

厄瓜多尔 CCS 项目双护盾 TBM 通过断层破碎带施工技术研究与实施

张 国

(中国水利水电第十工程局有限公司,四川 成都 610072)

【摘要】 本文结合厄瓜多尔 CCS 项目水电站输水隧洞工程,选取“旁洞+上导洞揭顶开挖”施工方案,使双护盾 TBM 安全高效通过 50 米破碎带,形成双护盾 TBM 快速施工方法,可供同类工程参考。

【关键词】 双护盾 TBM;断层破碎带;施工方案;实施效果

中图分类号: TV554

文献标志码: B

文章编号: 1005-4774(2018)06-001-06

Research and implementation of construction technology of double-shield TBM penetrating fault fracture zone in Ecuador CCS Project

ZHANG Guo

(China Water Conservancy and Hydropower No. 10 Engineering Bureau Co., Ltd., Chengdu 610072, China)

Abstract: Based on the water conveyance tunnel project of CCS hydropower station in Ecuador, this paper selects the construction scheme of "side tunnel + top-opening excavation of upper guide tunnel" so that the double shield TBM can safely and efficiently pass through the 50-meter crushing zone, forming a quick construction method of the double shield TBM, which can be used as a reference for similar projects.

Key words: double-shield TBM; fault fracture zone; construction plan; implementation effect

1 工程概述

厄瓜多尔克犬克多辛克雷(简称 CCS)水电站位于厄瓜多尔东部的 Coca 河流域,为引水式电站,主要由首部枢纽、输水隧洞、调节水库进场道路、调节水库、压力管道和地下厂房组成,机组共 8 台,总装机 1500MW。工程合同为标准 EPC 合同范本。合同工作内容包

括项目的勘察、设计、施工、采购、安装及调试等。CCS 水电站输水隧洞全长 24.8km,开挖洞径 9.11m,纵坡 0.173%,为无压明流洞,设计引水流量 $222\text{m}^3/\text{s}$ 。混凝土管片采用预制管片,分左右环 6+1 形式,厚度为 0.3m,衬砌后洞径 8.2m。输水隧洞由 2 台双护盾 TBM 进行施工,2 号 TBM 输水隧洞下游 K11+019~K24+779 段($L=13760\text{m}$)的施工(以下简称 TBM2),占输水隧洞总长度的 55.5%,是整个 CCS 项目的关键线路。输水隧洞平面布置示意图如图 1 所示。

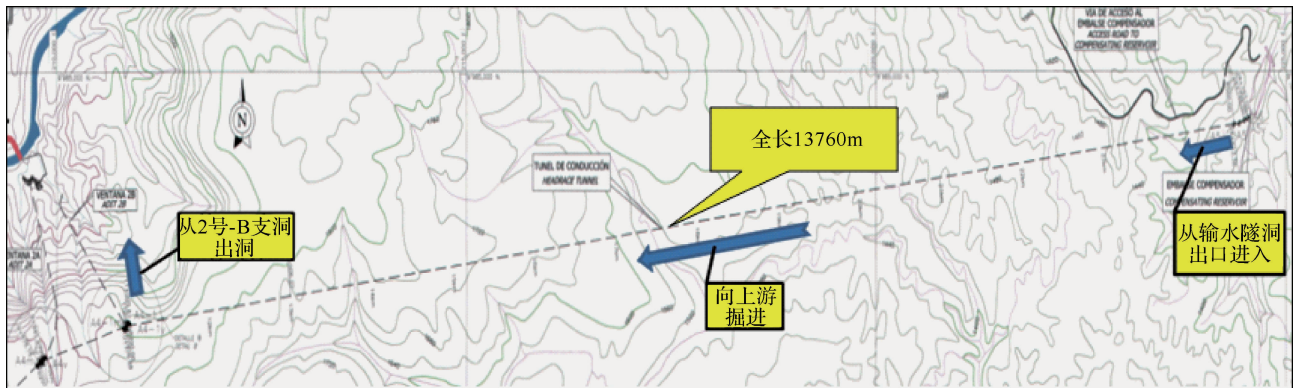


图1 输水隧洞平面布置示意图

2 TBM2 突遇断层破碎带事件背景

2013年12月9日05:20,掘进至桩号16+127.41时,单护盾掘进模式,刀盘前方突遇塌方,大量渣料瞬间超过3号皮带的运渣能力,导致皮带供电系统故障不能运行,大量岩渣外溢,掉落于回程皮带和TBM后配套内,小火车轨道被埋不能运输,TBM被迫停止掘进。现场人员立即检查刀旁及前方围岩,顶拱11点至12点方向出现局部塌方,组织人员对回程皮带上的岩渣、后配套轨道和小车轨道进行清理。在初步判断后再次启动刀盘准备掘进时,刀盘的最大扭矩已达17.9MN·m,仍不能启动刀盘。

通过3号皮带断面和掘进出渣时间初步计算塌方量:

③3号皮带正常运渣截面面积为 0.1m^2 ,超载运渣截面面积为 0.18m^2 ;④3号皮带正常运渣约 $2/3$,超载运渣约 $1/3$;⑤皮带运渣速度为 2.6m/s ;⑥12月9日清晨掘进 2.64m ,时长 46min ,正常出渣量为 264m^3 ,但因前方塌方,出渣量远大于此数值;⑦根据以上参数可计算出渣量为 917.28m^3 。

通过以上数据分析,掘进了 2.64m 的出渣量为正常出渣量的3.5倍,说明已出现较大塌方,并且根据判断,上部已形成了较大空腔。若继续强行掘进,空腔区若再次发生大塌方,势必造成设备或管片损坏,并且威胁人员安全。故决定停止掘进,论证快速解决办法。

3 区域段地质情况分析

通过地质资料分析,该区划段埋深约 450m ,在 $16+800$ 桩号附近有一错动断层,但在实际掘进中, $16+800$ 附近并未出现断层和明显围岩变化,围岩岩性为侏罗系—白垩系迷萨华依地层(JKm)安山岩。现掘进桩号已通过预测断层桩号约 670m ,判断现桩号围岩破碎带与预测 $16+800$ 桩号错动断层息息相关,为此决定不能鲁莽掘进,以免引起大塌方压住TBM全机,造成灾难性的后果。

4 初期采取的快速解决措施

经过对前方围岩、TBM系统、刀盘以及伸缩盾的检查后,尝试采用正反转交替方式启动刀盘,在系统规定的参数下,未能正常启动,但刀盘有反应,有渣料掉出。由于刀盘尚存有活动空间,为确保主轴承工况,采用刀盘内打孔或钻孔进行化学灌浆加固前方塌方松散岩体并超前钻探前方岩体情况,同时采用手风钻在9号、16号刀孔位置(中心部位)进行探孔检查,判断前方地质情况。为减少出渣量,局部封堵4处铲斗,为减小刀盘扭矩,拆卸6把滚刀。

刀盘内打孔采用直径 25mm 钢管沿顶部铲斗及边刀处直接打入,钻孔采用改装短气腿手风钻,分段加连接套钻入自进式钻杆,打孔及钻孔长度以进入岩体打不动为准,尽量加大入岩长度,采用气动注浆泵注入瑞米加固充填一号(A组份和B组份)。超前钻探采用TBM自带超前钻机,从尾盾入孔处钻进,计算推进速

度并记录卡钻或出现空洞现象。

在起初实施完化学灌浆后,通过观察松散岩体,化学灌浆材料已基本形成保护壳,为进一步加强松散体固结效果,决定再次通过刀盘内钻孔采用水泥间歇式灌浆,并封堵护盾与主轴承之间的间隙,防止浆液流出。但实际灌浆中,浆液仍从护盾部位流入刀盘,甚至出现浆液直接流至护盾外的情况,只能暂停灌浆。水泥灌浆的效果达不到预期的加固目的。

通过以上应急措施的实施,以及多方论证,1月6日再次启动掘进,但由于渣量过大,上方岩体依然存在塌方,在掘进完65cm后,渣量超过皮带负荷造成皮带停机,故停止掘进。通过此次掘进分析,该岩体非常破碎,若实施化学灌浆强行缓慢掘进,不仅成本剧增,工期无法控制,而且安全风险进一步加大,上部塌空区将进一步扩大,因此决定停止化灌固结转入下步解决方案。

5 方案研究论证与实施

5.1 旁洞 + 固结灌浆

利用左右侧开挖小断面旁洞至围岩较好区域后,沿旁洞周边钻孔进行化学灌浆及水泥灌浆。若要快速开挖旁洞到达较好岩石,势必断面小、支护速度快,而小断面采用钻孔设备受限,新购钻机也需4—5个月的时间,且费用昂贵。另外,旁洞开挖距离远,人工出渣将会受到极大制约,效率将会明显下降;此外,即使加大投入,保证出渣,确保旁洞按期到达较好岩石,此后的钻孔效率是否会受破碎围岩影响而大打折扣,灌浆效果能否保证 TBM 掘进需要仍不确定。因此,若要保证灌浆效果,唯有增加灌浆孔数量,但工期长、费用高、不易控制等因素对处理高效 TBM 施工不可取。

结论:受断面限制,钻机尺寸无法快速满足要求,且灌浆带来的未知效果将会产生另外一种风险,故此方案无法满足现有要求。

5.2 旁洞 + 上导洞揭顶开挖

利用左右侧开挖小断面旁洞至护盾区域较好岩石

段,贯穿左右旁洞形成钢支撑大拱,在钢支撑的保证下,顺轴线方向采用超前灌浆管棚、架设钢支撑和系统支护,从后向前稳步处理塌方体或松散体。通过伸缩缝观察,此处围岩与护盾存有间隙,未发生塌方,说明有一定条件在此位置开挖形成左右连接洞,若在实际开挖过程中连接洞成型困难,可采取架设临时钢支撑和后退至好岩石段形成连接洞。采用此方法时,注意要始终保持在安全的前提下稳步处理,遵循常规处理不良地质段的原则。

结论:此方法由后向前处理塌方体,可直观进入塌方体作为下一步 TBM 掘进判断的依据,且对塌方体一步处理到位,不留后患;若要加固周边松散塌方体,采用的钻机尺寸也能满足空间要求,且保证系数大。另外,资源配置也能得到保证,快速启动施工,对处理进度有利。此外,对掘进了8.5km的刀盘来说,能有空间和时间进行维护。故采用旁洞 + 上导洞揭顶开挖作为断层破碎带施工方案。

6 旁洞 + 上导洞揭顶开挖设计与施工

6.1 旁洞设计与布置原则

- ①尽量靠近尾盾部位,利用豆砾石高程平台;
- ②考虑爆破影响,保护油缸等电器设备,旁洞位置需形成有效保护空间;
- ③充分利用1号皮带机进行出渣;
- ④结合后期恢复掘进后,掘进模式依然采用单护盾,需考虑辅推油缸的行程和管片的稳定;
- ⑤考虑人工出渣方式,减小工程量;
- ⑥考虑旁洞爆破开挖对尾盾及管片之间的破坏影响。

6.2 上导洞揭顶开挖设计原则

- ①揭顶开挖在护盾上设计高度按人员能够站立来计算,同时考虑两侧距护盾之间距离;
- ②通过刀盘后,在满足 TBM 掘进的前提下尽可能降低开挖高度,减小开挖工程量;
- ③采用自进式超前灌浆管棚(为防止浆液外流,采

用定量灌注水泥浆液),强支护,确保施工安全;

④复核钢支撑承载力,计算钢支撑断面及节点长度,同时浇筑钢支撑拱脚钢筋混凝土,形成整体;

⑤考虑上部存在塌方空腔区,揭顶开挖完成后采用系统固结灌浆;

⑥考虑 TBM 掘进时刀盘扰动两侧拱脚下部岩体,增设水平、45°、靠近开挖线 50cm 三个位置范围内锚杆

和固结灌浆。

6.3 旁洞布置型式与施工

6.3.1 布置型式

左右各开设一条旁洞,旁洞布置在尾盾倒数第三个环管片位置上,距底板 6.816m。由于管片宽度只有 1.8m,故进口只有 1.8m 宽度,进入岩体后断面调整为 2.4m×2m(宽×高)。旁洞布置图见图 2 和图 3。

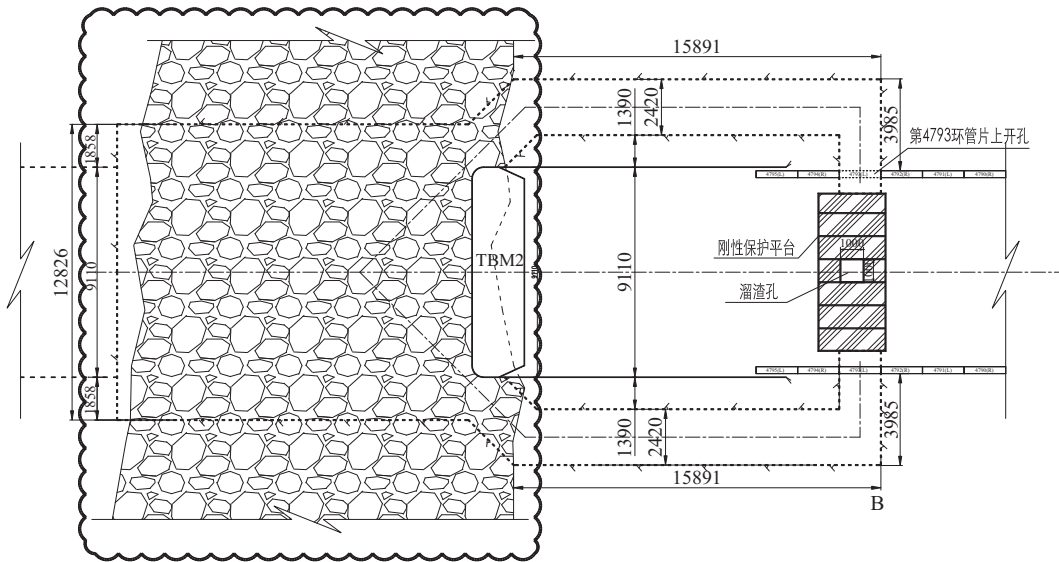


图2 旁洞布置平面图(单位:mm)

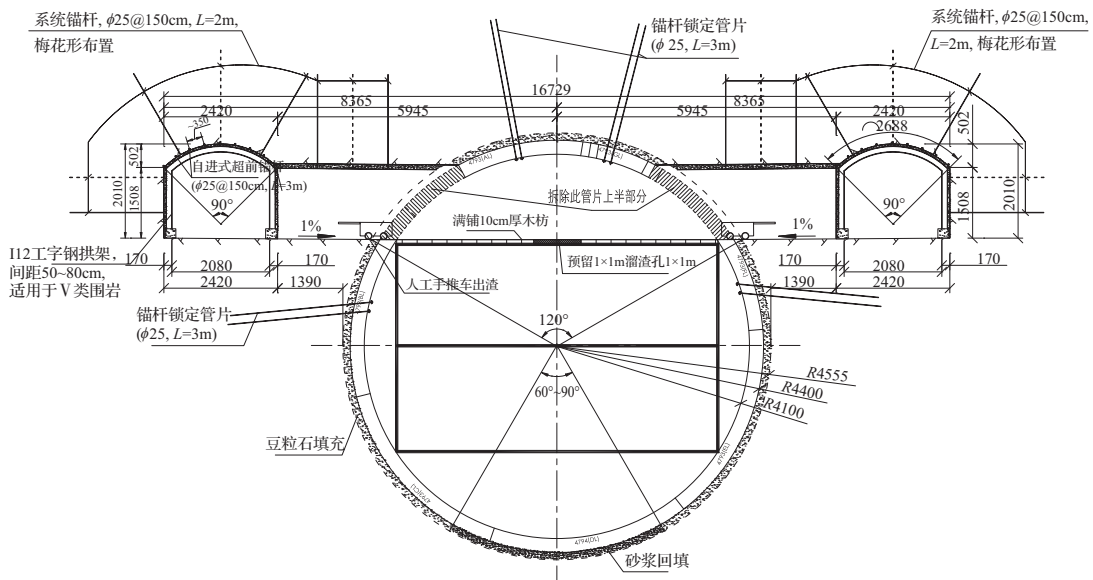


图3 旁洞布置剖面图(单位:mm)

6.3.2 旁洞施工

①对所有已安装管片背部充填砾石至饱满;

②对位于旁洞进口附近的 TBM 设备进行拆除或转移;

③采用工字钢搭设刚性保护平台,满铺 10cm × 10cm 木枋并可可靠固定。平台两端设置栏杆,并采用木板或钢板进行封闭。平台中间设 1m × 1m 的溜渣孔;

④采用 $\phi 25$ 药卷锚杆锁定 4791 ~ 4795 环上所有上半部分的管片。钻孔位置利用管片操作孔,尽量减小对管片的损坏。采用螺栓加垫板的方式锁定管片;

⑤建立施工控制点,每循环进尺均采用全站仪进行控制;

⑥利用风镐或电镐按图所示在第 4793 环对管片进行部分破除,并切断钢筋,露出岩面;

⑦旁洞开挖采用手风钻钻孔,浅孔弱爆破,多循环、短进尺进行开挖,逐步形成旁洞开挖工作面,并朝刀头方向延伸旁洞。为便于排水,旁洞延伸时保持约

1% 的纵坡。出渣采用人工手推车将炮渣运至操作平台的溜渣孔,TBM 连续皮带系统运渣至洞外。支护形式根据围岩情况采用钢支撑 + 锚喷网 + 系统锚杆。

6.4 上导洞揭顶开挖施工

根据左、右旁洞开挖后揭露出来的岩石情况,从左右旁洞向中间径向开挖,逐步形成上部导洞开挖掌子面;向前领进开挖导洞直至穿过断层破碎带较好围岩的洞段为止。导洞分为两段,第一段:隧 16 + 131 ~ 16 + 114 采用距护盾高度 1.8m;第二段:隧 16 + 114 ~ 16 + 087 采用距护盾高度 1.0m。出渣前 15m 采用人工手推车运至刀盘铲斗处下渣,后期采用轮式“两头马”出渣。

根据围岩情况开挖分成两种,如图 4 所示。

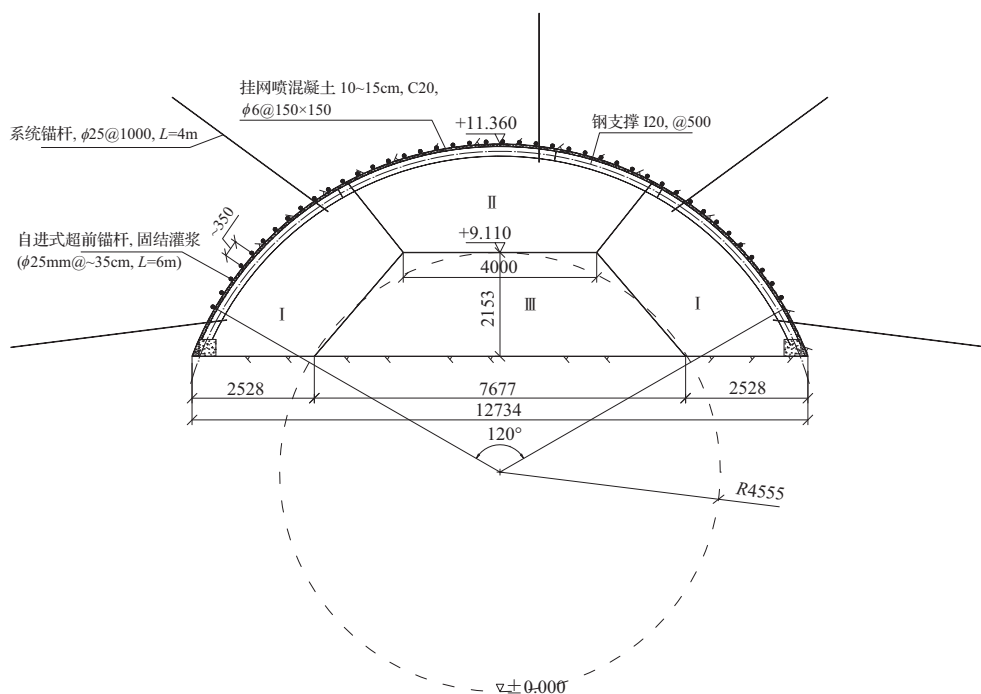


图 4 揭顶开挖剖面图 (单位:mm)

a. 采用小炮结合人工风镐半开挖,跟进半侧分段开挖喷混凝土及半边拱架支护,之后开挖另一侧,使之形成大拱,拱架间距 50cm。超前管棚($\phi 25$ 自进式锚杆)或超前锚杆 $L = 4.6 \sim 6m$,间距 30cm,开挖长度为管棚长度的 $1/2 \sim 2/3$,管棚内定量进行水泥灌浆。

b. 分两次爆破,先中部超前 1m 左右,后两侧跟进。随后跟进钢支撑 + 锚喷网系统支护,拱架间距

50cm。

6.5 顶拱固结和锁脚加固灌浆施工

顶拱固结灌浆按设计进行布孔,深度为 3.5m,间距为 1.80m,采用手风钻钻孔。锁脚加固采用手风钻钻入自进式锚杆灌浆,在钢支撑每侧拱脚处各布置一根水平锚杆灌浆,一根 45° 锚杆灌浆,一根隧洞垂直方向锚杆灌浆,长度均为 4.5m。在锁脚加固锚杆灌浆完

成后,将其锚杆全部连接成整体,并与每榀钢支撑焊接牢固,最后喷混凝土封闭。

灌浆浆液比为 0.8:1(水:灰),掺加 0.8% 的减水剂。顶部围岩固结灌浆压力为 0.5MPa,锁脚加固自进式锚杆灌浆压力为 1.0MPa。

6.6 豆砾石回填灌浆施工

在 TBM 通过塌方段后,顶拱部位采用豆砾石回填和灌浆施工。

根据管片位置,从下部管片开始回填豆砾石到上部管片区域结束。当 TBM 掘进开始时,第一环管片安装完成后开始管片下部的豆砾石回填,安一环填一环,直到第五环,然后开始进行第一环的上部豆砾石回填。上部和下部的回填都是由下至上进行,在最上部孔处结束,使用金属盖子盖住,以避免豆砾石流失。由于豆砾石容器罐的容量有限,回填时无法完全填满,因此当 TBM 掘进到断层终点时,TBM2 停止工作,待豆砾石完全回填完成,进行二次回填。豆砾石回填时在喷嘴上安装一根附加管,距离出口 20~30cm,附加管固定在里面,以便进行后续的水泥灌浆。

6.7 旁洞回填及破损管片修补

TBM 在通过断层破碎带后,进行左、右旁洞豆砾石回填和水泥灌浆。待左、右旁洞豆砾石回填及水泥灌浆完成后,清理破损管片切口,钻孔插筋,预制钢筋笼安装,安装管片沥青垫片,封模,小型搅拌机拌制与管片同强度的混凝土,人工桶装混凝土送入仓。

7 施工实施效果

自 2014 年 1 月 16 日起,按照即定方案完成塌方段揭顶开挖与支护(钢支撑+管棚)、拱架锁脚连续梁浇筑、拱架加强锁脚锚杆及两侧固结灌浆施工以及批准设计图 IV~V 类围岩顶拱固结灌浆;同时,全面系统地完成了 TBM 全机各项检查维护以及刀盘刀具的修补处理,历时 4 月零 10 天,于 5 月 26 日正式恢复 TBM 掘进施工,TBM 掘进中钢支撑未出现变形,两侧拱脚

稳固,各项掘进参数指标正常,于 6 月 6 日顺利通过 50m 断层破碎带,处理实施效果达到了预期。

8 结语

a. 当 TBM 掘进中发现围岩发生变化时,必须及时分析原因及观察围岩状况,选择合理的掘进参数和模式,尽量快速通过,切不可盲目停机造成卡机。

b. 当已发现掌子面出现塌腔时,一定要高度重视,认真计算循环出渣量,若出渣量超过皮带运输量,但皮带能够承受运载能力时,不能盲目停机,应选择合理的掘进参数,快速通过。

c. 此次断层破碎带处理上导洞采取先打密排超前锚杆,并且定量灌注水泥浆,对塌方松散体起到超前加固作用,然后再进行分段开挖,及时架设钢支撑与快速喷混凝土,降低塌方的程度,保障施工人员安全。

d. 在刀盘内实施钻孔水泥灌浆时,务必慎重,采用一定量的化灌材料作保护层,同时仔细观察护盾与主轴承之间的间隙有无浆液流出,防止浆液包裹,增大处理难度。可适当采取间歇式水泥灌浆另加水玻璃快速硬化的方法,但这样会快速封堵管路,无法灌浆。

e. 在揭顶开挖中,运用了小型“两头马”出渣,其施工进度提高了两倍,故在日后类似工程遇到同类问题时,一定要提前考虑断面尺寸和 TBM 运输通道,在通过刀盘 10m 后启用小型设备出渣,其效率将会明显提高。

f. TBM 施工中处理不良地质时需总体规划,全盘统筹,但在施工过程中也要根据地质情况和监控测量情况及时调整方案,做到“方案清晰、动态设计、动态施工”。

g. 对于大直径双护盾 TBM,若遇较大断层破碎带,采取刀盘内化学灌浆成本急剧增加,而且不一定能达到预期效果。此时,需快速组织启动上导洞揭顶开挖程序,以便进入破碎带后适宜调整施工方案,同时,在完成上导洞揭顶开挖支护后,务必高度重视拱脚两侧围岩加固。◆