

湖泊沉积学

原理

〔瑞典〕L. 霍坎松 M. 杨松 著

科学出版社

湖泊沉积学原理

[瑞典] L. 霍坎松 著
M. 杨 松
郑光膺 译
陈昌明 校

科学出版社

1992

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书对湖泊及其沉积物类型进行了分类。运用物理、化学、生物参数及沉积动力学特征,对瑞典、丹麦、美国、加拿大等国湖泊群的生成环境、沉积物的沉积机制及分布规律等问题进行了系统的论述,对湖泊沉积学研究中的方法问题作了系统的介绍,对湖泊水质污染的防治问题也进行了讨论。在取材上具有代表性,写法上颇具特色。其内容丰富,图文并茂。

本书可供地质、地理院校的师生以及湖泊学与环境监测专业的科技人员参考使用。

L. Håkanson M. Jansson
PRINCIPLES OF LAKE SEDIMENTOLOGY
Springer-Verlag
Berlin · Heidelberg · New York · Tokyo 1983

湖 泊 沉 积 学 原 理

[瑞典] L. 霍坎松 著
M. 杨 松

郑光鹰 译

陈昌明 校

责任编辑 蒋发二

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号
邮政编码: 100707

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1992 年 10 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16
1992 年 10 月第一次印刷 印张: 16 1/2
印数: 1—650 字数: 376 000

ISBN 7-03-002005-7/P · 385

定价: 15.00 元

序

近十多年来,湖泊沉积学受到了各国地质学家和社会各界的普遍重视,原因是多方面的。从应用角度而言,湖泊是调节自然界生态循环的重要因素之一。但是,由于湖泊的淤积和污染,使许多生机盎然的湖泊,在几十年内,就变成了“死亡之海”。人们已经尝到湖泊“死亡”的苦果。人类的活动是引起湖泊“死亡”的最重要的原因。例如,湖泊水体的循环与河流的注入密切相关。人类为了寻求能源,在河流上游大量修建水库,无异于关闭驱动湖泊水体循环的马达,于是水体滞流,乃至出现硫化氢污染,湖泊的生命也就快到尽头了。“杀鸡取蛋”是用来形容愚人的一句成语,而在人类与自然的斗争中,我们的祖先和我们自己,都做过许多“杀鸡取蛋”的事。更不用说一边任凭土地荒芜,一边却在“围湖造田”这类的蠢事了。

从理论研究而言,湖泊是一个缩小了的海洋模型。凡是研究海洋的人,都希望从研究湖泊中得到启示。自从板块构造理论问世以来,一些裂谷湖泊理应属于海底扩张的前期历史,它们的沉积作用对研究海洋的成因和板块构造理论都是至关重要的。何况,湖泊还是许多重要矿产资源的形成地。自从 Walther 提出沙漠盐湖成盐说以来,湖泊蒸发岩已经成为人类所需盐矿床的主要来源之一。至于湖泊在生油方面的意义,由于中国地质学家的努力,从理论和实践方面都取得了引人瞩目的成就,凡此涉及基础地质与理论地质学的问题,非研究湖泊沉积作用是不可能解决的。

由于以上所列原因,最近几十年来,世界各国推行了许多涉及不同类型湖泊和多种学科领域的研究计划。我国也先后在太湖、抚仙湖、滇池、青海湖等地开展了系统的沉积学研究。国际地质对比计划亦设立专项(IGCP 219)来研究世界湖泊的沉积学规律。

在沉积学的研究历史上,湖泊沉积学是起步最早而又成效甚微的领域之一。一些新的学术思潮从研究湖泊发芽,而在别的领域开花结果的例子不在少数。目前所公认的油流现象最早就是从研究湖泊中提出来的,待到 Kuenen 将其发展成为一种理论,倒反而成了海洋沉积学的专利品了。时至今日,湖泊沉积作用连一个成熟的相模式都没有建立起来,不能不令人遗憾。

我认为,现在强调湖泊沉积学的重要性是适时的。L. Håkanson 和 M. Jansson 所著《湖泊沉积学原理》一书,比较系统地介绍了湖泊沉积学研究中的理论和方法问题,可以作为我们研究湖泊学的借鉴。该书从系统介绍湖泊的环境参数入手,从物理、化学、生物几方面探讨湖泊环境的特点,然后归纳到湖泊的沉积动力学,探讨沉积物的沉积机制和分布规律,在写法上颇具特色,搜集的素材也有一定的代表性。当然本书也存在一定的欠缺,与生油有关的有机地球化学研究显然是薄弱的一环,而在这方面,中国的沉积学家是积累了丰富的经验的。

译者选择本书,是颇具远见的。我与译者相见甚晚。但译者利用业余时间,在不到一年的时间内,几易其稿,其中甘苦,我是十分理解的。我们祝贺此书的出版,感谢译者为

此付出的辛勤劳动。我深信,这种劳动是会结出硕果的。

何起祥谨识

一九八九年一月于青岛

目 录

序

第一章 绪言	1
第二章 湖泊类型与沉积物类型	4
§ 2.1 湖泊的分类	4
2.1.1 湖泊的成因类型	4
2.1.2 湖泊营养水平分类	10
2.1.3 温跃湖分类	11
§ 2.2 湖泊沉积物分类	15
2.2.1 沉积物的成因类型	16
2.2.2 沉积物的描述性分类	17
§ 2.3 湖泊类型与沉积物类型对比	20
第三章 取样方法	27
§ 3.1 取样设备的一般要求	27
§ 3.2 取样系统的类型	31
3.2.1 样品数目	32
3.2.2 取样公式	34
3.2.3 不同环境中的取样统计学问题	36
3.2.4 二次取样	41
§ 3.3 沉积物捕集器	44
3.3.1 容器中沉积作用的物理原理	45
3.3.2 容器的几何形状	47
3.3.3 容器的实用情况	49
3.3.4 关于沉积物捕集器的使用问题	50
§ 3.4 用于就地测定沉积物类型的锥形仪	52
§ 3.5 浓度的解释方法	53
§ 3.6 沉积物孔隙水的取样	57
第四章 沉积物的物理化学参数	60
§ 4.1 物理参数	60
4.1.1 含水量	60
4.1.2 烧失量(有机质含量)	62
4.1.3 体积密度	64
4.1.4 粒度	67
4.1.4.1 粒度分析方法	68
4.1.4.2 粒度分类	68
4.1.4.3 统计学的定义	70
4.1.4.4 粒度的相互关系	72

§ 4.2 化学参数	77
4.2.1 元素的组成	78
4.2.2 有机碳化合物	80
4.2.2.1 腐殖化合物	80
4.2.2.2 其它有机物	81
4.2.3 湖泊沉积物中的矿物	82
4.2.3.1 碳酸盐类	84
4.2.3.2 硅酸盐类	85
4.2.3.3 铁	87
4.2.3.4 磷	88
4.2.3.5 硫化物类	91
4.2.3.6 重金属	92
第五章 生物参数	96
§ 5.1 在沉积物中生活的藻类	96
§ 5.2 大型植物群	98
§ 5.3 底栖无脊椎动物群	99
5.3.1 底栖动物群的重要类型	100
5.3.2 昆虫类的进食机理与食物类型	102
5.3.3 湖泊中底栖动物群的分布特征	104
5.3.4 底栖生物湖泊类型学	105
§ 5.4 细菌	106
5.4.1 细菌的功能分类	107
5.4.2 某些重要元素的细菌循环	108
5.4.2.1 氮化合物的氧化作用和还原作用	108
5.4.2.2 硫化合物的氧化作用和还原作用	109
5.4.2.3 铁的氧化作用和还原作用	110
5.4.2.4 发酵作用	111
5.4.2.5 甲烷的形成	111
5.4.3 有机质分解作用的一般概念	111
5.4.4 细菌活动的测定手段和方法	114
5.4.4.1 全湖法	115
5.4.4.2 实验程序中的细菌活动	115
5.4.4.3 反映细菌总活动性的各项参数	116
5.4.4.4 反映细菌活动的部分因素	118
第六章 湖泊沉积作用与水动力学特征	119
§ 6.1 湖泊沉积作用的物理过程	119
§ 6.2 湖泊沉积作用的地理意义	125
6.2.1 河口区	126
6.2.1.1 三角洲的沉积作用	126
6.2.1.2 河流羽状水流沉积作用	129
6.2.1.3 河流作用与风力-波浪作用的分界线	133
6.2.2 开阔湖区	138

6.2.3 时间变化	141
第七章 湖底动力学	144
§ 7.1 定义	144
§ 7.2 再悬浮作用	146
7.2.1 挟带作用	146
7.2.2 淤积作用	149
7.2.3 风力-波浪作用	152
7.2.4 地形作用	157
§ 7.3 测定湖底主要动力特征的方法	163
7.3.1 特定湖泊法	164
7.3.1.1 能量-地形公式	164
7.3.1.2 特征含水量模式	165
7.3.2 特定位置法	167
7.3.2.1 侵蚀-搬运-堆积作用图解法	167
7.3.2.2 锥形仪器法	169
第八章 沉积动力学和沉积物年龄	174
§ 8.1 纹层状沉积物	174
§ 8.2 生物扰动作用	177
8.2.1 引言	177
8.2.2 生物扰动分布	178
8.2.2.1 水平分布	178
8.2.2.2 垂直分布	178
8.2.2.3 时间分布	181
8.2.2.4 特殊生物种的分布	181
8.2.3 生物扰动-生物搬运的模拟试验	183
8.2.3.1 动力模式	183
8.2.3.2 经验模式	189
§ 8.3 沉积物年龄及其测定法	193
8.3.1 沉积物年龄的测定法	195
8.3.1.1 同位素 ²¹⁰ Pb	196
8.3.1.2 同位素 ¹³⁷ Cs	198
第九章 湖泊沉积物中的物质释放——以磷为例	200
§ 9.1 背景和前提	200
§ 9.2 磷迁移活动的重要因素	201
9.2.1 微粒磷的组分分布	201
9.2.2 氧化还原条件	202
9.2.3 pH值	203
9.2.4 微生物的矿化作用	204
9.2.5 平衡反应	204
§ 9.3 搬运机理	205
9.3.1 沉积物孔隙水中的磷	205

9.3.2 扩散作用·····	207
9.3.3 紊流混合作用-湖底动力特征 ·····	207
9.3.4 生物扰动作用·····	208
9.3.5 气体对流·····	208
§ 9.4 磷释放作用的概况·····	208
第十章 水质污染防治规划中的沉积物 ·····	211
§ 10.1 引言 ·····	211
§ 10.2 为什么利用湖泊沉积物 ·····	211
§ 10.3 如何利用沉积物 ·····	213
10.3.1 水系中金属分布的原理 ·····	215
10.3.1.1 金属类型和污染物类型 ·····	215
10.3.1.2 “载体颗粒” ·····	217
10.3.1.3 环境特征 ·····	220
10.3.1.4 自然背景值 ·····	221
10.3.2 污染系数 ·····	224
10.3.3 实例研究——以科尔拜克河为例 ·····	224
10.3.4 污染程度 ·····	230
第十一章 后记 ·····	232
附录 1 学生 t-分布表 ·····	234
附录 2 测定生物搬运作用、年代地层和沉积压实性的 BASIC 语言计算机程序 ·····	235
参考文献 ·····	242

第一章 绪 言

纵观现有的普通沉积学方面的教科书,诸如 Leeder (1982) 的《沉积学》、Friedman 和 Sanders (1978) 的《沉积学原理》、Reineck 和 Singh (1975) 的《陆源碎屑沉积环境》、Allen (1971) 的《沉积作用的物理过程》或 Krumbein 和 Sloss (1963) 的《地层学与沉积作用》,则不难发现,即便它们对湖泊沉积作用有所提及,亦不过寥寥数页而已。从严格的地质学观点来看,并非全无道理,但从湖沼学、水文学和“环境”的观点来看,我们认为目前的状况是不能令人满意的,而且有关湖泊沉积学原理方面的教科书,将会占有其适当的位置。本书总的目的是全面地概括湖泊沉积学的基本原理,重点放在环境以及与湖泊的管理和防治有关的问题上,也就是说,重点放在湖泊的生态学,而不是偏重湖泊地质学。

为此,我们所力图完成的不是一本反映目前技术水平的书,也不是一本“谁做过什么”的目录手册,而是一本说明“如何和为什么”,并包括了湖泊沉积学基本原理的书。我们希望本书能被从事规划、实施和评价湖泊沉积学研究工作的人作为指南。

我们的目的是要阐明湖泊沉积学与多种学科之间的关系,并将这种关系示于图 1.1 中,该图将湖泊沉积学置于由湖沼学、生态学、水文学-水力学、地学、污染控制、生态毒理学、化学-物理学、数学-统计学以及方法学-工艺学等学科所构成的环形图的中心位置。然而,我们并非是鼓吹湖泊沉积学是所有这些学科的核心,而旨在说明,若不借助于其他有关学科,将难以恰当估价湖泊沉积学的地位。

显然,没有一本教科书能够或者应该囊括所有这些学科,当然这也不是本书的目的。目前已出版的优秀教科书和文章多涉及以下各个方面:

- (1) 普通沉积学(业已提及)。
- (2) 早期成岩作用(见 Kukal, 1971; Berner, 1980)。
- (3) 集合体的絮凝作用与形成(Krone, 1978; Kranck, 1979, 1981)。
- (4) 沉积颗粒的挟带作用与水底动力学(Fukuda, 1978; Sheng 和 Lick, 1979; McCall 和 Fisher, 1980; Fukuda 和 Lick, 1980; Håkanson, 1982b)。
- (5) 沉积物构造、纹泥和纹理(Reineck 和 Singh, 1973; Edmondson, 1975; Sturm, 1979; Renberg, 1981a)。
- (6) 浊流和块体移动(Johnson, 1964; Sturm 和 Matter, 1978; Lüthi, 1980)。
- (7) 生物扰动作用和沉积物混合作用(Davis, 1974; Benninger 等, 1979; Brinkhurst 和 Cook, 1980)。
- (8) 沉积物污染(见 Förstner 和 Müller, 1974; Förstner 和 Wittmann, 1979; Postma, 1981)。
- (9) 沉积物的年龄值测定(见 Robbins, 1978; Krishnaswami 和 Lal, 1978)。
- (10) 三角洲沉积作用(见 Axelsson, 1967; Gilbert, 1975)。
- (11) 滨岸与滨岸水力学(见 Muir Wood, 1969; Swift 等, 1972)。

(12) 河口湾沉积作用 (见 Dyer, 1979; Olausson 和 Cato, 1980)。

(13) 湖泊水动力学 (Lerman, 1978; Fischer 等, 1979; Simons, 1980)。

(14) 湖沼学 (Hutchinson, 1957, 1967, 1975; Golterman, 1975; Wetzel, 1975)。

所有沉积学中的这些方面以及其它若干方面, 均属本书所感兴趣的问题。上述所列的内容, 既强调了本书的多学科性, 同时也着重说明想抓住一切细节是不可能的。因此, 不管所列目录多么的引人注目, 但从图 1.1 所显示的广泛联系的学科中, 我们仅将重点置于文献中很少引起注意的某些专题上 (图 1.2)。

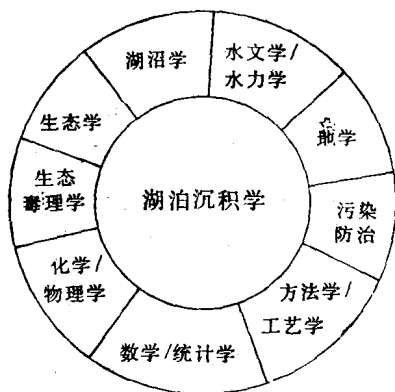


图 1.1 湖泊沉积学与多学科关系图

本书相当详细地论述了湖底与沉积物的动力特征、湖泊中沉积作用的地理状况, 取样方法与设备, 以及为正确理解沉积物理、沉积化学和沉积生物学机理所必需的基本原理和沉积物特性。我们不准非常详细地讨论沉积物各项参数的实验室分析方法, 因为这些内容在某些教科书中已经作过了介绍 (见 Shoughstad 等, 1979)。

书中各种插图和图解, 在全书中起着重要的作用, 因为我们试图以图来表示所提出的几乎一切问题, 以便于加深理解。数学和统计学的应用, 只限于“基础水平”, 尽管我们已预料到很多“生物学家”将会对书中某些公式表示怀疑, 许多“工程师们”亦将以轻蔑的眼光看待这些公式。

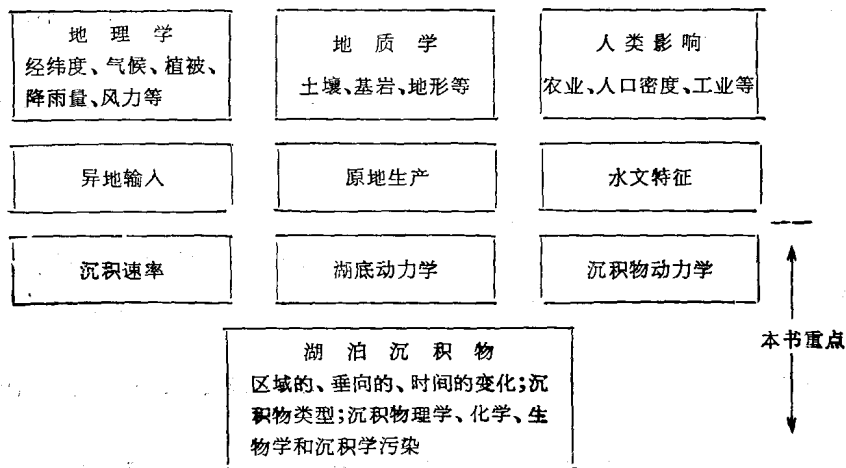


图 1.2 许多因素影响着湖泊中沉降颗粒的质和质量、沉积作用过程、沉积物内的过程以及沉积物样品的信息值

本图指出本书中所重点研究的沉积学原理。

参考文献尽量从简, 因为我们注重的是事实, 而不是科学家们的声誉。然而, 这一宗旨却导致瑞典和斯堪的纳维亚科学家们, 在参考文献目录中过多地列出了他们对湖泊沉积学研究有真正影响的著作。导致这种矛盾现象的另一原因, 为了使本书具有内容全面的结构, 我们只采用了数量有限湖泊, 作为阐明各种不同原理的典型湖泊。因此, 我们必

然采用为我们所熟悉的环境研究成果。

编写本书的目的,并非仅仅为了供专业沉积学家使用,而更多地考虑到不同水平的大学生和咨询处的非专业人员,以及在中央和地方机关从事湖泊管理和防治工作的人员。

本书的编写目的之一,可与1976年在阿姆斯特丹(Golterman, 1977)、1981年在汉密尔顿(Sly, 1982)召开的以“沉积物与淡水的相互作用”为题的两次十分成功的会议,及其以后成立的“国际沉积物和水科学协会”(I. A. S. W. S)相联系。该协会的宗旨是支持有关“环境沉积学”课题的研究和科学交流,我们认为,这是一个有巨大发展潜力、有意义的自然科学领域。

通过本书谨向在编著本书的艰巨工作中,给予我们影响和帮助的人们表示谢意。许多科学家的辛勤劳动,为本课题的研究奠定了基础。我们特别感谢Robert G. Wetzel 审阅了本书的全部原稿并提出许多修改意见。Bert Karsson 和 Hans Kvarnäs 对本书第六、七两章,提出了宝贵建议。Nigel Rollison 帮助我们最大限度地减少了瑞典式英语的弊病。

第二章 湖泊类型与沉积物类型

本章首先就湖泊与湖泊沉积物的分类系统作一简要叙述,并进而论证存在于湖泊类型与沉积物类型之间的关系。

瑞典老资格的从事湖泊沉积学研究的大师 Gösta Lundqvist 曾经说过:“湖泊沉积物是湖泊演化的产物,因此,它们能反映湖泊的类型。”他于本世纪的 30 至 40 年代,曾撰写过几篇有关沉积物、湖泊类型与湖泊环境间相互关系的重要论文(见 Lundqvist, 1938, 1942)。可见,早在 40 多年以前,人们即已认识到湖底沉积物的重要作用。但只是至最近 15 年间,人们才将湖泊沉积学列为多学科综合性的学科,从而引起广泛的兴趣。

§ 2.1 湖泊的分类

湖泊和湖泊沉积物,可按照不同的原则和依据,进行分类与命名。本节旨在为本书主要的沉积学论题提供简要的背景材料,并介绍三种通用的、对湖泊进行描述和分类的方法。

2.1.1 湖泊的成因类型

根据地质学的观点,湖泊是地球表面上暂时存在的地质体。就地貌类型或生物种属而言,它们具有青年期、壮年期和老年期等三个连续的发育阶段期。它是由于某些强烈的地质事件,诸如火山、地震或冰川作用形成的。排水区和湖盆的地形,由于遭受风化、侵蚀、搬运、沉积等外营力的作用,而不断地发生着变化。譬如,北欧和美洲的所有湖泊,都曾遭受过末次冰期巨大造形力(form-creating power)的影响,如果这些地区不再发生大的构造变动,那么,所有湖泊终将在适当时候被沉积物所充填而转变为陆地,这些北欧地区的湖泊,为本书讨论的重点。但应注意,这样的湖泊只是全部现有湖泊类型中的一部分, Hutchinson (1957) 的著作已对此作过较为详细的论述,他在其巨著以湖盆起源为题的第一章里,将湖泊划分为 11 种主要类型和 76 个亚类(见该书第 163 页)。但就本书而言,我们只侧重于湖泊沉积学的研究,而不拟过多地讨论湖泊的成因、地质学或湖泊形态学方面的特征,这里,仅对 11 种主要湖泊类型,作一简要的概述。

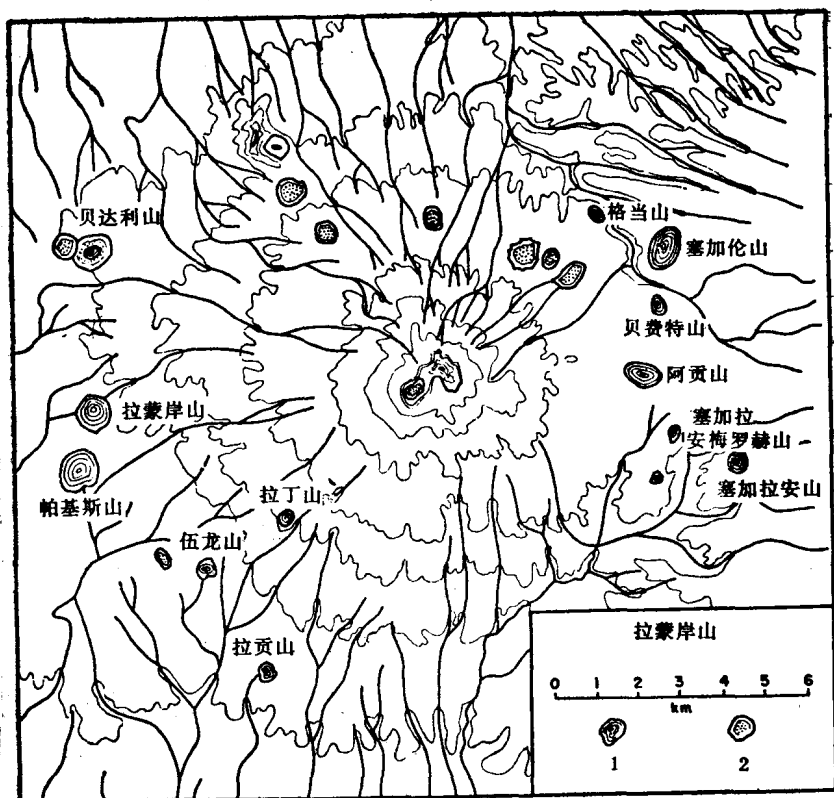
1. 构造湖

这一类型包括由地壳较深部的运动所形成的一切湖泊。例如:

(1) 由造陆运动形成的湖泊,如里海、咸海以及黑海—里海地区的其它湖泊,它们是由于几次陆地上升事件(如形成阿尔卑斯山的造山运动)而与海分离开的。

(2) 由于倾斜、褶皱或翘曲等作用而形成的湖泊,如中非的裂谷湖。

地球上一些最大的湖泊,几乎都属于构造湖的类型(表 2.1)。



A



1



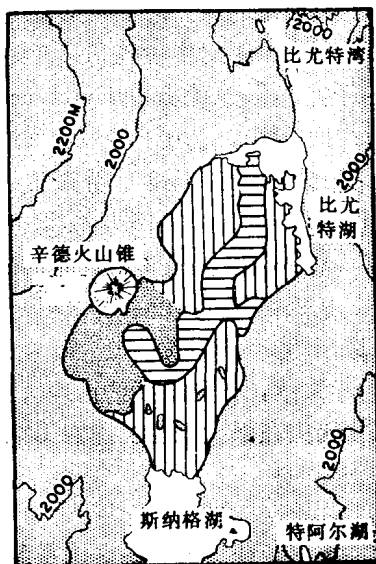
2



3



4



B

图 2.1 火山湖实例

A. 爪哇拉蒙岸火山斜坡上的寄生低平火山口湖

1. 容水低平火山口湖； 2. 无水低平火山口湖。

(Ruttner, 1931)

B. 加利福尼亚州拉森国家公园的斯纳格湖, 系由辛德火山锥的熔岩流堰塞而成

1. 1851 年的熔岩流； 2. 1720 年和 1785 年的熔岩流； 3. 1666 年和 1567 年的火山灰； 4. 前火山灰熔岩流

(Finch, 1937)

上述 2 图均引自(Hutchinson, 1957)。

表 2.1 一些大型构造湖的形态测量数据表

(Golterman, 1975)

	贝加尔湖	坦噶尼喀湖	维多利亚湖	死 海	黑 海	里 海
最大深度(m)	1 600	1 435	80	400	2 245	1 000
面积(km ²)	31 500	31 900	66 000	1 000	412 000	440 000
最大宽度	45	20	2 500	40	114	300
最大深度						

2. 火山湖

此类湖泊形态繁多,计有:

- (1) 低平火山口湖、破火山口湖及火山口湖等,如图 2.1A 所示。
- (2) 由火山堰塞形成的湖泊,如图 2.1B 所示加利福尼亚的斯纳格湖。

3. 山崩湖

系由滑坡、泥石流和岩屑堆截而成的湖泊。由于滑移的碎屑或多或少地易于为随之发生的洪水或其它类似事件侵蚀掉,所以,此类湖泊在时间上往往是短暂的。

4. 冰川湖

“在形成湖泊的营力中,没有一种可与更新世的冰川作用相比拟的。地球历史上的大部分时期中,始终存在着一些构造的、火山的和溶蚀的盆地,以及一些由风力作用和壮年期河谷的建造作用形成的湖泊;但是,由于现今存在的冰川活动所造成的小型湖泊的数量之多,却是十分特殊的现象,从而,为湖泊学家提供了比中生代和第三纪大部分时期内形成的盆地数目的总和多若干倍的可供研究的盆地。”这段引自 Hutchinson (1957) 的话突出地说明,我们着重研究北欧周围地区湖泊的理由,是由于那里的湖泊数量多,控制着北欧和美洲(图 2.2)的自然景观,并具有生态上和实用方面的重要意义。

冰川湖的类型很多,但欲明确划分不同类型的冰川湖是困难的,即便是区分冰川湖与构造湖之间的差异亦是不易的,这可从图 2.3 清楚看出。图 2.3 说明了末次冰期以来波罗的海地区冰川湖的演化过程。该区整个自然景观,是由冰川活动和地面的均衡隆起(即陆块在巨冰盾作用下沉陷以后,趋于上升)所造成的。图 2.3 说明淡水时期(冰湖与安赛卢斯湖)和海水时期(约尔迪阿湖和利托里纳海)相接续,这是波罗的海地区自公元前 8000 年到现在的点(图 2.3D 中点线)。这一演化历史在很大程度上确定了北欧和美洲地区所有湖泊目前的湖沼学和沉积学状况。

冰川期可分为四种主要类型:

- (1) 直接与冰相接触的湖泊。如赋存于冰上或冰内以及由冰围堵而成的湖泊。
- (2) 冰成岩盆地。如冰斗湖、山麓冰川湖(或亚高山湖)和峡湾湖等。包括英国大湖区的湖泊,欧洲阿尔卑斯山区(如日内瓦、康斯坦茨和布里恩茨)的湖泊、加拿大亚北极区

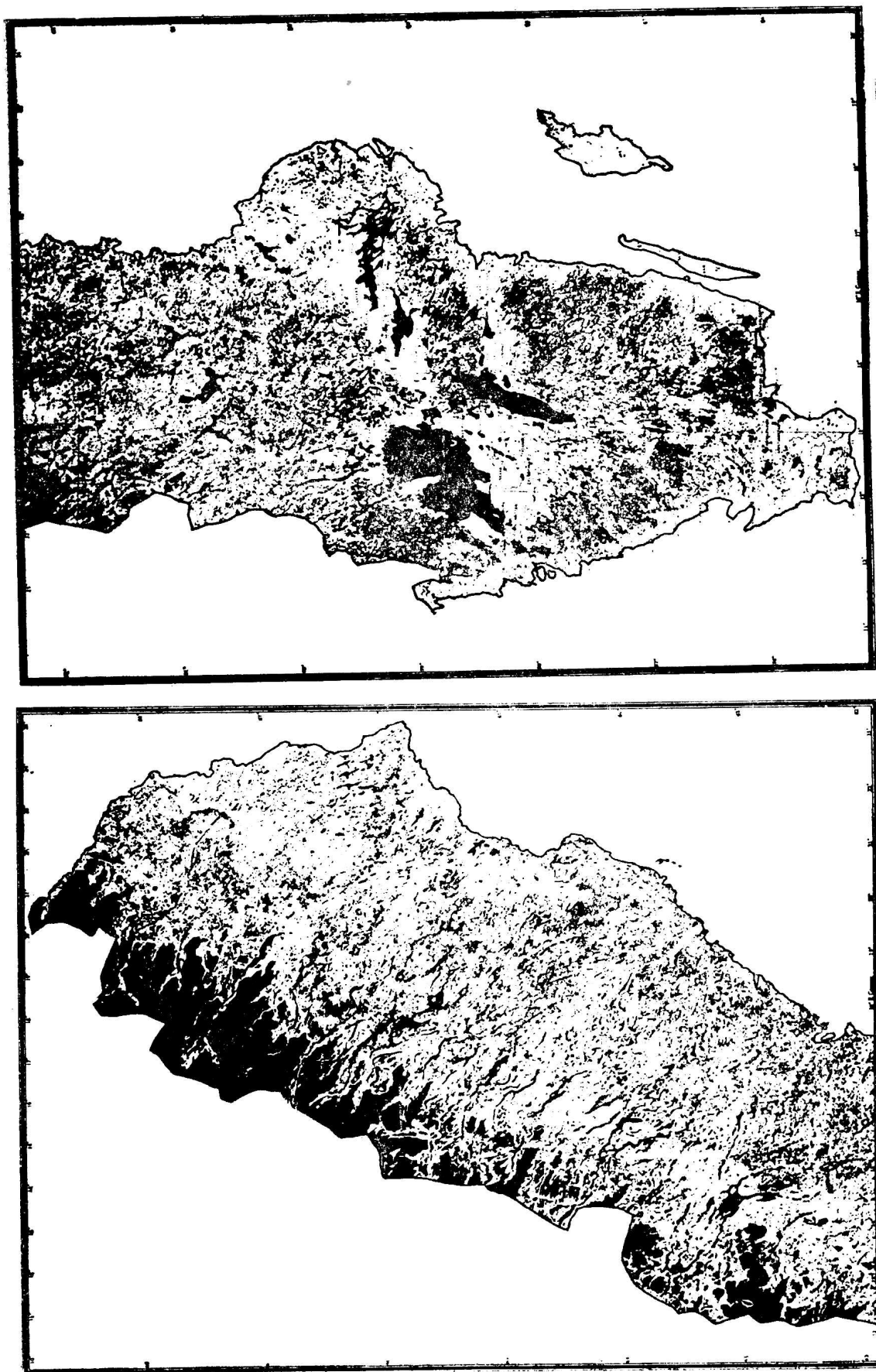


图 2.2 由湖泊构成的瑞典重要自然景观图
(据 Över Sverige 地图册)

注意,本复制图未能清楚地区分瑞典西北部的湖泊与冰蚀高原地形。

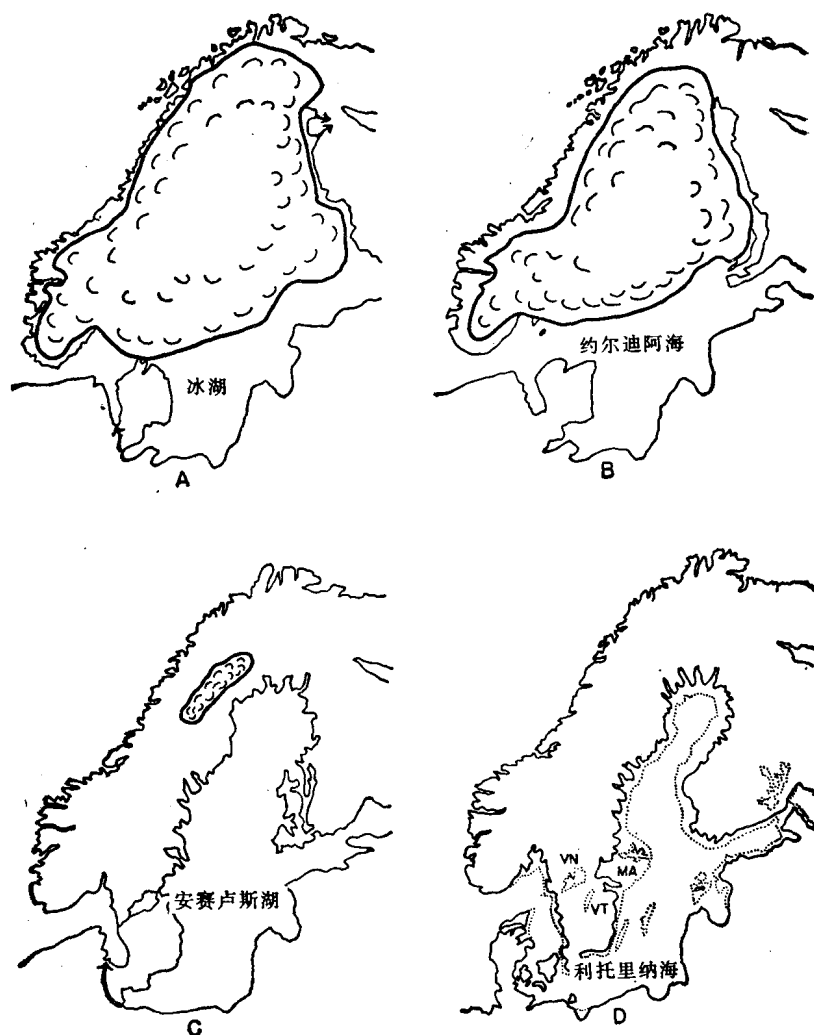


图 2.3 波罗的海地区冰川后湖泊发育图

A. 大约公元前 8000 年的波罗的海冰湖； B. 大约公元前 7900 年的约尔迪阿海； C. 公元前 6500 年至 6000 年的安赛卢斯湖； D. 大约公元前 5000 年的利托里纳海。点线表示现代海岸线
和某些湖泊的位置。VT——韦特恩湖； VN——维内尔湖； MA——梅拉伦湖。

(Hutchinson, 1957)

的大型湖泊(如大奴湖)、挪威的峡湾湖(如伦瓦滕湖和姆约萨湖)以及劳伦大湖。

(3) 冰碛湖和冰水湖。由终碛、后碛或侧碛造成的湖泊。

(4) 冰碛盆地。如锅状湖和融冻湖(见图 2.4)。

5. 溶蚀湖

渗入石灰岩、石膏或岩盐等易溶沉积物中的水,能产生溶洞。南斯拉夫达尔马提亚海岸的喀斯特区是著名的溶蚀湖区,可是,佛罗里达州也存在着溶蚀湖,在那里老变质岩被第三系石灰岩沉积物所覆盖,此外,阿尔卑斯山的钙质岩分布区内,也有溶蚀湖存在。

• • •