

中交第一公路工程局有限公司
重庆万州至湖北利川高速公路（重庆段）
EPC项目技术创新论文集

5-4

总主编 张志新 阳华国

SUIDAO
JISHU LUNWENJI



隧 道

技术论文集

主编◎余 鑫 张志新



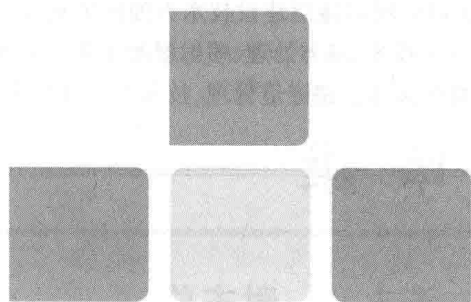
重庆大学出版社

公路工程局有限公司

北利川高速公路(重庆段)

新论文集 5-4

新 阳华国



隧 道

技术论文集

主编◎余 鑫 张志新

重庆大学出版社

内 容 提 要

本论文集为《中交第一公路工程局重庆万州至湖北利川高速公路 EPC 项目技术创新论文集》第 4 分册,收录了中交一公局重庆万州至湖北利川高速公路 EPC 项目隧道建设技术方面的最新成果,共 13 篇,内容涵盖了高速公路隧道围岩稳定性分析、超前支护技术、塌方处理、喷射混凝土施工等方面,是国内大型高速公路隧道建设经验的总结。本论文集可供高速公路隧道管理、技术人员及有关专业师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

隧道技术论文集 / 余鑫, 张志新主编. -- 重庆:
重庆大学出版社, 2017. 11
ISBN 978-7-5689-0878-8

I. ①隧… II. ①余… ②张… III. ①隧道施工—文
集 IV. ①U455-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 269296 号

隧道技术论文集

余 鑫 张志新 主编

责任编辑:肖乾泉 版式设计:肖乾泉

责任校对:张红梅 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:易树平

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路 21 号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (营销中心)

全国新华书店经销

重庆市正前方彩色印刷有限公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:8 字数:195 千

2017 年 11 月第 1 版 2017 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5689-0878-8 定价:36.00 元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编 审 委 员 会

总主编 张志新 阳华国

编 委 崔燕青 郭振武 任 威 杨树坡

谢远征 常永健 展庆磊 白晓宏

王广文 张政哲 张占彪 王 华

总 序

重庆万州至湖北利川高速公路(重庆段)是重庆市“三环十射多联线”中“十射”的重要支线,是鄂渝重要通道之一,起于重庆万州熊家镇马鞍石,止于与湖北利川交界的田家垭口,总长 52.408 km,设计时速为 80 km,按双向四车道标准设计。全线桥隧比为 54%,沿线地形复杂,地质条件差,41 次跨越国道、河流、滑坡地段,27 次与高压电力线路、电站、燃气管道、军用光缆等设施交叉,高墩大跨桥梁多,且岸坡陡峭,施工场地狭窄,施工风险很高,被称为“重庆新千公里高速公路在建项目中施工难度最大、安全风险最高的工程之一”,尤其是驸马长江大桥,主跨为 1 050 m,作为长江上游跨度最大的悬索桥,技术难度大,质量、安全、环保要求高,是万利高速公路上的代表性工程。

该项目采用 EPC 总承包模式,于 2014 年 4 月开工,2017 年 12 月 26 日正式通车。在项目管理过程中,总承包部发挥技术核心作用,协调带领全体参建技术人员积极开展技术攻关和技术创新活动,大力推广应用“四新”技术,通过引进、消化、吸收和应用国内外先进技术,取得了丰硕成果。这些成果既是广大技术人员实践经验的总结和技术积累,也可为今后行业技术发展和管理工作提供宝贵借鉴。为及时收集、整理、归纳这些技术成果,现将万利高速公路施工过程中的优秀论文归集为《中交第一公路工程局有限公司重庆万州至湖北利川高速公路(重庆段)EPC 项目技术创新论文集》系列,以期能为广大工程技术人员提供借鉴和参考。

本系列技术论文集共 5 分册,分别为《万州驸马长江大桥技术论文集》《桥梁技术论文集》《隧道技术论文集》《路基路面技术论文集》和《交通设施技术论文集》,由张志新、阳华国两位教授级高级工程师任总主编,各分册主编和论文作者都是项目设计、施工的主持者或参与者。全体编写人员始终以科学严谨的态度,共同参与创编,并多次审核、修订,最终完成本系列文集。在万利高速公路项目实施和论文集编写过程中,得到了重庆市交通委员会、重庆万利万达高速公路有限公司、中交公路规划设计院有限公司、中交第一公路工程局有限公司等单位专家的大力支持,在此,谨向关心和支持中交第一公路工程局有限公司、万利高速公路和论文集的所有领导、专家和同事一并表示感谢!

刘 斌

前言

重庆地处四川盆地东南丘陵山区,地势起伏较大,素有“山城”之称。高耸的山峰是美丽山水城市一道靓丽的风景线,但在重庆地区的高速公路建设中,为改善线形、克服高差,不得不广泛采用隧道工程穿过山峰,也给高速公路施工带来较大难度。

万利高速公路总长 52.408 km,全线地形复杂,存在跨越国道、河流,涉及长大隧道施工,施工范围内有高压电力线路、电站、燃气管道、军用光缆等设施,而且施工场地狭窄、地质条件差,施工难度高、作业量大、危险源突出,为重庆地区在建施工难度最高的高速公路之一。全线隧道共计 11 座,单洞总长 25.104 km,其中特长隧道 1 座,长隧道 4 座,隧道施工存在临近滑坡体施工、薄板状近水平岩层施工、偏压施工、极小净距隧道施工等不利条件,部分隧道洞口斜坡存在覆盖厚度不均崩坡积体,洞身存在断层破碎带、局部夹煤层等不良地质,为广大工程技术人员发挥聪明才智提供了广阔的空间。

各参建单位集思广益,克服了山区隧道施工的重重困难,顺利完成了全线隧道施工任务,总结形成了本论文集。本论文集由中级工程师余鑫、教授级高级工程师张志新任主编,编写人员均来自参建单位一线技术岗位。

本论文集希望总结山区隧道建设经验,为以后类似工程实践提供借鉴。

由于本论文集出版时间仓促、水平有限,在审编过程中难免存在疏漏,敬请各位同仁批评指正。

编者

2017 年 11 月

目 录

薄板状水平岩层隧道围岩稳定性分析及施工措施	曹英鑫 杜金雷(1)
轴向不耦合切缝聚能光面爆破在瓦店子隧道施工中的应用	王金钰(6)
浅谈隧道二次衬砌外观质量控制	赵立志 谭 河 赵明杰(16)
浅谈隧道Ⅳ级围岩超前支护控制技术	魏 征 韩家宇(21)
浅谈隧道初喷混凝土回弹量控制技术	李啸晨 魏 征(26)
临近滑坡体的隧道控制爆破与变形监测	常永健 张海斌(32)
超前探孔技术在隧道不良地质段施工中的应用	朱建忠 张国梁(47)
隧道崩坡积体出洞探讨	张国梁(52)
软岩地区隧道喷射混凝土支护超耗施工控制	胡文柱 杨 志(60)
刘家岩隧道右洞口滑坡稳定性分析与防治施工技术	白晓宏 杨 志(73)
地质复杂段隧道塌方机理分析及处治技术	杨 志 李春宇 林 章 林 博(87)
软岩地区隧道超前地质预报技术及应用	桂忠鑫 杨 志(99)
砂岩集料在隧道低等级非泵送混凝土中的应用	李 诚 李文俊(110)

薄板状水平岩层隧道围岩稳定性分析及施工措施

曹英鑫 杜金雷

(中交一公局厦门工程有限公司 厦门 361000)

摘 要 本文对隧道薄板状水平岩层施工进行稳定性分析,针对经常出现的拱顶大面积平顶、落石、塌顶等现象,探究了薄板状水平岩层对隧道开挖和支护的影响,提出了薄板状水平岩层隧道施工中采取的相应措施,并且在重庆市万州区瓦店子隧道施工中得到应用,取得良好的效果。

关键词 公路隧道 薄板状水平岩层 稳定性 支护 措施

1 引 言

在公路隧道施工中,薄板状水平岩层是经常遇到的一种地质构造。在隧道开挖过程中,经常出现拱顶大面积平顶、落石、塌顶等现象,不但直接影响隧道的爆破效果,还会影响裸洞的围岩稳定性,增加初期支护喷射混凝土的使用量,增加施工成本。虽然光面爆破、预裂爆破等控制爆破技术日益成熟,且已成为山岭隧道开挖爆破的常规方法,但由于钻爆人员技术水平和施工管理水平参差不齐等因素,薄板状水平岩层公路隧道开挖施工时易造成拱顶落石、片帮、崩塌等现象,给工程施工安全带来极大的隐患和困难。另外,在薄板状水平岩层中,岩体通常都较为破碎,节理发育,黏着性差,完整程度不高,围岩稳定性较差。由此,对薄板状水平岩层隧道围岩进行稳定性分析,预先考虑及采取防止围岩失稳垮塌的措施,对薄板状水平岩层隧道的安全施工有着重要的积极意义。

2 工程概况

瓦店子隧道位于重庆市万州区境内,隧道左线起讫桩号为 ZK 10+990 ~ ZK 14+246,左线长 3 256 m;右线起讫桩号为 K11+000 ~ K14+280,右线长 3 280 m,单线合计长 6 536 m。瓦店子隧道进口前线路穿越长江,隧址区属丘陵地貌,隧道地表高程为 260 ~ 575 m。洞身段属丘陵地貌区,高程为 347 ~ 575 m,相对高差为 228 m。出口段位于槽谷山脊斜坡,高程为 265 ~ 320 m,相对高差为 55 m,斜坡坡度为 8° ~ 56° 。沿线地形起伏较大,属中低山地貌。

隧道位于重庆市万州区向斜近轴部,为单斜构造。岩层产状 $340^{\circ} \angle 4^{\circ} \sim 8^{\circ}$,产状稳定,构造简单。穿越地层主要为侏罗系上统遂宁组砂岩、泥岩,围岩岩性主要以泥岩、砂岩为主。

作者简介:曹英鑫(1986—),男,本科,助理工程师。

杜金雷(1977—),男,本科,工程师。

地层为水平岩层或近水平岩层,呈层状结构,层间结合力较差,地下水以基岩裂隙水为主,空间分布不均,整体水量较小。

3 薄板状水平岩层稳定性分析

瓦店子隧道主要是以薄层~中厚层水平岩层或近水平岩层为主,岩层倾角较缓($4^{\circ}\sim 8^{\circ}$)。

(1)具有软硬相间、软硬层性质差异大的特点。瓦店子隧道岩层主要以泥岩或泥砂岩互层为主,泥岩岩质相对较软,砂岩以钙质为主;岩质相对较硬,岩性软硬相间,层间结合相对较差;开挖后,围岩应力调整时间较长,节理、裂隙较发育,特别是砂岩层厚较薄及泥岩遇水时,岩层更容易软化失稳。

(2)泥岩和泥质砂岩均属于弹塑性软质岩,尤其是瓦店子隧道开挖过程中岩体含有大量的黏土矿物。隧道洞室开挖后,改变了岩体的应力条件,在应力释放过程中产生卸荷膨胀,使围岩变形破坏,主要表现为软质围岩的膨胀。此外,隧道开挖过程中,局部存在渗水,水分会从高应力区向洞壁转移。洞壁岩体中的黏土等亲水矿物吸水也是围岩膨胀的主要原因,造成洞室顶部软质围岩的软化以及夹层的泥化,在重力作用下易发生失稳。

(3)岩层厚度较薄,层理间有软弱夹层。瓦店子隧道开挖过程中,发现岩层分层为 $0.1\sim 1.8\text{ m}$ 不等,多数分层小于 0.5 m 。这样,较薄分层极易产生层理间扩展发育,进而引起岩层松动或脱落,如采用不合理的爆破方式,或者后期支护不及时均会导致岩体失稳。

对于层状分布围岩隧道而言,薄板状水平岩层最不利于隧道开挖围岩的稳定,而且隧道断面净空高、跨度大,薄板状水平岩层对隧道(特别是拱顶)的稳定性影响更加突出,往往对隧道的开挖质量和支护安全造成很大的危害。

3.1 爆破开挖对薄板状水平岩层稳定性的影响分析

隧道开挖前,围岩一般处于三轴受力平衡的应力状态,由于隧道埋深的影响,地层存在较高的应力,结构面一般紧密闭合。隧道在实施爆破开挖过程中,其实是隧道围岩应力重新分布的过程,拱部围岩由原来的三轴应力状态转变为二维状态。在爆破震动下,拱顶层状岩层很容易沿着每层岩石的分界面发生分离,首先是被爆破破坏的层状围岩开始承载顶部岩体的重力作用。当爆破开挖跨度达到上层覆盖岩层的极限宽度后,层状岩层在上部荷载和两侧水平应力及爆破震动荷载的作用下,由于层状岩体结构已被破坏,整体受力效果较差,则会发生断裂、离层、脱落,并且重复断裂、脱落,直至拱顶形成受力稳定的三角受力结构或层厚较大、受力较好的岩层,形成压力拱。

爆破开挖后,应力在空间范围内重新分布,隧道周围的岩体有向隧道临空面运动的趋势。基于水平岩层这种特殊的水平层理构造,拱顶岩层在受到自身重力及其上方传下来的应力共同作用的条件下,岩体将会被挤出,从而向隧道临空面产生位移,出现鼓胀、破裂、折断而脱落的情况。隧道底部层状围岩在外部应力的作用下,也可能向上方运动,出现隧底鼓胀的情况,进而导致两边墙底脚围岩失去水平约束,造成隧道整体围岩的失稳破坏。

在薄板状水平岩层隧道施工过程中,隧道爆破开挖后,开挖轮廓圆效果较好,但在 $1\sim 2\text{ h}$ 后,拱顶岩石逐渐剥落、掉块,整体隧道轮廓凹凸不平,甚至最终形成矩形拱,其实就是一个薄板状水平岩层应力逐渐释放的过程。由于岩层属于薄板状,薄板状截面相对于中性轴 z 方

向的惯性矩较小,受力覆盖层岩层发生弯曲致使其层面上产生的剪应力较大。因此,同样的岩性层状围岩,薄板状岩石更容易发生剪切断裂破坏。

3.2 水对薄板状水平岩层稳定性影响分析

隧道爆破开挖后,岩层中富含水分的平衡体系被打破,水受力平衡体系也随围岩应力重新分布而重新调整。在岩层受力向隧道临空应力集中方向,岩层中富含的水分也向隧道临空方向移动,爆破加剧了围岩裂隙发育,便于围岩裂隙水向隧道内部流动,同时润滑岩层间结构面,使围岩的强度和结构面结合力降低。对于软质或软硬相间的泥砂互层岩体,在裂隙水的浸泡、侵蚀作用下产生软化,泥岩软化后自动脱落,砂岩则会在泥岩脱落后悬空,在各种应力集中作用下开始断裂而脱落、坍塌。

3.3 其他地质构造对薄板状水平岩层稳定性影响分析

在隧道施工中,由结构面(如断层、节理、层理、片理等裂隙)和开挖临空面把隧道通过区的岩石切割成不同形状岩体。在节理裂隙的影响下,顶部围岩容易发生断裂,形成矩形拱的情况时有发生,破坏了围岩自然拱的受力状态,进而使围岩开挖后的变形速度加快,自稳能力减弱。在适当的岩体结构和力学条件下,岩体内部的这些岩块或岩块系统会发生运动,导致岩体整体失稳,形成塌方。在层状沉积岩中,由于特殊的成岩机理,层理作为一个重要的结构面,层理面由于存在片状矿物和泥质岩,层间结合力大大降低,对围岩的稳定性有很大的影响。对层状岩石而言,岩层层间结合力差,由于节理和开挖临空面的切割,极易形成不稳定的体系。

4 薄板状水平岩层隧道施工采取的措施

隧道开挖形成新的空洞后,破坏了岩体原有的相对平衡状态,使隧道周围部分岩体应力重新分布,引起围岩的变形、破坏和坍塌,为了及时有效地控制围岩变形,防止坍塌,必须采取工程措施进行支护。首先,应遵循“短开挖,强支护,勤量测,紧衬砌”的薄板状水平岩层施工原则。根据新奥法的设计原理,隧道采用喷、锚、网及钢拱架对围岩进行支护,即尽可能保持围岩的原始状态,最大限度地发挥围岩的自承能力,把隧道围岩和各种支护结构作为一个共同作用的承载体系,控制围岩变形的发展,避免岩体塌方,防止过大的松弛压力出现。锚杆在初期支护中有悬吊、结合梁、加固的作用。喷射混凝土具有充填裂隙加固围岩、封闭围岩表面防止风化、与围岩组成共同承载结构的作用。针对瓦店子隧道拱部所遇到的不同岩性的水平层,支护要灵活采取锚、喷、网及钢架组合成不同的支护形式。

4.1 喷锚支护对薄板状水平岩层的加固措施

对薄板状水平岩层围岩,其岩体一般以层状结构为主。为了防止施工过程中有较大围岩块松弛或脱落,在瓦店子隧道施工过程中,采用轻排险、早初喷工艺,及时封闭以缩短围岩外露时间,进而加快锚杆施工。由于围岩呈现层状分布,且接近水平,为了更好地控制围岩因应力释放而导致的移动、弯曲、拉裂等现象,锚杆施工采用垂直岩层面施工。对台车进行改进,采用锚杆机进行锚杆施工,确保锚杆入岩垂直岩层分层方向,同时安装垫片,拧紧锚杆螺母,保证锚固力,尽早进行喷射混凝土施工。

4.2 格栅拱架对薄板状水平岩层的加固措施

拱部为薄板状水平岩层时,拱顶围岩受应力较为集中,且拱顶部岩层层厚较薄,结构受力效果差、整体性弱,及时施做格栅拱架支护对围岩加固能起到有效作用。上台阶格栅拱架采用三段连接,并且拱顶部位不能有接头,接头采用螺栓连接。每处连接接头处施做两根锁脚锚杆,锚杆制作成“L”形,反扣接头格栅拱架,并且两根锚杆反扣对接焊接。焊接长度不小于规范要求,以保证格栅拱架和锁脚锚杆形成整体,达到整体受力效果。

4.3 部分工序进行施工调整

隧道施工过程中,为了减少施工工序,节约施工循环,多半会刻意省去初喷工序,未能及时初喷混凝土(3~4 cm)封闭开挖围岩面,失去了及时给围岩提供支撑力以很好发挥围岩自承力的时机,使围岩产生了松弛变形。现场施工中,一般在爆破开挖后进行出渣作业,在出渣后进行排险、立架再施做锚杆,然后再进行喷射混凝土作业。这种错误的施工工序,耽误了初期支护发挥作用的时间。

对于薄板状水平薄层、中厚层砂岩、泥岩互层,由于结构面的切割,会形成一些大的倒楔体、短柱状危岩体,而薄层岩石会出现逐层的剥离,这些危岩体一般都是一个不稳定的危岩体系,其中某些部位就是“危石”,支护住这些危石,这些岩体就不会掉下来。所以在隧道施工中,开挖后及时初喷混凝土给开挖后暴露的围岩以支护力是确保围岩稳定的关键。爆破后把洞渣及时收拢,利用渣堆高度在渣堆上对掌子面进行初喷混凝土施工,初喷厚度为3~4 cm。

喷混凝土后,采用施工锚杆开挖轮廓对层状岩石切割比较严重的拱腰部位进行局部支护,锚杆间距为1~1.2 m。然后出渣,进行钢架架设以及喷锚初期支护到设计厚度,这样可以及时给围岩提供支护力,严格遵循新奥法的支护理论。

4.4 避免拱顶过分“找顶”

对于薄板状水平岩层和松软的破碎岩层,开挖后小块围岩体相互挤压形成镶嵌结构。由于机械排险过程中“找顶”工作会破坏这种平衡,越靠近拱顶危石越多,如果不停地“找顶”,将有“找”不完的危石。所以,开挖后应禁止过度“找顶”,及时喷混凝土封闭围岩、封锁关键块体,这才是支护的关键。喷射混凝土可以对岩石裂隙进行封堵、填充、黏结和加固,提高岩体结构面的结合力,对提高水平岩层的自承力有很大的作用。开挖后,避免过度“找顶”,及时喷混凝土封闭是围护围岩稳定的关键。

4.5 优化钻爆设计,减少爆破次生裂隙和震动对围岩的影响

对于薄板状水平岩层的围岩为主的地段,由于层厚一般较小,层间结合差,开挖爆破时容易产生爆破次生裂隙,形成对水平岩层的切割,降低了水平岩层的稳定性。因此,应严格进行光面爆破,控制装药量,减少爆破对围岩的扰动。

(1)优化周边眼间距及药量,缩小拱部周边眼的间距,拱部周边眼的间距取30~40 cm,周边眼布孔尽量避开岩层面裂隙。为了确保周边眼的切割效果圆顺,可在有裂隙的部位加导向孔。严格控制周边眼的装药量,隧道周边眼的爆破机理是炸药爆破成缝理论。周边眼炸药爆炸后在相邻孔之间形成岩体裂隙,最理想的是在相邻孔之间只形成爆破贯通裂隙而不破坏周围岩体。

(2) 周边眼可采用间隔孔装药的方式装药,中间空孔作为导向孔,减少周边眼爆破对隧道周边围岩的破坏。

(3) 对于薄层或围岩比较破碎的地段,可采用周边眼装单股或双股导爆索的装药方式,以降低周边眼的装药量。

5 结论及建议

本文通过对泥岩及泥砂岩互层薄板状围岩稳定性分析及施工措施的总结,并对瓦店子隧道施工中遇见的施工问题进行了针对性的技术措施施工,达到了较好的效果,同时形成了以下结论及建议:

(1) 施工过程中,务必对周边眼采用弱爆破,减小周边眼炮孔间距,减少周边眼炮孔装药密度及集中度。

(2) 机械排险过程中,主张轻排险,及时进行初喷,避免过分排险带来围岩二次裂隙发育,同时及时初喷,缩短围岩裸露时间,防止造成急速氧化、风化。

(3) 优化设计锚杆施做方向,锚杆施做垂直岩层分层方向,锚杆螺母须拧紧,对围岩产生反向加固力。

(4) 施工过程注意观察记录,对比分析循环之间围岩变化及岩性差异,及时变动各个施工参数,保证隧道施工安全。

6 结 语

瓦店子隧道是重庆万州至湖北利川双向四车道高速公路上最长的隧道,为全线控制性工程,瓦店子隧道薄板状水平岩层的特殊层理构造,使层间结合力大大降低,且隧道工期要求紧,隧道施工存在较大的风险。在隧道施工中,通过对施工方法不断优化,采取了针对性的措施,对维护围岩的稳定和预防塌方取得了很好的成效,确保施工安全和施工质量。目前,瓦店子隧道施工进度得到了有效保障,同时得到了上级单位的认可。随着广大技术人员对薄板状水平岩层施工技术的深入研究,必将在今后同类型围岩隧道施工过程中发挥出重要的作用。

参考文献

- [1] 中华人民共和国行业标准.公路隧道设计规范(JTG D70—2004)[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [2] 中华人民共和国行业标准.公路隧道施工技术规范(JTG F60—2009)[S].北京:人民交通出版社,2009.
- [3] 闫永杰,翁其能,吴秉其,等.水平层状围岩隧道顶板围岩变形特征及机理分析[J].重庆交通大学学报:自然科学版,2011,30(s1):647-649.
- [4] 杨坚.隧道Ⅲ级围岩水平岩层稳定性及施工方法研究[J].铁道建筑技术,2010(3):44-48.
- [5] 张倬元,王士天,王兰生,等.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,2009.

轴向不耦合切缝聚能光面爆破在瓦店子 隧道施工中的应用

王金钰

(中交一公局厦门工程有限公司 厦门 361000)

摘 要 瓦店子隧道单线全长 6 536 m, 围岩主要为泥岩、砂岩互层, 属于Ⅳ级围岩。为了保证开挖施工安全、降低施工成本、提高隧道施工效益, 对隧道Ⅳ级围岩开挖施工技术进行专项探讨和研究, 最终根据该隧道Ⅳ级围岩实际情况, 采用了轴向不耦合切缝聚能光面爆破技术。本文根据该光面爆破施工实践, 阐述了该技术的施工要点、爆破机理、各技术参数设计、施工工艺和方法, 以及综合效益分析。

关键词 开挖 Ⅳ级围岩 光面爆破

1 引 言

目前, 在隧道开挖过程中, 采用钻爆法普遍存在工人素质参差不齐、光爆孔现场装药管理不到位、随意性太大、未专门加工光爆药包、超欠挖现象以及塌方事故频繁发生等情况, 影响施工质量与安全。光面爆破是通过控制爆破的作用范围和方向, 使爆破后的岩面光滑平整, 防止岩面开裂, 以减少超、欠挖和支护的工程量, 增加岩壁的稳定性的稳定性, 减弱爆破震动对围岩的扰动, 进而达到控制岩体开挖轮廓的一种技术。爆破后岩面光滑平整, 炮眼痕迹保存率在 90% 以上, 肉眼基本上看不到爆破裂隙, 从而大大减少了开挖、回填以及支护的工程量, 同时减轻了爆破对围岩的扰动, 充分发挥了围岩的自承能力, 有效地提高了隧道的安全度。

2 工程概况

瓦店子隧道是重庆万州至湖北利川双向四车道高速公路隧道, 隧道设计速度为 80 km/h, 设计荷载为公路Ⅰ级。隧道左线起讫桩号为 ZK10+990 ~ ZK14+246, 左线长 3 256 m; 右线起讫桩号为 K11+000 ~ K14+280, 右线长 3 280 m, 单线合计长为 6 536 m。隧道位于万州向斜近轴部, 为单斜构造。岩层产状 $340^{\circ} \angle 4^{\circ} \sim 8^{\circ}$, 产状稳定构造简单。穿越地层主要为侏罗纪上统遂宁组泥岩夹少量薄层状砂岩。洞身地面山体稳定, 地层分布连续, 无断层破碎带, 区域地质整体稳定性较好。穿越地层主要为侏罗纪上统遂宁组砂岩、泥岩, 围岩岩性主要为泥岩, 夹少量薄层状砂岩。根据区域资料, 隧址内无高地应力、无煤层、无有毒有害气体、无采空区及岩溶、无突水突泥现象, 隧道围岩综合分级为Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ级, 具体分级如表 1 所示。

表 1 隧道围岩分级表

项 目		V 级	Ⅳ级	Ⅲ级	V 级
左洞	里程桩号	ZK 10+990 ~ ZK 11+070	ZK 11+070 ~ ZK 13+449	ZK 13+449 ~ ZK 14+211	ZK 14+211 ~ ZK 14+246
	对应长度/m	80	2 379	762	35
右洞	里程桩号	YK 11+000 ~ YK 11+060	YK 11+060 ~ YK 13+420	YK 13+420 ~ YK 14+240	YK 14+240 ~ YK 14+280
	对应长度/m	60	2 360	820	40
合计长度/m		140	4 739	1 582	75

3 光面爆破

3.1 技术简介

光面爆破是指通过正确选择爆破参数和合理的施工方法,控制爆破的作用范围和方向,分区分段微差爆破,使爆破后轮廓线符合设计要求,岩面光滑平整,以减少超、欠挖,增加岩壁的自稳性,减少对围岩扰动的一种控制爆破技术。

3.2 爆破原理

采用 PVC 管制作切缝聚能光面爆破装置进行隧道光面爆破。将 200 g 药包切成 4 段,除了孔底 100 g 加强装药外,在炮孔沿轴向均匀布置,使得炸药能量呈密集点状分布,能量分布更加合理均匀。引入切缝 PVC 管作为能量约束条件,通过切缝改变管本身对称结构产生轴向均布约束炸药爆破能量状况,让切缝与隧道轮廓线方向平行,对爆破能量进行定向引导聚能,产生“气楔”,使爆破能量在切缝处优先释放。“气楔”对岩体进行切割形成尖端破碎区的破坏,并产生引导裂纹,并保持足够能量来维持裂纹定向扩展。紧贴围岩的非切缝处可以视为护垫,高强度的爆破动压应力“拱桥效应”使得被保护的围岩内部的裂纹扩展得到相对抑制,降低了对围岩的扰动破坏。

3.3 成缝原理

采用不耦合装药结构,炮眼壁上的压力显著降低。由于岩石抗压强度远大于抗拉强度,因此在炮眼壁上的围岩不会造成压碎破坏,但切向拉应力能使炮孔四周产生径向裂纹。然后使用预制好的 PVC 切缝管加剧切缝对爆破能量聚能导向作用,使得应力集中,裂纹进一步发展,使沿缝产生“劈裂”作用,裂纹全部贯通成缝。又因为 PVC 管形成一定的保护作用,减弱了爆破后冲效应,减轻对轮廓面围岩的扰动。

4 施工分析

4.1 岩性分析

瓦店子隧道主要是以薄层~中厚层水平岩层或近水平岩层为主,岩层倾角较缓(4°~

8°),具有软硬相间、软硬层性质差异大的特点。泥岩岩质相对较软,砂岩以钙质为主,岩质相对较硬,岩性软硬相间,岩体风化不均,层间结合相对较差。开挖后,围岩应力调整时间较长,节理、裂隙较发育,尤其是砂岩层较薄及泥岩遇水时,岩层更容易软化失稳。岩体中含有大量的黏土矿物,隧道洞室开挖后,改变了岩体的应力条件。在应力释放过程中产生卸荷膨胀,使围岩变形破坏,主要表现为软质围岩的膨胀。岩层厚度较小,层理间有软弱夹层,在开挖爆破时易造成拱部围岩的牵动,层理间扩展发育,继而引起岩层松动和脱落。

4.2 技术分析

根据瓦店子隧道现场围岩实际情况,对光面爆破技术进行优化,采用轴向不耦合切缝聚能光面爆破技术,对周边眼进行光面爆破,使之达到光面爆破效果。又因为进行光面爆破技术施工须在初期支护段与掌子面之间预留一段距离,以确保下一循环仍按照设计轮廓线钻孔。根据施工技术要求,Ⅲ级围岩预留距离不超过3 m,Ⅳ级围岩预留距离不超过2 m,但是这样会给Ⅳ级围岩施工带来极大的安全隐患。因此,结合现场实际情况,改良施工工序,在出渣、排险结束后直接进行下一循环钻孔。钻孔结束后暂时堵塞炮孔,进行初期支护,待支护完成后进行装药、爆破,依次循环,以此减少围岩的裸露时间,同时又推进了光面爆破的实施。

5 参数设计

光面爆破的参数设计一般采用工程类比法和现场爆破成缝试验最终确定。根据现场试验以及理论计算,该隧道围岩最小抵抗线取值为0.55~0.75 m;按照光爆设计,实际施工爆破周边眼间距取0.6 m。

5.1 最小抵抗线

光面爆破层厚度就是最小抵抗线。实际情况中,岩石的性质和地质构造有所不同:岩石软脆,容易崩落,抵抗线应适当加大;岩石坚硬、稳定性高,抵抗线应适当减小。根据现场试验情况,确定瓦店子隧道最小抵抗线取0.55~0.75 m。

5.2 周边眼密集系数(相对距)

爆破后,岩面的平整程度与周边眼密集系数密切相关,其计算公式为:

$$m = \frac{E}{W} \quad (1)$$

式中 m ——周边眼密集系数;

E ——眼距;

W ——最小抵抗线。

m 的大小对光面爆破效果具有较大的影响,从以下3种情况进行说明:

(1)当 $m=E/W=2$ 时,孔间距 E 偏大,而 W 偏小,成为两个炮孔单独爆破时的爆破漏斗,炮孔间留下三角形岩埂,无法达到光面爆破效果,如图1(a)所示。

(2)当 $m=E/W=1$ 时,如果两炮眼同时起爆,冲击波到达自由面前,即可完成孔间裂隙的贯通,而形成光面。如果不同时起爆,另一个炮眼起自由面作用,也可达到光面爆破效果,如

图1(b)所示。

(3) 当 $m=E/W=0.5$ 时, 不管是否同时起爆, 冲击波到达自由面时, 首先到达相邻炮孔, 不仅产生裂缝导致岩石破坏, 而且还会造成超挖, 也达不到光面爆破的效果, 如图1(c)所示。

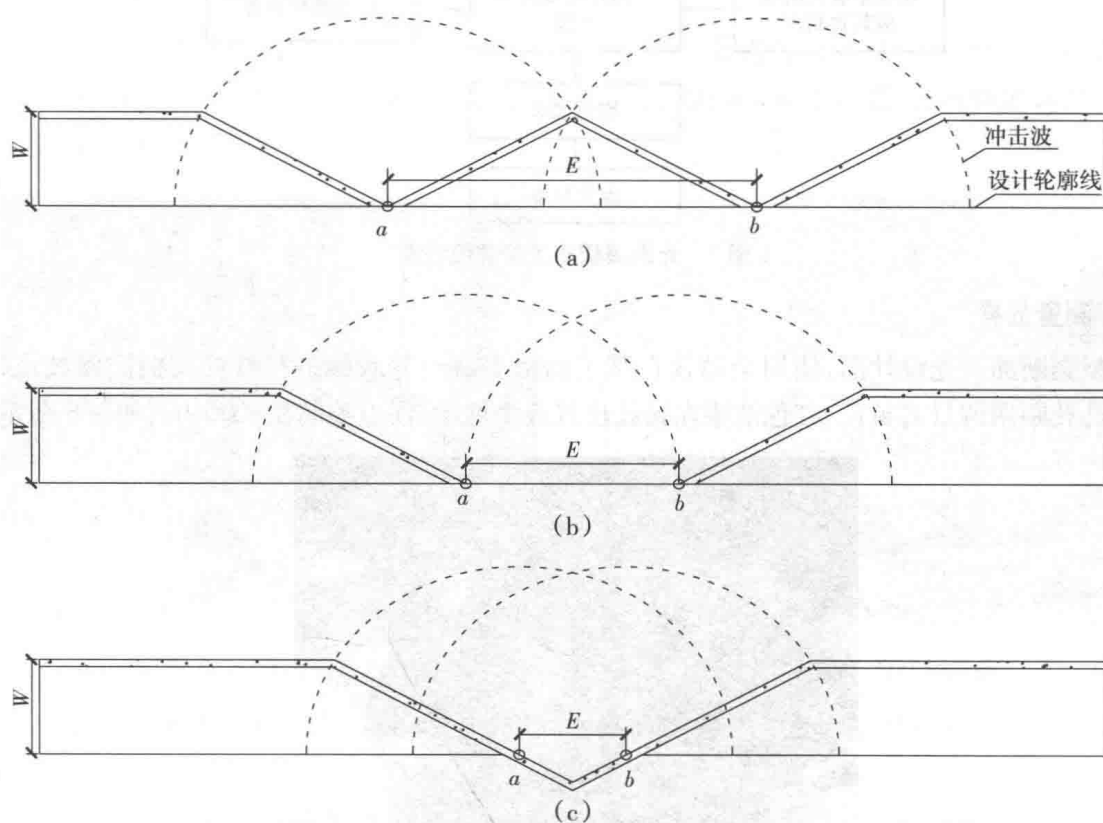


图1 不同密集数爆破情况

实践表明, 当 $m=E/W=0.8 \sim 1.0$ 时, 能得到较好的爆破效果; 岩石松软、破碎时, 应取 $m=0.6 \sim 0.8$; 岩石坚硬时, 取 $m=1.0 \sim 1.2$ 为宜。根据现场试验情况, 确定瓦店子隧道周边眼距取 $0.45 \sim 0.65$ m。

5.3 装药密度

装药密度是单位长度炮孔的平均装药量, 计算公式为:

$$Q_x = qaW \quad (2)$$

式中 Q_x ——装药密度, kg/m;

q ——爆破单耗, kg/m;

a ——炮孔间距, m;

W ——最小抵抗线, m。

按围岩级别及光面爆破装药结构要求, 取装药系数为 $0.3 \sim 0.33$ kg/m。结合实际情况, 考虑孔底加强, 光面爆破装药取 0.35 kg/m, 实际单孔装药量为 $1.0 \times 0.35 = 0.35$ kg。

6 施工工艺及施工方法

光面爆破施工工艺流程如图2所示。

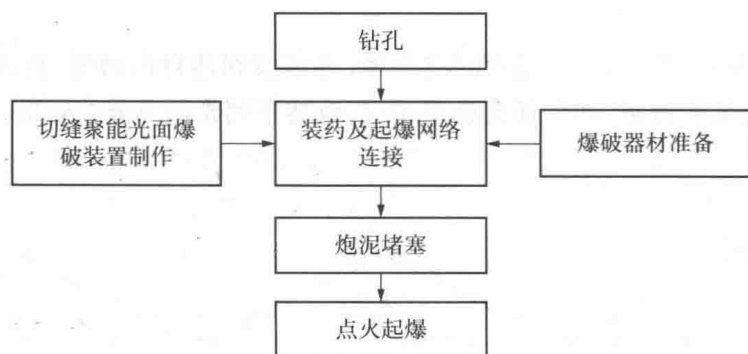


图2 光面爆破施工工艺流程图

6.1 测量放样

根据断面开挖设计图,使用全站仪在掌子面沿着隧道轮廓线进行放样。根据爆破设计周边孔孔距用醒目的黄色、红色油漆在钻孔位置逐个标示,误差控制在 ± 0.5 cm,如图3所示。

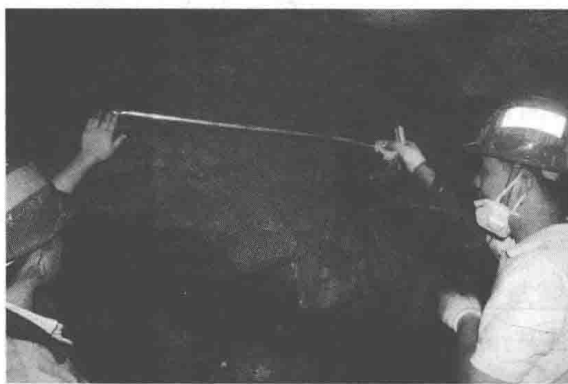


图3 测量放样

6.2 钻孔

根据测量放样的炮孔位置进行钻孔作业,特别注意打钻的开口位置、钻进角度外插角。尽量让钻机紧贴上一排光爆轮廓面,炮孔方向也与上一排光爆孔钻进质量优良的半孔作为参照物,让孔底尽可能落在一个与设计轮廓线平行的曲线上,特别注意起拱线位置与相邻炮孔的配合;孔底孔距偏差不能超过10 cm为宜,曲面径向偏差严格控制在2 cm以内,如图4所示。

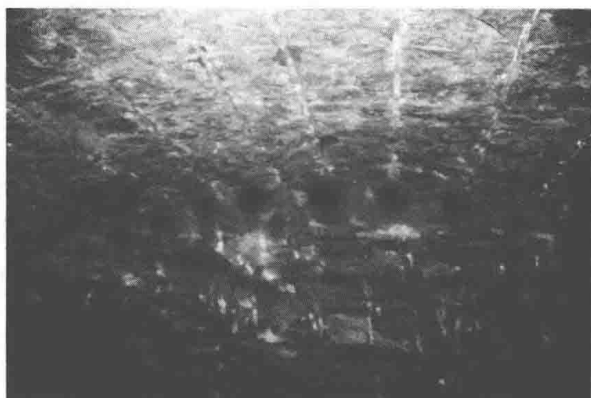


图4 钻孔