

文章编号:1007-6492(1999)02-0067-03

渡槽结构动力性能的有限元分析

徐建国, 王 博

(郑州工业大学水利及环境工程学院, 河南 郑州 450002)

摘 要: 为分析南水北调水利工程某渡槽的结构动力性能, 以便对工程设计提供有力支持, 采用 8 结点空间块体单元对渡槽进行有限元离散, 借助 SAP 93 有限元分析软件, 对该渡槽进行 4 种工况(槽内无水、槽内有水、渡槽无伸缩缝、渡槽有伸缩缝)下的模态分析及地震荷载作用下的动力响应时程计算。结果表明: 在无水情况下, 无伸缩缝时的各阶频率均大于有伸缩缝时对应的各阶频率; 在渡槽有水情况下也有同样的结果。对于具有相同结构的渡槽, 无水时的各阶频率均大于有水时相应的各阶频率。

关键词: 渡槽; 有限元; 模态; 地震响应

中图分类号: TU 311.3 **文献标识码:** A

南水北调水利工程是为缓解我国华中及华北地区的水资源缺乏而兴建的大型水利工程。渡槽作为南水北调工程的重要组成部分, 是跨越道路、河流、山谷以及泄洪排涝的水工建筑物。目前, 在进行渡槽的空间动力分析及抗震时程计算时, 为简化计算, 通常将渡槽抽象为空心杆件模型, 但实际上渡槽并非为空心杆件, 而是薄壁杆件结构, 由于薄壁结构的一些特殊问题, 如横向往扭耦合振动、约束扭转变形等必须予以考虑, 否则会造成较大误差。因此, 应对大型渡槽的动静力进行精细分析与仿真计算。本文采用 SAP 93 有限元分析软件对南水北调工程某渡槽进行空间结构模态分析和动力响应时程计算。

1 结构计算模型

南水北调中线工程某渡槽共分 3 跨, 每跨长 28 m, 如图 1 所示。渡槽槽体有底板、侧板、翼缘, 各跨间有伸缩缝, 槽体与支架间有盆式橡胶支座联接。支架采用 H 框架结构, 支架高度 11.2 m, 渡槽的横断面尺寸如图 2 所示。

2 有限元模型的建立

利用有限元网格剖分, 将渡槽结构离散化为合理的力学分析模型。划分单元时遵循下列原则:

(1) 渡槽槽体及支架均采用 8 结点等参块体

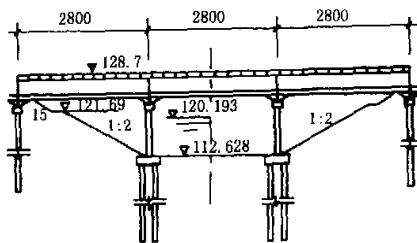


图1 渡槽纵剖面图

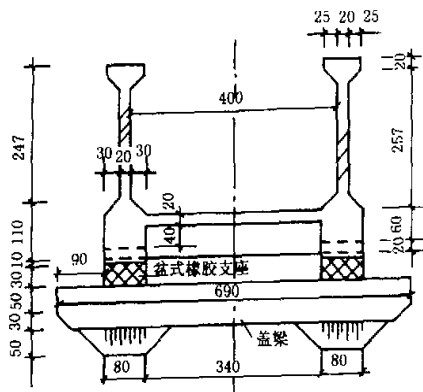


图2 渡槽槽身横剖面图

单元, 支架单元剖分较细, 槽体单元剖分稍粗些。网格的粗细直接影响计算工作量与计算精度, 若网格过粗, 则计算误差大; 网格过细, 不仅耗费机时, 精度也较低。经分析, 其单元分布情况见表 1。

收稿日期:1999-02-08; 修订日期:1999-03-30

基金项目:河南省科技攻关项目(961190107)

作者简介:徐建国(1966-),男,河南省孟津县人,郑州工业大学硕士研究生,讲师,主要从事工程力学、结构分析方面的研究。

表 1 渡槽剖分单元汇总表

序 号	单元说明	单元类型	总 数
1	侧 板	8 结点等参元	672
2	底 板	8 结点等参元	336
3	翼 缘	8 结点等参元	252
4	支 架	8 结点等参元	336
5	橡胶支座	弹簧单元	4
6	单元总数		1600
7	结点总数		3896

(2) 各部分的材料力学参数见表 2. 在保证渡槽的实际横截面的几何常数(如 A, I_x, I_y 等)不变的条件 下, 将其划分为标准的槽形横截面, 这样就可保证所建模型与实际结构的一致性;

(3) 渡槽横截面的竖向弯曲变形绕着横截面形心的坐标轴转动, 故在处理两端简支的渡槽约束时, 约束点须位于横截面的形心惯性主轴上;

(4) 渡槽槽体与支架联接的盆式橡胶支座, 可采用 10 号弹簧单元模拟;

(5) 当渡槽内有水时, 将水体视为集中质量叠加于相应的槽身结点上;

(6) 计算地震动力响应时程时, 用 Wilson- θ 法求动力响应^[1,2], 渡槽阻尼比采用 0.05, 时间步长采用 0.02 s.

表 2 各部分材料力学参数

材 料	弹模/(10^{10} MPa)	泊松比	体积质量/(N/m^3)
混凝土	2.55	0.3	25000
水			10000

3 计算结果分析

3.1 渡槽的空间模态分析

渡槽模态分 4 种工况分析, 渡槽两端为简支.

- (1) 渡槽无伸缩缝, 槽内无水;
- (2) 渡槽无伸缩缝, 槽内设计水位 2.21 m;
- (3) 渡槽有伸缩缝, 槽内无水;
- (4) 渡槽有伸缩缝, 槽内设计水位 2.21 m.

利用子空间迭代法^[3]求解模态值, 经分析计算, 渡槽结构在 4 种工况下的前 10 阶自振频率列于表 3. 工况 1 前 6 阶振型图如图 3 所示.

表 3 渡槽在 4 种工况下的自振圆频率值 rad/s

振型序号	工况 1 振型特征	工况 2 振型特征	工况 3 振型特征	工况 4 振型特征
1	16.501 横	12.977 横	13.625 横	11.693 横
2	26.008 横	21.542 横	19.736 横	16.931 横
3	29.087 横	24.124 横	26.860 横	22.924 横
4	41.664 竖	34.979 竖	29.166 竖	24.667 竖
5	42.858 横	36.545 横	36.355 横	31.309 横
6	47.962 竖	40.248 竖	38.824 竖	33.117 竖
7	49.470 横	42.331 横	39.649 竖	33.552 竖
8	51.361 纵	42.857 纵	40.080 横	35.157 横
9	51.754 侧板	46.012 侧板	45.902 竖	36.342 竖
10	53.386 侧板	47.972 侧板	51.747 侧板	46.536 侧板

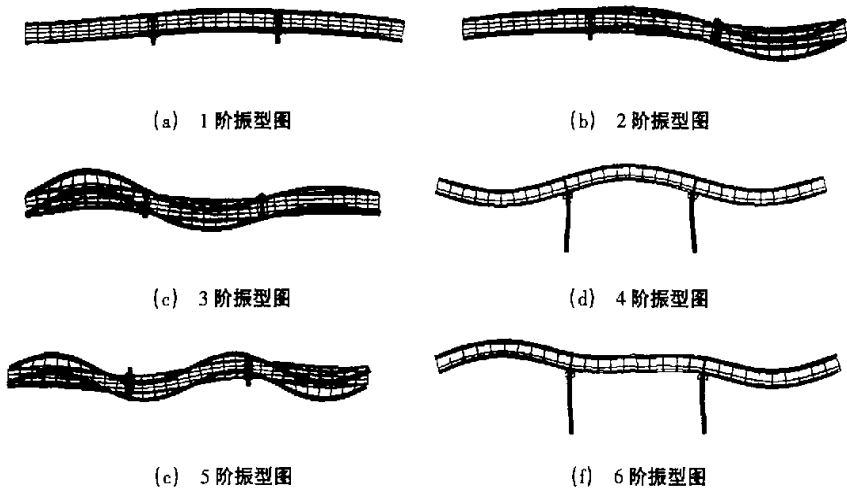


图 3 渡槽各阶振型图

3.2 渡槽空间地震动力响应^[4,5]

渡槽在工况 1 下沿横向输入 EL-Centro 地震波而发生横向振动,渡槽的最大响应及支架的最大响应列于表 4.

选择渡槽各跨中截面底板中点及左、右支架顶点为位移输出点,EL-Centro 地震波持时为 19.2 s,峰值调幅为 0.1 g.

从表 4 可见,在地震波作用下,渡槽的最大地震响应发生在渡槽中跨的跨中附近,两块渡槽之间转折角为 0.62°,满足抗震要求.

表 4 渡槽及支架地震最大响应值 mm

位 置	最大响应值
左跨槽中点	16.5
中跨槽中点	82.4
右跨槽中点	57.1
左支架顶点	57.6
右支架顶点	81.5

4 结 论

(1) 比较 4 种工况的前 10 阶模态,前 3 阶振型均为横向弯曲,第 4、6 阶振型均为竖向弯曲,由于无伸缩缝时渡槽的整体性较好,故在第 8 阶振型中出现了纵向漂移.综合各种工况,在无水情况

下,无伸缩缝的各阶频率均大于有伸缩缝的对应各阶频率(工况 1 与工况 3,工况 2 与工况 4);结构相同的渡槽无水时的各阶频率均大于有水时相应的各阶频率(工况 1 与工况 2,工况 3 与工况

4).这与圆频率的计算公式 $\omega = \sqrt{\frac{K_i}{M_i}}$ 的物理涵义是相吻合的^[6].

(2) 在计算地震时程响应时,所需机时太长,对于大型渡槽采用微机大型通用程序求解过于困难,应寻求其它合适的力学模型.

参考文献

- [1] 王 博,王冠月,徐建国.线性结构地震反应分析模型研究[J].郑州工业大学学报,1998,19(3):10-13.
- [2] 李 杰,李国强.地震工程学导论[M].北京:地震出版社,1992.
- [3] 巴特 K J,威尔逊 E L.有限元中的数值方法[M].林公豫译.北京:科学出版社,1985.
- [4] 朱以文.ALGOR FEMS 软件说明书[M].武汉:武汉水利学院出版社,1991.
- [5] 徐芝纶.弹性力学[M].北京:人民教育出版社,1979.
- [6] 范立础.桥梁抗震[M].上海:同济大学出版社,1997.

Finite Element Analysis of Structural Dynamic Property for Aqueduct

XU Jian-guo, WANG Bo

(College of Hydraulic & Environmental Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to analyse the structural dynamic property of aqueduct and provide a powerful support for engineering designs. Eight node dimensional brick elements are used to divide the aqueduct. By utilizing finite element method software SAP 93, the modals under several conditions(aqueduct without water, aqueduct with water, aqueduct without extension commissures, aqueduct with extension commissures)are analysed and the dynamic response of one of aqueducts in the projects for diverting water from south to north in earthquake is calculated. The results show that every frequency of the aqueduct without extension commissure is bigger than that of a queduct with extension commis-sures in the case of aqueduct without water. It also gets the same results in the case of aqueduct with water. To the aqueducts with the same structure, every frequency of aqueduct without water is bigger than that of aqueduct with water .

Key words: aqueduct; finite element method; model; response of earthquake