

大采深倾斜薄煤层底板采动破坏形态的连续探测

张文泉 张红日 (山东科技大学特采所 泰安 271019)

徐方军 李敬法 (华丰煤矿 新汶 271000)

摘要 利用多回路钻孔注(放)水连续探测系统,结合断裂力学分析,研究了大采深倾斜薄煤层底板采动破坏特征与形态,结果表明底板破坏形态为一匙形,与厚煤层开采所形成的破坏形态相比其破坏特征的差异在于,底板采动裂隙主要是原生节理裂隙的扩展,而工作面推过压实后,绝大部分裂隙又趋于闭合。

关键词 煤层 底板 破坏形态 连续测量

中国图书资料分类法分类号 TD313.1 P641.4

作者简介 张文泉 男 34 岁 博士 副教授 采矿

1 观测方法

底板采动破坏深度的大小是关系到承压水体上带压开采工作安全与否的一个重要因素,而正确确定底板采动破坏深度是预测底板阻水能力的首要条件。80 年代以来,我国一些矿井开展了底板采动破坏现场观测。但是这些观测,一般是在煤层底板内沿倾斜剖面布置钻孔,终孔于底板法线,每个钻孔只在底部留 2 m 裸孔段作为注(放)水观测点,其余孔段注浆封闭。因而这些现场观测均为点式间断观测,难以确切反映底板采动破坏的变化形态和破坏深度。为了连续观测底板破坏过程,深入研究底板采动破坏的动态变化,准确探测采动破坏深度,笔者研制了一种多回路钻孔注(放)水系统,其原理是在井下向上(或向下)打一任意俯(仰)角的钻孔,然后进行微分式分段注(放)水。由于封隔与注(放)回路各自独立,因而可根据注(放)水量精确判定底板采动破坏深度。该方法可使钻孔工程量大大减少,使用井下防尘水源,安全可靠,观测资料直观易懂。利用该系统我们成功地在新汶矿务局华丰矿 2 号井 41303 工作面进行了底板采动破坏过程的连续探测研究。

2 观测工程布置

41303 工作面走向长度约 260 m,倾斜长度约 120 m,位于二号井四采区下部,其上部 41302 工作面已经开采,其余边界未开采。所采煤层为石炭系太原组 13 层煤,平均厚度为 0.94 m,煤层倾角平均 30°。采用走向长壁法,放炮落煤,全部垮落法管理顶板。开采主要受到来自底板灰岩水的威胁。

2.1 底板采动破坏深度预计

根据我校多年来对底板采动破坏深度的研究,认为受采动影响底板岩层连续性遭到破坏,在层向上受底板矿压的作用,底板岩层受到一个“压缩—膨胀—压缩”的重复作用过程,在层面方向上产生离层破坏,而在垂直方向上受剪切及层向拉力的作用,形成垂直的底板破坏带。根据我国已有的十多个工作面底板破坏深度的实测资料,通过对各种因素的对比分析,考虑到数学描述的可能性,选取开采深度、煤层倾角、岩石强度和工作面斜长等 4 个主要因素,进行了多元逐步回归分析,底板岩层强度用“坚固性系数 F ”来定量描述,得到底板破坏深度的回归公式(相关系数为 0.9444)为:

$$H_1 = 0.1105L + 0.006H + 0.4541F - 0.0085\alpha - 2.39,$$

式中 H_1 —— 底板采动破坏深度, m;

L —— 工作面斜长, m;

H —— 开采深度, m;

F —— 岩石坚固性系数;

α —— 煤层倾角(°)。

根据华丰矿的开采参数,由以上回归公式计算可得底板采动破坏带深度为 15.85 m,根据这一计算结果,可以初步判定底板采动破坏带深度大约在 15 m 左右。

2.2 观测剖面布置

观测剖面位置的确定首先应考虑采前需打孔观测的层位,而且要留有一定的富裕时间;其次要考虑钻机安置处(钻窝)围岩的完整性,以便于巷道峒室的维护和观测孔孔口的完整;还应考虑水源、通风行

人的方便。由于开采初次来压与正常开采周期来压对底板破坏的强度不同,我们选择两个剖面进行观测:第一观测剖面设在距开切眼 27~30 m 位置,即开采初次来压步距位置;第二剖面可选择在距第一个剖面 4~5 个周期来压步距的位置,距开切眼约 70~80 m。(图 1)

2.3 观测钻孔布置

采前打的钻孔用于观测未受采动影响的煤层底板岩层的原始裂隙状态,旨在提供采后对比的基础;采后观测用于控制底板岩层导水破坏带的最大发育深度。为了达到预期的试验目的,钻孔施工与布置按表 1 规定的钻孔要素(表 1)进行。

3 现场观测资料分析

3.1 采前观测资料分析

41303 工作面第一剖面的 3 个钻孔在工作面回采不久就已打好,这 3 个钻孔均程度不同的向外涌水,但水量都不太大,其中 3 号孔岩层完整,涌水量较小,1 号、2 号孔涌水量相对较大,3 个孔采前、采后的涌水量变化均不明显。

从分段注水漏失量观测成果(图 2)来看,1 号孔从孔口到孔底,大体上可分为 3 个漏水段,分别为孔口到 21 m 段、34 m 到 39 m 段、49 m 到 51 m 段,在孔口部位漏失量较小。这是由于钻孔施工破坏了围岩浅部,形成了围岩松动圈;从 9 m 到 13.5 m 这一段漏失量相对较大,说明底板岩石的原生裂隙还比较发育;而在 34 m 到 39 m 段、49 m 到 51 m 段漏失量均不大,说明在这两个部位底板岩层有小裂隙发育;而在其余孔段,注水漏失量均为零,表明岩层具有相对完整性,没有大裂隙发育。2 号钻孔的情况与 1 号孔略有不同,漏失量较大的部位在 15 m 到 18 m 之间以及 40.5 m 处;其余孔段漏失量相对较小或没有漏失,说明岩层保持完整。

综合 1 号、2 号孔的注水观测结果可以看出,41303 工作面底板岩层在浅部裂隙有所发育,中部

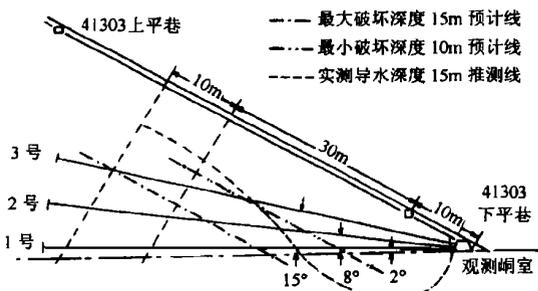


图 1 观测钻孔布置与底板破坏形态图

表 1 钻孔要素

| 剖面 | 孔号 | 名称 | 孔径/mm | 方位 | 仰角 | 孔深/m | 完成时间 |
|----|------|-----|-------|-------|-----|------|-----------|
| I | I-1 | 采前孔 | 73 | 垂直工作面 | 2° | 60 | 开采前 5 天 |
| I | I-2 | 采后孔 | 73 | 垂直工作面 | 8° | 60 | 推进 15 m 时 |
| I | I-3 | 采后孔 | 73 | 垂直工作面 | 15° | 60 | 推进 25 m 时 |
| II | II-1 | 采前孔 | 73 | 垂直工作面 | 2° | 60 | 推进 35 m 时 |
| II | II-2 | 采后孔 | 73 | 垂直工作面 | 8° | 60 | 推进 55 m 时 |
| II | II-3 | 采后孔 | 73 | 垂直工作面 | 15° | 60 | 推进 65 m 时 |

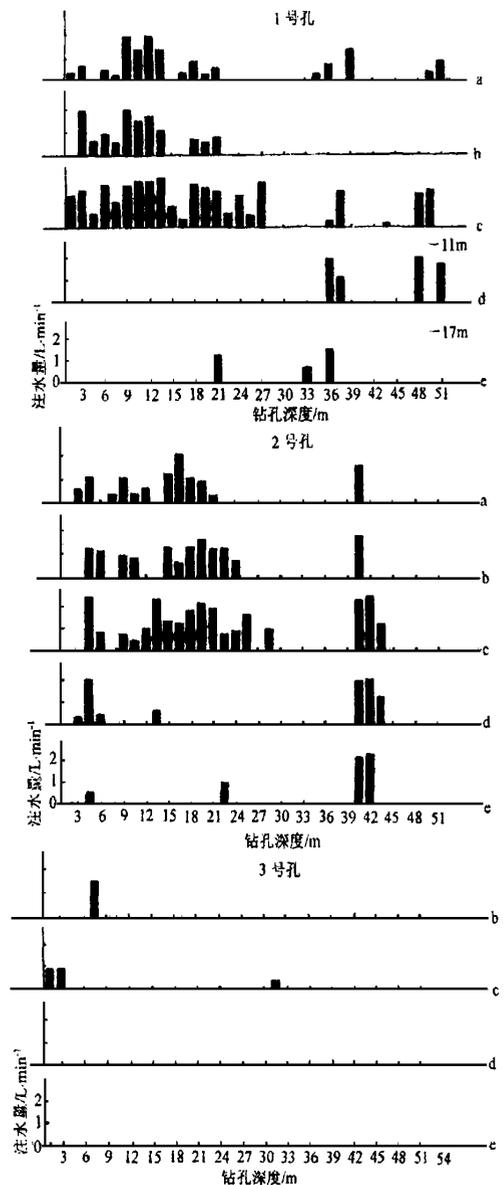


图 2 钻孔注水量实测成果图

- 采前;
- b—工作面推进距观测剖面 15 m;
- c—工作面推进距观测剖面 2 m;
- d—工作面推进距观测剖面 11 m;
- e—工作面推进距观测剖面 17 m

岩层保持完整, 深部的局部区域有孤立的小裂隙发育, 这与该采区其它工作面的底板岩层发育状况基本一致。

3.2 采中 采后观测资料分析

由图 2 可以看出 1 号孔在工作面推进距观测剖面 15 m 的时候, 其浅部的注水量有所增大, 中部变化不大, 少数点漏失量减小, 深部则因超前支撑压力的滞留作用, 裂隙闭合而不漏水。在工作面推进距观测剖面约 2 m 时, 由于 41303 工作面所采煤层极薄, 煤壁向里 4~8 m 范围内已受到破坏, 支撑压力峰值点前移, 因此底板产生膨胀, 此时剪切力破坏作用极大。我们的研究表明, 煤壁前方浅部岩层底板内的最大剪应力均在其外法线与铅垂线大致成 40° 和 130° 的截面上, 在这种应力状态下, 岩体内的两组剪切线与铅垂线大致成 $(40^\circ + \Phi/2)$ 和 $(50^\circ + \Phi/2)$ 角。从旋转应变的观点看, 后一组剪应变发育更明显, 因其随着变形的发展向张裂面方向转动, 使面上的正应力变小, 从而容易被剪裂。因此底板内与这组剪裂面重合的结构面, 即与水平线成 $(40^\circ + \Phi/2)$ 夹角的结构面将遭受最大的剪切破坏, 在一定的条件下会形成更大的突水通道。因此整个孔段的注水量全部增加, 并且在浅部和中部增加较大, 说明有新的裂隙产生(22.5~27 m 段), 深部只是原有裂隙的扩大, 与中部漏水段有完整岩层相隔。工作面推过观测剖面约 11 m 时, 因浅部至中部裂隙已闭合或因采后重新扫孔而堵塞了裂隙, 观测注水量为零, 深部裂隙未发生大的变化。至工作面推进过观测剖面 17 m 时, 由于顶板早已冒落压实, 全部孔段裂隙趋于闭合, 注水量明显减小或者为零。因此应将采后裂隙产生的最深位置(27 m) 视为最大破坏深度, 转换成煤层底板法线深度为 13.6 m。

2 号孔的注水量变化情况与 1 号孔基本相同, 新裂隙产生于 25.5 m 与 28.5 m 处, 27 m 处无裂隙, 可以认为, 28 m 处的裂隙是一个孤立点, 但是为安全起见, 仍将 28.5 m 视为最大采动破坏深度位置, 转换成煤层底板法线深度为 10 m。

3 号孔的整个孔段采前、采后几乎全部不漏水。只是在工作面推进距观测剖面 15 m 时, 因受超前集中应力的动压破坏作用影响, 孔口浅部出现一非连通性裂隙; 在工作面推进到距观测剖面 2 m, 采动破坏最大时, 除孔口浅部外, 中部 31.5 m 处有一非连通性裂隙, 显然完整岩层的底板破坏深度极小, 即使如此, 为安全起见 仍将 31.5 m 处视为最大采动破坏深度位置, 转换成煤层底板法线深度也只有 9.03 m。

综上所述, 41303 工作面在岩层原有裂隙处破坏较强, 在完整岩层段破坏较弱。采动裂隙主要是在原生节理裂隙基础上扩展, 而工作面推过观测剖面, 顶板冒落压实后, 许多(原生)裂隙又趋于闭合, 这是本次实测的一个重要特点。这与大采深厚煤层开采(如开滦赵各庄矿等)的底板采动裂隙有所差异。厚煤层开采时, 采动裂隙不仅在原生节理裂隙上扩展, 也产生新的裂隙, 而且工作面推过压实后, 由于采动压力大, 产生了节理裂隙的剪切扩容, 裂隙并不完全闭合。

由于 41303 工作面采动破坏裂隙分布靠近下平巷附近破坏深度大, 约 13 m, 距下平巷 30 m 附近破坏深度约 9 m, 再向上则迅速减少。因而实测导水破坏深度推断线形态为一匙形, (图 1) 与煤科院张金才等学者的数值模拟研究结果完全吻合, 这充分说明了本次实测结果的可靠性。

3.3 对有关问题的分析与认识

根据已有钻探资料, 41303 工作面 13 层煤底板岩层为砂岩、粉砂岩、15 煤、粘土岩、砂岩等, 总体属于中硬岩层。按照中硬岩层单一煤层(薄及中厚煤层)开采来预计底板采动破坏深度, 其预计值为 15.06~15.85 m。而实测资料表明, 在底板裂隙较发育处, 采动破坏深度为 10.3~13.6 m, 完整岩层处底板采动破坏深度很小, 甚至可以忽略不计。这是由于 13 层煤底板砂岩、粉砂岩的厚度较大, 强度也很大, 若无原始断裂和裂隙存在, 采动作用很难使其完全破坏。断裂力学的研究成果也证明了这一点, 相临上下两岩层, 受采动破坏靠近底板的岩层中的裂缝能否扩展到下面的岩层中去, 取决于接近两层界面处裂隙端部的应力强度因子的变化情况。(图 3) 假定上下岩层具有相同的泊松系数, 但弹性模量差别较大, 由图可以看出, 当上岩层的弹性模量 E_2 比下岩层的弹性模量 E_1 小得多(设 $E_1 = 2E_2$)

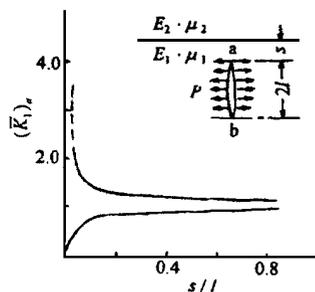


图 3 应力强度因子随界面距离的变化
(K_1)_a — a 点处的无因次应力强度因子; s/l — 无因次界面距;
 $\mu = \mu, K_1 = K_1/P \quad \bar{L}$

时, 裂缝向界面逼近, 导致其端部的 K_1 不断增大, 因此裂缝愈接近于交界面愈易于扩展, 最后穿过界面延伸到下一岩层中去。相反, 若 $E_2 = 2E_1$ 时, $S/L \rightarrow 0$, 导致 $K_1 \rightarrow 0$, 这就意味着下一岩层对上一岩层中的裂隙扩展起着阻挡作用, 最终使裂隙的扩展终止于界面上。这表明在岩层完整的情况下, 硬岩层比软岩层更能终止裂缝的扩展。然而软岩塑性较大, 能承受较大的弯曲变形, 易于损耗劈裂能量, 不易产生裂缝, 大多数的软岩中又含有遇水膨胀的物质, 易于堵塞裂缝, 这对采动裂隙可以起到抑制作用。因此阻止底板岩层裂隙发展的最佳岩层组合是以硬岩开始, 然后是软岩, 再次就是硬、软岩叠加。这样硬岩层抵抗断裂的发生, 而软岩层则可以抑制裂隙的扩展, 再往下的硬岩层对裂隙起终止作用, 这就可以降低裂隙的进一步发展。41303 工作面底板岩层的组合与此最佳组合比较相近, 底板先是以厚层砂岩开始, 下面有一层较软的粘土岩, 对裂隙的扩展十分不利, 因而, 41303 工作面底板破坏深度值小于数值模拟结果。

4 结论与建议

通过对华丰煤矿 41303 工作面底板采动破坏深

度探测, 我们得出以下几点认识:

a. 41303 工作面开采煤层较薄, 因其开采深度较大, 受采动矿压的作用, 加之原始裂隙的影响, 底板采动破坏深度为 10.3~13.6 m, 小于预计值 15.55 m, 这与其底板岩层的岩性及组合形式有关。

b. 41303 工作面在岩层原有的裂隙处破坏较强, 在完整岩层段破坏较弱。采动裂隙主要是在原生节理裂隙的基础上扩展, 而工作面推过压实后, 许多(原生)裂隙又趋于闭合, 这是本次实测的一个重要特点。这与大采深厚煤层开采(如开滦赵各庄矿等)的底板采动裂隙有所差异。

c. 阻止底板岩层裂隙发展的最佳岩层组合是以硬岩开始, 然后是软岩, 再次就是硬、软岩依次叠加。

参考文献

- 1 黄荣搏. 水力压裂裂缝的起裂和扩展. 石油勘探与开发, 1981; (5):38
- 2 张金才等. 论煤层底板采动裂隙带的深度及分布特征. 煤炭学报, 1990; (2):151~152
- 3 张文泉. 岩层阻水能力与岩性结构及组成的关系. 煤田地质与勘探, 1992; (4):15~25

(收稿日期 1999-09-07)

CONTINUOUS EXPLORATION FOR THE MINING FAILURE FORM OF THE INCLINE AND THIN COAL SEAM'S FLOOR UNDER THE HIGH DEPTH

Zhang Wenquan Zhang Hongri (Shangdong Institute of Mining and Technology)
Xu Fangjun Li Jingfa (Huafeng Coal Mine)

Abstract In this paper, the mining failure feature and form of the incline and thin coal seam's floor is researched by using the test result of the continuous exploration system with multi-pipeline in the borehole and the analyses of fracture mechanics. The result indicates that the floor's failure form likes a spoon. The difference between the failure feature of thin coal seam and the ones of thick coal seam is that the mining fractures in the floor are mainly the expansion of original joints and fractures, and the most fractures tend to close after the working face passed and the floor's rock strata are compacted.

Keywords coal seam; floor; failure analysis; continuous measurement

"典型煤矿区(屯留-安泽)煤层气地面开发前期评价及开发技术研究"获煤炭科技进步三等奖

该项目是煤科总院西安分院承担的原煤炭部重点项目, 其针对煤层气领域的技术发展需要, 优选出具有一定研究基础和正在进行大规模开发试验的屯留-安泽地区作为研究试验区, 结合我国地质条件和储层特征, 重点就煤层气资源评价、煤层气高渗富集区块预测、储层模拟、产能预测、经济评价、钻井及完井技术、压裂排采技术及优化等关键技术进行了勘探开发试验和理论研究, 摸索出一套实用的前期

评价理论和勘探开发工艺技术。研究成果已被中国煤田地质总局所属北京大地技术开发公司、山西晋丹能源研究开发有限公司、中联煤层气有限责任公司、阳煤集团煤层气开发总公司等多家采用, 创造了良好的经济效益和社会效益。参加该项目鉴定的专家认为, 与国内外同类技术相比, 该项目总体已达到国内领先水平, 所开发的储层模拟软件已达国际先进水平。(煤炭科学研究总院西安分院 夏宇靖)