

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

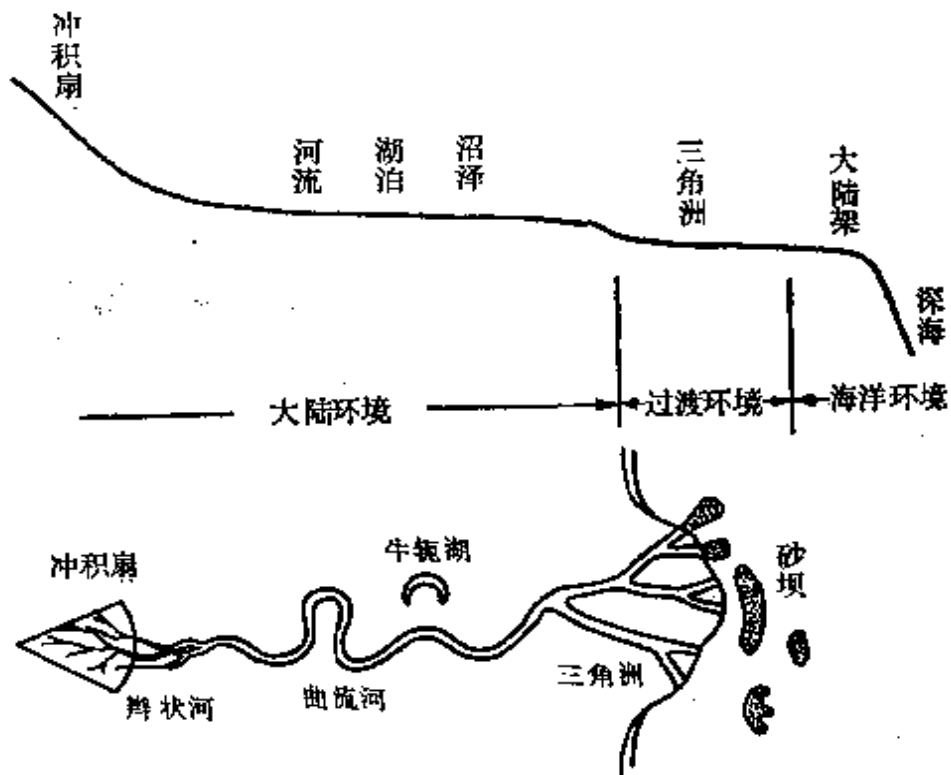


图 1-1 大陆环境、海陆过渡环境及海洋环境的相对位置示意图

(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

粒度级别的习惯用法。

在表1-1中所采用的粒度数制是十进制。这种十进制粒度划分比较直观，但它的缺点是间隔分得较粗，颗粒愈细愈难以表示清楚。为了克服这一缺点，提出了以 ϕ 值作为划分粒度的标准(伍德-温特华斯方案)。 ϕ 值与颗粒直径 D 之间的关系为：

表 1-1 我国煤田地质部门的粒度级别习惯用法

粒度划分	砾	细砾	粗砂	中砂	细砂	粗粉砂	细粉砂	粘土
颗粒直径 (mm)	>10	2—10	0.5—2	0.25 0.5	0.1 0.25	0.05 0.1	0.01 0.05	<0.01

$$\phi = -\log_2 D$$

碎屑岩的颗粒大小是衡量沉积能量的一种尺度。沉积能量由水流和波浪作用引起，它的高低与水的动荡程度成正比。目前尚没有直接测定沉积能量的方法，但是粒度可以反映出沉积能量的高低。一般地说，粗粒沉积物出现于高能环境，细粒沉积物则出现于低能环境。另外，粒度还在搬运方向上减小。这种特征在河流沉积物中十分明显。在河流沉积物中，平均粒度向下游方向减小。

在沉积岩石学中，把能够确定沉积物中不同粗细质点的含量的方法，称为粒度分析。常用的粒度分析方法有筛析法、薄片鉴定法等。根据粒度分析结果可以作出各种粒度曲线(包括直方图、频率曲线图、累积曲线图及概率累积曲线图等)和计算出各种粒度参数(包括平均粒度 M_z 、分选系数 σ_i 、粒度中值 M_D 、偏度 S_K 、峰度 K_0 等)。近几年来，在油田和煤田勘探与开发中，利用粒度分析所得到的粒度曲线、粒度参数以及用粒度参数所得到的判别函数来鉴别沉积环境都已取得较好的效果。利用粒度分布来鉴别沉积环境的基础在于，碎屑沉积物主要有三种搬动模式：滚动的，跳动的和悬浮的。不同的沉积环境，由于其水动力条件不同，因而具有不同的搬运模式，从而形成不同的粒度分布特征。研究粒

度分布，可以提供如下资料：

- 等，
- (1) 明确搬运介质的性质，如风、水、泥石流等；
 - (2) 判断搬运介质的能量条件，如流速、强度、起动能力等；
 - (3) 明确搬运方式，如滚动、跳跃、悬浮；
 - (4) 明显沉积作用的模式，如牵引流、浊流等。

二、分选性

碎屑岩很少由单一的一种粒级的碎屑颗粒组成，而往往是由几种粒级成分组成。通常所说的岩石的粒度是指颗粒的平均直径（平均粒度）而言的。在碎屑岩中，碎屑颗粒大小的均匀程度（或相对集中程度），称为分选性或称分选程度。

碎屑沉积物常具有不同的分选程度。一般将分选程度粗略地划分为好、中、差三级。当主要粒级成分的含量大于75%时，称分选好；若主要粒级成分的含量在50—75%时，称分选中等；如果没有一种粒级成分的含量超过50%，则称为分选差。

碎屑沉积物的分选性与沉积环境的水动力条件有着较密切的关系，因此分选性也是沉积环境的重要成因标志之一。

碎屑的分选是它们在搬运和沉积过程中发生的，所以颗粒的分选程度主要取决于搬运条件，同时也与搬运距离有关。一般地说，风搬运沉积物的分选性比水搬运的要好，滨海（湖）沉积物的分选性比河流的要好，而冲积扇和冰川沉积物的分选性最差。

风速的变化范围较小，风能携带的砂的粒级范围也较窄，一般以细砂为主含少量中砂和粉砂，因此风成砂丘的分选性好。海（湖）波浪作用是往复的运动，它使沉积物经受多次的搬运和分选，从而也能造成很好的分选。河流的流速变化范围大且变动频繁，因而河流沉积物的分选较差。冲积扇是在山谷出口处由暂时性洪水形成的山麓堆积物，其分选性极差。

前已指出，在河流沉积物中，平均粒径有向下游方向减小的现象，即上游沉积物的颗粒较粗，下游沉积物的颗粒则较细。但

是，分选性与搬运距离却不是简单的直线关系。由于受到物源的影响，特别是当河流中有支流加入时，新的物源区物质的混入会使沉积物的分选性明显变差。因此，从上游至下游，河流沉积物的分选性常呈波浪式变化。

三、杂 基

碎屑岩主要由四个基本组成部分组成：碎屑颗粒、杂基、胶结物和孔隙。碎屑颗粒是母岩的碎块，它占整个岩石的50%以上，是决定碎屑岩主要特征的部分。杂基又称基质，是岩石中与碎屑颗粒同时沉积的较细的非化学沉淀物或机械混入物。杂基的粒径一般小于0.03 mm，其成分主要是粘土物质，也可以含有一些粒径为0.03—0.05mm的细粉砂。胶结物是指化学沉淀物质，如碳酸钙、硅质、铁质等。胶结物对颗粒起胶结作用，使之变成坚硬的岩石。孔隙则是碎屑岩中未被固体物质占据的部分。

研究杂基的性质及其含量，对于鉴别沉积环境具有意义，因为杂基可以反映出沉积时期的水动力条件，进而可以推断沉积环境。

根据杂基含量的多少，可以划分出两种基本的结构类型，即杂基支撑结构和颗粒支撑结构（参见图1-2）。

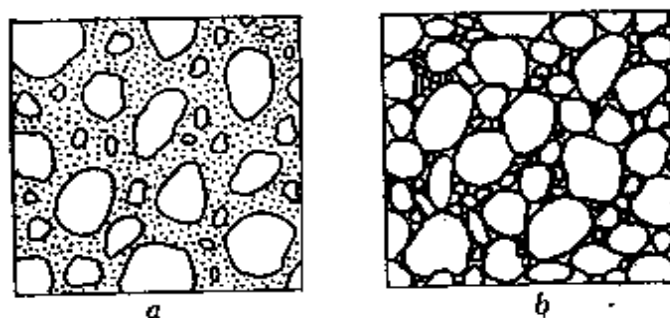


图 1-2 杂基支撑结构 (a) 和颗粒支撑结构 (b)

杂基支撑结构又称基质支撑结构，其杂基含量一般大于25%。碎屑颗粒之间彼此不接触，呈“游离”状。杂基支撑结构是快速堆积的一种特征。由于沉积物堆积速度快，它没有遭受多少水流或波浪的改造作用，大小颗粒和泥质一起堆积下来，便形成杂基

支撑结构。在冲积扇、冰川堆积中常见此种结构。

颗粒支撑结构的杂基含量一般小于10%。碎屑颗粒之间彼此接触。颗粒支撑结构是在具有一定强度的稳定水流中，由于水流或波浪对沉积物持续作用，使细小的杂基大部分被簸扬掉的结果。在三角洲分流河道砂坝、沿岸砂坝等沉积中常见此种结构。

四、层理

层理是碎屑岩最典型的原生沉积构造特征之一。层理是由岩石的矿物成分、碎屑颗粒的粒度、沉积物的颜色等特征在垂向上的变化而反映出来的。在不同沉积环境和不同水动力条件下，会产生不同类型的层理，因此层理也是沉积环境的重要成因标志之

一。

组成层理的最小单位是纹层，又称细层。一个纹层在成分和结构上都比较均一，其中没有肉眼能见到的层。纹层的厚度很小，一般仅数毫米，有时可达数厘米。纹层是在一定的环境条件下同时沉积的结果。

组成层理的基本单位是单层，或称层系。单层是由若干个在成分、结构、厚度和产状上相似的纹层组成，它是在一段时间内环境条件和水动力条件相对稳定的产物。单层内的成分和结构可以是均匀的、韵律变化的或递变的。相邻的单层被层理面分开。层理面基本上代表了一个沉积间断面或沉积条件的突变面。单层的厚度一般为数厘米到数米。

两个或两个以上在成因上有联系的、岩性相似的单层迭置而成一个层组，或称层系组。层组是由沉积环境条件变化形成的。

通常所说的层，是组成沉积地层的基本单位。层由成分基本一致的岩石组成。一个层可以包括一个或几个纹层、单层或层系组。按厚度划分，层可分为块状层（大于2m）、厚层（2—0.5m）、中厚层（0.5—0.1m）、薄层（0.1—0.01m）和微细层（小于0.1m）。

按结构和形态的不同，可将层理分为水平层理、波状层理、交错层理、粒序层理（或称递变层理）、韵律层理和透镜状层理等

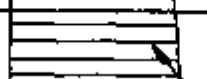



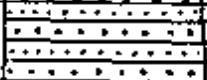
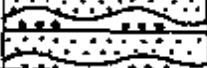
层理类型	序号	层理形态	层系	层组
水平层理	1			
波状层理	2			
交错层理	板状	3		纹层
	楔状	4		
	槽状	5		
粒序层理	6			
韵律层理	7			
透镜状层理	8			

图 1-3 层理的基本类型

(见图1-3)。它们都是一定环境条件和水动力条件的反映。

水平层理的特点在于它的纹层呈直线状互相平行，并且平行于层面。这种层理是在水流比较缓慢且稳定时，主要产生悬浮物质的降落沉积而形成的。水平层理多出现于细粒的粉砂和泥质沉积物之中。在海、湖的深水地带、闭塞海湾、泻湖、沼泽以及牛轭湖等环境中，常见此种层理。

波状层理的特点是，它的纹层呈对称或不对称的波状，但其总方向平行于层面。波状层理主要是沉积介质的波浪振荡运动或单向水流的前进运动造成的。在海、湖的浅水地带、河漫滩、以及海湾、泻湖等地区，常见波状层理。在这些地区，波浪和水流作用能影响到水底沉积面，使沉积物呈波状起伏，从而形成波状层理。波状层理起伏的大小反映出当时水动力条件的动荡程度。

交错层理是碎屑岩中最常见的层理之一，它由一系列与主要沉积界面（层系面）相斜交的纹层组成。这种层理是在沉积介质能量条件比较强的情况下形成的。当沉积介质具有一定流速时，

在底床上可以产生一系列的砂波。砂波顺流移动，便在陡坡一侧形成一系列纹层组成的纹层系。纹层的倾向反映出沉积介质的流动方向。斜层系彼此以不同形式的重叠、切割相组合，便形成不同形态的交错层理。交错层理常见于海、湖的滨岸带和浅水区、三角洲及河流等沉积物中。

粒序层理又称递变层理，它是以粒度递变为特征的沉积单位。这种层理的特点是由底部向上至顶部，颗粒逐渐由粗变细；除了粒度变化以外，没有任何内部纹层。递变层与下伏地层往往是突变接触。在正常情况下，递变层下部由比较粗的砂组成，向上递变为较细的沉积物，最后常过渡为泥质沉积物。递变层的厚度变化较大，单层厚度由几厘米到一米不等。一般认为，大多数递变层理为深水环境的产物，并且主要由浊流引起。在其它环境中，如潮间坪、浅滩、三角洲和陆棚沉积等，也能见到递变层理。

韵律层理由在成分、结构上不同的薄层（砂岩薄层和泥岩薄层）呈有规律的重复出现而组成。这种有规律的韵律变化可以由潮汐变化、季节性变化等原因引起。潮汐环境中形成的韵律层理，主要由许多厚度在1mm左右的砂层和泥层的互层组成。砂层是在涨潮和落潮的水流活动时期沉积的，泥层则是在高潮和低潮的滞流阶段形成的。这种韵律层理在潮间滩地和河口湾相当普遍。季节性变化所形成的韵律层理，主要由淡色层（夏季）和暗色层（冬季）的互层组成。

透镜状层理的特点是，砂质透镜体被包围在泥质岩石之中。这种层理是在水流和波浪作用较弱，并且砂的供应不足，而泥的供应、沉积和保存条件均较砂更为有利的情况下形成的。

五、颗粒的定向排列

颗粒的定向排列也属于构造特征之一。如砾石、石英、云母、有机颗粒等的长轴排列方向和长轴相对于水平面的倾斜，都可以用于沉积环境分析，特别是用于古水流方向的分析。所以，颗粒的定向排列也是沉积环境的重要成因标志之一。

在各种具有定向特征的颗粒中，最有意义的是砾石。图1-4是各种沉积环境的砾石方位的示意图。另外，长条形砂粒也有较好的定向特征。经研究发现，海岸砂粒的长轴大都垂直于海岸。

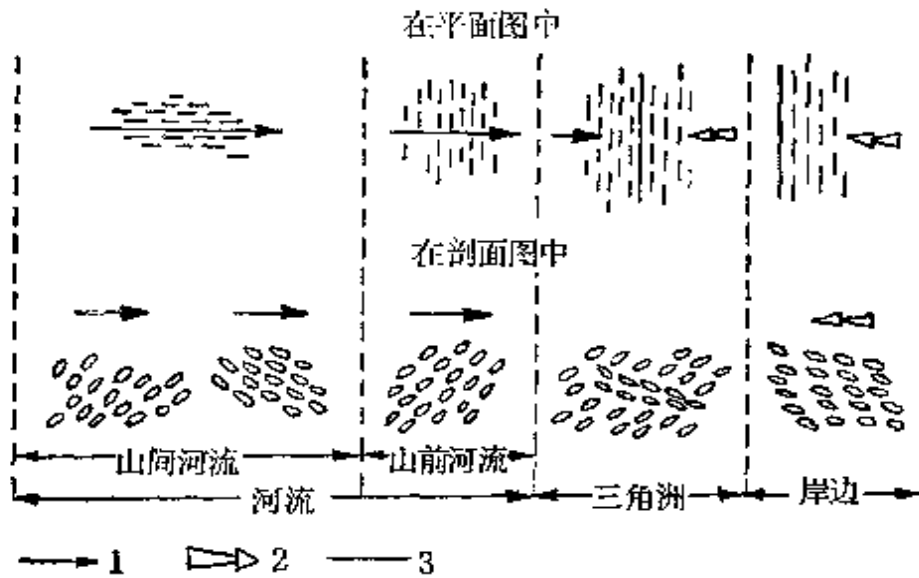


图 1-4 各种沉积环境的砾石方位示意图

1—河水方向；2—海水方向；3—海岸线
(据鲁欣，1953年)

湖岸砂粒的长轴则大都平行于湖岸。河流砂粒的长轴则平行于水流方向并倾向上游方向。砾石和砂粒的这些定向排列特征都与沉积时的水动力条件直接有关。

六、垂向沉积序列

在鉴定沉积环境中，垂向沉积序列（简称沉积序列）越来越受到人们的重视。所谓垂向沉积序列，系指几种在成因上有联系的沉积相或沉积环境在垂向剖面上的相互组合关系。各种沉积相的沉积环境并不是孤立的，它们在时间和空间上的分布都有一定的内在联系，且常以一定的组合形式出现。垂向沉积序列正是这种组合关系在垂向剖面上的表现，它是沉积物堆积时的水动力条件随时间变化的反映，也是沉积环境发展演化的结果。因此，不同的沉积环境具有不同的垂向沉积序列特征，而这些垂向沉积序

列特征正是鉴别沉积环境的重要标志。在分析沉积环境时，不仅应该注意研究某些单项的沉积特征（如粒度分布、分选性、杂基、层理等等），而且更应该着重研究沉积序列特征，即在垂向剖面上的组合关系和特征。这是因为，单项沉积特征可以在几种沉积环境中出现，它具有多解性，而垂向剖面上的组合的沉积特征则可以避免这种多解性。

近二十年来，国内外的地质学家从观察、研究现代沉积环境入手，结合对古代沉积环境的分析和研究，归纳、总结出了不同沉积环境的沉积序列模式（或称相模式）。沉积序列模式是在对大量的现代环境和古代环境进行综合研究的基础上，经过高度概括而建立起来的。它通常并不反映出某种环境的沉积特征的全部细节，但是它从本质上反映出某种沉积环境随时间而演化的规律性。或者说，沉积序列模式从沉积环境的历史演化和相互联系方面，表现了某种沉积环境所固有的沉积特征。

维舍（Visher, 1965）认为，一个特定环境的沉积序列的形成主要受它的基本沉积作用的控制。他提出了六种基本的沉积作用及由这些基本沉积作用形成的六种沉积序列模式，即河流模式，湖泊模式，三角洲模式，海退模式，海进模式以及半深海-深海浊流沉积模式。这些基本的沉积序列模式既可作为解释地层剖面的标准，也是识别沉积环境的重要标志。

七、砂岩体的几何形态和分布

砂岩体，简称砂体，它是在一定的沉积环境条件下形成的以砂质为主要成分的沉积岩体。

在分析沉积环境中，研究砂体占有相当重要的地位。这是因为，砂体是沉积地层的骨架，研究清楚了砂体的成因及其分布特点，也就很容易了解与砂体伴生的沉积物和沉积盆地的特点。同时，砂体的形态和分布主要受地形及沉积作用的控制，因而与沉积环境条件有着直接的联系。所以，砂体的几何形态和分布也是鉴别沉积环境的重要标志之一。还应着重指出，对于石油地质工

作者来说,砂体的岩性及其分布特点直接关系着石油、天然气的储集条件;而对于煤田地质工作者来说,砂体的岩性及其分布特点则与煤层的形成和富集情况有着密切的关系。因此,研究砂体对于查明石油、天然气和煤等矿产具有重要意义。

砂体的几何形态包括平面形态和剖面形态。通过编制同一地层单元的纯砂岩等厚图,可以了解砂体的平面形态。常见的砂体平面形态如图1-5所示。



图 1-5 几种常见的砂体平面形态

席状砂体的平面分布面积较大(从几平方公里到数千平方公里),长与宽之比近于1:1,厚度小而稳定。长形砂体的长度显著超过其宽度。长形砂体又可分为豆荚状、条带状、树枝状和带状四种类型。一般地说,陆棚砂或海滩砂等皆可为席状砂

体,而长形砂体则多出现于河流、三角洲平原的分流河道、沿岸砂坝等沉积砂体中。

通过编制砂体的横剖面图,可以了解砂体的剖面形态。常见的砂体剖面形态有:上平下凸状(如河流砂体)、下平上凸状(如沿岸砂坝)、楔状(如冲积扇砂体)以及透镜状(如三角洲指状砂坝),等等。

以上七种仅是利用测井资料分析沉积环境时常用的几种成因标志。在使用地质学方法鉴别沉积环境时,还有一些常用的成因标志。例如,岩矿标志中的陆源碎屑成分,自生矿物,粘土矿物成分,碎屑颗粒的磨圆度、球度、表面特征;原生沉积构造标志中的波痕、冲刷痕、雨痕,等等。同时,应当指出,古生物化石也是沉积环境的重要成因标志之一。对现代沉积环境的观察结果表明,生物群的分部及其生态特点,均严格地受着环境因素的控

制。一定的沉积环境内都有一定的特殊生物组合与之相对应。因此，利用古生物资料不仅可以研究各个地质时期的古地理、古气候，而且还可以为鉴别沉积环境（尤其是区分大陆环境和海洋环境）提供重要的依据。除此之外，如地球化学标志以及地震地层学标志等，皆可用来分析沉积环境。测井曲线形态，也是沉积环境的一种重要的成因标志。关于这一点，我们将在第三章和第四章中详细讲到。

综上所述可以看出，绝大多数成因标志仅能反映沉积环境在某一方面特征。因此，一般不应该、也不可能只根据某项标志便对沉积环境作出结论。在研究沉积环境时，应当尽量搜集多种成因标志，利用多方面的资料，包括本书将要介绍的测井资料，采用综合分析方法进行仔细的研究。只有这样，才能取得较为符合实际的推断解释结果。应当注意到，在鉴别沉积环境中，各种成因标志所起的作用也是有差别的。在各种成因标志中，以物理标志（主要是沉积物的结构特征和构造特征）最为重要，同时，垂向沉积序列也起着十分重要的作用。

第二章 地球物理测井方法基本原理

据不完全的统计，至今国内外已采用过的煤田测井方法多达三十余种，常用的煤田测井方法也有七、八种。在这一章里，仅讲述我国煤田测井中适宜于用作沉积环境分析的几种测井方法的基本原理。它们是：视电阻率测井、三电极侧向测井、自然电位测井、自然伽马测井以及密度测井。对于某些新的测井方法，如自然伽马能谱测井、岩性-密度测井等，也将作简要介绍。本章不包括地层倾角测井，将在第五章中专门讨论它。

第一节 视电阻率测井

一、视电阻率测井的基本原理

视电阻率测井又称普通电阻率测井，它是煤田测井中最基本、最常用的一种测井方法。

电阻率是表征物质导电能力好坏的一个物理量。岩石的电阻率在数值上等于边长各为1m的立方均匀岩块两对面间，以欧姆为单位的电阻值。岩石电阻率的单位是欧姆米（ $\Omega \cdot m$ ）。

为了测量被钻孔穿过的岩层的电阻率，在视电阻率测井中，通过装置在电缆末端的电极A和置于地表的电极B，将强度一定的电流I送到井下，使之在井下产生一个稳定的直流电场。再借助装置在电缆末端的另外两个电极M、N，来测量AB电场在M、N两点间产生的电位差 ΔV （参看图2-1）。

假设地下充满电阻率为 ρ 的均匀岩石（岩石向下无限延伸，且不考虑钻孔的影响）。在此介质中放入排列在一直线（井轴）上的测量电极M、N及供电电极A。这三个电极组成一个电极系

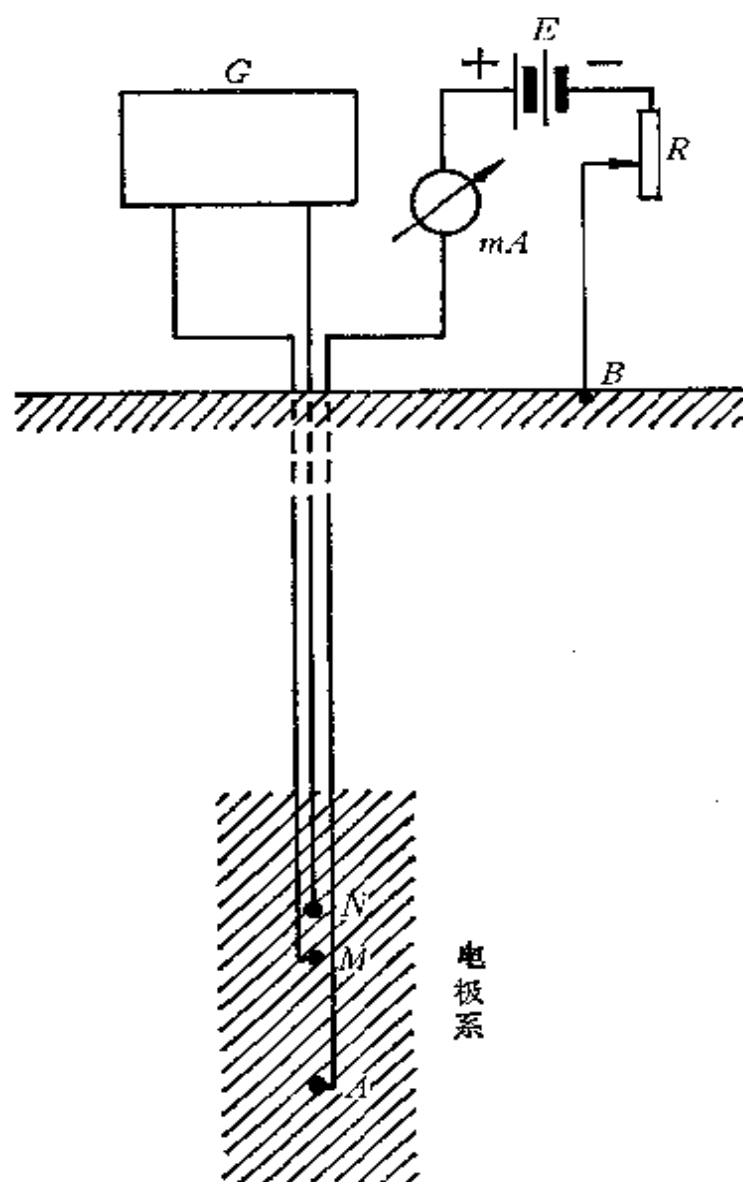


图 2-1 视电阻率测井测量原理线路

G—电位差计；mA—毫安表；R—可变电阻；E—电池组

(图2-1)。由于电极的尺寸相对电极之间的距离来说是很小的，故可将电极视为点电极；又由于电极系至地表的距离远远超过电极系的探测半径（关于电极系的探测半径将在后面讲到），则地表及B电极对电极系周围电场分布的影响可以忽略不计。这样，可以认为，电极系是置于电阻率为 ρ 的均匀无限大介质之中。根据均匀无限大介质中点源电场的理论，可以写出点源A在M、N两点之间产生的电位差为：