

## 普拉特桁架桥的活载试验研究

胡成林 胡静

江苏河海建设有限公司, 江苏 镇江 212000

**[摘要]**凯特河大桥是一座拱形钢制悬臂桥, 普拉特桁架桥。为了量化该活件的活载性能并为未来的比较提供了基准, 它在各种梁, 桁条和桁架会员。另外, 沿桁架安装了 8 个位移计。桥上同时监测所有仪表受到无损的活载测试。所记录的桥梁响应被分析以量化原位行为。测量行为被用于验证使用实体和框架元素的有限元模型, 随后分别用于获得 2.03 和 2.64 的灵活性和运行负载等级。根据测试结果, 得出的结论是大的扣板如从明显测量的平面内弯曲应变中明显可见的, 增加了桁架构件的部分固定性。然而, 梁和弦甲板支撑系统在连续的面板之间显示出最小的旋转限制, 并且表现得接近简单支撑。验证有限元模型被用来确定分布因子。实际的桥梁分布因数在中被发现是保守的与根据 AASHTO LRFD 规范计算的结果相比, 降低了 17-44%。  
**[关键词]**活载测试; 桁架桥钢; 额定负载; 分配因素

DOI: 10.33142/hst.v5i6.7453

中图分类号: U448.22

文献标识码: A

### Study on Live Load Test of Pratt Truss Bridge

HU Chenglin, HU Jing

Jiangsu Hehai Construction Co., Ltd., Zhenjiang, Jiangsu, 212000, China

**Abstract:** The Kate river bridge is an arch steel cantilever bridge and a Pratt truss bridge. In order to quantify the live load performance of the live piece and provide a benchmark for future comparison, it is used in various beams, stringers and truss members. In addition, 8 displacement meters are installed along the truss. All instruments on the bridge shall be monitored simultaneously for nondestructive live load test. The recorded bridge responses were analyzed to quantify in situ behavior. The measurement behavior was used to validate the finite element model using solid and frame elements, which were then used to achieve flexibility and operational load levels of 2.03 and 2.64, respectively. According to the test results, it is concluded that large gusset plates, which are obviously visible from the obviously measured in-plane bending strain, increase the partial fixity of truss members. However, the beam and chord deck support systems show minimal rotational restraint between continuous panels and appear to be close to simple support. Verify that the finite element model is used to determine the distribution factor. The actual bridge distribution factor is found to be conservative in, which is 17-44% lower than the result calculated according to AASHTO LRFD specification.

**Keywords:** live load test; truss bridge steel; rated load; distributive factor

### 引言

在美国早期到中期建造的桁架桥梁, 1900 年代仍然是国家大桥的重要组成部分。由于它们的使用寿命相对较长, 基础设施中的关键位置以及最近出现的一些故障, 其中很多都是失败的运输机构已经寻求对其更好的了解行为。桁架桥传统上是因为它们设计简单, 适应能力强大跨度的长度, 以及相对易于施工。很多这些桥梁现在因其独特的外观而备受赞赏并对其所在社区具有历史价值。对于这些原因, 以及预算限制, 许多桁架桥梁今天仍在使用中, 因为它们中的许多是唯一的数英里长的河流。尽管事实上很多人已经达到了或超过了他们的设计寿命, 因而变得更加脆弱由于疲劳, 变质或超载而失败。

这些必须严格维护和监督桥梁, 以确保桥梁的安全安全继续使用。但是, 很多交通部门正在努力维持这些结构, 因为增加桥梁库存和有限的资金。结果是, 桁架桥的行为记录相对较少尽管它们在国家基础设施中发挥着至关重要的作用在承载额定值的桁架桥上的活载试验中, 许多桥梁

元素需要被监控以确定控制元件。一些研究人员得出结论, 桥梁所有者之间存在着共识, 即地板系统是控制权桁架桥的因素。这些研究人员还得出结论认为进行实时负载测试对于负载评估目的可以是一种有效的方法来确定是否应该在昂贵修理的情况下继续使用桥梁或更换。但是, 在桥上执行活载测试由于持续的交通流量和影响, 可能会很困难从关闭桥梁的地区进行扩展测试期。

通过执行活载测试来确保桁架桥的行为负载额定值足以提高负载极限。对于分别在马里兰州和印第安纳州通过桥梁的卡车来说。偶尔桥梁需要新的额定载荷在桥梁检查中发现的缺陷。情况就是如此, 对于 Lenett 等人, 他研究了 Ironton-Russell 桥, 其中有违反桥梁的修改焊接代码。由于违规, 检查组建议将允许的负载从 208.2-26.7 千牛。这会严重影响了这个区域经济, 因为河流数量有限。因此, 进行了量化的活荷载试验该桥的库存负荷等级为 239.3 kN。另外, 有限元模型已经成功实现由一些研究人员评估由于活荷载导致的桥梁行为。桁架桥也在拆除之前

进行了研究。Sanders 等人进行的研究就是这种情况。他曾在六座桁架桥梁上进行测试以更好地了解其原位桁架行为。贯通桁架桥的动载荷容差在拉曼等人研究拆除之前。基于他们的实验结果，研究人员得出结论认为，对桁条和地梁的评级影响因素为 10% 是适当的。他们又调查了纤维增强的使用聚合物桥面更换，发现它没有负面影响影响钢桁架，地梁或桁条。对于这项研究，由于热水河的活荷载的响应监测桥梁。这为学习提供了难得的机会。普拉特桁架设计，该设计贯穿始终美国。在活荷载试验期间，桥被监测配有 151 个应变仪和 8 个位移传感器。桥使用仪表和传感器记录的响应评估桥梁行为，量化动态活载响应，并验证有限元模型。经过验证的模型经常用于确定负载等级和分配系数并将作为未来比较的基准。比较了模型的额定载荷和分布因素 AASHTO 的设计规格计算。

### 1 实时负载测试

对于活载测试，确定并标记了五条卡车路径沿着桥的整个长度。每个加载路径都被标记从 Y1 到 Y5 从南到北。对于每个这些五条装载路线，一辆卡车沿着长度方向行驶从西到东的桥梁。从侧面步行到乘客车轮的距离为 600 毫米和 3.2 米分别用于载荷路径 Y1 和 Y2。剩下的路径弯曲应变：是从人行道边缘测量的驾驶员侧车轮的距离为 5.0 米（16 英尺 3 英寸），7.9 米（26 英尺）和 9.1 米。用于的卡车所有单卡车装载情况都是桥下装载（UBU）卡车总重量为 273×103 N。前桥车型为 69×103 N（15.5 kips），分布在两辆车之间轮距 2.1 米（7 英尺）。串联式后桥中间距离为 1.4 米（4 英尺 6 英寸），前桥为 5.1 米距离前后桥。后桥有一个双轮配置距离中心 1.8 米。每个后桥车厢的车速均为 102 kN，均匀分布在车轮上。第二辆卡车也是 UBU，总重量为 276 千牛，用于双卡车装载箱。这辆卡车也有一个由单个前桥组成的 3 轴配置和串联式后桥。轮胎和轴间距稍有不同从第一辆卡车。前轴承载 80 千牛的负载，车轮间隔 2.0 米。前方车轴距离前后轴 5.4 米。后方车轴间隔 1.4 米。后轮是后桥每个支撑 98 kN。对于伪静态单车载重案件，卡车是以每小时 8.0 公里的速度驱动加载路径。这辆卡车最初位于西端前桥的桥梁就在桥下。收购系统开始录音，卡车驶上桥当最后一根轴不再在桥时停止。一旦装载路径完成后，卡车返回到起点进行新的测试。每个负载路径测试都以几乎相同的速度执行两次以确保可重复性。除单卡车负载情况外，还有双卡车负载，利用装载路径 5 上的第一辆卡车和装载路径 3 上的第二辆卡车进行了案例。卡车启动同时并以相同的速度驱动。因为对桥梁影响较大，双卡车装载箱已完成三次。一旦伪静态的单车和双车负载情况已经完成，第一辆卡车随后驶过以 48km 的速度加载路径 2 以观察高速，动态效果。这个高速测试进行了两次。对于所有负载测试，桥梁没有环境交通。

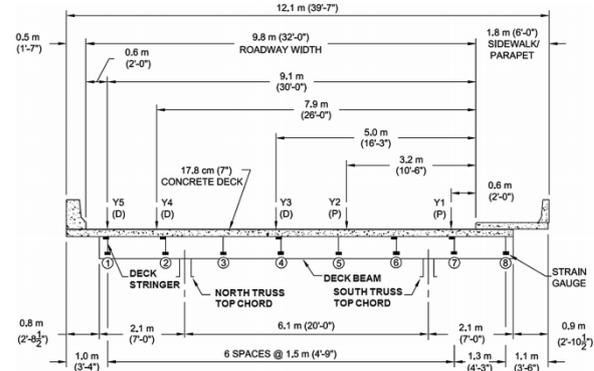


图 1 加载路径

### 2 检测结果

实时负载测试完成后，记录的变化应变和位移与它们各自的载荷情况相关和桥上的卡车位置。图 2 显示了测量的应变对于叉车 5 在货厢 5 沿着货运路径 Y5 行驶时的纵梁 2。测量结果表明，几乎没有影响纵队 2 当卡车在湾 5 以外的任何舱位[开始在 20.4 米（66 英尺 8 英寸）]。图 2 中的两个峰都是由图 2 引起的前桥和后桥的间距。第一个峰值与相关前桥位于海湾中央。正面之间的间距后轴大致等于舱间距；因此，如前桥离开了海湾，后轴进入了它。第二个高峰当后桥位于海湾中央时发生。有了以海湾为中心的载荷造成了最大的应变纵梁。这种行为表现出很小的旋转限制，并且是几乎简单地支持。结果，很少连续性是 mea 确保从海湾到海湾。桁条的横向载荷分布也被用来量化施加载荷的力矩分布。单卡车载荷工况下的载荷路径 Y5 在托架 2 中影响托架 5 和 12 中最大的应变幅度。负载路径放置在驾驶员侧前轮的稍微南侧纵梁 1 和乘客侧前轮近似地位于纵梁 2 和 3 之间。对于这种构造，纵梁 2 抵抗 5 号湾应变总变化的 44%。对于湾 5，纵梁 2 具有 135 微应变的最大应变而纵梁 1 和 3 上的测量仪在相同的载荷位置记录了大约 80 微微拉伸的变化。斯特林格 4 也测量了一些应变，最大幅度为 15 微米。5 至 8 号杆没有任何重要的测量，该负载路径测试期间的应变变化。湾 12 有类似的结果，几乎没有应变的变化同样的纵队位置和大部分的应纵队 2。桥面的南侧比北侧更硬因为人行道。人行道从高处升起道路，大约一半在桁条 7 之间而悬索桥的南侧有 8 个半悬臂。人行道几乎是甲板厚度的两倍混凝土，从而加剧了甲板的南侧。这个在单车载荷的测量中很明显负载路径 Y1 的情况。这条负载路径放置在乘客侧在桁条 7 略微向北的车轮和驾驶员侧车轮大约在桁条 5 和 6 之间居中对齐。如所期望那样，桁条 6 经历了 145 个微观应变的最高变化。这个略高于载荷路径 Y5 的最大应变。然而，它仅包含该负载的总应变的 37% 路径。弦 5, 7 和 8 的最大应变值分别为 87, 103, 和 38 个微观行为。Stringer 4 具有最大应变的纵梁 2 的测量和有限元影响线比较用于负载情况 56。实测和有限元纵向纵梁应变的比较载荷路径 Y5 本次测

试的 21 个微结构的值稍高对于相同的载荷情况，比较载荷路径 Y5 的载荷更大。斯金格 4 是与两种测试的负载大致相同的距离，所以预计会有类似的结果。结果，南边的人行道桥的一侧将施加的载荷分配给更多的成员单车载荷工况。Stringers 1, 2 和 3 有类似的结果（应变变化很小）到 Stringers 5 到 8 的负载路径 Y5 而菌株的影响图表明，只有当卡车在那个特定位置时，桁条才受到影响海湾，测量的桁架挠度显示出更全局的行为。显示了北桁架的位移影响线面板点 12. 对于这个数字，一辆卡车沿着载荷行驶路径 Y5. 影响线表明，当卡车位于第一或第三跨度时，测量向上位移在中心跨度。向下偏转时测量卡车在中间跨度。测量拐点主要垂直线（面板点 6 和 18）。最大的偏转，接近 0.6 厘米，是在卡车进入时测量的中心跨度。还编制了桁架构件应变的变化并与每个货箱和路径的货车位置相关联。该分析来自装有四个仪表的员的数据以确定双卡车负载的平面内弯曲和平面外弯曲案件。测得的轴强弱应变对于位于第 7 点的垂直桁架构件而言，发现较少测量超出平面外方向的微应变。但是，对于一些面内方向的测量应变成员近一半（约 30 微微拉斯在此情况）测得的轴应变。这显著的弯曲效果归因于大型扣板和数量用于创建桁架的成员连接的铆钉。相反，对于任何负载，假构件的测量轴应变（面板 3 的机器人弦）不大于 4 微应变案件，表明虚假成员的运作在静载试验完成后，进行了一次额外的载荷试验，其中第一辆卡车在 a 沿负载路径 Y2 高速。驾驶卡车的目的以更高的速度来研究移动的影响加载在仪器化的成员上。高速测量被绘制与静态结果相同的负载路径的地板纵梁，桁架构件应变和桁架位移。地板纵梁受动态载荷的影响最小。与静态菌株相比，动态载荷对菌株的影响小于 2%。相反，桁架会员经历过动态应变增加 11.5%，并且近似增加 10%的排量。图 3 显示了静态和动态的比较用于舱 6 中的顶弦构件的动态应变。另外，活载结果被用来验证甲板混凝土和桁条通过比较复合作用理论中性轴位置与测量结果。该平面应变仪数据来自单一和双重配置在桁架上用于这种比较，假设是飞机部分保持平面以定位原位中性轴。比较显示各种桁条的测量中性轴在理论复合中性轴位置的 5% 以内，验证混凝土和桁条的复合作用。

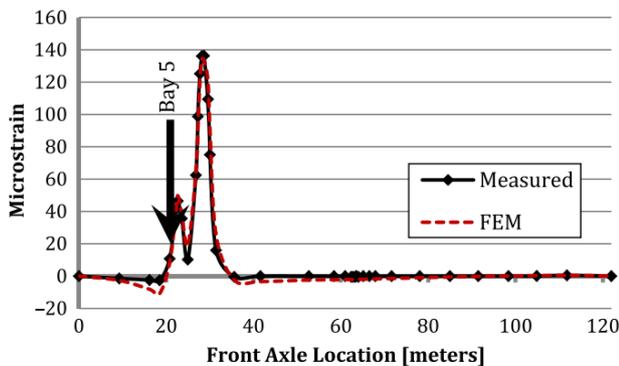


图 2 应变对于叉车 5 在货厢 5 纵梁 2

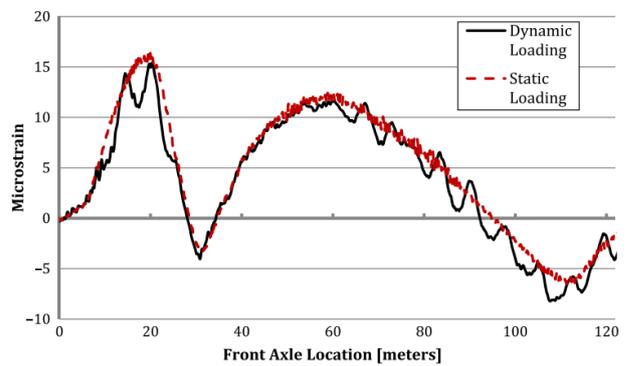


图 3 静态和动态的比较用于舱 6 中的顶弦构件的动态应变

### 3 结论

作为研究的一部分，以更好地理解桁架的整体行为桥梁和量化水壶河大桥的能力在各种梁上安装了 151 个应变仪，纵梁和桁架构件。此外，还有 8 个位移传感器战略性地安置在桁架上的各个面板点上。所有作为一辆或两辆卡车同时监测仪表沿预定的横向负载路径缓慢地驱动。另外，进行高速测试以评估动态粘性因子。测量的数据被用来验证有限元分析桥。该模型随后用于确定原位纵梁的分布系数。库存和经营使用 AASHTO LRFD 计算桥的额定值和有限元分布因子。测量的行为和分析得出以下结论：活载试验测得的应变在仪器化桁架构件的平面弯曲行为中表现出很大的变化。据认为，每个桁架构件末端的大节点板连接导致连接表现为 a 部分受限连接。测量的面内应变观察到与记录的轴应变的一半一样大在一些小组点上。非常少的平面外弯曲在桁架构件中观察到。底部假部件的开槽连接面板 3 的弦，其将悬吊桁架连接到桁架主桁架部分，按设计运行。少于 4 个微观行为是在虚假成员中测量的执行测试。动态载荷对地板纵梁的影响小于 2% 当一辆高速卡车驶过了桥梁。这与符合 30% 的效果显著不同 AASHTO LRFR 方法。然而，桁架应变和测量位移的幅度经历了平均增长，由于动态加载，约 11%。使用 AASHTO LRFD 计算的分配系数规格在所有情况下都比较保守。那些使用 FEM 获得的。单车道负载情况和多车道负载情况下控制的外部 and 内部大梁，分别。外梁分布系数为保守 17%，而内梁分布系数保守率为 44%。库存和运行负载额定值是使用计算得出的 AASHTO LRFR 方法和交流系数符合 AASHTO LRFD 规范和 FEM。

表 1 分配因子

Distribution factor	AASHTO value	FEM value
$DFM_{s,i}$	0.48	0.39
$DFM_{m,i}$	0.56	0.39
$DFM_{s,e}$	0.57	0.49
$DFM_{m,e}$	0.54	0.39

**表 2 AASHTO LRFR and FEM 载重率比较**

Load rating	AASHTO LRFR	AASHTO LRFR (FEM)
Inventory	1.73	2.03
Operating	2.25	2.64

**[参考文献]**

- [1] 刘迎春. 上承式拱桥结构形式变化综述[J]. 公路, 2012, 31(1): 97-102.
- [2] 赵作周. 支撑框架结构中支撑形式综述[J]. 工业建筑, 2011, 50(2): 252-258.
- [3] 阳晓静. 某新月拱桥抗震性能研究[J]. 四川建筑, 2013, (10): 1175-1178.
- [4] 胡东. 钢管混凝土提篮拱桥竖向转体施工控制[J]. 交通标准化, 2015, (5): 1264-1266.
- [5] 程柯. 实体单元有限元分析的应用实例[J]. 低温建筑技术, 2011, 34(5): 5180-5184.
- [6] 王运龙. 游船结构形式的变化及发展[J]. 中国舰船研究, 2011, (20): 6-9.
- [8] 刘杰. 系统设计的基本知识[J]. 美术学报, 2015, (9): 2156-2158.
- [9] 张荣文. 我国单线最大跨度钢管拱桥即将合拢[J]. 施工企业管理, 2011, 26(20): 16-19.
- [10] 喜来. 南京大胜关长江大桥[J]. 交通与运输, 2015, (4): 756-759.