

大跨度钢管混凝土拱桥的动力特性分析*

徐 亮 ,刘世忠

(兰州交通大学桥梁工程系,甘肃 兰州 730070)

摘 要:本文以甘肃在建的主跨 180m、宽跨比为 1/25.7 的上承式钢管混凝土拱桥为例,详细分析该桥的自振特性,进行地震响应的反应谱法分析,并分析了桥面系的弹性约束对主拱结构动力特性的影响。结果表明:由于该桥的宽跨比小于 1/20,横桥向地震响应较为强烈。

关键词:钢管混凝土拱桥;大跨度自振特性;板式橡胶支座;反应谱

中图分类号:U441

1 引言

用作受压构件的钢管混凝土,由于钢管对混凝土的紧箍作用,使混凝土的抗压强度大大提高,而且还由脆性材料转变为塑性材料,基本性能起了质的变化。同时,薄壁钢管的承载力恒决定于薄壁的局部稳定,屈服强度常得不到充分利用。用作钢管混凝土时,内部存在混凝土,提高了薄壁钢管的局部稳定性,其屈服强度可以充分利用。在钢管混凝土构件中,两种材料能相互弥补对方的弱点,发挥各自的长处,因而是钢材与混凝土的最佳组合使用。由于拱桥是以压弯为主的结构形式,使得钢管混凝土这种组合材料在拱桥上的应用有着得天独厚的条件。

在已建成的钢管混凝土拱桥中,大多为下承式和中承式拱桥,直接采用上承式钢管混凝土肋拱的拱桥尚不多见。在建的甘肃省刘家峡祁家渡黄河大桥优先选用上承式钢管混凝土肋拱方案,在桥梁跨度和宽跨比方面做出了一定的突破,因此有必要对该类结构的动力特性作进一步的研究。

2 工程概况

祁家渡黄河大桥位于刘家峡水电站大坝上游约 4.2km 处,河流深切基岩达 180m,现水库淤积约 70m。两岸岸坡陡峭,为典型“v”形沟谷,地质条件良好。

主桥为净跨 180m 的无铰推力拱,矢跨比 1/5,

拱圈采用等截面悬链线拱,拱轴系数 $m = 1.543$ 。全桥跨径组合为:20m 简支梁 + 180m 钢管混凝土拱 + 20m 简支梁,桥梁全长 240.06m。拱上结构采用简支梁柱体系,全桥布置如图 1 所示。

钢管混凝土拱圈截面由横哑铃形桁式双肋组成。每肋由 4 根 $\phi 700\text{mm}$,壁厚 12mm 的 16Mnq 钢组成,内注 C50 微膨胀混凝土作为弦杆;上、下弦横向用缀板连接,内注 C50 微膨胀混凝土形成横向哑铃形;上、下弦之间用直径 $\phi 299 \times 8\text{mm}$ 空钢管作为腹杆,组成桁式拱肋。在每个拱肋上立柱对应的位置和相邻两立柱中心处,垂直于拱轴线设桁片式横撑。

与国内已建成的同类型桥梁相比,该桥具有跨度大,宽跨比小的特点。该桥桥面较窄,拱肋宽跨比为 1/25.7,超出了宽跨比 1/20 的限值,且该桥处于度地震区,桥面系质量比重较大,质量中心位置较高,因此对该桥的动力特性进行研究有着重要意义。

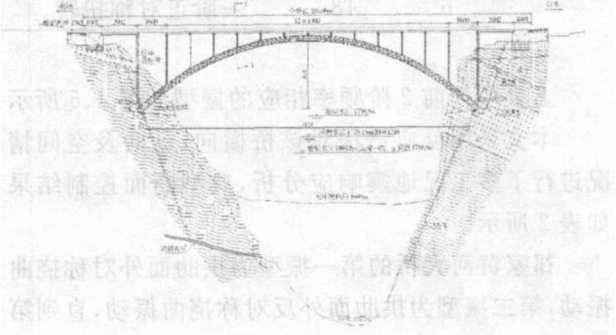


图 1 全桥布置图

*兰州交通大学“青蓝”基金项目

3 有限元分析模型

全桥所有杆件均采用三维梁单元模拟,立柱与拱肋,立柱盖梁与梁的偏心均采用刚臂单元连接。全桥共剖分为 1468 个结点,2144 个单元,全桥有限元模型如图 2 所示。桥面系的弹性约束分为考虑与不考虑板式橡胶支座对桥面横向的弹性约束两种情况建模。橡胶支座的弹性约束按对梁端的扭转弹簧模拟。钢管混凝土构件在正常使用极限状态下的综合弹性模量、面积、惯性矩,根据《CECS 28:90》所推

荐的公式计算。

桥址所在场地各类岩土层平均剪切波速大于 500m/s,场地卓越周期为 0.11s,属于坚硬场地土,工程场地类别为 I 类。根据《中国地震动参数区划图》(GB18306 - 2001),桥址处地震峰值加速度系数为 0.15g(相当于原标准 7 度地震区)。采用《公路工程抗震设计规范》(JTJ004 - 89)提供的设计反应谱值对结构进行地震响应的反应谱法分析。设计反应谱图见图 3。

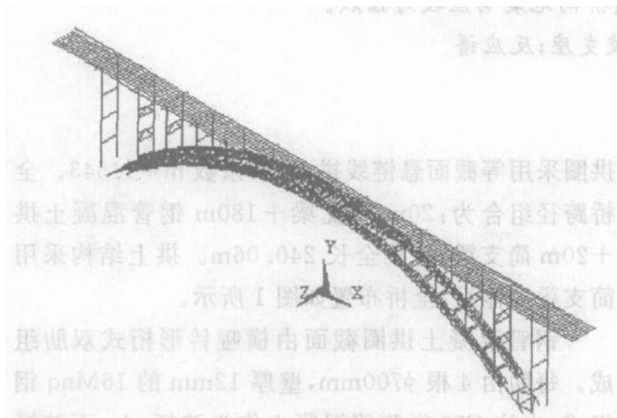


图 2 成桥状态计算模型

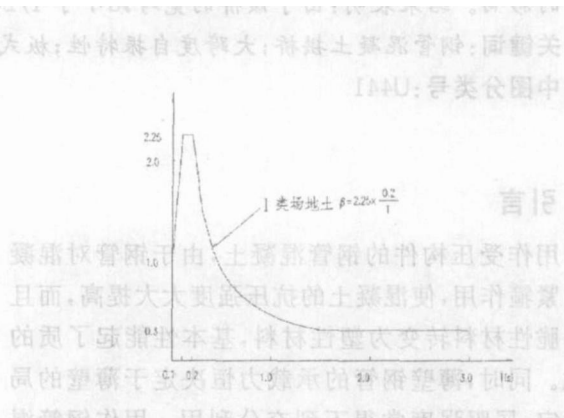


图 3 设计反应谱的动力放大系数

4 主要计算结果

表 1 祁家渡黄河大桥自振特性表(不考虑橡胶支座/考虑橡胶支座)

序号	振型号	振型特点	频率(Hz)	周期(s)
1	1	一阶正对称侧弯	0.229/0.234	4.376/4.268
2	2	一阶反对称侧弯	0.362/0.376	2.763/2.658
3	5	一阶反对称竖弯	0.656/0.667	1.524/1.499
4	10	一阶正对称竖弯	1.167/1.186	0.857/0.844
5	12	一阶反对称扭转	1.337/1.37	0.748/0.728
6	18	一阶正对称扭转	1.899/1.949	0.527/0.513

上表所列前 2 阶频率相应的振型如图 4、5 所示。本文采用反应谱法对该桥横向、纵向及空间情况进行了多工况地震响应分析,典型断面控制结果如表 2 所示。祁家黄河大桥的第一振型为拱肋面外对称挠曲振动,第二振型为拱肋面外反对称挠曲振动,直到第

五振型才出现拱肋面内反对称竖向挠曲振动,表明面内刚度明显大于面外刚度,足见本桥宽跨比小的特点。由表 2 可以看出,横向和竖向激振地震响应较纵向和竖向地震响应大,可见横桥向地震响应是较突出的问题,设计中应加强横向联系。

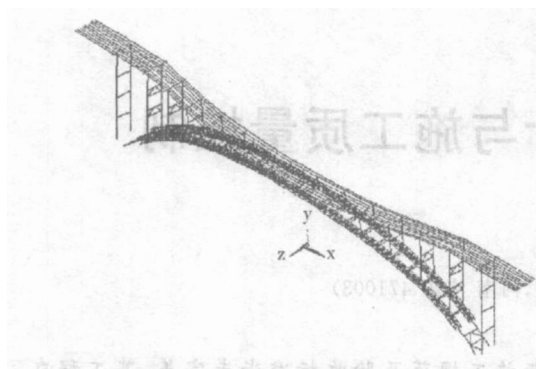


图 4 一阶正对称侧弯振型 (Hz)

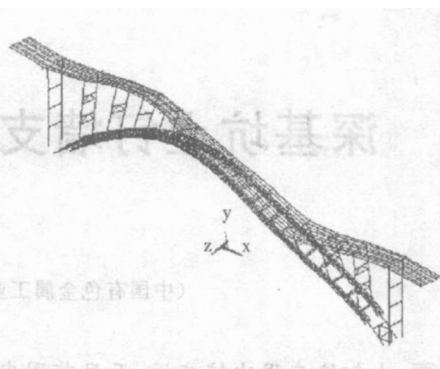


图 5 一阶反对称侧弯振型 (Hz)

表 2 控制截面地震响应反应谱法内力表

工况	部位	轴力 (KN)	面内剪力 (KN)	面外剪力 (KN)	扭矩 (KN·m)	面内弯矩 (KN·m)	面外弯矩 (KN·m)
水平纵向 + 竖向激振	拱脚	984.3	233.6	9.2	0.9	2574.1	20.7
	桁拱端上缘	512.2	24.2	0.2	0.2	62.1	0.2
	桁拱端下缘	566.0	2.4	0.2	0.2	23.5	0.2
	拱顶	212.5	80.6	0.3	0.3	12.2	0.2
水平横向 + 竖向激振	拱脚	3703.1	384.6	149.7	219.3	3693.1	1170.0
	桁拱端上缘	2380.6	74.2	54.4	38.8	117.6	109.8
	桁拱端下缘	2120.2	24.9	95.6	18.4	47.3	171.7
	拱顶	354.7	6.9	9.9	2.4	8.3	16.6

5 结论

(1) 祁家渡黄河大桥面内自振频率较面外大,基频之比为 2.871,表明面内刚度明显大于面外刚度,充分反映了祁家渡黄河大桥桥面窄、宽跨比小的特点。(2) 祁家渡黄河大桥基本周期为 4.376s,大大超出了单孔拱为刚性结构时 0.3~0.4s 基本周期的实测统计数据^[5],属柔性结构。这表明钢管混凝土拱桥由于材料强度的提高和跨径的增大,刚度问题较为突出。(3) 考虑橡胶支座对桥面系横向刚度的影响,该桥的自振频率仅提高了 1.6%~2.7%,地

震响应仅提高了 1.8%~2.5%,可见桥面系的弹性约束对地震响应内力的影响不大,计算中可忽略。

参考文献:

- [1] 钟善桐,《钢管混凝土结构》(第三版),清华大学出版社,2003.
- [2] 陈宝春,《钢管混凝土拱桥设计与施工》,人民交通出版社,2000.
- [3] 《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS 28:90),中国计划出版社,1992.
- [4] 范立础、胡世德、叶爱君,《大跨度桥梁抗震设计》,人民交通出版社,2001.

(上接第 157 页)从而使准备受孕夫妇如意的得一个健康、聪明、可爱的宝宝。

再者,作为母婴保健医务工作者及其机构,也要加大对每一对育龄夫妇作相关知识的“传播者”,作为母婴保健工作者及其机构就是向人们提供生育调节的信息、咨询、技术和服务。妇产科医生有责任在提供信息和知识的基础上,帮助或指导病人作好选择,对于类似发生先兆流产或难免性流产的妇女,应从维护受孕妇女身心健康有利于优生优育,提高人

口质量的角度上建议作出终止妊娠的决定。

参考文献:

- [1] 甘肃省卫生防疫站文件. 甘防食[2001]6 号关于转发卫生部《关于面粉、油脂中过氧化苯甲醛测定等检验方法通知》的通知。
- [2] 中国预防医学科学院标准处, 食品卫生标准、食品添加剂连二亚硫酸钠(保险粉) 1997. 272 - 273
- [3] 张寿林、黄金祥、周安寿主编《急性中毒诊断与急救》北京 化学工业出版社 1996. 500