

邓忠,廖培涛,秦平亮,等.大藤峡水库对广西盘龙铅锌矿矿坑涌水量影响预测[J].中国岩溶,2021,40(2):198-204.
DOI:10.11932/karst20210202

大藤峡水库对广西盘龙铅锌矿矿坑涌水量影响预测

邓忠¹,廖培涛¹,秦平亮¹,唐勇臣¹,康志强^{2,3}

(1. 广西水文地质工程地质勘察院, 广西 柳州 545006; 2. 中国—东盟地学合作中心(南宁), 广西 南宁 530023; 3. 广西壮族自治区地质矿产勘查开发局, 广西 南宁 530023)

摘要: 矿井突水是矿山开采过程中最具威胁的自然灾害之一,其中以岩溶水突水最为常见。大藤峡水利枢纽蓄水后,抬高了盘龙铅锌矿附近黔江的地表水位。矿山继续向深部开采,矿坑涌水危险进一步增加。文章基于 Visual Mod Flow 地下水流数值模拟软件,建立盘龙铅锌矿大岭矿段的数值模型,采用矿坑涌水量实测值以及多种矿坑涌水量计算方法对数值模型进行校验。通过模拟计算,预测大藤峡水利枢纽蓄水后对不同开采中段矿坑涌水量将会明显增加。为了降低矿坑涌水量,建议在黔江河近岸的3个倒灌口各建1个挡水坝,在大岭矿段东侧和西侧各施工1道灌浆帷幕。当帷幕体透水率为3 Lu时,止水效果可达44.21%~53.14%。

关键词: 矿坑涌水量;数值模拟;盘龙铅锌矿;大藤峡水库;广西

中图分类号: P641.4 **文献标识码:** A

文章编号: 1001-4810(2021)02-0198-07 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



0 引言

矿井突水是矿山开采过程中最具威胁的自然灾害之一^[1],已成为制约矿山安全高效生产的重要因素,其不仅加大了采矿的难度,也威胁井下作业人员的安全。随着矿山进入深部开采阶段,矿井突水防治工作面临的巨大压力。在全国大水矿区中(矿坑涌水量 $>2\times 10^4\text{ m}^3\cdot\text{d}^{-1}$),绝大多数是岩溶充水矿床^[2]。岩溶含水层中赋存着相当大量的地下水资源,且导水性强,地下水可以比较快速地从补给区进入矿坑。当溶隙与河流连通时,河水可以大量灌入矿坑,造成矿井突水,给矿山开采带来的巨大危害。

大藤峡水利枢纽工程是珠江流域防洪控制性枢纽工程,也是珠江—西江经济带和“西江亿吨黄金水道”基础设施建设的标志性工程^[3]。2019年,大藤峡水利枢纽工程蓄水,设计蓄水标高为61.5 m,其中,

二十年一遇洪峰水位标高63.16 m。黔江河段水位被抬升20~30 m,并且长期保持高水位状态^[4]。

盘龙铅锌矿位于武宣县城南东约12 km(图1),矿区大岭矿段离黔江仅1 km左右。大岭矿段是武宣盘龙矿区的主要矿段,目前开采范围12~38号勘探线,浅部采选 $3\,000\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$,项目主要开采-70~-320 m标高段。根据矿山规划,改扩建后将向深部开采,开采标高-380~-1 100 m,预期开采规模为 $6\,000\text{ t}\cdot\text{d}^{-1}$ 。在大藤峡水利枢纽蓄水条件下,势必会改变矿区的原有的水文地质条件^[5],继续向深部开采可能会造成矿坑涌水量的增加。

本文通过对广西盘龙铅锌矿水文地质条件的归纳总结,基于国际上通用的 Visual Mod Flow 地下水流数值模拟软件^[6],建立盘龙铅锌矿大岭矿段的数值模型,通过矿坑涌水量实测值以及多种矿坑涌水量计

基金项目:广西科技基地和人才专项项目(桂科AD20297091);“大藤峡水利枢纽正常蓄水回水对武宣县盘龙铅锌矿区地质环境影响分析”项目

第一作者简介:邓忠(1974—),男,硕士,高级工程师,从事水工环地质工作。E-mail: 973706528@qq.com。

通信作者:康志强(1982—),男,正高级工程师,从事水工环及城市地质工作。E-mail: zqkang000@126.com。

收稿日期:2021-01-15

算方法对数值模型进行校验。通过模拟计算,预测大藤峡水利枢纽蓄水后对不同开采中段矿坑涌水量的影响,并提出有针对性的防治对策。

1 矿区水文地质条件

研究区属亚热带温湿气候,气候温暖、潮湿、雨量充沛,多年平均气温 21.1℃,多年平均降雨量 1 124.1 mm。黔江是区域地下水最低侵蚀基准面,黔江多年平均流量 4 240 m³·s⁻¹,最大平均流量 25 500 m³·s⁻¹,最小平均流量 851 m³·s⁻¹,历年最高洪水水位 64.7 m,洪水警戒线 55 m,最低 32.59 m,多年平均水位变幅 22.06 m,枯水期水位标高 32.25 m,建矿以来最高水位标高为 59.5 m。武来河为黔江一级支流,发育于矿区北侧岩溶槽谷区,属常年性河流,为桐岭谷地地表水、地下水的排泄场所,是区域次一级侵蚀基准面。水位标高为 59.2 m。矿区水文地质条件较

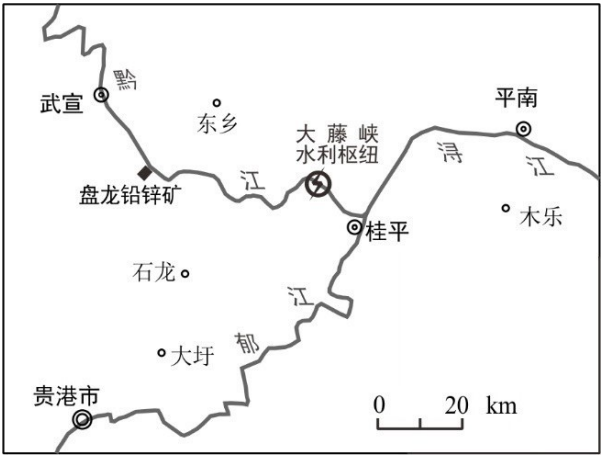


图 1 广西大藤峡大坝与盘龙铅锌矿位置关系图
Fig. 1 Location relationship between the Panlong lead-zinc mine and Datengxia dam

为复杂,其含水岩组主要为多层碳酸盐岩含水层(图 2)。

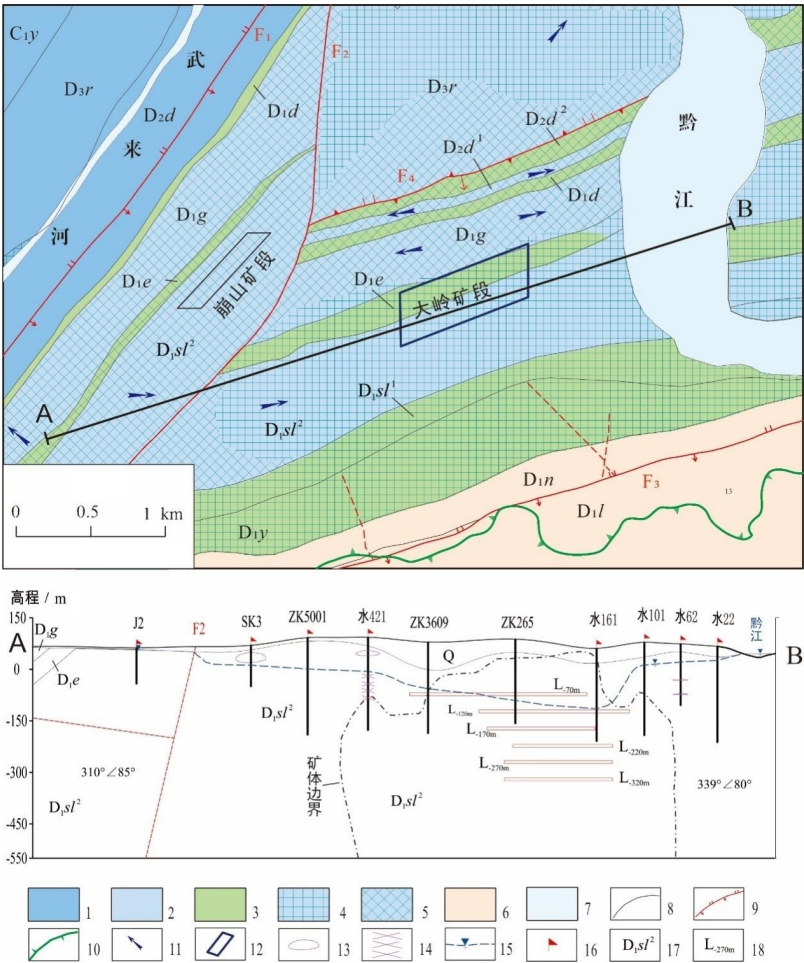


图 2 矿区水文地质略图
Fig. 2 Hydrogeology map of mining area

1. 碳酸盐岩裂隙溶隙水 2. 碳酸盐岩溶洞裂隙水 3. 不纯碳酸盐岩溶蚀裂隙水 4. 覆盖型岩溶水,盖层大于 10 m 5. 覆盖型岩溶水,盖层 0~10 m 6. 基岩裂隙水 7. 地表水 8. 地层界线 9. 断层 10. 地表分水岭 11. 地下水流向 12. 矿段范围。

区内共有 5 条比较明显的断裂构造。 F_1 为逆断层,断层带裂隙发育,少量褐黄色铁质、泥质充填,富水性中等,属北面桐岭地下水系统; F_3 为区域较大断裂,断层带相对隔水; F_5 为逆断层,富水性差。该三条断裂构造对盘龙矿区矿井涌水影响较弱。 F_2 为平移断层,总体弱透水,但局部裂隙导水,构成西部向矿区充水途径,有较大影响; F_4 为逆断层,断层面及影响带以风化碎屑及泥质充填胶结为主,弱透水,对矿区充水有一定影响。

矿区地表岩溶形态主要分布于矿区北部和西部,以峰林谷地为主。强岩溶发育区主要位于上伦组上段($D_{1s}l'$)白云岩夹白云质灰岩、灰岩区;中等发育区主要位于 D_2d' 、 D_{1g} 、 $D_{1s}l'$ 等白云岩、灰岩夹生物碎屑灰岩、白云质灰岩和硅质岩组区;弱发育区主要位于 D_2d' 、 D_{1d} 、 D_{1e} 、 $D_{1s}l'$ 等泥质灰岩夹灰岩和白云岩、泥质灰岩与泥质灰岩互层等岩组。岩溶发育垂向上, -120 m 标高以上为岩溶中等发育带, $-120 \sim -500$ m 标高段为岩溶弱发育带, -500 m 标高以下为岩溶微发育带。

2 矿坑涌水量评价

2.1 矿坑充水条件分析

矿区地下水的补给主要来自大气降水,局部存在地表沟渠的补给,矿山开采疏干地下水引起黔江河的补给。天然条件下,地下水接受补给后总体由西南往东北径流,向黔江排泄。矿山开采后,矿坑成为地下水的主要排泄通道。

坑道充水的主要来源为大气降水入渗补给、地表水下渗、含水层直接充水以及黔江反补给。大藤峡水利枢纽正常蓄水后,抬高了河段水头,使得矿区水文地质条件发生了明显变化。大气降水、地表水体主要通过采空区冒落带、导水裂隙带入渗补给;含水层充水主要表现为岩溶含水层直接及间接充水;黔江河水反补给主要因矿坑疏干漏斗扩大至黔江引起河水通过顺层发育的溶洞、溶蚀裂隙带补给矿坑疏干区,导致河水反补给。

2.2 地下水流数值法建模

根据矿区水文地质边界条件,将大岭矿床概化成一个平面呈近似梯形的水文地质单元,北部由下泥盆统二塘组(D_{1e})泥灰岩构成北部相对隔水边界;南部由下泥盆统上伦组上段($D_{1s}l'$)、郁江组(D_{1y})、那高岭组(D_{1n})、莲花山组(D_{1l})的泥灰岩、砂岩、浅变质砂岩、泥页岩等构成的南部隔水边界;东侧以黔江河为定水头补给边界;西侧盘古村 F_2 断层为弱透水补给边界。

基于 MODFLOW 数值模拟软件进行建模,将岩层走向方向设定为渗透系数主方向,取 X 轴为 $NE70.75^\circ$ 方向; Y 轴为 $NW350.75^\circ$ 方向; Z 轴为垂直方向,数值与海拔高程一致。 X 方向宽 7 km, Y 方向长 5 km,底部界限以 $-2\ 000$ m 高程为底界。空间步长取 70 m,矿区进行网格加密,步长 35 m。模型一共被剖分为 58 层、82 行、142 列,共计 605 488 个网格单元(图 3)。根据岩层的沉积特点,将岩层的垂直方向的渗透系数调节为主方向渗透系数的 0.2 倍,南北向渗透系数调节为主方向渗透系数的 0.2 倍。

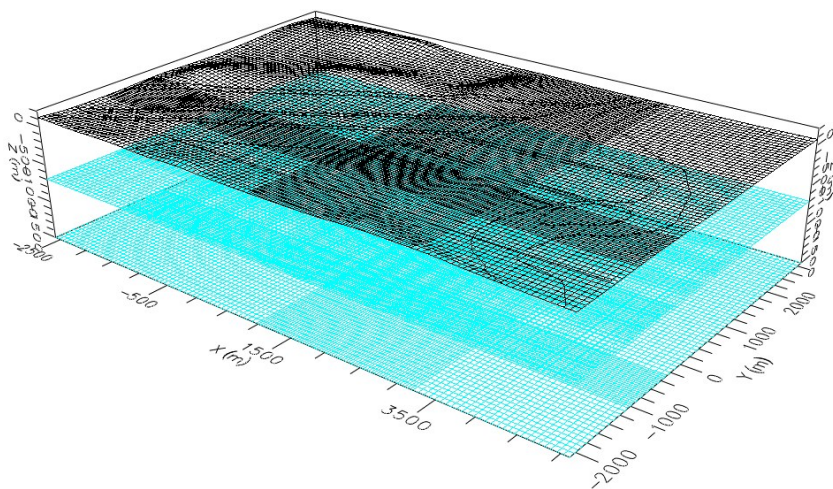


图 3 数值计算模型三维网格图

Fig. 3 3D grid diagram of numerical calculation model

用不同中段矿坑涌水量实测值统计值(最大值和正常值)对模型参数进行调试,保证其标准偏差在±5%左右(表1),认为数值法模拟结果较为可信,

数值模拟反求的参数接近实际值,能够用于矿坑涌水量计算。

表 1 矿坑总涌水量实测值与预测值对比表

Table 1 Measured and prediction values of the total water inflow of the mine pit

开采标高/m	水位降深/m	最大涌水量			正常涌水量		
		实测值/ $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	模拟值/ $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	标准偏差/%	实测值/ $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	模拟值/ $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	标准偏差/%
−70	120	18 937.3	19 773	4.23	17 881.5	18 221	1.86
−120	170	19 725.6	20 879	5.52	17 992.2	18 662	3.59
−170	220	20 616.3	21 526	4.23	18 334.9	19 305	5.03
−220	270	21 528.6	21 883	1.62	18 809.8	19 638	4.22
−270	320	22 495.8	22 709	0.94	19 994.5	20 444	2.20
−320	370	23 451.6	23 538	0.37	21 073.7	21 294	1.03

2.3 涌水量计算及模型检验

基于模型计算,求得不同开采中段矿坑涌水量数据。为了检验数值模拟结果的可靠性,选取Q-S曲

线相关分析法^[7-9]、水文地质比拟法^[10, 11]、解析法(吉林斯基势函数法)^[12, 13]等多种计算方法对模型进行检验(表2)。

表 2 大藤峡蓄水前矿坑涌水量模拟值

Table 2 Simulation value of mine water inflow before water impoundment of Datengxia reservoir

开采中 段/m	涌水量预测值/m ³ ·d ⁻¹									
	Q—S曲线法		富水性比拟法		解析法(吉林斯基)			数值法		
	最大	正常	最大	正常	最大	正常	极端	最大	正常	极端
—70								19 773	18 221	25 577
—120								20 879	18 662	28 007
—170								21 526	19 305	28 725
—220								21 883	19 638	29 106
—270								22 709	20 444	29 948
—320								23 538	21 294	30 817
—380	25 332	21 596	23 760	20 756	27 126	22 877	30 641	24 432	22 166	31 758
—440	27 033	22 715	27 231	23 571	28 113	23 859	31 628	25 269	22 992	32 621
—500	28 632	23 754	31 368	26 934	28 985	24 726	32 500	26 170	23 879	33 516
—560	30 146	24 725	34 187	29 145	29 902	25 639	33 417	27 025	24 754	34 377
—620	31 586	25 639	36 366	30 805	30 901	26 636	34 416	27 749	25 458	35 101
—680	32 963	26 504	38 315	32 267	31 984	27 715	35 499	28 696	26 383	36 044
—740	34 285	27 327	40 110	33 600	33 150	28 877	36 665	29 232	26 911	36 605
—800	35 556	28 112	41 577	34 658	34 399	30 122	37 914	29 997	27 663	37 370
—860	36 784	28 864	42 954	35 643	35 731	31 450	39 246	30 955	28 616	38 326
—920	37 971	29 586	43 904	36 277	37 146	32 861	40 661	31 759	29 422	39 158
—980	39 122	30 282	44 815	36 882	38 644	34 355	42 159	32 668	30 320	40 051

通过四种方法进行独立计算(其中−320 m以上为已开采标高),其数值法预测结果与Q-S曲线相关分

析法预测结果较为接近(图4),因此,该模型可以用于盘龙铅锌矿大岭矿段不同开采中段矿坑涌水量预测。

挡水坝的坝顶设计高程应高出正常蓄水位 0.5 m 以上,1#、2#和 3#坝的坝长约分别为 108 m、138 m 和 355 m。当坝内因降雨形成内涝的水位高于坝外水位时,打开排洪闸门泄洪;当坝内积水水位等于或低于坝外水位时,则采用排涝泵站的水泵

把积水抽排出坝外。东部帷幕线布在 4 线,西部帷幕线布在 48 线,帷幕下限达-150 m 标高,帷幕体透水率<5 Lu,取值为 3 Lu 时,止水效果可达 44.21~53.14%(表 4)。

表 4 大藤峡水利枢纽工程蓄水前后矿坑涌水量模拟值

Table 4 Simulation values of mine water inflow before and after impoundment of Datengxia reservoir

开采中段/m	帷幕灌浆前预测涌水量/ $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	帷幕灌浆后涌水量(止水效果 3 Lu)	减小量/ $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$	减少百分比/%
-70	22 481	10 535	11 946	53.14
-120	24 896	11 717	13 179	52.94
-170	25 630	12 330	13 300	51.89
-220	26 004	12 583	13 421	51.61
-270	26 873	13 434	13 439	50.01
-320	27 766	14 294	13 472	48.52
-380	28 686	15 253	13 433	46.83
-440	29 552	16 095	13 457	45.54
-500	30 422	16 972	13 450	44.21

5 结 论

(1)基于 Visual ModFlow 地下水流数值模拟软件建立盘龙铅锌矿大岭矿段的数值模型,基于矿坑涌水量实测值以及多种矿坑涌水量计算方法对数值模型进行校验,认为数值法模拟结果较为可信,数值模拟反求的参数接近实际值,能够用于矿坑涌水量计算;

(2)大藤峡水利枢纽蓄水后,矿坑涌水量明显增加。如开采至-500 m 中段时,与未建大藤峡水利枢纽时相比,当水利枢纽蓄水至死水位时,涌水量增加约 2 000 $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$;当水利枢纽蓄水至正常水位时,涌水量增加约 7 000 $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$;当水位达到 20 年一遇洪水水位时,涌水量增加约 12 000 $\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$;

(3)为了降低矿坑涌水量,建议在黔江河近岸的 3 个倒灌口各建 1 个挡水坝,在大岭矿段东侧和西侧各施工 1 道灌浆帷幕。当帷幕体透水率为 3 Lu 时,止水效果可达 44.21%~53.14%。

参考文献

[1] 崔中良,黄保胜,龙向前. 矿井突水水源判别研究现状及发展趋势[J]. 中国钨业, 2018, 33(4): 42-50.

[2] 国家地质总局水文地质工程地质局. 岩溶类型矿床水文地质选辑[M]. 北京: 地质出版社, 1978.

[3] 庞伟东. 大藤峡水利枢纽的水运命运[J]. 珠江水运, 2011, 7(4):45-45.

[4] 马雪梅,李英士. 大藤峡水利枢纽工程水文分析计算[J]. 东北水利水电 2013, 31(5):38-40

[5] 曹兴旺,王恒,杨明明. 广西某铅锌矿水文地质条件分析与涌水量预测[J]. 地下水, 2012, 34(4):187-190.

[6] 吴剑锋,朱学愚. 由 MODFLOW 浅谈地下水流数值模拟软件的发展趋势[J]. 工程勘察, 2000(2):12-15.

[7] 远程. 关于用稳定流抽水降落曲线 q-s 关系建立求解水文地质参数(Rs、K、R)新模型的探讨[J]. 吉林地质, 1990(1): 80-88.

[8] 郑永胜,鲍新华. 对“求解水文地质参数(Rs、K、R)新模型”几个问题的讨论[J]. 吉林地质,1991(3):57-60.

[9] 朱崇辉,刘俊民,王增红. 完整井稳定流 Q-S 曲线变化机理分析[J]. 人民黄河, 2010, 32(2):57-59.

[10] 陆治斌. 矿井涌水量的预测方法[J]. 贵州地质, 1988(4): 71-74.

[11] 史永良. 山西平鲁后安煤矿涌水量预测分析[J]. 山西煤炭, 2020,40(3):56-60.

[12] 吕斌泉,冯晓腊,熊宗海. 武汉古河道承压水井流理论及在基坑降水中应用[J]. 岩土工程学报, 2020, 42(3):135-143.

[13] 王君连. 用势函数法计算渗流干扰区的地下水流态[J]. 水利水电技术, 1999, 30(2):19-25.

Influence of the Datengxia reservoir on water inrush amount of the Panlong lead–zinc mine in Guangxi

DENG Zhong¹, LIAO Peitao¹, QIN Pingliang¹, TANG Yongchen¹, KANG Zhiqiang^{2,3}

(1. *Guangxi Institute of Hydrogeology and Engineering Geology Survey, Liuzhou Guangxi 545006, China*; 2. *China–ASEAN Geosciences Cooperation Center (Nanning), Nanning Guangxi 530023, China*; 3. *Guangxi Bureau of Geology & Mineral Prospecting & Exploitation, Nanning Guangxi 530023, China*)

Abstract Water inrush is one of the most threatening natural hazard in mining, of which karst water is the most common. The Datengxia Dam has raised the surface water level of the Qianjiang River near the Panlong lead–zinc mine. In addition, with mining further toward the deep subsurface, the value of mine water inrush will be significantly increased. Based on the hydrogeological conditions of the Panlong Lead–zinc mine in Guangxi, a numerical model of the Daling section of this mine was established using the software of Visual ModFlow. The measured values and various calculation methods of mine water inrush were used to verify the numerical model. Through simulation calculation, the influence of water impoundment of the Datengxia Dam on the water inrush of different mining elevations is predicted. The results show that the water inrush of the mine pit will increase obviously after the water impoundment of the Datengxia reservoir. In order to reduce the amount of mine water inrush, it is suggested to build a retaining dam at each of the three backfill ports near the shore of the Qianjiang River, and construct a grouting curtain on the east and west sides of the Daling section of the mine. When the water permeability of the curtain body is 3 Lu, the water stop effect can reach 44.21~53.14%.

Key words mine water inrush; numerical simulation; Panlong lead–zinc mine; Datengxia reservoir; Guangxi

(编辑 张玲)