

一种船闸闸室结构的新型式

何良德

(河海大学港口航道及海洋工程学院 南京 210098)

摘要 高水头水利枢纽的布置往往需要船闸两侧填土高程较低或为临空面,高水运用期巨大的内水压力,导致闸墙和底板承受很大的弯矩。广西昭平船闸的设计表明,采用墙顶带连杆的框架整体式结构,能够有效地改善闸室工作条件,减小结构尺寸,便于枢纽紧凑布置,有利于降低工程造价。

关键词 高水头船闸 船闸结构 临空面 连杆

闸室

船闸整体式闸室一般是由两侧闸墙和底板刚性连接在一起而形成的一口朝上的槽形结构。与悬臂式和双铰底板式闸室结构相比,底板所承受的弯矩较大,底板一般较厚,钢筋用量也较多。因此,在工程设计中,应从施工方法、结构型式和结构材料等方面着手,改善底板的工作条件,减薄底板厚度,降低钢筋用量。

在软土地基上的大型船闸,可采用“墩底分浇、预留宽槽、后期封合”的施工方法^[1]。前苏联的斯大林格勒船闸利用软土地基上闸墙自重沉陷张拉钢筋产生预应力^[2],其效果良好。在岩石地基上,沉陷量极小,只宜采用在底板两端用千斤顶张拉的机械施加预应力方法^[3]。在广西昭平船闸设计中,采用了墙顶带连杆的框架整体式闸室结构^①,能够有效地改善岩基上高水头船闸的工作条件。

1 昭平船闸闸室结构设计^②

1.1 墙顶带连杆的框架整体式结构

昭平船闸闸室有效长度 60.0 m,有效宽度 8.0 m,槛上水深 1.5 m,设计水头 20.0 m,采用槛下两区段分散输水系统。闸室大部分

建于致密坚硬的石英细砂岩基上,弹性模量 $E_0 = 5.2 \times 10^4$ MPa。由于枢纽布置要求,闸室两侧的砂卵石回填料高程较低,左右侧分别为 55.0 m, 64.0 m。在高水运用期,闸室承受的内水压力,使闸墙和底板产生巨大的弯矩。为了改善闸室的受力状态,设计采用了墙顶带连杆的框架整体式结构(见图 1)。

设计采用一字型连杆。连杆断面尺寸 2.0 m × 1.5 m(高 × 宽),纵向中间距 3.8 m,净间距 2.3 m,可满足闸室采光要求。上游最高通航水位 72.0 m,根据船舶通航净高 6.0 m 的要求,连杆底高程取为 78.0 m,顶高程为 80.0 m。两侧闸墙宽均为 5.0 m,采用空箱式结构。圆柱形空箱下部(高程 46.5 ~ 51.0 m)直径 1.6 m,上部(高程 51.0 ~ 78.0 m)直径 2.6 m,空箱纵向中间距 3.8 m,空箱与墙顶连杆的纵向中间距为 1.9 m。闸室底板厚 5.5 m,底高程 44.5 m,顶高程 50.0 m,底板中部有 4 条断面 1.3 m × 2.0 m(宽 × 高)的主廊道。

1.2 计算工况

选择施工、高水运用、检修三种计算工况,计算闸墙、底板和连杆内力。施工工况,

作者简介:何良德,男,硕士,讲师,从事高坝通航建筑物研究。曾发表《模拟高水头通航建筑物施工过程的非线性分析》等论文。

①框架式闸室平面有限元分析,河海大学高坝通航研究室,1986

②广西昭平水电站船闸工程施工图设计说明书,河海大学设计院,1995

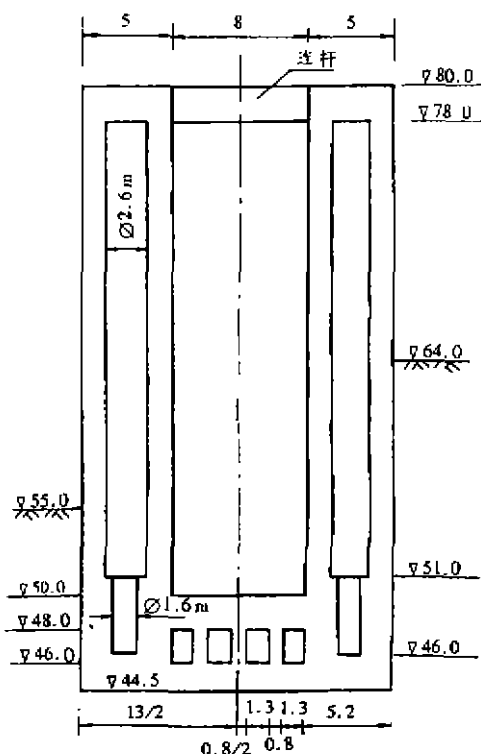


图1 昭平船闸闸室结构图(单位:m)

底板、闸墙浇筑完毕,墙后回填料填到设计高程,闸顶连杆尚未施工,没有形成框架式结构。高水运用时,闸室内上游最高通航水位72.0m,墙后地下水位取下游最低通航水位52.0m。检修工况,闸室内抽干无水,墙后地下水位取下游检修水位57.0m。

1.3 计算方法

施工工况时连杆尚未施工,闸室是一般的U型整体式结构。闸墙可按固接于底板上的悬臂梁计算内力。底板可按半无限弹性地基梁进行内力计算,计算时应考虑岩石地基对梁的水平约束作用,宜采用双链杆法。

建成后闸墙、底板和连杆形成了弹性地基上的闭合框架结构,各部的变形互相影响,应进行整体计算分析。但广西昭平船闸位于致密的岩基上,底板的变形极小,可忽略底板对闸墙、连杆变形的影响。因此,上部结构可按固接于底板上的T形刚架计算闸墙与连杆的内力。

在施工工况时,闸墙和底板在结构的自

重、墙后土压力的作用下已经产生初始内力和变形。完建后的框架结构,只有在相对于施工工况的荷载增量作用下,才可能产生内力增量和变形增量。荷载增量包括连杆的自重,闸室内水压力,墙后水压力以及由于墙后水引起的土压力的减小值。采用结构力学的方法,可求出框架结构在这些荷载增量作用下的内力增量,再与施工工况的初始内力叠加,可得高水运用、检修工况时的内力。

1.4 计算成果

连杆在高水运用期为偏心受拉构件,拉力1290 kN,中截面弯矩1067 kN·m,端截面弯矩465 kN·m。在检修期为偏心受压构件,压力77 kN,中截面弯矩-22 kN·m,端截面弯矩-622 kN·m。连杆下侧配筋受高水运用期中截面正弯矩控制,上侧配筋受检修期端截面负弯矩控制。

闸墙正弯矩(内侧受拉)受高水运用期控制,闸墙负弯矩上部受高水运用期控制,下部受检修期控制,详见表1。底板负弯矩(上侧受拉)受高水运用期控制,正弯矩受检修期控制,详见表2。

表1 闸墙弯矩汇总 单位:kN·m

断面高程/m	带连杆结构		无连杆结构	
	高水运用期	检修期	高水运用期	检修期
50.0	29983	-10427	66922	-12044
52.0	16204	-5729	50562	-7191
55.0	626	-1609	31115	-2840
57.0	-6535	-245	21375	-1321
64.0	-15640	-536	3242	0
72.0	-8563	-82	0	0
79.0	465	-622	0	0

表2 底板弯矩汇总 单位:kN·m

距底板中心 x/m	带连杆结构		无连杆结构	
	高水运用期	检修期	高水运用期	检修期
0.0	-27438	2512	-47900	3630
0.9	-27139	3641	-47831	4742
1.8	-28207	5422	-50140	6551
2.7	-29021	7731	-52209	8874
3.6	-30813	11744	-56498	12920
4.0	-32636	12704	-59885	13945

在高水运用期,连杆的拉力较大,可减小闸墙根部(高程50.0m)弯矩36939 kN·m,降

低 55.2% (相对于无连杆结构同截面弯矩); 减小底板墙根处截面 ($x = 4.0 \text{ m}$) 弯矩 27 249 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 降低 45.5%。在检修期, 连杆的压力较小, 减小闸墙根部弯矩仅 1 617 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 降低 13.4%; 减小底板墙根处截面弯矩 1 241 $\text{kN}\cdot\text{m}$, 仅降低 8.9%。由表 1 和表 2 可以看出, 闸墙的宽度和底板厚度主要受高水运用期控制, 采用墙顶带连杆的框架整体式结构, 可以有效地减小闸墙正弯矩和底板负弯矩, 缩小闸墙宽度, 减薄底板厚度, 降低钢筋用量。

2 墙顶连杆的作用

一般船闸的闸室结构可适当地通过墙后的回填土压力部分抵消高水运用期的闸内水压力, 减小闸墙正弯矩和底板负弯矩。当墙后回填土高程较低时, 可采用墙顶带连杆的整体式结构。

假设闸墙只承受一个三角形分布的侧压力 (如闸内水压力) 时, 墙顶连杆使闸墙根部弯矩减小值与侧压力在墙根处总弯矩的比值 K 称为连杆的效率系数。其计算公式为

$$K = \frac{6k_1(5 - k_1)}{5(8 + k_2k_3k_4^3)}$$

式中 k_1 为闸墙侧压力分布高度 (如水深) 与闸墙高度比; k_2 为计算段闸墙长度与连杆宽度比; k_3 为连杆的长高比; k_4 为闸墙的宽高比。水深与闸墙高度比 k_1 越大时, 连杆改善闸室工作条件的效果越好。

昭平船闸高水运用时 k_1, k_2, k_3, k_4 分别为 0.76, 2.53, 6.50, 0.17, 计算得 K 为 0.481。

3 结 语

在某些山区河流上的船闸, 水头大、船型小, 通航净空要求低, 闸室具有墙高宽度小, 水深与闸墙高度比较大的特点。枢纽位于峡谷地段, 水工建筑物布置紧凑, 使得船闸两侧回填土高程较低或为临空面, 在高水运用期闸墙和底板弯矩较大, 闸墙宽度和底板厚度受此时弯矩控制。对这种船闸采用墙顶带连杆的框架整体式结构, 可有效地减小闸墙的弯矩, 缩小闸墙宽度。同时, 山区河流船闸地质条件大多较好, 闸室底板由垂直荷载产生的弯矩较小, 由闸墙水平荷载产生的弯矩较大。因此, 采用带连杆的框架整体式结构, 也可有效减小底板弯矩, 减薄底板厚度。广西昭平船闸的设计表明, 墙顶带连杆的框架整体式结构, 可减小结构尺寸, 便于枢纽布置, 降低工程造价。

参考文献

- 1 王作高. 船闸设计. 北京: 水利电力出版社, 1992. 251 ~ 253
- 2 蔡志长. 渠化工程学. 北京: 人民交通出版社, 1990. 103 ~ 106
- 3 白宝生. 岩石地基预应力船闸底板设计的探讨. 水运工程, 1981(8): 18 ~ 22

(收稿日期: 1997-05-15 编辑: 熊水斌)

欢迎订阅 1998 年《人民长江》

《人民长江》于 1955 年创刊, 是水利部长江水利委员会主办的水利水电技术综合性月刊。主要内容为报道长江水利水电建设成就, 总结交流先进技术, 传播国内外水电建设经验, 介绍高新科技动态。栏目多、内容丰富、信息量大、实用性强。

1992 年《人民长江》被选人编《中文核心期刊》, 1996 年《人民长江》再次入选《中文核心期刊(第二版)》, 1993 年被《中国科学技术期刊文摘数据库(CSTA, 英文版)》选为首批入库期刊; 1995 年被评为湖北省一级期刊和 1994 ~ 1995 年度优秀期刊; 1996 年被评为水利部优秀科技期刊; 1996 年入编《中国学术期刊(光盘版)》; 1997 年被评为全国优秀科技期刊。

本刊每月 20 日在武汉出版, 大 16 开本, 48 页。国内统一刊号 CN42-1202/TV, 国际标准刊号 ISSN 1001-4179, 国际刊名代码 CODEN RECHFF。全国各地邮局均可订阅, 国外由中国国际图书贸易总公司发行(北京 399 信箱)。请欲订阅本刊的读者就近到当地邮局办理订阅手续, 每册(1997 年)定价 3.00 元、全年定价 36.00 元。读者若错过订期或漏订, 可直接汇款至编辑部补订(请注明订阅期数、册数、收书人姓名)。地址: 武汉解放大道 1155 号《人民长江》编辑部; 邮政编码: 430010。