

中国水问题

王腊春 史运良 等编
王 栋 张兴奇

东南大学出版社

内容提要

本书首先讲述了全球水资源的现状及水危机,引申出我国水资源开发利用存在的问题和成因,并对我国的洪涝灾害、干旱缺水、水土流失及水污染四大水问题及其典型区域进行了剖析;然后介绍、讨论了三峡水利枢纽工程及南水北调大型水利工程建设等公众关注问题,并对我国目前资源水利和现代水利的新治水思想、水旱灾害的防灾减灾及水资源可持续利用的战略对策和行动计划也进行了论述;最后对以水权、水市场和法规建设为主要内容的水资源管理体系进行了探讨。

本书可作为水利、资源环境等相关专业学生的教材或参考用书,也适用于水文水利、水环境工作者及关心我国水资源水环境问题的广大读者阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国水问题/王腊春等编. —南京:东南大学出版社, 2007.9

ISBN 978-7-5641-0878-6

I. 中… II. 王… III. 水资源管理—研究—中国
IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 121648 号

东南大学出版社出版发行

(南京四牌楼 2 号 邮编 210096)

出版人:江 汉

新华书店经销 南京京新印刷厂印刷

开本:700mm×1000mm 印张:16.75 字数:317 千字

2007 年 9 月第 1 版 2007 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5641-0878-6/T·4

印数:1—3000 册 定价:36.00 元

* 东大版图书若有印装质量问题,请与读者服务部联系,电话:(025)83792328。

序

水问题是当今世界面临的重大问题之一,更是中国国情的重要方面,关系到中国经济和社会的可持续发展,因而受到广泛关注。

洪水问题在中国由来已久。现代中国 50% 的人口,30% 的耕地,70% 的国民经济产值集中在约 100 万 km^2 的洪泛平原上,依靠总长约 22 万 km 的堤防、8 万多座水库和 80 多处分蓄洪区保护安全,因此洪水问题一直是中国的心腹之患。20 世纪 90 年代,我国平均每年因洪灾造成的直接经济损失达 1 100 亿元,占同期 GDP 的 1%。21 世纪以来,由于人口增长和经济高速发展,洪涝的受灾环境继续恶化,使中国洪水问题更趋严峻。洪水问题归根结底是由于人类过度侵占洪泛平原所造成的。洪水是河流的基本属性,洪泛平原本该是河流调蓄其洪水的场所,人类过度侵占洪泛平原必然会遭到洪水的报复,这是何等朴实的道理。诚然,人类为了生存与发展,适度和有序地利用洪泛平原是无可非议的,然而人们却在利益驱使下,宁可冒巨大的洪水风险,也要对洪泛平原进行贪婪的蚕食。值得庆幸的是,人们终于开始反省,欧洲一些有识之士已经提出了“还河流以空间”的主张,在中国,人们也提出了调整人与洪水关系的新理念。

水资源短缺问题在 20 世纪 70 年代尚少有提及,80 年代初见端倪,90 年代迅速加剧,现在已经成为国家可持续发展的重要制约因素。“十五”期间,我国每年缺水量约 400 亿 m^3 ,全国 661 座城市中有 400 座城市缺水,其中 110 座城市严重缺水,干旱造成的年均粮食减产达 350 亿 kg 。据预测,我国 2030 年人口将达 16 亿,届时全国年总需水量约 7 000 亿~8 000 亿 m^3 ,而我国实际可利用的水资源量总计只有 8 000 亿~9 000 亿 m^3 ,即到 2030 年时全国需水量将达到可利用水资源量的极限。事实上,我国黄淮海地区的河流水资源开发程度现在已经达到或接近了极限,可见我国水资源短缺问题已发展到十分严峻的程度。形成中国水资源短缺问题的根本原因,首先是庞大的人口增长。在过去的 50 年里,全球人口增长了 2.5 倍,总用水量增加了近 2 倍;同期我国人口增长了 2.3 倍,用水量增长了 4 倍。

此为试读,需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com

其二是粗放的经济增长方式,2005 年我国万元工业增加值用水 167 m^3 ,而美国仅为 15 m^3 ,日本为 18 m^3 ,一般发达国家也只有 50 m^3 ;我国每 1 m^3 水生产粮食 1.0 kg ,而美国可生产 $2.5\sim 3.0\text{ kg}$ 。令人稍感欣慰的是,人们终于从“水是用之不尽,取之不竭”的梦中醒来,并且找到了通过建设“节水型社会”克服水资源短缺的正确理念和途径。

水污染问题是紧随着水资源问题而出现的,但其发展之迅猛和影响之深广却比洪水问题和水资源短缺问题更令人震惊。2005 年,我国向江河排放污水 717 亿 t,水质为Ⅳ类和劣于Ⅳ类的江河长度占 14.5 万 km 评价河长的 39.1%,其中Ⅴ类和劣于Ⅴ类水质的河长占总评价河长的 20.3%,太湖流域只有占其评价河道长度 8.9%的河流水质达到Ⅰ~Ⅲ类水的标准,全国 2/3 的湖泊和 1/3 的水库呈富营养化状态。水污染不仅产生了严重的水环境问题,而且加剧了水资源短缺的严重程度。水污染问题形成和迅速发展的根本原因是排污量快速而严重地超过江河湖库的纳污能力,而排污量的迅速增加和经济发展阶段是紧密关联的。事实上,中国要在几十年时间里跨越发达国家历经 200 余年走过的工业化和后工业化道路,付出巨大的环境代价是难以避免的,中国的水污染问题正处在中国环境库兹涅茨曲线的上升段。令人欣慰的是,我们已经找到了以“绿色经济”和“绿色 GDP”为理念的发展模式和水环境保护思路。我们有理由相信,中国将会以比发达国家更快的速度跨越中国环境库兹涅茨曲线的顶点。

特别值得指出的是,中国的水问题正在朝着损害中国自然环境和生态健康的方面延伸。河道萎缩、湿地消失、草原退化、水土流失、地下水严重超采、一些水生物种濒临灭绝,我们将给子孙后代留下怎样的生存与发展环境?

水问题归根结底是人水关系不协调的表现。人类过度和无序侵占、破坏自然水体及其在水文循环系统中的功能,是形成现代水问题的根本原因。人类加强对自身行为的约束,建立和谐的人水关系是克服水问题的根本途径。和谐的人水关系是人类文明进步的表现,也是人类文明程度的重要标志。

今天中国水问题的形成、发展和缓解是中国历史发展进程中的一种现象,它将随着中国社会、经济发展的进程,遵循着倒 U 形曲线的演变轨迹,即水问题将随着经济、社会的发展进程,经历形成、迅速发展、达到顶峰、降至拐点、趋向缓和这样一种演变过程。这一过程如同描述环境污染程度与宏观经济发展水平相互关系的环

境库兹涅茨曲线那样,是客观的,是不以人们意志为转移的。但是,这决不意味着我们无所作为。我们的责任是,本着上述关于人水和谐的理念,自觉而且有效地约束自身的行为,促使水问题沿着较为平缓的倒 U 形曲线演进,并尽快越过其顶点,走向缓解。

早在 20 世纪 90 年代,南京大学史运良教授就敏锐地注意到了中国水问题的重要性,并开始在各院校举办中国水问题讲座。随后,他带领中青年教师把国内外有关水问题的研究成果和实践经验进行系统的知识整理,正式开设了《中国水问题》课程。历十余年的积累和不断改进,《中国水问题》终于成为高等学校教材摆在我的面前。这是我国在该领域的第一本高等学校教材,也是系统论述中国水问题的第一本专著。全书共 9 章,既阐述了水问题的宏观态势,也对一些重大的区域性水问题进行了深刻的分析;既探讨了水问题的形成背景和发展过程,也提出了若干有价值的建议;而且,提供了有关水问题研究的理论与方法。所以,该书既是很好的教材,也可以满足对水问题感兴趣的广大读者的知识需求。

史运良教授在开设《中国水问题》讲座和课程的过程中,有时邀我参加一些讨论,他和教学小组的中青年教师认真、执著的治学精神和付出的辛苦给我留下了深刻的印象,故而我欣然应史先生之邀为之作序,以表达我的钦佩与庆贺。

刘国纬

2007 年 4 月 9 日于南京

前 言

水是一种宝贵的自然资源,是我们人类赖以生存和发展的基础。但是由于人类不合理的开发利用,水问题正威胁到我们的生存——洪涝灾害侵吞着我们的家园,干旱缺水撕裂着大地的皮肤,水污染毒害着我们的身体,水土流失带走了肥沃的土壤,地球生态环境遭受到严重破坏。水资源的短缺更是引起了全球水危机。联合国的一份报告说,50年后水将比金子还贵,比石油更具有战略意义。

中国是一个发展中国家,人口众多,水资源开发利用水平较低,加上区域水土资源分布的不均衡,水问题更为严重。洪涝灾害、干旱缺水、水污染和水土流失四大水问题严重制约了我国社会经济的发展。

1998年我国长江流域发生了特大洪灾后,南京大学在全国高校中第一个开设了“中国水问题”课程,至今已近10年。针对目前我国水资源日益紧张的形势及水问题日益严重的现状,有必要出版一本较为系统地介绍我国水问题的教材和科普读物,以唤醒民众对水资源保护和水问题的思考。

本书首先对全球水循环和水危机作了阐述,并对我国四大水问题进行了总结,然后分章节选择典型区域对各种水问题作了较为深入的剖析,对大型水利工程中公众较为关心的问题也进行了讨论,最后针对我国水资源管理中存在的问题及我国治水思想的转变进行了分析。

本书编写分工为:大纲由王腊春、史运良确定;第1章、第2章、第9章由王腊春编写;第3章、第5章、第6章由王栋编写;第4章、第7章、第8章由张兴奇编写;蒙海花参与了第9章的编写,史运良对全书作了修改;另外霍雨、谢玉静、蒙海花参与了书中图表的绘制。全书最后由王腊春、史运良审定。

由于编者水平有限,错误缺点在所难免,望读者谅解。

编者

2007年4月

目 录

1	水循环与水危机	(1)
1.1	地球的水圈与水循环	(2)
1.1.1	水圈	(2)
1.1.2	水循环	(3)
1.1.3	水量平衡	(7)
1.2	水资源与水资源估算	(8)
1.2.1	水资源	(8)
1.2.2	水资源估算	(10)
1.3	水资源供需水量与耗水量	(11)
1.3.1	可利用水量	(11)
1.3.2	可供水量	(12)
1.3.3	需(用)水量	(14)
1.3.4	耗水量	(14)
1.4	水环境	(14)
1.4.1	水环境的概念	(14)
1.4.2	水体污染	(15)
1.4.3	水环境恶化对人类社会的影响	(16)
1.5	全球水危机	(16)
1.5.1	全球水危机概况	(16)
1.5.2	全球水危机的主要原因	(18)
1.5.3	国际社会关注全球水危机	(20)
1.5.4	各国对水危机的主要对策	(21)
2	中国水问题总论	(23)
2.1	中国自然环境基本特征	(24)
2.1.1	地理纬度跨度大	(24)
2.1.2	海陆位置	(24)
2.1.3	大尺度阶梯地形	(24)
2.1.4	气候	(25)

2.2	中国水资源	(30)
2.2.1	中国水资源基本状况	(30)
2.2.2	中国水资源特征	(32)
2.2.3	中国水资源开发利用现状及问题	(35)
2.3	中国洪涝灾害	(47)
2.3.1	洪涝灾害的概念	(47)
2.3.2	中国洪涝灾害概况	(47)
2.3.3	防洪减灾对策	(51)
2.4	中国干旱和缺水	(53)
2.4.1	干旱与旱灾	(54)
2.4.2	旱灾的特点	(55)
2.4.3	历史上的重大旱灾	(56)
2.4.4	城市缺水	(58)
2.4.5	防旱减灾对策	(59)
2.5	中国水土流失和水污染	(61)
2.5.1	水土流失	(61)
2.5.2	水质污染	(62)
2.5.3	生态环境恶化	(65)
2.5.4	水环境恶化治理对策	(66)
2.6	21 世纪中国水问题对策	(67)
2.6.1	新中国成立以来水利建设成就	(67)
2.6.2	我国水资源开发利用及管理对策	(69)
3	长江流域洪涝灾害及防洪减灾对策	(72)
3.1	长江流域环境	(73)
3.1.1	自然环境	(73)
3.1.2	社会经济环境	(80)
3.2	长江洪涝灾害	(81)
3.2.1	长江洪涝灾害概况	(81)
3.2.2	历史洪水	(83)
3.2.3	近现代洪水	(84)
3.2.4	1998 年长江大洪水	(87)
3.3	长江流域洪灾警示和防洪减灾对策	(95)
3.3.1	长江防洪体系	(95)
3.3.2	洪灾警示	(98)

3.3.3	防洪减灾对策	(100)
4	黄淮海流域干旱缺水及其对策	(107)
4.1	黄淮海流域干旱缺水问题	(108)
4.1.1	黄淮海流域概况	(108)
4.1.2	黄淮海流域旱灾	(111)
4.1.3	黄淮海流域水资源	(111)
4.1.4	黄淮海流域水资源开发利用现状	(113)
4.1.5	黄淮海流域缺水问题分析	(114)
4.2	黄河下游断流问题	(115)
4.2.1	黄河下游断流的基本特征	(115)
4.2.2	黄河下游断流原因	(116)
4.2.3	缓解黄河断流的对策	(118)
4.3	黄淮海流域水资源供需平衡分析	(118)
4.3.1	需水量预测	(118)
4.3.2	可供水量预测	(120)
4.3.3	供需平衡分析	(121)
4.4	黄淮海流域水资源短缺问题对策	(124)
5	西北地区生态环境需水与土地荒漠化防治	(127)
5.1	西北地区水资源概况及供需分析	(128)
5.1.1	自然地理概况	(128)
5.1.2	水资源量	(129)
5.1.3	水资源的特点	(130)
5.1.4	水资源开发利用现状评价	(131)
5.1.5	水资源供需发展趋势	(133)
5.2	西北地区生态环境建设及生态环境需水量	(137)
5.2.1	西北地区主要生态环境问题	(137)
5.2.2	西北地区生态环境需水	(139)
5.3	西北地区土地荒漠化治理对策与水土资源利用	(143)
5.3.1	土地荒漠化发展趋势及成因分析	(143)
5.3.2	构建以防治荒漠化为中心的生产—生态安全保障体系	(145)
5.3.3	荒漠化分区及重点防治工程	(148)

6 三峡工程和南水北调工程 (150)

6.1 三峡工程 (151)

6.1.1 长江三峡工程背景 (152)

6.1.2 三峡工程的枢纽布置和主要枢纽建筑物 (156)

6.1.3 三峡工程施工计划与工程概算 (159)

6.1.4 三峡工程公众关注的主要问题和决策 (160)

6.2 南水北调工程 (164)

6.2.1 南水北调工程背景 (165)

6.2.2 东线调水工程 (169)

6.2.3 中线调水工程 (173)

6.2.4 西线调水工程 (177)

6.2.5 南水北调工程总体布局和结论 (181)

7 长江三角洲的水污染与防治对策 (185)

7.1 长江三角洲水环境现状 (186)

7.2 长江三角洲水污染成因 (190)

7.3 长江三角洲水环境保护对策 (196)

8 中国水土保持与生态建设 (201)

8.1 中国水土保持 (202)

8.1.1 土壤侵蚀与水土保持现状 (202)

8.1.2 黄土高原水土流失与黄河泥沙 (206)

8.2 中国流域生态建设 (210)

8.2.1 流域生态建设的理论基础 (210)

8.2.2 生态工程与生态建设 (212)

8.3 西部地区面临的生态与环境问题 (215)

8.3.1 西部地区面临的生态与环境问题 (215)

8.3.2 西部地区面临的水问题 (216)

8.3.3 西部地区生态与环境保护对策 (218)

9 中国水资源管理 (221)

9.1 水资源管理的含义和目的 (222)

9.1.1 水资源管理含义 (222)

9.1.2 水资源管理目的 (223)

9.2 工程水利与资源水利 (224)

9.2.1 工程水利..... (224)

9.2.2 资源水利..... (225)

9.3 水资源的可持续利用 (227)

9.3.1 水资源承载力与水环境承载力..... (228)

9.3.2 水资源可持续利用..... (230)

9.4 水资源优化配置的经济手段 (232)

9.4.1 资源产权和产权效益..... (232)

9.4.2 水权、水权分配和水权定价 (233)

9.4.3 水价与水价确定原则..... (234)

9.4.4 水市场和政府宏观调控..... (236)

9.4.5 实行虚拟水战略,缓解缺水程度 (238)

9.5 水资源管理体系和法规建设 (240)

9.5.1 统一水资源管理体系..... (240)

9.5.2 水资源管理的法制建设..... (243)

参考文献..... (246)

1 水循环与水危机

水资源正在取代石油而成为全世界引起危机的主要问题。

1.1 地球的水圈与水循环

1.1.1 水圈

大气圈、水圈、岩石圈和生物圈组成地球的表层系统,水圈为该系统的重要组成部分。

地球表层的水体以气态、液态或固态的形式存在,主要由海洋、河流、湖泊、沼泽、冰川、土壤水、地下水及大气水等水体组成覆盖地球表层的水圈。水圈总水量约为 13.86 亿 km^3 ,地球的表面面积约为 5.1 亿 km^2 ,其中水覆盖面积约占 71%,陆地面积约占 29%(图 1.1)。



图 1.1 地球上海陆分布

地球上的总水量约为 13.86 亿 km^3 ,其中海洋水约为 13.38 亿 km^3 ,约占地球总水量 96.54%,折合水深 3 700 m。湖泊、河流、沼泽中的总水量约为 19.00 万 km^3 ,占地球总水量的 0.014%,是与人类最为密切的淡水资源;大陆冰川总量约为 2 406 万 km^3 ,约占全球总水量 1.74%,为地球上最多的淡水资源,但难以开发利用;地下水总储量为 2 340 万 km^3 ,其中淡水 1 053 万 km^3 ,占全球总水量的 0.76%,也是淡水资源的主要来源之一;另外大气总水量约 1.29 万 km^3 ,仅占全球总水量的 0.000 9%,虽然数量不多,但活动能力却很强;地球生物水总量约为 0.112 万 km^3 。可见在全球 13.86 亿 km^3 的总水量中,可以被人类利用的水资源只占一小部分(图 1.2,表 1.1)。

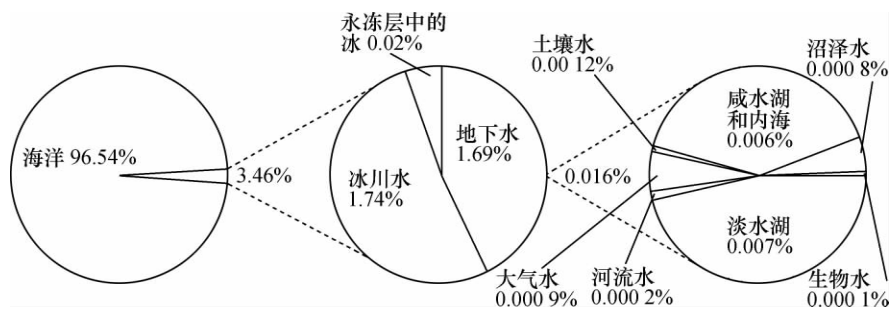


图 1.2 地球上水储量分布

表 1.1 地球水圈水储量分布

水体	水储量		咸水		淡水	
	($\times 10^3 \text{ km}^3$)	(%)	($\times 10^3 \text{ km}^3$)	(%)	($\times 10^3 \text{ km}^3$)	(%)
海洋	1 338 000.0	96.54	1 338 000	99.04	—	—
冰川与永久积雪	24 064.1	1.74	—	—	24 064.1	68.70
地下水	23 400.0	1.69	12 780	0.95	10 530.0	30.06
永冻层中的冰	300.0	0.02	—	—	300.0	0.86
湖泊水	176.4	0.013	85.4	0.006	91.0	0.26
土壤水	16.5	0.001 2	—	—	16.5	0.047
大气水	12.9	0.000 9	—	—	12.9	0.037
沼泽水	11.5	0.000 8	—	—	11.5	0.033
河流水	2.12	0.000 2	—	—	2.12	0.006
生物水	1.12	0.000 1	—	—	1.12	0.003
总计	1 385 984.6	100	1 350 865.4	100	35 029.24	100

资料来源：贺伟程. 世界水资源. 见：中国水利大百科全书·水利. 北京：中国大百科全书出版社，1992

水圈是地球表层系统中最为活跃的圈层。水圈通过水循环与其他圈层交互作用，塑造各种地表形态，形成地球上气候分布格局，给予地球上生物的生命之源，给予人类经济社会发展利与弊的影响。

1.1.2 水循环

1) 水循环的概念

水循环又称水文循环或水分循环。地球上各种形态的水，在太阳辐射和地球重力等作用下，通过蒸发、蒸腾、水汽输送、凝结降水、下渗及径流（地表和地下）等环节，不断地发生相态转换和周而复始的运动过程。水循环过程可分解为水汽蒸（散）发、水汽输送、凝结降水、水分下渗和地表径流、地下径流等五个环节。它们相互联系、相互影响、相互独立又交叉并存，并在不同环境下，呈现不同组合，形成不同规模与类型的水循环。

从全球整体角度来说,这个循环过程可以设想从海洋的蒸发开始;蒸发的水汽升入空中,并被气流输送至各地,大部分留在海洋上空,少部分深入内陆,在适当条件下,这些水汽凝结降水。其中海面上的降水直接回归海洋,降落到陆地表面的雨雪,除重新蒸发升入空中的水汽外,一部分成为地面径流补给江河、湖泊,另一部分渗入岩土层中,转化为壤中径流与地下径流。地面径流、壤中径流与地下径流,最后都流入海洋,构成全球性统一的、连续有序的动态大系统(图 1.3、图 1.4)。

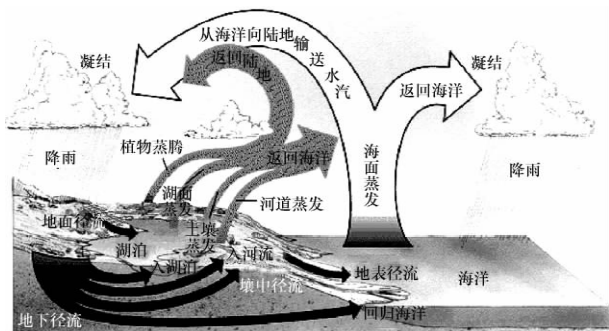


图 1.3 地球上水分循环示意图

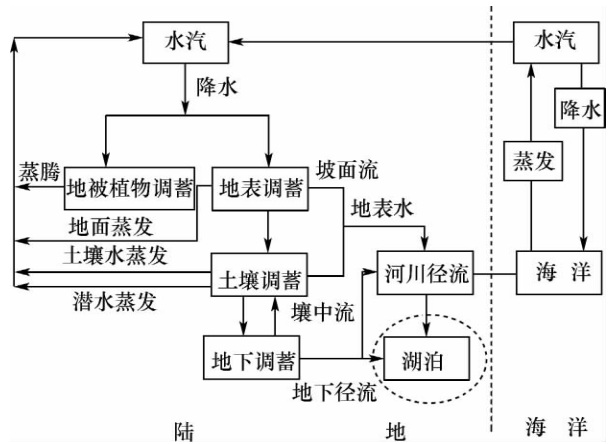


图 1.4 自然界水循环过程图

水的循环特性使得人类赖以生存的水资源不断更新,而且直接影响到气候变化和地表形态的改变。水循环对人类生活和生产具有重要意义。

通常按水循环的不同途径与规模,将全球的水循环分为水分大循环与水分小循环。

水分大循环是发生于全球海洋与陆地之间的水分交换过程。由海洋蒸发的水汽,被气流带到大陆上空,遇冷凝结而形成降水。降水至地面后,一部分蒸发直接返回空中,其余部分都经地面和地下注入海洋。由于此水分交换广及全球,故名大

循环。

大循环的主要特点:在循环过程中,水分通过蒸发与降水两大基本环节,在空中与海洋、空中与陆地之间进行垂向交换,与此同时,又以水汽输送和径流的形式进行横向交换。交换过程中,海面上的年蒸发量大于年降水量,陆面上情况正好相反,降水量大于蒸发量;在横向交换过程中,海洋上空向陆地输送的水汽要多于陆地上空向海洋回送的水汽,两者之差称为海洋的有效水汽输送。正是这部分有效的水汽输送,在陆地上转化为地表径流和地下径流,最后回流入海,在海陆之间维持水量的相对平衡。

水分小循环是指陆地上的水分经蒸发、凝结作用又降落到陆地上,或海面蒸发的水汽在空中凝结后,又以降水形式降落在海洋中。前者又可称为内陆小循环,后者称海洋小循环。

海洋小循环主要包括海面的蒸发与降水两大环节,所以比较简单。陆地小循环的情况则要复杂得多,并且内部存在明显的差别。从水汽来源看,有陆面自身蒸发的水汽,也有海洋输送来的水汽,并在地区分布上很不均匀,一般规律是距海愈远,水汽含量愈少,因而水循环强度具有自海洋向内陆深处逐步递减的趋势。如果地区内部植被条件好,贮水比较丰富,那么自身蒸发的水汽量比较多,有利于降水的形成,因而可以促进地区的小循环。

陆地小循环可进一步分为大陆外流区小循环和内流区小循环。其中外流区小循环除自身垂向的水分交换外,还有多余的水量以地表径流及地下径流的方式输向海洋,而空中有等量的水分从海洋输送至陆地,所以还存在与海洋之间的横向水分交换。而陆地上的内流区,其多年平均降水量等于蒸发量,自成一个独立的水循环系统,地面并不直接和海洋相沟通,水分交换以垂向为主,仅借助于大气环流运动,在高空与外界之间,进行一定量的水汽输送与交换活动。

2) 水循环的机理

① 水循环服从质量守恒定律——全球总水量不变,此为水量平衡模型的理论基础。整个循环过程保持着连续性,既无开始,也没有终结。从实质上说,水循环乃是物质与能量的传输、储存和转化过程,而且存在于每一环节。在蒸发环节中,伴随液态水转化为气态水的是热能的消耗,伴随着凝结降水的是潜热的释放,所以蒸发与降水就是地面向大气输送热量的过程。据测算,全球海陆日平均蒸发量为 15 808 亿 m^3 ,是长江全年入海径流量的 1.6 倍,蒸发这些水汽的总耗热量高达 $3.878 \times 10^{21} \text{ J}$,折合电能为 $10.77 \times 10^{14} \text{ kW} \cdot \text{h}$,约为 1990 年全世界各国总发电量的 100 倍,所以是地面潜热交换成为大气热量的主要来源。

由降水转化为地面与地下径流的过程,则是势能转化为动能的过程。这些动能成为水流的动力,消耗于沿途的冲刷、搬运和堆积作用,直到注入海洋才消耗殆尽。

② 太阳辐射和地球重力为水循环基本动力。此动力不消失,水循环将永恒存在。水的物理性质,在常温常压条件下液态、气态、固态三相变化的特性是水循环

的前提条件;外部环境包括地理纬度、海陆分布、地貌形态等则制约了水循环的路径、规模与强度。

③ 全球水循环是闭合系统,局部水循环是开放系统。因为地球与宇宙空间之间虽亦存在水分交换,但每年交换的水量还不到地球上总贮水量的 15 亿分之一,所以可将全球水循环系统近似地视为既无输入、也无输出的一个封闭系统,但对地球内部各大圈层,对海洋、陆地或陆地上某一特定地区、某个水体而言,既有水分输入,又有水分输出,因而是一个开放系统。

④ 水循环广及整个水圈,并深入大气圈、岩石圈及生物圈。其循环路径并非单一的,而是通过无数条路线实现循环和相变的,所以水循环系统是由无数不同尺度、不同规模的局部水循环所组合而成的复杂巨系统。

⑤ 水循环赋予水体可再生性,水体更替周期是反映水循环强度的重要指标;水循环为水资源提供了水源,同时表征水资源为可更新资源。

水体的更替周期,是指水体在参与水循环过程中全部水量被交替更新一次所需的时间。以世界海洋为例,总储水量为 13.38 亿 km^3 ,每年海水总蒸发量为 50.5 万 km^3 ,以此计算,海水全部更新一次约需要 2 650 年;如果以入海径流量 4.7 万 km^3 为准,则更新一次需要 28 468 年。又如世界河流的河床中瞬时贮水量为 2 120 km^3 ,而其全年输送入海的水量为 4.7 万 km^3 ,因此一年内河床中水分可更替 22 次,平均约每 16 天就更新一次。大气水更替的速度还要快,平均循环周期只有 8 天,然而位于极地的冰川,更替速度极为缓慢,循环周期长达万年(表 1.2)。

表 1.2 淡水更新周期

水 体	更新周期	水 体	更新周期
永久积雪	9 700 年	沼泽水	5 年
海 水	2 650 年	土壤水	1 年
地下水	1 400 年	河 流	16 天
湖泊水	17 年	大气水	8 天

资料来源:UNEP, Fresh water pollution. 世界环境,1993(1)

人类与万物均处于水循环环境之中,人类活动又影响着水循环。

3) 水循环运动规律和特点

水循环无始无终,大致沿着海洋(或陆地)→大气→陆地(或海洋)→海洋(或地面)的路径,循环不已。一般都要经过蒸发、降水(包括凝结过程)、径流形成(包括地面和地下径流以及下渗过程)和大气水分输送四个重要环节(有的小循环运动可能无径流部分或径流部分不太明显),并且有以下几个特点:

① 海洋的蒸发量多于降水量。储存在海洋上空大气中多余的水汽,通过气流输入到陆地上空。海洋因蒸发而消耗的水分,再由陆地上的径流和高空中由陆地输入海洋的水汽加以补偿。