

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2018.10.005

特高压外受电规模与需求分析

徐明忻¹, 赵 龙¹, 蒙 园², 张建华², 胡 浩²,
刘 阳², 龙日尚², 谭 涛²

(1. 国网内蒙古东部电力有限公司经济技术研究院, 呼和浩特 010010;
2. 华北电力大学新能源电力系统国家重点实验室, 北京 102206)

摘要: 由于中国能源分布与电力需要的不一致分布的问题, 受端电网外受需求及规模的规划问题显得尤为重要。为研究受端电网合理的特高压外受电需求及规模, 文中基于概率性准则的卷积法计算得到可靠性指标, 并利用可靠性计算可靠性理论核算地区电网的外受电需求; 然后通过静态安全稳定性规划电网能够输送的规模。最后通过对某受电地区进行算例分析, 得到了外受电需求与规模, 证明了方法正确性。

关键词: 特高压; 外受电需求; 可靠性; 静态安全稳定性

Study on External Power Demand and Scale of UHV Synchronous Power Grid

XU Mingxin¹, ZHAO Long¹, MENG Yuan², ZHANG Jianhua², HU Hao²,
LIU Yang², LONG Rishang², TAN Tao²

(1. Inner Mongolia Eastern Electric Power Co., Ltd., Economic and Technical Research Institute, Huhhot 010010, China;
2. State Key Laboratory of New Energy Power System, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: Due to the different distribution of energy distribution and power demand in China, the study of demand and scale of receiving-end grid is particularly important. To study reasonable UHV external power demand and scale of receiving-end grid, this paper uses the convolution method based on probabilistic criteria of calculation to obtain the reliability index, and calculates the external power demand of the regional power grid by using the reliability theory, and then through the static security and stability of power grid, plan the capable of transportation scale. Finally, an example is analyzed to obtain the external demand and scale. The method is proved to be correct.

Key words: UHV; external power demand; reliability; static security stability

0 引言

由于中国能源与用电空间上的不一致, 并随着中国经济的发展和电力需求的增加, 未来将形成大规模的“西电东送”、“北电南送”的电力流格局。为了合理规划送入某电网的联络线规模、结构、落点等问题, 首先必须清楚电网需要多少外受电。在此基础上, 核算规划后的电网是否能满足需求、还有多大裕度、最大输送能力怎样。

目前关于区外来电对于地区电网的影响, 部分文献已经进行了相关的研究工作^[1-22]。区外来电已

成为资源优化配置的选择和今后电网发展的趋势。文[1-7]就电网跨区送电的现状, 指出跨区送电的优势在于实现大区间资源优化配置, 并计算了区外电消纳的能力。文[8-9]分析了在交直流区外来电的背景下上海电网静态无功电压控制、容性无功平衡、正常方式及直流小方式下的系统感性无功平衡、调峰资源配置和发展策略。文[10-14]研究了大电网的静态安全稳定分析方法, 文[15-22]提出了大电网可靠性评估的解析计算模型。

文中主要研究思路见图1。首先, 基于发电可靠性理论核算地区电网的外受电需求, 而后基于静

收稿日期: 2018-04-03; 修回日期: 2018-06-05

基金项目: 蒙东电网的项目支持(52660615000G)。

Project Supported by East Inner Mongolia Grid(52660615000G).

态安全分析方法核算规划电网能够输送的规模。

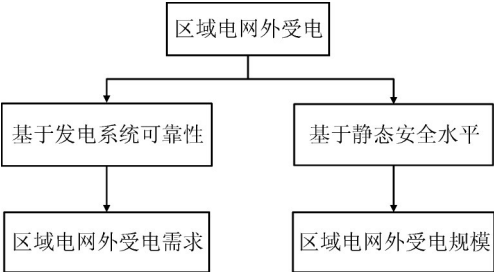


图1 区域电网外受电分析主要内容
Fig. 1 Regional grid external demand analysis process

1 地区外受电需求分析

1.1 基于发电可靠性的外受电需求分析方法

文中基于发电可靠性的外受电需求分析采用基于概率性准则的卷积法计算,建立发电容量的离散概率分布和负荷水平的离散概率分布,而后通过二者的卷积计算得到相应的可靠性指标。通过逐步增加外受电需求大小并反复迭代计算即可求得在一定可靠性条件下的外受电需求。综上所述,基于发电可靠性的外受电需求方法分析具体计算流程图见图2。

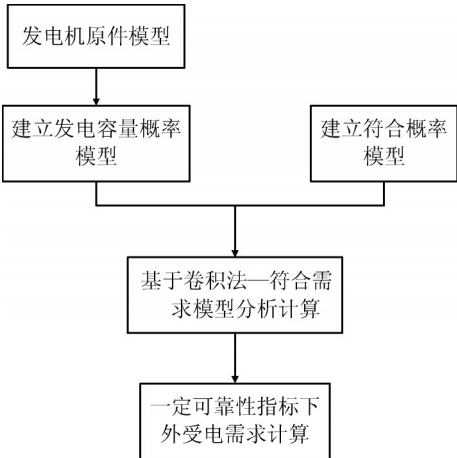


图2 基于发电可靠性外受电需求计算流程
Fig. 2 External demand analysis process based on the electric power reliability

1.2 基于发电可靠性的外受电需求分析模型

1.2.1 发电容量可靠性模型

1)发电机组的停运模型。通常采用的方法是把部分停运折合成完全停运来考虑。定义等效强迫停运率如下。

$$EFOR = \frac{\text{强迫停运小时} + \text{等效停运小时}}{\text{运行小时} + \text{强迫停运小时}} \quad (1)$$

等效过程中需将机组降额运行小时等效成停运小时,例如一台1 000 MW的机组以800 MW出力运行10 h,那么其等效停运时间就为2 h。

2)发电容量离散概率分布模型。常用规定一个合理的发电容量级差,将落入级差内的容量等级舍入到最接近的一个规定级别,因此,可以得到发电容量及其概率表,见表1。

表1 发电容量及其概率表
Table 1 Generating capacity and its probability table

发电容量	概率
G_1	P_1
$\vdots$	$\vdots$
G_k	P_k
$\vdots$	$\vdots$
G_n	P_n

1.2.2 负荷模型

负荷水平的离散概率分布模型通常是将统计期间内负荷大小按递减顺序进行排序,然后绘制负荷分布曲线,通过分析原始负荷曲线就可得到多级负荷水平模型。若计入负荷不确定性,可以建立一个广义负荷水平分级表,通常用正态分布来表征负荷的不确定性。以7个分段为例,每个分段取中心点数据,为此得到7段正态分布表见表2。

表2 广义负荷水平分级及其概率
Table 2 Generalized load level classification and its probability

分段	概率
$L_k(1-3\delta)$	$P_{k_1}=0.006\ 2T_{k_1}/T$
$L_k(1-2\delta)$	$P_{k_2}=0.060\ 6T_{k_2}/T$
$L_k(1-\delta)$	$=0.241\ 7T_{k_3}/T$
L_k	$P_{k_4}=0.383\ 0T_{k_4}/T$
$L_k(1+\delta)$	$P_{k_5}=0.241\ 7T_{k_5}/T$
$L_k(1+2\delta)$	$P_{k_6}=0.060\ 6T_{k_6}/T$
$L_k(1+3\delta)$	$P_{k_7}=0.006\ 2T_{k_7}/T$

1.2.3 外受电需求分析可靠性指标

发电系统可靠性评估常用的可靠性指标有缺电时间期望和电量不足期望,通过可靠性指标约束,即可求出外受电需求。

1)缺电时间期望LOLE(loss of load exception)为

$$\begin{cases} LOLE = \sum_{j=1}^{N_k} \sum_{i=1}^{N_l} P_i P_j I_{ij} \times T \\ I_{ij} = \begin{cases} 0 & L_i \leq G_j \\ 1 & L_i > G_j \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)中: L_i 是第*i*级负荷水平; P_i 是第*i*级负荷水平的概率; N_l 是负荷水平概率表中的负荷水平分级数; G_j 是第*j*级发电容量; P_j 是第*j*级发电容量的概率; N_k 是发电容量分级表中的发电容量分级数; T 是负荷持续时间总长度。

2)电量不足期望 $LOEE$ (loss of energy expectation)为

$$LOEE = \sum_{j=1}^{N_g} \sum_{i=1}^{N_l} P_i P_j \times \max(0, L_i - G_j) \times T \quad (3)$$

2 地区外受电规模分析

区域电网外受电规模分析主要基于区域电网网架及电源负荷基础上,核算在静态安全水平得到保障的情况下,电网接受外联络送电电力的最大值。外受电规模分析流程见图3。

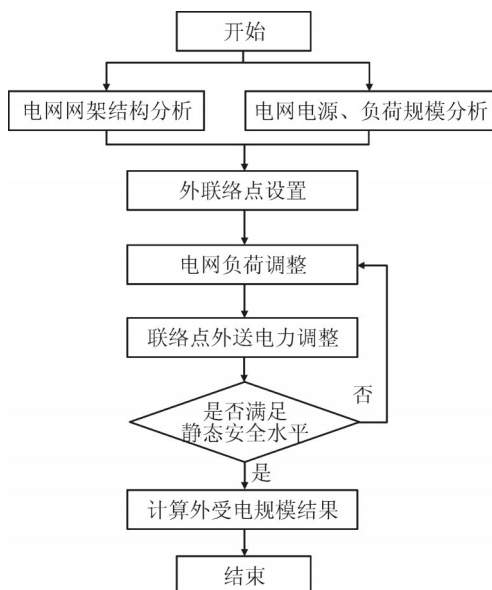


图3 外受电规模分析流程

Fig. 3 Scale of the external power receiving analysis process

如图3所示,区域电网外受电规模分析主要分为4个步骤:①电网现状分析,包括网架结构分析和电源负荷规模分析,作为负荷及联络点电力调整的依据;②外联络点设置,主要依据电网网架与外区域相联络的线路予以确定,包括直流和交流联络点,文中主要考虑了660 kV及以上电压等级的直流联络线路,以及500 kV及以上的交流联络线路;③电网负荷和联络点外送电力调整,依据步骤①和步骤②的分析结果,逐步调整区域负荷及联络点外送电力,以满足电力平衡约束和潮流计算收敛;④静态安全水平校验,校验步骤③所调整的方式是否满足静态安全水平,如果满足要求则进一步调整负荷和外送电力,直到静态安全水平不再满足,即为外受电极限。

3 算例分析

文中主要选取2020年某同步电网丰大规划BPA数据及电网2020年电源负荷情况予以外受电分析。三华电网丰大运行方式下(规划数据BPA)共

计节点数为24 927个,有功负荷为7.68亿kW,区域内有功出力为5.03亿kW,有功出力缺额为2.65亿kW。按区域有功负荷与处理规模分布情况分析见图4。

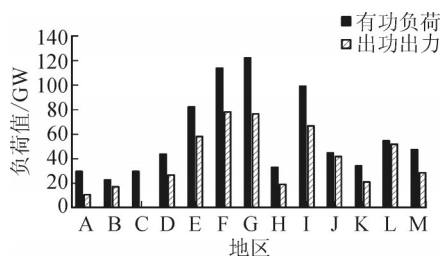


图4 区域有功负荷与处理规模分布情况分析

Fig. 4 The analysis of regional active load and scale distribution of regions

综上所述分析结果显示,某地区各区域内发电出力与负荷成正相关关系,各区域中江苏有功负荷、出力以及电源缺口是最大。

3.1 外受电需求计算分析结果

外受电需求计算分析结果见图5。

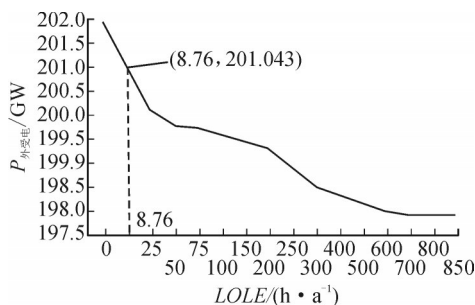


图5 不同 $LOLE$ 水平下外受电需求大小

Fig. 5 External power demand under different $LOLE$ level

根据可靠性导则要求,为了保证系统的可靠性水平,使得系统供电可用率 $\geq 99.9\%$,即 $LOLE \leq 8.76$ 小时/年,则某地区的外受电需求至少应为201 043 MW,即约2.01亿kW。

3.2 外受电规模分析计算结果

联络点设置结:某地区外受电联络点分布共35个联络点,交流落点共14个直流落点,直流共21个。

1)各省份地区负荷调整结果。对每个省份地区以0.5%增长间隔逐一缓慢协同提高其区域的负荷水平,并同时调整相应区域内的外送电设置点的电力供给,然后通过系统静态安全水平校验以确定电网外受电规模,见表3。

2)各联络点送电规模及外受电规模计算结果见表4。

由表4知,2020年丰大方式下某电网规划网架及发电负荷规模下,外受电规模为3.07亿kW,其中丰大原始外受电为2.28亿kW,可某电网外受电力主要以特高压直流线路接入为主。另外,各外受电

表3 各省份地区负荷调整结果
Table 3 The result of load adjustment in each region

地区及 合计	2020年负 荷/MW	区域外受电下 负荷/MW	负荷增加 量/MW	增量百 分数/%
A	30 559	33 007	2 448	8.01
B	21 674	23 845	2 171	10.02
C	29 357	35 801	6 443	21.95
D	124 659	139 634	14 975	12.01
∴	∴	∴	∴	∴
合计	767 980	844 665	76 686	9.99

表4 各联络点送电规模及外受电规模计算结果
Table 4 Calculation results of the power transmission
scale of the contact point and results of the external
power receiving scale

线路及 合计	2020年丰大 负载/MW	外受电下 负载/MW	联络点新增 出力/MW	外受电规 模/MW
	8 000	8 000	4 442	12 442
直流线	∴	∴	∴	∴
路	10 000	10 000	6 190	16 190
	4 000	4 000	600	4 600
交流线	2 386	356	5 553	5 909
路	∴	∴	∴	∴
	16 560	16 930	9	16 939
合计	227 686	227 793	79 084	306 877

联络点中送电电力规模最大的直流为高压线路,直流最大送电规模为1 619万kW;交流送电规模为1 693.9万kW。因此,某同步电网为满足可靠性水平要求,外受电变化区间为[2.01,3.07]亿kW。该地区2020年丰大原始外受电满足外受电区间[2.01,3.07]亿kW,向下保证了某区域电网的更高的可靠性,同时向上可继续增加0.79亿kW的外受电力,即有25.73%增长裕量。

4 结语

对特高压同步电网的外受点需求和规模进行了研究,首先提出了基于发电可靠性的外受电需求的分析方法,即利用概率性准则的卷积法计算可靠性,并通过可靠性计算外受电需求;其次利用在静态安全水平得到保障的情况下,利用电网接受外联络送电电力的最大值求外受电规模。在算例中,以某地区为对象,得到了既有可靠性,又有可增裕度的外受电方案,验证了方法的可行性。

参考文献:

[1] 俞 震,赵可铮,俞敦耀.从华东电网的发展看跨大区联网的必然性[J]. 电网技术,1995,19(8):24-28.

YU Zhen,ZHAO Kezheng,YU Dunyao. The necessity of international interconnected power system in viewing of developing east China power system[J]. Power System Teehnology, 1995,19(8):24-28.

[2] 张文亮,吴维宁,胡 毅. 特高压输电技术的研究与我国电网的发展[J]. 高电压技术,2003,29(9):16-18.

ZHANG Wenliang, WU Weining, HU Yi. Research on UHV transmission technology and development of power network in China[J]. High Voltage Engineering, 2003,29(9):16-18.

[3] 李雪明,黄志龙,罗建裕,等. 江苏苏北电网安全稳定控制系统的功率与实现[J]. 华东电力,2006,34(9):30-33.

LI Xueming, HUANG Zhilong, LUO Jianyu, et al. Functions of safety and stability con trol system for Subei power grid and their realization[J]. East China Electric Power, 2006,34(9):30-33.

[4] 蔡 晖,孟繁骏,葛 毅,等. 特高压交直流混联背景下的江苏电网区外来电消纳能力分析[J]. 电力建设,2016,37(2):100-106.

CAI Hui, MENG Fanjun, GE Yi, et al. Accommodation capacity of jiangsu power grid external electricity based on UHV AC/DC hybrid[J]. Electric Power Construction, 2016,37(2),100-106.

[5] 罗建裕. 试论江苏电网稳定控制技术的构想[J]. 江苏电机工程,2004,23(2):1-3.

LUO Jianyu. Consideration of the applicati on of stability power control technology of Jiangsu electric power system[J]. Jiangsu Electrical Engineering, 2004,23(2):1-3.

[6] 程 雄,程春田,申建建,等. 大规模跨区特高压直流水电网省两级协调优化方法[J]. 电力系统自动化,2015,39(1):151-158.

CHENG Xiong, CHENG Chuntian, SHEN Jianjian, et al. Hierarchically structure and model driven automatic generation of distriction network graphs[J]. Automation of Electric Power System. 2015,39(1):151-158.

[7] 胡 伟,刘金官,刘华伟. 区外来电对江苏电网的影响及对策[J]. 华东电力,2006,34(1):52-56.

HU Wei, LIU Jinguan, LIU Huawei. Influence of power from outside on Jiangsu power grid and the countermeasures[J]. East China Electric Power. 2006,34(1): 52-56.

[8] 陈 博,殷 婷,黄一超,等. 交直流区外来电背景下上海电网无功问题[J]. 电网与清洁能源,2015,31(4):66-71.

CHEN Bo, YIN Ting, HUANG Yichao, et al. Reactive power issues of shanghai power grid under the background of AC-DC electric power from external regions[J]. Power System and Clean Energy. 2015,31(4):66-71.

[9] 陈 博,徐逸清,黄一超,等. 上海电网调峰及资源共享机制研究[J]. 电网与清洁能源,2015,31(7):37-43.

CHEN Bo, XU Yiqing, HUANG Yichao, et al. Research on peak regulation and resources sharing mechanisms of shang-

- hai power grid[J]. Power System and Clean Energy. 2015, 31(7):37-43.
- [10] 侯汝锋, 蔡泽祥, 尹 亮, 等. 基于最大负荷预测的地区电网静态安全分析[J]. 电网技术, 2004, 28(23):38-42.
HOU Rufeng, CAI Zexiang, YIN Liang, et al. Security analysis of district power net-work based on the maximal load forecasting[J]. Power System Technology, 2004, 28(23): 38-42.
- [11] 武志峰. 计及不确定性的电力系统静态安全分析[D]. 天津: 天津大学, 2007: 12-30.
WU Zhifeng. Static security analysis considering un-certainty in power system[D]. Tianjin: Tianjin University, 2007: 12-30.
- [12] 苏维波, 冯彦维, 阳育德. 一种基于BPA数据的静态安全最优校正分析方法[J]. 电网与清洁能源, 2014, 30(5): 13-17.
SU Weibo, FENG Yanwei, YANG Yude. A method of static security analysis and correction based on BPA data[J]. Power System and Clean Energy, 2014, 30(5): 13-17.
- [13] 齐 旭, 曾德文, 史大军, 等. 特高压直流输电对系统安全稳定影响研究[J]. 电网技术, 2006, 30(2):1-6.
QI Xu, ZENG Dewen, SHI Dajun, et al. Study on impacts of UHVDC transmission on power system stability[J]. Power System Technology. 2006, 30(2):1-6.
- [14] 高宗和, 陈 刚, 杨军峰, 等. 特高压互联电网联络线功率控制[J]. 电力系统自动化, 2009, 22(15):52-54.
GAO Zonghe, CHEN Gang, YANG Junfeng, et al. Active power control for tie-lines in UHV interconnected power grid[J]. Automation of Electric Power Systems, 2009, 22(15):52-54.
- [15] 赵 渊, 郭 胤, 谢开贵. 考虑参数不确定的电网可靠性概率分布特征[J]. 电网技术, 2013, 37(8):2165-2172.
ZHAO Yuan, GUO Yin, XIE Kaigui. Research on probability distribution characteristics of bulk power system reliability considering parameter uncertainty[J]. Power System Technology. 2013, 37(8):2165-2172.
- [16] 赵 渊, 张 进, 芦晶晶, 等. 大电网可靠性评估的卷积计算模型[J]. 电网技术, 2013, 37(9):2466-2473.
ZHAO Yuan, ZHANG Jin, LU Jingjing, et al. A convolution model for bulk power grid reliability evaluation[J]. Power System Technology, 2013, 37(9):2466-2473.
- [17] 戴红阳. 交直流电网可靠性评估方法的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2014.
DAI Hongyang. Research on the reliability evaluation method for AC/DC power grid[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2014.
- [18] 曾庆禹. 特高压交直流输电系统可靠性分析[J]. 电网技术, 2013, 37(10):2681-2688.
ZENG Qingyu. Analysis on reliability of UHVAC and UHVDC transmission systems[J]. Power System Technology. 2013, 37(10):2681-2688.
- [19] 刘海涛, 程 林, 孙元章, 等. 交直流系统可靠性评估[J]. 电网技术, 2004, 28(23):27-31.
LIU Haitao, CHENG Lin, SUN Yuanzhang, et al. Reliability evaluation of hybrid AC/DC power system[J]. Power System Technology. 2004, 28(23):27-31.
- [20] 吴义纯, 丁 明. 基于蒙特卡罗仿真的风力发电系统可靠性评价[J]. 电力自动化设备, 2004, 24(12):70-72.
WU Yichun, DING Ming. Reliability assessment of wind power generation system based on Monte-Carlo SIMULATION[J]. Electric Power Automation Equipment, 2004, 24(12):70-72.
- [21] LI W. Risk assessment of power system models, methods and application[M]. Hoboken: Wiley-IEEE Press, 2005.
- [22] BILLINTON R, LI W Y. Reliability assessment of electric power systems using monte carlo methods[M]. London: Plenum Press, 1994.

徐明忻(1972—),男,硕士,高级工程师,主要从事电网规划。