

超大洞室开挖及其混凝土浇筑快速施工技术的研究

樊智强

眉山和创劳务有限公司 四川 成都 611700

摘 要:针对超大洞室跨度大、地质条件复杂、多工序交叉干扰大、施工进度与质量管控难等问题,本文系统分析超大洞室开挖与混凝土浇筑施工的核心难点及制约因素。从开挖方案优化、精准爆破、支护平行作业、混凝土配比优化、智能浇筑与温控养护等维度,梳理系列快速施工关键技术。通过工艺改良与施工体系优化,有效提升施工效率、保障结构质量,可为同类地下洞室快速施工提供技术参考。

关键词:超大洞室开挖;混凝土浇筑;快速施工技术

引言:随着大型地下工程建设规模持续扩大,超大洞室工程应用愈发广泛。此类工程存在高地应力、围岩破碎、作业空间封闭、施工工序繁杂等特点,传统施工工艺效率低、质量隐患多,难以满足快速建设需求。为破解开挖成型差、浇筑易开裂、工序衔接滞后等施工难题,保障工程安全、质量与进度,本文针对性研究超大洞室开挖及混凝土浇筑快速施工技术,优化施工工艺与管控体系,助力地下工程高效优质建设。

1 超大洞室施工特性及快速施工难点分析

1.1 超大洞室工程基本特性

(1) 结构特性:超大洞室具备跨度大、边墙高、纵深长的特点,整体空间结构复杂,断面形式多变。工程施工作业面较为分散,大型施工设备布设、就位及作业难度较大,对施工布局规划要求极高。(2) 地质特性:洞室施工区域地质条件复杂,普遍存在高地应力、围岩破碎、节理发育等问题,同时伴随地下水渗流现象。施工全过程易引发围岩变形、局部坍塌、渗水涌水等隐患,整体施工安全风险较高。(3) 施工特性:施工工序繁杂琐碎,开挖、支护、混凝土浇筑、养护等多工序交叉开展,各工序施工干扰严重。传统流水施工模式衔接效率低,整体施工工期偏长,难以适配快速施工需求^[1]。

1.2 超大洞室开挖施工难点

(1) 大断面开挖爆破管控难度大,爆破参数难以精准把控,易出现围岩超欠挖、岩体结构性损伤等问题,破坏洞室整体稳定性,大幅增加后续支护施工的成本与工作量。(2) 高地应力施工环境下,洞室围岩极易产生回弹变形、岩爆等地质病害,开挖过程动态风险多、管控难度高,严重制约施工连续性与整体进度。(3) 传统

分层开挖工艺工序繁琐,开挖、出渣、支护各工序衔接滞后,作业断层明显,整体施工效率低下,无法满足超大洞室快速施工的核心要求。

1.3 超大洞室混凝土浇筑施工难点

(1) 洞室混凝土浇筑方量大、覆盖范围广,物料输送、现场布料的均匀性难以精准控制,极易产生冷缝、空鼓、密实度不足等质量缺陷,影响工程施工质量。(2) 大体积混凝土水化热释放集中且速度快,温控防裂施工难度大,所需养护周期较长,大幅拖慢洞室主体施工进度。(3) 洞内施工空间封闭,通风、散热及除湿条件较差,不利于混凝土成型和常态化养护,难以保障施工质量,阻碍快速施工推进。

1.4 快速施工整体制约因素总结

(1) 技术因素:传统施工工艺适配性不足,开挖爆破、浇筑振捣、温控养护等关键工序缺乏标准化、快速化施工体系,技术支撑力度不足。(2) 管理因素:多工序交叉作业统筹规划不合理,施工组织、设备调度、人员配置衔接不畅,资源利用率低,施工效率受限。(3) 环境与安全因素:复杂地质条件与封闭洞内环境叠加,大幅提升安全管控难度,繁琐的安全管控流程进一步拖累整体施工效率。

2 超大洞室开挖快速施工关键技术

2.1 大断面洞室开挖方案优化设计

(1) 开挖方法优选:针对超大洞室断面大、围岩条件复杂、施工管控难度高的特点,对比分析全断面开挖法、台阶开挖法、上下同步分层开挖法的适用场景、施工效率及安全性能。结合洞室实际断面尺寸、围岩完整程度及地应力条件,摒弃适配性差、施工效率低的传

统工艺,选定分层分段开挖施工方案,兼顾施工安全性与快速施工需求,为后续高效开挖奠定基础。(2)开挖分层分段参数优化:依托围岩稳定性数值模拟分析手段,精准测算不同开挖厚度、分段长度下的围岩应力分布与变形规律,科学确定合理的分层厚度与循环分段长度。通过参数优化,有效规避单次开挖尺寸过大引发的围岩失稳风险,同时避免分层过细、分段过短导致的工序繁琐、工期延长问题,实现施工安全与开挖效率的双向平衡^[2]。(3)开挖顺序优化:严格遵循“先顶拱、后边墙、后底板”的洞室开挖基本原则,结合多作业面施工模式优化整体开挖顺序。合理规划各作业区域施工时序,统筹顶拱掘进、边墙修整、底板开挖等工序,有效减少多工序交叉施工的相互干扰,提升整体施工连续性,充分释放多作业面同步施工的效率优势。

2.2 精准控制快速爆破施工技术

(1)精细化爆破参数设计:根据超大洞室围岩硬度、完整性、节理发育程度等特性,开展爆破参数精细化设计,科学规划炮孔布置形式、孔径大小、孔排距及单孔装药量。优先采用光面爆破、预裂爆破工艺,精准控制爆破作用范围,弱化爆破冲击波对周边围岩的损伤,最大程度保留围岩原始完整性,提升洞室成型质量。(2)分段延时爆破工艺:采用毫秒延时爆破技术,合理设置各炮孔爆破间隔时间,精准控制整体爆破振动速度。该工艺可有效分散爆破应力,降低爆破振动对周边围岩、初期支护结构及已完成施工部位的扰动破坏,规避围岩松动、开裂等问题,在保障施工安全的前提下,实现规模化快速爆破作业。(3)爆破效果动态调整:建立爆破效果实时监测与动态优化机制,全程采集现场爆破振动、围岩变形、断面成型等监测数据。根据实际爆破成型效果,及时微调炮孔参数、装药量及延时时间,从源头杜绝超欠挖病害,大幅减少后期人工修整、围岩加固等辅助工序,显著提升洞室开挖成型效率与施工进度^[3]。

2.3 开挖与支护同步快速施工技术

(1)临时支护快速施工工艺:针对超大洞室开挖后围岩易变形、失稳的特点,采用超前锚杆、喷射混凝土、钢拱架联合支护体系。优化支护施工流程,简化工序衔接流程,实现洞室开挖成型后立即开展支护作业,快速封闭围岩、约束围岩变形,缩短围岩裸露时长,规避坍塌风险,为连续快速施工提供安全保障。(2)多工序平行作业技术:结合洞室大空间施工优势,科学划分独立作业区域,构建上层开挖、中层支护、下层出渣的多工序平行作业模式。通过分区管控、错层施工,彻底

打破传统流水施工的工序间隔限制,压缩各工序衔接等待时间,大幅提升整体施工效率,适配快速施工建设要求。(3)围岩动态监测与反馈:在洞室边墙、顶拱等关键部位布设围岩变形与应力监测点位,全天候实时采集施工监测数据。依托监测数据动态分析围岩稳定状态,及时调整开挖步距、支护参数及施工节奏,形成“开挖—监测—反馈—优化”的闭环施工体系,保障快速施工全过程安全可控。

2.4 高效出渣与施工配套技术

(1)机械化出渣设备配置:结合超大洞室内部空间开阔、运输条件良好的特点,配套大型装载机、自卸运输车等机械化出渣设备,组建专业化出渣作业班组。同时优化洞内运输路线,规划单向循环运输通道,规避车辆拥堵、错车等待等问题,最大化提升出渣运输效率。(2)溜渣井辅助出渣技术:针对深埋洞室纵向纵深大、传统水平出渣运距长、效率低的难题,采用小直径溜渣井辅助出渣工艺。通过竖向溜渣井实现渣土快速转运,缩短渣土水平运输距离,简化出渣流程,大幅降低出渣作业时长,有效提升整体开挖施工进度。(3)施工现场扬尘与废水快速处置:针对洞内封闭施工环境,配套喷淋降尘、通风除尘及废水收集处置设备,及时处理施工扬尘与作业废水,快速改善洞内施工环境。有效规避环保及安全问题导致的施工停工、整改情况,保障施工连续推进,减少施工中断频次,稳定快速施工节奏。

3 超大洞室混凝土浇筑快速施工关键技术

3.1 大体积混凝土配比优化设计

(1)原材料优选:针对超大洞室大体积混凝土温升高、易开裂、连续浇筑难度大的施工特点,开展原材料精细化选型。优先选用低水化热硅酸盐水泥,搭配级配良好、质地坚硬的优质粗细骨料,严格控制骨料含泥量与杂质含量。同时掺入高效减水剂、缓凝型外加剂与优质矿物掺合料,有效改善混凝土流变性能与工作性能,降低单位用水量,适配洞内大面积、高强度快速浇筑施工需求。(2)配合比优化试验:依托室内正交试验与现场适配试验,系统优化混凝土水胶比、砂率、粉煤灰及矿粉掺量等核心配比参数。通过多组试验对比,筛选出最优配合比,有效提升混凝土和易性、流动性与保塑性能,适度延长混凝土初凝时间,避免大面积浇筑过程中出现混凝土初凝过快、接续困难等问题,为洞室整体连续浇筑施工提供充足作业时长^[4]。(3)抗裂性能优化:结合大体积混凝土温度应力变化规律,针对性调整配比参数,减少水泥用量、降低整体水化热释放总量与释放速率。通过优化掺合料比例,改善混凝土内部孔隙

结构,显著提升混凝土抗渗、抗冻及抗裂性能,从原材料层面抑制温度裂缝、收缩裂缝的产生,减少后期病害修补工序,助力施工效率提升。

3.2 混凝土快速输送与连续浇筑技术

(1) 多通道混凝土输送系统布设:结合超大洞室断面大、空间纵深长、浇筑范围广的结构特点,科学规划泵管布设路径,采用分层布设、多点分支的输送方式,搭建多通道混凝土输送体系。通过分区布料、定点供料,解决传统单点输送供料滞后、布料不均的问题,实现混凝土高效、均匀输送,适配多区域同步浇筑施工。(2) 分层分段连续浇筑工艺:摒弃传统间歇式浇筑模式,制定薄层、匀速、循序的连续浇筑施工方案。结合混凝土初凝特性与现场施工节奏,合理控制分层浇筑厚度与浇筑推进速度,保证上下层混凝土在初凝前完成搭接,彻底杜绝施工冷缝产生,大幅提升混凝土结构整体性与施工连续性,适配快速施工要求。(3) 模板快速安装与加固技术:采用标准化定型钢模与滑动模板施工工艺,替代传统散装模板,简化模板拼装、对位、拆卸流程。通过优化模板拼装工序与加固体系,采用模块化快速加固构件,有效提升模板安装精度与施工效率,同时保障浇筑过程中模板结构稳定、不变形、不跑模,确保洞室混凝土成型质量。

3.3 混凝土高效振捣与密实控制技术

(1) 分层分区振捣工艺:针对超大洞室大面积、大体积浇筑特征,推行分层分区标准化振捣作业模式。根据浇筑分层厚度划分独立振捣区域,配备高频振捣设备,严格规范振捣间距、插入深度与振捣时长,确保每层混凝土振捣均匀、密实,消除内部空隙,规避漏振、欠振引发的密实度不足问题。(2) 智能化辅助振捣技术:引入可视化振捣监测设备,实时采集振捣频率、振捣深度、作业时长等数据,动态把控混凝土振捣密实状态。依托智能监测反馈,精准指导现场作业,有效规避人工振捣的主观性误差,杜绝漏振、过振、虚振等问题,在提升混凝土浇筑质量的同时,提高整体振捣作业效率^[5]。(3) 边角部位专项密实处理:洞室边墙、拱顶、转角等结构拐角位置空间狭小、振捣难度大,是质量缺陷高发区域。针对此类薄弱部位,采用小型精细化振捣设备配合人工专项处理工艺,针对性强化边角振捣密实度,有效杜绝空鼓、蜂窝、麻面、缺棱掉角等质量

病害,保障洞室整体混凝土成型质量均匀统一。

3.4 大体积混凝土快速温控与养护技术

(1) 全过程温控管控:构建混凝土生产、浇筑、成型全流程温控体系,通过原材料预冷、拌合水降温、骨料遮阳保温等方式,从源头降低混凝土入模温度。同时采用分层通水冷却、表层覆盖保温等组合技术,精准控制混凝土内外温差与降温速率,有效抑制温度应力裂缝产生,保障大体积混凝土结构稳定。(2) 智能保湿快速养护技术:适配洞内封闭施工环境,采用自动喷淋、保温覆膜一体化智能养护工艺,替代传统人工洒水养护模式。该工艺可快速完成养护布设作业,大幅缩短养护前期准备时间,实现混凝土成型后即时保湿保温养护,加快混凝土强度增长速度,实现快速成型、快速达标。(3) 养护周期优化:依托洞内温度、湿度实时监测数据,结合混凝土强度增长规律,动态优化调整养护周期。在严格满足混凝土强度、抗裂性能质量标准的前提下,精准压缩无效养护时长,合理衔接后续施工工序,有效缩短整体施工工期,实现质量与进度双向把控。

结束语

本文结合超大洞室施工特性,剖析了开挖、浇筑施工难点及整体制约因素,总结了一套适配性强的快速施工关键技术。通过优化开挖爆破、平行支护、混凝土连续浇筑及智能温控养护工艺,有效解决了传统施工效率低、质量缺陷多、安全风险高的问题。研究成果可有效缩短施工工期、提升工程品质,为各类超大地地下洞室工程快速施工提供可行的技术借鉴与实践思路。

参考文献

- [1] 世文宝. 复杂地质条件地下洞室开挖施工技术 [J]. 建筑理论,2023,7(5):89-92.
- [2] 刘永奎,高印鹏. 复杂地质条件下高瓦斯地段大型洞室开挖施工工法 [J]. 四川水利,2023,38(2):33-41.
- [3] 王仁坤,邢万波,杨云浩,等. 水电站地下厂房超大洞室群建设技术综述 [J]. 水力发电学报,2022,35(8):110-114.
- [4] 李璐,陈秀铜. 大型地下厂房洞室群施工开挖顺序及围岩稳定分析 [J]. 中国安全生产科学技术,2024,12(z1):95-102.
- [5] 王伟玲,李友华. 特大型地下厂房开挖支护关键技术研究与创新 [J]. 红水河,2025,36(4):150-153.