

复杂环境条件下隧洞机械施工技术研究

胡 洪 鑫， 刘 金 平， 刘 毓 川

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 都江堰 611830)

摘 要:针对目前隧洞施工环保、施工安全等要求的提高,介绍了毗河工程中采用掘进机和传统爆破施工方式具有的优缺点以及采取的有效措施。

关键词:机械开挖;现场施工;优缺点;毗河供水一期工程

中图分类号:TV7;TV554;TV52 文献标识码: B 文章编号:1001-2184(2020)01-0054-05

Study on Mechanical Construction Technology of Tunnel
under Complex Environment

HU Hongxin, LIU Jinping, LIU Yuchuan

(Sinohydro Bureau 10 Co., Ltd, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

Abstract: Aiming at the current situation of improving the requirements of environmental protection and construction safety in tunnel construction. This paper introduces the advantages and disadvantages of the tunneling machine and the traditional blasting construction method used in the Pihe Project, as well as the effective measures taken.

Key words: mechanical excavation; site construction; advantages and disadvantages

1 概 述

为了减少传统爆破施工对周围环境和居民生活环境的影响及破坏,掘进机等先进的机械开挖变成了隧洞开挖的主流。随着其应用范围的扩大和市场要求的提高,掘进机技术取得了重大突破,尤其在全岩掘进方面有了质的飞跃。

毗河供水一期工程新生水库灌区终期灌溉面积为 30.76 万亩(1hm²=15 亩),根据该灌区耕地呈单面坡分布的特点,渠线只能穿越低矮山脊并通过侵蚀地布置。该片灌区渠系工程由新生水库(正常蓄水位高程 400 m)、新安分干渠与 6 条支渠及已成新生水库的左、中、右三条渠道组成。其中一期工程中的新安分干渠长沟隧洞(总长度为 3 886 m)为新生灌区的关键线路。

长沟隧洞穿越山脊、山嘴和垭口与沟间山体,地层为白垩系上统灌口组(K2g)、下统白龙组(K1b)和苍溪组(K1c),侏罗系上统蓬莱镇组(J3p)和遂宁组(J3s)地层,岩性为砂岩和粉砂质泥岩互层,除局部砂岩属中硬岩外,其余属软岩~

较软岩。

经过现场实际勘察、走访附近群众,对该地区以往工程情况进行了解后,项目部聘请了西南交通大学专家进行了咨询,决定采用掘进机进行机械性开挖施工。

2 掘进机在开挖过程中具有的优势

2.1 爆破震动影响

该工程引水隧洞埋深最小为 3 m,不足一个洞径,最大埋深 30 多 m,平均埋深基本为 20 m 左右,属浅埋式隧洞。地表多为柏树林覆盖,绿化效果好。隧洞轴线附近居民集中,隧洞从 19 户居民住宅、3 座鱼塘下部穿过,鱼塘底部距离洞顶的厚度仅为 8 m。同时,距离洞顶 14 m 位置有一根 D813 天然气管道穿越该隧洞。

在如此环境中,传统的爆破方式控制震动极为复杂,居民的土坯房难免在受到震动后会出现开裂等现象。针对这种情况,项目部根据现场土坯房、燃气管道等相关建筑物距离进行了爆破计算分析,计算结果如下:

(1)公式的确定。

根据《爆破安全规程》(GB6722—2014)P42

中 13.2.4(1)式 $R = (K/V)^{1/a} Q^{1/3}$ 倒推,采用公式 $Q = R^3/(K/V)^{3/a}$ 进行计算。式中 Q 为炸药量,齐发爆破为总药量,延时爆破为最大单段药量,kg; R 为爆破振动安全允许距离,m; K,a 为与爆破点至保护对象间的地形、地质条件有关的系数和衰减系数,应通过现场试验确定;无现场试验数据的条件下,可参考表 1 选取; V 为保护对象所在地安全允许质点振速,cm/s^[1]。

(2)参数的选取。

K,a :根据现场实际情况,因岩石强度较高,经所测试验数据判定(表 2)岩石岩性属于“中硬岩石”,因此,参考表 1(岩性中硬岩石)取值;同时,为进一步降低震速以保证燃气管道、土坯房安全,取 $K=150,a=1.5$ 。

V :由于现场房屋破旧、燃气管道等级高,该工程参考表 2 取值;该隧洞保护对象按序号 1“土窑洞、土坯房、毛石房屋”考虑,属于地下浅孔爆破,频率范围 $f>50\text{ Hz}$, V 取值为 $0.9\sim1.5\text{ cm/s}$ 。为进一步降低震速以保证人员财产安全,该工程采用 $V<0.9\text{ cm/s}$ 控制。

表 1 爆区不同岩性 K,a 值表

岩性	K	a
坚硬岩石	50~150	1.3~1.5
中硬岩石	150~250	1.5~1.8
软岩石	250~350	1.8~2

(3)最大允许单段药量计算。

根据以上公式取值,针对不同的爆破施工区域距离天然气管道的距离计算出理论最大允许单段药量(表 3)。

由计算结果可以看出:距离土坯房和燃气管道超过 90 m 后才能实施正常的爆破作业。可见,在保证安全的前提下,爆破作业方案基本上不能满足正常施工进度。而掘进机机械开挖震动的影响范围不足 1 m,具有明显的优势。

2.2 施工噪音影响

《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB12523-2011 明确要求:昼间不大于 70 dB(A),夜间不大于 55 dB(A)。而爆破施工要控制到该标准以下必须在震源或是传播途中采用隔音设施进行防护,防护工程量大,拆装不便,防护投入高。采用掘进机施工噪音极低,几乎对周边群众的生产生活不产生影响。

2.3 对施工人员及设备的安全影响

表 2 爆破振动安全允许标准表

序号	保护对象类别	安全允许质点振动速度 $V/\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$		
		$f\leq 10\text{ Hz}$	$10\text{ Hz}<f\leq 50\text{ Hz}$	$f>50\text{ Hz}$
1	土窑洞、土坯房、毛石房屋	0.15~0.45	0.45~0.9	0.9~1.5
2	一般民用建筑物	1.5~2	2~2.5	2.5~3
3	工业和商业建筑物	2.5~3.5	3.5~4.5	4.2~5
4	一般古建筑与古迹	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.5
5	运行中的水电站及发电厂中心控制室设备	0.5~0.6	0.6~0.7	0.7~0.9
6	水工隧道	7~8	8~10	10~15
7	交通隧道	10~12	12~15	15~20
8	矿山巷道	15~18	18~25	20~30
9	永久性岩石高边坡	5~9	8~12	10~15
10	新浇大体积混凝土(C20)			
	龄期:初凝~3 d	1.5~2	2~2.5	2.5~3
	龄期:3~7 d	3~4	4~5	5~7
	龄期:7~28 d	7~8	8~10	10~12

注:(1)爆破振动监测应同时测定质点振动相互垂直的三个分量;
(2)表中质点振动速度为三个分量中的最大值,振动频率为主振频率;

(3)频率范围根据现场实测波形确定或按如下数据选取:硐室爆破 f 小于 20 Hz,露天深孔爆破 f 在 10~60 Hz 之间,露天浅孔爆破 f 在 40~100 Hz 之间;地下深孔爆破 f 在 30~100 Hz 之间,地下浅孔爆破 f 在 60~300 Hz 之间。

2.3.1 隧洞开挖施工安全

掘进机采用切割式开挖,对岩石进行切削,尤其是在裂隙较发育的岩层中,掘进机切削基本对岩石无扰动,短进尺后,岩石基本可以保证在支护前的稳定可靠状态,对施工人员和设备运行安全都有良好的保证。

而采用传统的爆破方式开挖会导致裂隙发育、围岩扰动、掉块现象严重,每槽炮完成后,施工人员都需要冒险进行“敲帮问顶”工作,危险性极大,加之施工人员对扰动危石的判断仅能依靠经验和眼观,不能做到 100% 的排除。该工程附近类似引水工程就出现过两起工人排险后危石掉落砸人的安全事故。

2.3.2 职业健康安全

众所周知:传统的爆破开挖炸药是关键。但是,炸药爆炸在释放能量的同时也会产生一些有

表 3 理论最大允许单段药量表

项 目	数 据							
距离 R /m	40	50	60	70	80	90	100	200
单段药量 Q /kg	2.3	4.5	7.8	12.4	18.4	26.2	36	288

毒气体,如果处理不当,就会使操作者中毒,危害操作者的健康和生命安全^[2]。长期以来,如何避免中毒事故一直是安全生产的一大难题。因为这些有毒气体的产生和中毒事故的发生是炸药的质量、爆破条件、操作方法综合作用的结果。要解决这个问题需要对以上的影响因素进行深入系统的研究,不但需要高质量的炸药,而且要研究合理的使用方法,同时还要培养一支既有责任心,又懂炸药爆炸原理、性能和爆破技术的复合型爆破技术人员和操作者。

(1)炸药的有毒气体。现代混合炸药主要为有机和无机的硝胺(铵)化合物、硝基化合物和各种含碳化合物,如纤维、烃类以及碱金属和作为消焰剂的无机盐类,如碱金属氯化物等。此外,还有氯酸盐炸药和含硫炸药。这些炸药爆炸时,生成CO、N₂O₃、NO、H₂S和少量的其它有害气体^[3]。

(2)产生有害气体的原因。产生有害气体的原因有很多种。其一,乳化炸药的防水塑料包装在爆炸燃烧作用下生成CO,这些可燃物起到了改变炸药氧平衡的作用。炸药中碳氢比的数值越大,爆炸后生成CO的量越多;其二,有时反应不完全,爆炸产物偏离所预期的结果,产生了较多的有毒气体。

(3)有毒气体对人体的毒害。CO经呼吸道进入肺内,通过肺泡侵入人体血液后生成血红蛋白,由于血红蛋白对CO的亲合力比对氧的亲合力大250~300倍,故人吸入CO后就会减少血液的输氧能力,使人体的各部分组织细胞产生严重的缺氧现象。

NO₂是呈红褐色且有特殊气味的气体,对人体的毒性主要是影响人的呼吸深部。进入肺泡后,慢慢的和肺泡内饱和水作用,反应成硝酸和亚硝酸,对支气管和肺组织产生强烈的刺激和腐蚀,致使肺水肿。它比CO的毒性大6.5倍。

另外,当NO₂与CO同时存在时,毒性更强。据对爆破炮烟实测得知,往往是CO、NO₂共存,所以炮烟中毒比单一的CO、NO₂中毒更加严重。

由此可见,炸药爆炸产生有毒有害气体是不

可避免的,其直接危害着操作者的健康和生命安全。

掘进机工作产生的有毒有害气体几乎为零,降尘措施采用旋转喷雾降尘,降尘机器固定在掘进机机身上,该装置简单、轻便,与掘进机配套安装使用特别方便,旋转喷雾产生水幕,将粉尘和操作人员隔开,实测降尘效果高达93%;同时,操作人员佩戴“3M”高效防尘面具,该面具采用5N11滤棉+6001滤毒盒,对操作人员起到双重防护。在对操作人员身体状况进行两年时间的体检跟踪取得的结果表明:各项指标均正常。

2.4 开挖质量影响

2.4.1 地质原因引起的超挖

传统的爆破施工岩石受到炸药的瞬间气体膨胀而开裂达到破碎岩石的目的。光面爆破是周边眼同时起爆,各炮眼的冲击波向四周径向传播,相邻炮孔的冲击相遇产生的应力波相叠加^[4]而产生纵向拉力将岩石拉裂,从而在相邻炮孔中间形成一道“切割缝”,随后炸药的爆破余量沿“切割缝”将岩石分开达到光面爆破的效果。但这些理论在实践中却存在巨大的困难。查阅相关的资料图片可以看出:光面爆破取得巨大成功的前提基本上都是致密的花岗岩、大理石,而在层状分布或节理发育的岩石中取得好的光面爆破效果的少之又少。笔者对该工程中隧洞出现的层状分布岩石进行了分析(图1),该项目位于川中地区,隧洞岩石基本为泥岩、砂岩、粉砂质泥岩、黏土等,水平状分层,且以中厚层为主,经过地震等自然影响,部分层间夹有新鲜的填充物并伴随着渗水,层间结合力差。每个掌子面分布有十多条明显的岩层界线,这种情况下,光面爆破存在很大的障碍:当两个周边孔跨越岩层分界线时,理论上的最小抵抗线就会根据实际情况发生改变,从而导致边墙超挖,严重的部位超挖达20cm(图2、3、4)。

2.4.2 施工工艺引起的超挖

传统爆破掘进开挖中的第一项工作是钻孔施工,钻孔受手风钻、煤电钻、凿岩台车等机械

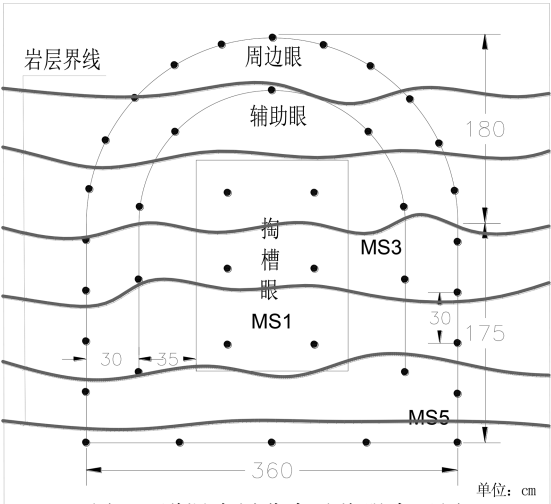


图 1 隧洞岩层分布及炮眼布置图

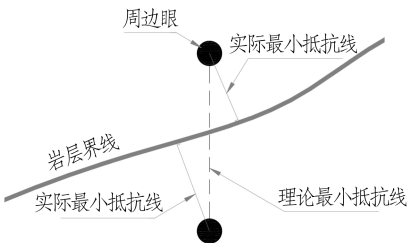


图 2 周边孔和岩层界线关系图

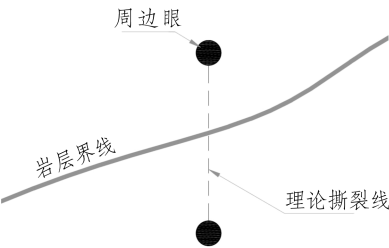


图 3 理论爆破后的效果图

设备驱动装置的影响, 钻杆不能完全和开挖线重合, 必须有一定的外插角度, 一般而言, 小型钻机具外侧预留宽度为 5 cm 以上, 大型设备的预留宽度为 10~15 cm, 故传统爆破开挖后的隧洞成型并不是规则的直线型洞壁, 而是锯齿状, 这也是施工过程中各方经常提到的定额中考虑了部分超挖量(图 5)的缘故。

在大断面引水隧洞施工过程中, 该部分超挖量的占比相对较小, 而在小断面引水隧洞开挖中其占比尤为明显。在该项目中, 该部分的超挖量占到了设计超挖量的 7.14%, 超填混凝土占到了

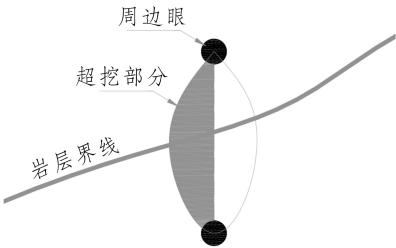


图 4 实际爆破后的效果图

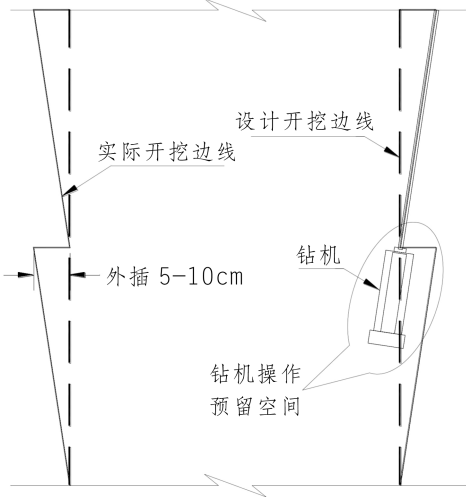


图 5 爆破隧洞钻孔平面图

设计混凝土的 15.78%, 因此, 传统的爆破开挖方式受工艺的影响巨大, 仅此一项, 该项目就多出了近 700 万元的投入。

而采用掘进机开挖, 在五台激光指向仪的引导下, 超挖几乎可以控制在 1 cm 以内, 其优势显而易见。

2.5 施工时间的影响

进入二十一世纪以来, 随着生活质量的改善, 人们对生活环境有了更高的要求, 地方政府也出台了相应的保护居民生活质量的文件, 例如, 要求居民集中区或学校附近不允许在夜间进行爆破施工; 高速路等专项设施附近也有明确的不允许进行爆破作业的要求, 导致传统的爆破作业方式受到的限制比较大。该项目在夜间 9:00 至早晨 6:00 之间不允许爆破作业。而掘进机的开挖不受这些外部条件的影响, 优势明显。

3 掘进机施工存在的不足

虽然掘进机技术不断发展、装备水平也在大幅度提升, 但对于城门洞型引水隧洞, 其使用还

存在一些不足之处。

3.1 隧洞底脚欠挖问题

由于掘进机的切割头直径达 40 cm,所以,在城门洞型引水隧洞开挖过程中,两个底脚会形成圆形欠挖部分,该部分欠挖如在支护前采用风镐或传统钻孔爆破方式进行处理,影响时间长且需耗费大量的人力物力,影响巨大;如在支护后的出渣过程中处理,操作人员的安全得不到保障。最

后,项目部根据现场情况决定,在底板开挖过程中,两个底脚紧贴洞壁再向下下刀开挖 20 cm,两侧欠挖的问题即得到解决,同时也形成了两侧的排水沟。但该方案在洞径小于 3 m 的隧洞中不适用,在其两侧开挖水沟后将会影响同行车辆的运行安全。因此,对于洞径小于 3 m 的隧洞欠挖问题还有待进一步研究(图 6)。

3.2 将开挖弃渣作为填筑料问题

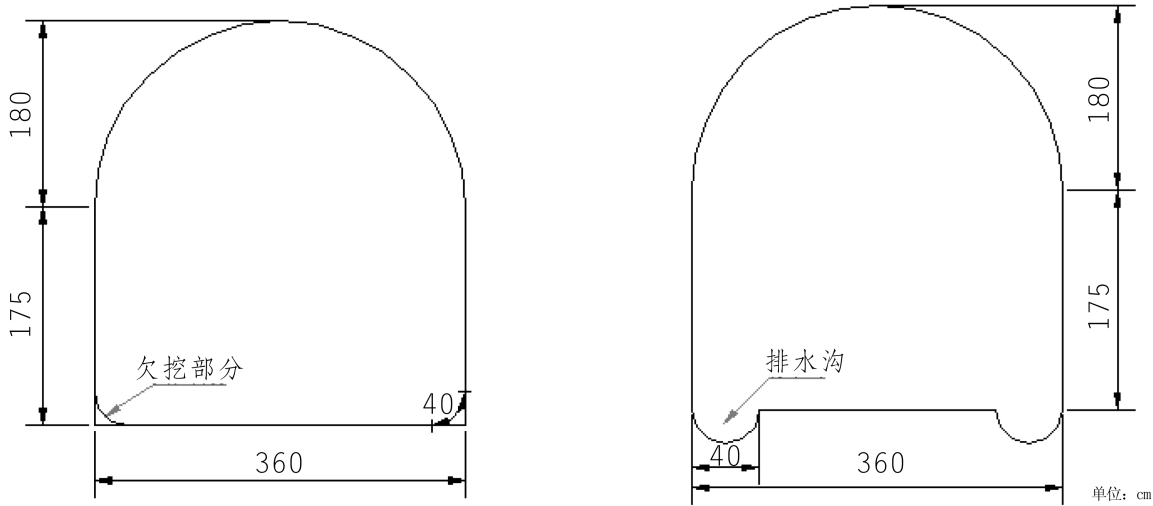


图 6 隧洞欠挖及排水沟典型平面图

引水工程需要考虑土石平衡问题。隧洞的开挖弃渣需用于填方渠道的填筑。但是,掘进机开挖弃渣级配达不到填筑料规范要求,究其原因主要是掘进机开挖采用截齿切割岩石,因截齿长度太小,所切割的岩石料成粉状。为了解决该问题,项目部与厂家一起进行了研究,将原来的 U95HDLR(88 mm)截齿换成了 U92HDLR(102 mm)截齿,长度上的增加,石渣的级配有了明显的改善,但是截齿不能无限制的加长,施工过程中还要根据岩石的强度以及填筑环境并结合实际情况进行试验确定。

4 结 语

小断面引水隧洞推广应用悬臂式掘进机,其技术成熟,经济合理。随着全岩掘进机的推出,掘进机在硬岩隧洞掘进方面也有了重大突破,掘进机技术的发展体现了计算机、新材料、自动化、信息化、系统科学等高新技术的综合和密集,也反映出了一个国家的综合国力和科技水平^[5]。

毗河供水一期项目经历了由半岩的采煤型掘进机到全岩型工程掘进机的发展过程,虽然经历

很艰辛,各个厂家的试验人员经过多种尝试,最终形成了今天的全岩掘进机,截止目前,全岩掘进机在施工过程中保证了工程进度,超欠挖控制满足设计要求,尤其是安全得到了强有力的保障。

参考文献:

[1] 郭春阳.别富含水深孔台阶爆破参数优化及应用[D].贵州:贵州大学,2018.

[2] 吴翠香.炸药爆炸产生的有毒气体对人体危害及对策[J].煤矿安全,2003,34(6):37—39.

[3] 常宪文,刘丽萍.煤矿爆破作业中有毒气体的危害及对策[J].内蒙古煤炭经济,2005,23(2):23—26.

[4] 孔令喜.光面爆破在平巷掘进中应用的方法探讨[C].中国有色金属学会,广西有色金属学会,云南省有色金属学会.2014(郑州)中西部第七届有色金属工业发展论坛论文集.2014:272—274.

[5] 李红卫.试述 ZSX127D 矿用钢绳芯输送带无损监测装置的应用[J].科技与企业,2013,2(16):287—288.

作者简介:

胡洪鑫(1976-),男,湖南双峰人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
刘金平(1985-),男,陕西西安人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作;
刘毓川(1989-),男,四川广安人,工程师,从事质量管理工作.

(责任编辑:李燕辉)