

经济负荷分配程序

— 根据水价微增率和系统微增率
最优步长向量矩阵计算公式编制 —

湖南省电力系统经济运行研究小组

湖南省电力中心调度所

一、不考虑水库水位变化的水火电 系统经济负荷分配计算程序

为了说明介绍的水火电系统经济运行计算方法的实质，本节介绍能量不变时的应用程序，对于水库水位变化的情形，可将水系统的程序加以扩充给出。做为生产应用的实际水火电系统的经济运行计算程序，和理论模型的验证性程度不同需根据电网运行实际情况更多的限制条件。

本程序是针对湖南电网设计的，业已用于湖南电网经济运行计算。湖南电网的特点是：水电装机容量大于火电，水电最大装机容量约占系统总负荷的10%左右；水库一般为季调节型；丰水期水电出力大，供水期要求水电站按计划用水发电。在湖南电网中，约一半装机容量系中温中压式火电厂（都是单循环），另一半是高温高压单元式机组，且机型复杂，煤种不一，燃料消耗率特性相差很大。在丰水期，大部分火电厂在负荷低谷时长期停运或电厂保安出力，另外，湖南电网的水电站和大型火电厂都是负荷中心，通常电厂中间变换功率最大的达0.3以上，而中温中压式火电厂多半位于负荷中心，这些厂的中间变换功率为负或接近0。综上所述，可知从经济运行计算的观点来说，湖南电网的计算条件是十分苛刻的。

该程序是按机组燃料消耗特性（或水量消耗特性）是二次特性编制的，但建立的数学模型，很容易将该程序改造成适合于任一耗量特性的情形。

二、程序设计中一些电网实际问题的考虑

下面分专题来讨论程序设计的一些实际问题。

1、系统中火电部分的计算处理

针对湖南电网的一些特点，火电计算包括下述一些问题的处理。

(1) 电厂保安负荷的考虑

无论在丰水期或枯水期，由于系统停备机组较多，供电煤耗率（或供电煤耗，千度/吨标准煤）多能特高，故在系统内进行火电机组组合计算或经济负荷分配时，应考虑保安负荷。保安负荷是指可能造成煤耗率高的电厂停机或开备机组的情况。为了不影响保安负荷开出的机组最低煤耗率能满足电厂保安负荷的要求，因此经济负荷分配时，确定各电厂开出的机组容量不应小于电厂加该地区保安负荷。

(2) 厂用电的考虑

由于湖南系统中各火电厂的厂用电率相差比较大（6.5%~11.1%），故在机组选择和经济负荷分配中考虑厂用电是有意义的。设厂用电率为 ρ_1 ，则火电机组最大出力时的供电煤耗率为

$$\eta_{i\max} = \frac{F_1(P_{i\max})}{(1-\rho_1)P_{i\max}} \approx \frac{(1+\rho_1)F_1(P_{i\max})}{P_{i\max}}$$

在本程序设计中，按电厂机组最大出力时的供电煤耗率大小，用效率优先法进行机组组合计算。

(3) 蒸汽母管式电厂的考虑

中温中压式母管厂都由 节提供的方法合并成一台单元式机组的特性。合成特性的最大出力取电厂开出的机炉最大长期允许出力之和，最小出力取保安出力（或取最大出力的0.7~0.8）。由于预先进行了机组选择，一般情况下开出的机炉耗量特性相差

大，因此用 § 6-1-4 节的方法进行处理能保证相当准确度。

(4) 所有火电厂在系统经济负荷分配计算中，都用等效特性进行计算。

2. 水电厂的计算处理

根据一般具有一定调节库容的水电站的实际情形，进行日方式计算时可认为当日水库水位不变。这时，计算程序需进行下述处理计算。

(1) 水电站日方式耗量特性计算

水电站输入几个不同水库水位时的机组的耗量特性曲线簇。在经济运行日方式计算中，水库水位（每日的）做原始数据输入，然后根据当日的实际水位相邻的两条试验特性曲线，用线性插值公式计算出当日机组的耗量特性。

(2) 水库弃水处理

虽然计算程序不考虑水库水位变化，但入库流量大于发电用最大用水流量（水库处于最高水位）时，或计划用水量的平均流量大于最大发电用流量时，这时认为水库必须弃水，水电站在各时段按最大出力发电。反之，在水电站计划用水量等于 0 时，首先做停机处理。

(3) 水轮机组的最小出力

由于系统中各水轮机组空载流量达机组最大发电用流量的 20% ~ 40%，因此机组使用流量在最大出力的 50% 以下时，效率显得很低。一般水轮机组效率最高点在 80% 至 100% 的最大出力范围内，并在 50% 以上时效率变化不大。因此，虽然水轮机组的最小技术出力没有限制，但从效率方面考虑不宜低于 50% 最大机组出力。

(4) 对水电站下游有最小流量限制的考虑

由于有些水电站下游河道出于航运, 城市工矿用水和农田排灌的需要, 从而提出了河道下游最小流量要求。这时, 电站最小出力按最小流量要求确定。

(5) 水电站合成耗量特性

由于水电站在经济负荷分配中承担调峰任务, 机组开停次数多。在这种情况下, 采用 岗本靖司 [文 41] 提出的求综合特性的方法是适宜的。这时的合成特性, 与火电厂比较是接近直线的二次特性。这一方法的最后计算式为:

$$a_2 = 0.06173 \quad Q_m / P_m^2$$

$$a_1 = 0.8883 \quad Q_m / P_m$$

$$a_0 = 0.05 \quad Q_m$$

上述式中, a_2 、 a_1 和 a_0 为二次项、一次项和常数项系数; Q_m 、 P_m 为电站最大发电出力 (P_m) 下的流量 Q_m 。

三、计算步骤

考虑第三节诸因素的水库水位不变时的计算程序计算步骤如下:

1、输入原始数据;

2、电传修改原始数据, 对那些不能开出的机组先做停机处理, 以后不再参加运算;

3、根据给定的实际落差和水轮机组不同水头高度下的特性曲线推算出该日水轮机组的耗量特性常数;

4、如果某水电站使用水量为 0, 则该电站做全停记录, 以后该电站不参加运算。

5、如果某水电站使用水量大于按最大出力发电的总使用水量，则做按最大出力发电处理，以后经济负荷分配中均带满负荷；

6、计算水电站平均总出力；

7、计算火电厂的平均总出力；

8、根据负荷曲线的最大负荷值和机组旋转备用容量，与水电站可能承担的最大负荷决定火电机组开出的最小容量；

9、根据各火电厂保安负荷决定各火电厂必须开出的最少机组；

10、根据效率优先法决定各电厂除保安负荷外需开出的火电机组；

11、计算各电厂的合成耗量特性。在水电调峰容量足够时由该电厂开出机组的最小技术出力之和决定最小技术出力，否则以该电厂保安负荷做最小技术出力。

12、计算 $\lambda(t)$ 和 γ_1 的初值。

13、计算火电厂各时段功率初值。

14、令迭代次数 $JJ = 0$ ，转19步。

15、确定第 K 次迭代参加经济负荷分配的电厂，即 $XX(1:EI)$ 数组，和 γ_1 新。

16、根据矩阵向量式计算 $\frac{\Delta \gamma_1}{\gamma_1}$ 。

17、根据矩阵向量式计算 $\Delta \lambda(t)$ 。

18、根据矩阵向量式计算 $\Delta P_1(t)$ 和 $P_1(t)$ 、 $\lambda(t)$ 新。

19、计算系统网损功率、总发电功率、总负荷功率、线损微增率、负荷不平衡量和水电站水量不平衡量。

20、如果功率不平衡偏差量小于0.5%和水量平衡偏差量小于1.0%即转输出。否则，迭代次数 JJ 加1，返回第15步。

21. 输出计算结果，结束计算。

§ 6-8-3 标识符说明

1、实型简变标识符说明

BOO	B系数的常数项。
RP	系统最小旋转备用容量。
LP	予计日网损率。
CFLS	日系统总的燃料消耗量。
CPL	日系统总的网损电量。
PIPS	火电平均总出力。
PJPS	水电平均总出力。

其它实型简变标识符做中间运算单元。

2、整型简变标识符说明

M	火电单元式机组数
N	水电机组总数。
BN	母管式电厂数。
• MN	火电厂总数。
IN	单元式机组火电厂数。
JN	水电厂数。
EX	电厂总数。
GN	母管式电厂锅炉总数。
KN	母管式电厂汽机总数。
LC	水电 机组输入数据中的耗量特性系数（在不同水头下的耗量特性）。
S	时段总数（或运行期间小时数）。

其它整型简变标识符为中间运算单元。

3、实型数组标识符说明

WJ(1:JN) 各水电站计算用水量(米³)。

PR(1:S) 各时段负荷功率(兆瓦)。

HJ(1:JN) 水电站有效落差(米)。

PL(1:S) 各时段网损功率(兆瓦)。

PLS(1:S) 各时段系统发电功率。

HAJ(LC*N,1:6) 系统水轮机组特性曲线簇,每个机组有LC条曲线,每条曲线有6个数据,这些数据为:相应曲线的落差、机组最大和最小出力,二次项系数,一次项系数,常数项系数。

IK(1:M,0:4) 单元式机组特性曲线数组,每台机组有五个数:最大出力,最小允许出力,二次项系数,一次项系数,常数项系数。

JK(1:N,0:4) 运行期间水轮机组特性数组,每台机有五个数:最大出力,最小出力,二次、一次和常数项系数。

GL(1:GN,0:6) 母管式电厂锅炉参数数组,每台锅炉依次有7个数:最大产汽量,最小产汽量,最大煤耗量,最小煤耗量,二次项系数,一次项系数和常数项系数。

KGO(1:KN,1:6) 母管式电厂汽机参数数组,每台汽机依次有6个数:最大出力,最大出力,最大耗汽量,最小耗汽量,一次项系数,常数项系数。

IKB(1:BN,0:4) 母管式电厂等效特性数组,每个电厂依次有五个数:最大出力,最小出力,二次项系数,一次项系数,常数项系数。

BGG(1:EI,1:EI),BGO(1:EI) B系数的二次项和一次项。

IJK(1:EI,0:4) 电厂综合特性数组,依次为单元式火电厂,母管式火电厂,水电厂特性,每个电厂的合成特性有五个数据:电厂最大出力,电厂最小出力,耗量特性的二次项,一次项和常数项系数。

LAP(1:EI,1:S) 1 减去线损微增率数组 (即 $1 - \frac{\partial P_L(t)}{\partial P_1(t)}$)。

SED(1:M+BN,0:1) 火电单元式机组或母管式电厂厂用电数组,每个单元式火电机组或母管厂有二个数:厂用电率,厂用电微增率系数。

PU(1:MM) 火电厂保安负荷(包括该地区保安负荷)。

TG(1:GN), TK(1:KM), TM(1:M) 母管式电厂的锅炉和汽机、单元式火电机组在最大出力时的比耗(供电煤耗或供汽煤耗)。

BTK(1:BN) 母管式火电厂在最大出力时汽机平均耗汽量。

GA(1:EI) 水价微增率,对火电厂为1。

BGA(1:EI) 相邻两次迭代的水价微增率增量 ($\frac{\Delta r_1}{r_1}$)。

对火电厂恒为0。

LA(1:S) 系统燃料消耗微增率 $\lambda(t)$ 。

BLA(1:S) 燃料消耗微增率增量 $\Delta \lambda(t)$ 。

BP(1:S) 负荷平衡偏差量 $\Delta P_R(t)$ 。

BW(1:EI) 水量平衡偏差量 ΔW_i ,对没有燃料约束的火电厂恒为0。

P,Q(1:EI,1:S) 各电厂各时段功率,火电厂各时段燃料消耗量,水电厂各时段使用流量。

QL(1:EI) 火电厂日燃料消耗量或水电厂水量消耗量。

QDI(1:JN) 水电站下游最小流量要求，没有最小流量要求时为0。

其它数组为中间运算数组。

4、整型数组标识符说明

IAO(1:M,0:1) 单元式火电机组区分数组，每台机有两个数：实际机组编号，对应的电气节点号。如果机组号为0，则停机。

JNO(1:N,0:1) 水轮机区分数组，每台机有两个数：实际机组编号，发电机节点顺序号。

GNO(1:GN) 母管式电厂按电厂顺序对应锅炉的实际编号，编号为0则停炉。

KNO(1:KN,0:1) 母管式电厂汽机实际编号，和发电机联接母线的电气节点号。当汽机编号为0，则停机。

ISM(1:IN,0:1),JSM(1:JN,0:1) 火电和水电厂机组首末号数组，每个厂有二个数：电厂首台机组顺序号，电厂末台机组顺序号。

GSM,KSM(1:BN,0:1) 母管式电厂锅炉和汽机首末号数组，每厂锅炉和汽机有两个数，首台顺序号，末台顺序号。

MBO(1:EI) 电厂对应的电气结点号。

X(1:EI) 水电厂弃水或全停，火电厂全停记录数组，不参加经济负荷分配或带固定负荷的电厂取“1”，否则取“0”。

XX(1:EI) 同X(1:EI)，但包括某次迭代所有时段越限的电厂，所以每迭代一次需形成一次。

PX(1:EI,1:S) 电厂各时段越限记录数组，越上限记

“1”，越下限记“-1”，不越限记“0”。

GLX(1:GN) 母管式厂锅炉越限记录数组，越上限记“1”，越下限记“-1”，否则记“0”。

其它数组为中间运算单元。

5. 过程标识符说明

GJ(N, A) 矩阵行主元消去法求逆过程。

QJ(II, N1, J1, A, B, C) 矩阵乘积过程。

QS(N, M, A, B, C) 矩阵乘列向量过程。

SQ(N, M, A, B, C) 列向量乘矩阵过程。

LM(N, M, Q, X) 用最小二乘法求回归曲线系数过程。

§ 6-8-5 计算程序使用说明

本经济负荷分配计算程序可对日方式下水、火电厂及各机组的经济负荷分配方案进行计算。

本程序的原始数据分为基本数据和补充数据两部分。基本数据包括全系统各发电厂站的机组特性等，当系统规模确定时，基本数据纸带是不变的，当有机组因检修或故障临时退出运行时，可在光电输入基本数据后，通过电传改数命令将相应于 $INO(I, 0)$ 、 $JNO(I, 0)$ 、 $KNO(I, 0)$ 、 $GNO(I, 0)$ 单元的原始数据修改为 0，程序执行中将根据机组号等于 0 的信息决定第 I 号机组不参加计算。

原始数据中的补充数据是指经常变化的负荷曲线 (PR)、水电站各水库允许日用水量 (WJ)、水电站在运行日有效落差 (HJ)。

基本数据和补充数据的格式将在 § 6-8-6 节通过具体算例说明。

考虑考虑水电站开停机对计算收敛性的影响，和火电厂机组出力的限制，根据计算经验，对由式 (6-128) 、 (6-134) 计算

出来的最优修正量 $\Delta\lambda(t)$ 和 $\frac{\Delta r_1}{Y_1}$ 乘一步长因子 (C)，即取 $C\Delta\lambda(t)$

和 $\frac{C\Delta Y_1}{Y_1}$ 作为 $\lambda(t)$ 和 Y_1 的相对量的修正量。计算开始时 C 取值

0.2~0.5，在收敛前取 1 为宜。C 的取值在计算中可用控制台扳键控制。

控制台各扳键的作用如表 6-3 所示。

表 6-3 经济负荷分配计算控制台扳键作用表

扳键名称	置“1”作用	置“0”作用	说 明
KG(1)~KG(2)	输出相应中间计算结果	不输出	
KG(3)	输入原始数据	不输入	
KG(4)	输出原始数据	不输出	
KG(23)	输入“快穿”穿制的环数	不输入	
KG(25)	C = 0.5	C = 1.0	此处 C 为 $\frac{\Delta Y_1}{Y_1}$
KG(26)	C = 0.75	C 不赋值	值倍率因子
KG(27)	C = 0.25	C 不赋值	开始时小。
KG(29)	母管式电厂下段负荷取最大值的 0.7 倍。	母管式电厂下段负荷保安负荷	
KG(30)	转输出	不转输出	功率和水量平衡误差不能满足时结束计算
KG(35)	C = 0.5	C = 1.0	此处 C 为 $\Delta\lambda(t)$
KG(36)	C = 0.75	C 不赋值	的倍率因子，开始
KG(37)	C = 0.25	C 不赋值	计算时小。
KG(40)	输出计算结果	不输出	
KG(45)	$\lambda(t) = 0.8 CD$	$\lambda(t) = 0.8 CD$	CD 为开出的机组
KG(46)	$\lambda(t) = 0.95 CD$	不赋值	最大微增率，这里是给定 $\lambda(t)$ 的初值。

1. 原始数据

试填写以下系统经济运行计算数据。该系统有两个火电厂，第1个电厂有一台单元式机组，第2个火电厂有1台锅炉和一台汽机（数据填写类同母管式电厂），第3个电厂为水电厂，也是一台机组。

第1个发电厂机组的参数为：

$P_{\max}$	$P_{\min}$	二次项系数	一次项系数	常数项
60:	35:	0.0075:	0.28:	6:

第2个电厂的锅炉特性为：

$D_{\max}$	$D_{\min}$	$F_{\max}$	$F_{\min}$	二次项系数
120:	60:	21.32:	12.08:	0.001:
一次项系数		常数项系数		
0.08:		3.0:		

第2个电厂的汽机特性为：

$P_{\max}$	$P_{\min}$	$D_{\max}$	$D_{\min}$	一次项系数
25:	17:	110:	80:	4.0:
常数项系数				
10:				

第3个电厂水轮机组特性曲线簇（每台机有二条曲线）为：

H_j	$P_{j\max}$	$P_{j\min}$	二次项系数	一次项系数	常数项系数
95:	50:	20:	0.00156:	1.252:	3.5:
105:	50:	20:	0.00156:	1.252:	3.5:

此处需要说明：水轮机组随着HJ变化效率系数是变的，上述数据没有考虑这种变化，因为这里的主要目的是说明表格格式。

水电站水库日用水量为 4.5×10^6 米³。

日运行方式水电站有效落差为 100 米。

火力发电厂的保安负荷为：1号火电厂 20 兆瓦，2号火电厂 10 兆瓦。

水电厂下游允许最小流量为 20 米³。

系统旋转备用容量为 3%。

系统日网损率预计为 3%。

发电机（此处即电厂母线）节点编号依次为 3：1：2。损失公式中的 B 系数值为：

BGG: $6.2_{10^{-4}}$, $-5.0_{10^{-4}}$, $-8.0_{10^{-4}}$, $-5.0_{10^{-4}}$,
 $1.2_{10^{-4}}$, $-1.7_{10^{-4}}$, $-8.0_{10^{-4}}$, $-1.7_{10^{-4}}$, $3.76_{10^{-4}}$;

BGO: -0.0044 , -0.0204 , 0.04 ;

BOO: 2.91

系统总负荷(PB)按小时分时段顺序为：85, 82, 83, 80,
83, 84, 85, 90, 100, 110, 120, 120, 110, 100, 110, 115,
120, 115, 110, 105, 110, 120, 100, 90;

如果不考虑厂用电和厂用微增率修正，即 SED 都填 0，否则填实际数字。

2、原始数据填写

M	N	S	IN	JN	BN	GN	KN	LC
1	1	24	1	1	1	1	1	2
...								

BOOB00

LP

RP

2.91 : , 0.03 : , 0.03 : ,

* * *

PR: 85:82:83:80:83:84:85:90:100:110:120:120:
110:100:110:115:120:115:110:105:110:120:100:
90: ,

WJ: 4.5₁₀ : ,

HJ: 100: ,

PU: 20:10: ,

QDI: 20: ,

IK: 60:35:0.0075:0.28:6: ,

KGG: 25:17:0:0:4.0:10: ,

GL: 120:60:0:0:0.001:0.03:3.0: ,

BGG: 6.2₁₀⁻ , -5.0₁₀⁻ , -8.0₁₀⁻ , -5.00₁₀⁻ ,

1.2₁₀⁻ , -1.7₁₀⁻ , -8.0₁₀⁻ , -1.7₁₀⁻ , 3.76₁₀⁻ , ,

BGO: -0.044: -0.0204:0.04: ,

SED: 0: 0: 0: 0:

* * *

INO 1:3: ,

JNO 1:2: ,

GNO 1: ,

KNO 1:2: ,

MBO 3:1:2: ,

ISM 1:1: ,

JSM 1:1: ,

GSM 1:1: ,

KSM 1:1:

HAI: 95:50:20:0.00156:1.252:3.5:

105:50:20:0.00156:1.252:3.5:

数据结束。

需要说明的是，在GL和KGG数组中填写的0实际不是0，而是在程序中由计算赋值。

3. 计算结果

计算结果的输出可用快打或宽行输出（上述源程序中仅写出快打输出）。

上述算例的电厂各时段负荷分配和网损功率如表6-4。

计算结果的最大误差是：水量平衡相对误差小于1%，功率平衡相对误差小于0.5%。

水电站预计使用水量等于 $4.510 \cdot \text{米}^3$ ，实际使用水量为 $4.51810 \cdot \text{米}^3$ ，水价微增率为0.7149。

1号火电厂日燃料消耗为736吨标准煤，2号火电厂日燃料消耗为408.25吨标准煤，系统总的燃料消耗为1144.25吨标准煤。

系统日网损电度为94.1千度，日网损率为3.877%。

系统日供电电度为2427千度。