

地球上的水

J. R. 菲利浦

一、水文地理

1. 海洋和陆地的分布面积 地球上海洋和陆地的分布面积, 从表中1可知。海洋占地球总面积的70.8%, 而陆地仅占29.2%。并且分布是不均匀的, 北半球的陆地面积比南半球大两倍多。图1为海洋和陆地面积所占的百分比

表1 陆地和海洋的分布面积

| | 面积(10^6 km^2) | | 占百分比(%) | |
|-----|---------------------------|-------|---------|------|
| | 海洋 | 陆地 | 海洋 | 陆地 |
| 北半球 | 151.8 | 100.3 | 60.7 | 39.3 |
| 南半球 | 206.5 | 1.8 | 80.9 | 19.1 |
| 全球 | 361.3 | 149.0 | 70.8 | 29.2 |
| 总数 | 510.3 | | 100 | |

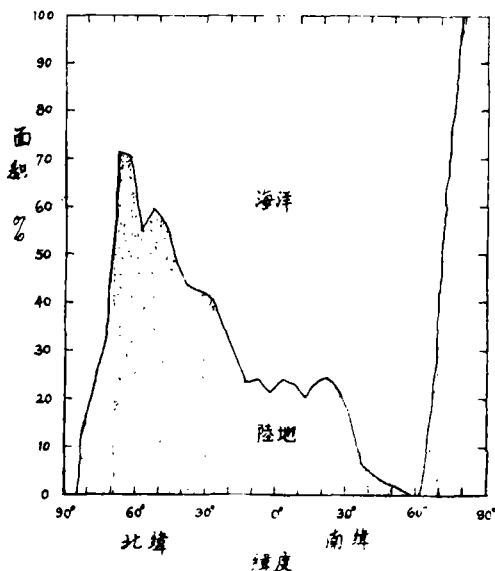


图1. 全球海洋、陆地所占百分比随纬度而变化

随纬度的分布情况, 从纬度70°到25°之间(45°宽), 大约为温带分布范围。在这一范围内, 北半球陆地面积占51.5%, 海洋占48.5%, 而南半球海洋占91.4%, 陆地仅占8.6%。因此, 北半球温带陆地上的水比南半球多11.3倍。另外, 全球大气和海洋循环的强烈不对称性, 对气象和降水有深远影响。

2. 地球上的水量 表2中所列数据是全球水量分布状况, 海洋的水量占全部总水量的97.3%, 而且大部分是含盐的咸水。海洋的平均深度为3.7km。如果地球上冰层全部溶化, 海洋水面大约上升80米。我们把全球水体分成海洋、冰帽、冰川、湖泊、河流、地下水、大气水和生物水等类, 其中生物水仅代表植物和动物中的含水量。其具体分类和数量见表2。

表3给出全球估算的地下水的种类和数量, 非饱和带中大约有1/5的水为土壤上层植物根系所吸收(水深为0.2米), 剩余部分可能有一半多是咸水; 埋藏在1km以下的水约占地下水的一半, 还有6%的水在永久冻土层里。

表4给出全球陆地上地表水的分类和分布情况, 其中咸水约占总水量的一半, 淡水占一半多一点, 而河流贮存的水量相对来说比较少, 只有 $0.0017 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。

3. 全球水平衡 从全球水平衡(图2)中可看出, 全部陆地区的径流量(即315mm与陆地面积的乘积)等于全部海洋区水蒸汽的平流量(即130mm与海洋面积的乘积), 即 $315 \times 10^{-6} \times 149 \times 10^6 \text{ km}^3 \approx 130 \times 10^{-6} \times 361.3 \times 10^6 \text{ km}^3 \approx 16.9 \times 10^3 \text{ km}^3$ (译者注)

表5给出全球每年水平衡的分布情况, 从陆地到海洋的径流量(315mm)等于陆地上降雨量(800mm)减去蒸发量(485mm)的剩余部分, 这部分水量与海洋蒸发量(1400mm)减去降雨量(1270mm)的剩余量相等。海洋上由于空气流动每年要运移 $16.9 \times 10^3 \text{ km}^3$ (即130mm水深)的水量, 而陆地通过降雨减去蒸发, 最终产生径流, 要失去同样的水量。也就是说, 从海洋到陆地的水蒸汽平流量刚好等于从陆地流到海洋的径流量。另外, 可计算出陆

表 2. 全球水量分布和分类

| 分 类 | 水 量 (以 10^6km^3 计) | 占总水量百分比 (%) | 平均水深 (米) | 基本区域 |
|-------|--------------------------------|----------------|-------------|-------|
| 海 洋 | 1338 | 97.3 | 3700 | 海 洋 |
| 冰帽和冰川 | 29 | 2.1 | 80 | 海 洋 |
| 地下水 | 8.10 | 0.61 | 56 | 陆 地 |
| 湖泊和河流 | 0.23 | 0.017 | | |
| 大气水 | 0.013 | 0.00091 | 0.025 | 星 球 |
| 生物水 | 0.0006 | 0.000005 | 0.001 | 陆 地 |
| 总 数 | 1376 | 100 | 2700 | 地球和星球 |

表 3. 地下水的分类和分布

| 分 类 | 水 量 (10^6km^3) | 占全球总水量的百分比 (%) | 平均水深 (米) |
|-----------|------------------------------|-------------------|-------------|
| 非饱气带水 | 0.15 | 0.011 | 1 |
| 1km以上的地下水 | 1.20 | 0.305 | 28 |
| 1km以下的地下水 | 1.05 | 0.291 | 27 |
| 总 量 | 8.10 | 0.61 | 56 |

表 4. 陆地上地表水的分类和分布

| 分类 | 水量(10^6km^3) | 占全球总水量百分比(%) |
|-----|-------------------------|--------------|
| 河流 | 0.0017 | 0.00012 |
| 淡水湖 | 0.125 | 0.0091 |
| 咸水湖 | 0.105 | 0.0076 |
| 总量 | 0.23 | 0.017 |

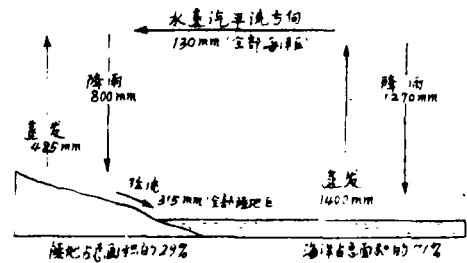


图 2 全球水平衡

地上全部径流量与降雨量的比率为0.39,而Per-rault 和 Mariotte 论证这种比率也小于1,他们得到的数值范围为0.17~0.25。海洋平流量与蒸发量的比率为0.09,由陆地所包围的海的比率为0.35,近似于陆地上的比率,如地中海。

1. 水的转换率 在地球上,从各部分水的转换率来说明水文循环是有意义的,首先用实验方法来评价各种水的平均存留时间。用各种水的水量和转换率来计算平均存留时间,表6给出了这种计算的结果。

表5 每年全球水平衡情况

| 单 位 | 降 雨 | | 蒸 发 | | 径流(或平流) | |
|-----|---------------------|------|---------------------|------|---------------------|-------|
| | 10^3 km^3 | mm | 10^3 km^3 | mm | 10^3 km^3 | mm |
| 海 洋 | 199.9 | 1270 | 505.8 | 1100 | - 16.9 | - 130 |
| 陆 地 | 119.2 | 800 | 72.3 | 185 | 16.9 | 315 |
| 全 球 | 578.1 | 1133 | 578.1 | 1133 | 0 | 0 |

表6 地球上各种水的平均存留时间

| 种 类 | 水 量 (10^6 km^3) | 转换率 $10^6 \text{ km}^3/\text{年}$ | 平均存留时间 |
|-------|--------------------------------|-------------------------------------|--------|
| 海 洋 | 1338 | 0.5058 | 2600年 |
| 冰帽和冰川 | 29 | 0.00255 | 1100年 |
| 地下水 | 8.25 | 0.0119 | 700年 |
| 湖 泊 | 0.23 | 0.00173 | 13年 |
| 土壤水 | 0.03 | 0.0706 | 155日 |
| 河 流 | 0.0017 | 0.0469 | 13日 |
| 大气水 | 0.013 | 0.5781 | 8.2日 |
| 生物水 | 0.0006 | 0.0651 | 3.4日 |

存留时间很分散,范围从海洋的2600年和冰帽、冰川1100年到大气水8.2日和生物水的3.4日。大气和生物水存留时间说明,全球大气中的水足够提供连续降雨8.2日,而生物水如果按它的转换率连续失去水分,并且不再摄取新的水分,只要3.4日就脱水干枯。另外,海洋平均存留时间为2600年,它表面和深部的水存留时间是不一样的,海洋表面水分子从海洋蒸发到大气和运移,再降雨成径流又回到海洋再补偿蒸发,这过程是比较快的,用不到这么长时间,而海洋深部,如3km以下水分子运动到海洋表面,再蒸发到大气,时间就很缓慢,至少要千百年,也许是百万年。要使深部海洋剧烈向上运动,只有依赖于海洋底部地质构造运动的发生。我们所取得的平均存留时间,不是算

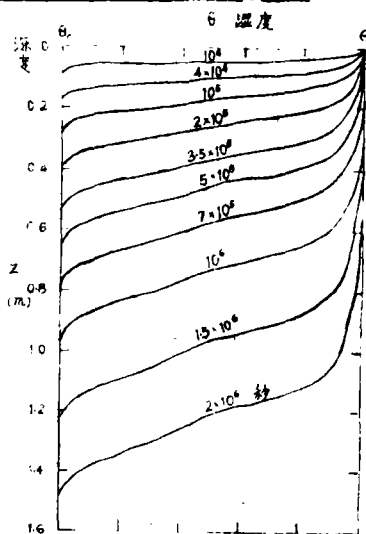


图5 地面浸水后,土壤随着深度增加变潮湿的时间进程。 θ 是湿度, θ_0 是初始湿度, θ_1 是饱和湿度, z 是地下深度(米)。曲线上的数字代表时间(秒)。

术平均数,而是平均调和函数。要求得到比较

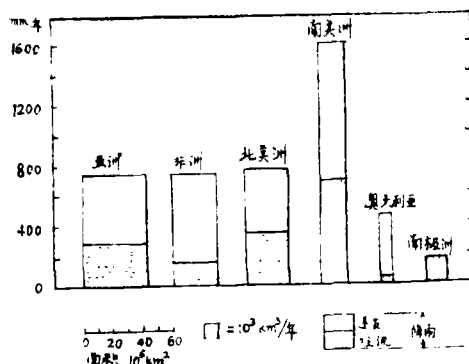


图3

准确的各类水的平均存留时间,还要花费更多

的时间，不论从观测资料的积累，还是从理论上都要进行深入的研究。

5. 澳大利亚的水平衡 澳大利亚是全世界最干旱的大陆之一，它与其他大陆比较，水量显得特别少，尤其是径流量少得可怜，图3给出了这种比较结果。

图3为六大陆水平衡情况，各个矩形总面积代表降雨量，空白的矩形面积代表蒸发量，影阴矩形面积代表径流量。纵座标代表每年降雨、蒸发、径流水深，横座标代表各个陆地面积（图下为比例尺）。

通过比较说明澳大利亚的水特别少，而南美洲是世界上最湿润多雨的地方，它的一条大河——亚马逊河排出的水量比世界上第二大河——密西西比河多11倍，而为澳大利亚河流总排水量的80多倍。

表7 澳大利亚与全球陆地水平衡比较表 (mm/年)

| 项 目 | 全球陆地上的平均值 | 澳大利亚平均值 |
|---------|-----------|---------|
| 降 雨 | 800 | 456 |
| 蒸 发 | 185 | 119 |
| 径 流 | 315 | 37 |
| 潜在蒸发 | 11.2 | 1870 |
| 蒸径流/蒸发 | 0.39 | 0.08 |
| 蒸发/潜在蒸发 | 0.13 | 0.22 |

从表7中看出，澳大利亚单位面积平均降水量只有全世界陆地平均降水量的57%，而单位面积径流量只占世界平均数的12%。但澳大利亚单位面积平均蒸发量比世界平均数大得多，特别是潜在蒸发量超过世界陆地平均数的65%以上。

二、全球水文循环

我们可以把全球水文循环看作是个巨大的蒸馏系统，整个地球象个巨大的“热机”，蒸馏过程就是热机的作用过程，实际上，整个“热机”由太阳能促使大气、海洋、河流和湖泊的水体运动，水体运动和相变（汽、水、冰等）带来能量的传递。正如罗那特解释说，“水是整个自然界的驱动力”，“蒸发驱使水运动”。这种“热机”的效力依赖于能量循环和水循环

之间的紧密联系，并且依赖于水的特性，在某种程度上也依赖于地球。我们知道水的蒸发潜热比任何物质大（比任何固体或液体，也比液态氮大）。这种蒸发潜热保证水的运移和能量传递之间相互作用的最大可能性。水和能量之间的紧密联系也依赖于地球上的温度，温度高，蒸发的水分子（ H_2O ）多，即饱和蒸汽的密度大，能够促进蒸发、冷凝和大气中蒸汽的运动，也决定着总能流的潜热流速率。另外在火星上温度大约是90°K，比地球上温度低，而饱和蒸汽密度仅为地球上的6‰，结果火星上的潜热流仅占总能流的极小部分，因此，能量平衡和水平衡之间的联系极其微弱。

海洋水文循环受大气的影响很大，在很大程度上，大气还依赖于自然界，而自然界又从海洋取得能量，因此，事物之间是相互依存的，所以海洋的水文循环又受其因素支配，如风、大气压的变化；来自地球自转引起的科里奥利（coriolis）力；大陆形状的不对称性；海水密度的不同（与温度、含盐量有关）等等。地下水流的循环完全不同于地面上的水流，而在海洋深部也存在完全分离的循环方式。

三、小范围内的水文循环过程

地球上海洋、陆地、河流、湖泊之间的水文循环，我们可用大家知道的图4来表示。

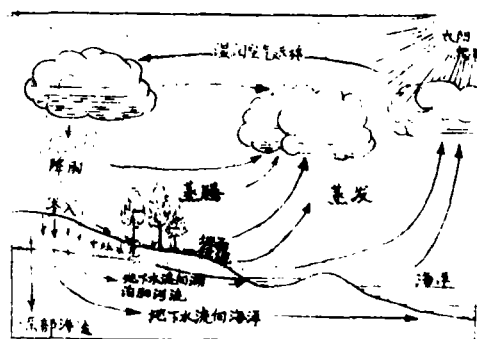


图4 水文循环

在自然界中，地下水位以上的土壤通常是饱和的，即含有水分和空气。地球上非饱和土壤范围内水文循环中所包含的水，是由雨水降在地面除去蒸发返回大气和在地面形成径流

直接流入河流或湖泊及小部分通非饱和土壤渗入地下深部外,其余部分水滞留于土壤空隙中。在澳大利亚约有93%的降雨渗入土壤,但其中92%的水又直接蒸发返回大气,只有1%的水真正渗入地下水。

1. 非饱和土壤中水的运动 在非饱和土壤中水怎样贮存和运动的问题,是陆地水文循环和有关灌溉、干旱、植物生态和动物、土壤、植物群生物学方面的重要科学研究课题。在非饱和土壤中,水文学家所关心的水运动过程是:渗透(水从地面渗入土壤)、排水和土壤层水的贮存、土壤水被植物根系吸收运移及直接蒸发,在这些过程中,水的重力和土壤毛细管的张力作用,能使土壤保持湿润状态,这对植物生长很有利。图5表示土壤受水浸润后,湿度随深度增加的时间进程。(见18页)

2. 自然蒸发 水的自然蒸发过程是,水通过植物蒸腾、土壤和水面的蒸发进入大气中,这种自然蒸发特性,深受地球上能量和水平衡之间的影响。蒸发的强弱程度由空气的温度、干燥度、风的速度和“太阳辐射热”所决定。关于蒸发理论的研究,有两个学派,一个是“扩散”学派,另一个是“能源”学派。1950年后彭门和佛格松,把两种蒸发理论结合起来,通过实验测得有关气象要素,推导出预报蒸发的“彭门”公式。

$$V_{aTi} = \frac{\delta(B_0 Ti/L) + \gamma V_a}{\delta + \gamma}$$

式中: $B_0 Ti = (1 - \alpha_0)G - N - \Delta Q Ti$;
 $V_a = f(u) \cdot (e_a - e_w)$; V_{aTi} 自由面(水面和陆地)的自然蒸发(毫米); G —太阳辐射热(卡/厘米²·日); N —地球平均辐射热(卡/厘米²·日); $\Delta Q Ti$ —自然覆盖物和它下层之间交换的热量(卡/厘米²·日); α_0 —自由面(水面或陆地)的反射率; L —汽化的潜热(卡/毫米); δ —饱和水汽压曲线的斜率; γ —湿度计算系数; e —百叶箱里饱和水汽压(毫巴); e_a —实际水汽压(毫巴); u —2米高处的平均风速(公里/小时)。

(注:公式由译者引自1976年英国水文学杂志29卷p251)

另外,特别干旱的国家,如澳大利亚很重视蒸发效应的预报和人为调节小气候的研究,例如对灌溉区域和水库中水资源的开发利用研究,已经进行理论和实验工作,并作出这些效应的数值预报。

3. 土壤—植物—大气中的水,是一个连续完整的统一体。关于土壤、植物和大气连续统一体中水运移的研究,在二十年前,没有统一的整体研究方法:土壤学家只关心土壤水;植物生理学家只考虑植物中的生理水;气象学家局限于研究大气中的气象要素。当然,总系统中水的运移是很复杂的,要把它们分析研究得很详细,是很困难的。这方面,热力学理论提供了对土壤、植物和大气三种范围内统一研究水运移的方法。在土壤—植物—大气全部复杂系中水运移的“能量”可表示为热力学势(部分容积吉布斯自由能)的下降梯度。水通过土壤由植物根系吸收,并且通过根系的传导脉管运移到叶子叶肉组织,水分再由洞穴状的细胞壁蒸发出去,这就是水汽分子运移扩散过程,水汽分子从植物叶子传输到自由大气中是湍流式扩散过程。

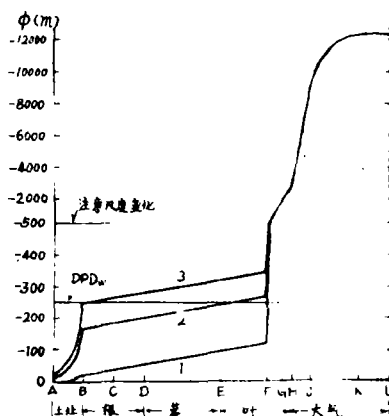


图6. 表示土壤—植物—大气连续体中总的水分位势 ϕ 纵剖面图: 1. 正常的蒸腾作用期, 2. 暂时的枯萎期, 3. 永久枯萎期 传输路径转折点: A. 土壤(从植物根部确定距离), B. 根毛和表层细胞吸收面, C. 皮层, D. 内层, DE. 在木质部里的脉管和茎管, E. 叶肉细胞, FG. 细胞间隙和次级气孔洞穴, GH. 气孔, IJ. 叶片下层, JK. 湍流分界层, K. 自由大气层, DPD_w —根部细胞从质壁分离时 ϕ 值

海洋中的生活条件

A. B. 根别利

物质和能量的交换 在世界洋中连续不断地进行着大规模的物质与能量的交换与转化过程，正是这种过程才决定了其整个历史时期大洋自然界的演化。世界洋的自然界是在一系列过程的相互作用下发展的：(1)宇宙过程，包括来到的太阳辐射，月球和太阳引力以及陨星微粒流；(2)地球上的生物与非生物过程。

在非生物过程中占重要地位的是地质作用，构造作用，地球化学作用，以及大洋同大陆、大气圈与地球深层（地幔）的相互作用。

在生物过程中，过去和现在都起着重大作用的是大洋中的生物演化，有机物对太阳能的吸收，生物生产率，有机物质由无机物质的生物合成以及物质与能量的化学再分配等。

宇宙过程和地球非生物过程是从大洋水体形成时就发生，而生物过程只是从大洋中生命产生时才存在。

生命的出现，改变了能量转化和物质交换的性质。然而所有这些过程（宇宙的，地球上生物与非生物的），都是紧密相互联系的，而不是孤立地进行。这就是“多样性统一”原则，反映了世界洋统一水域中很多过程相互作用的统一（博戈罗夫，1969）。

大洋中的物质与能量交换发生在所有纬度带和直到最深海槽底的整个水层中。虽然在不同条件下，这种交换的强度是不同的，但是可以肯定，在从赤道到极地的任何地带和任何深处都存在着生命发育所必需的条件。即使在10000米以上深处，那里的水压达1吨/厘米²，也有生命的生存和发育。

用来形成和维持大洋中生命的90%以上的有机物质是由在太阳光照射的上层水中的浮游植物合成的。正是太阳光赋予原生生物产量（大洋中物质和能量转化的、被有机体完成的重要过程部分）以能量。

大洋中的生活条件 光是水中绿色植物生存所必要的条件。因此，光对靠绿色植物供养的所有有机物具有极大的意义。水中光比空气中少，随着深度增大光照度迅速减小。一米厚水层能吸收射来的太阳辐射的60%。至1000米深处，仅能得到1米深处太阳光线的1/3000000。

不同的光线被水的吸收和散射是不相同的。红光在100米深度以内能完全被吸收，而绿光、蓝光和紫光则能穿过很深水层。曙暮光随深度而变化：开始呈绿色，往下是天蓝色，以后是蓝色和蓝紫色，直到海渊完全是黑色。

水圈的光状况影响到栖居在水中有机的颜色。在上层（至150米深）光线充足，海生动物或呈透明体和玻璃状，或呈天蓝色，蓝色（接近水色）或银白色。当深达500米时，它们呈具有天蓝

从图6上可以看出，整个体系中水分运移的通路、按顺序水位势呈梯度（ ϕ ）变化。

1. 结论，二十或三十年前，对水文循环过程的认识是很粗浅的，到今天已经取得比较大的进展，但还要求作进一步的研究、修正和补充，今后要逐步走向定量化，并为微水文学所

代替。澳大利亚是比较干旱的大陆，水文科学家做了大量工作，工作暂时处于领先地位

路付明摘译自“Water on the Planets, Plants and people”, A symposium held at Canberra on 29 April 1981, Australian academy of science, 陈家振校