

# 预应力空心板梁的加固技术

杨 伊

中恒工程设计院有限公司 四川成都 610000

**摘要:** 目前国内有相当一部分桥梁,在修建时,荷载等级仅满足当年的荷载要求,随着国家交通事业的高速发展,已表现出了荷载等级相对偏低,不满足现有设计规范,面临拆除可惜,用着不放心的尴尬境地。在此基础上我们可以对梁板进行加固处理后重新使用,通过选取适合的加固方法,研究旧梁加固后直接运用到新建桥梁工程中去的可能性。

**关键词:** 桥梁;性能;加固技术;方法

## 引言:

本文通过对桥梁加固的常用技术方法的介绍,以及建立力学模型,模拟空心板梁的实际受力情况,对板的承载能力、抗弯刚度和抗裂性能进行综合评价,确定结构对使用要求的符合程度,评估空心板简支梁结构性能,选择合适的加固方法。

## 一、桥梁加固方法简介

桥梁加固主要是对桥梁结构的承载能力进行改造,是一种以加大或修复结构构件来提高桥梁局部或整体承载能力和稳定性的措施,一般不改变原结构的受力形态,目前桥梁加固的主要方法有增大构件截面、粘贴钢板、粘贴纤维复合材料、体外施加预应力和改变结构体系等加固方法。

### 1. 增大构件截面加固法

增大构件截面加固法是通过增加桥面板厚度或截面尺寸的方法,提高构件的抗弯承载力、抗剪承载力和刚度。混凝土构件增大截面加固技术关键在于新、旧混凝土能否共同整体工作,核心是结合面剪力能否有效地传递。

### 2. 粘贴钢板加固法

粘贴钢板加固法也叫粘钢加固是用化学黏结剂或锚栓将钢板直接粘贴、锚固于构件受拉缘或薄弱部位的混凝土表面,使之与构件形成受力整体,从而提高结构的承载力和刚度。

粘贴钢板加固法原理:粘钢补强法是采用环氧树脂系列粘接剂,将钢板粘贴在钢筋混凝土结构物的受拉区域薄弱部位,使之与结构物形成整体,用以代替需增设的补强钢筋,通过钢板与补强结构的共同作用,提高其刚度,限制裂缝开展,改善钢筋及混凝土的应力状态,提高梁的承载能力,以达到补强效果的一种加固方法。

### 3. 粘贴碳纤维加固法

粘贴碳纤维加固补强技术,是利用粘结剂将碳纤维片粘贴在混凝土构件表面,使混凝土与碳纤维片形成一体,形成复合材料体,通过其与结构或构件的协同工作,达到对结构构件补强加固的目的,是一种非常简单且优良的加固补强措施。

### 4. 体外预应力加固法

体外预应力加固是通过增设体外预应力钢索对既有混凝土梁体主动施加外力,以改善原结构的受力状况的加固方法。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。

### 5. 改变结构体系加固法

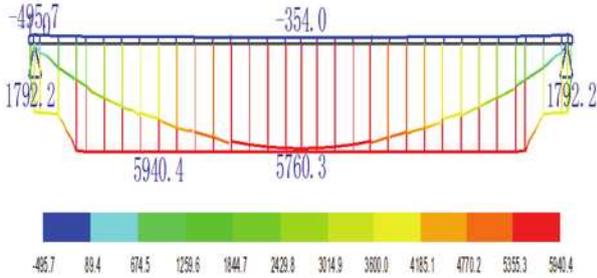
改变结构体系加固法是采用一定技术措施改变原结构受力体系,降低控制截面内力,以提高桥梁结构整体承载能力的一种加固方法。改变结构的受力体系,能大幅度地降低计算弯矩,提高结构构件的承载能力,以达到加强原结构的目的,目前较常用的体系转换方式有:梁桥转换为梁拱组合体系法,增加辅助墩法,设八字支撑法、刚接板梁法等。

## 二、旧梁性能的评估

本文拟选择一座修建于2000年左右的空心板简支梁桥进行性能评估,其设计荷载为汽车-20级,挂车-100级,荷载等级相对偏低,不满足现有城-A设计规范。

根据既有桥梁设计图纸资料,既有桥上部结构为17孔30米预应力后张钢筋混凝土空心板梁,根据桥梁的结构形式对空心板简支梁进行节点和单元划分,然后利用空间有限元软件对梁体进行详细的理论分析,用计算机模拟汽车荷载在横向和纵向不同位置时桥梁控制截面的连续受力情况,找出在试验荷载下各个截面的最不利受力状态。对空心板梁的各项性能进行综合评价。

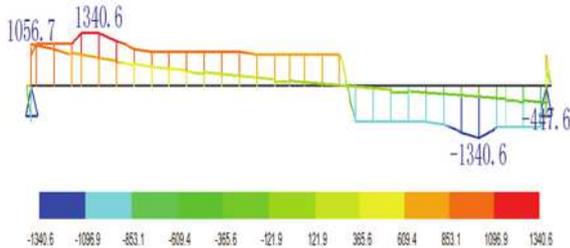
### 1. 正截面抗弯承载能力验算



最大弯矩及其对应的抗力图

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG3362-2018)第5.1.2条的规定,桥梁构件的承载力极限状态计算应满足  $\gamma_0 S \leq R$ , 构件抗弯承载力满足规范要求。

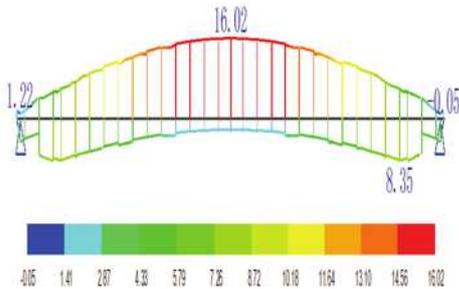
### 2. 斜截面抗剪承载能力验算



剪力包络图

经计算,桥梁在支点处可承受最大剪力为807kN,最大作用效应为1056.7kN,30m空心板简支梁在持久状况承载力极限状态结构的斜截面承载力不满足规范要求。

### 3. 持久状况混凝土法向应力计算



标准组合截面顶缘、底缘压应力图

根据《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG3362-2018)第7.1.5条第1款规定,使用阶段预应力混凝土受弯构件正截面混凝土的最大压应力,应符合下列规定:

未开裂构件:  $\sigma_{kc} + \sigma_{pt} \leq 0.5f_{ck}$

允许开裂构件:  $\sigma_{cc} \leq 0.5f_{ck}$

经计算,30m空心板简支梁跨中处顶缘最大压应力为16.02mpa,大于规范要求值13.4mpa,结构已不再安全。

### 三、梁体加固方案的选择

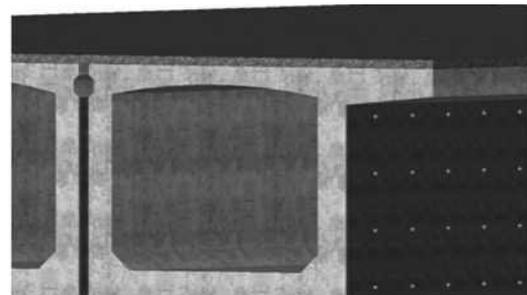
通过以上计算结果以及对各种桥梁加固方案造价、

施工、工艺流程和桥梁性能改善情况等多个维度综合比较,初步确定如下两种方案。

1.通过增大顶板厚度来显著提高构件的抗弯承载力和混凝土上缘应力,通过腹板周围黏贴钢板法来提高构件的抗剪承载力和刚度。

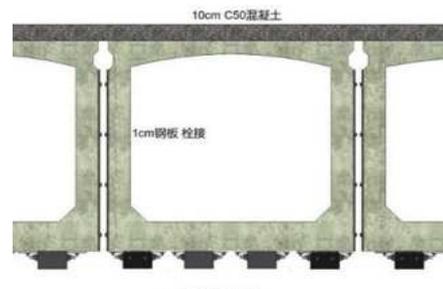


顶板浇筑10cm混凝土



腹板粘贴10mm钢板

2.通过对旧梁性能评估,为进一步改善桥梁整体性能,特别是降低桥梁使用阶段箱梁上翼缘压应力和改善结构的抗弯承载力,我们在方案(1)的基础上在箱梁底板处张拉碳纤维预应力。



顶板浇筑10cm混凝土+腹板粘贴10mm钢板+底部张拉碳纤维图

### 四、加固后梁体性能的评估

根据理论计算结果分析得出,现阶段拟定的适用性加固方向主要为补强抗剪和降低顶板应力,我们初步拟定通过在腹板外侧,梁端至距梁端4m范围内粘贴钢板来解决抗剪问题,通过增加顶板厚度来解决顶板应力过大的问题。通过桥梁博士软件模拟,得出30m空心板简支梁在持久状况承载力极限状态下的计算结果。

本次分别对顶板加厚的方案进行了模拟对比,计算结果如下表所示:

工况	MY (kN·m)	承载力 (kN·m)	剪力值 (kN)	承载力 (kN)	应力值 (MPa)	容许值 (MPa)
原构件	5760.3	5937.6	1056.7	806.6	16.02	13.4
顶板加厚5cm+腹板贴10mm钢板	6046.6	6445.7	1103	1228.5	13.21	13.4
顶板加厚10cm+腹板贴10mm钢板	6314.5	6716.9	1139.4	1271.2	12.51	13.4

从上表我们可以得出结论:

(1) 腹板粘贴钢板后对结构抗剪性能提升显著, 抗剪能力提升较明显。

(2) 当顶板加厚5cm, 在原构件基础上, 弯矩值提高了286.3kN.m, 承载能力增加508.1kN.m, 混凝土顶缘法向应力值由16.02MPa减小为13.21MPa。随着顶部加固厚度的增加, 桥梁的自重也随之增加, 相应的弯矩和承载力也随之增加, 空心板梁的法向应力也能逐步得到改善。

(3) 经过综合比对, 我们发现单纯增加顶板厚度, 对混凝土应力可以改善, 但会增加结构抗弯承载力的风险。而单纯对底板施加体外预应力, 虽然可以改善运营阶段下缘拉应力风险及上缘压应力风险, 但张拉体外预应力的时候, 施工阶段上缘拉应力很可能超限。

故综上所述, 我们下一步研究在每片梁底部增加预应力碳板装置时的承载能力。其模拟计算结果如下表所示:

工况	MY (kN·m)	承载力 (kN·m)	剪力值 (kN)	承载力 (kN)	应力值 (MPa)	容许值 (MPa)
顶板加厚10cm+腹板贴10mm钢板	6314.5	6716.9	1139.4	1271.2	12.51	13.4
顶板加厚10cm+腹板贴10mm钢板+预应力碳板(4套)	6314.5	7526.1	1139.4	1271.2	12.03	13.4

从上表我们可以得出结论:

(1) 底板施加体外预应力, 在不考虑预应力碳板自重的情况下, 构件的弯矩及剪力值不变。

(2) 构件的弯矩承载能力改善明显, 由6716.9kN.m提高到了7526.1kN.m, 富余量由6%提高到了16%, 结构抗弯能力提升明显。

(3) 构件的顶缘混凝土法向应力值由12.51降低到12.03, 富余量由6.6%提高到了10.2%, 提升也较为明显。

### 五、结束语

经过研究分析上表我们可以得出, 合理的方案是: 顶板先浇筑一层混凝土、底板再张拉体外预应力, 这样不仅能降低混凝土应力, 也能降低施工风险。因此我们在选择顶板加厚10cm的情况下, 在底板增加碳纤维预应力, 以更适应荷载的需求。而抗剪承载力的不足, 我们

通过在梁端至距梁端4m范围内粘贴抗剪钢板, 可以很好的提高结构的抗剪性能, 通过加固后, 结构性能改善明显, 各种能力状态满足相关规范要求。

桥梁加固方法的最终选择需要根据力学模型的计算结果及现场试验来确定, 通过理论与实践相结合的方式, 确定最终的加固方法。

### 参考文献:

- [1] JTGT/J22-2008, 公路桥梁加固设计规范[S].
- [2] JTG 3362-2018, 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [3] CJJ/T239-2016 城市桥梁结构加固技术规程[S].
- [4] 吴智深, 岩下健太郎, 牛赫东. PBO纤维片材预应力外粘结加固集成新技术[J]. 中国工程科学, 2005, 7(9): 18-24.