

# 临近地铁侧单侧模板混凝土浇筑防开裂技术探究

刘克斌 郭朝辉

浙江省三建建设集团有限公司 浙江 杭州 310000

**摘要:** 本文聚焦临近地铁侧单侧模板混凝土浇筑易开裂问题,分析开裂机理,涵盖地铁振动、混凝土收缩等。提出模板体系优化设计,阐述材料优化、浇筑工艺控制等防裂关键技术,探讨地铁振动影响减缓技术,如配筋优化、增设防裂网等,为该类工程防裂提供技术参考。

**关键词:** 临近地铁施工;单侧模板;混凝土开裂;防裂技术

引言:随着城市版图不断拓展,轨道交通建设往往先行一步,地铁线路率先贯通成网,而周边地块开发则相对滞后。由于地铁运营安全至关重要,后续地块施工需严格遵循地铁保护规范。尤其在近地铁侧的建筑设计中,为减少对既有线路的影响,常采用地下连续墙实现隔水挡土,配合单侧支模等创新技术,确保施工安全与效率。

## 1 项目概况与近地铁侧单边模板支设方案

### 1.1 工程概况

杭政储出【2023】134号地块商品住宅及商业商务用房(设配套公建)项目位于杭州市拱墅区运河新城单元,总建筑面积110352.2平方米,拟建建筑物包括1#~3#、5#~8#高层住宅楼(13~17F)、4#办公楼(17F)等,地下室1~2层,项目南侧为已运营地铁4号线平安桥站~储运路站盾构区间。

### 1.2 单边模板支设概况

根据《杭州市城市轨道交通管理条例》地下车站与隧道结构外边线外侧50m内、出入口/通风亭/变电所等建(构)筑物结构外边线外侧10m内为控制保护区;地下工程(车站、隧道等)结构外边线外侧5m内为特别保护区。项目南侧基坑距离地铁4号线上行线15.3m~41.7m,距离下行线约32.3m~58.3m。项目局部基坑处于地铁50米保护区内,近地铁侧地下室外墙与围护桩相连,设计采用地下室内侧单边支模方案。

## 2 临近地铁侧混凝土开裂机理分析

### 2.1 地铁振动与约束效应

地铁列车运行时,轮轨接触产生10-80Hz的周期性振动荷载。临近施工区域(距地铁隧道5-20m),振动虽衰减但仍显著影响未硬化混凝土。早期(浇筑后7d内)振动使骨料与水泥浆体粘结界面产生微裂隙并扩展成宏观裂缝。临近地铁侧混凝土常用单侧模板,约束刚度不均衡。混凝土收缩时,受约束侧难自由变形,产生拉应力,超过

抗拉强度就裂缝,且地铁振动加剧约束应力集中,加速裂缝发展。如软土地区基坑支护墙施工,单侧模板裂缝发生率比双侧高30%以上,多在墙体与土体接触侧。

### 2.2 混凝土收缩与温度应力

混凝土收缩是开裂核心内在因素,临近地铁侧施工环境会放大其效应。干燥收缩上,该区域地下水位高,土体含水率变化大,混凝土表面水分易向土体渗透,内外干缩差形成表面裂缝。塑性收缩多在初凝阶段(浇筑后1-3h),大风高温天气下,表面水分蒸发快致龟裂,后续地铁振动等会使其加深加宽。温度应力方面,水泥水化放热使混凝土内外温差增大,规范要求温差控制在25℃内,但临近地铁侧常超30℃,温差产生的应力会引发裂缝。

### 2.3 施工工艺影响因素

施工工艺不合理是临近地铁侧单侧模板混凝土开裂重要外部因素。浇筑时,速度过快会使单侧模板侧向压力超支撑体系承载力,导致模板变形、混凝土鼓胀裂缝。如浇筑速度超2m/h,侧向压力增40%,支撑位移,墙体表面鼓包,后期易裂缝。振捣工艺不当也加剧风险,不密实致内部缺陷成应力集中点,发展成裂缝;过度振捣使混凝土离析,表面易塑性裂缝<sup>[1]</sup>。此外,模板拆除过早也常见,部分项目为赶进度,混凝土强度未达设计75%就拆模,结构难承受荷载而开裂。

## 3 单侧模板体系优化设计

### 3.1 模板力学性能要求

临近地铁侧单侧模板要满足更高力学性能,以抵抗混凝土侧向压力、地铁振动荷载与不均衡约束应力。其一,模板面板强度与刚度要达标。材料可选用Q235钢板(厚度 $\geq 5\text{mm}$ )或高强度竹胶板(厚度 $\geq 18\text{mm}$ )。钢模板抗弯强度 $\geq 215\text{MPa}$ ,弹性模量 $\geq 206\text{GPa}$ ,面板最大变形量 $\leq L/500$ ;竹胶板覆膜处理后,静曲强度 $\geq 15\text{MPa}$ ,弹性模量 $\geq 6000\text{MPa}$ 。其二,考虑抗振性能,

模板体系固有频率应避开地铁振动频率(10-80Hz),可通过调整面板厚度、支撑间距等参数实现。如将钢模板面板加厚、缩小支撑间距可提升固有频率。另外,模板整体稳定性需经计算验证,包括抗倾覆与抗滑移验算,防止模板失稳致混凝土结构开裂。

### 3.2 模板支撑系统创新

传统单侧模板支撑在临近地铁侧施工有缺陷,需创新优化,提出“型钢支撑+可调拉结件”方案。型钢支撑选H型钢,抗弯刚度高,支撑间距0.8-1.0m,刚度提升超50%,可减少模板侧向变形。可调拉结件是核心,用高强度螺栓与花篮螺丝组合,一端连模板,一端锚固,长度可实时调节,能动态调整拉结力,确保模板垂直度偏差 $\leq 3\text{mm/m}$ ,避免混凝土厚薄不均。拉结件与模板连接处设橡胶减振垫,可吸收振动能量。

### 3.3 模板接缝与密封处理

模板接缝是单侧模板体系薄弱环节,处理不当会漏浆,导致混凝土表面缺陷、改变配合比、降低局部强度,引发裂缝。临近地铁侧模板接缝处理要严格:面板接缝用企口式拼接,深度 $\geq 10\text{mm}$ ,减少漏浆风险;接缝处贴遇水膨胀止水条,膨胀倍率 $\geq 200\%$ ,填充间隙;模板与地面、既有结构连接处用聚氨酯密封胶密封,厚度 $\geq 3\text{mm}$ ,并设混凝土止浆条<sup>[2]</sup>。

## 4 临近地铁侧单侧模板混凝土防裂关键技术

### 4.1 材料优化与配合比设计

混凝土材料优化是防裂的基础,需从水泥、掺合料、骨料与外加剂等方面进行综合调整。水泥选用低热硅酸盐水泥(P·II 42.5R),其7d水化热不大于250kJ/kg,相较于普通硅酸盐水泥,水化热降低20%以上,可有效减少温度应力。掺合料采用粉煤灰(F类I级)与矿粉(S95级)复掺,粉煤灰掺量为胶凝材料总量的20%-25%,矿粉掺量为15%-20%,复掺后不仅能降低水化热,还能改善混凝土和易性,减少干燥收缩。试验数据表明,复掺20%粉煤灰与18%矿粉的混凝土,其7d水化热降至210kJ/kg,28d干燥收缩率从0.06%降至0.045%。骨料选择连续级配的碎石与中砂,碎石粒径控制在5-25mm,含泥量不大于1%,针片状颗粒含量不大于5%,连续级配可减少骨料间隙,提高混凝土密实度;中砂细度模数为2.3-3.0,含泥量不大于3%,避免因含泥量过高增加混凝土收缩。外加剂选用聚羧酸系高性能减水剂,减水率不小于25%,可在保证混凝土和易性的前提下,降低水灰比至0.40-0.45,减少水泥用量,进一步降低水化热与干燥收缩。同时,掺加聚丙烯纤维(长度6mm,直径20 $\mu\text{m}$ ),掺量为0.9kg/m<sup>3</sup>,纤维可在混凝土内部形成三维支撑网

络,抑制微裂隙扩展,提高混凝土抗拉强度。经试验验证,优化后的混凝土配合比,其28d抗拉强度从2.8MPa提升至3.5MPa,抗裂性能显著增强。

### 4.2 浇筑工艺控制

浇筑工艺控制需结合临近地铁侧施工特点,从分层浇筑、浇筑速度与振捣方式三方面制定严格标准。分层浇筑厚度根据模板支撑刚度与混凝土和易性确定,一般控制在300-500mm,相较于传统600mm的分层厚度,可减少混凝土对模板的侧向压力,避免模板变形。每层浇筑完成后,需停留30-60min,待下层混凝土初凝后再浇筑上层,确保上下层混凝土结合紧密,减少层间裂缝。例如,在某地铁沿线综合管廊侧墙施工中,采用400mm分层厚度浇筑,层间结合面的抗剪强度较600mm分层厚度提升25%,未出现层间裂缝。浇筑速度需与振捣效率匹配,控制在1.5-2.0m/h,避免因浇筑过快导致混凝土堆积、离析。在浇筑过程中,需安排专人监测模板位移与混凝土坍落度,每车混凝土均需检测坍落度,确保坍落度控制在 $180 \pm 20\text{mm}$ 范围内,若坍落度损失过快(如1h内损失超过50mm),需及时调整减水剂掺量,严禁向混凝土中直接加水。振捣采用插入式振捣器,振捣棒型号选用 $\Phi 50\text{mm}$ ,振捣间距不大于400mm(为振捣棒作用半径的1.5倍),振捣时间控制在30-60s,以混凝土表面出现浮浆、不再下沉为宜。同时,在模板附近振捣时,振捣棒与模板的距离应保持在50-100mm,避免碰撞模板导致模板位移,影响混凝土结构尺寸与密实度<sup>[3]</sup>。

### 4.3 温度与应力监控

温度监控需实现全过程、高精度监测,在混凝土内部与表面布置温度传感器,传感器选用PT100铂电阻温度传感器,精度为 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。内部传感器埋设在混凝土截面中心位置,表面传感器粘贴在模板内侧,每10m<sup>2</sup>布置1组(内部1个、表面2个),监测频率为浇筑后1-3d每1h一次,3-7d每2h一次,7-14d每4h一次。通过温度监测数据,实时调整温控措施,当内外温差超过25 $^\circ\text{C}$ 时,立即在模板外侧覆盖阻燃保温被(导热系数不大于0.04W/(m·K)),若温差仍超过30 $^\circ\text{C}$ ,则在混凝土内部布设冷却水管(管径 $\Phi 25\text{mm}$ ,间距1.5m),通入20-25 $^\circ\text{C}$ 的循环水降温,确保温差控制在规范范围内。应力监控主要针对混凝土早期应力发展,采用振弦式应变传感器,布设在混凝土结构的关键部位(如墙体中部、阴阳角、与既有结构连接处),每5m布设1个传感器,监测频率与温度监测一致。通过应变数据计算混凝土内部应力,当拉应力达到混凝土抗拉强度的80%时,发出预警信号,及时采取减缓浇筑速度、加强保温养护等措施,避免应力超过

限值导致开裂。

#### 4.4 养护制度创新

科学合理的养护制度对临近地铁侧单侧模板混凝土防裂至关重要，传统方式难以适应特殊环境，需创新优化。养护时间上，受地铁振动及复杂环境影响，内部结构变化复杂，应适当延长至不少于14天，前7天需保证表面湿润，可用喷雾结合覆盖塑料薄膜的方式。表面养护除常规方法，还可引入渗透性好、成膜均匀的养护剂，拆模后立即喷涂成膜；内部养护可内置保湿材料，浇筑时埋设保湿纤维或管。此外，养护过程要重视温度控制，高温时采取遮阳、喷雾降温，低温时覆盖保温被、搭建保温棚，防止混凝土受冻开裂<sup>[4]</sup>。

### 5 地铁振动影响减缓技术

#### 5.1 设计角度配筋优化设置

从设计优化配筋，是减轻地铁振动对混凝土影响、防其开裂的关键。临近地铁侧单侧模板混凝土结构中，合理配筋能增强整体性与抗裂性。一方面，适当提高配筋率。依结构所受地铁振动荷载及混凝土力学性能精准计算，临近地铁侧结构配筋率通常比普通结构高10% - 15%。增加配筋率可提升混凝土抗拉强度，地铁振动产生拉应力时，钢筋更好承担，防止混凝土过早开裂。如墙体结构中，调整水平与垂直钢筋配筋率，保证各方向抗裂能力。另一方面，优化钢筋布置。遵循细而密原则，减小间距，使应力分布更均匀，动态荷载下更好传递分散应力。同时，合理设置锚固长度与连接方式，保证锚固可靠，优先选机械连接或焊接，确保连接部位强度稳定，提升结构抗振防裂能力。

#### 5.2 剪力墙外侧增设防开裂网

临近地铁侧剪力墙外侧增设防开裂网，是有效外部防护措施，能阻止裂缝产生扩展。防开裂网可选高强度金属网或耐碱玻璃纤维网格布。金属网强度和韧性高，能承受较大拉应力，混凝土因地铁振动产生微裂缝时，可阻止其扩展，限制在较小范围。耐碱玻璃纤维网格布耐碱性和柔韧性好，能与混凝土紧密结合，增强表面抗

裂性能。施工时，要按规范铺设，确保网平整贴附在模板上，搭接长度不小于100mm，用专用固定件固定牢固，防止混凝土浇筑时位移。浇筑时注意振捣棒与网的距离，避免碰撞破损。增设防开裂网可在混凝土表面形成保护层，提高剪力墙抗地铁振动开裂能力。

#### 5.3 防水措施辅助防裂

良好防水措施对临近地铁侧单侧模板混凝土防裂意义重大。地下水渗入会致钢筋锈蚀，引发混凝土体积膨胀、开裂，降低其力学性能与耐久性。结构防水需多道设防。其一，做好混凝土结构自身防水。优化混凝土配合比，选合适材料，降低水灰比，减少内部孔隙率，提升密实性与抗渗性，增强防水能力。其二，设置附加防水层。剪力墙外侧可铺防水卷材或涂防水涂料。防水卷材选柔韧性、耐老化、抗穿刺强的，如SBS改性沥青等，铺设时保证基层平整干燥，搭接处密封。防水涂料选环保耐久性好的，如聚氨酯等，涂刷均匀、厚度达标，形成有效防水膜，保障混凝土质量，预防开裂。

#### 结束语

临近地铁侧单侧模板混凝土浇筑防裂技术意义重大。本文从开裂机理出发，提出模板体系优化、防裂关键及地铁振动影响减缓等措施。实践显示，这些技术可降低裂缝发生率、提升结构耐久性。鉴于施工环境复杂，需持续探索创新，结合实际灵活应用技术，加强管理与监测，保障工程高质量建设。

#### 参考文献

- [1]苏洪林,王良俊.地铁车站主体结构侧墙移动式大钢模技术方案比选[J].四川水力发电,2022,41(04):71-75.
- [2]陆冲.浅谈地铁车站主体结构施工模板支架的应用[J].四川水泥,2021(09):81-82.
- [3]郭欣,刘恒,李立坤,等.跨海大桥桥墩大体积混凝土温控[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2023,38(2):48-57.
- [4]郭林强.地下结构大体积钢筋混凝土底板早期开裂等问题研究[D].哈尔滨:哈尔滨工业大学,2020:26-35.