

电网企业 危险源管理研究

李彦斌 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

电网企业 危险源管理研究

李彦斌 著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书围绕电网运行中的危险源管理展开系统研究,科学辨识了电网企业的危险源,定量评价了其危险性,提出了危险源的预警机制,分析了安全文化对安全行为的影响,结合精细化管理思想明确了危险源控制的途径,从而构建了由辨识到评价再到控制的危险源管理体系,为电网企业危险源管理提供了理论指导和应用思路。

本书共分六章,主要内容包括绪论、电网企业危险源辨识、电网企业危险源评价、电网企业危险源控制、实证分析和电网企业危险源管理的应用实践。

本书可供电网企业管理人员和相关专业的研究人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

电网企业危险源管理研究/李彦斌著. —北京:中国电力出版社, 2010. 9

ISBN 978-7-5123-0382-9

I. ①电… II. ①李… III. ①电力工业—工业企业—安全管理 IV. ①TM08

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 077089 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 http://www.cepp.com.cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2010 年 9 月第一版 2010 年 9 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 14.75 印张 258 千字

定价 32.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前言

安全是电网企业永恒的主题，不仅牵涉员工的生命安全和企业的经济效益，更关系着国民经济发展和社会的稳定。电力生产的产业特点决定了电力行业是一个具有潜在危险性的行业，而现阶段我国不少电网企业在危险源管理控制方面的能力仍相对较薄弱，因此，如何构建适合于我国电网企业特点的有效危险源管理体系具有十分重要的理论意义和应用价值。

本书在借鉴现有成果的基础上，围绕电网运行中的危险源管理展开系统研究，运用科学的方法辨识了电网企业的危险源，定量评价了危险源的危险性，提出了危险源的预警机制，分析了安全文化对安全行为的影响，结合精细化管理思想明确了危险源控制的途径，从而构建了由辨识到评价再到控制的完整危险源管理体系，为电网企业危险源管理提供了理论指导和应用思路。本书所做主要工作如下：

提出了电网企业危险源辨识方法，得出了电网企业危险源辨识结果。本书应用危险源引发机理以及危险源与事故的关系理论，结合电网企业安全统计分析情况，建立了三类危险源的辨识依据和方法，得出了危险源辨识结果。该结果充分体现了电网企业危险源的特殊性与复杂性。该方法已在某电网公司进行了实际应用，受到了企业的肯定与好评。

构建了基于灰色神经网络的电网企业危险源总体评价模型。针对电网企业危险源评价的复杂性、非线性和模糊性等特点，从生产设备、工作环境、安全管理三个维度提出了电网企业危险源评价指标体系，在 BP 网络理论的基础上，根据灰色系统动力学特征及其中的确定性信息，构建了灰色神经网络模型(GNNM)。实证分析结果显示，该模型能够得到更为精确反映电网企业危险源总体水平的评价结果。

建立了基于动态模糊法的电网企业危险源动态评价模型。由于电网企业危险源的状态在不断地变化，因此，本书将层次分析法和动态模糊理论相结合，建立了基于动态模糊法的电网企业危险源动态评价模型。该模型可通过对照单

项指标的评价等级,判断出企业安全的整体状态,并针对其薄弱环节制订具体的改进措施。最后以××电网公司为例对其有效性进行了实证分析。上述两种模型具有互补性,因此在评价电网企业安全性时,需要综合考虑两种模型的评价结果,以便对危险源安全状况作出全面而准确的判断。

在对危险源进行评价的基础上,就要对危险源实施控制。危险源控制是一项复杂的系统工程,本书从预警机制、安全文化和精细化管理思想三个方面对电网企业危险源控制进行了分析研究。

建立了电网企业危险源预警机制。本书针对电网企业的特点建立了电网企业危险源预警模型。模型中将电网运行的安全状态看作是电网结构等四个主要变量的函数值,并采用多目标线性加权函数法得出电网的安全状态值。在模型求解中,利用最优传递矩阵性质对一般 AHP 方法进行了改进,简化了求解步骤,提高了求解精度,最后给出了电网企业危险源预警信号系统及其实施的保证措施。

建立了电网企业安全文化对安全行为影响的评价模型。不安全行为是危险源控制的重要内容之一。本书从分析安全文化和安全行为的关系入手,基于云理论建立了电网企业安全文化对安全行为影响的评价模型。实例分析显示,该模型克服了以往评价方法主观性强的不足,可以清楚地对电网企业安全文化对安全行为影响的显著程度进行判断。

确定了基于精细化管理思想的电网企业危险源控制有效途径。本书提出了电网企业危险源控制的原则与方法,分析指出了基于精细化管理思想的电网企业危险源控制的有效途径可从技术控制、行为控制和管理控制三方面来进行。

本书在选题及研究过程中得到了我的博士生导师北京航空航天大学张宁教授的悉心指导,他循循善诱的教导和源源不断的思路给了我无尽的启迪。另外,我的同事华北电力大学的董福贵老师、李晓宇老师,山东某供电公司的领导与工作人员,硕士研究生赵徽、李观红、李鹏和魏蓬四位同学等,有的与我讨论问题,有的为我提供实证数据,他们的大量帮助使本书能够顺利完成,在此向他们表示衷心的感谢。同时也向本书转载和引用文献的所有作者表示感谢。

由于作者水平所限,书中难免存在一些不妥之处,请各位读者指正。

李彦斌

2010年9月

目 录

前言

第一章 绪论

- 第一节 研究背景及意义 / 1
- 第二节 危险源管理的研究现状 / 5
- 第三节 研究的主要内容和路径 / 17

第二章 电网企业危险源辨识

- 第一节 电网企业危险源的界定 / 21
- 第二节 电网企业危险源系统辨识 / 30

第三章 电网企业危险源评价

- 第一节 危险源评价常用方法 / 46
- 第二节 基于灰色神经网络的电网企业危险源评价 / 49
- 第三节 基于动态模糊法的电网企业危险源评价 / 61

第四章 电网企业危险源控制

- 第一节 电网企业危险源控制中预警机制的研究 / 72
- 第二节 电网企业安全文化对安全行为影响的评价 / 91
- 第三节 基于精细化思想的电网企业危险源控制的研究 / 110

第五章 实证分析

- 第一节 基于灰色神经网络的电网企业危险源评价实证分析 / 121

- 第二节 基于动态模糊法的电网企业危险源评价实证分析/124
- 第三节 电网企业危险源控制中预警机制方法实证分析/129
- 第四节 电网企业安全文化对安全行为影响评价实证分析/133
- 第五节 结论与展望/137

第六章 电网企业危险源管理的应用实践

- 第一节 安全管理体系概述/140
- 第二节 ××供电公司安全生产管理体系建设概况/145
- 第三节 安全管理体系框架/154
- 第四节 安全管理体系构建/155
- 第五节 安全管理信息系统/178
- 第六节 安全管理体系实施/190
- 第七节 安全管理体系实施建议/192

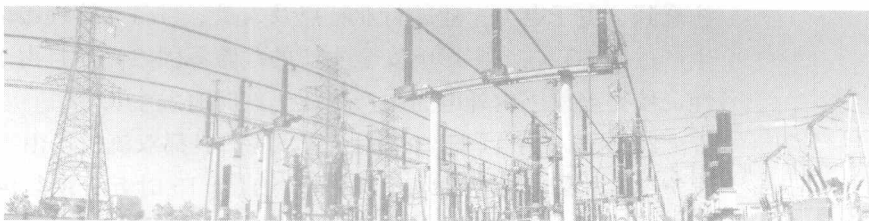
附录 A GB/T 13861—2009 生产过程危险和有害因素分类与代码(节选)/196

附录 B 电力生产事故调查暂行规定/204

附录 C 近年国外典型电网事故分析/210

参考文献/221

第一章



绪论

第一节 研究背景及意义

一、电网企业危险源管理的研究背景

电力工业是国民经济的基础性产业，不仅在经济发展过程中发挥着先导作用，更是推动经济社会发展的重要力量。但是由于电力生产和输送的产业特点具有涉及范围广、环节多、耗费资金巨大、操作系统复杂、使用维护费用高等特点，决定了电力行业是一个具有潜在危险性的行业，其风险具有高发性和复杂性。电网企业作为电力输送的主体，是典型的技术密集型产业，从电力的生产地输送到用户的使用，所有过程的瞬间完成依靠的是成百上千高科技设备的输送、转换与保护。与此同时，随着电网的不断扩大和电力系统自动化、智能化水平的不断提高，对电力设备的可靠性、电力系统的稳定性和安全性水平也提出了更高的要求。电网企业一旦发生事故，对于经济发展和社会稳定影响巨大。

电力行业历来高度重视安全生产，一直把安全生产放在开展电力生产的首位，素有“安全第一”的目标和口号，并相应设置了各级安全监察管理机构，制订了《电力生产安全工作规程》、《电力生产事故调查规程》等系列规章制度和许多的反事故措施等执行细则。多年来，电网企业和员工牢固树立“安全第一”的思想，立足电网实际，面向电网发展，坚持电网先行，以建设坚强的电网为基础，以科学的管理为依托，以先进的技术为手段，全面贯彻落实 DL 755—2001《电力系统安全稳定导则》，建立适应全国联网需要的电网企业安全管理体系，贯彻执行“安全第一，预防为主”的安全工作指导方针，取得了较好的成效，积累了许多宝贵的经验，为我国电力工业的发展起到了积极的推动作用。国外的电力供应商一直把电力安全生产放在重中之重的位置，但是应该

注意到,由于电力工业的行业特点及人员、设备、管理等诸方面的原因,电力生产过程中存在许多影响安全生产的危险源因素,而且由于危险源的复杂多变性,使得当前国内外电力生产事故仍然时有发生。

2009年8月11日10时14分,四川成都双流机场由于其自有变电站供电设施突发故障,致使机场全场停电。直至15时5分恢复供电,停电时间长达近5h。其间,共造成148个航班延误,滞留旅客近万人。据悉,如此大规模、长时间的停电在近年来国内航空界中尚无先例。

2009年3月30日,澳大利亚第一大城市悉尼市中心发生大面积停电事故,约7万人受影响,造成这一地区不少企业停运,交通混乱。

2008年初,在我国南方所发生的雨雪冰冻灾害,不仅导致了湖南、广西等省(区、市)的电网基本瘫痪,电力供应中断对于社会正常运转所产生的后续影响更是给人们留下了深刻的教训。

2008年1月19日,赞比亚发生大范围的停电事故,事故造成该国部分铜矿生产被迫中断,给冶炼和矿业造成了巨大损失。

2007年4月19日晚,哥斯达黎加最大的阿雷纳尔变电站因技术故障导致全国电网瘫痪,全国停电长达3h。

2006年是世界停电事故频发的一年。

2006年5月25日上午,俄罗斯莫斯科南部、西南和东南城区及郊区发生大面积停电,给城市工业生产、商业活动和交通运输造成不利影响,很多商场也被迫停止营业。

2006年7月17日,美国纽约发生了纽约历史上最严重的一次停电事故,直至8月18日才全部恢复电力供应。据有关专家分析,此次大停电主要由以下几个方面的因素造成:天气原因,纽约市连降暴雨,暴风雨、高温可能直接导致停电;电网原因,22条向昆斯区输送电力的主要供电电缆中有10条同时出现故障,造成线路不堪重负而断电;人为原因,对事故波及范围和严重程度缺乏足够的认识,导致了事态的进一步扩大。

2006年8月14日,一场大停电突袭了日本东京及周边地区,使139.1万用户蒙受停电之苦,东京市繁如蛛网的地铁和电车停运,公共交通系统几乎瘫痪,许多人被困在戛然而止的电梯中。据日本媒体报道,大停电事故是由一家建筑公司的起重船引起的。

2006年9月24日,巴基斯坦发生全国大停电。全国70%以上的居民受到停电影响,数百万人无电可用,这是巴基斯坦近5年来所遭遇的最严重的停电

事故。此次大停电是由于电网出现故障引起的。

2006年11月4日，西欧多国遭遇特大停电事故，约1000万人受到影响。这是法国30年来最严重的停电事故，约500万法国人的电力供应被切断。在德国，停电影响了至少100万人，著名的鲁尔工业区也未能幸免。这次停电事故还波及意大利西北部的皮埃蒙特、利古里亚和东南部的普利亚地区。此外，包括比利时安特卫普在内的11个城市停电，西班牙的马德里、巴塞罗那、萨拉戈萨等地也因停电而一片黑暗。这次大停电事故的直接起因是，德国为了让一艘船出厂切断了两条高压线，引发了欧洲电网连锁反应。

2003年8月15日凌晨4时许，北美地区发生有史以来影响地区最大的一次停电。美国纽约市曼哈顿首先发生大面积停电，继而影响到美国东部和加拿大部分地区，其中包括美国底特律、托莱多、克利夫兰、波士顿以及加拿大多伦多和渥太华等大城市都全面停电。美国东北部的密歇根、俄亥俄、纽约、新泽西、康涅狄格和马萨诸塞等6个州以及加拿大的安大略省无一不受到严重影响。停电波及约9300平方英里，影响多达5000余万人口的工作、生活。停电导致当地的航空业连续两天陷于混乱状态，美国和加拿大的航空公司被迫取消上千个航班；造成地铁停运，地面交通也全面停止，交通基本瘫痪，绝大部分商店都关门停业，移动电话网络也被中断。许多人陷入恐慌，成千上万人涌上了大街，到处可见惊恐的人们四处奔逃。据美国经济学家估计，这次美国历史上最大的停电事故所造成的经济损失每天可能多达300亿美元。

2008年，排除2次罕见重大自然灾害影响，我国全年电网总体运行情况较好，自然灾害、设备故障、人员违章作业仍是威胁电网安全运行的三大主因。按事故原因分类统计，共发生自然灾害引起的电网事故15起，占全部的27.78%；发生26起由设备故障引起的电网事故，占全部的48.15%；发生7起由人员责任引起的电网事故，占全部的12.96%；发生6起由其他原因引起的电网事故，占全部的11.11%^[1]。近5年来的电网事故原因分类比较如图1-1所示。

近年来，全球范围内大停电事故时有发生，其原因多为三类。

(1) 自然灾害频发。澳大利亚墨尔本发生的大面积停电事故的最初起因是丛林大火烧毁了一台发电机，电力系统因超负荷运行导致电力供应中断；菲律宾大马尼拉区和附近几个省的大规模停电起因是闪电击中一条输电线路导致该线路跳闸并引发连锁故障；美国纽约部分地区停电事故同样是闪电击中变电站

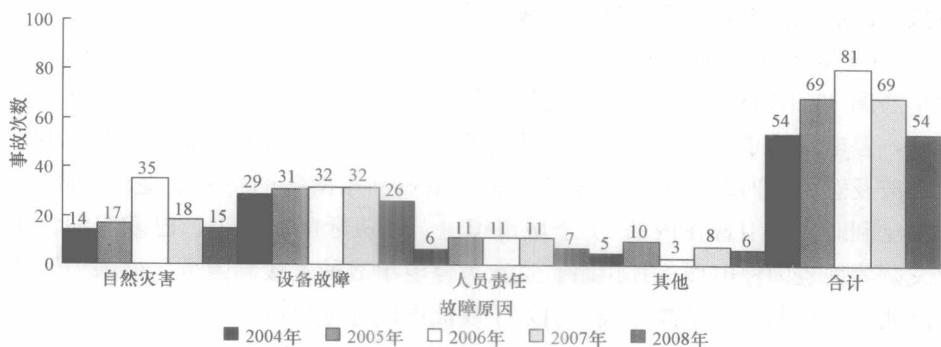


图 1-1 2004~2008 年我国电网安全事故原因分类比较

附近线路引发线路跳闸。因此，自然灾害频发已经成为危害电力系统安全运行的主要威胁。

(2) 发电电源故障。哥伦比亚大面积停电事故的原因是首都波哥大北部的托尔卡总发电厂发生技术故障导致了全国电网瘫痪。因此，发电厂特别是作为支撑电源和发电厂发生故障，对电网安全运行产生的严重影响不可忽视。

(3) 电力线路故障。哥斯达黎加、格鲁吉亚、西班牙巴塞罗那、澳门的大停电事故起因均为架空输电线路或电缆发生故障并引发连锁故障。因此，包括设备老化以及设备运行、维护和管理上存在的问题等都极有可能严重威胁电网安全，必须引起高度关注。

二、研究电网企业危险源管理的意义

电力安全生产事关国计民生。这些重大的停电事故已经给人们敲响了警钟，同时也引发人们对电网安全的思考。目前，我国的发电、电网企业在企业安全管理方面也取得了丰硕的成果，但是，针对电力企业尤其是电网企业的危险源辨识、评价、预警、控制依然是电力行业从业者和研究者面前的一项紧迫工作。以深入贯彻和落实科学发展观为基础，科学地运用系统管理思想，结合电网企业安全管理现状，对电网企业的危险源进行辨识、评价，进而提出有针对性的控制措施，不仅能够提升电网企业的事故预防能力和安全管理水平，更是保障电网稳定运行、促进经济社会和谐发展不可或缺的重要环节，具有十分重要的现实意义。

(1) 能够提高电网企业抵御突发事件和自然灾害的能力。切实提高电网抵御突发事件和自然灾害的能力，必须加强应对自然灾害等突发事件的协调机制

和完善电网大面积停电应急处理预案体系,提高全社会应对电力突发事件的综合处置能力和预警水平。

(2) 能够使电网企业更好地适应电力市场建设和运营的需求。防止发生稳定破坏事故和大面积停电事故,能够确保电网安全、优质、经济运行。

(3) 能够使电网企业更好地满足电网建设发展和运行的要求。在电力发展进入到大电网、大机组、高电压、高自动化时代,必须依靠科学的、完善的、系统的危险源管理来确保电力系统的安全可靠运行。

(4) 能够使社会在更大范围内实现资源优化配置。电网的安全稳定运行可以不断提高电网输送能力,在实现更大范围内资源优化配置、推动我国能源的集约化开发运用、促进经济社会可持续发展方面起到重要的基础支撑作用。

第二节 危险源管理的研究现状

本书围绕电网运行中的危险源管理展开系统研究,最终形成一个由危险源辨识、评价、控制等环节组成的完整的电网企业危险源管理体系。因此,本书所涉及的研究方向主要有危险源辨识、危险源评价、危险源控制、预警机制、安全文化和精细化管理等几个方面。以下是对这些研究方向理论、方法、技术研究现状、关键问题及未来发展趋势文献的综述。

一、电网安全运行研究

电网安全管理工作内容包括人身安全、电网安全、设备安全。电网、人身、设备安全不仅直接影响电网企业本身,而且往往波及国家财产、社会稳定和国家安全。国内很多文献针对电网安全管理不同方面进行了研究。沈殿凤、朱正磊针对电网安全管理的现状,从电力调度方面进行分析,指出电网安全管理存在以下隐患:①人员的主观因素;②电网结构不合理;③发供电平衡方面存在问题;④电网建设受经济因素的影响很大^[2]。阮前途对电网安全生产的薄弱环节进行了阐述,指出当今电网安全的薄弱环节和不确定性负面因素主要有:①高速发展的电力需求对安全生产构成巨大的压力;②电力体制改革的不确定性给安全生产管理带来新的问题;③电网运行环境有进一步恶化的趋势;④安全生产基础薄弱,一些老大难问题积累重返;⑤电网本身存在较多薄弱环节,要保障电网安全必须要把电力设施保护工作放到重要位置以及需要做好技术监督和技术管理

工作^[3]。韦仲康从电力市场的大环境方面讨论了电网的安全与稳定,指出电力市场化影响电网安全的因素有:各市场参与方在追求经济效益的情况下,电网的安全运行水平有所下降;由于竞价机制的引入,电网潮流的分布将与以往调度部门所掌控的方式不同,增大了电网运行风险;在合理的辅助服务机制建立前,各参与方提供辅助服务的主动性意识下降,抵御事故冲击的能力受到削弱^[4]。洪延凤从外力破坏方面阐述了对电网安全的威胁,指出目前电力设施保护存在的主要问题有:政府对外力破坏的电网安全问题重视不够;现行法律和法规有漏洞且缺乏可操作性;缺乏专业化的电力保护执法队伍;对保护电力设施的宣传力度不够,基建遗留了部分外力隐患^[5]。宋鹏涛着重从人员管理和培训方面分析电网调度管理中的症结,提出要确保我国电网的安全稳定运行,需要坚持电网的统一调度,建立一套科学的调度员培训机制,以人为本强化对调度人员的调度业务培训^[6]。曹明坤分析了后备设备对保护电网安全的作用,指出在继电保护的日常工作中,人们一般对主保护都比较重视,对后备保护特别是远后备保护考虑不多,而在实际发生大的问题时,往往是因为后备保护考虑不周所致^[7]。刘吉发分析了影响电网安全的因素,包括:电网结构不合理;继电保护及安全自动装置可靠性问题;工作人员习惯性违章行为;电网系统一次设备完好率问题以及抗御自然灾害及外来灾害能力差^[8]。赵姗姗、鲁顺清等根据风险管理的理论和电网事故的特点,系统地探讨了电网安全风险管理并提出了改进措施,以形成安全生产预防机制,规避和化解安全风险,保障电网安全运行^[9]。韦华从电网调度出发,提出电网调度的主要任务是指挥电网的安全运行,针对电网调度安全运行问题阐述了加强继电保护的运行管理、加强运行方式的管理及应用实时安全警告系统等加强电网运行管理措施^[10]。

国外针对电网安全状况也进行了比较多的研究。Liggett D. 提出“基本要素是未来电力系统安全的基础”的思想,指出在电力系统安全管理的5P原则^[11],即 Program、Policy、Principles、Practices、Procedures。这“5P”分别代表科学的电网规划,正确的安全政策,细致的安全原则,在政策、原则指导下的操作和合理的安全管理流程。Bates W. F. 指出在电力从生产到最终到达用户可划分为四个阶段,而电力安全管理则是要将发、输、变、配四个阶段看作一个相互衔接的过程,认为电力系统的设计也应当首先以这一过程中人的安全为出发点;除此之外,电力系统设计还应当

考虑电力系统的稳定性和经济性；与此同时，结合这个过程的每个阶段，作者都给出了相应的安全设计原则^[12]。McClung、Mohla D. 提出了“安全源于设计”的概念，指出设计人员对于输配电网的设计以及工程师对于高、中、低电压电源和用电设备的设计是人身安全和电力系统安全的有效保证。也就是说，“安全源于设计”的理念是指通过科学的设计，把产生安全隐患的漏洞尽可能减少。这种理念强调的是，在安全管理过程中，有效的设计和事前预防会比事后监督起到更加有效的作用^[13]。McClung L. B. 指出了当前在研究电力系统安全领域所存在的误区，即大多数研究侧重于对触电事故的发生和预防的研究，与之相对应，文中提出了电力系统安全管理的整合概念^[14]。Floyd H. L.、Andrews J. J. 等概述了 20 多年来，学者们在电气安全方面所取得的进步，包括电气安全守则、标准的制定、危害危险性评价、电气事故数据收集等方面的新技术和实践成果，这些成果在避免电气伤害上发挥了很大作用^[15]。Purewal S.、Waldron M. A. 总结了英国健康与安全协会在电力工业安全方面所做的工作^[16]，对可编程的电气设备在继电保护系统中应用程度以及在设计、验证和保护这种系统时是否采取了合适的技术和措施提出了自己的评估方法。

二、危险源辨识评价研究

针对以上对电网企业安全管理的分析，本书运用危险源的思想对其进行危险源的辨识和评价。下面就国内外有关危险源的理论 and 危险源的辨识、评价方面的文献进行综述。袁旭、曹琦提出了工业安全理论，认为人员伤亡通常处于一系列因果连锁的末端，是结果，而导致这种结果的起因通常是人的不安全行为或机械、物质的不安全状态。而人的不安全行为是导致大多数工业事故产生的原因^[17]。Jeremy Stranks（杰里米·斯坦克斯）提到现代英国的健康与安全立法始于 1937 年的《工厂法》，为 1974 年出台《劳动安全健康法》起了促进作用。《劳动安全健康法》对雇主、雇员、雇主对雇员以外的人，实际占有人对其雇员以外的任何设计者、生产者，进口商和供应商等几种关系明确了相关安全健康法律责任，着重规定和保证了雇员在健康、安全的环境中工作^[18]。中国大唐集团公司提出了一整套重大危险源评估标准和评估方法，量化了重大危险源的风险级别，创新性地建立了重大危险源评估标准体系；创新性地建立完整的对重大危险源风险的可控体系，提高了应对突发事件的能力，有效控制了重特大人身伤亡、火灾爆炸事故、电网事故以及对社会产生重大影响的电力恶性事故^[19]。何叶培介绍了危险及危险源的概念、企业常见的危险源和存在

的危险因素,详细介绍了危险源辨识的工作程序。企业通过危险源辨识后,应更注重企业风险控制的策划,最终消除和化解风险^[20]。Micaela Demichela、Norberto Piccinini 等从某一具体案例出发,提出完善的评估标准是进行危险源辨识和评价的基本,并运用概率风险评估技术进行安全评价,以此为基础建立完整的安全管理系统。其核心是操作控制,尤以关键设备控制、设备检查和维护为安全工作中的重点^[21]。

王雪荣、韩之俊等指出与安全健康管理体系相比,现代职业安全健康管理体系具有显著特征:以危险源辨识、评价和控制为核心。企业开展危险源辨识、风险评价及风险控制的策划工作是初始职业安全健康状态评审工作的核心内容,而开展危险源辨识和风险评价又是整个危险源辨识、风险评价及风险控制的策划工作的核心基础^[22]。陈宝智根据危险源在事故发生、发展中的作用,以及能量意外释放理论把危险源分为两大类,即第一类危险源和第二类危险源。第一类危险源被定义为可能发生意外释放的能量或危险物质,其本身具有做功或干扰人新陈代谢的本领;第二类危险源则是导致第一类危险源约束、限制能量措施失效或破坏的各种危险源的统称^[23]。姚小刚则把危险源分为固有型危险源和触发型危险源。固有型危险源是随着生产系统的存在而必然存在的各种能量的载体,它们的存在是造成系统危险或系统事故的本质原因或动力性原因。触发型危险源是在生产活动的过程中能使固有型危险源的正常存在条件遭到破坏的各种硬件和软件,它们是系统从安全状态转向危险状态、从危险状态转向事故状态的条件,是造成事故的间接原因^[24]。丁传波、关柯等提出了危险源辨识的程序,即辨识系统的确定—危险源辨识—危险区域界定—危险源存在条件分析—危险触发因素分析—潜在危险性分析—危险源等级分解^[25]。陈亚宁阐述了常用的危险源辨识的系统安全分析方法:安全检查表、危险性预见分析、危害与可操作性研究、故障类型和影响分析、事件树分析、事故树分析和因果分析等^[26]。风险评价是分析项目所有阶段的整体风险、各风险之间的相互影响、相互作用以及对项目的总体影响、项目主体对风险的承受能力等方面。风险评价的主要方法有:定性评价方法,包括调查和专家打分法、层次分析法;定量分析法,主要采用模糊数学法、蒙特卡罗模拟、网络模型法和等风险图法等。另外还对这几种方法作了分析说明和比较。高佳、黄祥瑞、肖国清等阐述了在生产过程的不安全因素中,人是最活跃的因素,人的不安全行为和物的不安全状态会导致

事故的发生,而物的不安全状态往往也是人为导致的。按系统安全的观点,人也是构成系统的一种元素,当人作为一种系统元素发挥功能时,会发生失误。人的失误是人、机械、环境、技术和管理等诸多因素相互作用的结果。人的不安全行为是操作者在生产过程中发生的、直接导致事故的人的失误,是人失误的特例。因此,这两篇参考文献针对人失误和人员危险性评价给出了评价模型并探讨了如何应用于实际问题^[27,28]。Li C. D.、Zhou L. 通过对汽油精炼企业生产特点、安全管理现状以及安全评价指标体系的研究,提出一种安全评价模型。在该模型中,每一个安全因素是被量化的。根据生产安全的等级以及每个因素的单因子阈值的要求,所有安全因素的联合阈值范围可以被推导出来,这可以为石化炼油企业提供安全决策的依据^[29]。Li C. C.、Gao H. L. 等在灰色聚类分析理论的基础上提出一种道路安全度的评价方法。该方法将几何路线、交通量、历史事故和道路特征四种因素整合在一起,有多于10个的变量在这个评价模型中被引入。该方法可以通过安全等级将道路安全状况进行量化和评价^[30]。另外,由于该方法复杂的计算过程,作者已研制出一种辅助的计算机程序来完成计算。Wei L.、Zhang M. C. 等提出了把传统中医的“处方”理论应用于电站的安全评估模型中,即对于电厂的安全情况进行全面检查,根据检查结果进行分级,对于不同级别的安全问题开出不同级别的“处方”:通用问题的通用处方;特有问题的特别处方;以及针对流程、危险源、生产线等一系列安全管理系统中的内容的不同解决方案^[31]。Braband J. 以铁路信号为例,介绍了在铁路安全管理过程中所取得的经验和教训,指出一般的风险分析的框架应当包含系统识别、危险源辨识、危险容忍程度、危险源评价等几个部分。这一框架是基于历史经验形成的,涵盖了安全管理的各个方面,与此同时,在铁路信号管理过程中,三种信号的交错出现、控制对于铁路运输安全起着重要的作用。这种信号的思想也可以引入到其他领域的安全管理过程中^[32]。Redmill F. 介绍了风险分析方法在工业设备中的发展。指出随着工业设备技术水平的不断提高,相应的风险分析的手段也在不断提高,包括危险源的辨识、危险等级的评定、危险源的记录和改进等等构成了一个有机的整体,这种风险管理的思想从设备的设计到制造再到最终的调试运行贯穿始终^[33]。

三、危险源预警机制研究

预警是指对某一系统未来的演化趋势进行预期性评价,以提前发现特定系

统未来运动可能出现的问题及成因,为提前进行某些决策、实施某些防范和化解措施提供依据。把预警作为经济社会范畴的概念进行研究主要集中在经济预警上,后来又延伸到天然气、石油、航空、银行等领域^[34~37]。电网企业危险源预警的实质就是对电网企业安全问题进行应对性研究,探讨危机成因和控制方法以最大限度地降低安全风险及损失。

国外有关预警机制的理论相对而言出现得更早、更系统一些。经过多年的研究发展,国外已经形成了一整套的预警系统,如NOSA、万全管理体系等,并且在各个领域得到了充分的应用。

在经济预警方面,2004年,韩国Kyong J. O.^[38]用人工神经网络方法作为训练工具,构建了韩国经济危机预警系统;2006年,芬兰Liu S.^[39]用模糊聚类分析方法,分析了芬兰1992年货币危机,得出了经验性结论。

在银行预警方面,新加坡Tung W.^[40]于2004年提出了自组织模糊神经网络对银行早期阶段进行预警;土耳其Canbas S.^[41]等于2005年用多元统计分析对银行进行预警。

在财务预警方面,Wolfgang H.等利用SVM进行企业财务状况危机预警机制研究,并通过对美国2001~2002年84家企业进行实证分析^[42];周敏、王新宇提出了基于系统模糊优选和神经网络模型的企业财务危机预警方法,并对企业财务危机的测定、财务危机预警推理知识的神经网络动态学习与推理、财务危机指标的预测等功能进行了集成^[43]。

关于能源预警的研究在我国起步较晚,但也取得了一些成果。王慧敏、尹士奎等提出了建立4个预警子系统和预警指标体系的设计原则、基本框架^[44];王礼茂在分析影响资源安全5个主要因素的基础上选择了14项指标组成了资源安全评估体系,并运用该指标体系对我国的石油和粮食安全状况进行了初步评估^[45];郭小哲、段兆芳提出了涵盖突变、效益、供需、环保、效率以及石油安全的特殊监测体系^[46];迟春洁突破传统的风险预警模式,运用改进的神经网络方法建立了中国能源安全预警模型,同时对我国2010年的能源安全状态进行了尝试性预警分析,得出初步结论^[47];刘强、姜克隽等在分析我国能源安全总体态势以及预警基本原则的基础上,建立了由4个子系统、5个构成要素、共46个评价指标组成的中国能源安全预警评价指标体系^[48]。

Tamronglak S.、Phadke A. G.、Thorpz J. S.等提出了电网实时安全预警系统的可行方案,通过“分诊”,从各个侧面跟踪确定电网的安全级别,通过