

潮汐电站厂房浮运结构的结构分析

范波芹¹, 索丽生², 周杰³

(1. 浙江省水利水电技术咨询中心, 浙江 杭州 310009; 2. 水利部, 北京 100053; 3. 华东勘测设计研究院, 浙江 杭州 310014)

摘要:分析潮汐电站厂房浮运结构的计算荷载、计算工况、计算模型, 并通过有限元分析, 揭示了浮运结构的应力特点, 以及影响浮运结构受力的因素, 从结构受力角度提出了潮汐电站厂房浮运结构压载舱布置的基本模式。

关键词:潮汐电站; 厂房浮运结构; 压载舱

中图分类号:TV744

文献标识码:A

文章编号:1006-7647(2002)01-0020-03

潮汐电站的厂房浮运结构采用箱格式薄壁钢筋混凝土结构或钢结构^[1], 结构复杂, 其三维尺寸相差不大, 是一种典型的空壳板壳结构。随着浮运施工法的发展和世界对无污染能源的需求, 采用浮运式结构的潮汐电站会得到越来越广泛的应用^[2]。本文通过大量的厂房浮运结构有限元计算, 分析影响浮运结构受力的因素以及浮运结构的受力特点, 提出潮汐电站厂房浮运结构压载舱布置的基本模式。

1 结构分析的各种工况及其特点

潮汐电站的厂房浮运结构有一段从施工场地到站址的拖运、沉放过程, 因此, 潮汐电站的浮运结构分析不仅需要考虑正常运行、机组检修、机组待装以及非常运行时的荷载组合, 对浮运施工的不同阶段也要进行结构分析, 以确定结构不同阶段的受力变化, 全面掌握结构的受力特点。在对浮运结构进行有限元分析时, 应考虑各构件的实际形状、厚度以及作

用于结构上的荷载实际分布。厂房浮运结构典型断面如图1所示。

作为海洋建筑物, 浮运结构的自重根据钢筋混凝土材料的密度得到, 弹模 E 、泊松比 μ 分别由混凝土和钢筋折算而得; 采用灯泡机组的厂房浮运结构的固定机电设备荷载(包括水轮机、发电机和灯泡体等)通过灯泡体外的钢支撑(包括垂直支撑和水平支撑)、管型座传递给输水道下部结构上的混凝土支墩; 输水道内的水重、库海侧静水压力、库海侧浪压力, 桥吊及其吊重、扬压力、回填荷载均根据各电站的具体环境确定。其中, 库海侧浪压力是随机荷载, 回填荷载的大小不仅取决于结构各部位的尺寸, 也受回填料的密度影响。

一般来讲, 浮运结构需要考虑以下工况: ①正常运行工况; ②机组检修工况: 不考虑部分机电设备重量, 其它同①; ③机组待装工况: 不考虑部分机电设备和桥吊, 只考虑部分回填荷载, 其它同①; ④非常

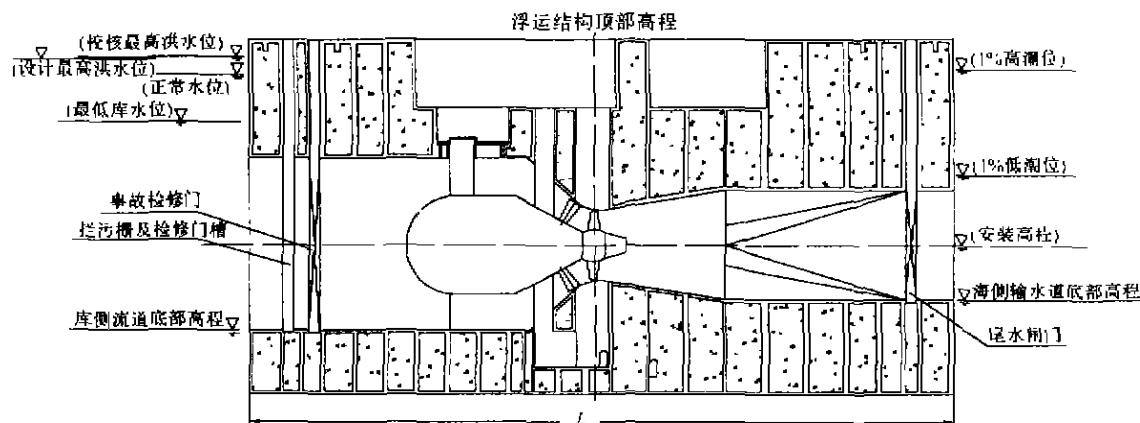


图1 厂房浮运结构典型断面示意图

作者简介: 范波芹(1973—), 女, 山东潍坊人, 工程师, 博士, 主要从事水电站建筑物研究。

运行工况,库侧取校核高水位,海侧取1%高潮位,其它同①;⑤着基工况:浮运结构刚刚着基时,底部与基础不完全接触,底部有浮力作用,倾覆力矩较大,部分压载舱充水压载;⑥下沉、上浮工况:浮运结构部分压载舱充水压载,在周边定位驳船的作用下匀速运动(下沉或上浮);⑦拖运工况:浮运结构在拖运过程中,在拖轮及周边定位驳船的作用下匀速运动,受到拖运力、浮力、静水压力和阻力的作用,内部是与吃水相应的平衡压载。

2 厂房浮运结构的有限元模型^[3]

厂房浮运结构可用空间板壳模拟。取机组流道方向为 x 轴方向,浮运结构高度方向为 y 轴方向,垂直流道方向为 z 轴方向。以内装两台机组的浮运结构为例,结构和荷载沿 z 轴对称,故可取一半结构进行分析。

在工况①,②,③,④中,浮运结构与基础共同承受荷载,为正确了解结构的三向受力特点,将连同基础一起考虑作为计算模型Ⅰ。根据坝工的经验,模型的计算区域为库、海侧及深度方向各1.5倍浮运结构高度。由于板单元为传弯单元,基础块体元不传弯,故在浮运结构底部与地基之间采用虚梁单元过渡。计算模型Ⅰ的有限元网格示意图见图2。将工况⑤,⑥,⑦作为模型Ⅱ,模型Ⅱ仅包含浮运结构及其自身受力。计算模型Ⅱ的有限元网格见图3。

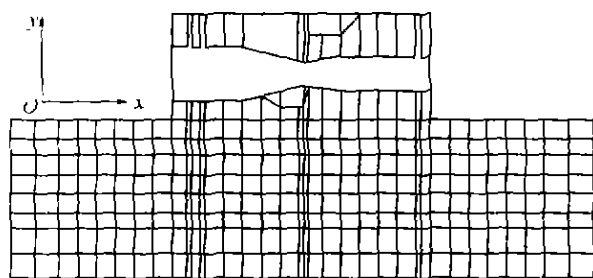


图2 模型Ⅰ典型剖面有限元网格示意图

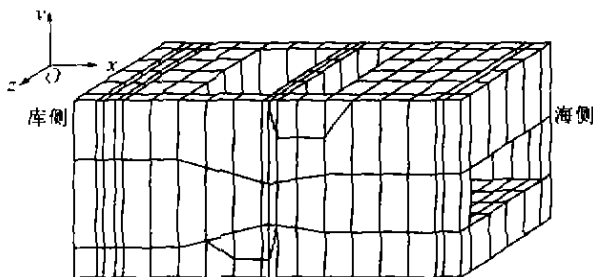


图3 模型Ⅱ有限元网格示意图

3 浮运结构受力分析

3.1 计算基本资料

国内某拟建潮汐电站采用灯泡贯流式水轮发电

机组,水轮机直径 $D_1 = 6.5$ m,机组中心距18 m;库、海侧分别设置事故检修门和尾水闸门,库侧正常蓄水位3.86 m,校核洪水位5.02 m,海侧1%高潮位4.60 m,1%低潮位-4.20 m,厂房浮运结构底部高程-22.0 m;浮运结构外壁厚度0.8 m,内隔舱厚度0.2 m。压载舱长度方向尺寸为 $L/14$ (L 为浮运结构流道长度方向尺寸)。本文近似地采用钢筋混凝土密度 2.5 t/m^3 ,轮廓板和内隔舱板的弹性模量分别取 $2.684 \times 10^4 \text{ MPa}$ 和 $2.6042 \times 10^4 \text{ MPa}$ 。

3.2 计算结果及分析

3.2.1 浮运结构的应力特点

潮汐电站厂房浮运结构有几个局部受力比较大的点:

a. 灯泡体下方支撑灯泡体的位置,不仅有压载荷载,还要承受灯泡体以及体内的机电设备通过管型座传递来的集中荷载,这部分集中荷载在停机充水、满负荷运行以及甩负荷时都是比较大的。

b. 输水道上方闸门井以及进入孔周围的舱隔板,一方面有压载荷载和桥吊及其吊重的集中荷载;另一方面由于处于闸门井或者是进入孔的周围,存在应力集中,使得此处应力比输水道上部其他位置压载舱格的应力高出约50%。因此,在厂房浮运结构设计时,这几个部位压载舱的回填料和布筋可作特别考虑,或者不将此处作为压载舱,而是处理成大块混凝土的永久压载,以降低其受力,但要考虑到有增加浮运结构空载重量的可能,如何处理应综合考虑而定。

c. 在浮运结构拖运过程中,跨中位置的输水道下部侧压载舱有较大拉应力出现,同时拖力作用点位置周围应力要高出其他部位30%左右,应特别考虑布筋。结构上方用于调整浮运结构位置的吊点周围,在浮运结构发生偏移、倾斜或者复位的过程中,也会产生局部较大拉应力,也应预埋局部钢筋网以降低这些部位的结构拉应力。

3.2.2 不同压载舱尺寸对浮运结构应力结果的影响

为了降低成本和方便拖运,设计时会尽量减轻浮运结构空载自重,同时为了增加浮运结构沉放后的重量,结构内部设置了若干压载舱。这些压载舱拖运时充水压载,到达站址沉放就位后,采用砂砾石永久压载。因此浮运结构的受力分析中一个很重要的方面就是分析压载舱尺寸的变化对结构受力的影响。

大量有限元分析表明,在输水道上部结构的压载舱格和输水道下部的部分压载舱格受拉压力作用。在不同的压载舱尺寸时,最大主应力和最小主应力的具体发生部位有所不同,但均发生在板结构不连贯或者是有集中荷载作用的位置。大部分的板结

构受力较小,最大主应力在 $0.7 \sim -0.5 \text{ MPa}$ 之间,最小主应力在 $0.3 \sim -2.5 \text{ MPa}$ 之间,在强度上有较大的裕度.在满足构造要求的前提下,可适当考虑减小这些部位板厚度或者降低混凝土的标号.

在浮运结构的压载舱尺寸较大时,输水道的上部结构中的压载舱格板受到的拉应力随压载舱尺寸的增加而加大,局部可能会超出结构的受拉极限.同时,若尺寸太大,在水压载时,浮运结构的微小倾斜,就易使压载水溢出舱外,降低压载舱调节平衡的能力,给拖运或下沉带来不确定因素,不能正确掌握其浮运稳定性;若压载舱的尺寸小,输水道的上部结构中的压载舱格板受到的拉应力减小,但施工有难度,而且会增加浮运结构空载时的重量.因此,压载舱尺寸的最终确定需要视压载材料综合考虑.

3.2.3 不同压载物密度对浮运结构应力结果的影响

板单元在同一种运行工况下的应力,受到压载舱尺寸和压载物密度的影响.图4和图5分别表示压载物密度 ρ 和降低输水道上部压载物密度 $\rho_{\text{上}}$ 对应力结果的影响.

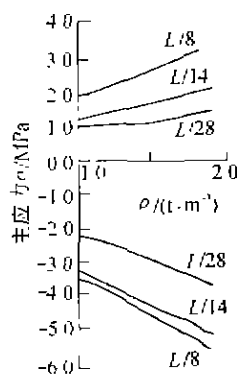


图4 不同压载舱尺寸时的 $\sigma \sim \rho$ 关系曲线

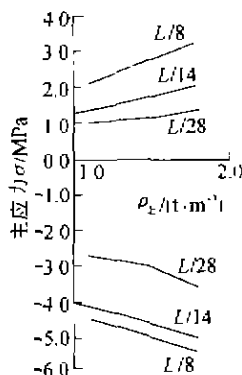


图5 不同压载舱尺寸时的 $\sigma \sim \rho_{\text{上}}$ 关系曲线

可以看出,压载密度对应力的影响曲线与上部压载密度对应力的影响曲线很相似.随压载舱尺寸的加大,密度对应力的影响曲线趋于陡峭,反之则趋于平缓.在同样压载舱尺寸的情况下,板单元的应力随压载物密度的减小而变小.这样,在允许的情况下,可以选取密度小的压载物,加大压载舱格的尺寸,以得到较小的应力结果和较小的空载重量.如果只是降低输水道上部压载舱的压载密度,同样可以降低输水道上部压载舱格的拉应力,但输水道下部压载舱格所受的拉应力变化不大.一般来讲,若压载物密度低于 1.5 t/m^3 ,浮运结构的所有板结构都可以采用构造配筋,压载舱尺寸最大可以取为 5 m .

若密度较小的压载物有限制,可以将低密度压载物布置在输水道上部的压载舱中,其他部位取用较高密度压载物.同时还发现,压载物密度降低到某

一直后对应力的影响很微弱,因此压载舱尺寸不是很大,可以不必刻意采用小密度压载物.

4 结 论

本文确定了浮运结构不同工况的受力特点及其相应的荷载,建立了结构分析模型,通过7种工况、不同压载舱布设、不同压载材料的浮运结构有限元计算,分析了压载舱尺寸、压载材料对结构应力的影响;从结构应力的角度提出设计时应该特别处理的部位;在给定压载材料的前提下,提出了压载舱的合理尺寸.

参考文献:

- [1] 沈祖诒.潮汐电站[M].北京:中国电力出版社,1998.
- [2] 范波芹,索丽生.潮汐电站浮运法施工技术综述[J].水利水电科技进展,1998,18(6):17~20.
- [3] 范波芹.潮汐电站厂房浮运结构的浮运稳定和结构优化分析[D].南京:河海大学,2000.

(收稿日期:2000-09-04 编辑:张水斌)

·简讯·

国内首部水碑辑注出版

由河南省浉池县水利局退休老干部范天平辑注的《豫西水碑钩沉》近日由陕西人民出版社出版发行.该书收集了河南省豫西地区(包括三门峡市、洛阳市以及周边地区)历代水碑文献500多篇,并对所有文献进行了点校注释.它的出版发行,填补了我国在水文化研究上的一项空白.

碑刻是一种独特的文化载体,水碑则是我国历代水事活动的一种原始记录,收集并整理水碑对中国水利史研究和水文化研究具有重要意义.河南省豫西地区既是水旱灾害频繁地区,同时又是水事活动较多的地区之一.历朝历代的人们为纪念治水活动,留下了许许多多的水利碑刻.范天平作为水碑文化的探寻者,历时十数载,将散落在各处的水碑进行收录、拓片整理.这些水碑包括旱灾碑、赈灾碑、水灾碑、赐地碑、修渠碑、蝗灾碑、地震碑和水利诗词碑等.在此基础上,辑注出了40余万字的《豫西水碑钩沉》.该书在辑注体例上分为上下两编,上编辑注的是1949年前历代水利碑文,主要包括大禹治水、旱灾赈济与赈济、水灾赈济、水利工程与管理、官府断结水案勒石和乐善好施等碑记;下编辑注的是1949年以后的水利工程碑记,主要包括建于豫西地区的水库、灌溉工程、饮水工程、水土保持、水电站、英烈纪念碑以及矿泉、桥涵、治河、移民等水事活动.

《豫西水碑钩沉》的出版发行,提供了河南省豫西地区水碑文化研究的区域性文本,可以为全国性水碑文化研究提供有益的借鉴,从而丰富我国水文化研究内涵.

(杨文磊供稿)