

梯级库群短期负荷分配方法—LINGO

了解篇

短期水电调度分为两种模式

(1) “以电定水”模式

对于计划期 T ，在已知水电站总负荷过程和预测入库流量过程等条件下，寻求所采用的优化准则达到极值的水电站各时段工作机组的最优台数、组合即有功负荷在工作机组间的最有分配、以及相应的水库蓄放水状态变化过程和泄流设施控制过程。

常用的优化准则包括：计划期内 T 的水电站输入能 $E_{in}(T)$ 最小、效率 $\eta(T)$ 最大、能量损失 $\Delta E(T)$ 最小、水电站引用水量 $W(T)$ 最小等。

(2) “以水定电”模式

对于计算期 T ，在已知预测入库流量过程和总用水量等条件下，寻求使所采用的优化准则达到极值的水电站总负荷过程、各时段工作机组的最优台数、组合、有功负荷在工作机组间的最优分配，以及相应的水库蓄泄状态变化过程和泄流设施控制过程。

常用准则：计算期 T 内的水电站总发电量 $E(T)$ 最大或总发电效益 $E_c(T)$ 最大。

本篇基于 LINGO 求解器，进行优化问题求解，所以提前了解 LINGO 的使用和问题的调试是基础，以下给出参考的资料，也可自己百度或官网学习。

<https://wenku.baidu.com/view/af9b2c5d03d276a20029bd64783e0912a3167cd5.html>

此为 LINGO 的基础使用方法，可便于新手了解和快速上手应用。仅供参考



用法Lingo_17_Users_Manual.pdf

此为官网使用手册可更进一步详细学习和查看。

案例

具体操作步骤如下：

采用“以电定水”为例，以短期日调度过程，一天 24 小时以间隔 15min 为一时段进行划分，共计 96 点。案例采用天生桥一级，天生桥二级两个水电站梯级调度优化过程，利用商业软件 LINGO 求解器，具体操作如下：

一、优化准则：

目标函数：

满足所有水电站运行的约束要求情况下，水电站总的发电用水量 $W(T)$ 最小准则，相应的目标函数为：

$$W_t = \min \{ \sum_{t=1}^T \sum_{r=1}^n [Q_{r,t}^f \times \Delta t \times 3600] \}, t=1,2,\dots,97; r=1,2;$$

式中： r 表示水电站的编号； t 为时段编号， Δt 表示 t 时段以小时为单位的时段长 $\Delta t = 0.25h$ ， W_t 为计划期内发电用水量， m^3 ； $Q_{r,t}^f$ 表示第 r 号水电站在 t 时段的发电流量；

约束条件

(1) 功率平衡：

$$\sum_{r=1}^n P_{r,t} = P_t$$

式中： $P_{r,t}$ 为 t 时段第 r 号水电站承担的有功负荷，KW； P_t 为 t 时段需求的有功负荷值，KW；

(2) 库水位，库蓄水量：

$$\begin{aligned} Z_{r,t}^{min} &\leq Z_{r,t} \leq Z_{r,t}^{max}, \forall r, \forall t \\ V_{r,t}^{min} &\leq V_{r,t} \leq V_{r,t}^{max}, \forall r, \forall t \end{aligned}$$

式中： $Z_{r,t}^{min}$ ， $Z_{r,t}^{max}$ 分别表示 t 时刻末水库上游允许最低、最高水位，m； $V_{r,t}^{min}$ ， $V_{r,t}^{max}$ 分别为 t 时刻末水库上游允许最小、最大蓄水量， m^3 ；

(3) 水位-库容曲线：

$$Z_{r,t} = f_{ZV}[V_{r,t}], \forall r, \forall t$$

式中： $Z_{r,t}$ 表示 t 时段末水库上游水位，m； $f_{ZV}(\cdot)$ 表示库容曲线函数。

(4) 水库水量平衡：

$$V_{r,t+1} = V_{r,t} + [Q_{r,t}^r - Q_{r,t}^c] \times \Delta t \times 3600$$

$$Q_{r,t}^c = Q_{r,t}^f + Q_{r,t}^q, \forall t, \forall r$$

式中： $V_{r,t}$ ， $V_{r,t+1}$ 分别表示 t 时刻 r 号水电站初、末库蓄水量， m^3 ； $Q_{r,t}^r$ ， $Q_{r,t}^c$ ， $Q_{r,t}^q$ 分别表示 t 时段 r 号水电站平均入库流量、出库流量和弃水流量， m^3/s ；

(5) 尾水位-泄流量曲线关系约束：

$$Z_{r,t}^{down} = f_{ZQ}[Q_{r,t}^c], \forall r, \forall t$$

式中： $Z_{r,t}^{down}$ 为 t 时刻下游平均水位，m； $f_{ZQ}(\cdot)$ 表示下游水位流量关系函数。

(6) 出库流量约束：

$$Q_{r,t}^{c,min} \leq Q_{r,t}^c \leq Q_{r,t}^{c,max}, \forall r, \forall t$$

式中： $Q_{r,t}^{c,min}$ ， $Q_{r,t}^{c,max}$ 分别为 t 时段末水库的允许最小、最大出库流量， m^3/s ；

(7) 净水头：

$$H_{r,t} = \frac{Z_{r,t} + Z_{r,t+1}}{2} - Z_{r,t+1}^{down} - \Delta H_{r,t}, \forall r, \forall t$$

$$\Delta H_{r,t} = f_{\Delta H,r}[Q_{r,t}], \forall r, \forall t$$

式中： $H_{r,t}$ ， $\Delta H_{r,t}$ 分别表示 t 时段 r 号水电站的水头和水头损失，m； $f_{\Delta H,r}$ 为第 r 号水电站的水头损失函数。

(8) NQH（机组动力特性）曲线：

$$P_{r,t}^{min} \leq P_{r,t} \leq P_{r,t}^{max}, \forall r, \forall t$$

$$P_{r,t} = f_{PQH}[Q_{r,t}, H_{r,t}]$$

式中： $P_{r,t}^{min}$ ， $P_{r,t}^{max}$ 分别为 t 时段第 r 号水电站的允许最小、最大出力，KW； f_{PQH} 表示出力计算函数。

(9) 水电站出力爬坡：限制电站在相邻时段间的出力变幅，一般由机组的调节速率和电网安全需求确定：

$$|P_{r,t} - P_{r,t-1}| \leq \Delta P_r$$

式中 ΔP_r 为 r 电站单时段最大出力升降限制，KW；

(10) 最小开机容量约束：保证电站开机满足最小运行出力，且同样适用于电站停机情况

$$P_{r,t}(P_{r,t} - P_{r,min}) \geq 0$$

式中 $P_{r,min}$ 为 r 电站最小开机出力，KW

(11) 水电站限制运行区：反映电站在某些水头或出力下的气蚀和振动区域，应尽量避免运行在这些范围内，保证电网安全生产：

$$(P_{r,t} - \underline{P}_{r,t}^o)(P_{r,t} - \overline{P}_{r,t}^o) > 0, \forall i, \forall r, \forall o$$

式中 $\overline{P}_{r,t}^o$ ， $\underline{P}_{r,t}^o$ 分别为 r 电站机组限制运行区上下限，KW。

(12) 机组最小开停机持续时间及次数：避免机组开停机的频繁启停，损耗机组寿命

$$\left(\sum_{m=1}^M \sum_{t=tg_m}^T \begin{cases} p_{m,t-tg_m+1} = 0, p_{m,t-tg_m+2} > 0, p_{m,t-1} = 0, p_{m,t} > 0 \\ 1 \\ 0 \end{cases} \right) = 0$$
$$\left(\sum_{m=1}^M \sum_{t=ts_m}^T \begin{cases} p_{m,t-ts_m+1} > 0, p_{m,t-ts_m+2} = 0, p_{m,t-1} > 0, p_{m,t} = 0 \\ 1 \\ 0 \end{cases} \right) = 0$$

(13)最小开机出力

$$(P_{m,t} - Pmin_m)P_{m,t} \geq 0$$

(14)电站出力波动限制

$$(p_{m,t-tc_m+1} - p_{m,t-tc_m+2})(p_{m,t} - p_{m,t-1}) \geq 0$$

(15)泄流最大过水能力

$$S_{m,t} \leq \overline{S_{m,t}}$$

(16)水电系统带宽

$$\underline{h}_t \leq \sum_{m=1}^M p_{m,t} \leq \overline{h}_t$$

二、初始数据查询：

电站基础信息

水位库容系数	天一	-0.00035681	1.46E+00	-1.98E+03	1.12E+06	-2.30E+08
	天二	-1.75E-06	-1.32E-02	3.22E+01	-2.30E+04	5.31E+06
尾水位泄量系数	天一	1.13E-13	-7.68E-10	1.67E-06	1.58E-03	6.37E+02
	天二	-4.63E-13	2.79E-09	-5.97669E-06	6.88E-03	4.38E+02
起始水位	772.99	640.7				
出库流量上下限	天一	0	1800			
	天二	0	19400			
出力上下限	天一	0	1200			
	天二	0	1320			
上游水位上下限	天一	731	780			
	天二	637	645			
上游蓄水量上下限	天一	259900	839520			
	天二	603	1406			
发电流量上下限	天一	0	1400			
	天二	0	855			
水头损失系数	0.0000052	0.00009				
水头流量出力系数	8.64	8.3				

以上数据大部分来自南方电网数据库查询，其中水位-库容系数，尾水位-泄量系数需通过直线拟合成不同次线性函数（例：此次计算拟合的水位库容方程为：V=a*Z^4+b*Z^3+c*Z^2+d*Z+e）可通过编程或 excel 等方式进行拟合求解系数。

选用汛期 2018 年 7 月 1 日的当日入库流量信息和出力过程。数据如下：

名称/时段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
入库流量	1576	1576	1576	1576	1577	1577	1577	1577	1577	1577	1577	1577	1392	1392	1392	1392
需求出力	1599	1598	1603	1600	1640	1653	1654	1654	1654	1654	1654	1654	1654	1654	1654	1654
	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
入库流量	1299	1299	1299	1299	1353	1353	1353	1353	1222	1222	1222	1222	1129	1129	1129	1129
需求出力	1654	1654	1653	1655	1655	1654	1655	1652	1652	1654	1654	1652	1652	1652	1653	1653
	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
入库流量	1036	1036	1036	1036	1036	1036	1036	1036	989	989	989	989	891	891	891	891
需求出力	1655	1652	1652	1654	1654	1652	1652	1652	1653	1653	1654	1653	1651	1654	1654	1652
	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64
入库流量	846	846	846	846	848	848	848	848	804	804	804	804	806	806	806	806
需求出力	1318	1109	1107	1107	1108	1108	1109	1109	1108	1109	1108	1109	1108	1108	1108	1108
	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
入库流量	808	808	808	808	769	769	769	769	862	862	862	862	908	908	908	908
需求出力	1108	1108	1108	1107	1106	1106	1107	1106	1107	1106	1105	1107	1105	1105	1106	1105
	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96
入库流量	963	963	963	963	985	985	985	985	1004	1004	1004	1004	1012	1012	1012	1012
需求出力	1105	1277	1282	1282	1448	1358	1362	1357	1364	1359	1359	1359	1357	1369	1603	1602

三、LINGO17.0 编程求解如下：



基础调度过程.lg4