

掘进机机头与护盾被破碎围岩塌方卡机脱困技术

郑道明, 李强

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 610072)

摘要:掘进机在施工过程中,由于地质原因使掘进机在经过断层、裂隙带、渗水带、喀斯特岩层等复杂不良地质地段过程中因遭遇塌方、卡机等停机事故,给工程和工期造成不可预见的影响。通过对厄瓜多尔 CCS 项目掘进机施工中出现的机头塌方和护盾被压实施的脱困处理技术进行了分析与探讨,可为今后掘进机施工中出现类似问题提供借鉴。

关键词:长隧洞;护盾式掘进机;机头;破碎围岩;断层;塌方卡机;厄瓜多尔 CCS 项目

中图分类号:TV52;TV554⁺,2

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)增1-0083-04

1 概述

在长隧洞施工中,掘进机是一项技术先进的开挖机械,具备边开挖、边出渣、边衬砌等作业功能。掘进机开挖速度快,从而使隧洞的超挖得到了有效控制,不会出现欠挖问题。然而,在掘进机施工中,由于设计所提供的地质条件有限,掘进机在经过破碎软弱地层、断层、裂隙、渗水等复杂地段时会因各种塌方、卡机、围岩压在护盾上等而造成停机事故的发生,从而给工程和工期造成不可预见的影响。我局在南美洲厄瓜多尔 CCS 水电站项目施工的长引水隧洞直径为 9 m,采用掘进机进行掘进。2013 年 12 月 9 日,当掘进机掘进到桩号 16 + 127.41 处,掘进机刀盘前方突遇塌方,出渣量瞬间超过 3#皮带机的正常输送能力,大量的岩渣溢出皮带机并导致输渣皮带机系统故障被迫停机。项目部立即组织人员对掘进机内外溢出的岩渣进行清理,恢复了皮带机运行,但掘进机仍然无法启动。经现场检查,发现在掘进机刀盘前方 11:00—15:00 点方向位置出现了严重塌方并伴有少量渗水,刀盘被大量的塌方岩渣卡住而使掘进机无法启动,从而出现掘进机机头卡机状态。

2 造成塌方的原因

护盾式掘进机在施工过程中造成卡机、停机的原因有以下几种:①在采用护盾式掘进机对偏软围岩隧洞实施开挖后,围岩在二次应力状态下发生了较大的变形,围岩压在护盾上造成停机;②由于掘进机在开挖时机头前方围岩软弱破碎,

施工时塌方卡住刀盘造成停机;③掘进机掘进施工时,涌水和强渗漏给施工造成了很大危害,水量较大时也会造成掘进机停机;④掘进机在喀斯特(石灰岩)地区掘进时,由于隧洞前方、下部或上部出现溶洞等原因造成停机。

3 CCS 项目掘进机机头塌方采用的处理技术

3.1 机头前塌方停机采用的处理技术

对于掘进机机头前塌方和围岩收敛变形造成的停机,其被困部位为掘进机刀盘和护盾。在处理停机的掘进机时,为确保设备在安全的前提下尽快解除刀盘前的塌方,处理时采用开挖左、右旁洞和上导洞的方案尽快进入到掘进机刀盘处,并在距刀盘 3 ~ 5 m 处进行上导洞顶拱部位的扩挖,扩挖后采取钢拱架、喷混凝土、锚杆与挂钢筋网联合支护。同时,由于掘进机刀盘前破碎围岩坍塌后挤压在刀盘前而导致刀盘无法转动、掘进机护盾被压而不能前进,因此,若要使掘进机脱困,就需要挖除和支护好刀盘前顶部松散的岩石或爆除压在护盾上的围岩,其处理方法介绍如下。

3.1.1 施工准备

(1)搭设平台。采用 I 16 工字钢搭设刚性保护平台并兼做作业平台,平台高度同旁洞底板一致。平台顶部满铺 10 cm × 10 cm 木枋并用铁丝进行固定,平台左右两端用钢管搭设高 1.5 m 的围栏,并用木板或铁板封闭,防止施工时人员坠落受伤以及旁洞开挖爆破时石渣掉落损伤设备。在平台中间设 1 m × 1 m 的溜渣孔,溜渣孔上方采用 φ25 的钢筋按 20 cm × 20 cm 孔径设置过滤网,防止卸渣时大块的渣料损伤皮带,溜渣孔不使用时

收稿日期:2015-01-08

用盖子封盖。

(2) 加固管片。在确定旁洞开挖位置后,对旁洞左、右、上、下的混凝土管片进行加固。采用在管片上钻孔或利用管片操作孔进行钻孔,尽量减少对管片的损坏。采用 $\varphi 25$ 、 $L=3$ m 的药卷或砂浆锚杆对上半部分的管片进行锁定,对于其它部分则采用螺栓加垫板的方式锁定管片,并对所有已安装好的管片填充豆石并灌浆固结。

(3) 拆除管片。旁洞开挖前,对旁洞位置的管片采用风镐与电镐进行部分拆除,拆除管片时,应预留 2~3 片管片不拆除。拆除管片时,对露出的钢筋采用火焊或砂轮机切断钢筋,管片拆除完

并露出旁洞开挖的岩面。

3.1.2 旁洞的开挖

(1) 旁洞开挖采用的方法。旁洞开挖采用人工手风钻造孔,第一和第二槽炮先进行掏槽孔开挖,掏槽形成后再对旁洞进行扩挖并逐步形成旁洞开挖工作面。旁洞开挖采取浅孔弱爆破、多循环、短进尺、强支护方式进行施工。旁洞开挖时,将每循环钻孔深度控制在 1~1.2 m,旁洞周边孔采取光面爆破,光爆孔孔距为 35~40 cm。在靠近刀盘部位另加一排减震孔,旁洞开挖爆破参数见表 1。

(2) 旁洞开挖的要求与方向。旁洞开挖时,

表 1 旁洞开挖爆破参数表

序号	名称	数量	孔深 /m	线装药密度 / $g \cdot m^{-1}$	各种孔总装药量 /kg	炸药直径 /mm	雷管段别	炸药单耗 / $kg \cdot m^{-3}$	堵塞长度 /cm
1	掏槽孔	4	1.2	500	3	32	1	1.4	30
2	崩落孔	8	1	350	2.84	32	5		30
3	周边孔	10	1	100	1.2	25	9		30
4	底板孔	3	1	400	1.2	32	11		30

由测量人员标示出钻孔位置,人工持手风钻钻孔和爆破并逐步形成左、右旁洞开挖工作面。旁洞朝掘进机刀头方向延伸。为便于排水,旁洞延伸时保持约 1% 的纵坡,除渣采用人工手推车将岩渣运到作业平台的溜渣孔,利用掘进机皮带系统运渣至洞外。旁洞施工情况见图 1。

个循环进行一次超前固结灌浆。每循环开挖后先喷 5 cm 厚的混凝土封闭围岩,再挂钢筋网并安装钢拱架,最后施工系统锚杆并补喷 10 cm 厚的混凝土。

3.1.3 固结灌浆

上导洞开挖前,因刀盘前为破碎断层带且因岩石裂隙发育、稳定性极差,故导洞的开挖先采用 6 m 长的自进式锚杆作管棚,并利用锚杆的特殊功能施作围岩超前固结灌浆,灌浆材料选用双液灌浆(水泥+水玻璃),灌浆顺序为:掌子面斜向孔、顶拱径向孔,采用高压泵灌注。同时,注浆时应控制压力,确保灌浆不破坏支护结构和固结刀盘。

3.1.4 上导洞开挖

在旁洞开挖过程中,根据旁洞揭露出的围岩具体情况,及时确定旁洞的转弯点,在确定左、右旁洞的转弯点后,进行径向开挖,形成上导洞开挖掌子面并尽快形成处理刀盘前破碎围岩的工作面。

(1) 上导洞的开挖方法。当第一径向开挖完成后,进行顺洞轴线主洞的开挖处理,开挖时分 3 区施工,左、右拱角为 I 区和 II 区,III 区为导洞顶部核心土,先施工开挖左、右拱角处,在开挖 I 区和施工 II 区时 III 区作为核心土支撑区。最后开挖核心土部分,开挖后按支护程序及时进行支护。上导洞开挖方法见图 2。

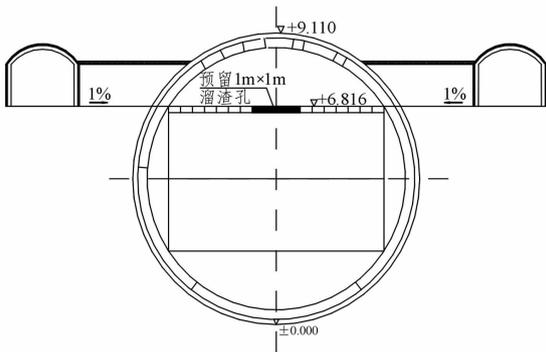


图 1 旁洞施工示意图

(3) 旁洞开挖的支护类型与顺序。旁洞开挖时,在 III、IV 类围岩开挖前,根据需要采用自进式超前锚杆进行锚固和灌浆,将循环进尺控制在 0.8~1.2 m,开挖完成后,喷 5 cm 厚混凝土封闭围岩,随即施工长 2.5~3 m 的安全支护锚杆并挂钢筋网,挂网后再喷 10 cm 厚的混凝土进行加强支护。V 类围岩采用自进式锚杆进行超前锚固,将每循环开挖进尺控制在 0.6~0.8 m,每开挖三

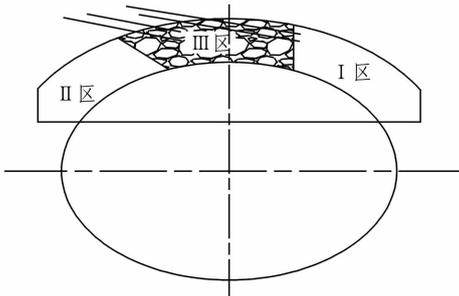


图2 上导洞开挖方法示意图

(2)当旁洞开挖到规定的上导洞顶拱施工部位时,若开挖旁洞出现破碎岩体,则不能随意进行上导洞的开挖,以防出现塌方而影响下一步钢拱架与管棚施工时无坚固的基脚。应退后到围岩较好的部位进行上导洞顶拱的开挖。

(3)左、右旁洞在不同切面上的上导洞顶拱开挖后,首先进行I区、II区半榀钢拱架的安装,钢拱架的一端支撑于距离护盾2 m的基岩上,另一端临时支撑于护盾上,随即进行系统锚杆及喷混凝土施工。当把起核心支撑作用的顶部岩体开挖后,应尽快完成钢拱架最后的连接,形成完整的钢拱架支撑体系,依托钢拱架进行超前自钻式锚杆施工,自钻式锚杆(管棚)间距按20 cm控制,以使隧洞顶部形成有效的支撑棚架。

3.1.5 机头处塌腔的处理

(1)塌方空腔的处理。对于塌方空腔,当采用管棚、钢拱架进行封闭时,应及时检查空腔现状,若空腔较高、较长、宽度较大时,对空腔采取的处理方法是:喷混凝土支护→打锚杆→挂钢筋网→复喷混凝土(喷混凝土厚度达到15 cm)。当坍塌空腔较高时,采用双层钢拱架,钢拱架架立后用 $\phi 25$, $L=2.5\sim 3$ m的锁脚锚杆固定。

3.1.6 机头前方破碎带的处理

(1)在对掘进机刀盘前的塌腔和塌方体进行处理后,对其前方47.6 m的破碎围岩区域先进行超前的固结灌浆,采用水泥浆对破碎围岩进行预固结,并在超前固结灌浆孔内加入钢筋束,对围岩实施加固处理。

(2)超前管棚的施工。用一排 $\phi 25$ 的自进式锚杆作管棚,管棚长 $L=4.5\sim 6$ m,间距20 cm,锚杆深入围岩4~5.5 m,利用自进式锚杆进行水泥灌浆。

(3)上导洞开挖。开挖采用松动爆破结合人

工风镐半侧开挖,将一次管棚开挖长度控制在管棚长度的2/3位置,开挖后的顶拱采用喷混凝土与半圆钢拱架支护。之后开挖另一侧洞顶,使之形成大拱,将钢拱架间距控制在50~60 cm一榀。破碎带上导洞处理完成后,隧洞的下半部分采用掘进机掘进。

3.2 安全措施

(1)在掘进机机头塌方处理过程中,现场配备2名专职安全工程师监督现场施工,并在爆破后立即检测有害气体。隧洞爆破后,应持续通风散烟,直到有害烟尘含量满足要求时,施工人员方可进行下一步施工。

(2)左、右旁洞施工时,应完成其它管片的锚固工作,工作平台的搭设、防护栏封闭、全部施工准备工作完成后,经专职安全员检查合格后方可开始钻孔爆破施工。

(3)旁洞钻孔完成后,爆破装药由专业炮工实施,安全员现场监督。爆破前,安全员对所有安全防护进行确认检查并鸣哨、放出警戒人员,这时,现场所有的施工人员撤离到掘进机的救生舱内,或撤离至掘进机尾部之后50 m以外。

(4)在旁洞、顶拱导洞施工时,应配置专职救生员,配足劳保用品及相关急救药品。爆破时,在掘进机尾部停放一台小火车待命,以便紧急情况下及时撤离施工人员。

(5)为防止放炮时的冲击波和飞石损伤到洞内设备,用木枋和旧皮带制作柔性保护帘,爆破前将此保护帘吊挂于旁洞进口,用以减缓爆破的冲击。

4 针对掘进机护盾被压采取的脱困技术

甘肃省引大入秦主干渠38#引水隧洞洞长5.8 km,开挖直径为5.58 m,隧洞的工程地质条件为:岩体为砂岩与砾岩,围岩级别主要以III2类与IV类为主,围岩岩体较软弱。隧洞采用美国罗宾斯公司生产的双护盾掘进机开挖。隧洞开挖前,岩体初始应力是平衡的,隧洞开挖后打破了围岩的应力平衡,在围岩应力重新分布过程中隧洞断面缩小,使围岩紧紧压在掘进机的护盾上,造成掘进机停机。在处理压在护盾上的围岩时,采用在隧洞腰线以下左、右边的护盾上割开一个“窗口”,利用“窗口”对压在护盾上的围岩打浅孔进行松动爆破。钻孔爆破按一天三班进行作业,经过7 d连续作业,把压在护盾上的围岩全部爆除,

从而使掘进机恢复掘进开始挖掘,并为在复杂地质条件下掘进机脱困积累了施工经验。笔者对该类停机脱困处理方法简述如下。

4.1 左、右护盾开“窗口”

为解决隧洞围岩由于应力重分布过程中围岩紧紧压在护盾上造成的掘进机停机事故,采用在掘进机操作室前的护盾左、右开窗口,利用窗口进行打孔以爆除围岩。“窗口”的尺寸控制在 $1\text{ m} \times 0.8\text{ m}$ (高 \times 宽),保证了施钻人员有一定的活动空间。

4.2 钻孔爆破要求

利用在护盾上开出的“窗口”清除压在护盾上的围岩,首先对“窗口”处的围岩进行爆除。钻孔深度控制在 50 cm 范围,孔距为 45 cm ,同时设置 4 个楔形掏槽孔使“窗口”爆破时获得较好的效果。“窗口”爆破出来后,向上、向前钻孔和爆破施工以创造工作面,钻孔布在离护盾 25 cm 的位置,以保证爆孔和护盾之间有一定的保护层。

“窗口”爆破时,严格控制装药量,控制一次起爆炮孔,以减小爆破冲击波对 TBM 造成的损伤。采用松动爆破,将单耗药量控制在 $0.3 \sim 0.4\text{ kg/m}^3$ 内。雷管采用非电雷管,段别为 1 段、3 段、5 段、7 段等,起爆采用火雷管与导火索。

4.3 爆破时的防护

在进行“窗口”爆破施工时,由于爆破时爆口直接对着掘进机内部且距 TBM 操作室较近,在爆破时,除严格控制药量和雷管分段外,还应加强爆破时的有效防护。

(1)“窗口”爆破时采取双层防护以确保爆破时不产生飞石而对设备造成损害。第一层防护采用有弹性和柔性的材料(旧输送带、橡胶带)做成炮被,并将其牢固地固定在“窗口”部位,炮被大于“窗口”左右各 100 cm ,以防止爆破时飞石从左、右边墙抛出。

(2)在采用柔性炮被进行防护后,为确保万无一失,在距柔性炮被 100 cm 处再设置一道木板防护墙。防护墙的木板厚度为 $4 \sim 5\text{ cm}$,木板用木枋固定。木板防护墙起到的是最后拦截飞石的作用。

4.4 出渣方式

压在护盾上的围岩经爆破后并不像其它爆破那样出现抛掷,而是在爆破后出现裂缝且松散,因此,在边墙初次爆破后需采用其它手段(钢钎、风

镐)协助撬出;而在爆破护盾顶部上的围岩时,爆破后围岩并没有全部离开护盾顶部,必须用人工将其清除到边墙,然后由“窗口”运出。

5 结 语

由于在隧洞掘进中所采取的掘进机类型不同、地质条件千差万别,在掘进机施工过程中会遇到各种不同的破碎地层和卡机状况,如何选择最佳的处理措施是掘进机施工过程中的一大难题。厄瓜多尔 CCS 水电站引水隧洞掘进机机头卡机经过 4 个月时间处理,解除了掘进机机头卡机停工问题,同时对 51 m 长破碎带顶拱进行了加固处理,确保了掘进机对隧洞的正常掘进并保证了工期。笔者认为:掘进机在施工过程中应充分注意以下几点。

(1)在掘进机施工前,必须制定出针对多种不良地质段和其它卡机原因的紧急处理预案,并对处理预案中需要的特殊设备(手风钻、管棚机、喷射机等)、特殊材料(自钻式锚杆、36Be 水玻璃、速凝剂、钢管、工字钢)等支护材料做到随用随到。因为塌方的发展在前期是可以做到人为控制的,随着处理滞后,塌方发展,会出现掉块、卡机等严重现象,并将错过最佳的处理时机。

(2)在解除掘进机机头被卡施工时,施工现场采用左、右旁洞、大型操作平台、上导洞、自进式锚杆、超前固结灌浆、钢拱架与喷混凝土等施工方法,能够有效地解除掘进机机头卡机与塌方。掘进机在复杂地质条件下施工时,应首先考虑人员、设备的安全,确保在掘进机安全的前提下考虑进度。

(3)CCS 项目在顶部上导洞开挖时,采取先打超前自进式锚杆作棚架、短进尺开挖配合钢拱架支护,有效控制了破碎带。

(4)在复杂地质情况下,为了解掘进机前方的地质状况,可在旁洞中采用钻孔取芯的方式进一步查明前方的地质情况,为不良地质段施工方案的制定提供可靠的依据。同时,对掘进机刀盘前不良地质段进行施工前,根据地质状况,可采取固结灌浆的方式用以提高围岩强度和稳定性,灌浆时应避免刀盘被水泥灌浆凝死。

作者简介:

郑道明(1955-),男,重庆市人,调研员,教授级高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

李 强(1982-),男,重庆市人,三分局副局长,工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)