

DOI: 10.16198/j. cnki. 1009-640X.2015.01.010

冯超, 杜应吉. 渡槽结构横向动力响应分析[J]. 水利水运工程学报, 2015(1):68-73. (FENG Chao, DU Ying-Ji. Analysis of transverse dynamic response for aqueduct structure[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(1):68-73.)

渡槽结构横向动力响应分析

冯 超, 杜应吉

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 结合某渡槽安全鉴定工作, 建立单跨渡槽结构在设计水位和无水两种工况下的 ANSYS 三维有限元模型。选用 Housner 流-固耦合模型模拟了槽内水体与槽体侧壁之间的相互作用, 并设定槽墩高度为 8.3, 10.3, 12.3 和 14.3 m, 分别进行模态分析和动力响应分析, 以观察在不同槽墩高度下渡槽结构的动力响应(应力、位移和速度)变化。分析结果表明: 渡槽结构在设计水位工况下的自振频率小于结构在无水工况下的自振频率; 随着槽墩高度的增加, 结构在设计水位工况和无水工况下的自振频率均呈减小的趋势, 而槽墩顶部、槽体跨中及槽体顶部关键点处的动力响应值有总体增大的趋势; 但渡槽结构不同位置的响应值不同, 在地震作用下, 高墩渡槽的动力响应值总体大于矮墩渡槽的动力响应值。

关 键 词: 渡槽; 有限元; 动力响应; 槽墩高度; 流-固耦合; 地震作用

中图分类号: TV672⁺3; TU311.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-640X(2015)01-0068-06

渡槽是输送渠道水流跨越河渠、山冲、谷口等的输水建筑物, 是渠系建筑物中应用最广的交叉建筑物之一^[1]。渡槽在正常工作状态时, 其槽身结构承受与结构自身重量相当的水体, 而如此大质量的水体在地震作用下引起晃动势必会对槽体自身的动力响应产生影响, 因此如何反映水体的存在以及水体和槽体侧壁之间的相互作用力是研究渡槽结构动力响应的关键^[2]。以往文献中, 对渡槽结构动力响应的研究, 多关于槽体过水截面的高宽比、流固耦合模型的选取对结构动力性能的影响, 而针对槽墩高度的变化对渡槽结构动力响应的影响则研究较少。但是, 实际工程中, 渡槽结构的槽墩高度往往不同。因此, 采用 ANSYS 软件, 并结合某渡槽安全鉴定工程实例, 依据 Housner 流-固耦合模型考虑水体的动力作用并建立不同槽墩高度的渡槽结构单跨有限元模型, 分别对结构进行模态分析和输入地震动荷载, 探求不同槽墩高度下结构关键点处的动力响应变化规律, 具有一定的实际意义。

1 Housner 流-固耦合模型

水体与槽体之间的流-固耦合作用是影响渡槽结构体系动力特性的重要因素。在强震作用下, 流体会产生强烈的晃动, 同时会对槽体产生很大的横向作用力, 该横向力的作用不容忽视^[3], 故需将槽内水体作用纳入槽体在强震作用下受力分析的考虑中。在流-固耦合模型中选用 Housner 流-固耦合模型^[4], 该模型依据势流理论建立的弹簧-质量模型, 便于工程应用同时避开了求解 Laplace 方程和无穷级数的困难, 同 Westergaard 附加质量模型相比, Housner 流-固耦合模型更精确^[2]。此外, 该模型能够考虑流体的晃动作用, 已被多位学者运用并取得了一定的成果^[5-6]。本文所研究渡槽的槽墩为非柔性槽墩, 可以满足 Housner 流-

收稿日期: 2014-07-15

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划重点资助项目(2006BAD-11B03)

作者简介: 冯 超(1989-), 男, 黑龙江齐齐哈尔人, 硕士研究生, 主要从事水工材料耐久性和水工建筑物安全与修复技术研究。E-mail: avalon.f@163.com 通信作者: 杜应吉(E-mail: dyj@nwsuaf.edu.cn)

固耦合模型的适用条件^[7],故本文选用 Housner 流-固耦合模型来模拟水体同槽体之间的流-固耦合作用。

依据 Housner 流-固耦合模型,流体对槽体的作用力由脉动压力和对流压力两部分组成,流体在横向地震激励的作用下,其脉动压力用固定于侧壁的等效质量块 M_{PR}^0 来代替, M_{PR}^0 按下式计算: $M_{PR}^0 = M_1 \tanh(\sqrt{3}l/2h)/(\sqrt{3}l/2h)$,其中:单位厚度水体的重量 $M_1 = \rho hl$, h 为槽内水深; l 为过水截面宽度; ρ 为流体密度。质量块距离渡槽底板的距离 $h_0 = \frac{3}{8}h + \frac{h}{2}\{(\sqrt{3}l/2h)/\tanh(\sqrt{3}l/2h)\}$ 。

流体对槽体的对流压力以水体的奇数阶振动来表示,将这些振动简谐力等效为一系列和侧壁连接的弹簧-质量系统并按下式计算相应奇数阶振动的水体质量、弹簧刚度、距离底板的距离($n=1,3,5\cdots$):

$$M_{PR}^n = \frac{M_1}{n} \left[\frac{\sqrt{10}l}{12hn} \tanh\left(\frac{\sqrt{10}hn}{l}\right) \right], K_{PR}^n = \frac{5}{6} M_1 g \tanh^2\left(\frac{\sqrt{10}hn}{l}\right)$$

$$h_n = h \left\{ 1 - \left(\cosh \frac{\sqrt{10}hn}{l} - 2 \right) / \left(\frac{\sqrt{10}hn}{l} \sinh \frac{\sqrt{10}hn}{l} \right) \right\}$$

其中: n 为流体对流压力的奇数阶阶数。

2 工程概况及有限元模型的建立

本文以某引水渡槽工程为例,该渡槽全长 84 m,共 7 跨,单跨长 12 m,槽体各跨之间采用橡胶止水带连接。渡槽混凝土材料弹性模量为 $2.2 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$,混凝土的泊松比为 0.167,密度为 $2.36 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$,阻尼比为 0.05。渡槽过水截面为矩形截面,过水截面面积为 11.78 m^2 ($3.1 \text{ m} \times 3.8 \text{ m}$),槽体壁厚 0.4 m,槽内设计水位 3.3 m,槽墩高度为 10.3 m,槽体和槽墩之间由橡胶支座连接。由于渡槽结构各跨的长度基本相等,各槽墩高度相差不大且结构所处的地基条件基本一致,其振动周期基本相等,地震动力反应也基本一致,因此可选取单跨渡槽进行有限元建模研究^[8]。

运用 ANSYS 软件建立渡槽结构单跨有限元模型,用附加质量块 mass21 单元来模拟邻跨的槽体和水体质量的影响,针对设计水位和无水工况分别将水体和槽体总质量的一半施加在该跨模型的槽墩上^[5];对渡槽结构施加二维、垂直结构轴线方向的地震动进行分析,故不考虑槽体各跨之间的三维碰撞作用^[9],仅对槽身各跨连接处施加槽身轴线方向的约束。其中渡槽槽身结构选用 solid45^[10] 单元进行离散,Housner 流-固耦合模型的质量块则用 mass21 单元进行模拟,用 beam4 单元模拟质量块和槽体侧壁的刚性连接以实现脉动压力作用,用弹簧单元 combin14 单元模拟质量块和槽体侧壁连接以实现对流压力作用。质量块 mass21 单元通过 combin14 单元和 beam4 单元同槽体侧壁连接,以实现 Housner 流固-耦合模型,其中弹簧-质量模型如图 1 所示。有限元软件进行模拟分析的过程中,一般选用弹簧单元模拟支座^[11],因此槽墩和槽体连接的支座采用弹簧单元 combin14^[12] 模拟,弹簧单元 combin14 刚度取值采用桥梁支座的取值方法^[13]。因对渡槽结构进行横向地震响应分析,故锁定该单元竖直方向和槽身轴线方向的自由度。单跨渡槽结构有限元模型如图 2 所示。

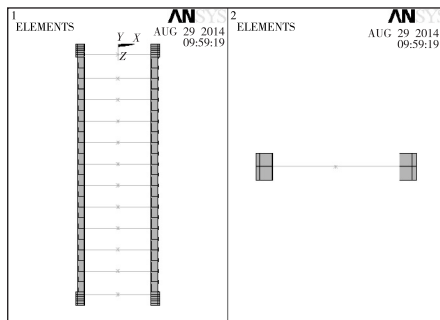


图1 弹簧振子-质量块模型

Fig.1 A spring-mass model

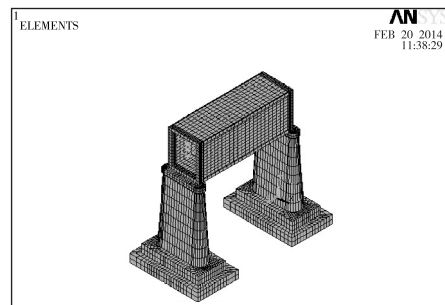


图2 渡槽结构有限元模型

Fig.2 A finite element model for aqueduct structure

3 计算结果及分析

对建立的渡槽结构三维有限元模型进行模态分析,比较槽体在设计水位工况和无水工况下的自振特性。由于该结构不建在河流中,所以不承受洪水和漂浮物的冲击作用。在合理的范围内改变槽墩的高度同时满足结构的抗滑稳定、抗倾覆稳定验算要求;由于槽墩截面面积的变化会改变结构的刚度,从而对结构的动力特性产生影响^[14],因此在原模型的基础上,仅通过改变槽墩高度而不改变槽墩的截面面积相关参数,同时结构满足稳定验算的要求,研究比较槽墩高度对槽体自振特性的影响;对槽体输入地震动荷载,同时在实际工程中,结合渡槽安全鉴定工程,分析在槽墩高度变化的情况下渡槽结构相应的槽墩底部中心、槽墩顶部、槽体跨中及槽体顶端关键点处的动力响应值的变化情况。

3.1 自振特性的分析

渡槽结构的模态是作为结构动力分析的基础和判断共振的依据^[14]。文章采用完全法对渡槽结构进行模态分析,计算出在不同的槽墩高度(8.3, 10.3, 12.3 和 14.3 m)下渡槽结构的前 15 阶振动频率(见表 1)。由表 1 可知,在槽墩高度相同的条件下,设计水位工况下结构的自振频率要大于无水工况下结构的自振频率,说明由于水体的存在增加了结构的总质量,减小了结构的自振频率,符合物理概念;水体的存在对结构不同阶模态的频率改变幅度不同;结构在设计水位工况和无水工况下的自振频率均表现出随着槽墩高度的增加而自振频率减小的特征,表明增加槽墩高度能够延长结构自振周期。通过比较不同槽墩高度下,渡槽结构在设计水位工况和无水工况下的前 10 阶振型,槽体的前 3 阶振型(横向,纵向,纵向)基本不随槽墩高度的增加而改变;在无水工况下,随着槽墩高度的增加,槽墩弯曲的振型出现(5,6 阶振型),表明槽墩高度的增加,使得槽墩更具柔性,故在模态分析中,出现槽墩弯曲的振型;在设计水位工况下,随着槽墩高度的增加,槽墩弯曲的振型和槽体纵向变形的振型在前 10 阶基本不出现,槽体的模态以横向振型和竖向振型为主,表明水体的存在和槽墩高度的变化,对槽体的振型会产生一定影响。

表 1 不同槽墩高度下的自振频率

Tab. 1 Natural frequencies of vibration at different heights of piers

Hz

模态 阶次	墩高 8.3 m		墩高 10.3 m		墩高 12.3 m		墩高 14.3 m	
	无水	有水	无水	有水	无水	有水	无水	有水
1	7.39	6.10	7.19	5.80	5.50	5.44	4.21	4.17
2	11.00	10.87	7.55	7.43	6.75	5.45	6.31	5.06
3	25.63	17.81	23.20	16.62	18.68	14.69	14.81	12.46
4	28.67	21.48	23.83	20.24	19.39	17.98	16.10	15.61
5	30.83	25.19	28.98	24.02	24.14	23.27	18.74	18.72
6	32.57	28.03	31.82	27.62	29.78	24.06	22.41	22.35
7	37.81	30.40	32.68	28.86	29.87	25.99	29.07	22.89
8	40.55	34.01	37.65	32.48	31.32	29.40	30.35	24.13
9	42.73	35.34	39.35	32.93	33.89	29.72	32.10	28.80
10	46.07	37.65	40.13	36.28	35.20	30.99	32.36	29.31
11	48.54	40.61	41.28	36.53	37.72	33.29	37.64	30.71
12	51.06	45.31	43.99	38.94	43.67	35.16	39.85	33.81
13	55.19	45.90	46.29	40.23	46.28	35.52	43.26	34.84
14	56.01	47.66	50.65	41.15	46.70	36.23	43.70	35.28
15	57.61	50.05	52.53	41.55	48.86	41.31	46.12	40.64

3.2 地震动输入及结构动力响应

工程区场址为陕西某地区,地震设防烈度为 8 度,加速度峰值为 0.2g,所在场地相当于二类场地,故对设计水位工况和无水工况下的不同槽墩高度的渡槽结构输入同槽身垂直 X 向,持时 15 s,加速度峰值为

0.2g 的 ElCentro 地震波,其方向与渡槽轴线垂直走向,以便进一步了解槽墩高度对结构动力响应的影响,并在 ANSYS 计算结果中观察渡槽结构关键点的动力响应时程曲线,地震波如图 3 所示。

为表示出渡槽结构在设计水位工况下其水体对结构动力响应的影响以及验证数值模拟的正确性,作出槽体在无水工况和设计水位工况下槽体侧壁中心节点的位移响应时程曲线图,如图 4 所示(槽墩高度 10.3 m)。从图中可知,在地震动的作用下,设计水位工况下节点位移时程响应大于相应的无水工况下的节点位移时程响应,表明水体晃荡对槽体产生了动力作用且这种作用是不可忽视的,模拟结果同实际相符合;同时设计水位工况和无水工况下的节点位移时程曲线表现出同时性,也即运动规律的相似性。采用拟静力法,加速度取峰值 0.2g,对渡槽结构在设计水位工况和无水工况进行抗震计算。针对设计水位工况,将水体作为附加质量考虑,计算槽墩底部剪力并除以槽墩底部截面面积,将计算结果同数值模拟单元面力极值相对比,拟静力法结果约大于数值模拟单元面力极值 20%~25%。因为拟静力法的计算结果偏大于实际值,所以数值模拟结果在合理范围内。

表 2~3 分别列出渡槽结构在设计水位工况和无水工况下,其关键点在整个动力时程响应下的极值,表中的正负号只表示方向。表 2 表明:在不同槽墩高度下,设计水位工况下的槽墩底部中心节点剪力极值均大于无水工况下的墩底剪力极值;槽墩高度的改变对于两种工况产生了不同影响;对于设计水位工况下,底部剪力极值随着槽墩高度的增加而出现相对减小的趋势,而在无水工况下则出现随着槽墩高度增加而剪力极值增加的现象,但增加幅度较小,究其原因,主要在于水体的晃荡作用对结构的动力特性产生了一定影响。

表 2 墩底中心节点剪力、槽体底板跨中节点位移和剪力

Tab. 2 Shear force of central node of pier bottom and displacement and shear force of mid-span bottom node

工况	位移/mm				剪力/N			
	墩高	墩高	墩高	墩高	墩高 8.3 m	墩高 10.3 m	墩高 12.3 m	墩高 14.3 m
	8.3 m	10.3 m	12.3 m	14.3 m				
有水	0.310	0.452	0.665	0.988	40 624/31 695	39 757/31 684	39 639/32 211	39 788/33 111
	-0.548	-0.796	-1.179	-1.172	-70 464/-57 213	-68 555/-57 338	-67 963/-58 580	-67 754/-59 035
无水	0.188	0.283	0.431	0.654	29 290/16 339	30 356/16 566	31 682/16 691	32 971/6 906
	-3.170	-0.478	-0.728	-1.103	-49 106/-27 268	-50 578/-27 828	-53 112/-29 917	-55 302/-31 126

注:“/”前数值为墩底中心节点剪力,“/”后数值为槽体底板跨中节点剪力。

表 2 还给出了槽体底板跨中节点的位移和剪力极值。可知位移和剪力极值都随着槽墩高度的增加而增加,如设计水位工况下位移极值由墩高 8.3 m 的 0.310 mm 变为墩高 14.3 m 的 0.988 mm;在同一槽墩高度下的设计水位工况的位移和剪力极值大于无水工况下的位移和剪力极值,如墩高 10.3 m 时:无水工况下剪力极值为 16 566 N,设计水位工况下的剪力极值为 31 684 N。因此,对底板可采取相应的加固措施来减小水体晃荡的影响;通过计算比较可知随着槽墩高度的增加,节点位移的增幅减弱。

表 3 列出了槽墩顶部节点和槽体侧壁中部顶端节点的速度极值。从表中可知,节点速度极值在两种不同工况下都随槽墩高度的增加而变大,且槽墩高度的增加,槽墩顶部节点速度值的增幅要远远大于槽体侧壁中部顶端节点速度值的增幅。对于不同位置的节点,如槽墩顶部和槽体跨中关键点处的节点速度极度值相差约 5~

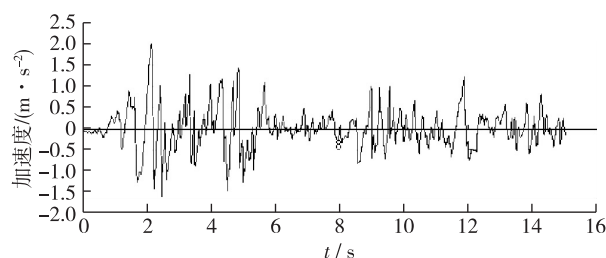


图 3 南北方向 ElCentro 地震动

Fig. 3 ElCentro north and south

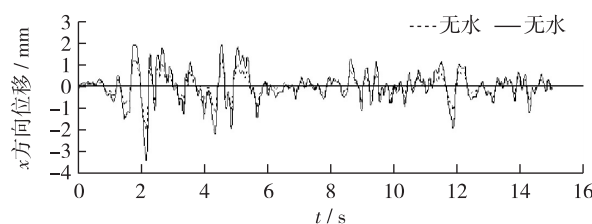


图 4 侧壁节点位移时程

Fig. 4 Node displacement of aqueduct wall along time

6 倍,这表明槽墩顶部节点和槽体顶部节点的速度时程响应不同,槽体顶部节点的速度时程响应要大于槽墩顶部的速度时程响应;也表明对于渡槽结构,上部节点的速度响应极值往往大于下部节点的速度响应极值。

表 3 墩顶和侧壁中部顶端节点速度

Tab. 3 Velocity of pier top node and side wall node

(cm/s)

工况	墩顶节点速度				侧壁中部顶端节点速度			
	墩高 8.3 m	墩高 10.3 m	墩高 12.3 m	墩高 14.3 m	墩高 8.3 m	墩高 10.3 m	墩高 12.3 m	墩高 14.3 m
有水	0.518	0.997	1.751	2.846	6.971	7.843	9.031	10.614
	-0.193	-0.373	-0.665	-1.149	-2.553	-2.904	-3.429	-4.151
无水	0.311	0.618	1.132	1.934	3.982	4.582	5.461	6.729
	-0.117	-0.232	-0.422	-0.721	-1.479	-1.680	-2.007	-2.483

4 结 语

(1)从渡槽结构在两种工况下的模态分析可知,设计水位工况下的槽体自振频率要小于无水工况下的槽体自振频率,表明水体的存在相当于增加了结构体系质量从而延长结构的自振周期,采用 Housner 流-固耦合模型能起到合理模拟水体的效果并且物理概念明确;改变槽墩高度后对结构进行模态分析,可知在无水 and 有水工况下结构都表现出随着槽墩高度的增加而自振频率降低,槽墩高度影响结构的自振周期。在无水工况下,槽墩高度增加,槽墩弯曲的振型开始出现(5,6 阶振型);在设计水位工况下,槽墩高度增加,槽体振型以横向振型和竖向振型为主。

(2)比较槽体在无水工况和设计水位工况下的结构动力响应可知,有水工况下的动力响应大于无水工况下的动力响应,说明由水体晃荡产生的作用于槽体侧壁的动力荷载会加大渡槽结构的变形量;两种工况下的时程响应曲线的趋势在时间上表现出较好的一致性。

(3)比较不同槽墩高度的动力响应时,墩底中心节点的剪力极值的变化随工况不同而出现不同的变化趋势,无水工况,槽墩高度增加同时墩底剪力值增加;设计水位工况下,槽墩高度增加而墩底剪力极值减小。但是,针对水体的存在对槽墩底部剪力极值的影响仍有待于进一步的研究,其他位置关键点处的动力响应极值均随着槽墩高度的增加而增大,但不同关键点的动力响应极值的增幅不同。槽体的底板跨中节点的剪力、位移和槽体侧壁中部顶端节点的位移增幅较大。渡槽结构的速度极值出现在槽体侧壁顶端节点,应对槽体顶部采用设置拉杆等方式加固。因此,在实际工程中,可以通过渡槽结构的槽墩高度,推求结构在承受地震动荷载时关键点处的动力响应值及其变化规律。

参 考 文 献:

- [1] 季日臣,夏修身,陈尧隆. 水体晃荡作用对渡槽横向抗震影响的研究[J]. 水力发电学报, 2007, 26(6): 30-34. (JI Ri-chen, XIA Xiu-shen, CHEN Yao-long. Research on influence of water shake acting on aqueduct transverse seismic response[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2007, 26(6): 30-34. (in Chinese))
- [2] 张多新,王清云,白新理. 大型渡槽结构动力学研究进展[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(4): 22-30. (ZHANG Duo-xin, WANG Qing-yun, BAI Xin-li. Research progress in structural dynamics of large scale aqueduct[J]. Journal of Natural Disasters, 2011, 20(4): 22-30. (in Chinese))
- [3] 王海萍,倪修全,吴军中. 考虑流固耦合的大型渡槽动力分析[J]. 水电能源科学, 2013, 31(10): 90-93. (WANG Hai-ping, NI Xiu-quan, WU Jun-zhong. Dynamic analysis of large-scale aqueduct considering fluid solid coupling [J]. Water Resources and Power, 2013, 31(10): 90-93. (in Chinese))
- [4] 居荣初,曾心传. 弹性结构与液体的耦联振动理论[M]. 北京:地震出版社, 1983: 115-122. (JU Rong-chu, ZENG Xin-chuan. Elastic structure with fluid vibration theory[M]. Beijing: Earthquake Press, 1983: 115-122. (in Chinese))
- [5] 李彦军,王贺,吴迪. 大型渡槽结构抗震分析研究[J]. 人民黄河, 2010, 32(1): 100-102. (LI Yan-jun, WANG He, WU

- Di. Large-scale aqueduct structure seismic analysis[J]. Yellow River, 2010, 32(1): 100-102.(in Chinese))
- [6] 季日臣, 苏小凤, 严娟. 水体质量对大型梁式渡槽横向抗震性能影响研究[J]. 地震工程学报, 2013, 35(3): 569-574.(JI Ri-Chen, SU Xiao-feng, YAN Juan. Transverse seismic performance of beam aqueduct considering water mass influence[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2013, 35(3): 569-574.(in Chinese))
- [7] 刘云贺, 胡宝柱, 闫建文, 等. Housner 模型在渡槽抗震计算中的适用性[J]. 水利学报, 2002 (9): 94-99.(LIU Yun-he, HU Bao-zhu, YAN Jian-Wen, et al. Applicability of Housner model to aseismic characteristics calculation of aqueduct[J]. Journal of Hydraulic Research, 2002 (9): 94-99.(in Chinese))
- [8] 张伯艳, 邓迎, 李德玉. 渡槽抗震计算中几个关键问题的简化处理方法[J]. 南水北调与水利科技, 2005, 3(2): 46-48. (ZHANG Bo-yan, DENG Ying, LI De-yu. Simplification treatment of some key problems in aqueduct aseismic calculation[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science & Technology, 2005, 3(2): 46-48.(in Chinese))
- [9] 周浩. 大型渡槽结构三维地震碰撞反应分析[D]. 郑州: 郑州大学, 2013.(ZHOU Hao. Three-dimensional seismic pounding response analysis of large-scale aqueduct structures[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2013. (in Chinese))
- [10] 王新敏. ANSYS 工程结构数值分析[M]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 378-384.(WANG Xin-min. ANSYS engineering structure numerical simulation[M]. Beijing: China Communication Press, 2007: 378-384.(in Chinese))
- [11] 谢旭. 桥梁结构地震响应分析与抗震设计[M]. 北京: 人民交通出版社, 2006: 20-23.(XIE Xu. Bridge structure seismic response analysis and seismic design[M]. Beijing: China Communication Press, 2006: 20-23.(in Chinese))
- [12] 包陈, 王呼佳. ANSYS 工程分析进阶实例[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2009: 249-253.(BAO Chen, WANG Hu-jia. Examples of ANSYS engineering analysis[M]. Beijing: China WaterPower Press, 2009: 249-253.(in Chinese))
- [13] 罗如登, 叶梅新, 莫朝庆. 桥梁支座水平静力约束方向抗震中的弹簧刚度取值方法对比研究[J]. 铁道科学与工程学报, 2008, 5(2): 23-28.(LUO Ru-deng, YE Mei-xin, MO Chao-qin. The comparison study on valuing method of the stiffness on the direction of horizontal static constraint of support in seismic finite element analysis on bridges[J]. Journal of Railway Science and Engineering, 2008, 5(2): 23-28.(in Chinese))
- [14] 王博, 李杰. 大型渡槽结构模态分析[J]. 地震工程与工程振动, 2000, 20(3): 60-66.(WANG Bo, LI Jie. Large scale aqueduct modal analysis[J]. Earthquake Engineering and Engineering Vibration, 2000, 20(3): 60-66.(in Chinese))

Analysis of transverse dynamic response for aqueduct structure

FENG Chao, DU Ying-ji

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest Agricultural and Forestry University, Yangling 712100, China)

Abstract: For safety appraisal of an aqueduct, an ANSYS three-dimensional finite element model of a single-span aqueduct structure has been developed with design water level and without water. The fluid-solid interaction Housner model is selected to simulate the interaction between water and the aqueduct wall and different pier heights of the aqueduct are set: 8.3 m, 10.3 m, 12.3 m, 14.3 m respectively. The dynamic response of the aqueduct structure under different pier heights (stress, displacement, velocity) based on modal analysis and dynamic analysis is observed. Analysis results show that the natural vibration frequencies of the aqueduct structure under the design water level are less than those without water. With increase of the pier height of the aqueduct, the frequencies of the structure show the trend of decrease; the dynamic response values of the key points of the top of the pier, the mid-span and the top of the mid-span have the tendency of increase; however, the dynamic response values of the different position of the aqueduct structure are different, therefore, the dynamic response values of the high-pier aqueduct is generally greater than that of the short-pier aqueduct under the practical conditions of earthquake.

Key words: aqueduct; finite element method; dynamic response; piers height; fluid-solid interaction; earthquake action