

勘探地球物理 建模问题

[前苏] Г.С.瓦赫罗麦耶夫 A.Ю.达维坚科 著

潘玉玲 刘天佑 文山川 译

张昌达 校

中国地质大学出版社

ISBN 7-5625-0953-0



封面设计：梁书亭

9 787562 509530 > ISBN 7-5625-0953-0/P·325 定价 5.50元

勘探地球物理建模问题

[前苏] Г. С. 瓦赫罗麦耶夫 著
A. И. 达维坚科

潘玉玲 刘天佑 文山川 译

张昌达 校

中国地质大学出版社

• (鄂)新登字第 12 号 •

图书在版编目(CIP)数据

勘探地球物理建模问题/[前苏]Г. С. 瓦赫罗麦耶夫, А. Ю. 达维坚科著;潘玉玲,刘天佑,文山川译. —武汉:中国地质大学出版社,1994. 9

书名原文:МОД ЕЛИРОВАНИЕ В РАЗВЕД ОЧНОЙ
ГЕОФИЗИКЕ

ISBN 7-5625-0953-0

I. 勘…

Ⅰ. ①瓦…②达…③潘…④刘…⑤文…

Ⅲ. 勘探地球物理-地质物理模型-建模问题

Ⅳ. P 325

出版发行 中国地质大学出版社(武汉市·喻家山·邮政编码 430074)

责任编辑 刘先州 责任校对 胡义珍

印 刷 中国地质大学出版社印刷厂

开本 787×1092 1/32 印张 7.5 字数 170 千字

1994 年 9 月第 1 版 1994 年 9 月第 1 次印刷 印数 1—1000 册

定价:5.50 元

前言

作为认识物质世界事物和现象的结构和发展规律性有效手段之一的建模工作的意义日益增大。这至少是由其两个特点决定的：一方面，建模的原则决定了必须采用常用方法揭示研究目标的实质；另一方面，建模（物理模型、相似模型、实物模型、仿真模型、数学模型等）的具体方法和种类是非常灵活、多样和多分支的，这使人们有可能对建模过程或建模对象的各个方面详细并相当深入地揭示出来。

现在很难找到不利用建模原理来研究过程的一般规律性和解决技术性质应用问题的科学或技术部门^[2,8,41]。在地质界，地球物理工作者在这一方面处于领先地位，他们从本世纪20年代地球物理研究方法一诞生就开始利用模型的概念。成为传统概念的激励体（意指导致形成某种物理场异常分量的一定地质空间范围）的概念，可以作为这种模型概念的一个例子。这个概念奠定了计算预期异常效应的基础，它有助于修正有关引起观测到的地球物理场实际原因的概念，有助于哪怕是在定性水平上形成的有关异常地质体的形状、构造、产状和岩石物理特征的概念。

在物理场的计算特别复杂，或由于原始资料和边界条件的复杂性而不可能用数学物理方程对其进行计算并准确描述的情况下，可用实物模型、网络模型，可在电解槽内，用导电纸进行物理模拟。

60年代地球物理信息计算机处理和分析方法的出现,明显地扩大了利用数值计算法求解地球物理勘探正问题和反问题的可能性。尽管如此,使用全新数学模型自动化方法未能明显削弱利用物理模型的必要性和不断完善其技术的可能性。这一点在电法勘探和地震勘探中在解决与研究复杂地质结构不均匀介质有关的问题时表现特别明显。

请读者注意,这本书实际上涉及到勘探地球物理模型的各个方面,但是,其中对地质体在物理场中建模的通用方法基础给予更大的注意。这一点可用两个原因来解释。在发展物理方法建模方面的成就与研制电子测量仪表方面的技术进步有直接关系,这方面的内容在参考文献^[1,7,8]中做了详细阐述。许多基础研究论文^[24,27,35,46]都论述了地球物理场的数学模型问题,其中包括研制地球物理信息自动处理系统的方法、技术及其算法程序软件。

虽然,由于在勘探地球物理中,系统论方法积极利用的超前发展,正需要建模的一般原理,但在科学地球物理文献中这些原理讨论的非常少。综合地球物理研究的广泛利用以及地质-地球物理资料采集、处理和解释过程的自动化,决定了必须研究形成原始信息和迅速地得到信息的新方法,这些新方法是以前有关研究地质空间的非标准模型概念为基础的。在地球物理场中建立地质体模型的原则,宜在对研究目标模型本身的形成方法和不同物理场(不管物理场的性质如何)描述方法的通用化方向上进行模拟^[6]。

60年代末首次提出来的地球物理研究目标的物理地质模型(ΦГМ)概念^[6]大大促进了符合这些要求的建模新方法的形成。目前,这些概念广泛用于生产上,编入了专业书籍和手

册^[4,5,24],编入高等学校的教科书^[36],被国外采用^[47]。物理地质模型属于通用模型类别,这种模型反映了所有激励体的辩证关系和差别,在不同的物理场中均可用激励体逼近所模拟的地质目标。

在过去的年代里,物理地质模型的定义、分类和形成方法已相当成熟和完善,以至完全可以说物理地质模拟是勘探地球物理中的独立科学方向。本专著讨论的正是这个问题。

物理地质模型的建立与对地球物理资料所采用的各种不同的处理和综合解释方法紧密相关,所以,物理地质模型和数学模型的紧密联系是很自然的。通常采用连续逼近方法形成的物理地质模型,不仅是后续构建广泛类型的确定性模型和概率统计模型的基础,而且本身也是数学模型和物理模型的产物。正因如此,所以在讨论了物理地质模型的基础(见第一章)和岩石物理模型建立方法(见第二章)之后,在第三、五章分别详细叙述并举例说明了确定性物理地质模型、统计物理地质模型和随机物理地质模型的形成方法。

在本书中基本上把数学模型看成是建立物理地质模型的手段。因此,讨论地质-地球物理现象的数学描述新方法的数量非常有限,读者可在广泛的专业书籍中了解勘探地球物理研究的现代分支方法。

物理地质模型的建模原则和建模方法已为大量的各种实际事例所表明。对于地质勘探工作的不同阶段和类型来说,已建立了下列的模型:贝加尔裂谷带条件下地壳多发地震地块的动态模型;西伯利亚地台金伯利岩岩浆活动区之一的深部地质的静态模型;石油和天然气、稀有金属矿和含云母伟晶岩,安加拉伊利姆(ангаронлимский)型磁铁矿矿结、矿田和矿

目 录

第一章 物理地质模型的概念	(1)
1.1 总论	(2)
1.2 模型的分类	(10)
第二章 岩石物理模型	(20)
2.1 岩石物理模型研究的方向	(20)
2.2 构造物质组合的划分	(22)
2.3 建立立体岩石物理模型的特点	(34)
第三章 确定性模型	(47)
3.1 安加拉—伊利姆型铁矿结、矿田和矿床的模型	(48)
3.2 安加拉河南部沿岸冰岩带的模型	(69)
3.3 油气田模型	(86)
3.4 地壳深部断面模型	(89)
第四章 统计模型	(99)
4.1 伟晶岩体富集段的物理地质模型	(100)
4.2 地球物理信息的统计分析方法	(115)
第五章 随机模型	(142)
5.1 非均匀地质目标的描述	(143)
5.2 地质目标随机模型的总体特征	(156)
5.3 随机参数地质目标的场的模型	(172)

第六章 动态模型.....	(217)
6.1 蒙古人民共和国斑岩铜矿床模型	(218)
6.2 地壳地震活动块体的模型	(226)
附录.....	(233)
参考文献.....	(236)
译文说明.....	(238)

(1)	 念附的堅對風狀野林 章一第
(2)	 念總 1.1
(10)	 类代附堅對 1.5
(20)	 堅對野林百岩 章二第
(30)	 向式附夾預堅對野林百岩 1.5
(35)	 代放附合层頂礫查崗 1.5
(36)	 点特附堅對野林百岩本立立型 1.3
(47)	 堅對封宝廊 章三第
.....	 堅對附末每味田, 於每對堅對味味一其味克 1.3
(48)	
(60)	 堅對附帶岩水旱沿聯南阿什味安 1.3
(68)	 堅對田芦曲 1.3
(80)	 堅對面湖陪聚資州 1.3
(90)	 堅對付袋 章四第
(100)	 堅對風狀野林百岩變集富岩晶岩 1.4
(115)	 式式附分付附的息前堅對野林 1.4
(141)	 堅對附 章五第
(143)	 狀附附附目風狀附非 1.2
(150)	 五附本总的堅對附附附附 1.2
(172)	 堅對附附附附附附附附 1.2

第一章 物理地质模型的概念

对勘探地球物理现状和发展远景的评价众说纷纭。除了现有的关于地球物理方法研究在科学组织基础方面没有任何明显进步的意见^[10]之外,一些专家倾向于认为在地质勘探的这一方面,一种新的范式基本上已经形成,这种范式的公式如下[据斯特拉霍夫(В. М. Страхов)]:定型+系统方法+优化准则+自动化。其中有关地质体模型的学说是定型的基本要素。鉴于在地质上建模原理和关于使用地球物理方法研究目标的模型概念方面发生了质的变化,我们支持第二种观点。

在60年代以前,在勘探地球物理中成功地使用了《激励体》的概念,利用这个概念模式化地描述了所研究的地质体产生的某一个物理场(磁场、重力场、放射性场等)的场源。为了解释地球物理资料,几乎是毫无例外地使用了有关激励体的概念。

由于在解决地质问题时综合地球物理研究方法的理论和方法学的发展^[4—6,24,31,36]提出了物理地质模型的概念,这个模型可同时从各方面表征研究目标的特点,并在可能的岩石物理特征和各个几何形状广泛范围内把逼近研究目标的所有激励体概括起来。物理地质模型不仅用于建立解释数学模型,而且用于定量论证合理的普查组合和地球物理研究方法的综合。后一种功能属于在不确定条件下的实验设计的复杂问题。物理地质模型在定量方面把所研究的地质目标的不同方面辨

证地概括起来,可直接促进勘探地球物理中系统方法的实施,促进拟定和利用优化准则,并使综合地质-地球物理信息的采集、处理和解释过程实现真正自动化。

1.1 总论

地球物理研究目标的物理地质模型是抽象化的激励体及由激励体引起的异常效应的系统,这些效应逼近地质目标并以建模所需要的详细程度概括反映地质目标的构造、规模、形状、岩石物理性质及其相应的物理场的立体分布。

上述定义是通用定义,对逼近任何地质目标,无论是地壳的块体,还是油气远景构造或其他任何地质构造、矿田、矿床、各个矿体、对地质填图有意义的岩石组合或各类岩石,都同样适用。

可见,物理地质模型反映了被模拟地质目标的主要性质与其周围的记录场或预期场间的相互关系。

岩石物理模型(ПФМ)是建立物理地质模型的基础,岩石物理模型指的是表征所研究的矿田、矿床或其他地质目标主要构造物质组合的不同物理参数在地质空间内的立体分布。

“构造物质组合(СБК)”一词指的是按一种或几种物理性质合并在一起并按相应“有效”物理特征分开的地层总体。构造物质组合恰是地球物理研究的现实目标。从构造物质组合的定义可以看出,这种组合具有相对性质,因为把岩石和矿石合并在某构造地质组合中的准则主要取决于工作任务、研究目标的产状和地球物理方法的分辨能力。例如,如果合

并在某种构造物质组合中的岩石在物理特征分布的统计意义上是不可区分的，则这些岩石按相应地球物理测量资料也是不能分开的，因此，这种构造物质组合表明了地球物理方法的极限分辨能力。在对勘探地球物理有利的个别情况下，限制构造物质组合的表面可能与地层划分分界或不同岩性的岩石交替接触有关。遗憾的是，情况不是经常如此，而且通常是构造物质组合在具体矿田范围内的个数少于区分出的岩石和成矿组数的总和。对于利用遥测地球物理方法分辨能力作为把岩石合并为构造物质组合的准则来说，这一点尤为突出。

可见，物理地质模型是概括的岩石物理模型加上用任何方法（解释方法、模拟方法，其中包括自然模拟方法）为该模型取得的物理场。在最一般形式下建立物理地质模型的次序如下：在所研究的地质空间范围内划分出构造物质组合；构建岩石物理模型，建立所研究的整个地质目标的物理地质模型本身。

物理地质模型概念是激励体概念的进一步发展。物理地质模型是用地球物理方法研究的地质目标的总模型。这种模型从各个方面表征这个地质目标，反映所有可以用来描述所研究的地质构造、矿床或矿体的各个模型（激励体）的辩证关系和差异。

由于物理地质模型模式化地反映了对一大批类似的地质体（例如，一定成因类型的矿床、同一类的可能含油构造等）的概括性典型化概念，所以，这种模型属于“描述—概括”或“模型—响应”类逻辑数学结构模型。

物理地质模型根据模式化程度和完整性的不同，可以是纯概念性模型或是把地球物理的解归结为某种严格有条件地

求极值问题的数学模型。但上述观点不能成为把物理地质模型和数学模型对立起来的依据，因为前者总是建立后者的基础，甚至在最简单的地质环境中，如没有相应反应实际情况的正确的物理地质概念支撑，数学模型也是不能建立起来的。

可见，物理地质模型基础的概念性质不是排除，而是相反，更需要广泛利用数学模型、物理模型、自然模型、类比模型、仿真及任何其他模型来建立物理地质模型，并使物理地质模型的各个方面更为确切。

物理地质模型的建立不可避免地要求同步建立并不断修正下面两种实质上不同的模型：所研究的地质目标的模型（岩石物理模型就起这种作用）和由它引起的地球物理场的总体模型。在一般情况下，这种地球物理场可以通过解析方法求解地球物理的正问题得到，在个别情况下可据自然模型或物理模型资料得到。

物理地质模型的特点：模型及其周围介质物性的差异程度，建模对象的概括形状，多形性和可控性。

由于所研究的地质体及其围岩的岩石物理参数在统计上差异显著是产生地球物理异常的必要条件，所以，构造物质组合的划分和区分是个独立的方法学问题（在第二章中讨论）。

用电子计算机计算物理场的可能性原则上对模型的形态及其结构的复杂程度无任何限制。然而，为了今后更简便地运用物理地质模型并保证模型的稳定性，以最少数量的规则几何形体的组合来逼近地质目标是更为有利的，因为这样可以在其他条件相同的情况下减少地球物理反演问题解的多解性。与力求合理地使被建模的地质体或矿体呈规则几何化的

同时，应该考虑其产状；要记住的是，任何三维、二维或垂向延深的异常对象，在它们的埋深很大或在相当大的高度上进行地球物理测量时，它们的物理场将分别趋近于球体、极线和岩株引起的异常。

物理地质模型的主要性质是它的物理-几何的多形性，后者表现在表征普查目标的各个局部模型的统一性和差异性之中。实际上，从地球物理普查的观点来看，即使像产生花岗岩中的石英-黑钨矿脉这样较简单的地质对象，也可以用许多激励对象（各个模型）的总体来描述（图1）。第一，这里指的是无限延深、相对高电阻率的近于直立层，该层相当于含矿的构造薄弱破碎带。第二，这里指的是规模较小、沿倾向有限的陡倾层，该层是一绝缘体、逆磁体和接近于石英脉的压电极化源。第三，这里指的是具有视极化率异常的水平椭圆柱体，其规模相当于云英岩化晕范围内的硫化物（毒砂、磁黄铁矿、辉铋矿等）浸染带。第四，这里指的是钨及其伴生元素的分带原生分散晕，其规模大大超过石英脉。第五，这里指的是残积-坡积物中的指示元素次生分散晕，残积-坡积物的形状可用垂向厚度有限的水平条带来描述。

用数值模拟计算预期物理场的可能性，以及各个模型（反映实际地质目标形态、规模、侵蚀面及其它特征变化的模型）不同组合的可控性，是物理地质模型的重要特点。

建立物理地质模型，要遵守解决地质问题的等级次序。只有在地质勘探工作每个阶段研究的发展并使研究目标的模型概念具体化的基础上才有可能在地质找矿工作中实际推广系统方法原则。这个思想在布罗多沃伊（В. В. Бродовой）的著作^[5]中体现和宣传得最为充分。他以在戈尔内阿尔泰（Горный

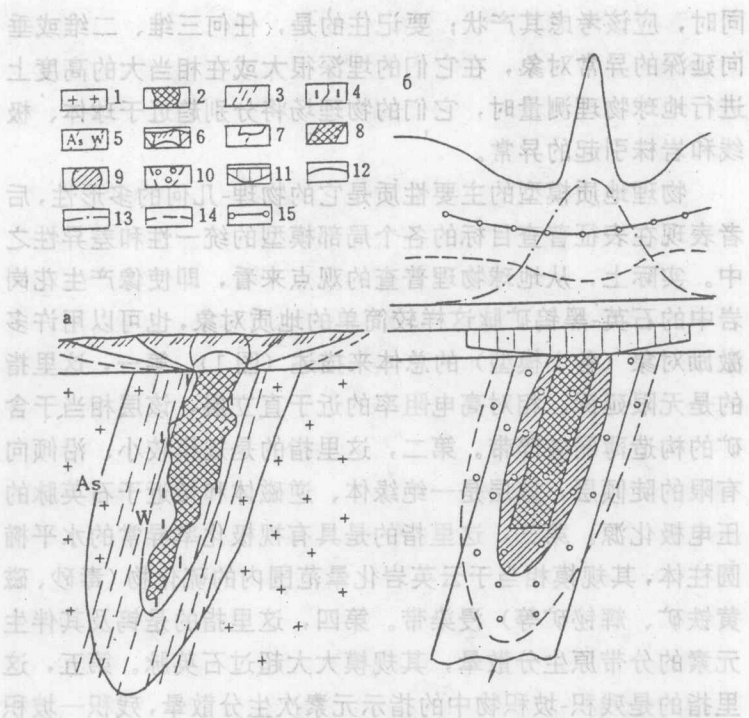


图1 石英-黑钨矿脉地质剖面示意图(a)和物理地质模型(6)

1: 花岗岩; 2: 石英-黑钨矿脉; 3: 破碎带; 4: 含有硫化物浸染体的云英岩化晕; 5: W 和 As 的原生分散晕; 6: W、As、Zn、Cu、Pb 的次生分散晕; 7: 高电阻率层; 8: 倾斜的逆磁性层、绝缘体、压电体; 9: 极化率异常的椭圆柱体; 10: 分带的多元素的原生晕; 11: 与次生分生晕对应的水平层; 12: 视电阻率 ρ_s 曲线; 13: 视极化率 η_s 曲线; 14: 磁场强度 ΔZ 曲线; 15: 压电曲线

Алтай) 普查多金属矿体为例对物理地质模型提出了分类方法并制定了地质对象的下列物理地质模型序列: 矿省(可将其

视为与地壳厚度一致的巨大块体) 物理地质模型和矿带物理地质模型, 二者是在区域地质-地球物理工作阶段进行研究的; 矿区和矿田物理地质模型, 它们是大比例尺地质填图和一般普查的主要目的; 多金属矿床物理地质模型和单个矿体的物理地质模型, 它们分别是在详细普查、普查评价和勘探亚阶段进行研究的。考虑上述每个物理地质模型的地质、形态和岩石物理特征, 就可以正确地确定出地质勘探过程每个阶段的任务, 并有依据地选择地球物理方法的合理组合。

在正式地质勘探过程每一级次的阶段, 皆可以认为物理地质模型是比较基本的并且是相对不可分的。

应该清楚地知道, 在解决一个地质普查任务(普查一定类型的石油矿床或金属矿床等)过程中, 在地质勘探工作不同阶段, 由于研究的地质目标本身完全不同, 它们的物理地质模型根本不一样。例如, 对于普查稀有金属碳酸盐矿床来说, 超基性-碱性岩和中心型碳酸岩体是有意义的, 这些岩体近似于具有磁性异常和放射性的同轴直立圆柱体, 在广泛应用的航空地球物理测量中正是考虑了这些性质。在碳酸盐岩体详查地质填图阶段及在其范围内普查富含稀有元素的含矿带阶段, 常常使用的是形态和物理观点上皆完全不同的模型。例如, 含矿带常常构成陡倾矿层或在平面上呈等轴状的矿柱、直立圆柱体, 其特点是具有放射性异常性质和在残积-坡积物中的稀有元素含量高。

物理地质模型的定量数据分为三种: 物理参数、规模和形状。物理地质模型的物理性质和规模可通过统计方法概括大量的各次测量结果而取得。

任何地质目标物理地质模型的建立, 都要依次完成下列