

危险化学品事故特点及四川电网的防范措施

耿植¹, 毛义鹏², 余乐², 文燚², 刘曦¹, 兰新生¹, 曾晓亮¹, 王志高¹, 刘红志²

(1. 国网四川省电力公司电力科学研究院, 四川 成都 610041; 2. 国网四川省电力公司, 四川 成都 610041)

摘要:为掌握危险化学品事故特点, 防范危险化学品事故, 对国内外历史上发生的300余起典型危险化学品事故进行研究分析。分析结果表明, 危险化学品事故类型以火灾爆炸居多, 夏季高温季节是重特大事故易发、多发时期, 使得该时期的危险化学品安全工作具有特殊性、复杂性, 生产(运行)环节、作业和检修环节以及储存环节是事故防范的重点, 违法违规是导致事故发生的主要原因。根据四川电网危险化学品实际, 提出针对性的事故防范措施建议, 为保障四川电网危险化学品安全形势持续稳定提供参考。

关键词:危险化学品; 事故防范; 四川电网

中图分类号: X928 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2021)03-0082-06

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20210315

Characteristics of Hazardous Chemical Accidents and Preventive Measures for Sichuan Power Grid

Geng Zhi¹, Mao Yipeng², Yu Le², Wen Yi², Liu Xi¹, Lan Xinsheng¹,
Zeng Xiaoliang¹, Wang Zhigao¹, Liu Hongzhi²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Research Institute, Chengdu 610041, Sichuan, China;
2. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China)

Abstract: In order to understand the characteristics of hazardous chemical accidents and prevent the hazardous chemical accidents, more than 300 typical hazardous chemical accidents occurred in history at home and abroad are studied and analyzed. The analysis results show that: the most common types of hazardous chemical accidents are fire and explosion. High temperature season of summer is a period prone to major accidents and frequent occurrences, which makes the safety work of hazardous chemicals in this period special and complex. Production (operation) links, operation and maintenance links and storage links are the focus of accident prevention, and violations of laws and regulations are the cause of the accidents. According to the actual situation of hazardous chemicals in Sichuan power grid, specific accident prevention measures are proposed to provide a reference for ensuring the continued stability of safety situation of hazardous chemicals in Sichuan power grid.

Key words: hazardous chemical; accident prevention; Sichuan power grid

0 引言

危险化学品在社会经济活动中具有重要作用, 涉及的行业类别众多^[1]。对于电网发展, 危险化学品发挥出了独特的作用。例如, SF₆ 由于具有优良的电绝缘和灭弧性能被广泛应用于电力设备^[2-3], 各种化学试剂类危险化学品被应用于理化检测、研究实验等, 促进了电网技术的研究发展^[4-9]。目前,

四川电网危险化学品主要涉及燃油类危险化学品、SF₆ 气体及实验室化学试剂类危险化学品。燃油类危险化学品具有易燃易爆的危险特性, 涉及运营、储存等环节, 安全风险较高; SF₆ 气体使用量大、回收处理工作量大, 本身存在窒息风险外, 还可能因充气设备故障产生有毒气体对检修作业人员产生伤害^[10-12]; 实验室试剂类危险化学品种类较多, 具有不同的危险特性, 实验人员如果不了解危险化学品的危害和分类, 不能正确使用和储存危险化学品就

会形成安全隐患^[13]。以上特点使得四川电网危险化学品安全工作相对特殊和复杂。为此,对国内外历史上发生的典型危险化学品事故进行了研究,分析危险化学品事故特点并结合四川电网危险化学品的实际情况提出针对性的防范措施建议。

1 概况

事故信息主要来源为中华人民共和国应急管理部官方网站公布的警示信息及典型案例^[14-26]。据不完全统计,截至2020年11月,共搜集整理国内外典型危险化学品事故346起,其中国内危险化学品事故295起,国外危险化学品事故51起。国内危险化学品事故时间跨度为1981—2020年。国外危险化学品事故最早至1921年,最近为2020年。国内危险化学品事故涉及11个环节(生产运行、作业、检修、储存、调试、废物处理、卸料、改造、经营、试验及其他环节)、5种事故类型(火灾爆炸、泄漏、窒息或中毒、喷炉、机械伤害、灼烫)、4种事故等级(一般、较大、重大、特别重大)。国外危险化学品事故地点涉及18个国家,7个环节,3种事故类型(火灾或爆炸、泄漏、中毒)。由于各国的国情不同,相关法律法规和标准也有所区别,因此未对国外危险化学品事故等级进行划分。

2 国内事故分析

2.1 事故类型

从事故类型来看,火灾爆炸事故(着火、火灾、燃烧或超压引起的爆炸、爆裂、燃爆、闪爆等,下同)及泄漏、中毒或窒息事故占绝大多数,共291起。其中,火灾爆炸事故202起(占68.5%),为主要事故类型,其次为泄漏、中毒或窒息事故,共89起(占30.2%)。各事故类型的统计情况如表1所示。

表1 危险化学品事故类型统计

事故类型	数量	比例/%
火灾爆炸	202	68.5
泄漏、中毒或窒息	89	30.2
灼烫	2	0.7
机械伤害	1	0.3
喷炉	1	0.3

四川电网涉及燃油(汽油、柴油等)、无水乙醇、

石油醚等易燃化学试剂和SF₆气体等危险化学品。燃油、易燃化学试剂具有导致火灾爆炸的危险性,其中汽油等燃油类危险化学品涉及运营、储存等,涉及量更大,危险性更高,对防火防爆等安全措施的要求更高。例如,2001年7月23日发生的河南郑州标准石化有限公司商城路加油站较大火灾爆炸事故,加油站的加油机下方输油竖管环形焊缝裂缝存在漏油,渗入地下室,产生大量汽油蒸气与空气混合,混合气体达到爆炸极限。因地下室设备是普通非防爆型,操作人员进入地下室,操作电灯开关时产生电火花引发爆炸^[20]。SF₆气体在电力系统大量和广泛应用,对运行设备、储存装置的气密性有较高要求。根据危险化学品事故类型特点及四川电网实际,应重点防范火灾爆炸和泄漏、中毒或窒息事故。

2.2 事故等级

从事故等级来看,一般危险化学品事故11起(占3.7%),较大危险化学品事故246起(占83.4%),重特大危险化学品事故38起(占13.2%,其中重大事故29起,占9.8%;特别重大事故9起,占3.1%),如表2所示。危险化学品事故类型以较大事故为主,但重特大危险化学品事故造成的后果和损失严重,影响范围大,应引起高度重视。

表2 危险化学品事故等级统计

事故等级	数量	比例/%
一般	11	3.7
较大	246	83.4
重大	29	9.8
特别重大	9	3.1

2.3 事故时间

统计分析表明,特别重大危险化学品事故相对集中发生在2010年度至2019年度。此时间段共发生5起特别重大危险化学品事故,占1981年以来特别重大事故总数的55.6%。此特点与中国经济日益发展,危险化学品行业规模较早期显著增大有着密切联系。危险化学品生产经营活动数量和规模的增加,增大了安全风险和后果的严重程度。另外,危险化学品事故的发生与月份也有较大的相关性。根据统计结果,发生在6月至8月的重特大危险化学品事故有19起,占重特大事故总数(38起)的50%,如图1所示。从图中可以明显看出重特大事故相对集中发生在6月至8月。此特点与夏季持续高温天气下危险化学品反应活性更高,人员更易精

神倦怠等原因有关。例如,2015年8月12日发生的天津滨海新区特别重大爆炸事故,就是由于硝化棉在高温(天气)等因素作用下自燃引起^[21]。硝化棉由于湿润剂散失出现局部干燥,在高温(天气)等因素的作用下加速分解放热,积热自燃,引起相邻集装箱内的硝化棉和其他危险化学品长时间大面积燃烧,火势蔓延到运抵区的硝酸铵等危险化学品。硝酸铵是一种氧化性固体,本身不会燃烧,但在受热或者接触高温表面、火花或明火时,会发生分解性爆炸,大幅增加火灾爆炸的严重程度,最终造成严重后果。除典型的重特大事故外,2020年7月8日四川广汉鞭炮厂发生一般爆炸事故,也是由于高温天气等因素自燃引起^[27]。

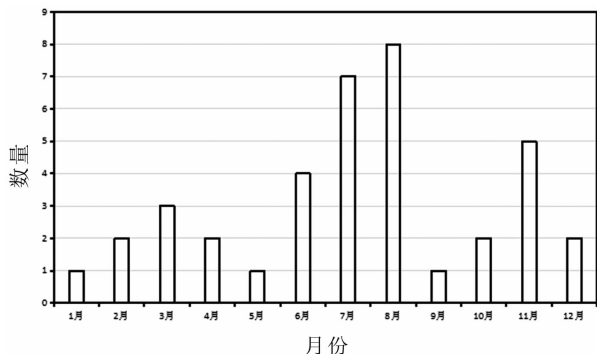


图1 重特大危险化学品事故发生月份统计

在夏季高温时期,电网负荷增大,安全生产任务加重,除电网运行的安全风险增加外,危险化学品安全风险也会有所增加。例如:在高温环境中,石油醚等有机试剂更易挥发,若不注意储存温度,在打开试剂瓶时挥发气体可能冲出,人员操作不慎就可能受到伤害; SF_6 在钢瓶中以液态形式储存,若遇到极端夏季高温天气,环境散热、通风等条件不佳,温度超过 SF_6 的临界温度($45.6\text{ }^\circ\text{C}$),则可能发生 SF_6 气化而急剧升压导致气瓶泄漏甚至爆炸。因此,在“迎峰度夏”期间,电网安全运行维护和危险化学品事故防范都应该是安全生产工作的重点。

2.4 发生环节

从事故发生的环节来看,发生在生产运行环节的危险化学品事故最多,有130起,占44.1%。其次为作业和检修环节,分别为69起(占23.4%)和41起(占13.9%)。各环节发生的事故数量统计结果如图2所示。值得注意的是,发生在储存环节的15起危险化学品事故中,有7起为重特大事故,接近该环节事故数量的一半。而发生在储存环节的重特大事

故中,3起为特别重大事故,占特别重大事故总数(9起)的三分之一。这是因为危险化学品可能具有不同程度的易燃、易爆、毒性、腐蚀性等危险特性,在储存环节总量相对较大,危险性相对集中,发生火灾爆炸等事故时释放的能量更大,就容易造成严重后果,导致发生重特大事故。统计结果表明,生产运行、作业和检修环节应为危险化学品事故防范的重点,而储存环节一旦发生事故,造成严重后果的可能性较高,也应为危险化学品事故防范的重点。

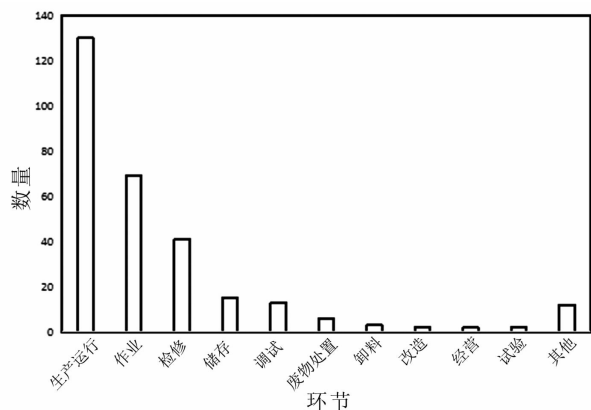


图2 危险化学品事故发生环节统计

对于电网系统而言, SF_6 气体与电网安全生产与运行密切相关,具有用量大、使用范围广的特点,其纯度、压力、湿度等质量指标直接影响电网设备安全,一直是安全运行维护的重点。另外, SF_6 气体还涉及储存、作业和检修等环节,燃油类危险化学品和试验室试剂类危险化学品涉及储存环节。 SF_6 气体通常情况下储存在钢瓶中,若钢瓶质量不合格或阀门未拧紧、发生松动等可导致 SF_6 气体泄漏。由于 SF_6 密度比空气大(约是空气的5倍)且不易扩散,容易在低处积累,若在储存场所发生大量泄漏,则存在窒息风险。另外,运行设备中的 SF_6 气体在放电等情况下可能发生分解,与设备中的 H_2O 、有机物等物质发生反应后可生成 HF 、 H_2S 、 SO_2F_2 等有毒气体,在作业和检修环节存在对人员造成伤害的风险;燃油类危险化学品和试验室试剂类危险化学品的储存规模虽然不及化工企业及专门的大型仓储设施,但若发生火灾爆炸事故,易造成严重后果,且会对企业社会形象造成不良影响。由此可知,以上相关环节应为四川电网危险化学品事故防范的重点环节。

2.5 事故原因

各类型的事故原因统计结果如图3所示。从事故发生的原因来看,违反法律法规、操作规程或劳动

纪律是导致事故发生的主要原因。统计表明,在发生的各类型危险化学品事故中,有 67.1% 的事故存在违规的现象,共 198 起。

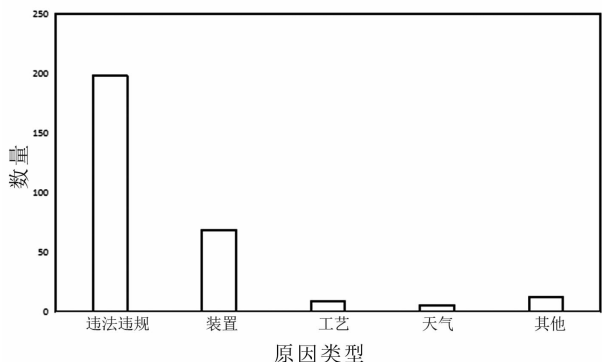


图3 危险化学品事故原因类型统计

在电网安全生产工作中,人员误操作、违规操作等极易造成安全事故,危害电网、设备及人身安全。对于涉及危险化学品的工作而言,大量经验教训表明违规现象同样容易引起安全事故,杜绝违规现象应为危险化学品事故防范的关键。例如,从事实验室试剂类危险化学品相关工作时,若实验人员不清楚实验所需化学试剂的危险特性和用法用量,盲目违规操作,轻则引起人员受伤,重则导致火灾爆炸等严重后果;SF₆ 电气设备解体检修时,若作业人员违反安全操作规程,不采取安全措施,擅自进行检修操作,将有可能发生中毒事故。

3 国外事故分析

3.1 事故类型

从事故类型来看,国外危险化学品事故中,火灾或爆炸事故为主要事故类型,发生的数量最多,共 43 起,占事故总数的 84.3%,泄漏和中毒事故相对较少。

3.2 发生环节

从事故发生的环节来看,发生在生产运行和储存环节的危险化学品事故共 33 起,占 64.7%,为事故发生的主要环节。其中,发生在生产运行环节的 20 起,占 39.2%,发生在储存环节的 13 起,占 25.5%。发生在作业和检修环节的危险化学品事故分别为 9 起(占 17.6%)和 5 起(占 9.8%)。其他各环节发生的危险化学品事故数量较少,共计 4 起。统计表明,生产运行环节在国内外都是事故防范的重点环节。对于储存环节,同样不容忽视。危险化学品储存环节发生

事故导致的严重性可能超乎想象,例如 2020 年 8 月 4 日发生的黎巴嫩贝鲁特港口区爆炸事故,储存硝酸铵的仓库发生爆炸,造成 171 人死亡,30 余人失踪,逾 6000 人受伤,几十万人无家可归^[22]。

3.3 事故原因

从事故发生的原因来看,缺少或违反安全规程以及装置设施故障异常是发生事故的主要原因,共 37 起,占 72.5%。其中缺少或违反安全规程 19 起,装置设施故障异常 18 起。

4 结语

国内外危险化学品事故研究结果表明,危险化学品事故类型以火灾爆炸居多,生产运行环节、作业和检修环节以及储存环节是事故防范的重点,违法违规是导致事故发生的主要原因。随着中国经济的增长,近年来危险化学品安全风险较以往时期有所升高,全面加强危险化学品安全工作尤为必要。夏季高温季节是重特大事故易发、多发时期,使得该时期的危险化学品安全工作具有特殊性、复杂性。违反法律法规、操作规程或劳动纪律是导致危险化学品事故发生的主要原因,单位及人员对安全规程执行到位是保障危险化学品生产经营活动安全进行的关键。

通过吸取国内外危险化学品事故经验教训,结合四川电网实际,提出以下建议:

1) 结合“迎峰度夏”安全生产工作开展夏季危险化学品安全工作,落实作业场所及储存场所、设施的温度控制措施,防止相关场所出现超温,保证危险化学品使用、储存的安全条件。

2) SF₆ 工作现场(实验室、库房、处理中心、变电站及换流站等)应做好防窒息安全措施,保证通风和气体含量监测设施可靠工作。SF₆ 充气设备开盖或解体检修时,应做好防中毒安全措施,根据风险大小正确选择和佩戴个人防护用品,如防护服、防毒面具或正压式空气呼吸器等。

3) 对于燃油类危险化学品,应落实防火、防爆、防静电措施,对于储存尤其是大量储存(如储罐储存),应保证储存场所、设施的安全条件。燃油类危险化学品安全风险较高的单位和场所,可借鉴大型石油化工企业的先进安全管理经验和安

全技术措施。

4) 对于化学试剂类危险化学品, 从事相关试验工作的人员应具备相应的化学知识和实验操作技能, 使用化学试剂前应充分了解其危险特性, 使用过程中注意控制试剂浓度和剂量在适当的范围, 避免浓度过高、剂量过大发生危险, 同时根据实验需要正确选择和使用防护装备和用品, 如通风橱、丁腈手套、护目镜等。使用危险性较高的化学试剂时, 建议有人监护, 监护人也应具备相应专业知识。化学试剂的储存应分类分区合理存放, 库房具有独立的温控、通风系统或设施, 保障化学试剂储存的安全条件。

参考文献

- [1] 李萧薇, 刘铁忠, 张湖波. 危险化学品技术灾害链构建研究[J]. 灾害学, 2019, 34(3): 172-177.
- [2] 冯胜昌, 钟理鹏, 刘凯, 等. SF₆ 放电分解组分分析及其应用的研究现状与发展[J]. 中国电机工程学报, 2015, 35(9): 2318-2332.
- [3] 林涛, 韩冬, 钟海峰, 等. 工频交流电晕放电下 SF₆ 气体分解物形成的影响因素[J]. 电工技术学报, 2014, 29(2): 219-225.
- [4] 岳小斌, 时士峰, 王鹏. 基于实用和安全理念的电网企业化学实验室设计[J]. 低碳世界, 2017(30): 26-28.
- [5] 马红雷, 朱艳青, 朱森, 等. 用于电网接地极表面的 Ni-P-CNTs 化学复合镀层的研制[J]. 电镀与精饰, 2017, 39(2): 14-18.
- [6] 缪春辉, 刘文方, 程俊飞, 等. 几种离子及工况环境对电网钢绞线腐蚀热力学和动力学的作用规律初探[J]. 材料保护, 2019, 52(12): 56-62.
- [7] 张绮, 张昱, 马书杰, 等. 变压器油酸值颜色指示剂法的建立及检测[J]. 润滑油, 2020, 35(1): 40-45.
- [8] 高波, 许竟, 夏国强, 等. 基于频域介电谱法研究甲酸对油纸绝缘水分评估的影响[J]. 高压电器, 2019, 55(2): 208-213.
- [9] 胡雪莹. 电气绝缘油结构组成与氧化安定性的相关性研究[D]. 上海: 华东理工大学, 2019.
- [10] 杨师斌. 六氟化硫气体的危害与预防[J]. 重庆工商大学学报(自然科学版), 2009, 26(1): 22-26.
- [11] 付丽君, 关艳玲, 张亮. 六氟化硫断路器的运行维护研究[J]. 黑龙江电力, 2019, 41(6): 499-502.
- [12] 赵纪崢, 赵冰, 刘少祯, 等. 六氟化硫生产及应用中低氟化物的生成机理和消除方法[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2014, 12(4): 41-46.
- [13] 谭大志, 于景成, 李童州, 等. 化学实验室危险化学品管理[J]. 实验室科学, 2020, 5(23): 226-229.
- [14] 中华人民共和国应急管理部. 历史上一月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-01-03)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202001/t20200103_343087.shtml.
- [15] 中华人民共和国应急管理部. 历史上二月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-02-04)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202002/t20200204_344127.shtml.
- [16] 中华人民共和国应急管理部. 历史上三月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-02-28)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202002/t20200228_344856.shtml.
- [17] 中华人民共和国应急管理部. 历史上四月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-04-02)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202004/t20200402_353452.shtml.
- [18] 中华人民共和国应急管理部. 历史上五月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-04-28)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202004/t20200428_353453.shtml.
- [19] 中华人民共和国应急管理部. 历史上六月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-05-29)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202005/t20200529_353456.shtml.
- [20] 中华人民共和国应急管理部. 历史上七月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-06-29)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202006/t20200629_354238.shtml.
- [21] 中华人民共和国应急管理部. 历史上八月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-07-30)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202007/t20200730_357601.shtml.
- [22] 中华人民共和国应急管理部. 历史上九月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-09-03)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202009/t20200903_358601.shtml.
- [23] 中华人民共和国应急管理部. 历史上十月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-09-30)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202009/t20200930_366922.shtml.
- [24] 中华人民共和国应急管理部. 历史上十一月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-10-30)[2020-

- 12 - 29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202010/t20201030_371150.shtml.

[25] 中华人民共和国应急管理部. 历史上十二月发生的危险化学品事故[EB/OL]. (2020-12-01)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/fw/jsxx/202012/t20201201_373116.shtml.

[26] 中华人民共和国应急管理部. 督促深刻吸取事故教训 推动压紧压实安全责任 应急管理部公布一批化工和危险化学品生产安全事故典型案例[EB/OL].

(2020-12-08)[2020-12-29]. https://www.mem.gov.cn/xw/bndt/202012/t20201208_374872.shtml.

[27] 德阳市应急管理局. 广汉金雁花炮厂“7·8”燃爆事故初步认定为一般事故[EB/OL]. (2020-07-10)[2020-12-29]. <http://yj.ji.deyang.gov.cn/gzdt/yjyw/993725.htm>.

作者简介:

耿植(1990),男,工程师,硕士,从事电网理化检测研究工作。(收稿日期:2021-02-23)

(上接第75页)

1)皮尔逊相关系数达到-0.2以上且聚类为大用户,其用电高峰区间导致电压下降1.282%,在该相下对于变压器电压波动具有较强的相关性。

2)对于单个小用户,其用电特征为:单区段用电功率小,用电间歇时间长,相关系数较低。但是,某一相下存在一片用电行为高度相似的小用户,该区域在同一时间段相关系数达到-0.2以上,其用电规律同样对变压器电压波动造成一定的影响,需要引起重视。

3)单个小用户的用电特性:区间功率小,用电间歇长,在台区电压与用户用电之间影响因子较弱。若非存在多个用电行为相似的皮尔逊系数用户,其用电行为与变压器电压波动可忽略。

参考文献

- [1] 王金丽,盛万兴,宋祺鹏,等. 配电网电能质量智能监控与治理仿真[J]. 电网技术,2014,38(2):515-519.
- [2] 刘明,郝思鹏. 基于GA-SVM多分类模型的台区低电压成因识别方法[J/OL]. 电测与仪表:1-7[2020-12-29]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/23.1202.th.20201125.09.00.002.html>.
- [3] 徐田磊,赵瑜杰,张懿. “低电压”问题产生机理及其治理思路探析[J]. 四川电力技术,2017,40(3):48-51.
- [4] 李睿. 低压配电网电压质量问题分析与治理[J]. 电工技术,2020(1):110-112.
- [5] 宋道军,王杰,虎啸,等. 改进粒子群算法的无功补偿方案优化以及对配电网电能质量的改善[J]. 电测与仪表,2020,57(18):18-23.
- [6] 贺建章,王海波,季知祥,等. 基于随机森林理论的配电变压器重过载预测[J]. 电网技术,2017,41(8):2593-2597.
- [7] 周青菁,陆金桂,宣兆新. 聚类算法在多变压器选址

中的应用研究[J]. 计算机工程与设计,2011,32(1):281-284.

- [8] 林海明,杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J]. 统计研究,2013,30(8):25-31.
- [9] 莫超,吴杰康,简俊威. 分布式电源配电网模糊多目标无功优化配置[J]. 智慧电力,2018,46(5):33-39.
- [10] 林少华,吴杰康,莫超,等. 基于二阶锥规划的含分布式电源配电网动态无功分区与优化方法[J]. 电网技术,2018,42(1):238-246.
- [11] 张建文,杨晨,冉懿,等. 基于PCA-GPQR的电网负荷短期概率预测[J]. 电力系统及其自动化学报,2020,32(5):24-29.
- [12] 王鹏,林佳颖,郭岫,等. 配用电数据分析及应用[J]. 电网技术,2017,41(10):3333-3340.
- [13] 赵劲帅,邱晓燕,马菁曼,等. 基于模糊聚类分析与模型识别的微电网多目标优化方法[J]. 电网技术,2016,40(8):2316-2323.
- [14] 陈子元,杨昊,万博文,等. 考虑负荷特性的并网型微电网可靠性评估[J]. 智慧电力,2019,47(2):37-42.
- [15] 张然,孙晓璐,何仲潇,等. 基于异常点检测和改进K-means算法的台区用户相别辨识方法[J]. 智慧电力,2020,48(1):91-96.
- [16] 胡兵,詹仲强,陈洁,等. 基于PCA-GA-Elman的短期光伏出力预测研究[J]. 太阳能学报,2020,41(6):256-263.

作者简介:

曾顺奇(1986),男,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统运行与控制;

吴杰康(1965),男,工学博士,博士生导师,教授,研究方向为电力系统运行与控制等;

李欣(1981),女,硕士,高级工程师,研究方向为电力系统运行与控制;

蔡志宏(1997),男,硕士研究生,研究方向为电力系统运行与控制等。

(收稿日期:2020-12-15)