



城市人工水体建设丛书



城市人工水体的 气象效应与局地环境变化

钟中 张耀存 编著



科学出版社

www.sciencep.com

城市人工水体建设丛书

城市人工水体的气象效应 与局地环境变化

钟 中 张耀存 编著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是城市人工水体建设丛书之一。

本书是有限域水体气象效应与局地环境变化研究成果的系统介绍。主要内容包括水体气象效应的观测研究、水体和大气湍流交换理论、水体动力和热力效应数学模型求解方法,以及水体气象效应数值模式的构造及其应用。

本书可供从事气象、水文、生态和环境科学等相关专业科研人员 and 高等院校研究生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

城市人工水体的气象效应与局地环境变化 / 钟中, 张耀存编著. — 北京: 科学出版社, 2008

(城市人工水体建设丛书/董增川主编)

ISBN 978-7-03-021691-5

I. 城… II. ①钟…②张… III. 人工湖—研究—郑州市
IV. P942.611.78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 055271 号

责任编辑:王志欣 沈 建 / 责任校对:张 琪

责任印制:刘士平 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 6 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2008 年 6 月第一次印刷 印张: 10

印数: 1—2 500 字数: 176 000

定价: 35.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈科印〉)

“城市人工水体建设丛书”

编写委员会

主 任 赵建才 王庆海

副主任 胡文杰 董增川

委 员 (按姓氏拼音排序)

陈鸿汉 陈 喜 褚君达 邓晓颖 董增川

高茂生 侯怀仁 胡和平 胡孟春 胡文杰

梁忠民 刘 俊 唐晓燕 田富强 王庆海

武 雄 张 丽 张龙江 张耀存 张毅敏

张永春 张子亮 郑孝宇 钟 中 周定友

主 编 董增川 胡文杰 梁忠民

“城市人工水体建设丛书”序

水是人类文明的摇篮,四大文明古国都诞生于河流沿岸。随着科学技术的快速发展和生产力水平的迅速提高,人类控制河流的能力远远超过历史上任一时期的水平,在利用河流造福人类的同时,也对河流健康造成了伤害。河流干涸、缺水严重、环境恶化、洪涝灾害频繁等一系列水安全问题已严重威胁人类的生存和发展。在经历了无数次的失误和挫折之后,人类终于认识到,与河流的关系应该是既要改造和利用,又要主动适应和保护。“人水和谐”治水理念在这种认识下不断发展和成熟起来。

黄河流域原为茂密的森林和稀疏草原,数千年间已被开垦为农田,气候亦随之变化,广大地区逐渐退化为半干旱或半干旱半湿润地带,尤以黄土高原为甚。半个世纪以来的工农业发展和人口膨胀大大加重了环境生态负担,生态建设刻不容缓。

改革开放初期,郑州曾以“绿城”饮誉全国,可是后来城市扩展挤占绿地,地下水超采,植被退化,河流干枯,生态建设严重滞后。城市生态绿地空间的减少大大降低了自然系统的生态效益,市区空气环境质量特别是悬浮颗粒物和降尘常年处于污染状态,氮氧化物、二氧化硫等常有不同程度的污染,生态环境的保护与建设难以适应时代的发展。合理调控和利用水资源,统筹人、城市和自然和谐发展,是21世纪郑州建设以人为本生态城市的迫切要求。

水是城市的灵魂,历史证明依山傍水的城市(即山水城市)能最大限度地符合人类聚居功能和城市综合文明,因而能够长盛不衰。中国古代人居环境的形成和建筑的发展,从生境相地,到邑、郊、野、林结构模式,最后到山水城市,具有天、地、人合一的东方特有的哲学和文化,是城市文明可持续发展的可靠途径。郑州市郑东新区的规划和建设为郑州市总体规划的修编完善、建设宜居城市提供了契机。新的城市总体规划提出建立生态走廊的概念,遏制郑州水环境和空气质量日趋恶化的现状,改善城市环境生态。其主要内容就是把郑州西南嵩山一带的丘陵、森林和郑州东北的黄河生态湿地通过流经市区的河流相连接,沿大小河流两岸布建河川生态公园,从而形成贯穿全市、环抱城郊的生态走廊和城市森林,形成城市尺度上的生态绿地空间,最终使城区人工绿化、大小水域和林园逐渐演化为仿真的自然生态系统,实现艺术景观、自然环境与生态效益的统一。

郑东新区规划对原郑州总体规划进行合理修正,提出整治水系、开挖龙湖,通

过水系水域绿化构造河川生态网络,营造山水林园城市的方案。龙湖,位于郑东新区北部,规划水域面积6平方公里左右。该地低洼易涝,长年积水,历史上沼泽遍布,现状多为鱼塘。郑东新区规划挖湖筑山、依山造景、因势改造为湖的方案科学合理、经济易行,符合中国园林一池三山和笼山为苑的传统山水意匠手法,是平原城市因藉自然进行城市设计、改善人居环境的优秀作品。通过龙湖水系广大水面不断蒸发而产生的水汽通量激发局地湿循环,调节小气候,造成适宜的生活湿度、温度环境,并通过开朗明静的湖泊风光产生深邃久远的景观心理效应,丰富市民的精神家园。

龙湖工程也是郑东新区的供水工程。龙湖引沉沙后的黄河水作为主要水源,辅以地表径流、降雨和适量的地下水等自然补给,水质良好、水量充足可靠。四季湖水经过精确模拟分析和实时监控进行循环排泄,确保湖体水质长年达到或接近身体可接触水平。更换的湖水一部分将直接排入贾鲁河,为其提供可靠的稀释水源,改善贾鲁河水质(贾鲁河为淮河上游主要支流之一,淮河近十年来水质污染严重,已成公害),大部分经必要处理后可作为新区生态绿地灌溉用水、市政卫生清洁用水和工农业用水。水资源的循环利用将有效地降低城市用水成本。由于龙湖供水对一般品质用水有了保证,郑东新区可以实现分质供水,建立从直饮水、生活用水到循环用水不同品质的供水体系。这种多重复合式的供水-用水方式对于郑东新区实现国际接轨、提高城市品位和生活品质、建立节水型社会有着重要的现实意义。

城市水系统组成复杂,受人类活动影响最大。本丛书结合河南省郑州市郑东新区重大工程研究项目“龙湖水资源保护与运行方式研究”,针对城市人工水体建设中存在的一系列科学问题,从系统论的观点出发,提出了模型群耦合研究的思想。以城市水系为纽带,综合运用工程、生态与管理措施,集成中尺度天气数值分析,地表水、地下水、水量水质模拟技术,探索城市水环境要素的演变规律,分析城市水系在防洪、水资源利用、生态环境保护、文化建设等方面的作用,构成了人水和谐现代城市建设的关键技术和理论方法体系,为城市人工水体建设提供技术指导。丛书共分5册,包括:《城市人工水体的综合效应与调控》、《城市人工水体的气象效应与局地环境变化》、《城市人工水体水文效应与防灾减灾》、《城市人工水体的水资源效应与利用》、《城市人工水体水环境生态效应与保护》。

该项研究由河海大学作为主持单位,联合了清华大学、南京大学、中国地质大学、国家环境保护总局南京环境科学研究所、华北水利水电学院等单位共同完成,研究成果为郑东新区的规划建设提供了科学依据。在研究过程中,得到了郑州市人民政府、郑东新区管理委员会、黄河水利委员会勘测规划设计研究院、中国水利

水电科学研究院、河南省水文局、河南省环境科学研究所、郑州市建设委员会、郑州市规划局、郑州市水利局、郑州市环保局、郑州市公用事业局、郑州市市政局、郑州市水利勘测设计研究院、郑州市市政设计院、郑州市自来水总公司、郑州市白庙水厂、郑州市柿园水厂等单位的大力支持与帮助,在此对他们一并表示衷心的感谢!

“城市人工水体建设丛书”

编写委员会

2008年3月

前 言

陆地有限域水体包括江河、湖泊、水库等天然或人工水体,它是生态环境和自然资源的重要组成部分。世界上半以上的大城市都坐落在水边,这是因为在城市形成之初,水路是交通运输的主要途径,而交通运输通畅与否是一个城市能否发达兴旺的关键所在。如今,由于人类活动对地球环境已产生了不可忽视的影响,地球环境正朝着不利于人类生存的方向演化,全球变暖已成为世界各国政府和科学界日益关注的热门话题。另一方面,随着人类文明的进步,城市化正成为发展中国家迈向现代社会的重要标志,同时人们对生活环境也提出了越来越高的要求。由于水体特殊的物理属性,其在改善自然环境中的作用得到越来越广泛的应用。例如,在快节奏的社会生活中,竞争和工作压力需要得到有效释放,邻水而居不仅能让居住者享受到开阔水面自然美景从而有利于放松心境和调节身心,而且水体的环境效应也是人们热衷于在水边居住的重要原因。

人们很早以前就对水体的气象效应有了基本认识,相应的科学研究工作开展得也很早,但由于受到技术手段和理论方法的限制,早期的研究工作多集中在通过对比观测揭示水体气象效应的程度和可能影响范围等方面。相关理论研究工作虽然也很多,但水体气象效应的观测、理论和数值模拟研究成果尚未进行系统的总结。本书致力于阐述有限水体气象效应的各种研究方法和初步应用结果。

本书第一、三、四、五章由钟中编写,第二章由张耀存编写,第六、七章由钟中、张耀存共同编写。全书由钟中校阅。

由于作者学术水平有限,且本书能涉及的内容十分广泛,难免出现挂一漏万之处,敬请读者批评指正。

作 者

目 录

“城市人工水体建设丛书”序

前言

第一章 绪论	1
1.1 地球水的存在形式及水的基本性质	1
1.1.1 水的存在形式	1
1.1.2 水的基本性质	1
1.2 地球水圈和水循环	3
1.2.1 水圈的组成	3
1.2.2 地球水循环	5
1.3 水圈和大气圈的相互作用	7
1.3.1 厄尔尼诺-南方涛动	7
1.3.2 湖泊效应	8
1.4 水体气象效应的研究方法	10
1.4.1 水体气象效应的观测研究	10
1.4.2 水体气象效应的理论研究	11
1.4.3 水体气象效应的数值模拟研究	12
第二章 水体气象效应观测研究	13
2.1 水体辐射平衡特征	13
2.1.1 水面的反射条件	13
2.1.2 总辐射在水体中的传播	14
2.1.3 水体的辐射平衡	16
2.2 水体热量平衡状况	18
2.3 水体对气象要素分布的影响	19
2.3.1 水体的温度状况	19
2.3.2 水体上方的湿度状况	21
2.3.3 水体上的风状况	21
2.4 水体和周围陆地的相互影响	22
2.4.1 陆地对水体的影响	22

2.4.2	水体对周围陆地温度和湿度的影响	23
第三章	水体和大气之间的湍流交换	24
3.1	大气边界层通量廓线关系	24
3.2	水面粗糙度	27
3.3	水体和大气湍流通量输送的解析理论	35
3.3.1	物理模型和解析解	36
3.3.2	计算结果分析	41
3.4	水体上空湍流交换的观测研究	45
3.4.1	中性层结下的廓线规律	45
3.4.2	非中性层结下的廓线规律	49
3.4.3	温、湿、风廓线的相似性	52
第四章	水体的动力效应理论	55
4.1	粗糙度变化对切应力的影响	55
4.2	水体上空风速变化的理论研究	65
4.2.1	基本方程	66
4.2.2	问题的一般解	68
4.2.3	气流经过水域时可能达到的最大风速	72
4.2.4	计算结果	73
第五章	水体气象效应的二维数值模拟	79
5.1	水体气象效应的二维非静力平衡数值模式	79
5.1.1	基本方程组	79
5.1.2	湍流交换系数	80
5.1.3	云物理过程参数化方案	81
5.1.4	长波辐射通量与冷却率的计算	81
5.1.5	地面温度和水温预报	82
5.1.6	计算区域和网格系统设计	85
5.1.7	数值方案	86
5.1.8	边界与初始条件	87
5.2	水体气象效应的二维数值模拟	88
5.2.1	水体对湍流交换系数的影响	88
5.2.2	水体的温度效应	90
5.2.3	水体的湿度效应	95
5.2.4	水体对陆风演变过程的数值计算	98

第六章 区域中尺度三维气象数值模式	106
6.1 中尺度气象数值模式发展概况	106
6.2 三维非静力 MM5 模式控制方程	107
6.3 模式物理过程计算方案	113
6.3.1 水平扩散	113
6.3.2 干对流调整	113
6.3.3 降水物理过程	114
6.3.4 浅对流参数化	117
6.3.5 行星边界层参数化	117
6.3.6 时间积分方法	123
6.3.7 四维资料同化	124
第七章 城市人工水体气象效应的三维数值模拟	126
7.1 郑东新区建设规划和郑州市本底气候特征	126
7.2 龙湖水体气象效应敏感性数值试验方案设计	127
7.3 龙湖水体环境效应敏感性试验结果分析	129
7.3.1 平均温度	129
7.3.2 平均温度日变化	129
7.3.3 平均风速	131
7.3.4 平均风速日变化	132
7.3.5 平均湿度	133
7.3.6 平均湿度日变化	134
7.3.7 龙湖水体对降水的可能影响	135
7.4 龙湖水体对人体体感温度和舒适度影响分析	137
7.4.1 人体舒适度的概念和生物气温指标	137
7.4.2 龙湖对体感温度影响分析	139
7.4.3 龙湖对人体舒适度影响分析	141
参考文献	144

第一章 绪 论

1.1 地球水的存在形式及水的基本性质

1.1.1 水的存在形式

通常意义下的水是指广泛存在于地球上的液态水,如海洋、河流和湖泊中的水,大气降水,地下水等。水还有另外两种存在形式,即固态和气态,如冰雪和大气及土壤缝隙中的水汽等。在一定条件下,水的三种相态可以相互转化,成为地球系统物质与能量转换的重要形式。水面蒸发变为水汽(吸收能量),水汽随气流运动(物质迁移),在高空和寒冷地区凝结(释放能量),以液态(雨水)或固态(雪、雹)的形式降落地表,地表接收太阳辐射升温以及气候变暖后冰雪融化成液态水(吸收能量),流入河流汇入海洋。在这样一个水的三相态转化过程中,不仅完成了物质的循环(水体—大气—水体),而且还完成了能量的传递(从大气吸收能量—释放能量到大气—从大气吸收能量)。

地球系统各类水体总称为水圈,它是组成地球系统的一个圈层。与之并列的还有大气圈、地、生物圈等。还可将冰雪从水圈中分离出来称之为冰雪圈。水圈又可细分为多个次级圈层,如大陆尺度或大洋尺度、区域尺度、流域尺度甚至更小范围。

水和大气形成为地球生命起源孕育了条件。水在孕育生命的同时也孕育了地球文明。由于大河流域能为生命活动提供丰富的水源,古文明也因此发源于大河流域。水路是人类最早利用的交通运输途径,它承载着文明走过漫漫历史长河。现代文明对水的依赖已不仅仅体现在养育生命和交通运输,水在改善人类生存环境和陶冶性情方面也突显出越来越重要的作用。例如,秀美的湖光山色已成为人类美好生活的重要组成部分。“水可以载舟,亦可以覆舟”,水在促进现代文明进步的同时,也会给人类带来灾害,陆地上和水有关的最主要自然灾害是洪涝,此外,冰雹、霜冻、大雾、风暴潮、海浪、海啸、滑坡、塌方、崩岸、泥石流、雪崩、冻土、海冰以及色潮等都无不与水有关。

1.1.2 水的基本性质

水的基本性质主要包括以下几方面。

1) 化学成分

一个纯净的水分子是由两个氢原子和一个氧原子组成的,从质量比例看,氢占

11.11%，氧占 88.89%。自然生成的水总是溶解了不少气体和有机物质，并掺杂了许多矿物质和其他杂质。在已知的 102 种元素中，天然水中就有 40~50 种。

2) 可溶特性

水的溶解能力极强，容易同其他物质生产氢键，发生水合作用，所以水有很好的可溶特性。

3) 相态变化

在不同的温度和压力条件下，水可表现为不同的状态（相态），如人们常见的液态，空气中漂浮水汽的气态，冻结为冰水的固态。标准大气压下，水在 0℃ 以下开始冻结，称为冰点或冻结点；在 100℃ 以上开始沸腾，称为沸点或汽化点，这种相态的变化称为相变。水的三种相态存在于不同的气压和温度范围内，当温度为 0.0073℃，气压为 1013hPa（hPa=100Pa，下同）时，冰、水、气可以共同长久地存在于平衡状态之中，称为三相点。

4) 密度

水的密度与温度有关，但两者并非呈简单的线性关系。水在 4℃ 时密度最大，为 1000kg/m³，温度降低或升高，水的密度都会减小。当水中含有一定的盐分或杂质时，密度会变大。冰的密度比水小，在 0℃ 时，水的密度为 999.87 kg/m³，而冰的密度为 916.70 kg/m³。因此，水凝结成冰时，体积会增加 10%，冰也浮在水面之上，露出 10% 的体积。当水蒸发为水汽时，体积增加得更多。

5) 导热性能

水的热导率比许多固体小，比气体大。0℃ 时水的热导率为 51.9J/(m²·s·℃)。随着温度的升高，水的热导率也略有增大。水结成冰时，其热导率将大增，一般为 225.9J/(m²·s·℃)。冰的导热性能较差，因此在冰覆盖下的水就比冰面冷却得慢。雪的热导率与雪密度的平方成正比，变化幅度较大。

6) 比热和热容量

水的比热为 1，比一切固体和液体都大。在同样的热力条件下，水温的变幅较小，这是水体气象效应的重要原因。相同的太阳照射条件下，白天水体比陆地升温慢，夜晚降温也少，即在一天内，水体温度变幅小，陆地温度变幅大；一年内夏季陆地比水体炎热，冬季则相反。由于水的比热和热容量都为 1，因而被确定为各种物质的比热和热容量的标准。水的热容量和水的密度一样，随着温度的升高呈不规则变化。在 15℃ 和 60℃ 附近，水的热容量为 1；在 40℃ 附近，水的热容量最小；在 10℃ 附近，水的热容量最大。冰的比热是水的比热的一半，大气中水汽的比热则可近似为常数 0.44。

7) 潜热

水在三相变换中吸收或释放的热量称为潜热。水在相逆的相变过程中吸收和释放的热量相等，即蒸发潜热等于凝结潜热，溶解潜热等于冻结潜热，升华潜

热等于凝华潜热。潜热随温度的变化很小,一般视其为常数,水的蒸发潜热(凝结潜热)为 2.490J/kg ,溶解潜热(冻结潜热)为 0.335J/kg ,升华潜热(凝华潜热)为 2.833J/kg 。

8) 不可压缩性

水具有很强的抗压能力,在 0°C 时,每增加一个大气压力,体积仅缩小两万分之一。因此实际应用中,常将水看做是不可压缩流体,水的密度和单位体积质量也可视为常数,为 1000kg/m^3 。

9) 表面张力

水的表面张力特别大,在 0°C 时为 0.075N/m ,在 100°C 时为 0.05715N/m 。由于表面张力的作用,水能够沿着毛细管壁自由升降。水的这种毛细作用,对于土壤和植物中水(以及水里的溶解物)的运动意义重大。

1.2 地球水圈和水循环

1.2.1 水圈的组成

水是地球上分布最广泛的物质之一。地球表面积约 5.1亿 km^2 ,其中被水覆盖的面积约 3.61亿 km^2 ,约占地球表面积的 71% ,因此,地球又有“水球”之称。地球上的水以液态、固态、气态三种形式存在于地表、地下和空中,成为海洋水、河川水、湖泊水、沼泽水、土壤水、地下水、冰川水、大气水以及存在于动植物有机体内的生物水。这些水体,通过水循环组成了一个相互联系的包围地球的浩瀚水圈。

地球水圈全部水量约为 14.59亿 km^3 ,若将其均匀覆盖于地球表面,水深可达 2860m 。海洋水约有 14亿 km^3 ,占全球水量的 95% 以上,为地球水圈的最大组成部分;其次为地球南北两极和高海拔地区的冰雪水约为 0.434亿 km^3 ,占全球水量的 2.97% ;全球地下水约为 0.153亿 km^3 ,占全球水量的 1.05% ;河川、湖泊、沼泽等地表水约为 36万 km^3 ,大气水约为 1.55万 km^3 ,生物水约 2000 km^3 ,这些水合计只占地球水量的 0.03% (见图 1-1)。尽管地下水、河川

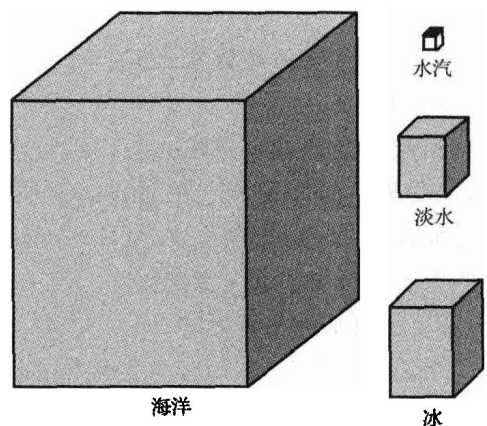


图 1-1 水圈的组成

等地表水、大气水及生物水在水圈中所占比例很小,但其对人类的意义至关重要。表 1-1 给出了地球水圈各组成部分所占份额的详细百分比。

表 1-1 地球水圈各组成部分所占份额百分比

组成	百分比/%	组成	百分比/%	组成	百分比/%	组成	百分比/%
液态水	97.859	地表水	99.389	咸水	97.238	海水	97.230
固态水	2.140	地下水	0.610	淡水	2.762	湖水	0.017
气态水	0.001	大气水	0.001			河水	0.0001
						冰川水	2.140
						地下水	0.610
						土壤水	0.005

水因其独特的性质而广布于地球系统的各个圈层。水圈与大气圈、地圈、生物圈,乃至“人类圈”均是地球系统的次级系统。水循环是地球系统中重要的物质与能量交换过程,又是其他地球生物化学输送的载体,因此,水也分布于水圈以外的其他全部圈层。

1. 海洋水

海洋水是地球水圈的主体,也是陆地水的最大源地和最终归宿。全球海洋总面积 3.61 亿 km^2 ,约占地球表面积的 71%,是陆地面积的 2.4 倍。如把海水平铺在地球上,则地球上将出现一个深达 2440m 的环球大洋,然而,就整个地球的体积来说,它仍显得微乎其微。海水的总体积只站地球总体积的 1/800,但它的意义重大,庞大的海洋水体对地球自然环境的形成和维持地球环境的稳定起到重要作用。

2. 陆地水

陆地水主要由河流水、湖泊水、沼泽水、地下水和冰雪水等组成。

1) 河流水

河流水是陆地表层唯一流畅的液态水,它的循环动力机制既受热力因素的影响,又受重力的作用。它在地表水循环过程中起着上接大气水,下承地下水,最后连接海洋水的主干作用。在全球水循环大系统中,河流则为大气、海洋、地表和地下四大子系统的传递子系统。

2) 湖泊水和沼泽水

湖泊是陆地表面具有一定规模的天然洼地的蓄水体,是湖盆、湖水以及水中物质组合而成的自然综合体。除天然湖泊外还有很多人工湖泊。陆地表面湖泊总面积约为 $2.7 \times 10^6 \text{km}^2$,占全球陆地面积的 1.8% 左右,其水量约为地表河溪所蓄水量的 180 倍,是仅次于冰川的陆地表面第二大水体。沼泽是地面长期处于过湿状态或存有微弱流动的水。全球沼泽面积约为 $1.12 \times 10^6 \text{km}^2$,约占陆地面积的 0.8%。

3) 地下水

地下水是指存在于地表以下岩(土)层空隙中各种不同形式的水。地下水的形成需要满足一定的地质条件,即上部为松散的沙、砾岩层和裂隙发育组成含水层,下部为结构相对致密而又完整的岩层。地下水的来源主要有大气降水渗入补给、地表水补给、凝结水补给以及来自其他含水层和人工补给。

4) 冰雪水

冰雪水的形式很多,包括大陆冰盖、高寒地区的积雪和冻土、海洋浮冰等。高寒地区的大气降水以固态形式落到地面,冰雪覆盖大地,经过重结晶形成具有可塑性的冰川冰,在重力和压力的作用下沿地表缓慢运动形成冰川。全球陆地面积约为 1.49 亿 km^2 ,冰川面积约为 1620 万 km^2 ,约占陆地面积的 11%。大陆边缘的冰层断裂落入海中,漂浮在水面上,称之为海冰。全球海洋面积约为 3.61 亿 km^2 ,海冰面积约为 2600 万 km^2 ,占海洋面积的 7% 左右。全球的雪盖集中在北极地区,其次是我国的青藏高原。

3. 大气水

大气水主要是指以气态形式存在于空气中的水汽,它在干空气中的含量十分稀少,总含水量约为 1.35 万 km^3 ,仅占全球淡水总量的 0.035%。水汽在天气气候的形成和演变过程中扮演者非常重要的角色,它是参与各种大气现象最基本的物质,同时,在相变过程中完成了物质和热量的转移,把地球系统各圈层紧密地联系起来。

1.2.2 地球水循环

地球上各种形态的水在太阳辐射和重力等作用下,通过蒸发、水汽输送、降水、下渗和径流等过程,分布在地球系统各个层次的水被联结起来,不断地发生相态转换和周而复始的运动过程,称为水循环。水循环遍及整个水圈,并深入大气圈、地圈及生物圈,同时通过各种途径现实循环更替。地球上的各类水体,就是通过水循环形成了一个连续的整体——水圈。

地表的各种水体,包括海洋、河川、湖泊、沼泽、冰雪,以及土壤、岩石、植被,及至动物和人类,它们内部的水都在不断的更新之中。这种更新就是水循环。水循环过程可以从地表面的蒸发开始描述。蒸发的水汽(大部分来自海洋)升入空中,在大气环流的控制下,进行着海洋与陆地、低纬之间的交换;水汽遇冷凝结成降水(包括雪等固态水)。海洋表面的降水直接回归海洋,陆地表面的降水可分为多种途径:一部分水(地表水体、湿润的植被和土壤等)重新蒸发返回空中;另一部分水在土壤、岩石中不断下渗,至达到饱和,形成壤中水和地下水径流。进入土壤的水又有部分被植被吸收,通过蒸腾作用重回空中;部分经过截留、下渗、吸收、地面蓄

积等过程后,剩余的水才形成地表径流。地下和地表径流在地形地势的制约下不断汇集,最终归入海洋;重返空中的水汽又重复着输送、降水、蒸发、下渗、径流的全过程。

地球水循环按不同途径和规模,分为大循环和小循环,其差别在于水汽输送是否跨越了海陆的分界线。大循环又称外循环或海陆循环,它是发生在海洋与陆地之间的水交换过程。海洋(或陆地)表面蒸发的水汽,随着气流运动被输送到陆地(或海洋)上空成云致雨,降落到陆地(或海洋)表面。陆地表面的部分降水流入海洋,维持着海陆间水量的相对平衡。小循环又称内部循环,是发生在海洋或陆地内部的水交换过程。海洋表面蒸发的水汽,在海洋上空成云致雨,直接降落到海洋表面,即为海洋小循环。陆地表面蒸发的水汽全部返回陆地,即陆地小循环(图 1-2)。

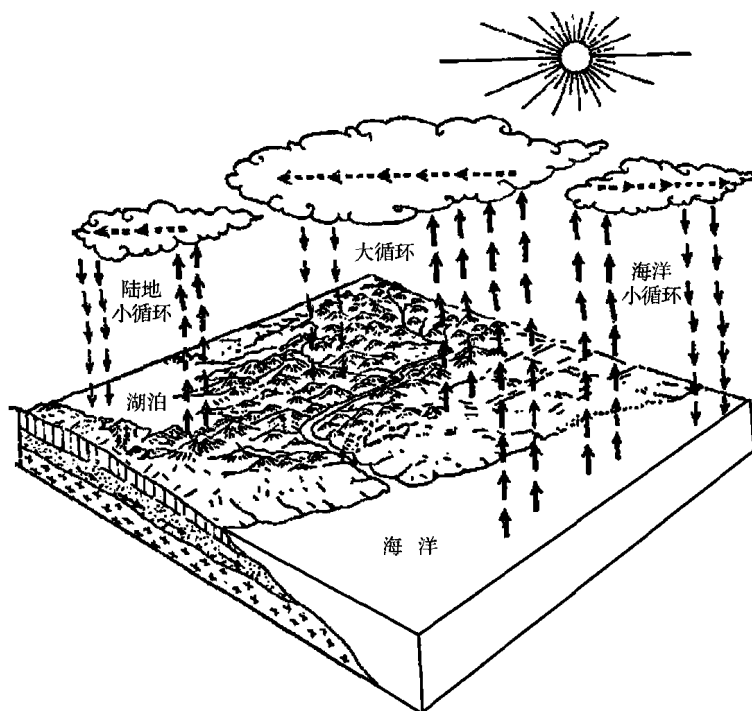


图 1-2 地球水循环图

水循环过程实际上就是物质与能量的传输、储存和转化过程,服从质量守恒规律,其基本动力是太阳辐射或重力作用。大气环流、海陆分布、地形地势、地表状态等外部环境制约着水循环的路线、规模与强度。在水循环的过程中还携带其他物质,成为地球生物化学输送的一种载体。

水循环是地球上最重要的物质循环之一,它实现了地球系统水量、能量和地球生物化学物质的迁移与转换,构成了全球性的连续有序的动态大系统。水循环联