广东电网变电站设备利用效率研究

文/广东电网发展研究院有限责任公司　黄　欣　龚贤夫　张　蓓　杨　燕　郇嘉嘉
中国南方电网电力调度控制中心　孙雁斌

在已有的输变电设备评价方法和评价指标研究成果基础上，开展广东电网变电设备利用效率评价研究工作，研究范围涵盖广东电网内10～500 kV变电设备。结合广东电网实际，提出合理的评价指标取值，分析省内10～500 kV设备轻重载原因，提出合理的解决措施，并对未来设备利用效率评价工作提出相关改进建议。

随着电网规划与建设发展由粗放型向集约化转变，由于电网中设备利用效率与经济因素密切相关，所以越来越受到关注。电网中设备利用效率作为电网经营的重要衡量指标，其水平高低可充分反映电网公司整体经营水平的状况。

本文在已有的输变电设备评价方法和评价指标研究成果基础上，开展广东电网变电站设备利用效率评价研究工作，研究范围涵盖广东电网10～500 kV变电站设备。结合广东电网实际，提出合理的评价指标取值，分析省内10～500 kV变电站设备轻重载原因，结合原因提出合理的解决措施，并对未来设备利用效率评价工作提出相关改进建议。

广东电网设备利用效率评价指标和方法

1. 广东电网设备利用效率评价指标选取及取值

现阶段设备利用效率评价指标较多，主要有变电站最大负载率、变电站平均负载率、线路最大负载率、线路平均负载率、单位变电容量供电量、单位线路长度供电量和电网容载比等指标。结合广东电网实际，选取变电站最大负载率、变电站平均负载率和容载比三个指标来开展广东电网变电设备评价工作。

根据《广东电网规划设计技术原则（修订）》，在规划中应因地制宜确定容载比的取值，容载比合理指标一般为：500 kV电网1.4～1.6；220 kV电网1.6～1.9；110 kV电网1.8～2.1。现状电网因考虑提前规划建设，故容载比可能会略有偏高，考虑到这个实际情况，在设计电网容载比指标取值时，将110 kV电网容载比范围扩大至1.8～2.2。

变电站运行最佳负载率一般为60%～70%，当远低于最佳负载率时，变电站备用较高，安全性较好，但经济性较差；当负载率超过70%时，变电站运行安全裕度较小，可能会存在不满足主变电站的运行要求。故结合广东电网运行实际，确定变电站轻载和重载指标取值。同时，将35 kV及以上变电站设备轻重载评价指标应用至10 kV中压配电网，中压配电网轻重载评价指标取值参照35 kV及以上变电站。广东电网设备利用率评价指标如表1所示。

表1　广东电网设备利用效率评价指标

类别		评价标准
容载比		500 kV电网容载比合理取值：1.4～1.6 220 kV电网容载比合理取值：1.6～1.9 110 kV电网容载比合理取值：1.8～2.2 35 kV电网容载比合理取值：1.8～2.2
变电站	重载	220～500 kV：最大负载率≥70%，且等效平均负载率≥40% 35～110 kV：最大负载率≥80%，等效平均负载率≥40% 配电变压器负载率超80%且持续时间超过0.5 h
	轻载	220～500 kV：最大负载率≤20% 35～110 kV：最大负载率≤15% 正常运行方式下，配电变压器年最大负载率低于20%

2．广东电网设备利用效率评价方法

整体评价工作结合评价指标分两个层面开展：宏观层面需分析评价全省及各地市各电压等级容载比情况，根据容载比评价指标判定各地市容载比是否合理，并分析容载比偏高的原因，同时提出相应的解决措施；微观层面需分析各地市10～500 kV变电站最大负载率及等效平均负载率，结合最大负载率和等效平均负载率两个指标判定变电站轻重载。分析变电站轻重载的原因，将变电站轻重载原因进行归纳梳理，从几大类原因着手分析轻重载变电站改善措施。最后结合本次分析工作提出相应的改进措施和建议。

电网设备利用效率分析

1．电网容载比分析

容载比为某一供电区内变电设备总容量与供电区最大负荷之比，其反映区域内容量备用情况。容载比取值过高，则电网建设投资加大，电网运行成本和维护成本相应增加，经济效益随之下降；容载比取值过低，则电网适应性较差，电网调度不够灵活。

2011—2017年广东电网35 kV及以上电压等级电网容载比情况如表2所示。

表2　2011—2017年广东电网35 kV及以上电网容载比情况

年份	500 kV	220 kV	110 kV	35 kV
2011年	2.09	2.01	2.69	–
2012年	1.98	2.07	2.6	–
2013年	1.89	2.08	2.45	–
2014年	1.98	1.96	2.53	–
2015年	1.81	1.90	2.26	2.21
2016年	1.88	1.90	2.25	2.19
2017年	2.01	1.87	2.26	2.85

根据表2可知，广东电网500 kV容载比基本在1.8～2.0之间波动，与合理取值范围仍有较大差距。这主要是由于近年来广东省内新投产500 kV变电站规模较大，配套220 kV线路建设滞后，导致部分500 kV变电站建成投产后因下级电网尚未建成无法接入负荷。

广东电网220 kV和110 kV电网容载比逐年下降并保持在合理的范围内。广东电网35 kV电网容载比波动较大，这主要是由于部分发达地区逐步取消35 kV电压等级，其35 kV设备利用率有所降低。且广东省内35 kV电网主要集中在偏远山区，主要是为偏远山区供电和满足区内小水电送出，受偏远山区负荷长期偏低和区域内小水电外送等因素影响，35 kV电网下送负荷波动较大，导致35 kV容载比随之波动。

2．35 kV及以上变电设备利用效率分析

由表3可知，广东省内500 kV重载站占比基本保持不变，维持在22%左右，轻载站占比有较大幅度提升，从19%升至32%。220 kV重载站占比有所下降，从22%降至18%；轻载站的占比从18%提升至27%。110 kV重载站占比维持在4%～5%的比例，轻载站的占比有较大幅度下降，从31%降低至28%。35 kV重载站的占比维持在4%～5%的比例，轻载站的占比波动较大，其中2016年相对较低为34%，2015和2017年均为45%左右。

表3　2015～2017年广东电网35 kV及以上电网轻重载站情况

年份	电压等级/kV	重载		轻载	
		座数	占比（%）	座数	占比（%）
2017年	500	9	22.0	13	31.7
	220	52	18.0	78	27.0
	110	80	5.50	407	28.1
	35	14	5.20	120	44.8
2016年	500	9	22.5	11	27.5
	220	34	12.5	50	18.4
	110	67	4.80	386	27.6
	35	12	4.30	94	33.7
2015年	500	11	23.4	9	19.1
	220	54	21.5	55	21.9
	110	57	4.20	413	30.8
	35	11	4.10	124	46.4

从图1广东电网轻重载站分布来看，由于珠三角大部分地区已无35 kV电压等级，故重载和轻载站主要分布在非珠三角地区。110～500 kV重载站集中分布在珠三角地区，主要是由于珠三角是负荷中心，负载相对较重，故重载站也相对较多。500 kV轻载站也主要分布在珠三角地区，主要是由于珠三角地区500 kV站点相对较多，基数较大，轻载站占比相对较大。110～220 kV轻载站主要集中在非珠三角地区，主要是由于这些地区相对落后，部分110 kV、220 kV站点建设在偏远山区，主要是保障偏远山区供电，负载长期较轻。

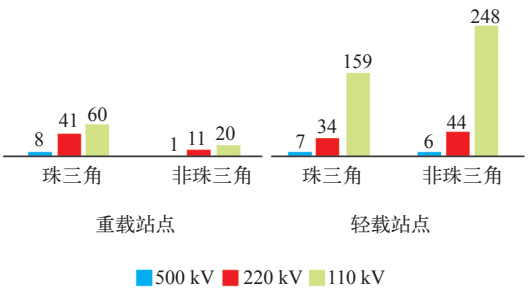

图1　2017年各电压等级重载和轻载站点分布图

从表4连续三年轻重载站分布情况知，广东电网连续三年重载站点62座，其中500 kV站点6座，

220 kV站点21座，110 kV站点30座，35 kV站点5座。

广东2015—2017年连续三年轻载站点总计280座，其中500 kV站点6座，220 kV站点16座，110 kV站点210座，35 kV站点48座。

表4　2015—2017年广东电网连续三年轻重载站情况

分布情况	500 kV	220 kV	110 kV	35 kV	合计
连续三年重载	6	21	30	5	62
连续三年轻载	6	16	210	48	280

3．10kV变电设备利用效率分析

从表5广东电网10 kV间隔利用情况知，广东电网各电压等级10 kV间隔利用水平相对较低，其中220 kV电压等级10 kV间隔利用率仅有63%左右，110 kV和35kV电压等级的10 kV间隔利用率相对较高，但也只有72%左右。

表5　2016—2017年广东电网各电压等级10 kV间隔利用情况

年份	电压等级/kV	10 kV间隔利用率（%）
2016年	220	62.9
	110	71.0
	35	75.6
2017年	220	63.6
	110	71.3
	35	71.6

虽然全省整体10 kV间隔利用率不高，但是也存在部分220 kV轻载站点10 kV间隔已用完的情况。这是由于部分220 kV轻载站点10 kV间隔被大用户作为专线长期占用，但大用户因负荷特性原因导致负载相对较低，该10 kV线路长期负载率偏低，却因10 kV间隔被占用无法接入其他10 kV馈线，站点长期处于轻载状态，造成资源的极大浪费。

广东电网10 kV配变电站最大负载率分布如表6所示。全省配变电站负载率低于60%的占比高达65%以上，说明现阶段配电网的整体利用不充分，未来通过智能电网，智能配电设备可充分挖掘配电网潜力，提高配电网设备利用效率。

表6　2016～2017年广东电网10 kV配变电站最大负载率分布表

年份	最大负载率				
	＜20%	20%～40%	40%～60%	60%～80%	＞80%
2016年	11.6%	23.9%	30.1%	25.5%	8.9%
2017年	12.1%	25.8%	28.8%	23.7%	9.5%

电网设备重载和轻载原因分析

1．35 kV及以上变电设备重载原因分析

通过梳理广东电网重载变电站重载原因，将全省所有站重载原因归纳为五大类，具体如表7所示。根据表7知，约63%的设备重载是因为周边规划项目未能按时投产。这主要是由于现阶段拆迁、清赔难度日益增大，项目建设难度日益加大，部分规划项目建设投产时间一再推迟，导致部分重载站负荷无法顺利转到新投产站，造成部分站重载。

约20%的站点重载是因为负荷发展超预期导致的。这主要是由于负荷预测准确度不高，部分地区由于政府规划或者产业调整导致负荷激增，这部分站点虽已规划配套项目，但由于负荷激增规划项目尚未实施导致重载。

约8.4%的站点重载是由于规划建设标准偏低导致的。这主要是由于部分站点投运年限较长，站点供电范围现已发展为负荷中心，原规划站点的规模已无法满足站点供电导致的重载。

其他原因导致的站点重载占比较低，需密切关注这些站点重载原因。若是因运行方式导致的，可考虑通过合理安排运行方式缓解站点重载；若其他原因导致的重载，则需统筹考虑规划站点解决。

表7　35 kV及以上变电设备重载原因情况表

序号	重载影响主要因素	占比（%）
1	周边规划项目未按期投产	62.6
2	负荷发展超规划预期	24.5
3	规划建设标准偏低	8.4
4	运行方式安排	0.6
5	其他	3.9

2．35 kV及以上变电设备轻载原因分析

通过梳理广东电网轻载变电站轻载原因，将全省所有站轻载原因归纳为十二大类，具体如表8所示。根据表8可知，站点轻载主要是由于负荷发展不达预期，其占比约26%。部分规划站点在项目规划及可研论证阶段对项目建设必要性把控不严，导致部分站点投运后负荷与当初规划有较大出入，站点投产后轻载。

表8　35 kV及以上变电设备轻载原因情况

序号	重载影响主要因素	占比（%）
1	新近投产（投产不超过2年）	17.5
2	配套低压电网建设滞后	4.0
3	局部电网电源供应过剩	19.9
4	负荷发展不达预期	26.1
5	规划建设标准超前	0.5
6	战略性发展区域布局	3.7
7	运行方式安排	1.6
8	电网安全约束	1.8
9	主动承担社会责任	14.7
10	政府市政建设和招商引资发生重大变化	3.6
11	产业转型等因素导致原有负荷迁出	2.1
12	其他	4.5

站点轻载主要是由于局部电网电源供应过剩，其占比达20%。这主要是由于偏远山区小水电

较多，小水电丰水期满出力平衡部分地方负荷，导致站点下送负荷较轻，负载率偏低。或者在新能源接入较多的地区，如湛江、韶关等地区，区域内新能源装机过剩，新能源出力已经能够满足地方负荷需求，盈余电力无法就地消纳，需通过高电压等级送出。这些地区站点下送负荷轻，站点负载率和利用率较低。

3．10 kV变电设备轻载原因分析

由图2广东电网10 kV轻载配变电站供电负荷性质。其中，约42%的10 kV轻载配变主电站要接入负荷性质为统建小区。现阶段房地产的大规模开发，导致部分小区建成后长期入住率较低，配套的送电设备长期处于轻载或者负载率偏低的情况，造成电网资源的极大浪费。

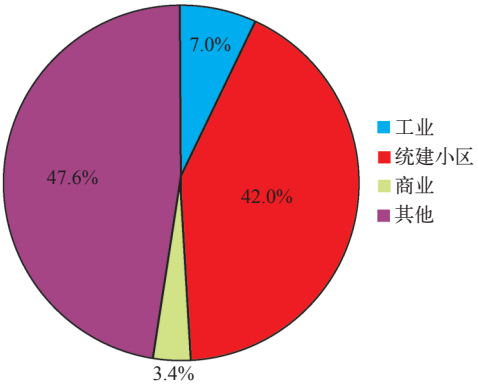

图2　10 kV轻载配变电站供电负荷性质分布图

10 kV轻载配变电站接入负荷性质为其他的占比高达47.6%。这是由于电网公司需承担保障社会供电安全的责任，需要向大型场馆、偏远山区提供可靠电力供应。例如部分10 kV配变电站为大型体育馆等公共设施供电，由于这些公共设施使用频率较低，导致其相应配变负载率偏低。

10 kV轻载配变电站接入负荷性质为工业的占比为7%。部分10 kV配变电站供电大型工业园区，设计时按照园区最终用电负荷设计，前期由于招商引资不利，工业园区负荷尚未发展壮大，区内负荷偏低，导致配变电站负载率较低。

10 kV轻载配变电站接入负荷性质为商业的占比为3.4%。部分10 kV配变电站为大型商业综合区供电，这些商业综合区由于招商引资不利，大面积空置，相应的负荷较低，负载率偏低。

措施和建议

1．相应措施

重点分析广东电网变电站设备重载和轻载原因，结合原因提出相应的解决措施，力求改善设备重载和轻载状况。

（1）重载站点解决措施

1）推动变电站主体工程与配套线路同步建设、同步投产。对于在建项目，逐一梳理配套线路建设滞后的变电站，明确阻碍工程实施的难点，提交政府主导、电网公司参与的电网规划建设协调机构，促请地方政府有关部门牵头协调，尽快发挥新建站点的作用；对于新增项目，要优化220 kV及以上输变电工程建设管理模式，避免部分地区将变电站主体工程与配套线路工程分开立项、分头开展前期工作和工程建设，从源头上造成不同步的问题。

2）加强配网和主网规划。电网公司从上至下对规划工作引起重视，提早开展规划工作，在接入系统审查中严格按照规划工作开展站点接入系统审查。同时及时滚动修编主、配网规划，结合最新负荷需求调整规划布局，做到心中有数。

3）合理安排运行方式。部分站点重载是由于近区可转供负荷的站点尚未投产或因短路电流超标等原因需调整运行方式导致。建议通过合理优化运行方解决这部分站点重载问题。

4）建立健全全电压等级整体优化的规划理念，原则上能够通过合理划分供电分区、优化下级电网网架结构解决的变电站重载问题，就不能简单依靠新建变电容量解决。统筹电网整体利用效率的优化，尽量避免“舍近求远、弃低求高、弃简求繁”现象。

5）优化完善电网结构，适当加强不同变电站间的转供电能力，均衡不同变电站设备利用效率，着重解决“一重一轻”问题。

6）应用高过载能力变压器。按照电力变压器导则，大型变压器不应超过额定负载的1.3倍、中型变压器和配电变压器不应超过额定负载的1.5倍。220 kV及以上变压器属于大型变压器，35 kV和110 kV属于中型变压器，高压配网层面推广使用高过载能力变压器。

（2）轻载站点解决措施

1）加强负荷预测分析。通过自下而上报装、细分行业用电等方法，分区域、分行业开展精细化负荷预测，并结合负荷预测成果适时滚动调整电网规划，优化项目建设方案和投产时序。

2）合理选择变电站主变压器容量。按照近期负荷和饱和负荷发展水平，综合考虑电网运行安

（下转第87页）

系统通过气象敏感电量挖掘算法，实现了气温影响电量的量化，如图7所示，从图7中可以直观的看到气温影响电量的量值。

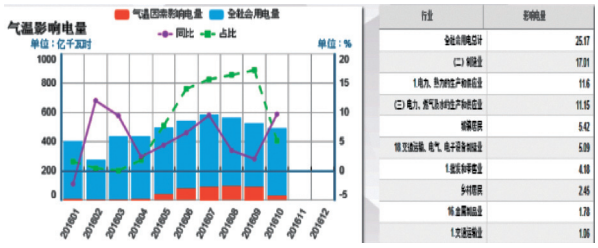

图7　气温影响电量

系统可以实现对电量指标的分解，将一个电量指标分解为三个指标，分别是趋势分量、季节因子和随机因子。其中，趋势分量为系统需要关注的分量，从中可以提取到影响电量变化的真正原因，从而更好地进行预测。

结束语

本系统通过对电力数据的管理及对相关因素的分析，展开对电量的预测。并将理论成果集成到软件系统中，在实际使用中会产生如下效益：

1）本系统能合理解释电量发展趋势，把握电量变化规律，为企业提供经营决策支持，辅助专业人员开展分析预测业务，减少企业运营成本，同时可为政府部门分析经济形势和制定政策提供重要信息支撑。

2）本系统从不同空间尺度和时间尺度提出了相应的预测方案，能保证全省电量预测发布的科学性、统一性和权威性；同时针对更精细化的预测准确度，对今后电力市场化改革具有积极的社会意义。

3）本系统应用数据量大，充分体现了能源互联网时代下的大数据理念，为后续电力营销大数据的发展奠定了理论与实践基础。EA

（上接第83页）

全性、经济性和设备利用高效性等方面，合理选择变压器容量，避免盲目选择大容量变压器造成“大马拉小车”现象。对于工业园区等负荷发展不确定的区域，可以推行变电站土建按大容量主变压器建设，变压器设备根据负荷实际选择适合型号的建设模式。

3）对负荷发展缓慢地区，严格控制其规划电网容载比，控制其新增站点。确有必要新增站点的，需从供电能力、供电安全及网架结构等方面论证项目建设必要性。对于偏远负荷发展缓慢地区，其站点长期轻载，可考虑通过优化10 kV、35 kV电网满足电力供应，减少220 kV与110 kV站点建设。

4）对小水电集中送出的地区，建议合理规划35 kV和10 kV电压等级电网，建议尽量通过低电压等级电网解决偏远地区供电问题。

5）对可再生能源发展相对过剩地区，通过加强与政府及发电商沟通，引导近区可再生能源电源有序建设，避免因可再生能源发展过剩导致的变电站利用效率偏低。

6）做好变电站建设前期调研，加强与政府相关部分沟通，避免因政府规划、招商引资和产业转移等因素导致的变电站轻载。

2．建议

1）加强项目投资管控，建立完善后评价闭环管理机制。电网公司建议定期组织开展项目后评价工作，定期发布后评价分析报告，结合后评价分析成果及时调整公司整体的投资策略。

2）积极推动各地区成立常设性电网规划建设协调机构，建立政府主导、电网公司参与的电网规划建设长效工作机制，加强电网规划与地方城乡发展规划、土地利用规划、控制性详细规划的衔接，预控电网规划建设用地和输电通道走廊，落实规划实施条件。

3）不断推动优化电源结构和布局，促进电源电网协调发展。配合政府有序推进电力体制改革，避免电网重复建设和投资浪费。

4）进一步开展电网设备利用效率评价指标研究工作。现阶段对电网公司设备利用效率的评价标准局限在容载比、最大负载率和等效平均负载率等指标上。对安全性、可靠性等指标尚未开展评价分析。这导致电网内部分站点按照上述标准评价长期处于轻载状态。若后续评价分析引入安全性、可靠性等指标，同时对偏远地区供电的变电站考虑采用不同的评价指标和评价标准则更能系统地、全面地评价电网内变电设备利用情况。EA