

西藏拉洛水利枢纽德罗引水隧洞通风系统设计

宋洋, 刘晓博, 安新

(中国人民武装警察部队水电第九支队, 四川 成都 611130)

摘要:西藏拉洛水利枢纽地处西藏,海拔4 200多m,引水隧洞断面小,采用钻爆法施工时其供气排烟是非常重要的一个环节。介绍了该供风系统的设计过程及取得的效果。

关键词:拉洛水利枢纽;引水发电洞;供风系统

中图分类号:TV7;TV554;TV5545.9

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2016)增1-0063-04

1 工程概述

德罗引水隧洞进水口布置在拉洛大坝轴线上游约6.2 km处,为塔式进水口,平面尺寸为17.5 m×9 m(长×宽),进口底板高程为4 283.5 m,塔顶高程为4 304 m。引水隧洞紧接进水口布置,平面上总体呈折线布置,立面采用一坡到底($i=0.466\%$)的布置,进口为消力池段,城门洞型断面,尺寸为4 m×7.3 m(宽×高),池长25 m,后接15 m过渡段;过渡段后为隧洞标准段,马蹄形断面,最大宽度为4.2 m,高度为4.2 m;出口100 m为加高段,城门洞型断面,隧洞总长7 536.16 m,进出口底板高程分别为4 283.5 m、4 280 m。

2 隧洞施工通风存在的主要问题

(1)隧洞地处高海拔地区,含氧量严重不足,对通风供氧要求高;

(2)隧洞单一工作面长,通风机性能满足不了要求,送风风筒漏风十分严重;

(3)通风管理技术落后,通风时间不够,导致废气没有完全排出洞外即过早停机,造成被污染的废气循环积累。

3 施工期的通风及通风设施的布置

3.1 工程特点

隧洞地处西藏,海拔4 000多m,隧洞断面小,单一工作面长,开挖、支护工程集中,具有持续高强度施工特征。

3.2 施工技术与施工通风难度

钻爆法开挖作为一种经济高效的手段,在地下洞室开挖中已经得到了非常广泛的应用。在钻爆循环中,通风排烟是其重要环节,尤其是在西藏

地区施工,内燃机不完全燃烧造成废气量增加,大气压力低造成空压机、风机功率降低,同时考虑到施工人员安全,对含氧量有不低于空间18%的要求,通风不仅影响整个施工进度,而且关系到施工人员的身心健康。通风问题是制约施工进度、关系施工质量和机械设备使用效率的主要因素。为创造良好的作业环境,保障施工人员的健康和安安全,维持机械设备的正常运行,保证工程的进度,需要采用科学的理论方法和先进的技术手段对其进行分析研究。

3.3 洞室通风的基本要求

(1)在高原地区,隧洞内的氧气含量不低于空间体积的18%;

(2)在每 m^3 空气中含有大于10%的游离二氧化硅的粉尘不得大于2 mg;游离二氧化硅含量小于10%时,有毒的粉尘不得大于4 mg;

(3)一氧化碳的含量不大于 $30\text{ mg}/m^3$,二氧化碳、氮氧化物和瓦斯含量应低于0.5%;

(4)洞内气温不高于 $28\text{ }^\circ\text{C}$,噪声不大于90 dB;

(5)常态下供应每人的新鲜空气应不低于 $3\text{ m}^3/\text{min}$;低瓦斯情况下,供应每人的新鲜空气不低于 $4\text{ m}^3/\text{min}$;内燃机工作情况下,供应每人的新鲜空气不低于 $3\text{ m}^3/\text{min}\cdot\text{kW}$,开挖时的断面风速不低于 $0.15\text{ m}/\text{s}$ 。

3.4 风量需求对通风方式的影响

隧洞通风的基本原理是利用外来新鲜空气冲淡、稀释施工中产生的各类有害气体,使之达到安全卫生标准。通风量计算包括施工人员所需风量计算、爆破散烟的需风量计算、满足最小风速所需

收稿日期:2016-05-04

风量计算及冲淡柴油机废气所需风量计算等,设计风量为这四项计算风量的最大值。

3.4.1 通风量的计算

根据洞室施工程序、方法、施工设备配置及通风方式的安排,采用纯稀释理论、隧洞最小风速计算方法进行通风量的计算。通风量计算中,通风管路按 100 m 漏风率取 1%~2% 进行计算,沿程风压损失最大取 20%,隧洞断面风速不小于 0.15 m/s。

(1) 计算原则。按规范规定,开挖时需要的通风量应根据下述原则分别计算,取其中最大数值。

①按洞内同时工作的最多人数计算,每人每分钟供给 3 m³ 的新鲜空气。

②按爆破规定时间内将工作面的有害气体排出或冲淡至容许浓度计算,每 kg 炸药爆破后可产生折合成 40 L 一氧化碳气体。

③洞内使用柴油机械时,可按 4 m³/min (kW)⁻¹ 风量进行计算,并与同时工作的人员所需的通风量相加。

④所计算的通风量应按最大最小容许风速和相应洞内温度所需的风速进行校核。

(2) 施工人员的需风量:

$$V_p = v_p \times m \times K$$

式中 V_p 为施工人员需风量 (m³/min); v_p 为巷道内每人需风量,取 3 m³/min·人; m 为同时作业最多人数; K 为风量备用系数,取 1.1~1.15。

根据不同作业面计算施工人员的需风量:

$$VP_{\text{施}} = 3 \times 8 \times 1.15 \approx 27.6 (\text{m}^3/\text{min})$$

(3) 柴油机械通风量:

$$v_g = v_o \times P$$

式中 v_g 为使用柴油机械通风量 (m³/min); v_o 为单位功率指标,一般为 2.8~8.1 m³/(kW·min),通常选取 4 m³/(kW·min); P 为同时作业柴油机械总功率 (kW)。

洞内施工采用电动挖机和电动运输车,仅考虑个别运输材料车辆,按 1 台 5 t 自卸车 (70 kW) 同时作业计算 $V_g = 4 \times 70 = 280 (\text{m}^3/\text{min})$,人员按 4 人计 $V_p = v_p \times m \times K = 3 \times 4 \times 1.15 = 13.8 (\text{m}^3/\text{min})$ 。

人机作业总风量 $V = V_g + VP = 280 + 13.8 \approx 294 (\text{m}^3/\text{min})$ 。

(4) 爆破后为排除废气所需的风量:

$$QH = 100 \times E \times be / (e' \times t)$$

式中 QH 为稀释炮烟所需风量, m³/min; E 为同时爆破的炸药量 (kg), $E =$ 截面积 \times 循尺深度 \times 单位围岩用炸药量; be 为 1 kg 炸药爆破后所产生的一氧化碳; e' 为允许有害气体的浓度,一般为 0.02; t 为规定通风时间 (min), 取散烟时间为 30 min。

$$QH = 100 \times (24 \times 2 \times 1.3) \times 0.04 / (0.02 \times 30) = 416 (\text{m}^3/\text{min})$$

(5) 按最小风速的风量:

$$Qu \geq Vf \times F (\text{m}^3/\text{s})$$

式中 Qu 为最小风速进洞风量; Vf 为最小风速 (m/s), 取 0.15 m/s; F 为坑道最大断面积 (m²); $Qu_{\text{施}} = 0.15 \times 24 \times 60 = 216 (\text{m}^3/\text{min})$ 。

(6) 通风量的确定。

综合考虑到炮后散烟与施工作业人员施工不会同时进行、出渣过程及喷混凝土时连续进行通风排烟外,其它时段采用间隔通风。经分析,隧洞各个施工部位的最小通风量为 416 m³/min。

3.4.2 通风设备的选型

根据上述原则计算确定的最小通风量考虑了现场施工环境、保证系数及洞室长度等因素,最终确定 1#支洞、交通洞通风设备选用 AVH75.75.2.8 型通风机 (距离 1 800 m 降效后通风量为 931 m³/min); 2#、3#支洞通风设备选用 AVH90.90.2.8 型通风机 (距离 1 800 m 降效后通风量为 1 369 m³/min), 可以满足施工通风量需要。

3.5 工程施工通风方案的实施

3.5.1 隧洞通风系统的布置

德罗隧洞采用压入式供风, 供风设备的选型主要从洞内施工人员需氧量、机械设备排放物稀释、爆破烟尘稀释、洞内最小风速选取最大值并附加风管损耗、高原降效进行考虑, 德罗隧洞 1#施工支洞、交通洞采用 75 kW \times 2 轴流式风机通风, 2#、3#施工支洞最大工作面掘进距离为 1.7 km, 采用 90 kW \times 2 轴流式风机通风; 必要时采用空压机通过风管向洞内压送新鲜空气辅助供风。

3.5.2 施工通风采取的一般措施

(1) 机械通风主要选用高压、长距离通风机。

(2) 开工后充分利用施工道路条件, 及时贯通各个工作面。

(3)为了保证洞内的空气质量,隧洞内尽量使用电动设备,禁止汽油车进洞以减少有害气体的排放。洞中使用的柴油设备(包括运输车辆、挖装设备)配置空气过滤净化器。在开挖施工工作面进行喷雾除尘,保持洞内的空气质量,并在主施工巷道废气聚集点内设置 SDS-10-4P-8-33°型射流风机辅助通风。

(4)通风设备选用主机为调频电机的设备,可以进行无级变速。在地下洞室内设置空气质量监测点,加强施工现场空气质量的监测并将监测结果反馈至智能通风控制系统,智能通风控制系统根据空气质量标准将其自动调整至合适的功率并自行启动关停通风设备。对地下洞室进行智能通风,以确保地下洞室内空气质量符合要求,做到及时、高效、低能耗。

(5)为了保证进洞的空气质量,在各进风隧洞口营造良好的空气环境,主要采取了以下措施:①根据风向,在进风隧洞口来风方向控制施工粉尘及空气污染,在进风隧洞口前设车速控制牌,禁止车辆及其他空气污染源在进风隧洞口长时间停留,减少污染源;②营造良好的洞口环境,对进风隧洞口进行绿化及经常性洒水,对进风隧洞口附近的边坡进行植草等改造;③进风隧洞口若有排气管道,应将排气管道的出口尽量向高处布置,避

免污染进风隧洞口的空气质量。

3.5.3 通风系统分期规划

通风散烟、除尘的影响是连续的,针对该工程的洞室施工程序及施工进度安排,各支洞(交通洞)、主洞室施工通风总体上分为Ⅲ期布置。

(1)在各工作面开挖未贯通时,采用通风机进行压入式通风。

(2)支洞与进口、交通洞与出口工作面贯通时,采用压入式与巷道式通风。对于1#支洞、交通洞采用压入式供风,进口与出口自然通风;3#支洞与交通洞工作面贯通时,3#支洞采用压入式供风,进口与出口及交通洞采用巷道通风;2#支洞与3#支洞工作面贯通时,采用压入式与混合式通风;3#支洞采用压入式供风,2#支洞采用压入式供风和离心风机进行负压供风。

(3)2#支洞与3#支洞开挖面贯通、开挖结束后,以自然通风为主,机械辅助通风。

(4)制氧设备的布置。

考虑到冬季该工程所处地区空气中氧含量偏低的特点,冬季开挖施工时,在各工作面附近布置制氧设备向工作面供氧,以提高隧洞工作面附近局部的氧气含量。

3.5.4 通风设备的分类汇总

通风设备的分类汇总见表1。

表1 通风设备分类汇总表

序号	型号	容量 / $\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$	功率 /kW	数量 /台	备注
1	AVH75(75 kW ×2)	1 863	150	2	瑞典盖雅
2	AVH90(90 kW ×2)	2 739	180	2	瑞典盖雅
3	No6.3	120	44	1	离心通风机

3.6 智能通风控制系统

由于该隧洞地处高原,洞室采用钻爆法施工工艺,因隧洞断面小、路径较长而通风效果差,是影响职业健康、制约施工进度的重要因素。为保证施工人员的健康和安安全,必须采取有效的通风措施,以满足地下洞室持续高强度施工需要。地下洞室主体通风设备采用瑞典 GIA 风机,其它部位的通风采用国产的 SD-II 型风机。由于通风散烟、除尘的影响是连续性的,最终根据该工程的洞室施工程序及施工进度安排,将洞室施工通风分Ⅳ期布置。工程施工过程中每一洞室所需的通风量和阻力是动态变化的,因此,从技术先进性出发并考虑主体通风机的变频调速以适应需风量和阻力的动态变化,保证洞室环境达标时节约电能。

基于上述思想,我们在该工程施工过程中建立了“施工动态管理仿真控制系统”。该系统可以进行施工工程动态实时控制,跟踪监控进入地下施工作业区域的人员、车辆行踪并进行施工通风的智能控制及爆破作业的全过程管理。“施工动态管理仿真控制系统”包括综合通讯平台、无线通讯子系统、人员定位子系统、施工通风环境质量监测子系统、视频监测子系统的硬件架构,智能通风控制系统为其中的一个模块,其主要架构见图1。

该工程地下洞室施工作业面多,钻孔、爆破、装渣、运输、喷锚支护等多道工序平行作业,施工中产生的有毒有害物质不仅有爆破后的气体(CO、NO、N₂O₃等),还有装渣机、运渣汽车等机

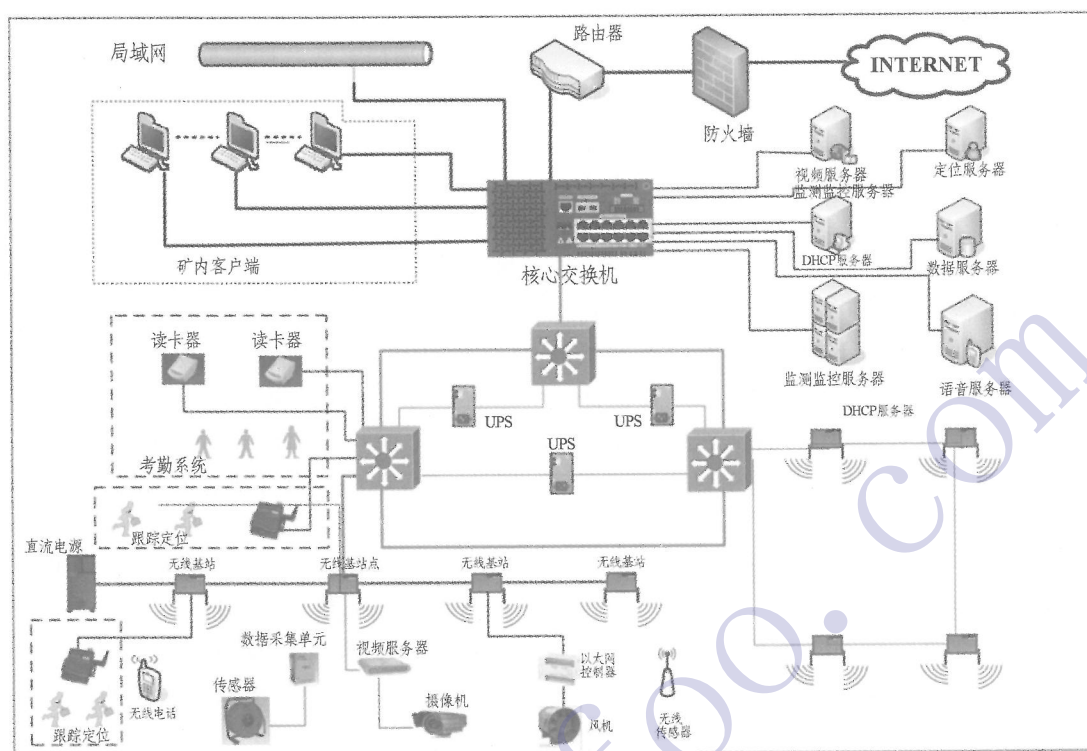


图1 施工动态管理仿真控制系统整体构架图

械化设备排放的尾气、混凝土作业中产生的粉尘等。为创造良好的作业环境、保障施工人员的健康和安全、维持机械设备的正常运行、保证工程的进度,必须对洞内施工地点进行良好的通风,以改变洞室内空气的化学组成,降低有毒有害气体成分的浓度。为此,必须分析、量化施工过程中有毒有害气体的成份(如 CO 、 NO 、 N_2O_3 等)及各成分的浓度,将其与国家有关地下洞室施工作业空气控制标准相比较,根据差值由智能通风控制系统发出不同的指令,形成不同的通风变频调节方案。具体的做法是通过在洞内设置空气环境质量监测点。监测点主要布置在主、支施工巷道及主洞室相互交叉的部位,直线型较长洞室每隔500 m设置一个。监测点监测并分析洞室各点面的空气成分含量并将其反馈至模糊控制系统(由模糊控制器、DSP控制模块、IPM模块、风速传感器和 CO 传感器等构成),通过模糊控制系统准确地获悉有害气体的浓度,模糊控制器通过模糊算法得到所需的调节值,由D/A转换器变成模拟电压送到DSP的模拟输入口,从而控制变频电源的输出频率,据此改变风机的转速,达到控制通风量的目的。

4 结 语

(1) 隧洞供风,尤其是高原地区隧洞供风系统的设置,直接影响到工程进度与安全,需要进行详细周全的计算并在实际施工过程中进行适当调整;

(2) 为保持通风系统良好的工作状况,通风管道采用高强度PVC复合塑料风管,该管采用热塑法或高频焊法加工成形,以增强其防漏性;

(3) 提高风管安装质量,吊挂风管的缆索一定要拉平拉紧,风管上的吊环间隔为30~40 cm,风管吊挂要做到平、直、稳、紧,即在水平面上无起伏,垂直面无弯曲;

(4) 加强通风系统的维护管理,由专门的通风小组检查通风情况,发现问题及时进行修补调整、更换。实践证明:该方案的采用能满足隧洞施工所需的风量。

作者简介:

宋 洋(1982-),男,吉林长春人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

刘晓博(1982-),男,宁夏银川人,工程师,工程硕士,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

安 新(1988-),男,陕西西安人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(责任编辑:李燕辉)