

三维激光扫描技术在工业遗存塔吊结构检测中的应用研究 ——以北票码头塔吊为例

王怀清

中冶检测认证(上海)有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i2.7746

[摘要] 本文以北票码头塔吊为对象,结合三维激光扫描技术,具体探究三维激光扫描技术在工业遗存塔吊结构检测中的应用。北票码头塔吊位于上海市徐汇区东安路与龙腾大道交叉口东侧,共1台,原设计为港口门座式起重机,目前作为工业遗存景观,供参观、观赏,不再作为起重机使用,不上人。该台塔吊建造年代久远,原设计、制造、安装施工等相关资料均遗失。为了解塔吊结构的安全性,需对塔吊结构进行检测,出具检测咨询报告,为后续使用、维护提供技术依据。

[关键词] 三维激光扫描技术;工业遗存塔吊结构检测;北票码头塔吊

Research on the Application of 3D Laser Scanning Technology in the Structural Inspection of Industrial Remnants Tower Cranes: A Case Study of Beipiao Wharf Tower Cranes

Wang Huaiqing

MCC Testing certification (Shanghai) Co., LTD.

[Abstract] In this paper, the tower crane, combined with three-dimensional laser scanning technology, specifically explore the application of three-dimensional laser scanning technology in the structure detection of industrial heritage tower crane. Beipiao wharf tower crane is located in the east of the intersection of Dong'an Road and Longteng Avenue, Xuhui District, Shanghai, with a total of 1. It was originally designed as a port gate type crane, which is currently used as an industrial heritage landscape for visiting and viewing, and no longer used as a crane. The tower crane was built for a long time, and the original design, manufacturing, installation and construction and other related materials are lost. In order to understand the safety of the tower crane structure, it is necessary to test the tower crane structure and issue a testing consultation report to provide technical basis for subsequent use and maintenance.

[Key words] 3D laser scanning technology; structure detection of industrial heritage tower crane; tower crane of Beipiao wharf

三维激光扫描技术属于一项重要的新兴科学技术,它能够快速获取存在于大空间中的三维空间数据,数据获取速度快、便捷且精度较高,能够连续自动获取数据信息内容。在数据集聚到一定量以后,就能形成完整的三维点数据,也被称之为“点云”。三维激光扫描技术具有快捷性、非接触性、实时性、主动性、采样率等等特点优势,这主要是因为该技术中有高精度且高速的激光测距系统、数码相机等等。就其工作原理来看,它主要通过传动装置来形成扫描运动过程,主要能够实现物体的全方位扫描,在快速获取目标物表面点云数据基础上形成一套完整的三维激光扫描技术工作流程,其中包括了外业准备操作。现场控制测量勘查、测站布设、扫描作业、点云数据预处理分析、拼接切割、立面图纸CAD绘制、最后输出数据结果。在三维激光扫描技术中需要采集大量外业数据,再通过点云绘制CAD图,最后所形成的扫描图为1:1比例成图,成图单位为毫米(mm)。在工业遗存塔吊结构检测中,三维激光扫描技

术也有着重要的应用。

一、案例简介

本案例为上海市徐汇区北票码头塔吊,共1台。

(一) 主要内容

1. 塔吊使用情况及后续装饰方案、荷载情况调查。
2. 塔吊结构布置图测绘。
3. 损伤状况的检测。
4. 钢构件材料强度检测。
5. 主横梁挠度变形测量。
6. 塔吊结构承载力验算分析。

(二) 标准及依据

1. 国家标准《工程结构通用规范》(GB55001-2021)
2. 国家标准《建筑结构检测技术标准》(GB/T50344-2019)
3. 国家标准《建筑结构荷载规范》(GB50009-2012)
4. 国家标准《钢结构现场检测技术标准》(GB/T50621-2010)

5. 国家标准《工程测量标准》(GB50026-2020)
6. 国家标准《钢结构设计标准》(GB50017-2017)
7. 国家标准《港口门座起重机》(GB/T17495-2009)
8. 其他有关的标准、规范
9. 现场调查、检测结果

台钢板、机器房楼面钢板均有锈蚀、机器房顶板渗漏。具体损伤情况见表 1。

二、项目概况

本次检测的塔吊为一台港口门座式起重机，坐落于徐汇滨江绿地步道上，面向黄浦江，为工业遗存景观，供参观、观赏，不上人。塔吊外轮廓尺寸约为宽 3.3m×长 32.4m×高 45.7m，左侧设有钢楼梯。塔吊采用钢结构，主要结构构件采用箱型截面，部分平台横梁采用工字形截面。塔吊主要通过四条支腿支撑，支腿底部为轮组，原设计可沿江岸移动。四条支腿之间，在标高 5.38m、标高 10.30m 处分别设有钢平台，21.46m 标高处为主横梁，主横梁上方设有机器房、钢平台等。主横梁前方为大吊臂，大吊臂下方铰接连接在主结构上。现场检测时塔吊放置在江岸的轨道上，大吊臂为收起状态，吊臂上的抓斗、缆绳等均已拆除，机器房空置，底部轮组已经与地面固定，无法沿轨道滚动滑行，整个塔吊禁止进入、攀登。

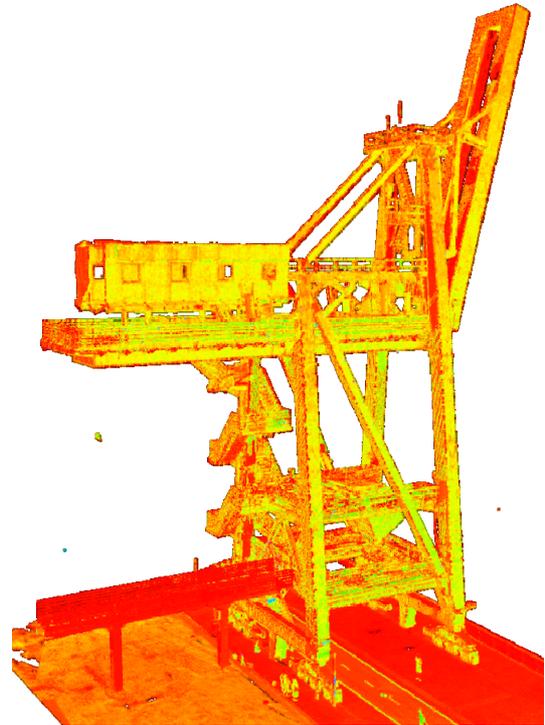


图 5-1 三维激光扫描点云模型

三、现场检测情况

现场对塔吊使用情况进行了调查，对塔吊结构布置、结构构件进行了测绘，对塔吊主结构完损状况、主要结构构件材料强度、主横梁的挠度变形等进行了检查和测试。

(一) 结构测绘

现场采用手持式激光测距仪、钢卷尺、全站仪、三维激光扫描仪对塔吊结构的主要轴线间距、节点坐标、结构布置情况进行测绘，采用游标卡尺、超声波测厚仪、钢卷尺对结构构件截面尺寸进行测绘。三维激光扫描点云模型截图如图 5-1 所示，测绘结果见附录二结构测绘图。

(二) 现场完损检测

现场对塔吊主体结构的完损情况进行了检测，总体情况是：主体结构构件未见明显影响承载的损伤和变形，各部位连接节点总体情况良好，焊缝饱满，螺栓齐全完好，主要损伤为构件表面局部油漆剥落，支腿构件表面局部有凹陷变形；钢平

(三) 钢材强度测试

现场采用里氏硬度计测试钢构件表面硬度，依据国家标准《建筑结构检测技术标准》(GB/T 50344-2019)附录 N 进行硬度-强度测算，根据钢材硬度与强度之间的关系来获得钢材强度。钢材抗拉强度测试结果见表 2。

表 1 损伤汇总表

序号	损伤描述	照片编号
1	支腿下端横梁局部油漆剥落	照片 16
2	左前方支腿 upper 段局部油漆剥落，支腿表面局部有凹陷	照片 17
3	左后方支腿中段局部油漆剥落	照片 18
4	钢平台花纹钢板锈蚀	照片 19
5	机器房顶钢板渗漏、锈蚀	照片 20
6	机器房楼面钢板锈蚀	照片 21

表 2 钢材抗拉强度测试结果

序号	构件	测区	里氏硬度 (HL)		单构件抗拉强度 (MPa)		所有构件特征值平均值 (MPa)
			平均值	修正后平均值	推定值	特征值	
1	左后支腿	1	409	398	473	398	392
		2	405	394			
		3	400	389			
2	右后支腿	1	392	381	464	389	
		2	404	393			
		3	396	385			
3	左前支腿	1	404	393	463	388	
		2	391	380			
		3	395	384			

4	左后支腿	1	404	393	467	392
		2	404	393		
		3	391	380		
5	支腿底部横梁	1	395	384	469	394
		2	403	392		
		3	405	394		

测试结果表明:

(1) 各受检构件的单构件抗拉强度推定值在 463MPa~473MPa 之间, 均满足 Q235 号钢材强度 (370MPa~500MPa) 的性能要求;

(2) 各构件钢材抗拉强度特征值接近, 可视为同等强度等级;

(3) 所有构件钢材抗拉强度特征值的平均值为 392MPa, 满足 Q235 号钢材强度 (370MPa~500MPa) 的性能要求。

综上, 可判别该检验批构件的钢材强度等级为 Q235。

(四) 主横梁挠度测量

现场采用全站仪对塔吊主横梁挠度变形进行测量, 测量位置为横梁底面, 测量结果包括龙门吊横梁的实际挠度、设计上挠值和施工、测量误差影响。测量结果表明:

受弯构件跨度 L 为悬挑长度 12.5m 的 2 倍, 即 25m, 实测左侧、右侧两横梁悬挑端挠度分别为 31.5mm、35.0mm (挠度值以向下为正, 向上为负), 相当于 $L/793$ 、 $L/714$, 小于 $L/500$, 满足《钢结构设计标准》(GB 50017-2017) 的要求。

四、结构分析验算

(一) 结构计算条件

1. 荷载取值

结构自重由程序自动计算。

风荷载: 参考《建筑结构荷载规范》(GB 50009-2012) 第 8 章、《化工工程管架、管墩设计规范》(GB 51019-2014) 第 4.4 节中关于风荷载的相关规定, 上海地区基本风压为 0.55kN/m^2 , 地面粗糙度 A 类, 各杆件的风荷载体形系数取 +1.3。按照规范计算出不同高度处的风荷载标准值, 根据各构件迎风面宽度计算出线荷载, 施加在主体结构的各个构件上。

2. 材料强度

钢材强度取 Q235。

3. 地震作用

不考虑地震作用。

4. 计算模型

根据现场检测结果, 对塔吊结构进行结构建模分析验算。模型中对部分次级构件、附属结构进行了简化处理: 主要将主横梁上的机器房、钢平台按照折算的恒荷载、风荷载施加在主横梁上, 将大吊臂拉杆进行了简化处理。

(二) 结构抗倾覆验算结果

经验算, 在 1.0 恒荷载+1.0 风荷载标准组合作用下, 四处支座的 Z 向支座反力均为正值, 表明结构支座底部未出现零应力区, 塔吊抗倾覆能力满足要求。具体验算结果见附录三。

(三) 结构承载力、变形分析验算结果

经验算, 塔吊杆件最大应力比为 0.816, 满足; 主横梁悬挑端竖向变形为 $42.074\text{mm}=L/594$, 钢平台钢梁最大挠度为 $3.89\text{mm}=L/2648$, 满足规范要求。具体验算结果见附录三。

五、结论

通过对徐汇滨江塔吊进行现场检测、承载力分析验算, 得到如下结论:

(1) 本次检测的塔吊为一台港口门座式起重机, 尺寸约为宽 3.3m×长 32.4m×高 45.7m, 主要结构构件采用箱型截面, 部分横梁采用工字形截面, 吊臂上的抓斗、缆绳等均已拆除, 机器房空置。

(2) 完损检测结果表明, 塔吊主要损伤为构件表面局部油漆剥落, 支腿表面局部凹陷、钢板局部锈蚀、机器房顶板渗漏等。

(3) 材料强度测试结果表明, 检验批构件的钢材强度可判别为 Q235。

(4) 主横梁挠度测量结果表明, 实测左、右两横梁悬挑端挠度分别为 31.5mm、35.0mm (挠度值以向下为正, 向上为负), 相当于 $L/793$ 、 $L/714$, 小于 $L/500$, 满足规范要求。

(5) 不考虑地震作用, 对塔吊结构进行分析验算结果表明: 塔吊结构抗倾覆能力满足要求, 钢结构构件的应力比均小于 1, 满足要求、塔吊结构变形满足规范要求。

六、意见与建议

(1) 建议后续有条件时, 对钢构件局部锈蚀、涂层剥落、表面局部凹陷等损伤进行修复、修补、防腐、补强处理。

(2) 建议后续正常使用过程中, 对塔吊进行定期外观质量检查及变形监测, 使用过程中定期做好维护和检查工作, 发现问题及时处理。对台风、暴雨、大雪等不利气候条件的影响加强监控与防范。

【参考文献】

- [1]黄冬勇, 范世超. 地面三维激光扫描技术及运用分析[J]. 科学技术创新, 2024 (12): 13-16.
- [2]王庆海. 三维激光扫描技术在矿山测量中的应用探讨[C]//新技术与新方法学术研讨会论文集. 2024: 1-2.
- [3]郝鹏飞. 三维激光扫描技术在地籍测绘中的应用[J]. 中国住宅设施, 2024 (2): 51-53.
- [4]李红勤. 三维激光扫描技术在建筑变形监测中的应用[J]. 山西建筑, 2024, 50 (1): 175-177.
- [5]安路明, 赵健, 任延龙, 等. 大跨度钢桁拱桥三维激光扫描线形监控技术研究[J]. 钢结构, 2022, 37 (12): 18-23.
- [6]完平平, 黄建莹, 谢志勇. 三维激光扫描技术在建筑数字化中的研究[J]. 集成电路与嵌入式系统, 2024, 24 (9): 68-73.
- [7]张尚文. 矿山测绘中三维激光扫描技术应用要点研究[J]. 世界有色金属, 2024 (8): 144-146.
- [8]李志华, 楼亨彪, 刘勤, 等. 三维激光扫描技术在异形建筑表面积测绘中的应用[J]. 地理空间信息, 2024, 22 (6): 97-100.

作者简介: 王怀清; 男; 籍贯: 安徽省望江县; 单位: 中冶检测认证(上海)有限公司; 职称: 工程师; 研究方向: 结构设计、建筑结构检测、建筑结构健康监测。