

预应力混凝土连续梁桥

箱梁下挠及混凝土裂缝的体外预应力处治

宛劲松 杨 义
(湖北省交通规划设计院, 湖北 武汉)

摘 要 本文以某高速公路上一座预应力混凝土连续梁桥为研究对象, 介绍该桥的病害及维修加固设计与施工技术。为类似桥梁结构体外预应力加固处治提供参考。
关键词 预应力混凝土连续梁桥 主梁下挠 箱梁裂缝 体外预应力

1 工程概况

某高速公路上一座连续梁桥, 其主桥为40m+2×60m+40m变截面预应力混凝土连续箱梁。一端引桥为2×30m预应力T梁, 另一端引桥为17×30m预应力T梁。引桥T梁采用了先简支后连续结构体系。桥梁分左右幅布置。

该桥主桥为四跨一联预应力混凝土变截面箱形连续梁(见图1)。单幅桥箱形断面为单箱单室。箱梁采用C50混凝土, 底宽7.60m, 悬臂长2.825m, 跨中梁高1.70m, 支点梁高3.40m(见图2), 梁底复曲线方程为 $Y=4\times1.7/562\times(56-X)\times X$, 边孔梁端10.00m范围为现浇段, 该段梁高1.70m。主桥箱梁采用三向预应力体系, 墩顶设有横隔板。

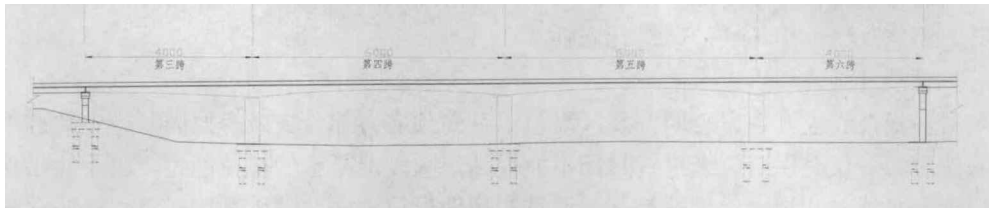


图1 主桥桥型布置图 (单位: cm)

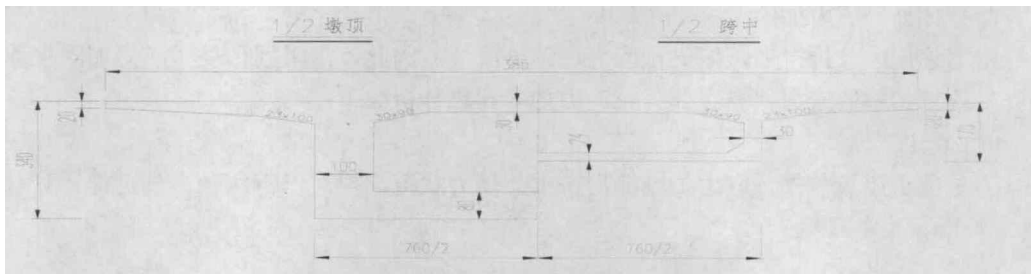


图2 主桥箱梁断面图 (单位: cm)

2 主桥主要病害及病因分析

2.1、主要病害

(1) 主梁下挠

两个60.00m主跨跨中均有一定的下挠, 分别下挠3.8cm和5.3cm。

(2) 箱梁混凝土裂缝

箱梁梁体存在较多混凝土裂缝, 总计543条, 累计长度595.72m。其中底板裂缝累计35条,

累计长度203.87m，多位于跨中合龙段附近，部分裂缝横向贯通，最大裂缝宽度为1.8mm；腹板裂缝累计357条，累计长度337.17m，多位于跨中合龙段及L/4处附近，最大裂缝宽度为0.4mm；顶板上齿板裂缝累计101条，累计长度20.16m，最大裂缝宽度为0.24mm。在上述裂缝中，底板外侧裂缝多呈纵向分布，内侧裂缝呈横向分布；腹板裂缝多呈斜向分布。

2.2 病因分析

为了准确查找上述病因，首先对原设计进行复核计算。复核计算时所选用规范及标准与原设计保持一致。复核计算结果表明，箱梁截面正应力、主应力及活载挠度均在规范容许范围内。

根据检测报告及现场踏勘调查，发现该桥虽然运营时间不长，但外观缺陷较多，箱梁部分节段间存在错台现象，箱梁内部部分预应力管道存在灌浆不密实的情况，箱梁顶板上齿板裂缝较为普遍，表明在悬臂浇筑施工时混凝土的龄期不够，混凝土的质量不能满足技术要求。由此可以看出，由于施工质量的原因，造成箱梁的预应力损失较大，预应力有效性降低，因而产生了上述病害。

3 病害处治措施

针对大桥的病害状况，决定采取以下处治措施：

3.1 混凝土裂缝处治

桥梁混凝土结构裂缝使其结构刚度降低，加剧结构变形，同时使截面应力发生重分布。对于主桥箱梁来说，将导致箱梁截面上下缘法向压应力和拉应力加大并超出混凝土的容许应力，使箱梁出现新的裂缝或混凝土局部出现脆性破坏，因此必须封闭箱梁腹板、底板裂缝，恢复结构刚度和整体性。

3.2 混凝土表面缺陷修补

对于大面积的表面缺陷，凿除松动混凝土，外露骨料，喷涂阻锈剂及界面剂，并采用环氧混凝土进行修补；对于小面积的表面缺陷，特别是缺损深度较浅时，凿除松动混凝土，外露骨料，钢筋除锈，用环氧砂浆进行修补。

3.3 粘贴碳纤维与钢板

箱梁腹板及底板开裂，表明开裂区段由于纵向预应力部分失效等原因，产生超过混凝土容许的拉应力，仅对现有裂缝进行封闭不能提高该区段混凝土的抗拉能力，也不能阻止出现新的裂缝，必须对开裂区段进行补强。通过在构件受拉表面粘贴碳纤维或钢板提高混凝土抗拉能力。

3.4 体外预应力加固

由前述病因分析得知，箱梁预应力已部分失效。因此，需采用体外预应力加固来弥补其损失，改善结构的应力状态。体外预应力加固计算分析如下：

(1) 计算模型

为了便于比较体外预应力加固前后桥梁的受力状况，拟对以下两种模型进行计算(见图3)。

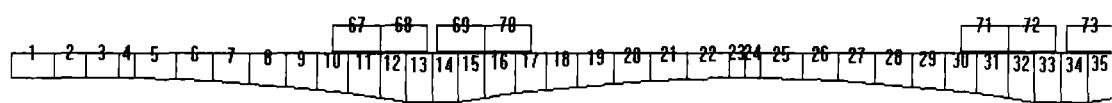


图3 1/2主桥计算几何模型示意图

模型1：箱梁开裂下挠模拟

在原设计基础上，根据箱梁下挠及混凝土开裂情况，拟用顶板束预应力损失5%，腹板、底板束预应力损失20%，竖向预应力损失50%等方法模拟。

由于无法精确确定各纵向预应力束预应力损失的实际比例以及应力损失对箱梁应力的影响程度，在利用桥梁结构分析软件计算分析时，综合考虑箱梁实际运营状况检测报告结果，模拟顶板束和腹板束、底板束不同的纵向预应力损失比例，并对不同的损失比例进行组合计算分析，确定钢束在何种损失比例的工况下，结构响应最接近于箱梁目前运营的真实情况。经计算，确定按顶板束预应力失效5%，腹板和底板束预应力各失效20%，竖向预应力失效50%组合来考虑。

模型2：体外预应力束模拟

在模型1基础上布置体外预应力束，按“补回损失，增加一定的安全储备”的原则，合理布置体外预应力束。

(2)、荷载组合

计算时主要考虑以下三种组合：

组合 I：恒+汽

组合 II：恒+汽+温度荷载+不均匀沉降

组合 III：恒+挂

(3) 主要计算结论（压为正，拉为负，单位：MPa）

表1 主桥正压应力最大值

荷载组合	模型1	模型2	限值
I	9.0	12.1	17.0
II	12.1	15.2	21.0
III	8.7	11.9	21.0

表2 主桥正拉应力最大值

荷载组合	模型1	模型2	限值
I	-1.3	3.8	不允许
II	-2.4	2.7	不允许
III	-1.0	4.8	不允许

表3 主桥主压应力最大值

荷载组合	模型1	模型2	限值
I	12.2	13.8	21.00
II	12.4	14.1	22.75
III	11.7	13.4	22.75

表4 主桥主拉应力最大值

荷载组合	模型1	模型2	限值
I	-1.3	0.1	-2.4
II	-2.4	0.1	-2.7
III	-1.0	0.1	-2.7

从以上表格可以看出，在模型1最不利荷载组合下，跨中下缘拉应力达-2.40MPa，未达到设计时的全预应力构件要求；主拉应力达-2.40MPa，接近于参考文献规范[2]规定的主拉应力-2.70MPa。按上述工况，经体外束加固后，在最不利荷载组合下，跨中下缘不再出现拉应力，

并有至少1.20MPa储备；主拉应力为零，小于规范规定的主拉应力限值；混凝土最大压应力15.20MPa，最大主压应力为14.10MPa，均不超过50号混凝土的容许值，且有一定的安全储备。事实证明，加固后箱梁应力状况良好，应力状况得到了显著的改善。

4 体外预应力加固处治要点

体外预应力体系由预应力钢束、转向块、锚固块、防震限位装置等构件组成（见图4、图5）。

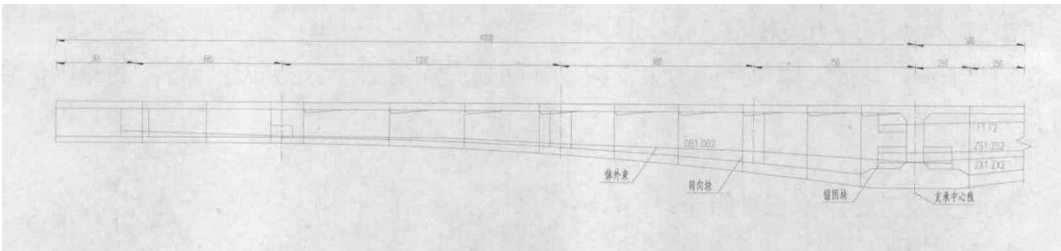


图4 40m边跨体外束立面布置图（单位：cm）

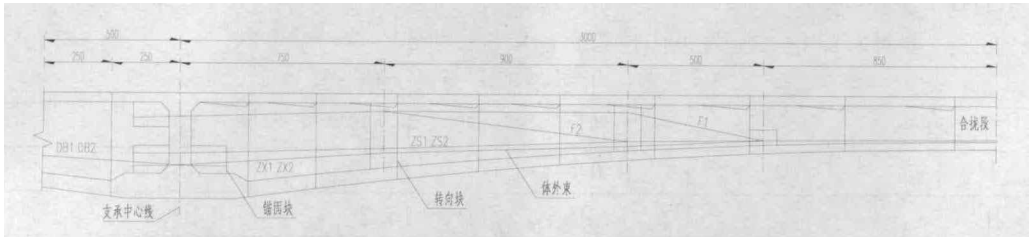


图5 60m中跨体外束立面布置图（单位：cm）

4.1 体外预应力钢束布置

本次设置的体外束包括两类，腹板体外束和底板体外束。

腹板体外束跨中采用底板体外束上弯到主跨上部的模式设置，每个中跨设置2对，采用19 ϕ s15.2mm规格的环氧涂层填充型钢绞线。

底板体外束主要是用于改善中跨跨中和边跨底板下缘的应力状况。每个中跨设置4对，张拉2对，另外2对作为备用束，采用19 ϕ s15.2mm规格的环氧涂层填充型钢绞线；每个边跨设置2对，张拉1对，另外1对作为备用束，同样采用19 ϕ s15.2mm规格的环氧涂层填充型钢绞线。

以上体外束的张拉控制应力均为其抗拉标准强度的55%，即：

$1860\text{MPa} \times 0.55 = 1023\text{MPa}$ ，其相应的张拉力为2702kN。

4.2 体外束转向和锚固

主桥各跨体外束通过箱梁里面新设置钢筋混凝土转向块转向（平面转向、竖向转向及空间转向）。除边跨现浇段处体外束锚固外，其它体外束均穿过横隔板交叉锚固于新设置的锚固块上。

4.3 转向块

腹板体外束及底板体外束的弯曲方向通过设置钢筋混凝土转向块来实现，转向块尽量设置在对主桥弯矩和抗剪影响不敏感的位置处。在中跨对称设置6对转向块，边跨设置3对转向块。转向块通过在顶板、底板以及腹板相应位置植筋，以实现与箱梁连接。

4.4 锚固块

锚固块是腹板体外束和底板体外束集中锚固的区域，分为上锚固块和下锚固块。上锚固块采用植筋与腹板、顶板及横隔板发生联系，利用自密实混凝土现浇而成；下锚固块采用植

筋与腹板、底板及横隔板发生联系，利用自密实混凝土现浇而成。

4.5 防震限位装置

腹板体外钢束在转向块范围以外时，为防止桥面行车引起钢束过大的震动，沿腹板束纵向每隔一定距离设置一道防震定位装置。防震限位装置采用钢板、螺杆和减震橡胶构件组成，利用箱梁顶板或底板上的钢支架进行固定。

4.6 防腐

该桥体外预应力锚头全部需要设置盖帽，张拉并测试完毕后安装盖帽并密封，内部灌注防腐油脂。防震限位装置以及预应力锚头盖帽外表面等外露钢构件需要进行防腐处理，防腐采用无机富锌底漆喷涂的方式进行。

5 结语

5.1 预应力混凝土连续梁桥在我国桥梁建设中应用非常广泛，主梁下挠和箱梁裂缝是这类桥梁的典型病害。造成这些病害的原因通常表现为主梁预应力有效性降低。本文结合某40m+2×60m+40m跨径的连续梁桥，通过模拟计算分析，按“补回损失，增加一定的安全储备”的原则，提出了切合实际情况的加固方案，即采用体外预应力束加固处治，使桥梁的应力状况得到了显著的改善，为连续梁桥的维修加固设计及类似结构问题的体外预应力加固处治提供了参考。

5.2 通过合理设置体外预应力束，不仅有效地降低了最大主拉应力，而且抑制了现有裂缝进一步发展，综合考虑腹板粘贴碳纤维片和钢板的作用，可有效阻止新裂缝的产生。

5.3 通过设置备用体外预应力束，便于在张拉施工及以后的养护中根据后续挠度、应力等情况调整或补充箱梁预应力。

5.4 对混凝土裂缝、表面缺陷的处理应在体外预应力施工之前进行，以尽量恢复结构的整体性和结构刚度。合理的施工顺序将使体外预应力束加固的效果更加显著。

参考文献：

- [1] 《公路桥涵设计通用规范》(JTJD60-2004)，人民交通出版社，2003年。
- [2] 《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTGD62-2004)，人民交通出版社，2003年。
- [3] 《桥梁工程养护与维修手册》，刘自明主编，人民交通出版社，2004年。
- [4] 《桥梁病害诊断与改造加固设计》，张树仁、王宗林编著，人民交通出版社，2006年。
- [5] 《旧桥维修加固施工方法与实例》，刘真岩、周建斌主编，人民交通出版社，2005年。
- [6] 《桥梁加固设计施工技术》，刘来君、赵小星编著，人民交通出版社，2004年。
- [7] 《预应力混凝土连续梁式桥养护技术》，黄增彦、孙西运等主编，人民交通出版社，2008年。
- [8] 《公路桥梁加固设计规范》(JTG/T J22-2008)，人民交通出版社，2008。
- [9] 《公路桥梁加固施工技术规范》(JTG/T J23-2008)，人民交通出版社，2008。
- [10] 《公路桥涵施工技术规范》(JTJ/T F50-2011)，人民交通出版社，2011。
- [11] 《混凝土结构加固设计规范》(GB 50367-2006)，中国建筑工业出版社，2006。
- [12] 《桥梁体外预应力设计技术》(同济大学现代桥梁技术丛书)，徐 栋编著，人民交通出版社，2008。