

卡鲁玛水电站尾水隧洞施工期的通风设计及应用

任俊友, 陈丽萍, 刘志辉, 吴虹私

(中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066)

摘要:长隧洞通风散烟是隧洞工程施工的一个难题,通风效果的好坏直接影响到长期从事地下工程施工人员的身心健康和隧洞施工进度。如果没有良好的施工通风设计方案,将严重影响企业形象,甚至因为通风不达标而停工。为解决卡鲁玛水电站尾水隧洞项目施工的通风问题,经过模型分析和严格的理论计算,设计了有效的通风方案,经过该项目的实践验证,通风效果良好,可为类似工程提供参考。

关键词:卡鲁玛水电站;尾水隧洞;通风;设计及应用

中图分类号:TV7;TV51;TV554;TV52

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2017)03-0079-05

1 工程概况

卡鲁玛水电站为乌干达境内维多利亚尼罗河上规划7个梯级电站中的第3级,位于卡鲁玛-古芦高速公路附近,距离乌干达首都坎帕拉270 km,距离古芦75 km。该电站任务以发电为主。安装6台、单机容量为100 MW的水轮发电机组,总装机容量为600 MW。

卡鲁玛水电站尾水隧洞由两条独立且平行布置的大尺寸隧洞组成。两条尾水隧洞分别为1#、2#尾水洞,主洞长均为7 143 m,采用平底马蹄形断面形式,开挖洞径宽13.7~14.8 m,高13.45~14.8 m,混凝土衬砌后洞径宽12.8 m,高12.8 m,底板宽度为10.5 m。

施工方案设置了三条施工支洞,分别为:8#施工支洞($L=1\ 068.3$ m)、9#施工支洞($L=642.1$ m)及10#支洞($L=365$ m),支洞V类围岩洞段采用马蹄形断面,其余采用城门洞形断面。

2 通风方案的设计

2.1 通风设计原则

根据该标段工程特点,通风设计遵循“缩短通风流程,减小通风阻力,增大通风能力,提高抗灾能力”的基本原则,优先选择分区分期通风方式,优化通风系统,做到通风网络简单、风流稳定、系统可靠、风量充足、风速风质符合要求。

2.2 通风标准

洞室最低风速不小于0.15 m/s,最大风速不超过6 m/s;噪音最高不大于90 dB;有害气体浓

度 CO_2 小于0.5%,CO不大于0.002 4%(或 30 mg/m^3), NO_2 不大于0.000 25%(或 5 mg/m^3), SO_2 不大于0.000 52%(或 15 mg/m^3), H_2S 不大于0.000 66%(或 10 mg/m^3)。

2.3 设计模型

根据施工图与现场条件,该施工方案主要考虑的是1#尾水洞、2#尾水洞上层开挖的施工通风,其主洞的开挖剖面见图1。

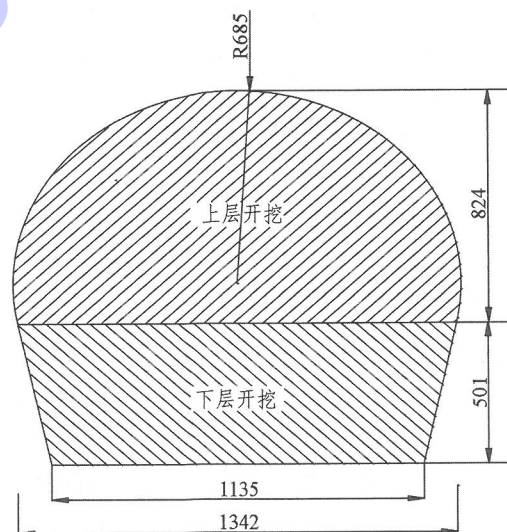


图1 主洞开挖剖面图(单位:cm)

通风采用以下方案:

通风线路1:采用压入为主、吸出为辅的方式通风。为了缩短通风长度,在8#支洞与1#尾水洞、2#尾水洞相交的中间增设1个直径为5 m(衬砌后的直径)的竖井,同时作为压入和吸出主洞及施工支洞内污风的通道。

收稿日期:2017-04-23

通风线路2:采用独头压入式通风,采用由9#支洞进口分别向1#尾水洞、2#尾水洞引2根通风管供风。

通风线路3:采用独头压入式通风,采用由10

#支洞进口分别向1#尾水洞、2#尾水洞引2根通风管供风。

通风洞室的工程特性见表1。

2.4 通风计算

表1 通风洞室特性一览表

序号	名称		开挖长度 /m	从支洞算起单头掘进长度 /m	增加通风竖井后单头掘进长度 /m	减少通风长度 /m
1	8#支洞, L=1 068 m	1#主洞 上游	1 200	2 268	1 340	928
		1#主洞 下游	1 360	2 428	1 500	929
		2#主洞 上游	1 200	2 268	1 340	928
		2#主洞 下游	1 360	2 428	1 500	928
2	9#支洞, L=642 m	1#主洞 上游	1 360	2 002		
		1#主洞 下游	1 510	2 152		
		2#主洞 上游	1 360	2 002		
		2#主洞 下游	1 510	2 152		
3	10#支洞, L=365 m	1#主洞 上游	1 500	1 865		
		1#主洞 下游	180	545		
		2#主洞 下游	1 500	1 865		
		2#主洞 下游	180	545		
4	合计		7 110	22 520		

(1)施工人员所需风量 Q_1 的计算公式:

$$Q_1 = m \times q_1 \times k$$

式中 m 为工作人数,按 50 人计算; q_1 为每个人需要的通风量,按 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ 计; k 为通风备用系数,取 1.25。

(2)压入式通风方式排除炮烟的风量 Q_2 的计算公式:

$$Q_2 = 2.25/t \times [[G(AL_0)^2 \phi B/P^2]]^{(1/3)}$$

式中 t 为通风时间,按 40 min 考虑; G 为次爆破的炸药量,kg; A 为洞室断面积, m^2 ; L_0 为洞室通风的临界长度, m , $L_0 = 12.5 \times G \times B \times K / (A \times P^2)$; K 为紊流扩散系数,取 0.5; ϕ 为淋水系数,按沿干燥岩层掘进的隧洞为 0.8;潮湿的隧洞为 0.6,岩层含水或使用水幕为 0.3 取值; B 为炸药爆炸时的有害气体生成量,按煤层中爆破取 100,岩石中爆破取 40 考虑; L 为洞室通风的长度; P 为风筒漏风系数, $P = 1 / (1 - L/100 \times P_{100})$; P_{100} 为百米风筒漏风率,一般取 2%。

(3)按通风的最低风速要求 Q_3 的计算公式:

$$Q_3 = 60 \times v \times A$$

式中 v 为洞室中要求的最小风速,取 0.15 m/s 。

(4)洞内工作人数及柴油设备运行所需风量

Q_4 的计算公式:

$$Q_4 = Q_1 + W \times q_2$$

式中 W 为洞内运行柴油机总功率,取 600 kW; q_2 为内燃机每 kW 需要的通风量,取 $3 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

(5)局部扇风机风量 $Q_{\text{局}}$ 的计算公式:

$$Q_{\text{局}} = P \times Q$$

式中 Q 为以各种条件计算的洞内所需最大通风量。

(6)通风风压的计算公式:

①计算风筒通风阻力 h_1 :

$$h_1 = (R_f + R_j) \times Q_{\text{局}} \times Q$$

式中 $R_f = 6.5 \times \alpha \times L/D^5$; $R_j = \zeta \times 1/D^4$; D 为风筒直径; α 为风筒阻力系数,取 0.003 04; ζ 为风筒出口局部阻力系数,风筒在洞内呈直筒,无分岔和拐弯,取 1。

②通风机工作的全风压 $h_{\text{全}}$:

$$h_{\text{全}} = h_1 + h_0$$

式中 h_0 为风筒出口风阻, $h_0 = \zeta \times Q^2/D^4$ 。

3 通风设备的选择与布置

3.1 各洞室需风量及风压计算成果

(1)各洞室需风量计算成果见表 2。

表 2 各洞室需风量计算成果一览表

序号	洞室名称		需风量计算成果 /m ³ · min ⁻¹				
			施工人员 所需风量	压入式通风 方式计算排除 炮烟需风量	最低风速要求 计算需风量	洞内工作人数 及柴油设备运行 所需风量	局部扇 风机风量
1	8# 支洞	1# 上游	187.5	1 884	855	1 987.5	2 822
		主洞 下游	187.5	1 884	855	1 987.5	2 822
	2# 支洞	1# 上游	187.5	1 884	855	1 987.5	2 822
		主洞 下游	187.5	1 884	855	1 987.5	2 822
2	9# 支洞	1# 上游	187.5	1 067.8	855	1 987.5	3 319
		主洞 下游	187.5	963	855	1 987.5	3 489
	2# 支洞	1# 上游	187.5	1 067.8	855	1 987.5	3 319
		主洞 下游	187.5	963	855	1 987.5	3 489
3	10# 支洞	1# 上游	187.5	1 125	855	1 987.5	3 170
		主洞 下游	187.5	2 278	855	1 987.5	2 551
	2# 支洞	1# 上游	187.5	1 125	855	1 987.5	3 170
		主洞 下游	187.5	2 278	855	1 987.5	2 551

(2)各洞室通风风压计算成果见表 3。

表 3 各洞室风机工作风压计算成果一览表

序号	洞室名称		风阻及工作全风压 /Pa		
			风筒通风阻力	风筒出口风阻	工作全风压
1	8#支洞	1#主洞 上游	2 729	201	2 930
		1#主洞 下游	2 729	201	2 930
		2#主洞 上游	2 729	201	2 930
		2#主洞 下游	2 729	201	2 930
2	9#支洞	1#主洞 上游	4 143	188	4 331
		1#主洞 下游	4 650	188	4 838
		2#主洞 上游	4 143	188	4 331
		2#主洞 下游	4 650	188	4 838
3	10#支洞	1#主洞 上游	3 624	133	3 757
		1#主洞 下游	1 115	175	1 290
		2#主洞 下游	3 624	133	3 757
		2#主洞 下游	1 115	175	1 290

3.2 设备选型原则

按通风量计算公式计算各自需要的通风量后选用其中的最大值。依据以上原则选定的施工通风量除满足洞内允许最小风速外,还应注意不得超过洞内最大允许风速。因此,依据“表 2 中 $Q_{局}$ 和表 3 中 $H_{全}$ 两个参数选择通风机。

3.3 通风设备的选择

结合工程通风特点及计算成果,初步拟定通风设备的选型见表 4。

3.4 通风设备的布置

通风线路 1:在 8#支洞与 1#尾水洞、2#尾水洞相交的中间设置 1 个洞径为 5 m(衬砌后的直径)的竖井,由竖井供风,同时兼顾排除洞内污风的任务。

表4 通风设备选型一览表

序号	洞室名称	压入风机参数			竖井吸出风机参数			
		风量 /m ³ ·min ⁻¹	全压 /Pa	风机型号	风量 /m ³ ·min ⁻¹	全压 /Pa	风机型号	
1	8#支洞	1#主洞 上游	2 822	2 930	变频风机,2×110 kW SDF(B)-№16	3 386	500	大流量低压风机 DFZ-№24,37kW
		1#主洞 下游	2 822	2 930	变频风机,2×110 kW SDF(B)-№16	3 386	500	大流量低压风机 DFZ-№24,37 kW
	2#主洞	2#主洞 上游	2 822	2 930	变频风机,2×110 kW SDF(B)-№16	3 386	500	大流量低压风机 DFZ-№24,37 kW
		2#主洞 下游	2 822	2 930	变频风机,2×110 kW SDF(B)-№16	3 386	500	大流量低压风机 DFZ-№24,37kW
2	9#支洞	1#主洞 上游	3 319	4 339	变频风机,2×160 kW SDF(B)-№17			
		1#主洞 下游	3 489	4 838	变频风机,2×200 kW SDF(B)-№18			
	2#主洞	2#主洞 上游	3 319	4 331	变频风机,2×160 kW SDF(B)-№17			
		2#主洞 下游	3 489	4 838	变频风机,2×200 kW SDF(B)-№18			
3	10#支洞	1#主洞 上游	3 170	3 757	变频风机,2×160 kW SDF(B)-№17			
		1#主洞 下游	2 551	1 290	变频风机,2×75 kW SDF(B)-№14			
	2#主洞	2#主洞 下游	3 170	3 757	变频风机,2×160 kW SDF(B)-№17			
		2#主洞 下游	2 551	1 290	变频风机,2×75 kW SDF(B)-№14			
4	合计			3 260 kW	13 545.6		148 kW	

在距竖井口上风处 30~50 m 范围布置 4 台 2×110 kW 的 SDF(B)-№16 变频风机,采取压入式方式提供作业面新鲜风;在竖井出口下风方向布置 4 台 37 kW 的 DFZ-№24 大流量低压风机,用于吸出洞内工作面的污风。每个风机直径 1.8 m 的通风软管分别通向 8#支洞与 1#、2#尾水主洞的上下游工作面。通风软管 90°转弯处采用刚性弯头。

通风线路 2:在 9#支洞距进口 30~50 m 处布置 2 台 2×160 kW 的 SDF(B)-№17 变频风机,分别通向与 1#、2#尾水主洞的上游工作面;布置 2 台 2×200 kW 的 SDF(B)-№18 变频风机分别通向与 1#、2#尾水主洞的下游工作面。

通风线路 3:在 10#支洞距进口 30~50 m 处布置 2 台 2×160 kW 的 SDF(B)-№17 变频风机,分别通向与 1#、2#尾水主洞的上游工作面;布置 2 台 2×75 kW 的 SDF(B)-№14 变频风机分别通向与 1#、2#尾水主洞的下游工作面。通风系

统布置情况见图 2。

4 实施效果

卡鲁玛水电站通风方案在工程实施中效果较明显,实施通风方案后的通风管布置情况见图 3。

目前,乌干达卡鲁玛水电站 8#、9#、10#支洞以及 1#尾水隧洞、2#尾水隧洞已完成全部开挖支护工作,累计完成土石方明挖 35.28 万 m³,累计完成石方洞挖 244.5 万 m³,累计完成喷混凝土 4.07 万 m³;累计完成锚杆制安 4.42 万根,累计完成钢结构制安 386.37 t。目前项目已全面转入混凝土衬砌阶段,已完成全部底板垫层浇筑及边顶拱浇筑 48 仓,共计 574.8 m,累计完成混凝土浇筑 3.65 万 m³。

经过多次抽检出风口风速和洞内空气质量,其最小风速、洞内温度、含氧量、有害气体含量均在施工作业环境的允许范围内,洞内通风效果得到业主、监理、现场施工作业人员的一致肯定,实施效果良好。

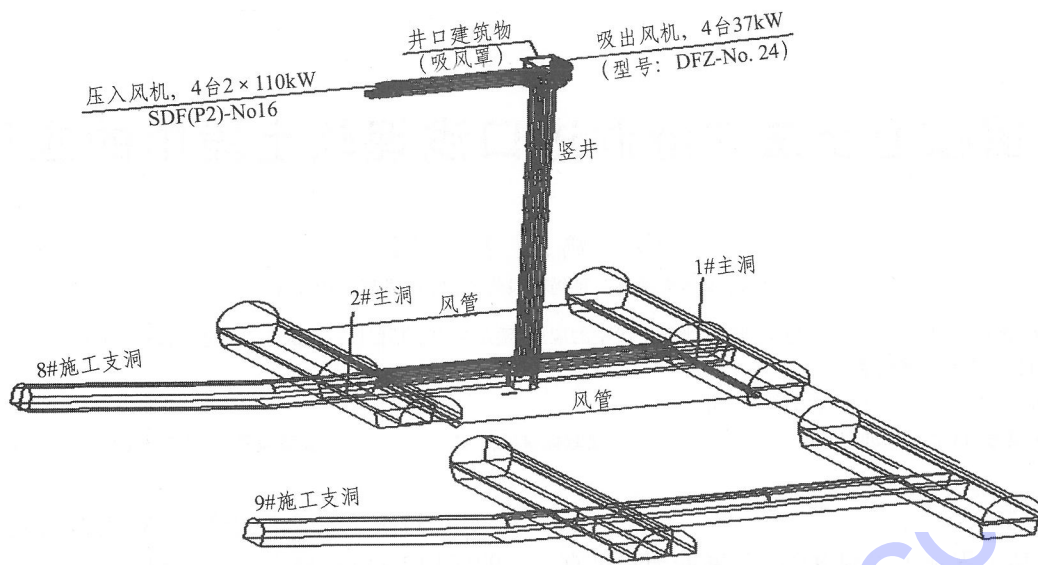


图 2 通风系统布置示意图



图 3 通风管布置图

(下转第 86 页)

4.4 仰拱施工

洞挖后,因围岩承载力和刚性不足,型钢支撑脚部会出现下沉的情况。在下沉的同时,松弛区域会随之扩大,引起拱顶附近的作用荷载增加、周边围岩出现大的变形,使其稳定性降低。对此,以稳定初期支护脚部周边围岩为目的,需要进行脚部补强。脚部补强主要是通过施做仰拱以增加初期支护的整体稳定。

初期支护完成后,为增强初期支护整体稳定,增加了仰拱型钢支撑及 C25 混凝土,形成封闭稳定整体支撑结构。

仰拱施工分段开挖,整体浇筑混凝土。仰拱采取先行并且全幅一次完成浇筑的施工方法,严禁半幅施工,以起到早闭合、防塌方的作用并能够营造良好的施工环境。为保证整体工期要求及仰拱与填充混凝土施工质量,避免施工运输给混凝土造成破坏,减少仰拱对施工进度的影响,降低施工干扰,开挖和浇筑混凝土时利用仰拱栈桥保证渣渣车辆和其它车辆的通行。填充混凝土并当仰拱混凝土达到一定强度后整幅浇筑。

施作仰拱混凝土时必须将基底清理干净并注意及时排水。支立仰拱模板,排干积水,保护层采用混凝土垫块。混凝土在拌和站集中拌制,由混凝土运输车运入,泵送入模,振捣器振捣密实。填充必须在仰拱混凝土达到一定强度后进行,支立侧模,一次浇筑到位。

5 现场监控量测情况

监控量测是“新奥法”施工原理的三大要求之一,通过量测,可以掌握围岩变化规律及支护结构的力学状态和稳定程度,判断支护参数及所采用的施工方法是否合理、可行。施工过程中,主要进行了以下项目的量测:洞内外观察、周边位移量测、浅埋段拱顶下沉及地表变形。因该支洞进口段岩体为 V 类围岩,监测断面每 5 m 设置一处,每

(上接第 83 页)

参考文献:

- [1] 水利电力部水利水电建设总局,编.水利水电工程施工组织设计手册——2 施工技术[M].北京:中国水利水电出版社,2003.
- [2] 《水利水电工程施工手册》编委会,编.水利水电工程施工手册.第2卷,土石方工程[M].北京:中国电力出版社,2002.
- [3] 赖涤泉.隧道施工通风与防尘[M].北京:中国铁道出版社,1994.

处设置 3 个观测点,变形观测采用三点三线法。围岩稳定的基本判据为:(1)变形总量已完成允许变形量的 90%;(2)变形速率已明显下降,收敛变形速率小于 0.2 mm/d。实测结果为:最大收敛变形为 3.5 mm,最大收敛变形速率为 0.12 mm,说明采用预留核心土法是安全的。

6 应用效果评价

(1)通过理论计算及现场实际应用,在超前支护的保护下,进口段浅埋软弱地段采用预留核心土法是安全可靠的;

(2)可实现机械化开挖,加快了施工进度;

(3)减少投入,节省资金。预留核心土法最大的特点是取消了管棚支护,从而节省了资金,经济效益较为显著;

(4)施工难度小、安全性较好。采用预留核心土法施工工序简单,施工空间大,作业环境不受限制,工序间的干扰少,施工难度小。上、下部开挖作业分别在超前支护及拱部初支的保护下进行,现场量测较容易进行,施工工序少,施工进度快,可尽早实现初支的封闭,改善初支受力状态,从而保证施工安全;

(5)有利于初支表面的质量控制,减少初支表面的处理工作量,便于防水板的铺设。

参考文献:

- [1] SL313-2004,水利水电工程施工地质勘察规程[S].
- [2] SL398-2007,水利水电工程施工通用安全技术规程[S].
- [3] SL303-2004,水利水电工程施工组织设计规范[S].
- [4] GB50487-2008,水利水电工程施工地质勘察规范[S].
- [5] SL378-2007,水工建筑物地下开挖工程施工规范[S].
- [6] SL377-2007,水利水电工程锚喷支护技术规范[S].

作者简介:

郭鹏(1985-),男,河南商丘人,工程师,学士,从事水利水电工程施工技术工作;

黄娟(1987-),女,江苏徐州人,助理工程师,学士,从事水利水电工程施工技术工作。(责任编辑:李燕辉)

作者简介:

任俊友(1965-),男,四川南充人,总经理助理兼工程管理部主任,高级经济师,从事水电工程施工技术与管理工作;

陈丽萍(1980-),女,江西南丰人,高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

刘志辉(1987-),男,吉林长春人,项目工程部副主任,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

吴虹私(1990-),男,四川达州人,助理工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)