

磁通门式磁力梯度仪 与磁场梯度测量

秦葆瑚 吴天彪 著

地质出版社

内 容 提 要

本书简要地介绍了磁通门式磁力梯度仪的原理、结构、性能、调节及使用方法等。对磁场梯度测量在磁法勘探中的应用、铁矿上的试验结果以及在基建、国防、医疗等领域的应用情况也作了介绍。着重点在于普及推广磁梯度仪这种新仪器，以及地面磁场梯度测量技术和解释推断方法。可供广大物探、工程技术人员及地质院校物探专业师生参考。

磁通门式磁力梯度仪与磁场梯度测量

秦葆珊 吴天彪 著

地质矿产部书刊编辑室编辑

责任编辑：曹玉

地质出版社出版

(北京西四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本：850×1168¹/₃₂ 印张：5 字数：128,000

1985年6月北京第一版·1985年6月北京第一次印刷

印数：1—990册 定价：1.45元

统一书号：13038·新147

前 言

在磁法勘探中，用磁场梯度测量有可能解决一般磁测难于解决的某些复杂问题，可以查明场源的更多特点和细节。所以很早以前，人们就产生了测量磁场梯度的想法，但由于梯度测量要求使用高精度磁力仪或专门设计的磁梯度仪，而当时磁力仪精度不高，这一想法未能实现。直到近二十余年来，随着磁测技术的迅速发展，出现了各种高灵敏度的磁力仪和磁梯度仪，才为开展磁场梯度测量奠定了物质基础。

在国外的磁法勘探中，日益重视磁场梯度测量的应用，地面、航空、海洋上都先后开展了磁场梯度测量工作，并取得了较好效果。使用的仪器：从磁通门式梯度仪、核子旋进式梯度仪、光泵梯度仪到最先进的超导磁梯度仪等。例如：1978年英国立特莫尔科学工程公司制成一种Elsec718型磁通门梯度仪，用液晶显示读数，色带液晶显示极性，能够测量垂直分量的垂直梯度，灵敏度为每米0.5伽马。加拿大EDA公司的PPM-500型核子旋进式垂向磁梯度仪（测总量）系1981年产品，探头距1米，操作者按下读数按钮即可读数，按下记录按钮，五秒钟内即可将数据自动记录下来。全机用微处理机控制，计算和数据记录。美国瓦里安公司的V-110/V-111铯光泵地面磁梯度仪系列，探头距为2米，灵敏度达每米0.05伽马，SHE公司的超导量子磁梯度仪，灵敏度每米0.0003伽马。

用于航空磁场梯度测量的仪器，多采用核子旋进式或光泵式梯度仪，可测总场的垂向梯度或水平梯度。测垂向梯度时，探头用电缆悬吊于机外，探头高差30米，近年来，多将两个光泵磁力仪探头装在飞机尾部，高差约2米，灵敏度约为0.01伽马。加拿大地质调查所用这种装置，对各种前寒武纪地层进行了80000测

线公里的测量，其结果用彩色绘图仪以彩色等值线图的形式显示出来，成果表明磁场梯度测量的分辨能力与测量精度均较一般磁场测量高，有利于地质填图和分解复杂的磁异常。

用于海洋梯度测量的仪器，则采用两个拖于船后相距 150 米的核子磁力仪探头，灵敏度为每米 0.002 伽马。自六十年代以来，已经用在 30 多条船上进行海洋磁梯度测量，极利于远洋工作，它不受磁暴、日变和微磁扰的影响。

近年来，北京地质仪器厂与湖南地质局物探队协作，在磁通门系列产品的基础上，研制成的磁通门磁力仪，具有性能稳定、操作简便、抗干扰能力强等优点，是我国首次研制成功用于地面磁场梯度测量的仪器，能完成磁异常研究中磁场水平分量水平梯度 H_x 和垂直分量的垂直梯度 Z_x 的测量任务。自 1980 年以来，曾在山东东平、湖北鄂城、湖南黄沙坪及祁东等铁矿床上进行了近两年的试验工作，证明该仪器性能可靠，可用于磁异常较强地区的异常研究工作。

在磁场梯度测量开展以前，一般都是应用计算机或量板通过对磁场求导，以得出磁梯度值。但对计算结果进行认真分析研究以后，人们发现由于种种条件的不满足，其可靠性存在很多问题，因而降低了它的实际使用价值。因此研制磁梯度仪，进行磁场梯度实地测量是有现实意义的。为了普及磁场梯度测量知识，我们编写了这本小册子，介绍磁通门式磁梯度仪的原理、结构、性能与操作使用方法，并试图从大家熟悉的基本公式出发，着重从原理上通俗地说明磁场梯度的基本特点以及如何应用梯度测量来解决磁异常研究中的各种问题，并用铁矿床上的试验结果说明其应用效果。

磁通门梯度仪由吴天彪、庞悦、方秀琴、陈光新、曾润民、罗璞、周汉光、倪宏伟、龙昭陵、王亚珍、韩鸷翔等同志参加研制。在早期的研制工作中，丁鸿佳、叶庆华、柳忠孝、钱洪奎、张法钧等同志作了许多工作。

本书是由秦葆瑚、吴天彪为主编写的，龙昭陵、方秀琴、罗

璞参加了部分章节的编写工作。中国计量科学院金惕若同志进行了部分审稿工作，全书由武汉地质学院北京研究生部余钦范同志审定。在此一并致谢。

由于磁场梯度测量技术在我国尚处于初始阶段，实践经验尚少，再加上我们水平有限，错误难免，敬请读者指正。

单位：为与国际单位对比，将常用量的换算式分列如下：

$$\text{磁场强度(H)} \quad 1\text{Oe} = 10^3/4\pi \text{A}\cdot\text{m}^{-1}$$

$$\text{磁感应强度(B)} \quad 1\text{Gs} = 10^{-4}\text{Wb}\cdot\text{m}^{-2} = 10^{-4}\text{T}$$

$$1\gamma = 1\text{nT} = 10^{-9}\text{T}$$

$$\text{磁矩} \quad 1\text{CGSM} = 4\pi \times 10^{-10}\text{Wb}\cdot\text{m} = 10^3\text{A}\cdot\text{m}^2$$

目 录

前言

第一章 磁场梯度测量的方法原理	1
一、磁位、磁场与磁场梯度的基本关系式.....	1
二、磁场梯度异常的基本特点.....	3
三、对实测磁场梯度的基本要求.....	23
第二章 磁通门磁力梯度仪的性能、原理与结构	29
一、概述.....	29
二、磁通门磁力梯度仪探头.....	31
三、磁通门磁力梯度仪的电子电路.....	41
四、磁通门磁力梯度仪的结构.....	60
五、磁通门磁力梯度仪的误差.....	66
第三章 磁通门式磁力梯度仪的调节与野外工作方法	75
一、仪器的检查与调节.....	75
二、校正曲线及其应用.....	78
三、野外操作方法.....	83
四、磁场梯度异常的计算与各项改正.....	84
第四章 磁场梯度测量的资料整理与解释推断	86
一、磁场梯度测量的资料整理.....	86
二、磁场梯度异常的定性解释.....	87
三、磁场梯度异常的定量解释.....	91
第五章 磁场梯度测量在磁法勘探及其它领域中的应 用与实例	106
一、磁场梯度测量在磁法勘探中的作用.....	106
二、在磁铁矿区的应用实例.....	116

三、磁通门磁力梯度仪在其它领域中的应用实例	
.....	136
结束语.....	142
附录一、CTM-1 系列仪器的主要技术性能	145
附录二、利用CTM-1B型磁通门式磁力梯度仪进行标本磁参数 测定.....	147

第一章 磁场梯度测量的方法原理

一、磁位、磁场与磁场梯度的基本关系式

从磁学的研究中，人们早就知道在磁性体以外的空间中每一点都产生一个既有大小又有方向的向量场，用符号 \vec{T} 表示，称为磁场。磁场是一个有势场，其势用符号 V 表示，称为磁位。在直角坐标系中取 Z 轴垂直向下，磁场强度向量在坐标轴上的三个分量分别记为 \vec{X} 、 \vec{Y} 、 \vec{Z} 。其在 xoy 水平面上的投影记为 \vec{H} ，则 $H^2 = X^2 + Y^2$ 。磁位 V 与磁场强度在坐标轴上各分量有如下关系式：

$$X = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad Y = -\frac{\partial V}{\partial y}, \quad Z = -\frac{\partial V}{\partial z} \quad (1.1)$$

写成矢量形式 $\vec{T} = \text{grad}V = -\nabla V$

即磁场强度是磁位的负梯度。球体及各种体积有限的磁性体产生的磁场与 x 、 y 、 z 三个方向有关，称为三度体磁场。磁性体外部空间，磁位满足拉普拉斯方程：

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1.2)$$

在均匀磁化情况下，若磁性体沿 y 轴方向上无限延伸，而垂直于 y 轴方向的任意截面都相同，此时磁位和磁场与坐标 y 变量无关，仅与 x 、 z 变量有关，则称其为二度体磁场。此时，(1.2)式简化为：

$$\frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1.3)$$

考虑到

$$H = X = -\frac{\partial V}{\partial x}, \quad Z = -\frac{\partial V}{\partial z} \quad (1.4)$$

故有

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 H}{\partial z^2} = 0 \quad (1.5)$$

$$\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial z^2} = 0 \quad (1.6)$$

$$\frac{\partial H}{\partial z} = \frac{\partial Z}{\partial x} \quad (1.7)$$

$$\frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{\partial Z}{\partial z} \quad (1.8)$$

(1.7)、(1.8) 式表明水平磁场的垂向梯度等于垂直磁场的水平梯度或水平磁场的水平梯度等于垂直磁场的垂向梯度。

若磁性体沿 x 轴与 y 轴两个方向都无限延伸，如水平无限延伸的磁性界面或水平偶极层等，它们仅与 z 变量有关，称其为二度体。此时 (1.2) 式可进一步简化为：

$$\frac{\partial^2 V}{\partial z^2} = 0 \quad (1.9)$$

并有
$$Z = -\frac{\partial V}{\partial z} \quad (1.10)$$

由于磁位和磁场 Z 均与 x 、 y 无关，所以 $Z = c$ ， c 为常数。显而易见，这种情况下，其磁场梯度为零。

在磁法勘探中，通常都是测量磁场分量 Z 或 ΔT ，后者是地磁场总强度 T 与正常地磁场强度 T_0 的模量差， $\Delta T = |T| - |T_0|$ ，也可近似地看成是总异常强度 T_a 在 T_0 方向的投影，即 $\Delta T = T_a \cos\beta$ 。于是可导出

$$\Delta T = X \cos I_0 \sin A + Y \cos I_0 \cos A + Z \sin I_0 \quad (1.11)$$

式中 I_0 为地磁场的倾角； A 为 y 轴与磁北之间的夹角。

如剖面与 ox 轴重合，且磁性体走向与 y 轴重合，则对二度体而言，可简化为

$$\Delta T = H \cos I_0 \sin A + Z \sin I_0 \quad (1.12)$$

当垂直磁化时， $I_0 = 90^\circ$ ，则 $\Delta T = Z$ (数值相等)。当水平磁

化时, $I_0=0$ 或 180° , 则 $\Delta T=H\sin A$ 。可见 ΔT 的特点介于 Z 与 H 之间, 与磁化方向有较大关系。本书为讨论简单起见, 着重讨论垂直磁化情况下垂直磁场 Z 的垂向梯度与水平梯度的各种特点。在这种情况下, ΔT 与 Z 具有相同的性质。

二、磁场梯度异常的基本特点

与磁场强度相比, 磁场梯度异常的主要特点有:

1. 磁场梯度能突出浅层异常, 而且与磁性体形状的关系更密切, 并受相邻磁性体的干扰小。

表 1.1 列出了各种简单形状磁性体的总磁场和径向梯度的主要特征, 可用下式表示:

表 1.1 各种简单形状磁性体的总磁场和径向梯度

磁性体形状	磁场公式	梯度公式	形状因数	备注
半空间的厚板状体(磁荷面)	$2\pi m$	0	$n = 0$	m 为单位面积的磁荷量
无限延长无限延深的薄板状体(水平单极线)	$\frac{2m}{r}$	$-\frac{2m}{r^2}$	$n = 1$	m 为单位长度磁荷量 r 为空间中任一点P至单极线的垂直距离
无限延长的水平圆柱状体(水平偶极线)	$\frac{2m}{r^2}$	$-\frac{4m}{r^3}$	$n = 2$	m 为单位长度磁偶极矩 r 为空间中任一点P距柱体圆心的垂直距离
单极	$\frac{m}{r^2}$	$-\frac{2m}{r^3}$	$n = 2$	m 为单极的总磁荷量 r 为空间中任一点P至单极的距离
圆球	$\frac{m\sqrt{3\cos^2\theta+1}}{r^3}$	$-\frac{3m\sqrt{1+3\cos^2\theta}}{r^4}$	$n = 3$	m 为球体的总磁矩, r 为空间中任一点P至球心距离, θ 为 r 与偶极轴间的夹角

$$\text{总磁场: } T = \frac{A}{r^n} \quad (1.13)$$

$$\text{径向梯度: } T_r = -\frac{\partial T}{\partial r} = \frac{nA}{r^{n+1}} = \frac{n}{r} T \quad (1.14)$$

上两式中, A 为与磁性体形状、产状和磁性参数有关的一个常数。 n 为仅与磁性体形状和大小有关的指数所决定的另一个常数, 我们称之为“形状因数”, 其数值在 0 到 3 之间。地质体的规模愈大, 则 n 值愈小。矿体的形状一般与球体、圆柱体、薄板状体等相近, 其形状因数 $n \geq 1$, 而非矿地质体如岩体等, 其形状一般与无限延伸厚板、半无限磁荷面相当, 其 $n < 1$ 。

由 (1.13)、(1.14) 式所表明的总磁场与径向梯度之间的关系, 可见梯度比磁场有两个最明显的特点: 其一是多乘了一个形状因数 n , 即梯度与磁性体形状的关系比磁场更为密切; 其次是与场源距离的关系普遍比磁场高一个级次, 即梯度受浅层磁性体的影响比磁场更显著。

表 1.2 列出了各种简单磁性体在垂直磁化情况下的垂直磁场与垂向梯度的主要特征。图 1.1 至图 1.3 绘出了各种简单形状磁性体在垂直磁化情况下的 $Z/Z_{h_{\text{极大}}}$ 和 $Z/Z_{h_{\text{极大}}}$ 曲线。可将垂直磁场与垂向梯度的关系用下式表示:

$$Z_h = \frac{-nh}{x^2 + h^2} B(x) Z \quad (1.15)$$

式中, $B(x)$ 也是与磁性体形状有关的一个函数。由此可见, 在垂向梯度的公式中就有 n 与 $B(x)$ 两个与磁性体形状有关的因子, 所以垂向梯度 Z_h 就比前述径向梯度 T_r 与磁性体形状的关系更密切了。

不同形状磁性体函数 $B(x)$ 随 x 的变化是十分明显的如表 1.3 所示。由 1.15 式可作出各种简单磁性体的 Z_h/Z 双对数曲线。由图 1.4 可见, 不同形状磁性体的 Z_h/Z 曲线的变化特征是迥然不同的。当 $h=1$, $x \rightarrow 0$ 时, Z_h/Z 的比值趋近于其形状因数 n 。图中, 向下无限延伸的垂直极线和水平无限延长的极线趋近于 1, 单极和水平无限延长圆柱体趋于 2, 而球体则趋于 3。当 $x \rightarrow \infty$ 时, 单极和水平无限延长极线趋于 1。而其它磁性体都趋于零。

表 1.2 简单几何体的垂直磁场与轴向梯度主要特征比较

磁性体形状	半空间厚板体(面磁荷)	向下半无限垂直单极线	垂直薄板(水平单极线)	水平圆柱体(偶极线)	单极	圆球
垂直磁场 Z	$2\pi m$	$\frac{m}{(X^2+h^2)^{1/2}}$	$\frac{2mh}{X^2+h^2}$	$\frac{2m(h^2-X^2)}{(h^2+X^2)^2}$	$\frac{mh}{(X^2+h^2)^{3/2}}$	$\frac{m(2h^2-X^2)}{(X^2+h^2)^{5/2}}$
轴向梯度 Z_h	0	$\frac{-mh}{(X^2+h^2)^{3/2}}$	$\frac{-2m(h^2-X^2)}{(X^2+h^2)^2}$	$\frac{-4mh(h^2-3X^2)}{(h^2+X^2)^3}$	$\frac{-m(2h^2-X^2)}{(X^2+h^2)^{5/2}}$	$\frac{-3m(2h^3-3X^2h)}{(X^2+h^2)^{7/2}}$
Z_h/Z	-	$\frac{-h}{X^2+h^2}$	$\frac{-h}{X^2+h^2} \left(1 - \frac{X^2}{h^2}\right)$	$\frac{-2h}{X^2+h^2} \left(1 - \frac{2X^2}{h^2-X^2}\right)$	$\frac{-2h}{X^2+h^2} \left(1 - \frac{X^2}{2h^2}\right)$	$\frac{-3h}{X^2+h^2} \left(1 - \frac{2X^2}{2h^2-X^2}\right)$
形状因数	0	1	1	2	2	3
极h大值与系	常数	$\frac{m}{h}$	$\frac{2m}{h}$	$\frac{2m}{h^2}$	$\frac{m}{h^2}$	$\frac{2m}{h^3}$
垂直梯度	0	$\frac{-m}{h^2}$	$\frac{-2m}{h^2}$	$\frac{-4m}{h^3}$	$\frac{-2m}{h^3}$	$\frac{-6m}{h^4}$
磁场	-	3.5 h	2 h	0.95 h	1.54 h	1.05 h
垂直梯度	-	1.54 h	0.95 h	0.6 h	1.05 h	0.8 h
比值	-	2.3	2.1	1.58	1.47	1.32

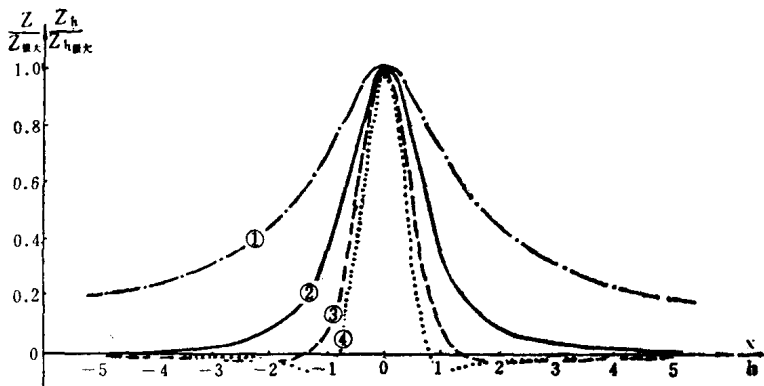


图 1.1 简单几何体的 $Z/Z_{\text{极大}}$ 与 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$ 曲线 (一)

- ① 向下半无限极线的 $Z/Z_{\text{极大}}$; ② 点极的 $Z/Z_{\text{极大}}$; ③ 球的 $Z/Z_{\text{极大}}$, 点极的 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$; ④ 球的 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$

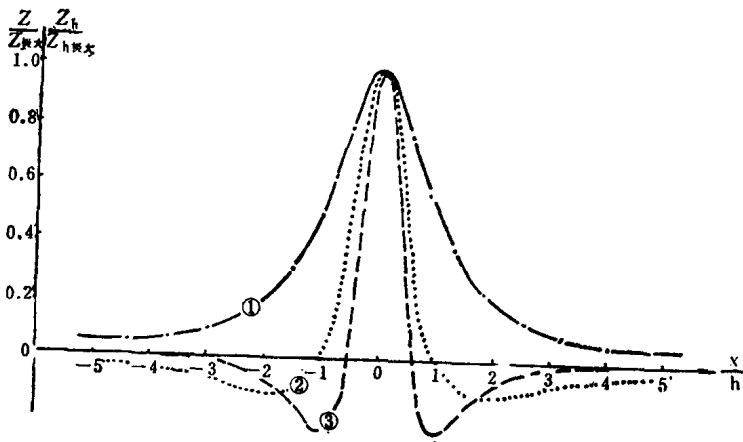


图 1.2 简单几何体的 $Z/Z_{\text{极大}}$ 与 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$ 曲线 (二)

- ① 垂直薄板的 $Z/Z_{\text{极大}}$; ② 垂直薄板的 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$, 水平圆柱体的 $Z/Z_{\text{极大}}$; ③ 水平圆柱体的 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$

另外, 除向下无限延深垂直极线外, 其它各种磁性体都在 $x/h = 0.5 \sim 1.5$ 之间分别趋于零。而且水平圆柱体与圆球分别在 $x/h = h$ 和 $x/h = 1.414h$ 时趋于 $\pm \infty$ 。其次是 (1.5) 式中有一共同项 $\frac{h}{x^2 + h^2}$, 若

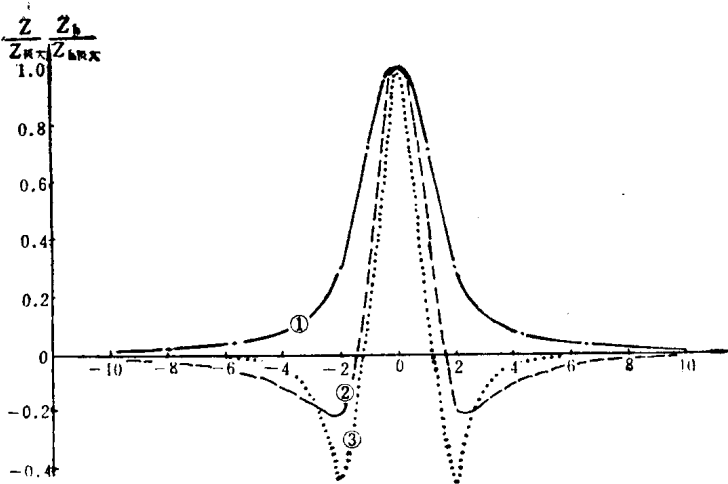


图 1.3 简单几何体的 $Z/Z_{\text{极大}}$ 与 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$ 曲线 (三)

①垂直薄板的 $Z/Z_{\text{极大}}$ ($b=h$)；②垂直厚板的 $Z_h/Z_{\text{极大}}$ ($b=h$)；水平偶极板的 $Z/Z_{\text{极大}}$ ($b=h$)；③水平偶极板的 $Z_h/Z_{h\text{极大}}$ ($b=h$)

表 1.3 简单形状磁性体的函数 $B(x)$ 及其随 X 的变化情况

磁性体形状	函 数 $B(x)$	$B(x)$ 随 X 的变化情况			形状因数
		$X = 0$	$X = h$	$X = \sqrt{2} h$	
向下半无限的单极线	1	1	1	1	1
垂直薄板 (单极线)	$1 - \frac{X^2}{h^2}$	1	0	-1	1
水平圆柱体 (偶极线)	$1 - \frac{2X^2}{h^2 - X^2}$	1	$-\infty$	5	2
单 极	$1 - \frac{X^2}{2h^2}$	1	$\frac{1}{2}$	0	2
圆 球	$1 - \frac{2X^2}{2h^2 - X^2}$	1	-1	$-\infty$	3

改写成极坐标就是 $\frac{\cos \theta}{r}$ ，这表明 Z_h 与埋深 h 的关系不但普遍比 Z 高一个级次，而且还多乘了一个因子 $\cos \theta$ ，这就是说 Z_h 受相邻磁性

体的影响又比前述径向梯度 T_r 为小。由附表可见，磁场异常的半宽度一般比垂向梯度异常要宽1.3倍到2.3倍。而且 n 值愈小，相差的倍数愈大。这就为利用垂向梯度测量区分叠加磁异常提供了物理前题。

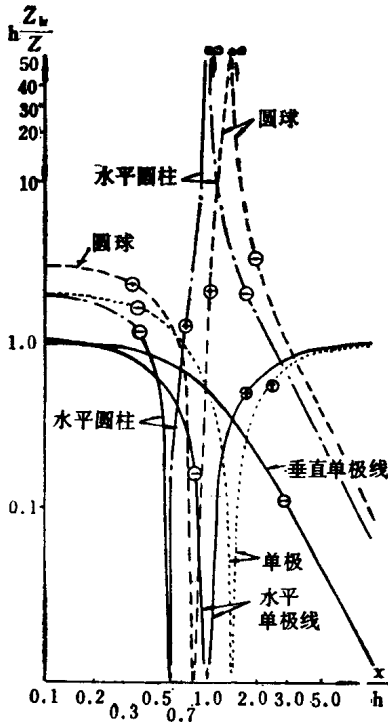


图 1.4 几种简单形状磁性体的 Z_v/Z_{vmax} 双对数曲线
+ 表示曲线坐标为正，- 表示曲线坐标为负

表 1.4 列出了各种简单形状磁性体在垂直磁化情况下的垂直磁场与水平梯度的主要特征。图 1.5—1.6 绘出了各种简单形状磁性体在垂直磁化情况下 H/H_{max} 与 Z_v/Z_{vmax} 曲线。由图、表所列情况可看出垂直磁场水平梯度具有水平磁场的特征。参照前述，也可把垂直磁场与其水平梯度的关系以下式表示：

表 1.4 列出了各种简单形状磁性体在垂直磁化情况下的垂直磁场与水平梯度的主要特征。图 1.5—1.6 绘出了各种简单形状磁性体在垂直磁化情况下 H/H_{max} 与 Z_v/Z_{vmax} 曲线。由图、表所列情况可看出垂直磁场水平梯度具有水平磁场的特征。参照前述，也可把垂直磁场与其水平梯度的关系以下式表示：

$$Z_x = \frac{-hx}{x^2 + h^2} C(x) Z \quad (1.16)$$

式中 $C(x)$ 也是与磁性体形状及磁化方向等因素有关的函数。表 1.5 列出了 $C(x)$ 随 x 的变化特性，而与前述 $B(x)$ 相比，其与磁性体形状的变化特征就不如 $B(x)$ 明显。

Z_v 的共同项 $\frac{x}{x^2 + h^2}$ 改写成

极坐标形式是 $\frac{\sin \theta}{r}$ 。当 $x=0$ 时，即正在磁性体上方时 $\sin \theta = 0$ ，而

远离磁性体时 $\sin \theta \rightarrow 1$ ，说明 Z_v 受相邻磁性体的影响反而较大。

表 1.5 列出 Z_v 正负极值间距离与 H 正负极值间距离之比，普遍小

表 1.4 简单磁性体垂直磁场水平梯度的主要特征

磁性体形状	半空间厚板体(面磁荷)	向下无限延深的垂直极线的	垂直薄板(水平单极线)	水平圆柱体(水平偶极线)	单极	圆球
垂直磁场 Z	$2\pi m$	$\frac{m}{(X^2 + h^2)^{1/2}}$	$\frac{2mh}{X^2 + h^2}$	$\frac{2m(h^2 - X^2)}{(h^2 + X^2)^2}$	$\frac{mh}{(X^2 + h^2)^{3/2}}$	$\frac{m(2h^2 - X^2)}{(X^2 + h^2)^{5/2}}$
水平梯度 Z_x	0	$\frac{-mX}{(X^2 + h^2)^{3/2}}$	$\frac{-4mXh}{(X^2 + h^2)^2}$	$\frac{-4mX(X^2 - 3h^2)}{(h^2 + X^2)^3}$	$\frac{-3mXh}{(X^2 + h^2)^{5/2}}$	$\frac{-3m(4h^2X - X^3)}{(X^2 + h^2)^{7/2}}$
垂直磁场与水平梯度比值	—	$\frac{-X}{X^2 + h^2}$	$\frac{-2X}{X^2 + h^2}$	$\frac{-2X}{X^2 + h^2} \left(\frac{X^2 - 3h^2}{h^2 - X^2} \right)$	$\frac{-3X}{X^2 + h^2}$	$\frac{-3X}{X^2 + h^2} \left(\frac{4h^2 - X^2}{2h^2 - X^2} \right)$
形状因数	—	1	1	2	3	3
磁场的极大值与 h 的关系	—	$\frac{m}{h}$	$\frac{2m}{h}$	$\frac{2m}{h^2}$	$\frac{m}{h^2}$	$\frac{2m}{h^3}$
	水平梯度	$-0.385 \frac{m}{h^2}$	$-1.3 \frac{m}{h^2}$	$2.95 \frac{m}{h^3}$	$0.8586 \frac{m}{h^3}$	$2.7 \frac{m}{h^4}$
正负极值间的距离	—	1.414 h	2 h	1.16 h	1.414 h	1 h
水平梯度	—	1.414 h	1.16 h	0.82 h	1 h	0.778 h
比值	—	1.72	1.42	1.42	1.414	1.3

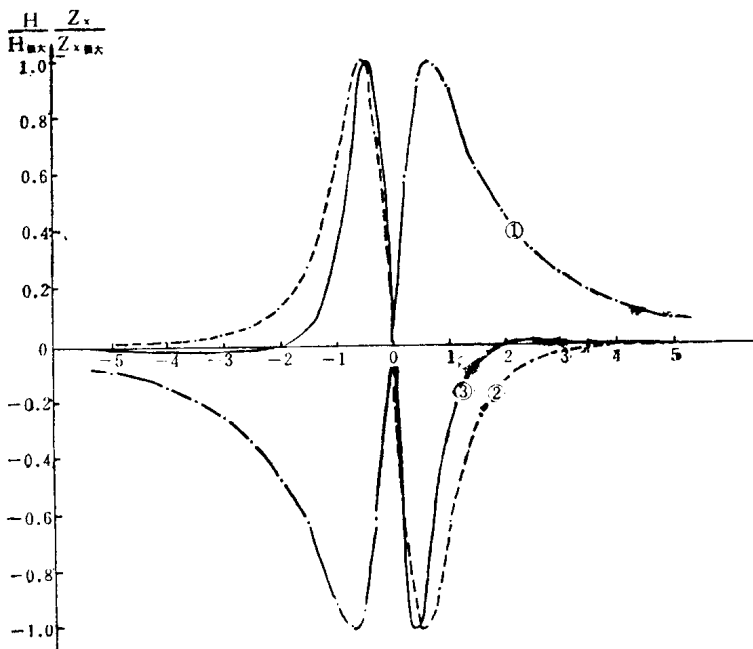


图 1.5 简单几何体的 $H/H_{\text{极大}}$ 与 $Z_x/Z_{x\text{极大}}$ 曲线 (一)

①向下无限延深垂直单极线的 $Z_x/Z_{x\text{极大}}$, 单极的 $H/H_{\text{极大}}$;

②单极的 $Z_x/Z_{x\text{极大}}$, 圆球的 $H/H_{\text{极大}}$; ③圆球的 $Z_x/Z_{x\text{极大}}$

于表 1.2 所列 Z_h 与 Z 的半宽度之比。综上所述, 都说明在区分复杂异常及判别磁性体形状等方面, Z_x 都不如 Z_h 有利。但是垂直磁场的水平梯度 Z_x 具有另外两种有用的特征, 将在后面叙及。

2. 各种简单磁性体之间, 磁场与梯度有相同的关系式

表 1.6 列出了在垂直磁化情况下各种简单形状磁性体的磁场与梯度之间的关系式, 由此可以看出其间有明显的关系:

$$\textcircled{1} -Z_h(1) = Z(2) \textcircled{1};$$

$$-Z_h(2) = Z(3)$$

$$\textcircled{2} -Z_h(4) = Z(5)$$

① 括弧中的数字为表 1.6 中几何体形状编号。