

试论南方电网发展规划

常浩

(中南电力设计院, 湖北省武汉市 430071)

A PRELIMINARY RESEARCH ON PLANNING FOR DEVELOPMENT OF SOUTHERN POWER GRID IN CHINA

CHANG Hao

(Central Southern China Power Design Institute, Wuhan 430071, Hubei Province, China)

ABSTRACT: Along with the deepgoing of the system reform in electric power industry in China the separated power plants from power network and the competition based power transaction at the power generation side are implemented in domestic power industry, at the same time, the large scale blackout in interconnected North America power grid in August, 2003 gave an important warning to domestic power industry. Therefore, it is very important to emphasize the unity, coordination and security in the planning for electric power. Here, after the summary description of the middle- and long-term planning from 2010 to 2020 for power source and power network of the five provinces and regions in southern China, how to make a good power planning under the new situation is expounded, and the author's opinions to the power development planning for southern China are given.

KEY WORDS: Southern power grid; Power planning; Power network planning; Power network structure; Power transmission from West China to East China

摘要: 随着电力体制改革的深入, 我国电力工业已处于实施厂网分开、在发电侧引入竞争的阶段, 而美加大停电又给我国电力工业提出了警示。在这种情况下, 在电力发展规划中强调统一性、协调性和安全性就显得极为重要。此文在概述南方五省(区)电源和电网的中长期规划(2010年~2020年)的基础上, 对新形势下如何做好电力规划进行了阐述, 并给出了作者对南方电力发展规划的看法。

关键词: 南方电网; 电源规划; 电网规划; 电网结构; 西电东送

1 引言

南方电网发展已进入大电网互联、推进电力资源在更大范围内优化配置的新阶段, 厂网分开的电力体制把电力工业分解成为竞争性领域和自

然垄断性领域两部分, 尤其是在美加大停电事故之后, 现代电力工业对电力发展规划提出了更高的要求, 电力规划的统一性、协调性及规划电网的安全性变得日益重要。统一性指的是统一规划电源和电网, 统一规划一次系统和二次系统, 统一规划送端电网、受端电网及西电东送电网, 统一规划有功和无功等; 协调性指的是电源和电网的协调发展, 一次和二次系统的协调发展; 安全性要求系统能够安全可靠地运行, 体现在电网规划中就是要研究大同步电网的系统问题, 例如: 电网结构、更高一级电压等级出现的可能、电压支撑、多回直流线路落点集中、短路电流、广东接受西电比例、如何建好三道防线等问题。只有在统一规划下同步配套建设, 才能提高系统运行的整体协调性、可靠性和安全性, 充分发挥大电网的优越性、经济性和优化配置资源的作用。

2 南方电网的电源规划

2.1 概述

南方五省(区)的能源分布极为不均衡, 五省(区)中的煤炭资源主要集中在云贵两省, 两省的煤炭储量占五省(区)煤炭储量的96.6%; 水电资源主要集中在云南、贵州、广西三省(区), 其中云贵两省的水能可开发容量占五省(区)的80.8%。广东的水能、煤炭资源均非常贫乏, 广西的资源也相对较少, 煤炭不能自给。从资源分布看, 南方五省(区)明显呈现西高东低的趋势。

从长远来看, 水能资源的开发在南方五省(区)发展中将占有突出地位, 云南、贵州、广西地区的水能具有优越的开发条件, 几大河流落

差大而集中,流量大而相对平稳,每条河流都可修建调节性能良好的“龙头”水库,水库淹地和移民相对较少,许多梯级电站技术经济指标优越,同时,许多河流的开发大多是以发电为主,兼有一定的综合效益。目前,这些地区的水能资源开发程度低,2001年,云南、贵州、广西的水能开发率分别仅为5.7%、23.7%、26%,因此具有很大的发展潜力。

合理配置云贵两省的煤炭和水能资源,既可满足本地区需要,又可支援其它地区,因此,将能源作为商品开发具有很大的潜力。

2.2 广东省

广东省一次能源贫乏,能源自给率不足20%,绝大部分能源需由外省调入和进口。由于广东省的水能资源主要处于河流的中、下游,多为开发难度较大的低水头水力资源,因此,可建设的水电站多为中、小型电站。

从广东的能源和电力现状看,未来十几年广东的电力发展将面临三个问题:一次能源短缺,广东既是一个缺能源大省,又是一个用能大省,90%以上的一次能源要依靠外省调入;电源结构不合理,2002年广东全省的电源构成如下:300MW及以上机组容量仅占全省装机容量的42%,柴油机、小火电、燃油电厂等机组约占全省装机容量的50%,小水电、风电约占全省装机容量的8%;

环境污染严重,广东是酸雨重灾区,酸雨覆盖范围达70%,频率达60次/年之多。针对上述状况,广东电源发展的思路应该是:以结构调整为中心,加快淘汰小火电、柴油机,充分利用西电,加快核电建设,发展天然气发电和抽水蓄能电站,适度建设一批大型骨干燃煤电厂。

西电是清洁、廉价的能源,积极利用西电是解决广东一次能源缺乏,优化广东能源、电源结构,减少环境污染的关键,是广东经济可持续发展的需要。广东接受西电的比例逐年增加,随着“十五”期间西电向广东送电10GW的实施,加上云电、天生桥电力及广西季节性电力,“十五”期间广东接受西电的比例占全省发电容量的25%(广东装机容量为43.08GW,西电送入电力为10.88GW);“十一五”期间,贵州、云南及广西将新增10.30GW电力送入广东,届时,广东接受西电的比例将上升为32%(广东装机容量为66.19GW,西电送入电力为21.18GW)。

综合考虑广东的地理环境、站址及运输条件等,广东省内的电源布局应大致遵循如下步骤:在南部沿海从西到东布置一批大型燃煤电厂,规划建设电源有台山、珠海二期、汕尾、潮州三百门、惠来、惠东、汕头、海门等;在阳江、深圳等地布置核电站;在深圳、东莞、惠州等靠近负荷中心的地方建设液化天然气(LNG)电站及联合循环电厂;在惠州、深圳、阳江等条件允许的地方建设抽水蓄能电站。

2.3 广西地区

广西全区的煤炭资源储量少、煤质差、开采成本高,很难利用当地煤炭建设大型火电厂。从长远看,广西可供利用的能源资源主要是水能,广西的水能资源主要分布在南盘江、红水河、黔江、柳江、桂江和郁江等河流上,南盘江、红水河、黔江统称为红水河,全长1226km,天然落差726m。广西主要的大中型电站均分布在红水河上,红水河可开发11座大、中型电站,总装机容量为11.57GW(界河电站占一半),年发电量53TWh。其它河流以开发中小型电站为主。

从广西的资源特点和区位优势看,广西应重点开发红水河梯级电站,并根据水火调剂及西电东送电网支撑的需要,规划建设钦州、贵港、百色火电厂。

2.4 贵州省

贵州省的煤炭资源极为丰富,全省探明储量为52.369Gt,居全国第五位,为西南之冠。贵州省的煤炭资源具有储量大、分布广、煤种全、热值高等特点,全省含煤地区的面积为70000km²,素有“西南煤海”之称。贵州的煤炭资源主要分布在西部的六盘水、织纳煤田和北部地区,可建设大型坑口火电基地。规划中的六盘水、织纳、北部火电基地的装机容量分别为9.3GW、14.1GW、4GW。规划建设的火电有:六盘水地区的盘南、兴义、盘东火电厂;织纳地区的纳雍二厂、发耳、六枝火电厂;北部地区的黔西、大方、鸭溪、桐梓火电厂。

贵州省的水能资源主要分布在乌江、南盘江和北盘江上,以乌江为主,装机容量可达6.276GW,规划建设的水电站有:构皮滩、思林、光照、沙沱、董箐、马马崖水电站。

2.5 云南省

云南省水力资源十分丰富,可开发的水电装

机容量为 71.17GW, 年发电量为 394.5TWh, 分别占全国的 18.8%和 20.5%, 仅次于四川省居全国第二位。云南省境内的河流分属六大水系, 即金沙江、澜沧江、怒江、珠江、红河和伊洛瓦底江水系, 水能资源主要分布在金沙江、澜沧江和怒江上, 这些河流是云南水电开发的重点。其中, 澜沧江可分 14 个梯级开发, 金沙江可开发 12 个梯级, 怒江可开发 6 个梯级。规划建设的水电项目有小湾、景洪、糯扎渡、金安桥等水电站。

云南省的煤炭资源也较丰富, 在南方诸省中仅次于贵州居第二位, 该省的煤炭资源主要分布在东部和东北部的曲靖和昭通地区, 以动力煤为主, 大多数煤炭埋藏较浅, 易于开采。规划建设的火电厂有滇东、开远、宣威七期、小龙潭三期、曲靖三期、昆明新厂、昭通、雨旺、镇雄等电厂。

2.6 海南省

海南省的南海大陆架蕴藏着丰富的天然气资源, 远期可以发展气电, 优先建设调峰调频电源, 并适当建设煤电。

3 南方电网规划

3.1 概述

南方电网由云南、贵州、广西、广东和海南五省(区)电网及西电东送跨省电网组成。云南、贵州电网属于送端电网, 广东和海南电网属于受端电网, 广西电网既是受端电网, 又是送端电网。

3.2 云南电网

云南的水力资源主要分布在滇西的澜沧江等河流上, 煤炭资源主要分布在滇东的曲靖等地区, 负荷主要集中在滇中(昆明)和滇东地区。根据资源和负荷分布的特点, 云南的目标网架结构应以昆明为中心, 建设围绕滇中和滇东的 500kV 双环网, 随着负荷密度的增加, 在适当的时机, 在环网中部建设南北相连的 500kV 线路, 将环网改变为“日”字型网络, 滇西水电通过专线分别接入环网上的不同点, 滇东大火电也分别接入环网, 滇西水电和滇东火电通过环网进行水火电调节。由于云南远离广东, 云南电网与广东电网的输电距离在 1500km 以上, 因此云南向广东送电主要采用直流输电。换流站的起点是在环内还是靠近电源点, 取决于系统和电源点的具体条件, 若在环网内, 强调的是网对网送电, 若靠近电源点, 强调的是点对网送电。即将实施的小湾直流工程换流站的起点宜选在环网内, 原因有两条: 小湾

只有 2.1GW 的电力送广东, 而直流输送容量是 3GW, 直流容量的不足部分需由云南电网供给, 枯水期更是如此, 换流站只有接入环网才能获得稳定的输送功率; 在小湾换流站投产前和投产初期, 云南电网就有富裕电力, 提前建设小湾直流换流站, 能将环网上汇集的富裕电力送往广东。

3.3 贵州电网

贵州的煤炭资源主要分布在北部和西部地区, 水力资源主要分布在乌江、南盘江、北盘江等干流上。因此, 贵州电网的特点是北部、西部电源多, 而中部和东部电源少。“十五”期间, 贵州将建成“日”字型环网, 该环网北起鸭西变, 南至安顺、青岩变, 中间用 500kV 线路将贵阳变和福泉变相连。“日”字型网架结构是贵州目标网架的基础, 在此基础上, 不断加强“日”字型网架结构, 形成双环网, 并向东西两侧延伸, 向西部延伸主要是解决电力的送出问题, 向东延伸既可解决东部地区的供电问题, 又可满足西电东送。贵州距广东的距离较云南近, 电力送出采用交、直流混合方案既可满足向广东送电, 又可兼顾向广西送电。交流出口宜在青岩和施秉, 直流换流站的起点宜靠近电源点。上述电网结构既能满足向贵州省中部和东部供电, 又能保证西电东送。因为贵州电网具有很好的灵活性和吞吐能力, 因此东西断面、南北断面可根据潮流增加情况逐步加强。

3.4 广西电网

广西电网西接云贵, 东连广东, 位于南方西电东送电网的腹部, 是云贵电力东送广东的必经之路, 其 500kV 主网的建设和发展与整个南方西电东送电网的发展密不可分, 该电网自西向东形成北中南三路多回交流线路, 由北向南形成多环网结构。

广西电网的负荷主要集中在北部的柳桂地区、中部的南宁地区、东部的玉林地区和西部的铝业基地; 水电集中在北部, 火电集中在中部和南部沿海; 主要变电所都接在西电东送主通道上; 受电除了来自西电东送主通道外, 还可从电网南北相连的线路上获得。

3.5 广东电网

广东电网是南方电网最大的负荷中心, 2002 年全网最大负荷为 29GW, 全网装机容量为 35.88GW, 分别占南方电网的 63%和 56%。广东

电网的负荷主要集中在珠江三角洲, 该电网的建设可以借鉴日本东京电网和关西电网的经验, 即在负荷中心建成双回路的 500kV 环网, 电厂一般都是通过双回路分散地接入环网, 随着负荷密度和供电范围的增加, 可以在原有双环网的外侧新建覆盖面更广的环网, 即不断提高环网线路的输送容量, 以满足负荷增长的需要。

广东电网的目标网架结构要以珠江三角洲的双回路内环网为核心, 积极推进外环网的建设, 通过外环网枢纽站建设向粤东、粤西、粤北辐射的 500kV 双回路线路, 以适应东西两翼电源的接入, 便于接受外区送电和省内电力交换。

3.6 南方电网的西电东送通道

南方电网西电东送的电力主要是云南澜沧江、金沙江中游梯级、贵州乌江、南盘江、北盘江、红水河上的水电及云贵两省的坑口火电, 这些电力通过南方电网的西电东送通道向广东和广西输送。到 2020 年, 西电东送电网送广东电力的总规模将超过 30GW。

南方电网的形成和发展与西电东送息息相关, 到目前为止, 西电东送电力的容量和西电东送电网已形成一定规模。截至到 2002 年底, 南方电网已建成天生桥至广东的三交一直西电东送主通道, 并通过 500kV 天贵线、罗天线与贵州、云南电网相连。在建的贵州至广东的两交一直黔电送粤主通道和天广四回线路将于 2005 年投运。届时, 南方电网将形成六交二直的西电东送通道, 并将云南、贵州、广西、广东电网紧密相连, 其西电东送能力可达 9GW。

为了满足西电东送规模不断增加的需要, 南方电网将在现有网络的基础上, 新建多条交流线路和直流线路。从地理位置上看, 南方电网的交流通道分北、中、南三路向广东送电, 北部通道输送贵州的电力, 中部通道输送天生桥的电力, 南部通道输送云南的电力, 除此之外, 云南和贵州的电力还将经若干条大直流线路由电源点直接送往广东。从安全的角度考虑, 上述西电东送的交直流线路应分散接入广东电网内环或外环上的不同点。

4 规划南方电网应注意的若干问题

4.1 电源规划与电网规划协调发展

电网和电源均是电力系统的重要组成部分, 从规划和运行的角度看, 两者密不可分。厂网分

开, 实际上是把电力工业分解成为竞争性领域和自然垄断性领域, 只是管理形式、经营机制及财务核算上的分开, 而实际上电力系统产供销同时完成的特征决定了厂网的整体性。

电力体制改革前, 电力公司是将电源和电网放到一起进行统一规划, 统一性比较强, 从发展的角度来说, 集中统一是有优势的。厂网分开后, 加上缺电的形势, 各电力公司首先将在资源方面发生竞争, 而不是设想中的竞价上网方面的竞争, 于是就容易形成这样一种局面: 一个被看好的电源, 大家都会一拥而上全力争取。应该怎样进行资源优化配置, 采用什么办法应对这样一种形势是原来没有考虑到的。原来更多地考虑如何建立区域电力市场, 市场资源怎样通过市场机制得到优化配置, 而现在的任务应是考虑采用何种机制来组织和引导新电源的发展。体制不一样, 机制自然也应不一样。过去的体制是大一统的, 现在的体制是分散型的。在分散型体制下, 解决电源和电网规划中出现的新问题, 保持电力系统的整体性和协调性, 笔者认为应从以下几个方面做工作:

(1) 电网和电源必须统一规划

政府主管部门、发电公司、电网公司必须站在能源战略的高度上重视规划。电网和电源必须统一规划, 适度超前建设, 这是保证电网安全的前提。只有统一规划, 才能优化电源布局、电网结构, 做到电源与电网相协调, 送端和受端相协调, 有功和无功相协调, 输电网与配电网协调发展, 二次系统与一次系统同步发展、协调动作, 使区域电网之间、省级电网之间以及省级电网与区域电网之间相互协调, 灵活运行, 保证供电。

(2) 坚持电网的统一调度和统一管理

应赋予电网统一调度的法律权威, 严格执行相关法律法规, 统一安排电网运行方式。为确保电网安全, 并网电厂必须服从电网的统一调度, 电网也应拥有必要的调峰、调频电源。并网电厂中涉及电网运行安全的继电保护、通信、自动化及安全自动装置、无功调节及发电励磁系统、一次调频装置及其他一次、二次系统设备等, 都要纳入电网的统一规划和运行管理。按照电网稳定控制要求, 全网应统一部署“三道防线”, 在事故情况下, 要赋予电网调度处理突发事件的紧急处理权, 要严格执行事故应急处理预案, 采取切

机、切负荷等措施,以确保系统安全稳定运行,防止事故扩大。

(3) 电网规划引导电源规划

应充分发挥电网公司在规划方面的优势。输电网连接着电源和用户,电网公司在系统中处于中枢地位,它掌握着调度和系统的基本信息。规划强调的是整体性和协调性,发电公司代表的是点,而电网公司代表的是面,从整体角度看,由电网公司牵头研究电源布局、电源建设顺序及电网的适应性具有明显的优势。由电网规划引导电源规划,大型水电站及大型坑口电站的电力送出反过来又促进电网建设,两者相辅相成。为保证正常的工作联系和沟通,可由电网企业牵头,定期召开由电网企业、发电企业和重点用户共同参加的电力规划协调会。

(4) 定期发布电源建设信息

建议政府主管部门及时发布信息,对电源建设进行引导。电力工业作为基础产业应保持平稳发展,避免大起大落,电力规划必须考虑得长远一些,因为大水电、大核电、大煤电的前期和建设期决不是五年计划所能涵盖的,而且大电源项目对电网结构、电网发展的影响很大,所以建议政府主管部门能主持制定电力发展的中长期规划,对一些大电源的建设时间做出大体安排,并公开发布信息,为开展电网的中长期规划提供基础条件。否则,将增加电网规划的不确定性,导致规划设计部门工作量相应增加。

(5) 建立和完善重大电网事故应急处理机制

随着南方电网西电东送的推进,南方电网和电力交换的规模都在不断扩大,大电网事故对它的影响面和影响程度也会越来越大,建立和完善重大电网事故应急处理机制显得尤为重要。电力应急机制的建立要由国家有关部门牵头,统筹考虑电网、发电、用电和社会等各个环节,保证应急机制的协调运行和快速反应。应充分利用信息化手段,尽快建立和完善电网安全预警监测体系,并加强对公众的应急教育,使公众能自觉维护紧急情况下正常的社会秩序。

4.2 电网结构

电网结构是电网安全稳定运行的基础,2003年8月14日发生的美加大停电事故,其很重要的一条原因就是没有形成合理的网架结构。北美电网由多个电网逐步互联形成,由于

没有实行统一规划,造成了电网电压等级多且重叠交错,网络结构复杂,电磁环网交错,高峰负荷时极易发生线路过载,事故时很难实施有效的控制和解列措施。

在规划南方电网的目标网架时,应把建立合理的电网结构作为重中之重来研究。要保证大电网的安全稳定运行,首先要有一个合理的电网结构,否则,当系统内某一主要元件发生故障,尤其是发生多重故障时,有可能发展为破坏稳定的事故或因恶性连锁反应而扩大事故。在建设电网结构时必须遵循两条基本原则,即分层的原则和分散外接电源的原则。分层的原则,是指按网络电压等级,将电网划分为若干结构层次,不同容量的电厂和负荷应当分别接到相应电压等级的网络中,合理、充分发挥各级电压网络的传输效益。分散外接电源的原则,包含了两点含义,一是各个电源经各自的输电回路接入电网,二是每一支路的电源送入容量不超过一定的系统容量百分比,以避免一组送电回路输电容量过于集中时,一旦失去这组支路,可能给系统带来灾难性后果。电网越大,其结构及部件越应简单、统一、标准化,并且主次分明,这样才能便于管理和控制,在关键时刻确保主干电网。

4.3 更高电压等级的研究

更高交流电压等级的出现往往与大电源的开发有关,其目的是满足系统对更大规模、更长距离输电的要求。随着输电技术的发展,采用更高电压等级输电已经提到了议程上来。目前,西北电网的750kV线路正在建设,百万伏级特高压输电正在研究当中。随着西南水电的开发,大规模、长距离的西电东送为南方电网对更高电压等级的研究提供了条件。

南方电网若出现更高一级电压,那么在500kV的基础上采用百万伏级电压比采用750kV电压合适,其理由是:从我国电压等级的发展看,110kV的上级电压是220kV,220kV的上级电压是500kV,330kV的上级电压是750kV,即高一级电压与低一级电压的比值都大于2,百万伏级电压与500kV电压的比值为2,电压等级匹配;从输送容量看,750kV线路的自然功率约为2.5GW,比500kV线路的自然功率只提高了一倍,而百万伏级电压线路的自然功率约为5.5GW,比500kV线路的自然功率提高了3倍多,因此,在500kV电

压等级基础上采用百万伏级电压比较合适。

电规总院组织有关设计院完成的全国联网规划深化研究报告对西南水电开发后的输电方式做了比较充分的论证。以 2030 年为水平年,在预测的低负荷水平基础上,西南水电的外送容量为 69 GW,其中送华东 35GW、送华中 20GW、送广东 10.5GW、送山东 3.5GW。据此,拟定了 1150kV 交流、纯直流、交直流混合共六个方案进行技术经济比较。结果表明,特高压交流输电方案的稳定水平较低,投资昂贵,且特高压输电是非成熟技术,在设备供应、实验、运行上难度较大。

根据电科院的研究,目前特高压交流输电遇到的主要问题有: 输电能力。特高压线路的投产初期,一条或几条不成网的长距离特高压线路的稳定极限输送功率与其设备的实际输电能力有较大的差距,其输电能力还不到特高压线路自然功率的 60%,如果外送基地较为分散,则特高压线路在相当长的时间内难以形成较强的主网架,输送容量有限,因此无优势可言; 经济性。理论上讲,特高压交流输电方案在大容量、远距离输电中有较强的经济优势,但是,若不能形成特高压线路主网架,则线路的实际输送能力较低,加之特高压设备较贵,且占用的走廊较宽,从而导致特高压交流输电的经济性较差; 竞争力。与特高压交流输电相竞争的直流输电技术、FACTS 技术以及串补技术等发展较快,成本逐步降低,因此,南方电网今后能否出现百万伏电压等级的交流输电系统,在很大程度上取决于电力工业的发展速度,尤其是云南澜沧江、金沙江上游水电的开发速度、远距离大容量输电的规模、特高压技术的成熟程度以及与其相竞争的输电技术的发展水平。

4.4 电压支撑

未来十几年,西部将有大量的电力通过多回交直流线路送往广东,送入广东电网的功率主要是有功功率,为了消纳这些有功功率,广东电网必须配置大量的无功补偿设备,由于经济原因,这些无功补偿设备以电容器为主。电容器一般可以解决正常运行方式下的系统运行问题,但是在故障条件下,尤其是严重故障导致电压水平急剧下降时,电容器的无功支持作用非常有限。另外,直流换流站本身也要消耗大量的无功功率,特别是逆变站吸收的无功功率大约为直流输电功率的

60%~70%,即直流逆变站输送 3GW 的有功功率需要吸收的无功功率约为 1.8~2.1Gvar。逆变站所需的无功一般由并联电容器及滤波器提供,严重故障条件下若电压恢复不到必要的安全水平,则并联电容器及滤波器不能提供足够的无功补偿容量和电压支撑,可能会引起交直流系统故障的连锁反应而导致系统电压崩溃。因此,应对受端系统的动态无功补偿和电压稳定问题进行专题研究。

4.5 多回直流线路落点集中的问题

目前,已有天广、贵广和三广直流线路落点广东,根据西电东送规划,在今后的 10~15 年间,还将有贵广第二回直流、小弯直流、糯扎渡直流等多回直流线路落点广东珠江三角洲附近。当多回直流输电线路集中落点于同一密集受端系统时,要研究当交流系统发生故障时多条或所有直流线路因同时或相继换相失败而故障停运的可能性。如果这种情况发生,广东系统将面临故障的连锁反应而引发严重的安全稳定问题。因此,要研究广东电网所能容纳的直流输电线路数目、直流落点之间的电气距离和换流站的容量。

4.6 短路电流问题

随着南方电网的不断发展,其发电机组和电厂容量以及变电站容量不断增大,500kV 电网的内部连接日益紧密,电力系统间的互联使系统越来越大。特别是作为受端系统的广东电网,由于负荷密度大、许多大型电厂及西电东送交流线路相继接入、内环网和外环网的建设,致使广东电网主环网上的 500kV 枢纽变电站的短路电流水平不断增加。运行在电网中的各种电气设备(包括开关、变压器、电流互感器等),以及母线、构架、导线和支持绝缘子等都必须满足短路电流引起的热应力及动应力的要求。如果短路电流水平超过了电网现有变电所设备可以承受的水平,就必须限制系统短路电流水平或改造(更换)现有变电所设备。开关设备的遮断容量随着技术的发展已经日益提高,但是从技术和经济角度看,这个提高总有限度,不可能无限提高,因此,对规划电网的最大短路电流水平要有合理的规定,同时采取相应措施来限制电网的短路电流水平。根据广东电网发展规划,到 2015 年,广东电网枢纽变电站的短路电流都超过了 50kA,个别变电站接近 63kA,因此,广东 500kV 电网的短路电流控制目标应为 63kA。

限制系统短路电流的方法很多,笔者认为下

列限流措施更适合广东电网：母线分段运行，这种限流措施在国外已普遍采用，我国的三峡输电系统也已采用，三峡电站的装机容量为18.2GW，若三峡电站的升压站母线不分段，则其短路电流水平将大大超过63kA，为了限制短路电流水平，设计中将母线分成了4段，从而有效地将短路电流水平限制在允许的范围内，广东电网可以效仿三峡的做法，对短路电流水平高的枢纽变电站，如东莞、鹏城、北郊等变电站进行母线分段；解列电网，研究内环网的开环运行，在适当的时机、适当的地点将内环网解列分片运行；

将串联电抗器固定接于线路，相当于增加系统阻抗，能有效地限制短路电流，但同时也增加了网损，因此，今后要研究可投切电抗器，正常运行时不投入电抗器，当系统发生短路时自动投入串联电抗器，以限制短路电流；采用高阻抗变压器，这项措施已普遍采用。

4.7 广东接受西电的比例

《电力系统设计手册》中规定：最大机组容量一般不超过系统总容量的8%~10%，联络线输电容量一般不应大于较小一侧系统容量的10%。8%~10%包含了两方面内容，即：系统的旋转备用容量约为系统总容量的5%；系统可切负荷量约为总容量的5%。上述规定考虑的是在较为严重的故障下，系统可以承受的损失。套用这条规定，受端系统越大，备用容量越充足，接受区外的电力越多。

南方电网的西电东送网架由交直流线路并列运行构成输电通道。交流通道分北、中、南三路由西向东经过广西电网向广东送电，北、中、南各路通道中又有多回交流线路，交流各通道的输送容量按照不超过同期广东电网最大负荷的10%的原则配置，可以不超过规程。直流通道送电广东，每条直流线路按照输送3GW功率的原则分别接于广东环网上的不同点，每条直流线路的输送容量与广东最大负荷的比例也不应超过10%。

4.8 建立好最后一道防线

2003年8月14日发生的美加大停电事故暴露了北美东部联合电网缺乏有效的电网事故预案和

黑启动方案，即对于核电机组退出后重新发电的缓慢过程没有思想准备，没有举行大规模停电演习的制度。这说明，北美相关电力公司应该发展先进、可靠的继电保护装置和稳定控制技术，加强继电保护、失步振荡解列装置和安全稳定装置的优化配置。

大电网可靠性的最重要目标就是防止系统瓦解造成大范围停电事故。因此，考虑大电网可能出现的最坏情况，采取应对措施，对任何大电网都是一项长期方针。从美加大停电事故分析可见，大电网运行时因各种原因使故障扩大，导致稳定破坏，酿成长期大范围停电事故是不可能绝对避免的。

南方电网交直流线路并列运行的规模将越来越大。从交流系统看，西电东送的送端分别是贵州、天生桥、云南，西电东送线路要经过广西到广东环网的西部，在广西很难解开，建立完善的电网第三道防线困难较大，因此，在规划电网结构时要有对最坏情况的考虑，做好电网事故预案和电网事故发生后的处理方案，例如：设置系统的解列点，合理配置失步振荡解列装置，并注意解决各解列装置之间的协调配合、切机切负荷的规模和地点等，把防止电网瓦解破坏和大面积停电放在反事故措施的首位。应针对电网的薄弱环节，开展反事故演习，提高事故处理能力和速度，一旦发生事故，能够将事故损失减到最小。要制订完备的电网“黑启动”预案，一旦发生大面积停电事故，能够在最短时间内恢复供电。在考虑预案时，指导思想要分清主次，在事故发生后，要确保主要地区的供电，而不是保证所有地区都能供电，因为能保住主要地区的供电，也就更容易使整个电网恢复正常供电。

收稿日期：2004-02-06。

作者简介：

常浩，教授级高级工程师，中南电力设计院副院长，长期从事电力系统规划、电网技术、输变电工程的研究、设计及技术管理工作。

(编辑 丛琳)