

文章编号: 1674-599X(2021)03-0041-09

碳纤维网格加固超载梁抗弯性能试验

钟正强, 高威

(长沙理工大学 土木工程学院, 湖南 长沙 410114)

摘 要: 为研究碳纤维网格加固不同幅值下超载梁的工作性能, 本试验分别对5根超载梁进行了抗弯试验。以不同加载幅值、加固方式为变量, 从试验的破坏形态、挠度变化、应变分析、裂缝的发展与分布、抗弯承载能力、混凝土和钢筋应变等, 分析了碳纤维网格加固超载梁的性能。试验结果表明: 超载幅值大小、加固方式和加固量都会影响梁的极限承载力、抗弯刚度和挠度、裂缝的发展和分布; 在有限次超载作用下, 桥梁构件的承载力提高, 随着超载幅值的增大, 受损严重的梁加固效果不如轻微或者中度超载梁的明显。

关键词: 超载; 碳纤维加固; 承载力; 抗弯性能

中图分类号: TU599

文献标志码: A

DOI: 10.16544/j.cnki.cn43-1494/u.2021.03.007

Flexural properties of overloading of concrete beam strengthened by carbon fiber net

ZHONG Zheng-qiang, GAO Wei

(School of Civil Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China)

Abstract: In order to study the performance of beams strengthened with carbon fiber net (CFN) suffered by different amplitudes overloaded, overloaded bending tests were carried out on five beams. The loading amplitudes and strengthening methods were tested. The failure modes, deflection changes, strain caricaturist, crack development and distribution, flexural bearing capacity, strain of concrete and reinforcement were analyzed. The results show that the overload amplitude, reinforcement method and reinforcement amount have significant effect on the ultimate bearing capacity, flexural stiffness and deflection, and the development and distribution of cracks. The bearing capacity of bridge components is not reduced suffered by limited overload. The reinforcement effect of beams damaged by high overload amplitude is poorer than that of beams with slight or moderate overload.

Key words: overloaded; carbon fiber net; bearing capacity; bending resistance

中国大部分桥梁由于原有设计荷载标准值偏低, 经过长时间变幅循环荷载的作用, 尤其是在超载车辆频繁通过下, 会对桥梁上部结构造成损伤, 导致桥梁的承载能力下降。因此, 需要对原有许多桥梁进行加固, 提高桥梁的使用寿命, 满足日益增长的交通运输要求。桥梁超载原因主要有: ①在设计方法的改进和设计指标的不断优化过程中, 虽然能在规范安全防护方面的合理衔接, 但会存在差异^[1]; ②中国存在许多大量超载运输,

给桥梁增加了额外的负担, 对桥梁的安全结构造成了巨大影响, 实际调查中发现, 大中型载货汽车超载现象非常普遍^[2]。超载运输对公路桥梁造成严重的损害, 根据国外道路试验研究表明: 桥梁结构在使用期限内, 多次遇到车载的振动作用, 因车载没有超过极限荷载, 桥梁虽然没有发生破坏, 但是会造成一定损伤, 因此, 对于加固损伤后梁的受力性能尚不明确^[3]。

近年来, 车辆在行驶过程中, 因长时间的超

收稿日期: 2020-10-14

作者简介: 钟正强(1968—), 男, 长沙理工大学教授, 博士。

载作用会导致桥梁承载能力下降, 钢筋过早达到屈服强度会产生残余变形, 这些都会降低桥梁的使用寿命, 所以桥梁须需采取有效的加固措施, 提高承载性能, 满足日益增长的交通运输需要。碳纤维网格作为一种新型产品, 在旧桥加固中起着越来越重要的作用。采用的聚合物砂浆具有强黏结性、高流动性和受环境侵蚀作用小等特点, 可以很好地解决旧桥的修复和加固工作, 且网络的轻质性几乎不改变截面的结构尺寸。张建仁等人^[4]采用碳纤维板加固 RC 梁体进行桥梁服役过程可靠度分析, 研究表明碳纤维网格具有良好的延性, 适合各种复杂无规则的几何截面, 能充分发挥其约束性能, 减少裂缝的延伸, 提高结构的承载能力和屈服强度, 使得加固结构具有良好的韧性。目前国内外学者^[5-11]研究主要集中在传统 FRP 加固上, 普遍认为结构在不超过正常使用状态的荷载作用下, 承载能力不会降低, 但对于超过正常使用状态的荷载作用对结构构件极限承载力的

影响和劣化机理尚无完善理论研究。因此, 作者拟采用碳纤维网格对不同超载幅值梁进行加固, 通过碳纤维不同超载的抗弯试验, 研究碳纤维网格加固不同幅值下超载梁的工作性能, 为旧桥加固提供参考依据。

1 试验概况

1.1 试件设计

本试验共设计了 5 根钢筋混凝土梁, 试验梁为普通钢筋混凝土简支梁, 采用 C40 强度等级强度混凝土, 支座锚固区箍筋间距为 50 mm, 两支座间计算跨径范围内箍筋间距为 100 mm, 受拉钢筋采用 HRB235, 箍筋采用 HPB235 钢筋, 在适筋范围内制作试验梁。截面尺寸均为 150 mm×250 mm, 总跨为 2 600 mm, 净跨为 2 400 mm, 试件截面尺寸及配筋见图 1。

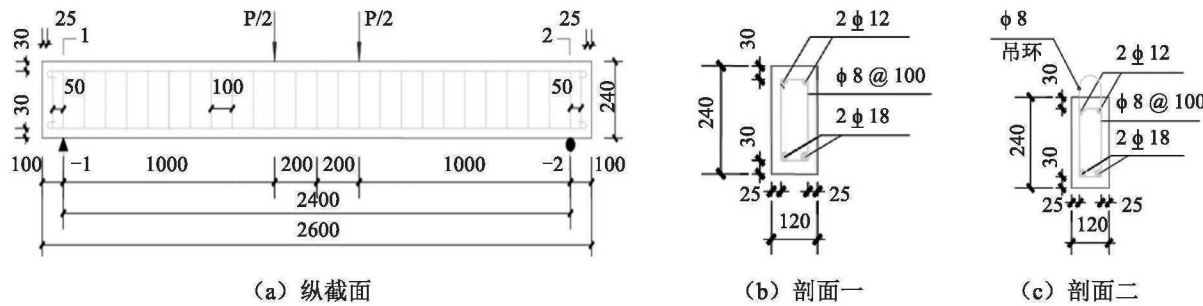


图 1 试验梁截面配筋图 (单位: mm)

Fig. 1 Section reinforcement diagram of test beam(unit: mm)

1.2 材料性能

1.2.1 混凝土、钢筋

混凝土立方体抗压强度的实测平均值为 40 MPa。钢筋各项参数见表 1。

表 1 钢筋各项设计参数

Tab 1 The mechanical properties of concrete reinforcing bars

钢筋 编号	屈服强度/ MPa	抗拉强度/ MPa	弹性模量/ GPa	延伸率/ %
Φ8	248	400	205.5	28.7
Φ12	400	543	201.1	28.9
Φ18	430	600	206.3	35.3

1.2.2 CFN 网格、聚合物砂浆

碳纤维网格 CFN (carbon fiber net, 简称为 CFN) 加固材料采用卡本复合材料 (天津) 有限公司生产的, 弹性模量为 230 MPa, 每束碳纤维丝极限破坏荷载为 6 kN, 设计抗拉强度为 3 600

MPa, 厚度为 0.5 mm/层。碳其纤维网格通过加工纤维纱线成平面或立体, 抗拉性强, 纤维之间存在 2 mm 间距, 有利于高性能聚合物砂浆或混凝土凿毛后骨料紧密接触, 双向受力方式在碳纤维网格受到高强度或横向较高变形约束状态下, 其加固效果更明显。

WSM 湿法喷射聚合物砂浆 FRPM (fiber reinforced polymer mortar, 简称为 FRPM) 针对 CFN 开发, 具有低收缩性、高流动性、抗裂性能高和黏结能力强等特点。为了保证抗裂性及 CFN 的黏结力, 掺入聚乙烯醇短纤维, 组成一种含有活性成分的高质量喷射砂浆, 采用的砂浆制样配比为砂浆粉料: 水=100: 16。FRPM 的力学参数见表 2。本试验材料的检验结果符合《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》(GB 50728-2011)。

1.3 试验方案

本次试验前先对7根预制梁进行编号, 分为2组, 一组分别采用极限荷载的0.7倍、0.8倍、0.9倍做循环加载试验, 另外一组分别采用U型箍和两层网格的加固方式, 剩下的预制梁作为加固参考梁和未加固参考梁, 见表2。

表2 试件编号及加固方案

Table. 2 Test piece number and reinforcement plan		
试件编号	预加幅值	加固方式
RC	加载直至破坏	参考梁
CFN	加载直至破坏	一层碳纤维网格加固
CFN1	0.7倍极限承载力	一层碳纤维网格加固
CFN2	0.8倍极限承载力	一层碳纤维网格加固
CFN3	0.9倍极限承载力	一层碳纤维网格加固
CFN1U	0.7倍极限承载力	U型加固
CFN2C	0.7倍极限承载力	双层碳纤维网格加固

1) 试件编号RC梁作为参考梁, 开裂前每级荷载为2 kN; 试验开裂后, 每级荷载为10 kN; 接近屈服荷载时, 每级荷载为5 kN; 随后加载至破坏得到试件的极限荷载。

2) 对CFN1~CFN3、CFNIU、CFN2C进行超载预裂^[12]。取试验梁测得极限承载力的0.7倍、0.8倍、0.9倍, 分别作为超载幅值, 加到编号CFN1、CFN2、CFN3梁上, 每次加载和卸载间隔一定时间后, 对其进行匀速加、卸载50次, 完全卸载后, 进行CFN网格加固。养护20 d后, 对加固梁进行静载试验, 单次加载至试验梁破坏, 得到极限荷载。

3) 采用碳纤维加固和U型箍加固方法, 其中, 碳纤维加固分为单层碳纤维和双层碳纤维加固, 加固方式如图2所示。



图2 梁加固方式 (单位: mm)

Fig. 2 Beam reinforcement method(unit: mm)

1.4 加载方案

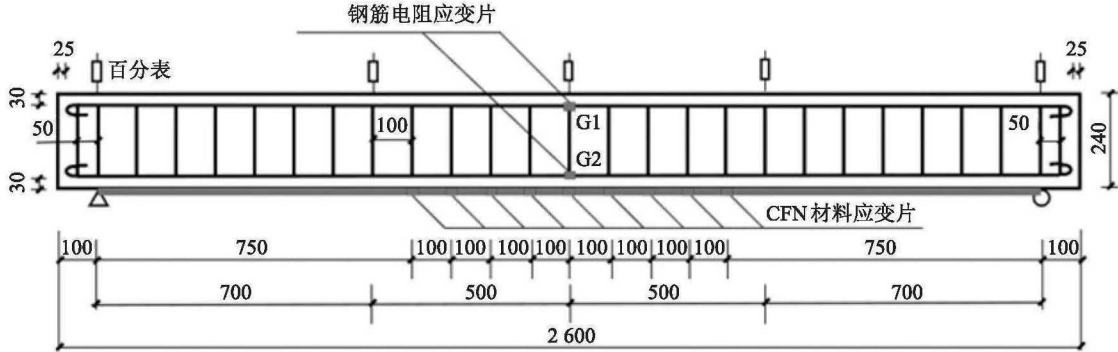
本试验加固前, 超载预裂装置采用5 000 kN电液伺服加载系统和TDS-540静态数据采集仪, 在实验室对试验梁采用三分点两点对称循环反复加载, 模拟实际公路的超载现象, 加固后试验梁加载装置采用液压千斤顶压力机。

1.5 测点布置及数据采集

1) 为了满足抗弯试验要求, 混凝土加固后在

网格跨中部位沿经向顺纤维方向按一定间隔均匀布置。双层碳纤维网格加固时, 将应变片布置于最外层, 如图3所示。

2) 为了测得抗弯刚度的变化, 需用百分表测得挠度。通过挠度的变化情况, 反应加载抗弯刚度的影响。在梁的支座、跨中以及加载点布置百分表, 记录试验过程中荷载-挠度的情况, 通过实验结果反映梁的抗弯性能, 如图3所示。



(a) 钢筋

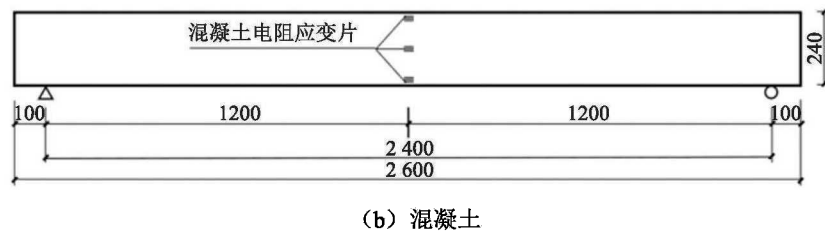


图3 钢筋、混凝土应变片布置 (单位: mm)

Fig. 3 The layout of strain(unit: mm)

2 试验结果及分析

2.1 试验现象及破坏形态

碳纤维网络加固主要试验主要以混凝土受压破坏为主,如图4所示。从图4中可以看出,试验试件编号RC梁在加载初期,试验梁变形较小,跨中增幅挠度大约0.4 mm,处于弹性受力阶段。当荷载加至0.21Pu(Pu为各试验梁实测极限荷载值)时,距左支座1300 mm处出现第1条微小裂缝,随着荷载的增加,裂缝宽度不断发展,并伴随着纯弯段多条裂缝出现,裂缝不断向上延伸。当荷载达到0.75Pu时,主裂缝宽度增加,变形逐渐增大,当荷载达到0.9Pu时钢筋屈服,随着荷载缓慢的增加,至最大荷载94 kN时,混凝土压碎,荷载迅速下降,此时受压区混凝土压碎并脱落,荷载降至88 kN。

试件编号CFN加固梁,加载初期构件处于弹性受力阶段。当荷载加载至0.23Pu时,出现在1250 mm处出现第1条裂缝,随着荷载增大,新的裂缝不断产生,旧的裂缝不断向混凝土上翼缘发展,此时构件处于带裂缝工作状态。当荷载加至0.87Pu时,受拉钢筋屈服随着荷载的缓慢增加,变形逐渐增大,裂缝迅速向受压区混凝土延伸。当荷载达到极限荷载96 kN时,荷载降至87.4 kN,跨中底部出现长裂缝,受压区压溃,大块混凝土脱落。

试件编号CFN1U梁在荷载加载的初始阶段,原生裂缝首先展开,变形较小。当荷载0.2Pu时,在距离左支座1200 mm处,出现第1条裂缝,梁的变形增大,纯弯段附近相继出现新裂缝,随着荷载的不断加大,新旧裂缝不断向受压区发展延伸。当荷载加至0.94Pu时,主裂缝宽度进一步变宽,随着荷载缓慢增加,变形明显增大。当达到

极限荷载98 kN时,混凝土受压区压溃,混凝土侧面跨中受压区附近出现横向裂缝,跨中底部出现多条裂缝,最终构件因挠度过大而不适合承载,荷载降至80 kN。

试件编号CFN2C梁在荷载加载的初始阶段,超载阶段裂缝首先展开,变形较小。当荷载0.24Pu时,在距离左支座1200 mm处出现第1条裂缝,梁的变形增大,纯弯段附近相继出现新裂缝,随着荷载的不断加大,新旧裂缝不断向受压区发展延伸。当荷载加至0.98Pu时,主裂缝宽度进一步变宽,随着荷载缓慢增加,变形明显增大。当达到极限荷载103.5 kN时,混凝土受压区压溃,混凝土侧面跨中受压区附近出现横向裂缝,跨中底部混凝土开裂,最终荷载降至87.8 kN。

试件编号为CFN1梁加载初期,预损阶段裂缝首先展开,当荷载加至0.25Pu时,距离左支座1300 mm处出现微小新裂缝,新旧裂缝不断发展延伸。当荷载加至0.98Pu时,裂缝进一步发展变宽,进入钢筋屈服阶段。荷载继续增加,变形明显增加。当荷载达到103 kN时,伴随着持续不断的响声,试件受压区大面积压溃脱落,梁跨中底部多条裂缝并伴随混凝土的剥离,此时荷载降至84.25 kN。

试件编号为CFN2梁加载初期,试件挠度变化都很小,超载阶段裂缝首先展开,当荷载加至0.24Pu时,距离左支座1200 mm处出现微小新裂缝,新旧裂缝不断发展延伸。当荷载加至0.62Pu时,裂缝进一步发展变宽,直到荷载加至0.96Pu时,进入钢筋屈服阶段。荷载继续增加,变形明显增大。当荷载达到102.52 kN时,伴随着跨中受压区混凝土大面积压溃脱落,梁跨中底部多条长裂缝,此时荷载降至90.7 kN。

试件编号为CFN3梁加载初期,试件挠度变化很小,超载阶段裂缝首先展开,当荷载加至0.19Pu

时, 跨中部分微小新裂缝, 新旧裂缝不断发展延伸。当荷载加至 0.78Pu 时, 裂缝进一步发展变宽, 直到荷载加至 0.93Pu 时, 进入钢筋屈服阶段。荷载继续增加, 变形明显增大。当荷载达到 102.63 kN 时, 跨中受压区混凝土大面积压溃脱落, 并出现纵向长裂缝, 梁跨中底部多条长裂缝, 此时荷载降至 86.7 kN。

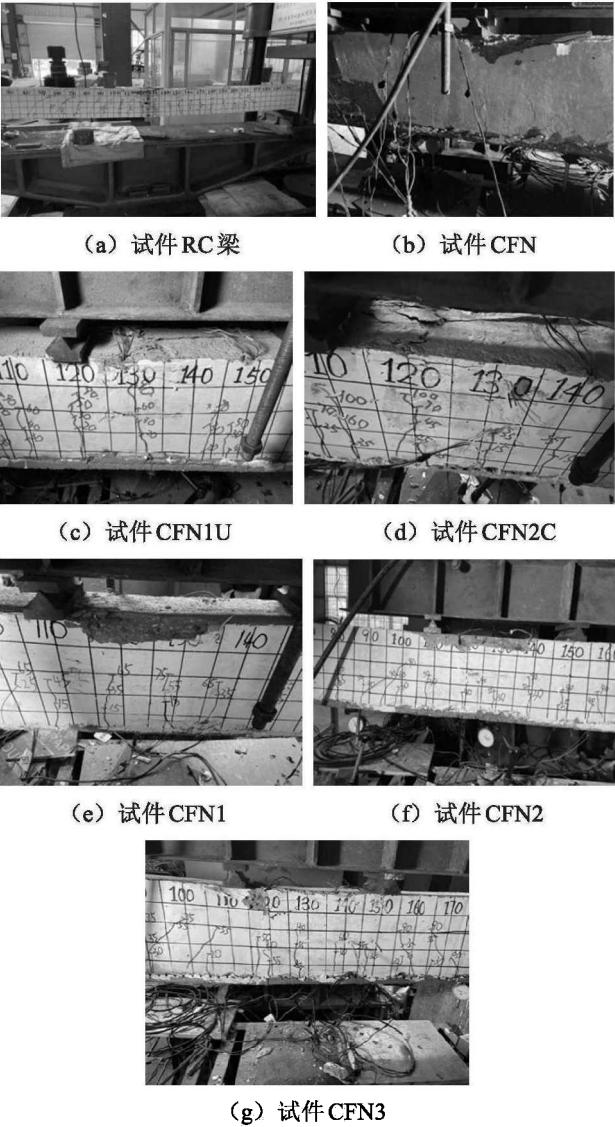


图4 试件破坏形态

Fig. 4 Crack pattern

2.2 影响跨中挠度的因素分析

2.2.1 超载损伤程度影响

超载幅值不同, 加固后挠度的变化情况也不同, 见表 3。从表 3 可知, 观察到在 80 kN 荷载下, 0.7Pu、0.8Pu、0.9Pu 的跨中挠度分别为 10.05、9.56、8.33 mm, 挠度最大的为 0.7Pu, 其次为 0.8Pu。同时, 在其他相同荷载不同超载幅值下挠

度也表现出相同规律 (有几级 0.8Pu 挠度大), 反而 0.9Pu 的挠度最小, 表明: 超载程度的增加并没有使其挠度变大, 反而出现刚度减小的现象。可能有 3 种原因: ①受损梁加固的第 1 步是需要 在梁的底部铺一层聚合物砂浆的, 考虑到砂浆层的黏结性, 流动性强的特点。在超载幅值达 0.9 倍极限承载力的循环作用下, 会产生大量的裂缝, 砂浆会渗入补强开裂的裂缝, 这将大大提高梁的抗弯刚度, 减小挠度。②受损严重的梁底部碳纤维网格先于前两根超载梁发挥作用, 由于混凝土存在离散性, 不方便进行横向比较。③超载幅值过高, 会使钢筋晶体错位, 导致发生钢筋硬化, 造成刚度提高。

表3 不同超载幅值的荷载-挠度

Table 3 Load-deflection of different overload amplitude

荷载/kN	跨中点/mm		
	0.7Pu	0.8Pu	0.9Pu
15	1.72	1.86	1.34
20	2.31	2.56	1.88
25	2.9	3.21	2.38
30	3.5	3.76	2.92
35	4.14	4.31	3.42
40	4.77	4.83	3.94
45	5.42	5.43	4.45
50	6.06	5.94	4.99
55	6.67	6.45	5.53
60	7.31	7.21	6.09
65	7.98	7.73	6.61
70	8.62	8.36	7.25
75	9.32	8.93	7.79
80	10.05	9.56	8.33

2.2.2 不同加固方式影响

单层加固、双层加固、U 型加固在同级荷载下的挠度, 见表 4。由表 4 可知, 不论在三分点还是在跨中处, 同级荷载作用下双层加固下的挠度最小, 其次是单层加固的, 单层加固的挠度略微大于 U 型加固, 表明: 碳纤维网格加固量可以明显提高梁的刚度限制结构变形。因砂浆的黏结性能强, 能很好地与碳纤维网格结合紧密, 在试验过程中不存在加固材料的剥离现象, 所以 U 型箍的加固方式对提高梁的抗弯性能贡献不大。试验梁混凝土的离散性和加固方式的差异性, 也是导致 U

型加固方式的挠度值略高于单层网格加固的原因。

表4 不同加固方式荷载-挠度

荷载/kN	跨中点/mm		
	0.7Pu单层	0.7Pu双层	0.7PuU型箍
20	2.31	2.18	2.63
25	2.90	2.76	3.34
30	3.50	3.35	3.99
35	4.14	3.98	4.60
40	4.77	4.60	5.11
45	5.42	5.24	5.72
50	6.06	5.87	6.33
55	6.67	6.47	7.01
60	7.31	7.10	7.59
65	7.98	7.76	8.25
70	8.62	8.39	8.93
75	9.32	9.08	9.68
80	10.05	9.80	10.45

2.3 应变分析

2.3.1 跨中截面应变

梁跨中应力沿截面高度方向分布图反映梁纯弯段的变形程度，在不同超载幅值下跨中截面沿高度方向分布的应力如图5所示。从图5中可以看出，在单层加固方式相同荷载下，相同截面位置的应变随着超载程度的增加而增大，表明预加幅值的大小影响混凝土截面的分布。从图5中还可以看出，当超载幅值较小的0.7倍极限荷载，加固后的截面应变呈线性关系；而0.8倍、0.9倍预加极限荷载加固后的线性关系较差。在加固后，由于混凝土的离散性，混凝土与网格、混凝土与钢筋之间存在一定程度的黏结滑移。

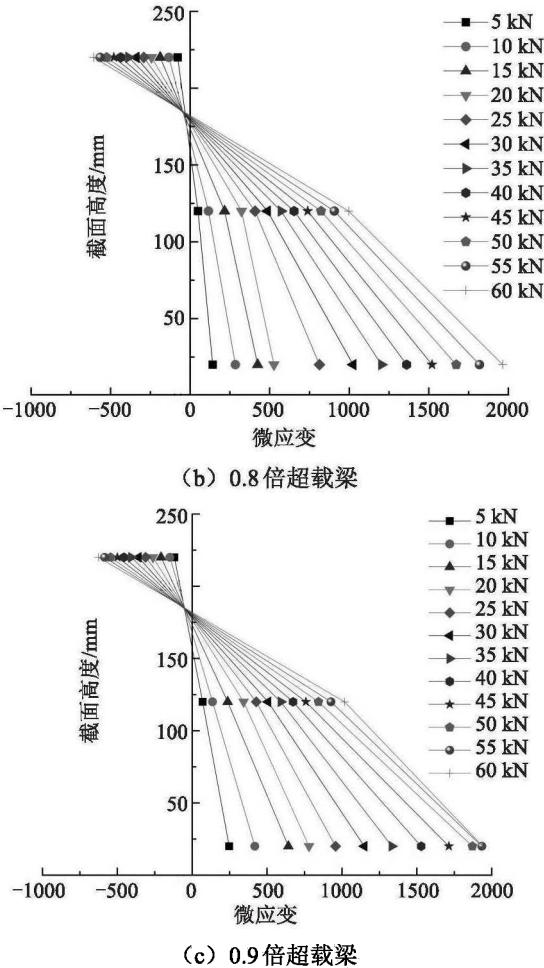
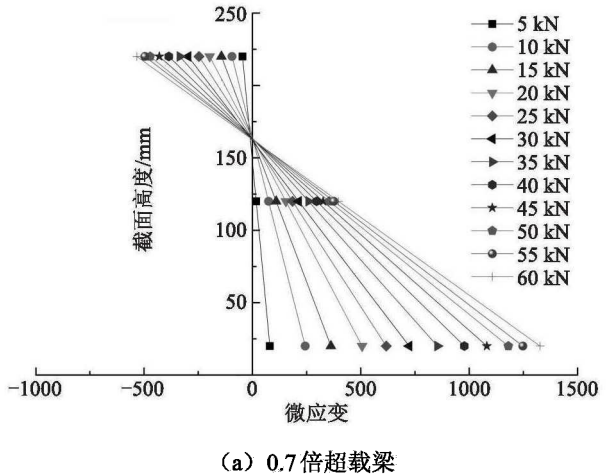


图5 不同超载幅值下载面应变变化规律
Fig. 5 Variation of section strain under different overload amplitude

从图5中可以反映出梁纯弯段的变形程度，从不同超载幅值下跨中截面沿高度方向分布的应力可知，在单层加固方式相同荷载下，相同截面位置的应变随着超载程度的增加而增大，表明预加幅值影响混凝土截面的分布。

2.3.2 网格、钢筋应变

加固前，超载程度影响钢筋和网格应变的分布，当荷载加载至60 kN时，0.7倍超载梁钢筋应变为2 549.5，网格应变为444.66；0.8倍超载梁钢筋应变为2 608.08，碳纤维网格应变518.8；0.9倍超载梁钢筋应变为1 727.18，碳纤维网格应变为317.47。在其他相同荷载下，0.7倍超载梁的钢筋应变和网格的应变大于0.8倍超载梁的，表明钢筋和网格的应变随着加固前超载幅值的增加而增大，而0.9倍超载梁在相同荷载作用下钢筋应变是3根超载梁中最小的，由于超载幅值过大，累积产生的损伤也越严重，导致在超载过程中发生钢筋硬

化, 对应变也有一定影响。在超载梁静载试验中, 当荷载增大到 35 kN, 0.9 倍超载梁的网格应变为最小。因各梁的应变具有离散性, 所以从网格应变变化情况考虑。加载前期由于损伤严重, 碳纤维网格先发挥作用, 当应变增大, 硬化后的受拉钢筋发挥作用, 因此, 导致网格应变减小。

不同的加固方式, 会不同程度地影响超载梁的应变。在相同荷载作用下, 超载梁跨中截面、钢筋、碳纤维网格处应变最小时为双层加固, 其次是 U 型加固, 最后是单层加固。表明双层的加

固效果要好于单层的, 同时 U 型箍的加固方式也在一定程度上能限制应变的增大。

2.4 承载能力分析

以碳纤维网格材料在试验梁底端加固的不同方式和加固不同超载幅值的梁为研究对象, 分析碳纤维网格加固材料对提高适筋梁抗弯承载力提高程度的差异。试验中每根梁的实测荷载见表 5, 其中, P_{cr} 、 P_y 、 P_u 分别为试验梁的开裂荷载、屈服荷载、极限荷载。 f 为对应阶段所对应的挠度值。具体每根梁的试验实测值见表 5。

表 5 试验实测荷载
Table 5 Test measured load

试件编号	P_{cr} /kN	f_{cr} /mm	P_{cr} 提高幅度/%	P_y /kN	f_y /kN	P_y 提高幅度/%	P_u /kN	f_u /kN	P_u 提高幅度/%
RC	10.0	0.90	-	90.0	12.80	-	94.00	23.50	-
CFN	12.0	1.52	20	93.0	14.30	3.0	97.00	25.00	3.0
CFN1	15.0	1.72	50	95.0	12.58	5.0	102.00	28.00	8.5
CFN2	16.0	2.42	60	99.0	23.60	10.0	102.52	26.40	9.0
CFN3	16.2	1.53	62	99.2	21.30	10.2	102.63	26.20	9.2
CFN1U	12.0	1.50	20	93.0	15.23	3.0	98.00	29.23	4.3

2.4.1 加固超载损伤梁

单层加固 0.7 倍、0.8 倍、0.9 倍超载梁后的开裂荷载分别为 15 kN、16 kN、16.2 kN, 相比于参考梁开裂荷载的分别提高 50%、60%、62%, 而极限承载能力的分别提高 8.5%、9%、9.2%, 对比未加固参考梁, 试验梁加固后的开裂荷载和极限承载力随超载幅值的增加而增大。试验梁随着超载幅值增大, 加固后承载力反而提高, 其原因: ①依据金相学中错位滑移理论解释, 是由于晶体之间发生滑移错位, 形成了钢筋拉伸后屈服强化现象; ②在加固过程中, 采用倒置加固梁底面的方式, 由于砂浆具有良好的黏结性和渗透性, 在铺设砂浆的过程中可能补强初始裂缝, 导致黏结强化现象。

随着超载幅值的增大, 极限承载力的提高率有下降趋势, 表明: 不是所有的超载梁都优先考虑碳纤维网格加固。对于采用 0.9 倍超载程度大的梁, 钢筋屈服荷载明显大于加固未模拟超载梁 CFN, 表明: 发生了钢筋硬化现象, 对于承载力的提高也有一定贡献。因此, 对于超载严重损伤的梁, 加固效果没有中度或者轻度损伤梁的加固效果好。

2.4.2 加固方式不同

试验梁编号 CFN1U、CFN2C 对比未加固试验梁的极限荷载, 分别提高了 4.3%、9.8%, 开裂荷载分别提高 20%、70%, 表明在梁底面粘贴两层碳纤维网格比粘贴一层碳纤维网格对提高抗弯承载力效果更好, 且设置 U 型箍提高抗弯承载力的效果也更明显。对比 CFN1U 和 CFN1 梁, 两者的开裂荷载、屈服荷载相同, 都为 12 kN 和 93 kN; 极限荷载分别为 97 kN、98 kN。表明: 是否在梁底部设置 U 型箍, 对加固梁抗弯承载力影响不大。其原因有: ①设置 U 型箍时, 铺设的砂浆层没有压紧密, 混凝土梁的离散性, 以及在浇水养护、施工时存在人为误差。②由于 U 型箍设置的位置, 从梁的裂缝分布来看, 试验梁的受力部分主要集中在纯弯段, 导致本试验 U 型箍没有发挥作用, 加固收效不明显。

对比试验梁 CFN2C 和 CFN1 可知: 单层和双层加固的开裂荷载分别提高 50%、70%, 极限承载力提高 8.5%、9.8%, 表明: 相同的超载幅值下双层网格的加固效果对承载力的提升比单层网格的加固效果明显, 提高率也在一定程度上受加固前超载过程的影响。

由表5可知,碳纤维网格加固材料在前期受力阶段对限制裂缝的展开有很好的约束作用,加固梁在前期开裂荷载提高的程度比极限荷载提高的要大,最高达70%,表明:CFN加固材料在提高抗弯承载力的同时也能明显提高结构开裂荷载。从表5中还可知,单层网格加固的梁相较未加固的,跨中挠度均有所提高,加固材料具有很好的延性,而对于底面增设一层碳纤维网格的CFN2C梁,其挠度相比未加固参考梁反而有所减小,表明:实际工程中双层碳纤维网格的加固方式具有应用价值,既能提高梁的承载能力,又能约束梁的跨中挠度,限制梁的变形。

3 结论

1) 对于碳纤维网格加固超载梁的破坏形态,均以混凝土压溃破坏。混凝土受压区破坏的程度受超载幅值、加固方式、加固量有关。

2) 加固后梁截面的应变受超载程度的大小影响,超载程度较小的梁截面应变比较符合平截面假定,线性关系好,超载幅值大的梁由于混凝土与钢筋、网格之间会产生黏结滑移,在一定程度上影响应变分布。

3) 加固后梁的裂缝主要是沿着加固前超载作用出现的裂缝开裂和分布,基本不出现新裂缝。当达到极限荷载时,加载点处出现大面积裂缝,裂缝的出现受超载幅值的大小、加固方式、加固量影响。

4) 加固超载梁都可以有效提高结构的抗弯承载能力,超载损伤梁反而在提高结构承载力上有一定贡献,尤其可大幅度提高结构的开裂荷载,在单层、U型箍、双层,加固0.7倍超载梁中,双层加固的效果最好。

参考文献(References):

- [1] 王有志,王广洋,任锋,等.桥梁的可靠性评估与加固[M].北京:中国水利水电出版社,2002.(WANG You-zhi, WANG Guang-yang, REN Feng, et al. Reliability Evaluation and Reinforcement of Bridge[M]. Beijing: China Water Power Press, 2002.(in Chinese))
- [2] 李巧茹,李国强,魏连雨.超载车辆弯沉等效换算方法研究[J].重庆交通学院学报,1998,17(1):62-68.(LI Qiao-ru, LI Guo-qiang, WEI Lian-yu. Study of deflection equivalent Conversion method for overload axles[J]. Journal of Chongqing Jiaotong Institute, 1998, 17(1): 62-68. (in Chinese))
- [3] 阮怀圣,马润平.美国公路桥梁设计规范中关于设计汽车荷载的研究[J].世界桥梁,2012,40(1):65-69.(RUAN Huai-sheng, MA Run-ping. Study on design vehicle load in American highway and bridge design code[J]. World Bridge, 2012, 40(1): 65-69.)
- [4] 张建仁,毛杰,彭建新,等.使用碳纤维板加固的RC梁桥服役过程可靠度指标分析[J].长沙理工大学学报:自然科学版,2014,11(2):25-31.(ZHANG Jian-ren, MAO Jie, PENG Jian-xin, et al. Reliability index analysis of service process of RC Beam Bridge Strengthened with CFRP [J]. Journal of Changsha University of science and technology: Natural and Science, 2014, 11 (2): 25-31. (in Chinese))
- [5] 邓宗才.碳纤维布增强钢筋混凝土梁抗弯力学性能研究[J].中国公路学报,2001,14(2):45-51.(DENG Zong-cai. Flexural strengthening of reinforced concrete beams with externally bonded composite laminates[J]. China Journal of Highway and Transport, 2001, 14(2): 45-51. (in Chinese))
- [6] 李可,李思远,王新玲.基于梁式试验的CFRP布-混凝土界面剥离承载力计算模型研究[J].结构工程师,2017,33(4):40-46.(LI Ke, LI Si-yuan, WANG Xin-ling. Study on calculation model of interfacial debonding bearing capacity of the CFRP-concrete interface based on beam tests [J]. Structural Engineers, 2017, 33 (4): 40-46 (in Chinese))
- [7] 霍君华.预应力CFRP布加固腐蚀钢梁的变形计算方法[J].施工技术,2017,46(22):129-132.(HUO Jun-hua. Calculated methods on deformation of prestressed CFRP sheets strengthen corrosive steel beams[J]. Construction technology. 2017, 46(22): 129-132. (in Chinese))
- [8] 刘沐宇,李开兵.碳纤维布加固混凝土梁的疲劳性能试验研究[J].土木工程学报.2005,38(9):32-36.(LIU Mu-yu, LI Kai-bing. Fatigue of RC beams strengthened with cfrpsheets[J]. Acta civil engineering Sinica. 2005, 38(9): 32-36. (in Chinese))
- [9] 蒋鑫,彭晖,张建仁,等.外贴CFRP加固RC简支梁黏结界面温度剪应力分析[J].交通科学与工程,2012,28(3):22-26.(JIANG Xin, PENG Hui, ZHANG Jian-ren, et al. Temperature shear stress analysis for bonding interface of

- simply supported RC beams strengthened with externally bonded CFRP [J]. Journal of Transportation science and engineering, 2012,28(3): 22-26.(in Chinese))
- [10] 邓宇,杨希涛,张鹏,等.CFRP布加固小偏心受压PEC柱的试验研究[J]. 广西大学学报:自然科学版,2017,42(1): 165-174. (DENG Yu, YANG Xi-tao, ZHANG Peng, et al. Experimental study of CFRP reinforced PEC column under mall eccentric compression[J]. Journal of Guangxi University:Natural Science Edition. 2017,42(1):165-174. (in Chinese))
- [11] An W. Saadatmanesh H, Ehsani M, RC beams strengthened with FRP plates. Part II: Analysis and parametric study[J]. Journal of Structural Engineering, 1991,117(11):3434-3455.
-
- (上接第16页)
- 36,70.(ZHAO Li-ping, LONG Xiao-peng, HUANG Xiao-yun. Settlement analysis of composite foundation of soil-cement mixing pile[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology:Natural Science, 2020,7(3): 30-36, 70.(in Chinese))
- [13] 周广友,李聪,胡勇,等.箱涵顶进施工过程中路面沉降的数值模拟分析[J]. 公路工程,2020, 45(3):29-37.(ZHOU Guang-you, LI Cong, HU Yong, et al. Numerical simulation analysis of pavement settlement during the construction process of box culvert-jacking[J]. Highway Engineering,2020, 45(3): 29-37. (in Chinese))
- [14] 吴刚,李军委,同飞,等.荣民金融中心深基坑支护设计及数值模拟分析[J]. 建筑结构,2019, 49(S2):906-909.(WU Gang, LI Jun-wei, TONG Fei, et al. Design and numerical simulation analysis of deep foundation pit support in Rongmin financial center[J]. Building Structure, 2019, 49 (S2): 906-909. (in Chinese))
- [15] 谭伟. 临近边坡地铁基坑开挖数值模拟研究[J]. 土工基础,2020,34(2):176-180.(TAN Wei. Numerical evaluation of a subway Deep Excavation near a slope[J]. Soil Engineering and Foundation, 2020, 34(2): 176-180 (in Chinese))