第 25 卷 第 12 期
2003 年 12 月

武 汉 理 工 大 学 学 报
JOURNAL OF WUHAN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Vol 25 No. 12
Dec 2003

体外预应力悬索分载法加固混凝土梁试验研究

王 佶[1], 张迎霞[1], 韩 玲[2]
(1. 武汉理工大学交通工程研究所, 武汉 430070; 2. 湖北省建筑科学研究设计院, 武汉 430071)

摘 要: 提出的体外预应力悬索分载法加固混凝土梁是通过钢2预应力组合结构来实现的, 即通过悬索提供预应力, 利用钢构架作为预应力的转换构件, 将预应力转换为反向荷载作用在被加固梁上, 分担梁上的部分荷载, 同时也增加了被加固构件的刚度。试验研究表明, 预应力悬索分载加固法可以达到加固与卸载同步进行, 使新加部分相对于原混凝土梁的应力滞后现象得到较好的消除, 加固后组合构件整体承载力得到显著提高, 被加固梁的挠度和裂缝得到有效地改善, 原材料的潜力得以较好的发挥。

关键词: 体外预应力; 悬索; 分载; 加固; 混凝土梁
中图分类号: U 445. 72 **文献标识码**: A **文章编号**: 167124431(2003)1220069203

通常, 体外预应力加固法中的预应力筋多采用直线或折线形连续筋, 并仅在锚固区域和转向块处与梁体连结。采用直线或折线形布置体外预应力筋, 虽然在提高承载力、减小挠度、裂缝宽度上表现出一定的优势, 但由于体外预应力筋的实际偏心通常较小, 极限状态下体外预应力筋的抗弯能力较小, 加固后结构抗弯刚度基本没有提高, 截面承载力提高量有限[1~4]。

1 基本思路

提出了一种新的预应力加固方法, 采用预应力悬索分载法加固混凝土梁。悬索是工程中常用的一种结构形式, 特别是在大跨度桥梁结构中应用广泛。它主要由塔架、悬索、吊索组成。荷载通过吊索作用在悬索上, 然后由悬索传至塔架。当悬索受到均匀分布荷载时, 其曲线为抛物线。现将该结构思想引入到预应力加固中, 以高强钢绞线作为"悬索", 并改变"悬索"的位置, 将其平移至结构下方, 再用刚性撑杆代替吊索对结构进行预应力加固(见图 1)。加固时, 通过对悬索进行张拉施加预应力, 此时撑杆在预应力作用下对梁提供向上的反力, 以抵消原结构上部分或全部外荷载, 并将这部分抵消的荷载通过悬索传至支座, 达到卸载的目的。加固后, 在新增荷载作用下, 撑杆又和梁共同作用, 分担部分梁上部荷载并由预应力筋传递至支座。

通过以上分析可以看出, 这种预应力悬索分载加固法实际是通过钢2预应力组合结构来实施的, 即通过悬索(预应力筋)提供预应力, 并利用钢撑杆作为预应力的转换构件, 将预应力转换为反向荷载作用在被加固梁上, 分担梁上的部分荷载并由悬索将这部分荷载直接传至支座。这种做法无疑提高了加固体系与结构的整体协调性。

2 试验概况

为了验证预应力悬索分载法加固混凝土梁的可行性、加固施工的可操作性以及加固的效果, 对 3 根简支梁进行了对比加固试验研究。3 根试验梁中 1 根为对比梁, 持续加载至破坏, 不进行加固, 另 2 根为加固梁, 先将其加载至开裂, 再保持开裂荷载水平不变对其进行加固, 待达到设定预应力水平后继续加载至破坏, 2 根加固梁在加固时预应力筋采用不同的张拉顺序。在试验中仍按抛物线形来确定悬索线形, 实际是通过等间距布置撑杆, 使撑杆末端为抛物线上的点来实现的, 但此时, 悬索不再是一条光滑的曲线, 而是一条折线, 折

收稿日期: 2003205209.
基金项目: 湖北省科技攻关计划(2003AA 101C77).
作者简介: 王 佶(19662), 男, 高级工程师. E2mail: hmywj@mail.whut.edu.cn

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

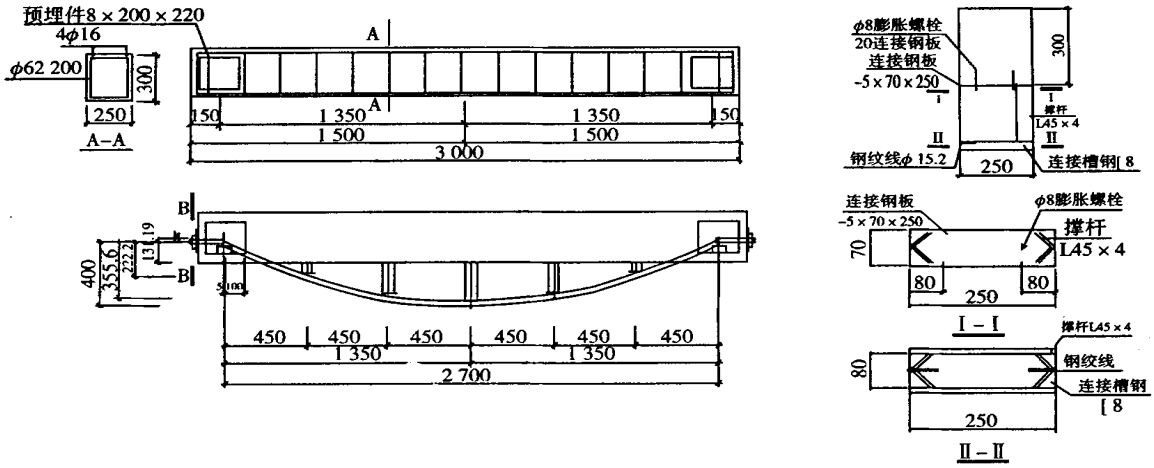


图 1 混凝土梁截面设计及加固构件布置示意图

点即为撑杆的末端, 即折点在同一条抛物线上。试验梁均采用相同的截面尺寸(250 mm ×300 mm), 相同长度(3 000 mm), 相同配筋(见图 1)。混凝土平均抗压强度为C22. 1M Pa。撑杆是由 2 根等长L 45×4 角钢在两端分别与钢板和槽钢焊接而成, 和混凝土梁及预应力筋的连接详见图 1。预应力筋采用 1 860 级, 75 s15. 2 钢绞线, 极限强度为 1 536 M Pa。试验采用 2 点对称加载, 由单千斤顶通过分配梁实现, 加载点位置参见图 2。试验前在混凝土梁、悬索和钢撑杆的有关部位粘贴了电阻应变片。其中, 混凝土应变和非预应力筋的应变均以梁跨中截面作为控制截面。

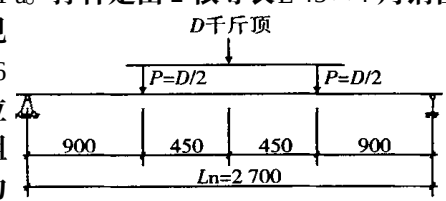


图 2 试验加载示意图

3 试验结果分析

3. 1 试验全过程与破坏形态

对比梁L 21 在荷载达到 30 kN 时, 产生初始裂缝; 继续加载至 64 kN, 最大裂缝宽度达到 0. 51 mm, 根据规范规定, 已达正常使用极限状态; 加载至 92 kN 时, 构件破坏, 相应挠度为 7. 51 mm。梁 JL 21、JL 22 均在加载至 36 kN 时开裂, 其中JL 21对应开裂荷载时的最大裂缝宽度和跨中挠度分别为: 0. 07 mm、1. 71 mm, JL 22 对应开裂荷载时的最大裂缝宽度和跨中挠度分别为: 0. 09 mm、1. 87 mm。由此可以看出, 在开裂前的弹性阶段 3 根梁的受力性能基本一致。在加固时, 保持千斤顶荷载D = 36 kN 不变对悬索进行张拉。其中, JL 21 张拉时只用了 1 个千斤顶, 在梁的两端依次轮流分阶段张拉至 45 kN, JL 22 张拉时采用 2 台千斤顶在一端同时张拉 2 根预应力筋, 也是分阶段张拉至 45 kN。张拉完毕后, JL 21、JL 22 中撑杆对梁的总反力约为 36 kN, 即与千斤顶所加荷载相当。在张拉过程中, 加固梁中受拉钢筋应变逐渐减小, 角钢、钢绞线内应变不断增加, 混凝土梁的裂缝全部闭合。张拉完毕后, 梁 JL 21、JL 22 的跨中挠度分别减小为 0. 18 mm 和 0. 15 mm, 减小幅度分别达 89. 5% 和 92%, 可见在施加预应力后, 梁的抗弯刚度得到明显提高, 梁的变形性能得到显著改善。继续加载, 梁 JL 21、JL 22 均在D = 76 kN 时, 再次出现裂缝, 当加载至 86 kN 时, 梁的挠度和施加预应力前加载至 36 kN 时的挠度值接近。梁 JL 21、JL 22 达到极限状态时的荷载分别为 256 kN、236 kN, 是未加固梁极限承载力的 2. 78 倍和 2. 57 倍。梁 JL 21、JL 22破坏时裂缝都主要集中在纯弯段内, 为竖向弯曲裂缝, 2 梁破坏均属于适筋梁的弯曲破坏。

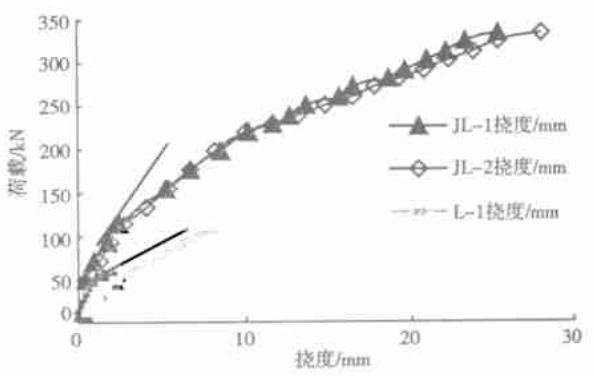


图 3 梁的荷载2挠度曲线

3. 2 试验分析

由图 3 可见, 开裂前的弹性阶段, 3 根试验梁的荷载挠度曲线基本重合, 表明 3 根梁在弹性阶段的受力性能很接近, 构件的刚度基本相同, 但在加固后梁 JL 21、JL 22 的荷载挠度曲线切线的斜率明显大于L 21, 说明构件的刚度在加固后明显提高, L 21 的荷载挠度曲线在 36 kN 左右时切线斜率明显下降, 与观察到的裂缝

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.

出现的荷载基本相同。梁 JL 21、JL 22 在开裂后, 保持荷载不变情况下对其施加预应力, 裂缝闭合, 构件挠度显著减小, 几乎抵消原荷载的作用效应。这是由于: 一方面, 施加预应力产生的偏心压力引起的负弯矩抵消了部分外荷载作用; 另一方面, 钢撑杆对梁体产生的向上反力基本与其外荷载相当, 撑杆在很大程度上就起到了卸载的作用。二者共同作用的结果使得混凝土梁的变形性能得到明显改善。加固后, 继续加大荷载, 梁的刚度增强效果明显, 极限承载力也得到大幅度提高。

统计数据表明, 加固梁进行预应力张拉后, 其混凝土应力基本与加载至 12 kN 时的应力相同, 受压钢筋的应变小于加载至 12 kN 时的值, 而受拉区钢筋应变大体与加载至 12 kN 时的值相同, 因此本加固方法的卸载作用明显, 加固后构件的应力、应变均处于较低的水平, 使得一般加固方法中出现的新加部分的应力、应变滞后现象得以基本消除。整个加固结构在其后的二次荷载受力过程中, 整体协调工作, 共同受力。从图 4 和图 5 可以看出, 加固后, 随荷载增大, 钢撑杆和悬索的应变不断增加。

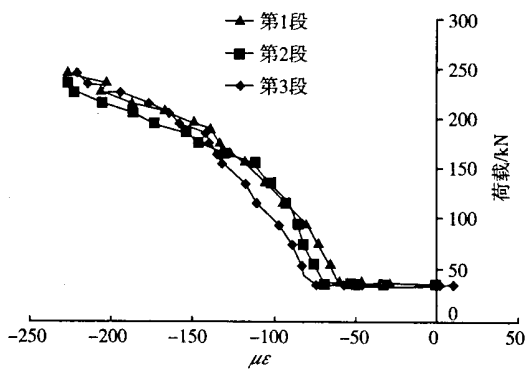


图 4　JL 21 撑杆荷载2应变曲线

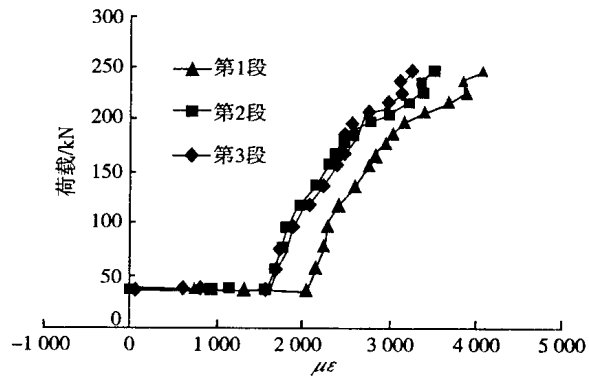


图 5　JL 21 钢绞线荷载2应变曲线

4　结　论

试验考察了预应力悬索分载加固法加固受弯构件过程中, 预应力施加方式、施加效果、加固构件承载力提高幅度、结构构件挠度和裂缝的改善情况, 分析了承载力提高的原因。通过此试验和分析, 可以看出, 预应力悬索分载加固方法可以大幅度提高混凝土梁的抗弯承载力, 在同等荷载条件下, 可以显著减小梁的挠度和裂缝的宽度, 并明显改善了其它加固方法中新加部分应变滞后现象, 使新旧结构均能较充分地发挥作用。然而, 要将此新技术大规模推广应用, 特别是用于桥梁等大跨度结构中, 还需考虑到两点: 1) 节点构造措施的处理, 以减小预应力的损失; 2) 根据原结构的不同, 采用多大的预应力加固效果最佳。

参考文献

[1]　杜拱辰. 现代预应力混凝土结构[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988.
[2]　牛　斌. 体外预应力混凝土梁弯曲性能分析[J]. 土木工程学报, 1999, (4): 37～44.
[3]　曹双寅, 周　屹. 预应力钢与混凝土组合结构加固梁的探讨[J]. 工业建筑, 1997, (10): 5～9.
[4]　Pisani M A. Strengthening by Means of External Prestressing[J]. Journal of Bridge Engineering, 1999, (5): 131～135.

Experimental Study on Strengthening Beam by Externally-prestressed-cable-offloading Method

WANG Ji[1], ZHANG Ying2xia[1], HAN Ling[2]
(1. Transportation Engineering Institule, WUT, Wuhan 430070, China;
2. Hubei Architecture Science Research and Design Institute, Wuhan 430071, China)

Abstract: The externally2prestressed2cable2sharing2load method is achieved by steel2prestressing composite structure. Cable provides prestressing force, and then steel frame convert the prestressing2force into opposite load acting on the strengthened beam, which can partly share the external load on the beam, at the same time, increase the strengthened beam's rigidity.

Key words: externally prestressed; cable; sharing2loading; strengthening; concrete beam

© 1995-2005 Tsinghua Tongfang Optical Disc Co., Ltd. All rights reserved.