

DOI :10.3880/j.issn.1006-7647.2008.05.021

水资源安全研究进展

畅明琦^{1,2}, 刘俊萍³

(1. 中国灌溉排水发展中心, 北京 100054 ; 2. 山西省水资源研究所, 山西 太原 030001 ;
3. 浙江工业大学建筑工程学院, 浙江 杭州 310032)

摘要 阐述水资源安全形势, 回顾和评述国内外水资源安全研究的动态。结合当前水资源安全研究现状, 指出水资源安全研究存在的问题, 提出水资源安全研究的基本框架和研究内容, 探讨了水资源安全研究的方向和前景, 建议从水资源安全问题、定义和内涵出发, 进行水资源安全基本理论、机理、评价、态势、监测、预警、运行模式、技术体系、突发性水资源安全问题、水资源安全保障体系等方面的研究。

关键词 水资源安全 理论框架 综述

中图分类号 :TV213 **文献标识码** :A **文章编号** :1006-7647(2008)05-0080-06

Advances in water resources security//CHANG Ming-qi^{1,2}, LIU Jun-ping³ (1. China Irrigation and Drainage Development Center, Beijing 100054, China ; 2. Shanxi Institute of Water Resources, Taiyuan 030001, China ; 3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310032, China)

Abstract : The conception of water resources security is described and the research status of water resources security at home and abroad is reviewed and summarized. Some problems existing in the research of water resources security are noted, and the basic research framework and contents of water resources security are also put forward. A prospect for future study of water resources security is presented, including basic theories, mechanisms, assessment, developments, monitoring and early warning, models and technical systems, with regard to the definition and connotation of water resources security issues.

Key words : water resources security ; thoretical framework ; review

1 水资源安全形势

水资源是基础性的自然资源和战略性的经济资源,是经济社会可持续发展的重要基础。任何国家的发展都在消耗着大量的水资源,而且每年的消耗量随着经济的发展而增长,同时要求水资源系统提供越来越多的水资源和接受越来越多的废物与污染,使水资源生产力的衰退甚至崩溃成为可能。

据 2006 年 3 月 22 日在墨西哥城第四届世界水资源论坛上对外公布的《世界水资源开发报告》:全球用水量在 20 世纪增加了 6 倍,增长速度是人口增速的 2 倍,有 11 亿人缺水,26 亿人无法保证用水卫生。大部分地区的水质正在下降,这些地区的淡水物种和生态系统的多样性正在迅速衰退,其退化速度往往快于陆地和海洋生态系统。90% 的自然灾害与水有关。到 2030 年全球粮食需求将提高 55%,将需

要更多的灌溉用水,而这部分用水已经占到全球人类淡水消耗的近 70%,水资源安全问题日趋恶化^[1-6]。

我国也是如此,水资源问题已成为我国经济社会发展和生态环境建设的严重制约因素,水资源安全面临着极其严重的考验^[7-8],水资源安全问题已成为我国实施可持续发展战略过程中必须认真解决的重大问题,必须以不出现重大的水资源危机作为中国水资源安全的目标,开展和加强对水资源安全的研究,以保障水资源安全,实现水资源可持续利用与经济社会的可持续发展。作为国家生存与发展的基本保障条件,水资源安全问题已成为人们关注的核心。

2 国内外水资源安全研究动态

国际社会十分重视水资源安全问题研究,特别是 20 世纪 90 年代以后国际有关组织实施了一系列

国际水科学计划,如国际水文计划、世界气候研究计划、国际地圈生物圈计划、全球能量与水分循环 21 世纪研究计划等,目的是从全球、区域和流域不同尺度和交叉学科途径,探讨环境变化下的水资源安全问题,并且各国学者开展了大量的相关研究^[9-21]。

国际地圈生物圈计划代表国际地球科学发展前沿,水文循环的生物圈方面是其核心之一^[22]。进入 20 世纪 90 年代末,变化环境(即气候变化与人类活动影响)中的水文循环与水资源的脆弱性研究成为热点。前沿问题突出反映在几个方面:水文循环的生物圈;人类活动影响下的水资源演变规律;水与土地利用、覆被变化、社会经济发展之间的相互作用影响;水资源可持续利用与水安全等。变化环境下的水文循环及其生态环境演化过程以及人地关系的影响研究,是国际地球科学积极鼓励的创新前沿领域。

国际知名的英国水文研究所在 20 世纪 80 年代末开始了生态水文学方面的科学研究^[22]。Baird 等^[23]针对水循环与生态环境退化问题,出版了《生态水文学:陆生环境、水生环境与水分的关系》专著。

20 世纪 90 年代后,日本十分重视称之为“健全的水循环系统”的研究,即“以流域为整体以自然变化加健全方式的人类调控的水循环方式,将用水、防洪、治污目标统一协调,使得水能够达到最佳利用的水循环系统”;日本东京等都市化变化过程中所谓“健全的水循环系统”被定义为“需要统一考虑‘洪水发生时’、‘平时水需求利用’、‘自然环境保护的生态用水’、‘发生地震火灾紧急用水’和‘水道的旅游利用’的水循环最佳的途径,包括修建必要水工程措施对水循环的调控”。

国际水资源界曾多次召开学术研讨会专题讨论上述问题及其相关问题。

1992 年,在爱尔兰召开的“国际水和环境大会——21 世纪的发展与展望”(ICWE),提出了水资源系统及可持续性研究问题。

1993 年 7 月,在日本横滨召开的“第六届国际气象大气物理科学大会和第四届国际水文科学大会联合大会”(IAMAP-IAHS '93),讨论了全球变化对水文水资源的影响问题。1993 年 10 月,在德国召开的研究不同时空尺度水信息变化的相似性和变异性为目标的“第二届国际实验与网络资料水流情势(FRIEND)学术大会”,研讨了可持续水资源利用与管理的水文学基础及信息资料问题。

1994 年 6 月,在德国 Karlsruhe 由联合国教科文组织(UNESCO)主持和国际水资源协会(IAW)与国际水文科学协会(IAHS)协办,召开了“变化世界中的水资源规划国际学术大会”,探讨可持续水资源利用与管

理的 4 个专题:可持续水资源管理研究的展望;水资源开发中的风险和不确定性;水资源可持续管理的决策支持系统;水资源开发与环境保护的协调。

1995 年,在美国召开的第二十一届国际大地测量及地球物理学联合大会(IUGG)期间,国际水文科协水资源系统委员会(ICWRS)举办了“流域尺度可持续水资源系统的模拟和管理”学术讨论会,并以国际水资源系统委员会为核心成立了“可持续水库开发和管理准则(criteria of sustainable reservoir development and management)”国际研究组。

1996 年 10 月,在日本京都召开了“国际水资源及环境研究大会:面向 21 世纪新的挑战”,专门讨论几个方面的问题:流域尺度可持续水资源系统管理的应用实例;水的利用;水库、监测水质水量和科学的管理方法;水质水量的可持续模拟;风险和不确定性;模型的检验及地理信息系统(GIS)的应用等。

1997 年 4 月,在摩洛哥召开的第五届 IAHS 科学大会期间,举办了“不确定性增加下的水资源可持续性管理学术大会”;其中专门讨论了水资源开发对环境的影响问题,重要议题还有洪水与干旱管理、水文与生态模拟和环境风险评价等。

1998 年 5 月在中国武汉召开了“98 国际水资源量与质的可持续管理研讨会”,深入探讨了流域水质水量统一管理面临的问题,交流了国际水资源可持续开发利用与管理的新研究进展与经验。

2000 国际水文科学学会(IAHS)年在美国召开了“水资源综合管理研讨会”,主要探讨可持续发展条件下水资源综合管理的内容和目标,以及交流水资源综合管理的经验。此次研讨会达成一个共识:未来水资源管理的一个基本原则就是流域的统一管理。流域统一管理是流域内土地资源和水资源的统一协作管理,其目的是防止土地退化、保护淡水资源、保护生物多样性、实现水资源可持续利用。

2000 年 3 月,在荷兰海牙召开了“第二届世界水论坛及部长级会议”。会议主题是“水的安全:从洞察到行动”。全世界 140 多个国家首脑或部长和 3 000 名科学家出席会议。21 世纪水安全面临 7 个主要挑战:满足基本需求;保护生态;食品安全;水资源共享;处理灾害;水价值;科学管水。因此,水资源安全已经成为水资源研究的国家前沿热点,举世瞩目。此次会议通过了关于 21 世纪确保水安全的《海牙宣言》,并制定了相关的行动计划。宣言说,水对人民的生命和健康以及生态系统是至关重要的,并且是国家发展的基本条件之一,但是全球人类缺乏数量足够的 safely 的水资源以满足基本生活需要。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。这些威胁和贫穷之间的关系是显而易见的,因为最先遭受打击而且受打击最重的是穷人。因此得出一个简单的结论:常规模式不是我们的选择。当然全球各地的需求不同、情况不同,但人们拥有一个共同的目标:为21世纪提供用水安全。这意味着确保保护和改善淡水、海岸和相关的生态系统,确保促进可持续性发展和政治稳定性,确保人人都能够得到并有能力支付足够的、安全的水来过上健康和幸福的生活,并且确保易遭受影响的人群能够得到保护以避免遭受与水有关的危险。

2000年8月,第十届斯德哥尔摩国际水问题研讨会在瑞典召开。100多个国家的近900名水问题专家和政府官员参加了会议。会议围绕“21世纪的水安全”这一主题进行研讨,指出水资源不仅仅是一个环境或经济问题,同时也是社会和政治问题。鉴于全球水资源紧缺日益加剧,如果各国不通力合作共同解决水危机,那么21世纪人类的安全将受到严重威胁。与会专家们认为,加强协作是应对今后水荒挑战的最有力的武器之一。首先,应重视水资源的科学管理,加强跨国界水问题的合作,各国需要密切配合,制定整体计划,加强统一管理。在国际和跨国界水道上也需要进行合作,以便使所有沿岸国家共同受益。其次,要围绕水资源管理建立新型的伙伴关系。水问题绝不仅仅是环保专家的事,决策者、科学家、工程管理人员和技术人员、水的用户以及所有利益相关者都应有机会参与讨论水问题,互相学习,经验共享,建立一个卓有成效的研究和解决水问题的网络。会议讨论的另一个重点是如何提高水的使用效率,用有限的水资源生产出更多的粮食、工业品等。

2001年7月在荷兰举办了两个大型国际会议。一个是全球变化科学大会,会议的两大专题为:①变化的地球的挑战:对全球变化的科学理解;②展望未来:地球系统科学与全球可持续性。另一个会议是第六届国际水文科学大会,主题是:一个干旱地球新的水文学。热点问题有:①环境变化与水文循环问题;②人类活动对水循环水资源演变的影响,特别注重如何量化人类活动对水文水资源变化的影响。

2002年7月在瑞典的斯德哥尔摩召开了每年一度的世界水周。主题是:平衡竞争的水资源使用,它是可持续发展基本的需求。

2002年9月在中国北京召开了“变化环境下的水资源脆弱性国际学术研讨会”,主要围绕以下方面进行讨论和交流:①变化环境下的水文循环;②黄河

流域水资源的时空演变态势;③水资源的可再生性;④水资源的脆弱性评价理论和方法等。

2003年10月在西班牙马德里举行了主题为“21世纪水资源管理”的第十四届国际水大会(XIV World Water Congress)。来自世界不同国家的700多名专家学者参加了大会,大会报告和交流了最新的国际水资源研究计划和学术前沿问题。大会主题是:不确定性、气候变化、变异影响下的水规划;冰的价值;新技术在水资源管理中的影响;地下水开发的适宜性与可持续性;冰的基础开发建设;社会经济;水管理问题等。

2006年3月第四届世界水论坛在墨西哥首都墨西哥城开幕,主题为:采取地方行动,应对全球挑战。论坛期间,与会代表们就如何进一步采取行动从各方面促进有效节约、保护、开发、管理和使用水资源等问题进行广泛讨论,同时把“经济增长和发展用水”作为框架议题之一,讨论分析水利用、水贡献、水投资等水安全与可持续利用问题,旨在提高全球对水问题的认知程度。

联合国、世界银行、全球水伙伴(GWP)和世界水理事会(WWC)等机构也积极开展全球的水资源安全研究。国际保障同盟(IUCN)也组织了《水与人口动态》的研究。关于世界水资源安全的最新评估是21世纪世界水资源委员会2006年3月的《世界水资源开发报告》,在研究方法上建立了全球水资源预测模型,其水资源安全研究的总体思路是对世界各个国家和地区的水资源量、水资源可利用量和人口进行预测,并根据人类生活和生产的人均、地均水量指标划分水资源的余缺程度分区,识别水资源危机区域,并提出对策。

2008年世界发展银行的最新报告指出,亚洲及环太平洋地区快速的工业发展、人口的增长、用水需求的增加和未来气候变化的各种效果将会造成这些地区诸多的健康和社会问题,如果这种不令人满意的状况再持续下去,亚洲发展中国家将会面对水质危机和水质管理方面前所未有的挑战,亚洲的发展中国家将会在下一个10年面临严重的水资源危机。

2008年6月24日在新加坡举行“国际水资源周”,新加坡总理李显龙在论坛上说,随着城市的发展和全球气候变暖,为人们提供安全和廉价的水资源正变得越来越困难,越来越多的城市和国家为水资源问题而担心,水资源问题也可成为冲突发生的潜在诱因。水资源安全问题有可能会影响其他领域的民生发展,应引起各国政府重视。

我国的水资源安全研究起步略晚于国际同类研究,但自1978年改革开放以来发展迅速,其发展历程

和国际大体相同^[24-28]。自 1980 年以来,华北地区持续出现干旱与缺水危机,推动了我国水资源科学研究的开展。“六五”计划时期(1980~1985 年)设立了“华北地区水资源评价”项目;“七五”计划时期(1986~1990 年)设立了“华北地区及山西能源基地水资源研究”项目;“八五”计划时期(1991~1995 年)设立了“黄河治理与水资源研究”项目;“九五”计划时期(1996~2000 年)设立了“西北地区水资源合理开发利用与生态环境保护研究”和“黄河中下游水资源开发利用及河道清淤关键技术研究”项目等,进一步将水资源开发利用与区域经济发展和生态环境保护结合起来。国家重大基础科学研究计划也设立了“黄河流域水资源演化与可再生性维持机理”项目。

中国科学院自 20 世纪 80 年代以来,不断加强以禹城综合农业实验站、栾城农业生态实验站等为代表的华北水资源农业生态实验基地建设。“九五”计划时期开展了中国科学院重大项目“中国华北水资源变化与调配”的研究。2001 年,在中国科学院知识创新方向性项目中,支持了“华北水循环与水资源安全”研究^[27-28]。这些项目虽然主要是研究水资源的开发利用,但也从不同方面涉及水资源安全问题。

2001 年初,中华人民共和国水利部、国家海洋局、国家气象局和国家环保局等 4 个部委联合在国家科技部立项,开展了“中国水资源安全保障系统的关键技术研究”,其关键技术指海水利用技术、污水利用途径、洪水利用途径以及人工降雨利用技术。2003 年至今国家科技部一直进行着“水资源安全对策”的软科学研究。

2004 年首届“中国水安全问题论坛”在北京举行。这次会议是在我国水安全问题十分突出,尤其是水资源短缺、旱涝灾害以及与水相关的生态环境已经成为我国社会经济发展的重要制约因素的情况下进行的,水资源安全问题已引起社会各界的高度关注。这次会议的主题是“水自然科学与水社会科学面临的问题与对策”。会议的目的是研讨和交流因气候变化以及人类活动影响带来的中国水安全问题、水科学与社会科学交叉研究的新理论和方法以及实际应用中的对策与经验。会议设 4 个学术专题,分别是综合论坛、水文水资源、水与生态、水资源管理等,涵盖了我国水安全问题的内涵及影响因素、中国水安全问题多学科的综合研究、保证中国水安全的宏观战略与措施等诸多方面的内容。

综上所述,从 20 世纪 80 年代到 2004 年相继完成了全国第一次与第二次水资源评价工作,可以说摸清了我国水资源的家底与基本变化情势;在应用基础研究方面,提出了大气水、地表水、土壤水和地

下水的“四水”转化规律,揭示了地表水资源量和地下水资源量之间的内在联系,明确了水资源形成与演化的机理及其在空间和时程上的变化规律;在应用上则是根据“四水”转化规律提出了地表水和地下水补偿调节的概念、方法与模型,对缓解缺水地区的工农业用水矛盾起到了很大的推动作用。接着,提出了基于宏观经济的区域水资源优化配置理论与方法,揭示了近期与远期之间、有关地区之间、区域发展的诸目标之间、水资源需求与供给之间、水量与水质之间的基本规律,为需水管理、供水管理、水质管理和水价管理中有关政策的制定提供了依据。进而,针对我国西北内陆干旱区的特点,注意到突出水资源开发利用过程中的生态环境保护问题,从经济与水的关系研究拓展为经济、生态环境与水的相互关系。在应用基础方面则致力于与水有关的生态环境问题、考虑经济发展与生态环境保护条件下的水资源合理配置方法、干旱内陆区水资源承载能力计算方法等问题研究,开展了水资源开发利用过程中的生态环境保护及经济发展问题研究等,有力地推动了我国水资源安全研究的深入开展。

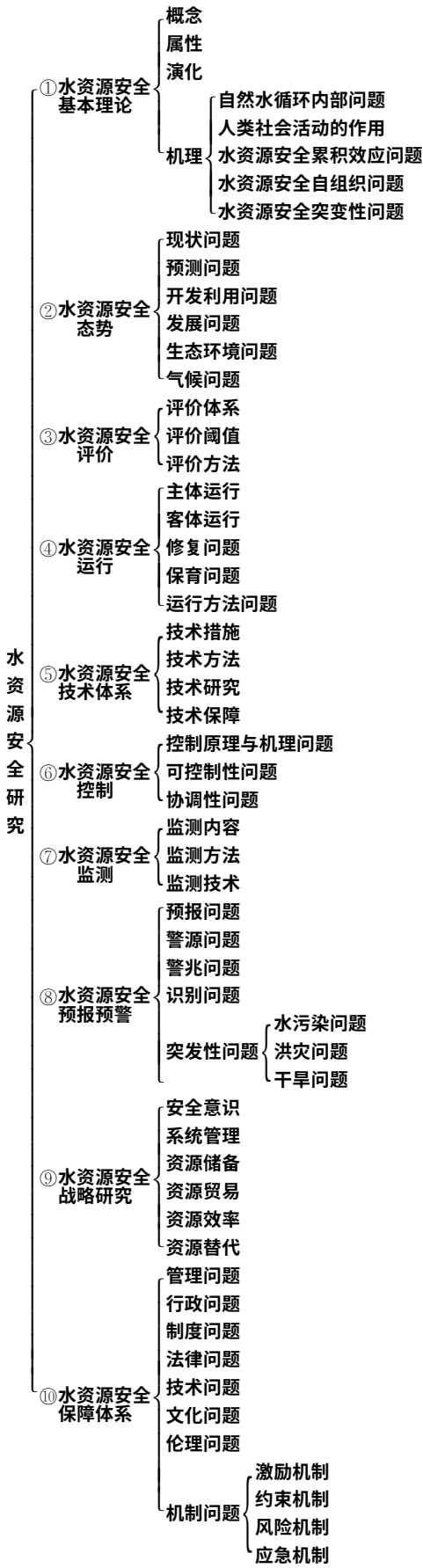
3 研究框架

目前水资源安全的研究还是定性的多、定量的少,相关的多、直接的少。尽管在水资源安全的影响因素^[29-31]、评价^[32-34]、突发性问题^[35]、安全机理^[36]、预警^[37-38]及保障^[39-40]等方面进行了一些探讨,但还是缺乏一定的系统性、操作性与可解性。特别是对水资源安全含义与经济属性认识很不统一^[41-46]。水资源安全研究的基本框架,目前国内外还没有一定的论述,针对目前的研究现状与不足,水资源安全研究应包括水资源安全的基本理论、水资源安全态势、水资源安全评价、水资源安全运行、水资源安全技术体系、水资源安全控制、水资源安全监测、水资源安全预报预警、水资源安全战略研究、水资源安全保障体系研究等 10 项,见表 1。

4 结 语

水资源安全研究涉及面十分宽广,是一个非常复杂的系统工程问题,所需的基础理论和专业知识是多学科且交叉性的。从水资源安全问题、定义、内涵出发,利用现代系统科学的累积效应理论、协同理论、自组织理论和突变理论研究水资源安全的演变与性态;从安全力的思想出发,利用“力与变形”理论分析水资源安全的机理,并从力的平衡角度建立水资源安全评价指标体系,继而利用先进的综合评价方法对水资源安全进行评价。根据评价的结果与水

表 1 水资源安全研究框架



资源开发利用现状和社会经济发展等研究水资源安全的态势,进而对水资源安全进行监测与预警研究,根据预警和安全模式的要求进行水资源的安全运行模式、安全技术体系、安全战略问题、安全机制,以及突发性水资源安全问题和水资源安全的法律、制度、管理等保障体系进行研究。

参考文献：

[1] YOKOI H, EMBUTSU I, YODA M, et al. Study on the introduction of hazard analysis and critical control point (HACCP) concept of the water quality management in water supply systems[J]. Water Science and Technology, 2006,53 (4/5) :483-492.

[2] KHASANKHANOVA G. Public participation to improve water resource management in Uzbekistan[J]. Water Science and Technology, 2005,51(3/4) :365-372.

[3] BEEKMAN G B. Social change and water resource planning and development[J]. International Journal of Water Resources Development, 2002,18 (1) :183-195.

[4] KAY D, ASHBOLT N, WYER M D, et al. Reply to comments on“ Derivation of numerical values for the World Health Organization guidelines for recreational waters ”[J]. Water Research,2006,40(9) :1921-1925.

[5] BOUWER H. Integrated water management :emerging issues and challenges[J]. Agricultural Water Management, 2000, 45 (3) :217-228.

[6] SECKLER D,BANKER R,AMARASINGHE U. Water scarcity in the twenty-first century[J]. Water Resources Development, 1999,15(1/2) :29-42.

[7] 畅明琦,刘俊萍.论中国水资源安全形势[J].生产力研究,2006(8) :5-7.

[8] 刘昌明,陈志恺.中国水资源现状评价和供需发展趋势分析[M].北京:中国水利水电出版社,2001 :146-177.

[9] 汪静萍,潘理中.水科学研究进展[J].水科学进展, 1999,10(1) :95-99.

[10] 齐学斌,刘景祥.国外水资源可持续利用发展动态浅析[J].西北水资源与水工程,2001(12) :39-43.

[11] KARR J R. Defining and measuring river health [J]. Fresh Water Biology,1999,41 :221-234.

[12] JIA Shao-feng, WANG Guo, ZHANG Shi-feng, et al. Research progress of socio-economic water cycle in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2002,12(1) :114-120.

[13] WANG Guo, JIA Shao-feng, YU Gui-rui,et al. New progress of research on water cycle in atmosphere in China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2001,11(4) :480-489.

[14] LONERGAN S, KAVANAGH B. Climate change, water resources and security in the Middle East [J]. Global Environmental Change,1991,1(4) :272-290.

[15] LONERGAN S, KAVANAGH B. Water and sustainable development :the vision for world water, life and the environment[J]. Water Policy,1998,1(1) :9-19.

[16] BISWAS A K,SEETHARAM K E. Achieving water security for Asia [J]. International Journal of Water Resources Development,2008,24(1) :145-176.

[17] ROBERSON J A,MORLEY K M. Water security :shifting to an all-hazards resiliency approach [J]. Journal American Water

Works Association,2007,99(1) 34-36.

[18] YOFFE S B, WARD B S. Water resources and indicators of conflict—a proposed spatial analysis[J]. Water International, 1999,24(4) 377-384.

[19] STIGSON B. Industry and water security: overarching conclusions[J]. Water Science and Technology,2001,43(4): 101-103.

[20] SWAMINATHAN M S. Ecology and equity :key determinants of sustainable water security [J]. Water Science and Technology,2001,43(4) 35-44.

[21] FALKENMARK M. The greatest water problem :the inability to link environmental security, water security and food security [J]. International Journal of Water Resources Development, 2001,17(4) 539-554.

[22] 叶守泽,夏军. 水文科学研究的世纪回眸与展望[J]. 水科学进展,2002,13(1) 93-104.

[23] BAIRD A J, WILBY R L. 生态水文学 :陆生环境、水生环境与水分的关系[M]. 赵文智,王根绪,译. 北京 :海洋出版社,2002.

[24] 储开凤,汪静萍. 我国水文循环与地表水研究进展(1998-2001 年)[J]. 水科学进展,2004,15(3) 32-35.

[25] 刘国纬. 关于水文科技发展的几点思考[J]. 水利科技发展战略,2003,19(1) 52-55.

[26] 国家自然科学基金委员会. 水利科学——自然科学学科发展战略调研报告[M]. 北京 :科学出版社,1995.

[27] 夏军. 华北地区水循环与水资源安全问题 :问题与挑战(一)[J]. 海河水利,2003(3) 1-4.

[28] 于贵瑞,王秋凤. 我国水循环的生物学过程研究进展[J]. 地理科学进展,2003,22(2) 111-117.

[29] 贾绍凤,何希吾,夏军. 中国水资源安全问题及对策[J]. 中国科学院院刊,2004,27(5) 81-87.

[30] 孙才志,张蕾,闫冬. 我国水资源安全影响因素与发展态势研究[J]. 水利经济,2008,26(1) 1-4.

[31] 周祖光. 海南省水资源供需分析[J]. 水利经济,2005,23(3) 47-49.

[32] 黄小锋,纪昌明,周玉琴. 应用模糊综合评价方法分析水资源安全[J]. 水资源保护,2004,20(S1) 8-10.

[33] 畅明琦,刘俊萍,黄强. 水资源安全 Vague 集多目标评价及预警[J]. 水力发电学报,2008,27(3) 81-87.

[34] 韩宇平,阮本清,解建仓. 多层次多目标模糊优选模型在水安全评价中的应用[J]. 资源科学,2004(4) 39-42.

[35] 畅明琦,刘俊萍. 突发性水资源安全风险性分析[J]. 河海大学学报 :自然科学版,2007,35(3) 281-285.

[36] 畅明琦,刘俊萍. 水资源系统的弹塑性及其安全机理分析[J]. 中国安全科学学报,2008,18(4) 28-36.

[37] 郭安军,屠梅曾. 水资源安全预警机制探讨[J]. 生产力研究,2002(1) 37-38.

[38] 郑通汉. 论水资源安全与水资源安全预警[J]. 中国水利,2003(6) 19-22.

[39] 阮本清,魏传江. 首都圈水资源安全保障体系建设[M]. 北京 :科学出版社,2004 35-40.

[40] 叶正伟. 我国农业水资源安全与农村水利调整战略探讨[J]. 农村经济,2005(10) 3-5.

[41] 畅明琦. 水资源安全理论与方法[D]. 西安 :西安理工大学,2006.

[42] 洪阳. 中国 21 世纪新的水安全[J]. 中国管理学报,1999(10) 29-31.

[43] 陈绍金. 水安全系统评价——预警与调控研究[M]. 北京 :中国水利水电出版社,2006 46-48.

[44] 陈绍金. 水安全概念辨析[J]. 中国水利,2004(17) 13-15.

[45] 郭梅,许振成,彭晓春. 水资源安全问题研究综述[J]. 水资源保护,2007,23(3) 40-43.

[46] 李少华,董增川,周毅. 复杂巨系统视角下的水资源安全及其研究方法[J]. 水资源保护,2007,23(2) 1-3.

(收稿日期 2008-04-15 编辑 高建群)

(上接第 79 页)

表 3 各工法经济性的比较

工 法	工程单位造价/ (元·m ⁻²)	工期/ d	处理后强度/ kPa
真空堆载联合预压	172	158	120
本工法	129	87	150

4 结 语

真空电渗降水及动力挤密脱水加固淤泥技术是一种新的淤泥脱水加固技术。它将传统的真空降水与电渗降水相结合,并与低位真空预压法相互取长补短,形成一体,淤泥加固效果显著,具有廉价、快捷、无二次污染、可持续发展、施工简单等特点,市场潜力巨大,具有巨大的经济和社会效益,值得在各相应工程中推广使用。

在实际应用中,还需要综合考虑工程地质状况、气候条件、土体成分、工程特定条件等,适当调整相关设计参数,严格控制施工工艺。

本文撰写得到河海大学张志铁教授和何奇芳老师的悉心指导,在此深表谢意。

参考文献:

[1] 李明东,朱伟,姬凤玲. EPS 颗粒混合轻质土的施工方法及工程实例[J]. 岩土工程学报,2006,28(4) 533-536.

[2] 徐光黎,杨银湖. 轻量土及其在工程中的应用[J]. 地质科技情报,2005,24(4) 95-98.

[3] 陈兵,涂思炎,翁友法. EPS 轻质混凝土性能研究[J]. 建筑材料学报,2007,10(1) 26-31.

[4] 张辉星. 常规真空预压与低位真空预压软基加固比较分析[J]. 福建建设科技,2006(4) 21-23.

[5] 杨帆,顾立军,冯伟骞. 低位真空预压技术在市政道路工程中的应用[J]. 水利水电科技进展,2004,24(1) 52-54.

[6] 陈萍,张振营,李小山,等. 废弃淤泥作为再生资源的固化技术与工程应用研究[J]. 浙江水利科技,2006(6) 1-3.

[7] 张志铁,叶吉. 真空电渗降水及低能量强夯的深层加固方法 :中国,200610088344.8[P]. 2007-02-15.

[8] 叶凝雯,张志铁,叶吉. 大面积地基处理电渗降水的直流电源 :中国,200620077083.5[P]. 2007-09-05.

(收稿日期 2007-04-30 编辑 高建群)