

doi:10.3963/j.issn.1001-487X.2022.02.019

爆破法处理盾构机卡壳

黎蜀明,樊荆连,陈豫生

(深圳市华海爆破工程有限公司,深圳 518019)

摘要: 盾构机在坚硬的岩层中掘进因刀具磨损,造成隧道断面欠挖,纵向欠挖长度约2.5 m,导致左右线盾构机同时被卡在岩层中。为了使盾构机脱困,采用爆破法将欠挖段隧道上部分的断面扩大。扩大断面之前,需对盾构机前方掌子面爆破掘进一定的长度,为欠挖部位的钻孔爆破施工(反掘爆破)创造操作空间。紧贴盾构机刀盘掌子面的第一循环爆破施工难度最大:一是刀盘距爆破体的距离最小,要避免爆破冲击对刀盘的伤害;二是要考虑爆破后因岩石碎胀体积增大对刀盘造成挤压伤害。因此,采用短进尺、少装药和分区爆破,以减轻上述有害效应对刀盘的伤害。反掘爆破时,需将冲击力最大的掏槽爆破布置在离盾构壳体较远处,采用不耦合装药、对称起爆和控制药量等措施,最终将欠挖部分的断面全部爆破到位,使盾构机安全脱困。反掘爆破能在坚硬岩石条件下(抗压强度大于150 MPa),在宽0.6 m(盾构外壳与岩石之间)、孔深2.8 m的狭小空间中,能使爆破率达90%以上,这与采用了环空孔(中间装药孔周围环形布置6个空孔)掏槽密不可分。该方法可以用于中、坚硬岩石条件下盾构机被卡壳的脱困处理。

关键词: 爆破处理盾构卡壳;环空孔掏槽;分区爆破;不耦合装药;对称起爆

中图分类号: TD235 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-487X(2022)02-0128-05

Blasting Treatment of Jammed Shield Machine

LI Shu-ming, FAN Jing-lian, CHEN Yu-sheng

(Shenzhen Huahai Blasting Engineering Co., Ltd., Shenzhen 518019, China)

Abstract: Due to tool wear, the tunneling section of the shield machine in the hard rock stratum is under-excavation, and the length of the longitudinal under-excavation is about 2.5 m, resulting in the left and right line of the shield machine being stuck in the rock stratum at the same time. In order to get the shield out of trouble, the section of the upper half of the tunnel in the under excavated section is expanded by blasting. Before expanding the section, it is necessary to excavate a certain length of blasting on the front face of the shield machine, so as to create operation space for drilling and blasting construction (reverse blasting) in the under-excavated part. The first round blasting close to the tunnel face of the shield machine knife plate is the most difficult. Firstly, the distance between the cutter head and the blasting body is the smallest, so the damage to the cutter head caused by blasting impact should be avoided; The second is to consider the crushing damage to the cutter head caused by the increase of rock crushing volume after blasting. Therefore, short footage, less charge and zone blasting are adopted to reduce the damage of the aforementioned harmful effects on the cutter head. In the reverse excavation blasting, the cutting blasting with the largest impact force should be arranged far away from the shield shell, and measures such as non-coupling charge, symmetrical initiation and charge control should be adopted to finally blast the section of the under-excavation part into place, so that the shield machine can safely escape. Under the condition of hard rock (compressive strength greater than 150 MPa), in a narrow space with a width of 0.6 m (between shield shell and rock) and a hole depth of 2.8 m, the reverse excavation blasting can make the blasting rate reach more than 90%, which is inseparable from the use of cutting of annular empty hole (6 empty holes are arranged around the middle charging hole). This method can be used to solve the problem of shield machine being stuck under medium hard rock and hard rock conditions.

Key words: blasting treatment of shield jamming; cutting of annular empty hole; zonal blasting; uncoupled charge; symmetrical initiation

现在隧道施工很多采用盾构机掘进,盾构机施工高效安全,越来越多地受到施工企业的青睐。受操作、地质条件或设备本身缺陷等因素影响,有时会出现“卡壳”。一旦卡壳,停工造成的经济代价和信誉损失让施工单位承受很大压力,都想及时摆脱困境。关于爆破法处理盾构卡壳,曾有文献报道^[1],本文介绍深圳市地铁隧道14号线清水河站~布吉站区间盾构卡壳事故的处理方法。本爆破处理与文献[1]不同之处:(1)本爆破岩石更加坚硬。文献[1]是中、微风化花岗岩,抗压强度仅大于80 MPa,较容易爆破;本爆破的岩石坚硬程度远大于文献[1],爆破难度更大。(2)掏槽孔有区别,都是直线掏槽,本施工爆破采用的是环空孔掏槽^[2],装药孔和装药量远小于文献[1],掏槽效率好于文献[1](特坚石爆破率达90%以上)。(3)反掘施工时文献[1]分2层爆破,本施工1层爆破。(4)文献[1]爆破用时10 d,本施工爆破用时7 d。

1 概况

左、右线2台盾构机同时卡壳,盾构卡壳的原因是刀具磨损严重,导致掘进断面欠挖约5 cm,欠挖部分的长度约2.5 m,需要处理的长度应大于上述数值。卡壳岩层属侏罗纪角岩,单轴抗压强度153 MPa,岩石结构致密非常坚硬。卡壳所处位置地层埋深42~44 m,隧道上部岩层厚度30 m。

2 施工方案

先在盾构机前方将掌子面3、9点以上半个隧道断面向前爆破大于2.5 m,同时向轮廓线以外扩大0.7 m,作为下一步扩大欠挖部分断面反向钻孔时的作业空间。由于岩巷掌子面紧贴(约0.1 m)盾构机的刀盘,向前掘进爆破的第一个循环只能短进尺、少装药和分区爆破(图1),以确保岩体爆破后体积增大时有足够的空间容纳。掌子面掘进到位后平行于盾构机反向钻孔爆破,将欠挖部分扩大(只扩大3、9点以上半个隧道断面)。脱困施工按以下步骤进行。

(1)拆除盾构刀盘上的刀具。

(2)将刀盘旋转至便于钻掏槽孔的位置(图2“B-B剖”)。

(3)为反掘扩大欠挖断面的钻孔作业创造操作空间(掌子面爆破):第一循环I区(掏槽)钻孔爆破——第一循环II区钻孔爆破——第一循环III区钻孔爆破——第一循环IV区钻孔爆破——第二循环钻孔爆破。

(4)反掘欠挖断面钻孔爆破:掏槽爆破——对称分三次扩大欠挖部分的爆破。

(5)用高压风清理检查盾壳与岩层之间是否形成间隙(如果没有,重复施工步骤“4”)。

(6)安装盾构刀具。

(7)脱困试车。

3 爆破参数及施工

采用 $\phi 40$ 炮孔, $\phi 32$ 乳化炸药装药,孔深和间、排距根据爆破所在部位各不同。采用导爆管雷管簇联起爆网路。主要施工在步骤(3)和(4),以下分别叙述。

3.1 掌子面爆破

掌子面向前掘进3、9点以上的断面,爆破分2个循环进行。第一循环因盾构机刀盘几乎紧贴掌子面(约0.1 m),爆破钻孔只能根据刀盘上空隙的尺寸(图2“B-B剖”)布孔(图1)。钻杆穿过空隙,钻孔人员隔着刀盘站在土仓内作业(图2“A-A剖”)。因空间狭小,第一个循环采用短进尺、分4个区域钻孔爆破(图1)。如果不分区爆破,一次爆破量过大可能产生下列不良后果:一是由于岩石爆破后碎胀体积增大,爆破瞬间无法容纳超量石渣,可能使刀盘挤压受损;二是钻孔时要频繁转动盾构刀盘,影响施工效率。

第一循环孔深1.2 m。I区只爆破掏槽部分,掏槽孔7个:中心1个装药孔,环中心6个空孔不装药(作为中心孔的侧向自由面),3个扩槽孔(图2中5、7段),共10孔(图3、表1)。空孔布置以中心装药孔为圆心,在半径10 cm的圆上。扩槽孔与中心孔的距离0.3 m(图3)。中心孔先响,第二响扩槽孔的起爆时间滞后中心孔100 ms以上(图3中5段导爆管雷管110 ms)。因为当1段起爆后短时间内中心孔掏槽的岩石还未抛离岩体,如果扩槽孔与中间孔的时差太小,还没有形成侧向临空面,会影响扩槽孔的爆破效果^[3]。中心孔装药0.8 kg,扩槽孔单孔装药0.7 kg(表1)。图4和图5为环空孔掏槽爆前和爆后照片。

收稿日期:2022-01-29

作者简介:黎蜀明(1955-),男,从事矿山开采和城市控制爆破技术工作,(E-mail)13902452791@163.com。

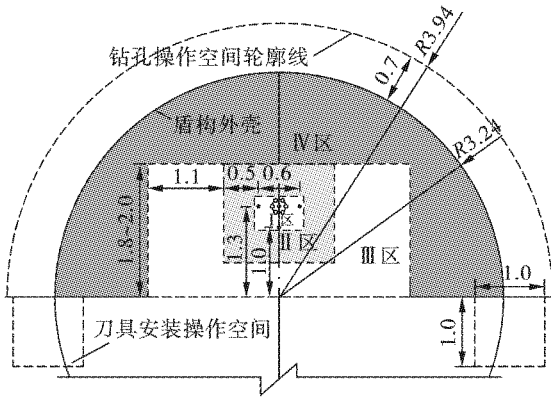


图1 掌子面第一循环分区爆破布置图(unit:m)
Fig. 1 Layout of zone blasting in the first cycle of tunnel face(unit:m)

II、III区的孔深与I区相同,间、排距0.4~0.5 m,单孔装药0.6 kg。I~III区均站在土仓内钻孔,II、III区钻孔需转动盾构刀盘调整空隙位置;IV区钻孔人员可以进入到I~III区爆破形成的空间中刷炮,加快了施工进度。

表1 掌子面第一循环掏槽爆破参数
Table 1 Blasting parameters of the first cycle cutting of the face

炮孔名称	孔数/ 个	孔深/ m	间距/ m	排距/ m	单孔 装药/kg	雷管 段别
掏槽装药孔	1	1.2			0.8	1
掏槽空孔	6	1.2	0.1			
下扩槽孔	1	1.2		0.2	0.7	5
上扩槽孔	2	1.2		0.2	0.7	7

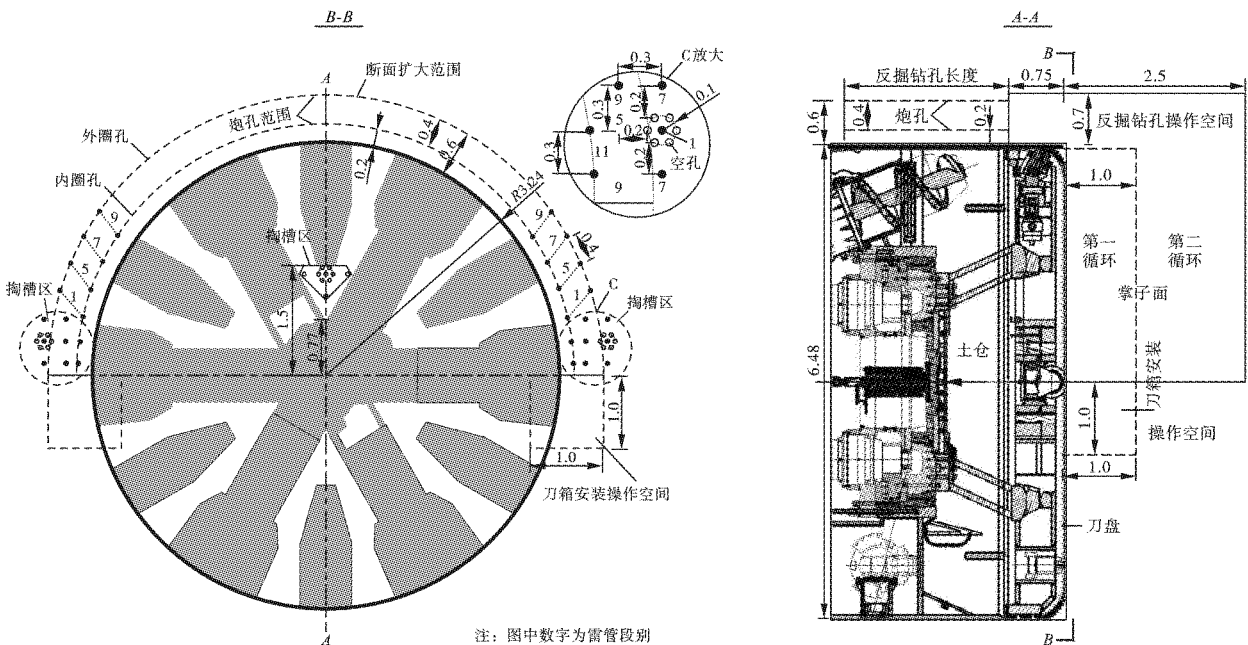


图2 爆破施工范围和盾壳外围反掘炮孔布置及起爆顺序(右线)(单位:m)

Fig. 2 Blasting construction scope, reverse excavation blast hole layout of around shield shell and initiation sequence(right line)(unit:m)

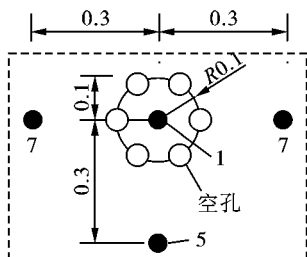


图3 I区炮孔布置及起爆顺序(单位:m)
Fig. 3 Blast hole layout and initiation sequence of zone I (unit:m)

第二循环的施工由于有了第一循环爆破的空间,操作相对简单。装药量不宜过大,按孔深30%~40%装药,一般2次完成整个断面的爆破。同时对3、9点以上轮廓线向外扩大0.7 m,便于反掘盾壳外围欠挖部分爆破作业时的操作空间。

3.2 反掘扩大欠挖断面钻孔爆破

在盾构外壳与岩石之间反向掘进一个半圆形槽,槽宽0.6 m,深度不小于预估欠挖长度,一次爆破到位。反掘爆破需先掏槽,掏槽区位置根据现场情况决定。左线从12点处掏槽,只需一个掏槽,由

中间向两边等量、对称爆破。

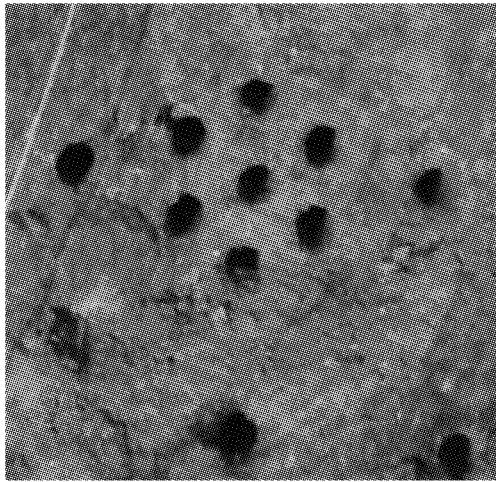


图 4 环空孔掏槽照片

Fig. 4 Photos of surround Empty hole cutting

右线由于掌子面的石渣已清空,人员站立位置与顶部距离太大,不便在顶部 12 点处钻孔,掏槽区(表 2)放在 3、9 点共 2 处。掏槽爆破后从两边向中间等量、对称爆破(图 2“B-B 剖”)。为了减少夹制力,降低爆轰冲击对盾壳的影响,掏槽孔布置在远离

盾壳处。形成侧向临空面后,从下往上分排顺序起爆,每次爆破不多于 4 排(两侧 8 排),分 3 次爆破完成。内圈孔距离盾壳 0.2 m,排距(以起爆顺序分为排距,下同)0.4 m;外圈孔距离盾壳 0.6 m,排距略大于内圈孔排距。均采用导爆索串联药卷不偶合装药(表 3),炸药卷用电工胶布平均分 5 段绑在 PVC 片上,孔口留 0.5 m 用编织物堵塞。起爆顺序外圈孔先响,内圈孔后响,排间延时大于 100 ms,以减轻爆破对盾壳的冲击。反掘爆破后效果见图 6。

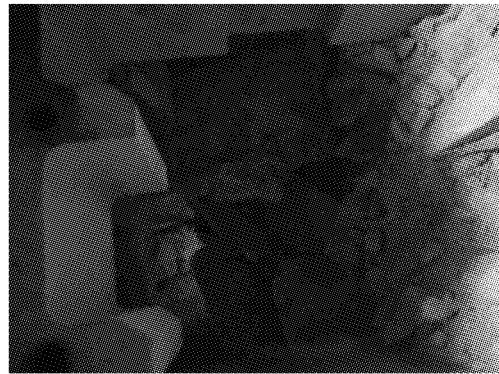


图 5 第一循环掏槽爆后照片

Fig. 5 Photos after the first cycle cutting blasting

表 2 反掘扩大断面掏槽爆破参数

Table 2 Blasting parameters of cut blasting of reverse excavation to enlarging section

炮孔名称	孔数/个	孔深/m	间距/m	排距/m	单孔装药/kg	雷管段别	备注
掏槽装药孔	1	2.8			2.2	1	
掏槽空孔	6	2.8	0.1				
扩槽孔	1	2.8		0.2	1.8	5	
扩槽孔	2	2.8		0.2	1.8	7	
辅助孔	2	2.8	0.3	0.3	1	9	不偶合装药
内圈孔	2	2.8	0.3	0.3	0.8	11	
合计	14						

表 3 反掘扩大断面爆破参数

Table 3 Blasting parameters of reverse excavation to enlarging section

炮孔名称	位置	孔数/个	孔深/m	间距/m	排距/m	单孔装药/kg	雷管段别	备注
第一排	内圈孔	1	2.8	0.4	0.4	0.8	1	1、均为不偶合装药。2、左右侧参数相同,等量、对称起爆。
	外圈孔	1	2.8	0.4	0.4	1.2		
第二排	内圈孔	1	2.8	0.4	0.4	0.8	5	
	外圈孔	1	2.8	0.4	0.4	1.2		
第三排	内圈孔	1	2.8	0.4	0.4	0.8	7	
	外圈孔	1	2.8	0.4	0.4	1.2		
第四排	内圈孔	1	2.8	0.4	0.4	0.8	9	
	外圈孔	1	2.8	0.4	0.4	1.2		
合计		8				8		

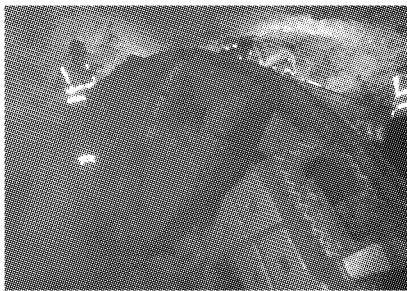


图6 反掘爆破效果图片

Fig. 6 Pictures of reverse excavation blasting effect

4 经验总结及效果

在整个施工过程中,掌子面第一循环的掏槽爆破和反掘扩大欠挖断面的掏槽爆破是关键环节,这两个环节的工作做好了,脱困工作成功了一半。因为这2处的爆破离刀盘和盾构壳体很近,掏槽爆破的冲击力远大于有侧向临空面的其它爆破,这2处爆破参数优劣直接关系到盾构机的安全和能否达到脱困所需要的爆破长度。

左线从2021年1月27日下午爆破施工第一炮到2月3日结束,爆破用时不到7d,反掘长度3m(含刀盘0.75m);右线从2021年1月29日开始爆破到2月4日结束,爆破历时7d,反掘长度3.3m(含刀盘0.75m)。爆破完成后经高压风管将盾构外壳吹洗干净测量,反掘底部12点位置盾壳体与岩

石间隙:左线4~5mm,右线15mm,均达到脱困间隙。

两条盾构机于2021年2月17日以后陆续恢复掘进功能,至此圆满完成脱困工作。

参考文献(References)

- [1] 殷红伟. 爆破在盾构机卡壳处理中的应用[J]. 隧道建设, 2006, 26(S2): 39-40, 55.
- [1] YINH W. Application of blasting technology in relieving of blocked shield machines[J]. Tunnel Construction, 2006, 26(S2): 39-40, 55. (in Chinese)
- [2] 黎蜀明, 樊荆连, 陈新华, 等. 下穿既有地铁隧道电子雷管网路施工技术[J]. 工程爆破, 2021, 27(1): 105-108.
- [2] LI S M, FAN J L, CHEN X H, et al. Construction technology of electronic detonator network underpassing existing subway tunnel[J]. Engineering Blasting, 2021, 27(1): 105-108. (in Chinese)
- [3] 黎蜀明, 樊荆连, 杨 斌. 非台阶拉槽爆破之孔内分层装药分段起爆施工技术[C] // 张志毅. 中国爆破新技术IV. 北京: 冶金工业出版社, 2016: 283-289.
- [3] LI S M, FAN J L, YANG B. Construction method for in-hole layered charging stage blasting of non-bench kerf blasting[C] // ZHANG Z Y. New technology of blasting engineering in China IV. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2016: 283-289. (in Chinese)

英文编辑: 黄 刚

科技论文写作小知识——摘要

摘要是以提供文献内容梗概为目的, 不加评论和补充解释, 简明、确切地记述文献重要内容的短文。摘要应具有独立性和自明性, 并且拥有与文献同等量的主要信息, 即不阅读全文, 就能获得必要的信息。一篇完整的论文都要求写随文摘要, 按摘要的不同功能来划分, 大致有如下3种类型:

(1) 报道性摘要

报道性摘要是指明一次文献的主题范围及内容梗概的简明摘要, 相当于简介。报道性摘要一般用来反映科技论文的目的、方法及主要结果与结论, 在有限的字数内向读者提供尽可能多的定性或定量的信息, 充分反映该研究的创新之处。科技论文如果没有创新内容, 如果没有经得起检验的与众不同的方法或结论, 是不会引起读者的阅读兴趣的, 所以建议学术性期刊(或论文集)多选用报道性摘要, 用比其他类摘要字数稍多的篇幅, 向读者介绍论文的主要内容, 以“摘录要点”的形式报道出作者的主要研究成果和比较完整的定量及定性的信息, 篇幅以300字左右为宜。

(2) 指示性摘要

指示性摘要是指明一次文献的论题及取得的成果的性质和水平的摘要, 其目的是使读者对该研究的主要内容(即作者做了什么工作)有一个轮廓性的了解。创新内容较少的论文, 其摘要可写成指示性摘要, 一般适用于学术性期刊的简报、问题讨论等栏目以及技术性期刊等只概括地介绍论文的论题, 使读者对论文的主要内容有大致地了解, 篇幅以100字左右为宜。

(3) 报道-指示性摘要

报道-指示性摘要是以报道性摘要的形式表述论文中价值最高的那部分内容, 其余部分则以指示性摘要形式表达, 篇幅以100~200字为宜。

论文发表的最终目的是要被人利用, 如果摘要写得不好, 在当今信息激增的时代论文进入文摘、杂志、检索数据库后, 被人阅读、引用的机会就会少得多, 甚至丧失, 一篇论文价值很高, 创新内容很多, 若写成指示性摘要, 也可能会失去较多的读者。所以一般地说, 向学术性期刊投稿, 应选用报道性摘要形式, 只有创新内容较少的论文, 其摘要可写成报道-指示性或指示性摘要。