

# 煤田三维地质建模技术及其在矿井生产中的应用

邓 宇

山西宁武大运华盛庄旺煤业有限公司 山西 忻州 036700

**【摘要】**：传统二维地质图纸依托剖面与钻孔数据拼接形成地质信息载体，图纸平面化特征很难还原地层空间展布细节，井下采掘作业常会因隐伏地质构造预判不足出现掘进停滞、巷道改道等生产损耗。三维地质建模依托实测勘探数据重构地下地层、断层、陷落柱等地质体立体形态，把离散勘探数据转化为可视化空间地质模型，逐步成为现代煤矿精细化开采配套核心技术。文章围绕煤田三维地质建模操作流程梳理现场落地技术要点，结合矿井开拓布置、采掘计划编制、地质灾害防控多个生产环节剖析模型实际应用路径，对照现场使用过程中暴露的数据采集、模型动态更新相关现实问题细化优化方向，依托矿井一线生产使用经验总结建模技术后续升级适配思路，助力煤矿摆脱经验化地质指导生产的固有模式，持续提升资源回采效率与井下作业安全管控水平。

**【关键词】**：煤田；三维地质建模；矿井生产；地质构造；资源开采

DOI:10.12417/2705-0998.26.09.015

## 引言

煤炭是我国能源供给的核心资源，随着浅层煤炭储量日渐枯竭，煤矿开采逐步转向深部地层。深部地层存在地应力复杂、断层交错、含水层分布无序等问题，大幅提升了采掘施工难度。传统矿井地质预判依托人工勘察与二维纸质图纸开展，割裂了地层三维空间关联，依靠人员经验推算地质情况，易产生预判偏差，引发巷道误掘、突水、资源损耗等生产问题。随着数字化矿山建设推进，煤矿地质数据实现电子化存储，三维地质建模技术得以落地应用，摆脱了纯理论推演局限，广泛用于矿井开拓、回采等阶段。目前行业相关研究多聚焦算法与软件优化，缺乏贴合井下实际工况的落地实操规范，导致一线作业存在数据筛选无标准、模型贴合度低、无法联动采掘系统等问题。细化现场建模实操与应用内容，可填补理论与生产的衔接空白，让三维地质模型成为矿井全周期生产管控的有效辅助工具。

## 1 煤田三维地质建模基础数据来源与预处理

### 1.1 建模原始数据现场采集渠道

矿井全生命周期勘探施工会积攒多类型地质实测数据，不同施工环节产出的数据精度、数据覆盖范围存在明显区分，钻探施工数据是构建地层骨架的核心基础数据，地面勘探阶段布置的普查孔、详查孔按照勘探规范控制钻孔间距，钻孔钻进全程分层记录各地层埋深、岩性特征、煤层顶底板标高、含水层发育厚度，井下开拓巷道、顺槽掘进过程中地质巡检人员同步开展巷探编录，巷道岩壁裸露的地层界面、断层破碎带产状信息可以补充地面钻孔覆盖盲区的数据空白。瞬变电磁、地震勘探等物探手段产出的数据侧重大范围构造预判，物探剖面能够勾勒断层延展趋势、陷落柱边界轮廓，弥补钻孔点位稀疏带来的局部地质空白，物探数据分辨率低于钻孔实测数据，仅能作为地层轮廓辅助约束条件。煤矿日常生产台账留存的采掘实测

数据同样具备建模利用价值，回采工作面推进期间跟踪实测煤层实际厚度、构造出露位置，已完工巷道的腰线标高、岩层揭露记录可以校验前期勘探数据偏差，各类数据分属不同施工部门归档管理，建模筹备阶段需要统筹整合地质科、掘进队、物探项目部多部门存档资料。

### 1.2 建模数据现场标准化预处理操作

原始采集的数据掺杂人为记录误差、勘探设备测量偏差以及地层局部异常数据，直接导入建模软件会造成地层界面扭曲、构造形态失真，预处理环节需要依托矿井地质规程逐项筛选校正各类原始数据。地质技术人员对照钻孔原始钻探日志核对煤层分层数据，剔除钻进卡钻、测井仪器故障形成的异常标高数值，针对同点位钻孔地面勘探与井下实测出现的数据差值，结合巷道现场实地复测确定有效数据，舍弃受局部构造扰动产生的孤立异常数据。物探解译成果转化为建模可用坐标数据时，按照矿井统一坐标系统完成坐标换算，统一高程基准避免不同勘探时期高程体系不一致带来的空间错位问题，零散的纸质地质台账数据依托表格软件完成数字化录入，标注每条数据对应的勘探时间、施工点位、测量方式方便后期溯源核查，预处理结束后分类建立地层数据库、构造数据库、采掘实测数据库，三类数据库独立存储又预留数据联动接口，适配后续分模块分步建模的现场作业习惯。

## 2 煤田三维地质模型构建实操工艺

### 2.1 地层实体分步建模实操流程

建模工作优先从含煤地层基底开始逐层向上构建地层界面，依托预处理完成的钻孔分层数据提取各地层顶底板空间坐标，在建模软件内批量导入坐标点位生成离散控制点，控制点分布疏密跟随矿井勘探程度灵活调整，勘探加密区点位密集可以细化地层起伏形态，边远勘探稀疏区域借助相邻控制点插值补充点位信息。软件自动插值生成初始地层层面之后，地质人

员对照井下巷探实测岩层出露数据手动修正局部层面变形,煤层作为矿井开采目标层需要单独精细化处理,剔除受小型断层错动形成的局部异常煤厚点位,结合多个邻近工作面回采实测煤厚数据微调煤层界面起伏状态,避免单一钻孔数据主导局部煤层形态造成模型失真。单一地层层面成型后开展相邻地层层面闭合校验,消除层面边缘穿插、地层厚度出现负值等建模常见问题,逐层完成所有地层界面构建后按照地层沉积顺序叠加组合,初步形成整套地层实体框架,框架成型后截取多条虚拟勘探剖面,对比剖面地质信息和井下实际揭露地质情况反复微调实体边界。

## 2.2 矿井地质构造精细化建模管控要点

断层、陷落柱是矿井构造建模两大核心内容,断层建模优先依托钻孔断点、巷道揭露断层产状、物探解译断层线三类数据划定断层空间边界,每条断层选取多处实测产状点位确定断层走向、倾角变化规律,大型贯通断层延伸范围覆盖多个采区需要分段建模,分段完成后拼接整合保证断层面连续贯通,小型落差不足1米的隐伏断层依据采掘动态数据适时补充录入模型,前期勘探阶段无法探明的微小断层不盲目提前构建实体,预留后期数据增补空间。陷落柱建模围绕边缘钻孔岩层缺失数据和巷道揭露陷落柱轮廓圈定边界,依据陷落柱纵向岩层坍塌规律设置柱体纵向收缩变化参数,摒弃统一柱状建模的简化处理方式还原陷落柱上窄下宽的自然发育形态,各类构造实体完成建模后嵌入地层实体内部,核查构造和地层接触关系,修正断层错断地层出现的穿插、悬空等不合理空间关系,构造建模整体进度滞后于地层建模,依托地层实体框架可以直观定位构造错动影响范围,反向辅助构造边界精细化修正。

## 2.3 模型后期校核与动态更新实操办法

静态模型构建完毕不能直接投入生产使用,现场采用采掘跟踪校核的方式持续优化模型精度,新工作面巷道掘进过程中实时录入巷道地质编录数据,利用新数据比对模型对应位置地层参数,出现煤层厚度、地层标高偏差超出规程允许范围时即时修正模型对应区块。矿井接续勘探补充的加密钻孔数据分批录入数据库,数据累积到一定规模后分区块局部更新模型,不一次性整体重构全矿井地质模型减少建模人力投入,老旧生产矿井开采年限较长,历年回采形成的采空区空间形态数据同步录入模型构建采空区实体,采空区实体和原有地层、构造实体叠加后排查采空周边地层垮塌、含水层渗漏关联特征。部分矿井配套智能化采掘系统后打通建模软件和井下监测系统的数据接口,井下动态监测的地层变形数据自动同步至地质数据库,实现小范围模型自动化微调,大范围地质条件变化依旧依靠地质人员现场实测后手动更新模型参数。

## 3 三维地质建模技术在矿井生产各环节应用

### 3.1 矿井开拓与采区布置阶段模型应用

矿井开拓方案编制阶段依托成型三维地质模型直观查看全井田地层、大型断层、含水层空间分布,设计人员依托模型测算不同开拓大巷敷设线路对应的地质施工成本,避开落差大的贯通断层、富水性强的岩溶含水层集中区域,优化大巷空间走向减少后期巷道施工期间的地质治理投入。采区划分环节在模型内圈定不同煤层赋存边界,结合煤层厚度变化分区划定可采范围,精准剔除受陷落柱、火成岩侵蚀无法布置回采工作面的区块,对比多种采区划分方案对应的煤炭资源储量数值,筛选资源回收率更高的布置思路,以往依靠二维图纸估算储量的方式误差偏大,三维模型依托实体体积直接核算区块储量,储量核算结果可以作为采区接续编制的可靠参考。井筒选址环节调取模型内选址点位纵向地层数据,预判井筒掘进穿越的含水层、松散层分布厚度,提前制定井筒注浆堵水、地层加固施工预案,降低井筒开凿阶段突发水害、围岩坍塌概率。

### 3.2 工作面回采及地质灾害防控应用

工作面回采前期利用模型圈定工作面内部隐伏构造发育位置,依据断层、陷落柱空间范围调整工作面切眼、停采线布设位置,规避工作面推进途中遭遇大型构造被迫缩面、跳采的资源损耗,回采推进过程中依托模型预判前方煤层顶底板岩性变化,提前调整综采设备支护参数适配软硬岩层交替区域的顶板管控需求。水害防控工作借助模型梳理含水层和采掘巷道空间间距,圈定采掘活动易导通含水层的危险区块,危险区域采掘施工前依据模型数据设计疏水钻孔布置方位,精准定向疏水降低突水风险,瓦斯治理依托模型查看煤层围岩透气性变化规律,在煤层构造破碎带等瓦斯富集区域优化瓦斯抽采钻孔布设深度与方位,提升瓦斯抽采效率。顶板灾害防控调取模型内工作面顶板岩层组合数据,按照不同岩层厚度、岩性参数划分顶板管控等级,差异化制定顶板预裂、强制放顶施工方案,依托模型实现灾害隐患由事后处置转向提前预判管控。

## 4 现场建模应用现存问题与优化改进方向

### 4.1 煤田现场建模落地过程现存现实问题

多数中小型矿井地质数据归档标准化程度偏低,早年纸质勘探资料保存破损严重,部分老旧钻孔缺失分层、坐标关键数据,预处理阶段只能舍弃无效数据造成局部建模点位缺失,建模人员只能依靠插值填补空白区域,间接降低对应区块模型贴合度。建模操作人员技能水平参差不齐,地质技术人员熟悉矿井地质规律但缺少软件精细化操作能力,专职建模技术人员精通软件操作却不熟悉井下现场地质发育特征,两类人员配合衔接不畅容易出现模型贴合现场生产需求不足的问题。建模系统和矿井采掘管控软件分属不同厂商开发,数据接口标准不统一造成地质模型数据无法直接共享至采掘计划编制系统,模型数

据二次录入增加一线人员额外工作量，部分矿井仅在开拓设计阶段短期使用模型，回采阶段缺少常态化动态更新，静态模型伴随采掘推进逐步和井下实际地质产生明显偏差。

#### 4.2 适配矿井生产需求的优化改进措施

矿井牵头完善地质资料归档管理制度，新开展勘探施工、巷道掘进形成的地质数据同步完成电子化归档，分年度分批完成老旧纸质资料数字化修复补录，从源头完善建模基础数据库质量，矿井定期组织地质人员和建模技术人员开展联合现场踏勘，建模人员跟随井下巡检熟悉地层实际发育特征，地质人员同步参与建模实操学习软件基础操作，双向融合降低建模和现场脱节问题。联合软件服务商定制矿井专属数据互通接口，打通三维建模系统和采掘、通风、水文监测系统数据传输通道，实现多系统数据一键同步调取，制定矿井模型常态化更新管理制度，把工作面掘进数据录入、局部模型修正纳入地质人员日常考核内容，按照月度小范围更新、年度全矿复核的节奏维护模型精度，部分开采条件复杂矿井增设专职建模岗位，专人负责全周期模型维护与应用对接工作。

#### 参考文献：

- [1] 李君,白亮亮.三维地震与瞬变电磁技术在煤田复杂地质构造探测中的应用研究[J].山东煤炭科技,2025,43(9):129-133.
- [2] 杜松,范莹琳,崔文瑞,等.东胜煤田地质封存三维深地建模[J].煤炭工程,2024,56(7):151-158.
- [3] 张琼月.西山煤田岩矿标本精细化三维建模及其虚拟仿真平台设计与开发[D].太原理工大学,2022.
- [4] 李明利,云龙.煤矿综采工作面高精度三维地质模型构建方法与实践[J].煤炭科学技术,2022,50(S1):168-173.
- [5] 郭钊吾.东周窑井田多尺度三维地质建模[D].太原理工大学,2022.

## 5 结论

煤田三维地质建模依托多源实测地质数据完成地下地质体数字化重构，完整的预处理、分层建模、校核更新流程是保障模型贴合井下实际地质的关键，建模技术跳出传统平面地质表达束缚之后深度融入矿井开拓规划、工作面回采、地质灾害防控全链条生产工作，从资源储量核算、采掘线路优化、水害瓦斯隐患预判多个维度压缩矿井无效生产成本。国内不同规模矿井地质资料完善度、技术人员配置存在差距，建模落地过程中数据残缺、人员适配不足、多系统数据割裂等问题依旧普遍存在，针对性完善资料管控、人员协同、数据互通相关优化举措可以持续释放模型应用价值。煤炭开采逐步向深部复杂地质区域延伸的行业发展趋势下，三维地质模型会持续向智能化动态演化方向升级，依托井下实时监测数据实现模型自主微调是后续主要发展方向，持续细化建模现场实操标准、深挖模型全周期应用场景，能够长期助力煤矿朝着安全高效精细化开采方向稳步推进。