

竖井孔口式泄洪洞恒定及非恒定泄流特性探讨

牛争鸣 张宗孝

(西安理工大学水力学研究所, 西安 710048)

摘要 结合某工程泄洪洞进口体型的选型设计,通过水力学模型试验,对三种型式的竖井孔口式进口的水力特性及非恒定泄流特性进行了观测与比较。结果表明,不同型式的竖井孔口式进口,在孔口尺寸相同的情况下,虽然恒定泄流特性相似,但其他水力特性,如流态、压力等,却有较大差异。非恒定泄流时,库水位变化主要与洪水入库过程和库容容积特征有关,泄量过程则与孔口尺寸和库水位过程有关。

关键词 泄洪洞,竖井孔口式进口,水力特性,非恒定泄流特性

中图分类号 TV652.2

在水利电力工程建设中,常会遇到滞洪水库的泄洪洞的设计问题。对于中小型滞洪水库,泄洪洞常采用无闸方案,库水位的变化过程与入库的洪水过程、库容容积特征和泄洪洞的非恒定泄流特性均有关,并决定着滞洪水库的坝高。泄洪洞的非恒定泄流特性与进口体型、孔口尺寸、泄洪洞的体型尺寸及库水位过程有关,并决定着下游河道与建筑物的防洪标准。泄洪洞的进口体型如选择不当,就可能会在非恒定泄流过程中,因流量或流态的较大变化,在泄洪洞内出现明满流交替现象或按明流设计的泄洪洞洞顶承受水压的情况,这是非常危险的。关于深孔、底孔及泄洪洞竖井式进口的水力特性有许多研究成果^[1,2],但不同型式的竖井孔口式进口的水力特性比较及非恒定泄流特性的报道较少。本研究结合某电厂拟建的滞洪水库及泄洪洞进口体型的选型设计,对不同型式的竖井孔口式泄洪洞进行了水力学模型试验,并对非恒定泄流特性进行探讨。

1 竖井孔口式进口的体型和模型设计

结青海桥头电厂第五期工程灰场上游滞洪水库泄洪洞竖井孔口式进口的选型设计,共对三种进口体型进行了对比试验。各种体型及尺寸见图1。体型1为渐缩型竖井孔口式进口,由拦污栅、渐缩型竖井孔口、直角突扩弯道和通气孔组成,下接坡度为1:100,洞径为2m的圆型明流泄洪洞,洞长1300m。体型2为等直径直角弯道型竖井孔口式进口,由拦污栅、等直径直角弯道竖井、孔口和通气孔组成,下接泄洪洞,情况同体型1。体型3为方型竖井式孔口,由拦污栅、方型竖井、孔口、方变圆渐变段和通气孔组成,后接的明流泄洪洞同体型1与体型2。图1中尺寸的单位均为m。

试验模型由供水稳水装置、侧向分流调节闸、60°三角量水堰、滞洪水库、泄洪洞和回水渠等组成。按重力相似设计,几何比尺为1:30。非恒定的入库洪水过程,按重力相似的流量及时间比尺的要求,通过侧向分流调控闸的侧向分流过程来实现,具体过程为,60°

收稿日期 1997-08-26

课题来源 国家“八五”攻关项目

作者简介 牛争鸣,男,1957年生,副教授,硕士

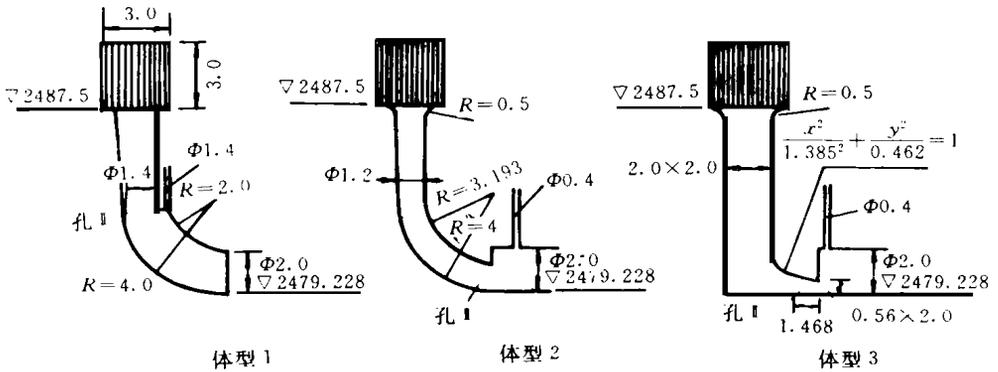


图 1 竖井孔口式进口的体型及尺寸

角量水堰和侧向分流调节闸设在水库的主要洪水入口处,在恒定来流下,根据事先率定好的 60 三角量水堰的过流量与侧向分流调节闸的闸门开度的关系曲线,按模型上入库洪水的历时与入库洪水流量的要求,用单板机编程控制侧向分流调节闸的闸门开度,同时用自动水位跟踪仪记录 60 三角堰上的水位变化,并将其换算成入库流量与历时之间的关系曲线,即入库洪水过程线。三个量级的入库洪水过程线如图 2 所示。

2 不同竖井孔口式进口的水力特性

2.1 水流流态

图 1 所示的 3 种不同型式的进口的水流流态差别较大(图 3)。体型 1 在库水位 2 488.6 ~ 2 490.1 m 的范围内,竖井内出现阵发性漏斗状的立轴旋涡,并伴有明显的库水位波动和竖井孔口段阵发性吸气现象,孔口出流不稳定。随库水位升高,此现象减弱,逐渐消失。水流出孔口后,在突扩弯道段呈射流状态。射流碰到弯道的外侧凹壁面上后反弹,引起泄洪洞内水面较大波动,容易造成封顶,在泄洪洞内形成明满流交替的现象。通气孔也因此易于淹没,泄量达 $22 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,就已经不能正常通气。

体型 2 的水流流态较体型 1 有明显改善。竖井内的立轴旋涡不明显,水流出孔口后较稳定,泄洪洞内水面较平顺。通气孔位置合理,泄量达 $27 \text{ m}^3/\text{s}$ 时,通气孔仍能正常通气。

体型 3 的水流流态也较好。在库水位较低时,竖井内有自由液面,竖井进口为自由堰流,竖井内的水流含气量很大。在库水位 2 488.4 m 左右时,竖井内出现较稳定的弱立轴旋涡,水面略有波动,但随库水位的升高,很快消失。水流出孔口后平顺,通气孔通气状态良好。三种体型进口水流流态如图 3 所示。

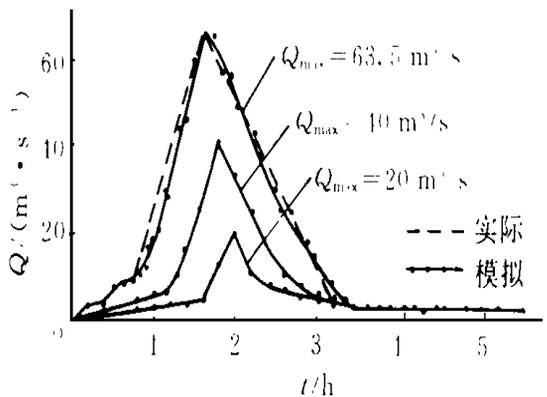


图 2 入库洪水过程线

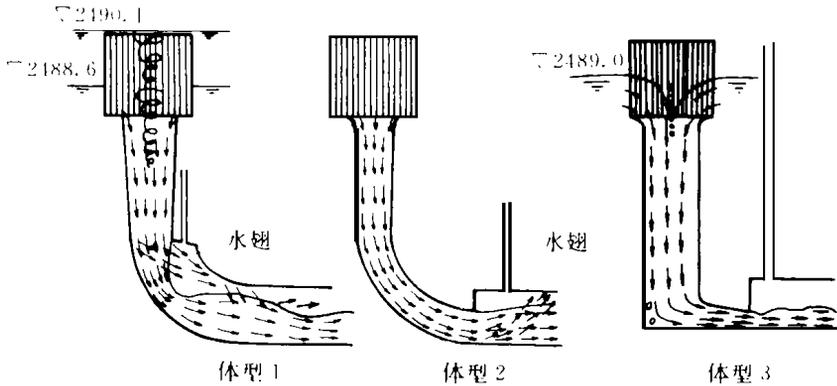


图 3 进口水流流态

2.2 压力分布

对比观测表明, 三种竖井孔口式进口的压力分布也有明显不同。体型 1 因竖井进口的直角形边沿引起的水流分离, 以及孔口出口后的突扩弯道造成的孔口出口附近压力突然降低, 在竖井段内存在一定的负压, 但数值较小。体型 2 则因竖井弯道内流速较大, 离心力造成弯道凸壁面上存在较大的负压区。体型 3 因孔口前顶部曲线为椭圆, 出口前又有 1:4.5 的压坡, 故竖井段及孔口段的压力均为正值, 且变化较均匀。

2.3 恒定泄流能力

恒定泄流能力对比观测结果表明, 库水位较低时, 不同形式的进口泄量关系差异不明显, 库水位增大后, 孔口尺寸不同时泄量不同, 但泄流量与库水位关系曲线基本平行。孔口尺寸或孔口面积相同时, 竖井孔口式进口的形式虽不同, 但泄洪量与库水位关系曲线却基本一致, 表明泄量主要与孔口尺寸和库水位有关。

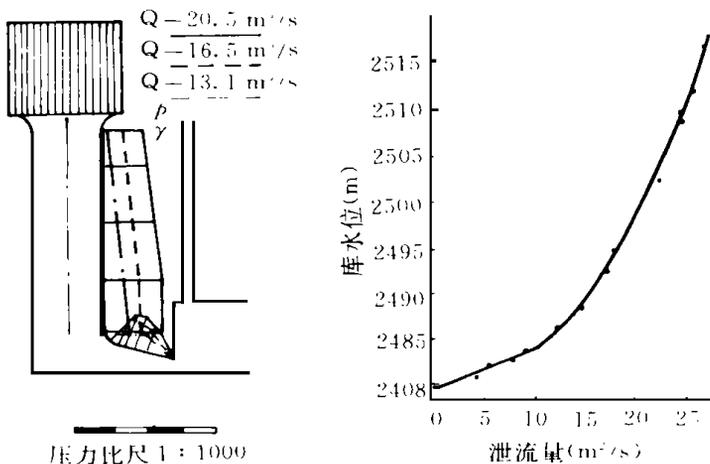


图 4 体型 3 的压力特性及泄量关系曲线

从上述对比观测结果可以看出, 从流态、压力分布与泄量特性三个方面来看, 体型 3 的水力特性较好。工程中应优先考虑使用。图 4 为该体型的压力特性及泄量关系曲线的

测量结果。其中流量系数 $\mu = Q / (A \sqrt{2gH_t})$ ，式中， A 为孔口面积； H_t 为水库库水位与孔口中心的高程之差； Q 为实测流量。

3 竖井孔口式进口泄洪洞的非恒定泄流特性

3.1 非正常泄洪时的非恒定泄流过程

根据设计院的要求，试验模拟了非正常泄洪情况，即泄洪洞进口万一出现淤积堵死，不能立即泄洪，而是先将洪水拦蓄起来，待事故排除后再泄洪的情况。该情况将作为泄洪洞设计和下游防洪设计最为不利的情况。先人为用泥沙将泄洪洞进口堵死，然后按图 2 所示入库洪水过程控制入库洪水，待洪水全部蓄在库内后，再排除进口泥沙，利用泄洪洞泄洪。体型 1 和体型 3 非正常泄洪时的蓄洪过程线、泄洪洞泄洪后的库水位过程线及泄量过程线分别如图 5(a) 和图 5(b) 所示。由图 5 可见，在入库洪水过程相同(如图 2 所示)、蓄洪过程相同的情况下，孔口尺寸较大，泄洪时的库水位过程线历时短，曲线变化较陡。在一定高程以下，库水位过程线随历时变化较大，曲线明显变陡，还与本文所论的水库在高程较低时，水库的容积与高程关系曲线明显变陡有关。这表明，库容容积特征不同时，同样的孔口尺寸或体型，库水位过程线也会有所不同。泄洪洞的泄量过程线，体型 1 和体型 3 虽在历时与泄量上因孔口尺寸的差异而有明显的区别，但在曲线的形态上却很相似，变化较平坦，二种体型泄量过程线在相当大的库水位变化范围内近似平行。这是因为，对有压孔口而言，在库水位较高时，流量系数变化较小，在较大的库水位变化范围内，其呈有压泄流状态，泄量变化较小，泄量过程线变化较缓，泄量的大小主要取决于孔口的尺寸。只有在库水位低于某一值后，孔口呈半有压泄流规律时，流量系数变化才较大，因此泄量过程线也变化较大，但相对而言此水位变化范围要小得多。综上所述非恒定泄流时，泄洪时的库水位过程线主要与水库的容积特征和泄量过程关系曲线有关，而泄量过程线则与孔口的尺寸和库水位过程线有关。

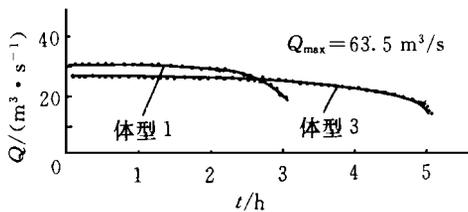
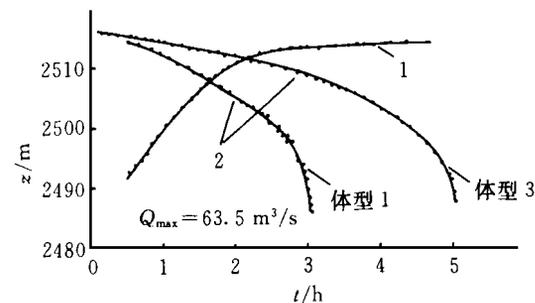


图 5(a) 非正常泄洪时库水位过程线

图 5(b) 非正常泄洪时泄量过程线

1. 蓄洪库水位过程线; 2. 库水位过程线

3.2 正常泄洪时的非恒定泄流过程

正常泄洪过程为，按图 2 所示过程模拟入库洪水，同时泄洪洞泄洪，测定库水位变化和泄量变化过程。体型 1 和体型 3 实际测量结果如图 6 所示。由图 6(a) 可见，相同的入库

洪水过程下库水位过程线的形态随孔口型式和尺寸不同有明显差异, 但最高库水位却相差不多, 体型 1 为 2 508 m, 体型 3 为 2 508. 5 m. 孔口尺寸越大, 其库水位过程线与入库洪水过程线形态越相近. 同一体型, 不同的入库洪水过程时, 库水位过程线形态有明显的差异. 因此, 在设计滞洪水库和泄洪洞体型时, 不但要分析泄洪洞的泄洪过程, 同时也应对入库洪水过程及水库的容积过程关系曲线进行认真的分析.

由图 6(b) 可见, 体型和入库洪水过程不同时, 泄量过程线在泄量的大小、历时上有明显差异, 但泄量过程线的形态却很相似, 即泄量不同, 但在较大的历时段, 泄量曲线变化平缓. 这主要是因为有压孔口的泄流特性表现在, 水位变化较大时, 流量系数变化较小, 泄量主要取决于孔口尺寸. 因此通过调整孔口尺寸, 可控制下泄流量的大小和泄洪的历时, 但库水位过程不仅与泄洪洞的泄量过程有关, 还主要与入库洪水过程和库容特征有关.

泄量过程中的流量是根据相应时刻的库水位, 按前面 2. 3 中的流量计算公式计算确定的.

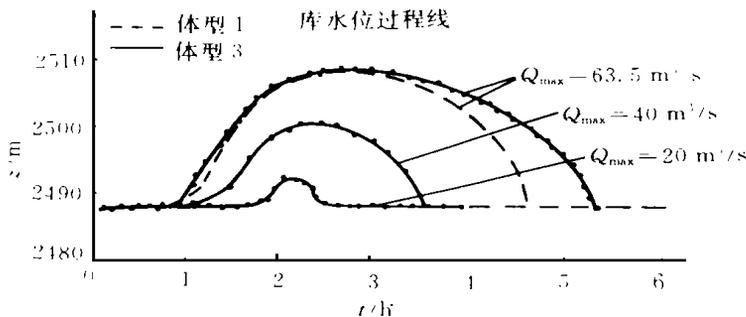


图 6(a) 正常泄洪时库水位过程线

4 结 语

通过前面对泄洪洞不同的竖井孔口式进口的水力特性及非恒定泄流特性的对比试验研究和分析, 可得到如下几方面的认识和结论:

1) 竖井孔口式泄洪洞进口可在较大的库水位变化范围内保持一定的泄量. 使泄洪洞在较大的库水位变化范围内保持较稳定的明流状态.

2) 不同型式的竖井孔口式进口虽然在泄量特性上相近, 但在流态、压力等水力特性上有较大差异, 设计不当, 会出现间歇性立轴涡旋, 竖井壁面上

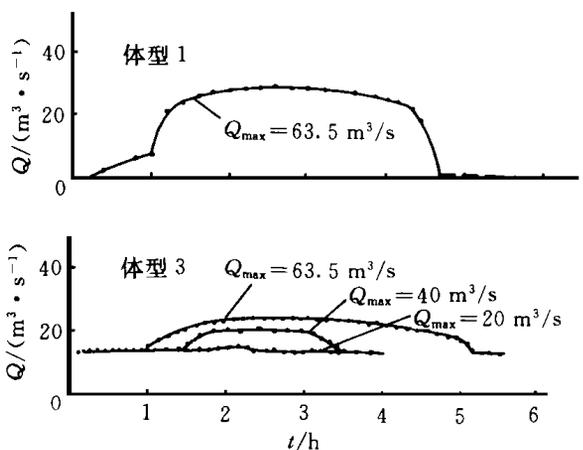


图 6(b) 正常泄洪时泄量过程线

负压、孔口后流态不佳等不利的水力现象, 因此在选型上应注意. 本文推荐体型为图 1 所

示体型 3.

3) 库水位过程线与入库洪水过程线、泄量过程线和库容容积特征有关,但主要取决于入库洪水过程的形态和库容容积特征。

4) 竖井孔口式进口的孔口尺寸大小主要控制下泄量的大小和泄洪的历时。不同形式与尺寸的孔口泄量过程线的形态相似,与入库洪水过程和库容容积特征关系不大,主要取决于孔口尺寸与库水位过程线。

参 考 文 献

- 1 章福仪. 明流泄洪隧洞及坝内底孔短进水口的研究. 水利学报, 1981(3): 68 ~ 73
- 2 王俊勇. 明流泄水洞短进水口水力特性的研究. 水利水运科学研究, 1982(2): 93 ~ 99
- 3 夏毓常. 深孔、底孔及泄洪洞短进水口免蚀水力计算. 人民长江, 1981(2): 42 ~ 47
- 4 胡苏萍译. 隧洞泄水底孔设计的特殊问题. 见: Anastasi G. Wasserwirtschaft 73, 1983, 501 ~ 509

The Hydraulic and Unsteady Discharging Characteristics of Shaft-Aperture Inlet

Niu Zhengming Zhang Zongxiao

(Institute of Hydraulics, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048)

Abstract The hydraulic and unsteady discharging characteristics of three types of shaft-aperture inlets are measured and compared with each other for the selection design of shaft inlet of a flood discharging tunnel by model experiments. As a result, it is found that although the discharging characteristics are similar to the three types of inlets, the hydraulic characteristics, such as flow condition and pressure distribution, are obviously different. The level profile of reservoir is mainly interrelated with the profile of flood in the reservoir and the volume feature of the reservoir. The unsteady discharging profile of the tunnel is mainly interrelated with the scale of the aperture and the level profile of the reservoir.

Key words shaft-aperture, shaft-aperture inlet, hydraulic and unsteady discharging characteristics