钢管混凝土拱桥施工全过程稳定性分析

王晓斌

(神华包神铁路有限责任公司,内蒙古鄂尔多斯 017000)

摘要:大跨度钢管混凝土拱桥常采用缆索吊装斜拉扣挂法施工。应用有限元软件,针对某 中承式钢管混凝土拱桥建立了从拱肋吊装至成桥的全过程计算模型,并对该有限元模型进行了 稳定性分析,得出各工况下结构的稳定安全系数,最后讨论了设置横向风缆对拱肋稳定性的影 响。结果表明,该桥施工各阶段稳定性均满足规范要求。

关键词:钢管混凝土;拱桥;稳定分析;有限元模型

中图分类号: U445.5 文献标识码: A 文章编号: 2095-0373(2012) 02-0028-04

钢管混凝土拱桥具有跨越能力大、承载能力高、塑性和韧性好、施工方便迅速等优点,在桥梁工程中 得到了越来越广泛的应用。但随着拱桥跨径的不断增大,结构越来越趋于轻柔,其整体刚度越来越小,导 致拱桥的稳定问题较为突出。因此,计算该类桥梁的稳定性对桥梁建设具有重大意义^[1]。

利用有限元软件 Midas/Civil 建立计算模型,对某中承式钢管混凝土拱桥从拱肋吊装到成桥状态进行 了全过程稳定性分析,并探讨了设置横向风缆对拱肋稳定性能的影响。

1 结构稳定分析理论

结构稳定从失稳的性质上分为第一类稳定(分支点失稳)和第二类稳定(极值点失稳)。拱桥是以受 压为主的压弯结构 理想阶段下拱桥失稳属于平衡点失稳 ,其临界荷载称为屈曲荷载;但由于加工运输安 装等因素和材料、几何非线性的影响 ,严格意义上来讲拱桥失稳均属于极值点失稳 ,此时的临界荷载称为 极限荷载或压溃荷载。

由于第一类稳定问题力学概念明确,计算方法简便,因而受到工程技术人员的欢迎。结构线弹性稳 定特征值方程式为^[2]

$$[K] + \lambda [K_c] \{\Delta\delta\} = 0 \tag{1}$$

式中, [K] 为结构的弹性刚度矩阵; [K_c] 为结构的几何刚度矩阵; { $\Delta\delta$ } 为结构整体位移向量增量; λ 为稳定系数(特征值)。

对于钢管混凝土拱桥,一般认为其线弹性稳定系数值不应小于4。

2 工程实例分析

2.1 工程概况

某中承式钢管混凝土拱桥,主拱肋为双肋悬链线无铰拱,计算跨径为 210.00 m,计算矢高 60 m,矢跨 比 1/3.5 ,拱轴系数 m = 1.543,每片拱肋由 4 根 Φ 750 × 16(20) mm 的 Q345C 钢管组成,内灌 C50 微膨胀 混凝土,并作为弦杆,上弦和下弦横向两根钢管之间用 Φ 500 × 12(20) mm 的平联钢管联接,平联管内灌 注 C50 混凝土,上、下弦管之间用 Φ 450 × 12mm 钢管作为腹杆,组成桁式拱肋。拱肋为等宽变高度截面, 宽 2.0 m 高度在拱脚径向为 5.5 m 在拱顶为 3.5 m。两肋中心距为 27.0 m 桥面以上设 6 道 "K"撑 桥 面以下每侧分别设置 1 道 "K"撑和 1 道对 "K"撑,每道横撑均为空钢管桁架,主拱肋共设横撑 10 道。吊

收稿日期:2012-03-19

作者简介: 王晓斌 男 1966 年出生 助理工程师

杆标准间距为 7.0 m,采用镀锌高强度低松弛 25 Φs15.2 钢绞线, PE 防护,采用加装有位移释放装置的 OVM-GJA(B) 15-25 型冷铸墩头锚,分别锚于拱肋的平联钢管顶和横梁的下翼缘。行车道系由预制混凝 土小 T 梁、预应力混凝土横梁及预制混凝土板组成,预制板通过纵、横湿接缝与纵梁、横梁连接。拱上立 柱采用 Φ800 mm 的钢管混凝土构件,内灌 C50 混凝土,全桥共 16 根立柱。来华大桥主桥桥型布置见图 1 拱顶断面见图 2。



图1 来华大桥桥型图(单位:mm)

钢管拱肋采用缆索吊装斜拉扣挂法施工,每半跨拱肋分4个吊段, 吊段的最大质量约60t。节段为单肋安装,待上下游同一节段安装就位 后,安装节段间连接横撑,即完成一个双肋吊装。空钢管拱肋合龙、各节 段接头焊接完成并形成无铰拱后,应予以逐级松扣。钢管拱肋内混凝土 灌注顺序为:先灌注下弦管混凝土,待混凝土达到设计强度后再灌注上 弦管内混凝土。

2.2 有限元计算模型

采用 Midas/Civil 建立桥梁的空间有限元模型。在模型中,主拱肋、 腹杆、横撑、吊杆横梁、立柱、桥面纵梁均采用梁单元模拟,桥面板采用板 单元模拟,吊杆、扣索(风缆)采用不受拉桁架单元模拟,并用 Ernst 公式 对其弹性模量进行修正^[3]。



图 2 拱顶断面(单位:mm)

模型中约束形式为:在拱肋安装阶段拱脚位置为铰接,拱肋合龙后拱脚为固结;桥面纵梁端部仅约束 竖向位移,并释放其余自由度。

计算模型中采用的材料特性根据设计规范的具体规定来确定,具体取值为:钢材弹性模量 2.1×10¹¹ Pa,钢绞线弹性模量 1.95×10¹¹ Pa,C50 混凝土弹性模量为 3.5×10¹⁰ Pa,钢材密度取 7 850 kg/m³,混凝土 密度取 2 500 kg/m³。

对于钢管混凝土组合截面 不考虑套箍效应 其刚度按下式取值^[4]。

压缩和拉伸刚度

$$EA = E_s A_s + E_c A_c \tag{2}$$

抗弯刚度

$$EI = E_s I_s + E_c I_c \tag{3}$$

式中, A_s , I_s 为钢管横截面的面积和对其重心轴的惯性矩; A_c , I_c 为钢管内混凝土横截面的面积和对其重心轴的惯性矩; E_s , E_c 为钢材和混凝土的弹性模量。

采用的计算工况为: 工况1,拱肋拼装到最大悬臂段; 工况2,拱肋合龙,拆除扣索; 工况3,灌注下弦管 混凝土; 工况4,灌注上弦管混凝土; 工况5,安装吊杆、施工桥面系直至成桥; 工况6,运营阶段。

计算中考虑的荷载包括: ①恒载。包括一期恒载(自重)和二期恒载(桥面铺装、栏杆等)。②风荷载。 基本风压取 0.2 kN/m²。仅考虑拱肋、桥面系所受的横向静风荷载,以均布荷载的形式施加到模型中每个 单元上。③活载。按满布活载(公路 I级、六车道)计算。 在拱肋悬臂拼装阶段 模型中将扣索后锚点作为固定段,忽略塔架变形影响;在钢管混凝土灌注阶段,管内混凝土重量以线荷载的形式施加在拱肋单元上,当混凝土达到设计强度后,即按组合截面计算截 面特性。各工况有限元计算模型见图3~图5。



图 3 有限元模型 1(最大悬臂段)

图 4 有限元模型 2(拱肋合龙)

图 5 有限元模型 3(成桥状态)

2.3 计算结果

根据以上计算模型得到桥梁各工况下的稳定系数及失稳特征如表1所示,运营阶段桥梁第一阶失稳 模态如图6所示。



图 6 运营阶段桥梁第1阶失稳模态

工况	稳定系数 λ	失稳模态特征
1	5.058	面外失稳
2	12.387	面外失稳
3	10.446	面外正对称失稳
4	11.825	面外正对称失稳
5	9.569	拱肋面外正对称横向失稳 桥面系轻微扭转
6	8.852	拱肋面外正对称横向失稳 桥面系轻微扭转

3 设置风缆对拱肋拼装阶段稳定性影响分析

在钢管拱肋斜拉扣挂法施工过程中,为了增加拱肋侧向刚度,分别在拱肋拱腰及拱顶附近设置横向 风缆,并施加一定的初始张力。设置风缆一方面可以保证拱肋不会发生面外失稳,另一方面可以方便调 整拱肋的横向偏位。

为了探讨风缆张力对拱肋稳定性的影响,分别在风缆中施加 不同的张力进行计算,计算结果见图7。

4 结论

应用弹性特征值稳定分析方法 在考虑恒载、风载及活载组合的情况下,计算了各工况下桥梁的稳定安全系数,得到如下结论:

(1)各计算工况下第一阶失稳形态均表现为拱肋的面外横向失稳,说明桥梁竖向刚度比横向刚度大;

(2) 工况 5 与工况 6 相比,恒载与活载共同作用下的桥梁稳定系数仅减小 7.4%,说明该桥恒载对结



图 7 风缆张力对稳定性的影响

30





图 9 增设横向风缆后拱肋失稳模态

图 8 未设横向风缆时拱肋失稳模态 构的稳定性起主要作用。

(3) 拱肋拼装到最大悬臂阶段是整个施工过程中最危险的环节,在实际施工中应考虑增设横向缆风绳。但风缆张力对拱肋稳定影响不大。

参考文献

[1]陈宝春. 钢管混凝土拱桥 [M]. 北京: 人民交通出版社 2007.

[2]王元清 姜波 石永久 等.大跨度钢管混凝土拱桥施工稳定性分析[J].铁道科学与工程学报 2005 3(5):1-5.

[3] 王艳 陈淮. 大跨径钢管混凝土桁架拱桥稳定性分析 [J]. 铁道科学与工程学报 2010 7(1):7-10.

[4]哈尔滨建筑工程学院,中国建筑科学研究院. CECS28—90 钢管混凝土结构设计与施工规程[S]. 北京:中国计划出版 社,1990.

Stability Analysis of Construction Process of Concrete-filled Steel Tube Arch Bridge

Wang Xiaobing

(Shenhua Baoshen Railway Company Ltd. , Erdos 017000 , China)

Abstract: Lang span concrete-filled steel tube (CFST) arch bridge is constructed usually by lane cable. In this paper a three-dimensional finite element model is built for the 220 m half-through CFST arch bridge. Its stability factor and the instability mode are given under the specific construction stage. Finally , the effect of guy-cable on the stability of arch ribs is studied. The analysis results show that the stability can meet the requirements of related codes during different construction stages.

Key words: concrete filled steel tube; arch bridge; stability analysis; finite element model

(责任编辑 刘宪福)