

功率计划在特高压直流输电工程中的传输和实现

靳玮¹, 杨兴超², 余存¹, 张浩然¹, 申艳红¹

(1. 许继电气直流输电系统部, 河南 许昌 461000; 2. 许昌开普检测技术有限公司, 河南 许昌 461000)

摘要: 特高压直流输电工程直流输送功率按调度编制的日功率计划曲线运行, 功率计划的下发和执行直接影响到直流系统的稳定运行。在深入研究 104/101 远动规约及特高压直流输电工程应用的基础上, 对直流工程远动系统及自动化监控系统 SCADA 进行了功能扩展, 在远动系统中实现了基于 IEC60870-5-104/101 的功率计划的调度实时远传、接收、解析、显示及存储。在自动化监控系统 SCADA 中实现了自动功率控制功能, 向直流工程控制系统下发功率计划值, 具备较高的实时性和可靠性。功率计划的实时传输和自动功率控制的实现能够有效地提高电网调度部门及换流站运行人员的工作效率, 对进一步提高电网安全运行水平具有重要意义。

关键词: 功率计划; 远动; 报文; ASDU; 自动功率控制

Transmission and realization of the power plan in UHVDC transmission project

JIN Weiwei¹, YANG Xingchao², YU Cun¹, ZHANG Haoran¹, SHEN Yanhong¹

(1. HVDC Dept, XJ Group Co., Ltd., Xuchang 461000, China; 2. Xuchang Ketop Testing Technology Co., Ltd., Xuchang 461000, China)

Abstract: The DC transmission power of UHVDC transmission project is set according to the daily power plan made by dispatching system, and the sending and carrying out of the power plan directly influence the stability of the DC system. Based on the in-depth study of IEC60870-5-104/101 and the engineering application of UHVDC transmission project, a function extension of the RCI system and SCADA system are made, a real time transmission, receiving, analysis, display and storing of the power plan are realized based on IEC60870-5-104/101. The automatic power control is realized in the SCADA system, which sends power value automatically to the control systems with high instantaneity and responsibility. The transmission of the power plan and the realization of the automatic power control could improve the efficiency of operators, and there is significance on improving grid security.

Key words: power plan; remote control interface; message; ASDU; automatic power control

中图分类号: TM723 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2015)14-0143-05

0 引言

直流输电工程功率计划是电网调度部门遵循电力生产的客观规律, 根据各直流厂站机组运行参数、直流线路的输电情况、不同直流输电方式的损耗情况等因素编制的直流厂站的送受电计划, 旨在保证电网安全运行的基础上努力取得最大效益。正常情况下, 调度自动化每天在规定时间内完成次日调度计划^[1-3]编制并下发至各直调厂站, 各厂站必须按照调度下达的日功率计划曲线和电压范围运行, 并根据调度指令调整功率和电压。

目前无人值守换流站建设已经提上日程, 而现有的绝大多数的直流输电工程都是按有人值守方式

设计的, 并不具备功率计划实时传输和自动功率控制功能。厂站每天通过电话方式、网站下载方式或者采用专用的计划曲线接收装置等方式下载次日计划曲线, 然后由运行人员按照调度下达的日功率计划指令, 在指定的时间点手动输入功率参考值, 并计算功率升降速率等工作, 这不仅费时费力且容易发生误操作。本文在充分研究 IEC60870-5-104/101 远动传输规约^[4-6]及特高压直流输电工程控制保护系统^[7-15]的基础上, 在厂站远动系统中完成了 IEC60870-5-104/101 规约对日功率计划报文的类型扩展, 自动接收并存储解析调度自动化主站系统下发的日功率计划报文, 并在厂站自动化监控系统 SCADA 中实现了自动功率控制功能, 自动完成了

日功率计划从调度主站下发到厂站控制保护系统正确执行的系列工作。该功能实现已经初步应用在了特高压直流输电工程中，经过试运行检验，系统的实时性、可靠性完全能够满足特高压直流输电工程的设计要求。该实现方法既适用于特高压直流输电工程，也适用于常规高压直流输电工程。

1 功能设计

远动系统和自动化监控系统 SCADA 是特高压直流输电工程的重要组成部分。远动系统在换流站控制保护系统和调度自动化主站系统之间完成数据交换，该系统向调度自动化主站上送换流站运行状态信息，包括遥信、遥测及 SOE，同时接受调度端下发的控制指令，并将这些指令传送给换流站控制保护系统执行。SCADA 系统作为运行人员与换流站系统的人机接口，显示整个换流站的运行状态信息，并为运行人员提供对换流站的控制功能。日功率计划的实时传输和自动功率控制功能的实现是对特高压直流输电工程常规远动系统及自动化监控系统 SCADA 进行功能性扩展。

日功率计划报文的传输、接收、解析、显示及存储功能均集成于换流站远动系统，采用 IEC60870-5-104/101 规约对国标中未定义的 104/101 报文类型进行规约扩展，采用南方电网在 104/101 远动协议实施细节中定义的 ASDU 137: C_SE_TD_1^[6]。自动功率控制功能集成于现有的 SCADA 系统，充分利用现有 SCADA 的原理和架构实现系统的稳定运行。

远动系统将接收到的类型为 137 的 104/101 报文解析成时间和功率计划值，每个功率计划值都有一个固定的地址，从 0 时 0 分开始，直到 23 时 55 分，一共 288 个量。日功率计划曲线中只有部分时间功率值会发生变化，称为拐点信息，一般只传输日功率计划的拐点信息。远动系统将拐点信息记录成特定格式的文件，由运行人员通过人机界面直接将文件直接导入厂站自动化监控系统 SCADA，SCADA 系统将按设定的时间下发功率计划值(也叫功率整定值、功率设定值)及功率变化速率等信息到极站控系统，实现特高压直流输电工程自动功率控制。

日功率计划曲线的实时传输和自动功率控制功能的实现设计流程如图 1 所示。

2 功率计划的实时传输及规约解析

2.1 传输流程及策略

调度主站与换流站远动子站间有正常的数据通信，调度主站每天定时发送功率计划报文，厂站端

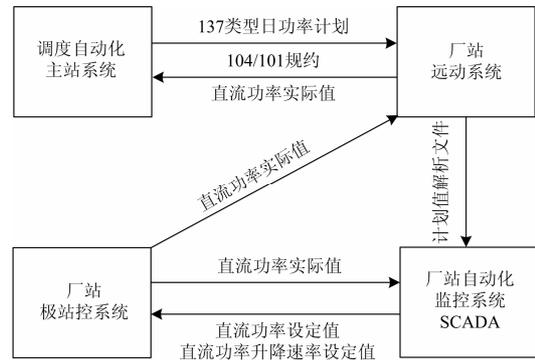


图 1 设计流程

Fig. 1 Design process

接收到计划报文后以镜像报文响应主站，厂站在接收完功率计划报文后解析出计划值信息，并存入本地数据库。如果调度主站在下发完功率计划报文之后对功率计划有修改需求，则重新发送新的功率计划报文，厂站保存新的功率计划值。具体传输流程如图 2 所示。

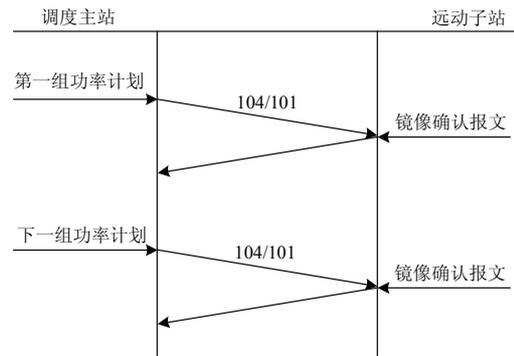


图 2 计划值传输流程

Fig. 2 Process of power plan transmission

2.2 功率计划报文规约解析

调度主站与远动子站间使用类型标识为 137 的报文传输功率计划，设计规定每条功率计划曲线最多可包含 289 个信息对象(即功率计划值)，信息体地址用来唯一标识哪一个时间的功率计划值，第一个信息体地址是该条功率计划曲线的地址，从 0 时 0 分开始，每 5 min 一个量，0:00 点和 23:55 点为必传信息点，采用拐点信息传输，每条报文带一个时标，用于标记该计划值是哪一天的，时标的有效位是年、月、日，其他位一般置为 0。调度主站与远动子站之间的功率计划报文如下所示。

```
Receive: 68 6c a2 06 f4 86 89 03 06 01 01 00
01 67 00 00 00 02 67 00 fa 00 ce 67 00 fa 00 d1 67 00
76 02 d4 67 00 80 02 d7 67 00 de 03 da 67 00 a4 06 f5
67 00 a4 06 f8 67 00 f0 05 04 68 00 f0 05 07 68 00 46
05 0a 68 00 46 05 0d 68 00 6a 04 10 68 00 5c 03 13
```

68 00 08 02 16 68 00 08 02 19 68 00 fa 00 21 68 00 fa
00 00 00 00 00 00 e2 02 0e

Send : 68 6c f4 86 a4 06 89 03 07 01 01 00 01
67 00 00 00 02 67 00 fa 00 ce 67 00 fa 00 d1 67 00 76
02 d4 67 00 80 02 d7 67 00 de 03 da 67 00 a4 06 f5 67
00 a4 06 f8 67 00 f0 05 04 68 00 f0 05 07 68 00 46 05
0a 68 00 46 05 0d 68 00 6a 04 10 68 00 5c 03 13 68
00 08 02 16 68 00 08 02 19 68 00 fa 00 21 68 00 fa 00
00 00 00 00 00 00 e2 02 0e

上述功率计划报文中包含 17 个功率计划拐点信息, 报文规约解析内容如表 1 所示。

表 1 功率计划报文解析

Table 1 Analysis of power plan message

序号	功率计划时间	功率计划值
1	00:00:00	250
2	17:00:00	250
3	17:15:00	630
4	17:30:00	640
5	17:45:00	990
6	18:00:00	1 700
7	20:15:00	1 700
8	20:30:00	1 520
9	21:30:00	1 520
10	21:45:00	1 350
11	22:00:00	1 350
12	22:15:00	1 130
13	22:30:00	860
14	22:45:00	520
15	23:00:00	520
16	23:15:00	250
17	23:55:00	250

2.3 计划值存储及显示

远动子站将解析后的功率计划信息存储并显示到本地运行人员工作站, 运行人员可以通过功率计划值客户端查看功率计划值及功率曲线, 并将存储为 txt 文本格式的计划值文件直接导入厂站自动化监控系统 SCADA, 完成自动功率控制功能。远动子站解析后的功率计划值及功率曲线如图 3、图 4 所示, 只显示拐点信息。

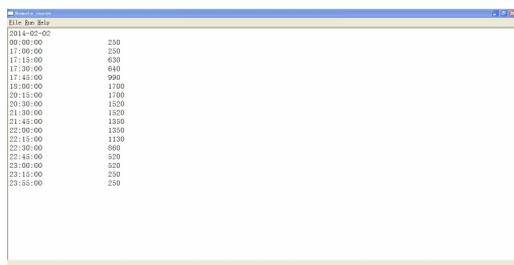


图 3 功率计划值显示

Fig. 3 Display of power plan value

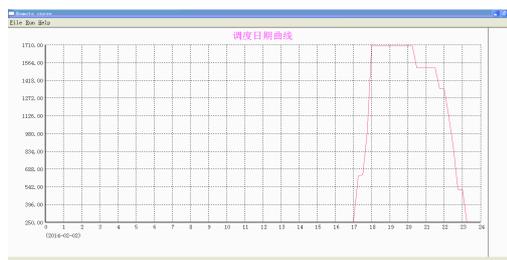


图 4 功率计划曲线

Fig. 4 Curve of power plan

3 自动功率控制功能的实现

3.1 功率计划值导入

厂站自动化监控系统 SCADA 由运行人员监盘及操作, 自动功率控制功能的实现集成于 SCADA 系统中, 运行人员通过 SCADA 系统客户端导入存储到本地的功率计划文件, 自动功率计划数据信息存储于 SCADA 系统数据库中。主实时处理程序从数据库中读取计划值数据, 定时下发至换流站控制系统。SCADA 系统自动功率控制实现界面显示如图 5 所示。

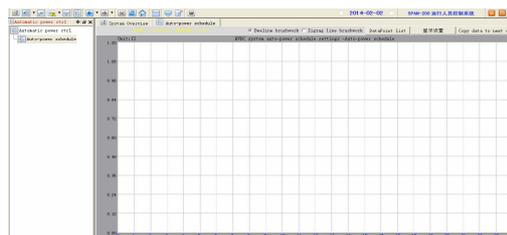


图 5 厂站 SCADA 系统自动功率控制实现

Fig. 5 Automatic power control in SCADA system

SCADA 系统对于功率计划导入文件格式有严格的要求:

- (1) 功率计划日期和当前日期必须匹配;
- (2) 首个功率计划值必须与前一天末功率计划值相等;
- (3) 每行包含两项: 时间和功率值, 中间以半角空格分开;
- (4) 功率计划值不能为 0;
- (5) 时间必须包含三项, 中间以半角冒号分开;
- (6) 总时间不可以超过 24:00:00, 分钟数不超过 45;
- (7) 小时和分钟不能为负。

功率计划文件导入时先自动清除当前数据, 然后根据功率计划文件中的时间和功率值生成新的数据。文件导入时只处理功率变化的点, 无变化的点不添加到功率计划中。导入成功后的功率计划值及

曲线如图 6 所示。

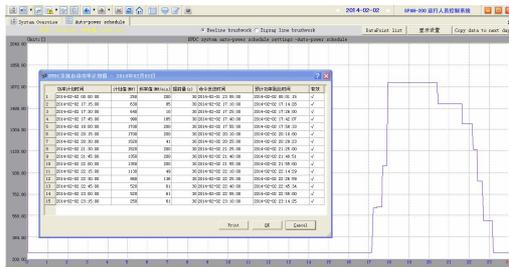


图 6 功率计划值导入 SCADA 系统

Fig. 6 Import of power plan value in SCADA

根据功率设定时间和功率计划值，SCADA 系统自动计算其他计划值相关参数，包括功率变化速率、功率发送时间及预计到达时间等，保证实际运行工况在可控制范围内。

调度可能会根据需要修改功率计划值，运行人员可以直接导入最新功率计划文件，也可根据需要修改单个功率计划时间及功率计划值。单击功率计划值数据列表，可对已有数值进行编辑和修改。

自动功率控制功能还支持功率计划值复制功能，如果下一天的功率计划曲线和查看日期相同或者差异不大，可以把当前数据直接复制到下一天，只修改下发命令的时间即可。

3.2 自动功率控制执行

SCADA 系统在自动功率模式下执行自动功率控制功能。直流运行功率按导入的功率计划执行，命令下发时间、命令到达时间、功率计划值及功率变化速率由运行人员根据调度主站下发的功率计划进行整定。在设定的时间点，SCADA 系统向极站控系统发送功率计划值、功率变化速率，由极站控系统判断执行。

功率计划命令下发时间的计算，以当前功率点向前 15 min 为功率计划值下发时间，完全利用整个功率升降区间，使功率升降时间尽可能的长，功率升降的速率尽可能的低，以保证电力系统的稳定性，如前面导入的功率计划第一个点，其功率计划值及功率变化速率下发时间为 16:45:00。

在功率计划值下发的前 5 min，SCADA 系统提示运行人员将在 5 min 后发送功率计划值和功率变化速率，便于运行人员监视自动功率功能是否正常和检查设置值的正确性，在功率参考值下发时会提示已经发送的功率参考值和斜率值。如果控制系统条件不满足，控制系统将不会执行自动功率控制指令，SCADA 系统也会在功率调节前 5 min 提示运行人员，便于运行人员掌握功率的变化情况，保证其运行可靠性。

4 结论

本文结合特高压直流输电工程实际，完成了调度自动化功率计划值的实时传输和自动功率控制功能的设计实现。主要完成的功能如下：

(1) 选择南方电网在 104/101 远动协议实施细节中定义的数据类型为 137 的报文实时传输功率计划值信息；

(2) 能够实时接收并正确解析 137 类型的报文信息，获取功率计划曲线中的拐点时间和功率计划值；

(3) 将解析出的功率计划曲线中的拐点时间和功率计划值以特定格式存储到本地运行人员工作站，供运行人员查看计划值信息，完成自动功率控制相关的计划值数据导入；

(4) 按导入的功率计划文件，SCADA 系统的自动功率控制功能在特定时间下发功率计划值，使换流站直流系统按调度中心下发的功率计划输送功率。

功率计划值的实时传输和自动功率控制功能的设计实现能够很好地满足特高压直流输电工程的需要，具备较高的实时性和可靠性，有效地提高了电网调度部门及换流站运行人员的工作效率，对进一步提高电网安全运行水平具有重要意义。

参考文献

[1] 杜晓勇, 李岩, 刘轶, 等. 基于 AGC 的日发电计划在线调整、执行与评估策略[J]. 电气技术, 2013(4): 57-60. DU Xiaoyong, LI Yan, LIU Yi, et al. The strategy of daily generation scheduling online adjusting implementing and evaluating based on AGC[J]. Electrical Engineering, 2013(4): 57-60.

[2] 李鹏, 冯永青, 梁寿愚, 等. 南方电网交直流输电日计划优化方法[J]. 电力建设, 2011, 32(3): 1-4. LI Peng, FENG Yongqing, LIANG Shouyu, et al. Day-ahead schedule optimization of CSG AC/DC transmission[J]. Electric Power Construction, 2011, 32(3): 1-4.

[3] 张显, 周鑫, 耿建, 等. 基于网络流的发输电计划协调优化方法[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(19): 55-60. ZHANG Xian, ZHOU Xin, GENG Jian, et al. A coordination and optimization method for generation and transmission scheduling of power system based on network flow[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(19): 55-60.

[4] 张士勇, 陈春, 贾大昌, 等. 应用 101(104)规约的“电网调度自动化系统”在现场调试维护中的关键技术分

- 析[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(5): 148-152.
ZHANG Shiyong, CHEN Chun, JIA Dachang, et al. Analysis of the pivotal technique in fieldwork of electric power grid SCADA system which applied 101(104) protocols[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(5): 148-152.
- [5] 梁竹靛, 韩兵, 彭永. IEC60870-5-104 规约在分布式电力监控系统中的应用[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(4): 124-127.
LIANG Zhuliang, HAN Bing, PENG Yong. Application of IEC60870-5-104 protocol in distributed electric supervisory control system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(4): 124-127.
- [6] DL634.5.104-2002 远动协议南方电网实施细则(V1.0) [S].
DL634.5.104-2002 telecontrol protocols implementation rule of CSGDC (V1.0) [S]
- [7] 谢惠藩, 张尧, 林凌雪, 等. 基于时间最优和自抗扰跟踪的广域紧急直流功率支援控制[J]. 电工技术学报, 2010, 25(8): 145-153, 173.
XIE Hui fan, ZHAO Yao, LIN Lingxue, et al. Emergency DC power support control based on time-optimal control and auto-disturbance rejection control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2010, 25(8): 145-153, 173.
- [8] 陈厚合, 姜涛, 李国庆. 基于一种动态等值新方法的直流功率调制控制策略[J]. 电工技术学报, 2013, 28(6): 192-200.
CHEN Houhe, JIANG Tao, LI Guoqing. HVDC modulations using new dynamic equivalence method[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(6): 192-200.
- [9] 罗磊, 盛琰, 王清坚, 等. 特高压直流输电系统顺序控制的研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(23): 30-33, 38.
LUO Lei, SHENG Yan, WANG Qingjian, et al. Research on sequence control in UHVDC system[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(23): 30-33, 38.
- [10] 李兴源, 赵睿, 刘天琪, 等. 传统高压直流输电系统稳定性分析和控制综述[J]. 电工技术学报, 2013, 28(10): 288-300.
LI Xingyuan, ZHAO Rui, LIU Tianqi, et al. Research of conventional high voltage direct current transmission system stability analysis and control[J]. Transactions of China Electrotechnical Society, 2013, 28(10): 288-300.
- [11] 张爱玲. 溪洛渡送电广东同塔双回直流输电工程控制保护策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(9): 72-76.
ZHANG Ailing. Study of control and protection strategies for Xiluodu-Guangdong double HVDC systems erected on the same tower[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(9): 72-76.
- [12] 康建爽, 曹森, 张民, 等. 高压直流输电系统双机功率调制异常分析[J]. 电力系统保护与控制, 2014, 42(9): 147-152.
KANG Jianshuang, CAO Sen, ZHANG Min, et al. Analysis of the bipolar power abnormal modulation for HVDC transmission system[J]. Power System Protection and Control, 2014, 42(9): 147-152.
- [13] 杨光亮, 邵能灵, 郑晓冬, 等. 高压直流输电控制保护系统分析[J]. 电力系统自动化, 2010, 34(15): 85-90.
YANG Guangliang, SHAO Nengling, ZHENG Xiaodong, et al. Modular redundancy analysis of HVDC control and protection[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(15): 85-90.
- [14] 梁少华, 田杰, 曹冬明, 等. 柔性直流输电系统控制保护方案[J]. 电力系统自动化, 2013, 37(15): 59-65.
LIANG Shaohua, TIAN Jie, CAO Dongming, et al. A control and protection scheme for VSC-HVDC system[J]. Automation of Electric Power Systems, 2013, 37(15): 59-65.
- [15] 汤广福, 罗湘, 魏晓光. 多端直流输电与直流电网技术[J]. 中国电机工程学报, 2013, 33(10): 8-17.
TANG Guangfu, LUO Xiang, WEI Xiaoguang. Multi-terminal HVDC and DC-grid technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2013, 33(10): 8-17.

收稿日期: 2014-10-17; 修回日期: 2015-03-24

作者简介:

靳玮玮(1981-), 女, 硕士, 工程师, 从事高压直流输电软件设计及系统调试工作; E-mail: jinweiwei1981@163.com

杨兴超(1979-), 男, 本科, 工程师, 从事电气自动化产品电磁兼容性研究工作;

余存(1983-), 男, 硕士, 工程师, 从事高压直流输电软件设计及系统调试工作。

(编辑 葛艳娜)