

光纤陀螺测斜仪的研制及应用

(上海地学仪器研究所 技术部, 上海 200233)

摘要: 光纤陀螺测斜仪是用途最为广泛的地质钻孔测斜仪。该测斜仪可自主寻北测量钻孔方位, 可以适用于几乎所有的地质钻进工程。该仪器采用了多项专利技术, 具有很高的性能价格比。通过几年在各类地质钻孔中的应用, 取得了进一步改进的信息和推广应用的经验。

关键词: 光纤陀螺仪; 陀螺测斜仪; 定向钻进

中图分类号: P631.83

文献标识码: A

文章编号: 1009-282X(2012)06-0020-04

1 引言

上世纪 70 年代, 当时的地质矿产部指示上海地质仪器厂从匈牙利和捷克分别引进了陀螺测斜仪技术, 这是我国最早引进并生产的陀螺测斜仪。当时引进的是国际上较好水平的陀螺测斜仪技术, 同时也是我国唯一能引进这类技术的渠道, 西方其它国家不对我们输出这类技术。上海地质仪器厂和改制后的上海地学仪器研究所从 1976 年到 2006 年共生产了近千台(套)这类陀螺测斜仪。这类陀螺测斜仪测量方位的原理是利用高速旋转的陀螺转子所具有的定轴特性和进动特性相对测量钻孔的方位角。高速旋转的陀螺转子在下井测量之前, 在地面对准一个参考方向启动, 仪器下井后钻孔的方位变化引起了仪器轴向和陀螺转轴间的夹角变化, 记录这个夹角的大小并进行校正就可以指示出钻孔的方位大小。由于这类陀螺测斜仪结构复杂, 加工和调试非常困难, 全国只有一两家厂商能够生产。在使用性能方面, 这类陀螺测斜仪采用的陀螺元件使用过程中一直是在高速旋转状态下, 使得其机械寿命短(只有 200 小时)、陀螺漂移大、抗震差, 仪器在运输时必须锁紧各灵敏系统, 所以这类陀螺测斜仪使用和维护都很困难。

2000 年以后随着微电子技术的发展, 市场出现了一种硅微机械陀螺元件(电子陀螺), 这种元件没有机械活动部件, 体积小, 有数字接口, 应用简单。过去不能生产陀螺测斜仪的众多厂家纷纷采用这类元件作为方位测量, 研制陀螺测斜仪。殊不知这种元件仅仅是一种中低精度的角速度传感器, 不能全范围记录测斜仪器在钻孔里上提和下放时所发生的自转和公转角速度变化, 目前还不能实际应用

在测斜仪中。

在测斜仪中。

纤陀螺元件试制新一代陀螺测斜仪。经过几年研究和国内外关键技术的配套协作, 在 2006 年试制成功具有领先水平的光纤陀螺测斜仪。新一代的光纤陀螺测斜仪采用光陀螺元件作方位测量, 重力加速度元件作井斜测量。该仪器采用了没有活动部件的全固态设计方式, 可靠性和可操作性大大提高。高新技术的采用还使得仪器测量精度大幅度提高。

2 关键技术

光纤陀螺测斜仪是一种不依赖地球磁场确定钻孔方位的测斜仪器。要做到不靠地球磁场来确定方位, 只有两种办法, 一是采用相对测量方位的原理。在地面对准一个已知方向, 然后记录仪器下井过程中, 仪器自转和沿着钻孔轨迹运动发生的所谓公转所转过的角度。老式的陀螺测斜仪和所谓的电子陀螺测斜仪采用的就是这种方法。仪器下井过程中所受到的震动、陀螺质心偏离支撑中心后受重力作用产生的转动力矩及地球自转等因素都会造成仪器方位测量的误差, 一般称作方位的随机漂移和时间漂移。二是直接测量地球的自转角速度。地球自转角速度是方向和大小非常稳定的量, 如果能测量出这个角速度和钻孔走向的夹角就直接得到了钻孔的方位角。采用这种办法确定钻孔方位的测斜仪有时称为自寻北陀螺测斜仪, 我们研制的 JTJL-40GX 系列光纤陀螺测斜仪就是这类仪器。由于测量得到的是相对地球自转角速度方向的钻孔方位, 又称作为真北方位。

自寻北陀螺测斜仪的关键技术在于能检测地球自转角速度, 地球自转角速度是一个非常小的矢量, 它比时钟的时针运动的角速度还要小一倍(地球自转一周 24 小时, 时针转一周 12 小时)。可见这对陀

螺元件的测量灵敏度和精度要求非常高。1976年在美国犹他州立大学首先研制出光纤陀螺元件的试验装置。但适用的光纤陀螺却是在近些年才迅速发展起来,它是一类高精度角速度测量元件。它的基本原理是光的 Sagnac 效应。Sagnac 效应是指相对惯性空间转动的闭环光路中所传播光的一种普遍效应,即在同一闭合光路中从同一光源发出的两束特征相等的光,以相反的方向进行传播,最后汇合到同一探测点,当绕垂直于闭合光路所在平面的轴线,相对惯性空间存在着转动角速度 Ω ,则正、反方向传播的光束走过的光程不同,就产生光程差,其光程差与旋转的角速度 Ω 成正比。光纤陀螺仪可以做到非常高的角速度灵敏度,在惯性导航等军事领域有广泛的用途,所以历来是西方国家对华限制输出的技术。我国光纤陀螺仪的研制起步比较晚,技术相对落后,市场可提供的产品非常少。改革开放后,俄罗斯的产品和技术开始流入我国,促进了我国光纤陀螺产品技术的发展。

除了光纤陀螺仪元件以外,新一代的光纤陀螺测斜仪的研制还必须采用高精度的重力加速度传感器。采用重力加速度传感器可以准确的构建仪器的三维直角坐标及仪器坐标和大地坐标的相互关系。重力加速度传感器的采用还大大提高了井斜角的测量精度。采用高精度光纤陀螺仪和三维重力加速度传感器再加上单片机数据测量与处理的软件方法是光纤陀螺测斜仪的三大关键技术。

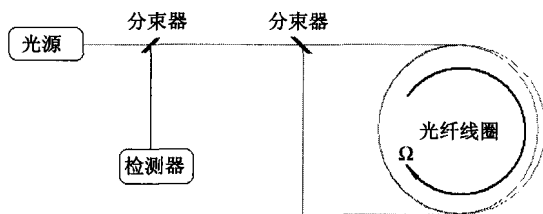


图1 光纤陀螺元件原理

3 研制过程

2005年开始 JTL-40 系列小直径陀螺仪的研制。研制目的是为了新一代产品能替换原来生产的 JTL-50 陀螺测斜仪。JTL-50 陀螺测斜仪外径是 50mm,是采用上世纪 70 年代框架式陀螺元件的测斜仪方案。虽然 80 年代几经改进,仍然存在外径大,不能适用南方小口径绳索取芯钻杆中。另外,这类框架式陀螺还存在漂移大,故障率高,制造维修

复杂,使用不方便的缺点。研制开始,首先确定的目标是①小直径;②井下仪器数字化;③便于操作和维护;④采用无漂移的直接寻北方案。开始研制阶段我们采用大尺寸光纤陀螺和重力加速度传感器在实验转台上试验,得到基本实验数据后,针对性的开发了数据处理软件。同期向霍尼韦尔等公司进口了一些关键部件,在国内各厂商间展开技术协作,主要是为解决光纤陀螺元件小尺寸化的技术问题。重力加速度传感器技术相对光纤陀螺仪技术要成熟得多,可采用的商品也不少。但为了确保设计余量,我们还是试制了一款重力加速度传感器。这款传感器对重力及分量的敏感度可达 10^{-5} ,但温度特性不够理想。

2006 年底 JTL-40GX 光纤陀螺测斜仪试验样机试制成功,经转台试验效果比较理想。存在的问题是装配工艺复杂,陀螺元件成本过高,订货麻烦,周期长,协作困难。这期间与北京大学,北京航空航天大学等院校和研制单位合作,几经改进到 2007 年,基本解决了所有大的技术问题和关键件进口渠道问题。同年 JTL-40GX 野外试验样机试制成功,并在浙江、山东等地钻孔中试验。试验取得了大量的改进信息。

4 JTL-40GX 光纤陀螺测斜仪原理

在光纤陀螺测斜仪(井下仪)中,严格正交的方式安装了 3 个重力加速度传感器和光纤陀螺仪。测得的信号经过放大和模数转换送到 CPU 进行处理。当仪器轴向在大地空间座标的取向不同,3 个方向上的重力加速度传感器得到不同的重力分量。光纤陀螺仪测得地球自转角速度矢量在相应轴的分量。这些传感器是事先经过标准刻度的,所以用这些分量信息通过复杂的数学计算就得到了仪器坐标与大地坐标的相互关系。从而能计算出钻孔的顶角和方位角。图 2 中 DC/DC 是直流电源变换器,把地面供给的直流电转换为仪器所需要的直流电源。CPU 系统把测量的重力矢量分量和地球自转角速度矢量分量进行计算、处理、计算,并把结果数据经过编码和长线驱动发送到地面仪器或 PC 机里记录。

5 JTL-40GX 光纤陀螺测斜仪的应用

JTL-40GX 光纤陀螺测斜仪使用非常方便,主要技术指标如下。

(1)顶角测量范围: $0^{\circ}\sim 45^{\circ}/60^{\circ}$,测量精度为士

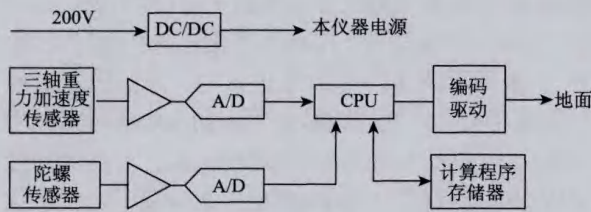


图2 JTL-40GX 陀螺测斜仪井下仪原理

- 0.1°(45°),分辨率:0.01°;
- (2)方位测量范围:0°~360°,测量精度优于±2°(地理纬度0°~45°);
- (3)测量方式:点测(推荐),连续测;
- (4)寻北时间:≤2min;
- (5)钻具工具面定向精度:垂向±0.1°;方位±2°;
- (6)测量深度:2000m。

JTL-40GX 光纤陀螺测斜仪作为一种最新的地质钻孔测斜仪其应用范围很广。比如可以在强磁性矿区和在钻杆中、套管中、钻具中使用。它是对地球自转角速率直接测量并计算钻孔的方位,这个方位就是真北方位。测量是在各测点独立进行,测量结果没有累计误差和漂移。所以有测量准确、使用方便、可靠性高等特点。另外,JTL-40GX 光纤陀螺测斜仪可以直接指导钻进。在定向钻进的情况下,JTL-40GX 陀螺测斜仪可以装上引鞋,在钻孔中连续指示出定向钻具的钻进工具面方向和方位。

图3是安徽涡阳华信煤矿主井工地灌浆孔定向测量实例。设计井筒底深为890m,灌浆孔深900m。上图是导入螺杆钻后陀螺仪沿钻杆测量的钻孔平面投影图,右面两个小图表示陀螺引鞋入键时,钻具工具面的方位和方向(图中箭头方向)。由于该孔设计水平位移不允许超过10m,必须连续减小斜度钻进,这时地面要转动钻具,JTL-40GX 仪器会连续指示转动后的钻具工具面位置,当转到下图右面小图所示位置时,螺杆钻具是朝着继续减小斜度方向钻进。由于测量和定向是一次下井完成的,大大提高了效率。定向指示非常直观,可以看到钻具实际方位、方向,需要转动钻具的角度大小很明确,转动操作成功率非常高。

在大斜度钻探孔,尤其是在破碎带钻孔中,以往各类测斜仪应用都很困难。靠大地磁场确定方位的测斜仪必须在裸眼井中应用,这时由于破碎和掉块,或斜度太大测斜过程非常困难。这种情况下JTL-40GX 陀螺测斜仪就能很好应。由于直径小,

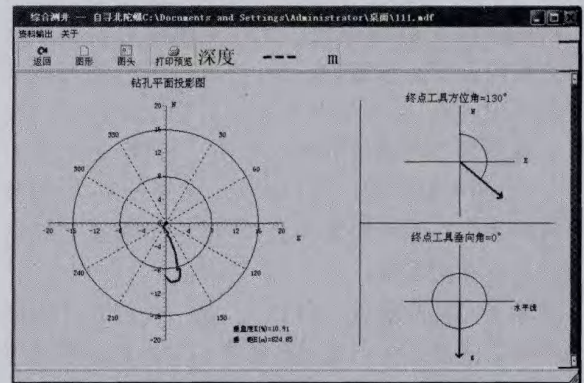
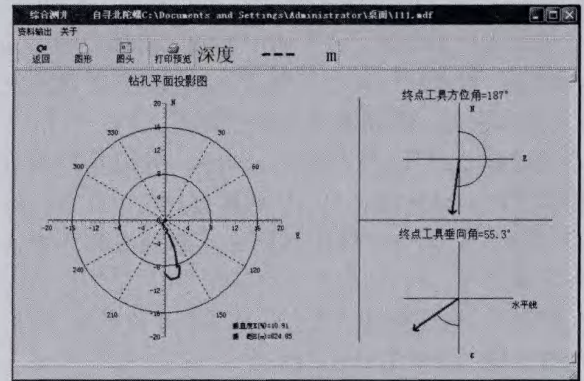


图3 安徽涡阳华信煤矿灌浆孔定向钻进测量

又因为是自寻北工作方式,不依赖大地磁场测方位,JTL-40GX 陀螺测斜仪可以在不提钻时,下入钻杆中直接测量。测量效率高,仪器安全,使用方便。图4是在安徽霍邱刘寺铁矿实测的例子。钻孔为储量钻探孔,开孔顶角10°,方位角120°,钻杆中测斜,整个测量过程非常顺利。图4是钻孔轨迹在倾斜、南北、东西、和给定方向的剖面投影图,图5是钻孔轨迹的平面投影图。

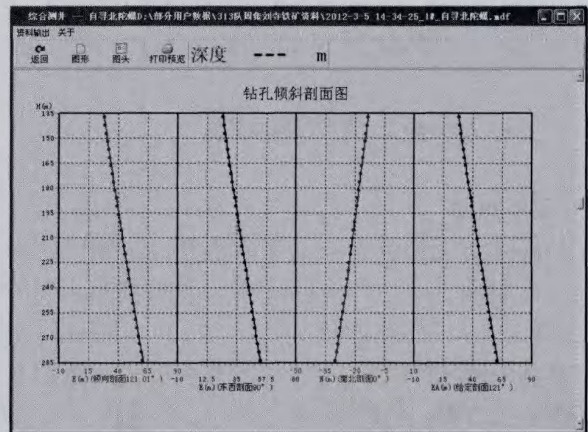


图4 钻孔轨迹倾斜剖面投影

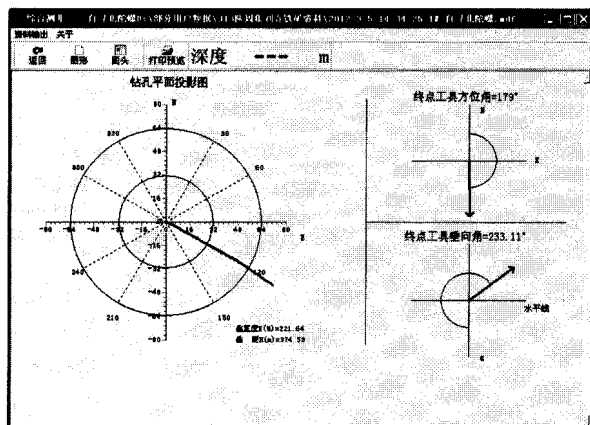


图5 安徽霍邱刘寺铁矿储量钻探孔测斜成果

6 结束语

JTL-40GX 光纤陀螺测斜仪经过几年实际应

用和不断改进,目前是最受欢迎的仪器。在地球南、北半球都能应用,指标内可应用的最高纬度为 60° 。仪器采用的一系列先进技术处于领先水平,是一款具有自主知识产权的仪器。是我国几十年来,几代人研究陀螺测斜仪的技术结晶,它标志着我国测斜仪技术真正走到了世界技术的前列。

参考文献:

- [1] GJB 2863—97. 陀螺寻北仪通用规范.
- [2] 姬玉平. 定向钻进技术在煤层气勘探中的应用[J]. 中国煤田地质, 2006(5).
- [3] 潘军. 闭环光纤陀螺的死区现象及克服死区实验[J]. 航空学报, 2001(3).
- [4] 张春熹等. 自主式光纤陀螺油井测斜仪[J]. 仪表技术与传感器, 2006(11).

2012 中国国际矿业大会在天津召开

【本刊讯】2012年11月4日,主题为“携手应对、共促发展”的2012中国国际矿业大会在天津梅江会展中心隆重开幕。中共中央政治局常委、国务院副总理李克强发来贺信,祝贺大会召开,并表达中国政府着力推动国际矿业合作与发展的良好愿望。他指出,中国将坚持立足国内,加快找矿步伐和节约集约利用资源并重,提高国内矿产综合保障能力,同时继续积极参与国际合作,与有关国家一起,做国际矿业市场的建设性推动者,实现共赢发展。

国土资源部部长、2012中国国际矿业大会组委会主席徐绍史在开幕式上发表了热情洋溢的致辞,倡议国际矿业界紧密团结起来,携手应对困难和挑战,共同推动全球矿业的持续发展,为世界经济复苏奠定坚实基础。天津市市长黄兴国、加拿大驻华大使赵朴、澳大利亚驻华大使孙芳安、南非驻华大使兰加分别致辞。

徐绍史在致辞中指出,经过多年努力,中国国际矿业大会已经成为国际矿业界面向未来深化交流、密切合作的重要平台,为推动世界经济繁荣和可持续发展作出了应有的贡献。四年来,大会更加注重推进国际矿业界的务实合作,签约合作项目年均增长50%,覆盖了五大洲的100多个国家和地区,为促进世界经济复苏发挥了重要作用。他说,中国政府高度重视地质找矿工作,着力推动中国矿业持续

健康发展。今年,中国地质勘查开发已获重要突破,中国矿产资源勘查开发格局正在发生重大变化。同时,资源优势加快转化为经济优势,矿产勘查开发为经济社会发展注入了重要驱动力。徐绍史表示,中国将进一步加大工作力度,努力破解矿产资源对经济社会发展的制约。为此,中国将“开源”与“节流”并举,有效提高国内资源保障能力;加快制度供给,切实增强中国矿业发展的内在活力;持续推进对外开放,加强与国际矿业界的交流合作。他建议,在当前世界经济艰难复苏的关键时刻,全球矿业界要坚定发展信心,加强协商合作,促进创新发展,携手应对困难和挑战,共同推动全球矿业持续发展,为世界经济复苏奠定坚实基础。

据介绍,本届大会更加突出实质性项目合作,更加强调矿业与金融等行业的联合,注重吸引青年朋友的关注和参与。大会举办主题论坛、国外矿业部长论坛、企业发展高层论坛三大主题论坛,围绕全球矿业可持续发展、全球矿产勘查形势与分析、矿业与资本市场、矿山环境与矿山公园、矿产资源综合利用等专题举办31场专题论坛,以及9场部分国家和地区矿业合作项目推介会,同时面向青少年开展科普讲座。展览与大会同期举行,展览面积达2.5万平方米,400多家国内外展商参展。来自55个国家和地区的政府官员、专家学者、矿业企业、金融机构的代表6000多人参会、参展。