

玻璃钢/钢复合结构舟桥模型力学性能研究^{*}

陈启飞 黄亚新 王建平 赵启林

(解放军理工大学工程兵工程学院, 南京 210007)

摘要 以我军现装备的 79A 带式舟桥为原型, 以采用手糊成型工艺制作的按 1:4 比例缩小的玻璃钢 (FRP) / 钢复合结构的方舟模型为研究对象, 采用“三弦梁”理论对模型的承载能力进行了计算。通过对每两个方舟模型互相连接后的静载试验研究了其力学性能。计算结果与试验结果十分吻合, 试验中各构件的力学性能良好, FRP 构件与钢构件之间的应力分配较为合理, 充分体现了 FRP/钢复合结构的优点。研究结果可以为研制复合材料舟桥器材提供重要参考。

关键词 玻璃钢/钢复合结构 带式舟桥 “三弦梁”理论 承载能力 力学性能

带式舟桥采用一种舟、桁、板合一的结构形式, 由浮桥脚、承重结构、载面部分三位一体的结构组成。现行的钢质四折带式舟桥的纵向承重结构布置在两个中间舟节 (方舟) 上, 可与邻近的全形舟在桥长方向连接, 边舟 (尖舟) 主要用来增加排水量、提高浮桥的稳定性和增大浮桥的车行部宽度。

带式舟桥的纵向承重结构是特殊形式的“三弦梁”, 其腹板是承受横向力的方舟舷板和底板, 梁的下翼板是方舟底板中央龙骨 (焊接工字梁), 截面比舟底两根纵向边角钢构件和底板上的纵向压筋大得多, 梁的上翼板是方舟的两根舷缘角钢及其附连翼板^[1]。鉴于完全采用钢材研制的舟桥器材在使用维护中存在很多缺陷, 为充分发挥玻璃钢 (纤维增强塑料, FRP) 和钢这两种材料的优点, 采用一种 FRP 与钢的复合结构^[2~4]来研制带式舟桥 (其结构图见文献 [2]) , 将是未来我军舟桥器材研制的主要方向之一。

笔者以我军现装备的 79A 带式舟桥为原型, 将其方舟按 1:4 的比例缩小并采用 FRP/钢复合结构制作的模型为研究对象, 采用“三弦梁”理论对模型的承载能力进行了计算, 通过对每两个方舟模型互相连接后的静载试验研究了其力学性能。

1 理论分析

根据 79A 带式舟桥设计计算说明书, 按照“三弦梁”理论, 在方舟的纵向接头附近, 其纵向弯矩主要由主龙骨和舷缘角钢承受, 舟体是一个“三弦梁”, 底角钢截面也参与受力。在离开接头一定距离 (0.6 ~ 0.8 m) 后, 甲板层及底板层的其它构件逐步承受一部分力。纵向接头附近的横截面简化如图 1 所示。根据截面惯性矩可以反推出方舟所能承受的最大弯矩 (即为接头处所受的最大弯矩), 并得出

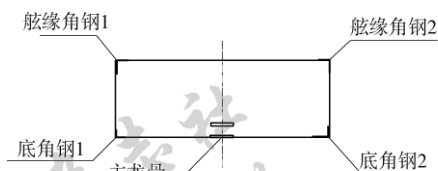


图1 方舟纵向接头附近横截面图

接头处所受的最大内力和截面上的应力。

经过计算, 方舟模型的截面惯性矩 $J = 3\,151\,751\text{ mm}^4$, 截面模量 $W = 35\,897\text{ mm}^3$, 截面上可以承受的弯矩 (亦即纵向接头处所能承受的最大弯矩) $M = 12.0\text{ kN} \cdot \text{m}$ 。

纵向接头所受的最大内力 $N_{\max} = 71.9\text{ kN}$ 。在完全不考虑 FRP 底板承受应力的情况下, 主龙骨上的最大应力 $\sigma_{\max}$ (338 MPa) 大于许应力 $[\sigma]$ (314 MPa), 实际应力与许应力的差值为许应力的 7.6%, 与 5% 相差不大, 这一结果可以接受。

方舟实际受力和模型试验中的最大弯矩均应出现在两舟下部连接器的纵向接头处。图 2 为试验装置简图。

参照图 2 可知, $P = \frac{8M_c}{2l - (x + y)}$ (式中, M_c 为 C 点的弯矩, $l = 3.2\text{ m}$), 代入数据后得 $P = \frac{9.60}{6.4 - (x + y)}$ 。取 $x = 1.02\text{ m}$, $y = 0.46\text{ m}$, 则 $P =$

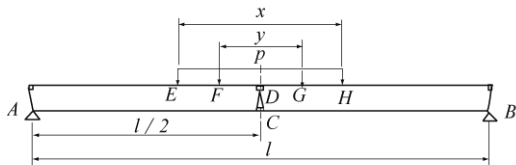


图2 试验装置简图

^{*} 国家自然科学基金资助项目 (50608069)

收稿日期: 2007-03-12

19.5 kN, 即为模型试验中的破坏载荷(包括加载设备约 150 kg)。

2 模型静载试验

2.1 试件制备

试件主要原材料和制作工艺详见文献[2,4]。

2.2 主要设备

反力架: 解放军理工大学工程兵工程学院结构爆炸试验室;

液压千斤顶: 50 t, 解放军第 5701 厂;

液压伺服加载系统: 北京科技建筑设计院;

IMP 数据自动采集系统: 清华大学。

2.3 试验方案

设计带式舟桥时采用的控制载荷为履带载(均布载), 限于试验条件, 加载时采用工字钢梁作为分配梁, 在履带长度范围内设置 4 个支座, 以近似模拟均布载的形式(见图 2)。

2.4 加载方案

采取分级加载的方法。由于液压千斤顶不便于精确控制加载量, 而试验时的破坏载荷不大, 分级加载时的每级载荷控制在 1.0 ~ 2.0 kN, 加载达到破坏载荷后再逐级卸载, 卸载速率同加载速率。

3 结果与讨论

3.1 模型的破坏形态

在加载过程中, 可以不断听到玻璃纤维(GF)断裂的声音, 开始时较小, 后来就发出巨响。这是由于 FRP 底板与钢主龙骨之间仅靠树脂基体的粘结力已经承受不住主龙骨上传来的拉力, 导致包覆主龙骨的 FRP 中的 GF 及与主龙骨上的肘板相连的加强筋中的 GF 发生断裂所致。当载荷加到最大时就会出现主龙骨因拉脱而破坏的现象, 如图 3 所示。



图 3 主龙骨因拉脱而破坏

3.2 模型的承载能力

从试验结果来看, 两只方舟模型在连接加载后所能承受的最大载荷达到了 19.7 kN。这个数值与理论计算的结果(19.5 kN)十分吻合。

3.3 主龙骨上的应力分布情况

主龙骨上的应力变化规律应为: 离接头处越近, 则应力越大; 离接头处越远, 则应力越小。图 4 示出

主龙骨上的应力分布情况。由图 4 可见, 主龙骨上的应力变化基本符合这一变化规律, 在达到最大加载量 19.7 kN 后, 主龙骨上 3 个不同点处的最大应力值尤其明显。其中接头附近的最大拉应力达 275 MPa, 小于钢材的容许应力 314 MPa; 中心点处的最大拉应力为 175 MPa, 支座附近的最大拉应力为 70 MPa。在逐级卸载时, 相同载荷级别所对应的应力值比加载时略低。图 4 中 3 个不同点处的应力变化曲线中, 位于上方和下方的曲线分别为加载和卸载时对应的应力变化曲线(下同)。

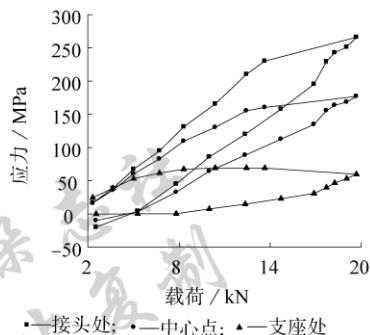


图 4 主龙骨上的载荷-应力变化曲线

3.4 舷缘角钢上的应力分布情况

舷缘角钢处于受压状态, 其应力为负值。图 5 示出舷缘角钢上的载荷-应力变化曲线。从图 5 所示变化曲线来看, 舷缘角钢上 3 个点处的应力变化曲线比较理想, 基本上是直线, 卸载后也基本上能按原路线返回, 并且在达到最大载荷后 3 个不同点处的最大应力值与主龙骨上的应力分布规律一致, 即在接头附近的压应力最大, 为 -290 MPa, 中心点处的最大压应力为 -190 MPa, 支座附近的最大压应力为 -38 MPa。

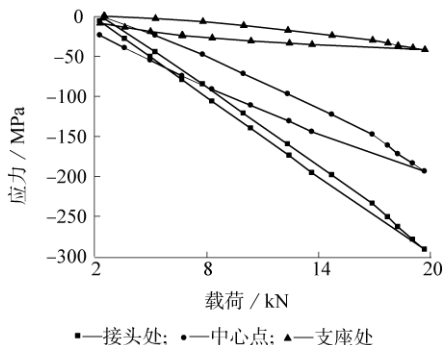


图 5 舷缘角钢上的载荷-应力变化曲线

3.4 FRP 底板上的应力分布情况

图 6 为与主龙骨连接处 FRP 底板上的载荷-应力变化曲线。从图 6 可见, FRP 底板上的应力变化幅度较大, 尤其是在卸载后。FRP 的弯曲弹性模

量小, 仅为 0.40×10^5 MPa, 其底板上的应力也小。最大压应力出现在支座附近, 为 -28 MPa, 中心点处的最大压应力为 -20 MPa, 接头附近的最大压应力为 -12 MPa, 且应力值为负值, 与主龙骨上应力变化的情况正好相反。出现这种现象的原因在于耳板支承条件发生了改变。按照舟桥使用的实际情况, 各个方舟应为下部接头受拉, 上部顶紧受压, 而试验中由于条件所限, 做不到这一点。虽说试验时对支承方案进行了改进, 但实际上则变成了支座附近的 FRP 甲板和底板都受压, 所以才出现了应力为负值且支座附近 FRP 底板上的应力值较大的情况。

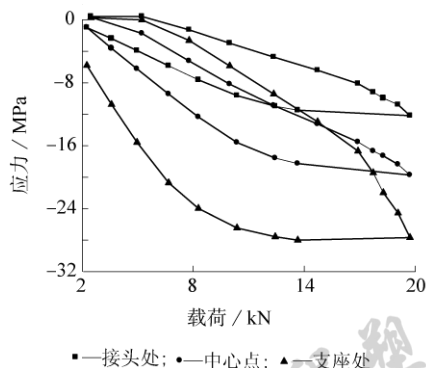


图 6 FRP 底板上的载荷 - 应力变化曲线

对照图 4 和图 6 可以看出, FRP 底板上的应力为负值, 且支座附近的应力值最大, 与主龙骨上的正应力正好相抵, 符合支座附近应力最小这一情况。

3.5 FRP 壳板与钢构件之间应力分配情况

图 7 为接头附近主龙骨和 FRP 底板上的载荷 - 应力变化曲线。从图 7 可以看出, 接头附近主龙骨上的应力随载荷的变化比较明显, 而 FRP 底板上

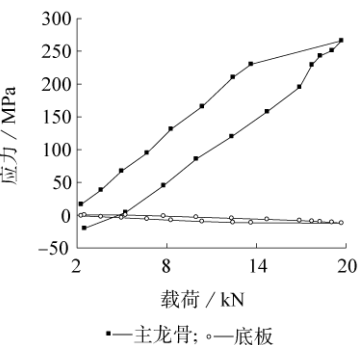


图 7 接头附近主龙骨和底板上的载荷 - 应力变化曲线

的应力变化则很平缓。主龙骨上的最大拉应力为 275 MPa; FRP 底板上的最大压应力为 -12 MPa。FRP 底板与主龙骨上的应力相比较而言, 可以忽略不计。亦即接头附近由于弯矩而产生的拉力基本上全部由主龙骨来承受, 这一点与“三弦梁”理论吻合。

图 8 为接头附近舷缘角钢与 FRP 甲板上的载荷 - 应力变化曲线。从图 8 可以看出, 接头附近舷缘角钢与 FRP 甲板上的载荷 - 应力变化曲线都比较理想, 舷缘角钢上的最大压应力为 -290 MPa, FRP 甲板上的最大压应力为 -88 MPa, 表明 FRP 甲板的受力情况良好, 能够承受较大的载荷。

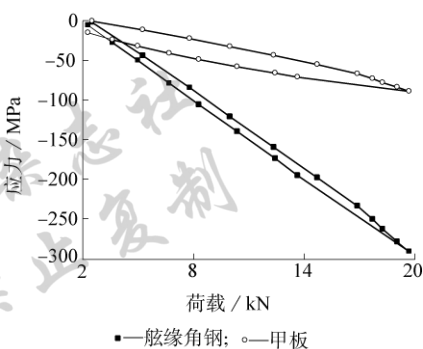


图 8 接头附近舷缘角钢与 FRP 甲板上的载荷 - 应力变化曲线

4 结论

- (1) 模型承载能力的计算值与试验值十分吻合。
- (2) 模型试验中模型各构件包括钢构件和 FRP 壳板上的应力变化符合其变化规律。
- (3) 在下部纵向接头附近, 主龙骨承受了绝大部分的应力, FRP 壳板与钢构件之间的应力分配较为合理, 充分体现了 FRP/钢复合结构的优点。

参考文献

[1] 王家麟, 李志刚, 袁辉, 等. 舟桥结构与计算[M]. 南京: 工程兵工程学院, 1995.

[2] 陈启飞, 黄亚新, 赵启林, 等. 玻璃钢/钢复合结构带式舟桥方舟的制作工艺[J]. 工程塑料应用, 2007, 35(4): 25-27.

[3] 黄亚新, 陈启飞, 姚树镇. 复合材料在军用渡河装备中的应用[J]. 玻璃钢/复合材料, 2000(4): 47-48.

[4] 陈启飞. 复合材料在舟桥中的应用研究[D]. 南京: 解放军理工大学, 2000.

STUDY ON MECHANICAL PROPERTY OF PONTON BRIDGE MODEL WITH FRP/STEEL COMPOSITE STRUCTURE

Chen Qifei, Huang Yaxin, Wang Jianping, Zhao Qilin

(Engineering Institute of Engineer Corps, PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

ABSTRACT The center pontoon models of ribbon pontoon bridge type 79A were taken as experimental objects, which were

made in proportion to 1 : 4 with fiber reinforced plastics (FRP) / steel composite structure by hand lay up moulding process. The bearing capacity of models was calculated by three-string-beam theory. Through the static load tests of each two models after they were linked with each other, the mechanical properties of the models were investigated. The calculation values were proved to be accurate and reliable by the measurements of test. The stress distribution between FRP shells and steel members was good and FRP shells and steel members played well in test, which showed the advantages of FRP/steel composite structure. Research results could provide important references for developing new type pontoon equipment with composite materials.

KEYWORDS FRP/steel composite structure, ribbon pontoon bridge, three-string-beam theory, bearing capacity, mechanical property

《工程塑料应用》杂志开设“技术转让与合作”、“企业风采”栏目

为做好广大作者、读者单位最新科研成果及新产品、新技术的推广服务,《工程塑料应用》杂志和“工程塑料网”(www.epa1973.com)网站已开设“技术转让与合作”栏目,以方便买卖双方的有效交流与沟通。栏目内容可涉及科研成果及专利技术的转让,公司新产品、新技术简介等方面。

另外,为了全方位宣传塑料行业精英企事业单位形象,《工程塑料应用》杂志增设“企业风采”栏目。报道内容主要是企业发展历史、企业文化、企业管理、研发创新能力、新产品发布、攻关项目介绍,人物专访等。来稿字数控制在 5000 字以内,可以附带图片。

《工程塑料应用》为中文核心期刊,是中国工程塑料工业协会会刊,国内外公开发行,屡获国家期刊奖,是中国塑料行业的权威媒体,知名度高,发行量大。可确保您发布的信息有足够的浏览量。

欢迎各有关企事业单位踊跃投稿!投稿时请提供所发布信息真实性证明,并加盖单位公章。具体刊登事宜请与编辑部直接联系。

地址: 山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031
电话: 0531 - 85878057 85878278 传真: 0531 - 85947355 85878224 E-mail: epa@epa1973.com

欢迎订阅 2006 年《工程塑料应用》增刊(总第 205 期)

由中国机械工程学会、中国机械工程学会特种加工分会、全国快速成形技术学术委员会等单位主办,华南理工大学等单位承办的“第四届全国快速成形与快速制造学术会议”于 2006 年 11 月在华南理工大学召开。应华南理工大学等承办单位的委托,《工程塑料应用》杂志社以 2006 年增刊形式编辑、出版了本次会议的论文专辑。该期刊物编入连续期刊号(总第 205 期),已于 11 月 20 日出版。该增刊共收录 39 篇优选会议论文,内容涉及快速成形新工艺、新设备,快

速成形软件与数据处理技术等,定价为 20 元/册。欢迎读者通过邮局或银行汇款订阅。

邮局汇款:
收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编: 250031
银行汇款:
户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行: 济南市工商银行经十一路支行
帐 号: 1602001229014425546

欢迎查询有关广告

对于在我刊刊登的所有广告,如读者需要查询更详细的资料或了解情况,请填好《读者查询广告资料服务卡》后寄回或来函。本杂志社将为您提供或转请有关单位提供资料,以满足您的要求。如需购买任何广告单位材料、设备、仪器及配件等产品,我社将帮助您联系,以保证产品质量,争取优惠价格。欢迎各单位在我刊刊登广告。刊登办法函索即寄。

《工程塑料应用》读者查询广告资料服务卡 No. _____

读者姓名 _____ 单位 _____
通讯地址 _____ 电话 _____ 邮政编码 _____
欲获得《工程塑料应用》_____ 年第 _____ 期第 _____ 页 _____
广告中有关 _____ 的详细资料。

如空位不够,请另附纸。填好后请寄回。

山东省济南市 108 信箱杂志社 邮政编码: 250031