

# 国际河流跨境水资源 合理利用与协调管理

何大明 冯彦 著



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

# 国际河流跨境水资源 合理利用与协调管理

王健 等著

中国水利水电出版社  
CHINA WATER & ELECTRICITY PRESS

# 国际河流跨境水资源 合理利用与协调管理

何大明 冯 彦 著

国家重点基础研究发展计划(2003CB415100)

国家重点科技攻关项目(2002BA901A22)

云南省自然科学基金重点项目(2001D002Z)

国家自然科学基金项目(70203011)

联合资助

科学出版社

北 京

## 内 容 简 介

本书是作者在近 15 年来完成的国家科技攻关项目、国家自然科学基金项目等研究基础上撰写而成,书中以世界广泛关注的跨境资源环境问题为研究对象,结合近几年国际上的研究进展,着重对国际河流流域的特点和合作开发中跨境资源环境问题,特别是跨境共享水资源的合理利用、公平分配与协调管理问题,进行了综合研究。在此基础上,系统地研究了国际河流共享水资源的水权、国际水法原则、水资源分配模式与指标体系、水冲突求解方法、流域综合开发与管理理论等一系列前沿科学问题。

本书是我国第一本全面反映国际河流水资源开发与管理的理论专著,具有基础性、前瞻性与应用性,可供水资源开发与管理、环境科学、生态环境保护等部门的科研与管理人员,高等院校相关专业师生阅读、参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

国际河流跨境水资源合理利用与协调管理/何大明,冯彦著.  
—北京:科学出版社,2006

ISBN 7-03-015477-0

I. 国… II. ①何… ②冯… III. ①国际河流-水资源-资源  
利用-研究②国际河流-水资源管理-研究 IV. TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 044599 号

责任编辑:彭胜潮 汪福炳 / 责任校对:朱光光

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王浩

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2006 年 12 月第 一 版 开本:890×1240 1/16

2006 年 12 月第一次印刷 印张:14

印数:1—1 500 字数:339 000

定价:46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

## 前 言

全球 260 多条国际河流的跨境水资源约占世界河川淡水资源量的 60%。进入 21 世纪,在全球性水短缺和跨境资源环境冲突问题日益突出的趋势下,跨境水资源的合理分配与利用、协调管理和可再生性维持,与复杂的地缘政治、区域经济等跨境问题交互影响,越来越受到关注;其中跨境水资源的国际分配最易在各流域国之间产生利害冲突,更成为关注的焦点。2000 年全球“21 世纪水安全”部长级会议将国际河流跨境共享水资源的公平合理利用和国家主权问题列为重要主题。在 2001 年的“世界水日”,联合国安南秘书长指出:“对淡水的激烈争夺很可能成为未来的冲突和战争的根源。”

国际河流中的水体,“自由”地从一个国家流向另一个国家,跨越了不同的政治疆界,打破了领土的完整性,为有关国家所共享,由此决定了跨境水资源的许多特点。这些特点中,“跨境流动”使国际河流的水资源利用和管理与资源主权、国际关系、区域经济合作、边界管理、跨境民族社区发展和稳定、国际合作协调机构能力建设等密切相关,远较单一国家内部河流水资源问题复杂,是一个超越国界的多学科问题。其“共享”特点要求对跨境水资源进行“公平”分配、“合理”利用、“协同”管理。由于水资源变化的复杂性、利用上的广泛性、利与害的两重性、不可替代性和有限性,很难在一定时空尺度内满足多目标需求,易在各流域国之间产生利害冲突。这制约了国际河流的开发进程,特别是水资源的开发进程,使许多国际河流都需要很长的时间才能达成国际水协议,如印度河经历了 10 年,恒河经历了 30 年,约旦河经历了 40 年,而湄公河流域的协商经历了近 50 年,至今没有达成全流域的协议。

亚洲大陆的主要国际大河都发源于我国,特殊的区位使我国成为亚洲乃至全球最重要的上游水道国,面临复杂的跨境水分配问题。国际河流区域涉及全国近 1/3 国土的可持续发展、与境外 19 个国家(其中 14 个为接壤国)密切相关,影响着近 30 亿人口(含中国)。当前,我国以占全球 6% 的可更新水资源支持了占全球 22% 人口的温饱和经济发展,正面临着水危机,而国际河流的河川年径流量却高达  $7\,320 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,约占我国多年平均径流总量的 28%。这部分跨境水资源对全国、尤其是对西部地区的可持续发展有重要影响,并对我国与东南亚、西亚、东北亚及南亚的区域合作与睦邻友好都有重大的战略意义,对其合理利用、保护和管理应提高到 21 世纪确保我国和亚洲大陆的水与生态安全的战略层面予以重视。

1996 年,国家自然科学基金“九五”重点项目和云南省自然科学基金“九五”

重点项目资助了以澜沧江为案例的国际河流水资源多目标协同开发和管理研究。该项目推动了以设在云南大学的亚洲国际河流中心为主体开展的我国跨境水资源系列研究。随后,国家“九五”和“十五”重点科技攻关计划、水利部和云南省政府等,先后资助了一些重点国际河流或国际河流区的跨境水资源合理配置、生态保护和管理信息系统建设等研究。由于我国国际河流众多,跨境水资源问题复杂多样,这些研究还很不够。例如,目前对跨境水资源的分配指标体系、冲突求解的理论与方法、水道系统生态需水等的研究还很薄弱,尚未形成对全国跨境水资源的整体综合研究,国家和地方一些管理部门对我国的跨境水资源问题还未给予足够的重视。

本书主要利用了作者近 15 年来主持的国家自然科学基金“九五”重点项目、国家科技攻关项目、云南省自然科学基金“九五”和“十五”重点项目,及国家重大基础研究计划(973 计划)等对国际河流跨境水资源合理利用与协调管理的研究成果,其中第七章(国际河流综合协调开发与管理)主要来源于陈丽晖研究员等的研究成果。

本书是我们主持出版的国际河流系列研究成果的重要组成部分,其主要内容包括:针对国际河流流域特点和跨境资源环境中的冲突问题,以跨境共享水资源的合理利用、公平分配与协调管理为核心,系统研究了国际河流共享水资源的水权、国际水法原则、水分配模式与指标体系、水利用冲突与求解方法、流域综合协调开发与管理理论等一系列前沿科学问题,并给出了解决跨境水及生态环境冲突、促进流域综合合理利用和协调管理的两个案例。本书适合于水文水资源、生态学、地理学、资源管理科学、环境科学、环境外交等领域的科技人员、管理人员和高校师生等应用。



2005 年 6 月 16 日

# 目 录

## 前 言

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| <b>第一章 地球水资源与跨境淡水资源</b>         | (1)  |
| 一、地球之水                          | (1)  |
| 二、世界水资源的循环与平衡                   | (3)  |
| 三、世界淡水资源的构成                     | (5)  |
| 四、世界淡水资源中的跨境共享水资源               | (6)  |
| <b>第二章 国际河流跨境水资源及其重要性</b>       | (8)  |
| 一、国际河流的分布                       | (8)  |
| 二、跨境水资源的主要特征                    | (10) |
| 三、国际河流开发和管理的主要特点                | (11) |
| 四、我国国际河流的主要特点                   | (13) |
| 五、跨境水资源的重要性                     | (15) |
| <b>第三章 国际河流跨境水资源利用现状、趋势与问题</b>  | (20) |
| 一、跨境水资源利用与管理变化的驱动因素             | (20) |
| 二、跨境水资源利用的现状与趋势                 | (26) |
| 三、存在的主要问题                       | (30) |
| <b>第四章 国际河流跨境水资源竞争利用、冲突和求解</b>  | (36) |
| 一、水压力的增加                        | (36) |
| 二、竞争利用和冲突                       | (41) |
| 三、冲突求解途径                        | (43) |
| 四、合作开发利用思路及趋势                   | (47) |
| <b>第五章 国际河流跨境水资源权属、水权交易及水分配</b> | (52) |
| 一、背景                            | (52) |
| 二、水资源权属                         | (53) |
| 三、水资源权属界定                       | (58) |
| 四、水权交易和保护                       | (60) |
| 五、水权分配的主要影响因素                   | (63) |
| 六、水资源国际分配趋势                     | (67) |
| 七、水分配模式                         | (69) |
| 八、水分配原则、准则和技术指标体系               | (73) |
| 九、水分配机制的发展                      | (81) |

|                                      |       |
|--------------------------------------|-------|
| <b>第六章 国际水法建设与完善</b>                 | (83)  |
| 一、国际水法的形成与发展                         | (83)  |
| 二、国际水法发展的主要影响因素                      | (90)  |
| 三、国际水法基本原则                           | (94)  |
| 四、国际水法发展对跨境水资源利用的影响                  | (102) |
| <b>第七章 国际河流综合协调开发与管理</b>             | (106) |
| 一、流域水资源综合管理概念、目标与途径                  | (106) |
| 二、国际河流综合协调开发和管理的主要问题                 | (108) |
| 三、流域综合协调开发和管理的主要机遇与困难                | (112) |
| 四、流域综合开发和协调管理需解决的关键问题                | (113) |
| 五、流域综合开发和协调管理途径                      | (117) |
| 六、流域综合开发和协调管理模式                      | (123) |
| <b>第八章 国际河流跨境水资源争端判决案例——多瑙河国际水争端</b> | (125) |
| 一、概述                                 | (125) |
| 二、历史回顾                               | (126) |
| 三、国际法庭的审理与判决                         | (128) |
| 四、国际上的反响                             | (133) |
| 五、对我国国际流水资源开发管理的启示                   | (134) |
| <b>第九章 国际河流跨境水资源合理利用与协调管理案例</b>      | (137) |
| 一、澜沧江-湄公河流域及水资源概况                    | (137) |
| 二、湄公河流域区域合作开发管理历程                    | (139) |
| 三、《湄公河流域可持续发展合作协定》及其核心内容             | (143) |
| 四、澜沧江流域水电开发的跨境影响分析                   | (149) |
| 五、澜沧江流域水资源开发中的国际关系问题                 | (154) |
| <b>主要参考文献</b>                        | (164) |
| <b>附录一 国际河流名录</b>                    | (169) |
| <b>附录二 各国所拥有的国际河流及其流域面积</b>          | (189) |
| <b>附录三 湄公河委员会数据信息的交流与共享程序</b>        | (195) |
| <b>附录四 湄公河委员会关于通知、事前磋商和达成协定的预备程序</b> | (198) |
| <b>附录五 湄公河委员会水资源利用监督程序</b>           | (205) |
| <b>附录六 湄公河委员会信息系统维护和管理指导方针</b>       | (208) |

# Contents

## Preface

|                                                                                                    |             |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>Chapter 1 Water Resources and Transboundary Freshwater Resources .....</b>                      | <b>(1)</b>  |
| A. Water of the Earth .....                                                                        | (1)         |
| B. Global Water Cycle and Balance .....                                                            | (3)         |
| C. Components of the World's Fresh Water .....                                                     | (5)         |
| D. Shared Transboundary Freshwater Resources .....                                                 | (6)         |
| <b>Chapter 2 Transboundary Water Resources on International Rivers .....</b>                       | <b>(8)</b>  |
| A. Distribution of International Rivers .....                                                      | (8)         |
| B. Main Characteristics of Transboundary Water Resources .....                                     | (10)        |
| C. Peculiarities of Development and Management of International Rivers .....                       | (11)        |
| D. Main Characteristics of Chinese International Rivers .....                                      | (13)        |
| E. Importance of Transboundary Water Resources .....                                               | (15)        |
| <b>Chapter 3 Status, Trends and Problems of Transboundary Water Resources</b>                      |             |
| <b>Utilization on International Rivers .....</b>                                                   | <b>(20)</b> |
| A. Driving Factors of Transboundary Water Resources Utilization and Management<br>Change .....     | (20)        |
| B. Status and Trends of Transboundary Water Resources Utilization on International<br>Rivers ..... | (26)        |
| C. Main Problems .....                                                                             | (30)        |
| <b>Chapter 4 Competing Uses and Conflicts of Transboundary Water Resources and</b>                 |             |
| <b>Some Solutions on International Rivers .....</b>                                                | <b>(36)</b> |
| A. Increasing Pressures on Water Resources .....                                                   | (36)        |
| B. Competing Uses and Conflicts .....                                                              | (41)        |
| C. Solutions to Conflicts .....                                                                    | (43)        |
| D. Pathways and Trends toward Cooperative Development .....                                        | (47)        |
| <b>Chapter 5 Tenures, Water Rights Trading, and Allocation of Transboundary Water</b>              |             |
| <b>Resources on International Rivers .....</b>                                                     | <b>(52)</b> |
| A. Background .....                                                                                | (52)        |
| B. Tenures of Water Resources .....                                                                | (53)        |
| C. Identifying the Tenures of Water Resources .....                                                | (58)        |
| D. Water Rights Trading and Protections for Water Resources .....                                  | (60)        |
| E. Key Impact Factors on Water Resources Tenure Allocation .....                                   | (63)        |

|                                                                                                                                                                       |              |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| F. Trends of International Allocation of Water Resources .....                                                                                                        | (67)         |
| G. Model for Water Allocation .....                                                                                                                                   | (69)         |
| H. Principles, Guidelines and Technical Index Systems for Water Resources Allocation<br>.....                                                                         | (73)         |
| I. Development of Water Allocation Mechanisms .....                                                                                                                   | (81)         |
| <b>Chapter 6 Development and Improvement of International Water Law .....</b>                                                                                         | <b>(83)</b>  |
| A. Formation and Development of International Water Law .....                                                                                                         | (83)         |
| B. Key Impact Factors of the Development of International Water Law .....                                                                                             | (90)         |
| C. Basic Principles of International Water Law .....                                                                                                                  | (94)         |
| D. Influences of International Water Law Development on Water Resources Usage ...                                                                                     | (102)        |
| <b>Chapter 7 Integrated Development and Coordinated Management on International<br/>Rivers .....</b>                                                                  | <b>(106)</b> |
| A. Concepts, Goals and Pathways for Integrated Watershed Management .....                                                                                             | (106)        |
| B. Main Problems in Integrated Development and Management of International Rivers<br>.....                                                                            | (108)        |
| C. Main Challenges and Difficulties of Integrated Development and Management on<br>International Rivers .....                                                         | (112)        |
| D. Key Problems that Must be Solved in Integrated Development and Management on<br>International Rivers .....                                                         | (113)        |
| E. Integrated Development and Coordinated Management .....                                                                                                            | (117)        |
| F. Models for Integrated Development and Coordinated Management of Watersheds .....                                                                                   | (123)        |
| <b>Chapter 8 Case Study of the Litigation Judgment on International Water Resources<br/>Dispute: the Danube .....</b>                                                 | <b>(125)</b> |
| A. Summary .....                                                                                                                                                      | (125)        |
| B. Historical Review .....                                                                                                                                            | (126)        |
| C. Judgment and Arbitration of International Court of Justice .....                                                                                                   | (128)        |
| D. International Repercussions .....                                                                                                                                  | (133)        |
| E. Implications for Chinese Water Resources Development and Management on<br>International Rivers .....                                                               | (134)        |
| <b>Chapter 9 Case Study of Rational Development and Coordinated Management of<br/>Water Resources in the International Rivers: Lancang-Mekong Watershed<br/>.....</b> | <b>(137)</b> |
| A. Overview of the Lancang-Mekong Watershed and Its Water Resources .....                                                                                             | (137)        |
| B. Process of Mekong Regional Cooperation on Development and Management .....                                                                                         | (139)        |
| C. "Agreement on the Cooperation for the Sustainable Development of the Mekong<br>River Basin" and Its Core Contents .....                                            | (143)        |
| D. Transboundary Impact Analyses of Hydropower Development in the Lancang<br>Watershed .....                                                                          | (149)        |
| E. International Relations Issues in Lancang Watershed Water Resources Development<br>.....                                                                           | (154)        |

|                                                                                             |         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|---------|
| <b>Main References</b> .....                                                                | ( 164 ) |
| <b>Appendices</b> .....                                                                     | ( 164 ) |
| A. The List of International River Basins .....                                             | ( 169 ) |
| B. Fractions of Countries' Areas Lying within International River Basins .....              | ( 189 ) |
| C. Procedures for Data and Information Exchange and Sharing( MRC ) .....                    | ( 195 ) |
| D. Preliminary Procedures for Notification, Prior Consultation and Agreement( MRC ) ...     | ( 198 ) |
| E. Procedures for Water Resources Use Monitoring( MRC ) .....                               | ( 205 ) |
| F. Guidelines on Custodianship and Management of the MRC Information System( MRC )<br>..... | ( 208 ) |

# 第一章 地球水资源与跨境淡水资源

## 一、地球之水

地球表面约 70% 被水覆盖,因此被称为蓝色星球或水的行星,它是目前人们所知惟一能让水以三种状态(汽态、液态和固态)自由存在的星球。三相水的构成比例大致为:液态水约占 98.168%,固态水(冰、雪)约占 1.831%,汽态水约占 0.001%。

这三种状态的水在地球表层循环往复,周而复始。其储存形式、形态变化极为复杂。其量的估算、运动轨迹的模拟和时空分布变化的分析极为困难。近百年来,不同的研究者都有不同的研究结果;同一研究者在不同时间上给出的估算值也存在差异(表 1-1; Mather et al., 1984)。不同调查人员给出的全球大陆地表径流量互不相同,如 Zubenok (1970) 估算值为  $46\,200\text{km}^3$ , 比 Marcinec (1964) 估算值  $30\,600\text{km}^3$  要大 51%。不同调查者估算地表各大洲水循环主要要素(降水、蒸发、径流)的值差异也很大(表 1-2),如 L'vovich (1973) 估算的大洋洲年降水量 736mm 比 Mather (1969) 的估算值 457mm 大了约 61.1%。

表 1-1 不同研究者估算的全球大陆地表径流量

Tab. 1-1 Surface Discharge of the Global Mainland Estimated by Different Researchers

| 作者             | 估算年份 | 地表径流量/ $\text{km}^3$ | 作者                    | 估算年份 | 地表径流量/ $\text{km}^3$ |
|----------------|------|----------------------|-----------------------|------|----------------------|
| E. Brikner     | 1905 | 25 000 <sup>a</sup>  | R. Nace               | 1968 | 42 600               |
| R. Frtsche     | 1906 | 30 640 <sup>a</sup>  | M. I. L'vovich        | 1969 | 38 150               |
| G. Wust        | 1922 | 37 100               | J. R. Mather          | 1969 | 37 560               |
| M. I. L'vovich | 1940 | 37 000               | L. I. Zubenok         | 1970 | 46 200               |
| M. I. Budyko   | 1956 | 37 000               | Baumgartner & Reichel | 1973 | 36 600               |
| F. Albrecht    | 1961 | 33 600               | E. Kay Berner         | 1975 | 39 700               |
| M. I. L'vovich | 1964 | 37 320               | R. A. Berner          | 1985 | 37 400               |
| I. Marcinec    | 1964 | 30 600 <sup>a</sup>  |                       |      |                      |

a. 未估算极地冰帽径流量。

来源:① John R. M. 1984. Water Resources: distribution, use and management. New York: John Wiley & Sons Inc. 35;

② Baumgartner & Reichel E. 1975. The World Water Balance, mean annual global, continental, and maritime, precipitation, evaporation, and runoff transfer. New York: Elsevier, Elizabeth Kay Berner & Robert A. 27;

③ Berner. 1987. The Global Water Cycle. New Jersey: Englewood Cliffs Inc. 14.

Speidel 等人(1988)将 L'vovich 等人(Baumgartner et al., 1975)对地表水资源不同储存量及其估算值变化结果进行了归纳总结(表 1-3)。该表最后一列为各估算值的相对变幅,可以看出,对生物圈含水量估算值变化最大,相差 49 倍;对土壤水估算的变化相对小,仅 10%。

表 1-2 不同调查者估算的地表陆地降水、蒸发和径流值

Tab. 1-2 Precipitation, Evaporation and Runoff on the Earth Estimated by Different Investigators

| 调 查 地 区                  | 降 水     |        |          | 蒸 发    |        |          | 径 流    |        |          |
|--------------------------|---------|--------|----------|--------|--------|----------|--------|--------|----------|
|                          | Mather  | Budyko | L'vovich | Mather | Budyko | L'vovich | Mather | Budyko | L'vovich |
|                          | 1969    | 1956   | 1973     | 1969   | 1956   | 1973     | 1969   | 1956   | 1973     |
| 估算量/(km <sup>3</sup> /a) |         |        |          |        |        |          |        |        |          |
| 非洲 (Africa)              | 21 450  | 20 190 | 20 780   | 17 590 | 15 370 | 16 555   | 3 860  | 4 820  | 4 225    |
| 亚洲 (Asia)                | 30 390  | 26 920 | 32 690   | 18 440 | 17 210 | 19 500   | 11 950 | 9 710  | 13 190   |
| 大洋洲 (Oceania)            | 3 560   | 3 620  | 6 405    | 2 830  | 3 160  | 4 440    | 730    | 460    | 1 965    |
| 欧洲 (Europe)              | 6 380   | 5 980  | 7 165    | 3 730  | 3 590  | 4 055    | 2 650  | 1 390  | 3 110    |
| 北美洲 (North America)      | 15 550  | 16 370 | 13 910   | 9 430  | 9 780  | 7 950    | 6 120  | 6 590  | 5 960    |
| 南美洲 (South America)      | 27 030  | 23 990 | 29 355   | 15 470 | 15 280 | 18 975   | 11 560 | 8 710  | 10 380   |
| 南极洲 (Antarctica)         | 1 890   |        |          | 1 110  |        |          | 780    |        |          |
| 总计                       | 106 250 | 97 070 | 110 305  | 68 600 | 64 390 | 71 475   | 37 650 | 32 680 | 38 830   |
| 估算等值深/(mm/a)             |         |        |          |        |        |          |        |        |          |
| 非洲 (Africa)              | 704     | 670    | 686      | 577    | 510    | 547      | 127    | 160    | 139      |
| 亚洲 (Asia)                | 691     | 613    | 726      | 421    | 392    | 433      | 270    | 221    | 293      |
| 大洋洲 (Oceania)            | 457     | 480    | 736      | 363    | 419    | 510      | 94     | 61     | 226      |
| 欧洲 (Europe)              | 638     | 603    | 734      | 373    | 362    | 415      | 265    | 241    | 319      |
| 北美洲 (North America)      | 636     | 668    | 670      | 386    | 399    | 383      | 250    | 269    | 287      |
| 南美洲 (South America)      | 1 522   | 1 350  | 1 648    | 871    | 860    | 1 065    | 651    | 490    | 583      |
| 总计                       | 775     | 725    | 834      | 500    | 481    | 540      | 275    | 244    | 294      |

来源: John R. M. 1984. Water Resources: distribution, use, and management. New York: John Wiley & Sons Inc. 36.

表 1-3 水存储和流动

Tab. 1-3 Water Reserves and Water Flux

| 存储空间及形式                      | 水量/km <sup>3</sup>     | 最近研究水量变化/km <sup>3</sup>                        | 相对变化幅度/% |
|------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|----------|
| 存储空间                         |                        |                                                 |          |
| 海洋 (Ocean)                   | 1.35 × 10 <sup>9</sup> | 1.32 × 10 <sup>9</sup> ~ 1.37 × 10 <sup>9</sup> | 3.79     |
| 大气 (Atmosphere)              | 13 000                 | 10 500 ~ 14 000                                 | 33.33    |
| 陆地 (Land)                    |                        |                                                 |          |
| 河流 (Rivers)                  | 1 700                  | 1 020 ~ 2 120                                   | 107.8    |
| 淡水湖泊 (Freshwater lakes)      | 100 000                | 30 000 ~ 150 000                                | 400.0    |
| 内陆海、咸水 (Inland seas, saline) | 105 000                | 85 400 ~ 125 000                                | 46.30    |
| 土壤水 (Soil moisture)          | 70 000                 | 16 500 ~ 150 000                                | 10.00    |
| 地下水 (Ground water)           | 8.2 × 10 <sup>6</sup>  | 7 × 10 <sup>6</sup> ~ 330 × 10 <sup>6</sup>     | 4 614.3  |
| 冰帽/冰川 (Ice caps/glaciers)    | 27.5 × 10 <sup>6</sup> | 16.5 × 10 <sup>6</sup> ~ 29.2 × 10 <sup>6</sup> |          |
| 生物圈 (Biota)                  | 1 100                  | 1 000 ~ 50 000                                  | 4 900.0  |
| 流动 (Flux)                    |                        |                                                 |          |
| 蒸发 (Evaporation)             | 4.96 × 10 <sup>5</sup> | 4.46 × 10 <sup>5</sup> ~ 5.77 × 10 <sup>5</sup> | 29.37    |
| 海洋 (Ocean)                   | 4.25 × 10 <sup>5</sup> | 3.83 × 10 <sup>5</sup> ~ 5.05 × 10 <sup>5</sup> | 31.85    |

续表

| 存储空间及形式                   | 水量/km <sup>3</sup> | 最近研究水量变化/km <sup>3</sup>                 | 相对变化幅度/% |
|---------------------------|--------------------|------------------------------------------|----------|
| 陆地(Land)                  | 71 000             | 63 000 ~ 73 000                          | 15. 87   |
| 降水(Precipitation)         | $4.96 \times 10^5$ | $4.46 \times 10^5 \sim 5.77 \times 10^5$ | 29. 37   |
| 海洋(Ocean)                 | $3.85 \times 10^5$ | $3.2 \times 10^5 \sim 4.85 \times 10^5$  | 43. 13   |
| 陆地(Land)                  | $1.11 \times 10^5$ | $0.99 \times 10^5 \sim 1.19 \times 10^5$ | 20. 20   |
| 流入海洋的径流(Runoff to oceans) | 39 700             | 33 500 ~ 47 000                          | 40. 30   |
| 河川(Streams)               | 27 000             | 27 000 ~ 45 000                          | 66. 67   |
| 地下水补充(Ground feed)        | 12 000             | 0 ~ 12 000                               | —        |
| 冰川(Glacial ice)           | 2 500              | 1 700 ~ 4 500                            | 164. 7   |

来源:Speidel. 1988. Perspectives on Water. New York: Oxford University Press. 182.

今天地球上的水大约是 20 亿年前形成的,总水量几乎没有变化,但受其流动性、储存空间的复杂性和时空变化的多样性影响,精确估算各部分水量是几乎不可能的,只能选择一个或一组相对值作依据。

## 二、世界水资源的循环与平衡

由于地球表面的水热条件、海洋和陆地分布、地形和地势等的不均匀性,各地接受到的能量、水汽循环作用也不相同,导致世界水资源分布差异悬殊(表 1-3,表 1-4)。

表 1-4 世界水循环的地理分布

Tab. 1-4 Geographic Distribution of the Global Water Cycle

| 地理分布              | 面积<br>/10 <sup>3</sup> km <sup>2</sup> | 降水<br>/km <sup>3</sup> | 蒸发<br>/km <sup>3</sup> | 径流量<br>/km <sup>3</sup> | 径流深<br>/mm | 内流流<br>域面积<br>比例/% | 内流流<br>域降水<br>比例/% | 大陆径流<br>量/km <sup>3</sup> 深/mm | 海洋径<br>流补偿 |
|-------------------|----------------------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|------------|
| 海洋(Sea)           | 361 110                                | 385 000                | 424 700                | -39 700                 |            |                    |                    | 39 700                         |            |
| 北冰洋(Arctic Ocean) | 8 509                                  | 826                    | 452                    | 3 874                   |            |                    |                    | 2 611                          | 2 985      |
| 大西洋(Atlantic)     | 98 013                                 | 74 626                 | 111 085                | -36 459                 |            |                    |                    | 19 351                         | -17 108    |
| 印度洋(Indian)       | 77 770                                 | 81 024                 | 100 508                | -19 483                 |            |                    |                    | 5601                           | -13 882    |
| 太平洋(Pacific)      | 176 888                                | 228 523                | 212 655                | 15 868                  |            |                    |                    | 12 137                         | +28 002    |
| 大陆(Land)          | 148 904                                | 111 100                | 71 400                 | 39 700                  | 266        | 22. 3              | 7. 4               | 344                            |            |
| 欧洲(Europe)        | 10 025                                 | 6 587                  | 3 761                  | 2 826                   | 282        | 17. 5              | 12. 2              | 310                            |            |
| 亚洲(Asia)          | 44 133                                 | 30 724                 | 18 519                 | 12 205                  | 276        | 28. 7              | 8. 7               | 397                            |            |
| 非洲(Africa)        | 29 785                                 | 20 743                 | 17 334                 | 3 409                   | 114        | 41. 0              | 13. 3              | 194                            |            |
| 大洋洲(Oceania)      | 8 895                                  | 7 144                  | 4 750                  | 2 394                   | 269        | 47. 2              | 14. 0              | 509                            |            |
| 北美(North America) | 24 120                                 | 15 561                 | 9 721                  | 5 840                   | 242        | 3. 7               | 2. 0               | 252                            |            |
| 南美(South America) | 17 884                                 | 27 965                 | 16 926                 | 11 039                  | 618        | 8. 2               | 2. 2               | 672                            |            |
| 南极洲(Antarctica)   | 14 062                                 | 2 376                  | 389                    | 1 987                   | 141        |                    | 6. 0               | 141                            |            |
| 全球(Global)        | 510 014                                | 496 100                | 496 100                |                         |            |                    |                    |                                |            |

来源:Speidel. 1988. Perspectives on Water. New York: Oxford University Press. 182.

表中:径流量 = 降水量 - 蒸发量,径流深 = 径流量/面积,海洋径流补偿 = 径流深 + 大陆径流量。

水资源靠水文循环来更新和实现平衡。在海洋、陆地内及其相互之间通过大量的水流动,互相补偿,实现总量平衡。Berner 等人(1987)将地球水文循环三大要素(降水、蒸发、径流)年平均流动总结在表 1-5 中。每年不计算陆地和海洋内部及其相互间的水量交换,仅大气和地表交换的水量每年即高达 496 000km<sup>3</sup>。这种交换也很不均匀,如陆地总径流约 50% 流入大西洋,大西洋和太平洋陆地径流的 70% 来自西海岸,而印度洋的 75% 则来自东海岸。

表 1-5 水循环要素的流动

Tab. 1-5 Annual Water Transport Via Different Elements of the Water Cycle

| 过 程               | 流 动                |      |
|-------------------|--------------------|------|
|                   | km <sup>3</sup> /a | cm/a |
| 陆地降水              | 110 300            | 74   |
| 陆地蒸发              | 72 900             | 49   |
| 陆地径流(从河川和地下水注入海洋) | 37 400             | 25   |
| 海洋降水              | 385 700            | 107  |
| 海洋蒸发              | 423 100            | 117  |
| 地球总降水             | 496 000            | 97   |
| 地球总蒸发             | 496 000            | 97   |

来源: Berner et al. 1987. The global water cycle. New Jersey: Englewood Cliffs Inc. 14.

表 1-6 水文循环与水的更新时间

Tab. 1-6 Water Cycle and Its Renewal Period

| 水体分布位置 |                        | 占总水量/%   | 可更新时间            |
|--------|------------------------|----------|------------------|
| 大陆     | 冰帽                     | 2. 225   | 10 000 ~ 37 000a |
|        | 冰川                     | 0. 015   | 1 ~ 16 000a *    |
|        | 淡水湖                    | 0. 009   | 1 ~ 100a *       |
|        | 咸水湖                    | 0. 007   | 10 ~ 1 000a      |
|        | 河川                     | 0. 000 1 | 10 ~ 30d         |
| 地下     | 土壤水                    | 0. 003   | 14 ~ 365d        |
|        | 地下水半英里 <sup>1)</sup> 深 | 0. 303   | 1d ~ 1 000a      |
|        | 半英里至 1 英里深             | 0. 303   | 4 600a 以上        |
|        | 岩石圈                    | —        | 1 000 000a 以上    |
| 其他     | 大气                     | 0. 001   | 1 ~ 12d          |
|        | 生物圈                    | 0. 000 1 | 1 ~ 5 000a       |
|        | 世界海洋                   | 97. 134  |                  |
| 总 计    |                        | 100      | 3 000 ~ 37 000a  |

\* 随深度和其他环境因子变化而变化。

1) 1 英里 = 1609. 344m.

来源: US Department of the Interior, Geological Survey. 1997. U. S. Geological Survey Minerals and Materials Information. Reston VA: U. S. Department of the Interior, Geological Survey. 33.

根据表 1-5, 可以利用下列公式计算某一空间贮存水量的更新时间

$$t = Q / (\Delta q / \Delta t)$$

式中:  $t$ ——更新时间;  $Q$ ——某一空间贮存水量;  $\Delta q / \Delta t$ ——流入或流出该空间的水量变率。如以海洋总水量为  $1\,350 \times 10^6 \text{ km}^3$ , 按  $0.374 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{a}$  的更新率, 则全部海水的更新时间约为 3 600a。地球平均每天降水量为 2.7mm, 按此计算, 大气水更新时间约 10d 左右; 冰川流入

海洋的水量约 2 500km<sup>3</sup>/a,估算南极洲的固态水更新时间为 9 500a。表 1-6 为美国地质调查局给出的储存于地球表层不同空间的水资源被更新的时间及其变幅。

三、世界淡水资源的构成

与地球生物圈和人类发展息息相关的是淡水资源,特别是在地表不停流动的液态淡水资源,我们通常说的水资源利用或水短缺问题,就是指此部分资源。所谓水危机,即是因为这部分水资源在地球水构成中十分稀少,且严重分布不均,造成不少地区供水严重不足,或水污染严重。

图 1-1 反映世界淡水资源的构成和在不同存储空间分布状况。按此,地球的淡水资源仅占总水量的 2.53%,其中 77.78% 为地表水,22.22% 为地下水。淡水资源主要分布在高纬度地区,主要是北极和南极。冰川和冰帽固态淡水占地球淡水的 77.14%。仅极地的冰川和冰帽淡水储量就约相当于世界 900a 的河川径流总量。在淡水资源中,最具有生态、经济和社会价值的是储存于河川、湖泊、沼泽的地表水和地下土壤根系层及浅层的地下水,仅占淡水总量的 11.53%,占世界总水量的 0.32% (Christopherson, 1993)。

地表液态淡水又集中于淡水湖泊中,约占总量的 90%,其主要分布如表 1-7 所示。

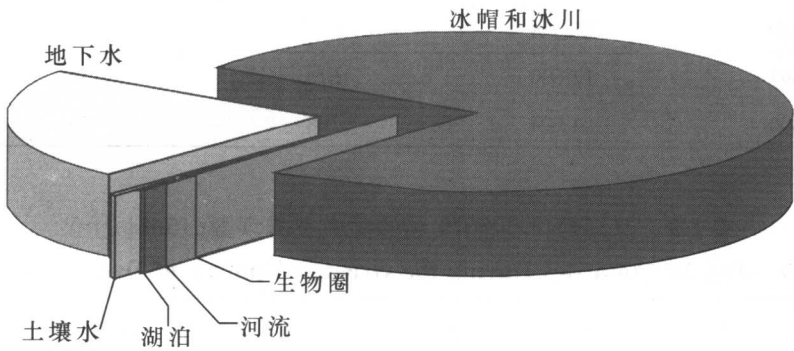


图 1-1 世界淡水资源构成及分布

Fig. 1-1 Distribution and Components of the World's Fresh Water

表 1-7 世界主要淡水湖泊  
Tab. 1-7 Main Freshwater Lakes in the World

| 湖 名                      | 水量/km <sup>3</sup> | 湖面面积 /km <sup>2</sup> | 水深 /m |
|--------------------------|--------------------|-----------------------|-------|
| Baykal( 贝加尔湖), 俄罗斯       | 22 000             | 31 500                | 1 620 |
| Tanganyika( 坦噶尼喀湖), 非洲   | 18 750             | 39 900                | 1 470 |
| Superior( 苏比利尔湖), 美国/加拿大 | 12 500             | 83 290                | 397   |
| Michigan( 密执安湖), 美国      | 4 920              | 58 030                | 281   |
| Huron( 休伦湖), 美国/加拿大      | 3 545              | 60 620                | 229   |
| Ontario( 安大略湖), 美国/加拿大   | 1 640              | 19 570                | 237   |
| Erie( 伊利湖), 美国/加拿大       | 485                | 25 670                | 64    |

来源:Christopherson. 1993. Geo-system. New York: Macmillan College Publishing Company. 179.

世界主要河流占据地表大陆主体的 42%,其河川径流是地球上最重要的和地表水中含量最小的淡水资源,仅占世界总水量的 0.000 1% 和地球淡水资源总量的 0.005%。这部分水量

在地表分布极不均匀。年均陆地径流量,以亚洲最高(主要受青藏高原地形和季风影响),大洋洲最低。南半球的澳大利亚 65% 以上的河川径流出现在 1、2、4 月。亚洲南北向流动的湄公河流域,其上下游间河川径流年内的最小值出现的时间为:1~2 月和 3~4 月,而最大值出现的时间分别为 7 月中~9 月初和 8 月中~10 月,径流峰值上游比下游要早 1~2 个月。

由于水资源的分布严重不均,造成全球各种水问题突出。据世界资源研究所统计分析(World Resources Institute, 1994),1992 年全球人均可更新淡水资源约 7 420m<sup>3</sup>,由于分布极不均匀,如埃及多年人均可更新淡水总共不过 50m<sup>3</sup>,远低于其年人均耗水 1 028m<sup>3</sup>,而主要靠尼罗河从其他国家送水补充。科威特整个国家可更新淡水为零,但其年人均耗水却达 525m<sup>3</sup>,主要靠海水淡化解解决。加拿大人均可供水超过 100 000m<sup>3</sup>,可以满足各种需要。

20 世纪以来,许多国家都大修水坝,以拦蓄更多的河川径流。按照国际大坝委员会的标准,2003 年世界大坝总数为 49 697 座(高于 15m),分布在 140 多个国家中,其中中国 30m 以上大坝 4 694 座,居世界第一。世界总装机 728. 5GW,总库容为 186 405. 8 × 10<sup>8</sup> m<sup>3</sup>(表 1-8 和表 1-9)(贾金生等, 2005)。

表 1-8 世界及中国建坝情况对照表  
Tab. 1-8 Overview of Dams in the World and China

| 属 类 | 15m 以上大<br>坝总数 | 30m 以上大<br>坝总数 | 100m 以上大<br>坝总数 | 150m 以上<br>大坝总数 | 2002 年正建 60m<br>以上大坝总数 |
|-----|----------------|----------------|-----------------|-----------------|------------------------|
| 世界  | 49 697         | 12 600         | 670             | 155             | 349                    |
| 中国  | 25 800         | 4 694          | 108             | 24              | 88                     |

表 1-9 建坝数排在前 20 名的国家及其坝数(15m 以上)  
Tab. 1-9 Top 20 Countries Having the Greatest Number of Dams(above 15m)

|    |        |       |       |       |       |       |     |
|----|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|
| 国别 | 中国     | 美国    | 日本    | 印度    | 韩国    | 西班牙   | 南非  |
| 坝数 | 25 800 | 8 724 | 2 641 | 2 481 | 1 206 | 1 202 | 923 |
| 国别 | 加拿大    | 巴西    | 阿尔巴尼亚 | 墨西哥   | 意大利   | 土耳其   | 英国  |
| 坝数 | 804    | 634   | 630   | 575   | 549   | 521   | 517 |
| 国别 | 澳大利亚   | 挪威    | 德国    | 津巴布韦  | 保加利亚  | 沙特阿拉伯 |     |
| 坝数 | 474    | 336   | 311   | 244   | 215   | 190   |     |

四、世界淡水资源中的跨境共享水资源

理论上讲,共享水资源应涵盖储存于陆地的跨境河川径流和地下水、两极的冰川和公海的海水资源。跨境共享淡水资源(TSFWR, Transboundary Shared Fresh Water Resources, 简称“跨境共享水资源”),指贮存于国际河流或湖泊或地下含水层中的淡水资源,即是国际水道系统中的水资源,通常称为国际河流水资源。由于国际河流水资源通常被理解为不包含国际湖泊或地下含水层中的水资源,有时也用国际水域(湖泊)或国际地下水体(含水层)等不同的名词,以示区别。近来也多用跨境水资源或共享水资源来表示国际河流水资源,而实际上较准确和完整的定义应是跨境共享水资源。

据 1977 年联合国对国际河流的调查与统计,当时全球有 214 条国际河流,其跨境共享淡