

钢丝绳搭接锚固和孔道注胶锚固的性能试验

崔俊, 郭子雄, 黄群贤

(华侨大学 土木工程学院, 福建 厦门 361021)

摘要: 提出预应力钢丝绳加固钢筋混凝土框架节点的加固方法,通过绳扣进行钢丝绳搭接锚固性能试验及钢丝绳孔道注胶搭接锚固的拉拔试验,验证搭接锚固方法的可行性.由试验结果分析可知,采用两端分别拧紧绳扣的方法可实现对已完成预应力张拉的钢丝绳的临时搭接锚固;采用密封孔道水平压力注胶的施工方法可保证胶体充满孔道确保施工质量;试验中采用的植筋胶对钢丝绳具有较好的锚固效果,可在较小锚固长度的情况下保证钢丝绳拉断而无明显滑移.

关键词: 预应力; 钢丝绳; 加固; 框架节点; 锚固性能

中图分类号: TU 511.32; TU 311.4 **文献标志码:** A

框架节点作为框架结构中的关键部件,是框架结构中的主要传力枢纽,起到分配内力,确保框架结构整体性的作用.框架节点的破坏往往会引起结构的整体破坏、倒塌,后果十分严重.历次地震的震害情况也揭示出框架节点普遍存在抗震性能不足的安全隐患^[1].为保证框架结构的安全性,国内外学者提出包括粘贴纤维增强复合材料^[2-3],钢构套加固^[4-5]及增大截面^[6]等框架节点加固方法.但现有的框架节点加固方法均存在以下问题:加固材料应力滞后;加固区域有限,加固材料只能设置于柱边,无法形成合理约束;加固材料锚固于梁端,在增强梁端的同时相对削弱了节点.采用横向预应力技术可有效解决加固材料的应力滞后效应.郭子雄等^[7-9]将预应力技术引入钢筋混凝土(RC)柱的抗震加固,提出了预应力钢套箍加固技术,并通过加固构件的轴压性能试验及加固 RC 短柱的抗剪、抗震性能试验验证了方法的有效性.但由于梁体的阻碍,预应力钢套箍在节点区无法闭合,此技术难以实现对节点的有效加固.为克服节点核心区因梁体形成空间障碍而造成的加固困难,同时充分考虑钢丝绳材料的易弯折、高强度、耐腐蚀等优良性能,郭子雄等提出了预应力钢丝绳箍加固 RC 框架节点的加固技术.文献^[10]通过预应力钢丝绳箍加固混凝土梁的抗剪试验,验证了该方法的加固效果.本文通过绳扣进行钢丝绳搭接锚固性能试验及钢丝绳孔道注胶搭接锚固的拉拔试验,验证方法的可行性.

1 钢丝绳箍加固 RC 框架节点方法

图 1 为预应力钢丝绳箍加固 RC 框架节点示意图.该方法的施工工艺有如下 8 个方面:1) 在框架梁的对应位置上进行钻孔,清空处理,为避开梁端贯通裂缝对锚固效果的影响,钻孔时应注意避开柱边 1~2 cm;2) 在框架柱体的相应位置进行倒角处理,并粘贴倒角

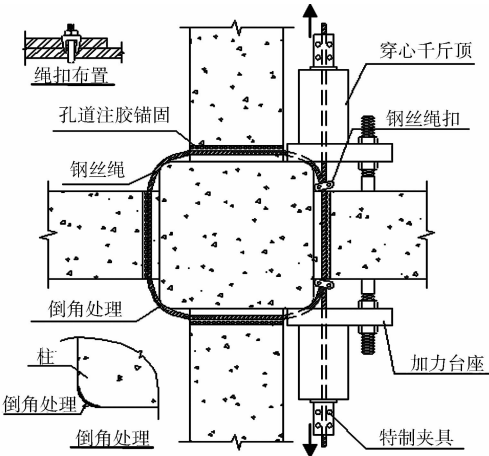


图 1 预应力钢丝绳箍加固框架节点示意图

Fig. 1 Schematic diagram of strengthening RC frame joint with prestressed wire-rope stirrups

铁片;3) 穿孔缠绕钢丝绳, 安装绳扣并保持绳扣松弛;4) 安装加力台座及穿心千斤顶, 并在两端钢丝绳安装特制夹具;5) 通过穿心千斤顶双向张拉钢丝绳, 并通过千斤顶的压力表盘控制预应力的大小;6) 施加到设定的预应力时, 拧紧安装好的绳扣;7) 确保夹持稳定后, 撤除千斤顶及加力台座, 为后续施工提供操作空间;8) 对梁上孔道的两侧实施密封, 并预留注胶孔及出气孔, 密封完成后进行压力注胶直至胶体填满孔道。

为验证此施工方法的可行性, 需研究钢丝绳预应力施加后采用绳扣进行搭接锚固的效果, 水平压力注胶施工方法的施工质量, 以及孔道注胶对钢丝绳的锚固效果。

2 钢丝绳搭接锚固性能

2.1 试验概况

为研究预应力施加完成后采用钢丝绳扣进行搭接锚固的可行性, 利用特制的试验装置进行单拉试验, 试验装置及试件设置如图 2 所示。结合后续加固采用的加固材料, 试验采用公称直径分别为 6 mm 和 8 mm 的 18×7+IWS 型钢丝绳, 其几何尺寸及材料性能, 如表 1 所示。表 1 中: D 为公称直径; d 为单丝直径; A 为钢丝绳的横截面面积; F_{\min} 为最小破断力。绳扣采用对应型号的加重型钢丝绳扣。钢丝绳搭接锚固性能试验参数, 如表 2 所示。表 2 中: r 为绳扣间距; δ 为拧入深度; P_u 极限荷载; 编号“6-350-5.0”表示钢丝绳直径 6 mm、绳扣间距 350 mm、绳扣拧入深度 5.0 mm, 下同。

试验时, 采用对应规格的钢丝绳扣在给定的范围内对两段钢丝绳实施对接, 绳扣的间距用以模拟框架梁的不同宽度。通过 T 形扳手对绳扣进行拧紧, 绳扣的拧紧程度通过螺帽的拧入深度进行判定。即将两段钢丝绳初步贴紧但未受挤压的状态标记作为初始位置, 拧紧螺帽挤压钢丝绳, 通过检测螺帽拧入的距离来实现对绳扣预紧程度的控制。

2.2 加载制度及量测方案

试验加载过程中, 钢丝绳两端分别采用特制锚具进行夹持, 拉力通过穿心千斤顶施加。绳扣间距按对应梁宽增加 50 mm 设置, 如梁宽 300 mm, 则绳扣间距设置为 350 mm; 拉力的施加速度控制在 $1.0 \sim 1.5 \text{ kN} \cdot \text{min}^{-1}$, 荷载在 10.0 kN 前每 1.0 kN 持荷 1 min, 10.0 kN 后每 0.5 kN 持荷 1 min, 直至荷载明显下降或钢丝绳拉断。

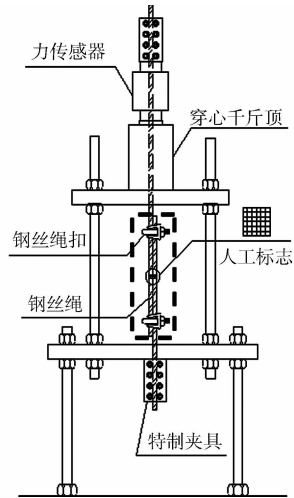


图 2 绳扣搭接锚固的试验装置
Fig. 2 Test setup of lapped anchorage ropes with wire line hitches

表 1 钢丝绳材料性能

Tab. 1 Material properties of wire ropes			
D/mm	d/mm	A/mm^2	F_{\min}/kN
6	0.34	12.07	24.50
8	0.48	24.05	37.50

表 2 钢丝绳搭接锚固性能试验参数及试验结果

Tab. 2 Experimental parameters and results of lapped steel wire-rope anchorage

编号	钢丝绳型号	r/mm	δ/mm	P_u/kN	最终形态
6-400-6.5	18×7+IWS-6	400	6.5	15.5	钢丝绳拉断
6-300-6.5	18×7+IWS-6	300	6.5	17.7	钢丝绳拉断
6-350-5.0	18×7+IWS-6	350	5.0	13.3	钢丝绳滑脱
6-300-5.0	18×7+IWS-6	300	5.0	14.2	钢丝绳滑脱
6-250-5.0	18×7+IWS-6	250	5.0	15.6	钢丝绳拉断
6-200-5.0	18×7+IWS-6	200	5.0	13.8	钢丝绳拉断
8-400-8.0	18×7+IWS-8	400	8.0	20.5	钢丝绳滑脱
8-350-8.0	18×7+IWS-8	350	8.0	21.5	钢丝绳滑脱
8-300-8.0	18×7+IWS-8	300	8.0	23.5	钢丝绳滑脱
8-250-8.0	18×7+IWS-8	250	8.0	26.2	钢丝绳滑脱
8-200-8.0	18×7+IWS-8	200	8.0	27.5	钢丝绳滑脱

通过安装在千斤顶和特制锚具间的穿孔式压力传感器及 DH3816 型静态应变测试系统对拉力进行实时采集。采用数字摄影测量技术量测对接段钢丝绳的相对滑移, 即在对接段的两根钢丝绳上分别粘贴特定的人工标志(人工标志为 1 mm×1 mm 小方格组成的 6 mm×6 mm 大方格), 持荷时, 通过高精

度的数码相机进行定点拍摄,后期通过数据处理可获得各级荷载下两根钢丝绳的相对滑移值。

2.3 试验结果及分析

试验的最终破坏形态有 2 种:1) 荷载施加至极限后,钢丝绳间产生较大滑移,荷载明显下降;2) 钢丝绳在绳扣处被拉断。绳扣处被拉断的原因可能是由于拧紧绳扣时对钢丝绳的挤压作用,使得钢丝绳在此处存在初始损伤,钢丝绳在未产生较大滑移前就于此薄弱截面处被拉断。各组试验结果,如表 2 所示。两种型号钢丝绳的荷载与相对滑移值试验曲线,如图 3 所示。

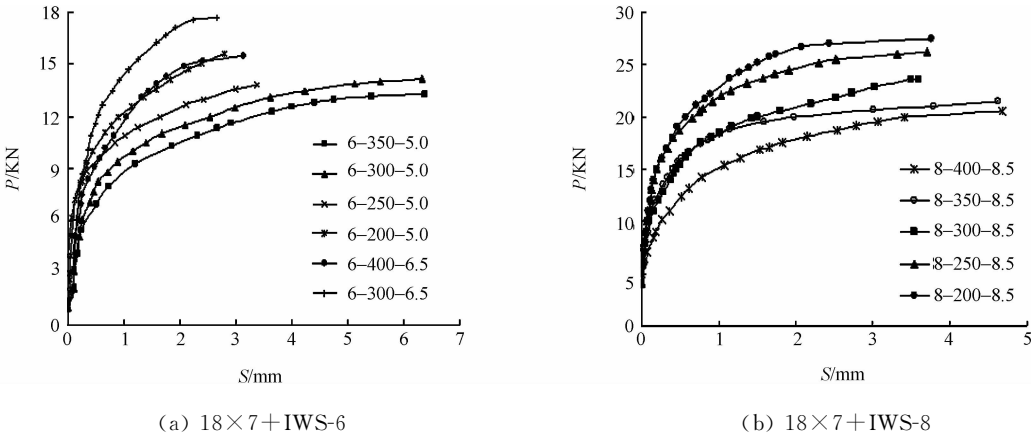


图 3 对接段相对滑移-荷载曲线

Fig. 3 Curve between relative slippage and loads in lapped length

- 由表 1 和图 3 的试验结果可以得出以下 3 点结论。
- 1) 绳扣间距和绳扣的拧紧程度是影响夹持效果的主要因素。相同的拧紧程度,绳扣间距越大,各级荷载下相对滑移值越大;而相同的绳扣间距,随着拧紧程度的提高,各级荷载下相对滑移值减小。
 - 2) 直径 8 mm 及 6 mm 的钢丝绳,其荷载分别在 20.0 kN 及以下和 12.5 kN 及以下时,钢丝绳均未出现明显滑移。实际抗剪加固中,预应力值建议控制在最小破断力的 0.5 倍及以下(直径 8 mm 及 6 mm 钢丝绳最小破断力的 0.5 倍分别为 18.75 kN 及 12.25 kN),故采用两端分别锁紧绳扣的方法可满足施加预应力后的搭接锚固要求。
 - 3) 绳扣的拧紧程度过大,对 6 mm 直径钢丝绳的损伤较为严重,易在绳扣处出现薄弱截面而影响钢丝绳强度的发挥。

3 钢丝绳孔道注胶锚固性能

3.1 试验概况

为研究水平注胶的可行性及孔道注胶对钢丝绳在孔道中的搭接锚固效果,进行了钢丝绳孔道锚固性能的拉拔试验。试验参数主要包括钢丝绳直径及孔道中钢丝绳放置根数,如表 3 所示。表 3 中:编号“6-150-1”表示钢丝绳直径为 6 mm,锚固长度为 150 mm,孔道内放置 1 根钢丝绳; L 为锚固长度; n 为放置钢丝绳根数; Δ 为钢丝绳自由端滑移。

对放置钢丝绳的孔道实施两端密封后,用压力注胶的手段对钢丝绳进行锚固。试件的制作过程模拟实际水平注胶施工,如图 4 所示。首先,对强度等级 C35,尺寸 150 mm×150 mm× L mm 的混凝土块体进行钻孔、清孔处理。考虑到实际工程中梁宽度均在 150 mm 及以上,试验中仅设置 150 mm 的锚固长度。当放置单根钢丝绳时钻孔直径为 14 mm,放置双根钢丝绳时钻孔直径为 18 mm。其次,穿孔摆放钢丝绳(单根或双根),对孔道两端采用热熔胶进行密封处理,密封时在孔道的两侧顶部分别放置长度为 8 cm,内径为 4 mm 的空心硅胶管,以预留压力注胶孔和出气孔。最后,待热熔胶凝固后,在注胶孔处通过注射器实施压力注胶,直至出气孔处有胶体流出并高于孔道顶面 4~5 cm 为止。

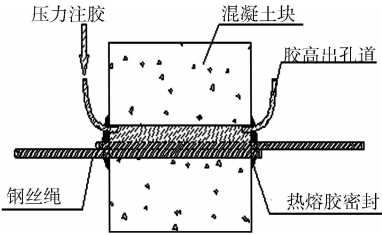


图 4 试件注胶施工示意图

Fig. 4 Schematic diagram of glue injection operation

试验采用的锚固用胶为环氧型植筋胶，该胶劈裂抗拉强度为 12.6 MPa，抗弯强度为 54.6 MPa，抗压强度为 93.6 MPa。图 5 为试验加载装置及量测，将试件固定于加力台座，端部采用特制夹具夹持并通过液压手动千斤顶施加拉力。试验过程中，通过安装在底部自由端钢丝绳处的位移计量测钢丝绳的滑移。

3.2 试验结果及分析

试验中，所设置的 4 个试件的破坏形态均为钢丝绳拉断，且自由端未检测到明显滑移，结果如表 3 所示。试件 18×7+IWS-8 的最终破坏形态，如图 6 所示。

为研究密封孔道注胶的施工效果，试验加载完成后对试件注胶孔道周围的混凝土实施剥离。如图 7 所示，无论是 1 根还是 2 根钢丝的摆放情况，其孔道内胶体均密实饱满。图 7 中：上为放置 1 根直径 8 mm 钢丝绳，下为放置 2 根直径 8 mm 钢丝绳。由图 7 可知：密封孔道后实施水平压力注胶的施工方法可保证胶体充满孔道，确保施工质量；试验中采用的植筋胶对钢丝绳具有良好的锚固性能，较小的锚固长度(150 mm)即可保证钢丝绳被拉断且无明显滑移。

表 3 钢丝绳孔道注胶锚固性能试验参数及试验结果

Tab. 3 Experimental parameters and results of steel wire-rope channel glue injection anchorage

编号	钢丝绳型号	L/mm	n	Δ/mm	破坏形态
6-150-1	18×7+IWS-6	150	1	0	钢丝绳拉断
6-150-2	18×7+IWS-6	150	2	0	钢丝绳拉断
8-150-1	18×7+IWS-8	150	1	0	钢丝绳拉断
8-150-2	18×7+IWS-8	150	2	0	钢丝绳拉断

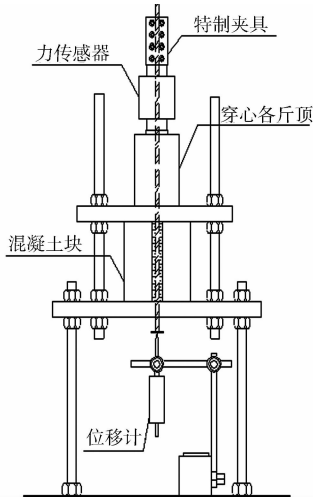


图 5 孔道注胶锚固的试验装置

Fig. 5 Test setup of channel glue injection anchorage

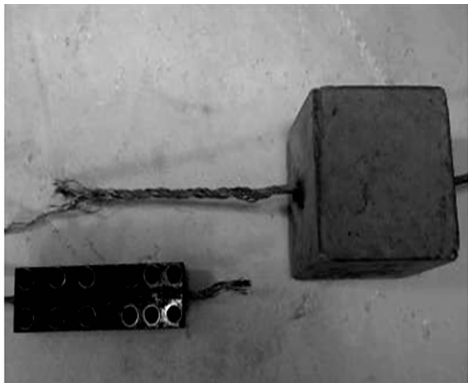


图 6 试件 18×7+IWS-8 的典型破坏形态

Fig. 6 Typical failure modes of specimens 18×7+IWS-8

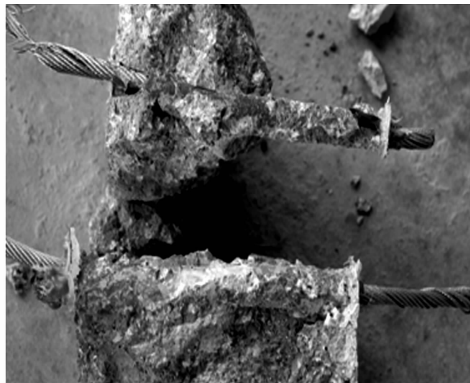


图 7 孔道内胶体密实情况

Fig. 7 Pore is filled up with glue

4 结论

文中提出预应力钢丝绳箍加固加固钢筋混凝土框架节点的加固方法，通过绳扣进行钢丝绳搭接锚固性能试验及孔道注胶搭接锚固的拉拔试验，初步验证了方法的可行性，并得到以下 4 点结论。1) 在两端分别锁紧绳扣的方法可满足钢丝绳施加预应力后的初步锚固要求；2) 对于小直径的钢丝绳，绳扣拧紧程度过大时易对钢丝绳造成破损，以致破坏截面发生在绳扣处，从而影响钢丝绳强度的发挥；3) 两端密封后压力注胶的施工方法可保证胶体填满孔道，确保施工质量；4) 试验中采用的植筋胶对钢丝绳具有较好的锚固效果，在较小的锚固长度下(150 mm)便可实现钢丝绳拉断而不出现明显的滑移。

该加固方法通过对环绕钢筋混凝土梁柱节点的钢丝绳施加预应力，使梁柱节点核心区获得良好的横向约束，以达到提高其抗剪强度和变形能力的目的。该技术采用钢丝绳穿越框架梁，较好地克服了节

点核心区由于双向框架梁形成空间障碍造成的加固困难,适用于空间节点的各种形式,加固后节点基本保持原状. 由于采用预应力技术,很好地解决了传统加固方法普遍存在的应力滞后问题,大大改善节点核心区的加固效果.

该加固技术具有很好的经济性,所有张拉设备及锚具均可重复使用,并且无需对加固材料进行预先加工,加固修复速度快,大大降低加固费用. 此外,该加固技术既可应用于对既有建筑钢筋混凝土节点的加固,也可应用于对震损节点的震后快速修复,在钢筋混凝土框架结构加固领域具有广泛的应用前景.

参考文献:

[1] 清华大学土木工程结构专家组,西南交通大学土木工程结构专家组,北京交通大学土木工程结构专家组. 汶川地震建筑震害分析[J]. 建筑结构学报,2008,29(4):1-9.

[2] GERGELY J,PANTELIDES C P. Shear strengthening of RC T-joints using CFRP composites[J]. Journal of Composites for Construction,ASCE,2000,4(2):56-64.

[3] ANTONOPOULOS C P, TRIANTAFILLOU T C. Experimental investigation of FRP-strengthened RC beam-column joints[J]. Journal of Composites for Construction,ASCE,2003,7(1):39-49.

[4] ADIN M A, YANKELEVSKY D Z, FARHEY D N. Cyclic behavior of epoxy repaired reinforced concrete beam-column joints[J]. ACI Structural Journal,1993,90(2):170.

[5] SERGIO M, ALOCOCER J O. Strength of reinforced concrete frame connections rehabilitated by jacketing[J]. Structure Journal,1993,90(3):249-261.

[6] SHANNAG M J, ALHASSAN M A. Seismic upgrade of interior beam-column sub assemblages with high-performance fiber reinforced concrete jackets[J]. ACI Structural Journal,2005,102(1):131-138.

[7] 郭子雄,张杰,杨勇. 设置外包预应力钢板箍 RC 短柱抗震性能研究[J]. 哈尔滨工业大学学报,2006,38(1):140-144.

[8] 郭子雄,吴毅彬,曾建宇. 预应力钢板箍加固 RC 短柱抗剪承载力试验研究[J]. 工程力学,2010,27(3):138-144.

[9] 郭子雄,曾建宇,黄群贤,等. 预应力钢板箍加固 RC 柱轴压性能试验研究[J]. 建筑结构学报,2012,33(11):124-131.

[10] 杨军民,郭子雄,黄群贤. 预应力钢丝绳箍加固钢筋混凝土梁抗剪承载力计算方法[J]. 华侨大学学报:自然科学版,2011,32(4):422-426.

Experimental Study on Anchorage Performance of
Lapped Steel Wire-Rope and Channel Glue Injection

CUI Jun, GUO Zi-xiong, HUANG Qun-xian

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Xiamen 362021, China)

Abstract: A new method of strengthening RC frame joint with prestressed steel wire-rope stirrups was proposed. Experiment of clamping steel wire-ropes which are prestressed with wire line hitches and anchored wire ropes by injecting glue was conducted to show the feasibility of this reinforcement method. The results show that the lapped prestressed ropes could be temporarily anchored by tightening wire line hitches installed at both sides of the ropes; the method of horizontal pressure injection after sealing pore channel can fill the pore with glue; the bar glue anchorage of steel wire-rope is reliable, wire ropes are broken without obvious slippage in a short anchorage length.

Keywords: prestress; steel wire-rope; strengthening; frame joint; anchorage performance

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 方德平)