刘菁，郭广翠，双晴. 城市供水管网脆弱性研究进展[J]. 灾害学，2017，32(3)：131 -136. [LIU Jing，GUO Guangcui and SHUANG Qing. Review on the Progress of Urban Water Supply Network Vulnerability[J]. Journal of Catastrophology，2017，32(3)：131 -136. doi：10.3969/j.issn.1000 -811X.2017.03.023.]

城市供水管网脆弱性研究进展*

刘 菁，郭广翠，双 晴

（北京交通大学 经济管理学院，北京 100044）

摘 要：供水管网是城市基础设施系统的重要组成部分，是保障城市供水安全的关键所在。自然灾害频发使威胁情境下供水管网脆弱性成为研究领域的热点问题。在指出脆弱性的内涵及其与风险、可靠性的差异的基础上，给出了供水管网脆弱性的定义、分类及影响因素，重点回顾了城市供水管网脆弱性评价的五种方法，这五种方法涵盖了水力、水质脆弱性评估，数学工具与计算机模拟结合使用和供水管网脆弱性评价指标体系法、计算公式等，并对这五种评价方法的评价思路、优缺点和适用范围进行了对比分析。研究发现，供水管网脆弱性评价指标体系建立过程中有较强主观性、供水管网脆弱性研究尚无统一标准和规范，研究的有效性、定量化、标准化有待进一步加强。

关键词：供水管网；脆弱性；评价方法；综述

中图分类号：X915.5；X5　　**文献标志码**：A　　**文章编号**：1000 -811X(2017)03 -0131 -06

doi：10.3969/j.issn.1000 -811X.2017.03.023

供水管网是城市和居民赖以生存的公共基础设施，要使得城市健康运转，这些基础设施能够保持正常工作的重要性可想而知。供水管网点多面广，从水源到用户各个环节都得具备一定的可靠性，否则任何部分的纰漏都可能会“牵一发而动全身”，所以合理准确的对供水管网薄弱环节进行识别和评估是必要的。脆弱性评价是风险评估的一个重要组成部分也是风险评价的基础[1]，通过对供水管网脆弱性进行评价，可以识别和评估整个管网中的薄弱部分，并且确定它们的脆弱性等级，继而能有针对性地对供水管网采取一定的防范和保护措施，按照轻重缓急程度合理分配有限资源。

1 概念和定性研究

1.1 脆弱性、风险和可靠性

脆弱性是指系统或组织的内部结构特征所决定的面临外部风险或扰动时自身抵抗力差或弹性小从而失去原有功能或状态的一种属性[2]。随着越来越多的脆弱性研究的出现，已经由最初的流行病学向灾害学，计算机领域和环境生态等各个方向都有所涉及。各个领域虽然对脆弱性的具体定义有所不同，但究其本质来说，脆弱性一般具有暴露性，敏感性和适应性。

风险较之脆弱性更常见易懂，传统的风险是指某种危险情况发生的可能性大小。它有两层含义，一是危险情况发生的不确定性，而是危险情况发生后产生后果的不确定性。所以可将风险看成威胁事件发生的可能性与所产生后果的相关函数。由此可见风险侧重于危害事件可能所产生的后果，而脆弱性则是重点分析对危害事件的敏感性。美国 Sandia 国家实验室指出系统的风险大小可以取威胁发生的可能性，后果的严重程度以及系统的脆弱性的交集来共同确定[3]，其关系如图 1 所示。

可靠性与脆弱性是系统完全相反的内涵，可靠性则是系统基于一定的时间和使用条件下能够达到或满足预定功能的概率大小。苏怀[4]则将管网系统的可靠性分为运行可靠性和网络可靠性去考虑。

随着脆弱性研究领域的不断扩大，脆弱性评价的研究也逐渐增多[4-15]。根据脆弱性评价研究思路和方法的不同将脆弱性评价分成以下四种方法。

* 收稿日期：2017 -01 -07　　修回日期：2017 -03 -08
基金项目：国家自然科学基金青年基金项目(71501008)；北京交通大学人文社会科学专项基金项目(2015jbwj014)；北京交通大学人才基金项目(2015RC002)
第一作者简介：刘菁(1969 -)，女，山东青岛人，副教授，主要从事供水管网安全性研究. E-mail：jliu1@bjtu.edu.cn
通讯作者：双晴(1987 -)，女，北京人，讲师，博士研究生，主要从事供水管网脆弱性研究. E -mail：qings@bjtu.edu.cn

表 1　脆弱性评价方法一览表

脆弱性评价方法	主要内容
指数评价法	从脆弱性的构成要素和表征来确定指标体系，通过数学和统计方法，如层次分析法、加权平均法[16]，合成综合指数，进而对系统的脆弱性进行量化计算。
GIS 法	在 GIS(地理信息系统)技术上，主要结合主成分分析法对系统的单纯扰动或多种扰动进行图层叠置，能够反映区域脆弱性在空间上的差异，但对扰动的数量有所限制。
函数模型评价法	结合系统实际情况构建一个可以计算脆弱性准则和指标的计算模型在脆弱性评价时经常用到，具有广泛性，其中 AHP(层次分析法)在模型的构建中应用颇多。
综合评价法	为了减少脆弱性评价时的主观因素影响过多，尝试利用神经网络[17]，突变理论、数据包络分析以及模糊评判理论对系统脆弱性进行评价。

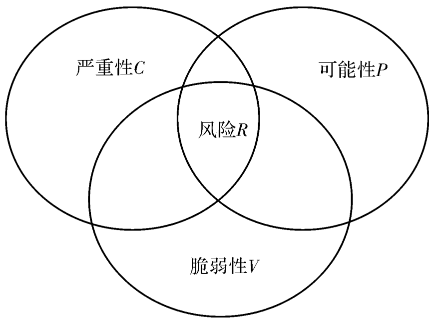

图 1　脆弱性、风险关系图

1.2　供水管网脆弱性

结合学者[3,13-14,18-19]对脆弱性的概念内涵以及城市供水管网的相关研究，对城市供水管网脆弱性给出以下定义：

供水管网在其规定的条件和时间内出生故障以后各管段受影响的程度和整个管网系统功能的缺失程度。可以用以下三点来概括供水管网脆弱性的定义。

(1)供水管网系统或内部存在的固有不稳定性；

(2)供水管网系统或组织对外部威胁的敏感性和易感性；

(3)供水管网脆弱性体现了系统或组织在威胁发生后功能缺失的程度。像不能满足用户的用水量、水质需求和一定的水压，进而对公共健康造成不利的影响，都属于供水管网的功能缺失。

一般的，在进行城市供水管网脆弱性分析时，都要对以下几个要素进行考虑：首先是该城市供水管网系统的特点，如它的任务、设施或运行特点等，然后分析可能遭受威胁的一些关键设施和所产生的不利后果，最后对现有的安全设施和风险进行评估，并采取降低风险的计划。

1.3　供水管网脆弱性分类及影响因素

供水管网为了达到其使用功能，所以分布点广泛，而且入口也很多，这就决定了它容易受到的影响因素既有物理的因素，又有人为破坏的因素。其中，发生物理上的威胁破坏，一般情况下多数会导致经济上的损失，对人们的身体健康影响较弱，但如果是人为恶意的向供水管网里投入易扩散的污染物，这样对饮用水用户来说，生命也就继而受到了威胁。因此在对供水管网脆弱性评估研究时将其脆弱性为物理、管理系统和应急系统三方面的脆弱性[13]，其中物理脆弱性可以与管网的水力功能结合考虑，主要涉及到管网的设计结构和外界的干扰威胁，管理系统脆弱性则是针对在管网运行过程中人的整体素质的影响大小，还有应急系统脆弱性指的是管网系统在应急体系方面的缺失程度。结合赵元[20]，庄宝玉[1]等对供水管网脆弱性的形成原因的分析，将其影响因素概括为以下两点。

(1)水力脆弱性影响因素

水力脆弱性可以从供水管网的拓扑结构，节点的供水级别、度数和供水管网的水力特性三个影响因素去考虑。

供水管网的网络拓扑关系是其固有并客观存在的物理结构，能不能满足供水要求主要看其设计是否合理，即供水管网的网络连通性功能是否健全；供水管网的水力特性主要是通过改变水力条件来检验管网的水压、水量和水质是否达到使用需求。

(2)水质脆弱性影响因素

供水管网的水质好坏直接影响到用户的饮水安全，甚至危及生命，不可忽视。为了减缓管网水质恶化，必须定期对供水管网中的余氯进行检测，因为它能间接反映管网水质状况。除了余氯之外，水龄，即水的滞留时间，也会对水中的生化反应进度和余氯的缩减量产生影响，因此，水龄也是分析供水管网脆弱性时的重要因素。

2　供水管网脆弱性评价进展

将脆弱性评价引入供水管网脆弱性的分析已经有 30 年左右的历史，然而，仅仅从自然、物理因素方面考虑脆弱性已不够全面，对供水管网的脆弱性进行多方位的评价显得尤为紧迫。《十三五规划纲要》[21]中明确规定要加快完善水利基

础设施网络，推进水资源科学开发、合理调配、节约使用、高效利用，全面提升水安全保障能力。各个省市也相继给出了加强城市生命线建设安全以及应对能力保障的发文，如深圳和哈尔滨。“十三五”规划中还将“构建城市地下综合管廊”列入国家战略的工程项目级别，影响重大，可见供水管网属于综合管廊的一员，建设的重要性不言而喻，从而对供水管网脆弱性的评价已势在必行。

根据上节所述，供水管网脆弱性评估的两大方面包括水力和水质脆弱性，水力脆弱性分析评估模型（VAMWSS）和威胁综合脆弱性评价法（TEVA）便是针对以上两大特性进行供水管网的水力和水质脆弱性评价，其中水质脆弱性主要侧重于人为威胁情境下的脆弱性。在进行脆弱性分析过程中，数学工具和计算机模拟软件的应用是不可缺少的，MLE 模型 + EPANET 模拟结合法则是选取比较有代表性的工具和软件对脆弱性的威胁水平和功能缺失程度进行了测度分析，进而得出供水管网脆弱性大小。除了模型和工具的使用，还有直接对供水管网脆弱性进行定量计算的方法和公式，如基于脆弱性指标体系构建的基础设施脆弱性量化评估模型（I－VAM）采用专家打分法确定因子权值等；源于风险计算的水司风险评价法（RAM－WTM）来确定供水管网中脆弱性较高的关键设施，并进行安全防护。以下是对这五种供水管网脆弱性评价方法的详细介绍。

2.1　水力脆弱性分析评估模型

供水管网脆弱性分析模型（VAMWSS）是基于蒙特卡罗随机模拟理论而构建的用于测定供水管网水力脆弱性的一种模型化方法，其中考虑到蒙特卡罗方法在处理结构复杂，数据繁琐并且规模较大的供水管网时，具有明显的优越性。

该模型在分析供水管网脆弱性时主要遵循以下步骤：首先通过各种途径获得当地供水管网故障发生的概率，然后基于这些故障概率利用 EPANET[22] 对供水管网全天性的任意时间的流量和水压进行动态水力模拟，最后再对所建立的指标层和测得的节点数据进行加权计算得出最终量化得出脆弱性，而且在赋予权值时主要从四个方面考虑：节点的级别、度数，拓扑结构的自由度，供水量和水压。

在以上基础上还可以利用 Borland Delphi 7.0 编制供水管网脆弱性分析程序板块[20]：事件随机发生板块，计算水力模拟板块，脆弱性计算板块，如图 2 所示。

该模型在应用方法和步骤方面通用性强，可用于区域类供水管网脆弱性的评价，如天津市区域供水管网[1]。

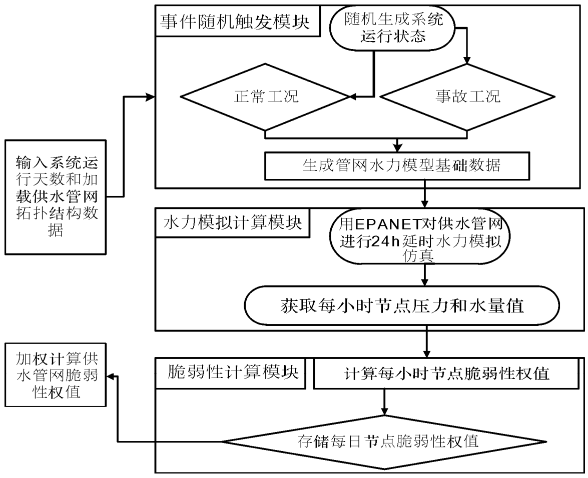

图 2　水力脆弱性分析评估模型

2.2　威胁综合脆弱性评价法

威胁综合脆弱性评价法（TEVA）是指基于一定概率基础的潜在人为威胁可能对供水管网脆弱性以及对公众健康和经济发展等的影响进行分析，并提出缓解措施的一种综合性、广义的脆弱性评价方法。

TEVA 包括 3 个分析过程，建立模型、影响分析和缓和措施[20]。如图 3 所示。

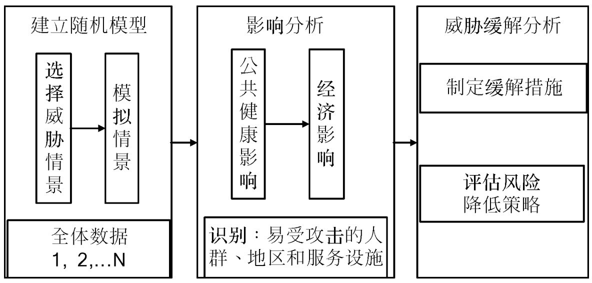

图 3　TEVA 分析过程图

2004 年，美国 EPA 研究中心考虑到供水管网在运行和使用过程中受到时间和空间的制约，情况复杂，所以在 TEVA 的分析基础上将水力、水质、公众健康和传感定位系统有机

地综合起来分析供水管网脆弱性。TEVA 还可以与水力水质模拟软件 EPANET 配合使用[20]，其中 EPANET 提供的 Mass-Booster 选项模拟管网节点注入污染物的变化情况，根据节点服务暴露人口百分数的大小来判断脆弱性大小，进而对脆弱性进行量化。

2.3　MLE 模型 + EPANET 模拟结合法

基于美国 Sandia 国家实验室开发的评价系统安全性的工具—马尔科夫潜在影响模型（MLE），Vincent 等提出 MLE 模型 + EPANET 模拟法对供水管网进行脆弱性评价。该方法是指由 MLE 定量计算供水管网潜在的威胁水平，接着利用 EPANET 进行后果分析，包括对水力和水质的影响后果。

MLE 的基本分析过程如图 4 所示。

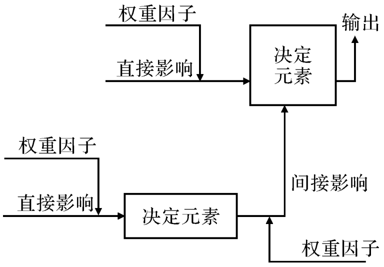

图 4　MLE 基本分析过程

在以上内容的基础上，还可以将威胁水平与功能缺失程度的乘积当作脆弱性大小[19]。其中威胁水平包括人为威胁和自然威胁，人为威胁就是按照 MLE + EPANET 的操作过程分别确定威胁水平和功能缺失程度，然后两者乘积即为所求；自然威胁情况下则是通过查阅历史资料来确定当地威胁水平和功能缺失程度。此外，可以利用该方法对区域供水管网面临人为威胁时风险大小进行定量化计算[23]。

2.4　基础设施脆弱性量化评估模型

重要基础设施脆弱性评估模型（I-VAM）是基于基础设施风险评价模型（I-RAM）和脆弱性的量化公式，侧重于供水管网对威胁情境的敏感程度[24]，以价值函数作为评价方法的一种模型。

该模型选取威慑、延迟、检测、响应 4 个因子来评估供水管网各个功能子系统，通过专家打分法确定子系统权重和评价因子的赋值，最后将各子系统脆弱性计算结果叠加得出整个供水管网量化的脆弱性结果。由此可见，该模型主观性较强[6]。例如，供水管网系统的脆弱性，可由如下公式计算：

$$V(X) = \sum_{i=1}^{n} w_i v_i(x_i)。\tag{1}$$

式中：x_i 由专家打分所得；$v_i(x_i)$ 的相应的值由价值函数得到；n 为评价指标数；ω_i 为评价因子总权重。则系统的脆弱性为：

$$\Omega = V^*(X) - V(X)。\tag{2}$$

式中：$V(X)$ 是供水管网功能估测值；$V^*(X)$ 是供水管网功能理想值，取 100；Ω 是供水管网脆弱性。

在实际情境中，该模型的输出结果一般是连续参数，所以用期望来表示供水管网脆弱性：

$$E(\Omega) = \int_{\min(v)}^{\max(v)} vf(v)\,\mathrm{d}v。\tag{3}$$

该模型思路和方法除了用于供水管网系统脆弱性评价之外，还可以用于其他基础设施，比如城市防灾系统和交通运输系统。

2.5　水司风险评价法

水司风险评价法（RAM-WTM）最初是对安全保护系统的有效性进行评价，从而为系统提供安全防御途径。该方法旨在后果驱动，找出系统脆弱性较高的关键设备和资产，从而为初期防御策略确定分级优先顺序。该方法流程图如图 5 所示。

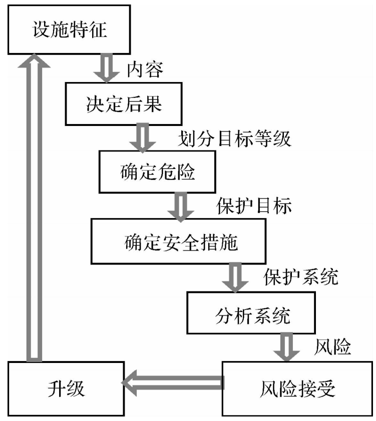

图 5　水司风险评价法流程图

在计算脆弱性时采取的计算公式是传统的风险计算方法：

$$R = P_a(1 - P_e)C\ 。\tag{4}$$

式中：P_a 为供水管网潜在威胁发生概率；P_e 为供水管网防御有效性；C 为威胁发生所造成的后果。该方法可以为资源紧缺的供水管网系统分配有限资源提供合理的参考依据，使得资源配置最优化。该工具在美国应用最广。

2.6　其他方法

除了上述介绍的五种供水管网脆弱性评价方法之外，还有其他学者[3,8,10,13,16,19,25]试着探索供水管网的脆弱性研究，例如陆仁强[3]在风险熵的基础上考虑符合突变级数的脆弱性，得出包括脆弱性在内的风险熵的计算方法；李浩宾提到 CVAT[8]，即公共事业单位脆弱性评价工具和脆弱性自我评价法 VSA[19] 以及鲁娟介绍了脆弱性自我评价工具 VSAT[13] 用来评价脆弱性；吴小刚[25] 等采用最小割集理论建立了城市供水管网系统的故障风险评价模型，并通过自行编制的程序进行了相关的实例分析；胡定军[16] 为了克服脆弱性评价常用的综合指数法和函数模型法诸如主观性强的特点，提出应用 DEA 模型对系统脆弱性进行评估，并探索将其应用到脆弱性评价的可行性；Johansson J 等[10] 介绍了测试基础设施系统可靠性分析和脆弱性的方法，并对两者进行了比较。

3　研究讨论

第二部分介绍和回顾了进行供水管网脆弱性评价时常用的几种方法，各有特点。在这一部分首先按照一定的原则和标准介绍以上几种方法的联系和区别，接着对供水管网脆弱性评价未来的研究方向和面临的挑战做出了一定的说明。

表 2　五种方法的比较

方法名称	评价思路	优缺点	适用范围
水力脆弱性分析评估模型(VAMWSS)	基于蒙特卡罗法模拟区域中水厂和管段故障，建立节点脆弱性指标函数，分配节点权值，最后加权所得综合脆弱性。	优点：能够利用蒙特卡罗模拟的优势对脆弱性进行测算，与 EPANET 相结合，综合性强。 缺点：在设立脆弱性指标和节点权值时主观性强，需要很大的经验值。	该模型通用性较强，可用于区域供水管网的脆弱性评估。
威胁综合脆弱性评价法(TEVA)	侧重于威胁所产生后果及影响大小，根据最终污染扩散影响的人口数来判断脆弱性大小和等级。	优点：能清晰明了的反映出威胁所带来的后果大小。 缺点：虽然能表达出威胁的后果，但对脆弱性产生的原因没有深究，只适合作定性或低级的定量测算。	针对人为威胁设立，如投毒威胁。
MLE 模型 + EPANET 模拟结合法	通过 MLE 确定威胁水平，EPANET 对影响后果进行分析，可将两者乘积作为系统脆弱性值。	优点：能够解释脆弱性的成因，一般为定量评价。 缺点：计算复杂，公式不统一。	MLE 模型不需要测算实际概率，对测算者经验和数据要求较低，提高了其应用性。
基础设施脆弱性量化评估模型(I-VAM)	主要通过构建供水管网脆弱性评价指标体系，在整个体系中包含了脆弱性由产生至影响后果的各层次的评价因子，再对供水管网各子系统进行叠加求和得出整个供水管网脆弱性值。	优点：有清晰的操作过程，适合对简单的威胁情景设置脆弱性指标体系进行评价。 缺点：供水管网内部各系统间的联系没有在指标体系中体现出来，而且设置评价因子和设置权重的过程主观色彩较强。	该模型关键在于脆弱性评价指标的构建，所以对构建模型时威胁情景的设定依赖性较强。
水司风险评价法(RAM-WTM)	RAM-WTM 确定影响系统功能的关键元件，反过来对安全升级和减灾运行策略确定分级优先顺序。	优点：为企业提供安全的保护系统，有助于资源的合理利用，保证资源用在最需要的地方。 缺点：仅从资源和设备角度出发，受到一定的限制。	在美国应用最广泛。

3.1　方法比较

上述几种方法评价角度和方法不同，既有定性分析和定量分析，也可以从评价思路，优缺点和适用范围对它们进行对比，便于系统决策者结合实际情况选择合适的脆弱性分析方法，或者在进行供水管网设计和选择时提供一定的参考(表2)。

3.2　未来研究方向和挑战

结合第二部分的发展回顾和 3.1 的方法比较，下面主要阐述供水管网脆弱性今后的研究方向和面临的挑战。

(1)在供水管网脆弱性评价指标体系建立过程中具有较强的主观性，比如指标设立及其权重的确定，大多都是人为商定，在分析供水安全脆弱性评价体系构建[12]时要对影响因子构建模型矩阵以及对指标因素设定权重，而且城市面临的潜在人为威胁的发生本身就具有一定的主观性，对其进行分析时应联合多个供水部门以及司法部门，以积累资料和经验为人为威胁的定量化分析奠定坚实的基础。

(2)在研究供水管网的脆弱性时还应当适当考虑整个“生命线”系统之间的的关系和相互影响，任何一个系统中出现了损害，都有可能对另外的系统产生影响，比如在供电系统受到损害后相应的也会对产生一定的影响，像地震灾害就会产生类似的一系列威胁[26]。综合考虑各个系统虽然会使得供水管网的脆弱性分析变得复杂，但是对系统的可靠性确实大大的提高了[11]。

(3)目前城市供水管网脆弱性的研究还没有统一的概念和标准规范的评价工具或方法，因此研究者在评价供水管网脆弱性时应根据各种方法的优缺点及适用范围选择。

4　结论

供水管网脆弱性评价是一个有力工具，可以检验供水管网范围内的薄弱环节，使管理者对管网系统有清楚认识，确定能够减少损失的合理方法。本文从城市供水管网安全可靠的角度出发，对供水管网在威胁情境下的脆弱性分析、评价的发展历程进行了回顾和总结，重点分析了供水管网脆弱性评价的五种方法并进行了对比，通过对比发现，评价方法虽种类繁多但不统一，还存在诸如主观性较强，模型通用性较差的问题，今后对供水管网的评价方法或者模型构建的科学严谨性还应继续深入研究。

参考文献：

[1]　庄宝玉，高斌. 基于脆弱性分析的区域供水管网风险评价—以天津市为例[C]//中国城市规划年会，2012.
[2]　张晟. 脆弱性概念分析及其在各行业中的应用[J]. 科技经济导刊，2015，1(16)：18 – 22.
[3]　陆仁强. 城市管网脆弱性分析及风险评价系统方法研究—以地震灾害为例[D]. 天津：天津大学，2010.
[4]　苏怀，张劲军，杨楠，等. 大型天然气管网可靠性评价方法研究进展[J]. 油气储运，2016，35(1)：7 – 15.
[5]　吴众华，张土乔，黄亚东，等. 供水管网脆弱性评价[J]. 中

国供水排水，2010，26(5)：59 － 62.
［6］ 邵传青，易立新. 重要基础设施脆弱性评价模型及其应用［J］. 中国安全科学学报，2008，18(11)：153 － 158.
［7］ 尤荻，梁双陆. 重要基础设施脆弱性评价研究综述［J］. 科技管理研究，2014，34(21)：81 － 86.
［8］ Flax L K，Jackson R W，Stein D N. Community vulnerability assessment tool methodology［J］. Natural Hazards Review，2002，3(4)：163 －176.
［9］ Ouyang M. Review on modeling and simulation of interdependent critical infrastructure systems［J］. Reliability Engineering & System Safety，2014，121(1)：43 － 60.
［10］ Johansson J，Hassel H，Zio E. Reliability and vulnerability analyses of critical infrastructures：Comparing two approaches in the context of power systems［J］. Reliability Engineering System Safety，2013，120(12)：27 － 38.
［11］ 郑艺婷，苏国锋，陈建国，等. 震害下考虑供电的供水管网可靠性分析模型［J］. 灾害学，2015，30(3)：204 － 207.
［12］ 张艳丽. 城市供水安全的脆弱性评价体系构建［J］. 科教导刊旬刊，2011，3(9)：158 － 159.
［13］ 鲁娟. 给水管网脆弱性评估研究［D］. 合肥：合肥工业大学，2007.
［14］ 黄建毅，刘毅，马丽，等. 国外脆弱性理论模型与评估框架研究评述［J］. 地域研究与开发，2012，31(5)：1 － 5.
［15］ 李莉，王晓婷，王辉. 脆弱性内涵、评价与研究趋势综述［J］. 中国渔业经济，2010，28(3)：161 －169.
［16］ 胡定军. 基于 DEA 模型的区域自然灾害脆弱性评价研究［D］. 成都：西南财经大学，2012.
［17］ 赵玲. 基于 BP 神经网络的城市燃气管网系统脆弱性评价［D］. 重庆：重庆大学，2014.
［18］ 李鹤，张平宇，程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法［J］. 地理科学展，2008，27(2)：18 － 25.
［19］ 李浩宾. 城市供水系统脆弱性研究［D］. 天津：天津大学，2009.
［20］ 赵元. 输配水系统的脆弱性及风险评估研究［D］. 天津：天津大学，2009.
［21］ 中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要［N］. 人民日报，2016 －03 －18(001).
［22］ 魏磊. EPANET 软件在市政给排水工程中的应用［J］. 科技展望，2014，24(17)：14 －14.
［23］ 牛志广，高希丽，王晨晨. 城市供水管网脆弱性评价研究进展［J］. 中国安全科学学报，2012，22(6)：157 － 163.
［24］ Ezell B C. Infrastructure vulnerability assessment model［J］. Risk Analysis，2007，27(3)：571 －583.
［25］ 吴小刚，张土乔. 城市供水管网系统的故障风险评价决策技术［J］. 自然灾害学报，2006，15(2)：73 －78.
［26］ Chen Y，Niu Z，Bai J，et al. Seismic vulnerability assessment of water supply network in Tianjin，China［J］. Frontiers of Environmental Science & Engineering，2014，8(5)：767 －775.

Review on the Progress of Urban Water Supply Network Vulnerability

LIU Jing，GUO Guangcui and SHUANG Qing
(*School of Economics and Management*，*Beijing Jiaotong University*，*Beijing* 100044，*China*)

Abstract：Water supply network，as an important part of urban infrastructure systems，is the key to guarantee urban water supply security. Natural disasters have made water supply network vulnerability under the threat situation becomes a hot research field. On the basis of pointing out the vulnerability's connotation，the differences among reliability，risk and it，give the water supply network vulnerability's definition，classification and influencing factors，focus on reviewing the five methods of urban water supply pipe network vulnerability assessment，and this five methods cover hydraulic，water vulnerability assessment，mathematical tools and computer simulation used in conjunction with water supply pipe network vulnerability assessment index system method，calculation formulas，etc.，then compare this idea of the scope of the evaluation of the five kinds of evaluation methods，advantages，disadvantages and applicable. The study found that there is a strong subjective validity in the process of establishing water supply network vulnerability evaluation system，and water supply pipe network vulnerability studies have no universal standards and norms，the effectiveness，quantitative and standardized of study needs to be further strengthened.

Key words：water supply network；vulnerability；evaluation methods；review

(上接第 130 页)

Flood Risk Analysis：Progress，Challenges and Prospect

SUN Zhangli[1,2,3]，ZHU Xiufang[1,2,3]，PAN Yaozhong[1,2,3] and LIU Xianfeng[4]
(1. *State key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology*，*Beijing Normal University*，*Beijing* 100875，*China*；2. *Institute of Remote Sensing Science and Engineering*，*Beijing Normal University*，*Beijing* 100875，*China*；3. *Faculty of Geographical Science*，*Beijing Normal University*，*Beijing* 100875，*China*；4. *College of Tourism and Environment*，*Shaanxi Normal University*，*Xi'an* 710119，*China*)

Abstract：Flood disaster is one of the main natural disasters in the world. Prevention and mitigation flood disaster has became a hot issue and generally concerned in contemporary society with growing of flood intensity，frequency，and inundated area. Flood risk is the negative scenario of future flooding events，analyzing food risk is the important way to migrate flood loss and influence. Based on the predecessors' work，we discussed the concept and development stage of flood risk，introduced the current situation and latest progress of flood risk. Meanwhile，we summary and discuss the characters and disadvantages of the models and methods assessing flood risk from the aspect of data resource，including history data，system index，and remote sensing data. Finally，through the analysis of current challenges in flood risk assessment，further research prospects are proposed，including investigating the mechanism of flood risk，improving the models and methods of flood risk involution，strengthening the application of 3S technologies in flood risk research area，and improving the studying of integrated disasters risk.

Key words：flood disaster；risk analysis；research progress；research prospect