

万安水利枢纽底孔泄洪调度试验研究

刘彩云

(水工研究所)

摘要 研究了两种调度方案,即10个底孔间隔开启方案和分区调度方案。试验研究结果表明,分区调度能更好地满足各种水力学条件的要求。遂对分区调度进行深入研究,提供了一整套能适应各种洪水泄量,上、下游水位的调度曲线供实际工程运行使用。

关键词 泄洪调度 底孔 分区 调度

0 引言

万安水利枢纽正常蓄水位100m,防洪限制水位90m。枢纽泄洪建筑物布置了9个溢流表孔和10个泄洪底孔。溢流表孔每孔净宽14m,堰顶高程84m,溢流堰面为WES曲线,曲线方程为 $y = 0.047366x^{1.85}$,底孔采用有压进口短管,下接明流泄槽,孔口尺寸为7m×9m(宽×高),进口底板高程68m。溢流堰和底孔均采用底流消能,消力池长85m,末端设雷伯克齿尾坎。溢流坝护坦高程64m,尾坎顶高程69m,底孔护坦高程63m,尾坎顶高程

68m。枢纽总体平面布置见图1,底孔剖面见图2。底孔编号自右至左为1,2,...,9,10。

万安水利枢纽承担着赣江上游和下游的防洪任务,即上游不能淹赣州市,下游要确保赣东大堤的安全。这就需要根据上下游的防洪要求进行调节,在泄洪过程中随时增减水库的下泄流量。当溢流坝坝顶高程为84m,库水位在90m以下时,其泄水能力较小。由于泄洪底孔消力池护坦高程较低,因此需首先采用底孔泄洪,随着流量的增加再启用表孔。水利枢纽工程泄洪建筑物在运行中的合理调度,是关系到该工程安全的重大问题,而万安枢纽的泄洪底孔除担负二期施工导流外,主要是工程完建后运

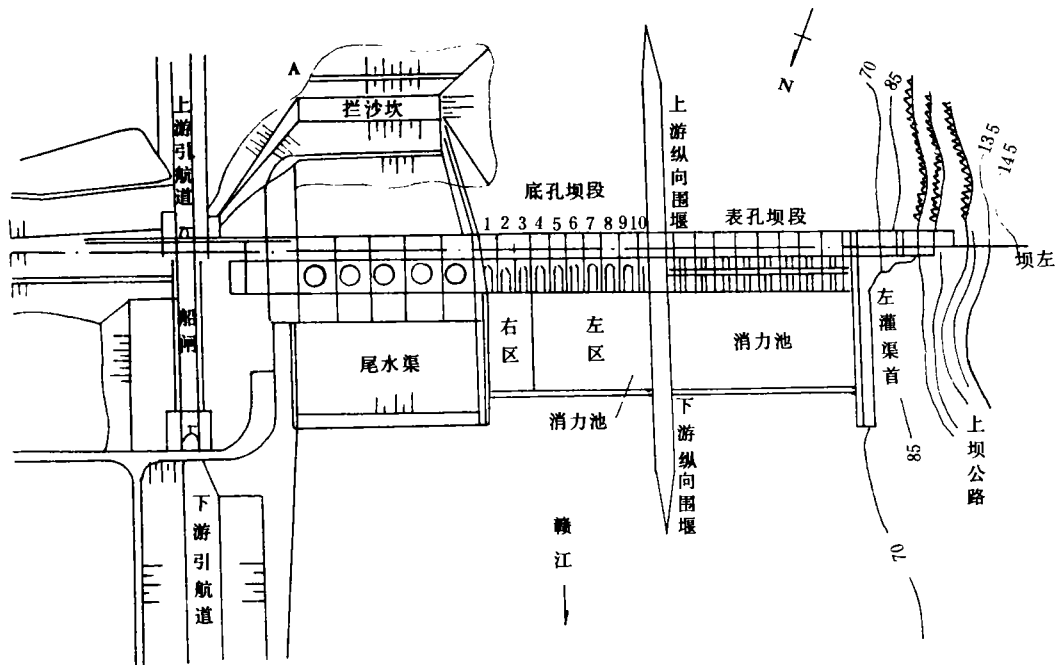


图1 万安水利枢纽平面布置图

收稿日期: 1995-08-15

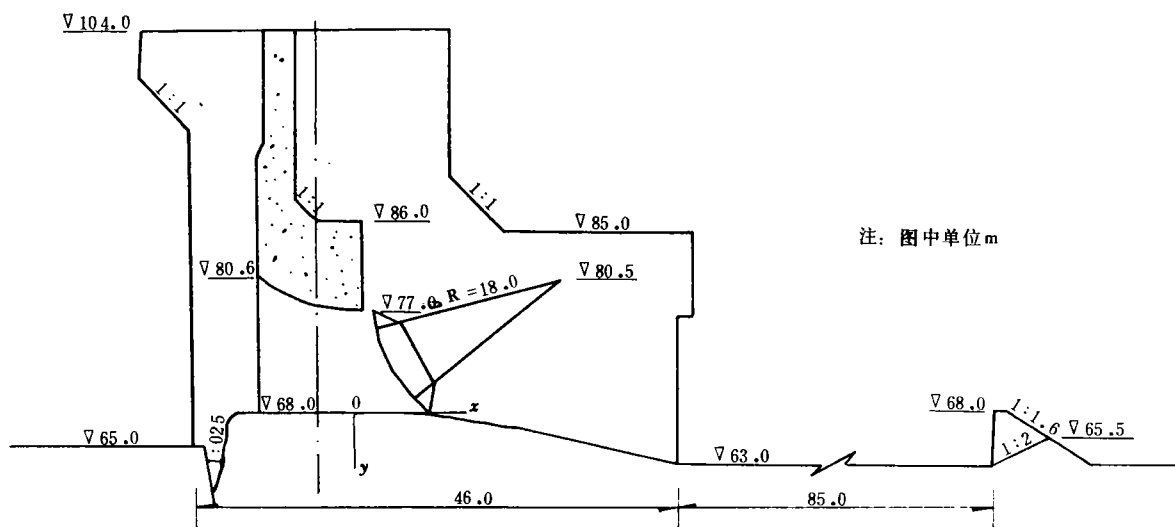


图2 底孔剖面图

行时的泄洪与排沙。因此,泄洪底孔运行时的合理调度对万安枢纽的大坝及其他建筑物的安全是极为重要的。

本文研究了泄洪底孔的两种调度方案。其一是10个底孔间隔开启的调度方案;其二是分区开启底孔的调度方案。试验研究表明,后者优于前者,能适应各种泄洪的需要。于是对分区调度进行了深入研究,提供了一整套能适应各种洪水流量的调度曲线供实际工程运行使用,以保证工程的安全运行。

1 调度方案的比较

万安泄洪底孔系底流消能型式,即底孔下游接一消力池,见图2。因此,底孔泄洪时,要求水跃既不能远驱,也不能因淹没度太大导致水跃跃头撞击工作弧门,同时消力池下游水流稳定,以尽可能减轻下游冲刷等。这些就是鉴别底孔泄洪调度方案优劣的标准。

本文主要研究两种调度方案,即底孔闸门间隔均匀开启和分区调度方案。而每个方案又分别研究了4种不同组合以适应不同泄量的需要。

1.1 间隔均匀开启方案

间隔均匀开启研究了4种闸门开启组合(底孔的编号见图1)。

(1) 开2孔(适应小流量),有4种可能组合:开“1孔,”10孔;开“2孔,”9孔;开“4孔,”7孔;开“5孔,”6孔。

(2) 开3孔(适应中流量),有2种可能组合:开“1孔,”5孔,”10孔;开“1孔,”6孔,”10孔。

(3) 开4孔(适应较大流量),即开“1孔,”5孔,”6孔,”10孔。

(4) 开6孔(适应大流量),即开“1孔,”3孔,”5孔,”6孔,”8孔,”10孔。

试验结果表明^①,上列4种闸门间隔均匀开启组合均不能达到上述泄洪水力条件的标准。其中(2)(即开3孔的组合),由于开启孔数相对消力池而言是不对称的,消力池中的水流流态极为紊乱。在闸门未开启的底孔所对应的消力池区域,有较强的回流存在,直接影响出闸的水流流态,且消力池内主流左右摆动,极不稳定。而(1)(开2孔),(3)(开4孔),(4)(开6孔)3种组合的闸门开启虽然是对称的,但在消力池内仍不能形成均匀出流,存在不同程度的回流区且出现阵发性立轴漩涡,其强度随泄流量或上游水位的增大而增强并不断向下游移动。

由于闸门间隔均匀开启的调度方案不能满足泄洪时底孔下游水力条件的要求,所以转为研究分区调度方案。

1.2 分区调度方案

所谓分区就是将10个底孔的消力池用隔墙分成两区,右区3孔,左区7孔,隔墙顶高程为73m,分区见图1。分区后,两区分别泄洪时,消力池内水流不会互相干扰,以便适应不同泄量又能满足消力池内水力条件的要求。分区调度方案研究了两种闸门开启方式。

① 陈建. 万安水利枢纽整体模型 1992 年补充试验报告. 长江科学院, 1992. 12.

1.2.1 分区调度闸门间隔开启

该方法是在两区内闸门间隔开启,同样研究了4种闸门开启组合:

- (1) 左区开“4,”6,”8,”10孔。
- (2) 左区开“4,”6,”8,”10孔;右区开“1,”3孔。
- (3) 左区开“4,”6,”8,”10孔;右区全开。
- (4) 左区全开,右区开“1,”3孔。

试验结果表明^①,上列4种组合,消力池中的水流特性和流态,虽较不分区闸门间隔开启的调度方式有所改善,但由于仍存在闸门间隔开启的问题,因此消力池内还有不同程度的回流、阵发性立轴漩涡以及八字型折冲水流(小流量时),其中上游水位为95m,底孔泄量为856m³/s,左区“4,”6,”8,”10孔开启的工况较严重。也就是说,分区调度方案中,如存在闸门间隔开启的问题,消力池中的水流流态还是不能完全满足要求。

1.2.2 分区调度闸门均匀开启

此处所指的“分区调度闸门均匀开启”有两层含义:(1)为适应不同的泄量,或者是右区3孔开启,或者是左区7孔开启,或者10孔联合开启,此即“分区调度”;(2)在每区内全部闸孔的闸门都要开启,但为适应不同泄量,可能是局部开启,也可能全开,但开度应是均匀的,此即“均匀开启”。

试验结果表明,如此泄洪调度方法,消力池中的水流是稳定的,消除了折冲水流、回流、立轴漩涡等不良流态,从而也减轻了下游的冲刷。

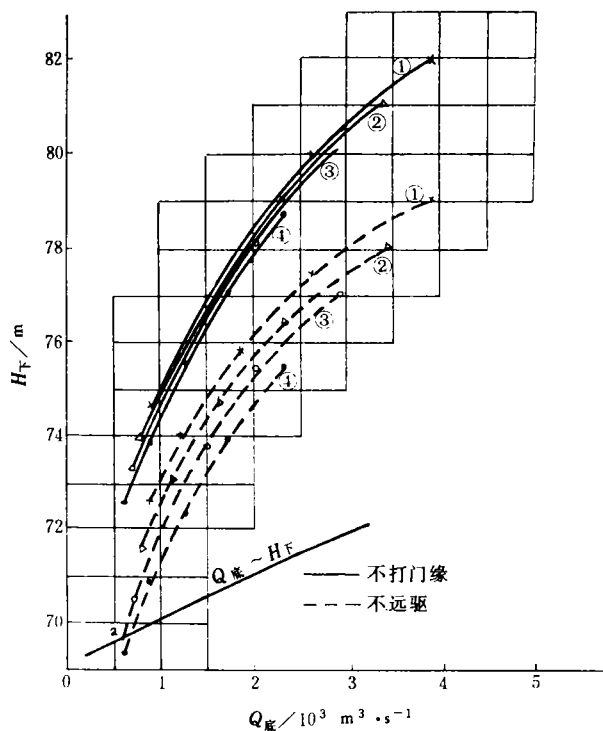
底孔泄洪时,为提高消能率,减少下游冲刷和消力池的安全,应使跃头位于闸墩尾部,避免发生远驱水跃。按结构要求,跃头不允许冲击闸门底缘,因此,在进行泄洪调度时,必须了解在各级库水位下水跃既不冲击闸门又不远驱的调度界限(上、下水位与泄量的关系)。但在各区单独运行时,均匀开启各孔闸门,跃头位置并不一致(主要是边孔的边界条件与中间孔不同)。经试验,将边孔闸门开度作适当调整则可达跃头基本一致的目的,使消力池内流态均匀稳定。

右区3孔单独运行时,闸墩尾部的扩散不同,3个孔均匀开启时跃头位置不齐,右边孔跃头偏于下游,容易远驱,但考虑到右区3孔单独泄洪流量不大,水跃长度较短,而且运行时间也相对较少,从

运用方便出发,可不作开度调整,即3个孔均匀开启。经试验获得右区3孔泄洪,水跃既不远驱又不冲击闸门的调度限制曲线如图3所示。

左区7孔单独泄洪时,“10孔紧接中导墙,由于中导墙收缩,出口呈不对称的扩散,加上右边水流的挤压和上游纵导墙对进流的影响等原因,水流出闸墩后主流偏向中导墙,且比其它孔偏向下流,容易远驱,尤其是闸门开度较大时,更为明显。为了改善这一现象,在同一下游水位时保持各孔的跃头基本一致,需将“10孔的闸门开度开小一些。经试验得出当闸门开度从3m起,“10孔比其它6个孔少开0.5m,便可使水跃跃头基本一致,消力池内流态较好。以此原则,由试验获得的左区7孔调度限制曲线及各孔闸门开度关系曲线如图4所示。

两区10孔联合运行时,边孔影响更大。如采用各孔完全均匀开启,边孔水流与其他孔就不协调,尤其是“1孔。因为右导墙没有扩散,跃头位置差别很大。如果不调整开度,两个边孔的水跃淤滚尾部就有可能超出消力池。如要使“1孔的水跃也不远驱,下游水位则需抬高较多,这就使调度通道很



注:①,②,③,④诸曲线分别与上游水位100m,95m,90m,85m相对应。

图3 右区3孔运行跃头位置与流量的关系

① 谢金莲. 万安水利枢纽底孔泄洪调度试验报告. 长江科学院, 1986. 12.

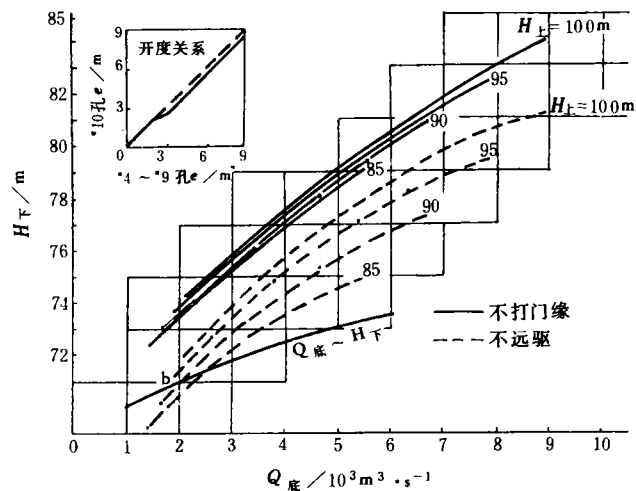


图 4 左区 7 孔运行跃头位置与流量的关系

窄。为使各孔的跃头位置基本一致，试验中进行了几种闸门开度的组合。试验结果表明^{①,②}，按图 5 各孔闸门开度的组合能使各孔水跃跃头基本一致，消力池内流态得以改善。试验获得的调度限制曲线及各孔闸门开度关系曲线如图 5 所示。

1.3 调度限制曲线的应用

调度限制曲线的应用与下游水位、流量有着直接的关系。下游水位是由枢纽总泄量形成的，而发

电流量又与上、下游水位差有关，不同发电流量时，底孔允许的最大泄量也不相同。考虑河床演变可能下切，故将下游偏低水位线减去 0.7m 代替原来的低水位线进行实际调度，现举例说明调度限制曲线的应用。

例如：当库水位 90m，2 台机组发电 ($Q_{\text{电}} = 1\,140\text{m}^3/\text{s}$) 情况下，将总泄量扣除发电所需流量，即可得到底孔的过流量，将底孔过流量与下游水位关系曲线分别点绘在图 3, 4, 5 中，它与调度曲线上 $H_{\text{上}} = 90\text{m}$ 的曲线分别交于 a 点 (图 3)；b 点 (图 4) 和 c 点 (图 5)。由图 3 可知，当 $Q_{\text{底}} \leq 525\text{m}^3/\text{s}$ 时，采用右区 3 孔泄洪，此时总泄量为 $1\,665\text{m}^3/\text{s}$ ；从图 4 可见，当 $Q_{\text{底}} \leq 2\,100\text{m}^3/\text{s}$ 时，采用左区 7 孔泄洪，此时总泄量为 $3\,240\text{m}^3/\text{s}$ ；从图 5 可见，当 $Q_{\text{底}} \leq 4\,000\text{m}^3/\text{s}$ 时，采用两区 10 孔联合泄洪，此时总泄量为 $5\,140\text{m}^3/\text{s}$ 。从图中可以看出，在此范围内泄洪均不会出现跃头冲击门缘现象。若 $Q_{\text{底}} > 4\,000\text{m}^3/\text{s}$ 时，必须开启表孔参加泄洪。当知道底孔泄量后，由泄流能力曲线就可以知道底孔闸门开度。泄流能力曲线见图 6。其它库水位情况以此类推。

以上为库水位和发电机运行台数不变情况下的泄洪调度曲线的应用。图 7 为不同库水位和发电机

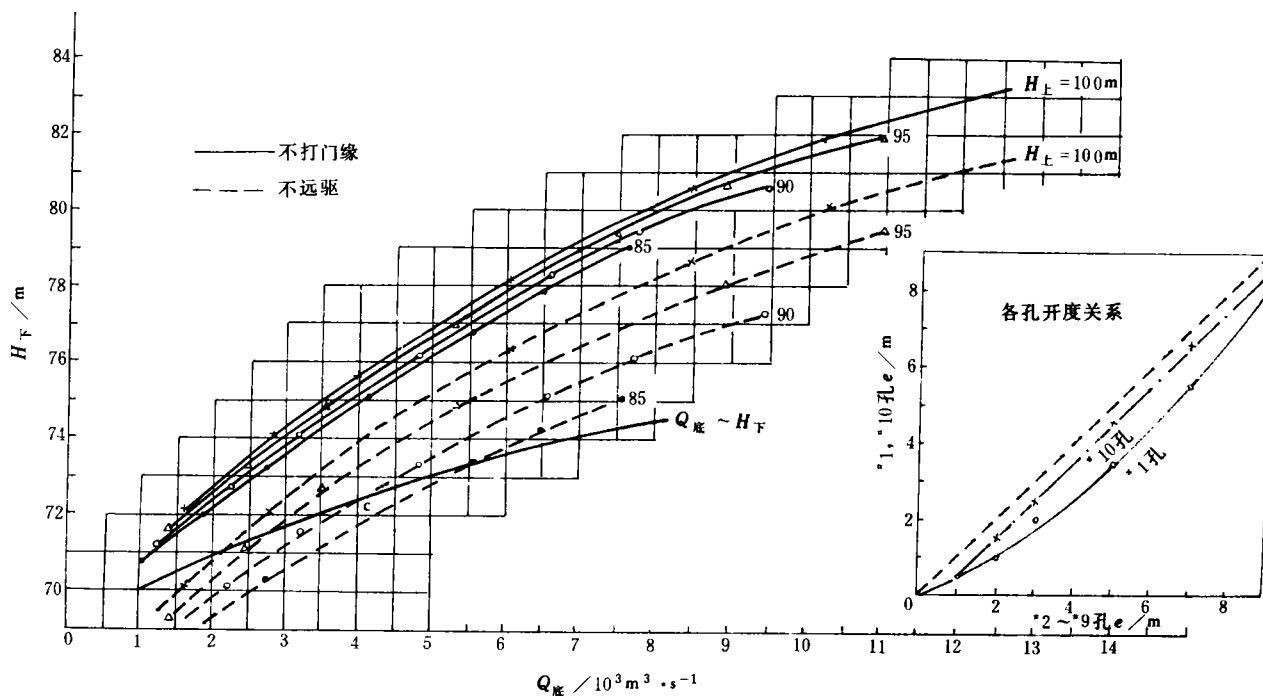


图 5 10 孔运行跃头位置与流量的关系

① 张声鸣，谢金莲. 万安水利枢纽底孔泄洪调度试验报告. 长江科学院, 1989. 11.

② 郭均立. 万安水利枢纽泄洪调度补充试验及排漂定性试验报告. 长江科学院, 1991. 11.

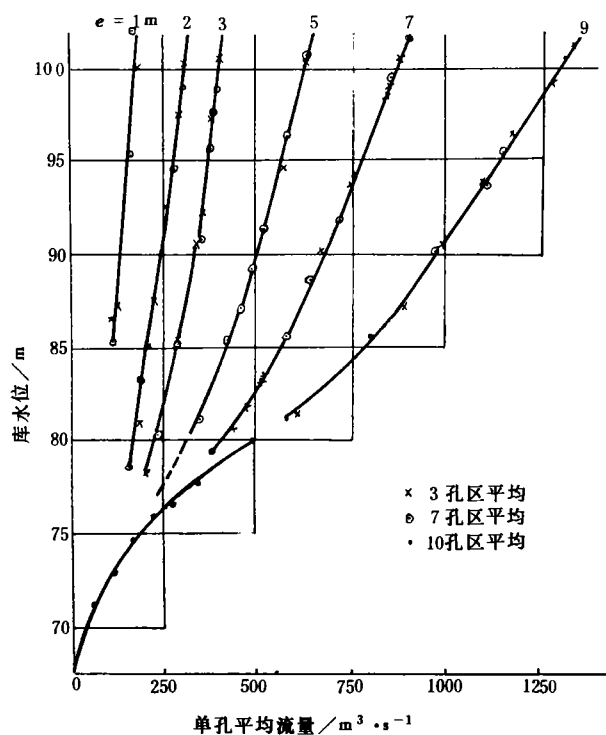
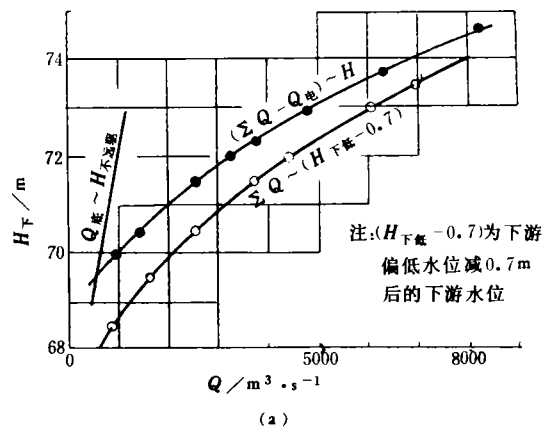
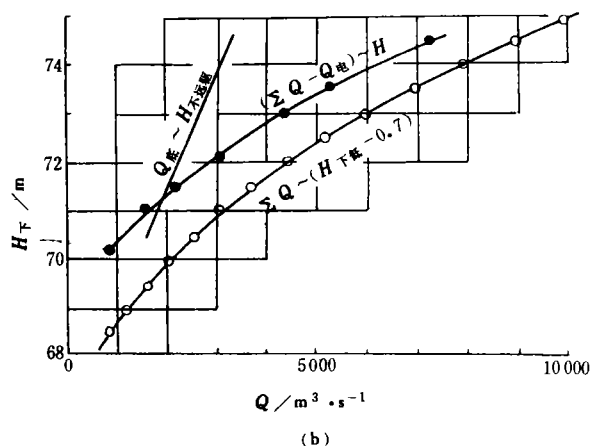


图6 底孔泄流能力曲线

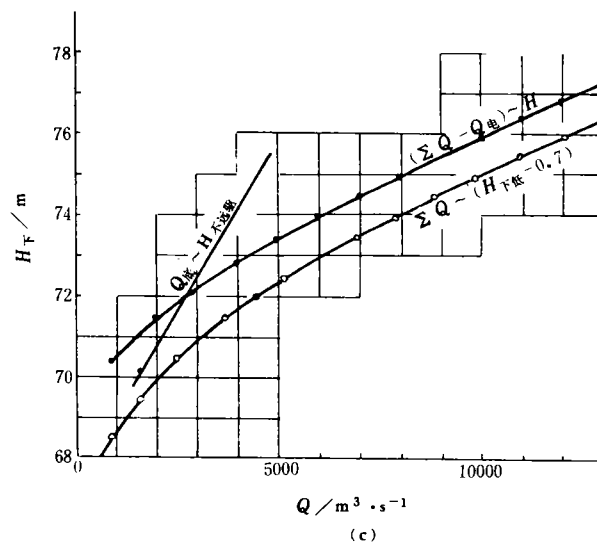
运行台数不同的泄洪调度曲线。图7(a)为库水位90m, 2台机组发电时右区3孔单独泄洪的调度曲线, 其水跃不远驱的最大泄量为 $525\text{m}^3/\text{s}$, 此时的总泄量为 $1\,665\text{m}^3/\text{s}$ 。图7(b)为库水位95m, 3台机组发电, 左区7孔单独泄洪的调度曲线, 其水跃不远驱的最大泄量为 $2\,000\text{m}^3/\text{s}$, 此时的总泄量为 $3\,500\text{m}^3/\text{s}$ 。图7(c)为库水位100m, 4台机组发电, 10个底孔同时泄洪的调度曲线, 其水跃不远驱的最大泄量为 $2\,800\text{m}^3/\text{s}$, 此时的总泄量为 $4\,600\text{m}^3/\text{s}$ 。若总泄量大于上述某运行工况的泄量时, 必须改变运行工况。例如在此3种运行条件下, 水库总泄量大于 $1\,665\text{m}^3/\text{s}$ 时, 必须将右区3孔泄洪改为左区7孔泄洪; 总泄量大于 $3\,500\text{m}^3/\text{s}$ 时, 必须将左区7孔泄洪改为10孔同时泄洪; 总泄量大于 $4\,600\text{m}^3/\text{s}$ 时, 必须开启表孔参加泄洪。当改变运行工况时, 必须注意相互的衔接问题。例如在库水位95m, 3台机组发电情况下, 当泄量大于 $3\,500\text{m}^3/\text{s}$, 由左区7孔泄洪改为10孔泄洪时, 是否会出现水跃冲击闸门底缘现象。由图4可知, 库水位95m, $Q_{\text{底}}=2\,000\text{m}^3/\text{s}$ 时, 水跃不远驱的下游水位为71.3m。从图5可知, 库水位95m情况下, 10个底孔泄量为 $2\,000\text{m}^3/\text{s}$ 时, 水跃冲击闸门底缘的下游水位为72.6m, 即此时的实际水位低于不冲击闸门底缘的最高下游水位, 亦即不会出现水跃冲击闸门



(a)



(b)



(c)

曲线①为 $Q \sim H$ (水跃不远驱)关系曲线; 曲线②为 $(\Sigma Q - Q_{\text{电}}) \sim H$ 关系曲线; 曲线③为 $\Sigma Q \sim (H_{\text{下游}} - 0.7)$ 关系曲线, $(H_{\text{下游}} - 0.7)$ 为下游偏低水位减0.7m后的下游水位。

图7 泄洪调度曲线

底缘现象, 于是, 可以从7孔泄洪过渡到10孔泄洪。其它在库水位和发电台数不同时, 照此确定底孔的最大泄量及运行工况。

2 结 论

(1) 对于类似万安泄洪底孔与消力池消能布置的工程, 不宜采用间隔开启的方法进行泄洪调度, 宜采用分区调度闸门均匀开启的泄洪方案, 此为成功经验。其特点是使各区相对独立, 调度灵活, 底孔能适应各种运行条件, 避免了消力池内的不良流

态, 确保工程安全。

(2) 在各区单独及两区联合运行时, 将两边孔的闸门开度作适当调整, 可保证水跃跃头基本一致, 使消力池内流态均匀稳定。

参 考 文 献

- 1 吴持恭. 水力学. 北京: 高等教育出版社, 1985. 5

Experimental Studies on Flood Regulation for Bottom Outlets of Wan'an Project

Liu Caiyun

(Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010)

Abstract Two flood regulation schemes for the bottom outlets of the Wan'an Project were studied. The first scheme is that the operations of 10 bottom outlets were used in interval, and, the second, in subregion regulation. The preliminary comparison has indicated that the second scheme is better suitable for the requirements of hydraulic conditions. So, it was studied in more detail. A series of regulation curves with regarding to various discharges and water levels in the upstream and downstream are provided for using in practice.

Keywords flood regulation; bottom outlet; subregion; regulation

(上接第 10 页)

- 3 Corps of Engineers 著, 王诤昭, 张元禧译. 水力设计准则. 北京: 水利出版社, 1982
- 4 Rao N S L, Gangadharaiah T. A Method for the Location of Inception of Air Entrainment on Free Overfall Spillway for Different Discharges. Water and Waste Water Current Research and Practice. Vol. 10, pp. 70—75, 1978
- 5 Chanson H. Hydraulics of Skimming flows Over Stepped Channels and Spillways. Journal of Hydraulic Research, Vol. 32, pp. 445—460, 1994
- 6 Soresen R M. Stepped Spillway Hydraulics Model Investigation. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, Vol. 111, No. 2, pp. 1416—1472, 1985
- 7 斯里斯基 C M 著, 毛世民, 相立信译. 高水头水工建筑物的水力计算. 北京: 水利电力出版社, 1981

Determination for Location of Aeration Inception on Stepped Spillway

Ru Shuxun, Tang Chaoyang, Liang Chuan

(State Key Hydraulics Laboratory of High Speed Flows, Sichuan Union University, Chengdu 610065)

Abstract Air entrainment for the flow on stepped curved spillway is one of the important sources of the stepped spillway possessing high rate of energy dissipation. The location of aeration inception affects the choice of step sizes. Based on systematic model tests with four various step sizes of stepped spillway in a large flume, the mechanism of flow air entrainment is analyzed. A figure and a formula for the estimation of location of aeration inception are proposed.

Keywords dam; aeration; position; stepped spillway; aeration inception