

装配整体式混凝土剪力墙 结构设计若干问题剖析 及改进措施

周永明¹, 高 超¹, 吴能文^{2*}, 李国华³

¹浙江省建筑设计研究院有限公司, 浙江 杭州

²浙江翰城建筑设计有限公司, 浙江 义乌

³华固(杭州)建筑技术有限公司, 浙江 杭州

收稿日期: 2024年10月19日; 录用日期: 2024年11月13日; 发布日期: 2024年11月22日

摘 要

通过对浙江地区已建或在建项目装配式混凝土建筑现场走访调研和资料收集, 提炼了目前装配整体式混凝土剪力墙结构设计存在的若干问题。结合装配式剪力墙结构设计质量控制标准与施工图审查要点, 研究了现行装配式混凝土结构技术标准、规程的条文规定, 提出了合理的解决方法和应对措施, 为装配式混凝土剪力墙结构设计技术改进提供参考。

关键词

装配整体式, 混凝土剪力墙, 设计问题剖析, 改进措施

Analysis and Measures of Some Problems in the Design of Monolithic Precast Concrete Shear Wall Structure

Yongming Zhou¹, Chao Gao¹, Nengwen Wu^{2*}, Guohua Li³

¹Zhejiang Province Institute of Architectural Design and Research Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

²Zhejiang Hancheng Architectural Design Co., Ltd., Yiwu Zhejiang

³Huagu (Hangzhou) Construction Technology Co., Ltd., Hangzhou Zhejiang

Received: Oct. 19th, 2024; accepted: Nov. 13th, 2024; published: Nov. 22nd, 2024

*通讯作者。

文章引用: 周永明, 高超, 吴能文, 李国华. 装配整体式混凝土剪力墙结构设计若干问题剖析及改进措施[J]. 土木工程, 2024, 13(11): 2081-2090. DOI: 10.12677/hjce.2024.1311227

Abstract

Through the site investigation and data collection of precast concrete buildings in Zhejiang area, some problems in the design of monolithic precast concrete shear wall structures are extracted. Combining with the design quality control standard of monolithic precast concrete shear wall structure and the key points of construction drawing review, the article studies the provisions of the current technical standards and regulations of precast concrete structure, puts forward reasonable solutions and countermeasures, and provides reference for the design technology improvement of prefabricated concrete shear wall structure.

Keywords

Assembled Monolithic, Precast Concrete Shear Wall, Design Problem Analysis, Improvement Measure

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着各级政府对绿色建筑、建筑产业化政策的大力推进,目前浙江住宅产业化项目中采用装配整体式混凝土剪力墙结构体系已进入了技术成熟期及快速增长期,一些高层住宅已建成并投入使用,促进了设计质量和住宅品质的提升,提高了施工效率,达到了节能减排的要求。

在满足建筑功能正常使用的前提下,做到安全经济是结构工程师最基本的职责。但是,若缺少有关的装配式结构设计经验和措施,不但会影响建筑正常使用的要求,有时还会遗留安全隐患。装配式剪力墙结构设计正确与否的问题不仅涉及到对标准条文的理解和把握,同时也需有相应的技术措施,故基于在大量实际工程案例中有关装配式剪力墙结构设计问题的归类和总结,对设计易疏忽的若干问题进行剖析,提出解决问题的思路和方法,供同行在实际工程设计中借鉴。

2. 抗连续倒塌设计

2.1. 存在问题

当设计要求对抗震设防类别为重点设防类的高层装配整体式剪力墙结构(如教学用房、学生宿舍等)按安全等级一级进行设计时,未按《高层建筑混凝土结构技术规程》(JGJ 3-2010) [1] (简称《高规》)的有关规定进行抗连续倒塌概念设计。

2.2. 问题解析

高层建筑结构应具有在偶然作用发生时适宜的抗连续倒塌能力。《装配式混凝土建筑技术标准》(GB/T 51231-2016) [2] (简称《装混标准》)第 5.1.6 条规定,安全等级为一级的高层装配整体式混凝土结构尚应按《高规》的有关规定进行抗连续倒塌概念设计。结构的抗连续倒塌设计应特别注意提高结构的整体牢固性、构件的有效拉结、水平构件的反向承载能力及建筑边、角部剪力墙布置的整体连续性。

2.3. 应对措施

- (1) 增强结构的整体性,应满足“强接缝,弱构件”的概念设计要求,加强预制构件之间的拉结配筋。
- (2) 避免采用带转角窗的结构布置。确需设置转角窗时,转角窗两侧剪力墙不应采用一字型短肢墙,宜采用现浇墙肢并设置约束边缘构件;转角窗区跨宜设置拉结暗梁并采用现浇板;当采用叠合板时,后浇层厚度及配筋应加强。
- (3) 主次梁边支座的顶面及底面应配置一定数量的纵筋,纵筋应满足受拉锚固长度要求,以提高梁的拉结能力。
- (4) 叠合楼板的支座板面筋、板底筋应按受拉锚固设计,保证楼板具有一定的反向承载能力。

3. 房屋适用高度

3.1. 存在问题

未考虑预制剪力墙构件底部承担的总剪力比值影响因素,导致装配整体式剪力墙结构的房屋高度超限。

3.2. 问题解析

《装配式混凝土结构技术规程》(JGJ 1-2014) [3] (简称《装混规程》)对装配式剪力墙结构采取从严要求,与现浇结构相比其最大适用高度降低了 10 m。特别注意的是装配整体式剪力墙结构的最大适用高度限值与预制剪力墙数量(即预制剪力墙承担的底部剪力比)相关。在规定水平力作用下,当预制剪力墙构件底部承担的总剪力大于该层总剪力的 50%时,其最大适用高度尚应适当降低,但《装混规程》第 6.1.1 条未给出具体降低数值;当预制剪力墙构件底部承担的总剪力大于该层总剪力的 80%时,与现浇结构相比其最大适用高度应降低 20 m。

在计算预制剪力墙构件底部承担的总剪力占该层总剪力比例时,一般取主要采用预制剪力墙构件的最下一层(即起始层);如全部采用预制剪力墙结构时,则计算底层的剪力比例;如底部 2 层现浇其他层预制,则计算第 3 层的剪力比例[4]。

3.3. 应对措施

- (1) 统计预制剪力墙构件的最下一层的剪力比例,校核房屋高度是否超限。
- (2) 可通过调整预制剪力墙构件布置数量,减少其剪力分担比。

4. 高宽比

4.1. 存在问题

当装配整体式剪力墙结构和叠合板式混凝土剪力墙结构的高宽比较大时,未对预制墙板在设防烈度水平地震作用下的受力状况进行补充分析,也未采取加强措施。

4.2. 问题解析

高宽比较大将对预制墙板接缝产生不利影响。当装配整体式剪力墙结构的高宽比大于 6 时,预制墙板构件可能出现小偏心受拉状况,当构件的平均拉应力大于混凝土抗拉强度的标准值时,会产生水平通缝而严重削弱其水平接缝的抗剪承载力,抗侧刚度显著退化。《装混规程》第 6.1.2 条和《叠合板式混凝土剪力墙结构技术规程》(DB 33/T 1120-2016) [5] (简称《叠板规程》)第 4.2.2 条规定,6、7 度设防时装配整体式剪力墙结构和叠合板式混凝土剪力墙结构的高宽比不宜大于 6。

4.3. 应对措施

- (1) 装配整体式剪力墙结构和叠合板式混凝土剪力墙结构宜控制高宽比，对首层即采用装配式的结构更应从严控制。
- (2) 当高宽比大于 6 时，应补充结构在设防烈度水平地震作用下的内力分析，并宜避免预制墙板出现小偏心受拉。如出现小偏心受拉，则应控制预制墙板构件平均拉应力不大于混凝土抗拉强度标准值，并在其水平接缝处采取设置抗剪键等加强措施。
- (3) 对风荷载起控制作用的高层装配整体式剪力墙结构也应核查是否存在小偏心受拉墙肢的情况，采取加强措施。

5. 短肢剪力墙应用条件

5.1. 存在问题

短肢剪力墙布置数量过多，未考虑短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩占比影响因素，导致具有较多短肢剪力墙的装配整体式剪力墙结构的房屋高度超限或超出其应用条件。

5.2. 问题解析

短肢剪力墙属于弯剪构件，易发生脆性破坏，抗震性能差。当采用具有较多短肢剪力墙的装配整体式剪力墙结构时(指在规定水平地震作用下，短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩不小于结构底部总地震倾覆力矩的 30%的剪力墙结构)，应控制其最大适用高度和短肢剪力墙承担的底部倾覆力矩比值[6]。

基于叠合板式混凝土剪力墙通过接缝钢筋和空腔内现浇混凝土形成整体连接，叠合剪力墙竖向连接采用搭接连接(图 1)，相比普通预制墙板，接缝承载力有所削弱，故结合浙江地区情况，《叠板规程》第 4.4.12 条对具有较多短肢剪力墙的叠合板式混凝土剪力墙结构适用条件作出规定，7 度设防时不应采用。

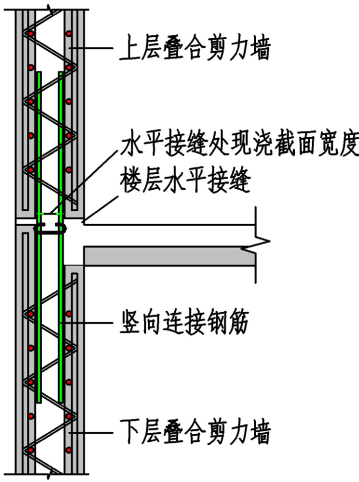


Figure 1. Composite shear wall vertical lap connection precast wall
图 1. 叠合剪力墙竖向搭接连接

5.3. 应对措施

- (1) 限制短肢剪力墙布置数量并控制其底部倾覆力矩的占比不大于 50%；7 度设防时，具有较多短肢剪力墙的装配整体式剪力墙结构的最大高度不应超过 90 m，6 度设防时不宜超过 110 m。

- (2) 7 度设防时，严格控制叠合板式混凝土剪力墙结构中的短肢剪力墙数量，其底部倾覆力矩占比不应大于 30%。
- (3) 应对称、均匀布置短肢剪力墙，避免短肢剪力墙集中布置。
- (4) 一、二、三、四级短肢剪力墙的轴压比，分别不宜大于 0.45、0.5、0.55、0.60。

6. 剪力墙水平接缝承载力

6.1. 存在问题

未对剪力墙水平接缝的受剪承载力进行验算。当预制剪力墙出现偏心受拉时，未对墙肢水平接缝采取加强措施。

6.2. 问题解析

预制墙板接缝设计是装配式混凝土剪力墙结构设计的关键问题。《装混规程》第 8.3.7 条给出了剪力墙水平接缝的受剪承载力验算方法。剪力墙水平接缝的受剪承载力与穿过结合面的竖向钢筋数量以及轴向力有关。剪力墙墙肢出现小偏心受拉时，墙肢极易出现水平通缝，导致其抗剪承载力迅速降低，抗侧刚度严重退化。

6.3. 应对措施

当利用软件对预制墙板水平接缝的受剪承载力进行验算时，可将剪力墙抗震等级暂定义为一、二、三、四级，程序自动按水平施工缝的抗滑移承载力计算公式进行验算。但剪力增大系数可根据设计的剪力墙抗震等级对剪力计算值作相应的调整。

对于出现小偏心受拉的墙肢，宜改为现浇墙肢。当采用预制墙肢时，除满足水平受剪承载力验算要求外，应采用双排套筒灌浆连接，并宜在墙体厚度中部配置连接加强筋，加强筋间距不宜大于 300 mm，埋置长度不应小于 1.2 倍钢筋锚固长度要求(图 2)。

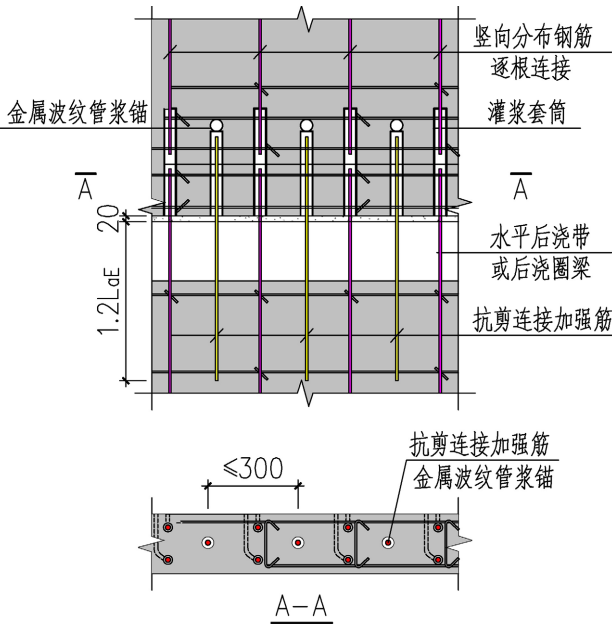


Figure 2. Strengthen structure for horizontal joints in precast wall
图 2. 预制墙水平接缝加强构造

7. 叠合楼盖

7.1. 叠合板接缝形式

7.1.1. 存在问题

预制板之间的接缝形式与叠合板设计假定不符。

7.1.2. 问题解析

叠合板应根据接缝形式、支座构造等情况按其实际受力特点确定设计假定。试验研究表明,叠合板表现为单向板特性,但后浇层对预制板之间受力具有协调作用,当后浇层厚度较大时($> 75\text{ mm}$),更接近双向板的受力性能。当预制板之间采用分离式接缝时,宜按单向板设计。当预制板之间采用后浇带式整体接缝时,可按双向板设计。当预制板之间采用分离式接缝并按双向板设计时,接缝边界应能有效传递剪力和弯矩。

7.1.3. 应对措施

(1) 叠合板设计时应使构造与计算假定相符,并注意结构计算模型中叠合楼板的导荷方向。当四边支承的叠合板的区格长宽比不大于 2、后浇层厚度较大时,内力计算应采用双向板导荷模式,避免支承叠合板的楼面梁及剪力墙受力偏小。

(2) 当叠合板的预制板之间采用分离式接缝并按双向板设计时(图 3),预制板内垂直于接缝的钢筋数量应根据接缝处的弯矩设计值及后浇层的厚度经计算确定,附加筋伸入两侧后浇层的锚固长度不应小于 L_t ,钢筋间距不应大于 200 mm ,预制板内平行于接缝的配筋宜适当增加。后浇层厚度不应小于 80 mm 并应设置钢筋桁架。考虑到此接缝处楼板施工质量不易保证,受弯作用下板底有开裂隐患,当板底需外露无装饰面层时不宜采用(如住宅项目)。

(3) 当叠合板的预制板之间采用分离式接缝时,节点图中应明确密拼处的缝宽限值,可采用后浇小接缝方式进行微调,后浇小接缝宽度宜为 $30\sim 50\text{ mm}$,接缝处应设置板底连接筋,接缝内通长附加筋,后浇小接缝构造详图可参见现行国家标准图集 15G310-1 相关节点做法。

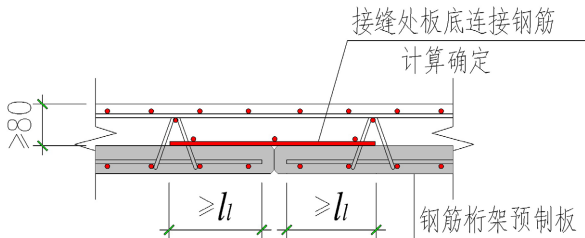


Figure 3. Bidirectional laminated plate close joint construction
图 3. 双向叠合板密拼接缝构造

7.2. 叠合板的钢筋桁架下弦筋

7.2.1. 存在问题

当采用钢筋桁架叠合板时,未明确桁架下弦筋是否作为板底受力筋使用。当钢筋桁架叠合板需在桁架钢筋部位开洞时,也未对洞口周边采取加强措施。

7.2.2. 问题解析

桁架钢筋可以作为楼板下部的受力钢筋及板面钢筋的架立筋使用。施工阶段验算预制板的承载力及变形时,可考虑桁架钢筋的作用,减少预制板下的临时支撑。考虑到桁架钢筋一般不伸出模板,当桁架

下弦筋代替板底受力筋时，无法伸入支座，影响楼板的整体性及水平力传递性能，应采取补强措施。

预制板中桁架钢筋宜避开楼板开洞位置。现行相关标准及图集均未对桁架钢筋部位开洞补强作出规定。

7.2.3. 应对措施

(1) 当钢筋桁架下弦筋替代板底受力筋时，应在后浇层内桁架对应位置增设附加钢筋伸入支座锚固(即采用分离式搭接锚固方式，图 4)，附加钢筋直径不宜小于 8 mm，间距不宜大于 200 mm，受拉时锚固长度不应小于 L_a ，受压时锚固长度不应小于 $15d$ 且宜伸过支座中心线。

(2) 当洞口无法避开而引起桁架钢筋截断时，应在平行于钢筋桁架布置方向的洞边两侧设置补强钢筋桁架，补强钢筋桁架端部与被切断补强钢筋桁架端部距离不应小于 200 mm。

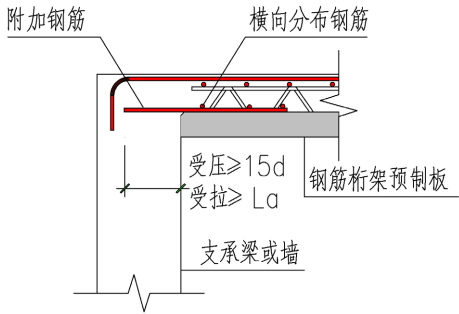


Figure 4. Bar truss laminated plate end split lap anchorage

图 4. 钢筋桁架叠合板板端分离式搭接锚固

7.3. 施工后浇带

7.3.1. 存在问题

当叠合板楼面留设施工后浇带时，采用类似现浇板后浇带方式不合理，做法也不明确，缺节点构造详图。

7.3.2. 问题解析

叠合板楼面的后浇带做法不同于现浇板，如按现浇板方式设置后浇带(宽 800~1000 mm)，将造成后浇带两侧已完成浇捣的叠合板通过后浇带内的预制板连成一体，仅留出后浇层断开的现象，两侧部位的混凝土自由收缩受限制，削弱了施工后浇带作用。

7.3.3. 应对措施

按区格板跨留设施工后浇区块，施工缝设置在后浇区块内的预制板板端或板侧，板筋可不断开。也可采取改变后浇带区域预制板布置方向的方法，沿平行于后浇带方向布置预制板，并设置宽 400 mm 的现浇板带或暗梁，也可在后浇带两侧布置支承梁，后浇带范围内采用现浇单向板。

8. 预制条板隔墙

8.1. 存在问题

- (1) 当条板隔墙安装长度超过 6 m 时，未设置构造柱，也未采取相应的加固、防裂处理措施。
- (2) 当采用预制条板隔墙且接板安装高度大于 4.2 m 时，未另行设计。
- (3) 设计文件未对条板隔墙的吊挂重物荷载限值作出规定。
- (4) 当条板隔墙门窗框板上部墙体高度大于 0.6 m 或门窗洞口宽度大于 1.5 m 时，未采用配有钢筋的过梁，也未采取其他加固措施。

8.2. 问题解析

条板隔墙安装长度超长, 墙面易产生微细裂缝, 也将影响隔墙的安全性能, 故对超长墙体应采取加强处理措施, 以提高条板隔墙的抗震性能, 减少板间裂缝的产生。《建筑轻质条板隔墙技术规程》(JGJ/T 157-2014) [7] (简称《条板规程》) 第 4.2.6 条规定, 条板隔墙安装长度超过 6 m 时, 应设置构造柱, 并应采取加固、防裂处理措施。

《条板规程》第 4.2.4 条规定, 90 mm 厚条板隔墙接板安装高度不应大于 3.6 m, 120 mm 厚条板隔墙接板安装高度不应大于 4.2 m。

设计单位应根据建筑使用性质和功能要求, 确定条板隔墙的种类和构造形式。当需考虑吊挂重物和设备时, 应根据吊挂实际重量对条板隔墙进行承载力及变形验算, 并采取加固措施, 不得采用单点固定形式, 避免质量隐患。

门窗洞口尺寸及位置对条板的受力破坏产生重要影响。门框板、窗框板、过梁板长期处于铰接状态下, 反复承受疲劳性剪拉力, 易开裂。

8.3. 应对措施

(1) 装配式结构设计总说明中应明确构造柱设计要求, 当隔墙长度大于 6 m 时, 预制墙板平面布置图应标识构造柱位置, 宜采用成品构造柱(如型钢构造柱、预制混凝土构造柱等, 图 5); 安装隔墙时可间断预留伸缩缝, 采用弹性腻子填实, 并粘贴防裂网带、防裂胶带等加强处理。

(2) 对安装高度大于 4.2 m 的条板内隔墙应另行设计并对端部连接采取加强措施, 对安装高度大于 4.2 m 的外围护条板墙应进行抗风、抗震承载力及变形验算, 根据验算结果确定墙体厚度, 构造上应采取加强措施。

(3) 应根据条板隔墙建筑使用功能, 规定其防火、隔声、防水、保温等主要技术性能要求及构造要求, 并对条板隔墙的吊挂重物允许荷载进行限定。

(4) 当条板隔墙门窗洞口宽度大于 1.5 m 时, 应采用配有钢筋的过梁, 避免门窗洞角部开裂。

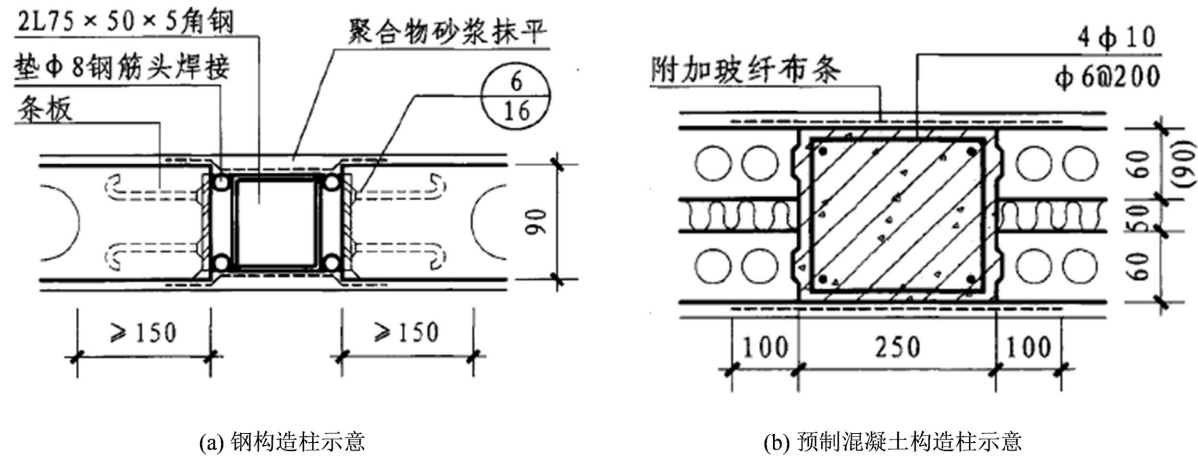


Figure 5. Strip partition wall constructional column schematic
图 5. 条板隔墙构造柱示意

9. 剪刀楼梯防火隔墙

9.1. 存在问题

剪刀楼梯采用预制梯板上砌筑防火隔墙的设计方法不合理, 存在构造缺陷。

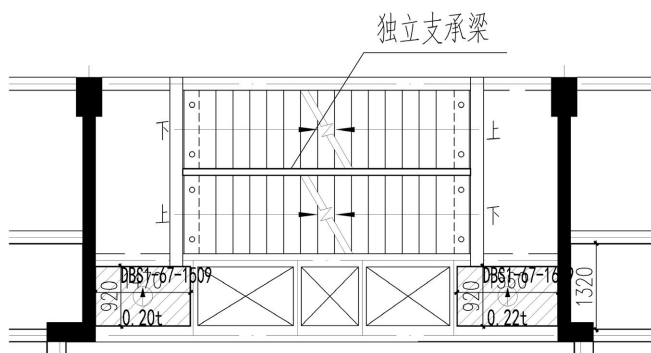
9.2. 问题解析

剪刀楼梯梯段板为预制混凝土构件,梯板一端采用固定铰,一端采用滑动铰,在水平地震作用下梯板会产生转动及滑动。当剪刀楼梯采用预制梯板上砌筑防火隔墙的设计方法时,直接砌筑在预制梯板上的防火隔墙在水平地震作用下会随梯板产生往复位移,导致墙体开裂,甚至失稳坍塌,应尽量避免。国标图集《预制钢筋混凝土板式楼梯》15G367-1 说明第 3.6 条提出剪刀楼梯中隔墙做法需设计人员另行设计。

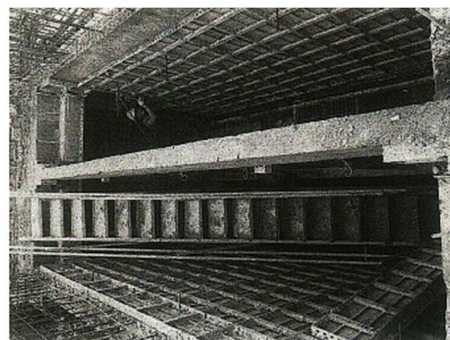
9.3. 应对措施

(1) 剪刀楼梯防火隔墙下应设置现浇或预制的独立支承梁(图 6),该梁承担本层隔墙荷载并传力至两端平台梁上,避免隔墙随梯板发生同步位移。

(2) 墙体端部应增设构造柱。



(a) 剪刀梯支承梁示意



(b) 剪刀梯独立支承梁照片

Figure 6. Independent support beam of scissor stair

图 6. 剪刀梯独立支承梁示意

10. 结语

本文通过对浙江地区已建或在建项目装配式混凝土建筑现场走访调研,和向各地区审图机构就装配整体式混凝土剪力墙结构施工图审查过程中存在的常见问题进行广泛征集,按问题类别分类,选取有代表性的问题进行详细的分析,并给出合理的应对措施。对于上述问题的剖析和改进措施的提出,有助于更好地落实装配整体式混凝土剪力墙结构相关设计规范,提高设计质量。

基金项目

浙江省建设科研项目(2023K199)。

浙江省建筑设计研究院有限公司科研项目(2024RD220)。

参考文献

- [1] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB/T51231-2016 装配式混凝土建筑技术标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ1-2014 装配式混凝土结构技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.
- [4] 中国建筑标准设计研究院. 装配式建筑系列标准应用实施指南(装配式混凝土结构建筑) [M]. 北京: 中国建筑工

业出版社, 2016.

- [5] 浙江省住房和城乡建设厅. DB33/T1120-2016 叠合板式混凝土剪力墙结构技术规程[S]. 北京: 中国计划出版社, 2016.
- [6] 田玉香. 装配式混凝土建筑结构设计及施工图审查要点解析[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2018.
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T157-2014 建筑轻质条板隔墙技术规程[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2010.