

体外预应力加固 T 型刚构桥的有限元分析

李 猛¹, 刘文捷², 王曦明³, 曹 露³

(1. 中国市政工程中南设计研究院, 武汉 430010; 2. 中铁第四勘察设计院集团有限公司, 武汉 430063;
3. 武汉大学土木建筑工程学院, 武汉 430072)

【摘 要】 基于 ANSYS 建立了某 T 型刚构桥实体模型,研究了利用体外预应力加固 T 型刚构桥的加固效果。计算结果表明:体外预应力加固 T 型刚构桥能改善 T 构箱梁应力状态,阻止箱梁顶板横向裂缝的发展;且能在一定程度上纠正 T 构悬臂下挠,恢复桥面线形。但对 T 构箱梁腹板抗剪能力改善作用相对不太明显。文中对工程实践具有一定的指导作用。

【关键词】 T 型刚构桥;加固;体外预应力;ANSYS

【中图分类号】 TU311.41

【文献标识码】 B

【文章编号】 1001 - 6864(2009)11 - 0059 - 03

在我国现役大跨径桥梁中,因 T 型刚构桥具有良好的跨越性能等良好的结构性能而占有不小的比重。但经数十年的运行后,经现场调查发现大多数 T 型刚构桥梁均已出现了不同程度的病害。根据现有的参考资料,国内外学者对 T 型刚构桥的加固已进行了大量的科学研究和工程实践,并总结出一系列行之有效的加固方法,常用的有:体外预应力加固法、粘贴 FRP 复合材料加固法和粘贴钢板加固法等。

1 桥梁概括及病害检测结果

1.1 桥梁概括

某 T 型刚构桥建成于 1991 年,全桥总长 964.77m,其中正桥跨度组成为 32.7m + 5 × 65.24m + 32.7m,正桥中间跨为 T 构带 32.7m 的挂孔。全桥按两车道设计,行车道宽 9m,桥面两侧各设宽 1.5m 的人行道,桥梁设计荷载等级为汽车 - 20 级;挂 - 100 级。桥面铺装、人群荷载等参数均采用《公路桥梁设计通用规范》(1989)所规定数值。

主桥上部结构采用 6 个 T 构加 2 个 16.08m 及 5 个 32m 中挂孔梁形式,在 T 构端部设牛腿,挂孔支撑于牛腿之上,主桥墩身与 T 构为一整体。T 形刚构伸臂部分为变高度单箱双室预应力混凝土箱梁,根部梁高 3.5m,端部梁高 1.9m,跨度为 16.08m,T 构除悬臂端部分采用 500 级混凝土外,其余均用 400 级混凝土。边、中挂孔的每孔梁均由 5 片预应力混凝土 T 梁组成,梁高均为 1.9m。

1.2 病害检测结果

对原桥进行详细检测后,发现原桥 T 型刚构主要病害如下:

(1) 腹板及牛腿裂缝。在对 T 构外观仔细检查后发现各个腹板均有斜向裂缝,各腹板裂缝数量在 13 ~ 18 条之间,裂缝长度在 36 ~ 127cm 之间,裂缝宽度在 0.05 ~ 0.2mm 之间,牛腿凹角处存在斜向裂缝。

(2) 箱梁顶板裂缝。T 构箱室顶板有数条纵桥向裂缝及横桥向裂缝,长度在 130 ~ 220cm 之间,裂缝宽度在 0.10 ~ 0.15mm 之间。

(3) T 构悬臂下挠。检测发现各 T 构悬臂端部均出现不同程度的下挠,最严重的下挠值达到 43.08mm。

2 斜拉索加固 T 型刚构桥有限元模型

2.1 原 T 构有限元模型

模型单元选择如下:混凝土材料使用 SOLID45 单元模拟,预应力钢筋采用 LINK8 单元模拟。材料主要参数为:该 T 型刚构桥的模型由变截面主梁、桥墩和预应力钢筋束组成。其中 T 构箱型主梁为 C50 混凝土、桥墩为 C40 混凝土、体内预应力束采用 24Φ5 高强钢丝(标准抗拉强度 1600MPa,控制张拉强度 880MPa)。

桥梁结构为预应力混凝土结构,可认为桥梁处于弹性工作状态,故在计算分析时按弹性范围内进行。由于不考虑材料非线性,挠度计算结果将会与实际测量值产生一定的误差,文中不考虑此影响,仅提供有限元分析计算的相关数据作为一个参考依据。建立的原桥梁的有限元模型为图 1(图 1 上图为通过简化假设而建立的箱梁截面有限元模型,网格划分全部采用六面体网格映射划分。在主控截面(箱梁位于桥墩附近及悬臂端部)处,网格适当加密(图 1)。全 T 构共划分为 6420 个 SOLID45 单元,12373 个节点。

2.2 体外预应力加固 T 型刚构桥有限元模型

(1) 体外预应力筋的布置。原桥加固设计选用 12 - 7Φ5 环氧涂层钢绞线体外索,根据箱梁构造可布置在中腹板两侧和边腹板内侧,每个 T 构布置 4 束直线体外束,锚固于中腹板两侧和边腹板内侧(图 2)。

(2) 外预应力筋的模拟。在原桥仿真计算的模型基础上,按图 2 布置体外预应力筋。体外预应力筋采用 LINK8 单元模拟。这里所选用的 12 - 7Φ5 环氧涂

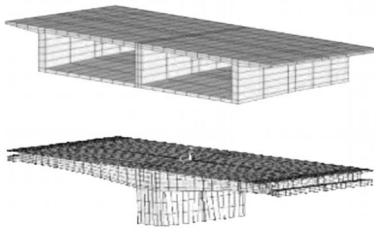


图1 T型刚构桥梁有限元模型

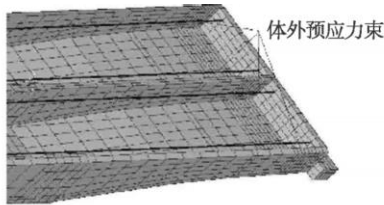


图2 体外预应力束布置图

层钢绞线体外索,其公称面积为 0.0017m²,抗拉强度为 1860MPa,许用张拉控制应力为 1395MPa。实际采用控制张拉强度为 1200MPa。

体外预应力筋为无粘结体外预应力,故只需使预应力筋两端的节点与箱梁混凝土节点共用即可,预应力的实现采用降温法模拟,降温值的计算,如下式。

$$\Delta t = \frac{\sigma_{con}}{\alpha E_{ts}}$$

式中:Δt 为降温法中的降温值;σ_{con} 为体外预应力筋控制张拉强度;α 为体外预应力筋线膨胀系数。故经计算,体外预应力筋的降温值为 - 615 。

(3) 体外预应力筋材料参数。模型中采用的关于体外预应力筋的材料(12 - 7Φ5环氧涂层钢绞线体外

索)参数:弹性模量 $E_{ts} = 1.95 \times 10^5 \text{MPa}$;抗拉标准强度 1860MPa;抗拉设计强度 1395MPa;张拉控制应力 1200MPa;泊松比 0.3;密度为 7800kg/m³;线膨胀系数 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$;公称直径为 0.0017m²。

3 荷载工况及计算结果分析

3.1 荷载工况

永久荷载按照桥梁概括中给出的情况确定。可变荷载在分析时,选用汽车—20 级车辆荷载,运用影响线法手工计算出最不利荷载布置(计算原则为:使各集中荷载对箱梁中心的弯矩最大),布置两列车队。可变荷载效应为预应力损失 40 % + 最不利活载布置。依据《公路桥涵设计通用规范》(1989 年)规定选用汽车—20 级车辆荷载,运用影响线法手工计算出最不利荷载布置(计算原则为:使各集中荷载对箱梁中心的弯矩最大),布置两列车队。

3.2 分析结果

(1) 原 T 刚构桥。原 T 型刚构桥在预应力钢筋预应力损失达 40 % 时,自重荷载及最不利活荷载布置时的计算结果如下:T 构箱梁顶板已出现大面积受拉区,靠近墩顶处拉应力峰值达到 1.65MPa,出现在顶板与腹板相邻处,这是由于箱梁的剪力滞效应造成正应力分布不均匀所致。T 构箱梁顶板大部分区域处于受拉状态,受拉区正应力介于 0.375MPa ~ 1.23MPa 之间(图 3)。最大压应力为 9.17MPa,位于箱梁底板与桥墩交汇处(图 4)。T 构根部箱梁腹板各单元几乎全部受拉,拉应力在腹板与顶板相接处最大,极值达到 1.41MPa(图 5),逼近混凝土抗拉强度设计值。T 构竖向挠度仍旧不大(图 6),端部最大下挠 13.7mm。

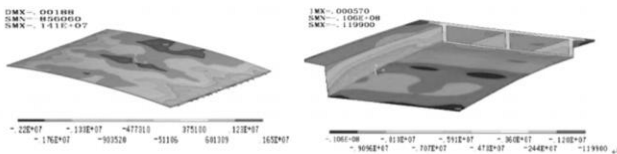


图3 T构箱梁顶板 x 向正应力

图4 T构箱梁底板 x 向正应力

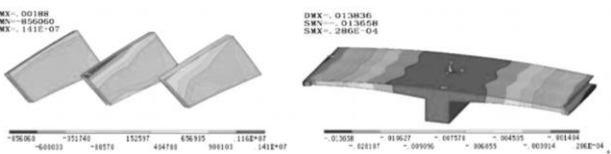


图5 T构箱梁腹板第一主应力

图6 T构竖向挠度

(2) 体外预应力加固 T 构。在预应力损失为 40 % 的情况下,施加自重荷载和最不利布置的车辆荷载,并在箱内中腹板两侧、边腹板内侧与顶板连接处布置四束 12 - 7Φ5 环氧涂层钢绞线体外索进行加固,计算结果如下:

经体外预应力加固后,T 构箱梁顶板应力状态大幅度改善,几乎全截面处于受压状态,箱梁顶板 x 方向正应力介于 - 3.96MPa ~ 0MPa 之间(图 7),应力分布不均匀也是由于箱梁剪力滞效应引起的。最大压应力为 10.6MPa,位于 T 构根部箱梁底板与桥墩交汇处(图 8)。T 构根部箱梁腹板受压,距悬臂端部 1/3 处的

箱梁腹板拉应力较大,峰值达到 1.2MPa 左右(图 9),但加固后的腹板应力情况是满足使用要求的。经加固后,T 构竖向挠度有所减小,最大下挠出现在牛腿处,下挠值为 11.1mm(图 10)。

3.3 计算结果分析

(1) 箱梁腹板抗剪能力。T 构箱梁腹板抗剪能力不足是 T 型刚构桥的主要病害之一。体外预应力加固前后,腹板第一主应力分布变化不大。为比较加固效果,提取边腹板上所有的 65 个单元的第一主应力(图 11),计算了其平均值(单元解)及其它相关计算结果列入表 1。

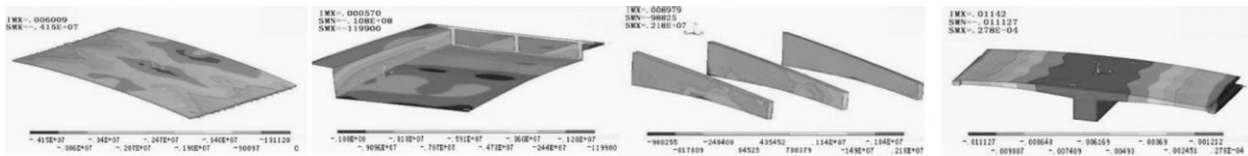


图 7 T 构箱梁顶板 x 向正应力

图 8 T 构箱梁底板 x 向正应力

图 9 T 构箱梁腹板第一主应力

图 10 T 构竖向挠度

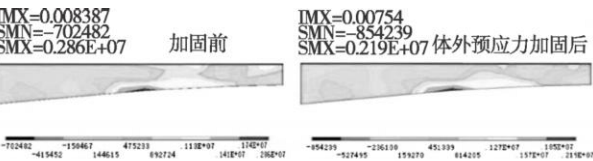


图 11 T 构腹板加固前后第一主应力

表 1 加固前后腹板第一主应力对比表				MPa
加固状态	第一主应力	第一主应力	加固后	
	最大值	力平均值		
加固前	1.036	0.249	/	
体外预应力加固	0.752	0.13	0.119	

(2) 墩顶处箱梁顶板应力。墩顶处箱梁承受较大负弯矩,箱梁顶板横向开裂也是常见病害之一。因此,墩顶处箱梁顶板 x 方向正应力的改善程度,是评价加固效果的重要指标之一。

加固前后,墩顶处箱梁顶板应力状态大为不同,为评价加固效果,现提取加固前工况 6 中墩顶处的箱梁顶板各单元(共 963 个单元) x 方向正应力和加固后墩顶处的箱梁顶板各单元 x 方向正应力的平均值、最大值和最小值,计算结果列入表 2。

表 2 加固前后箱梁顶板 x 方向正应力对比表			
/	最小值	最大值	平均值
加固前	- 1.5264	1.3944	0.470483
体外预应力加固	- 3.3921	- 0.33895	- 1.43388

(3) T 构悬臂下挠。悬臂下挠是 T 型钢构桥最主要的常见病害之一,因此对下挠病害的改善程度是评价加固效果的重要指标。为评价加固效果,现将加固前工况 6 时 T 构箱梁顶板沿纵向取 8 个点的下挠值和加固后 T 构相应位置下挠值列于表 3。

4 结语

基于 ANSYS 建立了某 T 型钢构桥有限元模型。经计算分析表明,利用体外预应力加固 T 型钢构桥效果显著,其在改善 T 构箱梁应力状态,恢复桥面线形等多方面有较好的效果,具体来说有以下几点:

(1) 体外预应力加固法可有效纠正 T 构下挠,恢复桥面线形。斜拉索加固法能够纠正 T 构下挠、恢复桥面线形。

(2) 体外预应力加固法在提高 T 构箱梁腹板抗剪能力时的加固效果不是太明显。

(3) 体外预应力加固法对改善 T 构箱梁顶板的应力状态。体外预应力加固后,墩顶处的箱梁顶板均由受拉状态转变为受压状态。

表 3 加固前后下挠量对比表				
位置坐标	加固前	体外预应力加固法		
	挠度/mm	挠度/mm	差值	改善率
0	- 12.27	- 10.68	1.59	12.99
3	- 9.18	- 8.38	0.80	8.71
8	- 3.59	- 3.42	0.17	4.76
10	- 1.74	- 1.73	0.01	0.51
16	- 0.14	- 0.17	- 0.03	25.71
18	- 0.18	- 0.12	0.06	34.83
24	- 2.04	- 1.38	0.66	32.41
31	- 10.01	- 7.34	2.67	26.63

参考文献

[1] 张菁. 我国高速公路 20 年发展历程回顾[J]. 综合运输,2008, (11): 25 - 27.

[2] 张劲泉,魏洪昌,徐岳,等. 公路旧桥加固成套技术及工程实例[M]. 北京:人民交通出版社,2007:49 - 54.

[3] 张数仁,王宗林. 桥梁病害诊治与改造加固设计[M]. 北京:人民交通出版社,2006.

[4] 邢卫军. 悬臂梁桥剪力滞效应研究[D]. 天津:河北工业大学,2007.

[5] 盛丽娟. T 型钢构桥的体外预应力加固技术研究[D]. 哈尔滨:东北林业大学,2006.

[6] 项海帆. 高等桥梁结构理论[M]. 北京:人民交通出版社,2001.

[7] 王新敏. Ansys 工程结构数值分析[M]. 北京:人民交通出版社,2007.

[8] JTJ 021 - 89,公路桥梁设计通用规范[S].

[9] JTG D62 - 2004,公路钢筋混凝土和预应力混凝土桥涵设计规范[S].

[收稿日期] 2009 - 09 - 02

[作者简介] 李 猛(1986 -),男,湖北松滋人,助理工程师,硕士,现从事建筑结构设计工作。

(编辑 王亚清)