

王红军 徐小力◎著

# 特种机电设备游乐设施的 安全服役关键技术

TEZHONG JDIANSHEBEI YOULESHESI DE ANQUAN FUYI GUANJIAN JISHU

 中国财富出版社  
CHINA FORTUNE PRESS

# 特种机电设备游乐设施的安全服役关键技术

王红军 徐小力 著

中国财富出版社

## 图书在版编目 (CIP) 数据

特种机电设备游乐设施的安全服役关键技术 / 王红军, 徐小力著. —北京: 中国财富出版社, 2015. 10

ISBN 978 - 7 - 5047 - 5121 - 8

I. ①特… II. ①王… ②徐… III. ①游乐场—机电设备—安全技术 IV. ①TS952. 81

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 255722 号

策划编辑 郑欣怡

责任编辑 颜学静

责任印制 何崇杭

责任校对 杨小静

责任发行 斯 琴

---

出版发行 中国财富出版社

社 址 北京市丰台区南四环西路 188 号 5 区 20 楼

邮政编码 100070

电 话 010 - 52227568 (发行部)

010 - 52227588 转 307 (总编室)

010 - 68589540 (读者服务部)

010 - 52227588 转 305 (质检部)

网 址 <http://www.cfpress.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京京都六环印刷厂

书 号 ISBN 978 - 7 - 5047 - 5121 - 8/TS · 0091

开 本 787mm × 1092mm 1/16

版 次 2015 年 10 月第 1 版

印 张 14.25

印 次 2015 年 10 月第 1 次印刷

字 数 295 千字

定 价 40.00 元

## 内容简介

随着社会和经济不断发展，人们生活水平不断提高，作为特种机电设备典型代表——游乐设施得到人们的青睐。游乐设施的结构复杂，具有高度的游乐性和刺激性。由于游乐设施是典型的特种设备，保障其安全可靠运行的安全服役关键技术不仅有利于设备资产安全，而且与人民群众的生命安全相关。本书针对特种机电设备——游乐设施的安全服役问题，论述特种机电设备游乐设施的设计原理、数字化建模方法，给出了基于仿真的安全特性分析方法，阐述基于虚拟样机的游乐设施安全性分析技术以及游乐设施的数字化参数化设计平台。基于仿真的安全服役技术对产品的创新设计测试和评估，保证安全服役，缩短开发周期，降低开发成本具有重要作用。

本书可供高等院校、研究院所以及企业从事特种机电设备及特种设备设计与维护等相关研究领域的科技人员使用参考，也可作为机械工程以及相关学科专业的教师、高年级本科生和研究生的教材或参考书。

# 前 言

随着人民生活水平的提高，越来越多的人喜欢上了惊险、刺激的娱乐形式。游乐设施是一种具有特殊结构的特种机电设备，其种类层出不穷，结构越来越复杂，运行状态具有不断向高空和快速发展的趋势。以该娱乐设施形成的产业，其年收入在30亿元以上。目前游乐设施在运行期间安全事故时有发生，造成人民群众生命财产的巨大损失，主要原因就是游乐设施的安全可靠性不稳定。如何提高特种机电设备的运行安全性能，避免事故的发生成为目前急需解决的一个重要问题。中国游乐园协会根据调查研究认为安全问题涉及设计、建造、维护和运营等方面，其中设计、制造是安全性运行的关键。

近年来，计算机仿真技术在各个领域得到广泛应用，基于仿真的机电设备安全服役技术是采用先进设计理论、高科技软件工具，运用仿真手段进行机电设备的运动学和动力学分析，解决机电设备设计和生产中的安全性和可靠性问题。开展基于仿真的特种机电设备的安全服役关键技术研究具有重要的科学研究价值和工程实际意义。

本书是在作者承担的研究项目的基础上提炼而成的。本书内容涉及的研究项目包括：北京市教育委员会科技发展计划项目“游乐运动设备的计算机仿真设计”、北京市教育委员会科技发展计划彩虹工程项目“过山车轨道设计关键技术研究”、北京市金桥工程项目、北京市属高等学校人才强教深化计划学术创新团队资助项目“大型动力设备安全运行状态预示关键技术研究”（PHR201106132）、北京市外国专家局项目“复杂机电系统的动特性检测与分析技术”（20140222）等；其中故障检测分析及安全保障关键技术得到了国家自然科学基金项目“基于能量解耦的风力发电旋转机械故障趋势预示方法研究”（51275052）、北京市自然科学基金重点项目“面向新能源装备的复杂机电系统运行稳定性劣化趋势方法研究”（3131002）等项目的支持。本书的研究工作是在北京市教育委员会科技发展计划项目、北京市属高等学校人才强教深化计划学术创新团队资助项目等专项和计划的资助下完成的，在此特向相关单位表达深深的谢意！

本书由王红军、徐小力负责全书筹划和统稿，王红军撰写第1章、第2章部分章

节、第3章、第4章、第5章，韩风霞撰写第2章部分章节、第6章。作者在整理书稿过程中得到了韩风霞的热心帮助。

本书涉及的研究内容主要来源于作者所负责的研究课题，研究成果是其研究团队多年努力的结果。在本书出版之际，对研究团队表示深深感谢。他们是韩秋实、栾忠权、许宝杰、张怀存、钟建琳和刘国庆等以及所指导并参加该研究工作的硕士研究生颜景润、陈静、张晶和王丹等。

本书内容力求通俗易懂，体现理论与实际的密切结合。

本书的出版得到北京市教师队伍建设（PXM2014\_014224\_000080）的资助，在此表示衷心感谢！感谢富国、付恒生、胡光华、陈辰等行业内专家的大力支持和帮助！

本书在写作过程中参考或引用了许多学者的资料和文献，尽可能在参考文献中列出，并向该领域的各位专家表示感谢！若某些引用资料由于作者疏忽等原因没有标注其出处，在此表示歉意！

由于特种机电设备的安全服役是具有探索性和挑战性的研究课题，尚有许多问题有待深入分析和研究，作者希望本书能为该领域的深入研究抛砖引玉。由于作者水平和学识有限，时间仓促，书中难免存在不足和错误之处，敬请各位读者朋友批评指正！谢谢！

作者

2015年春于北京

# 目 录

<b>1 绪 论</b> .....	1
1.1 研究意义 .....	1
1.2 特种机电设备的研究现状和发展趋势 .....	2
1.3 特种机电设备安全服役关键技术的现状和发展 .....	5
1.4 本书研究的主要内容 .....	13
<b>2 特种机电设备原子滑车轨道的设计原理</b> .....	16
2.1 概 述 .....	16
2.2 特种机电设备原子滑车分类及组成 .....	20
2.3 特种机电设备原子滑车轨道设计关键技术 .....	27
2.4 特种机电设备原子滑车轨道的参数化设计 .....	40
2.5 特种机电设备原子滑车设计流程及设计准则 .....	47
<b>3 基于有限元的特种机电设备安全性分析</b> .....	52
3.1 概 述 .....	52
3.2 基于有限元的特种机电设备原子滑车轨道的安全性分析 .....	60
3.3 基于有限元的原子滑车底架安全性分析 .....	77
3.4 基于有限元的桥壳安全性分析 .....	82
3.5 基于有限元的轮架安全性分析 .....	86
<b>4 基于虚拟样机的特种机电设备安全服役技术</b> .....	93
4.1 概 述 .....	93
4.2 基于虚拟样机的特种机电设备原子滑车的安全性分析关键技术 .....	102
4.3 基于虚拟样机的原子滑车建模 .....	108

4.4	原子滑车运动学及动力学仿真 .....	118
<b>5</b>	<b>基于特征的特种机电设备数字化设计平台研究 .....</b>	<b>127</b>
5.1	概 述 .....	127
5.2	特种机电设备参数化图库开发的关键技术 .....	133
5.3	基于特征的原子滑车数字化设计平台构建 .....	136
5.4	基于特征的原子滑车数字化设计知识数据库建立 .....	148
5.5	基于特征的原子滑车数字化设计平台系统实现 .....	149
<b>6</b>	<b>特种机电设备游乐设施运行状态的监控检测技术 .....</b>	<b>161</b>
6.1	游乐设备的国内外法规标准体系 .....	162
6.2	游乐设施的检验机构、检验人员及检验要求 .....	165
6.3	游乐设施动态检测和监控技术原理及其研究现状 .....	167
6.4	大型游乐设施动态检测、诊断和监控技术 .....	168
	<b>参考文献 .....</b>	<b>175</b>
	<b>附录一 大型游乐设施设计文件鉴定规则（试行） .....</b>	<b>187</b>
	<b>附录二 中华人民共和国特种设备安全法 .....</b>	<b>204</b>



# 1 绪 论

## 1.1 研究意义

随着现代社会经济的迅猛发展，人们在满足物质生活方面的需求后，越来越追求精神生活水平的提高。特种机电设备游乐设施因能给乘客带来超重和失重的刺激感而被许多人所喜欢。特种机电设备的典型代表游乐设施是指用于经营目的，承载乘客游乐的设施，包括原子滑车，绕水平轴转动或摆动的观览车，沿架空轨道运行或提升后惯性滑行的架空游览车，绕可变倾角的轴旋转的陀螺，用绕性件悬吊并绕垂直轴旋转升降的飞行塔转马，绕垂直轴旋转、升降的自控飞机，水上游乐设施等。据不完全统计，目前在用各类特种机电设备游乐设施总量约2万多台，每年参与游乐的人数超过4亿多人·次。游乐设施承载游客体验速度和激情，其服役安全性直接关系到游客的性命安全。

特种机电设备游乐设施事关公共安全，事关人民群众特别是广大青少年的生命安全，更是社会关注的热点。一旦发生事故，社会影响极其恶劣，对人民群众的心理和精神伤害特别严重。特种机电设备游乐设施也称为“特种设备”。目前，一方面国内的特种机电设备游乐设施基本属于进口或仿制，成本昂贵需要消耗大量的外汇；另一方面游乐设施产品正向更快、更高、更复杂的方向发展，国内外游乐设施的科研相对滞后，在运行过程中由于缺少合理的检测维护手段，必须提高游乐设施的安全服役技术水平。

由于特种机电设备游乐设施设计制造质量、管理水平相对落后，近年来发生多起伤亡事故，社会负面影响极大，由设计制造缺陷引起的重大故障或未遂事故更是时有发生，因此，特种机电设备游乐设施的安全形势不容乐观，迫切需要研究一套行之有效的特种机电设备游乐设施的安全服役技术的方法，努力降低故障率和事故率。

为了提高游乐设备安全性和运行可靠性，确保装备安全服役，需要针对复杂机电设备设计、制造、运行过程中的安全性进行分析，为产品的快速优化设计、虚拟装配、

运动安全问题检验提供手段, 增强企业市场竞争能力, 提升装备制造企业的聚集优势和整体市场竞争力。针对特种机电设备的服役安全性分析技术、监测和检测技术开展研究具有重要的理论意义和工程应用价值。

## 1.2 特种机电设备的研究现状和发展趋势

特种机电设备过山车作为大型游艺机受到人们的普遍欢迎, 其运行的最高时速达  $100\text{km/h}$  以上, 没有发动机也没有方向盘, 主要靠重力作用往下运行。方向控制由轨道对车轮的约束力来实现, 最后由摩擦制动器实施制动。在乘坐时, 乘客时而感到像在空中高速下落, 时而感到像在空中飞翔, 从而大大增加了过山车的惊险性和刺激性。

最原始的原子滑车——过山车, 可上溯到 17 世纪初期的俄罗斯。当时在雪地里高速滑行的冰制小雪橇演变成现代的原子滑车。当时人们用沙子来使小雪橇增加摩擦减速。后来为了增加小雪橇的滑行速度和强度发展到更精致的木制小雪橇。

第一辆真正意义的过山车是在 1884 年由 LaMarcus·汤普森在美国纽约布鲁克林的 Coney 岛创建的, 并取名为“重力高兴之字形路线铁道”。1886 年安东·Schwarzkopf 设计了富有刺激性的、轻便的过山车。1891 年在家兔岛, “旋风”过山车变为官方的新的约克陆标。由于安全问题, 在 1903 年关闭了过山车的所有娱乐活动。在过山车发展的一百多年中, 现代过山车除了速度更快外, 其他最基础的部分与 19 世纪末的过山车是一样的。

1912 年约翰·米勒发明第一辆低摩擦力的过山车后, 过山车在 20 世纪 20 年代才真正进入了黄金时代。特别值得一提的是, 1955 年后过山车进入了全新的发展领域。过山车的设计思想发生根本改变, 于 1959 年在迪斯尼国家公园建造第一辆钢制过山车。

1992 年在英国建造了世界上最长的过山车。1993 年于法兰西建造 Euro·迪斯尼。1994 年 Desperado 建造在比尔娱乐场, 以  $209\text{ft}$  (英尺) 高的尺寸成为世界上最大的过山车, 也是速度最快的过山车, 具有  $80\text{miles/h}$  的速度。1996 年 Fujiyama, 建造在日本的 Fujiyama 高地公园, 以离地  $259\text{ft}$  (英尺) 的距离成为世界上最高的过山车。1997 年超人逃逸 (Superman The Escape) Intamin 设计, 建在 Six Flags Magic Mountain (六面旗帜魔术山), 是第一辆由一个线性的发动机以  $100\text{miles/h}$  的速率来推动一辆滑车在垂直高度为  $400\text{ft}$  (英尺) 的轨道上滑行的过山车。1998 年 Oblivion 建造于英国的奥尔顿托尔的 Bolliger Mabillard, 是第一辆“垂直降落的过山车”。

2003 年日本国内诞生了一项被列为“吉尼斯世界纪录大全”的最新纪录——新型过山车“DODONPA”, 其最高时速可达  $172\text{km/h}$ 。

此后,过山车的发展不断地发生重大的变革,新的工业技术不断的应用在过山车上,几乎每年都要建造一辆“打破纪录的”过山车。在新的工业技术不断应用到过山车的同时,过山车的安全装置改进也应用了新的方法。今天,过山车家族已经有约30名成员,包括金属过山车、悬挂式过山车、竖立式过山车以及穿梭式过山车等。

特种机电设备游乐设施行业从20世纪80年代中期开始,目前已经逐步形成了以游乐设施制造企业、使用单位、检验检测机构与相关服务企业等构成的新兴产业。1995年4月29日,由上海游艺机工程公司研制的国产第一台“三环原子过山车”(轨道长495m,高23m)在东北吉林市江南游乐园建成通车。同年10月这家公司又把目光瞄准了轨道长约900m、高38m,有两个垂直立环的超巨型过山车。在1996年“七·一”前,过山车在山东省潍坊市富华游乐园投入运行。

现在我国共有取得制造、安装、修理或改造许可的游乐设施生产厂150多家,如北京实宝来游乐设备制造有限公司、华北矿山冶金机械厂等。近年来每年生产大型游乐设施3000台(套)左右。国内也大量引进国外的高端设备,部分先进设备由国际知名公司(如S&S、B&M、Intermin等)设计制造,可实现操作自动化、多个监控点自动监测、系统报警功能等,整体达到国际先进水平。如美国S&S公司的弹射式过山车,其最快速度为135km/h。

国内外涉及特种机电设备游乐设施的科研主要包括:标准法规、设计制造、事故分析与安全预测几个方面。

在标准法规方面,国际上有美国材料与试验协会(American Society for Testing and Materials, ASTM)的游乐设施标准技术委员会(F-24)、欧盟标准化委员会的“移动游乐园和游乐场的机械与结构安全技术委员会”(CEN/TC 152 Fairground and Amusement Park Machinery and Structures - Safety)、澳大利亚标准化委员会和新西兰标准协会组成的游乐设施标准制定联合体ME/51技术委员会,以及2010年ISO新成立的ISO/TC254游乐设施标准技术委员会,主要开展涉及人体生理影响、设计制造及安装、操作与维护等方面的标准条款起草等工作。

国内由国家质检总局负责,开展了“国内外特种设备法规标准的比较研究”工作,2008年修订完成我国游乐设施标准,增加了载荷、设计计算、各种冲击系数、应力及疲劳强度安全系数、防止倾覆和侧滑的安全系数、加速度允许值、安全分析、安全评价和应急事故预案等内容。

在特种机电设备游乐设施的设计制造方面,目前国内外游乐设施的设计仍主要以经验设计为主。国外的瑞士B&M、Intermin、荷兰Vakoma、意大利Zamperla等公司,开展了部分滑行类游乐设施的研究,进行了整机与安全装置安全可靠性方面的试验,还缺少系统性和完整性。

国内绝大多数设计制造单位还处于模仿阶段。即使有几家已迈入自主创新阶段，但都缺乏开展游乐设施安全可靠方面科研工作的积极性，对于新开发产品可靠、耐久性方面的试验与研究投入很少。

在特种机电设备的在役检测监测研究方面，国外开展此类研究的相关信息还很少。

国内针对特种机电设备—游乐设施的安全研究方面，国家科技部、国家质检总局设立了许多涉及游乐设施检验检测仪器设备与检测监测方法方面的研究的专门课题。中国特种设备检测研究院秦平彦、林伟明、沈勇等承担了“游乐设施安全保障关键技术研究”“大型游乐设施关键部件剩余寿命评估方法研究”“大型游乐设施安全状况综合评价方法研究与新技术工程应用”“游乐设施运行状态测试与监测系统研究”“大型游乐设施突发事故应急救援支持系统”“游乐设施安全保护装置型式试验方法研究”等专题研究，这些课题的研究成果为游乐设施安全提供了有力的技术支撑和保证。

在仿真计算方面，特种机电设备滑行类设备的危险性较大，速度较快，基于仿真的特种机电设备的安全性研究受到重视。德国技术检验机构 TUV 曾开展了游乐设施仿真计算研究，并将研究结果用于他们所开展的游乐设施设计审查。中国特种设备检测研究院承担了国家质检总局的“基于虚拟仿真的游乐设施动力学分析技术研究”科研项目。2003 年北京市启动的彩虹工程“游乐运动设备的计算机仿真设计”、北京市教育委员会科技发展计划彩虹工程项目“过山车轨道设计关键技术研究”、金桥工程项目“过山车轨道设计关键技术”，对具有复杂运动形式的设备进行模拟、仿真，以分析其运动过程中各点的受力状态。改善玻璃钢等复合材料的制作工艺，进而加强其性能。华东理工大学的郑建荣和汪惠群开展了过山车虚拟样机的建模与动态仿真分析。

在事故调查分析与统计分析方面，国际上美国消费产品安全委员会（CPSC）和 Safe parks 等公益性机构，英国、澳大利亚职业安全与健康机构对本国的游乐设施事故进行事故调查分析与相应的统计分析。中国特种设备安全监察部门和检验研究技术机构负责国内的事事故调查分析与统计分析。

综上所述，特种机电设备游乐设施的安全形势非常严峻，安全事故时有发生，现有的科研主要侧重于填补检验检测和国家标准的空白，缺乏对实际发生的游乐设施事故和重大故障深入的分析研究。特种机电设备游乐设施的科研仍处于初级阶段，面向设备安全服役、运行管理等关键技术还需要进一步研究。

目前现有特种机电设备游乐设施优劣并存，质量参差不齐。既有特大型的国外进口设备，也有使用多年的老旧设备。我国游乐设施行业起步较晚，通过多年模仿设计，少数厂家逐步具备自主研发能力。但多数为小型企业，创新能力不足。各种先进的设计方法和软件，如运动学仿真、有限元分析、安全评价等在游乐设施中运用不多。

国产老旧设备存在着安全隐患，例如，设备的设计、制造安装质量先天不足；在

役设备使用维护不到位, 部件磨损严重甚至损坏, 造成设备后天失调。运载设备的车轮磨损后更换不及时、电子元器件老化失效等。很多在役设备运行时间过长或者超过使用时间, 造成设备部件损坏或金属结构疲劳; 在常规检验中, 已经在多台达到产品寿命的设备中发现疲劳裂纹。设备整体老化, 容易进入事故的易发期或多发期, 险些酿成严重事故; 部分进口设备大量采用分布式控制, 结构复杂, 传感器控制, 由于运行环境和地域气候条件的差异, 容易造成误报警、紧急停车等故障。更为担忧的是, 部分厂家为追求经济效益, 只知其然而不知其所以然, 盲目模仿, 追其型而忽略其安全本质, 更没有经过足够时间的安全可靠性的考验, 无法保证游乐设施安全, 影响产品的安全性能。

同时, 由于特种机电设备游乐设施数量猛增, 安全使用管理滞后, 设备设施安全管理与维保人员匮乏, 普遍缺乏设备运行管理经验, 设备自检维护投入也不足, 容易造成我国游乐设施运行安全隐患不断增多, 事故频发。与此同时设备的安全检验难度增高, 风险加大。对检验人员、技术、手段、方法、仪器的要求也越来越高。目前急需实现停车静态检测与运行动态监测相结合, 安全评估与检测监测相结合, 定性定量相结合的多元化安全保障模式。

### 1.3 特种机电设备安全服役关键技术的现状和发展

特种机电设备游乐设施的设计制造运行在近年有了长足的发展, 但整体水平还比较低。每年也都有游乐设施事故发生, 社会反响极其强烈。典型事故如 2013 年 7 月 23 日美国得克萨斯州阿灵顿市一名妇女在坐当时号称是世界上最高的混合钢制过山车时安全保护脱落, 从高空坠落死亡。2013 年 9 月 29 日上海欢乐谷, 绝顶雄风过山车在运行至顶部、距离地面约 60m 的高空时突发故障停运, 发生过山车卡半空的事故。如图 1-1 所示。



图 1-1 上海欢乐谷事故

2007年12月31日，芜湖方特欢乐世界游乐园的过山车因大风发生故障，突然停止，16位游客悬空半小时后被安全解救，事故未造成人员伤亡。事故原因是当天下午气温较低，后来又刮大风，过山车采用的是非电力系统的启动设备，当过山车滑行到月亮状顶部时，遇到大风阻力，停在半空中。如图1-2所示。



图1-2 芜湖方特过山车故障

2007年6月30日上午在安徽省合肥市逍遥津公园里，发生一幕惨剧：一台名为“世纪滑车”的游乐设施在运行爬坡过程中突然脱轨下坠，造成乘客被抛飞的人身伤亡。如图1-3所示。



图1-3 合肥市“世纪滑车”事故

2007年8月13日下午韩国釜山“环球嘉年华”上发生严重事故，一台摩天轮在运转过程中，有一节观光缆车车厢突然翻转，缆车门被甩开，缆车内有5人从20米高空摔下，4人当场死亡，1人不治身亡。如图1-4所示。

2007年5月5日下午近1点时，日本大阪府吹田市的万博纪念公园游乐园（Expo-

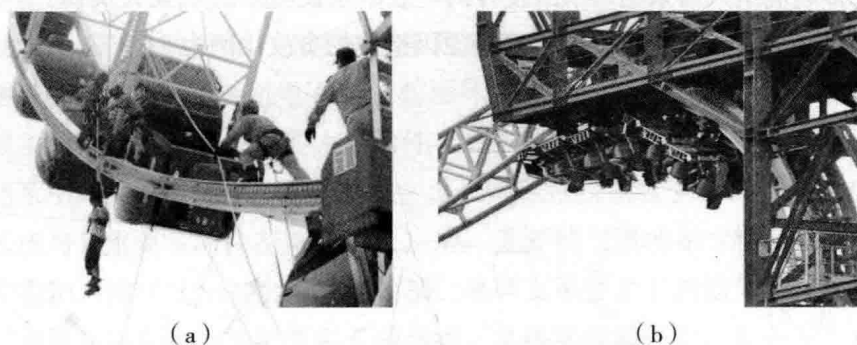


图 1-4 韩国釜山“环球嘉年华”发生严重事故

land) 发生过过山车事故, 造成 1 人死亡, 约 21 人受伤。如图 1-5 所示。2007 年 6 月 12 日美国阿肯色州游乐园过山车停电, 游客倒挂半小时。如图 1-6 所示。

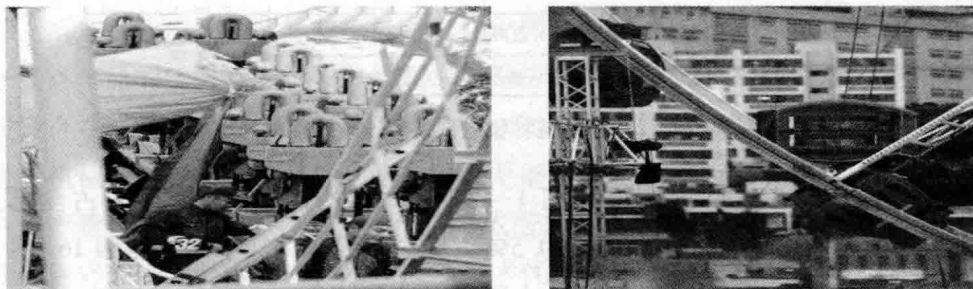


图 1-5 日本过山车事故



图 1-6 美国阿肯色州过山车停车游客倒挂

据统计, 近年来国内事故统计如图 1-7 所示。根据对我国近 10 年来的游乐设施事故原因分析归类, 设计制造安装等原因造成的事故占 40% 左右, 使用不当原因造成的事故占 35%, 乘客原因或其他原因造成的事故占 25%。在这些事故中, 由设计制造安装修理等原因造成的人员伤亡达到伤亡总数的 34.9%, 所占比例最大。考虑到近几年

发生的 10 多起应纳入而未纳入事故统计的一般游乐设施事故（无人员伤亡，设备自身损失超过一万元），设计制造安装修理等原因造成的事故比例为 44.2%。

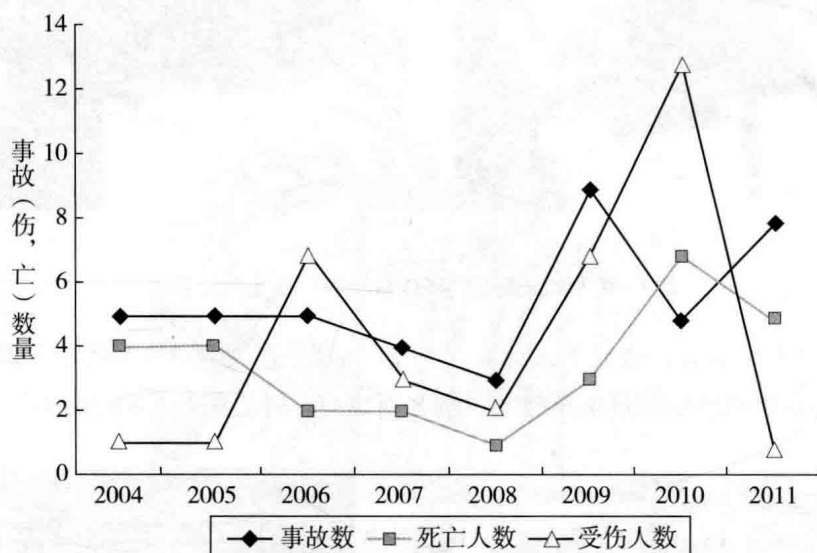


图 1-7 我国近年特种机电设备游乐设施事故一览

英国 1990—2000 年事故统计如图 1-8 所示，设计原因造成事故占全部原因 19.2%、结构或机械系统失效原因占 20.5%、操作原因 21.7%、乘客原因 16.5%、其他原因 22.4%。其中设计与制造原因占全部原因的 39.7%。

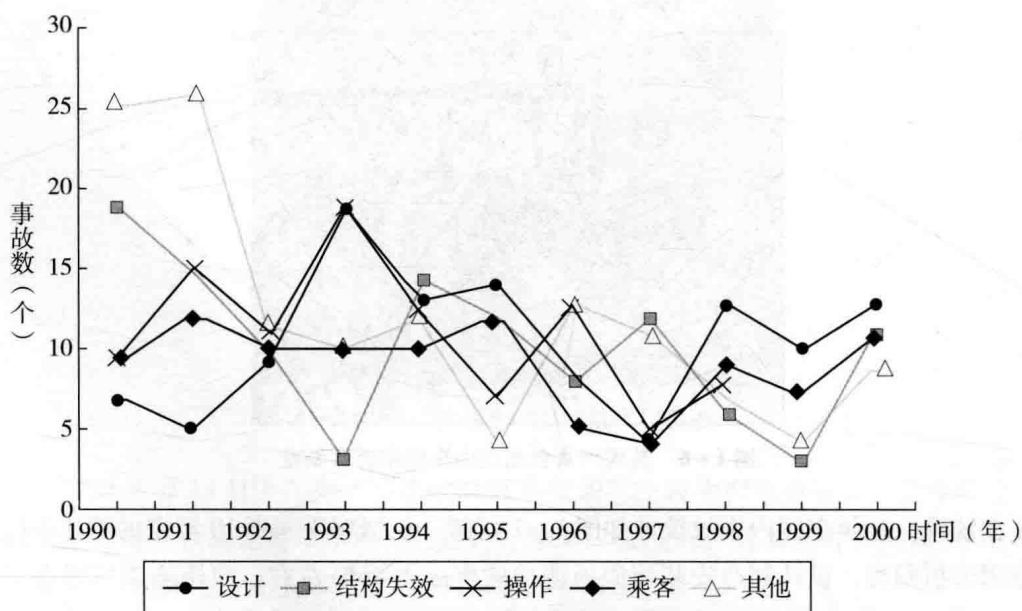


图 1-8 英国特种机电设备游乐设施事故一览



游乐设施不同于一般的工业生产设施，其价值在于创造欢乐，带给人们愉悦的心情。游乐设施关系到公共安全，关系到少年儿童的生命安全，其社会价值远远大于经济价值。游乐设施是一种特种机电系统，其设计是一种创新性设计、个性化设计。其关键部件或主要受力零部件包括受力结构件、载客装置上的关键零部件、重要轴与销轴、重要轮系中的关键零部件、安全装置，以及其他涉及乘客安全的重要机械件（如载人提升系统与其重要零部件及重要节点）等。重要轴与销轴如主轴、中心轴、坐席吊挂轴、车轮轴、油（气）缸上下支撑销轴、坐席支承臂上下销轴等。其关键部件或主要受力零部件如果失效会导致乘客人身伤害。这些零件部件中，有的是在设备正常工作况下承受较大应力，有的在特定工况下承受较大应力。

特种机电设备事故或重大故障案例，很多是由于制造、安装与拆卸、调试、检验与试验、使用、维护、故障处理，以及环境条件等原因造成的。但很大部分是设计考虑不周所致，必须在设计阶段充分考虑并加以控制。

综上所述，特种机电设备游乐设施设计原则是安全第一和审慎保守原则。安全第一要求设计产品的任何经济或技术性能指标都应绝对服从安全指标要求；不允许游乐设施设计存在涉及人身安全方面的不确定性；对于可能影响乘客人身安全的主要受力零部件、机械或电气系统或部件，必须保证足够安全，绝不能有导致设备严重损坏或造成人员严重伤害的不可检测的单一失效点或潜在的单一失效点。

审慎保守原则主要体现为：采用成熟技术优于采用新开发技术；开发的全新游乐设施产品或新技术用于游乐设施，必须经过严格论证、多程序和多种方法检验与试验，以及足够的时间考验；重要设计就繁不就简（对于重要产品、部件或较大的不确定性，应通过不同方法计算或从不同角度进行分析并增加计算项目，不应只采取单一方法进行计算分析或消除不确定性）；考虑安全系数影响因素就多不就少；载荷或载荷组合选取就重不就轻；选取材料强度值就低不就高等。

设计人员应确保设计计算与分析项目与内容的全面完整性、正确性、真实性、安全可靠、符合性（符合标准与特种设备安全技术规范要求），并兼顾制造安装的可实现性、产品的可检验性与可维护性，以及事故的可救援性等。另外，还要确保设计文件资料之间的一致性和封闭性。

当采用某种设计软件计算开发重要新产品或某些关键复杂受力零部件时，需要采用不同计算方式（不同软件或手工）重新进行计算或验算校核。对运动型式特别复杂的游乐设施，运动状态和受力情况宜采用虚拟样机手段进行模拟分析。

对于不易拆卸的关键零部件（指拆装工作量占整机安装工作量的50%以上），或其他按照永久寿命设计的关键零部件，应在图纸上明确规定控制其制造安装质量的特殊技术要求与检验检测要求，以确保其实际质量能够达到永久使用的目的；对于使用过