

预应力碳纤维板加固钢筋混凝土梁的张拉锚具研究

赵少伟¹, 欧高龙¹, 李春明², 刘福鑫¹

(1. 河北工业大学 土木工程学院, 天津 300401; 2. 天津公路工程总公司, 天津 300201)

摘要:为提高加固锚具的实用性,利用自行研发的一套预应力碳纤维板锚固装置,对施加了极限抗拉强度 25% 预应力的混凝土梁进行张拉试验。试验结果表明,该锚固装置在张拉阶段存在 16.3 kN 阻力损失;在张拉装置放张阶段预应力损失 10.1 MPa;而在拧紧锚固板阶段由于波形板的咬合作用,预应力得到比较大的补强;试验过程中碳纤维板未出现滑移,锚固效果良好。

关键词:碳纤维板;锚固装置;预应力;阻力损失;咬合作用

中图分类号: TU528.1

文献标志码: A

文章编号: 1672-3767(2015)05-0027-05

Tension Anchorage of Reinforced Concrete Beams Strengthened with Prestressed CFRP Plates

Zhao Shaowei¹, Ou Gaolong¹, Li Chunming², Liu Fuxin¹

(1. School of Civil Engineering, Hebei University of Technology, Tianjin 300401, China;

2. Tianjin Highway Engineering General Company, Tianjin 300201, China)

Abstract: In order to improve the practicability of reinforced anchorage, a tension test was conducted with prestressed concrete beams exerted with 25% ultimate tensile strength by using a set of CFRP plate anchorage device researched and developed by our own. The results show that the resistance loss in the tension period is 16.3 kN while the prestress loss is 10.1 MPa in the relaxation period. But the prestress is reinforced when the anchor plate is tightened because of the interlocking of the wave plates, and the CFRP plates are anchored well without any slip in the test process.

Key words: CFRP plate; anchorage device; prestress; resistance loss; interlocking

碳纤维板加固修补混凝土结构的技术是近年来发展起来的一项加固补强新技术,因具有高强高效、耐腐蚀、施工便捷、工期短、重量轻等优点而备受关注^[1]。锚具作为预应力碳纤维板加固技术的核心,是加固技术成功的关键,而预应力碳纤维板作为加固材料,张拉后预应力损失不应该过大。国内外众多研究,如 Nanni 等^[2]的研究表明:配置 CFRP(carbon fibre reinforced plastics)预应力筋的结构,最终承载力将更多地取决于锚具系统的锚固性能而不是预应力筋本身的强度;Garden 等^[3]在试验室做了预应力 CFRP 板加固混凝土梁试验研究,认为有效的预应力范围为 CFRP 板拉伸强度的 17.5%~46.6%,预应力加固梁比普通粘结 CFRP 加固梁承载力有一定的提高,提高幅度随预应力增大而增加;王伯航^[4]通过对比试验认为波形齿夹具锚解决了碳纤维板的夹持和锚固问题,而“铰式锚”能较好解决偏心受拉问题;王鹏飞^[5]对三个构件预应力 CFRP 板长期应变观测得到,两天的应力损失达到总损失的 70%以上,总应力损失占有有效张拉应力的 10%以下;邓朗妮等^[6]对预应力碳纤维板加固混凝土结构产生的预应力损失分项进行计算,并给出了各项预应力损失的计算方法;张问坪^[7]通过试验对碳纤维板加固技术在高预应力作用下的平截面假定进行了测试和研究,考察了

收稿日期: 2015-07-08

作者简介: 赵少伟(1972—),男,河北唐县人,教授,博士,主要从事结构检测与加固技术等方面的研究。

E-mail: ouyanggaolong@163.com

碳纤维板的强度利用率。常用的锚具是夹片式,这种锚固方式如果用力过大通常造成夹片处 CFRP 板应力集中而发生劈裂破坏,过小则会造成 CFRP 板产生滑移。平头锚对偏心受拉特别敏感,对施工工艺的要求过于严格,不适用于工程实际。为了解决这些问题,本研究在以往锚具的基础上,研制出一套拆卸方便的铰式粘结锚具,通过对钢筋混凝土梁进行张拉试验,总结此锚具的优缺点;分析预应力 CFRP 板在其张拉阶段、放张阶段、拧紧锚固板阶段的控制应力、应变的情况;计算 CFRP 板在施加预应力时的预应力损失量与补强量。

1 试验概况

1.1 试件设计

本试验采用了 1 根矩形截面试验梁。混凝土抗压强度等级为 C50,全长 5 100 mm,计算跨度 4 800 mm,截面尺寸为 400 mm×500 mm。梁底主筋采用 3C25 的 HRB400 级钢筋,架立筋采用 2B12 的 HRB335 级钢筋,箍筋强度采用 B10×150 的 HPB300 级钢筋。加固方式为预应力碳板粘贴加固,初始拉力为 50 kN,两端采用钢板夹持。梁的尺寸及具体配筋见图 1。

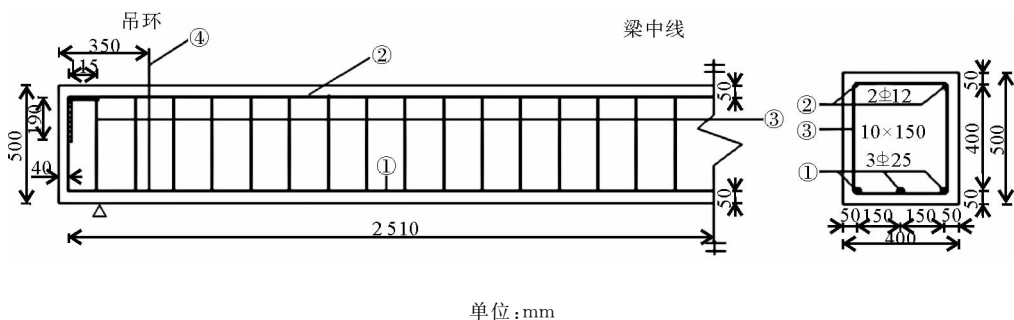


图 1 试验梁的尺寸和配筋示意图

Fig. 1 The size of the test beam and reinforcement of schematic diagram

1.2 张拉锚固装置的设计

为了将 CFRP 板的预应力安全方便地施加到需要加固构件上,研制出一套筒便可拼装的张拉锚固装置。本试验所用的锚具是铰式粘结咬合锚,设计原理是螺栓锚固、胶体粘结外加机械咬合,主要包括上齿板和下齿板两部分。为了克服摩擦力不足产生的滑移问题,把两块钢板做成像牙齿一样的咬合状,增大了 CFRP 板与钢板的摩擦面积。为了克服在张拉过程中出现偏拉的问题,把固定端提供反力的反力块做成凹状,锚固板一端做成凸状,弧度稍小于反力块,避免了现场设备安装误差产生 CFRP 板偏心受拉而造成预应力损失或被拉断。在总结前人研究经验基础上,结合波形粘结的锚固方式,研制出一套可拆卸、安装便捷、加固效果理想的张拉装置,如图 2 所示。张拉装置整体可分为张拉单元和夹具单元。张拉单元由液压缸支架、挂环和锚固板组成。夹具单元由滑槽和夹具构成。张拉设备照片见图 3,铰式锚实物见图 4。

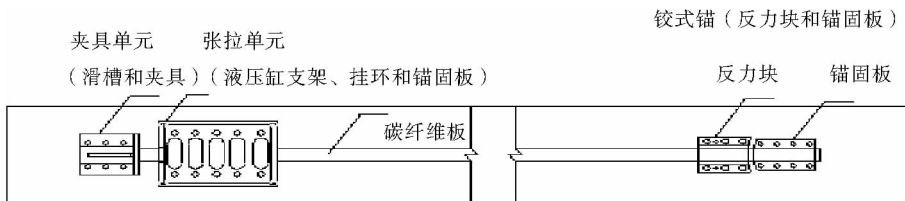


图 2 张拉装置整体设计

Fig. 2 The overall blueprint of Tensioning device

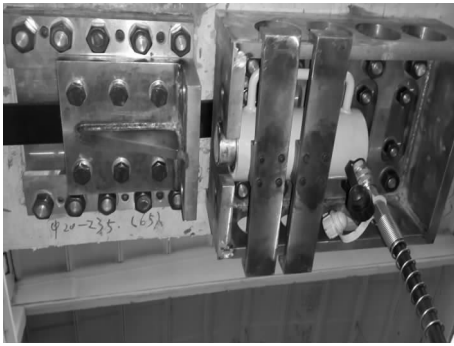


图3 梁端夹具单元(左)和张拉单元(右)

Fig. 3 Beam end fixture unit (left) and tensioning unit (right)

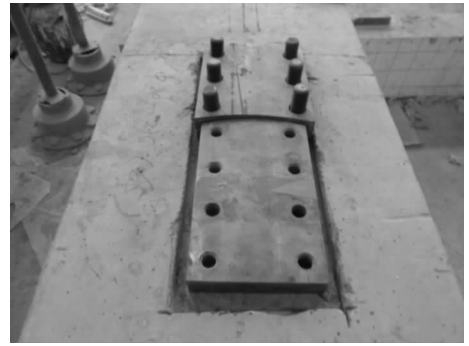


图4 铰式锚

Fig. 4 Hinged type anchor

1.3 材料性能

采用 1.2 mm×50 mm 的 CFRP 板对梁进行加固,进行材料性能试验,力学参数见表 1。

表 1 碳纤维板力学性能

Tab. 1 Carbon fiber plate mechanical properties

碳纤维厚/mm	延伸率/%	抗拉强度/MPa	弹性模量/(10 ⁵ MPa)	层间剪切强度/MPa
1.2	1.71	2 424	1.69	61

1.4 测点布置及碳纤维板施加预应力方案

为了验证自主研制的张拉锚具的可靠性和利用效率,在试验梁顶粘贴 3 个规格为 100 mm×5 mm 的混凝土应变片,在跨中受拉筋粘贴规格为 5 mm×3 mm 的电阻应变片,在碳纤维板的跨中、三分点和两端各布置一个规格为 5 mm×3 mm 的电阻应变片。另外,为了测量试验加载过程中梁体变形情况,在试验梁的跨中、三分点加载位置所对应试验梁底及试验梁支座中心处分别布置百分表,用以测量试验梁在加载过程中的挠度变化。

当用张拉设备对 CFRP 板进行了试拉时,测得设备阻力约 20 kN。因此设定 CFRP 板的张拉力值为 50 kN。夹板滑动前以 10 kN 每级加载到 30 kN,然后改为以 5 kN 每级加载,直到控制荷载 50 kN。每级加载时,采集钢筋、混凝土和碳纤维板所对应时刻的应变值,并读取跨中百分表读数,记录试验梁的反拱值。

2 碳纤维板施加预应力时的试验现象和结果分析

2.1 施加预应力时的试验现象

千斤顶在张拉初期,首先需要克服设备自身的摩擦阻力,施加 1 t 力时夹具没有产生滑动,碳板应变没有发生变化。在加到 2 t 的过程中,夹具开始滑动,CFRP 板开始绷直并被拉伸,应变增长速度很快。继续加载直到 5 t 的过程中,碳板的应变持续增加,应力在加到预定的荷载,拧完螺杆后由于碳板的应变会稍微降低,降幅为 35 με。

张拉完成卸下千斤顶和传感器,拧紧锚固板的过程中,会听见 CFRP 板轻微“啪啪”的响声,随着各个螺母紧力的均匀增大,碳板由于波形锚“齿轮”的咬合作用同样发生拉伸形变,局部碳板距梁底的间隙变小,经过测量齿轮波形锚板夹紧过程使得碳纤维板伸长量增加 5.3 mm。

试验结束后,观测受压区混凝土,在其顶面未发现混凝土压碎现象;可发现碳纤维板未从波形锚具中滑出,证明波形锚具有良好的夹持和锚固能力。

2.2 试验梁张拉过程分析

对试验梁上的 CFRP 板施加的张拉控制力为 50 kN。

图 5 为 CFRP 板的应变-拉力曲线。由图可知,碳板中间部分应变比两端部分应变稍大,但两端的应变曲线重合度很高,说明两端碳板拉力几乎一样。从 10 kN 到 20 kN 之间曲线斜率较大,应变量变化较小,是由于张拉设备存在阻力,而从 20 kN 到 50 kN 曲线斜率不变,说明碳板为弹性材料。

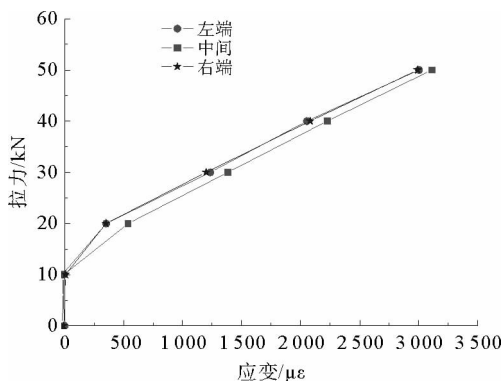


图 5 CFRP 板的应变-拉力曲线图

Fig. 5 CFRP plate Strain-tensile curve

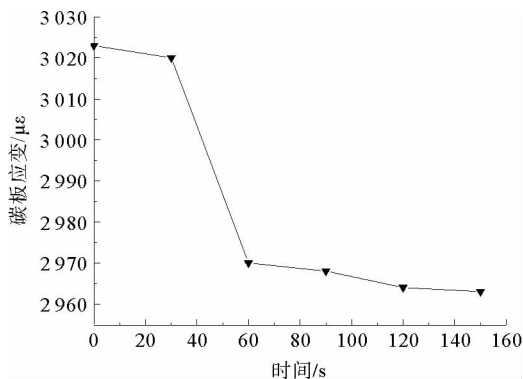


图 6 张拉装置放张时 CFRP 板应变-时间曲线

Fig. 6 Releasing tension device CFRP plate Strain-time curve

图 6 为张拉装置放张时 CFRP 板应变-时间曲线。CFRP 板张拉完成并待压力传感器值和 CFRP 板应变片值稳定后,拧紧螺杆准备放张。放张前传感器力值为 50 kN,CFRP 板应变为 $3\ 023\ \mu\epsilon$ 。曲线在 30 s 到 60 s 时间段急剧下降,最终 CFRP 板应变从 $3\ 023\ \mu\epsilon$ 降到 $2\ 963\ \mu\epsilon$,减小了 $60\ \mu\epsilon$ 。根据材料的性质计算得出应力损失为 10.1 MPa。

2.3 拧紧锚固板施加预应力过程分析

CFRP 板张拉完成后,卸载完千斤顶,开始拧紧锚固板。

图 7 为 CFRP 板应变-时间曲线。当张拉装置放张完成稳定后,CFRP 板应变值为 $2\ 963\ \mu\epsilon$ 。在拧紧锚固板的过程中,CFRP 板应变值也由 $2\ 963\ \mu\epsilon$ 增加到 $3\ 589\ \mu\epsilon$ 。应变增加了 $626\ \mu\epsilon$,应力值增加了 105.8 MPa。

2.4 CFRP 板预应力变化分析

对碳纤维板施加预应力后抹上结构胶用锚固板固定粘贴到梁上,由于试验条件有限,本次试验考察的影响 CFRP 板应力变化的因素主要有:

1)由于设备阻力造成的预应力损失

由于千斤顶推动夹具的推力,使得碳纤维板承受拉力而发生应力的变化,应变从 0 增加到 $3\ 023\ \mu\epsilon$,即在承受 50 kN 推力时,碳纤维板本应承受的应力为 760 MPa。但根据应变反算得到的实际应力值为 510 MPa,即 33.7 kN。而根据图 5 分析可知 CFRP 板应变在拉力超过 10 kN 时才发生变化,因此张拉设备存在 16.3 kN 的阻力。

2)在张拉装置放张时螺杆和锚固装置的变形引起的预应力损失

CFRP 板张拉完成后,通过螺杆和拧紧螺杆上的螺帽,顶住夹具和液压缸支架防止夹具回滑。在千斤顶卸压 CFRP 板放张过程瞬间,由于螺杆的压缩变形和螺帽的紧固力不足,必然会造成 CFRP 板的预应力再次损失。

3)拧紧锚固板引起的 CFRP 板预应力增加

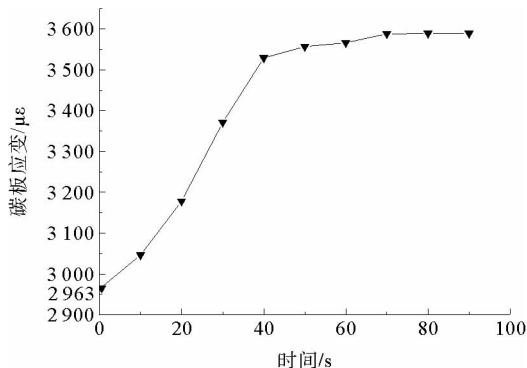


图 7 CFRP 板应变-时间曲线图

Fig. 7 CFRP plate Strain-time curve

CFRP 板放张完成稳定后,拧紧锚固板上的螺帽,由于锚固板是波形的,碳板张拉放张后是直线,在拧紧螺帽紧固过程中,咬合作用势必会造成 CFRP 板的再次拉伸。

本次试验过程中,CFRP 板最终应力损失量为 153 MPa,CFRP 板最终实际应力为 607 MPa。如表 2 所示,为 CFRP 板在以上三个阶段的控制应力及变化量。

表 2 CFRP 板各阶段控制应力及变化量
 Tab. 2 Each stage control stress and change of CFRP plate

张拉阶段			张拉装置放张阶段			拧紧锚固板阶段		
控制应力/MPa	实际应力/MPa	阻力损失/MPa	实际应力/MPa	损失量/MPa	损失率/%	实际应力/MPa	增加量/MPa	增加率/%
760	510	250	501	9	1.76	607	106	21.16

3 结论

1)在张拉装置放张阶段,千斤顶卸载后,由于螺杆的压缩变形和螺母紧力加强,导致 CFRP 板应变瞬时损失,损失量为张拉控制应力的 1.76%,损失量较小。由于条件限制,没有测量 CFRP 板受外界环境温度等以及自身材料特性等影响的长期预应力损失,但此损失占有很大比重。

2)在拧紧锚固板过程中,由于波形板咬合作用,CFRP 板的应力值增加到 607 MPa,又增加了 106 MPa。因此拧紧锚固板这阶段对增加 CFRP 板应力、弥补损失有重要作用,此时施加到 CFRP 板上的应力值为 CFRP 板极限抗拉强度的 25%。

3)本试验操作简单,试验过程中碳纤维板未出现滑移,锚固效果良好。

参考文献:

[1]焦宇晖.碳纤维板加固混凝土梁受弯性能试验研究[D].重庆:重庆大学,2007:42-49.
 [2]蒋田勇,方志.CFRP 预应力筋夹片式锚具的试验研究[J].土木工程学报,2008,41(2):60-69.
 Jiang Tianyong,Fang Zhi. Clamp plate CFRP prestressed anchorage experiment research[J]. Journal of Civil Engineering, 2008,41(2):60-69.
 [3]Garden H N,Hollaway L C. An experimental study of the failure modes of reinforced concrete beams strengthened with prestressed carbon composite plates[J]. Composites;Part B,1998,29B:411-424.
 [4]王伯航.碳纤维板的较式锚张拉工艺研究及工程运用[J].中外公路,2012,32(5):182-185.
 Wang Bohang. Carbon fiber plate hinge type anchor tension technology research and engineering application[J]. The Chinese and Foreign Road,2012,32(5):182-185.
 [5]王鹏飞.波形齿夹具锚给 CFRP 板施加预应力的施工工艺和应力损失研究[D].重庆:重庆大学,2007:65-78.
 [6]邓朗妮,张鹏,杨帆,等.预应力碳纤维板加固混凝土结构预应力损失研究[J].工业建筑,2012,42(9):70-74.
 Deng Langni,Zhang Peng,Yang Fan, et al. Study on prestress loss of concrete structure strengthened with prestressed CFRP plates[J]. Industrial Building,2012,42(9):70-74.
 [7]张问坪.高预应力 CFRP 板加固 T 梁的试验与理论研究[D].重庆:重庆大学,2007:78-82.
 [8]周礼平,卓静.碳纤维板偏心受拉试验研究[J].工业建筑,2011(增):23-45.
 Zhou Liping,Zhuo Jing. Research of eccentric tensile test CFRP plate[J]. Industrial Building,2011(S):23-45.
 [9]尚守平,吴建任,张毛心,等.预应力碳纤维板加固系统的预应力损失试验[J].公路交通科技,2012,29(1):71-74.
 Shang Shouping,Wu Jianren,Zhang Maoxin, et al. Experimental study on prestress loss of strengthening system of prestressed CFRP plate[J]. Highway Traffic Science and Technology,2012,29(1):71-74.
 [10]卓静.高强度复合材料 FRP 片材波形齿夹具锚固系统及应用研究[D].重庆:重庆大学,2005:23-45.
 [11]梅力彪,张俊平.预应力碳纤维板加固混凝土梁的粘结锚固性能试验研究[J].工业建筑,2006,36(4):15-18.
 Mei Libiao,Zhang Junping. Trial studies on the cohering and anchoring properties of concrete beams strengthened with CFRP sheets[J]. Industrial Building,2006,36(4):15-18.
 [12]黄滔.CFRP 板预应力锚具试验研究[D].重庆:重庆大学,2009:79-82.