

文章编号:1000-582X(2002)05-0112-04

轻轨 PC 梁铸钢支座有限元分析及实验*

韩西¹,钟厉²,邵毅明²,柴迎庆³,傅洪章³

(1.重庆大学光电工程学院,重庆 400044;2.重庆交通学院,重庆 400074;

3.重庆水轮机厂有限责任公司,重庆 400054)

摘要:跨座式轻轨轨道采用简支梁结构,铸钢支座需承受所有荷载,其强度将对轻轨交通产生决定性的影响。由于铸钢支座结构的特殊性和受载的复杂性,对其进行应力分析,确保轻轨安全,有极其重要的意义。通过对铸钢支座的有限元分析,建立了支座的三维有限元模型,分析支座承受的荷载及受力边界条件,得到接触应力和综合应力计算结果。为验证理论分析结果,对支座进行了疲劳试验,试验研究表明,有限元分析结果和试验结果吻合良好,保证了分析结果的可靠性。

关键词:支座;有限元分析;接触应力

中图分类号:U443.36

文献标识码:A

跨座式轻轨交通系统是日本和欧美等发达国家在80年代提出的一种现代城市交通模式。和地铁相比,它同时具有投资省(仅相当于地铁投资的40%)、保护环境、节约能源、速度快(80 km/h)、爬坡能力强、不占用地面道路等优点,在国外发展异常迅速。根据城市的发展,我国将建设轻轨交通线路约300条,线路总长约4500 km。预计到2010年,我国将建成轻轨线路约450 km;到2020年,我国将建成轻轨线路约900 km;到2050年前,将全部建成约4500 km的轻轨线路。城市轻轨将与地铁、市郊(城市)铁路及其他轨道交通构成一个城市的快速轨道交通体合换乘枢纽,市民可方便换乘不同车次,乘客将感到乘坐轨道交通极其方便。轨道交通承担的运量可达到城市公共交通运量的50%~80%。

由于轻轨交通具有以上特点,它比较适合我国国情,尤其适合于改善重庆市现有的交通状况。1999年国家计委、国务院正式批准在重庆建设高架轻轨较场口至新山村线路,线路工程全线长17.54 km,采用高架跨座式单轨交通方式。全线建成后可达到高峰小时运送3万人次的客运能力。但轻轨交通及其相关技术在国内尚属发展阶段,有许多技术问题和产品开发有待解决。PC轨道梁铸钢支座是预应力混凝土梁与墩台相连的支撑体(图1)。铸钢支座分为固定和活动支座

2种,它们分别用于直线梁和曲线梁的支承,能同时承受轻轨列车高速行驶所产生的多种组合荷载,其中包括垂直纵横向荷载、扭转荷载以及冲击荷载等。为满足轻轨客车行车的安全可靠、平稳及低噪声的要求,铸钢支座应具有足够的强度、抗疲劳、耐磨、承受PC梁荷载和环境温度变化以及防腐蚀的耐久性要求。因此,不论在材料的选用还是在制造精度以及结构形式上,它都比一般的桥梁支座要求高的多。为适应国内轻轨交通发展的需要,重庆水轮机厂有限责任公司和重庆交通学院结构工程部级实验室共同研制了跨座式轻轨PC梁铸钢支座,并对其进行了有限元分析和实验研究,其目的是开发替代国外进口的同类产品,实现铸钢支座的国产化。

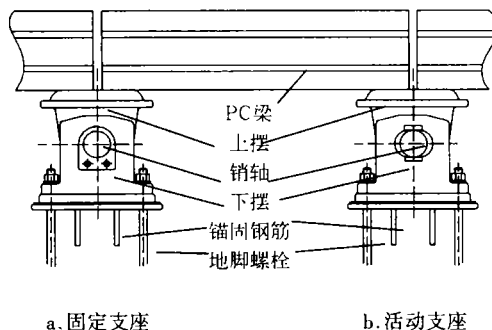


图1 铸钢支座示意图

* 收稿日期:2002-01-15

作者简介:韩西(1964-),男,重庆市人,重庆交通学院副教授,工学博士,主要从事结构动力分析、振动控制及结构有限元分析方面的研究。

1 有限元分析

1.1 有限元模型^[1,2]

按支座的实际尺寸,利用 I-DEAS 程序,建立了

和实际零件比例为 1:1 的有限元模型,单元形式为四面体 4 结单元,模型的主要数据见表 1。轻轨 PC 轨道梁固定支座和活动支座的三维实体和有限元模型如图 2 和图 3 所示。

表 1 铸钢支座的有限元模型数据

	固定支座		活动支座	
	单元数 (Elements)	结点数 (Nodes)	单元数 (Elements)	结点数 (Nodes)
上摆	13 376	13 906	上摆(包括支承压板)	11 954
下摆	24 196	26 826	下摆(包括支承压板)	15 657
销轴	2 057	2 159	销轴	6 756
合计	39 629	42 891	合计	34 376

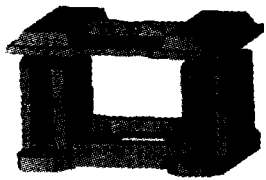


图 2 固定支座三维实体和有限元模型

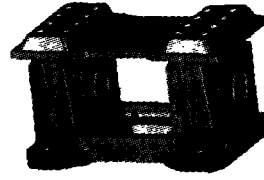
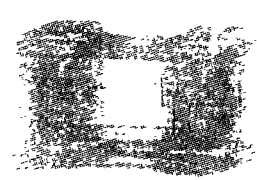


图 3 活动支座三维实体和有限元模型



1.2 荷载和计算工况

铸钢支座的荷载和计算工况见表 2。

表 2 铸钢支座荷载和计算工况

	直线梁				曲线梁			
	固定支座		活动支座		固定支座		活动支座	
	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2	工况 1	工况 2
竖向荷载 KN	901	901	901	901	1 443	545	1 443	545
横向荷载 KN	60.1	94.85	60.1	94.85	70	70	70	70
横向力矩 KN-m	90.15	166.89	90.15	166.89	482	482	482	482
纵向水平荷载 KN	95.82	95.82			132	132		

1.3 边界条件处理^[3,4]

1.3.1 荷载边界条件

1) 竖向力,为一分布力(面力),作用在支座上摆顶面垂直方向;2) 横向荷载,为一分布力,作用在上摆顶面平行方向;3) 横向力矩,将其转换为 2 个分布力,分别作用在支座上摆顶面,方向相反。

1.3.2 位移边界条件(约束条件)

轻轨 PC 铸钢支台下摆支承在模动盘(凸轮)上,

由 4 个地脚螺栓固定,约束了支座体的竖向移动自由度(Z 向)及下摆的水平位移(X 向、Y 向)。

1.4 有限元分析计算结果^[5,6]

不同工况下计算得到支座最大接触应力、综合应力及位移,其结果见表 3、表 4(只列出曲线梁计算结果)。图 4 和图 5 分别为固定支座上摆、活动支台下摆及活动支座销轴的 Von Mises 应力和接触应力计算分析图^[7]。

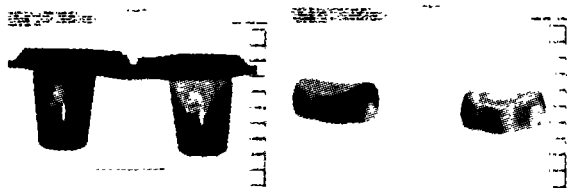


图 4 活动支座上、下摆应力图

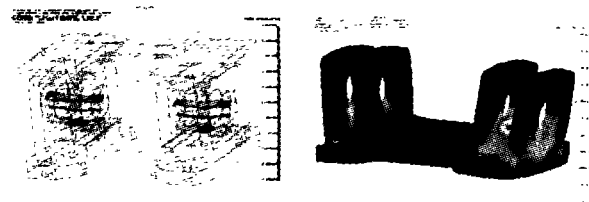


图 5 活动支座销轴接触应力和综合应力分布图

表 3 曲线梁有限元分析应力计算结果

计算工况			最大接触应力 σ_c /MPa	安全系数 S_c	最大综合应力 σ_e /MPa	安全系数 S_e	最大接触应力 作用位置
固定 支座	上摆	工况 1	218	1.40	115	2.56	上摆右侧支承孔上方
	下摆	工况 2	145	2.10	77.4	3.80	下摆右侧支承孔上方
	销轴	工况 1	238	2.10	45.6	11.18	右销轴下方
活动 支座	上摆	工况 1	246	3.90	244	5.42	上摆支承压板和销轴接触处
	下摆	工况 2	203	4.73	175	7.56	下摆孔上部和销轴接触处
	销轴	工况 1	380	1.96	220	3.79	上摆支承压板和销轴接触处

表 4 曲线梁最大位移及其作用位置

计算工况		最大位移 /mm	最大位移位置
固定 支座	上摆 工况 1	1.39×10^{-1}	上摆右部
	下摆 工况 2	1.06×10^{-1}	下摆右部
	销轴 工况 2	2.42×10^{-1}	左销轴上方
活动 支座	上摆 工况 1	4.42×10^{-1}	上摆右部
	下摆 工况 2	8.02×10^{-1}	上摆左部
	销轴 工况 1	3.01×10^{-1}	右销轴上部

2 静力实验分析^[2]

为确保铸钢支座的使用可靠性,对支座进行静力试验以检测支座各部位的受力及变形状况,确定支座在试验荷载下的安全度。

2.1 试验荷载

铸钢支座进行静力试验所采用的竖向荷载和横向荷载的大小如下:

竖向荷载:855.95 kN;横向荷载:82.77 kN。

2.2 测点布置

活动支座与固定支座的上、下摆的根部均布置应变花,具体布置见图 6。变形测点是在支座上、下摆布置几个百分表测量其位移。

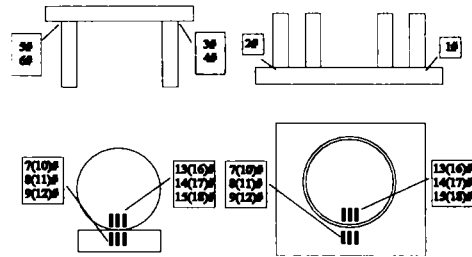


图 6 试验测点布置图

2.3 计算和实验结果分析

通过对支座的静力试验和分析计算,其对比结果见表 5。

表 5 铸钢支座直线梁试验与计算结果对比

测点	测点应力/MPa		测点位移/mm		
	实测值(855.95 KN)	计算值(910 KN)	实测值	计算值	
固定 支座	1	12.02	16.3	上摆左外侧 0.45	0.081
	4	8.34	11.3	上摆跨中 0.045	0.089
	9	14.85	17.5	上摆右外侧 0.16	0.050
活动 支座	1	17.99	20.3	上摆左外侧 0.08	0.126
	5	3.66	4.5	上摆跨中 0.67	0.104
	9	13.74	16.3	上摆右外侧 0.39	0.111

3 结 论

通过对 PC 弯梁钢支座的有限元分析和试验验证,可得到如下结论:

- 1) 钢支座在直线和曲线梁的所有工况中,其最大接触应力都未超过其许用应力,可以满足使用要求;
- 2) 铸钢支座的综合应力最大值为所有工况中也未超过其许用应力;

3) 支座的最大位移(变形)量在计算时不超过 0.242 mm,在试验时未超过 0.67 mm,显示整个支座具有较大的刚性,完全满足使用要求。

4) 有限元分析的应力计算结果和试验吻合较好,证明计算结果是可靠的,由于接触应力无法进行试验测量,它必须借助有限元分析计算,这也充分显示了理论分析的长处;

5) 的位移(变形)计算和试验结果有较大的差异,

可能是由于荷载边界条件及约束的处理在分析时与试验的情况不完全相同;

6) 理论分析和试验研究说明,铸钢支座在正常使用条件下,不会发生静强度破坏。

参考文献:

- [1] 韩西,邵毅明.重庆市轻轨线 PC 梁钢支座有限元分析报告[R].重庆:重庆交通学院结构工程部级重点实验室, 2000.
- [2] 重庆水轮机厂有限责任公司.跨座式轻轨 PC 梁铸钢支座鉴定会评审资料[R].重庆:重庆水轮机厂有限责任公司, 2000.
- [3] TAYLOR R L, PAPADOPOULOS P. On a finite element method for dynamic contact/impact problem [A]. Int J Numer Meth Engng, 1993, 36(12): 2123-2140.
- [4] SDRC, I-DEAS MS7.0 Smart View Online Document[Z].
- [5] ROBERT D COOK. Concept and Applications of Finite Element Analysis[M]. Second Edition, New York: John Wiley & Sons, 1981.
- [6] THOMAS J R, HUGHES. The Finite Element Method: Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis[M]. New York: Dover Pubns, 2000.
- [7] ROBERT COOK. Finite Element Modeling for Stress Analysis [M]. New York: John Wiley & Sons, 1995.

Finite Element Analysis and Experimental Research on Pedestal of PC Beam for Light Railcar

HAN Xi¹, ZHONG Li¹, SHAO Yi-ming², CHAI Ying-qing³, FU Hong-zhang³

(1. College of Opto - electronic Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074, China;

3. Chongqing Water Wheel Machine Ltd. Co., Chongqing 400054, China)

Abstract: In design of light railcar used freely supported beam, the cast steel pedestals will bear complex loads, which include weight, acceleration and wind, etc. Because of pedestals' peculiarity and complexity, the strength of the pedestals play an important role in safety of light railcar. So it's necessary to analyze their stress and deformation in order to insure safety of light railcar. Up to now, finite element analysis is still the most effective means. By studying cast steel pedestal with finite element method, 3-D finite element models of fixed and kinetic pedestals were built, and the loads and boundary condition of pedestals were analyzed. By means of finite element analysis software, the contact and von mises stresses were obtained and deformation were resolved. As a result of analysis, the tow of pedestal can fulfill requirement of use in light railcar, the contact stress and von mises stress are not exceeded limit stress strength of materials. There is enough static strength for the structures of pedestals. For verifying theoretical analysis result, the fatigue test was carried out, with examining the testing points locating on the pedestals, the stress and deformation data were measured. By comparing between theoretical analysis and test data, the experimental results show calculated and testing results can meet the case well which assure the reliability of finite element analysis. But in the result, there are differences in deformations of them. The reason may be that boundary conditions and loads are not same between analysis and experiment.

Key words: pedestal; finite element analysis; contact stress

(责任编辑 张小强)