

大吨位预应力时混凝土局部应力的测试与分析

王卫锋¹, 颜全胜¹, 谭毅平², 徐金勇²

(1. 华南理工大学 交通学院, 广州 510640 2. 华南理工大学 建筑学院, 广州 510640)

摘要: 大桥采用挂篮悬臂浇筑法施工, 每个悬臂施工段张拉锚固两到四束纵向预应力束. 为了掌握大桥结构局部受力情况, 确保施工和结构安全, 在槽尾撬大桥 4[#]墩的 2[#]块纵向预应力张拉施工时, 测试了锚垫板附近箱梁混凝土的应变分布, 进行了空间有限元分析, 并对理论计算与实测进行了分析比较.

关键词: 空间有限元分析; 预应力混凝土

中图分类号: U448.23 U441 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2006)03-0085-05

Measuring and Analysis of Local Stress in Concrete under Heavy Prestressing

WANG Wei-fang¹, YAN Qian-sheng¹, TAN Yiping², XU Jin-yong²

(1 College of Traffic and Communications South China University of Technology Guangzhou 510640 China

2 College of Architecture and Civil Engineering South China University of Technology Guangzhou 510640 China)

Abstract While the balanced cantilever construction is adopted, two to four longitudinal prestressed tendons are tensioned. To ensure the safety of construction and structure, the condition of local stress of the bridge structure should be investigated. When the prestressed tendons of Segment 2[#] of Pier 4[#] of Luweiqiao Bridge are tensioned, the strain situation of the box-section beam concrete near the anchor plate is measured. The measured values are compared with the analytical values which are obtained with space finite element method.

Key words space finite element analysis; prestressed concrete

0 引言

槽尾撬大桥位于广州至珠海(西线)高速公路海南至碧江段,大桥跨越珠江支流,采用三跨预应力混凝土连续梁结构体系.大桥分左右两幅,左幅跨径为 48.9m+90m+62m,右幅跨径为 44.9m+80m+53m.主桥箱梁采用三向预应力,其中纵向预应力束采用为 15-19 的钢绞线.大桥采用挂篮悬臂浇筑法施工,每个悬臂施工段张拉锚固四束纵向预应力束.为了掌握大桥结构局部受力情况,确保施工和结构安全,在槽尾撬大桥 4[#]墩的 2[#]块纵向预应力张拉施工时,测试了锚垫板附近箱梁混凝土的应变分布,进行了空间有限元分析,并对理论计算与实测进行了分析比较.

1 测试目的

1)通过实测张拉预应力过程中混凝土表面各测点的应变情况,了解锚下混凝土的应力、应变分布,并与理论计算值比较.

2)通过测试和理论分析,掌握大桥箱梁的局部受力状况,为该大桥的受力可靠性提供科学的依据,确保大桥结构和施工安全.

3)同时本次测试也为预应力作用下混凝土局部受力的分析,积累和提供科学研究的资料.

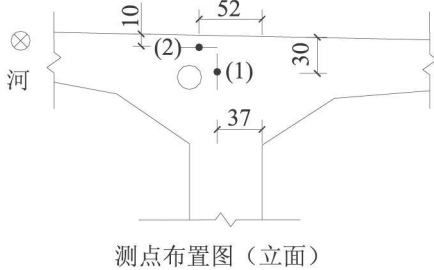
收稿日期: 2006-01-24

第一作者简介: 王卫锋(1967~),男,博士,副教授.主要研究方向:桥梁分析、施工控制与检测. E-mail: sqwfwang@

2 测点布置和仪器

2.1 测点布置

图 1 2 示出了在锚垫板附近钢弦应变计的布置图, 其中在箱梁的顶板面沿纵向分三排布置了 8 个应变传感器, 按张拉束的左右对称布置, 在各排纵向应变传感器之间布置了 4 个横向应变传感器, 跨张拉束布置^[3].

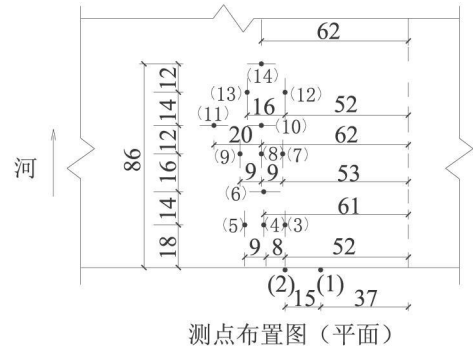


测点布置图(立面)

注: 图中黑点为应变计中点白圈为所测预应力筋

图1 锚垫板测点布置(张拉端测点)

Fig.1 The disposal of the survey point of the anchor board (the survey point of the stretching end)



测点布置图(平面)

注: 图中黑圈为应变计中点

图2 箱梁顶板表面测点布置(张拉端附近)

Fig.2 The disposal of the survey point of the box girder's top slab surface

2.2 测试仪器^[2]

混凝土表面的应变测量采用进口的钢弦应变计^[2](加拿大产 ROC-TEST SM-5 型), 该类传感器稳定性好, 精度可达 $0.1 \mu\epsilon$ 配套的读数仪是 MTB-6L.

3 测试结果与分析

在槽尾撬大桥工地现场进行了张拉预应力过程的箱梁局部应力测试, 正式测试工作从 17:00 开始, 19:30 结束. 按照张拉操作的分级, 测试了从纵向钢束未张拉到张拉至 100% 设计预应力的全过程, 每级荷载到位后, 稳定 5~10 min 后读数^[3].

表 1 各级张拉力作用下的应变测试值

Tab 1 The value of the strain test under the stretching of all levels

测点编号	张拉 10%		张拉 60%		张拉 80%		张拉 100%	
	第一次读数	第二次读数	第一次读数	第二次读数	第一次读数	第二次读数	第一次读数	第二次读数
1	-21	-16	-84	-79	-89	-78	-84	-77
2	-19	-17	-130	-130	-171	-168	-199	-200
3	10	17	38	44	59	71	76	77
4	13	19	42	50	67	81	91	94
5	12	15	40	43	59	69	78	78
6	12	15	66	76	109	118	149	152
7	-4	0	-60	-63	-90	-92	-116	-118
8	-2	0	-61	-65	-93	-95	-119	-122
9	-4	-2	-71	-75	-106	-107	-135	-138
10	4	7	35	41	58	68	78	80
11	11	9	30	39	53	67	74	76
12	0	0	-50	-51	-72	-70	-90	-90
13	-2	-2	-66	-65	-90	-87	-111	-112
14	12	11	28	31	43	51	55	56

注: 表中拉应变为正, 压应变为负, 单位是 $\mu\epsilon$.

表 1 列出了在各级预应力下箱梁测点的应变实测值. 其中第一次读数是加载到位 5 m in 后读取, 而第二次是加载后 10 m in 时读数. 从表中可知, 两次读数的结果很接近. 靠近锚垫板侧面的 1, 2 测点应变值为负, 箱梁顶板纵向测点 7, 8, 9 和测点 12, 13 的读数为负值, 说明在预应力荷载作用下, 这些位置混凝土受压, 最大压应变为 $-200\mu\epsilon$. 箱梁顶板的侧向应变测点 6, 10, 11, 14 测点读数也为正值, 最大拉应变值为 $152\mu\epsilon$, 说明箱梁混凝土在横向受拉. 此外, 靠近千斤顶 (距离箱梁前端边缘 0.18 m) 的 3, 4, 5 号测点的读数也为正值, 最大拉应变值为 $94\mu\epsilon$, 说明此处混凝土受拉.

图 3~ 5 列出了各测点在不同的预应力作用下的应变变化情况. 从图中可知, 除了 1# 测点外, 其余各点应变值与预应力大小成线性关系, 说明在预应力作用下, 锚垫板下的混凝土处于弹性工作范围.

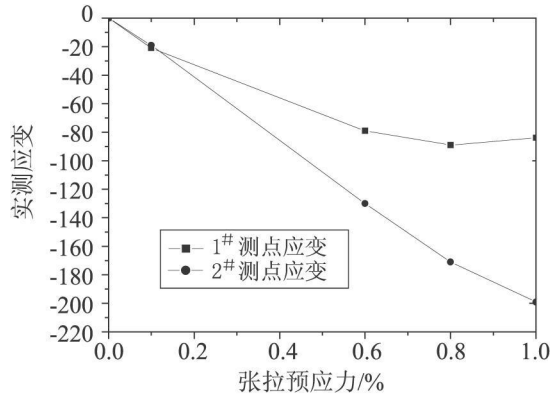


图3 张拉端锚垫板附近应变测试值与张拉力关系图
Fig.3 The chart of the relation between the stretching and the value of the strain test which is around the anchor board of the stretching end

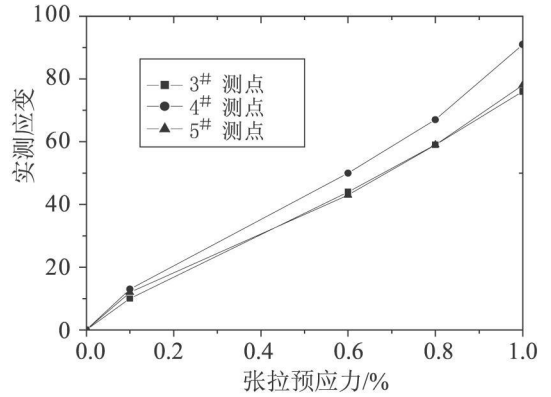


图4 张拉端附近箱梁顶板纵向应变测试值与张拉力关系图
Fig.4 The chart of the relation between the stretching and the value of the strain test which is around the box girder's lengthways top slab of the stretching end

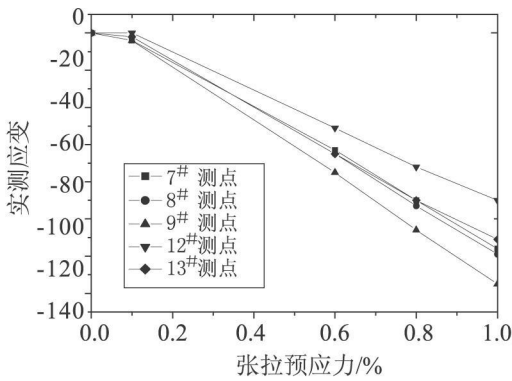


图5 箱梁顶板纵向应变测试值与张拉力关系图
Fig.5 The chart of the relation between the stretching and the value of the strain test of the box girder's lengthways top slab

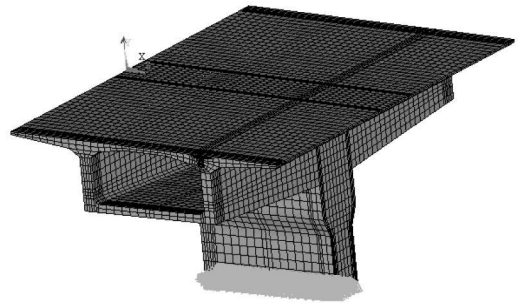


图6 局部应力分析整体模型
Fig.6 The integrated model of the partial stress analysis

4 箱梁局部应力、应变分布的理论分析

4.1 计算程序和模型

局部应力的分析采用通用的有限元软件 ANSYS 进行, 结构模型如图 6 所示. 其中箱梁混凝土采用实体单元 solid45 模拟, 总单元数 23 040, 预应力钢筋选用杆系 link8 单元, 单元数 1 944, 锚垫板使用实体单元 solid187, 单元数 448. 分析模型的节点总数为 32 534. 预应力钢筋和混凝土通过约束方程连接, 混凝土与锚垫板则将相邻节点耦合^[1]. 混凝土的弹性模量为 $3.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$, 预应力钢筋的弹性模量为 $1.95 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$, 锚垫板的弹性模量为 $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$. 纵向预应力筋的作用力采用施加在锚垫板的均布荷载来模拟, 扣除锚具变形等引起的预应力损失后, 施加的预应力合力为 3 569.34 kN.

4 2 计算结果

表 2 列出了在设计预应力作用下箱梁的最大、最小应力值. 限于篇幅, 没有列出横向和竖向应力的分布云纹图.

表 2 锚垫板附近箱梁的最大、小应力理论计算值

Tab 2 The calculation value in theory of the maximal and minimum stress of the box girder around the anchor board

截面位置	纵向应力 /MPa		横向应力 /MPa		竖向应力 /MPa	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
顶板表面 (1.8m 顶板宽)	0.191	-4.866	0.820	-4.035	/	/
张拉端侧面	-0.485	-7.945	/	/	1.474	-1.920
锚具边侧面	-0.075	-8.411	/	/	0.928	-1.901
腹板边处侧面	0.0517	-3.560	/	/	0.193	-0.298
距腹板边 0.6m 处侧面	0.0097	-0.301	/	/	-0.001	-0.0254
张拉预应力端点处立面	/	/	0.285	-2.060	0.285	-4.600
距张拉端 0.18m 处立面	/	/	0.661	-0.772	-0.029	-2.241
距张拉端 0.32m 处立面	/	/	1.536	-0.456	1.246	-1.524
距张拉端 0.48m 处立面	/	/	1.114	-0.154	1.411	-1.096
距张拉端 0.74m 处立面	/	/	0.261	-0.077	0.598	-0.585
距张拉端 0.86m 处立面	/	/	0.184	-0.072	0.642	-0.577
距张拉端 1.3m 处立面	/	/	0.151	-0.072	0.686	-0.560

注: 正为拉应力, 负为压应力.

5 计算结果与实测结果的对比

表 3 列出了各测点的实测应变与理论计算应变的比较 (预应力张拉到设计要求) 情况. 从计算结果与测试结果比较, 可以看出除了靠近张拉千斤顶的 3、4、5、6 号测点外, 其他点的理论与实测的偏差均小于 25%, 而且纵向应力的计算结果在张拉端附近偏小, 而远离张拉端比较接近. 靠近张拉千斤顶的 3、4、5、6 号测点位置实测为受拉, 而理论计算结果为受压, 这可能是锚垫板下钢喇叭管直接传力作用引起的.

实测结果与理论分析之间的误差可能主要来源于以下几方面:

1) 计算时材料性质取用为按规范规定的混凝土 28d 标准材料特性, 而测试时混凝土的龄期为 4d.

2) 理论分析模型的建模误差、理论计算是假设材料为匀质弹性材料, 而实际混凝土为由砂、石、水泥等组成非匀质的多相混合材料.

3) 试验测试的误差和温度变化的影响等^[3].

6 结论与建议

通过对檫尾撬大桥箱梁纵向锚固区附近的混凝土应变测试与理论分析, 可以得出以下结论:

表 3 最大张拉力作用下各测点应变的实测和理论值比较

Tab 3 The comparison of the survey value with the theory value of the survey points' strain under the maximal stretching

测点编号	理论值	实测值	误差 /%
1(竖向)	-72.4	-77	5.97
2(横向)	-153.3	-200	23.35
3(纵向)	-18.4	77	/
4(纵向)	-16.2	94	/
5(纵向)	-13.3	78	/
6(横向)	61.5	152	/
7(纵向)	-116	-118	1.69
8(纵向)	-107.18	-122	12.15
9(纵向)	-112.41	-138	18.54
10(横向)	61.8	80	22.75
11(横向)	60	76	21.05
12(纵向)	-113.83	-90	-26.48
13(纵向)	-108.1	-112	3.48
14(横向)	49.8	56	11.07

注: 应变单位为 $\mu\epsilon$, 正为拉应变, 负为压应变, 误差 = $100 \times (\text{理论值} - \text{实测值}) / \text{实测值}$.

1) 在纵向预应力张拉过程中, 箱梁锚固区始终处于弹性工作状态, 锚垫板下附近混凝土受力是安全的。

2) 箱梁顶板混凝土纵向应变受压, 横向受拉, 与理论计算结果得出的规律是一致的。

3) 除了最接近张拉千斤顶附近的测点 (20 cm 范围内) 外, 测试应变与理论计算值吻合较好。

4) 测试得出的最大纵向压应变为 $-138 \mu\epsilon$, 锚垫板侧的最大横向压应变为 $-200 \mu\epsilon$, 相应的应力分别为 4.83 MPa 和 7.0 MPa, 远小于混凝土的抗压设计强度。

5) 测试得出箱梁横向最大拉应变为 $152 \mu\epsilon$, 比理论预测值大, 而且从测试结果可知在距离锚垫板 20 cm 的范围内, 箱梁混凝土纵横向均受拉, 此处受力最不利。

建议在施工中严格控制该区域混凝土制作质量, 注意受力钢筋和锚固区分布钢筋位置和数量, 加强锚固区混凝土振捣和养护, 以免张拉纵向预应力束时箱梁混凝土出现裂缝, 确保结构安全。

参考文献:

- [1] 韩大建, 梁立农, 徐郁峰, 苏成. 珠江大桥有限元仿真分析 [J]. 桥梁建设, 2004(3): 36-39.
- [2] 陈常松, 颜东煌, 陈正清, 等. 混凝土振弦式应变计测试技术研究 [J]. 中国公路学报, 2004(1): 33-37.
- [3] 向木生, 田晓彬, 徐华, 等. 预应力混凝土梁桥应力测试技术 [J]. 武汉理工大学学报, 2001(3): 29-32.

(上接第 84 页)

采用定转速法, 通过编制试验程序, 保持输入转速一定, 按规定的道路阻力对测功机进行程序加载, 调节其加载力矩, 使变矩器速比 i 按设定增量从最大到最小, 再由最小到最大变化, 同时记录相关的试验数据. 根据式 (1) ~ (4) 计算得出液力变矩器的变矩比 K 、效率 η 、泵轮扭矩系数 λ_p 等原始特性参数, 可获得液力变矩器的特性曲线. 采用曲线拟合和插值的方法进行数据处理, 得到液力变矩器三维数值模型图. 通过该数值模型可以得到在不同泵轮转速、涡轮转速下的泵轮输入扭矩和涡轮输出扭矩。

3 结束语

论文初步设计了自动变速器性能试验台的动力装置、加载装置、转矩和转速测量装置、供油系统及数据采集系统. 通过编制试验程序, 在试验台上可进行自动变速器的换挡控制试验、油压控制试验、变矩器控制实验、时滞试验及失速试验、变矩器锁止试验、打滑试验、换挡冲击试验等自动变速器的性能试验, 为研究自动变速器与发动机的联合工作特性或故障诊断提供参考数据。

参考文献:

- [1] 过学迅. 汽车自动变速器 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1999: 5-48.
- [2] 葛安林. 车辆自动变速理论与设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1991: 20-45.
- [3] 余志生. 汽车理论 [M]. 第 3 版. 北京: 机械工业出版社, 2003: 15-31.
- [4] 邓定瀛. 自动变速器原理与运用 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002: 8-25.
- [5] 王季秩, 陈景华, 陈培庆. 电机实用技术 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1997: 85-144.
- [6] 蔡伟义, 李贵炎. 自动变速器试验台的研制 [J]. 客车技术与研究, 2003(6): 22-24.