

某傍山型尾矿库防洪能力可靠性研究

Reliability Check of Flood Control Capacity of Mountainside Tailings Pond

陈宇清^{1,2}, 王明明^{1,2}, 田文高^{1,2}, 佟敬鲁^{1,2}, 黄文鹤³

(1. 中冶沈勘秦皇岛工程设计研究总院有限公司, 河北 秦皇岛 066699;

2. 河北省绿色智能矿山工程设计技术创新中心, 河北 秦皇岛 066699;

3. 鞍山钢铁集团有限公司齐大山选矿厂, 辽宁 鞍山 114043)

摘要:针对某傍山型尾矿库的实际生产运行条件,采用两种方法对库区洪水进行了分析比较。在充分考虑洞内回水钢管影响的前提下,对库区排水系统泄流能力进行了详细的分析和计算,最后利用水量平衡方法,进行了尾矿库调洪演算,根据调洪演算结果得出了尾矿库在库水位和干滩长度按要求控制且排水系统都正常工作的条件下其防洪能力满足规范要求的结论。研究结果为了给矿山企业在进行尾矿库排洪回水设施与安全度汛管理的过程中提供技术支持和保证,同时也为企业精细化管理与规范化管理尾矿库提供参考。

关键词:尾矿库;洪水计算;排水系统;泄流能力;防洪能力

中图分类号: TD926.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-609X(2025)04-0057-06

Abstract: According to the actual production and operation conditions of a mountainside tailings pond, two methods are used to analyze and compare the flood in the tailings pond. Under the premise of fully considering the influence of the backwater steel pipe in the tunnel, the discharge capacity of the drainage system in the tailings pond is analyzed and calculated in detail. Finally, the flood regulation calculation of the tailings pond is carried out by using the water balance method. According to the results of the flood regulation calculation, it is concluded that the flood control capacity of the tailings pond meets the requirements of the specification under the condition that the reservoir water level and the length of the dry beach are controlled according to the requirements and the drainage system is working normally. The purpose of this study is to provide technical support and guarantee for mining enterprises in the process of flood discharge and backwater facilities and safety flood management of tailings pond, and also to provide reference for fine management and standardized management of tailings pond.

Key words: tailings pond; flood computation; drainage system; discharge capacity; flood control

1 前言

我国是矿业大国,尾矿库数量较多,虽然近年来尾矿库设计、施工和管理水平较以往有很大提高,但是尾矿库事故还是时有发生。尾矿库发生事故的原因是多方面的,绝大多数事故都与水有着密切的关系。根据事故的统计分析,因洪水漫顶造成的事故率高达30%左右。造成尾矿库洪水漫顶的原因归纳起来主要有以下几种:①尾矿库遭遇连续强降雨或超出设计标准的特大洪水;②尾矿库库型条件不佳,库长较短或库区地形狭窄,防洪库容先天不足;③尾矿库排水系统结构尺寸偏小或进水口位置

偏高,进水能力或泄流能力较弱,不能将库区洪水及时排泄至下游^[1];④排洪设施损坏或不能正常运行。

防洪能力是评价尾矿库是否安全运行的重要指标之一,也是进行尾矿库设计及尾矿库安全评价的重要内容之一^[2]。尾矿库防洪能力主要取决于入库洪水、库区实有调洪库容和排水系统泄流能力这三个因素^[3]。根据现有条文及《尾矿库安全规程》(GB 39496—2020)规定,生产经营单位每年汛前应委托设计单位根据尾矿库实测地形图、水位和尾矿沉积滩面实际情况进行调洪演算,复核尾矿库防洪能力,确定汛期尾矿库的运行水位,干滩长度、安全超高等安全运行控制参数^[4-5]。

本文以辽宁地区某傍山型尾矿库为例,根据库区实际滩面和水位条件,采用两种方法进行了洪水计算,并在考虑洞内回水钢管对排水系统泄流能力影响的前提下,对排水隧洞泄流能力进行了详细的

[作者简介] 陈宇清(1984—),女,高级工程师,主要从事尾矿库研究工作。

[引用格式] 陈宇清,王明明,田文高,等.某傍山型尾矿库防洪能力可靠性研究[J].中国矿山工程,2025,54(4):57-62.

分析计算,最后利用水量平衡方法进行了调洪演算,研究了尾矿库防洪能力可靠性。该研究结果可以为企业进行排洪回水设施管理与尾矿库安全度汛提供技术支持和保证,同时也为企业精细化管理与规范化管理尾矿库提供参考^[6]。

2 尾矿库工程概况

2.1 尾矿库基本情况

某大型上游式尾矿库最早为山谷型尾矿库,后由于生产需求,企业按照加高扩容设计陆续在库区周边山体较低的埡口位置建设了1号~11号副坝(其中,8号副坝由于后期优化调整坝轴线位置取消建设,11号副坝为排岩废石一次建坝),库型由最初的山谷型尾矿库逐渐转化成傍山型尾矿库。尾矿库原设计最终堆积标高140 m,总坝高85 m,总库容2.28亿 m^3 ;2016年经过一次加高扩容后设计最终堆积标高为160 m,总坝高105 m,总库容3.45亿 m^3 ,库等别为二等。

2.2 尾矿库自然气象

尾矿库地处北温带区域,属温带季风气候,四季分明。温度最高为7、8月份,平均24.9~26 $^{\circ}C$,最高气温为36.9 $^{\circ}C$;最低为1月份,平均-13~-15 $^{\circ}C$,最低气温-30.4 $^{\circ}C$,年平均温度为8.8 $^{\circ}C$ 。

多年平均降水量720.6 mm,年最大降水量994.5 mm(1975年),月最大降水量416.7 mm(1985年7月),日最大降水量236.8 mm(1975年9月1日)。降水量多集中在7、8、9三个月;多年平均蒸发量为1058.5 mm。

2.3 坝顶及滩面情况

根据业主提供的最新实测图,目前库内水位标高约156 m;主坝及各个副坝坝前滩顶标高约为160 m;主坝最短干滩长度约为416 m;1号副坝最短干滩长度约为887 m;2号副坝最短干滩长度约为479 m;3号副坝最短干滩长度约为688 m;4号副坝最短干滩长度约为1043 m;5号副坝最短干滩长度约为376 m;6号副坝最短干滩长度约为1616 m;7号副坝最短干滩长度约为574 m;9号副坝最短干滩长度约为1261 m;10号副坝最短干滩长度约为1312 m;11号副坝采用一次建坝方式,尾矿不筑坝,坝体上游侧铺设了土工膜进行防渗,因11号副坝距离水区较近,企业按照设计文件要求,于坝前通过池填放矿形成了宽度不小于150 m的宽顶平台,宽顶

尾砂平台坡度不小于1%,11号副坝干滩长度约为243 m。

2.4 尾矿库排水系统情况

尾矿库采用排水井和排水隧洞排洪、洞内铺设排水钢管进行回水。在11号副坝西侧山沟位置建设有5号框架式排水井和6号窗口式回水井。

5号排水井及6号回水井分别通过排洪管和回水管与排水隧洞连接。排水隧洞自5号排水井位置起自东向西延伸,出口设置在主坝下游南侧,排水隧洞出口与主坝之间有一道山梁相隔。排水隧洞出口接有消力池,消力池下游连接排洪钢管,最终接入下游自然河道。

1) 排洪系统

5号排水井为8立柱框架式,现浇C30水工钢筋混凝土结构,井座顶标高151.5 m,井顶标高163.5 m,井高为12 m,圈梁内径4.1 m,初始进水口标高为151.5 m。

排水隧洞总长度1650 m,进水口底标高146.5 m,出水口底标高125.0 m,纵坡约1.3%。排水隧洞断面为圆拱直墙型式,净宽3.0 m,直墙高1.9 m,净高3.4 m;排水隧洞进口设扩大断面,净宽5.1 m,净高4.05 m。进口扩大段与常规洞段之间设置渐变段,长度为15 m。排水隧洞进、出口采用钢筋混凝土衬砌,Ⅲ类围岩为锚喷支护,Ⅳ、Ⅴ类围岩为C30钢筋混凝土全断面衬砌。

5号排水井与排水隧洞采用排洪管连接,排洪管洞外长度约为12 m,伸入洞内长度15 m。排洪管采用C30现浇钢筋混凝土结构,过水净断面为圆拱直墙型,净宽2.0 m,净高2.5 m,壁厚0.5 m。

2) 回水系统

自6号回水井位置起铺设回水钢管,回水钢管穿过排水隧洞之后沿地表铺设最终与现有集中泵站预留主管线连接,并预留至现有坝下阀门室接口。

6号回水井为窗口式,采用现浇C30水工钢筋混凝土结构,井座顶标高151.5 m,井顶标高161.5 m,井高为10 m。井筒内径为4.1 m,外径为4.7 m,井筒每隔350 mm高差设置一排12个进水孔,孔口外侧直径0.35 m,内侧直径0.3 m。

6号回水井与新建排水隧洞采用回水管连接,回水管洞外长度约为16 m,伸入洞内长度15 m。回水管采用C30现浇钢筋混凝土结构,过水净断面为圆型,内径1.4 m,壁厚0.35 m,底板厚度0.50 m。排洪、回水设施平面布设位置详如图1所示,进水口

平面如图2所示,排水隧洞典型断面如图3所示。

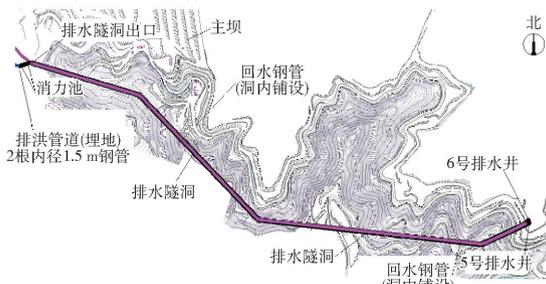


图1 排洪、回水设施平面布设位置图

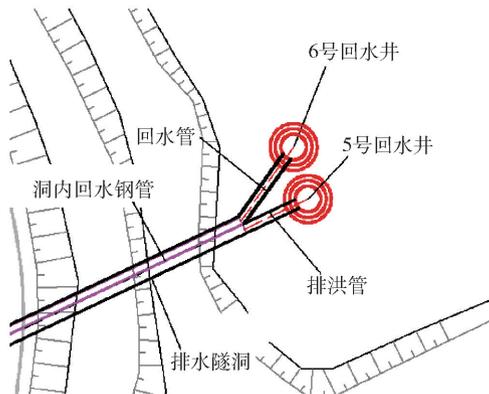


图2 排洪、回水设施进水口平面大样图

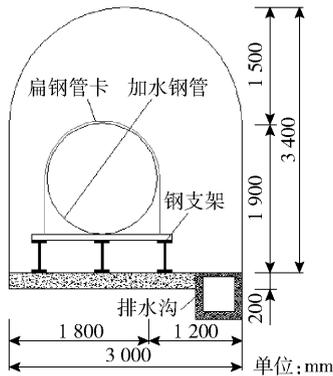


图3 排水隧洞典型断面图

3 洪水计算

3.1 防洪标准

根据《尾矿设施设计规范》(GB 50863—2013)及《尾矿库安全规程》(GB 39496—2020)的规定,该尾矿库等别为二等,防洪标准可选取1000年一遇。考虑到该尾矿库下游周边环境复杂性及尾矿库自身对企业的重要程度,本次洪水计算时防洪标准按照2000年一遇选取。

3.2 洪水计算

根据《尾矿设施设计规范》6.2.1的规定,①对于三等及三等以上尾矿库宜取两种以上方法计算,

宜以各省水文图册推荐的计算公式为准或选取大值;②库内水面面积超过流域面积的10%时,水面和陆面面积的汇流应分别计算。

该尾矿库现状坝顶对应的总汇水面积约为6.62 km²,其中:库区西南侧对应陆面1区,其汇水面积为0.44 km²;库区东南侧对应陆面2区,其汇水面积为0.31 km²。除陆面1区和陆面2区外,库区周边均建设了副坝进行坝前放矿,从库区整体汇流条件来看,没有明显的沟谷,汇流迅速,坡面水流直接汇入水体,可不考虑河槽汇流。因此偏保守考虑,滩面面积全部按水面面积进行计算,水区面积约为5.87 km²。由于水区面积占总流域面积的比例超过10%,故对库区陆面区域、水面区域洪水分别计算。

汇水分区及排水系统如图4所示。



图4 汇水分区及排水系统平面图

1) 陆面洪水计算

陆面洪峰流量及洪水总量依据《辽宁省中小河流(无资料地区)设计暴雨洪水计算方法》(1998年8月)中的推理公式和《尾矿设施设计参考资料》中推荐的简化推理公式分别进行计算。计算结果取两者较大值。

采用辽宁水文资料计算得到的结果如下:

(1)陆面1区:洪峰流量为62.03 m³/s,洪水总量为10.84万 m³。

(2)陆面2区:洪峰流量为47.34 m³/s,洪水总量为7.61万 m³。

按照简化推理公式计算得到的结果如下:

(1)陆面1区:洪峰流量为128.94 m³/s,洪水总量为13.40万 m³;

(2)陆面2区:洪峰流量为103.40 m³/s,洪水总量为9.44万 m³。

经比较,尾矿设施设计参考资料推荐的简化推理公式计算得到的洪峰流量和洪水总量都较大。

2) 水面洪水计算

水面洪水即暴雨直接入库形成洪水,不经过植物截留、填洼和入渗等损失。考虑到雨期蒸发量很小,本次计算忽略不计。按《辽宁省中小河流(无资料地区)设计暴雨洪水计算方法》附表1~3的排位顺序和各时段同频率控制的分配方法将计算得到的相应于设计频率的3h主峰面雨量置于排位1,6h主峰面雨量减去3h主峰面雨量置于排位2,9h主峰面雨量减去6h主峰面雨量置于排位3,依此类推,其雨型分配结果见表1。根据设计暴雨3h时段

雨量分配表计算可知,尾矿库水面区域2000年一遇洪水总量约为238.28万m³。

3) 水面、陆面洪水综合结果

本次水面和陆面洪水综合叠加时,陆面计算结果按较大值选取。水面洪水先按照3h时段雨量分配表的计算结果转换为时段洪量和平均流量。根据最不利条件峰值叠加的原则,将陆面洪水按照各自的洪水历时叠加至水面洪水主峰雨量最大值位置第15至18时区段内,最后经过洪水过程线调整即可得到水面和陆面综合后的洪水过程线图表。陆面、水面及水陆综合洪水计算结果见表2。

表1 设计暴雨3小时时段雨量分配表

时段顺序	I	II	III	IV	V	VI	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
项别	4	3	2	1	5	6	8	7	4	3	2	1	5	6
主峰雨量分配过程							12.53	13.98	22.53	29.28	71.80	221.38	18.55	15.90
前峰雨量分配过程	8.03	10.44	25.61	78.95	6.62	5.67								

表2 水面和陆面24小时综合洪水计算结果表

滩顶标高 160 m		陆面 1区	陆面 2区
按辽宁水文资料公式	洪峰流量 $Q_p / m^3 \cdot s^{-1}$	62.03	47.34
	参与调洪的洪量 $W_{调洪} / 万 m^3$	10.84	7.61
按简化推理公式计算	洪峰流量 $Q_p / m^3 \cdot s^{-1}$	128.94	103.40
	$W_{24p} / 万 m^3$	13.40	9.44
水面洪水总量/万 m ³		238.28	
水、陆综合洪水总量/万 m ³		261.12	

根据实测图,起调水位按照水区线156m标高进行控制,量测得到对应水区面积约为126.08万m²;按照一等库要求控制最小安全超高和最小干滩长度分别为1.5m和150m,在两个条件同时满足取最不利情况前提下确定库区允许最高洪水水位为158.5m,对应水区面积约为319.92万m²。经计算,库水位自156m标高至158.5m标高之间调洪库容约为557.5万m³,大于一次24h洪水总量。

4 排水系统泄流能力分析

尾矿库目前采用1个内径4.1m的5号框架式排水井和1个内径4.1m的窗口式回水井同时进行排洪。排水井连接排洪管为圆拱直墙型式,宽2.0m,高2.5m;排水隧洞净跨3m,高3.4m。因洞内有一根直径1.4m的回水钢管占据部分排洪空

间,考虑到钢支架、扁钢管卡及回水管外壁对下泄水流产生一定的摩阻力,造成一部分能量损失。为了充分考虑该回水钢管对隧洞下泄流量造成的不利影响同时简化计算过程,偏保守考虑,将排水隧洞水力计算断面模型简化为三部分区域分别进行泄流能力计算,该简化计算方式能够满足工程计算要求。第一部分位于回水管右侧,底宽1.0m,高1.9m;第二部分位于回水管左侧,底宽0.4m,高1.9m;第三部分位于回水管上部,底宽2.0m,高1.4m。最终隧洞排洪时的泄流量将三部分区域分别计算得到的泄流量进行相加即可。各部分具体位置如图5所示。

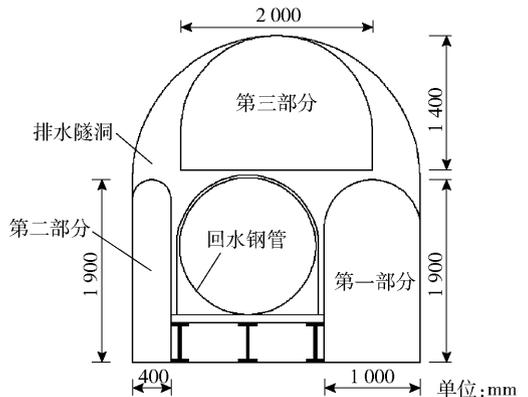


图5 排水隧洞泄流计算断面选取示意图

当水头较低时,泄流量较小,此时为自由泄流;当水头增大,井内被水充满,但排水管尚未呈

满管流,泄流量受排水管的入口控制,此时呈半压力流;当水头继续增大,排水管呈满流时,即为压力流。采用管(隧洞)一框架式排水井的泄流计算公式分别对自由泄流、半压力流和压力流三种流态进行计算。

因5号排水井与排水隧洞之间采用底宽2.0 m,高2.5 m的排洪管,所以首先计算排洪管与井连接时对应的自由流、半压力流、压力流和井顶泄流;进一步分别计算三部分小隧洞与排水井连接时对应的

半压力流和压力流;再将各部分区域对应流态的泄流量相加即可得到考虑回水管影响的大隧洞半压力流和压力流;最后将以上六个流态列于表中,取对应水位的最小流量即可得到5号排水井及下游排洪管和排水隧洞的泄流量。

排洪时回水管泄流量按8 000 m³/h(即2.22 m³/s,该数为实际回水流量)计算。

排洪系统泄流能力计算结果见表3。泄流曲线如图6所示。

表3 排洪系统泄流能力计算结果表

水位 Z/m	自由流泄量/ m ³ ·s ⁻¹	管半压力 流泄量/ m ³ ·s ⁻¹	管压力 流泄量/ m ³ ·s ⁻¹	井顶泄流量/ m ³ ·s ⁻¹	隧洞半压力 流泄量/ m ³ ·s ⁻¹	隧洞压力 流泄量/ m ³ ·s ⁻¹	综合泄流量/ m ³ ·s ⁻¹	加回水管 综合泄流量/ m ³ ·s ⁻¹
156.00	0.00	13.17	14.67	0.00	25.31	17.32	0.00	2.22
156.50	6.29	27.73	33.62	15.61	31.00	18.05	6.29	8.51
157.00	15.88	29.57	36.14	26.77	32.15	18.22	15.88	18.10
157.50	27.00	30.61	37.43	34.32	33.10	18.37	18.37	20.59
158.00	38.27	31.50	38.50	40.31	34.00	18.52	18.52	20.74
158.50	48.90	32.33	39.48	45.43	34.87	18.67	18.67	20.89

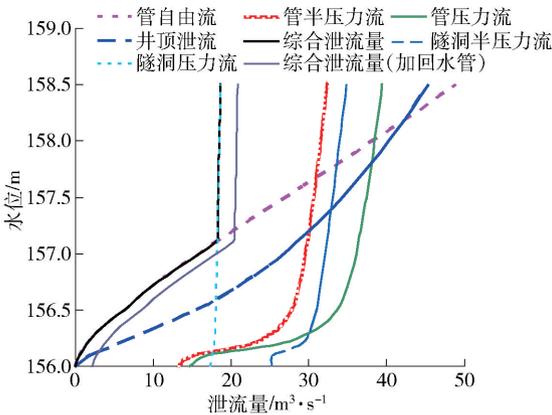


图6 排洪系统泄流曲线图

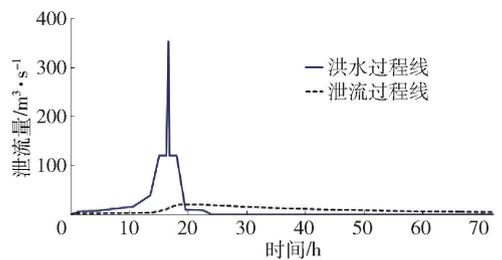


图7 调洪过程曲线图

经调洪计算可得出:当库内正常运行水位156 m时,在一次设计频率洪水入库后,尾矿库所需调洪库容约为256.78万m³,计算最高洪水为157.15 m,一次洪水上升高度1.15 m,最大下泄流量为20.39 m³/s,安全超高2.85 m,除11号副坝外,主坝及其余副坝对应最小干滩长度为248 m,11号副坝对应最小干滩长度为200 m。以上主坝和副坝安全超高及干滩长度均满足规范要求^[7-9]。

5 防洪能力验算

根据来水过程线和排水构筑物的泄水量与尾矿库的蓄水量关系曲线,通过水量平衡计算求出泄洪过程线,定出泄流量和调洪库容。

尾矿库内任意时段Δt的水量平衡方程式为

$$\frac{1}{2}(Q_s + Q_z)\Delta t - \frac{1}{2}(q_s + q_z)\Delta t = V_z - V_s \quad (1)$$

式中:Q_s、Q_z为时段始、终尾矿库的来洪流量,m³/s;q_s、q_z为时段始、终尾矿库的泄洪流量,m³/s;V_s、V_z为时段始、终尾矿库的蓄洪量,m³。

洪水过程线及下泄曲线如图7所示。

6 结论

由洪水计算和防洪能力验算可以得出以下结论:

- (1)该尾矿库在滩顶标高160.0 m,库内正常水位为156.0 m时,实有调洪库容大于2000年一遇一次24 h洪水总量,防洪库容富余量较大。

(2) 现状滩面条件及下,尾矿库遭遇一次设计频率洪水时主坝和副坝对应的最小干滩长度和安全超高都能满足规范要求。

(3) 尾矿库排空一次 24 h 洪水的时间不超过 72 h。

综合以上研究结果,该尾矿库在滩顶标高 160 m、库内正常生产库水位和干滩长度按现状控制且排水系统正常工作条件下,尾矿库防洪能力满足规范要求,尾矿库当前汛期过程中可以安全度汛。

鉴于该尾矿库库区周边环境较复杂,库周副坝较多,因此在满足正常回水水量和水质前提下,应尽量降低库内水位,使尾矿库处于低水位运行的工作状态,这样不仅在遭遇洪水时库内有较大的调洪库容用以调蓄洪水,增加尾矿库的防洪安全储备,而且有利于坝体的渗流控制,改善主坝及各个副坝坝体内部渗流条件,提升尾矿库本质安全水平。

防洪安全是尾矿库设计和运行管理的重点。本次研究中提及的洪水计算方法和排水系统泄流能力分析可以为其他类似条件的尾矿库设计及运行管理提供参考。

[参考文献]

- [1] 尾矿设施设计参考资料编写组编. 尾矿设施设计参考资料[M]. 冶金工业出版社,1980.
- [2] 陈青,陈秀华,朱星等. 尾矿坝设计手册[M]. 冶金工业出版社,2007.
- [3] 沃廷枢,汪贻水,肖垂斌等. 尾矿库手册[M]. 冶金工业出版社,2013.
- [4] 中国有色金属工业协会. GB50863—2013,尾矿设施设计规范[S]. 北京:中国计划出版社,2013:25-27.
- [5] 中华人民共和国应急管理部. GB39496—2020,尾矿库安全规程[S]. 北京:中国标准出版社,2020:10-11.
- [6] 魏勇,徐开立,郑欣. 尾矿坝防洪计算方法研究[J]. 金属矿山,2009(4):26-31.
- [7] 马舒琪,陈玉明. 尾矿库防洪能力可靠性分析[J]. 工况自动化,2010(11):44-46.
- [8] 刘晓非,周汉民,崔旋等. 某复杂地形条件尾矿库的调洪演算[J]. 有色金属工程,2021,11(8):122-127.
- [9] 胡苗,郑伟,李浩嘉,等. 基于水平衡模型和水质模型的尾矿库防渗方案量化评估[J]. 绿色矿冶,2023,39(6):74-80.
- (上接第 56 页)
- [10] 张开福. 贵州省煤矿瓦斯赋存规律与瓦斯分带浅析[J]. 山东煤炭科技,2022,40(1):94-96.
- [11] 王蔚,卫彦昭,贾天让,等. 华北煤系变形特征与煤矿瓦斯赋存规律[J]. 煤田地质与勘探,2021,49(6):121-130.
- [12] 蔡春城. 孔庄煤矿 7 号煤层瓦斯赋存主控因素及规律研究[J]. 能源技术与管理,2021,46(6):37-39.
- [13] 刘向阳,田凯. 双龙煤矿瓦斯赋存规律及突出危险性[J]. 陕西煤炭,2021,40(2):94-98.
- [14] 高彦平. 论煤矿地质构造及瓦斯防突策略[J]. 当代化工研究,2021(6):75-76.
- [15] 邓素华. 遵义县平正乡野彪二号煤矿煤层煤与瓦斯突出危险性评估[J]. 西部探矿工程,2021,33(2):173-175.
- [16] 吕乐乐,宋清坤. 新密市煤矿区瓦斯地质规律及分布特征研究[J]. 科学技术创新,2020(25):13-15.
- [17] 蒋红兵,杨磊,周泽,等. 中寨煤矿煤层瓦斯含量影响因素探析[J]. 煤质技术,2020,35(1):44-48+73.
- [18] 解建. 西山煤田嘉乐泉煤矿瓦斯地质规律及其控制因素分析[J]. 能源技术与管理,2019,44(6):22-23+106.
- [19] 朱加锋,苟云用. 漳村煤矿 3 号煤层瓦斯赋存规律及控制因素分析[J]. 煤,2019,28(11):85-87+97.
- [20] 李秀祥. 文宾山煤矿地质条件对瓦斯涌出特征影响及防范措施[J]. 能源与环境,2019(5):107-109+113.