

悬臂式掘进机在小断面、长隧洞中的应用

王 超， 杨 运 鹏， 阿 里 木 江， 刘 金 平

(中国水利水电第十工程局有限公司 一分局,四川 成都 610072)

摘 要:以 EBZ160 型悬臂式掘进机在毗河供水工程新生灌区长沟隧洞的施工为例,介绍了在小断面、长隧洞中悬臂式掘进机和钻爆施工的方案比选,悬臂式掘进机的设备选择、掘进机施工的应用,所取得的经验可为今后 EBZ 系列掘进机在特长引水隧洞中的成功应用提供借鉴。

关键词:悬臂式掘进机;小断面;长隧洞;应用

中图分类号:TV52;TV554;TV7 **文献标识码:** B **文章编号:**1001-2184(2019)04-0101-04

Application of Cantilever Tunneling Machine in Small Section and Long Tunnel

WANG Chao, YANG Yunpeng, ALI Mujiang, LIU Jinping

(Branch No.1, Sinohydro Bureau 10 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610072)

Abstract: Taking the application of EBZ160 cantilever tunneling machine in construction of Changgou Tunnel of Xinsheng Irrigation Area of Pihe Water Supply Project as an example, the scheme selection between cantilever tunneling machine and drilling & blasting construction in small section and long tunnel is introduced, as well as the equipment selection of cantilever tunneling machine and the application of tunneling machine in construction. The experience gained can provide reference for the successful application of EBZ series tunneling machine in extra-long diversion tunnel in the future.

Key words: cantilever tunneling machine; small section; long tunnel; application

1 概 述

随着国内劳动力价格明显上涨,地方政府对爆破器材的管控愈加严格,不仅工期易受影响,而且开挖单价还高(特别是在以软岩为主的地区,由于裂隙发育、岩石较软、爆破效果不好而导致硬岩区域的洞挖炸材的消耗要比正常时高 20% 及以上),导致钻爆法的使用局限性越来越大^[1]。

而对于在多数居民聚集区施工,则不能使用爆破方式开挖。对于此,悬臂式掘进机等非钻爆法开挖方式就得到了广泛应用,从而有效规避了因钻爆法带来的炸材管控、安全等方面的制约。虽然目前悬臂式掘进机在水利水电工程中的应用较少,但由于其具有的优越性,相信其会逐步应用到越来越多的水利工程项目中去。

毗河供水一期工程新生灌区段渠道总长度为 54.94 km,其中最长的隧洞为长沟隧洞,长度为 3 842 m。长沟隧洞采用城门洞型断面,呈 1/2 000 的下坡,设计断面尺寸为:3.5(3.4) m

×3.55 m,洞身段采用混凝土衬砌,C20 钢筋混凝土全断面衬砌。隧洞穿越地貌主要为丘陵,其由侏罗系上统蓬莱镇组(J3p)等地层的砂岩、页岩及粉质页岩不等厚互层组成;岩层产状近于水平,岩层倾角大多<5°,属软岩~较软岩;岩体透水性差,一般砂岩为相对含水层,粉砂质泥岩为隔水层,主要为Ⅳ、Ⅴ类围岩。

2 施工中的重、难点问题分析

(1)长沟隧洞全长 3 842 m,隧洞断面仅 11.1 m²,属于小断面、长隧洞($L\geq 2\,000\text{ m}$ 且 $S<20\text{ m}^2$),是新生灌区的关键线路。

(2)长沟隧洞的特点是“小”而“长”。而小断面无法在施工中运用大型、高效的机械设备;长则受距离限制,给供风、供水、供电、排烟、出渣等带来一系列困难。

(3)由于隧洞覆盖层薄,风化严重,造成岩石强度低,于成洞不利;由于线路长、且因前期地质勘探工作较粗,涌水资料不详,给施工方案的选择和施工带来困难^[2]。

收稿日期:2019-06-19

3 施工方案比选

在不考虑施工支洞的情况下,项目部计划从隧洞上下游两端同时施工,共有钻爆施工和掘进机施工两种方案可供选择,笔者介绍了从进度、安全、质量控制、周边环境影响等方面进行的比较与考虑。

3.1 进度方面

钻爆施工:按单工作面进尺 120 m/月计,上下游双工作面同时开挖,全部完成则需 16 个月时间;衬砌 32 个月时间。以上合计 48 个月,能够满足合同工期(48 个月)要求,但基本无自由时差。

掘进机施工:按单工作面进尺 150 m/月计,上下游双工作面同时开挖,全部完成则需 12.8 个月时间;衬砌 32 个月时间。以上合计 44.8 个月,小于合同工期(48 个月)且具有一定的自由时差。

3.2 安全方面

钻爆施工:必须在现场设置炸药库,且还需通过公安消防等部门的验收并对相关人员进行培训;在炸药的运输、存储、使用等环节存在难以预控的风险,一旦发生,危害极大。目前该地区火工产品的价格相对较高,管理成本高。

掘进机施工:无需火工产品,仅需高压供电,而且有专业的机械售后服务。

3.3 质量方面

钻爆施工:该地区无导爆索,且光面爆破实施较困难,易造成隧洞断面周边轮廓超、欠挖,特别是在岩层风化破碎严重的地方易发生坍塌。

掘进机施工:具有断面标准规则、能连续作业、快速施工,安全、劳动强度小、对地层扰动小、衬砌支护质量好、通风条件好等特点,能有效减少对围岩及临时支护的干扰。

3.4 周边环境影响方面

钻爆施工:该隧洞进出口及覆盖层较薄处多为民居民房、电杆、通讯线等,爆破噪声污染大、振动大,对民房及居民环境扰动较大,安全风险不易控制,拆迁量大。

掘进机施工:噪声污染小,对周围环境扰动较小,安全风险易控制。

3.5 成本方面

针对该工程实施成本分析测算得知:采用掘进机施工其综合单价略高于钻爆法开挖。但综合考虑进度、安全、质量以及对周边环境影响等多方

面并进行对比分析得知:采用掘进机开挖明显优于钻爆法开挖。

综上所述,最终决定选用掘进机施工方案。

4 设备选型

根据实施工程特性,最终决定选择 EBZ160 型掘进机,其主要技术性能参数见表 1。

表 1 EBZ160 型掘进机主要技术性能表

项 目	参 数
机重	46 t
总功率	250 kW
外形(长×宽×高)	9.9 m×3 m×2.1 m
行走速度	0~6.5 m/min
爬坡能力	+18°
切割电机功率	160/100 kW
液压系统电机功率	90 kW
铲板部装载能力	3 m ³ /h
第一运输机运输能力	4 m ³ /h
履带接地比压	0.14 MPa
最大切削宽度	5.5 m
最大切削高度	4.8 m
切割头伸缩量	550 mm
供电电压	660/1 140 V
最大/经济可截割岩体单向抗压强度	80/60 MPa

5 掘进机施工

5.1 供电布置

每台掘进机需配备专用变压器,掘进机的工作电压为 1 140 V。根据对用电设备进行计算后为工作面设置了 500 kVA 变压器 1 台(掘进机专用)和 630 kVA 变压器 1 台。

由于隧洞线路较长,当隧洞掘进超过一定距离时造成掌子面电压降比较大,可能会出现因电压损失而造成掘进机自动锁机现象。为避免此类现象的发生,特采取高压进洞方案^[3]:施工时,前 1 km 电源主要由布设在洞外的变压器提供;1 km 后,高压进洞,每 1 000 m 变压器向前移动一次。

5.2 施工方法

(1)工艺流程。洞挖施工流程:工作面清理→测量放线→掘进机施工→石方运输→支护施工→下一个循环。

掘进机施工工艺流程:掘进机切割→同时铲板出渣→喷锚支护或锚网支护→安全文明施工,掘进机检修等。

掘进机操作流程:开动电机→开动第一运输机→开动星轮→开动截割头。

(2)施工工艺。工作面采用“一次截割成形”,即截割头从工作面中间截面的底部开始截割^[4],利用截割部的上下、左右移动以及行走功能,按截割规定的路线使用截割头扫过隧洞截面并使其一次成形。截下的石渣由铲板收集,通过传动皮带交由自卸汽车运走。具体工艺如下:

①掏槽与扩槽。掘进从工作面中间截面的底部开始截割^[4],截割头钻进 200 mm 后进行第一次掏槽,然后两个截割头分别向外侧摆动 300 mm。完成扩槽运动;截割头再钻进 200 mm 进行第二次掏槽,两个截割头分别向两侧摆动 300 mm,完成第二次扩槽运动;截割头钻进 200 mm 进行第三次掏槽,两个截割头分别向两侧摆动 300 mm,完成第三次扩槽运动。掏槽过程见图 1、2、3。

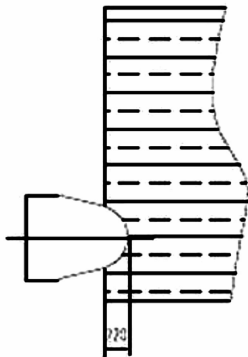


图 1 第一次掏槽示意图

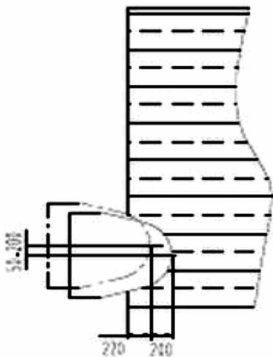


图 2 第二次掏槽示意图

②进刀顺序。完成掏槽、扩槽后,截割头按照按图 4 所示的路线从底部由左向右、由下而上截割。切割时截割头最大参与的切割长度以不超过 700 mm 为宜^[5],严禁将整个截割头钻进岩壁。一

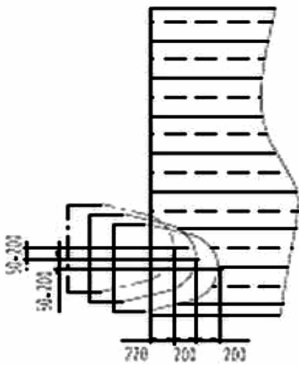


图 3 第三次掏槽示意图

刀平均截深 0.6 m,截割一刀的时间为 60~70 min。

另外,当遇到较软的岩体时,采用左右循环向上的截割方法;当遇到稍硬的岩体时,可采用由下而上左右截割的方法。不论采用哪种方法,都应尽可能地由下而上进行截割;当局部遇有硬岩体时,可先挖掘周围软岩、使大块硬岩坠落,采用适当的办法处理后再进行装载,以降低掘进难度及截齿的消耗量^[2]。

③出渣及运输。切削后,采用截割头将切削下来的渣装入第一运输机,同时采用第一运输机转运至第二运输机,由第二运输机直接装入出渣车运出洞外。

(3)作业循环分析。三班生产,8 h 工作制。掘进时间进度分析情况见表 2。

表 2 悬臂式掘进机掘进时间进度分析表

班次	有效掘进时间	辅助掘进时间
第一班	6 h(掘采时间)	2 h(开机前准备)
第二班	6 h(掘采时间)	2 h(开机前准备)
第三班	4 h(支护掘进机动时间)	4 h(设备维修时间)
合计	16 h	8 h

注:每天平均有效掘进时间按 12 h 计,掘进速度约为 0.5 m/h,日进尺约为 6 m/d。每月按 30 d 计算,实际有效工作天数为 25 d,月进尺约 150 m。

5.3 人员配备

悬臂式掘进机对人员的专业技能和素养有较高的要求,人员配备情况见表 3。

表 3 悬臂式掘进机劳动组织人员表 /人

工种	人员数量	第一班	第二班	第三班	备 注
掘进机司机	3	1	1	1	掘进出渣
辅助工人	6	2	2	2	维护设备、引导出渣车
运输车司机	6	2	2	2	负责出渣
合计	15	5	5	5	

5.4 掘进机在初期临时支护中的辅助应用

(1)锚杆及挂网:施工人员以掘进机本体上顶为作业平台,不再另行搭设施工平台。

(2)钢支撑架设:钢支撑为预制工字钢构件,安装时,先把钢支撑顶端弧段放置于掘进机截割头上并运至顶拱安装位置,然后由人工在掘进机平台上将其进行临时安放固定,待底部两侧钢支撑与其连接好后再收回截割头。

6 施工中存在的问题及采取的对策

6.1 岩石软化问题

由于长沟隧洞多为泥岩、遇水软化,导致掘进机在切割、行走、装载等方面出现的问题比较突出,特别是底板松软、受水浸泡后泥化现象严重,掘进机行走十分困难。所采取的解决对策如下:

(1)在隧洞底板可以预留一定的变形量或采用配套皮带机出渣,防止以后底板混凝土超填;

(2)在掘进机行走前,先后退一定距离,在行走的前方铺设大径砂卵石或方木等,为掘进机行走铺平道路^[3];

(3)洞内抽水作业及时跟进,防止渗水淤积过多、车辆反复碾压导致岩石软化形成泥浆。

6.2 硬岩问题

掘进时可能出现的局部坚硬岩石为Ⅲ类围岩,为保证掘进机经济安全掘进,所采取的解决对策如下:

(1)进行松动爆破,只需在岩体内形成裂隙,使掘进机能正常开展掘进工作。该隧洞采取的松动爆破:造孔直径42 mm,φ32乳化炸药非电雷管爆破,炮眼深度为2~3 m,孔网间距为700~850 mm,炮眼数目为5~10个,单耗为0.4~0.56 kg/m³。

(2)若硬岩长度相对较长,可采用爆破施工的方式进行。

6.3 职业健康问题

掘进机切割岩层时产生的粉尘较多,严重影响工人的健康,同时影响操作手及出渣车辆的视线,所采取的解决对策如下:

(1)在掘进机臂上安装除尘风机,将工作面产生的粉尘通过风机、风袋抽出至洞外或工作面喷水降尘,但不可过量。

(2)洞内作业人员均佩戴防尘面具等劳保护

护设施用于防护。

7 结 语

笔者将悬臂式掘进机在长沟隧洞中成功应用取得的经验与钻爆法相比总结如下:

(1)悬臂式掘进机掘进速度快,特别是在软岩隧洞中掘进速度更快,因其开挖断面相对规范,可使钢支撑、钢筋网等拼装快,喷混凝土则可节省大量时间。

(2)悬臂式掘进机施工对围岩的扰动小、超欠挖小,进而提高了隧洞的开挖质量,洞室开挖断面圆顺度高,便于喷混凝土支护,同时亦提高了初期支护的质量。

(3)悬臂式掘进机与钻爆法相比,其震动小,对围岩的扰动小,噪音小,不扰民,特别是遇到松软的岩层亦可保证围岩的完整性。

(4)目前,悬臂式掘进机在水工隧洞施工中的应用还不成熟,存在一定的技术缺陷,在机械设计技术方面还需要改进。

总之,悬臂式掘进机在长沟隧洞的应用为今后特长引水隧洞施工积累了宝贵的经验,在将来的水利水电工程类似的特长软岩隧洞施工中值得借鉴。

参考文献:

- [1] 付进,刘欣意.国内悬臂式掘进机隧洞开挖的成本分析[J].四川水利,2016,39(1):50—52.
- [2] 周新顺.悬臂掘进机在水利水电隧洞工程中的应用[J].四川水力发电,2013,32(5):49—51.
- [3] 方建华.EBZ-200R悬臂式掘进机在水利隧洞工程中的应用[J].科技展望,2015,13(8):94—94.
- [4] 裴茂才,王祥.浅谈悬臂式掘进机在中小断面隧洞施工中的应用[J].四川水力发电,2016,35(增刊2):66—69.
- [5] 周治国.大断面硬岩巷道快速掘进技术[J].山东煤炭科技,2013,20(5):4—6.

作者简介:

王超(1984-),男,河北邢台人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

杨运鹏(1976-),男,山东泰安人,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

阿里木江(1985-),男,新疆喀什人,工程师,学士,从事建设工程施工技术与管理工作;

刘金平(1985-),男,陕西咸阳人,工程师,从事建设工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)