

极复杂地质条件下地面定向多分支水平井精准着陆技术研究

杨睿哲

(焦作市神龙水文地质工程有限公司, 河南 焦作 454000)

摘要 以焦煤公司赵固矿区为研究对象, 聚焦极复杂地质条件下地面定向多分支水平井着陆的关键难题。通过深入剖析矿区独特的水文地质与生产现状, 系统阐述精准着陆方案的优化设计、实施过程及创新要点。结合赵固一矿15031工作面的实际工程案例, 运用详实的施工数据与分析, 验证该方案在攻克钻孔着陆技术瓶颈、提升钻进效率方面的显著成效, 以期为煤炭行业在复杂地质环境下开展水害超前治理提供有价值的实践参考。

关键词 赵固矿区; 极复杂地质条件; 精准着陆方案; 水害治理

中图分类号: TD8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.23.042

0 引言

随着煤炭开采活动的持续深入, 矿井面临的水文地质问题日益严峻。赵固矿区作为焦煤公司的主力生产基地, 凭借高度机械化的综采、综掘技术, 实现了煤炭开采效率的大幅提升。为保障生产的连续性与安全性, 提前开展采、掘工作面的水文地质勘察, 并实施超前预注浆等水害治理措施成为当务之急。然而, 地面定向多分支水平井在施工过程中, 精准着陆问题成为制约该技术应用效果的关键技术瓶颈, 严重影响水害治理工程的整体质量与进度。本研究深入分析赵固矿区极复杂地质条件下地面定向多分支水平井着陆的技术难题, 通过优化设计精准着陆方案, 有效解决钻孔着陆困难、施工效率低下等问题, 旨在显著提高水害治理工程的成功率与实施效率。

1 赵固矿区地质与生产现状分析

1.1 矿区水文地质条件

赵固矿区地层结构复杂, 自上而下依次分布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、新近系及第四系等多个地层单元。其中, 石炭系上统太原组和二叠系下统山西组作为主要含煤地层, 蕴藏着丰富的煤炭资源。然而工作面上覆巨厚的第四系、新近系冲积层, 形成全掩盖区地质特征, 极大地增加了水文地质勘探工作的难度与复杂性。L8灰岩含水层是矿区主要的充水水源, 其厚度介于10.60~11.49 m之间, 距离21煤层底板仅27.09~27.16 m, 承受着5.3~5.4 MPa的高水压, 突水系数

达到0.195~0.199 MPa/m^[1]。在煤炭采掘工程活动的影响下, 煤层顶底板受到扰动, 加之该区域地下水水平与垂向补给条件良好, 使得工作面面临着极高的突水风险, 严重威胁着矿井的安全生产与正常运营。

1.2 矿区生产现状

在赵固矿区煤炭开采过程中, 广泛应用先进的综采、综掘设备, 生产机械化程度处于行业领先水平, 这使得煤炭开采效率得到显著提升。但高速的开采进度导致生产接续紧张, 为确保生产的有序进行, 必须加快推进水害治理工程。地面区域水害治理工程作为重要的防治手段, 其核心技术——地面定向多分支水平井施工, 却因矿区复杂的地质条件面临诸多挑战。如地质构造复杂多变、地层岩性差异大等问题, 严重影响钻孔施工的准确性与效率, 制约着水害治理工程的顺利开展。

2 地面定向多分支水平井着陆难题分析

2.1 正常地质条件下的着陆困难

在常规地质条件下, 地面定向钻孔的设计主要依赖相邻勘探钻孔提供的数据支持。然而, 在赵固矿区, 勘探钻孔间距普遍达到几百米, 且施工区域多为尚未开采的“处女地”, 所依据的等高线数据大多基于推断得出。这种数据获取方式导致定向钻孔在实际应用中存在较大误差, 最大误差可达数十米。由此造成钻孔设计与实际地层情况严重不符, 使得钻孔在着陆过程中难以精准定位目标层位, 极大地影响了水害治理工程的准确性与有效性^[2]。

2.2 复杂地质条件下的施工难点

当多分支水平井施工遭遇地质构造时,施工难度呈几何级数增长。首先,准确获取地质构造的具体位置、落差、走向等关键参数成为首要难题。在复杂地质环境中,受多种因素干扰,传统勘探手段难以精确测定这些参数。一旦施工区域内连续出现多个断层,标志层作为重要的地质参照依据将丧失,施工人员只能依靠有限的经验以及对周边地质资料的综合分析来判断目的层位置,这种判断方式缺乏准确性与可靠性,盲目性较大,极易导致钻孔偏离预定目标层位。

此外,断层带区域地层岩性杂乱,岩石质地松软,在进行注浆加固后,扫塞作业通过断层带时,破碎的地层极易产生新的钻孔通道,不仅严重影响钻孔施工进度,还对钻孔的稳定性构成威胁。若断层实际位置与前期预估存在较大偏差,且此时一开套管已完成下入,将对二开井段的正常施工以及二开套管的顺利下入造成严重阻碍,甚至可能导致整个钻孔工程失败,造成巨大的经济损失与工期延误。

3 精准着陆方案优化设计

3.1 方案优化原则

精准着陆方案的优化严格遵循准确性、可靠性、高效性和经济性四大原则。准确性原则要求确保钻孔能够精确着陆于目标层位,为后续水害治理工作奠定基础;可靠性原则旨在提高方案在复杂地质条件下的适应性与稳定性,降低施工风险;高效性原则通过优化施工流程、采用先进技术手段,缩短施工周期,提高钻进效率;经济性原则则强调在保证工程质量的前提下,合理控制成本,实现经济效益的最大化。

3.2 优化技术措施

在复杂地质条件下,技术团队采用“先探目的层,再核标志层”的递进式勘探策略。首先利用先进的钻探与探测技术,对目的层进行初步探查。若对目的层的位置、属性存在疑问,则进一步对标志层展开详细勘探。通过高精度测量目的层与标志层之间的层间距,并与邻近勘探钻孔数据进行细致对比分析,结合地质模型构建与数值模拟技术,精准确认目的层位,有效避免因层位误判给后续施工带来的风险。

针对断层位置偏差导致二开井段水平段过长、下套管困难的问题,运用定向钻井技术领域前沿的随钻测量(MWD)、地质导向(LWD)技术,实时获取钻孔轨迹参数与地层信息^[3]。借助专业的计算机模拟软件,基于地层条件、断层分布、一开套管下入深度等多源数据,构建三维钻孔轨迹模型,制定多种轨迹优化方

案。通过对各方案的技术可行性、施工难度、成本效益等指标进行综合评估与对比分析,筛选出最优方案,确保钻孔能够准确着陆并顺利完成二开套管下入作业。

4 方案实施与应用

4.1 赵固一矿 15031 工作面应用案例

1. 工作面概况。赵固一矿 15031 工作面对应地面位于大麻村,地表以农田为主,地势相对平坦。井下空间位置上,东接尚未掘进的 15041 工作面,西临 15021 工作面,南靠北翼轨道运输大巷。工作面上覆巨厚冲积层,地面标高处于 +83.8 ~ +85.4 m 区间,井下标高为 -432.5 ~ 457.1 m,二 1 煤层厚度在 5.1 ~ 6.5 m 之间,平均厚度达 5.8 m,煤层倾角较为平缓,仅为 1° ~ 4°,煤层稳定性良好,结构相对简单。

该工作面整体呈现向斜构造形态,这种特殊的地质构造使得水文地质条件极为复杂。作为主要充水含水层的 L8 灰岩含水层,在高水压与大突水系数的作用下,加之采掘活动对煤层顶底板的扰动影响,以及周边丰富的地下水补给,突水危险性极高。同时,工作面顶板基岩厚度预估在 48 ~ 78 m 之间,进一步加剧了水害治理工作的难度。

2. 钻孔设计方案。针对 15031 工作面的水害治理需求,工程初步规划设计 2 个主钻孔,即注 9 孔与注 10 孔,采用从工作面西北向东南方向的分支定向布局方式。注 9 主钻孔与注 10 主钻孔间隔 770 m,每个主钻孔分别设置 6 个分支钻孔,各分支钻孔间距控制在 50 ~ 60 m。施工采用地面区域超前注浆加固治理技术,旨在通过对 L8 灰岩含水层进行全面探查与注浆加固,增强二 1 煤层底板一定厚度范围内岩层的完整性,提升煤层底板与 L8 灰岩含水层之间各岩层的抗压强度,进而提高煤层抵御水压的能力,有效降低采掘过程中的水害威胁^[4]。

钻孔施工在冲积层阶段先进行直孔段钻进,根据表土层实际厚度与地质条件,可适时进行一定角度的造斜作业。待钻孔成功进入 L8 灰岩层位后,调整为水平钻进状态并深入工作面,直至终孔均保持在 L8 岩层中施工。通过多个分支孔的协同作业,在 15031 工作面二 1 煤层底板下部的 L8 灰岩区域构建起基本覆盖的探查网络,钻孔最大设计深度约为 1 750 m,确保实现对工作面的全方位探查与治理。

3. 注 10 孔造斜段施工过程。注 10 孔主孔施工区域内存在矿井边界断层 F15 (落差范围 20 ~ 220 m) 和物探 DF102 断层 (落差 10 m),由于断层具体参数信息缺失,等高线图上仅标注大致位置,导致着陆点垂深与地层倾角等关键数据不明。为确保钻孔精准着

陆,按照施工方案要求,依次施工探目的层L8灰岩孔、探标志层二1煤层孔以及着陆下套管孔。

探L8灰岩孔施工过程中,在钻孔深度达436m时首次揭露基岩顶板,继续钻13.5m(即449.5m处)下入一开套管。后续钻进至580m、650m、920m深度时,分别遭遇F15-1、F15-2和DF102断层,其落差分别为70m、138m和27m。当钻孔深度达到858m时,揭露煤层,根据上返岩屑判断为全煤,通过降斜操作打穿煤层,经测量计算煤层垂深约5m,初步确定为二1煤层。但该煤层标高与邻近注9孔及地面11204钻孔见煤标高相近,却与等高线计算的煤顶标高存在近30m的偏差,经综合分析判断此处存在断层构造。施工团队继续采取降斜措施,最终在920m左右深度探测到灰岩,结合出煤后立即见灰岩的特征以及与稀盐酸的剧烈反应现象,判定此为L8灰岩,成功探明着陆点L8灰岩的具体垂深^[5]。

由于探L8灰岩孔过程中对灰岩层位的判定存在不确定性,为进一步确认L8灰岩层位,在主孔造斜段650m处进行侧钻施工探二1煤层孔。通过定向钻进技术,在780m左右位置将井斜角度提升至 $94^{\circ}\sim 95^{\circ}$,持续钻进至936m时见煤,983m时完全出煤,测得煤层厚度约4m,且该煤层距下方灰岩距离为28m,与邻近勘探孔数据高度吻合,最终确定此处为L8灰岩,同时探明了DF102断层的走向。

然而,实际揭露的DF102断层位置较原设计向外平移162m,在一开套管已下入的情况下,导致二开井段水平段(井斜 $\geq 85^{\circ}$)过长,原设计方案下套管难度极大。定向技术部门迅速响应,经过深入研究分析,提出两个优化轨迹方案。方案一计划在600m(井斜 69.88°)处侧钻,上提30m避开岩屑含煤地段,随后在610~660m井段以 8° 狗腿度将井斜增至 82° 左右,660~860m稳斜钻进200m,860~930m以 $4\sim 5^{\circ}$ 狗腿度将井斜增至 89° 左右见灰岩后起钻下套管;方案二则选择在过一开套管10m左右的460m(井斜 38.51°)处侧钻460~640m以 8° 狗腿度将井斜增至 81.6° 左右,640~880m稳斜钻进240m,880~930m以 5° 左右狗腿度将井斜增至 89° 左右见灰岩后起钻下套管。经综合评估,最终选用方案二进行施工。

在着陆下套管孔1施工过程中,当井深达到604m左右时,出现约 $30\text{ m}^3/\text{h}$ 的漏失现象,根据指令起钻进行注浆作业,采用粘土水泥浆(比重 1.20 g/cm^3),注浆压力达到6.5MPa后结束^[6]。在扫塞至580~588m段时,遭遇上提下放困难、塌孔、卡钻等问题,尝试调整优质泥浆、循环孔内大颗粒物等措施均未奏效,

最终改用纯水泥浆(比重 1.25 g/cm^3)进行注浆,通过促使水泥充分扩散、长时间候凝,对周围破碎地层进行二次加固,注浆终压同样为6.5MPa,本次共注入水泥93t。

着陆下套管孔2施工时,充分吸取孔1的经验教训,选择在460m处侧钻,与孔1保持5m以上的空间间距,有效避开塌孔地段。但在施工至540m位置时,出现与邻井注15孔串浆现象,停泵后井口返水,注15孔注浆压力从6.5MPa骤降至3.5MPa。随即按照要求起钻注浆,对导通的断层裂隙进行加固处理,共注入水泥12t、粘土48 m^3 (因材料供应中断停止注浆)。注浆完成后继续施工,最终在930m深度实现成功着陆,并顺利、安全地完成二开套管下入作业,为后续三开施工创造了良好条件。

4.2 应用效果分析

“极复杂地质条件下精准着陆方案”在赵固一矿15031工作面注10孔的成功应用,克服了复杂地质条件带来的重重困难,顺利完成二开井段施工并实现二开套管的精准下入,为三开施工奠定了坚实的基础。该方案的实施显著提升了焦煤公司在定向多分支井施工领域的技术水平,加快了企业对定向井核心技术的掌握进程,有力推动了企业向高科技、多元化方向发展。

5 结束语

围绕赵固矿区极复杂地质条件下地面定向多分支水平井着陆难题,通过深入研究与实践探索,成功完成精准着陆方案的优化设计与实施。在研究过程中,系统分析了矿区地质与生产现状、钻孔着陆难题,提出并应用科学合理的优化技术措施,充分验证了方案在解决技术难题、提升钻进效率、创造经济与安全效益等方面的显著成效。

参考文献:

- [1] 闫雷芳.复杂水文地质条件下的矿井防治水技术应用[J].矿业装备,2024(07):7-9.
- [2] 姜文浩.联合注浆在工作面底板水害防治中的应用[J].煤炭科技,2021,42(04):83-87.
- [3] 姚克,李泉新,方俊,等.煤矿井下旋转地质导向钻进技术装备研究[J].煤炭科学技术,2022,50(12):36-42.
- [4] 王强.定向分支钻探注浆技术在煤矿防治水中的应用[J].煤炭与化工,2022(07):78-81.
- [5] 安许良地面区域水害治理技术在赵固一矿的应用[J].建井技术,2023,44(04):1-11.
- [6] 马瑞胜,耿燕文,张明明,等.水文地质条件极复杂矿井底板岩溶水害强化注浆加固应用与效果分析[J].当代化工研究,2024(17):5-8.