

预制混凝土构件钢筋约束浆锚连接技术发展展望

吴涛¹, 刘全威¹, 张磊¹, 白国良², 徐亚洲²

(1. 长安大学建筑工程学院, 陕西 西安 710061; 2. 西安建筑科技大学土木工程学院, 陕西 西安 710055)

摘要: 约束浆锚连接是我国近几年发展的一种适用于预制构件的钢筋连接技术。本文分析了约束浆锚连接的工作机理和技术要点, 详细介绍了国内现有的插入式预留孔灌浆钢筋搭接连接和NPC浆锚插筋连接的连接构造、试验研究和工程应用, 并对二者的技术要点进行了对比分析。介绍了各省装配式混凝土结构技术规程在约束浆锚连接技术方面的相关规定。指出了约束浆锚连接技术目前存在的问题, 对约束浆锚连接技术提出了研究和发展建议。

关键词: 预制构件; 装配式混凝土结构; 约束浆锚连接; 间接搭接

中国分类号: TU375 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-7930(2015)06-0776-05

Research on constraint grout-filled lap connection for precast concrete

WU Tao¹, LIU Quanwei¹, ZHANG Lei¹, BAI Guoliang², XU Yazhou²

(1. School of Civil Engineering, Chang'an university, Xi'an 710061, China;

2. School of Civil engineering, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

Abstract: Constraint grout-filled lap connection is a kind of bar connection technology for prefabricated component in recent years. This paper analyzes the connecting mechanism and technical points of constraint grout-filled lap connection. It also introduces the connection structure, experimental investigations and engineering application of plug-type preformed grout hole reinforcement connection and rebar lapping in grout-filled hole formed with metal bellow. The regulations of the technical regulations for the construction of the concrete structure of the provinces are compared and analyzed. On the basis of analyzing the existing problems of constraint grout-filled lap connection technology, the research and development suggestion are put forward.

Key words: prefabricated component; prefabricated concrete structure; constraint grout-filled lap connection; indirect lap

和现浇混凝土结构相比, 预制装配式结构可以大量节约资源, 提高生产效率, 提升建筑品质, 促进技术、材料和工艺创新, 带动设计、建材、装饰等关联产业发展, 是建筑产业现代化的必然途径和发展方向^[1-3]。

预制构件的连接节点是装配式混凝土结构的薄弱环节, 成熟可靠的节点连接技术是保证装配式结构整体性、安全性的关键^[4]。和现浇结构相比, 预制结构钢筋连接部位较小, 其钢筋锚固在构件中, 不能灵活调整, 传统的钢筋绑扎搭接、焊接连接和机械连接受限于施工空间和精度的问题, 难以在预制构件中应用。

国外预制构件的钢筋普遍采用套筒灌浆连接, 我国近年来基于国内装配式结构体系的特点开发了约束浆锚连接技术, 该技术是将两连接钢筋拉开一定距离后进行灌浆锚固从而实现钢筋可靠连接的方式^[5-6]。约束浆锚连接技术施工工艺简单, 成本低廉, 已成为预制剪力墙等构件钢筋纵向连接的主要方式之一。

1 约束浆锚连接机理及技术要点

1.1 约束浆锚连接机理

搭接钢筋之间能够传力是由于钢筋与混凝土之间的粘结锚固作用。两根相向受力的钢筋分别锚固在搭接区段的混凝土中而将力传递给混凝土, 从而实现钢筋之间应力的传递^[7]。

约束浆锚连接的理论基础为钢筋的非接触搭接, 又在钢筋搭接区段配置了横向约束。其传力路径为: 构件受力时, 拉力先通过剪力传递到灌浆料中, 再传递到灌浆料和周围混凝土之间的界面中去。其连接机理(如图1)是: 当锚固钢筋受拉时, 随着拉力增大, 纵向钢筋表面的应力增大直到出现应力峰值, 同时应力最大处应变达到最大, 拉力增大到一定阶段高应力区钢筋会出现径向缩变, 峰值区钢筋与灌浆料间的摩阻力和胶结力降低, 钢筋产生局部滑移。此后, 钢筋锚固的握裹力峰值区向纵向延伸, 钢筋拉力仍可继续增长。

约束浆锚连接的抗拉能力主要是由以下几点决定^[8]: 钢筋的拉拔破坏; 灌浆料的拉拔破坏; 周围混凝土的劈裂破坏。因此, 须保证钢筋有足够的锚固

长度和有效的横向约束来提高约束浆锚连接性能。

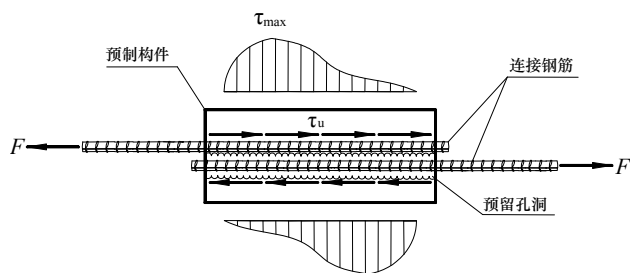


图1 约束浆锚连接机理

Fig.1 Mechanism of constraint grout-filled lap connection

1.2 约束浆锚连接技术要点

1.2.1 灌浆料

用于钢筋约束浆锚连接的灌浆料^[9]要满足高强、早强和微膨胀性的要求，具有良好的力学性能和一定的变形能力，使其能与被连接钢筋很好地共同工作，同时还要满足装配式结构快速施工的要求。

1.2.2 成孔工艺

成孔工艺是约束浆锚连接的技术核心，优良的成孔工艺不仅要保证约束浆锚连接的可靠性，还要能节省灌浆料和钢材，并能降低施工精度和难度。约束浆锚连接成孔要做到内壁粗糙，连接界面安全可靠，且能满足快速施工的要求。

1.2.3 搭接长度

连接钢筋要有足够的搭接长度以充分利用钢筋强度，使钢筋达到极限强度被拉断之前，不发生锚固破坏。钢筋搭接长度的长短能充分说明约束浆锚连接技术的优劣。在保证连接安全可靠的前提下，如何缩短钢筋搭接长度是约束浆锚连接技术的改进和发展方向。

1.2.4 孔径大小

约束浆锚连接所成孔孔径大小，对灌浆料用量、施工精度和难度影响较大，其对钢筋搭接长度和构件承载能力也会产生一定的影响。孔径大小对约束浆锚连接性能影响的研究目前尚属空白。确定约束浆锚连接的最佳孔径能够进一步降低其成本，达到最优的综合经济效益。

2 我国常见体系的约束浆锚连接方式

2.1 插入式预留孔灌浆钢筋搭接连接

2008年哈尔滨工业大学与黑龙江宇辉集团合作，研发了插入式预留孔灌浆钢筋搭接连接技术^[10]，其连接构造如图2。上部预制构件预埋钢筋旁边预留有内壁粗糙的孔洞，孔洞上下部分别预留有排气孔和灌浆孔，孔洞外围配有螺旋箍筋。施工时，只需将下部构件钢筋插入预留孔洞中进行压力灌浆即可实现钢筋的连接。

哈尔滨工业大学课题组对插入式预留孔灌浆

钢筋搭接连接技术的锚固和搭接性能、钢筋搭接长度影响因素、剪力墙抗震性能等问题进行了大量的试验研究和理论分析。

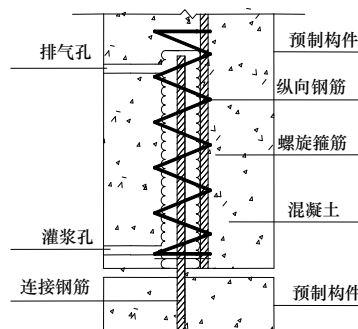


图2 插入式预留孔灌浆钢筋搭接连接

Fig.2 Bar connection of plug-type preformed grout hole reinforcement

姜洪斌^[11-12]采用单向拉伸的加载方式，对该技术进行了81个试件的钢筋锚固试验及108个试件的钢筋搭接试验，证明了该连接方式具有良好的锚固和搭接性能。并建议插入式预留孔灌浆钢筋搭接连接的搭接长度减短为锚固长度。赵培^[13]完成了123个搭接试件的单向拉伸和高应力反复拉压试验。研究表明，配置螺旋箍筋可以有效降低钢筋搭接长度，并建立了螺旋箍筋体积配箍率对钢筋搭接长度的影响规律。邵晓峰^[14]通过3片应用该技术的预制剪力墙试件和3片现浇剪力墙试件进行了低周反复荷载试验。研究表明：采用插入式预留孔灌浆搭接连接的预制剪力墙与现浇剪力墙相比，有相当的抗震性能。杨勇^[15]对采用该技术的剪力墙连接界面抗剪问题进行了深入研究，得出了类似的结论。

清华大学钱稼茹^[16]等对4个竖向钢筋采用该连接的预制剪力墙试件进行了拟静力试验，得出结论：预制剪力墙边缘构件的竖向钢筋采用留洞浆锚间接搭接连接能有效传递钢筋应力；可采用规范计算竖向钢筋采用留洞浆锚间接搭接的预制墙的受压承载力。

哈尔滨工业大学主持制定了黑龙江省《预制装配整体式房屋混凝土剪力墙结构技术规范》^[17] (DB23/T 1400-2010)，将插入式预留孔灌浆钢筋搭接连接技术写入了该规范。黑龙江宇辉集团已将该技术应用于哈尔滨洛克小镇小区14#楼等工程中。

2.2 NPC浆锚插筋连接

2007年，中南控股集团有限公司与澳大利亚康诺克公司合作，引进了全预制装配整体式剪力墙结构体系(NPC体系)。NPC浆锚插筋连接^[18] (如图3)，在上部构件中预埋金属波纹管，施工时，将下部构件钢筋插入波纹管中，再将高强无收缩灌浆料注入波纹管中养护至规定时间，即完成钢筋的连接。

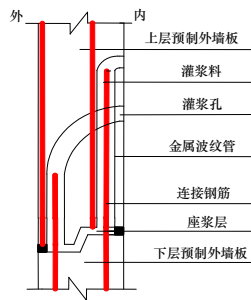


图3 NPC外墙竖向连接

Fig.3 External wall vertical connection in NPC

中南控股集团有限公司与东南大学合作,对NPC浆锚插筋连接技术的界面性能、节点和构件抗震性能等问题进行了大量的理论和试验研究。

陈云钢^[19]等以混凝土强度、钢筋直径和锚固长度等为变参数,通过了162个波纹管浆锚试件的拉拔试验。试验中,所有试件均发生钢筋拉断破坏,证明了波纹管界面连接可靠。陈耀刚^[20]等用足尺模型对NPC连接T形外墙、梁、板节点;内墙、板节点;外周剪力墙间填充墙节点进行了低周反复荷载试验。系列试验结果表明: NPC结构体系的抗震耗能能力和承载能力与现浇结构体系相当,可满足工程需要。朱张峰^[21]等对2个预制和1个现浇的1/2比例三层平面剪力墙模型进行了低周反复荷载试验,结果表明: NPC模型具有与现浇模型相近的承载能力、位移延性及耗能能力,具有相当的抗震性能。

东南大学主编了江苏省《预制装配整体式剪力墙结构体系技术规程》^[22](DGJ32/TJ125-2010),将NPC浆锚插筋连接技术写入了该规程, NPC浆锚插筋连接技术已经应用于江苏海门中南世纪城33号楼等工程中。

2.3 两种约束浆锚连接方式对比

2.3.1 连接构造对比^[23]

从构造上看,两种约束浆锚连接都是通过非接触搭接的方式将两构件的钢筋连接在一起,都具有

预留孔洞。其不同之处在于: (1) 约束配置。插入式预留孔灌浆搭接在钢筋搭接区段外围配置有螺旋箍筋加强,而NPC浆锚插筋连接没有配置横向约束; (2) 接缝构造不同。NPC浆锚插筋连接外墙竖向接缝采用了外低内高的企口构造,具有防水功能。而插入式预留孔灌浆搭接只需在接缝处浇筑20mm的水平座浆层; (3) 成孔工艺不同。插入式预留孔灌浆搭接采用抽芯方式成孔,而NPC浆锚插筋连接采用埋置金属波纹管成孔。

2.3.2 连接性能对比

插入式预留孔灌浆搭接在钢筋搭接区段配置有螺旋箍筋,可以有效约束搭接钢筋间的横肋斜向挤压锥楔作用造成的纵向劈裂裂缝的发展,能有效降低钢筋搭接长度。而NPC浆锚插筋连接没有配置相应的横向约束,导致其钢筋搭接长度与前两者相比增加很多,不仅会浪费钢材和灌浆料,还会造成施工难度的增加。

从试验资料来看,此两种约束浆锚连接方式在满足各自钢筋搭接长度要求的前提下,其相应的预制构件均能达到与现浇构件相同或相近的承载能力和抗震性能,符合我国《装配式混凝土结构技术规程》^[24](JGJ 1-2014)的设计理念。

3 约束浆锚连接相关规范分析

近几年,随着国家大力推行装配整体式结构的相关政策相继出台,各省各地区纷纷响应,分别编制了本省市的装配式混凝土结构相关规程。截至目前,全国一共制定了17本装配式混凝土结构方面的规范。这些规范大部分都纳入了约束浆锚连接技术,但只有少数省份对约束浆锚连接的设计方法和主要技术要点进行了详细规定。表1给出了较有代表性的几个省份的相关规定。

表1 约束浆锚连接相关规范
Tab.1 Relevant code of constraint grout-filled lap connection

项目	国 标	黑 龙 江 ^[25]	北 京 ^[26]	吉 林 ^[27]	陕 西 ^[28]	湖 北 ^[29]	江 苏 ^[30]
钢筋约束浆锚连接技术	插入式预留孔灌浆连接	插入式预留孔灌浆连接	插入式预留孔灌浆连接	插入式预留孔灌浆连接	插入式预留孔灌浆连接	插入式预留孔灌浆连接	NPC浆锚插筋连接
钢筋搭接长度	进行力学性能验证	1.6 l_a	1.6 l_a	1.44 l_a	$\geq 30d$ (抗震设计)	$\geq 30d$ (抗震设计)	$\geq l_{aE}$, 通过计算确定
灌浆料28d强度	$\geq 80\text{MPa}$	$\geq 70\text{MPa}$	$\geq 60\text{MPa}$	$\geq 60\text{MPa}$	$\geq 85\text{MPa}$	$\geq 80\text{MPa}$	$\geq 60\text{MPa}$
螺旋箍筋配置	未规定	未规定	直径 ≥ 4 , 间距 ≤ 80 , 环内径35~80	直径 ≥ 4 , 间距 ≤ 80 , 环内径35~80	直径 ≥ 6 , 间距 ≤ 50	直径 ≥ 4 , 间距 ≤ 50 , 环内径35~65	无
应用范围	钢筋直径 ≤ 20 , 不直接承受动力荷载	钢筋直径 ≤ 25 , 不直接承受动力荷载	钢筋直径 ≤ 25 , 不直接承受动力荷载	钢筋直径 ≤ 25 , 不直接承受动力荷载	钢筋直径 ≤ 25 , 不直接承受动力荷载	钢筋直径 ≤ 20 , 不直接承受动力荷载	未规定
最大适用烈度	8	7	8	7	8	7	8

注: 表中, l_a 为钢筋基本锚固长度; d 为钢筋直径; l_{aE} 为钢筋抗震锚固长度。

从表中可以看出,只有江苏省采用了NPC浆锚插筋连接技术,江苏省依赖于NPC技术已形成了独立完备的装配体系.而其他省份大多推荐采用插入式预留孔灌浆连接技术,且围绕约束浆锚连接的几个技术要点进行了相关规定.各省对钢筋搭接长度的规定与现有研究资料相比较为保守,对螺旋箍筋直径、间距和环径等参数的规定差异较大,各省都没有对约束浆锚连接的预留孔径做出规定.总的来看,各省规范对约束浆锚连接技术的规定条文残缺,且差异较大.

4 约束浆锚连接技术目前存在的问题

约束浆锚连接技术安全可靠、成本低廉,在我国已取得较快的应用和发展,但该技术目前还存在着一些缺点和不足,主要表现在以下几个方面:

(1) 承载能力较低,应用范围狭窄

约束浆锚连接由于荷载偏心传递,节点受力状况复杂,导致其承载能力较低,难以在大直径钢筋连接中应用,无法满足高层预制结构构件连接的需要,一般应用约束浆锚连接技术的连接钢筋直径不宜大于25 mm.且约束浆锚连接技术目前只能应用于剪力墙纵向钢筋的连接,不能应用于预制柱等构件中.

(2) 钢筋搭接长度过长

约束浆锚连接需要连接钢筋具有足够的搭接长度才能保证构件连接的安全性.插入式预留孔灌浆搭接连接钢筋搭接长度约400~600 mm, NPC浆锚插筋连接钢筋搭接长度约600~1 000 mm.由此导致钢筋和灌浆料用量较大,还会增大运输、施工吊装难度,延缓施工进度.

(3) 应用受到构件截面尺寸限制

插入式预留孔灌浆连接的两连接钢筋需在螺旋箍筋内部完成搭接连接,由此导致其外围的螺旋箍筋环外径较大,这在断面尺寸较小尤其是需要双排连接的剪力墙等构件中将会受到很大限制^[31].

5 结论与展望

(1) 约束浆锚连接构造简单、性能可靠、施工简便、成本低廉,其应用于预制剪力墙等构件纵向钢筋连接时,具有良好的经济效益,有广阔的研究空间和发展前景.

(2) 各装配式混凝土结构相关规程对约束浆锚连接技术的规定条文残缺,且差异较大.建议加大对约束浆锚连接技术研发力度,尽快出台约束浆锚连接技术专项规程,对其关键技术指标作出统一规定.

(3) 约束浆锚连接技术还存在着承载能力较低、钢筋搭接长度过长、灌浆料消耗量大等问题,

建议从钢筋外形、灌浆料、成孔工艺和孔径大小等方面进行技术改进,降低钢筋搭接长度,以进一步降低其成本,达到最佳的综合经济效益.

(4) 约束浆锚连接技术主要应用于低烈度区,该技术在高烈度区的推广应用亟需理论和试验资料支撑.建议加强约束浆锚连接技术在高烈度区应用方面的研究.

参考文献 References

- [1] 梁厚双. 装配式建筑的发展及优势[J]. 砖瓦世界, 2011(9): 21-23.
LIANG Houshuang. Development and advantages of the assembly building[J]. Brick & Tile World, 2011(9): 21-23.
- [2] 徐义屏. 预制装配化: 建筑业转型升级的重要途径[J]. 建筑, 2013(15): 8-9.
XU Yiping. Prefabricated assembly: an important way of building industry transformation and upgrading[J]. Construction and Architecture, 2013(15): 8-9.
- [3] 蒋勤俭. 中国建筑产业化发展研究报告[J]. 混凝土世界, 2014(7): 10-20.
JIANG Qinjian. Research report on development of construction industry in China[J]. China Concrete, 2014(7): 10-20.
- [4] 陈建伟, 苏幼坡. 预制装配式剪力墙结构及其连接技术[J]. 世界地震工程, 2013, 29(1): 38-48.
CHEN Jianwei, SU Youpo. Prefabricated concrete shear wall structure and its connecting technology[J]. World Earthquake Engineering, 2013, 29(1): 38-48.
- [5] 刘琼, 李向民, 许清风. 预制装配式混凝土结构研究与应用现状[J]. 施工技术, 2014, 43(22): 9-14.
LIU Qiong, LI Xiangmin, XU Qingfeng. Present research and application of precast concrete structure[J]. Construction Technology, 2014, 43(22): 9-14.
- [6] 李晓明. 装配式混凝土结构关键技术在国外的发展与应用[J]. 住宅产业, 2011(6): 16-18.
LI Xiaoming. Development and application of key technology of assembly concrete structure in foreign countries[J]. Housing Industry, 2011(6): 16-18.
- [7] 邢亚. 非接触方式钢筋绑扎搭接连接的工作机理分析及应注意的问题[J]. 工程质量, 2012(6): 56-58.
XING Ya. Principle analysis and attentive points of non-touched steel bar lap joint and connection[J]. Construction Quality, 2012(6): 56-58.
- [8] 赵唯坚, 郭婉楠, 金峤, 等. 预制装配式剪力墙结构竖向连接形式的发展现状[J]. 工业建筑, 2014, 44(4): 115-121.
ZHAO Weijian, GUO Wannan, JIN Qiao, et al. State of the art research on connection type of vertical components for precast concrete shear wall systems[J]. Industrial Construction, 2014, 44(4): 115-121.
- [9] GB/T 50448-2008 水泥基灌浆材料应用技术规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2008.
GB/T 50448-2008 Code for application technical of cementitious grout[S]. Beijing: China Planning Press, 2008.
- [10] 刘文清, 姜洪斌, 耿永常, 等. 插入式预留孔灌浆钢筋搭接连接构件: 中国, ZL200820090150. 6[P]. 2009-04-05.
LIU Wenqing, JIANG Hongbin, GENG Yongchang, et al. The member of plug-type preformed grout hole reinforcement connection: China, Patent number:

- ZL200820090150.6 [P]. 2009-04-05.
- [11] 姜洪斌, 张海顺, 刘文清, 等. 预制混凝土结构插入式预留孔灌浆钢筋锚固性能[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(4): 28-31.
JIANG Hongbin, ZHANG Haishun, LIU Wenqing, et al. Experimental study on plug-in filling hole for steel bar anchorage of the PC structure[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2011, 43(4): 28-31.
- [12] 姜洪斌, 张海顺, 刘文清, 等. 预制混凝土插入式预留孔灌浆钢筋搭接试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2011, 43(10): 18-23.
JIANG Hongbin, ZHANG Haishun, LIU Wenqing, et al. Experimental study on plug-in filling hole for steel bar lapping of precast concrete structure[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2011, 43(10): 18-23.
- [13] 赵培. 约束浆锚钢筋搭接连接试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
ZHAO Pei. Experimental research on restraint grouting-anchoring overlap-joint of steel bar[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2011.
- [14] 邵晓峰. 预制混凝土剪力墙抗震性能试验及约束浆锚搭接极限研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2012.
TAI Xiaofeng. Research on seismic performance of precast RC shear wall and limited length of overlap-joint restraint grouting-anchoring[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2012.
- [15] 杨勇. 带竖向结合面预制混凝土剪力墙抗震性能试验研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
YANG Yong. Experimental research on seismic performance of precast shear wall with vertical joint surface[D]. Harbin Institute of Technology, 2011.
- [16] 钱稼茹, 彭媛媛, 秦珩, 等. 竖向钢筋留洞浆锚间接搭接的预制剪力墙抗震性能试验[J]. 建筑结构, 2011, 41(2): 7-11.
QIAN Jiaru, PENG Yuanyuan, QIN Heng, et al. Tests on seismic behavior of pre-cast shear walls with vertical reinforcements grouted in holes and spliced indirectly[J]. Building Structure, 2011, 41(2): 7-11.
- [17] DB23/T 1400-2010 预制装配整体式房屋混凝土剪力墙结构技术规范[S]. 黑龙江省住房和城乡建设厅, 2011.
DB23/T 1400-2010 Technical specification for concrete shear wall structure assembled with precast components[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Heilongjiang Province, 2011.
- [18] 张军, 侯海泉, 董年才, 等. 全预制装配整体式剪力墙住宅结构设计及应用[J]. 施工技术, 2009, 38(5): 22-24.
ZHANG Jun, HOU Haiquan, DONG Niancai, et al. Design and application of assembly integral shear wall residence with prefabricated reinforced concrete[J]. Construction Technology, 2009, 38(5): 22-24.
- [19] 陈云钢, 刘家彬, 郭正兴, 等. 预制混凝土结构波纹管浆锚钢筋锚固性能试验研究[J]. 建筑技术, 2014, 45(1): 65-67.
CHEN Yungang, LIU Jiabin, GUO Zhengxing, et al. Experimental study on grouting connection in bellows for steel bar anchorage of precast concrete structure[J]. Architecture Technology, 2014, 45(1): 65-67.
- [20] 陈耀刚. 工业化全预制装配整体式剪力墙结构体系节点研究[J]. 建筑技术, 2010, 41(2): 153-156.
CHEN Yaogang. Research on industrialized fully pre-fabricated assembly integral shear wall structure system nodes[J]. Architecture Technology, 2010, 41(2): 153-156.
- [21] 朱张峰, 郭正兴. 装配式短肢剪力墙平面模型抗震性能试验[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2012, 44(4): 94-99.
ZHU Zhangfeng, GUO Zhengxing. Test research on seismic performance of plane model of new precast concrete short-limbed shear wall[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2012, 44(4): 94-99.
- [22] DGJ32/TJ125-2010 预制装配整体式剪力墙结构体系技术规程[S]. 江苏省住房和城乡建设厅, 2010.
DGJ32/TJ125-2010 Technical specification for precast concrete shear wall structures[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Jiangsu Province, 2010.
- [23] 张延年, 马佳宝, 王元清. 预制剪力墙连接方式构造比较分析[J]. 建筑与预算, 2014(2): 30-34.
ZHANG Yannian, MA Jiabao, WANG Yuanqing. Comparison and analysis of the connection method of precast shear wall[J]. Construction and Budget, 2014(2): 30-34.
- [24] 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.
JGJ1-2014 Technical specification for precast concrete structures[S]. Beijing: China Architecture & building Press, 2014.
- [25] DB23/T1400-2010 预制装配整体式房屋混凝土剪力墙结构技术规范[S]. 黑龙江省住房和城乡建设厅, 2011.
DB23/T1400-2010 Technical specification for concrete shear wall structure assembled with precast components[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Heilongjiang Province, 2011.
- [26] DB11/1003-2013 装配式混凝土框架和框架剪力墙结构设计规程[S]. 北京市住房和城乡建设局, 2013.
DB11/1003-2013 Design Specification for Precast Concrete Frame and Frame-Shear Wall Structure[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Beijing, 2013.
- [27] 装配整体式混凝土剪力墙结构体系住宅技术规程[S]. 吉林省住房和城乡建设厅, 2013.
Technical regulation of assembled monolithic concrete shear wall structure system residential housing[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Jilin Province, 2013.
- [28] DBJ61/T 87-2014 装配整体式混凝土结构技术规程[S]. 陕西省住房和城乡建设厅, 2014.
DBJ61/T 87-2014 Technical specification for assembled monolithic concrete structure[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Shanxi Province, 2014.
- [29] DB42/T1044-2015 装配整体式混凝土剪力墙结构技术规程[S]. 湖北省住房和城乡建设厅, 2014.
DB42/T1044-2015 Technical specification for assembled precast concrete shear wall structures[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Hubei Province, 2014.
- [30] DGJ32/TJ125-2010 预制装配整体式剪力墙结构体系技术规程[S]. 江苏省住房和城乡建设厅, 2010.
DGJ32/TJ125-2010 Technical specification for precast concrete shear wall structures[S]. Housing and urban and Rural Construction Department of Jiangsu Province, 2010.
- [31] 钱冠龙, 郝志强. 预制混凝土构件的水泥灌浆钢筋连接构造: 中国, CN103216044A[P]. 2013-07-24.
QIAN Guanlong, HAO Zhiqiang. Connection structure of cement grouting reinforcement of precast concrete elements: China, CN103216044A[P]. 2013-07-24.

(编辑 桂智刚)