

2003

全国民用建筑工程设计技术措施 结 构

第 4 章 建筑结构设计隔震设计与构造

筑 龙 网

建设部工程质量安全监督与行业发展司

中 国 建 筑 标 准 设 计 研 究 所

目 录

目 录	2
4.1 设防目标和适用范围	3
4.2 一般规定	4
4.3 计算分析	5
4.4 设 计 要 点	11
4.5 抗震措施	16
4.6 隔震支座的安装、施工及验收要求	27

4 建筑结构隔震设计与构造

4.1 设防目标和适用范围

4.1.1 在建筑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。根据《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001中第3.8.2条的规定，隔震建筑的抗震设防目标比该规范第1.0.1条对一般建筑的规定要高。一般可表述为：“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，应仅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。”

按本章规定，房屋或结构采用隔震技术后，在不同抗震设防水准下其结构性能状态可描述为：遭遇第一水准烈度（多遇地震）影响时，建筑结构及内部仪器设备处于正常的使用状态，结构可视为弹性体系；遭遇第二水准烈度（设防烈度的地震）影响时，建筑结构及内部仪器设备基本仍处于正常的使用状态，结构基本上可视为弹性体系；遭遇第三水准烈度（罕遇地震）影响时，上部结构可能出现有限的非弹性变形，但不危及生命安全和丧失使用功能，内部仪器设备也不致出现丧失其使用功能的破坏，下部结构也不产生危及上部结构的破坏，使整个隔震体系仍能保持正常工作。

4.1.2 本章的内容适用于在建筑上部结构与基础之间设置由建筑隔震橡胶支座和阻尼器等部件组成的隔震层，以延长整个结构体系的自振周期、增大阻尼，减少输入上部结构的地震能量的房屋隔震设计。

I 对下列建筑，可直接采用隔震技术方案：

- 1) 甲、乙类建筑；
- 2) 下述的丙类建筑：

发生地震时可能产生较大次生灾害的建筑（例如存放有毒、爆炸等次生灾害源的建筑）；
比较重要的公共建筑（学校、医院病房楼、商场等）；

要求采取高于《建筑抗震设计规范》规定的设防目标，以取得更高的地震安全性的建筑；

使用功能有特殊目标要求的建筑（例如要求地震时不中断使用功能的建筑、内部有重要设备的建筑等）；

要求采用隔震技术来弥补某些类型结构在抗震方面的不足或满足有关抗震设计要求的建筑。

如果采取一般的隔震技术措施仍不能满足设计目标要求，可以采取不减少上部结构地震作用的方法进行隔震设计。

2 除上述 1 款规定外的其他建筑，经方案比较和论证后，也可采用隔震技术。

3 隔震技术不仅适用于新建工程，而且适用于现有结构的改造工程。当隔震技术应用于建筑改造工程时，可参照本章规定及《建筑抗震鉴定标准》GB 50023 的规定执行。

4.2 一般规定

4.2.1 采用隔震技术房屋的结构设计的一般规定

1 隔震技术主要适用于自振周期比较短的建筑物，采用隔震技术的结构应符合下列要求：

1) 结构体型基本规则；

2) 不隔震时可在两个主轴方向分别采用《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 所规定的底部剪力法的结构，亦即高度不超过 40m、以剪切变形为主的结构以及近似于单质点体系的结构。

3) 结构基本周期小于 1.0s 的结构。

2 隔震建筑的场地条件和地基基础应符合下列要求：

1) 建筑场地宜为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类。隔震技术是通过延长结构的自振周期来达到减小结构地震反应的目的，因此该自振周期应远离场地周期，以避免长周期地震动可能带来的更大的危险性。因此，Ⅳ类场地上一般不宜建造隔震建筑。

2) 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。当无法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) 隔震结构的地基应稳定、可靠。

4) 隔震建筑应选用稳定性较好的基础类型。

3 隔震建筑的风荷载和其他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%。

隔震建筑的隔震层是一个柔性底层，因此对于非地震作用的水平荷载应控制建筑功能和使用舒适性对其的要求。

4 隔震层的位置应设置在第一层以下。当位于第一层以上时，隔震体系的特点与普通隔震结构可有较大差异，隔震层以下的结构设计计算也更复杂，需作专门研究。

5 当隔震结构不满足上述这些要求时，应进行详细的结构分析并采取可靠的措施。对于甲类建筑以及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后确定。

4.2.2 隔震建筑的设计采用分部设计的方法，亦即针对隔震层以上结构、隔震层和基础（或隔震层以下结构）等分别进行设计分析。

4.2.3 隔震建筑的设计应确保在罕遇地震时发生大变形情况下其运动不受阻碍。防震缝和水平隔离缝的设置应满足本章 4.5.4 条的规定。

4.2.4 对于较重要的隔震结构，宜设置地震反应观测系统。当设置地震反应观测系统时，建筑设计应留有观测仪器和线路的位置。

4.2.5 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，仍按照本地区抗震设防烈度采用。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，其竖向地震作用标准值，8 度和 9 度时分别不应小于隔震层以上结构总重力荷载代表值的 20% 和 30%。

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措施不应降低。

4 隔震建筑地基基础的抗震验算和地基处理仍应按本地区抗震设防烈度进行，下部结构的地震作用计算、抗震验算和抗震措施，应采用罕遇地震下隔震支座底部的竖向力、水平力和力矩进行计算。

4.3 计算分析

4.3.1 《建筑抗震设计规范》GB 50011—2010 采用“水平向减震系数”把隔震建筑设计和传统抗震建筑设计联系起来，可以用来描述建筑物采用隔震技术后其水平地震作用的降低程度。

水平向减震系数应通过隔震与非隔震两种情况下，在多遇地震作用下房屋各层最大层间剪力比值，按照表 4.3.1-1 确定。

表 4.3.1-1 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
减震效果	降 0.5 度	降 1.0 度	降 1.5 度	降 2.0 度

水平向减震系数不宜低于 0.25，且隔震后结构的总水平地震作用不得低于非隔震的结构在 6 度设防时的总水平地震作用；各楼层的水平地震剪力尚应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 第 5.2.5 条关于最小地震剪力系数的规定，亦即结构任一楼层的水平地震剪力应符合下式要求：

$$V_{EKi} > \lambda \sum_{j=1}^n G_j \tag{4.3.1}$$

式中 V_{EKi} ——第 i 层对应于水平地震作用标准值的楼层剪力；

λ ——剪力系数。不应小于表 4.3.1-2 中规定的楼层最小地震剪力系数值，对竖向不规则结构的薄弱层，尚应乘以 1.15 的增大系数；

G_j ——第 j 层重力荷载代表值。

表 4.3.1-2 楼层最小地震剪力系数值

类 别	7 度	8 度	9 度
扭转效应明显或基本周期小于 3.5s 的结构	0.016(0.024)	0.032(0.048)	0.064
基本周期大于 5.0s 的结构	0.012(0.018)	0.024(0.032)	0.040

注：1 基本周期介于 3.5s 和 5.0s 之间的结构，可采用插入法取值。

2 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。

特别指出，表 4.3.1-1 中水平向减震系数是最大层间剪力比值除以 0.7，亦即结构隔震后，隔震层以上结构的水平地震作用，仅为该结构对应于减震系数的水平地震作用的 70%，也就是说，隔震层以上结构的水平地震作用和抗震验算、构件承载力总保留有大至 0.5 个设防烈度的安全储备。

隔震与非隔震两种情况多遇地震作用下的层间剪力的计算，应符合 4.3.2 条的规定。

4.3.2 建筑结构隔震设计的计算分析，应符合下列规定

1 隔震体系的计算模型应符合下列规定：

1)对甲、乙类建筑,隔震体系的计算模型宜考虑结构构件的空间分布、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恢复力-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)一般情况下,隔震体系的计算简图可采用剪切型结构模型(图4.3.2)。当上部结构的质心与隔震层刚度中心不重合时应计入扭转变形的影响。

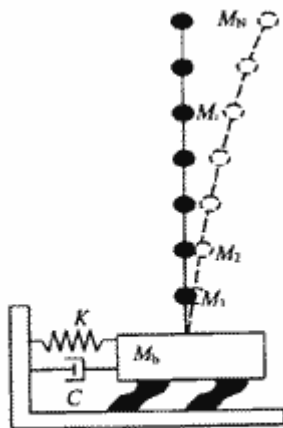


图 4.3.2 隔震结构分析模型
(多质点假设)

3) 隔震层顶部的梁板结构,应作为隔震建筑上部结构的一部分进行计算和设计。

隔震结构计算模型的简化与传统建筑结构没有大大的差别,但更多地考虑了隔震结构的地震反应特点,力图简化分析,减少计算分析的工作量。对复杂的隔震体系的计算模型更多地采用考虑扭转的空间结构分析模型,当需要考虑竖向地震动或进行竖向变形分析或考虑上部结构摆动等情况时,还需要包括竖向甚至翻转摆动自由度。

2 一般情况下,计算水平向减震系数时,宜采用多遇地震作用下的时程分析法进行计算。输入地震波应按《建筑抗震设计规范》第5.1.2条选用。

计算结果宜取其平均值;当处于发震断层10km以内时,若输入地震波未计及近场影响,对甲、乙类建筑,计算结果尚应乘以下列近场影响系数:5km以内取1.5,5km以外取1.25。

3 隔震层和隔震支座的力学模型:

1) 一般情况下,可以采用等效线性化模型,这时,不考虑扭转影响时隔震层的水平动刚度和等效粘滞阻尼比,可按下列公式计算:

$$K_h = \sum K_j \quad (4.3.2-1)$$

$$\xi_{eq} = \sum K_j \xi_j / K_h \quad (4.3.2-2)$$

式中 ξ_{eq} ——隔震层等效粘滞阻尼比;

K_h ——隔震层水平动刚度；

ξ_j —— j 隔震支座由试验确定的等效粘滞阻尼比，对于单独设置的阻尼器，应包括该阻尼器的相应阻尼比；

K_j —— j 隔震支座（含阻尼器）由试验确定的水平动刚度。

当按扭转耦联计算时，尚应计及隔震支座的扭转刚度。

在进行隔震层力学参数计算时，隔震支座力学参数的确定应符合下述规定：

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 600mm 的隔震支座宜采用水平加载频率为 0.1Hz，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 600mm 的隔震支座可采用水平加载频率为 0.2Hz，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。

橡胶材料是非线性弹性体，橡胶隔震支座的有效刚度与振动周期有关，动静刚度的差别较大。因此，为了保证隔震的有效性，至少需要取相应于隔震体系基本周期的动刚度进行计算，隔震支座的产品应提供有关的性能参数。

当试验发现隔震支座动刚度与加载频率有关时，宜取相应于隔震体系基本自振周期的动刚度值。

2) 对于隔震建筑的竖向振动、摇摆、翻转振动问题，当需要考虑隔震支座的拉伸或上浮（提离）等变形时，隔震支座的承压刚度和抗拉刚度相差很大，需要分别考虑。

应该注意的是，当隔震支座出现拉伸或上浮等现象后，会对隔震支座的水平恢复力和变形关系产生影响，应合理考虑这种变化产生的影响。

3) 当考虑水平双方向同时输入或水平竖向同时输入的情形时，对于基本满足线弹性恢复力——位移关系的隔震支座，一般可不考虑隔震支座各个方向反应的相互影响。但当隔震支座本身阻尼比较大（10%）时或对于其他的情形，宜采用考虑这种相互影响关系的力学模型。

4) 对于主要采用以滞变变形为主的隔震支座的隔震建筑，比较详细的结构分析一般需要采用弹塑性模型，如双折线模型等，这时并且要考虑隔震支座各个方向反应的相互影响，不能分别用各个方向的独立关系来分别处理。

4.3.3 对于砌体结构及基本周期与其相当结构的计算分析，可按以下简化方法进行。

1 多层砌体结构及与砌体结构周期相当的结构采用隔震设计时，上部结构的总水平地震作用可按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 底部剪力法简化计算，但应符合下列规定：

1) 水平向减震系数,宜根据隔震后整个体系的基本周期,按下式确定:

$$\psi = \sqrt{2}\eta_2(T_{gm}/T_1)\gamma \quad (4.3.3-1)$$

式中 ψ ——水平向减震系数;

η_2 ——地震影响系数的阻尼调整系数,根据隔震层等效阻尼按《建筑抗震设计规范》

GB 50011—2001 第 5.1.4 条确定;

γ ——地震影响系数的曲线下降段衰减指数,根据隔震层等效阻尼按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 第 5.1.4 条确定;

T_{gm} ——砌体结构采用隔震方案时的设计特征周期,根据本地区所属的设计特征周期分区按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 第 5.1.4 条确定,但小于 0.4s 时应按 0.4s 采用;

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

2) 与砌体结构周期相当的结构,其水平向减震系数宜根据隔震后整个体系的基本周期,按下式确定:

$$\psi = \sqrt{2}\eta_2(T_g/T_1)^\gamma(T_o/T_g)^{0.9} \quad (4.3.3-2)$$

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 ——隔震后体系的基本周期,不应大于 5 倍特征周期值;

T_g ——特征周期。

3) 砌体结构及与其基本周期相当的结构,隔震后体系的基本周期可按下式计算:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{G/G_h g} \quad (4.3.3-3)$$

式中 T_1 ——隔震体系的基本周期;

G ——隔震层以上结构的重力荷载代表值;

K_h ——隔震层的水平动刚度,应按本章 4.3,2 条第 3 款的有关规定采用;

g ——重力加速度。

2 砌体结构及与其基本周期相当的结构,隔震层在罕遇地震下的水平剪力可按下式计算:

$$V_c = \lambda_s \alpha_1(\xi_{eq})G \quad (4.3.3-4)$$

式中 V_c ——隔震层在罕遇地震下的水平剪力；

$\alpha_1(\xi_{eq})$ ——罕遇地震下的地震影响系数值，可根据隔震层参数，按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 第 5.1.4 条的规定进行计算。

3 砌体结构及与其基本周期相当的结构，隔震层质心处在罕遇地震下的水平位移可按下列式计算：

$$u_e = \lambda_s \alpha_1(\xi_{eq}) G / K_{h2} \quad (4.3.3-5)$$

式中 λ_s ——近场系数；甲、乙类建筑距发震断层 5km 以内取 1.5；5~10km 取 1.25；10km 以外取 1.0；丙类建筑可取 1.0；

K_{h2} ——罕遇地震下隔震层的水平动刚度，应按本章 4.3.2 条第 3 款的有关规定采用。

4 隔震支座的最大位移应考虑扭转影响按照下列式计算：

$$u_i = \beta_i \bullet u_e \quad (4.3.3-6)$$

当隔震支座的平面布置为矩形或接近于矩形，但上部结构的质心与隔震层刚度中心不重合时，隔震支座扭转影响系数可按下列方法确定：

1) 仅考虑单向地震作用的扭转时，扭转影响系数可按下列公式估计：

$$\beta_i = 1 + 12eS_i / (a^2 + b^2) \quad (4.3.3-7)$$

式中 e ——上部结构质心与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的偏心距；

S_i ——第 i 个隔震支座与隔震层刚度中心在垂直于地震作用方向的距离；

a 、 b ——隔震层平面的两个边长。

对边支座，基扭转影响系数不宜小于 1.15；当隔震层和上部结构采取有效的抗扭措施后或扭转周期小于平动周期的 70%，扭转影响系数可取 1.15。

2) 同时考虑双向地震作用的扭转时，扭转影响系数可仍按式 (4.3.3-7) 计算，但其中的偏心距值 (e) 应采用下列公式中的较大值替代：

$$e = \sqrt{e_x^2 + (0.85e_y)^2} \quad (4.3.3-8)$$

$$e = \sqrt{e_y^2 + (0.85e_x)^2} \quad (4.3.3-9)$$

式中 e_x —— y 方向地震作用时的偏心距；

e_y —— x 方向地震作用时的偏心距。

对边支座，其扭转影响系数不宜小于 1.2。

4.4 设计要点

() 隔震层部分

4.4.1 隔震设计应根据预期的水平向减震系数和位移控制要求,选择适当的隔震部件及为抵抗地基微震动与风荷载提供初刚度的部件组成结构的隔震层。

1 风荷载和其他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%。

2 隔震层应提供必要的竖向承载力、侧向刚度和阻尼。

3 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。

4 隔震层的位置应设置在第一层以下。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。橡胶隔震支座应设置在受力较大的位置,间距不宜过大,其规格、数量和分布应根据竖向承载力、侧向刚度和阻尼的要求通过计算确定。

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。

8) 设置隔震部件的部位,除按计算确定外,应采取便于检查和替换的措施。

4.4.2 隔震层由橡胶和薄钢板相间层叠组成的隔震支座应满足下列要求:

1 隔震支座在表4.4.5-1所列的压应力下的极限水平变位,应取其有效直径的0.55倍和各橡胶层总厚度3倍两者的较小值。

2 在经历相应设计基准期的耐久试验后,隔震支座刚度、阻尼特性变化不超过初期值的 $\pm 20\%$;徐变量不超过各橡胶层总厚度的5%。

3 在一般情况下,隔震支座的第一形状系数 S_1 不宜小于15,第二形状系数 S_2 不宜小于5.0。当不满足该要求时,应按照本措施第4.4.5条规定降低隔震支座的平均压应力限值。

第一形状系数 S_1 ,应按下式计算:

圆形截面：
$$S_1 = \frac{d - d_0}{4t_{r1}} \quad (4.4.2-1)$$

矩形截面：
$$S_1 = \frac{ab}{2(a+b)t_{r1}} \quad (4.4.2-1)$$

第二形状系数 S_2 ，应按下式计算：

圆形截面：
$$S_2 = \frac{d}{t_r} \quad (4.4.2-3)$$

矩形截面：
$$S_2 = \frac{b}{t_r} \quad (4.4.2-4)$$

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} ——每一橡胶层的厚度 (mm)；

t_r ——橡胶层的总厚度 (mm)。

4 隔震支座的设计工作寿命是指建筑隔震橡胶支座在正常使用和维护情况下所具有的不丧失有效使用功能的期限。隔震支座应具有不少于 60 年的设计工作寿命。

5 设计文件上应注明对隔震部件性能要求，安装前应对工程中所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数量不应少于 3 个，抽样检测的合格率应为 100%。

6 隔震部件的耐久性和设计参数应由试验确定。隔震支座由试验确定设计参数时，竖向荷载应保持表 4.4.5-1 的平均压应力限值。隔震支座在施工安装时，应按照《建筑隔震橡胶支座》JG 118—2000 产品标准和有关规定完成包括型式检验、出厂检验和抽样检测的产品性能检验。

7 每项工程采用的各类隔震支座的产品性能必须经检验合格，并符合设计要求。

4.4.3 隔震支座的水平剪力应根据隔震层在罕遇地震下的水平剪力按各隔震支座的水平刚度分配；当按扭转耦联计算时，尚应计及隔震支座的扭转刚度。

4.4.4 隔震层抗风装置应按下式要求进行验算：

$$\gamma_w V_{wk} \leq V_{Rw} \tag{4.4.4}$$

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。

4.4.5 隔震层所选用的隔震部件的设计分析要求

1 隔震支座应进行竖向承载力的验算。各橡胶隔震支座的竖向平均压应力设计值，不应超过表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5 橡胶隔震支座平均压应力限值

建筑类别	甲类建筑	乙类建筑	丙类建筑
平均压应力限值(Mpa)	10	12	15

注：1 平均压应力设计值应按永久荷载和可变荷载组合计算，对需验算倾覆的结构应包括水平地震作用效应组合；对需进行竖向地震作用计算的结构，尚应包括竖向地震作用效应组合。

2 当橡胶支座的第二形状系数(有效直径与各橡胶层总厚度之比)小于 5.0 时应降低平均压应力限值：小于 5 不小于 4 时降低 20%，小于 4 不小于 3 时降低 40%。

3 外径小于 300mm 的橡胶支座，其平均压应力限值对丙类建筑为 12Mpa。

2 隔震支座的弹性恢复力应符合下列要求：

$$K_{100} t_r \leq 1.40 V_{Rw} \tag{4.4.5-1}$$

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

t_r ——隔震支座橡胶层总厚度。

3 隔震支座应进行罕遇地震下的验算：

1) 隔震层在罕遇地震下应保持稳定，不宜出现不可恢复的变形。隔震层橡胶支座在罕遇地震作用下，不宜出现拉应力。

2) 隔震支座对应于罕遇地震水平剪力的水平位移，应符合下列要求：

$$u_i \leq [u_i] \tag{4.4.5-2}$$

$$u_i = [\beta_i u_c] \quad (4.4.5-3)$$

式中 u_i ——罕遇地震作用下，第 i 个隔震支座考虑扭转的水平位移；

$[u_i]$ ——第 i 个隔震支座的水平位移限值；对橡胶隔震支座，不应超过该支座有效直径的 0.55 支座各橡胶总厚度 3.0 倍两者的较小值；

u_c ——罕遇地震下隔震层质心处或不考虑扭转的水平位移；

β_i ——第 i 个隔震支座的扭转影响系数，应取考虑扭转和不考虑扭转时 i 支座计算位移的比值；当隔震层以上结构的质心与隔震层刚度中心在两个主轴方向均无偏心时，边支座的扭转影响系数不应小于 1.15。

4.4.6 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。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。

隔震支座与上部结构、下部结构之间的连接螺栓和锚固钢筋，均必须在罕遇地震作用下对隔震支座在上下连接面的水平剪力、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。

4.4.7 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》GB 50011—2001 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，按上部结构重力代表值计算抗倾覆力矩，并应满足：

$$1.2M_o \geq M_{RO} \quad (4.4.7)$$

式中 M_o ——整体倾覆力矩；

M_{RO} ——整体抗倾覆力矩。

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。

() 隔震层以上结构

4.4.8 隔震层以上结构的地震作用和抗震措施应符合下列要求：

1 计算地震作用时，水平地震影响系数的最大值应根据水平向减震系数确定，可采用通常抗震设计的水平地震影响系数最大值和水平向减震系数的乘积，但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；各楼层的水平地震剪力尚应符合本章 4.3.1 条最小地震剪力系数的规定。当考虑竖向地震作用时，应符合本章 4.2.5 条第 2 款的规定。

2 隔震层以上结构的水平地震作用沿高度可采用矩形分布。

$$F_{ik} = \frac{G_i H_j}{\sum_{j=1}^n G_j H_j} F_{ek} \quad (i=1, \dots, n) \quad (4.4.8)$$

式中 F_{ik} ——作用于第 i 层的水平地震作用标准值；

G_i 、 G_j ——第 i 、 j 层的重力代表值；

H_i 、 H_j ——分别为第 i 、 j 层的计算高度；

F_{ek} ——结构总水平地震作用标准值。

3 当水平向减震系数不大于 0.50 时，丙类建筑的多层砌体结构，房屋的层数、总高度和高宽比限值，可按《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 中 7.1 节中降低一度的有关规定采用。

4.4.9 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》GB 50011—2001 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、横梁可按受均布荷载的单跨简支或多跨连续托墙梁计算，均布荷载可按《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 第 7.2.4、7.2.5 条关于底部框架砖房的钢筋混凝土托墙梁的规定取值；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。

砌体结构计算托墙梁的地震组合内力时，应采用合适的计算简图。若考虑上部墙体与托墙梁的组合作用时，应计入地震时墙体开裂对组合作用的不利影响，可调整有关的弯矩系数、轴力系数等计算参数，作为简化计算可按下列方法确定：当托墙梁上部各层墙体不开洞和跨中 $1/3$ 范围内仅开一个洞口的情况下，进行弯矩计算时，由重力荷载代表值产生的弯矩，四层以下全部计入组合，四层以上可以折减。

取不小于四层的数值计入组合；进行剪力计算时，由重力荷载产生的剪力全部计入组合，不进行折减。

3 对于隔震层以上结构，9度时和8度且水平向减震系数为0.25时，应进行竖向地震作用的计算；8度且水平向减震系数不大于0.5时，宜进行竖向地震作用的计算。

计算隔震层以上结构竖向地震作用标准值时，各楼层可视为质点，并按下式计算竖向地震作用标准值沿高度的分布。

$$F_{vi} = \frac{G_i H_i}{\sum G_j H_j} F_{Evk} \quad (4.4.9)$$

式中 F_{vi} ——质点 i 的竖向地震作用标准值；

G_i 、 H_i ——为第 i 个支点的重力荷载代表值和高度。

砌体结构按规定进行竖向地震作用下的抗震验算时，砌体抗震抗剪强度的正应力影响系数，宜按减去竖向地震作用效应后的平均压应力取值。

() 下部结构和地基基础

4.4.10 隔震建筑地基基础的抗震验算和地基处理应按本地区抗震设防烈度进行，甲、乙类建筑宜全部消除液化沉降。

当在设防烈度下非隔震房屋符合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 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。

4.4.11 隔震层以下结构（包括支墩、柱子、墙体、地下室）的地震作用和抗震验算，应采用罕遇地震下隔震支座底部的竖向力、水平力和力矩进行计算。

4.4.12 下部结构和地基基础设计

1 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。

2 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—2001 规定的设防烈度进行验算。

4.5 抗震措施

4.5.1 隔震支座的布置

1 隔震支座一般设置在建筑结构底部梁板的梁底。

1) 当住宅门洞入口处标高低于一层室内标高时,可把门洞口两个支座的标高降低,如图 4.5.1-1 (a) 所示。

2) 一栋建筑可能采用不同型号、不同厚度的隔震支座,设计时可采用支座顶面标高相同而底面标高不同的方式进行调整,如图 4.5.1-1 (b) 所示。

3) 对于建筑结构局部区域隔震支座不在同一标高的建筑,为了更好地传递地震力,在错开的位置宜采取加大节点截面,增设剪力墙或梁端加腋等加强措施,隔震支座可设在同一标高,如图 4.5.1-1 (c) 所示,也可设在不同的标高,如图 4.5.1-1 (d) 所示。

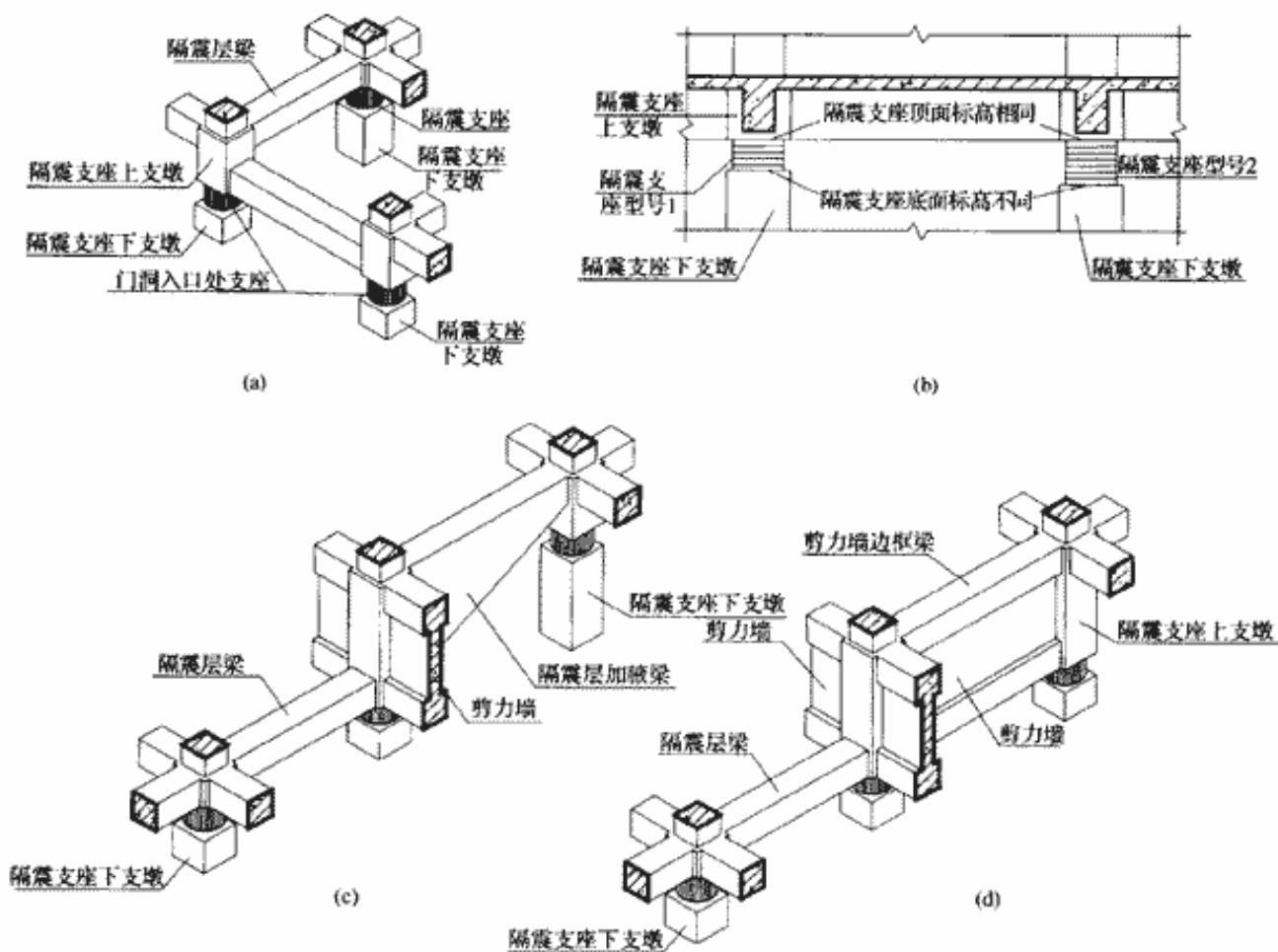


图 4.5.1-1 隔震支座布置示意图

2 纵横基础梁由工程设计确定,无地下室的基础梁上表面与隔震层顶的梁底面之间应留有大于 500mm 的空间[图 4.5.1-2 (a)]。隔震支座以下的结构体系,按本章的有关要求进行设计,必要时柱端可增设拉梁[图 4.5.1-2 (b)]。

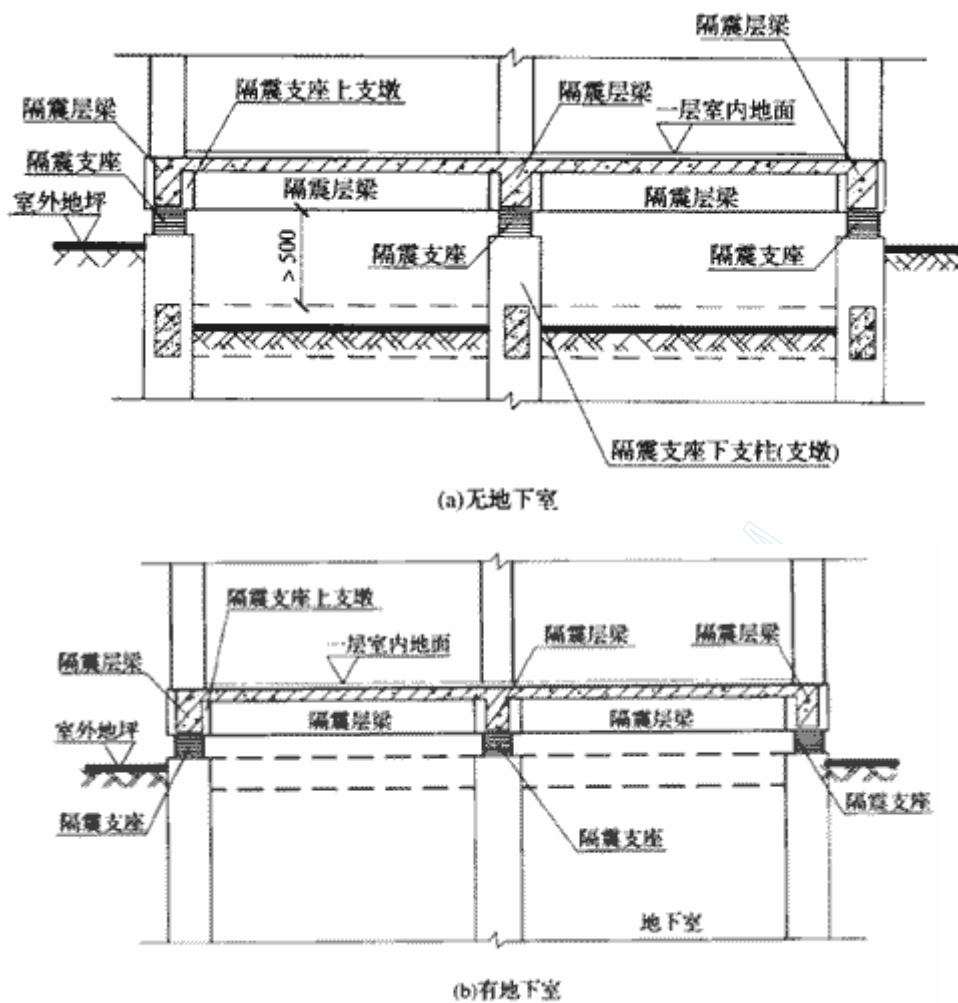


图 4.5.1-2 隔震支座的设置

3 隔震支座置于地下室底板以下时，地上室外墙板四周应设置防震缝（图 4.5.1-3），并合理设置适当数量的检查孔。

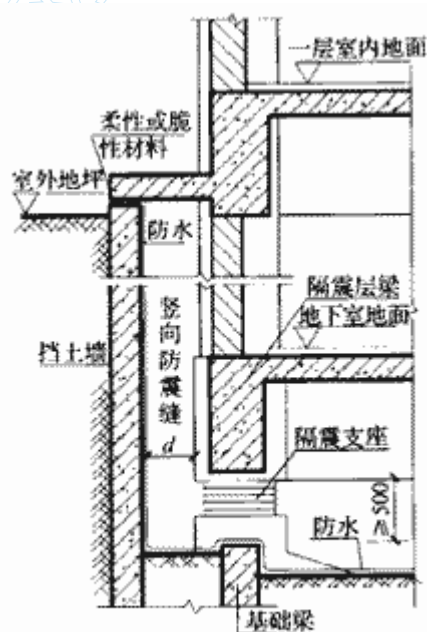


图 4.5.1-3 隔震支座设置

注：图中 d 为隔震层在罕遇地震作用下最大位移的 1.2 倍

4.5.2 隔震层与上部结构的连接，应符合下列规定：

1 隔震层顶部应设置梁板式楼盖，且应符合下列要求：

1) 应采用现浇或装配整体式混凝土楼板。现浇板厚度不宜小于 140mm；配筋现浇面层厚度不应小于 50mm。隔震支座上方的纵、横梁应采用现浇钢筋混凝土结构。

2) 隔震层顶部梁板的刚度和承载力，宜大于一般楼面梁板的刚度和承载力。

3) 隔震支座附近的梁、柱应计算冲切和局部承压，加密箍筋并根据需要配置网状钢筋。

2 隔震支座和阻尼器的连接构造，应符合下列要求：

1) 隔震支座和阻尼器应安装在便于维护人员接近的部位；

2) 隔震支座与上部结构、基础结构之间的连接件，应能传递罕遇地震下支座的最大水平剪力；

3) 抗震墙下隔震支座的间距不宜大于 2.0mm；

4) 外露的预埋件应有可靠的防锈措施。预埋件的锚固钢筋应与钢板牢固连接，锚固钢筋的锚固长度宜大于 20 倍锚固钢筋直径，且不应小于 250mm。

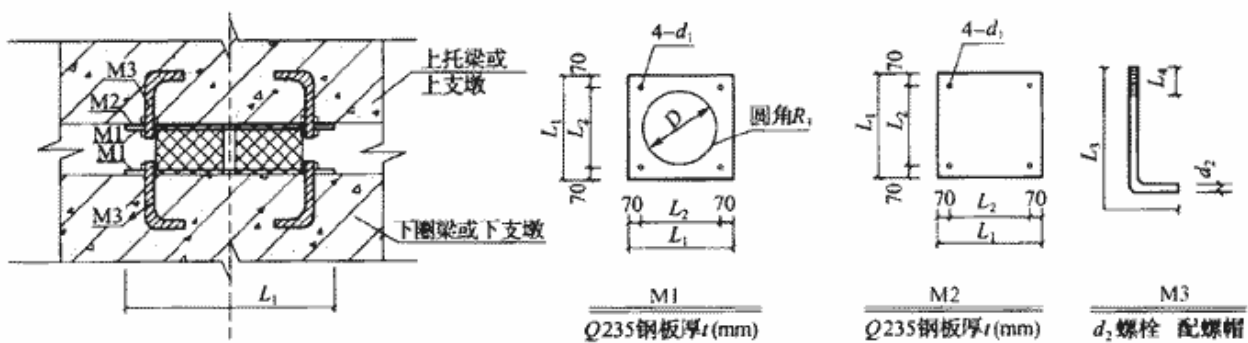
4.5.3 隔震层的构造应符合下列要求：

1 隔震支座与上部结构、下部结构应有可靠的连接。进行隔震支座连接件截面设计时，需要考虑的荷载有：

1) 水平方向承受支座发生 350% 剪切变形时的最大水平剪力；

2) 节点板局部承压验算；

3) 竖向平均拉应力达到 1.5Mpa。竖向拉应力只在需要考虑隔震支座竖向受拉可能时进行验算。图 4.5.3 是橡胶支座与结构构件的连接方式及连接件的示意。其中图 4.5.3 (a) 从连接型式角度看不能承受拉力，图 4.5.3 (b) 可以承受一定拉力。



(a) 连接件型式 (不抗拉)

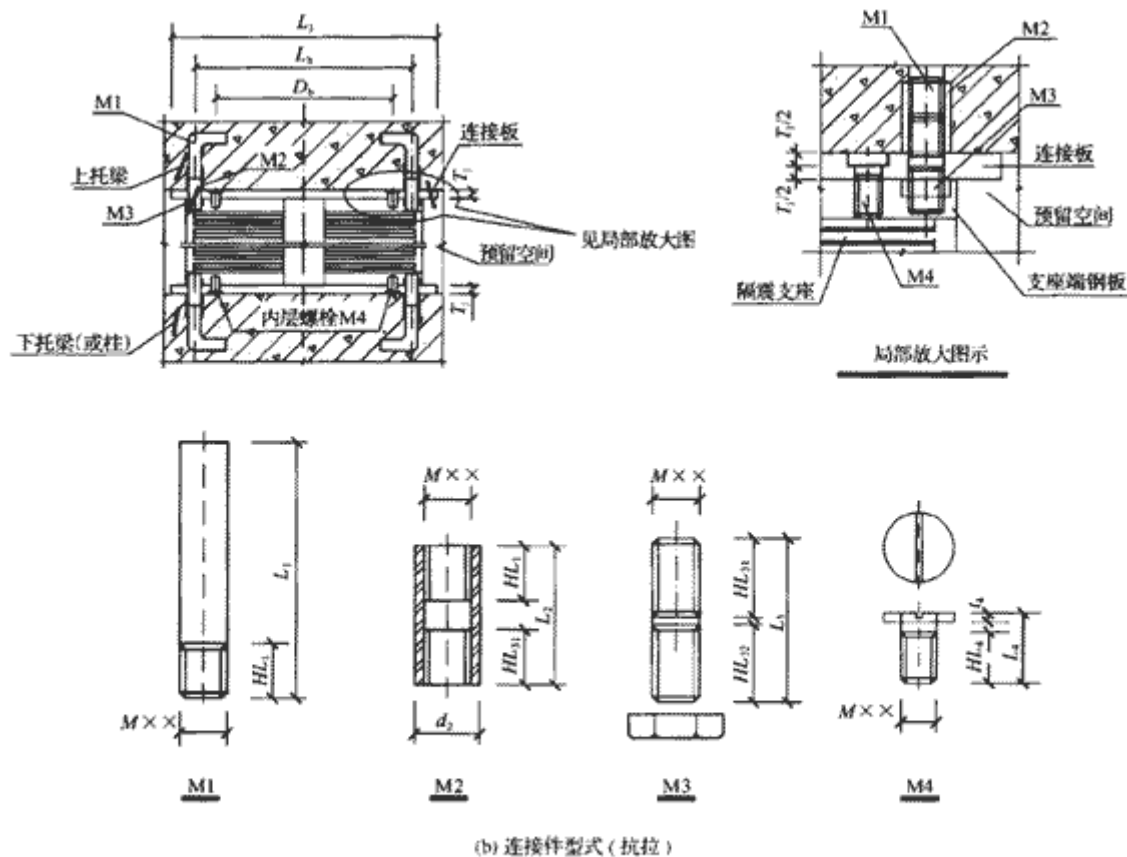


图 4.5.3 连接件型式示意图

注：图中标注尺寸由设计人员根据设计计算结果确定。

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 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。

4 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；与竖直方向固定物的脱开距离可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，且不宜小于 20mm。

4.5.4 上部结构及隔震层部件应与周围固定物脱汗，应合理设置防震缝和水平隔离缝，并应满足下列设置要求：

1 隔震建筑防震缝可按下述规定设置：

1) 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。

2) 一般情况下,上部结构周围应设置防震缝。隔震房屋设置伸缩缝、隔离缝或防震缝时,应符合下述要求:

仅在上部结构隔震层楼面以上设置伸缩缝或防震缝时,缝的宽度应满足《建筑抗震设计规范》CB 50011—2001 对不同房屋防震缝宽度的要求。

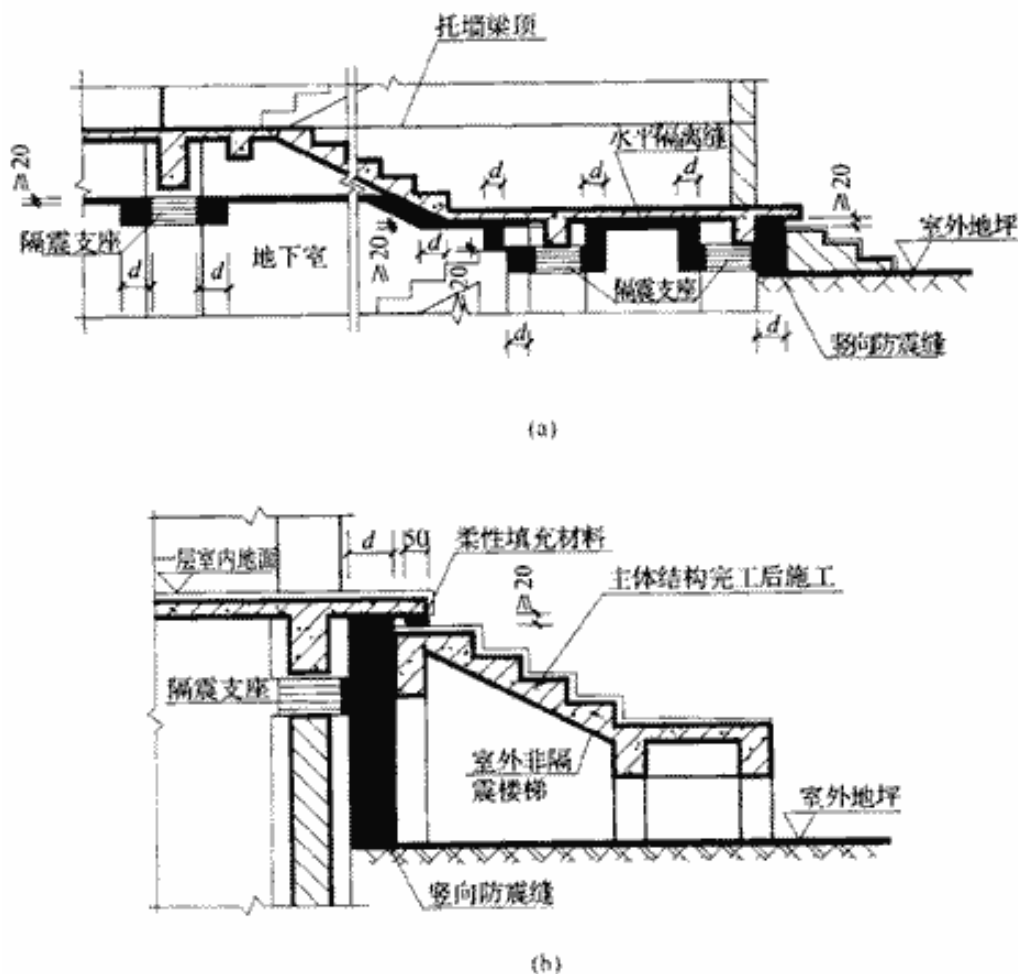
上部结构与其他房屋或结构相邻时应设置防震缝,缝宽不宜小于罕遇地震下隔震层水平位移值的 1.2 倍。

隔震建筑需要设置沉降缝时,其宽度应满足上述防震缝的要求。

2 上部结构(包括与其相连的任何构件)与地面(包括地下室和与其相连的构件)之间,宜设置明确的水平隔离缝;当设置水平隔离缝确有困难时,应设置可靠的水平滑移垫层。水平隔离缝一般不宜小于 20mm。

水平隔离缝或水平滑移垫层的设置应考虑隔震层由竖向荷载、水平变形、不均匀沉降等引起的隔震层的竖向变形的影响;

3 在走廊、楼梯、电梯等部位,应无任何障碍物。参见楼梯和电梯节点示意,如图 4.5.4-1、图 4.5.4-2。



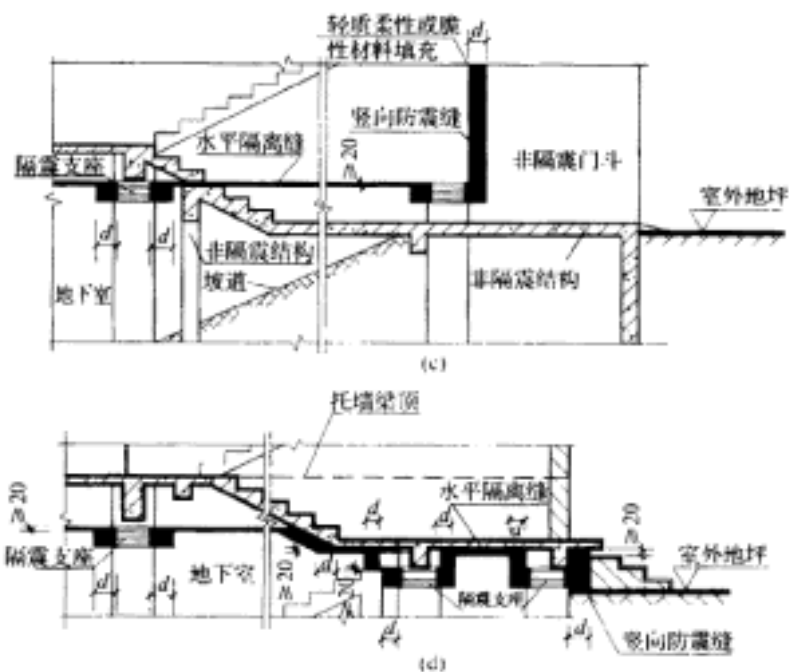


图 4.5.4-1 楼梯踏步节点示意

注: 图中 d 为隔震层在罕遇地震作用下最大位移的 1.2 倍。

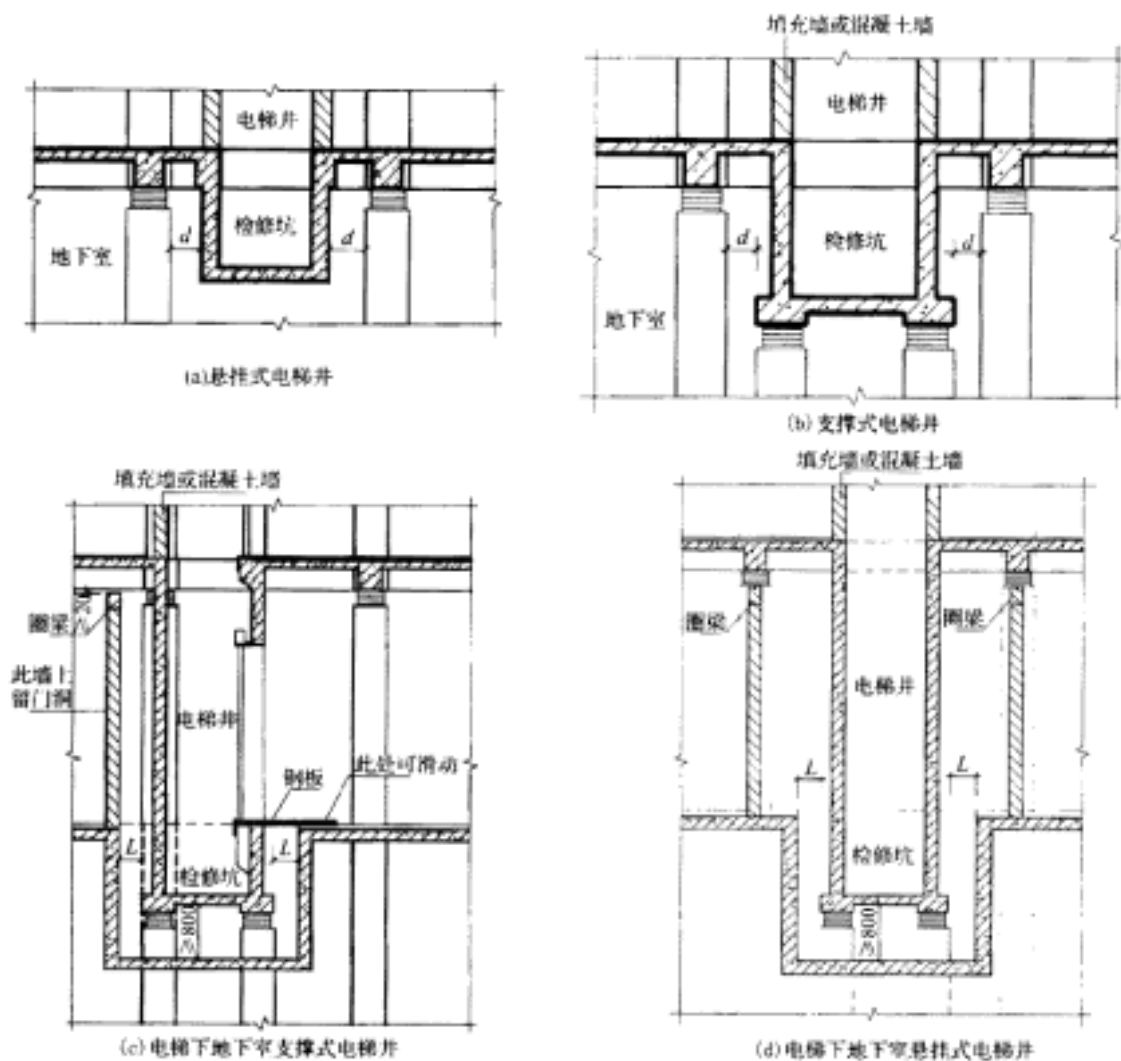


图 4.5.4-2 电梯井节点示意图

注: L 取 d 和 600mm 的较大值, d 为隔震层在罕遇地震作用下最大位移的 1.2 倍。

4.5.5 隔震层以上结构的隔震措施，应符合下列规定：

1 隔震层以上结构应采取不阻碍隔震层在罕遇地震下发生大变形的措施，应合理设置防震缝和水平隔离缝。

2 砌体结构隔震层的构造应符合下列规定：

1) 多层砌体房屋的隔震层位于地下室顶部时，隔震支座不宜直接放置在砌体墙上，并应验算砌体的局部承压。

2) 隔震层顶部纵、横梁的构造应符合《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001 第 7.5.4 条关于底部框架砖房的钢筋混凝土托墙梁的要求，亦即：

梁的截面宽度不应小于 300mm，梁的截面高度不应小于跨度的 $1/10$ 。

箍筋的直径不应小于 8mm，间距不应大于 200mm，梁端在 1.5 倍梁高且不小于 $1/5$ 梁净跨范围内，以及上部墙体的洞口处和洞口两侧各 500mm 且不小于梁高的范围内，箍筋间距不应大于 100mm。

沿梁高应设腰筋，数量不应少于 2 14，间距不应大于 200mm。

梁的主筋和腰筋应按受拉钢筋的要求锚固在柱内，且支座上部的纵向钢筋在柱内的锚固长度应符合钢筋混凝土框架梁的有关要求。

3 内关建筑在隔震层以上结构的抗震措施：

1) 当上部结构设防烈度为 6 度或水平向减震系数为 0.75 时，不应降低非隔震时的有关要求；

2) 当水平向减震系数不大于 0.50 时，可适当降低《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 有关章节对非隔震建筑的要求，但与抵抗竖向地震作用有关的抗震构造措施不应降低。

此时，对砌体结构，应符合下列要求：

承重外墙尽端至门窗洞边的最小距离及圈梁的截面和配筋构造，应符合现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 按设防烈度的有关规定。

多层烧结普通粘土砖和烧结多孔粘土砖房屋的钢筋混凝土构造柱设置，水平向减震系数为 0.75 时，仍应符合《建筑抗震设计规范》GB 50011—2001 按设防烈度的有关规定；7~9 度，水平向减震系数为 0.5 和 0.38 时，应符合表 4.5.5-1 的规定，水平向减震系数为 0.25 时，应符合《建筑抗震设计规范》(GB50011—2001 按设防烈度降低一度的有关规定。

表 4.5.5-1 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		楼梯、电梯间四角外墙四角；	每隔 15m 或单元横墙与外墙交接处
五	四	二	错层部位横墙与外纵墙交接处；	每隔三开间的横墙与外墙交接处
六、七	五	三、四	较大洞口两侧，大房间内外墙交接处	隔开间横墙(轴线)与外墙交接处 山墙与内纵墙交接处； 9 度四层，外纵墙与内墙(轴线)交接处；

注：9 度时甲、乙类建筑层数不宜多于五层。

混凝土小型空心砌块房屋芯柱的设置，水平向减震系数为 0.75 时，仍应符合《建筑抗震设计规范》CB5001—2001 按设防烈度的有关规定；7～9 度，当水平向减震系数为 0.5 和 0.38 时，应符合表 4.5.5-2 的规定，当水平向减震系数为 0.25 时，宜符合《建筑抗震设计规范》GB50011-2001 按设防烈度降低一度的有关规定。

表 4.5.5-2 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 量
7 度	8 度	9 度		
三、四	二、三		外墙转角，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， 大洞口两侧	外墙转角，灌实 5 个孔； 内外墙交接处，灌实 4 个孔； 洞 H 两侧各灌实 1 个孔
七	六	四	外墙转角，楼梯间四角， 各内墙（轴线）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	外墙转角，灌实 7 个孔； 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。

上部结构的其他抗震构造措施，水平向减系数为 0.75 时仍按《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 按设防烈度的有关规定采用；7～9 度，水平向减震系数为 0.50 和 0.38 时，可按《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 按设防烈度降低一度的相应规定采用；水平向减系数为 0.25 时可按《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 按设防烈度降低二度已不低于 6 度的相应规定采用。

3) 对钢筋混凝土结构，柱和墙肢的轴压比控制应仍按非隔震的有关规定采用，其他计算和抗震构造措施要求，可按表 4.5.5-3 划分抗震等级，再按《建筑抗震设计规范》GB50011—2001 第 6 章的有关规定采用。

表 4.5.5-3 隔震后现浇钢筋混凝土结构的抗震等级

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

4.5.6 穿过隔震层的设备配管、配线，应采用柔性连接（图 4.5.6-1、图 4.5.6-2）或其他有效措施适应隔震层的罕遇地震水平位移。

1 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可燃介质的管道，在隔震层处应采用柔性接头。
- 2 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。

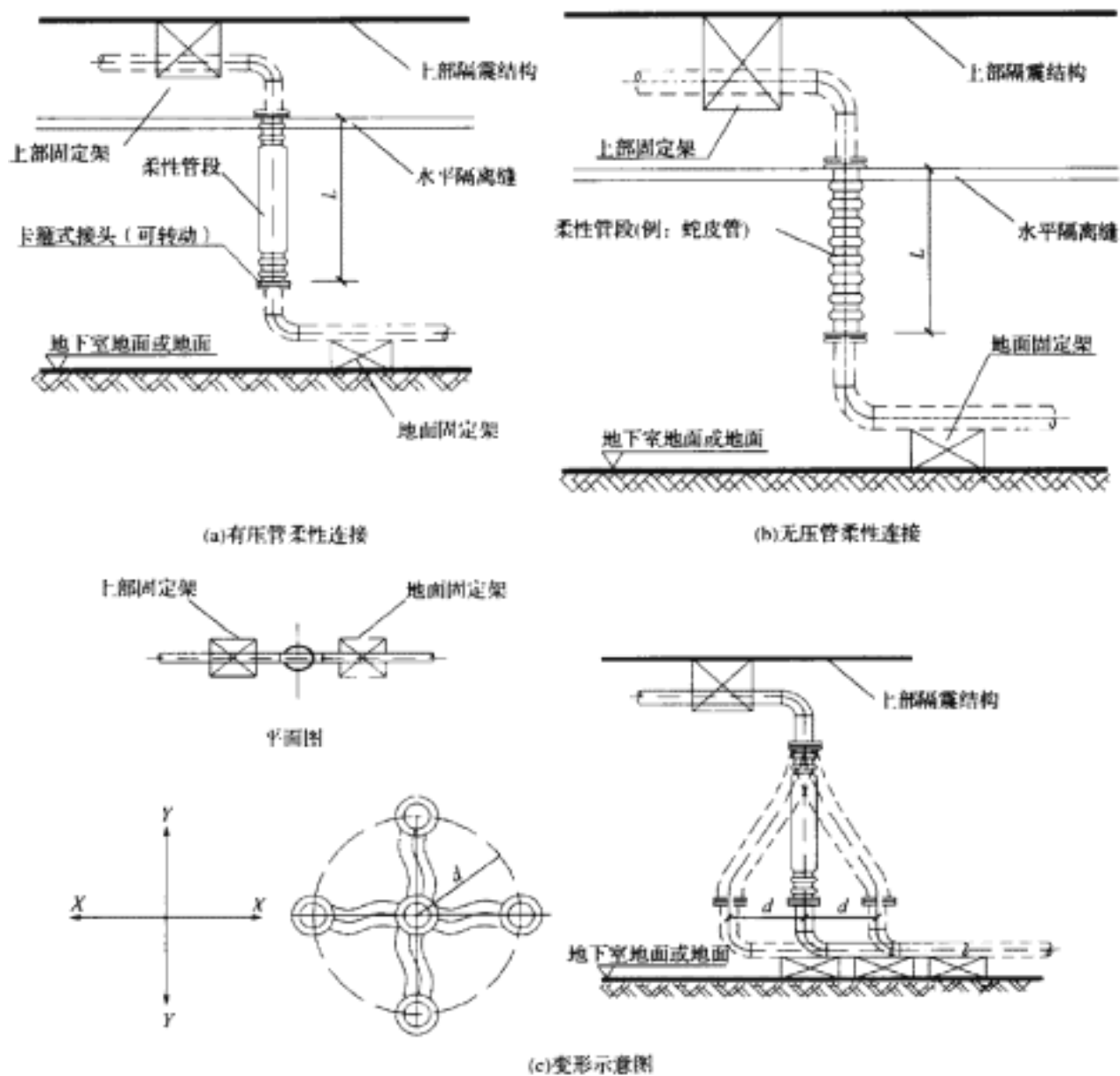
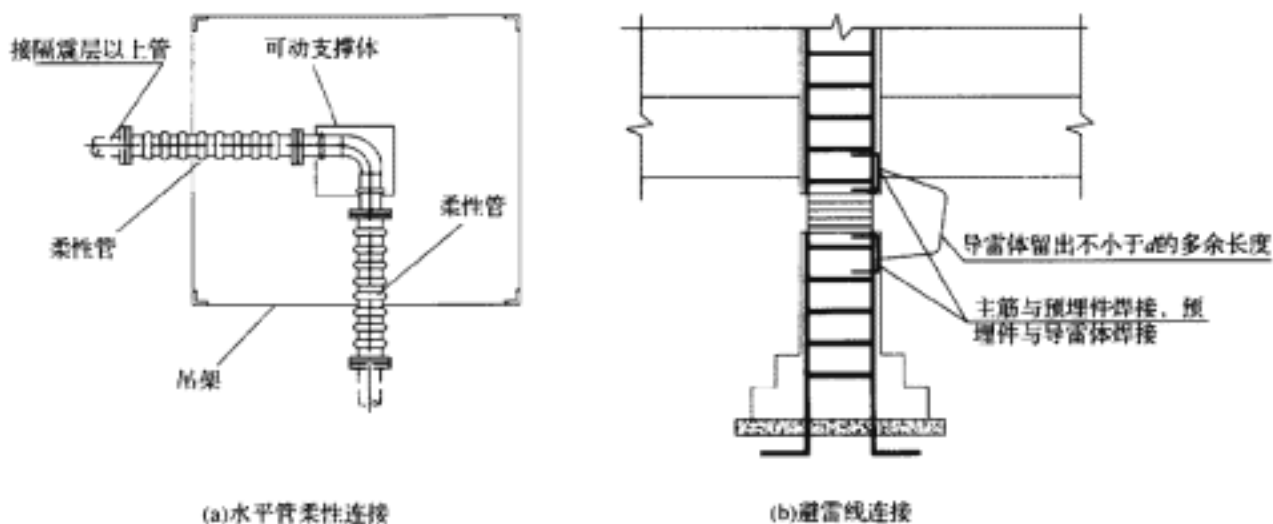


图 4.5.6-1 立管柔性连接

注: L 为隔震层在罕遇地震作用下最大位移的 1.2 倍。



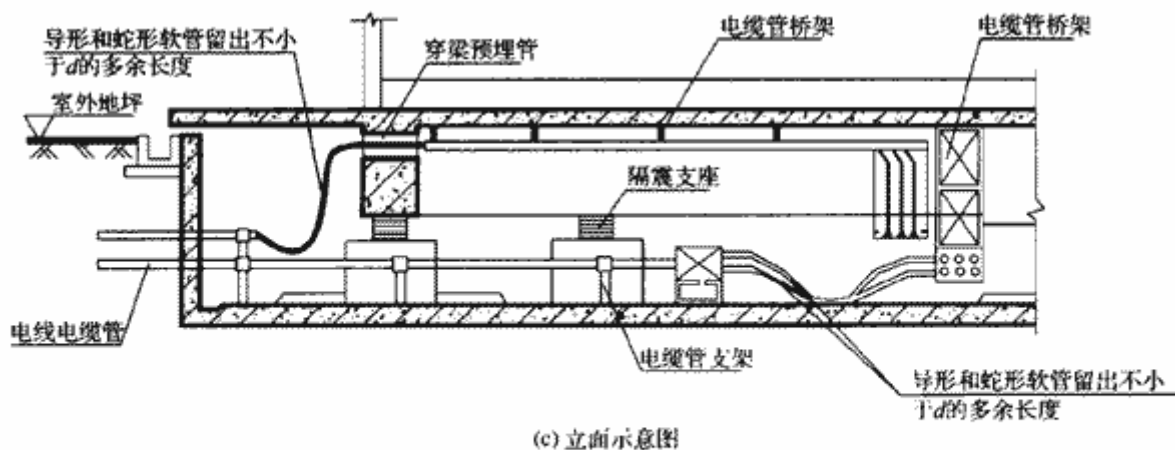


图 4.5.6-2 电缆、电线连接

注: L 为隔震层在罕遇地震作用下最大位移的 1.2 倍。

4.6 隔震支座的安装、施工及验收要求

隔震支座的安装、施工及验收要求

- 1 隔震支座下的混凝土必须振捣密实,不得出现蜂窝麻面,若铺设找平层,必须确保其强度。
 - 2 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%。
 - 3 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。
 - 4 隔震支座中心的标高与设计标高的偏差不应大于 5.0mm。
 - 5 同一支墩上多个隔震支座之间的顶面高差不宜大于 5.0mm。
 - 6 隔震支座连接板和外露连接螺栓应采取防锈保护措施。
 - 7 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。
 - 8 在工程施工阶段,对隔震支座宜有临时覆盖保护措施。
 - 9 在工程施工阶段,应对隔震支座的竖向变形作观测并记录。
 - 10 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。
- 隔震支座的产品尺寸和连接型式可在设计时确定,其安装施工应满足相关的精度、锚固、防锈等要求。