

枢纽日调节对下游航道影响评估方法的研究

唐存本¹, 张贤明², 贡炳生²

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210018)

摘要: 从水资源综合利用的原则出发, 分析了枢纽日调节的非恒定流对坝下游航道的影响. 在此基础上, 提出以枢纽下泄日平均流量与日最小流量为统计样本, 分析枢纽日调节对坝下游航道影响的定性及定量评估方法, 并给出了非恒定流影响的图示说明. 该方法原理清楚, 简易可行, 可合理评估水电枢纽对航道的影响, 确定相关水位及日调节工况.

关 键 词: 日调节; 通航保证率; 日平均流量; 日最小流量

中图分类号: TV697.11:TV147.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-640X(2008)01-0001-05

Evaluation system for influence of the hydroelectric project's daily regulation on downstream channel

TANG Cun-ben¹, ZHANG Xian-ming², GONG Bing-sheng²

(1. *Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *College of Transportation, Southeast University, Nanjing 210018, China*)

Abstract: In respect of the principle of comprehensive utilization of water resources, the paper analyzes the influence of non-steady flow due to the hydropower project's daily regulation on the downstream channel of a dam, on basis of which, and by taking the daily average flow and daily minimum flow discharge from the hydropower project as statistic samples, a qualitative and quantitative evaluation system for analyzing the influence of the hydroelectric project's daily regulation on the downstream channel of the dam, and a graphic illustration for the influence of non-steady flow are put forward. The system, which is clear on principle, and easy to use, can objectively make an evaluation on hydroelectric projects' influence on channels, determine the related water levels, and make a sound evaluation on daily regulation's operation conditions.

Key words: daily regulation; navigational guarantee rate; daily average flow; daily minimum flow

随着国民经济发展与建设的需要, 在天然通航河流上修建各种类型的拦河建筑物日益增多. 这些拦河建筑物的修建, 改变了原有天然河道的来水来沙条件, 从而引发再造床. 尤其是具有调峰任务的水电枢纽的修建, 虽然库区航道得到了很大改善, 但诸如变动回水段河床冲淤变化对航道的影响、下游河床下切引起的设

收稿日期: 2007-05-08

作者简介: 唐存本(1935-), 男, 江苏南京人, 教授级高级工程师, 主要从事水流泥沙及航道整治科研工作.

计水位变化、滩性转换以及日调节对下游航道的影响等都是当前航运、航道部门所关心而且急需研究解决的问题。

在通航河流上进行日调节,必须考虑水资源综合利用的原则^[1],应考虑航运的需要。然而,目前一些水电枢纽只顾调峰需要,将原本为航运需要的水量存于调峰使用,使其下游相当长的河段几乎为干河,严重影响航运事业的发展。

近年来,航运部门已越来越关注枢纽日调节对下游航运的影响,如四川、江西、陕西、湖北和云南等省都进行了专题研究与探讨。这些研究主要偏重于枢纽下游设计最低通航水位的确定^[2,3],《内河通航标准》^[4]对此也作出相应规定。由于各个水利枢纽日调节的工况各不相同,对航运影响的大小、范围和性质也不尽相同。目前尚没有合适的方法来定性定量地评估枢纽日调节对下游航道的影响程度。这也是当前需要研究的主要问题之一。本文分两部分探讨枢纽日调节对下游航道影响的综合评估,即定性评估与定量评估。

1 定性评估

通航河段建枢纽前的设计最小通航流量 $Q_{\text{设}}$ 是极其重要的设计指标,它具有枯水期通航保证率($P\%$)的含义。众所周知,枯水期天然河流的流量和水位在一天内的变化是很小的。因此,可采用日平均流量作为统计样本进行分析。枢纽建成后,枯水期枢纽下泄的日平均流量与建枢纽前天然河道的日平均流量可能相差不大,然而由于日调节的影响,使流量和下游水位的日内变化很大,改变了原先天然河流枯水期流量、水位的相对稳定性。

事实表明,受枢纽日调节的影响,坝下河段每天出现 2 个流量特征值,即日平均流量和日最小流量,并以此作为统计样本分别做出日平均流量综合历时曲线和日最小流量综合历时曲线,并从这两条曲线上参照原天然航道所需的枯水通航保证率 $P\%$,分别查得具有保证率 $P\%$ 的日平均流量 Q_p 和日最小流量 Q_{mP} 。因此,可用 Q_p 和 Q_{mP} 与 $Q_{\text{设}}$ 的相对关系定性地评估枢纽日调节对下游河段通航的影响。将现有枢纽分成以下 5 种类型:

Aa 类:此类枢纽的 $Q_p > Q_{\text{设}}$, $Q_{mP} > Q_{\text{设}}$ 。对航道来说,这类枢纽是最好的。不仅对枢纽下游河段的航道条件有较大的改善,而且比较容易提高航道等级。

Ab 类:此类枢纽的 $Q_p > Q_{\text{设}}$, $Q_{mP} = Q_{\text{设}}$ 。这类枢纽刚刚达到下游原天然河流规定的通航标准。距离枢纽较远的河段,航行条件有所改善,也有可能提高航道等级。

Ac 类:此类枢纽的 $Q_p > Q_{\text{设}}$, $Q_{mP} < Q_{\text{设}}$ 。这类枢纽下游紧靠枢纽的河段的航行条件已不能满足原天然航道的要求,其影响的河段长度及严重程度取决于 Q_{mP} 的大小和每日流量过程中小于 Q_{mP} 的历时。 Q_{mP} 越小,每日历时越长,其影响越严重。

Bc 类:此类枢纽的 $Q_p = Q_{\text{设}}$, $Q_{mP} < Q_{\text{设}}$ 。这类枢纽下游较远的河段,当日调节波动消失后,其航行条件刚能维持原天然航道的要求。而更靠近坝下的河段内,受日调节影响,水位波动,水深不足,航行条件较差, Q_{mP} 越小,影响越严重。

Cc 类:此类枢纽的 $Q_p < Q_{\text{设}}$, $Q_{mP} < Q_{\text{设}}$ 。这类枢纽对其下游河段航行条件的影响最为严重。下游河段水量不足,航深减小,航道等级降低,无法维持原有航道尺度,甚至断航。此类枢纽下游河段最多只能维持季节性通航。

2 定量评估

上述分析表明, Q_p 与 Q_{mP} 是评估枢纽日调节对下游航道影响的重要指标,据此可评估各种类型的枢纽

日调节的影响范围和程度. 为了研究枢纽日调节对下游不同河段的影响, 首先针对每种枢纽的日调节对下游航道的影响进行评估. 目前, 关于水库下游日调节不稳定流的计算方法较多^[5-8], 只要有足够的资料, 就可进行以下评估.

2.1 以 Q_p 为基础资料的评估

以 Q_p 为基础资料的评估可分为以下 3 种情况.

(1) $Q_p > Q_{\text{设}}$. 由于水库下泄的不稳定流的传播, 谷值流量沿程逐渐增大, 峰值流量沿程逐渐减小, 在距坝下一定距离的断面处(断面 W), 谷、峰值趋于一致(见图 1), 该断面以下河段实际最小通航流量将大于原要求的设计最小通航流量 $Q_{\text{设}}$, 能增加航深, 提高通航保证率, 并可降低航道维护费用.

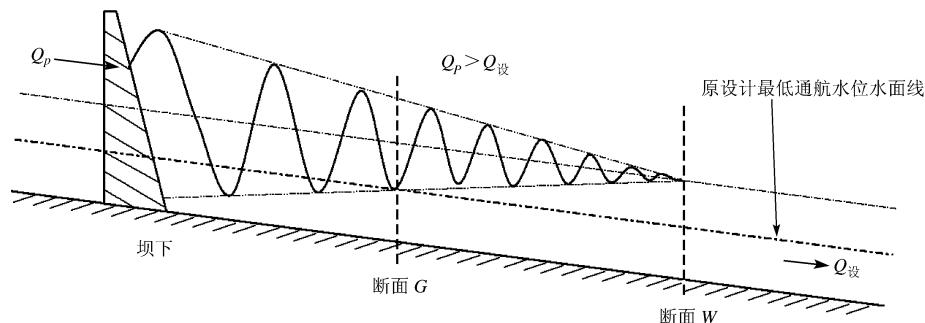


图 1 枢纽日调节泄流量 $Q_p > Q_{\text{设}}$ 的坝下游水面线示意图

Fig. 1 Schematic diagram of dam's downstream water surface line with hinge daily regulation and $Q_p > Q_{\text{设}}$

在 Q_p 下泄不稳定流的过程中, 谷值流量沿程逐渐增大, 至某断面(断面 G)时的谷值流量正好等于该航段设计最小通航流量, 称断面 G 至断面 W 的航段为过渡增水河段. 显然, 自坝下至断面 G 河段是枢纽下泄不稳定流对航运造成不利影响的航段, 简称减水河段. 此航段的谷值流量都小于原设计最小通航流量, 无法满足航深要求, 越靠近坝下的河段, 整治难度越大, 甚至联合整治与疏浚等工程都无法满足航道尺度的要求.

(2) $Q_p = Q_{\text{设}}$. 这种情况仅存在坝下至断面 G 的减水河段, 即只有 G 断面的位置, 而无 W 断面(见图 2).

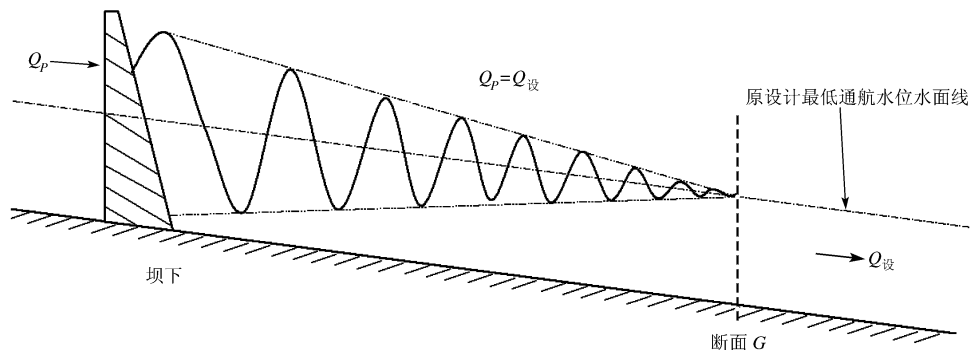


图 2 枢纽日调节泄流量 $Q_p = Q_{\text{设}}$ 的坝下游水面线示意图

Fig. 2 Schematic diagram of dam's downstream water surface line with hinge daily regulation and $Q_p = Q_{\text{设}}$

(3) $Q_p < Q_{\text{设}}$. 这种情况下, 坝下游整个通航河段都变成减水河段, 对航运的影响最为严重.

2.2 以 Q_{mP} 为基础资料的评估

以 Q_{mP} 为基础资料的评估也可分为以下 3 种情况.

(1) $Q_{mP} > Q_{\text{设}}$. 这种情况下, 可以计算出断面 W 的位置, 坝下至断面 W 为过渡增水河段, 断面 W 以下则为稳定增水河段, 无减水河段. 国内某些季调节、年调节或多年调节的大、中型枢纽下游及以航运发电兼顾的反调节枢纽下游可能存在这种情况.

(2) $Q_{mP} = Q_{\text{设}}$. 这种情况下, $Q_P > Q_{\text{设}}$, 坝下游航段将有过渡增水河段和稳定增水河段, 亦无减水河段. 国内某些中型枢纽及专用的航运枢纽中可能存在这种情况.

(3) $Q_{mP} < Q_{\text{设}}$. 这种情况下, 可能出现上述定性评估中的 3 种情况, 因而需引用前述方法的分析结果进行评估.

根据以上所述定量评估方法, 参照枢纽日调节运行方式, 通过非恒定流计算, 可得出某枢纽日调节对其下游航道的影响范围(即影响河段长度)和影响程度(即减少航运流量的数量), 以及对航运的影响. 显然, 其影响范围和程度是与日调节的流量变幅大小成正比的.

3 算 例

3.1 万 安 枢 纽

以江西赣江万安枢纽为例. 由于该河段有几条较大的支流入汇, 故建库前设计最小通航流量是沿程增加的. 建库前坝下各基本站设计最小通航流量分别为坝下(西门): $170 \text{ m}^3/\text{s}$, 栋背: $188 \text{ m}^3/\text{s}$, 吉安: $268 \text{ m}^3/\text{s}$, 峡江: $274 \text{ m}^3/\text{s}$.

根据建库后枢纽日调节实测资料查得 $Q_P = 131.78 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{mP} = 55.04 \text{ m}^3/\text{s}$. 根据定性评估方法, 万安枢纽的 $Q_P < Q_{\text{设}}$, $Q_{mP} < Q_{\text{设}}$, 对航运来说, 万安枢纽是一个 Cc 类的枢纽. 此类枢纽下游全部为减水河段, 没有增水河段, 故以 Q_{mP} 来进行枢纽下游不稳定流计算. 根据实测资料, 全天的放水过程见图 3, 计算结果见图 4.

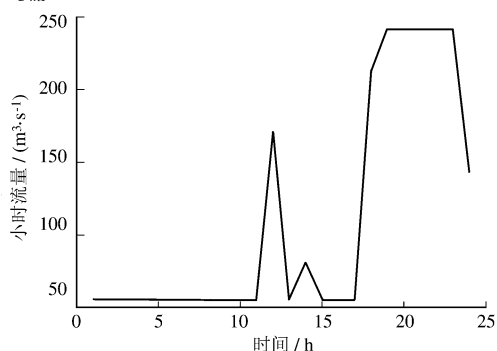


图 3 流量过程线

Fig. 3 Discharge hydrograph

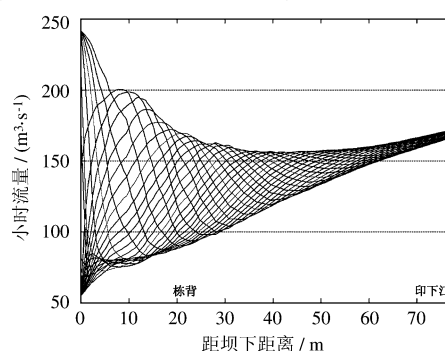


图 4 计算小时流量过程线

Fig. 4 Calculated discharge hydrograph

计算结果与建库前设计最小通航流量比较见表 1.

表 1 计算结果与建库前 $Q_{\text{设}}$ 比较

Tab. 1 Comparison between calculated navigation discharges and discharges before reservoir construction

(单位: m^3/s)

站 名	建 库 前	建 库 后	差 值
坝下(西门)	170	55.04	114.96
栋 背	188	88.14	99.86
吉 安	268	204.33	63.67
峡 江	274	268.86	5.14

由表 1 可见, 吉安和峡江两站离万安枢纽较远, 日调节影响较小, 建库前后设计最小通航流量差值较小, 通过整治工程可以改善航道条件; 而坝下至栋背, 日调节影响较大, 建库前后设计最小通航流量差值太大, 不大可能通过整治工程改善航行条件. 这些结论与江西的实际情况较为符合.

3.2 喜河枢纽

喜河枢纽位于汉江上游,上下游分别为石泉枢纽和安康枢纽^[9].本算例是一个综合利用水资源、协调发电与航运矛盾进行合理日调节的典型算例.现以某日入(出)库日平均流量为例,绘制水电站合理日调节计算流程图(见图5,图中 N 为装机台数, Q_d 为单机引用流量, $Q_{\text{设}}$ 为设计通航流量).

根据上游来水量日平均保证率曲线,按上述流程图进行合理日调节,喜河水电站发电年利用达2 767 h,发电4.981亿kW·h,大于原设计要求的2 740 h.其中年调峰发电2 264 h,发电4.075亿kW·h,占全年发电量的81.8%,同时也保证了其下游航道保证率为90%的常年通航要求,达到了发电航运双赢的效果,详见参考文献[9].

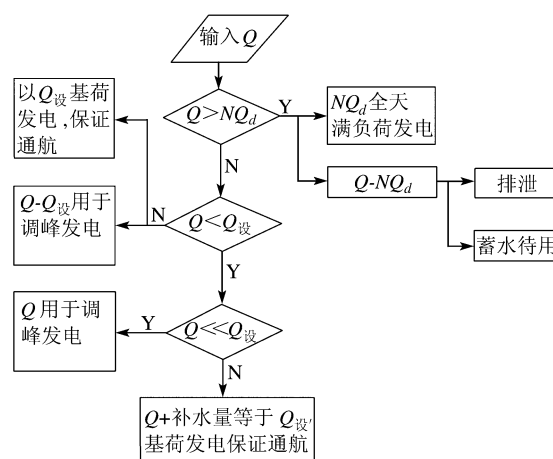


图5 水库合理日调节计算流程

Fig. 5 Calculation flow chart for rational daily regulation of the reservoir

4 结 语

(1)根据航运需要提出的关于枢纽日调节对下游航道影响的评估方法,将所有枢纽运行方式简单的归纳为Aa, Ab, Ac, Bc和Cc等5类,为航运部门分析各类枢纽对航运的影响提供了切实可行的方法.

(2)为了维持水利水电枢纽下游正常通航,航运部门必须坚持坝下断面的水位、流量系列资料的收集与观测,这样才有可能评估枢纽日调节对下游航道的影响,计算枢纽影响航运的河段长度及建库前后下泄的流量差等问题,以便航运部门与水利水电部门具体研究解决办法.

参 考 文 献:

- [1] 闵朝斌. 水资源综合利用与航运现代化[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.
- [2] 四川内河勘察规划设计院. 岷江不稳定流航道设计最低通航水位计算方法探讨[R]. 成都: 四川内河勘察规划设计院, 1991.
- [3] 江西交通厅航务设计所. 赣江(吉安-樟树)航道整治工程初步设计[R]. 南昌: 江西交通厅航务设计所, 2003.
- [4] GB50139-2004, 内河通航标准[S].
- [5] 南京水利科学研究院. 内河航道设计最低通航水位计算方法研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2006.
- [6] 南京水利科学研究院. 向家坝非恒定流一维数模计算及对船舶航行影响研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2005.
- [7] 黄 勇, 拾 兵, 朱玉伟, 等. 天然河道非恒定流数学模型原理及应用[J]. 海洋科学, 2004, 28(7): 4-6.
- [8] 金 生. 安康枢纽下游非恒定流数学模型研究[R]. 大连: 大连理工大学, 2002.
- [9] 马 健, 张贤明. 喜河水利枢纽的合理日调节[J]. 水利水运工程学报, 2007, (1): 65-69.