

钻井测斜仪磁通门精准化的主要技术措施

岳巍, 张晓华, 陆怡良

(陕西宝成航空仪表有限责任公司, 陕西 宝鸡 721006)

摘要: 根据钻井测斜仪磁通门的使用要求, 描述了磁通门应用原理, 分析了磁通门测量的误差来源及其对测量的影响, 提出了 12 系数分量校正方法, 并给出了数学公式和计算方法。实际应用表明, 12 系数分量校正方法可以大大提高钻井测斜仪的测量精度, 使国产钻井测斜仪的测量精度达到国外同类产品的水平。

关键词: 钻井测斜仪; 磁通门; 12 系数; 方位; 误差

中图分类号: TE28

文献标识码: B

doi:10.3969/j.issn.1674-3407.2016.02.010

Major Technical Measures to Improve Accuracy of Fluxgate Magnetometer for Drilling Inclinator

Yue Wei, Zhang Xiaohua, Lu Yiliang

(Shaanxi Baocheng Aviation Instrument Co., Ltd. Baoji 721006, Shaanxi, China)

Abstract: According to the operating requirements of the fluxgate magnetometer for drilling inclinometer, the operating principle of the fluxgate magnetometer is described, and the error source of fluxgate magnetometer measurement and the influences of error source on the measurement are analyzed. Then, a 12-coefficient correction method is presented, and the mathematic formulas and algorithms are given. Practical application shows that the 12-coefficient correction method can improve the accuracy of the drilling inclinometer so significantly that the accuracy of the domestically produced drilling inclinometer attains the level of similar products produced abroad.

Keywords: drilling inclinometer; fluxgate magnetometer; 12-coefficient; azimuth; error

1 引言

众所周知, 钻井测斜仪技术源自于飞机航向姿态仪表和惯性导航技术, 其系统原理相同, 只是所选传感器的参数和结构形式有别。测斜仪常用磁通门测向, 加速度计测斜。磁通门因其原理特点以及易受环境磁场的影响等, 测量方位误差往往比较大, 成为影响测斜仪精准性的主要因素。测斜仪是否精准, 事关钻井、测井(检验钻井是否合格)是否真的成功、能否中靶和采油能否干净的全局, 意义重大。

地下油层一般多呈碟形, 厚度可浅至米级, 宽

广或达百米, 离地面有些深达 5000 ~ 8000m。为保证钻井中靶, 理应保证钻井实时井深 L 在其垂直分量、北向分量和东向分量 L_z 、 L_x 、 L_y 足够准确, 其误差显然主要取决于井斜方位 ψ 和斜度 α 的误差 $\Delta\psi$ 和 $\Delta\alpha$ 。但是, 实际的 $\Delta\psi$ 和 $\Delta\alpha$ 不可能仅靠原理数学模型求取。首先, 地质勘探测得的靶心相对于井口的位置总有误差, 甚至在勘测至开钻期间, 地层可能已经有变化。井眼设计成阶梯状, 钻井时各段难免会有各自的 α 和 ψ 。根据三角函数的简单数学原理可知, 不同 α 和 ψ 处的曲率各异, 所以各处的 $\frac{d\alpha}{dL}$ 、 $\frac{d\psi}{dL}$ 不同, ΔL_z 、 ΔL_x 、 ΔL_y 也不是可以简单计算的,

而需要结合实际应用情况来测量和修正。

[收稿日期] 2016-05-09

[作者简介] 岳巍(1966-), 男, 学士, 高级工程师, 现从事机载仪表及钻井测斜仪技术方面的设计与研究工作。

多年来,钻井测斜仪经几代更新,迄今国外钻井测斜仪器的斜度 α 和井斜方位 ψ 精度能够达到 0.1° 和 2° ,而大多数国产仪器的测量精度尤其是井斜方位 ψ 的技术指标、实际测量精度距国外仪器水平还差很多,特别是校验设备和检验方法欠缺,实际使用效果并不理想。因此,找到一种便捷有效的磁通门方位误差修正方法,有效地减小井斜方位 ψ 的误差 $\Delta\psi$ 一直是钻井测斜仪研制生产单位的努力方向。

2 测斜仪的基本功能原理

测斜仪的基本功能是运用与井眼同轴下放的探管来测定井眼轨迹各处的斜度 α 和井斜方位 ψ 。

$$\alpha = \arctg \frac{\sqrt{\alpha_x^2 + \alpha_y^2}}{\alpha_z}$$

$$\psi = \psi_M - \psi_H$$

$$\psi_H = \arctg \frac{-\alpha_y}{\alpha_x}$$

其中, α_x 、 α_y 、 α_z 为探管坐标系 X 、 Y 、 Z 三轴方向安装的 3 个加速度计测得的重力加速度 g 的分量; ψ_M 为磁通门罗盘测得的相对于自身刻有方位基准线的探管磁方位; ψ_H 为探管相对于自身其方位基准的倾斜方向。

另由井深传感器同步测定探管下放所到处实时井深 L ,其垂直分量、北向分量和东向分量的数学模型分别为:

$$L_x = \int_0^L \sin\alpha \cdot \cos\psi \cdot dl$$

$$L_y = \int_0^L \sin\alpha \cdot \sin\psi \cdot dl$$

$$L_z = \int_0^L \cos\alpha \cdot dl$$

可见,在 L 无误差时,井眼轨迹 3 分量的测量精度主要取决于 ψ_M 和 α_x 、 α_y 、 α_z 的精准度。

3 测斜仪磁通门测量误差因素分析及补偿计算方法

对于如何提高国产测斜仪的性能水平,首先总结了航空用同类产品的设计、研发、生产工艺技术,包括为改进美国同类航空用磁通门所做的结构更新、误差分析和工艺调整等方法,然后针对进口测

斜仪的功能和使用特点,移植要点和系统分析总结,归纳各种误差因素,发现它们的共同规律,即须对正交三轴(三分量)磁通门罗盘进行精确调整和校正。为此,首先对各个分量的误差因素做出定性和定量分析。

3.1 分量信号不准确的误差因素

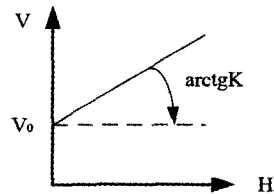


图1 磁通门信号与磁场关系图

磁通门的各分量信号的数学模型如图 1 所示。一般表达式为:

$$V = V_0 + KH$$

式中, V_0 是输出信号 V 的偏离值, K 是被测物理量 H (地磁场强度) 的标度因数。

定义 H_{x0} 、 H_{y0} 、 H_{z0} 和 H_{xm} 、 H_{ym} 、 H_{zm} 分别为载体坐标系三轴方向的地磁场强度分量和实测分量,则三轴分量与磁场关系数学表达式可以写为:

$$H_{x0} = h_4 + h_1 \cdot H_{xm}$$

$$H_{y0} = h_8 + h_5 \cdot H_{ym}$$

$$H_{z0} = h_{12} + h_9 \cdot H_{zm}$$

上式中, h_4 、 h_8 、 h_{12} 实质就是偏离值 V_0 , h_1 、 h_5 、 h_9 则是标度因数 K , V_0 比较稳定,称为零场误差, K 有误差,应加不同修正。

3.2 探头敏感方向不对准时的误差因素

当一个探头的各分量敏感方向不对准载体坐标系对应轴方向,偏离载体坐标系对应轴方向 Δ_1 度时,其应得的理论分量 H_0 将减小为 $H_0 \cdot \cos\Delta_1$,而与其它两轴方向的夹角都将偏离 90° ,因而,还同时感应到载体坐标系另外两个轴方向的地磁场强度的分量。所以,应有:

$$H_{x0} = h_1 \cdot H_{xm} + h_2 \cdot H_{ym} + h_3 \cdot H_{zm}$$

$$H_{y0} = h_5 \cdot H_{xm} + h_6 \cdot H_{ym} + h_7 \cdot H_{zm}$$

$$H_{z0} = h_9 \cdot H_{xm} + h_{10} \cdot H_{ym} + h_{11} \cdot H_{zm}$$

这项误差因素源自于 3 个探头互相不垂直、它们与垂直安装基座不垂直或不平行、 Y 和 X 两轴探头与侧面安装基准不垂直或不平行。特别当探头较小时,例如磁芯仅长 10mm 时,铁芯的安装和探头的装配间隙导致的铁芯偏斜 0.2mm 时,即可导致敏

感轴方向 1° 的偏斜, 测算所得 $\Delta\psi_M$ 就不会小于 2° 。即使测得各个分量信号, 然后调整探头和铁芯指向的方法, 也很难保证合格。实践证明, 探头不对准是最严重的误差因素。

3.3 载体硬、软铁干扰导致的误差

载体的硬、软铁可以分别用等效的硬、软铁棒代表。等效的硬铁棒的剩磁分别对三轴探头铁芯形成干扰磁场。由于它们在载体(测斜仪探管)上都是捷联安装的, 始终没有相对运动, 所以在每个探头信号造成的干扰也不变, 是一个常值误差。等效的软铁棒被地磁场和等效硬铁棒剩磁分别磁化, 再分别干扰三轴探头, 其中, 软铁棒的磁化场中, 地磁场视为其在三轴方向的分量 H_{xm} 、 H_{ym} 、 H_{zm} 分别磁化和叠加之, 并分画表示磁化和干扰关系, 并用相关系数表示。

不能认为探管是无磁性的, 至少加速度计是带有磁性的。还有一些误差因素, 如计算 ψ_M 公式中所列 $\Delta\alpha$ 、 $\Delta\psi_H$ 和 $\Delta\psi_M$ 的其它误差因素。归纳各项误差因素, 可以综合表达为:

$$H_{x0} = h_1 \cdot H_{xm} + h_2 \cdot H_{ym} + h_3 \cdot H_{zm} + h_4$$

$$H_{y0} = h_5 \cdot H_{xm} + h_6 \cdot H_{ym} + h_7 \cdot H_{zm} + h_8$$

$$H_{z0} = h_9 \cdot H_{xm} + h_{10} \cdot H_{ym} + h_{11} \cdot H_{zm} + h_{12}$$

其中, H_{x0} 、 H_{y0} 、 H_{z0} 分别为传感器信号的三轴分量理论值, 作为校正后的精确值; H_{xm} 、 H_{ym} 、 H_{zm} 分别为传感器信号的三轴分量实测值; h_1 、 h_2 、 \dots 、 h_{12} 分别为传感器信号的三轴校正常系数。

求解 h_1 、 h_2 、 \dots 、 h_{12} 的步骤是: 先用函数 $f(H_{x0}$ 、 H_{y0} 、 H_{z0} 、 H_{xm} 、 H_{ym} 、 H_{zm}) 求解 h_1 、 h_2 、 \dots 、 h_{12} , 此函数中 H_{x0} 、 H_{y0} 、 H_{z0} 为三轴分量无误差理论计算值。之后, 根据实测值, 再用 $f(H_{xm}$ 、 H_{ym} 、 H_{zm} 、 h_1 、 h_2 、 \dots 、 $h_{12})$ 计算得到经过修正之后的三轴分量理论值 H_{x0} 、 H_{y0} 、 H_{z0} , 求解校正后所得 H_{x0} 、 H_{y0} 、 H_{z0} , 可以视为近似准确的三分量。最后求得:

$$\psi_M = \arctg \frac{-H_{y0}}{H_{x0}}$$

上述校正方法, 完全适用于加速度计三分量实现 α 和 ψ_H 的精准化, 并把 ψ_H 和 ψ 的适用工作范围从目前国内外的 $\alpha \geq 5^\circ$ 大大拓宽, 达到 $\alpha \geq 1^\circ$ 甚至更小。

4 结束语

本文针对钻井测斜仪磁通门的误差影响进行了分析, 提出了精准化的 12 系数分量校正法。应用这种常系数软件校正之后的分量计算的 α_x 和 ψ 精度可以提高 10 倍, 斜度 α 和井斜方位 ψ 精度能够达到 0.1° 和 1° , 达到了国外仪器的技术水平。这一方法已经应用于 LCX-7A 型钻井测斜仪的研制中, 该型测斜仪经过国内外油田 100 余口井的测井实践验证, 取得了很好的效果, 并形成了专利技术。

在国内普遍使用的进口仪器中, 通常采用多点修正法, 修正点多达 100 多点, 修正点数据的获得费时费力, 效率不高, 所需检测设备不但复杂庞大, 而且昂贵, 修正效果只能达到 $\Delta\alpha \geq 0.1^\circ$, $\Delta\psi \geq 2^\circ$, 还要经常重新修正。12 系数分量校正方法, 正是针对国外进口设备多点修正法的创新性研究。采用 12 系数分量校正法进行校正作业时, 只需在探管安装完毕后求取 h_1 、 h_2 、 \dots 、 h_{12} 共 12 个系数数据, 之后由计算机自动完成校正工作。只要钻井测斜仪不拆卸重装, 则 12 个常系数不变, 不必重新校验, 大大提高了钻井效率, 降低了劳动强度, 因而具有很高的实用性和推广价值。

参考文献

- [1] 张学孚, 陆怡良. 磁通门技术[M]. 国防工业出版社, 1995.
- [2] 孟健. 三轴磁强计误差分析与校正研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011: 1-10.

《工程与试验》欢迎投稿

投稿邮箱: bianjibu@ccss.com.cn 或 etbianjibu@163.com

投稿地址: 吉林省长春市越达路 1118 号

邮 编: 130103

收 稿 人: 《工程与试验》编辑部

联系电话: 0431-85117100

联系人: 王暖春



论文写作，论文降重，
论文格式排版，论文发表，
专业硕博团队，十年论文服务经验



SCI期刊发表，论文润色，
英文翻译，提供全流程发表支持
全程美籍资深编辑顾问贴心服务

免费论文查重：<http://free.paperyy.com>

3亿免费文献下载：<http://www.ixueshu.com>

超值论文自动降重：http://www.paperyy.com/reduce_repetition

PPT免费模版下载：<http://ppt.ixueshu.com>
