

变化环境下 干旱灾害风险评价 与综合应对

袁喆 杨志勇 于赢东 翁白沙 尹军 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

变化环境下 干旱灾害风险评价 与综合应对

袁喆 杨志勇 于赢东 翁白沙 尹军 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

·北京·

内 容 提 要

本书系统梳理了干旱灾害风险评价及应对的国内外研究进展,以“自然-人工”二元水循环理论、自然灾害风险理论等相关理论为基础,初步提出了变化环境下干旱灾害风险评价与综合应对的理论技术与方法;并选取滦河流域作典型案例分析,利用原型观测、数值模拟和地理信息系统技术,从水循环的角度定量识别流域干旱及其风险;考虑不同未来气候变化情景,对未来干旱风险进行预估;以“流域海绵化”和“三次风险评价”为基础,构建风险应对方案集,提出最优方案并给出其效果,在旱灾风险评价与管理方面实现了创新。

本书可供水文水资源学科的科研人员、大学教师和相关专业的研究生,以及从事水利工程规划与管理专业的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

变化环境下干旱灾害风险评价与综合应对 / 袁喆等
著. — 北京:中国水利水电出版社, 2017. 12
ISBN 978-7-5170-6177-9

I. ①变… II. ①袁… III. ①旱灾—灾害防治—研究
IV. ①P426.616

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第326260号

书 名	变化环境下干旱灾害风险评价与综合应对 BIANHUA HUANJING XIA GANHAN ZAIHAI FENGXIAN PINGJIA YU ZONGHE YINGDUI
作 者	袁喆 杨志勇 于赢东 翁白莎 尹军 著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市密东印刷有限公司
规 格	170mm×240mm 16开本 14印张 268千字 1插图
版 次	2017年12月第1版 2017年12月第1次印刷
印 数	001—800册
定 价	56.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

序

受东南和西南季风的影响，我国气候的基本格局是南涝北旱。但由于不同年份，冬、夏季风进退的时间、强度和影响范围以及登陆台风次数的不同，我国降水量年内和年际变化均较大。这些自然禀赋从根本上决定了我国干旱频发和广发的基本背景。在以增温为主要特征的气候变化背景下，上世纪80年代以来，我国北方地区降水和河川径流均呈现减少的趋势，以海河流域为例，降水减少10%左右，河川径流减少40%~70%，地表水资源年减少40%左右。此外，大范围干旱等气候极端事件也呈现增加的趋势。另一方面，随着经济社会的快速发展，人类社会对水资源的需求量日益增加。在气候变化和人类活动的双重影响下，水资源短缺问题日益突出，制约工农业生产，威胁城乡居民生活用水安全，给生态环境带来明显影响，如河道断流、湖泊萎缩、生物多样性减少等。

干旱作为极端情景下的水循环过程，有其孕育和发展的自然规律。认识干旱发生机理及其变化的复杂性是旱灾管理的前提。在干旱应对方面，传统的危机管理模式缺乏以防为主的意识，仅将干旱作为一种突发性危机事件进行管控，难以满足变化环境下干旱综合应对的实践需求，需从“危机管理”向“风险管理”转变。《变化环境下干旱灾害风险评价与综合应对》一书从水资源系统的角度，综合考虑区域供水与需水特性，提出基于供需态势的干旱评价方法，在此基础上形成旱灾风险的评价技术；应用IPCC（联合国非政府间气候变化委员会）评估报告给出的未来气候变化情景，对未来旱灾风险进行评估，并结合风险因子的可调控特性，将社会经济系统的自适应性能与工程体系建设相结合，提出基于三次评价的干旱灾害风险调控思路，分层明晰风险应对的重点区域与重点环节以及区域可承受的干旱灾害风险；选取干旱事件频发的滦河流域为研究区，

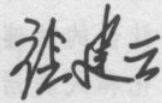
进行旱灾风险评价与综合应对的实例研究，对于增强区域应对干旱的能力，提升流域抗旱的管理水平，具有重要的意义。

作者作为主要技术人员参加了本人主持的“全球变化研究国家重大科学研究计划：气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”项目的研究工作，严登华教授主持了第二课题的研究。作者在系统总结前期成果的基础上，编著此书，对全球变化背景下的干旱问题和抗旱管理进行了比较系统的探讨。该书的出版发行，有利于国家的抗旱减灾工作，对我国综合应对气候变化将起到积极的作用。

是为序。

“全球变化研究国家重大科学研究计划：气候变化对黄淮海地区水循环的影响机理和水资源安全评估”首席科学家

中国工程院院士、南京水利科学研究所所长



2017年12月于南京

前 言

位于大陆季风气候区，加以三级阶梯地形条件，决定了我国干旱广发、频发的背景。在当前变化环境下，干旱问题愈演愈烈。一方面，气候变化导致干旱事件发生的频度、强度日趋增强；另一方面，社会经济发展导致干旱灾害的暴露性和脆弱性急剧增加。当前，气象灾害所造成的损失占有所有自然灾害总损失的71%，而在气象灾害中，53%的损失是由旱灾所造成的。我国年均干旱受灾和成灾面积分别为 $21124.83 \times 10^3 \text{hm}^2$ 和 $9429.82 \times 10^3 \text{hm}^2$ ，分别占全国播种面积的18.5%和8.3%；年均因干旱导致的粮食损失量达162.3亿kg，占同期粮食产量的4.7%左右；年均因旱灾导致的饮水困难人口为2707.7万。由此可见，干旱灾害已成为我国社会经济发展和生态文明建设的关键障碍，也是气候变化和自然灾害应对的“主战场”。干旱灾害的致灾因子、承灾体和孕灾环境呈动态变化，具有多时空尺度和随机性的特征。同时，历史规律反映的是重现特性，未来发展情势不尽相同，不能完全指导未来风险应对，因此为满足下一步及未来社会经济发展与水安全保障需求，需要从风险视角系统回答干旱及早灾的评价、预估和应对等实践需求问题。

发展气候变化背景下干旱及早灾风险评价、预估应对理论与成套技术体系可为适应气候变化提供技术支撑。本书考虑水循环对农业、工业、生活、生态等用水单元供需水过程的影响，以及干旱及早灾对这一影响的响应，提出流域/区域风险评价方法，并结合未来气候变化预估结果，梯次明晰干旱及早灾风险应对的重点和整体风险应对方案，以及区域需承受的干旱及早灾风险，可指导流域/区域干旱及早灾风险应对措施制定，在一定程度上可确保流域/区域社会经济的发展。全书共分为8章。第1章概述本书的研究背景和意义，综述干旱及早灾风险评价、预估应对的现状与进展，阐述本书

研究的目标、内容和技术路线。第2章阐述干旱灾害风险评价及应对的理论技术与框架。第3~5章以滦河流域为研究区,构建滦河流域干旱评价模型和旱灾风险评价模型,并对滦河流域现状干旱特征进行评价和分析。第6~7章对滦河流域未来气象水文的变化特征以及干旱风险变化特征进行预估,并针对未来旱灾风险提出滦河流域旱灾风险梯次应对的措施。第8章总结本书的主要研究成果,并对后续需进一步开展的工作进行展望。

本书的研究工作得到了国家重点基础研究发展计划(973计划)项目(2010CB951102)、中国清洁发展机制基金(2014110)和“十三五”国家重点研发计划课题(2016YFC0402707)的共同资助。本书编写分工如下:第1章由长江科学院袁喆、中国水利水电科学研究院杨志勇执笔;第2章由中国水利水电科学研究院杨志勇、翁白莎和湖北大学尹军执笔;第3章由袁喆和翁白莎执笔;第4章由袁喆、西安科技大学史晓亮和中国水利水电科学研究院于赢东执笔;第5章由袁喆、杨志勇和于赢东执笔;第6章由袁喆、杨志勇和尹军执笔;第7章由杨志勇和于赢东执笔。全书由袁喆、杨志勇和于赢东统稿。

由于干旱的形成与发展本身存在复杂性,且本研究涉及现代水文学、水资源学、气象学、系统科学、复杂科学等多个学科,限于时间和水平,书中错误在所难免,敬请读者批评指正。

作者

2017年于武汉

目 录

序	1
前言	1
第 1 章 绪论	1
1.1 研究背景与意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 理论背景	5
1.1.3 待解决的关键科学问题	9
1.1.4 研究意义	9
1.2 国内外研究动态与趋势	10
1.2.1 干旱及干旱灾害风险评价研究进展	10
1.2.2 气候模式的模拟能力评估及订正研究进展	14
1.2.3 干旱灾害风险应对研究进展	17
1.3 干旱评价与应对中存在的问题	19
1.4 研究内容与技术路线	20
1.4.1 研究内容	20
1.4.2 技术路线	22
第 2 章 干旱灾害风险评价及应对的理论技术与框架	24
2.1 干旱灾害风险评价及应对的总体技术框架	24
2.2 干旱事件评价	25
2.3 干旱灾害风险评估	27
2.4 干旱灾害风险预估	29
2.5 干旱灾害风险综合应对	31
第 3 章 研究区概况	33
3.1 自然地理	33
3.1.1 地理位置	33
3.1.2 地质地貌	34
3.1.3 河流水系	36
3.1.4 气候水文	37

3.1.5	土壤植被	46
3.2	社会经济与水利工程	48
3.2.1	行政分区	48
3.2.2	人口和社会经济发展情况	49
3.2.3	水利工程	51
3.3	水资源现状与历史干旱事件	52
3.3.1	水资源量及供用水关系	52
3.3.2	历史干旱状况	54
3.4	小结	56
第4章	滦河流域供水量和需水量分析	57
4.1	供水量和需水量计算总体思路	57
4.2	SWAT模型及其输入数据格式化处理	58
4.2.1	SWAT模型简介	58
4.2.2	SWAT模型数据库构建	62
4.2.3	气象数据库	68
4.3	SWAT模型参数率定及其在滦河流域的适用性评价	69
4.3.1	流域离散化	69
4.3.2	参数率定及模拟效果分析	69
4.4	滦河流域农作物需水量估算	76
4.4.1	典型作物生育期划分	77
4.4.2	典型站点作物生育期长度及需水量时间变化特征	78
4.4.3	流域尺度作物需水量时空变化特征	88
4.5	滦河流域林草植被生态需水估算	92
4.5.1	植被生态需水的概念及内涵	92
4.5.2	植被生态需水计算方法	93
4.6	滦河流域城镇居民生活需水和工业需水估算	97
4.7	小结	105
第5章	滦河流域历史干旱灾害风险评价	106
5.1	干旱灾害风险评价总体思路	106
5.2	基于水资源供需关系的滦河流域干旱定量化评价	107
5.2.1	干旱评价指标构建	107
5.2.2	干旱变化特征及结果验证	110
5.3	滦河流域干旱灾害风险评价	117
5.3.1	各作物生育期内干旱频率	117

5.3.2	各等级干旱损失率	119
5.3.3	作物产量价值量	123
5.3.4	农业干旱灾害风险损失	126
5.4	滦河流域干旱灾害风险变化	130
5.4.1	不同时段干旱灾害风险区变化	130
5.4.2	土地利用/覆被变化对干旱灾害风险的影响	133
5.5	小结	135
第6章	滦河流域未来干旱灾害风险预估	136
6.1	未来干旱灾害风险预估总体思路	136
6.2	未来排放情景和模式优选	136
6.2.1	气候情景及气候模式	136
6.2.2	模式评价及优选	141
6.2.3	气候模式对降水模拟效果评价及相对最优模式筛选	146
6.2.4	气候模式对气温模拟效果评价及相对最优模式筛选	149
6.3	滦河流域未来气象水文要素变化	152
6.3.1	未来降水变化	153
6.3.2	未来气温变化	154
6.3.3	未来天然径流变化	157
6.4	滦河流域未来干旱事件时空变化	162
6.4.1	未来干旱笼罩面积变化	162
6.4.2	未来干旱频率变化	164
6.5	滦河流域未来干旱灾害风险预估	165
6.5.1	未来干旱灾害风险空间分布格局	165
6.5.2	未来干旱灾害风险相对历史干旱灾害风险变化	165
6.6	小结	171
第7章	滦河流域干旱灾害风险应对	172
7.1	干旱灾害风险应对总体思路	172
7.2	滦河流域干旱的一次风险评价	174
7.3	滦河流域干旱的二次风险评价	176
7.3.1	方案设计	176
7.3.2	二次风险评价及效果评估	176
7.4	滦河流域干旱的三次风险评价	186
7.4.1	方案设计	186
7.4.2	三次风险评价及效果评价	186

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景与意义

1.1.1 研究背景

联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 第五次评估报告 (AR5) 表明, 1880—2012 年, 全球海陆表面平均温度上升了 0.85°C , 而近 60 年的线性增温速率高达 $0.12^{\circ}\text{C}/10\text{a}$ (见图 1.1), 约为 1880 年以来的两倍, 且过去 30 年的增温

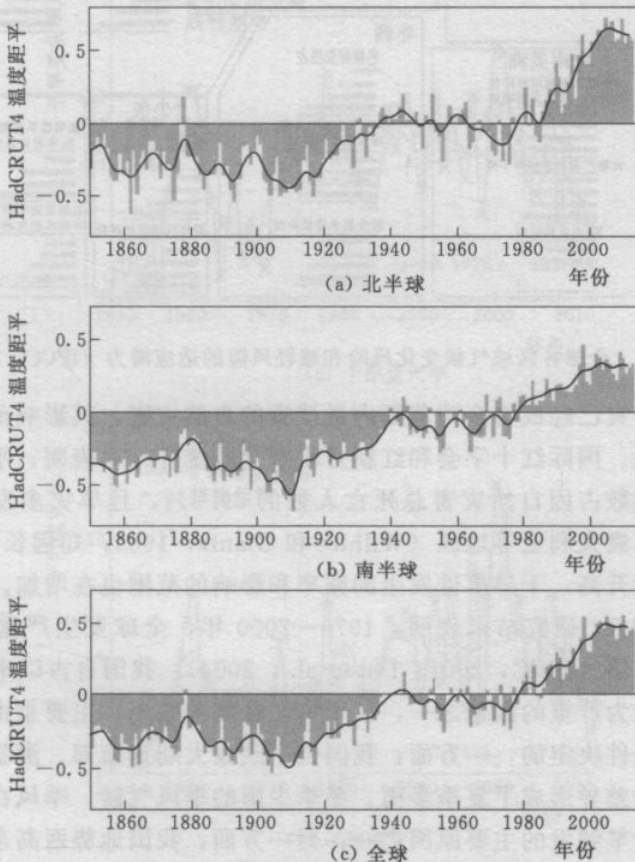


图 1.1 1880—2012 年全球陆地和海洋表面年平均温度距平序列 (距平是相对 1961—1990 年平均值) (引自 <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/data/temperature>)

幅度高于 1850 年以来的任何时期 (IPCC, 2013; 秦大河, 2014)。随着气候变化影响的深入, 水循环要素 (如降水、蒸发、径流、土壤湿度等) 发生了显著的改变, 进而引发水资源在时间和空间上的重新分配, 导致全球范围内极端水文事件呈现出广发和频发态势 (张建云等, 2009; 李峰平等, 2013)。在欧洲等地区, 极端高温事件损失的影响在增加; 亚洲等地区, 干旱导致的水资源短缺和粮食减产问题日益凸显 (见图 1.2)。

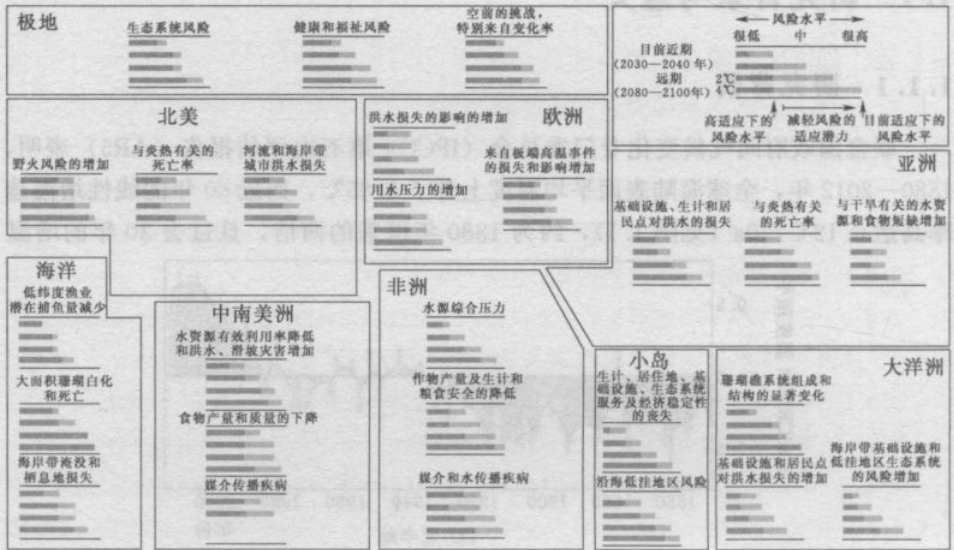
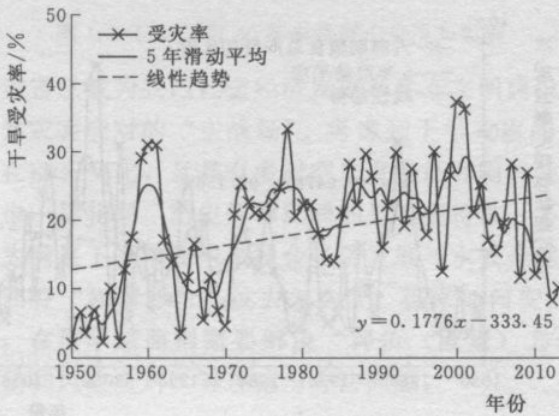


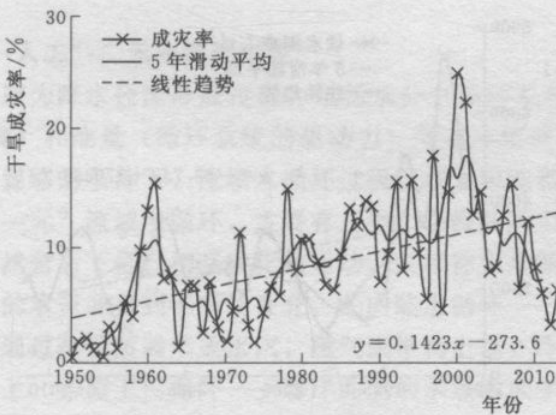
图 1.2 全球各区域气候变化风险和减轻风险的适应潜力 (IPCC, 2014)

目前, 旱灾已经成为全球范围内最严重的自然灾害, 其影响范围广, 造成的经济损失大。国际红十字会和红新月联合会的统计结果表明, 平均每年全球因旱灾死亡人数占因自然灾害总死亡人数的 59.8%, 且旱灾多发于非洲、北美洲、东亚、澳大利亚等地区 (Wilhite 和 Glantz, 1985; 郑远长, 2000)。随着全球气温的升高, 干旱事件发生的频率和影响的范围也在增加。国际大气研究中心 (NCAR) 研究结果表明, 1970—2000 年, 全球发生严重干旱的地区范围增长了 2 倍 (IPCC, 2001; Dai et al., 2004)。我国自古以来都属于受自然灾害影响最为严重的国家之一, 且干旱问题尤为突出, 主要是由我国独特的自然与气候条件决定的: 一方面, 我国位于欧亚大陆东南部、濒临太平洋, 巨大的海陆热力差异形成了夏季多雨、冬季少雨的季风气候, 季风在年际间的不稳定是我国干旱频发的主要原因之一; 另一方面, 我国地势西高东低, 呈三级阶梯状分布, 其中青藏高原的隆起是西北干旱气候形成的一个主要因素, 太行山和燕山山脉在一定程度上导致华北地区干旱频发。我国学者对公元前 180 年

至 1949 年期间自然灾害损失统计的数据表明, 因干旱灾害死亡人数占全部因灾死亡人数的 40% 左右, 位居首位 (刘彤和闫天池, 2011)。中国气象局的统计结果表明, 气象灾害所造成的损失占有所有自然灾害总损失 71%; 而在气象灾害中, 有 53% 的损失是由旱灾所造成的 (陈云峰和高歌, 2010)。《中国水旱灾害公报》和《全国抗旱规划》中的统计数据表明, 近 60 年来, 我国年均干旱受灾和成灾面积分别为 $21124.83 \times 10^3 \text{ hm}^2$ 和 $9429.82 \times 10^3 \text{ hm}^2$, 分别占全国播种面积的 18.5% (受灾率) 和 8.3% (成灾率); 年均因干旱导致的粮食损失量达 162.3 亿 kg, 占同期粮食产量的 4.7% 左右, 相当于 1 亿人一年的口粮。近 20 年来, 年均因干旱导致饮水困难人口为 2707.7 万, 相当于重庆市的总人口 (见图 1.3) (全国抗旱规划编制工作组, 2011; 国家防汛抗旱总指挥部, 2014)。

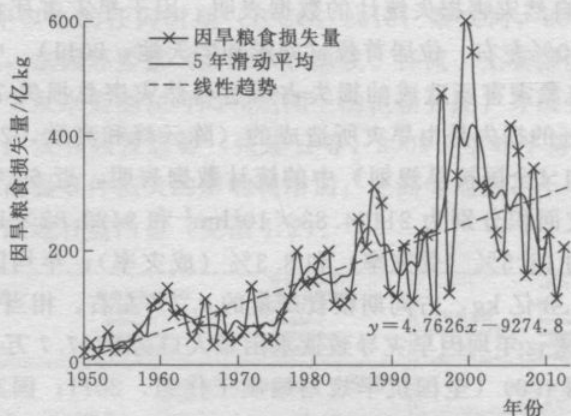


(a) 干旱受灾率

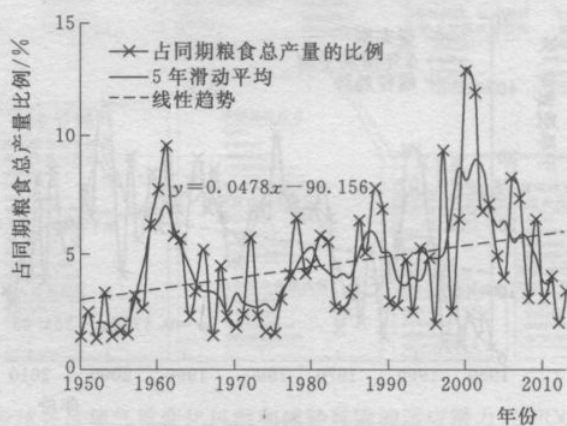


(b) 干旱成灾率

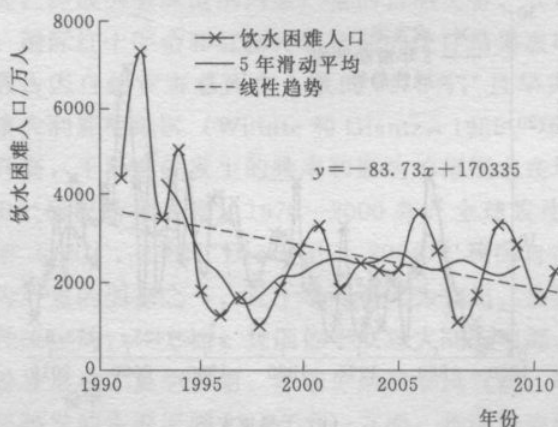
图 1.3 (一) 近 60 年来我国干旱及其影响



(c) 因旱粮食损失量



(d) 占同期粮食总产量的比例



(e) 饮水困难人口

图 1.3 (二) 近 60 年来我国干旱及其影响

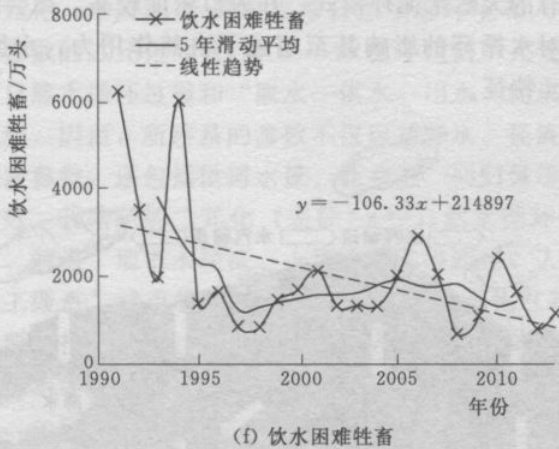


图 1.3 (三) 近 60 年来我国干旱及其影响

目前, 干旱灾害已成为我国社会经济发展和生态文明建设的关键障碍, 也是气候变化和自然灾害应对的“主战场”。考虑到干旱灾害的致灾因子、承灾体和孕灾环境均在动态变化, 且具有多时空尺度特征和随机性; 同时历史规律与未来发展情势也不尽相同, 历史规律反映的是重现特性, 不能完全指导未来风险应对, 因此为满足下一步及未来社会经济发展与水安全保障需求, 需要从风险视角, 系统回答“如何评价? 过去怎么变? 将来如何变? 如何应对?”四大实践需求问题, 在科学层面则需要解决“评价(度量)方法、历史演变分析, 未来变化预估和风险应对”等理论与方法问题。

1.1.2 理论背景

1.1.2.1 “自然-人工”二元水循环理论

流域水循环即为降水径流形成过程, 包括水分(循环系统的主体)、介质(循环系统的环境)和能量(循环系统的驱动力)等基本组成要素。在自然或人类活动影响可忽略的条件下, 流域水循环过程仅在太阳能和大气运动驱动下进行, 称之为“一元”流域水循环, 主要有三类: ①海陆间水循环——海洋与陆地上的水在自然营力下进行相互转化的运动, 又可称为大循环。通过海陆间水循环, 陆地上的水资源得到不断的补充。②内陆水循环——降落到陆地上的水, 其中一部分通过蒸发蒸腾形成水汽, 随气流带到上空。冷却凝结后形成降水, 仍落回陆地上。③海上内循环——海洋面上的水蒸发成水汽, 进入大气后在海洋上空冷却凝结后形成降水, 仍落回海面(见图 1.4)。随着社会经济的发展 and 人类生产生活的需要, 自然环境条件不断被人为改造, 尤其是工业化时代以来, 水循环过程受人类扰动日益增强, 其运动规律和转化机制发生了深刻

改变，打破了原有的天然水循环模式。在人口密度较高、社会经济发展迅速的地区，人类活动对水循环的影响甚至超过了自然作用力，水循环过程呈现出“自然-人工”二元特征。

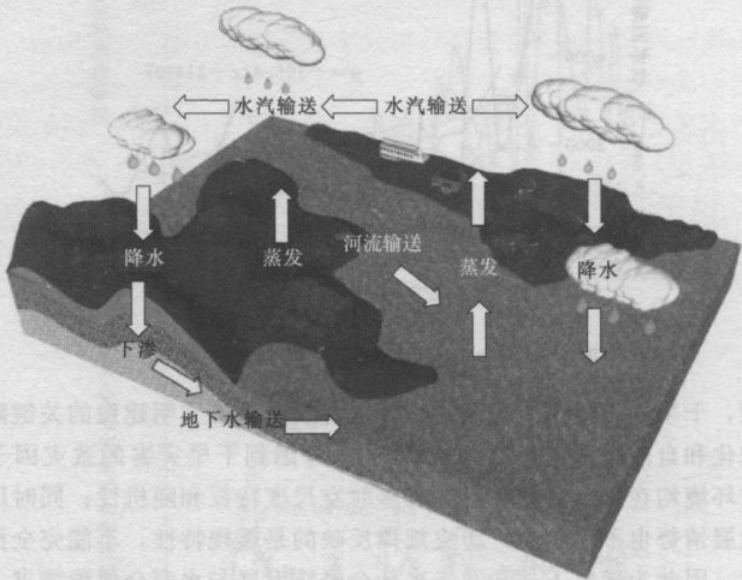


图 1.4 流域水循环结构示意图

流域“自然-人工”二元水循环具有四个“二元化”的特征（见图 1.5）：

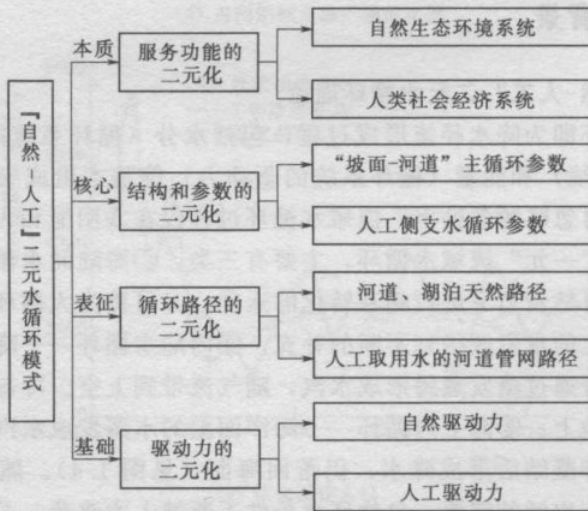


图 1.5 “自然-人工”二元水循环模式