

# 第一篇 理论与方法篇

## 第一章 沉积地貌分析及其研究方法

沉积地貌分析是在沉积学突飞猛进的发展过程中对地貌学有强烈要求，而地貌学纵深发展的结果又有部分与沉积学相结合的情况下形成的，于是则产生了地貌学的这一新分支——沉积地貌分析。

### 第一节 沉积地貌分析的形成背景

首先从沉积学在其发展过程中对地貌学的要求来看，早在 20 世纪初叶，由于采用水力法开采含金砂矿而进行的水槽实验是今日对沉积构造进行水力学解释工作的萌芽，这也是沉积地貌分析的萌芽。

20 世纪 50 年代以后，人们开始注重对现代沉积进行研究，如对密西西比河三角洲、大巴哈马滩及波斯湾等现代沉积的研究均与地貌学密切相关。

在 60 年代由于进一步引进水力学的理论和实验方法，促进了沉积学中的水槽实验研究，使得对沉积构造的形成机理的解释大大前进了。遗憾的是，我国在这方面工作进行得很少。

近些年来，为了预测并确定储油岩的位置及其特征，如砂岩体的几何形状、砂岩的岩性、沉积构造等，要解决这些问题则必须研究沉积环境、古地貌和古地理。要了解沉积环境，需有现代沉积的知识；要了解古地貌，则需有现代地貌学理论的基础。这就必然使沉积学与地貌学相结合。正如毕的钟等指出：“沉积环境的分析基本上就是古地貌学。而沉积学者在从事沉积的环境重建时，实际上就成为一位地貌学者”<sup>[1]</sup>。同样，当地貌学者在研究沉积环境时，也必须掌握有关沉积学理论。

再者 沉积学家日益注重水动力 河流动力学 水力学 海洋水文学 的研究 因为动力过程是形成沉积物各种特征（沉积结构——粒度、圆度、分选等 沉积构造 分布地区 垂直层序等）的根本原因。1971 年维雪提出动力过程—沉积反映模式，并称这已经成为现代沉积学者的主要研究方法。实际上，动力过程—沉积和地貌反映模式也是现代动力地貌学的研究核心。所以，沉积学与地貌学关系密切，两者互相渗透，互相补充。上述论点是我国著名地貌学家任美铎先生早在 1975 年就已提出的。英国地貌学家德比希尔就著有《地貌过程》一

\* 本文是作者在 70 年代为中国科学院研究生院及陕西师范大学地理系研究生讲课时写的讲稿，未曾发表，肯定有许多不足之处。

书,他同时也是一位杰出的冰川沉积学家。沉积与动力相结合,动力与地貌相结合,这样就形成了一门新分支科学——沉积地貌。

## 第二节 沉积地貌分析是地貌学中的新分支

地貌学是研究地球表面起伏形态及其发生、发展和分布的科学。地貌学的研究对象就是地球表面的各种形态、造成这些形态的动力作用、各种形态的特征组合、它们的发育和演化规律,以及与各种地貌类型相关的沉积物特征等。

沉积学是研究未曾石化的和已经石化的天然沉积物以及在现代自然环境中沉积作用的过程和机制的科学。沉积学这一名称最早由 A. C. Trowbridge 在 1925 年提出的,后来 H. Wacell 在 1932 年曾厘定为研究沉积物的科学<sup>①</sup>。

沉积地貌分析是沉积学与地貌学相结合的产物,是地貌学纵深发展的必然结果,是一门跨学科的边缘科学,是地貌学中的新分支。

我们也许可以这样给它下定义,即沉积地貌分析是研究地表各种地貌单元中沉积物的沉积特征、岩相变化、形成过程和机制的科学。它既强调地貌,又强调沉积,但又不是原来的地貌学,也不是现今流行的沉积学,后者更多地突出沉积作用的形成机制,而不注重不同气候带及不同内动力状况下的地貌特征。

## 第三节 沉积地貌分析在我国的发展

随着国际上沉积学的发展,如 L. G. Weekes 从石油地质角度研究了影响沉积盆地发展的因素,H. N. Fiskk 对密西西比河三角洲进行了详细研究,L. V. Illing 对大巴哈马滩的现代碳酸盐进行细致划分,我国地貌学中的分支学科也得到较快的发展。它主要包括河流地貌学、岩溶地貌学、海岸地貌学、冰川与冰缘地貌学等。相应地河流动力、海洋动力、冰川动力、风沙动力等原理和方法被引入地貌学领域。由于地貌学的纵深发展,分科愈来愈细,对组成地貌体的沉积物的研究也必然要求更加细致。沉积学中先进技术的引进,沉积地球化学的发展,都逐步被地貌学家所借鉴。他们将两者相结合建立了沉积地貌分析。回顾起来,50年代可称为比较地貌学;60年代则为沉积地貌分析萌芽时期。这是随着苏联专家列别捷夫将地貌学与寻找砂矿相结合而发展起来的。随后,王乃樑先生发表的“一些沉积学的方法在区域地形研究中的应用”一文,介绍了一些宏观沉积学方法<sup>[2]</sup>。此外,用沉积学方法研究黄土的形成环境<sup>[3]</sup>、研究河流的发育历史<sup>[4]</sup>、研究新构造运动<sup>[5]</sup>等方面的文章也不断出现。

70~80年代,我国由于石油进一步的开发,需要将有关现代沉积的知识运用于石油地质中,地貌工作者跨入一新的高度。南京地理研究所祁延年等研究了大庆油田的沉积相,并运用现代沉积学观点与石油地质工作者们总结出高水平的沉积地貌学著作<sup>②</sup>对生产具有良好的指导作用,亦丰富了陆相成油理论。任美镔先生撰文“有关沉积相的几个问题”,<sup>[1]</sup>实际上就是将沉积地貌分析介绍给地质、地理工作者,起到了很好的先导作用。

李汉瑜。沉积学研究的回顾与前瞻。沉积专辑,1981。

② 江苏省地理研究所湖泊岩相古地理组。古地貌学在石油勘探和开发中的作用。

华东师范大学、同济大学与有关单位合作,研究了长江三角洲的沉积,为长江三角洲的开发利用提供了宝贵的信息,亦大大丰富了沉积地貌分析的内容<sup>[6~8]</sup>。

我国东部中低山及平原区是否存在第四纪古冰川问题,地貌工作者运用沉积学方法剖析了混杂堆积物的成因,研究了前人定为冰碛物的形成环境,并提出异议<sup>[9]</sup>。与此同时注重了对易与冰碛相混淆的泥石流、水石流沉积的研究,总结了它们的宏观结构特征<sup>[10]</sup>并加强了对现代冰碛及高山区古冰碛的分析研究工作。无论是冰川论者或反泛冰川论者在研究中均增加了沉积学方法。这实际上为沉积学及地貌学谱写了一新篇章,也将加速接近客观真理,倘若有一天这个争论问题得到解决,不能不归功于沉积地貌分析的作用。因为一些古冰川的侵蚀地貌现象往往具有多解性,惟有冰川沉积物是有其专属的特征,在对真正冰碛物透彻了解认识以后,同时对各种成因的混杂堆积物亦能加以判别区分,到那时问题会迎刃而解,也可谓是沉积地貌分析一大贡献。

湖泊沉积的研究在南京地理研究所地貌工作者的共同努力下取得了可喜的进展。他们系统地研究了鄱阳湖、太湖的形成与演变过程,并将沉积地貌分析与历史地理学相结合,详尽地分析了湖泊的发育历史,是综合研究成功的实例。

更值得庆贺的是在沉积地貌分析的摇篮——北京大学近两三年来涌现出不少新苗,他们用新技术、新思想为沉积地貌分析提供了新鲜血液,其中的例子不胜枚举,难以用有限的篇幅加以概括。

## 第四节 沉积地貌分析的研究方法

### 一、野外工作方法

野外工作方法与地貌学和沉积学相同。要注重宏观地貌的地带性特征,运用沉积学的细致工作方法注意野外宏观沉积结构的描述,采集有关样品进行室内分析、实验。

### 二、目前经常采用的室内实验方法

#### (一) 粒度分析法

沉积物粒径的大小是其基本属性,也是反映动力状况的最直接方法。它是沉积地貌分析中最基本、最简单且又最不可缺少的内容。沉积学家在粒度分析方面做了大量工作。早在40年代,最有意义的研究之一是道格拉斯(1946)的研究,他提出:(1) 粒度分布是两三个组分的混合物。(2) 这些分布是搬运条件改变产生的,由此分析他得出了曲线形态和特殊沉积环境的曲线类型的经验分类法。

50年代 Einstein 等研究了沉积物搬运机制,这些研究提供了沉积物解释的理论基础。Sindowski(1958)描述了现代和古代环境中沉积物粒度分析曲线的形态。他使用了5000余个样品的粒度分布概率曲线图,根据7种不同的沉积类型,总结出7种典型(即残积、海滨、潮汐平原、陆架、潮汐水道、潮汐河道和冲积)的粒度分布曲线。但他缺少沉积物搬运和沉积的水流机制的严密研究。

① 北京大学地理系研究生论文集。1984。

60年代, Moss 对于粒度分布与沉积过程关系的了解作出了贡献, Moss 使用颗粒的形态和大小来区分 3 种搬运方式 悬浮 跳跃 滚动 造成的次总体。

Fuller 用正态概率曲线解释了牵引点, 他认为跳跃和滚动次总体的截点在  $2\phi$ 。Spencer (1963) 指出 所有的粗颗粒都是 2 个或 3 个正态概率组分的混杂体, 分选是总体混合程度的一个量值。

在所有这些工作中, 最有意义的是 Folk 和 Ward(1977)、Friedman(1961, 1969) 的工作, 他们使用了平均值、标准偏差、偏度、峰态来区分滨海、沙丘、风积平原、河流等环境。Passage(1957, 1967) 创造 C - M 图, 用以区别悬浮、牵引、递变悬浮和其他沉积过程。Visher (1969) 将上述成果很好地用于寻找石油, 即对古代沉积环境的研究工作中<sup>[11]</sup>。我国同济大学的地质、地貌工作者将上述方法首先介绍到国内, 编写了《粒度资料的处理和应用》<sup>①</sup>, 成都地质学院陕北队出版了《沉积岩(物) 粒度分析及其应用》一书<sup>[12]</sup>。这样, 新的粒度分析方法被广泛采用。近年来, 同济大学在对我国长江三角洲的研究工作中对粒度分析法的应用就是极好的例子<sup>[13, 14]</sup>。

## (二) 矿物分析法

矿物分析法可包括两部分, 即碎屑矿物分析与粘土矿物分析。

碎屑矿物研究法的应用可追溯到 19 世纪, 当时研究的对象仅限于现代沉积物——河砂及海砂, 而且当时鉴定矿物仅根据结晶习性、磁性及化学分析。后来, 一方面对现代沉积的研究更加深入了, 同时分析其成因及来源地; 另一方面对古代沉积物的兴趣不断增长。

20 世纪初叶, 根据陆源组分再造古地理, 是寻找现代及古代沉积物冲刷来源地的阶段。

20 世纪中叶至今, 由于对石油的进一步开发, 要求对沉积相进行亚相或微相的划分, 这就要求必须从沉积动力学的角度来深入研究, 由此粒度分析的研究取得长足的进展。并随着现代科学技术的应用, 于是对石英砂表面形态特征的研究、沉积物地球化学特征的研究均跃居首位。欧美国家的地学工作者在这方面捷足先登, 但显然对碎屑矿物成分的研究重视不够。当今美国地学大学生会使用电子探针而不会使用偏光显微镜, 就是忽视矿物分析的写照。实际上, 碎屑矿物分析法具有不可代替的作用。我国近年来在研究华北平原古河道的工作中 在研究古气候方面<sup>[15]</sup>, <sup>③</sup>, <sup>④</sup>, 在研究第四纪古冰川问题中<sup>[9]</sup>, 以及在研究周口店北京猿人及蓝田猿人的沉积环境时<sup>[16]</sup>, 均应用了矿物分析法。地貌工作者所写的“试论碎屑矿物分析法在第四纪沉积环境研究中的某些应用”一文, 就是这方面工作的初步尝试<sup>[4]</sup>。

粘土矿物的研究已逐渐被地貌工作者所采用。近年来随着 X 衍射仪的使用, 以及沉积岩工作者在这方面的硕果<sup>[17]</sup>, <sup>⑤</sup>, 均为沉积地貌工作者提供了研究第四纪古气候、古环境的有效手段<sup>⑥, ⑦, [15]</sup>。

## (三) 化学分析方法

化学分析方法是近年来最为活跃的研究领域, 这与沉积矿产的研究不可分割。我国沉

① 同济大学科学技术情报组编印。粒度资料的处理和应用。1977。

② 施德荣。溇沱河现代沉积物中的矿物分布特征及其组合的初步研究(油印本)。1983。

③ 王守一。应用矿物分析的结果来探讨河北平原第四纪古气候的变迁。1979。

④ 李保生等。萨拉乌苏河地区第四纪地层中矿物成分与气候环境。1983。

⑤ 地质部粘土学习班。多晶 X 射线衍射分析文集。1983。

⑥ 黄培华。从粘土矿物组成来探讨庐山地区第四纪气候环境变迁。1984。

⑦ 卢小霞。萨拉乌苏河地区粘土矿物的分析。1984。

积地貌工作者近年来也大量采用地球化学方法用于探讨第四纪沉积环境，用以查明海岸线变迁，同济大学在这方面的工作是遥遥领先的。用地球化学方法来探查第四纪古气候、古冰川问题也取得一定的收效<sup>[18]</sup>，<sup>①</sup>。研究南极风化壳中的微量元素变化及风化作用特征，对我国沉积地貌工作者尚属首次<sup>[19]</sup>。

随着化学分析手段的发展，从古老的手工操作化学全量分析，进展到快速的等离子体发射光谱分析、荧光光谱分析、中子活化分析及质子荧光分析等新技术的引进，这必然会为沉积地貌分析打开一崭新的领域。

#### （四）石英砂表面形态特征分析法

石英砂表面形态特征分析法是近年来由于电子扫描显微镜为沉积学及地貌学工作者所使用而发展起来的一种简单而快捷地研究沉积物成因类型、形成环境的新方法。Krinsley和Doornkamp的石英砂表面结构特征图谱为沉积地貌学者开阔了视野<sup>[20]</sup>。运用这种方法，我们研究了我国多种第四纪成因类型的石英砂的表面结构特征，并相继发表了一系列文章<sup>[21]</sup>。《中国第四纪石英砂表面结构特征图谱》一书<sup>[22]</sup>就是我国科研、生产、教学三方面的有关沉积地貌工作者的一部集体研究成果。该书共收集了260幅不同成因类型的石英砂表面特征照片，图文并茂，中英文对照，首次较全面地反映了我国在这方面的工作。王颖同志编纂的另一部石英砂图谱，想必更加出色。这些都是我国沉积地貌工作者洋为中用的实例。

（五）稳定同位素研究、氨基酸外消旋分析、放射性同位素应用及微体古生物等研究方法

这些方法也均被不同程度地引入沉积地貌分析领域，它们具有无比的潜力，其本身的发展也必将促进沉积地貌分析的发展。

## 第五节 沉积地貌分析的作用

一、为了石油天然气资源的进一步开发，沉积地貌工作者（沉积岩工作者、石油地质工作者、地貌工作者）对我国长江三角洲<sup>[24]</sup>、滦河三角洲<sup>[25]</sup>、黄河三角洲<sup>[26]</sup>及珠江三角洲<sup>[27]</sup>进行了大量现代沉积过程的研究，详细地划分出三角洲沉积亚相<sup>[24]</sup>研究了与储油密切相关的三角洲沙体的特征与分布<sup>[25,28]</sup>，这对生产无疑起到了促进作用。

二、浅海沉积规律及沉积物特征的研究对我国港口建设发挥了一定作用。如对渤海湾淤泥质海岸的研究<sup>[29,30]</sup>，对钱塘江河口沙坝形成及其历史演变的研究<sup>[31]</sup>早在60年代已取得成果。70年代以来，长江口浮泥若干特性的初步研究<sup>[32]</sup>以及海河水下三角洲的演变特征和天津新港泥沙来源的初步研究<sup>[33]</sup>等均对港口治理提供了进一步依据。

三、湖泊沉积地貌的研究近年来得到突飞猛进的发展。这一方面因湖泊沉积与石油开发有关如“湖盆水下冲积扇——一个找油的新领域”<sup>[34]</sup>一文，即为一例。南京地理研究所祁延年先生主持的关于大庆油田湖盆沉积相的研究是沉积地貌分析与生产相结合的典范。抚仙湖现代浊流沉积的发现<sup>[35]</sup>，为研究古代浊流沉积提供了对比参数。

近年来工作在石油生产第一线的同志们对克拉玛依油田古洪积扇亚相、微相的划分可

直接用于寻找油气田的开采<sup>①</sup>。利用数学计算趋势面分析,研究油田沉积相的变化规律也是沉积地貌工作者一新的尝试<sup>[23]</sup>。由以上少许实例不难看出沉积地貌分析发展的必然性。

四、为了探讨中国东部中低山区是否存在过第四纪古冰川问题,近年来有不少地貌工作者从沉积学、冰川学角度加以研究。有的将前人定为冰碛物的堆积体从沉积学角度加以分析提出异议<sup>[9]</sup>,有的用现代冰蚀冰碛特征及其分析对比研究<sup>[18]</sup>,有的更加上冰川形成条件<sup>[36]</sup>、古气候探讨<sup>[37]</sup>等,使似乎在人们心目中已成定论的“东部古冰川区”给读者展现出一副完全不同的景象。尽管争论尚未结束,也可能永远达不到统一,但使问题提出,使问题深化,这不能不归功于沉积地貌分析在其中起了主导作用。伴随产生的副产品——混杂堆积物的判别标志研究,想必为广地质、地理工作者开阔了思路。

五、为了配合国内外驰名的周口店北京猿人遗址的综合研究,以及更加古老的陕西蓝田猿人产地的综合研究,沉积地貌分析从遗址区新生代沉积物的分布、宏观沉积结构构造及粒度、矿物、化学等多种实验手段分析,得出猿人生活时期的沉积环境。对周口店北京猿人生活时期的古气候划分出6个气候期,并阐明猿人生活时期周口店的气候大多相当于现在我国淮河流域的气候状况,有时甚至相当于现长江流域的气候<sup>[15]</sup>。对47m厚的周口店第一地点猿人居住的洞穴堆积物采用粒度分析与矿物分析法,详细论述了该洞穴的堆积过程及其相应的物源地<sup>[16]</sup>。陕西蓝田猿人却是生活在完全另样的环境中,在秦岭山麓地带,蓝田猿人生活在山前洪积台地上。从沉积地貌分析方法分析出蓝田猿人生活时期的山川大势、风成黄土与坝河河流阶地沉积的相互关系<sup>[3]</sup>,并提出构造相与非构造相的论点,可为地震烈度划分服务<sup>[5]</sup>。

用沉积地貌分析方法与野外地貌、第四纪考察相结合,可以得出自然环境的演变过程。对南极维斯特福尔德丘陵晚更新世以来沉积环境演变的研究就是采用了多种沉积学方法探讨了南极风化壳的特点,发现即使在南极这样低温的气候条件下,近两三年来也能形成裂隙型硫酸盐氧化物型风化壳。化学风化与物理风化同时存在。海相沉积表现为防护性海岸的特点<sup>[19]</sup>。新冰期冰碛物的石英砂表面上含有大量因寒冻风化作用及冰盖巨大研压作用形成的石英小碎块,这是南极所特有的现象<sup>[38]</sup>。

自然环境的演变及人类活动对自然环境的影响问题,日益受到人们的重视。这些问题的解决在一定程度上要依靠沉积地貌分析的作用,因此该门新分支学科想必今后会得到发展。

#### 六、沉积地貌分析今后发展方向及应注意的问题

1. 对不同地貌类型的沉积物必须深入进行野外实地考察,注意宏观特征,并进行比较性研究。开展定位实验,观测研究沉积物的运动机制,获得第一性直观材料,得到较符合野外实际的结论。

2. 注意提高野外取样的代表性,避免盲目取样、盲目实验分析。

3. 充分利用沉积学的实验方法,取各国之所长。对多种分析手段要加以综合利用、综合分析。

4. 充分利用数理统计、电子计算机等数学地质、地理方法,合理地整理分析数据,得出符合客观实际的结论,避免主观性与片面性。

## 5. 建立不同沉积地貌类型的沉积模式, 并探索沉积与动力的关系与形成机制。

最后, 我们必须强调沉积地貌分析的发展必须依靠两条腿走路的方针。在现代先进技术飞速发展的今天, 绝不能仅靠室内实验分析而忽视了对野外自然现象的考察。我们认为, 野外考察是室内实验分析的基础, 没有在野外辛苦考察得出的力求正确的结论, 室内实验手段再高超也会导致错误的结果。

以上这洋洋数千字只不过是管孔之见, 笔者孤陋寡闻, 有大量的精彩工作本作者尚未领略。本文只是想仅我所知, 凭我所感, 看到一门地貌学的新分支在发展, 而它的出现与我们敬爱的王乃樑老师的辛勤培育、努力扶植不可分开, 因此才冒昧地撰写此文, 敬请批评指正。

## 参 考 文 献

- [1] 任美镔。有关沉积相的几个问题。地理科技资料, 1975, (2)。
- [2] 王乃樑。一些沉积学方法在区域地形研究中的应用。地理学报, 1955, 21(1)。
- [3] 谢又予等。陕西蓝田新生界沉积环境。蓝田新生界现场会议文集, 北京: 科学出版社, 1965。
- [4] 谢又予。试论碎屑矿物分析法在第四纪沉积环境研究中的某些应用。地理集刊, 第 16 号 北京 科学出版社, 1985。
- [5] 谢又予, 李炳元。从第四纪沉积相的分析探讨汾渭盆地新构造运动特征” 地理集刊, 第 10 号, 北京: 科学出版社, 1976。
- [6] 陈吉余。长江三角洲江口段的地形发育。地理学报, 1957, 23(3)。
- [7] 陈吉余。两千年来长江口发育的模式。海洋学报, 1979, 1(1)。
- [8] 同济大学海洋地质系三角洲教研组。全新世长江三角洲的形成和发育。科学通报, 1978, 23(5)。
- [9] 谢又予等。九江庐山地区第四纪沉积物的初步研究。地理集刊(地貌), 第 1 3号 北京 科学出版社, 1982。
- [10] 崔之久。泥石流沉积特征, 沉积学报, 1986, (2)。
- [11] Visher G S. *Graie Size Distribution and Depositional Processes*. J. Sedim. Petro. 1969, 39(3): 1074-1106。
- [12] 成都地质学院陕北队。沉积岩(物)粒度分析及其应用。北京: 地质出版社, 1976。
- [13] 李 萍等。几种现代砂的概率曲线。同济大学学报, 1979, (3)(海洋版)
- [14] 王慧中。运用粒度分析方法探讨古代砂体沉积环境。同济大学学报, 1979, (3)(海洋版)
- [15] 谢又予。以沉积学方法论“北京猿人”生活时期的古气候。地理科学, 1982, 2(4)。
- [16] 谢又予等。周口店北京猿人生活时期的沉积环境。周口店北京猿人遗址综合研究, 北京: 科学出版社, 1984。
- [17] 南京大学地质系岩石教研室。粉晶 X 射线物相分析。1980。
- [18] 谢又予, 崔之久。庐山古冰川遗迹质疑。地理学报, 1983, 38(3)。
- [19] 谢又予。南极戴维斯站地区晚更新世以来沉积环境的演变。中国科学, 1984, (4)。
- [20] Krinsley D H, Doornkamp J C. *Atlas of Quartz Sand Surface Textures*. Cambridge University Press, 1973。
- [21] 谢又予, 崔之久, 李洪之。扫描电镜下石英砂的表面结构特征及地质解释。石油与天然气地质, 1981, (1)。
- [22] 谢又予主编。中国第四纪石英砂表面结构特征图谱。北京: 海洋出版社, 1984。
- [23] 任明达, 王乃樑。现代沉积与环境。北京: 科学出版社, 1982。
- [24] 李从先。长江三角洲沉积相的初步研究。同济大学学报, 1979, (2)。
- [25] 高善明等。滦河三角洲海岸沙体的形成和海岸线变化。海洋学报, 1980, 2(4)。
- [26] 叶青超等。黄河三角洲的地貌结构及发育模式。地理学报, 1982, 37(4)。
- [27] 黄镇国等。珠江三角洲形成发育演变。广州: 科学普及出版社广州分社, 1982。
- [28] 李从先等。全新世长江三角洲沙体的特征和分布。海洋学报, 1979, 1(2)。
- [29] 陈吉余等。渤海湾淤积质海岸(海河口—黄河口)的塑造过程。上海科学论文选, 1960。
- [30] 王 颖等。渤海湾西南部岸滩特征。中国海洋湖沼学会 1963 年学术年会论文摘要汇编, 北京: 科学出版社, 1964。
- [31] 陈吉余等。钱塘江河口沙坝形成及其历史演变。地理学报, 1964, 30(2)。
- [32] 杭州大学地理系长江口教研组。长江口浮泥若干特性的初步研究。杭州大学学报(自然科学), 1977, (1)。
- [33] 南京大学地理系海岸研究组。海河水下三角洲的演变特征和天津新港泥沙来源的初步研究。南京大学学报(自然

科学),1974,(1)。

[34] 孙永传等。湖盆水下冲积扇——一个找油的新领域。石油实验地质, 1980,(3)。

[35] 孙顺才, 张立仁。抚仙湖现代浊流沉积的特征的初步研究。科学通报, 1981,(11)。

[36] 李吉均等。庐山第四纪环境演变和地貌发育问题。中国科学, 1983,13(8)。

[37] 德比希尔。庐山的困境: 长江以南的更新世冰川作用。冰川冻土, 1982,4(4)。

[38] 谢又予。南极戴维斯站地区海相与冰碛相石英砂表面结构特征的初步研究。科学通报, 1983,28(9)。

## 第二章 沉积地貌分析研究方法实例

### 第一节 粒度分析——以南极维斯特福德丘陵区 第四纪沉积物的粒度特征为例

根据碎屑沉积物的粒度特征、颗粒分布来判别水动力状况，进而解释沉积环境的方法目前在国内外已广泛采用<sup>[1~3]</sup>。

本文着重用累积与概率曲线图、粒度参数、粒度图像等资料来分析维斯特福德丘陵区不同成因类型的第四纪沉积物的粒度特征，并试图从沉积动力学的角度予以说明其沉积环境。所分析的样品共 99 块(表 1) 采自 9 个剖面。DRD 剖面为新冰碛，DMP、DMT 和 TR 剖面均为海相沉积，DW、DWT 和 DML 剖面皆属潟湖相沉积，DP 为残留海盐湖沉积，DTRW 为风化壳剖面(图略)。

表 1 南极维斯特福德丘陵区第四纪沉积物粒度分析结果

样品编号	曲线类型	粗截点 $\phi$	细截点 $\phi$	平均值 ( $M_z$ ) $\phi$	中值 ( $M$ ) $\phi$	标准偏差 ( $\sigma_1$ ) $\phi$	偏度 ( $Sk_1$ ) $\phi$	峰态 ( $Kg$ ) $\phi$	C 值 (1%) $\phi$	M 值 (50%) $\phi$	岩性定名
DRD81M01	四段	-1.1	-5.0	0.883 3	0.55	2.564 3	0.272 7	0.823 7	-2.62	0.55	砂砾
DRD81M02	四段	-1.4	-4.7	0.556 6	0.2	2.529 6	0.276 5	0.807 8	-2.88	0.2	砂砾
DRD81M03	二段	-1.45		2.773 3	2.78	3.915 9	0.204 7	0.839 5	-2.38	2.78	砂砾
DRD81M04	二段	-1.55		2.570 0	0.97	3.967 1	0.082 6	0.834 6	-1.9	2.97	砂砾
DRD81M05	二段	-1.6		0.953 3	0.8	2.655 0	0.143 0	0.688 2	-2.85	0.8	砂砾
DRD81M06	二段	-1.5		1.510 0	1.28	2.971 4	0.208 9	0.897 7	-2.27	1.28	砂砾
DRD81M07	二段	-1.6		3.006 6	3.02	3.677 2	0.070 9	0.873 2	-2.28	3.02	粘土质砂砾
DRD81M08	三段	-1.6	6.7	1.266 6	1.1	2.835 6	0.171 0	0.787 7	-2.5	1.1	砂砾
DRD81M09	四段	-1.6	5.4	3.100 0	3.2	2.540 7	-0.055 2	1.248 7	-2.38	3.2	粉砂质砾
DRD81M10	三段	2.5	4.8	6.380 0	6.2	2.962 1	0.069 0	1.004 9	-2.16	6.2	砂质亚粘土
DRD81M11	四段	-1.6	4.42	0.750 0	0.4	2.492	0.186 1	0.603 0	-2.9	0.4	砂砾

(以下略)

#### 一、沉积动力环境的判别

参照 Friedman 的粒度参数散点图的作法<sup>[3]</sup>，我们绘制了粒度平均值与标准偏差散点图(见图 1)、偏度与标准偏差散点图(见图 2)以及偏度与平均直径散点图(见图 3)。

如图 1 所示 DW 和 DML 两剖面沉积物的粒度平均值( $M_z$  和标准偏差  $\sigma$ )全部落在图的左下角，即在平均粒径为  $1\sim 3\phi$  标准偏差为  $1\sim 2\phi$  的范围内(粒度  $0.125\sim 0.5\text{mm}$ )表明分选度较差。DMP 剖面沉积物(8101~8128)的  $M_z$  和  $\sigma$  均分布于右上角，平均粒径为 6

~8 $\phi$  粒度 0.004~0.016 mm) 标准偏差为 2.5~3 $\phi$ 。DP 剖面和 DMP 剖面上部 8129~8136 的  $M_z$  和  $\sigma$  则散布的点很散[平均粒径为 3~5 $\phi$ (粒度 0.032~0.125mm) 标准偏差为 1.5~3.5 $\phi$ ]，属于分选较差到分选差的范围。它们峰态值的差异也大(见表 1)表明沉积物质的来源和搬运的动力状况均有很大差异。

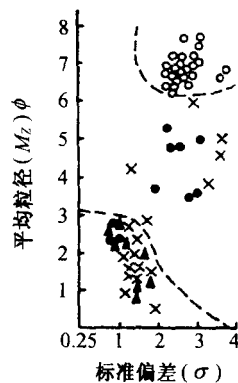


图 1 平均粒径与标准偏差散点

空心圆为海相 DMP 剖面样品；实心圆为盐湖相 DP 剖面样品；  
黑三角为潟湖相 DML 剖面样品；×为潟湖相 DW 剖面样品

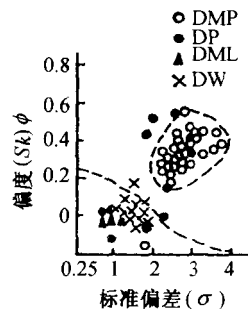


图 2 偏度与标准偏差散点

如图 2 所示, DW 和 DML 剖面样品的偏度与标准偏差全部落在图的左下角；DMP 剖面的样品则集中在图的中心偏左而 DP 剖面的点则很分散。上述剖面沉积物的偏度与平均粒径值的散点图(图 3)，也显示了相同的情况。由此可见，利用粒度参数散点图可以区分沉积物的成因类型。

用 R. Passage 的图示法 C-M 图反映各类沉积物的沉积环境较为明显，如图 4 所示，DMP 剖面下部沉积物样品点绝大多数落在 VIII 区，少量分布在 VIII 和 VI 区的交界处，反映海相沉积物形成时是处于均匀悬浮和远洋悬浮之间的水动力状况，而少部分呈递变悬浮状态。DW 剖面的样品点分布在 I 区 表明沉积颗粒呈滚动状态。它们可能以高密度流的形式搬运和堆积，构成潟湖沉积中的特殊类型。而 DP 剖面、DML 剖面及 DMP 剖面上部沉积物的样品点则散布于 I、II、III、V 和 VIII 区，说明搬运过程比较复杂，既有滚动，又有跳跃与递变悬浮，呈现河流与湖泊沉积的特征。

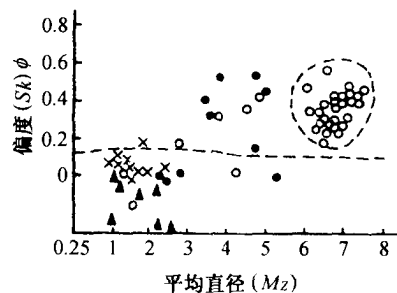


图 3 偏度与平均直径散点

DRD 剖面(新冰碛)的全部样品和 DMP 8137 更新世末次冰期冰碛)样品在 C-M 图上全部落在 I、II 区的上部，即滚动区，表明该区冰川沉积物具有高密度流的沉积特征。

## 二、不同成因类型第四纪沉积物的粒度特征与比较

### (一) 海相沉积 DMP 剖面)

剖面下部(DMP8101~8128)以青灰、灰黄色粘性土为主。粉砂与粘土占 80% 以上，为粘土砂质粉砂。剖面上部(DMP8129~8136)粒度变粗，以中细砂为主，砂粒级的含量达 30%~59%(见表 1)。在 C-M 图上剖面的 28 块样品绝大多数落在 VIII 区 部分在 VI 区(见

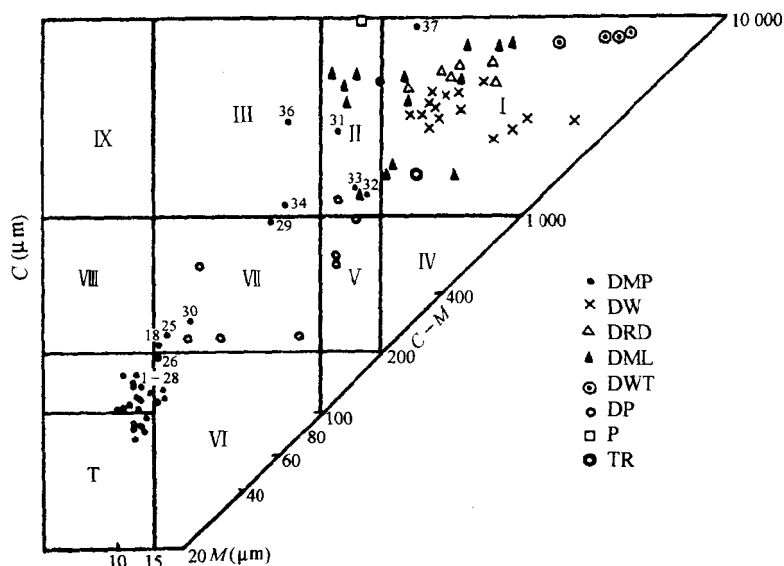


图 4 C - M 图

图 4), 表明沉积颗粒主要表现为均匀悬浮和远洋悬浮之间的状态, 部分处于递变悬浮状态, 属于浅海沉积。剖面上部的样品分布于 II 区和 III 区, 表明沉积颗粒处于滚动和悬浮状态。因而, 说明在近海沉积中可能汇入了流水沉积。剖面顶部的冰碛物 (DMP8137) 则落在 C - M 图的 I 区上端 (见图 4)。

上述海相沉积 (DMP8101~8128) 的正态概率曲线几乎全为细三段型, 粗截点以  $4 \sim 5\phi$  ( $0.032 \sim 0.063 \text{ mm}$ ) 为主, 细截点以  $T - 8\phi$  为主 ( $0.004 \sim 0.008 \text{ mm}$ ), 少量为  $6\phi$  ( $0.016 \text{ mm}$ )。我们将 DMP 剖面的 36 条正态概率曲线与 Visher (1965) 的概率图模式<sup>[1]</sup>相比较, 由于该剖面沉积物的粒度细 ( $>2\phi$ ), 大多呈悬移状态, 构成了悬移总体中的细三段型曲线, 因而不同于河流沉积的 (即分别代表滚动、跃移、悬浮 3 个次总体的三段型曲线, 但是绝大部分仅有悬浮, 而没有跃移和滚动组分。在悬浮过程中, 能量有所改变, 于是出现了细三段型的特殊曲线 (见图 5)。但个别样品有少量的跃移物质, 或处于跃移与悬浮的转折点处, 即可悬浮, 又可跃移。另外, 有的在  $2.5\phi$  以后呈细二段型 (见图 5), 这仅反映了能量的变化比细三段型小些而已。但有的呈细四段型, 诚然这是极少数。上述细二段、细三段或细四段型反映几乎全部颗粒均处于悬浮状态, 但其能量变换的程度有所不同。

DMP8129~8136 的粒度明显变粗, 为中细砂及粘土砂质粉砂或粉砂粘土质砂, 砂粒级含量几乎达 30% 粉砂占了 50% 以上 粘土极少 最高含量也仅占 20% 显然与其下部样品的粒度级配有极大的差异。正态概率图上表现为流水三段型, 即滚动、跳跃和悬浮三部分。 $1.5 \sim 1.0$  为推移总体, 颗粒呈滚动状态, 含量可高达 15%~20% (见图 6)。这些概率曲线的斜率较小, 标准差 ( $\sigma$ ) 值变化较大 为  $1.30 \sim 3.21\phi$ , 属于分选较差到分选差的类型。它们的偏度在  $0.009 \sim 0.460$  之间, 介于近对称到正偏。峰态值为 1 左右, 属于窄峰态。这些均表明沉积物质是经过一定改造以后再进入新沉积环境的 (见表 1)。由上述概率曲线特征来看, 部分属河流沉积, 为细二段型, 这种类型与美国俄克拉何马州阿肯色河的河床沉积极相似<sup>[2]</sup>, 所不同的是截点更细而已。而 DMP8129、8130 的概率曲线 (图 6、7) 与长江河口沙

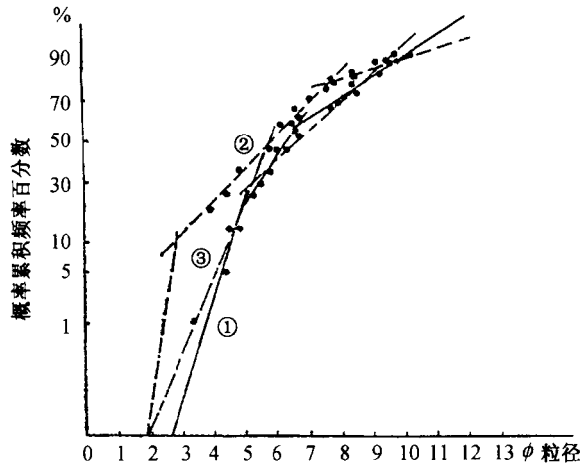


图 5 海相沉积悬浮三段型概率曲线

① 细三段型 (悬浮三段型, DMP8103); ② 又有跳跃又有悬浮的三段型 (DMP8101);  
③ 细二段型 (DMP8104)

坝曲线相比很相似<sup>①</sup>。但有的又像汉道河床砂 (图 6), 可能是间冰段时较大河流的产物。然而, 南极该区的这些似河道沉积与一般的河流沉积有所差异, 这些曲线表现得较杂乱, 很不易对比。

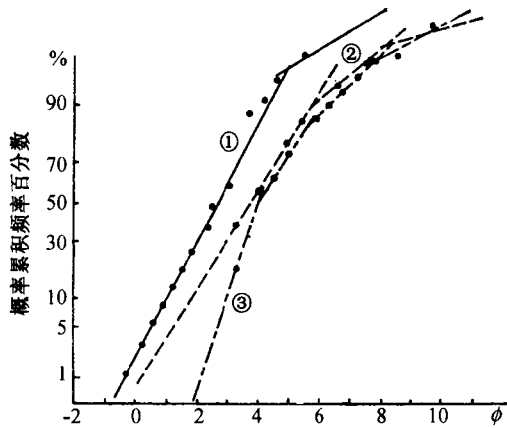


图 6 DMP 剖面上部沉积物粒度概率曲线

① 汉道河床砂型 (DMP8132);  
② 河口沙坝型 (DMP8130);  
③ 海相细四段型 (DMP8124)

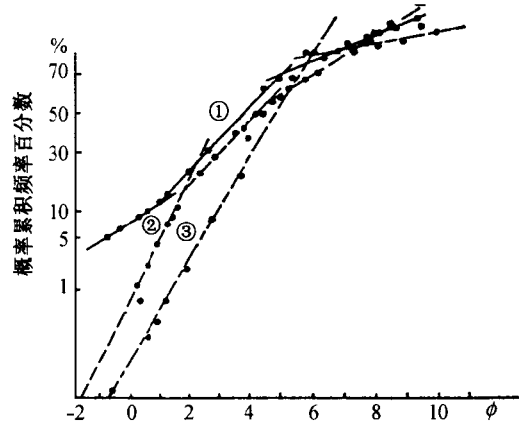


图 7 DMP 剖面上部沉积物粒度概率曲线

① 流水三段型 (DMP8136, 8129);  
② 流水二段型 (DMP8133)

需指出, 该区的海相沉积的粒度组分中, 在浅海沉积到有大量流水沉积加入的转变过程中缺乏海滩沉积的过程, 这是因该处岩石海岸带的坡度大、海滩带窄, 以及该区周围属“防护

① 同济大学。粒度资料的处理和应用。1977, 15页。

性海滩所致<sup>①</sup>。现全年海面封冻的季节长达 9 个多月，因而缺乏海滩砂的沉积物。

### (二) 潟湖沉积 DW 和 DML 剖面)

就 DW II 和 DML 剖面来说，沉积物质粗大，以砂砾为主，几乎不含粘土，砂粒级含量高达 95.0% 大于 2mm 的小砾石可达 40%。它们的中值粒径一般为  $1.5\phi$  (0.25~0.5mm)，平均粒径为  $1.5\phi$  左右，最小粒径为  $2.45\phi$  (0.125~0.25 mm)。在 C-M 图上两剖面沉积物均分布于 I 区 (见图 4)，即滚动区。概率曲线有一段型、二段型和三段型 3 种。剖面下部为二段型 (图 8) 粗截点在  $0.8\sim 0.9\phi$  之间 (滚动组分含量很高 达 50% 左右，而跳跃和悬浮次总体难以分开 占 50%)，呈一斜率很小的直线。标准偏差  $\sigma$ ) 为 1.5~1.9 属分选较差的范围 (峰态值为 1.0 左右 窄峰形) 这些均反映沉积物质粗大、来源单一、分选很差 与所谓“浊流”沉积相似。该剖面中部沉积物在概率曲线图上反映为冰水和高密度流交替出现的状况 而上部沉积物又表现为“浊流”沉积。总共可以区分出三次“浊流”和两次冰水沉积 这可能显示了大约 7 000 年前<sup>②</sup> 当大陆冰盖大量消融时，冰水注入潟湖所引起的动荡不定的沉积环境。

DML 剖面的沉积物与 DW II 相似，主要为中细砂、中粗砂及砂砾。有的样品砂粒级含量高达 100%，不含或很少含粘土成分。中值粒径为  $1\sim 2.4\phi$  (0.5~0.17mm) 平均粒径变化于  $0.96\sim 2.55\phi$  (0.5~0.17mm) 之间。在 C-M 图上，该剖面沉积物多落在 I 区 与 DW II 剖面的“浊流”沉积分布区相近，部分样品分布在 I 区与 II 区的交界处，介于滚动和悬浮之间，因此它们可能属于冰水搬运的沉积物 (图 9)。

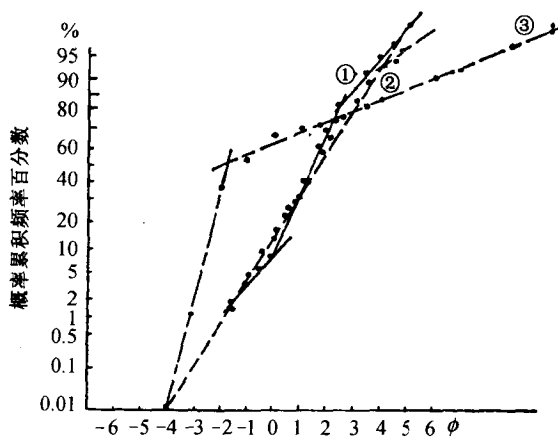


图 8 DWII 剖面粒度概率累积曲线

DW8140, 流水三段型;

DW8139, 流水二段型;

③ DW8131, “浊流”二段型

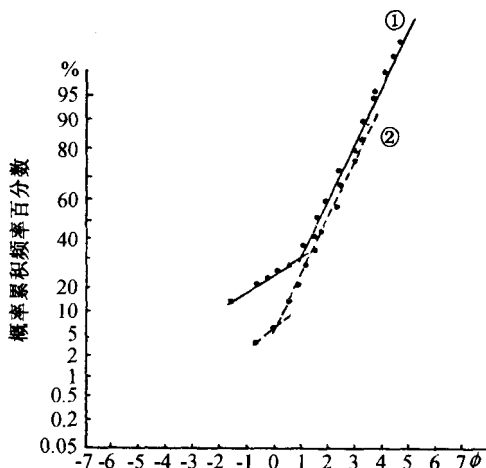


图 9 DWL 剖面粒度概率累积曲线

DML8104 流水二段型;

② DML8103 流水二段型

### (三) 残留海盐湖沉积 DP 剖面)

DP 剖面位于深湖西侧第一级阶地上，出露地层厚 7 m，含 5 层盐层，夹于粉砂、细砂及

据张青松, 1983。

② 据张青松, 1983。

砂砾层中。总的来看，沉积物质较粗，中值粒径由下向上变粗，从  $5\phi$  到  $2.3\phi$  ( $0.032 \sim 0.21\text{mm}$ )。在  $C-M$  图上, DP 样品主要分布在 VIII 区和 V 区 少部分在 II 区 属于悬浮、滚动和递变悬浮的范围。该剖面下部沉积物的正态概率曲线为三段型，部分呈“复三段型”（图 10）。上部为二段型。其中绝大多数为悬移组分，滚动组分占 2%，跃移组分较少，且存在多截点，反映了能量极其不稳定，其标准偏差为  $2 \sim 3\phi$  左右，属于分选差的范围，偏度为  $-0.08 \sim -0.53$ ，峰态值变化较大 ( $0.6 \sim 2.3$ )。即从峰很宽到峰很窄，物质来源很复杂，这些都表明在深湖第一级阶地形成早期，水动能状况很不稳定，这些沉积物是处于湖滨破浪带的沉积环境下。从剖面中部向上，物质逐渐变粗，中值粒径与平均粒径从  $3\phi$  到  $-2\phi$  左右，即从细砂变为细砂夹小砾。正态概率曲线以二段型为主，可能在湖滨出现支流河道沉积（图 10 和河口三角洲汉道沉积图 10），两者曲线类型完全不同，支流汉道沉积仅有跃移质沉积含量占 50%，无滚动组分。悬移质含量高达 40% 以上，与密西西比河三角洲上的汉道沉积相比极相似<sup>[2]</sup>。至剖面顶部粒度变粗，为细砂夹小砾。中值与平均粒径为  $5 \sim 2\phi$  左右，由细变粗 概率曲线为二段型 有 5% 以上的滚动组分及 90% 以上的跃移组分，在滚动与跃移之间有一混合带存在，且较宽，表明物质既可滚动又可跳跃，这时湖水变浅被冰水沉积物所代替。

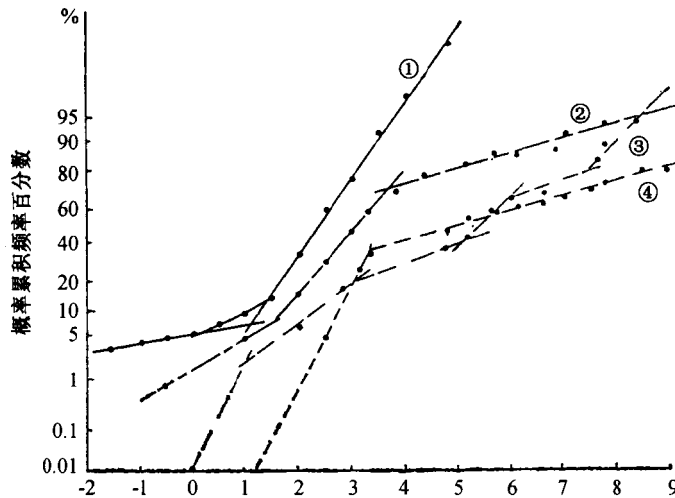


图 10 深湖第一级阶地 DP 剖面粒度概率累积曲线

① DP8113 河口三角洲型 ;② DP8103 湖岸破浪带型 ;

③ DP8101 湖岸破浪带型 ;④ DP8110 支流河道型

#### (四) 冰碛沉积 DRD 剖面)

DRD 剖面位于现代冰盖前缘。该新冰期冰碛物以巨砾加粗细砂为主，与该区其他沉积物完全不同。 $C-M$  图上 DRD 剖面的样品全部集中在 I、II 区 (见图 4)，表明沉积物质以滚动和悬浮为主，它们可能被冰下融水搬运（滚动），或者夹在高密度流的冰体中“悬浮”搬运。需指出，南极新冰碛物的粒度组成与中国人陆性冰川现代冰碛物不同。后者基质的频率曲线的高峰出现于  $4 \sim 5\phi$  ( $0.063 \sim 0.032 \text{mm}$ ) 以粉砂级占优势 而 DRD 剖面冰碛物中基质的频率曲线峰值出现在砂粒线的范围 ( $0 \sim 3\phi$ )，基质中粗砂、中砂和细砂占 50% 以上，粉砂含量占 20% 左右，粘土含量一般少于 10%，而且平均粒径和中值粒径变化很大，从

0.7 $\phi$ 到 6.4 $\phi$  即从 0.59 mm 到 0.016 mm)。但是两者也有共同点：累积曲线非常平缓（大约 45°左右）标准差（ $\sigma$ ）为 2.5~3.9 左右，说明它们的分选性均很差。

DRD 剖面，新冰碛物的正态概率曲线，从一段型到四段型均有，很不规则。总的来看可分成两大类，一类为二段型（图 11），粒度从 -3 $\phi$  (8mm) 到 10 $\phi$  (0.001mm) 左右，即从砾石到粘土呈一种搬运方式变化不大的“似浊流”状态，这就是说，由冰体夹碎石呈整体式的搬运。而另一种为二、三、四段型（图 11），即在运动过程中有滚动、跳跃及悬浮三种运动方式共存，而且滚动与跳跃组分含量极高，达 60% 左右。粗截点在 -1.1~2.5 $\phi$  大部分为 -1.6 $\phi$  即粒径在 2.83 mm 时其搬运的方式有所改变，而细截点在 4~8 $\phi$ 。这种多段型的概率曲线表示了冰盖内部物质的活动方式是多样的，有冰融水的搬运，也有呈高密度流状态的搬运，还有呈固体状态的搬运等。

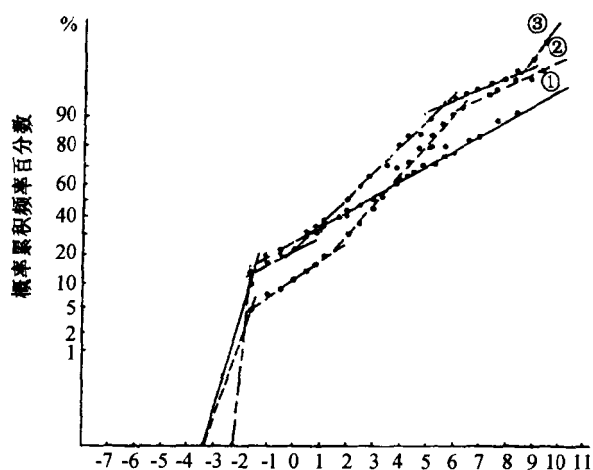


图 11 新冰碛物 DRD 剖面粒度概率累积曲线

① DRD8103 二段型；② DRD8109 四段型；③ DRD8115 五段型概率曲线

### 三、从粒度特征反映本区沉积环境的演变过程

南极维斯特福尔德丘陵区在第四纪的不同时段具有占统治地位的特有的沉积相，这些各自具有独特粒度特征的沉积相，随着地质时期的推进，正体现了本区沉积环境的演变过程。

更新世末次冰期间阶段时，该区的冰盖有所退缩，海面上升，形成了海相沉积。从其代表剖面 DMP 的粒度分析结果，可反映出海水具有一定的深度，沉积物在 C-M 图上是处于远洋悬浮与均匀悬浮之间的过渡状态。而从概率曲线类型为悬浮三段型或称细三段型，反映出水动力经常发生变化，属于浅海沉积。但值得指出的是，物质的分选差，与一般被具有源远流长的大河流带入海中沉积下来的物质不同，这种差异是因冰盖直接伸入海中融化后提供的粗大物质沉积在近岸带，细粒物质沉积在浅海中，但又未被水流充分分选所致。

从样品 DMP8129(31 000 ± 673a BP) 开始 环境有所改变 物质的颗粒变粗 由粘土砂质粉砂变成了中细砂类粗粒物质，正态概率曲线变成流水三段型（粗三段型），沉积物既有滚动，又有跳跃与悬浮方式，表明该期海水开始退缩，冰水沉积以及河口、沙坝沉积加入了浅

海沉积。陆地扩大，海岸线向大洋迁移，有趣的是到该剖面的顶部出现了冰碛物，为冰盖前进超覆在海相与流水相沉积物之上的证据。从该层含有 63% 的粉砂以及在扫描电镜下发现冰碛石英砂上有海相的硅藻来看，冰川前进时改造了下伏的海相沉积，再加上冰盖本身的冰碛物，于是形成了这种特殊的粒度特征。这种特征也是环境变化的明证。此外，这套冰碛物也正是 30 000a BP 以后，南极进入冰期，大陆冰盖范围远较现代为大的证据。该期冰碛物的粒度特征还保留下了海相沉积物的粒度特征，表明了这次冰进的规模相当大，据张青松的研究，冰盖的厚度至少比现在厚 160m 以上。

上述的末次冰期以后，冰盖消融，残留的海水及冰融水充填了该区的丘陵洼地形成了湖泊与潟湖。从 DW 剖面下部的粒度特征表现出物质极粗、物源近、未经充分的分选、颗粒多呈滚动状态为“浊流”沉积的类型。在以“浊流”沉积为主以后，代之以三段型为主的概率曲线，即由“浊流”环境转变成一般的水流环境，出现“浊流”与正常水流交替出现的现象。到后期则又出现以“浊流”沉积为主的阶段。在 4 000~7 000a BP 前后，即全新世中期，气候最宜期时，本区大量的潟湖沉积是以三次浊流沉积与两次流水沉积交替的形式进行的。

在残留海盐湖（以 DP 剖面为代表）中，形成的沉积物粒径范围很宽，质较粗。湖滨破浪带的沉积物很发育。嗣后又转变成冰融水形成的冰水沉积，此时湖水变浅，物质有时处于悬浮，有时又处于滚动及递变悬浮的状态。

全新世气候最宜期以后，湖泊与潟湖大大减少，冰盖又开始扩张，形成了具有粗大粒径的、以砂为主的冰碛物。其粒径范围极宽，正态概率曲线从二段到五段型全有，基本上可分成二段型的“似浊流类”，另一类为多段类型。体现了冰盖内部物质搬运与堆积的方式是多种多样的。既有冰融水的搬运，也有呈高密度流，即呈固体状态的搬运。

通过上述粒度分析结果，清楚地反映了粒度作为沉积物的物理属性所包含的成因信息，从其特性的转变，亦体现了沉积环境的演变过程。

#### 参 考 文 献

- [1] Visher G S. Grain size distribution and depositional processes. *J. Sedim. petro.*, 1969, 39 (3) : 1 074~1 106
- [2] 成都地质学院陕北队。沉积岩（物）粒度分析及其应用。北京：地质出版社，1976, 55~116。
- [3] Friedman G M. Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and river sands. *J. Sedim. Petro.*, 1967, 37: 327~354.

## 第二节 碎屑矿物及粘土矿物分析

### 一、试论碎屑矿物分析法在第四纪沉积环境研究中的某些应用\*

正如 B. П. 巴图林所指出的：“陆源组分的知识是从研究矿物成分开始的”，可见矿物成分研究的重要性。矿物成分研究从 18 世纪至今可大致归纳为 4 个研究阶段 其中前 3 个阶段是巴图林总结的<sup>[1]</sup>。

第一阶段：19 世纪时期，研究的对象仅限于现代沉积物——河砂及海砂，鉴定矿物是根据结晶习性、磁性以及化学成分。

第二阶段：对现代沉积物的研究更加深入，分析其成因及来源地，同时对古代沉积物的兴趣不断增长。

第三阶段：20 世纪初叶，根据陆源组分再造古地理，寻找现代以及古代沉积物冲刷来源地。

第四阶段：20 世纪中叶至今，由于对石油的进一步开发，要求对沉积相进行亚相或微相的划分，这就必须从沉积动力的角度来深入研究，由此粒度分析的研究取得长足的进展。随着电子仪器的应用，于是对石英砂表面形态特征的研究、沉积物的地球化学特征的研究均跃居首位。

本节是想通过几个实例说明碎屑矿物分析法在解决第四纪沉积环境某些问题中的有效性。

#### (一) 陆源矿物区的确定及黄河的发育历史

研究大河流的发育历史，很大部分的工作是依靠碎屑矿物的分析鉴定来确定陆源区。现以黄河为例，黄河的发育历史众说纷纭。张伯声先生认为，在下更新统以前，黄河注入陕北盆地，其后由于陕北盆地上升，银川盆地和汾渭谷地相对陷落，黄河才北流入银川与河套盆地，打开龙门山流入汾河地堑，即黄河是中更新世形成的<sup>[2]</sup>。而杨钟健、王乃樑先生则认为山陕间黄河峡谷早在上新世就已存在<sup>[3]</sup>。

为了探讨黄河在山峡间峡谷段的发育历史问题，选取禹门口西侧韩城一带的岔峪口与榆林口两剖面，前者为上新统的三趾马红土层，后者为下更新统的三门系地层。此两剖面沉积物中的碎屑重矿物约可分成两类，一为含量高、母岩为沉积岩的矿物（受到磨圆的金属矿物、石榴子石、绿帘石、锆英石、角闪石、硬石膏等）另一为含量较低、母岩为变质岩和火成岩的矿物。总共约 50 余种。根据重矿物组合将榆林口剖面（F）划分为 5 层，岔峪口剖面（D）划分为 4 层（见表 1、2）。若以该两剖面中石榴子石（尖晶石）的颜色作为标型矿物特征，根据该标志也可将 F 剖面同样划分为 5 层，D 剖面划分为 4 层（见表 2）。

Калинко 早在 1956 年即指出陆源重矿物粒度成分鉴定可作为查明其移动途径的方法之一<sup>[4]</sup>。通常细粒级的矿物多反映经历了远距离的搬运过程，粗粒级的居多则反之。笔者选取了在上述两剖面中普遍出现的金属矿物、锆英石、绿帘石、普通角闪石，按小于 0.125mm 粒级及 0.125~0.25mm 粒级分粗、细两粒级分别进行百分含量统计，发现锆英

本文发表于 1985 年，《地理集刊》第 16 号 科学出版社。