

矿山工程地质勘查精度对开采设计的影响分析

王 赞

吉林省富德矿业有限公司临江分公司 吉林 白山 134300

摘 要：矿山工程地质勘查精度是保障矿山开采设计科学合理的核心基础，直接决定矿山开采的安全性与经济性。本文界定勘查精度的内涵、分级与评价指标，剖析传统与数字化勘查技术的精度特征，系统探究勘查精度对矿山开采布局、工艺参数、安全防护及经济设计的多维影响，针对性提出差异化精度控制、全流程优化及勘设协同适配策略，并结合工程案例验证优化方案成效，为矿山精细化勘查与科学化开采设计提供参考。

关键词：矿山工程；地质勘查精度；开采设计影响

引言：矿山工程地质勘查是开采设计的前置核心工作，勘查数据的精准度直接主导矿山开发全流程。当前部分矿山因勘查精度不足、技术适配性差，导致开采布局不合理、工艺选型失误、安全隐患频发及资源浪费等问题，严重制约矿山高效绿色开发。为解决勘设脱节问题，本文基于勘查精度核心理论与技术体系，深入分析其对开采设计的具体影响，探索适配不同地质条件的精度优化路径，助力矿山安全、高效、经济开采。

1 矿山工程地质勘查精度核心理论与技术体系

1.1 矿山工程地质勘查精度的内涵与分级

(1) 勘查精度核心内涵：指地质勘查工作中，对矿区地层结构、矿体形态、岩土性质、水文地质、不良地质体等参数的探测精准度，是衡量勘查数据可靠性、完整性、准确性的核心指标，直接决定了矿山设计与开采方案的科学性与安全裕度。(2) 勘查精度分级标准：结合国家矿山勘查规范，将勘查精度分为初级普查精度、详查精度、精查精度三个等级。初级普查精度侧重区域成矿远景评价，勘探网度较稀，允许误差范围较大；详查精度用于矿床工业价值论证，需系统控制矿体规模与产状；精查精度服务于矿山施工图设计，要求高密度采样与精细化探测，各等级均对探测范围、数据误差、采样密度设有明确量化门槛^[1]。

1.2 勘查精度核心评价指标

(1) 地质参数探测精度：包含矿体厚度、倾角、储量、边界的探测误差，以及地层岩性、地质构造的识别完整度，要求参数误差控制在规范允许范围内。(2) 水文地质勘查精度：涵盖地下水水位、水量、渗透系数、含水层分布的探测精准度，以及突水隐患识别准确率，是防范水害事故的关键依据。(3) 工程地质稳定性精

度：包含围岩强度、岩体完整性、不良地质体（断层、破碎带、溶洞）的定位精度与规模探测准确度，直接影响巷道支护与采场稳定性评价结果。

1.3 主流勘查技术及精度特征

(1) 传统勘查技术：钻探、坑探、槽探技术精度优势在于可直接获取岩心样本、实测地质剖面，数据真实可靠；局限性在于成本高、效率低、空间覆盖有限，适用于详查至精查阶段的局部验证与关键点位加密控制。(2) 数字化勘查技术：物探、遥感、三维地质建模等新技术具有非接触、大范围、快速采集的精度特征，可有效弥补传统技术的空间不连续性；高精度勘查实现路径包括多源数据融合、反演算法优化及动态模型更新。(3) 不同勘查技术的精度误差来源：主要包括设备系统偏差、采样网度与布局不合理、原始数据处理与解译不规范，以及地质条件固有非均质性导致的代表性误差，需通过全流程质量控制加以抑制。

2 矿山工程地质勘查精度对开采设计的具体影响

2.1 勘查精度对开采整体布局设计的影响

(1) 对矿区边界与开采范围设计的影响：低精度勘查易导致矿体边界圈定不准、储量测算出现系统偏差，进而引发开采范围设计过大或过小两种不良后果。设计范围过大将造成大量基建投资闲置、土地资源与井巷工程严重浪费，矿井生产能力长期无法达产；设计范围过小则导致可采储量不足、矿山服务年限大幅缩短，甚至使整个开发项目丧失经济可行性。更为严重的是，边界误差还将连锁影响三级矿量平衡与采掘接续计划，使矿区整体开发时序陷入系统性被动^[2]。(2) 对开采分区与开拓系统设计的影响：地质构造产状、矿体空间展布规律的勘查精度不足，将直接导致开采分区在水平与垂直

方向上的划分脱离实际地质条件。基于失真地质模型设计的井筒位置、主要运输大巷走向、石门贯通方位及硐室布局,在实际掘进中可能频繁遭遇未预知的断层破碎带、岩层倾角剧变带或地层突变界面,迫使施工过程中大规模返工改线,进而造成开拓工程量剧增、建设周期大幅延长及初期投资严重超支,严重制约矿山按期投产目标的实现。

2.2 勘查精度对开采工艺与参数设计的影响

(1) 对采矿方法选择的影响:围岩力学性质分级、矿体产状要素(厚度、倾角、连续性)的勘查精度偏差,是导致空场法、充填法、崩落法三大类采矿方法选型失误的主要诱因。若将不稳定松软破碎岩层误判为稳定岩体而选用空场法,将面临顶板大规模冒落、采场坍塌的极端安全风险;反之,将稳定厚大矿体误判为不稳矿体而选用低效率的充填法,则将严重制约矿山生产能力,造成采矿综合成本大幅攀升、劳动生产率显著下降。(2) 对开采参数设计的影响:矿体厚度变化系数、倾角起伏幅度、围岩稳固性分级等参数的探测误差,直接传导至采场合理跨度、矿柱安全尺寸、回采步距及充填体强度等核心设计参数的取值。参数设计过于保守将导致大量高品位矿石损失于永久矿柱之中,大幅降低资源回收率;参数设计过于激进则容易诱发采场结构失稳与地压显现,唯有依托高精度勘查数据支撑下的精准参数取值,方能在安全边界与经济收益之间求得最优平衡解。

2.3 勘查精度对矿山安全防护设计的影响

(1) 对防水排水设计的影响:水文地质勘查精度不足,突出表现为对含水层富水性分级、导水断层通道定位、老空区积水边界圈定及构造裂隙导通性等关键致灾因素的误判或漏判,无法精准预判突水与涌水风险。由此设计的主排水系统能力、防水闸门设置位置、防隔水矿柱留设尺寸等核心防水设施,若与实际水文地质条件严重错配,将直接埋下透水淹井的重大安全隐患,一旦发生突水事故极难实施有效救援,后果不堪设想。(2) 对围岩支护与防灾设计的影响:软弱夹层空间定位、构造破碎带影响范围、原岩应力场分布特征等参数探测精度偏低,会造成巷道及采场支护方案的支护强度等级、锚喷参数、注浆加固范围等关键设计指标偏离现场实际工况。支护强度不足易引发顶板离层垮落、两帮挤出及露天矿边坡滑坡等灾害性失稳;支护过度则无谓增加支护材料成本并延长掘进循环时间。此外,若对冲击倾向性判断存在偏差,防冲卸压预案设计将缺失针对性,使矿山面临冲

击地压等动力灾害失控的严重威胁^[3]。

2.4 勘查精度对开采经济性设计的影响

(1) 对矿山投资预算设计的影响:勘查数据与后期实际揭露地质条件之间的显著偏差,往往迫使开采方案在基建期或投产初期进行重大调整。由此引发的巷道大规模返修、井筒装备改造、工艺系统重新配套等补救措施,将大幅增加远超概算预留额度的追加投资。同时,因未查明的不良地质体而被迫增加的超前探放水、围岩注浆加固等专项治理费用,进一步侵蚀项目的预期财务收益,严重拉低矿业投资回报率,甚至导致项目陷入亏损运营的困境^[4]。(2) 对资源利用率设计的影响:高精度勘查能够精准刻画矿体三维空间形态、品位分布变异规律及夹石赋存特征,为采充平衡规划和配采方案优化提供可靠数据底盘,从而有效提升矿石综合回收率、降低贫化率、延长矿山有效服务年限。相反,低精度勘查因矿体边界圈定模糊、夹石与低品位区段判定失误,极易造成高品位矿石的严重贫化损失或低品位资源的无序丢弃,不仅直接损害矿山企业的核心经济效益,更构成对国家宝贵矿产资源的不可逆浪费,与绿色矿山集约发展的基本方针背道而驰。

3 基于开采设计需求的矿山工程地质勘查精度优化策略与工程应用

3.1 不同地质条件下勘查精度差异化控制标准

(1) 简单地质矿山:指地层产状平缓稳定、构造简单、岩性均一、水文条件简单且无重大不良地质体赋存的矿区。此类条件下制定常规勘查精度控制指标,勘探网度可适度放宽至规范允许的下限,采样与测试项目合理精简,在保障矿体边界圈定、储量估算及开拓系统基础设计需求的前提下,有效降低勘查成本,避免过度勘查造成的资源浪费。(2) 复杂地质矿山:针对构造破碎带发育、岩性变化剧烈、水文条件复杂或存在大规模岩溶、采空区等不良地质体的矿山,需逐项细化高精度勘查要求。具体措施包括加密钻探与物探测点布设至满足精细建模的网度要求,跨维度联合反演以提高解译唯一性,重点强化对导水断层空间展布、富水含水层边界及松散破碎带规模的精准定位探测,确保高难度地质条件下的勘查成果仍能有效支撑精细化开采设计。表1对比了简单地质矿山与复杂地质矿山在勘探网度、采样密度、不良地质体控制、物探组合及设计满足度等方面的差异化控制标准。

表 1 不同地质条件下勘查精度差异化控制指标对比

对比维度	简单地质矿山	复杂地质矿山
勘探网度	规范常规网度，可适当放稀	加密至常规网度的1.5~2.0倍
采样测试密度	满足储量估算基本要求	增加岩土力学及水文测试频次
不良地质体控制	一般性查明即可	需精准定位并三维追踪
物探方法组合	单一方法辅助	多方法联合反演
设计精度满足度	满足初步设计和施工图基础要求	满足精细化数值模拟及动态设计需求

3.2 勘查工作全过程精度优化措施

（1）勘查前期优化：全面复核前人地质资料，紧密结合矿体赋存特征及拟采用的采矿方法与开拓方案，以终为始定制勘查方案。明确各勘查阶段的分级精度量化指标，合理搭配钻探、坑探、物探等技术手段的施工时序与空间组合，从源头规避盲目勘查造成的精度冗余或关键区域控制不足问题。（2）勘查施工期优化：严格规范钻探取心工艺、岩心编录标准及原位测试操作规程，施工前全面校准钻机倾角、测井仪器及水位计等关键设备；依据现场揭露情况动态调整采样布局，在构造变异带与矿化富集区增设加密孔，有效压缩人为操作偏差与系统仪器误差。（3）数据处理期优化：采用三维地质建模与多源数据融合技术，将钻孔、物探解译及遥感数据纳入统一空间数据库，通过克里金插值等算法修正异常离群数据，消除多源数据间的不一致性，提升地质模型对实际地质体空间形态的表征完整度与定位精准度^[5]。

3.3 勘查精度与开采设计的协同适配机制

（1）建立勘查数据动态更新机制，将勘查信息管理系统与采掘进度计划相耦合。根据巷道掘进、采场回采过程中反馈的实测编录数据，实时修正原有矿体模型与构造解译成果，动态调整采场布置、支护参数及采充时序，确保开采设计始终运行于高精度地质信息的驱动之下。（2）构建勘查-设计联动审核体系，由地质、采矿、安全专业人员组成联合评审组，以开采设计核心参数需求为反向验证基准，逐项核验矿体边界控制精度、品位估值置信区间及不良地质体揭露概率等关键指标是否达标。凡精度不满足设计最低要求的勘查成果一律退回，强制补充勘查直至达标后方可交付设计使用。

3.4 工程案例应用与效果分析

（1）工程概况：以某大型有色金属矿山为工程案例。该矿区内发育多条隐伏断层，矿体形态呈透镜状且

厚度变化剧烈。原勘查采用常规钻探网度，对断层产状及破碎带范围控制不足，导致初始开采设计中阶段运输巷道多处误入断层影响带，被迫多次改道，同时防水矿柱尺寸留设缺乏可靠水文依据。（2）精度优化实施方案：针对上述工程问题，落实差异化精度优化措施：一是加密钻孔至原网度的1.5倍，并在断层推测位置增设定向钻；二是引入三维地震物探方法查明隐伏断层空间展布；三是建立矿区高精度三维地质模型，重新圈定矿体边界与断层空间关系。更新后的勘查数据全面修正了原有矿体形态及构造解释方案。（3）应用效果分析：优化后的开采设计依据精准地质模型重新规划了开拓巷道轴线，有效避开断层破碎带影响范围，杜绝后期返工改线；防水矿柱基于实测水文参数精准留设，在确保防水安全的同时最大限度回收矿柱资源。综合评估表明，巷道掘进效率提升约18%，采场顶板事故率显著下降，矿山综合投资结余约7%，充分验证了基于开采设计需求优化勘查精度的实际工程价值与推广意义。

结束语

综上，矿山工程地质勘查精度与开采设计质量紧密绑定，精度偏差会引发开采安全、工艺、经济等多维度问题。唯有结合矿区地质条件实施差异化精度管控，落实勘查全流程优化措施，搭建勘设协同联动机制，才能从源头提升地质数据精准度。工程实践证实，高精度勘查可有效规避施工隐患、提升资源利用率、降低开采成本，可为各类矿山开采设计优化与绿色集约开发提供可靠技术支撑。

参考文献

[1] 吴永胜,杨志强,高永涛. 矿山工程地质勘查精度缺陷对开采稳定性的影响研究 [J]. 金属矿山,2023,9(05):71-78.

[2] 孙玉科,李刚,王宇. 三维地质勘查精度对露天矿山开采设计及边坡稳定性的调控机制 [J]. 中国矿业,2025,34(08):112-118.

[3] 王贵荣,李华,王瑞红. 矿山地质工程勘察精度短板对开采规划的影响及优化对策 [J]. 世界有色金属,2024,32(18):189-191.

[4] 邱聪. 高精度物探勘查技术在矿山开采设计中的应用价值 [C].2024 精益数字化创新大会论文集,2024,15(27):205-207.

[5] 刘凯. 矿山地质勘查精度控制与开采方案精细化设计研究 [J]. 矿产勘查,2025,16(06):98-103.