

L₈灰岩大岩溶裂隙注浆浆液外散控制技术研究与应用

赵青正

焦作市神龙水文地质工程有限公司 河南焦作 454000

DOI:10.12238/ems.v7i9.15264

[摘 要] 本文针对焦作煤田石炭系太原组 L₈灰岩含水层高压注浆浆液外散技术进行了深入研究,通过研究 L₈灰岩层厚及岩溶裂隙发育状态,精准调控浆液密度、择优浆液类型、定控注浆压力,保证浆液在治理范围内扩散,提升治理效果及效率。

[关键词] 大岩溶裂隙; 高压注浆; L₈灰岩含水层; 外散

前言

焦作矿区区域地层 L₈石灰岩早期受碳酸根离子溶蚀,形成溶蚀裂隙不规则发育深远且裂隙固结物非压实性充填,构成同层水具有连通性,补充水源主要为北侧太行山内岩溶水,致使 L₈石灰岩层位裂隙岩溶水具有承压性,富水性强, L₈灰岩含水层内岩溶裂隙水极易通过薄弱地层突入矿井,为加固改造煤层底板突水风险,近些年来采用地面钻井注浆技术对 L₈灰岩含水层进行改造加固,此项技术应用以来取得效果显著,但存在长期注浆过程中压力达不到 10MPa 终压,且浆液向治理区域外侧扩散,导致资源浪费严重,此次对 L₈灰岩大岩溶裂隙注浆浆液外散控制技术深入研究,有效控制了浆液向非治理区域扩散。

1 治理区域水文地质条件

焦作矿区内上覆巨厚冲积层,属第四系、新近系全掩盖区,根据地面勘探钻孔资料,本区赋存地层主要有奥陶系中统马家沟组、石炭系上统本溪组和太原组、二叠系下统山西组、新近系、第四系,其中石炭系上统太原组和二叠系下统山西组为主要含煤地层,矿区内 L₈灰岩含水层平均厚度 8m,距离二₁煤层底板 25~27m,岩溶裂隙普遍发育,且发育深远,且接收外源水补给,含水量大,具有承压性, L₈灰岩含水层水压为 3.3~4.5MPa,突水系数为 0.035~0.178MPa/m,为该区域底板直接充水源,巷道掘进期间存在突水危险性,且在此含水层钻进过程中频繁发生井漏,部分区域水可涌至地面,在高压注浆期间,采用粘土水泥浆,压力多维持 8~9MPa,延续时间长久,浆液扩散到非治理区域外围,达不到设计终压,其次经过长久的高压注浆,地层构造裂隙二次舒张破裂,导致浆液向非治理层扩散。

2 治理目的

对治理区域实施超前注浆加固,重点查明 L₈灰岩含水层的富水性及落差 5m 以上断层发育情况。通过地面高压注浆,一是将受注含水层改造成隔水层或弱含水层,加固断层,封堵断层裂隙通道,提高改造巷底板一定厚度范围内岩层整体完整性,增加巷道底板与 L₈灰岩间隔水层的岩层抗压强度,

提高抗水压的能力,降低改造巷掘进期间水害威胁程度;二是对预掘进巷道(部分段)进行注浆加固,封堵巷道围岩裂隙,提高围岩强度,保证巷道安全掘进。

因此根据《煤矿防治水细则》有关要求,布孔采用主孔和分支顺层孔的方式,一个主孔上布置多个分支孔,分支顺层孔呈“条带”状布置,分支顺层孔间距按照 40~60m 布设。

3 工程设计方案

注 30 井设计 5 个分支孔,通过地面钻机在 L₈灰岩层内施工定向水平井,并眼轨迹要在 L₈灰岩含水层内,偏离目的层的长度不得超过顺层段的 20%,偏离垂距不得大于 5m,穿层钻进过程中,对目的层钻遇率不作要求,在含水层内每钻进 200~400m 或漏失量大于 10m³/h 起钻进行高压注浆。

高压注浆前,先对注浆孔进行压水试验,压水试验结束后继续压注清水时间不少于 120min,其作用:清洗孔壁,冲开细小裂隙,以便浆液有效注入地层;计算单位吸水率,便于控制每个注浆段的浆液注入量,确定注浆的泵量以及浆液起始浓度。注浆结束时也必须定量压水,以便所压清水冲洗管路。浆液应采取先稀后浓再稀,一般浆液比重控制在 1.15~1.5 之间,并遵照“能注尽注”原则。根据岩溶、裂隙发育程度、钻孔漏失量、压水等情况确定初始浆液比重及泵量,如遇长期注浆不上压或注浆量较大时,可适当提高浆液比重或泵量。

注浆采用分段下行式(前进式),钻孔遇下列情况之一必须进行注浆:

- ①钻进过程中遇钻井液漏失(漏失量≥10m³/h)
- ②L₈灰岩含水层分支孔钻进 200~400m;

钻孔注浆期间,注浆比重控制在 1.3~1.35 之间(精浆比重不低于 1.20),正常注浆期间,注浆泵量不低于 400L/min,以保证注浆效果。

若钻孔单次注浆量 500t,且注浆压力小于 6MPa,注浆量 1000t,且注浆压力小于 7MPa,注浆量 1500t,且注浆压力小于 8MPa 时,采取加锯末等骨料的措施进行注浆;添加锯末具

体要求:

锯末在水泥浆中均匀添加,注入地层;锯末添加量应由少到多逐步增加,孔口压力未见明显上升,可按单混浆池 8m³ 添加 3kg、单混浆池添加 5kg、单混浆池添加 8kg、单混浆池添加 12kg 逐渐增加。

单次注浆量≥3000t,且注浆压力>8MPa 时,可结束本次注浆;若单次注浆量<3000t,但注浆压力>8.5MPa 时,可结束本次注浆。

单次注浆量≥3000t,未达到 8MPa 时,采取间歇方式注浆,间歇注浆要求注“4 停 4”,直至达到注浆结束标准;若间歇注浆效果不明显时,逐步延长停注时长至 6h、8h。

注浆结束标准:注浆结束泵量 35~60L/min,压力不低于 8.0MPa,维持时间不小于 30min。

4 实施内容及技术创新详解

L₈ 灰岩大岩溶裂隙延展深远的区域,浆液扩散至治理区

域外围,仅依靠注浆量及结束压力来衡量驱水加固效果是缺少数据分析支撑的,不足以精准控制浆液外散。针对精准控制浆液在 L₈ 灰岩大岩溶裂隙向治理区域外侧扩散问题,研创出一项成熟可靠并在焦作矿区全面实施的技术方案,具体以高压泵向井内输送粘土水泥浆时监测井口压力、流量、浆液密度、持续时间及注入量来定控浆液扩散范围。

4.1 井身结构优化及轨迹控制

注 30 井主孔下设两级套管,一开套管隔离冲积层,下设深度 546m,下入稳定基岩 12m,套管规格为 J55,直径为 244.5*8.94mm,一开套管试压 7.5MPa,稳压 32min;二开套管下入 L₈ 灰岩含水层内,下设深度 662m,下入 L₈ 灰岩层位内隔离煤层及目标层以外岩层,套管规格为 J55,直径为 177.8*8.05mm,二开套管试压 10.5MPa,稳压 31min;三开为裸孔注浆治理层,即 L₈ 灰岩层,实施治理层井径为 Φ152.4mm,以下是治理层井深结构及轨迹控制。井身结构见图 4.1

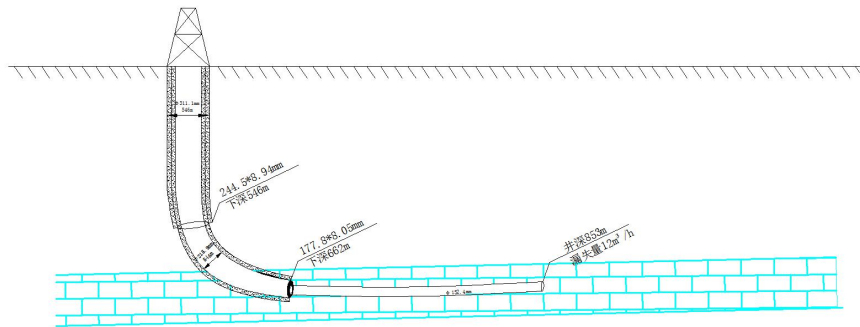


图 4.1 注 30 井身结构图

工程采用 48RMWD 系列无线测量仪在钻进过程中及时进行检测,即在不停钻情况下,泥浆脉冲发生器将孔内探管测得的数据发送到地面,经计算机系统采集处理后,得到实时的钻孔参数。随钻测斜仪可在钻孔过程中测量倾角、方位角、

工具面角,通过分析数据与设计数据进行对比分析,再进行下一步操作。

4.2 注浆治理层鉴定

为提高注浆效果,需确保浆液在 L₈ 灰岩含水层内扩散,这就要求井眼轨迹必须在 L₈ 灰岩含水层内,因此采用 48RMWD 系列无线随钻测斜仪,保证钻孔轨迹按照设计轨迹钻进,加挂伽玛值测量仪,通过伽玛数据的变化,识别地层岩性,且顺层段每 2m 打捞一次岩屑通过与盐酸反应,岩粉颜色,判断地层岩性,本孔 L₈ 灰岩含水层段捞取岩粉呈灰黑色颗粒状碎屑,与盐酸反应出现剧烈起泡现象,且伽马值基本稳定在 8~45,平均伽马值 26.5,岩性判定为灰岩。对于穿层段所捞取岩粉呈灰白色或黑色粉末状碎屑,泥质结构,伽马值超过 60,并且与盐酸不反应,判定其为泥岩,对于穿层段所捞取岩粉呈灰色或灰黑色粉末状碎屑,砂状结构,并且与盐酸不反应,

判定其为砂岩。

岩屑录井常用的测定岩屑迟到时间计算方法:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{\pi (D^2 - d^2) \cdot H}{4Q}$$

4.3 动态采集与精准调控高压注浆

注 30-3 分支进入 L₈ 灰岩含水层后进行第一回次钻探施工,钻进至 853m 井内出现漏失,漏失量 12m³/h,起钻后井口溢流清水,溢流量 4m³/h,此处 L₈ 灰岩溶隙大,富水性强,因此进行第一次注浆,注浆段 662~853m,长度 191m,此段 L₈ 灰岩测井伽马数值为 9.7~36,伽马显示地层正常,钻遇率达到 100%。

(1) 第一阶段为原生溶隙填充期

钻孔在 654.5m 进入 L₈ 灰岩层,施工期间钻井液无消耗,钻进至 853m,井内突发消耗,消耗量 12m³/h,经长时间循环,钻井液消耗量维持不变,因此起钻进行注浆,注浆前进行压水试验,压水试验数据显示,流量 500L/min,井口压力 0.5MPa,存在原生岩溶裂隙,且裂隙发育宽广深远,注浆前期地层溶隙大小、连通性及延伸性的差异,浆液先向宽广的

溶隙内扩散，再向窄小缝隙内扩散，如此反复，浆液应选用低密度的粘土水泥浆，疏通岩溶裂隙，用高压注浆覆盖治理区域，泵量恒定时压力上下浮动，泵量与压力基本成正比关系，泵量大产生挤压阻力增大，泵量小挤压阻力小，经过长时间持续注浆，泵量升降一定值时压力浮动不大，压力基本在 8~9.5MPa 之间波动，小范围区域内原生延展发育良好的岩溶裂隙已被粘土水泥浆扩散充填，浆液开始向细小裂隙充填。

(2) 第二阶段为岩溶裂隙压裂扩散期

浆液将扩散区域内的原生宽广裂隙充填后，浆液开始向窄小裂隙扩散，局限范围内原生裂隙饱和后，压力会升高至克服地层裂隙张裂值，注浆数据显示，流量 400L/min，压力接近 10MPa 时劈裂地层原生岩溶裂隙，压力出现突降，由 10MPa 突降至 7~9MPa，并推送浆液向压裂后勾通溶隙扩散。

(3) 第三阶段为浆液向治理区外围扩散

注浆期间经高压注浆劈裂岩溶裂隙后，浆液持续向新裂隙及其它连通的岩溶裂隙内充填浆液，压力持续在 8.5MPa 上下波动，浆液持续向治理区域控制范围外侧扩散，部分浆液向 L₈ 灰岩含水层外其它非治理地层扩散，提升浆液密度，并按照比例添加锯末，快速加固封堵扩散通道，阻隔非治理区域水进入矿井采掘区，浆液密度增加后短时段内压力降低

是由于井内液柱静压增大，浆液静压平衡部分地层压力，之后压力再次达到一个 8.5MPa 左右的平衡点，个别时段出现压力突降情况在于浆液密度提升后井内压力增大，地层破裂产生新裂隙，流量变化，而压力稳定，压力未出现降低或压力升高情况，此序次注浆治理范围内岩溶裂隙已被充填饱和，即可结束本序次高压注浆。

4.4 精准调控高压注浆技术实施效果

注 30-3 分支孔在 662~853m 段，长度 191m，分支孔控制浆液扩散宽度为 60m，L₈ 灰岩含水层厚度 8m，治理范围体积为 91680m³，注浆量达到 152000m³，超出治理区域体积 1.66 倍，而始终达不到终压 10MPa，浆液持续向治理范围外侧扩散，如此以来造成资源浪费，增加治理成本，随即精准调控浆液密度，高压流量，锯末添加量来封堵治理区域外围浆液扩散通道，形成隔水屏障。具体浆液密度由 1.20~1.22g/cm³ 调整为 1.25~1.30g/cm³，并按单混浆池 8m³ 添加 3kg、5kg、8kg、12kg 逐渐增加骨料，注浆量达到 154570m³ 时，降低流量，压力未出现降低，反而压力由 8MPa 升高至 9MPa，此治理区域外围浆液扩散通道成功封堵，结束本序次高压注浆，后续经过矿方井下施工疏水验证，此区域出水量小于 30m³/h，治理效果良好。

表 4.2 注 30-3 分支孔注浆情况一览表

孔深 ----- 消耗量	水位	压水流量 ----- 井口压力	流量 ----- 比重	终压 ----- 时长	注浆量
853m ----- 12m ³ /h	溢流	500L/min ----- 0.5MPa	60~600L/min ----- 1.20~1.26	9.0MPa ----- 34min	154570m ³
1131m ----- 0m ³ /h	+22.8m	60L/min ----- 1.2MPa	60~400L/min ----- 1.22~1.26	9.2MPa ----- 45min	32079m ³
1495m ----- 0m ³ /h	+7.2m	60L/min ----- 0.8MPa	60~400L/min ----- 1.20~1.32	9.4MPa ----- 33min	37610m ³

5 结语

L₈ 灰岩大岩溶裂隙注浆浆液外散控制技术在矿井防治水上应用，保障了浆液在治理区域含水层内压实充填，对扩散通道形成堵塞避免浆液扩散至非治理区域，降低了资源浪费，缩短了治理时长，为矿井解决了生产接替紧张局面，同时此项技术也可应用于断层导水带的截堵。

[参考文献]

[1]冉德立. 矿井深部高承压水工作面底板注浆改造效果评价方法研究. 现代矿业, 2020, 36 (08): 111-113.
[2]靳超峰, 衡培国. 井下揭露大型岩溶裂隙钻孔封堵技

术研究. 煤炭科技, 2016, (04): 31-33.
[3]段李宏. 大采长工作面高承压水底板注浆改造技术研究. 矿业安全与环保, 2023, 50 (04): 114-119.
[4]郭艳, 桂和荣, 魏久传, 洪荒, 郭祥东, 崔亚丽, 叶爽, 李俊. 煤层底板区域注浆浆液扩散数值模拟及影响因素分析. 煤田地质与勘探, 2023, 51 (06): 34-43.
作者简介: 赵青正 (1995.10), 男, 汉族, 籍贯: 河南南阳, 学历: 本科, 职位: 地质技术员, 职称: 助理工程师, 研究方向: 煤矿防治水。