

18-22

## 横张预应力砼技术的应用研究

周志祥 徐 谋 李祖伟 黄 钢

J448.212

**【摘要】**介绍了横张预应力技术在T型梁桥、箱型梁桥及空心板桥中的应用情况及技术特点,实践证明横张预应力技术在这三种结构型式中的应用是合理可行的,并可获得明显的技术效益和经济效益。

**【关键词】**横张预应力砼 T型梁桥 空心板桥

施工控制

在笔者所主持的1995年国家级地方重点攻关项目“横张预应力混凝土梁工艺及性能试验研究”通过工程院院士赵国藩教授等专家鉴定后,我们本着研究的目的在于应用,在实际应用中进一步发现问题、分析问题和解决问题,以完善有关的施工技术和设计理论。经有关部门批准,先后在红槽房大桥、菜经大桥和徐家坟大桥等3座桥梁中成功地应用了横张预应力砼技术。

### 一、简支T型梁桥应用实例

#### (一) 工程概况

红槽房大桥位于319国道渝长高速公路区段,为一座7孔30m标准跨径的预应力砼简支T型梁桥,半幅桥宽横断面由7根预应力砼T型梁构成,T型梁间距220cm(图1)。原设计该桥主梁为常规预应力砼T型梁,经有关部门批准,于1996年11月针对该桥在工地现场完成了“30m跨径横张预应力砼梁的工艺及性能试验研究”并通过专家鉴定,1996年底完成了按横张预应力砼实施的更改设计,并编制了施工技术要求和有关质检条文,1997年3月正式进行主梁施工,1997年11月完成上部结构施工。因施工需要,在已完成的主梁上经常性通过30t的施工载重车辆,至今一年多来使用正常。

#### (二) 两种设计的比较

原设计常规预应力砼梁的跨中断面仅比按横

张预应力砼梁设计的跨中断面面积少10cm<sup>2</sup>;原设计常规预应力砼梁的主筋配置为:预应力筋9束24Φ5,重1038.7kg,非预应力筋为4Φ10;横张预应力砼梁的预应力筋为28根直径为15.24mm的低松弛钢绞线,重806.4kg。总计每根梁节省5017.7元的材料费用,使梁的造价降低约20%。

#### (三) 施工控制

为保证横张预应力技术在红槽房大桥顺利实施,我们在完成30m跨径横张预应力砼梁工艺及性能试验研究的基础上,精心编制了《横张预应力混凝土梁施工技术要求》,其核心内容包括对材料、工艺流程、张拉控制、质量控制等几方面提出了严格的要求。

实施的第一根梁碰上了一些麻烦促使我们进行改进:一是钢绞线的安装精度,解决方法是要求施工人员沿钢绞线布置长度每隔1m左右设一支承钢管,并用拉直的细线来检查支承钢管是否位于同一直线上,满足要求后再在这些支承钢管上铺放钢绞线束,如此即可满足设计要求,并将松弛长度限制在2cm内;二是张拉千斤顶与梁底

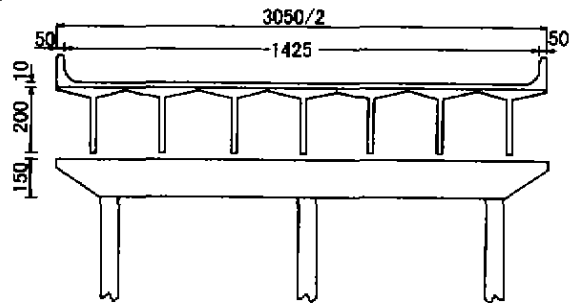


图1 半幅桥横断面布置

周志祥 重庆交通学院教授、博士、硕士生导师  
徐 谋、李祖伟 重庆高等级公路建设指挥部  
黄 钢 渝通公路工程总公司

## 预应力砼

面间的钢垫板,从第2根梁起改用40mm厚的钢板,以便同一张拉截面上两千斤顶的压力通过厚型钢垫板传递给梁肋砼承受,从而减少了下翼缘砼受到的局部压力,故后来再未发现下翼缘与梁肋交界处存在局部微裂缝;三是第一根梁所用钢插销对钢绞线束定位体系的可靠度较低,对此也做了一些改进工作。

### (四) 现场测试结果

为考查实施梁与设计结果的符合性,也作为对前几根梁张拉控制的一种手段和探索长期施工中的张拉控制方法的需要,我们对红槽房大桥前4根梁和施工后期的1根梁的横张过程进行了测试。横张过程中预应力钢束的应变、梁下翼缘砼的压应变和梁的上拱值除第1根梁因故与设计值有明显差异外,其余均与设计值吻合较好。

测试数据还表明竖向张拉力和梁的上拱值达到预期标准时,梁下边缘的预压应变亦相应达到其预期值,故施工中以竖向张拉力P和梁的上拱值作为控制指标是切实可行的。

## 二、箱型梁桥应用实例

### (一) 工程概况

既有荣经大桥为60年代修建的6孔16.8m标准跨径的简支钢筋砼T型梁桥,设计荷载为汽-13,拖-60,全桥宽9.0m,其中车行道7.0m,两边各0.75m宽的人行道外加0.25m的栏杆。该桥为荣经县城内唯一的一座跨越经河连接两岸城区的桥梁,同时也是108国道上的一座桥梁。鉴于该桥不能满足现有交通量的需求,急待提高荷载等级和扩大桥梁宽度,当地政府决定对该桥进行拓宽加固改造,要求达到的设计标准为:设计荷载:汽-20,拌-100,人群350kg/m<sup>2</sup>;桥面宽度:0.25(栏杆)+2.0(人行道)+14.0(车行道)+2.0(人行道)+0.25(栏杆)=18.5m。

我们在对原桥现状进行调查和检测的基础上,经反复分析计算和比较后提出:在原桥两侧

各增设一根5m宽、抗弯和抗扭刚度均很大的预应力砼箱型梁,在每跨增设4道横隔梁将预应力砼箱型梁与原钢筋砼T型梁联结成整体(图2),以便预应力砼箱型梁能够为原有钢筋砼T型梁分担部分活载。计算表明,在合理设计的条件下,按该方案实施后,新梁和旧梁均能满足所要求设计荷载作用下的各项指标。

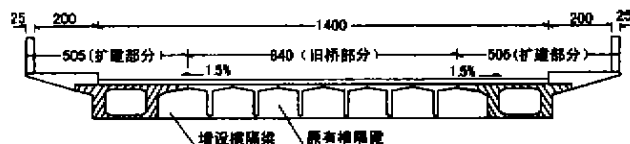


图2 荣经大桥拓宽加固改造简图

该桥的拓宽加固改造于1997年12月开工,1998年3月开始上部结构——横张预应力砼箱型梁施工,因施工期间要求不中断交通,使主梁施工受干扰较大,进度较慢,后因洪期已到,主梁施工暂缓,该桥于1998年10月底竣工。

### (二) 主梁方案及效益概略比较

由于该桥在施工期间要求不中断交通,故最初很自然的一个方案为采用现有标准图-16m跨径的常规预应力砼空心板(每块板宽1m,实为箱型梁)来加宽该桥,其特点是可采用预制——运输——安装的工艺来达到加宽的目的,这样上部结构施工期短,对原桥保持车辆行人通行的影响相对较小。但因荣经县地处偏僻,当地施工队伍力量较弱,只能考虑成渝两地具有一定实力的施工队伍,又因该县的出入交通极为不便,加上该工程的总工程量较小,施工单位若因此而搬运整套吊装设备至现场则会使成本费剧增,还考虑到该桥附近不存在可作预制场用的空地(现施工用的临时堆料场及搅拌机等均设在桥头附近的街边),故放弃预制——运输——吊装的预应力砼空心板方案,而采用支架现浇的横张预应力砼箱型梁方案。

比较加宽方案为原桥两侧各增设5块常规预

## 预应力砼

应力砼空心板,据核算,一块16.8m跨径1m宽的预应力砼空心板从制作到安装就位的总造价为2万元(按常规施工条件核算,并未计入上述的不利因素),单侧增设5块常规预应力砼空心板共需10万元;而采用一根5m宽横张预应力砼箱型梁的核算造价仅为3万元,按此计算全桥仅主梁部分就比常规预应力砼空心板方案节省费用84万元,致使全桥的拓宽加固总造价从原估计造价300万元降低到175万元,所完成的工作包含:新建桥梁1059.0m<sup>2</sup>(包含水下基础、新建桥墩、桥台及上部结构);对原桥953.28m<sup>2</sup>的主体结构进行了加固处理,使荷载等级由原汽-13、拖-60提高到汽-20、挂-100;并对桥面铺装、伸缩缝、支座、栏杆等进行了彻底改造。较当地政府原计划对该桥进行拓宽加固所需总造价300万元节省了约41.7%的经费。

### (三) 横张预应力砼箱型梁的设计

横张预应力砼箱型梁设计强度等级为C40,主筋配置为:预应力筋采用28根 $\Phi$ 15.24mm的低松弛钢绞线,在箱型梁底板内配置21 $\Phi$ 10作非预应力纵筋;与红槽房大桥的T型梁相比其布置钢绞线束的预留明槽设于箱型梁的两个腹板内,这样做有三个优点:一是被张拉钢筋位于预留明槽内与操作人员完全隔离,增大了操作人员的安全感;二是设于梁腹板内的预留插销孔在横张后用钢插销对预应力钢束定位的可靠性得到较好的保证;三是从梁顶灌注预留明槽砼的质量易于保证并便于操作。较红槽房大桥T型梁的另一大改进是:将预留插销孔着意设置为长方形(43mm $\times$ 70mm)的矩形孔,对应的钢插销断面为40mm $\times$ 50mm的矩形,对张拉后钢绞线的竖向位置预先考虑20mm的可调节幅度,故横张时能够以张拉力和梁的跨中上拱度来控制,而不受预留插销孔位置的制约。梁在4个对称点同步张拉,每个张拉点的计算拉力值 $P=390\text{kN}$ 。

### (四) 横张预应力砼箱型梁的施工

#### 1、预留明槽的施工

将布置有预应力钢束的预留明槽设于箱型梁腹板中,对预应力钢束的横向张拉及定位,和后浇砼均带来很大的益处,但在先浇砼梁体中如何形成这两道设有预应力钢束的预留明槽却是一大难题,也是该横张预应力砼箱型梁施工的关键所在,对此我们研究了很多种可能的方案,最后提出的实施方案为:先一次性浇筑全梁底板砼及预留明槽区段的梁腹及顶板砼,并在梁腹内形成预留明槽,待砼终凝并达到一定强度后,脱开明槽模板,放入预应力钢绞线束,并沿明槽长度每隔1m用Z形钢筋支承钢绞线束,以确保钢束在张拉前满足设计所要求的直线位置;钢绞线束两端通过定位钢板的对应孔散开布置并绑扎在端部梁腹的箍筋上(作为锚固区段),然后浇筑梁端腹板及顶板砼而成。在实施前,我们精心编制了《横张预应力混凝土箱型梁施工技术要求》,对所使用材料、实施工艺、质量检验及注意事项均作了较为详细的条文规定,还与施工单位一起仔细研究了预留明槽模板的构造、安装、定位及脱模,因而在实际工程中得以顺利实施。

#### 2、横张控制

本箱型梁的预加力方式为:在每个张拉点的计算竖向拉力为39kN,梁的计算上拱值为7.9mm;张拉操作是以各张拉点之拉力 $P=400\text{kN}$ 为控制,以实际上拱值与计算上拱值之差在10%以内(即 $f=8.8\sim 7.1\text{mm}$ )进行校核,同红槽房大桥T型梁的张拉一样,考虑到张拉杆与梁底和钢垫板穿过孔摩擦力估计的不准确性,当 $f<7.1\text{mm}$ 时,作适当补张拉至满足最小上拱值的要求(其值未超过 $P=420\text{kN}$ ), $f=8.8\text{mm}$ 时, $P$ 还未达到390kN的情况尚未出现。

#### 3、横张测试

为考察实施的箱型梁与设计结果的符合性,

## 预应力砼

并作为对前几根箱型梁张拉控制的一种手段,我们对菜经大桥新增设的前3根箱型梁的预加力过程进行了现场测试,分别获得了上、下边缘砼、预应力筋及非预应力纵筋应变沿跨长的变化,跨中截面砼应变沿梁宽的变化及锚固区段沿梁纵向和竖向砼应变的变化情况。值得说明的是,第3根梁当各张拉点的拉力值达400kN时,预应力钢绞线应变已达到其预期值,但跨中砼压应变和梁的上拱值均很小,当时未找到发生这一现象的原因,考虑到预加力的目的是使梁下缘的砼产生预期的压应力,而此时预应力钢绞线的应力尚有很大的安全储备,故继续加大张拉力至433kN,从跨中截面下缘砼应变看与计算的确 $240\mu\epsilon$ 仍相差很远,梁的上拱值也仅有5.0mm,故再次全面探究其原因。在梁下仰视检查才发现,原桥T型梁翼缘边压住了箱型梁翼缘边冒出的砼,致使箱型梁受预应力作用后的变形沿整个新旧梁接缝受到原桥T型梁的制约,故此出现砼压应变和梁的上拱值均较小的现象。对此的处理方法是:对预应力束作临时定位锚固,再清理新旧梁接缝多余的砼——分离新旧梁,解除约束后再灌筑明槽砼。

值得说明的是:在工地现场对实梁进行电测,其非结构行为影响的因素较多,尤其是砼表面应变片的测试数据。我们多次的电测数据表明:贴于非预应力纵筋上的应变片与同一截面同一水平层处砼表面应变片的读数在同一荷载下可能存在明显差异,通常是钢筋的应变读数大于砼

应变读数(我们称此为砼表面电测应变滞后现象),相比之下,在钢筋上贴片的质量易于保证,故可信度较高。

### 三、空心板桥应用实例

#### (一) 工程概况

位于319国道渝长高速公路区段的徐家坟大桥原设计为一4跨20m的标准跨径的常规预应力砼空心板梁桥,报经有关部门批准,决定在该桥采用横张预应力砼技术。笔者自1997年11月起主持该项研究,于1998年3月完成前期研究和变更设计施工图。该桥上部结构于4月底开始支底模,于1999年6月底完成全桥上部结构的施工。

#### (二) 技术特点

常规预应力砼空心板桥(每块板宽1m)的优势在于采用预制——运输——安装的工序,工期短,效率高,然而在我国现行施工管理体制(分段承包给各施工队)的条件下,这一优势常常得不到发挥。主要原因有三:一是预制场地难找;二是为数量不多的几跨桥专门准备吊运设备不划算;三是大多数直接施工人员的素质更适宜于支架现浇方法施工。因此,在多数情况下,施工单位仍采取支架现浇的方式制作空心板梁。针对这种情况,我们做了横张预应力砼空心板梁桥的设计。横张预应力砼空心板较原设计常规预应力砼空心板桥的一个突出优势为全跨一次成型,同步张拉,简捷、快速、省材、整体性好,两者的分项比较见表1。

在先浇砼板梁中,预留明槽的形成方法同前

表1 两种预应力砼空心板的比较

项目	常规预应力砼空心板桥	横张预应力砼空心板梁
横截面立模和就位 钢绞线 总张拉吨位 锚具 施工	12块1m宽空心板组成 12次立模分别就位 每块板12根,共144根,重3.38t 2810t 6眼锚具48件 工序多,繁琐	一次整体浇成 一次立模成型 每肋14根,共140根,重3.05t 740t 钢插销40根 简便、快速
使用状况	长期使用可能出现沿板接缝的纵向裂缝	长期使用不会出现纵向裂缝

## 预应力砼

述箱型梁的方式,如图2所示;预加力阶段的张拉控制同前述T型梁桥;计划在施工过程中,对前两跨空心板梁的张拉用电测进行现场监控。此处不再赘述。

### 四、小结

1、笔者介绍了横张预应力技术在T型梁桥、箱型梁桥及空心板桥中的应用情况及技术特点,实践证明横张预应力技术在这3种结构型式中的应用是合理可行的,并可获得明显的技术效益和经济效益。

2、在横张预应力砼结构的预加力阶段,以张拉力为控制指标,以结构受预加力作用后的反拱值为校核指标(据此略为调整张拉力)在现阶段不失为一种合理可行的控制方法。

3、对横张预应力砼结构在预加力阶段的现场测试结构表明:通过横向张拉的方法能使砼结构获得预期的效果,同时也证明了以张拉力和结

构反拱值作为预加力阶段的控制指标是合适的。

4、在30m跨径横张预应力砼梁工艺及性能试验研究的基础上,通过工程实践,发现新的问题,研究解决问题,从而使横张预应力砼技术得到了进一步的发展。然而,这并不意味着横张预应力砼技术已经成熟,事实上它还存在如各项预应力损失的分析计算、力筋锚固区段的受力分析、横张预应力砼梁各区段的抗剪性能等很多问题尚未深入研究。为此前述工程实践中已着意较全面地收集了有关数据,笔者希望在工程应用中不断积累资料、发现问题、深入分析,以逐步完善横张预应力砼的设计理论和施工工艺。

### 参考文献

- [1] 交通部标准,公路桥涵设计规范(合订本)[S],北京:人民交通出版社,1993。
- [2] 交通部标准,公路桥涵施工技术规范[S],北京:人民交通出版社,1995。

## ◎ 信息窗 ◎

### 橡胶公司获交通部颁发的《交通工程产品合格证》

经过六年的艰苦努力,柳州市建筑机械总厂所属的柳州东方工程橡胶制品有限公司的产品质量得到了全面的提高,日前获得了交通部颁发的《交通工程产品合格证》。

前几年,由于各种因素的影响,该公司的产品质量部分指标未能通过交通部工程检测中心的检测。去年,橡胶公司新的领导班子上任后,痛定思痛,本着“对用户负责、让用户满意”的精神,把全面提高产品质量作为公司的行动指南。全公司上下一心,严格按照国家行业标准的要求和质量保证体系的要求,首先建

立健全各项质量管理制度,并成立技术攻关组,进行了大量的力学性能试验,不断调整产品配方,终于使该公司产品质量跃上了一个新台阶,产品的各项指标均达到了交通部行业标准。

面对激烈的市场竞争,该公司认识到:达标仅是公司发展道路上的一个新起点,技术的不断创新,产品质量的不断提高,才是矢志追求的目标。在未来的发展过程中,该公司全体员工将以技术和质量“两轮驱动”,更好地为工程建设提供高新技术、优质的产品。

(庞军 临风)