

文章编号:1671-6833(2006)03-0042-04

## 预应力张拉时锚下局部应力的测试与分析

王卫锋<sup>1</sup>, 颜全胜<sup>1</sup>, 谭毅平<sup>2</sup>, 李 静<sup>2</sup>

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

**摘要:** 为了掌握珠江大桥局部受力情况, 在17#墩的1#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, 通过理论计算与实测值的比较分析表明, 测试得出的最大纵向压应变为 $-58.96\mu\epsilon$ , 锚垫板侧的最大横向压应变为 $-139.37\mu\epsilon$ , 相应的压应力分别为2.06 MPa和4.88 MPa, 远小于混凝土的抗压设计强度. 箱梁锚固区始终处于弹性工作状态, 箱梁顶板混凝土纵向应变受压, 横向受拉, 实测值与理论计算值得出的规律是一致的, 除了最接近张拉千斤顶附近外, 测试应变值与理论计算值吻合较好, 在锚垫板52 cm的范围内, 箱梁混凝土纵横向均受拉, 受力最为不利.

**关键词:** 锚下局部应力; 测试; 珠江特大桥; 空间分析

**中图分类号:** U 448.23; U 441

**文献标识码:** A

### 0 引言

珠江特大桥位于广州至珠海高速公路西线工程海南至南海段, 主桥上部结构为3孔三向预应力连续刚构体系, 采用单箱单室断面, 箱梁顶面设单向2%的横坡. 箱顶宽16 m, 底宽8.8 m, 梁高8.5~3.0 m. 箱梁根部至跨中的梁高及底板厚度均按1.75次抛物线变化. 箱梁腹板厚度分别为75~60 cm. 在渐变梁段梁肋厚度沿腹板内侧按直线过渡. 顶板厚28 cm, 底板厚120~30 cm. 纵向预应力设置分顶板束、底板束和预备束3种, 采用( $\phi$  15.24 mm)高强度低松弛钢绞线. 锚具采用15-19, 15-21型群锚, 两端张拉, 张拉控制应力 $\sigma_k = 0.75$ ,  $R_{yb} = 1\ 395$  MPa.

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. 由于箱梁0#块附近构造复杂, 不利于该部位的空间分析, 因此选择纵向预应力束多的箱梁1#块纵向预应力张拉时的工况更具有典型和代表意义. 通过实测张拉预应力过程中锚垫板附近箱梁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, 掌握大桥箱梁的局部受力状况, 确保大桥结构和施工安全. 并与理论计算值比较, 为预应力作用下混凝土局部受力的分析积累资料.

### 1 测点布置和仪器

图1示出了在锚垫板附近钢弦应变计的布置图. 在箱梁的顶板面沿纵向分四排布置了10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3个横向应变传感器, 跨张拉束布置<sup>[1]</sup>, 具体如图2所示. 混凝土表面的应变测量采用进口的钢弦应变计<sup>[2]</sup> (加拿大产ROCTEST 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.

### 2 测试结果与分析

在珠江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, 正式测试工作进行了3 h. 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<sup>[1]</sup>.

表1列出了在各级预应力下箱梁测点的应变实测值. 其中张拉100%时, 第一次实测值是加载到位5 min后读取, 而第二次是加载后10 min时的读数. 从表中可知, 两次实测值的结果很接近. 靠近垫板侧面的1号测点应变值为负, 箱梁顶板纵向测点7, 8, 9和测点12, 13的应变值也为负值, 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 $-139.37\mu\epsilon$ . 箱梁顶板的侧向应

收稿日期: 2006-02-14; 修订日期: 2006-03-22

基金项目: 广东省自然科学基金资助项目(000387).

作者简介: 王卫锋(1967-), 男, 湖南双峰人, 华南理工大学副教授, 博士, 主要从事桥梁分析、施工控制与检测方面的研究.

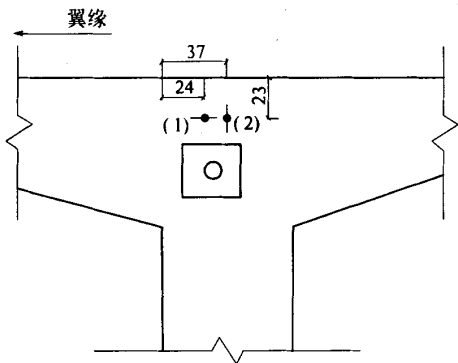


图 1 锚垫板测点布置(张拉端测点)  
Fig.1 Measuring points near the anchor plate

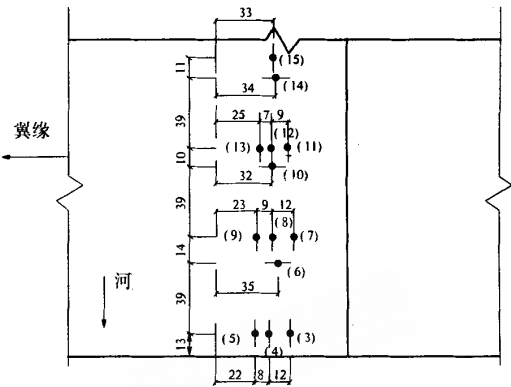


图 2 箱梁顶板表面测点布置(张拉端附近)  
Fig.2 Measuring points on the top slab of box girder

表 1 各级张拉力作用下的应变实测值

Tab.1 Measuring strain values subjected to different tensions μϵ

测点 编号	实测值		张拉应力为 1 359 MPa	
	张拉应力 139.5 MPa	张拉应力为 279 MPa	第一次实测值	第二次实测值
1	- 5.65	- 23.19	- 136.52	- 139.37
2	21.71	49.43	328.58	335.19
3	7.00	10.61	26.81	28.55
4	- 188.70	16.64	80.97	86.62
5	15.32	24.09	64.40	63.70
6	8.90	16.27	91.18	85.44
7	1.30	- 2.10	- 31.78	- 22.35
8	- 1.65	- 49.73	- 65.97	- 51.42
9	- 0.68	- 5.42	- 31.75	- 24.47
10	3.96	6.05	22.98	20.24
11	7.01	11.35	6.91	11.30
12	5.11	6.62	- 15.12	- 5.66
13	4.10	5.63	- 4.78	- 0.46
14	3.35	5.75	6.20	5.25
15	- 1.33	- 1.82	—	1.13

说明:表中拉应变为正,压应变为负.

变测点 6,10,14 测点应变值为正值,最大拉应变值为 91.18 μϵ,说明箱梁混凝土横向受拉.此外,靠近张拉千斤顶的 3,4,5 号(距离箱梁前端边缘 0.13 m)和 14 号测点(距离箱梁前端边缘 1.15 m)的应变实测值也为正值,最大拉应变值为 86.62 μϵ,说明此处混凝土受拉.靠近锚垫板侧面的 2 号测点应变值为正,拉应力较大,为 335.19 μϵ.

图 3~4 列出了各测点在不同的预应力作用下的应变变化情况,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.

3 箱梁局部应力、应变分布的理论分析

局部应力的分析采用通用的有限元软件 AN-

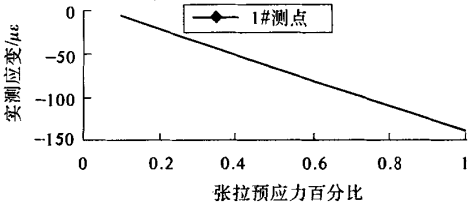


图 3 张拉端锚垫板附近横向应变实测值与张拉力关系  
Fig.3 Relationship between lateral measuring strain values near the anchor plate and tension forces

SYS 进行,结构模型如图 5 示.其中箱梁混凝土采用实体单元 solid45 模拟<sup>[3]</sup>,总单元数 5 0334;0 号块的纵向、横向预应力钢筋选用杆系 link8 单元,单元数 1 144,锚垫板使用实体单元 solid187<sup>[4]</sup>,单元数 418,分析模型的节点总数为 65 198.预应力钢筋和混凝土通过约束方程连接,混凝土与锚垫

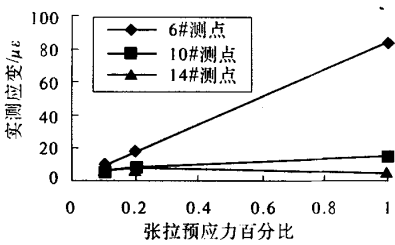


图 4 箱梁顶板横向应变实测值与张拉力关系图  
Fig.4 Relationship between lateral measuring strain values of box girder top slab and tension forces

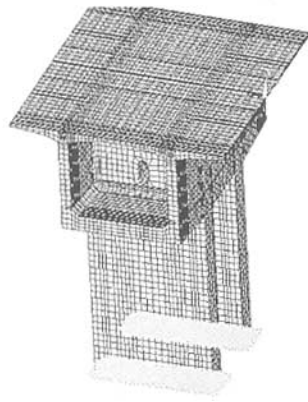


图 5 局部应力分析整体模型  
Fig.5 Local stress analysis model

板则将相邻节点耦合<sup>[5]</sup>.0 号块混凝土的弹性模量为  $3.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ,1 号块混凝土由于强度只有 80%左右,其弹性模量取  $3.3 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ,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  $2.1 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ .1 号块处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<sup>[3]</sup>,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 3 365.679 kN.0 号块处的竖向预应力筋也通过施加等效均部力来模拟,扣除预应力损失后,施加的预应力合力为 352.95 kN.

表 2 列出的是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.

4 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.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 2 号测点以及应变较小的 11,12 号测点外,其他点的理论与实测的偏差均小于 28%,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(7,8,9 点)比较接近.

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:

表 2 锚垫板附近箱梁的最大、最小应力理论计算值  
Tab.2 Maximum and minimum theoretical stress values near anchor plate

截面位置	纵向应力		横向应力		竖向应力	
	最大值	最小值	最大值	最小值	最大值	最小值
顶板表面(2 m 顶板宽)	0.704	-2.889	0.340	-4.646	—	—
张拉端侧面	-0.339	-6.905	—	—	1.144	2.184
锚具边侧面	0.056	-5.011	—	—	0.608	-2.390
腹板边处侧面	0.056	-1.820	—	—	0.354	-0.936
距腹板边 0.67 m 处侧面	0.056	-0.888	—	—	0.009	-0.036
张拉预应力端点处立面	—	—	0.260	-3.112	0.826	-2.880
距张拉端 0.13 m 处立面	—	—	0.180	-2.362	0.520	-7.420
距张拉端 0.25 m 处立面	—	—	0.089	-1.260	0.915	-0.541
距张拉端 0.45 m 处立面	—	—	0.592	-0.699	0.714	-0.324
距张拉端 0.66 m 处立面	—	—	0.678	-0.441	0.420	-0.152
距张拉端 0.8 m 处立面	—	—	0.260	-0.329	0.261	-0.207
距张拉端 1.3 m 处立面	—	—	0.602	-0.206	0.146	-0.071

(1) 计算时材料性质取用为按规范规定的混凝土标准材料达到强度 80%的特性,而测试时混凝土的龄期为 4 d,是否达到这一强度还很难确认.

(2) 理论分析的建模误差、理论计算是假设材料为各向同性的匀质弹性材料,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<sup>[4]</sup>.  
(3) 试验测试的误差和温度变化的影响等<sup>[1,6]</sup>.

5 结论与建议

通过对珠江特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实测值和理论值比较

Tab.3 Comparison between strain measuring values and theoretical values subjected maximum tension force  $\mu\epsilon$ 

测点编号	理论值	实测值	误差/%
1(横向)	-119.92	-139.37	-13.96
2(竖向)	12.70	335.19	—
3(纵向)	30.18	28.55	5.71
4(纵向)	62.69	86.62	-27.63
5(纵向)	50.66	63.70	-20.48
6(横向)	67.90	85.44	-20.53
7(纵向)	-21.06	-22.35	-5.77
8(纵向)	-58.96	-51.42	14.66
9(纵向)	-19.85	-24.47	-18.88
10(横向)	17.29	20.24	-14.58
11(纵向)	-7.32	11.30	—
12(纵向)	-10.94	-5.66	—
13(纵向)	-0.47	-0.46	2.17
14(横向)	4.10	5.25	-21.90
15(纵向)	1.00	1.13	-11.50

说明:正为拉应变,负为压应变。

(1) 在纵向预应力张拉过程中下,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,这与理论计算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外,测试应变与计算值吻合较好。测试的最大纵向压应变为  $-58.96 \mu\epsilon$ ,锚垫板侧的最大横向压应变

为  $-139.37 \mu\epsilon$ ,相应的应力分别为 2.06 MPa 和 4.88 MPa,远小于混凝土的抗压设计强度。

(4) 测试得出箱梁竖向最大拉应变为  $335.19 \mu\epsilon$ ,比理论预测值大,而且从测试结果可知在锚垫板 52 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,等.珠江大桥有限元仿真分析[J].桥梁建设,2004,155(3):34~37.
- [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,2004,17(1):29~33.
- [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[J].2001,25(3):266~269.
- [4] 余利华,张开银,田晓彬,等.大跨度PC梁桥应力测试的若干问题[J].三峡大学学报(自然科学版),2002,24(2):107~111.
- [5] 殷鹏雷,蒲黔辉.预应力混凝土锚下应力分析[J].四川建筑,2005,25(6):68~72.
- [6] 徐建国,陈淮,王博.连续箱梁桥力学性能分析[J].郑州大学学报(工学版),2004,25(1):28~30.

## Testing and Analysis of Local Stress in Concrete under Anchor Plate of Prestressed Tendon

WANG Wei-feng<sup>1</sup>, YAN Quan-sheng<sup>1</sup>, TAN Yi-ping<sup>2</sup>, LI Jing<sup>2</sup>

(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:** For investigating the local stressing situation of Zhujiang Bridge, the strain situation of the box-section beam concrete near the anchor plate is measured when the prestressed tendons of Segment 1# of Pier 17# were tensioned. The comparison of the theoretical results and measured values shows that the maximum longitudinal compression strain in the anchor area of the box girder was  $-58.96 \mu\epsilon$ , and the maximum lateral compression strain was  $-139.37 \mu\epsilon$ , the corresponding compression stress was 2.06 MPa and 4.88 MPa respectively, which is far smaller than the concrete compression strength. The anchor area of the box girder was in elastic situation all the time, while concrete of the top slab was in compression along the longitudinal direction and in tension along the lateral direction. The measured strain values except those near the tension jacks matched the theoretical values very well. The box girder concrete in the 52cm range of anchor plates was in the worst situation because it was in tension along the longitudinal and lateral directions.

**Key words:** local strain under anchor plate; test; Zhujiang Bridge; space analysis