

HUANJIING YU

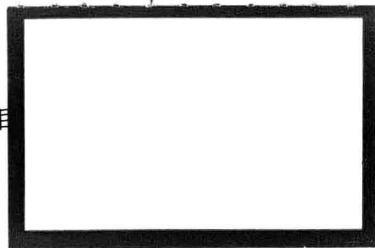
SHUIANQUAN

环境与 水安全

周德民 等 编著

中国环境科学出版社

本书得到国家自然科学基金委面上基金项目
(NSFC40871241)



环境与水安全

周德民 等 编著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

环境与水安全/周德民等编著. —北京: 中国环境科学出版社,
2012.6

ISBN 978-7-5111-0924-8

I. ①环… II. ①周… III. ①水环境—环境管理—研究
IV. ①X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 035702 号

责任编辑 付江平

责任校对 扣志红

封面设计 马 晓

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街 16 号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
邮 箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)
印装质量热线: 010-67113404

印 刷 北京市联华印刷厂
经 销 各地新华书店
版 次 2012 年 6 月第 1 版
印 次 2012 年 6 月第 1 次印刷
开 本 880×1230 1/32
印 张 9.75
字 数 260 千字
定 价 25.00 元

【版权所有。未经许可, 请勿翻印、转载, 违者必究】

编著者简介

周德民，地理学博士，现为首都师范大学资源环境学院教授，博士生导师，中国科学院东北地理与农业生态研究所客座研究员；同时兼任联合国教科文组织（UNESCO）水信息与生态水文学教育共同主席，联合国教科文组织生态水文学全球示范项目中国区负责人，联合国教科文组织国际水文计划（IHP）生态水文项目专家组成员，国际数字测量与遥感学会（ISPRS）遥感应用与政策研究分会农业，生态系统和生物多样性工作组成员。2000—2004年，在美国加州大学伯克利分校（UC, Berkely）做国际合作研究，2007—2008年，在澳大利亚联邦科学工业研究组织水土所（CSIRO Land & Water）做国际合作研究。主要从事基于遥感、地理信息系统支持的区域水生态环境模型研究，个人的主要研究兴趣包括：水文生态模型研究、城市水景观变化和生态响应数字分析与评价，以及湿地生态系统空间格局特征及其演变模拟研究等。主持和参加多项国内外相关领域科研课题，其中包括国家“863”课题“湿地复杂地表环境信息自动提取及生境退化特征定量分析评价技术示范研究”、国家自然科学基金项目“GIS和RS支持下的内陆平原淡水湿地水文生态模型研究”“三江平原典型湿地植被生态——水文多尺度耦合作用”、澳大利亚联邦科学工业组织项目“Development of a hydro-ecological modelling environment to provide predictive capacity to assess land use change in the Murrumbidgee Irrigation Area (MIA in Australia)”等。近年来以第一作者在 Ecological Modeling、自然资源学报等多个中外学术刊物上发表有关水文生态模型理论、湿地生态退化水文机制驱动力分析等 40 余篇学术文章。同时，为 *Agricultural Water Management*, *Journal of Environmental Management*, *Environmental Modeling and Software* 等一批重要国际期刊审稿已累计数十篇。此外，合作撰写《洪河保护区湿地生态水文模型研究》等专著。



前言

地球是一个水的星球，水对于生命之重要如血液对于人体之重要。如果将我们的地球比作一个人体，地球上千万条江河就是这个人体中的血管，其中奔流不息的江河水就是支撑这个人体鲜活生命的血液。最伟大的常常也是最朴实无华的，古人云，上善若水，水支撑起生命，但对人类索取很少。水是平凡的，也是伟大的。曾几何时，我们的地球病了，江河湖海中的水都不再清澈。在我们人类不断为征服自然的巨大成就而骄傲的时候，曾经离我们最近，对我们人类最友善的水，却逐渐远离我们而去。不知从什么时候起，有水皆干，有水皆脏的可怕现实无情地摆在了我们面前。我们突然发现，我们周围的“水脏了”（水污染），一会儿“水多了”（洪水），一会儿“水少了”（干旱），又时常出现“水不够用了”（水资源短缺）的情况，曾经默默养育我们的水，如今成了我们人类生产生活的麻烦制造者。人与自然的和谐，人与水的和谐正逐渐远离我们。

呵护江河，爱护每一滴水，就是呵护生命，就是保护地球。自然法则其实非常简单：我们善待自然，自然就善待我们；我们善待水，水就善待我们。然而，在人类迅速发展，文明程度不断提高的今天，我们似乎忘记了一些最简单、最朴实，但却是我们生存之道的一些至关重要的基本要义。我们脚下坚实的大地已经

开始松动，我们正在一步步靠近万劫不复之渊，而我们却还没有意识到这是多么危险的事情。

本书试图从水科学应用角度，通过对水安全这一热点问题的分析，全方位展现在人类社会经济发展过程中，人类活动造成的各种水问题，探求人水和谐之道。从远古时期到现在，人类驾驭自然的能力不断提高，通过阐述不同时期，人类活动对水的使用和相伴而生的各种水问题，逐步分析水安全问题的发生和发展过程。人类活动对全球气候变化的影响改变了水资源和水循环等重要的环境条件和过程，引发了大区域和全球尺度的水安全问题。近现代科学进步和工农业生产一方面使人类物质财富迅速增长，但另一方面也造成了频发的、大范围的水环境污染，各种水污染事件越来越频繁地出现在我们面前，这是当前水安全危机一个最突出的问题。近几十年来人口的不断增长和城市化的迅猛发展，大大改变了自然生态环境，这对与我们相伴的水也同样带来了各种各样的困扰。本书重点通过全球气候变化、水污染和城市化过程等方面，对各种水安全问题发生的特点、不同的危害形式及后果，以及应对思路进行了阐述与分析。此外，编著者收集整理了国内外对于环境变化过程中的各种典型的水安全重大事件，通过成功案例与失败案例的点评分析，力求让读者在扩大眼界的同时，也能够对各种现实问题有清晰直观的认识。最后，本书在分析整理各类水安全问题的基础上，对水安全问题的性质与应对进行了总结归纳，对水安全危机的管理方法与未来发展态势等进行了深刻剖析。

本书是一个集体工作的成果，由首都师范大学资源环境学院

周德民教授主持编著，共分7章。各章编著人员为：第1章由周德民、李尚华编著；第2章由焦翠翠、王坤、周德民编著；第3章由张翼然、周德民编著；第4章由李尚华、张玲编著；第5章由刘玉明、曾若莎、许海丽编著；第6章由王舟、周德民编著；第7章由肖艳芳、周德民编著。吉林大学环境与资源学院研究生郭金淼和南昌大学环境科学学院学生曾若莎两位同学共同负责国内外水环境与水安全研究案例相关资料的收集整理和翻译工作。焦翠翠、李尚华、王舟等同学除了完成相应章节的资料收集整理工作外，还负责本书引用数据、表格和插图的核对与整饰工作。王舟同学还负责了本书文字修改、校对等工作。周德民教授负责对全书统稿和修改定稿。

水安全问题涉及诸多学科，跨越了自然生态环境与社会经济和社会管理等各个领域，研究资料繁杂，尽管编著者们查阅了大量中外资料与文献，努力收集这一领域专家学者的现有理论成果，试图尽可能全面地反映这个热点问题的全貌以及深刻复杂程度，并尽可能展现该领域最新的形势发展，但由于各种主客观原因，书中的一些论断和观点难免会有各种各样的错误，诚恳读者批评指正，并在此对以上参与本专著编写的人员表示感谢。

周德民

2011年10月于北京

目 录

第 1 章 水安全概念——人类活动和环境变化.....	1
导 读	1
1.1 水安全概念.....	2
1.2 人类活动引发环境变化.....	7
1.3 不同时期人类活动特点与水安全危机.....	12
参考文献.....	21
附录	23
阅读材料.....	23
第 2 章 全球气候变暖与水安全	25
导 读	25
2.1 全球气候变暖趋势.....	26
2.2 全球气候变暖与水安全的联系.....	35
2.3 全球气候变暖对自然生态与人类生存的影响.....	44
2.4 全球气候变暖与中国极端降水事件.....	54
参考文献.....	69
附录	78
阅读材料.....	78
第 3 章 水环境变化与水安全	81
导 读	81
3.1 水环境（污染）变化特点和趋势.....	82
3.2 水环境变化引发的水安全危机及消极影响.....	102
3.3 未来水环境变化与水安全形势展望.....	114

参考文献.....	116
附录	120
阅读材料.....	120
第 4 章 城市化与水安全	125
导 读	125
4.1 城市化的概念和城市发展.....	126
4.2 城市发展与水安全问题.....	140
4.3 城市扩张与水生态安全及环境灾害.....	150
4.4 未来城市发展与水安全形势展望.....	168
参考文献.....	180
附录	188
阅读材料一.....	188
阅读材料二.....	190
第 5 章 国内几个主要环境与水安全的案例.....	195
导 读	195
5.1 国内几个主要环境与水安全的失败案例.....	196
5.2 国内几个主要环境与水安全的成功案例.....	208
5.3 当前国内水安全问题频发原因分析.....	216
5.4 国内水安全问题的解决思路.....	225
参考文献.....	232
第 6 章 国外几个主要水环境与水安全案例.....	236
导 读	236
6.1 国外几个主要环境与水安全的失败案例.....	237
6.2 国外几个主要环境与水安全的成功案例.....	248
6.3 国外水环境成功案例带来的启示.....	259
6.4 国外应对水安全问题的有益思路.....	266
参考文献.....	274

第7章 未来环境变化与水安全问题评价与展望.....	277
导 读	277
7.1 水安全问题的复杂性与不确定性.....	278
7.2 当前现实的挑战特征与水安全问题.....	281
7.3 未来水安全形势分析.....	286
7.4 水安全问题解决方案展望.....	289
参考文献.....	295
附录	296
阅读材料一.....	296
阅读材料二.....	300

第 1 章

水安全概念——人类活动和环境变化

导 读

在人类社会初期，由于人类对自然的改造和控制能力很低，因此，水作为人类生活要素基本不受人类活动的改变和威胁，但随着人类社会取得长足进步，人对自然和社会的改造能力与日俱增，自然界环境要素随着人类社会的形态变化而急剧变化，似乎人类可以按照自己的意志随意调整和改造自然界。

但是，人类无论正在变得多么强大，在自然界面前，我们仍无法改变自己是生物圈一分子的客观现实。从某种意义上，在可以预见的未来，人依旧无法彻底离开各种环境要素而生存。然而，全球气候变暖、空气污染、淡水危机和水污染等全球性的环境灾难已经接踵而至。地球就像一个行将崩溃的水晶球，脆弱得让人开始焦虑，世纪大灾难的警世预言不断出现。进入 21 世纪，越来越多的政治精英也加入了科学界日益要求保护全球环境的行列。恐龙灭绝的各种科学猜想早已为人熟知，“温水青蛙”的现代寓言故事也已经广为流传，美国前总统戈尔获得诺贝尔和平奖更多折射出的是人类有识之士对地球环境恶化的忧虑。

本章首先围绕“水安全”这一概念，从不同国家、不同历史时期和不同学科角度解释什么叫水安全，介绍人们对它的各种不同理解，并给出本专著界定的“水安全”概念。在清晰展现水安全概念、特点和严峻现实威胁之后，将进一步展现人类活动如何引发自然生

态环境恶化，从各个方面加重对未来水安全的威胁，通过从人类发展与地球保护的人地关系宏观角度，按照人类社会发展的主线条，描绘人类活动不断恶化地球水资源与水环境进程的基本轮廓。在此基础上，将这个发展路径分为农业革命前的历史时期、工业革命前后两个不同历史时期，论述 3 个阶段的人类活动特点，以及相应的水安全问题和阶段特征。

1.1 水安全概念

1.1.1 什么是水安全

当今世界面临严重的水资源短缺和危机（World Health Organization, 2000; Castelein & Otte, 2002）。1972 年，联合国人类环境与发展会议就预言石油危机后的下一个危机便是水危机。1988 年，世界环境与发展委员会特别指出：“水资源正在取代石油而成为在全世界引起危机的主要问题”。针对由水引起的国际纷争，2000 年题为“21 世纪的水安全”的国际水问题研讨会指出：水资源不仅仅是一个环境问题，同时也是社会和政治问题。2006 年第四届水资源论坛公布的《世界水资源开发报告》称：全球饮水量在 20 世纪增加了 6 倍，增长速度是人口增长的两倍，有 11 亿人缺水，26 亿人无法保证用水卫生；90% 的自然灾害与水有关，水资源安全问题日趋恶化。

2000 年 3 月在瑞典斯德哥尔摩召开的世界水讨论会中指出，为了实现用水安全，我们面临的主要挑战包括满足基本需要、保证食物供应、保护生态系统、共享水资源、控制灾害、赋予水价值、合理管理水资源 7 个方面。

国内学者洪阳（1999）认为水安全是由人类活动的不良影响造成的，人类的不可持续的社会经济活动造成水体弱化或丧失正常功能，进而引发一系列的经济、社会和环境安全问题，应从外部环境和条件去解析水安全，其着眼点在水质和水量上。第二届世界水论坛及部长级会议（2000）认为水安全的含义是：确保淡水、海岸和

相关的生态系统得到保护和改善，确保可持续发展和政治稳定得到加强，确保人人都能够以可承受的开支获得足够安全的淡水，确保能够避免遭受与水有关的灾难的侵袭。波恩国际淡水会议（2001）认为：以公平和持续的方式利用和保护世界淡水资源是各国政府迈向更加安全、公平和繁荣的过程中遇到的重要挑战，把水安全与可持续发展以及社会公平联系起来能够完善水安全的内涵。贾绍凤等（2002）认为，水安全是指水资源供给能够满足合理的水资源需求，如果一个区域的水资源供给能够满足其社会经济长远发展的合理要求，那么这个区域的水资源就是安全的，否则就是不安全的。韩宇平等（2003）认为水安全可以理解为：在现在或将来，由于自然的水文循环波动或人类对水循环平衡的不合理改变，造成人类赖以生存的区域水状况发生了对人类不利的演进，并对人类社会的各个方面，如干旱、洪涝、水量短缺、水质污染、水环境破坏等方面产生不利的影响，并由此可能引发粮食减产、社会不稳、经济下滑及地区冲突等。郭永龙等（2004）进一步将水安全问题划分为由干旱、洪涝和河流改道而造成的自然性水安全问题以及由人为活动造成的人为性水安全问题，其中人为造成的水安全问题包括健康安全、粮食安全、生态环境安全、经济安全、国家安全等。陈绍金（2004）认为水安全的概念可表述为，一个地区（或国家）涉水灾害的可承受和水的可持续利用能确保社会、经济、生态的可持续发展，其中“涉水灾害的可承受”指在一定的社会经济发展阶段、科学技术和财力允许的情况下，将超标准涉水灾害控制在不损害一个国家或地区社会经济继续发展的程度之内。成建国等（2004）认为：水安全是指一种社会状态，即人人都有获得安全用水的设施和经济条件，得到的水可以满足清洁和健康的要求，满足生活和生产的需要，同时可使自然环境得到妥善保护。张翔等（2005）认为：水安全是指水的存在方式（量与质，物理与化学特性等）及水事活动（政府行政管理、卫生、供水、减灾、环境保护等）对人类社会的稳定与发展是无威胁的，或者说存在某种程度的威胁，但是可以将其后果控制在人们可以承受的范围之内。畅明琦和黄强（2006）认为：水（资

源)安全是指人类的生存与发展在不受到水资源问题的危险和威胁时的状态,包括国家的主权不因水资源的问题而受到严重威胁,国家利益不因全球化而带来的水资源问题受到严重损失,国家的发展不因水资源问题而受到威胁。

史正涛和刘新有(2008)总结了上述对与水安全定义的认识,并将城市水安全特有的制约因素考虑在内,重新对城市水安全进行了定义,在城市这种特定的区域中,能够避免一切严重涉水灾害,消除人们对涉水灾害的不安全感,确保城市社会经济、生态环境以及城市居民自身和人文环境可持续发展的“综合涉水资源”状态。其中“综合涉水资源”包括水量、水质、水循环及其存在形式和时空分布状况,各种“虚拟水”,如粮食、奶制品等,人对“水”的态度和行为,如水利投资、节水意识、水安全感等方面。

1.1.2 水安全问题涵盖了哪些方面

国内外许多学者在对水安全进行定义的同时,也对水安全的内涵进行了探讨。方子云等(2001)认为水环境不仅仅限于与水有关的水体,应该是一个包括水、水生生物以及污染等的综合体,是一个储存、传输和提供水资源的水体,也是水生生物生存与繁衍的空间和各种污染物的最终归宿。汪恕诚(2004)提出了水环境承载力的概念,并定义了该概念:一定的水域中能够保持持续利用并且其生态系统保持良好时所能容纳污水及污染物的最大能力。夏军等(2006)以及畅明琦和黄强等(2006)都认为水资源安全问题是水安全问题中很重要的一方面,两者不能等同,其中,畅明琦和黄强(2006)主张水安全问题不应该包括旱涝灾害,旱涝灾害应该纳入“灾害”的范围之内,或与突发性水资源安全事故一样,列为水资源安全的一个单独的内容或方面。联合国前秘书长安南在世界水的献词《水安全——人类的基本需要和权利》中指出:“水安全是人类的基本需要,也是人类的基本权利。”波恩(2001)国际淡水会议认为公平和持续的利用方式和保护世界淡水资源是各国政策迈向更加安全、公平和繁荣的过程中遇到的重要挑战,水安全计划应与扶贫紧密联系

起来。

以上关于水安全内涵的认识可以从以下三方面来理解：一是虽然对水安全的阐释主要出于资源安全的角度，但认为水安全不等同于水资源安全，水资源安全只是水安全的一个主要层面；二是水安全的内涵逐渐演变到水资源安全与水环境安全的统一；三是进一步把水安全与人类的基本权利、维护社会公平联系起来，其内涵不断得到充实（史正涛和刘新有，2008）。同时，史正涛和刘新有（2008）对上述水安全内涵认识总结的基础上，提出水安全内涵可以从自然属性（自然界水的质、量、存在形态及其时空分布特征）、生态环境属性（水是生态环境中最为活跃的部分，生态环境是水存在的重要载体）、社会经济属性（水是生态环境中最为活跃的部分，生态环境是水存在的重要载体）、人文属性（人类社会群体对涉水灾害的安全感，水分配的权利和公平）四个方面加以概括。

1.1.3 如何了解与评判水安全问题的好坏

由于水安全问题涉及的层次比较多，包含了自然生态环境要素和人类社会经济发展因素两大方面，因此，水安全问题是一个非常复杂的问题，对其发生发展的形势评判、预警和应对等是一个非常复杂的科学问题。以水安全的核心问题之一水资源紧缺评价问题为例，国际上主要采用水资源紧缺指标与水贫穷指数来衡量水安全状况。其中水资源紧缺指标有以下两种（史正涛等，2008）：

一是 Falkenmark 和 Widstrand 在 1992 年提出的用人均水资源量来度量区域水资源稀缺程度的指标，根据干旱区中等发达国家的人均需水量确定了人均水资源的临界值，以此来判别各国以及区域水资源紧缺与安全状况。

二是用水资源开发利用程度来衡量水资源紧缺程度。水资源开发利用程度以年实际取用的淡水资源量占可获得（可更新）的淡水资源总量的百分比来计算。世界粮农组织、联合国教科文组织、联合国可持续发展委员会等很多机构都采用了这一指标（贾绍凤等，2002）。

两种水资源紧缺指标划分标准，如表 1-1 所示（史正涛等，2008）。

表 1-1 水资源紧缺指标

指标类型	划分标准			
基于人均水资源量的 水资源紧缺指数	1 700~3 000	1 000~1 700	500~1 000	<500
	轻度缺水	中度缺水	重度缺水	极度缺水
基于水资源开发的水 资源紧缺指数	<10%	10%~20%	20%~40%	>40%
	用水低度紧张	用水中度 紧张	用水中高度 紧张	用水高度 紧张

2002 年，英国生态与水文研究所 Sullivan 等人提出了一种基于水资源开发利用的水贫穷指数（Water Poverty Index，WPI），该指数由资源、途径、利用、能力和环境 5 个分指数组成，分指数的取值范围为 1~100，指数取值越大表示水安全状况越好。5 个分指数的取值结合各自的权重就可以得出 WPI 的值，以表征水安全状况。WPI 主要指标，如表 1-2 所示（史正涛等，2008）。

表 1-2 水贫穷指数（WPI）

分指数	主要指标
资源	水资源（包括地表水和地下水）量及其可靠性、水质及其可靠性
途径	取水途径、集水时间、自来水用户比例、拥有卫生设施的人口比例
利用	人均生活用水量、人均工业用水量、人均农业用水量
能力	人均 GDP、消费水平、教育水平、基尼系数、5 岁以下幼儿死亡率
环境	水资源环境承载力、环境管理与污染防治、生物多样性

我国主要采用分类指标进行水安全评价。根据畅明琦和黄强选取的 2002—2005 年国内具有代表性的 7 篇论文对国内水安全评价指标体系的归纳总结（2006），以及贾绍凤等（2002）、张巧显等（2002）人建立的水安全评价指标体系，得出我国水安全评价指标的主要类型及指标，如表 1-3 所示（史正涛等，2008）。

两种水资源紧缺指标分别从人均水资源量和水资源开发利用程度来度量水安全状况，简明易用，数据易得，有利于从宏观方面对水安全进行把握。但该指标的评价标准一般只适合于大区域的水安

全评价，不适用于单一的城市化地区，也不适用于一些水资源存在形式特殊的区域（史正涛等，2008）。

表 1-3 我国水安全评价分类指标体系

指标类型	主要指标
水资源条件	人均水资源量、亩均水资源量、水资源利用程度、多年平均降水量
水环境	地表水水质、地下水水质、生态需水保证程度、废污水处理率、水土流失率
粮食安全	人均粮食、灌溉面积、灌溉定额、粮食单产、耕地与水资源搭配协调程度
社会协调	生活用水保证率、水质安全人口比例、水费支出占家庭可支配收入的比例
经济协调	工业用水保证率、工业用水重复率、水费占总生产成本的比重
水管理与灾害	供水与水利投资占 GDP 的比例、水利工程达标率、旱涝灾害损失程度

WPI（水贫穷指数）是基于水资源存在及其开发利用过程而建立的，体现了一种以水资源条件及人类开发利用能力结合的思想。我国的分类指标是基于水资源条件及其与社会经济发展的相互关系而建立的，其思想深受“天人合一”、“人水和谐”等儒家思想的影响，注重从全面协调的角度考察水安全，但这有时不利于从宏观上抓住水安全问题中的主要矛盾。而分类指标体系有利于水安全与社会经济发展关系的考察，在应用过程中可根据具体评价对象加以选择和结合（史正涛等，2008）。

1.2 人类活动引发环境变化

1.2.1 环境与环境问题的概念

所谓环境是指以人类为中心的周围客观事物的总和，是直接、间接影响着人类生活和发展的各种自然因素（自然环境）和社会因