

大型核电站输电规划方案研究

耿静

(中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663)

摘要: 大力发展核电是我国应对气候变化、调整能源结构的重要举措, 以 L 核电站 6×1250 MW 机组接入广东电网的输电规划方案进行了研究和分析, 在确定电厂送电方向和现有通道输电能力的基础上, 提出了两大类共四种输电方案, 利用电力系统分析软件工具(PSD), 从电网潮流分布、稳定校核、短路电流水平、经济性等方面进行了仿真和计算, 综合比较得出推荐方案。结果表明: 分别以三回 500 kV 线路接入 A 站和 B 站可以满足核电站全部电力的送出, 且技术经济性最优, 文章总结提炼的接入电网关注点可作为其他类似大容量核电站拟定输电规划方案的参考。

关键词: 核电站; 输电规划; 潮流分布; 稳定计算

中图分类号: TM623

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)03-0027-04

Research on Transmission Planning of Large-scale Nuclear Power Plant

GENG Jing

(China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China)

Abstract: Nuclear power developing had been an important measure for our country to response the climate change and energy structure adjustment. In this project we studied and analyzed transmission planning of the 6×1250 MW L nuclear power plant connected to Guangdong Province. Based on the determining of transmission direction and existing channel transmission capacity, we proposed two categories of four kinds of transmission program, we used PSD to calculated and simulated those program in power flow distribution, stability checking, short-circuit current level, economic and other aspects, after comprehensive comparison drawn we got the recommended program. The results shown that the recommended program (each three 500kV lines connect to A substation and B substation) is technical and economic optimal solution, and meet the full electricity transmission. We recommend this program for other similar large-capacity nuclear power plants transmission planning.

Key words: nuclear power plants; transmission planning; power flow distribution; stability checking

根据《珠三角改革发展规划纲要》, 广东以电力建设为中心, 构建开放、多元、清洁、安全、经济的能源保障体系, 满足珠江三角洲地区经济社会发展需要。加快开展前期工作, 规模化发展核电, 延伸核电产业链, 推进核电自主化, 把广东建成我国重要的核电基地和核电装备基地。积极合理开发利用核能, 符合国家能源政策, 将有助于减少“三废”的排放。L 核电站建成后, 对满足广东省电力需求发展需要, 促进电源布局更加合理化, 为安全接收

西电提供有力支撑, 促进粤东地区及广东经济增长, 解决广东一次能源缺乏, 都将起着重要的作用。

L 核电站采用目前世界上最先进的第三代核电技术——AP1000 非能动技术路线。AP1000 以非能动安全作为主要技术特点, 成为我国第三代核电自主化依托项目所选择的技术路线^[1], 进一步提高了核电站的安全性, 同时也能显著降低核电机组建设以及长期运营的成本。

本文以 L 核电机组接入广东电网为例, 在明确送电方向和通道能力的基础上, 根据粤东 500kV 电网特点及规划电源, 提出可选择的送电方式类型, 并拟定方案, 通过技术、经济比较, 得到推荐输电方案。

收稿日期: 2016-08-25

作者简介: 耿静(1986), 女, 湖北安陆人, 工程师, 硕士, 主要从事电力系统规划设计工作(e-mail) gengjing@gedi.com.cn。

1 大容量核电接入电网的特点

大容量核电的接入对电网的适应性提出了更高要求,同时在制定接入方案时需充分考虑核电电力安全可靠送出。因此,需优化送电方向,精准定位受电区域。并以此为基础,在分析通道能力的前提下,通过 500 kV 多点接入或者更高电压等级接入电网。

2 电站接入前电网概况

目前,广东电网交流最高电压等级为 500 kV。根据电厂近区电网的负荷、电源分布特点,电网的功能及结构的不同,在分析电厂近区电力流向时把近区电网分成 4 个分区考虑:

2.1 送端电网

粤东四市:汕头、潮州、揭阳、梅州。

粤东六市:汕头、潮州、梅州、揭阳、汕尾、河源。

2.2 受端电网

珠东:东莞、惠州中北部、广州东部。

珠东南:深圳、大亚湾供电区。

3 送电方向分析

L 核电站地处广东省东部,规划容量为 $6 \times 1\,250$ MW,计划于“十四五”前投产完毕。为研究 L 核电电力的送电方向,在考虑核准、路条及规划电源的基础上,对电厂近区从送端和受端两个角度共十个分区进行了电力平衡计算。从表 1 可见, L 核电站全部 6 台机组在粤东六市无法完全消纳,盈余电力需经电网送入珠东(东莞、惠州中北部、广州东部)及珠东南(深圳、大亚湾供电区)负荷中心地区,主要送电方向为东莞、深圳地区。

4 通道能力分析

考虑粤东地区电源的发展,至 2018 年需新增粤东向珠三角负荷中心送电通道。根据电网规划,至 2020 年粤东六市送出通道共有 4 个。

L 核电站 6 台机组扣除厂用电后,送入系统的电力为 7 050 MW。当 L 核电站电力仅通过一个通道送出时,现有的 4 个通道均无法满足全部电力的送出,需对现有通道进行加强。同时考虑到核电运行的安全性, L 核电站位于台风频发的沿海地区,

台风是对沿海电厂安全运行的一大威胁。鉴于核电站和常规电厂相比,对安全稳定运行的要求更高,核安全事故影响范围巨大、后果严重,因此从提高安全可靠度出发,不建议 L 核电站 6 台机组电力仅通过 1 个通道接入系统。粤东六市 2023 年满发情况下外送为 14 639 MW,当 L 核电站电力通过两个通道送出时,部分通道组合方案可能受制于某线路的输送能力,无法满足 L 核电站电力的送出需要,需对通道进行加强,线路改造后,两个通道接入的方案均可满足 L 核电站电力送出。

表 1 电厂近区电力盈亏情况

Tab. 1 Breakeven situation of power plant nearby area MW

端口	地区	2018 年	2020 年	2025 年	2030 年
送端	1. 粤东四市	3 360	3 299	314	5 332
	2. 粤东六市	7 424	8 908	9 684	14 249
受端	1. 珠东	-7 414	-8 806	-9 459	-12 929
	东莞	-9 450	-8 923	-9 206	-11 216
	惠州中北部	1 052	-595	-1 000	-2 174
	广州东部	375	16	-13	-370
	2. 珠东南	-6 346	-5 859	-7 046	-8 969
	深圳	-6 270	-5 383	-5 866	-7 368
	大亚湾	-558	-1 009	-1 756	-2 216
	粤东九市 + 广州东部	-4 104	-3 883	-2 814	-3 747

5 输电规划方案设计

根据文献[2],单机容量为 500 MW 及以上机组,一般宜直接接入 500 kV 电压电网。综合考虑电站单机容量及最终规模,核电机组对电网安全、可靠性要求,以及核电站在电力系统中的地位和作用等因素, L 核电站宜考虑采用 500 kV 甚至特高压(如 1 000 kV)电压等级接入系统。文献[2]还指出,电源接入系统的送电回路,在正常情况下突然失去一回时,除必须保持系统稳定外,一般还应能保持继续正常送电。

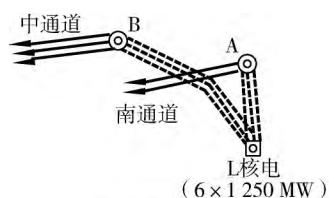
根据文献[3],对核电站送出线路出口应满足发生三相短路不重合时保持稳定运行和电厂正常送出。

根据核电接入不同通道的组合,初步考虑核电站最终以 4~6 回 500 kV 线路接入系统。

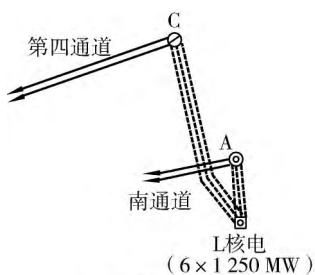
5.1 方案拟定

综合上述各章节的论述,考虑 L 核电站 6 台机

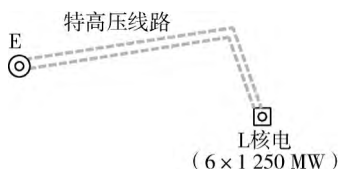
组最终采用4~6回500 kV出线, 待选的接入点有A、B、C、D共4个站点或通过1 000 kV点对网长距离接入。通过初步分析, 排除经济性较差的方案, 并兼顾后续分厂情况, 最终拟定以下两类共四种方案, 如图1所示。



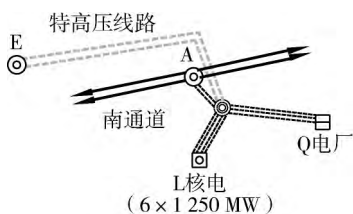
(a) 方案A-1



(b) 方案A-2



(c) 方案B-1



(d) 方案B-2

图1 L核电输电规划方案图

Fig. 1 Transmission program of L nuclear plant

5.1.1 方案A-1

电厂新建3回出线至南通道(A站), 3回出线至中通道(B站)。

5.1.2 方案A-2

电厂新建3回出线至南通道(A站), 3回出线至第四通道(C站)。

5.1.3 方案B-1

L核电站升压至1 000 kV, 新建L核电站~E站双回线路, 将E站升压至1 000 kV。

5.1.4 方案B-2

在Q电厂、L核电站近区新建1座1 000 kV站点, 新建Q电厂至特高压站3回线路; 新建L核电站4回线路至特高压站; 新建2回1 000 kV线路至500 kV E站, 将E站升压至1 000 kV; 新建特高压站~A双回线路。

5.2 方案综合比较和推荐

方案推荐的主要原则是优先推荐技术优良、适应远景电网发展的方案, 在技术性能相近时推荐经济性较好的方案, 推荐方案应具有接线简单、与电网规划相协调、运行灵活等方面的优点。本文采用电力系统分析软件工具(PSD)^[4-5]对不同方案进行技术比较。

5.2.1 潮流分布

对各方案进行正常及“N-1”方式下的潮流计算^[6-7], 计算结果表明: 方案A-1中L核电站送往中通道的电力一方面加重了某线“N-1”情况下输送潮流, 同时有部分电力向东挤压经北通道送出, 存在一定潮流迂回。

方案A-2中通道送出压力较小。核电接入南通道的部分电力向东挤压经中通道送出。

方案B-1仅送出L核电站6x1 250 MW机组的电力, 对特高压的输电的利用率较低, 且部分线路“N-1”时会过载。

方案B-2同时送出Q电厂和L核电站全部机组的电力。特高压站和500 kV站点相连之后, 电厂几乎一半的电力通过500 kV网络送出, 通过1 000 kV特高压线路输送的潮流较少, 没有充分发挥特高压线路的电力输送能力。相当于其中一个电厂的电力还是通过南通道来送出, 与直接接入A站情况效果相同, 且部分线路“N-1”时会过载。

5.2.2 短路电流计算

短路电流计算发现, 方案B-2中L核电站三相短路电流超标, 需采取相应措施。其他各方案电厂近区各站点短路电流满足要求。

5.2.3 稳定分析

对拟定的各方案进行的暂态稳定计算^[8]。主要计算电站及电网一回线路发生三相永久故障的方式。A类方案无失稳情况; B类方案因送出线路较

长,当特高压站~E发生三永故障时系统无法稳定,需采取切机措施。分析结果详见表2。

5.2.4 经济性比较

采用年费用比较法^[9]对各方案的经济性进行比较^[10-11]。年费用比较法是将各方案计算期的全部支出费用折算成等额年费用后进行比较,年费用低的方案经济性较优。采用以下公式计算:

表2 稳定计算结果

Tab. 2 Stability checking results

方案描述	故障线路	计算结果	备注
方案 A-1	电厂~A站甲线	稳定	
	电厂~B站甲线	稳定	
方案 A-2	电厂~A站甲线	稳定	
	电厂~C站甲线	稳定	
方案 B-1	电厂~E站甲线	不稳定	核电需切2台机
方案 B-2	特高压站~E站甲线	不稳定	核电需切2台机

$$NF = Z \left[\frac{r_0(1+r_0)^n}{(1+r_0)^n - 1} \right] + u \quad (1)$$

式中: NF 为设计方案的年费用; Z 为方案总投资(动态投资); u 为方案年运行费(考虑维护费和电能损失费,其中维护费暂按工程总投资的2%计,电能损失费按年损耗小时5700h,电价0.5元/kWh计); r_0 为电力工业投资回收率,暂按8%考虑; n 为工程经济使用年限(输变电取25年)。

从表3中可看出,年费用4个方案A-1最少,其次是方案A-2,方案B-2最多。综合工程经济分析, L 核电站三期拟定的接入系统方案中,方案A-1经济性相对最优。

表3 各方案经济比较表

Tab. 3 Economic comparison

方案参数	方案 A-1	方案 A-2	方案 B-1	方案 B-2
相对投资	0	1 309	682 739	1 377 719
相对年运行费	0	4 404	19 007	31 727
相对年费用	0	4 527	83 184	161 232
投资合计	134 391	135 700	817 130	1 512 110
线路部分投资	125 173	129 200	347 130	502 110
变电部分投资	9 219	6 500	470 000	1 010 000
年运行费用合计	0	4 404	19 007	31 727
相对运行维护费	0	26	13 655	27 554
相对电能损失费	0	4 378	5 352	4 172

5.2.5 推荐方案

综合考虑技术和经济,本文最终推荐采用方案A-1作为 L 核电站输电规划方案,即:电厂新建3回500kV出线至A站,3回500kV出线至B站。

6 结论

本文以广东电网实际情况为基础,研究了 L 核电站不同的输电规划方案。通过仿真计算分析,总结提炼得出大型核电接入的关键点:

1) 至少通过两个送电通道送出电力。

2) 为提高核电送出的安全性,尽量采用就近接入网对网的送电方式。

参考文献:

- [1] 李明岩. 核电站非能动余热排除过程仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009.
- [2] SD 131-84, 电力系统技术导则[S].
- [3] DL/T 5429-2009, 电力系统设计技术规程[S].
- [4] 卜广全, 候俊贤, 陶向红, 等. PSD 软件程序培训手册[M]. 北京: 中国电力科学研究院系统所, 2005.
- [5] 易杨, 常宝立, 李力, 等. PSD-BPA 潮流计算数据卡的自动批量生产和修改[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(10): 124-128.
YI Y, CHANG B, LI L, et al. Automatic batch generation and modification of PSD-BPA data-cards for power flow calculation[J]. Automation of Electric Power System, 2013, 37(10): 124-128.
- [6] DL 755-2001, 电力系统安全稳定导则[S].
- [7] 王锡凡. 现代电力系统分析[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 15-18.
- [8] 袁季修. 电力系统安全稳定控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 1996: 26-27.
- [9] 电力工业部电力规划设计总院. 电力系统设计手册[M]. 中国电力出版社, 1998: 231-232.
- [10] 彭士禄. 2×600 MW 压水堆电厂上网电价计算与分析[J]. 核动力工程, 1993, 14(2): 97-106.
PENG S L. Calculation and analysis of electric price in connection-grid of 2×600 MW PWR nuclear power plant[J]. Nuclear Power Engineering, 1993, 14(2): 97-106.
- [11] 王文山. 电网建设项目投资决策评价[J]. 电网技术, 2007, 31(增刊2): 90-92.
WANG W S. Decision-making evaluation in grid construction investment[J]. Power System Technology, 2007, 31(Supp. 2): 90-92.

(责任编辑 高春萌)