

承压水上采煤安全性评价*

魏久传 李白英 (山东科技大学地科系 271019)

摘要 承压水上采煤的关键问题是煤层底板是否能有效地阻止底板高压水突出。底板突水与否取决于多方面影响,其中最重要的是煤层底板条件。下三带理论为分析、评价底板抗突水能力提供了理论指导。依据“下三带”理论,探讨了承压水上采煤安全性评价的方法与技术。

关键词 底板 下三带 采煤 矿山安全

中国图书资料分类法分类号 P641.42

作者简介 魏久传 男 38岁 副教授 煤田地质与矿井地质

1 引言

矿井水害为矿井生产的五大灾害之一。我国华北型石炭二叠纪煤田,煤系基底为奥陶系石灰岩,岩溶发育,富水性强。位于煤系底部的煤层在开采过程中受底板承压水严重威胁,许多矿区如山东淄博、肥城、河南焦作、河北井陘、峰峰等发生过多重大突水事故,造成了巨大的经济损失。随着开采水平的延伸和开采范围的扩大,这种威胁日益严重。几十年来,许多煤矿地质工作者致力于矿井突水灾害的研究,在底板突水机理、矿井水的防治方法与技术等方面取得了重大进展。然而由于承压水上采煤安全问题的复杂性,目前尚有许多问题处于探索阶段。本文依据“下三带”理论,提出了承压水上采煤的安全性评价的一套理论和方法。

2 煤层底板“下三带”理论

对煤层底板变形与移动的观测表明,在煤层开采过程中,煤层底板岩层由上到下形成采动导水裂隙带(I带)、有效保护层带(II带)和承压水导升带(III带),称为“下三带”。下三带的形成及其空间形态与底板隔水层厚度、岩石力学性质、采矿活动、地下水水头压力及地质构造等因素密切相关。并非所有的煤层开采底板都会形成完整的三带。除导水裂隙带外,其他两带都有可能缺失。

3 煤层底板三带厚度的确定

煤层底板隔水层的阻水能力主要取决于有效保护层带的阻水能力。采动导水裂隙带和承压水导升带阻水能力微弱,可视为无阻水能力的岩带。因此承

压水上采煤的安全性评价应包括下三带各带厚度实际观测与计算和有效保护层阻水性能评价等内容。

3.1 底板采动导水裂隙带深度的确定

可采用现场实测、经验估算、理论计算等多种手段。现场观测常用的方法有钻孔注(涌)水法和超声波探测法^[3]。

3.1.1 经验公式计算

$$h_1 = 0.7007L + 0.1079L,$$
$$\text{或 } h_1 = 0.303L^{0.8},$$

式中 h_1 ——底板采动导水破坏带深度;
 L ——开采工作面斜长。

3.1.2 理论公式计算

采用下列理论公式,比较其结果,取其最大值^[4]:

$$h_1 = 1.57\sqrt[3]{H^2L/4R_c^2}, \quad (1)$$

$$h_1 = \frac{(n+1)H}{2} \left(\frac{2}{K-1} - \cos^{-1} \frac{K-1}{K+1} \right) - \frac{R_c}{\gamma(K-1)}, \quad (2)$$

$$h_1 = \frac{0.015H \cos \alpha}{2 \cos(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2})} \exp\left[\frac{\pi}{4} + \frac{h_b}{2} \tan \alpha\right], \quad (3)$$

式中 V ——底板岩体平均密度;
 H ——采深;
 L ——工作面斜长;
 R_c ——岩体单轴抗压强度;
 h_b ——底板岩体内摩擦角;
 K ——最大应力集中系数,

$$K = \frac{1 + \sin \alpha_0}{1 - \sin \alpha_0}$$

3.2 承压水导高带的确定

原始导高带的探测用钻孔统计法和物探法,其

* 国家自然科学基金资助(编号:59674007)和山东自然科学基金资助项目(编号:Y97E06083)部分成果

中钻孔统计法是一种简便易行的方法,在有较多钻孔资料的情况下,可获得导高带分布的整体图像。在缺少钻孔资料的情况下,可采用井下物探(电法、地质雷达)探测底板含水性,从而确定原始导高,原始导高的发育一般具有如下规律:

a. 剖面形态为高低不平的参差状,其发育与构造断裂密切相关。在断层带和陷落柱附近常形成异常导高带,在无构造影响地段,导高带很低或基本不存在。

b. 原始导高与岩性有关,一般在脆性岩层中比塑性岩层发育好,砂岩比泥岩中发育好。蒙脱石泥岩中一般不发育原始导高,这与泥岩遇水膨胀密实裂隙有关。

承压水在采动矿压作用下可再进一步向上导升,其导升高度可通过钻探、物探、超声波法进行探测。方法是在采前探出原始导高,在采动过程中及采过后重复探测观察,前后比较可确定承压水再导升高度。承压水的再导升与底板隔水层厚度及其力学性质、工作面斜长、顶板管理方式及含水层水头压力等因素有关。理论分析发现,采动引起的承压水再导升高度与有关因素存在下列关系:

$$h_3' = \frac{V_+ 2A(P - V_{h1})S_t - V}{AS_t}$$

式中 $A = 12L_x / [L_y^2 (L_x + 3L_x^2 - L_y)^2]$;
 h_3' ——底板采动承压水导升高度;
 h ——底板岩层总厚度;
 V ——底板岩层平均密度;
 P ——作用于该区底部的水压;
 S_t ——底板岩体抗拉强度;
 L_x ——工作面斜长;
 L_y ——沿推进方向工作面至采空区未压实区长度

承压水导高带为原始导高带与再导升带之和

3.3 有效保护层带厚度的确定

有效保护层带厚度 (h_2) 为底板隔水层总厚度 (h) 减去采动底板破坏带深度 (h_1) 与承压水导升带高度 (h_3) 之和,即: $h_2 = h - (h_1 + h_3)$

4 有效保护层带阻水能力评价

有效保护层带阻水能力取决于该带岩层厚度、岩性及其力学性能、构造发育程度等。

4.1 突水系数法

计算公式: $T_s = \frac{P}{h_2}$,

式中 T_s ——突水系数;

P ——隔水层承受的水压;

h_2 ——有效保护层带厚度

该式计算简便,意义明确。由于该式为 1984 年矿井水文地质规程(试行)中所推荐的方法,故在一些矿区已取得众多的经验值可供参考,在此不再赘述。

4.2 阻水系数法

是由现场钻孔水力压裂法实测的单位底板岩层的平均阻水能力,计算公式为:

$$Z = \frac{P_b}{R}$$

式中 Z ——阻水系数;

R ——裂缝扩展半径;(由现场测得,也可取经验值,一般可取 40~50 m);

P_b ——岩石体破裂压力,与地应力和岩体抗张强度有关。

$$P_b = 3\epsilon_{\text{H}} - \epsilon_{\text{H}} - T - P_0$$

式中 P_b ——岩石破裂压力;

ϵ_{H} 、 ϵ_{H} ——作用于岩体的最小、最大水平主应力;

T ——岩体的抗张强度;

P_0 ——岩体孔隙中的液压,值小时可略去。

利用阻水系数评价煤层底板安全性的原则是:

a. 若岩石破裂压力 (P_b) 大于水压 (P_w),则安全;

b. 若 $P_b < P_w$,则用水压 (P_w) 与有效保护层总阻水能力 ($Z_{\text{总}} = Zh_2$) 比较,若 $Z_{\text{总}} > P_w$ 则安全,若 $Z_{\text{总}} < P_w$ 则不安全。

对现有矿区压裂试验实测的各类岩层的阻水能力资料分析,可获得以下基本认识,即不同岩层一般阻水能力可考虑:中、粗砂岩为 0.3~0.5 MPa/m,细砂岩约 0.3 MPa/m,粉砂岩 0.2 MPa/m,泥岩 0.1~0.3 MPa/m,石灰岩约 0.4 MPa/m;断层带因其中充填物性质及胶结密实程度不同,其阻水能力变化很大,按弱强度充填物考虑,其阻水能力为 0.05~0.10 MPa/m

4.3 突水指数法

综合考虑影响保护层阻水能力的各种因素,包括厚度、岩性及岩石力学性质、断裂发育程度、所承受的水压等方面,采取单因素分析,综合确定的原则,建立突水指数与各相关因素的关系式。突水指数法是经过多种模型的运算和实际突水资料的反复拟合而最终选定的,在不同的矿区,甚至同一矿区不同地段,可能会有不同的模型。由于这方面的数据较少,尚不能建立一个统一的数学模型。

5 应用实例

“下三带”理论主要用于底板突水预测及开采安全性论证,编制采区或水平安全开采生产规划,为预防突水而选用合适的采煤方法及开采工作面尺寸。现以开滦赵各庄矿 2137 面为例,说明该理论在实际应用中的效果。

该面位于 -1 002 m 水平,采深在 1 000 m 以下,12 煤层厚 10 m,分 5 个分层开采,倾角 25~27°,工作面斜长 180 m;分 3 个小面,平均每个小面斜长 60 m,依次相错 5~7 m 沿走向推进,长壁垮落顶板管理,炮采落煤。奥灰距煤层 140 m,水压 9.81 MPa,突水系数 (0.07) 已超过临界值,属不安全开采。现重新评价如下:

第一分层采动破坏带深度按 (1) 式计算得 $h_1 = 27.1$ m, 平均每分层开采破坏深度增加 3 m (根据类比资料)。其余 4 个分层采完后破坏深度增加 12 m, 则 12 煤层 5 个分层采完后总破坏深度预计为 39.6 m。根据钻孔资料,该区隔水层底部为 13 m 厚的粘土质页岩,塑性强,隔水性好,承压水导高发育有限,按类比资料取 8 m,则保护层厚度为: $h_2 = h - (h_1 + h_3) = 140 - 39.6 = 92.4$ m。根据实测资料,平均阻水系数为 0.22 MPa/m, 92.4 m 保护层总阻水能力为

20.3 MPa, 大于实测水压 2 倍以上,故可保证安全开采。

实测验证资料如下:底板破坏带深度第一分层开采为 30 m, 5 个分层采完为 35 m。原始导高一般 < 5 m, 个别地段 (构造发育区) 较高, 但不超过 10 m, 由于隔水层厚度较大, 采后无再导升, 故承压水导升高度可按最大 10 m 计算, 这样, 该面实际保护厚度为 $h_2 = 140 - (35 + 10) = 95$ m。现场水力压裂实验所获岩体破裂压力为 12.97 MPa/m, 95 m 保护层总阻水能力为 22.62 MPa。据保护层失稳判别式, 水压 (9.8 MPa) < 破裂压力 (12.97 MPa); 水压 (9.8 MPa) < 保护层总阻水能力 (22.6 MPa)。故保护层在控制的时间内不会遭受承压水突破性的破坏。该面已实现安全回采。

参考文献

- 1 高延法,李白英.受奥灰承压水威胁煤层采场底板变形破坏规律研究.煤炭学报,1992,(17)1
- 2 张金才,张玉卓,刘天泉.岩体渗流与煤层底板突水.北京:地质出版社,1997
- 3 王作宇,刘鸿泉.承压水上采煤.北京:煤炭工业出版社,1993
- 4 张金才,刘天泉.论煤层底板采动裂隙带的深度及分布特征.煤炭学报,1990,(15)2:46-55

(收稿日期 2000-05-08)

SECURITY EVALUATION OF COAL MINING ABOVE THE CONFINED AQUIFERS

Wei Jiuchuan Li Baiying (Shandong University of Science and Technology)

Abstract The key of the coal mining above confined aquifers is to understand the water-resistance ability of the coal seam floor. Many factors have influence on water inrush from the floor, of them the geological conditions of the floor are the most important. The “down-three-zone” theory provides theoretical foundation for security evaluation. Based on that this paper presents a set of methods and technology to evaluate security of the coal mining above the confined aquifers.

Keywords floor; down-three-zone; coal mining; mine safety

“榆神矿区水资源保护和合理开发利用研究”项目启动

日前,由陕西煤田地质局立项的《榆神矿区水资源保护和合理开发利用研究》项目正式启动实施。该项目针对当前榆神矿区开发建设中,存在的水资源勘探工作薄弱,采煤与保水、资源开发与环境保护等突出问题,为落实党中央、国务院提出的西部大开发战略,加强生态环境保护 and 建设,实现可持续发展而确立的。项目由陕西省 185 煤田地质勘探队承担,预计 2002 年完成。

榆神矿区位于神府煤田的腹地,地跨陕西省榆林市和神木县,面积 2625 km²,以其储量巨大,煤质优良,开采地质条件优越,市场前景广阔而受到国内外专家和实业届人士的普遍关注。去年 6 月,省政府作出将全省煤炭工业向陕北转移,建设榆神矿区的决定。经过各方积极努力,目前榆神矿区前期开发建设已取得建设性的成果。除资金问题外,目前制约矿区进入实质性开发阶段的一个重要因素就是水资源问题。一方面由于该区地处毛乌素沙漠南缘,生态环境十

分脆弱,水资源本身贫乏,且勘探程度低;另一方面随着煤炭开发,如不采取切实的保护措施,势必造成对水资源的破坏,影响生态环境;因此加强对本区水资源保护和合理开发利用研究,显得十分必要和紧迫。该科研项目将通过资料收集、采样测试、模拟试验、微机计算和数值解译等多种手段,详细研究榆神矿区地下水的赋存规律、取水工程方式及其对生态环境的影响、矿区开发对地下水资源的影响及趋势、冒裂带高度及保水煤柱的留设、生态植被对潜水水位下降限制等内容,最终提出实现水资源可持续开发利用的方法措施,达到既采煤又保水。

该项目完成后,对于合理开发利用榆神矿区水资源,保护生态环境,促进榆林能源重化工基地建设,实现经济可持续发展,具有极为重要的现实意义。

(陕西煤田地质局 185 队 刘晓宏)