基于混凝土浇筑中模板斜拉杆受力分析

□ 吕 爽 赵中奇 谭旭东 卢嘉轩 黄 焕

[摘 要] 针对贵州省某大桥墩柱施工过程中，采用悬臂爬升钢木组合模板施工工艺，对钢木模板阳角处斜拉杆的受力变形进行分析，判断在施工过程中斜拉杆变形是否符合规范要求，并利用有限元软件对斜拉杆受力进行模拟计算。通过对混凝浇筑施工中斜拉杆的微应变变化量进行实时监测，整理数据得出斜拉杆微应变变化曲线。结果表明：采用D20普通Q235钢斜拉杆在混凝土有效压头附近变形最大，最大微应变变化量为217.82με，对应最大拉应力为45.72MPa，最大受力变形均在斜拉杆屈服强度允许范围内，可以保障施工结构安全。说明D20普通Q235钢斜拉杆在钢木模板施工中是可行的，为此类工程作参考。

[关键词] 混凝土；钢木模板；斜拉杆；微应变；数值模拟；应力

1 引言

在大体积混凝土施工过程中，模板工程至关重要，占混凝土工程成本的40%左右。模板体系往往影响着施工质量、速度和成本。同时模板的制作与安装质量，对于保证混凝土结构与构件的外观平整和几何尺寸的准确，以及结构的强度和刚度等起着重要的作用。模板工程施工也是关乎整个施工安全的重中之重，保证模板结构完整性是近年来模板设计、施工中的重点[1-2]。目前，钢木组合模板在桥梁、高速公路等高墩施工中较为常见，其主要优点为：

（1）施工简单、方便，速度快，可提高工效15%～20%；

（2）钢木模板自重轻、周转重复使用率高；

（3）采用现场拼装，免去山路颠簸造成的模板损坏；

（4）角部钢模板衔接，保护结构整体稳定。

在混凝土浇筑过程中，钢木模板所承受的力包括模板侧压力、浇筑混凝土时的冲击力、振捣时的振捣力及混凝土水化热所产生的温度应力。而这些力的合力应小于模板的屈服应力，并应有一些盈余，否则模板会产生较大的变形甚至发生爆模[3-5]。为避免此类安全事故的发生，钢木模板中型钢背楞及阳角处钢模板在保证整体模板结构的刚度、强度上起到重要作用。目前学者对中型钢背楞研究较多，对于阳角处钢模板，特别是衔接钢模板与钢木模板之间的斜拉杆受力研究较少，特别是对于斜拉杆的材料、强度没有具体说明，也没有相关规范标准，仅是施工单位结合实际施工情况进行临时组装，这样不但会导致浇筑成型后的结构棱角处不美观、不平整，还不能保障施工过程中的安全性及结构使用的耐久性。

本文结合贵州省某大桥薄壁空心墩墩身施工中，钢木模板结构阳角处斜拉杆在混凝土浇筑到拆模之间的受力变形情况，进行现场检测并对测试结果分析，得出在此类工程中采用普通Q235钢斜拉杆的可行性，为此类工程模板设计及施工提供数据参考。

2 工程概况

贵州省某在建大桥薄壁空心墩，墩身尺寸6.5m×3.0m，选用悬臂爬升钢木模板进行施工，模板在现场拼装完成。混凝土墩柱阳角处采用刚度较大、变形小的钢模板，钢模板的受力是整体结构形状完整、美观的重要保障。为保障钢木模板与阳角处钢模板融为一体，采用D20普通Q235钢斜拉杆将钢模板与左右两侧钢木模板固定，既可以保证施工安全，还可以使浇筑完成的墩柱棱角分明，美观整洁。斜拉杆示意图如图1所示。

为使钢木组合模板在混凝土浇筑过程中不发生漏浆现象，模板阳角处的设计十分重要，钢木模板阳角处采用钢模板，并用斜拉高强螺杆固定。在施工过程中阳角处斜拉杆的受力变形，直接影响阳角处钢模板及两侧模板整体受力情况。因此，在施工过程中对于模板阳角处斜拉高强螺杆的应变测试是判断模板变形的重要依据[6-7]。

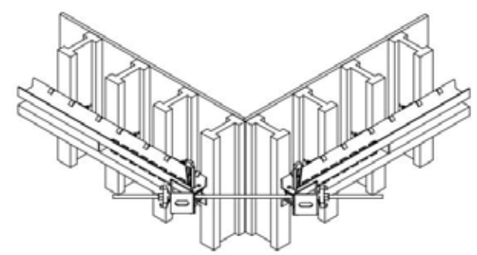

图1 阳角处斜拉杆示意图

3 测点布置

测试开始时间2019年9月20日15时25分，测试完毕时间为2019年9月21日7时04分，共进行16.5h。混凝土在浇筑开始6h左右达到初凝，有效压头高度在1.5m～2.5m。

由于墩身结构为“回”字形结构，故仅对1/4阳角进行测试分析，沿墩身高度方向阳角处钢模板共布置4根斜拉钢杆，分别距离钢模板底部0.3m、1.5m、2.7m、4.05m处，最大间距1350mm，与钢木模板型钢背楞保持一致高度。斜拉杆两端采用安全扣固定在钢木模板型钢背楞上，混凝土浇筑前，在斜拉杆中间部位安装电阻式应变计进行非接触测试，直接利用笔记本电脑进行自动采集数据，观察斜拉杆在混凝土浇筑到终凝整个施工过程中微应变变化情况[8-10]。图2所示为阳角处斜拉杆测点位置。

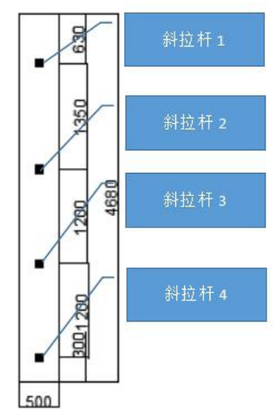

图2 阳角处钢模板斜拉杆位置图

4 测试结果及分析

从混凝土浇筑一开始既进行测试，应变计每秒计 20 个变化数据，记录结构精准。每30min取36000组数据整理得出平均值进行曲线绘制，减小误差。如图3为模板阳角处不同高度斜拉螺杆随测试时间的微应变变化情况。

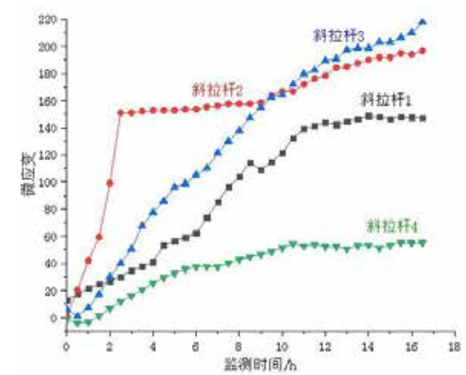

图3 阳角处斜拉杆应变变化曲线图

从图3中可以看出，距离模板顶端最近的斜拉杆1在混凝土浇筑阶段始终受拉，在测试0h～6h之间由于混凝土浇筑对钢木模板产生侧压力，导致模板发生微小变形，斜拉杆此时起到约束模板变形的作用，持续受拉，微应变发生变化。测试开始6h～12h期间，由于混凝土水化放热导致混凝土内部体积膨胀，增大对钢木模板的侧压力作用，斜拉杆变形增大，微应变变化斜率相比浇筑阶段有所增加。12h～16h混凝土已由“液态”转化为“固态”，侧压力不再发生剧烈变化，基本保持稳定，最大微应变在测试开始14h左右达到，最大值为148.74με，对应最大应力值为31.24MPa。

斜拉杆2距离模板上端2m处，在混凝土浇筑、凝结硬化过程中始终受拉，测试开始0h～2h斜拉杆变形迅速增大，主要是由于在2h时斜拉杆2附近对混凝土进行间歇性振捣，导致应变仪微应变变化量发生跳跃性增加，振捣结束数据趋于平缓，最大拉应变同样在测试开始14h左右达到，最大拉应变为196.54με，对应最大拉应力为41.27MPa，是斜拉杆1所受拉应力的1.32倍。

斜拉杆3位于距离模板上端3.2m、下端1.5m处，此位置为混凝土浇筑产生侧压力的有效压头高度位置，所受模板侧压力最大，斜拉杆3起到约束作用相对较大。通过现场测试数据中可以得出，在混凝土浇筑一开始，斜拉杆微应变呈线性急剧增加，最大值在混凝土终凝后

[作者简介] 吕 爽，沈阳工业大学建筑与土木工程学院，硕士研究生。
赵中奇，沈阳工业大学建筑与土木工程学院，硕士研究生。
谭旭东，中交四公局第九工程有限公司，工程师。
卢嘉轩，沈阳工业大学建筑与土木工程学院，硕士研究生。
黄 焕，中交四公局第九工程有限公司，助理工程师。

达到，斜拉杆3所受最大拉应变为217.82με，对应最大拉应力为45.72MPa，是斜拉杆1受力的1.46倍，斜拉杆2受力的1.11倍，变形增大10.8%～46.4%。

斜拉杆4位于距离模板下端0.3m处，浇筑首节，斜拉杆靠近实心墩，其余节段靠近已浇筑完成的混凝土结构，故模板受力变形较小。此处斜拉杆位于模板最下端，混凝土最先浇筑完成，斜拉杆受力远远小于上面三根斜拉杆，最大拉应变在测试开始10h～12h达到，微应变变化量为55.18με，对应拉应力为11.59MPa，仅是有效压头高度处斜拉杆3应力值的25.3%。

以上测试数据结果分析说明，钢木模板阳角处钢模板采用D20普通Q235钢斜拉杆在整个模板体系中处于重要位置，在混凝土浇筑至凝结硬化整个过程中一直受拉应力作用。经数据分析得出斜拉杆3发生微应变变化量最大，最大拉应变变化量出现在有效压头高度附近，对于最大拉应力为45.72MPa，小于Q235钢材屈服应力235MPa，安全系数为5，结构安全。

5 数值模拟计算及结果分析

结合现场施工测试结果利用有限元软件ABAQUS对变形最大斜拉杆3进行数值模拟计算，计算斜拉杆的受力情况。如图4 所示为斜拉杆3应力变化。

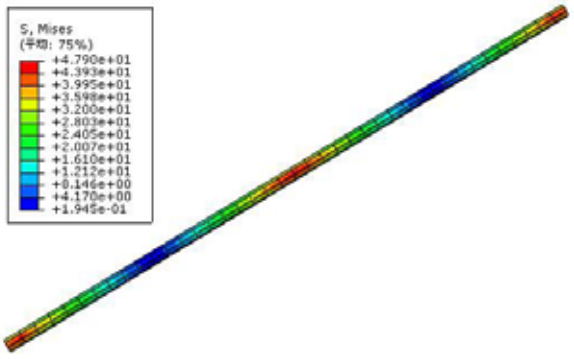

图4 应力变化数值模拟结果

数值模拟计算可发现在斜拉杆施工中，杆件中部受力最大，最大应力为47.9MPa，其次斜拉钢杆两端由于固定扣固定杆件与模板之间作用，应力可达到43.92MPa。

数值模拟计算结果与现场测试结果对比分析，二者相差4.7%，误差率小于5% ，误差在允许范围内，证明了该模型的合理性。说明 ABAQUS 有限元软件模拟结构受力是可行的，在工程实际中可以运用该软件进行预测结构隐在风险。

6 结论

本文通过对某在建大桥薄壁空心墩钢木组合模板阳角处钢模板斜拉杆在混凝土浇筑凝结过程中应变变化测试结果分析，得出以下3点结论。

（1）阳角处钢模板斜拉杆采用D20普通Q235钢在施工过程中应变变化满足规范要求，施工安全。

（2）阳角处钢模板斜拉杆受力变形在1.5m处最大，最大拉应力出现在有效压头高度附近，最大拉应力为45.72MPa。

（3）数值模拟计算得出斜拉杆最大受力位于中间，最大应力为47.9MPa，相对实测值大4.7%，满足规范要求。

[参考文献]

[1]岳英龙,李剑慧,鞠洪海,等.箱梁圆弧外倒角钢木模板组合施工工法[J].烟台职业学院学报,2020,26(3):81−85.

[2]何浩轩.新型钢框胶合板模板的技术开发与应用[J].建筑施工,2013,35(6):496−497.

[3]黄凯,田凯,张文博,等.钢木组合模板设计与施工[J].天津建设科技,2016,26(5):26−28.

[4]王晓伟,苏楠,杨虎,等.钢木模板拼接节点施工技术研究与应用[J].陕西建筑,2016(5):23−25.

[5]贾斌,吴体,魏明宇,等.新型自承式钢筋桁架楼承板体系施工阶段力学性能研究[J].建筑钢结构进展,2019,21(2):56−63.

[6]曹月贵,吕爽,谭旭东,等.薄壁空心墩柱钢木组合模板施工变形测试分析[J].建筑结构,2020,50(S2):888−892.

[7]施圣贤,侯觐,张俊康,等.拉杆式悬挑工字钢承力体系的研发与应用[J].建筑施工,2019,41(12):2172−2175.

[8]赵海涛,吴亚平,杨枚,等.模板对框架桥施工中温度场及应力场影响分析[J].兰州工业学院学报,2019,26(5):1−5.

[9]孔亚陶,于家驹,邢亮,等.大型悬挑钢结构的可调拉杆施工技术[J].建筑施工,2019,41(9):1679−1680+1684.

[10]孙犁坷.浅谈拉杆式型钢悬挑钢管脚手架施工技术[J].四川建筑,2020,40(5):274−275+279.