

全圆针梁台车无扩挖安装技术在下凯富峡水电站引水隧洞中的改进与应用

骆红兵

(中国水利水电第五工程局有限公司 第三分局,四川 成都 610066)

摘要:在水电站发电引水隧洞施工过程中,针梁台车的安装为隧洞混凝土衬砌的关键工序,直接影响到整个电站通水发电的直线工期。多年来,国内外已总结出多种常规针梁台车的安装方法,在支洞较多的情况下只能在洞内安装,但洞内安装台车大多数均需扩挖工作室并采用天锚安装。结合赞比亚下凯富峡水电站引水隧洞工程在无扩挖工况下全圆针梁台车安装的创新应用,对大直径全圆针梁台车的安装技术和工艺进行了系统总结,旨在为类似工程施工参考。

关键词:下凯富峡水电站;引水隧洞;全圆针梁台车;无扩挖;安装技术

中图分类号:TV7;TV52;TV554;TV53

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2020)增 1-0005-04

Improvement and Application of Full Circle Needle Beam Trolley Installation Technology without Expanding Excavation in Diversion Tunnel of Kafue Gorge Lower Hydropower Station

LUO Hongbing

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

Abstract: In the construction process of diversion tunnel of hydropower station, the installation of needle beam trolley is the key process of tunnel concrete lining, which directly affects the straight-line construction period of the whole hydropower station. For many years, a variety of installation methods of conventional needle beam trolley have been summarized at home and abroad. When there are many branch tunnels, they can only be installed in the tunnel. However, most of the trolley installation in the tunnel needs to expand the working room and adopt the overhead anchor installation. Combined with the innovative application of the installation of the full circle needle beam trolley in the diversion tunnel project of the Kafue Gorge Lower Hydropower Station in Zambia, the installation technology and process of the large diameter full circle needle beam trolley are systematically summarized, aiming to provide reference for similar engineering construction.

Key words: Kafue Gorge Lower Hydropower Station; diversion tunnel; full circle needle beam trolley; non-expansion excavation; installation technology

1 概述

目前国内全圆针梁台车的安装方式大多仍采用洞顶打锚杆、挂设手拉葫芦吊装的方法进行安装^[1]。该安装方法需在洞顶扩挖两倍台车长度、顶部大于1 m的工作空间,采用整体自下而上的安装工艺,即底模→针梁→侧模→顶模的顺序,使用8 t汽车吊在洞内配合,安装时间约为15~20 d(6 m以下直径)。毛家河水电站针梁台车同样采用洞顶打锚杆焊接吊环、由下至上分层安装的方式^[2]。在新疆大山口二级水电站引水隧洞混凝土衬砌施工中,采用长距离(1 800 m)、大断面(直

径9.5 m)隧洞全断面针梁式钢模台车^[3],该安装方式耗时较长且在扩挖、回填及锚杆布设过程中投入较大,对于地质条件较差的工程,二次扩挖需加强支护且塌方风险增大。对于引水隧洞进口为直线段的工程具有洞外安装完成后行走至浇筑工作面的可能,但该方法往往因进水口混凝土工程与引水隧洞衬砌施工交叉干扰而无法采用,且进口洞段往往设置成弯道也是限制该方法实现的障碍之一。

目前国内具有先进水平的安装技术为无扩挖快速安装方式,已在新疆布伦口-公格尔水电站、盖孜水电站逐步推广应用^[4]。该项技术的安装顺

收稿日期:2020-07-07

序为先外后内、先单节后整体,即先模板后针梁。无扩挖快速安装主要应用在小洞径引水隧洞施工中,但在大型水电站大直径引水洞施工针梁台车安装中尚未有先例。

此外,洞内安装时的起重吊装设备是选择安装方法的重要考虑因素之一。因为隧洞为水平柱状体型空间,导致起重吊车的站位、回转等作业受限。故常规的方法是采用天锚横梁卸车、起重、行走、安装等作业。在庙林水电站引水隧洞针梁台车安装施工中,由于场地限制采用了反铲配合吊装^[5]。在新疆布伦口-公格尔水电站中优化了吊装方式,采用小型挖掘机铲斗加装吊杆作为主要安装设备,经简易改装的反铲可在洞内进行构件卸车、转运、起吊、就位、调整及回转等多功能作业。

由于引水隧洞针梁台车安装施工为隧洞洞挖与混凝土衬砌工序转换的关键工作,因此,优化台车安装程序可缩短整个引水隧洞通水发电的直线工期。笔者以下凯富峡水电站引水隧洞施工为例,介绍了全圆针梁台车无扩挖安装技术在下凯富峡水电站引水隧洞中的改进与应用。

2 无扩挖快速安装施工技术的改进与应用

2.1 应用范围

下凯富峡水电站位于赞比亚首都卢萨卡东南约90 km的Kafue河上,工程枢纽建筑物包括碾压混凝土拦河坝、坝身泄洪系统、右岸引水系统、

调压井和地面式厂房。该工程以发电为主,库容为8 300万m³,安装5台混流式机组,单机容量为150 MW,总装机容量为750 MW。其中引水隧洞全长4 478.69 m,设计及开挖洞型为圆形,岩石强度较高、完整性较好,光面爆破半孔率为85.7%。Ⅱ、Ⅲ类围岩开挖直径为12 m,衬砌厚度为30 cm。Ⅳ类围岩开挖直径为13 m,衬砌厚度为80 cm。采用全圆针梁台车进行混凝土衬砌施工,衬砌后的直径均为11.4 m。

该工程共计安装4台全圆针梁台车,每台总重量约200 t。模板面板由底模、左下侧模、左上侧模、右下侧模、右上侧模、顶模组成,其中单件最重构件为左上侧模,约为1.6 t。针梁框门架主要由下横梁、立柱、中横梁、上横梁及连接杆件组成,最重构件为立柱杆件,高6.9 m,重约0.5 t。针梁长27.55 m,其中前针梁(组件)长7.89 m,单件构件最重为1.235 t;后针梁(组件)长11.95 m,单件构件最重为1.852 t。

无扩挖快速安装技术以往的成功案例为混凝土衬砌直径4 m的小型引水隧洞。该技术在赞比亚下凯富峡水电站引水隧洞中经改进并成功应用于11.4 m大直径全圆针梁台车的安装施工。

2.2 无扩挖快速安装施工技术的原理

该工程总体采用的台车安装顺序为先外后内、先单节后整体,即先模板后针梁的方法(图1、2)。

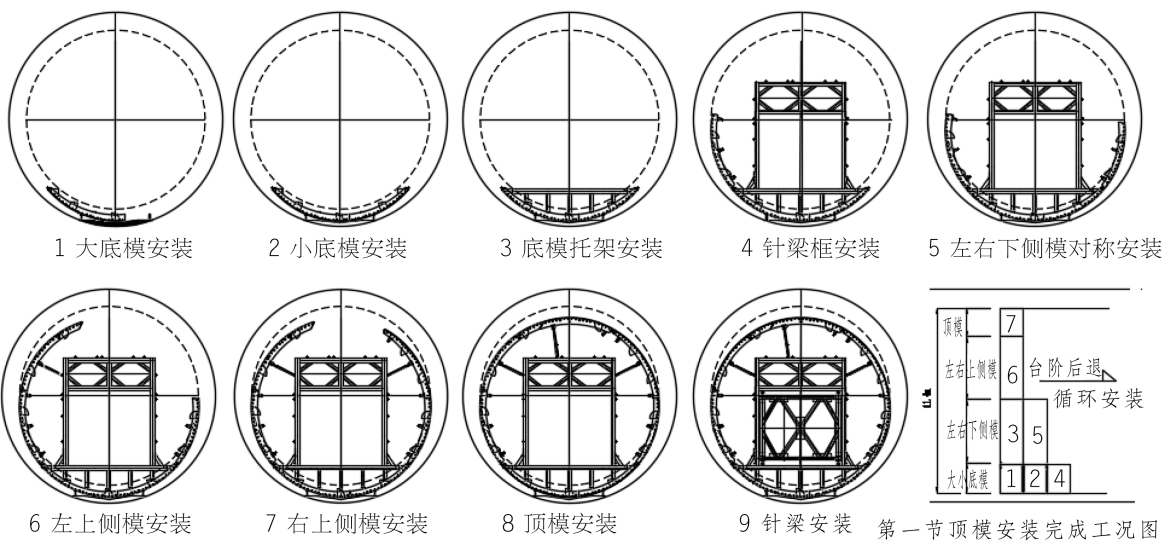


图1 单节安装工艺顺序图

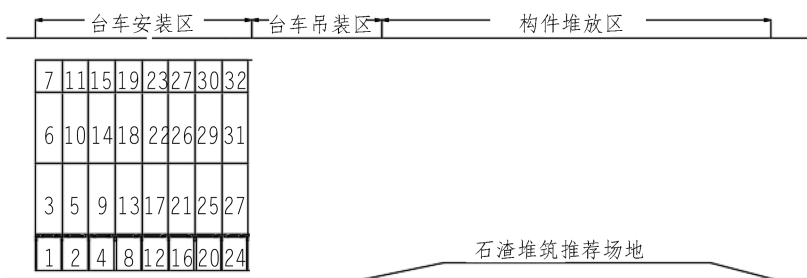


图 2 模板安装工艺顺序图

根据针梁台车单件构件的最大重量和尺寸以及台车直径选用洞挖施工设备,以反铲极限伸展高度至洞顶为宜。充分利用反铲铲斗的作业原理,将挖掘机铲斗简化为受力杆件,以达到在狭小空间内吊装针梁台车构件的功能。这一工艺原理的特点是将现有洞挖设备的起吊功能合理利用,通过专用吊杆替换铲斗,使现有的洞挖反铲具有

卸车、回转、转运、吊装、就位、调整等多项功能,充分利用隧洞的轴向及径向空间,避免了径向衬砌混凝土厚度限制安装空间的缺点,形成了一套先单节模板拼装、继而后退循环安装整车模板,再利用滑动架分节组装穿入针梁,最后进行整车调试,该工艺流程工序衔接紧密、科学合理。针梁安装情况见图 3。

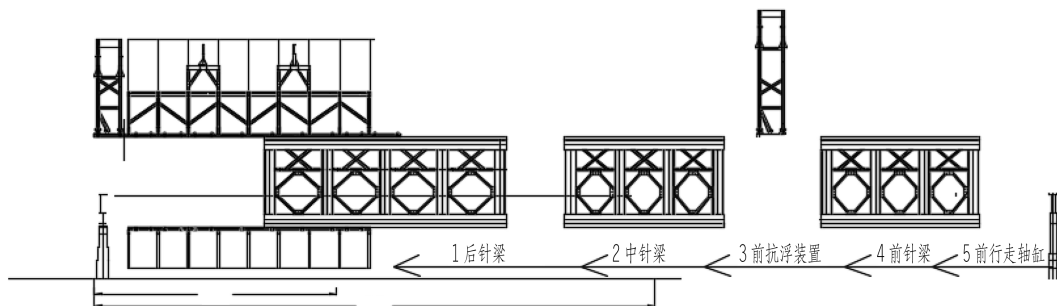


图 3 针梁安装顺序图

2.3 安装操作的要点

2.3.1 准备工作

(1) 场地准备。根据现场实际的施工情况,在台车浇筑部位附近选择一处相对较宽的场地进行安装,有避车道的应尽量选用避车道作为安装场地。因该项目未进行扩挖且未设置避车道,故设置安装场地范围长约 40 m,其中台车安装区长 12 m,设备吊装作业区长约 10 m,构件堆放区长约 18 m。因该工程开挖洞径为 12 m,故自底板垫石渣的厚度约为 1 m、长 18 m,可形成约 108m²的场地,该场地内可两侧堆放构件并保持拥有卸车通道,以缓坡顺接至吊装作业区段。根据钢模的直径、纵向长度和单片针梁的宽度、长度,分别在模板安装范围(该台车长度为 12.2 m)底部安装轨道钢或使用普通热轧工字型钢作为支撑以保证底模的稳定。该工程采用轨道钢,轨道间距为 3 m,长 12 m。

(2) 替换反铲铲斗为专用吊杆,该专用吊杆采用两根 I20 工字钢双拼焊接,一端设铰耳与反铲小臂及油缸铰接,一端设吊耳用于悬挂起吊模板构件。针梁台车构件的单件最大重量为后针梁(组件)构件,重 1.852 t。杆件安全验算时取 2 t 进行计算。据杆件结构分析,最不利荷载取水平悬臂工况,杆件的最大悬臂长度为 2 m,取每次吊装时模板构件在吊杆末端一个受力点进行静定悬臂梁验算。双拼焊接工字钢按照箱型截面计算, $\sigma_{\max} = M/W = 95.5(\text{MPa}) \leq [\sigma] = 215(\text{MPa})$,弯曲正应力满足正应力强度要求。

2.3.2 安装要点

轨道安装→单节底模→针梁门架→侧模→顶模→下一单节循环→针梁→支座及液压行走系统。

(1) 单节安装:对模板安装轨道应精确放线并与洞轴线对中调平,轨道应固定牢靠。底模安

装固定托架横梁调平、第一、二节底模及托架横梁安装完成后,及时测量并校准轴线及圆度偏差。上下模板穿销前可适当打磨端头并涂抹黄油润滑以加快连接加固作业。第一节顶模安装完成后及时校准垂直度,使模板及时与针梁框连接牢靠,并保证其刚度及稳定性。因该工程模板直径较大,高度较高,在局部采用手动葫芦与岩壁锚杆临时连接,以防后续安装时其扭动形变。

(2) 模板拼缝控制:模板就位后进行初步固定与调整,将每组模板间的缝隙、错台调整到规范允许的范围内,再用螺栓连接牢固。

(3) 针梁拼装:该工程针梁由3节组成,断面尺寸为4.1 m×5.1 m。需在吊装区搭设型钢滑动架拼装。

(4) 将针梁推入梁框:采用反铲吊杆及手动

倒链辅助作业,在简易滑动架上将针梁缓慢推入梁框。

3 应用与改进效果

第一台针梁台车于2018年7月24日开始在洞内2#上游台车安装,并于2018年8月25日安装完成,在传统安装方式45 d的基础上缩短了台车安装工期15 d,使台车提前投入使用,保证了后续衬砌的施工进度,提前开始了混凝土衬砌施工。鉴于国外工程管理属地化的特殊性,在该工程大直径针梁台车安装工期内可进一步压缩非必要的辅助工序时间,例如,在安装前对当地劳工进行技能培训以提高其技能水平并将门架安装以及针梁拼装的辅助扣件脚手架优化为盘扣架。

单台台车的安装成本可节约26.55万元,所取得的经济效益见表1。

表1 全圆针梁钢模台车安装法单台经济效益分析对比表

序号	项目名称	单位	单价/元	工程量		合价/元		差异/元	备注
				常规方法	新方法	常规方法	新方法		
1	LG856 装载机	台班	1 660.152	45	30	74 706.84	49 804.5	24 902.28	按台班定额计
2	PC350 挖掘机	台班	1 899.648	0	30	0	56 989.4	-56 989.4	按台班定额计
3	平板汽车 8 t	台班	888.216	45	30	39 969.72	26 646.5	13 323.24	按台班定额计
4	丰田皮卡	台班	1 090.584	45	30	37 142.28	24 761.5	12 380.7	
5	电焊机	台班	56.17	45	30	843	393	450	
6	气体割焊工具	套	385	45	7	5 775	2 695	3 080	按台班定额计
7	手拉葫芦 5 t	个	750	1	1	1 201.5	1 824.1	0	
8	手拉葫芦 3 t	个	540	2	2	1 201.5	1 824.1	0	
9	轨道工字钢 I16	t	4 500	0.267	0.405	1 201.5	1 824.1	0	
10	辅助工具	套		1	1			0	
11	其他材料	套		1	1			0	
12	工字钢 I16	t	4 500	0	0.041	0	185	-185	
13	工作室扩挖	m ³	307.13	237.5		72 943.38	0	72 943.4	
14	锚杆 φ25,4.5 m	根	297.24	55		16 348.2	0	16 348.2	
15	回填混凝土	m ³	342.61	237.5		81 369.88	0	81 369.9	
16	辅助人员	工日	525	1 170	900	420 750	286 500	134 250	
17		合计				820 348	554 839	265 508	

4 结 语

通过该工程大直径针梁台车无扩挖快速安装技术的应用与创新,拓展了该技术的应用范围。项目部在精心组织构件倒运、精密衔接洞内安装工序后,有效缩短了安装工期,节约了扩挖、回填

及支护等工作量,取得了良好的经济效益和社会效益。在无扩挖安装技术在此类高、大针梁台车安装应用过程中应加强安全管控。

(1) 应对替换反铲铲斗的专用吊杆强度进行

(下转第72页)

(2)从整体看,各测点受振动的影响较小,且各项指标均未出现异常突变,表明各测点相对应的位置稳定。

5 结 语

他白依隧道洞顶斜坡表部的岩体均呈全强风化且覆盖厚度大,岸坡深切冲沟发育,冲沟两侧崩塌后形成陡倾临空面,导致斜坡抗滑力减小,稳定性降低,引起冲沟陡壁外侧一定范围内的坡体出现变形开裂。随着冲沟的溯源冲蚀,变形逐渐向上牵引,范围不断扩大,形成不稳定斜坡体^[4]。隧道掌子面发生塌方涌水突泥事故后,隧道轴线上方形成了较大空腔,岩体中的应力及地下水系的平衡遭到破坏,围岩应力的重组分布、岩体含水率的骤降、应力传输至地表引起不稳定斜坡体局部地表变形开裂。

定性分析与定量计算结果表明:他白依不稳定斜坡体整体处于稳定状态,按现阶段变形状况,计算结果与现场实际情况基本吻合。受制于刚体极限平衡分析的计算收敛问题和地形精度,无法准确模拟冲沟陡壁的崩塌过程。现场调查发现:靠近冲沟陡壁附近的坡体稳定性较差,易发生垮

(上接第 8 页)

验算,并由专业焊工施焊,确保吊装设备改装后的使用安全。

(2)由于安装空间相对狭窄且高达 12 m,在吊装及安装过程中,应特别加强对施工人员的班前安全教育工作。

参考文献:

- [1] 朱晓强.毛家河水电站引水隧洞全圆针梁式台车的应用[J].时代报告,2012,3(5):260-261.
- [2] 陈廷康.全断面针式钢模台车在玛依纳水电站隧洞混凝土衬砌施工中的应用[J].四川水力发电,2011,30(4):56-

塌。在现状条件下,他白依不稳定斜坡体整体稳定,但靠近冲沟陡壁的坡体易发生局部塌滑。

由于他白依隧道未开挖段处于地下水位以下,且围岩主要以板岩及灰岩呈不等厚互层分布,受区域构造影响,中小构造发育,岩体破碎,围岩产状混乱,岩体透水性较好,隧道内围岩强度低,开挖山体初始应力平衡遭到破坏后围岩应力的重组分布导致初期支护易收敛变形,围岩松动圈范围增大,连通周边含水层,在水岩相互耦合作用下^[5]易形成涌水、塌方,隧道未开挖段存在涌水塌方的风险,需加强监测。

参考文献:

- [1] 《公路工程地质勘察规范》(JTJG C20-2011);
- [2] 张倬元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994;
- [3] 许强,黄润秋,巨能攀,等.边坡岩体块体稳定性分析系统的开发与研究[J].工程地质学报,2001,9(4):408-513;
- [4] DZT 0218-2006.滑坡防治工程勘查规范[S].
- [5] 刘华丽,朱大勇,刘德富,等.边坡安全系数的多解性讨论[J].岩土力学,2007,28(8):1661-1664.

作者简介:

张友坤(1984-),男,江西瑞安人,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

58.

- [3] 姚桂禄.大型全断面针梁式钢模台车在大山口二级水电站引水隧洞混凝土衬砌中的应用[J].红水河,2014,33(6):44-48.
- [4] 宋 巍,张新兰.全圆针梁台车无扩挖后退式快速安装方法[J].四川水力发电,2016,35(3):11-14.
- [5] 段海林.针梁式钢模台车在庙林水电站引水隧洞施工中的应用[J].云南水力发电,2011,27(2):63-65.

作者简介:

骆红兵(1982-),男,四川简阳人,项目经理,高级工程师,学士,从事水利水电工程土建公路与市政工程施工技术及管理工作。(责任编辑:李燕辉)

由成都院承担的广元三江白龙江大桥工程 T 梁架设完成

2020 年 9 月 30 日上午,随着最后一块 T 梁缓缓落至白龙江大桥 0 号台至 1 号墩的垫石上,标志着白龙江大桥 T 梁架设圆满完成。这一节点的实现,为项目后续工作的顺利开展争取了宝贵的时间,向通车目标迈进坚实的一步。白龙江大桥工程为旧桥拓宽工程,全长 620 米,其中大桥 448 米,北侧引道 92 米,南侧引道 80 米,既有桥梁宽 12 米,新建桥梁宽 24 米,拓宽后桥梁总宽为 36 米,上部结构采用预应力混凝土(后张)简支 T 梁、下部结构桥台采用 U 型台、桥墩采用柱式墩、墩台采用桩基础。为加快梁片架设施工进度,确保 T 梁架设作业按期完成节点目标,项目管理团队在疫情爆发复工后紧紧围绕“疫情防控”和“安全质量”这两个中心要素,积极与当地政府、业主、监理等相关单位进行沟通,科学有效地整合资源,全面部署疫情防控期间的生产任务,多次召开专题研讨会,优化了 T 梁架设方案,合理调配人员机械,克服了运梁道路不畅、大风、持续降雨等诸多难题,确保了整个制作梁、架梁过程安全质量可控,实现了施工零事故并通过了安全生产标准化工地专家组复查,圆满完成了白龙江大桥 T 梁架设施工节点目标。大桥建成后,将带动沿线区域经济社会发展,形成“一心两翼、东西联动”的城市发展格局,促进广元市三江新区土地开发和沿线居民出行,打造川北交通枢纽。

(邱小耕 供稿)