

复杂地质条件下煤田地质勘探方法优化与风险评估

李 迅

河北省煤田地质局第二地质队(河北省干热岩研究中心) 河北 邢台 054001

摘 要:复杂地质煤田普遍存在构造多样、岩层破碎、水文条件复杂等特点,各类特殊地质形态大幅提升勘探作业难度。现有勘探技术适配性不足,在复杂地质场景中易出现数据偏差、勘探盲区等问题。本文结合复杂煤田地质特征与勘探核心难点,针对性优化勘探技术组合、作业流程及数据处理方式,同时从地质、施工、数据维度搭建多层次风险评估体系,划分勘探风险等级并匹配对应防控举措,可有效提升复杂煤田勘探工作的系统性与精准性。

关键词:煤田勘探;复杂地质;勘探优化;风险评估

引言:煤炭资源开采与开发的前提,是精准查清区域煤层赋存状态与地下地质结构。我国多数煤炭产区地质环境复杂,断裂褶皱、岩溶发育、富水地层等特殊地质条件叠加分布,对传统勘探工作形成多重制约。常规勘探技术与固化作业模式,难以适配多变的复杂地质场景,易引发勘探数据失真、地质构造识别不全等各类问题。依托复杂煤田地质特征梳理勘探难点,优化勘探技术体系并构建专项风险评估机制,是保障煤田勘探质量、夯实煤炭资源开发基础的关键。

1 复杂煤田地质条件特征与勘探难点

1.1 复杂煤田地质条件主要类型

煤田地质构造的复杂化形态具备多样化表现形式。断裂构造广泛分布于煤炭赋存区域,不同规模的断层切割煤岩层体,打乱地层原本的延展形态。褶皱构造会改变煤层的埋藏形态与空间姿态,向斜、背斜等构造形态交替分布,让煤层赋存结构变得杂乱。岩溶地质环境多出现于碳酸盐岩与煤系地层共生区域,岩体内部发育大量溶洞、裂隙与孔洞,地层结构松散且空间分布无序。松散覆岩地质条件以地表及浅层岩层风化破碎为主要特征,岩层整体性较差,结构稳定性不足。含水地层与隔水层交错分布的水文地质结构,会形成多层复杂水文空间,地下水分布状态不均^[1]。部分煤田还存在岩浆侵入地质形态,高温岩浆穿透煤系地层,破坏煤层完整结构,改变煤层原有赋存状态,形成形态不规则的变质煤区与空白采区。

1.2 复杂地质条件对煤田勘探的制约因素

各类复杂地质结构会直接干扰勘探作业的推进质量。不规则的构造形态会遮挡地层深部的地质信息,浅层破碎岩层会屏蔽勘探信号,降低地质信息采集的完整

度。岩层物性差异过大的区域,会造成勘探数据采集偏差,各类探测信号传播速度、衰减程度出现无序变化,引发数据失真问题。地下水富集区域会弱化勘探设备的探测精度,水体渗透会改变岩体物理属性,干扰地层结构的识别判断。构造破碎会带来提升勘探作业的实施难度,作业点位布设、勘探深度推进都会受到岩层稳定性限制。煤层受地质改造产生的厚度突变、分叉合并等现象,会增加煤层空间定位的难度,无法精准判定煤层赋存边界与延展范围。

1.3 现阶段煤田地质勘探工作的固有难点

煤田勘探作业面对复杂地质环境时存在诸多难以规避的问题。地质信息采集覆盖范围存在局限,深部地层、构造盲区的地质数据难以全面获取,浅层数据无法精准推导深部地质状态。单一勘探技术的适用范围有限,各类技术仅能适配特定地质场景,无法适配多元化、复杂化的煤田地质环境。地质信息解析工作存在难度,复杂构造叠加形成的多层地质信息相互交织,数据解析难度大幅提升,地质结构判别精准度不足。勘探作业施工稳定性难以保障,破碎地层、富水地层作业过程中易出现施工阻碍,作业进度与施工质量难以稳定把控。地质状态的空间变异性较强,小范围区域内地层结构、煤层属性差异显著,均匀化勘探模式难以适配局部复杂地质状态。

2 传统煤田地质勘探方法及现存缺陷

2.1 常规煤田地质勘探主要技术手段

常规煤田地质勘探依靠多类成熟技术手段,查清区域煤层赋存规律与地下地层结构特征。钻探是勘探工作的核心技术方式,借助机械钻进作业提取地下岩芯,依靠实体样本识别煤岩层岩性、地层厚度以及埋藏深度等

基础地质信息。坑探通过搭建探槽、探巷等浅表工程,直接暴露浅层地层结构,直观展现地表周边的地层构造形态与煤层出露情况。地震、电法等常规物探手段,依托不同岩体物理属性的固有差异,接收地下传播的探测信号,以此推断地下地层的空间分布与构造形态。测井技术依托井下专用探测设备,采集钻孔内部地层的各类物性参数,精准区分煤层、普通岩层与含水地层的分层边界,充实单孔地质数据^[2]。地表地质调查以野外踏勘、地层测绘为主要形式,梳理区域地层出露规律,为后续勘探方案的合理布设提供基础地质支撑。

2.2 传统勘探方法的适用局限

每一类传统勘探技术都有对应的适用范围,难以适配各类复杂程度的煤田地质场景。钻探施工投入成本较高,整体作业周期更长,大面积勘探作业无法布置密集勘探点位,只能依靠零散钻孔数据推演整体地质状况。坑探作业仅适用于浅层地质区域,无法触及地下深部地层,山地地形与岩层破碎区域也不具备施工条件。常规物探技术对地层均质条件有着较高要求,仅能在地层结构简单、岩体物性稳定的区域保证探测质量。地层构造复杂、岩体物性差异较大的区域,探测信号容易受到干扰产生紊乱,无法输出有效、可靠的探测数据。测井数据仅能反映单个钻孔位置的地质情况,难以体现地层在空间延伸过程中的动态变化。地表地质调查的观测范围局限于地表浅层,无法识别地下隐蔽构造,也不能精准判断深部煤层的发育特征与赋存状态。

2.3 复杂地质场景下传统勘探技术的短板问题

复杂多变的地质环境会暴露传统勘探技术的各类不足,拉低整体勘探工作的质量与精准度。岩层破碎、构造发育的区域,钻探作业获取的岩芯完整性较差,破碎零散的样本无法真实还原原始地层结构与煤层赋存形态。岩溶发育、地下水富集的地质区域,会严重干扰物探探测信号,产生大量无效探测数据,降低地层构造识别的精准程度。褶皱、断层集中分布的煤田区域,传统勘探点位布设方式存在疏漏,很多隐蔽地质构造容易出现探测遗漏。传统勘探技术的数据采集维度相对单一,难以同时覆盖地层结构、水文特征、煤层形态变化等多项地质要素。固化的勘探作业模式灵活性不足,无法应对局部区域的地质突变问题,数据采集精细程度难以满足复杂煤田的勘探工作标准。

3 复杂地质条件下煤田地质勘探方法优化策略

3.1 勘探技术组合模式优化

单一勘探技术的作业模式无法应对复杂煤田多变的

地质环境,需要重构多元化技术搭配模式。结合不同勘探技术的作业优势,针对构造复杂、岩层破碎、水文复杂等不同地质场景,搭配差异化的技术组合方案。依托物探技术完成大范围区域的地层初步筛查,锁定地质构造异常区域与煤层大致分布范围。搭配高精度钻探技术对异常区域进行定点核验,弥补物探技术精准度不足的问题^[3]。利用测井技术细化钻孔内部的地层参数,填补单点勘探的数据空白。通过多类技术的分层搭配,拓宽勘探作业的覆盖维度,消除单一技术作业形成的勘探盲区,提升整体勘探工作的全面性。

3.2 勘探作业流程优化调整

传统固化的勘探作业流程适配性较弱,需结合复杂地质特征完成全流程优化。前期勘探筹备阶段,细化区域地质资料筛查工作,梳理地层构造、水文分布、岩层属性等基础信息,科学划分勘探作业分区。中期作业阶段,摒弃固定点位布设模式,根据地质复杂程度调整勘探点位密度与作业深度,对构造密集区域加密勘探点位。简化重复的作业工序,精简无效作业环节,提升现场勘探施工效率。后期作业收尾阶段,建立分层核查机制,分步核验现场勘探施工质量,规范勘探作业工序标准,规避施工偏差带来的地质数据偏差问题。

3.3 勘探数据采集与处理方式优化

复杂煤田地质勘探对数据精细度要求更高,需升级数据采集与处理的整体方式。拓展数据采集维度,新增岩层稳定性、水文扰动程度、构造变形特征等多项地质参数采集内容,丰富原始数据储备。调整数据采集频次,针对地质突变区域提升采集密度,捕捉细微的地层变化特征。优化数据处理流程,筛选剔除勘探过程中产生的干扰数据与无效数据。规范数据分类整理标准,按照地层结构、煤层特征、水文条件等类别完成数据归类。细化数据解析标准,精准区分正常地层与异常地质构造的数据特征,提升地质信息解析的准确程度。

3.4 针对性复杂地质单元勘探技术优化

不同复杂地质单元的勘探痛点存在差异,需制定专属的技术优化方案。断裂、褶皱构造发育单元,采用高精度探测手段细化构造边界探测,精准识别断层落差、褶皱形态等关键地质特征。岩溶与破碎地层单元,调整钻探施工工艺,提升岩芯采取率,规避岩层破碎带来的样本缺失问题。富水水文地质单元,优化物探探测参数,弱化水体对探测信号的干扰,清晰划分含水地层与隔水地层分布范围。岩浆侵入改造地层单元,重点排查煤层变质范围与赋存空缺区域,精准界定煤层有效勘探

区域,适配特殊地质单元的勘探作业需求。

4 复杂地质煤田勘探全过程风险评估体系构建

4.1 勘探风险识别维度与分类

复杂煤田地质环境下的勘探作业环节繁多,风险隐患具备隐蔽性与分散性特征。风险识别需要覆盖勘探全流程,依托分层梳理方式厘清各类风险来源。勘探风险可依据作业属性划分为地质、施工、数据三大核心类别。地质类风险属于原生环境风险,多由区域特殊地质结构引发。构造突变、岩层破碎、岩溶孔洞发育、地下水富集等地质现象,都会改变勘探施工环境,增加勘探作业的不确定因素。施工类风险源于现场作业实施过程,不合理的点位布置、不匹配的施工工艺、不规范的现场操作,都会阻碍勘探施工推进,造成勘探作业质量不达标。数据类风险产生于地质信息处理环节,地层信号紊乱、信息采集残缺、地质判断偏差等问题,都会误导煤层赋存形态与地层结构的判定工作,为后续勘探工作埋下隐患^[4]。

4.2 勘探风险评估指标选取

风险评估指标的选取遵循科学、精准、适配的核心原则,贴合复杂煤田勘探的作业特征。指标体系依托已划分的风险类别搭建,筛选具备实际判别价值的核心要素。地质层面围绕勘探作业环境,选取构造复杂程度、岩层完整程度、水文发育强度、地层变异特征作为核心指标,客观衡量原生地质条件对勘探工作的干扰程度。施工层面聚焦现场作业质量,选取点位布置合理性、工艺适配程度、施工规范水平、现场作业稳定性作为评估指标,量化施工环节的风险高低。数据层面针对信息处理质量,选取数据采集完整度、信号干扰程度、解析精准度、参数匹配质量作为评估指标,衡量勘探数据的可靠程度。所有指标均对应具体作业环节,摒弃模糊笼统的评估要素,保障风险研判的针对性与有效性。

4.3 勘探风险评估模型搭建

风险评估模型为勘探风险系统化研判提供结构化支撑,能够整合各类零散风险要素开展系统性分析。模型采用多层次递进架构,划分目标层、准则层、指标层三个层级。目标层针对复杂地质煤田勘探整体风险水平开展综合研判。准则层拆分整体风险体系,对应地质、施工、数据三大风险维度,形成独立的研判模块。指标层纳入全部细分评估要素,完成基础数据的录入与标准化测算。模型结合复杂地质勘探的作业特点,为不同指标

配置差异化权重,突出高影响风险要素的研判优先级。多层次结构可以实现单一指标风险判定与多维度综合研判相互结合。灵活的架构形式能够适配不同复杂程度的地质单元,满足各类煤田勘探场景的风险研判需求。

4.4 勘探风险分级与防控思路

风险等级划分以模型研判结果为依据,结合风险影响强度与诱发概率完成层级区分,划分低、中、高三个风险等级。不同等级设置对应的作业管控标准,明确常规作业区域与重点管控区域的施工差异。低风险等级代表作业环境整体稳定,各类风险干扰因素较弱,常规施工方式即可完成勘探任务。中风险等级代表局部区域存在隐患,部分作业环节存在不确定因素,需要针对性调整施工工艺与作业方案。高风险等级代表地质条件复杂程度高,现场作业隐患密集,需要全面优化勘探方案,强化全流程现场管控。风险防控工作依照分级分类理念开展,定向落实管控举措。地质风险聚焦前期预判排查,提前探明区域异常地质结构。施工风险聚焦现场过程管控,统一施工流程与工艺选用标准。数据风险聚焦信息全流程管控,规范采集与解析标准,提升地质勘探信息的精准度。

结束语

复杂地质条件下的煤田勘探是一项兼具技术深度与现场实操性的系统性工作,技术方法的迭代优化与风险管控体系的落地相辅相成。从技术组合模式重构到作业全流程的动态调整,再到多维度风险评估体系的搭建,整套路径能够有效破解复杂地质场景下的勘探精度瓶颈,减少无效作业投入,降低现场施工隐患。相关思路与方法可直接适配不同类型的复杂煤田勘探项目,为煤炭资源的精准勘查、安全开发提供坚实的地质技术支持,助力煤炭行业勘探质量与生产效益的双重提升。

参考文献

- [1] 雷文辉. 煤炭开采地质勘探技术与数据处理[J]. 全面腐蚀控制,2026,40(5):313-315.
- [2] 徐然,张英梅,王继芳,等. 综合地质勘查方法在陶枣煤田采空区勘查中的应用[J]. 云南地质,2023,42(2):168-173.
- [3] 黄金波,李超,鲁国亮. 煤田水文地质勘探新技术在含水层定位中的应用[J]. 科学技术创新,2025(17):17-20.
- [4] 谢鸿. 煤田地质勘探的影响因素及对策探讨[J]. 内蒙古煤炭经济,2024(10):187-189.