

喜河水利枢纽的合理日调节

马 健¹, 张贤明²

(1. 陕西省交通厅 航运管理局, 陕西 西安 710003; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要: 提出了水利枢纽合理日调节计算流程图, 据此计算枢纽的合理日调节方案. 以汉江喜河水利枢纽为例, 进行了日调节方案计算, 取得了发电、通航的满意效果.

关 键 词: 日平均流量; 保证率曲线; 设计最小通航流量; 基本流量; 调峰流量; 喜河水利枢纽

中图分类号: TV697.1

文献标识码: A

文章编号: 1009-640X(2007)01-0065-05

Study of rational daily regulation of Xihe hydro-project

MA Jian¹, ZHANG Xian-ming²

(1. Navigational Affairs Administration Bureau of Shanxi Province, Xi'an 710003, China; 2. Transportation College of Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: The flow chart for calculation of rational daily regulation of hydro-projects is presented and a rational daily regulation scheme can be calculated. According to the flow chart, the daily regulation scheme for Xihe Project on the Hanjiang River is calculated with satisfactory power generation and navigation results.

Key words: average daily discharge; guarantee ratio curve; minimum design navigable discharge; base discharge; peak regulation discharge; Xihe hydro-project

随着经济建设的发展,我国在天然河流上修建了各种类型的水利枢纽.由于水利枢纽的水电站蓄水调峰发电,造成枢纽下游河段的水文条件发生了很大变化,使下游河段流量极不正常,常常断水或少水,以致船舶无法正常通航,从而大幅减少了通航的航道里程.产生这一问题的原因,决不是河流的水量不足,而是由于电网峰荷电价与非峰荷电价的差距较大,受经济利益的逐使,水电站则尽量利用仅有的水量在峰荷时发电,以致不能保证最小通航流量,特别是中、枯水时期,这一矛盾尤为突出.这是水电站不合理的日调节所致.为了从根本上解决这一矛盾,必须进行合理的日调节.

1 水电站合理日调节计算方法

水电站合理的日调节,应综合利用水库水资源,取得发电、航运双赢的效益,还应满足防洪、灌溉、旅游、养殖等效益.

1.1 计算合理日调节的资料

计算合理日调节的资料需包括水电站设计的有关资料及枢纽下游的航道资料.水电站设计资料又包括:

收稿日期: 2006-08-24

作者简介: 马 健(1973-),男,河南偃师人,工程师,主要从事港口航道工程技术与管理工.

①水库库容;②装机设备:装机台数 N , 单机发电能力, 单机引用流量 Q_d , 年发电量, 年利用小时;③入库日平均流量保证率曲线或出库日平均流量保证率曲线. 对新建的水电枢纽使用大坝附近水文站的天然日平均流量保证率曲线;对已建蓄水使用多年的水电枢纽使用坝下邻近水文站的日平均流量保证率曲线. 航道的资料又包括:①航道等级;②设计最小通航流量 Q_p ;③航道枯水通航保证率 P .

1.2 合理日调节计算流程

现以某日、某一入(出)库流量 Q 为例, 绘制水电站合理日调节计算流程图(见图 1).

由图 1 可见:

①洪水期, 即 $Q > NQ_d$ 入库水量较大, 除全天满负荷发电外, 利用水库削峰效果, 将多余部分洪水适量排往下游, 以起到防洪作用, 并在洪水后期将部分水量蓄于水库中, 以补充中、枯水期发电和航运之需要;

②中水期, 即 $Q_p < Q < NQ_d$ 除以流量 Q_p 基荷发电并保证枢纽下游航道通航外, 多余的水量可用于水电站调峰, 以力争发电最大效益;

③枯水期, 即 $Q < Q_p$ 可利用水库蓄水补充水量, 以流量 Q_p 基荷发电, 从而保证枢纽下游航道通航. 这期间水电站没有多余水量参与调峰发电;

④极枯水期, 即 $Q << Q_p$ 水库蓄水无法补足枢纽下游航道足够的水量, 为航道枯水停航期. 水电站可利用这不多的水量参与调峰发电.

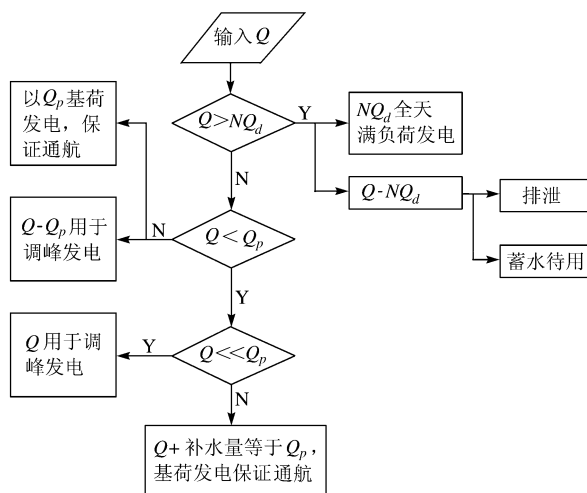


图 1 水库合理日调节计算流程

Fig. 1 Calculation flow chart for rational daily regulation of reservoirs

2 汉江喜河水利枢纽水电站合理日调节方案计算

2.1 枢纽基本情况

长江最大的一条支流——汉江, 是陕西省最重要的通航河流, 也是陕西省通江达海、沟通东部地区的唯一通道. 开发汉江上游的梯级规划中设黄金峡、石泉、喜河、安康、旬阳、蜀河和白河等 7 级枢纽^[1], 其中的安康、石泉两座枢纽已建成.

喜河水利枢纽位于陕西省安康市石泉县与汉阴县交界处, 该枢纽的上、下游分别为已建成石泉枢纽和安康枢纽. 距上游石泉枢纽的河段长为 30 km、距下游安康枢纽的河段长为 146 km 的喜河枢纽, 是汉江上游梯级开发的第三级梯级枢纽. 该枢纽的主要任务是发电, 并兼防洪、灌溉、航运、旅游、养殖等. 喜河枢纽于 2003 年开工, 计划于 2007 年竣工. 该枢纽坝址以上控制流域面积为 2 527 km², 坝址处多年平均流量为 378.0 m³/s, 水库总库容为 2.29 亿 m³, 调节库容为 0.22 亿 m³, 为日调节水库. 水电站安装 3 台 60 MW 发电机组, 年利用小时数为 2 740 h, 年平均发电量为 4.94 亿 kW·h, 单机引用流量为 270.6 m³/s.

当喜河枢纽建成运行后, 其下游有 27 km 梯级枢纽水位不衔接的天然河段, 是受枢纽日调节影响的瓶颈段. 因而, 该枢纽已成为上游梯级石泉枢纽的反调节枢纽. 喜河水利枢纽水电站的合理日调节, 将成为汉江上游全线通航的制约因素.

2.2 枢纽下游航道通航条件

在坝下 27 km 的水位不衔接天然河段中, 漩涡 ~ 汉王城之间为变动回水段. 当喜河枢纽下游的安康枢纽水库水位处于正常水位▽330 m 时, 该天然河段为全淹没河段, 当安康枢纽水库水位降至▽310 m 时, 该变动回水段恢复到天然河流状态. 根据陕西省南部经济和汉江航运发展的要求, 规划该河段航道近期为 7 级航道(50 t 级), 通航保证率为 90%, 且不夜航, 该河段最小通航流量为 74.6 m³/s.

2.3 枢纽来水条件

上游的石泉枢纽是喜河枢纽的直接供水枢纽, 故对喜河枢纽下游 27 km 脱水河段而言, 石泉枢纽的日瞬

时最小流量已无实质影响,关键是石泉枢纽的日平均流量. 根据 1975 ~ 1998 年的资料统计分析得到石泉枢纽蓄水运用后的日平均流量保证率^[2]见图 2. 以图 2 所示的石泉枢纽下泄的日平均流量,作为喜河枢纽下游河段的供水条件,通过喜河枢纽的合理日调节完全可以达到发电、航运的双赢效果.

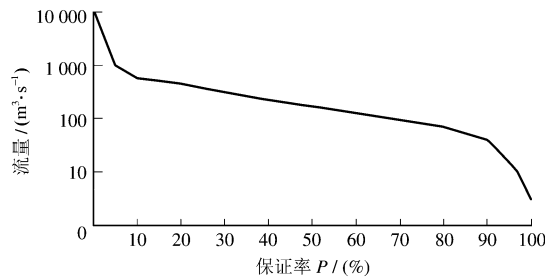


图 2 石泉枢纽蓄水运用后日平均流量保证率曲线^[2]

Fig. 2 Guarantee ratio curve of average daily discharge after impoundment of Shiquan Project

2.4 合理日调节的方案计算

喜河水电站的 3 台机组同时满负荷发电需流量 811.8 m³/s. 根据图 2, 平均每年大约有 7% 的时间, 石泉枢纽下泄的日平均流量大于等于此流量, 即平均每年有 25.55 d 喜河水电站可以全天满负荷发电 1.10 亿 kW·h, 水电站利用小时达 613 h, 为年设计能力的 22%. 同时, 此期间亦为泄洪期, 泄洪总量达 44.15 亿 m³. 况且, 只要航道条件允许, 就能保证航道通航的水量.

另一种极限情况, 当上游石泉枢纽下泄流量较小时, 仅只保证喜河枢纽下游航道在通航时间(7:00 ~ 19:00)内供水通航, 非通航时间停止供水. 为安全起见, 以安康枢纽水库水位▽310 m 为计算条件, 由喜河枢纽供水到达汉王城行程为 27 km 大约需 6 h, 故喜河枢纽供水开始的时间应是凌晨 1 点, 停止供水时间是 19 点, 总计供水 18 h. 该航道设计最小通航流量为 74.6 m³/s, 故每日共需水 483.4 万 m³, 即要求石泉枢纽的日平均下泄流量为 56 m³/s. 从图 2 上查得其保证率仅为 85%, 即不能满足喜河枢纽下游航道通航保证率 90% 的要求. 这就要求喜河枢纽水库 0.22 亿 m³ 的调节库容发挥作用. 在保证率 85% ~ 90% 的 18.25 d 中, 石泉枢纽日平均下泄流量为 48 m³/s, 尚缺 8 m³/s, 总缺水量为 1 261 万 m³, 占到喜河枢纽调节库容的 1/2, 故可利用喜河枢纽日调节库容达到其下游航道通航保证率为 90%. 当石泉枢纽日平均下泄流量小于等于 40 m³/s 时, 喜河枢纽下游航道就不能正常通航.

在保证喜河枢纽下游航道通航时间内的最小流量为设计最小通航流量的先决条件下, 对喜河枢纽全年各时期的调水运行方案进行了计算. 计算结果见表 1.

表 1 喜河水利枢纽调水运行方案

Tab. 1 Regulation scheme of Xihe hydro-project

保 证 率 / (%)	石泉枢纽来水		喜河枢纽运行调度					
	期间日平均 流量 / (m ³ ·s ⁻¹)	期间总水量 / (亿 m ³)	日航运用水		电站日调峰用水		日总发电 时数 / h	泄 洪 量 / (亿 m ³)
			需 水 / (m ³ ·s ⁻¹)	基荷发电时数 / h	用 水 / (m ³ ·s ⁻¹)	峰荷发电时数 / h		
小于 7	2 000.0	44.15			811.8	24.00	24.00	44.15
7 ~ 10	700.0	6.62	56	1.66	644.0	19.03	20.69	
10 ~ 20	520.0	16.40	56	1.66	464.0	13.72	15.37	
20 ~ 30	385.0	12.14	56	1.66	329.0	9.72	11.38	
30 ~ 40	267.5	8.44	56	1.66	211.5	6.25	7.91	
40 ~ 50	197.5	6.23	56	1.66	141.5	4.18	5.84	
50 ~ 60	147.5	4.65	56	1.66	91.5	2.70	4.36	

(续表)

石泉枢纽来水			喜河枢纽运行调度					
保 证 率 / (%)	期间日平均 流量 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	期间总水量 / (亿 m^3)	日航运用水		电站日调峰用水		日总发电 时数 / h	泄 洪 量 / (亿 m^3)
			需 水 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	基荷发电时数 / h	用 水 / ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	峰荷发电时数 / h		
60 ~ 70	110.0	3.47	56	1.66	54.0	1.59	3.25	
70 ~ 80	82.5	2.60	56	1.66	26.5	0.78	2.44	
80 ~ 85	69.3(-8 存水)	1.09(-0.13)	56	1.66	5.3	0.15	1.81	
85 ~ 90	48.0(+8 放水)	0.76(+0.13)	56	1.66	0	0	1.66	
大于 90	18.6	0.57	0	0	18.6	0.55	0.55	
年 总 量		107.12		503		2 264	2 767	44.15

注:表中“发电时数”按3台机组满负荷发电,即以流量为 $811.8 \text{ m}^3/\text{s}$ (3×270.6)发电换算而得.

2.5 调水运行方案的效益

(1)发 电 喜河枢纽的调水运行方案没有要求石泉枢纽的运行作任何改变,即对石泉枢纽的发电没有影响;喜河水电站发电年利用达2 767 h、发电4.981 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,比原设计要求的2 740 h、发电4.94 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 还大. 其中,年调峰发电2 264 h、发电4.075 亿 $\text{kW} \cdot \text{h}$,占全年发电量的81.8%. 故该调水运行方案完全能满足发电的要求.

由上述分析可知,当石泉枢纽的来水保证率为85% ~ 90%时,仅靠石泉枢纽当日的来水量已不能保证喜河枢纽下游航道的正常通航,而必须靠喜河枢纽前一时期的存水来补足其下游航道必要的通航流量. 在这一时期,喜河水电站不能参与调峰发电,只能以 $74.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量均匀发电. 当石泉枢纽的来水保证率大于90%这段时间内,喜河枢纽下游航道已停航,喜河枢纽反而可以利用这 $74.6 \text{ m}^3/\text{s}$ 的流量参与调峰发电.

(2)航 运 对喜河枢纽的调水运行方案进行的非恒定流计算结果表明,任何一级供水、任何一种调峰方案均能满足喜河枢纽下游航道白天通航的要求,即在7:00 ~ 19:00 的通航时间内,喜河枢纽下游27 km 天然河道的流量均大于等于设计最小通航流量.

为说明喜河枢纽的调水运行方案能满足其下游27 km 河道航运需水的要求,特举例说明如下:

取石泉枢纽来水保证率为65% 进行喜河枢纽的调水运行方案计算. 该保证率对应的石泉枢纽日平均下泄流量为 $110 \text{ m}^3/\text{s}$,水量为950.4 万 m^3 ,为保证航运的需水量为483.4 万 m^3 (该水量系通过水电站泄入下游),供调峰发电用水量为467 万 m^3 ,即可供喜河水电站1 台机组满负荷发电5 h. 具体的发电运行调度有两种方式:①1 台机组自8:00 ~ 11:00 发电3 h 和自19:00 ~ 21:00 发电2 h;②1 台机组自8:00 ~ 9:00 发电1 h、2 台机组自9:00 ~ 10:00 发电1 h 以及1 台机组自10:00 ~ 11:00 和20:00 ~ 21:00 各发电1 h. 喜河水电站运行调度两种方式的下泄流量过程线见图3. 与其相应的水电站下游瞬时流量沿程变化见图4. 可见,这两种运行调度方式均可保证喜河枢纽下游至汉王城27 km 的天然河段在7:00 ~ 19:00 的通航时间内,沿程流

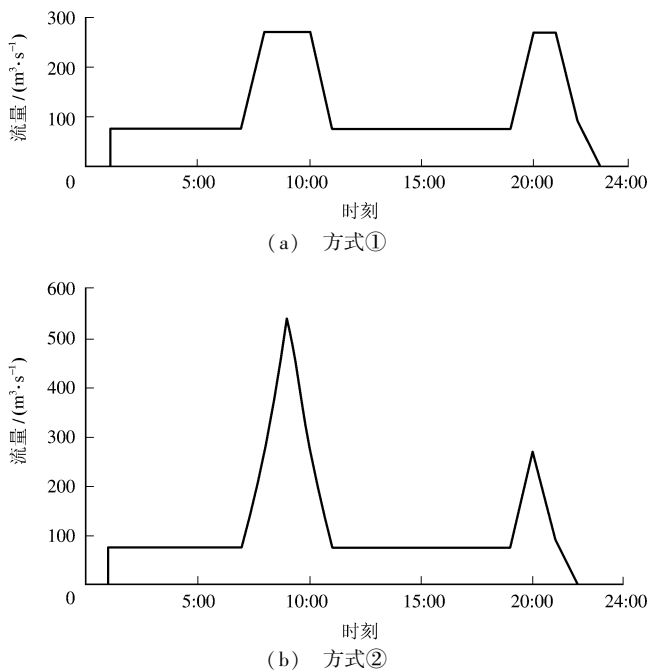
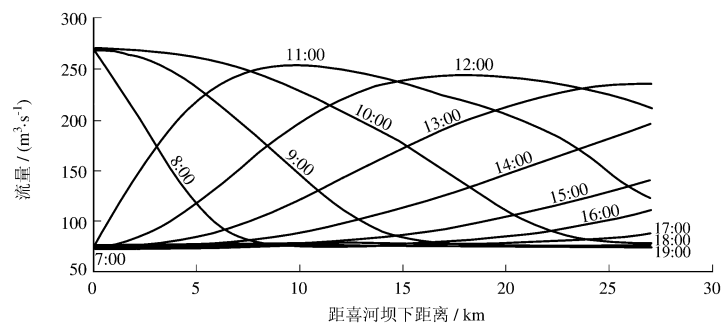


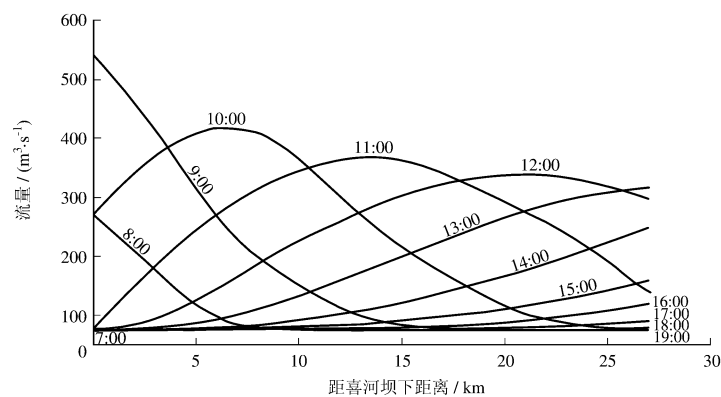
图3 喜河水电站下泄流量过程线

Fig.3 Release discharge curves of Xihe hydro power station

量均大于等于 $74.6 \text{ m}^3/\text{s}$, 故完全能满足通航要求.



(a) 方式①



(b) 方式②

图4 喜河水电站下游瞬时流量沿程变化

Fig.4 Variation of the instantaneous discharge along the river downstream of Xihe hydro power station

总之,喜河枢纽的日调节调水运行方案能达到发电、航运双赢的效果,同时还能兼顾防洪、灌溉、旅游和养殖等效益.

参 考 文 献:

- [1] 天津水运工程科学研究所, 陕西省交通厅航运管理局. 安康枢纽回水变动区航道治理技术研究[R]. 天津: 天津水运工程科学研究所, 2005.
- [2] 西安理工大学, 陕西省交通厅航运管理局. 汉江通航建筑物选型及平面布置研究报告[R]. 西安: 西安理工大学, 2005.