

文章编号: 1003-6512(2001)01-0021-03

美国的纤维增强组合桥面板

摘 要:文中介绍美国在进行桥梁上部结构补强时采用的非传统材料——纤维增强混凝土。这种材料具有高强、质轻、耐腐蚀等特性。列举了四个实例,以说明这种材料在组合桥面板中的应用。

关键词:纤维;钢筋;纤维增强聚合物 FRP;桥面板*

美国公路部门正在寻找解决桥梁问题的方法。工程师们已经把纤维增强聚合物(FRP)作为可能的解决方法来研究。在西维吉尼亚州,已有一座桥的桥面系使用 FRP。在德拉威州、堪萨斯州和西维吉尼亚州,也修建了几座采用 FRP 作为桥面板的桥。在俄亥俄州和西维吉尼亚州,复合材料已经用于许多桥梁结构。

最近美国桥梁状况研究表明 32% 的桥梁有结构性和功能性缺陷。联邦和州运输协会已经致力于研究用非传统的材料来解决公路桥梁上部结构的破坏。在所有可以用来代替或补强桥面板的复合材料中,纤维增强聚合物是最佳的。

FRP 材料比普通建桥材料轻,而腐蚀性好。这些优点体现在工程师设计钢筋、预应力钢束、薄板、薄片、包层、薄壳及其他可以用于桥面板加强或代替的结构中。

1 用 FRP 增强混凝土桥面板

美国第一座在桥面板上使用 FRP 材料增强的桥梁,即跨 Buffalo Creek, WV. 的 McKinleyville 桥,它是长 54 m 的三跨连续结构,双车道,于 1996 年 8 月建成。

1.1 材料

FRP 的组成材料是经过严格挑选的。对

采用的树脂和纤维进行了筛选试验,试验内容包括在结冰、融化温度下把筋条暴露在含碱和含盐的环境中,观察其防腐情况。

McKinleyville 桥桥面板采用了两种筋条: C 筋条和裹砂筋条。C 筋条由以聚酯树脂为核心的连续 E 玻璃纤维,结合氨基甲酸缓和乙烯薄板塑模混合物加强的短碎 E 玻璃纤维构成。裹砂筋条由 E 玻璃纤维和不饱和聚酯树脂组成。筋条中用另外两根纤维以螺旋形包裹着,再涂上一层环氧树脂,并在砂中碾压,以加大与周围混凝土的粘结力。这两种 FRP 筋条的最小抗拉强度为 560 MPa,抗拉模量为 42 GPa,在强度为 31 MPa 的混凝土中的粘结强度为 10 MPa。

1.2 施工

桥面板施工的第一步是布置 FRP 筋条。FRP 筋条与普通钢筋的处理方法类似。FRP 筋条比较轻,使之比普通钢筋更易加工和布置。使用带塑料涂层的钢丝来绑扎筋条,可以减小安装过程中的差异。需要注意的是 FRP 筋条比普通钢筋在施工时更易弯曲,因此把环氧钢筋布置成网格状(图 1),以限制由施工荷载产生的变形。

需注意的是钢筋网片在浇筑混凝土过程中易浮动,因为 FRP 筋条的密度比混凝土小。为解决这个问题,可以在纵、横向每隔 1.2 m 把钢筋网片绑扎在模板和定位钢筋上。

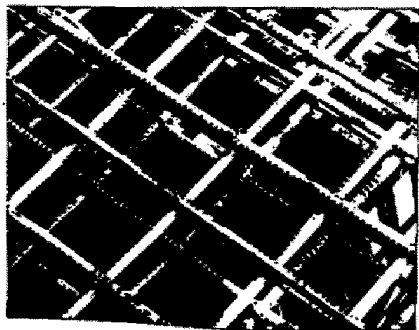


图1 环氧钢筋布置形式

2 FRP 桥面板

1997年6月,在 Magazine 河沟上,修建了一座长 22 m、宽 6 m 的单跨简支梁桥,以代替原有的双跨混凝土箱梁桥。新桥采用 FRP 桥面板将荷载横向传递到预应力混凝土梁上。

FRP 桥面板施工采用真空法树脂成型。这个过程需要的施工机具最少,可以建造大型桥面板块。桥面板块用 FRP 筋条网片(最大为 2.17 kg/m^2)绑扎,泡沫材料填充。结构布置好后用人工烘干,然后在真空中注入树脂,对于设计 FRP 桥面板来说,这是个劳动密集型过程,较难维持结构的均匀性。

3 FRP 蜂窝桥面板

在 Rusell, KA, 跨越一条无名小河的组合桥,已经通过设计、施工、测试。其桥面板由覆盖在上、下两层钢筋网片上的一薄层聚合物胶结混凝土及中间大约 0.6 m 厚的同向 FRP 蜂窝材料组成。

跨越无名小河的桥是美国第一座运营的公路组合桥。这座桥由三块尺寸为 $2.75 \text{ m} \times 7.1 \text{ m} \times 0.56 \text{ m}$ 的桥面板组成。每块板的两端支承在工字梁上,在板的连接处,一个断面向外设翼缘,形成装配相邻板块的连接口(图2)。建成后的桥面板长 6.42 m, 宽 8.03 m

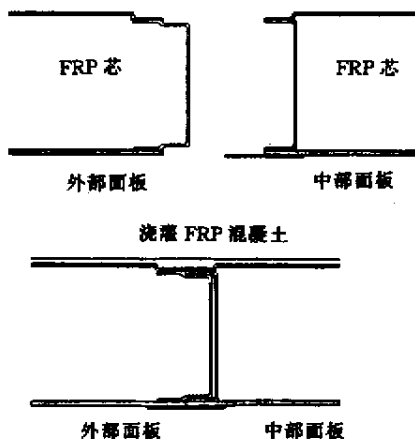


图2 板的连接图

(两护栏之间)。

几乎所有的桥梁构件都是通过手工操作技术来制造的。试验模型是由可以利用的材料制成的,并不影响再次施工利用。蜂窝核芯是由已有的波形模型再铺上面层制成。

虽然手工操作方法对于这种结构来说是妥当的,但是从经济性来看,最经济的施工需要更成熟的方法。梁的刚度随着挠度的增加而增加,这种现象是因为由玻璃纤维分担承受增加的荷载,以及由于剪切变形而增加的核心截面、核心与表面之间的粘结力。另外,弯曲和拉伸的相互作用,也会增加板的刚度。

4 六边形桥面板

对不同 FRP 结构模型的测试,导致了一种新的桥面板型式的产生,即六边形桥面板,也称为 H 形桥面板(图3)。制造了两种模型,一种是双梯形,另一种是六边形。

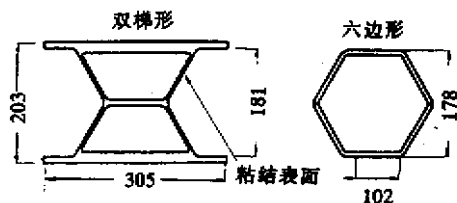


图3 六边形桥面板(单位:mm)

到目前为止,已建了 4 座 H 形桥面板桥。第一座, Lawrel Lick 桥, 于 1997 年 5 月在 Lewis 县建成。这座桥是组合结构, 由 H 形桥面板、FRP 纵梁和圆柱桩组成。第二座, Wickwire Run 桥, 于 1997 年 7、8 月在 Taylor 县修建, 这座桥将 H 形桥面板设在普通钢纵梁上。Lawrel Lick 桥和 Wickwire Run 桥桥面板的单元尺寸分别为 $6.1\text{ m} \times 4.9\text{ m}$ 和 $9.14\text{ m} \times 6.61\text{ m}$ 。

5 全监测组合桥

随着应用在桥梁上的结构型式的发展, 形成了一座全监测组合桥, 已经在 Butler 县投入运营。这座 Tech 21 桥, 代替了不稳定的旧桥, 于 1997 年 7 月开放交通。

Tech 21 桥的桥面板由 3 块板组成, 由卡车运往现场。这些板由 E 玻璃纤维和类似聚酯树脂制成, 用粘结剂连接, 用封闭螺栓 Nelso 连接在主梁上。

Tech 21 桥长 10 m, 宽 8 m。根据有限元分析, 一块间距为 2.5 m 或更小的板梁, 在

HS-25 AASHTO 卡车荷载作用下的刚度为 $L/1000$ 。实验表明, 它的承载能力远超过 AASHTO 规范规定值, 安全系数大于 2.0。

Tech 21 桥是一座全监控桥。监视仪器提供了在实际情况下的工作状态。这座智能桥, 埋入了连接连续监视计算机系统的传感器, 这将提供所需的环境数据及其他无法在短期试验模拟出来的车辆影响数据。

6 多格桥面板体系

在工业和学术合作的研究基础上, 研制了一种纤维增强多格桥面板体系(图 4)。桥面板研究选择的结构模型是由 E 玻璃和聚酯树脂制成的多格板, 宽翼缘的 H 形断面的构件用来连接多格截面。这些断面是根据由研究小组专门制定的工序制成的。样品制成两种模型, 一种由空心多格板体系组成, 另一种有斜木支撑在孔洞中。

多格桥面板体系也已于 1994 年用在 Weston 的 WV 的建筑上, 空心板体系经济性好, 在美国很快应用于人行桥。

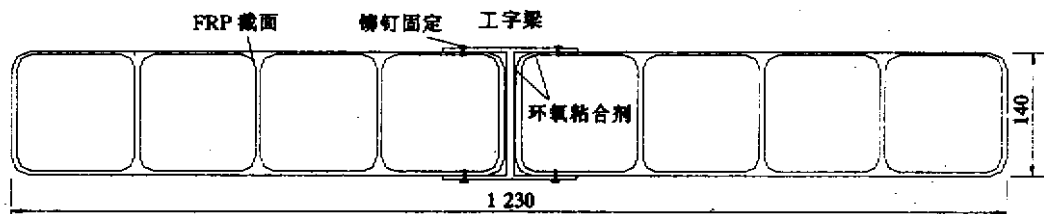


图 4 多格桥面板布置(单位: mm)

7 结语

本文论述了三种桥面板体系。第一种是有 FRP 筋条的混凝土桥面板; 第二种是重型桥面板, 包括四个例子; 第三种是重量轻, 经济性好, 适合作人行桥的桥面板。桥梁的现场实测表明, 这种桥面板工作性能良好, 可以代替混凝土桥面板。原因之一是: 它们的重

量 (98 kg/m^2) 比相应的混凝土、钢板 (540 kg/m^2) 轻得多; 另外使用了粘结剂和螺栓体系来连接桥面板和纵梁。

——摘译自《Structural Engineering International》, 1999, (4)。

译 魏广胜(中交第一公路勘察设计研究院)

校 冯云成(中交第一公路勘察设计研究院)