

DOI:10.12158/j.2096-3203.2020.06.008

美国加州 2020 年 8 月中旬停电事故分析及思考

赵静波, 张思聪, 廖诗武

(国网江苏省电力有限公司电力科学研究院, 江苏 南京 211103)

摘要:2020年8月14日和15日,美国加州电网发生停电事故,共约81万人次受到停电影响。文中对该事故进行总结分析,为我国电网的安全稳定运行提供借鉴和参考。首先,对此次极端高温天气造成的切负荷和轮停事件进行介绍,分析总结造成该停电事故的主要原因,引入2个新能源反调峰特性的量化评估指标。然后,根据加州电网的实际,给出了加州相关机构针对该事故的短期及中长期应对措施。最后,结合此次停电事故所暴露的问题,从3个方面总结了对我国电网的启示,一是在电网规划及运行方面要建立考虑极端情况影响的电源规划机制,同时更加关注新能源快速发展过程中区域电网净用电负荷曲线变化特征;二是要优化电力市场建设;三是要提升电网柔性调控手段和能力。

关键词:停电;极端天气;电网规划运行;电力市场;电网柔性调控

中图分类号:TM711

文献标志码:A

文章编号:2096-3203(2020)06-0052-06

0 引言

2020年8月14日,美国加州电网发生停电事故,约49万人受到停电影响;8月15日,加州电网再次发生停电事故,约32万人受到停电影响。应加州政府的要求,加州独立系统调度运营商(California Independent System Operator Corporation, CAISO)、加州公用事业委员会(California Public Utilities Commission, CPUC)、加州能源委员会(California Energy Commission, CEC)三大机构,于2020年10月6日联合正式公布了此次停电事故的初步分析报告^[1]。该报告详细介绍了事故发生的背景及过程,分析了引发该事故的主要原因,给出了加州电网在短期及中长期2个时间跨度应采取的应对措施。然而,基于加州电网和我国电网情况的差异性,适用于加州电网的应对措施并不完全适用于我国电网。

在电网规划建设上,由于我国煤炭及风能、太阳能等可再生能源具有分布集中度高、与负荷中心呈逆向分布的特点^[2],国家电网公司利用特高压输电技术实现区域间电网互联,从而使资源得到优化配置,提高电网运行的经济性和清洁性^[3-5]。目前电力系统的特点是基于可再生能源和清洁能源、骨干电网与分布式电源结合、主干电网与局域网和微网结合,是可持续的综合能源电力发展模式^[6-9]。

我国正处于能源转型的关键时期,能源转型下的智能电网发展给电力系统安全稳定运行带来诸多挑战,包括系统不确定性增加导致系统调频能力

降低、电能质量下降^[10-11],系统开放性增加导致易受网络攻击威胁^[12],系统复杂性增加导致稳定水平降低、扩大故障范围等^[13]。此外,极端气候使电力运行可靠性受到严重威胁^[14-17],电网的调控手段较传统,没有充分利用电动汽车、需求响应等柔性负荷参与调节^[18-19]。

因此,文中首先简单介绍了此次停电事故的起因和发展过程;其次,分析了引发事故的主要原因,引入了2个新能源反调峰特性的量化评估指标;然后,给出了加州电网需采取的应对措施;最后,结合此次停电事故所暴露的问题,从电网规划运行、电力市场建设优化、以及电网柔性调控手段和能力提升3个方面总结了对我国电网的启示。

1 停电事故过程

加州电网以500 kV和230 kV电压等级为主,主要依靠燃气机组、可再生能源和区外电源供电,3种电源各约占用电量的1/3,加州电网对区外电源依赖严重。2018年加州电源发电量如表1所示,具体电源组成如图1所示^[20]。

表1 2018年加州电源发电量

Table 1 California power generation capacity in 2018

电源	发电量/ (GW·h)	电源	发电量/ (GW·h)
可再生能源	62 960	核能	18 268
水力发电	22 097	其他能源	759
天然气	90 693		

2020年8月14日至19日期间,包括加州在内的美国西部地区经历了大范围的极端高温。其中,加州地区气温比正常水平高5~11℃,影响了超过

收稿日期:2020-10-23;修回日期:2020-11-01

基金项目:国家自然科学基金青年基金资助项目(51607092)

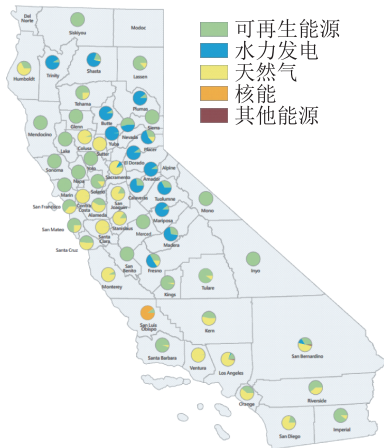


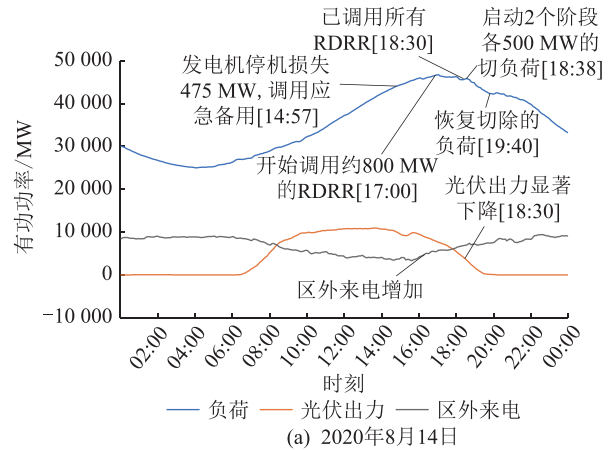
图1 2018年加州电网电源组成示意

Fig.1 Schematic diagram of electricity generation in each county of California for 2018

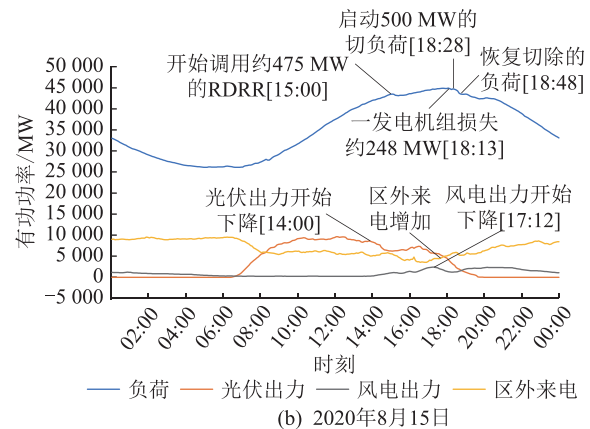
3 200万加州居民。极端高温导致空调使用量和使用时间剧增,加州电网负荷持续增大。

图2为加州电网负荷、光伏出力和区外来电曲线。如图2(a)所示,2020年8月14日,当地时间14:57,加州电网某容量为494 MW的发电机组由于工厂故障被迫停运,CAISO 迅速利用其应急备用补偿了损失的发电功率。17:00,加州电网备用容量不足的情况未得到改善,随即 CAISO 调用了约 800 MW 的可靠性需求响应资源(reliable demand response resource, RDRR)。18:30,所有的 RDRR 都已调用,负荷仍然很高,而光伏出力则显著下降。当地时间18:38,为使加州电网的可靠备用容量满足北美电力可靠性公司和西部电力协调委员会(Western Electric Coordinating Council, WECC)设定的负荷6%的要求,保障加州电网及西部电网的安全稳定运行,CAISO 启动了2个阶段各500 MW的受控切负荷方案使系统恢复和维持足够的备用容量。19:40,系统情况改善,CAISO 开始逐渐恢复之前切除的负荷。在负荷达到峰值附近时,CAISO 还通过协调增加了加州俄勒冈州互联电网(California Oregon Intertie, COI)向加州电网的送电功率。

如图2(b)所示,2020年8月15日,当地时间14:00—15:00,风暴云造成光伏出力下降超过1 900 MW。15:00左右,由于系统应急备用容量达到临界值,CAISO 调用了891 MW的RDRR。17:12—18:12,风电出力下降了1 200 MW。18:13,由于调度员向发电厂发送了错误的调度指令,帕诺奇能源中心意外将其发电功率从约394 MW降低到约146 MW,导致其损失约248 MW的发电功率。18:28,由于不能满足备用容量要求,CAISO 启动了约500 MW的受控切负荷方案。18:48,由于风电出力增加



(a) 2020年8月14日



(b) 2020年8月15日

图2 加州电网负荷及光伏出力和区外来电

Fig.2 The demand power, solar power, wind power and input power curves of California grid

了500 MW以上,CAISO 恢复了所有之前切除的负荷。与8月14日相同,在负荷达到峰值附近时,CAISO 通过协调增加COI向加州电网的送电功率。

2 事故主要原因分析

2.1 新能源的反调峰特性

电网调峰通过调节常规机组和区外来电出力平衡负荷,但随着光伏、风电等新能源的大量接入,其出力不确定性和波动性导致电网峰谷差变大,造成常规电源和区外来电调节压力增大。

为量化新能源对电网调峰特性的影响,引入2个新能源反调峰特性的量化评估指标。

(1) 新能源对负荷低谷拉低系数 H 。其用于定量表征新能源对系统最低负荷水平的影响程度,最低负荷是制约负荷低谷电网调峰的最关键因素。

$$H = \frac{L_{\min, \text{load}} - L_{\min, \text{load-ws}}}{S_{\text{ws}}} \quad (1)$$

式中: $L_{\min, \text{load}}$ 为日负荷最小值; $L_{\min, \text{load-ws}}$ 为日净负荷(负荷-新能源出力)最小值; S_{ws} 为新能源装机容量。 H 值越大,则表明新能源对电网低谷负荷的拉低量越大,对常规电源和区外来电出力能降低至最小绝

对值的要求越高。

(2) 新能源对负荷高峰拉低系数 E 。其用于定量表征新能源对系统最高负荷水平的影响程度,最高负荷是制约负荷高峰电网调峰的最关键因素。

$$E = \frac{F_{\text{load}} - F_{\text{load-ws}}}{S_{\text{ws}}} \quad (2)$$

式中: F_{load} 为日调度负荷最大值; $F_{\text{load-ws}}$ 为日净负荷最大值。 E 值越大,则表明新能源对电网高峰负荷的拉低量越大,对常规电源和区外来电的最大出力能降低至最小绝对值的要求越高。

目前加州电网新能源装机容量为 24 016 MW,以 8 月 14 日加州电网的负荷、净负荷为例,具体见图 3。可知加州电网新能源对负荷低谷拉低系数约为 0.13,对负荷高峰的拉低系数约为 0.19。即加州电网新能源不仅拉低了低谷负荷,也拉低了高峰负荷,且对高峰负荷的拉低量大于对低谷负荷的拉低量。

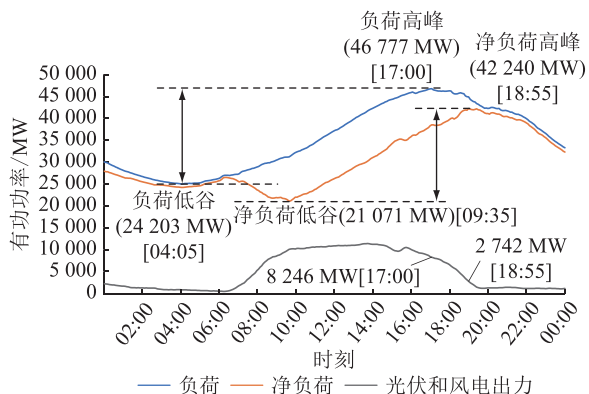


图 3 电网负荷、净负荷以及光伏和风电出力

Fig.3 The demand power, net demand power and the sum of solar power and wind power of California grid

由图 3 可知,8 月 14 日,加州电网在 18:55 时的净负荷为 42 240 MW,比 17:00 时的负荷低 4 537 MW,而同期光伏和风电出力减少了 5 504 MW。若不及时采取措施提供更多的电力,必然影响电力系统的安全稳定运行。

2.2 电力资源规划未考虑极端高温情况

目前,加州电网的发电量充裕性(resource adequacy, RA)规划标准是基于 2018—2019 年的峰值负荷的均值加上 15% 的备用容量设定的。而 8 月 14 日至 8 月 19 日期间的高温风暴是加州 35 年一遇的极端天气,包括加州在内的美国西部地区均受到该高温风暴影响。通常情况下,加州有很大一部分电力依赖美国西部其他地区供应,而此次极端高温使西部地区的负荷相对正常情况显著增加。因此,加州电网难以从美国西部其他地区电网获得更多的电力,加州电网的 RA 规划标准无法满足激增的负荷的要求。8 月 14 日和 15 日,当负荷不断增

大到峰值附近时,区外来电反而逐渐下降到接近最小值,这导致加州电网的电力供应和负荷严重不平衡,不得不采取切负荷的措施保障系统的稳定运行。

2.3 能源规划目标忽视电网供电可靠性

加州电力系统正由天然气向太阳能、风能等“清洁”能源转型,而加州电网的 RA 规划是围绕单一的负荷高峰设计的,其无法满足能源转型过程中激增的用电需求。为保障系统的安全稳定运行,RA 规划必须能够满足净负荷高峰的要求。此外,极端高温天气又进一步加剧了电力供需失衡。加州机构未对这类高温事件进行充分的规划,也未指导电力供应商保障足够的电力供应。

导致加州电网供电不足的原因主要为:

(1) COI 的传输能力下降。CAISO 管辖区域上游的一条主要输电线路由于天气原因被迫中断,导致 CAISO 从西部平衡市场进口的实际电力低于其在 RA 规划中所要求的进口电力。

(2) 水电实际发电量低于 RA 规划中的数值。因为 8 月份根据 RA 规划的合同竞标的水电装机容量仅相当于要求的 90%。

(3) 光伏发电和风电出力降低,8 月 14 日和 15 日,净负荷高峰期间光伏发电和风电的实际发电量分别减少了约 1 200 MW 和 1 000 MW。

2.4 电力市场虚拟竞价限制电力供应

加州电力市场的虚拟竞价规则导致电网无法获得额外电源,其原因主要包括 3 个方面:

(1) 调度员对日前市场的需求安排不足,在净负荷高峰期间,调度缺口过大,对电力系统安全稳定运行造成了不利影响。

(2) 虚拟竞价掩盖了供应紧张的情况,当电力供应充足时,虚拟竞价机制能够有效平衡次日负荷和电源。而当电力供应不足时,加州虚拟竞价则会限制电源供应能力。

(3) 剩余机组组合在市场中配置不合理,现行的市场设计导致 CAISO 在剩余机组组合这一环节掩盖了负荷调度不足的情况,发出的市场信号支持更多电力出口,导致实际供需状况继续偏离市场和紧急情况电力需求。

3 加州相关机构提出的初步建议措施

3.1 短期建议和措施

加州相关机构针对此次停电事故的短期建议和措施主要包括 4 个方面。

3.1.1 正在进行的举措

加州正在进行的项目和工作具体如下,有助于

提升系统备用容量保障从而提高系统的稳定裕度。

(1) 新建电源项目。CPUC 管辖的区域将在2021年夏季前建成约2 000 MW的储能和混合储能资源,以及约300 MW的光伏和风电资源。应加强对新建电源项目的监督,确保其按期投运。

(2) 调整能源市场流程。CAISO 应加快调整能源市场流程,将市场出口计划限制在基于系统条件和长期安全约束的可行范围内。

3.1.2 资源规划与采购

(1) 提高对备用容量的要求以应对极端天气事件造成的系统失稳风险升高。目前的RA规划标准不能应对极端天气时的负荷情况,CPUC已启动修改RA规划目标的程序。

(2) 开发额外调度资源上网。集中于开发需求侧资源,例如需求侧响应,加快资源上网进程,使其尽早上网。

(3) 改进灵活性预警。灵活性预警是一个呼吁公众在电力供应紧张时节约用电的媒体宣传活动。该预警项目应重新规划设计,更好地利用社交媒体和调用家庭自动化设备,达到更好的宣传作用。

(4) 管辖外实体规划目标。CAISO 应与非CPUC管辖的实体合作,使包括预测和规划备用裕度目标在内的规划目标保持一致。

(5) 有效备用容量考核。CAISO 应持续推进有效备用容量跟踪,确保其满足要求。

3.1.3 市场改进

(1) 解决CAISO对日前市场发电计划安排不足的问题。在发电计划不足的情况下,CAISO根据日前市场的前一天结果通知市场计划不足的程度,并要求负荷供应商的调度员合理安排其在日前市场的预测负荷。加强与负荷供应商的联系,充分利用其根据系统条件安排日前市场的电力供应的能力,解决可能出现的问题。

(2) CAISO 应采取以下措施以加强市场规则。
(a) 修改现有的关税和商业规则,确保市场流程适当切除由RA资源供应的低优先级的外送电力,在可靠性事件中降低外送容量;
(b) 重新设计RA规划标准,确保计划停电不会造成不必要的可靠性风险;
(c) 建立评估月度RA供电计划的流程,作为必要时的支撑;
(d) 完善用于水力资源、需求响应资源、可再生资源、使用有限资源和区外来电的计算规则;
(e) 加强市场设计,确保供电计划可靠。

3.1.4 提高态势感知能力并做好应急计划

(1) 开展加州和WECC管辖范围内资源充足性评估。开展加州夏季评估,以提供信息用于支撑

2021年将实行的新RA规划标准。

(2) 制定沟通协议以促进加州范围内的资源协调。制定改进的预警和触发协议,以充分预测极端事件的严重性。同时,推动全州范围内其他组织机构进行协调。

(3) 应急计划。借鉴州长办公室领导下全州范围采取的行动,制定系统的应急计划,按顺序采取应急措施,包括利用大型用户的负荷灵活性并采取节电措施,将负荷转移到微电网和备用发电机上以及临时增加现有发电资源的容量等。

3.2 中长期建议和措施

3.2.1 资源规划与开发

(1) 新资源的规划。通过开展生产模拟分析,确保在一年中的所有时间,电力资源能够满足净负荷需求,保证电网的供电可靠性。

(2) 加快开发需求侧资源,包括以下2种方法。
(a) 采用动态费率,通过经济激励,将需求转移到一天中的其他时间,从而降低净负荷峰值;
(b) 建立输电技术工作组,根据高占比可再生能源发展计划中的场景评估输电约束以及合适的输电选择。

3.2.2 提高态势感知能力并做好应急计划

在资源规划与采购方面,提出制定全州范围和WECC管辖范围内的RA中长期规划方案,主要包括以下3个方面。

(1) 在高占比可再生能源发展计划、综合能源计划以及CAISO输电计划执行进程中,努力提升电力可靠性和弹性。此外,考虑到不断变化的国家政策对环保的要求,可能还需要与加州空气资源委员会协调。

(2) 更新扩充供需预测中考虑的极端气候情景范围。

(3) 考虑在CEC的预测和高占比可再生能源发展计划中的场景之间建立过渡场景,以弥补不同规划阶段的规划目标之间的差距。

此外,CAISO还应与相关单位合作,制定电力市场改进方案,以提高电力市场的效率,避免极端情况可能造成的电力供应不足问题。

4 对我国电网的启示

4.1 电网规划及运行方面

(1) 应更加关注新能源快速发展过程中净用电负荷曲线变化特征,以满足电力可靠供需平衡需要。由于风光新能源的不确定性和波动性,可能导致日内峰谷差变大并出现多个净用电高峰;净用电负荷不仅可能爬坡速度快,而且净负荷高峰出现时

间往往偏离传统用电的午高峰和晚高峰。原有系统相对确定性固定时段高峰电力平衡机制将转变为需要满足全时段不确定性净高峰平衡,应引起电网规划部门和运行部门的高度重视。结合历年气候、天气的变化特征及光伏、风电等新能源出力的置信度数据开展净负荷区间及时段的预测,确保电源装机及备用安排能够满足全天候全时段净负荷平衡要求。

(2) 应建立考虑极端情况影响的电源规划机制。充分考虑极端气候和密集通道故障可能导致的区外来电供电能力不足或中断等问题、考虑极端天气情况对大规模新能源发电的可能影响、考虑天然气供应管道可靠性及气量充裕性对燃气机组发电可能造成的极端影响,合理确定区外来电比例、新能源发展规模以及各类发电资源类型构成,从规划源头保障能源供应安全。

4.2 电力市场建设优化方面

(1) 在市场环境下应平衡好市场化与公益性。充分保障广大人民群众用电需求,做好保底服务的预案,并建立与之相匹配的政策及价格补偿机制。

(2) 市场规则应让价格信号准确反映能源供需情况以及新能源消纳能力。合理设计符合当地特点的节点电价理论,让电价合理引导电源建设以及供需调整。

(3) 应审慎引入无实体交易机制,减少市场投机行为,避免因倒买倒卖电力掩盖电力供需失衡信号。

4.3 电网柔性调控手段和能力提升方面

(1) 应持续扩大电网源网荷储系统负荷侧资源灵活调节的规模和范畴。推动自备电厂、传统高载能工业负荷、工商业可中断负荷、虚拟电厂、工业园区等参与系统调节。

(2) 应建立有效的用户需求侧响应激励机制。结合电力市场建设,充分调动工业企业、居民用电、电动汽车充电网络等用户侧资源参与电网主动调节,进一步提升电网柔性调控潜力。

(3) 在停电高风险区域建立微电网作为备用电源。通过在停电时迅速切换微电网供电保障供电可靠性,同时延缓变压器增容需求。此外,微电网还能通过削峰填谷降低用户用电成本。

5 结语

美国加州 2020 年 8 月中旬停电事故充分表明,保障电力系统的长期安全稳定运行是一项系统工程,尤其在政策要求更多清洁能源供电以及极端气候时有发生背景下。

为满足日益增长的电力需求,同时保障电网的供电可靠性,需要在多个方面同时采取多种措施。一是在电网规划和运行方面,要更多地考虑电网净负荷曲线以及极端情况。二是在电力市场建设方面,不仅要平衡好电力的市场化与公益性,还应让电力价格准确反映能源供需情况以及新能源消纳能力。此外,无实体交易机制应审慎引入,以减少市场投机行为。三是在电网柔性调控手段和能力方面,应持续扩大电网源网荷储系统负荷侧资源灵活调节的规模和范畴,同时应建立有效的用户需求侧响应激励机制,从而提高电网柔性调控能力。

参考文献:

- [1] California ISO. Preliminary root cause analysis [EB/OL]. (2020-10-06) [2020-10-23]. <http://www.caiso.com/Documents/Preliminary-Root-Cause-Analysis-Rotating-Outages-August-2020.pdf>.
- [2] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京:中国电力出版社,2015. LIU Zhenya. Global energy inter-connection[M]. Beijing:China Electric Power Press,2015.
- [3] 刘振亚. 中国特高压交流输电技术创新[J]. 电网技术, 2013,37(3):567-574. LIU Zhenya. Innovation of UHVAC transmission technology in China[J]. Power System Technology, 2013,37(3):567-574.
- [4] 刘振亚,张启平,董存,等. 通过特高压直流实现大型能源基地风、光、火电力大规模高效率安全外送研究[J]. 中国电机工程学报,2014,34(16):2513-2522. LIU Zhenya, ZHANG Qiping, DONG Cun, et al. Efficient and security transmission of wind, photovoltaic and thermal power of large-scale energy resource bases through UHVDC projects[J]. Proceedings of the CSEE, 2014, 34(16):2513-2522.
- [5] 刘振亚,张启平. 国家电网发展模式研究[J]. 中国电机工程学报,2013,33(7):1-10. LIU Zhenya, ZHANG Qiping. Study on the development mode of national power grid of China[J]. Proceedings of the CSEE, 2013,33(7):1-10.
- [6] 周孝信,鲁宗相,刘应梅,等. 中国未来电网的发展模式和关键技术[J]. 中国电机工程学报,2014,34(29):4999-5008. ZHOU Xiaoxin, LU Zongxiang, LIU Yingmei, et al. Development models and key technologies of future grid in China[J]. Proceedings of the CSEE, 2014,34(29):4999-5008.
- [7] 陈树勇,宋书芳,李兰欣,等. 智能电网技术综述[J]. 电网技术,2009,33(8):1-7. CHEN Shuyong, SONG Shufang, LI Lanxin, et al. Survey on smart grid technology[J]. Power System Technology, 2009,33(8):1-7.
- [8] Office of Electricity Delivery & Energy Reliability. The smart grid: an introduction [EB/OL]. (2020-10-06) [2020-10-23]. <http://energy.gov/oe/downloads/smart-grid-introduction-0>.
- [9] RIFKIN J. The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world [M]. New

- York;Palgrave Macmillan,2011.
- [10] WANG Ye,SILVA V,LOPEZ-BOTET-ZULUETA M. Impact of high penetration of variable renewable generation on frequency dynamics in the continental Europe interconnected system[J]. IET Renewable Power Generation,2016,10(1):10-16.
- [11] 韦钢,吴伟力,胡丹云,等. 分布式电源及其并网时对电网的影响[J]. 高电压技术,2007,33(1):36-40.
WEI Gang,WU Weili,HU Danyun, et al. Distributed generation and effects of its parallel operation on power system[J]. High Voltage Engineering,2007,33(1):36-40.
- [12] 汤奕,陈倩,李梦雅,等. 电力信息物理融合系统环境中的网络攻击研究综述[J]. 电力系统自动化,2016,40(17):59-69.
TANG Yi,CHEN Qian,LI Mengya, et al. Overview on cyber-attacks against cyber physical power system[J]. Automation of Electric Power Systems,2016,40(17):59-69.
- [13] 梅生伟,薛安成,翁晓峰,等. 复杂互联电网大停电风险研究综述及预防控制展望[C]//第二十四届中国控制会议论文集. 广州:中国自动化学会,2006.
MEI Shengwei,XUE Ancheng,WENG Xiaofeng, et al. Summary on risk of blackouts in complex interconnected power grids and prospects of its preventive control [C]//The 24th Chinese Control Conference. Guangzhou;China Automation Society,2006.
- [14] 曾辉,孙峰,李铁,等. 澳大利亚“9·28”大停电事故分析及对中国启示[J]. 电力系统自动化,2017,41(13):1-6.
ZENG Hui,SUN Feng,LI Tie, et al. Analysis of "9·28" blackout in south Australia and its enlightenment to China[J]. Automation of Electric Power Systems,2017,41(13):1-6.
- [15] 林伟芳,孙华东,汤涌,等. 巴西“11·10”大停电事故分析及启示[J]. 电力系统自动化,2010,34(7):1-5.
LIN Weifang,SUN Huadong,TANG Yong, et al. Analysis and lessons of the blackout in Brazil power grid on November 10, 2009[J]. Automation of Electric Power Systems,2010,34(7):1-5.
- [16] 孙吉波,辛拓,王延纬. 广东电网抗击超强台风“威马逊”的经验及反思[J]. 广东电力,2014,27(12):80-83.
SUN Jibo,XIN Tuo,WANG Yanwei. Experiences of Guangdong power grid resisting super typhoon "Rammasun" and introspection[J]. Guangdong Electric Power,2014,27(12):80-83.
- [17] 陆佳政,蒋正龙,雷红才,等. 湖南电网 2008 年冰灾事故分析[J]. 电力系统自动化,2008,32(11):16-19.
LU Jiazheng,JIANG Zhenglong,LEI Hongcai, et al. Analysis of Hunan power grid ice disaster accident in 2008[J]. Automation of Electric Power Systems,2008,32(11):16-19.
- [18] SIOSHANSI R. Evaluating the impacts of real-time pricing on the cost and value of wind generation[J]. IEEE Transactions on Power Systems,2010,25(2):741-748.
- [19] KLOBASA M. Analysis of demand response and wind integration in Germany's electricity market[J]. IET Renewable Power Generation,2010,4(1):55-63.
- [20] California Energy Commission. Utility-Scale renewable and non-renewable electrical generation by county [EB/OL]. (2020-08-25) [2020-10-23]. <https://cecgis-caenergy.opendata.arcgis.com/datasets/491e99d798a74c7bb905d62ea7cf6024>.

作者简介:



赵静波

赵静波(1982),男,硕士,高级工程师,从事大电网安全稳定分析工作(E-mail:1418412-034@qq.com);

张思聪(1996),男,硕士,助理工程师,从事电力系统稳定运行与控制工作;

廖诗武(1989),男,博士,工程师,从事新能源电力系统运行与控制工作。

Analysis and reflection for the rotating outages in mid-August 2020 in California

ZHAO Jingbo, ZHANG Sicong, LIAO Shiwu

(State Grid Jiangsu Electric Power Co., Ltd. Research Institute, Nanjing 211103, China)

Abstract: On August 14 and 15, 2020, rotating outages occurred in California power grid in the United States, affecting approximately 810,000 people. The rotating outages is summarized and analyzed to provide reference for the safe and stable operation of China power grid. Firstly, the cutting load and rotating outage events caused by the extreme high temperature weather is introduced and the main causes of the rotating outages is summarized. Secondly, according to the actual situation of California power grid, the short-term and long-term countermeasures presented by the relevant institutions of California for this accident are given. Finally, combined with the problems exposed by the rotating outages, the enlightenment to China power grid is summarized from three aspects. Firstly, in the planning and operation of the power grid, more attention should be paid to the variation characteristics of net power load curve in the rapid development of new energy in the regional power grid. At the same time, a power planning mechanism that considers the influence of extreme situations should be established. Secondly, the power market construction should be optimized. Thirdly, the flexible control measures and capability of power grid should be improved.

Keywords: rotating outage; extreme weather; power grid planning and operation; electricity market; flexible control of power grid

(编辑 方晶)