

# 横向分段施工预应力箱梁的湿接缝受力性能研究

陈朝慰

(福建船政交通职业学院,福州 350007)

**摘要:**横向分段施工预应力箱梁受拉区的湿接缝混凝土易于开裂,然而对此类结构在实际的使用过程中观测表明,湿接缝混凝土在荷载作用下并未开裂。通过横向分段施工预应力箱梁两种类型的模型试验加载和对应的有限元分析比较,表明当外荷载作用时,横向分段施工预应力混凝土箱梁截面一定存在预应力的重分布作用,即作用在预制结构上的预应力对湿接缝处的混凝土拉应力有贡献,此处混凝土受力有异于普通钢筋混凝土结构,且现有的有限元通用程序尚无法计算此应力重分布值的大小。

**关键词:**桥梁工程;受力性能;有限元;预应力混凝土;湿接缝

**中图分类号:**U441.3

**文献标志码:**A

## 引言

横向连接的结构在桥梁工程中已被广泛应用,如装配式预应力 T 梁,装配式预应力箱梁,以及旧桥加固中把 T 梁或  $\pi$  形梁改造为箱梁等。此类结构的施工方式都是先预制预应力的 T 梁或箱梁,再在各片 T 梁或箱梁间现浇混凝土连成整体,使结构共同受力。如卧龙沟 4 号大桥和宁德特大桥都采用装配式 T 梁结构<sup>[1-3]</sup>,陶赖昭松花江特大桥的引桥<sup>[4]</sup>以及黑瞎子岛乌苏大桥的引桥<sup>[5]</sup>等采用装配式预应力箱梁结构。上述结构的共同特点是湿接缝的混凝土均处于受压区。

由于混凝土抗压强度高,抗拉强度低的特性,因此对于横向连接的结构,当湿接缝的混凝土处于受压区时,湿接缝不会破坏;如果湿接缝的混凝土处于受拉区,理论上,此时混凝土应易于开裂。然而,对此类结构在实际的使用过程中观测表明,处于受拉区的湿接缝混凝土在荷载作用下,并未开裂。如某高速公路的箱梁桥(新旧箱梁为预应力结构,然后采用横向连接方式,通过湿接缝把新旧箱梁桥连接成整体)运行了七年多,在湿

接缝处未发现裂缝<sup>[6-7]</sup>,广佛高速公路的湖州大桥的主桥在湿接缝处未发现裂缝<sup>[8-9]</sup>。文献[10]也发现预应力的应力重分布现象。因此,对于横向连接的预应力桥梁结构,分析为什么运营阶段受拉区的混凝土不会产生裂缝以及如何计算湿接缝受拉区混凝土在外荷载作用下的应力具有极其重要的工程意义。

本文主要分析的横向分段施工预应力箱梁主要包括两类,一类是横向先预制工字梁,再通过现浇湿接缝把工字梁连接成箱梁<sup>[11-12]</sup>;另一类为常用的小箱梁结构,在文中体现为新旧桥连接的箱梁结构。通过试验和有限元分析研究这两种结构受拉区湿接缝的受力情况。

## 1 箱梁底板湿接缝受力分析

### 1.1 试验模型

模型梁跨度为 12.38 m,宽度为 2.72 m,先浇筑预应力混凝土工字梁,张拉预应力,再浇筑湿接缝成整体箱梁,截面如图 1 所示,阴影部分为现浇湿接缝。

### 1.2 测点和试验加载

试验测试了在荷载作用下模型桥的跨中截面应变,

收稿日期:2016-02-24

基金项目:福建省教育厅 A 类科技项目(JK14374)

作者简介:陈朝慰(1977-),男,福建仙游人,高级工程师,博士,主要从事桥梁安全评估、现代桥梁结构方面的研究,(E-mail) chenchaoWei@

126.com

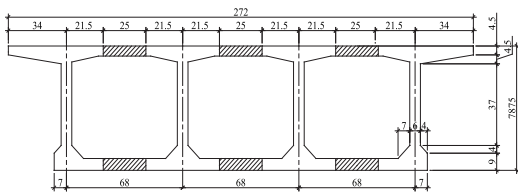


图1 横截面图(单位:cm)

测点布置如图2所示。底板七个点(编号从1至7)。

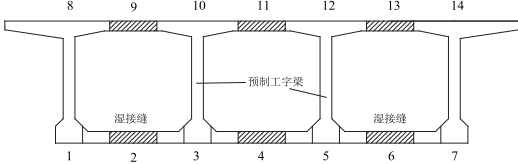


图2 测点布置图

试验对跨中截面进行分级加载,同时加载过程观测各测点的数据,当湿接缝混凝土测点荷载应变曲线表明混凝土进入塑性状态时停止加载,或预制工字梁的预压力为0时停止加载。

### 1.3 有限元分析

有限元模型建立参考文献[10],在模型中利用生死单元模拟结构的施工过程,不考虑预应力的传递作用,且把混凝土视为弹性不开裂材料,通过计算分析得到模型在荷载作用下的跨中截面的应力分布如图3所示,试验结果见表1(表中A代表实测值,B代表计算分析值,P表示施加在模型上总荷载,其单位为kN,应变单位为 $\mu\epsilon$ )。

表1 跨中截面应变值比较

P	测点	1	2	3	4	5	6	7
180	A	136	68.5	136.5	68.5	127.5	54.8	145.6
	B	136.9	127.9	128.6	122.8	124.7	126.6	136.9
	A/B	0.99	0.54	1.06	0.56	1.02	0.43	1.06
240	A	184.9	84.3	185.6	92.9	170.6	76.4	196.4
	B	182.6	170.6	171.4	163.7	166.3	168.9	182.6
	A/B	1.01	0.49	1.08	0.57	1.03	0.45	1.08
280	A	222.2	98.3	220.2	110.9	202.5	90.4	232.4
	B	213	199	200	191	194	197	213
	A/B	1.04	0.49	1.10	0.58	1.04	0.46	1.09

表2 内支座截面上各点的应变比较表(荷载单位:kN)

荷载	测点	106	108	110	115	119	121	123
560	试验结果(1)	226	168	253	101	204	150	149
	计算结果(2)	228	164	253	158	233	157	160
	(1)(2)	0.989	1.024	1.000	0.641	0.875	0.956	0.929
640	试验结果(1)	273	215	420	110	241	176	172
	计算结果(2)	261	187	289	180	266	179	183
	(1)(2)	1.046	1.148	开裂	0.612	0.906	0.983	0.940

### 2.2 有限元分析

采用有限元结构分析程序 ANSYS 建立三维有限元

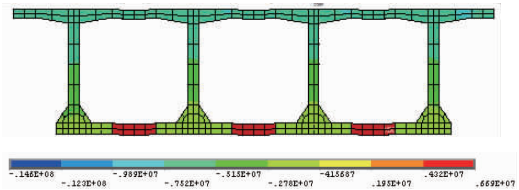


图3 跨中截面的应力图

由图3和表1可知,进行计算时,把混凝土当作弹性材料,在不开裂的情况下,湿接缝的应变最大为 $213 \mu\epsilon$ ,超过混凝土的开裂应变 $110 \mu\epsilon$ ,且相应应力为 $6.6 \text{ MPa}$ ,远超过混凝土抗拉强度设计值。然而实际试验模型并未观测到混凝土的开裂或裂缝,这表明在试验荷载作用时,箱梁截面上存在应力重分布,即预制工字梁的预应力对湿接缝受力存在着贡献作用,此重分布应力对湿接缝混凝土的受拉变形产生了抑制作用。

## 2 箱梁顶板湿接缝受力分析

### 2.1 试验概况及结果

试验测试了各种荷载工况下跨中截面和支座截面以及 $L/4$ 截面处的挠度和应变,结果表明挠度值沿整个桥宽方向(包括新旧箱梁)变化均匀,新旧箱梁在接缝处的挠度过渡平顺,新旧结构近似整体受力,说明新旧结构的接缝模式合理可靠。模型梁在各种负弯矩加载工况作用下,内支座L截面(图4)处新旧混凝土的应变变化连续、协调,在接缝处无明显突变,说明混凝土受拉区新旧结构的连接模式能够有效地传递荷载<sup>[10]</sup>。

试验最后进行负弯矩区的破坏工况,加载布置如图4所示。当荷载达到 $640 \text{ kN}$ 时,旧桥的肋顶部出现裂缝,同时内支座L截面段接缝上缘也开始出现裂缝,裂缝由旧桥向新桥开展,当达到 $800 \text{ kN}$ 时,内支座段接缝出现裂缝贯通,分布如图5所示。内支座截面在此工况下各主要测点的应变见表2(表2中荷载表示所有加载的总和),各应变的测点位置如图6所示。

模型,分析试验模型在荷载作用下的受力状况<sup>[10]</sup>。

ANSYS 建模时,采用 solid45 单元模拟混凝土<sup>[13]</sup>,

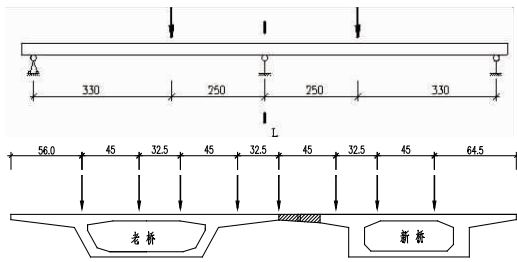


图 4 试验加载布置图(单位:cm)

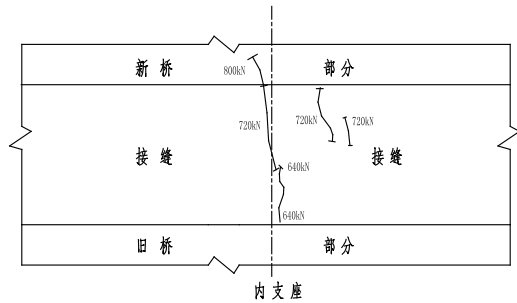


图 5 内支座 L 截面段接缝裂缝分布曲线

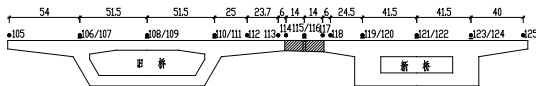


图 6 L 截面上缘测点布置图(单位:cm)

link8 单元模拟预应力钢筋和普通钢筋,初应变法模拟预应力对结构的作用<sup>[14]</sup>,以及独立建模耦合实现预应力筋、钢筋和混凝土的共同受力<sup>[15]</sup>,全桥有限元模型如图 7 所示。

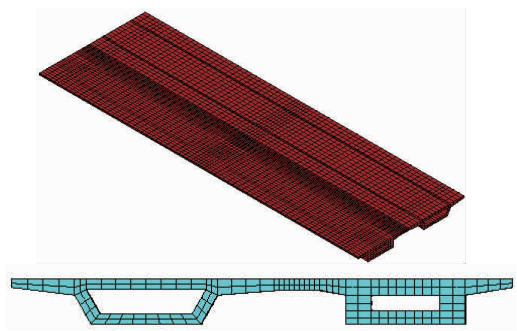


图 7 有限元模型

当作用荷载分别为 560 kN 和 640 kN 时,内支座截面上各点的应变见表 2,截面的应力分布如图 8 所示。

由图 8 和表 2 可知,运用有限元程序进行计算分析,如果不考虑预应力的重分布作用,当荷载加到 560 kN 时,计算得到的混凝土拉应力为 5.4 MPa,相应的湿接缝处混凝土应变达到 158  $\mu\epsilon$ ,已超过混凝土的轴心抗拉强度标准值 2.65 MPa 和相应的应变 110  $\mu\epsilon$ 。然而在实际试验模型上并没有观测到混凝土产生裂缝,这表明

当外荷载作用时,内支座截面一定存在预应力的重分布作用,即作用在新旧箱梁桥上的预应力对湿接缝处的混凝土拉应力有贡献。

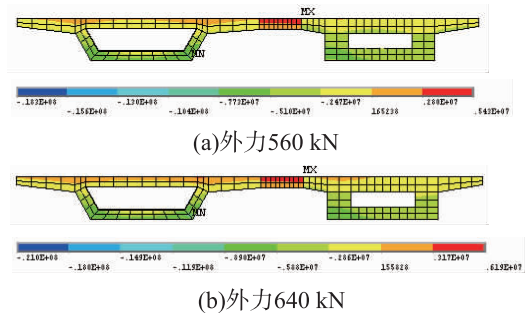


图 8 内支座截面应力图

### 3 结论

(1)通过箱梁底板湿接缝受力的模型试验和有限元分析,表明外力作用时箱梁底板湿接缝受到预制工字梁的预应力作用,受力有异于普通钢筋混凝土,此重分布应力对湿接缝混凝土的受拉产生了抑制作用。

(2)通过箱梁顶板湿接缝受力的模型试验和有限元分析,表明当外荷载作用时,新旧桥梁内支座截面一定存在预应力的重分布作用,即作用在新旧箱梁桥上的预应力对湿接缝处的混凝土拉应力有贡献。

(3)两个试验结果与对应的有限元计算结果比较分析均表明,现有的有限元通用程序尚无法计算横向分段施工箱梁受拉区湿接缝处应力重分布值的大小。

### 参考文献:

- [1] 霍新,陈双全,刘旭.卧龙沟 4 号大桥方案设计及结构体系比选[J].公路,2015(9):148-152.
- [2] 吴江鸿.宁德特大桥桥型方案比选[J].福建交通科技,2015,45(1):50-54.
- [3] 李莹,曲佳.湾湾川蓝岛大桥动、静载检测试验[J].长春工程学院学报:自然科学版,2014,15(3):5-8.
- [4] 田春野.陶赖昭松花江特大桥设计与施工的研究[D].吉林:吉林大学,2004.
- [5] 李奇,肖海珠.黑瞎子岛乌苏大桥总体设计[J].桥梁建设,2014,44(1):87-91.
- [6] 刘其伟,茹毅,罗文林.新旧混凝土连续箱梁拼接桥梁端横向位移分析[J].施工技术,2015,44(18):20-24.
- [7] 高冉,刘其伟.T 拼宽连续箱梁桥支座病害分析及处理方案的研究[J].中外公路,2012,(6):218-222.
- [8] 宗周红,夏樟华.既有桥梁拓宽纵向接缝研究及应用

- [A].2008年全国既有桥梁加固、改造与评价学术会议论文集[C].北京:人民交通出版社,2008,387-396.
- [9] 石雪飞,应天益.佛开高速混凝土连续刚构桥横向拼接方案比选[A].2008年第十八届全国桥梁学术会议论文集[C].北京:人民交通出版社,2008.488-493.
- [10] 许有胜.公路桥梁拓宽改造纵向接缝研究[D].福州:福州大学,2006.
- [11] 陈朝慰.横向分段段施工预应力混凝土斜箱梁受力性能研究[D].福州:福州大学,2007.
- [12] 陈朝慰.横向分段施工预应力混凝土斜箱梁的模型试验研究[J].公路交通科技,2009,26(3):87-93.
- [13] 凌桂龙,沈再阳.ANSYS结构单元与材料应用手册[M].北京:清华大学出版社,2013.
- [14] 符丽婷.拉索结构中几种不同预应力施加方式的比较[J].城市建设理论研究,2014,17(2):28-32.
- [15] 何光宇.体-杆耦合法在预应力混凝土结构计算中的应用[J].水电站设计,2013,29(2):19-21.

## Study on the Mechanical Performance of the Wet-joint of the Prestressed Concrete Box Girder with Transversely Segmental Construction

CHEN Chaowei

(Fujian Chuanzheng Communications College, Fuzhou 350007, China)

**Abstract:** In theory, the wet-joint of concrete of the prestressed concrete box girder with transversely segmental construction in the tension zone, the concrete should be easy to crack. However, it showed that the concrete did not crack under the action of the load. By transverse segmental construction of prestressed concrete box girder with two types of model experiments and corresponding FE analysis the results showed that when the external load, there existed stress redistribution in the cross section of presented construction, which could restrain the tensional distortion of the wet-joint, and the acted on the pre-fabricated structure of the wet-joint was different from ordinary reinforced concrete structures, and the value of the stress redistribution could not be computed by the current FE program.

**Key words:** bridge engineering; mechanical performance; FE; PC; wet-joint