

盾构机分体始发电气系统安装调试与故障处理

伍帅

(深圳市中骏建筑工程有限公司)

【摘要】针对盾构机分体始发时电气系统延长电缆距离长、数量多、种类多等难题，深入分析分体始发时电气系统关键难点，并采取一系列针对性解决措施。通过清单列举延长电缆的数量长度及规格型号，各种不同型号和功能的信号电缆绝缘性能检测、短路和开路的判断，延长电缆的铺设及安装，电气系统的调试与故障处理，形成分体始发条件下电气系统安装调试的思路与故障处理的方法。这些措施在项目的实际应用中成本可控、故障率低，为类似的盾构分体始发提供参考与借鉴。

【关键词】分体始发；延长电缆；安装调试；故障处理

中图分类号：TV53

DOI：10.13655/j.cnki.ibci.2025.S2.130

Installation, Commissioning, and Troubleshooting of Electrical Systems for Split Launching of Shield Tunneling Machines

WU Shuai

(Shenzhen Zhongjun Construction Engineering Co., Ltd.)

【Abstract】Addressing challenges such as extended cable lengths, numerous cables, and diverse cable types of electrical systems for split launching of shield tunneling machines, this paper thoroughly analyzes critical difficulties in the electrical system during split launching and takes a series of targeted solutions. By cataloging the quantity, length, specifications and model of extension cables, conducting insulation performance tests on signal cables of various models and functions, diagnosing short circuits and open circuits, laying and installing extension cables, and performing electrical system commissioning and troubleshooting, this study establishes a framework for electrical system installation, commissioning, and fault resolution under split launching conditions. These measures have demonstrated controllable costs and low failure rates during project implementation, providing reference and inspiration for similar split launching of shield tunneling projects.

【Keywords】split launching; extension cables; installation and commissioning; fault handling

1 引言

在常规工作井(如地铁车站)内,盾构机通常采用整体始发模式,即同步将盾构主机及后配套台车吊入始发端,组装成完整系统后始发掘进。但在繁华市中心小井口水利工程施工场景下,作业空间狭小成为突出且普遍的技术挑战,在需保障地面交通及建(构)筑物安全的工况下,盾构机分体始发技术得以推广应用。本文结合广东某水资源配套工程盾构机分体始发施工实践,梳理电气系统安装调试难点及故障处置方法,并提出针对性应对措施。

2 项目背景

广东某水资源配套工程始发工作井为圆形竖井,内径有效工作最大宽度24m,井口顶面至井底底板深度达30m。该工程采用铁建重工泥水平衡式盾

构机,设备总长约105m,由刀盘、盾体主机、连接桥架及1#至8#台车依次连接组成。

受圆竖井空间尺寸限制,盾构机采用分体始发方案:将设备整体划分为两部分,第一部分(刀盘、盾体主机、连接桥架)下放至井下开展正常掘进作业;第二部分(1#至8#台车)暂置于地面,通过延长电缆与管路实现系统连接及连续掘进。待掘进至约120m时,将地面台车移入隧道与主机对接,恢复整机正常掘进模式。

3 电气系统安装重难点及解决措施

盾构机分体始发中,电气系统需精准统计需延长电缆的数量与型号、准确计算延长长度;因本次采用租赁旧电缆,故电缆检测成为保障用电安全、防范短路、漏电及火灾事故的关键,而规范制作标签编号则为安装调试提供基础条件,可有效降低故障率。

3.1 延长电缆统计难点分析及解决措施

盾构机主控制系统(PLC)作为设备核心,安装于地面1#台车的主控室内;安装于设备各部位的传感器,通过信号线将检测信号传输至PLC。主驱动电机变频器安装于3#台车,动力柜安装于4#台车。盾体主机内的6台主驱动电机通过延长电缆与变频器连接,传感器电源线、信号反馈线、电磁阀控制线及PLC从站通信线等多芯延长电缆与主控室PLC连接,照明及其他用电则通过延长电缆接入动力柜。

电缆长度计算依据为:盾构机1#至8#台车长度+工作井深度+井口至对应接线位置长度(80m+30m+15m=125m)。依据设备电气原理图梳理需延长电缆,按起点、终点、用途、型号、标签编号、长度、数量统计(见表1)。统计显示,需主驱动电机电缆6根、低压电源电缆12根、传感器信号线及通信线41根(均为多芯电缆),上述电缆统一按145m规格配置。

3.2 延长电缆检测难点分析及解决措施

电缆投入使用前需完成多项检测:目视检查电缆表面有无破损、裂纹及变形,核查两端接头的线耳及接线端子是否紧固,有无松动、腐蚀及过热痕迹;采用500V兆欧表检测电缆绝缘电阻值,并排查线芯开路、短路问题。

提前策划多芯电缆检测方案,按步骤开展短路、开路(断芯)及绝缘性能检测。绝缘与短路检测时,将电缆远端线芯分离且互不接触,一端用兆欧表黑

夹固定某一线芯,红夹依次搭接其他线芯完成一轮检测,更换黑夹所夹线芯后重复操作,对绝缘阻值低于1MΩ及短路的线芯标记并禁用。开路检测时,将电缆远端所有线芯分离后浸入自来水,利用水的导电性,通过兆欧表检测,对阻值无穷大(∞)的线芯标记并禁用。

3.3 延长电缆标签编号难点分析及解决措施

依据统计的电缆规格型号及电气原理图制作标签编号,此项工作需遵循两大核心原则:①新制标签编号与电气原理图保持一致;②标签信息清晰、粘贴牢固。

量取电缆外径后,采购适配的带粘接胶透明热缩管;通过专业打印机及配套软件设计标签格式并批量打印,确保标签清晰耐用。电缆两端均需粘贴标签编号,再套上透明热缩管加热固定成型;每间隔20m增设一处标签编号,为后期故障维修提供便利。

3.4 延长电缆安装难点分析及解决措施

井下主机及连接桥架上的所有传感器信号传输电缆、机电缆及电箱电源电缆,均需与延长电缆对接。电缆对接对端头处理要求极高,需严谨操作,否则易引发接触不良、发热、短路甚至火灾等事故。

在井下连接桥架尾部安装3个中继箱,箱内依据标签编号安装接线端子排。井下主机及连接桥架上的电缆按编号接入端子排一端,端子排另一端与延长电缆端头对应连接;延长电缆远端分别接入地

表1 延长电缆统计

起点	终点	用途	电缆型号	电缆标签编号	长度/m	数量/根
逆变柜1	盾体	2号变频	H07RN-F-3*120mm ² +1*95mm ²	=5-17W2.1	145	6
...	...	...	...	...	...	
控制室	盾体左侧1#端子盒		WDZ-KR-300/500V-105-41G1mm ²	=9-35W2	145	41
	连接桥左	报警器	WDZ-KR-300/500V-105-12G1mm ²	=25-12W3	145	
...	...	...	...	...	...	
配电柜组	刀盘	齿轮油泵4kW	H07RN-F-4G2.5mm ²	=12-1W2	145	12
	盾体		H07RN-F-3G2.5mm ²	=6-12W6	145	
	排沙泵操作箱	防涌水泵电机供电	H07RN-F-4G4mm ²	=10-6W2	145	
	管片吊机操作箱	管片吊车	H07RN-F-4G10mm ²	=10-7W2	145	
	盾体左侧插座箱	盾体左插座箱	H07RN-F-5G10mm ²	=6-1W2	145	
...	...	...	...	...	...	

面主控室 PLC、台车变频柜及动力柜。为防止掘进过程中动力电缆对信号线产生电磁干扰,严格执行动力电缆与信号电缆分开敷设的要求,两者间隔不小于 30cm。

4 电气系统调试

盾构机电气系统调试包括高压供电、低压动力配电、控制系统上电等 3 部分组成(见图 1),调试过程应遵循安全第一,分阶段循序渐进原则。

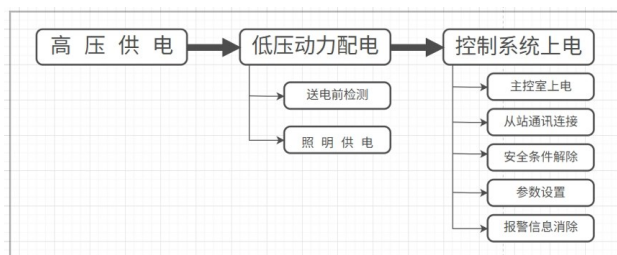


图1 电气系统调试流程

4.1 高压供电

高压配电作业须由持有高压电工证的人员持证上岗操作。高压电缆接头制作完成后及电缆投入使用前,均需经绝缘电阻测试及耐压试验合格后方可投入使用。操作前先核查设备高压柜负荷开关及隔离开关处于分闸状态,再将地面环网柜出线端通过高压电缆与设备高压接线柜内端子连接;确认连接无误后,从地面分级合闸送电至设备高压柜,再逐一为各变压器送电,实测变压器次级输出电压。

4.2 低压动力配电

①送电前检测:将动力柜内所有开关置于分闸状态,通过万用表检测各开关出线端,排查下级用电设备是否存在短路或接地故障;对带制动功能的电动机,需核查制动模块接线正确性及模块完好性。

②照明供电:先为照明变压器送电,实测其次级输出电压为直流 DC24V 后,依次为配电柜、盾体及台车照明系统送电。

4.3 控制系统上电

①主控室上电,核查供电电压正常后,启动 1#、2# 上位机,待通信系统及 PLC 上电运行后,建立上位机与 PLC 的通讯连接。

②从站通讯连接,核查子站通信配电箱内部线路连接情况,逐箱送电并核查各从站与主站的通讯状态,及时处置连接异常问题。

③安全条件解除,依据电气原理图实测所有急停按钮、安全继电器功能,确认线路连接回路无误后,恢复整机主急停及皮带机急停功能。

④参数设置,通过上位机查看刀盘驱动、螺旋输送机、液压泵站、推进系统等核心系统参数,对丢失或错误参数重新配置。

⑤报警信息消除,结合上位机报警信息及故障代码,对照电气原理图定位对应系统,清除故障并消除报警。

⑥各系统调试运行,完成刀盘驱动、推进、管片吊运安装、泥浆循环、同步浆液注入、尾盾密封油脂注入、自动黄油润滑、铰接及测量导向等系统的调试运行。

5 电气系统故障处理

分体始发电缆延长会给盾构机带来一些新的问题,结合本次分体始发盾构机出现问题进行深入分析并寻求解决方案。

5.1 延长电缆压降

盾构机直流供电由开关电源提供,电源集中布置于主控室机房,输出电压统一设定为 24V。供电线路从操作室经延长电缆连接至井下(长 125m),再通过桥架连接至盾体(长约 10m),单程总长度 135m。直流电流通过导线时,因导线存在电阻会产生电压降,相关计算公式如下:

$$\Delta U = I \times R \quad (1)$$

式(1)中: ΔU 为线路电压降,V; I 为流过导线的电流,A; R 为整条线路(2L)的总电阻, Ω 。

$$R = \rho \times (2L) / S \quad (2)$$

式(2)中: ρ 为导体的电阻率, $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$;铜取 0.0172; $2L$ 为回路中线总长度,所以导线总长度是单程距离(L)的 2 倍; S 为导线的截面积, mm^2 。

联立(1)(2)得电压降综合公式:

$$\Delta U = I \times \rho \times (2L) / S \quad (3)$$

电压降百分比公式:

$$\begin{aligned} \Delta U\% &= (\Delta U / \text{电源电压}) \times 100\% \\ &= (\Delta U / 24) \times 100\% \end{aligned} \quad (4)$$

如推进系统电磁线圈功率 30W,电压 24V,铜芯多芯软电缆长 135m,线芯直径 1.0mm²,铜电阻率 0.0172 $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$,计算电压降。

计算电流(I):

$$I = P / U = 30 / 24 = 1.25 \text{ A}$$

计算电阻(R):

$$R = \rho \times (2L)/S = 0.0172 \times (2 \times 135)/1.0 = 4.644 \Omega$$

计算电压降(ΔU):

$$\Delta U = I \times R = 1.25 \times 4.644 = 5.80V$$

计算电压降百分比($\Delta U\%$):

$$\Delta U\% = (\Delta U/24) \times 100\% = (5.805/24) \times 100\% \approx 24.18\%$$

负载端电压:

$$U_{end} = 24 - 5.805 = 18.195V$$

根据计算得出电压降为5.805V,电压降百分比24.18%远远超过5%的允许值,电压低会引起通信连接出错,检测型传感器反馈数据错误等故障。通过在操作室机房将开关电源的输出电压由24V调至29V,量测井下传感器电源电压为24.1V能满足正常使用。

掘进过程中出现推进系统故障:推进系统第4分区有2组油缸伸出速度滞后于其他油缸,出现管片顶紧力不足问题。经检测,对应电磁阀供电电压仅17V~18V,系线路压降过大所致,根源为:①延长电缆敷设距离长,且铜芯存在过热烧黑痕迹;②延长电缆多处中间接头导致线路电阻增大。

增大电缆截面积是解决压降的直接手段,但本次电磁阀供电采用1.0mm²多芯电缆,备用线芯数量不足,无法通过双线并接扩容。针对此,结合电气原理图优化电路设计:在盾体内新增1台DC24V输出开关电源及1台中间继电器(线圈电压DC12-24V,含两组常开触头)。将开关电源DC24V正负极接入中间继电器常开触头一端,触头另一端连接油缸电磁线圈插头;原电磁阀供电线接入中间继电器线圈端子。掘进时,17V~18V电压驱动继电器线圈吸合,常开触头接通后由开关电源输出DC24V为电磁线圈供电,后续掘进中油缸速度及管片顶紧问题均未再出现。

5.2 通信故障

盾构机PLC控制系统主站(西门子S7-1500-PLC)设于主控室,分布式远程I/O从站分别布置于盾体、连接桥架及台车,采用PROFINET总线通信。初始采用50m延长通信线时未出现通信异常,当通信线续接至100m时,上位机报“刀盘编码器通讯故障”。

PROFINET总线信号有效传输距离约100m,而光纤传输距离可从百米级扩展至公里级。为此将延

长通信线由PROFINET总线替换为两芯光纤(分别用于收、发),新增1对双模双纤收发器,一端将网络设备电信号转换为光纤传输光信号,另一端将光信号还原为电信号,有效解决了PROFINET总线传输距离受限及抗电磁干扰能力弱的问题。

5.3 延长电缆破损

分体始发延长电缆一次性敷设到位,掘进时电缆通过小滑车悬挂随设备前移,其余电缆按规范铺设于空地。若掘进速度快导致电缆施放不及时,易引发电缆外皮破损、拉断等故障,存在漏电、触电安全隐患。

防护措施如下:电缆敷设前在空地满铺橡胶绝缘垫,防止外皮被刮破;拐弯及转角处安装导轮,避免电缆卡塞拉断;井上垂直下放的电缆每10m设固定支架,防止因自重拉断;悬挂电缆采用聚酯纤维带1m间距捆绑,对应滑车1m设置1个;掘进时安排专人负责电缆的同步施放与规整。

6 结语

对上述故障的分析与处置表明,问题核心症结均集中于分体始发阶段的延长电缆管理。现场需对延长电缆的长度核算、检测验证、安装管控实施全流程精细化管理,针对故障结合现场工况及电气原理图精准定位处置。强化延长电缆全流程管控,为盾构机顺利掘进提供了坚实保障。