

高精度磁法勘探

П.С.列维亚金
〔俄〕 В.В.勃罗多沃伊 著
Э.А.列维亚金娜

地质出版社

46188

P631.2
c04

高精度磁法勘探

〔俄〕 П.С.列维亚金
B.B.勃罗多沃伊 著
Э.А.列维亚金娜

427/13

郭武林 译
张昌达 校
陆 波



200401617

地质出版社

内容提要

本书讨论了高精度磁测在研究弱磁异常地质体时的应用情况。阐述了有关地面和航空磁测工作方法、磁异常结构与地质体特征的关系（地质体决定了铜、多金属、石油等矿产的赋存位置）等。书中介绍了用计算机处理观测结果的方法，指出了高精度磁法勘探的发展前景。

本书适用于从事矿产普查的磁法勘探技术人员和地质人员参考。

П. С. РЕВЯКИН

В. В. БРОДОВОЙ

Э. А. РЕВЯКИНА

ВЮСОКОТОЧНАЯ МАГНИТОРАЗВЕДКА

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НЕДРА» 1986

高精度磁法勘探

П. С. 列维亚金

〔俄〕 В. В. 勃罗多沃伊 著

Э. А. 列维亚金娜

郭武林

张昌达

陆波

译
校

责任编辑：曹玉

地质出版社出版

（北京和平里）

地质出版社印刷厂印刷

（北京海淀区学院路29号）

新华书店总店科技发行所经销



开本：850×1168¹/₃₂ 印张：8.375 插页：2页 字数：221000

1991年4月北京第一版·1991年4月北京第一次印刷

印数：1—1000册 国内定价：7.00元

ISBN 7-116-00815-2/P·697

译 者 的 话

70年代以来，磁法勘探这个拥有长达半个多世纪的古老物探方法，正经历一次新的开拓和突破。其主要标志是磁法研究课题朝着两个方向迈进：一个方向是开展对区域磁异常或长波磁异常的研究，从地壳大范围磁场构造及其形成机制入手，研究深部构造，着眼点是透过浅部看深部；另一个方向则是通过对地表微弱磁场的研究，着重了解地表浅部微磁场变化和磁性结构特征。这时传统的“无磁性”岩石、甚至地表疏松层的磁性变化已不再可忽略。这种研究使许多地质命题的解决上升到一个崭新的阶段。

近几年来，高精度磁测在国内外广泛开展，并已在金属、非金属以及油气、煤炭地热的勘查、水工和考古、地震预报等地质勘探的各个领域取得了成效。本书是目前论述高精度磁法勘探原理和方法技术、实际应用方面较为系统、全面的一本专著。作者是具有丰富实践经验的专家和学者。书中在阐明浅层岩石和疏松层磁性结构变化及其机制方面有特别之处，值得我国借鉴。由于原书中第一章高精度磁力仪的内容，对于我国目前仪器研制水平来说，参考价值不大，故译著中予以删去。

本书译出后由陆波作第一次校对并清稿，张昌达作了逐字逐句的复校，手稿最后经管志宁审定。译者在此向他们表示深切的感谢。

目 录

前言	1
第一章 使弱磁场复杂化的地质和物理因素	3
1.1 地磁场结构和要素	3
1.2 地球表面地形引起的磁效应	4
1.3 不同地球化学条件下, 土壤和风化壳的磁性、磁效应	11
1.4 地磁场变化	28
1.5 工业干扰影响	34
第二章 高精度磁测方法	40
2.1 高精度磁测的主要类型、阶段及比例尺	40
2.2 地面高精度磁测方法	42
2.3 高精度航空磁测方法	52
2.4 应用电子计算机对磁场观测结果进行数据处理	56
第三章 弱磁性岩石和矿物的磁性	68
3.1 岩石和矿物的磁性	68
3.2 研究岩石及矿物磁性的方法	87
3.3 研究岩石和矿物磁性的仪器	91
第四章 不同地质条件中的磁场结构及岩石磁性	95
4.1 含铜和多金属矿化的区域	95
4.2 含碳沉积建造岩石发育区	142
4.3 含铜砂岩成矿区红层岩石磁性	163
4.4 粗面安山岩建造的岩石磁性	169
4.5 深成建造岩石的磁场和磁性	172
4.6 弱磁性矿及非金属原料的磁性和磁场	228
第五章 高精度磁测今后的发展方向	253
结论	257
附录	259
参考文献	260

前 言

磁法勘探，是应用地球物理学的主要方法之一。实际上磁法勘探已应用了半个多世纪。在此期间，A·A·罗伽契夫、Ю·С·格列鲍夫斯基、Д·С·米可夫、К·П·索柯洛夫、В·Н·斯特拉霍夫、Ю·П·塔菲也夫、С·В·沙拉也夫、Б·Я·扬诺夫斯基等人，为各种矿产普查及地质填图，制定了磁法勘探的应用方法，并研究了推断解释中的基本理论问题。磁法勘探已经成为了一种了解地球内部情况的强有力手段，其应用前景在不断扩大。

在现阶段，磁法勘探的主要问题，乃是提高工作质量及其经济效益和地质效果。这个问题的解决，与高精度磁测方法的建立和发展、新的高精度磁力仪的研制等有密切关系。在这方面作出贡献的有：В·П·帕克、Г·К·日罗夫、В·С·齐列利、А·Я·罗特什捷英、Н·М·波麦兰采夫、Г·В·瓦休托奇金等人。高精度磁法勘探的目的是发现并研究引起强度为1—30nT异常的弱磁性地质介质。毫无疑问，在研究磁性体上观测到的强磁异常时，还需要提高方法的分辨能力。

在磁法勘探中，根据利用不同级精度仪器所积累的经验，可将磁法测量分为四种主要类型：(1) 强磁体低精度磁测（观测均方误差为15nT以上）；(2) 中等磁性体中精度磁测（均方误差为5—15nT）；(3) 弱磁体高精度磁测（均方误差为5nT以下）；(4) 弱磁体特高精度磁测（均方误差为0.2—1.0nT）。

高精度磁法勘探的应用和推广，对一系列传统地质任务的解决能力上升到一个崭新的阶段。它为弱磁性沉积岩、火山沉积岩、火山岩、深成岩和变质岩的岩性划分，提供了广阔的前景。假如在以前，对上述岩性的地质填图，仅当其磁化率达到 $50 \times 10^{-5} \text{SI}$ 单位时才有可能，那么在采用高精度磁测时，则可揭示 $\kappa =$

($5\sim 10$) $\times 10^{-5}$ SI单位的地质体。同时,对火山岩、火山沉积岩、沉积岩(碳酸盐岩和陆源沉积岩)、岩浆岩(花岗岩类)等的热液蚀变带弱磁体的研究成为新的可能,而热液蚀变带,无论在空间上或者成因上均与铜、多金属、金、锡、钨、稀有金属、铝土矿及其他金属矿的许多矿床有联系,从而扩展了磁法勘探对金属矿直接找矿的应用。其中还应包括:弱磁性铁矿(赤铁矿、假象赤铁矿、菱铁矿、针铁矿等)、铝土矿、含金刚石的 金伯利 岩、沉积型锰矿、有色和稀有金属硫化矿、钛磁铁矿、钛铁矿、含金、锡和钨的砂矿等。

对非金属矿床的构造和地层的研究效果也有明显的提高。对杂刚玉(刚玉和磁铁矿的天然混合物)矿层、石英脉中的晶洞带、变质超基性岩中的纤维蛇纹石-石棉矿、磷灰石-磁铁矿矿体、含磷灰石碳酸盐岩、霞石正长岩体、喀斯特溶洞中的次生磷灰岩、蔷薇辉石层等都可观测到弱磁异常。高精度磁测同样用于研究含油气盆地、圈定远景含油区及某些石油构造;在水文地质、工程地质和考古发掘,以及其他国民经济领域内也进行着研究。

本书主要注意力集中于:高精度磁测方法在地质方面的应用前景、磁场和磁异常与典型地质条件间的关系、分析特定地质过程对岩石磁性的影响,以及因此而出现的磁异常结构和强度特点。从广泛的问题中,着重探讨在黑色金属、有色金属和某些稀有金属、贵金属、铝土矿、石油等矿产普查中,以及在研究它们的围岩地质建造中如何增大高精度磁法勘探的地质效果问题。还阐述了在工程地质、水文地质勘察及其他方面高精度磁法勘探的应用问题。

书中引述了反映作者在不同地区(哈萨克斯坦、乌拉尔、中亚细亚、巴什基里亚、克里米亚等地区),应用高精度磁法勘探的个人经验、素材及文献资料。

本书撰写者:前言由B·B·勃罗多沃伊、П·С·列维亚金;第1、6章由B·B·勃罗多沃伊;第2—5章及结论由П·С·列维亚金和Э·А·列维亚金娜。其中2.5、3.1~3.3各节由B·B·勃罗多沃伊执笔;而5.6节由B·B·勃罗多沃伊和П·С·列维亚金执笔。

第一章 使弱磁场复杂化的地质和物理因素

高精度磁测研究弱磁场和异常的结构及强度的应用经验表明,使磁场复杂化的因素有地质的(地形、微地形、磁性不均匀的土壤和风化壳)及物理的(地磁场变化、工业成因的电磁场)二种。这些因素产生的磁效应,包含在地磁场的高频范围内,而在弱磁性地质介质中,当其大小为1—30m时,幅值为1—5nT。自然,在以0.1—1.0nT的灵敏度记录磁场 ΔT_a 时,要求提高选择高精度磁测的应用条件,并要求消除弱磁场研究时的干扰影响。下面来讨论地面地形变化所引起的磁效应,不同磁化率土壤层不均匀性所产生的弱磁异常的结构和强度,土壤和风化壳的磁性,高精度磁测应用的地球化学景观条件等。

在谈及上述问题之前,先来确定地磁场一般结构和要素中弱振幅场和干扰场的位置。

1.1 地磁场结构和要素

地球表面及其邻近空间的磁场测量表明,地磁场与假设置于地心的磁偶极子场 T_d ,具有一级近似的特征[22、25、50]。磁场要素是磁场强度 T 及其分量 X 、 Y 和 Z 。测量磁场 T 表明,磁场强度是矢量和 $T=T_0+T_a+T_e$ 。式中: T_0 ——磁场; T_a ——偏离 T_0 的异常磁场; T_e ——电磁成因的外磁场[50]。

在实际高精度磁测中测定的是 T 的模量。 T_0 的模量值从正常地磁图上查得。 $T_a=T-T_0$ 或近似有 $T_a\approx(\Delta T)\cos\alpha$ 。则 $T_a=T-T_0$ 。若假定 T_a 取相对为零值的正常场,可写成 ΔT_a 。 T_e 值利用高精度磁变站的观测值进行改正。

1.2 地球表面地形引起的磁效应

在弱磁性[$\kappa \approx (5 \sim 50) \times 10^{-5}$ SI单位]及磁性差异不大的地层条件下,由高精度磁测获得的磁场,受到地球表面不平、基岩起伏和磁敏变换器相对观测面位置变化等有关因素的干扰影响而复杂化了。因此,使研究地段的地质构造磁性物质分布概念受到歪曲。这些异常干扰可以称为假异常,就是说它们并不反映岩石磁性的实际变化,它们甚至可以出现在磁性均匀的地磁剖面上。

实际条件下测得的磁效应

现以具有弱磁性[$(10 \sim 50) \times 10^{-3}$ A/m]的或具有均匀磁化的磁性岩石,磁化方向和大小相同地段为例,来研究一下某些基本地形(山脊、河谷及台阶)上所测得的磁效应。

图1和图2所示为 ΔT_a 的地面磁测剖面,该剖面由含金硫化物矿床相对复杂的地形所组成。图中画出了当 $J_z = 10 \times 10^{-3}$ A/m时,由地形引起的磁场垂直分量Z的断面等值线图。这些剖面的地形有以下特征:5号剖面是各种不同倾角的台阶组合;2号剖面是平缓谷缘;9号剖面是矮山脊,向升起的斜坡过渡(见图1),而5号剖面为形态复杂缓慢升起的地形(见图2)。

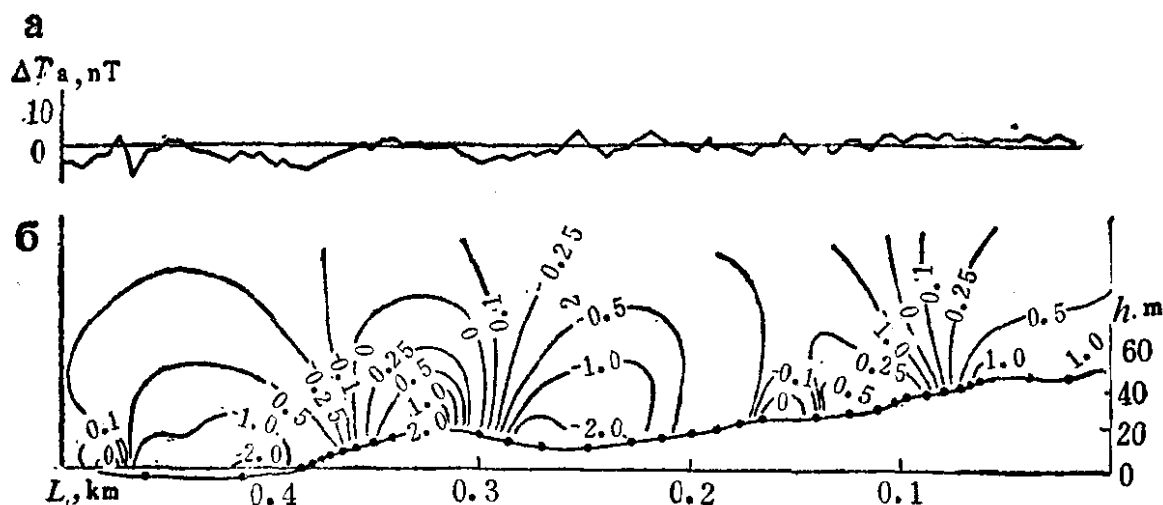


图 1 含金硫化物矿床9号剖面

(a) ΔT_a 磁测曲线; (b) 据地表地形计算的Z断面等值线

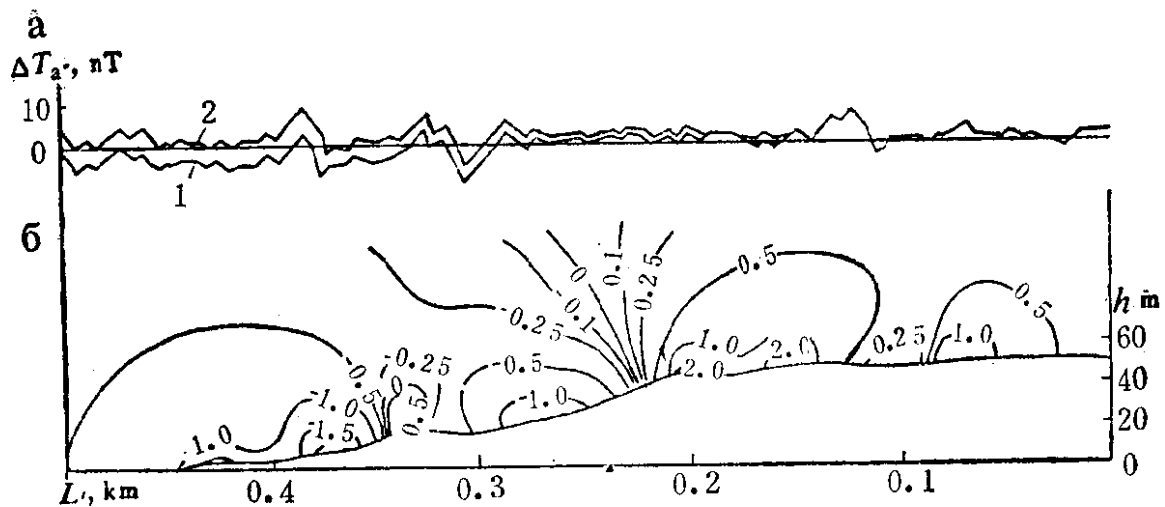


图 2 含金硫化物矿床5号剖面

(a) ΔT_z 磁测曲线；(b) 据地表地形计算的Z断面等值线
1—实测 ΔT_z 值；2—地形影响改正后的 ΔT_z 值

计算了剖面上岩石的Z分量理论效应，磁化强度变化范围为 $(7 \sim 12) \times 10^{-3} \text{A/m}$ 。为便于计算，取平均磁化强度值为 $10 \times 10^{-3} \text{A/m}$ 。设 J_n 值等于 J_i 值。各点上测定的 J_n 的向量方向变化十分规则和集中，并接近于 J_i 的方向。

磁场理论计算值形态和强度变化的分析表明，磁场Z与地形高度h及其形状有一定的关系。磁场的最大变化对应于凸起（正异常）和凹地（负异常）。对倾角为 20° 、高度为10m的缓坡，磁场强度由-2变至2nT。在地形变化单一的地段， ΔT_z 短周期锯齿形异常带，系由某种磁性不均匀的岩石所引起的。这种异常叠加在与地形有关的长周期异常上，在地形坳曲的极值点之上，出现超过磁场短周期变化的异常。分析地形谱及其上的磁场谱，可以求得对应性更严格的证据。对地形谱以及与其对应的磁场谱进行研究，可以发现地形谱函数密度与磁场谱密度极值之间，在f低频段有对应性（见图62）。此处，f是地形h或磁场 ΔT_z 函数的傅立叶调和级数展开式中周期的倒数。总之，是相应不均匀性线度的倒数。

谱函数的吻合具有规律性特征。这种规律性在其他复杂因素条件下，可能在地形高度h和磁场 ΔT_z 之间的相关关系解析中出现。

在大范围内，可以根据含金硫化矿床地段上的地形所计算的 Z 分量理论场形状，来评价磁场结构和强度的变化情况。磁场换算到地形表面之上10m高度处。设岩石具有垂直、均匀磁化的磁化强度，其值为 $10 \times 10^{-3} \text{A/m}$ 。地形倾角为 5° 至 20° 。计算资料表明，变化不大的山脊和山谷组合，从磁场结构看，与长周期范围内的实测 ΔT_a 场形态的强度变化一致。假异常的幅度可达 $2 \sim 5 \text{nT}$ ，并可与含金硫化矿床交代带所产生的有用异常信息相比拟。对地形切割条件下（高山区、凹地、露天采场台阶）所进行的高精度磁测，考虑地形影响有极大的意义。现举例说明。

在平均磁化强度高（ $500 \times 10^{-3} \text{A/m}$ ）的辉绿斑岩次侵入体发育地段的黄铁矿型铜-锌矿床 I 号露天采场上，通过 ΔT_a 测量，显示出采场阶地影响很大（图3）。由磁异常曲线可见，每个露天采场台阶，都呈现出典型的“接触带”状 ΔT_a 曲线；而且，由地形变化引起的磁场变化，达 600nT 。此种假异常带的宽度为 $10 \sim 25 \text{m}$ 。由采场台阶引起的异常变化，大大超过了由岩石不均匀性所产生的效应。图4是一组冲沟之上的 ΔT_a 异常变化。用M-33磁力仪对三个磁敏变换器高度（1、2、3m）位置进行磁场测量。当变换器高度为2m时，异常强度达 30nT ；高度为1m时，达 60nT 。随着地形坡度的减小，异常强度随之减弱。在弱磁性〔 $J = (10 \sim 30) \times 10^{-3} \text{A/m}$ 〕亚粘土冲沟上，观测到类似的磁场变化特征，只是异常场值较小而已。

由上述例子可见，在弱磁性〔 $J = (10 \sim 20) \times 10^{-3} \text{A/m}$ 〕岩石条件下，测得的磁场 ΔT_a ，经常由于地形影响而使场的分量复杂化。假异常强度很大，以致在高精度磁测中，必须将其消除。

最简单模型的理论效应及地形影响计算方法

下面讨论一组地形模型的磁场 Z 分量空间分布特征。地形模型在 xOz 垂直截面上有山脊、山谷和台阶的形状，倾角 α 为 5° 、 10° 、 15° 、 20° 、 25° 、 30° 、 35° 和 90° （对台阶）。该组模型的磁场理论计算由电子计算机完成。B·K·伊万诺夫在1974年进行了类似的计算。岩石磁化强度向量 J 方向在 xOz 平面内，取垂直或

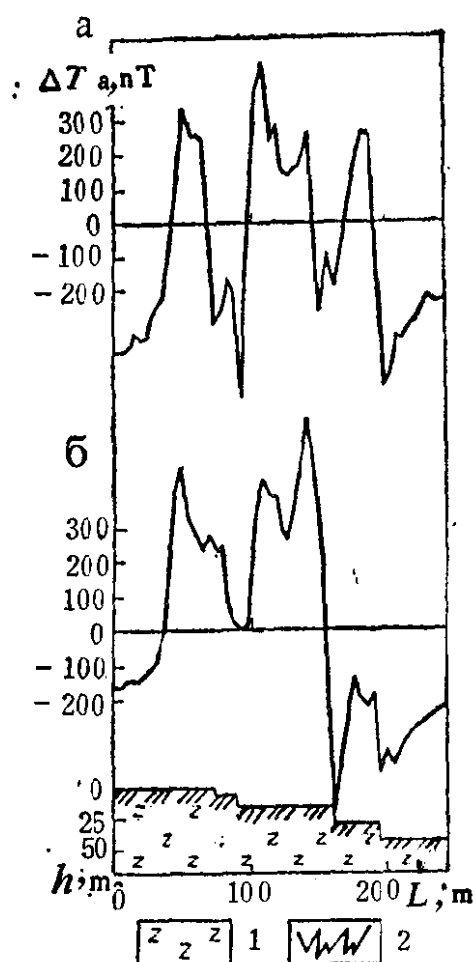


图 3 在黄铁矿型铜-锌矿床 I 露天采场的台阶上, I 号剖面

(a) 和 II 号剖面 (b) 的 ΔT_a 异常变化 (据 B·II·特里波利斯基的资料)

1—辉绿岩; 2— ΔT_a 曲线

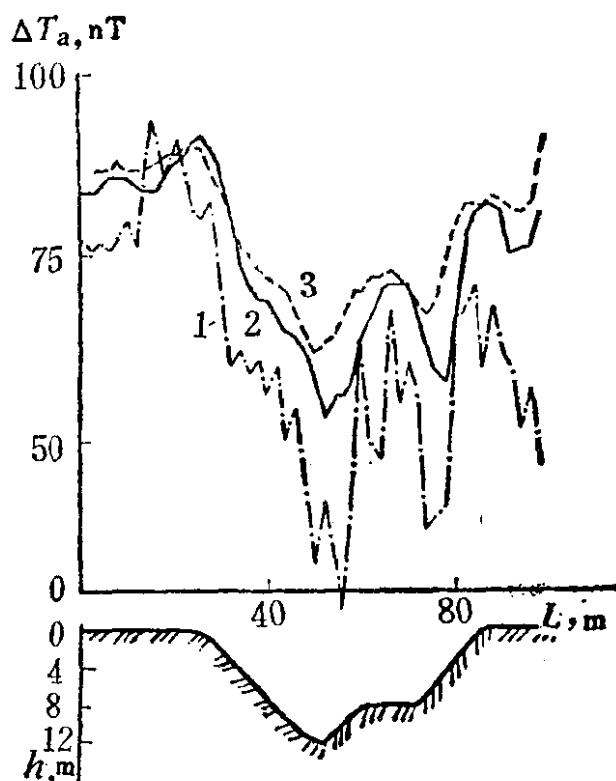


图 4 在冲沟上常测得的 ΔT_a 磁异

磁敏变换器高度:

1—1m; 2—2m; 3—3m

倾斜角 (i 等于 90° 、 75° 、 60°), 强度为 $10 \times 10^{-3} \text{ A/m}$ 。一般情况下, J 的有效磁化强度值等于岩石磁化强度向量 J_0 在地形构造走向垂直平面上的投影。 J 值及其倾角由下式求得:

$$J = J_0 \sqrt{\sin^2 i_0 + \cos^2 i_0 \sin^2 (A - D)}$$

$$i = \arctg[\sin i_0 / \cos i_0 \sin (A - D)]$$

式中: A —— 地形走向方位角; D —— 偏角; i_0 —— 向量 J_0 的倾角。

图 5 中给出 $\alpha = 30^\circ$ 和 $i = 90^\circ$ 时, 地形模型上的磁场结构特征。对山脊最高点和山谷最低点求得的异常幅度 $|Z|/J$ 与地形坡度的关系示于图 6 中。

当 $h_0=0.8\text{m}$ 和 $L=100h_0$ 时,地形范围为 $\frac{L}{4}$ 内的偏离非线性度为 $5\sim 15h_0$ 时,在地形弯曲点上出现较明显的磁场变化。

在研究由均匀磁化弱磁性($J_z=10\times 10^{-3}\text{A/m}$)岩石所组成的正、负规则几何地形时,若 $\alpha=30^\circ$ 、 $L=100h_0$ 和 $L_1=50h_0$ ($h_0=0.8\text{m}$,为磁敏变换器在翼部上的高度),则假磁异常的绝对值为:在山顶为 6nT ;在谷底为 8nT ;在台阶上、下沿各为 2 和 4nT 。此种异常强度可与被研究的岩石引起的磁场相同或更高。对于中等倾角的地形($10\sim 20^\circ$),假异常可与高精度磁测误差($2\sim 3\text{nT}$)相比拟,但高于特别高精度磁测的误差($0.5\sim 1.0\text{nT}$)。

在实际情况下,极少见到正、负规则的几何形体地形,一般只能标出山顶和谷底,这就减少了地形对高精度磁测的影响。与磁力仪磁敏变换器位置的高度比较,在地形模型的 L 值减小时,假异常迅速衰减。例如,在 $L=3h_0$ ($\alpha=30^\circ$ 、 $J_z=10\times 10^{-3}\text{A/m}$)时,山脊模型上的异常强度接近 0.8nT ,山谷约为 1.75nT ;在 $L=1h_0$ 时,在同一地形模型上的异常强度减至 0.3nT 。由此得出结论,当磁敏变换器位置在高度 $h_0>L$ 条件下,对弱磁性介质进行填图时,实际上消除了微地形起伏对观测结果的影响。这时的地形影响出现在 ΔT 磁场谱的最高频段的部位。

因此,当进行高精度磁测时,即使在弱磁性地质环境中,进行地形改正也是必要的。在坡度呈单调变化的地段,可根据磁场幅值与测点高度的近似线性关系,来进行地形改正。例如,对含金硫化矿床地段, $\Delta T_s(h)$ 的经验关系,根据最小二乘法二阶多项式进行插值。图7引入按(2.2)式对不同地段求得的这种关系曲线: $\Delta T_s=1.99+2.72h-0.08h^2$ (剖面9)和 $\Delta T_s=-0.24+5.36h-0.03h^2$ (剖面5)。拟合误差为 $\pm 0.8\text{nT}$ 。

拟合曲线与实验点的均方误差不超过 $0.8\times 10^{-5}\text{nT}$ 。相关曲线可以用于在坡度单调变化范围内,进行地形的近似改正。图2中给出了按图7相关曲线,进行地形改正后的磁场 ΔT 图。不过,这种地形改正方法不能用来消除地面挠曲或拐点附近的地形

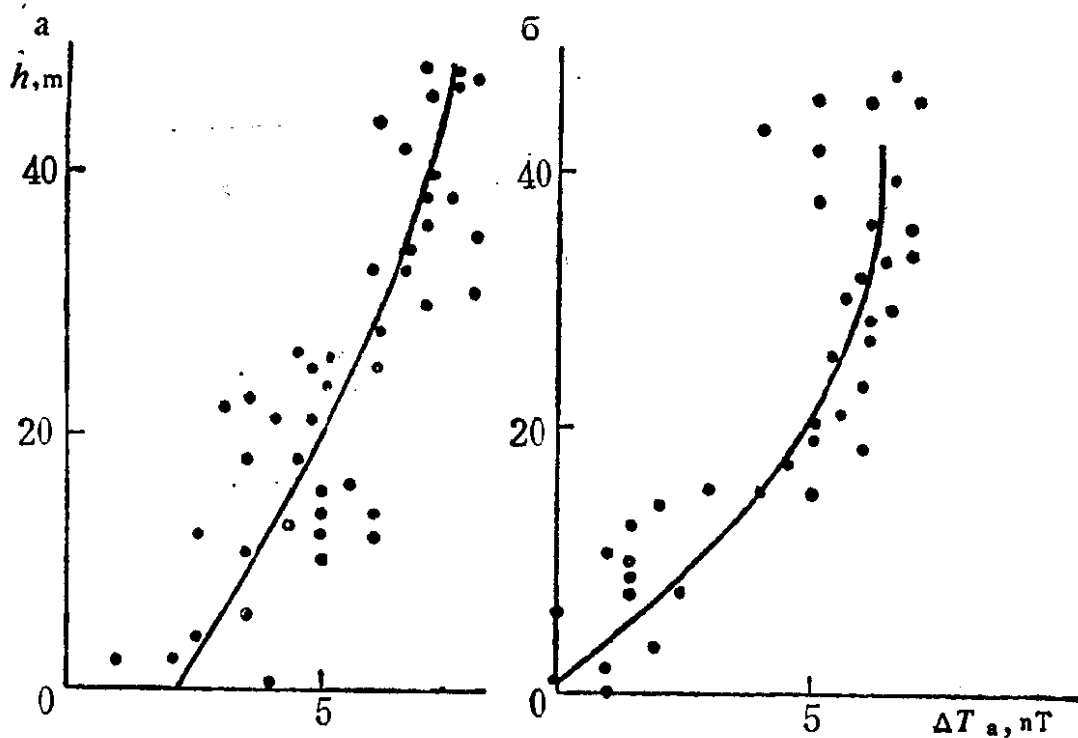


图 7 含金硫化矿床 9 号剖面

(a) 和 5 号剖面 (b) 的磁场 ΔT_a 与地形高度间的经验关系

影响。这种部位的地形改正可根据与图 6 相类似的曲线进行, 以及利用关系式: $Z/J = f(h/h_0)$ 来进行。该关系式极易建立。对剖面或面积的曲线和改正值计算, 可根据 A·A·格罗兹诺娃、И·А·涅波姆亚希耶、B·H·亚科夫列夫的程序来进行。该程序可以矩形或多角棱柱体逼近、任意形状斜磁化体的计算磁场 T 或其分量。当对高精度磁测资料, 按 3.2 节所述作自动处理时, 对计算值 T_a 或 ΔT_a 的地形改正, 可借助专门的 РЕЛЕФ 模件, 用类似于重力勘探计算地改的方法来进行。Г·Г·列姆佩列提出了与 РЕЛЕФ 模件中相类似的方法, 按此方法:

$$Z_p = \frac{2\pi J}{n} \left(\frac{\Delta h}{\sqrt{\Delta h^2 + r_1^2}} - \frac{\Delta h}{\sqrt{\Delta h^2 + r_2^2}} \right) \quad (1.3)$$

式中: Δh ——测点和量板环形扇面中心点之内的高差; r_1, r_2 ——量板环带的内外半径; J ——磁化强度; n ——量板区带数量。

1.3 不同地球化学条件下，土壤和风化壳的磁性、磁效应

在南、中哈萨克斯坦、矿区阿尔泰及北、南乌拉尔的一些矿区开展的高精度磁测结果发现，M-33 磁力仪的磁敏变换器在 0.2~0.8m 高度上记录到了半周期为 1~2m 的 ΔT 场高频分量， $\Delta T_{\text{max}} = 2 \sim 5 \text{ nT}$ ，该分量按短周期变化改正后也未消失。它也不是磁敏变换器定向误差所引起的。对这种异常的性质进行研究之后确定，它们是由土壤上层的磁性不均匀性，以及土壤底、顶面的微地形所引起的，个别情况下可以认为场源是风化壳的磁性不均匀性。

分析一下形成于金属矿区各种不同的，但典型的地球化学景观中土壤和风化壳磁性特征，同时评价其所引起的磁效应、磁场微结构特征及高精度磁测造成的误差等。

土壤是岩石圈的顶层，并在植物参加下进入生物圈中。A·И·佩列利曼将土壤划分为残积的和超淋溶的两种。在潜水面很深的情况下，在分水岭和山坡上形成残积土壤。属于这类土壤的有黑土、栗色土、灰化土、碱土等等。超淋溶土壤在潜水面(1~2m)附近形成。属于这类土壤的有碱土、沼泽土、草甸土等。由于土壤的堆积作用和淋滤作用，土壤中形成了几个层位，并根据化学成分和矿物成分及其中所进行的物理化学过程的特点来进行区分。土壤层的组合构成了土壤剖面。土壤剖面有以下各层：A₁ 层——腐殖层，由腐殖质堆积而成，是一种黑色胶状有机物；A₂ 层——淋滤层，以化合物的迁移程度来区分；B 层——淤积层，即来自上层淋滤或冲刷的化合物富集层；C 层——形成土壤的原生岩石。上述层位序列说明了土壤的后成分带性，通常堆积在 1~2m 的地表范围。

不同类型土壤的分带性有下列特征。在南乌拉尔的阿达莫夫花岗岩体风化壳中的脱碱化黑土层，从上到下有 下列 层序：A_n

(厚0~2cm)——草甸土(粗粒腐殖质)。 $\kappa=60 \times 10^{-5}$ SI单位;
 A_1 (2~10cm)——深灰腐殖土。 $\kappa=140 \times 10^{-5}$ SI单位; A_1B (10~20cm)——褐灰腐殖土。 $\kappa=(140 \sim 175) \times 10^{-5}$ SI单位; A_1B_K (20~40cm)——红褐色含碳酸盐的腐殖质流浆层。 $\kappa=175 \times 10^{-5}$ SI单位; B_K (40~75cm)——褐红色含碳酸盐、保持花岗岩局部结构的土壤层。 $\kappa=180 \times 10^{-5}$ SI单位; BC_K (75~100cm)——红褐色夹浅灰色,含碳酸盐地区,保持良好地花岗岩构造,属风化壳的无结构土壤层。 $\kappa=55 \times 10^{-5}$ SI单位; C_K (100~200cm)——花岗岩风化壳的结构土壤层。 $\kappa=12 \times 10^{-5}$ SI单位; C (200~230cm)——火红色赭石斑点的弱风化花岗岩。 $\kappa=10 \times 10^{-5}$ SI单位。 A_1 、 A_1B_K 、 B_K 各层中的磁铁矿含量达0.3~0.5%。

风化壳(残积层),是残留在风化部位岩石变化的产物。现代风化壳由通过土壤淋滤的溶液而形成,其主要成分为有机物(碳酸气、有机酸)分解的产物。

由于气候因素各异,原生岩形成了不同类型的风化壳:在温和潮湿气候条件下,由硅酸盐岩石形成酸性水云母型风化壳;在干旱草原地带,由玄武岩形成碳酸盐型风化壳;在高山地带形成屑碎型风化壳;在热带、亚热带潮湿气候条件下,形成最厚的风化壳。例如,奥尔斯科的扎乌拉尔花岗岩类岩块的中生代高岭土-水云母风化壳及滨海花岗岩的水云母-高岭土型风化壳等。

如同土壤一样,风化壳垂直剖面也具分带性。一般由以下各带组成:弱风化岩石带、风化赭色产物的结构和无结构带。岩石形成的风化带厚度可达1~30m,而且不同类型的风化壳可以有不同的层数及成分变化。奥尔斯科的扎乌拉尔花岗岩类岩块的高岭土-水云母型风化壳剖面,自下至上由下列各层组成: C_1 层——由带浅灰花岗岩层的风化花岗岩层、弱风化侵蚀层(厚度450~350cm)、风化花岗岩层(350~240cm)及含赤褐色赭石的易碎花岗岩层(240~210cm)等所组成。 $\kappa_{cp}=(24 \sim 18) \times 10^{-5}$ SI单位; $C_K + BC_K$ 层——浅黄赭色的(210~100cm)和红带浅灰白色的(100~70cm)、具花岗构造的风化产物。 $\kappa_{cp}=(6 \sim 12) \times 10^{-5}$ SI