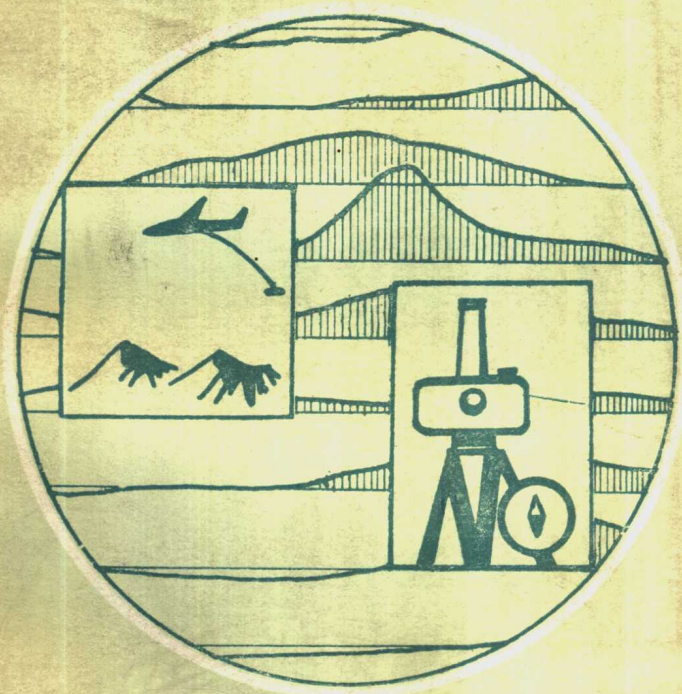


中等专业学校教材

磁法勘探

张传华 主编



地质出版社

中等专业学校教材

磁 法 勘 探

— 昆明地质学校 张传华 主编

地 质 出 版 社

中等专业学校教材

磁 法 勘 探

昆明地质学校 张传华 主编

责任编辑 李纪刚

•

地质出版社出版

(北京西四)

妙峰山印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

•

开本: $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ 印张: $11 \frac{1}{8}$ 字数: 294,000

1985年5月北京第一版·1985年5月北京第一次印刷

印数: 1—3,380册 定价: 2.35元

统一书号: 13038·教210

前 言

本书适用于四年制中等地质学校地球物理探矿专业。

本书以地质矿产部所属五所中等专业学校共同制定的《磁法勘探》教学大纲为依据，在原中专《磁法勘探》教材基础上编写而成。编写中力求做到内容与教学目的、培养目标相一致，并加强了基本知识、基础理论及基本技能方面的内容。

本书共九章，讲授及实验共200小时左右。第二章由南京地质学校王伯延及赣州地质学校吴浩编写，第三章由赣州地质学校李光中编写，第八章由昆明地质学校王忠义编写，其余各章均由张传华编写。图件清绘及植字由阎淑芬承担。西安地质学院李纪刚同志主审了全书。在编写过程中得到了郑州地质学校、长春地质学校及长春冶金地质学校不少老师的关心及指导，在此表示衷心的感谢。

由于水平有限，编写及统编时间短促，教材中定有不少缺点和错误，恳请读者提出批评指正。

编 者

1984.5

目 录

绪 论	1
第一章 静磁学基本知识及地磁场	3
第一节 静磁学基本 知识	3
第二节 地球磁场	15
第二章 地面磁测的几种磁力 仪	28
第一节 CSC-3型悬丝式垂直 磁力 仪	28
第二节 其它类型机械式垂直 磁 力 仪	56
一、CS ₂ -61型悬丝式磁力 仪	56
二、刃口式垂直磁 力 仪	63
第三节 电子式磁力仪	65
一、地面磁通门式磁 力 仪	65
二、地面核子旋进式磁 力 仪	78
第三章 地面磁测的野外工作	88
第一节 磁测任务和测网、比例尺	88
第二节 基点、基点网和仪器 一致性	94
第三节 磁测精度与质量评定	101
第四节 地面磁测数据计算和图示	109
第四章 岩(矿)石磁性测定与整理	119
第一节 岩(矿)石的磁性	119
一、表示岩(矿)石磁性的参量	119
二、常见岩(矿)石的磁性	120
三、影响岩(矿)石磁性的因素	122
四、岩(矿)石的剩余磁性	124
五、岩(矿)体磁化的退磁作用	127
第二节 岩(矿)石磁参数测定	130

一、标本的采集	131
二、磁秤法测定标本磁参数	131
三、磁参数测定的方法步骤和技术要求	137
四、岩(矿)芯、土样、露头的磁参数测定	141
第三节 磁参数的统计整理	142
第五章 磁性体的磁场	153
第一节 磁测资料解释推断的一般概念	153
第二节 磁性体在地磁场中的磁化	157
一、垂直磁化及斜磁化	157
二、有效磁化场、有效磁化强度、有效磁化倾角	157
第三节 泊松公式及磁荷面积分公式	162
第四节 规则形状磁性体的磁场	169
一、顺轴磁化柱体的磁场	169
二、球体的磁场(偶极子)	175
三、薄板状体的磁场	177
四、水平圆柱体的磁场(偶极线)	186
五、厚板状体的磁场	191
六、水平薄板状体的磁场	199
七、不同岩层接触面的磁场	201
第六章 磁异常的定性解释	205
第一节 磁异常特点及其决定的因素	205
第二节 磁性体形状的确定	209
一、根据磁异常特征确定磁性体的形状	209
二、利用特征点参数确定磁性体的形状	210
三、利用 Z_a-H_a 参量图确定磁性体的形状	212
四、利用不同高度剖面上 Z_a 极大值确定磁性体的形状	217
五、利用磁异常的空间分布确定磁性体的形状	219
第三节 磁性体产状的初步确定	220
一、根据 Z_a 曲线特征确定倾向	220
二、利用列线图求厚板状体的倾角 β	225
三、磁性体向下延深长度 $2l$ 的大致估计	226
第四节 磁性体范围的估计	228

一、磁性体中心位置的确定	228
二、磁性体在地面投影与正异常分布范围的关系	229
三、磁性体范围的估计	229
第七章 磁异常的定量解释及转换处理	231
第一节 简单磁异常定量计算方法	231
一、切线法	231
二、特征点解析法	232
三、任意点解析法	238
四、积分法	241
五、定量计算实例	243
第二节 选择法	246
第三节 磁异常的转换及处理	254
一、异常复杂化的因素	254
二、磁异常的空间换算	261
三、二度磁异常同平面 Z_a 和 H_a 的换算	268
四、二度磁异常的导数换算	272
五、三度体磁异常换算为二度体磁异常	274
六、异常曲线的圆滑处理	276
七、叠加异常的分解	278
八、二度磁异常的曲化平——地形改正	282
第八章 航磁检查和井中磁测	292
第一节 航磁异常的地面检查	292
第二节 井中磁测	307
第九章 磁测资料的地质解释与应用	321
第一节 各类岩石及构造上磁异常的一般特征	321
第二节 磁异常性质的判断	324
第三节 低缓异常及剩余异常	333
第四节 磁法勘探的应用	338

绪 论

一、磁法勘探的实质及内容

磁法勘探是地球物理勘探方法之一。它主要通过测量不同磁化强度的各种岩、矿石在地磁场中所引起的磁场变化(磁异常),并分析研究这些磁异常的特征、分布规律及与地质构造或地质体之间的内在联系,作出地下地质情况或矿产分布的有关结论。

磁法勘探的方法有地面磁测、航空磁测,大致包括以下几个方面的内容。

仪器测量:用精确的磁法仪器测定测区内不同点的磁异常值;

室内整理:通过计算整理将异常值绘制成各种磁异常图;

物性统计:测定、统计、整理测区的各类岩、矿石的磁性,总结其磁性规律;

解释推断:根据实测磁异常,结合测区内地质及其它物化探资料、对测区的磁异常作定性及定量的解释,最后作出地质结论。

磁法勘探是一门应用科学,它与地质学、数学、物理学、地磁学有着密切的关系。

二、磁法勘探的发展简况

磁法勘探是在地球物理勘探方法中应用最早的一种方法,早在十七世纪就有人发现罗盘在强磁性的大型铁矿体附近会偏离南北方向。1640年前后瑞典人开始用罗盘寻找磁铁矿。1870年泰朗〔Thalén〕制成了最早的磁力仪,经铁贝尔〔Tiberg〕改进,在瑞典广泛地使用达半个世纪之久。自本世纪三十年代以来航空磁测开始得到发展,它以很高的测量速度,按地理图幅在短期内完成大面积的磁测飞行,取得了大量资料,发现了很多磁异常,在

寻找油气田和普查金属矿方面发挥了积极的作用。

我国解放前，只有少数人在一些铁矿区用磁法零星地作了些工作。解放后，磁法勘探得到了迅速的发展，取得了显著的地质效果。建国初期先后用磁法发现了一些隐伏矿体，如大冶铁矿外围的磁铁矿，内蒙古白云鄂博主体矿以西隐伏的磁铁矿，鞍山铁矿外围大面积的隐伏铁矿等等。

五十年代后期，利用磁法进行了大面积的普查工作，航空磁测在短期内完成了很大面积的测量，取得了大量的资料，发现了很多异常。同时也进行了大面积的地面磁测、取得了较好的实际效果、先后发现了不少经济价值较高的磁性矿体。使磁法成为普查磁性矿床不可缺少的手段，受到了极大的重视。

六十年代以后，在仪器方面我国制造了各种机械式磁力仪、全部代换了国外进口的同类型仪器；同时也研制和生产了几种类型的电子式磁力仪。在野外工作方面，制定了适合我国情况的《工作规范》，使野外工作有了自己的可遵循的准绳。在解释推断的理论上，系统地建立了一套在斜磁化条件下磁异常的解释理论和方法。近年来，磁法已不仅限于寻找磁性矿床，通过引进和研究一些新的理论方法，正在不断扩大其应用领域。

随着观测精度的提高，磁测会获得更多的信息量。同时，随着方法理论研究的不断深入，会促使磁法工作不仅能解决找矿勘探的问题，而且还会在解决深部地质问题、成矿预测方面发挥积极的作用。

第一章 静磁学基本知识及地磁场

在地球的周围存在着磁场，称为地磁场。在地磁场的作用下，地壳中的岩体或矿体，都不同程度地被磁化而具有磁性。具有磁性的地质体（岩体或矿体），在其周围空间又形成它们自己的磁场（通常称为磁异常），叠加在地球正常磁场之上。磁法勘探就是通过测定并分析研究磁异常，以得出地下地质和矿产分布情况。

本章主要介绍磁法勘探中有关静磁学及地球磁场的基本知识。

第一节 静磁学基本知识

人类首先是从永久磁铁开始认识磁现象的，由于当时对物质的结构还没有深入的认识，所以不能揭示磁现象的本质，而认为磁是由“磁荷”产生的。从这个认识出发，建立了静磁学的概念和基本理论。

一、磁场

（一）磁库仑定律

若将一根磁针插于铁粉之中，取出后可见其上吸附着许多的铁粉，且靠近磁针端部的地方铁粉最集中，此即磁极。实验表明，磁极相互作用且遵守同性相斥、异性相吸。具有磁性的物体统称为磁性体。磁性体之所以有磁性则认为它带有“磁荷”，并有正磁荷和负磁荷之分。带正磁荷的称 N 极，带负磁荷的称 S 极。当物体表面为二次曲面，它在均匀外界磁场中，其磁荷分布于表面，用磁荷密度 σ （西格马）表示磁性体表面单位面积上的磁荷量。则有

$$\sigma = \frac{m}{S} \quad (1.1)$$

式中 m 为物体的磁量， S 为表面积。对于条形磁铁，常用磁矩描述其磁性强弱，磁铁的磁矩等于磁量（极强度）同磁极间距离的乘积。即

$$M = m \cdot 2l \quad (1.2)$$

式中， m 是磁极的磁量， $2l$ 是两磁极之间的距离。磁矩 M 是一个具有数值和方向的量，其方向在磁性体内规定由 S 极至 N 极。

磁极间的相互作用称为磁力。1785年法国物理学家库仑用两根细长的磁棒（可以视为两个点磁极）进行实验，如图1-1所示，建立了点磁极间相互作用的定律。该定律指出：两个点磁极之间相互作用力（引力或斥力）的大小与点极磁量 m_1 和 m_2 的乘积成正比；而与其间距离 r 的平方成反比。即

$$F = c \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.3)$$

式中， F 是两磁极间的作用力，它是矢量，其方向在两磁极的连线上，同名磁极相互排斥，异名磁极相互吸引， c 为比例系数，在真空或空气中，比例系数等于或近似等于1。所以磁库仑定律的一般表达式为

$$F = \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (1.4)$$

或
$$\vec{F} = \frac{m_1 \cdot m_2}{r^3} \vec{r}$$

式中 $\vec{r}$ 是 m_1 至 m_2 的距离长度矢量。当 m_1 和 m_2 符号相同时， $F > 0$ ，即二者相互排斥；当 m_1 和 m_2 符号相反时， $F < 0$ ，即相互吸引。

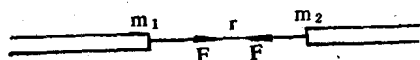


图 1-1 点磁极的相互作用

(二) 磁场和磁场强度

磁力作用的物质空间称为磁场，磁场的强弱用磁场强度 $\vec{T}$ 来

描述, 其定义为: 磁场中某点的磁场强度 $\vec{T}$, 在数值上等于单位正磁荷在该点所受的力, 其大小用下式表示

$$T = \frac{F}{m_0} = \frac{m \cdot m_0}{r^2} \cdot \frac{1}{m_0} = \frac{m}{r^2} \quad (1.5)$$

式中 m_0 为检验正磁荷的磁量, m 为场源的磁量。但应指出: 以上公式所描述的磁场强度 T , 其所在空间系真空、或者是空气, 不存在其它物质。若场中充满着磁介质, 则场中任意点处的磁场既有磁体(场源)在该点产生的场, 还有介质受场源磁化后, 在该点产生的附加磁场。对磁介质内部的磁场, 应以磁感应强度 B 描述场的分布。若以 H 表示场源磁场(或叫磁化力), 则有

$$\begin{aligned} B &= \mu H \\ &= \mu_0 H + \mu_0 \kappa H \end{aligned} \quad (1.6)$$

式中, μ ——介质的磁导率; μ_0 ——真空的磁导率; κ ——介质的磁化率。

根据物理量的单位应采用国际单位制(SI制)的规定, B 的单位为韦伯/米²(可简写成Wb/m²) 又叫特斯拉(Tesla, 可简写成T), H 的单位为安培/米(可简写成Am⁻¹), μ 的单位为亨利/米, $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米(在高斯单位制中 $\mu_0 = 1$), κ 的单位表示成SI。实际工作中, 磁感应强度异常以特斯拉为单位太大, 而取纳特(简写成nT)作实用单位, 即

$$1 \text{ 特斯拉(T)} = 10^9 \text{ 纳特(nT)}。$$

应该指出: 在磁法勘探中, 通常测定的磁场强度实为真空中的磁感强度。在CGSM单位制中, 因 $\mu_0 = 1$, H 的单位(高斯)与 B 的单位(奥斯特)具有相同数值和量纲, 所以实际应用中均采用奥斯特或伽玛(1Oe = 10⁵γ)。在国际单位制中, 由于 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ 亨利/米, H 与 B 在数量和量纲上均不相同。但考虑到使用过去资料的需要, 本书中地磁场强度、磁场强度梯度仍沿用了磁感应强度的单位。

国际单位制与高斯制的换算关系详见附表

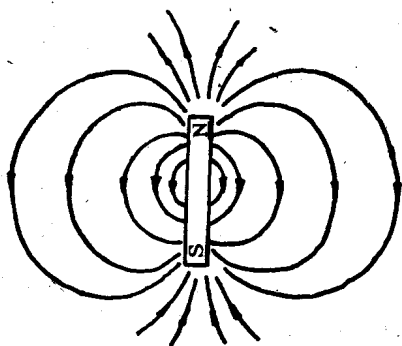


图 1-2 条形磁铁周围磁力线

此外磁场还可以用磁力线形象地表示磁场的分布。所谓磁力线，就是线上任一点的切线方向为该点磁场强度的方向。图 1-2 表示一个条形磁铁周围磁力线的分布情况。可见磁力线方向是由 N 极出发回到 S 极；任何两条磁力线都不应相交或重合，磁力线由里向外，从密变

疏，反映了磁场由强变弱。

(三) 磁位、磁位与磁场强度的关系

1. 磁位 磁场中将一个单位正磁荷 m_0 ，由某点沿任意路径移到无穷远处，磁场力所作的功就称为该点的磁位。通常用符号 U 表示。

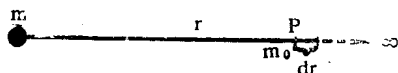


图 1-3 点磁极的磁位

如图 1-3 所示，设场源的磁量为 m ，检验正磁荷为 m_0 ， P 点至场源的距离为 r ，则 m_0 在 P 点所受的场力是 $F = \frac{m}{r^2}$ 。如将它移动 dr 距离，其场力所作之功为 $W = F \cdot dr$ 。按上述定义 P 点的磁位为

$$U_P = \int_r^{\infty} \frac{m}{r^2} \cdot dr = \frac{m}{r} \quad (1.7)$$

对于磁场中的给定点，磁位是一个恒量，知道了磁位，也就是知道了磁荷在磁场中的位能。

2. 磁位与磁场强度的关系 如图 1-4 所示， U 和 $U - dU$ 表

示两个等位面，其间相距为 dr ，将单位正磁荷从 B 点移至 A 点，则场力作的功为

$$T \cdot dr = (U - dU) - U$$

得

$$T = -\frac{dU}{dr} \quad (1.8)$$

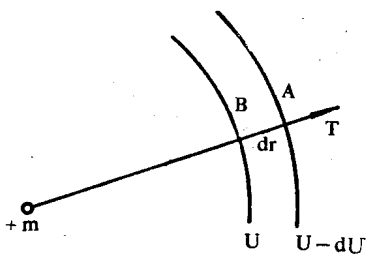


图 1-4 磁场强度和磁位差的关系

上式表明，场中某点的磁场强度 T ，在数值上等于磁位沿距离 r 方向的变化率。或者说磁场中任一点的场强等于该点磁位的负梯度。

在直角坐标中，磁场强度在三个坐标轴上的分量，可分别表示为

$$T_x = -\frac{\partial U}{\partial x}; \quad T_y = -\frac{\partial U}{\partial y};$$

$$T_z = -\frac{\partial U}{\partial z}$$

则(1.8)式可表示为

$$\vec{T} = -\left(\frac{\partial U}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial U}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial U}{\partial z}\vec{k}\right) = -\text{grad}U$$

其负号表示磁位增加的方向和磁场强度的方向相反。

二、物质的磁化和磁化强度

(一)磁化场及磁化强度

原来不显磁性的物体(如小刀、铁钉)，由于外磁场的作用使其具有了磁性，这种使物体原来没有磁性而变成有磁性的过程称为磁化。使物体磁化的外磁场称为磁化场，被磁化的物体称为磁化体，磁化体又会产生附加磁场叠加在磁化场上，从而使磁场发生变化。

用磁化强度 $\vec{J}$ 来表示物体被磁化的程度。它在数值上等于单位体积的磁矩，表示为

$$\vec{J} = \frac{\vec{M}}{V} \quad (1.9)$$

式中 V 为物体的体积,磁化强度 $\vec{J}$ 是矢量,它的方向和 $\vec{M}$ 的方向一致。如果物体内 $\vec{J}$ 的大小,方向处处相同,则该物体称为均匀磁化。

物体在外磁场中被磁化,其磁化强度与磁化磁场(的强度)有密切关系。实验证明,磁化强度 $\vec{J}$ 与磁化磁场 $\vec{T}$ 成正比。有

$$\vec{J} = \kappa \vec{T} \quad (1.10)$$

式中 κ (卡帕)为系数,它表示物质被磁化的难易程度,称磁化率。自然界中不同物质的 κ 是不同的, κ 越大的物质越容易磁化,由于磁化率 κ 能表示物质的磁化特征,因此是磁法勘探磁性测定的一个基本参数。式中 $\vec{J}$ 和 $\vec{T}$ 的单位均为安培/米(A/M), κ 为无量纲的量,单位为SI(κ)。

在磁法勘探中,根据 κ 的大小可大致将岩、矿石划分为不同的类型,下面以 $4\pi \times 10^{-6}$ SI为单位进行划分

无磁性	$\kappa < 50$
弱磁性	$50 < \kappa < 1000$
中磁性	$1000 < \kappa < 5000$
强磁性	$\kappa > 5000$

(二)磁化强度 $\vec{J}$ 和磁荷密度 σ 的关系

磁化强度和磁荷密度都是描述物体被磁化后,其磁性状况的

物理量,它们之间的关系为磁性体表面任意点处的磁荷密度等于该点处磁化强度在外法线方向上的投影。即

$$\sigma = J \cdot \cos\theta = J_n \quad (1.11)$$

式中 θ 角,为 $\vec{J}$ 与外法线 $\vec{n}$ 之间的夹角。

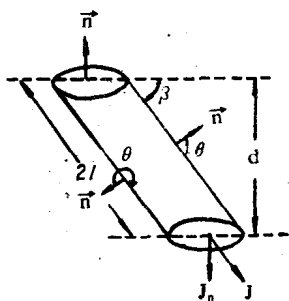


图 1-5 顺轴磁化的斜圆柱体

下面半顺轴磁化斜圆柱体为例加以说明。如图 1-5 所示, 设柱体长为 $2l$, 两端面垂直距离为 d , 外法线 $\vec{n}$ 与 $\vec{J}$ 的夹角为 θ 。

由 (1.9) 式柱体的磁矩为

$$M = J \cdot V = J \cdot S \cdot d = J \cdot S \cdot 2l \cos \theta$$

由 (1.2) 式柱体的磁矩又可表示为

$$M = 2l \cdot m = 2l \cdot \sigma \cdot S$$

比较上面二式可得

$$J \cdot S \cdot 2l \cos \theta = 2l \cdot \sigma \cdot S$$

即

$$\sigma = J \cdot \cos \theta = J_n$$

分析图 1-5 可知:

上顶面	$90^\circ < \theta < 180^\circ$	出现 $-\sigma$
下底面	$\theta < 90^\circ$	出现 $+\sigma$
左侧面	$\theta = 90^\circ$	$\sigma = 0$
右侧面	$\theta = 90^\circ$	$\sigma = 0$

由以上分析可见, 磁性体表面磁荷的正负分布可由磁化强度在外法线方向上的投影而确定。于是可以得出以下结论: 物体被磁化在磁化磁场进入物体的一面出现负磁荷, 而在磁化磁场出来的一面出现正磁荷, 与磁化磁场方向平行的一面无磁荷分布。作为例子图 1-6 是几个规则形体剖面上正、负磁荷的分布情况。由图可见, 不同形体或同一形状的磁性体, 由于几何形态不同或磁化强度 $\vec{J}$ 的方向不同, 其表面的磁荷分布就不同。磁荷在磁性体表面的分布特征, 可以帮助我们解释异常。

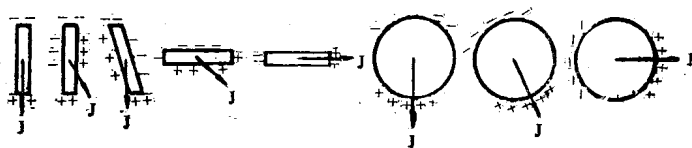


图 1-6 磁化强度与磁荷密度的关系

三、磁场的叠加原理

前面我们讨论了两个点磁极之间的相互作用，如果有若干个
点磁极同存于一个作用空间里，则场中某点处的磁场强度，等于各
个点磁极单独在该点磁场强度的矢量和，这就是说磁场遵循叠加
原理，可表示为

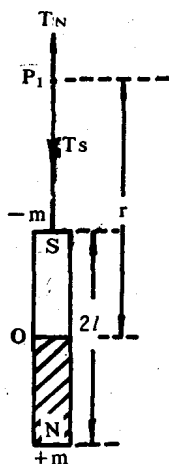
$$\vec{T} = \vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \dots + \vec{T}_n = \sum_{n=1}^n \vec{T}_n \quad (1.12)$$

叠加原理反映了磁场的一个基本性质。

四、磁偶极子的磁场

两个磁量相等、符号相反，其极距 $2l$ 非常小的磁极，称为磁
偶极子。其磁场可以由条形磁铁的磁场引出，也可由磁偶极子的
磁位引出（详见第二节）。下面讨论条形磁铁两个特殊位置的磁
场，并由此给出磁偶极子在这两个位置上的磁场大小。

(一) 高斯第一位置



如图1-7所示，在磁轴延长线
上任取一点 P_1 ，则 P_1 点相对于磁
铁的位置，称高斯第一位置。

设条形磁铁的长度为 $2l$ ，其 S 极
和 N 极磁量分别为 $-m$ 和 m ， P_1 点
至条形磁铁中心 O 点的距离为 r 。根
据(1.5)式， $-m$ 和 m 在 P_1 点产生
的磁场强度分别是

$$T_s = \frac{m}{(r-l)^2}; \quad T_N = \frac{m}{(r+l)^2}$$

T_s 和 T_N 的方向都在磁轴线上且方
向相反，则 P_1 点磁场强度为

$$T_{P1} = T_s - T_N = \frac{4rlm}{(r^2 - l^2)^2}$$

图 1-7 高斯第一位置

当 $r \gg l$ 时，可忽略上式中 $\frac{l}{r}$ 的高次项，其在 P_1 点的磁场强度可
近似由下式给出，其方向沿磁轴方向。