

声 明

本电子书由中国农业出版社数字出版,相关权利归中国农业出版社拥有。读者、著作权人和(或)依法可以行使著作权的权利人如有疑问,请与中国农业出版社联系:

地址:北京市朝阳区麦子店街 18 号楼

邮编:100026

电话:010-64194921 010-65005894

E-mail:lishanzhao@sina.com

中国农业出版社

中央农业广播电视学校教材

水 化 学

(修 订 本)

(淡水养鱼专业用)

农 业 出 版 社

编写者 陈洪海（第一至七章）
于淑敏、陈洪海（第八章）
审稿者 臧维玲

中央农业广播电视学校教材
水化学（修订本）

* * *

责任编辑 林维芳

农业出版社出版发行（北京朝阳区枣营路）
天津新华印刷三厂印刷

787×1092mm 16开本 7.75印张 1插页 174千字

1989年5月第1版 1989年5月天津第1次印刷

印数 1—7,000册 定价1.95元

ISBN 7-109-01208-5/O·44

编写说明

本教材是专为中央农业广播电视学校淡水养鱼专业编写的。全套教材共九册，即《化学基础》、《普通生物学》、《水化学》、《淡水生物学》、《鱼类学》、《池塘养鱼学》、《鱼病学》、《湖泊水库鱼类养殖与增殖》、《养殖技术经济分析》，另外，还编写有一本水产经济动物养殖的实用技术教材，均按照中专水平编写。本套教材着重编写具有共性的基础理论知识，以求学员从科学道理上提高分析和解决淡水养鱼生产问题的实际能力。

为使本教材能适应广播教学和农村基层干部、知识青年自学的特点，尽量做到文字通俗；安排适当的插图及表格，以加强直观性；每章(或节)后附有本章提要及习题和答案，以利学员自学。为增进教学效果，配合这套教材，备有辅导用的录像带、讲课录音及讲稿。

考虑到学习的对象比较广泛，学员的基础和要求不完全相同，因此，在基本教学内容以外，另用小字编排一部分参考性的补充教材，学员可根据条件选择自学。

本教材通过一期教学实践，并根据广大读者意见，进行了修改和订正，今后将根据学科的发展和教学的实践，不断改进和完善。

中央农业广播电视学校

目 录

绪 言	1
第一章 天然水的主要化学成分和物理性质	3
第一节 天然水的化学成分	3
第二节 天然水的一些物理性质	4
第三节 水体的流转混合及温度分布	6
第二章 天然水的主要离子	11
第一节 水的硬度及钙镁	11
第二节 水的碱度及 HCO_3^- 、 CO_3^{2-}	15
第三节 钠、钾、氯离子	21
第四节 硫酸根离子和硫化物	22
第五节 总含盐量	25
第六节 天然水的化学分类	27
第三章 天然水的pH及缓冲性	32
第一节 水的pH	32
第二节 缓冲原理	34
第四章 溶氧	40
第一节 气体在水中的溶解度和溶解速率	40
第二节 水中溶氧的来源及消耗	44
第三节 溶氧的变化及意义	47
第五章 有机物和营养元素	54
第一节 有机物	54
第二节 氮	57
第三节 磷和其他营养元素	61
第四节 施肥应注意的问题	65
第六章 有毒物质	72
第一节 概述	72
第二节 水体重金属污染与农药污染	76
第七章 几类天然水水质的一般特点	81
第八章 水质分析基本知识	87
第一节 分析天平	87
第二节 滴定分析	88
第三节 比色分析法	94
第四节 水样的采集与保存	102

实验一 水中总碱度的测定..... 106

实验二 水中溶解氧的测定（简化碘量法）..... 107

实验三 pH值的测定 110

实验四 水中铵氮的测定（目视比色法）..... 113

附录..... 116

 附录一 常用元素国际原子量表..... 116

 附录二 常见化合物分子量表..... 116

 附录三 我国渔业水域水质标准（试行）（节录）..... 118

 附录四 池塘水域物质转化关系图..... 119

绪 言

一、自然界的水

在地球上几乎到处都存在水。不仅海洋、河流、湖泊中有水，在土壤、岩石和大气中也有水。生物离开了水就无法生存。地球上水的总量约有 1.36×10^9 立方公里（13.6 亿立方公里）。如果将这些水平铺在地球表面，水层厚度可达3000米。但是，总水量的97.2%储存在海洋中，陆地地面水总量仅约有 0.23×10^6 立方公里，仅占地球总水量的0.017%。陆地地面水中约有一半多是淡水（ 0.126×10^6 立方公里），还不足地球总水量的万分之一。地球水资源的分布情况可参见右表：

地球水资源的分布

水的类别	体积（万立方公里）	占总量比（%）
海 洋	132000	97.2
咸湖和内海	10.4	0.008
淡水湖泊	12.5	0.009
河 流	0.125	0.0001
冰冠和冰川	2920	2.15
大气水	1.29	0.001
土壤水	6.7	0.005
浅层地下水	417	0.31
深层地下水	417	0.31
生物体内水	0.6	0.0005
总 量	—136000	100

地球上的水处于不停地循环运动之中，这种运动的驱动力是太阳辐射和地球重力。太阳辐射的能量使水蒸发气化成水蒸气升入高空形成云。云在适当的条件下又成为雨、雪等降落到海洋和陆地上。落到陆地上的降水，一部分形成地面径流（溪、河），汇入湖泊及海洋；一部分透过土层下渗，形成地下径流。地球上的水就这样不停地循环运动着。这种由自然力驱动的循环称为水的自然循环，自然循环水量仅占地球总水量的0.031%，但在自然界所起的作用却十分巨大。

二、水化学研究的对象和本课程的任务

水化学研究的对象是一定的水质体系，在这种水质体系中除了水以外，还包含有在其中溶解的物质、以胶体状态分散的物质及以悬浮状态分散的物质。这里有非生物物质，也有有生命的物质。这种水质体系是十分复杂的体系。

水化学研究的内容是一定水质体系的化学组成及其形成、转化规律。由于所研究的侧重面有所不同，所以名称就有差异，有的称为环境水化学，有的称为用水废水化学、水污染化学、海水化学等。研究水化学所涉及的知识面很广，要用到物理学、化学、地学及生物学等原理和知识。水化学是一门应用基础学科。

本教材是中央农业广播学校为培养养鱼中级技术人员而编写的。由于受到教学时数的限制，选材只局限在与养鱼密切有关的内容，为学员进一步学习专业课及从事养鱼生产奠定必要的水化学知识基础。

水化学课程一般都包括了水化学原理和水质分析方法两大部分。作为研究水化学的手段，水质分析是不可缺少的。限于广播学校的特点，本教材中的水质分析方法仅讲授了一些最基

本的内容，目的是使学员对水质分析有一初步了解。有条件的学员，要争取在辅导教师指导下多做几个实验，给学员增加一些感性认识。

三、水化学在淡水养鱼中的意义

水体是鱼类生活的环境，水质的好坏会直接影响到鱼的摄饵、生长、繁殖，影响水体的鱼产力。水质好坏可从水的物理、化学及生物性状三个方面表现出来。水的物理性状，与我们关系比较大的，主要是水温、导热性、冰点、密度、透光性、透明度等；生物性状指水中生物的组成、数量及其变化；化学性状则指水中所溶存的各种化学物质的性质、数量，例如其中的气体、盐分、营养物质、有毒物质等的种类、数量及变化。水的物理、化学及生物性状，既有各自的独立性，又互相间有一定的影响，例如水中化学成分的种类及数量会影响到水中生物的种类及生物量，进而影响到水的颜色及透明度。

水化学成分的含量还会直接影响到鱼的生长、繁殖。据调查，天然淡水水体的鱼产量与水中溶解性总固体间在一定范围内有较好的正相关性，即淡水水体溶解性固体较高的，鱼产力也较高。溶解性总固体可反映水中总含盐量的多少。但含盐量过多或成分比较特殊的水，则可能对许多淡水鱼产生毒害，使其不能存活。我们常见的鲤鱼、鲢鱼、鳙鱼以及能在海水及淡水中生活的梭鱼，均不能在青海湖中生存。我国北方有不少这一类的半咸水水体，它们的化学成分比较特殊。

水中的化学成分是在不断地变化着的。对于原来能适宜于鱼类生长的水体，由于自然的或人为的原因，水质可能向不利于鱼类生长的方面转化，以致造成鱼类的滞长或死亡。这在池塘养鱼工作中常常发生，大水体这样的事例也不罕见。内蒙古的黄旗海，1964年鲢鱼、草鱼及鲤鱼均能正常生长。由于干旱，10年后水质就变成鲢鱼、草鱼不能存活，鲤鱼不能正常生长，以后进一步变成任何鱼都不能存活了。陕西省的河口水库也发生了类似的变化，水质早已不适宜鲢、鳙、鲤的生存，但由于有关人员未及时认识到这个问题，还连续多年大量往库中投放鲢、鳙、鲤鱼鱼种，造成巨大损失。

在池塘养鱼中，水质控制得好的，就有可能夺得高产；水质管理不好，轻则生长缓慢、浪费饵料，重则池鱼大批死亡，甚至“全军覆没”。为了在生产中更好地管理水质，我们养鱼工作者必须了解水中含有哪些化学成分，这些成分的来源、数量及变化规律，以减少生产管理中的盲目性。

第一章 天然水的主要化学成分和物理性质

第一节 天然水的化学成分

一、天然水中常见的化学成分

养鱼的水归根结底来自天然水体，水中化学成分首先决定于所用的水源的水质。所以对天然水的化学成分我们必须有基本的了解。本节仅概括地介绍天然水的基本化学成分及形成原因。后面有专门章节介绍各类天然水体的水质特点。

天然水体，由于它们形成的条件不同，其化学成分各不相同，并且成分复杂。在人们迄今已知的107种化学元素中，在天然水中检出的已有80多种。这些成分在水中的含量差别很大，例如海水（大洋水）中的氯离子 Cl^- 的含量高达19克/升左右，海水中铜的含量只有约0.003毫克/升，氦则更少，只约有 6×10^{-16} 毫克/升。不同类型的天然水，其盐分组成及总量的差别很大，例如新疆某些地区的地下水含盐量可达300克/升，而潮湿多雨地区的河流及某些由融雪水补给的河流含盐量每升水只有数十毫克。对于一个特定的水体，有的组成成分相对恒定、变化不大，有的则在时刻变化着。总之，天然水的化学成分复杂且多变。

尽管天然水的化学成分复杂多变，但它们仍有许多共性，如它们所含的主要成分往往是相同的。在天然水中普遍含有的成分大致可以分成以下五类：

（1）溶解气体 氧气(O_2)，氮气(N_2)，二氧化碳(CO_2)。

（2）主要离子 包括4种阳离子和4种阴离子：钙离子(Ca^{2+})，镁离子(Mg^{2+})，钾离子(K^+)和钠离子(Na^+)；碳酸氢根离子(HCO_3^-)，碳酸根离子(CO_3^{2-})，氯离子(Cl^-)和硫酸根离子(SO_4^{2-})。氢离子(H^+)在天然水中含量一般都很低，但十分重要，也常把它放在这一类。

（3）营养盐类 包括三种无机态氮的化合物，即硝酸根离子(NO_3^-)，铵离子(NH_4^+)和亚硝酸根离子(NO_2^-)，磷酸盐，硅酸盐，铁等。

（4）有机物 指溶解的和悬浮的各种有机物质，其中包括淀粉、脂肪、蛋白质及其不完全分解的产物等，还包括腐殖质类物质。

（5）工业污染物 由于工业的发展，各种工业废物进入水体的量增多，例如汞、镉、铬、铅、砷、酚及氰化物等都是天然水中常见的污染物。随着人们对环境保护工作的重视，这类物质进入水体的量将会减少。

二、天然水化学成分的主要来源

天然水中的化学成分主要来自以下几个方面：

（1）从空气中溶解 空气中的成分可以通过气液界面溶入水中，这一作用对大气降水的化学组成影响很大，1升雨水在下落的过程中可洗涤约33万升空气，因此，降雨时空气中的成分就要大量溶入水中。除 N_2 、 O_2 等接近饱和外，水中还可能含有 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Ca^{2+} 、

Mg^{2+} 、 K^{+} 、 Na^{+} ，还有 NO_3^{-} 、 NO_2^{-} 等。大气降水的总含盐量一般在数十毫克/升。

(2) 对岩石、土壤的溶滤作用 水与岩石、土壤接触，可以将其中可溶成分溶解。在沉积岩中含有一些可溶于水或可溶于含 CO_2 的水的成分，例如 $NaCl$ 、 $CaSO_4$ 、 $MgSO_4$ 、 $CaCO_3$ 等。岩浆岩和变质岩经风化后也能生成一些可溶性成分，例如钠长石($Na_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$)经化学风化后生成了高岭土($Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)和碳酸氢钠或硅酸氢钠：

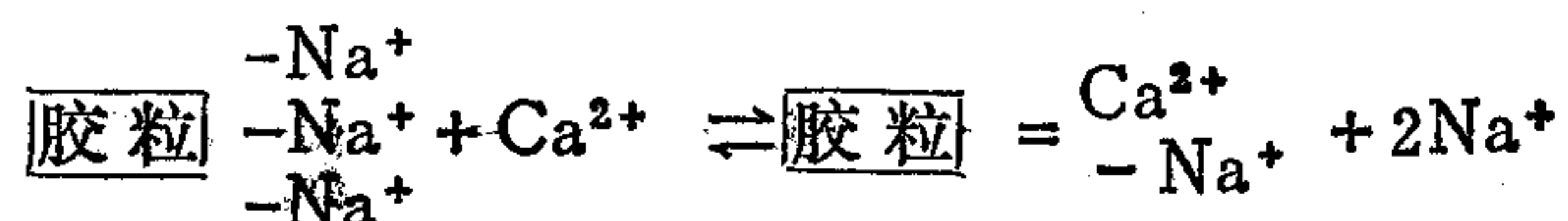


土壤中含有许多可溶性的无机盐分及有机物质。某些干旱地区的土壤含易溶盐量很高，与这种土壤接触的水的含盐量就相对较高。

(3) 水中生物的分泌排泄和微生物的分解转化作用 水生生物在生命活动中要不断分泌排泄代谢产物，生物死亡后尸体被微生物分解或分解后再合成，并转入水中。这是水中有机物氮、磷等营养盐类的重要来源。例如，鱼和浮游动物可以直接排出铵，鱼和浮游动物多的水中铵含量往往较多。

(4) 离子的交替吸附作用 天然水中存在着粘土、腐殖质等胶态、悬浮态微粒，一般都常带有负电荷，其表面吸附着一些可以代换下来的阳离子。100克干物质所具有可交换的阳离子的总量(毫克当量数)称为该物质的交换容量。腐殖质胶体的交换容量较大，一般可达150—700毫克当量/100克；矿物胶体的交换容量小得多，一般只有10—80毫克当量/100克。

交替吸附作用是可逆的过程，进行到该条件下达到平衡为止。例如海源性沉积岩以含可代换的钠为主，遇到含 Ca^{2+} 多的水则发生如下交替吸附过程：



含 Ca^{2+} 丰富的沉积岩遇到海水时(含 Na^{+} 多)，则会发生 Na^{+} 取代 Ca^{2+} 的交换，即发生上述平衡向左移动的过程。

第二节 天然水的一些物理性质

一、水的热学性质

水是热的不良导体，如果不发生对流，热量由一端传向另一端的速度是很慢的。水中热量的传递主要靠涡动混和作用。

由于使水温升高(或降低)1℃所需吸收(或释放)的热量比其它物体，例如岩石、土壤要大的多，所以在同样的受热和散热的条件下，水温比较不易变化。例如在同样的太阳光照下，陆地温度就比水温上升得快，晚上陆地也凉得快。水温的日变化比地温的日变化要小，这一点对水生生物是有利的。

水的融化潜热大，即融化1克冰所需要吸收(或凝结1克水所放出)的热量多。水的蒸发潜热也很大，即气化1克水所吸收的热量(或凝结1克水蒸气所放出的热量)大。这两种性质对稳定水温都有积极的作用。

水还有反常膨胀的性质。一般物体都是遇热膨胀，遇冷收缩，而水是在某一温度下密度最大。纯水在3.98℃时密度最大。在3.98℃以上，水是“热胀冷缩”的；在3.98℃以下，水

则是“热缩冷胀”的。水中溶有盐分以后，冰点和最大密度时的温度都随含盐量的增加而下降。也就是说，含有盐分的水，要在 0℃ 以下才能结冰，其密度最大时的温度也不是 4℃，而是在 4℃ 以下。图 1—1 是盐分组成与海水相同时，最大密度时的温度和冰点随盐度的变化。最大密度时的温度随盐度的增加而下降得快，冰点随盐度增加而下降得慢，两线相交于盐度为 24.7‰、温度为 -1.35℃ 处，这表明盐度为 24.7‰ 的水，最大密度时的温度和冰点相同，均为 -1.35℃。如果水的盐度在 24.7‰ 以下，水的最大密度时的温度就高于冰点，当水体冷却到将结冰时，可以出现上层水温较低、下层水温较高的水温逆分布现象。这种性质可以使水体在表面已结冰的情况下，底层水仍保持高于冰点的温度。对于淡水，结冰后底层水温有可能保持为 3—4℃。这对鱼类的越冬是很有利的。

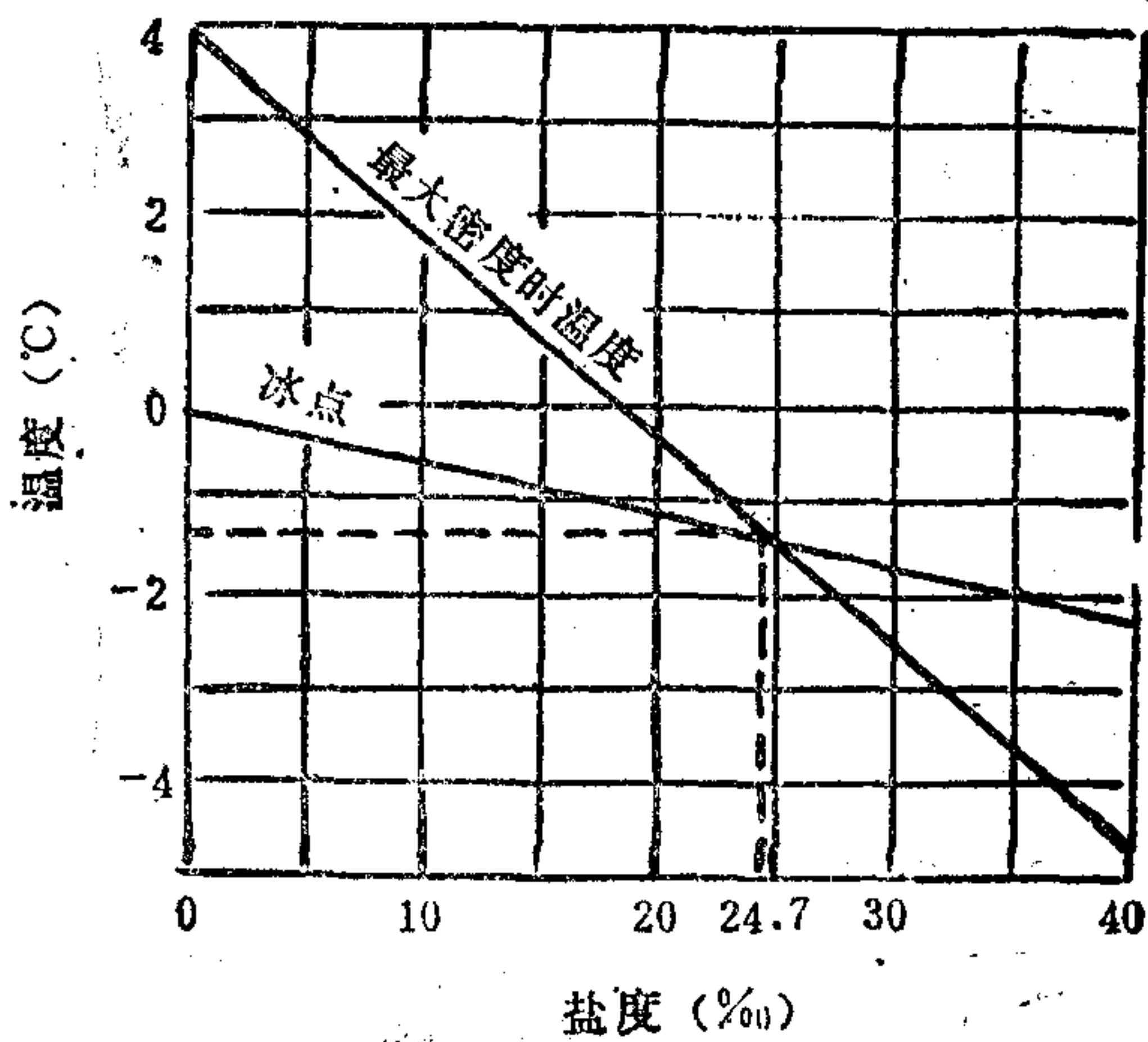


图 1—1 含盐量对水的冰点及最大密度时温度的影响

二、水透光辐射的性质

太阳辐射线按波长分，除可见光外，有波长较短的紫外线、波长较长的红外线等。紫外线和红外线都是肉眼看不见的辐射线。

到达水面的太阳辐射，一部分被水面反射，回到大气中，一部分则进入水体，被水吸收或向深处透入。

被反射的太阳辐射强度对投射到水面的太阳辐射强度之比称为反射率或反照率。反射率与太阳的高度角* 有关。当太阳高度角较大时（30° 以上），反射率很小，不超过 2.1—6.2%。例如太阳位于天顶时，98% 的太阳辐射可穿过水面进入水体。太阳高度角小于 30°，随着太阳高度角的减小，反射率迅速增加。若太阳位于地平线附近，则几乎全部太阳辐射会被水面反射。可见早晨和傍晚水面对太阳辐射的反射率均很大。

水面如果有波浪，将对反射率有很大影响。太阳如在天顶，波浪使反射率大大增加，有碎小波浪的波状水面对太阳辐射的反射率是平静水面的 6 倍多。太阳离地平线较接近时，波

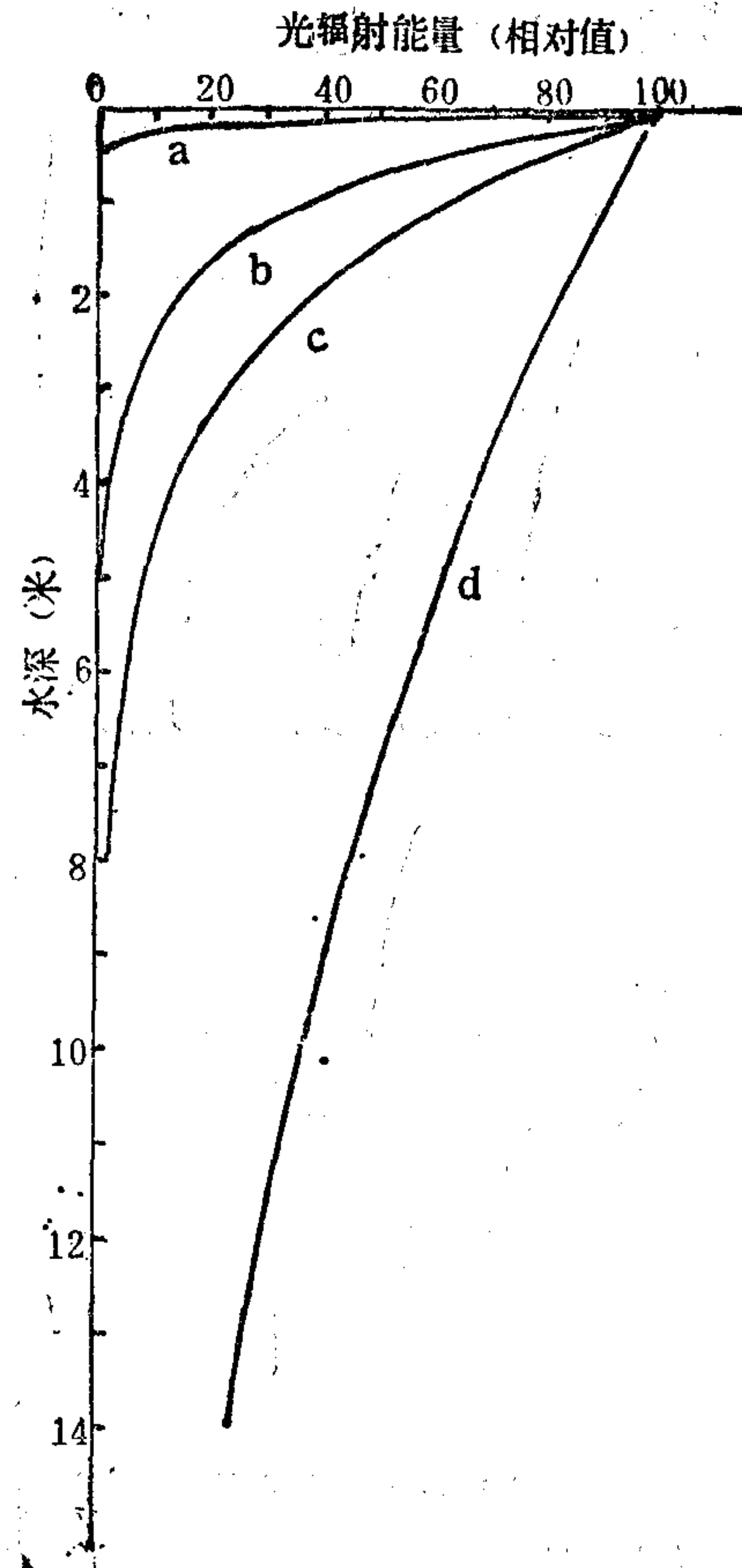


图 1—2 光辐射能量在水中的衰减

* 太阳高度角是指太阳光线与地平面的夹角。

浪则使反射率减小。

进入水体的光辐射，一部分被水吸收，一部分被水中的微粒散射，一部分则继续向深处穿透。透过的光辐射强度（能量）随穿透路程的增加而衰减。图 1—2 用曲线表示了光在穿透清洁水时能量随深度的相对变化。横坐标是透过光能量的相对值（以刚刚穿透水面的光能量为 100），纵坐标是水深（穿透距离米）。容易被水吸收的红外线、紫外线，能量衰减得很快，大部分能量在表层就被吸收消耗。其能量随深度的变化类似于图 1—2 中的曲线 a 和 b。水对可见光的吸收较弱，其中穿透力最强的是波长较短的蓝绿色光，它随深度衰减得很慢（曲线 d），波长较长的红色光衰减则快得多（曲线 c）。水中如果有其它挡光或吸光物质存在，则光随深度的衰减比图中所示的还要更快。有人研究得出，照射到湖面的太阳辐射能量的 80% 被表面 1 米厚的水层所吸收，并且大部分能量消耗在最表面的 20 厘米水层中，这些辐射能被吸收后大部分转变为热能，使表层水温升高。如果没有风，太阳辐射只能用来加热表层水，对深层水的温度影响很小。

第三节 水体的流转混合及温度分布

一、水的混合作用

一个水体中水的混合作用可分为因密度不同引起的自动混合和因风力引起的强制混合两种。

表层水因降温而密度增大时，就会向下沉，与下面温度较高的水发生对流混合。表层密度的增加可以是由于温度的升高（水温 $< 4^{\circ}\text{C}$ 时），也可以是由于温度的降低（水温 $> 4^{\circ}\text{C}$ 时）。

水温的变化还会引起水体中的密度环流。湖水或鱼池水在增热或散热时期，都是岸四周的浅水区变化大。冷却时期岸边水先冷却，若在 4°C 以上，密度增大，会形成如图 1—3 所示的环流。在 4°C 以下的水增温时也会有类似的环流形成。这是简单的模式，具体情况不同，所形成的环流状况也不同。密度环流引起的混合作用是自动混合作用。在自然状态下，纯密度流是较少发生的，常有风力作用的参与。

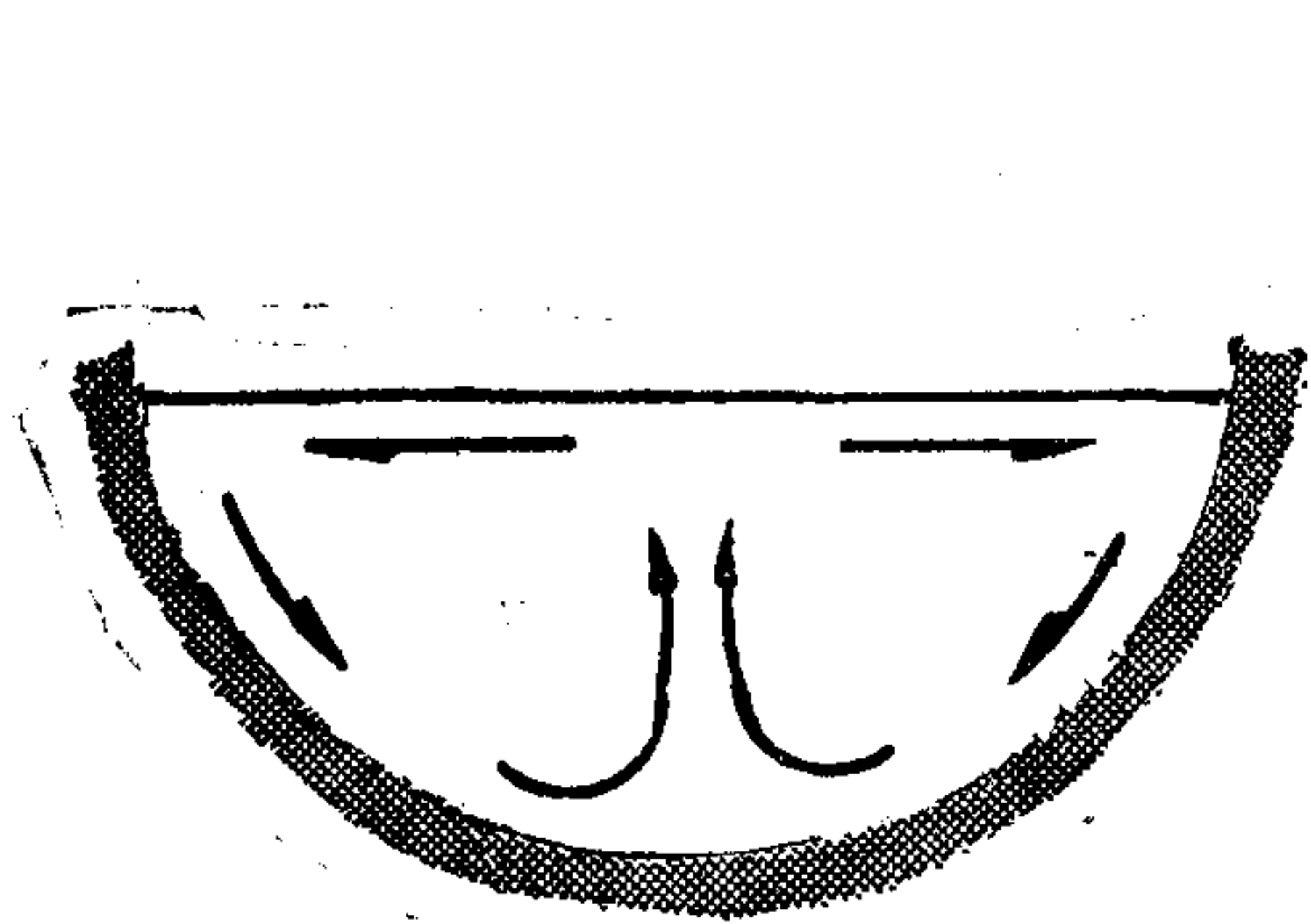


图 1—3 湖水的密度环流

（ 4°C 以上的水冷却时 和 4°C 以下的水增温时）

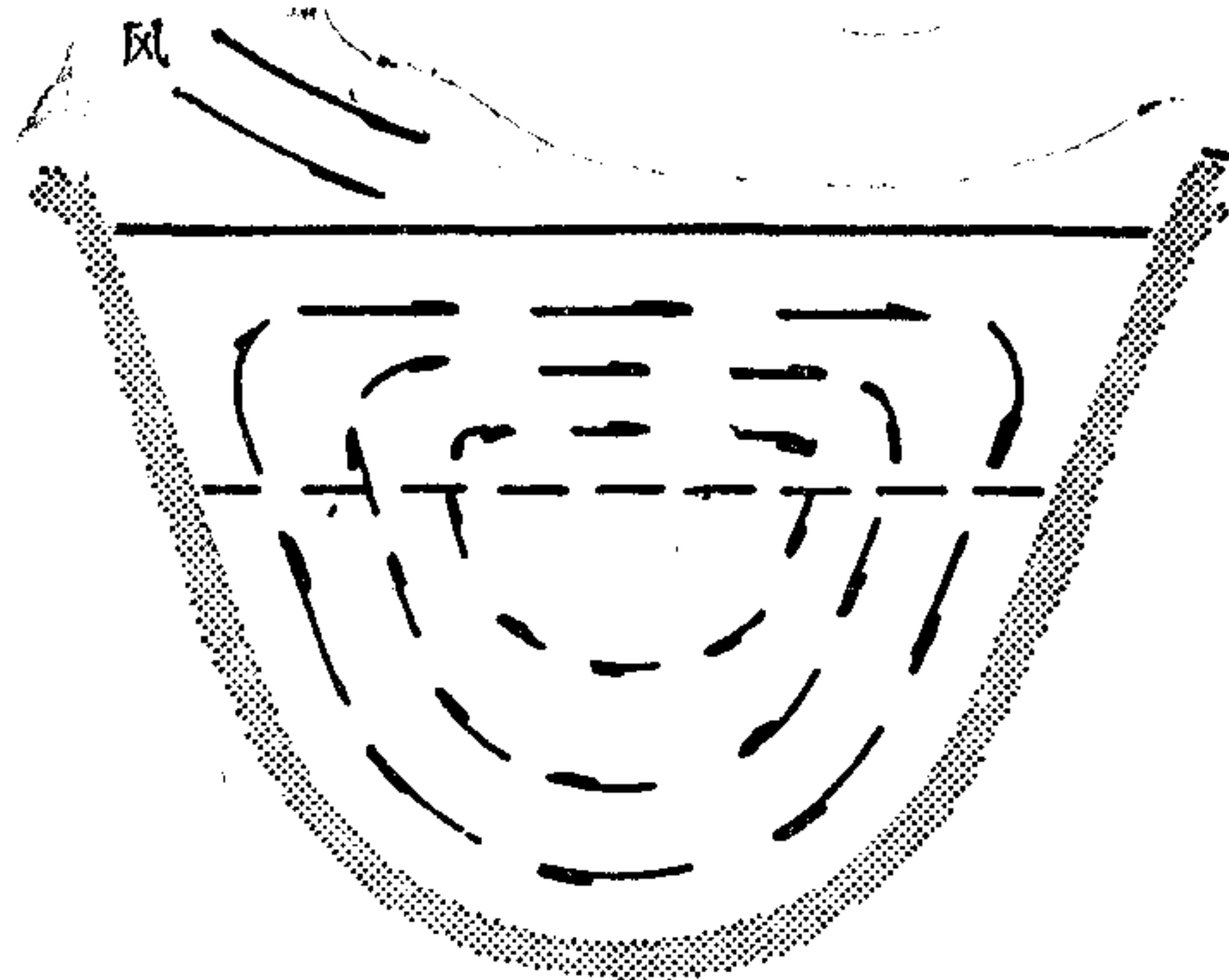


图 1—4 风动环流示意图

在风力的吹拂下，会形成如图 1—4 所示的风动环流。风的吹拂使表层水随风力方向运动，造成迎风岸的水上涨、背风岸的水下落。水位差的作用又使底层水向反方向流动。

二、湖水的热分层和季节变化

我国北方地区较深一些的湖泊、水库，水温的垂直分布有典型的季节特征：夏季水温上层高、下层低，对这种温度分布习惯称为温度的正分布；冬季是下层高、上层低，则称为温度的逆分布；春、秋有一上、下温度近于相同的时期（称全同温期）。现分别加以讨论，先以淡水为例。

1. 冬季的逆分层期 我国北方地区的湖泊、水库冬季都可封冻，表层被一定厚度的冰层覆盖，紧贴冰下的水温为 0°C ，随着深度的增加，水温略有增加，到底层为 4°C ，也可能是 $2-3^{\circ}\text{C}$ 甚至更低。图 1—5 之 d 所示是典型情况。由于此时的水温是上层低、下层高，与夏季正相反，故称为温度的逆分布。此时水温是随深度缓慢变化的，无明显的分层现象。我国南方一些地区的湖泊、水库、池塘的水温始终不会低于 4°C ，故不存在水温的逆分布现象。

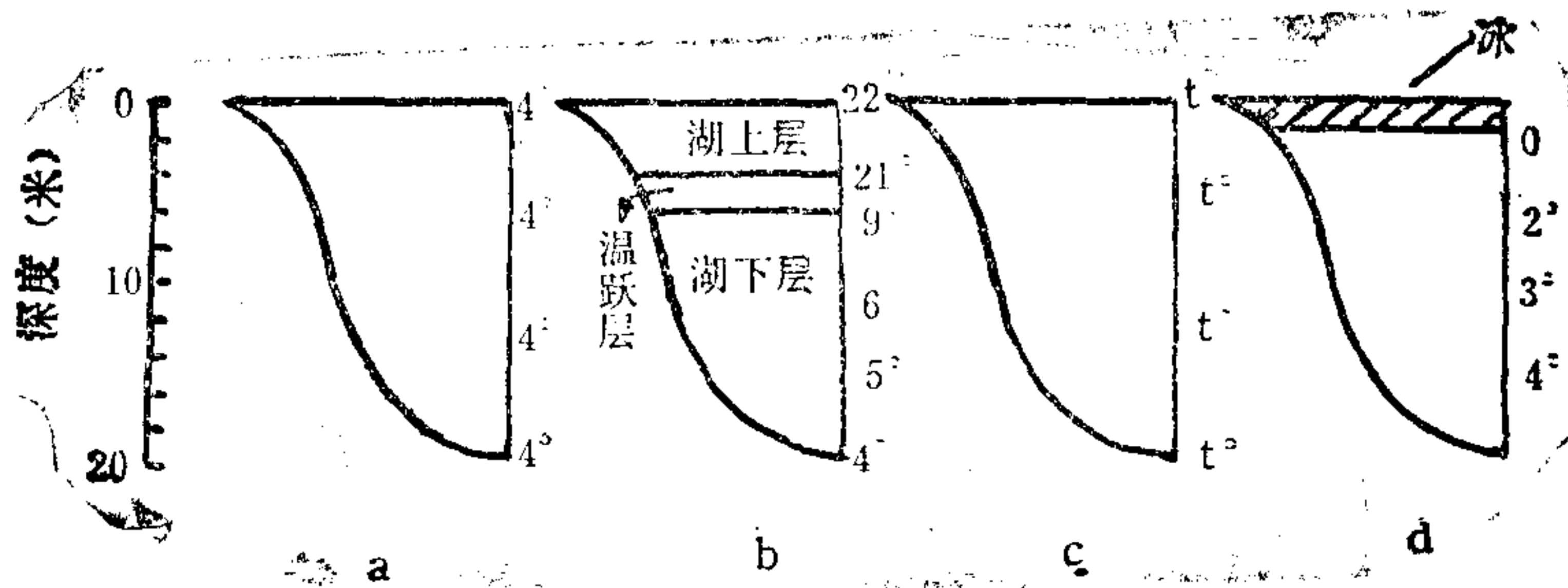


图 1—5 湖水分层典型的季节变化示意图

2. 春季全同温期 春季气温回升，大地转暖。水面的冰层融化后，水温开始回升。当水温在 4°C 以下时，尽管太阳热辐射主要只能加热表层水，但热量可以通过密度环流传到下层。因为在 4°C 以下，温度高的水比重大，表层水受热后会自然下沉，形成密度引起的对流混合。直到上下水温均为 4°C ，这种密度对流就停止，此时称为“全同温”（图 1—5 之 a）。春季一般多风，当达到全同温后，风力的涡动作用易将上下水彻底混合。如果一边刮风一边受太阳光的照射，则湖（库）上层被加热了的水可不断被吹刮而与下层水混合，使上下水层同时升温。于是，春季的“全同温”就不仅限于 4°C ，而可延续到 4°C 以上，例如延续到 10°C 、 15°C ，视春季的风力及湖盆形状而定。

春季的全同温期对湖泊水库的鱼类生长很有利。这一时期上、下水层混合充分，可把表层丰富的氧气带到下层，把下层丰富的营养物质带到上层。这对底层的饵料生物及鱼类的生长，对上层浮游植物的光合作用都是很有利的。

3. 夏季正分层期（停滞期） 由于太阳热辐射能量的大部分在表层 20 厘米之内被吸收，水的导热性又差，如果在一时期内无风或少风，天气晴朗，则水体表层温度可较快上升，使上下水层温差增大，密度差也增大，上轻下重。此时中间某一深度形成了一个温度随深度迅速下降的水层，称为温跃层。在温跃层以上的水层温度高，温度随深度变化不大，在温跃层以下的水层温度低，温度随深度变化也不大，如图 1—5 之 b。底层水温不一定是 4°C ，经常是高于 4°C ，这具体决定于春季全同温期所延续的温度。

温跃层一旦形成，较小的风力引起的涡动混合作用只能在温跃层以上进行，而不能混合到底，如图 1—6 所示。风力增大，涡动混合的深度也就加大，温跃层则会向下移动。风力

足够大时，则有可能使温跃层消失。

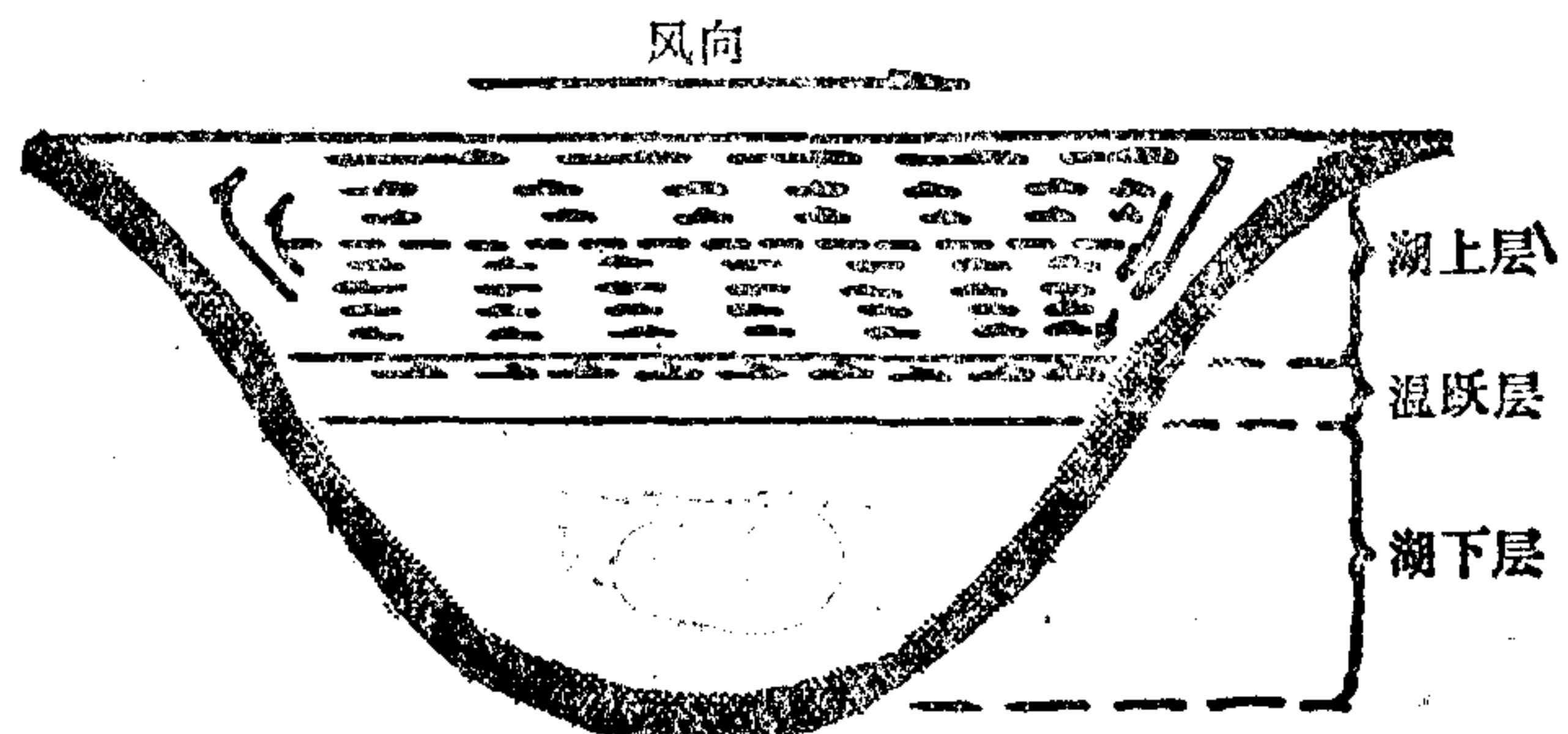


图 1—6 夏季温跃层以上的涡动混合示意图

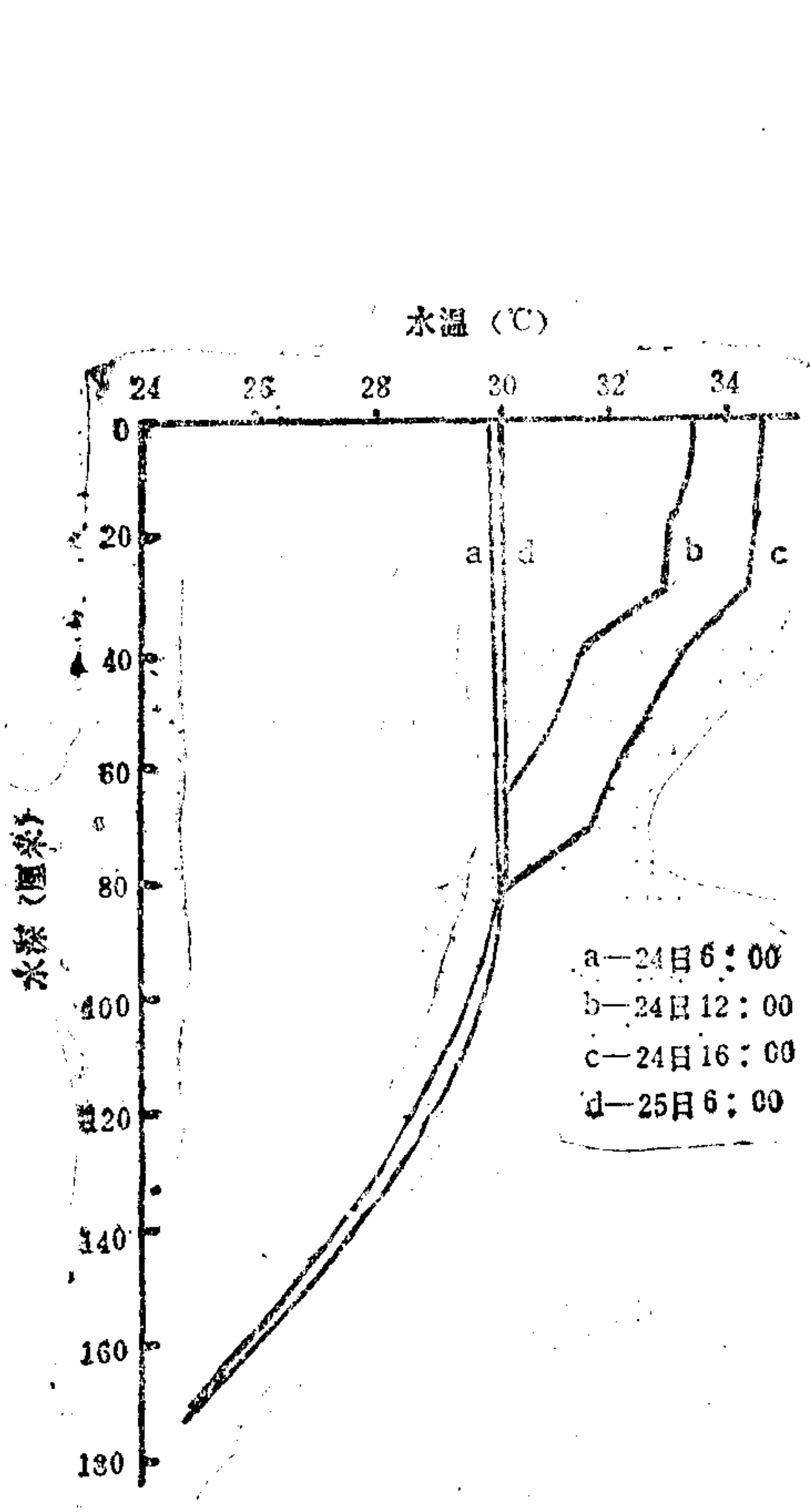


图 1—7 无锡某鱼池水温的垂直分布

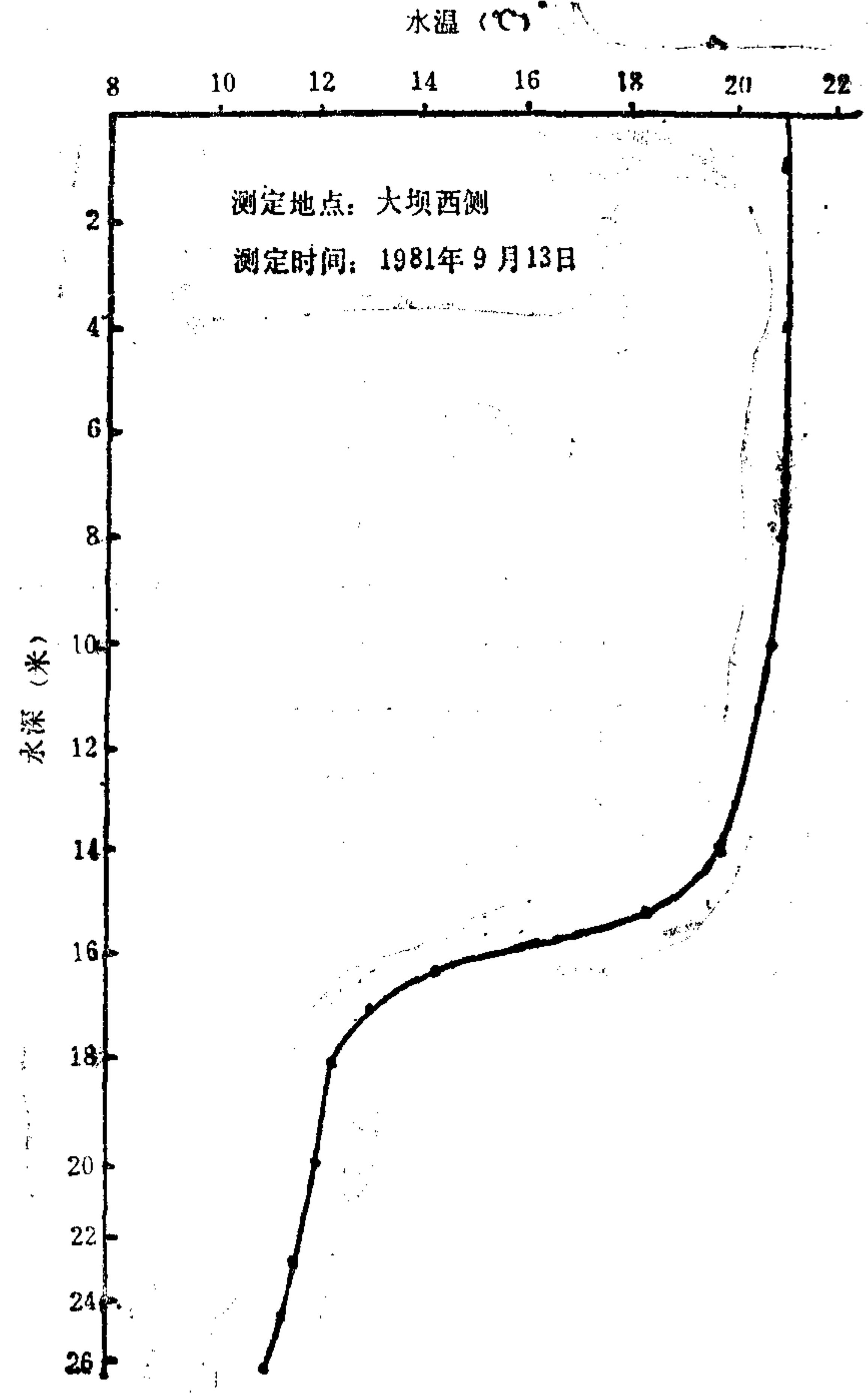


图 1—8 大伙房水库水温的垂直分布

深而狭窄、岸高且多树的水体，在夏季连续多日无风或微风的日子，容易形成温跃层。许多水体夏季并不形成典型的温跃层。

温跃层就象一个屏障，将上、下水层隔开，使上下水层中的物质得不到交换。久而久之，上下水层的化学成分可能有很大差异。温跃层对鱼产力也会产生影响，这将在以后各有关章节中谈到。

图 1—7 是无锡市河埭大队的一个小鱼池的水温垂直分布与时间的关系。由图可知，水

的对流交换只能进行到80厘米深处。80厘米以下的水温一天之中基本没变化，这一水层的温度随深度迅速下降，正是所谓的温跃层。只是由于池水太浅，温跃层以下的深水层不存在。图1—8是辽宁大伙房水库大坝西侧水温的垂直分布，这是一个典型的温跃层分布图，其清楚地表明，在14—18米间有一个温跃层。

4. 秋季全同温期 到秋季气温转凉，气温低于水温。表层水温即因散热而降温。温度低的水密度大，向下沉，下面温度高的水即上浮，产生了密度环流。如有温跃层存在，密度环流先局限在温跃层以上的水层中。待温跃层消失，出现全同温后，密度环流才可以进行到底部。如无风力参与，秋季全同温持续到上下均为4℃即停止。在风力的吹拂下，秋季全同温即可持续到4℃以下。

图1—9是辽宁省清河水库实测的几个典型水温垂直分布图。图中1982年4月和10月的水温曲线表明了春季和秋季的全同温状况；1984年6月的曲线表明水体在10—12米处有典型的温跃层存在，而1985年6月的曲线就不那么典型了。

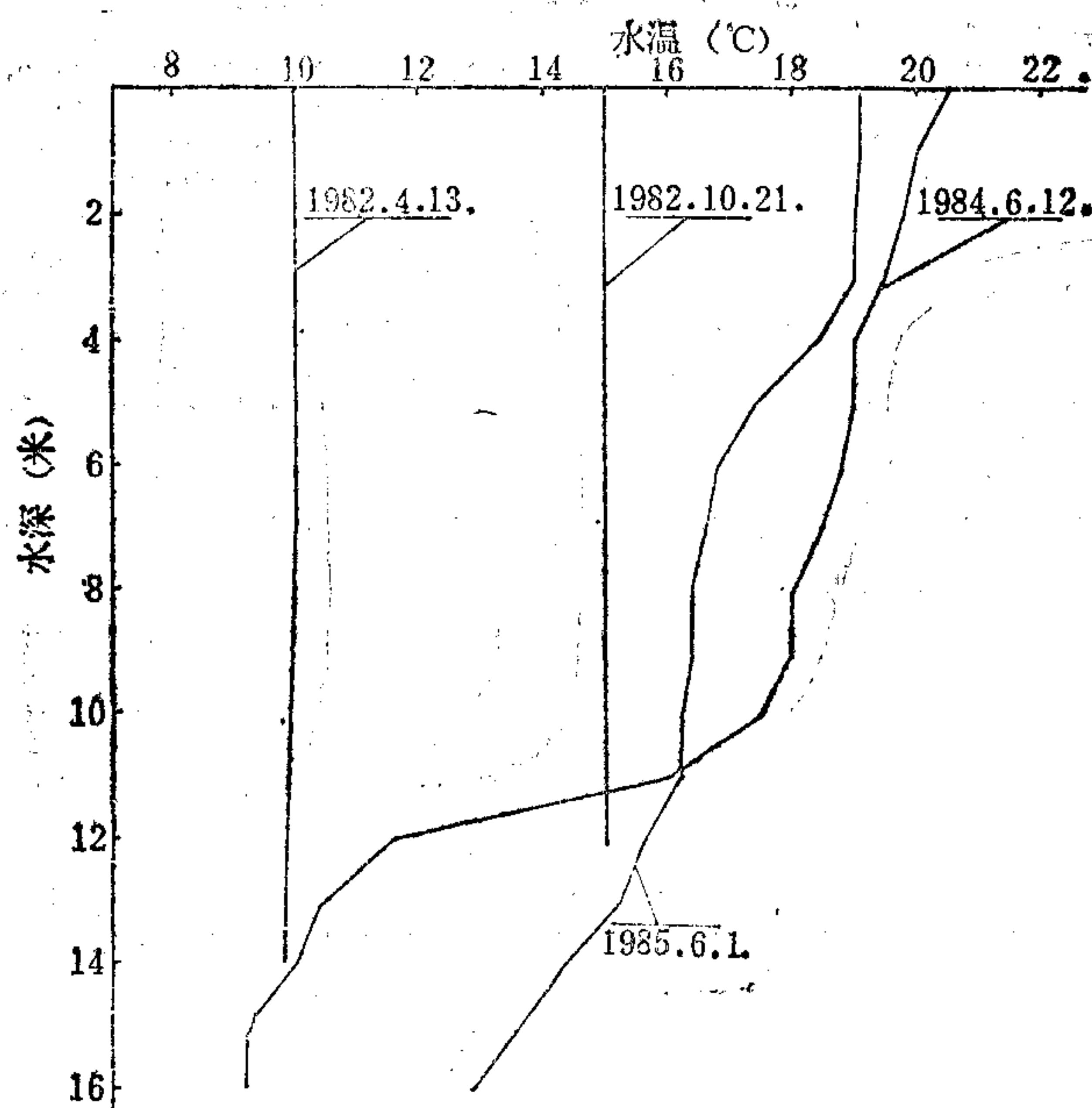


图1—9 辽宁省清河水库的水温垂直分布

以上讲的是淡水的情形。如果不是淡水，密度最大时的温度就低于4℃，冰点也低于0℃，这种水结冰后，底层水温就达不到4℃，最高只能保持到密度最大时的温度。但只要水的盐度小于24.7‰，密度最大时的温度就仍高于冰点，冬天结冰后，底层水水温仍可高于表层。如果鱼池水的盐度在18.4‰以上，结冰后，底层水温就难以保持在0℃以上。盐度超过了24.7‰的水，密度最大时的温度比冰点低，在结冰之前，水温越低，密度越大。所以这种水在秋季降温期一直存在密度环流，全同温可一直延续到冰点。如再降温，表层就结冰。

习 题

1. 天然水中常见的化学成分有哪些？
2. 天然水中的化学成分是怎样形成的？

3. 什么叫离子的交换吸附作用？离子交换吸附作用有什么特点？
4. 什么叫水的反常膨胀？天然水的反常膨胀同含盐量有什么关系？
5. 太阳辐射进入水中后，其能量及成分（可见光、红外线、紫外线）随透射深度会发生怎样的变化？
6. 由盐度大于24.7‰的水形成的水体在降温时一直有密度环流存在，因为这种水温度越低，密度越大，直到结冰为止。这种水是否应从底层开始结冰？为什么？
7. 在什么情况下容易形成温跃层？
8. 什么叫全同温？它同渔业生产有什么关系？

本 章 提 要

一、天然水是一种含有多种多样物质的复杂体系。这些成分来自空气、岩石、土壤及生物。常见成分有溶解气体（ N_2 、 O_2 、 CO_2 ），八大离子、有机物质及工业污染物等。

二、天然水的热学性质与光学性质

1. 水的比热、融化潜热、蒸发潜热都大，使水温较不易变化。水有反常膨胀性质，纯水以4℃密度最大，水中含有盐分后，密度最大的温度要降低，冰点也下降。盐度在24.7‰以下的水，密度最大的温度高于冰点，冬天结冰时底层可以保持高于冰点的温度。

2. 太阳辐射由可见光、红外线、紫外线等部分组成。水对可见光，尤其是蓝绿色光的吸收较弱，对红外线和紫外线的吸收则很强。进入水中的太阳辐射能量，绝大部分被表层水吸收，使表层水温升高。

3. 4℃以上的淡水在降温时及4℃以下的淡水在升温时，都会有密度环流存在。风力的吹拂可引起水体的涡动混合作用。这样可以使上、下水层互相混合，形成了秋季和春季的“全同温”现象。这一时期上、下物质的交换对渔业生产是很有益的。

4. 夏季无风或少风的晴朗日子，易使水体形成温跃层。岸高、湖盆狭而深的水体，温跃层容易形成。温跃层一旦形成，就象一个屏障，使上、下水层“隔离”，混合作用不能进行到底。风力足够大时，混合作用可以迫使温跃层下移以至最终消失，这时混合作用就能进行到底了。

第二章 天然水的主要离子

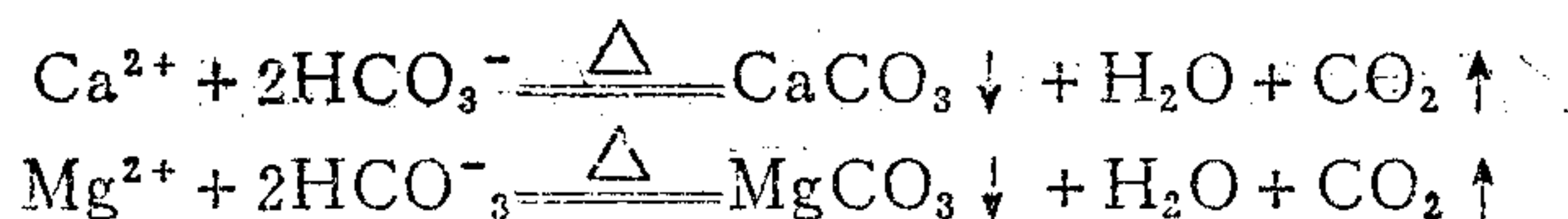
第一节 水的硬度及钙镁

一、水硬度的概念

水的硬度是反映水中二价及多价金属离子含量的水质指标，钙、镁、铜、锰、铁等金属离子都可形成水的硬度。水中这些离子具有许多共同性质，比如可使肥皂失去去污能力，使锅炉结垢，或者使某些工业产品品质下降。硬度过高的水饮用也不适宜。所以在许多工业或卫生水质标准中都对硬度有一定的要求。

在形成水的硬度的上述离子中，以 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 在天然水中含量最多，其它二价及多价金属离子在多数天然水中的含量都很小，同钙、镁离子比起来可以忽略。因此通常近似地认为水的硬度就是由水中的钙、镁离子形成的，水的总硬度就是水的钙硬度和镁硬度之和。

钙、镁离子与碳酸氢根离子共存时，水经煮沸后能生成碳酸钙和碳酸镁沉淀：



水中对应于碳酸根和碳酸氢根的这一部分硬度称为碳酸盐硬度。用煮沸的方法可以将这部分硬度的大部分除去，所以过去又称碳酸盐硬度为暂时硬度。

如果水中钙、镁含量超过了碳酸根和碳酸氢根含量，则这超出部分的硬度可以看作是对应于硫酸钙、硫酸镁、氯化钙、氯化镁等盐类的硬度，称为非碳酸盐硬度。非碳酸盐硬度用煮沸的方法不能除去，所以过去又称为永久硬度。

碳酸盐硬度和非碳酸盐硬度合称为总硬度。

表示硬度的方法有很多种，现介绍三种使用较普遍的单位：

1. 毫克当量/升，符号 me/l ，以1升水中形成硬度的各种离子的毫克当量数总和来表示。

2. 德国度，符号“°H”。此单位是将水中形成硬度的金属离子都换算成相当的氧化钙的量，然后以每升水含10毫克氧化钙为1度。水中实际上不可能含有氧化钙，氧化钙遇水就会生成氢氧化钙，一般天然水也是不含氢氧化钙的，这不过是一种习惯的表示方式。含1毫克当量的任何形成水硬度的离子，均看作相当于1毫克当量的氧化钙，根据氧化钙的当量即可求出“毫克当量/升”与“德国度”之间的关系。

如果用 Me^{2+} 表示形成水硬度的金属离子，则有：

$$\begin{aligned}1\text{meMe}^{2+}/\text{l} &\Leftrightarrow 1\text{meCa}^{2+}/\text{l} \Leftrightarrow 1\text{meCaO}/\text{l} \Leftrightarrow \frac{56.08}{2} \text{mgCaO}/\text{l} \\ &= 28.04\text{mgCaO}/\text{l} = 2.804^\circ\text{H}\end{aligned}$$