

高寒地区长大隧洞施工辅助系统布置难点与对策

吴小华 杨井国

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要]针对高寒地区长隧洞施工中“气候寒冷”“施工距离长”而产生的施工辅助设施运转困难的技术难题,文中从对施工辅助系统采取保温措施,对施工供电、供水、供风、通风等临建系统采取设计优化措施,从而增加施工效率,减少安全隐患,保证工程质量,希望本论文为相关高寒地区长隧洞间的施工辅助生产系统设计提供参考。

[关键词]高寒地区;长隧洞;施工辅助生产系统设计

DOI: 10.33142/hst.v8i9.17687

中图分类号: U455

文献标识码: A

Difficulties and Countermeasures in the Layout of Auxiliary Systems for the Construction of Long Tunnels in High-altitude Regions

WU Xiaohua, YANG Jingguo

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: In response to the technical difficulties in the operation of construction auxiliary facilities caused by the "cold climate" and "long construction distance" in the construction of long tunnels in high-altitude areas, this paper proposes to adopt insulation measures for the construction auxiliary system and design optimization measures for temporary construction systems such as power supply, water supply, air supply, ventilation, etc., in order to increase construction efficiency, reduce safety hazards, and ensure project quality. It is hoped that this paper can provide reference for the design of construction auxiliary production systems between long tunnels in relevant high-altitude areas.

Keywords: high cold regions; long tunnel; design of construction auxiliary production system

水利工程大多位于深山峡谷之内,远离城镇区域,因此水利工程施工基本需要在施工区域内自建施工辅助生产系统,水利项目施工辅助生产系统主要有拌合站、砂石加工厂、钢筋加工厂、机械修配厂、施工供风、施工供水、施工排水、施工供电、施工通风、施工照明等。

对于水利工程隧道项目施工,施工辅助设施是保证正常高效施工的必须保障措施,但是对于高寒地区长隧洞施工,主要有两个技术难点。一是寒冷地区冬季气候极低,尤其对于我国的新疆、东北等地区,冬季气温底至零下30℃,施工供水和排水设备及管道容易结冰,空压机等效率降低甚至不能正常启动。二是当隧洞单段施工距离超过1km时,随着距离的增长,施工供风、供水及排水管沿线阻力逐渐增大,施工供电电压逐渐降低,导致各项施工辅助设施效率极大降低。

1 工程概况

新疆某水利输水隧洞工程,地处新疆北部阿勒泰地区,冬季严寒而且漫长,冬季极端最低气温约零下隧洞设计长度7100m,半径8.9m,采用钻孔爆破法施工,因地形起伏较平坦,施工支洞设计过长,因此未设计施工隧洞,隧洞开挖施工分两个工作面,从进口和出口向隧洞中部单端开挖各3550m。

隧洞开挖施工工序主要有钻孔、联网爆破、通风排烟、

出渣、一次支护等,其中钻孔需要用到施工供风、施工供水、施工排水、施工供电等,一次支护喷射混凝土采用湿喷法,采用拌合站集中拌合、混凝土罐车运输、现场湿喷台车喷射的施工工艺。为解决高寒地区长隧洞施工的辅助生产系统运行的技术难题,本文从施工厂站的保温设计、隧洞的供排水及供电设计优化等方面阐述了相关施工技术措施。

2 施工辅助生产系统设计优化措施

2.1 施工供水

2.1.1 通用方法和缺点

隧洞开挖一般采用手风钻钻孔爆破法施工,为保证降尘和保护手风钻钻头过热损坏,手风钻施工需采用施工用水,本工程隧洞工作面布置12台YT28手风钻,每小时需用5.03m³施工用水,具体计算如下:

$Q=K_1 \cdot K_2 \cdot q \cdot p = 1.15 \times 1.35 \times 6 \times 270 = 5030 \text{ L/h}$ 。式中Q是生产用水总量,单位是L/h;K₁是水量损失系数,一般采用1.1~1.2;K₂是用水不均匀系数,一般取1.25~1.50;q是用水机械台班数,主洞开挖同时开动12台YT28风钻;p是机械用水量定额指标,根据经验一般为240~300(L/台时)。

选择供水方法时,需要考虑施工现场的具体情况、水源的可用性、供水量的需求以及安全和环境因素。通用的

施工做法是从最近的河流取水点处布置抽水水泵,水泵先抽水至隧洞洞口顶部的施工供水水池,该水池一般可采用钢筋混凝土、砖砌、浆砌石或者钢板水池,再从施工供水水池下游侧连接供水钢管,将水引至隧洞开挖工作面,从水池到工作面可采用自流或者加设增压泵的方式。

2.1.2 本工程采用的技术措施

(1) 设置洞内三级沉淀池供水系统

但涉及到寒冷地区长隧洞施工时,冬季低温底,隧洞外部的水泵、水管、水池内的水容易结冰,因此在本工程采用了一种使用隧洞内的渗水作为施工供水的方式,具体方法随着贫水隧洞开挖,在贫水隧洞一侧底板高程以下开挖排水沟,采用风镐开挖及维护,每间隔 300~500m 采用钻孔爆破方式开挖沉淀池,使用中隔墙将沉淀池依次分隔成一级沉淀池、二级沉淀池和三级沉淀池,中隔墙采用浆砌片石砌筑,中隔墙上设置过水孔,一级沉淀池与排水沟相连处设置进水口;在第三级沉淀池内设置供水系统,通过供水系统将沉淀后的净水抽至工作面的清水箱中,供钻机和喷浆施工使用。

(2) 对洞外排水管道增加保温系统

室外排水管道埋地敷设时,管道埋设深度需低于土壤冰冻线以下 0.15m。在寒冷季节,仅通过增加保温层厚度无法满足管道设备防冻问题,必要时需设置电伴热保温防冻。绝热保温材料选用不燃、难燃类材料,电伴热采用自限温电伴热,其具有一定的自控功能,在各个区段能随时调整功率,自动跟踪、按需供热,使管温处处时时均匀同步;当用于防冻时,应采用环境型温度传感器,安装在气温变化比较敏感的地方,当气温低于 4℃时,电气开关箱内电源接通,与该电气开关箱连接的所有电热带系统都通电工作;当气温高于 4℃时,电源切断,所有电热带系统断电,停止工作。

2.2 拌合站冬季运行

2.2.1 通用方法和缺点

对于中国北方的新疆、东北、内蒙古及靠近中国北方的外蒙古国等地,冬季寒冷漫长,冬季长达 5~6 个月,极端最低气温-40℃,属于极其寒冷地区。在极其寒冷地区建设综合枢纽水电站项目,受限于温度降低导致的在土石方开挖和混凝土浇筑中发生的机械设备不能运转、机械设备故障率高、需要用水的设备材料发生冻胀、人员发生的冻伤伤害等问题,导致每年的有效施工时间极短。土石方施工每年的有效施工时间只能达到 6~8 个月,集中在每年的 3 月中旬~11 月中旬,混凝土施工的有效时间更短,只有 4~6 个月,只能集中在每年的 4 月中旬~10 月中旬。

对于工期紧或者特殊要求的项目,为加快工程施工进度,或者有抢险救灾性质的紧迫性较强的工程,必须要求在冬季的某些时间段进行施工,因此在这种情况下,需分

析工程项目所处的地理位置和具体气候条件,如何对拌合站采取保温措施,保证土石方和混凝土正常施工。

2.2.2 本工程采用的技术措施和运行效果

(1) 全封闭暖棚

对料仓棚、上料区、拌和楼及斜皮带搭设钢屋架棚进行全封闭。采用钢管搭设立柱,型钢搭设桁架屋架,料仓棚、上料区屋架下沿距地面 8m 以满足自卸车卸料要求。屋顶采用采光保温彩钢板进行封闭,并沿料仓横向方向每 4m 设 1 道宽 1m 透明亮瓦,确保料仓棚内采光。

(2) 配设锅炉暖气系统

在供暖区配套设置 2 台 8t 燃煤锅炉负责拌和站的供暖及拌和水加热。锅炉设在封闭的 24 砖墙锅炉房内,屋盖用型钢搭设钢屋架,屋顶采用阻燃保温彩钢板,地面用 20cm 厚 C20 混凝土硬化。从锅炉房至料仓门前埋设 4 条(2 条备用) PPR ϕ 75mm $\times$ 6.8mm 主供暖管,埋深 2m。先铺 20cm 厚砂,然后铺管,并包裹保温棉,再填 30cm 厚砂,最后填土压实。从锅炉房安装拌和水加热管道至拌和楼下蓄水池。加热管道采用 80mm $\times$ 2mm 钢管,外包保温棉,架设在料仓墙上。

(3) 料仓供暖设计

料仓设地暖和墙暖,地暖管道采用 PPR ϕ 2mm $\times$ 2mm 管按间距 25cm 呈回形布设。管道下铺设地暖反射膜,将热量向上反射。暖气管从埋设在料仓墙旁边的主管接出。为保证供暖效果,有效控制管道长度,每一根管道只铺设一圈。地面采用 25cm 厚 C20 混凝土硬化。在料仓 3m 高隔墙顶上设墙暖暖气片,每侧隔墙顶上按 2m 间距设 6 片长 1.8m、高 0.6m 的钢制暖气片。

2.3 施工供电系统

2.3.1 通用方法和缺点

隧洞洞内施工供电一般采用在洞口设置变压器,并沿隧洞一侧布置 380V 低压架空供电线路至洞内工作面。隧洞洞内用电设备主要有湿喷机、注浆机、排水水泵、电焊机开挖支护施工期用电设备和混凝土输送泵、振捣棒等混凝土浇筑施工期用电设备,其中开挖支护期用电设备数量少、功率小,若采用低压线路供电的方式,需根据开挖和混凝土施工期间不同的用电设备功率,计算低压线路供电距离。

低压线路供电电压降及有效供电距离计算公式为 $\Delta U = (P \cdot L) / (A \cdot S)$,其中 P 为线路负荷, L 为线路长度, A 为材质系数, S 为电缆截面。

开挖期间隧洞内的主要用电设备及负荷为:湿喷机 7.5kW,电焊机 10kW,照明 10kW,水泵 8kW,其余零星设备 10kW,合计 45.5kW。按照 0.8 的同时系数,高峰期最大用电负荷为 36.4kW。本工程采用 240mm² 铝芯线,由公式求得 L=2772m,配置的低压电缆无法满足单端开挖 3560m 距离的施工用电需求。

混凝土施工期间的主要用电设备及负荷为:混凝土输送泵 110kW, 钢模台车 7kW, 电焊机 20kW, 混凝土振捣棒 10kW, 照明 10kW, 水泵 8kW, 其余零星设备 10kW, 合计 170kW。按照 0.8 的时间系数, 高峰期最大用电负荷为 136kW。若仍采用 240mm² 铝芯线, 由公式求得 $L=740\text{m}$, 配置的低压电缆无法满足混凝土施工期间的用电需求。

2.3.2 本工程采用的技术措施和运行效果

目前解决长隧洞内施工供电的解决方法主要高压进洞方案、无功补偿/稳压方案和升压/降压方案。其中:(1) 高压进洞是采用高压电缆从洞外接引 10kV 电源至洞内合适位置经 10/0.4 级变压器降压后供洞内用电设备使用的一种供电方式, 优点是供电质量好、电压波动小, 缺点是安装复杂, 成本高。(2) 无功补偿/稳压方案是在靠近线路末端增加稳压器, 保持线路末端电压稳定的一种供电方式, 优点是安装方便、成本低廉, 但其线路损耗相对较大。

(3) 升压/降压方案是在洞口端增加升压器, 将 400V 低压动力电源升压至 1000V 高压, 经原低压架空线路送至洞内, 并分别在中间和末端加设降压变压器将 1000V 高压降至 380V 动力电源的一种供电方式, 具有安装方便、成本相对低廉的特点, 但其线路损耗相对较高且中间施工用电较难满足。

从投入成本、供电质量、安装维护等方面综合考虑, 本工程从开挖支护和混凝土衬砌两个主要工作期间区分, 采取了不同的施工供电方式。

(1) 隧洞开挖支护期间, 在隧洞内 2.5km 处配置无功补偿/稳压器

无功补偿/稳压器与另外两种供电方式相比, 具有成本最低的优点。考虑到原配置的低压电缆在开挖支护期间可正常供电至 2.7km 的距离, 距离最终工作距离 3.56km 仅剩 0.86km 远的距离, 本工程在开挖支护期间的 2.7~3.56km 范围内采用了无功补偿/稳压的供电方式。具体做法是经过计算, 在 2.5km 处的错车道位置, 布置了 1 台 100KVA 的无功补偿稳压器, 最终采用该供电方案完成了 3560m 的单端隧洞开挖施工。

(2) 混凝土施工期间, 需要 10kV 高压线路进洞, 并在洞内配置 10/0.4kV 箱式变压器。

因混凝土衬砌期间设备多、功率大, 采用低压电缆只能供应 740m 的距离, 距离单端 3560m 还有 2820m 的距离, 无功补偿/稳压、升压/降压方案无法满足要求, 最终采用了高压电缆进洞的方案。

2.4 施工通风系统

2.4.1 通用方法和缺点

隧洞开挖工程, 应保证工作面在施工过程中有足够的新鲜空气, 冲淡并排除爆破烟尘和各种有害气体, 使其含量降到国家标准以下, 创造良好的施工条件, 保证施工人员的人身安全。

本工程 3#隧洞长 7.1km, 隧洞开挖施工分两个工作面, 从进口和出口向隧洞中部单端开挖各 3550m。通常独头掘进超过 3000m 的隧洞要考虑增加施工支洞以改善隧洞开挖通风难度, 但是增加施工支洞需要考虑征地问题、地形条件等, 若隧洞沿线整体属于地形较平缓且埋深较深的地形, 增加施工支洞长度过长, 会极大增加施工成本。本引水隧洞工程为戈壁滩地形, 整体埋深在 110~130m 之间, 若增加施工支洞, 施工支洞长度最低在 1km 左右, 不仅施工费时, 且会极大的增加建设成本。

2.4.2 本工程采用的技术措施和运行效果

隧洞通风一般分为压入式、抽出式、混合式等方式, 其中压入式通风具有通风布设简单、成本少、且施工工期短的特点被广泛采用。因此, 本工程仍采用压入式通风的方式。但是在如此长的隧洞施工中仅采用压入式通风, 对通风设备是一个极大的考验, 因此, 在进行长隧洞通风方案设计时应考虑以下因素:

(1) 准确进行通风计算及设备选型

隧洞总长 7120m, 隧洞断面 60m², 采用双头开挖的施工方式, 单头最大开挖深度 3560m, 洞内最多作业人数 70 人, 内燃机械设备主要有装载机 (132kW*1 辆)、挖掘机 (119kW*3 辆)、自卸汽车 (152kW*3 辆), 一次爆破炸药量为 206kg。根据《水利水电工程施工组织设计》可计算出洞内允许最小风速, 排除炮烟、稀释内燃机作业废气所需供风量, 取最大值; 再根据流体力学达西公式可计算出沿途的风压损失。通过计算可知, 供风量为 1622m³/min, 提供不低于 3934.3Pa 的风压补偿。结合上述系数, 决定选用 75*4kW 型风机, 配合风管直径 1.5m。

(2) 在实际通风过程中, 随着单头开挖距离的递增, 另外受风管布置平顺度、时久老化、衬砌混凝土同时施工等因素的影响, 只依靠洞口布置的压入式通风机很难满足通风要求。因此除以上方法外, 可在烟雾聚集区域内间隔 500m 左右布置一台 30kW 的轴流风机。

(3) 爆破后, 炮烟往往会聚集在炮烟抛掷距离内, 对此, 可采用在炮烟抛掷集中范围在布置一台移动式的雾炮机, 能够有效降低粉尘含量。

3 结语

我国的东北、新疆等北方寒冷地区, 受制于极端气温影响, 每年冬季期可长达 6 个月, 施工风、水、电等生产辅助系统在冬季效率极低甚至无法运行, 导致工程基本处于停工状态。但随着我国近些年基建的高速发展和施工技术水平的不断进步, 要求在北方寒冷地区隧洞工程必须施工的项目也越来越多。希望通过本文所阐述的在施工工厂站的保温设计、隧洞的供排水及供电设计优化等方面的技术措施, 为我国在北方寒冷地区冬季进行隧洞工程施工提供一定的建议。

[参考文献]

- [1]杜昱辰.小断面长隧洞单头掘进钻爆法施工机械配置及隧洞通风管理研究[J].水利技术监督,2022(7):243-246.
- [2]李秀英,石雨,陈思雄.西藏高寒高海拔地区小断面隧洞开挖施工技术研究[J].四川水利,2020(5):30-34.
- [3]杨金华,马江飞,王黎.高寒高海拔地区软岩长引水隧洞施工降效原因分析及应对措施[J].水利水电快报,2022(11):62-66.
- [4]李光前.高寒地区洞挖施工技术研究[J].黑龙江水利科技,2019(12):176-178.
- [5]张恒.白龙江引水工程六盘山深埋长隧洞通风散烟设计研究[J].水利技术监督,2022(8):252-256.
- [6]李国华,陈恩瑜.超长引水隧洞施工期通风措施研究——以巴基斯坦 N-J 水电工程为例[J].人民长江,2016(1):66-69.

作者简介:吴小华(1981.12—),男,高级工程师,本科,主要从事水利水电工程施工技术管理工作。