

水安全保障系统

的研究与实现

陈鸿起 解建仓 编著
汪 妮 张永进

SHUI ANQUAN BAOZHANG XITONG

DE YANJIU YU SHIXIAN

广西人民出版社

序

洪涝灾害、干旱缺水、水污染、水土流失等水问题严重制约着国民经济和社会的发展，已引起各方重视。据统计，洪涝灾害是当今世界的主要自然灾害之一，全世界每年自然灾害损失中水灾损失约占 40%，其经济损失和人员伤亡均居首位；水资源短缺是 21 世纪制约可持续发展的重大问题之一，世界上 11 亿人口得不到安全饮用水，而中国人均水资源量约为世界水平的 30%。

一方面，水资源的时空分布不均，引发了干旱、洪涝和河流改道等自然灾害问题；另一方面，人类社会经济的发展和合理的开发利用使得水量减少、污染加剧，不仅改变了水量平衡、降低了水质，使得水体的使用功能逐步弱化，而且也不能维持其基本的社会价值与经济价值。加之水资源管理及其体制不完善，我国已出现供水安全、水质安全、防汛安全、饮用水安全、水制度安全等水安全问题。

在开发利用水资源的同时，人与自然的不协调也引发了人类对水的基本需求危机，影响人类社会经济的可持续发展。在健康安全、粮食安全、生态环境安全、经济安全、国家安全等方面也表现出人为性间接水安全问题。

水安全在国家或区域安全体系中的地位非常重要，是国家或区域安全的基础条件之一。我们不但要强调保障供水和防汛安全、经济社会安全、生态环境安全的水资源开发利用

和管理模式，而且强调在现实情况下处理好人与自然、人与人之间基于水的关系。

水安全问题及其后果正在逐步显露并被人们所重视，同其他安全问题一样，其后果具有一定的广泛性、复杂性、隐蔽性和滞后性。加强安全管理，对坚持用科学发展观统领经济社会发展全局，提高预防和处置突发事件能力，保障人民群众生命财产安全，以及构建和谐社会都是必然的要求。

陈鸿起、解建仓、汪妮、张永进等同志撰写的《水安全保障系统的研究与实现》一书，从水安全体系着手，就水安全概念、水安全评价、资源优化配置、非传统水资源利用、水市场的调节作用等开展了相关基础研究，对促进循环经济体系的构成及社会经济的持续发展进行了战略研究，以监控与预警体系、灾情评估系统、防汛指挥系统等为基础组建了水安全保障系统。

水安全保障体系建设是安全管理的一项基础性工作，对于建立健全统一指挥、功能齐全、反应灵敏、运转高效的安全保障机制，预防和应对水安全事件造成的损失，具有重要意义。

该书作者长期从事生产安全管理和水资源管理工作，有良好的研究基础和丰富的经验积累。书的内容比较系统，理论结合实际，有一定的参考价值。

希望该书的出版，能够引起社会对水安全问题的更多关注。

索丽生

2006年12月6日

前 言

目前，我国有限的水资源与经济高速发展之间的矛盾日益暴露并尖锐化；人类不合理经济活动所引发的水污染、水生态破坏和水资源短缺等与水有关的问题，直接威胁着人类的生存与发展。由单纯的水资源安全所引起的水安全问题涉及了生命安全、社会安全、经济安全、生态环境安全、粮食安全等各个方面，已成为关系到国家经济、社会可持续发展和长治久安的重大战略问题。

由于水问题日益突出，且水是维持生命所必需，使得水安全问题日渐受到重视。2000年3月在荷兰海牙召开的世界部长级会议和2000年8月在瑞典斯德哥尔摩召开的世界水论坛的主题都是“21世纪水安全”，可见水安全是世界各国所面临的共同课题，是全球关注和研究的焦点问题。

结合对水安全概念的理解和水安全问题的分析表明水安全问题具有复杂性。因此，单个措施或者局部调整对水安全问题的解决意义不大，需要综合水资源、工程、经济、社会、生态等方面的知识，使工程措施和非工程措施有机地结合起来解决问题。水安全的理论与实践也不是对传统水资源科学的否定，而是在其研究基础上的发展，是水资源可持续利用观点指导下的具体应用和体现，也是可持续发展的核心

问题之一。对于我国面临的复杂水安全问题，需要转变以往“头痛医头，脚痛医脚”的方法，在可持续发展观点的支持下建立水安全体系，以促使对水安全问题的正确理解、快速反应和合理解决。

本书内容的编写从水安全体系着手，在对水安全概念进行理解的基础上，借助水安全评价的方法与理论，对供水的水源、水量、水质进行统一规划，综合评价；借助水资源优化配置模型，实现多种水源联合调度，确保水资源可持续利用；加强非传统水资源的利用，发挥水市场的调节作用，促进循环经济体系的构成及社会经济的持续发展；在此基础上建立由监控与预警体系、灾情评估系统、防汛应急指挥系统组成的水安全保障系统，使水资源的配置与区域发展各阶段的需水量相适应。主要的工作体现在：

本书分析了我国目前存在的自然性水安全问题及人为性水安全问题，并对导致上述水安全问题的主要原因进行了分析。

不同的水安全战略措施对区域水安全保证和区域的发展影响很大，寻求可能存在的各种解决水安全问题的措施显得尤为重要。本书主要涉及的工程措施有非常规水资源利用、调水工程实施、节水工程实施等；主要的非工程措施有水资源优化配置网络体系研究、水权与水市场体系研究、经济结构的适应性转变、虚拟水战略的应用、法律法规体系建设等。

以上述非工程措施以及工程措施为理论基础初步建成了包括水质安全监控与预警系统、干旱遥感监测模型、灾情评估系统、防汛减灾的安全保障系统、防汛应急指挥系统等在内的水安全保障体系，实现了不同的应用。并重点介绍了基

于事例推理技术的防洪调度模型和基于南宁市城市应急联动系统的南宁市防汛应急指挥系统的研究与应用实例，以提高对水资源系统的安全性的理论保障水平和增强对水安全问题作出迅速准确反应的能力。

水安全问题是国家安全问题之一，建立国家水安全应急保障体系是一项社会性的重要任务，也是一个艰巨的过程。本书的工作仅是开始，抛砖引玉，后续的研究任务还很艰巨。

本书的撰写得到了原水利部副部长索丽生教授的鼓励和支持。广西科技厅、安全生产监督管理局的领导和同事给予了热情的支持和帮助。申毅荣博士参与解决了不少技术难题，西安理工大学沈冰教授、李郁侠教授、黄强教授、李占斌教授、李怀恩教授、闵涛教授等提出了宝贵意见，在校的博士生和硕士生也做了相关工作。他们的帮助和指导，使我们受益匪浅。在此，一并表示最真诚的谢意！

广西人民出版社给予厚爱使该书得以尽快与读者见面，对他们的辛勤，我们深表敬意。

同时，我们还要感谢为本研究已做了大量工作的专家学者们，是你们的理论观点给了我们启迪，在书中也引用和参照了你们的成果。

书中错误和疏漏之处敬请批评指正！

目 录

第一章 水安全及其基本理论	(1)
1.1 水安全问题的提出	(1)
1.2 水安全的基本概念	(5)
1.3 水安全问题的研究思路	(11)
1.4 我国的水安全问题	(24)
1.5 水安全问题的成因分析	(34)
第二章 水安全系统及其评价	(38)
2.1 水安全系统	(38)
2.2 水安全系统的度量	(48)
2.3 水安全评价	(75)
2.4 水安全战略	(92)
第三章 水资源配置的网络体系研究	(94)
3.1 水资源优化配置理论	(94)
3.2 水资源优化配置常见模型的建立	(104)
3.3 节水型社会建设	(112)
3.4 经济结构体系的适应性转变	(120)
3.5 调水工程的实施	(122)

第四章 水权与水市场的建设	(131)
4.1 水权的基本理论	(131)
4.2 水权的管理与交易	(141)
4.3 建立完善适应市场经济的水利发展体制和 水市场体系	(146)
4.4 虚拟水贸易	(147)
第五章 非常规水资源利用	(157)
5.1 非常规水资源的概念及分类	(159)
5.2 雨水资源化	(160)
5.3 中水回用	(170)
5.4 海水利用	(187)
5.5 地下水回灌	(196)
5.6 循环经济体系的构成	(203)
第六章 水质安全监控与预警系统	(211)
6.1 水质监控与预警系统	(211)
6.2 BP神经网络的基本原理	(222)
6.3 预测模型的研究与建立	(223)
6.4 预测结果与讨论	(229)
第七章 干旱遥感监测模型研究	(234)
7.1 干旱遥感监测的研究进展	(234)
7.2 模型概述	(249)
7.3 模型各参量的计算	(256)
7.4 模型应用	(268)

第八章 灾情评估系统	(273)
8.1 国内外研究现状	(273)
8.2 洪水灾害评估体系结构	(278)
8.3 洪涝水体遥感监测获取方法	(284)
8.4 洪涝灾害损失评估的空间尺度及精度分析	(286)
8.5 基于 GIS 空间信息网格的洪涝灾害损失评估 计算模型	(289)
8.6 应用实例	(306)
第九章 防汛减灾的安全保障基础研究	(309)
9.1 防汛物资协同储备模型研究	(309)
9.2 防洪预案的编制	(324)
9.3 基于事例推理技术的防洪调度系统	(342)
第十章 防汛应急指挥系统研究	(364)
10.1 防汛应急指挥系统	(364)
10.2 应急指挥系统建设的关键技术	(365)
10.3 防汛应急系统的建设内容	(373)
10.4 应急系统应用实例	(379)
第十一章 水安全管理体系	(387)
11.1 建立较为完善的水资源一体化管理保障 体系	(388)
11.2 建立水危机管理制度, 提高应急应变能力	(389)
11.3 建立完善水安全管理信息系统	(390)
参考文献	(392)

第一章 水安全及其基本理论

1.1 水安全问题的提出

1.1.1 资源量的有限性

可持续发展观点的提出，是为了给日益尖锐的资源环境与发展这对矛盾寻找一条可行的对策和出路，是提醒人们不要只致力于经济的快速发展，而忽略由此带来的对后世的负面影响，甚至危及人类的生存与环境。可持续发展的观点虽然已取得各方的共识，并且频繁出现于各种形式的文件和研究著作中，但如何在各个方面具体地实施，世界各国还都在积极探索之中。在人类社会和经济的发展过程中，对地球自然资源的开发利用是一个非常重要的方面，它为人类生存环境的维系和改造提供了物质基础，建设并发展了人类社会的物质文明世界和精神文明世界。从地球形成之日起，经过了若干地质年代的演变，才出现今日在地壳中蕴藏着的千百万种矿物，而这些矿产资源在被人类开发利用中不断消耗，储量逐渐减少直至枯竭；另外一些可再生的自然资源（如生物资源和淡水资源），在当代条件下还可以年复一年地再生，即被开发利用并且消耗后仍可不断更新补充，但是如果开发

利用不当，消耗量大于可再生量，同样会陷入危机。因此，无论是可再生的或不可再生的资源，如果在供需上出现危机，就谈不上社会和经济的可持续发展。于是，资源的安全保障问题被提上日程。

安全一词通常用于指国家的安全、社会的安全和人民生命财产的安全等方面。在多数情况下，国家安全是指要有能力抗御来自外部的侵略和由外部唆使煽动的颠覆活动，如果社会上出现动乱，也会危及国家的安全，所以，安全也包括安定的意义在内。而资源安全是指对资源的开发利用政策，是否可以保障综合国力的不断增长、经济建设的不断前进和人民生活质量的不断改进，以达到当前和长远的国家和社会稳定的目标。这就需要对资源开发利用所生产出来的物资，保持一定的生产能力和为应付特殊情况的发生而进行必要的物资储备。特殊情况在这里是指由于发生火山爆发、地震、海啸和洪水等自然灾害，或由于人为的原因，如战争、社会动乱等带来灾难时，因扰乱了正常的生活和生产秩序，而出现一时供应困难的情况。

综上所述，资源的安全是指资源要对国家和社会的安全起保障作用，对社会和经济的可持续发展起保障作用，因而对资源的开发利用，要合理有序，防止浪费和破坏。在资源安全中，较早提出来的是对国计民生有重大影响战略储备物资的安全保障问题，如粮食安全或食品安全，这是因为粮食是人民自下而上的发展支持条件。近年来，由于水问题方方面面所表现出来的矛盾日益突出，且水资源亦是维持生命所必需，其安全保障问题也是迫在眉睫的问题。

水问题不仅涉及生态环境问题，也涉及经济问题、社会

问题和政治问题，直接关系到国家的安全。中国水资源的总量虽然不小，但人均占有量很低，水土资源在地区上的组合不相匹配，水的供需矛盾十分突出。水是人类消耗最多的自然资源，全世界煤炭、石油、金属矿物、非金属矿物等消耗总量每年为 80 多亿吨，而每年用水量接近 5 万亿吨。水资源的可持续利用是所有自然资源可持续开发利用中最重要的一个问题，在中国所有的关系国计民生的重要自然资源中，水资源对中国的人口承载能力限制最大。

1.1.2 人为的影响

20 世纪以来，伴随全球人口的急剧增长以及人类对物质文化生活与生存环境质量要求的不断提高，对水资源开发利用需求的不断增加，推动了城市化进程和工农业经济的发展。随着城市化的推进，人类不合理的活动已经引发了水污染、水生态破坏和水资源短缺等与水有关的问题，直接威胁到人类的生存与发展；另一方面伴随科学技术的进步和生产力水平的提高，人类征服自然和改造自然的能力大大提高，在社会经济发展取得巨大成就的同时，对水资源开发利用的程度空前提高。区域发展中人类对水资源开发利用的某些非理性行为，进一步加剧了洪涝灾害、水资源短缺、水质污染和水生态环境恶化等区域水安全危机。人类在审视近百年来在经济与社会领域内所取得的巨大成就的同时，也在进行着自我反思，20 世纪后期，《只有一个地球》和《增长的极限》的发表为人类敲响了警钟，可持续发展战略成为全人类的共同选择。对水资源的研究主要集中在水资源评价、水资源配置、水资源承载力、水资源价格、水资源制度等工作上，目的是了解水资源数量，合理分配水资源量，并且已建立了相对成熟的理论。近几年来，由于水问题日益突出，且

水是维持生命所必需，使得水安全问题日渐受到重视。2000年3月在荷兰海牙召开的世界部长级会议和2000年8月在瑞典斯德哥尔摩召开的世界水论坛的主题都是“21世纪水安全”，可见水安全是世界各国所面临的共同课题。水安全的理论与实践不是对传统水资源科学的否定，而是在其研究基础上的发展，是水资源可持续利用的具体应用和体现，也是可持续发展的核心问题之一。

水正在变成一种宝贵的稀缺资源，水安全研究不只是资源量、分配和承载能力的问题，它涉及生命安全、社会安全、经济安全、生态环境安全、粮食安全等各个方面，已成为关系到国家经济、社会可持续发展和长治久安的重大战略问题，成为全球关注和研究的焦点问题，其内涵和外延更为广阔，是对传统水资源科学研究的深化。我国是水资源短缺的国家，目前面临着水多、水少、水脏、水浑等四大水问题，其严重影响我国社会经济的可持续发展。从全球范围来看，缺乏足够安全的水资源以满足人类的基本生活需要，水资源以及提供和支持水资源的相关的生态系统面临着来自污染、非可持续性使用、土地使用变换、气候变化及其他诸多方面的威胁。随着社会经济的迅速发展、城镇化进程的加快和人类活动的影响，水资源短缺与用水需求不断增长的矛盾日益突出，水资源形势堪忧。水安全面临诸多问题和严峻挑战，直接影响人们的生命财产安全及和谐社会的建设。因此，保障水安全，具有十分重要的现实意义和深远的历史意义。

1.2 水安全的基本概念

1.2.1 水安全概念

目前,国际上对水安全的研究还没有形成统一的概念,缺乏明确的定义。其中使用较为广泛、通用的概念是2000年3月荷兰海牙世界部长级会议宣言《21世纪水安全》提供的水安全概念。该概念认为,水安全的含义是:确保淡水、沿海和相关生态系统得到保护和改善;确保可持续发展 and 政治稳定得到保障和加强;确保每个人能够以可承受的开支获得足够安全的淡水来保持健康和丰富的生活;确保人们不受与水有关的灾难的侵袭。该宣言将水安全置于可持续发展 and 政治稳定的情况下进行概括,将与水有关的灾害作为水安全的内容之一。同时,该宣言还明确提出了实现水安全所面临的挑战为满足基本需要、保证食物供应、保护生态环境、共享水资源、控制灾害、赋予水以价值、合理管理水资源七大方面,并对水安全的主要内容进行了阐释。

2000年“世界水展望”在《为了全球水安全:行动框架》中提出水安全的含义是从家庭到全球的各个不同层次上,每个人都可以用能够承受的价格来获取足够洁净的水,能够过上健康和富有创造力的生活,在这同时,自然环境也得到了保护和改善。这种水安全的含义,是以满足人类生存的需要作为水安全的主要内容。同时,水安全也是扶贫战略、环境卫生、污水管理和防洪的前提条件。

2001年3月22日联合国秘书长安南在世界水日的献词《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,因此,也是人类的基本权利。污水危害人类

的身体健康和社会进步是对人类尊严的侵犯。让我们共同庆祝世界水日，让我们重申我们的承诺：为所有的人提供清洁、安全和有益健康的水。安南的献词强调了水安全的重要性。

2001 年波恩国际淡水会议，来自全球 46 个国家负责管理水资源、环境和发展的部长在波恩评估《21 世纪议程》落实情况，并讨论如何采取行动。会议认为，以公平和持续的方式利用和保护世界淡水资源是各国政策迈向更加安全、公平和繁荣的过程中遇到的重要挑战。扶贫是实现公平和可持续发展的主要工作，水资源在人的健康、生活、经济增长以及维持生态系统等方面起到至关重要的作用。这里把水安全与可持续发展联系起来，把维护水安全与扶贫结合起来，充实了水安全的内涵。

我国全面系统地研究水安全尚属起步阶段，对水安全的概念、内涵与外延等也没有统一的定义，对其计算方法的研究也不够深入和完善，基本停留在定性分析和宏观定量分析阶段。由于目前对水安全尚未有一个普遍接受的定义，对于水安全的内涵和外延也存在较多的争议。因此开展水安全的研究，首先应明确什么是水安全，其内涵如何，外延又如何，以便统一认识，便于成果的使用和交流。另外，水安全是水资源持续利用理论的具体应用，因此应探索既能保障研究的科学性，成果又便于理解的研究方法，这将会直接影响水安全研究成果的可靠性和可操作性。可见水安全理论的研究是水安全研究的前提。

所谓“安全”，通常是主体存在的一种不受威胁、没有危险的状态，是人类基本需要中最根本的一种。进入 21 世纪，日益突出的水问题的安全保障问题已成为全球高度关注

的重点之一。在自然范畴内，水安全是水资源、水环境及水灾害三者的综合效应。但应注意到，这三者之间并不是相互独立的，例如水资源的多少与水灾害之间，以及水环境恶化与水资源短缺之间都有很强的相关性，因此无论对三者的单独分析，或对三者单独分析结果的简单叠加，都不可能全面而客观地反映水安全状况。近年来我国围绕水安全相关理论的研究不少，但到目前为止还没有形成一个系统的、科学的理论体系，学术上对水安全也没有统一的定义，不同学者从不同的角度给予了不同的定义，其中具有代表性的有以下几类：

1. 从生态角度对水安全进行定义。

即水体保持一定的水量、安全的水质条件以维护其正常的生态系统和生态功能，保障水中生物的有效生存，周围环境处于良好状态，使水环境系统功能可持续正常发挥，同时能较大限度地满足人类生产和生活的需要，使人类自身和人类群际关系处于不受威胁的状态。该定义以生态为着眼点，将水安全看做生态安全的一部分，强调水对生态系统和人类生存的影响。其不足之处是在水资源的量的安全方面关注不够。

2. 将水资源安全直接定义为水安全。

该类定义从水资源综合管理的角度，将水安全定义为：社会经济发展和人类在生产、生活和健康等方面不受水资源短缺影响，以及开发利用中不对生态环境产生污染等影响的一种状态，主要强调水量和水质的安全。这方面的研究较多。

如成建国（2004年）认为，水安全指出的是一种社会状态，提出水安全是一种比较客观的水资源开发利用和管理

理念，其本质是既在一定程度上满足社会经济发展对水资源的需求，同时着眼于在一定时间内重构水资源的可持续利用状态。

2001年宋国涛等在《中国国际环境问题报告》中提出水安全主要是指一个国家实际占有的水资源能够保障该国经济当前的需要和可持续发展的需要。其着力点在水量上，提出了与可持续发展的结合，但没有注重水环境和社会发展对水安全的要求。

赵军凯（2004年）提出了水资源安全的概念及水资源可持续利用的对策。

3. 从社会经济和资源的角度来对水安全进行定义。

1998年洪阳在《中国21世纪的水安全问题》一文中提出，由于人类活动的影响，改变了水文循环平衡、降低了水质，从而引发水安全问题：由于人类不可持续的社会经济活动使得水体弱化或丧失正常功能，不能维护其社会与经济价值，危及人类对水的基本需求，进而引发一系列的经济、社会和环境安全问题。这种对水安全的阐释认为水安全是由于人类活动的不当影响造成的。是从外部环境和条件去解析水安全的，其着力点在水质和水量上。

钟华平（2004年）将水安全定义为有充足的水资源满足人类社会的物质需求、经济的发展和生态环境的维护，且水安全主要包括供水安全、防洪安全和水质安全。

阮本清、魏传江等（2004年）在《首都圈水资源安全保障体系建设》中提出，水安全是指这样一种社会状态：在现在或将来，人人都有获得安全用水的设施和经济条件，所获得的水满足清洁和健康的要求，满足生产和生活的需要，同时可使环境得到妥善保护，做到以水资源的持续利用保障