

特种设备安全与节能技术进展一

——2012年全国特种设备安全与节能学术会议论文集(下)

沈功田 吴 茉 主 编
林树青 主 审



 中国质检出版社



特种设备安全与节能技术进展一

——2012年全国特种设备安全与节能学术会议论文集

(下)

沈功田 吴 茉 主编
林树青 主审

中国质检出版社

北京

图书在版编目(CIP)数据

特种设备安全与节能技术进展一:2012年全国特种设备安全与节能学术会议论文集.下/沈功田,吴茱主编.
—北京:中国质检出版社,2014.4

ISBN 978-7-5026-4001-9

I. ①特… II. ①沈…②吴… III. ①设备安全-中国-学术会议-文集②设备-节能-中国-学术会议-文集 IV. ①X93-53
②TB4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 073898 号

中国质检出版社出版发行

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号(100013)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址:www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 889×1194 1/16 印张 41 字数 1 264 千字

2014 年 4 月第一版 2014 年 4 月第一次印刷

*

定价 145.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107

2012年全国特种设备安全与节能学术会议

组 织 机 构

一、组织委员会

主 席：武津生 宋继红 林树青

副主席：王越薇 高继轩 沈功田

成 员：王晓雷 姚泽华 张建荣 沈 钢 钱夏夷 舒文华 宋绪鲜 梁广炽
丁克勤

二、顾问委员会

张 纲(国务院参事) 张钟华(院士) 庞国芳(院士) 李天初(院士)
钟群鹏(院士) 潘际奎(院士) 李鹤林(院士) 林宗虎(院士)
高金吉(院士) 刘人怀(院士) 陈学东 耿荣生 郭元亮

三、技术委员会(以姓氏笔画为序)

主 席：寿比南

副主席：沈功田 贾国栋 谢铁军 姚泽华 张建荣

成 员：丁克勤 于国欣 尹献德 牛卫飞 王华明 王 志 王福绵 邓阳春
业 成 冯月贵 刘 明 刘爱国 刘富君 刘 磊 孙云波 成德芳
朱洪奇 汤晓英 何仁洋 张术宽 张志毅 张晓斌 张路根 李 宁
李伟忠 李志宏 杨 力 沈 勇 陈长宏 陈 克 陈 杰 武星军
竺国荣 罗伟坚 罗晓明 郑 宁 侯旭东 胡 军 胡 滨 赵鹏华
党林贵 夏锋社 徐桂芳 徐 翔 钱夏夷 曹怀祥 梁广炽 盛水平
曾钦达 董亚民 董君卯 谢常欢 韩立柱 窦文字 赖春阳 缪春生
樊 琨 薛季爱

四、工作委员会(以姓氏笔画为序)

主 席：沈功田

副 主 席：姚泽华 张建荣 沈 钢 丁克勤

成 员：丁守宝 丁树庆 于 滨 王伟雄 王向东 王 俊 王骄凌 王晓桥
刘 明 孙仁凡 安克健 邢友新 余 余 宋绪鲜 张元榕 李 丁
李力新 李文广 杨 勇 杨笑峰 汪 洋 辛 军 邹少俊 陈志刚
陈志良 帕尔哈提·买买提依明 郑 炯 胡 智 赵世良 赵东辉
赵秋洪 郭 凯 钱夏夷 陶 然 高增明 梁广炽 梁 华 黄长安
黄凯东 舒文华 蒋 青 韩树新

秘 书 长：丁克勤

副 秘 书 长：杜顺学 李光海 薛季爱 许建芹

2012年全国特种设备安全与节能学术会议

支 持 单 位

(共 57 家单位)

- | | |
|-----------------------|-------------------|
| 中国特种设备检测研究院 | 浙江省特种设备检验研究院 |
| 中国特种设备安全与节能促进会 | 四川省特种设备检验研究院 |
| 中国特种设备检验协会 | 安徽省特种设备检测院 |
| 中国锅炉水处理协会 | 江西省锅炉压力容器检验检测研究院 |
| 江苏省特种设备安全监督检验研究院 | 广西壮族自治区特种设备监督检验院 |
| 上海市特种设备监督检验技术研究院 | 湖北省特种设备安全检验检测研究院 |
| 重庆市特种设备检测研究院 | 湖南省特种设备检验检测研究院 |
| 沈阳特种设备检测研究院 | 陕西省锅炉压力容器检验所 |
| 深圳市特种设备安全检验研究院 | 云南省特种设备安全检测研究院 |
| 全国锅炉压力容器标准化技术委员会 | 甘肃省特种设备检验研究院 |
| 全国索道与游乐设施标准化技术委员会 | 黑龙江省特种设备检验研究院 |
| 《中国特种设备安全》杂志社 | 新疆维吾尔自治区特种设备检验研究院 |
| 中国机械工程学会压力容器分会 | 贵州省特种设备检验检测院 |
| 中国机械工程学会无损检测分会 | 海南省锅炉压力容器与特种设备检验所 |
| 中国仪器仪表学会设备结构健康监测与预警分会 | 广州市特种机电设备检测研究院 |
| 中国腐蚀与防护学会承压设备专业委员会 | 广州市特种承压设备检测研究院 |
| 海南省质量技术监督局 | 杭州市特种设备检测院 |
| 海南省出入境检验检疫局 | 南京市锅炉压力容器检验研究院 |
| 北京市特种设备检测中心 | 南京市特种设备安全监督检验研究院 |
| 天津市特种设备监督检验技术研究院 | 武汉市特种设备监督检验所 |
| 山东省特种设备检验研究院 | 武汉市锅炉压力容器检验研究所 |
| 广东省特种设备检测研究院 | 西安市特种设备检验检测院 |
| 辽宁省安全科学研究院 | 济南市锅炉压力容器检验研究所 |
| 河北省锅炉压力容器监督检验院 | 长春特种设备检测研究院 |
| 河北省特种设备监督检验院 | 大连市锅炉压力容器检验研究院 |
| 河南省锅炉压力容器安全科学检测院 | 大连市特种设备监督检验所 |
| 河南省特种设备安全检测研究院 | 宁波市特种设备检验研究院 |
| 福建省特种设备检验研究院 | 温州市特种设备检测中心 |
| | 北京市朝阳区特种设备检测所 |

序

随着经济社会的快速发展,特种设备行业科技发展面临着新形势、新任务和新挑战。特种设备科技需求在不断增加,对特种设备行业科技创新能力的要求也在不断提高。为了更好地推进国家“科技兴检”战略,在国家质检总局科技司、特种设备安全监察局的领导下,由中国特检院牵头、全国多家特种设备检验检测机构按照自觉自愿、平等互利的原则于2009年12月24日参与组建了特种设备科技协作平台(以下简称“平台”)。平台的建设目标是瞄准世界先进水平,整合特种设备行业科研资源,提高中国特检的整体科研水平,建立覆盖特种设备全过程的国家级科技创新平台,营造行业科研氛围,开展有针对性地研究,用科研成果武装行业,为“中国特检”成为世界知名品牌做贡献。

平台成立四年以来,坚持以章程为依据、以“虚拟管理、实体运作”为模式、以服务理事单位为宗旨,在创新中稳步发展,开展了一系列富有成效的工作。编制我国特种设备行业科研项目指南,指导行业科研项目规划与组织申报工作;组织国家与地方检验机构、地方与地方检验机构之间开展联合科研攻关,加强整合科技资源,避免低水平重复研究;组织开展各类学术交流活动,增强科技信息交流和培养高水平的专业化科研人才队伍等。由于行业吸引力不断增强,理事单位队伍不断发展壮大,由成立最初的28家理事单位发展至目前48家理事单位。

为加快推进特种设备行业科技发展和交流最新科技成果,平台联合国家质检总局科技委特种设备安全与节能专业技术委员会于2012年12月1~3日在海口市共同举办了2012年全国特种设备安全与节能学术会议。以“加强科技创新引领特种设备安全与节能技术发展”为主题的本届学术会议得到了平台48家理事单位、中国特种设备安全与节能促进会、中国特种设备检验协会、中国锅炉水处理协会、全国锅炉压力容器标准化技术委员会、全国索道与游乐设施标准化技术委员会、中国特种设备安全杂志社、中国机械工程学会压力容器分会、中国机械工程学会无损检测分会、中国仪器仪表学会设备结构健康监测与预警分会和中国腐蚀与防护学会承压设备专业委员会等57家单位支持。本届学术会议是特种设备行业的一次科技盛典,400多名特检科技工作者参加了学术大会,300多篇科技论文进行了交流,近100篇论文参加了青年优秀论文评选。学术会议还特邀中国科学院潘际銮院士等国内知名专家就特种设备安全与节能科研前沿问题作了专题报告。

本论文集为 2012 年全国特种设备安全与节能学术会议论文集,经过行业专家评审、作者修正,并与出版社协商,共收录论文 236 篇。论文集分上、下两册,共六篇,上册分别是管道篇、锅炉篇和容器篇,下册分别是电梯篇、起重机篇和综合篇。收录的论文内容广泛,主要包括锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施、场(厂)内专用机动车辆、大型常压储罐和大型钢结构等设备的设计、制造、安装、检验检测、使用和安全监察等环节的安全和节能技术研究及应用。

本届学术会议的成功召开和论文集的顺利出版,首先要感谢国家质检总局科技司、特种设备安全监察局、科技委特种设备安全与节能专业技术委员会和特种设备科技协作平台领导的大力支持;其次要感谢会议组委会和 57 家支持单位的宣传和精心组织;再次要感谢所有参会代表和论文作者的大力配合,感谢论文评审专家们的辛劳工作,同时还要感谢参与论文编辑工作的研究生们和其他所有支持论文集出版的相关人员;最后要感谢中国质检出版社的领导和编辑,负责和严谨的工作态度保证了本论文集的顺利出版。

本书在论文征集、评审和编辑出版过程中时间较紧迫,书中的缺点与不妥之处在所难免。另外,为了鼓励更多特种设备相关科技人员积极参与学术交流,收录的论文水平会高低不等。恐有不妥之处,敬请专家和广大读者批评指正。

编 者

2013 年 12 月于北京

目 录

起重机篇

基于 HyperWorks 的门式起重机复杂运行工况下结构力学分析	钱夏夷 黄凯 殷晨波(3)
基于 Hypermesh 的门式起重机优化主梁可行性的仿真分析	李向东 夏明睿(8)
南方地区门座式起重机械金属结构故障分布及案例分析 黄国健 芮中樑 刘金 王东辉 王新华(13)
造船门式起重机变形结构缺陷安全评估	张一辉 黄凯 李向东 许兵(19)
船用门式起重机动载荷的确定方法	钱夏夷 马峰(26)
造船门式起重机腐蚀或磨损结构缺陷安全评估	李向东 黄凯 袁桂芳(32)
造船门式起重机连接结构缺陷安全评估	黄凯 张志斌 李向东(38)
龙门起重机的模态试验研究	芮中樑 王新华 齐凯 刘柏清 江爱华 刘金(43)
基于 HyperWorks 门式起重机主梁轻量化研究	李向东 许建芹 殷晨波(48)
基于 AHP-Fuzzy 综合法的造船门式起重机安全评价研究	许建芹 鲍蕾 杨慧勇 殷晨波(53)
特高压电网工程新型专用塔式起重机的研究与应用	缪谦(59)
塔式起重机底架的结构安全分析	侯侠 劳文 胡秉霜(68)
全液压动臂塔式起重机特性介绍	吴波(72)
基于 VR 的塔式起重机倾覆事故再现技术的研究	邓明旭(74)
无线遥测应力测试技术在塔机型式试验中的应用研究	王娟 马新 张宏磊 孙烁 于涛(80)
大型履带起重机吊装事故预防对策和检验技术分析	刘建国(87)
港口起重机结构健康监测光纤光栅和电阻应变片比对测试及分析 李向东 李士林 钟少龙 葛森(94)
基于 AHP 法的内河港口简易臂架型起重机安全评价研究	欧阳韦平 许秀东 邱郡 郭维忠(103)
防爆起重机检验中常见的问题及对策	李永亮(109)
基于 RFID 的起重机械风险管理系统开发	李娜 丁克勤 王新杰,罗云(113)
基于 RFID 技术的起重机械人机交互系统研究	丁树庆 冯月贵 任诗波 王会方(119)
基于 RBI 技术的起重机械类特种设备风险评价及检验探究	樊晓松 刘治宏 成波(125)
基于风险的检测技术在起重机安全评估分析中的应用	赵鑫(129)
基于 FMEA 和变权 AHP 的大型起重机械零部件重要度评估	张树忠 曾钦达(135)
基于裂纹扩展路径仿真的结构剩余寿命预测方法研究	吴占稳 孙远韬(142)
在役大型起重机金属结构安全评估技术研究系列——有限元分析技术的应用 刘金 王新华 齐凯 刘柏清 江爱华 芮中樑(148)
起重机箱型主梁结构参数化有限元建模与安全评估	黄凯 刘竞 张一辉 李向东 王德禹(153)
箱型梁焊缝裂纹扩展实验研究	唐远辉 沈功田 赵章焰 吴占稳(159)
起重机箱型梁加强筋性能优化研究	区炳显 李蓓蓓(164)



起重机钢结构焊缝缺陷的超声波检测原理与应用	刘颖(169)
基于现场实测的移动模架金属结构安全评价研究	张志斌 张华民 李士林 黄凯(173)
基于 BP 神经网络的起重机声发射源模式识别方法研究	吴占稳 沈功田 张虎(178)
声发射检测起重机滚动轴承的实验研究	米尚言 焦阳 李光海 陈晨(182)
夹轨器抗风防滑能力试验动态仿真研究	吴峰崎 姚文庆 许海翔 张进 陈梁胜 周建波(186)
起重机单侧弧型踏面车轮技术	李士林 涂春磊 顾成敏(192)
浅述变频器在起重机械上的应用	马江雄(199)
基于能量意外释放理论的起重机分类方法的探讨	张志斌(205)
起重机接地与绝缘检验方法研究	谢方 蒋青(209)
对 TSG Q7015—2008《起重机械定期检验规则》的一些理解与思考	李剑 牛静(214)

电梯篇

基于物联网技术的电梯快速检验	李士林 黄凯 张志斌 金纯(221)
基于移动物联网技术下电梯检测信息化处理系统研究	张东平(227)
基于物联网技术的电梯安全智能控制系统研究	张峰久(232)
基于云端和 CPS 技术的电梯联网体系结构研究	任诗波 丁树庆 王会方(236)
电梯远程在线监测与故障诊断系统的研究	魏晓 郭云志 尹传仁(242)
电梯运行状态实时监测系统研究	李中兴 武星军 王新华 林创鲁 刘英杰 黄国健 黄代民(246)
基于 Android 4.0 系统的电梯安全检验智能平台	陈长宏 黄军威 张建春 林海 杨波 何绯红 郭虎全(250)
基于 RFID 无线射频技术的电梯门禁系统设计	刘磊(255)
基于 VC++ 的电梯风险评价系统开发	唐跃林(260)
基于专家系统的在用电梯风险评估方法研究	刘英杰 武星军 王新华 王伟雄 林创鲁 李中兴 黄代民 王新华 李刚(264)
基于故障树的电梯可靠性分析	王盛 曹光敏 王中杰(271)
基于模糊评价和层次分析的在用电梯更新或改造的确定方法研究	张建春(279)
基于太阳能技术的电梯节能装置	林尧 林清华 陈洁(285)
基于移动通信的新型电梯紧急报警装置的研究探讨	杜强 周洲(289)
基于变频回馈的电梯节能技术研究探讨	王俊龙 许林(293)
智能型电梯运行性能测试分析仪研制	刘松国 韩树新 李伟忠 虞煜磊 徐金海 马舜(297)
电梯电力系统谐波的影响和抑制	张绪鹏 张弟华 李文春 刘佳(303)
电梯光幕综合性能测试装置的开发	鄂立军(307)
电梯悬挂曳引钢丝绳安全系数校验的探讨	师湛航 刘明 樊琨 宋云鹏 王强(314)
曳引机扭振测试仪的研制	徐金锁(321)
施工升降机防坠安全器校验实用技术	田丽芳(324)
电梯轿厢装修现状及安全问题探讨	夏绪伟 唐川(329)
电梯蹲底事故引发检验工作的思考	李士林 张志斌(334)
节能发光材料在电梯应急照明上的应用	王国华(337)
关于通过电梯定期检验发现拼装电梯问题的探讨	周洲 杜强(342)
对电梯新检规实施中的几点建议	张跃(346)
大连地区服役电梯的安全隐患分析及安全管理对策	赵善强 高航 姜国勇(349)
德国电梯安全管理经验与启示	黄文和 邱郡(353)

美国和日本电梯抗震标准对我国的启示	欧阳惠卿 金春(358)
中美电梯安全管理法规比较研究-蒙大拿州	宋帆(362)

综合篇

涡流阵列技术检测 304 奥氏体不锈钢焊缝的应用研究	李运涛 马向东 李萌 孙晓 胡华勇 金海石 胡斌(369)
涡流检测技术在我国承压设备中的应用	付检平 沈功田 于润桥 胡斌(374)
铁磁性材料脉冲涡流模拟缺陷测量实验研究	石坤 刘再斌 范智勇 崔高宇(380)
304 奥氏体不锈钢涡流检测频率优化的仿真研究	万本例 刘宇清 付检平(387)
电磁涡流技术在游乐设施检验中的应用研究	张国忠 姚俊 罗声彩 刘凯(393)
覆盖层对铁磁性材料脉冲涡流测量影响实验研究	刘再斌 石坤 张钊 王健 傅迎光(399)
电磁超声在钢板中传播特性的实验研究	王丽 武新军 丁旭(406)
磁致伸缩纵向模态导波传感器频率特性实验研究	孙鹏飞 武新军 徐江(412)
铁磁性构件高温蠕变损伤的磁性无损检测方法	邓东阁 武新军 沈功田(418)
声-超声检测技术在铸铁承压设备无损检测中的应用研究	吴占稳 沈功田 刘亚萍 香勇 李丽菲(426)
超声相控阵角度偏转能力的仿真测试与分析	涂春磊 强天鹏 郑凯 孙忠波 肖雄 刘晓睿(431)
基于超声波技术的焊接接头残余应力测量方法研究	陈虎 陈定岳 黄辉 项延训(438)
自动焊焊缝射线底片常见缺陷影像的识别	苑一琳 沈功田 李小亭 苏宽(445)
射线探伤曝光曲线的制作和使用	陈留双 韩立柱 王忠民(450)
基于数学形态学的 X 射线图像缺陷分割算法研究	殷鹰 蒋青 韩绍义 邱荣先(455)
TOFD 技术和常规无损检测方法的比较	陈玉宝(461)
基于流场光学成像技术的特种设备气体泄漏检测装置研究	李宝华 丁刚 庄刚 刘召东 高蕾(466)
基于 CCD 视频定位的大型游乐设施成像检测方法研究	廖嘉 刘志云 程秋平(472)
9Cr 耐热钢中纳米组织对高温氧化行为的影响	夏志新 赵彦芬 张路 张弛 柳文波 薛飞(476)
H ₂ S 和 CO ₂ 浓度对 16Mn 钢冲刷腐蚀行为的影响	邢云颖 刘智勇 杜翠薇 李晓刚(484)
基于紧密性的法兰模糊可靠性优化设计方法	孙振国 潘林锋 蒋朝 王勤生 顾伯勤(490)
基于神经网络的索道安全状况综合评价方法	刘佳璐 贾中辉 刘颖(496)
基于运动能量的大型游乐设施故障诊断方法研究	尹献德 刘爱国 董天东 董辛旻(502)
基于参数的脉动循环式客运索道滚动轴承声发射信号特征研究	张君娇 沈功田 吴占稳 苑一琳(507)
游乐设施大修过程与实践的探讨	陈红军 王娟 陈兆兴 孟鹏 石静(512)
游乐设施设计风险评估方法研究	林伟明 张勇 梁朝虎(516)
冗余技术在游乐设施自动控制系统中的应用	李加申 郑志涛(522)
客运架空索道子系统及关键部件失效模式与定性风险评估方法研究	钱剑雄 邱治国 李剑(529)
国内外游乐设施法规基本安全管理要求比较研究	王银兰(536)
基于层次分析法的在用工业换热器能效评价方法	杨宇清 金建祥 王元华 徐鹏(543)
火力发电厂能源审计中的节能潜力分析	杨波 毛力 余爱枝 李茂东 陈志刚 张术宽(552)
酒精行业特种设备功能转换及能量梯度利用研究	杨以鹏 张华民 刘敬之 张志斌(556)
论水处理对工业锅炉节能减排的影响	胡月新 余光丰(562)
陕西省锅炉能效测试结果分析	张晓明 刘晓东(567)
加强水质管理 保障锅炉安全和节能运行	刘宏臣 范姜玲 胡津康 王泽军(572)



基于集对分析联系熵的输气站场风险等级划分方法研究	郑明 姚安林 蒋宏业 李又绿(579)
浅谈导热油的结焦	刘鹏(585)
基于网络的特种设备技术标准管理系统研究	陈杰(590)
特种设备检验质量管理中存在的主要问题及对策	孙云波(594)
基于条码技术的特种设备检测数据溯源平台的研究和应用	王文丽 秦延山 林峰(598)
特种设备自动识别定位系统的探索	卜广强(603)
我国特种设备事故处理规定及事故统计分析研究	杨景标 郑炯 罗伟坚(610)
特种设备检验检测风险分析	赵秋洪 刘宏臣(620)
压力容器作业人员培训考核模拟系统	孙仁凡 杨元庆 陈翠梅 魏化中 杨红(627)
特检文化建设论纲	李丁 李政(632)
特种设备检验机构体制改革的一些思考	辛军(638)

起 重 机 篇

基于 HyperWorks 的门式起重机 复杂运行工况下结构力学分析

钱夏夷¹, 黄凯¹, 殷晨波²

1. 江苏省特种设备安全监督检验研究院, 南京 210036
2. 南京工业大学机械与动力工程学院, 南京 211816

摘要: 门式起重机在复杂运行工况下的结构力学分析历来受到广泛关注。结合门式起重机实际工作情况, 确定了五种较危险的工作状况。通过三维建模软件 PRO/E 建立了门式起重机几何模型, 利用有限元分析软件 HyperWorks 分析了门式起重机结构在五种较危险的工况下位移与应力变化情况, 采用 Von Mises 等效应力对材料受力分析进行应力评价。通过分析可知, 门式起重机最大应力 215 MPa 和最大变形量 41.5 mm 出现在第 5 种运行工况下, 且均出现在主梁的中间位置, 但都满足门式起重机的使用要求。

关键词: 门式起重机; 结构力学分析; HyperWorks

The Structural Mechanics Analysis for the Gantry Crane Working in Complex Operation Conditions based on HyperWorks Software

Qian Xiayi¹, Huang Kai¹, Yin Chenbo²

1. Special Equipment Safety Supervision Inspection Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210036
2. School of Mechanical and Power Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 211816

Abstract: The structural mechanics analysis for the gantry crane working in complex operation conditions is always attracted widespread attention. Combined with the actual operation condition of the gantry crane, five kinds of dangerous conditions was determined. The geometric model of the gantry crane was established by Pro/E, the change of displacement and stress of the gantry crane in the five operation conditions were analyzed by finite element software HyperWorks and the stress on the material was evaluated through Von Mises equivalent stress. The result of the analysis shows that the maximum stress of 215 MPa and the maximum displacement of 41.5 mm appeared under the fifth operation condition on the intermediate position of the gantry crane girder are both meet the requirements.

Keywords: Gantry Crane; Structural Mechanics Analysis; HyperWorks

0 引言

门式起重机在电力场设备的地面组合、设备的制作加工配合、水泥框架的预制、物件的吊运等, 在铁路货运场装卸火车、汽车, 在船厂里吊装船段, 在港口装卸集装箱, 在工厂内部起吊和搬运笨重的成件物品, 在建筑安装工地进行施工作业等行业得到了广泛的应用。然而门式起重机在使用过程中常常会出现额定载荷、起升载荷、自重载荷、通过轨道接头时的冲击载荷、机构不稳定运行时的动载荷、偏斜运行侧向载荷、碰撞载荷、风载荷等不同工况下的载荷作用。这些不同种类的载荷作用往往变化很大, 不同组合的载荷对应着不同门式起重机结构破坏形式。本文针对门式起重机为 300 t-43 m 大型箱梁式起重机, 通过



HyperWorks OptiStruct 模块作为结构分析和优化工具的有限元分析软件^[1],能很好地满足门式起重机在不同运行工况下的有限元结构力学分析,找出各个工况下的危险点位置,以便完成对门式起重机进行结构刚度与强度的检验和评估。

1 门式起重机主要工况选择

门式起重机在实际工作中工况非常复杂,既有上小车在轨道上的行走,也有下小车行走和提升动作。本文主要针对如表 1 所示的五种较危险工况进行结构有限元分析。

表 1 各种工况表

工况 1	上小车位于刚性支腿承载 200 t,下小车距大车 12 m,承载 100 t 目的:找出工况 1 危险点以及刚性支腿承载极限
工况 2	上小车位于柔性支腿侧承载 200 t,下小车距大车 12 m 承载 100 t 目的:找出工况 2 危险点以及柔性支腿承载极限
工况 3	上小车位于主梁正中间承载 200 t,下小车距大车 12 m,位于刚性支腿侧承载 100 t 目的:找出工况 3 下主梁危险截面以及最大挠度
工况 4	上小车位于主梁正中间承载 200 t,下小车距大车 12 m,位于柔性支腿侧承载 100 t 目的:找出工况 4 下主梁危险截面以及最大挠度
工况 5	上小车、下小车共同位于主梁正中间承载 300 t(最危险工况)

2 门式起重机有限元结构分析

2.1 有限元模型建立

为了便于有限元结构分析,本文在对门式起重机的主梁及其支承腿部分进行有限元模型分析时作了如下假设与简化^[2,3]:

- (1) 假定材料均匀分布各向同性。
- (2) 下小车及主要所荷载荷等简化为四个集中力,分别放置于下小车的四个轮子作用点的位置。
- (3) 上小车车下的行走机构等简化为模型有约束的支承点。

由此可见,门式起重机主要加载为上、下小车自重、维修吊钩和吊重的载荷作为集中载荷加在主梁相应节点上^[4,5],各种工况下的额定载荷主要加载在下小车轨道梁单元上。

作为实现起重机有限元分析、起重机型式虚拟试验与安全评估技术结果准确的前提与关键,利用三维软件 PRO/E 和有限元软件 HyperWorks 建立了高质量的门式起重机有限元模型。根据门式起重机金属结构的特点将主梁上下盖板、主副腹板、隔板、柔性支腿和刚性支腿划分为 SHELL 单元。用 Quard4 单元来划分门式起重机钢板结构。应用三角形和四边形单元相结合对形状复杂变化幅度较大的区域进行离散。如图 1 所示。

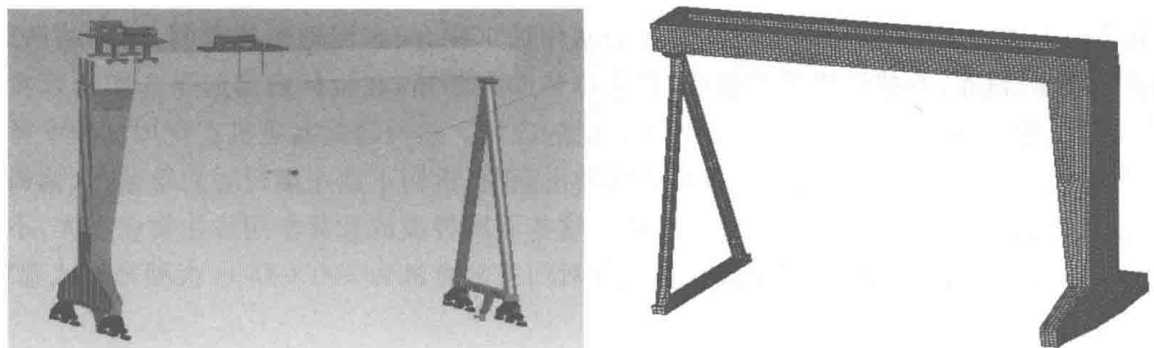


图 1 门式起重机有限元模型

2.2 门式起重机结构强度和刚度分析

本文采用 Von Mises 等效应力对材料受力分析进行应力评价^[6], 对于门式起重机, 主梁材料为 Q345, 按第 II 类载荷组合计算, 取安全系数 $C=1.34$, 故结构许用应力为 257 MPa。刚度评价采用空间最大变形量小于材料许用最大变形量进行评价, 根据《起重机设计规范》, 经计算可知, $D_{\max} \leq [D]_{\text{许用}} = L/800 = 43\ 000/800 = 53.75\ \text{mm}$ 。门式起重机在 5 种较危险工况工作下的应力应变图如图 2~图 6 所示, 不同工况下门式起重机强度和刚度情况如表 2 所示。

表 2 不同工况下门式起重机强度和刚度情况

工作状态	最大应力/MPa	最大形变/mm	评判
工况 1	118.3	21.05	$\sigma_{\text{von}} \leq \sigma_{\text{许用}}, D_{\max} \leq [D]_{\text{许用}}$
工况 2	120.4	22.4	$\sigma_{\text{von}} \leq \sigma_{\text{许用}}, D_{\max} \leq [D]_{\text{许用}}$
工况 3	133.9	26.5	$\sigma_{\text{von}} \leq \sigma_{\text{许用}}, D_{\max} \leq [D]_{\text{许用}}$
工况 4	130.9	24.3	$\sigma_{\text{von}} \leq \sigma_{\text{许用}}, D_{\max} \leq [D]_{\text{许用}}$
工况 5	215	41.5	$\sigma_{\text{von}} \leq \sigma_{\text{许用}}, D_{\max} \leq [D]_{\text{许用}}$

通过对门式起重机在五种不同工况的应力-应变分析, 发现门式起重机最大应力应变主要发生在主梁上, 故有必要找出主梁上的危险点。为了进一步分析主梁结构强度和刚度, 在主梁上选取几个特殊的点, 如图 7 所示。

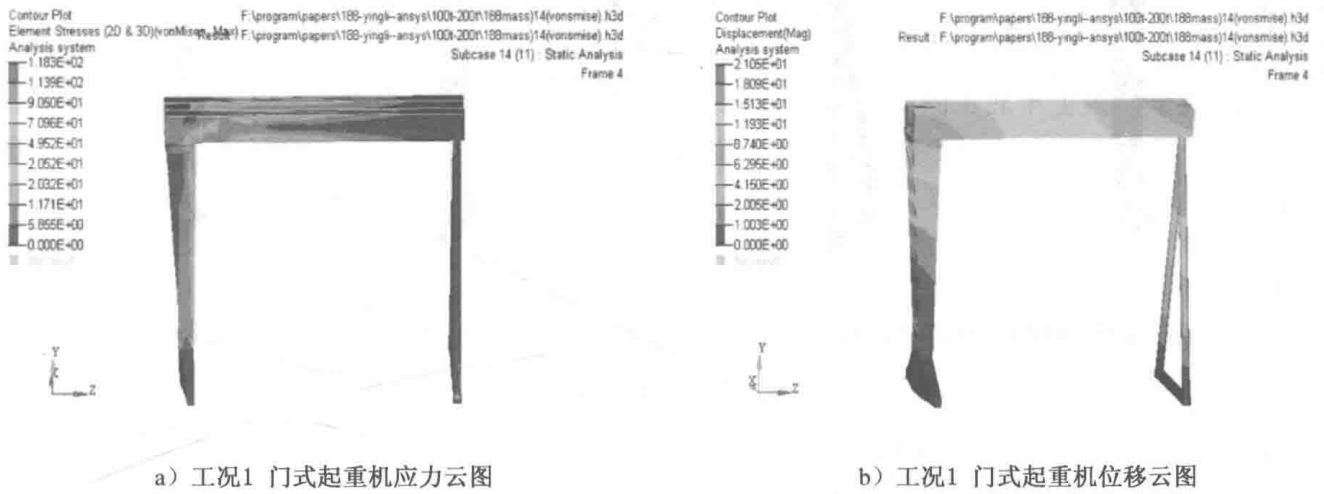


图 2 工况 1

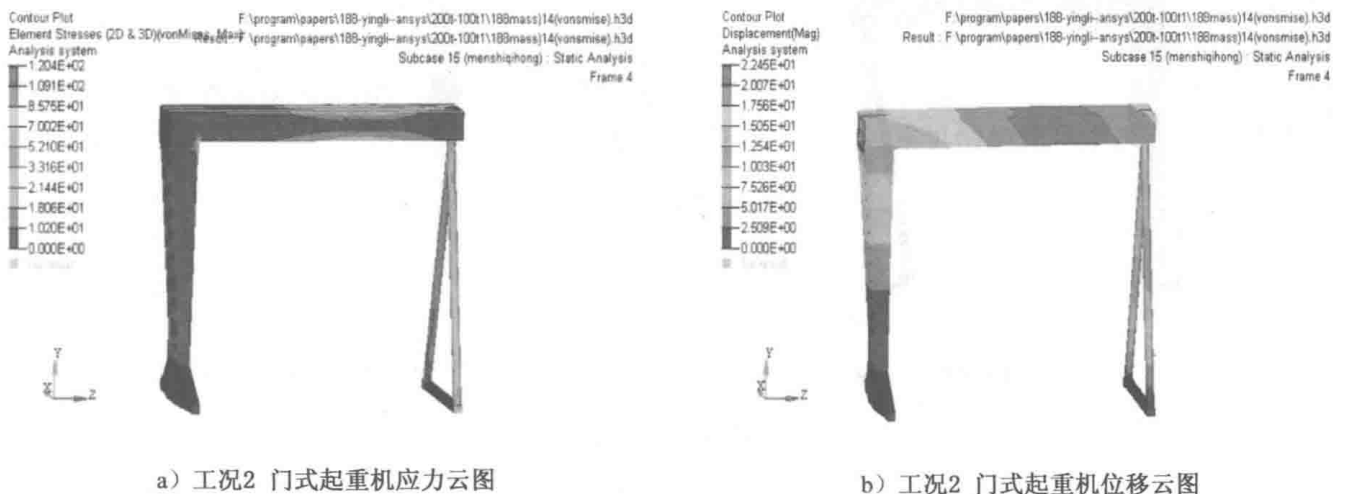


图 3 工况 2



a) 工况3 门式起重机应力云图



b) 工况3 门式起重机位移云图

图4 工况3



a) 工况4 门式起重机应力云图

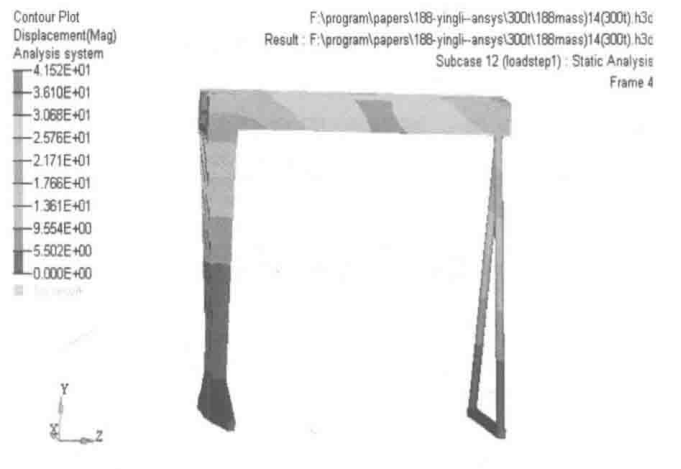


b) 工况4 门式起重机位移云图

图5 工况4



a) 工况5 门式起重机应力云图



b) 工况5 门式起重机位移云图

图6 工况5