

SHUIZIYUAN DUANQUE FENGXIAN GUANLI
LILUN YU SHIJIAN

水资源短缺风险管理 理论与实践

韩宇平 著



黄河水利出版社

水资源短缺风险管理 理论与实践

韩宇平 著

黄河水利出版社

内 容 提 要

水资源短缺越来越成为制约社会经济发展和影响社会稳定的重要因素之一,这种现象在我国北方地区尤为突出。本书在继承和发展已有研究成果的基础上,以首都圈(京、津地区)为例,综合运用水文水资源、风险分析理论、系统工程、概率论、模糊数学、计算数学等相关专业知识,对区域水资源短缺风险管理的理论与方法进行了系统研究,主要内容包括水资源短缺风险识别、水资源短缺风险分析、水资源短缺风险经济损失评估、水资源短缺风险评价、水资源短缺风险处理与调控、水资源短缺风险决策,以及水资源短缺风险控制标准初步研究等。本书特色在于对风险分析理论的系统化、实用化和理论联系实际方面做出了有益的尝试。

本书可供从事经济社会发展规划和水资源规划、管理、保护、监测等的科技工作者及有关决策部门、高等院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

水资源短缺风险管理理论与实践/韩宇平著. —郑州:
黄河水利出版社, 2008. 4

ISBN 978 - 7 - 80734 - 410 - 0

I. 水… II. 韩… III. 水资源管理: 风险管理
IV. TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 046509 号

组稿编辑:余甫坤 电话:0371 - 66024993 E-mail:yfk7300@126.com

出 版 社:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市金水路 11 号 邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940 传真:0371 - 66022620

E-mail:hhslebs@126.com

承印单位:黄河水利委员会印刷厂

开本:890 mm × 1 240 mm 1/32

印张:7.125

字数:205 千字

印数:1—1 000

版次:2008 年 4 月第 1 版

印次:2008 年 4 月第 1 次印刷

定价:25.00 元

前 言

水资源短缺问题越来越成为制约社会经济发展和影响社会稳定的重要因素之一,这种现象在我国北方地区尤为突出。水资源是否短缺受供给和需求两个主要因素影响,当供给不能满足用水需求时,就会出现水资源短缺风险。受降雨、径流及其他各种随机因素的影响,供水和需水都会不同程度地存在许多不确定性因素,因此我国大多数地区出现水资源短缺风险是必然的。如何缓解或避免由于缺水风险所造成的国民经济损失,一直是众多学者关注的问题,并为此开展过大量的研究工作,业已取得了许多有价值的研究成果。本书在继承和发展已有研究成果的基础上,以首都圈(京、津地区)为例,综合运用水文水资源、风险分析理论、系统工程、概率论、模糊数学、计算数学等相关专业知识,对区域水资源短缺风险管理的理论与方法进行了系统研究。本书特色在于对风险分析理论的系统化、实用化和理论联系实际方面做出了一定的努力,主要研究成果可以归纳为:

(1)对水资源风险的定义进行了详细阐述,建立了水资源系统可靠性和风险系统框架,构建并描述了水资源风险的性能指标,对水资源系统的风险属性和风险特性等进行了分析。

(2)在系统描述风险识别原理和方法的基础上,对首都圈水资源系统所面临的风险来源进行了系统识别,为便于明晰水资源风险因子间的复杂关系,建立了水资源风险因素的影响图概念模型。

(3)在对已有风险分析方法总结的基础上,首先采用优化模型对区域串联水库联合供水风险进行了分析研究,随后采用基于系统模拟思想的水资源供需分析模型对首都圈的水资源短缺风险进行了详细的研究。

(4)利用水资源投入产出宏观经济模型和水资源影子价格的测算数学模型,以首都圈为例对其 2010 规划水平年的水资源短缺经济损失

及其概率分布进行了计算。

(5)采用模糊综合评判模型对水资源短缺风险结果进行了评价。在分析水资源系统各性能指标的基础上,提出了基于地理信息系统的水资源短缺风险的综合区划指标模型,并对首都圈区域的水资源短缺风险进行了基于 GIS 的风险评价。

(6)探讨了采取各种风险处理和调控的技术手段对水资源系统风险性能指标的影响程度;研究了各种风险管理技术手段对缓解或避免水资源短缺损失的贡献率,并对水资源短缺风险调控的策略进行了探讨。

(7)利用系统理论中风险决策的理论与方法,将水资源短缺风险决策分为两个层次,即单目标风险决策和多目标风险决策,详细研究了水资源短缺风险的决策过程。

(8)基于供给与需求均衡原理,从两个方面建立水资源短缺风险的最优控制标准理论,一是针对整个区域水资源保障系统,二是在区域发生水资源短缺风险后的调控准则。

本书在撰写过程中得到了众多人士的帮助和支持:首先凝结了西安理工大学解建仓教授和中国水利水电科学研究院阮本清教授的大量心血,在此向他们致以深切的谢意和崇高的敬意!同时感谢中国水利水电科学研究院的王浩院士、谢新民教授、唐克望教授、魏传江教授和张春玲博士的关怀和支持。感谢中国水利水电科学研究院的汪党献教授、赵红莉博士和赵勇博士提供的技术支持,他们的帮助使本书在关键技术上得以突破,为本书的完成做出了重要贡献。研究期间,作者还得到了中国水利水电科学研究院水资源所陈志恺院士、中科院地理所刘昌明院士、水规总院藤炜芬教授、中国水利水电科学研究院何少苓总工、水利部水资源司原副司长任光照教授等前辈的帮助和指点,在此表示由衷的感谢!

感谢华北水利水电学院引进人才科研启动资金和国家科技支撑计划(编号:2006BAD20B06—03)项目对本书研究及出版的资助!

由于水资源系统面临的风险问题非常广泛而且极其复杂,且受专业素养、理论水平及可操作性能力的制约,本书研究中的理论、方法、结

构安排、文字表达等方面定会存在许多问题,敬请诸位同行专家本着关心和爱护的态度,予以批评指正。此外,书中对于其他专家学者的论点和成果都尽量给予了引证,如有不慎遗漏引证的,恳请诸位专家谅解。

作 者

2007 年 9 月

目 录

第1章 绪 论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 国内外研究动态	(4)
1.3 研究区概况	(12)
1.4 本书研究框架	(29)
1.5 研究的思路和技术路线	(32)
1.6 小结	(35)
第2章 水资源系统风险概论	(36)
2.1 基本概念描述	(36)
2.2 水资源系统风险的属性	(43)
2.3 水资源风险特性描述	(46)
2.4 水资源风险的分类	(48)
2.5 水资源风险成本及其承担对象	(51)
2.6 水资源风险管理概述	(54)
2.7 小结	(57)
第3章 水资源短缺风险识别(辨识)	(58)
3.1 风险识别概述	(58)
3.2 水资源短缺风险因子识别	(60)
3.3 水资源短缺风险过程描述	(62)
3.4 水资源风险因素关系图	(66)
3.5 应用实例——首都圈水资源风险识别	(67)
3.6 小结	(68)
第4章 水资源短缺风险分析	(70)
4.1 水资源短缺风险分析概述	(70)
4.2 风险分析模型方法	(71)

4.3	马尔柯夫链模型在区域干旱风险研究中的应用	(78)
4.4	串联水库联合供水的风险分析研究	(86)
4.5	基于系统模拟的区域水资源短缺风险分析——以首都 圈为例	(98)
4.6	小结	(121)
第5章	水资源短缺风险的经济损失评估	(122)
5.1	水资源短缺风险损失计算的一般方法	(122)
5.2	本研究的基本思路	(125)
5.3	水资源投入产出模型	(126)
5.4	水资源(供水)影子价格分析	(131)
5.5	实例研究——首都圈水资源短缺经济损失计算	(137)
5.6	小结	(142)
第6章	水资源短缺风险评价	(143)
6.1	水资源短缺风险评价	(143)
6.2	水资源短缺风险的模糊综合评判	(145)
6.3	基于 GIS 的水资源短缺风险评价	(152)
6.4	小结	(164)
第7章	水资源短缺风险处理及调控	(165)
7.1	水资源短缺风险处理技术方法	(165)
7.2	水资源短缺风险的调控策略	(172)
7.3	建立风险基金制度的设想	(175)
7.4	首都圈水资源保障预警系统	(177)
7.5	首都圈水资源保障系统应急方案预案	(178)
7.6	小结	(180)
第8章	水资源短缺风险决策	(181)
8.1	风险决策基本概念	(181)
8.2	水资源短缺的单目标风险决策	(182)
8.3	水资源短缺的多目标风险决策	(187)
8.4	实例研究——首都圈水资源短缺风险决策	(194)
8.5	小结	(199)

第 9 章 水资源短缺风险控制标准初步研究	(200)
9.1 引言	(200)
9.2 水资源系统最优风险控制标准的确定	(202)
9.3 水资源系统缺水调控准则	(205)
9.4 小结	(206)
第 10 章 结语	(207)
参考文献	(210)

第 1 章 绪 论

本章首先在指出当前所面临的水资源短缺问题态势的基础上,对开展水资源短缺风险管理研究的必要性和可行性进行了论证;然后论述了国内外关于本领域的研究动态;继而对本书的研究区选择及研究框架和研究思路等进行了概述。

1.1 问题的提出

1.1.1 水资源短缺态势

水资源是国民经济建设中的基础性自然资源,也是一个国家的战略性资源,未来国家与国家之间的水资源争夺将成为国际争端的重要导火索(中国工程院,2000),正如联合国《世界水资源综合评估报告》中指出的那样:水问题将严重制约 21 世纪全球经济与社会发展,并可能导致国家之间的冲突。我国水资源人均占有量低,时空分布变异性大,水资源的分布与人口、生产力、耕地、矿产资源、生态环境的需求不相协调(汪党猷,2000)。全国有 1/4 的国土面积缺水,1/10 地区的水资源仅能满足人类生存的基本需求,还有 2 000 多万农村人口饮水困难问题尚待解决。目前,全国正常年份缺水量近 400 亿 m^3 ,其中灌区缺水约 300 亿 m^3 ,平均每年因干旱受灾的耕地达 3 亿多亩^①,粮食年均减产 200 多亿 kg;城市、工业年缺水 60 亿 m^3 ,使工业产值减少 2 300 多亿元。全国 668 座城市有 400 多座城市缺水,其中 108 座严重缺水,尤其是京、津等特大城市,在连续遭遇枯水年时将会发生严重的水危机。根据 1993 年国际人口行动提出的“持续水—人口和可更新水的供给前景”报告(ENGELMAN R,1993)所确定的水资源紧缺评价指标的标准(见表 1-1),我国有 8 个省级行政区面临缺水或严重缺水,4 个省级行

① 1 亩 = 666.7 m^2 。

政区用水紧张(过境水量大的省市区除外);全国人均水资源占有量低于全国平均水平的省级行政区有 18 个,且基本都在我国北方地区。随着我国人口增长、生活质量提高、城市化进程加快,使得人均水资源占有量将进一步减少,而用水量却进一步增加,水资源供需矛盾会更加突出,缺水已成为影响我国经济发展、粮食安全、社会安定和环境改善的主要制约因素。严峻的现实和挑战告诉我们,对水资源短缺问题的研究已经刻不容缓。

表 1-1 水资源紧缺指标评价(ENGELMAN R,1993)

人均水资源量 ($\text{m}^3/(\text{人} \cdot \text{a})$)	缺水程度	缺水表现
>3 000	不缺水	
1 700 ~ 3 000	轻度缺水	局部地区、个别时段出现水问题
1 000 ~ 1 700	中度缺水	将出现周期性和规律性用水紧张
500 ~ 1 000	重度缺水	将经受持续性缺水,经济发展受损,人体健康受影响
<500	极度缺水	将经受极其严重的缺水,需要从外地调水

1.1.2 水资源短缺风险研究必要性

水资源是否短缺、短缺情况如何,简单来讲是受用水需求和供水两方面因素影响决定的,而受水资源系统径流、降雨和其他各种随机性的影响,供水和需水都存在不确定的因素,因此水资源的短缺也具有随机性,即区域供水存在着一定的风险。缺水必然会使国民经济遭受重大损失,为了避免或减轻这种损失,首先需要对缺水所造成的损失风险进行评估,在风险评估的基础上从供水和需求两个方面采取一系列工程和非工程的避险措施,对缺水风险进行管理。这些避险措施包括开发当地水源、节约用水、污水治理回用、调整水价、需水管理和跨流域调水等。从广义上讲,对缺水风险进行管理应以社会经济可持续发展和水资源的可持续利用为目标,通过管理达到社会经济发展、水资源开发利用和生态环境建设保护的相互协调。水资源短缺风险管理研究需要按以上目标和原则,结合风险管理理论提出一套从缺水风险分析到管理

的理论体系。根据这一套理论对缺水风险进行管理才能定量地确定水资源系统所面临的风险来源、水资源系统在不同的规划水平年所面临的风险程度以及水资源系统在未来所应采取的战略规划框架。如何合理地安排不同地区各类开源节流水利工程建设管理的规模,最大限度地发挥水利工程的效益,达到社会经济可持续发展和水资源可持续开发利用是水资源系统风险管理研究的目的。由此可见,对区域水资源风险管理的研究具有一定的迫切性和必要性。

1.1.3 研究区域选择

由于水的资源属性、环境属性、社会属性和经济属性,决定了水是保障人类生存和经济社会发展、维持生态环境系统平衡的最基本物质。但是,随着人口的增加、经济社会的不断发展,对水资源的需求也在不断增长,而可供水资源量却是有限的,加之对水资源的不合理开发利用、用水的浪费以及日趋严重的水污染,业已造成水资源的严重短缺,并对经济社会、生态环境造成了严重的负面影响。本书所述的首都圈(这里将首都圈定义为北京、天津两市的全部地区,亦称京津首都圈),人均水资源占有量远远低于 $1\ 000\text{ m}^3$,按国际公认标准判断,属重度缺水地区。长期以来,水资源短缺就一直是制约首都圈经济社会可持续发展的首要问题,主要表现有:水资源供需严重失衡、水污染加剧和生态环境恶化。与此相伴,水资源的开发利用已近极限,近期的研究发现,其水资源量的变化呈明显的衰减趋势。如果上述由水引发的各种危机得不到合理的解决,则不仅会制约首都圈目前的发展,而且还将危及当地乃至国家的安全。

首都圈既是全国的政治和文化中心,又是重要的经济发展地区,在中国乃至世界都处于重要的战略地位。新中国成立以来,首都圈多次出现严重的水危机,特别是20世纪80年代初期发生的连续5年枯水,对首都圈的发展造成了极为严重的影响。目前首都圈正经历着新一轮水危机,水资源短缺已成为严重影响该地区实现第二步发展目标的“瓶颈”。如何切实解决首都圈水资源保障问题,备受世人关注。

20世纪60年代,首都圈发生了新中国成立以来首次严重的水危机,此后,首都圈水资源供需矛盾日益突出,引起了政府和有关学者的

关注。缓解措施由单纯的“开源”向“开源节流并重”转变和发展,建立“节水型”社会成为首都圈追求的最大目标。“六五”至“九五”期间,围绕着京津地区水资源问题开展了不少工作,提出了一些有价值的学术成果,如“华北地区水资源开发利用与管理”、“中国水资源供需分析”等。1999年5月,国家自然科学基金委召开了“21世纪水问题研究”战略研讨会,就“节水及水资源高效利用”等四个方面进行了研讨,并将其作为今后的重点研究内容,2000年5月,水利部、北京市、天津市与德国在天津市共同举办了“21世纪初期大城市可持续发展的水资源保障国际研讨会”,会议达成共识:水资源的有效保障已成为大城市可持续发展的先决条件。

本书将首都圈作为应用实例,对水资源短缺风险的各种研究方法在区域层次上进行有效的集成,以便对地区水资源风险管理进行宏观地、综合地定量研究,其研究成果将为水资源战略规划提供理论依据和技术支撑,可直接推广应用于全国其他地区水问题的决策,具有重要的理论意义和实际应用价值。

1.2 国内外研究动态

国际上风险问题的研究始于20世纪30~40年代用概率论研究机器设备的维修问题,而当时风险问题的研究主要在军事领域,比如核工业和航空航天工业的风险分析问题。目前风险研究已应用于许多领域,如在化学工业、环境保护、航天工程、医疗卫生、经济等广泛的领域中都已经进行了风险分析的研究与应用,风险分析贯穿于工程系统的规划、设计、运行管理的各阶段(Kurt Fedra,2002;M. L. Dekay,1993;R. Schulze,2001;David M. Euhus,2001;James F. Short,1998)。

综观水资源系统风险分析的发展过程,大致可分为三个阶段(Leandro del,2000;V. N. Zhukinskii,2003;Deborah H. Lee,1999;Rachel walker,2001;David W,1997;王丽萍,1999;薛年华,1993;陈家琦,1997):第一阶段为20世纪50年代末期至70年代初期。主要研究水文风险,以水文模型选择及参数确定方面的不确定性为主。第二阶段为20世纪70年代至80年代初。主要研究一些基础问题,如风险的内

涵、衡量风险的性能指标不确定性来源等,探索风险费用、风险效益间的相互关系和工程评价准则,重点是单目标问题。第三阶段为 20 世纪 80 年代至 21 世纪初期。在这一阶段中,研究范围从水文、水利工程扩大到经济、社会、环境、生态等领域;风险分析与决策分析关系更加密切,并逐步运用系统工程科学和多目标理论方法为复杂的水资源系统风险分析和管理服务。

1.2.1 水文风险的研究进展

水文风险的研究重点主要分为线型选择和参数估计两个部分(傅湘,2001)。现行分布主要根据曲线的尾部性能,可以区分为两类:一类是薄尾分布,一类是厚尾分布。前者指所有超过概率在尾端(即流量增大)按负指数律递减的分布,如正态分布、P-Ⅲ型分布、Gumbel 极值分布等;后者指所有超过概率在尾端按负幂函数律递减的分布,如对数正态分布、对数 P-Ⅲ型分布、Weibull 分布等。由于负幂函数律比负指数律趋于零的速度要慢得多,因此厚尾分布对于远离一般点据的特大值,要比薄尾分布拟合得好一些。

20 世纪 60 年代初期,经过研究和实践证明,P-Ⅲ型分布曲线与我国绝大多数河流的来水过程相适应。但是,随着水文资料的日益增加,特大值的不断出现,P-Ⅲ型曲线的统计参数值增加极大,不同线型外延的结果相差很大,鉴于此,孙济良(1989)等推出了拓宽的 P-Ⅲ型分布,将它命名为指数 Γ 分布曲线,并以此分布为基础,经过分析和推导得出其内含的 10 种分布曲线,以适用于不同气候区水文极值的分布特征。

P-Ⅲ型分布的密度函数为(詹道江,2000):

$$f(Q) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} (Q - a_0)^{\alpha-1} e^{-\beta(Q-a_0)} \quad (1-1)$$

其分布函数为:

$$F(Q) = \frac{\beta^\alpha}{\Gamma(\alpha)} \int_{a_0}^Q (Q - a_0)^{(\alpha-1)} e^{-\beta(Q-a_0)} dQ \quad (1-2)$$

以上两式中:

$$\alpha = \frac{4}{C_s^2} \quad \beta = \frac{2}{x C_v C_s} \quad a_0 = \bar{Q} (1 - 2 \frac{C_v}{C_s}) \quad (1-3)$$

式中, $\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} e^{-x} x^{\alpha-1} dx$ 为 α 的伽玛函数; $\bar{Q} = \frac{\alpha}{\beta} + a_0$ 为均值; $C_s = \sqrt{\alpha}/(\alpha + \beta a_0)$ 为变差系数; $C_u = 2/\sqrt{\alpha}$ 为偏态系数。

线型确定以后,就是参数估计问题。在 P-Ⅲ型密度曲线中含有三个参数: α 、 β 、 a_0 , 这三个参数又由系列均值 $\bar{Q}$ 、变差系数 C_s 和偏态系数 C_u 唯一确定,因此寻求 P-Ⅲ型分布函数的问题实质上就是如何从现有资料中最优估计系列的 $\bar{Q}$ 、 C_s 、 C_u 的问题。在水文风险分析中,国内外学者对参数估计问题作了大量的研究,先后提出了矩法、权函数法(马秀峰,1984)、数值积分权函数法(刘光文,1990)、极大似然法、概率权重矩法(Greenwood J A, 1979)、适线法(金光炎,1990)、模糊权函数法以及统计实验法(丛树铮,1988)及对权函数法的最新改进——单权函数数值积分逼近算法(马秀峰,2001)等方法。

矩法是数理统计中惯用的参数估计方法,其主要特点是计算简单,但统计特性较差,其有效性几乎是最底的,当样本容量较小时更是如此。在采用传统矩法估计 P-Ⅲ型分布的参数时误差较大。基于矩法误差产生的原因,马秀峰于 1984 年提出并使用了权函数法,其实质是用一、二阶权函数矩来推求三阶矩或参数 C_s , 这样就会收到降阶及加权平差的效果(马秀峰,2001),从而大大减低求矩误差。刘光文(1986)指出该方法的不足是:对 C_u 仍采用矩法的计算结果,权函数法只解决了 C_s 一个参数的计算,未能全面解决皮尔逊Ⅲ型分布参数的计算问题。基于这一见解,有关学者又相继提出了数值积分单权函数法和数值积分双权函数法(刘光文,1990),把数值积分引进了权函数法,掀起了研究权函数法的热潮,促进了这一学术研究的的发展。李松仕(1991)又给出了权函数法在不连续系列(即样本中含有若干历史特大值)条件下的计算公式。这一系列研究,使权函数法达到实用水平,并纳入我国设计洪水计算规范。直到最近,仍有学者在寻求新的双权函数算法。马秀峰、阮本清(2001)最近经过进一步的研究认为“计算水文频率参数的权函数法”(马秀峰,1984)从思想认识到计算手段存在如下不足:其提出的用权函数法求 C_s , 用矩法求 C_u 的主张,只注重提高 C_s 的计算精度,而忽略了用矩法求 C_u 的误差,即认为一个权函数只

能解决一个参数的计算问题;且受计算手段限制,该文献没有将求解超越函数的方法推荐为解决问题的主要手段,因而也未能提出用一个权函数全面解决皮尔逊Ⅲ型分布参数计算的问题。针对上述问题,他们提出了只用一个权函数全面解决皮尔逊Ⅲ型分布参数问题的算法,简称“单权函数数值积分逼近算法”,并对“数值积分双权函数法”进行了改进。改进后用理想样本计算千年一遇设计值,在同等条件下,双权函数法精度最高,单权积分逼近法的精度次之,两者都能满足实用要求,而数值积分矩法精度最差,不能满足实用要求。

概率权重矩法是1979年美国Greenwood等人提出的一种新的参数估计方法,应用于耿贝尔分布(Gumbek)、广义极值分布和威克比(Wakeby)分布的参数估计,具有较好的统计特性。1988年宋德敦、丁晶(1988)等人成功地将概率权重矩法应用于P-Ⅲ型分布的参数估计,通过统计实验法论证了概率权重矩法在估计P-Ⅲ型分布统计参数中具有较好的统计特性。但是由于未能结合水文现象的安全因素进行论证,难以使人断定该法用于实测水文系列参数估计的结果是否合格。

适线法在我国得到广泛的应用,主要有目估适线法和计算机优化适线法。为了合理确定实现准则和相应的经验频率公式,丛树铮等对此作了大量的水文统计实验研究,邱林在1992年提出以经验点据对理想最优频率曲线隶属度为权重的模糊加权优化适线法。

除此之外,P-Ⅲ型分布参数的估计方法还有朱元牲(1991)等提出的以纵坐标期望值 $P\{E(x_m)\}$ 为绘点位置的“动点动线”适线法,Adamowski(1985)提出的非参数核估计法,夏乐天提出的密度函数法等,这些函数法都具有一定的理论意义,是对水文频率计算的一种新尝试。

1.2.2 基于水文风险的水资源规划调度研究进展

水文现象的随机性表现出某种统计规律,因此人们能够通过修建一定标准的水利工程来达到利用和控制水资源的目的。在众多的水利工程中最为典型的便是水库,水库的规划设计涉及对水文规律的认识问题,水库的优化运行同样涉及对水文规律的认识问题。为反映水库

的运行过程就需要建立一定的数学模型,根据模型特点和求解方式,可分为线性规划、非线性规划、动态规划和模拟技术等;根据对输入输出信息决策的处理不同,又可分为确定型模型和随机性模型。所谓随机性优化模型主要包括两方面的任务,即来水、用水随机性的描述和随机优化调度模型的求解。在这种模型中,未来的来水、用水被描述成一种随机过程,而该过程的统计参数是从历史样本中得到的,随机性模型可用来确定水库的运行规划,结合预报也可用来制订水库调度方案对水库进行实时调度(谢崇宝,1995)。

Croley(1974)根据描述径流随机性的方法不同而把随机优化调度模型归纳为两种类型,一种是采用概率分析方法描述径流随机性的最优调度模型,称为显性随机优化调度,如随机动态规划调度;另一种是采用统计模拟法描述径流随机性的最优调度模型,称为隐性随机优化调度,其实质是利用时间序列原理和方法生成未来较长系列的来水、用水系列,采用确定型模型,建立水库的优化调度模型,因为生成的来水、用水系列在一定程度上间接地反映了来水、用水的随机性,隐随机因此得名,如利用 Monte carlo 方法寻求水库的优化运行策略就属于这一类型。确定型模型和随机性模型的主要区别表现在对输入信息的处理方式上,确定型模型以历史资料系列代替未来的来水情况,而随机性模型则根据历史资料分析其统计规律,以概率方式或生成方式来描述未来的水文情况。确定型模型和随机性模型在水资源系统中并不是严格区分的,供应水资源的降雨径流和地下水固然服从于难以预测的变化,而需求、价格和其他经济因素的随机性也十分重要。因此,从本质上看水资源规划问题是属于随机规划模型的范畴。从数学角度来看,对于某些问题,其约束条件或目标函数的系数或模型所包含的参数是随机变量时,它就是随机规划模型。但是由于确定型模型具有减小模型计算复杂性的优点,因此当系统变量或参数具有随机特性时常力求把“冒险”和“不确定性”的概念引入规划问题中,并用各种办法产生一个等价的确定性规划问题。水资源系统规划和运行的求解方式大致有四类(谢崇宝,1995):线性规划(包括机遇约束线性规划、随机线性规划等)、动态规划(包括增量动态规划、离散微分动态规划、随机动态规