

日内现货交易环境中智能发电调度系统的设计与实现

袁贵川¹, 李荣¹, 李金龙¹, 何川¹, 胡与非¹, 付凤翔², 刘俊², 高也²

(1. 国网四川省电力公司, 四川成都 610041;

2. 国网信通产业集团四川中电启明星信息技术有限公司, 四川成都 610094)

摘要: 四川省内水电装机容量大、数量多且安全约束复杂, 日内现货交易出清后的实时发电计划调整难度大。为满足日内交易需求, 开发了智能发电调度系统。该系统综合考虑日前发电计划、超短期负荷预测及电网约束, 过滤无效数据后, 实时生成日内滚动计划, 批量下达发电调令。约1年的运行实践表明, 该系统能正确生成匹配现货交易的日内滚动计划, 迅速下达各电厂, 及时满足了现货交易需求, 极大减轻了调度员的工作量。

关键词: 日内现货交易; 日内滚动计划; 智能发电调度; 发电调令

中图分类号: TM732 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)03-0085-05

Design and Implementation of Intelligent Generation Dispatching System Considering Intraday Spot Market

Yuan Guichuan¹, Li Rong¹, Li Jinlong¹, He Chuan¹, Hu Yufei¹, Fu Fengxiang², Liu Jun², Gao Ye²

(1. State Grid Sichuan Electric Power Company, Chengdu 610041, Sichuan, China;

2. Aostar Information Technologies Co., Ltd., Chengdu 610094, Sichuan, China)

Abstract: Because of the great number and large capacity of hydropower plants in Sichuan province, and the particularly complicated security constraints of power grid, power generation plan adjusted in real time is very difficult, especially in intraday spot market. Intelligent generation dispatching system is developed to meet the needs. The system can work out real-time rolling power generation plan and send to power plants in batches. Day-ahead generation schedule, ultra-short-term load forecasting and grid security constraints are considered, and invalid data is filtered. The operational practice for about one year shows the correctness of real-time rolling power generation plan by this system, the swiftness of sending orders to power plants and the timeliness of meeting the demand of intraday spot market.

Key words: intraday spot market; rolling power generation plan; intelligent generation dispatching; generation order

0 引言

四川省内水电数量多^[1-2]、装机容量差别大, 集中打捆送出和分散接入并网方式并存且约束复杂^[3-4], 现货交易调令计算及实时执行难度大^[5-11]。为此四川省电力公司开发了集成现货交易执行功能的智能发电调度系统。该系统读取水电厂日内现货交易出清结果, 与调度员根据电网约束等调整后的发电计划整合形成日内滚动计划数值。系统根据当前发电调令自动生成新发电调令和日内

滚动计划, 并与超短期负荷预测形成的滚动计划区分自动过滤后, 群发至各水电厂实时执行。该系统已平稳运行约1年, 实现了日内现货交易在发电侧的实时执行, 增加富裕水电外送电量, 促进水电消纳, 实现了发电调度自动化和现货交易电量执行的智能化。

1 日内交易模块架构

1.1 智能发电调度系统

四川电网已有的智能发电调度系统, 读取日前

发电计划并自动下发至各个电厂。电厂可根据来水变化、设备非计划停运情况、煤质等自身情况于当日申请调整发电计划,经调度员批准后执行。调度员也可根据电网约束、联络线变化和用电负荷变化等主动调整,形成日内发电计划下发至各个电厂执行。该系统同时读取超短期负荷预测形成的日内滚动计划,由AGC之外承担偏差的电厂执行,滚动平衡日内负荷或联络线偏差。

根据以上需求,日内发电调令分为4类^[12]:1) 执行日前发电计划,即按照日前发电计划发电;2) 设置上网出力,即调度员将发电计划调整为固定值;3) 调频,根据需求发电,不产生考核电量;4) 执行日内滚动计划,根据超短期负荷预测结果滚动计算发电计划。

1.2 日内交易执行流程

在规定的时间内,省调发布日内现货交易信息,有参与日内交易意向的电厂通过交易平台申报交易意愿。调度员进行有效性校核和安全性校核。有效性校核是防止发电厂申报出力超过自身发电能力上限,又分为电量校核与电力校核:

$$P_{i_0} + P_{i_w} \leq P_{\max} \quad (1)$$

$$\int (P_{i_0} + P_{i_w}) dt \leq Q_{\max} \quad (2)$$

式中: P_{i_0} 为电厂*i*的原发电计划; P_{i_w} 为意向电力; P_{\max} 为最大发电能力; Q_{\max} 为最大电量能力。

安全性校核为考虑电网各断面安全约束的稳定限额,通过调整断面内电厂申报出力值,使断面内电厂日内交易后断面功率仍不超过稳定限额内:

$$\sum_{i=1}^N P_{i_w}^* P_s \quad (3)$$

式中: $P_{i_w}^*$ 为经有效性校核的意向电力; P_s 为断面裕度。

省调将日内交易意向电力汇总后提交至国调,国调撮合交易后下发日内交易总量。省调将本省送出日内交易总量分配至相关电厂,并通过智能发电调度系统下发调令执行。智能发电调度系统的目标为在现有发电调令基础上,自动生成日内滚动发电计划,该计划自动纳入交易出清结果(与通过超短期负荷预测生成的日内滚动计划不同),根据该计划生成可执行的发电调令并及时下发,确保交易结果实时执行。根据需求,日内交易的日内滚动计划和调令形成分为交易开始和结束两个时间节点。交易实时性要求出清15 min内将新的调令下发,结束

后15 min内也下发新调令,流程如图1。

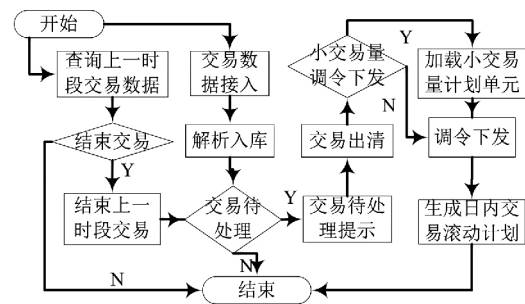


图1 日内交易的执行流程

1.3 日内交易数据交互

日内交易分为固定交易段和非固定交易段。固定交易段分为5个时间段(0:15-08:00、08:15-12:00、12:15-16:00、16:15-20:00、20:15-24:00),非固定交易段为减少根据“三弃”(弃风、弃光、弃水)情况而临时增加的交易段。

令日内交易开始执行时刻为*T*,在*T*-15 min前,交易平台将出清结果以规范化的文件格式发送至公用数据服务器,内容包含水电厂名称、时刻、最大发电能力、出清电力,如图2所示。

//	计划单元名称	时刻	最大发电能力
#	波罗	16:15	32.000 0 3.492 0
#	波罗	16:30	32.000 0 3.492 0
#	波罗	16:45	32.000 0 3.492 0

图2 日内现货交易数据交互文件格式

采用Kettle6 ETL工具自动解析并存储数据文件,步骤如下:1) 判断公用数据服务器指定目录中是否存在交互文件;2) 获取系统日期;3) 清空存放当次交易数据交互文件明细的临时数据表;4) 通过ETL工具读取交互文件每行数据并存入临时表;5) 临时表过滤计算,通过最大发电能力、当前计划以及出清电力过滤数据并将需执行的出清电力数据存入正式表,若同一交易段有多笔交易将出清结果叠加;6) 发电调令生成。流程如图3所示。

1.4 出清策略自动下发

为避免日内现货交易生成过多的调令增加调度员工作量,将日内滚动计划叠加于上一发电调令对应的计划之上,生成新的发电计划和发电调令并列表展示,由调度员确认后下发,新调令生成规则为:

- 1) 上一交易段已参与交易、目前正执行上一

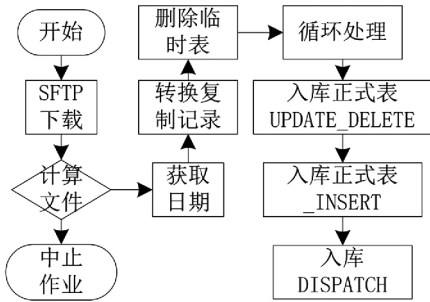


图 3 日内现货交易接口交互 ETL

交易段出清结果,调令为“执行日内滚动计划”的电厂,继续执行该条调令,但跟踪本时段新下发的日内滚动计划值(该计划值为原有发电计划叠加上清电力)。

2) 上一交易段已参与交易,但因电网异常或故障等约束,未执行“日内滚动计划”调令的电厂,表示由调度员根据电网实际情况调整了发电计划,则继续执行调度员调令,但生成本时段的日内滚动计划(该计划值为调度员调整后的计划叠加上清电力)。

3) 上一交易段未参与交易,目前执行“日前发电计划”的电厂,其日内滚动计划值为日前发电计划值叠加交易出清电力值,调令类型为“执行日内滚动计划”;调令时间为本交易段开始执行时间,调度侧默认勾选下发。

4) 上一交易时段未参与交易,目前执行“设置

上网出力”的电厂,其日内滚动计划值为上一条调令值叠加交易出清电力值,调令类型为“执行日内滚动计划”;调令时间为本交易段开始执行时间,调度侧默认勾选下发。

5) 上一交易时段未参与交易,目前执行“调频”的电厂,调令不做调整。

交易生成的“日内滚动计划”调令均自动备注为“日内交易”,区分已有的超短期负荷预测生成的日内滚动计划类型,以便统计和结算。每条发电调令均有选择、取消和修改选项,并提供全选、全部取消和批量修改功能,调度员可根据安全校核结果进行修改。同时具备一键下发至全部电厂的功能。交易出清界面如图 4 所示。

1.5 下一阶段调令策略

本时段交易结束即下一阶段交易开始,交易出清电厂有所变化,生成调令不同。系统读取当前发电调令和下一时段的出清结果综合判断,自动生成交易结束的发电调令:

1) 目前“执行日内滚动计划”,如果下一交易时段不再参与交易,则新调令保持为该电厂的上一条调令,若上一条调令为“执行日内滚动计划”,则调令调整回“执行日前发电计划”,开始时间为本交易段结束时间。

2) 目前未“执行日内滚动计划”,如果下一交易时段不再参与交易,则调令保持不变。

交易出清								
上一交易时段已参与交易,目前执行“日内滚动计划”电厂:								
下发	电厂	交易电力	拟下调令	上网出力	调令开始时间	上一调令	最大发电能力	备注
上一交易时段已参与交易,目前未执行“日内滚动计划”电厂: <input type="button" value="全选"/>								
<input checked="" type="checkbox"/>	安谷	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日内滚动计划:0	500.00~750.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	巴郎口	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日内滚动计划:0	110.00~110.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	百花滩	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日内滚动计划:0	0~80.00	日内交易
上一交易时段未参与交易,目前执行“日前发电计划”电厂:								
<input checked="" type="checkbox"/>	巴郎口	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日前发电计划:0	110.00~110.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	宝州	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日前发电计划:0	0~116.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	流东	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日前发电计划:0	82.00~147.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	凌罗	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日前发电计划:0	0~48.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	茶园	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	执行日前发电计划:0	14.00~15.00	日内交易
上一交易时段未参与交易,目前执行“设置上网出力”电厂:								
<input checked="" type="checkbox"/>	安谷	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	设置上网出力:340.00	500.00~750.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	百花滩	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	设置上网出力:11.80	0~80.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	宝兴河	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	设置上网出力:20.00	120.00~135.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	毕棚沟	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	设置上网出力:1.40	10.00~18.00	日内交易
<input checked="" type="checkbox"/>	槽渔滩	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	设置上网出力:8.00	49.00~61.00	日内交易
上一交易时段未参与交易,目前执行“调频”电厂:								
<input checked="" type="checkbox"/>	宝珠寺	查看曲线	执行日内滚动计划	0	2018-06-23 00:00	调频:0	0~700.00	日内交易

图 4 内现货交易出清界面

1.6 数据过滤

为避免日内交易出清电力总量较小,而分配电厂较多导致大部分电厂分得的出清电力过小以致无法执行的情况,根据多次实测结果,采取了按最大发电能力自动过滤数据的策略,确保下发调令能在实际生产中有效执行。交易电量过小的电厂,本时段不下发调整计划调令,其交易电量纳入次日日前发电计划,或将多次日内交易结果累加至可执行电量,再进行滚动平衡。

令出清电力为 P_{cq} , 最大发电能力为 P_{nl} , 满足以下条件中的任何一个, 将结果自动过滤:

$$P_{nl} \leq 10 \text{ MW}, \text{ 且 } P_{cq} \leq 1 \text{ MW} \quad (4)$$

$$10 \text{ MW} < P_{nl} \leq 50 \text{ MW}, \text{ 且 } P_{cq} \leq 2 \text{ MW} \quad (5)$$

$$50 \text{ MW} < P_{nl} \leq 300 \text{ MW}, \text{ 且 } P_{cq} \leq 5 \text{ MW} \quad (6)$$

$$300 \text{ MW} < P_{nl}, \text{ 且 } P_{cq} \leq 10 \text{ MW} \quad (7)$$

2 高级应用

2.1 最大发电能力校核

为防止交易前后通过主动调整发电计划的方式抢占交易电量,系统增加了最大发电能力校核功能。令日内滚动计划为 P_{gd} , 当前计划为 P_{dq} , 校核方法为

$$P_{gd} = \max(P_{dq} + P_{cq}, P_{nl}) \quad (8)$$

2.2 数据传输校核

由于日内交易执行的实时性要求,一旦数据传

输延迟或通道短时故障造成数据缺失,电厂侧接收的发电计划将无法反应交易结果,造成交易执行偏差和考核电量,考虑如下两种数据传输校核算法。

调令缺失:电厂侧智能发电调度系统客户端接收调令后,传送回执消息至调度主站服务器,服务器将接收时间和调令内容录入数据库。若未收到回执,判定为通道异常重新下发调令。

日内滚动计划未更新:服务端后台程序定时抽取电厂侧未来 30 min 的日内滚动计划曲线进行校验,若数据与主站曲线不匹配或者数据有缺失,触发重新计算机制并更新电厂侧日内滚动计划数据。

2.3 交易统计

系统提供交易笔数、录入时间、交易时段、调令下发情况以及已发调令统计功能,方便统筹掌握交易执行情况,为调度员根据执行结果修改发电调令提供辅助决策,统计界面如图5所示。

3 应用分析

该系统已在 2017 年 5 月部署于四川省调,平稳运行至今。截止目前,累计处理日内现货交易结果 127 笔,下发交易出清调令 73 次,下发日内滚动计划调令 594 次,发电侧执行日内滚动计划调令时长累计约 7250 h,增加清洁能源外送电量约 230 GWh。

日内交易统计			
时间:	2018-06-01 09:55	至	2018-06-25 09:55
		查询	查看该时段下发调令
			总计交易时段:19次
状态	开始时间	结束时间	数据录入时间
已下发	2018-06-25 08:15	2018-06-25 12:00	2018-06-25 07:54
已下发	2018-06-25 00:15	2018-06-25 08:00	2018-06-24 23:54
已下发	2018-06-24 20:15	2018-06-25 00:00	2018-06-24 19:34
已下发	2018-06-24 16:15	2018-06-24 20:00	2018-06-24 15:44
已下发	2018-06-24 12:15	2018-06-24 16:00	2018-06-24 11:39
已下发	2018-06-24 08:15	2018-06-24 12:00	2018-06-24 07:44
已下发	2018-06-24 00:15	2018-06-24 08:00	2018-06-23 23:39
已下发	2018-06-23 20:15	2018-06-24 00:00	2018-06-23 19:59
已下发	2018-06-23 16:15	2018-06-23 20:00	2018-06-23 15:59
已下发	2018-06-23 12:15	2018-06-23 16:00	2018-06-23 11:54
未下发	2018-06-23 08:15	2018-06-23 12:00	2018-06-23 10:39
已下发	2018-06-22 20:15	2018-06-23 00:00	2018-06-22 19:54
已下发	2018-06-22 16:15	2018-06-22 20:00	2018-06-22 15:52
已下发	2018-06-22 12:15	2018-06-22 16:00	2018-06-22 11:48

历史调令查询								
时间	电厂名称	调令	出力	下发人	备注	已作废	作废人	作废时间
2018-6-25 9:00:00	山棱岗	执行日内滚动计划	0	李珏龙		<input checked="" type="checkbox"/>		
2018-6-25 8:15:00	黑河塘	执行日内滚动计划	0	廖斌杰	日内交易	<input type="checkbox"/>		
2018-6-25 8:15:00	广宁	执行日内滚动计划	0	廖斌杰	日内交易	<input type="checkbox"/>		

图5 交易统计界面

全省发电量同比增加 2 871.2 GWh,其中日内现货交易占比 20.77%。由于日内交易首年开展,2017年10月21日至11月21日期间,申报弃水的电厂由去年的1958次下降为1296次,同比下降33.8%。运行实践表明该系统有效减少了弃水。

4 结 语

介绍了四川省调日内现货交易生成日内滚动计划的流程、安全校验的原理以及发电调令生成策略。日内现货交易的实时执行,实现了清洁能源的增量外送,提高了外送通道利用率和电网经济性,有效促进清洁能源消纳,改善了电能结构。随着电力体制改革以及调度工作相关要求的提升,未来将从3个方面开展系统性能的提升工作:1)电力调度精益化要求的提升对调度员关于水情的掌握提出了更高的要求,后续将在智能发电调度系统中集成水情模块,根据电厂下泄流量要求、水位情况以及来水情况综合分析,得出电厂最佳出力以及上下游匹配方式以指导精益化调度工作。2)考虑到日内现货交易的经济属性,后续将开发基于该系统历史数据的数据分析功能。通过整合日内现货交易成交量、价格、时间段、季节等因素,分析其相互耦合关系,实时判断影响当前日内现货交易成交的关键因素,在申报跨省跨区交易中提供指导。3)随着电力市场改革的不断推进,省内电厂日内现货交易将会提上日程,根据这一需求进一步完善系统功能,为省内日内现货交易做好系统保障。

参考文献

[1] 杨极,邓武军,郭涌涛,等. 电力市场下网损分摊策略综述[J]. 四川电力技术 2005 28(3):48-51.

[2] 李俭. 新的电力市场营销体系模式探讨[J]. 四川电力技术 2000 23(4):19-25.

[3] 张国芳,吕林,刘俊勇. 考虑分布式电源的智能电网备用

市场交易模型[J]. 四川电力技术 2009 32(S1):24-28.

[4] 胡尚诚. 电力市场环境发电企业竞价策略研究[J]. 四川电力技术 2002 25(1):48-51.

[5] 张文鋈,陆浩,袁旭峰. 梯级水电站节能发电多目标优化调度模型研究[J]. 电测与仪表 2013 50(2):1-4.

[6] 吴慧军. 西南地区大规模水电跨省消纳与调峰方法研究[D]. 大连:大连理工大学 2016.

[7] 帅伟. 西南水电“弃水”困局与对策[J]. 中国电力, 2017 50(10):171-175.

[8] 王信茂. 四川丰水期水电消纳的问题与对策[J]. 中国电力企业管理 2015(11):26-28.

[9] 张今. 水电弃水量跨省消纳的定价方法研究[J]. 中国农村水利水电 2016(7):175-179.

[10] 程春田,励刚,程雄,等. 大规模特高压直流水电消纳问题及应用实践[J]. 中国电机工程学报 2015 35(3):549-560.

[11] 罗洋涛,李建兵. 新常态下四川水电发展战略探讨[J]. 四川水力发电 2017 36(1):160-164.

[12] 陈颖,周剑,银涛,等. 四川电网智能调度系统的设计与实现[J]. 四川电力技术 2016 39(03):75-79.

作者简介:

袁贵川(1977), 硕士,高级工程师,研究方向为电力系统调度运行与管理;

李 荣(1991), 硕士,助理工程师,研究方向为电力系统调度与控制;

李金龙(1987), 硕士,高级工程师,研究方向为电力系统调度与控制;

何 川(1987), 硕士,工程师,研究方向为电力系统调度与控制;

胡与非(1986) 硕士,高级工程师,研究方向为电力系统调度与控制;

付凤翔(1988), 学士,工程师,研究方向为电力系统软件工程;

刘 俊(1979), 学士,工程师,研究方向为电力系统软件工程;

高 也(1988), 学士,工程师,研究方向为软件工程。

(收稿日期:2019-01-26)

欢迎投稿 欢迎订阅