

叶春明 李永林 / 著

Chengshi Gongshui Xitong Fengxian Pinggu Moxing Yanjiu

城市供水系统风险评估模型研究



 復旦大學出版社

本书由建设部科技重大专项子项目“城市供水系统风险评估模型研究”
(编号: 2009ZX07419-004), 上海市科委软科学研究重点项目“大都市供水
系统安全保障综合风险评估及应急控制对策研究”(编号: 13692106100),
上海市一流学科建设项目“管理科学与工程”(编号: S1201YLXK)共同资助

叶春明 李永林 / 著

Chengshi Gongshui Xitong Fengxian Pinggu Moxing Yanjiu

城市供水系统风险评估模型研究



复旦大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市供水系统风险评估模型研究/叶春明,李永林著. —上海:复旦大学出版社,2015.2
ISBN 978-7-309-10435-6

I. 城… II. ①叶…②李… III. 城市供水系统-风险评价-评价模型-研究
IV. TU991

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 047929 号

城市供水系统风险评估模型研究

叶春明 李永林 著

责任编辑/宋朝阳

特约编辑/李保俊

复旦大学出版社有限公司出版发行

上海市国权路 579 号 邮编:200433

网址:fupnet@fudanpress.com <http://www.fudanpress.com>

门市零售:86-21-65642857 团体订购:86-21-65118853

外埠邮购:86-21-65109143

江苏省句容市排印厂

开本 890 × 1240 1/32 印张 8.375 字数 213 千

2015 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

ISBN 978-7-309-10435-6/T · 502

定价:26.00 元

如有印装质量问题,请向复旦大学出版社有限公司发行部调换。

版权所有 侵权必究

内 容 提 要

本书主要阐述了风险评估与风险管理在城市供水系统中应用的研究成果,以期引导我国开展城市供水系统风险评估与管理工作。全书由9章构成,第1—2章介绍城市供水系统风险评估和风险管理的理论和现状;第3—8章介绍城市供水系统内部风险评估的内容;第9章研究将供水系统的风险由内部风险延展到社会风险的方法。该书取材新颖、内容丰富、前沿性和系统性强,并具有重点突出和详略得当等特点。

本书内容学术性较强,既可作为高等院校及科研机构工作人员的参考资料,也可为行业和企业管理者提供有益启发。

前 言

供水行业既是国民经济和社会发展的基础产业,又是公共事业。供水安全是衡量城市现代化水平的一个重要标志,也是城市居民正常生活的基础保障,更在一定程度上体现着国家的经济发达程度和科学技术水平。近年来,随着我国城市化进程的快速发展和城镇用水人口的大幅度增加,城市供水系统规模也得到了空前的发展。据 2009 年年底的相关统计数据,全国共有大中小城市 655 个,日供水能力为 2.66 亿立方米,供水总量为 500 亿多立方米,管道总长度为 48 万千米,城市用水人口高达 3.5 亿多人,城市用水普及率为 94.7%。虽然我国城市的供水能力很充足,但由于水源的地区性分布不均衡和近年来极端气候在某些城市的频繁出现,导致目前我国的水资源短缺矛盾依然很突出。除了自然环境因素以外,水资源的污染是造成我国水资源短缺的另一个重要原因。2009 年,我国的环境公报显示,全国地表水污染很严重,七大水系总体为轻度污染;202 个城市的地下水受到不同程度的污染,水质以良好—较差为主流。8 个省(自治区、直辖市)641 口监测井中适合集中式生活饮用水的水源只占 26.2%。除了水资源短缺以及污染严重的问题,我国城市供水系统还存在管网水质污染、水质检测能力较低、二次供水极易造成二次污染等问题。

通过对以上问题的分析,可以发现我国城市供水系统的复杂化程度以及所处环境的不确定因素的增多是导致问题发生的主要原因。而风险管理正是一门可以有效地识别以上所说不确定性因素(即风险)的学科。它可以根据所管理的对象采用合适的风险分析方法对识别出的不确定因素进行详细的分析,预测其可能的影

响后果,并采取合适的方法对其加以控制。因此,深入了解和学习风险管理的相关理论以及国外风险管理在城市供水系统的应用经验,改善城市供水系统的现状,是我国城市供水系统发展过程中一个迫切需要解决的关键问题。

风险的影响越来越大,管理风险的能力已成为衡量组织管理水平的一个重要标志。风险管理的思想可追溯到远古时期,而风险管理的概念、原理和实践发源于美国,20世纪70年代开始传播到欧洲、亚洲、拉美的一些国家,我国从80年代逐渐引进并蓬勃发展。这期间风险管理的应用领域不断扩大,从经济风险、自然风险、生产安全等传统领域拓展到环境、公共事业等领域或行业,关注的重点也从单一风险走向综合风险,各种风险分析方法与标准也不断出台,管理趋于科学化和规范化。在现代社会中,风险无时不在,无处不在,并且种类不断增多,复杂性加大,对组织的影响也越来越大,各种组织都在进行着某种程度的风险管理,风险管理也越来越多地成为组织管理的重要组成部分,并逐步分离为相对独立的管理职能。

由于我国与发达国家在经济和社会发展进程上的差异,风险管理无论是在风险意识、理论基础与管理方法还是在社会基础与管理实践上,都与发达国家存在较大的差距。风险具有复杂性、多样性、交叉性等特点,通用性的理论、方法与标准尽管具有普适性,但针对特定领域或行业的风险缺乏效率,需要进一步深化。而具有领域或行业特点的成果,或因行业风险的特殊性,或因行业发展现状甚至国情等现实制约,往往无法直接应用。因此,对我国来说,在现有风险管理的基础上,如何汲取国内外风险管理的经验与教训,因地制宜,有针对性地开展某些领域或行业的风险管理将是一项有着重要理论与现实意义而应亟待开展的工作。

国内外供水行业的风险管理已经起步,国际水协会(IWA)和世界卫生组织(WHO)共同推出了针对水质安全风险的水安全计划(WSP)已在我国天津、深圳、上海等城市进行了推广,但该计划主要针对水质安全风险,并且实践中发现不易遵循,因此推广出现

了困难,德国水汽协会 W1001 在水安全计划的基础上进行了拓展,我国供水行业已经进行了部分引进吸收,但应用有限,缺乏统一理解。为了更好地处置我国供水行业出现的各类风险,促进供水行业的发展,更好地服务社会,我们总结国内外风险评估的经验,归纳城市供水系统的风险评估研究工作,汇编成书,以期引导和推动我国开展城市供水系统风险评估与管理工作。

本书适合专业风险评估人员、政府组织和供水企业风险管理人員阅读使用,还可作为高校相关专业师生的教学参考用书。由于作者水平有限,本书许多内容还有待于完善和深入研究,对于不足之处,诚请读者批评指教。

最后,感谢上海市科学技术委员会、中国城镇供水排水协会和上海城市水资源开发利用国家工程中心有限公司相关人士对研究给予的热心指导和建议,感谢上海市自来水市南有限公司蔡云龙博士、复旦大学出版社徐惠平等老师的大力支持和辛苦的编辑工作。同时,对课题组内参与相关研究工作的刘欣、赵静、朱志伟、吴小康、赵伟霞和胡金涛等硕士研究生的辛勤工作表示衷心的感谢。感谢上海市科技发展基金软科学研究项目(13692106100)、上海市一流学科项目(S1201YLXK)和国家水体污染控制与治理科技重大专项(2009ZX07419-004)对相关研究工作的资助。

目 录

参考文献	240
第1章 城市供水系统与风险	001
1.1 城市供水系统	001
1.2 风险的内涵与类型	004
1.3 城市供水系统风险的类型及特征	018
第2章 城市供水系统风险管理	020
2.1 风险管理的发展与应用	020
2.2 国内外供水行业风险管理现状	032
2.3 城市供水系统风险、安全与质量辨析	042
第3章 上海市供水系统风险源调查	048
3.1 上海市供水系统风险源	048
3.2 上海市供水系统调查与分析	049
3.3 上海市供水系统污染事件	063
第4章 供水系统的系统风险评估模型	066
4.1 供水系统风险评估的目的与原则	068
4.2 供水系统风险评估过程	069
4.3 城市供水系统风险评估的目标、范围和程序	082
4.4 城市供水系统特征描述	084
4.5 城市供水系统风险源识别	085
4.6 城市供水系统风险分析和风险评价模型的建立	093

第 5 章 城市供水系统风险评估的应用	105
5.1 长春市供水系统概况及城市供水系统特征描述	105
5.2 长春市城市供水系统制水子系统风险源识别	107
5.3 城市供水系统风险分析和风险评价模型在长春市 制水子系统中的应用	128
第 6 章 供水系统设备风险识别——以电力变压器故障风险 为例	154
6.1 电力变压器的结构特点	156
6.2 电力变压器故障的宏观规律	158
6.3 电力变压器故障统计与分析	161
6.4 变压器故障风险的特征、影响及原因分析	163
6.5 变压器故障风险的检测方法	168
6.6 电力变压器的风险模式及影响分析	171
6.7 基于风险树的变压器风险识别	180
第 7 章 基于风险矩阵的变压器故障风险评估	187
7.1 变压器风险失效可能性概率分析	187
7.2 变压器风险失效严重度分析	189
7.3 基于风险矩阵的变压器故障风险评估	196
7.4 风险检修对策	201
第 8 章 变压器风险评估案例	205
8.1 实例一	205
8.2 实例二	208
第 9 章 供水系统社会风险评估模型与案例	211
9.1 社会风险及社会风险评估的概念	211
9.2 国内外研究现状	217
9.3 社会风险评估的相关理论基础	225

9.4 社会风险评估的常用方法	233
9.5 供水系统社会风险评估模型	237
9.6 供水系统社会风险案例——12·31 山西长治苯胺 泄漏事故	245
参考文献	249

第 1 章 城市供水系统风险

城市供水系统是指从水源取水、净化、输送、分配到用户的一系列工程设施。供水系统包括取水工程、净水工程、输配工程、配水工程等。供水系统是城市基础设施的重要组成部分，也是城市可持续发展的基础。供水系统风险是指供水系统在运行过程中，由于各种原因导致供水系统功能丧失，从而对城市社会、经济、环境造成损失的可能性。供水系统风险包括水源风险、取水风险、净水风险、输配风险、配水风险等。本章主要介绍供水系统风险的识别、评估、控制和管理。



图 1-1 城市供水系统风险识别图

城市供水系统是一个复杂的系统，其风险识别是风险管理的基础。本章主要介绍城市供水系统风险的识别方法。首先，介绍城市供水系统风险的识别原则，包括全面性、系统性、动态性、可操作性等。其次，介绍城市供水系统风险的识别方法，包括专家法、德尔菲法、头脑风暴法、SWOT 分析法、故障树分析法、事件树分析法、模糊综合评价法等。

城市供水系统风险的识别是一个动态的过程，需要随着城市供水系统的发展而不断更新。本章主要介绍城市供水系统风险的识别方法，为城市供水系统风险管理提供理论依据。本章主要介绍城市供水系统风险的识别方法，为城市供水系统风险管理提供理论依据。

第1章 城市供水系统与风险

1.1 城市供水系统

供水系统是指将原水经加工处理后,按需求把制成水供到各用户的一系列工程的组合,分为取水、水处理、输配水和二次供水4个部分。取用地下水多用管井、大口井、辐射井和渗渠。取用地表水可修建固定式取水建筑物,如岸边式或河床式取水建筑物;也可采用活动的浮船式和缆车式取水建筑物。水由取水建筑物经输水管道送入实施水处理的水厂。处理后符合水质标准的水经配水管网送往用户。城市供水系统各部分组成见图1.1。



图 1.1 城市供水系统示意图

(1) 城市供水水源——是指城市水资源所在的水域、含水层等。可分为地表水和地下水:地表水包括江河水、水库、湖泊和海洋中的水;地下水包括井水、泉水和地下河水等。

(2) 城市取水工程——是指为满足城市用水而修建的取水设施。

(3) 输水系统——是指取水构筑物取集的原水送至水厂处理构筑物的管、渠设施及水厂出水送至配水管网始端的系统设施,由

输水管、供水管、附件、连通管等组成。

(4) 水厂——水厂对原水进行处理,以达到用户对水质要求的各种构筑物,通常这些构筑物集中设置在水厂内。

(5) 调节及增压构筑物——储存和调节水量、保证水压的构筑物(如清水池、水塔、增压泵房),一般设在水厂内,也可在水厂内外同时设置。

(6) 居民供水管网——将符合要求和标准的水送至用户的管道及附属设施。

1.1.1 城市供水系统的分类

城市供水系统受水源、地形及城市规划等因素的影响,可以有重力式供水系统(即利用地形自流供水)、水泵提升式供水系统、单一水源供水系统和多水源供水系统等多种布置方式。

按照是否分区可将城市供水系统分为:

(1) 分区供水系统。按地区形成不同的供水区域。对于地形起伏较大的城镇,其高、低区域采用由同一水厂分压供水的系统,成为并联分区系统;采用增压泵房(或减压措施)从某一区域取水,向另一区域供水的系统,成为串联分区系统。

(2) 区域供水系统。按照水资源合理利用和管理相对集中的原则,供水区域不局限于某一城市,而是包含了若干城市及周边的乡镇和农村集居点,形成一个较大范围的供水区域(以水源地为中心)。区域供水系统可以由单一水源和水厂供水,也可以由多个水源和水厂组成。

1.1.2 城市供水系统的供水方式

根据供水方式的不同,可将城市供水系统分为集中式供水和分散式供水。

1. 集中式供水
集中式供水是指以地表水或地下水为水源,经集中取水、统一净化处理和消毒后,由输水管网送到用户的供水方式。我国城市

的供水主要为集中式供水。

在生活饮用水集中式供水过程中,从水源选择和防护、净化和消毒、输送及储存的任何环节出现问题都可能使饮用水受到污染。由于集中式饮用水供应范围大,一旦水源及供水过程中受到某种化学物质或致病微生物污染,又未经有效净化、消毒处理时,可引起大范围的急慢性中毒和传染病的流行。因此,应加强集中式供水的卫生监督和管理,以保障供水安全。

2. 分散式供水

分散式供水是指居民直接到水源处取水供生活饮用。取水方式包括从机井、手压泵井中取水和人力提水等。分散式供水一般未经净化消毒处理,因而水质较差。为确保分散式供水的卫生安全,应做好饮用水的净化消毒工作和水源的卫生管理工作。各类分散式供水提供的饮用水都应进行消毒,尤其是在肠道传染病流行季节和传染病高发区,更应加强消毒措施,才能有效防止介水传染病流行,以确保人体健康。

1.1.3 城市供水系统的特征

由于城市具有的重要地位、职能及其所具备的鲜明特征,与农村饮用水相比,城市饮用水无论在水源选择、供水范围、供水方式、供水规模、供水系统及安全保障方面都有较大的不同。城市饮用水安全与农村饮用水安全有很大区别,具有以下特征:

1. 严格的水源地选择标准

城市供水水源主要来自河流湖泊地表水和地下水,水源地选择需在详细调查分析城市饮用水水源地及其周边自然、经济、社会状况的基础上,综合考虑水域的水文状况、水域功能、水质现状、污染状况及趋势等多种因素,设置在水量、水质有保证和易于实施水环境保护的水域及周边区域。选用地表水为给水水源时,水源的枯水流量保证率需根据城市性质和规模确定,并须符合国家有关标准和规定。当水源的枯水流量不能满足需求时,需采取多水源调节和调蓄等措施。同时,地下饮用水水源的开采需根据水文地

质勘查,其取水量应小于允许开采量。缺乏淡水资源的沿海或海岛城市将海水淡化处理后须符合相应标准。

2. 供水范围集中,供水规模大,安全保障要求高

城市饮用水供水范围是城市居民日常生活用水以及城市供水设施用水。供水方式主要是集中式供水,即将地表水或地下水水源经集中取水、统一净化处理和消毒后,由输水管网送到用户的供水方式,所供水通常称为自来水。与农村饮用水供水相比,城市集中式供水水源地供水规模较大,单个水源地的供水规模一般大于1 000人。城市人口稠密,公共设施密集,经济文化高度发达,对水质的安全性要求高。

3. 维护良好的生态环境

饮用水水源地的生态环境状况直接影响水源水质,为保障水质和水量,需在水源水域周边一定范围内划定水源保护区,水源保护区需维持良好的生态环境状况。

4. 具有完整而严密的供水系统

与农村饮用水水源地不同,城市饮用水水源的原水需要经过一套完整而严密的供水系统最终送达用户端。城市供水系统一般由水源地、输水系统、水厂、调节及增压构筑物以及居民供水管网组成,是指将原水经加工处理后按需要把制成水供到各用户的一系列工程的组合,分为取水、输水、水处理和二次供水四个部分。水由取水构筑物经严密的输水管道送入实施水处理的水厂,以防止水在运输过程中受到污染。水处理是其中的关键环节,包括澄清、消毒、除臭和除味、除铁、软化,处理后合乎水质标准的水经配水管网才能送往用户。

1.2 风险的内涵与类型

1.2.1 风险的内涵

“风险”一词由来的最为普遍的一种说法是:在远古时期,以

打渔捕捞为生的渔民们每次出海前都要祈祷,祈求神灵保佑自己能够平安归来,其中主要的祈祷内容就是让神灵保佑自己在出海时能够风平浪静、满载而归;他们在长期的捕捞实践中,深深地体会到“风”给他们带来的无法预测和无法确定的危险,他们认识到,在出海捕捞打渔的生活中,“风”即意味着“险”,因此,有了“风险”一词的由来。

而另一种据说是经过多位学者论证的“风险”一词的“源出说”称,风险(risk)一词是舶来品,有人认为来自阿拉伯语,有人认为来源于西班牙语或拉丁语,但比较权威的说法是来源于意大利语的“risque”一词。在早期的运用中,也是被理解为客观的危险,体现为自然现象或者航海遇到礁石、风暴等事件。大约到了19世纪,在英文的使用中,“风险”一词常常用法文拼写,主要是用于与保险有关的事情上。

现代意义上的“风险”一词,已经大大超越了“遇到危险”的狭义概念,而是“遇到破坏或损失的机会或危险”,可以说,经过两百多年的演义,“风险”一词越来越被概念化,并随着人类活动的复杂性和深刻性而逐步深化,并被赋予了从哲学、经济学、社会学、统计学甚至文化艺术领域的更广泛和更深层次的含义,且与人类的决策和行为后果联系越来越紧密,“风险”一词也成为人们生活中出现频率很高的词汇。

无论如何定义“风险”一词的由来,但其基本的核心含义是“未来结果的不确定性或损失”,也有人进一步将“风险”定义为“个人和群体在未来遇到伤害的可能性以及对这种可能性的判断与认知”。如果采取适当的措施使破坏或损失的概率不会出现,或者说经过智慧的认知和理性的判断后继而采取及时而有效的防范措施,那么风险就可能带来机会,由此进一步延伸的意义不仅仅是规避了风险,可能还会带来比例不等的收益,有时风险越大,回报越高,机会越大。从心理学上讲,在某一个特定时间段里,人们所期望达到的目标与实际出现的结果之间所产生的距离就可以称为风险。

风险和不确定性是很容易混淆的两个概念。不确定性是客观事物永远发展变化的客观特性,是产生风险的原因。虽然风险和不确定性这两个概念经常互相使用,但它们并不是一回事。不确定性仅仅考虑事件发生的肯定程度,而风险则要考虑事件发生后果的严重程度。

不确定性在某些特定的情况下并不完全是坏事,关键要看不确定性是在向着我们希望的方向发展还是相反。风险是针对不希望发生的事件而言的,它包括以下两个方面:

(1) 发生的可能性;

(2) 一旦发生,后果的严重程度。

由此知道,有两类事件的风险性质是没有争议的,一类事件是“高可能性,严重后果”,对这类事件可以立即判定属于高风险问题;另一类事件是“低可能性,轻微后果”,对这类事件可以立即判定属于低风险问题。

这两类风险性质的判定与个人的主观判断有很大的关系,不同的人由于持有不同的立场和观点以及所处的环境不同,会有不同甚至相反的判断。后果严重程度如果逐步增大的话,人们在做出决定时会越犹豫,在这种情况下,对风险等级的判定会更加依赖个人的解释。这时,主管人员一方面要依靠不同领域的专家,另一方面也要做好准备,对判定风险问题作最后的决断。

目前,学术界对风险的内涵还没有统一的定义,由于对风险的理解和认识程度不同或对风险的研究角度不同,不同的学者对风险概念有着不同的解释,但可以归纳为以下几种代表性观点。

1. 风险是事件未来可能结果发生的不确定性

A. H. Mowbray (1995) 称风险为不确定性; C. A. Williams (1985) 将风险定义为在给定的条件和某一特定的时期,未来结果的变动; March 和 Shapira 认为风险是事物可能结果的不确定性,可由收益分布的方差测度; Brnmiley 认为风险是公司收入流的不确定性; Markowitz 和 Sharp 等将证券投资风险定义为该证券资产的各种可能收益率的变动程度,并用收益率的方差来度量证

券投资的风险,通过量化风险的概念改变了投资者对风险的认识。由于方差计算的方便性,风险的这种定义在实际中得到了广泛的应用。

2. 风险是损失发生的不确定性

J. S. Rosenb (1972) 将风险定义为损失的不确定性; F. G. Crane (1984) 认为风险意味着未来损失的不确定性; Ruefli 等将风险定义为不利事件或事件集发生的机会, 这种观点又分为主观学说和客观学说两类。主观学说认为不确定性是主观的、个人的和心理上的一种观念, 是个人对客观事物的主观估计, 而不能以客观的尺度予以衡量, 不确定性的范围包括发生与否的不确定性、发生时间的不确定性、发生状况的不确定性以及发生结果严重程度的不确定性。客观学说则是以风险客观存在为前提, 以风险事故观察为基础, 以数学和统计学观点加以定义, 认为风险可用客观的尺度来度量。例如, 佩费尔 (Pfeiffer, 1956) 将风险定义为风险是可测度的客观概率的大小; F. H. 奈特 (F. H. Knight, 1921) 认为风险是可测定的不确定性。

3. 风险是指可能发生损失的损害程度的大小

段开龄认为, 风险可以引申定义为预期损失的不利偏差, 所谓的不利是指对保险公司或被保险企业而言的。例如, 若实际损失率大于预期损失率, 则此正偏差对保险公司而言即为不利偏差, 也就是保险公司所面临的风险。Markowitz 在别人质疑的基础上, 排除可能收益率高于期望收益率的情况, 提出了下方风险 (Downsiderisk) 的概念, 即实现的收益率低于期望收益率的风险, 并用半方差 (Sernivaviance) 来计量下方风险。

4. 风险是指损失的大小和发生的可能性

朱淑珍 (2002) 在总结各种风险描述的基础上, 认为风险是指在一定条件下和一定时期内, 由于各种结果发生的不确定性而导致行为主体遭受损失的大小以及这种损失发生可能性的大小, 风险是一个二位概念, 风险以损失发生的大小与损失发生的概率两个指标进行衡量。王明涛 (2003) 在总结各种风险描述的基础上,