

某水电站地下廊道瓦斯涌出量预测研究

李永冲^{*1,2}, 崔晓立²

(1. 四川省煤田地质工程勘察设计院, 四川 成都 610091;

2. 四川省康泰安全评价咨询有限责任公司, 四川 成都 610091)

摘要:某水电站大坝河床基岩以硅质板岩、变质砂岩及炭质板岩为主, 灌浆孔、排水孔在施工过程中, 基岩赋存瓦斯通过钻孔涌入廊道空间, 严重威胁水电站施工安全。通过对廊道绝对瓦斯涌出量的测定及预测研究, 制定相关瓦斯防治措施, 为廊道施工及运营期瓦斯防治提供技术保障, 同时也为国内水电站地下廊道瓦斯防治提供技术支持与借鉴。

关键词:灌浆廊道; 排水孔; 瓦斯; 瓦斯涌出量预测

中图分类号:TD712 **文献标识码:**A **文章编号:**1004-5716(2023)08-0159-03

1 概述

某水电站位于西藏自治区山南地区, 是雅鲁藏布江干流中游规划设计的梯级电站。水电站枢纽工程主要建筑物由混凝土溢流坝段、厂房挡水坝段、冲砂底孔坝段及河床式厂房等建筑物组成, 水库总库容 $0.3 \times 10^8 \text{ m}^3$, 电站装机容量 360MW。坝体内布置了基础灌浆廊道、坝基排水廊道等结构, 同时兼顾坝内交通和原型观测。根据设计要求, 在大坝廊道不同位置设置倾斜、铅直、垂直等不同类型的排水孔, 深入基岩 5~17m 不等。

坝址区位于雅鲁藏布江缝合带内, 距雅鲁藏布江北界断裂较近, 经过前期地表测绘、调查、钻孔和平洞揭示, 坝区内未见较大规模的断裂构造发育, 主要构造形迹为节理裂隙和少量小断层。大坝地层主要为郎杰学群的姐德秀组第一段 T_3^1 的硅质板岩、变质砂岩及炭质板岩, 第四系沉积物主要为冲积 (Q_{3-4}^{al})、洪积 (Q_3^{pl})、崩坡积 (Q_4^{col+dl}) 等。

大坝灌浆廊道和排水廊道等基础廊道通过灌浆孔及排水孔与其下部的基岩地层联系, 电站廊道在建设及运营期, 受揭露地层影响, 来自于河床基岩的有毒有害气体 (主要为瓦斯) 将涌向坝体廊道, 严重威胁着水电站施工及运营的安全, 因此需进行专门的研究。

2 瓦斯参数获取及排水孔调查统计

为准确获取水电站地层炭质板岩瓦斯参数, 对排水孔排出气体进行采样检测, 采集廊道底部基岩岩芯, 测定其瓦斯含量并对其进行碳含量测定。同时, 通过统计调查方法, 对排水孔瓦斯排放情况进行了仔细

的调查。

2.1 瓦斯参数测定

2.1.1 廊道钻孔气体检测

施工单位在厂房坝段、溢流坝段灌浆廊道进行帷幕灌浆施工过程中, 孔内有不明气体涌出。研究人员前后分两次, 共采集气体样品 6 份送实验室检测, 甲烷体积含量为 6.34%~16.46%, 硫化氢为 0~0.11ppm。钻孔内涌出有毒有害气体主要为甲烷。

2.1.2 瓦斯含量测定

依据《页岩含气量测定方法》(SY/T 6940-2013), 页岩含气量指单位质量页岩中所含天然气折算到 0℃, 101.325kPa 时的体积, 按测量过程分为解吸气、残余气、损失气, 页岩含气量为三者之和。水电站坝址区地层主要为炭质板岩, 未发现煤层, 瓦斯含量测定方法参照《页岩含气量测定方法》进行测定。研究人员根据前期调查及钻孔涌出气体情况, 选取气体涌出丰富钻孔岩样 4 份, 经现场及实验室测试, 平均瓦斯含量为 $0.036 \text{ m}^3/\text{t}$, 最大瓦斯含量为 $0.06 \text{ m}^3/\text{t}$ 。

2.1.3 工业分析

本次采集炭质板岩采用煤质工业分析方法进行测试分析, 以测定其水分、灰分、挥发分、固定碳含量。研究人员选择气体涌出量大、颜色深的岩样 1 份进行实验室分析, 其中水分 $M_{ad}=0.21\%$, 灰分 $A_d=94.69\%$, 挥发分 $V_d=3.65\%$, 固定碳 $FC_d=1.45\%$ 。

2.2 廊道排水孔瓦斯排放调查

为了掌握大坝廊道各灌浆孔、排水孔瓦斯气体涌

* 收稿日期: 2022-09-08 修回日期: 2022-09-30

第一作者简介: 李永冲 (1988-), 男 (汉族), 四川成都人, 注册安全工程师, 现从事安全风险评估与安全管理工作。

出状况,研究人员对廊道灌浆孔、排水孔瓦斯气体涌出情况进行了详细的调查与统计分析,大坝瓦斯涌出情况整体呈现如下的规律。

(1) 不同坝段气体涌出存在差异性。灌浆廊道标高最低部位气体涌出量大,向标高增大方向(左、右)气体涌出逐渐减弱。

(2) 随排水孔深度加大,气体涌出量增加。随排水孔深度加大,气体涌出量有增大趋势。

(3) 水位高气体涌出量大。排水孔水位(相对各孔的孔口)高,气体涌出量相对较大,排水孔水位(相对各孔的孔口)低,气体涌出量相对较少。

研究人员对水电站排水孔气体涌出情况进行调查、统计分析,根据排水孔涌出气体解析量及涌出气体的瓦斯浓度,将排水孔定性划分为三类。第一类排水孔气体股状涌出,间隔时间30~40s,排气量为现场实测值;第二类排水孔气体微弱小气泡涌出或零星气泡涌出,排气量取第一类的70%;第三类排水孔没有明显气体涌出,排气量取第一类的40%。根据设计资料及现场统计,第一类排水孔1443m,第二类排水孔1732m,第三类排水孔201m,合计3376m。

3 瓦斯涌出量预测

3.1 基于分源法瓦斯涌出预测

煤矿掘进工作面瓦斯涌出来源包括两部份,一是

暴露煤壁涌出瓦斯,二是破落煤块涌出瓦斯。大坝廊道灌浆孔、排水孔施工过程中瓦斯涌出类似煤矿掘进工作面,瓦斯涌出量包括排水孔揭露岩壁涌出瓦斯及排水孔钻出岩芯涌出瓦斯,运营过程中廊道排水孔涌出瓦斯只有排水孔揭露岩壁涌出瓦斯^[1]。

$$Q_{\#}=D\times V\times q_0\times\left(2\sqrt{\frac{L}{V}}-1\right)$$

式中: $Q_{\#}$ ——排水孔绝对瓦斯涌出量, m^3/min ;
 D ——排水孔断面内暴露岩壁面周边长度,m;
 V ——排水孔平均掘进速度(或使用排水孔深度), m/min ;

L ——排水孔深度,m;
 q_0 ——排水孔岩壁瓦斯涌出初速度, $\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{min})$;
 $q_0=0.026[0.0004\times(V)^2+0.16]\times W_0$

式中: V ——排水孔揭露岩层(炭质板岩)挥发份,%;
 W_0 ——排水孔揭露岩层(炭质板岩)瓦斯含量, m^3/t 。

根据选取的4个廊道排水孔岩样瓦斯含量解析数据,运营期间廊道瓦斯涌出量预测结果如表1所示,廊道平均绝对瓦斯含量为 $0.16\text{m}^3/\text{min}$,最大绝对瓦斯含量为 $0.27\text{m}^3/\text{min}$ 。参照《公路瓦斯隧道技术规程》(DB51/T2243-2016)、《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB10120-2019),水电站廊道瓦斯等级为微瓦斯。

表1 运营期间廊道瓦斯涌出量预测结果表

序号	孔号	$Q_{\#}$ (m^3/min)	单孔平均瓦斯涌出量 (m^3/min)	廊道平均瓦斯涌出量 (m^3/min)	廊道最大瓦斯涌出量 (m^3/min)	备注
1	10-3	8.43×10^{-4}	7.16×10^{-4}	0.16	0.27	大坝廊道共247个排水孔,基岩钻孔工程量为3376m
2	11-6	6.64×10^{-4}				
3	22-1	1.18×10^{-3}				
4	15-1	1.78×10^{-4}				

3.2 基于统计法瓦斯涌出预测

3.2.1 预测方法

根据前期对瓦斯来源的调查与分析,大坝廊道瓦斯主要由坝体炭质板岩通过排水孔涌入。通过测定廊道所有排水孔瓦斯涌出量,即可计算廊道内总的瓦斯涌出量。基于此,采用排水法原理,研究人员自行设计、加工了水气分离装置,并利用实验室自行加工的气体测量装置,对排水孔瓦斯涌出量进行了准确的测定。

为准确测定排水孔瓦斯涌出量及瓦斯涌出趋势变化,选择气体涌出量大、钻孔深、分布范围具有代表性的钻孔进行测定。研究人员于2019.11.19~22对水电

站廊道10-3、6-7、11-1、9-6、左排水廊道15#排水孔进行了现场瓦斯涌出量测定,并以此作为计算廊道瓦斯涌出量的基础。

3.2.2 预测结果

根据选取的5个廊道排水孔平均瓦斯涌出量、平均瓦斯浓度、排水孔入岩深度等计算,廊道正常/最大瓦斯涌出量如表2所示。廊道平均绝对瓦斯含量为 $3.64\times10^{-4}\text{m}^3/\text{min}$,最大绝对瓦斯含量为 $1.37\times10^{-3}\text{m}^3/\text{min}$ 。参照《公路瓦斯隧道技术规程》(DB51/T2243-2016)、《铁路瓦斯隧道技术规范》(TB10120-2019),水电站廊道瓦斯等级为微瓦斯。

表2 廊道正常/最大瓦斯涌出量估算

排水孔编号	单位深度平均瓦斯涌出量 (m ³ /(m·min))	单位深度最大瓦斯涌出量 [m ³ /(m·min)]	廊道平均瓦斯涌出量 (m ³ /min)	廊道最大瓦斯涌出量 (m ³ /min)
排水孔10-3	7.07×10 ⁻⁸	8.07×10 ⁻⁸		
排水孔6-7	5.67×10 ⁻⁸	6.73×10 ⁻⁸		
排水孔11-1	7.20×10 ⁻⁸	8.07×10 ⁻⁸	3.64×10 ⁻⁴	1.37×10 ⁻³
排水孔9-6	5.93×10 ⁻⁸	6.60×10 ⁻⁸		
左排水廊道15 ^a	4.07×10 ⁻⁷	4.80×10 ⁻⁷		

4 瓦斯来源分析及防治措施

4.1 瓦斯来源分析

水电站坝基围岩地层主要为炭质板岩,炭质板岩的原岩为炭质泥岩,炭质泥岩沉积时通常含较丰富的植物遗体,在成岩过程中发生生物化学变化,生成CH₄、CO₂等气体,在后期的变质过程中,发生物理化学变化,生成以CH₄为主的气态烃,由于埋藏深度大,气体不宜散失,储存于炭质板岩、硅质板岩、变质砂岩等孔隙、裂隙中。水电站坝基围岩地层中的炭质板岩、硅质板岩中的炭质充填物、变质砂岩中的炭质胶结物都具有生烃的能力,是大坝廊道瓦斯的主要来源。

4.2 瓦斯防治措施建议

施工期间瓦斯防治措施:①通风措施。电站地下廊道多,布置错综复杂,对外的洞口较少,施工期间通风系统复杂。施工过程中,应确保建立稳定可靠的通风系统,并由专人进行管理^[2]。②人工瓦斯监测监控。建立专职人工瓦斯监测监控队伍,对廊道内不同位置进行瓦斯监测,特别加强对动火作业及盲巷内作业的瓦斯监测。

运营期间瓦斯防治措施:①安全监控系统。设置安全监控系统,廊道内通风系统与甲烷、硫化氢传感器进行连锁运行,当甲烷、硫化氢传感器监测到相应气体浓度超过其阈值时,系统自动启动风机进行通风作业。②通风设计。廊道通风采用机械式通风,自动监控系统与通风机连锁,在瓦斯浓度未超标情况下,设置合理的通风时间与间隔进行定期通风,当任意一个瓦

斯监控传感器达到0.3%,启动所有风机排放瓦斯。③其他安全措施。运营期间,对廊道内安全监控系统、通风系统进行定期检查,作业人员进入廊道前先通风,同时携带检测报警仪,一旦发现报警停止前行并立即退出^[3-4]。

5 结论与建议

①通过采用不同方法对电站廊道瓦斯进行预测,瓦斯涌出量最大为0.27m³/min,根据相关规范要求,大坝廊道瓦斯等级为微瓦斯区;②瓦斯涌出量虽然不大,但廊道中仍可能出现风流瓦斯超限或局部瓦斯积聚,将对安全施工和营运构成威胁,建议廊道在施工和运营过程中,须严格按照瓦斯防治措施进行管理。③通过对大坝廊道进行瓦斯涌出量预测及瓦斯来源分析,提出相应的瓦斯防治措施,有效降低廊道在施工及运营期间瓦斯爆炸风险。虽瓦斯灾害在煤矿行业研究较为深入,但在国内外水电行业,瓦斯研究涉及较少,本文研究内容可以为水电站廊道瓦斯防治提供参考借鉴。

参考文献:

[1] 俞启香,程远平.矿井瓦斯防治[M].徐州:中国矿业大学出版社,2012.
[2] 赵江河.新庙水电站低瓦斯引水隧洞施工安全防护[J].吉林水利,2021(5):60-62.
[3] 孙常玉,于磊,郭云强.某水电站特大洞室群瓦斯防治关键技术研究[J].价值工程,2019,38(33):171-172.
[4] 王建兴.甲米一级水电站3#支洞控制段的瓦斯控制[J].四川水力发电,2012,31(S1):132-135.