

电网规模充裕度评价指标与评价方法

随着我国供电需求不断加大,我国电网规模持续扩大,电网规模评价已成为电网规划建设中的重要问题。电网规模应具有适当的裕度以保证电网既保持时段的发展裕度又具有较高的利用效率。因此,通过研究电网结构特征,分析各电压等级承担电网功能,构建了一个用于评价电网规模充裕度的评价指标和分析方法。实际分析结果表明,该指标体系和分析方法能够反映电网规模充裕度水平。

龙望成 韩 丰 肖晋宇 王 斌/国网北京经济技术研究院



龙望成/工程师

近年来,随着我国社会经济的快速发展,电力需求量也持续快速增长,电网建设实现跨越式发展。为保证电网规模适应社会经济发展对电力的需求,同时也避免电网建设规模过大导致资源浪费和电网设施利用率过低的问题,需要计算分析电网规模的充裕度水平,并对电网规模的容量充裕度指标开展计算分析,以确保电网规模既满足电力供应输送需求,又能够使电网资产得到充分利用。

通过分析输电网的功能与结构,基于变压器与输电线路具体功能和能力开展评价分析,参照设计规划导则和类比分析方法,提出了电网规模评价指标与分析方法,实现了电网规模评价指标的全面覆盖,并针对典型500 kV与220 kV电网进行了实例分析,验证评价指标和分析方法的合理性。

关键词/Keywords

电网规模·
变电容载比·
线路容载比·
充裕度·

电网结构功能分析

1. 电网结构功能

电网是连接电源与负荷的部分,处

国网上海市电力公司科技项目(524400140003)。

于电力系统的中间环节,电网主要是由输电线路、变压器、断路器和开关等设备构成,但完成电力传输功能的设备主要是变压器与输电线路。随着电力系统的发展,电网已经形成了一个具有多个电压等级的电能传输结构。由于发电容量大小差异,发电设备接入不同电压等级;由于用电容量大小差异,电力用户也接入不同的电压等级。不同电压等级的线路与变电设备功能存在显著差异。根据2011年三华地区电网统计数据显示,接入500 kV、220 kV和110 kV电源装机占比分别为41.6%、46.8%和11.5%;220 kV、110 kV和110 kV以下售电电量比例约为10%、23.4%和66.6%,在考虑110 kV以下电压等级装机后,110 kV变压器对应的供电电量仅占全部售电量的60%左右,由于电网负荷接入电压等级的变化,导致经过各电压等级设备传输的电能也随之变化。需要针对不同电压等级的传输能力与传输需求开展电网规模评价分析。

由于电网发展与规划的基础是为满足高峰负荷时刻的电网供电能力,以省级电网作为分析样例,在高峰负荷运行方式下,将通过特高压交直流工程、升压变电站和发电厂注入500 kV电网的电力视为500 kV电网电源,将500 kV下网电力、直供电力和直流工程送出电力作为500 kV电网负荷,500 kV省级联络通道上存在交换电力;220 kV与110 kV相似,电网连接发电机和直供负荷,另外还连接着上级变压器和下级变压器,500/220/110 kV电网电能传输示意图如图

1所示。由于电网不同部分具有不同的电能传输需求,因此在评价电网规模时,应按照国家不同电压等级、不同设备对象进行有针对性的评价,评价结论应能直接反映某电压等级、线路或变电规模的充裕水平。

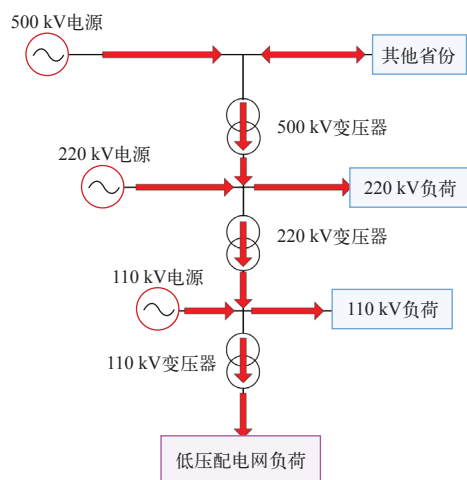


图1 电网电能传输简化示意图

2. 规模评价内容与目的

电网传输电能的设备主要包括变电设备和输电线路,同时电网是由不同电压等级构成的,评价范围包含变电规模、线路规模两个方面,开展独立评价。规模评价应围绕电能传输的功能实现情况,以判断设备投运规模与电能传输需求的匹配度。变电方面,变电规模主要由变压器额定容量表征,变压器的功能是高低电压等级之间实现电能传输。线路方面,线路的功能是连接某电压等级电网的电力注入点与电力输出点,实现两者间的电能传输,线路规模主要由电网输送容量距离表征。

分析设备规模的充裕度,适应社会、经济和电力发展需求的电网应具有恰当的容量充裕度,既能保障电网供电能力和安全运行,又能保障电网资产高效利用。

电网规模评价指标体系

区别于相关指标体系研究^[1-3],结合电网传输功能主要由变电容量和输电线路承担,电网规模评价指标应主要评价变电容量和输电容量两方面

的充裕度,因此电网规模评价指标主要采用变电容载比和线路容载比。

1. 变电容载比

分析电网变电规模充裕程度是从变压器的功能出发,变压器的基本功能是以满足电力负荷下网和电网安全供电为前提,评价电网变电规模主要是根据下网负荷需求和变电设备下网能力。因此,对于不同电压等级的变压器,主要根据各变压器传递给电网的负荷为判断依据,并根据负荷变化趋势对该变压器变电容量的匹配情况进行分析。针对降压变压器,要求某电压等级变电容量与该电压等级下网负荷相适应。

对变电规模充裕度的评价主要采用“变电容载比”指标,分析变电容载比指标,结合下网负荷增长情况评价电网变电规模充裕度情况。GB/50293—1999《城市电力规划规范》、Q/GDW 156—2006《城市电力网规划设计导则》等^[4-6]规定了变电容载比的标准范围。变电容载比要考虑负荷分散系数、平均功率因数、变压器运行率和储备系数等复杂因素的影响,在工程中采用实用的估算方法,变电容载比计算公式为

$$R_s = \frac{\sum s_{ei}}{P_{\max}} \quad (1)$$

式中, R_s 为变电容载比, $\text{kV} \cdot \text{A}/\text{kW}$; $P_{\max}$ 为该电压等级最大负荷日最大负荷,万kW; $\sum s_{ei}$ 为该电压等级年最大负荷日投入运行的变电站的总容量,万 $\text{kV} \cdot \text{A}$ 。

其具体定义是某地区某电压等级降压变电容量在满足供电可靠性的基础上与对应的下网负荷的比值,其物理意义是某地区内某电压等级下网变电容量与下网负荷需求的宽裕度。

2. 线路容载比

从电力设施功能实现角度出发,对变电与线路进行类比对照。电网输电线路承担着电能传输的功能,对于同一电压等级的输电线路,线路上电能输送的起点为发电厂,电能输送的终点为变电站下网点,但对于实际电网,电网中发电厂与负荷下网点数量较多,如何评价和分析电能输送需求和线路建设规模成为实现电网线路规模协调

发展的关键问题^[7,8]。

输电线路功能的物理意义是将一定的电能传输一定的距离，可以用电能与距离之积的形式表示。输电线路实现了电能传输的客观需求，与区域电网变电规模评价指标中实现电力下网功能相似，变电设备的下网负荷为变压器设备实现的功能，将电能经过变压器从高电压等级传输到低电压等级。对于同一电压等级的输电线路来说，传输电能经过的是输电线路，是从发电厂电力受入点（通过直流或交流跨区输电受入点）到变电站下网点（通过直流或交流跨区输电送出点）。两者的对应关系如图2所示。



图2 输电线路与变压器对照图

根据输电线路与变压器的对照关系，对比两者传输功能，输电线路实现了一定的电能传输了一定距离，在实际电网中，电能转移距离为空间物理直线距离，但在工程评价指标中，直线距离存在不易获取、地域差异大（因地形、地貌）的问题。为此，评价线路充裕度时采用输电线路杆路长度，原因在于针对电网现状，输电线路路径已经按照两点间最优化解方案选取，而且运行过程中采用了保障电网安全经济的优化调度运行方式。

线路输电容量应与变压器额定容量对应，但输电线路受到电网潮流约束限制，连接同一节点的输电线路满足节点电流定律，必然造成部分线路无法实现等功率运行^[9,10]。同时，部分线路功能定位可能存在差异，部分联络线输送电能较低，甚至无潮流，由此造成了电网输电线路额定容量难以确定。而实际上，电网中每一条线路都有其自身的功能，在电网规划建设时，确定建设各线路均具有显著的必要性，而线路的布置、输

送容量和线径大小也都是合理的，每条线路均完成着与之输送能力相匹配的输电功能，即使某线路为正常运行是无潮流的备用线路，在电网故障需要该备用线路投切时，其输送容量为其热稳定极限功率，因此评价输电线路规模的充裕度时，各线路的本质功能依然是输送电能，输送容量按热稳定输电容量选取。

按照与变电容载比类比对应原则，线路容载比的定义为

$$Z_s = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{\text{热}i} L_i)}{\sum_{i=1}^n (P_{\text{max}i} L_i)} \quad (2)$$

式中， Z_s 为线路容载比； P_{max} 为该电压等级最大负荷日负荷； $P_{\text{热}}$ 为线路热稳定极限； L_i 为线路杆路长度； i 为电网中第 i 条输电线路； n 为电网中包含 n 条输电线路。

由于线路容载比与变电容载比具有相似的对应关系，物理意义与变电容载比相同，较清晰明确，其分析方法与变电容载比相似，基本能够反映地区电网中输电线路宽裕度情况。由于线路容载比的提出，实现了分层电网传输结构中规模评价指标的全面覆盖，为电网规模评价和电网建设提供评价指标和分析方法。

实例分析

选取3省500 kV电网和3省中5个220 kV供电区为分析对象，计算500 kV和220 kV电网规模评价指标线路容载比和变电容载比数值，分析指标对电网规模充裕度的实用性。

A、B、C3省500 kV电网以及D、E、F、G、H5个220 kV供电区变电、线路容载比如下表所示。3省500 kV电网中，C省变电容载比较高，充裕度较大，3省变电容载比指标均处于Q/GDW 156—2006《城市电力网规划设计导则》要求范围内；C省线路容载比中较高，充裕度较大。220 kV电网中，E供电区变电容载比值高，超出了导则要求范围。分析发现，15座变电站中部分出现轻载，其中2座变电站（变电容量为360 MV·A）下网负

荷均低于15 MW；E供电区线路容载比较大，分析发现该供电区49条220 kV线路中，输送能力为494 MW的8条输电线路的电能输送均低于10 MW，均存在明显轻载现象。由此说明，变电容载比与线路容载比指标均能反映了区域内变电和线路充裕度水平。

表 500 kV省级电网（A、B、C）与220 kV地区电网（D、E、F、G、H）规模评价指标

	电压等级/kV	变电容载比	线路容载比
A	500	1.80	4.37
B	500	1.80	4.43
C	500	1.87	4.67
D	220	1.9	4.16
E	220	2.74	6.61
F	220	2.03	5.06
G	220	1.84	4.14
H	220	1.87	4.11

结束语

首先分析了电网功能、结构特征，提出了电网规模评价应从电网实现功能进行对应评价的原则，并对变电规模和线路规模两方面分别开展独立评价，利用变电容载比指标概念、物理意义开展类比对照，提出了线路容载比评价指标，可针对各电压等级、不同范围大小的电网变电和线路各环节的充裕度进行测算、分析，各指标能够反映所评价电网对应环节的充裕度水平。通过实例验证表明，电网规模评价指标能够反映电网充裕水平和冗余情况。

下一步建议深入研究输电线路容载比指标合理范围和评价标准研究，通过电网规模评价结论

指导电网规划和建设，提升电网规模适应发展需求，特别是输电线路规模适应输送需求的科学性。

参考文献

[1] 何永秀. 电力综合评价方法及应用 [M]. 北京：中国电力出版社，2011.

[2] 罗东，胡良焕，邢玉珍. 电网评价指标体系研究 [J]. 安徽电力，2009，26 (3)：75-79.

[3] 万卫，王淳，程虹，等. 电网评价指标体系的初步框架 [J]. 电力系统保护与控制，2008，36 (24)：14-17.

[4] 国家质量技术监督局. GB/50293—1999 城市电力规划规范 [S]. 北京：中国标准出版社，1999.

[5] 国家电网公司. Q/GDW 156—2006 城市电力网规划设计导则 [S]. 北京：中国电力出版社，2006.

[6] 中华人民共和国国家经济贸易委员会. 农村电力网规划设计导则 [S]. 北京：中国标准出版社，2000.

[7] 李欣然，刘杨华，朱湘有，等. 高压配电网建设规模的评估指标体系及应用研究 [J]. 中国电机工程学报，2006，26 (17)：18-24.

[8] 刘友强，林海波. 地区高压电网建设规模的评估研究 [J]. 广东电力，2007，20 (1)：14-18.

[9] 邱丽萍，范明天. 城市电网最大供电能力评价算法 [J]. 电网技术，2006，30 (9)：68-71.

[10] 韩武，刘宗兵，王琳. 基于图论的城市电网最大供电能力模型及算法 [J]. 云南电力技术，2009，37 (3)：1-5.

(收稿日期：2014—03—20) EA

.....

欢迎订阅 欢迎投稿 欢迎刊登广告