 可按下式计算：

$$\omega_s = \sqrt{\frac{K}{m}} \quad (5.3.3-8)$$

$$T_g = \frac{2\pi}{\omega_s} \quad (5.3.3-9)$$

9 桥墩与隔震支座的组合阻尼比 ζ 可按下式计算：

$$\zeta = \frac{\zeta_e \zeta_p}{\zeta_e + \zeta_p} \quad (5.3.3-10)$$

式中 ζ_p ——桥墩的阻尼比。

10 在设防烈度地震作用下梁体的位移设计值可按下式计算：

$$u' = \frac{a \bullet g}{\omega_s^2} \quad (5.3.3-11)$$

式中 u' ——梁体在设防烈度地震作用下的水平位移设计值；

g ——重力加速度；

a ——地震影响系数。

11 桥墩、台顶上一个隔震支座承受的剪力设计值可按下式计算：

$$V_B = V_y + K_y(u' - u_y) \quad (5.3.3-12)$$

式中 V_B ——在设防烈度下一个隔震支座承受的剪力设计值；

V_y ——隔震支座的水平屈服剪力。

12 第 i 个桥墩基础顶面的剪力和弯矩设计值可分别按下式计算：

$$V_0^i = n' \cdot V_B \quad (5.3.3-13)$$

$$M_0^i = n' \cdot V_B \cdot h_1 \quad (5.3.3-14)$$

式中 V_0^i ——第 i 个桥墩基础顶面的剪力设计值；

M_0^i ——第 i 个桥墩基础顶面的弯矩设计值；

h_1 ——隔震支座顶面至基础顶面的高度。

13 在进行横桥向单墩验算时，式 (5.3.3-6) 中不计 $n'K_e$ ，式 (5.3.3-7) 中 m_b^i 尚应包括产生活荷载物体的质量，且只计入一孔的值。

5.3.4 采用反应谱法分析，当桥墩质量影响较大时，顺桥向可按全桥、横桥向可按单墩简化为两个质点的计算模型（图 5.3.4），并只考虑基本振型的影响，按下列规定进行分析：

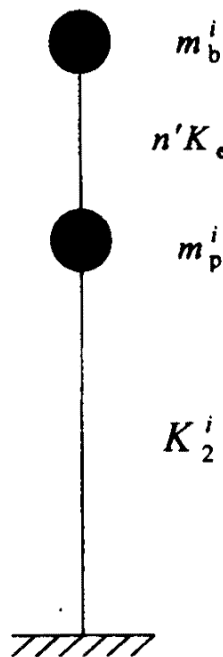


图 5.3.4 隔震支座桥墩计算模型

1 桥梁的基本自振频率 ω_1 、基本振型阻尼比 ζ_1 、基本振型参与系数 ξ_1 可按下式计算：

$$\omega_1^2 = \frac{\omega_0^2 + \omega_b^2 - \sqrt{(\omega_0^2 + \omega_b^2) - 4\lambda\omega_0^2\omega_b^2}}{2\lambda} \quad (5.3.4-1)$$

$$\zeta_1 = \frac{(n+1)m_b^i \zeta_e \omega_0 \rho^2 + [(n+1)m_b^i + \sum_{i=1}^n m_p^i] \zeta_p \omega_b (1-\rho)^2}{\omega_1 [(n+1)m_b^i + \sum_{i=1}^n m_p^i (1-\rho)^2]} \quad (5.3.4-2)$$

$$\xi_1 = \frac{(1-\lambda) + (1-\rho)\lambda}{(1-\lambda) + (1-\rho)^2 \lambda} \quad (5.3.4-3)$$

$$\omega_0^2 = \frac{n'Ke}{m_b^i} \quad (5.3.4-4)$$

$$\omega_b^2 = \frac{\sum_{i=1}^n K_2^i}{(n+1)m_b^i + \sum_{i=1}^n m_p^i} \quad (5.3.4-5)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n m_p^i}{\sum_{i=1}^n m_p^i + (n+1)m_b^i} \quad (5.3.4-6)$$

$$\rho = \frac{\omega_1^2}{\omega_0^2} \quad (5.3.4-7)$$

$$T_1 = \frac{2\pi}{\omega_1} \quad (5.3.4-8)$$

式中 ω_1 ——桥梁的基本自振频率；

ω_0 ——梁与隔震支座组成的梁体系自振频率；

ω_b ——桥墩体系自振频率；

ζ_1 ——桥梁的基本振型阻尼比；

ξ_1 ——桥梁的基本振型参与系数；

m_b^i ——顺桥向第 i 孔上部结构的质量；

横桥向第 i 孔上部结构与产生活荷载物体的总质量；

m_p^i ——第 i 个桥墩对墩顶的换算质量；

K_2^i ——第 i 个桥墩顺桥（或横桥）向墩顶的水平刚度；

ζ_p ——桥墩的阻尼比；

n' ——每个桥墩、台上设置的隔震支座个数；

n ——全桥桥墩个数；

λ ——全桥墩顶换算重力与梁及墩顶换算重力和之比；

ρ ——桥梁的基本频率与对应梁体系频率的平方比；

T_1 ——桥梁基本自振周期。

2 一个隔震支座对应于设防烈度地震的剪力，可按式（5.3.3-12）计算。

3 第*i*个桥墩墩身换算质量产生的水平地震力可按下式计算：

$$F_{pi} = \alpha \cdot m_p^i \cdot g \quad (5.3.4-9)$$

式中 F_{pi} ——第*i*个墩身换算质量产生的水平地震力。

4 按照本条第1款计算自振频率，可先假设隔震支座在设防烈度地震作用下的水平位移 u_d ，根据式（5.3.4-1）和式（5.3.3-11）计算隔震支座的位移反应 u'_d 。如果 u'_d 与 u_d 不符，应以 u'_d 为新的假设值重新计算，直至误差小于5%。

5 在横桥向单墩验算时，式（5.3.4-5）及式（5.3.4-6）中均只计单墩和一孔的 m_b^i 值。

5.3.5 采用时程分析法时，顺桥向和横桥向均可按全桥模型计算。

1 隔震支座特性可按双线性考虑，也可按有效刚度、有效阻尼比简化。

2 桥墩、台特性可按线弹性考虑，如计算表明桥墩局部单元进入弹塑性状态，则可按桥墩的材料特性作弹塑性时程分析。

3 分析时应选用符合工程地震和场地特性的人工地震波及实际地震记录，数量不宜少于3条，其中人工地震波不宜少于1条。

4 计算结果包括下列内容：

- 1) 梁端最大位移设计值及其发生时刻；
- 2) 墩顶最大位移设计值及其发生时刻；
- 3) 隔震支座顶面最大剪力、位移设计值及其发生时刻；
- 4) 墩身最大弯矩、剪力设计值及其发生时刻。

5.4 构造要求

- 5.4.1 梁端之间和梁端与桥台之间的缝隙宽度，不应小于顺桥向梁端的位移设计值，并不得小于 100mm。
- 5.4.2 顺桥向梁端至墩、台帽外边缘的距离应大于 1.0m。
- 5.4.3 在相邻梁端之间应设置可伸缩的连接元件，其伸缩量不应小于顺桥向梁端的位移设计值。
- 5.4.4 在公路桥顺桥向相邻梁端和梁端与桥台间的缝隙处，应采用伸缩式桥面板相连。
- 5.4.5 在桥墩顶面梁支座处，应设有横向支档设施。梁体与横向支档设施之间的距离不应小于梁的侧向位移设计值，支档设施的缝隙中应填塞弹性材料。
- 5.4.6 钢筋混凝土桥墩在基础顶面以上 2.0m 高的范围内，桥墩内箍筋的直径不应小于 10mm，间距不应大于 100mm。
- 5.4.7 在桥墩、台顶帽上应设检查位置，并留有便于对隔震支座进行检查、维护的空间。

6 隔震层部件的技术性能和构造要求

6.1 技术性能和试验要求

- 6.1.1 隔震支座的技术性能和试验应符合本章的有关要求，并应符合有关产品标准的规定。
- 6.1.2 各类隔震支座的产品注能必须经检验合格，并提供下列性能指标：
 - 1 在轴压应力设计值作用下的竖向刚度；
 - 2 在轴压应力设计值作用下的竖向变形性能；
 - 3 竖向极限压应力；
 - 4 在水平位移为 0.55 倍有效直径时的竖向极限压应力；
 - 5 竖向极限拉应力；
 - 6 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 50%、100%、250%，且相应的水平加载频率分别为 0.3Hz、0.2Hz、0.1Hz 时的有效水平刚度；
 - 7 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 50%、100%、250%，且相应的水平加载频率分别为 0.3Hz、0.2Hz、0.1Hz 时的有效阻尼比；
 - 8 在轴压应力设计值作用下的水平极限变形能力；
 - 9 耐久性能，包括老化性能、徐变性能和疲劳性能；
 - 10 各种相关性能，包括在不同的竖向轴压应力、水平剪切应变、水平加载频率、环

境温度下的水平刚度和阻尼比的变化率；

11 耐火性能；

12 有特殊要求的性能，如抗腐蚀性、耐水性等。

6.1.3 每项工程采用的隔震支座的产品性能必须经出厂检验合格，符合设计要求并提供下列性能指标：

1 在轴压应力设计值作用下的竖向刚度；

2 在轴压应力设计值作用下，水平剪切应变分别为 50%、100%、250%，且相应的水平加载频率分别为 0.3Hz、0.2Hz、0.1Hz 时的有效水平刚度；

3 在设计轴压应力作用下，水平剪切应变分别为 50%、100、250%，且相应的水平加载频率分别为 0.3Hz、0.2Hz、0.1Hz 时的有效阻尼比。

6.1.4 对有芯型或其他含有阻尼装置的隔震支座，应满足第 6.1.2、6.1.3 条的所有要求，并应提供在轴压应力设计值作用下的水平剪切屈服剪力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度。

6.1.5 对单独设置的阻尼装置或抗风装置，应满足第 6.1.2 条第 6、7、8 款的要求，并提供在轴压应力设计值作用下的水平剪切屈服剪力、屈服前水平刚度和屈服后水平刚度。

6.1.6 隔震支座的压应力破坏极限值不应小于 90MPa，隔震支座的拉应力屈服极限值不应小于 1.5MPa。

6.1.7 隔震支座产品性能的出厂检验数量，每项工程每种主要规格不应少于 3 个。如发现有不合格产品，应加倍进行抽检；在加倍抽检中如仍出现不合格产品，则必须进行全数检验。

6.1.8 隔震支座的产品性能型式检验和产品性能出厂检验不能互相代替。

6.1.9 检验不合格的产品及检验后性能发生变化不能满足正常使用要求的产品，不得在工程中使用。

6.1.10 隔震支座的力学性能检验，应在能按不同频率施加反复循环荷载的、符合要求的伺服试验机上进行。

6.2 构造要求

6.2.1 隔震支座与上部结构、下部结构之间应设置可靠的连接部件。

6.2.2 隔震支座与上部结构、下部结构之间的联结螺栓和锚固钢筋，均必须在罕遇地震

作用下对隔震支座在上下联结面的水平剪力、竖向力及其偏心距进行验算。锚固钢筋的锚固长度宜大于 20 倍钢筋直径，且不小于 250mm。

6.2.3 隔震支座的形状系数应符合下列要求：

1 隔震支座的第一形状系数 S_1 ，应按下式计算：

$$\text{圆形截面：} \quad S_1 = \frac{d - d_0}{4t_{r1}} \quad (6.2.3-1)$$

$$\text{矩形截面：} \quad S_1 = \frac{ab}{2(a+b)t_{r1}} \quad (6.2.3-2)$$

2 隔震支座的第二形状系数 S_2 ，应按下式计算：

$$\text{圆形截面：} \quad S_2 = \frac{d}{t_r} \quad (6.2.3-3)$$

$$\text{矩形截面：} \quad S_2 = \frac{b}{t_r} \quad (6.2.3-4)$$

式中 S_1 ——隔震支座第一形状系数；

S_2 ——隔震支座第二形状系数；

d ——橡胶层的有效直径（mm）；

a ——矩形截面隔震支座的长边尺寸（mm）；

b ——矩形截面隔震支座的短边尺寸（mm）；

d_0 ——隔震支座中间开孔的直径（mm）；

t_{r1} ——第一橡胶层的厚度（mm）；

t_r ——橡胶层的总厚度（mm）。

在一般情况下， S_1 不宜小于 15， S_2 不宜小于 5.0，且满足第 4.3.2 条第 5 款的要求。

7 隔震结构的施工和维护

7.1 施工安装

7.1.1 支承隔震支座的支墩（或柱），其顶面水平度误差不宜大于 5%；在隔震支座安装后，隔震支座顶面的水平度误差不宜大于 8%。

- 7.1.2 隔震支座中心的平面位置与设计位置的偏差不应大于 5.0mm。
- 7.1.3 隔震支座中心的标高与设计标高的偏差不应大于 5.0mm。
- 7.1.4 同一支墩上多个隔震支座之间的顶面高差不宜大于 5.0mm。
- 7.1.5 隔震支座连接板和外露连接螺栓应采取防锈保护措施。
- 7.1.6 在隔震支座安装阶段，应对支墩（或柱）顶面、隔震支座顶面的水平度、隔震支座中心的平面位置和标高进行观测并记录。
- 7.1.7 在工程施工阶段，对隔震支座宜有临时覆盖保护措施。

7.2 施工测量

- 7.2.1 在工程施工阶段，应对隔震支座的竖向变形做观测并记录。
- 7.2.2 在工程施工阶段，应对上部结构、隔震层部件与周围固定物的脱开距离进行检查。

7.3 工程验收

7.3.1 隔震结构的验收除应符合国家现行有关施工及验收规范的规定外，尚应提交下列文件：

- 1 隔震层部件供货企业的合法性证明；
- 2 隔震层部件出厂合格证书；
- 3 隔震层部件的产品性能出厂检验报告；
- 4 隐蔽工程验收记录；
- 5 预埋件及隔震层部件的施工安装记录；
- 6 隔震结构施工全过程中隔震支座竖向变形观测记录；
- 7 隔震结构施工安装记录；
- 8 含上部结构与周围固定物脱开距离的检查记录。

7.4 隔震层维护

- 7.4.1 应制订和执行对隔震支座进行检查和维护的计划。
- 7.4.2 应定期观察隔震支座的变形及外观。
- 7.4.3 应经常检查是否存在可能限制上部结构位移的障碍物。
- 7.4.4 隔震层部件的改装、更换或加固，应在有经验的工程技术人员指导下进行。

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做的用词：

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该这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可能这样做的，采用“可”。

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