

小断面水工隧洞机械铣挖法施工技术探析

张 彬

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要:随着我国土木工程机械化作业水平的不断提高,机械开挖使用率也大幅度提高,尤其是在隧洞开挖方面,由于掘进机对围岩的扰动小从而大大提高了生产安全性,同时减少了爆破造成的超挖超支护问题。但隧洞施工在机械开挖的同时也受到地质情况、工程结构等限制,出现功效不高,成本较大的问题。以小断面水工隧洞机械开挖为例,介绍了对适应洞型及地质情况的设备选择、施工方法、功效分析及其适应性分析,可供类似工程借鉴。

关键词:水工隧洞;机械铣挖;施工技术;适应性分析;黄沙水库灌区

中图分类号:TV7;TV52;TV554

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2022)03-0083-06

Brief Discussion on the Construction Technology of Mechanical Milling and Excavation for Small Section Hydraulic Tunnels

ZHANG Bin

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD, Chengdu, Sichuan, 610066)

Abstract: With continuous promotion of mechanization in civil engineering in China, the utilization of mechanical excavation has increased significantly, especially in tunnel excavation, which greatly improves construction safety owing to small disturbance from the road header to the surrounding rock, reduces over-excavation and over-support caused by blasting. However, the mechanical excavation of tunnels is also restricted by geological conditions and engineering structures, which causes problems such as low efficiency and high cost. Taking the mechanical excavation of a small-section hydraulic tunnel as an example, this paper introduces the selection of equipment, construction methods, efficiency analysis and adaptability analysis that adapt to the tunnel type and the geological condition, and provides a reference for similar projects.

Key words: hydraulic tunnel; mechanical milling and excavation; construction technology; adaptability analysis; irrigation area of Huangsha Reservoir

1 概 述

重庆市綦江区黄沙水库灌区主要以城镇供水、农业灌溉为主,兼有灌区农村人畜饮水等综合利用功能。青龙咀干渠长 1 986 m,其中管道工程长 807 m,隧洞长 1 179 m,设置分水池 1 座。大地支渠接青龙咀干渠末端,总长 3 863 m,其中生基湾隧洞长 1 387 m(内铺设管道),管道工程长 2 476 m。两座隧洞均为城门洞型,高 2.95 m,宽 2.9 m,断面面积为 7.65 m²。

该工程区两条隧洞进出口段地层为 T₂₁ 中~厚层白云岩、泥质白云岩与泥岩互层,围岩为可溶岩,洞室埋深较浅,岩溶发育,岩体较破碎,存在不利结构面,地下水活动较强烈,围岩不稳定。洞身

段地层 T_{3xj} 为厚层长石石英砂岩夹页岩、砂质泥岩,岩层产状为 N52°W/NE∠40°,隧洞走向 S74°W,洞线与岩层走向交角为 54°,对洞室稳定有利。该洞室埋深较大,节理裂隙较发育,岩体较完整,地下水活动为中等,局部存在软弱结构面,围岩总体基本稳定,局部稳定性差,围岩类别主要以 II 类、III 类、IV 类为主,局部段存在 V 类围岩。

鉴于悬臂式掘进机能够同时实现剥离围岩、装载运出、机器本身的行走调动以及喷雾除尘等功能,即集切割、装载、运输、行走于一身^[1],而隧洞开挖是该标段施工中的重要环节,直接影响到工程的施工质量、施工进度、生产成本和经济效益,且因该标段临近居民居住区且生基湾出口距离居民楼只有 40 m,青龙咀出口及生基

收稿日期:2021-04-04

湾进口距离民房不到 60 m,距离周边公路不到 50 m,洞口周围环境复杂,故通过现场调查并综合各种影响因素找出合适的洞挖方式,提高隧洞的开挖效果,达到预期的进度和经济效益目标,合理选择该标段相对应的隧洞开挖施工模式成为重要的一环。最终,通过综合分析,确定洞口段Ⅲ~Ⅴ类围岩范围采用适应洞型的悬臂式掘进机开挖。

2 洞挖方案

掘进机法隧洞施工依然遵循新奥法原理全断面一次性成型开挖,采用出渣车运输,及时封闭开挖面。施工初期支护时做好隧洞的监控量测工作,按监测结果及时调整支护参数和防水与衬砌

施工作业时间。洞口进洞浅埋和全隧洞断层破碎地带的穿越遵循“短进尺、及时支护、强支护、早封闭、勤量测”的原则进行施工^[2]。

2.1 设备的选型及布置

该工程隧洞的典型截面宽度为 2.9 m,高 2.95 m。结合该工程地质情况及围岩类别,通过大量调研市场上悬臂式掘进机的规格,相对此类小断面洞型的适应机型较少,主要倾向于徐工集团生产的窄体型设备。最后,通过对机型尺寸、切割动力、出渣效率及维修保养便捷等方面进行对比,选择了三一重工生产的 EBZ-132 型、徐工集团生产的 XTR4/180、XTR4/230 型三种设备,悬臂式掘进机主要技术参数见表 1。

表 1 悬臂式掘进机主要技术参数表

项 目		XTR4/180 参数	XTR4/230 参数	EBZ-132 参数
整机质量/t		49	60	41.5
长/mm		11 870	13 470	9 100
宽/mm	铲板	1 900	2 200	2 600
	机身	1 700	2 100	2 240
高/mm	截割头水平放置最高点	2 030	2 200	1 900
	机身/mm	1 780	1 965	1 550
外形尺寸	卧底深度/mm	200	200	290
	地隙/mm	190	290	180
切割范围	高度/mm	4 200	4 600	4 450
	宽度/mm	4 300	5 100	5 000
龙门高度/mm		290	350	290
行走速度/ $\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$		6.5	6.5	7
切割电机功率/kW		180	230	132
泵站电机功率/kW		90	110	75
供电电压/V		AC1140	AC1140	AC1140
供电频率/Hz		50	50	50
装载能力		星轮式/3	星轮式/3	星轮式/3
喷雾水压/MPa		≥ 2	≥ 2	≥ 2

2.2 施工程序

施工准备→设备就位→掘进开挖(喷雾除尘)→出渣→支护→下一循环。

2.3 施工准备

由于机械开挖相对于钻爆施工在临时工程部署上存在较大区别,特作以下简要说明。

2.3.1 进场道路的布置

通过现有公路可以直接到达工地附近,从现

有公路修筑 6 m 宽混凝土便道即可到达洞口,便于悬臂式掘进机及后期出渣等车辆运输。

2.3.2 供水与排水设施

隧洞施工用水主要为悬臂式掘进机钻头冷却循环用水及混凝土养护用水。掘进机工作状态时用水的作用为冷却和降尘,需使用压力水,供水压力不小于 0.3 MPa,用水量小于 20 m^3/d 。因此,需要在隧道洞口处修建体积 $\geq 20 \text{ m}^3$ 的水池以满

足隧洞内的用水要求。水池内使用两台自动增压泵,采用球阀开关分支连接以确保在其中一台自动增压泵损坏的情况下另一台也能为隧洞供水。

隧洞排水主要为山体集中渗水与洞内涌水。由于该隧洞底板坡比为 1/1 000,因此,需在每个洞口设立沉淀池集中排水。

2.3.3 施工供电

隧洞口区域已安装有 10 kV 高压线路。由于悬臂式掘进机的用电额定电压为 1 140 V,故需安装专用变压器,供电电缆使用防爆电缆。

2.3.4 供风及通风

施工供风规划在隧洞进、出口处配置空压机及风机以满足供应隧洞钻孔、排烟及排尘等需求。隧洞工作面施工长度最大为 1 367 m,需风量经计算为 459 m³/min,因此,最终选择隧洞专用轴流风机 SDF(A) - NO6.5 (风量:600 m³/min、风压:3 900 Pa、功率:2×22 kW)以满足通风需要。风机布设位置根据掘进进尺调整,风筒悬挂于拱顶处。洞内造孔供风管采用 DN100 无缝钢管,置于隧洞一侧的墙脚。隧洞施工布置情况见图 1。

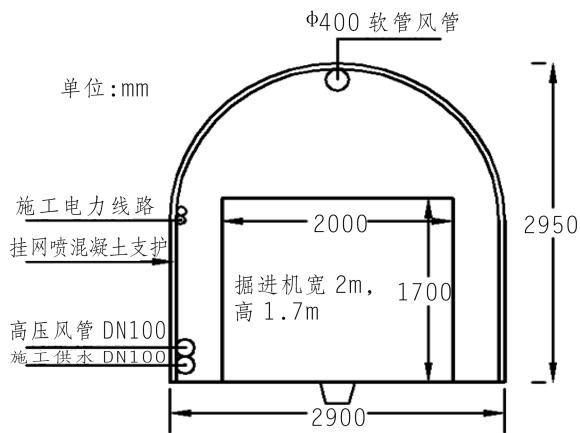


图 1 隧洞施工布置图

3 掘进施工

3.1 掘进作业

掘进机的开挖主要利用截割头上下、左右移动截割出初步断面形状,如此截割获得的断面与实际所需要的形状和尺寸有一定差别,可对其进行二次修整,以达到断面尺寸要求^[3],掘进开挖顺序见图 2,切割顺序采用自上而下的方式,特殊切割形式见图 3^[4]。

一般情况下,采用由下而上、左右截割的方式。当截割较软的岩石时,采用左右循环向上的

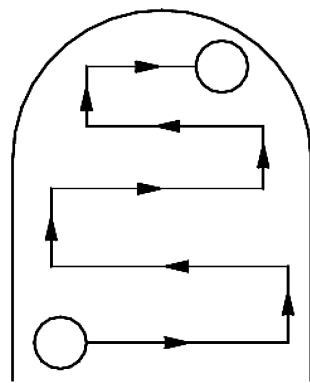


图 2 掘进开挖顺序图

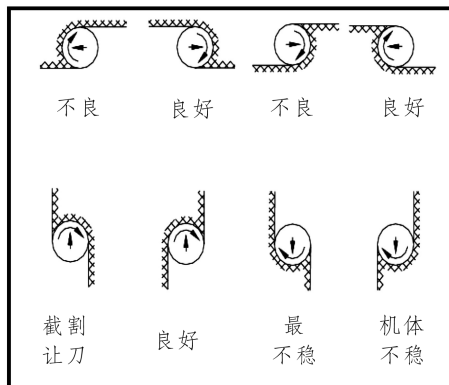


图 3 特殊切割示意图

截割方法。但不论采用哪种方法,一定要尽可能地从下而上截割。当遇到硬岩时,不应勉强截割;对有部分露头硬岩时,应首先截割其周围部分使其坠落;对于大块坠落体,应进行处理后再进行装载。当掘进柱窝时,应将截割头伸到最长位置,同时将铲板降到最低位置向下掘进,在此状态下,将岩体拖拉到铲板附近,以便装载^[5]。

如果不能熟练自如地操作掘进机,所掘进出的断面形状和尺寸会与所要求的断面存在一定差距。例如,当掘进较软岩壁时,所掘出断面的尺寸往往大于所要求断面的尺寸,会造成掘进时间的延长以及支护材料的浪费。而掘进较硬岩壁时,所掘出断面的尺寸往往小于设计尺寸。因此,一定要要求操作者既要熟练掌握操作技术,又要了解工作面的具体情况。

3.1.1 除尘喷雾

机械铣切过程会产生大量粉尘,因此,如何控制粉尘非常重要。悬臂式掘进机设有喷雾系统,截割作业时,打开控制阀,喷嘴开始喷雾,利用喷雾和风机相结合的双重除尘技术,能够有效改善

作业环境。

3.1.2 出渣

悬臂式掘进机掘进、截割岩石后,由其前段装有星轮的铲板通过自带第一运输机将石渣运至掘进机尾部,如果一运长度受限,可视具体情况增加二运系统,直接将渣料输送至出渣车。隧道的出渣可在开挖的同期进行以节省时间。

3.2 掘进作业操作

3.2.1 机械操作顺序

油泵电机 → 开动第一运输机 → 开动星轮 → 开动截割头,以此作为开动顺序。当没有必要开动第一运输机时,也可在开动油泵电机后启动截割电机。启动油泵电机时,与其直接相连的油泵随之启动供给液压油。

掘进机设计有履带式行走系统,可前后左右自行。截割头可前后伸缩,伸缩长度可达 550 mm,截割过程可左右推进。星轮启动回转集料,铲板上下前后收料,向上抬起铲尖距地面高度可达 340 mm,铲板落下与底板相接,铲板可下卧 260 mm。截割时,应将铲尖与底板压接,以防止机体振动,前后支撑可自由升降。铲板收料后由星轮回转送料至运输机转动送料。

3.2.2 电气操作

电源开关接通后检查显示屏、电压表和机器周围,如果没有异常情况即可进行开机操作,观察工作现场,待确认不会发生机械和人身事故后方可开机。截割电机启动“报警”信号发出 5 s 后即可启动截割电机。停机操作顺序原则上与开机顺序相反,也可根据实际情况进行。注意:不允许在不需要紧急停止的情况下利用急停按钮停整机,也不允许利用停油泵电机的方法停止其它电机,停机后,注意切断电源,取下电源开关手柄。

3.3 操作注意事项

(1)启动前,操作者必须检查并确认周围确实安全、顶板的支护可靠,待确认安全后再启动截割头。截割电机启动前,应先打开内喷雾开关以防喷嘴堵塞。启动或停止电机时,一定要完全彻底地避免缓慢微动。

(2)切割时、特别是切割硬岩时会产生较大的振动而造成截齿超前磨损或影响切割效率,一定要使铲板及后支撑接地良好,加强其稳定性,减少振动。操作中发现异常时应停机检查,绝不能超

负荷工作。

(3)机器行走时,不允许进行切割,否则会加大切割载荷,造成减速机损坏,绝不能造成掘进机压断电源线^[6]的情况出现。在软底板上操作时,应在履带下垫木板(1 至 1.5 m 间距)以加强其行走能力。

(4)大块岩体可能卡在本体龙门口处造成第一运输机停止,因此,必须将其击碎成小块。装载时一定要对铲板高度进行调整,行走时铲板一定要抬起;设备停止工作时截割头回缩,铲板落地。

(5)检修时必须停电。特别需要注意的是:电源开关上端至电源接线柱停电后其仍然带电,因此,不能随意取下电源接线柱上的护板。若需检修此处,前级馈电开关应停电。

(6)必须定期检查各导线的连接部位是否有松动现象,各防爆部位的紧固螺栓必须紧固。

(7)各电缆引入装置的密封胶圈、金属垫圈,内外接地必须接牢。

(8)检修时不得随意改变电路元器件的型号、规格与参数。

3.4 掘进功效分析

该工程应用了三种规格的悬臂式掘进机开挖设备,相关人员连续 6 个月对掘进设备的施工效率进行了统计,掘进循环时间统计情况见表 2。

由表 2 中的数据可知:开挖过程是一个系统作业过程,每一个循环均环环相扣,供电、排水、设备故障等均不同程度地影响到掘进进尺。连续 6 个月时间的统计分析表明:平均每个月有效作业时间只有 20 d,平均每班有效作业时间只有 4.5 ~ 5 h,有效作业时间有限。

4 适应性分析

通过该工程隧洞开挖对悬臂式掘进机的应用,系统分析了此类设备对小断面隧洞的适应性,主要包括以下几个方面。

4.1 洞身尺寸适应性及开挖效果分析

悬臂式掘进机在隧洞开挖中具有较大的灵活性,但对于类似该工程不足 8 m² 的小断面隧洞,设备选型极度受限,市场能适用的机型较少,设备在洞内的操作空间受限,一旦设备出现较大故障时,洞内检修困难。另外,设备进出洞过程由于洞径较小,必须频繁拆装风筒布而导致占用时间较长。但与已完成的洞型开挖效果比较,该类型设

表 2 掘进循环时间统计表

序号	工程名称	Ⅲ、Ⅳ级围岩		Ⅴ级围岩	
		工程数量	时间 /h	工程数量	时间 /h
1	测 量	1 项	每班一校	1 项	每班一校
2	有害气体检测	1 项	每 3 h 一次	1 项	每 3 h 一次
3	每循环掘进进尺	1.5~1.8 m	8	2~2.5 m	8
4	出渣	11~14 m ³	与掘进同步	14~19 m ³	与掘进同步
5	通风除尘	600 m ³ /min	与掘进同步	600 m ³ /min	与掘进同步
6	锚喷支护	14 m ²	每班跟进	16 m ²	每班跟进
7	循环时间		16		16
8	日循环数		1.5		1.5
9	截齿耗量	2 个	每延米	1 个	每延米
10	平均每班有效作业时间		5		4.5
11	最高日进尺	4.2 m	16	5.6 m	16
12	平均最高月进尺	65 m	有效作业时间 20 d	85 m	有效作业时间 20 d

备对洞型控制比较有利,开挖洞型、体型控制到位,开挖整体外观质量较好。

4.2 相对安全性分析

选用此类设备开挖安全性能高,尤其对于地质条件较差的部位对比钻爆法开挖,其安全风险较小,避免了因爆破后造成的围岩稳定性差问题,减少了因爆破后造成的有害气体排放时间长等,具有施工用电安全性更高的特点。

4.3 岩石特性适应性分析

该工程掘进机施工部位主要以Ⅲ类、Ⅳ类岩体为主。对于埋深较浅、岩石性质为白云岩、泥质白云岩与泥岩互层、页岩及砂质泥岩等中软岩,岩石强度为 20~30 MPa 左右,掘进效率较高;但对于埋深较大,主要为厚层长石石英砂岩夹页岩,岩石完整性好、裂隙水较强、岩石抗压强度达 40 MPa 以上的岩石掘进效率降低。由于岩石强度高,掘进过程几乎铣挖成石粉而造成粉尘大,施工环境差。尤其当遇到抗压强度超过 60 MPa 的岩层,适应此类洞径的设备几乎无法掘进,现场掘进过程造成掘进机设备故障频发、掘进机主轴断裂、截齿及齿座损耗严重,最高为每米进尺更换截齿达 14 个,设备维修保养时间长,导致必须改变施工工艺。而对于Ⅴ类围岩,在掘进过程中频繁出现掘进机陷车问题,由于其底板达不到悬臂式掘进机承载力要求,施工过程采取在行走履带下部垫方木、垫工字钢及水泥等加强措施,方能保障设

备有效运行。

4.4 渗水影响分析

洞内渗水对于洞身开挖而言是最大的影响因素。究其原因:第一种情况是由于岩石强度高、设备铣挖后岩石磨成细粉与裂隙水形成泥石混合物而造成掘进机出渣困难,掘进机运输系统出料打滑,二运皮带甩料严重,装车困难。同时,在掘进机作业范围形成近 20 cm 厚的泥石混合物,导致洞内抽排泥浆困难;第二种情况是渣车在掘进机二运皮带下部由于泥浆影响造成频繁陷车,车辆故障率极高,出渣功效降低;第三种情况是在裂隙水及潮湿环境影响下造成设备电路主控系统故障频发并存在维修保养费用高、时间周期长的问题。

4.5 除尘效果影响分析

对于岩石强度高、掘进后粉尘严重、洞内单个风机无法达到及时瞬时除尘效果而造成掘进环境差、作业人员视觉受限、不得不加大喷雾造成积水增加,同时不得不暂停掘进,短时等待排尘,造成掘进不能连续施工、功效降低的问题,通过多次试验研究得知:只有当风机距掌子面在 100 m 范围内时排尘效果较好,因此,需要增加风机数量,同时在洞内每间隔 100 m 增加风机通道。另外,由于其采用的是吸风式排尘而造成风机、风筒布内尘土沉积,需定时对其进行清理。

5 结 语

对于小断面水工隧洞,在其外部环境受限、岩石强度低(中、软岩:20~40 MPa),洞内无渗水或地下水活动轻微时,可选用悬臂式掘进机施工。此类设备工作方式灵活,采用截锥体截割头,其结构简单,较易切出光滑的轮廓。相较于钻爆法施工具有效率高、对岩层扰动少、有利于安全生产等优势。但对于岩石结构完整,尤其是砂岩地层,其裂隙水发育,岩石强度为50 MPa左右时设备掘进能力受限,岩石强度超过60 MPa时掘进困难。因此,在小断面隧洞开挖施工时,需充分分析地质情况,选择合理的施工工艺。

参考文献:

[1] 张博. 悬臂式掘进机铣挖法隧道掘进工艺及适应性研究

[D]. 大连交通大学, 2018.

- [2] 《中国公路学报》编辑部. 中国隧道工程学术研究综述[J]. 中国公路学报, 2015, 28(5): 6-8.
- [3] 哈明, 王 苏. 悬臂式掘进机截齿及截割受力分析[J]. 科技风, 2011, 35(12): 12-14.
- [4] 季义胜, 纪晓峰. S150J型掘进机的操作技术及施工工艺[J]. 山东煤炭科技, 2011, 40(5): 45-46.
- [5] 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, 2014, 35(2): 66-69.
- [6] 于冬. 综掘施工工艺在大倾角岩巷掘进中的应用[J]. 黑龙江科技信息, 2014, 17(4): 103-104.

作者简介:

张 彬(1979-),男,甘肃榆中人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工。 (责任编辑:李燕辉)

由水电五局研发的《一种用于钢筋切割的快速定长装置》 获国家实用新型专利

2022年6月10日,由水电五局渝湘高速项目部技术人员研发的《一种用于钢筋切割的快速定长装置》荣获国家实用新型专利,此专利为渝湘高速项目本年度获得的第二项国家实用新型专利。《一种用于钢筋切割的快速定长装置》主要涉及钢筋的切割,解决了传统用钢卷尺或标杆对原材料钢筋进行长度确定再进行切割方式存在的弊端。传统的切割方式在整个施测过程中测量钢筋占用的时间比较长,工作效率低且间接增大了施工的安全风险,因此,传统切割方式主要存在工作效率低下、费工费时、施工安全风险高等问题。针对上述传统切割方式存在的不足,渝湘高速项目部技术人员研发出此项新型钢筋切割快速定长装置,使用该装置只需测量一次即可以进行同批次长度的钢筋切割,优化了传统切割方式多次测量钢筋长度的繁琐工序,简化了传统的切割流程,减少了工作量,极大程度提升了工作效率,间接保障了施工安全。该装置由切割平台、滑块、钢筋切割组成,组装轻便,存放方便,造价低廉,而且可以不断重复利用,做到了低成本、高效益。同时其施工简便,效率高效,安全可靠。该专利科研工作依托于重庆分公司渝湘复线高速公路项目。此装置的应用切实做到了在提升效益的同时也把施工安全落到实处。实际运用表明:效果明显,低成本、高收益,安全可靠。

(中水五局 供稿)

银江水电站二期全年挡水围堰填筑到顶

2022年5月23日,由水电五局承建的银江水电站二期全年挡水围堰提前10天填筑到顶,顺利实现围堰闭气,为后期基坑土石方开挖及发电厂房混凝土浇筑奠定了基础。银江水电站位于金沙江干流中游末端的攀枝花河段,坝址位于距雅砻江河口3.6公里的四川省攀枝花市主城区,上接金沙水电站,下衔乌东德水电站,是金沙江中游“一库十级”水电规划中的最末一级。工程以发电为主,重点对观音岩水电站进行反调节,兼有改善城市水域景观和取水条件等作用,是全国唯一一座建在城市中心区的大型水电站,对于提高金沙江水电资源开发利用综合效益、提升攀枝花城区防洪能力和改善主城区生态环境等具有重要意义。二期全年挡水围堰设计土石方填筑共计62万立方米,最大堰高26米,距基坑底部达67米,堰顶宽10米,设计围堰可抵挡最大瞬时流量11400立方米每秒的水流。面对施工中的填筑难题,项目部精心组织,多次研究细化施工方案,最终采用混凝土防渗墙(下部)加复合土工膜(上部)的填筑方式展开施工;针对土工膜焊接面积过大、施焊人员焊接设备操作不够熟练等问题,项目部多次邀请复合土工膜焊接专家到现场对工人进行手把手教学,严格检查焊接质量,确保了工程建设质量受控;针对施工作业面较大且分散的情况,项目部生产人员每日工作结束后在现场召开调度会议,复盘施工过程,统筹施工力量,确保作业面施工有序衔接,高效推进;面对基坑填筑高度高,安全隐患大的难题,项目部严格落实“网格化”管理,压实安全生产监督责任,强化“班前5分钟”安全教育,让安全生产意识入脑入心;围堰填筑期间,充足的光照让攀枝花市的气温犹如进入“盛夏”,项目部合理调整了施工时间,定期开展“夏日送清凉”活动,保证了施工进度。二期全年挡水围堰填筑至顶,标志着项目从围堰填筑向基坑开挖转序。下一步,项目部将充分发挥“重履约、保首发、树品牌、奋战在银江”主题劳动竞赛作用,全面掀起竞赛氛围,高标准,严要求完成各项节点目标,以高度负责的责任感和使命感推动工程建设,为当地经济发展贡献五局的力量。

(中水五局 供稿)