

新型电力系统精准负荷控制供电恢复策略研究

钱豪豪

国网山西省电力公司晋城供电公司

摘要:随着我国能源结构的不断变化,我国的电力系统也面临着重组与转变的问题。习近平总书记指出要建设以新能源为主的新型电力系统,这是继十九大之后,继“四个革命,一个合作”的新的能源安全战略之后,又一次对新能源发展进行了系统的论述。构建以新能源为主的新型电力系统,既是国家“双碳”战略的重大需求,也是保障大电力系统安全、稳定运行的关键。随着新能源的大量接入,电力系统的调节容量与转动惯量大幅下降,电力系统的电能电子化特性日趋突出,特别是在特高压互联大电力系统中,大功率直流失电对电力系统频率稳定性的影响日趋明显。

关键词:新型电力系统;精准负荷控制;供电恢复

【DOI】10.12252/j.issn.2096-627X.2023.07.080

引言

精准负荷控制是提升新能源发电系统总体频率稳定性的关键技术,能够实现毫秒级精准负荷控制,对保证大电力系统的安全、稳定、清洁能源的消纳具有重要意义。上海,江苏,浙江,安徽等地已经建成并投入使用,当多回跨区直流输电线路同时或相继跳闸等重大故障时,本系统可在毫秒级范围内实现对支路开关的跳开并短时中断,以防止电力系统出现大容量电力缺额,引起多轮减载,切掉大容量负荷,甚至引起电力系统频率崩塌,引起大规模停电。

一、精准负荷控制系统

参与精准负荷控制的电力消费者,可根据公益和合理利益,自愿与电力企业签订合同,在发生突发事件时,远距离自动跳开协议中列出的分接开关,并对其下的全部负荷进行短期停电,并按约定给予经济补偿。在此基础上,当直流出现闭锁时,精准负荷控制系统可以根据预先设定的控制策略,将切出的负荷指令直接发送给包含在其中的用户终端。通过对电力系统的可中断负荷进行实时、精准的切出,防止系统的频率剧烈变化。精准负荷控制是指将负荷侧与源网有效地连接起来,以保证电力系统的正常运行与社会的稳定。

在现有方式下,一般按被控负荷的功率来确定补偿基准,并根据控制区间的长度来确定补偿的数额。控制时间愈久,对使用者造成的冲击愈大,所需补偿的成本愈高。因此,在对负荷实施精准控制之后,如何选取合适的恢复时间,将直接影响到用户所需的补偿成本和电力系统的安全性和可靠性。在确保电力系统恢复稳定的情况下,尽早向用户负荷恢复供电,既能节约电力系统公司向用户支付的补偿成本,又能让用户尽早地恢复生产,最大限度地避免了用户的经济损失。构建高效、成熟的电力系统调度管理机制,提升电力系统源网荷的协调互动能力,为社会创造更大价值。

二、电力负荷预测精准度的影响因素

当前,对电力系统负荷的预测不但能为电力系统规划和设计提供可靠的依据,还能保证电力系统的经济运行。随着我国电力系统的快速发展,电力系统的实际用电需求也在不断增加,准确的负荷预测是衡量电力企业现代化水平的重要标志之一。在电力企业发展过程中,应充分利用其预测能力,及时响应市场电价变化,以保证电力系统安全、稳定、提高电力系统经济运行水平。通常情况下,用电历史数据和用电需求之间存在着密切的联系,而以往的用电数据不能保证其可靠度,因而在进行预测时存在较大的误差。经济环境的发展情况在很大程度上决定了负荷预测的准确性。此外,气象要素对负荷也有一定的影响,若仅从研究对象出发,忽略其他因素,加之气象因子的不确定,将会造成预报结果的误差,例如,我国大面积结冰造成多条线路停电,用电负荷增加。

三、精准负荷控制系统负荷情况调研

1. 电力系统事故后的管理流程

在单回路及多回跨区直流输电线路同时或先后失水,造成电力系统功率缺口冲击,导致电力系统频率骤降,电力系统频率协调系统将按照预先设定的控制策略,以多直流出力为主,在直流容量不足时采用抽储切泵控制,最终实现精准负荷控制。在此过程中,需要在不引起二次干扰的前提下,对用户的负荷进行有序地恢复。

2. 电力用户负荷特性调研

为了全面掌握接入到精准负荷控制系统中的用户负荷特征和需求,通过制定并发放问卷,研究并分析电力消费者的负荷特征,以此来指导精准负荷控制系统的制定。调查表的主要内容有:负控终端所接用电设备的最大负荷;负控终端的停电持续多长时间会对企业生产产生影响;负控终端中断后给企业生产带来的经济损失;

负控终端恢复供电后连接的设备重启需要多长时间。

3. 调查程序和调查结果的统计分析

在发放调查表之前要向有关领导解释此次调研的目的和意义，并且详细地说明了调查表的内容。对用户进行的调查，其内容愈详尽愈准确，愈有助于日后制定电力恢复政策。在此基础上，在保证供电可靠性的前提下，应充分考虑各用户的合理需要，以最大限度地降低切负荷对用户造成的经济损失。

本次调查采集了某地区28个用户公司的有关资料，这些公司的总负荷总量为17670kW，负荷类型包括：空调、照明、电梯、动力负荷、空压机、水泵、充电桩等非生产设备，辅助设备，高压机、冷冻机、制胚机、门窗加工设备以及变压器等生产设备。

依据用户对负控终端所接用电设备的负荷和造成的经济损失，将其划分为A、B、C三类精准负荷。其中，A类精准负荷补偿成本高于用户的经济损失；B级精准负荷补偿成本与用户的经济损失大致相同；C级精准负荷补偿成本低于用户的经济损失。

A类精准负荷中的负控终端连接的是非生产设备和辅助设备。这类负荷是精准负荷控制中的重要负荷类型，对用户来说，这类负荷的切除并不会给电力系统带来很大的损失，并且在一定程度上可以补偿停电给电力系统带来的经济损失；这部分负荷在电力系统中所占比重很大，因此，这类负荷的撤除，将有利于电力系统的调频、调压平稳运行。

B类精准负荷负控终端连接的是用电设备。这类负荷的出现，给用户带来了一定的冲击，并带来了很大的经济损失。但是，根据调查结果，当前的补偿成本基本上能够弥补用户的损失。

C类精准负荷负控终端连接的是水泵房、空调电源负荷、电力负荷、生产线等。这类负控制终端连接的设备以电力和重要的生产设备为主，各用户承担着大量的负荷。在C级精准负荷丢失后，将给用户带来很大的经济损失，同时也给电力系统公司带来了很大的损失。

四、恢复供电原则

在频率控制系统全部投入使用后，电力系统将重新回到平稳运行状态，而精准负荷是由电力系统企业主动发起的，长期断电会给用户的正常运行造成巨大压力，为确保电力系统安全、稳定运行，需要对被切掉的用户负荷进行有序恢复。但是当精准负荷控制系统接入的负荷能力越来越大，大范围的短期恢复也会引起电力系统潮流的快速增长，从而引起电力系统频率的大幅衰减，触发系统的安全运行。与此同时，因为所接到的用户负荷类型不同，所以每个用户对于恢复供电时间的要求也是不同的。一些用户负荷被切断供电后对经济损失的影

响是非常小的，因此，由电力公司进行补偿的成本能够完全地抵消掉停电造成的经济损失，从而获得利润。然而，对其他一些用户来说，停电时间的延长会带来更大的经济损失。所以，基于以上的调查和分析，在制定供电恢复战略的时候，要注意三个原则：

(1) 保证电力系统的安全性和稳定性。经上级调度部门证实，电网频率已恢复到正常运行水平，并有足够的备用后，才能开始有序恢复供电。

(2) 提高电力系统的经济效益。在满足安全要求的情况下，以最小的经济损失为原则，对受影响较大的企业进行电力恢复。

(3) 提升用户体验。在精确负荷控制系统中，一些用户在被切断电源后，再启动时需要花费超过1小时的时间来进行恢复，而不会使用户的用电负荷立即增大，因此，对这类客户来说，应该尽量减少他们的停电时间，提高他们的使用体验。

五、新型电力系统精准负荷控制供电恢复策略

1. 优先级设置

在新型电力系统中，多个利益相关者通过供电恢复策略对系统进行修复，实现电力资源的优化配置。在设计供电恢复策略时要充分考虑不同利益相关者的需求。根据供电恢复目标建立优先级列表，列表应包括重要负荷和非重要负荷的分类信息。根据这些信息确定每个目标的优先级。在电力系统中一般包括三个层次：第一个层次是电网、设备和用户之间的交互。在这种情况下，电网可以按照“设备优先”进行规划；第二个层次是设备和用户之间的交互；第三个层次是用户之间的交互。这两个层次相对独立，但相互关联。通过在第三个层次上配置各种资源来实现目标之间的协调和优化。

考虑到供电恢复过程中各利益相关者对目标的需求不同，应根据每个目标的优先级进行排序。在这三种情况中，优先级最高的目标是重要负荷。因为重要负荷是电网中最重要的资源，只有在供电恢复过程中将其优先安排出来并恢复到正常状态后才能考虑其他目标。

2. 调研电力用户用电特性

调研内容包括用户用电时间分布、用电设备类型、用电负荷变化等。首先，电力用户用电时间分布。调查发现，用电高峰时间段为08:30~11:30，18:00~23:00。

其次，用电设备类型。电力用户中的电气设备主要包括空调、热水器、洗衣机等，这些电气设备使用时间主要集中在下午和晚上。最后，用电负荷变化情况。大部分电力用户的用电负荷都是呈下降趋势的，部分电力用户在冬季或者夏季会出现用电负荷升高的现象。

大部分电力用户都是以家庭为单位进行用电的，而

且很多人在下班之后才开始使用电气设备。电力用户白天大部分时间都在用电气设备上使用电能，只有晚上才会进行其他活动，或者将电能转化为其他形式的能量。

3. 制定具体策略

为了确保精准负荷控制供电恢复策略能够更好地满足新型电力系统供电恢复的要求，在实际的工作中还需要制定具体的实施方案。在对精准负荷控制供电恢复策略进行制定时需要根据新型电力系统的实际情况对供电恢复方案进行制定。例如在对负荷进行控制时，需要将负荷分为两种类型：第一种是稳定型负荷，在这一种情况下，可以将其作为应急负荷来处理；第二种是不稳定型负荷，在这一种情况下，需要将其作为备用负荷来处理。在对用户进行供电恢复时需要根据用户的实际情况进行不同类型用户的划分，根据不同类型的用户采取不同的恢复方案。

4. 实施恢复策略

负荷控制供电恢复的实施过程中要对各类负荷进行综合考量，以用户、电网及环境为主体，将用户的用电情况、电网的运行状态、环境条件等综合考虑，确定合理的实施策略。优先选用太阳能电池、风力发电机组等可再生能源，综合考虑多种类型的可再生能源，科学地制定供电恢复策略。

为提高供电恢复效果，在传统的供电恢复策略基础上可增加一定数量的精准负荷控制措施提高供电恢复效果。具体实施时需根据相关规定将用户分为不同的等级和类别。针对不同类型的用户制定合理的实施方案。例如针对重要用户、特殊用户、普通用户等不同类别用户，制定不同的供电恢复策略。其中重要用户是指在电力系统中具有特殊重要地位和作用的用户，如金融机构、通信企业等；特殊用户是指需要进行重点保障和服务的客户；普通用户是指电力系统中承担一般责任和义务的普通客户。

5. 评估与调整

由于精准负荷控制策略可以在一定程度上解决供电恢复过程中的设备资源问题，因此要对精准负荷控制策略进行评估与调整，以提高供电恢复效率。首先，对精准负荷控制策略的功能进行评估，包括其可实现的目标、功能之间的作用关系。然后，根据上述分析结果对精准负荷控制策略进行调整，以提高供电恢复效率。最后，根据调整后的精准负荷控制策略进行测试。测试结果表明，通过精准负荷控制策略可以显著提高供电恢复效率和系统运行可靠性。

6. 提升协同互动水平

新能源发电接入，在系统功率不平衡的情况下存在出力不可控的风险。针对上述问题，可以通过提升精准

负荷控制供电恢复能力的措施。

(1) 加强协同互动能力建设。建立协同互动机制，在用户侧广泛应用电动汽车、分布式电源、储能等终端用户设备，促进电力需求侧响应资源参与到系统应急供电恢复中，实现用户侧与电网的协同互动。建立信息交互机制，利用泛在电力物联网技术，将分布式电源、电动汽车、储能设备等信息接入电力调度系统，实现与电网之间的实时在线互动，提高系统整体响应能力。

(2) 建设泛在电力物联网。推进电网与信息通信技术深度融合，基于泛在电力物联网，实现需求侧响应资源与电网协同互动，提高电网灵活控制能力和运行效率。

(3) 建立需求响应资源库。以用户为中心、以需求侧为抓手、以可调负荷为核心构建需求响应资源库，统一接入电网调度系统和省级负荷调控平台。搭建需求响应资源数据云平台和展示平台，对各类需求响应资源进行统一管理和展示。

六、结语

精准负荷控制是指在特高压大电力系统出现重大故障时，通过改变用户用电负荷，降低由于多回线路并发或相继停电所引起的功率缺口，保持电力系统频率稳定性，防止大面积停电事故，是提升以新能源为主的新型电力系统频率稳定性的重要途径。在对电力消费者的用电特征进行调查的基础上，结合现有的管理规范，制定出一套针对事故后的有序、快速恢复供电的具体方案，既能保证电力系统的安全、稳定运行，又能增强企业的经济效益和用户的用电体验，还能使电力系统中的源、网、荷的协调互动程度得到进一步的增强，为社会带来更大的价值。

参考文献

- [1] 付强, 杜文娟, 王海风, 郑凯元. 多端柔性直流输电中换流站的同步切换控制策略[J]. 电网技术, 2018, 42(4): 1241-1250.
- [2] 游广增, 司大军, 李玲芳, 肖亮. 多端柔性直流输电解决含高比例可再生能源电网消纳送出方案[J]. 云南电力技术, 2018, 46(1): 134-138.
- [3] 杨洋, 王瑶, 李浩涛, 罗恩博, 贾轩涛, 郝俊芳, 严兵, 孔令凯, 张群. 子模块混合型LCC-MMC混合直流输电系统的启动控制策略[J]. 电力系统保护与控制, 2018, 46(8): 58-64.
- [4] 张伟. 抗干扰攻击的多信道无线网络功率控制方法[J]. 微电子学与计算机, 2018, 35(6): 128-131.
- [5] 王德玉, 段元超, 高鹤, 王振春, 赵清林. LCC谐振变换器电流输出特性研究与软开关实现[J]. 电工技术学报, 2018, 33(12): 2788-2800.