

地铁盾构管片预制生产全过程施工技术精细化管理研究

庞留宇

杭州建工建材有限公司 浙江 杭州 310000

摘 要：盾构管片是地铁隧道工程的核心承重构件，预制生产质量直接关乎隧道结构安全与使用寿命。本文结合盾构管片流水线闭环生产模式，梳理钢筋加工、模具校准、混凝土成型、养护脱模及成品储运全流程工艺，剖析各工序精度控制难、质量偏差易累积等管控痛点，依托各环节核心施工技术，落实全工序精细化管理措施，从标准体系、操作规范、现场管控及长效机制四个维度优化管理模式，有效规避管片开裂、尺寸超标、强度不足等质量缺陷，全面提升盾构管片预制施工质量与标准化管控水平。

关键词：地铁工程；盾构管片；预制生产；施工技术；精细化管理

引言：城市轨道交通建设规模持续扩张，盾构法凭借高效、安全的施工优势，成为地铁隧道施工的主流工艺。盾构管片作为隧道永久支护结构，具备精度要求高、生产工序多、连续性强的特点，其预制生产品质是保障隧道工程整体质量的关键。传统粗放式生产管理模式，易引发原材料把控不严、工序操作不规范、细节管控缺失等问题，造成管片成型质量参差不齐。为解决生产管控难题，规范预制施工全流程工艺，可结合管片生产特征与管控难点推行精细化施工管理，进一步规范各工序作业流程，全面提升隧道工程的施工质量与建设品质。

1 盾构管片预制生产特征与管控难点

1.1 预制生产完整工艺流程

盾构管片预制构件生产为流水线式闭环作业模式，整体工序遵循固定施工流程逐步推进，各作业环节紧密关联。生产流程起于原材料筹备与分类存放，针对管片模具、混凝土骨料、钢筋、外加剂等物料开展专项管控，为后续成型作业提供基础条件。钢筋加工环节包含调直、切断、弯曲与焊接成型，按照构件设计标准完成骨架结构焊接。模具处理包含清理、涂刷隔离剂、拼装定位与安装预埋件，保障后续管片成型精度。混凝土经专用设备拌合后输送至浇筑工位，通过分层浇筑与规范振捣完成浇筑作业。浇筑完成后进入静置养护阶段，依托恒温恒湿养护环境固化构件强度，达到设定强度标准后开展脱模作业。脱模后的管片需完成表面修整、瑕疵处理，再转入成品堆放区域完成存储管控^[1]。整套生产工序层层递进，每个环节的作业质量都直接影响管片的

成型质量。

1.2 全过程施工管控核心难点

盾构管片属于高精度预制构件，生产过程对施工参数、施工工艺与环境条件具有较高要求，管控难点贯穿全生产流程。原材料性能存在动态波动特性，物料品质的细微波动会改变混凝土配比稳定性，影响管片强度与耐久性。钢筋加工成型精度要求严苛，尺寸偏差、焊接疏密不均等问题，会造成构件受力结构不均衡。模具重复使用易出现形变、磨损与定位偏移，模具尺寸误差较大直接导致管片成品尺寸超标。混凝土浇筑、振捣作业依赖工艺把控，振捣不足会产生内部空隙，振捣过量会引发骨料分离，破坏构件均质性。养护阶段的温湿度波动会干扰强度固化节奏，引发表面开裂、强度不足等质量问题。多工序连续作业的特性，也让工序衔接中的细节偏差容易累积，增加整体质量管控难度。

2 盾构管片预制全过程核心施工技术体系

2.1 钢筋骨架加工成型技术

钢筋骨架是管片承载受力的核心结构，其加工成型精度直接决定管片结构受力稳定性。现场作业依照设计图纸开展钢筋调直、切断、弯曲作业，统一加工尺寸标准，约束钢筋长度、弯折角度、弯钩尺寸偏差范围。钢筋焊接按照标准间距、保证焊接牢固，减少漏焊、焊点质量差等现象，保持骨架整体规整性，实现受力均匀分布。骨架成型后开展外形校正，消除加工产生的形变问题，为混凝土浇筑创造稳定结构条件，降低骨架缺陷引发管片受力不均、开裂等问题的发生。

2.2 模具装配与校准施工技术

模具是决定盾构管片外形精度与结构尺寸的核心载体,装配与校准施工技术是预制生产精度管控的关键环节。正式装配作业前,需对模具板面、拼接接缝、定位构件进行全面清理,清除残留混凝土结块与杂物,保持模具工作面平整洁净。按照既定施工顺序完成模块拼接、螺栓紧固与构件对位,控制拼接松紧程度,避免紧固力度不均引发的板面微变形。装配作业完成后开展多方面校准作业,针对模具平整度、圆弧度、接缝间隙及整体轴线位置进行逐项检测调整。修正装配偏差,保持模具整体结构规整稳定,解决拼装错位、缝隙偏大等常见施工问题^[2]。规范的装配校准流程可以加强管片成型基础,避免模具偏差带来的构件尺寸误差与外观缺陷。

2.3 混凝土浇筑振捣成型技术

混凝土浇筑振捣成型技术直接决定管片内部密实度与整体成型效果,是预制构件施工的核心工艺内容。浇筑作业遵循分层浇筑振捣的施工原则,控制单次浇筑量与下料速度,避免物料集中堆积造成结构密实度不均。振捣作业选用适配设备匹配管片结构形态,按照固定点位开展作业,消除混凝土内部留存的气泡与空隙。把控振捣作业时长,避免过度扰动造成骨料下沉、浆液上浮的分层问题,维持混凝土整体匀质状态。针对管片边角、拼接凹槽等特殊结构位置,采取精细化补振操作,保障特殊部位填充饱满。整套成型工艺通过规范化操作把控混凝土成型状态,保障管片整体结构的稳定性。

2.4 构件养护与脱模技术

构件养护与脱模技术管控关注混凝土强度状态,确保管片结构性能稳定成型。浇筑完成后对混凝土表面进行收光,覆膜保湿。调控养护区环境温湿度,规避早期干缩开裂问题。依据混凝土强度增长规律展开专业化养护作业,保障构件整体强度稳步提升。养护周期结束后进入脱模施工环节,平稳、匀速的拆卸模具紧固件,杜绝暴力撬动、磕碰管片主体。脱模过程保持受力均匀,保护管片边角、弧面等薄弱部位。科学的养护与脱模处置方式,能够提升构件成型强度,规避早期外观损伤问题。

2.5 成品堆放转运与防护技术

成品堆放转运防护技术用于管控管片成型后的后期状态,规避后续作业引发的构件损伤。堆放作业选用平整坚实的作业场地,布设专用支撑垫块,保持管片放置平稳规整,控制堆放层数与排布间距。严禁构件直接接触硬质地面或错位受压,避免不均匀受力引发的结构形

变与表层破损。转运作业选用适配吊装设备与防护工装,保持吊装受力点位合理,运行过程保持平稳低速状态,减少颠簸与晃动幅度。全程做好管片表层、拼接面及止水槽部位的防护,阻隔摩擦、碰撞带来的损伤。标准化防护作业可以持续维持管片成品外观与结构完好性,保障构件后续使用性能稳定。

3 盾构管片预制各工序精细化管控要点

3.1 原材料质量源头管控

原材料质量把控构成管片预制质量管控的首要关口,精细化管理侧重全流程细节把控与标准实施。进场原材料需要逐项完成性能核验,检验水泥质量、骨料级配、钢筋力学性能以及外加剂适配性,材料合格方可使用生产。仓储区域按材料类型分区布置,落实防潮、防渗、防尘防护手段,有效抵御环境因素对材料性能造成的不利影响。混凝土拌合配比严格依照施工标准执行,结合现场生产环境微调参数,保证拌合料状态均匀稳定^[3]。材料使用应遵循有序管理原则,杜绝混用、错用情况,从生产源头杜绝质量隐患,为后续各道工序施工筑牢基础。

3.2 钢筋与模具工序管控

钢筋加工管控重点是建立全过程尺寸复核机制,跟踪加工、焊接等各个环节质量偏差问题,统一验收标准。骨架成型后落实专项验收,筛查骨架变形、尺寸超限、焊接质量差等缺陷,保证管片内部受力体系均衡。模具管控覆盖清理、拼装、校准、维保全周期,每次投产前清理板面、打磨粗糙区域;拼装作业均衡施加螺栓预紧力,复核圆弧曲率、拼接缝隙、外形尺寸等关键指标;单次生产结束及时检修养护,修复磨损、变形部位,保持模具精度,依靠严格管控降低管片外形尺寸超标的质量问题。

3.3 混凝土成型过程管控

混凝土成型工艺管控是保障管片结构密实、性能均匀的核心环节。拌合阶段严格管控投料顺序、拌合时长,让各类原料充分融合,维持拌合料工作性能稳定。浇筑作业采用分层下料方式,合理控制下料速率,避免物料集中堆积造成结构密实度不均。振捣作业按照固定点位有序开展,把控作业时长与移动幅度,有效排出内部气泡,提升混凝土密实程度。对管片边角、预留凹槽等构造复杂位置加强专项作业管控,减少常规施工存在的细节漏洞,保证管片整体成型形态规整、观感良好。

3.4 养护脱模精准管控

养护与脱模作业直接影响管片强度成型与外观完好

度,精细化管控依托混凝土强度增长规律制定作业标准。浇筑完成后第一时间开展保湿养护,稳定现场温湿度环境,抑制表层水分快速蒸发,减少干缩裂缝产生。养护周期内持续监测强度增长状态,根据成型进度调整养护方式,让管片强度均匀稳步提升。脱模作业必须满足强度达标要求,按规范步骤拆分模具构件。作业过程保持操作平缓,杜绝硬性撬动与剧烈磕碰,保护管片边角及主体结构,维持成型构件的完整状态。

3.5 成品储运防护管控

成品储运环节的精细化管控用于规避外力干扰造成的构件损伤,保障管片成品质量稳定。成品堆放选取平整坚实的场地,铺设专用支撑垫块,规范堆放层数与间距,避免长期偏心受压引发结构变形。做好成品表层防护,隔绝杂物摩擦与外力磕碰带来的表层破损。吊装转运选用适配施工工装,选定合理受力点位,平稳控制运行轨迹,减少转运过程中的晃动与偏移。重点保护管片止水结构、拼接端面等薄弱部位,维持成品构件完整性,满足现场安装施工的质量要求。

4 精细化管理优化提升策略

4.1 构建标准化工序管控体系

盾构管片预制生产工序繁杂且关联性强,标准化的工序管控体系是提升精细化管理水平的核心路径。针对预制生产全流程作业内容进行梳理拆分,明确每道工序的作业边界、管控重点与质量要求。梳理工序之间的衔接逻辑,补齐传统生产模式中流程混乱、权责模糊的管理短板^[4]。建立层级化的工序管控流程,落实分段管控、逐级核验的管理模式,让每一项作业流程都具备标准可循。依托完整的工序管控框架,约束现场作业行为,减少人为操作带来的质量偏差,实现预制生产流程的有序化与标准化推进。

4.2 细化施工技术操作标准

施工技术操作的标准化程度,直接决定管片预制施工质量稳定性。结合管片预制施工工艺特点,细化各环节技术操作细则,统一拌合、浇筑、振捣、养护等核心工艺的操作规范。明确各类施工设备的操作参数与使用要求,规范设备操作流程,弱化人工操作差异带来的施工偏差。针对边角处理、模具校准、成品防护等细节工艺,制定专项操作准则,填补常规技术管控的细节空白。统一的技术标准能够规范现场施工行为,稳定施工工艺质量,为精细化管理落地提供技术支撑。

4.3 优化全过程现场管控模式

现场管控是精细化管理落地的关键载体,需要依托全流程管控思维优化管理模式。转变传统阶段性抽检的管理方式,落实覆盖生产全流程的动态管控模式,贯穿原材料进场、现场施工、成品养护与储运全部环节。强化作业过程的动态巡查与过程督导,及时发现并整改施工细节问题,阻断质量隐患持续扩大。合理调配现场管理资源,聚焦核心工序与薄弱管控环节,提升现场管理资源的利用效率,强化整体管控力度,提升预制施工现场管理的严谨性与有效性。

4.4 健全长效管理运行机制

精细化管理的稳定落地与持续提升,需要完善的长效机制作为支撑。建立常态化的施工管理复盘机制,梳理日常预制生产中的管理问题与工艺短板,针对性优化管理方式与施工标准。完善现场作业考核与管理约束机制,明确岗位管理职责,强化各岗位人员的管控责任。积累预制施工管控经验,持续优化管理体系与工艺标准,形成适配管片预制生产的成熟管理模式^[5]。长效机制的搭建能够稳固精细化管理成果,实现施工管理水平的持续提升,保障管片预制生产质量长期稳定。

结束语

盾构管片预制生产是一项多工序衔接、高精度要求的系统性工程,各生产环节的管控质量直接决定构件性能与工程品质。通过梳理管片预制完整工艺流程与核心施工技术,针对原材料、工序施工、成品防护等关键环节落实精细化管控举措,同步优化标准化工序体系、现场管控模式与长效运行机制,可有效解决传统生产中的质量短板与管理漏洞。多维度的精细化管控方式,能够规范现场施工行为、弱化人为操作偏差,保障盾构管片结构稳定性与外观完整性,为地铁盾构隧道预制施工质量管控提供可靠的技术与管理参考。

参考文献

- [1] 沈子贺,郭义,王浩楠,等.地铁盾构管片接缝的防水施工分析[J].工程技术研究,2022,7(19):120-122.
- [2] 胡俊杰.地铁盾构施工安全风险管理与控制措施[J].交通世界(下旬刊),2022(2):75-76.
- [3] 张立宇.地铁盾构隧道管片流水线生产智能化技术[J].现代城市轨道交通,2022(11):47-52.
- [4] 范佰通.盾构管廊隧道下穿既有地铁重叠段施工技术研究[J].建筑技术开发,2022,49(13):56-58.
- [5] 张旦旦.盾构隧道混凝土管片预制工艺及质量控制措施[J].建材发展导向,2022(11):184-186.