

高大劲性柱混凝土施工质量优化关键技术研究

陆彩峰

(上海隧道工程有限公司, 上海市 200032)

摘要: 以上海市轨道交通10号线港城路停车场1142根高大劲性柱为工程背景, 针对型钢和纵向密集导致的模板固定困难、柱脚混凝土振捣不密实、一次性浇筑高度高导致插入式振捣器难以有效振捣等施工难题, 创新性地采用了双层方圆扣固定、柱底二次压力灌浆和附着式振捣工艺。该工艺通过设计新型方圆扣固定件来有效加固柱模板; 预设灌浆孔/排气孔体系来实施微膨胀细石混凝土灌浆, 以消除柱脚节点缺陷; 配置附着式振捣器按2m间距分层振捣, 实现了高11.3m柱体全高度质量控制。工程应用结果表明: 大截面柱平整度符合要求, 混凝土外观质量缺陷较少, 单位面积小孔数量控制在54个/m²; 超声波速达3.605~4.200 km/s, 柱脚节点密实度达100%。该创新工艺可为地铁上盖建筑劲性结构施工提供参考。

关键词: 劲性柱; 压力灌浆; 附着式振捣; 微膨胀细石混凝土

中图分类号: U455

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)05-0374-04

Research on Key Technologies for Optimizing Construction Quality of High Stiffened Column Concrete

LU Caifeng

(Shanghai Tunnel Engineering Co., Ltd., Shanghai 200032, China)

Abstract: Taking 1142 high stiffened columns in the Gangcheng Road Parking Lot of Shanghai Metro Line 10 as the engineering background, aiming at the construction challenges that are the difficulty in fixing the formwork caused by the dense longitudinal steel sections, insufficient compaction of concrete at column bases, and ineffective vibration by immersion vibrators due to the high single-pour height, the technology of double-layer square-round buckle fixation, secondary pressure grouting at the bottom of the column and attached vibration is innovatively adopted. This technology can effectively reinforce the column formwork by designing a new type of square-round buckle fastener. The grouting hole and vent hole system is pre-set to carry out the grouting of micro-expansive fine aggregate concrete, eliminating defects at column base joints. The attached vibrators are configured to vibrate layer by layer at intervals of 2 m, achieving the full-height quality control of 11.3-meter-high columns. The engineering application results indicate that the flatness of large-section columns meets the requirements, the appearance quality defects of concrete are relatively few, and the number of small holes per unit area is controlled at 54 per square meter. The ultrasonic wave velocity ranges from 3.605 to 4.200 km/s, and the compaction rate of column base joints reaches 100%. This innovated technology can provide a reference for the construction of stiffened structures in metro superstructure buildings.

Keywords: stiffened column; pressure grouting; attached vibration; micro-expansive fine-aggregate concrete

0 引言

劲性柱通常应用于高层建筑。而随着城市轨道交通的发展, 劲性柱已被广泛运用于地铁车站和停车场中。型钢混凝土结构兼具钢结构和混凝土结构的优势, 在钢柱外包裹混凝土结构, 可提高结构的承载力和防火性能, 在相同受力条件下减少立柱截面尺寸, 从而提高空间的利用效率, 为后续上盖物业提

供更好的接驳条件^[1]。但劲性柱由于型钢的存在而导致钢筋密集、钢筋排布困难, 因此无法保证柱脚节点混凝土的密实度和饱满度^[2]。劲性柱混凝土往往采用一次性整体式浇筑, 易出现振捣不密实, 从而影响混凝土密实度^[3]。此外, 型钢柱模板安装困难, 侧压力较大^[4], 浇筑过程中容易出现涨模、跑模、漏浆等情况, 从而影响劲性柱混凝土的施工质量^[5]。针对以上施工难点, 需研发合理的劲性柱混凝土施工技术, 增加模板的稳定性, 并保证混凝土的密实度, 以提高劲性柱混凝土的施工质量。本文以某地铁停车场劲性柱混凝土施工为例, 对混凝土质量控制策

收稿日期: 2025-11-25

作者简介: 陆彩峰(1987—), 男, 硕士, 工程师, 从事地下施工及管理工作。

略进行实践。

1 工程概况

上海市轨道交通 10 号线二期工程港城路停车场及港城路停车场地块上盖板地建设项目分为出入场线、咽喉区、运用库 3 个区域(见图 1),包含房建工程和市政工程,总建筑面积为 66 980.8 m²。项目建成运行通车后,将承担本线部分属车辆的停车列检、周月检和临修任务。

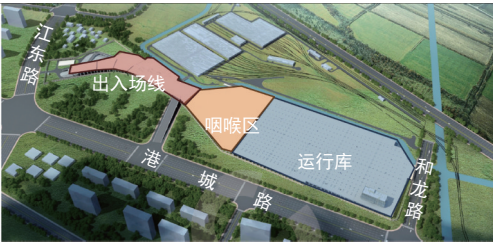


图 1 工程总平面图

在运用库上部利用劲性柱接驳建设上盖板地,上盖板地面积为 142 115 m²,建设高度为 10.3 m,含劲性柱 1 142 根。截面尺寸包括 1 200 mm×1 200 mm、1 200×1 600 mm 等多种。

2 劲性柱混凝土质量缺陷及其成因

劲性柱混凝土施工难点有:(1)由于纵向钢筋与型钢密集而影响振捣效果;(2)型钢排布影响模板的对拉螺杆设置;(3)一次性浇筑高度高,影响插入式振捣器的使用,进而影响振捣效果。

劲性柱混凝土质量缺陷主要分为外观缺陷(包括表面缺陷和平整度缺陷)、内部缺陷两类^[6]。

其中,表面缺陷是混凝土结构中最为常见的外观缺陷,包括蜂窝、麻面、气泡等,通过肉眼即可观察。除混凝土材料原因外,劲性柱由于型钢与钢筋密集而影响混凝土振捣效果^[7],也会引起外观缺陷。平整度的好坏也是评估劲性柱混凝土结构外观质量的一项关键参数。劲性柱由于难以采用常规对拉螺杆固定模板的方法,导致其平整度缺陷概率显著上升^[8]。

内部缺陷对劲性柱承载力影响很大,包括内部不密实区、不良结合面,振捣不充分同样也是造成该质量缺陷的原因。

表 1 归纳了劲性柱混凝土质量缺陷及其成因。

3 施工质量优化关键技术

3.1 柱底灌浆措施

该工程柱脚为埋入式,承台高度为 2.5 m,劲性

表 1 劲性柱混凝土质量缺陷及其成因

成因	缺陷类型与特征
劲性柱由于型钢与钢筋密集,影响振捣效果	表面缺陷:蜂窝、麻面、气泡内部缺陷:内部不密实区、不良结合面
一次浇筑高度高,插入式振捣器难以插入要求深度	表面缺陷:蜂窝、麻面、气泡内部缺陷:内部不密实区、不良结合面
型钢排布影响模板的对拉螺杆设置	平整度缺陷

柱埋入承台 1.6 m 处^[9]。采用分层浇筑承台的方法,先预埋劲性柱地脚螺栓;再浇筑高度为 0.9 m 的第 1 层混凝土,然后进行型钢柱安装;最后浇筑厚 1.6 m 的上层混凝土。柱脚垫板处钢筋密集,且垫板影响混凝土气泡排出,易产生内部不密实区、不良结合面^[10]。为此在 2 次混凝土浇筑之间采用微膨胀细石混凝土压力灌浆,以保证节点质量,如图 2 所示。

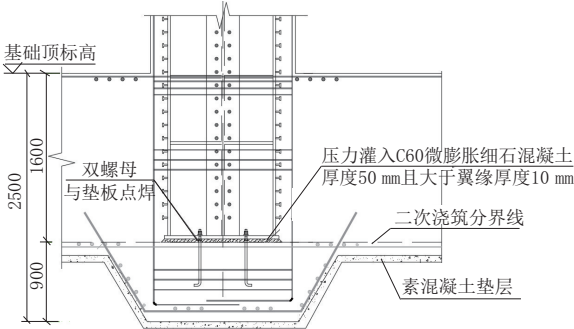


图 2 柱脚节点二次浇筑(单位:mm)

灌浆前期准备方面,在钢结构深化阶段,考虑在柱脚垫板布置灌浆孔和排气孔(见图 3),以保证灌浆料的灌入和其中气泡的排出。孔洞大小宜大于灌浆料最大初骨料粒径 2 倍,以保证灌浆料的流动性。

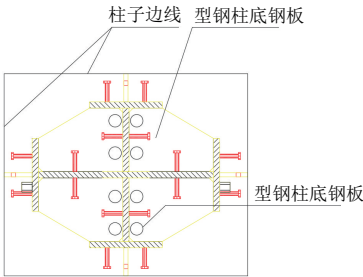


图 3 灌浆和排气孔设置

灌浆流程如图 4 所示。首先凿毛第 1 次浇筑的混凝土上表面,用吸尘器清理后,在正式灌浆前 6 h 洒水致混凝土表面充分湿润;然后设置灌浆模板,模板高度宜为凿毛面至灌浆面以上 50 mm;灌浆模板下口用砂浆封堵严实(见图 5)之后,通过溜槽从单侧连续灌浆,直至浆料从四周溢出,以此保证灌浆密实。灌浆料强度达到 1.2 MPa 后即可拆模,进行人工凿除清理。养护期间严禁振动,洒水养护需保证 3 d。

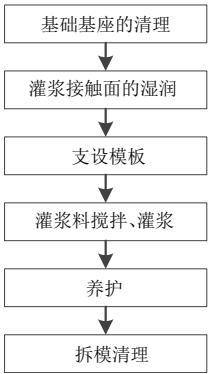


图4 灌浆流程图

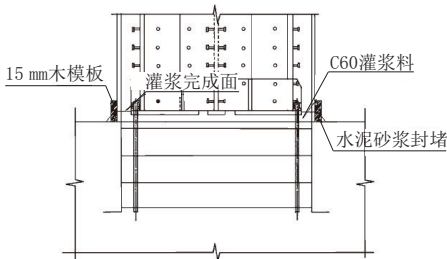


图5 水泥砂浆封堵模板下口

3.2 附着式振捣器的应用

不同于停车场劲性柱,住宅柱一次浇筑高度低,一般为3 m左右,且钢筋少、预埋件少,采用插入式振捣棒即可达到良好的混凝土振捣效果^[11]。但停车场劲性柱一次浇筑高度达到9 m,且柱子内部型钢和纵向钢筋密集,插入式振捣棒操作难度大,易碰到型钢、纵向钢筋、模板,且振捣效率低,振捣棒插入点密度与次数往往不足。

该工程选用ZF75-150型附着式振捣器,其具体参数如表2所示。

表2 附着式振捣器的参数

激振力/ kN	质量/ kg	振动频率/ Hz	空振振幅/ m	外形尺寸/ (mm×mm×mm)
16	23	157	0.38	265×265×190

根据以往施工经验,本附着式振捣器的作用直径为1.5~2.0 m,所以按柱每侧设置1个,纵向方向间隔2 m设置。进行模板设计时,需考虑附着式振捣器的振动荷载。

模板内侧间隔0.5 m,利用红色油漆进行标定,浇筑过程中由此判断混凝土液面高度。

分组设定时,将同一高度的4个振捣器设置为同一组。当混凝土液面高度到达本层振捣器高度后开始振捣,一次振捣时间以1 min为宜,以免因混凝土过振而导致混凝土离析。当首次振捣无法满足要求时,可设定一定的间隔时长,进行二次振捣。

劲性柱浇筑的混凝土分层浇筑厚度与混凝土浇筑速度宜与附着式振捣器设置相适宜,满足模板强

度、刚度、稳定性要求^[12]。

3.3 大截面柱双层方圆扣加固安装

大截面柱模板加固件往往采用专业厂家生产的方柱扣加固件,多为市场租赁,较为经济^[13],如图6所示。

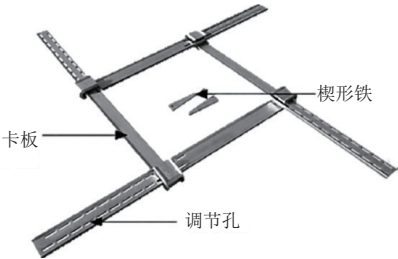


图6 普通方圆扣的组成

但市场上常见的10#、厚度为25 mm的方圆扣柱箍截面抵抗距较小,为满足大截面柱模板固定要求,需加密加固装置间距,因而不便于安装附着式振捣器^[14]。另外一种双拼主楞加固件,主楞可采用槽钢或扣件钢管^[15]。这种加固方式需利用M16对拉螺杆来固定,对于该项目中的劲性柱,对拉螺杆往往会与型钢冲突。对拉螺杆设置时限制较多,需避开型钢翼缘,只能通过型钢腹板;此外易产生螺杆孔漏浆液的情况^[16]。综上所述,该工程采用特制的双层方圆扣进行加固。

选用抗拉强度、屈服强度等力学性能良好的10#、厚度为25 mm的方圆扣柱箍,将2个单层方圆扣柱箍去除镀层后进行焊接,制成双层方圆扣。双层方圆扣固定件与单层方圆扣固定件相互穿插,利用楔形铁与加固件上的调节孔配合实现模板的加固(见图7);单层方圆扣与单层方圆扣交替连接节点详图见图8。

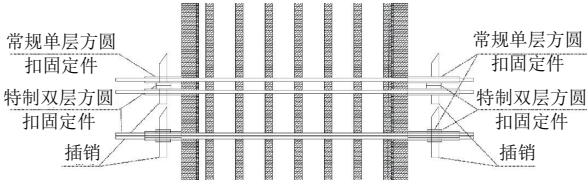


图7 单层方圆扣与双层方圆扣交替连接示意图

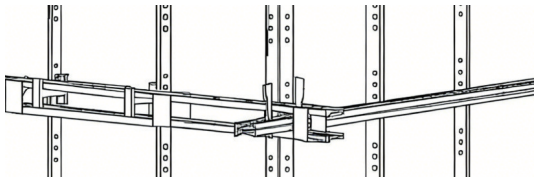


图8 单层方圆扣与单层方圆扣交替连接节点详图

由于木模板无须打孔,模板的损耗率可降低约15%,从而增加了木模板的周转次数。在材料费方面,减少了堵孔用防水砂浆、短钢管及对拉螺杆的花

费;在人工费方面,减少了螺杆孔堵塞、灌浆、抹面、安拆操作架等的花费^[8]。双层方柱扣虽然需要定制,但因周转次数多,损耗率较低,成本上也有一定优势^[17]。

4 现场应用情况

劲性柱混凝土质量控制措施制定和试验后,应用于上海市轨道交通 10 号线港城路停车场项目劲性柱混凝土施工,共施工 1 142 根劲性柱。

拆模后对大截面型钢柱进行实测,设定垂直度和平整度要求均为 5 mm。经统计,采用新型加固装置的合格率达到 93.75%。

在外观缺陷方面,随机选取 4 根劲性柱,对其混凝土表面进行肉眼观察,并统计不同柱高上单位面积小孔的数量,结果见表 3。

表 3 劲性柱混凝土外观缺陷统计

柱高/m	单位面积上的小孔数量/(个·m ⁻²)			
	柱 1	柱 2	柱 3	柱 4
2	60	59	41	58
4	58	52	60	41
6	56	59	59	60
8	58	52	41	51

观察发现,在不同柱高上,劲性柱表面小孔数量无明显变化,其单位面积上的小孔数量平均值为 54 个/m²,表明劲性柱外观质量缺陷较少,且没有因高度因素产生明显差距。

在内部缺陷方面,选取 17 根劲性柱进行超声波检测,劲性柱混凝土波速区间为 3.605~4.200 km/s,平均值为 3.613 km/s,均位于标准值 3.000~4.500 km/s 区间内,由此表明采用上述措施的劲性柱混凝土密实度符合要求。针对柱脚区域可能存在的不密实区和不良结合面,在完成灌浆和二次浇筑完成后,利用混凝土超声波断面扫描仪进行检测,结果均未发现密实度异常区域。

5 结 语

停车场劲性柱施工过程中,为提高混凝土质量,减少外观质量缺陷和内部缺陷,提高混凝土密实度,消除不良结合面,需对其施工工艺进行优化。应从复杂节点处理和振捣设备改进两方面对劲性柱混凝土质量控制施工技术进行实践探索。本文以上海市

轨道交通 10 号线港城路停车场为例,对混凝土质量控制的实际应用效果进行验证分析,其中在柱平整度和垂直度控制方面效果较好,外观质量缺陷较少,单位面积小孔数量平均值为 54 个/m²;在内部缺陷方面,柱混凝土波速区间为 3.605~4.200 km/s,平均值为 3.613 km/s,柱脚处无不良结合面,均满足施工标准要求。因此采用本文总结的劲性柱混凝土施工技术,能够有效控制其外观质量缺陷和内部质量缺陷的产生,对提高停车场及上盖建筑的施工质量、保障建筑结构的安全性和耐久性具有重要意义。

参考文献:

[1] 祝勇. 地铁车站型钢混凝土组合柱施工关键技术[J]. 工程建设与设计, 2022(2): 111-113.

[2] 杨军伟, 张友杰, 李均, 等. 超大超长超重劲性柱施工关键技术[J]. 建筑施工, 2019, 41(1): 72-74.

[3] 潘玉珀, 高善友, 田辉, 等. 体育场超大椭圆截面型钢混凝土柱施工技术[J]. 建筑科技, 2020, 4(3): 94-97.

[4] 徐学. 型钢混凝土梁柱节点施工技术及质量控制[J]. 中国住宅设施, 2024(11): 190-192.

[5] 郑龙海. 高层建筑现浇混凝土墙柱模板施工垂直度控制技术研究[J]. 中国建筑金属结构, 2024, 23(12): 64-66.

[6] 牛远清. 桥梁墩柱混凝土外观质量缺陷及防治措施[J]. 工程技术研究, 2021, 6(13): 162-163.

[7] 王栋杰, 祝凌宇, 武雄飞, 等. 超大型钢筋混凝土柱脚灌浆施工技术[J]. 混凝土与水泥制品, 2014(10): 79-81.

[8] 马福涛, 李文艳, 陈小月, 等. 大截面框架柱方柱扣模板加固体系施工技术[C]//2025 年全国工程建设行业施工技术交流会论文集(中册), 北京, 2025: 340-342.

[9] 杨立戈, 何健, 许相国, 等. 大悬挑单框架柱膜结构埋入式组合型钢柱脚节点应用探究[J]. 工程建设与设计, 2023(10): 124-126.

[10] 刘雷, 陈升平. 钢柱柱脚底板下二次浇灌层灌注施工工艺研究[J]. 门窗, 2018(2): 75-77.

[11] 潘国庆. 地铁车站内衬墙施工工艺改进技术研究[J]. 施工技术(中英文), 2024, 53(7): 92-95; 103.

[12] 林梓炯. 基于超声波检测技术的混凝土结构内部缺陷识别方法[J]. 建材发展导向, 2025, 23(21): 7-9.

[13] 孔维一, 包彬彬, 梅峰. 可调式模板加固件在大截面方柱施工中的应用[C]//2021 年工业建筑学术交流会议论文集(下册), 北京, 2021: 989-991.

[14] 梁勇, 龙绍章, 张秋阳, 等. 大截面方柱模板免开孔加固体系研究[J]. 江西建材, 2023(11): 279-281; 284.

[15] 李小伟. 矩形大截面柱方圆扣加固安装施工技术[J]. 建筑机械化, 2024, 45(3): 50-52.

[16] 胡麇, 张丹, 王玲, 等. 新型可调加固件式方柱模板体系施工技术[J]. 建筑结构, 2021, 51(增刊 2): 1820-1824.

[17] 刘强, 崔咏. 方圆扣在高架车站框架柱施工的应用技术研究[J]. 工程质量, 2021, 39(6): 98-102.