

水文水资源论文集

■ 蔡建元

林祚顶

主编

地质出版社

水文水资源译文集

蔡建元 林祚顶 主编

地质出版社

· 北 京 ·

图字：01-2002-4877

图书在版编目 (CIP) 数据

水文水资源译文集/蔡建元, 林祚顶主编. -北京: 地质出版社, 2002.10
ISBN 7-116-03691-1

I. 水... II. ①蔡... ②林... III. ①水文学-文集 ②水资源-文集 IV. ①P33-53
②TV211.1-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 079690 号

责任编辑: 屠涌泉
责任校对: 关风云
出版发行: 地质出版社
社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083
电 话: (010) 82324508 (邮购部)
网 址: <http://www.gph.com.cn>
电子邮箱: zbs@gph.com.cn
传 真: (010) 82310759
印 刷: 北京印刷学院实习工厂
开 本: 787 mm × 1092 mm ¹/₁₆
印 张: 8.25
字 数: 195 千字
印 数: 1—1000 册
版 次: 2002 年 10 月北京第一版·第一次印刷
定 价: 10.00 元
ISBN 7-116-03691-1/P·2312

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)

前 言

水是人类生存和发展不可替代的重要资源,是经济社会可持续发展的基础。但是,全球缺乏安全的足够的水资源以满足人类生存和发展的需要,水的问题将严重制约 21 世纪全球经济与社会发展,现在已经引起人类的广泛关注。水文工作是人类认识水、治理水害、开发利用、管理和保护水资源的重要基础工作,联合国机构和各国政府以及有关科研人员在水文、水资源监测管理方面开展了大量的实践研究,取得了很多成果。为有利于了解世界上一些有关水资源的情况和借鉴学习先进的分析方法和管理经验,我们搜集了目前国际上一些关于水文站网规划、水资源及其预测管理等方面的有关论文,编译了这本《水文水资源译文集》,供国内开展水文、水资源方面研究的技术、管理人员参考。

本译文集由水利部水文局蔡建元和林祚顶同志主编,负责统稿和审定工作。毛学文、陈献、王研、杨建青、魏新平、叶莉莉、蒋蓉、窦艳兵等参加了翻译工作。王锦生同志负责多篇文章的校对和审定工作,陈献、刘蓓、马智俐同志协同做了大量组织出版工作,在此表示衷心感谢。

在编译工作中,尽管我们已经做了很多努力,但难免有不足和错误之处,敬请批评指正。

编 者

2001 年 11 月

目 录

水文循环及地球上的水资源

1. 水文循环	(3)
2. 地球上的水资源:时间和空间上的变化	(6)
3. 世界上的水够用吗?	(12)
4. 全球的水利用:现状和未来的需求	(20)

水文站网规划

5. 美国地质调查局的水文监测工作	(31)
6. 美国水文资料	(53)
7. 美国地质调查局水文站网的新评价	(58)
8. 马里兰、特拉华和华盛顿地区水文站网的评价	(70)

水资源预测及管理

9. 水资源管理中的水文预报	(77)
10. 同位素在水资源和环境领域中的应用	(96)
11. 可持续水资源管理	(105)
12. 圣保罗大市区城市用水管理的矛盾处理	(113)
13. 美国地质调查局地下水资源规划的战略方向	(120)

水文循环及地球上的 水资源

1. 水文循环^①

王研 译 王锦生 校

水是自然界中存在最为广泛的物质。水以三种形态存在：液体、固体和看不见的水蒸气。它形成了大洋、海、湖泊、河流，以及地壳顶层和土壤中的地下水。它以固态形式，在极地和高山地区形成冰雪覆盖。有一定数量的水以水蒸气、微水滴和冰晶的形态包含在空气中，同样，水也存在于生物圈中。在地壳、地心的不同矿物质的组成中，也有大量固结的水。

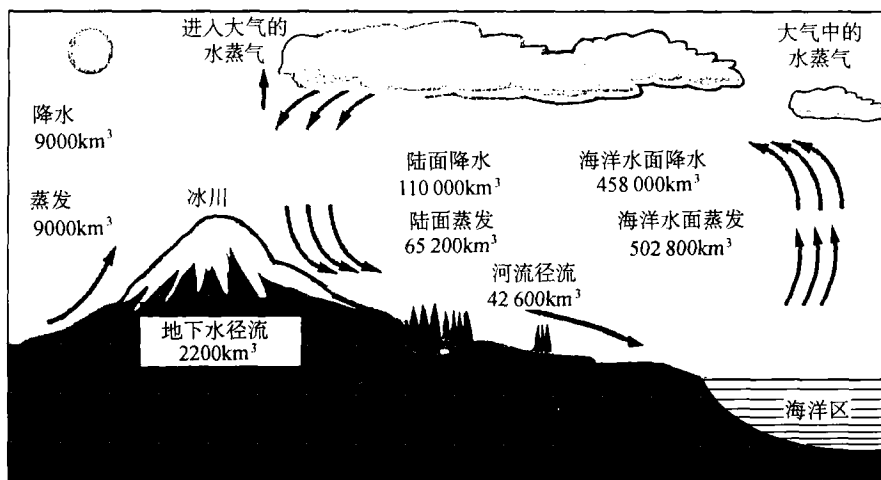
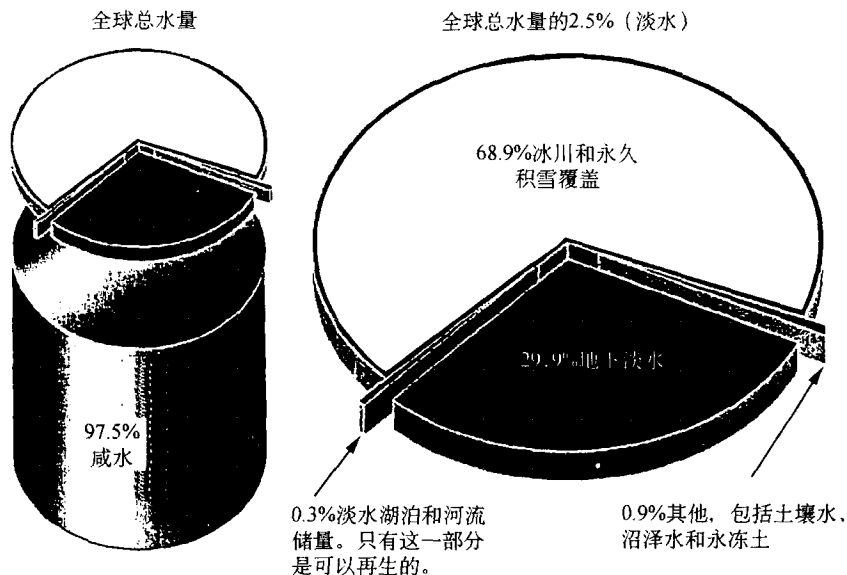
因为水是在剧烈运动着的，所以，可靠地估算地球上水的总储量是一个很复杂的问题。它不断地从液态向固态或气态转化，并会转化回去，处于永恒的运动之中。通常对存在于所谓水圈里的水进行估算。也就是以液态、固态或气态存在于大气、地球表面和 2000 m 深度以内的地壳中所有的水。按最新估计，地球水圈中包含有大约 13.86 亿 km^3 的巨大数量的水。不过，总量中的 97.5% 是咸水，而只有 2.5% 是淡水。淡水的大部分 (68.7%) 是南极、北极和高山地区的冰和永久的积雪覆盖。其次，29.9% 以地下淡水形式存在。仅仅有淡水总量的 0.26% 的水集中于湖泊、水库、江河水系之中，而这部分水是最容易取得以满足我们的经济需求的，而且对水生生态系统来说，是极其重要的。

这里显示的是水圈中自然的、静态的水的储量。它是水体、含水层和大气中长期的、平均的、同时的水的储量。对于较短的时段，如一年、半年或几个月，由于水在海洋、陆地和大气之间的交换，水圈中水的储量状况会发生变化。这种交换通常称为全球水的周转，或者全球水文循环，如图 1-1 所示。

太阳的热使水从地球表面蒸发进入空气。陆地、湖泊、河流、海洋，形成向上的水蒸气气流，在重新形成降水降落之前，水蒸气弥漫在地球表面。陆地上的降水是陆地水的主要来源，包括河流、湖泊、地下水和冰川。大气降水有一部分蒸发，一部分渗入土壤补给地下水，而剩余部分以河流径流形式流入海洋，而在那里再被蒸发，这个过程不断重复进行。河流径流中的相当一部分没有进入海洋，而是在没有地表径流河网的内陆区蒸发掉了。另一方面，有一部分地下水完全绕过河流系统，直接流入海洋或被蒸发。图 1-2 中显示了全球水文循环各个分量的数值。每年全球水的周转量为 577 000 km^3 。这就是海洋水面蒸发量 (502 800 km^3) 和陆面蒸发量 (74 200 km^3)。同样的水量以大气降水的形式降落，海洋 458 000 km^3 ，陆面 119 000 km^3 。陆面降水量与陆面蒸发量之差 (119 000 - 74 200 = 44 800 km^3/a) 代表全球河流径流总量 (42 700 km^3/a) 和地下水直接进入海洋的径流量 (2100 km^3/a)。这就是支持人类生活需求和经济活动的淡水的主要来源。

河水对于全球的水文循环和人类供水来说，具有非常重要的意义。这是因为在地球水

① 本文选自联合国教科文组织 2000 年世界水日文件。



的周转中，各个分量的作用不但取决于它的数量，还同时取决于水的运动状况。水圈里不同形式的水在水文循环中会得到全部更替，但其速率却差异极大（表 1-1）。例如，海洋水的全部更替周期约为 2500 a，永冻冰层约为 10 000 a，深层地下水和山区冰川约为 1500 a。湖泊蓄水的全部更替约需 17 a，河水则约需 16 d。

基于水量交换特征,在水文和水管理工作中,在作水资源评价时,常常使用静储量和可再生水量这样两个概念。习惯上,静储量包括诸如大湖、地下水、冰川等完全再生周期达若干年或若干个十年的淡水水量。对于这些水量的高强度使用,将不可避免地使储量衰

表 1-1 地球水资源的再生周期

水圈的水	再生周期
世界海洋	2500 a
地下水	1400 a
极地冰层	9700 a
山地冰川	1600 a
永冻土带地下冰	10 000 a
湖泊	17 a
泥炭沼泽	5 a
土壤水	1 a
河网	16 d
大气中水蒸气	8 d
生物水	几小时

减并造成不利的后果。它还会干扰若干世纪所形成的自然平衡，而恢复这种平衡将需要几十甚至几百年的时间。

可再生资源是指在年度全球水周转过程中得到更替的水量。它主要是河流径流量，用单位时间的体积表示 (m^3/s 或 km^3/a)，可以是特定地区形成的，或是来源于外部的，包括流入河网的地下水。这类水资源也包括上部含水层可以每年再生的、但未经河流系统排出的那部分水量。不过，从全球尺度来看，与河流径流量相比，这项水量不大，只在单个特定地区才是重要的。

在水的周转过程中，河流径流不仅得到水量的补给，它的水质也会得到恢复。如果人类突然停止对河流的污染，随着时间的推移，河水将恢复到自然的纯净状态。因此，河流径流，代表着可再生的水资源，是水文循环里的最重要的分量。它对地表的生物和人类的经济的发展都有显著的作用。河流径流最广泛地分布于地球陆地表面，并供应着世界用水的主要部分。实际上，河流径流的价值在于用它来估算这个或那个地区的可用水资源量或水资源短缺量。所以，在此小结的以后各节（译注：译文中未列入。）中，将详述对全球尺度的河流径流量的评价，径流的空间和时间变化，以及对现在和将来不同经济的用水需求分析。

2. 地球上的水资源：时间和空间上的变化^①

窦艳兵、陈献 译 王锦生 校

2.1 大洲、地区及国家之间的分布

据估计，全球可再生水资源的平均数量为 $42\,700\text{ km}^3/\text{a}$ ，并且随时间和空间而剧烈变化。从绝对数量上看，亚洲和南美洲水资源量最大（分别为 $13\,500\text{ km}^3/\text{a}$ 和 $12\,000\text{ km}^3/\text{a}$ ），水资源量最少的是欧洲和澳大利亚所在的大洋洲（分别为 $2900\text{ km}^3/\text{a}$ 和 $2400\text{ km}^3/\text{a}$ ）。对于不同的年份，水资源量会在其平均值上下浮动 $15\% \sim 25\%$ 。实际上，由于各大洲在面积和人口上有很大差异，绝对数量不能完全反映各大洲可利用的水资源情况，更有参考价值的是单位面积或每人可利用水资源的精确数量，如图 2-1 所示。

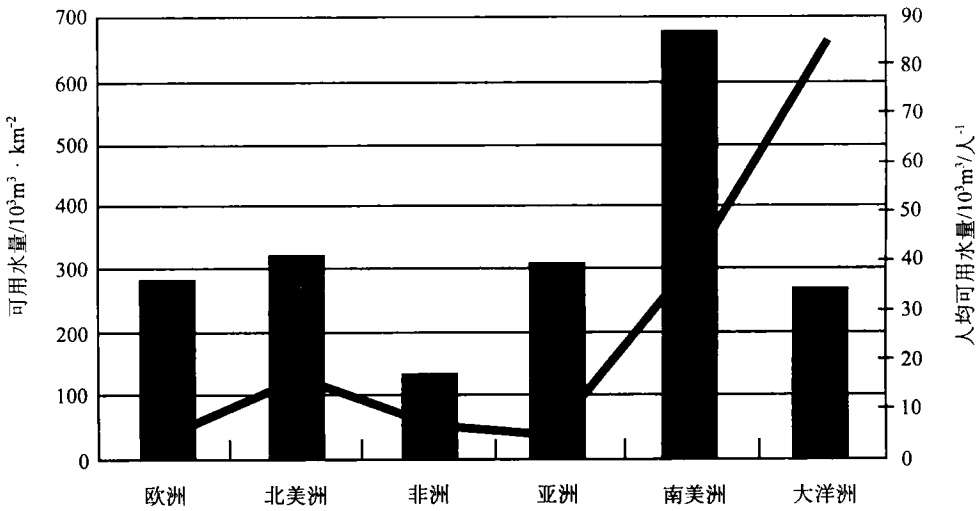


图 2-1

从 1974 至 1990 年间，由于人口的迅速增长已经导致人均每年潜在的水资源量从 $12.9 \times 10^3\text{ m}^3$ 下降为 $7.6 \times 10^3\text{ m}^3$ 。人均供水资源量减少最大的发生在非洲（ $1/2.8$ ）、亚洲（ $1/2$ ）、南美洲（ $1/1.7$ ）。在这一段时期，欧洲的人均供水量只减少了 16%（如果把用水量的增长算进去，对于非洲、亚洲和南美洲的许多国家来说，实际供水量比这些数量还要减小很多，这一点后面再作讨论。

研究表明，从整体来看地球上各大洲河川径流量的变化处于自然的周期性变化之中。

① 本文选自联合国教科文组织 2000 年世界水日文件。

枯水年和丰水年交替出现，与平水年相比，不仅在持续时间方面有差异，而且在数量上也有相当大的差异。例如：从 1940~1944 年，1965~1968 年，1977~1979 年等几个枯水期可以清楚的看出全球河川径流量的变化，即比平均值下降了 1600~2900 km³；相反，在 1926~1927 年，1949~1952 年和 1973~1975 年等几个时间段，全球河川径流量有明显增加（图 2-2）。

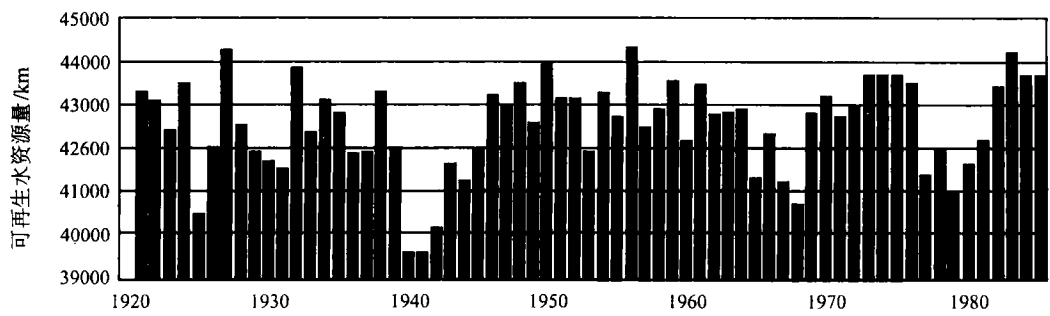


图 2-2

这些充分说明全球河川径流量存在周期性的变化，而且 65 年间总径流量变化并无明显趋势。如果不考虑非洲、南美洲最近 20 年的数据，这种规律也适合于各大洲，近 20 年南美洲的河川径流量有所增加，而非洲径流量有所减少。如果实际上全球河川径流量在这么长的一段时期内没有显著增加，那么“从 20 世纪初以来，由于大陆山岳冰川融化造成世界海平面升高”的这种假设就很值得怀疑了。

几乎世界上所有地区的河川径流在年内分布都很不均匀。大约 60%~70% 的径流量产生于汛期，因此可再生水资源量在一年当中的分布变化是显著的。最新研究表明，各大洲年径流量分别集中在：欧洲 4 月~6 月（46%），亚洲 6 月~9 月（54%），非洲 9 月~12 月（44%），南美洲 4 月~6 月（45%），大洋洲 1 月~4 月（40%）。平均而言，全球大陆（陆地）雨季从 5 月一直持续到 8 月，这期间的径流量占全年径流总量的 45% 左右。

由于河川径流量年内分布不均，因而有必要通过建造不同类型的水库对水资源进行调配。给水中最重要的是我们所说的基流，基流相对稳定，年内和年际间变化不大，而且不需人工调节即可使用。基流量约占全球河川径流量的 37%，大约为 16 000 km³/a。

2.2 可再生水资源量在时间和空间上的变化

在某些地区，枯季河川径流量仅占年径流量的 2%~20%；而在西非仅占 0.8%。

下面，对可再生水资源的时、空变化进行更深入的分析研究。为此，选择了自然地理特征相似、经济发展水平相当的大的自然经济区，每个洲选择 3~8 个自然经济区，共计有 26 个专指自然经济区。

大多数情况下，自然经济区边界遵循行政区划，因此，一些自然经济区包含了部分国家的全部版图。这样做是出于对依赖人口动态变化和用水情况的水资源区域进行分析的需要，所需数据只有在各个完整独立的国家才公布。俄罗斯、中国和美国除外，这三个国家的某些行政区域属于不同的自然经济区。这些独立的自然经济区区域面积变化很广，大到西伯利亚和俄罗斯远东地区、加拿大、阿拉斯加的 $(12\sim13)\times10^6$ km²，小到外高加索

地区的 $0.19 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，大多数自然经济区的面积在 $(1 \sim 8) \times 10^6 \text{ km}^2$ 之间。

图 2-3 中显示的是可再生水资源量的平均值。这些数据是由每一个自然经济区中 1921~1985 年间当地的自产水资源量加上入境淡水资源量而得来的。从图 2-3 可以看出，多数情况下大部分水资源产生于各自然经济区之内，只有一小部分来自于境外；但第 3、5、10、18 和 22 自然经济区例外，这些区入境水量占到当地水资源量的 20%~25%。第 9 和 24 自然经济区（北非和南美的中部）入境水资源量和自产水资源量相差不多，甚至超过自产水资源量的几倍。

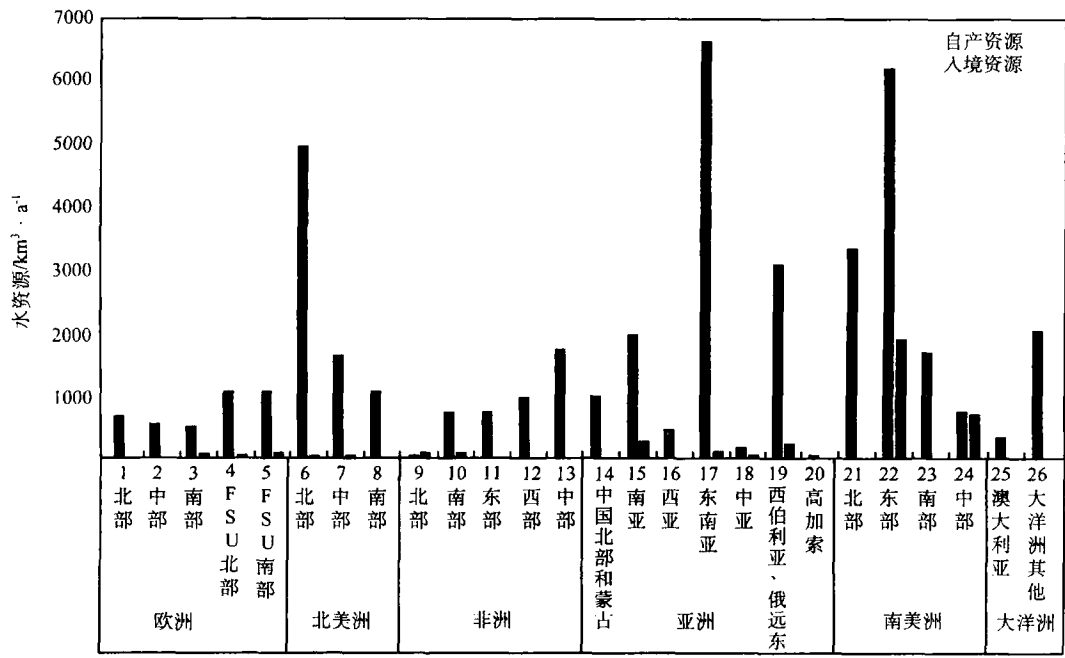


图 2-3

在这些自然经济区，可再生水资源的年际变化会很明显，并会超过各洲的平均值。由于在干旱和半干旱地区实际的可再生水资源量很少，因而这种差异变化更为明显。在干旱和半干旱地区，个别年份的水量可能低至多年平均值 $1/1.5$ 至 $1/2$ ，而在湿润地区这种差异只有 15%~25%。图 2-4 显示了非洲和欧洲可再生水资源的长期变化情况。该图表明了周期变化性质，实际上对于每一个自然经济区而言，其干旱期都可能持续 3~6 a，干旱期间许多地区都经历了严峻的供水问题。

需要注意的是，自 20 世纪 70 年代起，非洲许多地区的水资源就已经开始减少。例如萨赫勒地区，在过去的 15 年里水资源几乎减少了一半，已经到了非常危险的地步。

满足经济发展需要的水资源利用的可能性，不仅取决于水资源的年际变化，而且与水资源的时间和月变化有关，许多自然经济区的显著特征是河川径流量年内分配极不均匀，其年径流量的 60%~80% 产生于汛期的 3~4 个月。例如，前苏联欧洲部分的北部和南部地区，年径流量的 64% 产生在汛期的 3 个月。

60 个国家已经对可再生水资源量作了评价。这些国家包括发达国家和发展中国家，

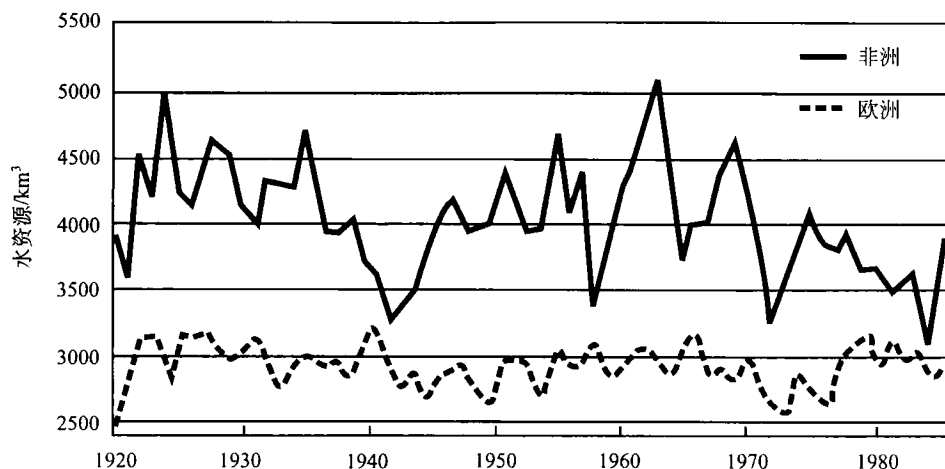


图 2-4

以及处于经济过渡时期的国家，同时也包括面积和人口数量最大和最小的国家。

世界上六个主要国家集中了全球的大部分可再生水资源量：巴西、俄罗斯、加拿大、美国、中国和印度，这几个国家的河川径流量（境内自产）之和占到全球河川年径流总量的 40% 还多。这些国家由于地域辽阔和气候条件复杂多变，其径流在年内分布很不均匀。

2.3 流域和入海径流

世界上最大的河流——亚马孙河，其径流占全球河川年径流量的 16%；全球 27% 的水资源分布在亚马孙河流域、恒河和不喇嘛普特拉河流域、刚果河流域、长江流域和奥里诺科河流域这五大流域。图 2-5 中所示的河流分布在除澳大利亚之外的全球其他各洲，这

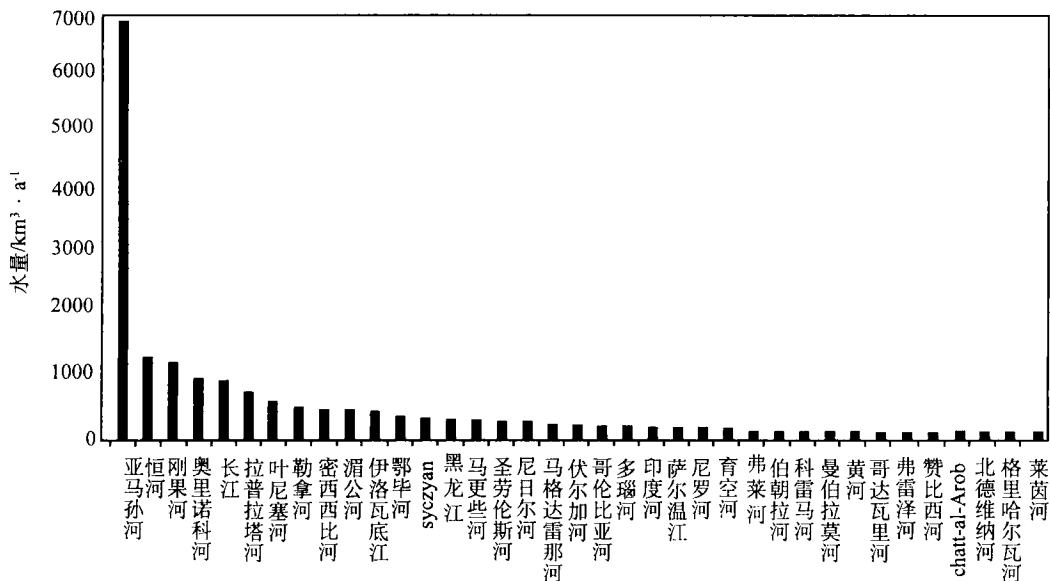


图 2-5

些河流的水资源量占到全球水资源总量的 52%。

通过汇总全球各水文站网的河川径流数据，可以评价汇入海洋中的淡水资源量。这些入流量对研究淡水的平衡和动态变化非常重要。然而，流入海洋的淡水量不能简单地根据全球河川径流量大小来确定，其原因有两个。

第一，有些河流的流域属于不与海洋相连的所谓的内（闭）流区流域。图 2-5 示意性地显示了这些内（闭）流区在全球的大概分布情况（译注：译文中此图略去）。全球内（闭）流区面积大约是 $30 \times 10^6 \text{ km}^2$ ，占全球陆地总面积的 20% 左右。然而，由于降水量很小的沙漠和半沙漠地区占据了内（闭）流区的大部分，因此这些地区的河川年径流量只占全球年径流总量的 2.3%（大约 $1000 \text{ km}^3/\text{a}$ ）。

第二，与海洋直接相连的外流区，流域水资源量并不总是与河口径流量相同，特别是在气候炎热的地区更是如此。在气候炎热的地区，流域中的水资源主要来自于山区的大量降水，在向河口移动的过程中，许多径流消耗在洪积平原和低地的蒸发上。亚洲的恒河和印度河、非洲的尼日尔河和赞比西河、北美洲的密西西比河和科罗拉多河，都属于这种情况。把所有这些外流区看作一个整体，每年大约有 1100 km^3 的径流量消耗在蒸发上而不能到达河口。

因而，汇入海洋中的河川径流量要比全球陆地的可再生水资源量稍微少一些。在汇入海洋的河川径流总量中，大约有一半流入了大西洋，这其中包括了世界上六条最大河流中的四条：亚马孙河，刚果河，奥里诺科河和巴拉那河。汇入北冰洋的河川径流量最少，只有 $43\,000 \text{ km}^3/\text{a}$ 。但对于北冰洋海域而言，虽然北冰洋仅含有全球海洋储水总量的 1.2%，但它却接纳了全球河川径流总量的 11%，因而入海径流对于北冰洋来说是极其重要的。

模拟海洋的动态变化过程，很重要的一点是：不仅要考虑汇入海洋的河川径流的总量，而且还要考虑汇入海洋的河川径流分布的极不均匀性。平均来讲，大约有 40% 的河川径流量流入北纬 10° 和南纬 10° 之间的赤道地区的海洋中。

2.4 河川径流和地下水

根据河川径流总量来评价可再生水资源量，河川径流包括所有直接汇入水文站网的雨水、融雪水，以及在一年中比较均匀地补给河流的浅层地下水。还有一部分地下水被认为是可再生水资源的组成部分，但这部分地下水没有汇入河流中，而是直接进入海洋中或是被蒸发了。在这种情况下，如果仅用河川径流数据评价可再生水资源，其评价结果会出现偏低的情况。

因此，不进入河流系统的那部分可再生地下水资源的可靠数据，实际上非常重要。最重要的地区是那些水文站网发展较差的地区，特别是干旱和半干旱气候的平原地区。这些地区的河流经常是季节性河流，而且只有在雨季才有径流产生。在这种气候条件下，地下水对可再生水资源总量有很重要的贡献。

由于缺乏基本数据，因而对全球地下水做一个可靠的评价是一个非常复杂的问题。尽管如此，许多国家和地区还是做出了评价，并且认可了在全球范围内针对不同的地形地貌条件所得出的部分确定性结论。

值得一提的是，1995 年世界粮农组织（FAO）对包括河川径流及与之不重复的地下水在内的全球可再生水资源做出了最详细的评价。对于干旱和半干旱地区占全洲一半以上面积的非洲的所有国家，也都进行了详细的评价。根据世界粮农组织（FAO）提供的数

据，将非洲作为一个整体考虑，与河川径流不重复的可再生地下水资源总量为 $188 \text{ km}^3/\text{a}$ ，大约为其河川径流总量的 5%。这些数据对于坐落在干旱地区的国家如埃及、利比亚、突尼斯、摩洛哥等国来讲是很重要的，因而理所当然地应该引起重视。

3. 世界上的水够用吗?^①

王研 译 王锦生 校

3.1 水——生死攸关的物质

一个没有水的世界，是很难想象的。但是从月球和火星的形象，可以清晰地看出没有水会是什么样子。

水对于饮用、卫生设施、农业、工业和数不胜数的其他目的，都是非常重要的。地球上的生命是从水中开始的。现在淡水给干渴的城市和干旱的庄稼带来生命，并为许多生物提供栖息场所。不过，水也会造成死亡和破坏。洪水是最坏的自然灾害，比起地震、火山喷发，以及类似灾害来说，它会造成更多的人员死亡和财产损失。污染的水会使饮用它的人们生病或死亡，并会杀死依它为生的鸟类、鱼类和其他生物。

3.2 淡水有多少？

水是我们世界上最为熟悉的物质之一：作为液体，它存在于地表的湖泊、河流、水库之中，并充满着周围的海洋；作为气体，它以蒸汽的形式存在于大气之中；作为固体，它覆盖着极地和高山地区，并改变着冬季的景观；还有大量的水存在于土壤中，以及它下面的多孔地层即含水层中；水还存在于植物和我们的身体中，人体有近 80% 是水。

在水文循环中，太阳使水蒸发，进入大气。在这些水分中，有些以雨、雪形式返回。降水的一部分又迅速蒸发，再进大气；一些流入湖泊、河流，开始返回大海的旅程；一些渗入土壤，变成土壤水或地下水。在天然条件下，地下水会通过自己的途径流入地表水中，并形成可靠的河流流量。植物会将一些土壤水和地下水吸收进它们的组织，并通过散发过程释放一些，进入大气。

全球的水文循环产生巨大数量的水运动。有些运动是迅速的。一滴水在河流中平均停留时间约为 16 d，而在大气中则约为 8 d。但对于冰川，则可能达到若干世纪，而要通过深的含水层则可能要几万年。水滴不断地进行再循环，并携带着泥沙，多到像恒河那样每日成千上万吨，少到像在含水层中那样很难测到。世界水的大部分对于人类的使用来说，没什么实际意义，因为地球全部水量的 97.5% 是咸水，只有其余的 2.5% 是淡水，而它的大部分储存于南极和格陵兰的深冰层中。淡水只有很少部分存在于河流、湖泊、土壤和浅的含水层中，这些淡水才是易于开发利用的。

以上就是世界水资源的主要组成部分。由降水补给，一些地区有冰川融水补给，有些地方还包括露、雾水量。在任何地点，水都会因蒸发散发而损耗。在许多流域里通过筑坝增加了储水量，类似的有人工向含水层回灌；而在滨海地区进行的海水淡化，增加了少量淡水。由于水文循环处处不同、日日不同，这些水资源远非常量。不过，这些资源具有使

① 本文选自联合国教科文组织 2000 年世界水日文件。