

# 某大跨度波形钢腹板公路箱梁桥地震反应谱分析<sup>①</sup>

冯新富

(广东省林业调查规划院, 广东 广州 510520)

**摘要:**以有限元分析理论为基础,采用大型结构计算软件 ANSYS 作为工具对一座大跨度波形钢腹板公路箱梁桥进行了动力特性分析和基于振型分解的反应谱分析,同时对比计算了同样规模的预应力混凝土箱梁。

**关键词:**波形钢腹板箱梁桥;全桥三维有限元模型;抗震性能

## 1 工程概况

某公路大桥采用上、下行分离式桥梁。为 70m + 120m + 70m 波形钢腹板预应力砼连续箱梁桥(如图 1 所示),主跨 L = 120 米,边跨 L 边 = 70 米, L 边/L = 0.58。



图1 主桥结构图

主桥单幅上部箱梁为单箱单室断面,箱梁顶宽 13.5m,箱梁底宽 6.5m,翼缘悬臂长 3m,悬臂端部板厚 0.2m,悬臂根部厚 0.5m。墩顶根部梁高为 7m,为跨径的 L/17.14;跨中梁高为 3m,为 L/40。为改善 1/4 跨径处的应力状态,梁高按 1.6 次抛物线变化。箱梁顶板厚 0.25m;底板厚度 0.25 ~ 0.8m,按二次抛物线变化。波形钢腹板采用抗拉强度 310MPa、抗剪强度 180 MPa 的 Q345qc 钢材,直腹板,波长 1.6m,波高 220 mm,水平面板宽 43cm,水平折叠角度为 30.7°,内径 R 为 120cm,钢板厚度 8 ~ 14mm。

## 2 有限元模型及参数

### 2.1 基本参数

上顶板、下底板和横隔板采用 C50 混凝土,在有限元分析中,将混凝土认为是各向同性的均质弹性体,混凝土的弹性模量  $E = 3.5 \times 10^4$  MPa,泊松比  $\mu = 0.1667$ ,密度  $\rho = 2.5 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>,标准抗拉强度为 2.65MPa,标准抗压强度为 32.4MPa。

钢腹板采用 Q345C 级低合金结构钢板弯折成型,符合现行的国标 GB1591-94 的要求;弹性模量  $E = 2.1 \times 10^5$  MPa,泊松比  $\mu = 0.3$ ,密度  $\rho = 7.8 \times 10^3$  kg/m<sup>3</sup>,轴向允许应力  $[\sigma] = 200$  MPa,弯曲允许应力  $[\sigma_v] = 210$  MPa,抗剪允许应力  $[\tau] = 12$  MPa。

### 2.2 波形钢腹板公路箱梁模型

整个模型采用映射网格划分单元,全桥共有 29676 个实体单元,6740 个壳单元(如图 2)。

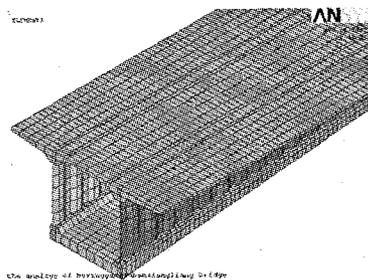


图2 顶板、底板实体单元

### 2.3 混凝土箱梁模型

为了便于比较分析,该大桥建立了两个计算模型,一个是波形钢腹板公路箱梁桥,也就是该大桥采用的形式,而另一个是把波形钢腹板换成混凝土腹板的模型,腹板厚度从跨中到墩顶 45cm、50cm、55cm、60cm 成阶梯式增厚,其它位置尺寸不变,建模是混凝土腹板采用 solid65 实体单元。

整个模型采用映射网格划分单元,全桥共有 20344 个实体单元,600 个壳单元(如图 3)。

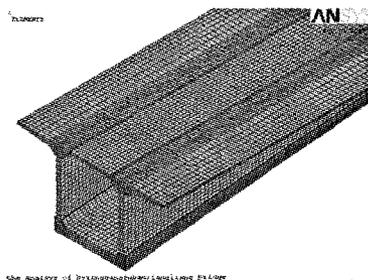


图3 顶板、底板、腹板实体单元

### 2.4 边界条件

在主梁底面,按设计的支座位置约束中跨一端支座

① 收稿日期:2008-05-26

的 X、Y、Z 轴向位移和绕 X、Y、Z 轴的角位移,其他支座约束其 Y 轴向位移。

### 2.5 设计反应谱

根据大桥工程场地地震危险性概率分析及场地地震动参数的确定报告,桥址场地的地震基本烈度为Ⅶ度,桥址所在场地为Ⅱ类场地土,不考虑近震的影响,选取结构的阻尼比为 5%,采用抗震基本设防烈度为 7 度地区的罕遇地震下的设计反应谱作为对该桥的抗震验算值,据此按照现行《公路工程抗震设计规范(JTJ004-89)》计算相应的设计反应谱,如图 4 所示。

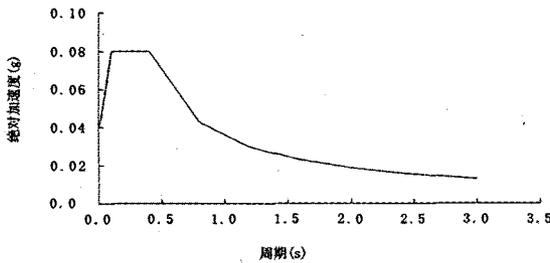


图 4 设计反应谱

采用的地震动力输入模式取为纵桥向 + 横桥向模型,考虑到该桥为主跨 120m 的连续梁,其主桥处的地质连续无明显不同地貌特征,因此,在分析时未考虑行波效应,而采用同步输入地震波的方法。

### 3 两种桥型结构自振特性计算

选用子空间迭代法进行了动力特性计算,并且以此动力特性为基础进行结构地震反应计算。表 1 给出了波形钢腹板箱梁模型和混凝土箱梁模型的前 10 阶振型的频率计算结果波形钢腹板箱梁模型前 10 阶振型的形态如图 5 ~ 图 14 所示。

表 1 计算模型的前 10 阶自振频率和振型

阶次	波形钢腹板箱梁模型		混凝土箱梁模型	
	自振频率(Hz)	振型	自振频率(Hz)	振型
1	0.771	面外横弯	0.787	面外横弯
2	1.156	面内竖弯	1.218	面内竖弯
3	1.353	面内竖弯	1.330	面内竖弯
4	2.650	面外横弯	2.600	面外横弯
5	2.657	面内竖弯	2.736	面内竖弯
6	3.192	面内竖弯	3.165	面内竖弯
7	4.120	面内竖弯	4.095	面内竖弯
8	4.970	面外横弯	5.110	面外横弯
9	5.928	扭转	5.990	扭转
10	6.489	面内竖弯	6.466	面内竖弯

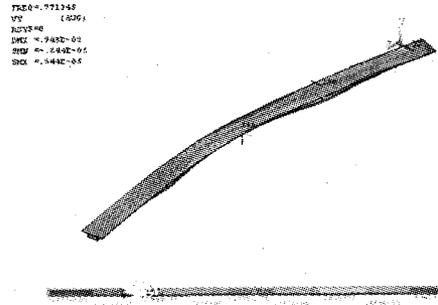


图 5 第一振型频率 f=0.771

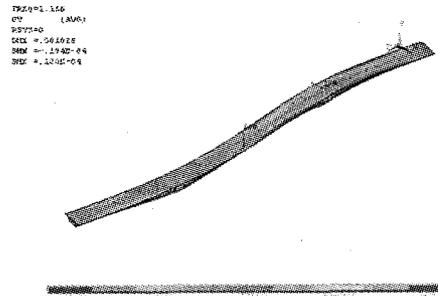


图 6 第二振型频率 f=1.156

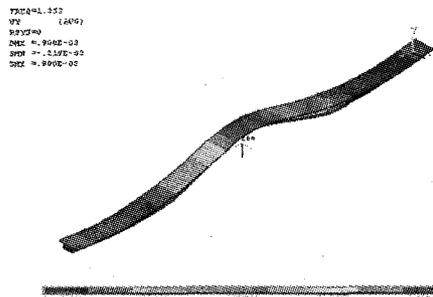


图 7 第三振型频率 f=1.353

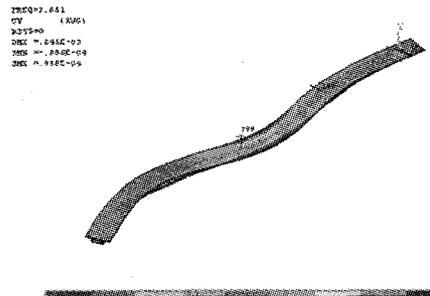


图 8 第四振型频率 f=2.650

FREQ=2.637  
 WZ  
 WZ  
 WZ  
 WZ  
 WZ

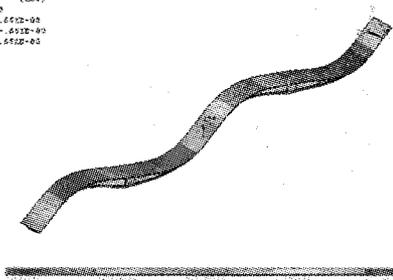


图9 第五振型频率  $f=2.637$

FREQ=3.192  
 WZ  
 WZ  
 WZ  
 WZ

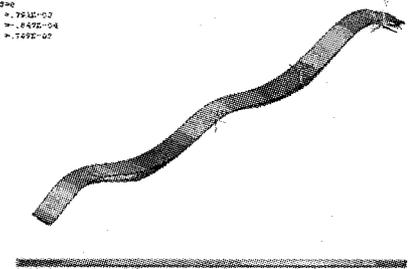


图10 第六振型频率  $f=3.192$

FREQ=4.120  
 WZ  
 WZ  
 WZ  
 WZ

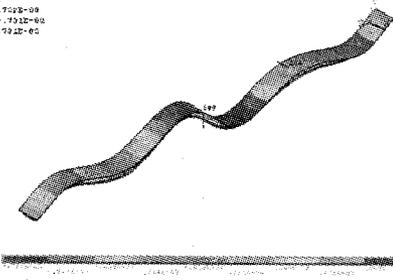


图11 第七振型频率  $f=4.120$

FREQ=4.970  
 WZ  
 WZ  
 WZ  
 WZ

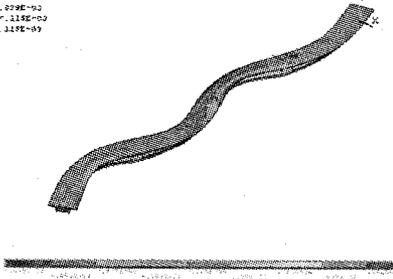


图12 第八振型频率  $f=4.970$

FREQ=5.928  
 WZ  
 WZ  
 WZ  
 WZ

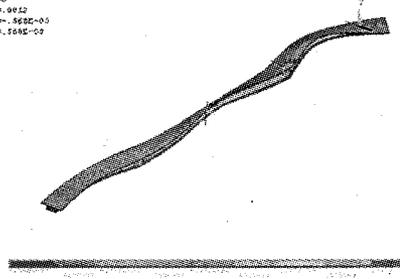


图13 第九振型频率  $f=5.928$

FREQ=6.489  
 WZ  
 WZ  
 WZ  
 WZ

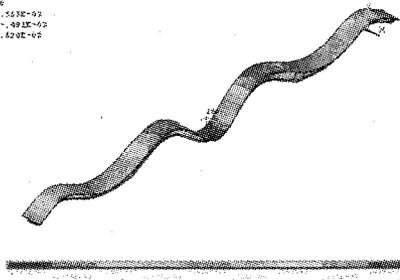


图14 第十振型频率  $f=6.489$

从以上结果可见,波形钢腹板箱梁桥的自振频率计算结果总体上仅略小于混凝土箱梁。前10阶振型中,两种结构的振型差别不大,第1阶振型均为面外横弯,第2阶为面内竖弯,第9阶为扭转振型,因此两种结构的动力性能差别很小;已经知道波形钢腹板箱梁桥的质量小于混凝土箱梁桥,因此从自振特性计算结果可见波形钢腹板箱梁桥的结构刚度比混凝土箱梁桥略小;波形钢腹板箱梁桥的扭转刚度略小于混凝土箱梁桥,这与一般静力分析结果的结论一致。

#### 4 波形钢腹板箱梁桥基于振型分解的反应谱分析

##### 4.1 计算结果

根据上述分析,对结构进行了计算,计算结果如表2~表4;其中,1-1截面位于边跨1的跨中,2-2截面位于边跨1主梁的根部,3-3截面位于中跨跨中,4-4截面位于边跨2的主梁根部,5-5位于边跨2的跨中。

表2 波形钢腹板箱梁各截面弯矩计算结果/kN·m

位置	横向弯矩 Mx	纵向弯矩 My	扭矩 Mz
1-1(边跨1跨中)	0.032	-2540.383	-145.309
2-2(边跨1主梁根部)	1.249	-4016.438	-221.724
3-3(中跨跨中)	-0.071	18010.110	154.008
4-4(边跨2主梁根部)	-3.386	89618.580	1592.663
5-5(边跨2跨中)	0.414	-39655.490	-323.919

表3 混凝土箱梁各截面弯矩计算结果/kN·m

位置	横向弯矩 Mx	纵向弯矩 My	扭矩 Mz
1-1(边跨1跨中)	1.348	-6486.623	-391.827
2-2(边跨1主梁根部)	-0.445	-4458.440	-246.862
3-3(中跨跨中)	-1.295	30259.270	250.531
4-4(边跨2主梁根部)	-2.40	111812.000	2029.495
5-5(边跨2跨中)	-57.582	-67819.520	-575.690

表4 波形钢腹板箱梁、混凝土箱梁各截面位移计算结果

位置	波形钢腹板箱梁挠度/mm	混凝土箱梁挠度/mm
1-1(边跨1跨中)	0.615	0.993
2-2(边跨1主梁根部)	0.182	0.152
3-3(中跨跨中)	0.892	0.850
4-4(边跨2主梁根部)	0.181	0.169
5-5(边跨2跨中)	0.615	0.591

#### 4.2 计算结果分析

从以上反应谱计算结果可见,两种结构各控制截面的横向弯矩、纵向弯矩和扭矩相比,混凝土箱梁均大于波形钢腹板箱梁,平均相差 150% 以上,两者挠度计算结果基本相当,表明波形钢腹板箱梁的结构性能要优于混凝土箱梁。

#### 5 结论

以有限元分析理论为基础,采用大型结构计算软件 ANSYS 作为工具对一座大跨度波形钢腹板公路箱梁桥进行了动力特性分析和基于振型分解的反应谱分析,同时对比计算了同样规模的预应力混凝土箱梁。

土箱梁。根据有关计算结果可以得出以下几点结论。

(1)从两种结构的自振特性计算结果可见,波形钢腹板箱梁桥的自振频率计算结果总体上仅略小于混凝土箱梁。前 10 阶振型中,两种结构的振型差别不大,第 1 阶振型均为面外横弯,第 2 阶为面内竖弯,第 9 阶为扭转振型,因此两种结构的动力性能差别很小。已经知道波形钢腹板箱梁桥的质量小于混凝土箱梁桥,因此从自振特性计算结果可见波形钢腹板箱梁桥的结构刚度比混凝土箱梁桥略小,波形钢腹板箱梁桥的扭转刚度略小于混凝土箱梁桥,这与一般静力分析结果的结论一致。

(2)从以上反应谱计算结果可见,两种结构各控制截面的横向弯矩、纵向弯矩和扭矩相比,混凝土箱梁均大于波形钢腹板箱梁,平均相差 150% 以上,两者挠度计算结果基本相当,表明波形钢腹板箱梁的结构性能要优于混凝土箱梁。

#### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部标准. JTJ023-85 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,1985
- [2] 李宏江,万水,等. 波形钢腹板 PC 组合箱梁的结构特点[J]. 公路交通科技,2002. 19(3).
- [3] 刘剑萍,正司明夫,等. 浅谈合成结构—波形钢腹板箱梁桥的设计[J],世界桥梁,2002, (3).
- [4] 李宏江,等. 剪切变形对波形钢腹板箱梁挠度的影响[J]. 交通运输工程学报,2002,12(2).