

## 粘钢加固梁钢板锚固长度的试验研究<sup>\*</sup>

马晓董 吴建华 杨澄秋

(杭州应用工程技术学院 土木系 杭州 310012)

**摘 要** 粘贴钢板是结构加固的重要方法之一,本文通过两组加固试验梁的研究,探讨了粘贴钢板长度 $L$ 对梁承载力及破坏的影响,通过加固梁端部应力状态分析及破坏形态,明确了加固梁弯剪破坏原因,为工程加固设计提供依据。

**关键词** 钢板粘贴 锚固长度 撕裂破坏 复合应力

**中图分类号** TU323.3-03

在结构受拉区粘贴钢板对提高结构的承载力有较高的效果,特别是在钢筋混凝土梁和板的受拉区粘贴低碳钢的技术能够用来改进结构的弯曲特性,它不仅提高了结构的强度和刚度,而且还减少了它的弯曲裂缝宽度。由于种种原因,某些土木工程出现了不同程度的结构隐患,采用粘钢加固法,不仅体积空间小,基本不影响外观,而且有施工方便,工艺简单,周期短,材料消耗小等优点。结构粘钢加固有两种情况:第一种情况,钢筋混凝土梁板在已经出现裂缝或腐蚀导致的混凝土结构截面缺损以及钢筋之间整体性不好等情况下为了延长结构使用年限而粘贴钢板。第二种情况,结构由于使用功能的改变等原因如要增层改造荷载加大等而粘贴钢板。本课题主要研究第二种情况,即钢筋混凝土梁在未出现裂缝之前就粘贴钢板以提高结构梁的极限承载力。影响梁的极限承载力的因素有很多,本实验主要研究探讨粘贴钢板长度 $L$ 对加固梁承载力的提高情况,分析其破坏形态。实验装置图见图1。

### 1 粘钢加固梁的弯剪破坏

本项目设计了两组试验梁,探讨底部粘钢加固梁的破坏机理。

#### 1.1 试验梁

二组试验梁共5根,分别用TS-0 II, TS-1 I至TS-5 I表示,其中TS-0 II为不粘贴钢板的控制梁,试验梁截面与配筋见图1。

试验梁粘贴钢板后,梁的抗剪设计荷载大于抗弯设计荷载2倍<sup>[1]</sup>,试验梁设计情况如表1所示。钢板应变通过PJ7×4.5mm电阻应变片测量,跨中及钢板端头挠度用百分表测量,采用YJ-22型静态应变测量仪对试验数据进行采集处理,从加载到破坏全过程中,对初始裂缝及其发展作了详细

<sup>\*</sup> 本文为院科研基金资助项目,参加试验工作的还有结构试验室余春校、及沈建刚、叶亚玲同志

记录。

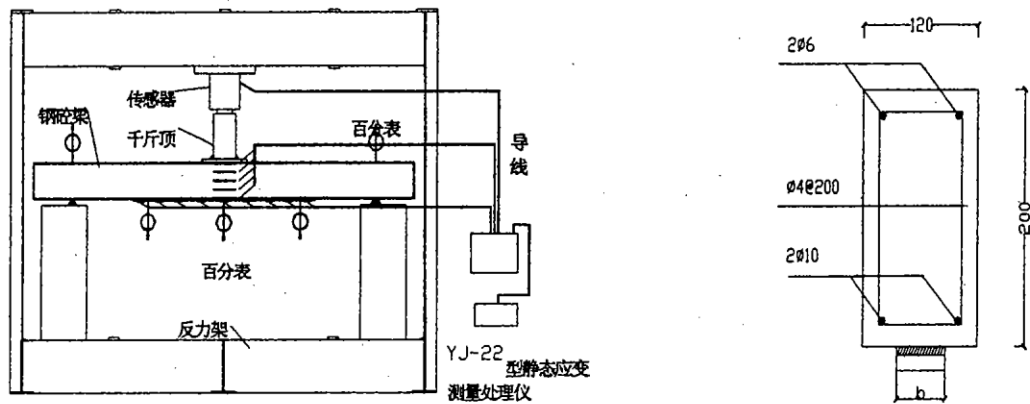


图1 构件配筋及装置正面图

表1 试验梁参数(钢板截面 $2 \times 70$ )

梁 号	加载形式	$f_{cu}, k$ /MPa	$f_c$ /MPa	$f_{cm}$ /MPa	钢板长度 $L/mm$	理论抗弯承载力/ $kN$	理论抗剪承载力/ $kN$	支座跨度 $l/m$
TS-0 II	跨中一点加载	18.8	9.42	10.36	0(钢板未贴)	11.07	54.65	2.2
TS-1 I	跨中一点加载	18.8	9.42	10.36	800	17.40	$\geq 54.65$	2.2
TS-2 I	跨中一点加载	18.8	9.42	10.36	1000	20.30	$\geq 54.65$	2.2
TS-4 I	跨中一点加载	18.8	9.42	10.36	800	19.14	$\geq 54.65$	2.0
TS-5 I	跨中一点加载	18.8	9.42	10.36	100	22.33	$\geq 54.65$	2.0

## 1.2 试验结果

(1) 未粘贴钢板梁 TS-0 II, 破坏形态为正常弯曲适筋破坏, 在加载全过程中, 首先在跨中梁底出现垂直裂缝, 随后在附近也产生垂直裂缝并逐步延伸到集中荷载作用点, 梁底钢筋受拉屈服, 跨中砼受压区压碎, 其破坏形态梁四周开展图如 2(a)。

(2) TS-1 I 至 TS-5 I 梁, 加载后跨中和粘贴钢板两端先后产生垂直细裂缝而细微斜裂缝一般是由垂直裂缝延伸出来的。随着荷载增加, 先出现的裂缝不一定会继续发展, 在附近位置会出现新细斜裂缝。荷载加载到一定程度时在数条斜裂缝中, 会出现一条延伸较长, 开展较宽的主要斜裂缝, 钢板末端混凝土完全退出工作, 而该处梁底钢筋应力很快达到屈服值  $f_y$ , 最终破坏发生在钢板末端处混凝土梁底, 钢板附带部分混凝土锥形块剥离主体。跨中混凝土受拉区钢板与粘结剂层(固化 ET 结构胶)未见破坏, 梁破坏裂缝形态见图 2(b)、2(c), 试验结果见表 2。

表2 试验结果表

梁 号	极限荷载/ $kN$	理论计算值/ $kN$	破坏形式	锚固长度 $L_0/2$
TS-0 II	15.37	11.07	弯曲破坏	0
TS-1 I	18.9	17.40	粘结撕裂前切破坏	$200t^*$
TS-2 I	19.9	20.30	粘结撕裂剪切破坏	$250t$
TS-4 I	18.3	19.14	粘结撕裂剪切破坏	$200t$
TS-5 I	26.1	22.33	粘结撕裂剪切破坏	$250t$

注\*:  $t$  为钢板厚度

(3) TS-6 I至TS-7 I梁( $L_0 = 1200$ , 其它条件不变, 文中未列出), 加载后, 梁底部钢板在跨中屈服后, 梁顶部砼压坏, 没有产生钢板剥离和梁剪切破坏, 属弯曲型破坏, 见图 2(d)。

### 1.3 结果分析

根据试验结果粘贴钢板的混凝土梁裂缝出现后因钢板协助混凝土抗拉, 改变了梁底混凝土抗拉性能使原混凝土保护层对裂缝的影响程度降低, 减小了粘贴范围内梁底裂缝间距, 使裂缝细而密。从粘钢梁的跨中挠度图和未粘钢梁的跨中挠度图(分级荷载作用下)比较, 可以看出在钢筋混凝土梁受拉区粘贴钢板后, 在同级荷载作用下, 梁跨中的挠度与未粘钢板梁跨中挠度相比较要小而平缓, 见图 3 所示。

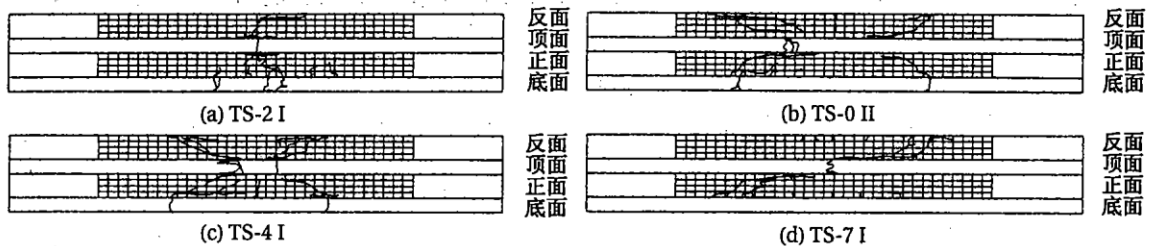


图2 梁裂缝开展情况图

本试验设计了两组不同钢板长度但梁支座净间距和混凝土强度等级相同的粘贴钢板加固梁, 其破坏时, 梁的极限承载力随长度增加而增大, 极限承载力  $P_u$  和钢板长度  $L_0$  的线性回归曲线如图 4 所示。图中给出了理论计算曲线与试验曲线的对比, 两者基本相符。

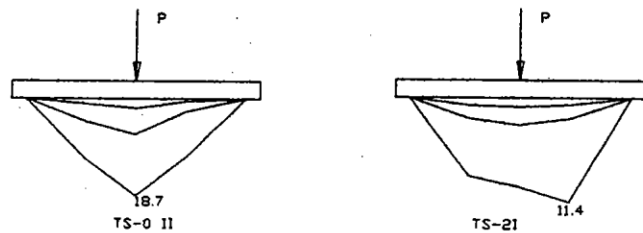


图3 挠度图

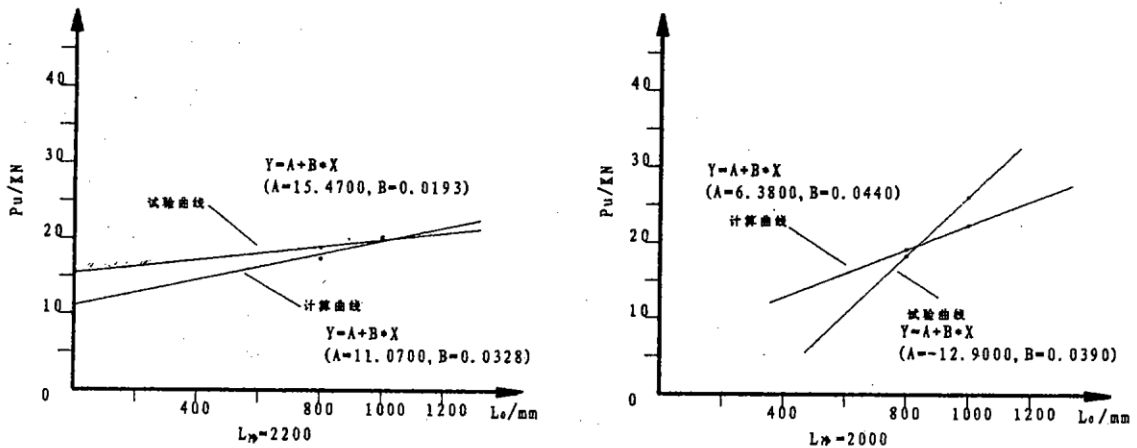


图4  $P_u - L_0$

## 2 粘贴钢板梁钢板撕裂破坏的理论分析

钢板粘贴在梁底后在二次加载初始, 钢板全长和混凝土梁共同作用, 钢板末端附近未粘钢板处

由于梁正截面刚度与强度突变,受混凝土性能影响即产生垂直细裂缝,其受力脱离体如图5所示。其中内力存在如下平衡关系:

$$\sum X = 0 \quad T_2(x_0) + T'(x_0) = \int_0^{x_0} \tau(x) b \cdot dx \quad (1)$$

$$\sum Y = 0 \quad V_d(x_0) = \int_0^{x_0} \sigma(x) b \cdot dx \quad (2)$$

$$\sum M_b = 0 \quad T_2(x_0) \cdot \left(\frac{t}{2} + t'\right) + T'(x_0) \cdot \frac{t'}{2} = \int_0^{x_0} \sigma(x) \cdot b(x_0 - x) \cdot dx \quad (3)$$

$$V = V_1 + V_d \quad (4)$$

(1)、(2)、(3)、(4)式中:  $V_d$  为胶粘体(固化 ET 结构胶) 销栓力;  $T_2$  为钢板拉力;  $\tau(x)$  为胶粘体与砼梁底水平粘结剪应力;  $\sigma(x)$  为胶粘体与砼梁底垂直粘结力;  $t$  为钢板厚度,取 2 ~ 6mm;  $t'$  为结构胶(ET 或 JGN 系列) 厚度,取 1 ~ 3mm。

此时胶粘体与砼梁之间粘结剪应力  $\tau(x)$  较小,从结构胶体与砼梁底之间界面单元体 A 知,由于复合应力作用已存在斜向主拉应力  $\sigma_1$ ,进一步加载后不久,在钢板末胶粘体与砼梁底产生微细斜裂缝,并与先前垂直细裂缝贯通,但发展较小。随着荷载增加  $\sigma(x)$  在钢板末端迅速减小至零,钢板拉力的偏心  $e$  作用,附加弯矩  $\Delta M (= \sum T \times e)$  加剧了混凝土斜锥体及钢板从主体梁剥离、撕裂,粘结力  $\sigma(x)$  及  $\tau(x)$  向跨中内移,挠度急剧增大,直到梁结构弯剪破坏。当钢板厚度适中且全梁长粘贴,由图5知近钢板末端,因靠近梁支座弯矩作用产生的  $T'$ 、 $T$  均很小,粘结力  $\sigma(x)$ 、 $\tau(x)$  很小,不会发生剥离,撕裂<sup>[2]</sup>,这在本次试验中也得到证实。

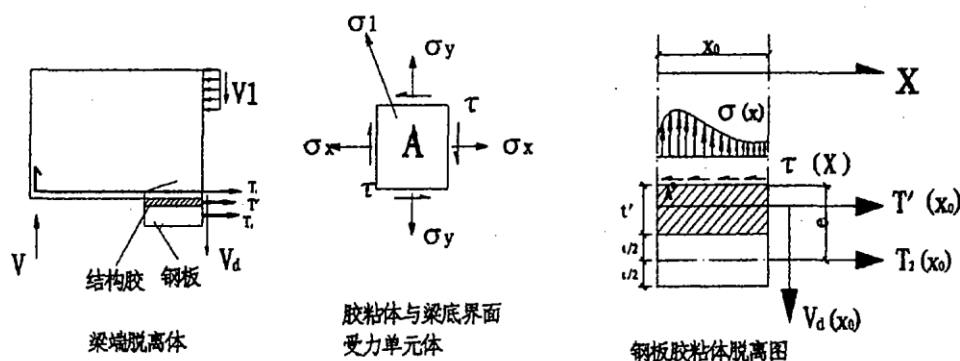


图5 内力分析图

### 3 结论与建议

(1) 钢板末端复合应力作用是粘贴钢板加固梁产生破坏的主要原因,钢板厚度适中且全梁粘贴,不会发生先于跨中弯曲破坏的钢板末端剥离撕裂早期破坏。

(2) 现行规范 CES25:90<sup>[3]</sup> 钢板粘贴锚固长度最小值取  $200t$  ( $t$  为钢板厚度),不足以避免粘结撕裂剪切破坏,根据本次试验,建议取锚固长度  $L_0/2 \geq 300t$ 。

(3) 梁的极限承载力随钢板长度增加而增加,工程加固设计中要既要选择足够长的钢板锚固长度又要兼顾到粘贴钢板后梁极限弯矩包络图和荷载弯矩包络图。

### 参 考 文 献

- 1 王天稳等. 砼结构粘钢加固正截面计算中的若干问题. 工业建筑, 1997, (11): 35
- 2 袁迎曙等. 粘钢加固梁的剪切早期破坏. 东南大学学报, 1999, (129): 29
- 3 中国建筑科学院. 混凝土结构加固技术规范 CES25-90. 北京: 中国计划出版社, 1990
- 4 Deric John Gehlers. Reinforced Concrete Beams With Plates Glued to Their Soffits. ACI Journal, 1992, (18): 12

## Research on the steel plate anchorage length of plated R. C beams

Ma Xiaodong Wu Jianhua Yang Chenqiu

(Hangzhou Institute of Applied Engineering Technology, Hanzhou 310012)

**Abstract** Plated R. C. beam is one of the important methods in sturcture strengthen. The experiment of 5 beams(two groups) has been done in this paper, the effect of anchorage length on load-bearing capacity and failure mode is studied. According to stress analysis on the end of steel plate, failure reason of plated R. C. beams is discussed.

**Key words** bonding steel plates anchorage length tear failure stress concentration