矿井副水仓裂隙带注浆加固设计及施工研究

陈萌萌（山西潞安晋安矿业工程有限责任公司，山西　长治　046000）

摘　要：煤矿生产安全管理工作不断细化背景下，在不同生产环节会由于作业推进而受到动压影响，存在较多的裂隙现象，对生产作业安全造成明显影响。本课题研究以某煤矿副水仓裂隙带处理为例，明确工作面注浆加固治理目的和预期效果，对注浆加固方案设计和施工组织进行说明，以此为相关工作开展提供参考，为提升煤矿安全作业水平奠定良好基础。

关键词：煤矿；副水仓；裂隙带；注浆加固

0 引言

煤矿企业生产管理体系中，裂隙带注浆加固处理是较为常见的技术措施，对生产作业安全具有较为明显的影响。传统技术体系中，多是采用水泥注浆方式，虽然在施工成本方面具有一定优势，但是整体施工质量较难以控制，裂缝处理不到位，会对后续作业安全造成一定影响。近些年来，随着相关方面研究不断深入，多数注浆加固方案开始采用化学注浆或联合注方式进行处理，取得了良好的应用效果。

1 工程概况

某煤矿西风井副水仓采取半煤岩巷开拓，在开拓时受动压影响，使得主水仓与副水仓之间岩柱形成较多裂隙，导致副水仓与主水仓之间出现导水裂隙带，长此以往裂隙带由渗水带会形成透水带，造成副水仓与主水仓之间直接导通，增加井下排水量，为主副水仓交替应用与清挖淤泥增加难度，为解决主水仓与副水仓连贯渗水所造成的不利影响，现由施工单位与矿方共同协商解决措施，拟对当前西风井副水仓裂隙渗、漏水区域进行加固，封堵裂隙。

2 工作面注浆加固治理目的及预期效果

注浆加固，就是通过造孔，将注浆浆液注入围岩中，靠注浆压力使浆液向围岩的裂隙扩散，使岩体形成一个加固带，即注浆帷幕，从而提高岩体的整体性、增强围岩强度的一种技术。加固注浆施工工艺简单、容易操作、成本低，而且加固效果好，可黏结或固结遭各种类型破坏的松动圈及破碎带，是松散围岩巷道维修的有效途径。加固注浆适用于各种破坏形成的巷道，尤其对一些围岩破坏严重的巷道，其效果就更加明显。该项技术不仅可用于维护已遭破坏的井巷，还可用于新掘巷道的预注浆加固等。

2.1 注浆加固原理

加固注浆的主要工艺原理是采取下堵、上封、中间渗透的方法，进行钻注。先注薄弱段即下堵，堵住松动裂隙，迫使浆液上帘和外渗。上封，即在每一分段上部软弱层偏下部钻注，形成固结圈，封住浆液沿外壁上帘的通道，迫使浆液沿水平方向或向下扩散。当完成下堵上封之后，对重点区段进行往浆加固，以使浆液在软弱层内渗透扩散固结形成抗压帷幕。

2.2 研究回顾

当前我国煤矿生产和管理技术不断发展背景下，在注浆加固方面的理论研究也更加深入，为实际作业提供更加精准的指导。王晓蕾以硫铝酸盐水泥熟料、石膏、生石灰为基础材料，通过实验研究出新型注浆材料，并给出原料的最佳配比，材料性能和稳定性较之传统材料有明显提升，在注浆作业后，巷道变形量明显降低，确保巷道能够正常使用。马晋元在课题研究中，以某煤矿巷道与工作面高差所形成的三角区为对象，基于数值模拟软件探究工作面超前支承压力的影响范围，确定合理的注浆范围与注浆时机，并结合高性能注浆加固材料的应用，确保煤岩体稳定性达到正常开采作业安全要求。张嘉凡等基于 COMSOL 软件构建煤岩体裂隙注浆流——固耦合数值模型，研究结果显示，注浆过程中，裂隙剖面的粗糙程度、注浆速率是注浆效果最为关键的因素，为注浆作业效果控制提供参考依据。吴改梅在其研究中，基于理论计算和 FLAC3D 数值模拟相结合的方式，对缓倾斜煤层上覆岩层导水裂隙带空间发育特征进行研究，明确了工作面推进过程中，裂隙走向和倾向方向两个方面的发育特征，为注浆加固处理方案设计提供思路参考。就整体上而言，我国煤炭行业发展中，在裂隙带注浆加固方面的研究相对还较为薄弱，以副水仓裂隙带为研究对象的文献更是明显缺失，进一步加强这方面的理论研究，对注浆加固处理效果具有良好的促进作用。

2.3 工作面注浆加固治理目的

基于本课题副水仓裂缝现状分析，注浆加固方案选择某企业生产的新型化学注浆材料，通过煤岩体注浆，有效保持煤体完成性。注浆加固治理目的主要体现在两个方面：一是将浆液挤压渗透至裂缝中，基于固结效果，在围岩中形成网络骨架结构，在出现外载增加时，载荷主要由强度较高的煤岩层承担，固化材料会发生变形但不会被破坏，即便在煤体应力超负荷情形下，固结材料依然能够起到骨架作用，有效提升围岩残余强度。二是浆液在泵压的作用下，除了将一些较大的裂隙充填满，还可以将一些充填不到的封闭裂隙和小裂隙压缩，甚至使其闭合，提高围岩的弹性模量和强度。

2.4 工作面注浆加固治理预期效果

经注浆加固后，预期治理效果主要体现在如下三个

方面：一是通过注浆能够有效改变弱面的力学性能，增大岩体内部块间相对位移阻力，有效提升煤岩体整体稳定性。二是通过注浆加固，能够将松散煤岩体重新胶结为整体，形成承载结构，提升煤岩体自稳能力。三是煤岩体整体承载能力的提升，能够避免工作面推进过程中出现片帮冒顶现象，有效改善现有赋存环境。通过副水仓裂隙带的注浆加固处理，能够有效控制当前主水仓与副水仓直接的贯通现象，对漏水区域进行封堵、加固处理，确保后续作业安全得以有效保障。

3 注浆加固方案设计

3.1 危险源辨识

表 1

序号	作业工序	危险因素	可能导致的后果	风险控制
1	注浆安管	气压过大，将注浆管顶出	造成顶管伤人	作业时加强管道牢固
2	注浆安管	管路存浆，管路堵塞	压力大时崩管伤人	确认管路完好，联系准确后进行注浆，施工完毕后用清水冲洗管路
3	注浆	疲劳、带病上岗、精神不振	安全事故	入井前自我确认身体状况，具备良好的精神状态
4	注浆	注浆人员未佩戴眼镜、手套等劳保用品	造成伤人事故	注浆时佩戴劳保用品
5	注浆	冒顶、倒架、掉矸	造成伤人事故	在支护可靠的情况下进行注浆、注浆过程中施工人员要站在注浆区外 5m 位置
6	风管连接	风管连接必须使用专用 U 型卡	脱落伤人	必须使用专用 U 型卡
7	注浆	注浆没有按照比例倒料	浪费材料及安全事故	注浆时观察吸料情况及桶数比例
8	注浆	注浆量超过注浆标准，造成温度积聚	温度积聚引起火灾	严格控制固定范围内的注浆量
9	注浆	注浆顶孔时没有牢固的保护措施	撞伤、摔伤	登高作业时须保证作业平台牢固有效

3.2 注浆材料选择

基于前述研究资料，结合煤矿副水仓动压现状，选用某企业生产的晋安加固 I 号为主要注浆材料，该材料为低粘度，双组分合成高分子聚亚胶脂结构，在高压推挤作用下，能够注入煤岩层或混凝土裂缝中，将所有裂隙填充至密实状态，以此有效增加巷道围岩自身强度、提升整体稳定性，减少巷道变形现象。材料主要性能指标如表 2 所示。

表 2 晋安加固 I 号材料性能

产品特征	性能指标
使用配比 / 体积比	1:1
发泡倍数	1.2~2（可根据工程需求进行调整）
抗压强度 /MPa	≥ 80
压缩变形 /%	10~50
抗拉强度 /MPa	≥ 40
抗剪强度 /MPa	≥ 40
粘结强度 /MPa	≥ 5.0
阻燃特性	满足煤矿井下用聚合物制品 MT113-1995 技术标准

3.3 注浆孔布置及参数确定

注浆孔布置主要考虑副水仓现状裂隙带较长、较多、出水量相对较大的特征，初始注浆主要针对裂隙带进行，主要注浆位置包括两帮、顶部、中间部位及副水仓与主水仓三角区域。注浆孔布置如图 1 所示。

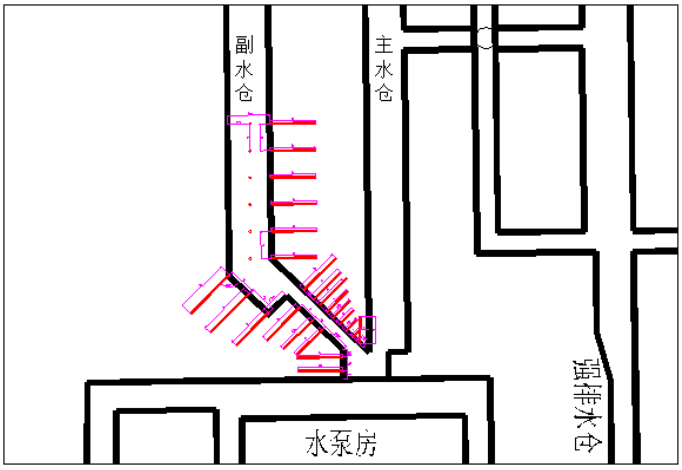

图 1 西风井主、副水仓裂隙带布置图

具体设计参数如表 3 所示。

表 3 注浆孔设计参数

注浆孔部位	注浆孔参数	注浆量
两帮注浆孔	注浆孔深度为 5m，封孔深度为 2m，每个注浆孔采用一根可曲挠管、一个封孔器、两根花管，钻孔角度根据实际地质情况上仰 15° 为宜	每个孔注浆量 10-16 桶左右，具体注浆量根据现场情况确定
顶部注浆孔	注浆孔深度为 3m，封孔深度为 2m，每个注浆孔采用一根可曲挠管、一个封孔器、一根花管，钻孔角度垂直顶板	具体注浆量根据现场情况确定
中间部位	主、副水仓之间距离 10m 左右，水仓断面顶部注浆孔与右帮注浆孔之间增加一个注浆孔：注浆孔深度为 5m，封孔深度为 2m，每个注浆孔采用一根可曲挠管、一个封孔器、两根花管，钻孔角度垂直顶板	单孔注浆量 10 桶左右
副水仓与主水仓三角区区域	三角区打孔由 1m 深逐渐到 4m 深，封孔深度为 0.5-2m。三角区布一深度为 3m 注浆孔，夹角呈 135°，封孔深度为 1m	单孔注浆量根据实际情况而定

综合考虑现场作业情况，注浆过程中要注意速度控制，避免由于压力过大对喷浆层造成破坏。注浆一个断面作为一排眼，孔排距为 3m，裂隙带区域大约有 20m 左右，一个需要 8 排孔，每排四个孔，大约需要注浆 12t 高分子加固材料。在注浆作业完成后，需要对水仓

进行全面混凝土喷浆处理，封堵所有裂隙带，以避免污水冲刷作用产生新的裂隙。

3.4 注浆施工作业要点

为确保注浆施工质量达到预期效果，在施工过程中，需要注意如下方面要点。一是作业流程是先要将副水仓内最大裂缝进行封堵，然后封堵外侧部位。二是在注浆施工过程中，要合理确定封孔器的位置和深度，先进行试验再进行准确设定。施工过程中，仔细观察喷浆层的变化，做好注浆压力控制，最大不得超过 6MPa，避免造成喷浆层破坏。注浆施工要坚持打一孔注一孔原则，不能在较近范围内连续打孔在进行注浆。注浆量需要根据孔深、孔隙数量及孔隙发育程度等现场情况具体确定。三是在注浆过程中，还应当考虑材料反应速度及扩散半径等客观因素影响，及时对注浆方法和参数进行调整。注浆是该项目作业的关键环节，在注浆过程中，作业人员必须要严格遵循设计和现场施工要求，提升质量控制和安全意识，确保注浆作业有序进行，确保注浆效果达到预期目的。

4 注浆加固施工组织

4.1 矿方配合及前期准备

在本项目施工中，矿方需要结合施工要求做好如下方面的配合工作：一是做好材料及设备方面的准备，动力风源设备压力在 0.4~0.7MPa 之间，风管直径为 DN19，长度依据现场情况确定，将所有材料及设备及时运送至现场施工位置。二是由矿方指定打孔作业人员和辅助人员，在技术人员指导下开展打孔作业。三是准备好清洗剂、面纱、木锲等，做好现场应急和清理准备。四是做好现场施工安全检查和控制，在出现意外情形时，能够第一时间采取对应的安全防护措施。

4.2 施工流程说明

在注浆加固作业中，施工流程组织需要依照如下顺序进行：第一步是依照施工布置图明确孔位设计要求。第二步是将钻孔直径控制在 ϕ=42mm 标准，深度和倾角依照现场情况确定，将多功能泵及其附件组装好并把注射枪固定后，就可以开始对应的打孔作业。第三步是注浆作业，将两根吸料管分别插入两种组分的桶中，开动气马达，在压力作用下，原料经由活塞进入输送管并被输入注射枪内。在注入裂隙带后，两种组分开始快速反应，达到堵水效果。第四步是在单孔注浆完成后，用水冲洗多功能泵和附件，并重复上述流程进行换孔注浆，在所有注浆作业完成后，完成冲洗和现场清理工作。

4.3 施工安全控制要点

由于注浆加固现场处理存在不安全因素，在具体施工过程中，需要注意如下方面的安全控制：一是要明确安全管理的重要性，包括作业前的安全教育，施工操作人员的培训和考核，要求作业人员能够熟练掌握各项操作技能，具备良好的安全意识。现场所有工作人员都要能够熟悉对应的操作规程要求，熟悉避灾路线，严格依照规程要求进行作用。二是要做注浆泵的维修检查，确保设备保持良好运转状态，要求作业人员佩戴必要的防护设备，在现场准备足够的清洁用水。三是在施工过程中，要严格依照 1:1 注浆比例进行施工，依照隔孔注浆原则、自下至上的顺序进行作业，确保浆液能够渗透到位。在高处钻孔及注浆管安装过程中，要做好工作台搭设及个人安全防护。四是在封孔作业环节，施工人员不能正对空口方向，其他无关人员需要保持在注浆口 6m 以外的距离，并做好相应的防护，避免由于浆液外窜或其他问题造成安全事故。在换孔作业时，需要确保注浆管内压力释放后在拆卸拔枪。五是在注浆过程中，如有出现围岩松动、跑浆漏浆或注浆压力下降等异常情形，应当立即停止注浆作业，查明原因并采取对应处理措施后，才能恢复注浆作业。六是在现场作业过程中，必须要全方位检查安全状况，避免出现违章作业现象，在注浆溅到皮肤或眼睛内时，应当立即用大量清水冲洗，严重情形下还应当立即就医。

5 结束语

煤矿企业生产安全管理一直是整体运行管理的重要组成部分，对于相关企业而言，在副水仓裂隙带处理中，必须要强化对安全管理的认知，采用科学的设计方案，选择合适的注浆材料，全面做好注浆加固现场管理工作，以此才能够确保注浆加固处理到位，为后续安全生产奠定良好基础。

参考文献：

[1] 王晓蕾 . 新型煤岩体加固注浆料制备及应用分析 [J]. 地下空间与工程学报 ,2020,16(03):844-851+862.

[2] 马晋元 . 寺河矿大采高工作面三角区注浆加固技术研究 [J]. 山东煤炭科技 ,2020(09):7-9+15.

[3] 张嘉凡 , 覃祥瑞 , 刘洋 , 张慧梅 , 徐荣平 . 注浆对粗糙裂隙煤岩体应力场的影响分析 [J]. 煤矿安全 ,2021,52(10):166-170.

[4] 吴改梅 , 付玉平 , 李佳伦 . 缓倾斜煤层导水裂隙带发育规律研究 [J]. 太原科技大学学报 ,2021,42(05):407-411+417.

[5] 于智卓 . 复杂水文地质条件下回采工作面涌水分析与水害预测研究 [J]. 煤炭技术 ,2021,40(10):139-143.

[6] 杨福禹 . 水仓注浆加固技术 [J]. 山东煤炭科技 ,2017(6):24-25.

[7] 高家东 , 李帅 . 新集一矿水仓注浆加固技术实践 [J]. 中州煤炭 ,2009(04):72+111.

[8] 侯郡召 , 连传杰 , 王阁 , 等 . 水仓底板的置换注浆加固方法 [J]. 煤炭技术 ,2015,34(02):63-65.

[9] 郭盛彬 , 杨高峰 , 李俊杰 , 等 . 马兰煤矿主斜井底水仓底板加固防治水方法 [J]. 煤田地质与勘探 ,2017,45(1):5.

[10] 刘福义 . 松散层注浆加固工艺设计与施工 [J]. 水力采煤与管道运输 ,2014(03):63-66.

作者简介：

陈萌萌（1990- ），男，汉族，河北任丘人，本科，助理工程师，研究方向：高分子材料注浆。