

综采膏体充填绿色开采柔性隔离技术研究

康显强¹ 宋光远^{2,3} 胡艳峰² 李元林²

(1. 山西高河能源有限公司 山西长治 046000; 2. 徐州中矿大贝克福尔科技股份有限公司 江苏徐州 221000; 3. 山西中矿充填科技有限公司 山西长治 046000)

摘要:以高河能源 E1302 顶分层综采充填工作面为工程背景,为解决煤矿充填开采过程中采空区隔离耗时长、充填效果不佳、采充循环进尺缓慢的难题,提出了综采膏体充填柔性隔离技术,针对充填液压支架结构进行了改良和优化,对比分析了技术经济性,并开展了现场试验。研究结果表明:充填液压支架改进应用后隔离工序效率提升了 30%,采空区隔离及膏体充填接顶效果显著,实现了井下“割煤—隔离—充填”高效协同化,为工作面回采与采空区充填的有序接替提供了技术保障。

关键词:综采膏体充填;工作面;采空区;柔性隔离;液压支架

0 引言

我国资源赋存特征决定了煤炭在能源结构中的主体地位,未来一段时间内,煤炭仍是我国能源安全稳定供应的“压舱石”^[1-4]。当前全球温室效应不断加剧,生态环境问题日益凸显,在此背景下煤炭传统行业面临诸多挑战和机遇。伴随“绿水青山就是金山银山”生态理念的深入人心和“双碳”战略目标的驱动,绿色开采已成为当前我国煤炭开采的一大主题^[5]。实施煤矿充填开采,对于加快推进矿山传统生产方式变革、提高固废资源利用率、保护矿区生态环境具有十分重要的科学及现实意义,是促进煤炭产业绿色低碳转型、赋能煤矿企业高质量发展的重要路径和技术手段。

我国充填采煤方法主要有固体充填、膏体充填、超高水充填和覆岩离层注浆^[6-9]。膏体充填具有膏体压缩率低、适用范围广、采出率高等显著优势,已在山东、山西、陕西、内蒙等多个矿区得到推广应用,并取得了较高的经济和社会效益。

采空区能否有效隔离直接决定了工作面充填效率和顶板控制效果,是整个充填工艺过程中的关键环节。与此同时,国内外学者对煤矿膏体充填的研究多集中在膏体充填材料、充填体力学响应行为、覆岩移动变形控制等方面^[10-15],针对综采膏体充填柔性隔离的研究相对较少,基于此,本文以山西某矿充填工作面为工程背景,研究综采膏体充填开采柔性快速隔离技术,旨在为“三下”煤层膏体充填开采提供有益借鉴和技术价值。

1 工程概况

山西路安集团高河能源主采 3#煤,其赋存于二叠系下统山西组,煤层厚度 5.8~6.9m,平均厚度 6.4m,平均倾角 2°。全煤伴有一层 0.2m 厚炭质泥岩夹矸,底板标高 490.2~510.8m。煤层具有爆炸危险性,属于不易自燃煤层,坚固性系数 $f=0.7$,煤层稳定性较高。直接顶为泥岩、砂质泥岩、细粉砂岩,老顶以砂岩为主,底板为粉砂岩—细砂岩。

该矿井“三下”压煤十分严重,初步统计煤炭呆滞储量约 3.7

亿吨,难以布置常规综采长壁工作面。为有效解决“三下”压煤突出问题,提高煤炭回收率、降低开采损害、保护地表建(构)筑物和生态环境,选择 E1302 工作面先行试验充填开采,由此作为膏体充填开采效果检验及评估依据。首试面位于东一盘区,工作面巷道布置如图 1 所示,可推进长度 390m,煤层开采厚度 3.2m。

矿井充填开采方案设计采用水平分层下行膏体充填采煤方法,综合机械化采煤工艺,“三八”工作制,以“割煤→隔离→充填→凝固”为一个采充循环。

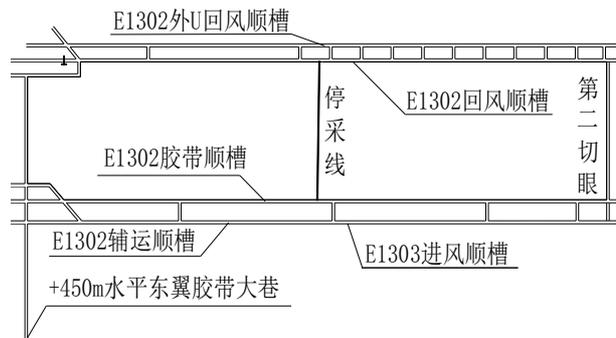


图 1 工作面巷道布置

2 原支架方案及应用

2.1 支架结构

工作面共布置 156 台充填液压支架,支架型号 ZC8500/22/40PB,支架中心距 1.5m;两端头处支架型号 ZCT8500/22/40PB。原设计方案中每台支架隔离板采用三级伸缩,充填液压支架结构如图 2 所示。

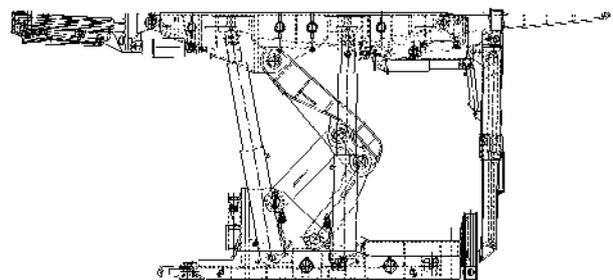


图 2 充填液压支架结构

2.2 应用效果分析

充填开采试验期间对工作面进行了实时跟进,井下试采结果表明:充填开采产能未能达到设计预期值,远低于充填开采设计的采充循环效率,发现充填液压支架是影响充填效率的重要因素。根据井下支架应用情况反馈,总结采空区隔离主要存在以下几方面不足:

(1) 隔离间隙宽

上隔离板与尾梁间梯形槽、下隔离板与底板的间隙过大,致使充填接顶效果不理想,需人工填塞草苫防止膏体渗出。另外,由于间隙过大会造成上隔离板膏体堆积,充填体凝固后不降架不能收缩隔离,从而导致下隔离板、廊架损坏严重,同时也会增加隔离板清洗工作量。

(2) 充填体压网严重

下隔离板与中隔离呈搭接结构,采空区膏体充填过程中纤维网和隔离布会形成网兜,造成充填体压网(布)现象严重,经常需要人为拉网(布),增加了作业人员劳动强度。

(3) 隔离板偏差大

对充填工作面 156 台充填液压支架顶梁和底梁之间夹角的进行了两次现场测量,结果如图 3 所示。

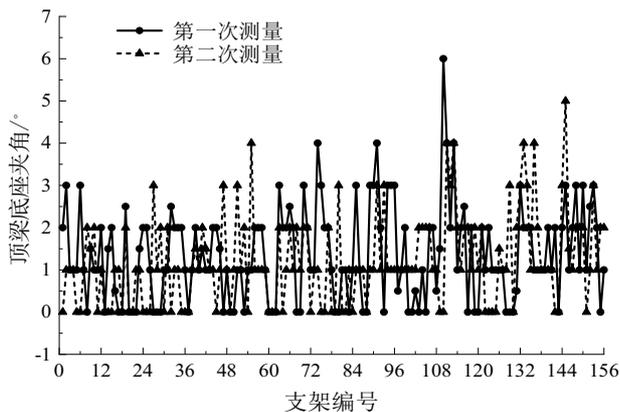


图 3 充填支架现场实测结果

由图 3 可知,第一次测量顶梁底座最大夹角 6°,平均夹角 1.4°;第二次测量顶梁底座最大夹角,平均夹角 1.2°。由于充填支架底座与顶梁横向存在角度差,导致上隔离板两侧与顶板间隙不一致,按照支架宽 1.5m 计算,平均角度差取 1.4°,则下隔离板两侧偏差 37mm;最大角度差取 6°,则下隔离板两侧偏差 157mm。相邻支架间高度错位平均值为 64mm,最大值达到 300mm 左右,高度错位大于 100mm 的占 14.3%。

3 充填支架优化设计

3.1 支架结构特征

针对原方案充填液压支架设计短板,并结合井下充填工作面实际情况,将充填液压支架隔离板进行了重新设计,新设计支架主体结构仍保持不变,主要改进隔离板并增加密封装置。除此之外在上隔离板增加了密封垫,底座增加斜块,改进后的支架隔离板如图 4 所示。

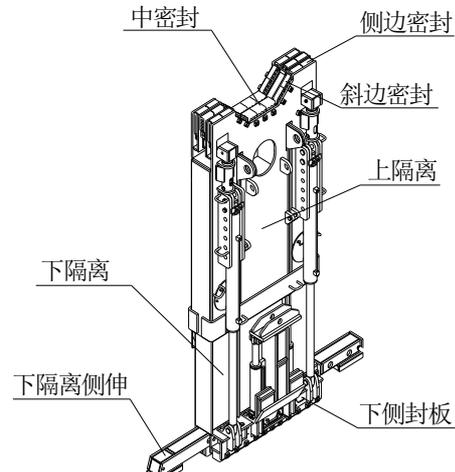


图 4 隔离板正视图

根据图 4 可知,上隔离板侧边为三槽型结构,两侧槽型为固定式,中间槽型为可侧伸式,密度垫置入槽体内。原中隔离的千斤顶调整为外置,上隔离活动架和上隔离基座由铰接变为焊接。另外,原下隔离改进后,底座滑道进行搁置,继续利用下隔离伸缩千斤顶及其耳座。

3.2 密封体参数

隔离板密封材料均采用高弹性橡胶体,呈左右对称分布。上隔离板密封设计为侧边密封、斜边密封和中边密封,密封块个数及尺寸大小如表 1 所示。下隔离板密封块体位置及参数见图 5。

表 1 上隔离板密封块体参数

密封位置	侧边	斜边	中边
块体个数	12	8	6
长×宽×高 (mm)	220×130×50	91×95×50	110×125×95

从图 5 可知,下隔离板布置的密封块厚度均为 95mm,其中,下侧伸密封块左右两端各两个,长×宽:140×140mm;其余密封块平齐布置,中间 3 个密封块宽度比其左右两侧密封块宽度小 25mm。

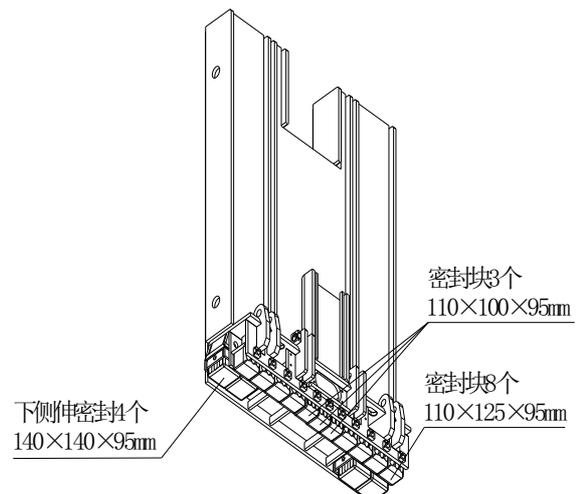


图 5 下隔离板结构图

3.3 隔离测试

鉴于原密封垫在充填过程中易发生脱落,人工填塞工作量较大,本次密封性测试只布置开放空间中,不考虑对膏体的隔离作用。按照密封卡具断面大小专门设计了加压装置,如图7所示。根据工作面埋深向密封卡具及密封垫施加载荷,通过观测和分析加压过程密封垫情况,判断密封卡具结构是否合理可靠。测试结果表明:密封垫在加压过程中产生了较大弹性变形,但密封垫从始至终未发生脱落。



图6 密封卡具加压设计 图7 采空区充填效果

3.4 技术经济对比

(1)将原有充填液压支架隔离板三级伸缩重新设计为两级伸缩,增加了操作的便捷性和可控性。将原支架结构千斤顶进行外置后,侧向伸缩调控更为灵活高效,同时便于隔离板后期维修和清理。

(2)隔离板可适应高度范围 2500-4000mm,内置的密封垫可伸出 100mm。隔离板宽度 1400mm,上下隔离板侧向伸缩最大行程为 200mm。

(3)通过增加重复橡胶垫密封,提高上隔离梯形槽与尾梁断面贴合度,可减少隔离班附加工作量,使隔离工序效率得到大幅提升。

(4)优化改进后的隔离板重量较原隔离板增加约 0.4t,每台充填液压支架单价增加约 0.6 万元,工作面布置 158 台支架共计增加 94.8 万元。

4 工业性试验

为检验新设计充填液压支架的井下应用效果,在充填工作面布置了 10 台液压支架进行了现场试验,采空区充填效果如图 7 所示。

由图 7 可知,采空区充填接顶效果显著,顶板结构较为完整、可控程度高、稳定性良好。上隔离板加装的橡胶密封垫卡具有效实现了梯形槽密封,采空区隔离时间明显缩短,充填隔离效率较之前提高了 30%。但卡具在顶板来压时易产生大面积变形,上隔离板侧边和斜边连接处出现应力集中,导致尾梁两侧端接触橡胶密封垫磨损严重。

综上所述,工业性试验结果表明:改进优化后的充填液压支架结构合理、性能可靠,有利于缩短采空区隔离工序时间,为提高工作面充填效率提供了保障。

5 结论

(1)原方案采用三级隔离板,充填开采试验期间存在隔离间隙

宽、隔离板偏差大、压网(布)严重等问题,导致隔离人工耗时长、充填效率低下、充填效果不佳。

(2)改进后的充填液压支架具有操作简易、结构合理、适应性强、安全可靠高等诸多优点,可减轻充填工作面隔离作业人员的劳动强度,大幅提高井下采充循环效能。

(3)现场应用结果表明,优化后的充填液压支架有效阻隔了采空区充填体和回采工作面,充填效率得到提升 30%,充填接顶效果显著,进一步保障了井下开采和膏体充填的有序衔接。

参考文献 (References):

[1]袁亮,王恩元,马衍坤,等.我国煤岩动力灾害研究进展及面临的科技难题[J].煤炭学报,2023,48(05):1825-1845.

[2]袁亮.废弃矿井资源综合利用助力实现“碳达峰、碳中和”目标[J].科技导报,2021,39(13):1.

[3]谢和平,任世华,谢亚辰,等.碳中和目标下煤炭行业发展机遇[J].煤炭学报,2021,46(07):2197-2211.

[4]陈浮,于昊辰,卞正富,等.碳中和愿景下煤炭行业发展的危机与应对[J].煤炭学报,2021,46(06):1808-1820.

[5]刘存玉.“双碳”形势下的煤矿绿色开采探索[J].中国煤炭工业,2022(06):20-22.

[6]许家林.煤矿绿色开采理论与技术浅谈[J].山西煤炭,2022,42(04):1-3.

[7]杨胜利,白亚光,李佳.煤矿充填开采的现状综合分析与展望[J].煤炭工程,2013,45(10):4-6+10.

[8]王国法.煤炭安全高效绿色开采技术与装备的创新和发展[J].煤矿开采,2013,18(05):1-5.

[9]孙希奎.矿山绿色充填开采发展现状及展望[J].煤炭科学技术,2020,48(09):48-55.

[10]刘建功,毕锦明,赵利涛,等.综合机械化固体充填采煤自动控制研究与应用[J].煤炭科学技术,2016,44(01):149-156.

[11]杨乐,吕梦岚,徐佑林,等.煤矿充填用材料的研究进展[J].太原学院学报(自然科学版),2023,41(01):16-21.

[12]徐慧刚.矸石充填开采及地表沉陷变形特征研究[J].煤炭工程,2022,54(03):131-135.

[13]刘贺健.岱庄煤矿承压水上膏体充填开采底板破坏特征与实测[D].中国矿业大学,2023.

[14]刘经民.矸石膏体材料力学性能研究及应用[D].中国矿业大学,2021.

[15]杨科,赵新元,何祥,等.原位充填覆岩三场时空演化规律及力学机制研究[J].采矿与安全工程学报,2023,40(04):643-655.

作者简介:康显强(1984-4),男,山西平遥,硕士,高级工程师,从事煤矿生产技术管理。