

地球物理测井资料

在分析沉积环境中的应用

黄智辉 编著

地质出版社

京)

27777

地球物理测井资料 在分析沉积环境中的应用

苗智辉 编著

地 质 出 版 社

内 容 提 要

本书较系统、全面地介绍了地球物理测井资料在分析沉积环境中的应用。全书共分六章，即：有关沉积环境的地质基础知识；地球物理测井方法基本原理；利用测井曲线形态分析沉积环境的物理基础和工作方法；几种主要沉积环境的测井曲线特征及应用实例；地层倾角测井及其应用；测井资料的数字处理及其应用。

书中着重讲述了利用测井资料分析沉积环境的物理基础、方法原理以及工作方法和技术。对于近年来国内外的一些新方法和新进展，也作了概要的介绍。

本书可供从事煤田勘探、石油勘探的地质人员和测井人员阅读参考，也可作为大专院校研究生、本科生及有关研究人员的参考书。

本书由黄智辉同志编著，李思田、蔡柏林同志审订。

(北京四四)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂印张：16⁹/₁₆ 字数：169,000

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数：1—1720册 定价：1.90元

统一书号：13038·新310

前 言

研究沉积环境对于石油、煤、非金属等沉积矿产的预测和勘探具有重要意义。利用测井资料分析沉积环境虽然还是一个较新的课题，但是近十多年来的实践已经证明，这是一种快速而有效的方法，它可以为鉴定沉积环境提供十分有价值的依据性资料。因此，利用测井资料分析沉积环境已成为沉积学研究和沉积矿产预测及勘探的有力手段之一。为了向地质勘探和测井工作者介绍这种手段，本书对测井方法的原理、利用测井资料分析沉积环境的物理基础和工作方法、几种主要沉积环境的地质特征和测井曲线特征以及应用实例等，作了较系统、全面的叙述。同时，对于地层倾角测井、测井资料的数字处理等新技术和新进展，也作了概要的介绍。在叙述中着重物理概念的分析，避免繁杂的数学推导，力求做到深入浅出，通俗易懂，密切结合我国实际。

本书曾请李思田、蔡柏林两同志进行了审订。在编写过程中，曾得到陈钟惠、陈曜岑等同志的大力支持。吉林煤田地质勘探公司472队、辽宁煤田地质勘探公司107队等提供了许多宝贵的资料，在此一并致谢。

由于个人水平有限，书中不妥之处敬请读者批评指正。

目 录

绪 言	(1)
第一章 有关沉积环境的地质基础知识	(5)
第一节 几个基本概念	(5)
一、沉积环境	(5)
二、沉积相	(6)
三、沉积模式	(6)
四、沉积环境的分类	(7)
第二节 沉积环境的主要成因标志	(9)
一、粒度及其分布	(9)
二、分选性	(11)
三、杂基	(12)
四、层理	(13)
五、颗粒的定向排列	(15)
六、垂向沉积序列	(16)
七、砂岩体的几何形态和分布	(17)
第二章 地球物理测井方法基本原理	(20)
第一节 视电阻率测井	(20)
一、视电阻率测井的基本原理	(20)
二、视电阻率电极系	(23)
三、视电阻率测井曲线	(26)
四、视电阻率测井曲线的影响因素	(28)
五、利用视电阻率测井曲线划分岩层界面及估计岩 层的电阻率	(38)
第二节 三电极侧向测井	(42)
一、三电极侧向测井的基本原理	(42)
二、三电极侧向测井曲线	(44)
三、利用三电极侧向测井 ρ_s 曲线确定岩层的电阻率	(46)

第三节	自然电位测井	(50)
一、	自然电位测井的基本原理	(50)
二、	自然电位测井曲线及其影响因素	(53)
第四节	自然伽马测井和自然伽马能谱测井	(61)
一、	自然伽马测井	(61)
二、	自然伽马能谱测井	(68)
第五节	密度测井和岩性-密度测井	(71)
一、	伽马射线与物质的作用	(71)
二、	密度测井	(73)
三、	岩性-密度测井	(76)
第三章	利用测井曲线形态分析沉积环境的物理基 础和工作方法	(78)
第一节	岩石的电阻率与岩性的关系	(78)
一、	岩石的导电性	(78)
二、	电阻率与粒度、分选性和泥质含量的关系	(81)
第二节	岩石的自然电位及自然放射性 与岩性的关系	(85)
一、	自然电位与泥质含量、粒度和分选性的关系	(85)
二、	自然放射性与泥质含量、粒度和分选性的关系	(88)
第三节	利用测井曲线形态分析沉积环境的基 本方法	(92)
一、	测井曲线形态的沉积环境基本类型	(92)
二、	测井曲线形态分析的基本内容	(95)
三、	有关工作方法技术的几个问题	(101)
第四章	几种主要沉积环境的测井曲线特征及应 用实例	(104)
第一节	海退沉积层序和海进沉积层序	(105)
一、	海退沉积层序	(105)
二、	海进沉积层序	(107)
第二节	冲积扇环境	(108)
一、	冲积扇环境概述	(108)

- 二、冲积扇各部位的地质特征和测井曲线特征 (109)
- 第三节 河流环境 (113)
 - 一、河流环境概述 (113)
 - 二、河流沉积的地质特征和测井曲线特征 (114)
- 第四节 湖泊环境 (117)
 - 一、湖泊环境概述 (117)
 - 二、湖泊沉积的地质特征和测井曲线特征 (119)
- 第五节 三角洲环境 (123)
 - 一、三角洲环境概述 (123)
 - 二、三角洲各部位的地质特征和测井曲线特征 (125)
- 第六节 利用测井资料研究煤层分布特征的应用实例 (127)
 - 一、实例一（利用测井资料研究阜新艾友矿区煤层的分布特征） (127)
 - 二、实例二（利用测井资料研究得克萨斯始新统褐煤的分布特征）..... (133)
 - 三、实例三（利用自然伽马曲线分析渭北煤田澄合矿区煤层形成的环境）..... (137)
- 第五章 地层倾角测井及其应用 (140)
 - 第一节 地层倾角测井原理 (140)
 - 一、地层倾角测井仪的基本结构 (140)
 - 二、相关对比及高程差的确定 (144)
 - 第二节 地层倾角测井的主要成果显示 (147)
 - 一、原始数据表和计算成果数据表 (147)
 - 二、主要成果图件 (148)
 - 第三节 地层倾角测井资料的应用 (154)
 - 一、地层倾角测井资料在研究地质构造中的应用 (154)
 - 二、地层倾角测井资料在分析沉积环境中的应用 (159)
- 第六章 测井资料的数字处理及其应用 (172)
 - 第一节 测井资料数字处理系统 (172)
 - 一、模拟记录和数字记录 (172)
 - 二、测井资料数字处理系统的组成及工艺流程 (173)

第二节 测井资料数字处理方法	(175)
一、解释模型和基本公式	(175)
二、单矿物岩石的岩性分析	(179)
三、煤质分析	(182)
第三节 测井资料数字处理结果在分析沉积环 境中的应用实例	(187)
第四节 测井相解释技术	(195)
一、测井相的概念	(195)
二、确定测井相的方法	(196)
三、测井相的应用	(200)
参考文献	(202)

绪 言

沉积岩在地壳表层中的分布相当广泛，陆地面积的大约四分之三均为沉积岩所覆盖。许多具有国民经济价值的矿产都与沉积岩有关，或者它们本身就是沉积岩。众所周知，石油、煤、油页岩都是十分重要的能源资源，它们均属于沉积矿产。除此之外，据第十九届国际地层学会议的统计资料，铁矿的90%，铅锌矿的40—50%，铜矿的25—30%，锰矿和铝矿的绝大部分，几乎所有的盐类矿以及其他许多非金属矿也都是沉积的或者是沉积变质成因的。由此可见，在各类矿产中，沉积矿产占有十分重要的地位。

各种各样的沉积岩和沉积矿产总是在一定的沉积环境条件下形成的。所以，为了科学地进行矿产预测和找矿勘探，具备有关沉积环境方面的学识并详细查明每个具体工作地区的沉积环境，这对于找矿勘探工作者来说是完全必要的。例如，聚煤盆地的沉积环境就不仅决定着含煤岩系的岩性组合、岩相的类型及其变化规律，而且也决定着煤层发育的一般地段和富集地段的位置。因此，研究沉积环境对于开展战略性的煤田预测和战术性的煤田勘探工作，都有着重要的指导意义。

利用测井资料分析沉积环境，这还是一个较新的课题。测井在沉积环境分析中的应用，至今只有一、二十年的历史，它的成果还不多，某些方面也还不够成熟。尽管如此，十多年来国内外的经验已经证明，利用测井资料分析沉积环境，是一种快速而有效的方法，它可以为鉴定沉积环境提供十分有价值的依据性资料。

可以由以下几个途径获得研究沉积环境所需要的资料：

1. 地表露头观测；

2. 钻探岩屑和岩心;

3. 测井资料。

对于获得研究沉积环境所需要的地质资料来说,直接观测地表露头曾经是重要的。但是,随着找矿勘探的深度愈来愈大,并且愈来愈多地在基岩露头完全被覆盖的地区工作,致使这种方法已变得不太重要了。

钻探岩屑的深度常是不准确的。岩屑的体积太小,也无法用它进行许多必须进行的研究。某些岩屑还易溶于泥浆中。此外,在钻进过程中还经常发生上部地层坍塌而形成岩屑的情况。因此,钻探岩屑资料的局限性很大且不太可靠。

钻探采取的岩心是研究沉积环境所需地质资料的重要来源。岩心的深度准确,岩心样品的体积又较大,可以用它进行多种分析和研究,如鉴定矿物成分,研究岩石的结构和构造,进行粒度分析,等等。这些分析和研究对于鉴别沉积环境是很重要的。但是,由于进行无岩心钻探(包括局部无岩心钻探和全部无岩心钻探),或者由于实际中经常发生的岩心采取率不高、岩心混乱和编录不准确、不细致等原因,致使利用岩心资料研究沉积环境产生极大的困难。同时,如所周知,利用岩心进行分析研究,不仅工作量大,需要许多专用的实验室仪器设备,而且成本高,出成果慢,要耗费大量的资金和时间。

近十多年来,在国内外的油田和煤田地质勘探中,已越来越普遍地利用测井资料来计算一般的岩性参数,进行沉积环境分析。测井资料的分布十分广泛,在油田或煤田上,几乎每个钻孔都有测井资料。这些测井资料基本上都是沿钻孔各种岩性变化的客观记录。利用这些测井资料不仅能详细地划分出不同岩性的地层,而且还可以直观、形象地表现出对鉴别沉积环境十分重要的成因标志——砂体的粒度、分选性、泥质含量等——在纵向上和横向上的变化。在缺少岩心或岩心混乱、编录不准确的情况下,更能显示出测井资料的可贵。此外,利用测井资料分析沉积环境还具有方法简单易行,不需要大量的实验室分析仪器设备,成本低,出成

果快等优点。

特别需要指出的是，近几年来，地层倾角测井资料作为沉积环境的一种重要的信息源，已逐渐被人们所公认。利用地层倾角测井资料可以得到以往不易查明，而在研究沉积环境中又十分需要查明的一些地层特征，例如地层的粒级层理、交错层理、沉积时岩屑的搬运方向和古水流方向，以及构造倾角等等。另外，利用电子计算机对测井资料进行数字处理，不仅可以大大提高测井解释结果的精度，而且还可以得到岩石组分（如砂质、泥质）的体积含量和孔隙度等定量分析资料。在鉴定沉积环境中，地层倾角测井资料与测井数字处理所得到的定量分析资料的配合使用，正起着越来越重要的作用。

应当指出，鉴定沉积环境是一项十分复杂而又细致的工作，它需要在占有大量资料的基础上进行系统的岩矿、古生物、地球化学、测井等多方面的综合分析，并将古代沉积物的成分、结构、构造、地层的垂向沉积层序、砂体的形态等成因标志与已建立的沉积模式进行对比研究，最后才可能正确解释古代沉积环境。

利用测井资料分析沉积环境，是以在钻孔中进行的为数不多的几种岩石物理性质（如电阻率、自然电位、自然伽马射线强度）的测量结果为基础的。由于测井所采用的岩石物性参数很有限，而且这些物性参数的测量结果也并非完全与沉积环境条件有关，因此利用测井资料分析沉积环境有时会出现多解性，即不同沉积环境的沉积层序或砂体，有时可能具有基本相同的测井曲线特征。所以，不可过分强调测井资料在鉴别沉积环境中的作用，更不能单凭测井资料便作出有关沉积环境的结论。实际上，如果预先没有有关沉积环境、沉积层序、砂体型式等方面的学识，测井资料本身对鉴定沉积环境是没有任何意义的。实际经验证明，应当以地质为基础，以测井为手段，合理而充分地利用测井资料，尽可能地收集多方面的资料进行综合分析和研究。只有这样，才能快速、优质地鉴定沉积环境。

目前，在国内外的油田和煤田勘查中，就利用测井资料分析

沉积环境的方法来说，大体上可分为以下三种：

1. 用人工直接根据测井曲线的形态来分析沉积环境。通常采用的测井曲线是电位电极系电阻率曲线、自然电位曲线、自然伽马曲线，有时也用伽马-伽马曲线或密度曲线。

2. 利用经电子计算机对测井资料进行数字处理后得到的岩性分析曲线，并配合以地层倾角测井资料来分析沉积环境。在国外，有时将这种方法称为“沉积环境测井”。

3. 采用测井相（或称电相）解释技术来分析沉积环境。这是对七种不同参数的高质量测井曲线进行数字处理，从而把测井井段划分成若干种测井相。每一种测井相都有一种特征的测井相图与之对应。在标准井中建立起测井相与沉积相的联系之后，便可以利用测井相来判断地质相，从而为鉴定沉积环境提供地质相资料。

上述三种方法中，第一种方法最简单并已得到较广泛的应用。第三种方法是近几年才提出的新方法，实际应用很少。第二种方法的应用正随着数字测井技术的迅速推广而有日益增多的趋势。考虑到我国测井的现状，特别是煤田测井的状况，本书将着重讲述第一种方法，对第二、第三种方法只作一般原理介绍。为了便于学习，在讲述利用测井资料分析沉积环境之前，有必要简略介绍有关沉积环境的基本知识及分析沉积环境中常用测井方法的基本原理和某些资料解释问题。

第一章 有关沉积环境的地质基础知识

研究沉积环境是一项重要的基础地质工作。通过重塑沉积环境，可以了解地质时期的古地理面貌和盆地的发展史，进而查明沉积矿产的形成条件和分布规律，从而指导沉积矿床的寻找、勘探及开发。

沉积环境的研究是地质学中一门综合性很强的分支学科，它所涉及的学科范围相当广泛，其中包括沉积岩石学、地层学、古生物学、地貌学、构造地质学以及地球物理学等等。在这一章里，我们仅就测井资料解释中经常遇到的有关沉积环境的基本概念和基本知识加以介绍。对于利用测井资料分析沉积环境来说，这些基本概念和基本知识是必不可少的。

第一节 几个基本概念

一、沉积环境

在沉积学研究中，人们经常使用“沉积环境”这个术语。但是，国内外的地质学家对沉积环境的理解或定义却并非完全一致。例如，按照R. C. 塞利的意见，沉积环境应定义为“在物理上、化学上和生物学上均有别于相邻地区的一块地球表面”。而在划分沉积环境单元时，可能是根据上述三项标准中的一个或两个。S. J. 皮尔森（1967年）则对沉积环境下过这样的定义：“与一定规模和形态的地貌单元相对应的一组物理变量和化学变量的集合，即称为沉积环境。”

通常，人们是把沉积环境与发生沉积作用的一定地貌单元（如

冲积扇、河流、湖泊、三角洲，等等）相联系，并把沉积环境理解为在这样一个地貌单元中形成具有特征沉积的一系列物理条件（水动力条件）、生物条件和化学条件的总和。

在一定的地貌单元内，一组独特的物理条件、生物条件和化学条件以特定的强度和速度起作用，从而产生具有特征的沉积，并在沉积物上留下足够的痕迹。因此，研究古代沉积环境，基本上就是根据古代沉积物所保存下来的沉积特征来识别古地貌单元。

二、沉积相

在沉积学研究中，沉积相也是一个常用的术语。对于沉积相的概念，国内外的地质学家也存在着不同的观点。例如，一种观点是把沉积相理解为沉积环境的同义语，认为沉积相即是沉积环境。而另一种观点却认为“沉积相是沉积环境及其在该环境中形成的沉积物的特征的总和”。显然，前一种观点有些过于简单，它并不将沉积相和沉积环境加以区分，而后一种观点则是一个综合的广义的概念，它既包括了沉积物形成时的条件，又包括了沉积物的特征这两个方面。

现在，似乎越来越多的学者主张沉积环境和沉积相是相互联系但又彼此不同的两个概念。一般认为，沉积环境是指沉积物形成的条件，即是说，沉积环境反映了沉积物是在怎样的水动力条件、生物条件和化学条件下形成的；而沉积相则是指在特定的环境中沉积作用的结果，或者说，沉积相是一个沉积单元中所有原生沉积特征的总和。可见，沉积相是沉积环境的产物，即沉积环境的物质表现。

三、沉积模式

随着对现代沉积环境和古生代沉积环境研究的深入开展，所积累的资料越来越丰富，这不仅使人们能够更全面、更细致地了解各种沉积环境的特点及其沉积作用，而且也使人们有可能对某种沉积环境作出高度的概括和总结，从而提出了沉积模式的概念。

所谓沉积模式，就是以大量的现代沉积环境和古代沉积环境的综合研究结果为基础，对某种沉积环境的发展和演变进行规律性的高度概括和总结，归纳出该沉积环境带有普遍意义的沉积特征及其空间组合形式，即称为沉积模式。建立和掌握各种沉积环境的沉积模式不仅具有重要的理论意义，而且也具有极大的实际意义。这是因为，沉积模式可以在以下四个方面起重要作用：

1. 沉积模式是大量实际资料的高度概括和总结，它对于实际沉积环境的比较和鉴别能起标准作用；

2. 沉积模式概括了环境的要点，它对于实际沉积环境的深入研究能起提纲和指南作用；

3. 沉积模式着重于环境组成之间的成因关系，它对于新的研究地区能起“预测”作用；

4. 沉积模式的建立十分强调环境所独具的成因特征，它对于所研究的沉积环境的水动力学解释能起基础作用。

正因为如此，建立和掌握各种沉积环境的沉积模式越来越受到人们的重视。各种沉积环境的标准沉积模式已成为人们恢复和重建古代沉积环境所必须掌握的钥匙和手段。

四、沉积环境的分类

国内外的地质学家对沉积环境的分类也存在着不同的见解，已提出了好几种分类方案。在各种沉积环境的分类方案中，按自然地理区划进行环境分类是使用较广泛的一种。这种分类方案是以自然地理条件或地貌特征作为沉积环境分类的主要依据。

许多地貌单元的特征都是比较复杂的。在这种比较复杂的地貌单元中，各部分的物理条件、生物条件和化学条件并不相同，因而各部分的沉积特征也有明显的差别。所以，一个大环境常常可分出若干个亚环境，而亚环境还可以分出若干个亚亚环境。据1972年的统计，全世界共划分出18种主要的沉积环境类型，40种亚类型，14种亚亚类型和20种亚亚亚类型。

最常见的沉积环境按自然地理区划或地貌特征分类如下：

1. 大陆环境组
 - (1) 冰川环境
 - (2) 沙漠环境
 - (3) 冲积扇环境
 - (4) 河流环境
 - (5) 湖泊环境
 - (6) 沼泽环境
2. 海陆过渡环境组
 - (1) 三角洲环境
 - (2) 河口湾环境
3. 海洋环境组
 - (1) 滨海（海岸）环境
 - (2) 浅海环境
 - (3) 半深海环境

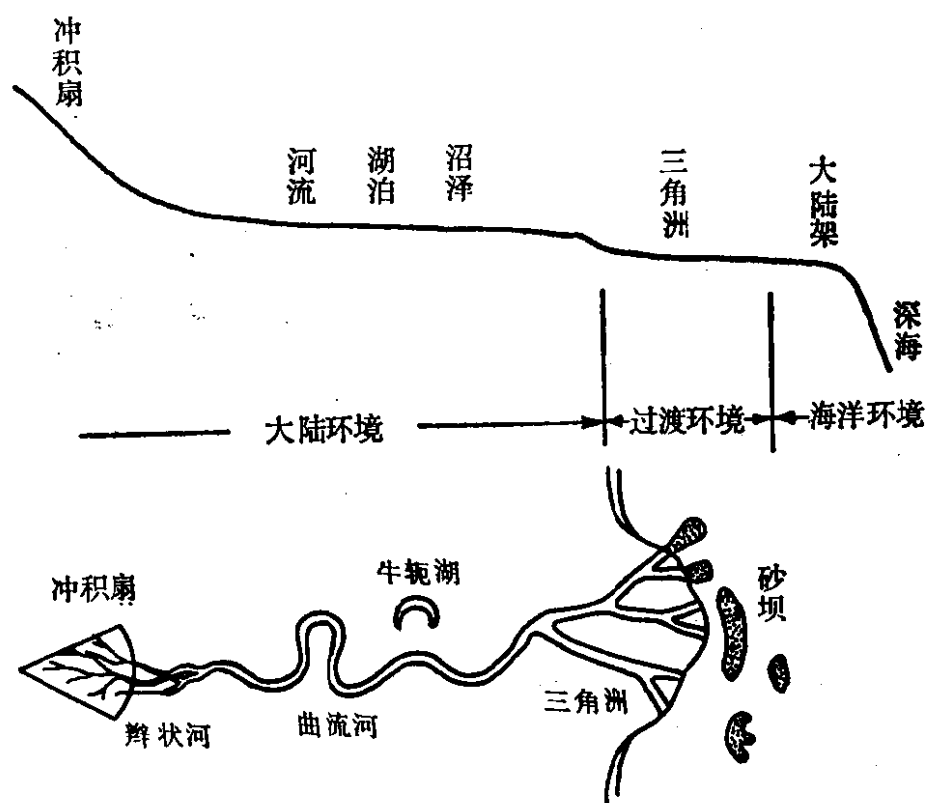


图 1-1 大陆环境、海陆过渡环境及海洋环境的相对位置示意图

(4) 深海和重力流环境

与石油、天然气、煤等沉积矿产关系密切的是几种主要的碎屑岩沉积环境，即冲积扇、河流、湖泊、沼泽、三角洲以及滨海环境等。在图 1-1 中，粗略地示意出上述三大环境组的相对分布位置。

第二节 沉积环境的主要成因标志

鉴别沉积环境是一项多学科性的复杂而又艰巨的工作，它的基本方法是：综合分析和研究古代沉积中具有指示环境意义的各种成因标志，然后将这些研究结果与沉积模式进行比较，进而解释古代沉积环境，恢复或重建古代沉积环境。由此可见，确定各种成因标志，是鉴别沉积环境的最基本、最关键的一步。

所谓沉积环境的成因标志，是指沉积物堆积阶段及早期成岩阶段所形成的一些能说明成因的沉积特征。沉积物沉积之后所形成的一些特征一般没有指示环境的意义。概括地说，沉积环境的成因标志可分为物理标志、生物标志和化学标志等。由于篇幅所限，在这里我们仅简单介绍与利用测井资料分析碎屑岩沉积环境有关的几种常用成因标志。

一、粒度及其分布

碎屑岩的碎屑颗粒的大小称为粒度，它是以颗粒直径来计量的。粒度是碎屑岩最主要的结构特征之一。碎屑物质的搬运以机械搬运为主，它们的搬运和沉积都受水动力条件（如介质、流速、流量等）的控制。碎屑物质被埋藏后，一般颗粒变化不大。因此，粒度及其分布特征，可以用来直接反映沉积时期的水动力条件。不同沉积环境有着不同的水动力条件，从而造成了不同的粒度分布。所以，粒度分布特征可以为环境分析提供重要的依据，它是鉴别沉积环境的主要成因标志之一。

粒度级别的划分方法有多种。表1-1是我国煤田地质部门对