

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2020.05.017

隔震支座下支墩(柱)截面及配筋的构造优化

施微丹¹, 许立英², 李环辉³, 张东鹏⁴, 吴应雄⁵

(1. 福建国脉房地产开发有限公司, 福建 福州 350506;

2. 西南科技大学 土木工程与建筑学院, 四川 绵阳 621010; 3. 厦门中胤建筑工程有限公司, 福建 厦门 361000;

4. 福建省方鑫建设集团有限公司, 福建 福州 350015; 5. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108)

摘 要: 隔震建筑的隔震层下支墩(柱)钢筋与下预埋板及其埋件互相阻挡和交叉, 不可避免的引起下预埋板定位偏差、混凝土难以浇筑密实。为提高下预埋板安装精度和下支墩混凝土密实度, 通过调研国内已建成的部分隔震建筑, 将相关规范要求与下支墩(柱)构造设计、施工现状进行比较分析, 提出了下支墩(柱)截面设计、纵筋长度、配箍形式、带拉梁下支墩节点构造的改进方法和优化。研究表明: 下支墩(柱)采用较大截面、分批截断纵筋、纵筋末端直锚、配置多边形复合箍、降低拉梁面标高等构造和设计措施能减少钢筋冲突, 有效提高了下预埋板安装精度和下支墩(柱)混凝土密实度。

关键词: 隔震建筑; 下支墩(柱); 混凝土密实度; 构造设计

中图分类号: TU352.12; TU753

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2020)05-0097-06

Structural Optimization of Section and Reinforcement of Isolation Bearing Lower Pier/Column

SHI Weidan¹, XU Liying², LI Huanhui³, ZHANG Dongpeng⁴, WU Yingxiong⁵

(1. Fujian Guomai Real Estate Development Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350506, China;

2. School of Civil Engineering and Architecture, Southwest University of Science and Technology, Mianyang, Sichuan 621010, China;

3. Xiamen Zhongyin Construction Engineering Co., Ltd., Xiamen, Fujian 361000, China;

4. Fujian Fangxin Construction Group Co., Ltd., Fuzhou, Fujian 350015, China;

5. College of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou, Fujian 350108, China)

Abstract: The steel bars of the lower supporting pier/column of the seismic isolation layer and the lower embedded slab and its embedded parts block and cross each other, which inevitably causes the positioning deviation of the lower embedded slab and the concrete is difficult to pour and compact. In order to improve the installation accuracy of the lower pre-embedded slab and the concrete compactness of the lower buttress piers, by investigating some of the seismic isolation buildings that have been built in China, the relevant code requirements are compared and analyzed with the lower buttress (column) design and construction status. The results from modified method and optimization of pier (column) section design, longitudinal reinforcement length, hooping form, and joint structure of lower buttress pier with tension beam were compared. The research results show that the structure and design measures such as larger cross-section, truncated longitudinal reinforcement in batches, straight anchors at the end of longitudinal reinforcement, configuration of polygonal composite hoops, and lowering of the surface elevation of the tension beam can reduce the conflict of steel bars and effectively improve the structure and design measures of the lower support pier/column. The installation accuracy of the lower embedded slab and the concrete density of the lower supporting pier/column have been improved.

Keywords: building isolation engineering; lower pier/column; concrete compactness; structural design

收稿日期: 2020-05-27

修稿日期: 2020-06-19

基金项目: 福建省教育厅中青年教育科研项目(JAT191012); 福建省住房和城乡建设厅科技研究开发项目(2019-K-2)

作者简介: 施微丹(1983—), 女, 福建福鼎人, 硕士, 工程师, 主要从事建筑结构与施工技术方面的工作。E-mail: swdfz1216@163.com

通讯作者: 许立英(1981—), 女, 甘肃靖远人, 博士研究生, 讲师, 主要从事先进建筑材料和工程结构等方面的工作。

E-mail: lyling_xu@126.com

建筑隔震工程中隔震支座承受的压力和剪力通过下支墩(柱)传递到下部结构中,隔震支座下支墩(柱)按罕遇地震下的内力进行设计^[1],因此下支墩(柱)是隔震层的重要构件,下支墩(柱)施工是建筑隔震工程施工重要的分项工程,下支墩(柱)混凝土的密实度和隔震支座的水平精度不易保证,是施工中应关注的重点^[2]。

下支墩(柱)钢筋密集,数量多规格大。隔震支座下预埋板带有套筒、锚筋、与连接螺栓相连锚筋等埋件,其中套筒的直径一般较大。钢筋易与下预埋板埋件互相阻挡碰撞,从而影响下预埋板定位与安装的精度,对混凝土的密实度造成影响。故下支墩(柱)施工过程中的难点主要包括:(1)混凝土难以振捣密实;(2)隔震支座安装精度控制,尤其是水平度的偏差控制。规范规定隔震支座标高和水平位置的偏差应 $\leq 5\text{ mm}$,下支墩(柱)顶面水平度偏差应 $\leq 3\text{‰}$ ^[3-4]。

通过调研国内已建成的部分隔震建筑发现,隔震建筑下支墩(柱)的构造设计和施工存在如下问题:(1)工程界普遍疑虑下支墩(柱)混凝土是否密实;(2)隔震支座预埋板安装定位偏差、水平精度较低;(3)隔震支座安装效率较低;(4)上述问题在带拉梁下支墩(柱)中更为突出,下支墩(柱)施工难度更大。

目前,隔震建筑占新建建筑的总量较小,指导隔震建筑设计和施工的相关规范出台时间较短,国内外对隔震技术的研究主要集中在结构动力试验和地震响应分析上,对隔震建筑的设计及施工研究较少,仅有少量学者对下支墩(柱)的构造设计和施工进行了研究。针对下支墩(柱)钢筋密集导致的问题,曹建亚等^[5]提出了调整拉钩的位置和方向、等面积代换大直径钢筋,并应用于北京国际机场隔震支座施工中。马俊等^[6]提出了提高下支墩(柱)混凝土和钢筋的强度等级、使用型钢材、支墩顶部纵筋 90° 弯折锚固等措施。齐毅男等^[7]应用 CAD 和 BIM 软件提前发现钢筋冲突并优化纵筋和箍筋的位置。杜少云等^[8]通过调整箍筋的排布以及纵筋采用直螺纹连接来预防支墩钢筋过密的现象。石立国等^[9]提出了下支墩立筋弯锚部分提前截断,弯锚长度为 $5d$ 。张东鹏等^[10]建议将套筒接长锚筋以减少下预埋板埋件的数量。吴国来等^[11]提出下支墩混凝土

宜采用二次浇筑或二次灌浆法以提高密实度。江丽玲等^[12]对支墩的尺寸提出了建议,隔震支座外侧距支墩外侧的间距宜 $\geq 100\text{ mm}$ 。

目前隔震建筑总量少,根据勘察协会统计和调研,建筑隔震工程设计单位普遍缺乏指导经验、设计未能充分考虑施工因素导致施工不能满足设计的要求。设计单位对下支墩(柱)钢筋密集易与下预埋板埋件冲突未加以考虑和重视,施工时出现下预埋板安装定位偏差、混凝土难以浇捣密实等问题。下支墩(柱)构造设计不合理、施工质量较差、施工效率较低影响了工程经济效益、制约了隔震建筑的发展。因此研究出设计合理、施工方便、质量可靠的下支墩(柱)成为当下应解决的问题。

1 下预埋板及下支墩(柱)钢筋

1.1 下预埋板及其埋件

隔震支座预埋板的作用是连接支墩(柱)和隔震支座,并定位隔震支座以保证其水平位置和标高,下预埋板的水平度决定了隔震支座的平整度。预埋板按位置分为下预埋板与上预埋板,预埋板的平面尺寸一般不小于连接板的尺寸,且不大于支墩(柱)的边长或直径。

隔震支座下预埋板设有如下孔口:(1)浇筑孔;(2)排气孔;(3)套筒孔;(4)锚筋孔;(5)起吊孔。部分预埋板利用套筒孔兼做起吊孔。隔震支座下预埋板埋件主要包括:(1)套筒;(2)锚筋;(3)与连接螺栓相连锚筋。

1.2 下支墩(柱)钢筋

下支墩(柱)按罕遇地震下的内力进行设计组合,通常配筋较大,节点处钢筋密集,存在如下类型的钢筋:(1)纵筋;(2)箍筋;(3)拉筋;(4)墩(柱)顶附加网片筋;(5)下预埋板螺栓套筒;(6)下预埋板锚筋;(7)如下支墩(柱)带拉梁,设有梁纵筋。独立下支墩与带拉梁下支墩钢筋如图 1(a)~图 1(c)所示。下支墩(柱)钢筋设计对混凝土浇筑、下预埋板安装的影响较大。

部分建筑隔震工程下支墩钢筋密集导致下预埋板无法安装,如图 1(d)所示,需拆除钢筋骨架重新绑扎,费工费料。故下支墩(柱)设计时和施工前应进行充分考虑下支墩(柱)钢筋、下预埋板套筒及其埋件的排布。

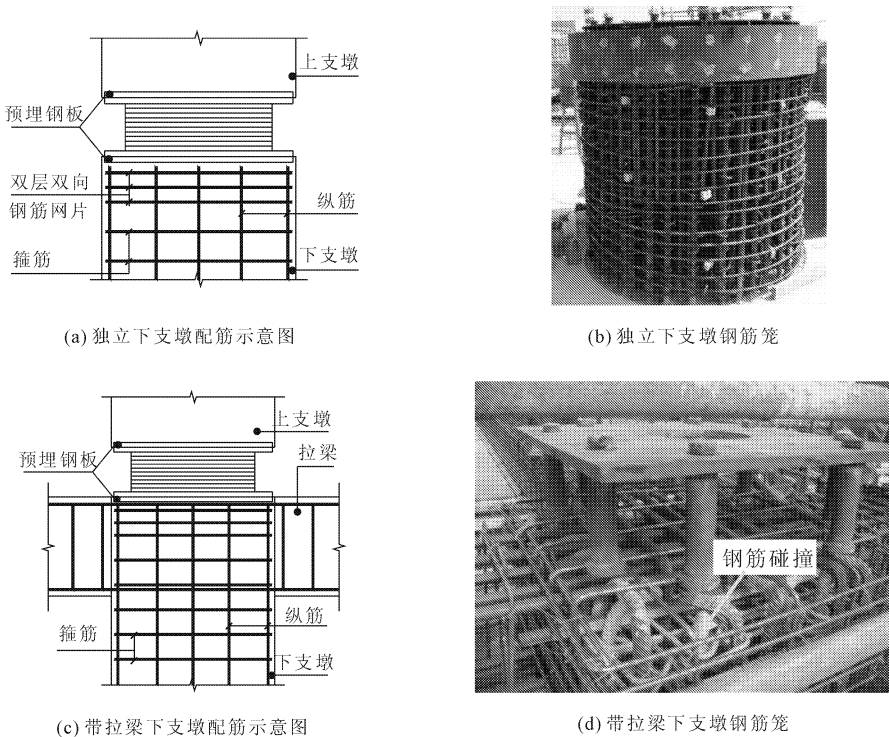


图 1 下支墩(柱)钢筋

2 下支墩截面构造优化

根据隔震支座设置位置不同,隔震形式可分为:(1) 基础隔震;(2) 地下室柱顶隔震;(3) 首层柱顶隔震;(4) 层间隔震^[13]。

以某工程为例,来说明下支墩(柱)的截面设计改进。某隔震建筑采用底层柱顶隔震和基础隔震,隔震橡胶支座普遍采用 LRB600,下预埋钢板尺寸为 670 mm×670 mm,下支墩截面为 700 mm×700 mm,下支墩边缘与下预埋板边缘距离 15 mm,支墩纵筋易与下预埋板埋件冲突。

基础隔震下支墩截面可适当增大,其优点是:(1) 避免钢筋冲突;(2) 增大下支墩刚度,提高罕遇地震下的安全储备和减震效果^[14]。将原设计截面改为 800 mm×800 mm,如图 2(a) 所示。下支墩(柱)混凝土的保护层厚度一般在 25 mm~30 mm 之间,此时纵筋在下预埋板外围,可避开下预埋板的埋件。

底层柱顶隔震为避免柱截面增大影响使用功能,下支墩截面保留原设计,可在柱顶增设牛腿。牛腿宽度同下支墩(柱),底面倾斜角取 45°,牛腿高度及外扩长度应根据斜裂缝控制条件确定^[15]。

综上,下列隔震形式建议选用较大截面的下支墩:(1) 隔震层设置在基础短柱顶面;(2) 隔震层设

置在基础与地下室底板之间。下支墩截面尺寸比支座每侧尺寸扩大 100 mm,如图 2(a) 所示。

下列隔震形式隔震支座下支墩顶部宜增设牛腿:(1) 底层柱顶隔震;(2) 层间隔震。某底层柱顶隔震工程下支墩改进后的截面设计如图 2(b) 所示。

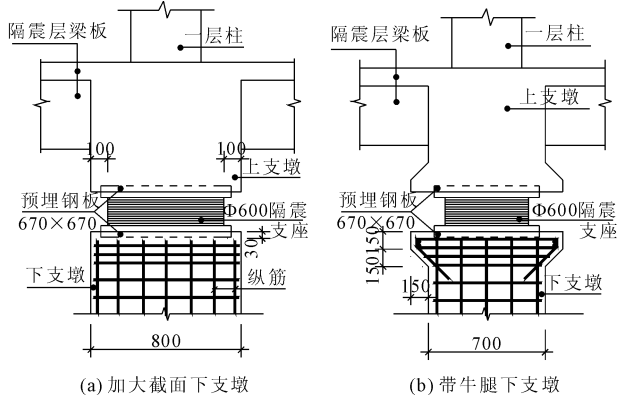


图 2 下支墩截面改进构造设计(单位:mm)

3 下支墩(柱)配筋构造设计优化

3.1 纵筋长度改进

下支墩(柱)纵筋常规设计是将所有纵筋从下支墩(柱)底伸至下支墩(柱)顶。这种钢筋布置方式将引起:(1) 下预埋板安装困难;(2) 下预埋板安装精度低;(3) 下支墩(柱)混凝土振捣不充分,混

凝土密实度较低。

从受力角度,下支墩(柱)是相当于固端在基础的悬臂构件来计算,采用罕遇地震下的水平剪力作用于下支墩(柱)顶部。

下支墩顶部弯矩 M_1 为:

$$M_1 = 0.5 \times (P \times \Delta + V \times h_1) \quad (1)$$

下支墩底部弯矩 M 为:

$$M = M_1 + V \times h \quad (2)$$

式中: P 为在罕遇地震时设计组合工况下产生的柱底轴力; V 为罕遇地震时设计组合工况下产生的水平剪力; Δ 为罕遇地震作用下隔震支座产生的水平位移, h_1 为隔震支座高度, h 为下支墩高度^[1]。

通常下支墩顶部附加弯矩 M_1 较小,下支墩(柱)中部 $l/2$ 处的弯矩 M_1 约为底部弯矩 M 的一半,下支墩(柱)顶部的配筋可根据受力情况适当减少,可节约造价、避免钢筋密集。

下支墩(柱)纵筋可在弯矩较小的位置进行截断,截断点的位置应满足《混凝土结构设计规范》^[15] (GB 50010—2010) 第 9.2.3 条的规定。下支墩的截面通常大于 400 mm,规范规定纵筋间距不宜大于 200 mm,下支墩顶部 $h/3$ 处纵筋的间距可设计为 200 mm,并根据计算结果及最小配筋率选择钢筋的直径;在根部 $2h/3$ 处纵筋间距设计为顶部的 1/2,其直径应满足计算要求,图 3 为改进后的配筋设计,改进后顶部纵筋的配筋率为 1.02%,钢筋净距为 176 mm。图 4 为下支墩(柱)常规纵筋设计与改进纵筋设计的抵抗弯矩图,在顶部 $h/3$ 处改进后的材料图已包络弯矩图,改进后的配筋具有受力合理、节约造价等优点。

3.2 下支墩(柱)顶纵筋构造改进

下支墩(柱)纵筋末端的节点构造主要有两种做法:(1) 纵筋在下支墩(柱)顶弯折锚固;(2) 纵筋在墩(柱)顶直锚。纵筋弯折锚固的水平段长度为 $12d$,其中 d 为纵筋的直径。以直径 28 mm 的纵筋为例,其弯折锚固的水平段长度为 336 mm,下支墩同一方向弯折锚固水平段钢筋总长为 672 mm,基本涵盖了中小直径支座下支墩的大部分截面,这种构造将导致下支墩顶部钢筋十分密集,浇筑混凝土时胶管和振捣棒难以工作,且安装下预埋板时易与下预埋板的锚筋、套筒等埋件碰撞。

下支墩(柱)相当于悬臂构件,顶部受力较小,纵筋在下支墩(柱)顶可直接锚固,这种设计便于下预埋板的安装,同时提高混凝土的浇筑质量。为防止纵筋自由端过长影响钢筋笼顶部的稳定性和下预

埋件的定位,直锚的纵筋顶部可用箍筋围一圈进行点焊固定。下支墩箍筋直径通常为 10 mm ~ 14 mm,故点焊箍筋的直径宜满足下述条件:(1) 至少比下支墩箍筋直径大两级;(2) 不小于 14 mm。

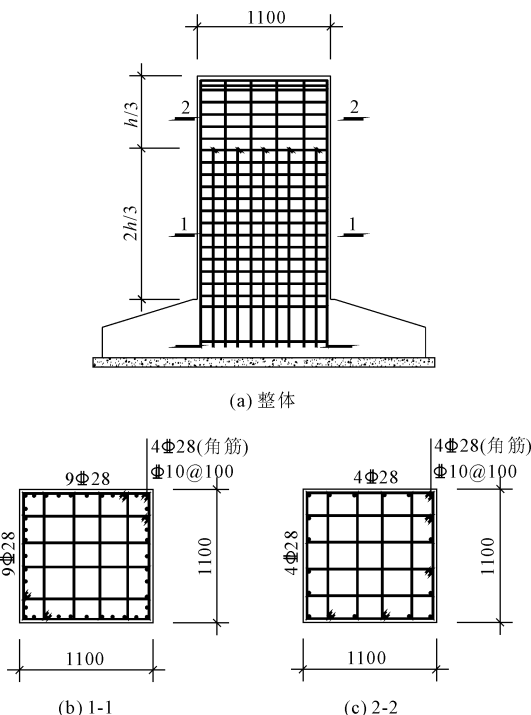


图 3 下支墩纵筋改进设计(单位:mm)

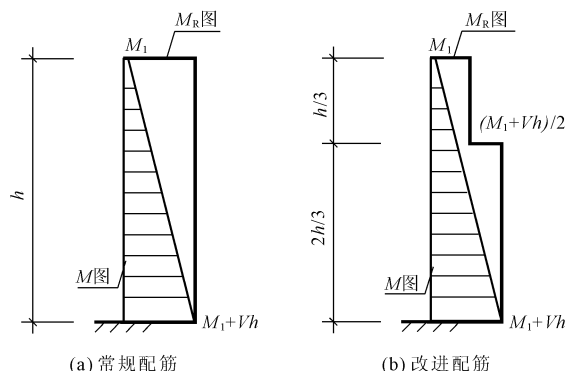


图 4 抵抗弯矩图

3.3 箍筋设计构造改进

3.3.1 箍筋构造要求

柱箍筋加密区的箍筋肢距,一级不宜大于 200 mm,二、三级不宜大于 250 mm。至少每隔一根纵筋宜有两个方向的箍筋或拉筋。柱箍筋加密区的体积配箍率应满足《建筑抗震设计规范》^[1] (GB 50011—2010) 的相关规定。

3.3.2 中小直径支座下支墩(柱)

中小直径支座(直径 800 mm 及以下)下支墩(柱)浇筑时,混凝土通过下预埋板中心的浇筑口进

行浇筑和振捣,井字箍的配箍方式导致下支墩中心的浇捣口较小,不利于混凝土投料和振捣,如图 5(a)、图 5(c)所示,下支墩中心处箍筋最大净距为 200 mm,这种设计不能满足施工质量保证的前提要求。

将下支墩箍筋改进为多边形复合箍筋的形式,与预埋板浇筑孔垂直对应的多边形复合箍中心有足够空间进行混凝土的浇捣,如图 5(b)所示,这种改进能保证混凝土的密实度。如图 5(d)所示的设计,此时箍筋最大净距为 640 mm。

图 5(c)原设计每米箍筋面积为 9 420 mm²,图 5(d)将外箍直径加大为 12 mm,内箍直径保持不变,此时每米箍筋面积为 9 880 mm²,改进后的箍筋面积满足斜截面受剪承载力要求与构造要求。

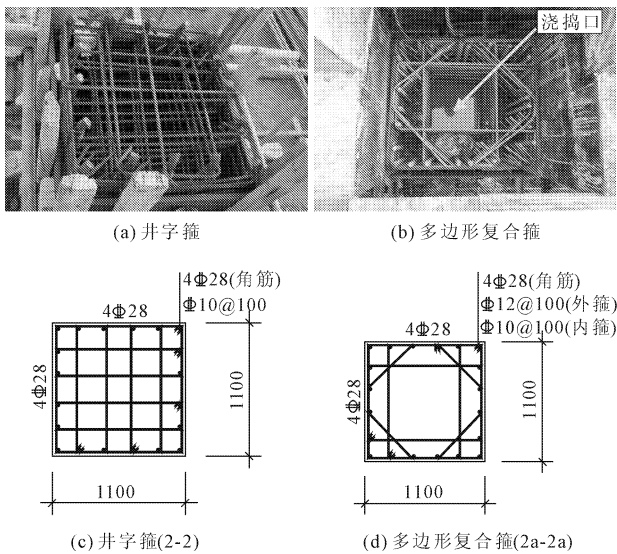


图 5 下支墩(柱)配箍(单位:mm)

3.3.3 大直径支座下支墩(柱)

随着隔震支座生产能力的提高、高层隔震建筑的增多,隔震支座的型号向大直径(直径 800 mm 以上)的趋势发展。如图 6(a)所示,插入式振捣棒的作用半径通常为 250 mm~400 mm,当隔震支座尺寸较大时只留置一个浇筑孔必有部分范围无法振捣。加之下支墩钢筋密集,在长时间振捣下,砂浆流入支座底部,粗骨料堵塞在浇筑口附近,将引起下预埋板与下支墩顶部混凝土交接面空鼓、不密贴等问题。

对于直径为 1 200 mm 的隔震支座,其下支墩尺寸约为 1 500 mm×1 500 mm,图 6(a)为常规配置的井字箍,其箍筋最大净距为 250 mm。箍筋改进设计如图 6(b)所示,下预埋板设计两个浇筑孔,下支墩箍筋间留置两个较大的浇捣口并与下预埋板浇筑孔

垂直对应,改进后的箍筋最大净距为 570 mm,保证了混凝土浇筑和振捣的作业空间。

图 6(a)原设计每米箍筋面积为 12 608 mm²,图 6(b)将外箍直径加大为 12 mm,内箍直径保持不变,此时每米箍筋面积为 12 986 mm²,改进后的箍筋面积满足斜截面受剪承载力要求与构造要求。

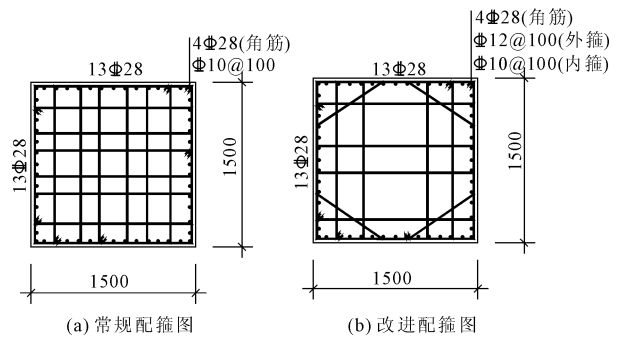


图 6 大尺寸下支墩(柱)配箍改进(单位:mm)

3.4 带拉梁下支墩节点构造设计改进

3.4.1 工程现状

带拉梁的下支墩(柱)节点区钢筋纵横交错,与独立下支墩(柱)相比,增加了拉梁的钢筋,下支墩(柱)的施工难度更大。

3.4.2 改进构造设计

(1) 降低梁面标高。当下支墩顶标高与拉梁面标高相同时,拉梁的支座钢筋与墩顶网片筋、支墩纵筋 90°弯锚段在一水平面上,钢筋密集。建议梁面标高降低至墩(柱)顶标高下方 50 mm~100 mm 处,此时拉梁面的钢筋可与下支墩(柱)顶钢筋错开。

(2) 节点钢筋锚固措施。下支墩(柱)节点处纵筋向外 90°弯折锚固于梁内,其余纵筋采用直锚的方式,为保证纵筋的垂直度以及防止混凝土浇筑时产生的扰动,可用箍筋与直锚纵筋进行焊接,如图 7 所示。下支墩箍筋直径通常为 10 mm~14 mm,故点焊箍筋的直径宜满足下述条件:①至少比下支墩箍筋直径大两级;②不小于 14 mm。

(3) 减小梁钢筋净距。将梁钢筋分成两排或多排布置,可减小拉梁钢筋的净距。

(4) 减小下支墩(柱)钢筋净距。部分可能与下预埋板埋件冲突的下支墩钢筋可采用并筋的形式配置。

3.5 钢筋规格及连接方式

设计时下支墩(柱)纵筋宜选择大直径钢筋以减少钢筋间距。钢筋连接方式宜采用机械连接,这种连接方式可靠且避免搭接钢筋过密的弊端。

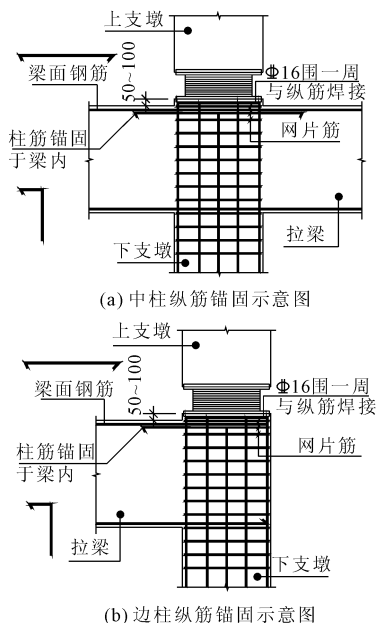


图 7 下支墩(柱)带拉梁节点钢筋构造改进

4 改进效果

基于国内隔震建筑普遍存在下支墩(柱)混凝土密实度较低和下预埋板平整度较差的问题,福州大学结构减隔震课题组对隔震支座下支墩及其埋件施工进行了研究,对下支墩构造设计和混凝土浇筑方式加以改进。目前课题组已完成相关试验,该试验主要研究隔震支座下支墩的配筋、浇筑方式、下预埋板的设计对下预埋板平整度的影响,考察预埋钢板下混凝土浇筑填充质量。其中下支墩分为(1)独立下支墩;(2)带拉梁下支墩。下支墩配筋参数包括:(1)下支墩的纵筋设计;(2)纵筋顶部锚固形式;(3)配箍形式。

下支墩施工工艺流程:浇筑下支墩底板→下支墩钢筋绑扎→安装下预埋板→安装模板→浇筑下支墩混凝土→安装隔震橡胶支座→安装上预埋板→上支墩施工→拆模。

试验结果表明,下支墩纵筋截断且端部无弯锚、采取菱多边形复合箍的设计改进是可行的,与常规设计的下支墩相比,其混凝土密实度、下预埋板水平精度较高。带拉梁的下支墩钢筋纵横交错,下预埋板安装时预埋件易与下支墩的钢筋冲突,浇筑混凝土时振捣不够充分,下预埋板安装较困难、定位偏差大,改进后的带拉梁下支墩施工时各工序顺利完成,施工便捷、安装效率高。

5 结 语

(1) 隔震支座下支墩宜采用较大截面。基础隔

震支座下支墩截面尺寸宜比隔震支座每边大 100 mm,底层柱顶隔震下支墩(柱)可增设牛腿,下支墩边缘到牛腿外扩边缘的水平长度可取 150 mm 左右。

(2) 建议下支墩(柱)纵筋进行分批截断。约 50% 的纵筋可在距离下支墩(柱)2/3 处截断,在下支墩(柱)顶部 1/3 高度处纵筋间距可设计为 200 mm,其直径除了满足计算要求还需满足最小配筋率,在根部 2/3 处纵筋间距设计为 100 mm。

(3) 纵筋在下支墩(柱)顶可直接锚固。纵筋顶部用不小于 14 mm 且比下支墩箍筋直径大两级的箍筋围一圈进行点焊固定。

(4) 箍筋可采用多边形复合箍筋的配筋方式。对于直径大于 800 mm 的支座,其下支墩(柱)的箍筋间应留置两个较大的浇捣孔。

(5) 相较独立下支墩(柱),带拉梁下支墩(柱)的混凝土密实度和下预埋板平整度更不易保证。建议将梁面标高降低至墩(柱)面下 50 mm ~ 100 mm,部分纵筋锚固于梁内,无法锚入梁内的部分纵筋采用直锚的方式,并用直径 16 mm 钢筋围一圈与纵筋焊接。

参考文献:

- [1] 建筑抗震设计规范:GB 50011—2010[S]. 北京:中国工业出版社,2010.
- [2] 吴应雄,张东鹏,苏文庭,等. 建筑隔震工程隔震橡胶支座安装施工工艺分析[J]. 施工技术,2018,47(16): 143-146.
- [3] 曾德民,杜志超,高晓明,等.《建筑隔震工程施工及验收规范》(JGJ 360—2015)介绍[J]. 建筑结构,2017,47(8):82-86.
- [4] 建筑隔震工程施工及验收规范:JGJ 360—2015[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2015.
- [5] 曹建亚,张 灏. 北京大兴国际机场大直径隔震支座施工技术[J]. 施工技术,2020,49(1):122-125.
- [6] 马 俊,葛 杰. 橡胶隔震支座施工难点及关键技术[J]. 四川建筑科学研究,2019,45(2):31-36.
- [7] 齐毅男,李翰翀,管庆松,等. 大直径隔震橡胶支座施工难点及处理措施[J]. 建筑技术,2018,49(9):962-965.
- [8] 杜少云,王中彬. 高层建筑隔震支墩施工常见问题及解决措施[J]. 建筑技术,2017,48(6):652-655.
- [9] 石立国,宁彦乙,付廷华,等. 成都博物馆多连体橡胶支座隔震体系整体安装技术[J]. 施工技术,2018,47(11):22-25.

(下转第 108 页)