

地下厂房洞室群施工关键技术研究

何绍波¹,何国锋²,何金龙¹,杨伟¹

(1. 华能澜沧江水电股份有限公司托巴水电工程建设管理局,云南 迪庆 674608;
2. 中国水利水电第十四工程局有限公司,云南 昆明 650041)

摘要:针对 TB 水电工程地下厂房洞室群地质及结构复杂、施工难度大的特点,对其主要施工技术进行了总结。结果表明:地下厂房洞室群的主要施工技术包括地下厂房岩壁梁开挖技术、高边墙深孔预裂开挖施工技术、一孔到底精细化爆破技术、主厂房预留岩盖法技术、斜井小挖机下井扒渣技术、大洞室二次变形开裂掉块快速防护技术、透平油库通风竖井绳锯切割技术、斜井混凝土滑模施工技术、高流态自密实膨胀混凝土施工技术、输水发电系统框架结构免装修清水砼施工技术、压力钢管洞内组圆及翻身技术、压力钢管智能焊接技术;在地下厂房洞室群的智能建造过程中,利用 BIM 及物联网技术,建立了智慧建造管理平台,实现了施工技术的精细化管理与智能化控制。

关键词:地下厂房洞室群;高边墙稳定;深孔预裂;一孔到底精细化爆破;智能建造

中图分类号:TV554 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2024)S1-0028-006

Research on key technologies for construction of underground powerhouse cavern group//HE Shaobo¹, HE Guofeng², HE Jinlong¹, YANG Wei¹(1. *Tuoba Hydroelectric Engineering Construction Management Bureau of Huaneng Lancang River Hydropower Inc.*, Diqing 674608, China; 2. *Sinohydro Engineering Bureau 14 Co., Ltd.*, Kunming 650041, China)

Abstract: In response to the complex geological and structural characteristics, as well as the difficulty of construction, of the underground powerhouse cavern group in the TB hydropower Project, the main construction techniques was summarized. The results show that the main construction technologies for the underground powerhouse cavern group include excavation technology for rock wall beams, deep hole pre splitting excavation technology for high side walls, one hole to bottom fine blasting technology, reserved rock cover method technology for the main powerhouse, slag removal technology for inclined shaft small excavators, rapid protection technology for secondary deformation cracking and block falling of large caverns, rope saw cutting technology for ventilation shafts of turbine oil depots, inclined shaft concrete sliding mode construction technology, high flow self compacting expansive concrete construction technology, plain concrete construction technology for water transmission and power generation system frame structure without decoration, circular and turning technology for pressure steel pipe tunnels, and intelligent welding technology for pressure steel pipes. In the intelligent construction process of underground powerhouse cavern group, a smart construction management platform was established using BIM and IoT technology, achieving refined management and intelligent control of construction technology.

Key words: underground powerhouse cavern group; high side wall stability; deep hole pre cracking; one hole to bottom fine blasting; smart construction

TB 水电工程输水发电系统中总装机容量 1 400 MW 的混流式机组布置在右岸山体内,采用尾部式布置,由进水口、引水隧洞、主厂房、主变洞、尾水隧洞、尾水出口等组成。采用“一进一引一机一尾”的单机单管”短尾水式布置格局,形成规模巨大的地下厂房洞室群,如图 1 所示。地下厂房尺寸为 178.6m×27.3/25.5m×68.73m,规模庞大,地质条件复杂,施工技术要求高。为打造优质样板工程,实现综合治理的领先地位,本文对地下厂房洞室群的施工技术进行总结分析,为达到“精品工程、绿色工程、智慧工程、集团

标杆工程”的阶段性的目标提供技术支撑。

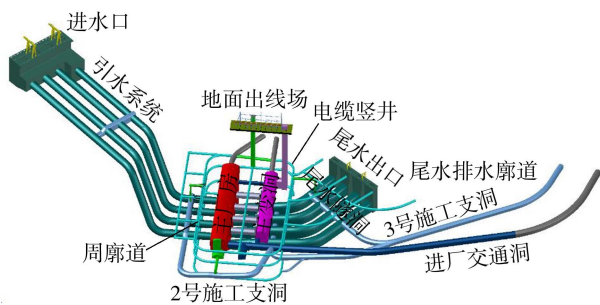


图 1 地下厂房洞室群三维图

作者简介:何绍波(1978—),男,高级工程师,主要从事水利水电建设管理研究。E-mail:Heshb@foxmail.com

1 地下厂房洞室群特点

在地下工程设计中,工程布置、围岩稳定评价及锚固处理措施等属关键技术问题对工程建设安全性和经济性影响较大,应给予充分重视。TB 水电工程输水发电系统地下厂房洞室群共布置地下洞室 40 余条,总长约 7.8 km。在约 0.15 km² 的区域内布置众多的大小平洞和斜竖井,特别是在输水发电系统中央面积不到 0.04 km² 的山体内布置了主副厂房、主变洞两大洞室及众多附属洞室,大小平洞及斜竖井 20 余条。洞室布置密集、纵横交错、平竖相贯、立体交叉,结构十分紧凑。

输水发电系统布置区地质结构复杂,岩性以块状辉长岩、吉岔辉长岩为主,绝大部分为微风化至新鲜岩体,岩石坚硬,岩体完整。区内未见 I、II 级结构面,地质测绘及勘测发现 III 级结构面 11 条、IV 级结构面 6 条和节理 6 条。断层大部分规模较小,宽度为 0.05~0.20 m,区内四级结构面较发育,主要为小断层和数条缓倾角节理,部分为夹泥节理,其破碎带较窄。洞室围岩体呈次块状或块状,以 II、III-1 类围岩为主,岩体完整性好;局部存在的断层破碎带、节理密集带等 IV 类围岩,II 类围岩占 60%,III-1 类围岩占 30%,IV 类围岩占 10%。洞室在局部可能会出现变形破坏形式主要为由结构面组合形成的契体塌滑或崩塌破坏及断层带的坍塌破坏,厂房区地应力为 6.22~11 MPa,属中低地应力区。

TB 水电工程输水发电系统地下厂房洞室群的施工特点为工程规模大、施工强度高、施工速度快。地下厂房洞室开挖自上而下分为 I~V 5 个区域进行施工。施工单位弘扬“自强不息、创新进取”的企业精神,秉持“一流的质量,顾客的期望,我们的追求”的质量方针,在施工过程中,“精心组织施工,鼓励科技创新,优化资源配置,全程动态管理”,通过科技创新和优化施工方案,最终地下厂房开挖施工历时 18.5 月,厂房机组混凝土浇筑历时 21 月,高质量完成了地下厂房洞室群建设任务。

2 地下厂房洞室群主要施工技术

2.1 地下厂房岩壁梁开挖技术

在地下厂房岩壁梁开挖工程启动之前,深入研究了三峡、龙滩、小湾、溪洛渡、黄登等国内外类似项目^[1],汲取其成功经验。基于这些宝贵的实践,在地下厂房岩壁梁开挖工程中采用创新施工技术——岩壁吊车梁双向控爆施工技术。这项技术的核心在于岩壁梁的开挖过程,其通过垂直和斜向的双向控爆,实现了一次成型的高效作业;为了确保开挖的精确度,造孔工序采用了 $\phi 48$ 钢管搭设的样架,不仅提高了作业的标准化程度,还确保了施工样架的稳定性和造孔的精准性;此外,还对爆破参数进行了严格控制,这 3 道关键工序的精细管理是确保整个开挖过程安全、高效的关键。在控制爆破方面,采用了个性化装药和面装药密度控制线装药密度的方法,不仅提高了爆破的精确度,还有效减少了对周围岩体的损伤,确保了整个地下厂房岩壁梁开挖工程的质量和安

2.2 高边墙深孔预裂开挖施工技术

经过对众多大型地下洞室群高边墙开挖施工技术的研究,TB 水电工程从施工设备的精准选择出发,将深孔预裂爆破技术应用于地下洞室的垂直高边墙区域,并与精细化的薄层开挖方法和及时支护跟进策略相结合,形成了一套集深孔预裂、薄层开挖以及逐层支护于一体的施工技术体系。高边墙深孔预裂开挖施工技术是一种集精确控制、科学规划和严格监测于一体的综合施工方法,其不仅能够有效提升地下工程的施工效率,还能显著降低对环境的负面影响。在实际应用中,如遇断层、破碎带等区域,高边墙深孔预裂开挖施工技术能够显著减少对周围岩体的扰动,避免引发次生灾害,如滑坡、塌方等。同时,通过精确控制爆破参数,还可以有效避免超挖和欠挖现象的发生,提高了工程的整体质量。

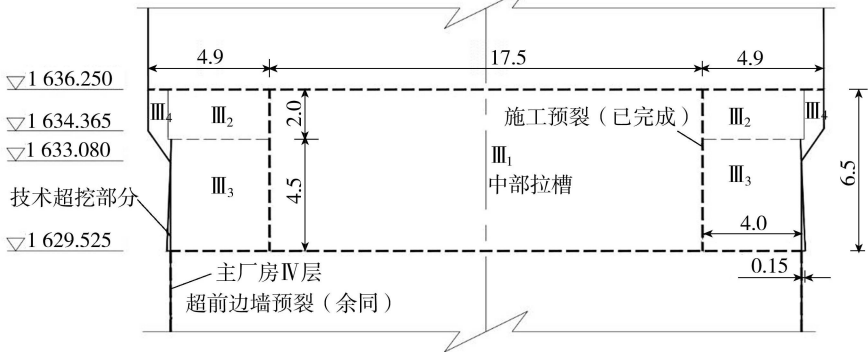


图 2 TB 地下厂房岩壁梁开挖分区 (单位:m)

高边墙深孔预裂开挖施工技术还具有良好的经济性,减少了爆破次数和炸药用量,从而降低施工成本。

2.3 一孔到底精细化爆破技术

一孔到底精细化爆破技术即在洞室顶拱开挖施工中,通过对钻孔工艺的精细化控制,采用竹片间隔装药+孔底预留 50 mm 不装药的微扰动爆破技术。开挖成型后,顶拱的残孔从视角上一个连接一个,无明显错台和接茬,孔距均匀,达到“一孔到底”的效果。一孔到底精细化爆破技术采用精细化、微扰动钻孔爆破技术,解决了爆破排炮之间炮孔接续问题,在大部分地下洞室顶拱开挖都可以采用。

TB 水电工程地下厂房主变洞顶拱开挖历时 4 月。测量数据表明,开挖半孔率达到 98.5%,不平整度为 5.2 cm,平均径向超挖为 6.1 cm,半孔分布均匀顺直,且从每茬炮之间的残留半孔衔接情况看已基本达到“一孔到底”的效果,开挖成型质量非常好。可见,一孔到底精细化爆破技术操作简单,经济实用,可实施性高,具有明显的社会效益和经济效益,为后续类似水电工程地下洞室顶拱开挖提供了借鉴。

2.4 主厂房预留岩盖技术

地下厂房施工一直以来都是引水发电系统工程的关键线路。TB 水电工程地下厂房洞室开挖高度大、结构复杂,且与金属结构和机电设备安装互相交叉交错施工,施工难度大。结合大型地下工程施工的经验,TB 水电工程地下厂房采用了“预留岩盖开挖”的施工方法,解决了地下厂房多维度立体平行施工的难题。

上部从主厂房排风洞进入进行主厂房 I、II 层施工,通过进厂交通洞进入厂房,升坡至主厂房 III 层底部,待岩壁吊车梁混凝土浇筑完成,强度达到设计及规范要求后开始进行 IV 层的开挖;首先进行边墙 16 m 深孔预裂,然后中部采用梯段爆破开挖,逐渐从小桩号向大桩号推进;为了加快施工进度,另一侧利用设备洞作为施工通道升坡至 III 层底部,与进厂交通洞工作面同步相向开挖。开挖支护采用“一次深孔预裂、两个 8 m 高度梯段开挖、支护随层跟进”的方式进行。IV 层开挖支护完成后向下进行 V 层开挖,V1 层开挖完成后,V2 层厚度和 VI 层共同作为预留岩盖,V1 层支护完成后进行预留岩盖的施工。下部利用 3 号施工支洞作为施工通道先进入到尾水隧洞下层,然后再进行尾水扩散段一层的开挖,最后利用尾水扩散段作为通道进行厂房掏机坑的施工;厂房机坑与 IV 层开挖同步进行,爆破时避让,为了确保厂房机坑和后续岩盖施工的安全,在机坑形成的

顶部增加了临时系统的短锚杆和钢纤维安全支护。机坑开挖至设计结构面的位置尽快按设计参数进行支护,确保机坑安全。

预留岩盖所在的位置为 V2 层和 VI 层,为保证安全,预留厚度初步拟定为 12.025 m,塑性区范围为 2~6 m。最终预留厚度为 6.3 m,尽量降低最后一次爆破振动。预留岩盖的预裂孔打完后严禁先进行爆破施工,以保证安全。预留岩盖的施工分块长度每一台机划分为一个段,打设一个 4 m×4 m 的导井,一是起到释放岩盖应力作用,防止岩盖位置厂房上下游围岩失去支撑后应力突然调整,引起安全隐患;二是通过导井将岩盖上部的开挖石渣回填至顶住岩盖,增加岩盖施工的安全系数;最后利用预留岩盖的爆渣形成平台对岩盖占压的部位进行支护。预留岩盖技术与上下立体同步开挖构成预留岩盖一次性开挖方法,其突破传统施工方法对工期的限制,大幅提高施工效率,缩短工期,节约了施工成本,具有明显的社会效益和经济效益。

2.5 斜井小挖机下井扒渣技术

TB 水电工程输水发电系统在引水斜井的施工过程中,采用了先进的无人遥感挖掘机进行井下作业。斜井小挖机下井扒渣技术,相较于传统的人工扒渣作业,显著提升了开挖作业的效率,不仅加快了工程进度,缩短了工期,还有效降低了项目成本^[2]。此外,无人操作的引入极大地增强了作业现场的安全性,为施工人员提供了更为稳固的保障。引水斜井小挖机安装了遥感系统,能够在提升系统的牵引下,遥感操作设备在斜井井壁上行走、到工作面上扒渣,有效保障施工人员安全。

2.6 大洞室二次变形开裂掉块快速防护技术

大断面洞室开挖均采用从上至下分层开挖。隧洞顶层开挖支护完成后,在中下层开挖过程中,隧洞顶拱应力调整需要一个过程,且由于隧洞的围岩情况复杂,各部位受到下部开挖爆破震动影响,围岩的应力分布会多次反复调整,从而造成隧洞顶拱混凝土或岩石局部脱落、掉块,对隧洞下部施工人员及机械造成一定的安全威胁。针对这种情况,传统处理方式是采用人工定期或不定期巡视、排查,发现隧洞顶拱混凝土或岩层出现裂缝,采取人工配合机械清撬处理,其施工风险高、安全随意性大。随着主、被防护网技术在工程边坡中的运用,结合隧洞开挖的特点,将工程边坡主、被动防护网结合隧洞系统锚杆应用于隧洞边顶拱的安全防护,使其安拆方便、防护性能良好,即大洞室二次变形开裂掉块快速防护施工技术。该技术主要由支撑绳固定点、纵横向支撑绳、钢丝绳网、缝合绳、钢丝格栅构成。在

4.5 m×4.5 m 正方形 (标准模式) 网格内铺设一张 4 m×4 m 的 DO/08/300 型钢绳网,此型号网的结构包括 $\phi 16$ 纵横向支撑钢绳、 $\phi 8$ 缝合钢绳以及钢绳卡。其中,钢格栅网直径 2.2 mm,网孔 50 mm×50 mm;钢丝绳网为菱形网,直径 8 mm,网孔 300 mm×300 mm;每张钢绳网与四周固定点及 $\phi 16$ 支撑绳间用 $\phi 8$ 缝合绳缝合拉紧,构成快速防护系统,对顶拱形成连续支撑,从而实现其主动防护的目的。考虑到该规格型号的网孔尺寸,可能存在小于 50 mm 的掉块对下部人员和设备造成伤害,在贴近喷锚面的位置再增设一层 25 mm×25 mm 的密目钢丝网,进而消除隧洞顶拱掉块的安全隐患,减少不必要的经济损失。

2.7 透平油库通风竖井绳锯切割技术

TB 水电工程输水发电系统透平油库通风竖井直径 0.8 m,长度 14.2 m,原方案为反井钻机施工,由于工作面受限,设备移设难度极大。下部透平油库顶拱成圆弧形,需要做修平处理。鉴于上述情况,采用新兴的绳锯切割技术。因通风竖井下大上小呈倒锥形,使用 SKQ100B 气动潜孔钻在中层廊道打设 90 mm 的穿绳孔,将原来直径 0.8 m 的圆孔变为 0.8 m×0.8 m 的方孔,以便于切割。穿绳孔设置在方孔的 4 个角上,绳锯切割设备设置在透平油库底板上,通过转向装置将切割机转至安全位置,上部设置切绳传动器具,为便于切割后的石块掉落。绳锯切割技术的应用降低了施工难度,保障了施工安全。

2.8 斜井混凝土滑模施工技术

TB 水电工程布置了 4 条引水隧洞,相邻闸门中心线距离为 25 m,引水斜井采用爬钢绞线斜井翻模施工技术。斜井由模体结构、行走系统、牵行系统组成,总重量约 75 t,滑模本体总长 13.031 m,共设计 4 层平台,自上而下分别为井口平台、中平台 (混凝土分料和钢筋存放平台)、主平台 (模板和环向钢

筋、混凝土振捣、液压控平台)、悬吊平台 (混凝土抹面、养护平台)、旋转式分料系统主要构件组成,模板长度为 1.5 m。滑模借助外置式爬升装置,该系统通过在井口设计的支撑梁实现爬升。整个框架结构通过提升架与高强度的钢绞线 (直径为 15.24 mm) 以及支撑梁紧密相连。利用液压千斤顶的精准控制,整个系统能够平稳而有力地向上爬升。斜井滑膜结构如图 3 所示。

斜井滑模施工是一种高效的混凝土浇筑技术,特别适用于快速施工^[3]。利用滑动模板系统可以实现连续而均匀的混凝土浇筑,从而形成井筒内壁的完美结构。该技术不仅显著提升了施工速度,确保了混凝土浇筑的品质,同时有效降低了整体施工成本。在斜井滑模施工过程中,需要精心准备滑模装置,确保其结构稳固且适应斜井的特殊要求。安装滑模模板要求精确对齐,以保证结构的准确性和美观性。混凝土的浇筑工作必须细致进行,确保材料的均匀分布和合适的凝固时间。模板的滑升过程是整个施工的核心环节,需要严格监控,以避免任何偏差或结构缺陷的产生。

2.9 高流态自密实膨胀混凝土施工技术

在 TB 水电工程输水发电系统中,众多钢衬部位构成了关键的承载结构,涵盖了压力管道、肘管以及蜗壳等。这些部位的钢衬段不仅配筋密集,而且施工空间受限,使得下料和振捣作业面临诸多挑战。为了实现混凝土的充分填充和浇筑的极致密实,确保钢衬结构的稳定运行,设计选用了高流态自密实混凝土施工技术。

TB 水电工程输水发电系统高流态自密实混凝土强度等级为 C₂₈20W6F50,入仓方式为泵送,龄期为 28 d,扩散度为 660~752 mm,拌和物稳定性不超过 10%,L 型仪间隙通过性不大于 0.8,T500 流动时间范围为 2~5s。自密实混凝土结合了混凝土的自

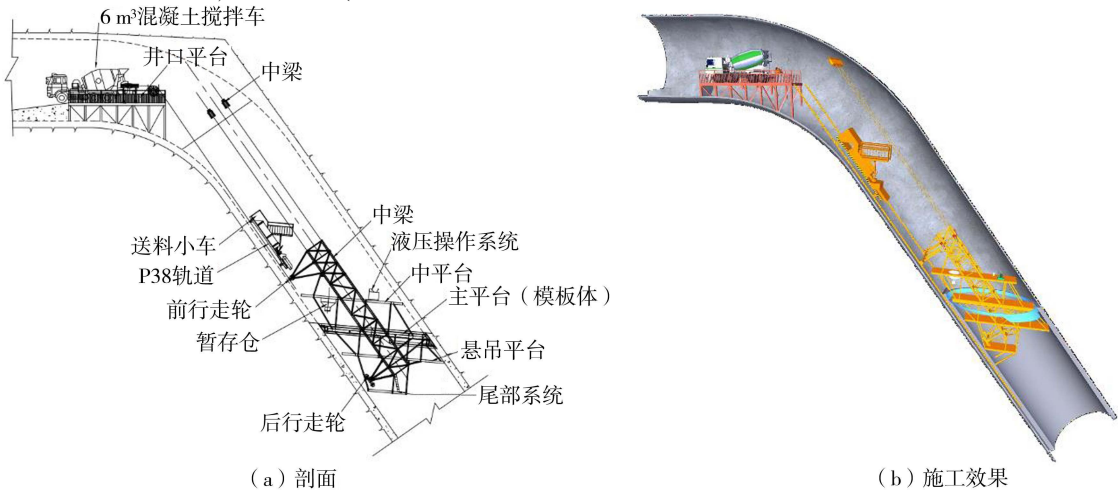


图 3 斜井滑膜结构

密实特性和膨胀性能的优点,拥有较高的砂率、丰富的胶材用量以及显著的高强度,其流动性、和易性、填充性均表现出色,实现了混凝土结构的卓越品质和施工效率的双重提升。

2.10 输水发电系统框架结构免装修清水混凝土施工技术

免装修混凝土又称装饰混凝土,是一种将混凝土成型后的原始质感转化为装饰效果的建筑材料。这种混凝土在成型后无需额外的装饰处理,保留了其表面的光滑平整、均匀色泽的特征及精确的棱角和清晰的线条,同时确保无任何损伤和污染。免装修混凝土具有较高的胶凝材料含量和丰富的砂浆,在振捣过程中,水泥砂浆与模板紧密贴合,彻底排除了气泡。因此,浇筑成型后的混凝土表面不仅光滑如镜、与模板表面完美契合,而且呈现出均匀一致的色泽。为了进一步保护其天然美感,表面会涂上一层透明的保护层,形成庄重而自然的外观。免装修混凝土展现出卓越的耐久性,并且显著降低了后期的维护成本。

2.11 压力钢管洞内组圆及翻身技术

下平洞钢管的组圆全部在 4 号引水隧洞内完成。为了满足钢管在下平洞的组圆要求,对 4 号引水隧洞上下游进行扩挖处理,括挖的宽度比最大钢管直径大 1.5 m,方能满足翻身要求。同时,在 2 号施工支洞和 4 号引水隧洞交叉处顶部位置布设吊点锚杆,以满足钢管的翻身需要^[4]。瓦片运输至下平洞后,采用 25 t 汽车吊和翻身吊点的卷扬机、滑轮组卸车和组圆。先在 2 号施工支洞与 4 号引水下平洞交叉处顶拱处布设 2 组锚杆,每组锚杆受力不小于 50 t。翻身采用双吊点,吊点布置在加劲环上,位置在 X 轴线上方约 300 mm 处,在 2 号施工支洞布置 2 台 8 t 卷扬机,在顶部锚杆处分别挂 32 t 四门滑车。翻身时,先在钢管底部安装一个可移动的支撑小车,在钢管移动时可随钢管一起行走,待钢管直立后,可退出移动小车,完成钢管的翻身。

钢管在进水口处组圆后完成加劲环的焊接(纵缝处留 500~1 000 mm 的加劲环不焊),然后再把钢管按瓦片分解,运输至 4 号引水下平洞与组圆。钢管组圆完成尺寸检验合格后,焊接纵缝,经无损检测合格后组装和焊接加劲环(预留纵缝处)。钢管制作工序全部结束并检验合格后,对内壁油漆损伤地方进行补涂,钢管组圆完成。

2.12 压力钢管智能焊接技术

TB 水电工程压力钢管共有 164 节,总重 3 800 t,材质为 Q345R 及 600 MPa,每节钢管上有 2~5 圈环板,整体焊接量较大,焊缝要求较高。为提高

压力钢管焊接效率,将 TB 水电站建设成为绿色、智慧电站的目标,在引水隧洞压力钢管制安期间引进了一套 NZ-IV 智能焊接小车及一套 MZ-1250R 智能埋弧焊机。智能焊接小车适用于 Q345R 材质压力钢管的纵缝、环缝、环板角焊缝焊接。智能埋弧焊机适用于 600 MPa 级高强钢及 Q345R 材质压力钢管的环板焊接。

NZ-IV 智能焊接小车的设备特点包括:①具有直线摆动功能,摆动模式、幅度、速度、中心位置和左右停留时间等参数可以调节;②可用数码显示运行速度;③为防止出现摆动焊接时咬边等现象,可设置左右停止时间调节功能;④焊接停止时焊枪具有自动回到焊道中心位置的自动收弧功能。焊接智能小车焊接参数及焊接速度设置完成后可实现自动焊接,降低了大件焊接对焊工技能水平的依赖、施工人员对工程进度和质量的影响以及管理难度,提升了工效。并且,焊接智能小车焊缝外观成型对比手工焊接有显著提升,同时大大降低了焊缝返修率,有效提高了压力钢管焊接质量。

MZ-1250R 智能埋弧焊机的设备特点包括:①采用软开关逆变技术,有效延长整机使用寿命;②整机设有多个参数的反馈电路,焊接规范稳定,焊缝成型良好;③驱动板采用“三防”处理工艺,加强对潮湿、盐雾、粉尘的防护;④手工电弧焊状态时,推力电流、起弧电流连续可调,使用方便;⑤负载持续率为 100%。MZ-1250R 智能埋弧焊机在生产效率方面表现出色,得益于焊丝导电长度的缩短以及电流和电流密度的提升,使得电弧的穿透力和焊丝的熔敷效率显著增强。在不需开坡口的情况下,单面一次焊接的深度可达到 20 mm。此外,焊剂和熔渣的隔热效果显著,有效减少了电弧热辐射的散失,同时飞溅现象也大幅减少。尽管熔化焊剂所需的热量有所增加,但整体热效率依然显著提升。MZ-1250R 智能埋弧焊机焊缝质量高,熔渣的保护作用隔绝了空气,确保了焊接环境的纯净,焊接参数的自动调节功能保持了焊接过程的稳定性。这降低了对焊工技能水平的要求,同时确保了焊缝成分的均匀性和机械性能的优越性。另外,使用 MZ-1250R 智能埋弧焊机劳动条件好,不仅减轻了手工焊接操作的劳动强度,而且由于没有弧光辐射,为操作人员提供了一个更为健康和安全的工作环境,这是埋弧焊技术所独有的优点。

3 地下厂房洞室群智能建造

为贯彻 TB 水电工程“创新、协调、绿色、开放、共享”发展理念,按照“绿色电站、智能建造”的建设

要求,对地下厂房洞室群采用智能建造。利用 BIM (building information modeling) 及物联网技术,建立智慧建造管控体系,实现工地管理数字化和施工过程智能化。通过利用移动采集、设备数字化监控、生产智能化控制等手段,实现施工全工艺流程的精细化管理与关键作业环节的智能化控制,保证工程建设的进度与质量。

地下厂房智能建造系统包括智能建造管理平台、智能通风及健康在线监测系统、门禁管理系统、视屏监控系统、厂房及主变 BIM 技术运用系统、VR (virtual reality) 安全体验系统、人员定位系统、车辆定位系统、雷达测速系统及安全隐患排查系统等。智能化设备包括智能拱架台车、智能湿喷台车、智能锚注台车、智能凿岩台车及高举锚固钻机等。其中,智能通风系统主要由智能通风机、风管、风阀、变频控制柜、环境监测系统、人员定位设备、工地监控中心、云端运营维护平台等组成。其综合运用“工程技术+物联网+射频识别技术+数据采集技术+可视化技术+便携式平台”,在线实时监控地下洞室污染物浓度(含粉尘、一氧化碳、二氧化碳、二氧化硫、二氧化氮)、洞室温度、湿度等,使地下洞室施工过程中始终处于系统的监控状态。在系统运行过程中,实时监测风流行为及污染物扩散状态,自动调整供风量大小,爆破后空气达标时间缩短 20%,能耗降低 40%,保证地下洞室的通风质量,保障现场人员健康,实现“地下施工地面化”。BIM 技术应用系统以主副厂房及主变洞开挖支护、一期混凝土浇筑为管理对象,创建与工程实际匹配的单元及进度 BIM 模型。模型经轻量化处理,在 BIM 引擎平台上关联工程属性、人力、机械及设备投入、施工工期等信息,通过模型交互查询及工程量、资源投入、进度统计分析等功能为工程提供高效的决策支撑手段^[5]。安全隐患排查系统基于微信平台,利用互联网+云技术,实现安全隐患从排查到治理全流程可视化管理,具有隐患信息传递效率高、隐患整改闭合可实时跟踪、隐患分析统计针对性强等特点。该平台的使用大大降低施工中安全事故发生的可能性,保证施工顺利进行,提高安全生产管理水平。智能灌浆系统融合了尖端的自动化控制技术、网络通信技术、信息加密技术以及软件运算技术,实现了智能灌浆单元机与中央服务器系统的无缝连接。这一系统使得灌浆工艺实现了全面自动化控制,水泥浆液的配比和制备过程也变得智能化,同时实现了对灌浆压力和流量的精准调节。此外,系统还能够自动记录灌浆过程中的各项数据,并对灌浆成果进行自动统计分析,确

保了整个灌浆工程的智能化管理,目前由于条件受限未全套使用。

4 结 语

TB 水电工程地下厂房洞室群工程面对着洞室错综复杂的布局 and 结构以及施工过程中所遇到的巨大技术挑战,建筑单位引入了一系列前沿的施工技术,提升了施工效率,实现了整个地下厂房洞室群项目提前半年竣工。施工过程中,创造了多项大型地下厂房开挖施工进度新纪录,厂房采用预留岩盖法施工开挖时间仅为 18.5 月,优良率达到 92.5%,同时确保了安全无事故,实现了综合治理的领先地位。

参考文献:

[1] 刘耀儒,侯少康,程立,等. 水利工程智能建造进展及关键技术[J]. 水利水电技术(中英文),2022,53(10):1-20. (LIU Yaoru, HOU Shaokang, CHENG Li, et al. Advances and key technologies of intelligent construction of hydraulic engineering [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2022, 53 (10): 1-20. (in Chinese))

[2] 魏志成,郝建飞. 小型挖掘机在大角度斜井中快速施工实践与探讨[J]. 内蒙古煤炭经济,2011(3):73-75. (WEI Zhicheng,HAO Jianfei. Practice and exploration of rapid construction of small excavators in large angle inclined shafts[J]. Inner Mongolia Coal Economy, 2011 (3): 73-75. (in Chinese))

[3] 刘旭刚. 斜井混凝土滑模衬砌施工技术[J]. 工程技术,2021(12):269-271. (LIU Xugang. Construction technology of inclined shaft concrete sliding formwork lining[J]. Engineering Technology, 2021(12):269-271. (in Chinese))

[4] 杨洪泽,盛明忠. 三板溪电站地下厂房顶拱无粘结预应力锚索施工[J]. 云南水力发电,2009,25(2):35-38. (YANG Hongze,SHENG Mingzhong. Construction of non bonded prestressed anchor cables for the top arch of the underground powerhouse of Sanbanxi Power Station[J]. Yunnan Water Power, 2009, 25 (2): 35-38. (in Chinese))

[5] 李庆国,徐建华,侯帅,等. 山西中部引黄水源工程地下厂房开挖施工技术[J]. 云南水力发电,2021,37(8):89-101. (LI Qingguo, XU Jianhua, HOU Shuai, et al. Construction technology for excavation of underground powerhouse of Yellow River Diversion Water Source Project in central Shanxi[J]. Yunnan Water Power,2021, 37(8):89-101. (in Chinese))

(收稿日期:2024-09-23 编辑:王芳)