

# 国家关键基础设施系统 安全与保护

韩传峰 编



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

# 国家关键基础设施系统 安全与保护

韩传峰 编



同济大学出版社  
TONGJI UNIVERSITY PRESS

012002762

### 图书在版编目(CIP)数据

国家关键基础设施系统安全与保护/韩传峰编. — 上海: 同济大学出版社, 2015. 11  
ISBN 978-7-5608-6034-3

I. ①国… II. ①韩… III. ①基础设施建设—中国—文集 IV. ①F299.24-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 242879 号

---

## 国家关键基础设施系统安全与保护

韩传峰 编

策划编辑 张莉 责任编辑 马继兰 责任校对 张德胜 封面设计 陈益平

---

出版发行 同济大学出版社 [www.tongjipress.com.cn](http://www.tongjipress.com.cn)  
(地址:上海市四平路 1239 号 邮编:200092 电话:021-65985622)  
经 销 全国各地新华书店  
印 刷 同济大学印刷厂  
开 本 787 mm×960 mm 1/16  
印 张 26.25  
字 数 655 000  
版 次 2015 年 11 月第 1 版 2015 年 11 月第 1 次印刷  
书 号 ISBN 978-7-5608-6034-3

---

定 价 85.00 元

---

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

# 序

关键基础设施系统,是由物理设施、技术部件、运营过程和机构制度(人员和程序)等构成的复杂社会技术系统,兼具经济、社会和生态属性,包括信息通讯、电力、油气储运、银行金融、交通运输、给排水、应急服务和政府服务等子系统。国家关键基础设施系统各组分相互作用、协同工作,产生、提供和配置经济社会正常运行所必需的产品和服务,对国家安全具有战略性影响和基础性支撑作用。

作为多要素、多层次的动态开放系统,国家关键基础设施系统内部及其与外部环境间,存在着物质、能量和信息的交换,子系统功能耦合,时空作用的机制复杂,类型多样。物理破坏和信息网络袭击等外部干扰,以及长期高负荷运转引发的内部失效,极易导致系统功能下降。不断增强的规模效应和网络效应,更加凸显了关键基础设施系统的风险与脆弱性。从国家安全和经济社会发展的战略高度,研究国家关键基础设施系统评估与保护策略,已成为世界各国亟需解决的重大现实问题。

近十多年来,美欧相继将关键基础设施系统保护上升为国家战略,投入大量资金与科研力量,开展相关的学术研究、政策制定与实践创新。1998年,美国启动“国家关键基础设施保护计划”,并于2002年联合3个国家实验室组建“国家基础设施仿真与分析中心”和“基础设施保护中心”。2004年,欧盟启动“欧盟关键基础设施保护规划”,并在欧盟第6框架计划和第7框架计划中资助多个关键基础设施安全保护的重大项目。

中国国家关键基础设施系统的综合防范能力不足,对环境条件和灾害等级估计不充分,规划和建设标准不科学,缺乏定期维护和适时更新,规模和质量未能及时得到增强和保障,存在着不容忽视的脆弱性。同时,电力、通信及交通等信息密集型关键基础设施的规模与日俱增,系统间关联性日益增强,存在着不容回避的高风险性。随着国家应急管理体系的不断完善,中国已认识到关键基础设施系统功能安全的重要性,着手制定关键基础设施系统保护计划,并设立安全科学与工程、网络空间安全等相关支撑学科。

目前,国内关于国家关键基础设施系统评估与安全保护方面的学术研究尚处起步阶段,工程应用经验较为匮乏。本书编者长期从事关键基础设施系统安全与保护领域的研究,主要采用“系统之系统”思想,综合运用复杂系统、复杂网络、系统仿真和博弈论等理论方法,科学理解和深入探索关键基础设施系统的相互作用机理、脆弱性特征、行为机制和抗干扰能力等,涉及区域基础设施系统的可靠性、长效性、脆弱性及安全保护策略,以及社会

治理、突发事件应急管理等领域。本书是团队多年潜心研究成果的结晶,共收录 53 篇论文,分为国家关键基础设施系统的建模仿真、特性分析、系统评价和综合管理四个部分,注重对关键基础设施系统内在规律的把握,更具政策性和应用性,旨在为中国关键基础设施系统安全与保护的研究提供新思想和新方向,为决策者开阔眼界,革新思维,为研究者提供理论与方法的借鉴。

随着物联网、移动互联网、云计算、大数据等现代信息技术的广泛深度应用,国家关键基础设施系统趋向标准化、智能化和网络化,单一的技术手段和安全措施,难以保证这一超大规模系统的可靠性和运行的稳定性。应从管理和控制等方面,制定实施国家关键基础设施保护研究计划及相关政策,建立国家关键基础设施系统保护中心,研究系统评估与保护策略。

本书的研究成果,得到了国家自然科学基金面上项目“关键基础设施系统相互作用动态建模及脆性控制研究(70871093)”、国家自然科学基金主任基金项目“区域基础设施长效性及其主动控制研究(70640007)”和“2010—2050 年中国经济发展核心动力研究(71040010)”、国家自然科学基金重大研究计划重点支持项目“非常规突发事件处置模式及应急技术集成原理与方法(91024023)”和“中国应急管理体系顶层设计原理方法及模式重构(91224003)”等的资助,特此感谢。

本书的编撰出版得到了同济大学人文社会科学跨学科研究团队建设项目“关键基础设施系统评估与保护”的资助,以及同济大学出版社的支持,一并感谢。

韩传峰

2015 年 7 月

# 目 录

## 序

### 一、国家关键基础设施系统建模仿真

|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| 城市公共服务设施的一类价值评估计算模型 .....           | 韩传峰, 曲丹( 2 )            |
| 基于解释结构模型的应急机制系统分析 .....             | 韩传峰, 刘亮( 8 )            |
| 城市基础设施系统长效能力预测模型研究 .....            | 韩传峰, 王增光( 15 )          |
| 干扰条件下城市交通网络系统仿真 .....               | 韩传峰, 刘亮, 张超( 21 )       |
| 非常规突发事件应急决策系统动态作用机理 .....           | 韩传峰, 王兴广, 孔静静( 28 )     |
| 关键基础设施网络连锁反应模型 .....                | 韩传峰, 张超, 刘亮( 35 )       |
| 中国交通基础设施与经济增长的关系实证 .....            | 杨帆, 韩传峰( 41 )           |
| 基于完全信息动态博弈的反恐设施选址模型 .....           | 韩传峰, 孟令鹏, 张超, 孔静静( 49 ) |
| 供电和供水系统关联失效动力学模型及修复策略 .....         | 张超, 韩传峰, 孟令鹏, 汪云峰( 59 ) |
| 应急组织合作的结构逻辑及运行机制 .....              | 孔静静, 韩传峰( 69 )          |
| 应急管理组织复杂性三维评价模型 .....               | 徐松鹤, 韩传峰, 平健( 90 )      |
| 非常规突发事件跨组织合作网络结构演化机理研究 .....        | 苏陈朋, 韩传峰( 102 )         |
| 国家应急管理工作组合作网络的社会网络分析 .....          | 刘亮, 陈以增, 韩传峰, 荣玫( 111 ) |
| 突发事件应急管理组织的 Brusselator 熵模型研究 ..... | 徐松鹤, 韩传峰( 119 )         |
| 中国移动互联网产业系统结构及耦合机理分析 .....          | 孔静静, 韩传峰, 申志平( 128 )    |

### 二、国家关键基础设施系统特性分析

|                          |                           |
|--------------------------|---------------------------|
| 黄河中下游灾害系统的脆性源控制 .....    | 韩传峰, 陈建业, 孙庆荣, 吴启迪( 134 ) |
| 交通基础设施系统长效因素分析 .....     | 林雁, 韩传峰( 142 )            |
| 区域基础设施系统的复杂性与长效性 .....   | 韩传峰, 王忠礼, 王增光( 146 )      |
| 基于软系统方法基础设施系统长效性研究 ..... | 韩传峰, 王兴广, 叶岑( 158 )       |
| 工程复杂网络综合微观分析 .....       | 刘亮, 许维胜, 韩传峰( 165 )       |

|                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 国家关键交通网络的基元结构与系综特征 .....     | 刘亮, 许维胜, 韩传峰(172)       |
| 关键基础设施工程网络模体与超家族 .....       | 刘亮, 韩传峰, 许维胜(182)       |
| 基于生态学原理的区域基础设施系统可持续性研究 ..... | 邵志国, 韩传峰, 刘亮(196)       |
| 中国应急管理体系的动力结构分析及模式重构策略 ..... | 徐松鹤, 韩传峰, 孟令鹏, 吴启迪(205) |

### 三、国家关键基础设施系统评价

|                              |                         |
|------------------------------|-------------------------|
| 城市公交路网性能评估的网络图方法 .....       | 韩传峰, 胡志伟(216)           |
| 城市基础设施的发展与外部协调性分析 .....      | 韩传峰, 段爱华, 刘福兴(221)      |
| 大型基础设施项目生态环境影响评价 .....       | 韩传峰, 吴进林, 韩迎春(225)      |
| 基于 FAHP 的黄河中下游灾害系统脆性评价 ..... | 孙庆荣, 韩传峰, 陈建业, 吴启迪(232) |
| 山东半岛城市群生态系统安全评价 .....        | 韩传峰, 刘惠敏, 陈建业(240)      |
| 城市公交路网性能的综合计算评估 .....        | 韩传峰(248)                |
| 大型基础设施项目群组决策的模糊评价 .....      | 韩传峰, 陈建业(253)           |
| 城市基础设施系统效益可持续性评价 .....       | 韩传峰, 叶岑, 刘亮(259)        |
| 基于物元分析法基础设施系统可持续性评价 .....    | 韩传峰, 刘亮, 王忠礼(265)       |
| 基于层次分析法的化工城市致灾因子研究 .....     | 余纳新, 韩传峰, 杨金平(274)      |
| 基于层次分析法的城市灾害应急管理指标分析 .....   | 余纳新, 韩传峰(282)           |
| 中国大型基础设施项目社会影响评价指标体系构建 ..... | 滕敏敏, 韩传峰, 刘兴华(291)      |

### 四、国家关键基础设施系统综合管理

|                            |                    |
|----------------------------|--------------------|
| 城市防灾基础设施开发与管理保障机制研究 .....  | 韩传峰, 陈建国, 刘福兴(302) |
| 城市衍生污染灾害分析及防治管理对策 .....    | 韩传峰, 尤建新, 刘福兴(307) |
| 增强生态承载力的崇明岛建设模式 .....      | 韩传峰, 陈建业, 刘惠敏(312) |
| 城市基础设施防盗机制研究 .....         | 韩传峰, 王玉虎(318)      |
| 基于自组织系统耦合的区域安全 .....       | 韩传峰, 王忠礼(323)      |
| 城市灾害应急管理体制研究 .....         | 孙斌, 韩传峰(329)       |
| 城市安全文化建设系统研究 .....         | 韩传峰, 沈标(338)       |
| 城市应急文化及培育关键因素分析 .....      | 韩传峰, 孔静静, 陆俊华(343) |
| 城市基础设施全寿命期控制碳排放集成管理 .....  | 田萃, 刘兴华, 韩传峰(350)  |
| 国有大型资源型企业与属地政府协调机制研究 ..... | 敖永杰, 刘兴华, 田萃(355)  |

---

|                                     |                        |
|-------------------------------------|------------------------|
| 基于 WSR 基础设施系统管理研究 .....             | 荣玫, 韩传峰(362)           |
| 政府主导 社会参与 培育应急文化 .....              | 韩传峰, 赵苏爽, 刘兴华(369)     |
| 我国 PX 类项目群体性事件的形成机理及成因消弭策略<br>..... | 韩传峰, 田萃, 滕敏敏, 刘兴华(377) |
| 基于物联网和大数据的智能建筑健康信息服务管理系统构建<br>..... | 何愉舟, 韩传峰(386)          |
| 典型国家和地区移动互联网产业发展系统分析及启示 .....       | 韩传峰, 曹昭, 刘琦(395)       |
| 中国移动互联网产业发展政策与制度创新 .....            | 刘兴华, 韩传峰(400)          |
| 基于经济社会价值的移动互联网技术功能预测 .....          | 韩传峰, 王兴广, 马俊乐(405)     |
| 后记 .....                            | (410)                  |

## 一、国家关键基础设施系统建模仿真

# 城市公共服务设施的一类价值评估计算模型<sup>\*</sup>

韩传峰, 曲 丹

**摘要:**以城市的公共图书馆服务系统为例,给出了对城市现存的旧公共服务设施的价值进行评估的4种计算方法,包括标量评估计算法和向量评估计算法。应用这些计算方法,通过收集数据、征求专家意见和确定权重向量,可以对同类型的一大类公共服务设施做出总体价值评估和详细的分类价值评估。根据这样的评估结果,再结合对未来发展的科学预测,可以对该设施以后的进一步发展做出科学的决策。

**关键词:**公共服务设施;数学模型;评价指标;发展策略

每个城市都有许多与之配套的公共服务设施,例如学校、医院、邮电、金融、交通、图书馆、游泳馆、公园,等。其中许多设施是企业性质的,它们会得到很好的管理和维护;而有些设施属于市政系统,可能得不到很好和经常的管理维护。有的需要改造,进一步完善其服务功能,有的设施其服务功能已不被社会所需要,则需要拆除或改做他用。因此对这类旧的城市公共服务设施需要定期地考察并做出价值评估,研究其以后的发展策略<sup>[1-5]</sup>。笔者以城市公共图书馆系统为例,对这类旧的城市公共设施提出了一个价值评估计算模型,应用此模型可以给出关于该设施的科学的定量评估,根据这种评估结果和对未来发展的科学预测,可以制定关于该设施的进一步发展策略。

## 1 基本假设

现以一个城市的图书馆系统(即该城市的所有公共图书馆全体)为例来研究该问题。假设该图书馆系统的现有条件是已知的,包括其藏书量、图书的出版年代、图书的品种结构、座位数、现代设施(电子阅览、网上查询、借还书系统等)的装备水平等。这些已知条件决定了该图书馆系统当前的总体服务水平。假设该城市对图书馆系统的总体需求也是已知的,这可以通过调查得到,其中包括所需求的图书总量、图书出版年代、图书的结构、座位数、对现代设施的要求水平等。

这两个量就决定了该设施的存在价值。因为归根结底,一个设施的价值取决于社会对该设施的需求的满意度,或者说取决于该设施满足顾客需求的程度。引入两个向量来表示该设施所提供的服务水平和对该设施的需求水平。

服务水平向量: $\mathbf{X} = [x_1 \ x_2 \ x_3 \ x_4 \ x_5]$ ;

需求水平向量: $\mathbf{Y} = [y_1 \ y_2 \ y_3 \ y_4 \ y_5]$ 。

其中, $x_1$ 表示该图书系统所有图书的平均出版年代; $x_2$ 表示每百人公共图书馆的藏书量; $x_3$ 表示该图书系统拥有的所有图书的品种结构合理性指数; $x_4$ 表示现代设施的装备水平;

<sup>\*</sup> 同济大学学报(自然科学版)2004,32(9)收录。

$x_5$  表示图书馆对于每百人所能提供的座位数。其中前 3 个指标  $x_1, x_2, x_3$  反映了该图书系统的基本性能状态。 $y_1$  表示所需求图书的平均出版年代; $y_2$  表示每百人所需要的图书量; $y_3$  表示所需求图书的品种结构合理性指数; $y_4$  表示所需求的现代设施的装备水平; $y_5$  表示每百人对图书馆所需求的座位数。前 3 个指标  $y_1, y_2, y_3$  反映了市民对图书系统的基本需求情况。其中  $x_1, y_1, x_2, y_2, x_5, y_5$  都是可以直接计算得到的;而  $x_3, y_3, x_4, y_4$  则可以通过专家打分的形式给出其数值, $x_3, y_3, x_4, y_4$  的取值区间为 $[0, 100]$ 。

则该设施的价值就应该是这两个向量的函数  $Z = f(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ , 称为该设施的价值函数。 $Z$  的值越大, 说明该设施的价值越大, 应该进一步发展; 否则, 说明该设施的价值越小。设施的价值小可能有两方面的原因: 其一是设施的条件太差了, 没能跟上时代的发展, 满足不了人们对服务的要求, 导致对该设施的需求水平变小, 这种情况需要改进此设施的条件; 其二是无论该设施的条件多么好, 人们的需求方向发生了很大的变化, 对该设施的需求减少, 这种情况下需要拆除该设施, 或者总体上减少该设施的数量。

## 2 数学模型

首先将偏差向量  $\mathbf{Y} - \mathbf{X}$  标准化为向量

$$\mathbf{U} = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \quad u_4 \quad u_5], \quad u_1 = \frac{x_1 - y_1}{50}, \quad (1)$$

$$u_i = \frac{x_i - y_i}{y_i}, \quad i = 2, 3, 4, 5$$

一般来说, 总有  $0 \leq x_i \leq y_i$ , 即公共图书系统的发展是以人们的需求为基础的, 不会超过市民的需求, 尤其是前 3 个指标。这样,  $\mathbf{U}$  的各分量一般都取值于区间  $[-1, 0]$ , 但也可能取值于  $[0, 1]$ 。其中, 在计算  $u_i$  时, 分母取为 50, 其原因在于  $y_1 - x_1$  一般不会超过 50 年, 否则这样的图书馆就不会有人去看, 所以可以不将这样的图书馆考虑在内。因为笔者研究的是公共图书馆系统, 一些专门的图书馆(例如古籍图书馆)不包含在内。

该设施的价值可以用与  $\mathbf{U}$  相关的某一函数表示, 有下列几种价值函数的确定方法。

(1) 综合价值函数或综合供需指数:

$$Z_1 = 100 \sum_{i=1}^5 \lambda_i u_i \quad (2)$$

式中,  $\lambda_i$  是根据指标  $u_i$  对价值的贡献大小选定的权数, 可以应用专家调查的方法来确定这些权系数。

一个图书馆的价值, 首先体现在其所藏图书的平均出版年代, 因为人们总是希望看到最新的资料和研究成果。其次, 体现在藏书总量和图书的品种结构这两个指标上, 这两个指标可以认为同等重要。最后, 设施的现代化水平比座位数更为重要一点。

(2)  $Z_1$  只反映了该图书馆价值的总体情况或平均情况。该图书馆价值的详细分布情况, 必须用加权后的价值向量来表示(称为价值分布向量):

$$\mathbf{Z}_2 = 100[\lambda_1 u_1 \quad \lambda_2 u_2 \quad \lambda_3 u_3 \quad \lambda_4 u_4 \quad \lambda_5 u_5] \quad (3)$$

此种价值计算方法的优点在于可以分别考察 5 个指标,确定哪些指标是满足需求的,哪些指标不满足需求,对每个指标做出定量的分析和判断。

(3) 实际上,这 5 个指标的重要度差别很大,例如图书的结构是最重要的,设备是很次要的。因此可以按重要度将以上 5 个指标压缩为 2 个指标,以向量形式表示为

$$Z = 100[U_1 \quad U_2]$$

式中, $U_1$  表示图书馆系统的图书结构价值; $U_2$  表示图书馆系统其他设备的价值。

对  $U_1, U_2$  有下列 2 种计算方法。

方法 1:简单加权平均方法。计算公式为

$$U_1 = U_{11} = \lambda_1 u_1 + \lambda_2 u_2 + \lambda_3 u_3$$

$$U_2 = \lambda_4 u_4 + \lambda_5 u_5$$

这样就得到价值函数的计算公式为

$$Z_3 = 100[\lambda_1 u_1 + \lambda_2 u_2 + \lambda_3 u_3 \lambda_4 u_4 + \lambda_5 u_5] \quad (4)$$

方法 2:矩阵比较计算方法。对指标  $U_2$  的计算还采用简单加权平均: $U_2 = \lambda_4 u_4 + \lambda_5 u_5$ ,对指标  $U_1$  按下列方法详细地计算其准确数值,基本步骤如下。首先,根据该图书馆系统的图书收藏情况,列出供给矩阵表(表 1)。

同样,也可以根据市民的需求情况,列出对图书的需求矩阵表(表 2)。

表 1

供给矩阵 X

| 种类 | 不同出版年代的藏书量/万册   |                 |                 |                 |                 |                 |                 |       |
|----|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
|    | 1930—<br>1940 年 | 1941—<br>1950 年 | 1951—<br>1960 年 | 1961—<br>1970 年 | 1971—<br>1980 年 | 1981—<br>1990 年 | 1991—<br>2000 年 | 2001— |
| 理科 | 4               | 5               | 5               | 3               | 4               | 5               | 6               | 4     |
| 工科 | 4               | 3               | 5               | 2               | 2               | 4               | 5               | 3     |
| 农科 | 2               | 1               | 3               | 1               | 2               | 3               | 3               | 2     |
| 医科 | 3               | 4               | 4               | 3               | 4               | 5               | 4               | 3     |
| 文科 | 2               | 2               | 3               | 1               | 3               | 4               | 3               | 3     |
| 管理 | 2               | 2               | 1               | 1               | 2               | 3               | 3               | 3     |

表 2

需求矩阵 Y

| 种类 | 不同出版年代的藏书的需求量/万册 |                 |                 |                 |                 |                 |                 |       |
|----|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|
|    | 1930—<br>1940 年  | 1941—<br>1950 年 | 1951—<br>1960 年 | 1961—<br>1970 年 | 1971—<br>1980 年 | 1981—<br>1990 年 | 1991—<br>2000 年 | 2001— |
| 理科 | 3                | 4               | 4               | 3               | 4               | 6               | 8               | 6     |
| 工科 | 3                | 2               | 4               | 1               | 2               | 5               | 6               | 5     |
| 农科 | 2                | 3               | 2               | 2               | 2               | 4               | 3               | 4     |
| 医科 | 2                | 3               | 3               | 2               | 2               | 3               | 4               | 6     |
| 文科 | 2                | 3               | 4               | 3               | 2               | 3               | 4               | 2     |
| 管理 | 1                | 2               | 2               | 2               | 3               | 3               | 4               | 5     |

将表 1 和表 2 用矩阵表示:供给矩阵  $\mathbf{X} = [x_{ij}]$ ;需求矩阵  $\mathbf{Y} = [y_{ij}]$ 。供需差别矩阵  $\mathbf{X} - \mathbf{Y} = [x_{ij} - y_{ij}]$ ,其标准化矩阵  $\hat{\mathbf{U}} = \left[ \frac{x_{ij} - y_{ij}}{y_{ij}} \right]$ ,图书结构价值指数  $U_1$  按下式计算:

$$U_1 = U_{12} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \frac{x_{ij} - y_{ij}}{y_{ij}}$$

这样得到第 4 个价值函数计算公式

$$Z_4 = 100 \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} \frac{x_{ij} - y_{ij}}{y_{ij}} \quad \lambda_4 u_4 + \lambda_5 u_5 \right] \quad (5)$$

式中,  $\lambda_{ij}$  表示供需元素  $x_{ij}$  和  $y_{ij}$  的重要程度,即权系数,满足  $\lambda_{ij} > 0$ ,  $\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \lambda_{ij} = 1$ 。

$\lambda_{ij}$  反映了市民对这类图书的看重程度,即需求的重要度。权系数  $\lambda_{ij}$  可以采用问卷调查的方法获得。

### 3 价值计算的一般步骤与评估标准

对一个给定城市的公共图书馆服务系统,应用该方法进行价值计算和评估的一般步骤如下:

(1) 考察该公共图书馆服务系统,通过调查分析以及请专家打分,计算出它的服务水平即向量  $\mathbf{X}$ 。

(2) 通过对该城市的居民、学校、机关等对象的调查,经过统计计算可以得到需求向量  $\mathbf{Y}$ 。

(3) 根据式(1),确定反映供需差别的标准化向量。

(4) 征求群众意见和请专家打分,再应用 Delphi 方法或层次分析方法,确定式(3)中的一维权重向量  $[\lambda_1 \quad \lambda_2 \quad \lambda_3 \quad \lambda_4 \quad \lambda_5]$  和式(5)中的二维权重向量  $[\lambda_{ij}, i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m]$ 。

(5) 根据式(2)一式(5),分别计算出价值函数  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ 。

(6) 根据计算出的综合价值函数值  $Z_1$  和价值分布向量  $Z_2, Z_3, Z_4$ ,对该图书馆系统的价值做出科学的评估。

通过对  $Z_1$  的综合分析,可以对该图书馆系统的综合价值做出评估;通过对  $Z_2$  的分析,可以对该图书馆系统的各个供需指标的性能状态做出评估。通过对  $Z_3$  的分析,可以对该图书馆系统的 2 个重要的性能指标做出评估。 $Z_4$  的价值比  $Z_3$  的价值更大, $U_{12}$  比  $U_{11}$  更有意义,因为  $U_{12}$  比  $U_{11}$  更能准确地反映该设施的主要价值。

(1) 如果  $u_i \geq 0, i = 1, 2, 3, 4, 5$ ,则此图书馆系统的服务水平满足需求,其综合价值  $Z_1$  为正值。

(2) 如果  $u_i < 0, i = 1, 2, 3, 4, 5$ ,则此图书馆系统的服务水平不能满足需求,其综合价值  $Z_1$  为负值。如果此时  $|Z_1|$  长时间地很大,则应该考虑该设施是否有存在的必要,考虑是否拆除或改做他用。

(3) 该图书馆系统的综合指标用  $Z_1$  来计算和衡量。如果  $Z_1 \geq 0$  则说明满足,否则说明

不满足。

(4) 价值的详细分布情况需要用指标  $Z_2$  来计算和分析。

(5) 可以应用指标  $Z_3$  (或  $Z_4$ ) 按重要度来分类考察图书结构情况和设备现代化程度。

## 4 案例计算与分析

设一个城市所有的公共图书馆构成的图书系统,其服务向量和对该图书系统的需求向量分别为

$$\mathbf{X} = [1995 \quad 300 \quad 40 \quad 70 \quad 2]$$

$$\mathbf{Y} = [1998 \quad 350 \quad 60 \quad 50 \quad 1]$$

则标准化向量  $\mathbf{U} = [-0.600 \quad -0.143 \quad -0.333 \quad 0.400 \quad 1.000]$ 。假设经过调查统计得到的权重系数为  $\lambda_1 = 0.36$ ,  $\lambda_2 = \lambda_3 = 0.20$ ,  $\lambda_4 = 0.14$ ,  $\lambda_5 = 0.10$ 。计算得到其综合供需指数和价值分布向量分别为

$$Z_1 = 100 \sum_{i=1}^5 \lambda_i u_i = -15.6$$

$$Z_2 = [-21.6 \quad -28.6 \quad -6.6 \quad 5.6 \quad 10.0]$$

$$Z_3 = [-56.8 \quad 15.6]$$

利用表 1 和表 2 所给出的数据计算  $Z_4$ 。设权重矩阵  $\mathbf{A} = [\lambda_{ij}]$ , 如表 3 所示。

表 3

权重矩阵  $\mathbf{A}$

| $i$ | $48\lambda_{ij}$ |       |       |       |       |       |       |       |
|-----|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|     | $j=1$            | $j=2$ | $j=3$ | $j=4$ | $j=5$ | $j=6$ | $j=7$ | $j=8$ |
| 1   | 0.4              | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 1.5   | 2.0   | 2.5   |
| 2   | 0.4              | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 0.4   | 2.0   | 2.0   | 2.0   |
| 3   | 0.6              | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 1.5   | 1.5   | 2.0   |
| 4   | 0.6              | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 0.6   | 1.0   | 1.5   | 2.5   |
| 5   | 0.5              | 1.5   | 1.5   | 0.5   | 1.5   | 1.5   | 0.5   | 0.5   |
| 6   | 0.2              | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 0.2   | 1.5   | 2.5   | 3.0   |

经计算得到  $U_1 = -\frac{4.633}{48} \times 100 = -9.7$ , 从而  $Z_4 = 100[U_1 \quad U_2] = [-9.7 \quad 15.6]$ 。

由于  $Z_1$  为负值, 因此该城市的图书馆系统的综合价值为负值, 综合服务功能不能满足要求; 而  $Z_2$  的前 3 个分量都为负值, 后 2 个分量为正值, 这说明该图书馆系统在藏书量、藏书年代、藏书的结构合理性 3 个方面都是不好的, 虽然其最后 2 个指标满足要求, 总的来说该图书馆系统的服务水平不能满足需求。从指标  $Z_3$ ,  $Z_4$  也可以看出, 该图书馆系统的主要功能不能满足需求, 但是其设备还是满足要求的。

## 5 动态价值分析与推广应用

通过对该服务设施近 10 年来 4 个指标  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  的计算,可以得到该设施的价值发展变化规律。但是为了简化起见,可以只用这 4 个指标中有代表性的  $Z_1$  和  $Z_4$ 。例如,设某城市公共图书馆系统,根据公式(2)和式(5)计算得到近 10 年来的  $Z_1$  和  $Z_4$  两个指标的动态变化规律为

$$\begin{aligned} [Z_1(i), i = 1993, \dots, 2002] &= [62, 54, 50, 43, 28, 21, 10, -12, -21, -30] \\ [Z_4(i), i = 1993, \dots, 2002] &= \left[ \begin{pmatrix} U_{12}(i) \\ U_2(i) \end{pmatrix}, i = 1993, \dots, 2002 \right] \\ &= \begin{bmatrix} 80 & 78 & 65 & 43 & 32 & 12 & -4 & -21 & -33 & -65 \\ 24 & 31 & 35 & 35 & 46 & 50 & 52 & 56 & 62 & 62 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

式中,  $Z_1(i)$  和  $Z_4(i)$  分别表示第  $i$  年的指标  $Z_1$  和  $Z_4$ ;  $U_{12}(i)$  和  $U_2(i)$  分别表示第  $i$  年的指标  $U_{12}$  和  $U_2$ 。

从指标  $Z_1$  的发展变化规律可以看出,该图书系统的使用价值越来越小,已不能满足需求。其原因可以从指标  $Z_4$  的变化规律看出:虽然其他硬件设备价值在缓慢增加,但由于该图书馆系统的图书结构价值在逐渐萎缩,导致该图书馆系统的服务价值逐渐丧失。

类似地,可以应用该方法研究其他的城市公共服务设施的价值综合评价问题。只要能够找出反映该设施各项性能的合适的指标体系,应用笔者的综合指标计算方法,就可以进行类似的计算和评估。例如,可以对城市的道路状况是否满足需求以及哪些方面还存在不足进行研究,可以对城市的电影院系统的存在价值进行计算和评估,也可以对城市公共服务设施项目的开发策略(或市场定位)做出科学的定量计算。该方法的本质特点在于确定一个设施的服务向量(或称供给向量)和需求向量。

## 参考文献

- [1] 袁海林,刘树枫. 房地产开发项目市场定位的层次分析模型[J]. 西安建筑科技大学学报,2001,33(1): 24-28.
- [2] 王军利,刘东. 城市公共交通项目评价指标体系与评价方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息,2000, 2(1):70-75.
- [3] 张庆年,高健智. 城市公共交通需求预测模型研究[J]. 武汉理工大学学报,2001,23(8):50-57.
- [4] 曾小明,罗旗帜. 公共交通服务质量的模糊评定法[J]. 佛山大学学报,1997,15(4):67-72.
- [5] 陈旭梅,童华磊,高世廉. 城市轨道交通线网规模影响因素分析[J]. 中国铁道科学,2001,22(6): 59-62.

# 基于解释结构模型的应急机制系统分析\*

韩传峰, 刘 亮

**摘要:**运用系统工程理论,对构成突发事件应急机制系统的8个要素进行了定性和定量化处理,建立了应急机制系统的多层递阶解释结构模型。通过模型,证明了要素被分为5个级别,分析了要素之间的纵向和横向关系,确定了信息机制和领导机制要素的基础重要性,为城市应急机制系统的分析、评价和建设提供科学依据。

**关键词:**解释结构模型;应急机制

在全球化和信息化的背景下,随着城市化进程的加速,城市公共安全领域事故时有发生,城市公共安全形势严峻。积极探索城市公共安全应急机制是一项紧迫任务<sup>[1]</sup>。城市应急机制是城市应急管理相关部门为了应对自然灾害、事故灾难、突发公共卫生事件和突发社会事件等各种突发事件而建立起来的一套行之有效的处置办法和制度安排<sup>[2]</sup>。突发事件应急机制是城市必须具备的一种功能<sup>[3]</sup>。

近年来,学者从各个方面对城市应急机制进行了研究。文献[4]根据我国目前公共安全的现状、问题与经验,提出了建立健全应急机制的指导思想和工作原则,探讨了建立和完善突发事件应急机制的途径和方法。文献[5]探讨了突发事件应急机制原则和任务,并给出相应对策。文献[6]分析了建立应急机制的方针和原则,分析了应急机制的构成,并提出了对策。文献[1]和[7]提出城市应急机制的要素构成,并提出相应的建设对策。

综合近年来的研究,对应急机制经验和分项的研究较多,科学和系统的研究较少,尚未建立应急机制系统的结构模型。突发事件应急机制建设应是一项极其复杂的系统工程<sup>[8]</sup>。解释结构模型法(interpretative structural modeling, ISM)作为系统工程中结构建模方法的一种,已被广泛运用于安全生产和经济管理等领域,取得了一些成果<sup>[9-10]</sup>。本文拟运用ISM方法探讨应急机制要素间的关系,建立应急机制层次结构模型,为应急机制系统的研究和建设提供科学依据。

## 1 ISM 建模步骤

ISM方法是美国J. 华菲尔特教授于1973年作为分析复杂社会经济系统有关问题的一种方法而开发的<sup>[11]</sup>。其特点是把复杂的系统分解为若干子系统,利用人们的实践经验和知识,以及电子计算机的帮助,最终将系统构造成一个多层递阶解释结构模型。ISM方法建模由以下4个步骤组成。

---

\* 自然灾害学报 2006,15(6)收录。

### 1.1 生成连接矩阵

首先充分了解系统的要素,确定其组成要素  $s_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 。其次规定任意两个要素  $s_i$  和  $s_j$  之间的关系,即规定两项的关系  $s_i R s_j$ 。其中  $s_i R s_j$  代表“要素  $s_i$  对  $s_j$  存在关系  $R$ ”。关系  $R$  可以是“给予影响”、“先决条件”或“重要”等。在各要素间逐一比较,把两项关系的有无归纳成连接矩阵  $A = [a_{ij}]$  的形式,此处矩阵  $A$  的  $(i, j)$  元素  $a_{ij}$  取值如下:当两项关系成立时为 1,不成立时为 0。

### 1.2 生成可达矩阵

求得连接矩阵  $A$  后,再求  $A$  与单位矩阵  $I$  的和  $A + I$ ,做矩阵  $A + I$  的幂运算,直到式(1)成立为止,得到某一正整数  $n$ 。

$$M = (A + I)^{n+1} = (A + I)^n \neq \dots (A + I)^2 \neq (A + I) \quad (1)$$

式中,幂运算基于布尔代数运算进行。

矩阵  $M = (A + I)^n$  称为可达矩阵,它的元素  $m_{ij}$  为 1 代表要素  $s_i$  到要素  $s_j$  间存在着可到达的路径,即要素  $s_i$  直接或间接影响要素  $s_j$ 。可达矩阵表征了要素之间直接的和间接的关系。

### 1.3 各要素的级别分配

应用可达矩阵  $M$ ,对各要素  $s_i$  求如下集合:

$$P(s_i) = \{s_j | m_{ij} = 1\} \quad (2)$$

$$Q(s_i) = \{s_j | m_{ji} = 1\} \quad (3)$$

式中,  $P(s_i)$  称为可达集合,即从要素  $s_i$  出发可以到达的全部要素的集合。可以通过查找可达矩阵  $M$  的第  $i$  行上值为 1 的列对应的要素求得。而  $Q(s_i)$  称为先行集合,即可以到达要素  $s_i$  的全部要素的集合。可以通过查找可达矩阵  $M$  的第  $i$  列上值为 1 的行对应的要素求得。

再根据  $P(s_i)$ ,  $Q(s_i)$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ),求满足式(4)的各要素集合  $L_1$ 。

$$L_1 = \{s_k | P(s_k) \cap Q(s_k) = P(s_k), k = 1, 2, \dots, n\} \quad (4)$$

$L_1$  中的元素有如下特征:从其他要素可以到达该要素,而从该要素则不能到达其他要素,即  $L_1$  中的要素是位于最高层次(第一级)的要素。然后,从原来的可达矩阵  $M$  中删去  $L_1$  中要素对应的行、列得到矩阵  $M'$ ,对  $M'$  进行同样操作确定属于第二级  $L_2$  的要素。以后重复同样操作,依次求出  $L_3, L_4, \dots$ ,从而把各要素分配到相应的级别上。

### 1.4 生成层次结构图

级别分配结束后,在最上层放第一级  $L_1$  的要素,下面是第二级  $L_2$  的要素,依次类推,把各要素从上至下按级别顺次放置。最后可达矩阵  $M$  的行列也按这一级别顺序排列(通过这