

# 实时电力调度系统的分析及应用

银涛 王彦洋 张宏图 张驰 吴璇 胡翔 张勤勤 蒋科

(四川电力调度控制中心, 四川成都 610041)

**摘要:** 结合四川电力调度控制中心的实际现状,在充分考虑省级调控中心与统调电厂之间的通信条件下,提出了实时调度系统的概念。基于.net环境的原型开发,实现了实时通信的C/S应用系统,并在此基础上进一步分析探索了实时电力调度的优化算法,提高调度效率。

**关键词:** 调令系统实时调度; .net; C/S应用系统

**Abstract:** Combining with the actual situation of Sichuan Electric Power Dispatching Control Center, the concept of real-time dispatching system is proposed with full consideration of the communication conditions between the provincial control center and power plant. The C/S application system for the real-time communication is realized based on the .net development environment. On this basis, the optimization algorithm for the real-time power dispatching is further analyzed to improve the efficiency of dispatching.

**Key words:** real-time dispatching of scheduling system; .net; C/S application system

中图分类号: TM734 文献标志码: B 文章编号: 1003-6954(2014)01-0019-04

## 0 引言

随着电网的飞速发展,四川电网已由华中电网中的末端电网转变为大水电、大送出型枢纽电网,运行方式日趋多样,电气耦合关系日趋复杂。随着电网规模的不断扩大,四川电力调度控制中心(以下简称省调)下达设备检修、系统运行方式改变、事故处理、新设备投运等操作指令更加频繁;同时要求实现电力系统经济运行,通过实时调整发电厂有功出力平衡供电负荷,使得电力调度的工作强度和负担急剧增加。在深入分析调度指令特性,综合考虑省调与发电厂站之间的数据网络运行状态的基础上,提出了使用实时调令的概念。采用智能排序和短期负荷曲线调整算法优化调度策略,并开发了并网发电厂实时调令系统来实现实时调度的目标。

## 1 调度指令的工作现状及存在的问题

调度指令(以下简称调令)是指电网调度机构值班调度员对其下级值班调度员或调度管辖厂站值班员发布有关运行和操作的指令。由于电网运行的特殊性,对调令具有及时性高、内容准确、信息传输安全以及可追溯等要求。

现行的调令作业方式主要依靠电话语音,省调调度员通过人工拨号向下辖电厂发送点对点的语音调令。调令口述完毕后需要对方复述并确认收到做为回执,同时计算机保存双方通话录音,并要求人工纸质记录电话调令内容存档,以备复核。

此种调令作业方式存在拨号延时,响应速度慢,不能同时向多个电厂发送调令以及纸质留存的文档不易保存和管理等问题,并且语音调令的作业方式对实现规范化、精细化管理有一定制约作用。随着并网发电机组增加,社会用电负荷越来越大,调度方式也将日益复杂,调度工作需要改变传统的调令作业方式,高度集成业务各项功能来简化工作流程,提高生产效率,增进调度管理水平。

## 2 实时调度的应用分析

### 2.1 基于高实时性的智能调令

根据目前的网络通信基础以及调度工作的需要,建立了一套完备的调令系统,连接省调主站与电厂端,实时与进行交互,对数据获取自动化要求也较高,涉及计划曲线、实时电量、电厂实时发电能力等相关数据。按常用设置上网出力,回计划曲线等调令类型对调令进行分类,以电厂的所属发电集团、自然流域分布、机组装机容量等属性对电厂进行归类

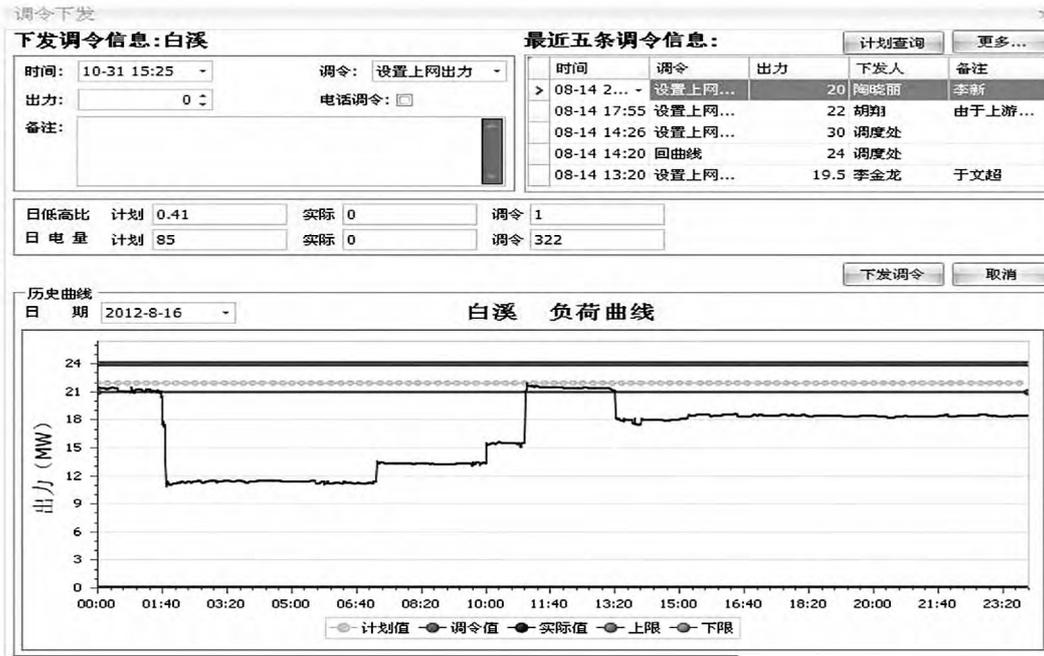


图 1 电厂实时调度

排序。调度员能快速选取调令对象以及调令类型，并输入文字内容，省调与电厂的调令交互也由一对一模式变为更高效的一对多模式。通过统计发现基于调度数据专用网络的实时调令下发速度是电话模式的两倍，调令的准确性也提高了 30%，同时调令延时性也控制在平均 200 ms 以内，很大程度地改善了调度工作效率。电厂实时调度如图 1 所示。

### 2.2 调令的实时监测与反馈分析

以往的发电调度业务没有实时系统支撑，无法对电厂的调度指令执行情况进行监测，只能过后进行考核。调令系统将对主站端发出的每一条调令进行监测，并发送回执信息以判断电厂端是否成功接收调令。调令系统能够通过智能化图形和数据列表的形式对发电计划曲线，电厂实际发电出力曲线，调令目标发电出力曲线进行实时监测，通过对比及时发现电厂违规发电动作，及时纠正发电出力，保证主网安全运行。

### 2.3 应急处理

主站端数据库服务器采用双机集群方式对数据进行实时备份并归档到磁盘阵列上，当其数据库发生故障造成数据丢失时，可通过双机集群的磁盘阵列快速恢复数据以保证安全生产。

主站端应用服务器采用主备方式进行部署，当应用服务器发生故障时，可立即通过切换应用程序到备用服务器的方法保障系统的正常运行。

在系统主站因意外发生故障期间，电厂端程序无法连接主站端服务，电厂在申请调整发电出力时会自动退回该申请并告知操作人员电厂端已与主站端失去联系，应改变联系方式进行申请，以保障电厂正常生产秩序。

## 3 实时调度的挖掘与优化算法

### 3.1 电厂智能排序

智能排序是指将电厂基础技术参数、调令中的出力信息或运行方式、实时的发电低高比、机组实时负荷率、发电计划完成比例等信息做为电厂的附加属性。同时，引入交叉变量四川省经济与信息委员会最新下发的《主网统调统分发电机组排序表》里面的排位参数。综合考量电厂目前运行状态，对运行电厂进行优先发电分类排序，调度人员可以参照排序科学调整电厂出力，以达到节能发电调度和资源利用最大化的目标（如图 2）。

### 3.2 超短期负荷曲线调整

超短期负荷曲线调整是根据省调自动化部门提供的超短期负荷预测曲线修正当前的发电计划。超短期负荷预测曲线的数据粒度与日发电计划编制一样统一为 15 min，计量单位为万千瓦时。

负荷预测偏差曲线与原始计划曲线必然存在差



图 2 电厂智能排序

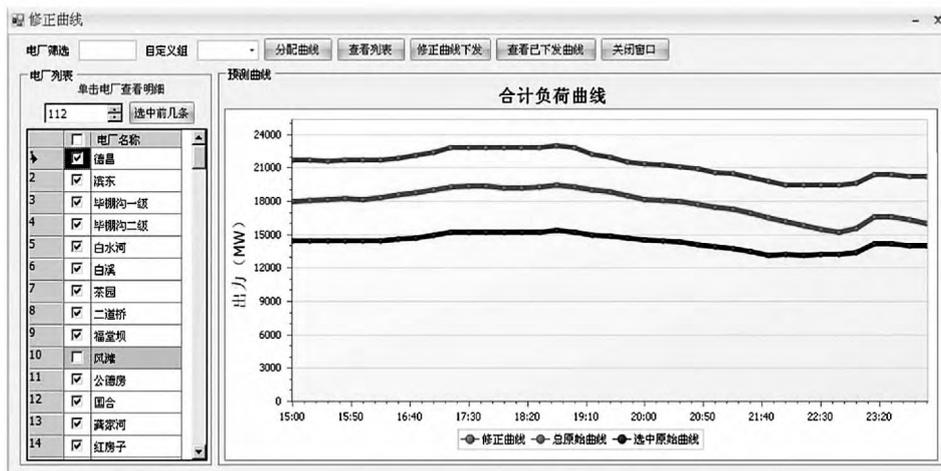


图 3 超短期负荷曲线调整

值  $\{x | x \geq 0\}$  , 并从当前时间起计算当天每一计划点的数据计算出两条曲线之间的偏差量 , 通过人工判断或给系统设定阈值偏差量来判定是否需要调整原始计划曲线。

某电厂某时刻调整后曲线负荷值为该时刻的负荷预测偏差值乘以该厂原始计划占该时刻总原始计划的比例。

$$f(x) = x \frac{P_i}{\sum_p} \{x | x \geq 0\}$$

## 4 主要技术手段

### 4.1 网络通信设计

调令系统因其应用的特殊性 , 对通信网络要求较高 , 必须实时保证通信网络的高稳定性、低延时性和极高的安全性。现有通信运营商提供的普通网络无法满足系统要求 , 因此调令系统主站端与电厂端统一部署在国家电网调度数据专网。在保证省调主

站与电厂端高连通率的情况下 , 通过网络防火墙保证通信安全。在此调度数据专网的基础上 , 通过调令系统数据交换平台服务 , 完成电厂端与主站端之间的数据实时交互。

### 4.2 数据库设计

省调主站端系统的数据库软件采用 Oracle 企业版 , 使用数据库集群对系统进行支撑。集成的集群件 : 利用一组通用、内置的集群服务创建和运行数据库集群。自动工作负载管理 : 将服务连接请求发送给拥有最低负载的适当服务器 ; 一旦发生故障 , 自动将剩余的服务器重新分配以用于服务。

电厂端系统支持离线操作 , 仅保存本电厂调度范围内的调令 , 提供历史调令查询功能。同时本地数据库会保存与本电厂关联发电计划曲线 , 发电机组的技术出力等参数 , 同时会下载备份并网电厂辅助服务及运行管理考核的结果 , 便于电厂对发电运行情况进行离线分析。

### 4.3 系统技术架构

四川电网并网发电厂实时调令系统采用 C/S 架构,分为数据交换平台、调令主站端、电厂客户端。考虑到企业级应用安全性、可靠性、稳定性、可扩展性,将采用 .net remote 中间件技术实现,通过中间件技术实现企业级应用数据交换平台。 .net remote 提供了一个功能强大、高效的处理远程对象,是微软中间件技术企业级解决方案。 .net remote 具备分布事务处理,同时具备动态集群的能力,可在不改变程序的情况,建立动态集群,提高服务的处理能力。目前国际上 C/S 架构上, .net remote 是一种常用的优秀的解决方案。

#### 4.4 系统物理架构

四川电网并网发电厂实时调令系统调令主站系统包括调令主站应用程序服务和调令主站客户端;电厂端调令系统包括电厂调令主站应用程序服务和调令电厂端;调令主站主要部署在省调,使用对象为调度员和相关专责;电厂调令系统的主站应用程序服务部署在省调,电厂端分别部署在 200 多家并网发电厂,使用对象为 200 多家电厂相关人员。

### 5 系统的关键技术难点及解决方法

#### 5.1 横向数据交换实现

实时调令系统要实现全省统调电厂的实时调令下发和短期负荷调整,必须要接入其他管理应用系统,横向收集集成各应用系统的生产和管理数据。

省调调度数据专网可通过网络物理隔离装置与网络防火墙实现与省调生产大区的信息交互。调令系统建立了与发电计划编制系统的数据接口,以收集发电计划曲线参数;建立了与四川电网 EMS、TMR 等系统的数据接口,实时采集电厂出力与上网电量等生产数据;建立了与省调自动化之间的数据接口,接收超短期负荷曲线调整参数等数据。这些数据做为实时调度的数据支撑,通过接口文件和传输软件实时交换与更新,提高调令系统辅助决策的科学性与及时性。

#### 5.2 主站服务端与电厂端数据交互

部署在同一调度数据专网内的电厂端与主站端,需要实现电厂与省调之间的调令请求、机组出力调整以及负荷参数等信息的实时通讯与数据交互。数据交换通过两种方式实现:①由电厂端主动发起,向主站服务请求同步数据;②由主站服务端自动发

送的方式,将采用 Remoting 客户端事件注册机制来实现:电厂端首先在主站服务注册事件,订阅需要的主题数据,当主站服务需要同步数据时,触发该事件,将同步数据的内容放入事件消息中,调用客户端代理,将数据发送到电厂端,电厂端对消息进行相应的处理。 Remoting 通信机制既支持 TCP 信道又支持 HTTP 信道,传输速度极快,实现了主站-电厂端调令快速交互。同时 Remoting 既可传输基于 XML 协议的 SOAP 包又可传输二进制数据流,有效解决了通信多样化和通讯性能衰减的问题,同时又降低了系统对调度数据专网 IIS 服务器的依赖性。

部署在 200 多个统调电厂的调令电厂端程序与主站服务端保持实时通信,为保证调令能够及时准确到达电厂,必须时刻监测主站与电厂的通信状况。主站程序实时向电厂端发送响应请求,电厂端收到请求后响应发送回执到主站。通过主站与电厂之间的响应-回执机制来监测通信状况,若主站未收到电厂端回执,则触动告警,系统发出网络通信中断的提示。

主站端需要同时与 200 多个电厂端保持 7×24 小时的实时联系,期间主站通过调令群发功能同时向几十个电厂发送调令,电厂端向主站发送上网出力、负荷调整等运行申请,下载并网电厂辅助服务及运行管理考核到本地等操作会造成系统并发访问较多。为保证系统稳定运行,系统采用多线程处理架构进行开发,并基于调度安全准则将部分数据存储在电厂端的本地数据库中,以减小主站服务端和电厂端的数据交互量。并且对数据库中占用磁盘空间较大的数据表进行存储分区以提高数据库 I/O 性能,从而保证系统能在高并发访问的环境中保持稳定运行。

### 6 结 论

建立了高智能、高准确性的实时调度策略,通过调令监测与反馈机制,全过程实时监督调令执行情况,实时分析反馈参数并及时做出响应。电厂发电智能排序以及超短期负荷曲线调整算法,有效提高了电力资源的利用效率,为节能发电调度、科学合理利用资源提供了有力的决策支持。同时能够实时修正发电计划曲线,使发电负荷与用电负荷趋于最优的平衡状态。实时调令策略的分析和应用具有深度

(下转第 67 页)

$\mu\text{T}$  的限值<sup>[7]</sup>。由图 5、6、7 可以得到, A 相电压初始相角为  $0^\circ$  或  $120^\circ$ 、 $30^\circ$  或  $90^\circ$  时, 离地 1.5 m 处场强最大值出现在距离线路中心 10 ~ 30 m 范围内, A 相电压初始相角为  $60^\circ$  时, 场强最大值出现在边相导线附近; 由图 8、9、10 可以得到, A 相电流初始相角为  $0^\circ$  或  $120^\circ$ 、 $30^\circ$  或  $90^\circ$  时, 离地 1.5 m 处磁感应强度最大值出现在距离线路中心 0 ~ 15 m 范围内, A 相电流初始相角为  $60^\circ$  时, 磁感应强度最大值出现在距离线路中心 10 ~ 30 m 范围内。

## 4 结 论

运用 ANSYS 有限元分析软件, 对 1 000 kV 特高压单回交流输电线路在典型导线布置形式下的电磁环境做了仿真计算, 其计算结果与参考文献 [1] 类似。结果表明如下。

1) 特高压单回交流输电线路下方离地 1.5 m 处电磁场强度均满足国家相关标准的要求, 不会对地面人员产生危害;

2) 电场强度最大值在 A 相电压初始相角为  $0^\circ$  或  $120^\circ$ 、 $30^\circ$  或  $90^\circ$  的情况下, 出现在距离线路中心 10 ~ 30 m 范围内, 初始相角为  $60^\circ$  时, 出现在边相导线附近; 磁感应强度最大值在 A 相电压初始相角为

(上接第 22 页)

挖掘的潜力, 通过开发人工智能和调度算法能进一步提高调度指令准确性与科学性, 不断探索创新, 创造更大的经济价值和社会效益。

### 参考文献

[1] 雷怀光, 张振. 国基于 .NET 技术的高校人事管理系统的研究[J]. 陕西科技大学学报, 2008, 26(5): 162 - 165.

[2] Ferrero RW, Rivera JF, Shahidehpour SM. A Dynamic Programming Two - stage Algorithm for Long - term Hydro-thermal Scheduling of Multireservoir Systems [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1998, 13(4): 1534 - 1540.

[3] 王守相, 王成山. 现代配电系统分析[M]. 北京: 高等教育出版社, 2007: 120 - 130.

[4] M. Duvall and E. Knipping. Environmental Assessment

$0^\circ$  或  $120^\circ$ 、 $30^\circ$  或  $90^\circ$  的情况下, 出现在距离线路中心 0 ~ 15 m 范围内, 初始相角为  $60^\circ$  时, 出现在距离线路中心 10 ~ 30 m 范围内;

3) 酒杯塔导线到地面的距离较猫头塔略高, 故典型水平布置导线电场强度较三角布置导线略低; 且导线水平布置时磁感应强度较大。

### 参考文献

[1] 刘振亚. 特高压电网[M]. 北京: 中国经济出版社, 2005.

[2] 王晓燕. 特高压交流输电线路电磁环境研究[D]. 济南: 山东大学, 2011.

[3] 刘红文, 杨卓, 谭向宇, 等. 高海拔 500 kV 紧凑型输电线路电场仿真分析与对比研究[J]. 电线电缆, 2013(2): 42 - 45.

[4] 程炜. 特高压输电线路电磁环境的数值仿真研究[D]. 郑州: 郑州大学, 2011.

[5] 庄秋月. 1 000 kV 变电站雷电侵入波的分析研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2010.

[6] 刘振亚. 特高压输电知识问答[M]. 北京: 中国电力出版社, 2006.

[7] HJ/T 24 - 1998, 500 kV 超高压送变电工程电磁辐射环境影响评价技术规范[S].

(收稿日期: 2013 - 12 - 10)

of Plug - in Hybrid Electric Vehicles [R]. New York: EPRI, 2007: 23 - 27.

[5] 王志平, 熊光泽. 实时调度算法研究[J]. 电子科技大学学报, 2000, 29(2): 205 - 208.

[6] 郑延海, 张小白, 钱玉妹, 等. 电力系统实时安全约束调度的混合算法[J]. 电力系统自动化, 2005, 29(12): 49 - 52.

### 作者简介:

银涛(1981), 硕士研究生, 从事电力调度运行工作;  
王彦洋(1981), 学士学位, 从事科技、项目及工程管理工作;

张宏图(1973), 硕士研究生, 从事电力调度运行工作;  
吴璇(1980), 学士学位, 从事电力监控运行工作;  
胡翔(1976), 硕士研究生, 从事电力调度运行工作;  
张勤勤(1982), 学士学位, 从事通信运维工作;  
蒋科(1983), 硕士研究生, 从事电力调度运行工作。

(收稿日期: 2013 - 11 - 05)