

上海世博会英国馆外伸展触须的疲劳强度试验

韦 林¹⁾ 孙春芳 陈荣康

(同济大学力学实验中心, 上海 200092)

摘要 介绍上海世博会英国馆的外伸展亚克力杆件的疲劳强度试验和杆件固定支撑处的防水涂料疲劳试验, 通过试验方法和成果介绍, 可以将这些有益的经验与同仁分享和交流。

关键词 亚克力杆, 疲劳, 试验

2010 年上海世博会开馆后, 方圆 5.28 km² 的世博园内矗立着 200 多个各类展馆, 不仅吸引了 13 亿中国人的目光, 更引起了全世界的关注, 其中英国展馆“种子圣殿”外部生长有 6×10⁴ 余根向各个方向伸展的触须格外引人注目, 白天, 触须会像光纤那样传导光线来提供内部照明, 营造出现代感和震撼力兼具的空间; 夜间这些触须内置的光源可照亮整个建筑, 使其光彩夺目。这些随风飘荡的触须是用 6×10⁴ 根蕴含植物种子的透明亚克力杆组成的巨型“种子殿堂”。

风吹荡着亚克力触须杆时显然对杆的根部会产生弯曲的交变应力, 而交变应力对亚克力触须杆的根部将会产生疲劳强度的影响, 同时也会产生结构之间抗渗漏的疲劳破坏现象, 这是该工程设计方和施工单位极其关注的结构问题。在相关单位的委托下我们力学实验中心接受了对亚克力触须杆的根部疲劳强度实验与检测, 现将疲劳强度实验方法与检测结果分析给予交流。

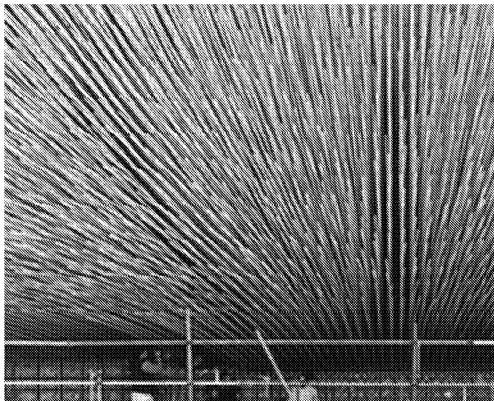


图 1 施工中的亚克力触须杆

1 亚克力触须杆的疲劳试验

亚克力触须杆是由 20×20 方型实心体组成, 再将杆体套在 25×25×2 的空心方型铝管内, 然后根部是固定在一木制套筒结构内, 在木结构外侧有数万根长 7 m 杆件相排列, 为验证亚克力杆件在风载荷作用下的疲劳性能, 我们制订以下的试验方案。

本文于 2010-05-25 收到。

1) 韦林, 男, 1953 年生, 教授, 主要研究方向为力学教学、实验力学与计算力学研究工作。 E-mail: weilin@tongji.edu.cn

1.1 试样和试验机

试样由 5 根测试杆件和木结构组成, 杆件由 20×20 亚克力杆与 25×25×2 铝管组成, 并排列固定于 500×500 方筒的 22.5×2 的胶合板上 (见图 3)。将试样安置在疲劳试验机的一侧, 通过 INSTRON 8800 电液伺服疲劳试验机, 以试验频率 1.0 Hz、正弦试验波形的控制位移幅度方式加载。按委托单位要求加载的标准亚克力试件杆外伸长度为 500 mm。

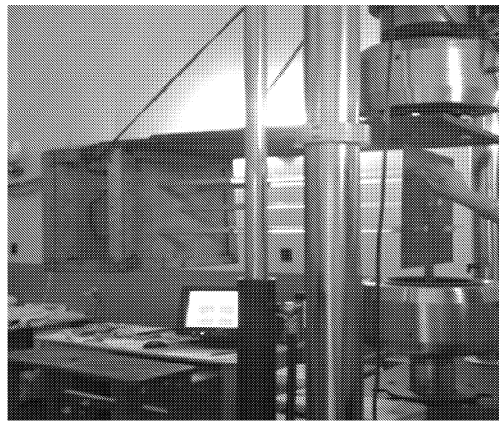


图 2 试样和试验装置

1.2 试验目的与试验要求

整个试验必须验证亚克力杆件在风载荷作用下的疲劳性能。在与委托单位商定后, 将整个试验分成亚克力杆件长度在 1550 mm 和 1600 mm 两种工况的疲劳验证性试验, 首先按照上海地区 50 年一遇的风载荷设计要求^[1], 通过计算和实验对比, 确定对标准亚克力试件杆的自由端施加 0~33 mm 正弦波峰值的位移波^[2], 这相等于亚克力杆件长度在 1550 mm 时 50 年一遇的风载荷作用。同样在施加 0~35 mm 正弦波峰值的位移时相等于亚克力杆件长度在 1600 mm 处风载荷作用, 整个加载的循环次数应满足 1.4×10^5 次, 通过试验来分析亚克力杆件在风载荷作用的疲劳破坏特性。

1.3 试验步骤

(1) 设计、加工和安装杆件与试验机连接的上夹具、下夹具;

(2) 设计、加工和安装木箱与试验机连接, 标准的试杆由 5 根悬臂长度 500 mm 的亚克力杆组成;

(3) 先将上夹具与试验机上夹头夹紧, 再将下夹具与试验机下夹头夹紧。由疲劳试验机作动筒上下运动通过下夹头带动下夹具做上下运动来实现正弦波位移试验;

(4) 在标准的试杆自由端施加 0~33 mm 正弦波峰值的位移波, 整个加载的循环次数应满足 1.4×10^5 次. 这相当于长度 1550 mm 的亚克力杆件在 50 年一遇的风载荷作用;

(5) 最后在标准的试杆自由端施加 0~35 mm 正弦波峰值的位移波, 此时对应长度 1600 mm 亚克力杆件承受着 50 年一遇的风载荷作用, 通过循环 1.4×10^5 次位移后, 考察亚克力杆件疲劳破坏状况.

1.4 疲劳试验结果与分析

在第 1 个加载工况的 0~33 mm 正弦波峰值位移验证试验中, 5 根亚克力试验杆件均没有发生破坏性的状况, 而其中有 1 根有细小裂纹. 即基本能满足对应长度 1550 mm 亚克力杆件承受的风载荷的疲劳要求. 但在第 2 个加载工况中, 在 0~35 mm 正弦波峰值的位移验证试验时, 4 根亚克力试验杆件在不同的循环次数时均发生断裂的破坏 (见图 3), 而另外一根试杆在循环 1.4×10^5 次位移才发生裂纹的状况. 具体可见表 1.

通过疲劳的试验, 建议有关部门采用长度不大于 1550 mm 的亚克力杆作为英国“种子殿堂”展馆的触须杆. 当然在试验中使用了上海地区的 50 年一遇的风载荷极限值作为正弦波峰值的位移值, 这还是偏于安全的.

表 1

杆号	位移 /mm	循环次数 /(10^4)	破坏特征	破坏部位
1	0~33	14.0	完好	-
2	0~33	14.0	完好	-
3	0~33	14.0	完好	-
4	0~33	14.0	完好	-
5	0~33	14.0	裂纹	与铝管相连处
1	0~35	5.0	断裂	与铝管相连处
2	0~35	5.5	断裂	与铝管相连处
3	0~35	8.2	断裂	与铝管相连处
4	0~35	10.2	断裂	与铝管相连处
5	0~35	14.0	裂纹	与铝管相连处

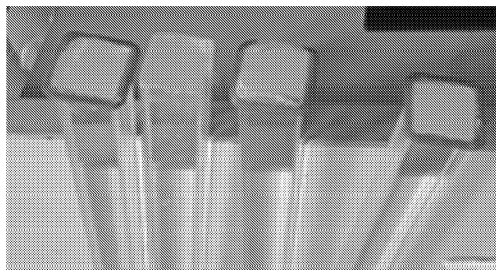


图 3 位移 0~35 mm 疲劳试验后断裂试样

2 亚克力触须杆根部的支撑结构疲劳试验

上海世博会英国馆外墙 6×10^4 根随风飘荡的透明亚克力杆触须是相似采集天地精华的一朵“蒲公英”. 这些随风飘荡的亚克力杆的根部与木筒支撑结构之间不单存在疲劳强度问题, 还必定存在着抗渗漏的疲劳问题, 这是设计单位需要

解决的课题. 同样受委托后我们实验中心进行了该项目的杆件与木结构连接处的疲劳强度与抗渗漏疲劳检测试验.

2.1 试样和试验机

试样由 5 根测试标准杆件和木筒结构组成, 杆件由 20×20 方型实心亚克力杆, 25×25×2 铝管和 30×30×2 铝管组成, 并固定于 500×500 筒体的 22.5×2 的胶合板上. 杆件的固定方式有: 2 根上下两端机械固定, 2 根只有下端有机械固定, 1 根没有任何机械固定. 木板外表面复层涂刷的是委托单位提供的深灰色防水涂料. 每个杆件与木板均有橡胶套进行固定. 见图 4. 将试样安置在疲劳试验机的一侧, 通过 INSTRON8800 电液伺服疲劳试验机, 以试验频率: 1.0 Hz, 正弦试验波形的控制位移幅度方式加载.

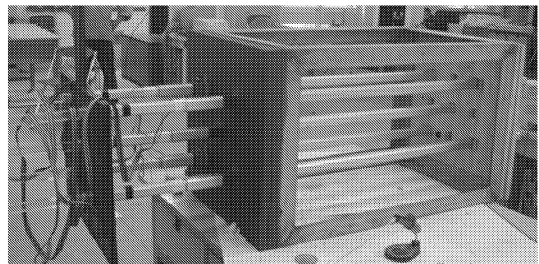


图 4 试样的结构

2.2 试验目的与试验要求

为验证亚克力杆根部与木筒支撑部份在风载荷作用下的防水涂料疲劳性能, 根据委托单位的要求, 通过对测试标准杆件的自由端加载, 使杆件铝管根部的应力由 0 到 58 MPa 变化, 循环 20×10^4 次后要求杆件与支撑结构之间不破坏, 并观察防水涂料疲劳的状况性能. 对此我们制订以下的试验方案.

2.3 试验步骤

(1) 粘贴应变片: 对 5 根测试标准杆都在距木箱 60 mm 处上下两面都粘贴应变片并组成半桥, 见图 5;

(2) 设计、加工和安装杆件与试验机连接的上夹具、下夹具. 见图 6;

(3) 先将上夹具与试验机上夹头夹紧, 再将 5 根测试标准杆用螺栓与上夹具连接, 将下夹具与试验机下夹头夹紧. 由试验机作动筒上下运动通过下夹头带动下夹具上下运动来实现试验.

(4) 确定作动筒运动行程

由于下夹具距支撑木筒距离为 360 mm, 应变片距木筒距离 60 mm, 因此测到应变片处应力为 48.3 MPa 时, 根据计算可得: 铝管与木箱连接处根部的应力应为 58 MPa. 这时取铝弹性模量为 70 GPa, 则对应的应变仪读数为 1380×10^{-6} ;

当加载的作动筒处于初始位置时, 将应变仪调零, 作动筒上移至应变仪读数都大于等于 1380×10^{-6} 时, 可记录作

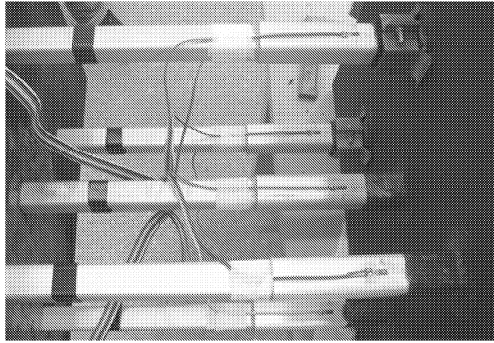


图 5 测试标准杆的粘贴应变片

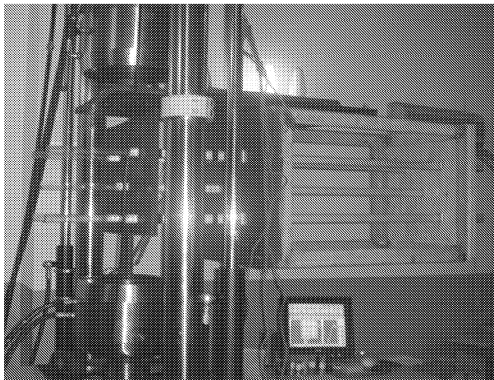


图 6 加载的机架与试件

动筒位移为 17.8 mm, 此时 5 根测试标准杆件中测得最大应变为 1420×10^{-6} 与测得最小应变值相差不到 3%, 这是较精确的加载方式;

(5) 按照 17.8 mm 的位移幅度, 对测试标准杆件的自由端加载循环 20×10^4 次, 然后观察防水涂料疲劳的状况.

2.4 防水涂料疲劳试验结果与分析

在 20×10^4 次疲劳循环加载后, 观察测试标准杆件与木结构支撑处无结构破坏. 但在杆件根部与木筒支撑部份外涂的灰色防水涂料有明显裂纹, 故防水层功能已部分破坏. 通过检测试验后建议在亚克力杆根部与支撑木筒之间除防水涂料的多层防护之外, 还应增加橡胶囊套防水阻隔.

3 结束语

模拟风载荷力作用在结构上, 可以按照随机幅疲劳加载的多级加载试验方式^[3], 但这对加载的试验机与风载荷谱获取有一定的要求, 本文疲劳试验加载的正弦波峰值是按照最大设计风载值确定, 这虽然使疲劳试验载荷偏大, 但在工程中是认为偏安全的, 所以在解决工程实际问题也是一种能接受的方法.

参 考 文 献

- 1 建筑结构荷载规范. GB 50009-2001, 2002-01-10
- 2 曾春华等. 疲劳分析及应用. 北京: 国防工业出版社, 1991
- 3 韦林. 高耸结构在风载荷下的疲劳寿命控制分析. 重庆: 重庆大学出版社, 1995.10

斗拱的力学性能及其蕴含在中国馆中的民族象征

李建军¹⁾ 刘艳春

(陕西科技大学机电学院, 西安 710021)

摘要 通过对斗拱的历史演变、力学性能的描述, 概括出斗拱不仅有着与建筑如影随形的兴衰史, 而且蕴含着中国精神生活的一个侧面. 时至今日, 斗拱的力学功能虽然有所衰弱, 但上海世博会上的中国馆, 这个外形巨大的红色斗拱以它的标志性、力学美感向世界展示了中国建筑悠久的历史沉积、丰富的文化内涵, 更重要的是向世界展示了中国人民的自信心和民族自豪感. 从而揭示出斗拱蕴含在中国馆中的民族性和审美趣味.

关键词 斗拱, 世博会, 中国馆, 力学, 民族象征

引 言

1851 年英国世界博览会为伦敦留下了精美的水晶宫; 1889 年法国世博会为巴黎留下了标志性的埃菲尔铁塔; 1958 年比利时世博会为布鲁塞尔留下了造型独特的原子球

馆……2010 年上海世博会, 将在黄浦江畔的世博园里, 为世人留下一座什么样的中国建筑? 现在谜底揭晓了, 这就是我们的中国馆(见图 1). 一个巨大的红色斗拱将拔地而起,

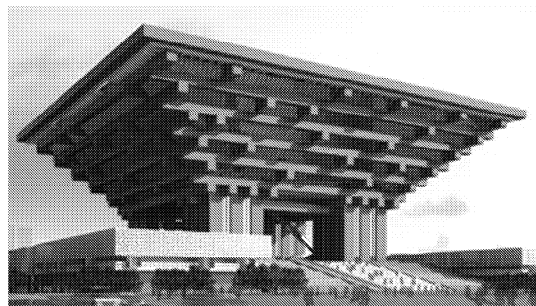


图 1 中国馆模型

2010-04-20 收到第 1 稿, 2010-05-13 收到修改稿.

1) 李建军, 男, 1976 年生, 讲师, 硕士研究生, 主要从事力学教学及材料加工研究. E-mail: lijianjun@sust.edu.cn