

毗河水利工程特小断面隧洞爆破施工技术研究

胡 欣， 郝 超， 唐仁兵， 肖 毅
(中国水利水电第十工程局有限公司，四川 都江堰 611830)

摘 要:针对毗河水利工程特小断面隧洞掘进时爆破效率较低和单位耗药量较高的具体情况,通过实施现场爆破试验,选取了较为合理的爆破参数和楔形掏槽方式,提高了特小断面隧洞爆破效率,取得了良好的工程效果。介绍了研究过程。
关键词:毗河;小断面隧洞;掏槽孔;爆破;施工技术
中图分类号:TV7;TV554;TV52 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2019)04-0016-03

Study on Blasting Construction Technology of Super Small Section Tunnel
of Pihe Water Conservancy Project

HU Xin, HAO Chao, TANG Renbing, XIAO Yi
(Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Dujiangyan, Sichuan, 611830)

Abstract: In view of the specific conditions of low blasting efficiency and high charge consumption in excavation of extra-small section tunnel in Pihe Water Conservancy Project, reasonable blasting parameters and wedge cutting methods are selected after field blasting tests, which improves the blasting efficiency of extra-small section tunnel and achieves good engineering results. The research process is introduced.
Key words: Pihe; small section tunnel; cutting hole; blasting; construction technology

1 概 述

四川省都江堰灌区毗河供水工程是都江堰水利工程的重要组成部分,是以灌溉、城镇供水为主,兼顾人畜用水和改善生态环境的民生工程。一期工程主要包括苟家滩引水枢纽、输水总干渠一期工程“渠首-朝阳水库”、新生水库充水渠、十里河水库充水渠、鲤鱼水库充水渠、乐阳干渠及灌区 15 条骨干渠系配套工程等,工程为Ⅰ等工程。

毗河供水一期工程第二施工分部隧洞开挖断面尺寸为 3.05 m×3.075 m 至 2.1 m×2.4 m 的长度为 20.88 km,属于特小断面隧洞,其中别家山隧洞开挖断面尺寸为 3.05 m×3.075 m,长度为 923.42 m,设计流量为 6.93 m³/s,隧洞比降为 1/1 000。由于隧洞断面小,给施工带来了极大的挑战,在小断面隧洞施工中,对隧洞的布孔、钻孔、爆破、除渣、风水电的布置都非常困难。在隧洞掘进过程中,爆破施工的效果与钻孔工作具有密切的关系,施工中炮孔的布置、角度、数目和深度都会影响炮孔的利用率^[1]、爆破后岩块的大小与其在隧洞中爆破石渣堆积分布情况以及隧洞的成型

效果等。由于支渠的引水隧洞较小,其围岩的夹持力较大,爆破时单耗药量较高,隧洞内活动空间小,布钻钻孔特别是钻孔角度控制困难。因此,对小断面隧洞中钻孔与爆破及爆破参数进行研究有利于提高施工效率,降低成本。

2 特小断面隧洞施工难点

在特小断面隧洞施工中,临建布置、钻孔、爆破、排烟、除渣、支护等都存在很多施工难点,施工中其中一项出现偏差都会造成开挖进尺少、炸药单耗偏高、隧洞工期延长并造成开挖质量降低。毗河引水工程特小断面隧洞施工具有以下施工难点。

- (1)由地质资料得知,该隧洞岩层基本为粉砂质泥岩,质地软、遇水易膨胀垮塌,地质条件较差,安全隐患大。
- (2)隧洞断面较小,工程措施选择有限,只能采用小型机械施工,机械化施工程度不高,进而制约了工程进度。
- (3)在隧洞开挖时,要严格按照“短进尺,弱爆破,勤量测,快封闭”等原则,确保隧洞的安全施工。
- (4)由于隧洞断面小,在开挖钻孔过程中对掏槽孔的布置和施工较困难,一般工况下,爆破出

较好的临空面具有一定的难度,因此,开挖进尺受到了限制并增加了耗材。

3 爆破设计及参数

正确选择掘进方案是资源配备的前提,也是各型隧洞开挖达到快速、安全、优质、高效、低耗目的的关键问题。施工时应根据该工程特点、断面大小、围岩性质、施工机具配制、爆破器材、施工队伍的技术水平选择最优的钻爆方案。同时,准确的钻孔、合理的装药结构和正确的起爆顺序是取得良好爆破效果的关键。毗河供水一期工程第二施工分部分别家山隧洞洞挖采用 $\varphi 42$ 钻头钻孔,孔深 1.5 m,楔形掏槽,边、顶拱进行光爆,毫秒雷管起爆,每循环有效进尺为 1.4 m。

3.1 循环进尺深度

隧洞采用 TY-28 气腿风钻钻孔,循环进尺深度 H 为 1.5 m 的浅孔全断面掘进和光爆成型的施工方案。

3.2 掏槽方式的选定

根据现场实际施工情况,先后采用了两种掏槽方式:中空孔五星掏槽和水平楔形掏槽。由于中空孔五星掏槽对钻孔质量要求高,布孔非常密集且起爆间隔时间难以控制,爆破时发生了“拒爆”和“压死”现象,导致掏槽失败,同时,由于掏槽孔和辅助孔非常密集,且因部分炮孔装药量大而造成炸药单耗居高不下(单耗达到 4.5 kg/m^3)。

为改进进尺不稳定、炸药单耗过高的实际状况,施工中采用了楔形掏槽方式,楔形掏槽的优点是对钻孔精度要求较低,施工人员容易掌握,爆破时对间隔时间要求不十分严格($50\sim 100\text{ ms}$),且比五星掏槽孔减少工作面钻孔数量 15% 左右。

在隧洞爆破采用楔形掏槽时^[2],掏槽孔与开挖面的夹角为 $60^\circ\sim 70^\circ$ 、掏槽孔孔距为 $20\sim 30\text{ cm}$,掏槽孔单排孔呈锥形(两孔孔底的间距为 $15\sim 20\text{ cm}$)时,掏槽孔的孔深比其它孔深 0.2 m。楔形孔略呈锥形时能够获得较理想的掏槽效果,可以获得理想的进尺,该掏槽方式其掏槽成功率高,不发生“拒爆”和“压死”现象。掏槽孔布置情况见图 1。

掏槽及底板孔按抛掷爆破设计,采用楔形掏槽方式,充分利用楔形掏槽的易抛掷特性用于减轻振动以保持围岩的稳定。其它炮孔采用浅孔微

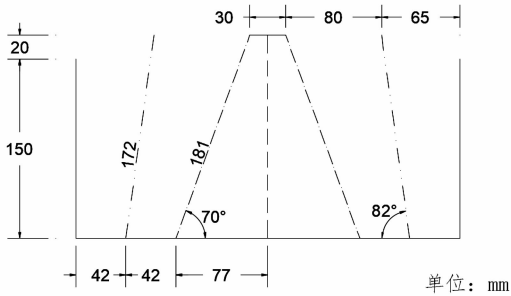


图 1 楔形掏槽孔布置示意图

振动控制爆破,在保证爆破效果的前提下,尽量减少炮孔的炸药用量。采用微差爆破技术,以减少爆破对围岩的扰动并降低振动强度。为控制开挖轮廓符合设计要求,对隧洞周边采用光面爆破。

3.3 炮孔布置与钻孔

(1)掏槽孔。掏槽孔一般布置在隧洞开挖断面的中部,对于小隧洞和围岩破碎的隧洞其掏槽孔应布置在中部以下,以避免由于掏槽孔药量较高、爆破时对隧洞起拱处产生破坏使隧洞顶拱出现失稳的情况。炮孔采用 $\varphi 42$ 钻头钻孔,掏槽孔的孔距取 30 cm,对称布置 6 个孔。掏槽孔采用非电毫秒雷管引爆 2# 岩石乳化炸药进行爆破,乳化炸药的卷状规格为 $\varphi 32\times 200\text{ mm}$,将爆破炸药单耗控制在 $1.43\sim 1.72\text{ kg/m}^3$ 。

掏槽孔的爆破是隧洞爆破成功与否的关键,应由熟练的风钻工操作并严格按照测量人员定出的中线、腰线、开挖轮廓线和测量人员布置的孔位钻孔作业。每排炮孔严格按“平、直、齐”的要求进行施钻与检查,做到炮孔的孔底落在一个垂直面上。为减少超挖,将周边孔的外偏角控制在设备所能达到的最小角度,光面孔及掏槽孔位的偏差不得大于 5 cm,其它炮孔位的偏差不得大于 10 cm。

(2)周边孔。在隧洞施工过程中,为获得较完整、平顺的开挖轮廓,降低爆轰波对周边洞壁的损伤,所有周边孔均采用光面爆破。周边孔的钻孔要求间距均匀、外插角符合爆破设计要求,炮孔相互平行,深度一致。

隧洞光面爆破孔的造孔深度为 1.5 m,光面爆破孔孔距视开挖轮廓线的曲率、围岩类别等确定,其间距确定为 $35\sim 45\text{ cm}$ 。

(3)线装药密度。周边光面爆破采用 $\varphi 22\sim 25$ 小药卷,采用导爆索串联间隔装药,不耦合系数不小于 2。将光面爆破周边孔线装药密度控制

在150~180 g/m,同时,根据施工现场围岩变化情况进行调整。

隧洞崩落孔的造孔深度为1.7 m,其间距为60~70 cm,采用 $\varphi 42$ 钻头钻孔,炮孔装 $\varphi 32$ 药卷并连续装药,乳化炸药药卷的规格为 $\varphi 32 \times 200$ mm。采用非电毫秒延期雷管引爆。

(4)堵 塞。炮孔口用炮泥条堵塞,炮泥条采用人工或炮泥机制作,炮泥条成分为泥土、砂和水,合理的重量百分比为土:砂:水=(70~80):(8~10):(13~20),泥条具有较好的柔软性,周边孔的封堵长度不小于30 cm。

(5)爆 破。爆破网路^[3]采用非电毫秒延期雷管分段,电雷管引爆非电毫秒延期雷管的微差爆破网路,分段由内(掏槽孔)向外(扩槽孔、崩落孔)、按由低到高的段位顺序进行,以保证起爆的可靠性和准确性。

导爆管联接时需注意导爆管不能打结和拉细,各把的导爆管数应均匀。引爆电雷管应放至各把导爆管中间并用黑胶布扎牢,将绑扎长度控制在10 cm以上。采用微差控制爆破、严格控制每段的装药量和段间延期时差以达到控制爆破振速的目的,最大限度地减小其对周边围岩的扰动和破坏。

3.4 钻孔要求

严格选择掏槽施工队伍并要求其熟练掌握楔型掏槽方式,掏槽孔最深处的孔间距离为0.2 m,按隧洞中线左、右对称布置。采用楔型掏槽孔时,爆破段数较少,以便于实现全断面一次爆破。由于隧洞断面小,掏槽孔钻孔时采用套钎钻孔(开口钎子的长度为1 m,随后使用较长的钎子)。

(1)测量放线。隧洞施工的测量采用全站仪,测量作业由专业人员实施,每槽炮后进行洞室中心线、设计规格线的测放并根据爆破设计参数布置孔位^[4]。在施工中严格按照测量人员定出的中线、腰线、开挖轮廓线和测量布孔实施造孔作业。技术人员现场检查以便及时发现和解决现场出现的技术问题。每排炮孔由值班技术员按“平、直、齐”的要求进行检查。

(2)钻孔要求。应严格控制掏槽孔的钻孔精度。钻孔过程中,当掏槽孔偏斜过大甚至打穿交叉时,其爆破进尺将显著减少,因此,钻孔过程中应尽可能采取多种有效措施以保证钻孔精度,这

是取得高效爆破的关键,如用红油漆标注出掏槽孔的位置;为保证钻孔角度,采用打短、长套钎钻孔、用长杆钎插入已钻好的炮孔中帮助钻工确定下一炮孔的方向,钻孔时保持炮孔平行等。

钻孔的一般原则:

(1)若要保证钻孔工作效率高,就应充分发挥风钻的作用,尽量少移动风钻的位置,多钻孔可以使钻孔工作便利并节省时间。

(2)在裂缝和层理多的围岩中布置炮孔时,炮孔应垂直或斜交裂缝和层理(因为炮孔与层理的交角愈大、爆破效果愈好)。

(3)隧洞开挖应根据围岩的软硬程度合理地确定孔距^[5]。炮孔间的相互距离对爆破效果影响很大。炮孔距离太小时增加了钻孔的工作量、增大了炸药单耗。炮孔距离太大时易造成预定的围岩爆不下来,同时会造成齐头工作面凹凸不平,给下次钻孔造成难度,还会留下较深的线孔。

(4)钻孔的定位精度和平行度。掏槽区的炮孔布置密集,所设计的最小抵抗线由内向外逐渐增大,一旦定位不准将给后排爆破造成很大的困难。另外,若钻孔平行度偏斜太大甚至有两孔或多孔打穿,必然会影响掏槽效果。炮孔互交处因药量过大导致出现“压死”现象,而其它位置则因炮孔间距过大、药量不足,不能产生较好的破碎和抛投效果。为减少钻孔偏斜,可以在周围已钻成的炮孔内插杆判断钻孔的偏斜情况。

4 爆破效果

在隧洞爆破施工中采用楔形掏槽方式,其孔深为1.7 m,并充分利用楔形掏槽的易抛掷特性减轻振动,保持围岩的稳定;对于其它炮孔,采用浅孔(1.5 m)微振动控制爆破,Ⅲ类围岩洞段每循环进尺达到1.4 m,平均日进尺为2.8 m,Ⅳ类围岩洞段每循环进尺达到1.3 m,平均日进尺为2.6 m。将炸药单耗控制在1.43~1.72 kg/m³,有效降低了炸药用量。采用楔形掏槽方式比五星直线掏槽方式减少了15%的钻孔,提高了工效,加快了开挖速度。

5 结 语

(1)在隧洞开挖施工过程中,掏槽孔爆破技术是隧洞掘进的关键,掏槽孔的间距、掏槽体积的大小及施工规整性始终决定着隧洞工程爆破效果的

(下转第67页)

争议。因此,在项目管理中,我们必须注重基础数据的准确性并重视文档管理工作。必要时,可以建立事件跟踪制度,由专人定期记录往来信函以及会议纪要中涉及到的时间影响事件。

5 结 语

在“一带一路”倡议引导下,越来越多的中国企业已经成功地“走出去”。在面临众多机遇的同时,也遭遇了更多的挑战。企业应在秉承自身发展理念的同时,学习国际先进的管理方法,与国际接轨,只有这样,才能让企业在国际大竞争的环境中生存下去。

参考文献:

[1] 王竹琳, 张水波. 工期延误分析方法的国际研究动态[J]. 工程管理学报, 2011, 25(6): 601.
[2] Arditi, D. & T. Pattanakitchamroon. Selecting a delay analysis method in resolving construction claims[J]. Interna-

tional Journal of Project Management, 2006, 24(2): 145—155.
[3] The Society of Construction Law. Delay and Disruption Protocol 2nd edition[Z]. Leicestershire: The Society of Construction Law. 2017: 32—37.
[4] Kenji P. Hoshino. AACE International Recommended Practice No.29R—03: Forensic schedule analysis[Z]. Morgantown: AACE International, 2009: 109—114.
[5] Calvey, T.T. & R. T. Winter. AACE International Recommended Practice No.52R—06: Time Impact Analysis — As Applied In Construction[Z]. Morgantown: AACE International. 2006: 1—8.

作者简介:

李 阳(1985-),男,四川宜宾人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工
尹 斌(1985-),男,宁夏吴忠人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)

(上接第 18 页)

好坏并制约着开挖进度的快慢以及单位耗药量增加等。由此可知:掏槽方式是影响爆破进尺最为关键的因素。岷河水利工程小断面隧洞的掘进楔形掏槽炮孔数目少、结构简单、爆破效率高、耗材消耗少,是适合于该隧洞掘进爆破的掏槽方式。

(2)在隧洞爆破施工时,合理选定布孔和各种爆破参数,既能确保隧洞开挖的安全性和稳定性,又能有效降低成本,使爆破出的岩块适中,同时提高了设备的装渣效率和设备的利用率,减轻了施工人员的劳动强度,提高了炮孔利用率和生产进度。

(3)光面爆破的试验和施工是一个动态管理过程。施工中,应根据不同洞段的围岩性质随时调整光面爆破的各种设计参数,既能使全炮孔均匀爆破、半孔率高,又能获得最佳的爆破效果。

(4)恰当的装药量应是既要具有破岩所需的能量,又不造成围岩的过度破坏。施工中在确保装药质量时,良好的炮孔堵塞质量也是实现隧洞

快速掘进的重要手段之一。

参考文献:

[1] 刘殿中,杨仕春.爆破工程实用手册[M].北京:冶金工业出版社,2003.
[2] 戴 俊,杜晓丽.岩石巷道楔形掏槽爆破参数研究[J]. 矿业研究与开发, 2011, 31(2): 90—93.
[3] 毛永恩.小断面引水隧洞钻爆法施工关键技术[J].科技视界, 2015, 5(16): 90—91.
[4] 耿 忠.特小断面引水隧洞光面爆破质量控制措施分析[J]. 黑龙江水利科技, 2014, 42(5): 32—34.
[5] 汤瑞良,朱三雁.光面爆破快速掘进法在某工程施工中的应用[J].浙江水利科技, 2005, 33(3): 78—79.

作者简介:

胡 欣(1984-),男,湖北孝昌人,项目经理,工程师,双学士,从事水利水电工程施工技术与管理工
郝 超(1988-),男,河南信阳人,项目总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
唐仁兵(1979-),男,四川宜宾人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工
肖 毅(1988-),男,四川宣汉人,政工师,双学士,从事水利水电工程施工技术与管理工

(责任编辑:李燕辉)



中国水电七局三项科技成果通过中国电建组织的专家组鉴定

2019 年 1 月 18~19 日,由中国电建集团组织的科技成果鉴定会议在成都召开,水电七局 3 项科技成果通过专家组鉴定。其中水电七局一分局的科技成果《大跨度连续梁拱组合桥优质高效施工关键技术研究》依托深茂铁路国道 325 特大桥(65+136+65)m 连续梁拱(L=266 m)组合桥梁工程,针对桥型变更带来的工期严重滞后问题开展了连续梁一拱组合桥优质高效施工关键技术研究并付诸实施,明显缩短了工期,技术先进,效果良好,项目研究成果达到国际先进水平。

(水电七局一分局 供稿)