

动力沉积学与陆相沉积

赵霞飞 编著

科学出版社

动力几何学与陈维祺

——



——

动力沉积学与陆相沉积

赵霞飞 编著

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是一本沉积学基础理论方面的著作。它以水力学和泥沙动力学为基础,并结合沉积学理论和地质应用,不仅反映了学科发展的趋向,而且对实际问题进行了分析。

全书共分13章。除绪论外,大致可分为四部分。第一部分为单向流沉积作用的物理原理,首先详细介绍流体力学基础知识和颗粒运动及沉降的理论,然后介绍水槽实验、底形特征及交错层理论;第二部分叙述波浪运动与浪生流的原理、有关方程及沉积意义,并介绍各类沉积物重力流的力学分析与地质模式;第三部分为陆相沉积作用,着重介绍冲积扇和四类河流沉积的知识,评述垂向相序概念之不足,讨论了结构要素分析法,对河道平衡、响应等工程学和地貌学方面的河流问题也作了简要说明,并较详细地介绍了现代湖泊过程及其沉积意义;第四部分简述稳定同位素在陆相研究中的应用。

本书既可供从事与沉积学有关的生产、教学和科研人员参考,也可作为研究生和高年级大学生的教材。

动力沉积学与陆相沉积

赵霞飞 编著

责任编辑 吴寅泰

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号
邮政编码:100707

北京市朝阳区东华印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992年4月第一版 开本:787×1092 1/16

1992年4月第一次印刷 印张:18

印数:1-950 字数:409 000

ISBN 7-03-002835-X/P·558

定价:16.80元

序

当代地质学中沉积学研究极为活跃,在能源、资源及环境地质诸方面均已显示出其强大的生命力。大规模的海洋地质考察(包括深海钻探),促进了板块构造学说的产生。大陆内部湖泊、河流的沉积学研究也已在古气候、古构造和人类文明史研究中显示出其重要意义。沉积学的活跃,自然会带动与之有关的学科的发展。事实上,沉积学已经成为地质科学中许多分支学科,如地层学、石油地质学、煤地质学、矿床学、构造地质学、海洋地质学、环境地质学、工程地质学和地震地质学等分支学科的基础。

对沉积构造的研究,开始于上个世纪。有两种研究途径:其一是“将今论古”,将沉积构造作为了解地层沉积环境的有力判据;有关的名著如葛利普(A. W. Grabau)的《地层学原理》(Principles of Stratigraphy),以及后来里丁(H. G. Reading)的《沉积环境和相》(Sedimentary Environments and Facies)。另外,也有人将沉积构造作为判断变形岩石上下层面的依据,用于构造地质学和地质制图中,如施罗克(R. R. Schrock)的《层状岩石的层序》(Sequence in Layered Rocks)。总的来看,这个途径基于古、今沉积环境的比较分析,可称为“比较沉积学”。第二个途径则是动力学途径,即研究沉积物侵蚀、搬运和堆积的物理规律,可称为“动力沉积学”。其立论判据要求与水槽实验和野外观察密切结合,因而具有物理定量的优点。

由于地质过程的广延度、长时性和多种控制因素,因而地质工作者对问题的解决往往更多地要求依靠观察、比较、综合和推理,往往不能满足定量的要求。70年代以后,动力沉积学的研究已逐渐兴起,这种状况开始有所改变,已有一批沉积学家撰写出版了一些沉积动力学方面的著作。沉积学已不限于定性推论,而开始向定量的方向发展,这是一个可喜的、极富生命力的方向。

新中国建立以来,沉积学在教学、科研和生产方面都受到重视,有了很大的发展;动力沉积学的教学和科研也在80年代初开展起来。目前,我国广大地质工作者面临着新的找矿勘探任务,地质科学也需要迎头赶上国际先进水平,因此,基础理论水平的提高是很必要的。《动力沉积学与陆相沉积》一书的出版,弥补了国内这一方面的空白,是一个可喜的起点。

该书共分13章,系统地介绍了流体力学基础知识、明渠流和振荡流特性、沉积物运动和沉降的物理规律、底形特征及其物理模式、交错层理论、沉积物重力流以及冲积扇、河流和湖泊的物理过程与相模式研究的进展,最后及于稳定同位素在陆相研究中的应用。书中还着重说明了古环境再造方法及一些复杂的作用——响应问题。

该书介绍了动力沉积学这一新的学科方向,内容很有特色,叙述深入浅出,逻辑性较强,反映了动力沉积学和陆相沉积学的现代水平,是国内地质学方面的一本重要专著。相信该书的出版,在科研、教学和生产方面,均将起到重要作用。

叶连俊

1991年4月

• 1 •

前 言

本世纪50年代,地质学摆脱了神秘化的倾向而“回到现代”。现代沉积过程的研究已成为地质学灵感、理论和模式的重要源泉。不但大规模海洋调查促成了板块构造学说的诞生,而且,现代河流和湖泊的研究也使我们的知识有了长足进步。这对于我国陆相盆地的能源勘探是十分重要的。

沉积作用既然是一种物理现象,它自然遵循一定的物理规律。因此,国外在60年代初期,就开始利用水槽研究底形以解释沉积构造,并且获得很大成功。相应地,在70年代和80年代初,出现了一批由地质学者写的、运用泥沙运动力学解释沉积作用和沉积构造的重要著作。近年来,我国地质界已开始这方面的实验和研究,但至今尚无一本专著问世。因此,编写一本反映当代进展而适应而又较广的动力沉积学著作,已相当迫切。

本书作者从成为地质系学生的第一天起,就希望地质过程将有适当的数理表述,所以一当有机会接触沉积(泥沙)动力学的实验和理论时,其欣喜是不言而喻的。多年来一直孜孜以求,学习和运用有关知识。本书的初稿完成于1985年夏,当时是作为工程师理论提高短训班教材,由内蒙古石油学会印刷的,以后多次用这个教材给成都地质学院的研究生讲授,同时予以修改,并补充新内容。由于作者科研和教学工作繁忙,总是抽不出更多的时间对稿件作系统的整理,以至这本书延至今日才和读者见面。

本书的编写循以下原则:

(1) 只用最基本的数学式,将物理概念和理论正确表达出来,并尽量联系实际现象。

(2) 尽可能反映与沉积学关系密切的理论和实验水平,既要简明,又要保持适当的系统性。

(3) 结合地质运用。陆相沉积部分主要介绍现代沉积,反映相模式发展线索和新趋势;古代沉积只作为研究实例而存在。

由于不包括严密的数学分析和已发展起来的数学模型,而且内容上只涉及常见的沉积过程与沉积构造,所以,本书只能算作动力沉积学导论。

全书共13章。第一章为绪论。第二章由连续流体模型开始,较系统地说明流体力学基础知识,并简介明渠流。第三、四章为颗粒沉速及沉积物运动力学。由最简单的单质点沉降开始,及于床面单质点受力情况分析,然后说明质点群的起动、底负载运动和悬浮作用的理论模式和方程。第五、六章讨论单向流中的各种底形。先介绍水槽实验、水动力条件、底形特征及其稳定范围,这一部分是底形生成的实证。为了更深一层认识底形和交错层这种复杂现象,随后介绍了有关底形起源的几种物理模式以及床沙底形发育成交错层的有关理论。第七章讨论波浪运动及其沉积作用。考虑到国内地质文献中这方面内容较少,本书相当系统地介绍了波浪运动和浪生流的原理,并尽量结合地质学中的应用。第八章阐述沉积物重力流。第九至第十一章讨论冲积过程,着重于冲积扇和河流沉积研究进展,评述河流相模式概念之不足,并介绍结构要素分析法,以便掌握这方面

的研究趋向。第十一章为河道平衡和响应，试图反映工程学和地貌学中的河流问题，以便给河流沉积学研究者提供多方面思考。第十二章介绍现代湖泊过程及其沉积学意义。第十三章简述稳定同位素在陆相研究中的应用。

作者在瑞士苏黎世联邦理工大学（ETH-Z）的两年进修期间，得到导师许靖华教授（K. J. Hsu）的关怀指导和 S. Luthi 博士的诸多帮助，才有水槽实验经验并进入动力沉积学的领域。在此期间，也得到了何起祥同志的帮助。中国科学院叶连俊教授对本书的编写给予热情鼓励，并亲自向科学出版社推荐出版。西南石油学院侯方浩和方少仙教授审阅本书初稿，提出了宝贵的修改意见。作者深深感谢他们。

作者也要感谢 K. Kelts、P. Carls、W. Schneider、H. Kolmer、王鸿桢等教授几年来给予的有力支持和帮助，以及黄汲清、钱宁、刘东生、张倬元、罗蛰潭、刘宝珺等教授给予的亲切鼓励。

十分感谢新疆维吾尔自治区党委宋汉良书记和大庆石油管理局丁贵明副局长的关心和支持。

对成都地质学院赵泽三院长、石油系黄仰洲主任的鼓励与支持，作者也深表谢意。王霞、傅红、王健华等同志为本书制备图件，尹学军、楼章华、刘丽华、陈琳琳、赵永胜、邓启予等同志抄写整理稿件，在此一并致谢。

由于涉及边缘学科及作者学识水平所限，本书不当以至谬误之处，自然难免，敬希读者批评指正。

目 录

序

前言

第一章 绪论	1
一、动力沉积学的范畴与意义	1
二、学科内容和现况	3
第二章 流体力学基础知识	5
一、连续流体模型	5
二、作用在流体质点上的力	6
(一) 作用力的种类	6
(二) 静压力和动压力	7
(三) 剪应力	8
(四) 非滑移条件和压力的影响	10
三、雷诺数、流型和流动阻力	10
(一) 力的平衡	10
(二) 雷诺数	11
(三) 层流和紊流	12
(四) 流动阻力	12
四、流动分离作用	13
(一) 理想流中的球体	13
(二) 粘性流中的球体	14
五、紊流	15
(一) 紊流的描述	15
(二) 动量交换和紊流应力	16
(三) 紊流粘度和扩散	17
六、边界层和猝发现象	18
(一) 边界层	18
(二) 紊流边界层的结构	19
(三) 猝发现象	20
(四) 内壁带和外带的相关	21
七、明渠流简述	23
(一) 斜面上的稳定均匀流	23
(二) 明渠流	25
第三章 颗粒的沉速	30
一、圆球的沉速	30
二、颗粒形状对沉降的影响	31
(一) 对沉速的影响	31

(二) 下沉方式的差别	33
三、浓度的影响	35
四、絮凝的影响	36
(一) 絮凝的起因	36
(二) 絮团沉速和影响絮团形成及破坏的因素	37
第四章 沉积物运动动力学	40
一、单质点受力与起动	40
(一) 重力	41
(二) 流体力	41
(三) 单颗粒起动	43
(四) 颗粒上的其他作用力	43
二、沉积物的起动	44
(一) 希尔兹图	44
(二) 临界剪应力-粒度图	46
(三) 密度差的影响	46
(四) 分选性的效果	47
三、床沙运动的一般特征	48
(一) 运动方式	48
(二) 颗粒运动速度	51
四、底负载运动	52
(一) Einstein理论的一些概念	52
(二) Bagnold的能量方程	53
五、悬浮作用	55
(一) 悬浮准则	55
(二) 各向同性悬浮	56
(三) 剪切流中的悬浮	57
六、沉积物搬运率	59
七、沉积物结构的解释	60
(一) 结构的水力学解释	60
(二) 粒度分布的环境解释	62
第五章 水槽实验与底形特征	65
一、比水头图与流态	65
二、地质学中运用水槽实验简史和目前状况	68
三、单向流中横底形类型及水动力条件	70
(一) 横底形类型	70
(二) 底形上方水流结构及水动力条件	72
四、水槽实验成果及其引伸	76
五、底形经验特征与形成条件	79
(一) 波痕	79
(二) 沙垄	81
(三) 水成沙丘	82

(四) 平底和剥离线理	84
(五) 反沙丘 (同相波)	85
第六章 底形的物理模式与交错层理论	89
一、底形的物理模式	89
二、交错层理论	95
(一) 分类和命名	95
(二) 交错层形成原理	97
(三) 横纹理、亚临界和超临界交错层	102
第七章 波浪运动及其沉积作用	106
一、波浪运动原理	106
(一) 流体波动概念与波浪分类	106
(二) 风生波特征、实际波与理想波	108
(三) 艾里波	111
(四) 孤波	114
(五) 波浪的传播	115
二、近岸流及沿滨沙坝	118
(一) 近岸带由波浪产生的水流	118
(二) 沿滨沙坝	120
三、沉积物起动与浪成构造	121
(一) 波浪作用下的沉积物起动	122
(二) 浪成构造	123
第八章 沉积物重力流	133
一、浊流 (异重流)	135
(一) 低密度浊流	135
(二) 高密度浊流	143
二、液化流	146
三、颗粒流	147
四、粘结性碎屑流	149
第九章 冲积扇沉积	154
一、砾岩的描述与观测	154
二、冲积扇环境与相	158
(一) 现代扇的地貌特征	158
(二) 扇沉积作用	160
(三) 冲积扇模式	163
第十章 河流沉积	166
一、现代河流的分类	166
二、辫状河及其沉积	168
(一) 卵石质辫状河	168
(二) 砂质辫状河	172
(三) 辫状河沉积微相的符号表示	176
三、曲流河及其沉积	177

(一) 经典点沙坝模式·····	178
(二) 偏离经典模式的复杂情况·····	180
四、现代砂质低弯度河和半干旱区暂时性河·····	182
(一) 现代砂质低弯度河·····	182
(二) 半干旱地区暂时性河流·····	184
五、现代交织河系统·····	185
(一) 概述·····	185
(二) 沉积环境和相·····	186
(三) 交织系统的加积速率和相组合·····	189
六、古代河流沉积的一般特征·····	190
(一) 粗段(河道)沉积的五种相·····	190
(二) 粗段的组构·····	191
(三) 细段(河床间)沉积·····	194
(四) 利用钻井资料确定古河流趋向与河间微相·····	196
七、河成层序的控制因素·····	197
八、根据搬运方式划分古代河流沉积·····	202
九、河流相模式研究的进展与结构要素分析法·····	204
第十一章 河道平衡、响应与古河流重塑 ·····	215
一、时间尺度与平衡河道理论·····	215
(一) 时间尺度·····	215
(二) 平衡河道地貌学理论·····	216
二、动态理论和古河流的再造·····	218
三、复杂河道响应及地貌时标河道变化·····	223
(一) 复杂河道响应·····	223
(二) 地貌时标的河道变化·····	224
四、河流沉积综合研究要点·····	225
第十二章 湖泊及其沉积 ·····	228
一、湖泊特征及其沉积学意义·····	228
二、湖泊的类型·····	228
(一) 湖泊的成因类型·····	229
(二) 湖泊的营养水平分类·····	230
(三) 湖泊的热分类·····	231
三、湖水的化学性质、温度和水位·····	232
(一) 水化学·····	232
(二) 水温·····	232
(三) 水位·····	233
四、湖水运动·····	233
(一) 波浪运动·····	234
(二) 科里奥利力·····	237
(三) 湖流·····	238
五、碎屑沉积作用·····	240

(一) 三角洲和扇三角洲·····	241
(二) 滨岸带沉积·····	244
(三) 远滨区沉积·····	245
(四) 过渡区沉积·····	248
六、化学和生物沉积作用·····	248
(一) 淡化碳酸盐湖·····	249
(二) 封闭盆地湖和干盐湖·····	251
七、古代湖沉积·····	256
第十三章 稳定同位素在陆相沉积学中的应用·····	261
一、同位素分馏原理·····	261
二、氧、氢、碳同位素丰度·····	264
三、淡水介壳的碳、氧同位素成分·····	266
四、淡水湖及其沉积物·····	268
五、利用稳定同位素分析古代沉积环境·····	271
(一) 苏北油田都3井泰州组及阜宁组二段沉积环境分析·····	271
(二) 格林河组同位素地球化学特征·····	274

第一章 绪 论

科学的发展也象任何其他事物一样, 有自己特定的客观规律, 而学会把握这种规律将使我们获益匪浅。十二年前, 国际著名地质学家许靖华(1980)在我国第一个沉积讲座的演讲中, 多次生动地回顾地质学的曲折发展过程。他指出, 到本世纪初地质学积累了许多新的知识, 但思想方法反而退化了。有了神秘化和经典化的倾向, 离开了原来的正确原理, 把地质学局限于古代的作用, 认为地质学只搞岩石、化石等, 研究现代作用是地理学家的事, 把古代的作用和现实的作用割裂开了。这样, 很多地质结论就成了猜想。本世纪20—50年代, 沉积岩石学家作了很多显微镜下的研究, 也作了大量岩类三角图和粒度分析的统计研究, 但很少考虑沉积作用或过程, 研究结果也收效甚微, 因而这是一个“退化时期”。50年代以后, 随着经济的发展, 地质学迎来了大的革命, 板块构造取代了地槽学说, 沉积学回到了早期的现实原则, 到现代环境中去研究沉积物, 特别是研究沉积过程, 这是一种“复古”, 也是一种“维新”。大规模的海洋调查和钻探, 深入的现代河流和湖泊沉积的研究, 一直延续至今日。这个变革已经使沉积地质学面貌一新。

沉积学这一曲折发展过程, 反映了认识事物的复杂性。早期的直觉能把握现代和古代的联系, 当进入到古代岩石地层的描述研究以后, 却失去了朴素的直觉。究其原因, 一则地学有其特点, 地质学家面对的是似乎凝固不变的岩层; 二则与经济发展水平和社会需要的程度有密切关系, 正是二次大战以后的经济高涨和科技进步促进了地质学的“大革命”。今天这种变革已深入到地质学各个方面。著名沉积学家叶连俊(1983)指出, 沉积学的研究重点已转移到了沉积岩层或矿层形成的机制、作用过程、环境与背景, 以及沉积作用的地史演化、沉积作用的动力学过程和沉积盆地分析等这样一些根本性的理论问题, 以及与这些问题密切相关的矿产预测和环境地质问题等。“沉积学已决非‘沉积岩石学’一词所能概括的了”。

由上所述, 可见当代沉积学研究主要方向是回归到现代沉积, 而其中心是作用过程。在这本书中, 我们试图比较系统地介绍沉积过程的动力学原理, 并称之为“动力沉积学”; 其次以现代冲积扇、河流和湖泊的作用过程为中心介绍陆相沉积学的进展; 最后, 以较少篇幅涉及稳定同位素在陆相研究中的应用。书中涉及的流体为水体, 几乎不讨论风力及风成沉积。

一、动力沉积学的范畴与意义

动力沉积学研究泥沙质点的起动、搬运和堆积的物理规律及其在沉积地质学中的应用。它是由水力学、地貌学和地质学结合而产生的一门边缘学科。

我国著名水力学者钱宁和万兆惠(1983)曾经预言动力沉积学的诞生。他们认为: “随着模型实验技术的发展和轻模型沙的应用, 越来越有可能在实验室里对各种复杂动力条件下的沉积过程进行实验研究。沿着这个方向发展下去, 有可能形成一门独立的边

缘性学科——动力沉积学”。这里所指的是学科的完美形式，它依赖于复杂沉积过程的实验研究，而目前这类实验尚非充分。不过，我们也可以比较松驰地运用“动力沉积学”一词，以便在已知的物理原理和模拟实验的基础上解释沉积现象。生产实践和地质学本身的发展已经提出了这种要求。从以下几方面，就可以看出沉积过程动力学知识对于地质学家的重要意义。

1. 原生沉积构造的解释

沉积物和沉积岩中的原生构造乃是认识古代沉积环境的关键，但很长时间内，人们并不了解它们的确切含意。直至本世纪60年代以后，由于引入水力学知识，情况才根本改变。原来，在水槽实验中，随着流速增加，砂和粉砂总是顺序地产生一系列床面形态或底形。底形迁移的结果，就形成常见的沉积构造。现在已很清楚，古代河道砂体中的沉积构造序列即是上述水槽实验中底形顺序的逆演。又如研究河床变化的控制因素——气候和构造状况、坡降和泥沙补给量，已不限于野外考察。一些模拟实验已获得意想不到的结果，并用来解释地貌时间内的河谷变化。这一类进展对于认识古代河流演变，无疑具有重要意义。

水力学、地貌学和沉积地质学都研究泥沙运动和淤积，其所观察的时间尺度及所循途径虽然差别很大，但客观过程唯一而已。水力学实验室模拟海岸冲刷、湖泊污染以及植被对河岸影响等课题，实际上也就是实验地质学观测。在本书中，我们将会看到，许多地质过程，早已为水力学所研究和定量描述，工程学和地质学科在某些方面竟是如此息息相通，难分彼此。结合和运用水力学理论和实验成果，已经成为沉积学的一个重要方面。从近年来国际上一系列重要著作的出版，以及多次国际性河流、湖泊沉积学会议的多学科性质，都可以看出这种相互结合和彼此渗透的趋势。

当然，地质学家有自己独特的研究对象，他们也进行水槽或水盆实验，以解释浊流、三角洲以至断块控制等问题。这类问题很复杂，不是人们的经验所能充分把握的。只有通过实地观测和模拟实验才能消除不确定因素和多解性。

2. 古代水文地貌条件的重塑

这是一个很吸引人而又十分困难的方面。60年代以来，河流地貌学提出了一整套计算公式并被广泛应用于古河流再造。这种推广应用取得了一定的效果，但无法估量其可靠程度。原因在于所依据的公式只是统计今日地球上部分地区河流得出的，而不同纬度和气候带的河流，差别非常显著。又如对古代湖泊沉积的研究，要求我们充分了解现代湖泊的水动力条件和沉积物散布过程。这就涉及到波浪、湖流及其输沙过程的原理和观测成果。由沉积岩中的浪成波痕恢复古代波浪条件，已经取得一定进展；与这个问题有关的波高、浪周期、轨道直径等几个因素，是研究者所必需解释的，这些都离不开波浪运动的基础知识。

3. 砂矿与沉积分异

许多重矿物和一些贵金属（如金），由于其比重大于石英、长石等成岩矿物，在风和水流中具有较大的临界剪应力，因而较早地沉积下来，富集于底形的背水一侧。在河

流、潮滩和海岸沙丘环境，都可以见到这种富集现象，而在特别有利的条件下，则形成重砂矿床。因此，重矿物运动规律的研究，是外生矿床学的重要组成部分。广而言之，大小和形状不同的无机和有机碎屑，在搬运和沉降过程中也会发生分异，造成结构不同的沉积物。因此有关质点沉降、起动和搬运的物理原理，乃是沉积学的科学基础。

4. 储层描述和储层非均质性问题

现代石油、天然气矿床的勘探和开发已不满足于传统的在构造高点上布井的方法。因为地层岩性油藏（在陆相盆地中，这一类型尤其多见）中，油气并不受高点控制。新的途径之一是循地震地层学方法，定量描述和圈定储层，即所谓“储层描述”。一方面，使用高分辨率的地震资料和计算处理方法；另一方面，则需作出可靠的地质解释。后者涉及对不同成因砂体的形态、厚度、构造和结构特征及其地球物理响应等的认识，只有在不断发展的沉积学（包括沉积动力学）知识的基础上，才能予以解决。

储层的孔隙度和渗透性与它生成时的沉积环境及埋藏后的成岩变化有关。而且，常见的情况是，较高能量水平环境中生成的沉积物，经成岩以后，其储层物性仍然较好。也就是说，原始沉积环境的能量水平在很大程度上决定储层的优劣。其次，与海相储层相比较，陆相储层的孔隙度和渗透性在纵向上和横向上都极不稳定，或者说，它们具有明显的非均质性。这是因为大陆条件下的主要输沙途径是规模不一、稳定性差别很大的各种河道，砂体形态和结构自然复杂而多变。解释和勾绘地下储层，并掌握储层物性变化规律，是油气田勘探和开发的基础，也是不易解决的课题。除了必需的手段和资料以外，地质学家的专业水平和科学素养，包括对现代沉积过程和流体-固体质点相互作用的物理基础的认识，起着决定性的作用。

由上所述，可见地质学家面临着各种理论和实际问题，迫切需要掌握沉积质点运动的物理原理。因而动力沉积学学科就应运而生。我们之所以不采用“沉积动力学”的名称，是因为内容和范畴有所不同。“沉积动力学”也就是“泥沙运动力学”，着重于工程时标内的动力学求解，而“动力沉积学”在于用动力学原理研究沉积地质学对象。后者基于物理原理和实验，往往还要借助于现代沉积作用观察，并予以演绎和推论。它要涉及较确切的工程试验数据，但又不能照搬这些数据，而是概括出一定概念性模式。因为，地质对象涉及更复杂的多因素相互作用，其时间尺度也比工程实验长得多。

不过，边缘学科可以在所涉及的各个方向上拓展，学科交叉、互相渗透是今日常见的现象，也是边缘学科生命力之所在。

二、学科内容和现况

根据作者初浅的认识，目前可将以下内容归入动力沉积学领域：

- （1）沉积质点的颗粒结构与群体特性；
- （2）单向流和振荡流中，沉积质点运动动力学，即质点在冲刷、搬运和沉降中的规律及其地质应用；
- （3）底形（床面形态）成因、特征与稳定域，原生沉积构造和结构的解释；
- （4）各种沉积物重力流的动力学原理；

(5) 古代水文地貌条件的重建.

百余年来,随着水利工程事业的发展,人们不断探讨泥沙运动规律,因此出现了大量有关泥沙搬运机理的文献,见于工程学以至地理学书刊中.资料之多可谓浩如烟海.较近的专著如M.S.Yalin(1972)的《泥沙搬运机理》,美国土木工程师学会(1979)出版的《泥沙工程》等.国内这方面最重要的著作当推钱宁和万兆惠(1983)的《泥沙运动力学》,可谓集学科发展之大成.该书同时考虑了工程界和地学界两方面的需要,尤为可贵.

由于学科壁垒的存在,水力学家和工程师们的成就长期以来为地质学家所忽视.直至本世纪60年代初,美国地质调查所请水力学家作水槽试验,发表研究报告以后,地质学家才突然得到启发,转而注意沉积学的基础方面,流态概念和各种底形被迅速引用来解释沉积层序.1965年,美国石油地质学会(AAPG)的古生物学和矿物学分会(SEPM)出版的《原生沉积构造的水力学解释》,代表了这一趋向.其后,有G. V. Middleton和J. B. Southard (1978)的《沉积物运动力学》,主要介绍物理原理,比较简明. J. R. L. Allen(1982)的《沉积构造——特征与物理基础》则是为基础科学工作者写的系统而全面的著作.该书第一卷包括力学原理、横底形的特征和物理模式;第二卷分析纵向底形、河曲和侧向迁移、喷流和流动分离的沉积过程、重力流构造等,是一本很好的专著,但不一定适合广泛要求.此外,波浪运动和浪生水流方面有P. D. Komar (1976)的《海滩过程与沉积作用》,理论简明,而且有丰富的地貌和地质分析.

国内地质界这方面的研究起步较晚.80年代初何起祥在长春地质学院建成第一个地质专业实验水槽.同时,本书作者在成都地质学院开设动力沉积学课程,本书就是在历年给研究生讲授的教材的基础上编写的.最近,中国石油天然气工业总公司(1989)决定建立大型的水槽水盆实验室,正在积极进行,这一计划必将有力推动我国动力沉积学的研究和应用.

沉积物运动力学是一门发展中的学科,也就是说还不太成熟.这是因为所研究的对象比较复杂.含沉积物质点的水流一般属于两相流范畴,水流作用于固体质点,这些质点反过来又影响水流,这种交互影响导致一些不同于一般水流的性质.其次,泥沙运动的观测,无论在野外或室内,都有不少困难.由于这些原因,这门学科中许多问题仍停留在感性认识阶段,表现在基本概念上存在争论,对同一问题有多种多样的计算公式等等.地质上感兴趣的一些问题,如几种沉积物重力流、河道平衡、复杂河道响应等,其动力学原理的薄弱就更加明显.但是,无论如何,沉积物(泥沙)运动力学提供了充分的物理概念、理论模式和方程,足以使我们对沉积过程的认识建立在科学基础上.

参 考 文 献

- 叶连俊, 1983,《沉积学报》发刊词. 沉积学报, 第1卷, 1—3页.
许靖华, 1980, 沉积学讲座讲稿汇编, 187—199页. 成都地质矿产研究所.
钱宁、万兆惠, 1983, 泥沙运动力学, 1—8页. 科学出版社.
Edward, J. H., 1983, River Channel Changes, Retrospect and Prospect. In: J. D. Collinson and J. Lewin (Eds.), Modern and Ancient Fluvial Systems. Spec. Publ. Int. Ass. Sediment., No. 6, pp. 61—84, Blackwell, London.
Middleton, G. V., 1977, Hydraulic Interpretation of Primary Sedimentary Structures. Reprint Series Soc. Econ. Paleont. Miner., No. 3. pp. 1—15.

第二章 流体力学基础知识

一、连续流体模型

人们大都见过河水奔流、海浪拍岸以及它们引起的砂粒运动，风扬尘土在干旱区也几乎无所不在。这些都是自然界固体颗粒与流体间相互作用的例子。这类物理过程加上时间因素，使得地球形成了今日的景观，并具有各种各样的沉积层系。

上述相互作用涉及物质的三态：固态、液态和气态。三种物态可以用分子间相互作用力予以说明。

微观上，物质是不连续的和不均匀的，由千千万万个分子组成。每一分子有一定大小，取决于分子中包含的质量。而分子间相互作用力的强度和性质则取决于分子中心间的距离。若取常温常压条件下液体分子间平均距离为 d_0 ，则气体分子间平均距离为 $10d_0$ 量级，相反，固体分子间的平均距离则远小于 d_0 。就简单分子而言， d_0 之量值约为 $1\text{\AA}$ 。如图2-1所示，当分子间距离小于 d_0 时，为很强的“近距斥力”；当分子中心间距离大于约 $5d_0$ 时，则为弱的“长距吸力”；当分子间距大约在 $3-4d_0$ 时，则一个分子相对另一分子处于稳定的平衡状态。

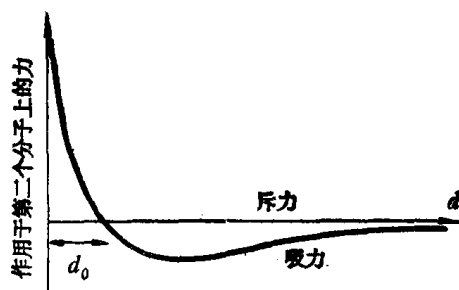


图 2-1 一个分子对另一个分子的作用力与分子间距离的关系

固体不易发生形变，因其分子堆积紧密，达到近距斥力所容许的限度。这种堆积不是杂乱无章的，而是在空间上有规律地重复排列，形成永久性点阵。点阵中的分子可以在平衡位置附近摆动，但不能从一个位置转移到另一个位置上。

液体则不同，其分子间虽处于稳定平衡状态，但凝集程度低于固体，且不存在永久性规则排列。因此，液体在小的外力作用下便会立即连续变形，并可以被任意分割和再结合。同一种物质，液态时的密度比固态时为低，即液态时的分子间距加大。例外的是水，其固态（冰）分子间距反而大于液态。液体能连续变形的特性，使得它能在所限的范围（容器）内自由运动。

有的物质既不象固体，也不象液体。如松脂，用锤击之，则成碎片，但静置足够长的时间，它们又流满容器底部。

液体、气体间的差别不象它们与固体间的差别那么显著。但气体的凝集程度远低于液体，能在外力作用下迅速形变。气体分子间距很大，彼此不易发生碰撞，其间作用力是弱的长距吸力。气体分子运动很活跃，能在所占空间内自由移动，所以表现出无序排列。

上述概念当然是正确的，但在远大于分子间距的范围来看（宏观上看），物质好象是连续的、均一的。在大多数实际场合下，与其考虑真实物质的单个分子，倒不如用一种