

井中磁测 物理-地质模型及其应用

袁柏林 王作勤 杨坤彪

杨元明 于德江 著



地质出版社

ISBN 7-116-00532-3/P·455

国内定价：3.85元

科 目：308-77

井 中 磁 测

物理-地质模型及其应用

蔡柏林 王作勤 杨坤彪 著
杨元昭 于德江

地 质 出 版 社

内 容 提 要

“井中磁测物理-地质模型及其应用”一书阐述了物理-地质模型的概念，收集了我国东部地区三种成因类型铁矿床地质资料 and 数千个钻孔的磁测资料，给出了建立物理-地质模型的参数；构制了不同矿床的特殊模型和典型模型，以及这些模型的井中磁场分布特征；列举了在模型指导下进行找矿的成功实例，最后给出一套井中磁测的应用软件。

井中磁测物理-地质模型及其应用

蔡柏林 王作勤 杨坤彪 著
杨元昭 于德江

责任编辑：曹玉

地质出版社出版发行

（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：850×1168^{1/32} 印张：7 字数：184000

1989年12月北京第一版·1989年12月北京第一次印刷

印数：1—1000册 国内定价：3.85元

ISBN-7-116-00532-3/P.455

目 录

前 言

第一章 物理-地质模型的基本概念 4

第一节 物理-地质模型及其构成 4

一、建立物理-地质模型的目的 4

二、建立物理-地质模型的基础资料 6

三、建立物理-地质模型的基本原则 6

四、物理-地质模型的分类及建立的阶段 7

第二节 立体物理-地质模型及其构成 9

一、建立立体物理-地质模型的阶段与方法 11

二、立体物理-地质模型的图示方法 11

第二章 建立磁铁矿床井中磁测物理-地质模型的

主要依据 14

第一节 矿床地质特征 15

一、河北省迁安铁矿 15

二、山东省金岭铁矿 18

三、鄂东铁矿 19

四、宁芜铁矿 24

第二节 矿床地球物理参数 27

一、河北省迁安铁矿 28

二、山东省金岭铁矿 31

三、鄂东铁矿 35

四、宁芜铁矿 37

第三章 磁铁矿床井中磁测的特殊和典型物理-地

质模型 45

第一节 井中磁测的特殊和典型物理-地质模型 45

第二节 典型物理-地质模型的数学解析模型 47

一、建立井中磁测数学解析模型的基本要求 50

二、板状模型体磁位场的数学解析方程 51

三、任意形状典型物理-地质模型的数学解析模型.....	58
第三节 典型物理-地质模型的剖面磁场分布特征	76
一、板状磁性体	78
二、叠瓦状透镜体或不规则体	89
三、向斜和背斜磁性体	93
四、磁各向异性对向斜和背斜磁性体剖面磁场分布的影响.....	101
五、簸箕状和弓状磁性体.....	105
第四章 在模型指导下进行找矿和预测的实例	113
第一节 解决常规地质任务中的找矿实例.....	113
一、验证评价地面低缓或剩余磁异常.....	113
二、发现井旁盲矿、确定其空间位置.....	118
三、预报井底盲矿、估算见矿深度.....	124
四、确定矿体产状、识别其断面构造形态.....	130
第二节 地面和井中磁测立体综合进行找矿预测	139
一、河北迁安白马山铁矿床.....	139
二、河北迁安脑峪门铁矿床.....	152
三、山东金岭王庄铁矿床.....	163
第五章 井中磁测的应用软件	171
第一节 井中磁测资料计算、绘图程序.....	171
一、资料整理步骤及成果图示格式.....	171
二、程序的功能、框图及说明.....	183
三、程序评价.....	190
第二节 简单规则磁性体的井场实时解释程序	190
一、井场解释步骤及方法原理.....	190
二、程序的功能、框图及说明.....	205
三、程序评价.....	210
第三节 拟合解释程序.....	211
一、拟合解释方法原理.....	211
二、拟合解释程序的功能及使用说明.....	214
三、程序评价及拟合解释实例.....	216
参考文献	220

前 言

井中三分量磁测和磁化率测井通称井中磁测，其基本原理与地面磁法勘探一样，是基于研究各种岩矿石的磁性差异及由此而引起的地磁场变化。井中单分量磁测和磁化率测井，用于解决井壁地质问题，诸如划分磁性层，确定磁性层深度和厚度，评价磁铁矿含量，以及提供岩、矿石磁性参数（如磁化率、磁化强度）等。井中三分量磁测则是普查勘探磁铁矿床和含磁性矿物多金属矿床的一种有效的井中物探方法，它用来解决井周地质问题。与其它井中物探方法相比，它具有明显的优点，首先它在钻孔中实现了全方位测量，其次它测量的是无源（天然）场，仅需用单孔即可实施测量，原则上钻孔有多深就可探测到多深。因此，这种方法特别适用于在厚覆盖地区，与航空和地面磁法立体综合，寻找强磁性或含磁性矿物的深部隐伏金属矿床。

在我国井中磁测的发展和应用已有20多年的历史，60年代初，原冶金部北京地质研究所先后研制成功了井中单分量和三分量磁力仪。根据当时的条件，小批量生产了单分量磁测井仪，在生产队有重点的推广使用，取得了初步地质效果。为了适应生产需要，地质部上海地质仪器厂及重庆地质仪器厂，在冶金系统研制的井中三分量磁力仪样机的基础上进行改进并批量生产，并在实际生产中获得广泛的应用。与此同时地矿部第一物探大队101队等对井中磁测的方法技术及推断解释理论进行了系统的研究与实践，有力的推动了井中磁测工作的发展。

20多年来，地质、冶金、有色金属总公司等地质系统生产部门在普查勘探磁铁矿床中测了几千个钻孔，解决了大量地质问题：诸如，验证评价地面磁异常；发现井旁盲矿，确定其空间位置；预报井底盲矿，估算其可能见矿深度；确定矿体产状、延

伸、模式、构造断裂位置，以及评价磁铁矿含量等。例如，在山东金岭铁矿，地面和井中磁测立体综合，发现并控制了王旺庄铁矿床；在鄂东程潮铁矿区，对地面和井中磁测资料进行综合解释，建议布置钻孔119个，其中有101个钻孔见矿，见矿率达84.9%；在河北迁安铁矿区，应用井中磁测预报井底盲矿，其见矿率达92%，井中磁测与地质钻探相配合，确定了白马山铁矿区矿体复向斜模式，使铁矿储量净增几千万吨。这些地质效果都有力地证明，地面、井中磁测与地质钻探合理配合，可指导钻探施工，合理的布置钻孔，以及提高磁铁矿床普查勘探的速度和经济效益。正因为如此，目前井中磁测已是普查勘探磁铁矿床每孔必测的找矿手段。

但是，随着生产的发展，也给井中磁测工作提出了新要求，主要是以下几个方面：

1. 随着国民经济的发展，矿产采掘量剧增，而出露于现代剥蚀面的，易发现的浅部矿总量减少，尤其是位于我国东部地区的一些磁铁矿床，它们的地质、地球物理研究程度都较高，历年来积累了丰富的资料，迫切要求在其外围和深部扩大远景储量。因此，就要求井中磁测提高单孔解释的质量，并开展群孔资料的综合研究，以期在系统地研究金属矿床深部地质结构中发挥更大的作用。而解决这一问题的主要途径是建立并研究这些矿床的井中磁测物理-地质模型（剖面或立体的），以便在模型指导下进行找矿。

2. 长期以来井中三分量磁测数据的计算、绘图及解释都借助于手工作业，这不仅使室内作业十分繁重费时，而且直接影响在井场及时地向地质队提供更多的有用信息。为了改进这种工作状况，提高工作效率，最终实现数字化，这就要求在井中磁测工作中开发利用微机。

3. 由于受井中磁力仪测量精度的限制（JSZ或JCX型测量精度为 $\Delta Z < 200\text{nT}$ ， $\Delta H < 300\text{nT}$ ），目前的井中三分量磁力仪仅限于应用探测磁铁矿，尚不能用于探测磁性较弱的含磁性矿物的

多金属矿床。为进一步扩大井中磁测应用范围,迫切要求提高井中磁力仪的测量精度。

现代电子计算技术的发展,为解决上述三方面问题,提供了可靠的技术保证。生产的需要,科学技术的保证,乃是学科发展的充分必要条件。正因为如此,近年来,井中磁测在以上几方面已经或正在取得进展。

本书的主要内容是叙述近年来冶金部系统在上述第一和第二两方面的研究成果,其中包括物理-地质模型的基本概念;为建立位于我国东部地区的河北迁安铁矿(沉积变质型)、山东金岭铁矿、鄂东铁矿(矽卡岩型)及宁芜铁矿(陆相火山岩型)井中磁测物理-地质模型所需的矿床地质参数和地球物理参数;在此基础上所建立的特殊和典型物理-地质模型,通用数学解析模型及这些模型的井中磁异常的分布特征;以及在這些矿区、以模型为指导,进行找矿和预测的应用实例;最后还给出了一套井中磁测的应用软件。这些研究成果的意义在于,它将使我国的井中磁测工作逐渐地发展到数字化和在模型指导下进行找矿的新阶段。

本书可供大专院校应用地球物理专业师生、研究生、研究机构和生产部门的地球物理勘探工程技术人员参考使用。

参与编写本书的单位有首钢地质勘探公司,中南冶金地质勘探公司606队,山东冶金第一地质勘探队及华东有色地质研究所等。

本书由蔡柏林教授主编并编写第一章,杨元昭同志编写第二章,王作勤同志编写第三章,于德江、杨坤彪、孙喜森同志编写第四章,杨坤彪同志编写第五章,蒙象平同志参加了模型计算和部分文字编写工作。全书经赵明昌、王敬尧高级工程师审定。在整个编写过程中始终得到冶金部物探公司赵明昌,吴畏可和阎立光同志的指导和支 持,冶金部地质情报网物化探站潘勇飞、李锡民同志也给予了热情的支持,并提出了宝贵的意见。最后地质部分,由唐静轩教授审定,在此一并致谢。

限于编者水平,书中有不妥或错误之处,敬希读者批评指正。

第一章 物理-地质模型的基本概念

第一节 物理-地质模型及其构成

地球物理勘探是基于矿体或矿床与其围岩物理性质上的差异所引起的物理场异常来探测矿体或矿床的。在通过估计所期望的异常来分析某种地球物理方法的可能性时，以及在选择一组综合方法来解决特殊的找矿问题时，每个地球物理工作者都有意无意地简化了被调查目标的实际性质（它的形态，矿石组分与基质，围岩蚀变程度等等）。这样做时，地球物理工作者所使用的是心里模拟方法，他倾向于把调查目标等效到一个由平均的物理和几何参数统计性表征的模型。正是在这个基础上，于60年代后期才进一步发展引入地球物理调查目标物理-地质模型的概念。

物理-地质模型可理解为引起异常体（调查目标）的抽象，其总体大小、形状和物理性质上的差异，在某种程度上接近于所要寻找的实际地质体。在普查和勘探阶段，所建立的物理-地质模型要反映整个一组相类似地质体的总体和规则化的概念。如在具体地区地质条件下的一定成因类型的矿床，图1-1所示的即是用来寻找盐类矿床盐丘的物理-地质模型，在进行地质填图时，则广泛利用典型化和规则化的地质-地球物理断面作为物理-地质模型，如图1-2所示，它是在沉积岩地区为普查油气田和煤田的综合岩性断面。

一、建立物理-地质模型的目的

建立地球物理调查目标物理-地质模型，是为了地球物理勘探工作设计及选择合理的综合方法提供充分的依据。但它在方法学上意义不仅限于此，因为物理-地质模型乃是物理模拟和数学

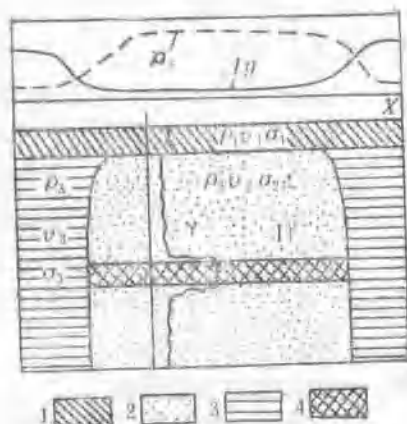


图 1-1

1—水平覆盖层, $\rho_1 < \rho_2, \rho_1 < \rho_3, V_1 < V_2, V_1 < V_3, \sigma_1$ 为常数; 2—基层呈给体
 状, $\rho_2 > \rho_1, \rho_2 > \rho_3, V_2 > V_1, V_2 > V_3, \sigma_2 < \sigma_3$; 3—围岩为碳酸盐岩, $\sigma_3 > \sigma_2$, ρ_3
 $< \rho_2, V_3 < V_2$; 4—钾盐层, 其自热放射性强度大于基层, 即 $I_{\gamma 4} > I_{\gamma 2}$

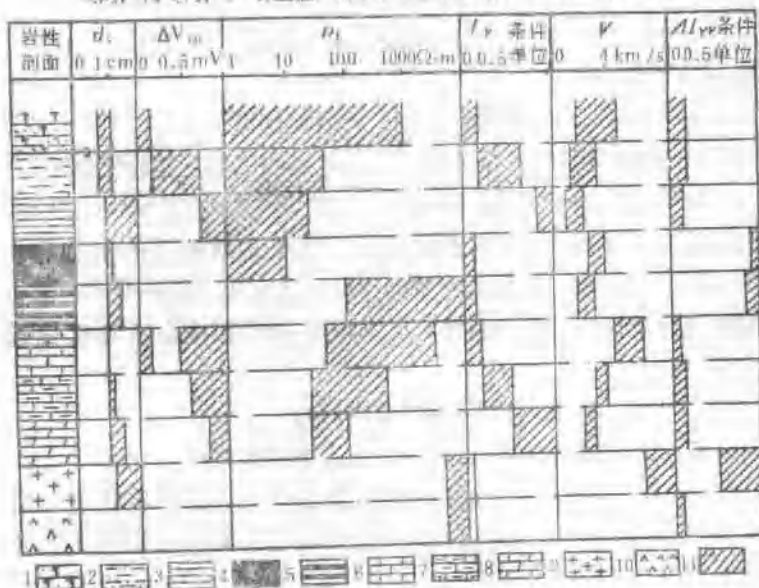


图 1-2

1—砂岩; 2—砂泥岩; 3—泥岩; 4—无烟煤; 5—烟煤; 6—石灰岩; 7—泥质
 灰岩; 8—泥炭岩; 9—岩盐; 10—石膏; 11—物理性质变化范围; d —井径
 变化; $\Delta V_{\text{自}}$ —自然电位; ρ_t —岩石电阻率; I_{γ} —自然伽玛射线强度; V —弹
 性波传播速度; $AI_{\gamma\gamma}$ (或 σ)—散射伽玛射线强度

模拟的基础，应用这些模拟方法有助于定量地解决许多重要的地球物理正反演问题。诸如：获得广泛的地质-地球物理条件下异常体上的典型异常；初步评价各种地球物理方法的客观效益；计算所设计地球物理方法的测网形状与大小，设计地球物理测量的最佳精度；选取场的滤波方法，进行综合地质解释，把不同地球物理方法的测量结果进行相互核算，评价解释的可靠性；预测所设计的地球物理方法在新开展工作地区发现类似矿床的可能性，以及确定物理或数学模拟的正确条件。

二、建立物理-地质模型的基础资料

建立物理-地质模型的基础资料是：调查目标和其周围地质介质的物理性质；其它地质勘探方法现有的资料；以及在类似地质-地球物理条件下应用地球物理方法所积累的资料。所需的定量参数包括物理参数、规模参数和形状参数三种，亦即：

1. 岩矿石的物理性质，如磁化率、密度、放射性、电导率、弹性波传播速度等。
2. 调查目标的形状、大小、产状和埋藏深度等。
3. 疏松沉积层、覆盖层、下伏地层的厚度及其起伏情况。

因为上述三组因素，在很大程度上决定着应用各种地球物理方法的充分和必要条件。应该指出，物理-地质模型的物理和几何（规模和形状）参数具有随机性质，它可从大量典型地质体的测量统计概括的结果中获得。所以物理-地质模型是用逐次逼近方法建立的。

三、建立物理-地质模型的基本原则

建立物理-地质模型是基于以下三个基本原则：

1. 类比原则：这一原则用得较普遍。它是根据在具有相似地质-地球物理条件的地质体（或区域内）上获得的资料来选择建立待调查目标的模型。
2. 相关原则：在实际工作中也经常应用，特别是在地球物理测井中用得较多。它用待调查目标的某些工业指标与观测物理场参数间，以及与同一目标体上其它物理性质间的回归关系来建

立模型。借此评价目标体的某些工业指标和物理参数。用磁化率测井测定的视磁化率值与磁铁矿含量间的相关关系估求磁铁矿品位即属此例。

3. 反馈原则：它可归结为通过处理和解释实验性地球物理调查资料的成果来不断地改进模型。其工作流程如图1-3。

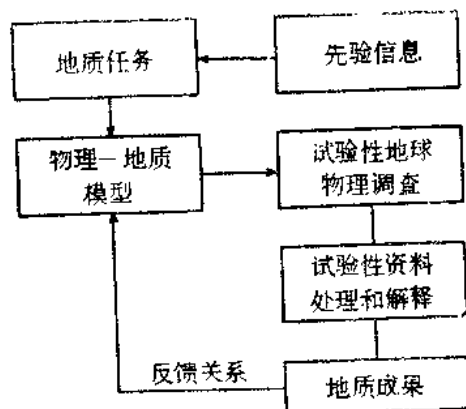


图 1 3

由图可见，物理-地质模型是根据对调查目标认识程度的积累，以逐步逼近的办法建立的。在只有少量先验信息时，模型是粗糙的。在这种情况下，无论是选择单一的地球物理方法，还是其方法综合，都具有很大的不确定性。随着对模拟目标体的信息量的积累，利用信息反馈，模型才能在更大程度上趋近于调查目标。由此不断地完善模型，从而给正确的选择地球物理方法综合和综合地质解释提供依据。

四、物理-地质模型的分类及建立的阶段

根据现行分类，物理-地质模型属于“描述概括”或“模型响应”类的概念性逻辑数学结构模型。按勘探设计和执行阶段来分，它可分为演绎模型（设计阶段）和归纳模型（地球物理资料综合解释阶段）两类。建立演绎模型的目的是为了正确的确立地

质问题，选择并证实合理的地球物理方法综合，以及设计综合地球物理资料的解释程序；归纳模型则是为了根据研究结果，对目标体取得新的信息，并提出勘探方向的建议。按地球物理方法所要解决的地质任务来分，物理-地质模型又可分为多选择 和双选择两类。多选择模型多用于矿床预测、踏勘以及普查评价；双选择模型一般用于详查中的地球物理评价阶段。

矿床可以认为是这样一种地质体，在特定地质条件下，和一定的地质空间内形成具有某些地球物理和地球化学特点的大的矿化富集带或含矿综合体。根据其所反映的物理场特征和差异，可分为两种类型：一类是由某种物理场异常可直接表征其大小和组成的矿化富集带，如铀、钍、钾、铁、铜、铅锌和镍等矿床。在这种情况下，通常地球物理勘探的对象是矿床（或矿体）本身，例如用地面和井中磁测普查和勘探磁铁矿床就是如此。另一类是不富集的或在特征物理参数上与周围介质差异不大，如金、银、汞、钽铁矿、铋、铍及云母等等。这一类矿床不可能用地球物理方法直接确定，这时地球物理勘探的对象是含矿构造或矿场。

我们以第一类中的磁铁矿床为例作具体说明。众所周知，根据其成因类型，以及矿床所具有的地质、地球化学（岩性、构造，矿体的形状和矿石矿物组合等等）和地球物理（主要是磁性）特征，可对其进行物理-地质模型的地球物理分类（详见第二章表2.15）。这样对一种地球物理类型的矿床（与同一类异常有关）可按一定矿区或地段由矿体的形态等建立起特殊物理-地质模型（如第三章表3.1），然后以特殊模型的组合和联系抽象出这一类型矿床具有代表性的概括的几何图象，构成一种一般化的典型模型，这就是在实际工作中建立物理-地质模型的逻辑方法。

关于物理-地质模型建立的阶段，通常作以下的划分：

第一阶段，相当于在缺乏资料和经验的新区中。进行地球物理调查的初期，这时要收集与调查区相似地质构造区域的地质和地球物理资料，然后用类比原则建立模型。地球物理方法的选择主要以咨询或文献资料为基础，同时要实施实验性地球物理调查

工作。允许参加试验的显然是数量较多的各种不同的地球物理方法，使其有可能从中选择出最有效的方法，组成合理的组合和顺序。

第二阶段，以试验性地球物理调查成果为基础，用反馈原则改进物理-地质模型，选择出合理的地球物理方法综合，亦即保留信息最佳而又经济的方法，淘汰那些给出重复结果或费用昂贵的方法。同时确定相应的综合地质解释方法和程序。

第三阶段，这时已拥有大量的试验性工作和生产工作所积累的资料（包括地质、钻探及地球物理调查等资料）。在分析研究这些资料的基础上，进一步确立物理-地质模型，以便对每一种方法及其综合的地质效果和经济效益作出结论，并为综合地质解释和严格的定量计算奠定基础。

不难看出，所划分的三个时期，与上述分类中设计（演绎模型）和解释（归纳模型）两个阶段相对应。但不管是哪一个阶段或哪一种类型的模型，它们都是在统计参考调查目标体物理性质和几何形状的基础上，以及在前一阶段已归纳的模型参数基础上逐次逼近建立的。然后再借助于物理或数字模拟求解地球物理正反演问题。在解释阶段，对于地球物理资料的综合地质解释，应包括以下内容：

1. 场的滤波，地球物理异常的分离与圈定，场与异常的特征及分类。
2. 估计各类误差的可能性，综合分析多维数据。
3. 对有希望的异常进行半定量和定量计算，以确定异常体的空间位置、几何形状，以及物理参数等。

第二节 立体物理-地质模型及其构成

近年来，由于矿产采掘量剧增，出露于现代剥蚀面的，浅部易发现的矿床总量减少。因此，地球物理方法的找矿难度增加。制约地球物理方法应用效果的条件是，找矿的深度增加，而有用

组分的极限含量又减少，换句话说，要求在不断减小有用组分极限含量的情况下增加勘探深度。这就要求地质、地球物理工作者系统的研究金属矿区的深部结构，以便查明未出露矿床的发现远景。解决这一问题的一个重要工作方向之一是进行立体地质填图。

所谓立体地质填图，就是查明一定空间内每一个点上的地质体、断裂、不整合面以及地质结构的其它几何要素的位置。其可靠性和精度要与地表相同比例尺工作的精度相适应。同时还应研究地质体的物质成分、其它特性和含有某种矿产的可能性。显然，要达到这样的成果是极艰巨的。所以解决这些问题只能看成是一个发展方向。按目前地质、地球化学、地球物理方法和钻探的水平，还只能完成上述任务中的有限部分，这就是建立并研究具有控矿意义和引起物理场异常的地质客体的立体构造模型。正因为如此，进一步引入了立体物理-地质模型的概念，它应理解为是立体地质填图的近期目标。

对于金属矿田或矿床来说，其具体作法是，通过比例尺为1:25000的地质和地球化学测量，比例尺为1:10000—1:25000的地球物理调查，以及钻探和地下物探对地质介质进行充分和全面研究的基础上，建立深达500m的立体物理-地质模型。为查明未出露矿床远景地区（段）提供地质依据。

深达500m的地质介质的立体结构信息，通常作成一定间隔层位的截面图来展示。构制截面图的方法有两种：一是只用少量的地球物理资料，根据地表地质情况外推到深部的地质-几何法；另一种是基于地球物理调查的解释结果，划分和圈定目标体的几何轮廓，并按地质资料外推查明这些目标体的结构和分布，称谓地质-地球物理方法。截面图各部分的可靠性、准确度和详细程度是不同的，它取决于地质及地球物理工作的比例尺，钻孔数目，目标体地质结构的复杂性，以及岩、矿石物理性质的差异程度和物理场特征。建立立体物理-地质模型时，地球物理调查深度不应限于工业开采的有利深度，而是照顾到能在立体空间中充分的表达出每一个有意义的调查目标体。这时要十分重视利用地面和并

中地球物理勘探立体综合成果。

一、建立立体物理-地质模型的阶段与方法

为了系统的研究金属矿区的深部结构，只有把地表的地质构造，岩、矿石的物理性质和物理场的特征研究充分，才能认识得更确实可靠。因此，对给定矿区立体物理-地质模型的建立与研究，应按以下几个阶段进行。

1. 准备阶段，主要是分析和研究已有的地质和地球物理调查资料，选择进一步进行野外研究的种类和范围。

2. 野外观测阶段，对选定的解释剖面（或地区）进行综合地质、地球物理研究，其中包括构造和岩石学研究，深达300—500m的构造、参数、钻探和井中地球物理调查，收集并测定大量岩、矿石标本，以便获得岩、矿石物理性质及其空间分布的统计数据。

3. 制定模型阶段，综合解释野外观测和室内已有资料，在此基础上建立个别调查目标或整个地区的立体结构模型。据此研究矿体（或矿产）的分布规律，预测找矿勘探工作的远景区段。

4. 钻探检查验证阶段，为了验证立体结构模型的可靠性，要进行钻探并配合井中地球物理勘探，以确定解释结果并把远景地段具体化。

不难看出，在完成上述各阶段的工作中，所使用的基本手段是：地质岩相法，地球物理和岩石物理学方法以及地质钻探。地质岩相法主要用来获得立体结构的定性模型。地球物理和岩石物理学方法是赋予模型定量参数。地质钻探则是为了论证标准地段的模型，评定已进行项目的可靠性和准确性。可见，立体物理-地质模型是现代地质科学各种基本手段所获地质信息的综合研究成果。

二、立体物理-地质模型的图示方法

如何把现代地质科学各种基本手段所获地质信息的综合研究成果直观和简单地展示出，也是实际工作中的一个重要问题。按现有经验，其成果图示有以下三个基本要求：

1. 直观性：是指对调查目标的图示要易于看出三度空间的形态，以及其内部结构与特征细节的相互位置。由于自然客体空间形态的复杂性，且有时一些客体掩覆另一些客体，所以要达到直观并不是一件容易的事。为此，往往不得不把客体的自然外形作某些修改。

2. 可逆性：或称度量性，它是企图用图示来确定调查目标的实际大小和形态，也就是说，图示应尽量保持与调查目标本身相应。其比例尺的选择取决于原始资料的误差和所要求的精度。

3. 图示方法要简单。最好采用机械的或计算机自动成图。

由上述基本要求显见，其图示方法应采用工程上画法几何和机械制图的基本原理。亦即采用三视（主视，俯视，侧视）图或框图形式，直观的和度量性的来展示调查目标（或立体结构模型体）各个侧面的形态及其地球物理异常的空间分布特征。

三视图是一种截面图（剖面的或平面的）。主视剖面通常是垂直调查目标（或模型）体走向的勘探剖面；俯视剖面是切割调查目标不同等深线的水平面；侧视剖面则是沿调查目标走向的纵剖面。在这些截面图上应展示出调查目标体的投影形态，按一定比例尺标明其空间位置、大小尺寸。同时还要展示出其物理场异常（场强曲线、等值线及矢量图等）。

所谓框图，它由一组某一视角的剖面图组合构成。由主视图组合成的称走向框图，用它可描绘出调查目标沿走向方向的形态和物理场异常变化特征。由俯视图组合成的称深度框图，用它描绘沿深度方向调查目标的形态和物理场异常的变化特征，如此等等。在实际工作中，构成哪一种形式的框图，由所要解决的地质任务和具有能反映哪一个侧面的原始数据量来决定。

应该指出，我们在第一节中所讨论的是物理-地质模型广义的基本概念，对给定地质-地球物理类型的矿床（或矿体）说，物理-地质模型通常用剖面图形式展示（如图 1-1，1-2）。而第二节中讨论的立体物理-地质模型，则是立体地质填图所能达到的近期目标。换句话说，是物理-地质模型在立体地质填图中的具

体应用，所以其建立与研究既要遵循第一节中阐明的基本概念，同时又要满足立体地质填图的要求。因此，其图示方法扩展到空间，用三视图或框图形式来展示。这些在国内外都尚处于试验研究阶段。

以下各章我们将从这些基本概念出发，详细的来研究讨论我国磁铁矿床主要成因类型的井中磁测物理-地质模型的建立及其在普查勘探中的应用。

第二章 建立磁铁矿床井中磁测物 理-地质模型的主要依据

在我国幅员辽阔的地域内，存在着从太古界到第四系各个地质时代的地层系统，其中包括各种变质岩系和火山岩系，也有各期地壳运动过程中所形成的各类火成岩，具有多样化的地质构造特征，因而形成了不同类型的铁矿床。就我国东部地区说，主要的铁矿类型有：沉积变质铁矿，这是一组十分重要的铁矿类型，主要分布在东北、华北两大区的许多地区（如辽宁鞍山，本溪，冀东迁安等地）；与中-酸性岩浆岩侵入活动有关的接触交代-热液型铁矿床，是一组点多面广以富矿为主的铁矿床，如山东金岭铁矿，鄂东铁矿等；与中性（偏基性或偏酸性）钠质或偏钠质火山-侵入活动有关的铁矿床，如宁芜铁矿。它们是鞍钢、首钢、大冶和马鞍山等钢铁公司的主要矿石供应基地，在国民经济中占有重要的地位。这些铁矿床的地质-地球物理研究程度都较高，多年来积累了丰富的资料。但目前迫切要求在其外围和深部寻找新的隐伏矿体，以扩大资源储量，为发展我国钢铁工业作出更大的贡献。找矿实践业已证明，航空、地面和井中磁测立体综合，与地质勘探相配合，具有显著的找矿效果和经济效益。但长期以来，在井中磁测的推断解释中，仅限于应用简单规则几何形态磁性体来模拟实际复杂的矿体模式，这对于寻找深部矿受到了一定限制。因此，系统的统计、研究、分析上述三组铁矿类型的矿床地质参数和地球物理参数，并在此基础上，分别建立并研究其物理-地质模型，乃是现阶段系统地研究这些铁矿区的深部地质结构，提高井中磁测深部找矿地质效果的重要途径。

第一节 矿床地质特征

由物理-地质模型基本概念已知,研究和提供一定成因类型矿床的地质特点,是建立磁铁矿床井中磁测物理-地质模型基础之一。用它给出模型规模参数和几何参数。为此,以下按沉积变质型、矽卡岩型及火山岩型铁矿顺序,以河北迁安、山东金岭、鄂东及宁芜铁矿区中的部分典型铁矿床为例,分别叙述各自的矿床地质特点。

一、河北省迁安铁矿

迁安铁矿位于华北地台北缘,燕山沉降带中部 马兰峪-山海关复背斜迁安隆起的西部边缘弧形褶皱带中。区内广泛出露太古代变质岩系和震旦系地层。其太古代变质岩系地层由麻粒岩、变粒岩、浅粒岩、片麻岩和斜长角闪岩及辉石岩等一套岩类组成。岩石变质程度较深,混合岩化作用强烈。其构造特点为线状紧密褶皱,但由于在漫长的地质年代中,发生多次地质构造运动,现已形成由北向南倾伏的多期叠加构造形变。

矿区矿床属沉积变质型铁矿,多呈层状,以复杂的向斜或背斜等褶皱形态产出,大部分铁矿床地表均有出露,主要含矿岩系为迁西群三屯营组二段地层,一般规模都很大,厚度由数十米乃至百米不等,走向长一般在千米以上。

断裂构造极为发育,同组断裂构造体系其走向互相平行,间距大体相等。

矿石主要类型为磁铁石英岩和磁铁辉石岩两种,品位一般在30%左右。富矿少见,目前还未发现具有工业意义的富矿体。

矿区中几个主要矿床的地质参数列于表2.1。

由表可见,在所列8个矿床中矿体多呈以向斜为主的褶皱构造,背斜和复背斜少见。据此,选择白马山和脑峪门两矿床为代表,详细地阐明其矿床地质特点。

1、白马山铁矿床

表 2.1

矿体名称	矿体形态	矿体产状		
		走 向	倾 向	倾 角
孟家沟	水平平板	NE38°		0°
杏 山	缓翼向斜	近SN	W	75°
姑子山	不对称向斜	NE60°	SE, NW	60°, 30°
羊崖山	紧密倒转向斜	NE42°	NW	42°
水 厂	叠加向斜	NE46°	NW	70°
白马山	复向斜	NE50°	NW	88°, 115°
脑峪门	背 斜	EW	N, S	60°, 50°
北 屯	复背斜	NE37°	NW	57°

白马山铁矿床位于迁安铁矿复向斜北段, 矿石建造为磁铁石英岩和磁铁辉石岩两类。铁矿品位一般在30%左右。矿床由白马山主矿体倒转向斜及两侧的爱玉山、刀棱山次级倒转向斜组成一复式倒转向斜, 走向NE50°, 矿体两翼向北西倾斜, 北西翼陡, 倾角为88°, 南东翼缓, 倾角115°。主矿体上顶埋深为240m, 走向长约800m, 平均宽度600m, 向下最大延伸320m。矿体平均厚度, 翼部为75m, 单层核厚为100m; 平均约63m。按目前所划分的储量级别属中型铁矿。

矿体的顶板围岩是石榴黑云变粒岩, 底板围岩则是黑云变粒岩夹角闪二辉石岩。矿床的典型地质剖面如图2-1。

2. 脑峪门铁矿床

脑峪门铁矿床位于迁安铁矿南部, 系杏山矿层向东的延续。初步确定矿体呈中间开口的背斜形式产出, 其走向东西, 两翼向南北方向倾斜, 近于对称, 上缓下陡, 北翼倾角为60°, 南翼为50°, 矿体上顶埋深为320m, 走向长度700m, 单层平均宽度为350m, 向下延深为520m。矿体单层核厚为72m, 平均厚度为50—100m, 矿床规模属中型。

矿体顶板围岩是黑云变粒岩, 底板围岩则是黑云变粒岩及黑云浅粒岩。

二、山东省金岭铁矿

矿区内地层主要由中奥陶统马家沟组石灰岩 (O_2m_3)、石炭-二叠系地层及白垩系青山组所组成, 皆有不同程度的出露, 第四系广为复盖。

矿区为一北东向的挤压带, 由金岭背斜和湖田向斜组成。岩体沿背斜轴部侵入。金岭背斜控制了闪长岩类岩浆的侵入及相伴产生的矽卡岩型磁铁矿的展布方向。区内有3条近乎平行的北北东向断层, 分布于东区两侧及中部。侵入岩主要为燕山晚期产物, 总观岩体呈“8”字型, 其分带现象明显, 由中心向外, 岩性主要为: 黑云母辉石闪长岩、闪长岩、石英闪长岩、正长闪长岩及辉石闪长岩等。

围绕金岭岩体的铁矿, 均系接触交代磁铁矿矿床。成矿母岩主要为闪长岩, 围岩则主要是中奥陶统灰岩, 其次为石炭-二叠

表 2.2

矿床名称	矿体形态	矿 体 产 状		
		走 向	倾 向	倾 角
北金召	扁豆状	NE30°	SE	40°—65°
北金召北	似板状	NE40°	SE	8°
北金召北	透镜状	EW	N	45°
侯家庄1	似层状	NE60°	NW	40°—50°
侯家庄2	透镜状	NE55°	NW	40°
辛 庄	似板状	NE45°	SE	40°—60°
东召口1	似层状、扁豆状	NW37°	NE	10°
东召口2	似层状	NW75°	NE	10°
王旺庄	似层状	NE80°	N	10°—15°

系地层, 岩性为砂页岩及角岩。矿体一般为似层状、板状、透镜状及不规则的扁豆状。分别赋存于接触带上, 或闪长岩体内或灰岩中。表2.2列出了金岭铁矿区各主要矿床的地质参数。

位于矿区东北部金岭岩体北东倾没端的王旺庄铁矿床可作为

表 2.3

矿体 编号	矿体形态	矿体产状			矿体规模 (m)			
		走向	倾向	倾角	埋深	长度	宽度	平均厚度
I	似层状	NE80°	N	10°—15°	400—670	1100	100—300	30.06
II	似层状	NE80°	N	10°—15° 或<10°	350—530	1100	70—600	29.58
III	薄层状	NE80°	N		300—400	1000	90—200	3.51

本区的代表, 故仅对其作详细介绍。

王旺庄铁矿床位于一单斜构造部位, 总体走向近东西, 倾向北, 倾角平缓。矿床由3个矿体组成, 自下而上编号为 I、II、III, 分别产于辉石闪长岩与中奥陶统灰岩的接触带内及其附近围岩中, 其中以 II 号矿体为主矿体, 规模较大, 品位富, 连续性好, 赋存于中奥陶统马家沟组灰岩与中石炭统本溪组地层 (铝土岩、页岩薄层灰岩的假整合面上); I 号矿体位于 II 号矿体下部, 产状形态与 II 号矿体基本一致, 并与其平行排列, 顶板为矽卡岩及蚀变闪长岩, 下部邻近有中奥陶统灰岩捕虏体; III 号矿体位于 II 号矿体上部, 赋存在中石炭统本溪组地层中, 矿体顶底板均为角岩, 局部见矽卡岩, 矿体规模最小。王旺庄铁矿床规模属中型。表 2.3 列出了 I、II、III 号矿体的矿床地质参数。

其典型地质剖面如图 2-2 所示。

三、鄂东铁矿

鄂东铁矿区位于长江南岸, 准阳山字型构造前弧西侧, 梁子湖凹陷带与黄石阳新凹陷带之间的鄂城大磨山主体复合隆起带上, 主要包括大冶、程潮、金山店以及灵乡等四个铁矿床。其成因属接触交代型, 分别赋存于呈北北东向排列的鄂城侵入体, 铁山侵入体、金山店侵入体、灵乡侵入体与三叠系灰岩、大理岩及砂页岩等围岩相接触的接触带、超复接触带上及其附近, 受复合构造控制。岩体主要为燕山晚期的闪长岩类、花岗岩类及石英二长岩类。矿石矿物成分主要是磁铁矿, 其次为赤铁矿。矿石构造

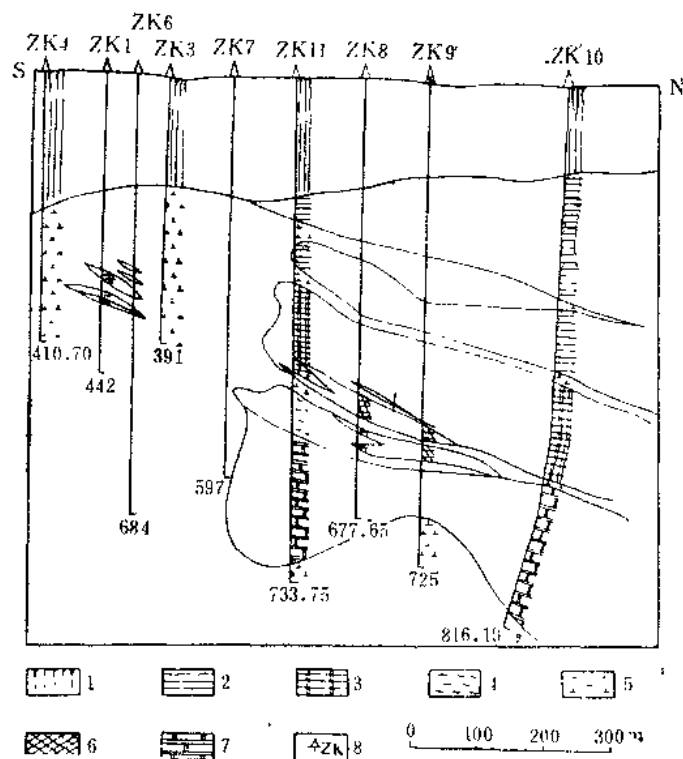


图 2-2

1—疏松沉积；2—砂岩；3—角岩；4—砂卡岩；5—闪长岩；6—磁铁矿；
7—大理岩；8—钻孔及编号

复杂，但以块状构造为主。前三个铁矿床皆呈NWW或EW方向展布，由多个矿体组成，呈似层状、不规则透镜状、扁豆状、脉状及囊状产出。局部地段的铁矿地表有出露。大冶、程潮及金山店三个矿床走向平均长度分别为610m、940m、856m，单个矿体平均厚度几米到数十米不等。下面分别叙述该三个矿床地质参数。

1. 大冶铁矿床

矿区处于淮阳山字型构造前弧西侧与新华复系构造体系的复合地带。由铁门坎、龙洞、尖林山、象鼻山、狮子山及尖山等六

个矿体（矿段）组成。矿床主要产于中细粒含石英闪长岩、黑云母透辉石闪长岩与下三叠统大冶灰岩的超复接触带及接触带上，受接触面形态、卷曲褶皱及断裂等复合构造所控制。岩体分布在矿体北盘，大理岩位于矿体南盘。

矿床分氧化与原生两个带。氧化带以赤铁矿-褐铁矿矿石为主，氧化深度一般在100m以上；原生带的物质成分较复杂，按矿物组分和结构构造特征，主要为磁铁矿和磁铁矿-赤铁矿-菱铁矿。矿石以块状构造、细粒它形结构和交代残余构造广泛发育为其特征。

矿床总体呈似层状，走向NWW，倾向除个别矿体为南西倾

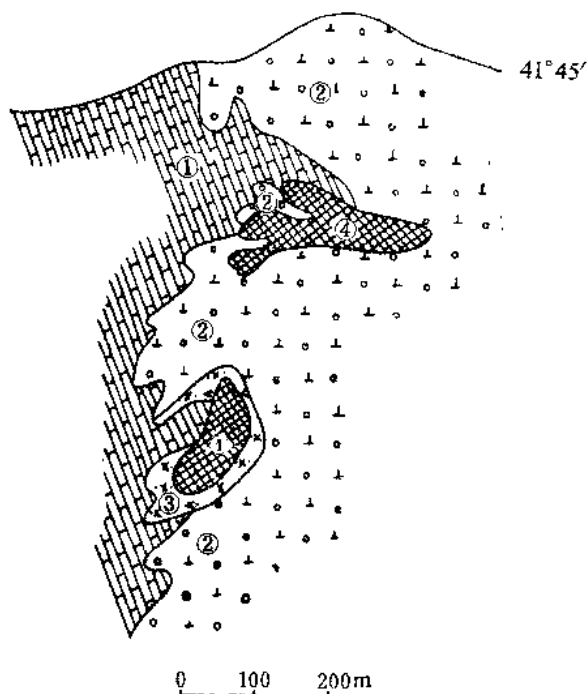


图 2-3

1—大理岩；2—闪长岩；3—砂卡岩；4—磁铁矿

外，其它矿体上部倾向多为北东，下部则转向南西。倾角变化较大，有的近似水平，有的近于直立，一般在 30° — 80° 之间。矿体走向长度为400—872m，最大斜深620m，最小为30m，一般为100—400m。矿体标高在226—430m之间。矿体最大厚度150m，最小厚度为10m，平均厚度为30—80m。矿体形态在不同地段差异较大，有脉状、透镜状、囊状等。各矿体的地质参数详见表2.4。

大冶铁矿的典型地质剖面如图2-3。

2. 程潮铁矿床

矿区位于扬子凹陷西端，界于淮阳地盾与江南古陆之间，隸属淮阳山字型构造前弧西翼。矿床由几十个大小不同的磁铁矿体组成，其中已勘探控制的大小矿体有7个。主要产于三叠系灰岩与花岗岩、闪长岩体的接触带附近。

矿石类型主要为块状磁铁矿，次为浸染状磁铁矿、斑状磁铁矿、矽卡岩磁铁矿及角砾状磁铁矿。按矿化围岩或夹石种类分为矽卡岩-磁铁矿、硬石膏-磁铁矿、大理岩-磁铁矿、石英长石斑岩-磁铁矿等四类。铁矿石以富铁为主，并伴生有镓和钴。

铁矿床主矿体稳定，连续性好。各矿体在纵向平面上呈NWW-SEE向重叠展布；在横向剖面上则呈不规则的透镜状、囊状及扁豆状产出。各矿体一般均向南倾，倾角 46° 左右。自北向南由浅面深矿体常呈首尾交错及相互重叠的叠瓦状排列，且均向南西方向侧伏、其侧伏角较小，部分矿体有分支复合和膨缩现象。

矿床的7大矿体走向在 $NW71^{\circ}$ — $NW54^{\circ}$ 间变化，平均走向长度为940m；倾向 $SW19^{\circ}$ — $SW36^{\circ}$ ，平均向下延伸长度为172m；各矿体倾角不一，在 4° — 46° 间变化。矿体平均厚度43.37m，矿床标高为60—1055m（详见表2.4）。

3. 金山店铁矿床

矿区与大冶铁矿同属一构造单元。矿床主要部分属矽卡岩型，由张福山及余华寺两矿床组成。主要产于大理岩与石英二长岩的正接触带及其附近的外接触带中。规模属中型。矿石矿物成分较

表 2.4

矿床名称	矿体名称 或编号	矿体形态	矿 体 产 状		
			走 向	倾 向	倾 角
大 冷	铁门坎	透镜状或不规则状	NWW	NNW-SSW	35°—87°
	龙 洞	似层状	NW	SW	40°—90°
	尖林山	透镜状	NWW	NNW(主) SSW(次)	西端南倾<60° 东端北倾0—20°
	象鼻山	透镜状	NW	NE	10°—60°
	狮子山	透镜状或楔状	NW	NE-SW	75°—90°
	尖山西段	贝壳状或马鞍状	NW	NE-SE	50°—70°
	尖山东段	囊状	NW	NE	35°—45°
程 潮	1	透镜状	NW	SW	46°
	2	透镜状	NW	SW	—
	3	透镜状	NW	SW	—
	4	透镜状	NW	SW	8°—18°
	5	透镜状	NW	SW	13°—20°
	6	扁豆状或透镜状	NW	SW	—
	7	扁豆状或囊状	NW	SW	40°—29°
张 福 山	1	似层状或透镜状	NWW或EW	W-E SSW-SSE-SSW	85°—61°
	2	似层状或透镜状	NWW或EW	SE-SW	80°—49°
	3	似层状或透镜状	NWW或EW	SW	67°—71°
	4	似层状或透镜状	NWW或EW	S-NW	79°—86°
	5	似层状或透镜状	NWW或EW	SE	75°—82°
	6	似层状或透镜状	NWW或EW	SSW	46°—62°
余 华 寺	1	似层状或透镜状	NNE	NNW	55°

复杂。矿石构造以块状为主，其次为条带状、角砾状、浸染状、粉状及斑块状。原生矿石以高硫低磷为特征。

张福山铁矿床由多个大小不同的矿体组成，其中较大的矿体有6个。各个矿体在走向上呈NWW或EW向以条带状平行展布；在横剖面上，矿体形态多呈似层状、脉状及透镜状产出。倾向SSW，倾角 46° — 86° ，向SE倾状（见表2.4）。矿体走向长度为34—970m，平均厚度为13.8m。矿床标高在111—1000m之间。

余华寺矿床由9个大小不同的矿体组成，其中1号矿体最大。各矿体在走向上首尾交错，相互重叠，呈NEE向展布，在横剖面上，矿体形态多呈透镜状，似层状及不规则状。1号矿体走向延伸长度为760m，倾向NNW，倾角约 55° ，向SW倾伏。矿体平均厚度37m（见表2.4）。

四、宁芜铁矿

宁芜铁矿区由30几个规模不等的铁矿床及几十个矿化点所组成，呈北东向分别分布于江苏省的江宁县及安徽省的马鞍山—当涂地区。整个铁矿区位于下扬子区的宁芜陆相火山岩盆地内。矿床及矿点往往围绕着一个火山—侵入活动中心出现，分别产于火山岩内、次火山岩体及邻近火山岩层内，以及次火山岩体与前火山岩系沉积岩接触带中。矿床成因属陆相火山岩型（又称玢岩铁矿）。本区含矿岩体——次火山岩多呈岩墙、岩床、岩支、岩瘤、岩株及不规则状产出，主要受深部的隐伏断裂控制，其次是受火山岩系的原生环状放射状断裂控制。岩性主要为中基性富钙质的辉石闪长岩和辉石闪长玢岩。矿石矿物主要为磁铁矿，次为假象赤铁矿及赤铁矿。矿石构造复杂，矿石类型多样。矿体形态主要有不规则的透镜状、似层状、不对称的簸箕状、背斜（拱状）及其它不规则形态等。矿体走向长度一般为几百米至上千米，最大走向长度达1800m，厚度一般由几米至几十米，最大厚度为292m。其典型地质剖面如图2-4。

下面以钟九、白象山、马村及东庄等四个铁矿床为代表阐述其矿床地质特点。

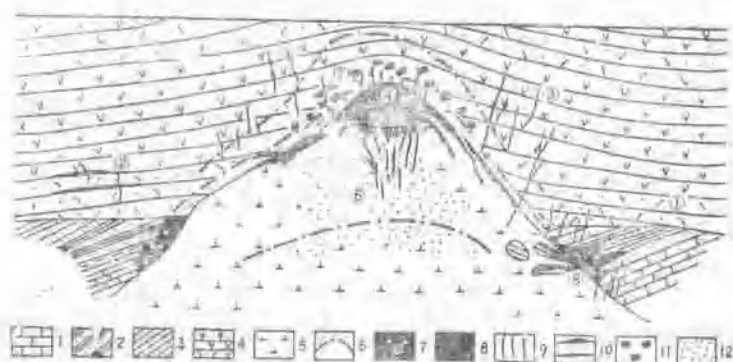


图 3-4

- 1—青龙群石英岩 (T_2-3)；2—黄马青组砂页岩 (T_2)；3—象山群砂岩 (J_1-2)；
4—龙王山、太王山南麓回火山岩 (J_1/K_1)；5—辉长闪长粉岩-辉长闪长岩；
6—轴变分带界限；7—角砾岩化带及角砾状矿石；8—块状矿石；9—镜铁矿或
磁铁矿脉；10—层状铁矿；11—黄铁矿化；12—浸染型铁矿化；①②火山沉积
层状铁矿；③脉状及囊状铁矿；④接触交代-无类型铁矿（如梅山）；⑤脉状、
网脉、角砾状、块状铁矿（凹山）；⑥浸染状铁矿；⑦黄铁矿；⑧中高温气液
交代-充填矿床（钟九、白象山、马村、东庄铁矿）
(据《宁芜玢岩铁矿》，图例说明略作修改)

1. 钟九铁矿床

钟九铁矿位于宁芜火山岩盆地南段钟姑山背斜的核部及附近，属火山期后气化-高温热液充填-交代成因的次火山热液矿床。矿区范围内皆为第四系覆盖。从钻孔揭露，区内地层主要为中下三叠纪青龙灰岩，上三叠纪黄马青组砂页岩，中下侏罗纪象山砂岩，上侏罗纪及下白垩纪地层等。矿床严格受钟姑逆断层、次级断裂及不整合面所控制。次火山岩-侵入岩岩性主要为钠长岩-钠长闪长岩，其次是辉石闪长岩。

矿体大致呈向北北东开口的似层状不对称簸箕形产出。南部主矿体赋存于青龙灰岩与上侏罗统之间的不整合面上，产状西陡东缓，南高北低，倾角 $15^{\circ}-30^{\circ}$ ；北段主矿体产于钠长岩-钠长闪长岩、辉石二长岩的下接触带上，向东倾斜，倾角 $50^{\circ}-60^{\circ}$ 。整个主矿体连续性较好，主矿体长轴方向为 $N E 24^{\circ}$ ，长度约为

1200m, 平均宽度约为450m, 矿体平均厚度20—70m, 以中部最厚, 南部次之, 向北向东逐渐变薄乃至尖灭。主矿体标高在-40—-490m之间。规模属中型。

矿石矿物成分主要为磁铁矿, 次为假象·半假象赤铁矿。矿石类型以浸染状为主, 次为致密块状、角砾状及条带状。矿石建造主要是金云母-磷灰石-磁铁矿及透辉石-磷灰石-磁铁矿组合。

2. 白象山铁矿床

白象山铁矿床位于钟九铁矿东侧, 钟姑背斜东翼的一个近南北走向的次级小穹隆背斜轴部, 次火山岩体突出部位的接触带附近。根据成矿作用特点, 矿床成因属以气液交代作用为主的高温热液矿床。

矿区主要地层是上三叠纪黄马青组砂页岩及侏罗系白象山砂岩, 分别分布于小背斜的核部及两翼。背斜南端因受区域构造影响而被一NWW向的深断裂所切割。次火山岩体(成矿母岩)由浅到深, 岩性依次为闪长玢岩、闪长岩、辉石闪长岩及辉长闪长岩。岩体呈突出的岩株状, 受NE向及NWW向的两组构造控制。

白象山铁矿主要产于岩体与黄马青砂页岩接触带及其内带中。主矿体走向NE15°, 呈似层状-连续透镜状产出。从纵向看, 矿体从南至北由浅变深, 膨缩变化, 随倾没的小背斜呈波状向北缓倾伏, 倾伏角10°—30°左右; 从横向看, 矿体呈一不对称的平缓拱状(或弓状), 其产状与小背斜起伏一致, 分别倾向于SEE及NWW, 倾角20°—40°, 一般25°—30°。矿体走向长度约1800m, 横向宽度500—900m, 最大延深1130m。矿体厚度在纵向及横向上, 膨缩相间, 时厚时薄, 从2.22—121.72m间变化, 一般在5—40m间, 平均厚度34.41m。矿体一般是2—4层, 其顶板标高在-200—-400m以下, 底板最低标高-582m。规模属大型。

矿石矿物成分以磁铁矿为主, 假象赤铁矿及赤铁矿次之。矿石构造除部分呈致密块状外, 一般多为层纹状及浸染状。矿石建造为金云母-磷灰石-磁铁矿、阳起石-磷灰石-磁铁矿及钠长石-金云母-磁铁矿组合。

3. 马村铁矿

马村铁矿位于宁芜火山岩盆地北段其林山矿区内,方山-小丹阳断裂带西侧,方山火山口附近,NNE向和EW向两组基底断裂构造交会处。矿区赋矿构造为一短轴背斜。由于受断裂构造,岩浆岩侵入以及剥蚀作用等因素影响,背斜形态已不完整。根据地质特征及找矿特点,马村铁矿属火山期后中偏高温热液充填及交代矿床。矿区内皆为第四系覆盖,据钻孔资料,矿区地层主要是三叠纪青龙灰岩及黄马青组砾岩、砂岩、粉砂岩、泥岩及页岩,侏罗纪象山石英砂岩及粉砂岩,侏罗系上统龙王山组及大王山组安山岩、辉石安山岩及安山质凝灰角砾岩,以及白垩系上统红层等。本区所见次火山岩(含矿岩体)是在大王山旋回剧烈火山喷发末期形成的,呈蘑菇状产出,以辉石闪长岩为主。

马村铁矿主要产于岩体顶部边缘及其附近,与黄马青组底部地层相接触的接触破碎带内。矿体近南北走向,呈似层状及透镜状产出。向NNW倾斜,倾角 20° — 40° 。矿体走向延伸长度约600m,倾向延深150—280m,最大厚度65m。平均厚度30m,矿体赋存在标高—310—550m之间,规模近中型。矿石矿物成分以假象赤铁矿为主,次为半假象赤铁矿和磁铁矿。矿石构造有角砾状、致密块状、条带状、粉末状及细脉浸染状等。

4. 东庄铁矿

东庄铁矿位于马村铁矿北侧,同属一个构造单元控制。矿床成因类型及地质特征与马村类似。

第二节 矿床地球物理参数

磁铁矿床的地球物理参数,是建立和研究井中磁测物理-地质模型必须提供的另一组基础资料,它给予模型以定量参数。对于井中磁测说,主要是指矿体及其围岩的岩矿石磁性,地面磁异常的分布特征。众所周知,不同成因类型磁铁矿床其岩矿石的磁性和磁异常分布特征是不同的。下面仍按第一节中所叙述的顺序,

对三种成因类型磁铁矿床10个具有代表性的铁矿区的地球物理参数分别作详细讨论。

一、河北省迁安铁矿

迁安铁矿区是具有明显磁各向异性的强磁性铁矿，其特点是磁异常场值高（达几千到几万纳特），梯度变化大。由于矿体在纵向与横向上叠加，褶皱构造和断裂构造极为发育，导致磁性矿体的复杂组合及磁异常分布特征的复杂性。因此，详细地研究分析岩矿石的磁性参数和地面磁异常分布特征，对建立和研究迁安铁矿井中磁测物理-地质模型具有重要意义。

1. 矿区岩矿石磁性及其变化规律

历年来，迁安铁矿区进行过大量的岩矿石标本磁性测定及研究。表2.5和表2.6中列出了矿区岩矿石的磁性参数及8个矿床磁铁矿与围岩（黑云母变粒岩等）的磁化率均值。

表 2.5

岩矿石名称	磁化率 K 常见值(SI)	剩余磁化强度 J_r 常见值(A/m)	Q 值 (J_r/KT_0)
磁铁矿石岩	2.30	0.39×10^3	1.0—11
含铁矿石岩	0.59	0.049×10^3	1.0—3.7
片麻岩类	0.042	0.90	1.4
斜长角闪岩	0.05	0.60	1.2
混合岩类	0.013	0.65	1.6
辉石岩	0.033	3.70	4.6

注：深部 Q 值均小于1

表 2.6

磁性 岩矿石 矿床名	磁化率 K 均值(SI)							
	孟家沟	杏山	姑子山	羊崖山	水厂	白马山	脑峪门	北屯
磁铁矿	2.14	2.04	2.22	2.84	2.02	1.91	2.82	2.39
黑云母变粒岩	<0.03	<0.04		<0.08		<0.05	<0.05	

研究表明，迁安铁矿区的磁性具如下基本特征：

(1) 磁铁矿具有强磁性

(2) 同一矿体的磁性强弱与埋深有关。地表矿石其磁化率值小于开采面和钻孔中矿石的磁化率；地表矿石的剩余磁化强度值大于开采面和钻孔中矿石的值；地表矿石 Q 值(J_r/J_i) >1 ，深部矿石 Q 值 <1 ；地表矿石磁性不均匀，深部矿石磁性则比较稳定。

(3) 磁铁矿矿石剩余磁化强度的指向平行于矿体的走向，且剩磁倾角 ϕ 很小，一般在 $\pm 15^\circ$ 左右。以宫店子向斜矿体为例(如图2-5)，根据不同构造部位剩磁 ϕ 角统计值看，明显地表现出有

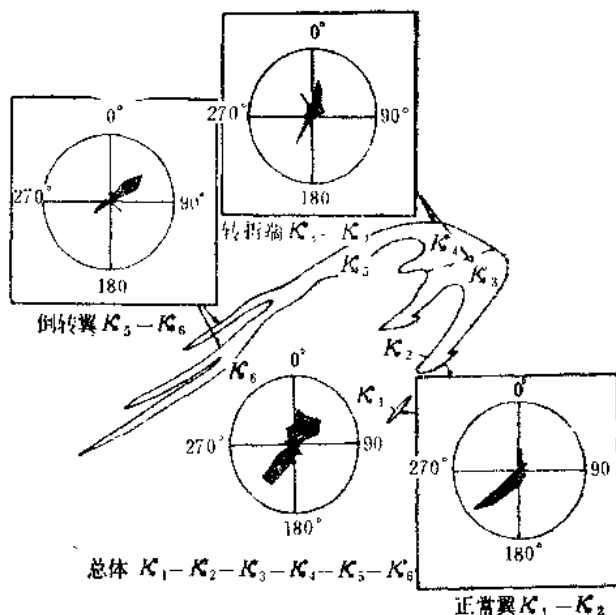


图 2-5

两组指向：一组是NE50°，另一组是SW230°，与宫店子矿体轴线走向一致。其剩磁倾角很小，一般仅 $\pm 15^\circ$ 。

(4) 磁铁矿矿石的磁化率具有明显的磁各向异性。由磁学理论已知：岩矿石的磁各向异性主要来源于矿物晶体的结构、构造及磁性物体形态的不同。由于迁安铁矿矿石结构一般表现为条带状、条纹状及片麻状，磁铁矿矿物与硅质岩类矿物相间排列，呈层状结构，故铁矿石的磁性具明显的各向异性。沿矿体层理走向方向的磁化率大于沿倾斜方向的磁化率值，其比值一般在1.1—1.6间，沿矿体走向的磁化率值大于垂直层理面的磁化率值。磁各向异性系数 λ 变化范围在1.1—3.0之间，经全矿区统计，常见值 $\lambda = \kappa_{\parallel} / \kappa_{\perp} \approx 2$ 。

(5) 矿区内混合岩和片麻岩类岩石均为弱磁性或无磁性，磁化率值一般为0—0.05 (SI)，因此，矿体与围岩磁性差异明显。

2. 矿区地面磁异常的平面及剖面分布特征

(1) 矿区内地面磁异常在平面上主要呈“环状”展布。一种是“全封闭型”，另一种是“半封闭型”(见图4-20)。这种展布形式的磁异常是本区内判断磁性体是背斜或向斜构造模式的重要标志。若在环状异常内侧呈宽缓的低值正异常，在环的外侧出现负异常(或零值区)，或异常的内侧变化梯度小，外侧变化梯度大，地质上所表现的是内倾转折，则它所反映的磁性地质体为向斜构造模式。反之，若环状异常的内侧是负值区，而且内侧梯度大于外侧的梯度；地质上所表现的转折端为外倾转折，则它所反映磁性地质体为背斜构造模式。

(2) 在横剖面上，“环状异常”一般呈“双峰”，即鞍形磁异常。用它识别磁性体是向斜或背斜构造模式的特征与平面场相同。亦即“双峰”之间是低值正异常，其内侧梯度比外侧的梯度小，这是向斜磁性体特征；而背斜磁性体的磁异常，“双峰”的内侧梯度大于外侧的梯度。

基于上述，就可提供出建立白马山和脑峪门两个具有代表性铁矿床井中磁测物理-地质模型的磁性参数统计值。

白马山复向斜矿体：磁化率 κ 平均值为1.94SI，剩余磁化强

度 J_r 平均值为 18.2A/m , $\kappa_{\perp}=1.66\text{SI}$, $\kappa_{\parallel}=3.32\text{SI}$, $\lambda=2$ 。其地面磁异分布特征见图4-20。

脑峪门背斜矿体: 磁化率 κ 平均值为 2.82SI , 剩余磁化磁度 J_r 平均值为 40.9A/m , $\kappa_{\perp}=1.953\text{SI}$, $\kappa_{\parallel}=3.70\text{SI}$, $\lambda=2$ 。其地面磁异常分布特征见图4-28。

二、山东省金岭铁矿

金岭铁矿区岩矿石磁性, 历年来共测定标本3000多块。其统计结果分别列于表2.7 (磁铁矿石) 和表2.8 (岩石)。

对所列的统计分析数据后认为, 其磁性具有如下特点:

表 2.7

矿床名称	磁化率 κ 常见值 (SI)	剩余磁化强度 J_r 常见值 (A/m)	Q 值 ($J_r/\kappa T_0$)
北 金 召	2.689	0.338×10^3	3.04
北金召北	5.667	0.167×10^3	0.71
侯 家 庄	5.768	0.211×10^3	0.85
辛 庄	4.540	0.228×10^3	1.21
东召口1	3.607	0.220×10^3	1.46
东召口2	5.491	0.329×10^3	1.45
王 旺 庄	6.785	0.130×10^3	0.48

表 2.8

岩石名称	磁化率 κ 常见值 (SI)	剩余磁化强度 J_r 常见值 (A/m)	Q 值 ($J_r/\kappa T_0$)
砂卡岩	0.065	3.76	1.4
辉石闪长岩	0.045	0.92	0.4
蚀变辉石闪长岩	0.023	0.53	0.54
闪长岩	0.044	1.51	0.83
闪长玢岩	0.016	0.24	0.41
黑云母闪长岩	0.032	1.21	0.91
角 岩	0.007	0.34	1.20
变余砂岩	0.022	0.68	0.95
结晶灰岩	0	0	
大理岩	0	0	

1. 矿区岩矿石磁性一般以感应磁化强度为主, 但部分矿体的矿石剩余磁化强度较强, Q 值大于1, 个别矿床 Q 值高达3.04。地磁倾角一般为 53° , 但从定向标本测定统计结果, 磁铁矿的磁化倾角为 63° , 闪长岩的磁化倾角为 65° 。岩矿石磁性按其强度大小排列顺序是: 磁铁矿、砂卡岩、辉石闪长岩、闪长岩、黑云母闪长岩、闪长玢岩、变余砂岩、角岩及灰岩。主要可分为三个台阶, 即高强台阶(磁铁矿)中强台阶(闪长岩类)及低弱台阶(沉积岩类), 如图2-6所示。从图2-7可见, 在井中磁测时, 磁铁矿层的 ΔZ 磁异常内磁场值为 $-15000 \sim -70000 \text{ nT}$; 闪长岩类岩体可引起 $-1500 \sim -3000 \text{ nT}$ 的场值, 曲线呈不规则的锯齿状, 这是岩体内磁场的特征; 变余砂岩及大理岩的井中磁场低而平缓, 约在 $0 \sim 600 \text{ nT}$ 范围内变化。上述特征说明, 矿区岩矿石磁性差异明显。

2. 岩矿石磁性在矿区范围内的平面分布特征是:

(1) 以几何均值作为各个矿体磁性的统计特征值而论, 磁铁矿的磁性由南向北呈弱-强-弱变化趋势。就各个矿体而言, 东部矿体的磁性弱, 西部矿体的磁性强。例如南龙矿体磁性要比红花圈矿体小, 红花圈矿体磁性又小于侯家庄矿体。对同一矿体而言, 其磁性则是东端强, 西端弱。

(2) 岩体磁性大小与岩性及岩体不同的分带密切相关。其分布特征是南、北都较强, 中间则较弱。例如, 矿区的北东半环和南端的四宝山分布的是闪长岩和辉石闪长岩, 其磁化强度为 $3 \sim 6 \text{ A/m}$, 中部地段分布的是石英闪长岩和二长岩, 其磁化强度仅为 $1 \sim 3 \text{ A/m}$ 。

3. 岩石磁性的强弱沿垂向的变化, 取决于其风化作用的程度及岩性, 同种岩石风化程度越高, 磁性越弱, 反之, 则较强。一般规律是浅部弱, 随深度的增加逐渐加强。对于岩体而言, 埋深在 600 m 以下时, 磁性就趋于稳定。

金岭铁矿区, 由磁铁矿引起的磁异常其 ΔZ 等值线形态常呈等轴状、椭圆状及带状, 异常强度为几千至上万纳特, 它们往

在围绕接触带及其邻近部位分布。

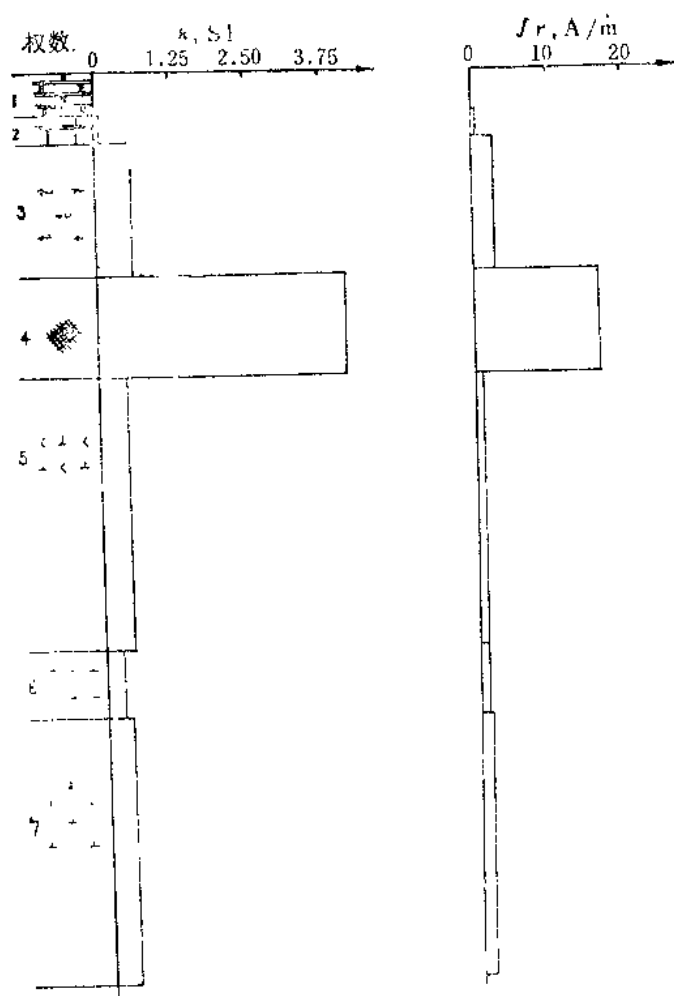


图 2-8

1—大理岩；2—角岩；3—砂卡岩；4—磁铁矿；5—黑云母闪长岩；6—黑云母闪长岩；7—闪长岩

王旺庄铁矿床是其中的一个典型矿例，它是由地面磁测及井中磁测立体综合研究，并配合地质、钻探发现的。异常形态规

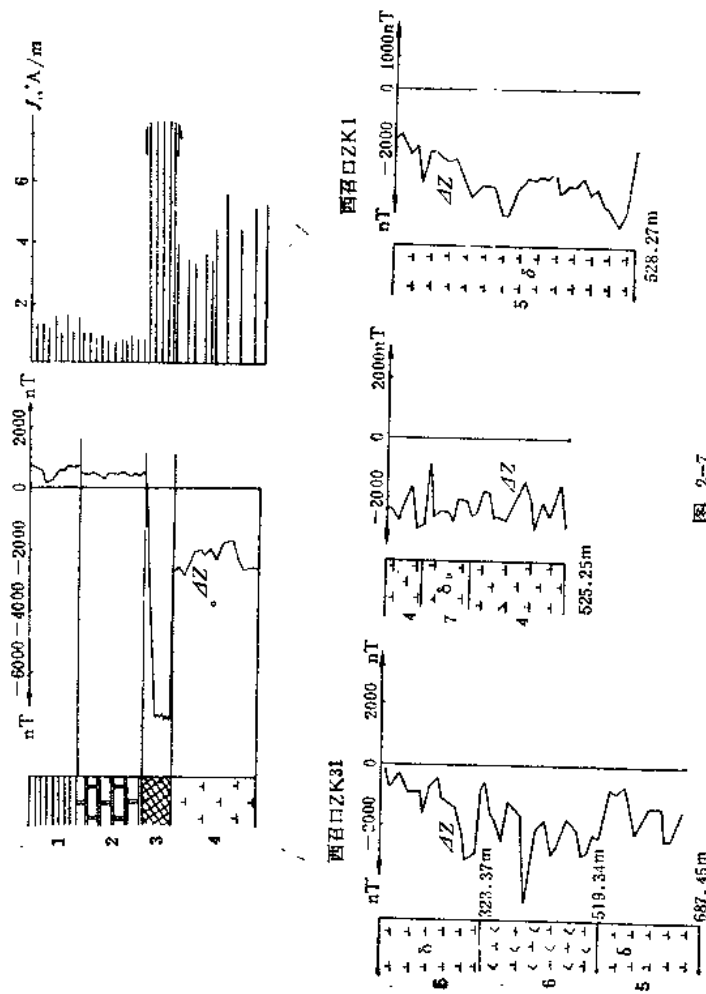


图 2-7

1—变余砂岩；2—大理岩；3—磁铁矿；4—闪长岩；5—辉石闪长岩；6—黑云母辉石闪长岩；7—闪长玢岩

表 2.9

岩矿石名称	磁化率 κ 均值 (SI)	剩余磁化强度 J_r 均值 (A/m)	Q 值 ($J_r/\kappa T_0$)
磁铁矿	6.785	0.130×10^3	0.46
矿化砂卡岩	0.578	8.3	0.54
闪长岩	0.044	1.3	0.71
黑云母闪长岩	0.049	1.8	0.88
蚀变闪长岩	0.025	0.4	0.38
煌斑岩	0.048	0.3	0.15
角 岩	0.028	1.1	0.92

则,呈近东西向的似等轴状。异常规模较大,最大异常值达3500nT (见图4-35a)。矿床的岩矿石磁性测定结果见表2.9。矿石磁化率变化范围在1.256—17.59 (SI) 之间,几何均值为6.785 (SI),剩余磁化强度变化范围在36—740A/m之间,几何均值为130A/m; Q 值为0.46。矿体磁化方向与地磁场方向近于一致,磁化倾角值为53°。

三、鄂东铁矿

多年来,该区从航磁、地面到井中磁测都先后做过大量工作,取得了丰富的资料和显著的找矿效果。以下分别叙述大冶、程潮及金山店三个矿床的磁性参数统计特征及其空间变化特点。

表 2.10

岩矿石名称	磁化率 κ 常见值 (SI)	剩余磁化强度 J_r 常见值 (A/m)	Q 值 ($J_r/\kappa T_0$)
磁铁矿	0.268—1.131	16—36	1.5—0.8
中粒花岗闪长岩 (中心相)	0.010	0.127	0.3
中粒闪长岩 (内部相-过渡相)	0.005—0.012	0.346—1.780	1.6—3.8
二长岩	弱	0	
玄武岩	0.033	1.5	
安山岩	0.019	1.5	

1. 大冶铁矿床

(1) 岩矿石磁性统计特征值

表2.10中列出了大冶铁矿石、岩体（中心相—过渡相）及火山岩的磁性测定结果统计值。

(2) 矿体及岩体磁性空间变化特征

矿体沿走向方向磁性变化较明显，以10线（铁门坎东）、15线（龙洞）及20线（象鼻山）为中心，呈现三个高磁性段。在1—10线间，10—15线间及15—20线间则呈较低磁性区。矿体沿倾斜方向磁性变化不大，矿石 Q 值在1.5—0.8之间变化。矿体 J_i 及 J_r 方向一致，所以计算时 J 是用 $J_i + J_r$ 之和。

岩体岩性由酸性往中性过渡，磁性由中心向外由弱变强，其 Q 值由小变大。

2. 程潮铁矿床

(1) 岩矿石磁性统计特征值

表2.11列出了程潮铁矿床岩矿石标本磁性测定的统计结果。

(2) 矿体磁性空间变化特征

表 2.11

岩矿石名称	磁化率 K 常见值 (SI)	剩余磁化强度 J_r 常见值 A/m	Q 值 (J_r/KT_0)
磁铁矿(西区)	1.486	67.89	1.15
磁铁矿(东区)	1.670	20.00	0.30
矿化砂卡岩	0.411	20.25	1.24
砂卡岩	0.045	0.84	0.47
闪长岩	0.022	0.47	0.53
花岗岩	0.022	0.23	0.26

矿体磁性在垂向上的变化特征是，从地表向下，其磁化强度值逐渐增大；在南北横向剖面方向上，磁化强度表现为北高南低；在东西纵向剖面上，西区矿体感应磁化强度较稳定，约60 A/m，东区矿体的感应磁化强度略有变化，常见值约为66.5 A/m，高于西区矿体。剩余磁性特征是，西区矿体变化较大，平均 Q 值为1.15，

东区矿体较稳定, Q 值为 0.30。

3. 金山店铁矿床

(1) 岩矿石磁性统计特征值

表 2.12 列出了金山店铁矿床不同矿石类型和岩石标本磁性测定结果统计值。

表 2.12

岩矿石名称	磁化率 κ 常见值 (SI)	剩余磁化强度 J_r 常见值 (A/m)	Q 值 ($J_r / \kappa T_0$)
块状磁铁富矿	2.158	63.64	0.74
块状磁铁贫矿	1.158	39.83	0.86
粉 矿	0.636	1.23	0.05
大理岩	0	0	
角 岩	0.013	0.06	0.12
砂 页岩	0.026	0.50	0.48
石英二长岩	0.011	0.04	0.09
二长花岗岩	0.004	0.02	0.44
石英闪长岩	0.006	0.08	0.35
闪 长 岩	0.008	0.09	0.30
角闪辉石岩	0.050	0.10	0.05
砂 卡 岩	0.226	3.50	0.34
脉 岩	0.028	0.43	0.39

(2) 矿体磁性空间变化特征

矿体磁性沿走向变化较小, 约在 50—150 A/m 之间, 沿倾向方向则变化不大。同种类型矿石的磁化强度随深度增加逐渐加大。垂直矿体厚度方向磁性突变, 上部磁性弱, 下部磁性强。剩余磁化方向平均值为: ϕ (方位) = $300^\circ 44'$, Q (倾角) = $56^\circ 48'$ 。

四、宁芜铁矿

与上述两种成因类型铁矿床一样, 宁芜火山岩型铁矿由于岩石磁性差异明显, 所以地面和井中磁测效果显著, 它们是本区寻找铁矿床的主要方法。宁芜铁矿是一个老矿区, 前人对区内的岩矿石标本磁性进行过大量的测定和研究, 并先后做过中-大比例

尺的航空、地面磁测，以及一定数量的井中磁测（共测钻孔205个，总长度77232m）。下面详细介绍矿区内具有代表性四个矿床的磁性参数及其磁异常特征。

1. 岩矿石磁性参数测定结果的统计值及磁性变化规律

四个矿床岩矿石磁性参数统计值列于表2.13。

表 2.13

矿床名称	岩矿石名称	磁化率 κ 均值 (SI)	剩余磁化强度 J_r 均值(A/m)	Q 值 ($J_r/\kappa T_0$)
钟 九	磁铁矿	3.162	30.9	0.25
	矿化闪长岩	0.128	1.0	0.20
	钠长岩	0.0001	0.01	
	灰 岩	0	0	
白象山	磁铁矿	1.407	15.6	0.28
	闪长玢岩	0.013	0.15	0.30
	砂页岩	0.000004	0.0001	
马 村	磁铁矿及假象赤铁矿	0.45	10.80	0.61
东 庄	假象赤铁矿	0.387	9.10	0.60
	辉石闪长岩	0.011	弱	<0.2
	灰 岩	0	0	
	砂 岩	0	0	

(1) 钟九铁矿床

钟九铁矿为中-强磁异常，由两个走向分别为北东 (M_2) 及东西 (M_1) 向的高值异常及一个宽缓的中值异常组合而成。异常变化梯度南陡北缓，西陡东缓，是一个形态特殊的复杂磁异常，最大异常值：高值部分4500—6000nT；中值部分2500nT。矿床矿石磁化率值在0.603—10.77SI之间变化，其几何均值为3.162SI，剩余磁化强度值在2.3—111.4A/m之间变化，几何均值30.9A/m；Q值0.25；矿体磁化倾角与地磁倾角近于一致， $I \approx 46^\circ$ 。矿化闪长岩的磁化率几何均值为0.128SI，剩余磁化强度均值为1.0A/m；Q值为0.2。钠长岩的磁性很弱，磁化率值仅0.0001SI，

剩余磁化强度值为 0.01A/m 。沉积岩无磁性。

提供建立钟九铁矿床井中磁测物理-地质模型的磁性统计参数是：矿体北东翼 $I_{s1}=90^\circ$ ，南西翼 $I_{s2}=130^\circ$ ， $J_r=123.6\text{A/m}$ 。

(2) 白象山铁矿床

白象山铁矿磁异常为中等强度，总体走向呈NNE向，形似鞋底。异常高值部分在南部，最大值 2000nT ，向北场值缓慢减弱，呈低缓异常展布。正异常的北西侧有负异常相伴生，形状与正异常相似，最小值 -400nT 。

矿床的磁铁矿石经200块标本测定，其磁化率值在 $0.547-2.274\text{SI}$ 之间变化，其几何均值为 1.407SI ；剩余磁化强度值变化范围为 $5.0-29.0\text{A/m}$ ，几何均值为 15.6A/m ； Q 值为 0.28 。闪长玢岩共测定标本273块，其磁化率几何均值为 0.013SI ；剩余磁化强度几何均值为 0.15A/m ； Q 值为 0.3 。砂页岩无磁性。

白象山铁矿床的磁性空间变化特征是：沿走向方向磁性不均匀，强弱相间，由南至北呈强 $\rightarrow$ 弱 $\rightarrow$ 强 $\rightarrow$ 弱变化，见表2.14和图2-8。表2.14所列是矿床不同剖面线（从南至北向）上钻孔岩矿

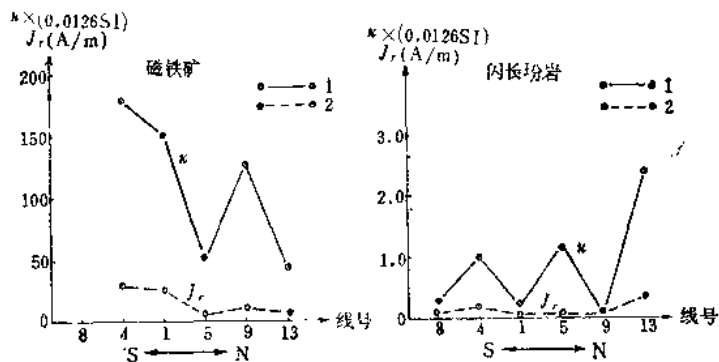


图 2-8

1—磁化率几何平均值；2—剩余磁化强度几何平均值

标本磁性统计结果（用几何加权平均法统计）。在矿床横断面上，磁性特征表现为中心部位强而两侧弱。在垂向方向上，垂直矿层

岩 石 名 称	磁 性 剖 面 号	磁 化 率 κ 均 值 (SI)					
		8	4	1	5	9	13
磁 铁 矿			2.281	1.928	0.643	1.625	0.548
闪长玢岩		0.004	0.013	0.003	0.015	弱	0.030

据桂林地校、

表现为上弱下强的磁性分层。可见，白象山铁矿床的磁性是不均匀的。闪长玢岩的磁性在水平纵向上磁化率值变化较大，在0.0038—0.03SI之间变动，剩磁变化则较小。

白象山铁矿应属正常磁化，但矿体各段却不尽一样，这种复杂的磁化情况，主要是由于矿体形态复杂及其磁性不均匀所致。

提供建立白象山铁矿床井中磁测物理-地质模型的磁性统计参数是： $I_s = 63^\circ$ ， $J_s = 55.71 \text{ A/m}$ 。

(3) 马村铁矿

马村铁矿为低缓磁异常，形似葫芦状，由两个位于南北方向的等轴状异常组成，变化规则，且受东侧大异常干扰。实测异常最大值为450nT，消除干扰后减为250nT。

铁矿石磁化率几何均值为0.449SI，剩余磁化强度几何均值为10.8A/m；Q值为0.61。矿体磁化倾角与地磁倾角近于一致， $I = 46^\circ$ 。辉石闪长岩磁化率值在0—0.015SI之间变化，几何均值为0.009SI，剩磁值很小。

马村铁矿，矿体形态多变，铁矿石类型较复杂，磁性也极不均匀。一般浅部及上层矿体多为赤铁矿或假象赤铁矿，磁性较弱，磁化率值在0.013—0.031SI之间变化，剩磁小。深部矿体及下层矿体主要是假象赤铁矿及磁铁矿，磁性较强，磁化率一般可达0.45SI。

(4) 东庄矿体

表 2.14

剩余磁化强度 J_r 均值(A/m)						测定数 (块)	平均 Q 值 ($J_r/\kappa T_0$)
8	4	1	5	9	13		
	29.0	26.6	5.0	11.0	7.0	200	0.28
0.1	0.20	0.04	0.10	0.05	0.30	273	0.30

808队1972年简报

东庄铁矿也是低缓异常，与马村异常一样，受东侧大异常干扰。异常形似椭圆状，走向近东西，长约500m，最大异常值400 nT，改正后为300 nT，最小值为-100 nT。

铁矿石的磁性经大量标本测定结果表明，沿矿体走向或沿矿体倾向，或在同一层矿体内部，其变化都较大，磁性也不均匀，如图2-9所示。在垂向上由浅至深，磁性由弱变强，在水平方向上，由矿体中部向四周磁性由强变弱。铁矿石磁化率几何均值为0.387 SI，剩余磁化强度几何均值为9.1 A/m， Q 值为0.6。矿体有效磁化倾角 I_s 为 $45^\circ-40^\circ$ 。辉石闪长岩磁化率值在0—0.043 S之间变化，其几何均值为0.011 SI，剩磁很小， Q 值小于0.2。砂页岩无磁性。

2. 不同矿石类型铁矿床地面磁异常特征

宁芜火山岩区的地质地球物理条件复杂，铁矿类型较多，所以不同矿床上磁异常的特征各异。根据已掌握的资料表明，其特征是：

(1) 以磁铁矿为主具一定规模的铁矿床，在空中和地面都能反映出明显的不同特征的磁异常，当矿体为中——富矿（块状矿），有一定规模和埋藏深度时，异常形态规则，磁异常强度较高，可达2000—7000 nT，如白象山、钟九等铁矿；以磁铁矿为主的贫矿，多为浸染状矿石，矿化不均匀，当埋深近于地表（或出露）时，常呈杂乱无章的多峰高值磁异常，强度可达几千至上万纳特，如吉山，卧儿岗和尚桥等大中型铁矿。

(2) 赤铁矿、假象赤铁矿及磁铁矿各占一定比例而组合的

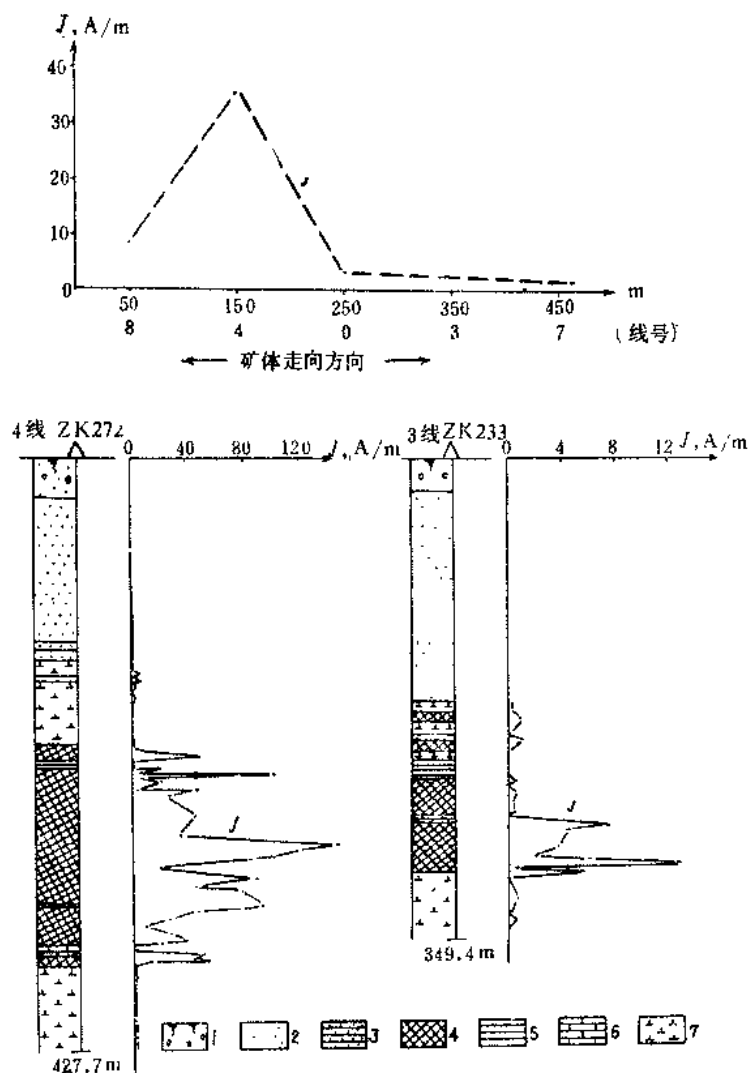


图 2-9

1—表土；2—红层；3—砂页岩；4—铁矿；5—页岩；6—矿化灰岩；7—辉石闪长岩（据王振平等的资料）

矿床,随所含矿石矿物成分的不同及埋深的大小,其磁异常特征各异。以赤铁矿为主而其中还有部分半假象赤铁矿或保留有部分磁铁矿块段,且埋深较浅或出露地表时,其反映常为杂乱的中-高强度不等的磁异常,异常范围与整个矿体不对应,如姑山铁矿;当矿体埋藏较深,上部为赤铁矿,下部为假象赤铁矿及磁铁矿时,异常反映规则低缓,强度一般为几百纳特。这类磁异常主要由深部磁铁矿引起,如马村、东庄铁矿。

由上述三种成因类型四大矿区及其中10个磁铁矿床磁参数特征分析可见,它们可分为两大类:第一大类(沉积变质型铁矿)特点是铁矿石具有明显的磁各向异性;另一大类(矽卡岩型及陆相火山岩型铁矿)则是磁各向同性。因此,在建立相应的井中磁测物理-地质模型的数学解析模型时,应采用不同方法进行理论计算。在磁各向异性条件下,磁性体各处的有效磁化强度矢量都不同,而且还应考虑退磁作用。这时,通常采用对磁性体进行分块的方法作计算,分块部分的形状应比较规则,其有效磁化强度矢量相对稳定。对于磁各向同性这一大类,由于矿石类型、地质条件的变化,同一矿体不同地段,其矿石磁性也往往差异很大。所以,对一个矿体,采用一个平均磁参数显然也不合适,必须考虑到矿体各部分的磁性变化,进行磁性分区计算。

根据铁矿床的主要特征:形状、构造和矿物组分,又可把上述三种成因类型四大矿区中10个具有代表性矿床划分为三种地球物理类型(即与同一类磁异常特征有关),它们是:太古代变质岩系中沉积变质铁硅类型,火山地质构造中的矽卡岩-磁铁矿类型及火山地质构造中的方解石-磷灰石-假象赤铁矿-磁铁矿类型(见表2.15)。每一种地球物理类型,可按其中矿区建立特殊物理-地质模型,然后以特殊模型的组合和相互联系构成对某种地球物理类型具有代表性的,概括的几何图象,亦即一种或几种一般化的典型物理-地质模型。以此为基础,用数学解析方法,物理模拟或数学模拟方法,研究每一种地球物理类型铁矿床的井中磁测典型磁异常(剖面的或空间的)用来指导找矿。

表 2.15 三种内生铁矿床类型的地球物理分类

典型矿床名称	成因类型	地质	建造	PGM* 的地球物理分类	磁性分类
白鸟山	沉积变质型	石榴黑云变粒岩-黑云变粒岩中磁铁矿石英岩和磁铁矿石建造		在太古代变质岩系中变质铁硅类型	磁各向异性
脉岭山	沉积变质型	黑云变粒岩-黑云变粒岩黑云浅粒岩中磁铁矿石英岩及磁铁矿石建造			
王旺庄 大冶 程潮 金山店	接触交代型 接触交代型 接触交代型 接触交代型	磁铁矿-磁质砂卡岩建造 磁铁矿-钙质砂卡岩建造 磁铁矿-钙质砂卡岩建造 磁铁矿-钙质砂卡岩建造	磁铁矿-磁质砂卡岩建造	在火山地质构造中的砂卡岩-磁铁矿类型	
钟九	气化-高温热液充填-交代型	与次火山岩有关的金云母-磷灰石-磁铁矿、透辉石-磷灰石-磁铁矿建造	与次火山岩有关的金云母-磷灰石-磁铁矿、透辉石-磷灰石-磁铁矿建造	在火山地质构造中方解石-磷灰石-假象赤铁矿-磁铁矿类型	磁各向同性
白象山	以交代为主的高温热液型	与次火山岩有关的金云母-磷灰石-磁铁矿、阳起石-磷灰石-磁铁矿及钠长石-金云母-磁铁矿建造	与次火山岩有关的金云母-磷灰石-磁铁矿、阳起石-磷灰石-磁铁矿建造		
马村	中偏高温热液充填-交代型	与次火山岩有关的方解石-假象赤铁矿、石英-假象赤铁矿、磷灰石-假象赤铁矿及金云母-假象赤铁矿建造	与次火山岩有关的方解石-假象赤铁矿、石英-假象赤铁矿、磷灰石-假象赤铁矿建造		
东庄	中偏高温热液充填-交代型	与次火山岩有关的方解石-假象赤铁矿及石英-假象赤铁矿建造	与次火山岩有关的方解石-假象赤铁矿及石英-假象赤铁矿建造		

* PGM 物理-地质类型

第三章 磁铁矿床井中磁测的特殊 和典型物理-地质模型

根据第二章给出的磁铁矿床的地质-地球物理类型及相应的地质和磁性参数,即可着手建立和研究各种类型磁铁矿床特殊的物理-地质模型,并由此抽象出每一种地质-地球物理类型磁铁矿床的典型物理-地质模型。然后用数学解析方法(对简单规则的几何形体模型)或物理模拟或者数值模拟方法,来求解井中磁异常的正、反演问题。

第一节 井中磁测的特殊和典型 物理-地质模型

特殊物理-地质模型是指与给定的地质-地球物理类型磁铁矿床、具体矿区调查目标(磁性体)类别有关的一般化模型。在表3.1中列出了本书所研究的三种类型磁铁矿床16个矿区的特殊物理-地质模型。它们分布于冀东、山东及长江中下游,处于我国东部地区。这些特殊模型的建立与研究,对于今后用井中磁测普查勘探给定类型的磁铁矿,特别是寻找深部隐伏矿体具有重要意义。

从表3.1可见,产于太古代变质岩系中的变质铁硅类型的磁铁矿床,其主要特征是:磁性具各向异性,矿体形态多呈各种向斜模式,背斜少见。对于后两种类型磁铁矿,其共同点是磁性均为各向同性。其中矽卡岩-磁铁矿类型,矿体的赋存由于受接触带所控制,其形态多呈板状、透镜状或不规则形体,且在空间上相互重叠形成叠瓦式。方解石-磷灰石-假象赤铁矿-磁铁矿类型,其成因多为高温热液(或中偏高温热液)充填-接触交代,矿体赋

表3.1

表 3

矿区名	地质—地球物理分类	磁性分类	矿体形态	模型近似几何图形
孟家沟	太古代变质岩系中的变质铁硅类型	磁各向异性	水平厚板	
杏山			短翼向斜	
姑子山			不对称向斜	
羊座山			紧密倒转向斜	
水厂			叠加向斜	
白马山			复向斜	
脑峪门			背斜	
北屯			复背斜	
王旺庄	火山地质构造中的砂卡岩—磁铁矿类型	磁各向同性	板状体	
大冶			透镜状和不规则透镜状的叠瓦式	
程潮			"	
金山店			板状及透镜状	
钟九	火山地质构造中的方解石—磷灰石—假象赤铁矿—磁铁矿类型		不对称筈箕形	
白象山			不对称平缓弓形	
马村			板状及透镜状	
东庄			透镜状	

存由于受接触带、不整合面以及局部构造所控制，其形态呈板状、透镜状或其它不规则体，如簸箕状、弓状等。基于以上分析，可对给定磁铁矿类型从一整套相似的调查目标中，归纳出一般化和规范化的典型物理—地质模型，如表3.2。应该指出，建立并研

表3.2

典型物理—地质 模型名称	模型近似几 何图形	地质—地球物理 和磁性分类	矿区名称
板状体		砂卡岩—磁铁矿磁 各向同性	王旺庄等
向 斜		变质铁 硅质磁铁矿 磁各向异性	白马山
背 斜			脑峪门
叠瓦式透镜体 或不规则体		砂卡岩—磁铁矿 磁各向同性	大 冶
平瓣箕形		方解石—磷灰石— 假象赤铁矿—磁铁 矿 磁各向同性	钟 九
平瓣弓形			白象山

究磁各向同性和磁各向异性板状体（薄板和厚板，向下有限延深和无限延深）典型模型，对各类型磁铁矿床都具有普遍意义。因为在单孔解释中，向斜、背斜，簸箕状、弓形的一翼，以及长轴远大于短轴的透镜体，都可近似地视为各种产状的板状体。

对表3.2中所列的其它五种典型模型，其计算参数分别列于表3.3和表3.4。

第二节 典型物理-地质模型的 数学解析模型

求解典型物理-地质模型井中磁异常的正反演问题，可借助于以下三种方法来实现：

1. 数学解析方法：

在给定模型体物理参数的条件下，利用相应的位场理论方程进行井中物理场的计算，求解正反演问题。这种计算方法仅适用于简单规则几何形状模型体，如板状体、球体、水平圆柱体等。其计算结果在已经出版的钻孔地球物理勘探教材和专著中均

表3.3 磁各向同性典型模型计算条件

矿 区	数 N	形状参数			磁 性 参 数		
		走向方位 A	走向长度 (m)	矿体倾角 α	走向与 磁北夹角 D	磁倾角 I	磁化强度 (A/m)
大冶铁矿 (叠瓦状)	1	70°	600	145°	58°	65°	1.20×10^2
	2			131°	58°	55°	0.88×10^2
	3			101°	58°	55°	0.80×10^2
迁安铁矿 (向斜)	1	0°	400	70°	-6°15'	57°30'	0.4495×10^2
	2			36°			
	3			144°			
	4			110°			
迁安铁矿 (背斜)	1	0°	400	110°	-6°15'	57°30'	0.4495×10^2
	2			144°			
	3			36°			
	4			70°			
钟九铁矿 (叠瓦状)	1	318°	1000	65°	-7°	41°	0.7145×10^2
	2			30°	-19°	27°	0.6912×10^2
	3			170°	-33°	25°	0.7335×10^2
	4			135°	-29°	33°	0.7734×10^2
	5			20°	-21°	29°	0.7221×10^2
白象山铁矿 (弓状)	1	315°	1600	30°	0°	31°	0.126×10^2
	2			15°	-6°	28°	0.161×10^2
	3			37°	-2°	32°	0.4439×10^2
	4			172°	-12°	30°	0.449×10^2
	5			142°	-22°	35°	0.4862×10^2
	6			157°	-24°	31°	0.4634×10^2

表 3.4 磁各向异性向斜和背斜模型计算条件

矿区及 模型名称	分块 号 (N)	走向方 位 角 ($\mathcal{A}$)	倾角 (α)	三轴消磁系数			磁化强度 (A/m)	矿体走 向与磁 北夹角 (D)	磁倾角 (I)	有效磁 化强度 (A/m)	有效磁 化倾角 (I_s)
				N_o	N_b	N_i					
迁安铁矿区 (向斜)	1	0°	70°	1.16	1.33	10.08	0.8202×10^2	19°	53°	0.6739×10^2	77°
	2	0°	36°	1.51	3.32	7.74	0.5827×10^2	17°	37°	0.3792×10^2	69°
	3	0°	144°	1.51	3.32	7.74	0.5827×10^2	-17°	37°	0.3792×10^2	111°
	4	0°	110°	1.16	1.33	10.08	0.8202×10^2	-19°	53°	0.6739×10^2	103°
迁安铁矿区 (背斜)	1	90°	110°	1.16	1.33	10.08	0.5558×10^2	90°	88°	0.5558×10^2	88°
	2	90°	144°	1.51	3.32	7.74	0.3036×10^2	90°	61°	0.3036×10^2	61°
	3	90°	36°	1.51	3.32	7.74	0.6087×10^2	90°	46°	0.6087×10^2	46°
	4	90°	70°	1.16	1.33	10.08	0.8272×10^2	90°	66°	0.8272×10^2	66°

$$Z_0 = 0.451 \ominus$$

$$H_0 = 0.288 \ominus$$

有详细的论述。

2. 物理模拟方法:

由人造材料制成模型,使其几何参数和物理参数与被模拟的典型物理-地质模型相近似,并以相似性定量标准确定其空间关系。目前应用于井中磁测的物理模拟方法有:二度体磁异常的导电纸模拟;三度体外部空间磁场的电解槽模拟;以及在无磁实验室中的电磁模拟。物理模拟的优点是直观,而且能使模型体更逼近于自然调查目标。因此,能求解不规则的或复杂组合模型体的井中磁异常正反演问题。但人造模型体的制作比较困难,实验效率不高。

3. 数值模拟方法:

由于数字计算技术的迅速发展,近年来,应用各种型号电子计算机进行数值模拟的方法,在井中磁测中已获得越来越广泛的使用。为了进行数值模拟,首先必须对给定的典型物理-地质模型建立起相应的数学解析模型。也就是说,用一组数学公式来表达模型体及其磁场在井中的分布,然后编制程序,借助于计算机求解其正反演地球物理问题。数值模拟法,可用来模拟逼近于调查目标各种形状的模型体(规则、不规则或复杂的组合体),且效率高,成果精确。

显然,数值模拟方法包含了数学解析方法。以后通称为数学模拟方法。但是,数学模拟方法并不能完全代替物理模拟方法。在实际中,两种模拟方法经常用来相互补充和验证。

在此将着重讨论数学模拟方法,介绍井中磁测各种数学解析模型。

一、建立井中磁测数学解析模型的基本要求

建立典型物理-地质模型的数学解析模型,应根据井中磁测的特点考虑以下基本要求:

1. 要求能表达模型体体外磁场的分布特征

井中磁测是沿钻孔深度逐点观测地磁场三个分量值 X 、 Y 、 Z 的绝对测量。其有用信息来自钻孔周围全空间,因此是一种全

方位观测的井中地球物理方法。其观测成果不仅用磁场曲线展示,而且还用直观的磁异常矢量图进行描绘。从而要求建立的数学解析模型能表达典型物理-地质模型在体外全空间各处的力线和位场特征。包括 ΔZ 、 $\Delta H_{\perp}$ 、 $\Delta H'$ 沿井轴的分布; $\Delta T_{\perp}$ 、 $\Delta T_{\parallel}$ 矢量及其模值沿井轴的分布;以及 ΔZ 和 ΔH 值的任意剖面和平面对分布值。以便绘制出 ΔZ 、 $\Delta H_{\perp}$ 、 $\Delta H'$ 曲线, $\Delta T_{\perp}$ (或 $\Delta T_{\parallel}$)矢量图及其模值曲线, ΔZ 和 $\Delta H_{\perp}$ 的剖面或平面等值线图。

2. 要求由数学解析模型导出的反演方法(包括定性判别标志和半定量解释方法)能快速简便。

井中磁测的常规地质任务是:发现井旁盲矿,确定其空间位置(包括矿体埋深、相对于井轴方位及距离);预报井底盲矿,估算可能见矿的井深。解决这些任务,要求在现场作实时推断解释,以便指导钻进,合理设施验证工程。因而要求解释能快速简便。

二、板状模型体磁位场的数学解析方程

(一) 薄板

离钻孔轴的距离 d 远大于厚度 $2b$ 的板状磁性体,可视为薄板。其解析式随板面与磁化方向的夹角及其延伸状况不同而异。分述如下:

1. 顺层磁化无限延伸薄板

顺层磁化的板,磁荷集中于顶底面。当某一端如上端(或下端)延伸很大,远距测点的端面磁荷影响可以忽略(通常取误差 $<10\%$)时,可认为测点的磁场只由板顶(或板尾)磁荷所引起。对于薄板,可视磁荷集中为一条线,称为线极。如图3-1。

(1) 位函数和磁场分量解析式

由图3-1所示,线极在 XOZ 中心剖面内,坐标原点 O 位于板顶。其位函数为

$$V = 2\lambda \ln \sqrt{X^2 + Z^2} \quad (3.1)$$

式中 $\lambda = 2bJ_r$, b —薄板半宽度;

J_r —有效磁化强度。

由于薄板沿走向无限延伸,因此在 XOZ 剖面中磁场 Y 分量为

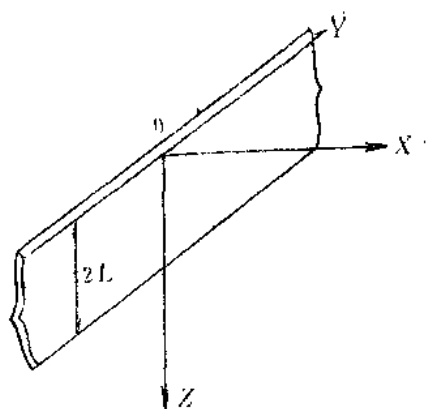


图 3-1

零。这时，井中磁异常分量表达式为

$$\Delta Z = -\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{-2\lambda z}{x^2 + z^2} = -\frac{2\lambda}{r} \cos\theta \quad (3.2)$$

$$\Delta H = \Delta X = -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{-2\lambda x}{x^2 + z^2} = -\frac{2\lambda}{r} \sin\theta \quad (3.3)$$

$$\Delta T = \sqrt{\Delta Z^2 + \Delta H^2} = \frac{2\lambda}{r} \quad (3.4)$$

式中 r 为原点至观测点的距离；

θ 为原点至观测点连线与 Z 轴夹角。

由上述各式可得出 ΔZ 、 ΔH 、 ΔT 剖面等值线方程为

$$r = -\frac{2\lambda}{\Delta Z} \cos\theta \quad (3.5)$$

$$r = -\frac{2\lambda}{\Delta H} \sin\theta \quad (3.6)$$

$$r = \frac{2\lambda}{\Delta T} \quad (3.7)$$

(2) 磁力线方程

在剖面中，磁力线应与磁等位线处处垂直，从而可导出力线函数 u 的微分方程，在 XOZ 剖面内沿某一等位线 (V 是常数) 求 V 的全微分

$$dV = \frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial z} dz = 0$$

$$\left(\frac{dZ}{dx} \right)_v = \frac{\frac{\partial V}{\partial x}}{-\frac{\partial V}{\partial z}} = -\frac{\Delta H}{\Delta Z}$$

由于磁力线 (u 为常数) 与等位线处处垂直, 其斜率互为倒数, 所以对 u 说, 则有

$$\left(\frac{dZ}{dx} \right)_u = \frac{\Delta Z}{\Delta H} = \frac{\frac{-2\lambda z}{x^2 + z^2}}{\frac{-2\lambda x}{x^2 + z^2}} = \frac{z}{x} \quad (3.8)$$

积分得 $\ln z = \ln x + \ln C$

则 $z = Cx$ (3.9)

式中 C 为积分常数, C 取不同值得到一组磁力线。在垂直走向的横剖面中, 线极的磁力线呈辐射状, 其会聚的交点为薄板体顶端。对薄板尾端而言, 磁力线呈发散状, 其反向延长线交于薄板尾端。

2. 垂直板面磁化无限延伸薄板

垂直板面磁化时, 只有两板面有磁荷, 由于薄板两磁荷面相距很近, 故称偶极面, 如图3-2。

(1) 位函数和磁场分量解析式

在 XOZ 剖面内偶极面的磁位可由线磁荷对 Z 轴积分, 得到负磁荷面之后再对 X 轴微分求得

$$V = 2\lambda \operatorname{tg}^{-1} \frac{z}{x} \quad (3.10)$$

由磁位求得磁场分量表达式为

$$\Delta Z = -\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{-2\lambda x}{x^2 + z^2} = -\frac{2\lambda}{r} \sin\theta \quad (3.11)$$

$$\Delta H = \Delta X = -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{2\lambda z}{x^2 + z^2} = \frac{2\lambda}{r} \cos\theta \quad (3.12)$$

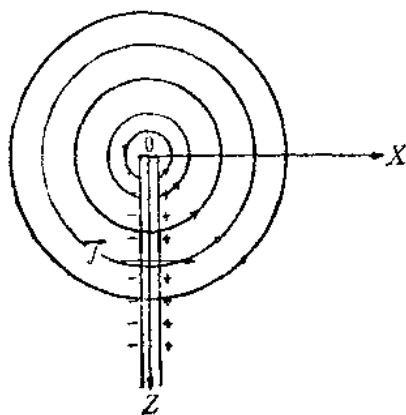


图 3-2

$$\Delta T = \sqrt{\Delta Z^2 + \Delta H^2} = \frac{2\lambda}{r} \quad (3.13)$$

若令顺层磁化的磁场分量以 ΔZ_s 、 ΔH_s 、 ΔT_s 表示，令垂直板面磁化磁场分量以 $\Delta Z_\perp$ 、 $\Delta H_\perp$ 、 $\Delta T_\perp$ 表示，对比二者所得的公式可见：

$$\Delta Z_s = -\Delta H_\perp, \quad \Delta H_s = \Delta Z_\perp, \quad \Delta T_s = \Delta T_\perp$$

就二度体而言，只要两者磁化方向垂直，上述关系就普遍成立。按上述方法同样可以得出垂直板面磁化薄板磁场分量在剖面中的等值线方程，在此不再详列。

(2) 磁力线方程

根据磁力线与剖面中等位线处处垂直的关系，由前述已知

$$\left(\frac{dz}{dx} \right)_s = \frac{\Delta Z}{\Delta H} = \frac{\frac{-2\lambda x}{x^2 + z^2}}{\frac{2\lambda z}{x^2 + z^2}} = -\frac{x}{z}$$

$$\text{即 } zdx = -xdz$$

解微分方程得

$$x^2 + z^2 = C \quad (3.14)$$

可见磁力线是一系列以矿端头为圆心的同心圆，见图3-2。

3. 斜磁化无限延伸薄板

(1) 位函数和磁场分量解析式

无限延伸薄板斜磁化时，其磁场是线极和半无限偶极面的磁场，随薄板倾角和有效磁化强度倾角不同而按一定比例的叠加。因此，其位函数是顺层磁化和垂直板面磁化两部分之和。设 α 为板的倾角， i 为有效磁化强度倾角，且令 $\gamma = \alpha - i$ ，即板面与磁化强度之夹角。则

$$V = 2\lambda \left[\cos\gamma \ln\sqrt{x^2 + z^2} + \sin\gamma \operatorname{tg}^{-1} \frac{z}{x} \right] \quad (3.15)$$

由磁位求得磁场分量解析式为

$$\Delta Z = -\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{-2\lambda z}{x^2 + z^2} \cos\gamma - \frac{2\lambda x}{x^2 + z^2} \sin\gamma = -\frac{2\lambda}{r} \cos(\theta - \gamma) \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} \Delta H = \Delta X &= -\frac{\partial V}{\partial x} = \frac{-2\lambda x}{x^2 + z^2} \cos\gamma + \frac{2\lambda z}{x^2 + z^2} \sin\gamma \\ &= -\frac{2\lambda}{r} \sin(\theta - \gamma) \end{aligned} \quad (3.17)$$

$$\Delta T = \sqrt{\Delta Z^2 + \Delta H^2} = \frac{2\lambda}{r} \quad (3.18)$$

其剖面等值线方程为

$$r = -\frac{2\lambda}{\Delta Z} \cos(\theta - \gamma) \quad (3.19)$$

$$r = -\frac{2\lambda}{\Delta H} \sin(\theta - \gamma) \quad (3.20)$$

$$r = \frac{2\lambda}{\Delta T} \quad (3.21)$$

(2) 磁力线方程

$$\text{由于} \quad \left(\frac{dz}{dx} \right)_u = \frac{\Delta Z}{\Delta H} = \frac{\cos(\theta - \gamma)}{\sin(\theta - \gamma)} \quad (3.22)$$

$$\text{而} \quad x = r \cos \theta \quad z = r \sin \theta$$

则

$$dz = \cos\theta dr - r \sin\theta d\theta$$

$$dx = \sin\theta dr + r \cos\theta d\theta$$

代入(3.22)式得 $\frac{dr}{r} = -\frac{\cos\gamma}{\sin\gamma} d\theta = -\operatorname{ctg}\gamma d\theta$

积分得 $\ln r = C - \theta \operatorname{ctg}\gamma$

$$\text{即 } r = e^{\frac{C - \theta \operatorname{ctg}\gamma}{\gamma}} \quad (3.23)$$

此为一簇弯度由 γ 角决定的等角螺线。

4. 斜磁化有限延伸薄板

当薄板磁性体沿倾向有限延伸时, 其斜磁化磁场同样可根据顺层磁化(异号双线极)和横向磁化(偶极面)的磁场按一定比例叠加来求得。设顺层磁化有限薄板磁位为 $V_{\parallel}$, 横向磁化有限薄板磁位为 $V_{\perp}$, 板倾角与磁化倾角差为 γ , 则斜磁化有限薄板磁位为

$$V = V_{\parallel} \cos\gamma + V_{\perp} \sin\gamma$$

再按上述步骤求出磁场分量解析式。

若设有限板倾角为 α , 磁化倾角为 i , 沿倾向延伸半长度为 l , 如图3-3所示的薄板, 其磁场分量解析式为

$$\Delta Z = 2\lambda l \frac{(z^2 - x^2) \sin i + 2xz \cos i - l^2 \sin(2\alpha - i)}{(x^2 + z^2 - l^2)^2 + 4l^2 (x \sin \alpha - z \cos \alpha)^2} \quad (3.24)$$

$$\Delta H = 2\lambda l \frac{(x^2 - z^2) \cos i + 2xz \sin i - l^2 \cos(2\alpha - i)}{(x^2 + z^2 - l^2)^2 + 4l^2 (x \sin \alpha - z \cos \alpha)^2} \quad (3.25)$$

$$\Delta T = \sqrt{\Delta Z^2 + \Delta H^2}$$

分析上式可见, 斜磁化有限延伸薄板的 ΔZ 、 ΔH 曲线均为不对称的双S形或S形。

斜磁化有限延伸薄板在剖面中的磁场各分量值, 可分别取其顶面和底面在剖面中各点产生的磁场相应分量值的叠加来获得。因此, 可分别对其顶面和底面作出相应的等值线, 取顶面磁荷的剖面等值线与底面磁荷的剖面等值线在各点所代表的强度相加来定值。由于底面磁荷与顶面磁荷极性相反, 因此磁场值相加应考

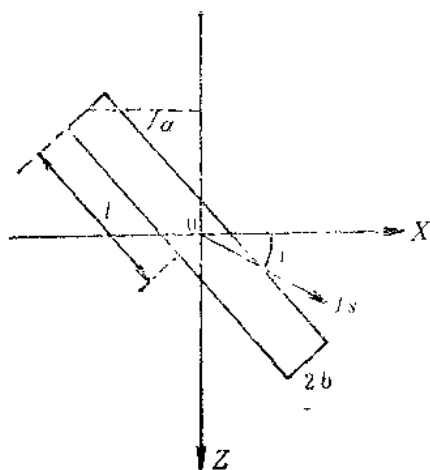


图 3-3

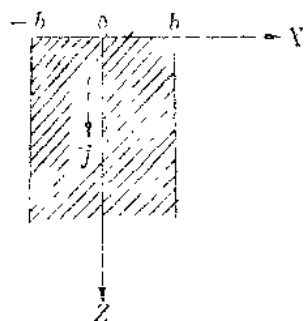


图 3-4

虑到正、负号。

(二) 厚板

当板状磁性体距钻孔轴距离与其厚度相比并不足够大时，磁荷就不能再视为一条线。这时，板状体应作为厚板。但一般说来，厚板和薄板的井中 ΔZ 、 ΔH 曲线形态相近似。因此，以下仅对顺层磁化无限延伸厚板进行讨论。

1. 位函数和磁场分量解析式

厚板的位函数可由薄板位函数沿顶面求积分得到，如图3-4。

$$\begin{aligned}
 V &= \int_{x-b}^{x+b} \ln(x^2 + z^2) dx \\
 &= \int \{ (x+b) \ln[(x+b)^2 + z^2] - (x-b) \ln[(x-b)^2 + z^2] \\
 &\quad - 4b + 2z \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{x+b}{z} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{x-b}{z} \right] \} dx \quad (3.26)
 \end{aligned}$$

由位函数可求得 XOZ 剖面内 ΔZ 、 ΔH 分量

$$\Delta Z = -\frac{\partial V}{\partial z} = -2 \int \operatorname{tg}^{-1} \frac{2bz}{x^2 + z^2 - b^2} \quad (3.27)$$

$$\Delta H = \Delta X = -\frac{\partial V}{\partial x} = J \ln \frac{(x-b)^2 + z^2}{(x+b)^2 + z^2} \quad (3.28)$$

2. ΔZ 、 ΔH 、 ΔT 剖面等值线方程

(3.27) 和 (3.28) 式中磁化强度 J 的法线分量 J_n 等于板顶面的面磁荷密度 σ ，在顺层磁化时

$$J = J_n = -\sigma$$

负号表示板顶面为负磁荷。

在 (3.27) 式中

$$\operatorname{tg}^{-1} \frac{2bz}{x^2 + z^2 - b^2}$$

为测点对板顶面所张角度，可用 φ 来表示，由此可导出 ΔZ 剖面等值线方程

$$\Delta Z = 2\sigma\varphi \quad (3.29)$$

根据平面几何学原理可知， ΔZ 剖面等值线是以板顶面 mn 为公共弦的非同心圆，其值为上正下负。

同理可把 (3.28) 式改写成

$$\Delta H = 2\sigma \ln \frac{r_m}{r_n} \quad (3.30)$$

对某一 ΔH 等值线说， $\frac{r_m}{r_n}$ 为常数，而满足这一关系的点是一个

圆方程，由此， ΔH 剖面等值线是分别以板顶面端点 m 、 n 为圆心的一组同心圆，其值为左正右负。

由 (3.29) 和 (3.30) 式，最后可导出 ΔT 剖面等值线方程

$$\Delta T = \sqrt{\Delta Z^2 + \Delta H^2} = 2\sigma \sqrt{\varphi^2 + \left(\ln \frac{r_m}{r_n} \right)^2} \quad (3.31)$$

对于顺层磁化有限延深厚板的 ΔZ 、 ΔH 剖面等值线，可按有限延深薄板的方法来构制。

三、任意形状典型物理-地质模型的数学解析模型

对于任意形状磁性体磁场的计算方法有多种，诸如多边形截面法，有限元法以及边界元法等等。

多边形截面法，又称多边形截面数值积分法，其中包括面元法和线元法。面元法的优点是能够比较准确地逼近磁性模型体的自然形态，计算方法简单，速度快，容易在计算机上实现。但是当切割磁性体的截面间距一定时，计算点离磁性体越远，其精度就高，反之，精度低。这样，在井中磁测中，对于靠近磁性体的旁侧钻孔中的磁场计算，必须通过减小截面间距，即增加截面个数来提高其计算精度。换句话说，必须用耗费机时来换取高精度，这样一来将大大地影响计算速度。所以用面元法计算井中磁异常存在很大的局限性。另外，有限元法、边界元法计算方法比较繁琐，不适于在袖珍机或微机上实现。为此，我们采用组合多边形截面柱体法，正演计算任意磁性模型体的井中磁异常。

(一) 组合多边形截面柱体井中磁场三分量的计算公式

1. 公式推导的基本思路

推导多边形截面柱体井中磁场三分量计算公式，可以有不同的途径，我们采用的基本思路是：

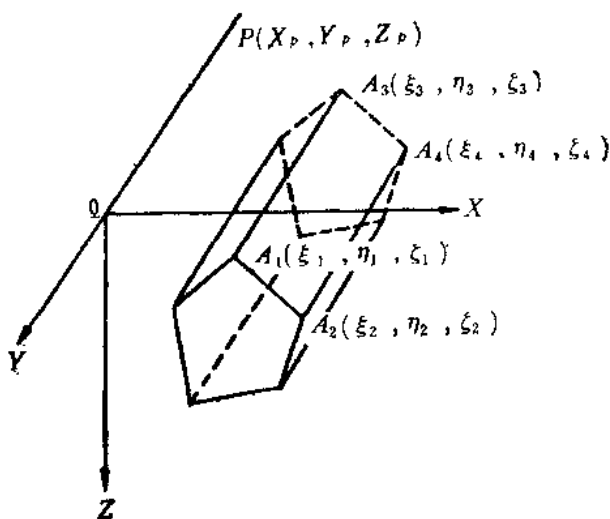


图 3-3

(1) 多边形截面柱体, 可视作若干矩形倾斜磁荷面与两个直立端部磁荷面的组合, 如图3-5。

(2) 对于每一个磁荷面, 均可建立一个新坐标系 $0X'Y'Z'$, 并使 $X'OY'$ 面平行于该磁荷面, 这样就可由水平磁荷面的磁场公式计算出它在测点的 H'_{ax} 、 H'_{ay} 、 Z'_a 值, 如图3-6。

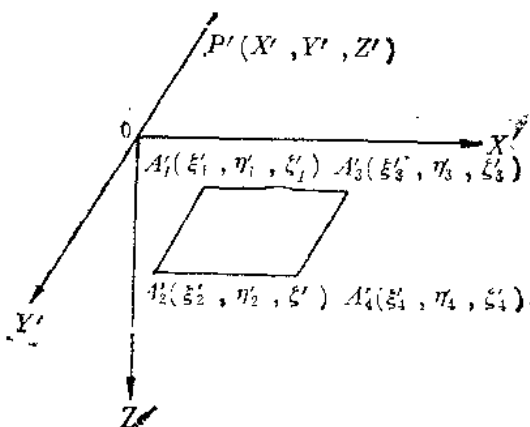


图 3-6

(3) 利用新坐标系 $0X'Y'Z'$ 与原坐标系 $0XYZ$ 各坐标轴之间的相互关系, 可由 H'_{ax} 、 H'_{ay} 、 Z'_a 转换得到测点处的 H_{ax} 、 H_{ay} 、 Z_a 值。

(4) 将各磁荷面的磁场三分量分别叠加, 可得出一个多边形截面柱体磁场的三分量值。进而将各多边形截面柱体磁场三分量再分别叠加, 即为组合多边形截面柱体的磁场三分量。

2. 多边形截面柱体磁场三分量的主要公式

(1) 多边形水平磁荷面的磁场三分量公式

$$\left. \begin{aligned} H'_{\alpha x} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \sum_{i=1}^n \sin\theta_{i,i+1} \ln \frac{R_i + r_i}{R_{i+1} + r_{i+1}} \\ H'_{\alpha y} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \sum_{i=1}^n \cos\theta_{i,i+1} \ln \frac{R_i + r_i}{R_{i+1} + r_{i+1}} \\ Z'_\alpha &= \frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \sum_{i=1}^n \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{R_i^2 \cos\theta_{i,i+1} - (\xi'_i - x') r_i}{R_i (\zeta'_{i+1} - z') \sin\theta_{i,i+1}} \right. \\ &\quad \left. - \operatorname{tg}^{-1} \frac{R_{i+1}^2 \cos\theta_{i,i+1} - (\xi'_{i+1} - x') r_{i+1}}{R_{i+1} (\zeta'_{i+1} - z') \sin\theta_{i,i+1}} \right] \end{aligned} \right\} \quad (3.32)$$

式中 μ_0 , σ 分别为真空中的导磁系数和面磁荷密度。

$\theta_{i,i+1}$ 是多边形各边与 X' 轴间夹角

R_i, R_{i+1} 是角点 $A'_i(\xi'_i, \eta'_i, \zeta'_i)$ 与 $A'_{i+1}(\xi'_{i+1}, \eta'_{i+1}, \zeta'_{i+1})$ 至测点 $P'(X', Y', Z')$ 的距离, 即

$$R_i = \sqrt{(\xi'_i - X')^2 + (\eta'_i - Y')^2 + (\zeta'_i - Z')^2}$$

$$R_{i+1} = \sqrt{(\xi'_{i+1} - X')^2 + (\eta'_{i+1} - Y')^2 + (\zeta'_{i+1} - Z')^2}$$

r_i, r_{i+1} 是测点 P' 至 A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 面上垂足 θ 第 i 边的投影点至 A'_i 与 A'_{i+1} 点的距离, 即

$$r_i = (X' - \xi'_i) \cos\theta_{i,i+1} + (Y' - \eta'_i) \sin\theta_{i,i+1}$$

$$r_{i+1} = (X' - \xi'_{i+1}) \cos\theta_{i,i+1} + (Y' - \eta'_{i+1}) \sin\theta_{i,i+1}$$

(2) 柱体侧部磁荷面的磁场三分量公式

以侧部磁荷面 A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 为例, 建立新坐标系 $0X'Y'Z'$, 使 $X'OY'$ 平面平行于矩形面 A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 , $\overline{A'_1 A'_3}$ 边平行于 X' 轴 (如图3-6)。

由 (3.32) 式可见, 只要求出 $\theta_{i,i+1}, R_i, R_{i+1}, r_i, r_{i+1}$, 就可计算 A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 磁荷面在测点 P' 处的磁场三分量值。为此, 必须先进行新老坐标系的转换。

老坐标系 $(0XYZ)$ 与新坐标系 $(0X'Y'Z')$ 的转换关系为

$$\begin{bmatrix} X'(\xi') \\ Y'(\eta') \\ Z'(\zeta') \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\alpha_1 & \cos\beta_1 & \cos\gamma_1 \\ \cos\alpha_2 & \cos\beta_2 & \cos\gamma_2 \\ \cos\alpha_3 & \cos\beta_3 & \cos\gamma_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X(\xi) \\ Y(\eta) \\ Z(\zeta) \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

式中 $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1$ 分别是 X' 轴与 X, Y, Z 轴间夹角;

$\alpha_2, \beta_2, \gamma_2$ 分别是 Y' 轴与 X, Y, Z 轴间夹角;

$\alpha_3, \beta_3, \gamma_3$ 分别是 Z' 轴与 X, Y, Z 轴夹角。

若设 $\Delta u = \xi_2 - \xi_1 = \xi_4 - \xi_3, \Delta v = \zeta_2 - \zeta_1 = \zeta_4 - \zeta_3$

$$\left. \begin{aligned} \text{则有, } \cos \alpha_1 &= 0 & G &= \sqrt{\Delta u^2 + \Delta v^2} & \cos \beta_1 &= 1 & \cos \gamma_1 &= 0 \\ \cos \alpha_2 &= \frac{\Delta u}{G} & \cos \beta_2 &= 0 & \cos \gamma_2 &= \frac{\Delta v}{G} \\ \cos \alpha_3 &= -\frac{\Delta v}{G} & \cos \beta_3 &= 0 & \cos \gamma_3 &= \frac{\Delta u}{G} \end{aligned} \right\} \quad (3.34)$$

用 R_1, R_2, R_3, R_4 分别表示 A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 至 P' 点的距

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \sqrt{(\xi'_1 - X')^2 + (\eta'_1 - Y')^2 + (\zeta'_1 - Z')^2} \\ R_2 &= \sqrt{(\xi'_2 - X')^2 + (\eta'_2 - Y')^2 + (\zeta'_2 - Z')^2} \\ R_3 &= \sqrt{(\xi'_3 - X')^2 + (\eta'_3 - Y')^2 + (\zeta'_3 - Z')^2} \\ R_4 &= \sqrt{(\xi'_4 - X')^2 + (\eta'_4 - Y')^2 + (\zeta'_4 - Z')^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.35)$$

将 (3.33) 式代入, 并设

$$\left. \begin{aligned} \Delta u_1 &= x_p - \xi_1, \quad \Delta y_1 = y_p - \eta_1, \quad \Delta v = z_p - \zeta_1 \\ \Delta u_2 &= x_p - \xi_2, \quad \Delta y_2 = y_p - \eta_2, \quad \Delta v = z_p - \zeta_2 \end{aligned} \right\}$$

则有

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \sqrt{\Delta u_1^2 + \Delta y_1^2 + \Delta v_1^2} \\ R_2 &= \sqrt{\Delta u_2^2 + \Delta y_2^2 + \Delta v_2^2} \\ R_3 &= \sqrt{\Delta u_1^2 + \Delta y_1^2 + \Delta v_1^2} \\ R_4 &= \sqrt{\Delta u_2^2 + \Delta y_2^2 + \Delta v_2^2} \end{aligned} \right\} \quad (3.36)$$

用 $r_{1,1}, r_{1,2}, r_{2,1}, r_{2,2}, r_{3,1}, r_{3,2}$ 与 $r_{4,1}, r_{4,2}$ 分别表示 P' 点在磁荷面 A'_1, A'_2, A'_3, A'_4 的垂足 Q 在 $A'_1 A'_2, A'_2 A'_3, A'_3 A'_4$ 和 $A'_4 A'_1$ 边的投影点至该边上两角点的距离, 由此

$$\left. \begin{aligned} r_{1,1} &= (\xi'_1 - X') \cos \theta_{1,1} + (\eta'_1 - Y') \sin \theta_{1,1} \\ r_{1,2} &= (\xi'_2 - X') \cos \theta_{1,2} + (\eta'_2 - Y') \sin \theta_{1,2} \\ r_{2,1} &= (\xi'_1 - X') \cos \theta_{2,1} + (\eta'_1 - Y') \sin \theta_{2,1} \\ r_{2,2} &= (\xi'_2 - X') \cos \theta_{2,2} + (\eta'_2 - Y') \sin \theta_{2,2} \\ r_{3,1} &= (\xi'_3 - X') \cos \theta_{3,1} + (\eta'_3 - Y') \sin \theta_{3,1} \\ r_{3,2} &= (\xi'_4 - X') \cos \theta_{3,2} + (\eta'_4 - Y') \sin \theta_{3,2} \end{aligned} \right\} \quad (3.37)$$

式中 θ 为各边与 X' 轴的夹角。

$$\text{由于 } \sin\theta_{1,2} = \sin\theta_{3,4} = \cos\theta_{7,1} = \cos\theta_{1,3} = 1$$

$$\cos\theta_{1,2} = \cos\theta_{3,4} = \sin\theta_{2,4} = \sin\theta_{1,3} = 0$$

再设

$$E_1 = \Delta u \cdot \Delta v_2, \quad F_1 = \Delta v \cdot \Delta u_1$$

$$E_2 = \Delta u \cdot \Delta u_2, \quad F_2 = \Delta v \cdot \Delta v_2$$

$$E_3 = \Delta u \cdot \Delta u_1, \quad F_3 = \Delta v \cdot \Delta v_1$$

$$E_4 = \Delta u \cdot \Delta v_1, \quad F_4 = \Delta v \cdot \Delta u_1$$

对 (3.37) 式稍加整理, 即可得

$$\left. \begin{aligned} r_{1,1} &= r_{4,2} = -\frac{1}{G}(E_3 + F_3) \\ r_{1,2} &= r_{4,1} = -\frac{1}{G}(E_2 + F_2) \\ r_{2,1} &= r_{3,2} = \Delta y_2 \\ r_{2,2} &= r_{3,1} = \Delta y_1 \end{aligned} \right\} \quad (3.38)$$

将 (3.33) — (3.38) 式分别代入 (3.32) 式, 就可求得 A'_1 , A'_2 , A'_3 , A'_4 磁荷面在 $P'(X', Y', Z')$ 点引起的磁场三分量值

$$\left. \begin{aligned} H'_{xx} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \ln \frac{(GR_2 - E_2 - F_2)(GR_3 - E_3 - F_3)}{(GR_1 - E_3 - F_3)(GR_4 - E_2 - F_2)} \\ H'_{yy} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \ln \frac{(R_2 + \Delta y_2)(R_3 + \Delta y_1)}{(R_4 + \Delta y_1)(R_1 + \Delta y_2)} \\ Z' &= \frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \left\{ \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_2(E_3 + F_3)}{R_1(E_4 - F_4)} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_2(E_2 + F_2)}{R_2(E_1 - F_1)} \right] - \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_1(E_3 + F_3)}{R_3(E_4 - F_4)} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_1(E_2 + F_2)}{R_4(E_1 - F_1)} \right] \right\} \end{aligned} \right\} \quad (3.39)$$

令,

$$B_{1,1} = (GR_2 - E_2 - F_2)(GR_3 - E_3 - F_3)$$

$$B_1 = (GR_1 - E_3 - F_3)(GR_4 - E_2 - F_2)$$

$$\begin{aligned}
Q_{j+1} &= (R_2 + \Delta y_2)(R_3 + \Delta y_1) \\
Q_j &= (R_4 + \Delta y_1)(R_1 + \Delta y_2) \\
AT_{j+1} &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_2(E_3 + F_3)}{R_1(E_4 - F_4)} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_2(E_2 + F_2)}{R_2(E_1 - F_1)} \\
AT_j &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_1(E_3 + F_3)}{R_3(E_4 - F_4)} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{-\Delta y_1(E_2 + F_2)}{R_4(E_1 - F_1)}
\end{aligned}$$

(3.39) 式可简化成

$$\left. \begin{aligned}
H'_{ax} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \ln \frac{B_{j+1}}{B_j} \\
H'_{ay} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \sigma \ln \frac{Q_{j+1}}{Q_j} \\
Z'_a &= \frac{\mu_0}{4\pi} \sigma (AT_{j+1} - AT_j)
\end{aligned} \right\} \quad (3.40)$$

最后，利用磁场三分量的投影关系

$$\begin{bmatrix} H_{ax} \\ H_{ay} \\ Z_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_1 & \cos \alpha_2 & \cos \alpha_3 \\ \cos \beta_1 & \cos \beta_2 & \cos \beta_3 \\ \cos \gamma_1 & \cos \gamma_2 & \cos \gamma_3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} H'_{ax} \\ H'_{ay} \\ Z'_a \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

将 H'_{ax} , H'_{ay} , Z'_a 分别投影到老坐标系 (0XYZ) 中, 并为了与端部磁荷面的磁场三分量相区别, 以后分别用 H_{ax1} , H_{ay1} , Z_{a1} 表示侧部磁荷面产生的磁场三分量值。

将 (3.34) 式代入 (3.41) 式, 并展开则有

$$\left. \begin{aligned}
H_{ax1} &= \frac{1}{G} [\Delta u \cdot H'_{ay1} - \Delta v \cdot Z'_{a1}] \\
H_{ay1} &= H'_{ax1} \\
Z_{a1} &= \frac{1}{G} [\Delta v \cdot H'_{ay1} + \Delta u \cdot Z'_{a1}]
\end{aligned} \right\} \quad (3.42)$$

$$\begin{aligned}
\sigma &= -[J_x \cos \alpha_3 + J_y \cos \beta_3 + J_z \cos \gamma_3] \\
&= \frac{1}{G} (J_z \cdot \Delta v - J_z \cdot \Delta u)
\end{aligned} \quad (3.43)$$

将 (3.40) 和 (3.43) 两式代入 (3.42) 式得

$$\left. \begin{aligned} H_{ax1i} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{1}{G^2} (J_z \cdot \Delta v - J_z \cdot \Delta u) \cdot \\ &\quad \left[\Delta v (AT_{j+1} - AT_j) + \Delta u \cdot \ln \left(\frac{Q_{j+1}}{Q_j} \right) \right] \\ H_{ay1i} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{1}{G} (J_z \cdot \Delta v - J_z \cdot \Delta u) \ln \left(\frac{B_{j+1}}{B_j} \right) \\ Z_{a1i} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{1}{G^2} (J_z \cdot \Delta v - J_z \cdot \Delta u) \cdot \\ &\quad \left[\Delta u (AT_{j+1} - AT_j) - \Delta v \ln \left(\frac{Q_{j+1}}{Q_j} \right) \right] \end{aligned} \right\} \quad (3.44)$$

若多边形截面边数为 n ，则各侧面在 P 点产生的磁场三分量为

$$\left. \begin{aligned} H_{ax1} &= \sum_{i=1}^n H_{ax1i} \\ H_{ay1} &= \sum_{i=1}^n H_{ay1i} \\ Z_{a1} &= \sum_{i=1}^n Z_{a1i} \end{aligned} \right\} \quad (3.45)$$

(3) 柱体端部磁荷面的磁场三分量公式

与上述同理，可求得端部磁荷面的磁场三分量 H_{ax2} , H_{ay2} ,

表 3.5

$\overline{A_1 A_2}$	H_{ax}	$\cos \alpha_1 = \frac{\Delta u}{G}$	$\cos \alpha_2 = \frac{\Delta v}{G}$	$\cos \alpha_3 = 0$
	H_{ay}	$\cos \beta_1 = 0$	$\cos \beta_2 = 0$	$\cos \beta_3 = -1$
	Z_a	$\cos \gamma_1 = \frac{\Delta v}{G}$	$\cos \gamma_2 = \frac{\Delta u}{G}$	$\cos \gamma_3 = 0$
$\overline{A_1 A_3}$	H_{ax}	$\cos \alpha_1 = -\frac{\Delta u}{G}$	$\cos \alpha_2 = -\frac{\Delta v}{G}$	$\cos \alpha_3 = 0$
	H_{ay}	$\cos \beta_1 = 0$	$\cos \beta_2 = 0$	$\cos \beta_3 = 1$
	Z_a	$\cos \gamma_1 = -\frac{\Delta v}{G}$	$\cos \gamma_2 = -\frac{\Delta u}{G}$	$\cos \gamma_3 = 0$

Z_{e1} 公式。只是这时新坐标系 $(0X'Y'Z')$ 应分别平行于两个端部磁荷面。对于包含 A_1A_2 边的端部磁荷面可使 $\overline{A_1A_2}$ 平行于 X' 轴, 包含 A_4A_3 边的另一端部磁荷面, 则使 $\overline{A_4A_3}$ 平行于 X' 轴。如表 3.5 所列出各轴间方向余弦。

将表 3.5 中两组方向余弦分别代入 (3.41) 式, 并相加即可求得两个端部磁荷面的磁场三分量 H_{ax2} , H_{ay2} , Z_{e2} 值, 略去推导过程, 其表达式为:

$$\left. \begin{aligned} H_{ax2} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\Delta v}{G} J_y \ln \frac{(GR_2 - E_2 - F_2)(GR_3 - E_3 - F_3)}{(GR_1 - E_1 - F_1)(GR_4 - E_4 - F_4)} \\ H_{ay2} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} J_y \left\{ \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{R_4^2 \Delta u - \Delta u_2 (E_2 + F_2)}{R_4 \cdot \Delta y_2 \cdot \Delta v} \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \operatorname{tg}^{-1} \frac{R_2^2 \Delta u - \Delta u_1 (E_2 + F_2)}{R_2 \cdot \Delta y_1 \cdot \Delta v} \right] \right. \\ &\quad \left. - \left[\operatorname{tg}^{-1} \frac{R_3^2 \Delta u - \Delta u_1 (E_3 + F_3)}{R_3 \cdot \Delta y_2 \cdot \Delta v} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{R_1^2 \Delta u - \Delta u_1 (E_3 + F_3)}{R_1 \cdot \Delta y_1 \cdot \Delta v} \right] \right\} \\ Z_{e2} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\Delta u}{G} \cdot J_y \ln \frac{(GR_2 - E_2 - F_2)(GR_3 - E_3 - F_3)}{(GR_1 - E_1 - F_1)(GR_4 - E_4 - F_4)} \end{aligned} \right\} \quad (3.46)$$

$$\begin{aligned} \text{设} \quad AG_{j+1} &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{R_4^2 \Delta u - \Delta u_2 (E_2 + F_2)}{R_4 \cdot \Delta y_2 \cdot \Delta v} \\ &\quad - \operatorname{tg}^{-1} \frac{R_2^2 \Delta u - \Delta u_1 (E_2 + F_2)}{R_2 \cdot \Delta y_1 \cdot \Delta v} \\ AG_j &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{R_3^2 \Delta u - \Delta u_1 (E_3 + F_3)}{R_3 \cdot \Delta y_2 \cdot \Delta v} \\ &\quad - \operatorname{tg}^{-1} \frac{R_1^2 \Delta u - \Delta u_1 (E_3 + F_3)}{R_1 \cdot \Delta y_1 \cdot \Delta v} \end{aligned}$$

(3.46) 式简化为:

$$\left. \begin{aligned} H_{ax_i} &= -\frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\Delta v}{G} \cdot J_s \ln\left(\frac{B_{j+1}}{B_j}\right) \\ H_{ay_i} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot J_s \cdot (AG_{j+1} - AG_j) \\ Z_{a_i} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\Delta M}{G} \cdot J_s \ln\left(\frac{B_{j+1}}{B_j}\right) \end{aligned} \right\} \quad (3.47)$$

若多边形截面边数为 n ，那么两端部截面的磁场三分量为：

$$\left. \begin{aligned} H_{ax_2} &= \sum_{i=1}^n H_{ax_{1i}} \\ H_{ay_2} &= \sum_{i=1}^n H_{ay_{1i}} \\ Z_{a_2} &= \sum_{i=1}^n Z_{a_{1i}} \end{aligned} \right\} \quad (3.48)$$

将 (3.45) 和 (3.48) 式相加，即可获得一个柱体的磁场三分量公式。

$$\left. \begin{aligned} H_{ax_j} &= H_{ax_1} + H_{ax_2} \\ H_{ay_j} &= H_{ay_1} + H_{ay_2} \\ Z_{a_j} &= Z_{a_1} + Z_{a_2} \end{aligned} \right\} \quad (3.49)$$

对于 M 个柱体，在测点 P 处产生的磁场三分量公式为：

$$\left. \begin{aligned} H_{ax} &= \sum_{j=1}^M H_{ax_j} \\ H_{ay} &= \sum_{j=1}^M H_{ay_j} \\ Z_a &= \sum_{j=1}^M Z_{a_j} \end{aligned} \right\} \quad (3.50)$$

(3.50) 式是磁性模型体走向与勘探剖面正交时的磁场三分量计算公式。当模型体走向与勘探剖面斜交时，只需对测点 P 的坐标及多边形截面角点坐标进行转换即可。它是表 3.2 所列全部典型物理-地质模型的通用数学解析模型。

(二) 组合多边形截面柱体井中三分量磁异常正演计算程序

根据 (3.33) — (3.50) 式, 我们就可采用任一种算法语言 (BASIC, FORTRAN, ALGOL等) 编制程序, 在各种型号的袖珍或微机 (PC-1500, IBM PC/XT等等) 上对任意形状典型物理-地质模型的井中三分量磁异常进行正演计算。

现以PC-1500袖珍机为例 (用BASIC语言) 对其程序作简要说明。

1. 程序主要标识符说明

为了便于准备数据, 以下按输入数据的先后顺序说明。

(1) 关于磁性体信息的主要标识符说明

M : 磁性体总个数

N : 各磁性体截面角点数总和

$J(M-1)$: 数组, 各磁性体的磁化强度

$D(M-1)$: 数组, 各磁性体的磁偏角

$I(M-1)$: 数组, 各磁性体的磁倾角

$M(M-1)$: 数组, 各磁性体走向正方向 (Y' 轴) 与基线 (Y 轴) 的夹角

$Y(M-1)$: 数组, 各磁性体所取截面的 Y 坐标

$L(M-1, 1)$: 二维数组, 各磁性体所取截面沿走向至两端的距离: Y 坐标值小的一端放入 $L(M-1, 0)$, 大的一端放入 $L(M-1, 1)$

$XZ(N-1, 1)$: 二维数组, 依次是各磁性体截面各角点的 X 、 Z 坐标: X 坐标放入 $XZ(N-1, 0)$, Z 坐标放入 $XZ(N-1, 1)$

(2) 关于钻孔信息的主要标识符说明

G : 钻孔个数

D : 各钻孔中最多的计算点数

A : 勘探线 (X 轴) 方位

$ZK\$(G-1)$: 数组, 各钻孔的编号字符串

$PD(G-1)$: 数组, 各钻孔的计算点数

$X_0(G-1)$: 数组, 各钻孔的起算点的 X 坐标

$Y_0(G-1)$: 数组, 各钻孔的起算点的 Y 坐标

$Z_0(G-1)$: 数组, 各钻孔的起算点的 Z 坐标

$E(G-1)$: 数组, 钻孔是直孔还是斜孔的控制变量, 若 $E=0$, 直孔; $E=1$, 则是斜孔

$DZ(G-1)$: 数组, 直孔时的点距

$DL(G-1)$: 数组, 斜孔时的点距

$A(G-1)$: 数组, 斜孔时每一侧斜段内的测点数

$B(G-1, D-1)$: 二维数组, 斜孔时测点的方位角

$S(G-1, D-1)$: 二维数组, 斜孔时测点的顶角

$F(G-1)$: 数组, 是否计算剩余磁场的控制变量, 若 $F=0$, 不计算; $F=1$, 则计算

$H_x(G-1, D-1)$: 二维数组, 实测 ΔH_x 值

$H_y(G-1, D-1)$: 二维数组, 实测 ΔH_y 值

$Z(G-1, D-1)$: 二维数组, 实测 ΔZ 值

(3) 其它标识符说明

J_x 、 J_y 、 J_z : 中间变量, 分别是磁化强度 J 在 X 、 Y 、 Z 轴的投影

T_x 、 T_y 、 T_z : 中间变量, 磁场强度的三分量

2. 程序框图说明

本程序由一主程序和六个子程序组成:

(1) 主程序

主程序的功能是:

- 输入, 输出磁性体和钻孔信息数据;
- 负责管理下属六个子程序进行正演计算;
- 用人机对话方式进行选择法反演解释 (见第五章第三节)。

主程序框图如图3-7所示。

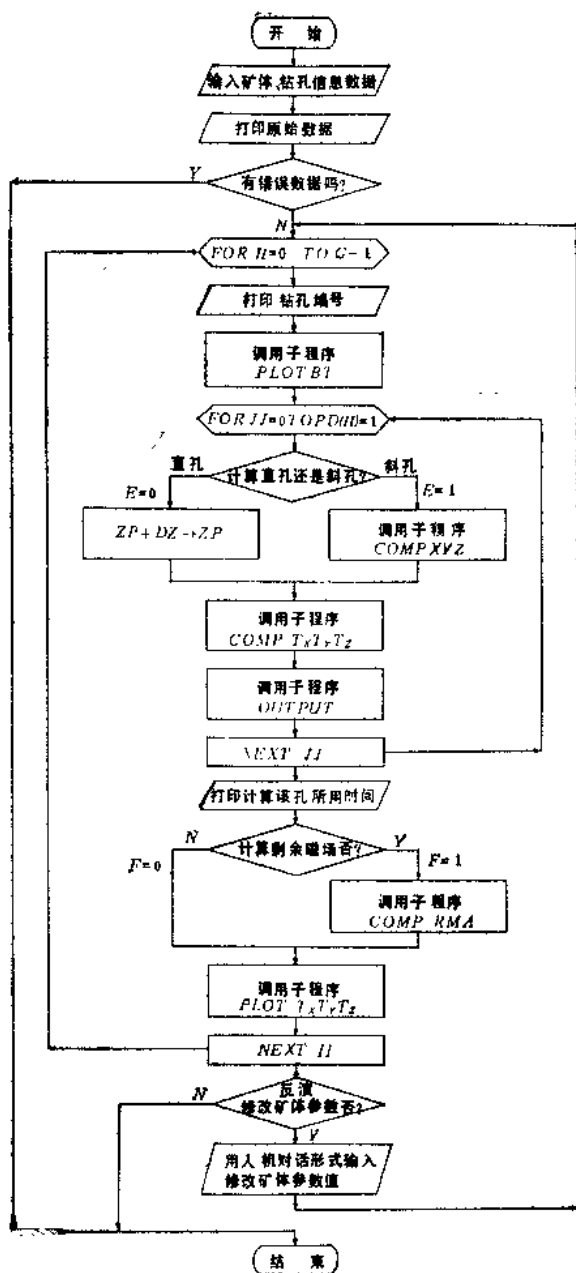


图 8-7

(2) 子程序

A. PLOTBT子程序：其功能是绘制表头。

B. COMP x 、 y 、 z 子程序：其功能是计算斜孔时测点的 X 、 Y 、 Z 坐标。如图3-8所示，设勘探剖面方位角为 A ，测点所在的井段方位角为 β ，顶角为 δ ，井段控制长度为 L ，则计算公式为

$$\left. \begin{aligned} X &= L \sin \delta \cdot \cos(\beta - A) \\ Y &= L \sin \delta \cdot \sin(\beta - A) \\ Z &= L \cos \delta \end{aligned} \right\} \quad (3.51)$$

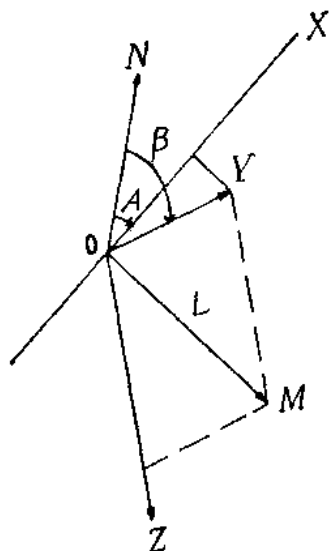


图 3-8

由于钻探斜时，其观测间距往往是几十米，所以当井中磁测测点位于测斜段内时，其方位角 β 和顶角 δ ，需用相邻两测斜点的方位角和顶角值间内插求得。设 M_j 点的深度为 m_j (m)，方位角为 β_j ，顶角为 δ_j ；下一点 M_{j+1} 的深度为 m_{j+1} (m)，方位角 β_{j+1} ，顶角 δ_{j+1} 。那么，深度为 m_i (m)处($m_j < m_i < m_{j+1}$)的测点其方位角和顶角分别为：

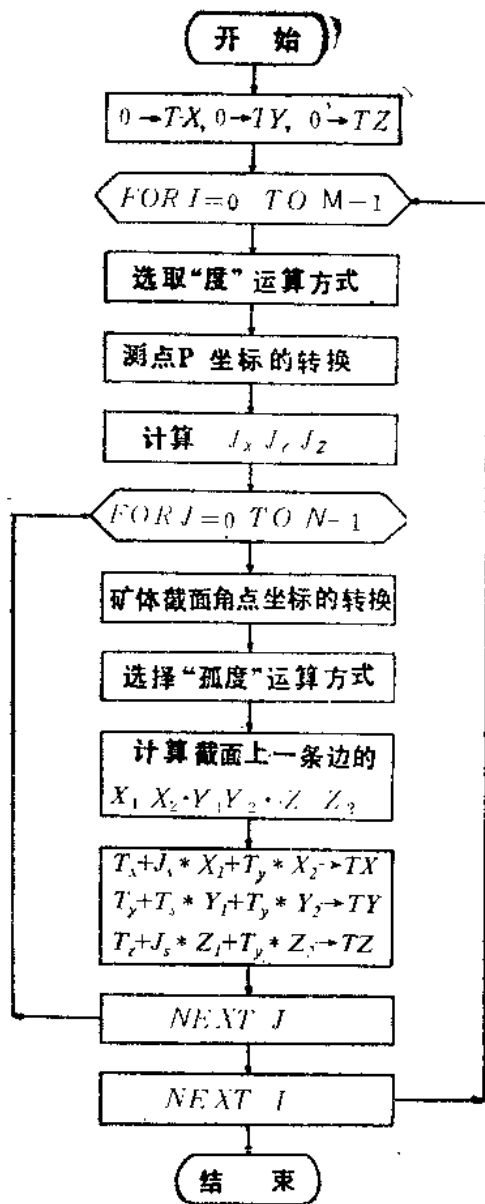


图 3-9

$$\left. \begin{aligned} \beta_i &= \beta_j + \frac{\beta_{j+1} - \beta_j}{m_{j+1} - m_j} (m_i - m_j) \\ \delta_i &= \delta_j + \frac{\delta_{j+1} - \delta_j}{m_{j+1} - m_j} (m_i - m_j) \end{aligned} \right\} \quad (3.52)$$

C. COMP T_x , T_y , T_z 子程序: 该子程序是本程序的核心, 其功能是计算磁性模型体在测点 P 处的磁场三分量值, 所用的计算公式是 (3.33) — (3.50) 式。程序框图如图3-9所示。

D. OUTPUT子程序: 其功能是以表格形式输出计算结果, 其中包括: 点号, 坐标 (X 、 Y 、 Z), 磁场分量值 ΔH_x 、 ΔH_y 、 ΔZ , 并使输出格式直观, 美观。

E. COMPRMA子程序: 其功能是在反演拟合解释中用来计算剩余磁场及其相对误差, 并列表打印输出计算结果。剩余磁场的计算公式为

$$\left. \begin{aligned} f(\Delta H_x) &= \Delta H_{x\text{实}} - \Delta H_{x\text{理}} \\ f(\Delta H_y) &= \Delta H_{y\text{实}} - \Delta H_{y\text{理}} \\ f(\Delta Z) &= \Delta Z_{\text{实}} - \Delta Z_{\text{理}} \end{aligned} \right\} \quad (3.53)$$

相对误差的计算公式为

$$\left. \begin{aligned} \Delta(\Delta H_x) &= f(\Delta H_x) / \Delta H_{x\text{理}} \times 100\% \\ \Delta(\Delta H_y) &= f(\Delta H_y) / \Delta H_{y\text{理}} \times 100\% \\ \Delta(\Delta Z) &= f(\Delta Z) / \Delta Z_{\text{理}} \times 100\% \end{aligned} \right\} \quad (3.54)$$

应该指出, 当用本程序进行反演拟合解释时, 用 (3.53) 和 (3.54) 式所计算的结果, 就作为正演理论计算曲线与实测曲线拟合程度的衡量标准, 以便修改假设磁性模型体的初始参数值, 使其最终达到规定标准的拟合, 获得地质解释结果。

其程序框图如图3-10。

F. PLOT T_x 、 T_y 、 T_z 子程序: 其功能是绘制 ΔH_x 、 ΔH_y 、 ΔZ 的正演理论计算曲线。若已输入了实测的 ΔH_x 、 ΔH_y 、 ΔZ 值, 还可用不同符号将理论和实测曲线区分开。其程序框图如图3-11。

最后要指出, 若被研究的模型体具有磁各向异性特征时, 还

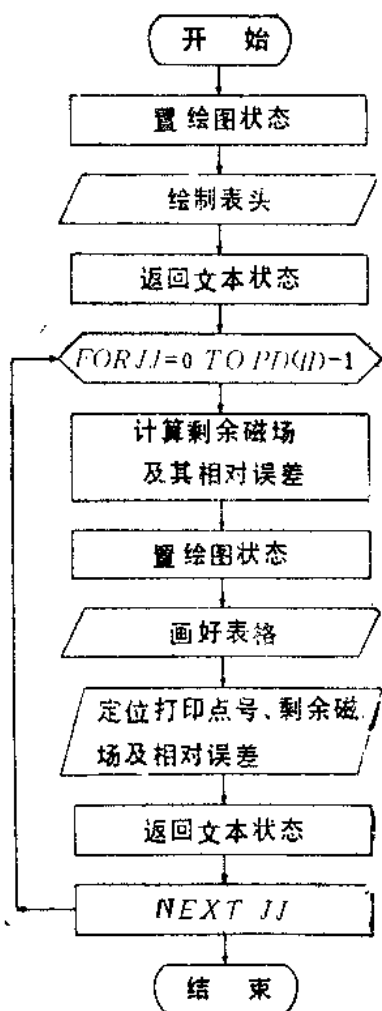


图 3-10

将专门设置计算磁各向异性磁参数和退磁校正的子程序，以满足计算要求。

3. 程序评价

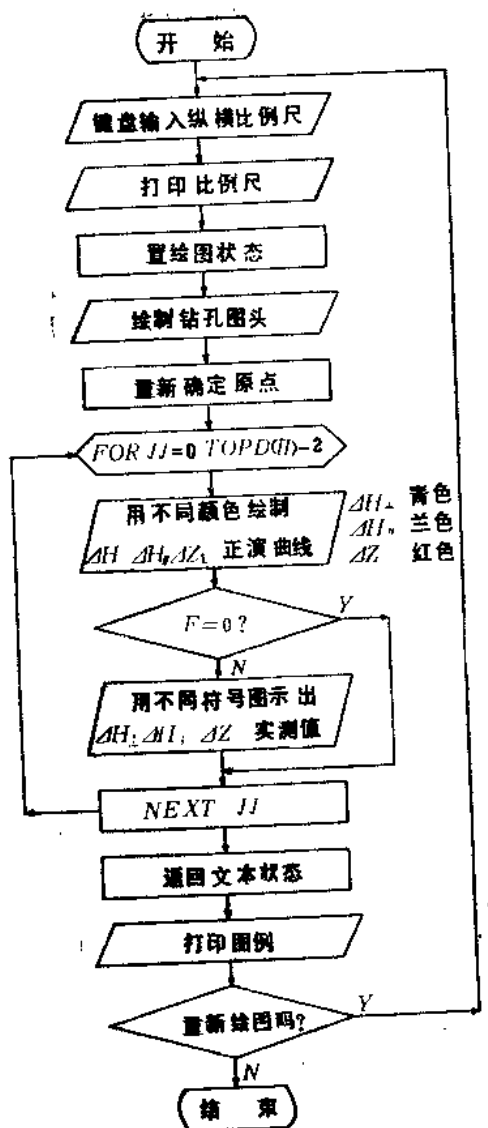


图 3-11

本程序是任意形状磁性（磁各向同性或异性）典型物理-地质模型（三度体）的通用数学解析模型。它可用来正演计算模型体的井中磁场三分量值，也可用于反演拟合解释以及在新区开展井中磁测时，进行模拟井中磁测，预测该地区井中磁场的分布特征。它既可计算直孔也可计算斜孔的井中磁场三分量值。其计算速度取决于磁性体的个数及其截面角点的多少，例如计算一个长方形模型体，一个测点大约只需30秒。程序操作简单，使用方便，输出格式美观，可根据用户需要选用不同纵横比例尺绘制出井中三分量磁场值曲线。

本程序的缺点是，由于受目标函数的限制，只能计算磁性模型体的外磁场，然而，对于井中磁测说，内磁场的研究和利用具有十分重要的意义，这尚待今后进一步完善。

第三节 典型物理-地质模型的 剖面磁场分布特征

一个典型物理-地质模型的地质-地球物理信息的表述，应以解决提出的地质任务为前提。对于井中磁测，其常规的地质任务：发现井旁盲矿，确定其空间位置，这时使用的主要参数是 ΔZ 、 $\Delta H'$ 或 ΔH 剖面曲线及 $\Delta T_{\perp}$ 、 $\Delta T_{\parallel}$ 矢量；其二是预报井底盲矿，估算可能的见矿深度，它使用的参数是 ΔZ 和 ΔT 模曲线，并配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量；再就是确定矿体产状、延伸、模式及构造断裂位置等。在有利的地质-地球物理条件下，这后一任务可通过单孔解释来解决，但为了提高推断解释的可靠性，往往需要利用群孔资料的对比和综合研究来实现，例如，利用群孔资料构制 ΔZ 剖面等值线图或 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布图。它们在研究矿体模式和构造断裂位置时尤为重要。据此，用以表述井中磁测典型物理-地质模型的地质-地球物理信息的基本图件是：（1） ΔZ 、 $\Delta H'$ （或 ΔH 剖面）曲线分布图，（2） $\Delta T_{\perp}$ （或 $\Delta T_{\parallel}$ ）矢量分布图，（3） ΔZ （或 ΔH 剖面）等值线图。

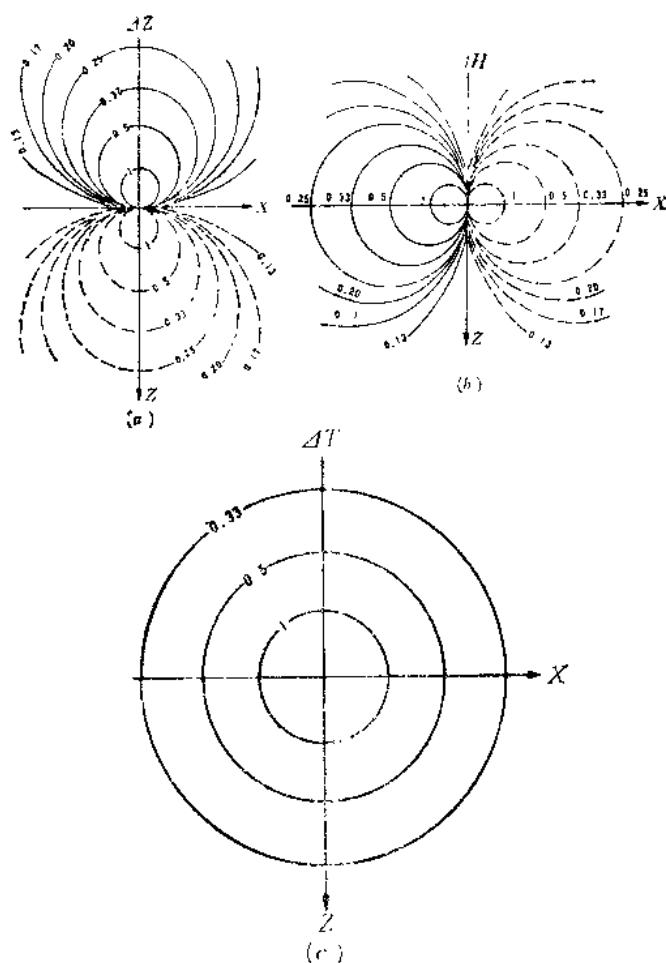


图 3.12

尽管井中磁测观测的是全方位响应，但在实际中利用的通常是投影到钻孔所在勘探剖面上的磁场信息，因此，本节中将详细研究分析在表3.2中所列的每种典型物理-地质模型的由上述三种基本图件表述的剖面磁场分布特征，并由此导出解决常规地质任

务的解释方法。

一、板状磁性体

1. 无限延深薄板

顺层磁化

根据公式 (3.5) — (3.7) 就可构制出顺层磁化无限延深薄板的 ΔZ 、 ΔH 、 ΔT 剖面等值线图，如图 3-12。

由图中 a 可见，在 XOZ 剖面内， ΔZ 等值线为两组在原点（线极上）相切的非同心圆，这些圆的圆心都在 Z 轴上。对于矿头说（负磁荷线极），线极以上半空间 ΔZ 值为正（实线），下半空间则为负值，这一点由 (3.5) 式中 θ 角的变化范围即可看出。

由 ΔZ 剖面等值线分布特征可见，不管旁侧钻孔打在薄板的哪一侧，其 ΔZ 曲线都呈上正下负的对称反 S 形，曲线的零点坐标即是矿顶埋深（如图 3-13）

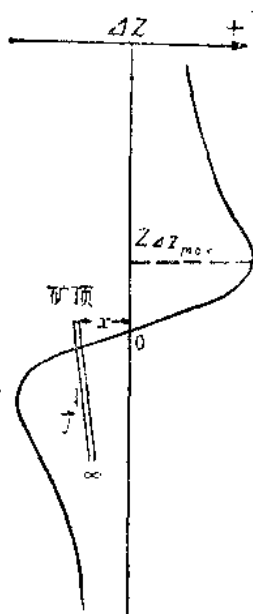


图 3-13

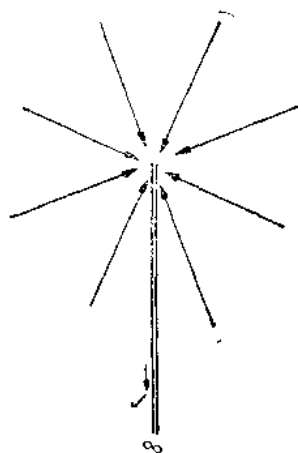


图 3-14

图中 b 是 ΔH 剖面等值线，它也是在线极上相切的两组非同圆心圆，这些圆的圆心位于 X 轴上，由 (3.6) 式中的 $\sin \theta$ 值可定出，它呈右（北）负，左（南）正。利用旁侧钻孔中的 ΔH 剖面曲线可指示薄板与钻孔间相对方位，当钻孔位于薄板矿顶右（北）侧时， ΔH 曲线呈 C 形，为对称负值。位于左（南）侧时，则为对称正值呈反 C 形。

图中 C 是 ΔT 剖面等值线，它是以线极与剖面交点为圆心的一组同心圆。

图 3-14 是根据公式 (3.9) 构制出的负线极的磁力线分布

图。在 XOZ 剖面内，线极的磁力线呈辐射状，在矿顶会聚，其交点即是薄板顶端位置。对于薄板尾端则呈发散，磁力线反向延长线交点即是薄板尾端位置。因此，用 $\Delta T_{\perp}$ 矢量交会法可直观简便的发现并旁盲矿，确定矿顶（尾）的空间位置。

由顺层磁化无限延深薄板剖面磁场的分布特征，就可导出解决常规地质任务中的解释方法。

在发现井旁盲矿，确定其空间位置时，必须配合使用 ΔZ ， ΔH 曲线，或直接用 $\Delta T_{\perp}$ 矢量交会法。只根据 ΔZ 曲线不能作定位解释，但利用其正或反 S 形曲线特征，可判别位于钻孔旁侧的是矿尾还是矿顶（头）。对应于 $\Delta Z = 0$ 的深度坐标则是矿顶（或尾）的埋深。为求得矿顶（尾）距钻孔的水平距离 x （有时用符号 D ，见图 3-13），可先求 ΔZ 曲线的极值点位置：

$$\frac{d(\Delta Z)}{dz} = \frac{2\lambda(x^2 + z^2) - 2z^2}{(x^2 + z^2)^2} = 0$$

$$\text{则有} \quad z_{\perp \Delta Z_{\max}} = x \quad (3.55)$$

即极值点坐标 $z_{\perp \Delta Z_{\max}}$ 至原点距离等于矿顶（尾）至钻孔的水平距离 x ，或利用其半极值点位置：

$$x = \frac{z \pm |\Delta Z_{\max}|}{2 \pm \sqrt{3}} \quad (3.56)$$

利用 ΔZ 或 ΔT 曲线配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向来预报井底盲矿，估

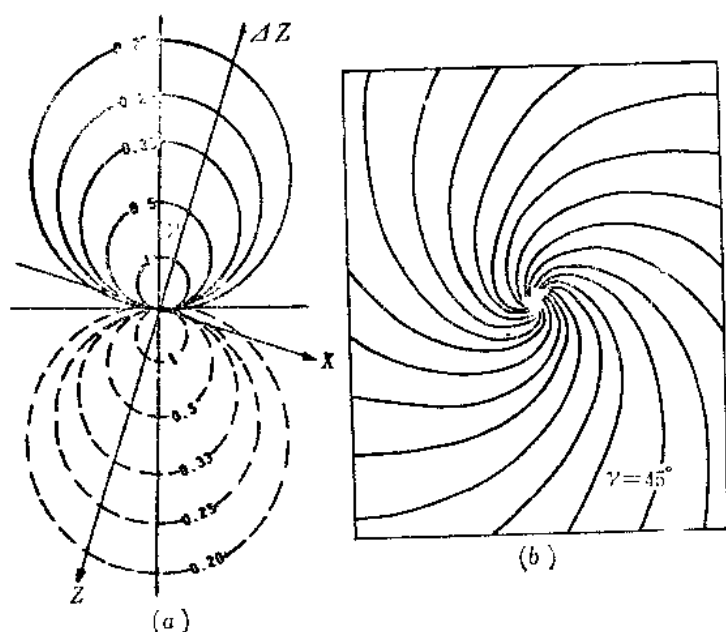


图 3-15

求其可能见矿深度的标志与方法则可详见第五章第二节。

斜磁化

根据公式 (3.19) — (3.21) 及 (3.23) 可构制出斜磁化无限延深薄板的 ΔZ 、 ΔH 、 ΔT 等值线及磁力线轨迹，如图 3-15。

斜磁化时，在 XOZ 剖面内 ΔZ 、 ΔH 等值线，仍为两簇在矿顶（尾）相切的非同心圆， ΔZ 等值线的圆心连线与 Z 轴夹角为 γ （如图 3-15a）。 ΔH 等值线圆心连线与 x 轴夹角也是 γ 。可见斜磁化时的 ΔZ 、 ΔH 等值线可由顺层磁化时的 ΔZ 、 ΔH 等值线旋转 γ 角获得，反之亦然。显然这时在旁侧钻孔中的 ΔZ 、 ΔH 曲线将变得不对称。对于矿顶说， ΔZ 曲线呈上正下负不对称反 S 形， ΔH 曲线则为左（南）正右（北）负的不对称反 C 或 C 形。两者配合可用来发现并旁盲矿，确定其空间位置，其具体解

释方法亦可见第五章第二节。

对比公式 (3.7) 和 (3.21) 可见, 斜磁化时 $\Delta T_{\text{横}}$ 等值线的分布特征不变, 它仍是一组以线极与剖面交点为圆心的同心圆。这就告诉我们, 在任意磁化条件下, 利用 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线, 配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向来预报井底盲矿, 估算可能见矿深度, 比用 ΔZ 曲线要优越, 因为它不受磁化方向的影响。

但在斜磁化时, ΔT 矢量方向将会发生变化, 设顺层磁化时 ΔT 矢量与横轴夹角为 θ :

$$\operatorname{tg} \theta = -\frac{\Delta Z_{\text{顺}}}{\Delta H_{\text{顺}}} = \frac{z}{x}$$

斜磁化时 ΔT 矢量与横轴夹角为 θ' :

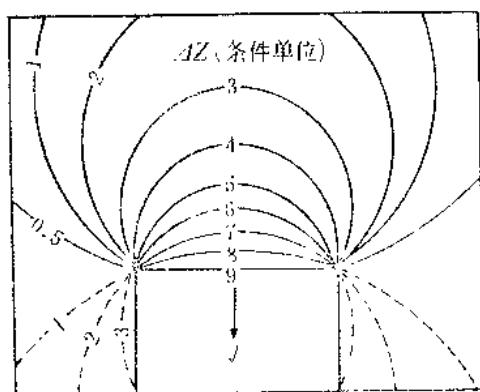
$$\operatorname{tg} \theta' = \frac{\Delta z}{\Delta H} = \frac{-z \cos \gamma - x \sin \gamma}{z \sin \gamma - x \cos \gamma} = \frac{\frac{z}{x} + \operatorname{tg} \gamma}{1 - \frac{z}{x} \operatorname{tg} \gamma} = \operatorname{tg}(\theta + \gamma) \quad (3.57)$$

公式表明, 在斜磁化时, 不能直接用矢量交会法来求矿顶(尾)的位置, 而是应把 ΔT 矢量旋转(顺时针或逆时针) $-\gamma$ 角, 将其转换到顺层磁化时的情况, 然后再利用交会法, 确定井旁盲矿顶(尾)的空间位置。这就是矢量旋转 γ 角法解释的理论依据。它对于磁各向同性和磁各向异性磁性体的解释普遍适用, 在磁各向异性时, 有效磁化强度方向将偏向于顺磁性体层面, 这时将更接近于顺层磁化, 有利于用 ΔZ 曲线特征点法或 $\Delta T_{\perp}$ 矢量交会法更精确的确定其空间位置, 这一点在以后的分析中将会看到。

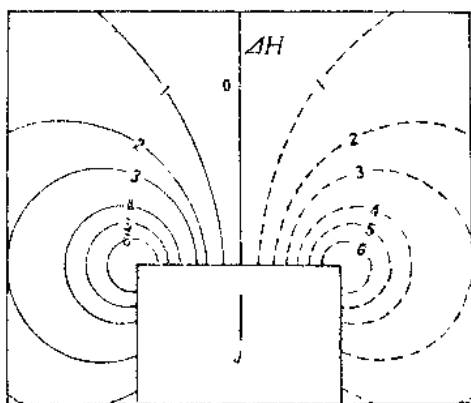
2. 无限延深厚板

根据公式 (3.29) — (3.31) 可构制出顺层磁化无限延深厚板的 ΔZ 、 ΔH 、 ΔT 剖面等值线, 如图3-16。

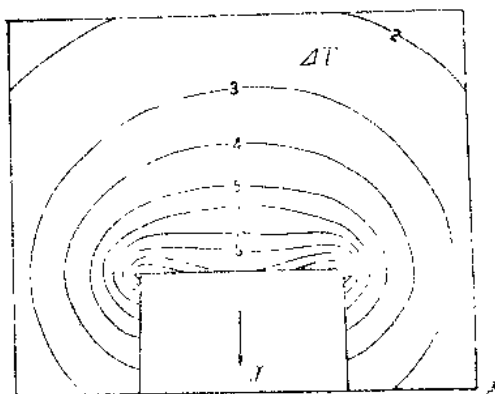
由图可见, 在剖面内 ΔZ 等值线是以矿顶面 (bb) 为公共弦的非同心圆, 呈上正下负。 ΔH 等值线是以矿顶面端点 (m 和 n) 为圆心的两组同心圆, 呈左(南)正, 右(北)负。与薄板时



(a)



(b)



(c)

图 3-18

同理,可利用旁侧钻孔中的 ΔZ 曲线和 ΔH 曲线发现井旁盲矿,确定其空间位置。

图中 c 为 ΔT 等值线。一个显著的特点是,在厚板顶面上方, ΔT 等值线比较平稳,这样,当钻孔打在厚板顶面上方时(不一定正中心),孔位的变化不会对 ΔT 曲线(呈正张口)特征有很大的影响,且 $\Delta T = \Delta Z$ 。这对于预报井底盲矿,估算其可能见矿深度十分有利。这是我们一再强调在实际中应利用 ΔT 曲线来预报井底盲矿的又一个理论依据。

3. 有限延深板状体

分析研究有限延深板状体的剖面磁场分布特征具有普遍意义。因为在沉积变质型、矽卡岩型及陆相火山岩型铁矿床中,呈似层状或透镜状产出的矿体,以及沉积变质型和陆相火山岩型中的向斜、背斜、簸箕状及弓状矿体的一翼都可视为有限延深板状体。它乃是组成这些复杂磁性体的基本单元。为此,我们以磁各向同性向斜的一翼为典型,对其剖面磁场分布特征作剖析。

对于向斜一翼的计算条件是:走向南北,走向长400m,倾向东,倾角 70° ;其磁化条件为:地磁场垂直分量 $z_0 = 0.3579 \times 10^2 \text{ A/m}$,水平分量 $H_0 = 0.2286 \times 10^2 \text{ A/m}$, $K = 1.26 \text{ (SI)}$,磁偏角 $D = -6^\circ 15'$,地磁倾角 $I_0 = 57^\circ 30'$,有效磁化强度 $J_r = 0.4495 \times 10^2 \text{ A/m}$,有效磁化倾角 $I_r = 93^\circ 42'$ 。

其计算结果示于图3-17。

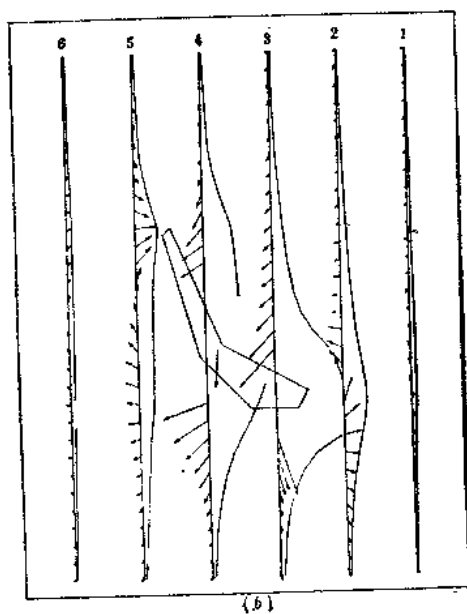
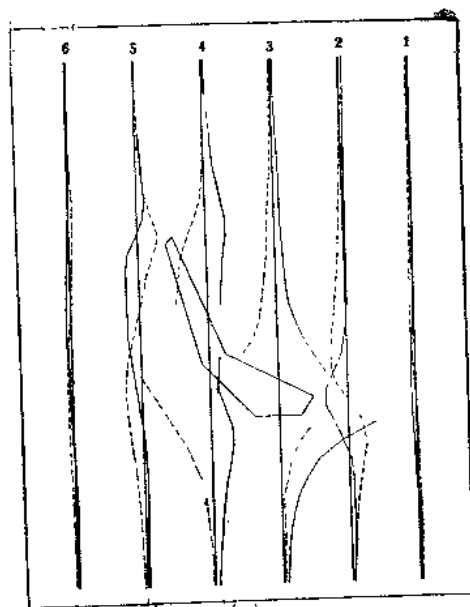
(1) 旁侧钻孔中的磁异常特征

图中 a 是向斜一翼中心剖面上的 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线。其中2、5孔是旁侧钻孔,5号孔从向斜一翼的西侧通过, ΔZ 曲线呈上下为正,中间为负值的不对称双S形,利用公式:

$$\Delta Z(0) = \Delta Z_{\max} + \Delta Z_{\min} \quad (3.58)$$

可确定上部 ΔZ 过零点深度坐标,求出翼顶端埋深。当下部S形曲线完整明显时,同理也可确定其翼尾端下延深度。

在2号孔中, ΔZ 曲线突出的反映是向斜一翼尾端响应。其 ΔZ 曲线也呈上下为正,中间为负的不对称S形,有时则是呈C



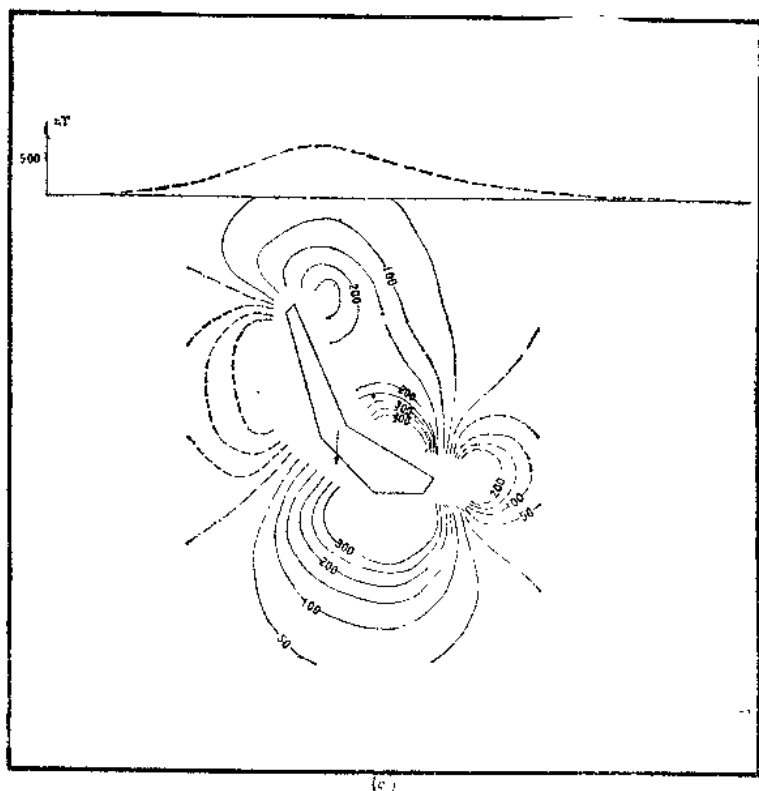


图 3-17

形曲线，这些特征说明井旁是磁性体的下延尾部。

如前所述，仅用 ΔZ 曲线特征，不能提供井旁磁性体的方位信息，为作定位解释应配合 ΔH （虚线）剖面曲线。在5号孔中 ΔH 剖面曲线呈上正下负的反S形，2号孔中则相反，呈上负下正的正S形。两者符号变化的对应关系说明，负磁荷集中区的翼部端头在5号孔以东（右侧），在2号孔以西（左侧）；相反，正磁荷集中区的翼尾部则在5号孔以东，2号孔以西。一般用一对跨孔就可实现这一判别。

(2) 穿透翼部钻孔中的磁异常特征

图中的3、4孔即属此类钻孔, 根据利用其磁异常特征的目的不同, 可把该类钻孔划分为见矿前和见矿后两个井段来分析。见矿前井段的磁异常可用来预报井底盲矿, 估算其可能见矿深度, 这是一项在实际工作中需要在现场立即进行的常规任务, 以便决定钻孔是否需要继续施工的解释意见。它既可提高见矿率又不致于漏矿。见矿后井段的磁异常则多用来与旁侧钻孔磁异常相综合, 研究磁性体的产状、模式等。在这里我们将先研究前者。

由图中 *a* 可见, 当钻孔打在翼尾上方时, (图中3孔) ΔZ 曲线随钻孔深度递增而呈正张口; 当打在翼的中部时 (图中4孔) 则先递增后缓减, 曲线梯度变化不大, 预示井底磁性体存在的标志不如前者明显。这说明 ΔZ 曲线的预报灵敏度受钻孔与井底磁性体相对位置影响较大。然而, 由图 *b* 中示出的 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线和 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向可见, 不管钻孔与井底磁性体相对位置怎样变化, $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线都为正张口, 能较灵敏的预报井底盲矿, 于是在 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线上都能用任意点比值法或切线法估算可能见矿深度。若配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向还可判别是井底还是井底旁盲矿; 若 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线正张口, $\Delta T_{\perp}$ 矢量的指向西偏下, 预示井底有矿, 钻孔应加深, 加深能见矿。如果 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向东或平行向西逐渐指向上, 则是井底旁盲矿, 钻孔不必加深, 加深后不能见矿。这就是说, 对井底或井底旁矿的判别预报, 必须用综合参数加以综合研究。

(3) 向斜一翼的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布特征

所谓 $\Delta T_{\perp}$ 矢量的分布特征, 它有两个主要含义: 其一是矢量指向及其会聚和发散; 其二是沿钻孔深度空间 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向逐点的转变现象。亦即矢量包络线的旋卷方向和形状。

图中 *b* 是向斜一翼中心剖面上的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量及 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线的分布特征。

在5号旁侧孔中, 相应于翼端头, $\Delta T_{\perp}$ 矢量交会, 在任意磁化条件下, 如果事先知道了 γ 角 (有效磁化强度与翼面夹角) 那么可用前已导出的旋转 γ 角解释法, 把其转换到顺层磁化时的

$\Delta T_{\perp}$ 矢量指向, 然后用其交会点就可确定翼端头位置。同理, 用 5 号孔和 2 号孔并结合 3、4 孔呈发散的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量尾部交会可确定翼下延尾部的位置, 从而控制向斜一翼磁性体在剖面上的赋存范围。

在 5 号孔中, $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线由深至浅向顺时针方向旋卷, 向斜一翼即赋存于该包络线范围内, 弯曲度大的半支处赋存近井轴的翼端头, 缓的半支赋存远井轴翼尾部。2 号孔中包络线向反时针旋卷, 其周长短, 主要反映翼尾。可见只要用对应方位的一对跨孔的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线轮廓就可圈定向斜一翼在中心剖面上的投影范围。

(4) 向斜一翼剖面等值线分布特征

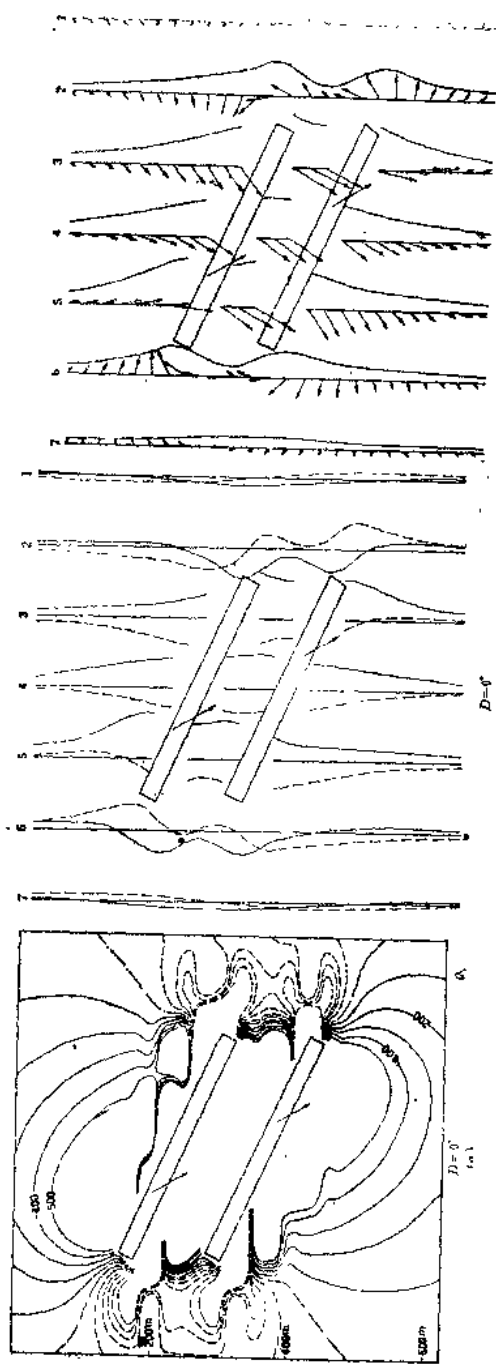
由图中 c 所示的 ΔZ 剖面等值线可见, 向斜一翼上界面以上 ΔZ 剖面等值线是正值, 靠近头、尾分别呈一个高值异常中心; 底部界面以下 ΔZ 也为一个正值异常; 侧面和尾端头则呈负值异常, 侧面负值异常范围大, 梯度小, 尾端的范围小, 梯度大。由此可圈定向斜一翼在剖面上的投影范围。并给出任一位置钻孔中 ΔZ 曲线分布特征概念。

4. 双层板状体

在实际中经常会遇到两层或多层有限延深板状体呈纵向叠加产出的情况, 由于多层板状体之间磁异常的相互重叠, 将使井中磁异常复杂化。但当板状体之间距离比起钻孔离板状体端头(头或尾)距离足够大时, 井中磁测仍能灵敏的分辨出纵向叠加的板状体赋存状态。

图3-18是对双层有限延深板状体模型在中心剖面上磁场分布特征的正演计算结果。

由图中 a 所示的 ΔZ 剖面等值线可见, 其整个分布呈环状, 在上覆板的顶面和下覆板的底面空间 ΔZ 为正值, 板端头、尾的两侧则为负值。在给定磁化条件下, 上覆板端头部位 ΔZ 等值线比其尾部密集的梯度要大, 相反在下覆板的尾部 ΔZ 等值线较其头部密集的梯度要大。根据这些分布特征可大致圈定双层板状体



等效磁性体在剖面上的赋存范围及头尾位置，并给出任一钻孔位置时，井中 ΔZ 曲线分布特征的概念。

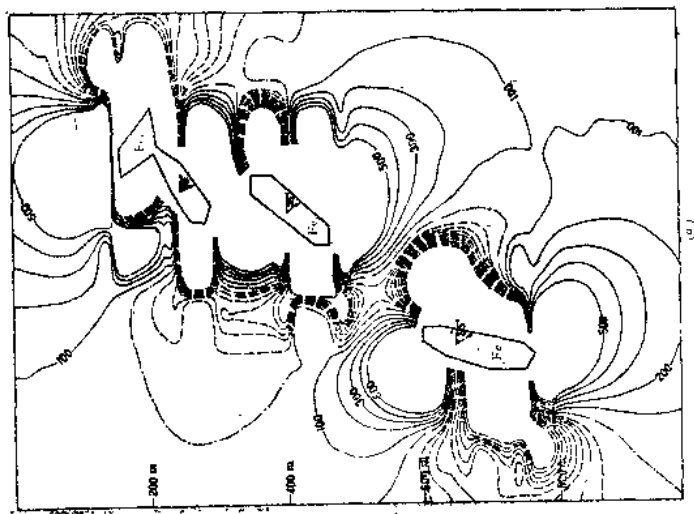
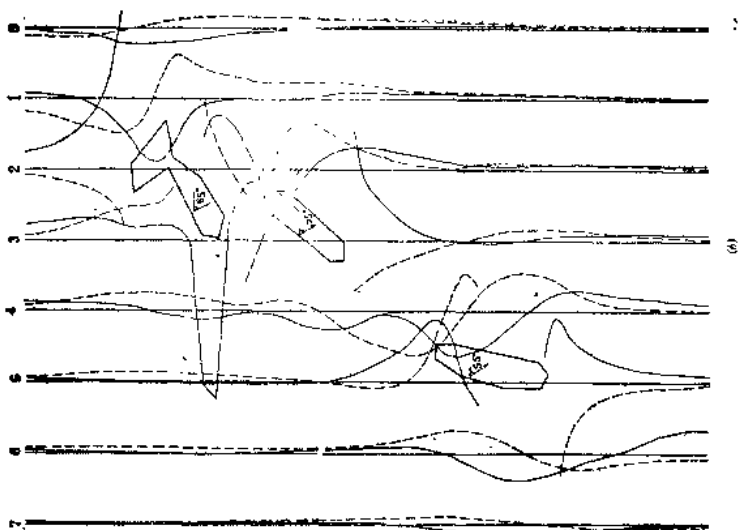
图中 b 是 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线分布图。其中 1、2、6、7 是旁侧钻孔，只有在近板端头（尾）的旁侧孔中（2 或 6 孔） ΔZ 曲线才明显的显示出呈上下为正，中间为负双峰的双反 S 形组合曲线。在远离板端头（尾）的旁侧孔中（1 或 7 孔），只反映出等效磁性体的响应。横跨双层板的一对旁侧钻孔中的 ΔH 剖面曲线，其符号变化规律则呈相反对应，在板端头西侧呈双反 S 形或反 S 形，板尾东侧呈双 S 形或 S 形。它与 ΔZ 曲线相配合可发现井旁双层板状体，判定相对于钻孔的方位。

在穿过双层板状体的钻孔中（图中 3、4、5 孔），在见上覆板前的井段内，用 ΔZ 或 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线的正张口，配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向，可灵敏的预报井底上层板的存在。穿过上层板后，在两板间的井段内，很难再用上述标志来预报井底下覆板的存在。在实际中，只有当两板间距离足够远，两板间互相影响可以忽略时，这种预报才有可能。

图中 c 是 $\Delta T_{\perp}$ 矢量和 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线分布图。在双层板状体叠加的情况下，利用矢量交会法不可能精确的确定板的空间位置，而利用矢量的包络线形态则可判定其赋存状态。由图可见，在 2、6 号孔中由深至浅， $\Delta T_{\perp}$ 矢量轨迹明显的各呈两个包络线，在板头端的包络线弯曲度大，尾端的宽缓，用它们可指示出双层板头（尾）端的赋存部位。若要精确的确定双层板状体的空间位置和其磁性参数，应进行拟合解释，其具体方法可详见第五章第三节。

二、叠瓦状透镜体或不规则体

在砂卡岩型或其它类型铁矿床，由于受接触带产状，构造断裂性质，产状的控制，多个透镜状或其它不规则状磁铁矿体，常呈叠瓦式产出。这时井中磁异常的特征相当复杂，如何区分和分解这些复杂异常，是进一步提高井中磁测单孔解释质量，进行群孔资料综合研究的重要任务之一。



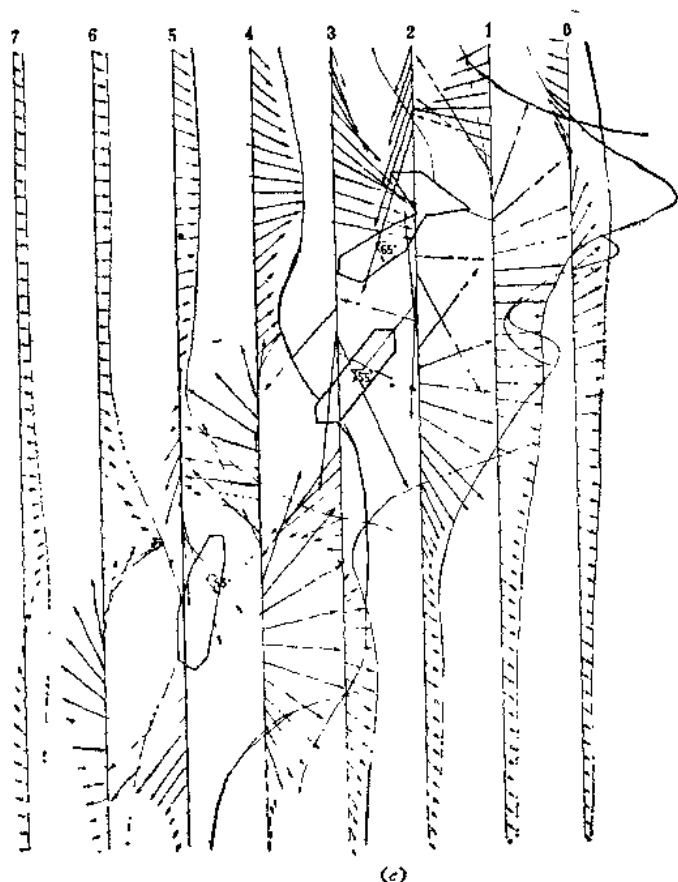


图 3-19

图 3-19 是以鄂东大冶铁矿区象鼻山 22 号剖面为例的典型物理-地质模型。

由图中 a 所示的 ΔZ 剖面等值线图可见，它由多个呈环状梅花形等值线范围所组合，整个轮廓可构划出叠瓦状磁性体的范围。其上部由于两透镜体相距较近，分布形态类似于双层板状体。上覆透镜体顶面以上空间和下伏透镜体底侧面以下空间 ΔZ 为正值，两侧则为负值。下部透镜体则单独构成相类似的分布形

态。可以预计,若各透镜体首尾相接叠瓦产出,其上下半空间 ΔZ 为正值,两侧为负值的整体轮廓仍将保持。犹如任意磁化条件下多层板状体 ΔZ 等直线的分布特征。这些说明井中磁测响应分辨纵向叠加磁性体的能力要比地面磁测强得多。

图中**b**是 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线分布图,其中0、1、4、6、7是旁侧钻孔,1、6号孔中的 ΔZ 曲线各呈双反S形(或C形),指示出上覆或下伏透镜体。0号孔中 ΔZ 曲线变得平缓,反映了上部两透镜体的叠加响应;7号孔则仍是下伏透镜体的响应,但其强度显著减弱。利用2、3跨孔中的 ΔZ 曲线可分别指示出上覆透镜体尾部和中部透镜体的端头。4号孔中的 ΔZ 曲线反映了叠瓦状透镜体的全貌,它呈上下为正中间为三负峰值的多反S形。负峰值的大小视透镜体头尾端离钻孔距离各异,只要在方法的探测范围内,据此可灵敏的分辨呈叠瓦状的各透镜体。对于这些旁侧钻孔随着与各透镜体相对方位的不同, ΔH 剖面曲线的符号变化规律,将不再一一详述。总之,在任何情况下,要作定位解释,就必须具有 ΔH 这一参数。

图中的2、3、5孔,各自穿过上、中、下三个透镜体,在见透镜体前井段内,对于2、5孔可利用 ΔZ 或 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线正张口,配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向预报井底盲矿,估算其可能见矿深度;3号孔中的预报,由于受上覆透镜体的尾端影响变得困难。

图中**c**是 $\Delta T_{\perp}$ 矢量和 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线分布图,同理,利用各透镜体两侧的一对跨孔中的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线;如上覆透镜体为1、4孔,中部透镜体为2、4孔,下部透镜体为4、6孔,可圈定这些透镜体的赋存范围。即使是利用其中的某一单孔也可发现井旁盲矿,大致确定钻孔旁侧透镜体的头(尾)位置,有助于进一步指导布孔验证。这样做一般都能取得满意的结果,可详见第四章第一节所举实例(图4-6, 4-8)。

研究分析了双层或叠瓦状板状体或透镜体的剖面磁场分布特征后,我们可对这种复杂井中磁异常的解释提出如下意见:

(1) 钻孔位置,亦即钻孔相对于各板状体或透镜体的距

离, 相对方位等。对于井中磁异常的分布特征, 特别是能否反映出纵向叠加的全貌和提高分辨率, 比起井旁为单一规则形体的影响更突出。因此, 在实际中, 应参考地质和地面磁异常资料, 对观测钻孔的孔位有所预计。

(2) 在单孔解释的基础上, 应尽可能对勘探剖面上跨孔或群孔井中磁测的结果进行综合研究。研究对比的主要内容是 ΔT 矢量包络线, ΔZ 剖面等值线, 以便圈定整个等效磁性体或单元组成体的赋存范围。然后将其分解, 逐个作定性或半定量解释, 以获得剖面上矿体赋存模式的概念。

(3) 要精确的确定这种纵向叠加体各个组成单元的地质参数(几何和规模参数)和磁性参数, 必须进行拟合解释。

应该指出, 分辨纵向叠加磁性体是井中磁测所长, 而分辨横向叠加磁性体则是地面磁测所长, 两者立体综合, 各显其长, 才能获得有关磁性体复杂组合结构模式的空间概念。

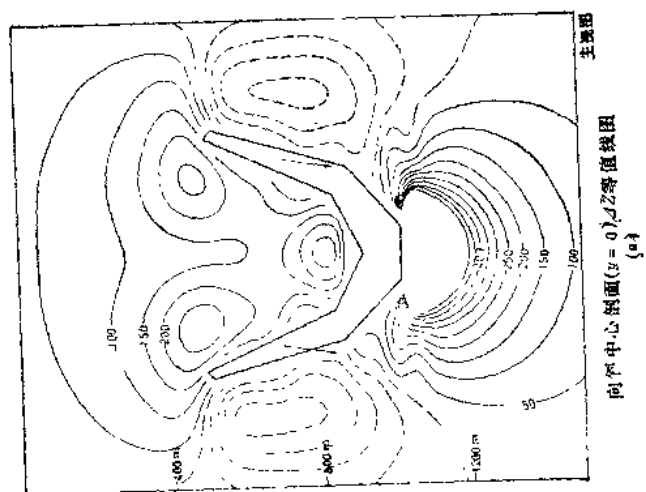
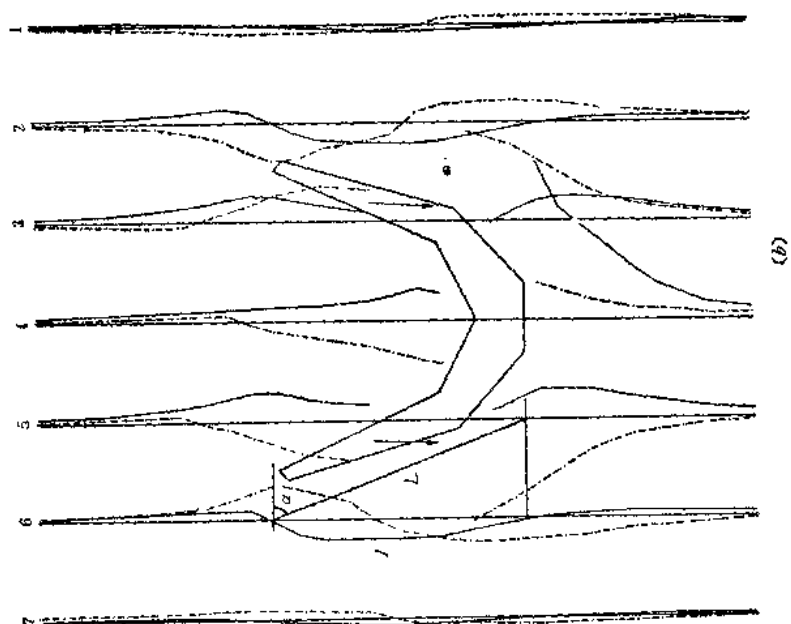
三、向斜和背斜磁性体

研究分析向斜和背斜模式的剖面磁异常分布特征, 不仅对于磁铁矿体常呈褶皱构造模式产出的河北迁安沉积变质式铁矿区有指导意义, 而且对于其它类型铁矿床, 如陆相火山岩型的宁芜铁矿床类似于向斜和背斜模式, 而呈簸箕状和弓形模式产出的磁铁矿床的找矿也具有实际意义。为此, 我们将先研究分析磁各向同性向斜和背斜模式磁性体的剖面磁异常分布特征, 然后再讨论磁各向异性对其磁异常分布特征的影响。

1. 向斜磁性体

图3-20示出的是磁各向同性向斜磁性体在中心剖面上的异常分布特征。

由图中a所示的 ΔZ 剖面等值线可见, 其分布外形尤如一“猴头”, 故称之为“猴头”异常。在向斜顶面深度以上空间 ΔZ 为正值, 构成“猴额”, 向斜两翼端头 ΔZ 正异常响应构成“猴眼”, 在核部上界面以上 ΔZ 响应构成“猴嘴”, 向斜核底以下空间 ΔZ 正值构成“猴下颚”, 其两腿则由 ΔZ 负值等值线构画出。这就是



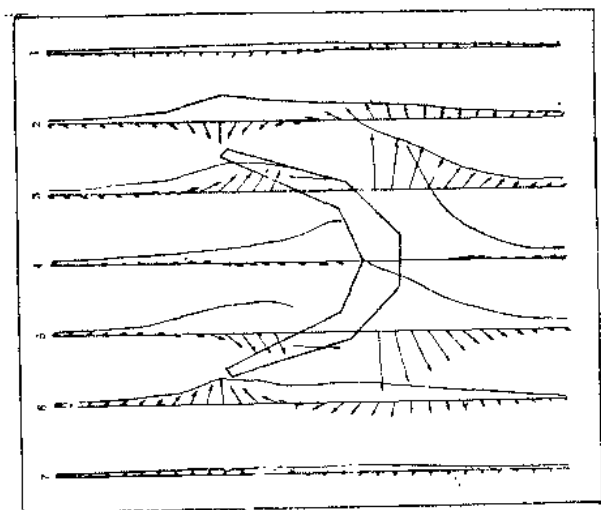
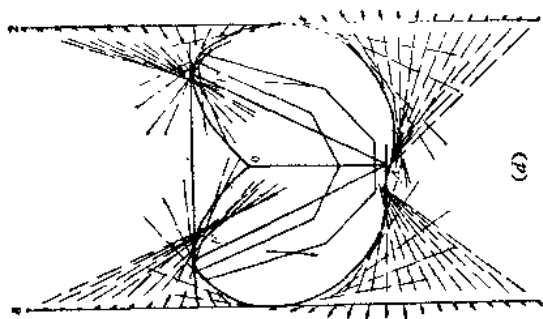


图 3-20



说,“猴头”或近似于“猴头”的 ΔZ 等值线分布图像可作为识别向斜模式磁性体的标志,并用来圈定其轮廓,给出相对于向斜磁性体任一位置钻孔中的 ΔZ 曲线形态概念。

图中 b 是 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线的分布特征,因为,轴对称的向斜模式,由两个东西向倾斜的相同向斜翼组成。其特征完全可根据前述对井旁向斜一翼 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线那样作类似的分析,这里仅需指出以下几点:

(1) 利用旁侧钻孔中(2、6孔)的 ΔZ 曲线,可根据公式

$$\Delta Z(0) = \Delta Z_{\max} + \Delta Z_{\min}$$

求出上下 $\Delta Z(0)$ 深度坐标,以此确定向斜两翼端头和核部的埋深。上下 $\Delta Z(0)$ 点深度井段内 ΔZ 负值所含范围,是向斜翼部在井轴上的投影长度 l 。若已知两翼的倾角 α ,可用下式求出每一翼的延深长度 L ,

$$L = \frac{l}{\sin \alpha} \quad (3.59)$$

钻孔离两翼越近,这种估算就越精确。远离两翼的旁侧钻孔(如图中1、7孔), ΔZ 曲线变平缓,因而难以求准 $\Delta Z(0)$ 值点深度坐标来作上述解释。

钻孔与翼端头间的水平距离 x ,可根据 ΔZ 曲线特征点求得

$$x = \frac{\sqrt{2}}{2} D \quad (3.60)$$

式中 D 为正负极值点间距离。

(2) 利用穿过向斜磁性体钻孔(图中3、4、5孔),见矿前井段内的 ΔZ 、 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线,配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向和 ΔH 剖面曲线,可对给定条件的井底向斜磁性体作如下预报:

若 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线正张口, $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向东(ΔH 曲线正张口),顺着磁性体倾向方向,则是井底旁向斜西翼端头的响应,钻孔不必加深,加深后不可能见矿(如图中6孔)。

若 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线正张口, $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向西偏下(ΔH 曲线负张

11)，它是井底向斜西翼的响应，钻孔应继续加深，加深后见向斜磁性体西翼（如图中5孔）。

若 $\Delta T_{\text{核}}$ 曲线正张口， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向西（ ΔH 曲线负张口）顺着磁性体倾向方向，则是井底旁向斜东翼端头的响应，钻孔不必加深，加深后不能见矿（如图中2孔）。

若 $\Delta T_{\text{核}}$ 曲线正张口， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向东偏下（ ΔH 曲线正张口），它是井底向斜东翼响应，钻孔应继续加深，加深后见向斜磁性体东翼（如图中3孔）。

若 $\Delta T_{\text{核}}$ 曲线正张口， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向下（ ΔH 值很小呈上正下负），钻孔应继续加深，加深后见向斜磁性体核部（如图中4孔）。

图中c是向斜磁性体的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布图，纵观其分布特征可指出以下两点：

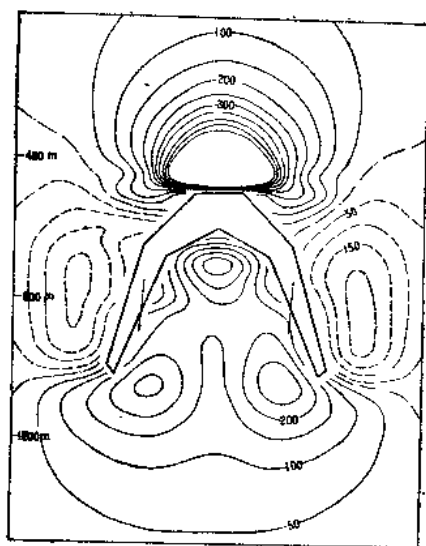
（1）在靠近向斜两翼的旁侧钻孔中（2,6孔），在两翼端头， $\Delta T_{\perp}$ 矢量会聚，其核部 $\Delta T_{\perp}$ 矢量发散，用旋转 γ 角解释法，可简便的确定向斜两翼端头和底核部空间位置。一个显著的特点是，把发散的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量旋转 γ 角后，其尾部延长线交于向斜核部，具“共尾性”特征（见图中d所示），这也是识别向斜模式的重要标志之一。

（2）在向斜磁性体西侧的6号孔中，由深至浅， $\Delta T_{\perp}$ 矢量沿钻孔逐点向顺时针方向旋卷，相反，在向斜磁性体东侧的2号孔中，则呈反时针方向旋卷（如图中d）。两支包络线的上半支弯曲度大，与近井的向斜两翼端头位置相对应；其下半支弯曲度缓，则与远井的向斜核部位置对应，向斜两翼分别赋存其间。两支包络线的组合，其整体形态近似一心脏形曲线，可用如下方程表述：

$$(z^2 + x^2) - 2az(z^2 + x^2) = a^2 x^2 \quad (3.61)$$

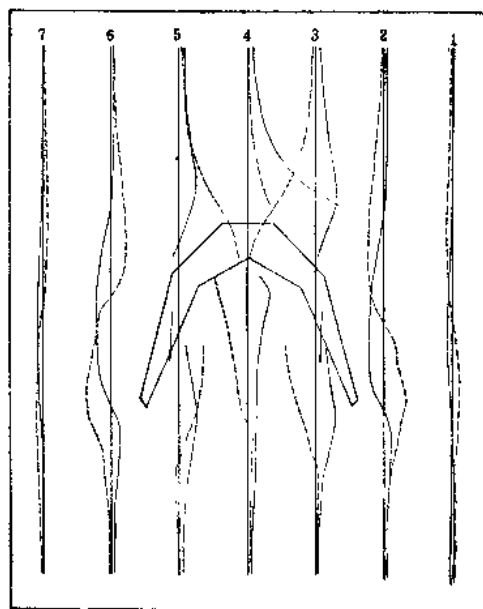
式中 x 沿剖面方向， z 沿井轴深度方向，坐标原点位于尖点 $O(0, 0)$ ， a 是尖点与顶点1之间距离的半值，即 $a = \frac{O1}{2}$ 。

在中心剖面内，相对应的一对跨孔中的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线呈

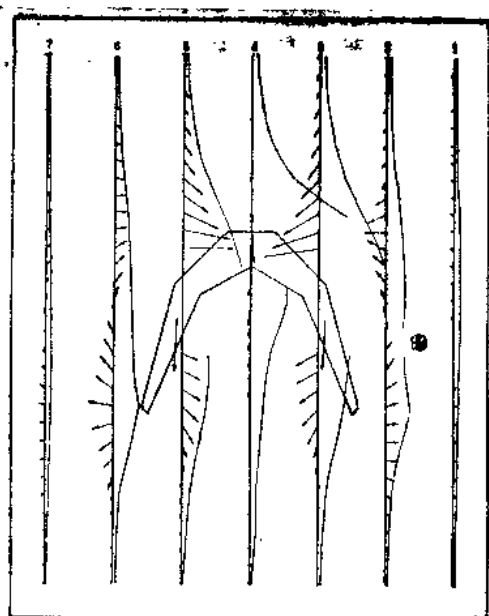


背斜中心剖面($\psi = 0$) LZ 等值线图
(a)

主视图



(b)



背侧中心剖面 (a) 综合图
(c)

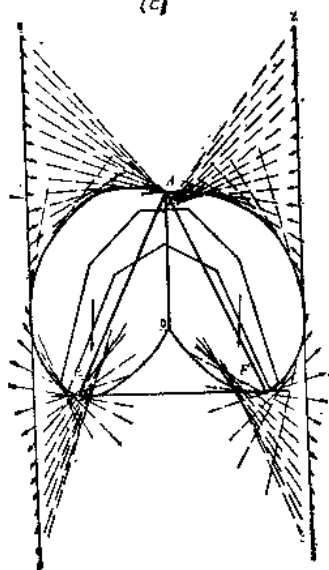


图 3-21
(b)

心脏形曲线，也是识别向斜模式的标志。并用它可圈定向斜磁性体在剖面中的投影范围，详细的确定其规模和产状。如图3-20d所示，利用心脏形线二重切线切点 E 、 F 可估算向斜两翼端头位置，顶点 A 可估算向斜顶部位置。由 $\overline{EA}$ 、 $\overline{FA}$ 连线长度及 $\overline{EF}$ 与 $\overline{EA}$ 或 $\overline{FA}$ 线之间夹角，可估算出向斜两翼的延深长度、倾向、倾角。

总之，对于复杂形状的磁性体，利用 $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线来解释，可提供很多的有用信息。但在任意磁化条件下，如果是在非中心剖面上，以及如何开发应用计算机作自动的矢量包络线法解释方面，尚需今后进一步研究。

2. 背斜磁性体

图3-21是磁各向同性背斜磁性体在中心剖面上的磁异常分布特征。

在分析了向斜磁性体的磁异常分布特征后，我们就不必再对背斜磁性体的磁异常分布特征——作详细叙述。把图3-20和3-21相对比，就可得出背斜磁性体磁异常分布的一些特点：

(1) 在给定的条件下，背斜与向斜磁性体的磁异常分布互成倒像，其重要标志是： ΔZ 剖面等值线为倒“猴头”图像， $\Delta T_{\perp}$ 矢量具“共头性”特征，一对跨孔（2、6孔）中的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线组合近似于一倒心脏形曲线。同理，可利用这些特征来识别背斜模式，圈定其在剖面中投影范围，确定背斜顶部，两翼端头空间位置以及两翼的延深长度、倾向、倾角。

(2) 利用穿过背斜磁性体钻孔（3、4、5孔），见矿前井段内的 ΔZ 、 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线，配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向，对井底背斜磁性体可作如下预报：

若 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线呈正张口， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向下或东或西，则是井底背斜磁性体的反映，钻孔应深，加深后能见矿，井应在 $\Delta T_{\text{横}}$ 张口曲线上利用任意点比值法或切线法估算可能见矿深度。 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向下， $\Delta T_{\text{横}} = \Delta Z$ 值曲线正张口，说明钻孔打在背斜顶部上方，加深后能见矿。 $\Delta T_{\text{横}}$ 正张口， ΔZ 曲线反映不灵敏， $\Delta T_{\perp}$ 矢

量指向东,说明钻孔打在背斜西翼上方,加深后见翼部。当钻孔打在背斜东翼上方时, $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向与上述相反,其余特征类似,可作同样的预报。

若 ΔT 正张口,而 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向沿钻孔深度递增旋卷,逐渐指向上(即 ΔZ 出现负值),这是井底旁侧矿的反映,钻孔不必加深,加深后不能见矿。

四、磁各向异性对向斜和背斜磁性体剖面磁场分布的影响

沉积变质磁铁矿是我国铁矿资源中重要类型之一,这类矿床引起的磁异常往往很复杂,其原因之一在于这种磁铁石英岩呈层状结构,具有明显的磁各向异性。因此,在讨论了磁各向同性向斜和背斜模型剖面磁异常分布特征的基础上,有必要进一步来研究磁各向异性的影响,这对于河北迁安铁矿区的非中磁异常实际解释,有着重要意义。

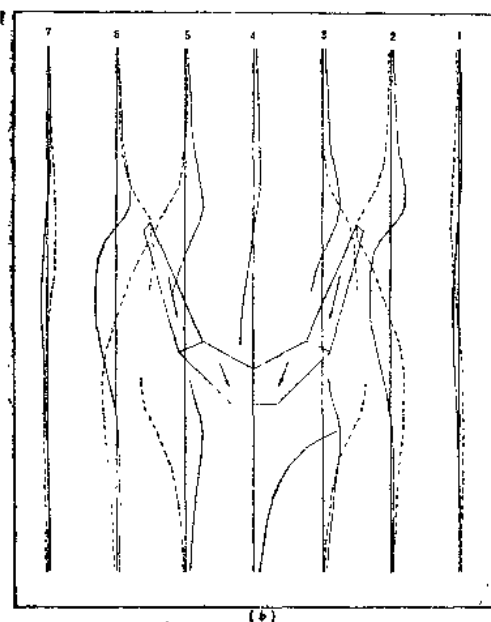
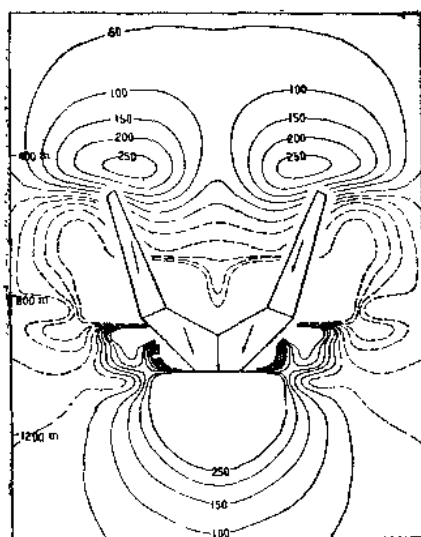
根据铁磁学和岩石磁学理论,引起含铁磁性矿物岩石的磁各向异性因素有三种:即矿物结晶体的磁各向异性;结构和构造的磁各向异性;物体有限形状引起的磁各向异性。

一般在岩石磁性研究中,应用磁化率概念的最小物理实体是磁畴,由于磁畴组成的结晶材料沿某些结晶方向比沿其它方向更容易被磁化,故磁畴是具有磁化率的磁结晶的各向异性。

各向异性磁化率概念通常用到的最大物理实体是磁性岩石构造,其中最典型的要算沉积变质类型铁矿矿石的结构,其磁铁矿呈层状排列,与硅酸盐矿物或石英相间叠合形成条带状构造。致使平行层理方向的磁化率 $\kappa_{\parallel}$ 与垂直于层理方向的磁化率 $\kappa_{\perp}$ 存在着明显的差异。对于河北迁安铁矿区说,其磁各向异性系数 $\frac{\kappa_{\parallel}}{\kappa_{\perp}} \rightarrow$

2。同时还可以看到,平行于层理方向的剩余磁化强度分量 $I_{\parallel}$ 与垂直于层理方向的分量 $I_{\perp}$ 也有明显的差别。

除上述因素外,还有由物体有限形状引起的磁各向异性。众所周知,在外磁场的作用下,磁性矿物颗粒的表面将有面磁荷分布,因而在其内部产生与外磁场 I_0 方向相反的退磁场 H_d ,称谓退磁



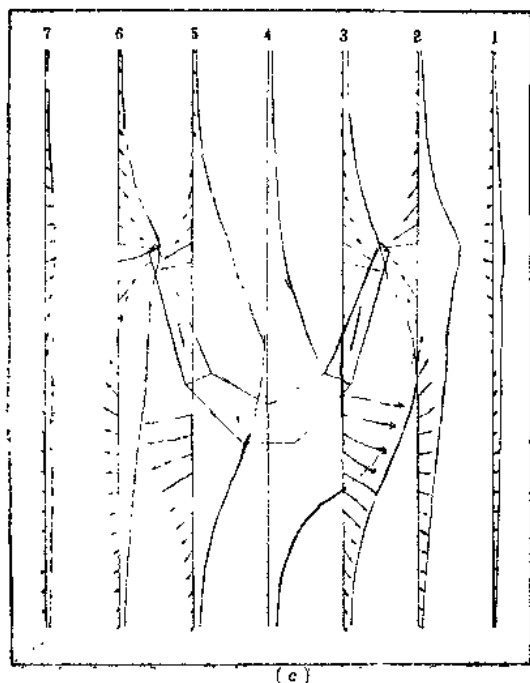


图 3-22

作用，其表达式为

$$H_s = -NJ \quad (3.62)$$

式中 N 为与物体形状有关的系数，称退磁系数，负号表示 H_s 方向与 J （或 T_0 ）方向相反。不同形状物体的退磁系数 N 是不同的。退磁作用不仅会影响感磁 J_i 的大小，而且还会影响其方向。例如在河北迁安铁矿区，设 $\kappa = 4\pi \times (0.1) \text{ SI}$ ，由以下计算可看出退磁作用所引起的 J_i 大小和方向的变化。

设 J_i 沿 x 和 z 轴方向的分量为

$$J_{ix} = \frac{\kappa}{1 + N_x \kappa} T_{0x} \quad (3.63)$$

$$J_{iz} = \frac{\kappa}{1 + N_z \kappa} T_{0z}$$

则有

$$J_{ix} = \kappa T_0 \cos 57^\circ 30'$$

$$J_{iz} = \frac{\kappa}{1 + 2\pi\kappa} T_0 \sin 57^\circ 30'$$

J_i 的倾角 α 可由下式求得

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{J_{iz}}{J_{ix}} = \frac{1}{1 + 2\pi\kappa} \operatorname{tg} 57^\circ 30' = 0.964$$

查得 $\alpha = 43^\circ 57'$ 。由此可见，退磁作用使 J_i 偏离地磁场方向达 13° 之多。一般 κ 愈大， J_i 偏离 T_0 的方向愈大，而且总是偏向于磁性体长轴方向。明确上述概念后，我们将以磁各向异性向斜磁性体模型正演计算结果（见图3-22）为例，把其与磁各向同性向斜磁性体的计算结果（见图3-20）相对比，引出各向异性对其磁场分布影响的结论。

对比图3-20和3-22可见

（1）磁各向异性对向斜磁性体剖面磁异常的整体分布特征没有明显的影响。 ΔZ 剖面等值线仍呈“猴头”图像分布， ΔT_1 矢量在向斜核部具“共尾性”特征。相对方位一对跨孔（2、6孔）中的 ΔT_1 矢量包络线组合也仍呈心脏形曲线。

（2）磁各向异性对旁侧钻孔中的 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线形态和变化规律，也没有明显的影响。只是在异常幅值，零值点位置， ΔT_1 矢量指向方向上有所变化。

这是由于磁各向异性影响结果只是使有效磁化强度 J_i 偏向于顺磁性体层理方向。因此，由磁各向同性向斜磁性体，在任意磁化条件下，基于上述磁场分布特征导出的定性和半定量解释方法，对磁各向异性向斜磁性体仍然适用，且由于它更接近于顺层磁化，其解变得更简便，结果更可靠。

（3）磁各向异性对于井中磁异常特征影响最明显的是位于向斜两翼中间部分钻孔（图中3、4、5孔）中的见矿前井段。其中尤其是4号孔。在该孔的见矿前井段内，由于磁各向异性影响， ΔZ 曲线呈上正下负的反S形，视向斜两翼长短和对称程度， ΔH_1 值可能为零或低而平稳的正（负）值。因此，在实际单孔解

释中应注意： ΔZ 曲线呈反S形是由向斜两翼端头的综合响应的结果，其零值点位置能大致反映端头埋深。只有当离向斜核部十分近的井段内， ΔZ 曲线负半支才张口，预示井底向斜核部存在，其预报灵敏度不高。在这种情况下，应主要利用 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线，配合 ΔT_{L} 矢量指向（见图中c 3、4、5孔）来预报井底盲矿，估算其可能见矿深度。

五、簸箕状和弓状磁性体

簸箕状和弓状磁性体，是以陆相火山岩型宁芜铁矿的钟九铁矿区和白象山铁矿区为例的典型物理-地质模型。考虑到矿区矿石类型和地质条件的变化，对该两类模型是采用磁性分区（段）作井中磁异常正演计算的，其计算条件可详见表3.3。

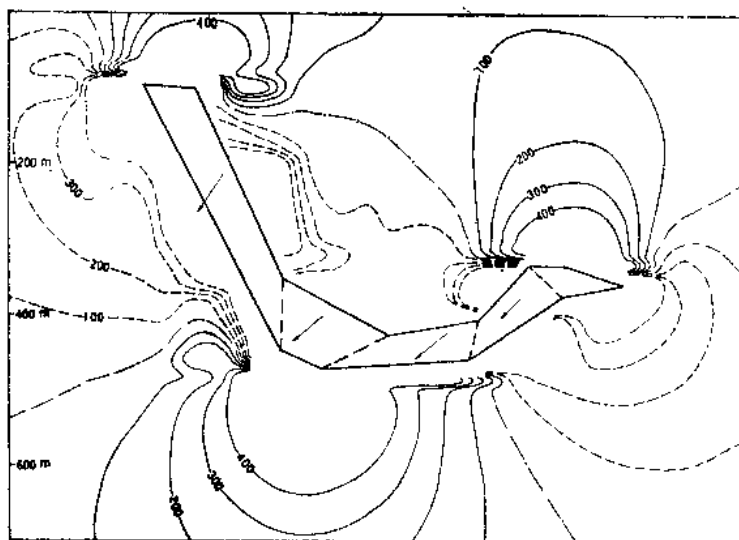
1. 簸箕状磁性体

其形状实为近似于一不对称向斜（见表3.1姑子山矿区特殊物理-地质模型）。图3-23是其中心剖面上的磁异常分布特征。

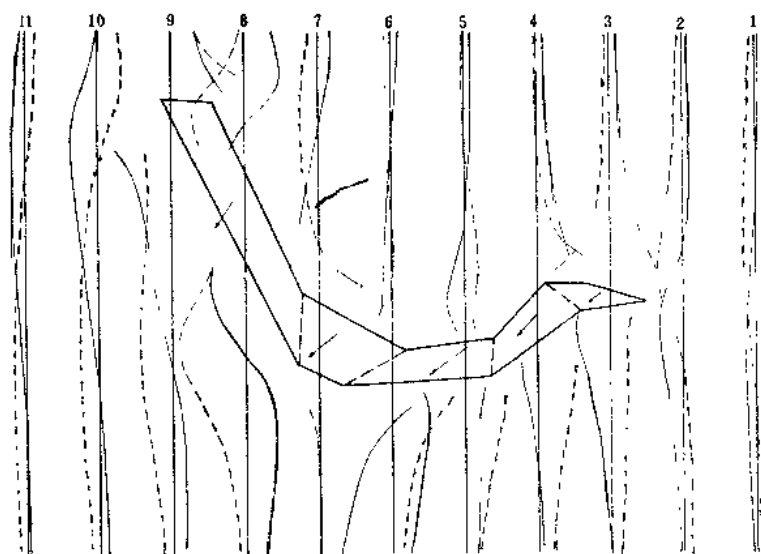
由图中a所示，在其翼部两侧和底部 ΔZ 等直线的分布，类似于向斜磁性体的分布特征，亦即由负 ΔZ 等值线构成“猴头”两腮， ΔZ 正等值线构画出“猴下颚”；“猴面额”部分由于两翼的不对称（翼长短，产状不一）变得不清晰。同时将其分解为两部分作分析：北西翼为一斜磁化有限延深板状体；南东翼为一接近于顺层磁化的平缓板状体。应用这些 ΔZ 等直线的分布特征就可识别其模式，圈定其轮廓，并给出任一位置钻孔中 ΔZ 曲线形态的概念。

据此，不难从图3-23b所示的 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线看出，其分布特征（形态和正负变化规律）完全类似于向斜磁性体，只是由于受计算孔深条件所限，在北西（长）翼旁侧孔中（10、11孔） ΔZ 曲线上部零值点未显示。南东（短平）翼旁侧孔中（1、2孔），因翼部产状平缓， ΔZ 曲线则呈上正下负的反S形。因此，根据向斜磁性体剖面磁场特征导出的定性和半定量解释方法。对簸箕状磁性体仍可不同程度的延用。

由图3-23b、c中的3至8孔见矿前井段的磁异常分布可见，



(a)



(b)

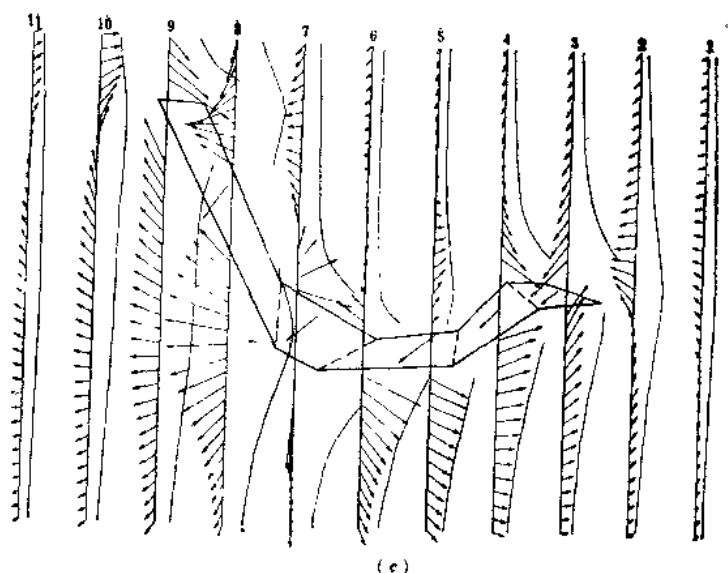


图 3-23

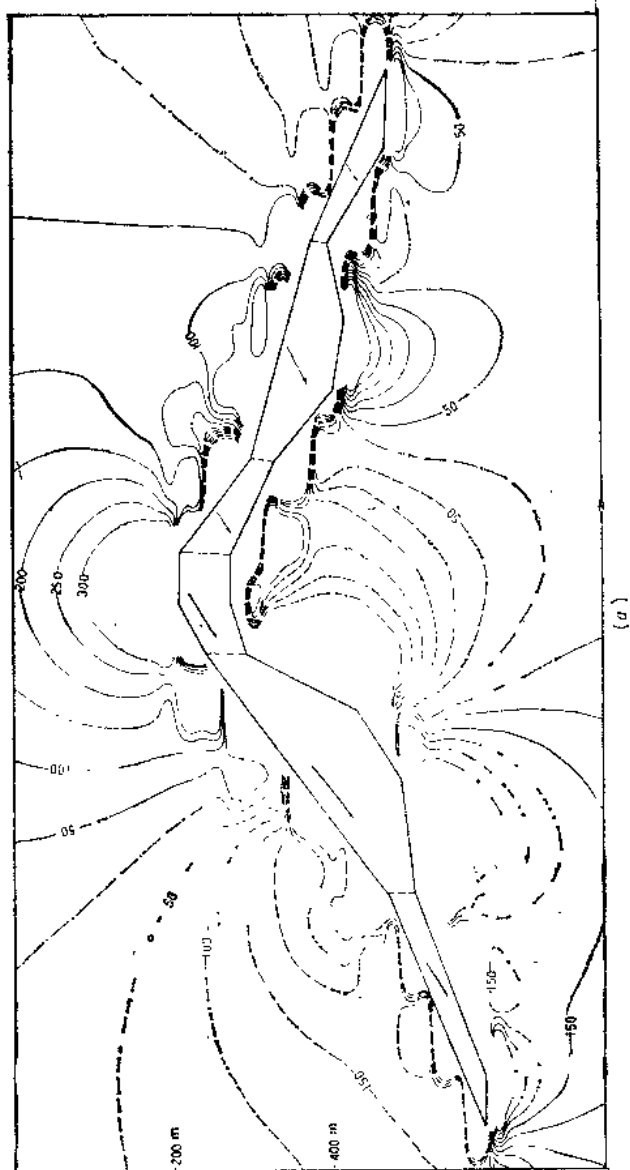
这时仍应利用 ΔZ 、 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线，配合 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向来预报井底盲矿，在给定条件下，只有5和8孔的预报灵敏度不高，但如有相邻钻孔的资料对比，也不难作出判断。

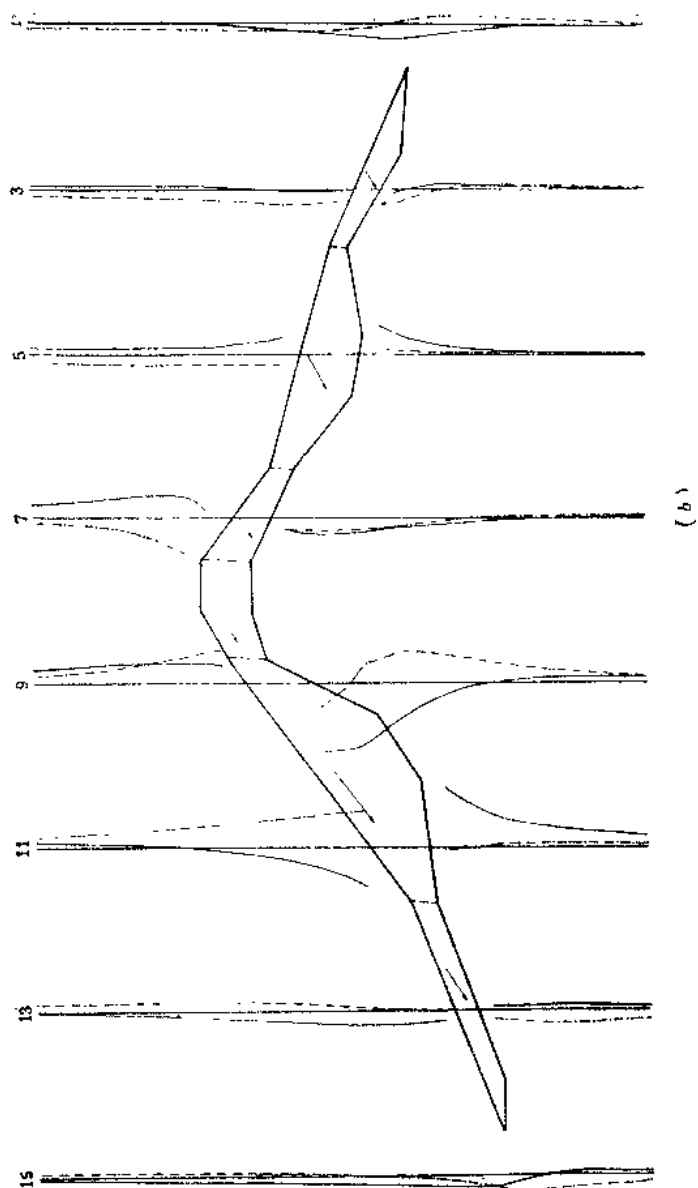
图3-23是 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布图，由图可见，利用旋转 γ 角矢量交会法或矢量包络线法，仍可确定簸箕状磁性体两翼端头空间位置。重要的是矢量“共尾性”（旋转 γ 角后）特征仍保持，这有助于识别其模式，较精确的确定其核底部位置。

2. 弓状磁性体

弓状磁性体在中心剖面上的磁异常分布特征，如图3-24所示。

因为弓形磁性体近似于一平缓背斜，其 ΔZ 等值线分布图（见图3-24a），也有类似于“倒猴头”图像的模式，较明显的是顶部为 ΔZ 正值等值线，两翼外侧为 ΔZ 负值等值线。同时也可将西北和





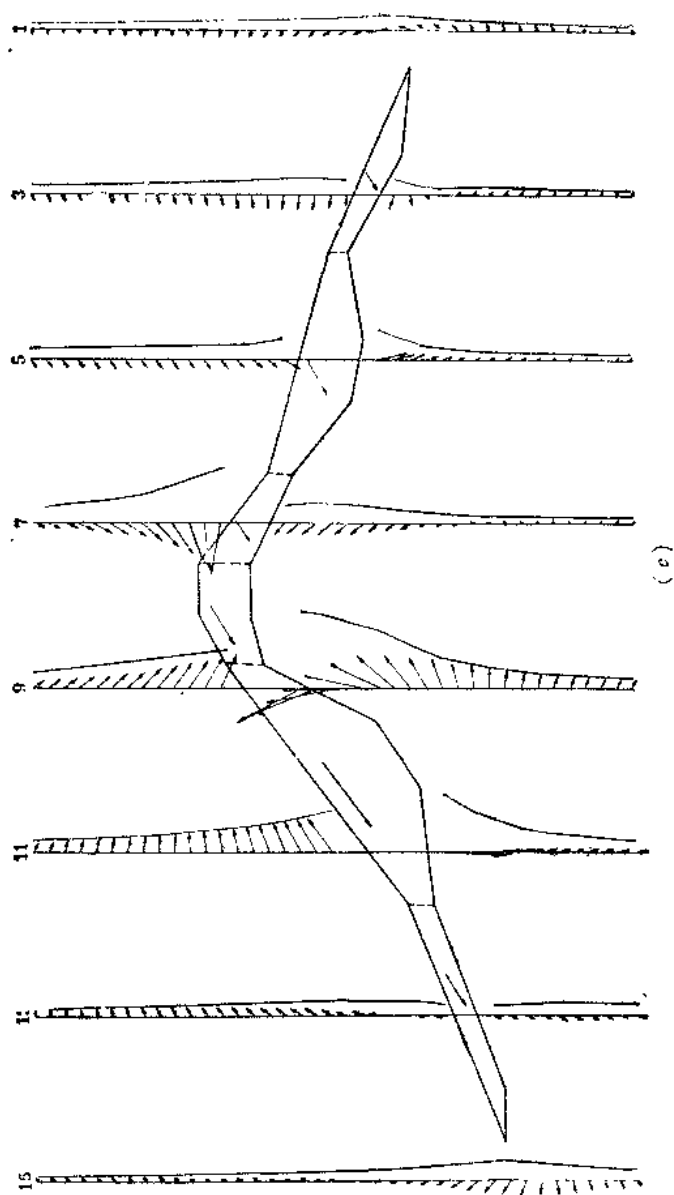


图 3-24

东南翼分解成两部分作详细分析。西北翼可视作顺层磁化有限延深倾斜板状体，其 ΔZ 等值线呈上下为正，两侧为负。东南翼则为斜磁化有限延深倾斜板状体， ΔZ 正负值等值线分布偏转一 γ 角。整个 ΔZ 等值线的分布，由上述两者叠加而成，只是比对称背斜时（图3-21a）的情况要复杂。应该指出，这种分解分析方法，对单孔 ΔZ 曲线特征的解释具有重要意义，因为位于两翼外侧的旁侧钻孔中，远离钻孔一翼的磁场响应通常很小，主要的则是近井翼端头的响应。这一点由1和15孔中的 ΔZ 、 ΔH 剖面曲线及 $\Delta T_{\perp}$ 矢量的分布（见图3-24b、c）可得到证实。

15孔中的 ΔZ 曲线呈上负下正S形， $\Delta T_{\perp}$ 矢量发散，这说明钻孔旁侧赋存的是弓形北西翼下延的尾部。 ΔH 剖面曲线则呈上正下负的反S形，这说明下延尾部位于钻孔南东。因此，用 ΔZ 曲线特征点法、配合 ΔZ 剖面曲线作定位解释或用矢量交会法，都可确定其尾部的空间位置。

1孔中的磁场特征，是斜磁化（近于垂直板面磁化）东南翼下延尾部的响应，故其 ΔZ 曲线呈C形， $\Delta T_{\perp}$ 矢量由深至浅逐点向反时针方向旋卷，若事先已知其 γ 角，把逐点 $\Delta T_{\perp}$ 矢量沿顺时针方向旋转一 γ 角，不难看出它也呈发散。同理可判断井旁赋存的是弓形磁性体东南翼下延尾部，并可由呈S形的 ΔH 剖面曲线断定它位于钻孔的北西侧。

对于图中3至13号孔中见矿前井段的磁异常特征分析表明，仍可利用 ΔZ 、 $\Delta T_{\perp}$ 曲线的正或负张口，配合 $\Delta T_{\perp}$ 量指向来预报井底弓形磁性体，并估算其可能见矿的深度。其中唯有3号孔的预报灵敏度不高，这是因为在该孔位时， $\Delta Z \approx 0$ （盲区）， $\Delta T \approx \Delta H$ 变化又很小。

一个重要特征是 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布保持着“共头性”，用它可识别弓形（平缓背斜）模式，确定弓形顶部位置。控制了两翼下延尾部和顶部位置，就控制了整个弓形磁性体在剖面上的赋存状态。

最后要指出，对各种类型磁铁矿床，建立并研究典型物理-

地质模型，在模型指导下进行找矿和预测，对于井中磁测的发展和解释水平的提高，都具有重要的理论和实际意义。但在实际应用中，典型物理-地质模型并不是万能的或一成不变的。正确的做法是应根据矿区的具体地质-地球物理条件，以及实践中不断积累的信息，逐步地修改和完善模型，使其更逼近于具体调查目标，同时应利用本章第二节中提出的通用数学解析模型及其计算程序，对模型体作模拟井中磁测，以便对调查目标的井中磁异常分布特征作预测。

第四章 在模型指导下进行找矿和 预测的实例

在我国井中磁测已有二十多年的应用历史，地质矿产部已颁布井中磁测工作规范，现场和室内作业已形成一套较完整的工作制度，在普查勘探磁铁矿床中已是每孔必测的一种有效的找矿手段。它所能解决的地质任务也越来越广泛。按其利用信息量的多少，大致可分为两个方面：其一是以单孔解释为主，在现场完成实时解释的地质任务，诸如验证、评价地面低缓或剩余磁异常，查明磁异常的地质起因，肯定找矿前景，发现井旁盲矿，确定其空间位置；预报井底盲矿，估算可能见矿的深度等。因为在现场，这些地质任务的迅速解决，涉及到钻探的进一步施工，所以它们通常是井中磁测工作的常规地质任务。其二是需利用矿区内或某一勘探剖面上群孔井中磁测资料，通过进行综合研究来解决的地质任务，它是在对群孔信息处理解释的基础上来实现的。例如，系统地研究金属矿区或某一地段内的深部地质结构，确定铁矿体的立体模式等。

但不管是单孔或群孔解释，都必须在井中磁测物理-地质模型的指导下，综合地面磁测和地质钻探资料来作出地质解释。最终的地质成果，乃是地面和井中磁测立体综合与地质钻探密切配合的结果。本章所列举的一些找矿实例，即是这种密切配合的体现。

第一节 解决常规地质任务中的找矿实例

一、验证评价地面低缓或剩余磁异常

井中磁测在配合地质钻探验证评价地面磁异常时，不仅能对

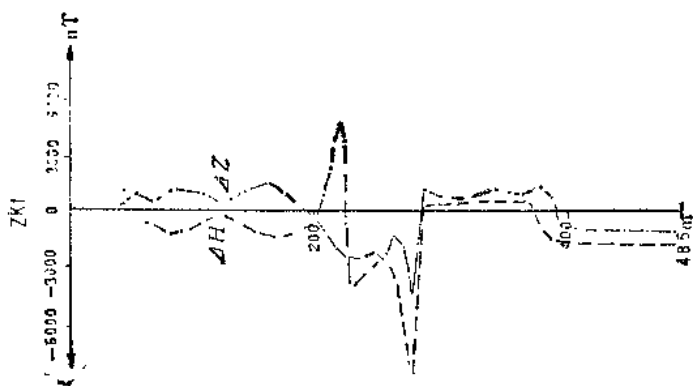


图 4-2

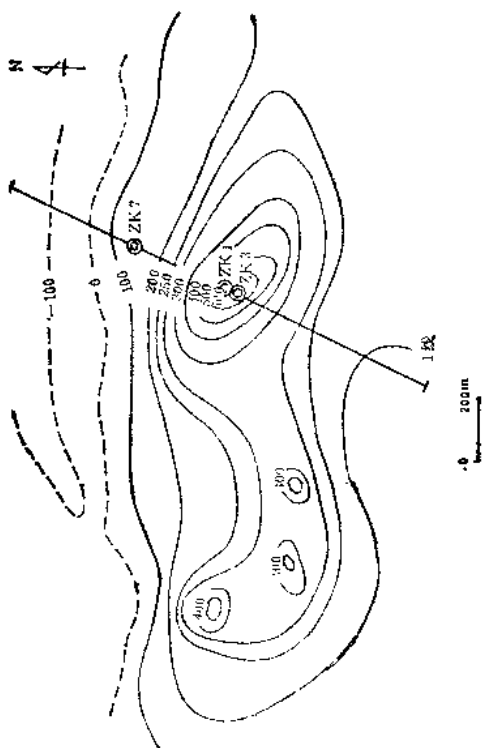


图 4-1

引起异常的地质起因作出判断，更主要的是通过钻探查明其周围和深部未出露矿床的远景。在验证评价低缓或剩余磁异常过程中，往往由于一、二个钻孔未见矿或见矿少而难以肯定其找矿前景，这时通过井中磁测，就能提供可靠的地质依据，指导进一步钻探施工。

图4-1是晋南黑老顶矿区磁异常平面图^{*}，它位于斑状闪长岩侵入体与中奥陶系灰岩的接触带部位。

该区地面垂直磁异常形态规则，走向东西，极大值达670nT，分布面积约1km²。根据地质、地球物理条件，该异常具有良好的找矿前景。为此，在异常中心部位施工ZK1孔进行验证，于孔深400m处见奥陶系灰岩与闪长岩体接触带，并见到厚0.2m的磁铁矿。以后直至终孔（185m）全部为闪长岩。根据地面磁异常的形态，按常规应在ZK1孔北侧进一步布孔验证。但经ZK1孔井中磁测结果发现（见图4-2），其 ΔZ 曲线为一不规则的双“S”形，在上部灰岩与下部闪长岩体界面上，曲线呈跳跃过渡，与钻孔所揭露的地层界面相吻合。 $\Delta H'$ 曲线则呈不对称“S”形， ΔZ 和 $\Delta H'$ 曲线的这些特征说明，在ZK1孔南西侧赋存着有限延伸盲矿，矿体埋深约为200—300m。因此，建议在ZK1孔南侧80m处施工ZK3孔验证，结果在孔深264—303m井段见到总厚达24m的磁铁矿。尔后，又施工了ZK5、ZK6孔，并配合井中磁测，最终控制了推断矿体（见图4-3）。

在控制了南部矿体的基础上，根据钻孔岩矿心磁性参数测定结果，对地面磁异常进行了正演计算，发现除已控南部矿体所引起的异常外，在其北侧尚有强度达450nT，幅宽近200余米的剩余磁异常（见图4-3）。据此，又在ZK1孔北侧100m处布置了ZK4孔，经井中磁测，其 ΔZ 曲线呈较规则的反“S”形， $\Delta T'$ 矢量向北有收敛趋势，说明ZK4孔北侧赋存有盲矿。假定盲矿体为无限延伸薄板，利用 ΔZ 曲线特征点及 $\Delta T'$ 矢量交会法综合求得盲矿体埋

* 井中磁测在晋南黑老顶铁矿普查中的应用 山西冶金地质勘探一队
景水保

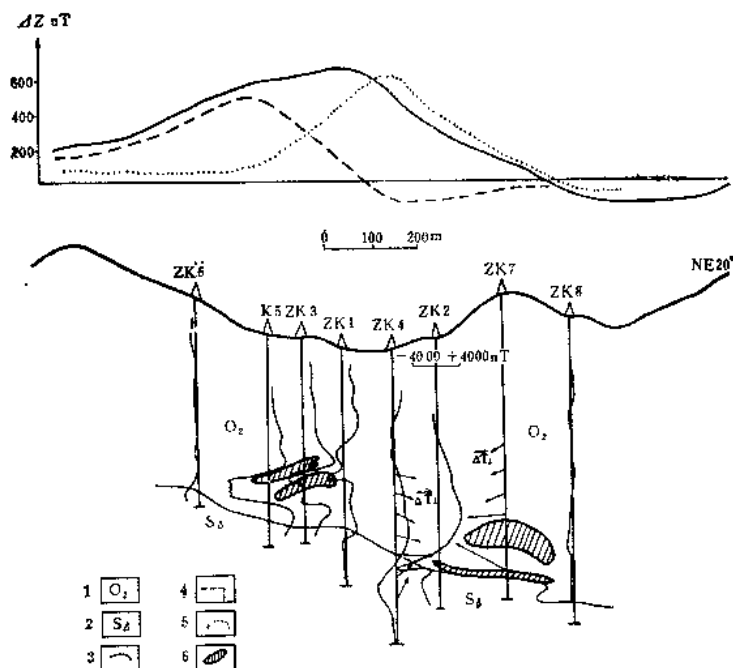


图 4-3

1—奥陶系灰岩；2—闪长岩；3—地面或井中磁测 ΔZ 实测曲线；4—理论计算 ΔZ 曲线；5—剩余 ΔZ 曲线；6—磁铁矿体

深为450m，距钻孔约53m，倾角 $\angle 24^\circ$ ，亦即矿体向北缓倾。继而施工ZK2，ZK7及ZK8孔控制了北部矿体，矿层总厚达65m，从而为黑老顶矿区的普查找矿工作开拓了新局面。

图4-4是河北迁安白马山铁矿床剩余磁异常验证结果。众所周知，迁安铁矿区是一个地质、物理工作程度较高，已被开采多年的老矿区。近年来，为了进一步扩大矿床储量，寻找隐伏矿体，先对地面磁测开展剩余磁异常的研究，推断白马山磁异常北端存在形态为一倒转向斜的隐伏矿体，设计了ZK602、ZK603两孔进行验证。首先施工的ZK602孔终孔深度为679.04m（见图4-4a），未见设计矿体。

由于区内矿体裸露地表，并与深部隐伏矿体叠加，以及矿体

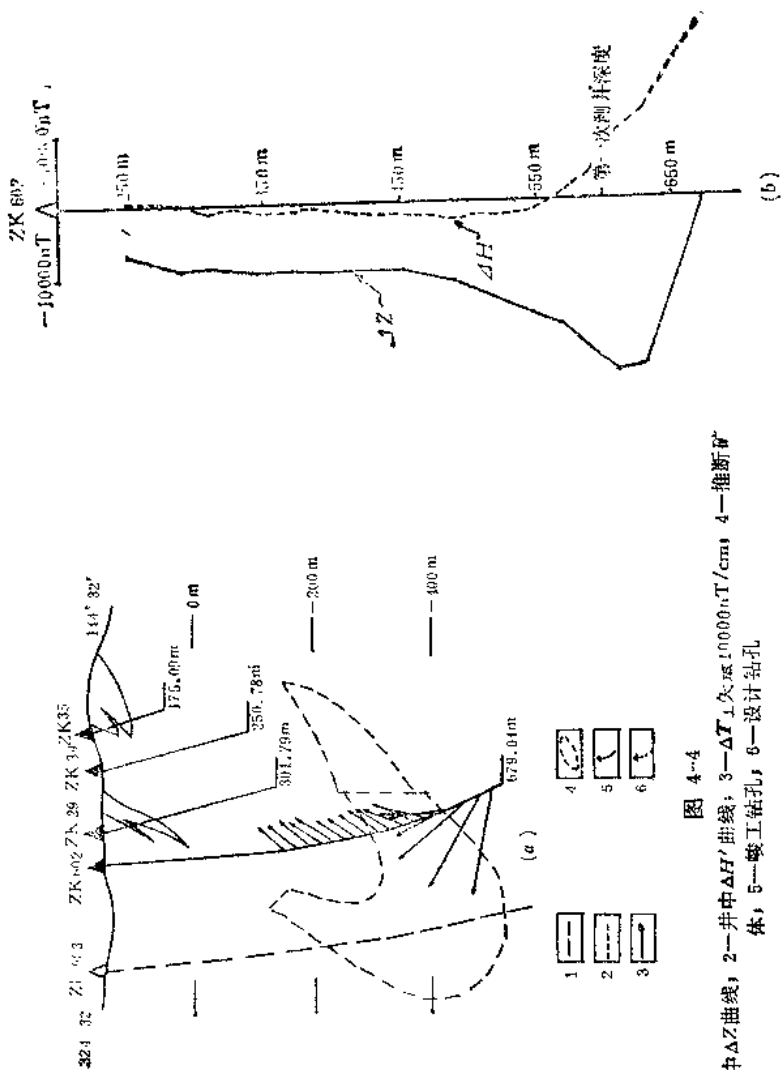


图 4-4

1—非中 ΔZ 曲线, 2—井中 $\Delta H'$ 曲线; 3— $\Delta T_{\perp}$ 次深10000: T/cm; 4—推断矿体; 5—竣工钻孔; 6—设计钻孔

形态、构造和磁性复杂等因素的影响，所以仅根据地面磁异常推断，往往会遇到困难。这时若把地面和井中磁测立体综合来进行研究，就会取得更好的地质效果。为此，在ZK602孔先后进行了两次井中磁测，从第二次井中磁测结果（图4-4b）可见，其 ΔZ 和 $\Delta H'$ 曲线虽不完整，但根据550m以下 ΔZ 曲线变化趋势为一不完整的“S”形， $\Delta H'$ 曲线呈正张口， $\Delta T'$ 矢量包络线图形等特征，对照白马山矿区物理-地质模型，可判定在钻孔SE侧赋存有盲矿体，因此，ZK602孔无需继续钻进。从而终止了ZK602孔施工，并修改了原设计，取消了ZK603孔位。若按百元/米成本计算，仅此一孔就节约钻探费用达7万元之多。

二、发现井旁盲矿、确定其空间位置

对于未见矿的异常孔，根据井中磁测资料确定井旁盲矿的赋存空间位置和几何形态，乃是井中磁测的另一常规地质任务。但是，往往由于矿体形态复杂，多层磁性体磁场的叠加，以及受钻孔深度制约等原因，因而能在井中观测到规则而完整的磁异常极为罕见。因此，对旁侧异常孔中磁异常的推断解释，在一般情况下应分两步进行：首先根据 ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线（ $\Delta H'$ 在其应用条件下）以及 $\Delta T'$ 矢量对旁侧盲矿体的赋存空间位置作出初步解释，以便及时指导钻探施工；然后由井中磁测物理-地质模型导出反演解释方法，或用通用数学解析模型进行正演计算，进而确定盲矿体的位置、形态和规模。

图4-5是鄂东铁山矿区尖林山-象鼻山地段地面 ΔZ 磁异常等值线图，该异常北负南正、北陡南缓，走向NWW-SEE，东西长1.8km，南北宽1km（见图4-5）。该异常除了反映浅部矿体的磁场强值外，而且反映了在异常中心南缘分布着无磁大理岩，此处次一级低缓异常深部赋存矿体。根据地面磁测，先施工钻孔控制了浅部矿体（如图4-6中ZK56、57、58和ZK17-1孔均已见矿，ZK17-3未见矿）。经过，计算已知矿体和岩体的磁场后，尚有较大的剩余磁异常。地面磁测据此推断在浅部已知矿体南缘深部存在隐伏矿体，因而布置了十二个钻孔进行验证，其中只有两孔见

矿，见矿率为16.7%，大部分验证孔落空。这12个孔均投入了井中磁测，都发现井旁磁异常，主要依据井中磁测异常布置了10个验证孔，8个孔打到了推断矿体，而2个未见矿，一个因设计斜孔未能钻到设计部位。见矿率达80%。仅以17线为例可说明井中磁测深部找矿的地质效果是明显的。

ZK17—3孔为验证地面磁测剩余异常施工的钻孔，终孔深度

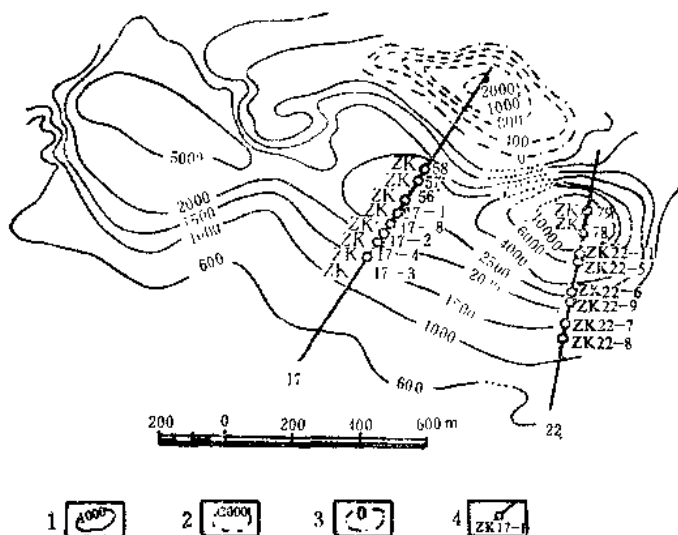


图 4-5

1—正 ΔZ 值；2—负 ΔZ 值；3— ΔZ 零值线；4—勘探线与钻孔

675.81m，未见矿。经井中磁测于-100m标高以下发现旁侧磁异常（见图4-6）。其下部 ΔZ 曲线呈“C”形， $\Delta H'$ 曲线呈反“S”形，同时，根据 $\Delta T'$ 矢量包络线图形，与图3-22所示的大冶铁矿物理-地质模型对比，可推断钻孔北侧赋存着形似椭圆柱体的南倾盲矿体。经ZK17—4孔和ZK17—8孔验证，在相应部位均已见矿。但ZK17—8孔见矿井段以上 $\Delta T'$ 矢量向南侧收敛，说明矿头在该孔南侧，因此，推断矿体头部应向南偏转，头部与椭圆柱形略有差别（见图4-6）。

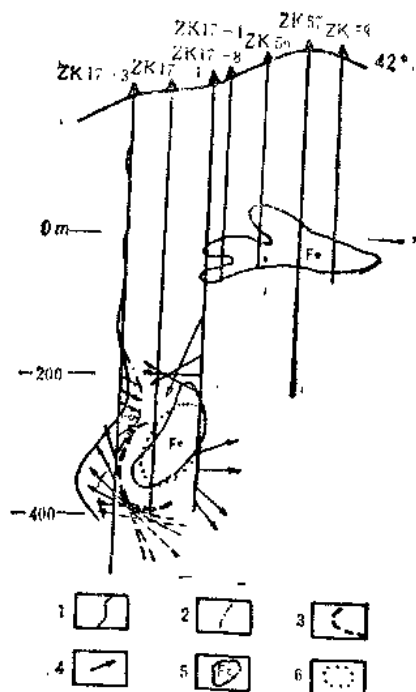


图 4-6

1—井中磁测 ΔZ 曲线；2—井中磁测 $\Delta H'$ 曲线；3— $\Delta T'$ 矢量包络线；4— $\Delta T'$ 矢量；5—铁矿体；6—推断铁矿体

图4-7是河北迁安杏山铁矿床C16线ZK824孔井中磁测成果。其目的是为了验证地面磁异常，终孔井深800.80m，未见矿。井中磁测结果， ΔZ 曲线呈负值为主的不对称反“S”形， $\Delta T_{\perp}$ 矢量轨迹向SE侧包络，据物理-地质模型典型异常曲线，推断矿体赋存于钻孔的SE侧，形态为一近似直立椭球（或视为厚板）（见图4-7）。按磁各向异性计算矿体有效磁化强度倾角 $i=79^{\circ}$ ，与矿体倾角 α 相差 $\gamma=11^{\circ}$ ，可近似地视为顺层磁化。若用顺层磁化厚板 ΔZ 、 $\Delta H_{\perp}$ 曲线的解析法先推算出上下两端点的矿体位置，再按第三章所述井中磁测数学模型，采用计算机进行正演计算，在给

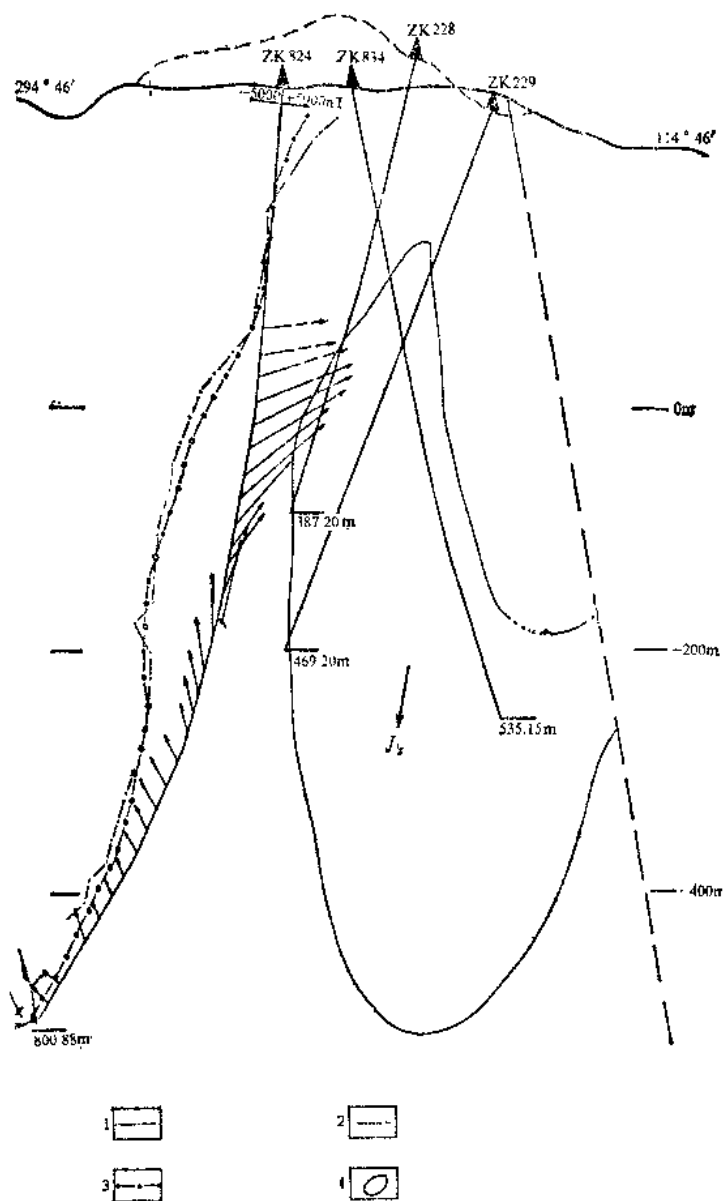


图 4-7

1—井中 ΔZ 实测曲线；2— ΔT_z 矢量10000nT/cm；3—井中 ΔZ 理论曲线；
4—测井推断矿体

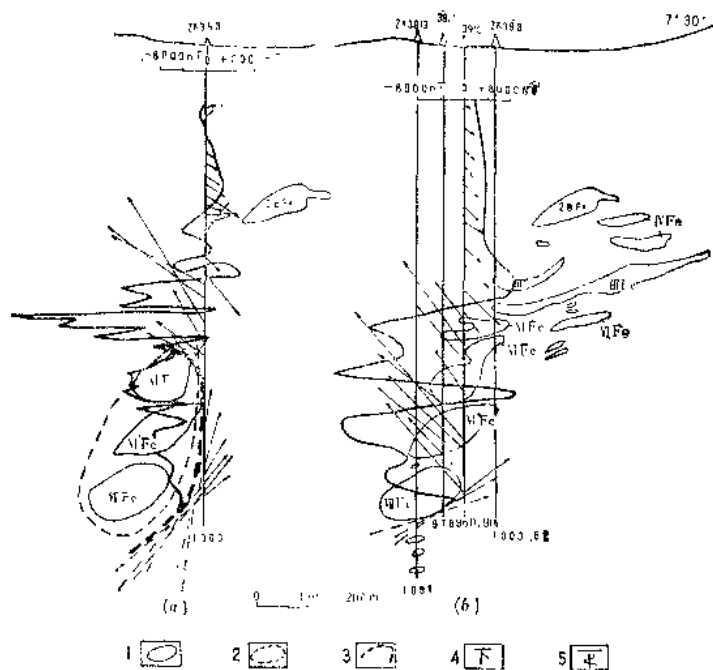


图 4-8

1—已控矿体；2—推断等效矿体；3—矢量包络线；4— $\Delta T_{\perp}$ 矢量；5— ΔZ 曲线

定的磁性与磁化条件下逐步修改矿体，使理论计算所得的 ΔZ 值与实测 ΔZ 值相逼近来进行拟合解释，以便推断矿体形态。本孔先估算出矿体延深长 $l=650\text{m}$ ，其下延埋深 $h=800\text{m}$ 。再采用PC-1500机按第五章论述的拟合解释程序进行拟合（见图4-7），更确切地确定了矿体形态和下缘埋深。1983年又在相邻的C18线施工了ZK83—3孔，该孔从569m开始见矿，直至终孔800.83m仍未出矿，从而证实了ZK824孔井中磁测的推断结果。

图4-8是鄂东程潮铁矿床39线ZK398、ZK3910孔井中磁测的推断验证成果。该矿床已经多年勘探，ZK398孔是在过去勘探的基础上为追索已知矿体而设计的孔，孔深1000.52m（见图4-8a）。根据井中磁测 ΔZ 曲线和 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向及其轨迹包络线的特征，确

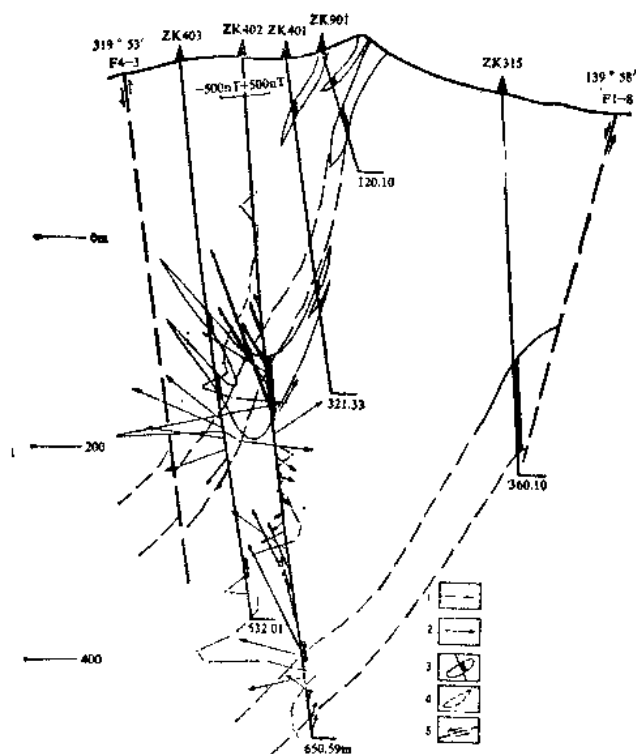


图 4-9

1— ΔZ 曲线；2— $\Delta T_{\perp}$ 矢量10000nT/cm；3—钻孔见矿及推断矿体；4—地质设计矿体；5—断层

定在-700m至-900m高程处钻孔南侧有盲矿体赋存；从该井段 $\Delta T_{\perp}$ 矢量收敛和发散的正、反交点位置，及岩石矿化强烈，并有含矿夹层等情况分析，表明矿体靠近钻孔，其矢量包络线呈)形，推断旁侧等效磁性体呈椭圆柱状。为此设计ZK3910孔予以验证。验证结果于-680m至-770m见到ZK398孔推断的等效磁性体所包含的上部VI号矿体。由该孔的井中磁异常特征（见图4-8b）可见，在下部 ΔZ 曲线过矿后井段仍出现次级负峰值异常； $\Delta T_{\perp}$ 矢量先指向南侧上方，往下则指向北侧发散，就此推断，在该孔南

侧下部还有盲矿存在，盲矿体的上端埋深应与 ΔZ 曲线的次级负峰值相对应。这一推断为以后施工的ZK3913孔证实。

图4-9是河北迁安铁矿ZK402孔中多层矿体解释一例。由图可见，ZK402孔的见矿位置与设计矿体基本吻合（见图4-9）。通过对ZK402孔井中磁测资料的分析，对当时正在施工的ZK403孔（设计孔深420m）见矿情况做了如下预测：

1. 根据在见矿井段内 ΔT_n 矢量垂直于板面原理，上层矿体倾向NW，与设计基本一致。但过矿后的 ΔT_n 矢量反交于钻孔NW侧 $h=360m$ ， $D=20m$ 处，而且矢量强度随深度迅速减小，说明上层矿体沿倾向延伸有限；在ZK403孔相应位置不会见到设计矿体。

2. 在460m深度附近， ΔZ 曲线呈反“S”形，与其对应的 ΔT_n 矢量在钻孔NW一侧 $h=460m$ ， $D=30m$ 处有一正交点，推测是一旁侧盲矿上端头的响应，因此建议ZK403孔应适当加深控制这一盲矿体。该孔施工结果，在238.65—319.98m见矿32.08m，比设计见矿深度提前近百米。地质方面根据这一变化，将孔深加到532m，于478.05—495.35m见到了井中磁测推断的盲矿体。因ZK403孔下部坍塌，井中磁测未能测至井底，但从已测井段磁异常特征可见，过上层矿后 ΔT_n 矢量呈发散状，其反交点位于钻孔SE侧 $h=360m$ ， $D=30m$ 处，与ZK402孔反交点位置几乎重合，呈“共尾性”特征。由此可认定ZK402、ZK403两孔所见矿体是一小向斜褶皱，其核部恰位于两孔之间。

三、预报井底盲矿，估算见矿深度

预报井底盲矿，是井中磁测井场实时解释的一项经常性任务，它对于确定是否继续钻进，提高见矿率，具有重要意义。

图4-10是山东金岭金矿北铁矿床ZK2—5孔的预报结果，根据 ΔZ 曲线呈正张口， ΔT_n 矢量指向又与区内矿体倾向相反，推测异常可能由井底盲矿引起。用任意点切线法（见图4-10），在 ΔZ 曲线上任取一点C作 ΔZ 曲线的切线，交井轴于d点；然后以C点为圆心，cd为半径作圆，则与井轴延伸线相交点E即为所求矿顶位

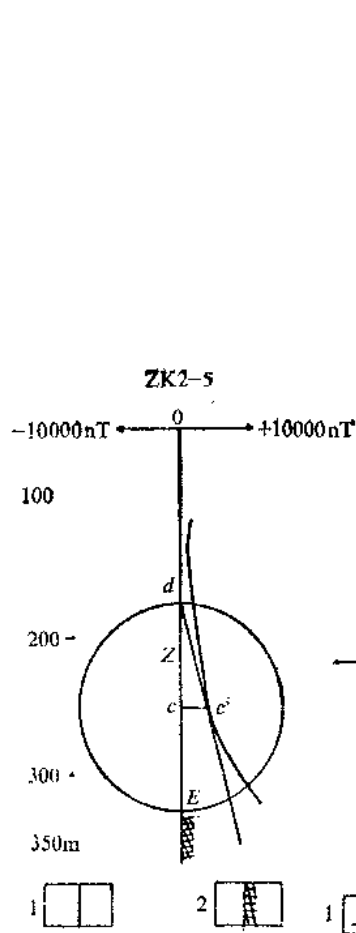


图 4-10

1— ΔZ 曲线；2—钻孔所见矿层

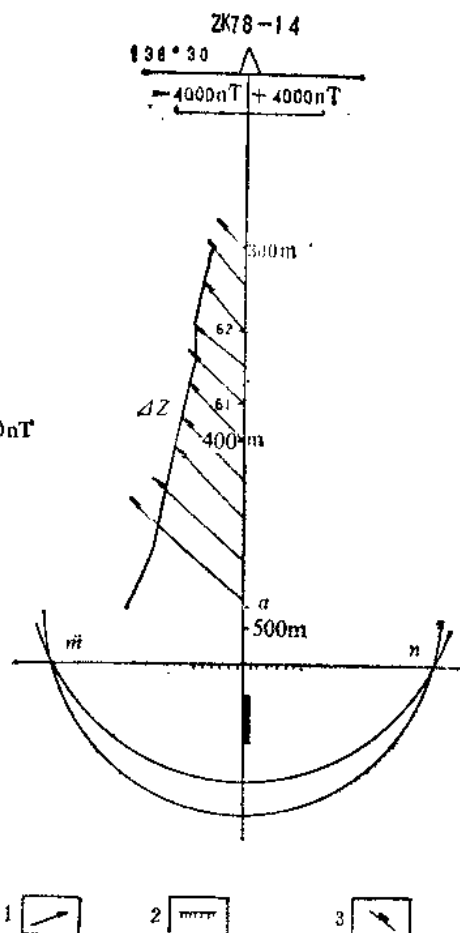


图 4-11

1— $\Delta T_{\perp}$ 矢量；2—估算矿体顶面；
3—钻孔所见矿层

置。由此估算可能见矿深度为325m。钻探加深后见矿深度为328m，误差仅3m。

图4-11是河北迁安红石崖铁矿床ZK78—4孔预报结果，该孔

设计孔深530m, 预计在480m以上能见到矿体, 钻进至490m时仍未见矿。井中磁测结果在300m深度以下的 ΔZ 曲线梯度变化显著, 490m处 $\Delta Z = -6350\text{nT}$, 且呈负张口状, ΔT 矢量指向SE, 而该地段矿层倾向NW。 $\Delta T'$ 矢量与矿层倾向相反, 因而定为井底盲矿异常。同时, 据各矿体在磁各向异性影响下可视为顺层磁化, 因而以顺层磁化厚板估算见矿深度的半强度圆法求得的可能见矿深度 $h = 518\text{m}$ 。并提出钻孔应继续加深。加深结果在537.11—539.74m见到第一层矿, 尔后又相继见矿六层, 累计矿层厚度95m, 单层最大厚度69.60m, 取得了满意的地质效果。

表 4.1

矿床名称	估算方法	估算孔数	误差 ($\Delta h(\text{m}) = \text{实际} - \text{估算}$)					
			$\Delta h > 0$			$\Delta h < 0$		
			< 10	10—20	> 20	> -10	-20—-10	< -20
鄂东程潮	任意点比值法	12	7	4	1			
冀东迁安	半强度法	1		1				
	任意点比值法	5	4	1				
	切线法	26	12	3		5	4	2
山东北金召	切线法	18	6			12		

目前, 用井中磁测预报井底盲矿时, 在现场估算可能见矿深度的方法, 主要有任意点比值法、切线法(薄板状矿体), 及半强度圆法(厚板状矿)等。根据不同矿区的现场预报和一些见矿孔中的资料, 对62个钻孔的统计结果(见表4.1), 估算误差小于10m的有45个钻孔, 占72.6%, 这说明在一般情况下都能满足实际生产的要求。个别钻孔估算误差较大, 是由于上述估算见矿深度方法都假定钻孔底部为顺层磁化无限延伸板状体, 钻孔以打在板状体端头正上方为前提; 而实际工作中, 矿体形态, 磁化条件, 钻孔位置等, 往往与假设条件不符, 这就必然会引入一定的误差。当钻孔见矿或旁侧矿体影响存在时, 预报估算的误差将会

更大。

为了进一步提高估算精度，不致于漏掉井底盲矿体，实际中应采取多次预报，每次预报都应该正确地识别异常性质，采用多参量 (ΔZ 、 $\Delta H'$ 、 $\Delta T_{\perp}$ 、 $\Delta T_{\text{视}}$) 来区分是井底或井底旁或井旁异常。如图 4-12 所示的 ZK398 孔井中磁测结果，如果仅以 290m 以上井段，按正张口的 ΔZ 曲线，用任意点比值法来估算其见矿深度，则 $h_1 = 340\text{m}$ ，而实际见矿深度为 440m，误差达百米。若参考 $\Delta T_{\perp}$ 矢量就会发现， ΔZ 曲线虽为正张口，但它主要是钻孔北侧盲矿体的影响，因此用该井段资料进行井底盲矿的预报是不合适的。

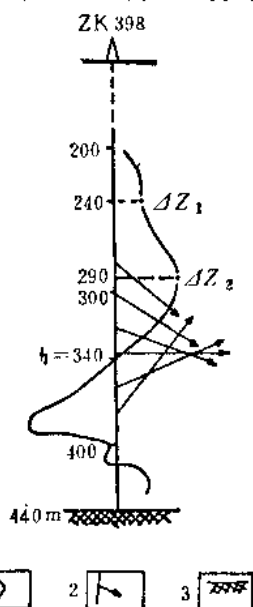


图 4-12

1— ΔZ 曲线；2— $\Delta T_{\perp}$ 矢量；3—钻孔见矿位置

在自然界，矿体往往呈多层产出，所以更多的磁测孔是见矿孔。这时，井中磁测工作的目的是对钻孔所见矿体的产状，延伸等几何参数进行推断解释，并要求对已见矿层的下部作出预报，看其是否有“遗漏”矿体，以便决定钻机停钻或继续进尺。

图 4-13 是河北迁安脑峪门铁矿床 ZK7903 孔的井中磁测结果。该孔先在 474.22—617.69m 井段见矿 105.13m，出矿 70 余米后进行了第一次井中磁测。当时，地质方面虽认为该孔正处于含矿层之中，但对继续钻进能否见矿尚无把握，这时，井中磁测的预报将起关键作用。由图可见：过矿后的 ΔZ 曲线为正异常，且有明显的递减趋势； $\Delta H'$ 曲线却为一正张口，强度高达 6000nT。按

照单个矿体物理-地质模型磁场空间变化规律，当测点远离矿体时， ΔZ 、 $\Delta H'$ 的绝对强度应同步衰减，而ZK7903孔的 $\Delta H'$ 曲线在过矿后却呈正张口，预示着有井底盲矿体存在的可能。据此，提出该孔应继续加深，结果在746.55—781.28m又见矿34.73m，证实了井中磁测的推断。

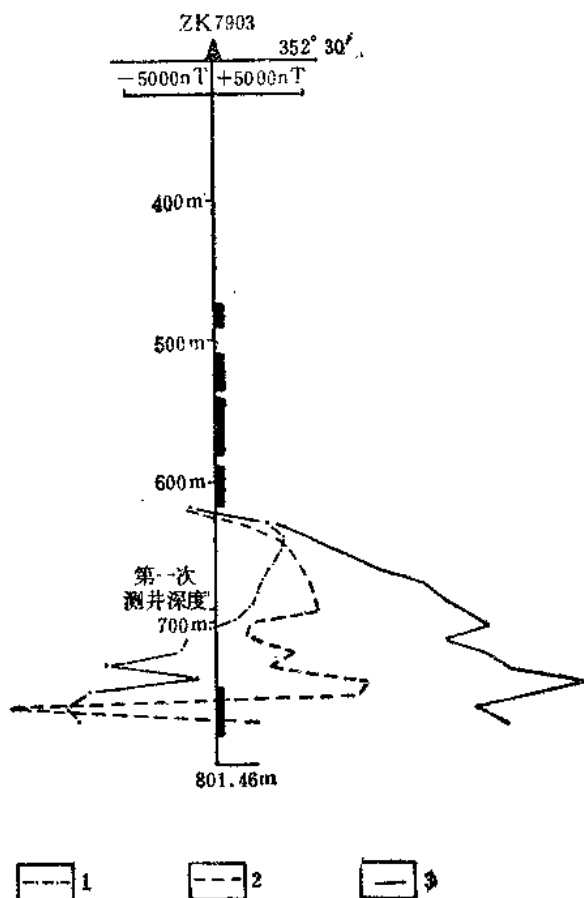
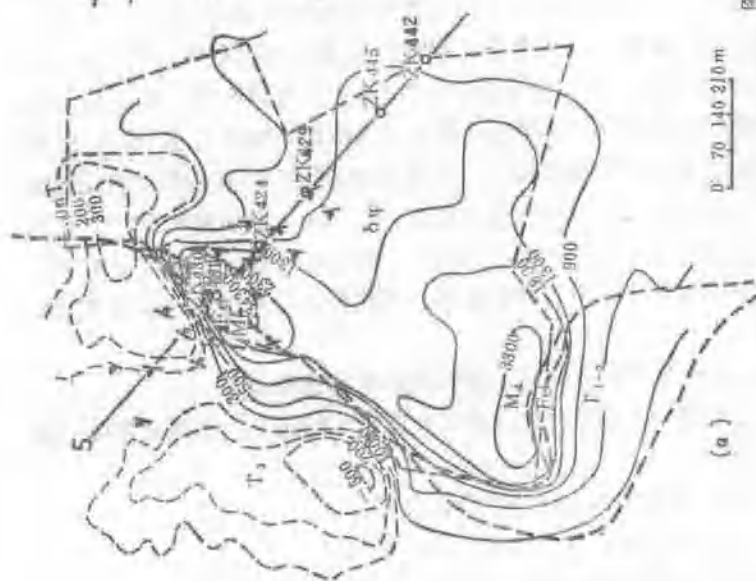


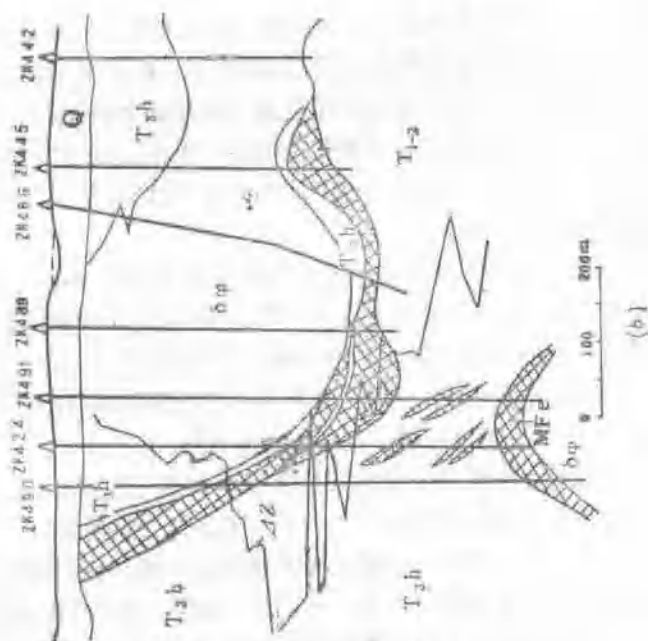
图 4-13

1— ΔZ 曲线；2— $\Delta H'$ 曲线；3— ΔT 曲线



0 70 140 210m

(a)



(b)

图 4-14

终孔后,对该孔再次进行井中磁测,并对两矿层之间的 ΔZ 、 $\Delta H'$ 、 $\Delta T_{\text{横}}$ 参量进行了整理和分析,显而易见:在见下层矿之前 ΔZ 曲线变为负异常, $\Delta H'$ 亦有回零趋势,唯有 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线呈明显的正张口,这说明用 $\Delta T_{\text{横}}$ 曲线在某种情况下预报井底盲矿比应用 ΔZ 或 $\Delta H'$ 曲线要优越得多,它可以避免因“探测盲区”的存在导致解释失误。

图4-14是宁芜钟九铁矿床多层矿体的预报结果。由图中a可见,钟九磁异常是由两个走向分别为NE及EW向的高值异常及一个宽缓的中值异常组合而成的形态特殊的复杂磁异常。该异常发现于50年代末,60年代进行勘探。在勘探初期所设计的5线ZK424孔中; ΔZ 单分量磁测,取得了良好的地质效果。

ZK424孔进尺到609m,穿过第四系及岩体后,于预定深度见到主矿体厚70余米(见图中b),而后又见黄马青组砂页岩,在页岩中又见到几条小矿脉。这时是否继续钻进意见不一。因施工困难,施工部门要求停钻;但由于岩石蚀变较强,地质方面建议继续施工。在这种情况下,由井中磁测作出最后裁决。磁测结果,除主矿体上反映为强度很大的负值内磁场外,在过矿后近200m井段内,从宏观上看, ΔZ 曲线为一单调递增、梯度较大的正张口,场值达13600nT,预示着井底近处赋存有强磁性盲矿体。据此,决定继续施工,仅进尺2m就见厚40m的块状磁铁富矿。过矿后又见岩体,终孔深度666.75m。以后又在ZK424孔西侧相继施工ZK490和ZK491两孔,均在相应部位见到了该矿体。这不仅证实了井中磁测的推断,更重要的是对钟九地区深部找矿认识上有了突破。

四、确定矿体产状,识别其断面构造形态

利用井中磁测结果,对磁性体产状的研究,通常采用以下两种方法。

1. 利用外部磁场的特征如表4.2
2. 利用见矿井段内磁场确定产状

利用外部磁场特征,只能确定矿体宏观产状,研究利用内磁场

表 4.2

异常特征 分量曲线	产状 钻孔位置	北 倾				南 倾			
		在矿体 南侧	在矿体 南端上	在矿体 北端上	在矿体 北侧	在矿体 南侧	在矿体 南端上	在矿体 北端上	在矿体 北侧
ΔZ 形状		反 S	反 S	S	S	C	反 C	反 C	C
ΔH 形状		反 C	C	C	反 C	反 S	反 S	S	S

则能确定单层矿体的产状，且不要求井中磁测曲线像外部场那样完整。如对沿走向和倾向都为无限延伸的薄板状矿体，在忽略钻孔和板端头磁荷影响时，其见矿井段的内磁场 ΔT 应处处垂直于板面，因此，只要测定 ΔZ_n 和 ΔH_n 就可求出矿体的倾向和倾角。这一方法简单易行，常被井场实时解释采用。

应该指出，正确地确定矿体产状及其构造形态，不仅能及时地指导钻探合理施工，而且结合地面磁测和地质钻探资料进行综合研究，便于分析矿床构造模式，这乃是进行找矿预测的基础。

图4-15所示的是河北迁安裴柳铁矿床N1300线ZK7806孔的井中磁测结果。该孔终孔深度542.84m，在268.04—316.39m井段见矿44.09m。对于该层矿体产状，地质上认为它是柳河峪向斜的一翼，与ZK7807孔下部所见矿体相连（见图4-15b）。但井中磁测结果 $\Delta T_{\perp}$ 矢量在见矿前指向钻孔SE且呈收敛状，说明矿头在SE侧，矿体向NW倾斜；过矿后， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向NW且呈发散状，其反延线相交于SE侧，说明矿体下端（正磁荷源）在SE侧，故在钻孔过矿后，矿体转向SE倾斜。可见矿体形态呈“半月形”（见图中a）。用共圆矢量法确定出矿体上、下端位置A、B，就可勾划出半月形矿体的空间位置。可见ZK7806孔所见矿体并不能与ZK7807孔下部所见矿体相连。这一推断为以后在两孔间布置的ZK307孔进尺609.13m未见矿的事实所证实。

图4-16a所示的ZK688孔，其目的是为了验证A处矿体露头的延伸。设计孔深120m，预计70m见矿。终孔122.26m，只在

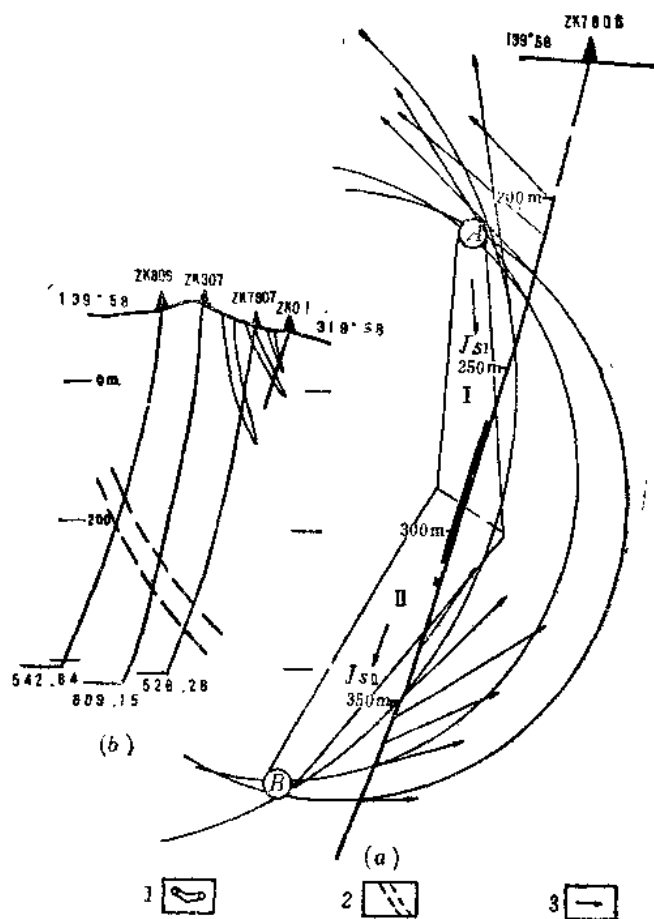


图 4-15

1—井中磁测推断矿体；2—地质设计矿体；3— $\Delta T_{\perp}$ 矢量4000nT/cm

17.22—31.01m井段见矿12.20m。井中磁测结果，利用矿层内 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向判定矿呈SE方向倾斜。出矿后 ΔZ 曲线呈负值为主的不对称“S”形， $\Delta T_{\perp}$ 矢量发散，其反交点位于钻孔SE一侧 $h=75m$ ， $D=12m$ 处。根据上述井中磁异常特征认为，ZK688孔所见矿体是B处露头矿体的下延，向SE倾斜。对于A处露头矿

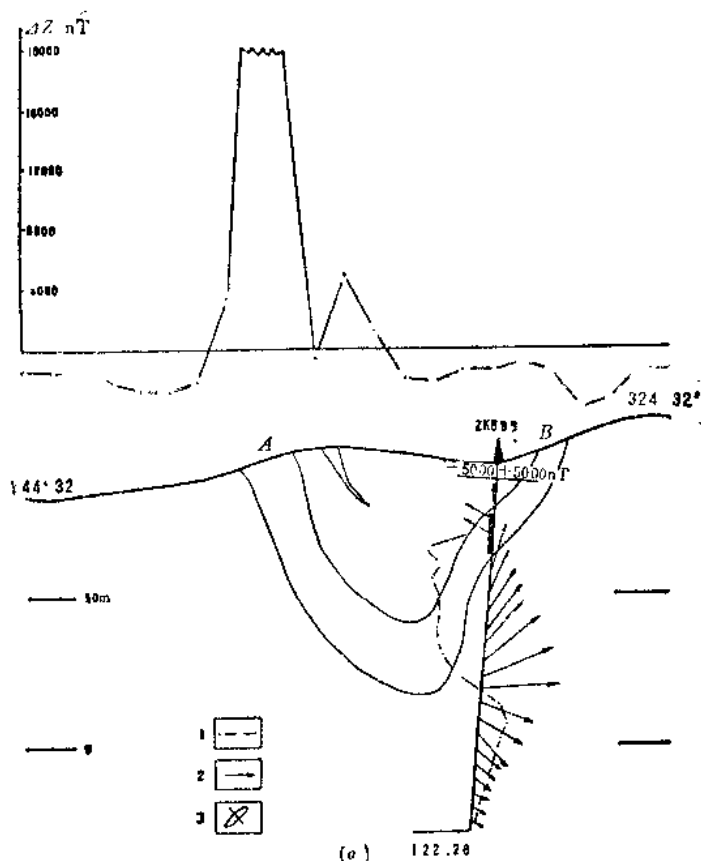


图 4-16

1—地面及井中 ΔZ 曲线；2— $\Delta T_{\perp}$ 矢量10000nT/cm；3—钻孔见矿及推断矿体

体，结合地面磁异常的正值西侧负值的不对称性，可判定矿体向NW倾斜。由此可判定A、B两处露头矿体是一共尾的向斜褶皱，其转折端在ZK688孔 $\Delta T_{\perp}$ 矢量的反交点位置附近。

图4-16b为鄂东大冶铁矿22线ZK22—5孔井中磁测寻找并发现井旁盲矿、确定盲矿产状的一例。其平面位置见图4-5。

ZK22—5孔北侧浅部矿体为露天开采的已知矿体，该孔是为

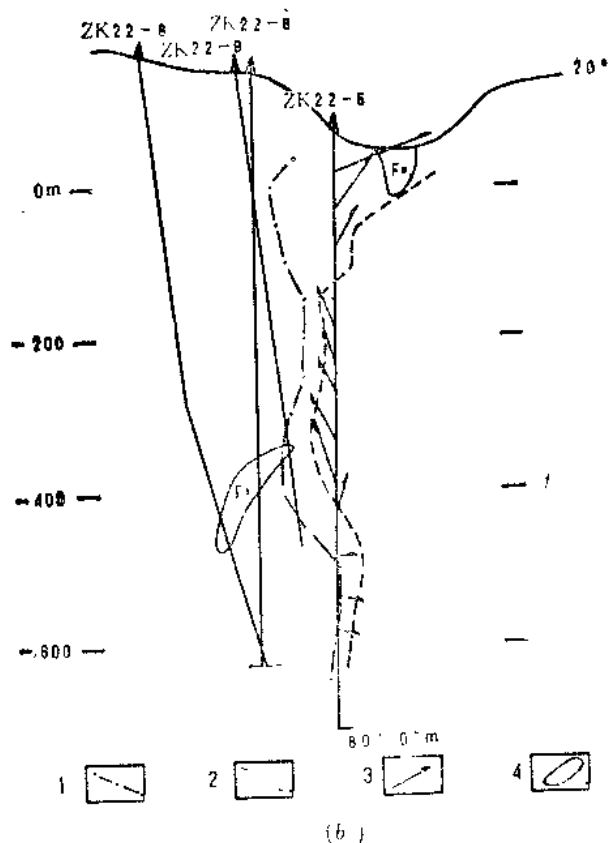


图 4-16

1— ΔZ 曲线；2— $\Delta H'$ 曲线；3— $\Delta T'$ 矢量；4—矿体

了验证地面剩余磁异常而施工的深孔，终孔807.06m未见矿。经井中磁测，发现井旁盲矿异常，将实测值减去浅部已知矿体引起的磁场后，得到井中剩余磁异常。对剩余异常场采用特征点解析法，确定矿体头部位于高程-350m距钻孔约60m处，按 $\Delta T'$ 矢量特征可确定矿体在钻孔南侧。根据 ΔZ 曲线呈“C”形， $\Delta H'$ 呈“S”形，钻孔在北侧，按表4.2可见矿体向南侧倾斜。因而设计了ZK22—6、ZK22—8、ZK22—9各孔进行验证，结果打到并控

制了该盲矿体，证实了井中磁测的推断。

图4-17是河北省迁安白马山铁矿床S400线井中磁测解释结果。

井中磁测异常的解释，不仅应结合地质特征正确地解释所测的单孔异常，且要求在单孔解释的基础上，经过不断验证的同时充分利用多孔磁测资料进行群孔解释，首先是横剖面中的多孔解释，为地质提供矿体的形态，和对矿体赋存部位进行预测的信息。现以白马山矿床S400剖面示范举例说明。

现已投入开采的白马山矿床，原先按“单斜”矿体进行勘探，后因与之毗连的官店子矿床确立为向斜模式，才开始按向斜进行勘探。S400剖面即位于本矿床中部的一个为验证和确定矿床构造形态的主要剖面（见图4-20）。

在本剖面首先施工的ZK7951孔，经验证未能在-400m高程处达到预期的地质效果，随之又补充设计ZK352、ZK353孔。施工结果，于ZK352孔见矿累计271.75m，矿体主要赋存高程为-300m至-600m。而ZK353孔进尺689.38m未见矿，尔后又陆续施工了ZK467、ZK625、ZK666等钻孔，上述钻孔均投入了井中磁测。

为了确定矿体的构造形态和规模，首先利用ZK352孔见矿井段的内磁场 $\Delta T_{\text{井}}$ 对其产状进行半定量计算，计算结果列于表4.3。由表可见，矿层自浅至深产状由NW向陡倾渐变为SE向缓倾。据此，可推断矿体形态为一倒转向斜，并认为本孔底部所见矿层是旁侧浅部矿体的延续，钻孔打在向斜转折端部，该井段内磁场矢量指向SE。同时，以内磁场计算产状的结果与ZK353孔井中磁异常特征对照分析，二者相互吻合：由图可见，ZK353孔-200m至-600m高程井段的 ΔZ 曲线呈“C”形，由 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布可知 $\Delta H_{\perp}$ 曲线呈“S”形，据 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布特征，钻孔应在矿体北侧，按表4.2可推断旁侧矿体南倾。由此可见，ZK352与ZK353两孔井中磁场特征反映了同一矿体的产状，其解释结果是一致的。而ZK353孔-200m以上至0m高程之间， ΔZ 曲线呈“S”形， $\Delta T_{\perp}$

表 4.3

见矿井段 (m)	厚度 (m)	倾 向	倾 角
27.99~44.65	17.56	NW	65°
258.73~288.97	30.22	NW	47°
380.58~413.54	32.96	SE	
430.34~522.53	84.81	SE	8°
531.54~636.43	103.73	SE	35°

矢量分解可得 $\Delta H_{\perp}$ 曲线呈反“C”形，钻孔在北侧，按表4.2可知矿体北倾，与钻孔南侧已控制的矿体产状相符。ZK667孔虽然没有见矿，但井中磁测异常表现出其旁侧矿体，可综合解释为向斜形态的特征，其底部 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向SE呈发散状，与其北侧各孔底部 ΔT 矢量分布呈“共尾性”特征；而在-600m至-300m高程井段间的 ΔZ 曲线呈反“S”形， $\Delta T_{\perp}$ 矢量反映矿体在北侧，且可分解出 $\Delta H_{\perp}$ 曲线呈反“C”形，按表4.2可见其北侧矿体向北倾斜。这一推断与北侧钻孔控制的矿体相吻合。

在该剖面施工的ZK625孔，其目的是为了探明地质设计的白马山倒转向斜的正常翼，预计可见矿两层，但终孔347.48m未见矿。经井中磁测发现异常， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向北侧发散，其反延线交于南侧，说明钻孔打在旁侧矿体北侧， ΔZ 曲线呈“S”形，据 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布表明 $\Delta H_{\perp}$ 曲线呈反“C”形，由表4.2可知矿体北倾。由此可见，结合本孔南侧已控制的浅部矿体综合分析，可见本剖面SE浅部矿体形态为一倒转向斜。再根据白马山铁矿床地面磁测平面和剖面磁异常呈多峰的特征，综合井中磁测的群孔资料解释，认为在白马山平面磁异常中部负值区东侧的1000nT等值闭合线内，仍有未被探明的盲矿体存在，可推测为白马山复式倒转向斜的次级褶皱（爱玉山向斜）。据此，建议对白马山铁矿床的深入勘探，应在认清深部矿体构造形态的同时，兼顾对SE侧爱玉山倒转向斜进行勘探。这一建议最后为ZK666孔于32.62m

至171.03m井段见矿126.80m的事实所佐证。同时,继而在 S200—3700线施工的若干钻孔中均在 ΔZ 值1000nT等值线范围内见到了厚层矿体(见白马山框图),使该矿床工业储量明显增长。

这一实例表明,井中磁测不仅能通过单孔异常解释配合深部找矿,进行群孔资料解释能辅助确定矿体的形态,而且在已勘探的空间范围内,将其与地面磁测资料进行立体综合,对异常深入研究,能有效地进一步找到赋存的盲矿体,取得良好的地质效果。

图4-18是鄂东程潮铁矿磁异常,它分布于花岗岩体与三叠系灰岩、砂页岩接触带上。异常呈NWW-SEE走向,东西长2.5km,南北宽1km,形态规则。经钻探探明,该异常系由160余个大小不等的磁铁矿体引起。矿体形态多为不规则的透镜体状、囊状、扁豆状、赋存于接触带附近。各矿体自北至南、由浅而深呈首尾交错或互相重叠的叠瓦状展布。由于由多个矿体组成的矿床,井中磁测如何发挥其作用是一个值得探讨的课题。程潮铁矿的找矿实践表明:在矿床勘探过程中,根据地质任务,不断积累矿床的地质、物理参数,逐步建立起井中磁测物理-地质模型,以此来指导找矿,是行之有效的中深部找矿方法。在程潮铁矿床勘探过程中,共测钻孔17个,均发现有井中磁异常,其中有13个钻孔属旁侧异常。已验证的11个钻孔全部见到了设计矿体(见图4-18)。

现仅以19线的ZK194孔为例,说明其找矿效果。19线位于地面磁异常的中部。ZK194孔是在已控(Ⅲ号)矿体的基础上追寻盲矿体。终孔深度1010m,未见矿。井中磁测结果, ΔZ 曲线从宏观上看,为一多峰值不规则的反“S”形,难以直接根据异常曲线确定井旁矿体的赋存位置;但是,与 ΔZ 曲线相对应的 $\Delta T'$ 矢量沿井轴呈收敛、发散状特征,却能较为直观地指示出已知矿体和未知盲矿的端头位置及其赋存空间。减去北侧已知Ⅲ号矿体的磁场,--450m高程以下的磁场特征是: ΔZ 曲线呈“C”形, ΔH 曲线呈“S”形, $\Delta T'$ 矢量反交于南侧,与表(4.2)对照可知:钻孔位于盲矿体北侧,矿体为南倾;同时,以图4-19中的磁场空

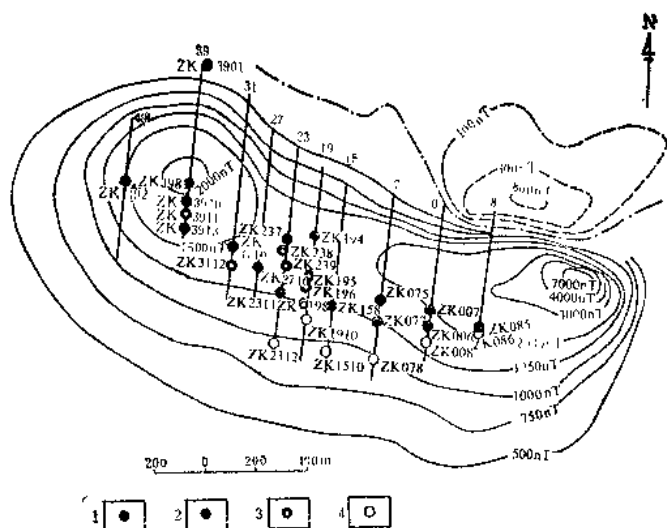


图 4-18

1—磁测钻孔；2—验证磁测的钻孔；3—验证钻孔；4—磁测所设计钻孔

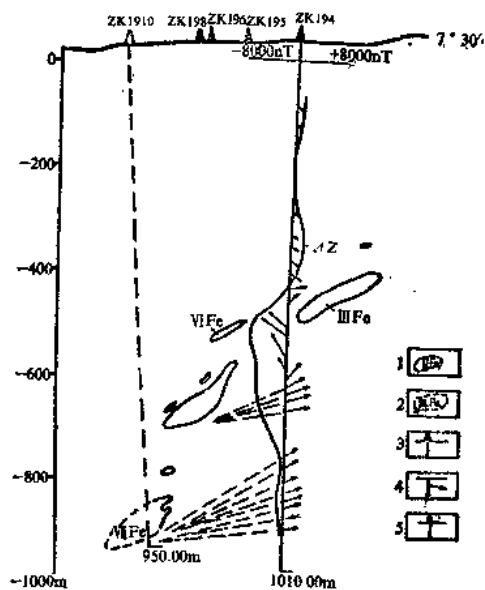


图 4-19

1—已控制矿体；2—推断矿体；3—已施工钻孔；4— $\Delta T'$ 矢量；5—设计钻孔

间分布与第三章中该地区的物理-地质模型(图3-22)典型异常对比,两者异常特征相似,表明矿体呈叠瓦状分布。据此,在ZK194孔南侧设计了ZK195、ZK196、ZK198孔。施工结果均在相应部位见到了矿体。图中所示ZK1910孔虽尚未验证,但从上述三孔的验证结果,以及ZK194孔下部 $\Delta T'$ 矢量的发散特征,已完全可判定Ⅷ号矿体的存在。

程潮铁矿的勘探实践再次证明,建立井中磁测物理-地质模型,配合常规解释方法来指导找矿,特别是矿体分布复杂的矿床,将会取得满意的地质效果。

第二节 地面和井中磁测立体综合 进行找矿预测

前已指出,为了系统地研究金属矿区深部地质结构,查明深部盲矿,一个重要的研究方向是进行立体地质填图,而立体地质填图的近期目标是,建立并研究具有控矿意义和引起物理场异常的地质客体的立体结构模型,亦即建立深达500m的地质介质的立体物理-地质模型。而立体物理-地质模型的建立与研究,必须借助于现代地质科学各种基本手段所获地质信息的综合研究。对磁铁矿床(区)说,就是要综合研究地面和井中磁测以及地质钻探资料。

为此目的,我们选择了地质-地球物理研究程度较高,已具有较丰富的地面和钻孔资料的,河北迁安白马山铁矿床,脑峪门铁矿床,及山东金岭王旺庄铁矿床建立了立体物理-地质模型,并对其深部潜在含矿富集和矿体结构模式作了初步预测评价。本节将分别叙述其初步研究成果。

一、河北迁安白马山铁矿床

1. 找矿史

白马山铁矿床位于迁安铁矿东矿带复式向斜北段,于1973~1974年间进行初步勘探,1975年提交地质勘探报告。与此同时,

对矿区（沿剖面 and 面积）的地面磁测结果进行了深入的研究，发现各剖面普遍存在着剩余磁异常，根据地质资料和磁异常特征的反复论证，一致认为该区是一复杂的向斜构造。地质的前期勘探阶段只验证了地面磁测的高值异常，它所反映的只是地表或浅层矿体，在其深部尚有进一步的找矿前景。

为此，在1979年设计了（6255m6孔）的钻探工程量并配合井中磁测，以证实向斜核部转折端的存在。结果在深部见到了厚大的矿体。此后，在1982—1984年间转入评价勘探阶段，为此对S400、S600等线进行了深部控制，所获储量属中型铁矿床。

2. 地面及井中磁异常特征

利用地面和井中磁异常的立体综合，结合地质成矿规律，研究沉积变质式铁矿、褶皱构造磁性体的空间磁异常分布特征，是建立并研究立体物理-地质模型的基础资料。

迁安铁矿区内，以磁铁石英岩铁矿层为标志层，所引起的磁异常展布特征（地面或井中）都与其小型或大型褶皱构造模式密切相关。经多年的生产实践，已初步归纳出几种识别褶皱构造模式磁性体的磁异常特征；对于地面磁异常来谈，其平面展布特征是呈环状，一种是“半封闭形环状”，另一种则是“全封闭形环状”。

这两种平面展布特征，是本区内判别磁性体属背斜或向斜构造模式的标志。如果在环状异常的内侧呈宽缓的低值正异常，在其外侧则出现负异常（或零值区），或者异常的内侧梯度小，外侧的梯度大，地质上所表现的岩层转折端又为向内倾，则引起异常的磁性体为向斜构造模式。反之，若环状异常的内侧是负值区或其梯度大，外侧的梯度小，地质上所表现的岩层转折为外倾，则所引起异常的磁性体呈背斜构造。

与平面展布相对应，在横剖面上的磁异常特征是呈双峰即鞍形。双峰间若是低值正异常或其内侧梯度小，外侧梯度大，为向斜构造模式。相反，双峰间为负值，其内侧梯度大，外侧梯度小则为背斜构造模式。对称型向（背）斜磁性体，异常的双峰值对

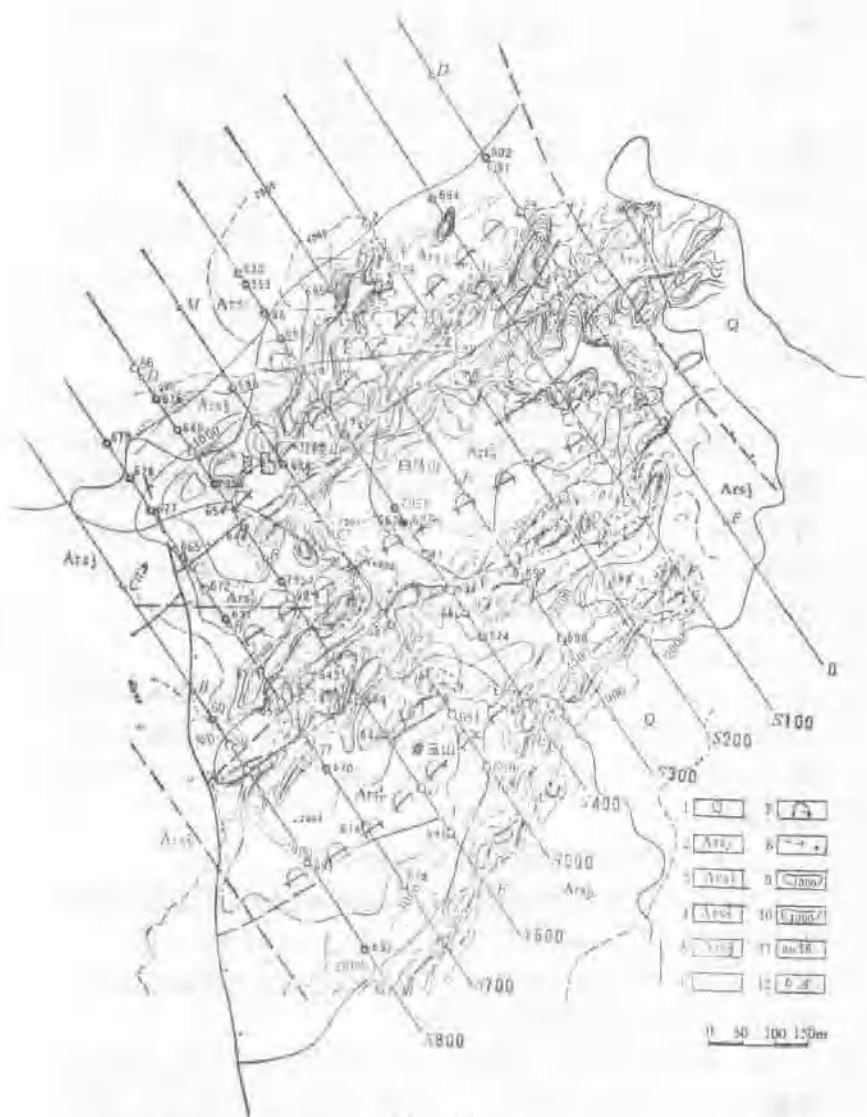


图 4-20

1—晚坡积层；2—黑云变粒岩与黑云浅粒岩层；3—黑云英变粒岩黑云
 苏斜长片麻岩层；4—石榴黑云变粒岩层夹角闪二辉石岩层；5—黑云变粒岩
 层；6—磁铁矿石岩；7—侧转向斜；8—断层；9—正异常 (ΔZ)；10—负异
 常 (ΔZ)；11—钻孔编号；12—勘探线点名

称；倒转型向（背）斜磁性体，异常的双峰值不对称，其倒转翼上异常变窄，梯度较大，正常翼异常相对较宽缓，梯度较小。

白马山铁矿区地面磁异常（ ΔZ 等值线）呈环状展布，它由“爱玉山”刀棱山和白马山等三个“半封闭环状”磁异常组成（如图4-20）

由图可见，白马山和爱玉山两个“半封闭环状”异常在北东方向封闭，南西方向开阔。刀棱山“半封闭环状”异常则相反。与其相对应横切整个矿床剖面上的磁异常呈“多峰”分布（见图4-17）。

以上述迁安铁矿区地面磁异常展布特征判别向（背）斜构造模式标志及第三章向斜物理-地质模型井中磁异常分布特征（见图3-20，3-22）为依据，对照白马山铁矿区地面磁异常的展布特征及由图4-17所示的实例，即可判定白马山铁矿床矿体呈一复式向斜构造模式。再利用第二章所述的矿区矿床地质参数和地球物理参数，即可建立白马山铁矿床的立体物理-地质模型。

3. 白马山铁矿床的立体物理-地质模型

立体物理-地质模型是第三章已讨论的剖面物理-地质模型的空间扩展。因此，所采用的数学解析模型和计算假设参数是相同的。以下我们将从各个侧面来分析向斜立体模型磁异常的空间分布特征。

（1）由主视剖面组成的走向框图

图4-21是磁各向同性向斜磁性体的走向框图，它以各主视截面上钻孔中的 ΔZ 曲线和 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布组合示出图中0为中心剖面， S_2 、 N_2 分别为南北端部剖面。它展示出向斜模式磁性体沿走向方向井中磁异常的空间分布特征。

a. 对比0剖面与 S_1 、 N_1 剖面可见，相应位置的钻孔，特别是旁侧孔，其 ΔZ 曲线与 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布都具相同类型。例如各剖面上的2号孔中 ΔZ 曲线都呈上下为正、中间为负的不对称双S形； $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线均呈逆时针方向旋卷；2、6两孔 $\Delta T_{\perp}$ 矢量具“共尾性”等。所不同的只是场值大小和局部的不对应性。

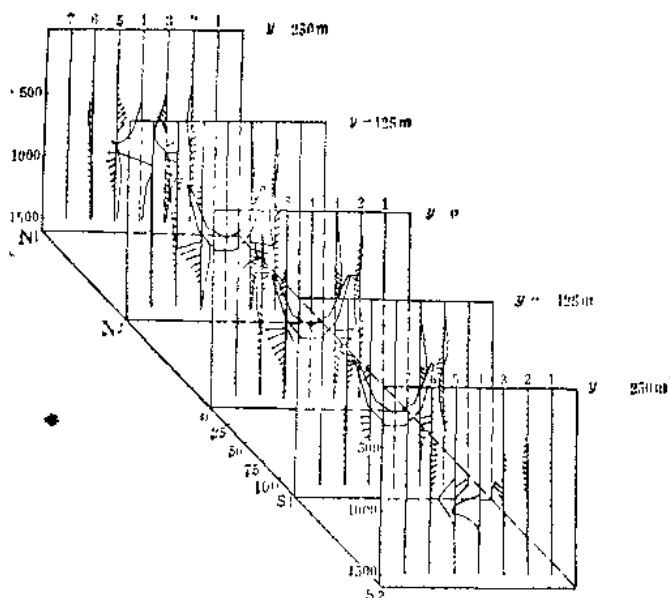


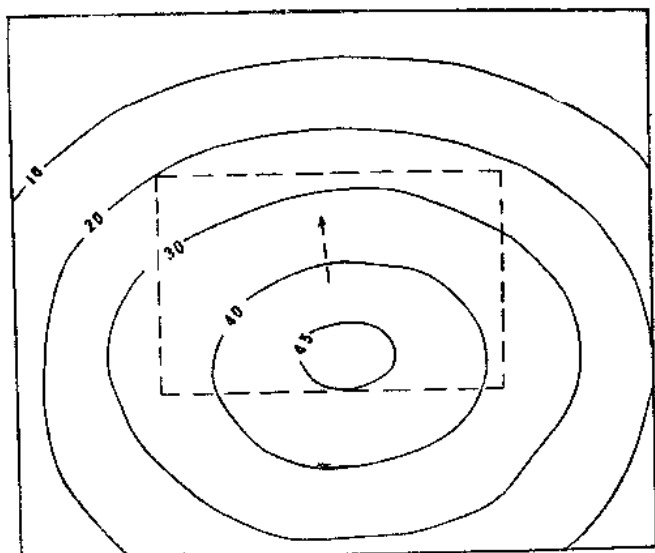
图 4-21

b. 各剖面上由2、6两旁侧孔的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线组合形状近似于心脏形，但除中心剖面上向斜磁性体是包在心脏形中外，其它各剖面上只有部分包在心脏形内。由于受斜磁化影响，总的来说，由南往北逐渐往浅部移动。

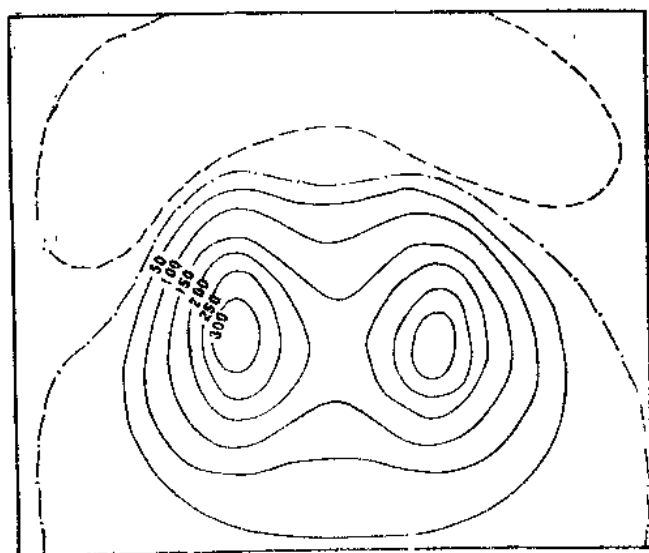
c. 对比中心剖面与 S_2 、 N_2 两端剖面的磁异常分布特征可见，在端剖面上所有钻孔中的 ΔZ 曲线都呈双S形，这一点与中心剖面是有区别的。在端剖面上的某些钻孔中（如3、4、5、孔）， $\Delta T_{\perp}$ 矢量较复杂，只有2、6两孔旁侧孔的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布特征和中心剖面一样。这说明，今后在构制走向框图时，在端剖面上还应示出 $\Delta T_{\perp}$ 矢量。

上述分析告诉我们，当解释走向框图时，应先确定标准剖面，然后用对比和外推法在深部沿走向追索矿体进行找矿预测。

（2）不同等深截面的俯视图



(a)



(b)

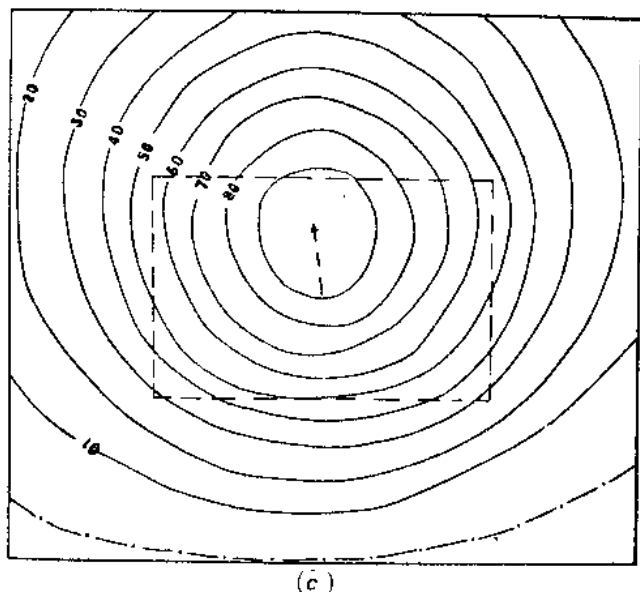


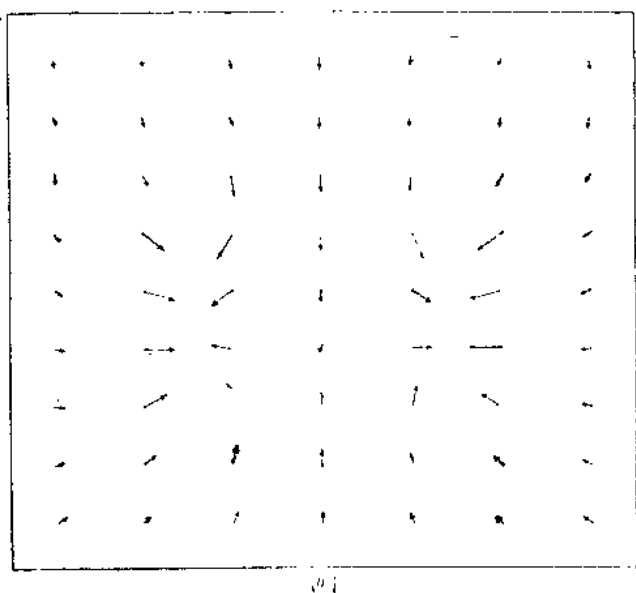
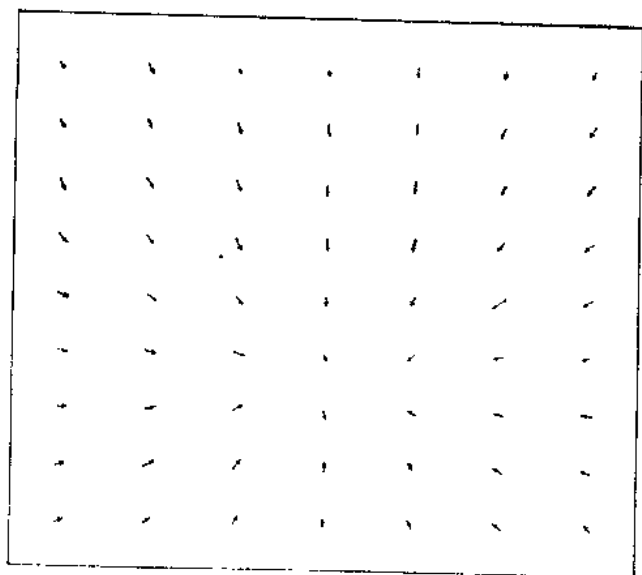
图 4-22

它以不同等深截面上的 ΔZ 等值线和 ΔH 矢量分布特征来展示。如图4-22a、b、c和图4-23a、b、c。

由图4-22可见，不同等深截面 ($h=0, -500, -1500\text{m}$) 上 ΔZ 等值线图的变化规律是

a. 由浅至深，从地面到矿头，直至矿底部相应呈规则的椭圆状 ΔZ 正异常 ($h=0$)，它反映整个向斜磁性体距顶面一定深度的综合磁异常特征，根据该异常很难确定其地下埋藏磁性体的模式；两个正异常中心 ($h=-500\text{m}$ 矿头)，反映出向斜两翼端头；最后到向斜磁性体底面以下 ΔZ 等值线又呈近于等轴状的正异常 ($h=-1500\text{m}$)。 ΔZ 等值线的这些分布特征，可形象地描绘出向斜磁性体沿深度方向的构造形态。

b. 由于受斜磁化影响，矿头以上（包括地面）标高平面的 ΔZ 等值线异常中心向南偏移，在其北侧出现负异常，而矿底深度平面上的 ΔZ 等值线正异常中心则偏北，在其南侧出现负异常。



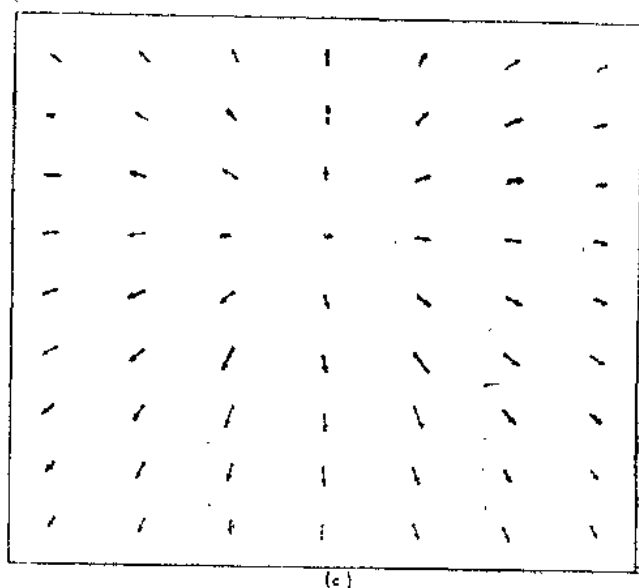


图 4-23

c. 矿顶以上和矿底以下平面上的 ΔZ 等值线在以矿体为中心向外扩展的被研究的一定范围内， ΔZ 等值线都是正值。前者呈椭圆形，其北侧异常梯度大；后者近似于等轴状，其南侧梯度大。

相应等深截面上的 ΔH 矢量分布特征（见图4-23）是：由地面（向斜顶端以上）至向斜底，依次呈一个收敛中心——两个收敛中心——发散。同样，在向斜顶面以上标高平面 ΔH 矢量收敛中心偏南，在核部和核部以下截面上 ΔH 矢量发散中心偏北。用这些特征可确定各深度截面上向斜磁性体的中心，圈定其轮廓，研究沿深度方向的形态变化。

（3）侧视图

侧视图主要用于反映矿体在纵向剖面上的磁异常变化特征，

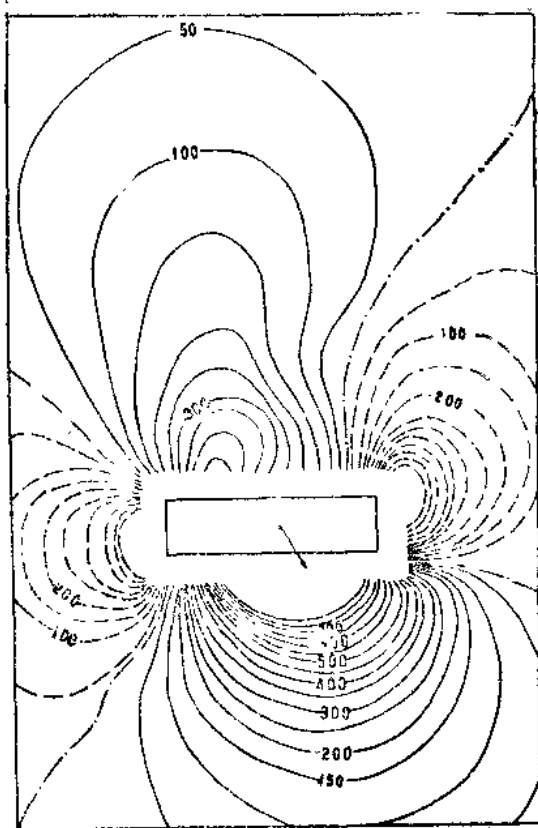


图 4-24

它用 ΔZ 等值线图 and ΔT_z 矢量分布特征来展示 (如图4-24, 4-25)

由切割向斜磁性体走向方向 ($X=0$) 剖面上的 ΔZ 等值线分布图可见, ΔZ 在向斜核部上下都出现正值, 沿走向两端以外出现负值, 其形状与斜磁化水平板状体的 ΔZ 等值线相似。由这些特征可圈定向斜磁性体的走向端头位置。

由图4-25所示的 $X=0$ 剖面上4—4钻孔对的 ΔT_z 矢量分布可见, 用 ΔT_z 矢量的交会、发散及矢量轨迹包线的旋卷方向和形状, 可确定向斜磁性体走向端头位置及沿走向延伸范围。

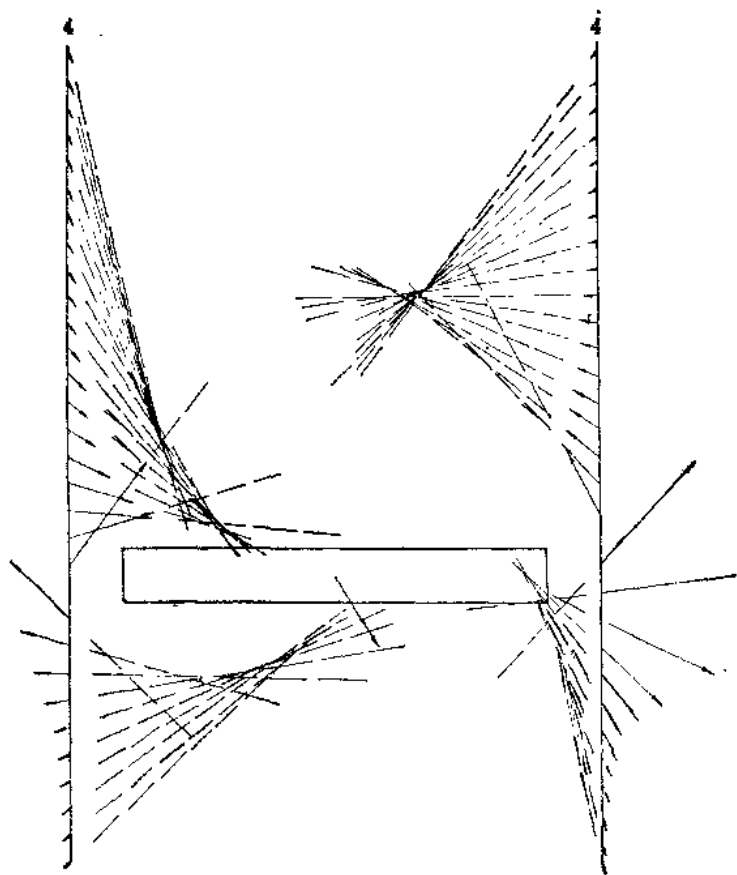


图 4-25

把主视、俯视图和侧视截面的磁异常综合起来进行研究，就可详细的描述出向斜磁性体的立体结构模式

4. 白马山铁矿床走向框图的建立及找矿预测

建立白马山矿床走向框图的目的是为了在其深部追索复式向斜褶皱构造模式矿体的赋存状态及其走向延伸。为此，根据由 0 线至 S800 线（共 9 条剖面，见图 4-20）各剖面上的地面和井中磁测资料，按剖面用 ΔZ 曲线和 ΔT_d 矢量分布特征示出，然后组合

便可选定S400线为标准剖面,综合地面磁异常分布特征,以所建立的向斜磁性体立体模型理论走向框图作指导(图4-21),利用对比和外推法对白马山矿床深部状况作出预测。

(1) 由S400线向北东方向外推到0线:由0线上ZK602孔的井中磁异常特征可见,其 ΔZ 曲线下部呈“C”形, $\Delta T_{\perp}$ 值明显增大且可由 $\Delta T_{\perp}$ 分解出 $\Delta H_{\perp}$ 呈“S”形,说明南侧存在南倾的矿体,同时 $\Delta T_{\perp}$ 矢量的基本特征也与S400线剖面相应钻孔(ZK353孔)的磁异常分布特征相同。再由S400线向南西方向外推至S800线,由S800线上ZK660孔的井中磁测异常同样可见,它与S400线剖面上向斜东翼钻孔(ZK667孔)的磁异常分布特征相似。由此可以预测白马山复式向斜矿体从0线至S800线之间在深部可连。

(2) 因为在S600线的-400m标高以下已由ZK648孔见到了厚达90m的矿层,而该线ZK644孔的下部井段 ΔZ 曲线和 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布特征又与S400线ZK667孔相似,这就完全可以证实所建立的模型是可靠的,充分说明了向斜槽部矿体确已向南延续到S600线。那么S800线以南是否还会延续呢?为此对S800线的ZK660孔计算整理了 $\Delta T_{\perp}$ 矢量(如图4-27a)。由图可见,其 ΔZ 曲线呈上下为负中间略正的双S形, $\Delta T_{\perp}$ 矢量上部井段有一个包络线,反映浅部小矿体尾部。下部井段 ΔZ 曲线呈反“S”形(不完整), $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向南,反映深部向斜槽部矿体短翼的赋存部位,这说明向斜槽部矿体一直延伸至S800线附近。

(3) 根据0线上ZK602孔的磁异常特征,已可说明深部向斜槽部矿体已延到0线,那么0线以北情况会怎么样呢?同理,对ZK602孔的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量进行了计算整理(如图4-27b),由图可见, ΔZ 曲线已有归零趋势,虽然 ΔZ 曲线不完整,但 $\Delta T_{\perp}$ 矢量包络线已十分明显,其周长范围大,指向北东方向,它反映了向斜北西侧的长翼,且位于零号线以北。这说明深部向斜槽部矿体向北东方向还有延伸,若进一步勘探还可见矿,将会扩大白马山铁矿储量。

这些成果说明,在有利的地质、地球物理条件下,建立矿床

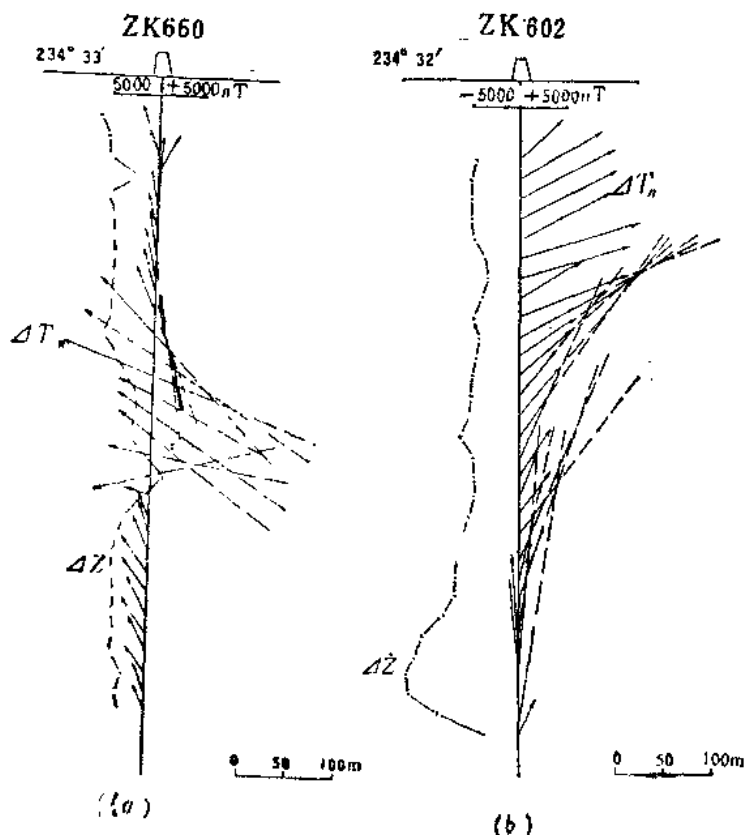


图 4-27

的走向框图，可为地质深部填图提供依据，并将大大节约钻探工作量。

二、河北迁安脑峪门铁矿床

1. 找矿史

脑峪门铁矿床位于迁安铁矿区南部，系杏山矿体向南东方向的延续，该区内的地面磁异常在迁安矿区内属低缓异常，其范围达 1.2km^2 ，最大场值 4000nT ，曾在1972年对异常进行了验证，

当时只见到浅部薄层矿体，同年提交普查找矿报告。

1975年后与院校协作，对该区开展了综合性研究工作，除1:2000的地面磁法详查外，相继开展了电法、重力剖面测量以及1:2000的地质测量，由这些地质地球物理调查结果，对区内地层及构造进行了分析，初步确定脑峪门磁异常是由埋藏较深的以背斜构造模式产出的矿体所引起的。尽管矿体的这种构造格架还没有最后得到完全统一的认识，但是在1979年设计时，还是以背斜模式提出验证。经实施，取得了较好的验证效果，其中W200线ZK79—4孔在245m（-150m标高）深度见到了累积矿体厚度200余米。后经1980—1981两年的验证，基本上控制了深部矿体的规模及产状，结合井中磁测磁异常特征的分析，初步确定了该矿床为一背斜构造格架，并于1983年提交矿床评价报告，使储量提高近十倍左右。

2. 地面及井中磁异常特征

脑峪门地面磁异常属低缓异常，具明显的二级异常特征，它是杏山矿体异常向东南方向的延续，构成一个弧形异常带，在平面上呈“半封闭型”环状展布，环的内侧磁异常基本为正值区（如图4-28），杏山矿体呈内倾转折，因此从杏山-脑峪门磁异常整体来看，矿体属向斜构造特征。

脑峪门地段地面磁异常验证及其井中磁测结果（如图4-29），矿体是呈背斜构造模式产出。

由图4-29可见，该剖面井中磁场分布特征与背斜磁性体理论模型特征十分相似，不管是旁侧孔（图中ZK81—1孔），还是穿透矿体钻孔，其矿顶水平截面以上井段 ΔT_z 矢量分布具有明显的“共头性”特征，只是该背斜核部被两个断层断开。

3. 脑峪门铁矿床的立体物理-地质模型

分析了白马山铁矿床磁各向同性向斜磁性体立体物理-地质模型的空间磁场分布特征后。就不难分析脑峪门铁矿床背斜磁性体的立体模型空间磁场分布特征，以下采用相互对比的方法来讨论。

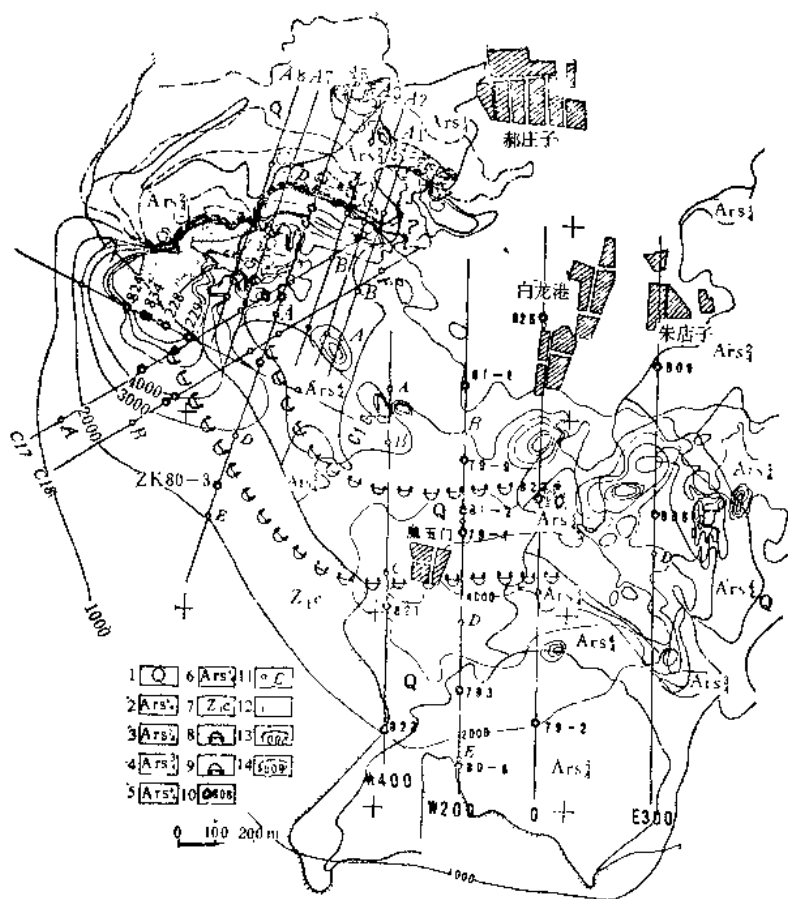


图 4-28

1—残坡积层；2—角闪黑云斜长片麻岩及变粒岩层；3—黑云变粒岩黑云浅粒岩层；4—柘榴黑云变粒岩夹斜长角闪岩层；5—黑云变粒岩黑云浅粒岩夹斜长角闪岩层；6—角闪变粒岩夹斜长角闪岩及紫苏辉石岩层；7—长石石英砂岩底砾岩层；8—倒转向斜；9—倒转背斜；10—钻孔及编号；11—勘探线点名；12—磁铁石英岩；13—正异常（ ΔZ ）；14—负异常（ ΔZ ）

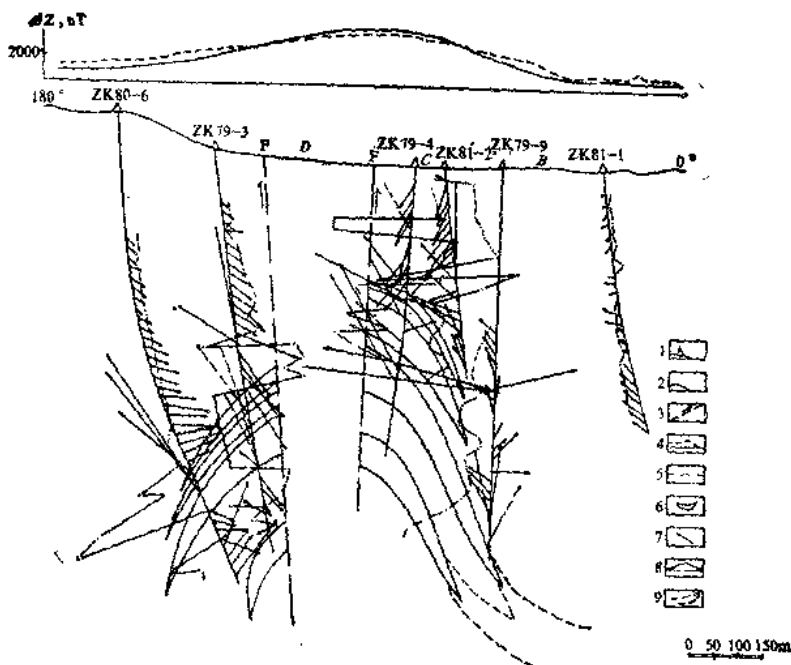


图 4-29

1—钻孔及编号;2—剖面线号;3—断层;4—地面 ΔZ 磁异常;5—井中 ΔZ 曲线;
6—磁铁矿体;7— $\Delta T_{\perp}$ 矢量;8—已知矿与推断矿的理论 ΔZ 曲线;9—推断矿体

(1) 由主视剖面组成的走向框图

背斜磁性体的走向框图,也是用各主视剖面上各钻孔中的 ΔZ 曲线和 $\Delta T_{\perp}$ 矢量分布图组合而成(如图4-30)。

由图可见,其空间磁场的分布特征,都是向斜磁性体走向框图的倒像。

(2) 不同等深截面的俯视图

它同样用 ΔZ 等值线和 ΔH 矢量分布图示出。由不同等深截面的 ΔZ 等值线图(图4-31)可见,随深度的变化规律是:在地面($h=0$) ΔZ 等值线呈一个正异常中心,由于是斜磁化,所以异常中心位置南移;在背斜核顶($h=-500\text{m}$)呈一个半环状正异常伴随一个半环状负异常,两者南北对应;底部($h=-$

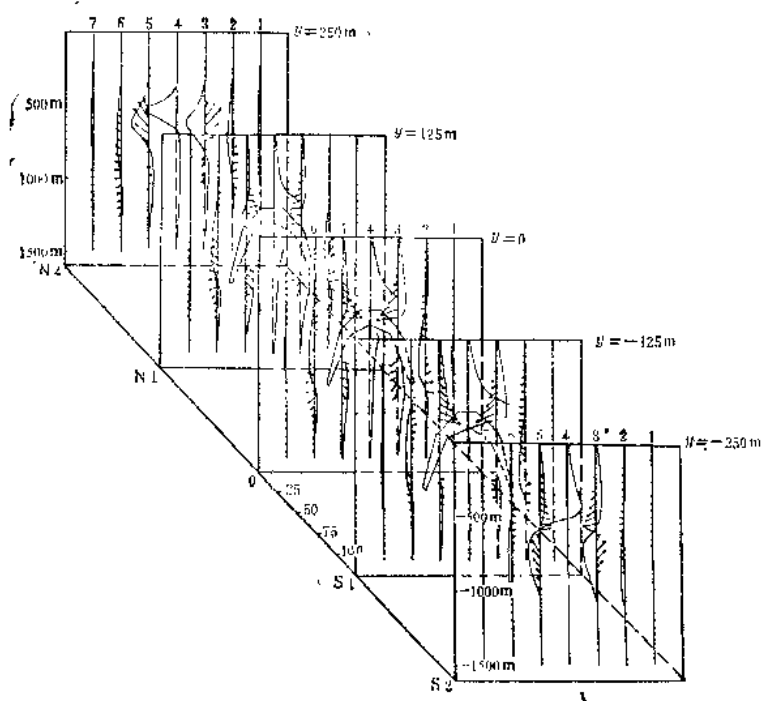


图 4-80

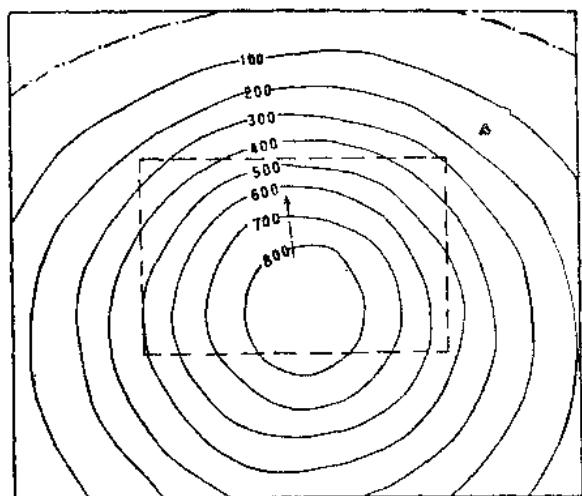
-1500m) 仍是一个正异常中心, 但其中中心向北偏。

ΔH 平面矢量图随深度的变化规律是 (见图 4-32): 在地面上呈一个收敛中心, 到背斜翼端头深度呈两个发散中心, 至更深的底部为一个发散中心, 它明显地反映出沿深度方向背斜的形态结构。

(3) 侧视图

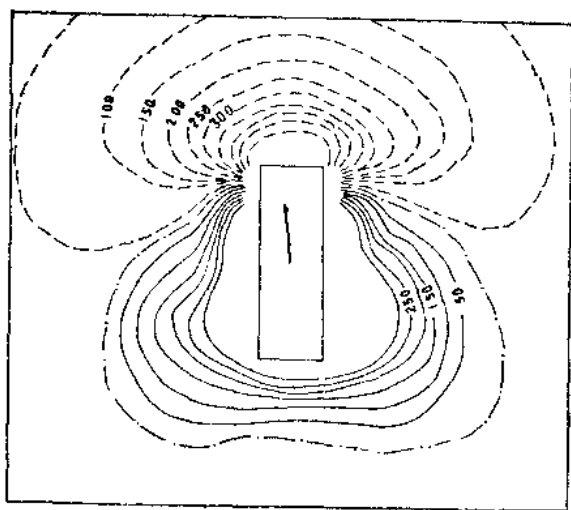
背斜立体模型的侧视图, 同样用 ΔZ 等值线图或 ΔT_s 矢量来展示。

在 $X=0$ 剖面上的 ΔZ 等值线图及 ΔT_s 矢量, 其分布形态都是



(a)

注：该图（数值应为10，20，…，80）



(b)

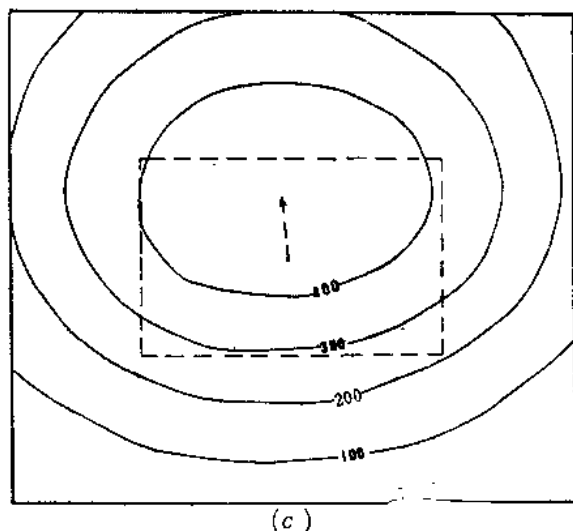


图 4-31

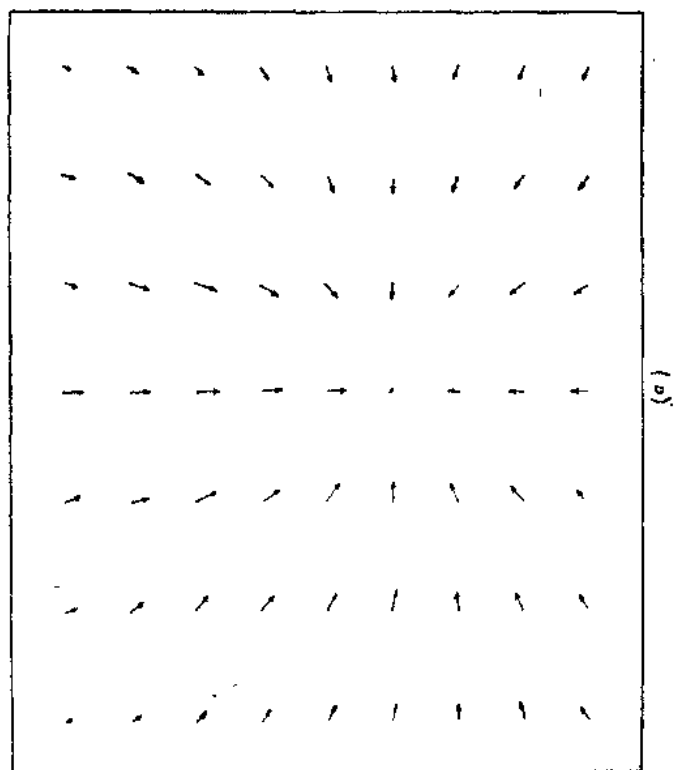
注：该图（数值应为10,20,30,40）

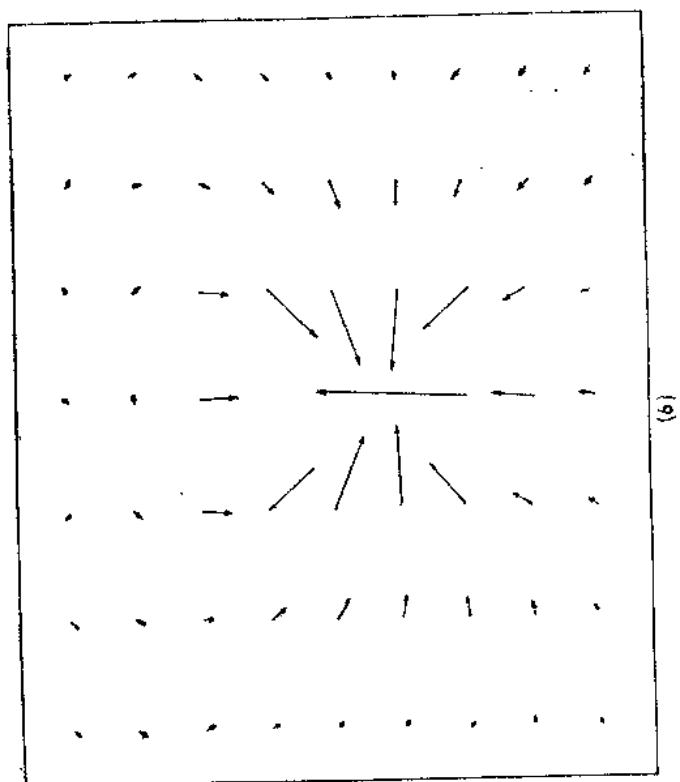
向斜磁性体侧视图的倒像。也可类似于向斜磁性体那样作出分析，这里不再赘述。

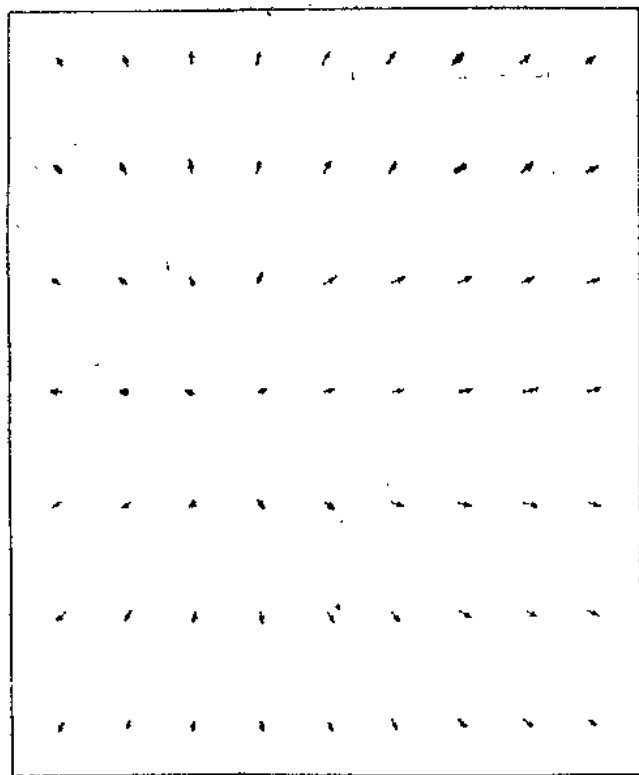
应该指出，向斜或背斜立体物理-地质模型的建立，对于矿体形态呈褶皱构造模式产出的迁安铁矿区进行深部找矿，具有重要的意义，它为利用地面和井中磁测结果立体综合，对类似构造模式的实际地质客体的反演提供了理论依据，这一点在上述白马山铁矿床的深部研究中已获得应用，同样在脑峪门铁矿床的深部研究中将起到指导作用。但是我们在建立研究向、背斜立体物理-地质模型时，都假定磁性体是磁各向同性的，这是出于使模型具有更广泛意义，因为磁各向异性其主要影响表现为使磁化方向偏向于顺磁性体层理方向，且这些影响细节已在第三章中作过讨论。

4. 脑峪门铁矿床走向框图的建立及其找矿预测

脑峪门矿床已经验证了0、W200、W100、E300、四条勘探剖面，每条剖面长1300m，原作图比例尺为1:5000，剖面间距







(c)

图 4-32

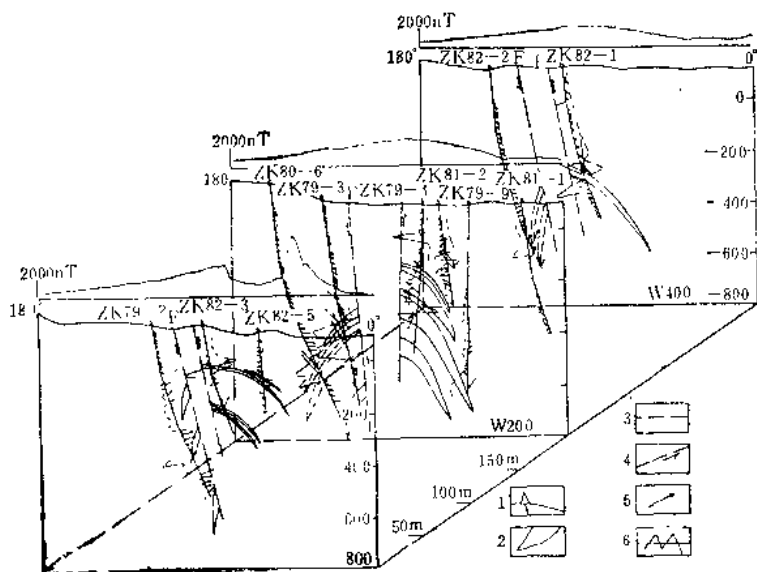


图 4-33

1—钻孔及编号；2—磁铁矿体；3—井中 ΔZ 曲线；4—断层；5— $\Delta T_{\perp}$ 矢量；
6—地面 ΔZ 曲线

200m (见图4-28)，0到E300线之间为300m。其中0，W200，W400三条勘探线验证结果已基本搞清了矿体在空间的赋存状态。为此，利用该三条剖面的地质、地面和井中磁测结果构制了沿东西走向的框图（如图4-33）。

这样便可以W200线剖面为标准，用背斜磁性体理论模型为指导，对走向框图中的井中磁异常特征细节作对比分析。

在W400线剖面上只打了两个孔。ZK82—1孔在过矿前井段 ΔZ 曲线正张口， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向北下，过矿后 $\Delta T_{\perp}$ 矢量则指南，这足以证明所见矿层为向北倾斜，该孔尚未通过矿体下延尾部深度。ZK82—2孔的 ΔZ 曲线为上正下负反S形， $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向北侧呈收敛趋势，证明北侧赋存矿体，其头部离井较远。ZK82—1，ZK82—2两孔在近矿头部 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向具“共头性”特征。因

此,可判断两孔间赋存的矿体具背斜模式,与W200线控制情况相似。

0号线上的三个钻孔(ZK79—2、82—3、82—5),其过矿前井段的 ΔT_z 矢量交会指向和总体分布也具“共头性”特征。因此,也可勾划出矿体赋存模式。由此便可结合地质资料推断出脑峪门矿床由0、W200、W400线所控制的深部矿体赋存模式,它是核部被断层切割的多层复合背斜。

对井中磁异常的某些细节作具体分析,还可指出以下几点:

(1) 0号线ZK79—2孔井底 ΔZ 曲线呈正张口, ΔT_z 矢量指向北侧且呈收敛趋势,该段矿体应向南倾,说明井底有矿,进一步加深会见矿,矿端头位于井轴右(北)侧(图4-33中推断矿体)。

(2) W200线上的ZK79—4和ZK79—9孔等,孔深不够,只停在铁矿层内,根据磁场特征若进一步加深,尚可扩大储量。

(3) W200线已验证的矿体规模比0线、W400线大得多,而该三条剖面线均属同一构造部位,其地面磁异常的强度与规模相近似。因此,0线和W400线深部尚有找矿前景。

最后应指出,脑峪门-杏山矿体从整体上讲是同一构造单元。因此,脑峪门背斜矿体北翼应属脑峪门-杏山向斜南翼。若进一步设计深孔探索,可望在该区找到向斜槽部转折端,以求大幅度增加铁矿储量。

三、山东金岭王旺庄铁矿床

1. 找矿史

王旺庄矿床地处金岭背斜倾伏末端即金岭岩体的北端,是金岭矿区储量最大矿床之一,也是该区最大的磁异常。该异常1954年发现,峰值 $\Delta Z_{max}=3500\text{nT}$,为北负南正形态完整的一个孤立异常(见图4-35a),它地处成矿有利地段。但在异常极值附近施工ZK1孔验证结果,只在300m深处见到三层薄矿,其余均为具有磁性的闪长岩。尔后又布置了ZK2、ZK3钻孔,结果也未见到理想的矿体。于是认为“异常系岩体加小矿体引起,其找矿意义

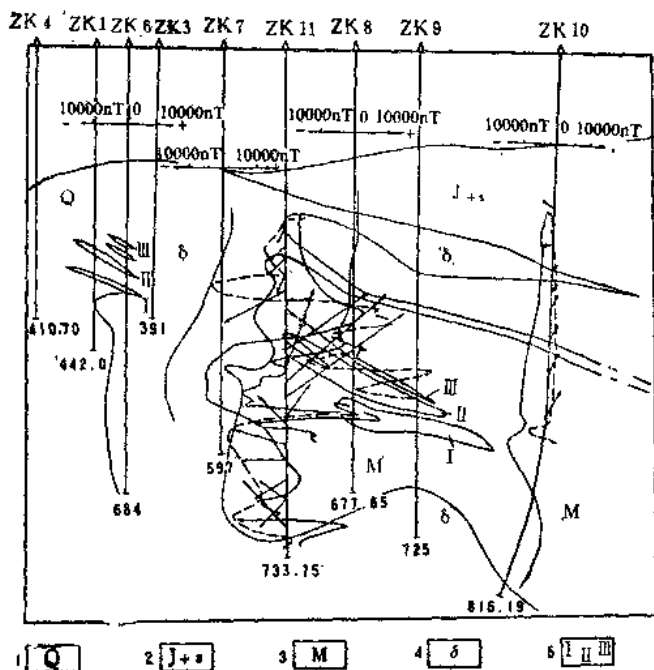


图 4-34

1—砂页岩；2—大理岩；3—闪长岩；4—矿体；5—表土

不大”，故一度停止进一步验证。

1965年随着利用剩余磁异常找矿经验的积累，对矿床磁测资料作进一步研究发现，除岩体异常外，地面尚有1500nT的剩余磁异常，需要进一步验证。于是在异常中心附近又施工ZK6孔，其结果与ZK1孔所见类同（图4-34），又无新发现。但在ZK6孔进行井中磁测后，发现在400m以下 ΔZ 异常强度达-9600nT，与此同时，对该孔所见闪长岩进行磁参数测定，结果 $J_A=3A/m$ ，表明闪长岩体只能引起-3800nT磁异常，尚有-5800nT的剩余异常。结合实际地质条件，故推断在ZK6孔北侧有强磁性地质体存在。这样又布置了ZK7孔，钻探结果仍未见矿，但井中磁测发现了一个不对称的上正下负的反“S”形 ΔZ 异常，再经计算尚有

-11600nT 的剩余异常。这一信息更进一步证明在该孔北侧有磁性地质体赋存。这为下一步验证提供了可靠的依据。于是在 ZK7 孔之北 200m 处布设了 ZK8 孔, 结果在预计深度见到了几层富铁矿, 总厚达 62.5m。于 1966 年最终验证了地面磁异常。继而布置了 ZK9 孔 (见矿厚 50m) ZK10 孔, 从而控制了矿体, 肯定了矿区的远景。这一史实无可争辩地说明地质、钻探与地面和井中磁测立体综合相结合, 是研究发现深部隐伏矿的重要手段。

2. 矿床立体物理-地质模型的建立及其分析

王旺庄矿床经历二十多年的普查勘探, 在近百个钻孔中进行了井中磁测, 这样在单孔解释的基础上, 有可能利用群孔深部信息与地面磁测结果进行立体综合, 研究矿床的立体结构构造模式 (研究磁铁矿体的空间几何形状)。研究的方法是: 综合地面和井中所观测的地磁场垂直分量异常 ΔZ 数据, 构制出按一定深度间隔的 (0、250、350、450、500、550m) 不同深度平面的 ΔZ 等值线图 (如图 4-35 a、b、c、d、e、f), 用来表征王旺庄磁铁矿体所引起的磁场空间分布特征, 并由此推断随深部的矿体形态变化。另一种图件是由南向北沿矿体倾向取间隔作平行于矿体走向的断面图组成倾向框图 (如图 4-36 I、II、III)。其中 I 断面是切在矿体南端头外侧 (矿体端头在断面北侧); II 断面是切在矿体中部偏南; III 断面是切在矿体北部尾端附近。用这一框图来了解沿倾向方向矿体截面形态的变化细节。

显然, 不同等深截面的 ΔZ 等值线图是磁铁矿体垂直磁场的俯视图, 图 4-36 所示断面框图是其垂直磁场的一组主视图, 而图 4-34 所示的 (垂直矿体走向所切剖面即勘探剖面) 则为侧视图。利用这三种图件的组合, 结合地质勘探取得的矿床参数资料, 就可较直观性的、量度性的描绘出王旺庄矿床的立体结构模式。建立了立体物理-地质模型, 就可采用计算机实现磁铁矿床立体结构模式的进一步研究。

对上述结果作出初步分析如下:

由图 4-35 a 可见, 地面磁异常近似呈等轴状, 为东西走向,

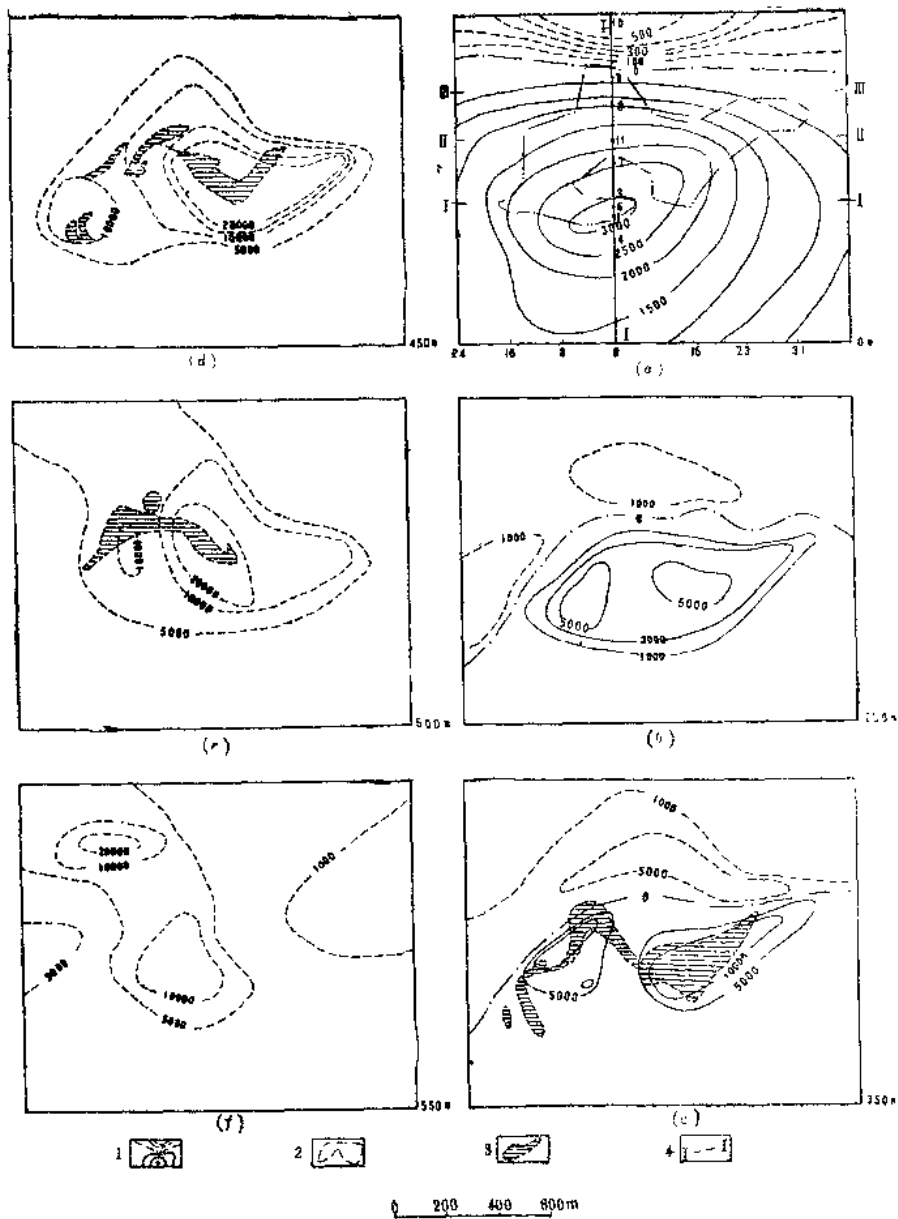


图 4-35

1— ΔZ 正负等值线；2—矿体投影范围；3—矿体；4—纵剖面

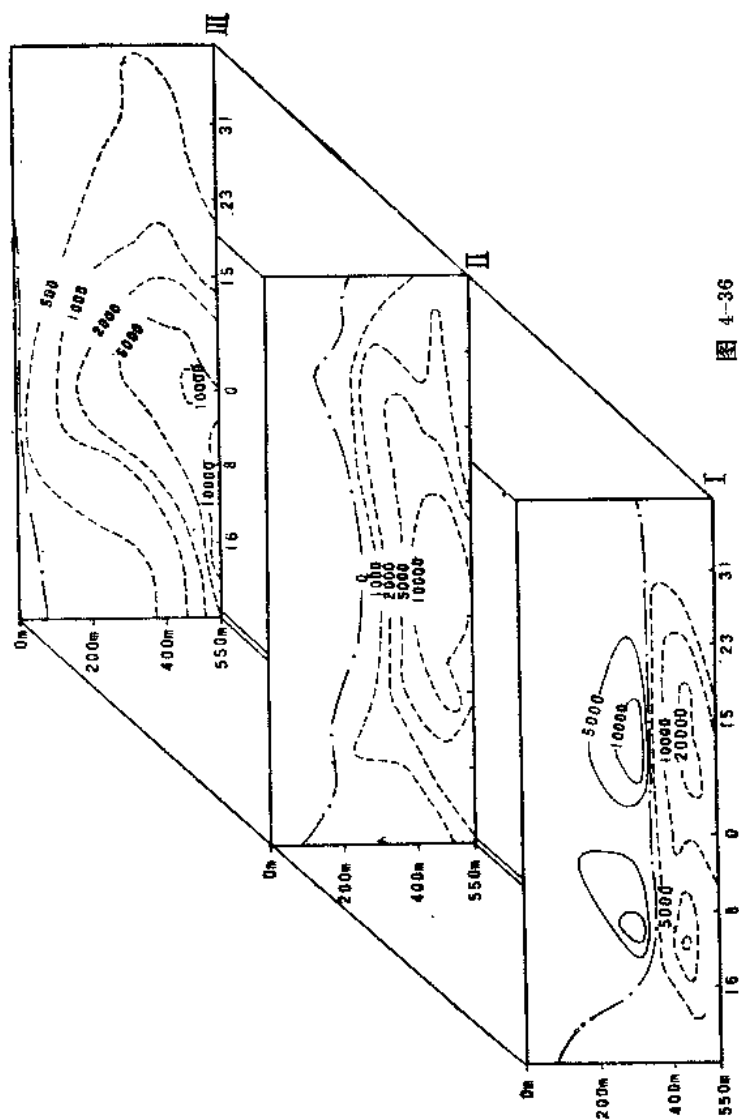


图 4-36

ΔZ 等值线展示出北陡南缓、北负南正，斜磁化，矿体北倾赋存于正负异常之间的特征。若以1500nT等值线来圈定异常分布范围，其长1000m宽为800m，正负峰值间距离为1000m。由此看来似乎地下矿体形态近于等轴状。至250—350m（图4-35b、c）深度，由于距矿体顶深仍较远，其异常特征从宏观上分析与地面异常类似，但这时正负异常峰值间间距发生变化（变小为400—500m），且正异常分离为两个呈卵石形异常中心。这就表明了矿体其实是分为东西两个实体。至450m深度以下平面，由于钻孔穿入矿体范围（内磁场 ΔZ 为负值），或进入矿体下部（正磁荷趋于集中）空间范围，加上受钻孔深度限制，井中磁测所观测资料不完整，故 ΔZ 异常全为负值。但随着深度的增加异常逐渐由东西走向转为近南北走向，尤以西侧异常更为明显。值得指出的是，550m平面的两负异常中心已成为北西向排列，这说明矿体的下延方向和形态在深部是有所变化的。

现在再来分析由南向北的主视图亦即倾向框图（见图4-36）。从切在矿体南端头外侧的I断面可见， ΔZ 等值线呈上下对应正负相伴的两个东西并列的磁异常，且东大西小。从断面图上展示出的 ΔZ 剖面图和空间等值线呈不对称的上正下负的反“S”形特征，能与图4-35b、c平面图的反映完全对应，而且与图4-35a矿体的平面投影相一致。说明实际矿体是东大西小的两个实体，利用正负磁异常间距能估定矿体的端头埋深。

II断面图在350m以下，由于钻孔已穿入矿体范围， ΔZ 皆为负值，在围岩磁性较弱的情况下，可用 $\Delta Z = -2\pi J_{\perp}$ （ $J_{\perp}$ 是磁铁矿垂直界面上的磁化强度）等值线范围来大致圈定矿体截面轮廓，从而展示了矿上顶较平稳，下端有所收缩变化，同时也反映矿体东大于西（从-10000nT等值线可以看出），且矿底呈不规则状态。

III断面由于位于矿体尾部附近，当钻孔穿入矿体范围后 ΔZ 内磁场为负值，而钻孔深度又有限，所以 ΔZ 也全为负值。同理也可用 $\Delta Z = -2\pi J_{\perp}$ 值圈定磁性体截面轮廓。该断面 ΔZ 等值线的

特点是在深部出现两个负值中心，西侧负值中心更深。因此对王旺庄的西北部应引起足够的注意。Ⅱ、Ⅲ断面的负值等值线均未封闭，是受钻孔深度限制。

综上所述，通过对王旺庄磁铁矿体模式的分析，对深部矿体的形态和分布，给以建立了较完整的概念，从而可以提出以下一些认识。

a. 不同深度的俯视图上 ΔZ 正负峰值间距的变化，反映了磁铁矿体是斜磁化的，证明了前人用斜磁化条件解释该异常是正确的。

b. 单从地面磁异常分析，可以用一个等效磁性体进行解释。但俯视图随深度的变化明显地指出矿体由东大西小的两个实体组成，而它们之间异常出现的不连续性及其变化特征，反映了矿体间“天窗”的存在。“天窗”颈是向西倾的。

c. ΔZ 平面等值线异常（俯视图）形态基本上描绘了矿体的形态特征。

d. 主视图反映了矿体纵向沿倾斜方向的变化，即在矿头附近矿体是不连续的；腰部附近矿体顶部较平稳，但在0~4线变薄，向西收缩；在矿体尾部反映主矿体变小，可以认为勘探至此已基本控制了深部矿体。Ⅰ断面也明显的展示了“天窗”颈西倾。

应该说明，由于所取的井中磁测数据，受钻孔位置、井段、井深所限制，致使资料不够完整，所以建立的立体物理-地质模型是初步的。尽管如此，仍毕竟已提供了不少有用信息。从而得到新的启迪：如图4-35e、f西部异常的变化；图4-36Ⅲ两侧底部有一隐示负，异常等。这些都可能预示着该矿床具有进一步找矿前景的地段。

通过以上一系列找矿实例和找矿预测研究成果的讨论，已足以证明井中磁测在普查勘探磁铁矿床中具有良好的地质效果和经济效益。今后的任务是要在物理-地质模型指导下，进一步提高在解决常规地质任务中的地质解释质量，更广泛地利用地面和井

中磁测立体综合，开展群孔资料的综合研究，进行深部找矿。这就要求在井中磁测工作中大力开发应用电子计算机，并进一步提高井中磁力仪的测量精度，使其有可能探测磁性较弱的含磁性矿物的深部多金属矿床。

第五章 井中磁测的应用软件

井中磁测资料整理,需将沿井轴所测得的磁场各分量的可靠数据,根据测区正常地磁场和钻孔测斜资料,计算出磁异常垂直分量 ΔZ ,水平分量 ΔH ,水平模差 $\Delta H'$,磁异常总矢量 ΔT 于钻孔所在垂直矿体走向剖面(下称横剖面)上的投影 $\Delta T_{\perp}$,和在平行矿体走向剖面(下称纵剖面)上的投影 $\Delta T_{\parallel}$ 。并将计算结果按解释需要展示成曲线图或矢量图。再进行解释推断,为地质勘探提供参考性结论和建议。

完成上述工作,以往长期采用手工计算、手工制图。这不仅不利于井场实时解释,而且需要在室内进行繁琐的计算整理。同时,人工处理解释资料,难免引入人为误差。因此,提高井中磁测的工作效率和成果质量,其重要途径之一,是开发袖珍或微型计算机在井中磁测中的应用。采用袖珍或微型计算机对测量结果进行计算整理、绘图、分析处理与解释,将大大提高工作效率和质量。而且还可通过接口将袖珍或微型计算机与测量仪器、仪表联接起来,为实现测量、整理、解释的自动化奠定基础。为了探索袖珍或微型计算机在井中磁测工作中的应用,下面以PC-1500型袖珍计算机为例,介绍井中磁测计算、绘图、解释的应用软件。

第一节 井中磁测资料计算、绘图程序

一、资料整理步骤及成果图示格式

1. 资料整理方法

目前我国生产的井中磁力仪探头,采用偏心摆锤原理定向,以垂向和轴向两组三度坐标系装置测定沿井轴各点五个磁分量

值： X 、 Y 、 Z 、 $\mathcal{Y}$ 、 z 。只有当钻孔斜度达到某一顶角时，才能保证其定向精度，满足 Y 元件轴向与孔斜方向一致的要求，而作为斜孔处理。否则，当钻孔顶角小于该角度时，因定向不准，只能作为直孔处理。大量实践得出的资料表明，顶角 $\delta \geq 5^\circ$ 时，可当作斜孔整理资料； $\delta < 5^\circ$ 作为直孔。直孔不能由水平分量 X 、 Y 测值计算出水平磁异常的模和方向，只能算出垂直磁异常 ΔZ 和水平模差 $\Delta H'$ 。而斜孔还可算出水平磁异常 ΔH ，及其在横(纵)剖面中的投影 $\Delta H_{\perp}(\Delta H_{\rho})$ 模值，以及以各测点水平磁场 H 当作磁北的该点 Y 元件方向的视磁方位角 β' 。这些都是单孔磁异常解释中的有用参量。

(1) 直孔资料计算

测区正常地磁场为已知量，若令其垂直磁场为 Z_0 、水平磁场为 H_0 ，可由磁场各分量测值计算下述参量。

a. 磁异常垂直分量 ΔZ

垂直磁场 Z 和正常磁场垂直分量 Z_0 的方向都沿垂直坐标轴指向地心，因此可当作标量求异常值。 $\Delta Z = Z - Z_0$ 。

b. 磁场水平分量模差 $\Delta H'$

当前使用的井中磁力仪，尚未解决直孔中的定向问题。同时，即使是斜孔，也常因井斜方位资料不够准确或不齐全，而难以计算出水平磁异常 ΔH 。在这种情况下，为了充分利用井中磁测资料，可采用水平模差来近似地分析磁场特征。即以实测水平磁场的模 $H = \sqrt{X^2 + Y^2}$ 减去正常水平分量 H_0 所得之差，称为水平模差 $\Delta H' = H - H_0$ 。

$\Delta H'$ 是介于水平磁异常 ΔH 与水平磁异常的磁北分量 ΔH_N 之间的量。如图5-1。

设 H 与 H_0 夹角为 $\Delta\beta$ ，磁异常水平分量 ΔH 的磁北分量为 ΔH_N ， $\Delta H_N = H \cos \Delta\beta - H_0$ 。若将 $\Delta H'$ 视为 ΔH_N ，则其相对误差为

$$\eta = \frac{\Delta H' - \Delta H_N}{\Delta H_N} = \frac{H(1 - \cos \Delta\beta)}{H \cos \Delta\beta - H_0} \quad (5.1)$$

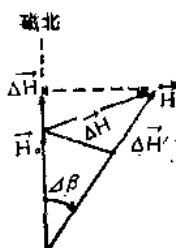


图 5-1

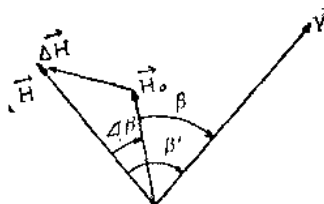


图 5-2

(5.1) 式说明，只有当矿体走向近于东西，钻孔位于矿体中部的横剖面内，或者钻孔在等轴状矿体近南北剖面中时，由于 H 与 H_0 夹角很小， $\Delta H'$ 才可近似地当作 ΔH_N ，其误差不大。在此应用条件下，直孔和斜孔均可采用 $\Delta H'$ 。

c. 磁异常总矢量 ΔT 在磁北剖面中投影的近似矢量 $\Delta T'$ ，它是 ΔZ 与 $\Delta H'$ 的合成量。

在某一确定点位， ΔZ 正值指向下方，负值指向上方； $\Delta H'$ 负值指向左（南）方，正值指向右（通常为北）方。取该点 ΔZ 与 $\Delta H'$ 合成一矢量线。其模为 $\Delta T' = \sqrt{\Delta Z^2 + (\Delta H')^2}$ 即合成矢量的大小。

d. 测点处以该点水平磁场 H 方向视为磁北的 Y 元件方向的方位角（即 H 向为起线顺时针转至 Y 元件正向的夹角） β' ，称为该点视磁方位角。如图 5-2，其中 β' 为 Y 向视磁方位角，其磁方位角为 β 。它是由于水平磁异常 ΔH 的影响而产生的磁方位角差异；

$$\Delta \beta = \beta' - \beta \quad (5.2)$$

当 ΔH 与 H_0 同向或反向时， $\beta' = \beta$ ， $\Delta \beta = 0$ 。令 H 与 Y 轴所

夹角为 α ，则 $\alpha = \tan^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right|$ ， β' 可由测值 X ， Y 及其符号按下

列四种情况计算求得（见图 5-3）。

$$\beta' = \begin{cases} \alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{X}{Y} \right| & (X < 0, Y > 0) \\ \pi - \alpha & (X < 0, Y < 0) \\ \pi + \alpha & (X > 0, Y < 0) \\ 2\pi - \alpha & (X > 0, Y > 0) \end{cases} \quad (5.3)$$

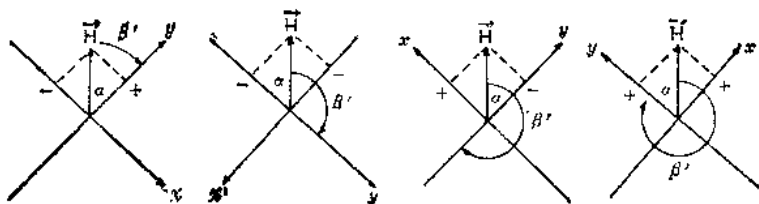


图 5-3

由于钻探以直孔钻进时不可能保证不偏，当钻孔偏离垂线至一定角度时，由此计算得出的 β' 角度将随着并轴偏离的顶角增大使得定向准确度增加而呈现一定规律性。只有顶角小于该角度时， β' 值才随意跳跃变化。因此，即使设计直孔，也有必要计算 β' 值。

c. 由观测点磁场各坐标轴向分量值，可计算出并轴顶角 δ 。

按井下仪设计，Y轴恒保持水平且指向仪器轴（置于孔中为并轴）倾斜方向；Z轴保持垂直向下，y轴与Y都在并轴倾斜面中，而且y与仪器轴垂直、z轴与仪器轴平行，如图5-4所示。其中Y与Z合成 T' ，y与z也合成 T' ，顶角 δ 是Z与z两轴所夹锐角。则有

$$\begin{aligned} \delta &= \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{Z} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{y}{z} \quad (z > 0) \\ \delta &= \pi + \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y}{Z} - \operatorname{tg}^{-1} \frac{y}{z} \quad (z < 0) \end{aligned} \quad (5.4)$$

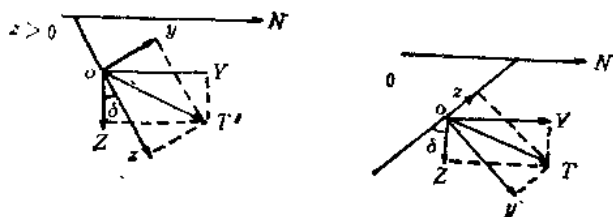


图 5-4

由于仪器的定向与顶角有关，当沿井轴算得的 β' 变化很大时， δ 必小，反之 δ 较大。因此可由 β' 与 δ 值来检验井轴的倾斜程度。

(2) 斜孔资料计算

斜孔井中磁测资料的整理，除要求收集测区正常地磁场外，还需有正确的井轴方位角和顶角。设测点处井轴磁方位角为 β ，顶角为 δ ，横剖面磁方位角为 A 。则斜孔资料按下述方法计算有关参量。

a. 磁异常垂直分量 $\Delta Z = Z - Z_0$ ，与直孔相同。

b. 磁异常水平分量 ΔH

ΔH 为磁异常在水平面中的矢量，即 H 和 H_0 的矢量差，

$$\Delta H = H - H_0 \quad (5.5)$$

其中 H 可由实测的 X 、 Y 分量合成，如图 5-5。设 Y 轴向磁方位角为 β ，正常水平磁场 H_0 在 X 、 Y 轴上的投影分别为 X_0 、 Y_0 ，则

$$X_0 = -H_0 \sin \beta \quad (5.6)$$

$$Y_0 = H_0 \cos \beta$$

水平磁场在两坐标轴上的分量差分别为

$$\Delta X = X - X_0$$

$$\Delta Y = Y - Y_0$$

$$\text{水平磁异常} \quad \Delta H = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2} \quad (5.7)$$

其磁方位角 φ 可按下式求得

$$\varphi = \beta + \theta \quad (5.8)$$

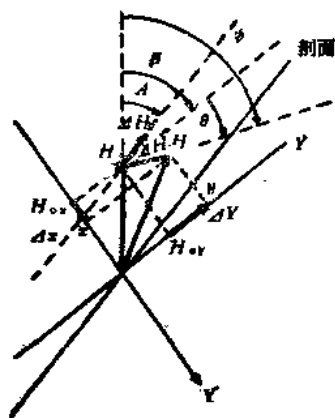


图 5-5

式中 θ 是在井轴的磁方位角基础上顺时针到 ΔH 方向的夹角。其数值由 ΔX 与 ΔY 及其符号决定。若令 ΔH 与 Y 轴所夹锐角为

$\gamma = \text{tg}^{-1} \left| \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right|$ ，则可按下列四种情况确定 θ 角：

$$\theta = \begin{cases} \gamma = \text{tg}^{-1} \left| \frac{\Delta X}{\Delta Y} \right| & (\Delta X > 0, \Delta Y > 0) \\ \pi - \gamma & (\Delta X > 0, \Delta Y < 0) \\ \pi + \gamma & (\Delta X < 0, \Delta Y < 0) \\ 2\pi - \gamma & (\Delta X < 0, \Delta Y > 0) \end{cases} \quad (5.9)$$

从而可得出 ΔH 的模值和磁方位角 φ 。

c. 磁异常水平分量 ΔH 在横剖面中的投影 $\Delta H_{\perp}$ ，在纵剖面中的投影 $\Delta H_{\parallel}$ 。可根据不同要求采用下述方法之一求得：

当需要作 ΔH 矢量图时，必须按前述求出 ΔH 模值及磁方位角 φ ，然后按下式计算出

$$\Delta H_{\perp} = \Delta H \cos(\varphi - A) \quad (5.10)$$

$$\Delta H_{\parallel} = \Delta H \sin(\varphi - A)$$

当不需求出 φ 角时，可直接由 H 和 H_0 在剖面上的投影差求

ΔZ 与 ΔH_s 的合成矢量,纵剖面取 $(A+90^\circ)$ 为正向。即取 ΔZ 为纵坐标,向下为正, $\Delta H_\perp(\Delta H_s)$ 为横坐标,右向为剖面正向,从而取其直角坐标中的合成矢量。该矢量线的起点为实测点在相应的剖面中的投影点位。

e. 钻孔弯曲状况在剖面中的投影

制作沿井轴分布的 $\Delta T_\perp(\Delta T_s)$ 矢量图时,应取相应点在剖面中的投影点位。因此,需将钻孔轴投影到剖面上,再取该投影线的点位。如图5-7。

其中设剖面磁方位为 A ,测点井段磁方位为 β ,其顶角为 δ ,井段控制长度 L 。则控制段在横剖面中的水平投影为

$$L_\perp = L \sin \delta \cdot \cos(\beta - A)$$

在纵剖面中的水平投影为

$$L_s = L \sin \delta \cdot \sin(\beta - A)$$

控制段的铅垂投影为

$$h = L \cos \delta$$

若自井口沿井轴各测点投影均以井口为0计算,即以井口为坐标原点,可取各井段值的累计数 Σh_i , $\Sigma L_{\perp i}$, ΣL_{si} ,表示出测点在相应剖面中的坐标点:横剖面中投影点为 $(\Sigma L_{\perp i}, \Sigma h_i)$,纵剖面中投影点为 $(\Sigma L_{si}, \Sigma h_i)$ 。相应剖面中投影点的联线,即为钻孔井轴在剖面中的投影。投影点即为磁异常矢量 $\Delta T_\perp$ 或 ΔT_s 的起始点。

f. 沿井轴深度顺序内插方位和顶角值

内插的计算公式可详见第三章(3.52)式。

2. 资料整理计算步骤

计算前必须准备下述已知数据

- 工区正常地磁场垂直分量 Z_0 ,水平分量 H_0 及工区地磁偏角 D ;
- 钻孔所在剖面的磁方位角 A ;
- 钻孔测斜资料;
- 沿井轴各点观测的磁场各分量值; X_i, Y_i, Z_i, y_i, z_i

e. 仪器常数 $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \epsilon_y, \epsilon_{z0}$

在已知数据备齐之后, 按直孔或斜孔两种方式的下述步骤进行。

(1) 直孔方式计算步骤

a. 输入并储存正常地磁场垂直分量值 Z_0 和水平分量 H_0 ;

b. 逐点输入 M_i 点实测数据 X_i, Y_i, Z_i, y_i, z_i (计算场强时应乘以仪器常数);

c. 计算垂直磁异常 ΔZ_i ;

d. 计算水平模差 $\Delta H'_i$;

e. 由 ΔZ_i 与 $\Delta H'_i$ 合成矢量 $\Delta T'_i$ 并计算模值 $\Delta T'_i$;

f. 计算测点所处并轴段的视磁方位角 β'_i ;

g. 计算测点所处并轴段的顶角 δ_i 。

(2) 斜孔方式计算步骤

a. 输入并储存已知量 Z_0, H_0 , 剖面磁方位角 A , 开孔磁方位 β_0 及开孔顶角 δ_1 ;

b. 按钻孔测斜深度 $m_1, m_2, m_3, \dots$ 输入深度 (m) 及相对应的磁方位角 $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ 顶角 $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \dots$;

c. 按内插式计算出观测点深度 (m) 处的磁方位角 β_m 及顶角 δ_m ;

d. 逐点输入 M_i 点实测数据 X_i, Y_i, Z_i, y_i, z_i ;

e. 计算垂直磁异常 ΔZ_i ;

f. 取 H_0 及 β_i 按式 $\Delta X_i = X_i + H_0 \sin \beta_i$

$$\Delta Y_i = Y_i - H_0 \cos \beta_i$$

计算 ΔH_i 模值 $\Delta H_i = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}$ 。并判别计算 θ_i ;

g. 计算 ΔH_i 的磁方位角 $\varphi_i = \beta_i + \theta_i$;

h. 计算 $\Delta H_{\perp i}, \Delta H_{\parallel i}$ 及 $\Delta T_{\perp i}, \Delta T_{\parallel i}$;

i. 计算钻孔弯曲在剖面中的投影坐标值 $\Sigma h_i, \Sigma L_{\perp i},$

$\Sigma L_{\parallel i}$;

j. 合成 $\Delta T_{\perp}, \Delta T_{\parallel}$ 矢量线段。

3. 成果图的展示

成果图是指根据解释的需要而绘制出一定形式的磁异常图。解释, 首先要求在资料可靠的前提下进行。因此, 成图前必须观察质量状况。

(1) 观测误差计算及要求

对于实测原始资料, 经上述方法计算后, 应将检查测定结果作相应的计算。

设矿层以外测点总数为 N ; 检查点数为 M ; 第 i 点测定或计算的始值结果为 $Z_i, H_i, \beta'_i, \delta_i$; 测定或计算的查值结果为 $Z_{i1}, H_{i1}, \beta'_{i1}, \delta_{i1}$ 。则其绝对误差为:

$$\Delta\sigma Z_i = |Z_i - Z_{i1}|; \quad \Delta\sigma H_i = |H_i - H_{i1}|$$

$$\Delta\sigma\beta'_i = |\beta'_i - \beta'_{i1}|; \quad \Delta\sigma\delta_i = |\delta_i - \delta_{i1}|$$

要求满足下列指标

a. $\frac{M}{N} \times 100 \geq 10$

b. 垂直磁场平均绝对差 $\overline{\Delta\sigma_z} = \frac{1}{M} \sum \Delta\sigma_{zi} \leq 250 \text{ nT}$

c. 水平磁场平均绝对差 $\overline{\Delta\sigma_H} = \frac{1}{M} \sum \Delta\sigma_{Hi} \leq 450 \text{ nT}$

d. 井斜方位平均绝对差 $\overline{\Delta\sigma_{\beta'}} = \frac{1}{M} \sum \Delta\sigma_{\beta'i} \leq 5^\circ$

e. 井斜顶角平均绝对差 $\overline{\Delta\sigma_{\delta}} = \frac{1}{M} \sum \Delta\sigma_{\delta i} \leq 0.5^\circ$

认为质量符合要求, 才可进行绘图和解释。否则需返工重测。

(2) 成果图式示意

经检查质量合格的实测原始资料, 以直孔或斜孔方式计算之后, 可按图5-8示意的形式展示出成果图。

(3) 成果图名称、绘制及主要用途

a. ΔZ (磁异常垂直分量) 曲线图

以深度为纵坐标, ΔZ 值为横坐标, 正常垂直磁场为零线,

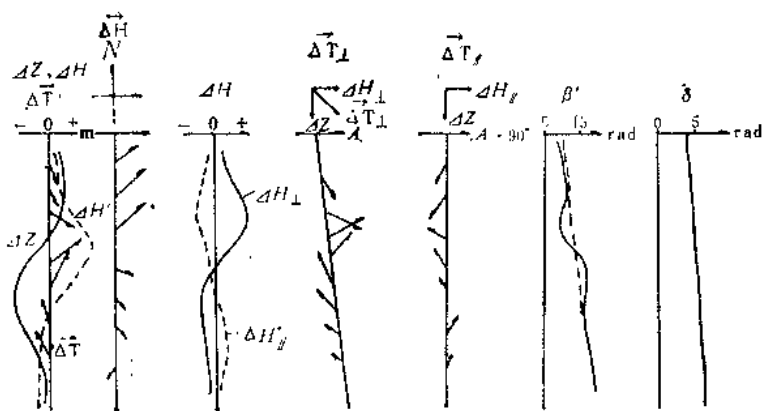


图 5-8

左负右正取值，沿深度展点，联成曲线。负值表示 ΔZ 向上，正值表示 ΔZ 向下。通常用来作定性和半定量解释。

b. $\Delta H'$ (水平模差) 曲线图

表示方式与 ΔZ 曲线相同。以 H_0 为零线，横坐标为 $\Delta H'$ ，右正左负取值，沿深度展点联成曲线。在一定应用条件下，负值表示 ΔH 偏向南，正值通常认为 ΔH 偏向北（但当 $\Delta H \neq 0$ 且 $\sqrt{\Delta H^2 + H_0^2} \geq H > H_0$ 时除外）。常用来与 ΔZ 曲线综合判断矿体与井轴相对位置。只用作定性解释，或在特定条件下作半定量解释。

c. $\Delta T'$ (磁异常于磁北剖面的近似投影) 矢量图。

$\Delta T'$ 是在 $\Delta H'$ 应用前提下与 ΔZ 的合成量。由此沿井轴深度取相应点的 ΔZ 和 $\Delta H'$ 合成矢量线所组成的向线簇，近似地反映着总矢量 ΔT 在磁北剖面中投影沿井轴分布的特征。通常用作直孔中资料的矢量解释。

d. β' (视磁方位) 曲线图

以深度为纵坐标，计算的视磁方位角 β' 为横坐标，右向为角度增大方向，沿深度取 β' 值展点联成曲线。它表征着在井轴磁方

位的基础上, 叠加了 ΔH 方向引起的方位差异沿井轴的变化情况。当 β' 曲线某段大于该段磁方位 β 时, 为正 $\Delta\beta(\beta' - \beta > 0)$ 异常, 对应着 ΔH 指向偏西; 反之为负 $\Delta\beta(\beta' - \beta < 0)$ 时, 表示 ΔH 指向偏东。因此, 常用来结合 $\Delta T'$, $\Delta T_{\perp}$ 作矿体定位解释。

e. 井轴顶角 δ 曲线图

表示方式与 β' 曲线相同。它表示井轴顶角沿深度变化的状况。因仪器定向精度与顶角有关, 顶角增大, 定向精度增高。顶角大小可以判断 β' 的准确性, 从而分辨磁方位异常 $\Delta\beta$ 存在的可靠程度; 同时还可据此判定作为斜孔处理的井段部位。一般不用作为附图。

f. $\Delta T_{\perp}(\Delta T_{\parallel})$ 为磁异常总矢量在横(纵)剖面中的投影矢量图,

该图采用剖面矢量图形式表示, 以 ΔZ 取纵坐标上的投影值, $\Delta H_{\perp}(\Delta H_{\parallel})$ 为横坐标值, 起始点位为钻孔井轴在剖面中的投影点, 取 ΔZ 与 $\Delta H_{\perp}$ (或 $\Delta H_{\parallel}$) 的合成矢量线。若以井口为坐标原点, 建立剖面方向水平线为横坐标轴, 垂直深度为纵坐标轴的直角坐标系, 则 i 点处的 $\Delta T_{\perp}$ 矢量线段为 $(\Sigma L_{\perp}, \Sigma h)$ 至 $[(\Sigma L_{\perp} + \Delta H_{\perp}), (\Sigma h + \Delta Z)]$ 两点的连线; $\Delta T_{\parallel}$ 矢量线段为 $(\Sigma L_{\parallel}, \Sigma h)$ 至 $[(\Sigma L_{\parallel} + \Delta H_{\parallel}), (\Sigma h + \Delta Z)]$ 两点的连线, 其中应统一长度(m)比例和磁场强度比例(nT)。该矢量图能形象地描述磁性体产生的磁力线在剖面上的分布。主要用来配合 ΔZ 曲线判断矿体的空间位置, 并常用矢量解释法作半定量解释, 和用于判断井底或井底旁盲矿。

g. ΔH 为磁异常水平分量沿井轴测点上的平面矢量图。系采用平面剖面图的形式, 将实测磁场的水平分量 H 与正常水平分量 H_0 的矢量差 $\Delta H = H - H_0$, 沿井轴各测点的点位上, 以平面矢量图形式表示出来。作图时, 规定图纸上方为磁北方向, 在井轴深度点位上取相应的水平磁异常 ΔH 的方位角 φ , 再按选定的强度比例取 ΔH 模值, 并画出其指向箭头, 即展示出磁异常水平分量 ΔH 在该点的平面分布。按此沿深度各点一一作图, 得出井

轴上各点的 ΔH 分布状况,称为井中磁测 ΔH 矢量图。

由于目前井斜方位的测定精度较低,由式(5.6)和式(5.10)可知,井斜方位角 β 是直接影响水平异常方位角 φ 和水平磁异常模值 ΔH 的主要量值之一。因此, ΔH 矢量图准确度较差,只能粗略地用来定性判断矿体与钻孔的相对位置。同时,由于斜孔中各深度实际点位偏离井口的水平面坐标点位较远并逐点不同,因此,分析 ΔH 矢量图作定位解释时应考虑这一因素。

4. 对成果图的简略分析

在获得可靠的成果资料基础上,将超过观测平均误差三倍的异常值定为可靠异常。对于可靠异常,需进一步分辨矿异常和非矿异常。非可靠异常和非矿异常都不需要进行下步的解释,只有对矿异常资料才转入解释程序。因此,在井场必须对成果图进行简略分析,区分矿与非矿异常。

(1) 矿异常的基本特征

通常井周旁侧矿体产生的磁异常 ΔZ , ΔH 曲线,变化明显,具有规律,强度较大; $\Delta T_{\perp}$ 或 $\Delta T'$ 矢量的大小和指向均呈规则地变化,表现出明显或较明显收敛或发散趋势。

(2) 磁性岩异常的基本特征

当钻孔从非磁性体岩层穿过磁性岩层时, ΔZ 曲线呈上正下负反“S”形,进入磁性岩层后为负值内磁场, ΔH 为正值,异常强度小,曲线不规则,多呈锯齿状; $\Delta T_{\perp}$ 或 $\Delta T'$ 矢量大小和方向变化无规律;在界面上 ΔZ 跳跃近似等于 $4\pi J_{\perp}$ ($J_{\perp}$ 为磁性岩的有效磁化强度)。

二、程序的功能、框图及说明

1. 程序功能

本程序用于现场或室内井中磁测资料计算及绘图。其主要功能是:

- (1) 打印图头标号,测量日期,矿区名称,钻孔编号等。
- (2) 按测点深度顺序列表打印原始观测值。
- (3) 检查观测质量,当质量符合规范要求时才进行资料计

算及绘图；否则，将打印“Sorry Redo”告知质量不合要求，需返工重测。

(4) 按直孔或斜孔数据计算方法步骤分别计算以下参量：

直孔： ΔZ 、 $\Delta H'$ 、 $\Delta T'$ 、 β' 、 δ 。

斜孔： ΔZ 、 $\Delta H'$ 、 $\Delta T'$ 、 β' 、 δ 、 ΔH 、 $\Delta H_{\perp}$ 、 $\Delta H_{//}$ 、 $\Delta T_{\perp}$ 、 $\Delta T_{//}$ 矢量和模值，并按深度顺序列表打印上述计算结果。

(5) 根据参量计算结果按实际孔斜坐标绘制出直孔或斜孔的各种曲线图和矢量图。

直孔： ΔZ 、 $\Delta H'$ 及 $\Delta T'$ 曲线图

$\Delta T'$ 矢量图

β' 、 δ 曲线图

斜孔： ΔZ 、 $\Delta H'$ 曲线图

$\Delta H_{\perp}$ 或 $\Delta H_{//}$ 曲线图

ΔH 矢量图

$\Delta T_{\perp}$ 或 $\Delta T_{//}$ 矢量图

$\Delta T_{\perp}$ 或 $\Delta T_{//}$ 曲线图

β' 曲线图

上述图件的纵、横比例尺可由用户任选。

(6) 在现场需要对已发现的矿异常解释时，可将本程序直接链接解释程序BHMCI。

2. 程序主要标识符说明

(1) 图头标识符说明

A\$——字符串变量，测量日期

B\$——字符串变量，矿区名称

C\$——字符串变量，勘探线号

D\$——字符串变量，钻孔编号

E\$——字符串变量，仪器型号

E_x 、 E_y 、 E_z 、 E_{y1} 、 E_{z1} ——井中磁力仪各元件格值

A——勘探剖面磁方位角

H_0 ——矿区正常地磁场水平分量值

Z_0 ——矿区正常地磁场垂直分量值

D ——矿区磁偏角值

B_0 ——开孔方位角

D_0 ——开孔顶角

$F\$$ ——字符串变量：操作员姓名

(2) 原始数据的标识符说明

N ——观测点数

$H(N-1)$ ——数组，各测点所对应深度

$X(N-1)$ ——数组，各测点 X 分量测值

$Y(N-1)$ ——数组，各测点 Y 分量测值

$Z(N-1)$ ——数组，各测点 Z 分量测值

$Y_1(N-1)$ ——数组，各测点 y 分量测值

$Z_1(N-1)$ ——数组，各测点 z 分量测值

K ——斜孔计算时的测斜点数

$L(K-1)$ ——数组，各测斜点对应的深度

$B_0(K-1)$ ——数组，各测斜点对应方位角

$D_0(K-1)$ ——数组，各测斜点对应的顶角

(3) 计算结果的标识符说明

$D_z(N-1)$ ——数组，各测点磁异常垂直分量 ΔZ 计算值

$D_H(N-1)$ ——数组，各测点磁异常水平分量模差 $\Delta H'$ 计算值

$D_T(N-1)$ ——数组，各测点磁异常总矢量的磁北剖面投影近似模值 $\Delta T'$

$H_N(N-1)$ ——数组，各测点 $\Delta H_{\perp}$ 计算值

$H_s(N-1)$ ——数组，各测点 $\Delta H_{\parallel}$ 计算值

$B_1(N-1)$ ——数组，各测点 β' 计算值

$D_1(N-1)$ ——数组，各测点 δ 计算值

$B(N-1)$ ——数组，各测点内插法计算的方位角 β

$D(N-1)$ ——数组，各测点内插法计算的顶角 δ

M ——检查观测点数

S_z ——垂直磁场平均绝对误差 $\overline{\Delta\sigma Z}$

S_H ——水平磁场平均绝对误差 $\overline{\Delta\sigma H}$

S_θ ——视磁方位平均绝对误差 $\overline{\Delta\sigma\theta'}$

S_δ ——测算顶角平均绝对误差 $\overline{\Delta\sigma\delta}$

(4) 控制转向开关的标识符说明

$Z\$$ ——字符串变量：控制直孔或斜孔方式计算的转向开关

若 $Z\$ = "V"$ 作直孔计算

若 $Z\$ = "I"$ 则作斜孔计算

E ——直孔控制转向开关。若 $E=0$ ，结束

$E=1$ 调用 ΔZ ， $\Delta H'$ 绘图子程序

$E=2$ 调用 $\Delta T'$ 模绘图子程序

$E=3$ 调用 $\Delta T'$ 绘图子程序

$E=4$ 调用 β' 绘图子程序

F ——斜孔控制转向开关。若 $F=0$ ，结束

$F=1$ 调用 ΔZ ， $\Delta H'$ 绘图子程序

$F=2$ 调用 ΔH_1 ， ΔH_2 绘图子程序

$F=3$ 调用 $\Delta T'$ 模绘图子程序

$F=4$ 调用 ΔT_1 绘图子程序

$F=5$ 调用 ΔT_2 绘图子程序

$F=6$ 调用 ΔH 绘图子程序

$F=7$ 调用 β' 绘图子程序

3. 程序框图及结构

本程序英文缩写名取 $BHMC P$ 。它由1个主程序与8个子程序组成，基本结构如图5-9

(1) $BHMC P$ 主程序

它是本程序的核心部分，起以下作用

a. 输入图头数据，列表打印图头

b. 输入并列表打印原始观测数据

c. 控制是否进行质量检查

d. 以人机对话形式选择作直孔或斜孔计算

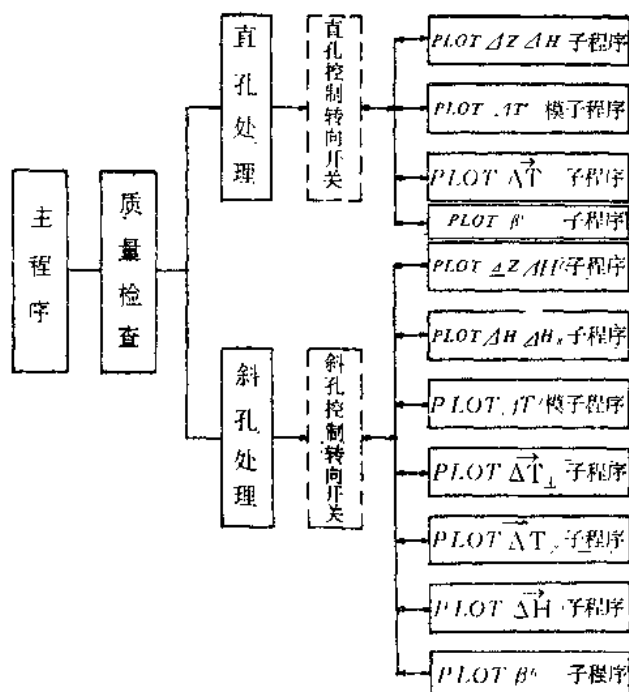


图 5-9

e. 控制是否链接 BHMCI 解释程序, 其程序框图如图 5-10

(2) BHMCP 子程序

a. $PLOT \Delta Z, \Delta H'$ 子程序, 用于对直孔或斜孔绘制 ΔZ , $\Delta H'$ 曲线图

b. $PLOT \Delta T'$ 或 $\Delta T_{\perp}$ 子程序, 用于对直孔或斜孔绘制 ΔT 模曲线图; $PLOT \beta'$ 子程序用于绘制 β' 曲线

c. $PLOT \Delta H_{\perp}, \Delta H_{\parallel}$ 子程序, 用于对斜孔绘制 $\Delta H_{\perp}, \Delta H_{\parallel}$ 曲线图

d. $PLOT \Delta T_{\perp}$ 子程序, 用于对斜孔绘制 $\Delta T_{\perp}$ 矢量图

e. $PLOT \Delta T_{\parallel}$ 子程序, 用于对斜孔绘制 $\Delta T_{\parallel}$ 矢量图

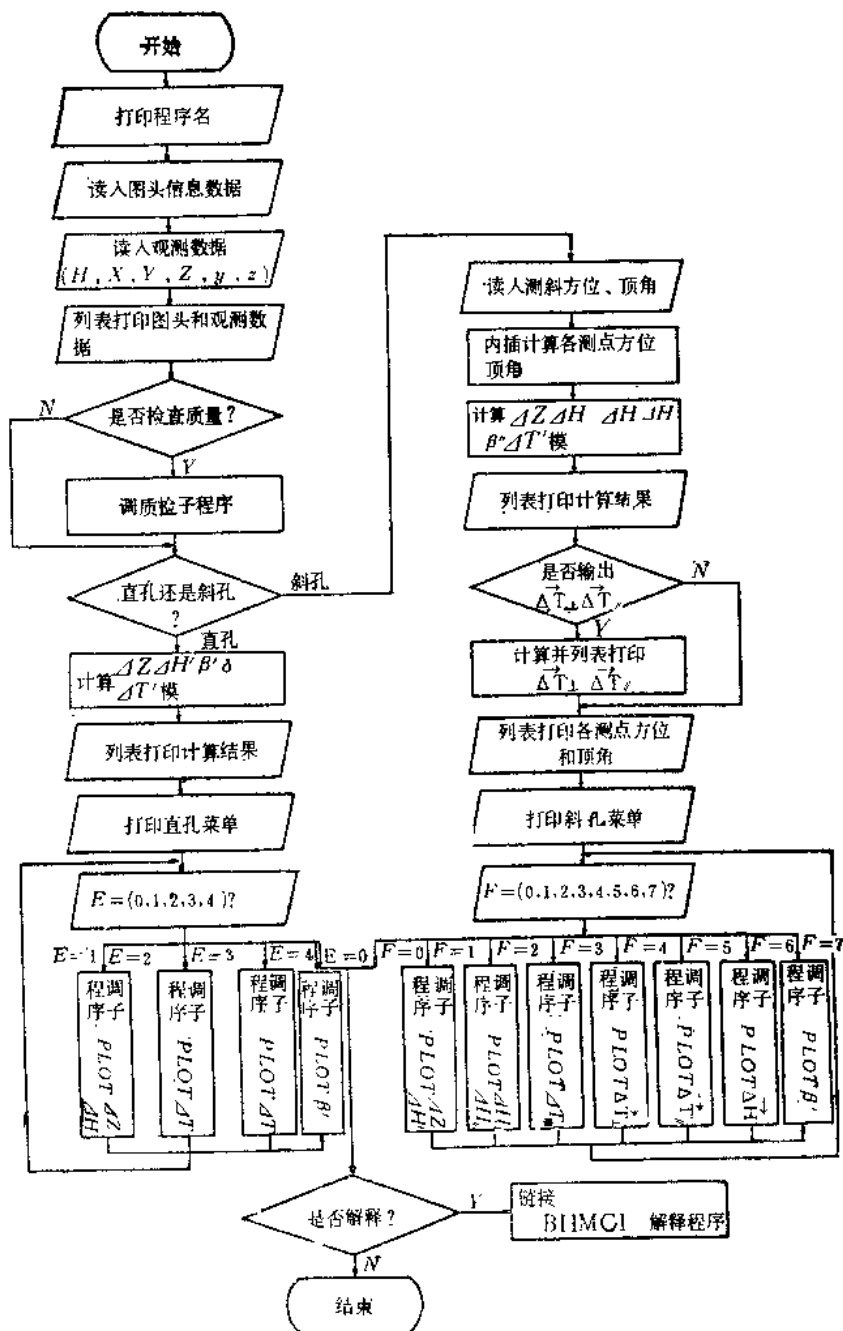


图 5-10

f. $PLOT \Delta H$ 子程序, 用于对斜孔绘制 ΔH 矢量图

g. $PLOT \Delta T'$ 子程序, 用于对直孔绘制 $\Delta T'$ 矢量图

h. 质量检查子程序,⁶用于检查观测质量, 计算并打印出质量检查结果, 计算机将根据质量检查情况, 自动判别是否满足规范要求, 若已满足, 即往下执行资料计算及绘图, 否则, 将提示用户返工重测。其框图如图5-11

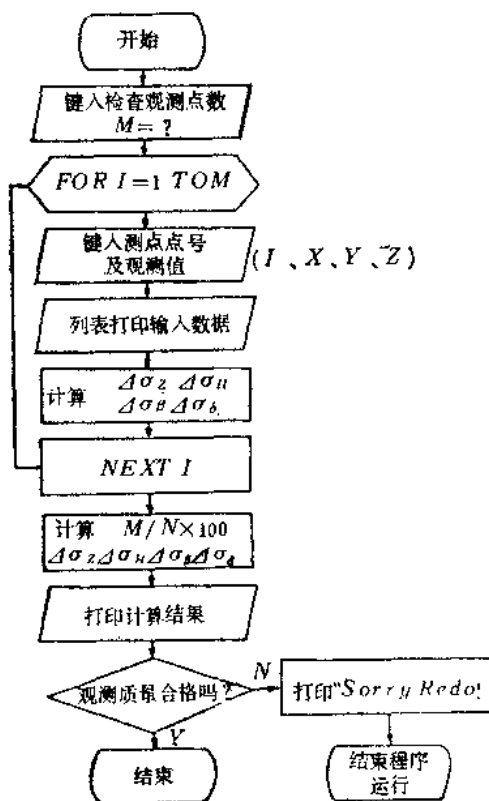


图 5-11

最后要指出, 上列的仅是本程序中8个主要的子程序。实际共包括28个子程序, 这是因为程序中有许多井中磁测的专用符号,

以及一些共用部分，如钻孔图头，比例尺输入，打印及矢量箭头等，这些均单独编为子程序，以便随时调用、压缩程序使其简化。

三、程序评价

程序的功能齐全，灵活性大，简便，快速。经几个矿区的实践，它完全能满足在现场或室内进行井中磁测资料计算和绘图。使用本程序彻底摆脱了原来井中磁测工作用繁琐的手工作业进行资料计算和绘图，把现场与室内作业分离，不能及时提供地质信息的工作状态。目前尚存在的问题是，受PC-1500袖珍机内存和打印机纸带宽度（54mm）的限制，对深度大于400m的钻孔，特别是斜孔的计算绘图只能分段进行。因此，为了实现井中磁测数据采集、资料计算和绘图的数字化，今后应采用能满足孔深1000m的微机型号、用本程序实现其计算和绘图自动化。

第二节 简单规则磁性体的 井场实时解释程序

井中磁测的主要地质任务是发现井旁盲矿，预报井底矿体，并确定其相对于钻孔的位置。井场要求迅速确定是加深钻进还是停钻，同时为下一步施工设计孔位。其解释内容主要包括分辨井旁、井底盲矿异常；预报井底见矿深度；确定井旁盲矿深度、距离和方位；以及估计矿体产状和延伸。

一、井场解释步骤及方法原理

对井中磁测获得的矿异常进行解释，首先应判定属井底还是井旁盲矿。对底部异常，需区分井底或井底旁矿，并估算井底矿的见矿井深；对井旁矿异常应进行定位解释。

1. 判定井旁或底部矿异常

（1）井旁盲矿异常的主要特征

a. 钻孔未见矿， ΔZ 曲线呈现上下两个零值点，是旁侧异常（如图5-12a）特征之一。

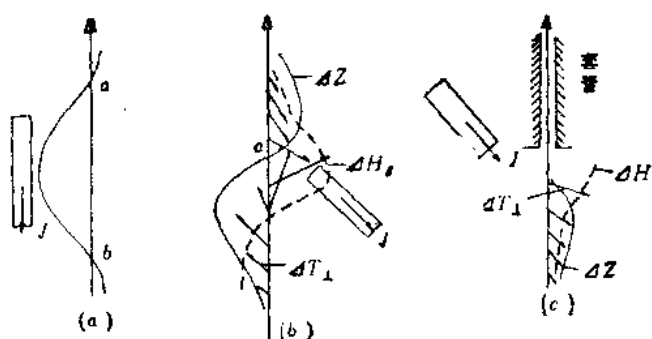


图 5-12

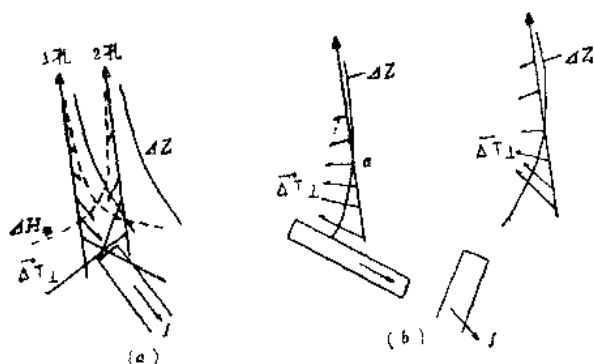


图 5-13

b. ΔZ 曲线虽然只出现一个上部零值点,但 $\Delta H_{\perp}$ (或 $\Delta H'$)曲线出现零点,且 $\Delta T_{\perp}$ (或 $\Delta T'$)矢量呈收敛和发散的指向相反,这是旁侧异常 (如图5-12b)

c. 钻孔所下套管较深, ΔZ 曲线为正异常, $\Delta T_{\perp}$ (或 $\Delta T'$)矢量呈发散状,说明井旁盲矿体在 ΔZ 正异常上部旁侧 (如图5-12c)

(2) 井底盲矿异常主要特征

a. ΔZ 曲线只出现上部正异常, $\Delta T_{\perp}$ (或 $\Delta T'$)矢量呈收敛

状，是井底或井底旁盲矿异常（如图5-13a）

b. ΔZ 曲线为出现上部零值点的负异常， $\Delta T_{\perp}$ （或 $\Delta T'$ ）矢量呈收敛状，是井底或井底旁盲矿异常（如图5-13b）

2. 用底部异常预报井底或井底旁盲矿

（1）预报标志

以 AZ （或 $\Delta T_{\perp}$ ）曲线和 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向，结合矿区内已知矿体倾向作为预报依据，判定钻孔是否要加深。

a. 盲矿体北倾时（见图5-14a），无论 ΔZ 曲线为正张口或负张口，当 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向北，都为井底旁盲矿异常，钻孔不必加深。当 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向南则为井底盲矿，钻孔应加深，加深后可见矿。

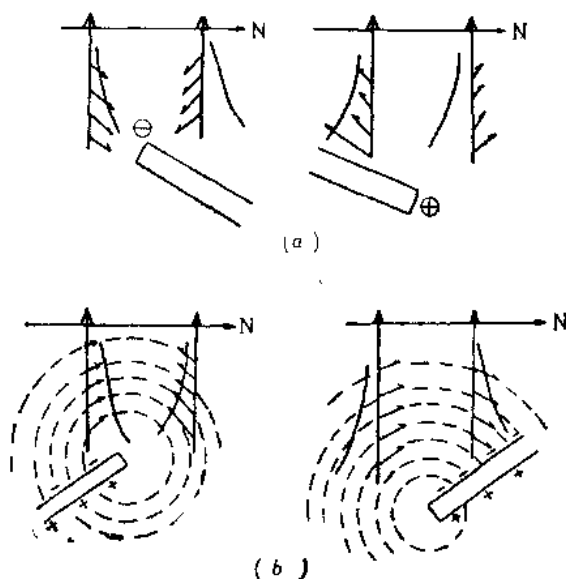


图 5-14

b. 盲矿体南倾时（图5-14b），无论 $\Delta T_{\perp}$ 矢量指向是南或是北， ΔZ 曲线负张口为井底旁异常，钻孔不必加深； ΔZ 曲线正张口则为井底盲矿异常，钻孔加深可见矿。

由此可见, 预报井底盲矿的主要标志是: 北倾盲矿应看 $\Delta T_{\perp}$ 指向南; 南倾盲矿则看 ΔZ 曲线为正张口, 当 ΔZ 曲线预报灵敏度不高时, 应利用 $\Delta T_{\perp}$ 曲线。

(2) 估算见矿深度

当根据预报标志已判定是井底盲矿后, 进一步的工作是, 估算钻孔加深后可能的见矿深度。但对于不同形状矿体应采用不同的估算方法。当前估算井底盲矿深度的方法, 都假定钻孔是打在矿顶的正上

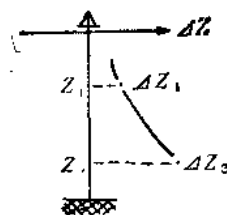


图 5-15

方, 实际中不一定能满足这样的条件, 因此, 必然带来估算误差, 以下介绍一些常用的简便方法, 供实际解释中参考。

a. 任意点比值法 (如图5-15)

任取 ΔZ 曲线上两点, 其值为 ΔZ_1 , ΔZ_2 , 相应纵坐标为 z_1 和 z_2 。令 z_1 与 z_2 间距离为 d , 就可按下式计算出 z_1 值

$$z_1 = \frac{d \cdot \Delta Z_2}{\Delta Z_1 - \Delta Z_2}$$

则预计见矿井深为

$$h = m_1 + |z_1| = m_1 + \left| \frac{(m_1 - m_2) \Delta Z_2}{\Delta Z_1 - \Delta Z_2} \right| \quad (5.12)$$

式中 m_1 为 ΔZ_1 值对应井深, m_2 为 ΔZ_2 处对应井深。

b. 切线法 (如图5-16)

薄板 (图中a)

在 ΔZ 曲线上任取一值 ΔZ_{m_1} , 其井深为 m_1 。过 ΔZ 曲线上的 ΔZ_{m_1} 点作切线, 交井轴线于 m_2 点, m_2 点井深处对应的 ΔZ 值为 ΔZ_{m_2} , 则 m_1 处至薄板顶端距离等于 $m_1 - m_2$, 令 $m_1 - m_2 = r$ 。 m_2 处至薄板顶端距离为 $2r$ 。

由第三章已知, 顺层磁化薄板的磁场垂直分量为

$$\Delta Z = \frac{-2Iz}{x^2 + z^2}$$

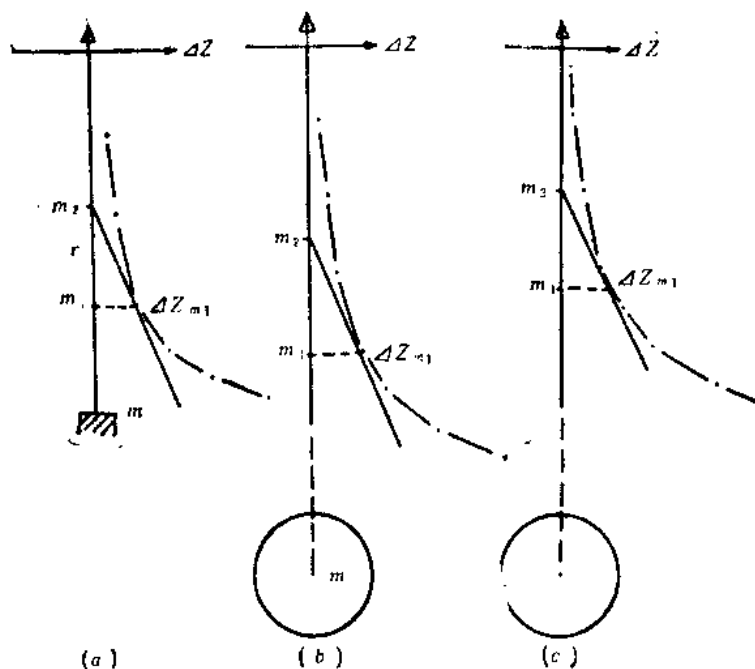


图 5-16

当钻孔打在矿顶正上方时 $x = 0$,

$$\Delta Z = \frac{-2\lambda}{x}$$

可见

$$\Delta Z_{m_1} = -\frac{2\lambda}{r}$$

$$\Delta Z_{m_2} = -\frac{2\lambda}{2r}$$

$$\frac{\Delta Z_{m_1}}{\Delta Z_{m_2}} = 2 \quad \text{或} \quad \Delta Z_{m_2} = \frac{1}{2} \Delta Z_{m_1}$$

因此, 可通过 $\frac{1}{2} \Delta Z_{m_1}$ 值, 找出 ΔZ_{m_2} 处对应的 m_2 点。

估算见矿深度的具体步骤是：取 ΔZ_{m_1} , $\frac{1}{2}\Delta Z_{m_1}$ 值，两点对应的井深分别为 m_1 、 m_2 。 m_2 与 ΔZ_{m_1} 点的连线即为 ΔZ 曲线上过 ΔZ_{m_1} 点的切线，见薄板矿上顶埋深为

$$h = 2m_1 - m_2 \quad (5.13)$$

同时也可用几何作图法求，这时以 m_1 点为圆心， $r = m_1 - m_2$ 为半径作圆，圆弧与井轴延长线相切点即为薄板矿上顶位置。

水平圆柱体（图中 b ）

在 ΔZ 曲线上任取一点按上述同样方法作切线，则水平圆柱体切面中心的深度为

$$h = 3m_1 - 2m_2 \quad (5.14)$$

式中 m_2 为 ΔZ_{m_2} 对应的井深， $\Delta Z_{m_2} = \left(\frac{2}{3}\right)^2 \Delta Z_{m_1}$

球体（图中 c ）

同理，球体切面中心的深度为

$$h = 4m_1 - 3m_2 \quad (5.15)$$

式中 $\Delta Z_{m_2} = \left(\frac{3}{4}\right)^2 \Delta Z_{m_1}$ ，对应井深为 m_2 。

c. 半强度法或圆心角法（如图 5-17）

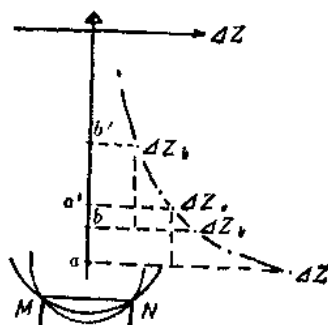


图 5-17

该方法适用于对顺层磁化无限延深厚板估算其见矿深度和宽度。

其具体步骤是：在 ΔZ 曲线上任取两值 ΔZ_a 、 ΔZ_b ，对应于井轴 a 、 b 两点，再取 $\Delta Z'_a = \frac{1}{2}\Delta Z_a$ 和 $\Delta Z'_b = \frac{1}{2}\Delta Z_b$ 两点，对应于井轴 a' 、 b' 点。然后分别以 a 、 b 点为圆心， $\overline{aa'}$ 、 $\overline{bb'}$ 为半径向下画两圆弧，两圆弧相交于 MN 两点，则 $\overline{MN}$ 联线即为厚板矿顶位置和宽度。

应该指出，不管是那一种形状的井底盲矿体，当用 ΔZ 曲线预报的灵敏度不高时，就应采用 $\Delta T_{\text{模}}$ 曲线，其优点是受钻孔与矿顶相对位置的变化影响小，且与磁化方向无关（见第三章）。

3. 利用内磁场确定产状

当钻孔穿透两端头为无限延伸的板状矿层时，可由矿层内井段观测的内磁场确定其产状，其原理是基于，在消除（或校正）了各种影响因素后，板状矿层内的内磁场 $\Delta T_{\text{内}}$ ，矢量应处处垂直于板面。因此，只要求出 $\Delta T_{\text{内}}$ ，即可确定矿层产状。

（1）在斜孔中计算矿层的倾向 ϕ 和倾角 α

令过矿层井段实测的三分量值为 X 、 Y 、 Z ，该段顶角 δ ，矿层磁化率为 κ ，并设消除井壁磁场影响后的值为 x_1 、 y_1 、 z_1 ，则

$$\begin{aligned} X_1 &= \left(\frac{1 + 2\pi\kappa}{1 + 4\pi\kappa} \right) x \\ Y_1 &= \left[1 - \frac{2\pi\kappa}{1 + 4\pi\kappa} \cdot \cos\delta \left(\cos\delta + \frac{z}{y} \sin\delta \right) \right] y \\ Z_1 &= \left[1 - \frac{2\pi\kappa}{1 + 4\pi\kappa} \cdot \sin\delta \left(\sin\delta + \frac{y}{z} \cos\delta \right) \right] z \end{aligned} \quad (5.16)$$

由此可求得内磁场异常三个分量值：

$$\begin{aligned} \Delta X_{\text{内}} &= x_1 - x_0 \\ \Delta Y_{\text{内}} &= y_1 - y_0 \\ \Delta Z_{\text{内}} &= z_1 - z_0 \end{aligned} \quad (5.17)$$

式中 x_0 、 y_0 、 z_0 分别是正常地磁场三个分量值。

于是

$$\Delta T_{\rho} = \Delta X_{\rho} + \Delta Y_{\rho} + \Delta Z_{\rho} \quad (5.18)$$

应垂直于矿层面，据此可算出矿层的倾向和倾角。

设 ΔH_{ρ} 的方位角为 φ_2 ，并段方位角 β ，令 ΔH_{ρ} 与Y轴所夹锐角 $\gamma_1 = \operatorname{tg}^{-1} \left| \frac{\Delta X_{\rho}}{\Delta Y_{\rho}} \right|$ ，则

$$\varphi_2 = \beta + \begin{cases} \gamma_1 & (\Delta X_{\rho} > 0, \Delta Y_{\rho} > 0) \\ \pi - \gamma_1 & (\Delta X_{\rho} > 0, \Delta Y_{\rho} < 0) \\ \pi + \gamma_1 & (\Delta X_{\rho} < 0, \Delta Y_{\rho} < 0) \\ 2\pi - \gamma_1 & (\Delta X_{\rho} < 0, \Delta Y_{\rho} > 0) \end{cases} \quad (5.19)$$

φ_2 方位即为矿层倾向，其倾角则可用下式求得

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \frac{\Delta H_{\rho}}{\Delta Z_{\rho}}$$

(2) 在直孔中计算矿层倾角

$$\begin{aligned} \alpha &= \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\left(\frac{1+2\pi\kappa}{1+4\pi\kappa} \sqrt{x^2 + y^2} - H_0 \right)}{(z - z_0)} \right] \\ &\approx \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\left(\frac{1}{2} \sqrt{x^2 + y^2} - H_0 \right)}{(z - z_0)} \right] \end{aligned} \quad (5.20)$$

4. 估计矿体形状和产状

对于井旁盲矿异常，首先需估计所发现矿体的形状，以便采用与其相适应的解释公式和方法。通常可采用磁异常曲线某些特征点参数或外磁场特征来估定矿体形状与产状。而井场还可采用较为直观的 ΔZ — ΔH 参量图，并结合已知地质资料综合确定。

(1) ΔZ — ΔH 参量图图示格式

ΔZ — ΔH 参量图是一种用直角坐标系表示钻孔轴上 ΔZ 与 ΔH 的关系图（以下简称参量图）。取 ΔH 为横坐标， ΔZ 为纵坐标，将测算的 ΔZ_i 、 ΔH_i 结果展示出坐标点，并联成闭合线（如图5-18）

(2) 简单规则体的参量图形

形状不同的磁性体外，钻孔中的 ΔZ 、 ΔH 关系，具有不同的

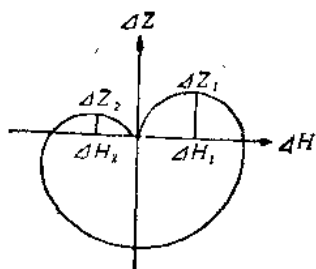


图 5-18

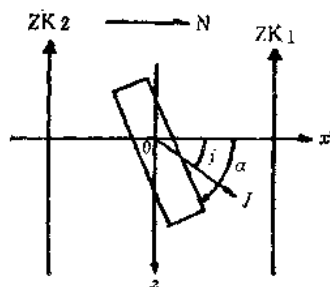


图 5-19

形体	无限延深		有限延深	
	顺层磁化	斜磁化	顺层磁化	斜磁化
薄板				
厚板				
球体	垂直磁化 	斜磁化 	斜磁化 	斜磁化
水平圆柱体	垂直磁化 	斜磁化 	斜磁化 	斜磁化

图 5-20

特征，参考其特征可估定引起磁异常的等效磁性体的形状。为此，可用图5-19来说明矿体产状，磁化状况与钻孔位置间的关系。

图中X轴指北、 ΔH 沿X轴向为正。Z轴指向下， ΔZ 沿Z轴向为正。矿体倾角 α ，磁化倾角为 i 。当 $x > 0$ 时，钻孔在偏北侧（如ZK1）， $x < 0$ 时钻孔在偏南侧（如ZK2）。

a. 由参量图对称轴与 ΔH 轴所夹锐角定 $\alpha-i$ 值

b. 根据对称轴所在象限判定 $\alpha-i$ 的符号:

当对称轴在 I, III 象限时, $\alpha-i > 0$; 对称轴在 II 象限时, $\alpha-i < 0$ 。

c. 由已知的或用其它方法估算的 i 定 α 。

5. 旁侧异常的特征点解释法

确认存在旁侧异常后, 为了更准确地推断矿体的形状、位置、产状等要素, 可根据地质资料结合参量图, 估定形状之后, 再采用不同形状的公式来进行定位和产状要素的解释。现将四种规则形体的解释方法简述如下。

(1) 无限延深薄板

a. 求埋深 h

矿顶埋深 h 处应是坐标原点, 因此, 可通过找出原点处的磁场强度 $\Delta Z_{(0)}$, $\Delta H_{(0)}$ 求得

$$\Delta Z_{(0)} = \Delta Z_{\max} + \Delta Z_{\min} \quad (5.21)$$

或

$$\Delta H_{(0)} = \Delta H_{\max} + \Delta H_{\min}$$

求得 $\Delta Z_{(0)}$, $\Delta H_{(0)}$ 值, 再从曲线上找出其对应的井深, 即是矿顶埋深 h 。

b. 求矿头(尾)中心至钻孔距离 d

令 ΔZ 、 ΔH 曲线极值点坐标分别为 $Z_{\Delta Z_{\max}}$, $Z_{\Delta Z_{\min}}$, $Z_{\Delta H_{\max}}$, $Z_{\Delta H_{\min}}$ 。则

$$d^2 = -Z_{\Delta Z_{\max}} \cdot Z_{\Delta Z_{\min}} \quad (5.22)$$

或

$$d^2 = -Z_{\Delta H_{\max}} \cdot Z_{\Delta H_{\min}}$$

c. 用特征点坐标确定矿体倾角 α 与剖面内的有效磁化倾角 i 之差($\alpha-i$)

当 $d > 0$ 时

$$\sin(\alpha-i) = \frac{Z_{\Delta Z_{\max}} + Z_{\Delta Z_{\min}}}{Z_{\Delta Z_{\max}} - Z_{\Delta Z_{\min}}} \quad (5.23)$$

$$\begin{aligned}\cos(\alpha-i) &= \frac{Z_{\Delta H_{\max}} + Z_{\Delta H_{\min}}}{Z_{\Delta H_{\max}} + Z_{\Delta H_{\min}}} \\ d < 0 \text{ 时} \\ \sin(\alpha-i) &= \frac{Z_{\Delta Z_{\min}} + Z_{\Delta Z_{\max}}}{Z_{\Delta Z_{\min}} - Z_{\Delta Z_{\max}}} \\ \cos(\alpha-i) &= \frac{Z_{\Delta H_{\min}} + Z_{\Delta H_{\max}}}{Z_{\Delta H_{\min}} - Z_{\Delta H_{\max}}}\end{aligned} \quad (5.24)$$

d , 求半宽度 b

当 $d > 0$ 时,

$$b = \frac{\Delta Z_{\max} \cdot d}{2f \sin \alpha} \cdot \frac{1 + \sin(\alpha-i)}{(\alpha-i)} \quad (5.25)$$

或

$$b = \frac{\Delta H_{\max} \cdot d}{2f \sin \alpha} \cdot \frac{1 + \cos(\alpha-i)}{\sin^2(\alpha-i)}$$

$d < 0$ 时

$$b = \frac{\Delta Z_{\max} \cdot d}{2f \sin \alpha} \cdot \frac{\sin(\alpha-i) - 1}{\cos^2(\alpha-i)} \quad (5.26)$$

或

$$b = \frac{\Delta H_{\max} \cdot d}{2f \sin \alpha} \cdot \frac{\cos(\alpha-i) - 1}{\sin^2(\alpha-i)}$$

(2) 无限延深厚板

a. 求埋深 h

其求法与薄板时相同

b. 求矿头(尾)中心至钻孔距离 d

取 ΔZ , ΔH 曲线的极值点坐标, 按下式计算

$$d = \pm \frac{1}{2} \sqrt{-(Z_{\Delta H_{\max}} + Z_{\Delta H_{\min}})(Z_{\Delta Z_{\max}} + Z_{\Delta Z_{\min}})} \quad (5.27)$$

c. 求半宽度 b

$$b = \sqrt{d^2 + Z_{\Delta Z_{\max}} \cdot Z_{\Delta Z_{\min}}} \quad (5.28)$$

d. 求 $(\alpha-i)$

$$(\alpha-i) = -\operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{(Z_{\Delta Z_{\max}} + Z_{\Delta Z_{\min}})}{\frac{d}{2}} \right] \quad (5.29)$$

或

$$(\alpha - i) = \operatorname{tg}^{-1} \left[\frac{\Delta Z_{(0)}}{\Delta H_{(0)}} \right]$$

(3) 水平圆柱体

a. 求埋深 h

ΔT_{10} 曲线极大值应对应坐标原点，这样找出 ΔT_{10} 极大值点对应的井深，即为水平圆柱体中心埋深。

b. 求水平圆柱体中心点至钻孔距离 d

令 D_1 为 ΔZ 曲线上两零值点间距离， D_2 为 ΔZ 曲线下部极大和极小值间距离，则有

$$d = \frac{D_2(9D_1^2 - 4D_2^2)}{6\sqrt{3} \cdot D_1^2} \quad (5.30)$$

c. 求圆柱体磁化倾角 i

$$i = 3 \sin^{-1} \frac{D_2}{D_1 \sqrt{3}} \quad (5.31)$$

d. 求圆柱体半径

$$R = \frac{\sqrt{-\Delta Z_{(0)} \cdot d^2}}{2\pi J \sin i} \quad (5.32)$$

式中 $\Delta Z_{(0)}$ 为原点处的 ΔZ 值， d 和 i 分别由式 (5.30) 和 (5.31) 求出， J 为磁化强度，可由矿区磁参数测定已知。

(4) 球体

a. 求球心至钻孔距离 d

$$d = \pm \sqrt{2D_1D_2 - 1.12(D_1 - D_2)^2} \quad (5.33)$$

式中 D_1 为 ΔZ 曲线下部零值点至极小值点距离， D_2 为 ΔZ 曲线上部零值点至极小值点距离。

b. 求磁化倾角 i

$$i = \operatorname{ctg}^{-1} \frac{6(D_2 - D_1)}{5d \cos A} \quad (5.34)$$

式中 A 为剖面磁方位角。

c. 求球心埋深 h

从 ΔZ 曲线上找出极小值点，由该点坐标定球心深度

$$Z_{\Delta Z_{\min}} = \frac{2(Z_{\Delta Z_{\max}} - Z_{\Delta Z_{\min}})}{3 - 5\sqrt{1 + 2.16\left(\frac{\operatorname{tg} i}{\cos A}\right)^2}} \quad (5.35)$$

d. 求球体半径 R

$$R = \sqrt[3]{\frac{\Delta H_{(0)} \cdot d}{8.378 J \cos i \cos A}} \quad (5.36)$$

或

$$R = \sqrt[3]{\frac{-\Delta Z_{(0)} \cdot d^3}{4.189 J \sin i}}$$

式中 $\Delta Z_{(0)}$, $\Delta H_{(0)}$ 为以球心为原点处的 ΔZ 、 ΔH 值, J 由磁参数测定已知, d 和 i 由式 (5.33) 和 (5.34) 求得。

用 $\Delta T_{\perp}$ (或 $\Delta T_{\parallel}$) 矢量解释法确定矿体位置:

矢量解释法是解释旁侧异常的一种快速、简便的方法, 它基于磁场矢量空间分布规律来确定引起异常磁性体的位置和产状要素。为便于利用井中磁测资料及时指导钻进, 本程序采用的是对不同形状磁性体最简便的一种矢量解释方法。

(1) 薄板

a. 无限延深薄板

顺层磁化时, 即 $\gamma = \alpha - i = 0$, $\Delta T_{\perp}$ 矢量 (或其尾部延长线) 交于板头 (尾) 中心。亦即用矢量交会法。

当 $\gamma = \alpha - i$ 时, 若 γ 角已知, 可将 $\Delta T_{\perp}$ 方向逆时针旋转 ($\gamma > 0$) 或顺时针旋转 ($\gamma < 0$) γ 角后, 再用交会法确定板头 (尾) 中心位置。

当 γ 角未知时, 可取 $Z_{\Delta Z} = \Delta H$, 和 $Z_{\Delta Z} = -\Delta H$ 两点, 在井轴上以该两点的中心为圆心, 两点间距离为直径作圆弧 (如图 5-22 中 O' 为圆心所作圆弧) 同时分别作出 $Z_{\Delta Z} = \Delta H$, $Z_{\Delta Z} = -\Delta H$ 及 O' 三点的矢量 ΔT_{11} , ΔT_{12} , ΔT_{13} , 使其延长相交于 a 、 b 两点, 再作 $\widehat{bc} = \widehat{ab}$, 则 c 点即为矿头中心。由图中可见, 将矢量旋转 γ 角后交于 c 点, 从图可确定 γ 角, 即 $\angle azc = \angle bo'c = \gamma$ 。

b. 有限延深薄板

顺层磁化时用共圆矢量法: 在钻孔轴上找两对与井轴夹角相

等，指向井轴两侧的共圆矢量（即同一条磁力线上的矢量），作两个矢量圆，其两交点为矿体顶、尾端，如图5-23中矢量 $\Delta T_{\perp 1}$ 和 $\Delta T_{\perp 2}$ ， $\Delta T'_{\perp 1}$ 和 $\Delta T'_{\perp 2}$ ，为共圆矢量，分别作 $\Delta T_{\perp 1}$ ， $\Delta T'_{\perp 1}$ 和 $\Delta T_{\perp 2}$ ， $\Delta T'_{\perp 2}$ 的垂线交于 o_1 和 o_2 ，以 o_1 ， o_2 为圆心作矢量图，交于 A ， B ，则 $\overline{AB}$ 为矿体两端联线。

斜磁化时，矢量轨迹不是圆。这时可将各点的矢量沿 J 使层面与 J 矢量垂直的方向转 γ 角，变成顺层磁化情况求解。

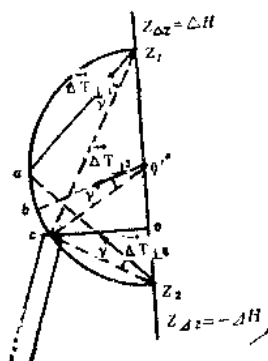


图 5-22

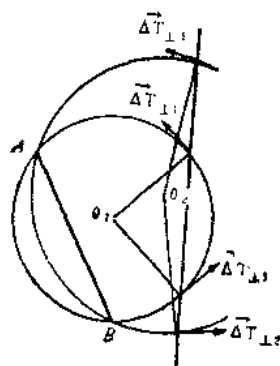


图 5-23

(2) 水平圆柱体

a. 当已知有效磁化强度 J 的方向时，可用半角法。如图5-24，取井轴上任意两点的矢量 $\Delta T_{\perp 1}$ ， $\Delta T_{\perp 2}$ ，并画出 J 矢量方向，作 $\Delta T_{\perp 1}$ 和 $\Delta T_{\perp 2}$ 与 J 的角平分线，两者相交于 O ，则 O 即为圆柱中心。

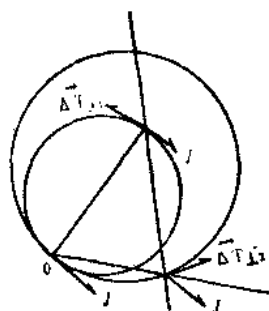


图 5-24

b. 共圆矢量法，如图5-23，在井轴上找出两对共圆矢量： $\Delta T_{\perp 1}$ ， $\Delta T'_{\perp 1}$ 和 $\Delta T_{\perp 2}$ ， $\Delta T'_{\perp 2}$ ，它

们与井轴夹角相等指向两侧，按前述方法作两个共切圆，则切点

为圆柱中心。

二、程序的功能、框图及说明

1. 程序功能

程序适用于对简单规则形状磁性体（如薄板，厚板，水平圆柱体，球体等）在井场进行实时解释，其主要功能是：

（1）输入和打印原始数据，当单独使用本程序时，用DATA语句形式输入原始数据；也可在BHMCP程序控制下连接本程序。

（2）绘制 ΔZ —— ΔH 参量图（比例尺任选），判别矿体形状和产状。

（3）打印主程序菜单，设置主控制转向开关，供用户根据需要选择解释内容。

（4）利用特征点解释法（用 ΔZ 曲线）或矢量解释法（ $\Delta T_{\perp}$ 矢量）解释旁侧异常，发现井旁盲矿，确定其空间位置。

（5）预报井底盲矿，估算见矿深度。

（6）利用见矿井段内磁场，估算矿层倾向和倾角，或用作图法以钻孔柱状图形式示出其成果。

2. 程序主要标识符说明

（1）原始数据标识符说明

N ——测点数

$H(N-1)$ ——数组，各测点的深度

$DZ(N-1)$ ——数组，各测点的 ΔZ 值

$DH(N-1)$ ——数组，各测点的 ΔH 值

$HX(N-1)$ ——数组，各测点的 $\Delta H_{\perp}$ 值

A ——勘探线方位角

B_0 ——开孔方位角

D_0 ——开孔顶角

E_x 、 E_y 、 E_z ——井中磁力仪各元件格值

H_0 ——矿区地磁场水平分量

z_0 ——矿区地磁场垂直分量

D ——磁偏角

$X(N-1)$ ——数组, 各测点 X 分量读数

$Y(N-1)$ ——数组, 各测点 Y 分量读数

$Z(N-1)$ ——数组, 各测点 Z 分量读数

$B(N-1)$ ——数组, 各测点方位角

$D(N-1)$ ——数组, 各测点顶角

(2) 控制开关标识符说明

$O\$$ ——字符串变量, 控制是否输入 ΔZ 值: 若 $O\$ = "Y"$, 输入; $O\$ = "N"$, 不输入

$P\$$ ——字符串变量, 控制是否输入 $\Delta H'$ 值: 若 $P\$ = "Y"$, 输入; $P\$ = "N"$, 不输入

$Q\$$ ——字符串变量, 控制是否输入 $\Delta H'_1$ 值: 若 $Q\$ = "Y"$, 输入; $Q\$ = "N"$, 不输入

$R\$$ ——字符串变量, 控制是否输入方位 β 和顶角 δ : 若 $R\$ = "Y"$, 输入; $R\$ = "N"$, 不输入

$S\$$ ——字符串变量, 控制是否输入 X, Y, Z : 若 $S\$ = "Y"$, 输入; $S\$ = "N"$, 不输入

$Z\$$ ——字符串变量, 控制是作直孔解释还是斜孔解释。直孔 $Z\$ = "V"$; 斜孔 $Z\$ = "I"$

F ——主程序控制转向开关

$F=0$ *END* 结束

$F=1$ *Beside* 解释旁侧异常, 发现井旁盲矿, 确定其空间位置

$F=2$ *Upon* 预报井底盲矿, 估算见矿深度

$F=3$ *Through* 判断矿体产状

B ——发现井旁盲矿 $BHMCIB$ 子程序次控制转向开关

$B=0$ *RETURN* 返回主程序菜单

$B=1$ *Thin Board* 作薄板解释

$B=2$ *Thick Board* 作厚板解释

$B=3$ *Ball Body* 作球体解释

$B=4$ *Pile Body* 作水平柱体解释

B_1 ——作薄板解释时,控制是用 ΔZ 特征点解析法还是用

$\Delta T_{\perp}$ 矢量交会法解释

$B_1=0$ *RETURN*返回*BHMCIB*子程序菜单

$B_1=1$ ΔZ 特征点解析法

$B_1=2$ $\Delta T_{\perp}$ 矢量交会法

U ——预报井底盲矿*BHMCIU*子程序次控制转向开关

$U=0$ *RETURN*返回主程序菜单

$U=1$ *Thin Board*薄板-任意点比值法或切线法

$U=2$ *Thick Board*厚板-圆心角法

$U=3$ *Ball Body*球体-切线法

$U=4$ *Pile Body*水平柱体-切线法

U_1 ——作薄板解释时,控制是用 ΔZ 任意点比值法还是切线法解释

$U_1=0$ *RETURN*返回*BHMCIU*子程序菜单

$U_1=1$ 任意点比值法

$U_1=2$ 切线法

3. 程序框图及结构

程序由主程序*BHMCIB*及发现井旁盲矿(*BHMCIB*),预报井底盲矿(*BHMCIU*),判断矿体产状(*BHMCIT*)等三个主要子程序组成。在*BHMCIB*和*BHMCIU*子程序中还包括若干子程序,其基本结构如图5-25所示

(1) *BHMCIB*主程序(如图5-26)

是本程序的主要部分,它起以下作用:

- 输入和打印原始数据
- 提供*BHMCIP*程序链接本程序的入口
- 绘制 ΔZ - ΔH 参量图,判定矿体形状
- 打印主程序菜单,设置主控制转向开关,根据用户需要选择解释内容

(2) 子程序

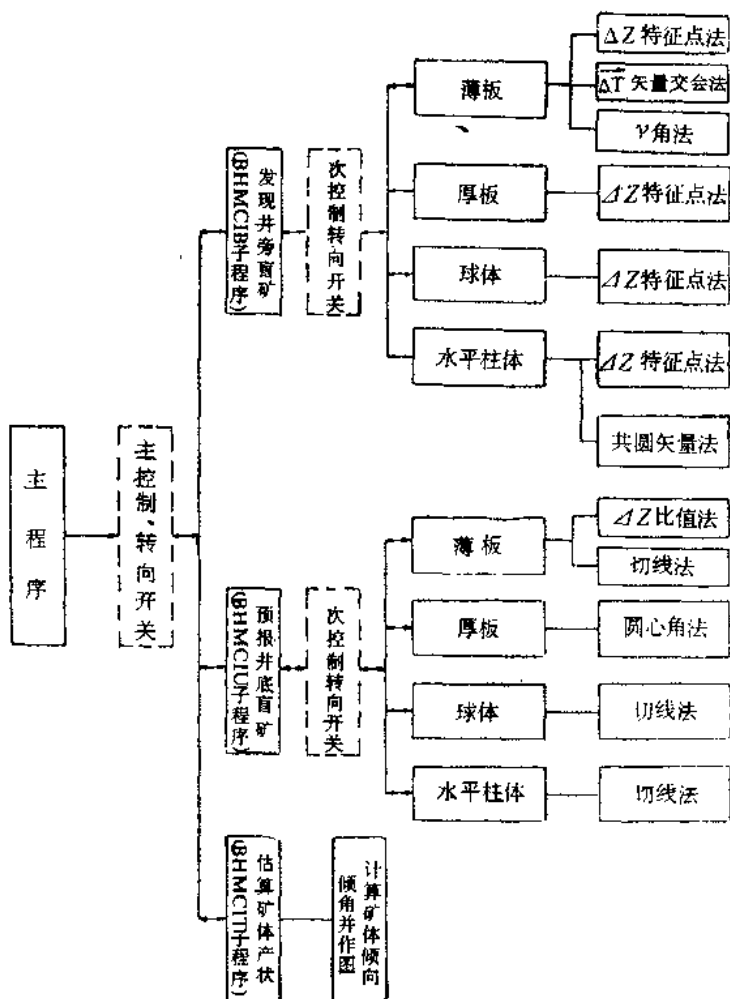


图 5-25

a. *BHMCI*子程序，用于解释旁侧异常，发现井旁盲矿，确定其空间位置。它能打印于程序菜单，设置次控制开关，负责管理下属薄板，厚板，水平圆柱体和球体等形状井旁盲矿的解释子程序，并最终绘出解释成果。

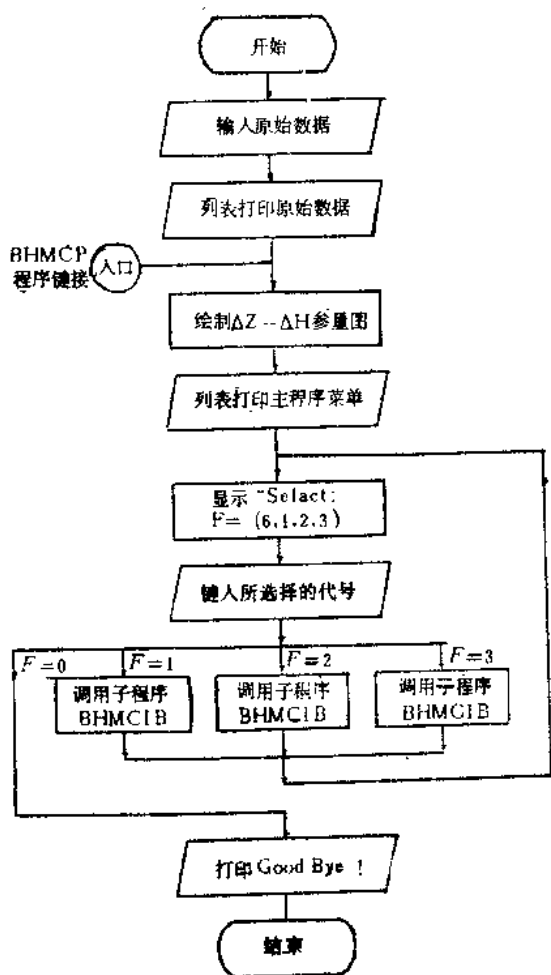


图 5-26

b. *BHMCIU*子程序，用于预报井底盲矿，估算见矿深度。它能打印子程序菜单，设置次控制转向开关，负责管理下属对薄板，厚板，水平圆柱体和球体等形状井底盲矿的预报。其中用切线法估算薄板状井底盲矿见矿深度，和用圆心角法估算厚板状井

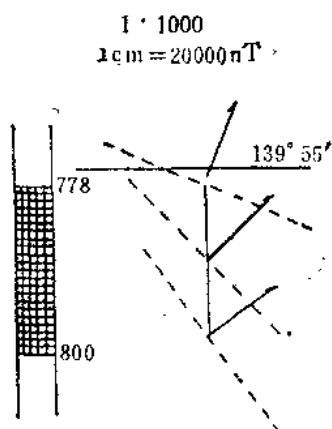


图 5-27

底盲矿见矿深度的子程序。

c. *BHMCIT* 子程序, 用于见矿井段利用内磁场计算或用作图法判断矿层产状。

图5-27是用该程序对迁安磁铁矿区某孔见矿层的产状判断结果。

由图可见, 它能直观而快速地作出判断。该矿层近于南倾, 倾角约为52°04'。

三、程序评价

通过在几个磁铁矿区井场和室内解释的实践证明, 程序能满足实际井中磁测工作的需要。归纳起来它有如下特点:

1. 程序功能齐全: 程序包含了井中磁测工作常规地质任务

的解释内容,诸如判定矿体形状;发现井旁盲矿、确定其空间位置;预报井底盲矿,估算见矿深度;判断矿层产状等。从而可在现场及时提供地质信息,决定钻探是否继续钻进和合理布置孔位。

2. 操作简便,灵活性大;主程序设置有主控制转向开关,下属子程序也设置了次控制转向开关,下一级子程序仍设置有亚次控制转向开关,层层控制,形成一树形结构。这给用户根据所要解决的地质任务选择解释内容和方法提供了方便。今后根据现场需要,还可增添新的处理解释子程序,诸如曲线的预处理(圆滑,插值等),及其它矢量解释方法等,以期不断完善和优化程序。

第三节 拟合解释程序

一、拟合解释方法原理

1. 方法原理

拟合解释就是通常所说的选择法。井中磁测拟合解释的方法原理,是根据井中磁测实测异常($\Delta Z_{\text{实}}$ 、 $\Delta H_{\text{上实}}$ 、 $\Delta H_{\text{下实}}$ 、 $\Delta T_{\text{上实}}$),结合已知地质、钻探和其它物探资料,利用已建立的物理-地质模型,假想一个拟合解释模型,并选择该模型的磁性参数、形状参数和规模参数初始值,用相应的数学解析模型正演计算其井中三分量磁异常($\Delta Z_{\text{理}}$ 、 $\Delta H_{\text{上理}}$ 、 $\Delta H_{\text{下理}}$ 、 $\Delta T_{\text{上理}}$,以下简称理论异常)。然后将其与实测值相对比,看其拟合程度是否满足规定的要求。若不满足要求,则修改该模型参数初始值,再进行正演计算,如此反复拟合对比,直至两者拟合程度满足要求时,所得到的拟合模型参数即为拟合解释结果。

2. 基本步骤

从以上方法原理可见,要在计算机上自动地实现拟合解释,需执行下述基本步骤:

(1) 假定模型,选取初始值

由于地球物理勘探的解释，往往存在多解性。因此，在实际解释中假定出切合实际的模型和选取恰当的参数初始值，乃是拟合解释方法的关键环节。否则，如果设想的模型不合实际，选取的参数初始值不恰当，往往会导致不合理甚至错误的结果。

假定的拟合解释模型，其依据是地面与井中磁测的实测资料，以及实际地质情况。就本书所叙述的三类磁铁矿床而言，由于其勘探程度均较高，而且已经初步建立了一套物理-地质模型，因此，对某一具体矿床类型地区，已奠定了基本的模型概念基础（参看第二、第三章）。可由此来考虑选取受该类模型地质因素控制的矿床参数和物理参数。同时还应参考本章第二节论述的单孔解释成果，来取定模型的几何参数（磁性矿体上、下端部相对于钻孔的空间位置，其延深、产状等）。从而选取井中磁测解释模型的如下参数初始值：假设的矿体走向长 L ，走向与基线夹角 M ，控制截面形态的角点坐标 (X, Z) ，磁化强度 J ，磁偏角 D ，磁倾角 I 等等。

（2）正演计算，拟合对比

正演计算，是指借助于数学解析模型来对假定的拟合解释模型体外沿某一轴线（井轴）上引起的三分量磁异常值进行理论计算。目前常用的正演计算方法有理论量板法和数值模拟法两种。前者因其工作量大和精度低而不适用于大量的拟合解释。本节着重叙述数值模拟法。

所谓拟合对比，就是对理论计算值和实测值之间的偏差进行分析。偏差愈小，拟合程度就愈高。令 $f(x)_i = x_{\text{实}} - x_{\text{理}i}$ 为第 i 次拟合的拟合偏差，则有

$$f(\Delta H_{\perp})_i = \Delta H_{\perp \text{实}} - \Delta H_{\perp \text{理}i}$$

$$f(\Delta H_{\parallel})_i = \Delta H_{\parallel \text{实}} - \Delta H_{\parallel \text{理}i}$$

$$f(\Delta Z)_i = \Delta Z_{\text{实}} - \Delta Z_{\text{理}i}$$

若确定某一值 σ 为允许的拟合偏差上限，则要求满足 $f(x) \leq \sigma$ 。据此判断理论异常与实测异常的拟合程度，看其是否满足规定拟合要求。

(3) 修改模型

当拟合程度不满足规定要求时,则要改变参数初始值,即修改模型。修改模型要求对模型诸参数与磁场三分量的空间关系有明确的定性认识。对于形体复杂的或多形体组合的模型,需充分运用场的叠加原理,根据单个形体的特征概念,进行分解与组合来分析,从而选择应改正的初始值。对于已由工程控制的矿体部分,可按实际的几何参数和物理参数先作理论计算,从实测值中减去已知值,作为新的实测值(即剩余异常)来进行拟合。一般说来,有经验的物探工作者能根据拟合状况较快地找出修改模型的方案。可见拟合解释工作中具有一定的经验性。

(4) 重新计算,再次对比,反复拟合,不断逼近,直至获得满意的结果。最后打印或绘制出模型的几何或物理参数及形态轮廓——即为待拟合自然目标体的解释成果。

3. 基本问题

在拟合解释中必须解决两个基本问题。其一是建立相应的数学解析模型,计算井中三分量理论磁异常的正演方法;其二是模型体参数的假定与修改的执行方法。本书所采用的是利用组合多边形截面柱体井中三分量磁异常正演计算方法,并通过袖珍或微型计算机加以实现。其方法原理和程序可详见第三章第二节。

在计算机上进行模型体参数的修改,可采用自动式修改和人机对话式修改参数两种方法。由计算机自动进行修改参数,可采用马奎特(最小阻尼二乘法)、梯度法以及变尺度等算法。实践表明,自动式修改参数需要十几或几十次迭代,特别耗费机时,而且其初始值严重影响解释结果。该方法一般是选择多组初始值进行计算,然后选择其中最佳结果。正因为如此,目前在拟合解释中大多采用人机对话方式修改参数。其优点是:计算时间较短;计算者能充分地发挥主观能动性,从而抑制多解性,使解释结果更逼近于实际调查目标。

4. 拟合解释的用途和优点

井中磁测观测所得的磁异常,由于受井深限制,通常是不完

整的，而且实际磁性体多是复杂形体，或由多个磁性体在地质空间中以各种方式叠加。在这种情况下，就不能采用本章第二节中所述的解释方法，而应以拟合解释作为主要的定量解释方法。其优点是它既适用磁各向同性磁性体，也适用于磁各向异性磁性体；既适用于简单规则形状磁性体，也适用于任意形状或由多个磁性体叠加引起的井中磁测磁异常解释。并可在物理-地质模型指导下由计算机实现自动解释。

二、拟合解释程序的功能及使用说明

1. 程序功能

(1) 用人机对话方式选择和修改拟合模型参数，对井中磁测的简单或复杂磁异常进行反演解释。钻孔可以是直孔或斜孔。

(2) 计算磁各向异性磁性体的磁参数

其程序框图和主要标识符说明可详见第三章第二节。在此仅就磁各向异性磁性体磁参数的计算问题加以说明：

当对沉积变质型磁铁矿床（如河北迁安铁矿）建立物理-地质模型，或进行拟合解释正演计算时，程序中必须包含用来计算磁各向异性磁性体所划分各段块的相应磁参数（包括形状退磁）的子程序。根据地磁学和岩石磁学理论已知，对于层状结构磁各向异性磁性体的磁化强度计算公式为

$$\left. \begin{aligned} J_x &= \frac{\kappa_{\perp}}{1+N_c\kappa_{\perp}} \cdot H_1 \sin \alpha + \frac{\kappa_{\parallel}}{1+N_c\kappa_{\parallel}} \cdot H_2 \cos \alpha \\ J_y &= \frac{\kappa_{\parallel}}{1+N_c\kappa_{\parallel}} \cdot H_3 \\ J_z &= \frac{\kappa_{\parallel}}{1+N_c\kappa_{\parallel}} \cdot H_2 \sin \alpha - \frac{\kappa_{\perp}}{1+N_c\kappa_{\perp}} \cdot H_1 \cos \alpha \end{aligned} \right\} \quad (5.37)$$

式中，

$$H_1 = H_0 \sin A \cdot \sin \alpha - Z_0 \cos \alpha$$

$$H_2 = H_0 \sin A \cos \alpha + Z_0 \sin \alpha$$

$$H_3 = H_0 \cos A$$

A 为磁性体走向方位； α 为磁性体层理面倾角； H_0 ， Z_0 分别为矿区正常地磁场水平和垂直分量； $\kappa_{\parallel}$ ， $\kappa_{\perp}$ 分别为沿磁性体层理方

向与垂直层理方向的真磁化率: N_x, N_y, N_z 分别为沿磁性体走向, 倾向及垂直层理方向的退磁系数。

由 (5.37) 式可得

$$\left. \begin{aligned} I &= \sqrt{J_x^2 + J_y^2 + J_z^2} \\ D &= \text{tg}^{-1} J_z / J_y \\ I &= \text{tg}^{-1} J_x / \sqrt{J_x^2 + J_y^2} \end{aligned} \right\} \quad (5.38)$$

勘探剖面上的有效磁化强度和有效磁化倾角则为

$$I_e = \sqrt{J_x^2 + J_z^2} \quad (5.39)$$

$$I_z = \text{tg}^{-1} J_z / J_x \quad (5.40)$$

将上列公式编制成一个子程序, 事先求得磁各向异性磁性体所划分各段块的磁参数, 然后应用本程序, 即可对其物理-地质模型或对拟合解释模型进行正演计算。

2. 程序使用说明

数据的准备以及正演计算的步骤, 与第三章第二节中组合多边形截面柱体井中三分量磁异常正演计算程序完全相同, 在此不再赘述。以下仅叙述修改拟合解释模型参数的操作:

(1) 显示“Reverse Models Para?(Y/N)”, 询问用户是否进行拟合解释。若进行, 需修改模型参数则键入 Y ↓

(2) 键盘输入模型修正值, 即

- 显示“M=”, 输入修改模型个数 ✓
- 显示“N=”, 输入总角点数 ✓
- 显示“Select(+/-) Models”, 询问用户是补充一个磁性体, 还是消去一个磁性体或原磁性体中的一部分。前者键入“+” ✓; 后者键入“-” ✓
- 显示“ $I_{(1)}$ =”, 输入第一个修改模型的磁化强度
- 显示“ $D_{(1)}$ =”, 输入第一个修改模型的磁偏角
- 显示“ $I_{(1)}$ =”, 输入第一个修改模型的磁倾角
- 显示“ $M_{(1)}$ =”, 输入第一个修改模型的走向与基线夹角
- 显示“ $N_{(1)}$ =”, 输入第一个修改模型的截面角点数
- 显示“ $Y_{(1)}$ =”, 输入第一个修改模型的截面 Y 坐标

- 显示“ $L_{(1,0)}=$ ”，输入第一个修改模型的端面 y 坐标小的一方至截面的距离
- 显示“ $L_{(1,1)}=$ ”，输入第一个修改模型的端面 y 坐标大的一方至截面的距离
- 显示“ $X_{(1)}=$ ”，输入第一个修改模型的截面第一个角点的 X 坐标
- 显示“ $Z_{(1)}=$ ”，输入第一个修改模型的截面第一个角点的 Z 坐标
- 显示“ $X_{(2)}=$ ”，输入第一个修改模型的截面第二个角点的 X 坐标，如此等等
- 显示“ $Z_{(N_1)}=$ ”，输入第一个修改模型的最后一个角点的 Z 坐标
- 显示“ $Select(+/-)Models:$ ”，输入第二个修改模型的加減
- 显示“ $J_{(2)}=$ ”，输入第二个修改模型的磁化强度，如此等等，直至将 M 个修改模型的所有修正参数输入完毕为止

(3) 计算修改模型的理论磁异常 ($\Delta H_{\perp 21}$, $\Delta H_{// 21}$, ΔZ_{21} 等)，并与初始模型的理论磁异常 ($\Delta H_{\perp 11}$, $\Delta H_{// 11}$, ΔZ_{11} 等) 叠加，即得新的理论值：

$$\left. \begin{aligned} \Delta H_{\perp 22} &= \Delta H_{\perp 11} + \Delta H_{\perp 21} \\ \Delta H_{// 22} &= \Delta H_{// 11} + \Delta H_{// 21} \\ \Delta Z_{22} &= \Delta Z_{11} + \Delta Z_{21} \end{aligned} \right\} \quad (5.41)$$

(4) 计算剩余磁异常 (拟合偏差)

$$\left. \begin{aligned} f(\Delta H_{\perp})_2 &= \Delta H_{\perp 22} - \Delta H_{\perp 21} \\ f(\Delta H_{//})_2 &= \Delta H_{// 22} - \Delta H_{// 21} \\ f(\Delta Z)_2 &= \Delta Z_{22} - \Delta Z_{21} \end{aligned} \right\} \quad (5.42)$$

视其偏差是否满足拟合程度要求，若不满足规定要求，则需重复上述操作步骤，再次修改模型。如此反复，直至达到如期拟合程度要求，最终获得解释结果。

三、程序评价及拟合解释实例

1. 程序评价

当解释的矿区磁性体为磁各向同性时,拟合解释所使用的程序即是第三章中所述的组合多边形截面柱体井中三分量磁异常正演计算程序。当磁性体为磁各向异性时,则只需在该程序中附加一磁参数计算子程序。因此,它具有第三章所述正演计算程序的一切特点。

在拟合解释中,提高计算速度具有重要的意义。为此在本程序的设计中,修改模型时只是在初始模型基础上作“修补”,亦即增添或削减模型体,并且只计算增减部分模型体的理论磁异常,然后将其与初始模型体的理论磁异常相叠加,再与实测异常作对比。这样比修改模型后重新作计算的速度要快得多。

如何评价拟合程度,是拟合解释中另一个重要问题。由于目前井中磁测主要应用于强磁性磁铁矿区,所获的井中磁异常多为梯度变化大的强磁异常,受井深和仪器定向精度的限制通常异常不完整,磁异常水平分量的精度较差。因此,在拟合解释中主要应用 ΔZ 曲线,辅之以 ΔH_x (或 ΔH_y)曲线及 ΔH 矢量图。对于 ΔZ 曲线的拟合程度,要求理论曲线与实测曲线的外形和变化规律一致,低缓异常部分拟合精度要更高($\Delta\delta_{az} \leq 250\text{nT}$)。梯度变化大的强磁异常部分则适当放宽。

2. 解释实例

图5-28是应用本程序对河北迁安杏山矿区C16线ZK824孔的拟合解释结果

图中 a 是 ΔZ 曲线的拟合结果, b 是 ΔH 矢量拟合结果,可见两种参量的拟合情况已基本达到了我们所提出的拟合程度要求。据此推断的ZK824孔旁侧盲矿的分布及形态如图5-29所示

拟合解释结果表明,ZK824孔旁侧赋存着四个复杂形状的磁性矿体,井中观测所得的是其叠加磁异常。这些矿体在 XOY 平面和 XOZ 剖面(钻孔所在勘探剖面)上的投影范围及分布状况如图中 a 、 b 所示。它们的磁性参数和产状要素分别列于表(5.1)

结果证明,该拟合解释程序,在井中磁测实际解释中是可行

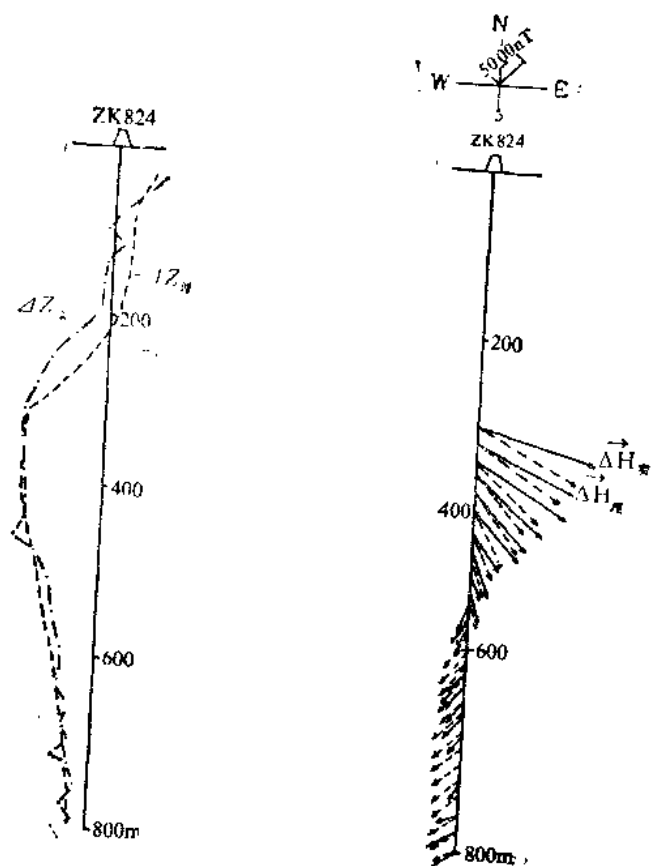


图 5-28

的，它可提供井旁盲矿的详细地质信息。

最后要指出，本章提供的BHMCP，BHMCI及拟合解释程序，是目前国内一套较完整的井中磁测应用软件。它为各种成因类型磁铁矿床建立并研究井中磁测物理-地质模型，开展模拟井中磁测；资料的计算、绘图及解释奠定了初步基础。这些应用软件可提供由重庆地质仪器厂制造的JBS-1型轻便数字测井站应用，也可给从事井中磁测的野外队组（具备袖珍或微机）单独使

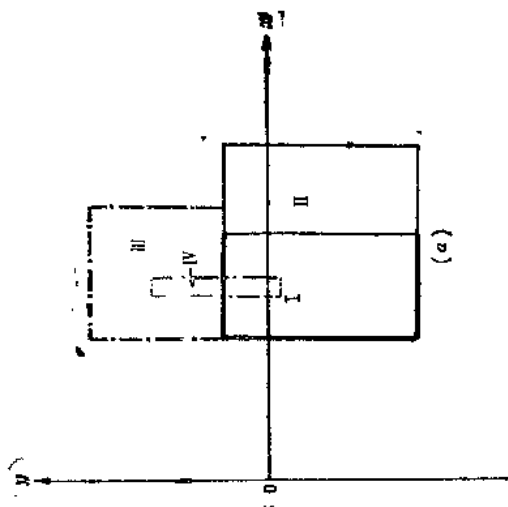


图 5-20

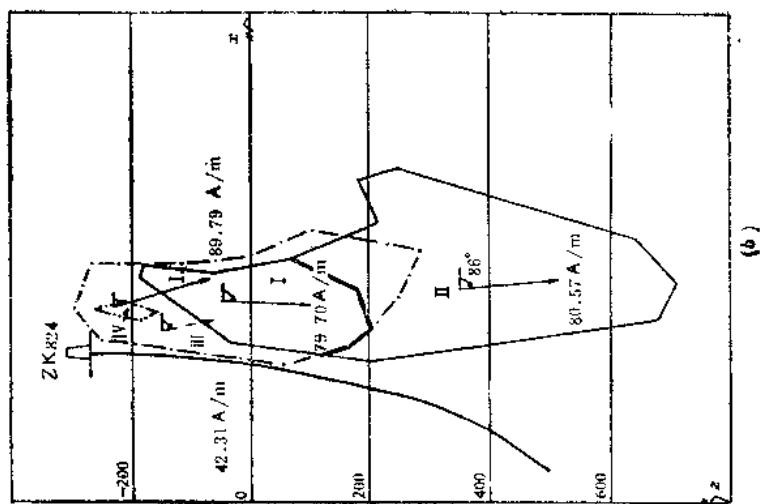


表 5.1

矿体号	磁 性 参 数					产状要素	
	$J(A/m)$	D	I	$J_s(A/m)$	I_s	走向及长度 (m)	两端头至 剖面距离 (m)
I	87.90	4°	65°	79.70	92°	SN 330	250,80
II	85.00	12°	71°	80.57	86°	SN 330	250,80
III	46.50	28°	62°	42.31	76°	SN 220	190,300
IV	101.60	28°	58°	89.79	73°	SN 220	20,220

用。相信在找矿实践中将会不断地完善和优化,以推动我国井中磁测工作数学化的发展。

参考文献

1. A. A. 杜霍夫斯基等著,夏卫华、周超凡译 稀有金属矿区立体地质填图地质出版社 1984年
2. 程裕祺等著 我国几组主要铁矿类型 地质科技第二期 1976年
3. 宁芜研究项目编写小组 宁芜矽岩铁矿 地质出版社 1977年
4. 蔡柏林主编 钻孔地球物理勘探 地质出版社 1986年
5. 地质矿产部第一综合物探大队编著 井中磁测 地质出版社 1985年
6. 申宁华、管志宁主编 磁法勘探问题 地质出版社 1985年
7. 井中三分量磁测经验汇编 地质出版社 1977年
8. G. S. Vakhromeyev, A. S. Baryshev朱梅生译 矿床物理 地质模型的分
类物探化探译丛 1985, No.5
9. A. C. ТАРХОВ, В. М. БОНДАРЕНК, А. А. НИКИТИН
КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ
«НЕДРА» 1982