

煤层开采对岳城水库安全运行的影响

武雄^{1,2}, 杨健², 段庆伟², 王俊杰³

(1. 中国地质大学(北京), 北京 100083; 2. 中国水利水电科学研究院 岩土工程研究所, 北京 100044;

3. 河北省磁县申家庄煤矿, 河北 磁县 056500)

摘要: 本文综合现场工程地质调查结果、室内岩石力学试验、现场测试、矿井涌水量统计、水质分析、理论计算以及数值模拟结果, 得出了申家庄煤矿在岳城水库库区水体下采煤引起的地表塌陷范围不会波及到大坝安全, 煤层开采也不会造成岳城水库库区水体发生渗漏, 从而造成水库水位骤降, 库区渗流场不会发生大的改变。研究结果论证了申家庄煤矿在岳城水库库区下采煤是可行的。

关键词: 煤层开采; 岳城水库; 安全运行; 影响

中图分类号: TD823.83 **文献标识码:** A

岳城水库位于河北省邯郸市磁县境内, 为河北省大型水库, 属重要水源地。申家庄煤矿位于岳城水库库区漳河北岸, 是磁县和邯郸地区的经济支柱企业, 自1984年开始, 申家庄煤矿就在岳城水库库区下进行采矿活动。申家庄煤矿工作面上覆水体主要有煤系砂岩含水层、新生界含水层、岳城水库等水体。申家庄煤矿与岳城水库的相对位置见图1。究竟煤层开采对岳城水库的安全运行有无影响、影响程度有多大、煤层是否能继续开采等问题是本文研究的主要内容。

1 煤层开采引发地表塌陷范围

煤层被开采后, 破坏了上覆岩体原有的应力平衡, 使得岩体内部应力重新进行分配, 引起采场附近岩体破坏, 当开采达到一定范围以后, 必将产生地面沉降。早在1985年, 煤炭科学研究总院以中国工程院院士刘天泉教授(已故)为首的课题组对申家庄煤矿地表塌陷范围进行了计算和预测^[1, 2], 其具体的计算成果见表1。另外, 课题组还对采矿主要影响半径进行了计算, 为142.5m。2002年6月, 申家庄煤矿再次委托煤炭科学研究总院对其地表移动规律进行研究, 计算采用煤炭科学研究总院北京开采研究所编制的“MKD地表移动计算软件”, 选用类似地质条件的峰峰矿区最不利条件下的计算参数^[3],

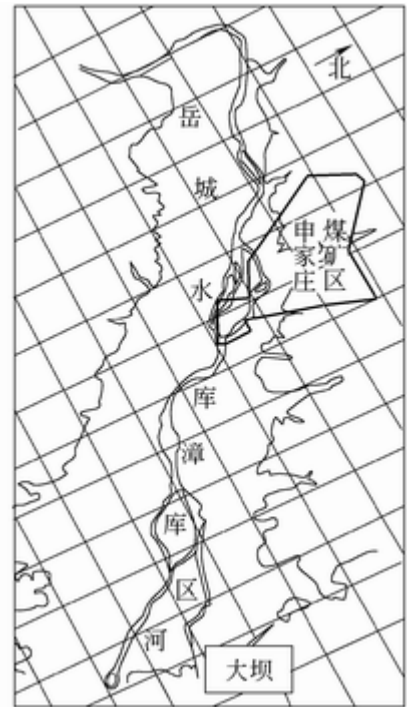


图1 申家庄煤矿与岳城水库相对位置

其具体计算结果见表2。另外, 煤炭科学研究总院还对塌陷范围进行了计算, 结果为: 移动影响范围246m, 移动影响边界282m。

收稿日期: 2003-06-26

作者简介: 武雄(1973-), 男, 内蒙古清水河人, 博士, 副教授, 主要研究方向为岩土工程。

表 1 申家庄煤矿开采顶分层后地表最大下沉与变形

采深/m	采厚/m	最大下沉/mm	最大水平移动/mm	最大倾斜/(mm/m)	最大水平变形/(mm/m)	最大曲率/(mm/m · m ⁻¹)
285	2.0	1400	420	6.8	3.1	5×10^{-4}

表 2 申家庄煤矿地表最大下沉与变形

采煤方法	采深/m	采厚/m	最大下沉/mm	最大水平移动/mm	最大倾斜/(mm/m)	最大水平变形/(mm/m)	最大曲率/(mm/m · m ⁻¹)
分层开采	144	4.2	3350	1530	32.0	22.40	1.18
放顶煤开采	144	4.2	3165	1447	30.5	21.20	1.12
放顶煤开采	287	4.2	2245	1320	14.1	8.95	0.17

由于煤系地层多发育有软弱岩层,如泥岩、页岩、泥质粉砂岩、粉砂岩等,煤层开采后,上覆岩体易发生大变形,一般的数值软件不能很好地模拟该问题。FLAC(Fast Lagrangian Analysis of Continue)是由美国Itasca公司开发的显式有限差分程序,设有多种本构模型,能较好地模拟岩体在达到强度极限或屈服时发生的破坏或塑性流动的力学行为,分析渐进破坏和失稳,特别适用于模拟大变形。同时FLAC程序还设有界面单元,可以模拟断层、节理和摩擦边界的滑动、张开和闭合行为。

根据地质条件可知,申家庄煤矿地层发育有数条大断层,因此本文采用FLAC程序对地表移动范围进行研究。根据计算结果绘制煤层开采引发地表沉降范围及深度曲线,见图2所示。

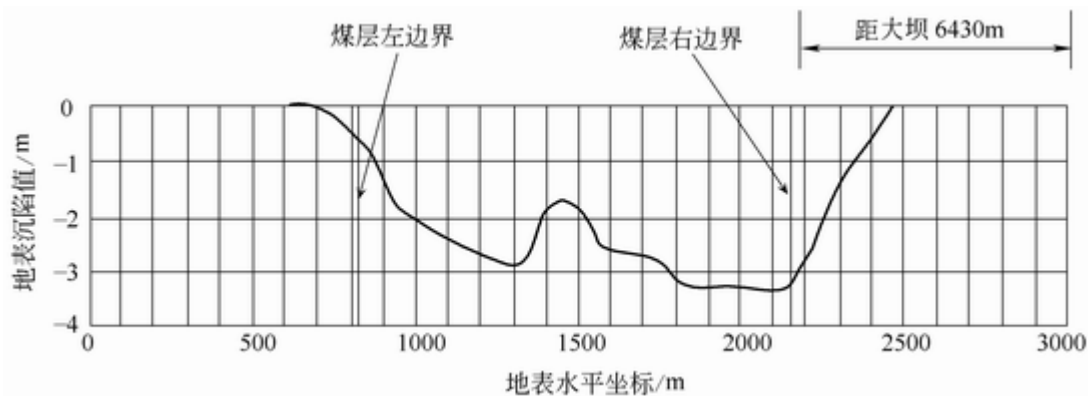


图2 煤层开采后地表沉陷范围及深度

图2中,煤层水平位置为830~2150m,地表最大下沉位于开采区右侧,即大坝一侧,最大沉陷3.4m,接近于采空区边界,其水平坐标为1980~2170m,沉陷水平影响至2500m处,影响范围约为350m。左侧地表下沉值较小,影响至520m处,影响范围约为310m。而煤层边界(2150m处)距岳城水库大坝6430m,因此,煤层开采对岳城水库大坝没有影响。

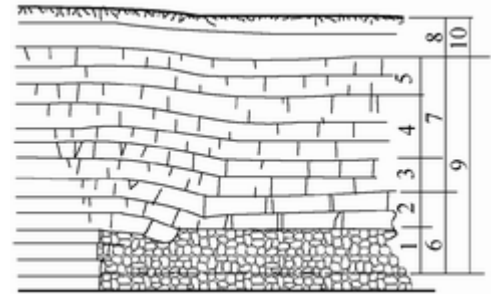
2 导水裂隙带高度的确定

2.1 采场上覆岩体变形破坏垂直分带特征 在煤层采出后,采空区周围岩体发生了较为复杂的移动和变形,稳定后的上覆岩体按其破坏的程度,大致可分为3个不同的开采影响带,即冒落带、裂隙带和弯曲带^[4],如图3所示。冒落带是指工作面回采后引起的煤层上覆岩体完全垮落的那部分岩层。该层岩石具有的不规则性、碎胀性和密实度差的特征,是影响顶板再生和冒落岩块不能隔水的重要原因。冒落带以上是

裂隙带。裂隙带是采空区上覆岩层中产生裂隙、离层及断裂，但仍能保持层状结构的那部分岩层。裂隙带内岩石裂缝的形式及分布有一定的规律性，且具有明显的分带性。冒落带和裂隙带合称为导水裂隙带，

在解决水体下采煤的可行性问题当中，该带具有重要意义。只有采场上覆岩层的厚度至少大于导水裂隙带时，才能保证地表水体不会向采场渗漏。弯曲带又称整体移动带，指的是自裂隙带顶界到地表的整个岩体。弯曲带内的岩层具有较好的隔水能力，是水体下采煤的良好保护层。

2.2 导水裂隙带高度确定 岳城水库水体采动等级为 级，即不允许导水裂隙带波及到水体，必须留设顶板防水安全煤岩柱。因此，煤矿采场上覆岩体变形破坏的垂直分带特征及各带的高度是关系到在水体下采煤是否可行的一个重要依据。如果采场导水裂隙带的顶部波及到地表水和地下含水层，地表水和地下水就会涌入采



1-不规则冒落带；2-规则冒落带；3-严重断裂带；4-一般断裂带；5-微小断裂带；6-冒落带；7-导水裂隙带；8-弯曲带；9-破坏性影响区；10-非破坏性影响区。

图3 煤层开采后覆岩破坏特征示意

区，如果水量较大，将会发生淹矿的重大工程事故。因此，准确确定导水裂隙带在一定开采方式和规模下的发育高度是关系到申家庄煤矿在岳城水库库区水体下采煤能否导致库区水体渗漏的重要依据^[2]。

2.2.1 钻孔测试方法 钻孔测试方法是根据洗液消耗量的多少来确定导水裂隙带高度。申家庄煤矿在1997年之前为分层开采。导水裂隙带发育高度的测试结果见表3。

表3 导水裂隙带发育高度测试结果(分层开采)

钻孔号	分层数	累计采高/m	裂高/采厚	导水裂隙带高度/m
1-1	1	2.0	21.15	42.3
2-5	2	3.8	13.26	50.4

表4 导水裂隙带发育高度测试结果(放顶煤开采)

钻孔号	采高/m	裂高/采厚	导水裂隙带高度/m
1	4.15	<15.3	<63.6
2	4.15	>10.1	>42.1
3	4.15	11.2	46.5

申家庄煤矿从1997年开始采用放顶煤一次采全高的开采方式。采用山东科技大学开发的井下仰斜钻孔双端堵水器导高观测技术，对下采场上覆岩体导水裂隙带的发育高度进行测试，其结果见表4。

2.2.2 水质分析测试方法 水质分析结果表明，煤层上覆岩体含水层水质类型为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型，矿化度小于 1g/L ，总硬度小于 1mg/L 。煤层上覆岩体含水层水质类型剖面见图4。煤层开采后，分别对采面的涌水进行水质测试分析，均为 $\text{HCO}_3\text{-Na}$ 型水，矿化度小于 0.5g/L ，总硬度小于 1mg/L 。经水质类型对比，认为采面涌水只能来源于 I_1 和 I_2 含水层，导水裂隙带高度未波及 I_2 含水层。 I_1 含水层高度为 5m ，因此导水裂隙带发育高度介于 $48\sim 81\text{m}$ 之间。两含水层随煤矿掘进很快疏干。

2.2.3 理论计算方法 采用文献[6]规定的计算公式一、二及长春地质学院经验公式对申家庄煤矿煤层开采上覆岩体导水裂隙带发育高度进行了计算，结果见表5。

表5 分层开采与放顶煤开采导水裂隙带高度对比

开采方式	文献[6]规定计算公式一	文献[6]规定计算公式二	长春地质学院经验公式	采高/m
分层开采	45.5	42.4	45.0	2.0
放顶煤开采	57.9	58.5	56.6	3.8

2.2.4 数值计算方法 采用FLAC程序和ANSYS程序对导水裂隙带进行计算。导水裂隙带内的岩层处于拉伸状态，煤层顶板拉应力区应为导水裂隙带的发育高度及范围。FLAC模拟结果表明，接近煤层右侧边界上方的拉应力区范围较大，最大发育高度达100m，其余地方发育高度较小。一般认为，导水裂隙带内岩体的变形属于大变形(应变大于1.5%的称之为大变形)，ANSYS模拟结果表明，接近煤层右侧边界上方的区域应变较大，其最大高度约为50m，其余地方的大变形区范围较小。

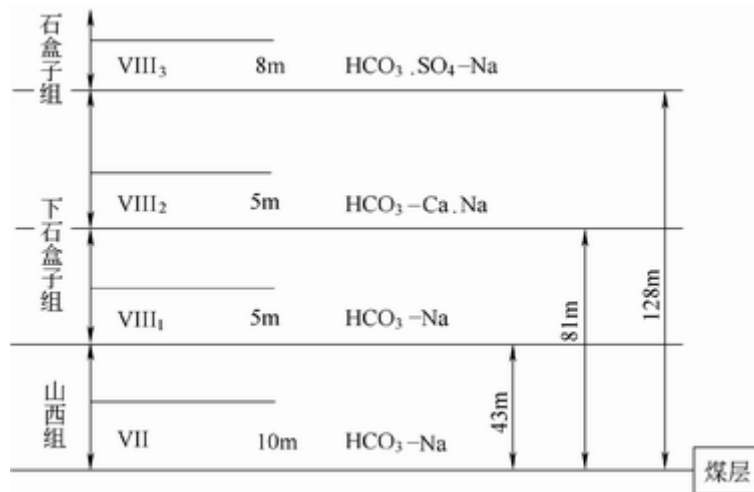


图4 上覆岩体含水层水质类型剖面示意

综上所述，申家庄煤矿采用放顶煤开采方式，煤层上覆岩体导水裂隙带发育高度大于分层开采时的高度，其最大发育高度为100m。

3 煤层开采对岳城水库的影响分析

3.1 煤层开采对岳城水库库区渗漏的影响

3.1.1 防水安全煤(岩)柱尺寸留设 留设防水安全煤(岩)柱的目的是不允许导水裂隙带波及到地面水体。按照文献[6]规定，防水安全煤(岩)柱的垂高(H_{sh})应大于或等于导水裂隙带最大高度(H_{li})加上保护层厚度(H_b)^[2]，保护层厚度按照文献[6]规定选取最大值即7倍累计采厚^[2]。

取申家庄矿区上覆岩体导水裂隙带最大高度为100m，采厚4.2m，则保护层厚度取7倍累计采厚，即 $7 \times 4.2m = 29.4m$ 计。申家庄矿区防水安全煤(岩)柱高度为： $H_{sh} = 100 + 29.4 = 129.4m$ 。即申家庄矿区防水安全煤(岩)柱高度只要大于129.4m就满足安全要求，而已采、正在开采和即将开采的放顶煤开采工作面岩体岩柱高度为190~338m，完全满足安全要求。

3.1.2 上覆岩体含水层之间的水力联系 根据申家庄矿区工程地质条件可知，2号煤层上覆岩体普遍存在3个泥岩层：位于煤层上方约50~60m处，岩层厚度约17m，为灰色、灰黑色含铝质泥岩，微裂隙发育，属二叠系下统山西组地层；位于煤层上方约160~170m处，岩层厚度约10m，为深灰色含紫斑泥岩，密实，属二叠系上统上石盒子组地层；位于煤层上方约180~190m处，岩层厚度约11m，为紫红色泥岩，密实，

属二叠系上统石千峰组地层。根据前述确定的导水裂隙带发育高度可知,第1层泥岩位于导水裂隙带内,不能作为隔水层,而其余两层泥岩均可作为独立隔水层。另外,该矿区地层中还含有大量泥质粉砂岩,也可作为隔水层或半隔水层。因此,只有 δ_1 和 δ_2 含水层在采矿过程中会发生水力联系和涌水,但现场涌水量测试说明其单位涌水量和渗透系数较小,因此认为采区岩体的各岩层之间的水力联系极其微弱。

3.1.3 岳城水库库水与新生界含水层之间的水力联系 新生界地层主要由第四系泥砾层及黏土层和第三系冲洪积层组成。新生界含水层厚度一般为 10m 左右,变化较大,单位涌水量 0.335 ~ 0.436 L/s.m,勘探时期水质类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \text{Ca} \cdot \text{Mg}$,矿化度小于 0.5g/L。而岳城水库的水质类型为 $\text{HCO}_3 \cdot \text{SO}_4 \text{Ca} \cdot \text{Mg}$ 和 $\text{HCO}_3 \text{Ca} \cdot \text{Mg}$,说明岳城水库水与新生界含水层之间存在着较明显的水力联系。新生界地层结构呈多层结构,其间含有相对稳定的隔水层,因此,它与下伏的岩体之间不存在水力联系,只能发生水平渗流。该含水层由大气降水补给,水位北高南低,以 29‰ 的水力坡度流向东南,补给漳河,注入水库。另外,岳城水库库区底部数十年来沉积的淤泥层也能起到一定的隔水作用,阻止库区水体向新生界含水层渗漏。

3.1.4 上覆岩体含水层与新生界含水层及岳城水库间的水力联系 申家庄煤矿在试采工作面开采期间,对由于井下开采而产生的地表裂隙的发育情况进行了探测,观测到的裂隙宽度为 200 ~ 300mm,裂隙角为 59° ,探测的地表裂隙深度小于 8m,呈楔形向下尖灭。根据申家庄矿区地层条件,除局部地表冲沟边缘有岩体出露外,新生界地层厚度一般都大于 10m,大于裂隙深度,地表裂隙一般不会发育到煤层上覆岩体顶界面,更不会与开采形成的导水裂隙带连通。另外,新生界地层中的黄色黏土层遇水后吸水膨胀,裂隙随即被弥合,因此,不会造成地表水体向下渗漏。

水质分析结果表明,煤层含水层水质以 Na^+ 为主要阳离子,岳城水库水体的水质则以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 为主要阳离子,二者之间水质差别明显,也表明岳城水库水和煤层上覆岩体含水层之间没有水力联系。

3.2 煤层开采对岳城水库库区水位骤降的影响 岳城水库库区面积约 36km^2 ,申家庄煤矿单一工作面的最大开采面积为 0.12km^2 ,且一年只有一个工作面开采,单一工作面开采造成的库区下沉总量为 42.43万m^3 ,而此沉降量只能引起岳城水库库区水位下降 12mm,不可能引起库区水位骤降。另外,申家庄矿区面积约 3.5km^2 ,即使发生不可抗力,矿区发生大面积突水(事实上是不可能的),井田残余空间全部被库区水体充满,也只能使水库水位下降 58mm,不会引起库区水位骤降。

3.3 库区外地表移动对库水位的影响 计算结果表明,煤层开采后地表最大下沉值为 3.4m。按最危险的情况考虑,假设沿朝着大坝方向最大影响范围(350m)内的最大下沉值均为 3.4m,根据最大洪水位(高程 159.5m)时库区的范围可知,在煤矿东部边界附近,塌陷范围将扩展到最高洪水位时的库区外面,当水库处于最高洪水位工况时,位于库区外且在塌陷盆地内的地面高程由原来的 160m 降为 156.6m,低于最高洪水位,库区内的水会涌出水库进入沉陷盆地,如果塌陷盆地边缘以外的地面高程都低于最高洪水位,则水体会不断涌出库区,引起水库水位骤降。而实际情况并非如此,已在塌陷盆地之外地面高程呈逐渐增加的,在距离煤田边界 500m 处,地面高程就已达 160m,库区水体将不会发生泄漏,涌出库区,反而是增加了岳城水库的库容。

3.4 煤层开采对库区渗流场的影响及对大坝安全的影响 由于采煤区离岳城水库大坝较远,相距有 6.43km。为安全起见,在进行渗流计算时,假设采区至坝体所有范围内的岩土层都受到扰动,其地层渗透系数均增大 100 倍(实际上煤层开采只能造成库区局部地区的岩土层渗透系数增大)。计算结果表明,库区水通过水库库底的铺盖淤泥层和坝体流向下游,上游库区下煤层开采引发的岩土层扰动导致库区渗流场的变化很小,在大坝附近最大的水头差仅为 2.7%,最大单宽渗流量差仅为 2.6%,因此,煤层开采对库区渗流场和大坝的影响非常有限,不会对大坝安全造成影响。另外,在计算中没有考虑 2000 年对岳城水库副坝进行加固增设防渗墙的情况。近期增设的防渗墙将大大改善副坝的防渗作用,提高副坝的安全性。

4 结束语

鉴于岳城水库的重要性和申家庄煤矿在地方经济中的重要地位,本文综合现场工程地质调查结果、室内岩石力学试验、现场测试、矿井涌水量统计、水质分析、理论计算以及数值模拟结果,得出了申家庄煤矿在岳城水库库区水体下采煤引起的地表塌陷范围不会波及到大坝,也不会使岳城水库库区水体发生渗漏,造成水库水位骤降,同时也不会对库区渗流场产生大的改变以至影响大坝安全的结论,论证了申家庄煤矿在岳城水库库区下采煤是可行的。

参考文献:

- [1] 中国煤炭科学研究总院. 河北省磁县申家庄煤矿岳城水库下采煤可行性论证报告[R]. 北京:中国煤炭科学研究总院, 1985.
- [2] 河北省邯郸地区煤炭工业公司. 河北省邯郸地区磁县申家庄煤矿岳城水库洪水位下试采研究[R]. 邯郸:河北省邯郸地区煤炭工业公司, 1989.
- [3] 中国煤炭科学研究总院. 申家庄煤矿在岳城水库库区下采煤对水库影响的评价[R]. 北京:中国煤炭科学研究总院, 2002.
- [4] 彭苏萍, 孟召平. 矿井工程地质理论与实践[M]. 北京:地质出版社, 2002.
- [5] 中国煤炭科学研究总院北京开采研究所. 煤矿地表移动与覆岩破坏规律及其应用[M]. 北京:煤炭工业出版社, 1981.
- [6] 建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[S]. 北京:煤炭工业出版社, 2000.

Impact of coal mining on safety of reservoir

WU Xiong^{1,2}, YANG Jian², DUAN Qing-wei², WANG Jun-jie³

(1. China University of Geosciences(Beijing), Beijing 100083; 2. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China; 3. Shenjiazhuang Coal mine, Ci County, Hebei Province 056500, China)

Abstract: The Shenjiazhuang Coal Mine is located at the north bank of the Yuecheng Reservoir. The investigation on engineering geology, test on mechanical properties of rock, measurement of leakage water in mining tunnel, test of leakage water quality and numerical simulation are carried out to study the probable impact of mining on the safety of the reservoir. It is concluded that the minor subsidence taken place at the bottom of the reservoir will not seriously affect the operation of the reservoir. No serious leakage will occur. The mining beneath the reservoir will not affect the safety of the reservoir.

Key words: coal mining; impact on safety; Yuecheng Reservoir