

# 岩(矿)石标本磁化率测定方法试验及认识

苏永军,刘继红,范翠松,张国利,滕菲,邢怡,孙大鹏

(中国地质调查局天津地质调查中心,天津 300170)

**摘要:**随着科技的迅速发展,磁法勘探仪器也有较大发展。本文利用G-858铯光泵磁力仪、WCZ-1质子磁力仪、便携式WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率仪四种仪器测量岩(矿)石磁性标本磁化率对比试验,通过对试验结果的分析,笔者给出磁力仪和磁化率仪应用建议。便携式磁化率仪具有小巧、轻便、高效等特点,在今后会有广泛的应用空间。

**关键字:**磁化率;G-858铯光泵磁力仪;WCZ-1质子磁力仪;WCH-1磁化率仪;SM-30磁化率仪

中图分类号:P631.2

文献标识码:A

文章编号:1672-4135(2015)03-0215-03

磁法勘探是物探方法中最古老的一种,通过观测和分析岩(矿)石磁性差异所引起的磁异常,进而研究地质构造和矿产资源分布规律的一种地球物理勘探方法。在磁法勘探<sup>[1]</sup>(地面磁测和航空磁测)中,磁参数测量是重要内容之一,是磁法勘探解释工作中必不可少的一步。如何获得岩(矿)石磁性参数在磁法勘探中是一项十分重要的工作,它对磁异常进行定性解释、定量反演及推断解释地质结论具有重要意义。前人已用各种磁力仪做了不少测量岩(矿)石标本的磁性研究和试验<sup>[2]</sup>,取得一些研究成果。随着科技的发展和进步,磁法勘探仪器也有较大发展,很多电子磁力仪和磁化率仪随之出现,磁法勘探得到很大发展。本文笔者通过使用G-858铯光泵磁力仪、WCZ-1质子磁力仪、便携式WCH-1磁化率仪和便携式SM-30磁化率仪四种仪器测量岩(矿)石标本磁化率磁性参数对比试验,通过对试验结果分析,笔者给出测量岩(矿)石标本磁化率的一些认识。

## 1 测定磁化率仪器及测量方式概述

磁法勘探仪器作为一种测量磁场强度大小的仪器,最早可追溯到1832年有Carl Friedrich Gauss发明的用一个悬挂在空气中的磁棒研制而成的测量磁场<sup>[3]</sup>,随着科技的迅速发展,过去体积大、笨重的机械式磁力仪(悬丝式、刀口式等)发展到现在的电子式磁法仪器,磁通门磁力仪、质子磁力仪、光泵磁

力仪、超导磁力仪等,仪器的灵敏度和测量精度也得到很大提高,这些磁法勘探的仪器都可测量岩(矿)石标本磁性参数。

本文笔者选用G-858铯光泵磁力仪和WCZ-1质子磁力仪在开阔,没有干扰,地磁场平稳,具备良好的观测条件七里海国家湿地公园里面的一片空地作为此次测定岩(矿)石标本磁化率试验场地,采用高斯第一位置<sup>[4]</sup>对岩(矿)石标本进行24面测量,选用便携式WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率仪分别严格按照各自测量方法和规范对磁性试验标本磁化率进行了试验测量。

### 1.1 G-858 铯光泵磁力仪

G-858磁力仪<sup>[5]</sup>是美国Geometrics公司设计生产的铯光泵高精度磁力仪,可对磁场强度和磁场梯度进行测量,有高达10HZ的采样率,使常规磁力测量方法由点测发展为密集磁成像,大大提高了磁测分辨率。在1s采样间隔测量精度可达0.05 nT,该仪器是一种高灵敏度和高精度的磁测仪器,具有手动测量和自动测量两种方式,性能稳定可靠,操作简便,被广泛应用于地质找矿、地震预报、考古等领域。

### 1.2 WCZ-1 质子磁力仪

该仪器是在参照国外先进磁力仪基础上针对我国实际情况采用先进技术研制的新一代质子磁力仪<sup>[6]</sup>,其磁场重复测量精度为0.5 nT,分辨率高达0.1 nT,其具有仪器轻便、高分辨率、抗干扰能力强等特点。

收稿日期:2015-06-28

资助项目:中国地质调查项目“蓟县-沧州地区1/25万区域重力调查(1212011220570)”;人力资源社会保障部择优资助留学人员项目“重力勘探柱状地质体改进后定量解释系统研究”

作者简介:苏永军(1981-),男,硕士,地球物理和地质工程双硕士研究生,主要从事地球物理勘查及研究工作,  
E-mail:syj95123@163.com。

可以以0.1 nT的分辨率进行总场和水平、垂直梯度的测量。受磁场梯度影响小,即使靠近铁金属也能正常读数,对工业电等干扰有很强的抑制力,被广泛应用于矿产勘查,石油、天然气勘查,普查、详查、考古、工程勘查等领域。

### 1.3 WCH-1 磁化率仪

该仪器采用传统传感探头结合最新数字处理技术,可直接测量样品磁化率参数,同时给出样品电导率估计值,测量速度快、效率高。能测出顺磁性、反磁性、铁磁性岩(矿)石的细微差别并精确地给出磁化率。该仪器结构小巧,重量轻,操作方便,性能稳定,灵敏度高,被广泛用于野外地质普查、样品磁化率及电导率参数测量、古地磁分析研究、考古、土壤地磁研究等领域。

### 1.4 SM-30 磁化率仪

捷克SM-30该仪器是为测量钻孔岩芯、人工采样、野外地质勘探、露头岩(矿)石的磁化率、以及在实验室对岩石或岩芯样品进行快速分析和分类而设计的。能测出顺磁性、反磁性、铁磁性岩(矿)石的磁化率,按一下按钮,一秒之内就完成测量,提供出清楚的数字显示。该仪器小巧、便携,可放入衬衫口袋,重量轻,更新颖,高灵敏度、高精度、快速测量等优势,被广泛用于野外地质普查、样品磁化率和工程勘查等领域。

## 2 试验结果对比

本次试验选用上述4种仪器,在区域开阔无干扰良好观测条件场所,对11块条带状磁铁石英岩进行了磁化率试验测量,并对其中的3块标本进行了重复测量。从磁化率测定结果见表1可以看出,便携式WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率仪测量磁化率值偏小,可能是标本测量面不平整所致;G-858铯光泵磁力仪和WCZ-1质子磁力仪测量磁化率值存在差异,可能是磁性体本身磁性不均匀所致。

利用均方误差公式统计四种方法的精度,评价各自方法精度的高低;磁化率测定质量以平均相对误差作为评价标准,利用误差公式<sup>[7]</sup>计算结果见表2。由表2可见,四种方法观测均方误差最大的是WCZ-1磁力仪,均方误差是 $62.1939 \times 10^{-3}$  SI,最小的是G-858磁力仪,均方误差是 $2.6203 \times 10^{-3}$  SI。四种方法测量磁化率相对误差最大6.61%,最小0.18%,均小于规范要求10%,说明此次试验基本成功。

从四种仪器试验各项技术指标综合统计表3来看,对于测定强磁性磁铁石英岩,SM-30磁化率仪误差不太稳定,平均相对误差大,有可能是测量面不平整所致;使用G-858铯光泵磁力仪测量磁化率要比其他三种方法好,但此种方法耗时有些长,经济成本高。便携式WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率仪在设计要求不高的情况下可以使用,这两种方法具有即经济,又快速的特点。

## 3 结论和认识

通过笔者选用的G-858铯光泵磁力仪、WCZ-1质子磁力仪、便携式WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率仪这4种仪器对强磁性磁铁石英岩标本磁化率测

表1 磁化率测定结果对比

Table 1 The contrast of the magnetic susceptibility measurement data

序号	样本号	磁力仪/磁化率仪的磁化率测定值( $10^{-3}$ SI)			
		G-858	WCZ-1	WCH-1	SM-30
1	24-21-2	999.763	841.108	584.333	452.333
2	11-8-2	1534.822	1365.663	852.000	696.300
3	25-21-2	1472.777	1648.204	807.300	517.700
4	16-14-2	1349.194	1193.819	837.333	572.000
5	12-8-2	1587.712	1244.826	1008.300	842.300
6	61-15-6	1236.951	1291.999	732.333	501.000
7	46-13-5	1307.572	1457.107	802.333	678.667
8	31-8-5	830.703	614.207	657.000	489.333
9	GPS74-4	288.053	208.256	276.200	151.000
10	GPS74-5	270.097	214.867	162.667	84.167
11	LL4	2624.981	2040.090	1322.000	770.333

表2 试验精度对比

Table 2 The contrast of test precision

样本号	磁力仪/磁化率仪测定值( $10^{-3}$ SI)				重复测量值( $10^{-3}$ SI)			
	G-858	WCZ-1	WCH-1	SM-30	G-858	WCZ-1	WCH-1	SM-30
24-21-2	999.763	841.108	584.333	452.333	1006.069	871.268	538.667	496.000
61-15-6	1236.951	1291.999	732.333	501.000	1237.316	1143.277	776.667	439.667
GPS74-5	270.097	214.867	162.667	84.167	268.958	201.435	155.667	70.700
自检均方误差( $10^{-3}$ SI)	2.6203;62.1939;26.1403;31.2247							
平均相对误差(%)	0.18;3.70;3.07;6.61							

表3 四种仪器试验各项技术指标综合统计表

Table 3 The comprehensive statistics of technical parameters of the four instruments

对比项	方法	G-858	WCZ-1	WCH-1	SM-30
自检均方误差( $10^3$ SI)		2.6203	62.1939	26.1403	31.2247
平均相对误差(%)		0.18	3.70	3.07	6.61
测量平均时间(s)		270	840	14	9
经济成本		2人、 1套仪器	2人、 1套仪器	1人、 1台仪器	1人、 1台仪器

量对比试验显示,G-858铯光泵磁力仪测量结果精度高,耗时适中,经济成本高;WCZ-1质子磁力仪测量结果能满足规范要求,耗时长,经济成本高;便携式WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率仪能快速测量岩(矿)石样本磁化率,经济成本低。笔者认为用WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率仪在野外现场直接测量磁化率是可行可靠的,减少野外取样和实验室化验工作量,即可降低化验成本,又可快速获得工区的磁化率,可随时指导野外的地质工作,能大大提高工作效率。在项目要求采集岩(矿)石磁性标本时,选择精度高、耗时适中的G-858铯光泵磁力仪对标本进行磁参数测定,在测量标本前,建议用便携式磁化率仪对标本进行强磁、弱磁标本的分类,便于选择高斯第一位置和高斯第二位置装置进行磁性标本的测定,提高工作效率。

在磁法普查阶段、区域调查、填图、剖面测量及磁异常定性解释、初步解释等非精细研究应用领域,可以利用便携式WCH-1磁化率仪和SM-30磁化率

仪快速测定地表岩性的磁化率参数,对磁性地质体进行初步定性解释,及时指导野外地质工作;在打钻过程中磁化率仪能快速测定岩芯标本磁参数,预测磁铁矿矿层,协助确定终孔深度。在岩(矿)石磁参数系统测量和磁法勘探等磁异常的定量反演中还是要用磁力仪进行测定,以便获得更多岩(矿)石磁性参数和磁性体地质信息。

便携式磁化率仪小巧、轻便、快速、高效地测定磁性物质的磁化率,对磁异常定性解释、初步评价具有重要意义。便携式磁化率仪在今后的工程检测、工程勘查、地质调查等领域会得到广泛的应用。

#### 参考文献:

- [1] 高学生,苏永军,梁建刚,等.多种方法组合在内蒙古二连-东乌旗地区航磁异常查证中的应用—以蒙C-2007-9-1为例[J].地质调查与研究,2015,38(2):134-140.
- [2] 李才明,李军,周拓宇.用质子磁力仪测定岩(矿)石标本磁参数时应注意的问题[J].岩物岩石,2004,24(1):105-107.
- [3] Gauss C.F. The intensity of the earth's magnetic force reduced to absolute measurement[D].1995,8(15):3-44.
- [4] 樊金生,张云明,郭文波,等.用质子磁力仪测定岩(矿)石标本几个问题[J].物探与化探,2012,36(2250):250-252.
- [5] 肖凡,徐学恭,张松堂,等. G-858磁力仪的性能测试[J].地质装备,2013,14(4):20-22.
- [6] 李岳. WCZ-1质子磁力仪的原理及应用[J].企业技术开发,2009,19(1):77-82.
- [7] 地面高精度磁测技术规范[S].中华人民共和国地质矿产行业标准DZ/T 0071-93.

## Test and Understanding of Measurement Method of the Magnetic Susceptibility of Rock (Ore) Sample

SU Yong-jun, LIU Ji-hong, FAN Cui-song, ZHANG Guo-li, TENG Fei, XING Yi, SUN Da-peng

(Tianjin Center, China geological survey, Tianjin 300170, China)

**Abstract:** With the rapid development of science and technology, magnetic prospecting instrument has a larger development. This paper describes the contrast test of measurement method of the magnetic susceptibility of rock (ore) sample with four kinds of different instruments of G-858 cesium optical-pumping magnetometer, WCZ-1 proton magnetometer, WCH-1 magnetic susceptibility meter and SM-30 magnetic susceptibility meter, through the analysis of the test results, the authors give applied suggestion on magnetometer and magnetic susceptibility. Portable magnetic susceptibility has the advantages of small, lightweight, high efficiency and so on, it will have a wide range of application.

**Key words:** magnetic susceptibility; G-858 cesium optical-pumping magnetometer; WCZ-1 proton magnetometer; WCH-1 magnetic susceptibility meter; SM-30 magnetic susceptibility meter