

基于 UDEC 与示踪法对某矿覆岩“三带”高度范围的研究*

史东瑞, 杨根发, 张红周, 何喜刚

(华亭煤业集团有限责任公司 东峡煤矿, 甘肃 华亭市 744100)

摘要:西北矿区煤炭资源丰富,但煤层区域储量多变,瓦斯赋存量较大,地质条件相对复杂。为了确保开采过程中瓦斯得以高效抽采,并有效避免事故的发生,采空区覆岩“三带”的确定与高位钻孔的布置显得十分重要。为准确获取中厚煤层覆岩“三带”的范围,以甘肃某矿15号煤层为工程背景,结合理论公式、数值模拟、示踪技术3种方法进行研究。结果表明,该矿采用3种研究方式测得的“三带”高度范围相差不大,综合分析得出垮落带范围小于6~8 m,断裂带的范围为8~33 m,弯曲下沉带的范围大于33 m。该矿采空区瓦斯抽采钻孔应布置在顶板8~28.2 m处,抽采效果较好。对于矿井现场来说,示踪技术相对经济、快捷,辅助理论公式与数值模拟方法得出的结果更精确。

关键词:中厚煤层;“三带”高度;UDEC;示踪技术

0 引言

近年来,随着中东部煤炭资源的枯竭,西部煤炭能源迎来了长久发展契机。西北矿区地质条件较为复杂,薄煤层及中厚煤层资源储量较多,区域储量多变,且矿区瓦斯赋存量较大。针对甘肃大部分矿井而言,采空区瓦斯有效抽采是十分必要的,在保证矿井高效生产的同时,避免煤矿安全事故的发生,顺应当前“绿色开采”的理念。

随着开采工作面的不断推进,周围岩体不断受到开采扰动,导致工作面顶板在垂直方向上出现“三带”,即垮落带、裂隙带、弯曲下沉带,“三带”高度的划分对于采空区瓦斯抽采钻孔的布置具有重要指导意义^[2-3]。基于国内外学者对“三带”高度的研究,目前测定技术有理论分析、模拟分析、现场测定等^[4-6]。通过理论计算,针对不同实际工况和地质条件对采空区覆岩规律进行了有益的探索和研究,取得了大量的研究成果^[7-12]。但不同地层、不同地质构造所对应的覆岩规律是有差异性的。在前人研究的基础上,结合理论公式、UDEC模拟、现场测定3种方法对甘肃某矿深部煤层开采过程中采空区上覆岩层的移动变化规律进行研究,以期得到此类地质构造下的覆岩移动规律,并为此类地质条件矿井采空区高

位钻孔的布置提供借鉴。

1 矿井概况

井田位于甘肃省东部华亭市,整体上一单斜构造,地层走向 $125^{\circ}\sim 160^{\circ}$,由北往南略呈“S”形,地层倾向 $30^{\circ}\sim 80^{\circ}$,倾角为 $22^{\circ}\sim 38^{\circ}$ 。井田内斜交断层较发育,区域性断层龙昌断层位于井田北部,F1断层位于矿区可采煤层,该煤层为15号煤层,位于煤层南部,F2断层位于矿区北部,3条断层东西向贯穿整个矿区。区内含1层全层厚度为1.01~3.18 m、平均厚度1.72 m的煤层,煤层不含夹矸,属结构简单的全区可采较稳定煤层。顶板为薄至中厚炭质、粉砂质黏土岩,底板为粉砂质泥岩或泥岩,顶板岩石质量中等,完整性中等,属较软-坚硬等岩类,稳固性中等。15号煤层直接顶饱和单轴抗压强度在20.63~31.79 MPa之间,平均为26.54 MPa,顶板管理采用全部陷落法。

2 “两带”高度的理论计算

“两带”常指冒落带与导水裂隙带,确定“两带”的范围,两带以上范围为弯曲下沉带。根据《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规范》,采用经验公式(1)和公式(2)分别对煤层分层开

* 收稿日期: 2023-03-26

作者简介: 史东瑞(1988—),男,甘肃泾川人,工程师,主要从事煤矿测量工作,E-mail:769997112@qq.com。

采的垮落带高度、裂隙带高度进行计算。

垮落带高度:

$$H_K = \frac{100 \sum M}{4.7 \sum M + 19} \pm 2.2 \quad (1)$$

裂隙带高度:

$$H_{Li} = \frac{100 \sum M}{1.6 \sum M + 3.6} \pm 5.6 \quad (2)$$

式中, H_K 为垮落带高度; $\sum M$ 为累计采厚; H_{Li} 为导水裂隙带高度。

将煤层采高 1.7 m 代入式(1)、式(2), 得出垮落带高度为 4.15~8.55 m, 导水裂隙带高度为 21.47~32.68 m。

3 UDEC 模拟及结果分析

为了进一步精确得出覆岩“三带”的分布状况, 采用 UDEC 模拟软件, 结合该矿的地质条件建立计算模型, 其模型长 180 m, 高 82 m。将模型左右两侧及底部速率设为 0, 顶部施加覆岩层的载荷, 且在距离模型的左右两侧边界预留 40 m 的煤柱, 消除模型边界对模型开挖结果的影响。待模型建成后, 进行工作面的推进, 通过对不同时期开挖后的模型图进行分析, 观察“三带”高度范围^[13-14]。针对该矿, 共模拟了 5 个推进度, 分别为推进 10 m、20 m、30 m、40 m、80 m, 并对其顶板状况图进行分析。顶板状况如图 1 所示。

由图 1 可知, 工作面推进至 10 m 时发生初次垮落, 此时垮落高度为 4.5~5.5 m。随着工作面的推进, 裂隙不断向上发育, 受基本顶破断的影响, 直接顶垮落高度增加, 当推进度达到 30 m 时, 此时冒落带的最大高度为 8.0 m。当工作面推进到 40 m 时采空区出现压实区, 此时裂隙高度达到 33 m 左右。当工作面进行向前推进, 直至 80 m 时, 采空区后方一定区域逐渐压实, 裂隙带高度几乎未发生改变, 仅存在一些弯曲下沉造成的少量微裂隙。因此, 通过数值模拟得到垮落带的高度为 6~8 m, 导水裂隙带的最大高度达 33 m 左右。

4 示踪法测定覆岩“三带”高度

4.1 示踪气体测定技术

示踪技术应用示踪剂来研究气体流动的踪迹和规律, 将其用于煤矿“竖三带”的高度测定较为方便^[15-16]。结合该矿地质条件, 此次示踪剂采用 SF₆。

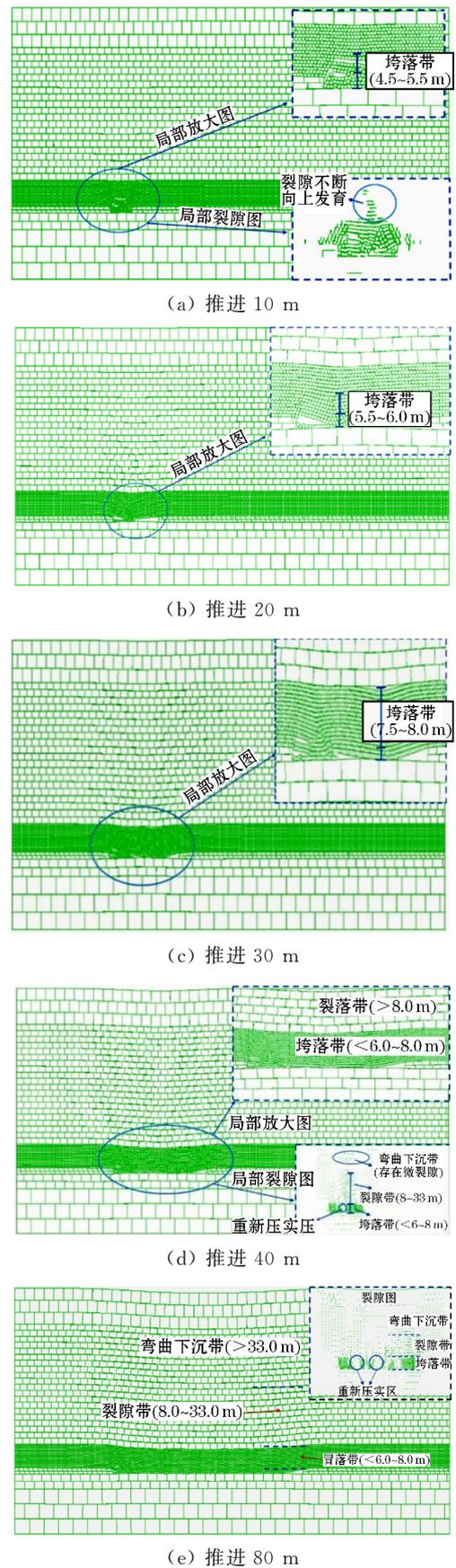


图 1 顶板状况

气体,该气体为惰性气体,化学稳定性较强,且监测灵敏度较高。此次所用监测设备为 SF₆ 气体检测仪,另外还需 SF₆ 气体注气管、压力表、封孔材料等。将气体 SF₆ 注入预先打好的高位测试钻孔中,随着工作面的推进,钻孔由最初的原岩应力区进入到裂隙带区域及垮落带区域,高位钻孔里的示踪气体 SF₆ 逸散到采空区内,观测采空区瓦斯抽采管路中 SF₆ 的出现的时间及浓度变化,通过高位钻孔与工作面的距离即可确定工作面覆岩“三带”的高度。

随着工作面的推进,高位测试钻孔由原岩应力区过渡到裂隙带区域,再由裂隙带区域过渡到垮落带区域,最后垮落区域及裂隙区域又被重新压实。当高位钻孔由原岩应力区过渡到裂隙带区域时,测试钻孔内的气体 SF₆ 开始向采空区逸散,即 SF₆ 气体检测仪监测出采空区瓦斯抽采管出现气体 SF₆,且随着裂隙带的发育,抽采管中气体 SF₆ 的浓度在一定时间内会不断提高,达到一个峰值。随着覆岩裂隙的不断发育,高位钻孔由裂隙带区域过渡到垮落带区域时,由于钻孔漏风,导致抽采管中气体 SF₆ 的浓度在一定时间内逐渐降低,直至趋于稳定。高位测试钻孔在由原岩应力区—裂隙带区域—垮落带区域—重新压实区过渡的过程中,采空区瓦斯抽采管中气体 SF₆ 的浓度曲线呈“驼峰”状,共出现了 3 个转折点 A、B、C。其分别对应的是钻孔进入裂隙发育阶段(即裂隙带的上部边界)、裂隙带发育最完全阶段、裂隙停止发育阶段(裂隙带的下部边界),如图 2 所示。裂隙带高度确定后,即可确定其余“两带”高度。

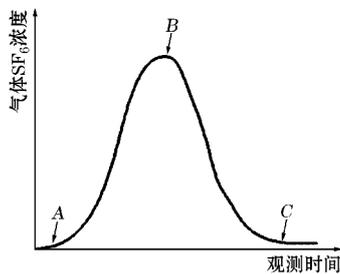


图 2 气体 SF₆ 浓度变化曲线

4.2 试验方案及结果分析

基于示踪气体测定技术的原理,采用多个钻孔进行对比测定分析,避免试验的偶然性。此次在 15101 工作面回风巷施工 4 个不同高度的高位钻孔,4 个钻孔的垂高分别为采高的 10 倍、15 倍、20 倍、25 倍。每个钻孔之间间距设为 100 m,保证各钻

孔互不影响。待钻孔完成后,向钻孔内放注气管,直至钻孔底部,并对钻孔进行封孔,且封孔高度不影响气体 SF₆ 的注入。待封孔结束后,将各钻孔注气管与注气装置连接,通过压力表与流量计来保证 4 个钻孔中 SF₆ 的总量和压力相同。钻孔布置示意图如图 3 所示。高位钻孔参数详见表 1。

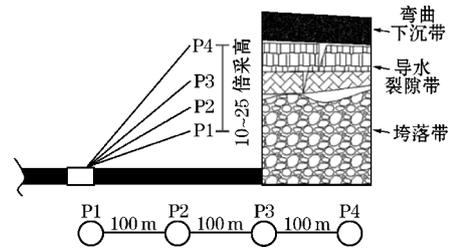


图 3 钻孔布置示意

表 1 高位钻孔设计参数表

孔号	倾角/(°)	孔深/m	孔径/mm	垂高/m	备注
P1	20	50.3	104	17.2	10 倍采高
P2	30	51.6	104	25.8	15 倍采高
P3	40	53.5	104	34.4	20 倍采高
P4	50	56.1	104	43.0	25 倍采高

随着工作面的推进,高位钻孔从原岩应力区过渡到裂隙带区域,再由裂隙带区域过渡到垮落带区域,随着裂隙的逐渐发育,气体 SF₆ 不断扩散。不同高度的高位钻孔所受采动影响不同,且气体 SF₆ 的扩散时间及扩散程度也有所区别。通过气体 SF₆ 浓度随时间变化的曲线图,记录每个钻孔出现气体 SF₆,从浓度开始增加,到达峰值,再降低,最后趋于稳定。采空区瓦斯抽采管气体 SF₆ 浓度变化图,如图 4 所示。对 4 个钻孔相对应的采空区抽采管中气体 SF₆ 浓度曲线图进行分析。

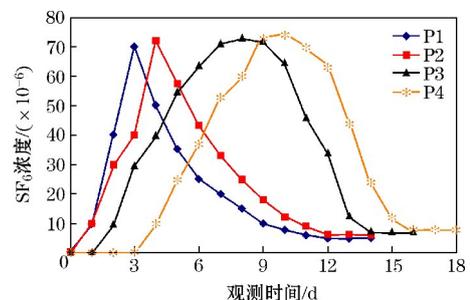


图 4 采空区 SF₆ 浓度变化曲线

由图 4 可以看出:

(1) 由于各钻孔布置的垂高不同,受采动影响程度不同,气体 SF₆ 的浓度扩散程度也就不同。钻

孔 P1、P2 对应的浓度曲线未出现“驼峰”状,说明钻孔垂高相对较低,受采动影响较大,只经历了裂隙发育的部分过程。钻孔 P3、P4 对应的浓度曲线出现“驼峰”状,说明钻孔经历了裂隙发育的全过程。

(2) 从钻孔 P1 的浓度变化曲线可以看出,采空区 SF_6 浓度在第 3 天达到最高浓度,最高浓度为 70×10^{-6} ,根据此时工作面与钻孔的间距,此时钻孔对应垂高点为 16.2 m。之后浓度迅速下降,直至稳定,最低浓度为 5×10^{-6} 。此时钻孔对应垂高点为 7.4 m,则断裂带下边界为 7.4 m。

(3) 从钻孔 P2 的浓度变化曲线可以看出,采空区 SF_6 浓度在第 4 天达到最高浓度,最高浓度为 72×10^{-6} ,根据此时工作面与钻孔的间距,此时钻孔对应垂高点为 22.1 m。之后浓度迅速下降,直至稳定,最低浓度为 6×10^{-6} 。此时钻孔对应垂高点为 9.6 m,则断裂带的下边界为 9.6 m。

(4) 从钻孔 P3 的浓度变化曲线可以看出,在观测时间的第 2 天,采空区出现气体 SF_6 ,此时钻孔对应垂高点为 30.1 m。随着工作面的推进,气体浓度 SF_6 逐渐增加,最高浓度为 73×10^{-6} ,此时钻孔对应垂高点为 23.4 m。之后浓度迅速下降,直至稳定,最低浓度为 7×10^{-6} 。此时钻孔对应垂高点为 11.2 m,则断裂带的上边界为 30.1 m,下边界为 11.2 m。

(5) 从钻孔 P4 的浓度变化曲线可以看出,在观测时间的第 4 天,采空区出现气体 SF_6 ,此时钻孔对应垂高点为 32.5 m。随着工作面的推进,气体浓度 SF_6 逐渐增加,最高浓度为 73×10^{-6} ,此时钻孔对应垂高点为 28.2 m。之后浓度迅速下降,直至稳定,最低浓度为 8×10^{-6} 。此时钻孔对应垂高点为 12.3 m,则断裂带的上边界为 32.5 m,下边界为 12.3 m。

综上所述,垮落带的范围为小于 7.4 m,导水裂隙带的范围为 7.4~32.5 m,弯曲下沉带的范围为大于 32.5 m,断裂带发育完全的层位位于 23.4~28.2 m。

5 结论

(1) 通过理论计算垮落带高度为 4.15~8.55 m,导水裂隙带高度为 21.47~32.68 m。

(2) 通过数值模拟结果可知,垮落带的高度为 6~8 m,导水裂隙带的最大高度达 33 m 左右。当工作面推进至 40 m 时,采空区后方出现重新压实区。

(3) 通过示踪气体技术测得,高位钻孔 P1 与 P2

垂高较低,只经历了裂隙发育的部分过程,钻孔 P3 与 P4 垂高相对较高,经历了裂隙发育的全过程。垮落带的范围为小于 7.4 m,导水裂隙带的范围为 7.4~32.5 m,弯曲下沉带的范围为大于 32.5 m,断裂带发育完全的层位位于 23.4~28.2 m。

(4) 结合 3 种方式,该矿垮落带范围小于 6~8 m,断裂带的范围为 8~33 m(断裂带发育完全的层位位于 23.4~28.2 m),弯曲下沉带的范围大于 33 m。该矿采空区瓦斯抽采钻孔应布置在顶板 8~28.2 m 处,抽采效果较好。对于煤矿来说,气体示踪技术相对经济、安全、高效,综合分析理论公式与数值模拟结果,精确度也相对较高。

参考文献:

- [1] 国务院办公厅. 国务院办公厅关于印发能源发展战略行动计划(2014—2020 年)的通知[R/OL]. (2014-06-07)[2023-03-01]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2014/content_2781468.htm
- [2] 张英华,伯玉兰,高玉坤,等. 平山煤矿覆岩“三带”划分及瓦斯抽放位置的确定[J]. 矿业研究与开发,2017,37(5):44-48.
- [3] 王春华,刘萍,康向涛,等. 基于数值模拟的高位瓦斯抽采巷层位布置研究[J]. 矿业研究与开发,2018,38(7):10-13.
- [4] 杨达明,郭文兵,赵高博,等. 厚松散层软弱覆岩下综放开采导水裂隙带发育高度[J]. 煤炭学报,2019,44(11):3308-3316.
- [5] 许满贵,魏攀,李树刚,等. “三软”煤层综采工作面覆岩运移和裂隙演化规律实验研究[J]. 煤炭学报,2017,42(增刊 1):122-127.
- [6] 丁飞飞,李希建,肖耀猛,等. 五轮山矿 8# 煤层顶板“三带”发育规律研究[J]. 矿业研究与开发,2018,38(6):61-64.
- [7] 刘振广,崔宏磊,黄美涛. 特厚煤层综放开采导水裂隙带发育高度分析[J]. 煤炭技术,2020,39(9):119-122.
- [8] 高永格,秦佳斌,李奇贤. 导水裂隙带发育规律的模拟研究[J]. 煤炭技术,2016,35(12):142-144.
- [9] 张延飞,魏久传,谢道雷,等. 导水裂缝带高度的多方法综合确定[J]. 矿业研究与开发,2017,37(1):89-92.
- [10] 徐磊,李希建,田波,等. 基于网络并行电法的顶板“三带”发育研究[J]. 采矿技术,2017,17(6):59-62.
- [11] 李民峰,郭重威,吴群英,等. 陕北矿区采动覆岩裂隙空间分布及裂隙带高度预测[J]. 煤炭技术,2022,41(10):178-181.
- [12] 冯培云,张嘉勇,武建国,等. 基于主应力判定的高位钻孔抽采瓦斯参数优化研究[J]. 工业安全与环保,2022,48(9):13-17.
- [13] 李振峰,靳晓敏. 应用 UDEC 进行顶板“三带”范围划分的数值模拟研究[J]. 矿业安全与环保,2015,42(4):21-24.
- [14] 徐刚,王云龙,张天军,等. 厚煤层采动覆岩裂隙分布特征及卸压瓦斯抽采技术[J]. 煤矿安全,2020,51(2):150-155.
- [15] 李迎春,杨胜强,张帅. 基于示踪气体采空区漏风通道定性识别[J]. 煤矿安全,2013,44(1):185-188.
- [16] 邹永洛. 基于示踪气体法的覆岩“竖三带”测定[J]. 煤矿安全,2019,50(5):7-10.