

某某隧道空间关系复杂隧道群通风技术研究

王启辉

中铁二局集团有限公司 四川 成都 610032

摘要：本文依托某某隧道完成空间关系复杂隧道群通风施工技术研究并形成适配的施工技术体系。文章针对该隧道群的空间结构特征，采用斜井+竖井组合压入式分阶段通风方式，完成各施工阶段的通风参数核算、通风设备精准配置，依托专业软件开展隧道内一氧化碳污染物分布的三维仿真模拟，同步落地现场通风方案的执行与气体指标的全流程监测。该技术成功降低施工前氧气含量、一氧化碳、氮氧化物等指标超限通风时间，现场通风效果达到设计预期，形成的施工技术可为同类隧道群工程施工通风提供工程参考。

关键词：隧道空间关系；复杂隧道群；通风技术

引言：空间关系复杂隧道群的钻爆法施工通风技术目前暂无专项研究文献可供参考，此类隧道群的多层交叉立体结构为施工通风带来了诸多技术难题。本文以某某隧道这一城市快线控制性工程为研究对象，结合隧道的结构特征与施工工区划分情况，设计针对性的分阶段通风方案，通过数值仿真模拟分析污染物扩散特征，再经现场施工实施与气体监测验证方案的实操性，最终总结形成适配复杂空间隧道群的通风施工技术，填补该类工程通风技术研究的空白。

1 工程概况

1.1 工程建设定位

某某隧道所属快线工程为某市城市路网规划中“六横十纵”干线路网的重要组成部分，该快线工程的建设将进一步完善城市区域内的交通路网布局，提升城市路网的整体通行效率与辐射范围。某某隧道作为该快线工程的核心控制性工程，其施工技术的适配性与施工推进的效率直接决定着快线工程的整体建设周期，也影响着城市干线路网规划落地的实际进度，是整个快线工程建设的核心关键节点。

1.2 隧道结构特征

某某隧道南端洞口采用双向六车道小净距的结构形式，向北延伸的过程中逐步过渡为分离式结构，经分岔口分离出Z1、Z2匝道后为双向四车道分离式结构，再通过不同纵坡的科学设计，让隧道左、右线逐步过渡至竖向小净距形式，继续向北延伸则进一步过渡为竖向叠层形式并最终接入盾构机接收井，Z1、Z2匝道通过纵坡的合理设计爬升至主线上部^[1]。隧道斜井工区受坡率、曲线半径、结构尺寸等多重因素的综合影响，形成了多层交叉、立体交汇的复杂空间关系，被国内知名院士形象喻为“隧道工程博物馆”。图1所示为某某隧道斜井工区3D

示意图。

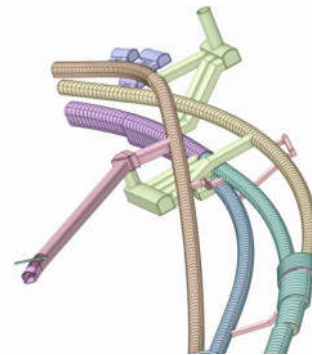


图1 某某隧道斜井工区3D示意图

1.3 施工工区划分

某某隧道工程以实现均衡生产、高效推进为核心施工规划目标，按北端斜井工区与南端进口工区进行明确的施工工区划分并分别组织施工，其中斜井工区为本次隧道群通风技术研究的核心工区。该工区除受坡率、曲线半径、结构尺寸等工程结构因素的直接影响外，还因线路左右外挂2、3号风机房、设备房、人行通道等附属设施，进一步加剧了空间结构的复杂性，也让该工区的施工通风作业成为整个隧道工程施工过程中需要突破的核心技术难点。

2 通风方案设计

2.1 设计总体思路

某某隧道斜井工区通风方案设计以快速处理施工期间洞内氧气含量、一氧化碳、氮氧化物等关键空气指标的超限问题为核心导向，采用斜井+竖井组合压入式的通风方式，结合隧道工程的施工进度、作业面拓展情况与结构变化特征划分为三个阶段开展分阶段通风设计^[2]。

2.2 分阶段通风参数与配置

结合施工通风计算结果与长期工程施工经验，为某

某隧道斜井工区三个施工阶段分别设计针对性的通风参数与设备配置方案,各阶段均根据施工里程与作业面特征明确通风线路,完成基础参数核定与风量精准计算。第一阶段施工中斜井已接入Z1隧道,分别向东南两个方向施工形成两条独立施工线路,线路一为Z1隧道向南端开挖至Z1隧道-左线两车道连通道,进入左线两车道施工至1#通风井LK2+148处,线路二为Z1隧道向东端开挖Z1-Z2隧道连通道,进入Z2隧道后向南端开挖Z2隧道,施工至1#通风井Z2K2+236.5处,两条线路按施工进度安排独立施工并采用独立通风模式。该阶段两条线路的通风长度分别为649m、505.96m,均配置41名进洞施工人员,最大开挖面积82m²,炸药消耗量216kg,内燃机均配置

ZLC50B装载机1台、PC210挖掘机1台、运输车2台,在此基础上完成四项基础风量计算并确定实际供应风量(表1为第一阶段通风量计算结果),线路一按人数、风速、废气稀释、炮烟稀释计算的基础风量依次为141.45、738、1911.83、2207.14,取最大值为所需风量并结合1.0674的漏风系数,确定实际供应风量为2355.90,线路二基础风量依次为141.45、738、1911.83、1869.58,结合1.0522的漏风系数确定实际供应风量为2011.63。风机与风管按施工需求精准配置,均采用压入式通风方式与Φ1450软质双抗风管,线路一配置轴流风机2×110kW1+2×20kW1,线路二配置轴流风机2×110kW*1,同时在隧道各关键交接位置布置射流风机辅助引流通风,避免污风循环。

表1 第一阶段通风量计算结果

工况	Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_{max}	$Q_{需}$	漏风系数	$Q_{供}$
线路一	141.45	738	1911.83	2207.14	2207.14	2207.14	1.0674	2355.90
线路二	141.45	738	1911.83	1869.58	1911.83	1911.83	1.0522	2011.63

附注: Q_1 :按隧道内同时工作的最多人数需要的新鲜空气计算风量,公式采用 $Q_1 = qmK$
 Q_2 :按满足洞内允许最小风速要求风量计算 $Q_2 = 60sv$
 Q_3 :按稀释和排出内燃机废气风量计算 $Q_3 = q \times \sum NiTi$
 Q_4 :按稀释和排炮烟所需风量计算 $Q_4 = \frac{7.8}{t} \times \sqrt[3]{A \times S^2 \times L^2}$

第二阶段施工中隧道北端工区由斜井洞口和1#、2#通风竖井共同提供压入式通风,1#、2#通风竖井正式投入使用,施工线路拓展为四条,斜井洞口为线路一、线路二供风,1#通风竖井为线路三供风,2#通风竖井为线路四供风,各线路按既定里程开展开挖施工。该阶段根据作业面变化调整基础计算参数,线路一至线路四通风长度分别为679m、672.46m、321.2m、193m,进洞人数、最大开挖面积、炸药消耗量与内燃机配置均按施工需求做针对性调整,经风量核算确定四条线路的实际供应风量依次为2522.78、2505.15、2617.99、2584.53。四条线路均采用压入式通风,其中线路三、四依托竖井供风,风机与风管配置保持统一标准,均采用轴流风机2×110kW1+2×20kW1与Φ1450软质双抗风管,射流风机布置位置在第一阶段基础上增加Z2-主线右洞临时连通道处,进一步提升污风排出效率。

第三阶段施工中隧道南端与北端已实现贯通,施工线路缩减为两条,均由通风竖井提供压入式通风,1#通风竖井为线路一供风,负责左线大里程叠层段上部LK2+469.2-LK2+681.5施工,2#通风竖井为线路二供风,负

责右线大里程至2#风机房纵通道施工。该阶段重新核定基础计算参数,线路一、二通风长度分别为533.5m、269m,均配置41名进洞施工人员,最大开挖面积与炸药消耗量按施工段特征调整,内燃机均配置ZLC50B装载机1台、PC210挖掘机1台、运输车3台,经风量核算确定线路一实际供应风量2674.27,线路二2604.30。两条线路均依托竖井开展压入式通风,风管仍采用Φ1450软质双抗风管,风机配置按施工需求小幅调整,线路一为轴流风机2×110kW1+2×20kW1,线路二为轴流风机2×110kW1+2×55kW1,射流风机仅在叠层段上部LK2+533处布置,适配叠层段的通风需求。

2.3 污染物分布仿真分析

基于隧道施工通风整体设计方案,依托有限元分析软件Ansysworkbench平台中的CFD计算流体力学求解器开展施工通风方案的三维仿真模拟实验,通过仿真分析明确隧道内核心污染物的分布特征与扩散规律,为通风方案的优化调整提供科学的数据支撑。本次仿真模拟选取隧道主线左洞掌子面5m、100m、200m、300m的断面中心作为固定监测点,重点开展一氧化碳污染物的分布特

征分析,通过仿真计算得到各监测点一氧化碳浓度随通风时间变化的完整曲线图谱^[3]。通过数值仿真分析、现场施工实施、现场监控量测三者间的数据相互印证与对比分析,精准找出通风技术环节中存在的细节不足,确保方案能有效应对隧道群复杂空间带来的通风难题。

3 通风方案实施效果

3.1 现场执行落实措施

某某隧道工程已进入第三阶段施工,1#、2#通风竖井建设完成并投入使用。现场严格按照通风设计方案落实各项措施,压入式通风机统一布置在洞外大于10d指定位置,避免污风循环。 $\Phi 1450$ 软质双抗风管精准延伸至距掌子面15m处,确保新鲜空气直接输送至作业面^[4]。在分岔口关键位置按需布置37kW射流风机辅助引流通风,各阶段射流风机均完成安装调试,通过辅助引流作用加速洞内污风排出,显著提升有毒有害气体排出效率。

3.2 现场监测数据采集

采用定点气体监测仪和手持式监测仪相结合方式,全面精准收集洞内气体数据。受爆破作业和安全规范限制,掌子面5m范围内无法固定监测设备。定点监测仪固定在距离掌子面100m处,持续实时监测氧气、一氧化碳、氮氧化物等核心指标^[5]。手持式监测仪由专职安全员操作,在爆破后分别于200m、300m位置开展移动式多位点数据采集,严格遵循安全规范,确保数据真实性,形成全时段一氧化碳浓度监测统计图。

3.3 实施效果验证分析

以现场一氧化碳浓度监测数据为核心,结合氧气、氮氧化物等指标,对比分析现场监测统计图与数值仿真结果。现场监测显示洞内一氧化碳排出情况与仿真基本吻合,仅各监测位置完全排除时间较模拟延迟3-6min,处于合理范围。距离掌子面200m作业面通风20min后各项指标达标,300m范围内作业面通风30min后完全满足施工要求。各阶段作业面气体指标均无超限,通风效果完全达到预期目标。

4 通风技术优化与运维保障

基于某某隧道复杂空间隧道群通风方案的现场实施效果与监测数据反馈,针对施工过程中暴露的细节问题,

开展通风技术优化与长效运维保障体系构建,进一步提升技术的适配性与稳定性。针对多层交叉断面通风盲区问题,优化射流风机布置参数,将分岔口、叠层段等关键位置的风机安装角度调整为 30° - 45° ,间距优化为15-20m,同步增设小型导流装置,减少气流涡流现象,消除通风盲区。结合各施工阶段气体监测数据,建立风量动态调节机制,根据爆破强度、作业人员数量、内燃机运行时长的变化,实时调整风机运行功率,在保障通风效果的同时降低能源消耗。

结语

本文针对某某隧道空间关系复杂隧道群的施工通风难题,结合隧道结构特征与施工工区划分完成分阶段通风方案的整体设计,精准计算各施工阶段的通风基础参数并完成风机与风管的配套配置,选取核心表具完成风量核算的详细呈现。依托Ansysworkbench平台开展一氧化碳污染物分布的三维仿真模拟,通过定点与手持监测相结合的方式完成现场气体数据的全面采集与分析。现场实施结果证实斜井+竖井组合压入式分阶段通风方式可有效解决多作业面通风的气体指标超限问题,实际通风效果与模拟结果基本吻合。总结形成的空间关系复杂隧道群通风施工技术,为同类隧道群工程的施工通风提供了切实可行的技术路径与工程参考,具备较高的工程实践应用价值。

参考文献

- [1]魏雨阳,狄育慧.隧道通风设计与施工技术研究[J].建筑技术,2025,56(7):844-847.
- [2]李宝华,黄元楼,钱江.王家寨特长隧道独头掘进超过6.5千米施工通风关键技术研究[J].价值工程,2025,44(3):16-20.
- [3]刘利.高海拔长大隧道多作业面同步施工通风供氧技术研究[J].铁道建筑技术,2024(11):157-161,173.
- [4]王东伟,贺维国,戴新,等.深埋组合工法海底铁路隧道救援疏散及通风技术探讨[J].隧道与地下工程灾害防治,2025,7(1):1-10.
- [5]任高平,章猛.隧道掌子面通风施工技术[J].云南水力发电,2024,40(1):125-128.