01.040.01
D00/09

团　　体　　标　　准

T/GSC 008-2024

火山岩磁化率各向异性测量技术规范

Technical Specification for Magnetic Susceptibility Anisotropy Measurement in Volcanic Rock

2024-01-02 发布　　2024-01-02 实施

中国地质学会　　发 布

中国地质学会（GSC）是组织开展国内、国际标准化活动的全国性社会团体。制定中国地质学会团体标准，满足市场需要，增加标准的有效供给，促进科技创新，是中国地质学会的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国地质学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国地质学会团体标准按《中国地质学会团体标准管理办法》进行制定和管理。

中国地质学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国地质学会团体标准予以发布。

在本文件实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国地质学会团体标准秘书处，以便修订时参考。

本文件版权为中国地质学会所有，除了用于国家法律或事先得到中国地质学会的许可外，不得以任何形式或任何手段复制、再版或使用本文件及其章节，包括电子版、影印件，或发布在互联网及内部网络等。

中国地质学会地址：北京市西城区百万庄大街 26 号

邮政编码：100037　电话：010-68999018　　传真：010-68995305

网址：www.geosociety.org.cn　电子信箱：zgdzxh@geosociety.org.cn

目　　次

前　　言 III
引　　言 ..... Ⅳ
火山岩磁化率各向异性测量技术规范 1
1 适用范围 1
2 规范性引用文件 1
3 术语和定义 1
4 规范总则 3
5 野外采样要求 3
6 测量磁化率各向异性的仪器 5
7 磁化率各向异性的统计方法 6
8 成果编制 6
附录 A（资料性）火山岩磁化率各向异性采点信息表 7
附录 B（资料性）采点主磁化率方向 Jelinek 统计表 8
附录 C（资料性）采点磁化率各向异性参数统计表 9

图 1 岩心坐标系 4
图 2 样品定向方法与定向标记 5

前　言

本文件依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本文件按照 GB/T 1.1—2020 给出的规定起草。

本文件起草单位：东华理工大学、浙江大学、中国地质大学（北京）、中国地质科学院地质研究所、中国科学院地质与地球物理研究所、浙江师范大学、中国地质调查局昆明自然资源综合调查中心、江西省地质局核地质大队、核工业 270 研究所。

本文件起草人：黎广荣、郭福生、沈忠悦、侯增谦、吴怀春、姜勇彪、周万蓬、吴志春、朱孔阳、董进、卫巍、陈渠、庞文静、张万良、张宏辉。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国地质学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本文件首次制定。

引　言

磁化率各向异性是岩石的重要物理性质之一，有完整的理论体系。作为一门实用性勘察技术，其有广泛的应用性，如解决岩浆岩的流动方向、寻找古火山口的位置、判定沉积岩形成时的古水流方向等。由于磁化率各向异性的测量要比岩石组构测量更快，精度更高，所以它的应用愈加广泛。

当前国内外尚无磁化率各向异性的测量技术的规范文件，其研究与应用很大程度与个人的工作经验有关。本文件的建立有助于加强火山岩地区区域地质、矿产资源的地质勘查研究，对磁化率各向异性测量过程中野外采样、数据处理及结果应用起到规范作用，也有利于解决仅凭个人经验确定采点品数量、岩心数量、数据分析等造成的对比研究及引用困难等问题。

火山岩磁化率各向异性测量技术规范

1 适用范围

本文件规定了火山岩磁化率各向异性测量技术要求，包括野外采样要求、测量磁化率各向异性的仪器、磁化率各向异性的统计方法等。

本文件适用于地质调查及矿产资源勘查过程中，对火山岩开展的古火山构造研究及调查工作。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 958-2015 区域地质图图例

GB/T 12343.1-2008 国家基本比例尺地图编绘规范 第 1 部分：1：25 000、1：50 000、1：100 000 地形图编绘规范

DZ/T 0001-91 区域地质调查总则 1：50 000

DZ/T 0126-94 固体矿产钻孔地质数据文件格式

DZ/T 0179-1997 地质图用色标准及用色原则 1：50 000

3 术语和定义

GZ/T 0391—2021 界定的术语和定义以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

磁化率 Magnetic Susceptibility

磁化率是表征物质在外磁场中被磁化程度的物理量。物质在外磁场中将被磁化，其磁化的程度用“感应磁化强度”这一物理量（$\vec{M}$ ）来描述。在相同的外磁场中，不同物质的磁化程度亦不相同，磁化率（k）就是描述其磁化难易程度的度量值。

磁化率的计算公式如下：

磁化率= 感应磁化强度/ 磁场强度

其中，感应磁化强度（$\vec{M}$ ）是岩石单位体积或单位质量磁偶极矩的总和，单位是安培/米（A/m）。磁场强度是外加磁场的强度，单位是安培/米（A/m）。磁化率是个无量纲，通常测量的是体磁化率。

3.2

磁化率各向异性 Anisotropy of Magnetic Susceptibility（AMS）

磁化率各向异性是指磁性物质的磁化率在不同方向上具有不同的数值或性质。具体来说，当外部磁场施加在各向同性岩石上时，岩石对磁场的响应在所有方向上是相同的，而对于各向异性材料

来说，磁化率会在不同的方向而有所变化。磁化率各向异性在地质领域中的应用极为广泛，可以用来研究古流向造成的磁性矿物的定向排列，以及构造应力作用引起的岩石内磁性矿物的定向重结晶、定向排列及韧性变形。

3.3

磁滞回线 Hysteresis Loop

外磁场强度周期性变化时，强磁性物质磁滞现象的闭合磁化曲线。它表明了强磁性物质反复磁化过程中磁化强度或磁感应强度与磁场强度之间的关系。磁滞回线是铁磁性物质和亚铁磁性物质的一个重要的特征，顺磁性和抗磁性物质则不具有这一现象。

3.4

视磁化率 Apparent Magnetic Susceptibility

视磁化率是认为感应磁化强度是由外磁化场所产生的，有限物体受外磁场磁化时，由于受物体退磁作用的影响，测量得到的磁化率往往比物体真正的磁化率要小。该测得的磁化率被称为视磁化率。

3.5

主磁化率 Principle Magnetic Susceptibility

磁化率椭球的三个轴对应的磁化率即为主磁化率。通常把主磁化率表示为最大、中间和最小磁化率（k_1、k_2 和 k_3），三个主磁化率相互垂直。

3.6

磁化率椭球体 Magnetic Susceptibility Ellipsoid

磁化率椭球体是描述物质在外加磁场作用下所表现出的磁响应性质的一种几何模型。它是一个长轴、中轴和短轴分别对应磁场三个方向的椭球体。

3.7

磁化率椭球体形状因子 Magnetic Susceptibility Ellipsoid Shape Factor

磁化率椭球体形状因子是描述椭球体形状的一个参数。通常用形状因子 T 来表达，T 是椭球体的长轴、中轴和短轴之间的比值，即$(2\ln k_2-\ln k_1-\ln k_3)/(\ln k_1-\ln k_3)$。通常 $T>0$ 指示压扁状组构，$T<0$ 为拉长状组构，$T=0$ 为等轴状组构。

3.8

磁畴 Magnetic Domain

磁畴是指磁性材料中具有相同方向的磁矩分布区域。在一个磁性材料中，由于相邻的原子或分

子磁矩之间存在相互作用，磁矩倾向于在一定范围内形成有序的排列，这些有序排列的区域就是磁畴。每个磁畴内的磁矩方向基本上是一致的，而不同的磁畴之间的磁矩方向则可以不同。磁畴的大小可以从几纳米到几微米不等。在没有外部磁场作用时，磁畴内的磁矩方向是随机的，整个材料的磁矩总和为零。但是在外部磁场的作用下，磁畴会趋向于沿着磁场方向重新排列。

4 规范总则

4.1 目的任务

本文件旨在规定火山岩磁化率各向异性测量技术的程序、实验条件、设备要求和数据分析方法。通过规范测量过程和数据处理，可以提高数据质量和可比性，促进火山岩的磁化率各向异性研究和应用。同时，本文件可以为地质学、地球物理学等相关领域的研究提供数据支持，为火山活动的预测和评估提供科学依据。因此，编写本文件旨在推广及标准化火山岩磁化率各向异性测量技术，提高火山岩磁化率各向异性研究的水平和质量，促进相关学科的发展。

4.2 基本原则

在一定面积的火山岩区域内，利用磁化率各向异性开展火山构造、熔岩流动方向、断裂构造等研究时，所采岩心样品要有代表性与广泛性，其结果要反映火山机构的整体面貌及磁化特征。

5 野外采样要求

5.1 岩心定向数据的野外采集

在非铁矿区，即磁罗盘的使用不受影响的区域，使用附录 A 的磁罗盘表格；如果磁罗盘的使用受到影响，使用附录 A 的太阳罗盘表格。在此建议使用磁罗盘与太阳罗盘共同定向，可以使用无磁性油墨的记号笔或者铅笔在岩心上标注方位。

由于室内的磁化率各向异性测量仪器对铁磁性物质灵敏度较高，在岩心采集、切割等过程中，不得使用铁质工具。

5.2 定向岩心样品大小

考虑到火山岩常含斑晶，岩心样品不宜太小，在参考文献（Tarling and Hrouda，1993，The magnetic anisotropy of rock）的基础上，建议以下尺寸（误差建议在 2mm）：

（1）立方体：边长 2.0cm。

（2）圆柱体：直径 2.5cm，高 2.1cm。

5.3 采点密度

平均 1 平方公里 4 个采点或者一条熔岩流一个采点，在特别情况下可以加密。

5.4 单个采点的岩心样品数量

5~10 米的范围内，采集定向岩心样品数量 6~8 个，岩心样品均匀分布在采点中。

5.5 辅助测试参数要求

为了获得岩石样品的载磁矿物及磁畴状态，每种岩性每 100 个岩心需要测量 1 条磁滞回线和 1 条磁化率-温度曲线。如果岩心少于 100 个，则每种岩性需要测量 2 条磁滞回线和 2 条磁化率-温度曲线。

5.6 标本的采集

5.6.1 样品的采集方法

具体有两种方法：

（1）使用轻便取样钻机采集岩心。岩心钻机钻到要求的深度后，拔出钻头，插入岩心定向器，使磁罗盘紧靠定向盘的一边，转动定向器使罗盘处于水平状态。此时可读出岩心反倾向的方位及倾角。同时在定向器定向槽内,用黄铜丝在岩心上刻画出反倾向线（即基准线）,然后取出岩心，标记出向下的箭头标。岩心在实验室内加工成 2.1cm 长的圆柱状岩心样品。有的定向器的刻槽表示走向或倾向（走向与图 1 中的 X 方向在水平面投影上相垂直；反倾向与图 1 中的 X 方向在水平面投影上相反），用时需加注意。当 Φ2.5×2.1cm³ 圆柱状样品顶面的反倾向线及上下标线确定后，岩心样品的坐标系就确定了。反倾向线为 x 轴,向下标线为 z 轴（图 1，图 2a）。如果是切割成正方体形状的样品，亦要清晰标记 x 轴（通常为正北方向）与 z 轴，即实验室内位置与野外定向标记（图 2b,2c）。

采样钻头必须使用无磁的合金钻头。

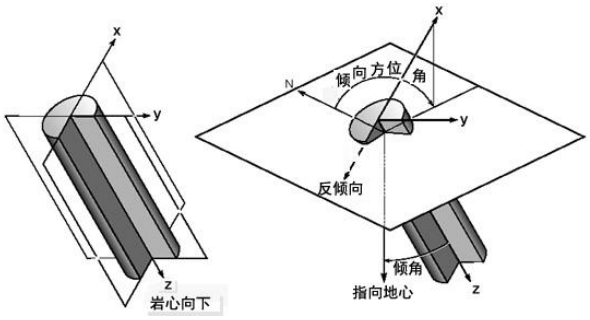

图 1 岩心坐标系

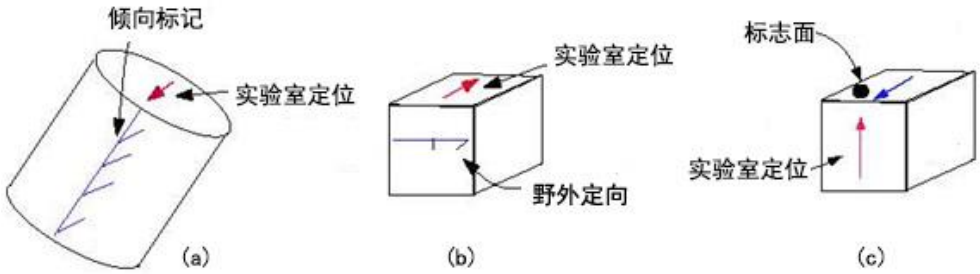

图 2 样品定向方法与定向标记

（a）圆柱形岩心样；（b）手标本方块样；（c）任意面样

（2）手标本法。该方法的取样面定向的方法有两种。①自然方位法：用于无层面的火成岩或层理不清的火成岩,其做法是修凿出一个 20×20cm^2 的水平面，然后在水平面上画出多条南北方向线，标记北方向，以便于室内钻取样品或切割样品。②任意面产状要素法：在取样面的标志面上，标出多条倾向线，并测量出其倾向的方位及倾角。在室内垂直于标本的标志面钻取圆柱样品或切成立方体样品时,要保存原标本的标志面，或切得与其相平行的面作为标志面。标志面上的倾向线,在样品上就是其样品坐标系的 x 轴，标志面向下方向就是样品坐标系的 z 轴，y 轴依右手坐标系即可确定在样品上。取定向样品的同时，还需测量采样点附近地层的产状要素：倾向及倾角，以备坐标转换之用。

5.6.2 采样点的选择

确保采样时选取新鲜部位的露头岩石，且露头未经移动。火山岩往往会形成高山。避免在山顶取样。在严重覆盖地区或人文活动较多的地段，如采集第四纪火山沉积物样品时，切不可受人工堆积物的干扰，应避开曾有人工堆积物的露头。一般在河床、陡崖、公路、采石场等处较合适。

6 测量磁化率各向异性的仪器

测量仪器需要达到以下指标：（1）重复精度为±0.2%，并且配有串行接口，可与微机联机；（2）体磁化率灵敏度优于 3×10^{-8} SI；（3）工作磁场强度大于 200A/m。

目前绝大多数工作者都使用卡帕桥磁化率仪。卡帕桥磁化率仪是一种利用磁感应法测量岩矿石及其他材料磁化率与磁化率各向异性的仪器。与无定向磁力仪测试磁化率各向异性时做法相同，为了提高测量精度、减小测量误差，取 15 个测量位置，即取得 15 个方向的磁化率，然后利用最小二乘法原理得出 6 个独立分量的统计平均值，实际工作中，磁化率仪基本上都是自动换位置，测量时只需三次更换样品位置。以捷克 AGICO 公司生产的 MFK1 卡帕桥磁化率仪为代表，该仪器灵敏度较高，重复精度达±0.2%，并且配有串行接口，可与微机联机，操作使用也很方便。

测量仪器 2 米范围内不得出现铁磁性物质。仪器在测量过程中，每天对仪器至少进行 1 次标定。

7 磁化率各向异性的统计方法

对得到的磁化率各向异性数据，可以使用 Fisher 统计法或者 Jelinek 张量统计法进行统计。其中，如果使用 Jelinek 张量统计法，应利用各个样品的平均磁化率，对各自的磁化率张量进行归一化处理（附录 B）。实际操作过程中，该统计方法与 Fisher 一样，基本都集成在计算机内，只需软件操作即可完成。

8 成果编制

8.1 原始资料检查

8.1.1 野外调查工作完成后，应开始原始资料的检查工作。

8.1.2 磁化率各向异性测量数据检查比例为 10%。

8.1.3 原始资料应包括文档资料、技术资料及野外核查资料。

8.2 成果图件

一般以 1：50 000 地质图作为底图，完成调查区磁化率各向异性特征参数的分布等。主要应包括但不限于以下图件：

（1）Flin 图（即磁面理-磁线理图）；

（2）Day 图（即 Hcr/Hc-Mrs/Ms 图）；

（3）以 1：50 000 地质图作为底图的磁面理、磁线理的赤平投影图；

（4）磁化率-温度变化图；

（5）磁滞回线图；

（6）所有采点的磁化率主轴赤平投影统计图及采点位置图。

需要提交的表格包括：

（1）所有的磁化率各向异性采点信息表；

（2）采点主磁化率方向 Jelinek 统计表；

（3）采点磁化率各向异性参数统计表（附录 C）。

附 录 A

（资料性）

火山岩磁化率各向异性采点信息表

采点号	露头描述	样品形状/体积	经纬度	岩心号	磁罗盘读数		太阳罗盘读数		
					倾角	倾向	测量时间	阴影与磁北夹角	倾角

注：露头描述应包括岩性、简单矿物组成、风化程度、照片编号等；在利用太阳罗盘测量时，测量时间需精确到分。

附 录 B

（资料性）

采点主磁化率方向 Jelinek 统计表

采点号：					
岩心数量：					
主磁化率轴	值	倾向（地理坐标）	倾角（地理坐标）	95%置信区	置信角度
k_1					
k_2					
k_3					

附 录 C

（资料性）

采点磁化率各向异性参数统计表

采点号：		
岩心数量：		
参数名	平均值	标准差
平均磁化率值 k_m		
磁线理 L		
磁面理 F		
磁各向异性度 P_j		
磁化率椭球体形状因子 T		