

陈台沟铁矿勘探期间钻孔质量控制措施及前期超偏钻孔的应用

郝风才

五矿世纪矿业(鞍山)有限公司

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21181

[摘要] 钻孔施工质量是铁矿地质勘探数据精准度、资源量估算可靠性的核心保障,直接影响矿床评价与矿山设计质量。本文以辽宁省鞍山市陈台沟铁矿勘探工程为依托,结合矿区地层构造、岩体特性及勘探施工条件,系统梳理勘探全过程钻孔质量控制难点,从施工前期准备、钻进过程、采样编录、终孔验收全流程制定专项质量控制措施。同时针对矿区前期勘探产生的超偏钻孔,分析其偏差成因,探究其在矿体形态修正、构造识别、资源量校核、勘查参数优化中的应用价值。实践表明,全套质量控制措施可有效提升钻孔成孔质量与数据精度,超偏钻孔经校正处理后充分复用,大幅节约勘探成本、提升勘查效率,可为同类深部铁矿勘探工程提供参考借鉴。

[关键词] 陈台沟铁矿; 铁矿勘探; 钻孔质量; 超偏钻孔

一、引言

陈台沟铁矿位于鞍山市北东 11km 高新区齐大山镇,勘查区总面积 3.53km²,为典型深部隐伏鞍山式沉积变质铁矿。矿区勘探工作历经普查、详查、勘探三个阶段,2019—2021 年全面勘探阶段累计完成地表钻探 15588.42m、坑道钻探 1399.42m,合计施工钻孔 15 个,叠加前期普查、详查阶段钻孔,全区累计完成钻探进尺超 34000m,海量钻孔数据是本次矿体圈定、资源量估算、开采技术条件评价的核心基础。

矿区地层以变质岩为主,发育片理、节理裂隙,局部存在构造破碎带,深部岩层软硬交替,极易引发钻孔偏斜、孔壁坍塌、岩芯破碎、采样失真等质量问题。在前期普查与详查施工中,受施工工艺、设备条件、地质条件复杂等因素影响,部分钻孔出现不同程度超偏现象,一度存在复用难度大、勘查数据浪费的问题。为保障本次勘探成果精准可靠,项目组建立全流程钻孔质量管控体系,针对性解决复杂地层钻孔施工质量难题,同时科学剖析前期超偏钻孔数据,通过校正、核验、二次解译实现数据资源化利用,在控制勘探质量、节约勘查成本、完善矿床地质认知方面发挥了重要作用。本文重点阐述本次勘探全套钻孔质量控制技术措施,并探讨前期超偏钻孔的有效应用路径。

二、矿区钻孔施工地质难点与质量问题分析

陈台沟铁矿矿体赋存于新太古界鞍山岩群樱桃园岩组,岩性主要为磁铁石英岩、绿泥石英片岩、千枚岩,地层变质

程度高、构造发育,给钻孔施工质量控制带来诸多难点。一是岩层各向异性显著,片理、层理发育,钻进过程中钻头受力不均,极易发生自然偏斜,是钻孔超偏的核心地质诱因;二是矿区局部发育构造破碎带、节理密集带,岩体破碎、胶结性差,施工中易出现孔壁坍塌、掉块、缩径问题,导致岩芯采取率不足、孔深偏差;三是矿体与顶底板岩层硬度差异大,磁铁石英岩坚硬致密,片岩、千枚岩质地偏软,软硬交替地层易造成钻进速度波动,引发孔径不均、钻孔轨迹偏移;四是矿区钻孔均为深部钻孔,最大钻进深度超 1000m,深部钻进压力大、纠偏难度高,长距离钻进累计偏差量大。

结合前期勘查施工情况,矿区钻孔主要质量问题集中在三方面。其一为钻孔偏斜超标,部分前期钻孔因未采取精细化纠偏措施,孔斜率超出规范限值,导致矿体产状、埋深数据存在偏差;其二是岩芯采取率不均衡,破碎带、软弱片岩段岩芯流失、破碎严重,采取率不达标,无法完整反映地层及矿体特征;其三是孔深、采样、编录精度不足,部分钻孔存在进尺计量偏差、采样位置偏移、岩性编录笼统等问题,影响数据匹配性。上述问题直接制约前期勘查成果精度,也为本次勘探质量管控提供了重点整改方向。

三、勘探全过程钻孔质量控制措施

3.1 施工前期准备质量管控

前期准备是规避钻孔质量问题、从源头控制偏斜及施工缺陷的关键。本次勘探施工前,项目组完成精细化地质调研

与施工方案优化。首先,全面梳理矿区地质剖面、构造分布、岩层特性,针对破碎带、软硬交替地层、矿体富集带等关键区域,单独制定专项钻进方案,明确钻进参数、纠偏方式、护壁措施。其次,严格设备选型与校验,深部钻孔统一选用大功率岩芯钻机,配套高精度测斜仪器、精准进尺计量设备,施工前对钻机稳定性、钻杆垂直度、测斜设备精度进行全面校验,杜绝设备系统误差导致的钻孔质量问题。同时,根据勘查设计要求精准布设钻孔点位,结合地形地貌修正孔位偏差,确保钻孔布设符合勘查工程间距规范,满足 I、III 类勘查类型矿体的控制精度要求。此外,对施工人员开展专项技术交底,明确不同地层钻进工艺、质量标准、偏差限值及应急处置方案,夯实施工质量基础。

3.2 钻进过程动态质量控制

钻进施工阶段是钻孔质量管控的核心环节,重点围绕防偏斜、保孔壁、稳进尺三大核心目标开展管控。

一是实施分级钻进与参数动态调整,针对软质片岩、破碎带,采用低转速、低压力、慢进尺的钻进方式,避免高速钻进扰动孔壁、造成岩芯破碎;针对坚硬磁铁矿石英岩,适度优化钻进参数,提升钻进效率的同时保证钻孔轨迹稳定,杜绝钻头跑偏。

二是建立常态化测斜纠偏机制,严格遵循“浅部勤测、深部严控”原则,每钻进 50m 开展一次测斜检测,破碎带、地层突变段加密测斜频次,实时监测钻孔轨迹变化,一旦发现偏斜趋势,立即采用吊打纠偏、扶正器纠偏等方式及时校正,避免偏差累计超标。

三是强化孔壁护壁防护,针对矿区破碎易塌地层,采用优质泥浆护壁工艺,精准调控泥浆比重、粘度,有效封堵岩层裂隙、稳固孔壁,防止掉块、坍塌、缩径问题,保障钻孔成型规整。

四是规范钻杆管理,定期检查钻杆平直度、磨损程度,及时更换弯曲、磨损老化钻杆,杜绝因钻杆形变引发的系统性偏斜。通过全过程动态管控,本次勘探新增钻孔孔斜率全部控制在规范允许范围内,无新增超偏钻孔,成孔质量合格率 100%。

3.3 岩芯采取与采样质量控制

岩芯完整性与采样精准度直接决定矿石品位、地层岩性分析数据的可靠性。本次施工严格执行岩芯采取率标准,矿体段岩芯采取率不低于 95%,围岩及破碎带岩芯采取率不低

于 85%,针对破碎岩层采用双管取芯、半合管取芯工艺,最大程度保留岩芯完整性,减少岩芯流失、破碎问题。岩芯取出后及时清洗、排序、编号、装箱,精准记录钻进深度、岩性变化位置,杜绝岩芯顺序错乱、深度匹配偏差问题。

采样环节严格遵循规范要求,按照设计间距、采样长度开展基本分析、组合分析、物相分析采样,精准标记采样深度、岩性特征,杜绝超范围采样、错位采样。本次勘探累计完成基本分析样品 1869 件,所有样品均严格执行送检前自检、复检制度,配合内检、外检质量核查,确保样品数据真实可靠,为矿石品位统计、组分分析、资源量估算提供精准样本支撑。

3.4 终孔验收与资料整理管控

钻孔终孔后实行三级验收制度,由施工班组、技术组、项目总工逐级核查,重点验收终孔深度、钻孔偏斜度、岩芯完整性、孔内清洁度等核心指标,所有指标达标后方可终孔封孔。封孔严格按照规范采用水泥砂浆分层封堵,保障钻孔封闭质量,避免后期地下水串层、孔壁失稳。

资料整理阶段,安排专人负责钻孔柱状图编制、测斜数据录入、岩性编录、数据汇总工作,严格对照施工原始记录、测斜数据、采样台账,修正各类数据偏差,确保钻孔资料真实、完整、精准,实现钻孔施工、采样、编录、数据归档全流程质量闭环管理。

四、前期超偏钻孔成因及校正处理

4.1 超偏钻孔主要成因

结合矿区前期勘查施工资料分析,陈台沟铁矿前期超偏钻孔成因主要分为三类。第一类为地质因素,矿区岩层片理发育、软硬交替频繁,钻头沿软弱岩层顺层滑移,形成自然偏斜,是超偏的主要客观原因;第二类为施工工艺因素,前期勘查设备老旧,纠偏、测斜设备精度不足,且未建立常态化测斜纠偏机制,深部钻进偏差持续累积;第三类为人为因素,早期施工参数把控不严,钻进压力、转速不合理,地层变化时未及时调整工艺,加剧钻孔偏斜。前期超偏钻孔主要表现为深部轨迹偏移、终孔位置偏离设计点位,孔斜率超出勘查规范限值,一度被认定为无效数据。

4.2 超偏钻孔校正处理方法

为盘活前期勘查数据、避免资料浪费,项目组对所有超偏钻孔开展系统校正处理。首先,收集超偏钻孔完整测斜数据、钻进记录、岩芯编录资料,精准还原钻孔实际空间轨迹;

其次,采用专业地质勘查数据处理软件,结合矿区地层产状、构造参数,对钻孔深度、矿体穿层位置、厚度数据进行偏差校正,修正偏斜带来的空间位置误差;最后,将校正后的数据与本次合规钻孔数据进行对比核验,剔除异常数据,保留精准有效数据,完成超偏钻孔数据标准化处理,为后续应用奠定基础。

五、前期超偏钻孔的资源化应用

5.1 辅助修正矿体空间形态

陈台沟铁矿 Fe1 主矿体及附属 Fe2、Fe5 矿体形态复杂,局部存在厚度变化、产状波动特征。常规合规钻孔仅能覆盖设计剖面位置,而前期超偏钻孔轨迹偏移后,可覆盖常规钻孔未触及的空白区域,补充矿区边缘及矿体深部的地质数据。经校正后的超偏钻孔数据,可精准反映偏移区域的矿体埋深、厚度、产状变化,有效填补勘查剖面空白,修正原有矿体边界偏差,让矿体三维形态刻画更加精准,大幅提升矿体圈定的完整性与准确性。

5.2 精准识别隐蔽地质构造

矿区小型节理、层间破碎带、隐蔽断层发育,常规规整钻孔难以全面捕捉局部构造信息。超偏钻孔因轨迹偏移,穿过更多非常规地层剖面,成功揭露多处隐蔽破碎带及小型构造薄弱面,弥补了规整钻孔构造识别盲区。通过分析超偏钻孔的岩芯破碎特征、地层错动情况,可精准判定构造位置、规模及影响范围,完善矿区构造体系认知,为矿区工程地质条件评价、开采灾害防控提供重要构造依据。

5.3 校核资源量估算精度

资源量估算的核心是矿体厚度、品位、空间边界参数的精准度。本次勘探将校正后的超偏钻孔数据纳入资源量估算数据库,与新增合规钻孔数据相互印证、交叉校核。通过多点位、多剖面数据对比,有效规避单一钻孔数据导致的估算偏差,修正局部矿体厚度、品位统计误差,让 TM、KZ、TD 三类资源量估算结果更加精准可靠,保障本次 1216332.95 千吨总资源量估算成果的准确性与合理性。

5.4 优化勘查施工参数

通过统计前期超偏钻孔的偏斜位置、偏斜角度、地层对应关系,精准总结矿区不同地层、不同深度的钻孔偏斜规律,明确片理发育段、破碎带、软硬交替地层的偏斜高发区域。基于该规律优化本次勘探施工参数、钻孔布设方案及纠偏频次,针对性强化高风险段质量管控,从根本上降低本次施工

钻孔偏斜概率,大幅提升整体勘查施工效率与质量。

六、应用成效与结论

6.1 应用成效

本次建立的全流程钻孔质量控制体系,彻底解决了矿区复杂地层钻孔偏斜、岩芯破碎、数据失真等质量难题,本次新增钻孔成孔合格率、数据精准度均满足规范及勘探设计要求,勘查成果质量显著提升。同时,前期超偏钻孔经学校正、二次解译后全部实现资源化复用,累计盘活有效钻孔数据 14 个,补充大量深部地质信息,无需重复施工钻探工程,大幅节约勘探工期与施工成本,实现勘查资料高效利用。超偏钻孔的应用,完善了矿区矿体形态、构造特征、地层分布的认知,有效提升了矿床勘探程度与资源量估算精度,为矿山探转采、开采设计、安全生产提供了更全面、精准的地质数据支撑。

6.2 结论

陈台沟铁矿变质岩地层复杂、深部钻进难度大,钻孔偏斜、孔壁失稳是勘探施工的核心质量难题。通过实施施工准备、动态钻进、采样编录、终孔验收全流程精细化质量控制措施,可有效适配矿区复杂地质条件,从源头管控钻孔施工质量,保障深部钻孔成孔质量与数据精度。同时,前期超偏钻孔并非无效资料,通过轨迹还原、数据校正、交叉核验后,可有效应用于矿体形态修正、隐蔽构造识别、资源量校核、施工参数优化等工作,实现废旧勘查资料的二次利用。该套质量管控体系与超偏钻孔复用技术,适配鞍山式变质铁矿深部勘探特征,可为东北地区同类复杂地层铁矿地质勘探工程提供成熟的技术参考,具备良好的推广应用价值。

[参考文献]

- [1] 张云龙, 黄建强, 宋彬滨, 等. 山东兰陵铁矿强造斜地层钻探钻孔轨迹控制技术[J]. 山东国土资源, 2024, 40(12).
- [2] 秦立杰, 马天乐, 刘昊. 定向钻孔在某铁矿竖井高压积水疏放中的应用[J]. 矿业工程, 2025, 23(5): 14-17. DOI: 10.16672/j.cnki.kygc.2025.05.003.
- [3] 郑祥凤, 张怀东, 王现红, 等. 数字钻孔摄像在周集铁矿深部普查中的应用[J]. 安徽地质, 2016, 26(3).

作者简介: 郝风才(出生年月—1971.7), 男, 汉族, 籍贯: 河北, 学历: 本科, 职称: 地质高级工程师, 研究方向: 钻探及矿山地质。