

松动爆破在地铁工程悬臂掘进机硬岩施工中的应用

王剑

贵阳市城市轨道交通集团有限公司

摘要: 针对悬臂掘进机在硬岩施工中效率低、成本高、粉尘大的难题,通过分析围岩裂隙扩展机理,结合现场试验,得出松动爆破在硬岩掘进中的参数,进而指导施工,同时为类似工程提供借鉴。

关键词: 硬岩; 悬臂掘进机; 松动爆破; 裂隙扩展

一、引言

近年来,城市轨道交通行业飞速发展,为了减少地铁爆破施工对周边构筑物的影响,悬臂掘进机越来越多的应用到地铁施工中,但悬臂掘进机切割过程中遇到硬岩时,存在效率低、截齿消耗大、成本高、粉尘大等问题。

与传统爆破相比,松动爆破是一种能充分利用爆破能量,使爆破对象成为裂隙发育体,并且不产生抛掷的爆破技术,松动爆破后岩石呈现破裂和松动状态,可以形成裂隙区。通过控制爆破过程中炮孔布设、炮孔深度及单孔药量,以此达到降低爆破振速的目的,减小对周边管线及构筑物的影响,提高悬臂掘进机的掘进效率。

二、工程概况

(一) 工程简介

云峰路站~白云行政中心站区间隧道为地下暗挖双洞单线隧道,全长781.712m,隧道呈马蹄型,断面宽6.6m,高7.1m,洞顶埋深16~23m,采用矿山法施工;本区间隧道下穿或侧穿多栋老旧建筑物,多为条形基础,砖混结构,抗震能力差;由于隧道埋深浅,岩石强度高,下穿段若采用爆破施工,易引发地表沉降、房屋开裂等现象,为避免对周边建筑物的损伤,设计采用悬臂掘进机施工。

(二) 地质情况

场区位于云贵高原东部一级剥夷面之上,整体地势北高南低,地貌类型为溶丘、洼地与槽谷地貌。根据地勘资料,隧区上覆地层为第四系覆盖层为人工填土 Q_4^{ml} 、残坡积红黏土 Q_4^{el+dl} ;下伏地层为三叠系下统安顺组 T_{1a} 白云岩,三叠系下统大冶组(T_{1d})灰岩,其中 T_{1a} 白云岩饱和抗压强度为30.2MPa, T_{1d} 灰岩饱和抗压强度为48.4MPa。

(三) 设备选型

EBZ260悬臂掘进机最经济切割强度 ≤ 60 MPa,最大切割强度 ≤ 90 MPa,根据地勘资料,本区间岩石饱和抗压强度均未超过50MPa,因此选择该类型掘进机作为施工设备。

(四) 存在的问题

设备进场开始掘进施工后,第一循环(0.75m)进度较快,截齿损耗2个,第二循环(0.75m)损耗截齿12个,严重影响施工进度,根据试验取样送检报告得到各部位岩石实际抗压强度,取部分试验结果如表2-1所示:

由于下穿段地勘钻探不具备条件,设计值为相同里程平

行钻探推测值,贵阳喀斯特地貌围岩变化情况大,实测岩石饱和抗压强度平均值为98MPa,该试验值是单轴强度,岩石实际处于三向受力状态,实际强度大于试验值,大于设计参考值(30.2MPa)和设备最大切割强度(90MPa),因此导致现场施工时截齿损耗大,开挖进度慢。

三、松动爆破原理

针对现场岩石强度高、掘进难度大的情况,决定采取松动爆破增加围岩裂隙,降低围岩整体性,同时控制爆破振速,以此达到正常施工的目的。

(一) 爆破破坏形式

炸药起爆后,岩石是在多种荷载的综合作用下发生破坏,产生5种破坏形式:(1)炮孔周围的岩石被压碎;(2)产生径向裂纹;(3)应力卸载使岩石产生环向裂纹;(4)压缩应力在自由面反射变为拉伸应力所造成的“片落”现象;(5)爆炸气体作用下岩石产生的裂纹。

(二) 爆破裂隙形成机理

爆炸产生的裂缝主要由爆炸冲击波和爆炸气体共同作用,两者作用于被爆岩石的时间不同:爆炸冲击波首先作用于岩石,使其产生裂纹,然后在一定程度上促使裂纹的发展;而爆炸气体的作用是当岩石裂纹产生并扩展后,进一步使裂纹发展并相互贯通,将岩石切割为彼此相对独立的块状。

爆炸发生后,冲击波和气体对孔壁周边围岩产生压力,围岩在切向方向受到拉应力作用,产生拉伸变形。由于岩石的抗拉强度低于抗压强度,当其所承受的拉应力超过极限抗拉强度时,就会在径向方向产生裂隙。在径向方向,由于质点位移不同,因此产生剪应力,当剪应力超过岩石极限抗剪强度,则发生剪切破坏,产生径向剪切裂隙。

裂隙形成的过程中,在冲击波未叠加之前,每个炮孔仅在各自孔壁上产生不定向的裂隙,当炮孔之间的爆炸冲击波叠加后,加上临近炮孔的导向作用,在炮孔连线方向产生应力集中,当拉应力大于岩体动态抗拉强度时,形成了大量贯通的裂缝。

(三) 爆破振速控制

地铁施工一般在城市繁华地段,隧道埋深较浅,周边建筑物多,地下管线复杂,因此在施工过程中需要严格控制爆破振速,确保周边构筑物及管线的安全,本工程松动爆破振速控制在1cm/s以内。

根据《爆破安全规程》规定的爆破振动安全距离验算公式推导出距周边建筑物不同距离一次起爆或微差爆破单段允许最大段起爆炸药量 Q_{max} 。

$$v = K \left(\frac{\sqrt[3]{Q}}{R} \right)^\alpha$$

表2-1 实测岩石强度统计

序号	试验里程	饱和抗压强度 (MPa)			饱和抗压强度平均值 (MPa)	备注
		1	2	3		
1	第一循环~第五循环	102.4	106.8	103.9	104.4	
2	第六循环~第十循环	94.4	94.3	91.4	93.4	
3	第十一循环~第二十循环	97.7	94.8	98.2	96.9	
4	第二十一循环~第三十循环	75.3	81.4	77.6	78.1	
5	第三十一循环~第四十循环	114.6	120.3	116.4	117.1	

表3-1 松动爆破试验参数汇总表

序号	孔数 (个)	孔深 (m)	单孔药量 (kg)	总药量 (kg)	段位	单段药量 (kg)	爆破振速 (cm/s)	爆破后悬臂掘进机施工情况
1	13	2m	0.3	3.9	2	1.95	0.43	掘进慢、截齿损耗大
2	17	2m	0.3	5.1	2	1.7	0.40	掘进慢、截齿损耗大
3	21	2m	0.3	6.3	2	3.15	0.51	掘进较慢、截齿损耗较大
4	24	2m	0.45	11.7	3	3.9	0.54	掘进较快、截齿损耗较小
5	26	2m	0.45	11.7	3	3.9	0.62	掘进快、截齿损耗小
6	26	2m	0.45	11.7	3	3.9	0.60	掘进快、截齿损耗小
7	26	2m	0.45	11.7	3	3.9	0.58	掘进快、截齿损耗小

式中:

R—爆源中心到被保护物的距离, m;

Q—单段最大起爆药量, kg;

V—建筑所在地面允许的质点振速, 按一般砖房、非抗震的大型砌块建筑物可取安全值的下限为2.3cm/s(浅孔爆破震动频率一般在40 Hz~100 Hz区间), 考虑到最近民房基础和结构较差, 则取保守值为2cm/s;

K、 α —修正系数, 这里取为K=200、 $\alpha=1.7$ 。

每次爆破装药前, 必须根据以上公式计算单段最大装药量, 通过计算控制装药量值, 确定微差延期爆破分段数目, 严格控制每次爆破规模, 控制爆破震动速度值, 确保附近建(构)筑物的安全, 而且还能达到改善爆破效果的目的。

四、现场试验

(一) 试验参数

根据松动爆破裂隙形成机理, 同时结合现场实际情况, 制定适用于本工程的松动爆破方案, 现场共进行7次试验, 通过分析对比, 确定松动爆破参数如下:

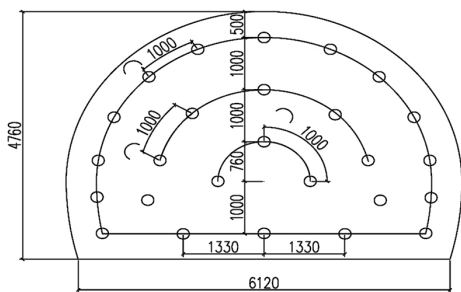


图1 松动爆破炮孔布置示意图

综合分析可得针对本工程松动爆破的试验参数如下:

布孔个数: 26个; 炮眼深度: 2m; 单孔药量: 0.45kg; 单段药量: 3.9kg; 段位: 3。

(二) 试验效果

试验结果显示该爆破参数对于振速的控制较好, 均在0.7cm/s以内, 通过对周边构筑物及管线的监测, 未发现沉降、开裂现象。此外, 松动爆破后, 围岩裂隙大量发育, 整体强度降低, 掘进速度加快, 设备损耗降低, 施工粉尘减少:

(1) 悬臂掘进机施工每循环(2m)时间由20h降低到12h, 施工速度提高近40%;

(2) 截齿的损耗减小, 由每循环10~15个降低到每循环4~8个, 节约了成本, 提高了经济效益;

(3) 施工产生的粉尘也明显减少, 改善工人作业环境, 降低了粉尘对人体的伤害。

五、结论

悬臂掘进机在硬岩施工时, 松动爆破能充分利用爆炸能量产生和发展裂纹, 使爆破岩石松动破碎, 又不会使爆破岩石产生抛掷运动, 同时爆破振速得到有效控制, 降低对周边房屋及管线的损害; 爆后岩石能够使悬臂掘进机顺利切割, 提高了施工效率, 保证了工期进度; 此外, 设备损耗降低, 大大的节约了成本; 强度降低后, 对粉尘有了更好的控制, 施工作业人员的人身健康得到了保证。

参考文献

[1] GB6722-2003 爆破安全规程[S]. 北京: 中国标准出版社, 2004.
 [2] 经伯涛. 浅谈台阶微差松动爆破技术的应用[J]. 建材与装饰, 2017(32): 146-147.
 [3] 梁波. 浅谈微差松动控制爆破技术及其在地铁车站基坑施工中的应用[J]. 西部探矿工程, 2011(3): 5-9.

(上接第170页)

的连接件, 并清理建筑垃圾。拆除原支座, 安装新支座, 全桥需更换61个支座。

七、增设梁底调平钢板

割开支座上钢板与主梁梁底钢板焊缝, 使两者分离; 在梁底钢板底焊接调平钢板, 确保梁底水平; 在梁底调平钢板下焊接支座上钢板。

八、落梁及成桥

当支座更换以及支座上钢板焊接完毕后, 释放千斤顶让主梁落位, 观察支座顶面与支座上钢板间是否有缝隙? 确保支座顶面与主梁底面平整接触。

同步均匀缓慢卸载, 拆除千斤顶。焊接桥面现浇层钢筋, 并浇筑现浇层混凝土及更换伸缩缝、沥青混凝土桥面铺装。

参考文献

[1] 田世清. 卷洞大桥梁体复位技术介绍. 公路交通技术,

2013(2).

[2] 张晓东. 桥梁顶推施工技术[J]. 公路, 2003(9): 45-51.

[3] 郭宏军. 桥梁移位后的复位[J]. 青海交通科技, 2009(6): 3-32.

[4] 陈永宏. 平胜大桥自锚式悬索桥钢箱梁顶推施工[J]. 桥梁建设, 2006(S1): 33-35.

[5] 檀兴华, 余运良等. 九堡大桥钢槽梁顶推施工方法研究[J]. 公路, 2010(6): 92-97.

[6] 杨寿忠, 向中富. 小石坝高架桥连续箱梁顶推复位施工技术介绍[J]. 公路交通技术, 2011(4): 42-46.

[7] 上官兴, 付书林, 万艺等. 中国桥梁顶推技术综述[C]/2010组合结构桥梁和顶推技术应用学术会议论文集, 北京: 人民交通出版社.