

矿井工作面过含水陷落柱注浆加固技术研究

王宏勇（山西汾西正升煤业有限责任公司，山西 汾阳 032300）

摘要：为降低地质构造给煤炭回采影响，确保采面回采安全，以 3506 综采工作面过含水陷落柱为工程背景，提出通过注浆加固技术提高陷落柱内破碎煤岩体强度并对导水裂隙进行封堵。现场应用后，采面过陷落柱期间涌水量控制在 $0.11\text{m}^3/\text{h}$ ，同时陷落柱内岩体稳定性得以显著提升，未出现顶板冒落、煤壁片帮等问题，取得较为显著的应用陈国。

关键词：综采工作面；陷落柱；导水裂隙；注浆加固

陷落柱常见于华北地区，为一种岩溶引起的特殊地质现象。在煤炭开采范围内发育的陷落柱会给采掘作业安全及作业效率等带来影响，而且会影响煤质。当陷落柱含水时，若不采取合适的防治措施可能会导致井下异常涌出，严重时甚至会出现淹井事故。因此，采取必要的探测技术详细掌握陷落柱发育情况并依据探测结果制定针对性的防治措施对提高矿井生产安全保障能力具有十分重要意义。为此，文中以山西某矿 3506 综采工作面过 X102 等陷落柱为工程实例，对采取的注浆加固措施进行探讨，以期能为其他矿井采面安全过陷落柱提供一定经验借鉴。

1 工程概况

3506 综采工作面开采 5# 煤层，采面埋深平均 350m，回采的 5# 煤层为发热量高、灰分低的无烟煤，煤层厚度平均为 2.91m，倾角介于 $5^\circ \sim 12^\circ$ 。3506 综采工作面设计斜长 198m、推进距离 1260m，顶底板岩性以泥岩为主。3506 综采工作面回采范围内断层、褶曲等构造不发育，但是存在有多个陷落柱，具体采用物探、钻探等技术探测到的陷落柱参数见表 1，采面内赋存为主见图 1。

表 1 采面陷落柱赋存情况

陷落柱编号	位置	形状	长轴 × 短轴	备注
X101	458-509m	椭圆	51m × 26m	物探、钻探、不含水
X102	912-987m	椭圆	80m × 53m	物探、钻探、含水且具有导水性
X103	1010-1050m	椭圆	53m × 18m	物探、钻探、不含水
X104	1044-1100	椭圆	46m × 24m	物探、钻探、含水且具有导水性
X105	1589-1674	椭圆	75m × 29m	物探、钻探、不含水

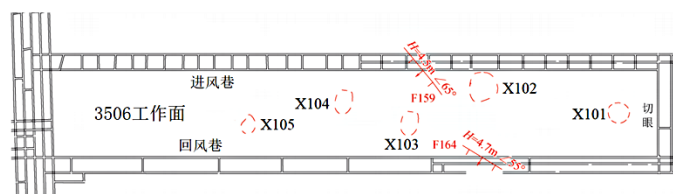


图 1 3506 综采工作面内陷落柱分布示意图

2 注浆加固技术

注浆加固是防治陷落柱涌出的主要措施之一，在注浆压力作用下注浆浆液在陷落柱内裂隙中扩展，通过胶结作用将原本破碎、裂隙发育的岩体形成完整的岩体，从而提高岩体自身强度并实现对导水裂隙封堵。文中以 X102 为工程实例，对注浆加固钻孔布置以及注浆参数等进行阐述。

2.1 注浆钻孔布置

根据 X102 陷落柱分布情况，在采面进风巷内 900-1000m

范围内施工注浆钻孔对陷落柱内破碎煤岩体进行加固。根据已有的注浆经验发现，注浆浆液在破碎煤岩体中有效扩散半径一般为 3~4m，依据采面以及陷落柱发育情况，确定注浆钻孔有效扩散半径为 4m。在进风巷内共计施工 12 个注浆钻孔，钻孔均垂直巷帮布置，孔径为 35° ，钻孔终孔位置均穿越 X102 陷落柱边缘，具体注浆钻孔布置见图 2 所示。

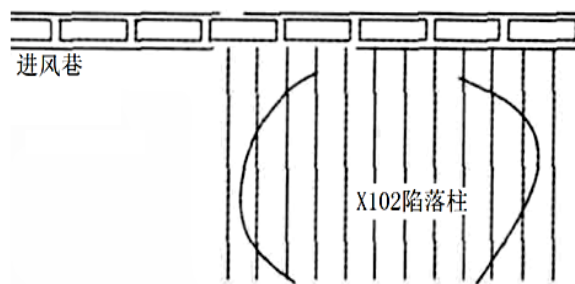


图 2 注浆钻孔布置示意图

2.2 注浆参数

注浆加固以及导水裂隙封堵效果与注浆压力、注浆材料等有密切关系。为了提高钻孔注浆加固以及堵水效果，选用的注浆材料为堵水效果明显且早期强度大的水泥-水玻璃双液浆（水灰比按照以往注浆经验确定，选择为 1.5:1~0.75:1）。注浆压力是影响注浆效果的一个重要参数，注浆压力过小则导致注浆量过低、注浆浆液有效影响范围过小等问题，注浆压力过大则存在注浆量过多、产生新的裂隙以及注浆难度较大等问题。

根据有关研究成果表明，将注浆压力选择为 1.5~2.0 倍静水压力可取得较为明显的注浆加固效果。陷落柱探测钻孔现实，与陷落柱联通的含水层内静水压力最大值约为 1.6MPa，为此将注浆压力确定为 3.2MPa，即注浆压力增加至 3.2MPa 后即可停止注浆。注浆完成后应进行必要的压水试验，满足要求后即可结束注浆工作。

3 含水陷落柱注浆加固效果分析

在 3506 综采工作面进风巷对 X102 陷落柱进行注浆加固，在 X102 陷落柱内共计注入 465m^3 注浆浆液。通过在 X102 陷落柱内进行注浆加固，可实现对陷落柱导水裂隙以及岩溶裂隙封堵，切断陷落柱与含水层间导水通道，并增加有效隔水层厚度。施工取样钻孔对注浆加固后陷落柱内破碎煤岩体胶结情况以及导水情况进行探测。

①取样钻孔施工完成后，取出的岩芯较为完整，从岩芯明显看出注浆浆液将陷落柱破碎煤岩体胶结为一个结构较为完整的整体；同时在注浆作用下导水裂隙被有效充填，从而降低了陷落柱导水能力；②取样（下转第 93 页）

间的增加而逐渐增大。所以应定时用超滤产水对超滤膜元件进行反冲洗,并且在多次正常反洗后加入一次杀菌浸泡反洗。随着运行时间的增加,如跨膜压差达到限定值(一般为0.15MPa),则应对该套超滤停运,进行化学清洗。

2.4 反渗透脱盐

反渗透膜分离技术是利用反渗透原理分离溶质和溶剂的方法,当一张半透膜隔开溶液与纯溶剂时,膜两侧存在渗透压,通常溶液中溶质的浓度越高渗透压就越大。当溶液一侧没有加压时,纯溶剂会通过半透膜向溶液一侧扩散,这一现象称为渗透。反之,如果在溶液侧所加压力超过了渗透压,则反而可以使溶液中的溶剂向纯溶剂一侧流动,这个过程就是反渗透。

反渗透系统主要用于去除水中溶解盐类、小分子有机物以及二氧化硅等,其可脱除水中98%以上的电解质(盐份)和粒径大于0.5纳米的杂质。

原水经预处理后,去掉水中的悬浮物、胶体及大分子有机物,经提升泵送至保安过滤器,保安过滤器出水SDI₁₅ < 3,满足反渗透系统的进水要求。保安过滤器出水由高压泵送至反渗透主机进行脱盐处理。经反渗透膜处理后的产水进入产品水箱,被截留下的有机物、胶体 and 无机盐由浓水侧去浓水减量反渗透装置进行深度处理后回用。根据水质情况,反渗透膜一般运行3个月左右需进行一次化学清洗,以保证反渗透装置的正常运行。

2.5 混合离子除盐

水经过反渗透处理后,经泵加压进入混床。混床是利

用阴、阳离子交换树脂对水中杂质离子的选择交换性,水流经阳、阴离子交换树脂时,水中的阳离子、阴离子分别和树脂上的交换离子发生置换反应而被从水中去除,树脂上的交换离子进入水中。阴、阳树脂发生置换反应达到饱和后,用再生剂对树脂进行再生,使树脂恢复交换能力,如此循环下去。

阴、阳树脂采用OH⁻型和H⁺型交换树脂,这样水中的阳离子与交换树脂上的氢离子进行交换,氢离子进入水中,同时水中的阴离子与交换树脂上的氢氧根离子进行交换,氢氧根离子也进入水中,进入水体中的氢离子与氢氧根离子再生成稳定的水分子,而预脱盐水中剩余的阴阳离子几乎全部被混床中的交换树脂脱除。

3 结论

综上所述,工业脱盐水的处理方法多种多样,可以结合具体的需求采取对应的模式。但是具体的操作流程和工艺具有一定的固定性。在发展和应用这项工艺时,应该不断提升自动化和智能化的发展水平,从而提升整个脱盐水处理行业的发展优势,构建美好的发展前景。这样能够为工业提供纯度更高质量更好的水资源,满足生产需求。

参考文献:

- [1] 李晓霞. 适应于脱盐水处理之透平增压泵水力结构和特性仿真研究[D]. 石家庄: 河北科技大学, 2019.
- [2] 李伟, 高传奎. 600t/h 离子交换树脂法制脱盐水装置改造[J]. 石油化工设计, 2019, 36(04): 50-52+57+7.

(上接第91页)孔施工期间钻孔最大涌出量为0.12m³/h,水头压力在0.12MPa以内;注浆前施工的探测钻孔最大涌水量达到1.3m³/h,水头压力为0.93MPa。表明对X102陷落柱进行注浆后,陷落柱与邻近的含水层间的导水导通被有效隔绝,经过注浆加固后的陷落柱不再具备导水性;③施工完成注浆后钻孔后,取样钻孔累积排水量为5.6m³。采面在过X102陷落柱期间涌出量控制在0.11m³/h,不会给采面煤炭回采带来威胁;④采取注浆加固措施对含水陷落柱进行防治不仅降低了防治水成本,而且避免留设护巷煤柱带来的煤炭开采率降低、综采设备需要搬家等问题,取得较为显著的应用成果。

4 总结

①3506综采工作面回采范围内发育有多个陷落柱,其中X102、X104不仅含水而且具有一定的导水性,给采面煤炭回采带来一定的安全威胁。为了给采面回采安全创造良好条件,提出采用注浆加固方式对陷落柱内导水裂隙进行封堵并提高陷落柱内破碎煤岩体强度;②根据3506综采工作面、X102陷落柱分布情况,提出在进风巷内布置钻孔对陷落柱进行加固,布置的钻孔均穿越陷落柱,间距按照8.0m确定。钻孔注浆材料选择经济性强、导水裂隙封堵效果明显的水泥-水玻璃双液浆,注浆压力选择为3.2MPa;③现场应用后,X102陷落柱内导水裂隙得以有效控制,后续布置的取样钻孔以及采面揭露情况均表明,采用的注浆

加固措施有效封堵了陷落柱内的导水裂隙。在采面后续过X104陷落柱时仍采取相同的注浆措施实现了采面回采安全。

参考文献:

- [1] 王全明, 邢超. 赵庄二号井2309工作面构造区注浆加固技术研究[J]. 山西煤炭, 2021, 41(01): 11-14.
- [2] 张晋. 超深孔分段注浆技术在破碎陷落柱加固中的应用[J]. 山东煤炭科技, 2021, 39(02): 39-40+43.
- [3] 吴佐伟. 综采工作面过陷落柱注浆加固技术应用研究[J]. 山东煤炭科技, 2021, 39(02): 151-153.
- [4] 党永. 厚煤层综放工作面过断层带注浆加固技术研究[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(01): 39-41.
- [5] 鲁蒙, 舒梅, 周横全. 综采工作面过陷落柱安全技术研究[J]. 中国矿山工程, 2021, 50(01): 42-43+51.
- [6] 张叶兵. 回采工作面过地质构造带超前注浆加固技术研究[J]. 中国矿山工程, 2020, 49(04): 70-72.
- [7] 王凯. 综采工作面过陷落柱深孔预注浆加固技术[J]. 山东煤炭科技, 2020(05): 49-50+53.
- [8] 邓小宾. 浅埋综采工作面过陷落柱注浆加固技术应用[J]. 煤炭科技, 2017(03): 154-156.

作者简介:

王宏勇(1989-),男,山西孝义人,2012年7年毕业于山西大同大学,采矿工程专业,本科,现为工程师。