

# 体外预应力加固 T 形刚构桥

杨继强

(广州市公路勘察设计院, 广东广州 510500)

**摘 要:**体外预应力技术施工方便、经济可靠,能有效地提高现有桥梁承载能力、改善结构性能,因而在加固既有桥梁中广为应用。该文以紫坭大桥主跨 T 形双悬臂刚构成功应用体外预应力加固的实例为背景,说明利用体外预应力加固同类结构的设计、施工及其监控方法,并从设计思路出发,强调施工监控的重要性。

**关键词:**体外预应力;广州紫坭大桥;T 形刚构;加固;设计;施工;监控

**中图分类号:**U445.72 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2005)01-0044-04

## 1 前言

体外预应力就是设置在混凝土体外的预应力筋给混凝土施加的预应力。体外预应力混凝土也称无粘结预应力混凝土,是一种预应力筋直接设置在体外,或者预应力筋设置在混凝土体内,但无需进行孔道灌浆的无粘结预应力混凝土。它与预应力混凝土的区别在于预应力筋与混凝土的无粘结性。自 20 世纪 80 年代开始,无粘结预应力混凝土在我国房屋建筑中得到广泛的应用,后来逐渐被应用于桥梁结构中。

体外预应力技术由于具有施工方便、经济可靠,预应力筋(束)可以单独防腐甚至可以更换等特点,近年来,已被广泛应用于旧桥的加固工程中。众多的工程实践证明,利用体外预应力加固旧桥,能显著提高结构承载力和抗裂度,有效改善结构的应力状态。

本文试图以紫坭大桥主跨双悬臂 T 构预应力混凝土箱梁的成功加固实例为背景,说明利用体外预应力加固同类结构在设计、施工及其监控过程中的一些思路,以期与同行们共同探讨。

## 2 紫坭大桥概况

紫坭大桥位于广州市番禺区沙湾镇,由南向北横跨紫坭河,旧桥桥面总宽为  $10.2\text{ m}+2\times 0.5\text{ m}$ ;全长 420 m,跨径组合为  $7\times 20\text{ m}+40\text{ m}+60\text{ m}+40\text{ m}+7\times 20\text{ m}$ ;其中主跨跨度 60 m,由两个臂长为 20 m 的 T 形刚构和 20 m 挂梁组成。主跨 T 构为单箱双室预应力混凝土双悬臂箱梁,引桥为钢筋混

凝土 T 型简支梁。该桥设计荷载为汽车-20 级,挂车-100;于 1984 年完成设计,1986 年建成通车。

该桥建成后,车流量不断增大以及超重车辆不断增多都大大地超出了设计的预期。经过 16 年的超负荷营运,加上主墩及挂梁曾先后两次被过往船只撞击,致使主桥箱梁顶板、腹板等多处出现裂缝;桥面铺装层出现破碎、拥包现象,为了适应桥上日益增多的重车交通,需要进行大规模的加固维修。并将荷载标准提高到汽车-超 20,挂-120 级。

根据对该桥结构病害的详细检查分析,整个 T 构箱梁,负弯矩区未见明显的裂缝,说明结构整体抗弯尚可;车辆在桥上通过时振动过大,但无车辆荷载作用时,T 构两悬臂端未见明显下挠,说明结构尚属弹性工作状态阶段,T 构箱梁的局部裂缝,尚属可修复范围。针对旧桥现状,为达到修复旧桥病害,提高桥梁荷载等级的目的,须作如下处理:(1)采用粘贴钢板的方法修复加固现有裂缝;(2)采用体外预应力加固的方法提高箱梁整体承载力;(3)重修桥面系,加大铺装层配筋率。但由于篇幅的限制,本文仅着重叙述主跨 T 构体外束的加固,裂缝以及桥面系的修复从略。

## 3 加固设计

### 3.1 体外预应力束的线形布置

为便于穿束和锚固,所有体外束均布置在 T 构箱梁空洞内部,采用折线形布置。为满足箱梁正截面抗弯强度以及抗剪强度要求,按照双悬臂梁受弯的特点,T 构箱梁的根部,体外束布置在腹板上缘,穿过 60 cm 厚的箱梁内横梁转向向下,并通过设在牛腿附近的转向装置锚固在箱梁悬臂两端。

### 3.2 体外束的预应力损失考虑

由于体外束与梁体混凝土无粘结作用,其张拉



力是在梁体发生弹性压缩的情况下读取的,因而分批张拉引起的混凝土弹性压缩损失极小;在活载作用下,引起体外束中的拉力增量时,考虑到梁体的变形协调及体系的内力平衡,活载拉力增量也不会引起预应力束中的混凝土弹性压缩损失。此外,旧桥混凝土的收缩、徐变在长期使用中已基本完成,由收缩、徐变引起的预应力损失也几乎可以忽略不计。但是,对于整体工作的梁而言,新增加的体外预应力会使梁体变形,使箱梁原有的预应力产生损失。

由以上分析可知,与有粘结的预应力束相比较,体外束的预应力损失要小得多。因此,体外束无须减除过多的预应力损失,为避免体外束长期于高应力状态下工作,其张拉控制应力可适当降低。

3.3 体外束面积的确定

体外束面积,可通过箱梁加固前、后的承载力差值,根据叠加原理,按结构设计原理初步估算。但是,一方面,由于布束和锚固位置的局限性,不大可能确切地根据箱梁各截面的抗弯、抗剪的需要配束,而只能根据箱梁的根部截面的抗弯强度确定。一旦控制截面配束被确定,因为体外束沿 T 构全梁通长布置,只能通过调整体外束处于箱梁高度的不同位置来适应 T 构箱梁沿纵向各截面的受力变化。由于转向装置的有限设置,这种调整也是有限度的。另一方面,由于体外束与梁体的不粘结性,在荷载的作用下,体外束与梁体共同组成了一个空间(非平面)的静力平衡体系。因此,体外束在给予梁体预应力的同时,也对悬臂梁起到拉杆的作用。从这点出发,为了提高“拉杆”的安全度,最终所采用的体外束面积要比按承载力差值所估算的面积大些。这样,

也为控制张拉时留有更多的余地。

钢束的布置见图 1。

3.4 体外束的材料和张拉力

体外束采用 ASTM A 416-87a 270 级标准的无粘结钢绞线,标准强度为  $R_y=1860\text{ MPa}$ 。考虑到体外束的预应力损失较小,若张拉应力取  $0.6 R_y$ ,从给梁体施加预应力的角度出发,经初步估算,一个 T 构箱梁采用 12 束  $3\Phi 15.24$  钢绞线,每束总面为  $A=3\times 140\text{ mm}^2$ ,张拉力为  $T=3\times 0.14\times 0.6 R_y=468.72\text{ kN}$ ;但考虑到体外束作为结构拉杆的作用,最后采用 12 束  $5\Phi 15.24$  钢绞线,截面总面积为  $8400\text{ mm}^2$ ,但每束的张拉力仍然采用  $T=468.72\text{ kN}$  不变。

3.5 转向装置和锚固端

根据双悬臂箱梁的受力特点,在箱梁根部,体外束应尽可能地置于截面受拉区最上缘,而在悬臂端部(锚固端),体外束则应置于截面中性轴附近。为了达到这个目的,就需要设置转向装置。

利用 T 构箱梁根部的内横梁,以及在悬臂端部附近新增的一道内横梁,共同组成体外束的导向装置。通过增设的横梁,使体外束的束力与牛腿端的锚固面相垂直。增设箱梁横隔板,除可作体外束的转向块外,还可以增加箱梁的横向刚度。但是,由于体外束通过转向块而强制转向,在张拉体外束时,会在横梁及转向块的钢束穿过孔道内引起压应力集中;同时,钢束张力的一部分通过转向块给箱梁顶板一个压力,而这一压力将会引起箱梁顶板顶面拉应力集中。而在锚固端,由于体外束与梁体无粘结,给梁体施加的全部预应力,是通过两锚固端实现的。

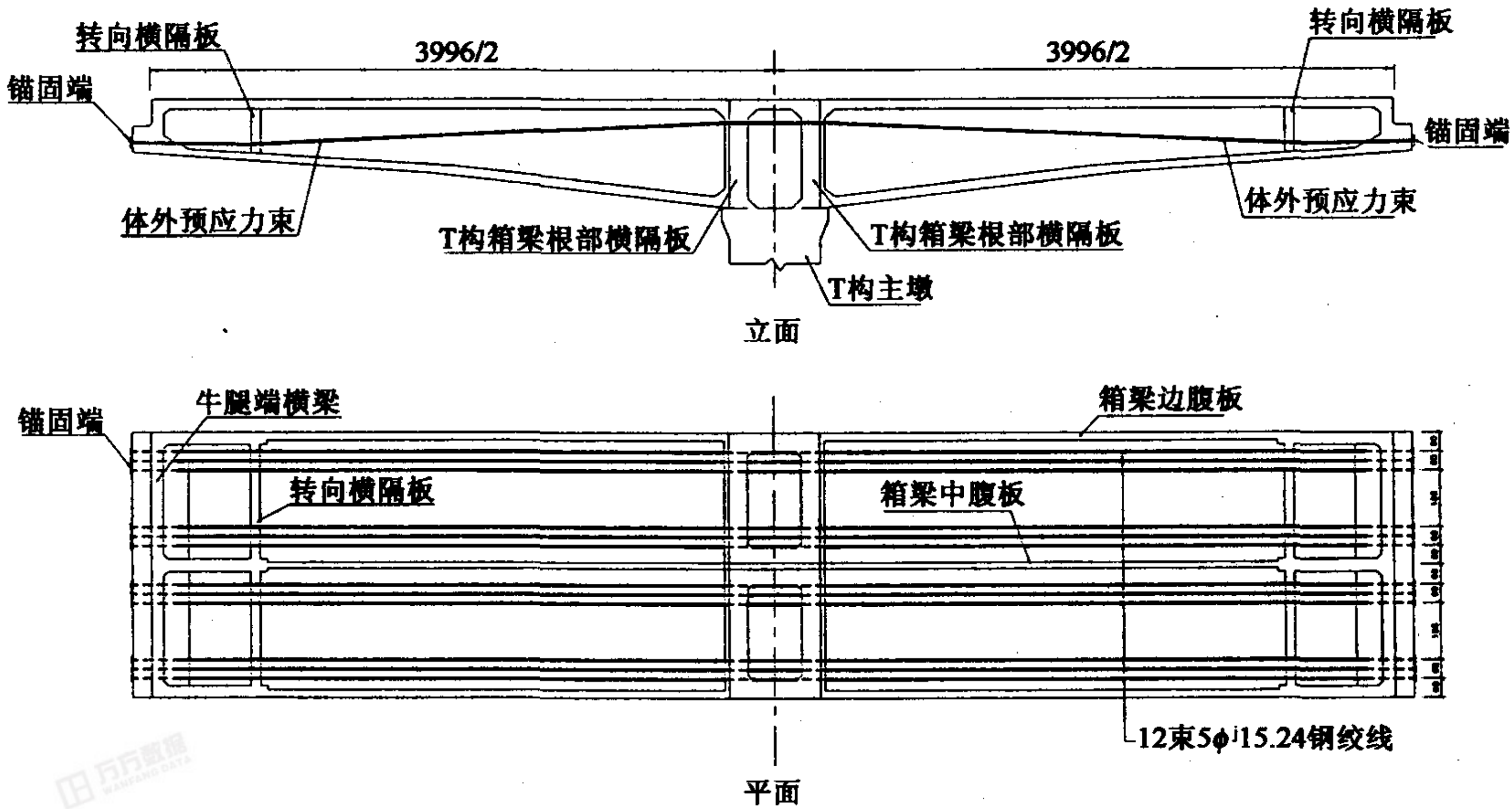


图 1 T 构体外预应力加固示意图



因此,转向块以及两锚固端处的混凝土必须通过局部应力验算。

转向块和锚固端构造的合理设计是体外预应力可靠传递的保证。为了满足转向装置和锚固端混凝土局部承压要求,对箱梁根部的横隔梁和两锚固端均作了局部粘钢处理。同时,在转向块(新增的横隔板)处箱梁顶面粘钢,以满足其局部抗拉的要求。此外,在体外束穿过横梁及转向块的孔道内套入一个 $\phi 60$  mm的钢管,钢管的两端打磨光滑,并与钢板环向焊接,该钢板以三束为一组用结构胶粘贴在横梁两面。

#### 4 加固施工和监控

对于旧桥加固而言,加固设计,仅仅是加固工作的一部分,设计的方案能否成功地实施并达到预期的目的,关键在于施工和监控。

体外预应力加固预应力混凝土旧桥,虽然有过很多成功的经验,但还处于不断探索和完善之中,尚未形成成熟的理论。体外预应力加固应用的一个主要的障碍是张拉力的控制,施工时,除了采用张拉力和伸长量双控外,还必须现场对旧桥进行整体情况的监控。边施工边控制,可以消除预应力张拉的畏惧心理。

##### 4.1 体外束的施工

体外束加固工作,需要在挂篮里进行,在T构箱梁两悬臂端各安装了一套挂篮。体外预应力束从T构箱梁内部通过,须穿过箱梁根部两道各60 cm厚的横隔板,以及总厚度为100 cm的端横隔梁,锚固在牛腿端部。采用抽蕊钻成孔,钢束的一般通过孔尺寸为 $\phi 63$  cm,为了使预应力钢绞线在锚固点附近成喇叭口状分布在锚具上,锚固端40 cm范围内需将孔道逐渐扩宽至 $\phi 93$  cm。抽蕊成孔是整个箱梁加固施工的难点,尤其是端横梁内钢筋较密,为避免损伤牛腿主筋,需不时地调整钻孔位置。

预应力束张拉之前,先对横梁、转向块处箱梁顶板以及牛腿进行粘钢处理。粘钢前,粘钢部位混凝土表面须凿除2~3 mm,以达到能见到粗骨料为度,然后磨平混凝土表面,用JGN-II型结构胶粘贴钢板,待结构胶完全达到预期的强度后再张拉体外束。

因为体外束大部分为裸束,其张拉摩阻力很小,采用250 t千斤顶,仅一端张拉即可。为了消除因体外束张拉的不均匀而引起对箱梁纵向的剪力差,各体外束的张拉应同时、同步分级进行。在无同类加固先例的情况下,为确保加固的安全性,可将设计

的张拉力T分为0.5 T、0.8 T、T三级完成。张拉次序是:0→0.05 T→0→0.5 T→0.8 T→T。每级张拉完成后,观察一小时,确信桥梁无异常情况,再进行第二级张拉。体外束张拉时,除了要控制张拉力和钢束伸长量之外,还必须对旧桥主要断面的应变及整体挠度情况进行监控,边张拉边观察。

##### 4.2 体外束张拉的监控

施工监控,主要在体外束张拉的过程中对梁体的应力和变形情况进行控制。控制的内容是:(1)体外束张拉过程中及张拉完成后,悬臂箱梁截面上缘出现的压应力增量加上原有钢束给混凝土的压应力之和不能大于现有旧桥混凝土的容许抗压强度。(2)体外束张拉过程中及张拉完成后,悬臂箱梁截面下缘不出现拉应力。(3)体外束张拉过程中及张拉完成后,箱梁悬臂端的实测挠度不能大于计算值。

预应力张拉之前,可在T构根部箱梁的顶面和底面预先每隔一定的距离布置应变传感器,并测量箱梁悬臂端部的挠度。在张拉过程中,用仪器观察应变及挠度的变化,只要读数的增量不超过预定数值,则可继续张拉直至完成设计张拉力,否则,应立即停止张拉,重新调整束力。

由于旧桥加固存在很多不确定的因素,因而设计计算的体外束面积和张拉力,也只能是估算,箱梁各截面能否承受得了加固设计的张拉力,实际上还是不好确定的,因此,只有通过施工过程的监控,才能有效地消除对预应力张拉的恐惧心理。

紫坭大桥主跨8、9号墩T构,各布置12束体外束,采用单边张拉,每束张拉力为468 kN。监控结果表明,在张拉过程中,T构底面几乎不发生应力变化,实际应变的增量为0(达到了箱梁下缘不出现拉应力的要求),而在箱梁顶面各测点,实际应变最大增量值为 $-31.5 \mu\epsilon$ (压应变)。这说明在体外束张拉的过程中,箱梁根部下缘没有出现拉应力,上缘出现压应力,但应力增量较小,能满足要求。在T构端部的挠度方面,体外束张拉后,实测最大上挠1.38 mm,也在控制范围之内。

#### 5 加固后承载能力评定

加固完成后,由质监站组织对T构箱梁分别进行了静载和动载试验。

(1)静载试验结果:在等代设计荷载的96.07%作用下,T构悬臂端部最大挠度为16.93 mm,为理论计算值的105%;T构根部的最大拉应变为 $63.15 \mu\epsilon$ ,是理论计算值的76.55%,卸载后残余变形为8.5%。



# 上海地区水淬渣桥梁的病害特征分析

张澎湃

(上海市市政工程研究院,上海 200030)

**摘 要:**该文对水淬渣桥梁的病害进行了比较详细的调查和总结,并对病害产生的原因作了比较深入的分析研究,为该类桥梁的病害整治以及养护管理指明了方向。

**关键词:**桥梁;水淬渣;碳化;钢筋锈蚀;上海市

**中图分类号:**U445.71 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2005)01-0047-04

## 1 概述

水淬渣是水淬碱性化铁炉渣的简称,是一种表面粗糙多孔,质地轻脆,容易破碎的粒状渣。试验证明:水淬化铁炉渣可以在掺加少量石膏或石灰类激发剂(化学活化)或通过湿碾或干磨(机械活化)条件下,生成水硬性的胶凝物质,从而产生强度,并能随龄期而增长。水淬渣可以用在工程中也就是利用了这个特性。桥梁中应用的是湿碾水渣混凝土——是将潮湿状态的水渣掺加一定量的激发剂,置于轮碾机中碾磨而成的一种混合料,通过轮碾机的破碎、摩擦、挤压及拌和等机械作用,形成具有一定级配的密致的胶凝材料。水淬渣主要用于上部结构,因此,这里所说的水淬渣桥梁均指上部结构为水淬渣梁的桥梁,这里叙述的桥梁病害特征是指水淬渣桥梁。

1967 年初,上海市下达了“钢渣制建筑材料”的

重点研究课题。到 1968 年底,不仅建造了全部采用水淬化铁炉渣湿碾混凝土厂房和市政工程的预制构件,而且建造了水淬渣混凝土的试验桥梁,为水淬渣在市政工程中的应用奠定了基础。之后,水淬渣混凝土桥梁陆续在全市的一些区县修建,图 1 为对全市的水淬渣桥梁进行统计的结果。当时建造的桥梁的结构形式共有五种结构形式,各种结构形式所占的比例见表 1。

表 1 各种结构形式所占的比例

结构形式	空心板梁	工字梁	矩形梁	箱形梁	槽形梁
所占比例	20%	57%	15%	7%	1%

由于水淬渣桥梁是当时特定历史条件下的产物,随着使用年限的到来,水淬渣桥梁的缺陷也逐渐显现出来,为此,作者对现在的一些水淬渣桥梁进行了调查,这次调查的桥梁均为预应力水淬渣混凝土简支梁,而且大部分是工字梁,本文就这类桥梁的病害特征作一介绍。

## 2 水淬渣桥梁的病害表现

### 2.1 水淬渣的分层剥离与主梁钢筋露筋锈蚀

明显的,具有加固、卸载及减小结构内力的作用,值得更广泛地推广应用。

(2)由于旧桥加固的许多不确定性,设计与施工应充分沟通,在体外束张拉时实施现场监控,确保结构受压区不出现拉应力,这一点非常必要,边张拉边监控的方法值得推广。

(3)从体外束设计到施工仍有若干问题值得研究:

a)关于体外束作为结构拉杆的设计应用以及其在挠度计算中的取值问题。

b)体外束分批张拉引起自身预应力损失以及原有预应力损失的问题。

c)在对结构各部位应力应变以及挠度进行监控过程中,温度变化的影响系数问题。

收稿日期:2004-10-10

作者简介:张澎湃(1964-),男,上海人,硕士,教授级高工,副院长,从事桥梁设计检测工作。

(2)动载试验结果:实测结构振动基频为 2.050 8Hz,理论计算值为 1.984 2 Hz,实测略大于理论值。

(3)结论:动静载试验结果表明,T 构箱梁加固后,结构整体性能、动态性能均能达到预期的目的,尤其是悬臂箱梁的挠度远小于《桥规》规定的 L/300 mm,说明加固后整体刚度有了大幅度的提高,达到了汽超-20,挂-120 的设计荷载等级。

## 6 结束语

(1)从紫坭大桥主跨 T 构的加固结构可知,用体外束加固 T 形刚构是非常有效的措施,体外束在给予箱梁预加应力的同时,其作为拉杆的作用也是