

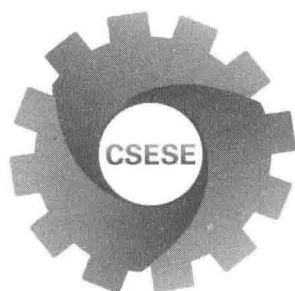
# 特种设备安全与节能技术进展三

——2016年全国特种设备安全与节能学术会议论文集(下)

沈功田 李光海 吴 亲 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三

——2016年全国特种设备安全与节能学术会议论文集

(下)

沈功田 李光海 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三, 2016 年全国特种设备安全与节能学术会议论文集(下)/沈功田, 李光海, 吴茱主编. —北京:中国质检出版社, 2017. 11

ISBN 978-7-5026-4491-8

I. ①特… II. ①沈…②李…③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. ①X93-53②TB4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 249431 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(100029)

北京市西城区三里河北街 16 号(100045)

网址: [www.spc.net.cn](http://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 880×1230 1/16 印张 34 字数 1022 千字

2017 年 11 月第一版 2017 年 11 月第一次印刷

\*

定价 170.00 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

# 2016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：徐武强 贾国栋 林树青

副主席：王越薇 高继轩 沈功田

成 员：王晓雷 杜顺学 姚泽华 沈 钢 钱夏夷 舒文华 邹定东  
丁春辉 梁广炽 丁克勤 李光海

### 二、顾问委员会

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

### 三、技术委员会（排名不分先后）

主 席：沈功田

副主席：高继轩 谢铁军 姚泽华 杜顺学

成 员：丁克勤 于国欣 王 志 王福绵 王华明 牛卫飞 尹献德  
邓阳春 业 成 冯月贵 刘 明 刘爱国 刘 磊 汤晓英  
成德芳 孙云波 李 宁 李伟忠 何仁洋 沈 勇 张志毅  
张晓斌 张路根 陈 克 陈 杰 罗伟坚 罗晓明 郑 宁  
赵鹏华 杨 力 武星军 胡 滨 胡 军 侯旭东 夏锋社  
党林贵 钱夏夷 梁广炽 曹怀祥 盛水平 董亚民 董君卯  
韩立柱 曾钦达 谢常欢 赖春阳 窦文字 缪春生 樊 琨  
薛季爱 张东平 邹 萍 汪艳娥 史红兵 于在海 徐金海  
罗志群 苏 强 王 也 伏喜斌 赖跃阳 孙书成 叶伟文  
陈家斌 祝学军 蒋 俊 黄 冀 郭伟灿 马溢坚 曾钦达

姚 钦 赵尔冰 韩建军 曹光敏 陈定岳 黄 凯 郑 凯  
刘大宝 程义河 要万富 张 勇 邢谷贤 赵 丁 张一平  
苏立鹏 张 海 胡玉龙 胡立权 徐洪涛 杨 虎 韩绍义  
王 森 邱志梅

#### 四、工作委员会（排名不分先后）

主 席：沈功田

副主席：姚泽华 杜顺学 沈 钢 丁克勤 李光海

成 员：钱夏夷 舒文华 邹定东 丁春辉 梁广炽 丁树庆 于 滨  
王伟雄 赵小兵 王晓桥 王骄凌 王从军 刘 明 李振华  
吴遵红 邢友新 朱光艺 孙仁凡 李 丁 李文广 金樟民  
杨玉山 邹少俊 宋金钢 唐卫国 王淑兰 汪 洋 张元榕  
陈志刚 钟海见 郑 炯 赵世良 赵东辉 赵秋洪 兰清生  
高 俊 高增明 郭 凯 陶 然 黄凯东 黄学斌 业 成  
蒋 青 曹 晋 王胜利 宋金泉 王海忠 韩树新

# 2016 年全国特种设备安全与节能学术会议 支持单位

(共 66 家单位)

中国特种设备检测研究院	河北省特种设备监督检验院
中国特种设备安全与节能促进会	河南省锅炉压力容器安全检测研究院
中国特种设备检验协会	河南省特种设备安全检测研究院
中国锅炉水处理协会	福建省特种设备检验研究院
江苏省特种设备安全监督检验研究院	浙江省特种设备检验研究院
上海市特种设备监督检验技术研究院	四川省特种设备检验研究院
重庆市特种设备检测研究院	安徽省特种设备检测院
沈阳市特种设备检测研究院	江西省锅炉压力容器检验检测研究院
深圳市特种设备安全检验研究院	广西壮族自治区特种设备监督检验院
全国锅炉压力容器标准化技术委员会	湖南省特种设备检验检测研究院
全国索道与游乐设施标准化技术委员会	陕西省锅炉压力容器检验所
《中国特种设备安全》杂志社	云南省特种设备安全检测研究院
中国机械工程学会压力容器分会	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	内蒙古自治区特种设备检验院
中国腐蚀与防护学会承压设备专业委员会	内蒙古自治区锅炉压力容器检验研究院
广东省质量技术监督局	广州特种机电设备检测研究院
北京市特种设备检测中心	广州特种承压设备检测研究院
天津市特种设备监督检验技术研究院	杭州市特种设备检测院
山东省特种设备检验研究院	南京市锅炉压力容器检验研究院
广东省特种设备检测研究院	南京市特种设备安全监督检验研究院
辽宁省安全科学研究院	武汉市特种设备监督检验所
河北省锅炉压力容器监督检验院	武汉市锅炉压力容器检验研究所
	西安市特种设备检验检测院

济南市特种设备检验研究院  
长春特种设备检测研究院  
大连市锅炉压力容器检验研究院  
大连市特种设备监督检验院  
宁波市特种设备检验研究院  
厦门市特种设备检验检测院  
温州市特种设备检测中心  
北京市朝阳区特种设备检测所  
安庆市特种设备监督检验中心  
成都市特种设备检验院  
浙江省联合特种设备研究院

绍兴市特种设备检测院  
贵州省特种设备检验检测院  
江西省特种设备检验检测研究院  
乌海市特种设备检验所  
青岛市特种设备检验检测研究院  
大连利恒节能环保安全技术研究中心  
赤峰市特种设备检验所  
衢州市特种设备检验中心  
嘉兴市特种设备检验检测院  
湖州市特种设备检测研究院  
绵阳市特种设备监督检验所

# 序

由特种设备科技协作平台和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共同举办的2016年全国特种设备安全与节能学术会议于11月22日至25日在福建省厦门市召开。这是第三届全国性特种设备安全与节能科技盛会。

本届会议的主题是“科技领跑,创新发展”。召开会议的目的是为了不断营造特种设备学术氛围,培育科技创新环境,从而逐步提升特检科技水平,进一步促进特种设备安全与节能事业发展。学术会议得到了平台57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66家单位支持。

本次学术会议共200篇科技论文进行了交流,大会还设立了优秀论文奖,旨在表彰在科研上取得优秀成果的科技人员,从而鼓励更多的科技人员积极投身于特种设备科技事业中。本次会议共有121篇论文参加优秀论文评选,最终有39篇论文脱颖而出。其中一等奖论文5篇,二等奖论文15篇和三等奖论文20篇(获奖论文均收录在每一篇章的开头)。

本论文集主要收录了2016年全国特种设备安全与节能学术会议论文,同时还收录了特种设备科技协作平台2016年举办的特种设备质量控制与监督检验学术研讨会以及2015年车用CNG气瓶安全技术论坛论文。三次会议共收到论文短摘要268篇,会议现场实际收到论文全文209篇。经同行专家评审、编审人员审核、出版社校核和作者修改,共收录论文169篇。其中2016年全国特种设备安全与节能学术会议112篇,特种设备质量控制与监督检验学术研讨会33篇,2015年车用CNG气瓶安全技术论坛24篇。收录的论文内容涵盖锅炉、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、大型常压储罐等设备的设计、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等领域。论文集分上、下两册,共六篇,上册包括锅炉篇、管道篇和容器篇,下册包括电梯篇、起重机篇和综合篇。

本届学术会议的成功召开和这次论文集的及时顺利出版得到了国家质检总局科技司、特种设备安全监察局和特种设备科技协作平台领导的大力支持,会议组委会和66家支持单位做了大量宣传和精心组织工作,论文评审专家也付出了很多辛勤工作,在此,一并表示衷心的感谢。同时,感谢参与论文编辑工作的苑一琳以及研究生王尊祥和吴明涛。最后,对中国质检出版社的领导和编辑表示感谢,他们严谨的工作态度保证了本论文集的顺利出版。

为鼓励更多特种设备相关科技人员积极参与学术交流,本书收录的论文水平可能高低不等。由于论文征集、评审和编辑出版过程较仓促,恐有疏漏或不妥之处,敬请专家和广大读者批评指正。

编者

2017年10月于北京



# 目 录

## 电 梯 篇

基于液压提升称重技术的电梯平衡系数检测装置 .....	陈海 孙学礼 黄国健( 3 )
基于定义法的电梯平衡系数丝杆提升检测装置实现 .....	孙学礼 黄国健 刘英杰 何山 彭启凤 陈海( 10 )
基于热流密度法的防爆电梯制动器紧急制停温升有限元分析 .....	欧阳惠卿 舒文华 薛季爱( 16 )
一种便携式电梯制停距离检测仪的研制及应用 .....	刘小畅 梁骁 曹奕刚( 22 )
超高速电梯 PMSM 永磁体退磁的研究 .....	张传龙( 26 )
对室外型自动扶梯安全评估中所反映几个问题的思考 .....	张东平( 30 )
基于激光测距技术的电梯液压缓冲器动态跟踪检测技术研究 .....	戚政武 梁敏健 王葵( 35 )
基于双分流惯量的工业制动器试验方法研究 .....	刘宇 张雷 康立贵 袁旌杰 吕潇( 39 )
基于加速度传感器的防坠安全器现场检测装置开发 .....	凌张伟 夏珺芳 马溢坚 黄胜红( 45 )
无机房电梯紧急操作装置的改进 .....	赵耀 王国华( 50 )
无机房货梯设置“假机房”的案例分析 .....	韦炳旭 苏毅飞 焦雷 刘辉( 53 )
一种电梯层门间隙测量装置研发 .....	贺雨田 秦艳鹏 李红昌 慕生勇 卢加飞 龚楠 王双增( 58 )
电梯轿门间隙检测装置 .....	卢德俊( 64 )
电梯极限开关检验方法探讨 .....	冯双昌 欧阳惠卿( 71 )
关于电梯制动器常见问题和检验方法的探讨 .....	宋大力( 75 )
ADIA SYSTEM 电梯制动能力检测与传统方法的对比分析 .....	潘超 姜国勇( 80 )
一例电梯制动器控制回路设计缺陷引起溜车案例分析 .....	王化南 刘小畅 刘鹏博( 85 )
基于大数据的电梯监管新模式探索 .....	张贞贞 檀昊( 87 )
基于大数据的电梯健康度管理 .....	邱志梅 张绪鹏( 91 )
基于物联网的城市电梯安全监测长效机制的探索与实践 .....	吴文祥 曹光敏 黄宏彪 沈峥 郑晓锋( 96 )
电梯物联网信号提取方法研究 .....	陈辰 陈克 夏丽荣( 102 )
电梯物联网数据动力学研究 .....	张绪鹏( 107 )
基于 MATLAB 编程的电梯安全评价软件设计及实现 .....	李珺 许有才 邓方华 郭澍 陶然 李新仕 苟敏 李琨( 115 )
基于电梯安全评估案例的电梯状况分析 .....	盖晓东 赖跃阳 王建生( 121 )
基于模糊故障树的电梯安全评价方法 .....	许有才 李珺 邓方华 郭澍 陶然 李新仕 苟敏 李琨( 125 )
在用电梯安全评估实务探讨 .....	赵迎龙( 132 )
浅析自动扶梯安全评估的主要特点 .....	刘传奇( 138 )

基于成本寿命的电梯使用寿命评估 .....	江凡( 143 )
基于油液监测的电梯齿轮箱磨损状态评估方法的研究 .....	刘延川( 147 )
电梯“掉层”故障的检验案例分析 .....	朱振国 许林( 152 )
故障树分析法在电梯挤压事故分析中的应用研究 .....	罗恒( 155 )
决策树算法在电梯故障原因预测中的应用研究 .....	庆光蔚 王会方 胡静波 周前飞 刘肖凡 陆二伟( 161 )
一起因自动扶梯零部件失效引发乘客受伤的案例 .....	梁骁 李博 邱郡( 167 )
轿厢意外移动保护装置的检测方法 .....	林晓明( 172 )
轿厢意外移动原因分析及探讨 .....	刘文琴 黄国健 李中兴( 177 )
防爆电梯的检验技巧和隐患分析 .....	王向阳 张仲( 181 )
便携式电梯形变测试仪 .....	胡新 张华军 刘汉贵 牛彦鹏( 187 )
电梯轿厢智能空气净化系统的设计 .....	嵇宇航( 191 )
电梯运行共振的原因分析及应对措施 .....	张金杨( 195 )
基于 EtherCAT 总线的电梯控制系统通讯协议研究 .....	陈健( 198 )
基于 GA - BP 神经网络和 PSO - BP 神经网络对电梯门系统故障预测对比 .....	文鹏高 支猛 李生茂( 204 )
基于层次分析法和最小二乘支持向量机的电梯安全检测 .....	许有才 李珺 邓方华 郭澍 陶然 李新任 苟敏 李琨( 210 )
某型号客梯与货梯乘运质量对比及分析 .....	黄永坚( 216 )
浅析自动扶梯接近式逆转保护装置形式与检测方法 .....	毕晓林 尹泽成( 223 )
曳引电梯节能研究 .....	王葵( 226 )
曳引式电梯能耗测试研究与分析 .....	李中兴 李刚 江爱华 何山( 231 )
一种曳引驱动电梯上行制动试验装置 .....	张新杰( 236 )
一种政府集群化电梯运行监测系统平台建设运营模式的探究 .....	谷曼 汤锐( 240 )
住宅装修期间电梯使用管理办法的研究 .....	张存宝 王刚 王森 刘明( 245 )
自动扶梯检验中几点注意事项 .....	马广振( 249 )
螺旋型自动扶梯监督检验的内容、要求和方法 .....	欧阳惠卿 丁惠嘉 王齐刚( 252 )
基于信息技术的电梯检验工作质量控制及数据挖掘 .....	刘小畅 吕勤( 259 )
TWIN 双子乘客电梯监督检验技术探讨 .....	王齐刚 阮海雷 秦宜奋( 265 )
电梯监督检验下行制动试验的探讨 .....	尹明军( 270 )
上海中心大厦超高速电梯监督检验技术探讨 .....	阮海雷 王齐刚( 274 )

## 起 重 篇

CD1 钢丝绳电动葫芦传动系统失效原因分析 .....	王松雷( 285 )
门座式起重机大型回转支承故障诊断研究 .....	苏文胜 薛志钢 李云飞( 291 )
起重机械智能化过程中关于“安全回路”的探讨 .....	仇佳捷 柯韬 虞伟杰( 298 )
起重机械索具断裂事故分析与安全防范 .....	李剑 刘冬冬( 303 )
基于物联网的起重机远程动态安全监控管理平台 .....	臧小惠( 308 )
基于实时监测的大型门式起重机极限吊装作业安全分析 .....	富阳 潘清存 王帆 程傲 张静楷 张熹( 312 )
大型起重机钢结构腐蚀检测现状 .....	万强 吴占稳 沈功田( 320 )

基于 ADAMS 的汽车起重机斜坡三点支撑稳定性研究 .....	王国华	刘磊	( 325 )		
门式起重机钢结构的安全评估方法研究 .....	徐彬	汤晓英	刘晓畅	梁骁	( 332 )
门座式起重机起升冲击系数理论计算与振动测试研究 .....	何山	邓贤远	江爱华	黄国健	( 338 )
桥架类起重机焊接工艺评定浅说 .....	熊亚飞	赵九峰	张丽丽	( 344 )	
一起塔式起重机倾覆事故案例分析 .....	邓明旭	文鹏高	( 349 )		
起重机抗风防滑性能多体动力学分析 .....	薛志钢	苏文胜	( 352 )		
大型游乐设施轴失效模式研究初探 .....	刘然	沈功田	张勇	郭嘉	( 357 )
场(厂)内专用机动车辆作业环境安全管理 .....	陆蓉	梁骁	邱郡	( 363 )	

## 综合篇

高温铁磁性构件壁厚减薄脉冲涡流检测研究 .....	李建	沈功田	武新军	柯海	( 371 )		
基于叉车动力学和运动学建模的仿真考核模拟系统的研究 .....	王海荣	( 377 )					
基于修正 $\theta$ 法的材料蠕变寿命微损评价研究 .....	郑杨艳	郑凯	俞燕萍	张怡	( 384 )		
链状磁致伸缩导波检测传感器研制 .....	刘冉	从明	李涛	武新军	( 390 )		
T 型焊缝内缺陷相控阵超声检测工艺的试验研究 .....	左延田	宋盼	王少军	任彬	( 398 )		
纳米 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 水基磁悬液沉淀浓度测试与型式检验性能研究 .....	洪勇	史红兵	沈明奎	张俊斌	舒霞	吴玉程	( 406 )
Z 比分数法在检验机构比武及能力验证中的应用 .....	沈建民	王小华	牛亚平	( 411 )			
高温螺栓法兰连接故障模糊危害度分析方法 .....	孙振国	顾伯勤	( 421 )				
基于多元高斯声束的超声检测模拟研究 .....	余焕伟	欧阳星峰	郑小腾	蒲建忠	( 430 )		
特种设备焊缝相控超声检测中声场近远场临界距离的计算 .....	毛小虎	郑晖	岳云飞	姜学平	( 438 )		
现场金相便携式电解抛光装置及抛光工艺研究 .....	徐亮	张正华	孙仁凡	( 444 )			
低频电磁检测技术综述 .....	张晓竹	李光海	( 448 )				
状态维修中设备信号数据的管理 .....	魏晓	郭云志	( 455 )				
计算机 X 射线照相检测技术(CR)及其应用 .....	李宏雷	王广坤	范春雷	庞彦平	姜凯	( 460 )	
浅谈机械式停车设备对改善城市行车难和停车难的作用 .....	李智源	晏勇	( 467 )				
国家特种设备安全水平评价指标体系构建与应用 .....	邱郡	欧阳韦平	( 475 )				
基于本质安全的特种设备监督检验探讨 .....	陈杰	蒲晒	唐跃林	( 481 )			
基于价值链分析法的特检机构竞争优势思考 .....	谢春梅	( 485 )					
基于自检与考核相结合的特种设备技术档案管理研究 .....	谢小娟	杨宁祥	徐寒	( 490 )			
进口特种设备许可模式及问题解析 .....	李景振	沈功田	( 496 )				
科研项目建议书编制技巧探讨 .....	吴莱	沈功田	( 505 )				
“创新驱动发展”提升执行力有效地提高特种设备检验工作质量 .....	王海荣	( 510 )					
新型城镇化模式下特种设备节能减排与循环经济发展智能评估模型研究 .....	胡素峰	王会方	金樟民	( 514 )			
实施职业健康安全管理体系 推动安全标准化管理法制化建设 .....	蒲晒	( 523 )					
特种设备检验检测机构如何编写管理体系“五合一”内审检查表——以 L 省特检院为例 .....	景战军	张红霞	( 526 )				

# 电 梯 篇



# 基于液压提升称重技术的电梯平衡系数检测装置

陈海,孙学礼,黄国健

广州特种机电设备检测研究院,广州 510180

**摘要:**无载电梯平衡系数检测方法形式多样,称重法就是其中的一种。广州特种机电设备检测研究院自主研发的 BCM 电梯平衡系数分析仪就是一款可以实现用“称重法”进行电梯平衡系数检测的仪器设备。它根据“电梯平衡系数”的定义公式  $K=(W-P)/Q$ ,直接用带力传感器的液压提升设备称量电梯轿厢质量  $P$  和电梯对重质量  $W$ ,然后根据公式计算出平衡系数  $K$ 。本文介绍了该仪器设备的工作原理、在研发过程中克服的技术难点、试验效果以及其市场应用情况。

**关键词:**电梯平衡系数;BCM;无载法;称重;液压提升

## Detecting Equipments of Elevator Coefficient Based on Hydraulic Lifting Weighing Technology

Chen Hui, Sun Xueli, Huang Guojian

Guangzhou Academy of Special Equipment Inspection & Testing, Guangzhou 510180

**Abstract:** There are various types of load-balance detection methods, and the weighing method is one of them. Guangzhou Institute of special mechanical and electrical equipment research and development of independent research BCM elevator balance coefficient analyzer is a can be achieved with 'weighing method' for the balance of the elevator equipment testing equipment. It weighs the elevator car mass  $P$  and the elevator counterweight  $W$  directly by the hydraulic lifting equipment with the force sensor according to the definition equation  $K=(W-P)/Q$  of the 'elevator balance coefficient', and then calculates the balance coefficient  $K$  according to the formula. This paper introduces the working principle of the instrument and equipment, the technical difficulties in the process of research and development, the test results and its market application.

**Keywords:** Elevator balance coefficient; BCM; Unloading method; Weighing; Hydraulic lifting

## 0 引言

电梯平衡系数检测是电梯检验过程中的一个重要环节。因为平衡系数是曳引式驱动电梯的重要性能参数。国家标准规定曳引式电梯的平衡系数值应为 40%~50%。不合理的平衡系数值可能导致电梯运行能耗高,舒适性差,甚至可能导致轿厢冲顶或者坠梯等事故。所以,选择一个合适的平衡系数,保证电梯的运行基本上接近理想的平衡状态,就显得至关重要。

现行通用的电梯平衡系数检测方法是“载荷-电流法”。该检测方法的原理是通过往轿厢加入不同重量的砝码来平衡轿厢与对重的质量,通过检测电梯运行电流值来找到重量的平衡点。其具体操作方法为:轿厢分别装载额定载重量的 30%、40%、45%、50%、60%作上、下全程运行,当轿厢和对重运行到同一水平位置时,记录电动机的电流值,绘制电流-负荷曲线,以上、下行运行曲线的交点确定平衡系数。这种检测方法是一种间接检测法,检测过程中的电压波动、上下运行的速度差、传动效率差、读数时间的误

基金项目:广东省质量技术监督局项目(2016PT01);广州市创新平台建设与共享专项项目(201509010008)

作者简介:陈海,1984 年出生,硕士研究生,工程师,主要从事机电类特种设备安全与节能技术研究。



差和绘图技巧都会引起检测误差,其精度难以保证。而且这种方法需要在检验现场准备砝码,费用高,劳动强度大,检测时间长。

因此,电梯行业不断在探索无载的电梯平衡系数测试方法。广州特种机电设备检测研究院提出了一种基于液压提升称重技术的电梯平衡系数无载检测方法,并且开发出基于这种方法的测试仪器——“BCM”电梯平衡系数分析仪。本文介绍了该产品的技术实现过程以及该方法的应用和推广。

## 1 BCM 产品的工作原理和理论依据

称重法是无载的电梯平衡系数检测方法之一。称重法的检测原理是根据电梯平衡系数定义表达式  $K = (W - P) / Q$ ,直接称量电梯轿厢质量  $P$  和电梯对重质量  $W$ ,然后根据定义表达式计算出平衡系数  $K$ 。在不切断钢丝绳、不打破电梯曳引系统原有平衡状态的前提下,如何能高精度地测量出轿厢和对重的质量成为了难题。BCM 产品用一种创新的思路解决了这一难题。其工作原理如图 1 所示。

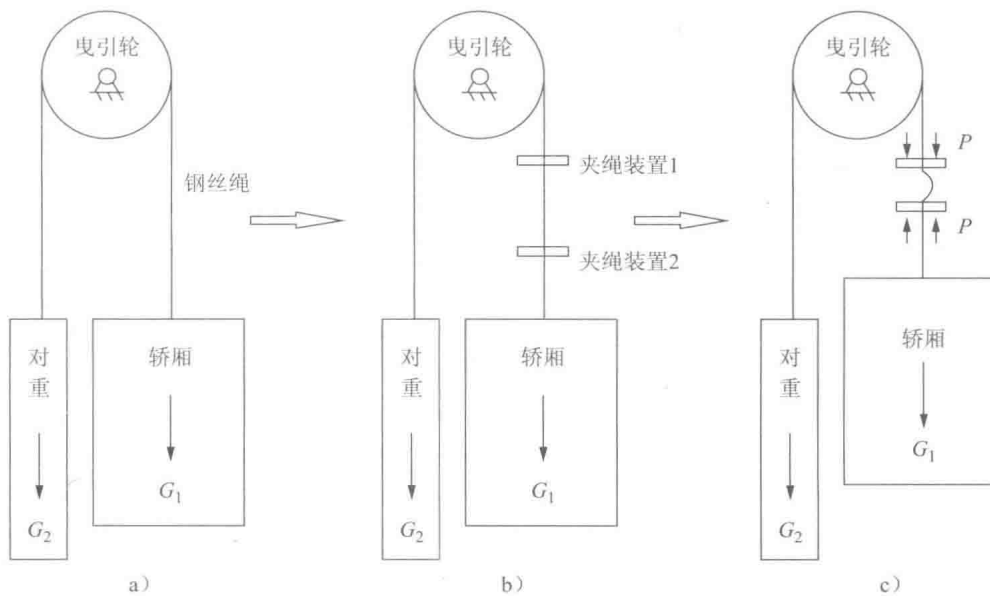


图 1 BCM 工作原理示意图

图 1a)为电梯曳引系统示意图。电梯在停止状态下,轿厢和对重分别悬挂在曳引轮的两侧,靠钢丝绳与曳引轮之间的摩擦力来平衡它们之间的重量差。由于是垂直悬挂,我们知道轿厢侧钢丝绳所受张力就等于轿厢的重力。如图 1b),BCM 设计了两个夹绳装置,间隔一定距离夹紧在钢丝绳上。这两个夹绳装置相当于“固定”在钢丝绳上。若分别在两个夹绳装置上施加大小相等方向相反的作用力  $P$ 。如图 1c),当  $P$  足够大时,自由悬挂的轿厢将会被提起,两个夹绳装置之间的这段钢丝绳会松弛并弯曲。此时,在静止状态下,外部施加的作用力  $P$  的大小就等于轿厢的重力  $G_1$ 。BCM 通过精确地测量出这个外部施加的作用力  $P$  的大小来达到测量轿厢重力  $G_1$  的目的。

## 2 夹绳装置的设计及实现

电梯悬挂系统一般是采用 3~8 根钢丝绳组成。施加作用力的  $P$  要使每根钢丝绳都松弛并弯曲才能等同于轿厢或对重的重量。所以夹绳装置必须同时夹紧所有的钢丝绳。BCM 产品采用两块金属材质的夹块,通过高强螺栓组将其夹紧在钢丝绳上。

如图 2a)所示,两个夹块之间的夹紧力  $F$  要求在足够提升轿厢或对重质量的作用力  $P$  下与钢丝绳不发生相对位移。夹紧装置和钢丝绳之间是靠摩擦力  $f$  来提升重量的。根据计算式  $F = f / \mu$ ,所需夹紧力

与所需摩擦力  $f$ ，即被提升重量  $G$  与摩擦系数  $\mu$  有关。夹紧力  $F$  不足，会发生夹块在钢丝绳上打滑，无法提升目标重量； $F$  过大，有可能让钢丝绳发生永久性形变，损坏钢丝绳。为了解决这一难点，在夹块和钢丝绳之间采用一种硬度比钢丝绳小的高分子材料作为垫片，如图 2b) 所示，同时在垫片上加工出适合钢丝绳直径的绳槽以加大与钢丝绳的接触面积，保护钢丝绳不受损害。这种高分子材料要求硬度适中，还必须具有一定的强度和韧度。

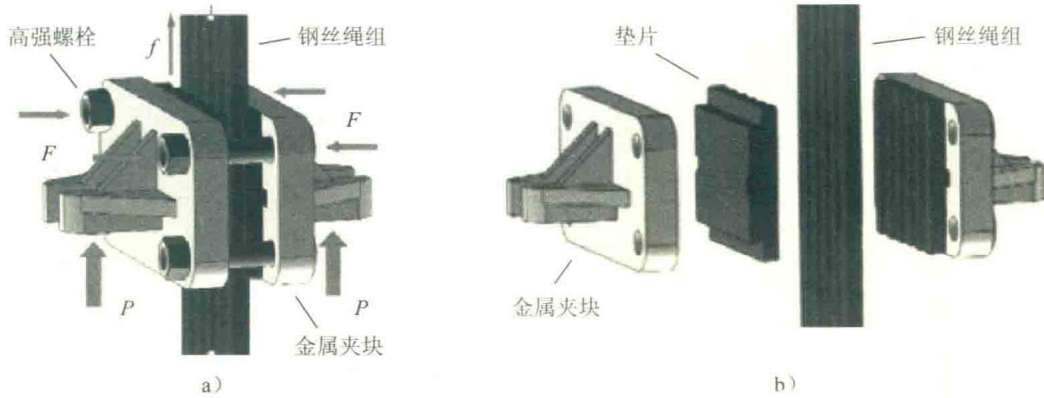


图 2 夹绳装置

为了降低对夹紧力  $F$  大小的要求，垫片材料与钢丝绳之间的摩擦系数  $\mu$  要足够大。为此，我们用不同材质、不同大小、不同槽型的垫片材料，如图 3 所示，经过了大量的试验，选择出了适合要求的垫片类型。为了增加垫片材料与钢丝绳之间的摩擦，我们在绳槽内加工了增加摩擦的交叉型纹路。



图 3 垫片试验品的种类与形式

根据所选垫片材料与钢丝绳的摩擦系数  $\mu$  和所需的提升力  $f$ ，我们通过计算式  $F = f / \mu$  求出所需的夹紧力  $F$ 。为了使得夹紧装置的质量与体积尽量小，我们选择了机械强度较高的金属材料来做夹块，并且通过有限元分析来优化夹块结构，使得夹块在满足强度的前提下体积更小，更轻便。如图 4 所示。

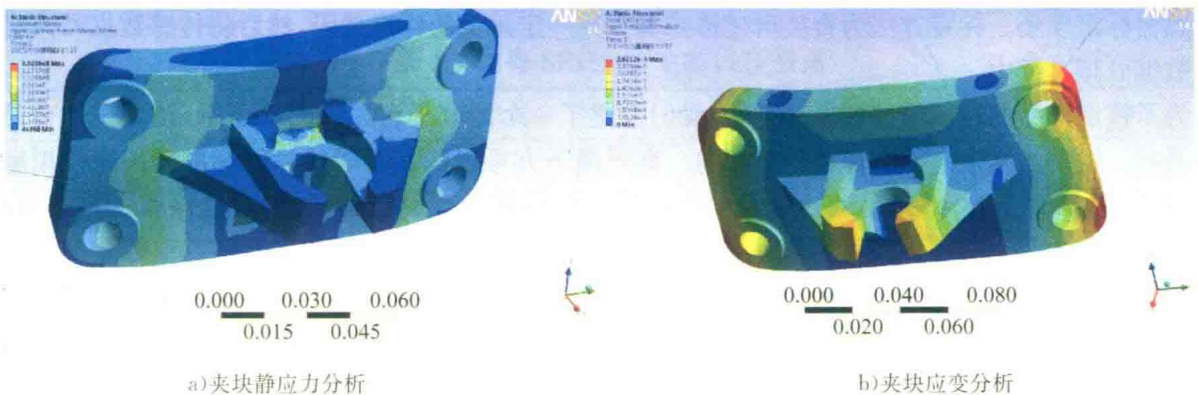


图 4 夹块结构有限元分析



### 3 提升装置的设计及实现

我们选用拉式液压缸来作为提升装置的施力部件。如图 5 所示,采用两个拉式液压缸连接上下两个夹绳装置,是为了钢丝绳组两侧受力平衡。两个拉式液压缸的尾部连接有力传感器,可以精确测量出液压缸动作时的拉力大小。两个液压缸通过一个三通接头采用同一个手动泵驱动,如图 6 所示,这样保证了两个液压缸动作的同步性,同时也使得作用在夹绳装置上的力  $P$  平均分布在钢丝绳两侧,保证系统不受偏载而发生倾斜和翻转。

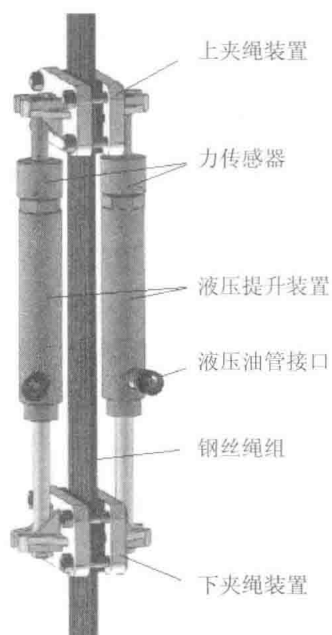


图 5 液压提升装置结构



图 6 BCM 整体安装效果

BCM 工作过程是:通过手动泵将液压油注入两个拉式液压缸,液压缸慢慢收缩提升下夹绳装置,上下夹绳装置之间的钢丝绳逐步松弛并弯曲,力传感器将数传给显示主机。当钢丝绳明显弯曲并且显示主机读数随着重物继续提升不再变化时,说明钢丝绳在垂直方向上的张力完全转换到液压缸上,记录这个时候的读数,即为悬挂重物的重量。

### 4 产品的试验与计量

BCM 本身是一款高精度的称重设备。要达到满意的测试精度,传感器需要经过精准地标定。图 7 为传感器标定现场。标定方法为直接通过传感器提升一定重量的标准砝码,然后将传感数据写入显示主机的数据处理芯片中。

为了核定产品的测试精度和提升性能,我们搭建了一个测试平台。如图 8 所示,该测试平台是用起重吊起一组钢丝绳来模拟电梯悬挂钢丝绳。钢丝绳下方可以钩挂不同质量的标准砝码来模拟电梯轿厢或者对重的质量。BCM 产品通过提升标准砝码来验证其称重的精确度,同时也检验了其提升性能。现有的 BCM-I2000 产品量程为  $0\sim 2000\text{kg}$ 。这个量程范围可以满足市场上 90% 以上数量的电梯平衡系数测量要求。因为大部分电梯的额定载荷在  $2000\text{kg}$  以内。额定载荷  $2000\text{kg}$  及以上的电梯一般会采用  $2/1$  的曳引比。在称量其轿厢或对重重量时我们只需要测量其一半的重量。图 8 为 BCM-I2000 产品提升  $2.25\text{t}$  标准砝码的试验现场。