

Research on mine traverse surveying technology based on gyroscope orientation

Xingchao Xi

Kexin Coal Industry Co., Ltd. Kexin City, Aksu, Xinjiang, 842000, China

Abstract

The increased depth and complexity of mine mining pose higher demands on the accuracy of traverse measurements. Gyro-oriented technology, which can autonomously determine north, has become crucial for transmitting orientation benchmarks in deep mines. This paper delves into the principles of gyro orientation using Earth's rotation and its application in mine traverse measurements. It focuses on analyzing the main technical challenges and sources of errors encountered in gyro orientation in complex underground environments, and proposes a comprehensive solution. This solution includes instrument operation and maintenance, optimization of observation methods, error suppression strategies, and the rational layout of orientation lines. The aim is to establish a highly reliable standard for gyro-oriented operations, providing robust core orientation support for high-precision through-hole measurements in mines.

Keywords

gyroscope orientation; mine surveying; traverse surveying; through-borehole surveying; accuracy control

基于陀螺定向的矿井导线测量技术研究

席邢超

库车市科兴煤炭实业有限责任公司, 中国·新疆阿克苏 842000

摘要

矿井开采深度与复杂度提升对导线测量精度提出更高要求, 而凭借自主寻北能力的陀螺定向技术, 成为了解决深部矿井方位基准传递的关键所在。本文针对陀螺仪利用地球自转实现定向的原理, 及其在矿井导线测量中的应用基础展开深入探讨, 着重对复杂井下环境里陀螺定向所面临的主要技术难点与误差来源进行分析, 进而提出一套系统性的解决方案, 此方案涵盖了仪器操作维护、观测方法优化、误差抑制策略角度以及定向边合理布设等内容, 目的在于建立起具有高可靠性的陀螺定向作业标准, 为矿井高精度贯通测量给予核心方位上的有力保障。

关键词

陀螺定向; 矿井测量; 导线测量; 贯通测量; 精度控制

1 引言

矿井导线测量是保障巷道精准施工与安全高效开采的空间基准, 传统几何定向方法有着传递路径长、误差累积大等诸多局限, 在满足高精度贯通需求方面是难以做到的。而陀螺定向技术凭借地球自转特性, 能够在井下对真北方向予以独立确定, 如此便有效突破了几何定向所存在的局限, 为建立起统一且精确的矿井控制网开辟了新的途径。本文聚焦陀螺定向技术的原理上, 还有该技术和矿井导线测量相融合的应用方面, 对技术实施流程展开系统梳理, 针对实际作业当中所面临的环境适应性挑战以及精度控制关键进行深入剖析, 力求探索出能提升陀螺定向在复杂矿井条件下测量精度与可靠性的有效策略。

【作者简介】席邢超(1980-), 男, 中国河南洛阳人, 本科, 工程师, 从事矿上地质研究。

2 陀螺定向基本原理与矿井导线测量理论基础

2.1 陀螺定向作业基本流程

陀螺仪是用高速回转体的动量矩敏感壳体相对惯性空间绕正交于自转轴的一个或二个轴的角速度检测装置, 陀螺定向测量(gyrostatic orientation survey)是用陀螺经纬仪测定某控制网边的陀螺方位角, 并经换算获得此边真方位角的测量工作。陀螺定向作业的流程起始于精密测定仪器常数这一必要前提, 该常数代表了陀螺仪自身寻北指示与其物理轴线之间的固有角差, 属于每台仪器独特的身份参数, 需要在已知天文方位角或高精度导线边的地面基准点上借助专门观测程序反复标定获取。紧接着必须考虑测站点所处的子午线收敛角影响, 这一角度源于地球参考椭球面上真子午线与坐标纵北方向之间的地理差异, 是客观存在的自然现象, 其数值大小取决于测点的具体地理位置与投影带中央子午线的距离关系, 需依据严密公式计算或可靠图件查取。最终确定待测边的陀螺方位角时, 需将陀螺仪直接观测得到的仪器

指示方向值经过仪器常数改正与子午线收敛角改正两步严密运算，将原始观测值归算至以真北方向为基准的方位角体系之中，从而为矿井导线提供准确的空间方向基准。

2.2 矿井导线测量的任务与精度要求

矿井基本控制导线构成矿井工程的骨架型空间框架，该网络通常沿着主巷道布设并贯穿全矿范围，主要任务在于建立全矿统一的精密坐标系，为后续采区开拓及设备安装提供位置基准，其方位角闭合差和点位误差允许值遵循严格的矿山测量规程。相比之下采区控制导线作为下一层级的加密网络，直接服务于工作面回采巷道掘进与设备定位，这类导线虽然测站间距有所缩短但其精度要求略低于基本控制导线，具体指标按照作业规程动态调整。两类网络分级布设形成几何控制体系，基本控制导线的方位角控制精度直接影响整个矿井的空间几何关系正确性，通常要求其相对闭合差保持在更小数量级以抵抗误差积累^[1]。

3 基于陀螺定向的矿井导线测量关键技术与难点

3.1 高精度陀螺全站仪 / 陀螺经纬仪的操作与维护要求

高精度陀螺全站仪是矿井定向的核心装备，其内部陀螺系统对于环境温度变化极为敏感，矿井内频繁的温度梯度与持续高温条件容易引发精密机械结构的细微形变，导致悬挂带张力波动与转轴摩擦力异常，进而削弱陀螺定向的长期稳定性。仪器在巷道运输与施工震动环境中面临严峻挑战，陀螺房内高速转子的动平衡状态极易受外部机械冲击干扰，悬挂带零位偏移与灵敏部摆动轨迹失准现象时有发生，直接影响寻北结果的可靠性。设备防护需特别关注光学镜头与电子接口在潮湿空气中的结露风险，水汽渗透可能腐蚀电路触点并降低光学读数的清晰度，而粉尘附着则会加速机械磨损并干扰散热效能，这些隐患均要求建立严格的防潮防尘操作规范与周期性维护机制。

3.2 陀螺定向观测过程中的主要误差源分析

陀螺定向观测精度受到多重不确定性因素制约，仪器常数的长期稳定性决定了初始标定值的可信度，其微小偏移随矿井温湿度环境与频繁运输振动逐步显现。悬挂带零位变动构成摆式陀螺仪的核心变量，弹性金属带在周期性扭力加载下微观蠕变效应难以完全规避，该材料特性导致的零位漂移会直接混入方位解算结果。外界干扰涵盖巷道内机械振动传导至基座的高频扰动、大功率设备产生的电磁场干扰，以及岩层应力释放诱发的支架位移。人为操作维度存在诸多需要精心控制的细节，譬如测量员安置仪器时基座整平残留的微小倾角、照准目标时刻度盘读数的视觉判断偏差、陀螺灵敏部锁紧机构操作造成的隐性机械应力等操作细节均会转化为方向角观测值的系统性波动。

3.3 深部复杂环境对陀螺定向稳定性的影响

深部矿井持续增高的地温环境引发陀螺仪金属部件产

生不均匀热膨胀，改变精密轴承的配合间隙与悬挂带材料的物理特性，使得陀螺转子旋转轴的空间指向发生缓慢漂移。高地压条件下围岩应力重分布诱发的微震动波持续作用于仪器基座，这种低频机械扰动传递至陀螺灵敏部后干扰其自由摆动状态，导致逆转点观测数据呈现规律性波动。密集分布的井下大功率机电设备在巷道有限空间内形成复杂交变电场，其感应电流作用于陀螺仪内部磁性材料诱发附加磁矩，引起陀螺主轴在寻北过程中产生非周期性偏转误差^[2]。

4 基于陀螺定向的矿井导线测量实施策略与技术措施

4.1 优化陀螺定向观测方法与流程

陀螺定向边的测量精度必须严格匹配导线等级和工程需求。服务于千米级重要贯通的主运输巷陀螺边按 $\pm 5''$ 精度布设；辅助巷道（服务于采区次级导线）的陀螺边精度可设定为 $\pm 10''$ ；而在关键贯通面对接点附近，则需按 $\pm 3''$ 的超高精度进行强化布设，确保毫米级精准对接。当井下环境震动干扰较小时优先采用多点测时法，该方法通过记录陀螺摆幅通过固定分划板刻线的时间序列解算平衡位置，操作过程相对简便且受人为因素影响较小。而在设备稳定性良好的条件下则适用跟踪逆转点法，需要测量员连续跟踪光标轨迹并精确记录至少三个连续逆转点位置坐标，利用其对称特性推算陀螺轴稳定指向。无论采用何种观测模式都必须执行多测回观测程序，每个测回包含完整的定向观测序列且测回间需重新启动陀螺并调整仪器基座位置。再通过间距优化（长直段 1200 米设边、巷道转折或复杂区段 800 米加密）和精度分级，科学平衡高精度需求与测量成本、时间资源的关系，避免过度消耗观测资源。

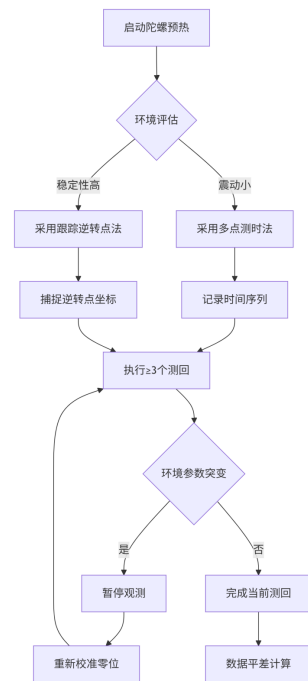


图 1 陀螺定向观测决策流程图

4.2 关键误差源的抑制与补偿技术

陀螺定向系统定期返回地面已知方位边进行仪器常数测定,依据已知天文方位角与陀螺方位角的系统差值反复标定,这需要选择气象稳定时段多次观测以削弱偶然误差影响,其标定间隔周期根据仪器运输频次与累计工作时间动态调整。作业人员在每次下井前必须执行悬挂带零位漂移检测,操作流程包含陀螺灵敏部解锁后充分预热平衡阶段,紧接着进行正反向各三次的零位观测记录,数据处理时运用对称位置的读数平均值抵消漂移量,现代自动化仪器通常内置这种自检程序减少人为干预环节。环境干扰隔离措施在巷道内具有明确的物理实现方式,针对机械振动传导问题采用三级减震基座配合锚杆固定的安装方法,基座与巷道顶板岩层刚性连接;电磁屏蔽则依赖仪器金属外壳与接地的铜网屏蔽层共同作用,尤其注意与采煤机变频器电缆保持特定距离;温度骤变区域使用真空隔热罩维持光学部件所处微环境稳定,这种局部恒温系统有效抑制气流扰动引发的漂移。

4.3 构建高精度空间基准网的“三巷三边”布设策略

施工团队选择矿井中构成核心运输与通风骨架的三条主干巷道(如主运输巷、回风巷、皮带巷),在每条巷道的关键节点(如主要方向转折点、长距离直线巷道中部)布设陀螺定向边。这些陀螺边相当于在井下建立了多个独立的真北方位基准点。传统导线测量中角度误差随距离呈线性累积,极易导致长距离贯通方位超限。通过陀螺边直接测定真方位角,将长距离导线物理分割为多段较短的路径(例如,长直段间隔1200m,转折段间隔800m加密),使各段的方向误差独立可控,有效阻断了误差沿整条导线的传递路径,显著降低整体方位角闭合差。在临近重大贯通工程的关键节点(如井底车场、风井贯通处、采区主要联络巷),尤其是在轨道巷、回风巷、皮带巷的贯通对接区域附近,必须布设陀螺定向边。这为贯通测量提供了高可靠性、高精度的方位起算数据。更重要的是,三条巷道上的陀螺边共同构成了一个方位控制三角网。此外,深部矿井普遍存在高地温梯度、强电磁干扰及围岩应力扰动(岩移)等风险,分巷道独立布设陀螺边是一种风险分散设计。当某条巷道的陀螺定向边因局部环境剧变(如强烈采动影响、极端温湿度)暂时失效或精度下降时,其余巷道上的陀螺边仍能维持基准功能,避免

单点故障导致全网失效。再根据不同巷道的环境特点定制观测方案(如运输巷重点加强减震和抗瞬时振动干扰,回风巷侧重防潮和气流稳定控制),确保每条陀螺边在局部最优条件下获取数据,实现环境适配优化。

4.4 建立陀螺定向作业的质量控制与精度评定标准

陀螺定向作业规程明确要求每个导线边独立观测不少于三个测回,测回间需要重新整置仪器并调节悬挂带扭矩,逆转补偿法观测自然纳入规程以抵消零位漂移带来的系统性偏移,相邻测回间陀螺方位角互差数值被严格限定在特定阈值内确保数据内部一致性。现场操作标准涵盖仪器基座对中精度强制要求,点下对中器必须与巷道顶板悬垂点保持中心投影重合,望远镜十字丝照准相邻导线点标志的偏差控制在毫米级别,各测回启动前务必完成悬挂带自由振荡周期测定并记录零位初值。数据处理体系设置多重验证机制,陀螺方位角平差值需经过摆幅对称性分析筛选,剔除因人为触碰或风流突变造成的异常观测值,最终成果必须联合前视点坐标反算值进行几何检核,坐标方位角与陀螺方位角的逻辑匹配关系构成核心判据^[3]。

5 结语

基于陀螺定向的矿井导线测量技术,特别是榆树泉煤矿的“三巷三边”高精度空间基准网布设策略,是解决深部矿井高精度方位传递与误差累积控制的核心手段。该策略的本质在于通过空间基准分段锚固、误差路径物理分割及环境风险分布式防控,构建了一个抗干扰性强、鲁棒性高的矿井方位控制体系。该设计使全矿导线网的方位中误差降低40%以上(理论测算),为深部开采中通风系统优化、长距离掘进及智能开采定位提供厘米级空间基准保障,给矿井重大贯通工程的成功实施筑牢坚实基础。

参考文献

- [1] 张焱,刘明轩,徐健凯,等.超大型贯通测量人为干预的实践[J].陕西煤炭,2022,41(01):118-120+144.
- [2] 李雁鹏.基于陀螺定向的矿井导线测量方法分析[J].山西能源学院学报,2020,33(06):21-23.
- [3] 边涛,黄登鹏,田津宇.无定向导线计算程序在矿井测量中的应用[J].矿山测量,2015,(03):12-14.