

城区密集环境下临近运营地铁风道暗挖爆破施工技术 及安全管控

谢锦潮

广东建科建设咨询有限公司 广东 广州 510000

摘 要：针对广州火车站地铁十一号线北风亭风道，城区密集建构筑物、复杂管线紧邻运营地铁的复杂施工条件，开展暗挖爆破试验施工。项目采用三台阶开挖法，优化炮孔布设与分层梯度药量爆破工艺，设置减震孔弱化振动影响，建立地铁运营联动扣车机制与全流程施工管控体系，结合实时振速监测严控施工指标。试爆结果表明，爆破振动可控、参数合理，有效保障既有地铁及周边设施安全，可为同类城区地铁暗挖爆破工程提供参考。

关键词：城区密集环境；临近运营地铁；风道暗挖；爆破施工技术；安全管控

引言

在广州市轨道交通十一号线的建设进程中，广州火车站作为关键节点，其北端风亭暗挖风道 E 断面的爆破施工面临着诸多复杂挑战。周边密集的建构筑物、复杂的地下管线以及紧邻既有地铁线路等因素，使得爆破施工的安全性与精准性成为重中之重。本次试验性爆破，旨在通过科学严谨的现场试验，获取适配本工程地质条件与周边环境的关键爆破技术参数，为后续大规模爆破施工提供坚实可靠的技术支撑，确保整个工程安全、高效、有序推进，最大限度降低爆破施工对周边环境及既有设施的影响。

1 工程概况

1.1 项目背景

广州火车站为地铁十一号线关键换乘站，其北端风亭因广州站改造方案调整，新址位于白云区梓元岗路南侧、铁路股道北侧，夹于千色皮具城与天弘皮具城间的狭长通道。该区域人流密集、交通繁忙，紧邻运营铁路，对爆破施工的安全、振动控制及精度要求极高。

1.2 暗挖风道及风机房设计

北风亭暗挖结构分四段，含 6 种断面。E 型活塞风道长 11.4m，马蹄形断面面积 90.1m²（宽 6.8m、高 13.7m），采用三台阶法。初期支护：C25、P6 早强喷射混凝土厚 300mm，配单层 d8@200×200 钢筋网及格栅钢架 @500；二衬为 600mm 厚 C35(P12) 钢筋混凝土。锚杆：拱部 120° 范围设 $\phi 42 \times 3.5$ 钢插管超前注浆，长 4.0m，纵距 2.0m，环距 0.3m，外插角 10°~15°；边墙设 $\phi 22$ 砂浆锚杆，长 4.0m，环纵距 1.0m，菱形布置。

1.3 周边环境

（1）建构筑物：千色皮具城（地上 11 层，人工挖孔桩基础）、天弘皮具城（12 层，桩基础）均位于暗挖通道正上方；铁路 12 股道位于南侧，为地面结构；高大围墙为砌体基础，亦在正上方。各建构筑物对爆破振动敏感，须严格控制振动影响。（2）地下管线： $\phi 600$ 排水混凝土管（南北走向，埋深 0.8m）需临时迁改；电力管线（东西走向，距风井基坑 1m，埋深 1.2m）已废弃，施工期间须硬化保护^[1]。（3）工程地质：场地地层：<1-2> 填土（素填土及杂填土，压实不均）；<5N-2> 粉质粘土（硬塑/密实）；<6> 全风化粉砂岩（土状）；<7> 强风化粉砂岩（破碎）；<8-3> 中风化粉砂岩及 <9-3> 微风化粉砂岩（短柱~长柱状）。风亭及暗挖风机房主要位于 <8> 中风化粗砂岩、砾岩及 <9> 微风化含砾砂岩。超前地质探孔判定围岩等级为 IV 级。

2 试爆方案

2.1 前期爆破成果总结

前期针对广州火车站北风亭竖井开展的爆破施工（爆破中心与 11 号线最近距离 7m），积累了完整可靠的数据与施工经验。竖井爆破期间，通过自动化监测系统采集数据表明，最大振速始终小于 1.0cm/s，最大爆破药量为 11.4kg，振动响应完全可控，监测数据均未达到预警值。上述成果为本次 E 断面试爆方案编制、参数确定及效果预判提供了重要依据。

2.2 试验爆破总体施工规划

针对北风亭 E 断面爆破试验，制定科学严谨的总体施工方案。遵循爆破药量由少至多的原则，试爆过程中采用高精度分贝仪实时检测爆破声响，采用地面人工测振与盾构区间自动化测振相结合方式，全面、准确采

集爆破振速数据。每次爆破完成后,及时将爆破药量、爆破位置、炮孔数量、监测数据及试爆效果等关键信息报送至“火车站北风亭爆破作业联动群”,确保建设、施工、监理等相关单位实时掌握现场情况,实现高效协同管控。

2.3 试爆计划安排

结合前期施工经验与现场实际条件,确定北端风亭 E 断面试爆位置距离 11 号线最近为 9.54m。试爆分三次实施,炸药用量依次为 4.8kg、9.6kg、13.55kg,其中 13.55kg 为 E 断面爆破单次最大药量。爆破方式依据爆破破碎原理设计,通过逐步增加爆破凌空面积,利用岩石自下而上崩落特性,实现分层爆破脱落,最大限度降低爆破振动对周边环境的影响。

2.4 试爆方法详述

试验爆破按药量从小到大梯度精准控制,单次爆破药量严格控制在设计范围内。试爆对象为北端风亭 E 断面上台阶前两个循环爆破开挖,每循环进尺 1.0m。

为降低爆破振动,隧道各导洞两侧边墙采用风钻施作减震孔,孔间距 @450mm,与周边孔错开隔离布置,形成减震屏障。全断面炮孔布置如下:掏槽孔 8 个,孔深 1.4m,为后续爆破创造临空面;辅助孔 40 个、周边孔 31 个、底板孔 11 个,孔深均为 1.1m。各炮孔孔距、排距及单孔装药量经详细计算确定:掏槽孔单孔装药量 0.6kg,辅助孔 0.3kg,周边孔 0.2kg,底板孔 0.45kg,最大单段装药量控制在 0.6kg^[2]。

试爆按 5 步、两循环组织实施,起步爆破药量 3kg,按 3kg 梯度递增,单次爆破总药量严格控制在不超过 13.8kg。

3 爆破施工流程

3.1 爆破施工联动流程

现场施工负责人预估爆破时间,联系驻站联络员;驻站联络员与运营部控制室商定最终起爆时间。爆破器材就绪后,现场爆破负责人填写起爆申请表,经爆破负责人、项目部检查负责人、监理现场负责人签字确认,报项目部联络负责人。核对签字无误后,与起爆人员进行通话测试,并与驻站联络员确认起爆信号,通知起爆人员。确认无误后,爆破负责人下达点火指令实施起爆。爆破完成,联络负责人与驻站联络员解除警戒、恢复施工。全程明确各方人员姓名、职务、单位及联系方式。

3.2 与运营扣车联动流程

爆破前 1 天,施工单位将爆破计划(部位、大致时

间)发至赤沙 OCC 公共邮箱,并电话通知值班主任;综合调度转发至“十一号线爆破施工下穿五号线火车站沟通联系群”,各部门回复确认。爆破当日,联络人提前 2 小时将精确爆破时间报送 OCC;计划取消或调整亦提前 2 小时通知。OCC 通过 Glink 发送至沟通群,确保各部门及时掌握动态,提前调整列车运营。

3.3 爆破作业施工流程

(1)技术交底:爆破前对钻孔工人进行交底,明确布孔原则、钻孔允许偏差、爆破范围、孔距、排距、深度等参数,强调边缘孔最小抵抗线、卡钻防控及角度控制,确保作业人员掌握技术要点。(2)炮孔定位:按图纸将炮孔中心标定至爆区,选配合适钻杆。每孔开钻前核验开口位置,确保孔距、排距符合要求,不合理及时调整,保证布局精准。(3)钻孔施工:钻工严格按图施工。开钻前清理炮位浮石碎石,露出硬底防卡钻堵孔;边缘孔位校核最小抵抗线,偏差超 10%时调整孔位、角度与深度;开口达 1cm 后校正钻机与人员位置,保证钻孔角度,避免孔口弯曲;成孔后强力吹风清孔,抽出钻杆后封堵孔口防杂物落入。(4)炮孔验收:逐项验收孔深、孔网参数、前排抵抗线、含水情况。验收标准:偏差 ≤ 10cm 为合格;矿山法炮孔孔底误差 ≤ 10cm,周边孔偏斜 ≤ 1.5%。抵抗线不满足者废弃,合格孔方可装药。(5)装药施工警戒:装药前对装药区域实施初步警戒,清理无关人员。警戒范围由技术负责人确定,按封闭作业区划定,设警示标志,甲方协助清理,保障环境安全^[3]。(6)炮孔装药:装药前检查孔内积水与孔深,复核孔距、排距及抵抗线,高压风管清吹孔底。装药时防止药包与雷管脱离;起爆药包入孔后严禁捣压;保证炸药连续,控制装药密度适中。由技术人员指导、持证爆破员操作。(7)堵塞及网路连接:用木质炮棍填塞炮泥,严禁铁器冲击。炮泥缓慢送入并适度捣实至孔口。堵塞完成后,熟练爆破员进行爆破网路连接,确保准确可靠。(8)防护及操作:网路检查无误后,爆破员在炮孔上压覆沙包防护,与安全员共同检查压实质量,全程监督,避免扰动网路。(9)警戒工作:防护验收合格后启动全面警戒。统一警戒与起爆信号,配合甲方清场,撤离无关人员设备,各警戒点定岗值守,禁止无关人员进入。(10)起爆:警戒到位后,爆破班长逐一联络警戒点,确认无异常后下达起爆命令,起爆员按规范执行。(11)爆后检查:爆破完成后,经验丰富的爆破员立即到场检查,重点排查盲炮,发现后按规程及时处置。(12)解除警戒:经负责人全面检查,确认无盲炮及险情后,发出解除警戒信号(3 次长短相间音,每次

20 秒)。信号发出前,各警戒点不得擅自撤离,严禁无关人员进入。

3.4 爆破联动应急处置措施

若爆破过程出现起爆故障,未能在扣车时段内起爆,施工单位爆破联络员立即指令恢复通车,避免列车晚点。故障排除并满足起爆条件后,重新与 OCC 协调,启动扣车流程实施爆破。

预防措施:爆破前技术人员对起爆流程检查不少于 3 次;爆破工程师对起爆器、起爆网路等技术指标确认不少于 2 次;现场备用一台起爆器,主设备故障时及时切换,保障起爆顺利。

4 爆破安全设计

4.1 爆破振动校核

爆破振动是影响周边建构筑物安全的主要有害效应。依据《爆破安全规程》GB6722-2014,结合本工程环境特点,所有建筑物安全允许振速按 2cm/s 控制。采用公式 $V = k(Qm/R)^{\alpha}$ 反算单次爆破允许最大装药量 $Q_{\max}$,工程围岩为 III-V 级软岩,按规范选取 α 、 k 值, m 取 $1/3$ 。

计算表明:E 断面盾构隧道爆破距 11 号线右线最近距离 5.3m 时,最大允许单段药量 0.87kg。本工程采用数码电子雷管,单孔单响,最大单段药量 0.6kg,小于允许值,不会对 11 号线盾构隧道造成不利影响^[4]。

4.2 安全注意事项

合理选取爆破参数,精准控制钻孔孔距、排距、方向及深度;严格执行单孔装药量,严禁超装,施工前通过试爆优化参数;扩大安全警戒范围,确保人员、机械撤离至安全区域;采用毫秒延时起爆网路,严控最大单段起爆药量,合理布设起爆点与传爆方向,降低振动与飞石风险。

5 监控量测

5.1 爆破振动监测

5.1.1 仪器设备

采用中国科学院成都测控研究所生产的 TC - 4850 高精度爆破测振仪,设备具备轻便、防水防尘、耐压抗冲击、精度高、适用性广等特点,支持现场参数设置,数据采集准确。配套分离式振动传感器,可测量微振与强振;资料处理采用该所 Blastingvibrationanalysis5.0.0 版专用软件,可精准分析振动速度、幅值与频率。

5.1.2 监测施工

监测点布设满足人员可到达、无积水杂物、便于设

备安放的条件。监测点位布置于爆破点南北侧最近需保护建筑物及地下结构处。本工程共设置 3 个测振监控点,地面以上点位由第三方监测单位于每次爆破前及时安装设备并实施监测^[5]。

5.1.3 监测数据的判别与分析

按国家规程及本项目安全标准,以允许振速 2cm/s 的 80% (即 1.6cm/s) 作为警戒值。每次监测后及时分析数据,判定施工安全性并提出优化建议,数据实时通报总包单位。若监测值达到或超过警戒值,立即调整爆破参数,优化施工方案。

6 应急预案

本工程爆破施工应急预案执行《广州火车站暗挖施工专项应急预案》相关要求,爆破施工专项应急联动内容执行《广州火车站北端风亭风井及风道爆破施工专项方案》应急章节。预案覆盖爆破施工各类可能突发情况,明确应急响应流程、责任分工与处置措施,为施工安全提供全面保障。

结语

广州火车站北端风亭暗挖风道 E 断面试爆方案,充分结合工程周边复杂环境、地质条件及既有地铁线路保护要求,经科学合理设计与严格规范施工,确保试爆工作安全、有序完成。试爆过程中对爆破振动、声响等关键指标的实时监测与系统分析,为后续正式爆破施工提供了完整可靠的技术参数与实践依据。同时,本项目建立的安全设计体系、全过程监控量测体系及专项应急预案,有效降低了爆破施工风险,保障了周边建构筑物、地下管线及既有地铁线路的运营与结构安全。

后续施工中,应持续强化动态监测,根据地质与现场条件进一步优化爆破参数,严格执行联动管控与安全操作规程,确保工程平稳高效推进,为广州市轨道交通十一号线顺利建成奠定坚实基础。

参考文献

- [1] 张庆松,李术才,许振浩.临近既有隧道爆破振动控制与防护技术研究[J].岩土工程学报,2019,41(S1):186-189.
- [2] 陈卫忠,谭贤君.城市密集建筑群下隧道爆破施工技术优化[J].土木工程学报,2020,53(06):98-105.
- [3] 李建军.临近运营地铁隧道小药量微差爆破施工技术[J].施工技术,2021,50(08):76-79.
- [4] 黄明健.城区暗挖隧道爆破减振措施及监测分析[J].铁道建筑技术,2020(09):45-48.
- [5] 赵勇.地铁附属风道暗挖爆破参数优化与安全管控[J].城市轨道交通研究,2022,25(03):156-159.