

# 地勘用陀螺测斜仪研究现状及使用中主要问题的分析

季伟峰<sup>1,2</sup>, 张 宜<sup>3</sup>

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院, 四川 成都 610059; 2. 中国地质科学院探矿工艺研究所, 四川 成都 610081; 3. 中国建筑材料工业地质勘查中心四川总队, 四川 成都 610017)

**摘要:**介绍了我国地勘用陀螺测斜仪的研究开发现状, 阐述了地勘钻探施工对钻孔测斜仪的基本技术经济要求, 分析了当前地勘用陀螺测斜仪存在的主要问题, 并提出了一些解决此类问题的途径, 可供开发和使用人员参考。

**关键词:**地质勘探; 钻探; 陀螺测斜仪; 研究现状

**中图分类号:** P634.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2011)02-0057-03

**Research Status of Gyro-inclinometer in Geo-exploration and Analysis on Major Application Problems/Ji Weifeng<sup>1,2</sup>, ZHANG Yi<sup>3</sup>** (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. Institute of Exploration Technology, CAGS, Chengdu Sichuan 610081, China; 3. Sichuan Team of Geological Survey Center of China Building Materials Industry, Chengdu Sichuan 610017, China)

**Abstract:** In this paper, the research and development status of gyro-inclinometer in geo-exploration was introduced, the basic technical and economy requirements were expounded and the analysis was made on the major problems of gyro-inclinometer in geo-exploration with the solution.

**Key words:** geo-exploration; drilling; gyro-inclinometer; research status

## 0 引言

所谓钻孔测斜, 即在钻孔的施工过程中, 借助一定的技术方法、根据对钻孔轨迹的精度要求确定的测点间距测量出这些特定点的轨迹参数, 再计算出钻孔实际的二维或三维轨迹曲线的过程。钻孔测斜的主要参数是实际钻孔轨迹上某一点  $A$  处的顶角 ( $\theta_A$ )、方位角 ( $\alpha_A$ ) 和孔深 ( $H_A$ ), 如图 1 所示。

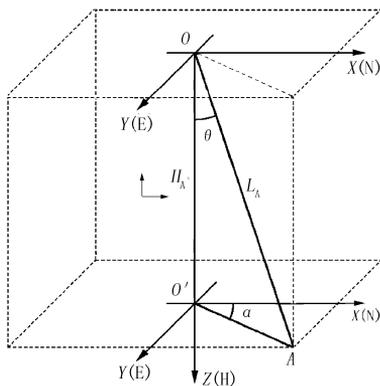


图 1 钻孔轨迹主要参数示意图

钻孔测斜仪是测量钻孔顶角、方位角(部分仪器含孔深记录功能)的专用仪器。测斜的主要目的是在钻孔施工过程中及时掌握钻孔实际轨迹偏离设计轨迹的偏移量, 在必要时采取一定的防斜和纠斜措施。

钻孔测斜是测量钻孔空间轨迹的唯一手段, 对

钻孔测斜技术的研究主要分为两种环境技术条件下测斜仪器的研究: 一是无磁环境条件下的钻孔测斜, 包括无磁性矿体环境、无铁磁物质干扰; 二是有磁环境环境条件下的钻孔测斜, 包括磁性矿体环境、存在铁磁物质干扰(如套管、钻杆内测斜等)。两种环境技术条件最主要区别是在方位角的测量原理上。陀螺类钻孔测斜仪主要用于磁性环境条件下的钻孔测斜, 当然也可以用无磁性环境条件。为了寻求到测量钻孔顶角和方位角两个主要参数的更简单、更精确的方法, 几代从事钻孔测斜仪研究工作的人都在孜孜以求。

## 1 地勘用陀螺测斜仪的研究现状

### 1.1 地勘用陀螺测斜仪的发展

传统的陀螺是一个十分古老的器件, 发展至今已有 100 多年的历史, 1910 年船载指北陀螺罗经首次使用。陀螺的发展大致经历了 4 个阶段: (1) 滚珠轴承支承陀螺马达和框架的陀螺; (2) 20 世纪 40 年代末到 50 年代初发展起来的液浮和气浮陀螺; (3) 20 世纪 60 年代以后发展的干式动力挠性支承的转子陀螺; (4) 目前的静电陀螺、激光陀螺、光纤陀螺和振动陀螺。

目前所见到的钻孔测斜用陀螺几乎涵盖了机械

收稿日期: 2011-02-11

作者简介: 季伟峰(1961-), 男(汉族), 江苏江阴人, 成都理工大学博士在读, 中国地质科学院探矿工艺研究所教授级高级工程师, 地质工程专业, 主要从事定向钻探技术、钻孔测斜仪和地质灾害监测防治技术研究, 四川省成都市一环路北二段 1 号, jwf@cgiat.com。

式陀螺仪的所有品种,包括框架陀螺、动力调谐陀螺、液浮速率积分陀螺等。在现代技术基础上发展起来的陀螺与传统意义上陀螺无论在原理、外观还是结构上都具有颠覆性的差异,但无论是传统意义上的陀螺,还是现代意义上的陀螺都仍然属于惯性器件的范畴。现代惯性器件的应用(即惯性导航技术)是一门综合了机电、光学、数学、力学、控制及计算机等学科的尖端技术,是现代科学技术发展到一定阶段的产物。

地勘用陀螺钻孔测斜仪的发展得益于陀螺技术的发展,20世纪70年代初,我国地勘用陀螺钻孔测斜仪是由中国地质科学院探矿工艺研究所和上海地质仪器厂联合研制的,主要是仿制苏联的机械框架

式陀螺测斜仪,90年代由中国地质科学院探矿工艺研究所自主开发出了YT-1型钻孔测斜仪,该仪器曾获地矿部科技成果二等奖,目前仍在地勘行业的矿产资源勘探中使用。与机械框架式陀螺相比,该型仪器在原理和结构上发生了根本性变化,从而在技术上向前大大地迈进了一步,缩小了与国外同类技术的差距。近几年,一些具有一定开发能力的公司也推出了用于地勘行业的陀螺测斜仪。

## 1.2 我国当前地勘用陀螺测斜仪产品的开发成果

随着现代陀螺技术的发展,在我国地勘行业的一些研究单位开发了基于不同传感技术的陀螺测斜仪,规格型号各不相同,有关研究开发单位面市陀螺测斜仪的主要型号如表1所示。

表1 我国当前地勘用陀螺钻孔测斜仪主要参数一览表

产品名称型号	顶角量程和标称精度	方位角量程和标称精度	探管外径/mm	生产或销售单位
YT-1 压电陀螺测斜仪	0~50°±0.2°	0~360°±2°	45	成都探矿工艺所
DTC-1 动调陀螺测斜仪	0~70°±0.2°	0~360°±2°	45	成都探矿工艺所
CX-6C 光纤陀螺测斜仪	0~30°±0.2°	0~360°±3°	53	武汉基深公司
ACX-6C 光纤陀螺测斜仪	0~30°±0.1°	0~360°±3°	53	上海艾都实业
ATL-50D 陀螺测斜仪	0~50°±0.2°	0~360°±5°	50	上海艾都实业
ATL-40FW 光纤陀螺测斜仪	0~50°±0.2°	0~360°±3°	40	上海艾都实业
CJDZ-TL-50F 光纤陀螺测斜仪	0~50°±0.1°	0~360°±2°	50	北京中慧天成科技
ZH1487 光纤陀螺测斜仪	0~50°±0.2°	0~360°±3°	40	北京中慧天成科技
W123103 光纤陀螺测斜仪	0~60°±0.1°	0~360°±2°	50	东西仪(北京)科技
JTL-40FW 陀螺测斜仪	0~50°±0.1°	0~360°±2°	50	北京卓川电子科技
STL-1GW 陀螺测斜仪	0~50°±0.1°	0~360°±4°	40	上海力擎地质仪器
JTL-50F 光纤陀螺测斜仪	0~50°±0.1°	0~360°±2°	50	郑州南北仪器公司

从表1可以看出,各种型号的陀螺钻孔测斜仪,尽管采用的陀螺器件不尽相同,但其主要技术参数都比较接近,测量数据的采集主要采用电缆实时传输或存储方式,测量数据的处理已经全部采用PC机处理,探管外径基本能满足地勘小口径钻探施工的要求。

## 2 地勘钻探测斜对陀螺测斜仪的基本要求

对于目前地勘市场上使用的测斜仪而言,陀螺仪和加速度计是其中分别敏感钻孔方位角和顶角的两个核心传感器件,对陀螺测斜仪的要求主要是对陀螺仪和加速度计的要求,归纳起来有如下几方面的要求。

### 2.1 适当的小体积

地勘用钻孔测斜仪对体积要求非常严格,特别是直径一定要小,回转半径 $R \leq 15 \text{ mm}$ ,必须在形成仪器后能适应钻孔直径的要求,有时甚至要能通过一定规格钻杆的内径(如 $\varnothing 51 \text{ mm}$ 绳索取心钻杆),目前有些陀螺仪还不能达到这一要求。

### 2.2 适当高的精度

测量精度是衡量钻孔测斜仪的主要技术指标,仪器的精度直接决定着测量精度,要提高仪器的精度,就要提高陀螺仪和加速度计的精度,但这样会大大提高测斜仪的成本。所以确定的精度指标要适当高,不能一味追求高精度,应在性价比上做一个平衡,在传感器件精度一定的情况下,应通过结构设计、安装精度、误差修正等途径加以改善。

### 2.3 尽可能高的可靠性

在实际使用中,仪器的可靠性是一个比仪器精度更现实的指标要求,在实际使用中,仪器的可靠性可以理解为测量结果的重复性好和趋势的一致性,而不能得出模棱两可的甚至自相矛盾的测量结果,否则会使操作人员在测斜时无所适从。

### 2.4 简便的操作过程

作为在野外条件下使用的仪器设备,操作简单是一项基本要求。目前地勘用陀螺钻孔测斜仪野外测斜过程和后处理都使用PC机来完成,操作总体难度不大。而要让野外人员通过阅读《仪器使用说

说明书》(或《用户手册》)就能掌握测斜仪的正确操作,一本通俗易懂的《仪器使用说明书》、友好的人机界面,简单的操作程序是必需的。

### 2.5 较低的故障率

作为在野外条件下使用的仪器设备,低故障率(或者称之为较长的无故障工作时间)也是一项基本要求,由于地处野外,仪器出现故障后很难得到及时处理,会对野外工作带来极大不便。

### 2.6 搬运和携带的方便

一是要求测斜仪质量轻,搬运携带方便,抗振性好;二是附件少,使得在野外进行测斜时做到连接快速、正确。这也对陀螺仪和加速度计的抗振性提出了很高的要求,而陀螺仪和加速度计的显著弱点之一正是它的抗振性。

### 2.7 较高的性价比

对于在野外使用的仪器设备,都希望有最高的性价比,钻孔测斜仪也不例外。陀螺测斜仪的成本主要发生在陀螺仪和加速度计上,但为了确保有较高的精度和可靠性并经久耐用,更由于当前市场的用量有限,各生产厂家不可能形成批量,所以降低成本的空间有限。

## 3 使用中存在的主要问题与建议

不论是机械框架式陀螺测斜仪,还是光电形式的陀螺测斜仪,地勘单位都已经使用了多年。笔者对使用现状作一剖析,认为作为测斜仪本身,仍然存在诸多方面的问题,主要表现在以下几个方面。

### 3.1 抗振性尚存不足

用于制造测斜仪的陀螺仪和加速度计自身存在难以克服的最主要弱点是其抗振性,由于设计时受仪器空间的限制,在设计时仪器的抗振设计普遍存在缺陷,所以在地勘野外工作如此恶劣的条件下使用(如搬运时保护不好,钻孔内的碰撞,跌落等),陀螺仪和石英加速度计这一弱势是十分明显的。

建议在有限的空间设计必要抗振结构。

### 3.2 使用可靠性

目前上述所列各型地勘用陀螺钻孔测斜仪的标称精度一般已经能满足地勘钻孔施工的精度要求,但其使用可靠性尚需提高。野外工作经历证明,宁要一台高可靠性而不要一台高精度的测斜仪。

建议在交付用户前要完成大量的室内测试工作,对误差修正的算法和结果的拟合要精益求精。

### 3.3 故障率不低

由于仪器主要在磁性环境下使用,所以目前市

场的用量有限,各生产厂家不可能规模化生产,更不可能形成生产线,仪器内部器件主要是手工安装,电子线路板上的元件是手工焊接,质量难以保证,常因故障返修也就难免了。这样既影响工作,也降低了仪器的信誉度。

建议在交付用户前要进行一定时间的上电连续试运转(一般不少于100 h)。

### 3.4 操作培训不足

仪器的使用培训是十分重要的环节,国外十分重视这个环节,推出某种仪器设备时必须是培训先行。有的仪器使用说明书用大篇幅叙述结构和工作原理,其实现代惯性器件的应用是一门综合了机电、光学、数学、力学、控制及计算机等学科的尖端技术,这些高深莫测的学问野外使用人员没必要都能了解,《使用说明书》只需要讲清楚两点,一是正确的操作使用程序,二是常见故障判断和排除。

建议在交付用户后至少进行不少于3次的野外实际测量操作培训。

### 3.5 性价比尚待提高

对于野外使用者而言,都希望所用器具物美价廉,但目前地勘用陀螺钻孔测斜仪的性价比总体是不高的,一台仪器动辄十几万元,有的更高,影响了它的推广应用,若不是遇到磁性矿体钻探工程,一般都不会使用陀螺测斜仪。但其仍有一些可以降低成本的途径,如采购器件和加工时用好增值税抵扣项,申报国家新产品税收优惠政策等。

## 参考文献:

- [1] 陈哲. 捷联惯导系统原理[M]. 北京: 宇航出版社, 1986.
- [2] 卜继军, 魏贵玲, 李建勇, 等. 陀螺寻北仪二位置寻北方案[J]. 中国惯性技术学报, 2002, (10).
- [3] 王飞宇, 等. 陀螺测斜仪中的陀螺设计选型[J]. 测井技术, 2004, (3).
- [4] 范胜林, 孙永荣, 袁信. 捷联系统陀螺静态漂移参数标定[J]. 中国惯性技术学报, 2000, (1): 42-46.
- [5] 郭爱煌, 傅君眉. 基于地球重力场和磁场测量的测斜技术[J]. 仪器仪表学报, 2001, (12).
- [6] 季伟峰. 国家职业标准《地勘钻探工》[M]. 北京: 地质出版社, 2008.
- [7] 江天寿, 周铁芳, 等. 受控定向钻探技术[M]. 北京: 地质出版社, 1994.
- [8] 蔡志权. 陀螺测斜测井系统技术手册[Z]. 北京: 北京航空航天大学电子工程系207教研室, 2001.
- [9] 吕利昌. 陀螺定向系统的开发与应用[J]. 吐哈油气, 2003, (3): 64-69.
- [10] 肖匡臣, 宫振远, 李海明. 中国测井队伍技术装备状况及其市场方向[J]. 石油仪器, 2002, (6): 57-59.
- [11] 季伟峰, 李忠, 赵燕来. 动力调谐陀螺钻孔测斜仪的开发与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(1): 33-35, 39.