

# 电力系统云计算初探

杨旭昕<sup>1</sup>, 刘俊勇<sup>1</sup>, 季宏亮<sup>2</sup>, 潘睿<sup>1</sup>, 贺星棋<sup>1</sup>, 郭晓鸣<sup>1</sup>

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 宁夏电力公司, 宁夏 银川 750001)

**摘要:**在全国电力系统互联不断发展的情况下, 电力系统对计算机处理和存储能力要求越来越高。针对目前情况提出将“云计算”引入电力系统, 利用系统内部广域网建立电力云。通过电力云最大限度的整合电力系统现有的计算能力和存储资源, 为系统提供“超级计算”能力。结合基于电力云的电网电能损耗分析、智能预警功能分析了在电力云的环境下特点, 说明电力云对于中国电网发展的意义。

**关键词:**电力系统; 云计算; 电力云; 资源整合

**Abstract:** Under the current situation concerning the continuous development of interconnected power system, the requirements of computer processing and storage capacity by power system became higher and higher. On account of the present situation "cloud computing" is introduced to the power systems and a power cloud is set up using wide-area network within the system. According to power cloud, it can integrate the existing computing power and storage resources of power systems to the utmost extent to provide a "super-computing" capability for the system. According to the characteristics of power loss analysis and intelligent early warning function based on power cloud, it indicates the significance of power cloud for the development of power grid in China.

**Key words:** power system; cloud computing; power system cloud; resource integration

**中图分类号:** TM744 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-6954(2010)03-0071-06

随着全国电力系统互联的发展, 现代电力系统正在演变成一个积聚大量数据和信息计算的系统。这样的发展给目前的系统运行及高级分析带来了巨大的困难<sup>[1, 2]</sup>: 一方面, 随着互联电网的扩大和具有更快采集速率的采集装置的出现, 系统在线动态分析和控制所要求的计算能力将大大超过当前的实际配置。不断提高的数据量对信息系统的处理能力提出了更高的要求, 需要更加快捷的数据处理技术。另一方面, 由于各业务系统建设目标和建成年代不同, 从规划到设计往往缺乏统一性考虑, 众多的系统采集和积累了大量的电力系统运行、生产管理以及电力市场运营等方面的相关信息, 但是系统间缺乏有效的信息交互, 逐渐出现了信息交叠、信息资源浪费、信息兼容性差、重复开发、重复报表等一系列问题。

云计算是一种把分布在众多分布式计算机中的大量数据资源和处理器资源整合在一起协同工作的方法, 针对电力系统当前面对的问题, 将“云计算”引入电力系统, 建立电力系统的云计算体系, 在电力系统广域网络硬件不变的情况下, 最大限度地整合当前系统的数据资源和处理器资源, 极大提高电网数据的处理和交互能力, 为智能电网提供有效的技术支持。

## 1 云计算

云计算是个热度很高的新名词。由于它是多种技术混合演进的结果, 其成熟度较高, 又有大公司推动, 发展极为迅速。Amazon、Google、IBM、微软和 Yahoo 等大公司云计算的先行者。

“云计算”比较普遍的定义为: 云计算 (cloud computing) 是分布式处理、并行处理和网格计算的发展, 或者说是这些计算机科学概念的商业实现, 是基于网络的超级计算模式<sup>[3]</sup>。网格的发展终极目标就是云计算。网格从应用上来说, 是计算层面, 而云计算更多考虑到的是用户和容错, 相比起来云更可靠。



图 1 云计算的发展

云计算的基本原理<sup>[4]</sup>是通过使计算分布在大量的分布式计算机上, 而非本地计算机或远程服务器中, 企业数据中心的运行将更与互联网相似。这使得企业能够将资源切换到需要的应用上, 根据需求访问计算机和存储系统。它把分布在众多分布式计算机

中的大量数据资源和处理器资源整合在一起协同工作。高级的计算云通常包含一些其他计算资源,如存储区域网络、网络设备、防火墙以及其他安全设备等。云计算包括以下几个基本要素:资源聚集与共享、资源开放与统一访问、资源仿真与隔离。通过以上三种要素,用户获取各种资源,不需要关注各种资源的细节,并且能够为用户提供按需配用服务,使每个用户都感觉是以独占的形式在使用资源。

云计算是一种新的共享基础架构的方法,在云计算平台中的服务器可以是物理的服务器或者虚拟的服务器。虚拟化是云计算的本质,或者说云计算的根本属性是虚拟化。随着云计算技术和相关概念的不断深入研究和不断发展,在不远的未来,还将会逐渐实现运营的虚拟化、管理的虚拟化等。

## 2 电力系统云计算

### 2.1 电力云的提出

中国现有大区电力系统的运行特点是以省级电网在结构上为一个独立单位,通过联络线互联,整个大电网协调运行,各省级电力调度中心拥有并维护着所辖电网的详细参数<sup>[1]</sup>。各网络都针对所辖区域内的电网建立了较为详细的电力系统模型,而对相邻电网的模型则在一定程度上进行简化和等值,并在此系统模型的基础上进行计算机仿真,为电力系统调度、运行、监控、保护、营销提供重要依据。这种简化等值在加快了计算速度的同时也降低了系统仿真的复杂程度,但是简化等值模型的适用范围有限。另外,电网的扩大和具有更快采集速率的采集装置的出现,未来系统对于在线动态分析和控制所要求的计算能力将大大超过当前的实际配置,如果只是增加计算处理资源,投资过大。

为了解决上述的问题,鉴于中国电力系统内部广域网的完整性,完全可以利用其现有的广域网建立电力系统私有的云,电力云可以最大限度地整合现有的数据资源和处理器资源,为系统提供超级计算机能力,并且云储存和计算资源的访问可以完全由电力系统自己控制,而不是公用的云计算服务的提供商,完全的物理隔离,保证了数据安全性。

### 2.2 电力云的体系结构

电力云不是单层的服 务,而是一个多层服务的集合<sup>[4]</sup>。底层是基础设施 (Infrastructure as a Service,

IaaS),中间层是服务平台 (Platform as a Service PaaS),上层是应用程序 (Software as a Service SaaS)。



图 2 电力云的结构层次模型

电力云体系结构层次如下。

**物理储存层**:是电力云的网络物理设备和储存的基础。电力云物理设备大量分布在不同的地理位置,其之间通过电力系统内部广域网物理连接。

**基础管理层**:通过集群和分布式系统,实现电力云中所有存储设备的协同工作,另外包括数据备份和加密,数据容灾,任务冲突机制。

**应用接口层**:是电力云最灵活的部分,各级电力运行管理机构可以根据需要、权限,提供不同的接口和服务。各级电网可以通过电力云公共接口来登录,获取计算需求。

**高级访问层**:给电力系统软件的运行提供强大的软件平台,包括电力系统基础应用和高级应用,并且可以在这个平台的基础上自由开发。

### 2.3 电力云的组成

电力系统是一个在空间上具有分布特性的超级系统,由于电能本身的特点,电能不能大规模储存,发、输、配、用必须同时完成,电力生产控制要求实时性强、可靠性高,具有自然分布的特性,电力的生产管理也就自然形成了一整套“分级管理、分层控制、分布处理”的体系,多年的实践表明,这是电力系统内在的本质特征的体现<sup>[5]</sup>。电力系统云计算通过集群应用、分布式计算等系统功能将电力系统内网络中的几乎所有网络和计算应用软件集合起来协同工作,共同对各级电网和终端提供数据储存和计算服务。

目前,各级电网都拥有一定的处理器资源和储存

资源,电力云的实现关键在于不改变现有的计算机分布而能最大限度利用当前电力系统信息网络的物理架构,为当前的任务分配计算和储存资源。

电力系统结构庞大,并且分布广,如果任何一个小节点或者计算机终端的计算要求都提交到整个系统中分配,这样网络容易阻塞,并且意义不大。因为电力系统分级管理的层次很清晰,通过级别建立主云和子云来提供资源分配,从而减少系统内部不必要的资源调配,使电力云的资源使用更为合理。

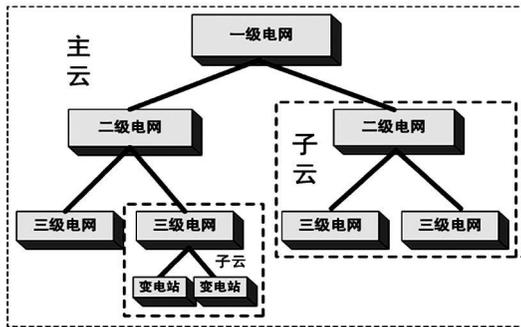


图 3 电力系统的云组成

通过电力云,极短时间内可以处理巨大的信息,达到超级计算机的服务水平。通过分布计算,电力系统数据的运行与互联网相似,电力系统智能云能根据应用切换资源,根据需求访问计算机和储存资源。

### 3 电力系统云计算的技术构建

#### 3.1 电力云的公共信息

当前各个电网在进行计算建模时一般仅建立本调度管理范围内的电网模型而不考虑外网模型。省调和地调各自建设各自的数据模型库,彼此间进行模型交互十分困难,IEC 61970 标准为解决模型交互提供了技术标准。

其中在以公用信息模型 (common information model CIM) 为标准的电力系统网络模型基础上,可以通过组件接口规范 (component interface specification CIS)<sup>[7,8]</sup> 接口实现不同电力数据库之间的数据交换,利用这一接口规范可以解决各厂家系统内部的私有化接口阻碍系统数据访问的问题。

#### 3.2 电力云的资源整合

云计算具有动态共享能力、自组织能力、协同能力,而且还加强了支持多用户和加强网络节点内细粒度资源的应用。电力云平台的概念是将一个庞大复

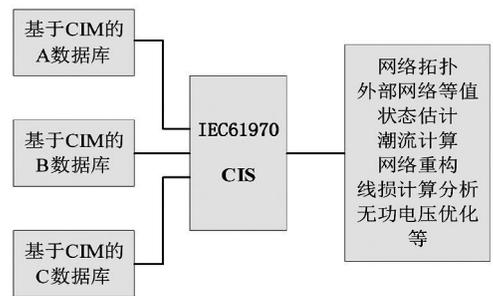


图 4 电力云公共信息架构

杂的电力系统分析任务自动分拆成无数个较小的子任务,再按需通过网络和电力云平台自动搜寻、并由多部仿真云组成仿真系统,形成与云的交互。电力云中业务应用是从云中分散的数据模型中读取相关数据生成报表。原始数据库可以为任何形式,存放统一数据模型的物理数据库以文档的形式展现。

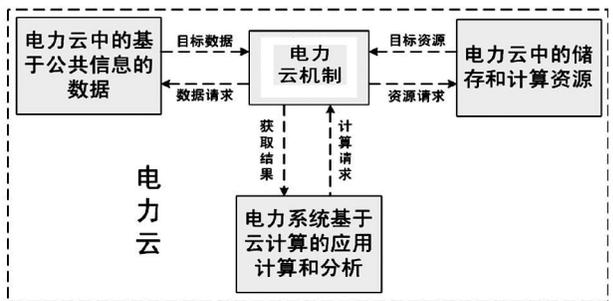


图 5 电力云的资源整合

电力云计算资源整合过程是:①位于电网某点的计算或分析应用向云提出计算或分析请求。云机制收到请求后向电力云中的公共信息提出数据请求;②云机制根据应用的要求提供云中的资源给应用进行计算、储存和分析;③将计算结果返回给提请求的点。

通过电力云机制的调节来完成电力云资源的整合,提供给系统所有节点“超级计算机”的计算和存储资源。

#### 3.3 电力云的资源调度和管理

电力云平台的一个核心问题是资源的管理与调度。电力云必须为用户终端提供可靠的计算,而要保证可靠计算的前提就是在未知的、分布式的、动态的、异构的网络环境下能够对资源和任务进行很好的管理和调度。

首先是用户资源的表达。任何一台计算设备要进入云都要整合,整合过程记录的信息需要为后续的过程提供参考,包括:用户终端的级别、不同的用户级别赋予不同的权限、该用户本身所接入云的资源、网络连接关系以及网络状况、IP地址。

关于计算机资源状况主要采用以下数据结构来描述: MFLOPS (million floating point operations per second), 该值可以通过实测得到, 该参数是计算资源性能的主要指标; 内存量, 该指标对于计算性能的影响仅次于上一个指标。但过大的内存量对于计算效果没有明显提高; Cache(大小、速度)的大小直接影响数据通信的速度。

这些注册得到的信息, 存储在服务器的数据库中。由于这些参数均是可能动态变化, 因此用户端计算节点在注册时, 会和云建立联系, 在发生较大变化时向云报告。由于对云资源进行了虚拟化, 云内部任意终端可以像本地资源一样访问。在实际访问中, 采用云调度来实现对云资源的管理。系统根据动态得到信息对系统中的资源进行优先排序, 从而在得到计算请求后可以很快访问到云中可用的资源。由于云计算中各计算量不均匀, 因此, 在任务映射到计算机资源, 采用加权图来表达计算资源的关系和计算能力, 从而实现资源的分配。

资源与任务的调度是该云中的关键问题之一。资源的调度来自三方面的动态平衡: 第一种是由于计算环境中受各种因素影响造成一些处理器推出或重新加入; 第二种是由于在计算任务中间产生新的任务; 第三种是由于用户的需求复杂造成任务每次分配的方案不同。因此, 资源的调度是相对静态的, 即, 云可以在比较空闲的时候对整个计算资源进行调度, 只有在计算资源发生较大变化时才重新启动调度服务。

## 4 电力系统云计算的技术实例

### 4.1 基于电力云的电网电能损耗分析

由于电力网是非常复杂的网络, 包括不同的电压等级, 多种网络结构, 而且网络及运行结构不固定, 加上电的本质特性决定了电网中各个元件相互影响, 所以电力网电能损耗的分析非常困难。又因为各个电力网的特点、条件不同, 原始数据的来源是多种形式的, 有的可能没有完备的数据, 即使有数据其种类也可能不同, 这些都给电能损耗的计算与分析增加了复杂性, 目前较精确的网损计算基本是离线的。

产生网损的主要元件是线路和变压器。从线路两端装设的电量表的测量值可得到该线路的损耗电量, 由变压器进出线端的电量表测量值同样可得到变压器的损耗电量。全网损耗电量由全部线路和变

压器损耗电量求和得到。该方法简单明了, 但实际中往往因表计不全而难以实现, 尤其是较低电压等级的线路或变压器。由于表计的误差或不可靠等因素也会造成数据失常或缺少, 以致对所采集的测量数据通常要进行剔除不良数据并进行状态估计处理。此外, 电量表计是在某一较长时段的累计值, 现行状况一般是按月结算。要查表读取每天中各时段的测量电量, 查表工作量及数据量之大是显而易见的, 即使是远程智能型电量表, 也须作专门设计, 还须有良好的远程通道, 否则, 一旦时段范围改变, 通过逐表调整, 同步而达到改变计数范围是难以实现的。

如果要进行较精确电网电能损耗的计算, 就要在采集电度表的数据同时进行较为精确的建模, 利用 EMS 的数据进行电能损耗计算。这样精度较高, 但计算量较大, 对于现有的电网计算配置, 很难达到很快的速度。引入电力云后, 在进行复杂计算时可以调用云里大量闲置的资源, 大大提高计算速度, 进而达到实时或者准实时的网损计算水平。

### 4.2 基于电力云的智能预警

目前的电力系统预警主要是由变电站和调度中心进行。在变电站, 自动装置进行的本地控制, 在调度中心, 在预想事故下对系统典型运行方式进行离线计算后得到的评估预案。这样的预警不全面, 非实时。为了使得系统能够对电网进行全面、实时的事故预警, 对全网进行一体化的建模仿真十分重要。要进行全网一体实时仿真, 必须要能够进行大计算量的实时计算<sup>[9]</sup>。

基于电力云的智能预警可以针对数据资源和计算资源广域分布、计算量大、对计算能力的要求高等特点建立电力系统的一体化仿真。在仿真过程中没有系统的简化和等值。电力云的超级计算能力足以满足实时海量数据处理的要求。基于电力云的智能预警包括<sup>[10]</sup>: ①电压预警, 实时监测电压是否保持在规定范围之内、节点电压是否越限、无功功率分配的合理性, 预测系统的电压崩溃裕度, 确定系统电压薄弱点, 防止系统发生电压崩溃事故。②功角及潮流预警, 实时监测系统潮流, 分析判断正常运行及在规定扰动条件下功角是否将失去稳定, 预测计算当发电机功率发生变化、开合线路改变电网结构、负荷转移或切除时系统的潮流数据, 防止系统发生功角失稳及振荡事故。③频率预警, 实时监测系统频率, 分析计算当发电机有功功率发生变化、启停发电机组以及电网

结构发生变化时对系统频率的影响,保持联络线功率处于目标值,防止系统频率失稳事故。④设备预警,实时监测系统中设备情况,分析计算在正常模式及 N-1 模式下由于电网结构改变、发电机功率改变、系统潮流变化时对设备产生的影响,防止系统设备发生动、热稳定事故。⑤系统其他实时预警,从各方面实时监测系统状态,对可能发生的事故进行快速预警。

智能在线预警的目的在于实时追踪系统不同类型的故障并对其定位,找到电网主要矛盾点、告警点,使调度人员一目了然地知道电网和设备的状态,从总体上对电网安全做出评估,为调度人员采取快速准确的控制措施提供理论依据和方法。

## 5 电力云的特点和展望

### 5.1 电力云的特点

“云计算”的引入,相比当前的电力系统,提高了系统各方面的性能,根据以上关于电力云原理、体系、结构和实例的叙述,电力云主要有以下特点。

(1)强大的计算和存储能力。电力云将系统各节点和终端的计算和数据分布在大量的分布式计算机上,云海中成千上万的计算机提供强大的计算能力,针对中国巨大的电网规模和庞大的系统数据,电力云提供强大的计算和存储能力,在进行仿真时建完整的模型,较为精确地计算,并且极大地提高计算速率。基于电力云的网损计算和基于电力云的智能预警都是这个特点的表现,通过云极大地提高计算速度,实现快速建模仿真。

(2)系统具有良好的扩展性和经济性。即使建立电网中再小的节点或者计算机终端,需要配置显示器、硬盘、CPU、内存等一整套设备,并且确保其性能满足该节点或终端的计算和存储需要。但对于基于云计算的电力系统(如基于电力云的数字化变电站),可能只需要一套人机交互设备,接入电力系统广域网,就可以实现计算和存储功能,不必担心自己购置的设备被淘汰,因为电力云的硬件设备是系统中的云资源,这样电力系统在信息交互的这个层面就具有良好的扩展性和经济性。

(3)计算和储存的虚拟化。虚拟化是电力系统智能云的技术基础,它将底层的硬件,包括服务器、存储与系统内网设备,全面虚拟化,以建立起一个共享的、可以按需分配的庞大的电力系统内部资源池。

(4)资源动态扩展、分配。系统信息网的各种资源可以按需分配和自动增长,而上层的数据及应用可以根据级别和重要程度的不同,搭配出各种互相隔离的应用,形成一个服务导向的内部电力云架构。

(5)电力系统智能化。由于电力云的建立,基于系统海量数据的数据挖掘技术来获得大量的系统知识。海量的数据加上海量的分析大于知识。

### 5.2 电力云在电力系统中的展望

根据电力系统的基本特点,电力云的建立不能完全效仿普通的云计算,而是要构建适合电力系统现有信息网络架构的电力云。

(1)电力系统结构庞大,并且分布广,如果任何一个节点或者计算机终端的计算要求都提交到需求分配的总中心的话,中心压力很大,并且权限的判定也比较繁琐。但是电力系统分级管理的层次很清晰,通过级别建立主云和子云来限定权限和资源分配,从而减少系统内部不必要的权限管理和资源调配,是电力云的资源 and 权限更为合理。

(2)当前,电力系统的发展很快,电网扩建很迅速。以前的扩建都需要很大的投资在处理器和储存设备上。而在电力云的体系架构下扩建电网,信息设备只需要很小的投资,只需要投资人机交互设备,这样可以大大节省硬件投资。

(3)企业不可能一朝一夕间把自己所有的数据信息和计算功能都放在一个地方,企业需要保存一定规模的自己的数据中心。而如何让企业把握好外部云和企业内部数据中心的比例,就是云计算解决方案提供商们需要考虑的问题。

(4)云计算模式下,数据的存储和管理不是类似一个更大规模的虚拟数据库。传统的数据库是有组织有规律的,类似银行的机构。而云计算下的数据是半组织,甚至无组织规律的。因此,如何存储和管理就是不重要的,而如何找到这些数据才是当务之急,并且找到了之后还要进行解读以提交给相应的服务,这更重要。

(5)以上是对“云计算”引入电力系统的基本构想、体系、框架和基础应用的叙述,未来如何解决应用软件接口、电力云安全、用户权限、任务冲突机制等问题是未来研究电力系统云计算的发展方向。

## 6 结 论

电力系统云计算的提出,对整个电力系统信息交

互、计算能力和储存空间带来巨大的影响。通过电力云的建立,在完全不改变现有系统内部广域网和设备的情况下,最大限度挖掘、整合系统的计算和储存能力,极大提高当前系统的整体性能,为电网快速仿真建模,电网全方位实时计算分析提供“超级计算能力”;增强电网的扩展性,减小电网扩建投资,为智能电网在中国的建立和实现提供强有力的技术支持。

### 参考文献

[1] 张伟,沈沉,卢强. 电力网格技术初探(一)[J]. 电力系统自动化, 2004, 28(22): 1-4.  
[2] 杨胜春,姚建国,杨志宏,等. 网格技术在电力调度信息化中的应用的探讨[J]. 电网技术, 2006(22): 7-12  
[3] Dikaiakos M. D., Katsaros D., Mehra P., et al Cloud Computing Distributed Internet Computing for IT and Scientific Research [J]. Internet Computing IEEE, 2009, 13(5): 10-13  
[4] 李雅轩,杨春晖,田军夏. 中小企业信息化建设的计算模式——云计算[J]. 河北企业, 2009(6): 70.

[5] 辛耀中. 电力信息化几个问题的探讨. 电力信息化 [J], 2003, 1(3): 20-23.  
[6] 孙珂,沈沉,梅生伟,等. 基于网格技术的电力企业信息资源整合方案 [J]. 电网技术, 2007, 31(22): 80-84.  
[7] IEC 61970-1, EMS-API-Part 1: Guidelines and General Requirements [S].  
[8] IEC 61970-2, EMS-API-Part 2: Glossary [S].  
[9] 杨卫东,徐政,韩祯祥. 电力系统灾变防治系统:研究的现状与目标 [J], 电力系统自动化, 2000, 24(1): 7-2  
[10] 胡钧毅,房鑫炎. 网格技术在电力系统事故预警中的应用 [J]. 华东电力, 2006, 34(11): 8-11.

### 作者简介:

杨旭昕 (1988-), 男, 本科生, 主要从事电力系统稳定与控制方向研究。

刘俊勇 (1963-), 男, 教授, 博士生导师。主要从事电力市场、分布式发电、灵活输电与电力系统可视化等方面的研究。

季宏亮 (1970-), 男, 高级工程师。主要从事继电保护, 自动化方向研究。

(收稿日期: 2010-03-29)

(上接第 63 页)

## 3 建议

(1) 尽快配合研究提出适应于向家坝机组投产初期复龙—上海特高压直流大功率外送的四川电网加强方案。在向家坝机组投产初期, 特高压向家坝—上海直流可为四川水电提供外送通道。根据复龙—上海 ±800 kV 特高压直流投运初期的系统稳定分析, 四川电网不能满足向家坝—上海特高压直流投运初期送出 3 200~6 400 MW 功率要求, 需要加强泸州和宜宾 500 kV 电网。

(2) 需要加快深入开展四川电网对特高压电网的适应性研究。重点研究四川特高压多馈直流和交流系统之间安全性相互影响及协调控制策略、四川特高压多馈直流输电系统之间协调控制策略、四川交、直流混合输电系统动态稳定特性、特高压直流投运后与交流电网之间的无功控制策略等。

(3) 开展特高压技术培训, 提高驾驭特高压电网能力。向家坝—上海 ±800 kV 特高压直流输电示范工程计划于 2010 年 6 月底双极投运, 届时四川省电力公司将管理特高压线路的运行、检修维护。随着其他特高压工程的建设投运, 省公司面临更多的特高压电网管理职责。建议省电力公司加大对生产运行、变电检修、调度、仿真分析、带电作业等人员的特高压培训及人才培养储备, 提高驾驭特高压电网能力。

(4) 研究特高压接入对四川电网继电保护的影响。建立特高压接入后四川电网 RTDS 仿真模型, 对国内外相关厂家的继电保护装置进行试验验证, 研究试验过程中电气特性和保护动作行为, 分析特高压接入对四川电网 500 kV 系统继电保护的影响, 在相关理论研究和试验验证的基础上, 制定相关对策。

(5) 合理配置电网调度运行人员和特高压建设管理组织机构, 以适应特高压电网的快速发展。特高压电网使各级电网之间的相互影响、相互作用增强, 四川电网的安全稳定特性与区外电网运行方式相关, 电网运行特性复杂。而且特高压联网运行后电网功率振荡隐患始终存在, 电厂安全对电网安全运行影响更大, 机网协调管理延伸至 110 kV 电网, 机网协调管理工作量大, 故建议依据电网规模、调度对象等, 重新核定各级调度机构定员, 以适应特高压电网发展要求和调度安全的可持续全面协调发展要求。

四川在未来二十年内将建设规模巨大的特高压电网, 目前已经开工建设两个特高压直流工程, 启动了一个特高压直流工程和一个特高压交流输变电工程前期工作, 工作任务艰巨。目前特高压工程办公室只有四个人, 特高压属地电业局没有相应的专门机构和专职人员, 不利于特高压建设的顺利开展。建议在有特高压电网的宜宾、泸州、西昌、雅安等属地电业局设置特高压建设专门机构或专职人员, 对口办理特高压相应县、市的前期手续及协调属地搞好特高压电网建设。

(收稿日期: 2010-03-05)