

文章编号:1673-9469(2012)03-0073-04

隧道开挖过程中软弱围岩的爆破技术研究

胡子建¹,周勇²,朱建群¹,姜晓日¹

(1. 湖南科技大学 土木工程学院, 湖南 湘潭 411201; 2. 贵州省高速公路开发总公司, 贵州 贵阳 550004)

摘要:根据软弱围岩具有岩体较破碎、节理较发育、层面粘结力弱等特点,本文通过分析隧道掘进过程中爆破作用对软弱围岩的扰动影响、爆破后对洞室造成的超欠挖以及洞室成型后自然拱的变形甚至掉块、塌顶,得出了软弱围岩在爆破后稳定性差及变形不规则的特征。并在严格控制钻孔精度、周边孔线装药密度、周边炮眼间距布置、装药结构四个主要因素的情况下,进行了大量的实验和洞室成型后连续的监控量测并对这四个主要影响因素的爆破参数进行了优化,得出了软弱围岩的爆破方法。

关键词:爆破技术;软弱围岩;监控量测;扰动;超欠挖

中图分类号:U455.6

文献标识码:A

Research on blasting technique of soft rock in the process of excavating tunnel

HU Zi-jian¹, ZHOU Yong², ZHU Jian-qun¹, JIANG Xiao-ri¹

(1. School of Civil Engineering; Hunan University of Science and Technology, Hu'nan Xiangtan 411201, China;
2. Guizhou Expressway Development Corporation Guizhou Guiyang 550004, China)

Abstract: According to the main characteristics of soft rock in rock broken, joints development and weak cohesion of level, this thesis insist that soft rock is instability, irregular deformation after blasting by analyzing the disturbing influence on soft rock, the back break of grotto and the deformation, sloughing even collapse of natural arch during the tunnel drive. It optimizes blasting parameters by making experience and the serious of monitoring measurement which under the strictly controlling on the precision of drilling, the density of hole-line, the spacing layout of drill-hole and the charging structure. Based on that, the thesis proposes the blasting scheme for soft rock basing on the many experiment and continuous monitoring measurement after cavern forming.

Key words: blasting technology; soft surrounding rock; monitoring and measurement; disturbance; over-excavation

隧道在开挖过程中,经常会遇到软弱破碎带等不良地质情况,对这类围岩的爆破技术的研究是确保隧道安全贯通的关键^[1]。软弱爆破技术一直是隧道施工的技术难题,如果处理不好,不仅影响毛洞的稳定性,造成超挖和欠挖,增加初期支护的数量和永久支护的混凝土的数量,而且还会使隧道围岩出现大变形、掉块、塌顶等现象,严重影响隧道施工安全和工程进度,所以对软弱围岩爆

破技术的研究对隧道施工有安全和节约成本的现实意义^[2]。本文以黔东南地区的四格隧道为浅埋的短隧道,穿越区大部分是软弱围岩,通过分析爆破技术对该隧道软弱围岩稳定性的影响,优化爆破技术,并结合监控量测,为优化施工提供依据,并进一步指导施工,且为日后类似工程的爆破施工和研究提供借鉴和参考^[3]。

收稿日期:2012-05-12

作者简介:胡子建(1986-),男,河北沧州市人,从事岩土与隧道工程研究工作。

1 爆破对软弱围岩的影响

1.1 爆破对软弱围岩的扰动

岩体爆破时,炸药产生的应力波在围岩传播过程中对围岩产生反复的压缩拉伸及反复剪切,当与节理裂隙相遇时,不仅使原有的节理裂隙扩大,还同时产生了新的裂隙,进而使围岩产生新旧交叉的裂隙网,导致岩体破碎^[4]。由于软弱围岩本身较破碎,节理较发育,胶结程度差,岩面结合程度较差等特点,在爆破应力波反复的压缩拉伸下,使岩面结合程度更差和促进了陡倾裂隙的发展,同时减弱岩石颗粒之间的内聚力使岩石内部结构破坏,进而产生新的破裂面。应力波反复的剪切相对较破碎的岩体时产生许多次生裂隙,岩体在大量的原生和次生裂隙存在下本身变得更加破碎,加之隧道在开挖过程中,要进行多次施工爆破,软弱围岩被爆破应力波反复扰动下,围岩的自稳性能将会遭到极大的破坏^[4](见图1)。

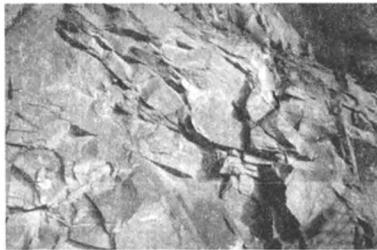


图1 掌子面岩体爆破后岩体状况

Fig.1 The rock conditions of blasted working face rock mass

1.2 爆破对软弱围岩造成超欠挖

在隧道施工过程中造成的超欠挖难以避免,这主要是因为爆破作用对围岩产生破坏导致岩体从母岩脱离,脱离规模难以控制,过之则超挖,反之则欠挖。由于软弱岩层本身具有软硬层性质差异大、岩面结合程度较差、破碎性和层面粘结力弱等特点,在开挖时,如果爆破方法不当,易造成大量的超欠挖。为了严格控制软弱围岩的超欠挖,首先选择对围岩扰动相对较小预裂爆破方法。由于钻孔精度对超欠挖的影响最大,应首先严格控制周边孔的外插角度,钻孔深度和开口位置,其次是选择合适的周边孔线装药密度、周边炮眼间距布置、装药结构等因素。对围岩的振动和破坏达到最佳状态,从而减少超欠挖^[5]。

1.3 爆破后软弱围岩大变形

隧道开挖后,岩体中形成一个自由变形空间,使原来处于挤压状态的围岩,由于失去了支撑而发生向洞内松胀变形,围岩从相对静止的状态转变为活动的状态^[6]。由于软弱围岩本身所具有的特点,加之多次爆破产生的应力波多次有间断的扰动,破坏了软弱围岩原本力学状态较差的自然拱,使软弱围岩开挖后的变形速度加快,进而使软弱围岩自稳能力减弱产生较大变形。由于软弱水平岩层具有破碎性和层理性,加之爆破产生的应力波在围岩传播过程中反复对围岩产生多次扰动,发生在拱部的多次应力集中现象诱发拱部围岩的牵动和扩展性松动,进而使围岩被挤出向临空面发生位移,出现掉块和塌顶现象的机率增大^[7]。

2 四格隧道地质概况

四格隧道隧址位于黔东南州榕江县三江乡四格村四格寨,穿越一山包,隧址区地貌形态属强烈剥蚀切割的低山区。四格隧道属分离式隧道,建筑限界宽度: $0.75 + 0.5 + 2 \times 3.75 + 1.0 + 1.0 = 10.75$ m,建筑限界高度5.0 m,衬砌内轮廓采用半径为5.85 m的单心圆,内轮廓设计高程距拱顶高度7.1 m,内轮廓最宽处为11.7 m。隧道穿越近南北走向的山岭,纵向地形中间高,两侧低,地形起伏大,地面标高介于609.30~738.00 m之间,相对高差128.70 m。山体冲沟较发育,多纵向分布,呈条状,以降水和地表出露的泉水补给为主,向洞口两侧低洼处径流,随着高程的降低,水量增大。隧道左线最大埋深107.15 m,长300 m,隧道右线最大埋深113.98 m,属浅埋式短隧道。

四格隧道受区域应力的长期作用(主要来自近西向),沿线岩体节理较为发育,主要有以下两组裂隙:裂隙组①,产状 $289^\circ \angle 32^\circ$,隙间间距0.60~1.30 m,延伸5.00~10.00 m,隙宽2~5 mm,少量红褐色铁质氧化物浸染;裂隙组②,产状 $6^\circ \angle 81^\circ$,隙间间距0.80~2.50 m,延伸大于10 m,隙宽3~6 mm,少量红褐色铁质氧化物浸染。隧址区地质构造位于摆货坡背斜南东翼,构造线总体上呈北东~南西向展布。

3 爆破建议

四格隧道采用台阶法开挖施工,在施工过程

中预先探测出掌子面前方的地质情况,依据探测结果,选择合理的爆破参数,通过多次爆破试验确定爆破参数范围。因为四格隧道穿越的软弱岩体较多,所以选择破坏扰动更小的预裂爆破,对工程更有实际意义。

对黔东南软弱围岩的爆破过程要控制以下几个主要因素。

1) 钻孔精度: 钻孔精度包括周边孔外插角度 θ 、钻孔深度 L 和开口位置三要素影响隧洞超欠挖。假如钻孔精度参数控制不好,可能造成超挖,导致软弱围岩的稳定性和整体性大大降低,进而影响整个洞室的安全;亦可能造成欠挖,导致增加大量的工作量甚至进行二次爆破以致延缓工程进度。所以通过控制外插角度和钻孔深度对控制超欠挖至关重要。为使钻孔精度达到最佳,在施工过程中严控台车的就位精度,使钻孔深度、方向和深度达到控制值之内,即外插角度应控制在 3° 以内,钻孔深度为 $3.0 \sim 3.5$ m,开口位置精度 e 应控制在 $\pm 3 \sim \pm 4.5$ cm,同时通过经验公式 $h = 0.5 L \tan \theta + e$ [8-10] 及时验证和调节超挖高度 h ,同时为了保证炮眼底部在同一平面上,根据炮眼周围岩石的凹凸程度调整炮眼深度。

2) 周边孔线装药密度: 由于软弱围岩体本身较破碎,节理较发育,层面粘结力弱等特点,在开挖爆破时易造成拱部围岩的牵动、扩展性松动和脱落,选择合理的耗药量对软弱围岩的爆破极其重要。该量既能提供足够的破岩能量,又不会造成围岩过度的破坏,选用预裂爆破方法的情况下,选用经验丰富的钻工施钻,保持钻孔有预定的钻孔精度范围,根据爆破效果和爆破理论反复调整装药密度,在大量试验的基础上得出单位线装药密度范围应控制在 $0.16 \sim 0.26$ kg/m 之内 [8-10]。

3) 炮眼布置: 将隧道开挖面的炮眼按直线图式布孔,即将炮眼按垂直方向或水平方向,围绕掏槽开口成直线形逐层排列。这种布孔图式,形式简单并且容易掌握,同排炮眼的最小抵抗线一致,间距一致,前排炮眼为后排创造临空面,爆破效果较好,同时考虑周边炮眼间距 E 、最小抵抗线和炮眼密集系数三方面技术参数 [8-9]。由于软弱围岩本身较破碎并且质软,适宜取较大的 E 值,结合理论分析,再通过对四格隧道大量的现场试验和数值分析,周边炮眼爆破部分岩层厚度 W (最小抵抗线) 适宜在 $50 \sim 90$ cm,炮眼密集系数即周边炮眼间距 E 和最小抵抗线 W 的比值 k 控制在 0.75

~ 1.05 之内,再根据比值调节 E 的大小 [8-9]。

4) 装药结构: 正确的爆破技术措施是获得良好光面爆破的重要保证,为了减少炸药爆炸对围岩扰动的影响,在不耦合装药的前提下,光面爆破应满足炮孔内静压力合力必须小于爆炸岩体的极限抗压强度,而大于岩体的极限抗拉强度的条件,为此除了严格控制装药量外,还要采用正确的爆破技术措施:(1) 使用低爆速、低猛度、低密度、传爆性能好、爆炸威力大的炸药。(2) 严格掌控周边炮眼相邻的内圈炮眼的爆破效果,周边炮眼应同步起爆;周边眼必须采用同段雷管同时起爆,并尽可能减少同段雷管的延期时间差。(3) 严格控制装药集中度,采用间隔装药结构 [1-3]。

4 监控量测的实施

在严格按照公路隧道施工规范的要求,根据隧道的实际地质情况结合新奥法施工的情况下,并对隧洞中运用了该爆破建议的断面进行了及时连续的监控量测。通过断面的周边收敛位移量测与拱顶下沉量测,并结合该断面的激光断面图说明该建议的合理性。四格隧道 ZK118+780 断面为试验断面,图 2~图 6 为该断面拱顶下沉、周边收敛、激光断面监测结果。

监测结果显示,该断面周边收敛位移最大量和拱顶下沉最大量分别为 9.20 mm, 20.3 mm,依据公路隧道设计规范,满足对埋深 $50 \sim 300$ m 的 V 级围岩锚喷衬砌和复合式衬砌初期支护允许洞

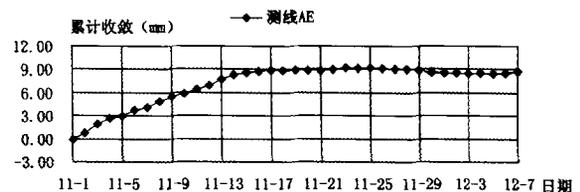


图2 四格隧道ZK118+780断面收敛累计时程曲线图

Fig.2 The accumulative schedule graph of ZK118+780 section convergence in Sige tunnel



图3 四格隧道ZK118+780断面收敛速率时程曲线图

Fig.3 The rate schedule graph of ZK118+780 section convergence in Sige tunnel

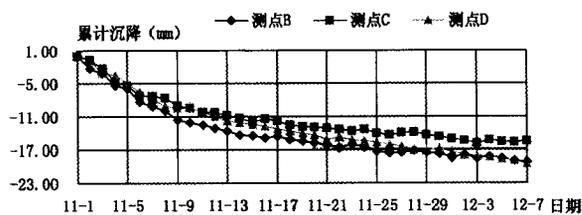


图4 四格隧道ZK118+780断面拱顶沉降累计时程曲线图

Fig.4 The accumulative schedule graph of ZK118+780 section vaults settlement in Sige

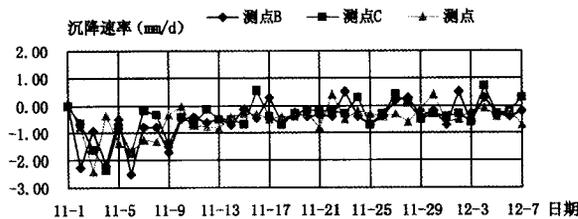


图5 四格隧道ZK118+780断面拱顶沉降速率时程曲线图

Fig.5 The rate schedule graph of ZK118+780 section vaults settlement in Sige tunnel

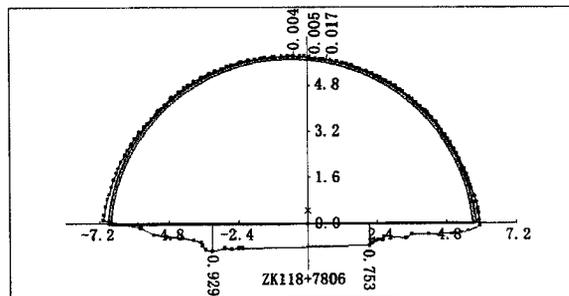


图6 四格隧道ZK118+780激光断面限界情况

Fig.6 The gabarite condition of ZK118+780 laser section in Sige tunnel

内周边相对位移值和允许洞内拱顶沉降控制值方面的规定,即9.20 mm在周边收敛位移量为介于两测点间距的0.6%~1.6%之内,表明收敛位移状态良好,同时20.3 mm拱顶沉降量小于规范警戒值80 mm,即围岩在爆破扰动后处于最佳变形状态。就周边收敛变形曲线(二阶导数)和围岩位

移速率方面而言,通过数据分析得出收敛累计时程曲线的二阶导数 <0 ,表明曲线变形速率下降,变形曲线趋于平缓,围岩变形向稳定方向发展,后期数据表明收敛速率小于0.2 mm/d,即围岩达到基本稳定^[11]。同时根据激光断面图8,表明超欠挖现象得到明显的控制。

5 结语

针对软弱围岩在钻爆施工过程中出现围岩过大的扰动、超欠挖和围岩大变形、掉块、塌顶的主要问题,对爆破参数进行优化和爆破方法改进,逐步试验调整并最终探索出针对软弱围岩的合理爆破建议,通过监控量测证明本爆破建议达到预期结果,因此本研究既达到了节约工程成本的目的,又确保了施工安全和施工质量。

参考文献:

- [1] 陈秋南. 隧道工程[M]. 北京:机械工业出版社,2007.
- [2] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [3] 朱永全. 隧道工程[M]. 北京:中国铁道出版社,2005.
- [4] 刘书广,费维水. 施工爆破对隧道围岩的扰动分析[J]. 交通世界,2006(8):73-76.
- [5] 邓显平. 隧道超欠挖的影响因素及控制途径[J]. 公路交通科技,2009(1):5-6.
- [6] 张忠苗. 工程地质学[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2007.
- [7] 懂宽民. 胶州湾海底隧道爆破振动控制技术与实践[J]. 隧道与地下工程,2010,1009(5):86-91.
- [8] 万姜林,关宝树. 钻爆法隧道控制超欠挖技术研究[J]. 西南交通大学学报,1992(86):302-307.
- [9] 邹树梅,王胜勇. 软弱围岩控制爆破设计与施工[J]. 工程力学,2000(增刊):742-750.
- [10] 何林生,吴永清,王明年. 钻爆法施工隧道的超欠挖控制[J]. 广东公路交通,1998(增刊):88-92.
- [11] JTGD70-2004,公路隧道设计规范[S].

(责任编辑 刘存英)