

# 大规模小水电群一体化发电计划编制方法

李树山<sup>1</sup>, 廖胜利<sup>1</sup>, 李刚<sup>1</sup>, 程春田<sup>1</sup>, 蔡华祥<sup>2</sup>, 李秀峰<sup>2</sup>

(1. 大连理工大学水电与水信息研究所, 辽宁省 大连市 116024;

2. 云南电力调度中心, 云南省 昆明市 650011)

## Integrated Power Generation Scheduling Compilation Method for Large-scale Small Hydropower Station Group

LI Shushan<sup>1</sup>, LIAO Shengli<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1</sup>, CHENG Chuntian<sup>1</sup>, CAI Huaxiang<sup>2</sup>, LI Xiufeng<sup>2</sup>

(1. Institute of Hydropower & Hydro Informatics, Dalian University of Technology, Dalian 116024, Liaoning Province, China;

2. Yunnan Power Dispatching Center, Kunming 650011, Yunnan Province, China)

**ABSTRACT:** This paper presented a province-district integrated generation scheduling compilation method for large-scale small hydropower station group. The approach was developed to handle current problems of small hydropower: disorderly management, striking waste of water and seriously abandoned electricity. This proposed method standardized the generation scheduling compilation flow of small hydropower by the idea of hierarchic building and management based on the scheduling relation of small hydropower. The tie-line section security constraint was added into the flow and an adjusting original schedules procedure of overload section was proposed. By the closed-loop mode of reporting proposed generating curves, checking transmission section security, distributing coordinate generating curves, the accuracy of power generation scheduling of small hydropower was increased effectively. The method had been applied to the small hydropower management system of Yunnan power grid. The feasibility and effectiveness of this algorithm has been verified available by the practical engineering.

**KEY WORDS:** small hydropower; generation scheduling; province-district integrated; tie-lines section check

**摘要:** 针对小水电无序管理, 弃水、窝电现象严重, 水资源浪费问题突出的现状, 设计省地一体化小水电发电计划编制方法。该方法规范了小水电计划编制流程, 对发电计划实行分级制作与管理, 增加了输电断面安全校核环节, 并给出了超限断面计划调整方法, 通过建议计划上报-输电断面校核-计划协调发布的闭环方式有效提高了发电计划的准确性和

可操作性。该方法目前已应用于云南电网小水电管理系统, 方法的科学性与有效性得到了实际工程的验证。

**关键词:** 小水电; 发电计划; 省地一体化; 输电断面校核

## 0 引言

小水电作为清洁发展机制(clean development mechanisms, CDM)公认的绿色可再生能源, 因其规模小、投资少、见效快、无污染、推动地方经济建设等优点, 以每年超过 250 万 kW 的装机规模迅速发展<sup>[1-2]</sup>, 是应对气候变化的重要有效途径, 在国内外得到了广泛重视<sup>[3-5]</sup>。截止到 2010 年 4 月, 中国已建成小水电 4.5 万座, 装机容量突破了 5 500 万 kW, 年发电量超过 1 600 亿 kW·h, 约占全国水电装机和年发电量的 30%。全国近 1/2 的地域、1/3 的县市、1/4 的人口主要靠小水电供电, 小水电在中国能源结构中占有非常重要的地位<sup>[6]</sup>。

目前, 相比于大型水电站的科学调度、规范管理, 中国小水电基本上仍处于无序管理状态, 小水电日发电计划往往由调管部门的经验确定, 缺乏科学、规范、统一的计划编制流程和方法<sup>[7-9]</sup>。随着小水电建设规模日益扩大, 现行的发电计划制作方式问题日益凸现: 1) 小水电大多为径流式电站, 调节能力较差, 其富集地多处于经济较落后地区, 当地用户消纳负荷能力有限, 汛期来水丰富时, 小水电弃水、窝电现象非常严重; 2) 随着电网建设工作的推进, 多数小水电已并网运行, 由于计划编制时缺少必要的输电断面安全校核环节, 丰水季节很多断面超极限输电, 给电网安全稳定运行带来了极大的威胁。因此, 如何根据小水电自身特点, 研究

基金项目: 国家杰出青年科学基金(51025934); 国家 863 高技术基金项目(2012AA050205)。

Scientific Funds for Outstanding Young Scientists of China (51025934); The National High Technology Research and Development of China 863 Program(2012AA050205)。

一种科学、实用的小水电发电计划编制方法,对充分利用水资源,保障电网安全运行,提高电网精细化调度水平有着十分重要的意义。

针对上述问题,本文设计省-地-县-电厂一体化小水电日计划编制流程,该流程摒弃了由调度机构单方编制计划的传统模式,增加了电厂制作计划的主动性,通过大、小水电发电计划相协调减少小水电弃水、窝电现象。同时,流程中引入了发电计划断面安全校核环节,并给出了超限断面计划调整方法,可有效提高小水电发电计划的准确性与可靠性。

## 1 一体化发电计划编制流程设计

现行情况下中国小水电调度关系比较复杂,根据调管方式和并网电压等级可分为省调调管、地调调管、县调调管。其中通过 220 和 110kV 并网运行的由省调和地调调度,110kV 以下并网的一般由县调调度。考虑到一方面小水电表现出点多、面广、发展迅速等特点,发电计划统一由调管部门编制工作量大、效率低下;另一方面电厂运行人员经过多年实践积累了丰富的调度经验,其对流域来水规律和电厂特性有较深刻的理解和把握,更适合做自身电站的发电计划;此外,小水电发电情况受来水影响较大,汛期与大电站来水具有同步性,为有效解决其弃水、窝电问题,发电计划应与省调大水电站发电计划相协调。为此,本文根据小水电调度关系,对发电计划实行分级制作与管理,采用建议计划上报-输电断面校核-计划协调发布的闭环流程对全网小水电发电计划进行一体化<sup>[10-14]</sup>制作与管理。

### 1) 建议计划上报。

各调管电厂通过对来水情况的掌握编制发电计划,并将其作为建议计划上报至调管部门。建议计划反映了电厂的发电信息,可以为调度机构提供调度决策,便于其更合理地安排辖区小水电计划。

### 2) 输电断面校核。

调度机构计划制作人员(方式专职)根据辖区用电负荷预测情况及各断面极限输送能力对建议计划进行调整,削减受阻通道发电计划,使并网负荷满足安全运行约束。辖区计划编制完毕后,附加计划制作意见上传至方式领导审核。

### 3) 计划协调发布。

计划审核人根据计划制作意见,审核辖区小水电发电计划,并附审核意见。若审核不通过,则将计划返回方式专职人员,方式专职按照审批意见重

新编制发电计划,然后再上传至领导审核;若计划审核通过,则汇总辖区小水电计划至省调,以便与大电站发电计划相协调。

一体化发电计划编制流程从管理角度实现电网小水电与其他电源结构的有机统一管理,计划生成过程中通过协调大小水电计划,进一步加强水电智能化调度。汛期来水丰富,可充分利用大电站调节库容,蓄水调峰,使小水电尽量多发电,减少弃水;枯期来水较少,小水电发电能力下降,大电站利用汛期蓄水,加大出力,补偿地方用电需求。计划协调后,由省调发布全网小水电计划,各调管部门及电厂应按发布计划执行。图 1 为一体化发电计划制作流程图。

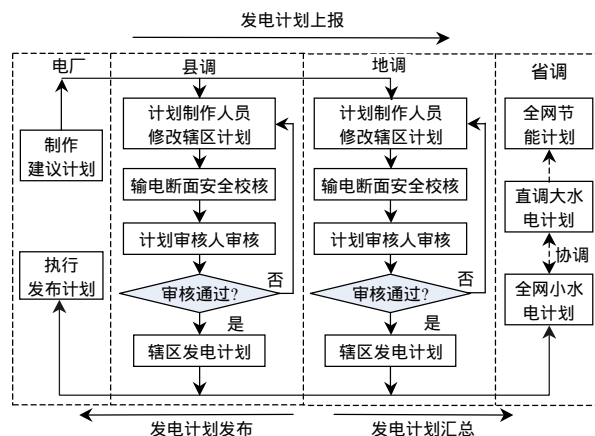


图 1 一体化发电计划制作流程图

Fig. 1 Flow chart of integrated generation scheduling method

## 2 断面校核及超限计划调整方法

### 2.1 断面安全校核问题描述

断面安全校核<sup>[15-21]</sup>是检验并网小水电发电计划在极限输送能力的限制下是否具有可操作性。图 2 描述了一级断面安全校核问题,已知某一电压等级下的断面  $S$ ,其极限输送能力为  $N_S$ ,接入该断面的并网小水电集合为  $\Omega_n$ ( $n$  为电站数),设  $t$  时段电站  $i$  的发电负荷为  $N_{i,t}$ ,该地区用户消纳的负荷为  $P_t$ ,则小水电的发电计划应满足

$$\sum_{i=1}^n N_{i,t} - P_t \leq N_S, \quad i \in \Omega_n \quad (1)$$

当式(1)取等号时达到断面  $S$  的极限输送能力,这时小水电发电计划达到上限值  $N_t$ ,如图 3 所示。其中,  $N_t = N_S + P_t$ ,阴影部分为用户消纳电量。如果发电计划超过上限,则称断面  $S$  为超限断面。

多级断面安全校核是当有低电压等级线路并

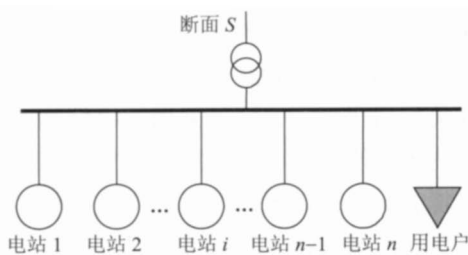


图 2 一级断面示意图

Fig. 2 Schematic of one level tie-line section

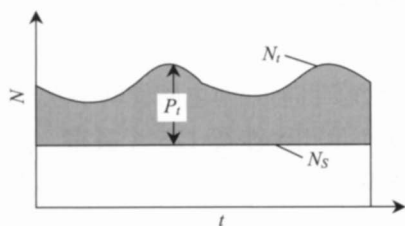


图 3 断面安全校核负荷关系示意图

Fig. 3 Load relationship schematic of tie-line section security checking

入高电压等级线路时，检验各级断面是否有超限断面。

## 2.2 一级超限断面计划调整方法

当发电计划超限面极限输送能力时，为保证电力系统安稳运行，需对接入该断面的发电计划进行调整，使其满足式(1)。一级超限断面按等比例削减方法，是基于公平调度的原则，其原理简单、编程易实现，是多层超限断面计划调整的基础。该方法以超限计划值  $\Delta N$  为分配目标负荷，为保证计划调整的公平性，采用装机等比例削减每个电站的发电负荷值，最终使该断面的发电计划为上限值  $N_t$ 。t 时段各电站发电计划值采用下式进行调整：

$$N'_{i,t} = \max\{L_i, N_{i,t} - \Delta N_{i,t}\}, \quad i \in \Omega_n \quad (2)$$

式中： $L_i$  为电站  $i$  出力下限值； $\Delta N_{i,t}$  为  $t$  时段电站  $i$  削减的负荷值，且有

$$\Delta N_{i,t} = \sigma G_i \quad (3)$$

式中： $G_i$  为电站  $i$  的装机容量值；负荷削减比例  $\sigma$  为

$$\sigma = \Delta N_t / \left( \sum_{i=1}^n G_i \right) \quad (4)$$

式中  $\Delta N_t$  为  $t$  时段断面超限计划值。

$$\Delta N = \sum_{i=1}^n N_{i,t} - N_t \quad (5)$$

另外，当电站削减后的发电负荷小于其出力下限时，应将其发电负荷值固定为出力下限，然后计算新的削减比例，并重新调整尚未超限的电站计

划，直到超限计划值被削减完为止。图 4 为一级超限断面等比例削减法流程图。

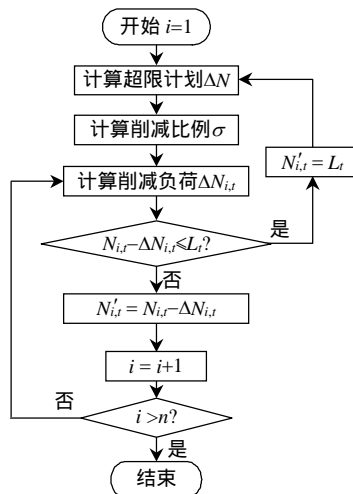


图 4 一级超限断面等比例削减法流程图

Fig. 4 Equal cut proportion algorithm flow chart of one level overrun tie-line section

## 2.3 多级超限断面计划调整方法

目前，小水电常见并网线路有 220、110、35 和 10kV 这 4 个等级。随着低压线路接入高压线路，多级超限断面计划调整问题因嵌套的网络耦合关系变得异常复杂。图 5 为一个三级超限断面网络结构示意图，它可解析为 4 个一级超限断面(分别是 a、b、c、d)，其中每个断面的计划调整结果都关联影响其他 3 个断面的计划校核情况，对于这种多级超限断面计划调整问题，本文设计了如下方法：

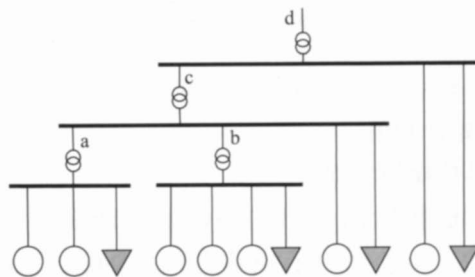


图 5 三级超限断面网络结构示意图

Fig. 5 Network structure schematic of three-level tie-line sections

### 1) 断面计算顺序选择。

多级超限断面计划调整的自然计算顺序有 2 种：一种是由低压向高压断面计算(low voltage section to high voltage section, LTH)；另一种是由高压向低压断面计算(high voltage section to low voltage section, HTL)。一方面相比于 HTL 计算顺序，LTH 可能仅调整低压断面计划便可使高压断面通过安全校核，能够尽量保持直接接入高压断面计

划的原始性；另一方面 HTL 计算顺序调整完高压断面计划后，可能出现低压断面计划值小于其计划上限，断面极限输送能力没有得到充分利用，小水电在非断面受阻情况下窝电增加。为此，本文采用 LTH 顺序调整多级超限断面计划值。

## 2) 断面网络结构解析。

多级超限断面网络结构随着新设备的投产、并网方式的改变及小水电输电通道上限的调整呈动态变化。为了在程序中描述这种动态递归的拓扑结构，本文采用自定义断面管理方式，调度人员可以根据实际情况设置断面的极限输送能力，添加断面用电负荷过程，同时增加或删除断面接入电站。计算时通过排序各断面包含电站数，对该网络结构进行解析，该方法简单、易于实现，排序后断面包含电站数越多表明该断面的电压等级越高，避免了使用复杂的递归算法解析该结构。

## 3) 计划调整方法步骤。

多级超限断面计划调整方法的思想是将多级网络结构解析为  $m$  个一级断面，以一级超限断面等比例削减法为基础，采用 LTH 计算顺序，逐级削减超限断面计划值，直到所有断面计划都通过安全校核。为了保证在计划调整过程中所有电站尽量按相同比例削减计划值，本方法设计了根据子断面电站负荷削减的实际比例确定计算断面计划削减的电站组合策略。 $t$  时段电站  $i$  的负荷实际削减比例采用下式表示：

$$\sigma_i = \frac{N_{i,0} - N'_{i,t}}{G_i} \quad (6)$$

式中： $\sigma_i$  为电站  $i$  的实际负荷削减比例； $N_{i,0}$  为电站  $i$  的原始计划值。

具体操作步骤如下：

解析断面网络结构，确定断面计算顺序  $S_j(j=1,2,\dots,m)$ ，令所有电站的实际削减比例  $\sigma_{j,i}=0$ 。

令  $j=1$ ，设断面  $S_j$  接入的电站集合为  $\Omega_j$ ，采用等比例削减法调整集合  $\Omega_j$  的电站计划值。

$j=j+1$  检验断面  $S_j$  是否通过安全校核。若没有通过，则执行步骤 ；否则，执行步骤 。

选出  $\Omega_j$  中的所有子断面电站集合  $\Omega_r$ ，并按升序排列  $\Omega_r$  的实际削减比例，排序后的结果为  $\{\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r, \dots, \sigma_k\} (r=1,2,\dots,k)$ ，令  $r=0$ 。

$r=r+1$ ，在  $\Omega_j$  中选出实际削减比例小于  $\sigma_r$  的电站集合  $\Omega_x$ ，试算将  $\Omega_x$  作为断面  $S_j$  削减集合时的实际削减比例  $\sigma_x$ 。若  $\sigma_x < \sigma_r$ ，按  $\sigma_x$  削减  $\Omega_x$  中的电站计划，然后执行步骤 ；否则，按  $\sigma_r$  削减  $\Omega_x$  中的电

站计划，然后执行步骤 。

若  $r=k$ ，表明断面  $S_j$  所有电站都按最大比例  $\sigma_k$  削减负荷后仍超限，这时采用等比例削减法调整所有电站计划值；若  $r \neq k$ ，继续执行步骤 。

若  $j=m$ ，所有断面均通过安全校核，退出该方法；否则，继续执行步骤 。

## 3 应用实例

### 3.1 工程背景

本文方法已成功应用于云南电网小水电管理技术支持系统。目前云南电网管辖小水电 1 746 座，分布于 16 个地州，涉及 125 个县市，装机容量达到 6 700 MW，占全网水电装机的 27% 以上。在德宏地区，小水电总装机达到 634 MW，与大水电挤占输电通道资源非常突出，开展小水电发电计划研究与相应的管理系统开发非常紧迫。本系统实现了小水电的一体化管理，自 2010 年投入运行以来得到用户的充分认可。为了检验方法的有效性，以德宏供电局调管电站汛期某天日计划编制为例进行验证。

德宏供电局现有调管电站 23 座，其中汛期存在断面通道受阻的电站 11 座，图 6 为电站并网结构示意图，各断面属性如表 1 所示。

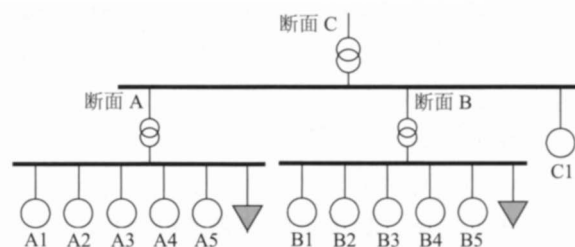


图 6 电站并网示意图

Fig. 6 Schematic of power plants combined to the grid

表 1 各断面属性值

Tab. 1 Parameters of all tie-line sections

断面名称	电压等级/kV	电站数目/个	极限负荷/MW
断面 A	110	5	70
断面 B	110	5	70
断面 C	220	11	180

### 3.2 算例分析

汛期来水丰富，各电站上报建议计划曲线均为满装机运行；断面 A、B 的用电负荷曲线趋势变化大致相同，6:00—10:00、18:00—21:00 负荷增加，21:00 以后负荷下降；断面 C 无用户，全天用电负荷为 0，各断面安全校核结果如表 2 所示。从校核结果可知：若所有电站都按装机发电，并网时断面 A 计划值平均超计划上限 5.40 MW，断面 B 平均超

表 2 原始发电计划的各断面安全校核情况

Tab. 2 Checking result of tie-line sections using original schedules

情况	断面 A				断面 B				断面 C			
	用户	计划	计划值/	超限值/	用户	计划	计划值/	超限值/	用户	计划	计划值/	超限值/
	负荷/MW	上限/MW	MW	MW	负荷/MW	上限/MW	MW	MW	负荷/MW	上限/MW	MW	MW
0:00	10.00	80.00	86.59	6.59	20.00	90.00	98.39	8.39	0	180	204.99	24.99
2:00	10.00	80.00	86.59	6.59	20.00	90.00	98.39	8.39	0	180	204.99	24.99
6:00	10.50	80.50	86.59	6.09	21.00	91.00	98.39	7.39	0	180	204.99	24.99
7:00	12.00	82.00	86.59	4.59	24.00	94.00	98.39	4.39	0	180	204.99	24.99
9:00	14.00	84.00	86.59	2.59	24.00	94.00	98.39	4.39	0	180	204.99	24.99
10:00	13.00	83.00	86.59	3.59	24.00	94.00	98.39	4.39	0	180	204.99	24.99
15:00	10.00	80.00	86.59	6.59	20.00	90.00	98.39	8.39	0	180	204.99	24.99
18:00	13.00	83.00	86.59	3.59	24.00	94.00	98.39	4.39	0	180	204.99	24.99
19:00	14.00	84.00	86.59	2.59	24.00	94.00	98.39	4.39	0	180	204.99	24.99
21:00	11.00	81.00	86.59	5.59	22.00	92.00	98.39	6.39	0	180	204.99	24.99
22:00	10.00	80.00	86.59	6.59	21.00	91.00	98.39	7.39	0	180	204.99	24.99
23:00	10.00	80.00	86.59	6.59	20.00	90.00	98.39	8.39	0	180	204.99	24.99
平均值	11.19	81.19	86.59	5.40	21.67	91.67	98.39	6.72	0	180	204.99	24.99

注：表中平均值为 96 点的平均统计。

限 6.72 MW，2 输电线路并入高压线路后至使断面 C 平均超限 24.99MW。

表 3 是采用多级超限断面计划调整方法在先后削减断面 A、B 计划后的计算结果统计。因用电负荷和装机容量不同，断面 A 各时段计划实际削减比例略小于断面 B，但在用电低谷的 0:00、15:00 和用电高峰的 9:00、19:00 两计划削减比例同时达到最大和最小。经过 2 个低压子断面计划调整后，断面 C 平均超限值有所下降，由原来的 24.99MW 降至 12.86MW，但仍需削减电站计划值。

按照本文方法确定断面 C 计划削减的电站组合  $\Omega$ 。先后以比例  $\sigma_A$  和  $\sigma_B - \sigma_A$  削减  $\Omega = \{C_1\}$  和  $\Omega = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, C_1\}$  各时段电站计划，经校核各电站按最大比例削减计划后断面 C 仍超限，需计算新的削减比例。令  $\Omega = \{A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, C_1\}$ ，采用等比例削减法调整所有电站计划，计算结果如表 4 所示。因断面 C 无用电负荷，各时段

超限值均相同，所有电站都按自身装机的 0.122 倍削减计划后，断面 C 达到极限输送能力，此时断面 A、B 亦满足安全输送约束。考虑断面输送能力，消除了过载输电对电网安稳运行带来的潜在威胁，计算结果显示各电站按装机的 0.888 倍发电，可使小水电在当前输电极限下送出电量最大。

表 4 安全校核通过后各断面统计值

Tab. 4 Statistic result of all tie-line section after passing security checking

断面名称	平均计划值/MW	平均超限值/MW	负荷削减比例
断面 A	76.04	-5.15	0.122
断面 B	86.40	-5.27	0.122
断面 C	180.00	0.00	0.122

4 结论

小水电在中国电力工业中的地位十分显著，然而目前其调度管理水平与其在保障中国中小城市电力安全、节能减排中的作用不相适应。随着小水电的大规模开发，其影响逐步超出电网一隅，对电网的作用越来越大，特别是小水电富集的西南地区电网。小水电装机比重较大的南方电网公司相继出台了一系列政策，要求各省级电网建设小水电系统，加强小水电规范化管理，提高小水电调度决策水平。科学的发电计划编制方法是实现全网资源优化配置的有效手段，是小水电系统建设的重要内容。本文采用分级制作、一体化管理思想编制小水电发电计划，并考虑了输电断面安全运行约束，力求从流程和算法上减少小水电弃水、窝电现象，在

表 3 削减断面 A、B 计划后的计算结果统计

Tab. 3 Computation results of all tie-line sections after cut generation load of section A and section B

时间	断面 A		断面 B		断面 C	
	$\sigma_A$	削减值/	$\sigma_B$	削减值/	计划值/	超限值/
		MW		MW	MW	MW
0:00	0.076	6.59	0.085	8.39	190.0	10.0
6:00	0.070	6.09	0.075	7.39	191.5	11.5
9:00	0.030	2.59	0.045	4.39	198.0	18.0
15:00	0.076	6.59	0.085	8.39	190.0	10.0
19:00	0.030	2.59	0.045	4.39	198.0	18.0

电网安稳运行的前提下,使电网最大限度的吸纳小水电电量。目前文中所提方法已应用于云南电网小水电管理技术支持系统,方法的科学性和有效性得到了实际工程的验证,对于其他电网规范化管理小水电,更好地实现节能减排目标,具有重要的参考价值。

## 参考文献

- [1] Zhou Sheng, Zhang Xiliang, Liu Jinghe. The trend of small hydropower development in China[J]. Renewable Energy, 2009, 34(4): 1078-1083.
- [2] 邹体峰,王仲钰.我国小水电开发建设中存在的问题及对策探讨[J].中国农村水利水电,2007(2): 82-84.  
Zou Tifeng, Wang Zhongyu. Problem and countermeasures in the development and construction of small hydropower in China[J]. China Rural Water and Hydropower, 2007(2): 82-84(in Chinese).
- [3] Lehner B, Czisch G, Vassolo S. The impact of global change on the hydropower potential of Europe[J]. Energy Policy, 2005, 33(7): 839-855.
- [4] Punys P, Pelikan B. Review of small hydropower in the new member states and candidate countries in the context of the enlarged European Union[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2005, 11(7): 1321-1360.
- [5] Kosnik L. The potential for small scale hydropower development in the US[J]. Energy Policy, 2010, 38(10): 5512-5519.
- [6] 童建栋.促进小水电发展是一项可持续发展的能源政策[C]//联合国水电与可持续发展研讨会文集.北京:中国国家发展和改革委员会,联合国经济与社会事务所,世界银行,2004: 258-265.  
Tong Jiandong. Promote the small hydropower development is a sustainable development of the energy policy[C]//The United Nations conference on sustainable development of hydropower and essay. Beijing: China National Development and Reform Commission, The United Nations Economic and Social Firm, The World Bank, 2004: 258-265(in Chinese).
- [7] 蒋东荣,刘学军,李群湛.电力市场环境下电网日发电计划的电量经济分配策略[J].中国电机工程学报,2004,24(7): 90-94.  
Jiang Dongrong, Liu Xuejun, Li Qunzhan. Economic distributing strategies for daily generation scheduling in a power system under power market environment [J]. Proceedings of the CSEE, 2004, 24(7): 90-94(in Chinese).
- [8] 汪洋,夏清,康重庆.考虑电网  $N-1$  闭环安全校核的最优安全发电计划[J].中国电机工程学报,2011,31(10): 39-45.  
Wang Yang, Xia Qing, Kang Chongqing. Optimal security constrained generation scheduling considering closed-loop  $N-1$  security correction[J]. Proceedings of the CSEE, 2011, 31(10): 39-45(in Chinese).
- [9] 陈森林.水电站水库运行与调度[M].北京:中国电力出版社,2008: 1-10.  
Chen Senlin. Hydro power operation and scheduling [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2008: 1-10(in Chinese).
- [10] 冯瑞军,宋海,刘宁宁,等.一种区域自组织的分级网络层移动性管理方法[J].中国电机工程学报,2003,23(11): 5-8.  
Feng Ruijun, Song Hai, Liu Ningning, et al. A domain re-organizing based hierarchical network-layer mobility management scheme based upon hierarchical domain reorganization[J]. Proceedings of the CSEE, 2003, 23(11): 5-8(in Chinese).
- [11] 米为民,荆铭,尚学伟,等.智能调度分布式一体化建模方案[J].电网技术,2010,34(10): 6-9.  
Mi Weimin, Jing Ming, Shang Xuewei, et al. Distributed and integrated modeling of intelligent dispatch[J]. Power System Technology, 2010, 34(10): 6-9(in Chinese).
- [12] 谢开,刘军,宁文元,等.华北电网一体化调度计划和实时发电控制系统的设计与实现[J].电网技术,2005,29(18): 6-7.  
Xie Kai, Liu Jun, Ning Wenyuan, et al. Design and realization of integrated scheduling and dispatching system for North China Power Grid[J]. Power System Technology, 2005, 29(18): 6-7(in Chinese).
- [13] 赵亮,钱玉春.适应集约化管理的地区电网调度集控一体化建设思路[J].电力系统自动化,2010,34(14): 95-99.  
Zhao Liang, Qian Yuchun. Integrative construction of regional grid dispatch and control center for intensive management[J]. Automation of Electric Power Systems, 2010, 34(14): 95-99(in Chinese).
- [14] 李惠玲,盛万兴,孟晓丽.基于图模库一体化的配电网线损管理系统的研制[J].电力自动化设备,2008,28(6): 89-92.  
Li Huiling, Sheng Wanxing, Meng Xiaoli. Energy loss management system of distribution network based on integrative graphic model library[J]. Electric Power Automation Equipment, 2008, 28(6): 89-92(in Chinese).
- [15] Wang C, Shahidehpour S. Application of the equivalent area model to multi-area generation scheduling with tie-line constraints[J]. International Journal of Electrical Power & Energy System, 1992, 14(4): 264-275.
- [16] Lee F, Huang J, Adapa R. Multi-area unit commitment via sequential method and a DC power flow network model

- [J]. IEEE Transactions on Power Systems, 1994, 9(1): 279-287.
- [17] 刘宝英, 杨仁刚. 采用辅助问题原理的多分区并行无功优化算法[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(7): 47-51. Liu Baoying, Yang Rengang. Multi-subarea parallel reactive power optimization based on APP [J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(7): 47-51(in Chinese).
- [18] 张保会, 姚峰, 周德才, 等. 输电断面安全性保护及其关键技术研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(21): 1-7. Zhang Baohui, Yao Feng, Zhou Decai, et al. Study on security protection of transmission section and its key technology[J]. Proceedings of the CSEE, 2006, 26(21): 1-7(in Chinese).
- [19] 洪元瑞, 康重庆, 夏清, 等. 基于图论的电网动态分区定价方法[J]. 中国电机工程学报, 2005, 25(3): 1-7. Hong Yuanrui, Kang Chongqing, Xia Qing, et al. Dynamic zonal pricing of power grid based on graph theory [J]. Proceedings of the CSEE, 2005, 25(3): 1-7(in Chinese).
- [20] 程临燕, 张保会, 郝治国, 等. 基于线路功率组成的关键输电断面快速搜索[J]. 中国电机工程学报, 2010, 30(10): 50-55. Cheng Linyan, Zhang Baohui, Hao Zhiguo, et al. Fast search for key transmission section based on power component of line[J]. Proceedings of the CSEE, 2010, 30(10): 50-55(in Chinese).
- [21] 张小白, 高宗和, 钱玉妹, 等. 用 AGC 实现断面越限的预防和校正控制[J]. 电网技术, 2005, 29(19): 55-59. Zhang Xiaobai, Gao Zonghe, Qian Yumei, et al. Implementation of preventive and remedial control for tie line overload by use of automatic generation control [J]. Power System Technology, 2005, 29(19): 55-59(in Chinese).



李树山

收稿日期: 2012-01-02。

作者简介:

李树山(1985), 男, 博士研究生, 主要研究方向为电网节能发电调度模型算法研究及系统实现, sslee.scu.2004@163.com;

廖胜利(1980), 男, 博士, 主要研究方向为水电系统优化经济运行及系统实现, shengliliao@dlut.edu.cn;

程春田(1965), 男, 教授, 博士生导师, 长江学者特聘教授, 近期主要从事大规模复杂系统建模、跨流域水电群发电优化、电网节能调度等理论方法研究, ctcheng@dlut.edu.cn。

(责任编辑 谷子)



# Integrated Power Generation Scheduling Compilation Method for Large-scale Small Hydropower Station Group

LI Shushan<sup>1</sup>, LIAO Shengli<sup>1</sup>, LI Gang<sup>1</sup>, CHENG Chuntian<sup>1</sup>, CAI Huaxiang<sup>2</sup>, LI Xiufeng<sup>2</sup>

(1. Dalian University of Technology; 2. Yunnan Power Dispatching Center)

**KEY WORDS:** small hydropower; generation scheduling; province-district integrated; tie-lines section check

As a clean and renewable energy source, the small hydro plays a very important role in the power system. In China, the total installed capacity of small hydro has been over 55 GW by April 2010, accounting for about 30% of the total installed hydropower capacity. However, there is plenty of abandoned energy in most small hydro plants because of the disordered management and unscientific scheduling methods. Moreover, large amount of transmission overload has posed a great threat to the security and stability of the power grid with a great percentage of small hydro plants, especially in the wet season.

In this paper, an integrated scheduling methodology of large-scale small hydro plant groups is presented based on the Yunnan Power Grid which is abundant in small hydropower resources. The methodology consists of three steps. First, the scheduling flowchart is standardized by hierarchic planning and management. With the coordination between small hydropower and large hydropower, plenty of spill and abandoned energy can be avoided. The whole procedure is shown in Fig. 1. Second, an effective approach for adjusting generation schedules is developed to deal with the overload problem of one-level transmission section based on the fair principle of dispatching. The transmission section security is checked using Equ. (1), and the generation schedules are adjusted using Equ. (2)—(5). Furthermore, a method of addressing multi-level overload transmission, which mainly consists of determining calculation order, resolving network structure and generation schedules adjustment, is proposed. The complex multi-level transmission sections are described in Fig. 2.

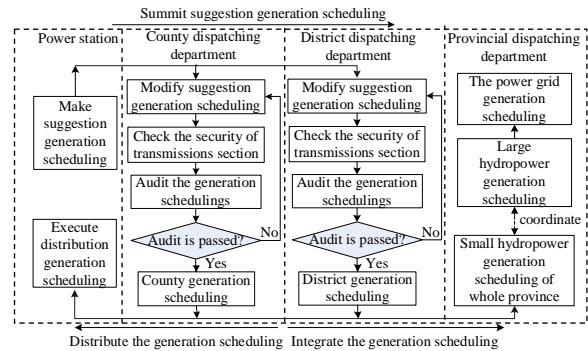


Fig. 1 Flow chart of integrated generation scheduling method

$$\sum_{i=1}^n N_{i,t} - P_t \leq N_s, \quad i \in \Omega_n \quad (1)$$

$$N'_{i,t} = \max \{L_i, N_{i,t} - \Delta N_{i,t}\}, \quad i \in \Omega_n \quad (2)$$

$$\Delta N_{i,t} = \sigma G_i \quad (3)$$

$$\sigma = \Delta N_t / \left( \sum_{i=1}^n G_i \right) \quad (4)$$

$$\Delta N = \sum_{i=1}^n N_{i,t} - N_t \quad (5)$$

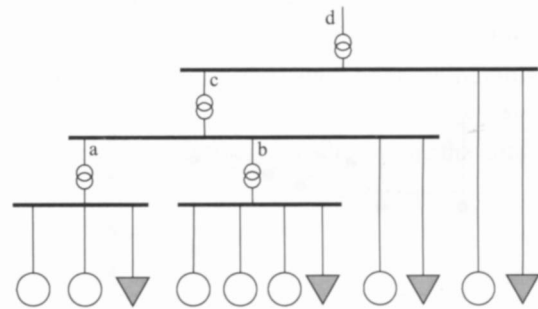


Fig. 2 Network structure schematic of three-level tie-line sections

The method has been successfully applied to the Yunnan Power Grid, which includes 16 regional power grids and 1 773 small hydro plants. This methodology is tested by determining the daily scheduling in the flood season for the Dehong Power Grid which is one of the 16 regional power grids; and the results show that it is feasible and reasonable.