关键基础设施网间脆弱性分析与保护

马永驰 著

科学出版社

关键基础设施网间脆弱性分析与保护

马永驰 著

国家自然科学基金青年项目(71201015)
国家自然科学基金面上项目(61074133)
教育部博士点基金新教师类项目(20120041120055)
教育部人文社会科学青年基金项目(11YJC630152)
资助出版

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书旨在为关键基础设施保护方案的制订提供一整套定量化的分析方法。通过重点围绕关键基础设施保护的资源分配、外部威胁与系统服务水平之间的三元动态关系，在博弈论的框架下，运用数学规划、网络分析、蒙特卡洛模拟和计算机仿真相结合的方法，对关键基础设施网络的脆弱性分析和保护规划问题进行建模与仿真研究，提出了关键基础设施保护的行为建模框架，给出了不同类型的基础设施系统攻防博弈模型及其求解算法。

本书适合基础设施安全风险管理和基础设施减灾防灾方面的研究人员、管理科学与工程专业和公共管理专业相关方向的高校师生，以及政府公共安全部门和应急管理部门的相关人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

关键基础设施网间脆弱性分析与保护/马永驰著. —北京:科学出版社,2014
ISBN 978-7-03-038939-8

Ⅰ.①关… Ⅱ.①马… Ⅲ.①基础设施-管理-研究-中国 Ⅳ.①F299.24
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 249149 号

责任编辑:魏如萍 / 责任校对:彭 涛
责任印制:阎 磊 / 封面设计:蓝正设计

科学出版社 出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
http://www.sciencep.com

双青印刷厂 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2014 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 B5
2014 年 3 月第一次印刷 印张:10 1/2
字数:211 000

定价:52.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前　言

关键基础设施是指由支撑社会正常运行的电力、电信、交通、水供给和水处理、能源输送、金融、公共卫生与应急服务等构成的一套相互关联的多网络系统的总称。在现代社会中，国家安全、经济繁荣及民众的福利都深深地依赖于关键基础设施这样一套复杂的动态巨系统。然而不幸的是，现代关键基础设施正在面临着越来越不对称的外在威胁，自然环境的恶化、频频出现的极端天气（如1998年加拿大冻雨和2008年中国南方雪灾）或自然灾害（如2008年中国汶川地震和2010年中国青海玉树地震），以及日益猖獗的恐怖袭击（如美国“9·11”恐怖袭击、2004年马德里和2005年伦敦及2010年俄罗斯的地铁炸弹事件），都足以导致现代关键基础设施系统的大规模受损和失效，进而导致严重的社会经济后果。因此，如何应对关键基础设施所面临的外部风险，已成为当前世界各国急需解决的现实问题，同时也是一个可持续发展社会所必须解决的现实问题。

在上述现实背景下，许多国家出于对本国关键基础设施安全的担忧，纷纷投入大量的资金和研究力量来启动相应的关键基础设施保护计划，如美国1998年启动的“保护国家关键基础设施计划”，欧盟于2004年启动了“欧盟关键基础设施保护规划”，以及加拿大的“国家关键基础设施保障计划”等。以上计划或规划，除了给予关键基础设施保护高度的政治关注和政策支持以外，其基本要义都在于强调关键基础设施保护，需要超越传统的“威胁-预警-响应”这一应急模式，而应从脆弱性消减的角度，对关键基础设施进行主动防御和优先保护。外部威胁下的关键基础设施保护问题被认为是工程系统、可靠性、风险、社会危机治理及国家安全方面出现的一个新的研究领域，而传统的可靠性工程及风险分析方法难以为此提供有效支撑。如果说减少系统内部不确定性对基础设施可靠性的影响是一个技术问题，那么减少系统外部不确定性对基础设施可靠性的影响则是一个典型的“技术问题＋管理问题＋政策问题”。因而急需发展一个新的范式来分析和管理关键基础设施这类分布式的复杂网络系统。

外部威胁下的关键基础设施保护需要我们能够为这些系统的失效设计出有效的保护、减缓及应急响应方案。而能对这一决策过程形成有效支持的关键点在于，识别出外部威胁与系统的脆弱性及其连锁失效后果之间的对应关系并加以定量化。考虑到现实中提供关键基础设施服务的运作者或政府都具有一定的保护资源，因此，关键基础设施保护的核心问题可归结为该如何确定外部威胁（攻击行为）、保护资源的分配（保护行为）与系统的脆弱性（系统的服务水平）之间的

三元动态对应关系。然而，定量描述这样一种三元动态对应关系面临着以下四大挑战：研究对象的复杂性（关键基础设施通常被称为“网络的网络”或“系统的系统”）、行为上的博弈关系（攻击行为和保护行为互相针对）、动态的脆弱性（取决于攻防双方的力量对比与分布）、连锁失效（关键基础设施网络上某一节点的失效极易引发其他节点的失效）。

面对上述研究需求和挑战，本书围绕关键基础设施保护三元动态关系的定量化表述，在博弈论的框架下，运用数学规划、网络分析、蒙特卡洛模拟和计算机仿真相结合的方法，对关键基础设施网络的脆弱性分析和保护规划问题进行了建模与仿真分析，以期为我国关键基础设施的脆弱性消减和安全保护提供方法上的借鉴和参考。

本书共分 6 章。第 1 章识别了关键基础设施保护的核心科学问题及其挑战，并在梳理和评述现有研究的基础上指明研究内容。第 2 章对关键基础设施保护进行概念建模，构建了关键基础设施保护的行为建模框架。第 3 章探讨了关键基础设施的网络物理属性、服务流模式和系统服务绩效之间的关联关系，给出了基于网络流重分布的网络绩效测量方法和网络流均衡的两种判定准则。第 4～6 章分别针对离散型基础设施、网络型基础设施和相互关联的多重基础设施建立了确定型和随机型的脆弱性分析模型和保护规划模型，并给出了相应的求解算法和实例仿真。

与现有相关研究相比，本书的研究特色与创新之处主要体现在以下几个方面。

第一，将关键基础设施保护的核心科学问题归结为定量化描述外部威胁（攻击行为）、保护资源分配（保护行为）和系统服务绩效之间的三元动态对应关系。在该思路下，将关键基础设施脆弱性分析转化成攻击行为与基础设施的整体行为之间的二元动态对应关系，将关键基础设施保护规划转化成攻防行为与基础设施整体行为之间的三元动态对应关系，从而形成一种统一连续的分析谱系。

第二，构建了关键基础设施保护的行为建模框架。该建模框架将蒙特卡洛模拟和最优化嵌入到博弈论的框架中，由五大建模模块（攻击策略集、保护策略集、系统组件的攻防响应行为、系统的关联响应行为与绩效测量）支撑三元动态对应关系的定量化描述。在高度结构化的基础上，保留了很高的建模柔性，可以根据实际情况选定不同的建模参量取值来建立具体的关键基础设施脆弱性分析模型和保护规划模型。

第三，建立了多类关键基础设施脆弱性分析模型和保护规划模型；将攻击和保护行为按各自的自由度划分为三个等级，建立了统一连续的关键基础设施保护三元动态关系分析谱系，突破了以往关键基础设施保护领域个案式的二元关系（攻击-失效）探讨模式。

本书的完成得益于大连理工大学公共管理与法学学院西宝教授的悉心指导，同时受惠于哈尔滨工业大学管理学院李向阳教授、丁云龙教授、胡珑瑛教授、吴冲教授，大连理工大学公共管理与法学学院李冲副教授、李鹏副教授的热心指正和大力帮助，特此表示感谢！

本书的出版得到了国家自然科学基金青年项目“关键基础设施攻防博弈的系统动态行为理论研究（71201015）”、国家自然科学基金面上项目“跨功能边界关键基础设施网间失效的连锁效应建模与仿真（61074133）”、教育部博士点基金新教师类项目“自适应外部威胁下关键基础设施保护攻防博弈建模与仿真（20120041120055）”、教育部人文社会科学青年基金项目“跨边界危机治理的三重网络协同机制研究”（11YJC630152）、国家社会科学基金重点项目“中国城市化过程与区域协调发展研究（12AGL010）”的资助。科学出版社的编辑同志对书稿的付梓给予了全力支持，在此致以谢意。

本书是作者近5年来对关键基础设施保护问题进行探索研究的一个阶段性总结，力求为关键基础设施保护建立一个统一连续的分析谱系，并提供一整套定量化的分析方法与工具。由于关键基础设施保护是一个挑战性极强的跨学科新兴研究领域，加上作者水平有限，书中难免有不当之处，恳请学术界同行和广大读者批评指正。

马永驰

2013年12月

目　录

第1章 绪 论

1.1 关键基础设施保护的核心科学问题

国家的福利与公共安全高度依赖于关键基础设施。美国的官方文献中对关键基础设施有如下评述："基础设施是一些系统和资产的总称，这些系统和资产，无论是有形的还是无形的，对国家而言都非常重要，以至于它们的任何损害或失效都会对社会安全、国家经济安全或是民众的健康与安全产生严重的负面影响。"[1]基础设施涵盖了大量的部门，包括国家电网、石油和天然气生产、电信与信息系统、水系统、交通网络、银行与金融系统、化学工业、农业与实物系统和公众健康网络。1998年5月，美国第63号总统决议令明确定义了电力、电信、交通、水供给与水处理、石油与天然气、紧急响应、银行与金融系统，以及政府为国家"八大关键基础设施"[2]。尽管各国对关键基础设施的定义与分类可能不尽相同，但大致都包括以上几个核心部门。

近20年来，随着信息技术在基础设施工业部门的广泛应用，关键基础设施间的关联性日益增长。这种关联和耦合，一方面提升了关键基础设施的整体协同能力和运作效率，但同时也将关键基础设施的复杂性和整体行为推向了一个更高、更难以理解的层面，使得关键基础设施正在不断地遭受着"复杂的、系统性的失效事件"（表1-1）。在该相互关联的系统中，无论是来自系统内的局部状态波动、组件老化失效，还是来自系统外部的恶意攻击、自然灾害破坏，都有可能引发难以预料的连锁反应，造成基础设施跨部门、跨区域的大面积受损与失效，进而危及公众安全、社会安全乃至国家安全（表1-1）[3]。

表1-1 近年来关键基础设施的典型失效事件

事件	诱因	基础设施的连锁失效
1998年银河四号卫星失效[4]	太阳风暴	卫星失效→电信服务中断→ATM机与信用卡交易中断→加油站无法收银→公路交通变差 北美地区80%的寻呼机无法使用，金融服务陷入脱机状态
2001年美国加利福尼亚州能源危机[3]	停电	停电→天然气减产→重油开采缺乏蒸汽注入→重油减产 停电→原油管线输送中断→炼油厂减产→汽油、航空燃油短缺→公路交通、空中交通变差 停电→灌溉泵无法工作→农作物歉收→财政损失

续表

事件	诱因	基础设施的连锁失效
2001 年巴尔的摩隧道大火[5]	火车脱轨后起火	货车脱轨后起火→大量有毒浓烟→周围的公共设施被迫停用/交通主干道被封锁 货车脱轨后起火→隧道内光纤电缆被烧焦→本地通信、互联网中断→全国互联网变慢 货车脱轨后起火→隧道上方主干水网被烧爆→居民停水/大水喷出→附近电力设施遭水淹破坏→停电
2001 年美国“9·11”事件[6]	恐怖分子袭击	世贸大厦倒塌→通信阻塞→救援工作无法协调展开→……
2003 年意大利停电事故[7]	停电	停电→电信失效→发电厂 SCADA 系统失效→发电厂手工重启
2004 年罗马电信站事件[7]	空调系统故障	空调系统故障→电信站失效→大面积移动、固定通信中断→5000家银行和 3000 家邮局服务中断/飞机场入检系统失效
2005 年松花江污染[8]	化工厂车间爆炸	化工厂爆炸→水源污染→工厂停产/民众恐慌/→电信拥塞/空中交通铁路交通拥塞
……	……	……

在上述背景下，许多国家出于对本国关键基础设施安全的担忧，纷纷投入大量的资金和研究力量来启动相应的关键基础设施保护计划。例如，1998 年美国启动的“保护国家关键基础设施计划”(protecting the nation's critical infrastructures，PNCI)、2004 年欧盟启动的“关键基础设施保护欧盟规划”(Europe programming for critical infrastrucutre protection，EPCIP)、2003 年加拿大由关键基础设施保护及应急准备办公室启动的“国家灾害消减战略”(national disaster mitigation strategy) 等。以上计划或规划，除了给关键基础设施保护以高度的政治关注和政策支持以外，其基本要义都在于强调关键基础设施保护，需要超越传统的“威胁-预警-响应”应急模式，而应从脆弱性消减的角度，对关键基础设施进行主动防御和优先保护。

关键基础设施保护被认为是在工程系统、可靠性、风险、社会危机治理及国家安全方面出现的一个新的研究领域。传统的基础设施管理主要关注的是基础设施系统内部的风险及其影响（如组件老化、波动的服务需求等），而关键基础设施保护需要应对的则是来自系统外部的风险（如极端天气、自然灾害和恐怖袭击等）及其影响（跨系统、跨部门间的连锁失效），因此，传统的基础设施风险管理理论和方法难以为其提供有效支撑，急需发展新的理论方法来进行应对。

外部威胁下的关键基础设施保护需要我们能够为这些系统的失效设计出有效的保护、减缓及应急响应方案。而能对这一决策过程形成有效支持的关键点在

于，识别出外部威胁与系统的脆弱性及其连锁失效后果之间的对应关系并加以定量化。考虑到现实中提供关键基础设施服务的运作者或政府都具有一定的保护资源，因此，关键基础设施保护的核心问题可归结为该如何确定外部威胁（攻击行为）、保护资源的分配（保护行为）与系统的脆弱性（系统的服务水平）之间的三元动态对应关系。围绕上述核心科学问题，本书将通过递进的方式依次探讨下列子问题。

（1）面对外部威胁，如何定量评价关键基础设施系统的脆弱性。

（2）当关键基础设施系统的脆弱程度高且需要进行保护时，在保护资源的预算约束下，如何定量描述外部威胁、保护资源的分配与系统的服务水平（脆弱性/连锁失效后果）之间的三元动态对应关系，并通过有效计算识别出最优（满意）的保护资源分配方案以最大限度提升关键基础设施的服务可靠性。

（3）围绕基础设施系统所进行的自适应的攻击行为和保护行为主要受何种因素的影响和制约（对何种因素敏感）；在对多类关键基础设施进行多种攻防局势的仿真分析基础上，能否归纳出关键基础设施保护三元动态对应关系的通约形式。

其中，前两个研究问题是因为现实问题需要具体解决方案而提出的，第三个研究问题则是为了探索和建构与基础设施攻防相关的行为理论而提出的。

1.2 关键基础设施保护研究的核心挑战

关键基础设施保护需要探讨外部威胁（攻击行为）、保护资源的分配（保护行为）与系统的脆弱性（系统的服务水平）之间的三元动态对应关系。这一过程面临着以下四个方面的巨大挑战。

（1）研究对象的复杂性。随着信息通信技术在基础设施领域的广泛应用，关键基础设施的规模日益增长并且相互关联，关键基础设施因此通常被称为“网络的网络”和“系统的系统”，如何利用数学模型对关键基础设施进行精确描述本身就是一项巨大的挑战。

（2）行为上的博弈关系。当面临自适应的外部威胁时，围绕关键基础设施系统的攻击行为和保护行为将会变得相互针对并形成博弈关系，在这种情况下，攻击行为将不再是一组随机事件，传统的概率风险分析框架（probabilistic risk analysis，PRA）对此无能为力。此时攻击行为服从的是最小-最大原则，需要在博弈论的框架下寻求新的解决之道。

（3）动态脆弱性。复杂系统的脆弱性并非静态的概念，而是一个动态的概念，尤其是在面对自适应的外部威胁时（自适应的智能攻击）。例如，无标度网络在面对随机攻击或系统组件的随机失效时，具有很强的鲁棒性，但当遇到对中心节点的定点攻击时，系统却十分脆弱。因此，关键基础设施系统可靠性的提升

需要探讨自适应外部威胁与系统脆弱性之间的动态对应关系。

(4) 连锁失效。关键基础设施系统间日益增强的关联性和相互依赖性，使得系统上某一节点状态的波动或失效，极易引发系统的连锁失效。由于关键基础设施系统结构的复杂性，连锁失效的触发条件、波动范围与后果具有高度的不确定性，其数学建模充满着挑战。

1.3 关键基础设施保护的研究进展

外部威胁下关键基础设施的脆弱性消减与保护规划问题具有典型的跨学科性质（图 1-1），涉及的相关研究领域主要包括：基础设施风险管理（研究对象相关）、可靠性工程（研究主题相关），以及网络分析（研究工具相关）。相关研究进展主要包括以下六个方面：①关键基础设施保护国家战略层面上的总进展；②对关键基础设施间相互依赖关系本体的识别和理解；③基础设施风险管理相关方面的研究进展；④相互依赖关键基础设施系统的建模与仿真；⑤外部威胁下工程系统的可靠性研究；⑥网络脆弱性阻断分析及智能攻击研究。

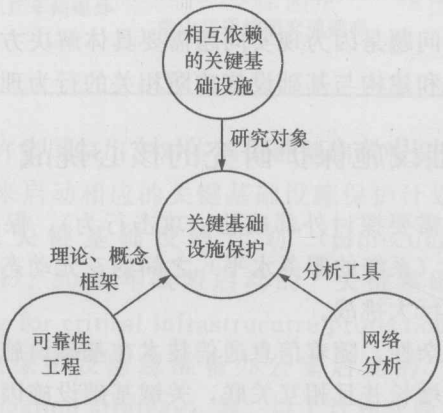

图 1-1 研究问题所涉及的学科或领域

1.3.1 国家战略层面上的总进展

世界各国政府都普遍认识到了关键基础设施对于本国社会综合安全的重要性，许多国家的政府，出于对本国特定的社会-政治局势下关键基础设施脆弱性的担忧，纷纷在国家战略层面上出台了许多的战略规划以提升本国关键基础设施的可靠性、可依赖性、鲁棒性及可恢复能力。这些战略通常被称为“关键基础设施保护”(critical infrastructure protection，CIP)，当该战略的覆盖范围主要聚焦于关键基础设施中与 ICT 相关的部门时，该战略又被称为“关键信息基础设施保护”(critical information infrastructure protection，CIIP)。

关键基础设施保护战略最早在美国出台。此后，出于相同的战略考虑，欧盟、加拿大及澳大利亚等国家和地区也相继推出了自己的战略规划[9]。20世纪90年代以前，关键基础设施安全保护问题很少受到关注，但随着20世纪90年代中期一系列恐怖袭击事件（如1995年的俄克拉荷马炸弹爆炸案）的发生，关键基础设施安全问题引发了高度的政治关注，1996年，美国总统克林顿设立了“关键基础设施保护委员会”（president's commission on critical infrastructure protection，PCCIP）[10]。1997年，PCCIP发布报告认为美国的国家基础设施不存在任何直接的巨大威胁，但该报告特别强调了关键基础设施（能源、电力、交通、供水、电信、金融系统、紧急救护）网间依赖性的巨大风险。1998年5月，第63号总统决议令发布，该决议令设立了在受到蓄意攻击时保护国家关键基础设施的国家级目标[2]。1999年6月与2001年美国总统克林顿与布什在任期又分别对第63号总统决议令附加了行政指令。此后，美国在2001年10月和2002年12月又相继建立了“国家基础设施仿真与分析中心（national infrastructure simulation and analysis center，NISAC）”和“美国本土安全局（department of homeland security，DHS）”。美国国家基础设施仿真分析中心由美国本土安全部的信息分析与基础设施保护局负责资助。该中心由美国桑迪亚国家实验室和洛斯-阿拉莫斯国家实验室共同支撑，研究计划包括“基础设施分析的仿真对象框架（simulation object framework for infrastructure analysis）”、“城市配套基础设施（urban infrastructure suite）”和“相互依赖能源基础设施仿真系统（interdependence energy infrastructure simulation system）”等子项目[11]。其目的在于通过研究提升对基础设施的依赖关系及基础设施脆弱性的理解。此外，美国阿贡国家实验室的基础设施保护中心（infrastructure assurance center）正在致力于[11]：①识别由部分组件突然失效而可能引发的脆弱性；②评价这些服务中断对生活质量、经济和国家安全的影响；③开发有效的工具和方法，以及能够处理基础设施整个生命周期每一个阶段的技术；④发展协调多参与方的管理理论。2005年，美国发布了具体的关键基础设施研发规划[12]，自此之后，美国国家实验室、高等院校、科研机构及私有公司都相继设立基金及支持关键基础设施可靠性与依赖性的研究。日益增加的资助及科研关注使得该领域得到了迅猛的发展。

此外，加拿大和澳大利亚政府也都发布了具体的关键基础设施保护研发资助计划。欧盟的“欧盟关键基础设施保护规划”（Europe programming for critical infrastrucutre protection，EPCIP）则始于2004年[13,14]。随后，欧盟委员会在其第六框架中（6th framework programme）资助了多个重大项目，其中的一个项目便是CI²RCO（critical information infrastructure research co-ordination），用以协调和推动其25个欧盟成员国及入盟候选国对于关键基础设施保护的研究和实践[15]。此后，欧盟委员会又在其PASR（preparatory action on security research）和

第七框架中进一步深化了关于 CIP 和 CIIP 的各个主题。到目前为止，欧盟 CI²RCO 项目所覆盖到的二级项目已经扩展到 156 个（其中包括 88 个国家级项目和 68 个共同资助的项目）；在欧盟各成员国中，尤以德国和法国的积极性最高，几乎参加了欧盟所有与关键基础设施保护相关的共同出资的资产项目[9]。仅到 2006 年年底，已有 10 个欧盟成员国就“关键基础设施保护”发布了明确的战略规划，7 个成员国就“关键基础设施保护”设立了明确的研究计划，德国、荷兰、挪威、英国、意大利等国则在国家战略及学术研究上都提出了相应的计划[16]。

就我国而言，2004 年，国务院第 421 号令公布了《企业事业单位内部治安保卫条例》，明确指出了我国一些重要单位所面临的外部风险不容忽视，虽然其指向的对象是各企事业单位，但其所列举的重点单位类型无疑都属于我国的重要基础设施。2007 年，国务院办公厅 58 号文件《国务院关于开展重大基础设施安全隐患排查工作的通知》，明确强调了基础设施的损坏中断对于社会-经济的重大影响，其所列举的九种重大基础设施（公路交通设施、铁路交通设施、水运交通设施、民航交通设施大型水利设施、大型煤矿、重要电力设施、石油天然气设施和城市基础设施）也都属于国际上各种对于“关键基础设施”定义的共同范畴。尽管到目前为止，我国还未在国家战略层面上出台相应的“关键基础设施保护”计划及相应的“重大研究计划”，但从上述出台的政令中可以看出，我国的关键基础设施保护战略正在提上日程。

1.3.2 对基础设施网络的认知和理解

对于基础设施间依赖关系的认知和理解，目前主流的研究框架有两个：一是由美国阿贡国家实验室提出的六维度框架，以复杂自适应系统为视角；二是美国爱达荷国家实验室以网络流为视角所提出的 CIMS（critical infrastructures modeling systems）框架（表 1-2）。

表 1-2 CIMS 框架

主流框架	视角	考虑的维度				简要评述
		属性	关系	拓扑	环境	
六维度框架[16]	复杂自适应系统	2	3	0	1	只是一个粗略的描述性框架，很难支撑进行进一步的精细化研究，缺乏拓扑维
CIMS 框架[17]	网络流	√	√	?	×	给出了基础设施及各依赖关系的规范化定义，但抽象程度过高

在对基础设施间相互依赖关系类型的划分方面，不同的学者从不同的视角提出了不同的划分方法，见表 1-3。

表 1-3 基础设施相互依赖关系划分类型

序号	划分类型	代表作者	视角
1	物理/数字/逻辑/空间	Rinaldi[3]	输入-输出
2	物理/信息/地理/政策/社会型	Dudenhoeffer[17]	事件-属性
3	空间/功能	Zimmerman[18]	结构-功能
4	输入/双向/共享/排他/地理	Lee[19]	服务提供

而对于基础设施网间失效类型的划分与连锁失效级次的定义，目前的学者均一致采用 Rinaldi 的定义[3]。

1. 相互依赖基础设施的认识和分析框架

1）六维度框架（美国阿贡国家实验室）

2001 年美国阿贡国家实验室基础设施保护中心主任詹姆斯·皮瑞布恩（James P. Peerenboom）在 IEEE 控制系统杂志（*IEEE Control Systems Magazine*）上发表了《关键基础设施依赖性的识别、理解和分析》一文，确立关键基础设施相互依赖关系的基本研究框架[3]。该框架以复杂自适应理论为基本视角，主张从基础设施的环境、耦合与响应特征、失效或破坏类型、基础设施的特征、运行状态和相互依赖类型 6 个维度来对关键基础设施的相互依赖关系进行分析（图 1-2）。

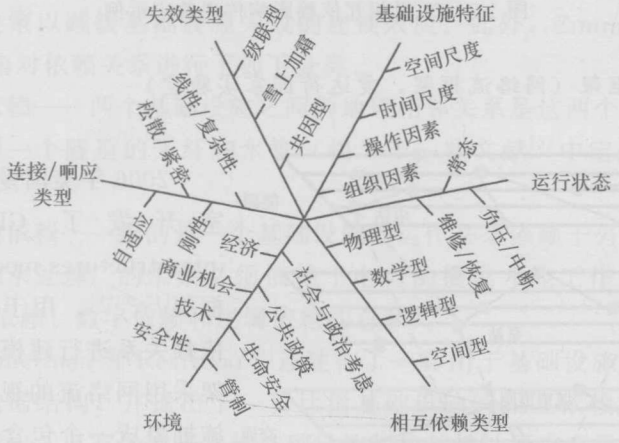

图 1-2 基础设施间依赖关系六维度框架[3]

六维度框架确定了以下 4 种类型的相互依赖关系。

物理型依赖——基础设施间有物质流从一个基础设施流向另一个基础设施。

数字型依赖——基础设施间存在信息交换。

地理型依赖——在地理空间上相邻，一个局部的环境事件所能影响的基础设施集合都属于地理性依赖。

逻辑型依赖——不属于以上三种依赖类型中任何一种的基础设施间的依赖。