

顶峰山矿区水文地质特征与防治水措施

许福美, 雷芳芳, 吴志杰, 吴超凡

龙岩学院资源工程学院, 福建龙岩 364012

摘要 顶峰山矿井地下水系统包括第四系孔隙含水岩组、煤系基岩裂隙含水岩组、栖霞灰岩裂隙-岩溶含水岩组和老空水; 矿井充水水源有大气降水、含水岩组、断裂构造带和老窑积水, 其中对矿井有突水危险的主要是导水性断层和老窑积水; 由于矿井内发育的导水性断层为岩溶水进入煤系提供了通道, 防治水的重点工作是探查导水性断层和老窑积水区, 导水性断层的探查主要采用高分辨率三维地震勘探和瞬变电磁法相结合的探测方法; 防治方法可根据实际情况采用留设防隔水煤(岩)柱、截流堵水、疏水降压和注浆加固等措施; 老窑积水主要分布在 F_5 断层以北地区, 采取钻探与物探相结合的方法进行探查, 主要防治方法为留设防水煤岩柱和探放水。

关键词 顶峰山矿井; 地下水系统; 水文地质特征; 防治水

中图分类号 TD325

文献标识码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2011.15.008

Hydrogeological Features and Measures for Water Control in Dingfengshan Mine

XU Fumei, LEI Fangfang, WU Zhijie, WU Chaofan

School of Resource Engineering, Longyan University, Longyan 364012, Fujian Province, China

Abstract The groundwater system in Dingfengshan Mine includes quaternary pore aquifer group, fissure aquifer group of coal bed rock, fissure-karst aquifer group of Qixia limestone, and goaf water; the water in the system is generated from atmospheric precipitation, aquifer group, faulted structural belt, and goaf water, among them the faulted structural belt and goaf water are the major risks for the mine water inrush. The hydraulic conductivity of faulted structural belt, which is originated with in the mine, allows karst water to go into the coal mine, the key tasks for the water control in the mine focus on the investigation of the faulted structural belt and goaf water area. Methods for probing water conductivity belt mainly could rely on the combination of high-resolution three-dimensional seismic exploration with transient electromagnetic method for detecting; while methods of water prevention, according to the actual situation of maximum security, could be based on stay watertight coal (rock) column closure water shutoff, hydrophobic buck, and grouting reinforcement measures. As the goaf water is mainly distributed in north fault F_5 , the method for probing it is the combination of drilling with geophysical exploration, and methods for prevention are mainly building coal and rock pillars of waterproofing, probing water regularly, and leading it away in time.

Keywords Dingfengshan mine; groundwater system; hydrogeological feature; water control

0 引言

据 2005—2009 年统计, 福建省煤矿安全生产事故中, 矿井透水事故约占 7.6%, 但若按 3 人以上的较大事故统计, 水害事故占事故总数的 28%, 说明在福建省煤矿安全生产中, 矿井透水事故是威胁矿井施工和开采安全的重大因素^[1-2]。针对煤矿水文地质特征所进行的矿井水源预测, 涌水量预测, 老空水防治, 水文地质条件勘查, 突水机制, 水害探测、预测、

监测和防治技术等方面, 前人做了大量的研究工作, 并取得一定成果^[3-10], 逐步形成了以地震法探查导水构造、电法查含水层分布的矿井水文地质条件勘查模式。1999 年, 李白英^[11]提出的“下三带”理论在矿井突水预测和突水机制研究方面取得重大突破; 2001 年王玉民等^[12]提出的水质分析法、2009 年潘国营等^[13]提出的同位素判定法在矿井突水水源判定方面取得一定成果; 2005 年, 刘树才等^[14]应用瞬变电磁法结合三

收稿日期: 2011-01-14; 修回日期: 2011-05-09

基金项目: 福建省教育厅 B 类科技项目 (JB10161)

作者简介: 许福美, 副教授, 研究方向为煤田地质与矿井水文地质, 电子信箱: xfm6512@163.com

维地震进行探查在矿井采空区及老窑突水预测、预报方面取得良好的效果;在矿井水害探测与监测技术研究方面,利用红外仪激电仪超前探测、煤层底板应力场和渗流场的动态监测也取得初步发展;适应不同类型水害、不同水文地质条件的防治方法也得到发展,形成了留设防水煤柱、强排疏干、带压开采、注浆封堵、防渗、隔水层改造等一系列防治方法。但是不同地区不同矿井,由于矿井水文地质特征不同,井下采掘条件不同,应根据具体情况,采取相应的防治水措施。目前在福建省各煤矿区应用物探方法进行矿井水源探测、矿井采空区及老窑突水预测、预报方面还未见详细的报道。本文通过对顶峰山矿区的地下水地质特征进行分析,查找危害矿井安全生产的水害因素,在前人研究的基础上,结合矿井实际,确定相应的探查方法和防治水对策,以期煤矿安全生产提供防治水方面的指导作用。

1 矿区水文地质概况

顶峰山矿井位于福建省龙岩市南面 14km 处,是龙永煤田的一部分,井田范围东以 F_0 断层为界,南以 F_{15} 断层为界,西以 F_{27} 断层和龙坎铁路为界,北以 F_{30} 断层为界(图 1)。矿区地下水第四系含水层和煤系基岩裂隙含水层主要接受大气降水补给,而灰岩含水层是由基岩裂隙水通过裂隙或构造破碎带等通道补给,矿坑涌水量受大气降水控制,呈明显季节变化,矿坑充水以渗水、滴水 and 淋水为主,主要充水途径为地下开采造成的“三带”波及地表的塌陷、裂隙裂缝和断层破碎带。矿井地下水系统主要有第四系孔隙含水岩组、煤系基岩裂隙含水岩组、栖霞灰岩裂隙-岩溶含水岩组和老窑积水。



图 1 顶峰山矿井构造示意

Fig. 1 Structural layout map of Dingfengshan mine

1.1 第四系孔隙含水岩组

煤系上分布的第四系主要为残积坡积层,属孔隙含水岩组,富水性不均,为煤系的间接充水含水岩组,是大气降水渗入补给煤系地下水的通道。

1.2 煤系基岩裂隙含水岩组

区内出露的基岩几乎都含裂隙承压水,富水性弱或弱-中等,与煤层开采有关的含水岩组有:

(1) 翠屏山组,主要为风化壳孔隙-裂隙和基岩裂隙含

水,主要富水部位在岩层风化带和砂砾岩岩层,富水性弱-中等,涌水量为 $0.0055\sim 0.116\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,突水系数为 $0.0045\sim 0.629\text{m}/\text{d}$,该含水岩组为煤系的间接充水含水岩组。

(2) 童子岩组,第一和第三段为裂隙含水岩组,第二段为隔水岩组,富水性弱,涌水量 $<0.1\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,突水系数 $<1.0\text{m}/\text{d}$,为煤层开采时的直接充水含水层。

1.3 栖霞灰岩裂隙-岩溶含水岩组

栖霞组主要由碳酸盐类岩石组成,通常发育裂隙与岩溶,裸露区以岩溶含水为主,隐伏区以裂隙含水为主。本组为裂隙-岩溶承压水含水岩组,富水性弱-中等,在侵蚀基准面以下 $100\sim 200\text{m}$,富水性中等-强,涌水量 $0.13\sim 3.05\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,突水系数为 $2.19\sim 9.31\text{m}/\text{d}$,在侵蚀基准面以下 $200\sim 300\text{m}$,富水性弱-中等,涌水量 $0.04\sim 0.45\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$,突水系数为 $0.16\sim 0.96\text{m}/\text{d}$ 。由于童子岩组下有文笔山组隔水岩层组分布,因此栖霞灰岩含水岩组之间常有缓倾角的滑覆断裂构造发育,有时把文笔山组隔水岩层组断开或断薄,造成栖霞灰岩与煤系直接接触或接近,构成对煤层开采有灾害性充水危害的充水边界,成为间接充水含水岩组,有些甚至与开采煤层直接对口或接近,成为直接充水含水岩组,所以该含水层为防止矿井突水事故需要特别注意的含水层。

1.4 老窑积水

由于矿区范围及周边存在许多已经废弃的小煤窑,这些废弃的小煤窑就成为了储水的良好场所,即形成老窑水,而这些老窑部分在建矿前就已存在,空间位置一般都很隐蔽,确切位置不明,给煤矿安全生产带来极大的安全隐患。

2 矿井充水因素分析

2.1 充水特征

矿坑涌水量受大气降水的控制,呈明显季节变化。旱季,大多数小煤矿硐口流量极小,而雨季,各硐口涌水量明显增大,尤其是与地表沟谷水有联系的煤硐,在连降大雨之后,会出现洪峰似的雨季最大矿坑涌水量,流量高达 $14.23\text{L}/\text{s}$,直接威胁安全,影响生产。而在深部,这种季节变化有一定滞后现象,一般 3—6d 后涌水量增大,8—10d 达到高峰。矿井充水以渗水、滴水和淋水为主,煤层顶板往往有渗水现象,出水点均出现在断裂、褶皱等构造裂隙发育部位。

2.2 充水因素分析

2.2.1 大气降水

大气降水是井田地表水和地下水的主要补给来源,补给途径主要是通过第四系残坡积层和基岩风化带以及老窑塌陷区等渗入补给含水岩组、断裂构造带和生产煤硐,然后进入矿井坑道。大气降水是矿井充水的主要因素,从生产硐长期观测成果可以明显看出,生产硐涌水量受降水影响十分明显,雨季最大涌水量是正常涌水量的 2—4 倍。

2.2.2 含水岩组

矿井内第四系及风化带含水岩组一般对煤层无直接充水危害。翠屏山组含水岩组由于其补给来源主要为大气降

水,离可采煤层较远,对煤层开采无直接充水危害。童子岩组第一段和第三段含水岩组就其本身而言对矿井坑道无灾害性突水危害,但是局部以静储量为主的裂隙承压水赋存,在有水源补给时会对矿井突水造成灾害。栖霞灰岩水对矿井的充水影响主要表现在岩溶的发育程度,正常情况下文笔山组隔水岩组能隔开其与煤系的水力联系,不会对煤层开采造成直接的充水危害,但当断层沟通灰岩水与煤层的联系时,则会造成直接突水危害。

2.2.3 断裂构造带

矿井内发育的 F_1 断层为导水性断层,由于其导水影响,为岩溶水进入煤系提供了通道,但因其两侧岩层富水性较弱,当地下水补给来源有限时,只要在 F_1 断层两侧留足隔水煤柱,做好探防等工作,岩溶水的危害可以避免。 F_0 断层为局部导水性较好的缓倾斜断层,其对+250m 以上开采水平无直接充水危害,但对+250m 以下开采水平的水文地质条件造成了复杂影响。 F_5 、 F_6 断层为高角度边界断层,由于其形成时间晚,切穿了矿井内的所有地层,但因其本身充水性较差,并未使灰岩水与煤系水形成水力联系,且其单点涌水量也不大,所以不会对煤层的正常开采产生威胁。 F_{27} 断层为高角度边界断层,钻孔揭露均未发生“全漏”现象,在地表翠屏山组中发现泉源,说明其在浅部有一定导水性,而深部则导水性较差,所以正常情况下其对煤层开采的充水影响不大。应该特别指出:在天然条件下,这些充导水弱的断裂构造虽然与地表水、地下水无明显的水力联系,但在开采条件下,很可能由于强烈的疏干降压而导致裂隙通道疏通,破坏原有的均衡条件,使得这些断裂构造和地表水体及地下水有水力联系,从而构成矿坑充水的新补给边界,因此矿井水文地质工作对此必须给予足够重视。

2.2.4 老窑积水

井田内小煤窑星罗棋布,主要分布在 F_5 断层以北地区。小煤窑开采对井田排水有积极的作用,但报废的小煤窑,特别是斜硐开采的小煤窑,往往会封存相当的积水。特别是那些开采年代很久,硐口坍塌,无人知晓,如有积水,不慎触及可能会造成极大的突水危害,所以在老窑区应做好探防水工作,以防重大突水事故发生。老空、老窑水量不很大,一般不致造成淹井事故,但水量集中,来势凶猛,一旦揭露,就会以“有压管道流”的形式突然喷出,迅猛异常,具有很大的冲击力和破坏力,对人身安全危害极大。

3 防治水对策

通过矿井充水因素分析,结合矿井水文地质条件和采掘工作的实际情况,顶峰山矿井的防治水重点为导水性断层和老窑积水。防治水总体工作重点在于:建立健全各类防治水制度;编制防治水中长期规划和年度规划;制订专门的防治水措施;针对有水患影响的地点,地质人员要重点跟踪调查,坚持预测预报、有疑必探、先探后掘、先治后采的防治水原则,采取防、堵、疏、排、截的综合治理措施。

3.1 地面防治水

顶峰山矿井周边小窑众多,开采历史较长,对因废弃小窑井口封堵不良、地表浅部开采的小窑冒落塌陷等形成地表塌陷坑、斑裂缝等地表透水通道,每月应由矿领导组织相关人员进行全面排查,特别是在雨季来临前或在雨季期间,对地面废弃小窑井口封堵情况、地表塌陷坑、斑裂缝的位置以及地表的防洪坝、泄洪沟等进行全面排查。

地面防治水是预防矿井水灾的第一道防线,结合顶峰山矿井实际,地面防治水主要应采取 4 种措施:① 加强地面防水工程的检查,在雨季到来之前,对地面防水工程应做全面检查,发现问题及时处理;② 修筑排洪沟渠,排泄山洪、排放积水,疏干地表水源;③ 注浆填堵塌陷坑、斑裂缝等地表透水通道;④ 充填、平整积水洼地。

3.2 井下防治水

根据以上充水因素分析,该矿井含水岩组一般无直接充水危害,所以井下防治水主要为导水性断层和老窑积水。对于井下水文地质条件比较复杂的有突水危险的区域,重点防控,坚持“预测预报,有疑必探,先探后掘,先治后采”的原则,严格执行防、堵、疏、排、截的综合防治水措施。井下防治水应遵循预防为主、防治并举的原则,总体预防措施为:① 建立健全水害防治工作各级岗位责任制、水害防治技术管理、水害预测预报和水害隐患排查治理等制度;② 编制中长期防治水规划和年度防治水计划,并组织实施;③ 水文地质条件不清的,严禁进行采掘活动,矿井有透水征兆时,受水害威胁的区域要立即停止作业,分析原因,采取有效措施;④ 加强对职工防治水知识的培训和教育,提高安全生产技能和综合素质。

3.2.1 导水性断层的防治

顶峰山矿井内发育的主要导水性断层有 F_1 断层和 F_0 断层,特别是 F_0 断层对+250m 以下开采水平的水文地质条件造成了复杂影响。

(1) 导水性断层的预测和探查,井巷遇水断裂前一般具有以下特征:巷道挂红、水质发黄无异味、水温异常、工作面压力增大,发生片帮、冒顶、底鼓并伴随滴水、淋水现象,且淋水由小变大,有时煤帮出现铁锈色水迹等。对导水断裂的探查,根据矿井实际情况,采用高分辨率三维地震勘探和瞬变电磁法相结合的探测方法,可大大提高勘探精度,为防治水工作提供可靠的水文地质资料。

(2) 导水性断层的防治措施,根据实际情况有留设防隔水煤(岩)柱、截流堵水、疏水降压和注浆加固等措施。对于穿过井田中部的 F_1 断层,一般作为采区边界,故在其两侧留设必要的防水煤柱即可。在一些必须要穿越导水性断层的巷道,应进行注浆,封堵出水通道,加固围岩,并采用特殊的支护措施通过。回采工作面遇导水断层时,一般可采用截流堵水、疏水降压和留设断层防水煤柱等防治水措施。具体采用那种方法,应根据断层的导(含)水性、水压、涌水量、补给水源确定,同时还要考虑技术经济合理性等因素。对井巷工程个别地段由于断层的破坏导致岩性破碎,巷道围岩压力较大

并伴有滴水、淋水等透水预兆的区域,设置水闸门、水闸墙等防水设施,发现透水预兆要马上采取措施,停止作业。

3.2.2 老窑水的防治

由于老窑多缺乏各种资料,导致部分老窑分布及积水状况不明,由此给老窑水的防治带来很大困难。因而做好老窑的排查工作成为防治积水的关键。利用钻探和物探技术相结合的手段探查老窑积水区,查明老窑积水的补给水源、积水范围和积水量,可取得良好的效果。老窑水的防治大体上有留设防隔水煤岩柱回避和主动疏干两种方法。

(1) 鉴于老窑水突出时的特点,在井巷设计、施工和工作面回采时应尽量采取留设防隔水煤岩柱进行回避,使其少受或不受采掘影响。留设防水煤岩柱应按照《煤矿防治水规定》^[15]的要求,纵向防水煤岩柱的留设规定为:①在水淹区或老窑积水区下掘进时,巷道与水体间的最小距离不得小于巷道高度的10倍;②在水淹区或老窑积水区下采煤时,防水煤岩柱的尺寸不小于导水裂隙带的最大高度与保护层厚度之和。

在老窑积水区附近进行同一煤层开采时,在积水区界线已基本查明后,横向防水煤岩柱尺寸可按以下经验公式计算^[16]:

$$a=0.5KM\sqrt{3P/K_p}$$

其中, a 为煤柱宽度; K 为安全系数,一般取2—5; M 为煤层可采厚度; P 为水头压力; K_p 为煤体的抗拉强度。

特别是当老窑积水和其他水体有水力联系时,尤其要避免采掘活动对其造成影响,防止两者沟通后较大的动静储量水一并释放,给矿井排水带来巨大压力,威胁人员安全及正常生产,此类情况主要采取留设防水煤岩柱的防治方法。

(2) 由于留设防水煤岩柱会造成大量煤炭损失,增大井巷工程量,所以应根据实际情况,主动采用探放水方法对其进行疏干,主动疏干有以下几种方式。①直接探放。当水压不大,不致超过矿井排水能力时,可利用探水钻孔直接放水。②先隔离后探放。积水量大,酸性大的老窑积水,应先留隔离煤柱到生产后期再处理。③先降压后探放。静储量大,水量大,水压高的老窑积水,应先打穿层孔降压后再打探水孔。④先堵后探放。当老窑水与溶洞水或其他巨大水源有关系,动水储量很大,一时排不完或不可能排完的情况下,应先堵住出水点,然后排放积水。

无论采取哪种形式,进行探放水时都应制定好严格的安全措施,组织施工,确保安全。

4 结论

(1) 顶峰山矿区矿井地下水系统主要有第四系孔隙含水岩组、煤系基岩裂隙含水岩组、栖霞灰岩裂隙-岩溶含水岩组和老窑积水,矿井充水水源有大气降水、含水岩组、断裂构造带和老窑积水。

(2) 大气降水为矿井的主要充水要素,含水岩组中第四系及风化带含水岩组、翠屏山组含水岩组和童子岩组含水岩组含水量不大,对矿井坑道无灾害性突水危害,栖霞灰岩水对矿井的充水影响在正常情况下由于文笔山组隔水岩组能

隔开其与煤系的水力联系,不会对煤层开采造成直接的充水危害,但当断层沟通灰岩水与煤层的联系时,则会造成直接的突水危害。

(3) 矿井防治水重点为导水性断层和老窑积水,矿井内发育的导水性断层,为岩溶水进入煤系提供通道,要在断层两侧留足隔水煤柱,做好探防工作;老窑积水主要分布在 F_5 断层以北地区,主要防治方法为留设防水煤岩柱和探放水。

参考文献 (References)

- [1] 王兆环. 福建省煤矿水文地质特征与安全开采 [J]. 能源与环境, 2009 (4): 36-38.
Wang Zhaohuan. *Energy and Environment*, 2009(4): 36-38.
- [2] 刘贤龙. 福建省煤矿透水事故分析与防治[J]. 能源与环境, 2006(6): 72-75.
Liu Xianlong. *Energy and Environment*, 2006(6): 72-75.
- [3] 许福美. 坑柄矿井水源分析与水害防治[J]. 矿业安全与环保, 2007, 34 (1): 55-57.
Xu Fumei. *Mining Safety & Environmental Protection*, 2007, 34(1): 55-57.
- [4] 马海军. 罗厝山煤矿三采区+435 巷道透水原因及防治措施 [J]. 地下水, 2010, 32(2): 166-168.
Ma Haijun. *Groundwater*, 2010, 32(2): 166-168.
- [5] 轩大洋, 许家林. 煤矿老采空区水害防治技术分析[J]. 煤炭科技, 2008, 27(4): 38-41.
Xuan Dayuan, Xu Jialin. *Coal Technology*, 2008, 27(4): 38-41.
- [6] 陈勇平. 虎中煤矿矿井水害成因分析及防治对策 [J]. 龙岩学院学报, 2010, 28(2): 35-38.
Chen Yongping. *Journal of Longyan University*, 2010, 28(2): 35-38.
- [7] 章永凤. 三明煤矿区水害隐患类型及防治对策[J]. 煤炭技术, 2010, 29 (9): 94-95.
Zhang Yongfeng. *Coal Technology*, 2010, 29(9): 94-95.
- [8] 卢福光. 龙永煤矿吕凤矿区煤矿水患调查与分析[J]. 地下水, 2009, 31 (4): 90-92, 114.
Lu Fuguang. *Groundwater*, 2009, 31(4): 90-92, 114.
- [9] 郑志忠. 昌福山煤矿区灰岩含水层及其与煤系地层的关系[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(15): 4462-4466.
Zheng Zhizhong. *Science Technology and Engineering*, 2009, 9 (15): 4462-4466.
- [10] 廖英健. 新罗区赤坑煤矿突水灾害地质条件分析与研究 [J]. 煤炭技术, 2008, 27(7): 135-136.
Liao Yingjian. *Coal Technology*, 2008, 27(7): 135-136.
- [11] 李白英. 预防矿井底板突水的“下三带”理论及其发展与应用[J]. 山东科技大学学报: 自然科学版, 1999, 18(4): 11-18.
Li Baiying. *Journal of Shandong University of Science and Technology: Natural Science*, 1999, 18(4): 11-18.
- [12] 王玉民, 焦立敏. 利用水质分析法判定矿井涌水水源 [J]. 煤矿安全, 2001, 32(10): 12-14.
Wang Yumin, Jiao Limin. *Safety in Coal Mines*, 2001, 32(10): 12-14.
- [13] 潘国营, 王素娜, 孙小岩, 等. 同位素技术在判别矿井突水水源中的应用[J]. 矿业安全与环保, 2009, 36(1): 32-34.
Pan Guoying, Wang Suna, Sun Xiaoyan, et al. *Mining Safety & Environmental Protection*, 2009, 36(1): 32-34.
- [14] 刘树才, 刘志新, 姜志海. 瞬变电磁法在煤矿采区水文勘探中的应用 [J]. 中国矿业大学学报, 2005, 34(4): 414-417.
Liu Shucai, Liu Zhixin, Jiang Zhihai. *Journal of China University of Mining & Technology*, 2005, 34(4): 414-417.
- [15] 国家安全生产监督管理总局. 煤矿防治水规定[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2010.
State Administration of Work Safety. *Mine water control requirements* [M]. Beijing: Coal Industry Press, 2010.
- [16] 桂和荣. 防水煤(岩)柱合理留设的应力分析算法[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1997.
Gui Herong. *Numerical analysis method about rational pillar of waterproof* [M]. Beijing: Coal Industry Press, 1997.

(责任编辑 刘志远)