

# 水库下采煤的防水安全煤柱留设计算和分析

## Design Calculation and Analysis of Waterproofing Safety Coal Pillar for Coal Mining under Reservoir

陈利

Li Chen

河南省煤炭地质勘察研究总院 中国·河南 郑州 450000

Henan Coal Geological Investigation and Research Institute, Zhengzhou, Henan, 450000, China

**摘要:** 水库下采煤要确保煤矿井下安全, 同时还要保护地表水资源和水库坝体的安全。根据水体下采煤的技术理念, 在现场调研的基础上, 结合煤矿具体的地质采矿条件, 进行计算、分析、评价和论证。结果表明: 导水裂缝带不会波及地表水水库。同时, 根据地表移动和变形预计结果, 分析工作面开采对水库坝体的影响, 最后提出了相应的技术措施, 确保水库下安全采煤。

**Abstract:** Coal mining under the reservoir shall ensure the underground safety of the coal mine, and at the same time, protect the surface water resources and the safety of the reservoir dam. According to the technical concept of coal mining under the water body, on the basis of on-site investigation and in combination with the specific geological and mining conditions of the coal mine, calculation, analysis, evaluation and demonstration shall be carried out. The results show that the water conducting fracture zone will not spread to the surface water reservoir. At the same time, according to the predicted results of surface movement and deformation, this paper analyzes the impact of working face mining on the dam body of the reservoir, and finally puts forward corresponding technical measures to ensure safe coal mining under the reservoir.

**关键词:** 水库下; 采煤; 安全性; 分析

**Keywords:** under the reservoir; coal mining; safety; analysis

**DOI:** 10.12346/se.v4i2.6529

## 1 研究区

### 1.1 研究目的和意义

煤炭资源开采所造成的地表沉陷不仅影响矿区的生态环境, 而且对地面建筑物、铁路、水体等设施造成破坏, 给煤炭企业带来巨大的经济负担。同时, 也影响到矿区内工农业的安全生产和可持续发展<sup>[1]</sup>。煤炭开采造成的岩层与地表移动灾害已涉及矿区的工农业生产及人民生活的各个方面。中国生产矿井“三下”(建筑物下、水体下、铁路下)压煤量一百多亿吨, 随着易采煤炭资源的逐步枯竭, “三下”压煤开采成为越来越多矿井面临的问题。某煤矿于1972年投产, 经过四十多年的开采, 易采煤炭资源越来越少。某水库是一座中型水库, 水库面积约20万m<sup>2</sup>, 控制流域面积26Km<sup>2</sup>, 位于某煤矿32采区和规划31采区的地表, 水体下压煤量巨

大。某煤矿为了提高煤炭资源采出率, 延长矿井服务年限, 必须进行水库水体下采煤<sup>[2]</sup>。对于工作面开采过程中水库库底变形规律没有进行研究, 因此为了更全面地研究水体下采煤时库底附近变形或裂缝情况, 在32121工作面回采过程中, 在水库库底及库岸合适位置埋设监测点, 观测工作面回采过程中水库库底变形及裂缝, 指导煤矿水体下采煤的安全生产, 对于某煤矿生产可持续、延长矿井服务年限具有重要实际意义。

### 1.2 研究内容

①收集水库附近采区及工作面的地质资料及有关工程技术图纸, 进行本区地质采矿条件、覆岩结构特征以及地表地形特征分析。

②根据水库附近现场实际地质条件、地形条件、地表水

【作者简介】陈利(1973-), 中国辽宁锦州人, 本科, 高级工程师, 从事矿山水文地质与工程地质研究。

库情况等合理布设监测点。

③现场监测点的观测：按《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》要求的精度进行现场测量，获得相应的观测资料。

④观测结果整理与分析：对收集资料、观测成果进行及时分析和研究，给出工作面上方库底附近移动变形或裂缝情况，对水体下采煤提出指导性意见<sup>[3]</sup>。

## 2 地质条件

### 2.1 构造

井田位于新密复向斜的北翼，总体构造形态为地层向南倾的单斜构造。地层倾角一般 $20^{\circ}$ 左右，有一定的起伏，西南侧形成宽缓的南倾向斜—魏寨北向斜<sup>[4]</sup>。发育落差大于20m的断层13条，分NW~SE和近EW两组（见图1）。构造形迹以南升、北降的阶梯状正断层为主。井田构造复杂程度为Ⅲ类。其主要特征如下。

### 2.2 水文地质

根据地层时代、岩性及富水程度，井田内共划分了7个含水层组和4个隔水层段<sup>[5]</sup>。

#### 2.2.1 含水层（组）

①奥陶系灰岩岩溶裂隙承压含水层；②太原组下段灰岩岩溶裂隙承压含水层；③太原组上段灰岩岩溶裂隙承压含水层；④二<sub>1</sub>煤顶板砂岩孔隙裂隙承压含水层；⑤上、下石盒子组砂岩孔隙裂隙承压含水层；⑥第三系泥灰岩含水层；⑦第四系砂、砾石孔隙含水层。

#### 2.2.2 隔水层（段）

①本溪组铝质泥岩隔水层；②太原组中部砂泥岩隔水层；③二<sub>1</sub>煤底板隔水层；④二叠系中、上段隔水层<sup>[6]</sup>。

根据《矿区水文地质工程地质勘探规范》（GB12719—1991）、《煤、泥炭地质勘查规范》（DZ/T0215—2002），

井田二<sub>1</sub>煤矿床水文地质勘探类型应为第三类（以岩溶含水层充水为主的矿床）第二亚类（以溶洞为主的岩溶充水矿床）第三型（水文地质条件复杂）矿床。煤矿历年矿井平均涌水量在444~1168m<sup>3</sup>/h之间，平均838m<sup>3</sup>/h，根据《矿井水文地质规程》，煤矿应属水文地质条件复杂型矿井（单位涌水量 $q \geq 2\text{L/s} \cdot \text{m}$ ，年平均矿井涌水量 $Q \geq 600\text{m}^3/\text{h}$ ）<sup>[7]</sup>。

### 2.3 工作面概况

32121工作面地面相对位置在某水库尾南部，东段在某水库最窄处下部，地表为马沟村二组、三组部分民房，以东为刘家门耕地，西部为岳村耕地，南部为某水库，地面标高+220~+236m；井下位置在32运输下山以西，矿井边界以东30m为该面切巷的设计位置，北部为已经回采的32101工作面，南部为已贯通的32121流水巷，井下标高为-245~-300m。工作面走向长度710~714m，平均长度712m；倾斜长度45~109m，平均长度87m；面积62228m<sup>2</sup>。

## 3 防水煤柱尺寸的确定

### 3.1 上覆岩层破坏高度计算

#### 3.1.1 经验公式法

《某煤矿32采区水体下采煤可行性研究报告》中按照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》给出的经验公式计算得到了导水裂缝带高度以及导水裂缝带最大标高<sup>[8]</sup>。其中按中硬岩性计算结果见表1，按坚硬岩性计算结果见表2。

#### 3.1.2 现场实测法

某煤矿为了查明某水库下采煤时导水裂缝带发育高度，在32101工作面回采结束后施工一个钻孔，进行钻孔冲洗液漏失量法观测。观测内容主要包括钻进过程中的冲洗液消耗量和钻孔水位的观测，以及钻进过程中出现的严重消耗、漏水、掉钻情况<sup>[9]</sup>。

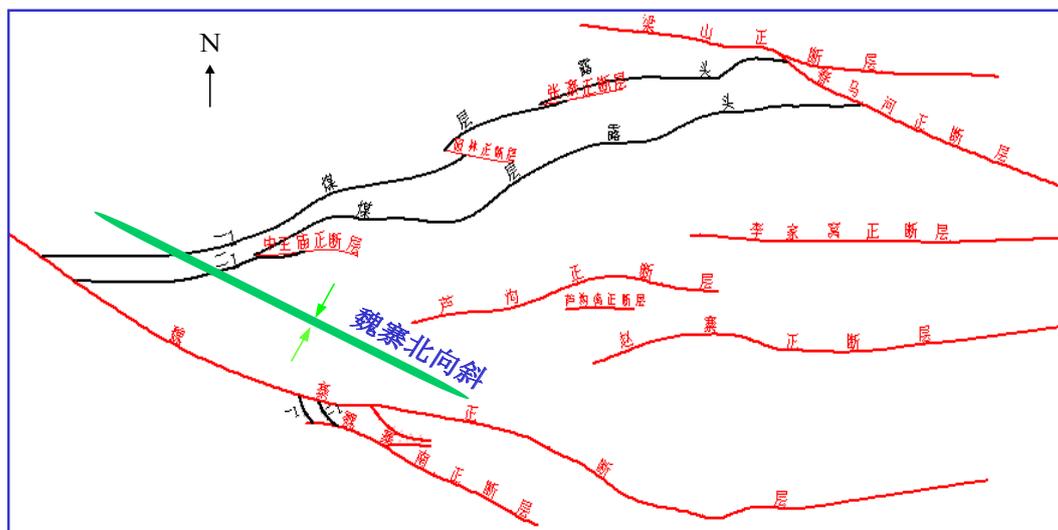


图1 某矿构造纲要图

表 1 导水裂缝带高度计算表 (按中硬岩性计算)

计算点号	煤层标高 (m)	煤层厚度 (m)	导水裂缝带高度 $H_{li}$ (m)			导水裂缝带最大标高 (m)
			公式一	公式二	公式三	
1	-294	8.5	55.02	68.31	124.82	-160.68
2	-287	7.5	53.68	64.77	110.73	-168.77
3	-283	4.0	45.60	50.00	61.44	-217.56
4	-260	3.0	41.31	44.64	47.35	-209.65
5	-281	5.0	48.70	54.72	75.52	-200.48
6	-267	4.5	47.27	52.43	68.48	-194.02
7	-240	4.5	47.27	52.43	68.48	-167.02
8	-220	4.5	47.27	52.43	68.48	-147.02
9	-264	6.0	51.05	58.99	89.61	-168.39

表 2 导水裂缝带高度计算表 (按坚硬岩性计算)

计算点号	煤层标高 (m)	煤层厚度 (m)	导水裂缝带高度 $H_{li}$ (m)			导水裂缝带最大标高 (m)
			公式一	公式二	公式三	
1	-294	8.5	78.57	97.46	200.09	-85.41
2	-287	7.5	77.08	92.16	177.87	-101.63
3	-283	4.0	67.72	70.00	100.09	-178.91
4	-260	3.0	62.47	61.96	77.87	-179.13
5	-281	5.0	71.40	77.08	122.31	-153.69
6	-267	4.5	69.71	73.64	111.20	-151.30
7	-240	4.5	69.71	73.64	111.20	-124.30
8	-220	4.5	69.71	73.64	111.20	-104.30
9	-264	6.0	74.12	83.48	144.53	-113.47

钻孔钻进时出现的问题及其水位、消耗情况：在 2 月 1 日孔深 354.63m 处不返水，测得当时水位 95.41m，消耗量为 7.2m<sup>3</sup>/h，2 月 14 日扩孔、下套管及等凝固。2 月 15 日孔深 363.01m 时水位为 139.45m，孔深 363.95m 水位为 275.08m，消耗量大于三档泵量（150l/min 即 9.0m<sup>3</sup>/h），直至终孔 450.90m 孔内漏水严重，无返水，钻孔内没有水位。

采用地面钻孔观测二<sub>1</sub>煤层顶板上三带发育高度，一般根据钻进过程中钻孔冲洗液漏失量、钻孔水位变化以及钻进过程中各种异常来分析判定导水裂隙带、冒落带最大高度。

进入导水裂隙带时，钻进过程中冲洗液、漏失量明显增加，钻孔水位明显下降，直至钻孔不返浆，钻孔水位观测不到，一般采用对比法，在岩石原始渗透性很差的情况下，漏失量大于 1L/min 或 0.1L/(min.m)，即可认为达到导水裂隙带<sup>[10]</sup>。本孔由于在孔深 341.28m 处消耗量明显增加，在孔深 354.63m 消耗不返水；孔深 362.35m 以深漏失量大于 1.0L/min，钻孔水位明显下降；孔深 442.00m 以下岩芯采取率极低，破碎，钻孔不返水，岩芯倾角变大明显。据此判定导水裂隙带高度为 362.35，煤层顶板深度为 470m，因此确定导水裂缝带发育高度为 107.65m。

根据经验公式法和现场实测法的结果可知：区域内水体下所取的计算点煤层标高最大的 8 号点的导水裂缝带最

大标高：当覆岩为中硬岩性时其值为 -147.02m，当覆岩为坚硬岩性时其值为 -104.30m；32101 工作面水库下最大开采上限的导水裂缝带的最大标高：当覆岩为中硬岩性时其值为 -217.6m，当覆岩为坚硬岩性时其值为 -178.91m。水库基底基岩顶部标高为 +165.5m，可得导水裂缝带的最大标高与水库基岩底部之间的基岩岩柱厚度均在 250m 以上。因此，导水裂缝带是不会波及地表上的五星水库底部，即开采造成的导水裂缝带不会形成地表水体水灾的通道。

### 3.2 防水安全煤岩柱的留设

#### 3.2.1 防水安全煤岩柱计算公式的确定

在水体底界至煤层开采上限之间所留设的防止水体中的水溃入井下的煤和岩层块段称为防水安全煤岩柱。留设防水安全煤岩柱的目的是，不允许导水裂缝带波及水体，进一步确定合理的开采上限。

根据中国编制的“三下”采煤规程的规定，防水安全煤岩柱尺寸可按下式计算：

$$H_{sh} \geq H_{li} + H_b$$

式中： $H_{sh}$ ——防水安全煤岩柱的高度，m；

$H_{li}$ ——导水裂缝带高度，m；

$H_b$ ——保护层厚度，m。

即防水安全煤岩柱垂高  $H_{sh}$  大于等于预计的导水裂缝带

$H_{li}$  最大高度加上适当的保护层厚度  $H_b$ , 见图 2。

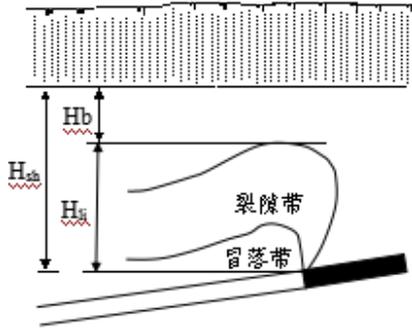


图 2 安全煤岩柱留设示意图

如果松散层为强或中等含水层, 且直接与基岩接触, 而基岩风化带也含水, 在留设防水安全煤岩柱时应考虑基岩风化带的深度, 即:

$$H_{sl} \geq H_{li} + H_b + H_{fc}$$

式中,  $H_{fc}$ ——基岩风化带厚度(根据勘探资料确定), m。其他符号同上。

为了确保水体下采煤的安全, 水库下采煤分别按中硬和坚硬覆岩来计算防水安全煤岩柱尺寸的留设。保护层厚度按水库底部有无有效黏土隔水层考虑, 对中硬覆岩而言, 其保护层厚度应取厚煤层首采煤层或分层一次采厚的 6 倍; 对坚硬覆岩而言, 其保护层厚度应取厚煤层首采煤层或分层一次采厚的 7 倍, 见表 3 所示<sup>[11]</sup>。同时, 导水的风化带深度这一深度取决于岩性、原生裂隙发育程度和后期被冲刷残留的厚度, 根据某煤矿提供的钻孔资料可知, 基岩风化带裂隙发育深度为 2.3~19.4m, 为了安全取 25m。

### 3.2.2 防水安全煤岩柱计算和分析

根据上述公式对各计算点防水安全煤岩柱尺寸按中硬和坚硬覆岩岩性计算, 计算结果分别见表 4 和表 5 所示(水库底面标高按 +165.5m 计算, 风化带按 25m 计算)。

表 3 防水安全煤岩柱保护层厚度

覆岩岩性	松散层底部粘性土层厚度 大于累计采厚	松散层底部粘性土层厚度 小于累计采厚	松散层全厚小 于累计采厚	松散层底板 无粘土土层
坚硬	4A	5A	6A	7A
中硬	3A	4A	5A	6A
软弱	2A	3A	4A	5A
极软弱	2A	2A	3A	4A

注:  $A = \sum M/n$ ;  $\sum M$ ——累计采厚;  $n$ ——分层层数, 放顶煤时取 1。

表 4 各计算点防水安全煤岩柱尺寸(按中硬岩性计算)

计算点号	煤层底板标高 (m)	煤层厚度 (m)	保护层厚度 (m)	导水裂缝带最 大高度 $H_{li}$ (m)	防水安全煤岩柱最大尺寸 (m)	残留安全煤岩柱尺寸 (m)
1	-294	8.5	51	124.82	200.82	250.18
2	-287	7.5	45	110.73	180.73	264.27
3	-283	4.0	24	61.44	110.44	334.06
4	-260	3.0	18	47.35	90.35	332.15
5	-281	5.0	30	75.52	130.52	310.98
6	-267	4.5	27	68.48	120.48	307.52
7	-240	4.5	27	68.48	120.48	280.52
8	-220	4.5	27	68.48	120.48	260.52
9	-264	6.0	36	89.61	150.61	272.89

表 5 各计算点防水安全煤岩柱尺寸(按坚硬岩性计算)

计算点号	煤层底板标高 (m)	煤层厚度 (m)	保护层厚度 (m)	导水裂缝带最 大高度 $H_{li}$ (m)	防水安全煤岩柱最大尺寸 (m)	残留安全煤岩柱尺寸 (m)
1	-294	8.5	59.5	200.09	284.59	166.41
2	-287	7.5	52.5	177.87	255.37	189.63
3	-283	4.0	28	100.09	153.09	291.41
4	-260	3.0	21	77.87	123.87	298.63
5	-281	5.0	35	122.31	182.31	259.19
6	-267	4.5	31.5	111.20	167.70	260.30
7	-240	4.5	31.5	111.20	167.70	233.30
8	-220	4.5	31.5	111.20	167.70	213.30
9	-264	6.0	42	144.53	211.53	211.97

从表 4 和表 5 中计算结果可知,各计算点的残留安全煤岩柱尺寸对覆岩为中硬岩性而言其值均在 200m 以上,对覆岩为坚硬岩性而言其值除 1、2 号计算点相应为 166.41m、189.63m 以外,其他各计算点均在 200m 以上,即各计算点的防水安全煤岩柱尺寸均小于基岩岩柱尺寸,且导水裂缝带均未波及五星水库水体底部,所以 32 采区各工作面在开采上限下采煤从导水裂缝带分析是安全的。

### 3.3 水库库底裂缝情况

根据中裂缝发育深度的计算,可知 32121 工作面开采后某水库库底会产生裂缝,裂缝最大发育深度为 2.1m 左右。某水库库底标高 + 165.5m,则裂缝发育最大深度标高为 + 163.4m,而导水裂缝带发育最大标高为 -104.3m,裂缝最大发育深度与导水裂缝带顶点之间的基岩柱高度为 267.7m,且上覆岩层中砂质泥岩、炭质泥岩、泥岩等岩层的厚度较厚,这些软弱泥岩能起到很好的隔水作用<sup>[12]</sup>。因此,32121 工作面的开采不会造成水库库底裂缝与导水裂缝带的贯通,水库水体不会进入工作面,所以水库水体下采煤是安全的。

## 4 结论

在收集水库附近 32 采区 32101 和 32121 工作面地质采矿资料和相关工程技术图纸的基础上,并现场调查了水库附近地形、地表水库与工作面相对位置等情况,在水库东岸和西岸合理位置布设了四条观测线,按照《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》要求的精度进行了七次现场观测,获得了工作面开采期间监测点的变形情况,根据对观测资料的整理和分析,总结了工作面开采后水库库底变形和裂缝情况,得到的结论如下:

①根据 32121 工作面实际地质采矿资料,水库附近地形及地表水库情况,在水库两岸布设 4 条观测线,33 个监测点,于 2016 年 4 月 24 日、5 月 27 日、6 月 4 日、6 月 27 日、7 月 27 日、9 月 2 日、10 月 11 日共进行了七次现场观测,10 月 11

第七次日观测时,工作面推进距离距停采线距离为 55m。

②水库库底裂缝发育最大深度标高为 + 163.4m,导水裂缝带发育最大标高为 -104.3m,裂缝最大发育深度与导水裂缝带顶点之间的基岩柱高度为 267.7m,工作面开采不会造成库底裂缝与导水裂缝带贯通,水库水体下采煤是安全的。

### 参考文献

- [1] 国家煤炭工业局.建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程[M].北京:煤炭工业出版社,2000.
- [2] 何国清,杨伦,凌赓娣,等.矿山开采沉陷学[M].徐州:中国矿业大学出版社,1994.
- [3] 郭文兵,谭志祥,柴华彬.煤矿开采损害与保护[M].北京:煤炭工业出版社,2013.
- [4] 郭文兵,杨治国,詹鸣.“三软”煤层开采沉陷规律及其应用[M].北京:科学出版社,2013.
- [5] 袁亮,吴佩.淮河堤下采煤的理论研究与技术实践[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003.
- [6] 李春意,郭增长,杨福芹.地表移动观测站数据处理方法探讨[J].河南理工大学学报(自然科学版),2006,25(6):481-483.
- [7] 郭文兵,邵强,尹士献,等.水库下采煤的安全性分析[J].采矿与安全工程学报,2006,23(3):324-328.
- [8] 黄成飞,郭文兵,杨岁寒.五星水库下采煤的安全性分析[J].煤炭工程,2010(11):77-80.
- [9] 詹鸣,王超伟.芦沟煤矿 32 采区水体下采煤的可行性[J].煤田地质与勘探,2012,40(3):44-47.
- [10] 薛国学,李丁菲.水库下地表移动观测研究与应用[J].中州煤炭,2014(12):101-103.
- [11] 张荣立,何国纬,李锋,等.采矿工程设计手册[M].北京:煤炭工业出版社,2003.
- [12] 李强,罗春喜,陈荣德,等.大平煤矿五年水库下综放开采的实践与认识[J].矿山测量,2011(4):33-36+56.