网络出版时间:2014-06-16 16:25 网络出版地址:http://www.cnki.net/kams/doi/10.13319/j.cnki.siztddxxbzrb.2014.02.03.html 第27卷第2期 石冢庄铁道大字学报(自然科学版)

2014 年 06 月 JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE) Jun. 2014

# 玄武岩纤维布加固损伤混凝土梁抗剪性能研究

秦丽辉, 王宗林

(哈尔滨工业大学 交通科学与工程学院,黑龙江 哈尔滨 150090)

摘要:为了获取玄武岩纤维布加固损伤混凝土梁的抗剪性能参数,并为玄武岩纤维布加固 损伤混凝土梁的设计与施工提供理论依据,通过试验分析,研究了不同剪跨比、加固量、初始荷 载等情况下梁的抗剪承载力变化规律,提出了玄武岩纤维布加固损伤混凝土梁的抗剪承载力修 正计算公式。试验结果表明,梁的抗剪承载力受锚固方式、初始荷载和剪跨比的影响较大,采用 玄武岩纤维布加固钢筋混凝土梁后,可以有效提高梁的抗剪承载力。

关键词:玄武岩纤维布;损伤混凝土梁;抗剪承载力;挠度;荷载

中图分类号:TU375.1 文献标志码: A 文章编号: 2095 - 0373(2014)02 - 0012 - 07

# 0 引言

混凝土结构由于其受力性能好、造价低在桥梁工程建设中被广泛采用。一般的钢筋混凝土结构设计 使用寿命为50 a,但是随着使用年限的增加,钢筋混凝土结构由于长期受潮湿、温度变化、酸碱腐蚀等因 素,容易产生钢筋的锈蚀、混凝土的劣化、强度降低、损伤累积和抗力衰减,部分混凝土结构的功能也在逐 渐减弱。

国内外常用的混凝土结构加固方法大体可分为以下 10 种<sup>[1-5]</sup>:加大截面加固法、粘钢加固技术法、喷 射混凝土防护技术方法、预应力加固技术法、增设构件加固技术法、托梁拔柱技术法、卸载加固技术法、增 设支点加固法、外包钢加固技术法和纤维片材加固法。20 世纪末,随着国际市场纤维价格的大幅度降低, 纤维增强复合材料(Fiber Reinforcement Compost Plastic, FRP)加固混凝土结构的方法逐渐引起土木工程 学者们的关注。与传统材料加固的方法相比,纤维片材具有以下优点<sup>[6]</sup>:抗拉强度高,抗腐蚀性和耐久性 好,自重轻,施工便捷,热膨胀系数与混凝土相近,变形能力强,可作为临时加固也可永久使用、适用面广。 其中,玄武岩纤维(Basalt Fiber Reinforced Plastics, BFRP)作为近几年来的新兴纤维材料,不仅抗拉强度和 弹性模量性能较高,而且其粘结性、耐热性及抗腐蚀性等物理力学性能优越<sup>[7]</sup>,在土木结构或构件中得到 广泛使用<sup>[8]</sup>。尤其在进行混凝土结构缺陷加固和性能补强应用方面,凭借其独特的优势,有效地弥补了 现有纤维材料存在的不足,发展前景广阔。

FRP 加固混凝土梁在受到外部荷载后呈现出较为复杂的抗剪力学性能,抗剪承载力和破坏模式也同时受到诸多外界因素的影响。国内外的学者关于 FRP 加固混凝土梁的抗剪性能研究还比较少,鉴于该结构问题的复杂性及研究成果相对匮乏,想要提出一个实用可靠的设计模型目前还不具备成熟的条件。尽管如此,经过众多学者们的理论推导与科学试验,已经得出了一些强度模型可供参考使用。目前,纤维布抗剪设计计算比较常用的方法主要是基于以下几种成熟的力学模型:①有效应变和粘结力学模型<sup>[9]</sup>;② 受压场理论及修正的受压场理论模型<sup>[10]</sup>;③桁架拱模型,以及变相的桁架拱模型<sup>[11]</sup>;④修正的剪切摩擦带状法的力学模型<sup>[12]</sup>。现行各国的设计规范基本都是基于上述①和③模型推导出来的。剪跨比、初始荷载和锚固方式对抗剪承载力有较大影响,而现有公式并未对这 3 个影响因素进行考虑。此外,在损伤梁

DOI:10.13319/j. cnki. sjztddxxbzrb.2014.02.03 收稿日期:2014-01-05 作者简介:秦丽辉 女 1977 年出生 讲师 基金项目:国家自然科学基金(51108132) 力学性能方面,张岩等对钢-混凝土双面组合两跨连续梁模型进行数值模拟分析,得到了上混凝土板裂缝 分布和宽度<sup>[13]</sup>。

因此, 拟对 BFRP 加固钢筋混凝土梁的抗剪性能开展研究, 给出玄武岩纤维布加固钢筋混凝土梁的抗 剪承载力计算公式, 以期指导 BFRP 加固损伤混凝土梁的设计与施工。

# 1 试验方案设计

如表1 所示,共预制试验梁8 根,尺寸分别为150 mm×250 mm×1700 mm,150 mm×250 mm×2 200 mm,混凝土等级 C40,截面配筋采用 HRB335 钢筋、箍筋采用 HPB235。试验梁的剪跨比分别为2.3 和3.4。试验采用压条和U形箍粘贴方式,即宽度50 mm、净间距50 mm 的U形箍和50 mm 宽双侧压条。以试验梁受剪破坏前不发生受弯破坏为原则配置受力纵筋,BFRP 采用规格为300 g/m<sup>2</sup> 的单向纤维布。根据试验目的,对试验梁进行预加载,预加载值分别取未加固梁极限荷载 V<sub>u</sub> 的 0%、50%、80%,试验过程中采用分级加载,每一级加载值为10 kN,持荷时间 2~3 min,待数据稳定后再加下一级荷载,如表2 所示。试验梁加载方案如图1 所示。

| 试验粱                 | と 截面尺寸                                 | 试件长度  | 前陈レ、    | <b>邢</b> 御 侍 况 | 雜銘配署    | 混凝土强 | 试验梁 |
|---------------------|--|-------|---------|----------------|---------|------|-----|
| 系列                  | $b \times h$                           | l∕mm  | 穷 圬 ၬ Λ | 自し加用リレ         | 1世月月1日. | 度等级  | 片数  |
| B1                  | 150 mm × 250 mm                        | 1 700 | 2.3     | 2Φ16/3Φ20      | φ8@200  | C40  | 4   |
| B2                  | $150~\mathrm{mm}\times250~\mathrm{mm}$ | 2 200 | 3.4     | 3Φ16/3Φ25      | Ф8@200  | C40  | 4   |
| 表 2 BFRP 加固受剪试验梁参数表 |  |       |         |                |         |      |     |
|                     |  |       |         |                | Y       |      |     |

表1 试验梁几何参数

| 表 2 DFKF 加回文界风短米多级表 |     |     |                                     |  |  |
|---------------------|-----|-----|-------------------------------------|--|--|
| 试验梁编号               | 剪跨比 | 加固量 | 试验梁加载方法                             |  |  |
| B1-0                | 2.3 | 不加固 | (未加固梁)直接加载至破坏                       |  |  |
| B1-1-0              | 2.3 | 加固  | 加固后直接加载至破坏                          |  |  |
| B1-1-1              | 2.3 | 加固、 | 加载至 50% V <sub>u</sub> 卸载加固后重新加载至破坏 |  |  |
| B1-1-2              | 2.3 | 加固  | 加载至80% V 卸载加固后重新加载至破坏               |  |  |
| B2-0                | 3.4 | 不加固 | (未加固梁)直接加载至破坏                       |  |  |
| B2-1-0              | 3.4 | 加固  | 加固后直接加载至破坏                          |  |  |
| B2-1-1              | 3.4 | 加固  | 加载至 50% V <sub>u</sub> 卸载加固后重新加载至破坏 |  |  |
| B2-1-2              | 3.4 | 加固  | 加载至 80% V. 卸载加固后重新加载至破坏             |  |  |

注:表中试验梁编号第一个数字表示剪跨比;第2个数字表示粘贴层数;第3个数字表示初始荷载水平及卸载程度。



图1 受剪试验梁加载示意(单位:mm)

# 2 试验现象及结果分析

#### 2.1 试验现象

## 2.1.1 未加固梁

未加固梁 B1-0 及 B2-0 在荷载分别为 79.64 kN 和 81.74 kN 时,跨中位置附近出现了正截面裂缝,随 着荷载的逐渐增大,裂缝的条数和宽度都不断增加。当荷载达到 105.33 kN 和 212.41 kN 时,在试验梁一 侧的梁两端和弯剪区同时出现斜裂缝,此后正截面裂缝宽度有所减小,发展速度减缓。与此同时,裂缝条 数随斜裂缝宽度逐步加大而增加。当荷载接近破坏荷载时,上部受压区混凝土高度减小,一条主要斜裂 缝宽度增大。当达到极限荷载时,斜裂缝上部剪压区混凝土压坏。

## 2.1.2 无初始荷载加固梁

试验中对用玄武岩纤维布加固的试验梁两端用U形箍锚固,采用直接加载至梁体破坏时,对比试验 梁数据发现其正截面开裂荷载与其基本一致。继续施加至90.53 kN(B1组)和96.98 kN(B2组)左右时, 最早在加固梁的跨中位置发现了正截面裂缝;继续施加荷载发现弯剪区也发生了一条到几条不等的斜裂 缝,斜截面开裂荷载相较于未加固梁有所提高,但规律性不强,提高幅度也有限。斜裂缝出现前,U形纤维 箍的应变较小;而当斜裂缝出现后,U形纤维箍应变逐步增大;与此同时,随着裂缝宽度与荷载的不断增 加,所测得玄武岩纤维布的应变也进一步增大;此时玄武岩纤维箍部分拉断,部分剥离,最后导致斜裂缝 上部剪压区混凝土压坏破坏。通过试验结果发现,加固梁在裂缝形态上与未加固梁有所不同,加固梁由 于纤维布的存在可以有效地传递剪力,最终几条斜裂缝同时加宽,靠近加载点的压区混凝土被压坏。 2.1.3 有初始荷载加固梁

在只有初始荷载的作用下,加固梁的受力状态与普通钢筋混凝土梁基本上是相同的。其破坏形式 为:当梁上存在预加荷载时,部分梁体结构已经产生一定数量的斜裂缝。经加固养护后继续施工荷载,在 这种情况下,对于在预加荷载条件下还没有产生斜裂缝的试验梁,实际测得试验梁变形及玄武岩纤维布 应变的变形幅度和程度与直接加固试验梁的情况基本相同;而对于在预加荷载作用影响下已经产生斜裂 缝的试验梁,玄武岩纤维布应变状态与变化在后期与直接加固试验梁差别不是很明显,但在早期出现了 滞后的现象。当外加荷载达到极限状态时,两者的破坏形态基本没有区别。

#### 2.2 破坏形态

#### 2.2.1 未加固梁

考虑到设计的试验梁配箍率不高,在外部荷载作用下未加固梁的破坏形态受箍筋影响较小,但当继续施压的外荷载接近极限荷载时,不同的剪跨比就会使得最终的裂缝数量、规模和破坏形态差别较大。例如 B1-0 梁,由于1 <  $\lambda$  = 2.3 < 3,在极限荷载作用下,斜裂缝上端混凝土在复合应力作用下达到极限强度,其破坏形态为典型的剪压破坏。当 $\lambda$  = 3.4 时,B2-0 梁两端斜裂缝中的一条宽度陡然增大,由于剪跨比较大且配箍率又较小,梁沿纵向钢筋产生了水平裂缝,梁体发生了斜拉破坏。

#### 2.2.2 加固梁

根据所有加固梁试验测量得出的数据及结果,发现其破坏形态基本上是一样的,都是当外加荷载接近极限荷载时,U形纤维箍与混凝土间产生剥离和拉断现象,几条近似平行的斜裂缝宽度逐渐加大。其中,如果斜裂缝从下部穿过纤维箍则产生部分纤维布拉断现象,如果斜裂缝从上部穿过纤维箍则产生剥离现象。继续施加外荷载到最后,靠近加载点的上部剪压区混凝受到过大压力出现压坏,查看加固梁最终的斜裂缝宽度,发现未加固梁在接近破坏时呈现的是一条斜裂缝,裂缝宽度超过3 mm;而采用玄武岩纤维布的加固梁,当接近破坏荷载时裂缝所呈现出的破坏形态是几条斜裂缝宽度同时加大,而且可以看出裂缝发展的状态也非常均匀,最大裂缝宽度也比较小。根据试验检测数据来看,采用玄武岩纤维布加固的梁最终斜裂缝宽度在2~3 mm之间。

#### 2.3 结果分析

#### 2.3.1 荷载-挠度曲线

根据试验数据绘制的两组试验梁的荷载-挠度曲线如图 2 和图 3 所示,从图 2 和图 3 中可以看出,在 相同的剪跨比条件下,不同加载方式对试验梁挠度有较大影响。加固试验梁的挠度变化幅度明显小于未 加固梁的挠度变化,即通过粘贴玄武岩纤维布加固的方法对减小梁挠度效果明显,使梁整体刚度和变形 能力在一定程度上有所提高。此外,图 3 中的加固后-加固前荷载位移曲线相差比图 2 中更大,即剪跨比 较大的条件下,玄武岩纤维布的加固效果更好。当剪跨比较大,荷载大于 80% V<sub>u</sub> 时,加固梁和未加固梁 的荷载-挠度曲线较吻合,说明此时二者挠度差别不大,玄武岩纤维布加固的效果有限。

考虑二次加载,即外荷载加至50% V<sub>u</sub>或80% V<sub>u</sub>后卸载,再加载至破坏,由于在第一次加载时,钢筋 混凝土梁已经出现裂缝并随之发生内力重分布,相当于加固有损伤混凝土梁,其工作性能弱于未加固梁 和一次加载至极限状态的试验梁,其挠度相对较大。



#### 图 2 B1 组试验梁跨中荷载-位移曲线

图 3 B2 组试验梁跨中荷载-位移曲线

不同的初始加载量也对试验梁刚度有影响,初次加载到80% V<sub>a</sub>时,二次加载到极限状态的挠度大于 初次加载到50% V<sub>a</sub>的工况。

2.3.2 特征荷载

各试验梁正截面的开裂荷载、斜裂荷载和破坏荷载的试验检测数据和结果见表 3。从表 3 中的试验 结果比较来看,正截面开裂荷载主要受构件的截面尺寸大小、纵向钢筋配筋率的多少及混凝土强度的高 低影响,因此试验得出的各组试验梁正截面开裂荷载相差并不明显,其中 B2 比 B1 组开裂荷载高 3% ~ 10%,主要受剪跨比的影响。

表 3

BFRP 加固梁主要试验结果

| 试验梁编号  | 初始荷载/kN | 正截面开裂荷载/kN | 斜裂荷载/kN 极限荷载/kN | 极限荷载提高比例/% |
|--------|---------|------------|-----------------|------------|
| B1-0   | 0       | 79.64      | 105.33 212.48   |            |
| B1-1-0 | 0       | 90.53      | 121.62 257.49   | 21.18      |
| B1-1-1 | 106.24  | 86.69      | 117.01 236.48   | 11.30      |
| B1-1-2 | 169.98  | 79.83      | 102.56 215.9    | 1.61       |
| B2-0   | 0       | 85.74      | 121.42 221.07   |            |
| B2-1-0 | 0       | 96.98      | 157.62 295.51   | 33.67      |
| B2-1-1 | 110.54  | 92.57      | 143.78 260.29   | 17.74      |
| B2-1-2 | 176.86  | 87.65      | 139.52 226.15   | 2.30       |

各组梁的开裂荷载与斜裂荷载对比如图4所示,从图4中可以看出,加固梁的开裂荷载相比未加固梁 而言略高。各组梁的极限荷载对比如图5所示,从图5中可以看出,加固梁极限荷载的提高幅度十分明 显,而且在相同加固量的情形下,剪跨比的增大对加固梁极限荷载提高效果显著,其中,B2-1-1组极限荷 载提高了17.74%。与此同时,随着初始荷载的增加,玄武岩纤维布加固效果均有所下降,但下降幅度不 大。

试验研究结果表明,U形纤维箍加固钢筋混凝土梁在加载过程中纤维箍的拉应变逐渐增大,其抗剪作 用与箍筋的作用基本类似。但是,由于纤维布和钢筋的材料性能有一定的差别,纤维布的抗剪性能与箍 筋也有较大的差别。U形纤维箍的作用机理主要依靠纤维布与加固梁混凝土之间的粘结力来传递剪力, 而粘结力的大小与性能又受到如混凝土的强度、胶的粘结强度等很多因素的影响,很多纤维箍也可能由 于粘结力的突然丧失而造成梁的承载力突然下降。在实际试验过程中,加固梁箍筋和纤维布箍的应变在 外部荷载加载过程中的变化具有较大的不均衡性。箍筋的延性比较好,在达到屈服前不会发生突然断 裂。而纤维布属于脆性材料,延伸率相对比较低,在实际试验过程中很难保证纤维箍达到极限强度而提 前出现断裂破坏。

# 3 抗剪承载力计算方法

学术界普遍认为 FRP 的作用机理与箍筋相似,加固梁抗剪承载力的取值,可以经验性地取混凝土、箍筋和 FRP 3 者提供的抗剪承载力之和,即<sup>[14]</sup>

$$V_u = V_c + V_s + V_f \tag{1}$$



图 4 开裂荷载和斜裂荷载对比图

加固梁与未加固梁的极限荷载 图 5

式中, $V_{i}$ 为加固后梁的抗剪承载力; $V_{i}$ 为混凝土抗剪承载力; $V_{i}$ 为箍筋和弯起钢筋的贡献; $V_{i}$ 为 FRP 对抗 剪承载力的贡献。

V。和 V。通常按照现行规范进行计算, 而 V, 则需要进行折减计算[15]、

$$V_f = \alpha_{su} f_{ef,v} A_{ef} h_0 / S_{ef}$$
<sup>(2)</sup>

式中, a, 为纤维受剪力降低系数; f, , 为纤维布抗拉强度设计值; A, 为配置在同一截面的玄武岩纤维箍的 全部截面积;S<sub>c</sub>为纤维箍的间距;h<sub>0</sub>为横截面受拉区钢筋重心到梁顶截面的距离。

由试验可知,锚固方式、初始荷载和剪跨比对承载力有较大影响,而现有公式并未对这3个影响因素 进行考虑。因此,提出对玄武岩纤维布抗剪承载力计算公式中的纤维受剪力降低系数  $\alpha_{w}$ 进行修正,提出 用 $\varphi$  替代 $\alpha_{w}$ ,作为对玄武岩纤维布抗剪强度的修正参数,即:

$$\varphi = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \tag{3}$$

式中, $\phi$ 为玄武岩纤维布抗剪承载力修正系数; $\phi$ ,为锚固方式对抗剪承载力的影响系数,根据《碳纤维片 材加固混凝土结构技术规程(CES146:2003)》,对于U形和侧面粘贴、端部加压条,以及封闭缠绕粘贴的 情况, 取  $\varphi_1 = 1.0$ , 对于无锚固措施的情况, 取  $\varphi_1 = 0.85; \varphi_2$  为初始荷载对抗剪承载力的影响系数;  $\varphi_3$  为 剪跨比对抗剪承载力的影响系数。

采用有限元模拟分析的方法,调整有限元模型的初始荷载和剪跨比参数,补齐50组数据后,代入抗剪 承载力计算公式,设 $\varphi_3$ , $\varphi_3$ 中一个变量为常数,研究另一个变量与影响因素之间的关系,拟合过程如图6 和图7所示。拟合后可得

$$\begin{aligned}
\varphi_2 &= 0.72f + 0.28 & (0 < \varphi_2 \le 1) & (4) \\
\varphi_3 &= 0.27\lambda + 0.33 & (0 < \varphi_3 \le 1) & (5)
\end{aligned}$$

$$(0 < \varphi_3 \leq 1)$$

式中,f为初始荷载与极限荷载的比值; $\lambda$ 为剪跨比。





图 6 初始荷载对承载力影响参数

根据公式(2)~公式(5),可推导出玄武岩纤维布的抗剪承载力计算公式



第27 卷

 $V_f = \varphi_1(0.72f + 0.28)(0.27\lambda + 0.33)f_{cf_x}A_{cf}h_0/S_{cf_x}$ 

利用以上方法计算试验梁的抗剪承载力,计算结果与试验结果相比较,如表4所示。由表4可以看出,修正后的抗剪承载力计算公式所得结果与试验值吻合较好,计算值与试验值的偏差是由于确定模型 参数 \u03c6,所采用的图7中的有限元模拟数据偏于离散的缘故,但偏差值在容许范围内,故所提出的修正公 式可以为今后玄武岩纤维布抗剪承载力加固的理论分析提供一定的参考。

| 试验梁编号  | 试验值/kN | 公式计算值/kN | 与试验值的偏差/% |
|--------|--------|----------|-----------|
| B1-1-0 | 257.49 | 251.2    | 2.50      |
| B1-1-1 | 236.48 | 229.7    | 2.95      |
| B1-1-2 | 215.9  | 206.6    | 4.50      |
| B2-1-0 | 295.51 | 284.3    | 3.94      |
| B2-1-1 | 260.29 | 251.1    | 3.66      |
| B2-1-2 | 226.15 | 202.9    | 11.46     |

| 表 4 | 加固梁抗剪承载力计算结果对比表 |
|-----|-----------------|
| · · |                 |

# 4 结论

在试验研究与有限元模拟分析的基础上,研究了玄武岩纤维布加固损伤混凝土梁的抗剪性能。主要的结论如下:

(1)采用玄武岩纤维布加固混凝土梁,会使梁的整体刚度和变形能力在一定程度上有所提高;剪跨比 越大,玄武岩纤维布的加固效果越好;对于玄武岩纤维布加固损伤梁,初始加载量越大,其挠度越大。

(2)玄武岩纤维布加固梁的开裂荷载略高于未加固梁,而玄武岩纤维布加固梁的极限荷载提高幅度 明显;在玄武岩纤维布加固量相同的条件下,剪跨比的增大对加固梁极限荷载提高效果显著。

(3) 锚固方式、初始荷载和剪跨比对玄武岩纤维布加固混凝土梁抗剪承载力有较大影响,在计算时需 予以考虑;本文提出了考虑上述3个因素影响系数的乘积代替原有公式中纤维受剪力降低系数的计算方 法,计算结果与试验结果较为接近。

# 参考文献

- [1]曹双寅, 邱洪兴. 结构可靠性鉴定与加固技术[M], 北京:中国水利水电出版社,2001:56-57.
- [2]吕西林. 建筑结构加固设计[M]. 北京:科学出版社,2001:32-34.
- [3] 卓尚木,季直仓,卓昌志.钢筋混凝土结构事故分析与加固[M].北京;中国建筑工业出版社,1997:15-16.
- [4]万墨林,韩继云. 混凝土结构加固技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995:19-20.
- [5]丁敬华, 左登宏,康建军. 碳纤维布加固技术及其应用[J]. 安徽建筑,2004, 31(5):104-105.
- [6]李春霞. CFRP 加固负载混凝土梁抗弯承载力及可靠度研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2012:15-16.
- [7] Urbanski M, Lapko A, Garbacz A. Investigation on concrete beams reinforced with basalt rebars as an effective alternative of conventional R/C structures[J]. Proceedia Engineering, 2013, 57:1183-1191.
- [8] Pearson M, Donchev T, Salazar J. Long-Term behaviour of prestressed basalt fibre reinforced polymer bars [J]. Procedia Engineering, 2013, 54:261-269.
- [9] Al-Nahlawi G J, Wight J K. Beam analysis using concrete tensile strength in truss models [J]. ACI Structural Journal, 1992, 89:284-289.
- [10] Collins M P. Toward a rational theory for RC members in shear [J]. Journal of the Structural Division ASCE, 1998, 124(12): 1375-1417.
- [11] Vecchio F J, Collins M P. The modified compression-filed theory for reinforced concrete elements subjected to shear [J]. ACI Structural Journal, 1986, 83:386-394.
- [12] Deniaud C, Roger Cheng J. Review of shear design methods for reinforced concrete beams strengthened with fiber rein-forced polymer sheet[J]. Can J Eng, 2001,28:271-281.
- [13]张岩,段树金,郑岗.考虑混凝土损伤的双面组合连续梁挠度和裂缝宽度研究[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2011,24(3):24-28.
- [14] Belarbi A, Acun B. FRP systems in shear strengthening of reinforced concrete structures [J]. Procedia Engineering, 2013, 57:

(6)

2-8.

[15] Chen G M, Teng J G, Chen J F. Process of debonding in RC beams shear-strengthened with FRP U-strips or side strips [J]. International Journal of Solids and Structures, 2012, 49:1266-1282.

# Research on Shear Performance of Damaged Concrete Beams Strengthened with BFRP Sheet

#### Qin Lihui, Wang Zonglin

(School of Transportation Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China)

**Abstract**: In order to acquire the parameters of shear performance of RC beam strengthened with BFRP and provide theoretical gists for design and construction, shear capacity of RC beam strengthened with BFRP sheet is analyzed for different shear span ratio, number of BFRP sheet layer and pre-loading program within experimental works. Revised formula is presented for calculating shear bearing capacity of RC beam strengthened with BFRP. Experimental results shows that BFRP can improve shear bearing capacity of beam, and shear bearing capacity is affected by anchoring method, initial load and shear span ratio.

Key words: BFRP; damaged concrete beams; shear bearing capacity; deflection; load

(责任编辑 车轩玉)

(上接第11页)

# Analysis of Disease and Experimental Research of Long Span Steel Truss Bridge Under Heavy Haul Transport Conditions

#### Zhang Ertian

(Shuohuang Railway Development Co. Ltd., Suning 062350, China)

Abstract: With the development of heavy haul transportation, the disease of railway steel bridge is increasing prominently. Taking the 64 m through steel truss bridge of Shuohuang Railway as the research background, this paper makes a systematic analysis on the three aspects associated with the diseases of the bridge support, including the causes of the disease, the treatment method and the disease's impact on bridge operation. The results of the study show that because of the unevenness between the four bearing supports, and a certain degree of roughness of the support's surface, a certain degree of initial stress is produced in bearing components. The repeated effect of heavy haul train would lead to the fatigue fracture of the support connection components, hence a sharp increase of transverse acceleration and vertical amplitude at the middle of the span, and significant changes of primary truss stress, which would endanger the safety of train operation. The ill effect can be eliminated by replacing structural parts and changing elevation of the supports, and the treatment effect is remarkable.

Key words: heavy load railway; steel truss bridge; disease analysis; operation performance test

(责任编辑 刘宪福)