

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.12.042

电力隧道盾构区间基岩预处理爆破施工技术研究

罗青松, 桑中顺

(中国市政工程中南设计研究总院有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 以电力隧道盾构施工为研究对象, 针对复合地层内开挖断面局部存在高强度基岩、盾构自身刀具无法有效破岩施工的难点, 且在施工线路周边存在现状民用建筑的情况下, 通过采用预爆破处理方案解决了盾构施工中基岩顶进困难的问题, 方案中的爆破剂量、间距、起爆网路和安全防护措施保证了爆破施工的安全, 并减少施工过程中的风险。

关键词: 预爆破; 盾构; 减振; 基岩

中图分类号: U455.6 文献标志码: B 文章编号: 1009-7716(2020)12-0154-05

1 工程概况

该项目南起于荔林公园旁 220 kV 欢乐变电站, 下穿牛蜞水库, 侧穿高压电塔及太子山庄小区围墙, 北至南山党校旁新建终端站, 从 2 号风井接收井吊出。线路总长为 400.087 m, 该项目区间隧道南起于荔林公园旁 220 kV 欢乐变电站, 下穿牛蜞水库, 侧穿高压电塔及太子山庄小区围墙, 北至南山党校旁新建终端站, 需处理区域为 K0+180 ~ K0+199.8, 区间长度约为 19.8 m 以及 K0+278 ~ K0+303 区域, 区间长度约为 25.0 m。盾构隧道平面位置如图 1 所示。



图 1 盾构隧道平面布置图

1 号爆破点为盾构区间基岩爆破点, 爆破区域东、南、西、北方向 100 m 内均为荔枝园林地。1 号爆破点为盾构区间基岩爆破点, 爆破区域东、南、西、北方向均为荔枝园林地, 西面距离 36 m 为太子山庄, 其它方向无被保护的建筑物。爆区内无需被保护的管线。2 号风井接收井为基坑控制爆破点, 爆破区域东南面为荔枝园林地、西面 79 m 为太子山庄、北方向最近为 13.5 m 为变电站铁塔

基础。

2 工程地质

该工程范围内自上而下分布有: ①素填土; ②粉质黏土; ③砾质黏性土; ④₋₁ 全风化黑云母花岗岩; ④₋₂ 强风化黑云母花岗岩; ④₋₃ 中风化黑云母花岗岩; ④₋₄ 微风化黑云母花岗岩; 地层分层及岩性见表 1。

表 1 地层分层及岩性

地层编号	岩土名称	地层描述
①	素填土	黄褐、褐灰色, 主要由黏性土、砂粒、碎石组成, 表层含植物根系, 稍湿, 松散, 堆填年限约 5 ~ 10 a, 属新填土, 均匀性一般
②	粉质黏土	褐黄、砖红色, 以粉粒及黏粒为主, 稍有光泽, 干强度及韧性中等, 湿, 可塑状, 局部含少许砂粒
③	砾质黏性土	砖红、灰黄色, 由下伏黑云母花岗岩风化残积而成, 干强度及韧性中等, 干钻易钻进, 岩芯呈土柱状, 稍湿, 可塑 ~ 硬塑状, 水浸软化
④ ₋₁	全风化黑云母花岗岩	灰黄、灰褐色, 原岩结构已基本破坏, 尚可辨认, 具残余结构强度, 稍湿, 硬塑, 岩芯呈坚硬土柱状, 含较多砂粒, 浸水易软化崩解
④ ₋₂	强风化黑云母花岗岩	灰黄、灰白色, 原岩机构已大部分破坏, 风化裂隙很发育, 手捏有砂砾感较强, 岩芯呈坚硬土柱状, 底部为半岩半土状
④ ₋₃	中风化黑云母花岗岩	褐黄色、灰白色, 细粒花岗结构, 块状构造, 矿物成份以长石、石英为主, 部分云母及少量暗色矿物
④ ₋₄	微风化黑云母花岗岩	灰白色夹黑色斑点, 细粒花岗结构, 块状构造, 矿物成份以长石、石英为主, 部分云母及少量暗色矿物。裂隙不发育。岩芯呈短柱 ~ 长柱状, 锤击声较脆。岩质较硬, 岩体较完整, 质量等级为Ⅲ。质量指标 RQD 为 85, 其等级属“较好”

收稿日期: 2020-03-25
作者简介: 罗青松(1981—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事市政结构设计工作。

底层分布具体如图 2 所示。

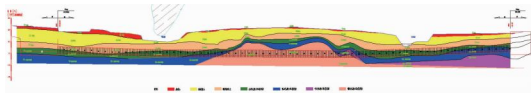


图 2 盾构隧道地质纵剖面图

3 爆破施工方案

3.1 爆破区域情况

根据地质勘探资料显示，作业环境内存在基岩突起(或球状风化体)侵入洞身段,拟采用自地面钻孔预裂爆破处理^[1,2],区间内基石突起(或球状风化体)^[3,4]侵入洞身段分布情况见表 2。

表 2 基石突起侵入洞身段分布情况

序号	区间	起止里程	长度 /m	备注
1	电力隧道	K0+180 ~ K0+199.8	19.8	
2		K0+278 ~ K0+303	25.0	
合计			44.8	

该工程需爆破处理隧道埋藏深度为 19 m,见岩深度为 19~25 m 以下,拟处理岩层厚度 0~6.0 m。岩层主要为中、微风化黑云母花岗岩,需处理区间长度为 44.8 m,爆破总方量约为 2 000 m³。2 号接收井基坑底部 14 m 下存在约 1 500 m³ 岩石需要爆破,平均厚度约为 6 m。

3.2 盾构区间基岩预处理爆破

采用深孔控制爆破预处理的方式，对已探明存在基岩突起的区域采用地面钻孔，对侵入盾构区间洞身范围内岩石进行爆破，使岩石成为单边长度小于 30 cm 的碎块。单次起爆规模不大于 4 排孔,炸药单耗不大于 3.5 kg/m³。

3.3 基坑爆破

基坑采用浅孔台阶控制爆破，爆破体覆盖防护方式,炮孔压沙包+炮被+沙包,在基坑顶部设置钢板进行全覆盖防护。采用毫秒导爆管雷管延期起爆网路方式,每次爆破两排孔,最多不超过 5 排,单孔单响,采取控制爆破振动及飞石,并根据爆破振动实时监测数据调整爆破参数，确保施工安全。

3.4 凿岩机具及爆破器材的选取

结合该工程的特殊性以及现有的机械设备和技术力量，盾构区间基岩预处理爆破决定采用潜孔钻跟管钻机进行钻孔。钻孔孔径均为 110 mm，下直径 90 mm 的 PVC 套管。基坑岩石爆破采用风动凿岩钻机钻孔,钻孔直径为 42 mm,装 32 mm 直径乳化炸药。

为了便于施工和准确控制钻孔方向，具备钻

孔条件的采用垂直钻孔形式，有障碍物影响的钻斜孔。

根据爆破规模及岩石特性,拟选用 2 号岩石乳化炸药作为主起爆药,标准直径为 $\phi 32$ 及 $\phi 60$ mm,起爆雷管选用 15~25 m 非电雷管,具体根据现场的需要加工,需用爆破器材见表 3。

表 3 需用爆破器材表

器材名称	类别及规格
起爆器材	激发针
雷管	雷管(1~15 段)
炸药	2 号岩石防水乳化炸药爆速不小于 3 200 m/s

3.5 爆破参数设计和装药量计算

(1)孔径:钻孔孔径为 110 mm,下直径 90 mm 的 PVC 套管;

(2)炸药单耗确定:根据现场的施工条件及类似的爆破施工经验,炸药单耗暂定 $q=3.5$ kg/m³;

(3)钻孔参数:孔距 0.4~0.6 m,0.4~0.6 m,采取梅花形布孔;

(4)单孔装药量:根据 $Q=q \cdot a \cdot b \cdot H$ 确定,单孔最大装药量为 3.6 kg;

(5)单段起爆最大药量:根据被保护建筑物情况,单段起爆最大药量不大于 1.2 kg;

(6)试爆:施工前先进行试验爆破(在 5 个环形炮孔中选择一个中间孔装药进行试验爆破),根据现场爆破效果、振动情况,优化调整爆破参数,确定炸药单耗,指导后续爆破施工。

在爆破作业过程可参照上述数据试爆后,针对具体情况调整爆破参数。爆破作业参数见表 4 和表 5。

表 4 球状花岗岩装药参数表

岩石体积 /m ³	0.2	0.5	0.8	1.0	1.5	2	3	4	5
装药量/kg	0.70	1.75	2.8	3.50	5.25	7.0	11.5	14.0	17.5

表 5 基岩突起装药参数表

岩石厚度 H/m	超深 h/m	孔距 a/m	排距 b/m	入岩孔长 L/m	单耗 / (kg·m ⁻³)	单孔装药 Q/kg	装药形式
1.0	0.5	0.4	0.4	1.5	3.5	0.8	连续
2.0	0.5	0.4	0.4	2.5	3.5	1.2	连续
3.0	0.6	0.5	0.5	3.6	3.5	2.4	分 2 层
4.0	0.6	0.5	0.5	4.6	3.5	2.4	分 2 层
5.0	0.8	0.6	0.6	5.8	3.5	3.6	分 3 层
6.0	0.8	0.6	0.6	5.8	3.5	3.6	分 3 层

其中孔底 0.5m 范围由竹竿支撑,不装药。

3.6 基坑爆破参数设计

(1) 基坑断面尺寸

2 号风井断面尺寸 21 m×23 m。从上至下开挖,开挖深度为 21 m,15~21 m 范围有约 6 m 厚岩石需要爆破。

(2) 炮孔布置

钻孔直径 42 mm,炮孔平面布置成梅花型,垂直钻孔,使用管状乳化炸药, $\phi 42$ 钻孔控制爆破参数见表 6。

表 6 $\phi 42$ 钻孔控制爆破参数表

H/m	W/m	h/m	a/m	b/m	L/m	l/m	l'/m	Q/kg
1.0	0.8	0.4	1.0	0.8	1.4	0.4	1.0	0.40
2.0	1.0	0.6	1.3	1.1	2.4	1.2	1.2	1.2
3.0	1.1	0.6	1.3	1.2	3.6	2.3	1.3	2.3
4.0	1.2	0.7	1.4	1.3	4.7	3.3	1.4	3.3

注:单位长度装药量 1.0 kg/m。

(3) 光面爆破

沿开挖轮廓线钻孔,钻孔直径 42 mm,超深 0.2~0.3 m,钻孔深度 $L=(H+h)/\sin\alpha$,孔距 0.4~0.5 m,光爆层厚 0.6~0.8 m,回填 0.5 m,线装药密度 $q_{\text{光}}=150 \text{ g/m}$,单孔装药量 $q=L\times q_{\text{光}}$ 。

(4) 炸药单耗 q 的选取

炸药单耗初步选取: $\phi 42$ 浅孔 $q=0.35\sim 0.5 \text{ kg/m}^3$ 计算,爆破前进行试爆,根据爆破效果再调整参数,以达到最佳。

(5) 单孔装药量的计算

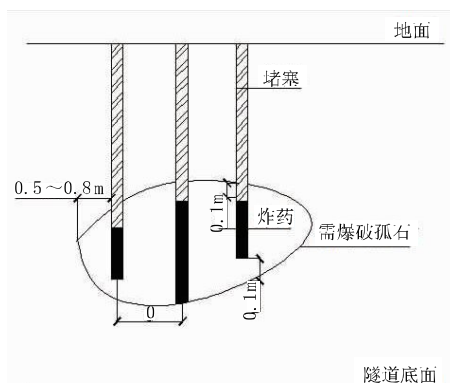
单孔装药量为: $Q=q\times a\times b\times H$ 。

前排孔有较好临空面时药量比主炮孔减少 10%,后一排孔药量比主炮孔增加 10%。

3.7 布孔形式与装药结构

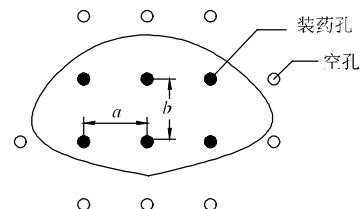
(1) 盾构区间孤石体爆破

因孤石厚度不均,但是考虑到测量以及药包吊装过程中产生的误差(误差累计不得超过 10 cm)。因此,如图 3 所示,孤石爆破时,当单孔单体爆破时装药长度与岩石厚度相同,多孔单体爆破时,相邻两个炮孔,其中一个炮孔钻至孤石底面(即钻穿),装药至炮孔底部,孤石顶面留 10 cm 不装药;其邻孔孔底距离孤石底面 10 cm,装药至炮孔底部,孤石顶面留 10 cm 不装药。钻孔时,先找出孤石边界(即以设计参数中的孔间距向外扩展钻孔,直至钻出的孔内没有岩石为止,则可确定孤石的边界),从边界开始进行爆破,一点一点内推进。采用矩形或梅花桩形,如图 4 所示。



其中: a 为孔距, b 为排距

图 3 球状花岗岩爆破装药结构示意图



其中: a 为孔距, b 为排距

图 4 球状花岗岩爆破布孔平面示意图

(2) 盾构区间基岩爆破

由于基岩埋深较深,从而导致其爆破破碎难度较大,为了便于施工及爆破破碎效果,采取首先对前排孔进行爆破,然后利用前排爆破挤压周围土层产生的自由面,再对后排孔进行逐个起爆。施工时,首先选择两端和中间岩石较薄的地方开始钻孔,然后逐步向后推进。采用矩形或梅花桩形布孔,装药炮孔间排距均为,钻孔间距 0.4~0.6 m,装药孔间距 0.8~1.2 m(隔孔装药),中间部分孔不装药,做减振孔使用和增加破碎效果。钻孔超深 0.4~1.0 m,装药深度比基岩厚度深约 0.5~0.8 m。

具体钻孔装药结构如图 5~ 图 8 所示。

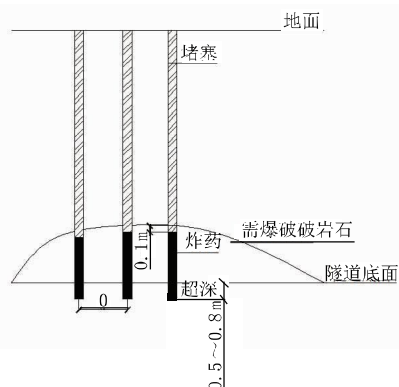


图 5 厚度 1.0 m 基岩爆破装药结构示意图

(3) 基坑岩石爆破

基坑岩石爆破采取台阶式浅孔爆破,梅花形或矩形布孔,均采用垂直钻孔。布孔形式如图 9 和图 10 所示。

5 安全防护措施

(1) 飞石控制防护

盾构区间基岩爆破由于药包位于地下 19 m 以下,地下爆破不会有飞石产生,只有在爆破后产生的高压气体会将炮孔内的泥浆压出孔外,为了防止涌出的泥浆飞溅,爆破作业时,采取沙包+钢板+沙包的联合防护体系,如图 12 所示。

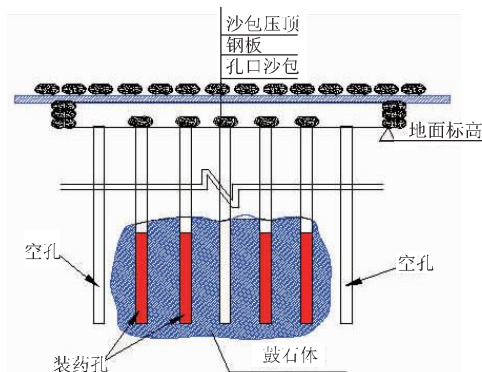


图 12 盾构区间基岩爆破防护示意图

基坑爆破安全控制除了控制爆破震动外,爆破飞石的控制尤为重要,进行爆破时,除在井口设置全封闭钢板防护外,在爆破体表面采用覆盖胶皮及沙包的防护措施。具体为:在爆区表面覆盖由废旧轮胎编制的重型炮被,孔口再压砂包,覆盖防护网,可保证爆破飞石不飞出基坑围墙。具体如图 13 所示。

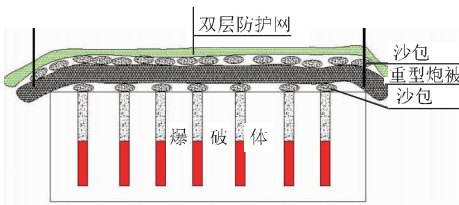


图 13 基坑爆破爆破体防护示意图

(2) 减振措施

在距离太子山庄较近处施工时采取钻 2 排减震孔的措施进行减震,确保建筑物结构安全。减震孔间距 1.0 m,排距 0.6 m,按梅花形布孔,每排孔设置 15 个,共设置减震孔 30 个。

6 爆破振动监测

(1) 每次爆破都要进行振动监测,由有资质的第三方爆破监理单位负责,根据监测结果调整、确定最佳参数。施工中确定最小抵抗线方向,避免直接面向保护物,控制单响药量及单耗,保证填塞质

量和高度,进行爆破体表面覆盖防护。爆破振动监测采用三矢量振动速度传感器、低噪音屏蔽电缆、TC-4850 型便携式测振仪和计算机组成的监测系统。测试系统如图 14 所示。



图 14 测试系统

(2) 分析处理系统

分析处理系统如图 15 所示。

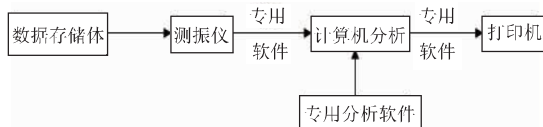


图 15 分析处理系统

(3) 现场监测与信号处理过程

现场监测与信号过程如图 16 所示。

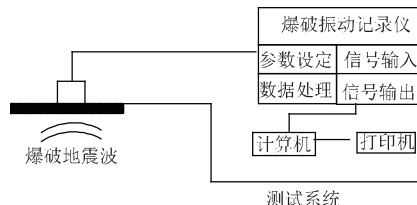


图 16 现场监测与信号处理过程

(4) 测振点布置在爆点周边建筑物处。

7 结 语

电力隧道盾构施工,基岩爆破施工是一项关键的施工步骤,是保证盾构顺利通过的技术重难点。保障盾构顺利通过采取预爆破和监测相互结合。实践表明对基岩采取预爆破处理方案,对爆破剂量、间距、起爆网路和安全防护措施的有效控制,解决了盾构在基岩中通过困难问题,并且提高了工效。目前该段盾构已经顺利通过,监测显示现状房屋各项指标符合规范的要求。本案例的成功实施为后续施工提供了经验,对于同类工程具有借鉴参考意义。

参考文献:

- [1] 梁奎生.台山核电海底泥水盾构隧洞基岩及风化孤石地层深孔爆破技术研究与应用[J].中南大学学报,2012(9):10-16.
- [2] 游永锋,梁奎生.盾构法施工海底隧道孤石及基岩侵入爆破施工风险分析[J].隧道建设,2012,32(2):31-36.
- [3] 竺维彬,鞠世健.地铁盾构施工风险源及典型事故的研究[M].广州:暨南大学出版社,2009.
- [4] 刘建国.深圳地铁软硬不均复杂地层盾构施工对策[J].现代隧道技术学报,2010,47(5):79-83.