

网络规划法在梯级水电站短期优化调度中的应用

THE APPLICATION OF NETWORK PROGRAMMING METHOD ON THE SHORT TERM OPTIMAL SCHEDULING FOR CASCADED HYDROPOWER STATIONS

刘建华

Liu Jianhua

(湖南省计委)

段虞荣

Duan Yurong

(重庆大学)

摘要 用网络规划法对梯级水电站日负荷最优分配问题进行了探讨,提出了一种新的网络模型,在开机组组合业已给定的条件下,直接将负荷分配到机组。还对算法进行了讨论,并在微机上对一个实际的梯级水电站进行了试算。计算结果表明该模型和算法是正确的、适用的。

关键词 网络规划法;梯级水电站;短期优化调度;负荷最优分配;最小费用最大流

中国图书资料分类法分类号: O224; O221.1; TM734

ABSTRACT The problem of the short term economic scheduling for cascaded hydropower stations is discussed with the network programming method. A new network model is built to dispatch the load to each unit when the unit commitment is determined. An algorithm of the minimal cost maximal flow is also discussed using the model and the algorithm to the Longxi River Cascaded Hydropower Stations. the computational result on the microcomputer VAX II shows that the model and the algorithm are correct and applicable.

KEY WORDS network programming method; cascaded hydropower stations; short term optimal scheduling; load optimal dispatch; minimal cost maximal flow

0 前 言

今天,能源的合理开发和综合利用业已成为举世瞩目的重大课题之一。如何合理使用一次能源和二次能源?这个问题严峻地摆在我们面前。在不增加现有发电设备和扩建水工建筑的前提下,借助于微机,制定电力系统最优调度方案,充分利用水能,多发电,节约水,这是一项花钱少、见效快、能获得多方面经济效益的节能途径。

电力系统梯级水电站短期经济调度问题是电力系统经济运行中最复杂的问题之一,因为它不仅存在着电方面的联系,还存在着水方面的联系,上一级水电站发电用水或弃水经一定延时将会影响下级各水电站的发电和弃水;而下级水电站的水库调节能力和过水能力的限制又反过来影响上级各水电站的用水计划。因此在约束上要考虑可用水量、上下游水位限制和水轮机过水能力等因素;在效益上要考虑小电站水头和出力变化对机组效率的影响,与火电系统

* 收文日期 1989-07-05

* 原系我校硕士研究生

的协调问题(如调峰、蓄能、弃水),以及网络传输损失等因素。因此梯级水电站短期经济调度问题是一个具有复杂约束条件的大型、动态、有时滞、非线性系统的最优化问题,处理起来比较困难。国内外学者曾采用变分法、动态规划、极大值原理、线性规划和各种非线性规划以及泛函分析等方法对此问题进行研究,但在计算速度、内存容量和对原问题复杂性的适应能力诸方面还未达到满意的程度^[6,10]。

近几年来,一些学者开始研究采用网络流规划法求解这一问题^[2-4],显示了该方法在计算速度、内存和对复杂约束条件处理上的优势^[4]。最小费用网络流^[2-5]算法的快速性主要表现在避免了用矩阵运算的方式去描述网络优化过程,代之以在网络上进行大小比较,加减运算。最小费用网络流是一类特殊的线性规划,其系数矩阵的每一列只有+1和-1两个非零元素,其余均为零元素,是高度的稀疏矩阵,其基本矩阵之逆等于网络中的路径矩阵的转置。故其算法比较简便,它是一种在网上作业的方法^[9]。特别是当网络规模相当大时,网络法更能够显示其自身的优越性。梯级水电站经济调度网络模型的规模较大,使用该模型能够方便地考虑水电站之间的联系,考虑变水头、变效率、弃水,乃至航运、防洪等各种约束条件。因而用网络流方法计算梯级水电站短期经济调度问题时显示出较大的优势。本文根据龙溪河梯级水电站在四川电力系统中所具有的特殊地位选用网络规划法研究其短期经济调度问题。

1 梯级水电站日负荷最优分配的数学模型

对于电力系统中梯级水电站的日调度问题,我们首先假定系统中该梯级以外的其它部分的影响和作用用一个等值火电厂来代替。这时,梯级水电站经济运行的目标为:在给定的用水量 and 负荷需求下,使梯级的发电量最大,或者说,让等值火电厂发电量(或发电费用)最小。

将一“日”分成 T 个时段,假定在一个时段内,系统的负荷、各机组的出力、水头、流量等取定值,系统中其它有关特性(如网损等)也取定值,这样离散化以后,系统的目标函数为

$$\min \sum_{j=1}^T f_j(P_s(j)), \quad (1)$$

式中, f_j 表示等值火电厂 j 时段发电费用函数, $P_s(j)$ 表 j 时段等值火电厂出力。约束条件计有:

1) 负荷平衡条件

$$P_s(j) + \sum_{i=1}^n P_i(j) - P_D(j) - P_L(j) = 0, \quad j \in J = \{1, \dots, T\}. \quad (2)$$

式中, $P_s(j)$ 、 $P_D(j)$ 、 $P_L(j)$ 分别表示 j 时段第 i 个水电厂出力、系统负荷、系统网损, n 表示梯级中水电站的个数。

$$P_i(j) = P_i(Q_i(j), V_i(j), V_{n,i}(j)), \quad i \in I = \{1, \dots, n\}, \quad j \in J. \quad (3)$$

采用文献[1]中的线性插值公式有

$$P_i(j) = \begin{cases} P_i^*(j) + (P_i^*(j) - P_i^*(j))(H_i(j) - \underline{H}_i) / \Delta H_i, & H_i \leq \bar{H}_i; \\ const. & H_i > \bar{H}_i. \end{cases} \quad i \in I, \quad j \in J. \quad (4)$$

其中

$$\begin{aligned} P_i^*(j) &= \bar{a}_i(j)Q_i^2(j) + \bar{b}_i(j)Q_i(j) + \bar{c}_i(j), \\ P_i^*(j) &= \underline{a}_i(j)Q_i^2(j) + \underline{b}_i(j)Q_i(j) + \underline{c}_i(j), \end{aligned} \quad i \in I, \quad j \in J. \quad (5)$$

$$H_i(j) = \begin{cases} Z_i - Z_2(j), & i = 1; \\ Z_i(j) - Z_i(jt), & i \neq 1. \end{cases} \quad j \in J \quad (6)$$

$$Z_i(j) = a_i V_i^2(j) + b_i V_i(j) + c_i, \quad i \in I, \quad j \in J \quad (7)$$

$$V_1(j) = V_1(j-1) + [-Q_1(j) + J_1(j) - Y_1(j)],$$

$$V_i(j) = V_i(j-1) + [Q_{i-1}(j - \tau_{i-1}) - Q_i(j) + J_i(j) + Y_{i-1}(j - \tau_{i-1}) - Y_i(j)], \quad i \neq 1 \quad (8)$$

$$V_i(0) = V_{i0},$$

$$V_i(T) = V_{iT}.$$

式中, $Q_i(j)$ 表第 i 水电站第 j 时段的流量; $V_i(j)$ 、 $V_{i-1}(j)$ 分别为第 i 、 $i+1$ 个水电站第 j 时段的水库存水量; $(\bar{a}_i, \bar{b}_i, \bar{c}_i)$ 和 $(\underline{a}_i, \underline{b}_i, \underline{c}_i)$ 分别为第 i 个水电站于 j 时段相应于最高、最低水头时的出力-流量转换系数; (a_i, b_i, c_i) 为第 i 水库的水位-库容转换系数; V_{i0} 、 V_{iT} 分别为第 i 水库调度周期始、末的库容; $J_i(j)$ 、 $Y_i(j)$ 、 $Z_i(j)$ 分别为第 i 水库第 j 时段的自然来流量、弃水量和水位; $Z_i(jt)$ 为第 i 水库 j 时段的尾水位; Z_1 为第一级水库的水位; τ_{i-1} 为水电站 $i-1$ 与 i 之间的水流流达时滞; $H_i(j)$ 为 i 水库 j 时段的水头; \bar{H}_i 、 \underline{H}_i 分别为第 i 水库运行水头上、下限; $\Delta H_i = \bar{H}_i - \underline{H}_i$.

由(4)式—(8)式得

$$P_i(j) = \begin{cases} [a_i(j)Q_i^2(j) + b_i(j)Q_i(j) + c_i(j)] + \{[\bar{a}_i(j) - a_i(j)]Q_i^2(j) + \\ [\bar{b}_i(j) - b_i(j)]Q_i(j) + [\bar{c}_i(j) - c_i(j)]\}A_i(j), & H_i(j) \leq \bar{H}_i; \\ \text{Const.} & H_i(j) > \bar{H}_i. \end{cases} \quad j \in J \quad (9)$$

其中

$$A_i(j) = \begin{cases} [Z_1 - a_2 V_2^2(j) - b_2 V_2(j) - c_2 - \underline{H}_1] / \Delta H_1, & i = 1; \\ [a_i V_i^2(j) + b_i V_i(j) + c_i - Z_i(jt) - \underline{H}_i] / \Delta H_i, & i \neq 1. \end{cases} \quad j \in J. \quad (10)$$

2) 流量限制

$$Q_i^{(s)}(j) \leq Q_i(j) \leq \bar{Q}_i^{(s)}(j), \quad i \in I, \quad j \in J. \quad (11)$$

式中, $Q_i^{(s)}(j)$ 和 $\bar{Q}_i^{(s)}(j)$ 分别为水电站 i 于 j 时段相应于不利运行区上限出力的流量值和 i 电站 j 时段的最大过水量。并且

$$\begin{aligned} Q_i^{(s)}(j) &= Q_i^*(j) + [Q_i(j) - Q_i^*(j)] \cdot A_i(j), \\ \bar{Q}_i^{(s)}(j) &= \bar{Q}_i^*(j) + [Q_i(j) - \bar{Q}_i^*(j)] \cdot A_i(j), \end{aligned} \quad (12)$$

式中, $(Q_i^*(j), \bar{Q}_i^*(j))$ 为水电站 i 于 j 时段相应于最高、最低水头的流量下限; $(\bar{Q}_i^*(j), \underline{Q}_i^*(j))$ 为水电站 i 于 j 时段相应于最高、最低水头的流量上限。

3) 库容限制

$$V_i(j) \leq V_i(j) \leq \bar{V}_i(j) \quad i \in I, \quad j \in J \quad (13)$$

式中, $\bar{V}_i(j)$ 、 $V_i(j)$ 分别为 i 水电站 j 时段对应于最高、最低水位时的库容。

4) 出力限制

$$P_i(j) \leq P_i(j) \leq \bar{P}_i(j), \quad (14)$$

式中, $P_i(j)$ 为 i 电站 j 时段的运行机组限制出力下限; $\bar{P}_i(j)$ 为 i 电站 j 时段受运行水头限制可能发出的最大出力。

2 梯级水电站日负荷最优分配的网络模型

在开机组组合状况业已给定的条件下,我们可以建立如下图所示的网络模型,实现各机组间

的负荷最优分配。

图中假设有两个电厂,第一级有三台机组,第二级有两台机组,一个调度周期分成三个时段。图中的固定外部流 $b(1)$ 、 $b(4)$ 分别表示调度开始时段的第一、二水库自然来流量与初始库容之和; $b(3)$ 、 $b(6)$ 分别表示调度结束时段第一、二水库的库容与自然来流量之和; $b(2)$ 、 $b(5)$ 表示第二时段第一、二水库的自然来流量。

上述模型对于时滞的考虑:设忽略时滞,则弧1、2、3与10、11分别表示同一时段机组 A、B、C(属第一级电厂)与 D、E(属第二级电厂)的出力情况;若时滞为1,则弧1、2、3表示机组 A、B、C 第一时段的出力情况,而弧10、11表示机组 D、E 第二时段的出力情况,弧7、8、9表示,调度末一时段机组 A、B、C 的出力情况,弧14、15表示机组下一个调度周期(相对第一级而言)第一时段的出力情况,这样相当于把第二级的调度提前了一个时段(本调度周期的第一时段出力情况已由上一个调度周期的末时段所决定)。

为了讨论简便,上图忽略了弃水弧。

下面讨论网络中弧的费用。

如前所述,我们的目标函数为

$$\min F = \min \sum_{j=1}^n f_j(P_i(j)), \quad (15)$$

故发电弧和存水弧的单位费用应分别为

$$H_{Q_i}(j) = - \frac{\partial f_j}{\partial Q_i(j)} = - \frac{\partial f_j}{\partial P_i(j)} \cdot \frac{\partial P_i(j)}{\partial P_i(j)} \cdot \frac{\partial P_i(j)}{\partial P_i(j)} \cdot \frac{\partial P_i(j)}{\partial Q_i(j)}, \quad (16)$$

$$H_{V_i}(j) = - \frac{\partial f_j}{\partial V_i(j)} = - \frac{\partial f_j}{\partial P_i(j)} \cdot \frac{\partial P_i(j)}{\partial P_i(j)} \cdot \frac{\partial P_i(j)}{\partial V_i(j)}, \quad (17)$$

由负荷平衡关系知

$$\frac{\partial P_i(j)}{\partial P_i(j)} = 1 - \frac{\partial P_L(j)}{\partial P_i(j)}, \quad (18)$$

将(18)式代入(16)式和(17)式得:

$$H_{Q_i}(j) = - \lambda_i(j) \frac{\partial P_i(j)}{\partial P_i(j)} \cdot \frac{\partial P_i(j)}{\partial Q_i(j)} \cdot \left(1 - \frac{\partial P_L(j)}{\partial P_i(j)}\right), \quad (19)$$

$$H_{V_i}(j) = - \lambda_i(j) \frac{\partial P_i(j)}{\partial V_i(j)} \left(1 - \frac{\partial P_L(j)}{\partial P_i(j)}\right), \quad (20)$$

式中, $\lambda_i(j) = \frac{\partial f_j}{\partial P_i(j)}$ 为等值火电系统在时段 j 的发电费用微增率; $\frac{\partial P_L(j)}{\partial P_i(j)}$ 为 j 时段网损对于水电站出力的变化率; $\frac{\partial P_i(j)}{\partial Q_i(j)}$ 为第 k 台机组 j 时段的水电转换系数; $\partial P_i(j) / \partial P_i(j)$ 和 $\partial P_i(j) / \partial V_i(j)$ 分别为第 i 水电厂 j 时段出力对于该厂内机组 k 出力的变化率(一般设为1)和对于库容的变化率。

水电站 i 于 j 时段的弃水弧单位费用

$$H_{W_i}(j) = k_i \frac{\partial P_i(j)}{\partial P_i(j)}, \quad (21)$$

式中 k_i ——罚系数为一常数。

对于固定流的单位费用定义为0,当超过或未达到该流量时,分别定义为 $+\infty$ 和 $-\infty$ 。
若已知 j 时段机组 k 停开,则

$$H_{qs}(j) = +\infty. \quad (22)$$

3 算 法

首先,我们引入虚拟弧,满足各结点的固定外部流,若 $b(i) > 0$,则从虚拟的出发点 s 引到结点 i ,其容量为 $b(i)$,费用为一个绝对值很大的负数,若 $b(i) < 0$,则从 i 引到收点 t ,容量为 $-b(i)$,费用为0,经过这样处理后,得到的新网络中,所有流量都来自作为发点的松弛结点 s ,流往收点 t ,并且 $f=0$ 是它的一个可行流,其费用为0,我们从它开始,实施上述寻优迭代,而迭代的主要工作是找出从 s 到 t 的最小费用增广路径。

现归纳算法如下:

- 1) 读入网络;
- 2) 输入流量、水位、库容等的初值和有关机组特性、网损特性等;
- 3) 计算各弧容量的上、下界 $c(k)$ 、 $\underline{c}(k)$ 和各弧的单位费用 $h(k)$,对下界进行处理,使 $\underline{c}(k) = 0$;
- 4) 引入松弛结点,松弛弧,重新对网络进行读取;
- 5) 以零流为初始可行流,在边际网络中寻找从出发点 s 到收点 t 的最小费用通路 Γ ;
- 6) 寻找在 Γ 上流量可能增加的最大数值 θ ,如果它大于使收点流量达到指定值的需要值时,令流量增大到指定值,得到最小费用流,转步7;否则,改变该通路中的流量:

$$f(k) = \begin{cases} f(k) + \theta, & k \in \Gamma^+; \\ f(k) - \theta, & k \in \Gamma^-; \\ f(k) & , k \in \Gamma. \end{cases}$$

并改变通路上的费用

$$h(k) = \pi(i) + h(k) - \pi(j),$$

返回步5;

- 7) 计算 $f(k) = f(k) + \underline{c}(k)$,求出 Q, V, P, H, Z 等,其中 Q, V, P, H, Z 分别表示流量、库容、出力、水头、水位,再计算

$$ct(jj) = \sum_{k=1}^m h(k)f(k).$$

若 $|ct(jj) - ct(jj-1)| \leq \epsilon$,则输出 Q, P, H, Z 等,停止;

否则,令 $jj := jj + 1$,带着 Q, P, H, Z, V 的当前值返回步3.

4 数值计算例子及结论

应用上面的模型和算法,对四川龙溪河梯级电站的短期优化调度问题进行了试算。编制了1100余条语句的Fortran程序在VAX-11机上运行费时50秒,从计算结果看,出力在每一时段基本上比较严格地满足系统要求的负荷,出力、流量、水位、水头等都在各自的约束限内,完全能够满足电站实际运行的要求,计算时间也完全适用于计算机对梯级电站运行的实时控制。

从经济效益来看,实例所给的梯级初给平均耗水量为 $5.13Mm^3$,梯级平均耗水率为2.75642,按计算方案调度,梯级平均耗水量为 $4.81Mm^3$,梯级计算平均耗水率为2.53481,耗水率

相对节约指标为8.0398%,可节约用水0.32Mm³,用这些水可以多发电(按计算方案所得耗水率计算)12.66万 KW·h.其经济效益是相当可观的,网流法比文献[1]中采用的罚函数法等非线性规划算法的计算速度和内存容量都相应增快和减小。

笔者在前人工作的基础上,提出了梯级水电短期优化调度的一个新模型,该模型在开机状况确定的情况下,直接将负荷分配到各机组,试算结果表明,该模型和算法是正确的、适用的。

文献[2]提出了应用网络规划法求解开机组问题的方法,若将其与本文方法结合使用,定能充分发挥网络规划法计算速度快,处理问题灵活、方便等优点。

注:由于篇幅有限,计算框图、程序和曲线略。

表 1 各机组计算流量* (m³/s)

Q ₁	Q ₁₂	Q ₁₃	Q ₁₄	Q ₂₁	Q ₂₂	Q ₃₁	Q ₃₂	Q ₄₁	Q ₄₂
22.19	0.00	0.00	0.00	45.18	45.18	0.00	0.00	30.91	0.00
22.27	0.00	0.00	0.00	44.85	44.85	0.00	0.00	30.91	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	44.29	44.29	0.00	0.00	30.92	0.00
0.00	0.00	0.00	0.00	43.70	43.70	0.00	0.00	30.90	0.00
22.54	22.54	0.00	0.00	43.73	43.73	0.00	0.00	0.00	0.00
22.53	22.53	0.00	0.00	43.75	43.75	0.00	0.00	0.00	0.00
22.68	22.68	22.68	0.00	43.14	43.14	48.11	0.00	30.85	41.00
22.83	22.83	22.83	0.00	42.51	42.51	48.18	0.00	30.86	0.00
16.88	16.88	16.88	0.00	12.84	42.84	48.26	0.00	25.75	25.75
16.09	16.09	16.09	0.00	43.17	43.17	48.33	0.00	22.21	22.21
16.24	16.24	16.24	0.00	42.87	42.87	48.40	0.00	22.21	0.00
16.40	16.40	16.40	0.00	42.57	42.57	48.48	0.00	22.21	0.00
16.16	16.16	0.00	0.00	42.03	42.03	0.00	0.00	22.21	0.00
16.72	16.72	0.00	0.00	41.47	41.47	0.00	0.00	22.21	0.00
16.59	16.59	0.00	0.00	41.60	41.60	48.70	0.00	22.21	22.21
16.45	16.45	0.00	0.00	41.74	41.74	48.77	0.00	22.21	22.21
16.14	16.14	0.00	0.00	42.05	42.05	48.85	0.00	22.21	0.00
15.82	15.82	0.00	0.00	42.36	42.36	48.92	0.00	22.21	0.00
15.59	15.59	0.00	0.00	42.60	42.60	0.00	0.00	22.21	0.00
15.35	15.35	0.00	0.00	42.84	42.84	0.00	0.00	22.21	0.000
15.96	15.96	15.96	0.00	43.43	43.43	45.24	45.24	22.21	0.00
15.67	15.67	15.67	0.00	44.01	44.01	49.05	49.05	22.21	0.00
22.15	22.15	22.15	0.00	44.08	44.08	48.97	0.00	22.21	22.21
22.21	22.21	22.21	0.00	44.14	44.14	43.74	0.00	22.21	22.21

* 注: Q_{ij}表示第i级第j台机组的流量

表 2 各机组计算出力(MW)

P_{11}	P_{12}	P_{13}	P_{14}	P_{21}	P_{22}	P_{31}	P_{32}	P_{41}	P_{42}
12.83	0.00	0.00	0.00	9.31	9.31	0.00	0.00	14.43	0.00
12.90	0.00	0.00	0.00	9.20	9.20	0.00	0.00	14.40	0.00
10.79	0.00	0.00	0.00	8.98	8.98	0.00	0.00	14.37	0.00
10.95	0.00	0.00	0.00	8.76	8.76	0.00	0.00	14.33	0.00
12.98	12.98	0.00	0.00	8.76	8.76	0.00	0.00	0.00	0.00
12.99	12.99	0.00	0.00	8.77	8.77	0.00	0.00	0.00	0.00
9.57	9.57	9.57	0.00	8.83	8.83	6.32	0.00	14.27	0.00
9.39	9.39	9.39	0.00	8.88	8.88	6.32	0.00	14.30	0.00
9.84	9.84	9.84	0.00	8.95	8.95	6.33	0.00	15.06	15.06
10.71	10.71	10.71	0.00	9.00	9.00	6.33	0.00	15.57	15.57
8.23	8.23	8.23	0.00	9.00	9.00	6.34	0.00	16.66	0.00
7.97	7.97	7.97	0.00	8.99	8.99	6.34	0.00	16.69	0.00
11.90	11.90	0.00	0.00	8.89	8.89	0.00	0.00	16.70	0.00
11.41	11.41	0.00	0.00	8.78	8.78	0.00	0.00	16.67	0.00
11.57	11.57	0.00	0.00	8.76	8.76	6.41	0.00	15.56	15.56
11.72	11.72	0.00	0.00	8.74	8.74	6.41	0.00	15.56	15.56
12.04	12.04	0.00	0.00	8.74	8.74	6.42	0.00	16.62	0.00
12.35	12.35	0.00	0.00	8.73	8.73	6.42	0.00	16.63	0.00
12.54	12.59	0.00	0.00	8.70	8.70	0.00	0.00	16.64	0.00
12.82	12.82	0.00	0.00	8.67	8.67	0.00	0.00	16.61	0.00
11.16	11.16	11.16	0.00	8.75	8.75	7.60	7.60	13.21	0.00
11.56	11.56	11.56	0.00	8.82	8.82	5.58	5.58	13.27	0.00
6.44	6.44	6.44	0.00	5.90	5.90	9.51	0.00	7.83	7.83
6.68	6.68	6.68	0.00	5.37	5.37	9.36	0.00	7.84	7.84

参 考 文 献

- 1 段虞荣等. 罚函数法和共轭梯度法在梯级水电站经济调度中的应用. 见: IFAC/IFORS 国民经济动态模型和控制第五次国际会议论文集, 1987, IFAC Proceedings Series (5), 227-232
- 2 夏祖治, 朱瑞云, 于尔铿. 用网络规划法计算电力系统的最优机组组合问题. 中国电机工程学报, 1988, 8(3)
- 3 夏清等. 非线性最小费用网络流新算法及其应用. 清华大学学报, 1987, 27(4), 1-10
- 4 刘广一, 强金龙, 于尔铿, 白晓民. 凸网络流规划及其在电力系统经济调度中的应用. 中国电机工程学报, 1988, 8(6), 9-18
- 5 夏清, 强金龙, 于尔铿. 网流法在电力系统梯级水电站的短期经济调度中的应用. 中国电机工程学报, 1985, 5(4), 48-56

- 6 Wakamori F, Masui S, Sugiyama T. Layered network model approach to optimal daily hydro scheduling. IEEE Trans. on PAS. 1982, PAS-10. (9), 3310—3314
- 7 Song Yianmin, Shi Minhe. The application of convex network flow method to co—ordinated economic dispatch of hydro—thermal power system. ISEMA—88. 136—140
- 8 Carvalho M F. An efficient hydro—thermal scheduling algorithm IEEE Trans. on Power Systems 1987, PWRS—2. (3)
- 9 Braunlund H, BuBenko J A etc. Optimal short term operation planning of a large hydrothermal power system based on a nonlinear network flow concept. IEEE Trans. 1986, Vol. PWRS—1(4)
- 10 Jensen Paul A; Wesley J Barnes 著《网络流规划》孙东川译. 北京, 1988. 科学出版社.

国家“七·五”项目 “降低钢中锰含量的可行性研究”通过鉴定

国家重点科技攻关项目“钒钛铌等微合金元素在低合金钢中应用基础研究”课题于90年9月5—8日在攀枝花市通过鉴定。鉴定会由国家计、科委委托冶金部科技司主持。该课题所属5个子课题中第一子课题“降低钢中锰含量的可行性研究”由我校冶金系何泽福教授承担。鉴定会肯定了5个子课题的基础研究成果,认为通过钒钛微合金化降低钢中锰含量的可能性是可行的,在研究中有新的发现,并提出了相应的理论解释,圆满地完成了研究任务。5个子课题的部份研究成果已用于生产。鉴定会领导小组并建议按大课题申报国家科技进步奖。

(重庆大学钒钛研究所)