

基于多旋翼无人机的桥梁外观检测技术及工程应用研究

苏琦 刘佰鑫 王叔叔 甘秋萍
(柳州欧维姆机械股份有限公司 广西柳州 545005)

摘要:针对传统桥梁外观检测手段在实践中存在的诸多不足,提出基于多旋翼无人机的桥梁外观检测技术。该技术利用无人机搭载摄像头近距离提取桥梁表面图像,采用图像处理技术的方法检出表面缺陷。结合厦门海沧大桥工程,应用结果表明该技术能够高效、全面和准确地完成桥梁外观检测作业。

关键词:桥梁检测 多旋翼无人机 图像处理 海沧大桥

DOI: 10.13211/j.cnki.pstech.2017.05.002

引言

桥梁外观检测是桥梁检测的重要组成部分,主要评定桥梁构件外表的蜂窝、麻面、剥落、掉角、孔洞和裂缝等病害的累积面积占构件面积的比重^[1]。传统的桥梁外观检测手段,如搭建脚手架、高倍望远镜和桥梁检测车,存在耗力、耗时、影响交通、危险、花费高和存在检测死角等问题^[2]。预置轨道检测需预先铺设轨道,适用性不高^[3]。近几年出现了爬壁机器人用以检测构件外观,但存在行走速度慢,只能在单一平面内进行检测的缺点^[4]。

本文介绍一种基于多旋翼无人机的桥梁外观检测平台。无人机搭载摄像机近距离提取桥梁表面图像,基于图像处理技术的方法检测细微病害,并成功应用于厦门海沧大桥的外观检测。实践表明该平台很大程度弥补了现有桥梁外观检测手段存在的不足,使桥梁外观检测更为高效、全面和准确。

1 系统组成及工作原理

1.1 系统组成

基于多旋翼无人机的桥梁外观检测平台由图像提取系统和基于图像处理技术的病害检测程序组成。如图1所示,图像提取系统主要由无人机飞行平台、避障系统、图像提取组件(云台、摄像头等)、无线数据传输系统和控制端(遥控器

和地面站)构成。无人机飞行平台搭载飞控系统、避障系统和图像提取组件在空中作业。无线数据传输系统作为空中与控制端的传输纽带,将飞行平台及图像提取组件的实时信息显示于地面站界面上,为检测人员操作无人机提供直观有利信息。地面站和手持遥控器是系统的上位控制器,它们发出的控制信息通过无线数据传输系统传递给飞行平台上的执行控制模块,各执行控制模块依据控制信息的内容对机体、动力系统和传感系统进行控制,确保无人机按照预设轨迹飞行完成检测任务。从手持遥控器发出控制信息的优先级大于从地面站发出的,即有手动控制信息时,地面站控制信息无效。

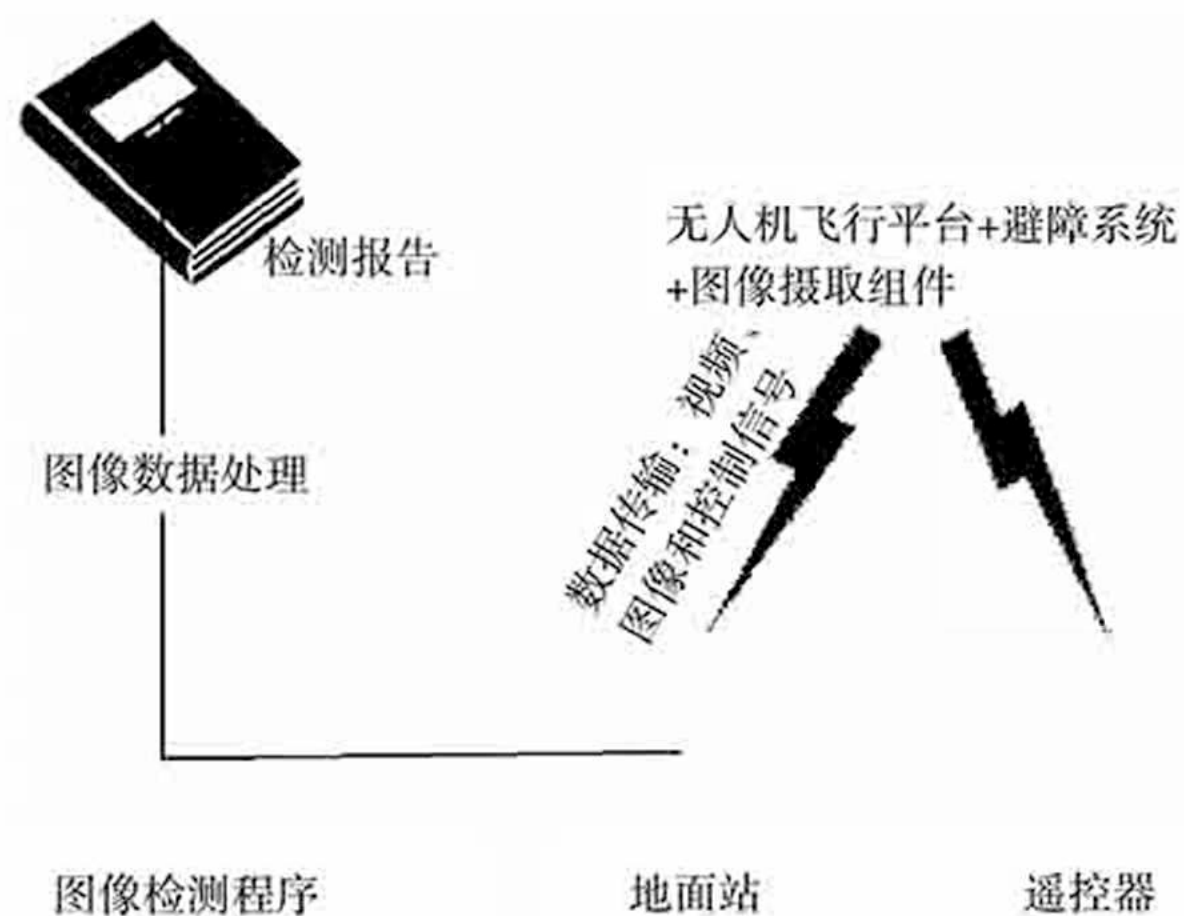


图1 检测平台系统组成

在无人机平台上添加Guidance 避障系统^[5]。该避障系统包含一个计算处理器和5个以上空间

传感单元,可以感知周围障碍物的距离。飞行前可预设无人机离障碍物的最小距离,防止撞击障碍物。图像提取组件具有增稳、防相机抖动功能,保障了拍摄图像的清晰度,其中的云台可以两轴转动,带动摄像头进行全方位拍摄。在控制端的地面站上添加了辅助飞行界面,可以显示无人机的前后左右下等5个视角,以及电池电量、飞行速度、飞行的垂直高度、水平距离等信息,可供飞手发出正确飞行操作指令。还可以通过辅助飞行界面设置无人机的飞行速度和加速度,防止误操作。以上这些措施极大地提高了作业的安全系数。

无人机飞行平台的主要技术指标见表1所示。采用四旋翼无人机,能够垂直起降,自由悬停,便于飞手进行控制。具有体积小,重量轻,拆卸方便,便于携带且易于维护等优点。有效负载为1.2kg,可为检测设备提供足够动力。

表1 飞行平台参数

项目	技术参数	项目	技术参数
类别	四旋翼	电机轴距	650mm
有效负载	1.2kg	最大飞行速度	17m/s
悬停时间	30min	抗风能力	10m/s
控制方式	手动控制/自主飞行	机身重量	2.4kg

1.2 图像提取系统工作原理

检测平台的操作需要两个飞手和一个观察员。主控飞手结合图传反馈信息控制无人机飞行,使其按照预定的飞行路径前进;副控飞手根据图像预览,控制云台获取好的拍摄角度,设置拍摄的光圈、快门和IOS值等参数以获取高质量的照片。复杂环境中,遇到图传信号不佳时,可根据无人机飞行速度设置时间间隔自动拍摄图像,确保所拍摄图像覆盖全部待检构件。观察员时刻注意无人机机体的空中环境,对飞行指令做出安全预判。

为获取待检构件的面积以及潜在病害的面积,提出“比例映射”的图像提取方法。依赖多旋翼无人机上摄像设备和测距传感器,建立稳定的实际物体尺寸与图像像素个数的比例关系,通过计数目标在图像上所占的像素点,计算出病害

的实际尺寸。

其具体步骤是:

Step1: 在实验室内将激光测距仪与摄像机固接,将摄像机及激光测距仪安装在云台上。根据待测目标的类型,选择上置或下置安装云台。若待测目标在无人机上方,则将云台和摄像机安装在多旋翼无人机机体的上方,否则使用下置安装:

Step2: 根据相机参数和项目要求的检测精度P,设定无人机离待检目标的最远距离D。计算距离D的公式如下:

$$D = \frac{\frac{1}{2} P \cdot W}{\tan \frac{FOV}{2}} \quad (1)$$

如图2所示,式(1)中:P—检测精度,单位为mm/pix,根据检测项目需要进行选择;W—相机在无人机前进方向上的有效像素,单位为pix;FOV为相机的视野角度,单位“°”。

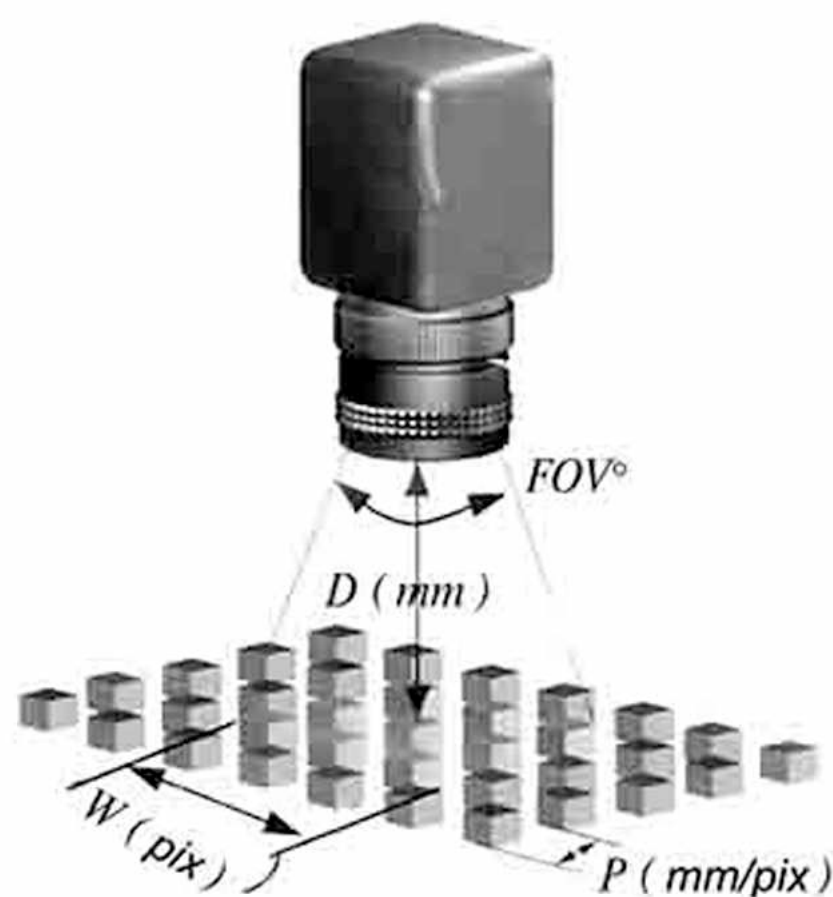


图2 最远距离D计算参数示意图

Step3: 在地面站上规划路线,启动无人机抵达巡检起点,开启测距传感器,将其投射在待检目标上,保持无人机与待测目标的距离D不变;

Step4: 无人机每飞行一段固定的行程S,悬停稳定再提取待检目标的图像。该固定的行程S需保证连续提取的两张图像有重叠率。固定行程S计算公式如下:

$$S = (1 - C) P \cdot W \quad (2)$$

式(2)中:C—重叠率,根据检测需要自行设置的常数,通常C取5%以上;P—检测精度,根

据检测项目需要选取，W—相机在无人机前进方向上的有效像素。

每结束一个构件的检测工作，及时对图像进行分组并检查拍摄质量。如发现效果不佳的图像应及时手动控制补拍。

1.3 基于图像病害检测系统工作原理

基于图像的病害检测包含图像检测程序和检测报告。所获取的图像经过图像检测得到检测报告，主要操作步骤如图3所示。其中图像增强和病害自动检测基于Matlab内置工具包Image/Processing/Toolbox编写脚本程序实现。图像增强的目的在于改善图像质量，采用增加对比度和去噪声等手段将图像特定的细节凸显，变为更适合分析的形式。本文采用直方图均衡化方法对图像进行增强。病害自动检测脚本经过将待检构件进行背景分割、线状目标识别和阈值过滤等主要步骤，实现了细微裂缝的检测。针对裂缝检测任务，改进了经典的Lazy-Snapping交互式分割算法，使其实现自适应分割。借鉴了医学图像处理中成熟的血管图像分割算法，基于Hessian矩阵开发了线状目标检测算法寻找构件上的细微裂缝。目前蜂窝麻面、表面剥落和构件缺失等病害均可依靠人工校核检出。



图3 基于图像的病害检测的主要步骤

根据图片呈现的信息，结合GPS、飞行轨迹和照片时序等信息确定病害的实际位置。根据距离传感给出的摄像头与构件的距离以及摄像头的像素参数，计算出图像中每像素对应的实际长度，从而得出病害的实际缺陷面积或长度。将检测结果标注在构件图片上，并将构件图片映射在桥梁的全景图片上。根据病害的严重程度分别标识警示颜色，形成可视化查看程序，使得检测报告直观易懂。

2 工程应用简介

2.1 工程概况

海沧大桥是从海沧半岛通往厦门岛的三跨连续全漂浮钢箱梁悬索桥，全桥于1999年12月顺利通车。大桥主跨648m，钢箱梁全长1108m，桥面宽36.6m，桥面以上塔高61.41m，净空高55m。

项目的主要检测内容如表2所示，对桥塔、箱梁底部、主缆和锚碇区等重要的受力件进行外观检查。图4展现了现场工作情况，无人机在检测桥梁主塔。通过图像提取技术全面获取桥梁表面图像，经人工筛选和图像处理等步骤出具桥梁表面检测报告。

表2 海沧桥无人机检测部位和内容

检测对象	检测内容
桥塔	桥塔上混凝土蜂窝麻面、剥落掉块、表面裂缝斑驳等情况
箱梁底部	表面是否缺失、锈蚀、剥落掉块及裂缝
主缆	表面裂纹情况，索夹螺栓是否生锈、开裂、松落，吊杆锚头处是否生锈、开裂、松落，主缆连接桥塔处是否锈蚀等
锚碇室	墙面混凝土蜂窝麻面、剥落掉块、表面裂缝斑驳等情况
常规检测盲区	桥塔上悬挂的附属物，如铭牌是否固定牢靠



图4 无人机检测桥塔

2.2 检测流程

整个检测流程分为检测前准备、图像提取和基于图像的病害检测3个步骤。图像提取和基于图像的病害检测已在前文阐述。

检测前准备是为了尽可能避免无人机在作业时受意外因素的干扰。根据检测任务的具体情况完成设备检查、实地调研和飞行路径设计等环节。检测前需要准备的任务、具体准备内容及其意义如表3所示。其中，飞行路径的规划遵循以下3个原则：（1）最安全：不穿过狭小空间，方

便飞手观察(2)最少耗电量:最短路径,最少起飞降落次数(3)最有利图像处理:同一待检构件的面,光照均匀。图5展示了梁底外观检测的飞行路线。以东、西塔中间线为分割线,保证无人机在观察员的视线范围内飞行。最后,根据实地调研情况,编制出检测计划书供检测作业时使用。

表3 检测前准备

检测前准备任务	准备内容	意义
设备检查	按照使用手册检查机载电池和机体各个部件状态	确保无人机在预计时间内正常工作
实地调研	气象调研及最佳起飞地点与安全工作区域选择	选择适宜无人机工作的时间与地点,尤其是适合无人机起飞的地段
飞行计划	根据具体的检测对象飞行路径	确保全面、快速地完成检测任务



图5 飞行路线规划示意

每个检测对象的外观状态可以由不等数量的照片拼接表现出来。每张图像展现出的病害情况及病害图像占该构件总图像数的比例,在一定程度上说明了桥梁外观的健康状况。图6为海沧桥外观检测可视化查看程序界面。将拍摄图像附贴在全景照片上指出图像所代表的具体位置(图中以四边形表示)。将单一图像检出的病害情况按表4列举的程度进行分级,最后形成了可视化的检测结果查看程序。用户点击构件表面,即可浏览相应构件的检测结果,也可对图像进行放大仔细确认。

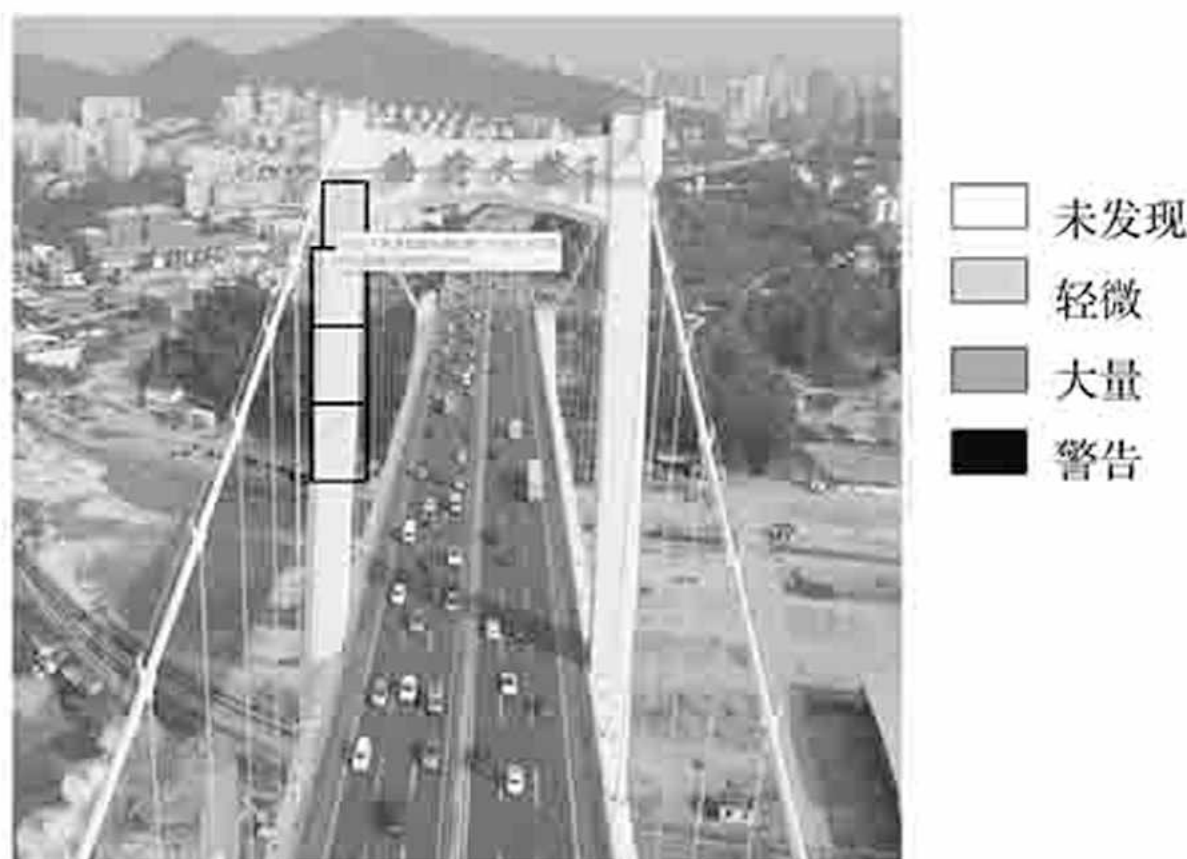


图6 海沧桥外观检测可视化查看程序界面

表4 病害等级标识说明

病害等级	表现形式	等级说明
未见病害		表面未见明显缺陷
轻微		2条以内疑似缺陷
大量		2至4条疑似缺陷
警告		明显缺陷或大量疑似缺陷

2.3 检测结果

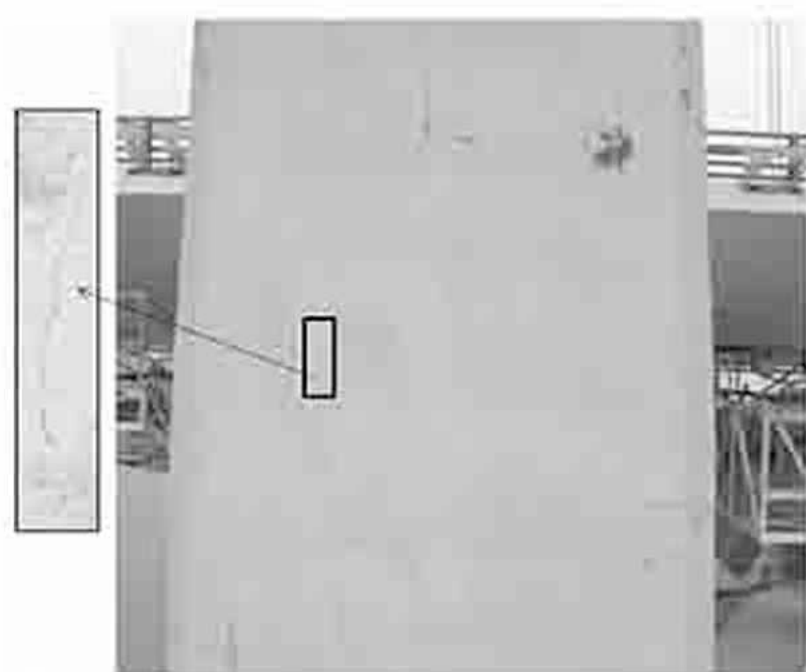
本次图像提取的实际工时为18h(含检测前准备,图像提取和图像处理),共提取2098张图片,百分百覆盖待检部位。采用图像处理技术结合人工识别的方法对提取到的有效图片进行病害识别,发现露筋和裂缝等病害多处。根据《公路技术状况评定标准》(JTG/TH21-2011)等相关规范,得出外观检测报告。

图7(a)框出的裂缝十分细微,仅凭肉眼观察难以发现,在常规检测中很容易被忽略。采用基于图像处理技术的桥梁外观病害检测算法,有效检测出细微裂缝。同时,经过图像增强后的图像的细节特征十分明显,有利于人工校核检测结果。

图7(b)中框出的表面露筋病害位于海沧桥西塔北柱北侧接近塔顶的地方,该处为其它检测(高倍望远镜、桥梁检测车)的检测盲区。采用基于无人机的桥梁外观检测技术,可有效避免检测死角的问题,全面覆盖其它检测方法的盲区。

3 结论

基于多旋翼无人机的结构外观检测平台在厦门海沧大桥上的成功应用,为无人机技术在桥梁检测领域的应用积累了诸多经验。检测平台以其使用灵活、成本低、无检测死角和检测精度高等



(a) 隐蔽的疑似病害



(b) 表面露筋

图7 检测结果

(上接第6页)

(10) 顶推过程中, 钢梁的轴线发生偏移, 根据指挥员的指令, 可通过主控制系统控制界面对泵站变频器频率进行小范围的调整, 以便调整各桁水平千斤顶的速度, 从而扭转钢梁水平方向偏位。纠偏过程中, 主控系统操作人员应对相应的参数进行记录。

2 结束语

钢桁结构桥梁主要特点是钢节点受力。针对不同装备, 顶推安装架设方法不同, 但由于钢节点受力的特点, 在顶推过程中, 不能违反钢桁梁节段受力的具体要求, 所以确保钢桁梁节点位置的局部应力和钢桁梁挠度尤为关键, 同时针对顶推施工工法特点, 不允许对钢桁梁进行因施工措施而改造结构, 即施工过程尽量保证钢桁梁的原始结构, 所以针对这个要求, 钢桁梁节点承载滑靴起到非常好的效果, 一方面可以作为承载结构, 另一方面又可以作为顶推动力的传递结构, 对钢桁梁结构起到保护作用。超大跨度、超重量的钢桁梁顶推施工必须保证各个控制点满足设计要求, 必须降低和消除“蛙跳现象”, 而计算机集中控制多点、数组液电系统、大数据处理、监控可视等系统技术保证了全桥超大跨度, 超大重

特点, 弥补常规检测的不足与短板, 使桥梁外观检测更为高效、全面和准确。

在实践中同时发现无人机受天气影响大, 无线传输信号受钢结构干扰和无人机机体安全需富有经验的飞手保证等不足, 这仍然需要依赖多旋翼无人机技术的发展, 以及针对无人机在桥梁外观检测领域的研究。

参考文献

- [1] JTG/TH21-2011. 公路技术状况评定标准[S]. 北京: 人民交通出版社, 2011.
- [2] 彭玲丽, 黄少旭, 张申申等. 浅谈无人机在桥梁检测中的应用与发展[J]. 交通科技, 2015(6): 42-44.
- [3] 王小莉. 面向桥梁检测的四旋翼飞行器控制系统研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2013.
- [4] 庞娜, 赵启林, 芮挺等. 基于机器视觉的桥梁检测技术现状与发展[J]. 现代交通技术, 2015(6): 26-31.
- [5] ZHOU G, FANG L, TANG K, et al. Guidance: a Visual Sensing Platform for Robotic Applications[C]. //2005 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops. 2015:9-14.

量的钢桁梁顶推施工, 质量、安全均得到了良好的控制, 工程效果非常明显, 但在实施过程中, 仍存在诸多不足:

(1) 大吨位、大跨度钢桁梁公铁两用桥多点顶推工程为特种工程, 滑靴结构设计单位在设计计算过程中, 未能全面仿真安装施工过程, 导致存在导梁个别构件在最不利施工工况中承载力不足或应力过大情况, 需加强导梁结构施工仿真整体和细部模型分析, 并采取相应的加固补强措施;

(2) 在顶推过程中, 要保证三桁滑道面的平整度, 若滑道变形较大, 造成较低滑道上滑块脱空, 滑块易滑脱出节点受压范围, 需采取调整抄垫或设置“7”字型卡板对滑块起防滑脱限位作用。

参考文献

- [1] 成大先. 机械设计手册[M]. 5版. 北京: 化学工业出版社, 2007.
 - [2] 韩胜利. 大跨高墩钢箱梁多点同步顶推技术[J]. 世界桥梁, 2012, 40(6): 24-28.
 - [3] 康宇, 刘元松, 吴长青. 跨铁路箱梁顶推技术[J]. 桥梁工程, 2010, 4(28): 154-155.
 - [4] 金健, 宋进军, 王炳岩. 桥梁架设中大型结构递进式柔性顶推技术[J]. 施工技术, 2012, 5(27): 60-65.2
 - [5] 李艳哲, 蔡红珍. 桃花峪黄河大桥顶推施工方案设计与创新[J]. 施工技术, 2013, 42(11): 69-72.
- 卫红发. 多支点顶推技术在跨铁路桥梁施工中的应用[J].