

抽水蓄能电站超长斜井压力钢管焊接施工技术管理探讨

易伟, 金胜, 雷荣斗

(中国水利水电第七工程局有限公司, 四川 成都 610000)

摘要 洛宁抽水蓄能电站TBM长斜井压力钢管隧洞采用斜井盾构机开挖, 开挖后的斜井断面为圆形, 斜井采用“一斜到底”模式, 外部空间狭窄, 斜井钢管安装段较长。本文重点讨论了洛宁斜井压力钢管焊接的技术管理, 包括焊接台车在斜井施工中如何运行、如何锁定、加温设备布置方式、斜井内壁防风措施、斜井外壁防水措施、焊接时采用独立的焊接接地系统、施工电源系统、斜井爬梯的布置, 根据洛宁斜井钢管施工经验以及现场实际情况, 从多方面介绍TBM超长斜井开挖断面焊接施工管理, 以期为相关人员提供借鉴。

关键词 抽水蓄能电站; 超长斜井压力钢管; 焊接; 台车

中图分类号: TM62

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.26.042

0 引言

随着社会的进步, 工程施工逐步迈向机械化、智能化。河南洛宁抽水蓄能电站斜井开挖采用了TBM“一斜到底”技术, 为适应新技术对斜井压力钢管带来的影响, 本文立足于洛宁抽水蓄能电站, 重点探讨TBM施工长斜井压力钢管焊接管理问题, 斜井焊接台车结构及运行系统以及在斜井台车上与焊接相关辅助系统设备的布置, 以期通过呈现洛宁斜井焊接施工现场设施布置, 为抽水蓄能电站超长斜井钢管安装焊接施工管理提供经验参考。

1 工程概况

河南洛宁抽水蓄能电站位于河南省洛阳市洛宁县城东南的洞口乡境内。洛宁抽水蓄能涉及的斜井压力钢管有两条洞室, 分别为1#引水主洞和2#引水主洞, 1#引水主洞斜井坡度为 36.236° , 钢管全长为484.894 m, 共162节直管; 2#引水主洞斜井坡度为 38.742° , 钢管全长456.864m。斜井由TBM钻孔成型, 隧道断面均为圆形, 钢管板厚46~62 mm, 内径5.6 m, 材质为800 MPa、600 MPa级高强度钢^[1]。

2 斜井焊接施工相关系统布置及措施

斜井焊接台车(下简称台车)需布置斜井焊接设备、焊接加温、电源配电柜、空压机等设备, 是斜井焊接施工、防腐施工、压缝施工的工作平台, 其安全性、可靠性是整个斜井施工的关键。

台车的主体结构为两个独立的台车系统。上部台

车主要用于对装压缝和焊接, 下部台车主要用于处理焊接缺欠、打磨等工作。上部台车整体框架底部及立柱由20工字钢构成, 其它位置按照施工需要采用薄壁矩形管, 底部安装橡胶轮。台车分三层, 底部布置通道, 中间层主要布置设备, 圆周及顶部只做工位。中间设备层采用两台手拉葫芦设置为可调整角度的活动平台, 以保证施工平台在通过钢管上下弯段的位置可以随时调整平台的角度, 使设备平台一直处于水平状态, 防止平台设备下滑移动。上部台车需要满足布置两道环缝焊接加温板的空间距离, 可减少斜井台车的提升次数, 提高功效。下部台车框架结构与上部台车基本一致, 无设备布置层, 只需要布置足够工位满足焊缝返修、打磨及补漆。上部台车、下部台车之间设置走道。台车施工设计要求: (1) 方便台车沿着斜井上移; (2) 台车需要布置焊接设备及加温系统; (3) 需要布置可靠接地系统; (4) 考虑可靠电源系统。

2.1 台车斜井锁定吊耳布置

钢管内壁焊缝焊接时, 台车需要锁定在钢管内壁, 在焊接完成一条或两条焊缝后需要沿着钢管内壁向上移动。台车移动通过斜井顶部布置的大型卷扬机将台车向上牵引, 到位后进行锁定。上部台车前部设有吊耳, 通过钢板连杆将台车锁定在钢管内壁焊接的吊耳上。上部台车与下部台车通过两根钢板连杆铰接成整体, 台车向上运行时一起向上移动。

斜井台车的载荷: 斜井焊接施工时, 台车荷载计算

时按照 14 t 计算,卡扣、连接板的斜向拉力约为 8.8 t。钢管管壁上吊耳开设 K 形坡口,设计如图 1 所示。

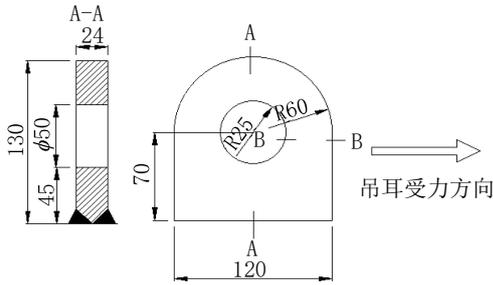


图 1 焊接台车锁定连接吊耳简图

吊耳拉应力计算:考虑吊耳抗拉最不利位置 A-A 断面,其计算公式为: $\sigma = \frac{N}{S_1}$,且 $\sigma \leq [\sigma]$,式中: σ 为拉应力, N/mm^2 ; N 为吊耳荷载,考虑荷载重量 14 t 及安全系数,2 个吊耳受力, $N = 7 \times 10 \times \sin 38.7^\circ = 44 \text{ kN}$; S_1 为 A-A 断面处的截面积, $S_1 = 1920 \text{ mm}^2$; $[\sigma]$ 为材料许用拉应力,根据吊耳材质取最小许用应力 $[\sigma] = 220 \text{ N}/\text{mm}^2$ (吊耳材质 Q345R)。

数值代入计算得: $\sigma = 44000 / 1920 = 22.9 \text{ N}/\text{mm}^2 < [\sigma]$, 满足要求。

剪应力计算:吊耳抗剪最不利位置在 B-B 断面,其强度计算公式为 $\tau = \frac{N}{S_2}$,且 $\tau \leq [\tau]$,式中: τ 为剪应力, N/mm^2 ; S_2 为 B-B 断面处的截面积, $S_2 = 840 \text{ mm}^2$; $[\tau]$ 为材料许用剪应力,取 $[\tau] = 0.7[\sigma] = 154 \text{ N}/\text{mm}^2$ 。

数值代入计算得: $\tau = 44000 / 840 = 52.38 \text{ N}/\text{mm}^2 < [\tau]$, 满足要求。

吊耳角焊缝:取 $f_f^w = 220 \text{ N}/\text{mm}^2$ 。台车锁定时,吊耳受力方向平行于管壁,为 N_x ,取 $N_x = 44 \text{ kN}$,其计算公式: $\sigma = N/L \times H \times K < [\sigma] = 44000 / 0.24 \times 0.012 \times 0.7 = 10.9 \times 10^6 \text{ Pa} = 10.9 \text{ MPa} < 154 \text{ N}/\text{mm}^2$

式中: H 为角焊缝的高度,计算焊脚高度 12 mm; l_w 为焊缝计算长度,取两个长边长度,即 $l_w = 240 \text{ mm}$, K 为折减系数 0.7^[2]。

2.2 斜井钢管焊接加温布置

斜井钢管焊接加温采用大型加温柜及红外加热板进行加热,由于斜井台车在每条缝焊接完毕后需要向上移动,因此需要设计固定加温板的圆形支撑架,保证红外加热板在焊接时距离焊缝两侧管壁钢板间隙及距离焊缝中心距离,以保证内壁焊接人员方便施焊,同时能保证焊接加温效率。在焊缝两侧预热温度达到 80° 以上后开始进行焊接。后热消应时,需要将焊缝加热到 $150^\circ \sim 200^\circ$,保温 1 h 以上^[3]。加温板布置见图 2。

2.3 斜井段焊机接地布置

由于斜井段压力钢管安装焊接时,焊机随台车移动,每台焊机地线应单独用接线鼻或螺栓牢固连接,然后将各接地单元分别连接到接地干线上,接地干线采用规格为 $80 \times 6 \text{ mm}$ 的镀锌扁钢。接地干线的接地端应与压力钢管内壁 3 面焊接连接,同时接地线应与台车绝缘。每条焊缝焊接完毕后,移动台车之前要对切割开接地线,并对接地位置进行打磨处理,台车移动之前要对该项工作进行核实,核实无误后才能上移台车。

2.4 斜井焊接防水措施

洞内岩壁或可能存在渗水,为保证焊接质量,必须对存在渗水位置采取有效防护措施,具体分为两种情况进行处理。对于斜井洞壁上的少量滴水影响焊接时,在洞顶部设置多套临时防水棚。对于斜井段大量渗水的情况,钢管外壁积水利用土建水泵进行抽排,接上排水软管,穿过焊缝位置,从压力钢管外壁排水管排出。

2.5 焊接防风措施

引水道开挖贯通后,由于产生烟筒效应,通常洞内空气流动较快,风速对焊条电弧焊接有一定的影响,风速过快,焊接时容易产生密集气孔。在斜井钢管安装时,为了既能阻断大部分气流,又能保证洞内空气质量,通常在下平段钢管内分别设置开设孔洞的钢结构屏风墙,屏风墙上开设可以开关的门,可以通过门

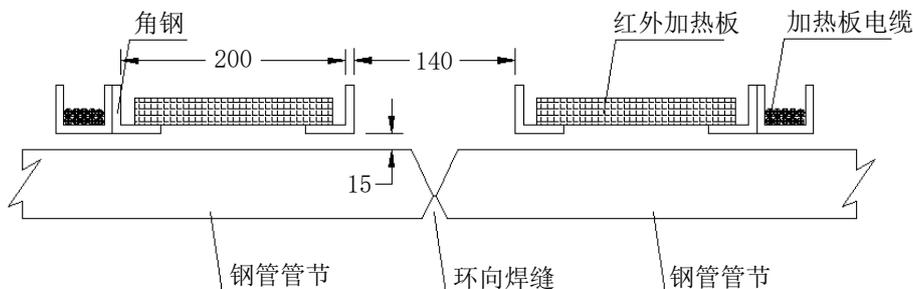


图 2 加温板布置

的开关对风进行调节。屏风墙主体结构通常采用角钢做骨架,使用花纹钢板焊接在骨架上进行钢管断面全封闭。

2.6 斜井洞内爬梯布置

洛宁抽水蓄能电站采用TBM系统开挖斜井隧洞,断面为圆形,底部空间较小,常规普通栏杆安装后会影 响钢管溜放及安装,且由于其圆形的断面结构,两侧洞壁距离可安装爬梯位置较远,也不方便采用在墙壁安装钢丝绳的方式,因此可采用折叠护栏装置结构。当钢管溜放时可以将栏杆折叠,避免栏杆影响钢管溜放,当钢管溜放完毕后,通过卷扬机拉动钢丝绳将栏杆立起,保证人员上下通行时的安全,有效解决了TBM斜井内爬梯无栏杆的问题。

2.7 台车电源布置

通常压力钢管长斜井施工所需的功率都超过150 kW,所需要使用的用电设备为电焊机7~8台、焊条烘干箱、加温柜、空压机等,因此所需要用到的电缆都比较大,电缆的重量和电缆的自身强度需要纳入施工考虑的范围,为了满足强度及载流要求,通常考虑150平方带铠铝芯电缆。考虑到斜井台车的空间及重量,电缆通常盘卷在靠近钢管下弯段的平段位置。底部使用钢结构框架垫高,防止斜井焊接时焊条头掉落下来,引起电缆燃烧。电缆需要使用带铠电缆,使用带铠电缆的优点:电缆自身强度高,台车上行时,电缆可跟随台车拖拽上行,下平段电缆位置只需要配合人员放电缆。

3 斜井钢管焊接

当前抽水蓄能电站由于水头普遍较高,钢管内壁直径多在5~6 m,对钢管材料要求较高,管壁材质多采用600 MPa、800 MPa级高强度钢。钢管安装环缝在安装施工现场焊接,引水隧洞内安装现场湿度较大,焊接环境差,不易实现自动化焊接。为了确保钢管焊缝的焊接质量,斜井压力钢管安装焊缝焊接大多采用焊条电弧焊。钢管现场安装环缝多为2级焊缝,焊缝要求清根焊透,由于钢管外壁空间狭窄,大坡口基本设计在内壁,以减少狭窄空间焊接量。(1)钢管内壁焊接:内壁焊接焊工站在斜井台车上,每个工位上在台车支架上焊接简易支架方便焊接施工。(2)钢管外壁焊接:外壁焊接时,在钢管加劲环上焊接简易支架及爬梯,搭设钢跳板,方便人员施工。

1. 钢管安装环缝焊接用焊条电弧焊焊接,按照偶数个焊工对称施焊的原则进行,加热片贴在钢管内侧,

先在大坡口侧焊接,在小坡口侧用碳弧气刨清根,用砂轮机修磨坡口,再焊接。焊前按要求进行预热。

2. 预热的范围为焊缝两侧各3倍板厚,且不小于100 mm,预热温度80~120℃^[4]。

3. 钢管焊缝的焊接由全位置合格焊工进行施焊,采用分段对称、退步、多层多道、小电流焊接。

4. 多层多道焊接头的显微组织较细,热影响区窄,接头塑性比较好。针对焊条电弧焊,每名焊工施焊的范围也应采用分段倒退焊法,分段长度以300~500 mm为宜^[5]。

5. 正式施焊时,中间焊道每层厚度控制在手工焊3~4 mm。

6. 焊条电弧焊焊接时线能量控制在20~35 KJ/cm^[6]。

7. 层间温度的控制:所有焊缝尽量保证一次性连续施焊完毕,层间温度不低于焊接预热温度,若因不可避免的因素确需中断焊接,在重新焊接前,必须再次预热,预热温度不得低于前次预热的温度。

4 结束语

斜井压力钢管施工是抽水蓄能电站危险性较高的工程。随着施工技术的进步,人工斜井开挖将会越来越少,斜井施工中将会越来越多地出现自动化程度更高的TBM开挖的斜井隧洞,如洛宁抽水蓄能电站超长斜井钢管安装焊接施工已顺利完成。本文从斜井焊接施工的台车、人行通道、电源布置、台车运行等技术管理方面介绍蓄能电站斜井压力钢管的焊接施工,为后续类似电站斜井焊接施工提供技术借鉴。

参考文献:

- [1] 张兴彬,王炳豹,殷康,等.基于TBM施工长斜井压力钢管安装关键技术研究[J].云南水力发电,2023(11):174-179.
- [2] 居慧康.板式吊耳的设计及应力分析[J].石油和化工设备,2023,26(11):61-64,68.
- [3] 梁亮,张波,邓想涛,等.焊接线能量对高强度钢焊接接头组织性能的影响[J].轧钢,2020,37(02):12-17.
- [4] 中国电力企业联合会,中华人民共和国住房和城乡建设部.水电水利工程压力钢管制作安装及验收规范:GB50766-2012[S].北京:中国计划出版社,2012.
- [5] 曹佳丽,柴可馨,付晓月,等.800MPa级高强度水电钢焊接工艺研究[J].水电与抽水蓄能,2023,09(03):40-46.
- [6] 邱福祥,罗松云,程浩轩,等.800 MPa水电用高强度钢焊接性能研究[J].金属材料与冶金工程,2021,49(02):16-23.