「配电网」

国内外一流配电网供电可靠性对标分析研究

文/广州供电局有限公司　段宜廷　张　旭　洪海生　晏小卉

配电网的主要任务是承担并满足用户供电需求，其中供电可靠性是衡量配电网对用户持续供电能力的重要指标，也是电力企业的重要考核指标。长期以来，人们对电网供电可靠性的研究侧重于发输电系统，对配电网供电可靠性的重视力度不足，同时，随着经济发展以及高新企业增多，用户对供电可靠性的要求越来越高。因此，以广州某供电局为例，对配电网从规划建设、生产运行和供电服务三个角度与国内外先进电力企业对标分析，明确其未来发展方向并将国内外提高供电可靠性的先进技术适当本土化，从而提高配电网供电可靠性。

配电网作为发输变电的最后一个环节并且直接与用户连接，因此配电网的可靠程度直接关系到用户的电能使用情况以及电网企业的经济效益与社会效益。如何提高配电网的供电可靠性也受到国内外学者的广泛研究，并且取得了丰硕的成果。

广州作为我国国际化城市，其所管理的配电网地域分布广、结构复杂、配电设备众多且用户数量大。广州某供电局（下文简称“GY供电局”）位于广州核心区域，负荷发展较快而且负荷密度大，电力需求呈现多元化发展，对电力供应的要求也十分的高，因此，如何提高配网供电可靠性对于该区的长足发展至关重要。某文献从配电自动化规划角度来分析对配电网供电可靠性的影响，没能全面分析影响可靠性的因素及解决方法。某文献从管理层面分析对于供电可靠性影响的方面及措施。某文献也研究了电网的可靠性，但对于配电系统可靠性方面的研究较少。

在研究供电可靠性考核指标的同时，从规划建设、生产运行与供电服务考虑供电可靠性提升措施，并与国内外先进供电企业进行对标分析，找出不足以及明确未来发展方向与解决的技术手段，为后期提高配网供电可靠性提供指引。

供电可靠性指标分析

用户停电由电网故障停电和预安排停电组成。首先分析GY供电局所有供电可靠性指标与国内外对标情况，然后再从电网故障停电时间/次数和预安排停电时间/次数分析GY供电局与国内外先进供电企业的差别，明确GY供电局在未来可能进步的空间及方向。

1. 可靠性指标对标分析

通过表1可知，相比较国外先进电力企业的供电可靠性指标，GY供电局差异主要体现在预安排停电方向，2016年，GY供电局预安排停电时间占总停电时间的91.3%，预安排停电方面GY供电局提高可靠性指标潜力巨大；相比较国内先进供电企业，GY供电局差异主要体现在故障平均停电时间方面存在较大差距。预安排指标差异主要在带电作业、重复停电等方面，而故障停电主要在网

基金项目：广州供电局有限公司科技项目“提高配网供电可靠性的技术方案研究及应用技术（GZM2014－2－0042）”。

架结构及配电自动化建设方面。因此，GY供电局可以从该方面提高推动供电可靠性的提高。但从上述指标中并不能很好地看出预安排和故障对可靠性的影响程度，因此主要从预安排和故障分析其对GY供电局的可靠性的影响。

表1　国内外先进供电企业可靠性指标对标情况

指标名称	GY区	东京核心区	浦东核心区	杭州核心区
供电可靠率(%)	99.987	99.999	99.992	99.991
用户平均停电时间/(h/户)	1.347	0.05	0.701	0.788
用户平均停电次数/(次/户)	0.316	0.07	0.142	0.184
用户平均预安排停电时间/(h/户)	1.029	0.02	0.42	0.495
用户平均故障停电时间/(h/户)	0.098	0.03	0.065	0.074
预安排平均停电持续时间/(h/次)	4.715	0.83	1.58	2.22
故障平均停电持续时间/(h/次)	1.544	0.94	1.02	1.35

*注：对标区域面积均在20 km^2左右。

2. 预安排停电指标分析

由表2可知，GY供电局在检修停电和施工停电方面占比较大，从而影响了整个区局的可靠性指标。2016年，在检修方面，GY供电局众多项目涉及开关房，导致有些在联络点上无法转电或部分转电，停电时间较长；在施工方面，GY供电局新建公变、低压网建设、新增开关柜等，通常需分步实施，因此造成重复停电。并且低压网建设繁复，停电工作时间长。相比较国内外的先进电力企业，先进电力企业在检修时采用带电作业法以及在实施停电作业的前一天，会把一部分设备和电线电缆连接安装，进行预先的准备，并且进行综合停电管理，协调各部门或系统外单位，减少重复停电时间。

表2　预安排停电指标分析情况

指标	GY区	东京核心区	浦东核心区	杭州核心区
检修在总停电时间占比(%)	47.65	22.37	28.15	28.17
施工在总停电时间占比(%)	48.22	14.38	31.26	33.28
其他预安排停电因素在总停电时间占比(%)	0.46	3.25	0.59	1.37

3. 故障停电指标分析

通过对比发现，GY供电局在外力破坏故障停电时间与公用设备故障停电时间差距较大。主要是在快速复电、设备运行评价、检测方面以及故障精准定位方面与先进电力企业存在较大差距。

通过上文分析可知，GY供电局与国内外先进电力企业在供电可靠性存在差异，也分析了部分原因，但都不具体。因此，将整个供电可靠性从规划建设到运行管理，再到供电服务进行划分，进而分析各个部分对供电可靠性的影响。

表3　故障停电指标分析情况

单位：h/户、次

指标	GY区	东京核心区
外力破坏故障停电时间/次数	0.032 6/5	0.006 6/6
自然因素故障停电时间/次数	0.007 0/8	0.003 9/5
用户原因故障停电时间/次数	0.001 1/1	0.004 5/4
配网公用设备故障停电时间/次数	0.057 2/14	0.013 5/10
其他原因停电时间/次数	0/0	0.001 5/5

规划运行管理分析

1. 信息系统建设分析

GY供电局运用综合计量自动化、配电自动化、调度自动化及EMS电量等多个系统，基本完成主配网台账数据获取、馈线沿布图及单线图和可靠性数据录入管理的工作。而且建立可靠性系统与计量平台停电数据分析对比机制，可靠性基础数据管理工作扎实。

相比较国外先进电力企业，东京电力通过DMS管理系统，进行配网系统应用管理。该系统具备系统解析功能，通过TS（Tabu Search）、实现高速事故仿真，确立了新的供给可靠性测定方法。此外，该系统从提高供给可靠性、恰当地进行负荷分区，做成最恰当的远程控制开关的新增及既存设备的重新配置方案。该系统还具有开关器远程控制、自动切换操作流程生成和事故模拟等优点。

如上海电力公司PMS2.0、配电自动化系统、调度自动化系统和负荷监控系统，以三维GIS、精细化三维建模为基础，结合新型智能传感装置监测数据，有效集成配电网业务系统的信息，实现配电网运行状态全方位实时掌控。南京电力公司建立了数据管控中心，具有三大功能，一是业务数据的共享，实现专业协同联动和过程管控；二是利用“移动数据管控平台”，实现现场工作监督与提升工作实效性和可控性；三是通过监控摄像头对配变进行全天候监控，中心人员通过计算

机即可查看配变现场实时运行状况。

通过分析可知，GY供电局在数据的分析应用中，多平台、海量数据的融合与处理，以及数据对业务、管理的决策支撑能力尚有待提升。可以通过建立分析与共享系统，全面提升管理与技术问题，缩短停电时间，如某文献基于电网运行过程中产生的大量运行信息，结合电力系统与通信系统的建模与协同控制，研究了系统稳定性的问题。

2. 配网网架分析

线路的接线模式直接影响着系统的供电可靠性与用户的用电水平，采用合理有效的接线模式既可以在很大程度上提高系统的供电质量。

通过表4可知，GY供电局配电网以“3－1”接线为主要接线，其接线方式灵活但典型化率较低，组网复杂造成调度运行操作难度增加。因此，首先可以借鉴国内外先进电力企业配电网接线形式；其次，进行网格化管理，减少网络交叉；最后，通过对本地区的网架梳理，有网网架结构，并在后期发展中逐渐形成主要网架结构和特殊情况下的网架结构，进而提升网架水平。

3. 施工质量管控分析

主要考虑由于施工质量不过关而引起的停电事故或隐患。从GY供电局2016年故障类型分析可知，由于外绝缘故障导致故障停电的比例达58.4%。而在绝缘故障中，因施工而引起绝缘损坏故障占了整个绝缘故障的60%以上，因此急需提升施工质量管理。东京电力该方面信息化手段较高，在施工现场都采用在线数字摄像机，支持项目管理者对工程进度、工序进行监控。相比较而言，GY供电局需从资质审查、过程管理、技术监督等方面进行管控，提高信息化管理，减少施工质量问题。

生产运行管理分析

1. 综合停电管理

综合停电管理目的是加强对计划停电的管理，迅速处理故障停电，缩短停电时间，提高供电可靠性，并为故障报修应答系统提供恢复供电的信息，以及实时回答用户对有关恢复供电的咨

表4　国内外先进供电企业网架对比分析情况

序号	地区	电压等级/kV	接线方式	优点	缺点
1	GY	10	“2－1”环网	接线简单，运行方便，可满足$N-1$安全准则	供电可靠性较低，线路利用率较低，仅为50%
			“3－1”环网	供电可靠性高，线路利用率最高可达66.7%，可满足$N-1$安全准则	为提高实际可转供能力，联络点一般需在负荷等分点，组网困难；实际可转供能力受负荷分布影响较大，实际线路利用率可能不高
			非典型接线	供电可靠性高，每条线路存在2个以上联络点	联络点较多，组网复杂
2	东京	6.6	2分割2连接	供电可靠性较高，可满足$N-1$安全准则	设备间隔较少，线路利用率较低，仅为50%
			4分割2连接	供电可靠性高，隔间利用率较高，可满足$N-1$安全准则	线路利用率较低，仅为50%
3	浦东核心区	10	单环网接线	接线简单，运行方便，可满足$N-1$安全准则	供电可靠性较低，线路利用率较低，仅为50%
			双环网接线	供电可靠性高，线路利用率最高可达75%	组网复杂，投资较大
4	杭州核心区	10	单环网接线	接线简单，运行方便，可满足$N-1$安全准则	供电可靠性较低，线路利用率较低，仅为50%
			双环网接线	供电可靠性高，线路利用率最高可达75%	组网复杂，投资较大
5	南京	10	“花瓣型”接线	线路闭环运行，可实现不停电转供，供电可靠性高，可满足$N-1-1$要求	三相短路电流大，单相接地短路电流小，常规备自投所挽救的负荷有限，投资较大，设备利用率较低，仅为50%
			双环网接线	供电可靠性高，线路利用率最高可达75%	组网复杂，投资较大

询，提高为用户服务的质量。

表5　国内外先进电力企业综合停电管理指标对比情况

指标	GY	东京核心区	浦东核心区	杭州核心区
预安排用户重复停电户数/户	58	5	12	25
延时停电用户数/户	39	4	4	15

相比较国内外先进电力企业，GY供电局重复停电户数和延时停电用户数较多。这主要是未能深化全年停电计划，未做到停电的精细化管理，基建、业扩、市政迁改等项目时间协调安排难度加大，同时缺乏辅助决策技术支持手段。东京电力对于预安排时间中的综合停电管理进行了细致的审核，在制订停电计划时提前收集了主配网、基建、运行等各部门停电信息，在安排年度停电时间窗口上也做了综合考虑。进而实现同一设备或线路的多项工作同时开展。因此，GY供电局可以通过全年多部门考虑制订全年停电计划并根据中短期信息整合，制订短时多部门联合停电计划。某文献提出了电网停电综合管理与分析决策系统物理构架、逻辑构架与功能研究，其不仅能够为停电计划编制提供强有力的技术支持，还可提高各部门协同运作效率。

2. 自动化建设

自动化建设主要从自动化覆盖率、定位准确率和快速复电成功率等方面进行分析比较。

表6　国内外先进电力企业自动化建设对比分析情况

指标	GY	东京核心区	浦东核心区	杭州核心区
配网自动化覆盖率(%)	98.17	100	100	100
配网自动化故障定位正确率(%)	79.48	92	95	91
配网自动化快速复电成功率(%)	86.32	95	100	90.25

GY供电局事故定位与快速复电率相对较低，主要原因在设备与通信方面。由于设备老旧、硬件缺陷等原因到时死机、终端电气量无法采集及指示不正确等，在通信方面，存在信号差和载波通道不稳定等原因。相比较国内外先进电力企业，东京电力配电自动化方案主要采用分布/集中混合方式，故障定位采取分布式，依靠断路器和开关的配合就地自动完成定位，然后主站采用遥控方式恢复供电在事故处理及正常检修时，大大缩短了负荷开关的操作时间。而且东京新一代配网自动化系统对分布式能源导入等的电压管理方面能很好的对应，同时线路接地故障具有精准定位能力和事故波形数据分析，减少探查时间，缩短停电时间。因此，GY供电局因此可以考虑用无线5G通信、增加终端设备的互联性、增强无线信号设备等方式来提高线路、设备的实时监控与通信，以及建立自己的故障波形数据库，并通一定分析，归类每一种历史出现的故障数据波形，为以后的探查缩短时间，从而提高供电可靠性。

3. 故障跳闸

“用故障停电持续时间”反映了故障查找和处理的能力，该指标作为故障跳闸的评价指标，为各供电企业快速复电提供横向对比的依据。

表7　国内外先进电力企业故障跳闸对比分析情况

指标	GY	东京核心区	浦东核心区	杭州核心区
用故障停电持续时间/(时/次)	1.542	0.83	1.02	1.35

GY供电局故障停电持续时间还有提升的空间。其配网故障抢修信息化和技术手段仍然不足，在故障信号监控、停电综合研判功能、故障查找定位、优化合并抢修工单、故障自愈等方面还存在较大提升空间，因此可以通过不同方面的不断提升，进而提高供电可靠性。

4. 配网运维管理

GY供电局实行差异化执行电房巡视和设备带电测试，通过红外测温、超声波、地电波等方法检测配电设备的运行状态，对关键馈线和状态异常的设备缩短巡视周期，及时、准确地获取设备运行状态，对可能影响配电网运行的设备及时开展检修，提升运行人员的作业效率，降低设备故障率。

相比较国外先进电力企业，东京电力建立了配电设备器材技术中心，在事故发生时能及时应对。其次，对配电设备事故数据的收集，分析该类设备主要故障点和应对措施，大大地提高了效率。最后，采用可视化技术和机器人技术智能检修，大大节省了人力和提高巡检质量。

供电服务

1. 用户精细化管理

客户检查精细化管理以客户故障出门率为衡量指标来进行对标分析。

表8　国内外先进电力企业客户故障出门率对比分析情况

指标	GY	东京核心区	浦东核心区	杭州核心区
客户故障出门率(%)	0.21	0.12	0.19	0.21

GY供电局在客户故障出门方面存在部分用户设备超期服役、防小动物措施不到位、设备定期维护不到位等问题。其中，主要在用户设备质量问题比较突出和用户设备缺乏有效管理。

2. 保供电服务

2016年GY供电局完成春运、花市、两会、高考、中秋国庆等81宗保供电任务，其中二级保供电15宗，三级保供电66宗。涉及天数357天·次，涉及馈线579条·次，电力走廊2 489.268 km，配电房2 967间·次，专用开关柜1 419台·次，专变4 165台·次。

相比较国内先进电力企业，杭州供电局以用户为核心，全面分析、论证各级电网的供电关系、薄弱环节及补强需求。全面提高改造标准，差异化采购设备，严控施工质量，确保今后几十年无需重挖重建。在重大活动前，对故障风险线路进行排查，通过张贴标识、印发宣传册等方式加强宣传，加强巡视与值守工作。同时发电车临时接入口也有建设标准。对于应急供电能力薄弱的用户，在保电期间也建议临时租用UPS。在保电工作准备期间，由于用户方面的原因导致用电安全隐患长期存在，将汇总上报有关部门备案。

结束语

通过对规划建设、生产运行和供电服务方面的对标分析，对GY供电局的建议如下。

1）建立数据质量管理机制。实行设备数据质量“主人制”，建立分层分级的问责机制，确保数据质量治理工作闭环落实，持续完善数据质量校验规则，提升配网数据的准确性、完整性、规范性、一致性和安全性，从而推动系统实用化。

2）深化数据的分析应用。深挖分析可靠性数据反映的问题，完善设备运行评价。

3）对于配网网架改造实施“网格化”改造，以不同形式分散在各专业问题和需求（如规划问题、营销问题、缺陷问题等）进行整合，形成以网格为单元的统一的配电网问题库。

4）网架完善是提高供电可靠性的根本。典型结线始终是网架规划的方向和重点，每个开关房带出的独立用户不宜过多，对支线无联络的应重点改造。

5）加强低压网联络的建设。GY出现停电多为单台配变，由于市区街道狭窄的地理环境、接线不宜频繁拆接等原因影响，难以过多使用发电车，低压网联络可发挥更好作用。

6）严把配网建设项目准入关。提升配网规划信息化支撑能力，全面加强项目前期决策和入库把关审查。

7）强化工程质量管控。积极推进标准化建设，规范工程移交流程，确保施工质量稳定。

8）规范技术监督与交接试验管理。完善并发布配网交接试验标准，加强区局交接试验技术技能培训，提升自主实施交接试验能力。

9）做好计划停电指标预算管理。提前收集年度停电需求，加强主配网、基建、修理、业扩停电协同，向市政相关部门收集次年电力线路迁改计划，合理安排年度停电时间窗口。

10）强化计划停电执行过程监管。加强综合停电全过程管控，刚性执行“能转必转”。

11）稳步推进配电自动化实用化。完善配电终端标准化设计与技术规范，完善配网自动化运维标准、实用化评价标准。

12）加强配电自动化与调度自动化、计量自动化等多系统的协同应用。集成EMS、DMS、AMS系统实时数据，进行系统间数据的相互校核、辨识以及互补，提高配网数据的完整性和准确性。探索开展故障自愈、网络重构等高级应用。

13）持续改进故障抢修技术水平。试点推进标准化抢修作业，制订典型故障抢修工作指引，提高抢修管理效率。

14）快速复电体系建设及评价制度，整合配网调度、故障抢修、客户服务等多专业力量，优化“扁平、高效”的调度指挥体系。

15）完善差异化运维工作。一是通过各类检测手段开展设备健康程度评估；二是在配网投资增大，设备规模持续增加、人员有限的情况下，确定设备管控级别，优化差异化运维策略与要求。

16）推进残旧及缺陷设备改造。一是对户内简易刀开关、产气柜、压气柜等残旧设备，利用加大配网投资的机遇，及时安排改造；二是加大对家族性缺陷设备的整改和更换进度。

17）加强电缆管廊风险管控。**EA**

（收稿日期：2017.09.12）
（编辑：刘群垚）