

# 增大截面结合预应力加固矩形梁模型对比试验研究

李嘉<sup>1,2</sup>, 李有志<sup>2</sup>, 江建<sup>2</sup>

(1. 深圳市天健坪山建设工程有限公司, 广东 深圳 518118; 2. 深圳市天健(集团)股份有限公司)

**摘要:**针对桥梁跨中常出现的弯曲裂缝病害,提出增大截面法结合预应力加固方法,该方法兼具增大截面法和体外预应力法的优势,具有增加截面高度、预应力筋不易腐蚀、外观优美等优点。开展模型试验,分别对采取增大截面法结合预应力法加固措施和未采取加固措施的两个截面、长度相同的模型梁施加两点集中荷载,对比两组试验梁的挠度-荷载特征和裂缝开展情况。试验结果表明,增大截面结合预应力法加固矩形梁效果良好,可明显提高梁体极限承载力,同时减小梁体挠度,具有一定的推广应用价值。

**关键词:**桥梁加固;增大截面法;预应力法;模型试验;挠度;裂缝

中国早年的桥梁设计和建设注重于材料的节省,造成桥梁结构安全储备较低,随着经济的迅猛发展,桥梁承载交通量和车辆载重显著上升,此外,传统材料耐久性的缺陷也造成运营桥梁正常老化,使得多年运营桥梁产生一定病害,近年来不断出现的桥梁安全事故,更使人们意识到病害桥梁加固的严峻性与紧迫性。

随着桥梁检测技术不断创新,发现了很多在役桥梁潜在的隐患。以深圳市为例,2018年公路桥涵定期检测桥梁957座中,评定等级为C级及以下的有112座,占比约为11.7%。随着现役桥梁的运营,将来会有更多的桥梁出现不同程度的病害。新建桥梁不仅投资巨大,对交通环境等也会产生较长时间的影响,对病害桥梁进行加固具有显著的社会效益和经济效益。

## 1 增大截面结合预应力加固方法

钢筋混凝土及预应力混凝土简支梁桥是应用最普遍的桥梁结构,断面形式有矩形、T形、I形、箱形以及不同形式的组合,早期采用现浇施工,现在多数采用预制装配。

简支梁跨中弯矩最大,因此跨中附近梁底常产生由下而上的竖向弯曲裂缝,数量随跨径增大而增多,多年运营裂缝宽度有可能超过规范限制值,同时还可能伴有跨中挠度过大。

增大截面法加固适应性强,施工工艺简单,具有成

熟的设计和施工经验,广泛应用于厂房、桥梁、码头等多种结构,杨焯等将植筋技术用于新旧混凝土结合面,形成了改进的加大截面加固法;刘利先等提出了一种增大截面法加固高温损伤钢筋混凝土梁极限承载力的简化计算方法。

体外预应力由于其主动加固的特性在旧桥加固中具有特殊的意义,尤其是高强材料的使用使得既有桥梁结构的承载能力、抗裂性能、刚度能够得到提高和改善,并已得到工程的验证。但是该方法存在预应力筋外露容易腐蚀的不足。

该文提出增大截面结合预应力钢绞线加固法,该方法综合增大截面法和体外应力法优势,降低增大截面法截面增加高度,并且钢绞线不易腐蚀,可同时保证结构美观。

## 2 模型试验

### 2.1 模型设计和制作

试验共制作两个模型梁,一个采用增大截面结合预应力钢绞线法加固,另一个不进行加固作为对比。

混凝土梁模型长5400mm,配筋和截面尺寸如图1所示,混凝土强度等级为C40,钢筋保护层厚度均为65mm,预应力施加于受拉区的3根冷拉钢筋上,控制应力 $\sigma_{con}=400$ MPa,模型构件于自然条件下养护。加固部分高200mm,长3400mm,原梁与加固梁通过

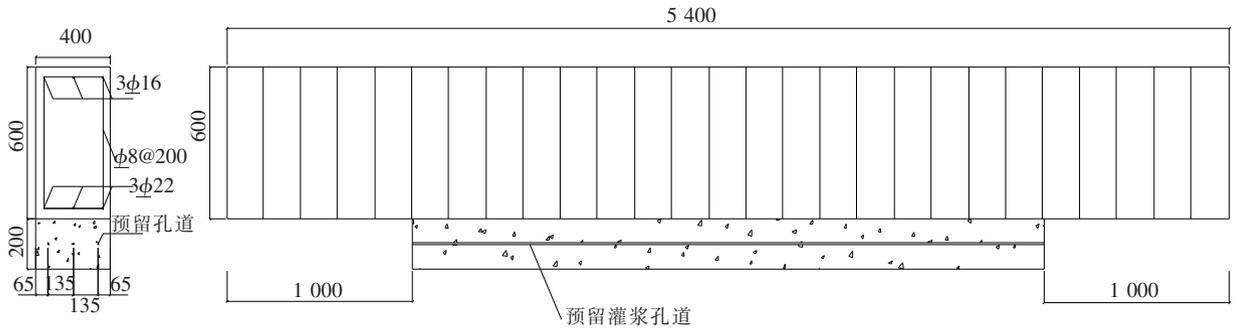


图1 混凝土梁模型设计(单位:mm)

凿毛、植筋连接,预留3个钢绞线孔道。

### 2.2 预应力设计和施加

采用 $\phi 15.2$  mm钢绞线,钢绞线的张拉控制应力根据JTG/T J22—2008《公路桥梁加固设计规范》计算确定,即 $\sigma_{con,e} \leq 0.65f_{pk,e}$ ,预应力损失按该规范规定计算。最终得出张拉应力为875 MPa。

采用欧维姆YDC240Q型千斤顶,对每根钢绞线分两次张拉。

### 2.3 试验方案

将试验梁支承于支座上,支座支承于支墩上,通过两个分别位于左右1/3跨处的千斤顶施加竖向集中荷载,千斤顶的反力由反力刚架试验台提供。布设5个百分表测量加载过程中梁的挠度,其中表1和表5分别位于左侧和右侧支座上方梁顶面,表2和表4分别位于左侧和右侧加载点外侧梁顶面,距加载千斤顶20 cm,表3位于跨中梁顶面。加载和测试装置布设示意图如图2所示。

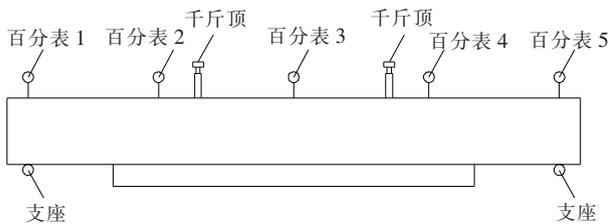


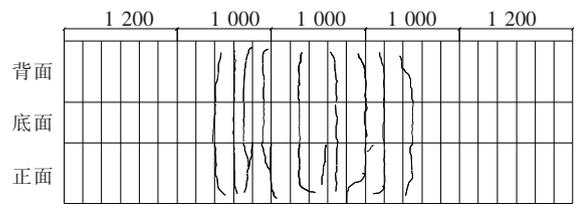
图2 加载和测试装置布设示意图

试验首先进行预加载,以检验支座是否平稳,仪器及加载设备是否正常,并对仪表设备进行调零。预加载控制试件在弹性受力范围,不应产生裂缝及其他形式的加载残余值。由理论计算得出梁极限承载状态对应集中力为144 kN,因此取每级加载量为10 kN,持载时间取10 min。加载过程中随时注意观察仪器是

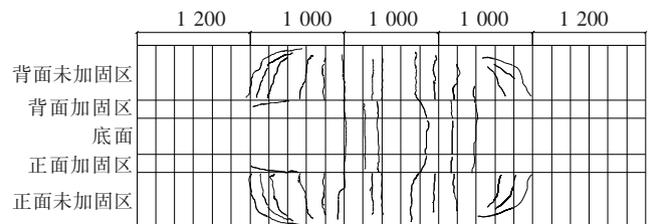
否正常以及混凝土梁是否开裂。

### 2.4 试验现象

未采取加固措施梁试验,荷载达到110 kN时梁底出现裂缝,加载至130 kN时两个加载点之间共出现5条裂缝,长度约20 cm,分布均匀,间隔约30 cm。继续加载至140 kN,裂缝进一步发展,但是裂缝宽度未见明显增长,在两个加载点外侧出现新的裂缝。加载至150 kN时,裂缝长度小幅增大,但梁底裂缝宽度增加明显。继续加载至156 kN时,裂缝长度、宽度急剧增大,在两个加载点外侧出现新的裂缝,并且,千斤顶加载量增大缓慢,百分表读数急剧增大,可以明显听见混凝土开裂的“噼啪”声,可肉眼观察到混凝土梁跨中挠度增大,此时裂缝宽度很大,并且发展至距梁顶不足10 cm处。



(a) 未采取加固措施



(b) 采取增大截面结合预应力法加固

图3 梁体破坏时裂缝开展情况(单位:mm)

采取加固措施梁试验,加载至110 kN时加固区出现3条裂缝,但原梁区未出现,继续加载至160 kN,

原梁出现裂缝,主要分布在加载点对应的梁底处。继续加载,裂缝不断发展,并且有新裂缝出现,仍主要集中在加载点对应梁底附近。当荷载达到 200 kN 时,加固区端部与原梁接触部分脱开,脱开区长度约 10 cm,当荷载达到 240 kN 时,加固区和原梁接触部分端部脱开长度达到 40 cm 以上。加固区主要通过植筋的方式和原梁相连,但是荷载达到 240 kN 时,在原梁的端部植筋处出现数条斜向裂缝,裂缝宽度较大,且为贯通缝,继续对千斤顶加压,梁的挠度急剧增大,但是荷载传感器读数一直维持在 240 kN,故认为该增大截面法加固后梁的极限承载力为 240 kN。裂缝开展情况见图 3(b)。

### 3 试验结果

百分表 1 和百分表 5 位于支座上方,试验过程中读数基本无变化,百分表 2、3、4 荷载—挠度曲线如图 4 所示。

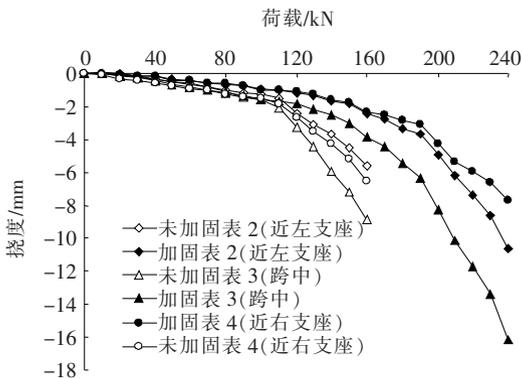


图 4 加固前后荷载—挠度曲线

由图 4 可以看出:对于未采取加固措施梁,施加荷载达到 160 kN 时,挠度急剧增大,达到极限承载力;而此时加固梁的挠度还很小,刚进入非线性阶段。

采取增大截面结合预应力法加固梁加固区发生开裂前(即荷载小于 110 kN 时),梁的挠度基本呈线性增长且数值不大;加固区开裂后而原梁未开裂时(即荷载为 110~160 kN),挠度随荷载增大的幅度提高;当原梁发生开裂后,随荷载增加,挠度急剧增大。

### 4 结论

通过分别进行增大截面结合预应力钢绞线法进行加固和未采取加固措施的模型梁静力试验对比,得出以下结论:

(1) 增大截面结合预应力钢绞线法对梁加固效果明显,梁的极限承载力提高幅度达 50%。

(2) 采用增大截面结合预应力钢绞线法对梁进行加固后,增大了梁的截面惯性矩,对降低梁的挠度作用明显。

(3) 加固区钢绞线施加了预应力,对梁有反拱作用,也一定程度上降低了梁的挠度。

(4) 加固区端部与原梁接触部容易脱开,采用植筋方法进行加固部分连接时建议在该部位适当加密。

(5) 增大截面结合预应力钢绞线加固法兼具增大截面法和体外预应力加固的优势,试验结果表明该方法加固效果良好,比单纯增大截面法对桥梁净空影响小,具有一定的推广价值。

### 参考文献:

- [1] 方留杨,陈华斌,吴晓南,等. 基于无人机三维建模技术的桥梁检测方法研究[J]. 中外公路,2019(1).
- [2] 北京市建设工程质量第三检测所有限责任公司. 2018 年度公路桥涵定期检测桥梁检测总报告[R],2018.
- [3] 林宁东. 某厂房结构加大截面法加固实例[J]. 工业建筑,2005(S1).
- [4] 杨焯,赵来顺,赵曼. 改进的加大截面法用于加固轴压构件的试验研究[J]. 建筑结构,2010(40).
- [5] 刘利先,时旭东,过镇海. 增大截面法加固高温损伤钢筋混凝土梁极限承载力的简化计算[C]. 第七届全国混凝土结构基本理论及工程应用学术会议,2002.
- [6] 刘利先,时旭东,过镇海. 增大截面法加固高温损伤混凝土柱的试验研究[J]. 工程力学,2003(5).
- [7] 蒋伟,崔海. 体外预应力加固桥梁的荷载试验评定研究[J]. 中外公路,2017(2).
- [8] 黎振源,石菊创,龙屹宇. 洛维大桥体外索加固前后试验及后期监测数据分析[J]. 中外公路,2018(4).
- [9] 朱正伟,刘东燕,彭文轩,等. 体外预应力技术在桥梁加固中应用的思考[J]. 土木建筑与环境工程,2005(2).