

2021年 (第2期)

# 特种设备 安全与节能

Special Equipment Safety and  
Energy Conservation



主办单位: 杭州市锅炉压力容器技术协会

## 《特种设备安全与节能》编辑委员会

**顾问:** 卢建祥 郑津洋 高增梁  
周剑明 周劲松

**主任委员:** 韩树新

**副主任委员:** 万 军 汪 宏 李伟忠  
袁剑锋 李文炜

### 委员: (以姓氏笔画为序)

卫金海	马建萍	马 舜	王文水
邓 红	王 强	韦新华	卢志明
刘延雷	刘松国	狄 刚	陈 军
陈红卫	陈冰冰	李存岑	何伟校
杨其华	邱征宇	沈建林	陈 涛
杜 清	杨象岳	罗 莎	赵永志
赵 辉	袁昌明	徐金海	夏福勇
盛水平	黄安庭	熊伟东	

性 质: 连续性内部刊物

本期编辑: 谢梦茜

联系地址: 杭州市中山北路351号

邮政编码: 310003

电 话: 0571-85065339

传 真: 0571-85065339

网 址: www.hzase.org

E-mail: 171142976@qq.com

# 特种设备安全与节能

Special Equipment Safety and Energy Conservation

## 目 录

2021年 第2期 总第18期

### 协会新闻

协会举办“特种设备安全生产月”宣传活动 .....	01
协会赴四川学习考察 .....	02

### 行业动态

市场监管总局关于发布《移动式压力容器安全技术监察规程 (第3号修改单)》的公告 .....	04
--	----

### 安全与管理技术

2020年老旧住宅小区、重点区域使用的电梯、 锅炉等特种设备技术性检查分析报告 .....	12
2021年上半年杭州市特种设备安全形势分析 .....	16
李东洋	
技术机构中层干部考核管理问题研究 .....	19
钱艳玲 任玉标	
浅析锅炉清洗工艺的选择与应用 .....	22
王 玲 熊伟东	
快开门式压力容器安全联锁装置浅析 .....	27
何承代 张 璞 杨宇俊	
一种基于嵌入式技术的压力容器封头检测装置 .....	31
丁无极 罗剑波	
基于FLUENT的电梯井火灾烟气蔓延模拟分析 .....	36
王黎斌 周俊坚 舒立琼	
中美规范大型储罐抗震设计计算对比分析 .....	41
黄 泽 杨宇俊 高 遥	
关于有机热载体锅炉系统更改的探讨 .....	49
王 玲 许建国	
球罐裂纹产生原因分析 .....	54
王 希	
波纹炉胆燃烧模拟和测温仪布置的研究 .....	58
陈静相	
基于物元可拓理论变权的过山车安全评价方法 .....	61
金灿华	
环戊烷进料线三通裂纹原因分析 .....	73
王 希	
征稿启事 .....	76



## 协会举办“特种设备安全生产月”宣传活动

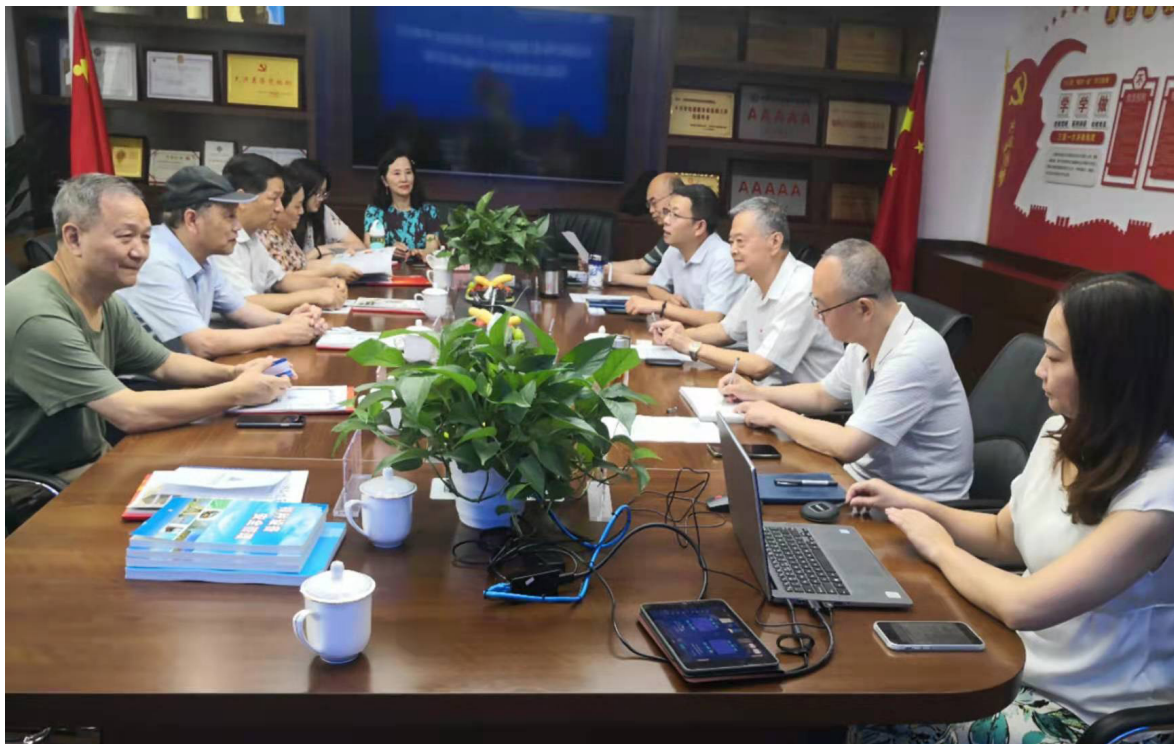


今年6月是全国第20个“安全生产月”，为进一步推进特种设备安全宣传活动，提高广大群众特种设备安全意识，增强自我保护能力。6月25日，由杭州市市场监督管理局主办，杭州市锅炉压力容器技术协会承办的“落实安全责任，推动安全发展”主题宣传活动在滨江龙湖天街举行。活动现场，采取设立咨询服务站、摆放特种设备宣传展板、发放宣传册等形式，向群众宣传普及特种设备安全知识。

工作人员现场讲解被困电梯内如何处理，电梯突然下坠如何应对，自动扶梯如何安全乘坐以及液化气瓶和管道煤气安全使用等，普及电梯和气瓶安全使用及应急救援知识，全面提高居民安全意识。本次活动共发放宣传资料、宣传手册、技术标准及相关书籍等共计2000余份，现场解答咨询300余人次。通过宣传咨询活动，促进了群众对特种设备法律法规的了解，营造了浓厚的安全生产月宣传氛围。



## 协会赴四川学习考察



为了进一步做好特种设备安全与节能工作，提升特种设备行业安全质量技术水平，更好的体现协会服务政府、服务企业、服务社会的宗旨，协会作为政府和企业的桥梁纽带，应当与时俱进，学习先进的管理经验，不断地提高自身的服务能力。7月1日，协会组织部分理事单位和协会秘书处赴四川学习考察，考察组一行8人第一站到四川省特种设备安全管理协会进行学习考察。7月2日-3日，在四川省特种设备安全管理协会参加了座谈会和交流活动，四川省特种设备安全管理协会会长张利民、副会长吕涛、秘书长王江海就协会业务、服务及党建工作等方面开展的情况作了详细介绍。双方围绕着当

前特种设备行业面临新形势和现状以及如何进一步提高行业协会服务能力及工作质量等问题展开讨论。考察组一行对四川省特种设备安全管理协会作为四川省专业、权威的特种设备行业的社会组织，在国家市场监督管理总局、省市场监督管理局的正确指导下遵循四个服务（为行业、为会员、为企业、为政府），在行业引领、技术服务、宣传培训等方面成绩显著，成为国内标杆的社会组织，非常值得我们学习。7月4日-7日，协会考察组一行在四川协会帮助协调下，对四川省成都、甘孜等部分周边地区的企业进行走访和实地学习考察。本次的学习考察，获益良多，学习了四川省特种设备安全管理协会先进的管

理模式和服务水平，深刻认识到我们存在的差距以及需要改进的地方。我们将继续秉承协会“坚持服务宗旨，强化服务能力，提升服务水平，谋求服务效果”的工作主题，进

一步加强学习与交流，不断地提升协会管理水平和能力，更好的为会员、为政府、为社会服务。



## 市场监管总局关于发布 《移动式压力容器安全技术监察规程 （第3号修改单）》的公告

为贯彻落实《中华人民共和国特种设备安全法》《特种设备安全监察条例》，推进特种设备安全监管改革，优化压力容器安全监管措施，市场监管总局对《移动式压力容器安全技术监察规程》（TSG R0005—2011）2011年第1版，以及第1号、第2号修改单进行修订，形成第3号修改单，现予批准发布，自2021年8月1日起施行。

特此公告。

市场监管总局  
2021年6月25日

## 《移动式压力容器安全技术监察规程》

(TSG R0005—2011, 2017年1月第2次修改)第3号修改单

### 1. 将 1.7 修改为:

#### 1.7 不符合本规程时的特殊处理规定

有关单位采用新材料、新技术、新工艺,与本规程不一致,或者本规程未作要求、可能对安全性能有重大影响的,应当向国家市场监督管理总局(以下简称市场监管总局)申报,由市场监管总局委托特种设备安全与节能技术委员会进行技术评审,评审结果经市场监管总局批准后投入生产、使用。”

### 2. 将 2.1 修改为:

#### 2.1 基本要求

(1) 移动式压力容器的选材应当考虑材料的力学性能、化学性能、物理性能、工艺性能以及材料与充装介质的相容性;

(2) 罐体材料的性能、质量、规格与标志,除应当符合相应材料的国家标准或者行业标准的规定外,其使用要求还应当满足本规程协调标准(修注1)的要求;

(3) 罐体材料制造单位应当在材料的明显部位作出清晰、牢固的出厂钢印标志或者采用其他可以追溯的标志;

(4) 罐体材料制造单位应当向材料使用单位提供质量证明书,材料质量证明书的内容应当齐全、清晰并且印制可以追溯的信息化标识,加盖材料制造单位质量检验章;可以追溯的信息包括材料制造单位名称、材料标准号、牌号、规格、炉批号、交货状态、质量证明书签发日期等内容;可以追溯的信息化标识包括二维码、条码等;

(5) 移动式压力容器制造、改造和修理单位从非材料制造单位取得罐体用材料时,应当取得材料制造单位提供的材料质量证明书原件或者加盖材料经营单位公章和经办负责人签字(章)的复印件;

(6) 移动式压力容器制造、改造和修理单位应当对所取得的罐体用材料以及材料质量证明书

的真实性和一致性负责。”

### 3. 将 2.10.1(4)、(5)、(6) 修改为：

(4) 移动式压力容器制造、改造和修理单位应当对实物材料与材料质量证明书进行审核，并且对罐体主要受压元件材料的化学成分和力学性能进行验证性复验，复验结果实测值符合本规程及其相应材料标准的要求后，可以投料使用；

(5) 用于焊接结构罐体受压元件的材料，移动式压力容器制造、改造和修理单位在首次使用前，应当掌握材料的焊接性能并且进行焊接工艺评定；

(6) 罐体主要受压元件选用未列入本规程协调标准的标准抗拉强度下限值大于 540MPa 的低合金钢，或者用于罐体设计温度低于  $-40^{\circ}\text{C}$  的低合金钢，应当按照 2.11.2(1) 和 (2) 的要求证明其各项性能指标能够满足本规程和相应标准的要求。”

### 4. 将 2.10.2 修改为：

“2.10.2 境内材料制造单位制造的境外牌号钢板（带）

境内材料制造单位制造的境外牌号钢板（带），除满足本规程 2.10.1 的各项要求外，还应当制定企业标准，并且材料性能指标不得低于境外牌号材料的相应标准要求。”

### 5. 将 2.11.1 修改为：

“2.11.1 未列入本规程协调标准的材料

2.11.1.1 未列入压力容器或者承压设备专用材料标准的材料

罐体主要受压元件选用的材料，未列入本规程协调标准，也未列入压力容器或者承压设备专用钢板、锻件国家标准或者行业标准的，应当经过市场监管总局核准的压力容器型式试验机构的试验验证（出具型式试验报告），按照本规程 1.7 的规定进行新材料技术评审。

2.11.1.2 已列入压力容器或者承压设备专用材料标准的材料

罐体主要受压元件选用的材料，未列入本规程协调标准，但已列入压力容器或者承压设备专用钢板、锻件国家标准或者行业标准的，材料研制单位应当制定企业标准，提供必要的材料数据（包括化学成分、拉伸性能、疲劳试验数据、断裂韧性以及其它满足该材料使用范围要求的性能参数），证明材料各项性能指标满足本规程和专用材料标准要求，并且经过市场监管总局核准的压力容器型式试验机构的试验验证（出具型式试验报告）。”

### 6. 将 2.11.2 修改为：

“2.11.2 材料制造单位首次制造的压力容器专用低合金钢板及锻件

对于本规程协调标准中标准抗拉强度下限值大于 540MPa 或者用于罐体设计温度低于 -40℃ 的低合金钢板及锻件，境内材料制造单位首次制造时，应当同时满足以下要求，证明其各项性能指标满足本规程以及本规程协调标准要求的，可以用于罐体制造、改造和修理：

(1) 材料制造单位应当向使用单位提供材料焊接性能试验报告和焊后热处理工艺等技术资料，并且根据设计需要提供材料疲劳试验数据、断裂韧性，以及确定落锤试验 (NDTT)、韧脆转变温度 (FATT50) 结果的系列试验数据；

(2) 材料应当经过市场监管总局核准的压力容器型式试验机构进行的试验验证，并且出具型式试验报告。”

## 7. 增加 2.11.3 超出标准适用范围的钢板：

### 2.11.3 超出标准适用范围的钢板

罐体主要受压元件选用 GB/T 24511 标准规定的奥氏体不锈钢钢板，但是其钢板标准断后伸长率的要求低于本规程协调标准规定的，材料制造单位应当制定相应企业标准。企业标准中的相关规定值满足本规程、本规程协调标准以及罐体设计文件（或者材料订货技术条件）要求的，可以用于罐体制造、改造和修理。”

## 8. 增加 2.11.4 材料使用要求：

### 2.11.4 材料使用要求

罐体设计单位选用 2.11.1 至 2.11.3 规定范围内的材料时，应当在设计文件中提供选材满足本规程基本安全要求的具体说明，包括材料的力学性能、物理性能、工艺性能、与介质相容性以及规格等，同时提出具体的材料订货技术条件，明确罐体制造、使用、检验等环节相关技术要求，并且对设计选材负责。

罐体制造、改造和修理单位应当对材料进行化学成分（按炉号）、力学性能（按炉批号）的验证性复验，复验结果经过市场监管总局核准的监督检验机构（以下简称监督检验机构）确认后，可以投入使用，材料复验报告应当纳入产品质量证明文件。”

## 9. 将 3.5 修改为：

### 3.5 设计方法

移动式压力容器的设计可以采用规则设计方法或者分析设计方法。

移动式压力容器设计单位应当基于本规程 3.3 所述的设计条件，综合考虑各种相关因素、失效模式、风险状况和安全裕量，按照本规程规定的设计准则进行设计，设计的移动式压力容器应当具有足够的强度、刚度、稳定性和耐腐蚀性；同时还应当考虑支座、鞍座或者其他型式的

支承件等与罐体或者气瓶连接的可靠性，确保移动式压力容器在设计使用年限内的安全。”

**10. 将 3.10.8 修改为：**

**3.10.8 常见介质罐体主要设计参数**

常见介质罐体主要设计参数不得低于表 3-4(修注 2)和本规程协调标准的规定。表 3-4 中没有列出的介质，其罐体的设计单位应当采取召开设计论证会等方式进行充分的设计论证，并且提供设计条件、设计说明书、设计计算书和设计方案图等设计文件，经过监督检验机构书面确认后，可以进行正式设计；依据企业标准进行设计，并且充装液氢、液氮介质的移动式压力容器，还应当按照本规程 1.7 的规定进行技术评审。”

**11. 将 4.5.2 (3) 修改为：**

(3) 采用未列入 NB/T 47013 或者超出其适用范围的无损检测方法时，应当取得移动式压力容器设计单位和监督检验机构书面同意。实施检测的机构应当在试验研究的基础上，制定相应的无损检测团体标准或者企业标准，开展与 4.5.2(1) 规定范围内的无损检测方法的比对试验，保证所用方法的技术指标不低于 NB/T 47013 的相关要求。”

**12. 将 E1.3(2) 修改为：**

(2) 依据企业标准进行设计，并且采用纤维缠绕气瓶的压缩氢气长管拖车或者管束式集装箱，应当按照本规程 1.7 的规定进行技术评审。”

**13. 增加修注：**

修注 1: 本规程的协调标准包括国家标准 GB/T 10478《液化气体铁路罐车》、GB/T 19905《液化气体汽车罐车》和行业标准 NB/T 47057《液化气体罐式集装箱》、NB/T 47058《冷冻液化气体汽车罐车》、NB/T 47059《冷冻液化气体罐式集装箱》、NB/T 47064《液体危险货物罐式集装箱》、NB/T 10354《长管拖车》、NB/T 10355《管束式集装箱》。

修注 2: 表 3-4(包括注 3-5 至注 3-12，以及第 2 号修改单中增加的 4 种介质和注 3-6 的修改内容)的修改见本修改单表 3-4。”

**14. 将表 3-4 修改为：**

表 3-4 常见介质罐体(注 3-5)主要设计参数

JN 编号	名称 / 品种	类别或项别 / 次要危险性 (注 3-6)	设计压力 MPa(注 3-7)	腐蚀裕量 mm(注 3-8)	单位容积充装量 m <sup>3</sup> (注 3-9)	液面以下开口(注 3-10)	特殊要求 (注 3-12)
1005	无水氨	2.3/8	≥1.91	≥2.0	≤0.53	允许	TY1
1010	丁二烯, 稳定的	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.55	允许	
1011	丁烷	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.51	允许	
1012	丁烯	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.53	允许	
1017	氯	2.3/5.1, 8	≥1.34	≥4.0	≤1.25	不允许	
1018	二氟氯甲烷 (制冷气体 R 22)	2.2	≥1.81	≥1.0	≤1.03	允许	
1030	1,1- 二氟乙烷 (制冷气体 R 152a)	2.1	≥1.03	≥1.0	≤0.79	允许	
1032	无水二甲胺	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.59	允许	
1033	二甲醚	2.1	≥1.06	≥1.5	≤0.58	允许	
1038	冷冻液态乙烯	2.1	≥0.30	≥0.0	-	允许	TY2
1040	环氧乙烷	2.3/2.1	1.00	≥0.0	≤0.78	不允许	TY3
1052	无水氟化氢	8/6.1	≥0.70	≥2.0	-	不允许	
1055	异丁烯	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.52	允许	
1061	无水甲胺	2.1	≥0.70	≥2.0	≤0.58	允许	
1063	甲基氯 (制冷气体 R 40)	2.1	≥1.00	≥1.0	≤0.81	允许	
1073	冷冻液态氧	2.2/5.1	≥0.30	≥0.0	-	允许	TY2
1075	液化石油气 (注 3-11)	商品丙烷	2.1	≥1.76	≥1.0	≤0.42	允许
		商品丙丁烷混合物					
		商品丁烷					
1077	丙烯	2.1	≥1.95	≥1.0	≤0.43	允许	
1079	二氧化硫	2.3/8	≥0.73	≥4.0	≤1.23	不允许	
1082	三氟氯乙烯, 稳定的	2.3/2.1	≥1.15	≥0.0	≤1.13	不允许	TY4
1083	无水三甲胺	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.56	允许	
1086	乙烯基氯, 稳定的	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.81	不允许	TY5
1089	乙醛	3	≥0.70	≥1.0	-	允许	

JN 编号	名称 / 品种		类别或项别 / 次要危险性 (注 3-6)	设计压力 MPa(注 3-7)	腐蚀裕量 mm(注 3-8)	单位容 积充装 量 m <sup>3</sup> (注 3-9)	液面以下 开口(注 3-10)	特殊 要求 (注 3-12)
1295	三氯硅烷	4.3/3, 8	≥0.70	≥1.0	-	不允许		
1951	冷冻液态氩	2.2	≥0.30	≥0.0	-	允许	TY2	
1961	冷冻液态乙烷	2.1	≥0.30	≥0.0	-	允许	TY2	
1969	异丁烷	2.1	≥0.70	≥1.0	≤0.49	允许		
1972	冷冻液态天然气	2.1	0.30≤P≤1.00	≥0.0	-	允许	TY2	
1977	冷冻液态氮	2.2	≥0.30	≥0.0	-	允许	TY2	
1978	丙烷	2.1	≥1.76	≥1.0	≤0.42	允许		
2035	1,1,1- 三氟乙烷(制冷气体 R 143a)	2.1	≥2.18	≥1.0	≤0.76	允许		
2187	冷冻液态二氧化碳	2.2	≥2.20	≥1.0	-	允许	TY6	
3159	1,1,1,2- 四氟乙烷(制冷气体 R 134a)	2.2	≥1.21	≥1.0	≤1.04	允许		
3163	制冷气体 R 410A	2.2	≥2.97	≥1.0	≤0.82	允许		
3220	五氟乙烷(制冷气体 R 125)	2.2	≥2.45	≥1.0	≤0.87	允许		
3252	二氟甲烷(制冷气体 R 32)	2.1	≥3.05	≥1.0	≤0.78	允许		
3338	制冷气体 R 407A	2.2	≥2.23	≥1.0	≤0.94	允许		
3340	制冷气体 R 407C	2.2	≥2.13	≥1.0	≤0.95	允许		

注 3-5: 除特殊要求 (TY) 注明外, 其余常见介质罐体是指无保温 (保冷) 结构的罐体 (裸罐)。

注 3-6: 所列介质的类别和项别, 按照本规程 3.9.1 的规定。

注 3-7: 如果罐体需要考虑其他因素影响, 应当按照本规程 3.10.3 和本规程协调标准相应条款的规定确定罐体设计压力。

注 3-8: 所列罐体腐蚀裕量的数值, 除特殊要求 (TY) 中明确罐体材料外, 其余是指在均匀

腐蚀条件下，按照罐体材料为碳钢或者低合金钢确定的罐体腐蚀裕量的最低要求；如果存在非均匀腐蚀或者罐体选用其他材料、具有有效防腐蚀措施时，设计单位应当按照本规程相应条款、设计委托方设计条件或者设计任务书规定的介质腐蚀数据（如腐蚀速率）和设计使用年限确定腐蚀裕量。

注 3-9：表中没有列出数值的，设计单位应当按照本规程和本规程协调标准规定的基本原则，根据设计委托方设计条件或者设计任务书的规定确定。

注 3-10：所列液面以下开口的规定不适用于铁路罐车。

注 3-11：所列介质中的液化石油气应当符合 GB 11174《液化石油气》的规定。设计和制造单位应当在设计文件、出厂资料以及产品标记标识中注明具体介质名称和品种。

注 3-12：特殊要求 (TY) 如下：

TY1：充装无水氨介质罐体特殊要求

(1) 充装含水量小于或者等于 0.2% 的无水氨介质的罐体，当选用低碳钢或者低合金高强度钢（包括焊接接头）时，其材料标准屈服强度下限值不得大于 355MPa，实测抗拉强度值不得大于 630MPa，材料交货状态应当为正火状态；

(2) 充装含水量略高于 0.2% 的无水氨介质的罐体，当选用低碳钢或者低合金高强度钢时，其材料标准屈服强度下限值不得大于 370MPa，实测抗拉强度值不得大于 630MPa，材料交货状态应当为正火状态；

(3) 充装无水氨介质的罐体，不得选用调质钢；

(4) 充装无水氨介质的罐体，制造完毕后应当进行炉内整体焊后（消除应力）热处理。

TY2：罐体为真空绝热结构，内容器选用奥氏体不锈钢材料。

TY3：罐体为保温（保冷）结构或者真空绝热结构，与介质接触的材料（密封件除外）应当选用奥氏体不锈钢材料，密封垫片应当选用聚四氟乙烯材料，绝热层保护壳体不得选用铝制材料。罐体氮封时，其设计温度为 50℃、设计压力为 1.0MPa，罐体的绝热性能应当满足介质工作温度不超过 10℃的要求。

TY4：罐体为保温（保冷）结构，罐体选用奥氏体不锈钢材料。

TY5：罐体为保温（保冷）结构。

TY6：罐体为保温（保冷）结构或者真空绝热结构。

15. 将文中所有“国家质检总局”修改为“市场监管总局”。

# 2020 年老旧小区、重点区域使用的电梯、锅炉等 特种设备技术性检查分析报告

(杭州市锅炉压力容器技术协会 310002)

为加强对特种设备使用单位的监督，督促其安全使用，根据《中华人民共和国政府采购法》、《中华人民共和国合同法》等有关法律法规及其他特种设备法规规范的相关规定。

杭州市市场监督管理局老旧小区、重点区域使用的电梯、锅炉等特种设备技术性检查服务项目(招标编号: ZJZN-20928-SJ31) 经过公开招标, 确定委托杭州市锅炉压力容器技术协会开展该项工作。按照杭州市市场监督管理局《关于下达 2020 年度特种设备日常监督检查计划的通知》(杭市管〔2020〕31 号) 的相关要求, 我协会于 2020 年 12 月至 2021 年 1 月组织开展了全市重点区域特种设备使用单位技术性检查。现将有关服务工作总结汇报如下:

## 一、基本情况

按照“双随机、一公开”原则, 2020 年共监督抽查全市各区县(市)的锅炉、机械式停车设备、电梯等三类特种设备, 共计 330 台, 其中因使用单位未办理设备报停手续原因, 实际完成现场检查 319 台。本次技术性检查涉及特种设备使用单位共计 112 家, 其中: 重点区域锅炉使用单位 53 家, 共计 73 台; 重点区域停车场共计 29 家, 共 96 台; 电梯使用超过 15 年的老旧小区 12 个, 抽查

电梯 100 台, 使用超过 1 年的加装电梯小区 18 个, 抽查电梯 50 台。

**杭州市内各区县抽查单位分布如下:**

### 1、重点区域锅炉 (53 家, 计 73 台)

上城区共抽查单位 2 家, 共 2 台;  
下城区共抽查单位 2 家, 共 3 台;  
拱墅区共抽查单位 2 家, 共 4 台;  
西湖区共抽查单位 2 家, 共 3 台;  
江干区共抽查单位 3 家, 共 3 台;  
滨江区共抽查单位 2 家, 共 2 台;  
萧山区共抽查单位 8 家, 共 9 台;  
余杭区共抽查单位 10 家, 共 15 台;  
钱塘新区共抽查单位 7 家, 共 10 台;  
临安区共抽查单位 3 家, 共 5 台;  
富阳区共抽查单位 8 家, 共 11 台;  
建德市共抽查单位 4 家, 共 5 台。

### 2、重点区域机械式停车设备 (29 家, 共 96 台)

上城区共抽查单位 1 家, 共 1 台;  
下城区共抽查单位 3 家, 共 4 台;  
西湖区共抽查单位 5 家, 共 13 台;  
江干区共抽查单位 1 家, 共 5 台;  
滨江区共抽查单位 7 家, 共 29 台;  
萧山区共抽查单位 7 家, 共 28 台;  
余杭区共抽查单位 5 家, 共 16 台。

### 3、使用超过 15 年的老旧小区电梯 (小区 12 个, 电梯 100 台)

上城区共抽查单位1家，共10台；  
下城区共抽查单位1家，共10台；  
西湖区共抽查单位1家，共10台；  
江干区共抽查单位1家，共10台；  
滨江区共抽查单位1家，共10台；  
萧山区共抽查单位1家，共10台；  
拱墅区共抽查单位1家，共10台；  
余杭区共抽查单位1家，共10台；  
钱塘新区共抽查单位1家，共10台；  
临安区共抽查单位1家，共5台；  
建德市共抽查单位1家，共3台；  
淳安县共抽查单位1家，共2台。

#### 4、使用超过1年的加装电梯小区（小区18个，抽查电梯50台）

上城区共抽查单位1家，共4台；  
下城区共抽查单位1家，共4台；  
西湖区共抽查单位1家，共4台；  
江干区共抽查单位2家，共6台；  
滨江区共抽查单位1家，共4台；  
拱墅区共抽查单位2家，共6台；  
余杭区共抽查单位1家，共4台；  
萧山区共抽查单位1家，共4台；  
钱塘新区共抽查单位1家，共4台；  
富阳区共抽查单位2家，共2台；  
临安区共抽查单位1家，共2台；  
建德市共抽查单位1家，共2台；  
桐庐县共抽查单位2家，共2台；  
淳安县共抽查单位1家，共2台；

## 二、检查内容

本次技术性检查重点为：特种设备资料完整性、设备本身使用维护保养情况、各主

要零部件完整情况、使用环境和相关应急措施和方案等是否能持续满足使用条件。

### 1. 机械式停车设备技术性检查的项目内容与要求：

依照国家相关标准及特种设备相关安全技术规范的要求，如：TSG 08-2017《特种设备使用管理规则》、TSG Q7015-2016《起重机械定期检验规则》，如下：

- (1) 资料审查；
- (2) 环境和外观；
- (3) 金属结构；
- (4) 主要零部件与机构；
- (5) 安全保护和防护装置检查；
- (6) 汽车专用升降机专项安全保护和防护装置；
- (7) 液压系统；
- (8) 电气检查；
- (9) 性能试验，

### 2. 锅炉技术性检查的项目内容与要求：

依照国家相关标准及特种设备相关安全技术规范的要求，如：TSG 08-2017《特种设备使用管理规则》、TSG G0001-2012《锅炉安全技术监察规程》、TSG G7002-2015《锅炉定期检验规则》，如下：

- (1) 资料审查；
- (2) 锅炉安置环境和承重装置；
- (3) 锅炉本体和锅炉范围内管道；
- (4) 安全附件、仪表和安全保护装置；
- (5) 防爆门；
- (6) 排污和防水装置；
- (7) 辅助设备及系统；
- (8) 热水锅炉特殊要求。

### 3. 电梯技术性检查的项目内容与要求：

依照国家相关标准及特种设备相关安全技术规范的要求，如：TSG 08-2017《特种设备使用管理规则》、TSG-T 7001-2009《电梯监督检验和定期检验规定》，如下：

- (1) 门锁紧和闭合验证装置可靠有效；
- (2) 电梯平衡系数符合标准要求；
- (3) 限速器安全钳联动装置可靠有效；
- (4) 主机曳引能力和制动能力符合安全技术规范要求；
- (5) 电梯应急报警装置有效。

### 三、存在问题及原因分析

本次技术性检查，发现锅炉安全问题 44 项，机械式停车设备安全问题 95 项，电梯安全问题 78 项，共计 217 项，其中比较突出的严重问题有下列 12 条。

#### 1. 共性问题 6 条：

- (1) 作业人员和安全管理员无证上岗；
- (2) 缺少特种设备技术资料（缺少出厂资料）；
- (3) 在用特种设备设备未办理使用登记证；
- (4) 没有事故应急专项预案及演练记录等；
- (5) 11 台已停用特种设备未办理报停手续；
- (6) 未建立特种设备相关管理制度及现场未悬挂特种设备使用标志。

#### 2. 锅炉存在问题 2 条：

- (1) 锅炉未按规定进行能效检测，水质化验不合格等；

- (2) 锅炉安全附件（安全阀、压力表等）未检定或超期未检；

#### 3. 立体车库存在问题 2 条：

- (1) 立体车库超长限制装置和载车板防坠落装置失效；
- (2) 立体车库触发紧急停止按钮失效；

#### 4. 电梯存在问题 2 条：

- (1) 电梯应急通话装置失效，轿厢内、外呼按钮失灵；
- (2) 电梯限速器安全钳联动未校验，紧急制动装置无效；

分析此次发现的安全隐患问题，主要原因有两方面：一是使用单位落实特种设备安全主体责任不到位，问题使用单位对特种设备安全责任比较淡薄，不够重视使用环节的安全管理，把特种设备当成普通设备使用管理。二是特种设备维护保养单位的维保质量管理不严，维保人员未按要求对特种设备进行维护保养，导致设备存在严重安全隐患，维保单位未及时发现并采取措施。

### 四、意见和建议

通过本次重点区域特种设备技术性检查专项行动，排查出了特种设备使用单位的安全隐患问题，为地方特种设备安全监察机构实施针对性的安全监察及督查隐患整改提供了有力的技术支撑，可以警示特种设备使用单位重视安全管理，确保特种设备的安全运行。在这次技术性检查工作中，我们派出的专家也加强了与使用单位的进一步沟通，通过现场技术检查工作，检查人员也同时做好了特种设备安全宣传工作，增强了使用单位

遵守特种设备法律法规的安全意识，提高了特种设备的正确使用和维护保养专业知识。

通过这次特种设备技术性检查工作总结，我们建议：

1.加强使用单位和维保单位的监管力度，对重点区域内技术性检查后典型安全隐患进行通报，督促企业进行整改，确保特种设备安全运行。

2.加强特种设备安全宣传教育，普及特种设备安全法律常识，尤其是对加装电梯的实际管理人，提升相关人员的知法、懂法、用法能力，促进企业特种设备的安全管理。

3.加强特种设备常态化技术性检查，针对人员密集场所等重点区域特种设备，定期开展使用单位技术性检查，发布存在重大安全隐患信息，督促使用单位和生产单位落实安全主体责任。

通过协会组织专家对重点区域特种设备技术性检查工作，我们要认真总结经验，不断地提高特种设备技术性检查水平。我们相信，在杭州市市场监督管理局的指导下，今后我们一定会在杭州市特种设备安全管理工作中取得新的成效，为特种设备安全工作做出更大贡献。

# 2021 年上半年杭州市特种设备安全形势分析

李东洋

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

## 一、特种设备基本情况

截至 2021 年 6 月 30 日, 全市在用特种设备 285853 台, 其中电梯 157546 台、锅炉 2236 台、压力容器 52464 台、起重机械 43903 台、场(厂)内专用机动车辆 29577 台、客运索道 10 条、大型游乐设施 117 台。另有各类压力管道 16601 公里, 各类气瓶 262.6 万只。

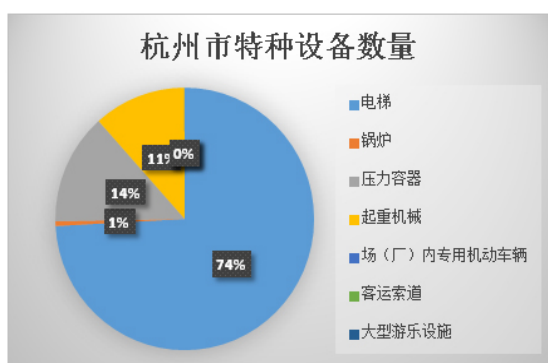


图 1. 2021 年上半年杭州市特种设备数量示意图

燃气气瓶数量来源由各充装站采集。全市共有 37 个液化石油气气瓶充装站点, 于去年 11 月全部建成企业层面气瓶充装可追溯系统, 数据库中显示全市各充装站点累计燃气气瓶总数 258 万只, 其中萧山区 77 万余个。因燃气气瓶存在有效期到期不能使用和用户不再充装未返瓶等原因, 目前测算实际正常流通的在用燃气气瓶总量约 203 万只。另外, 全市在用工业气瓶共有 59.6 万只。

## 二、特种设备安全状况

### (一) 事故情况

2021 年上半年, 我市未发生特种设备伤亡事故。

### (二) 监督检查情况

2021 年上半年, 共出动特种设备安全监察人员 12412 人次。监察特种设备生产、使

设备未办理使用登记(项)	使用非法生产的特种设备(项)	使用未配备具有相应资格的特种设备作业人员的设备(项)	使用未经检验或者检验不合格的特种设备(项)	使用国家明令淘汰, 已经报废的特种设备(项)	超过特种设备的规定参数使用范围的设备(项)	缺少安全附件、安全装置或安全附件、安全装置失灵而继续使用的设备(项)	使用有明显故障、异常情况的特种设备(项)
188	18	53	318	4	1	38	9

用单位 5943 家，监察特种设备 14886 台，发现一般安全隐患 2431 处，整改 2385 处，整改率 98.11%，发现严重安全隐患 322 处，已整改 314 处，整改率 97.52%。发出特种设备安全监察指令书 622 份，立案 93 起，罚没款 223 万元。主要的违法行为是使用未经检验或者检验不合格的特种设备、设备未办理使用登记。

#### 典型案例：

1、萧山区杭州宏峰纺织集团有限公司，在用 3 台分汽缸未注册登记、未经检验合格（现场使用压力为 0.65Mpa）。

已立案调查处理，处罚金额 50000 元。

2、桐庐县桐庐汇融煤气有限责任公司，充装非自有产权气瓶。立案查处、报废涉案 9 只气瓶，予以行政处罚。

3、上城区杭州城南物业服务有限公司，在用乘客电梯钢丝绳断股，要求停止使用，并立即维修整改。

4、余杭区杭州高青仓储有限公司，内燃平衡重式叉车未经检验登记，立案并查封。

5、临平区杭州三福节能科技有限公司，使用未经检验的 2 台储气罐设备。已查封并督促检验。

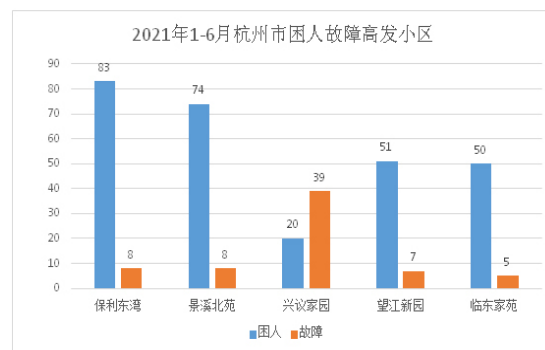
#### （三）应急处置情况

根据杭州市特种设备应急处置中心统计，2021 年 1-6 月，96333 应急处置平台共接到市民咨询、投诉和求援热线 20149 起，电梯困人 8282 次，平均每天接到电梯相关咨询、投诉、救援电话 118 通，应急处置 64 起，解救被困人员 83 人。截止 2021 年 6 月，全市新增社会救援站点 34 个，调整取消站点 6 个，

动态建立救援站 259 个。1-6 月份派遣 2267 次，成功出动 1974 次，成功出动率达到了 87.08%。全市困人报警数量相比去年同期，表现平稳。6 月份，进入夏季后，因气温增高、降雨量大等原因，电梯容易发生故障导致困人事件明显增加，需要做好预防工作。

#### （四）故障隐患情况

上半年，96333 平台共受理电梯安全和故障投诉 3186 起，快速组织维保单位等相关部門第一时间对投诉开展处置工作，及时消除电梯安全隐患，投诉处置率为 100%。上半年全市前五个困人故障高发小区分别为保利东湾、景溪北苑、兴议家园、望江新园、临东家苑，主要存在的设备问题表现为因使用年限较长、电梯部件老化造成的曳引驱动系统运行不稳定。另外还存在电梯维修资金筹措难的问题，物业使用单位无力承担，物业专项维修资金匮乏等造成故障修理不及时，甚至带病运行。下半年，市局将针对此类情况，协同区局、街道社区、维保单位等多方力量，力争降低故障率。



#### （五）检验情况

上半年，全市累计特种设备定期检验 109354 台，监督检验 12154 台，制造监检 15015 台，出具不合格报告 1349 台（其中安

## 2021 年上半年杭州市特种设备安全形势分析

全阀 1071 台），出具整改意见书 4807 份。

其中电梯安全问题作为老百姓最关注的。检验过程中发现的主要隐患问题为电梯紧急

照明和报警装置、应急救援试验、对重块标识不符合要求。下半年将针对各类缺陷问题进行专项治理，保证市民乘梯安全。

序号	主要缺陷	发现隐患台量
1	紧急照明和报警装置失效	3763
2	应急救援试验失效	1393
3	对重（平衡重）块标识不符合要求	1274
4	运行试验不符合要求	650
5	底坑设施与装置不符合要求	459

## 技术机构中层干部考核管理问题研究

钱艳玲 任玉标

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

长期以来, 事业单位领导干部能上能下、能进能出的问题, 在有些地方还没有得到解决, 优秀干部脱颖而出的机制还没有完全形成。究其主要原因, 除“知人不能善任”外, 关键还在于难以做到“知人善免”, 使干部“出口”不畅、“进口”不宽, 下的通道没有解决, 即使建立再完善的干部选拔机制, 选拔出更多优秀的技术干部和管理干部, 也无法为新任干部腾出充足的空间和岗位。

事业单位正处在改革的浪潮顶峰, 如何顺利完成人事制度改革, 其中重要的一步是正确处理好技术干部的能上能下问题。从当前情况看, 事业单位干部能上不能下仍然是制约领导班子建设和高素质干部队伍建设的一个重要因素, 一些深层次的矛盾还没有从根本上解决。

**一、解决深层次思想观念问题, 努力优化用人外部环境, 为干部能上能下提供思想保证。**

**第一, 要解放思想, 转变观念, 正确对待干部能上能下问题。**一方面, 单位主要领导要从思想上提高对干部能上能下重要性的认识, 切实把推行干部能上能下作为关系事业兴衰的大事来抓, 增强干部制度改革的使命感和紧迫感。另一方面, 要教育和引导广大干部更新观念, 转变思想, 抛弃陈腐思想和封建意识, 树立正确的人生观、价值观和

荣辱观, 使广大干部淡化官位意识, 摆正自己的位置, 正确对待“上”与“下”的问题。教育和引导工作要落实直接领导责任, 在平时的工作中即要做好广大干部职工的“平常为官”心态。

**第二, 要加强宣传, 优化环境, 减少干部“下”后的心理压力。**推行干部能上能下, 不仅仅是单位人事部门加快人事制度改革和干部提高自身素质所要解决的问题, 而且也是需要单位全体干部职工共同参与解决的大课题。这就要求我们通过各方面工作, 加大宣传力度, 充分发挥舆论导向作用, 彻底消除干部的思想顾虑和心理压力, 努力营造干部能上能下、能进能出的良好氛围。

**第三, 要创建制度, 营造氛围, 为干部“下官”提供缓冲支持。**随着近年来提倡干部年轻化进程的不断加快以及干部能上能下机制的不断完善和发展, 因年龄偏大、组织调整等客观原因从领导岗位退下来后改任低一级职务、普通职员甚至退出领导岗位后改走技术路线的干部越来越多。这部分人员中绝大多数具有较强的影响力和号召力, 能否真正发挥其应有的作用, 对单位的事业发展起着重要的作用。特别是针对技术机构而言, 领导干部都是双肩挑人员, 既是管理干部, 更是技术干部, 从管理岗位上下来后, 多数都能坚守工作岗位, 在技术岗位发挥余热。如何解决这部分干部的去路问题和待遇问题,

关键是通过提前创建好各项内部制度，营造干部“下”的体制氛围，为“下官”铺好奠基石、缓冲带，如符合“双五”政策人员可保留原职级待遇、为普通职员创造选拔聘任为高一级普通职员的机会、在绩效奖金的分配上充分考虑这部分人员的贡献、内部技术培训制度等。

### 二、完善和规范干部考评体系，客观公正地评价干部，为干部能上能下提供科学依据。

考核干部准确与否是实现干部能上能下、能进能出的重要依据，是形成干部竞争、激励机制的关键，应注意把握好以下几个环节：

第一，在内容上要制定科学的考核标准。实现干部能上能下，准确地考核干部是前提和基础，因此必须制定科学合理的干部考核标准。干部考核标准要以干部的政治素质、组织领导能力、工作作风、工作实绩和廉洁自律五个方面为重点，按照干部不同的工作岗位、不同的职位和工作职责的不同要求，将干部整体素质及政绩衡量标准具体化，对每项内容做出具体要求，形成量化标准，使之科学、合理，便于实际操作。

第二，在形式上要采取规范的干部考核方法。准确地考核干部是实现干部能上能下的基础，而科学合理的考核方法又是准确、真实地考核干部的保证，因此要真正实现干部能上能下，就必须规范和完善干部考核方法，进而拓宽考核渠道，增强考核深度，提高考核工作的科学性。对干部实施规范化考核，应坚持“三个结合”：坚持目标管理和年度考核相结合、坚持组织考核与民主测评

相结合、坚持定性考核与定量考核相结合。

第三，在操作上要运用好干部考评结果。一是要积累考核情况，建立考核档案。采取记实的方法，把每个干部各个时期的工作表现、群众基础和目标完成等情况，形成文字材料，立卷存档，建立现职干部考核档案。通过建立干部考核档案，可对干部德才素质和工作情况进行真实记录，便于人事部门及时了解 and 掌握干部整体情况。二是要运用考评结果，决定干部上下。考评结果一经确定，就应作为领导干部选拔任用、职务升降、奖惩、培训、调整职级、晋升工资等的重要依据。对思想政治素质高、组织领导能力强、作风扎实、实绩突出、清正廉洁的优秀干部，要创造条件及时予以提拔重用；对称职干部要加强岗位培训，促其进一步提高；对基本称职干部，要加强教育或根据工作需要做适当的调整；对思想政治素质存在突出问题、组织领导能力差、不能胜任现职或连续两年未完成工作目标，工作实绩差的不称职干部要坚决予以降免职。

### 三、进一步深化干部制度改革，建立健全一系列配套制度，把干部能上能下真正落到实处。

解决领导干部能上能下问题是干部制度改革的重要内容，要使这项工作真正得到落实，关键是要在领导干部选拔任用体制上有所突破。要在继续坚持和完善干部聘任制的基础上，建立一系列与之相配套的干部管理制度，在积极拓宽干部“上”的渠道的同时，还要积极拓宽干部“下”的渠道，确保干部既能“上”得去，也能“下”得来。结合事

业单位的当前实际，应着重建立和完善以下制度：

**1. 职业生涯制。**每一个步入社会的职工都或多或少会有一段时期的迷茫期，包括未来的规划、职业的发展、培训的机会、晋升的途径。单位可采用编制“职业规划书”的形式为新聘用人员提供足够的机会了解单位的情况、岗位空缺、内部招聘计划、培训机会，同时根据职工个体差异，兴趣爱好、技能专长、个人选择等因素，引导职工制定清晰具体的职业规划。

**2. 干部培养制。**为源源不断地向各岗位输送业务能力强、创新思路多、工作激情高的年轻干部，要为单位职工建立一整套系统的干部培养方案，如在新聘职工中实行“师徒结对”帮扶工作机制，促其快速成才，掌握岗位技能；对业务技能较强的职工，实行岗位能手选拔机制，并在重要工作分配、项目组织、技术干部选拔工作上建立培养机制；鼓励技术培训和专业对口的学历晋升学习，综合提高干部队伍素质水平等。

**3. 干部考任制。**在充分发扬民主的基础上，坚持公开、平等、竞争、择优和群众公认、注重实绩的原则，采取自荐与推荐相结合、技术考试与日常考核相结合的办法，公开选拔任用领导干部。技术机构的领导干部同时更是技术干部，要把技术能力的考核机制真正引入干部选拔任用工作中来，充分体现平等竞争、优胜劣汰原则，避免因论资排辈等因素造成能者不能上，庸者不能下，挫伤干部工作积极性现象的发生，从而形成以德才取人、靠技术识人、凭实绩用人的新的干部选拔任用机制。

**4. 干部试用制。**即对新提拔“上”来的干部，实行一定的试用期，试用期内享受同级干部的政治生活待遇，履行相应职责。试用期满后，要经群众评价、政绩考核，合格的，正式任用；试用期内工作一般，政绩平平，群众不满意的，免去试用职务，按原职级安排适当岗位；如因客观因素影响个人能力发挥的，可适当延长试用期，延长后仍达不到现任岗位职责要求的，免去试用职务，退回原岗位工作。

**5. 干部任期制。**目前选任制干部执行的是干部任期制，但聘任制和考任制度干部并没有明确的任期之说。干部任期制更让领导干部有紧迫感和危机感，消除“一次提拔终身受用”的不良心态，需要连任的要重新履行任职手续，采取选拔竞聘的要重新参加竞聘，到期不能提拔的，可进行交流或改任普通职员。

**6. 离任审计制。**对因工作需要调离现职的干部，在离开现职前，要进行离任审计。财务部门应会同人事部门、纪检监察部门和审计单位，对干部任职期间经济责任和经济问题进行全面审计，尤其对提拔重用或群众反映较强烈的重要岗位的干部要进行重点审计，发现问题，及时处理，从而提高干部的责任意识和自律意识。

**7. 预警罢免制。**对于犯有一般性错误或出现错误倾向而又不够党纪、政纪处分的干部，人事部门要及时对其亮出“黄牌”，进行警告，并限期改正。经警告和教育后，改正较好的，撤销“黄牌”，继续任职；经警告和教育后，仍继续坚持错误，不思悔改的，要及时予以调整或降免。

## 浅析锅炉清洗工艺的选择与应用

王 玲 熊伟东

(杭州市特种设备检测研究院 杭州市 310051)

**摘要:** 清洗介质和工艺的选择是制定锅炉化学清洗方案的核心内容。本文对盐酸、氢氟酸、柠檬酸、EDTA 四种锅炉常用化学清洗剂的清洗原理、特点和使用范围进行详细的阐述,并对四种清洗剂的清洗工艺及应用实例进行了简单介绍,为锅炉清洗提供一定的参考。

**关键词:** 锅炉; 化学清洗; 清洗工艺; 应用

### Analysis on Selection and Application for Boiler Cleaning Process

Wang Ling Xiong Weidong

( Hangzhou Special Equipment Inspection and Research Institute Hangzhou 310051 )

**Abstract:** The cleaning medium and the choice of technology is to develop the core content of the boiler chemical cleaning program. The cleaning principle, characteristics, details, cleaning range and application examples of hydrochloric acid, hydrofluoric acid, citric acid, EDTA four kinds of boilers commonly used chemical cleaning agents were elaborated to provide a reference for boiler cleaning.

**Key words:** Boilers; Chemical cleaning; Cleaning process; Application

### 前言

锅炉是生产蒸汽或热水的换热设备,随着生产的发展和人们生活水平的提高,它已日益广泛地应用于现代工业及人们日常生活等领域,目前锅炉已成为发展国民经济和改善工作、生活条件的重要热工设备之一。锅炉在使用过程中,由于受多方面因素的影响,会产生水垢(包括泥砂垢和铁锈垢等)。水垢的导热性很差,它的存在会导致受热面传热情况变坏,排烟温度升高,增加燃料消耗量;

同时引起受热面金属过热,温度过高,金属强度下降,在蒸汽压力作用下,过热部位变形产生鼓包,甚至引起爆炸事故。水垢较多时,还会堵塞管道,影响炉水的正常循环。水垢层下也会产生所谓沉积物下的局部腐蚀等。

锅炉化学清洗的主要目的是阻止沉积物下腐蚀和局部过热的发生,它是保证锅炉安全、正常运行的必要措施之一<sup>[1]</sup>。另外,锅炉化学清洗对节能也有着重大的意义。然而,在锅炉化学清洗工艺中,采用的清洗介质基本都是酸性介质,即使添加了缓蚀剂,对锅

炉设备或多或少还有腐蚀。对清洗介质和工艺的选择是制定锅炉化学清洗方案的核心内容。清洗工艺的选择,应根据垢的成分,锅炉设备的结构型式、材质等,通过实验确定,在保证清洗缓蚀效果的前提下,应综合考虑其经济型及环保要求等因素。

## 1 四种常见清洗工艺及应用

常用的化学清洗剂可分为无机酸和有机酸。无机酸常有盐酸、硫酸、硝酸、磷酸、氢氟酸等,清洗效率高,但对钢铁有腐蚀作用,对贵重设备特种金属材料清洗时受到限制,废液排放污染环境。有机酸则有柠檬酸、甲酸、EDTA(乙二胺四乙酸)、氨基磺酸、羟基乙酸、葡萄糖酸等,清洗效率高,对钢铁腐蚀性很小、无毒、无味、不污染,属安全型清洗剂<sup>[2]</sup>。

### 1.1 盐酸清洗

#### 1.1.1 盐酸清洗的原理

盐酸清洗时,不仅具有溶解氧化物的作用,而且还有剥离作用,因盐酸和一部分氧化物作用时,特别是和FeO反应时,破坏氧化物和金属的连接,使氧化物剥离下来。另一方面夹杂在氧化物中的铁会和盐酸反应产生氢气,逸出时将铁的氧化物从金属上面剥离下来<sup>[3]</sup>。

#### A 溶解作用

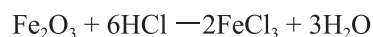
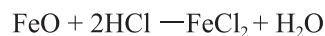
盐酸容易与磷酸盐水垢发生反应,生成易溶氯化物,使此类水垢溶解。

其化学反应如下:



#### B 脱离作用

盐酸能溶解金属表面的氧化物,破坏金属水垢之间的结合,使水垢剥离而脱落下来,化学反应如下:



#### 1.1.2 盐酸清洗的特点

盐酸能快速溶解铁氧化物,工效高,酸洗后表面状态良好,渗氢量少,金属的氢脆敏感性小。此外,氯化铁溶解度大,无酸洗残渣。由于其清洗工艺简单、效果好、毒性小、货源充足等优点至今仍被广泛采用。但其对硅酸盐垢和硫酸盐垢的清洗效果差、且对金属的腐蚀性强,易挥发产生酸雾,为了防止腐蚀常常需要加入一定量的缓蚀剂<sup>[4]</sup>。

#### 1.1.3 盐酸清洗工艺及应用实例

盐酸的清洗多采用循环清洗。其原则工艺为:碱洗—酸洗—漂洗—钝化。也可根据水垢种类和清洗设备采用静态浸泡加氮气鼓包搅动工艺等。盐酸对超高压以上的锅炉和过热器等材质比较敏感,因此一般仅限于清洗高压以下锅炉本体,且汽包内部装置应在清洗后再安装。新建炉的电厂锅炉经常采用盐酸清洗(见表1)。

## 1.2 氢氟酸

### 1.2.1 氢氟酸清洗的机理

氢氟酸清洗铁锈和溶解氧化皮有清洗时间短、效率高的特点。这是因为氢氟酸有很强的溶解氧化铁的能力,是靠氟离子的特殊作用,如氢氟酸与四氧化三铁接触时会发生氟-氧交换,接着F<sup>-</sup>离子与Fe<sup>3+</sup>离子发生络合反应而使氧化皮溶解,此外氢氟酸有很

表 1 电厂锅炉盐酸清洗应用实例

公司	杭州某电厂	浙江某电厂
锅炉型号	NG-220/9.8-M26	NG-220/9.8-M
水垢主要成分	新建炉的腐蚀产物、焊渣及其它污染物。	新炉中的氧化物以及腐蚀产物、焊渣和泥沙污染物等。
清洗工艺条件	HCl 4.5%	HCl 4%
	缓蚀剂 0.15%	缓蚀剂 0.3%
	温度 55~60℃	NaF 0.4%
清洗效果	被清洗后金属表面清洁，除垢率 > 90%。	除垢效果良好，除垢率大于 90%。
	金属表面形成良好的钝化保护膜，无二次浮锈和点蚀现象，无过洗现象。	钝化效果良好，形成钝化保护膜；金属表面清洁，无过洗现象。
腐蚀速度	3.34g/(m <sup>2</sup> ·h)	5.05g/(m <sup>2</sup> ·h)

强的除硅化物的能力。

### 1.2.2 氢氟酸清洗的特点

近年来，应用氢氟酸作为清洗剂，取得了较好的效果。氢氟酸的优点：一是对硅酸盐和铁氧化物垢有特效；二是可用来清洗奥氏体钢等多种钢材制作的部件，这一点优于盐酸；三是使用浓度较低，通常为 1% ~ 2%；四是使用温度低，废液处理简单，容易，其缺点是对含铬为 13%~15% 的高合金钢的腐蚀速度较高，比非合金钢的腐蚀速度高 10 倍左右、且较盐酸成本高。

工业上氢氟酸通常不单独使用而是与氟化铵、盐酸、硝酸等其他物质配合使用。如氢氟酸—氢氟化铵清洗剂主要用于清洗硅垢，也可以加入盐酸或硝酸用于清洗铁锈。而盐酸—氢氟酸清洗液主要用于出去碳酸盐水垢、硅酸盐水垢和氧化铁皮的混合物，其中盐酸溶解碳酸盐水垢速度很快，但不能溶解硅酸盐水垢，而氢氟酸可溶解硅垢和氧化

铁。为减少对金属基体腐蚀，氢氟酸清洗剂也要加入缓蚀剂<sup>[5]</sup>。

### 1.2.3 氢氟酸清洗工艺及应用

氢氟酸溶解铁氧化物的速度很快。对以硅化合物为主要成分的水垢也有很强的溶解力。因此氢氟酸常用于对直流锅炉（或高压以上锅炉）的防锈和氧化铁皮的开放式清洗，称“开路式”清洗。

由于氢氟酸清洗时间短，溶垢快，为了保证清洗质量，在采用氢氟酸清洗时，其碱洗—酸洗—钝化三个步骤时，多采用不同方式。碱洗采用大循环方式；酸洗则按锅炉本体、高压给水系统、低压给水系统分别采用开路酸洗、局部钝化和整体大循环钝化的方法<sup>[6]</sup>。

宁波某电厂 1000 t/h 直流锅炉，采用氢氟酸开路酸洗工艺依次完成水冲洗、润湿剂浸泡处理、水冲洗、HF 开路酸洗、水冲洗、钝化。其酸洗废液采用石灰中和、混凝沉淀的方法。酸洗完成后，酸洗结果被评为优。酸洗废液

处理后 F- 含量小于 10 mg/L、COD 小于 100 mg/L, 符合国家废水排放标准。

### 1.3 柠檬酸

#### 1.3.1 柠檬酸清洗的化学机理

用柠檬酸进行清洗, 主要不是用它的酸性来溶解铁的氧化物, 而是利用它和铁离子生成络合离子的能力。柠檬酸本身与铁垢的反应速率较慢, 且生成物柠檬酸铁的溶解度较小, 易生产柠檬酸铁沉淀。在用柠檬酸作清洗剂时, 为了生成易溶的络合物, 常要在清洗液中加入氨水将溶液 pH 值调至 3.5 ~ 4.0, 柠檬酸在不同的 pH 值条件下, 其离解程度也不同。

#### 1.3.2 柠檬酸清洗的特点

柠檬酸作为清洗剂其除蚀能力强、腐蚀性小、无毒性、容易保存和运输、安全性好、清洗液不易形成沉渣或悬浮物, 避免了管道的堵塞但其清除附着物的能力比盐酸小, 但只能清除铁垢和铁锈, 且对铜垢、钙镁和硅化物水垢的溶解能力差、清洗时要求温度较高和一定的流速、价格较贵, 废液较难处理, 在使用中应当注意。

#### 1.3.3 柠檬酸清洗工艺及应用

在柠檬酸多用于新建超高压直流锅炉的结水系统(炉前系统)及过热器、再热器等的氧化铁皮和腐蚀产物的清洗。由于清洗是以络合溶解的方式进行, 可以避免氧化铁鳞片脱落而堵塞管道等的情况发生。一般的清洗工序为: 水洗—碱洗—酸洗—钝化。

### 1.4 EDTA

#### 1.4.1 EDTA 清洗的机理和特点

EDTA 是一种氨羧络合物, 常用 H<sub>4</sub>Y 表

示。清洗实质是其络和基元(Y<sup>4-</sup>)和金属离子两相反应, 在一定条件下生成稳定的络合物。在清洗过程中同时存在着电离、水解、络合、中和等多种化学反应。清洗液弱酸性开始, 依靠炉内络合体系自身的物理化学变化, 金属离子被络和溶解, 随着炉内积垢的清除, pH 值逐渐升高至清洗结束, 清洗介质达到钝化条件, 从而实现洗垢、钝化一步完成<sup>[7]</sup>。

EDTA 清洗剂对氧化铁和铜垢类沉积物以及钙、镁垢有较强的清洗能力、清洗后金属表面能生成良好的防腐保护膜、无需另行钝化处理、可从废液中回收 EDTA 再利用。由于 EDTA 无毒, 便于排放, 对设备的腐蚀较容易控制, 近年来在国内采用 EDTA 清洗电站锅炉的实例越来越多。但其清洗费用要比盐酸清洗高出很多, 且清洗时间长。

#### 1.4.2 EDTA 清洗工艺及应用实例

EDTA 洗炉方法适用范围广泛, 目前国内主要有以下两种: EDTA 协调洗炉法和 EDTA 铵盐洗炉法。某电厂锅炉为亚临界自然循环汽包锅炉, 采用 EDTA 协调洗炉法清洗炉本体和炉前系统。根据现场的情况, 清洗范围包括: 省煤器、汽包、水冷壁及炉前系统管道。清洗参数见表 2。

清洗方式为: 水冲洗—碱洗—碱液排放及水冲洗—汽包人工清理—EDTA 清洗及钝化—废液排放。其中碱洗采用 0.2%~0.5% Na<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>、0.1~0.2% Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> 清洗 12 h。当清洗液中铁离子的含量达到稳定、pH 为 8.5~9.5 和游离 EDTA 的质量分数大于 1% 时, 即进入钝化阶段, 钝化时间为 6 h。

清洗后有关单位联合检查结果为: 汽包

表2 某电厂锅炉清洗参数

项目名称	参数
EDTA 质量分数 /%	5
清洗温度 /°C	110±5
初始 pH	6.0
联氨质量分数 (μg·g <sup>-1</sup> )	1800~2000
清洗时间 /h	6~8
缓蚀剂用量 /%	0.5~1

内部有明显的分界线，表面呈钢灰色，无残留氧化皮焊渣；水冷壁、省煤器管内表面清洁，无点蚀及二次锈，所有表面均已形成完整致密的钢灰色保护膜。清洗指示片的平均腐蚀速率为 0.6320 g/(m<sup>2</sup>·h)。除氧器内部清洗干净、无沉积物。

## 2 结语

锅炉化学清洗工艺的选择是一项复杂的工作。在确定清洗工艺的时候，须要仔细分析垢的组成，针对不同锅炉类型和不同清洗介质的特点，结合其他诸如清洗成本、废液处理等因素，通过试验比较，才能选择一种适合特定锅炉情况的最佳清洗介质各清洗方式。锅炉的化学清洗过程中，既要保证清除受热表面的沉积物，又要保证金属基面不被过度清洗而造成设备材料的腐蚀，给锅炉的

安全运行带来隐患。另外，为满足环保和能耗方面的要求，还要不断开发完善环境友好和能耗较低的清洗工艺，以确保锅炉安全、节能、经济运行。

### 参考文献：

- [1] 范宗良. 锅炉化学清洗介质的选择 [J]. 节能技术, 2003.3,21(1 18): 18-19.
- [2] 窦照英. 化学清洗与锅炉防腐蚀 [J]. 化学清洗, 1996.6, 10 (7): 16-20.
- [3] 王杏卿主编. 热力设备的腐蚀与防护 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1988.
- [4] 梁治齐主编. 实用清洗技术手册 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000.
- [5] 窦照英编著. 实用化学清洗技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.
- [6] 秦国治, 田志明编著. 工业清洗及应用实例 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [7] 宋业林编著. 锅炉清洗实用技术 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2003.

# 快开门式压力容器安全联锁装置浅析

何承代 张 瑛 杨宇俊

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

## 一、前言

快开门式压力容器广泛应用在建材、橡胶制品、食品和医药卫生、印染等行业, 典型性容器主要有蒸压釜、硫化罐、灭菌器和杀菌锅、高温高压染色机、染纱机或蒸化机、定型锅等。容器品种多, 结构形式多样, 快开门(盖)结构也多种多样。该类容器大部分为频繁地循环操作, 快开门(盖)快速启闭, 以提高生产效率。安全联锁装置是快开门式压力容器的重要安全附件, 如果缺失或失效, 容易造成安全事故。

## 二、快开门式压力容器安全联锁装置的相关规定

快开门式压力容器纳入监管以来, 其安全联锁装置(及功能)的相关规定和要求有:

1. 劳锅字【1992】9号《关于加强快开门式压力容器安全监察与管理工作的通知》;

2. 质技监局锅发(1999)154号《压力容器安全技术监察规程》第49条、第140条、第169条;

3. 国质检锅【2003】194号《锅炉压力容器制造许可条件》第54条设计要求:(九)压力容器的快开门(盖)应装设安全联锁装置;

4. 国质检特函【2006】705号《关于进一步加强锅炉压力容器安全监察工作的通知》;

5. TSG R0004-2009《固定式压力容器安全技术监察规程》第3.20条;

6. TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》第3.2.16条, 安全联锁装置应当满足以下要求:(1)当快开门达到预定关闭部位, 方能升压运行;(2)当压力容器的内部压力完全释放, 方能打开快开门;

7. 市监特设【2020】109号《市场监管总局办公厅关于开展快开门式压力容器专项隐患排查治理的通知》。

## 三、快开门式压力容器安全联锁装置的构成

在大多数情况下, 快开门是作为物料进出容器的主要出入口。安全联锁装置虽然结构型式多种多样, 但要实现TSG 21-2016规定的功能, 一般都需要设计一套机电一体的装置, 系统工作原理图1所示。图中: 报警功能不作强制要求; 虚线表示不应成功的执行路径, 也即误操作路径。

安全联锁装置一般由以下四部分构成:

1. 快开门(盖)启闭机构。形式较多, 与门(盖)的结构相关, 有手动、电动、液动、气动等, 有平推式、齿啮式、哈佛式、辐条式等。执行机构主要有: 齿轮齿条、涡轮蜗杆、电动变速箱、液(气)缸等, 及相应的结构联接件。启闭机构是执行机构, 受联锁装置控制。

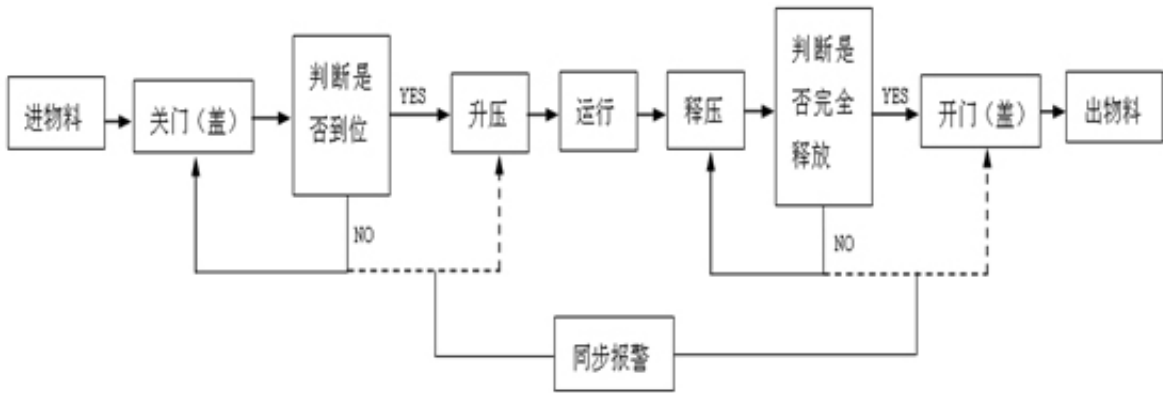


图1 快开门式压力容器安全联锁装置工作原理图

2. 控制快开门（盖）关闭到位方能升压运行的装置。包括：（1）判断快开门是否关闭到位的元件，主要是行程开关；（2）控制快开门关闭到位后才能升压的进气阀，即电磁阀、电动阀或气动隔膜阀。要求功能：行程开关检测门（盖）位置并发出信号，关闭到位时，进气自动阀才能开启，可以进气升压；未到位时，自动进气阀无法动作，不能进气升压。

3. 控制容器内压力完全释放方能打开快开门的装置。包括：（1）判断容器内压力是否完全释放的元件，主要有压力开关或零接点压力表；（2）控制容器内有余压时，阻止门（盖）开启的机构，结构形式较多，常见的有弹簧式插销、气缸联动插轴、阻止电机转动的棘轮棘条结构等，也可以通过电气线路自动控制。要求功能：压力开关检测容器内部压力并发出信号，有余压时，联锁插销（或棘轮的棘条）不能脱开，门（盖）不能动作；无余压（或释放到设定值以下），联锁插销脱开，门（盖）可以开启。

4. 辅助系统，主要包括电气控制系统、

液（气）管路控制系统、控制箱、电磁继电器、声或光报警器等，实现联锁控制功能和同步报警功能。

#### 四、快开门安全联锁装置的失效原因

1. 标准缺位。安全联锁装置，作为快开门式压力容器安全运行（频繁操作）至关重要的安全附件，只有 TSG 21-2016 第 3.2.16 条作了规定，至今无设计、制造、检验的技术标准，安全联锁装置没有统一的标准结构形式，主要零部件的质量指标缺乏检验依据，安全联锁装置的一些技术指标如啮合度、开门余压、同步报警等缺乏技术支持，致使其成本、质量、可靠性、使用寿命等差距较大。

2. 设计原因。由于安全联锁装置没有可靠的设计选用手册或标准，设计文件也不需经过技术鉴定，有些设计单位对安全联锁装置重视不够，缺乏对其结构、功能、可行性、可靠性的研究和总结，导致安全联锁装置在设计环节就不符合规定。

3. 制造原因。由于安全联锁装置的制造

不需许可，制造单位对安全联锁装置功能和质量缺乏足够的重视，或者没有足够的技术能力，导致有些完工产品的安全联锁装置失效，进入安装、使用环节。

4. 安装原因。有些快开门安全联锁装置在使用现场安装，经常出现联锁装置出厂配置不全（比如未配置自动进气阀）、现场安装不到位等情况，或者制造单位不负责现场安装，而其他安装单位的资质或能力控制不严，导致新安装的容器联锁装置就不合格。由于不强制要求安装检验，该类容器直接发放了使用登记证，进入使用环节。

5. 使用原因。由于有些联锁装置质量较差、可靠性差、使用寿命短、有些使用单位安全意识淡薄、有些操作人员素质较低、使用工况恶劣等诸多因素的影响，导致部分快开门安全联锁装置长期处于失效状态，压力容器带严重事故隐患运行，以蒸压釜、硫化罐等较为常见。

6. 检验原因。由于诸多原因导致监督检验不到位，使安全联锁装置不合格或不全的容器出厂。定期检验时，检验人员不能及时发现不合格等。

7. 监管原因。由于各种原因，对设计、制造、安装等环节监管缺乏依据或力度不够，对使用联锁装置不合格的容器未及时进行安全监察或缺乏力度等。

## 五、快开门安全联锁装置的检验方法

压力容器的检验内容、方法，在此不做叙述，本节主要分析探讨快开门安全联锁装

置的检验。安全联锁装置是快开门式压力容器的检验重点之一，检验依据主要是 TSG 21-2016《固定式压力容器安全技术监察规程》第 3.2.16 条，检验方法主要包括设计文件和出厂资料审查、外观检查、联锁功能确认（或测试）。

1. 设计文件和出厂资料审查。审查设计文件是否设置了安全联锁装置，是否对其使用环境、检验周期、校验方法等使用技术要求作出规定；审查出厂资料中是否有联锁装置的检验（测试）报告、使用说明等。

2. 外观检查。主要是检查联锁装置的四个构成部分是否完整、完好。（1）启闭机构（执行机构）有无异常，是否处在正常的工作状态；（2）控制快开门关闭到位方能升压的装置：有无行程开关、自动进气阀，且是否建立联锁等；（3）控制容器内压力完全释放方能打开的装置：有无压力开关或零接点压力表，有无插销、气缸联动插轴或者自动控制电路，且是否建立联锁等；（4）辅助系统有无异常。

3. 联锁功能确认（或测试）。外观检查发现四个构成部分不完整，或者有损坏，相应的联锁功能就无法实现，为不合格，无需再进行该项确认。在外观检查合格的基础上，需进行联锁功能确认。（1）门（盖）未关闭到位，能否升压：如门开着或者啮合一半等状态下，如果可以开启进气阀，即可以进气升压，为不合格；如果是手动进气阀，为不合格。（2）压力未完全释放，能否开门：如余压 0.05MPa 时（仅作为举例参考，不作为具体检验指导），如果可以启动（手动或者电动等）启闭机构（即执行机构），为不合格。

需要重点提醒的是，功能确认时，应确保检验安全，应做好相应的防护与预案，无关人员不得进入测试现场，确认（测试）人员应处于安全的工位。在测试门（盖）未关闭到位是否可以进气升压时，至少应确保气（汽）不会波及到任何人，应尽可能降低进气速度和量，并且一旦确认可以进气，应立即关闭进气阀。在测试压力未完全释放能否开门时，应尽量采用较低的压力，并且一旦确认可以启动，应立即停止或关闭，尽可能减少启闭机构位移，并采取进一步的降压措施等。

### 六、对策建议

经过多次的专项检查和整治，以及不少事故的调查处理，快开门安全联锁装置的重要性已得到各相关部门、机构、单位的重视，但仍有一定数量新的、在用的容器快开门安全联锁装置不符合规定或者可靠性差。为预防和减少快开门式压力容器生产事故，本人认为应尽快加强以下两方面的工作：

1. 尽快完善规范标准体系。规范快开门安全联锁装置的设计、制造、安装、改造、维修、使用、检验、监管等各环节的相关行为，提高快开门安全联锁装置的质量和可靠性，

提升用户认可度、满意度。

2. 重视培训教育，提高操作人员素质。使用单位应确保快开门式压力容器的作业人员持证上岗，加强快开门联锁装置的日常维护和保养，“宁等三分，不抢一秒”，防止违规操作，消除事故隐患。

### 参考文献：

[1] 郑津洋. 快速开关盖式压力容器. 化工装备技术. 1997, 18(1):30-38

[2] 国家质量技术监督局. 压力容器安全技术监察规程. 北京: 中国劳动社会保障出版社, 1999

[3] 国家质量监督检验检疫总局. 固定式压力容器安全技术监察规程. 北京: 新华出版社, 2009/2016

[4] 何承代. 从安全联锁装置角度探索快开门式压力容器事故原因与预防对策. 机械管理开发. 2012, 126(2) 114-115

[5] 何承代. 一起快开门式压力容器爆炸失效事故分析. 机械管理开发. 2012, 127(3) 9-10

# 一种基于嵌入式技术的压力容器封头检测装置

丁无极<sup>1</sup> 罗剑波<sup>2</sup>

(1. 杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051;

2. 浙江理工大学, 杭州下沙 310018)

**摘要:** 本文介绍了一种压力容器封头检测装置。该检测装置可以克服传统压力容器通过机械接触式检测所带来的种种弊端。文章首先详细介绍了检测装置硬件部分, 对微处理器电路为核心的各个功能模块电路进行了设计介绍; 检测装置软件部分根据功能要求设计了基于实时操作系统的应用程序, 进行了任务划分以及任务通信手段的设计。

**关键词:** 封头; 嵌入式; 检测; 实时操作系统

## A pressure vessel head detection device based on embedded technology

Ding Wuji<sup>1</sup> Luo Jianbo<sup>2</sup>

(1 Hangzhou Special Equipment Inspection Institute, 2 Zhejiang Sci-Tech University)

**Abstract:** In this paper, a pressure vessel head detection device is introduced. The detection device can overcome the disadvantages brought about by traditional mechanical contact detection of pressure vessels. Firstly, the paper introduces in detail the hardware part of the detection device, designs and introduces the various function module circuits with the microprocessor circuit as the core. Secondly, the paper designs the application based on the real-time operating system according to the function requirements, divides the tasks, and designs the task communication means.

**Key words:** head; embedded; detection; real-time operation system

## 1 概述

封头是从石油化工、原子能到食品制药等诸多行业压力容器设备中都不可缺少的重要部件。封头是压力容器上的端盖, 是压力容器的一个主要承压部件, 所起的作用是密封作用。封头的品质直接关系到压力容器的安全性、性能的好坏<sup>[1]</sup>。

目前, 压力容器封头各种检测方法在检

测效率、检测精度等存在着诸多问题<sup>[2]</sup>, 同时也有着很高的检测成本, 远远地不能满足现代企业所提倡的高效率、高精度、低能耗的理念; 研制一种能快速、高效、较高精度的对封头这种大型目标件的三维形状进行检测的装置, 正成为目前承压类压力容器和封头行业亟需解决的问题。

本文提出一种利用激光非接触式扫描的

基于嵌入式技术的封头检测装置，进行封头重要参数的检测，以期克服传统检测方法的弊端。

## 2 基于嵌入式技术的封头检测装置硬件

封头检测装置所控制的机械部分如图 1 所示。图 1 中 1 是封头，3 是支撑杆；4 是精密电控旋转台 MRS 102；6 是精密电控旋转台 MRS101；5 是转接件，7 是激光测距传感器。其中支撑杆提供整个机械部分在封头上的支撑，激光测距传感器通过距离检测完成封头的形状及参数检测，电控旋转台 MRS101 和 MRS 102 提供激光测距传感器在封头内的多维度动态扫描（图 1(b) 中以  $\theta$  及  $\varphi$  两个维度的转动）。

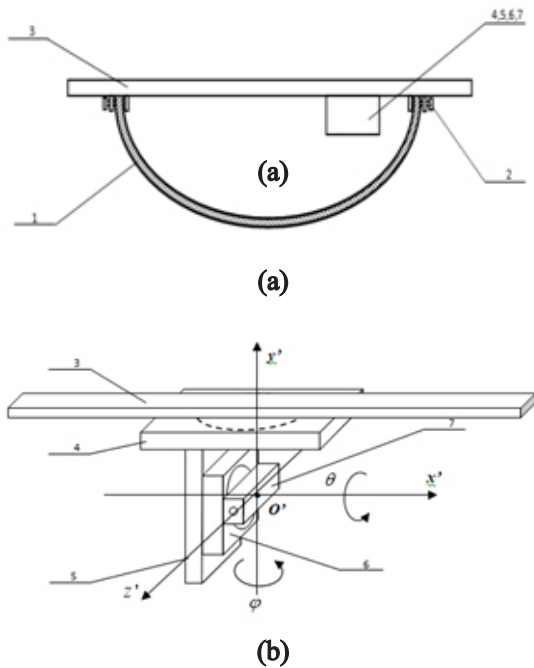


图 1 封头检测装置机械部分。(a) 封头；  
(b) 支撑、扫描及检测

封头检测装置硬件电路包括微处理器电

路、触摸显示电路、电机驱动电路、通信电路及存储电路等模块组成。

### 2.1 微处理器电路

微处理器电路如图 2 所示。核心芯片采用微处理器 LPC2146[3]，是一款基于支持实时仿真和跟踪的 32 位 ARM7，工作频率 60 MHz，最大程度的保证了系统的实时性。图中，微处理器 LPC2146 连接有 LCD 触摸显示屏、串行通信电路，以及多维度扫描电机驱动电路等。



图 2 微处理器电路

### 2.2 触摸显示电路

显示与人机交互的输入通过 LCD 触摸显示电路实现，如图 3(b) 所示。系统使用了工业级 7 寸总线型 TFT 触摸显示屏。该屏通过 MD070SD 进行驱动<sup>[4]</sup>，采用 8080 时序 16 位并行总线接口，分辨率 800 × 480。触摸输入方面，使用了 XPT2046 触摸控制芯片。通过该屏实现封头检测数据与曲线的实时输出显示，以及用户设置等信息的输入。

### 2.3 电机驱动电路

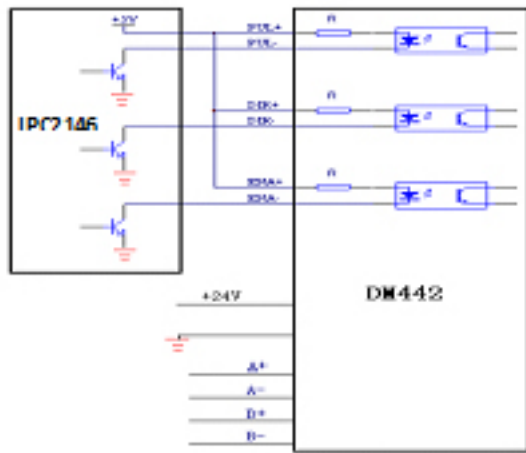
扫描模块（图 1 中 4 和 6）均采用了混

合型步进电机 42BYGH101。此处为了获得较大的细分数以及更加可靠的控制，驱动电路部分使用了步进电机驱动器 DM442[5]。DM442 是雷赛公司的数字式步进电机驱动器，可以设置 512 内的任意细分以及额定电流内的任意电流值，能够满足本系统的控制。此处系统使用了细分数 16。在该细分数驱动

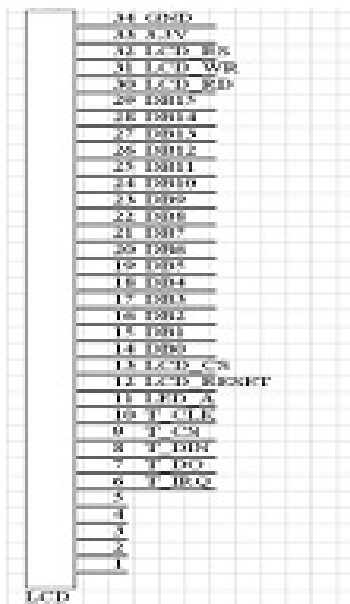
下，电机最小可分辨角度  $0.11^\circ$ 。如图 3(a)中，微处理器 LPC2146 分别通过脉冲控制(PUL)、方向控制(DIR)以及使能控制(ENA)连接控制。

### 2.4 通信电路及存储电路

通信电路如图 4 所示。由于距离检测模块(图 1(b)中 7)的输出接口采用了标准 RS232 串行总线，所以此处使用了 RS232 串行通信电路。该电路核心芯片为 SP3232E<sup>[6]</sup>。



(a)



(b)

图 3 电机驱动电路 (a) 及触摸显示电路 (b)

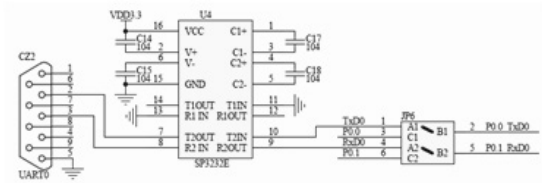


图 4 通信电路

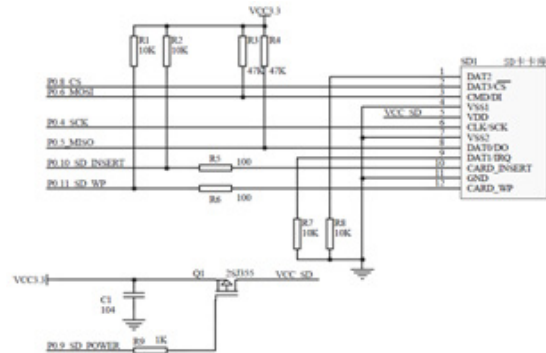


图 5 存储电路

存储电路如图 5 所示。存储电路用于封头检测数据的保存。此处，存储介质采用的是 SD 卡。该卡是一种基于半导体快闪记忆器的新一代记忆设备，适合于便携式装置上使用。对该卡的通信访问协议有两种，即 SD 模式以及 SPI 模式<sup>[7]</sup>。此处系统使用 SPI 模式。因此，该存储电路以 SPI 总线形式连接微处理器 LPC2146。此外，该存储电路还包括了卡供电控制、是否已插入卡以及卡是否写保护这三个功能。

### 3 基于嵌入式技术的封头检测装置软件

考虑到系统相对规模较大，功能复杂；同时也为了使得系统更加可靠、稳定，封头检测装置软件的设计引入了嵌入式操作系统。操作系统的引入，使得本装置能更稳定地实现预期的功能，性能、可扩展性等也实现了提升。由于本系统需要对封头进行实时的测距和电机控制，对实时性要求较高，故在操作系统的选择上采用了嵌入式实时操作系统 uCOS II<sup>[8]</sup>。

设计的软件有三个层次。底层为操作系统移植程序以及硬件驱动程序，包括距离检测模块、触摸显示以及步进电机等的驱动程序；第二层为操作系统核心程序，顶层为各个任务所组成的封头应用程序。

封头应用程序根据所实现的功能划分成了多个任务，如图 6 所示。这些任务分别是步进电机扫描任务、测距任务、用户参数输

入任务、数据存储任务、数据处理任务以及数据显示任务。这些任务中，数据处理任务是核心，一方面用来输出步进数据给步进电机扫描任务，实现封头形状的多维（即图 1(b) 中  $\theta$  方向以及  $\varphi$  方向）的扫描检测；另一方面用来处理测距任务输入的距离数据，根据用户参数输入任务输入的封头形状数据，计算出封头形状误差，并将封头形状数据、误差数据分别给数据显示任务以数据及曲线的形式进行显示输出，以及给数据存储任务进行数据在 SD 卡内的保存。

6 个任务之间的数据通信方式如图 6 所示。图中①和②是通过邮箱方式进行通信，主要原因是这些数据量相对比较少且对数据处理的速度要求低；③、④和⑤中传输的数据量大且要求实时处理，对数据处理的速度要求较高，如果通过邮箱方式处理容易造成数据覆盖丢失，所以这部分通过队列来实现。



图 6 任务划分及通信手段

### 4 结语

本文所设计的基于嵌入式技术的封头检测装置，在硬件上通过采用以 32 位 ARM7

的微处理器为核心，根据封头形状检测所要实现的功能，添加了电机扫描驱动、数据显示、通信及存储等的功能模块电路；软件上则在操作系统 ucOS II 的基础上设计了包括数据处

理任务、数据显示任务、数据存储任务等多个任务，并根据所传输数据的特点进行了任务间通信手段的设计。相比传统的利用机械的接触式测量，本文利用激光非接触式的基于嵌入式技术的封头检测装置具有无需样板制作，可高效实现封头形状数据的自动采集、处理和直观显示，以及精度较高等优势。

### 参考文献：

[1] 滕兴林. 谈谈压力容器的安全检验与质量监督 [J]. 中国新技术新产品, 2011, (14): 41-43.

[2] 刘明智. 封头检验用坐标测量仪 [J]. 石油化工设备, 1991 (1): 37-38

[3] NXP Semiconductors. LPC 2141/42/44/46/48 product data sheet[DB/

CD]. Eindhoven, Netherlands: NXP Semiconductors, 2011.

[4] Iteadstudio Inc. MD070SD-TFT LCD Module data sheet[DB/CD]. ITEAD Intelligent Systems Co.Ltd., 2017.

[5] 雷赛科技. DM442 低噪声数字式步进驱动器使用手册 [DB/CD]. 雷赛机电技术公司, 深圳: 2014.

[6] Maxlinear Inc. SP3222E / SP3232E True 3.0V to 5.5V RS-232 Transceivers[DB/CD]. Carlsbad, CA: 2013.

[7] 王健. 基于 Micro SD 卡的存储系统设计 [J]. 现代导航. 2017,8(04): 293-296.

[8] 任哲等. 嵌入式实时操作系统 UCOS-II 原理及应用 [M]. 北京航空航天大学出版社, 2014.

## 基于 FLUENT 的电梯井火灾烟气蔓延模拟分析

王黎斌 周俊坚 舒立琼

(杭州市特种设备检测研究院 杭州市 310051)

**摘要:** 电梯作为高层建筑内输送乘客的重要交通设备, 具有输送高速、高效的特点, 在高层建筑火灾发生时, 烟气蔓延快、疏散线路长, 因此研究火灾发生时能否将电梯用于人员疏散, 对保障火灾情况下高层建筑人员安全疏散, 避免危险自救导致次生灾害有重要意义。本文通过 FLUENT 软件模拟火灾时烟气蔓延情况, 研究外部火灾时井道内的烟气情况。结论表明, 井道内无附加排烟设备的电梯, 不适用于火灾疏散, 研究还表明, 利用 FLUENT 软件对电梯火灾进行模拟, 其模拟结果具有实际参考价值。

**关键词:** 高层建筑; 电梯; 井道; 火灾烟气蔓延; FLUENT 模拟

### Simulation analysis of fire smoke movement in elevator shafts based on FLUENT

WANG Li-bin<sup>1</sup> ZHOU Jun-jian<sup>2</sup> SHU Li-qiong<sup>3</sup>

( Hangzhou Special Equipment Inspection and Research Institute Hangzhou 310051 )

**Abstract:** As an important transportation device for passengers in high-scale buildings, the elevator has the characteristics of high speed and high efficiency. When a high-scale building fire occurs, the smoke spreads rapidly and the evacuation line is long. Therefore, it is necessary to study whether the elevator can be used for people evacuation during a fire. It is of great significance to ensure the evacuation safety on high-rise building personnel during a fire, and to prevent the danger from self-rescue causing secondary disasters. In this paper, FLUENT software is used to simulate the smoke spread during a fire and to study the smoke inside the well during external fire. The conclusion shows that elevators without additional smoke extraction equipment in the shafts are not suitable for fire evacuation. The research also shows that FLUENT software has practical reference value on elevator fires simulation .

**Key words:** High-scale building; Elevator; Shaft; Fire smoke movement; FLUENT Simulation

### 1 引言

随着我国经济的发展及城市化进程的加快, 电梯保有量近年来成几何级数增长, 据

2017 年全国特种设备安全状况通报, 我国电梯数量已达 562.7 万台, 电梯已成为生产生活中的必备交通工具, 对其使用安全性的研

究具有非常重要的意义。高层建筑由于其内部竖井、火灾载荷大、人员密集的特点，一旦发生火灾，火灾将迅速蔓延，人员疏散困难，由于电梯产品设计及土建结构原因，电梯井道及轿厢均不具备防烟排风功能。根据现有规范标准，除消防员电梯外，其余电梯均无法保证在火灾情况下安全运行。因此，在未配备消防员电梯的建筑内，研究如何在火灾发生时利用电梯高速、高效的输送特点进行人员疏散，是一项具有极大应用前景的研究课题。在2006年，公安部上海消防研究所和上海市特种设备监督检验技术研究院召开了“高层建筑火灾情况下使用电梯疏散可行性研究”论证会，并在会上提出了利用电梯进行火灾疏散的设想<sup>[1]</sup>。

在对电梯疏散可行性研究中，主要存在电梯供电、耐高温、防火、防烟、控制等各方面问题。其中，烟气是火灾中最大的一种危害，且烟气具有蔓延速度快的特点，可以使得空气中的含氧量快速下降，直接对人身造成伤害，部分物质燃烧后产生的有毒气体也会对人体造成致命伤害，此外，随着燃烧的进行，烟气的温度会上升至几百甚至上千度，造成灼伤事故<sup>[2]</sup>。因此高层建筑中电梯井道的烟气蔓延情况是决定电梯能否用于火灾疏散的关键因素。本文通过计算机模拟的形式，对电梯井道进行建模，模拟火灾发生时电梯井道内的烟气蔓延情况，通过对烟气情况的分析，判断火灾发生时电梯运行的可靠性。

## 2. FLUENT 火灾模拟

### 2.1 井道建模

建筑高度是影响火灾疏散速度的重要因素，对高层电梯井道内烟气的蔓延规律的研究是分析电梯疏散安全的关键，烟气流动的驱动力主要有浮力和膨胀力、烟囱效应、风的作用、通风系统的影响、电梯的活塞效应等<sup>[3]</sup>。电梯移动时，轿厢对井道内部空间的推挤和抽吸作用将影响电梯井、前室压力变化，从而影响烟气的蔓延，通过计算机模拟的方法仿真井道内烟气蔓延的规律，对工程实践有着重要的指导意义。

模拟轿厢为一个宽1.5m，深1.8m，高2.2m的箱体，箱体上方有一个0.3m<sup>2</sup>通风孔，火灾时，烟雾可能通过通风孔进入轿厢，轿厢在井道中做垂直往复运动，设定建筑层高5m，电梯提升高度45m，厅门缝隙为5mm，通过该缝隙井道与电梯前室空间形成对流。结构图如下图1所示。

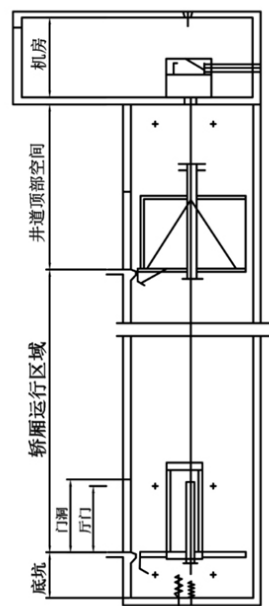


图1 高层建筑井道立面图

## 2.2 烟气蔓延仿真

本文计算模型网格划分类型及网格尺寸,选择动态层技术网格更新方法<sup>[4]</sup>,井道内网格划分均采用六面体网格模型,在井道内厅门门缝处进行细化,网格方向与烟气流方向一致,为保证计算结果收敛,对网格高宽比及单元尺寸变化进行限制,由于轿厢箱体存在通风孔,其区域不封闭,因此本文通过其移动时周围的烟气情况来判断此时轿厢的安全性。

由于火灾燃烧的过程较为复杂,本文只考虑危害火灾中最大的热量和烟气因素,火灾产生的烟气视为多组分的理想气体,空气和烟气的流动遵循理想气体状态方程,同时假设井道中出厅门门扇间隙外,无其他开口,将烟气动力设为质量源项和热量源项,烟气流动为非定常湍流流动,模型选择湍流模型,湍流参数通过湿周公式和湍流强度公式计算获得。

为准确分析实际烟气蔓延规律,根据实验数据对燃烧的产热量和产烟量进行赋值。设定起始位置轿厢位于井道底部,轿厢运行速度 1m/s,建筑内流体为空气,温度为 300K,初始环境压力为标准大气压,火源位置位于井道底部,根据《建筑防排烟技术规程》<sup>[5]</sup>,选择模拟工况为设有喷淋的公共场所,由于井道高度较大,考虑仿真效果,适当增大火源功率至 4MW,燃烧释放物质为 CO<sub>2</sub>,在各楼层层门处设置压力入口-压力出口的进出口边界条件,以此研究火灾发生时厅门处的烟气蔓延情况。模拟火灾发生时,烟气对上行中轿厢的影响。

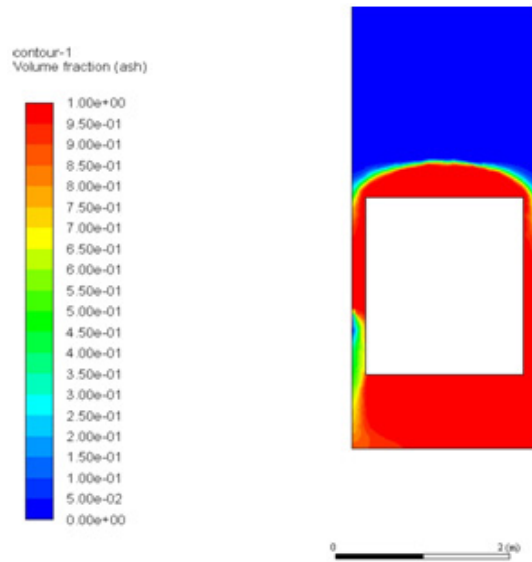


图 2 初始烟气蔓延图

如图 2 所示,当井道底部起火时,由于烟气分子热量及重力影响,高温烟气将缓慢包围轿厢,这是由于轿厢静止,井道内压力变化较小,由热烟的浮力和热烟囱效应引起的建筑内压差变化不明显,由模拟可知,当镜到底部火灾发生时,火源附近温度极高,位于底部的轿厢周围被高温烟气包围,烟气将有轿厢顶部通风孔及轿门门扇间隙进入箱体,对乘梯人员造成灼伤及烟气伤害。此时乘梯有较大安全隐患,同时,高温烟气可能导致轿顶及轿内电气线路损坏,电梯故障风险较大。

当电梯向上方向运行时,此时由于烟气浮力作用,高温烟气继续向上蔓延,轿厢仍被烟气包围,可见轿顶仍有高浓度烟气存在。

图 4 显示了轿厢运行 20S 后烟气蔓延状况,由图可知,轿厢继续向顶部运行时,由于正烟囱效应影响的加大,烟气蔓延速度相应增大,同时由于井道上下温差,烟气在井

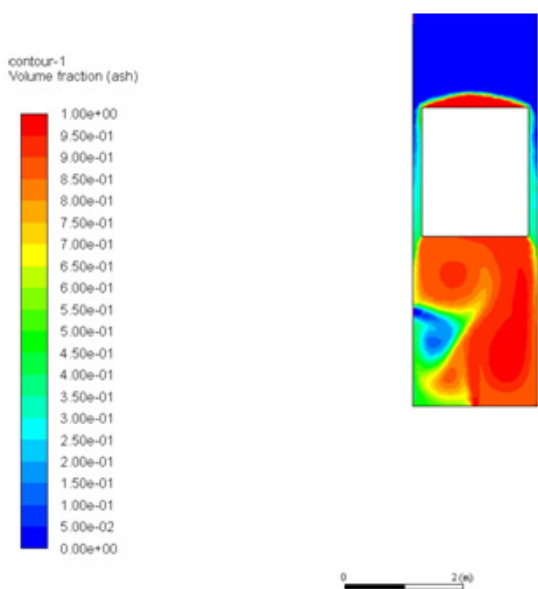


图3 轿厢运行5s后烟气蔓延图

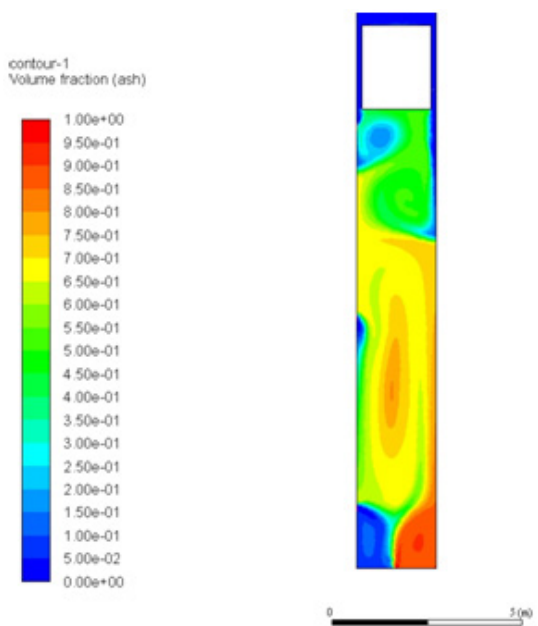


图4 轿厢运行20s后烟气蔓延图

道内成产生分层。厅门门扇间隙与井道内形成的对流导致在门扇附近的烟气浓度较井道背面偏低，表明烟气会向前室扩散，仿真结果表明，底部发生火灾时，烟气会向全井道蔓延，并会通过空气对流向前室扩散。因此，

火灾发生后的井道，若无相应排烟正压设施，烟气会始终将箱体包围，即便轿厢以远离火源，电梯仍不可用于火灾疏散。

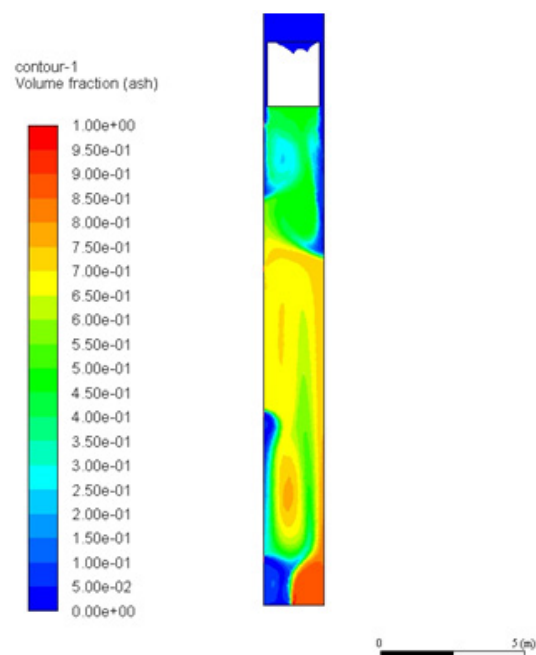


图5 轿厢运行25s后烟气蔓延图

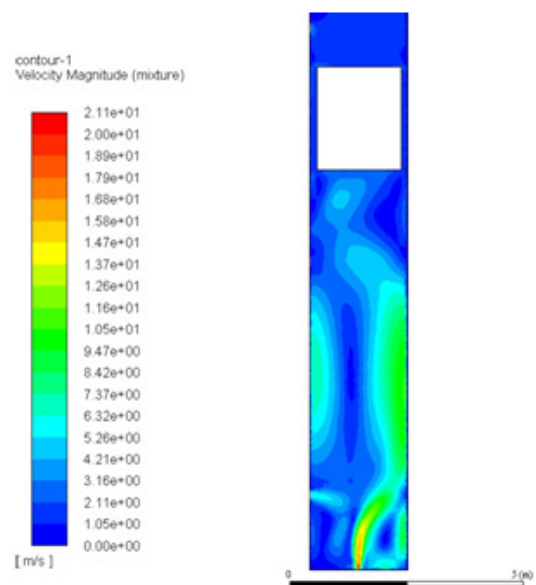


图6 轿厢运行25S后烟气蔓延速度图

图5、图6显示了轿厢25S后的井道烟气蔓延情况及烟气蔓延速度，由于活塞效应

和烟囱效应的影响加剧，井道内的烟气越来越充足，井道内部被高浓度烟气充斥，井道含氧量也随着减少，由于轿厢的通风换气与井道相通，因此此时轿厢内的含氧量也会急剧下降，同时箱体内部烟气含量持续上升，随着时间推移，井道内部烟气浓度将继续升高。由图 6 可知，烟气蔓延速度最高点为起火点及井道后方，这是由于前室空气与井道内部产生对流的影响，由于压差的变化，导致井道烟气运移速度成非线性变化。

### 3. 结论

由仿真结果可知，火灾发生时，井道内部烟气会迅速蔓延至全井道，由于轿厢在井道内部做垂直运动，轿厢四周充斥的高浓度烟气会经轿厢通风装置及轿门门扇间隙进入箱体，对乘梯人员造成伤害。此外，由于烟气温度较高，井道内部也会由于烟气灼烧产生高温，使得电梯井道内及轿厢内的电气线路产生断路风险，因此，火灾时通过电梯疏散，极易造成由于电梯故障导致困人停梯后，被烟气持续伤害的风险。因此，在未设置排烟正压装置的电梯井道内，使用电梯作为高层建筑火灾疏散工具，具有很大的风险。研究结果还表明，对井道内烟气蔓延的控制，

是研究电梯作为疏散工具可行性的关键，对井道进行温度控制及烟气控制，确保火灾发生时，轿厢周围温度不会超过设备承载极限，且烟气不会蔓延至箱体内部，是电梯作为火灾疏散工具的基础条件。

### 参考文献：

[1] 孙晓乾. 火灾烟气在高层建筑竖向通道内的流动及控制研究 [D]. 中国科学技术大学, 2009.

[2] 王彩焕, 周谧, 焦会玲, 陈正浩. “电梯疏散”: 挑战国际消防逃生理念 “高层建筑火灾情况下使用电梯疏散可行性研究” 课题解密 [J]. 上海消防, 2006(10):14-21.

[3] 陈辉, 黄恒栋, 黄煜. 高层建筑火灾安全学发展的新概念——“安全核” 疏散体系设计初论 [J]. 新建筑, 2000(05):66-68.

[4] 邵荃, 杨锐, 陈涛, 苏国锋, 袁宏永. 活塞风影响下地铁火灾烟气运动规律的数值模拟研究 [J]. 火灾科学, 2006(03):123-127+2

[5] 建筑防排烟技术规程 DGJ 08-88-2006

# 中美规范大型储罐抗震设计计算对比分析

黄 泽 杨宇俊 高 遥

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

**摘要:** 大型储罐在地震作用下, 常见的破坏形式有: 罐壁下部出现象足(轴压失稳)、浮动顶与固定顶发生撞击、储罐整体翘离倾覆等, 为此, 中美设计规范均对大型储罐的抗震设计作出相应规定, 本文着重比较锚固系数、底圈罐壁最大轴向压应力以及晃动波高在中美抗震设计计算中的差异, 并通过工程案例表明: 锚固系数的计算, 国内规范参考了美国规范的计算公式, 但未考虑场地类别和储罐重要度系数对锚固系数的影响; 底圈罐壁轴向压应力, 在锚固情况下, 以及锚固系数 $\leq 0.785$ 时, 国内规范表达式和美国规范类似, 计算结果主要受竖向地震加速度和弯矩调整系数的影响, 在其他非锚固情况下, 两者计算差异还受到翘离系数取值不同的影响。对晃动波高, 国内规范考虑了罐形的影响, 美国规范则考虑地震用途组别、储液晃动基本周期、反应谱加速度等因素的影响。

**关键词:** 大型储罐 抗震 锚固系数 设计准则

大型立式圆筒形钢制储罐(以下简称大型储罐)在石油化工领域中扮演着重要角色, 其安全性主要受强度、稳定性、倾覆性等因素影响<sup>[1-2]</sup>。目前, 大型储罐设计标准《立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范》(GB 50341—2014)(以下简称GB 50341), 《钢制焊接石油储罐》(API 650—2013 & ADDENDUM3 2018 & ERRATA2 2014, 以下简称API 650)对抗震设计计算均有相应要求<sup>[3-4]</sup>。在地震载荷作用下, 我国曾多次发生储罐破坏现象, 进而导致易燃介质燃烧、有毒介质泄露等次生灾害, 既给人民群众带来生命财产的损失, 也造成严重的生态影响<sup>[5-8]</sup>。目前, 大型储罐本体破坏形态为罐壁下部出现象足(轴压失稳)、浮动顶与固定顶发生撞击导致罐顶附件脱落、浮顶导向管、量油管卡住导致导向管拉弯、支架变形甚至储罐

整体翘离倾覆<sup>[9-13]</sup>。

本文着重比较中美设计规范中大型储罐关于抗震计算的相关规定, 并结合工程实际, 分析两者在罐壁纵向压缩力、抗倾覆力、晃动波高及环向应力计算等方面的差异, 对完善我国大型储罐的抗震设计提供借鉴和参考, 有利于促进储罐的安全运行。

## 1 储罐抗震设计计算的主要参数

为保证大型储罐在地震载荷作用下的安全性, GB 50341在进行抗震设计时需计算以下参数: 锚固系数、底圈罐壁最大轴向压应力、晃动波高以及导向装置最小间隙; API 650在进行抗震设计时需计算以下参数: 锚固系数、底圈罐壁最大轴向压应力、晃动波高、环向应力、机械式锚固罐的倾覆稳定比以及自锚固罐的滑动阻力。下面着重讨论中美规范抗

震设计时均要求计算的三个参数: 锚固系数、底圈罐壁最大轴向压应力和晃动波高。

### 1.1 GB 50341 计算的主要参数

#### 1.1.1 锚固系数

锚固系数主要用于判定大型储罐在地震载荷作用下, 能否自锚固, 当锚固系数值 > 1.54 时, 储罐需要进行锚固。锚固系数计算式如下<sup>[4]</sup>:

$$J = \mu M_1 / [D_i^2 (F_w + F_L)] \quad (1)$$

式中:  $J$ —锚固系数;

$U$ —弯矩调整系数, 按 GB50341 第 D.4.2 条的规定选取;

$M_1$ —总水平地震作用在储罐底部所产生的地震弯矩, MN.m;

$D_i$ —储罐内径, m;

$F_w$ —罐壁罐顶自重通过罐壁作用在罐底单位长度上的提高抵抗力, MN/m;

$F_L$ —储液提供的罐底与罐壁接触处单位长度上的提高抵抗力, MN/m。

罐壁罐顶自重通过罐壁作用在罐底单位长度上的提高抵抗力计算式如下:

$$F_w = N_1 / (\pi D_i) \quad (2)$$

式中:  $N_1$ —罐壁与罐顶总重量, MN;

注: 为方便比较中美规范差异, 对中美规范中相同符号但不同含义的情况, 本文采用不同下标加以区分。GB 50341 中储罐内径和 API 650 中储罐公称直径均采用符号  $D$  表示, 本文为区分, 采用  $D_i$  表示储罐内径, 采用  $D$  表示储罐公称直径。

#### 1.1.2 底圈罐壁最大轴向压应力

为避免大型储罐在地震条件下, 罐壁下部出现现象足, 罐壁轴向压应力不应大于许用临界压应力<sup>[4]</sup>, 由 GB 50341 中第 D.5.2 条可知, 底圈罐壁轴向压应力计算式可统一为:

$$\sigma_1 = C_v N_1 / A + C_L M_1 / Z_1 \quad (3)$$

式中:  $\sigma_1$ —底圈罐壁最大轴向压应力, MPa;

$C_v$ —竖向地震影响系数 (7 度及 8 度地震区取 1.0, 9 度地震区取 1.45);

$A$ —按底圈壁板有效厚度计算的罐壁截面面积,  $m^2$ ;

$Z_1$ —按底圈壁板有效厚度计算的断面系数,  $m^3$ ;

$C_L$ —翘离影响系数, 当时, 取 1.4, 否则, 其值取 1.0。

底圈壁板有效厚度计算的断面系数计算式为:

$$Z_1 = 0.785 D_i^2 t_i \quad (4)$$

式中:  $t_i$ —底圈罐壁有效厚度, m。

注: GB 50341 附录 D 中底圈罐壁有效厚度和 API 650 附录 E 底圈罐壁名义厚度均采用符号  $t$  表示, 本文为区分, 采用  $t_i$  表示底圈罐壁有效厚度, 采用  $t$  表示底圈罐壁名义厚度。

底圈罐壁许用临界应力按下式计算:

$$[\sigma_{cr}] = 0.22 E t_i / D_i \quad (5)$$

式中:  $[\sigma_{cr}]$ —罐壁许用临界应力, MPa;

$E$ —设计温度下底圈罐壁材料的弹性模量, MPa。

#### 1.1.3 晃动波高

在地震载荷下, 储罐内液体晃动撞击到罐顶可能会导致罐顶附件脱落, 因此, 储罐内液面到罐壁顶部的距离应大于罐内液面晃动波高<sup>[15-16]</sup>, 在水平地震作用下, 罐内液面晃动波高的计算式为:

$$h_v = 1.5 \bar{\eta} \alpha R \quad (6)$$

式中:  $h_v$ —液面晃动波高, m;

$\bar{\eta}$ ——罐型系数, 浮顶和内浮顶油罐应取 0.85, 固定顶油罐应取 1.0;

$\alpha$ ——地震影响系数, 根据液体晃动基本周期及地震影响系数最大值确定;

R——储罐内半径, m。

## 1.2 API 650 计算的主要参数

### 1.2.1 锚固系数

API 650 也通过锚固系数来判定大型储罐在地震载荷作用下, 能否自锚固, 当锚固系数数值大于 1.54 时, 储罐可通过机械锚固的方法来保证其稳定性。锚固系数计算式如下<sup>[3]</sup>:

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2 [F_w(1 - 0.4A_v) + F_L - F_p w_{int}]} \quad (7)$$

式中:  $M_{rw}$ ——环墙弯矩, 作用在该罐壁基础的周边的部分倾覆力矩, MN.m;

D——储罐公称直径, m;

$A_v$ ——竖向地震加速度系数, %g;

$F_p$ ——操作压力与设计压力比值, 且不低于 0.4;

$W_{int}$ ——单位圆周长度上的介质压力引起的设计计算拔锚载荷, MN/m。

注: 为方便比较中美规范差异, 本文对同一变量采用相同的符号。本文采用  $F_w$  (API 650 标准采用  $W_t$  符号) 表示罐壁罐顶自重 (包括罐顶其他载荷) 通过罐壁作用在罐底单位长度上的提高抵抗力, 采用  $F_L$  (API 650 标准采用  $W_a$  符号) 表示储液提供的罐底与罐壁接触处单位长度上的提高抵抗力。

### 1.2.2 底圈罐壁最大轴向压应力

为避免大型储罐在地震条件下, 罐壁下部出现象足, 罐壁轴向压应力不应大于许用

临界压应力, 由 API 650 附录 E.6.2.2 可知, 当  $J \leq 0.785$  或  $J > 1.54$  时, 底圈罐壁轴向压应力计算式为:

$$\sigma_1 = [F_w(1 + 0.4A_v) + 1.273M_{rw}/D^2] / t_i \quad (8)$$

当  $0.785 < J \leq 1.54$  时, 底圈罐壁轴向压应力计算式为:

$$\sigma_1 = \left[ \frac{F_w(1 + 0.4A_v) + F_L}{0.607 - 0.18667J^{2.3}} - F_L \right] \left( \frac{1}{t_i} \right) \quad (9)$$

注: 为方便比较中美规范差异, 本文对同一变量采用相同的符号。本文采用  $\sigma_1$  (API 650 标准采用  $\sigma_c$  符号) 表示底圈罐壁最大轴向压应力, 采用  $t_i$  (API 650 标准采用  $t_s$  符号, 单位为 mm) 表示底圈罐壁有效厚度。

底圈罐壁许用临界应力按下式计算:

$$[\sigma_{cr}] = \begin{cases} 83t_i/D & k \geq 44 \\ \min(33.2 \frac{t_i}{D} + 7.5\sqrt{GH}, 0.5F_{ty}) & k < 44 \end{cases} \quad (10)$$

式中:  $F_{ty}$ ——底圈壁板最低屈服强度, MPa。

k——系数,  $k = GHD^2/t^2$ 。

G——相对设计密度;

H——最高设计液位, m;

t——底圈壁板公称厚度, mm;

### 1.2.3 晃动波高

在水平地震作用下, 罐内液面晃动波高的计算式为<sup>[3]</sup>:

$$h_v = 0.42DA_f \quad (11)$$

式中:  $A_f$ ——晃动波高计算时的加速度系数, %g;

## 2 分析讨论

大型储罐径厚比通常在 1 000 以上<sup>[17]</sup>，储罐公称直径、储罐内径、储罐外径差别很小，对计算结果基本无影响，为方便对比，统一采用储罐公称直径  $D$  进行分析。API 650 通过垂直地震加速度体现竖向地震的影响，并认为当考虑垂直地震加速度时，在计算抵抗基础上的最大上拔力时，应考虑系数  $1-0.4A_v$ ，当计算承压向下载荷时，应考虑系数  $1+0.4A_v$ ，而 GB 50341 则通过  $C_v$  来体现竖向地震影响因素对承压向下载荷的影响。

### 2.1 中美规范锚固系数的差异

API 650—2007 (API 650—2007 12<sup>th</sup> edition) 中认为，锚固系数计算式为<sup>[18]</sup>：

$$J = \frac{M_{rw}}{D^2[F_w(1-0.4A_v) + F_L]} \quad (12)$$

根据 API 650—2007，垂直地震加速度计算式为：

$$A_v = 0.14S_{DS} \quad (13)$$

式中： $S_{DS}$ ——5% 阻尼设计，以 ASCE 7 的方法为基础的短时间 (0.2S) 内反应谱相应加速度，%g；

由于  $0.4A_v = 0.056S_{DS} \ll 1$ <sup>[4]</sup>，因此，式 (12) 可变为：

$$J = M_{rw} / [D^2(F_w + F_L)] \quad (14)$$

根据 GB 50341 条文说明中附录 D.4 可知， $M_{rw} = \mu M_1$ ，则式 (14) 和式 (1) 表达式一致，即 GB 50341 中锚固系数计算式是根据 API 650—2007 中公式推导而来，且根据相同的锚固系数判定准则来判定储罐是否需要设置地脚螺栓。但新版 API 650 考虑了罐壁内部

工作压力对锚固系数的影响，且认为垂直地震加速度  $A_v = 0.47S_{DS}$  而非原先的  $A_v = 0.14S_{DS}$ ，此时简单忽略垂直地震加速度对锚固系数的计算会造成较大误差，因此，这导致对同一工况的储罐分别采用中美规范进行抗震设计，计算出的锚固系数值差异较大。

此外，由 GB 50341 条文说明附录 D.4.2 可知，GB 50341 表 D.4.2-1 中弯矩调整系数只是针对于 API 650 中的 D 类场地类别、储罐重要度系数为 1 的情况进行计算转化，而根据 API 650 附录 E.6.1.5 和 E.4.6.1 中方法计算，不同的场地类别和不同的储罐重要度对环墙弯矩  $M_{rw}$  的计算有影响，因此，GB 50341 附录 D 中转化而来的弯矩调整系数有一定的局限性，进一步导致对同一工况的储罐分别采用中美规范进行抗震设计，其锚固系数差异较大的情况，具体可见文中实例。建议 GB 50341 标准修订时，考虑不同场地类别和不同储罐重要度对弯矩调整系数的影响。

因此，中美规范进行抗震计算时，锚固系数值的差异主要由于 API 650 中考虑了竖向地震加速度和罐壁内部工作压力对锚固系数的影响，而 GB 50341 均未考虑这两者带来的影响，此外 GB 50341 中的弯矩调整系数只针对 API 650 中的 D 类场地类别、储罐重要度系数为 1 的情况，当储罐在其他场地类别以及储罐重要度发生变化时，也会导致锚固系数计算结果的差异。

### 2.2 中美规范底圈轴向压应力的差异

本节为方便讨论，仅讨论垂直地震加速度  $A_v = 0$  即不计入垂直地震力， $C_v = 1$  的情况。

由 1.1.2 节和 1.2.2 节可知，底圈轴向压应力受锚固系数数值的影响。当  $J \leq 0.785$  或  $J > 1.54$  时，由式 (2)、式 (3) 和式 (4) 可知：

$$\sigma_1 = [F_w + 1.273M_1/D^2]/t_i \quad (15)$$

同理，式 (8) 变为：

$$\sigma_1 = [F_w + 1.273M_{rw}/D^2]/t_i \quad (16)$$

比较式 (15) 和式 (16)，两者表达式一致，但 GB 50341 在计算底圈轴向最大压应力时，未像锚固系数计算公式一样引入弯矩系数，导致在  $J \leq 0.785$  或  $J > 1.54$  时，中美规范计算有差异。

当  $J = 0.785 + \Delta (\Delta = 1/+\infty)$  时，底圈轴向压应力采用式 (9) 计算，并联立式 (9)、式 (12) 可知：

$$\sigma_1 = [F_w + 1.273M_{rw}/D^2]/t_i \quad (17)$$

由于  $\Delta > 0$ ，但无限接近于 0，由式 (16)、式 (17) 可知，当锚固系数  $J = 0.785 + \Delta$  时，API 650—2007 中在计算底圈最大轴向压应力，其计算结果和锚固系数  $J = 0.785$  一致，即可认为式 (8) 和式 (9) 在锚固系数为 0.785 时取值连续。

当  $J = 1.54$  时，对同一储罐，是否增加地脚螺栓，对  $M_{rw}$  取值影响不大。联立式 (9) 和式 (12) 可知：

$$\sigma_1 = [F_w + 4.44 \times 1.273M_{rw}/D^2]/t_i \quad (18)$$

由式 (16)、式 (17) 和式 (18) 可知，当锚固系数接近 0.785 时，其翘离系数约 1，小于 GB 50341 中的 1.4，当锚固系数接近 1.54 时，其翘离系数约 4.44，大于 GB 50341 中的 1.4。因此当  $0.785 < J \leq 1.54$  时，API 650—2007 中的翘离系数在 1~4.44 之间，而 GB 50341 的翘离系数为恒定数值 1.4，导

致两者计算出的轴向压应力差异较大。

本节上述推导是基于 API 650—2007 中锚固系数的计算公式，新版 API 650 和 API 650—2007 相比较，锚固系数的计算公式发生变化，但底圈最大轴向压应力计算公式不变。因此必然出现当锚固系数为 0.785 时，分别采用式 (8) 和式 (9)，底圈最大轴向压应力求值发生跳跃的现象，不甚合理，建议考虑罐壁内部工作压力对底圈最大轴向压应力的影响。

令  $C = F_L - F_p w_{int}$ ，比较式 (7) 和式 (12) 可知，新版 API 650 相当于用 C 取代了 API 650—2007 中的  $F_L$ ，因此式 (9) 中的  $F_L$  由 C 取代，可保证底圈最大轴向压应力的变化时连续的，因此，式 (9) 可修正为：

$$\sigma_1 = \left[ \frac{F_w(1+0.4A_v) + F_L - F_p w_{int}}{0.607 - 0.18667J^{2.3}} - F_L + F_p w_{int} \right] \left( \frac{1}{t_i} \right) \quad (19)$$

因此，当  $J \leq 0.785$  或  $J > 1.54$  时中美规范的形式是统一的，两者的计算结果差异主要是由于 API 650 考虑的竖向地震载荷影响因子是  $1+A_v$ ，而 GB 50341 考虑的竖向地震载荷影响因子是  $C_v$ ，两者取值的差异，以及  $M_{rw}$  和  $M_1$  之间未考虑弯矩调整系数的影响；而当  $0.785 < J \leq 1.54$  时，API 650 中的翘离系数随锚固系数而变化，而 GB 50341 的翘离系数为恒定数值 1.4，进一步导致两者计算的轴向压应力差异。

### 2.3 中美规范晃动波高的差异

中美规范中，晃动波高均与储罐的直径成正比，国家标准主要受地震影响因素以及储罐罐形决定，而 API 650 根据储罐组别

SUG、储罐晃动基本周期以及调整阻尼反应谱系数和反应谱响应加速度参数共同决定。

### 3 计算实例

某固定顶储罐，材质为碳钢，设计压力为 0 kPa，设计温度下材料弹性模量为 201 000 MPa；直径 15 m，储罐设计液位 10 m，罐壁总高 10.8 m，储液相对比重 1.0，底圈

壁板及底板边缘板有效厚度均为 8.2 mm，底圈壁板及底板边缘板材质的屈服强度为 345 MPa，设计基本地震加速度 0.2 g，储罐罐壁及其附件的重量为 46 052 kg，罐顶及其附件的重量为 19 812 kg，罐底重量 10 898 kg。下面分别计算在场地类别为 A、D、E 下储罐的锚固系数及底圈壁板轴向压应力，计算结果见表 1。

表 1 中美规范锚固系数及底圈壁板轴向压应力计算结果

	场地类别 A			场地类别 D			场地类别 E		
	GB 50341	API 650	差比, %	GB 50341	API 650	差比, %	GB 50341	API 650	差比, %
罐壁底部水平剪切力 /MN	2.276	1.416	60.7	2.276	2.502	-9.1	2.276	3.082	-26.2
罐壁底部倾覆弯矩 / $(\text{MN}\cdot\text{m}-1)$	10.241	5.604	82.7	10.241	10.065	1.7	10.241	12.679	-19.2
罐壁许用临界压力 /MPa	24.174	41.866	-42.3	24.174	41.866	-42.3	24.174	41.866	-42.3
罐壁最大轴向压应力 /MPa	11.566	5.665	104.2	11.566	11.905	-2.8	11.566	42.132	-72.5
锚固系数	0.944	0.614	53.8	0.944	1.174	-19.6	0.944	1.529	-38.2

注：差比的计算式：(GB 50341 计算结果 - API 650 计算结果) / API 650 计算结果

GB 50341 场地类别的划分和 API 650 不一样，本实例中没有给出中美规范中不同场地类别相互的对应关系，但按 GB 50341 中 D.3.7 条可知，对最大储存量小于 10 000 m<sup>3</sup> 的储罐，地震影响系数的取值与场地类别无关，因此本案例中无需转化中美规范中场地类别的关系也可比较抗震的主要计算参数，对需转换中美范中场地类别的情况，可参考

文献【19】中的做法。

由表 1 可知：对同一操作工况下的储罐，按 GB 50341 中的计算公式，在不同的场地类别下，罐壁底部水平剪切力、罐壁底部倾覆弯矩、罐壁最大轴向压应力、锚固系数计算值不变，而按 API 650 中的计算公式，上述参数随着场地类别的不同而不同。

在场地类别 D 的设计条件下，GB 50341 和 API 650 计算的结果差异最小，其中罐壁底部倾覆弯矩、罐壁最大轴向压应力的差比

均在5%之内,而锚固系数的差异主要是由于API 650中考虑了垂直地震加速度的影响,而GB 50341在计算锚固系数时未考虑该因素。当场地类别不为D时,GB 50341和API 650的计算结果差异很大,其中罐壁最大轴向压应力的差异更有接近100%,这主要是由于GB 50341中的翘离系数为定值,而API 650的翘离系数和锚固系数密切相关。

针对本实例,若储液相对比重1.1,场地类别为E时,其他条件不变,则锚固系数,按GB 50341计算结果为0.972,按API 650计算结果为1.563,则出现GB 50341设计此罐为自锚固罐,而API 650设计此罐为机械式锚固罐的情况。这主要是由于GB 50341在确定锚固系数时,虽然采用了API 650—2007中附录E的规定,但未考虑场地类别、垂直地震加速度等因素的影响,导致对同一工况下的储罐设计时,两者在区分储罐是否为锚固罐时差异较大。

#### 4 结语

基于上述分析可得出如下结论:

1) API 650和GB 50341均通过锚固系数来判定储罐是否自锚固,两者的表达式基本一致,但GB 50341未考虑内压、竖向地震加速度对锚固系数的影响,弯矩调整系数只是针对于API 650中的D类场地类别和储罐重要度系数为1的情况,未考虑不同场地类别和不同储罐重要度的影响,因此,有时两个规范在锚固系数的计算结果差异较大。

2) 当 $J \leq 0.785$ 或 $J > 1.54$ 时底圈轴向压应力的计算公式,中美规范的形式是统一的,

两者的计算结果差异主要是竖向地震加速度取值的差异,以及 $M_{tw}$ 和 $M_1$ 之间未考虑弯矩调整系数的综合影响;而当 $0.785 < J \leq 1.54$ 时,两者的计算结果还受到翘离系数的影响,其中GB 50341的翘离系数为恒定数值1.4,而API 650中的翘离系数和锚固系数有关。

3) 对晃动波高,国内规范主要考虑了罐形的影响,美国规范则考虑地震用途组别、储液晃动基本周期、反应谱加速度等多种因素的影响。

#### 参考文献:

- [1] 林寅.大型钢储罐结构的风荷载和风致屈曲[D].杭州:浙江大学,2014.
- [2] 张志强,彭常飞,赵振兴,等.储罐锚栓座结构设计方法[J].油气储运,2015,34(10):1138-1140.
- [3] American Petroleum Institute. Welded tanks for oil storage: API 650—2013[S].Washington: API Publishing Services,2018.
- [4] 中国石油天然气集团公司.立式圆筒形钢制焊接油罐设计规范:GB 50341—2014[S].北京:中国计划出版社,2015.
- [5] 张如林,程旭东,管友海.大型储罐抗震研究现状与发展综述[J].四川建筑科学研究,2015,41(1):205-209.
- [6] 孙文红.大型非锚固油罐的抗震研究[D].青岛:中国石油大学(华东),2014.

[7] 吕英华. 大型石油储罐应力与基础沉降分析 [D]. 大庆: 大庆石油学院, 2008.

[8] 韦树莲. 必须重视大型石油储罐的抗震问题 [J]. 国际地震动态, 1995 (3): 17-21.

[9] 刘佳, 袁玲, 唐悦影, 等. 中美大型储罐设计标准抗震计算对比 [J]. 油气储运, 2013, 32 (4): 421-425.

[10] 陈志平, 段媛媛, 蒋家羚. 大型石油储罐安全可靠研究: 2006 流体机械与压力容器技术论坛 [C]. 2006: 186-192.

[11] 杨东东, 柴庆有, 李晓旭, 等. 基于 API650 和 GB50341 标准大型储罐设计比较 [J]. 当代化工, 2020, 49 (1): 175-178.

[12] 肖舒恒. 美欧标准对大型储罐抗震计算的对比研究 [J]. 山东化工, 2016, 45 (18): 113-115.

[13] 刘国昊, 朱奇, 康浩. 大型储罐抗震计算 [J]. 内蒙古石油化工, 2011, 37

(23): 33-36.

[14] 吴龙平, 王成, 杜亮坡, 等. 大型储罐底圈罐壁轴向应力的计算 [J]. 油气储运, 2015, 34 (9): 993-996.

[15] 李扬, 李自力, 张艳. 中美欧储罐抗震规范中地震作用的比较研究 [J]. 世界地震工程, 2009, 25 (1): 122-130.

[16] 中国石油化工集团公司. 石油化工钢制设备抗震设计标准: GB/T 50761—2018[S]. 北京: 中国计划出版社, 2018.

[17] 张郑超. 大型钢储罐的风荷载和抗风稳定承载力 [D]. 杭州: 浙江大学, 2017.

[18] American Petroleum Institute. Welded steel tanks for oil storage: API 650—2007[S]. Washington: API Publishing Services, 2007.

[19] 严奉婷, 张炎. 中美抗震设计规范地震作用主要参数比较和转换: 中国钢结构协会锅炉钢结构分会第十三届年会论文集 [C]. 2012: 84-87.

## 关于有机热载体锅炉系统更改的探讨

王 玲 许建国

(杭州市特种设备检测研究院 杭州市 310051)

**摘要:** 本文详细介绍了有机热载体锅炉系统开式和闭式两种形式的适用情况。在实际安装与使用过程中,中小企业的有机热载体锅炉传热系统虽为开式系统,但往往企业购买导热油的氧化安定性与系统不匹配,考虑到更换导热油的巨大成本,需要将锅炉系统由开式改为闭式。本文重点阐述了此类系统更改采取的四种方法,并从使用效果、经济成本、操作简易程度和对有机热载体的保护等方面比较各种方法的优劣。

**关键词:** 有机热载体; 锅炉; 闭式传热系统

### Discussion on the Change of Organic Heat Carrier Boiler System

Ling Wang Jianguo Xu

(Hangzhou Special Equipment Inspection and Research Institute Hangzhou 310051)

**Abstract:** This paper introduces the application of open and closed forms of organic heat carrier boiler system in detail. In the actual installation and use of the process, although the organic heat carrier boiler system of small and medium enterprises was designed open system, the heat transfer oil oxidation stability of many enterprises bought did not match the system. Taking into account the huge cost of replacing heat transfer oil, the boiler system must change from open to closed. This paper focuses on the four methods of changing such systems, and compares the advantages and disadvantages of various methods from the aspects of use effect, economic cost, ease of operation and protection of heat transfer oil.

**Key words:** Heat transfer fluids ;Boiler; Closed heating system

### 引言

有机热载体锅炉因其低压、高温的特点,在化工、印染、纺织等行业得到广泛的应用。普通的热用户使用要求的温度一般都在300℃以下,在锅炉采购时他们考虑较多的是

热功率,至于管线长度及油牌号等没有仔细斟酌,甚至有时乘着“只买贵的,不买对的”的理念买了较高牌号的有机热载体,导致购买的有机热载体的氧化安定性与系统不匹配,造成在实际使用中的极大浪费。



牌号或系统一次有机热载体注入量与本设计不一致，需提前告知本公司以便校核或重新设计”字样。造成的最常见的后果是用户随意购买了有机热载体去使用，而不符合《锅炉安全技术规程》10.2.1.1条款的规定。直接后果是有机热载体使用寿命大幅度缩短，造成资源的极大浪费。因此系统的更改变得至关重要。

### 2.1 更改的程序

系统的设计属于锅炉设计，需要锅炉制造单位出设计更改，锅炉安装单位及锅炉检验机构不能任意更改设计。因此，在锅炉检验时发现因为有机热载体牌号的原因或因氧化安定性不合格导致要求的系统形式与原系统不一致，需要由开式改为闭式，则需要开具检验联络单，锅炉制造单位则依据实际情况设计符合要求的系统形式，锅炉使用单位或安装单位凭设计更改进行相应的改动。

### 2.2 更改方式

目前发现有以下4种更改方式：

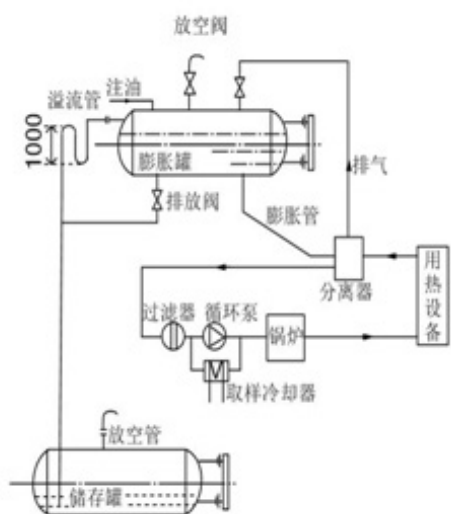


图2 改法1：溢流管上加u形弯

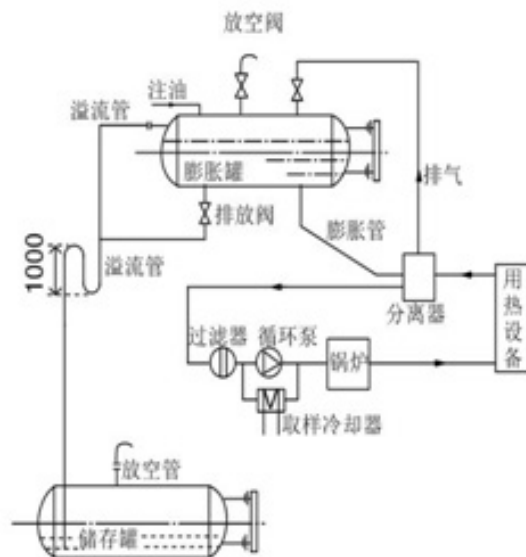


图3 改法2：溢流管上加u形弯

上面是加u形弯的两种改法，这两种改法都存在的问题是：由于锅炉的启停，u形弯中的热载体会被挤到储存罐或膨胀罐。对于改法1，每次锅炉正常运行后，此u形弯中的热载体又可能会被吸到膨胀罐，故需要先将膨胀罐的油位用油泵注到溢流管位置（溢流管口设计一般与液面计上联通管等高），让u形弯中有油，再开排放阀将油位放低一些（或不理），这种操作方法不但耗电，而且比较麻烦，司炉工爬上爬下，司炉工有可能就不这么操作，他就会第一次操作后计时一下，注到溢流管位置要多少时间，下次就一直开注油泵，超过这个时间就不管了，造成电耗增加。

改法2中，u形弯直接加在储存罐上方。锅炉在升炉加热过程中，u形弯中的热载体可能会被挤到储存罐。但此时只要在开始正常运行后，将膨胀罐底部的排放阀打开一下，开20~30s关上即可。而在锅炉停炉过程中，

此u形弯中的热载体又可能会被吸到膨胀罐，故在正常运行后，同样需将膨胀罐底部的排放阀打开一下。此法相对简单一些。

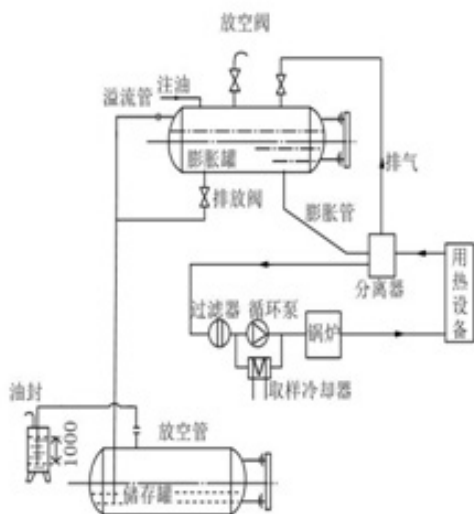


图4 改法3：加油封

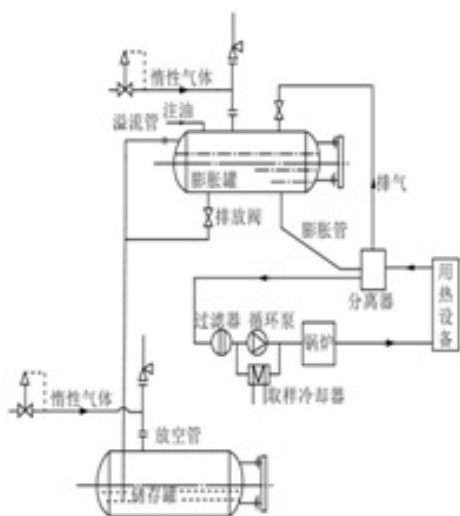


图5 改法4：充氮

法3中，在储存罐上放空阀关闭，并在另外接口上接一根管子，并插入装有一定液位高度的有机热载体的油封罐中，通过冷油封避免空气进入系统中。对于无溢流管的锅

炉，此油封与膨胀罐的放空阀活接连接，储存罐则可以不装。此种改法同样要注意：停炉时与上两种情况一样，油封可能被抽空，故投入运行时油封内的有同样需补加。

以上三种改法，油都与空气直接接触的，但空气不会流通了（改法1、2中储存罐的放空阀改完后均关闭），这样在一定程度上防止系统中的有机热载体受到氧化，延长油的使用寿命，而且简单易行，改装方便，费用低，对于小型系统易于推广。特别是装有溢流管的锅炉，在储存罐中基本无油时，这几种效果还是不错的。

在改法4中，在膨胀罐与储存罐的原放空管路上，接上惰性气体管路（考虑到原膨胀罐等是按常压容器设计的，惰性气体管路上安全阀的整定压力必须小于0.1MPa），这样整个系统就完全与空气隔绝，有效地防止了有机热载体的氧化。氮气管路中必须要有自动排放调节阀，当系统中的有机热载体受热膨胀或者低沸物气化时，自动排放调节阀会在膨胀罐内的压力增大至设定的最高压力时，自动打开阀门，适当排气至合适压力再自动关闭；当系统停止运行，有机热载体因冷却而体积缩小，膨胀罐压力降低至设定的最低压力时，调节阀自动打开，补充氮气至合适压力再关闭。

四种方案优缺点比较如下：

### 3 结束语

以上所述更改都只是事后的补救措施，关键是用户在选购锅炉时，考虑清楚自己厂需要的热功率，需要的温度，并将这些参数

表1 开式改闭式的4种方法的比较

方案	成本	操作复杂程度	适用场所	效果
一	中	复杂	有溢流管的锅炉	假闭式，在储存罐内基本无油时效果较好
二	低	简单	有溢流管的锅炉	假闭式，在储存罐内基本无油时效果较好
三	中	复杂	不限	假闭式，在有溢流管且储存罐内基本无油时效果较好
四	高	简单	不限	真正的闭式，效果好

注：在锅炉没有溢流管时，前3种方案意义都不大。

详细告诉锅炉制造单位，选择与锅炉、系统等相匹配的有机热载体，而不是盲目购买。无论选购何种导热油，建议采购锅炉时都要求锅炉厂将系统设计成闭式系统，这样可以防止油的氧化，延长使用寿命，即经济环保又节能。

#### 参考文献：

- [1]GB23971-2009 有机热载体 [S].
- [2]TSG11-2020 锅炉安全技术规程 [S].
- [3]GB24747-2009 有机热载体安全技术条件 [S].

# 球罐裂纹产生原因分析

王 希

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

**摘要:** 定期检验中, 球罐内表面磁粉检测发现球罐内表面上环缝和下环缝热影响区整圈断续裂纹, 通过进一步金相检测, 介质成分分析等对裂纹产生的原因进行分析, 分析裂纹是在拘束应力及球罐内压的共同作用下, 沿淬硬的马氏体组织区域产生。

**关键词:** 裂纹 马氏体 球罐

## 1 基本情况

某厂两台球罐基本情况如下: 2013年2月设计, 2013年3月制造, 2014年7月安装

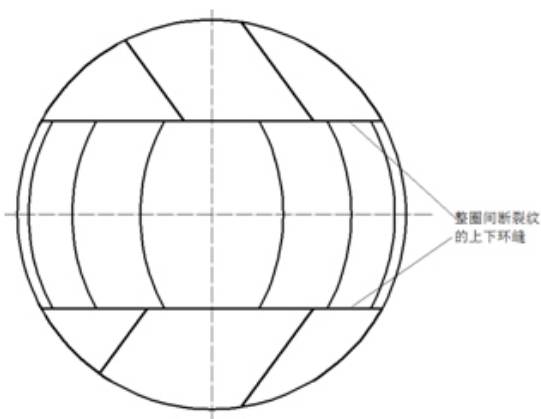


图1 球罐排版图及裂纹位置

投入使用, 球罐设计制造执行的法规及国家标准有: 《压力容器安全技术监察规程》、GB 150—2011《压力容器》、GB 12337-1998《钢制球形储罐》等。球罐结构形式为橘瓣混合式, 其中赤道带12块板, 上、下极各3块板(见图1)。球罐设计制造符合要求, 制造完成后未进行热处理, 规定可不进行热处理<sup>[1]</sup>。2017年5月首次检验, 检验过程中发现两台球罐上下环缝整圈间断内表面裂纹(见图1), 为了确保球罐的安全投用, 对裂纹产生的原因进行分析, 并采取相应的修复措施。大容器参数见表1。

表1 球罐罐基本参数

容器名称	规格 mm	容积 m <sup>3</sup>	主体材质	工作压力 MPa	操作条件工作温度℃	工作介质
C4 组分球罐 A	Φ9200×18	408	Q345R	0.5	15	C4 组分
C4 组分球罐 B	Φ9200×18	408	Q345R	0.5	15	C4 组分

## 2 检测与分析

对两台球罐进行了宏观检验、壁厚测试、硬度测试、磁粉检测、超声检测, 金相检测,

介质成分检测, 具体情况如下:

### 2.1 宏观检查

宏观检查发现焊缝表面未见明显腐蚀, 结构及几何尺寸检验符合要求, 焊缝表面可

见多处表面凹坑，母材表面也存在多处工卡具焊迹及电弧灼伤未清理彻

底<sup>[2]</sup>（见图1、2），表明焊接工艺控制及验收不严格。

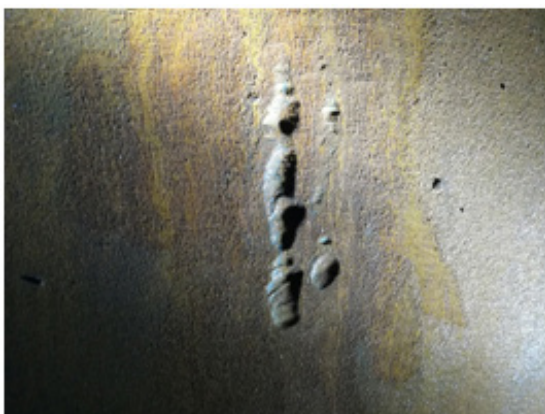


图1 T-42003B 表面焊迹 1



图2 T-42003B 表面焊迹 2

### 2.2 壁厚测试

两台球罐壁厚检测未发现减薄，两台球罐壁厚值分别为17.96mm ~ 18.28mm，17.13mm ~ 18.39mm，球罐的强度满足要求。

### 2.3 硬度测试

对两台球罐上下环缝焊接接头各随机抽取一处进行现场里氏硬度检测，测试值如表2，硬度值正常。

### 2.4 磁粉检测

内表面荧光磁粉检测发现两台球罐内表面上下环缝熔合线附近且整圈间断性裂纹（见图4、5），且裂纹走向与熔合线平行，上环缝比下环缝裂纹更多，外表面磁粉检测，未发现可记录缺陷。



图4 内表面裂纹 1

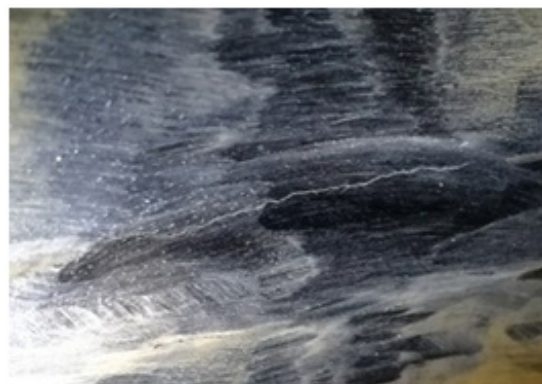


图5 内表面裂纹 2

表2 里氏硬度测试值

硬度测试焊接接头位置	下环缝焊缝 (HB)	下环缝母材 (HB)	上环缝焊缝 (HB)	上环缝母材 (HB)
A 罐焊缝测试值	148	148	191	168
B 罐母材测试值	166	155	149	140

### 2.5 超声检测

在两台球罐上下环缝及 T 型缝附近纵缝发现 10 处不同深度的 III 区埋藏缺陷,对缺陷进行消除修复中发现缺陷性质为未熔合及夹渣,表明该球罐焊接质量较差。

### 2.6 金相检测

针对发现裂纹问题对球罐裂纹附近进行现场金相检测,发现熔合线附近存在呈条带状马氏体组织区域,发现裂纹为沿晶裂纹,且集中在马氏体区域,有平行焊缝的裂纹,也存在垂直焊缝的裂纹。

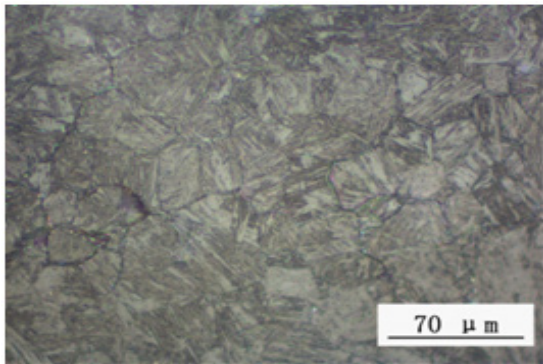


图 6 裂纹及马氏体组织

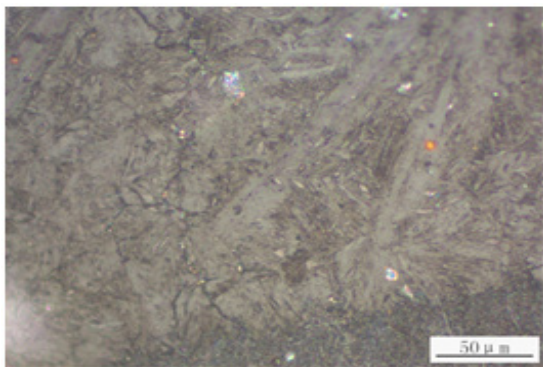


图 7 热影响区及焊缝组织

### 2.7 成分检测

对球罐储存的介质进行三次取样分析,分析结果如表 3,根据检测结果表明介质腐蚀性较低。

## 3 结果分析

3.1 通过检测结果,焊接表面质量及焊迹、弧坑处理不彻底,焊缝内存在多处埋藏缺陷表明球罐施工过程中焊接工艺控制不严格且焊接质量较差。

3.2 通过内部荧光磁粉检测大量内表面裂纹,分布于拘束度较高的上下环缝(球罐焊接完成后未进行焊后热处理导致拘束应力未得到改善),最后组装的上环缝裂纹更严重<sup>[1]</sup>;金相检测表明裂纹发生区域组织为马氏体。裂纹发生在淬硬倾向较大的焊接热影响区及裂纹的主要走向,符合延迟裂纹中焊道下裂纹的特征<sup>[1]</sup>,裂纹形成的机理符合冷裂纹产生机理。

3.3 宏观检查及介质取样分析结果表明介质的腐蚀性较小,但对裂纹的产生具有一定的促进作用。

表 3 介质分析

项目	PH	硫化物 (mg/L)	氯离子 (mg/L)
1	9.4	0.101	8.2
2	9.4	0.099	7.9
3	9.2	0.119	8.0

#### 4 结论

焊接工艺控制不严格导致焊接质量较差,在热影响区产生马氏体组织,球罐组装完成后上下环缝拘束应力较大且未采取消减应力措施,分析裂纹是在拘束应力及球罐内压的共同作用下,沿淬硬的马氏体组织区域产生,介质的腐蚀性对裂纹产生具有一定促进作用。

#### 参考文献:

- [1] 张文钺. 焊接冶金学(基本原理)[M] 机械工业出版社 2004, 237-253.
- [2] 12337-1998 钢制球形储罐 [s]
- [3] 李培中 2000\_m3 丙烯球罐在制时的焊接裂纹分析及修复 [J] 压力容器, 2015

# 波纹炉胆燃烧模拟和测温仪布置的研究

陈静相

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

**摘要:** 工业锅炉作为工业中主要的供热设备, 被广泛的应用在许多热动行业中。炉胆作为工业锅炉中最重要的受力和承压元件, 传热效果和受热情况对锅炉整体热效率和安全运行影响较大, 现制造和使用中工业锅炉的炉胆内基本没有安装测温仪。本文运用 Fluent 软件对燃烧进行数值模拟, 研究炉胆内的燃烧状况。结果表明, 炉胆内存在多处温度变化较为剧烈的位置, 在辐射传热作用下, 从 155℃ 升高到 325℃, 炉胆内布置测温仪可直接反映炉内燃烧状况, 也可为调整燃烧状况提供依据。

**关键词:** 波纹炉胆; 燃烧模拟; 测温仪

**分类号:** TK175

## 前言

经济的增长伴随着日益严峻的环境问题, 随着我国对安全、节能和环保方面的要求逐年提高, 如何在推进行业健康稳步发展, 确保满足生产供热需求的基础上, 进一步加速推进节能减排工作开展, 已成为工业锅炉行业面临的严峻挑战<sup>[1]</sup>。工业锅炉是我国重要热能动力设备, 也是能耗和污染大户。截止 2019 年底, 全国锅炉总数为 38.3 万台, 其中工业锅炉总数达 35.5 万台。在环保节能的大环境下, 越来越多的燃煤锅炉被淘汰, 使用清洁能源的天然气锅炉应用越来越广泛。燃气锅炉的热效率预期一般在 90% 以上, 有些燃气锅炉甚至可以达到 98%, 但实际情况并没有像预期那么乐观<sup>[2-3]</sup>。在此背景下, 对天然气锅炉进行燃烧的数值模拟, 并探讨布置测温仪的重要性。

## 1 锅炉参数介绍

### 1.1 锅炉设计参数

本文在数值模拟中参考的锅炉型号为 WNS10-1.57-Y、Q, 工作压力为 1.57MPa, 工作温度为 203℃, 工作介质为水/水蒸气, 燃料为天然气。

### 1.2 燃烧参数

锅炉燃料为天然气, CH<sub>4</sub> 含量为 92.51%, C<sub>3</sub>H<sub>6</sub> 含量为 5.52%, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 含量为 1.13%, N<sub>2</sub> 含量为 0.59%。主要成分为 CH<sub>4</sub>, 在 Fluent 燃料设置为甲烷。

## 2 燃烧模拟

### 2.1 炉胆结构介绍

炉胆是锅壳锅炉燃料燃烧的空间, 是卧式内燃锅炉的主要受热面。现使用中的大部分 WNS 锅炉采用波形炉胆, 减少了热膨胀应力, 增加辐射受热面<sup>[4-5]</sup>。从直筒到波纹是炉胆结构上一大改进, 极大程度的提高了整体锅炉的安全性和经济性。炉胆主要由四

个部分组成：燃料入口、波纹炉胆、烟箱和烟气出口。

## 2.2 网格划分

运用 mesh 软件对炉胆模型进行网格划分,对三种网格划分方法进行独立网格验证,网格数量分别为 36 万、70 万和 138 万,70 万网格和 138 万网格的结果误差为 1.5%。结合运算需要,选择 70 万网格。

## 2.3 数学模型选取

各种数学模型以及求解方法的合理选取,为后续进行数值模拟的有效性和准确性奠定了基础。本文选混合分数-概率密度模型为燃烧模型,  $k-\varepsilon$  双方程模型作为湍流流动模型,离散坐标模型为辐射传热模型, SIMPLE 为求解方法。

## 2.4 燃烧模拟结果分析

在工业锅炉中常采用部分预混燃烧,具有稳定燃烧范围、燃料与空气比的变化范围广和不产生回火等优点。实际运行中根据不同需求,可充分利用废气余热将空气、燃料预热至较高温度,且不受着火温度限制。参考模型实际运行中未考虑废气回收加热燃料和空气,本文亦不考虑燃料和空气预热问题。燃烧模拟结果如图 2 所示。

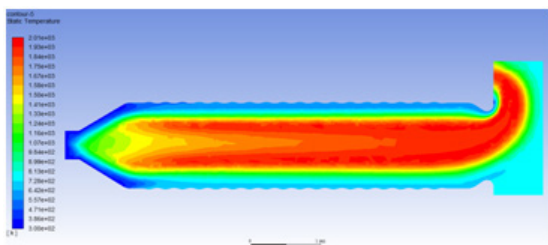


图 2 燃烧模拟

波纹炉胆中的燃烧为有焰燃烧,燃烧火焰较长。炉胆壁面处的烟气温度平均为  $565^{\circ}\text{C}$ ,火焰最高温度约为  $1650^{\circ}\text{C}$ ,出口处烟气温度约为  $1530^{\circ}\text{C}$ 。前端锥形炉胆和波纹炉胆连接位置,温度升高较快,从  $155^{\circ}\text{C}$  升高到  $325^{\circ}\text{C}$ 。在波纹炉胆和烟箱连接处,温度再次发生较为剧烈的变化,从  $539^{\circ}\text{C}$  升高到  $686^{\circ}\text{C}$ 。

## 3 测温仪布置

温度变化较为剧烈的两处位置处于波纹炉胆的两端,在这两个位置布置测温仪,可以直接反映出冲刷炉壁的烟气温度,间接反映出波纹炉胆受热情况。实时监测炉壁温度,利于随时调整燃烧状况。当温度过低时,热效率过低,可及时调整燃烧状态,减少燃料浪费,提高经济效益。当温度过高时,炉胆存在过热的风险,通过及时调整运行参数,使锅炉安全稳定运行。

## 4 结论

通过 Fluent 软件对波纹炉胆燃烧的数值模拟,得到波纹炉胆两端是温度波动较大的位置。在这两处位置设置测温仪,不仅可监控炉胆的传热情况,更便于及时调整锅炉运行状态,使炉胆的温度处于正常值内,避免炉胆过热导致塌陷等险情的发生。

参考文献:

- [1] 中国电力九五规划 [M], 1997.
- [2] 艾利兵. 提高锅炉供热效率的途径 [J]. 天然气技术, 2009, 3(02): 57-59+80.
- [3] 邱征宇, 赵辉, 熊伟东, 宋悦. 杭州在用工业锅炉改造运行能效状况分析 [J]. 中国特种设备安全, 2017, 33(07): 58-61+81.
- [4] 张广亮, WNS5-1.0-M 型锅炉. 河南省, 新乡锅炉制造有限公司, 2007-12-18.
- [5] Hai Long Zhu, Shi Yun Li, Chun Rong Wang. Numerical Simulation of Temperature Field of Gears in Quenching Process [J]. Applied Mechanics and Materials, 2014, 2829.

# 基于物元可拓理论变权的过山车安全评价方法

金灿华

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

**摘要:** 为评估过山车整体安全状况, 克服传统分析法中指标权重不变的缺点, 量化过山车整体安全评价, 提出一种综合变权层次分析和可拓理论进行过山车科学评价的方法。从机械结构和安全管理入手构建安全评价体系, 引入均衡函数取得不同决策风格下固权和变权权重, 用物元可拓理论建立过山车安全评价模型, 计算级别特征变量。以某过山车为例, 对过山车整改前和整改后进行安全评价, 结果表明  $\alpha=0.2$  时模型评价结论与实际检验报告结论最为契合。

**关键词:** 过山车; 层次分析法; 安全评价; 变权理论; 物元可拓;

**中图分类号:** X941

**文献标志码:** A

## 引言

过山车作为滑行车类游艺机的一种, 具有高空、高速、高刺激等特点, 常见于游乐园和主题乐园之中, 是游艺机之王。近年来, 随着国内文化旅游产业的兴起, 诸如过山车、大摆锤之类的项目备受青少年追捧<sup>[1]</sup>。截至2018年, 我国大型游乐设施生产厂家达100余家, 年产值约60亿元, 大中型游乐园400多家, 在用大型游乐设施2.51万台套, 参与游乐人数6亿人次, 年产值超过1000亿元<sup>[2]</sup>。为保证其系统安全可靠, 国内制定了一系列法律、法规和标准体系, 如《特种设备安全监察条例》、GB 8408-2008、GB/T 18159-2008等<sup>[3]</sup>。在特种设备安全评价方面, 2011年, 林伟明等人用模糊数学方法建立多层安全评价模型, 并在观览车上进行了应用<sup>[4]</sup>; 2014年, 王银兰等人针对游乐设施特点提出游乐设施

设计风险评估流程, 结合零部件、危险源、概念设计三种分析方法在大摆锤上进行风险分析和控制<sup>[5]</sup>; 2016年, 杨海江从车辆运动的角度进行仿真模拟, 对整体结构进行有限元分析并作出安全评判<sup>[6]</sup>; 同年, 张新东等人通过建立大型游乐设施BP神经网络安全评价模型, 降低了评价主观性<sup>[7]</sup>。2017年, 陈涛和洪兴福分别从主观权重样本权重组合的角度和每个单元权重系数的角度来考虑权重合理分配, 在起重机和雷达上取得比较好的效果<sup>[8-9]</sup>。截止目前, 游乐设施的研究主要集中在技术法规、检验检测、结构维修策略上, 针对游乐设施特别是过山车的安全评价方面的研究还很少。在安全评价结论上, 仅依据检测项目的不合格数量来判断过山车整体的“合格”或“不合格”, 等级区分简单粗略。

物元可拓理论 (Matter Element Extension) 作为一种描述事物性质变换过程的定量化工

具，可将复杂问题“物元”化来描述物元网络间的相关关系，从而使得数学模型更加贴近现实实际<sup>[10]</sup>，现已在人工智能、管理控制、机械建筑领域广泛应用<sup>[11-12]</sup>。近几年，李娟、林强等学者<sup>[13-16]</sup>也运用可拓学的理论或结合层次分析、熵值法等方法，在针对道路施工、泥石流、煤矿等的安全评价方面进行了研究且效果显著，然而针对大型游乐设施的物元可拓评价方法却尚未有尝试。

本文结合某型号过山车设备，拟通过在物元可拓理论中指标权重变权的方式，对不同决策风格环境下的指标进行可拓分析，并比较不同权重条件下得到的定量评价级别特

征量的合理性，进而获得更加贴合客观检验实际的评价方法。

## 1 过山车安全评价指标体系

### 1.1. 建立评价指标体系

依据《游艺机和游乐设施安全规范》(GB 8408—2018)和《滑行车类游艺机通用技术条件》(GB/T 18159—2008)等国家标准规定的重要结构部件，结合实际监督检查过程中的操作经验和安全管理方法，本文结合定量指标和定性因素考虑，选取钢结构、车辆、制动装置等7个子系统，构建过山车安全评价指标体系见表1。

表1 过山车安全评价指标体系  
Table1 Roller coaster safety evaluation index system

总目标层	1级评价指标	2级评价指标
某过山车 安全评价 A	钢结构 B <sub>1</sub>	轨道及立柱 C <sub>11</sub>
		结构连接 C <sub>12</sub>
	车辆 B <sub>2</sub>	车体(座椅、玻璃钢) C <sub>21</sub>
		车轮轴 C <sub>22</sub>
		轮系、约束 C <sub>23</sub>
		连接轭 C <sub>24</sub>
		安全带、安全压杆 C <sub>25</sub>
		底盘 C <sub>26</sub>
	制动装置 B <sub>3</sub>	气动制动装置 C <sub>31</sub>
		涡流制动装置 C <sub>32</sub>
	提升机构 B <sub>4</sub>	卷扬机 C <sub>41</sub>
		钢索滑轮 C <sub>42</sub>
		导链槽及驱动装置 C <sub>43</sub>
		链条及张紧 C <sub>44</sub>
	气动、液压系统 B <sub>5</sub>	空压机 C <sub>51</sub>
		油泵及马达 C <sub>52</sub>
		气压、液压回路 C <sub>53</sub>
电气装置 B <sub>6</sub>	操作台 C <sub>61</sub>	

总目标层	1级评价指标	2级评价指标
某过山车 安全评价 A	电气装置 B <sub>6</sub>	信号装置 C <sub>62</sub>
		照明、监控
		广播设备 C <sub>63</sub>
	安全管理 B <sub>7</sub>	游客隔离 C <sub>71</sub>
		紧急救援 C <sub>72</sub>
		安全管理 C <sub>73</sub>
		人员素质 C <sub>74</sub>
		安全保障 C <sub>75</sub>

### 1.2 AHP 法取得初始权重

层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 是一种对定性问题进行定量分析的一种简便灵活的多准则决策方法<sup>[17]</sup>, 结合过山车实际情况, 其指标权重的计算过程中主要分为三个步骤:

(1) 依据所建立层次结构模型构建重要性判断矩阵 A, 定量安全评价指标依照《游乐设施监督检验内容与要求与方法》判断, 定性安全评价指标依据专家经验判断;

(2) 计算结构层权重。采用特征根法求解判断矩阵最大特征值, 并得到特征向量。

(3) 一致性检验及计算权重<sup>[18]</sup>。

$$C_R = \frac{\lambda_{max} - n}{R_I(n-1)} \quad (1)$$

其中, R<sub>I</sub> 为平均随机一致性指标, λ<sub>max</sub> 为判断矩阵的最大特征根, n 为判断矩阵阶数。当 C<sub>R</sub> < 0.1 时, 则认为判断矩阵 A 的权重分配是合理的。

### 1.3 变权 AHP 取得变权权重

过山车整体结构复杂、子系统和零部件众多, 传统 AHP 法中每个安全评价指标所占权重很小且固定, 个别指标的失效不易对整

体评价等级产生影响, 这有悖于检验人员的检验结论。本文引入变权理论, 对所选指标的均衡性进行研究, 使得指标权重随指标状态变化而变化。具体步骤如下所述。

(1) 设层次分析法得到的指标因素权重表示为:

$$\omega_j^0 = (\omega_1^0, \omega_2^0, \dots, \omega_n^0) \quad (2)$$

式中, ω<sub>j</sub><sup>0</sup> 为初始权重值。

(2) 引入均衡函数<sup>[19]</sup>, 均衡函数有两种基本型, 由于Π型可转化Σ型, 此处取均衡函数为:

$$\sum_{\alpha} (X_1, \dots, X_n) = \sum_{j=1}^{j=n} X_j^{\alpha} \quad (0 \leq \alpha \leq 1) \quad (3)$$

式中, α 为均衡系数, 决策偏保守的情况下, < 1/2, 表示较多考虑指标因素平衡性; 决策偏放松的情况下, α > 1/2, 表示对缺陷有一定容忍裕度; X<sub>j</sub> 为指标因素评分; α=1 时, 即固权模式。

由上式可得变权权重 W<sub>j</sub>:

$$\omega_j(\chi_1, \dots, \chi_n) = \frac{\chi_j^{(0)} \chi_j^{\alpha-1}}{\sum_{\kappa=1}^n \omega_{\kappa}^{(0)} \chi_{\kappa}^{\alpha-1}} \quad (4)$$

## 2 基于物元可拓理论的安全评价模型

### 2.1 安全评价因素和安全评价等级

在过山车安全评价中, 根据两两比较的标度和判断原理可按照 1~9 级标度进行比较标准的度量<sup>[20]</sup>。设安全评价等级  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_j\}$ , 安全评价因素  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ , 其中  $j$ 、 $n$  分别为评价等级数和评价因素数。

### 2.2 经典域和节域

$$R_j = (N_j, C_i, V_j) = \begin{pmatrix} N_j & c_1 & (a_{j1}, b_{j1}] \\ & c_2 & (a_{j2}, b_{j2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{jn}, b_{jn}] \end{pmatrix} \quad (5)$$

式中,  $N_i$  为过山车安全评级等级,  $C_i$  为过山车安全评价指标,  $V_i$  为经典域,  $a_{jn}$ 、 $b_{jn}$  为经典域上下限。

$$R_p = (N_o, C_i, V_p) = \begin{pmatrix} N_o & c_1 & (a_{p1}, b_{p1}] \\ & c_2 & (a_{p2}, b_{p2}] \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & (a_{pn}, b_{pn}] \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中,  $N_o$  为过山车安全评价标准,  $V_p$  为节域,  $a_{pn}$ 、 $b_{pn}$  为节域上下限。

### 2.3 评价物元

$$R_{p_k} = (P_k, C_i, V_k) = \begin{pmatrix} P_k & c_1 & v_{k1} \\ & c_2 & v_{k2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{kn} \end{pmatrix} \quad (7)$$

式中,  $P_k$  为待评对象,  $V_k$  为指标  $C_i$  的量值。

### 2.4 关联函数

为了描述过山车中每个评价指标相较于其上级指标的变化范围, 引入“距”的概念, 反映物元由量变到质变的过程<sup>[21]</sup>。

关联函数定义为:

$$K_j(v_i) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_i, V_{ji})}{|V_{ji}|} & v_i \in V_{ji} \\ \frac{\rho(v_i, V_{ji})}{\rho(v_i, V_{pi}) - \rho(v_i, V_{ji})} & v_i \notin V_{ji} \end{cases} \quad (8)$$

式中,

$$|V_{ji}| = (b_{ji} - a_{ji}), \quad (i=1,2,3,\dots,n; j=1, 2,3,\dots,m)$$

$$\begin{cases} \rho(v_i, V_{xi}) = a - v_i & v_i \leq \frac{a_i + b_i}{2} \\ \rho(v_i, V_{xi}) = v_i - b & v_i > \frac{a_i + b_i}{2} \end{cases} \quad (9)$$

式中,  $\rho(v_i, V_{xi})$  为  $\rho(v_i, V_{pi})$  或  $\rho(v_i, V_{ji})$ , 分别表示评价指标与节域和经典域的“距”。

### 2.5 安全评价等级

依据层次分析法所求得过山车各评价因素指标权重与其关联度值加权求和, 得到整体关联度值。

$$K_j(p_k) = \sum_{i=1}^n \omega_j K_j(v_i) \quad (10)$$

式中,  $K_j(p_k)$  为加权关联度值,  $j(v_i)$  为关联度值,  $\omega_j$  为评价因素指标权重。

$$\bar{K}_j(p_k) = \frac{K_j(p_k) - \min[K_j(p_k)]}{\max[K_j(p_k)] - \min[K_j(p_k)]} \quad (11)$$

进一步的, 计算待评对象级别特征变量  $j^*$ ,

依据  $j^*$  的偏向性得到评价等级。

$$j^* = \frac{\sum_{j=1}^m j\bar{K}_j(p_k)}{\sum_{j=1}^m \bar{K}_j(p_k)} \quad (12)$$

### 2.6 安全评价流程

过山车安全评价流程如图1所示。首先，

依据从机械结构和安全管理入手构建安全评价体系；其次，依据指标体系，分别运用AHP法计算各指标固权权重和变权权重，运用Extension理论结合指标权重，计算关联度值；最后，依据算得级别特征变量的偏向性，得到整体安全评价等级。

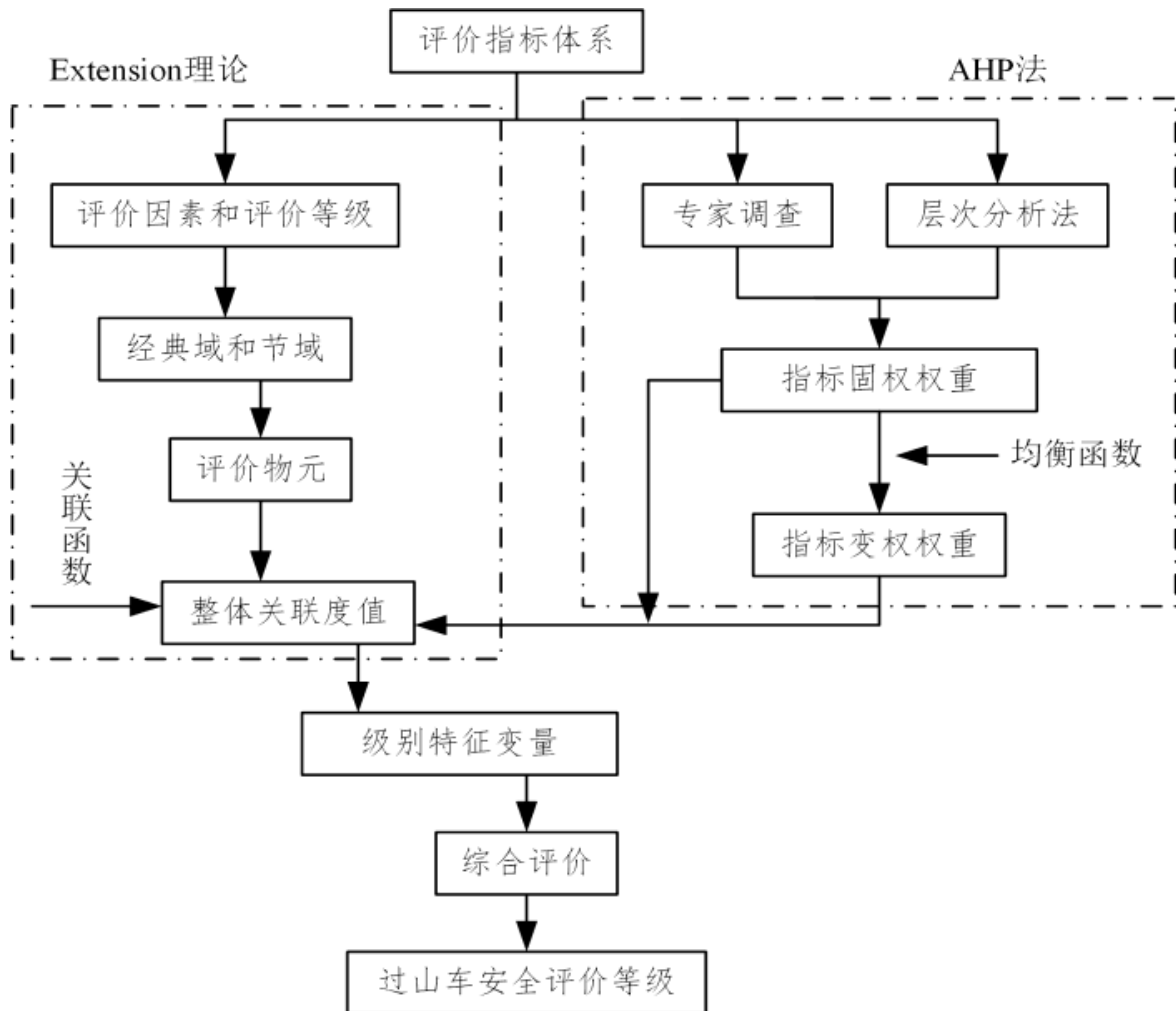


图1 安全评价流程图  
Fig.1 Safety evaluation flow chart

### 3 工程应用

本文研究的对象是某型号大型往复式过山车如图2，属于A级滑行类游乐设备。该

过山车轨道全长285m，设备高39m，最大运行速度78Km/h，额定载人28人。车辆由驱动系统驱动提升机构将车体提升到最高端后沿既定轨道下滑、自旋，沿轨设置有防撞制

动装置使车辆中途减速及进站制动，进站后安全压杠解锁下客。

本次研究首先针对过山车现状进行安全

评价，对检验过程中发现的不合格项进行整改后，重新进行安全评价。



图 2 某过山车

Fig.2 The roller coaster

### 3.1 整改前安全评价

#### 3.1.1 安全指标评分及权重计算

邀请五名专家依据现场主观设施环境和客观无损检测数据对各项指标因素进行打分，并运用层次分析法计算得到个指标权重。在打分过程中，经测试检验，该过山车存在如下三处不合格项：

- ① 车辆其中一组轮系侧轮磨损量  $> 2.5\%$
- ② 车辆其中一个乘坐位的安全压杠存在开启不灵活；
- ③ 地面工作人员岗位职责不明确、安全意识淡薄；

专家判断风格不同  $\alpha$  值不同，悲观型、保守型、乐观型分别对  $\alpha$  为 0.2、0.5、0.8

所规定的安全评价等级分别对应为  $V = \{ \text{很好, 良好, 一般, 较差, 恶劣} \} = \{ (95, 100], (85, 95], (70, 85], (50, 70], (0, 50] \}$ 。利用层次分析法和变权理论计算得出各指标权重，见表 2。

#### 3.1.2 安全评价模型计算

由于本工程实例中评价因素过多，以一级评价指标“车辆”为例，其评价因素为 { 车体，车轮轴，轮系及约束，连接轭，安全带及压杠 }。

(1) 车辆安全状况“很好”条件下经典域、节域和评价物元模型如下：

#### (2) 关联度计算

依据公式 (8) 计算待评物元的关联度，以“车辆”为例，计算其 2 级指标关联度如表 3。

表2 指标权重表(整改前)  
Table2 Index weight table (before rectification)

2级评价指标	专家A评分	专家B评分	专家C评分	专家D评分	专家E评分	得分平均值	固权权重	$\alpha=0.2$ 变权权重	$\alpha=0.5$ 变权权重	$\alpha=0.8$ 变权权重
C <sub>11</sub>	94	84	96	99	90	92.6	0.0581	0.0352	0.0540	0.0714
C <sub>12</sub>	85	85	90	84	91	87.0	0.1355	0.0863	0.1300	0.1687
C <sub>21</sub>	84	72	88	82	82	81.6	0.0196	0.0131	0.0194	0.0247
C <sub>22</sub>	91	87	89	94	94	91.0	0.0407	0.0250	0.0382	0.0502
C <sub>23</sub>	13	10	5	15	10	10.6	0.0590	0.2120	0.1670	0.1132
C <sub>24</sub>	88	86	89	94	90	89.4	0.0533	0.0332	0.0505	0.0660
C <sub>25</sub>	10	5	15	3	10	8.6	0.0658	0.4116	0.2634	0.1450
C <sub>26</sub>	96	98	91	97	99	96.2	0.0221	0.0130	0.0202	0.0270
C <sub>31</sub>	91	89	91	90	86	89.4	0.0461	0.0287	0.0436	0.0571
C <sub>32</sub>	88	89	92	87	91	89.4	0.0692	0.0431	0.0655	0.0857
C <sub>41</sub>	93	81	93	98	90	91.0	0.0354	0.0217	0.0332	0.0437
C <sub>42</sub>	97	95	86	82	95	91.0	0.0129	0.0079	0.0121	0.0159
C <sub>43</sub>	91	92	96	95	87	92.2	0.0224	0.0136	0.0209	0.0276
C <sub>44</sub>	88	84	91	95	82	88.0	0.0084	0.0053	0.0080	0.0104
C <sub>51</sub>	86	80	75	83	81	81.0	0.0262	0.0177	0.0261	0.0331
C <sub>52</sub>	81	70	84	87	75	79.4	0.0476	0.0326	0.0478	0.0603
C <sub>53</sub>	85	73	92	92	80	84.4	0.0866	0.0565	0.0844	0.1085
C <sub>61</sub>	80	70	83	85	70	77.6	0.0754	0.0526	0.0766	0.0960
C <sub>62</sub>	89	72	94	96	87	87.6	0.0352	0.0223	0.0337	0.0438
C <sub>63</sub>	75	69	78	82	80	76.8	0.0144	0.0101	0.0147	0.0184
C <sub>71</sub>	72	65	73	82	70	72.4	0.0257	0.0189	0.0270	0.0332
C <sub>72</sub>	78	69	82	90	70	77.8	0.0147	0.0102	0.0149	0.0187
C <sub>73</sub>	85	70	87	95	81	83.6	0.0083	0.0055	0.0081	0.0104
C <sub>74</sub>	15	20	3	10	10	11.6	0.0050	0.0180	0.0142	0.0096
C <sub>75</sub>	88	82	90	98	93	90.2	0.0147	0.0091	0.0139	0.0182

$$R_1(B_2) = \begin{pmatrix} v_1 & c_{21} & (95, 100] \\ & c_{22} & (95, 100] \\ & c_{23} & (95, 100] \\ & c_{24} & (95, 100] \\ & c_{25} & (95, 100] \\ & c_{26} & (95, 100] \end{pmatrix}$$

$$R_p(B_2) = \begin{pmatrix} V & c_{21} & (0, 100] \\ & c_{22} & (0, 100] \\ & c_{23} & (0, 100] \\ & c_{24} & (0, 100] \\ & c_{25} & (0, 100] \\ & c_{26} & (0, 100] \end{pmatrix}$$

$$R_{B_2} = \begin{pmatrix} B_2 & c_{21} & 81.6 \\ & c_{22} & 91 \\ & c_{23} & 10.6 \\ & c_{24} & 89.4 \\ & c_{25} & 8.6 \\ & c_{26} & 96.2 \end{pmatrix}$$

表3 “车辆” 关联度  
Table3 "Vehicle" relevance

固权模式	关联度函数值 $K_j$				
	很好 j=1	良好 j=2	一般 j=3	较差 j=4	恶劣 j=5
$C_{21}$	-0.4214	-0.1560	0.1500	-0.4065	-0.6392
$C_{22}$	-0.3077	0.5000	-0.4375	-0.7097	-0.8235
$C_{23}$	-0.4172	-0.1287	0.1000	-0.4323	-0.6549
$C_{24}$	-0.3457	0.7097	-0.3375	-0.6581	-0.7922
$C_{25}$	-0.3333	0.6667	-0.3750	-0.6774	-0.8039
$C_{26}$	0.4615	-0.3667	-0.7625	-0.8774	-0.9255

类似的，算得固权模式下其他指标关联度，将各指标关联度与其指标权重加权求和得到综合关联度，依据公式(11)-(12)，最后求得级别特征向量。固权模式以及  $\alpha$  值分别为 0.2、0.5、0.8 时的综合关联度和级别特征向量如下表：

表4 综合关联度（整改前）  
Table4 Comprehensive relevance (before rectification)

总目标层	权重模式	关联度函数值 $K_j$					级别变量特征量 $j^*$	所属安全评价等级
		很好 j=1	良好 j=2	一般 j=3	较差 j=4	恶劣 j=5		
A	固权	-0.3522	0.2837	-0.0998	-0.5405	-0.7253	2.2264	良好
	$\alpha=0.2$	-0.7938	-0.5095	-0.6262	-0.8510	-0.3154	3.5309	较差
	$\alpha=0.5$	-0.7075	-0.2829	-0.4752	-0.8301	-0.5434	2.8330	一般
	$\alpha=0.8$	-0.6277	-0.0790	-0.3438	-0.8116	-0.7463	2.3311	良好

### 3.2 整改后安全评价

当评价指标因素发生变化时，固权条件下和变权条件下的过山车整体安全评价结果将发生变化。对不合格的缺陷指标  $C_{23}$ 、 $C_{25}$ 、 $C_{74}$  进行整改，组织专家重新进行复评。

表5 缺陷指标权重表（整改后）  
Table5 Defect indicator weight table (after rectification)

2级评价指标	专家A评分	专家B评分	专家C评分	专家D评分	专家E评分	得分平均值	固权权重	$\alpha=0.2$ 变权权重	$\alpha=0.5$ 变权权重	$\alpha=0.8$ 变权权重
$C_{23}$	81	85	79	82	85	82.4	0.0590	0.0859	0.0843	0.0827
$C_{25}$	90	82	94	97	87	90	0.0658	0.0893	0.0900	0.0907
$C_{74}$	91	82	97	95	84	89.8	0.0050	0.0068	0.0068	0.0069

对整改后的过山车重新进行安全评价，得到综合关联度和级别变量特征量如下：

表6 综合关联度 (整改后)  
Table6 Comprehensive relevance (after rectification)

总目标层	权重模式	评价指标综合关联度 $K_j$					级别变量特征量 $j^*$	所属安全评价等级
		很好 $j=1$	良好 $j=2$	一般 $j=3$	较差 $j=4$	恶劣 $j=5$		
A	固权	-0.3522	0.2837	-0.0998	-0.5405	-0.7253	2.2837	良好
	$\alpha=0.2$	-0.5019	0.3756	-0.1196	-0.7491	-1.0144	2.2981	良好
	$\alpha=0.5$	-0.4965	0.3823	-0.1267	-0.7489	-1.0105	2.2926	良好
	$\alpha=0.8$	-0.4912	0.3886	-0.1337	-0.7486	-1.0067	2.2876	良好

### 3.3 过山车安全评价等级的确定

整改前, 据检测人员检出的三处重要缺陷判断, 该过山车为“不合格”。经过过山车安全评价模型计算, 固权模式下的评价等级为“良好”, 显然在个别指标失效情况下固权模式的安全评价方法将出现偏差。变权模式下, 随着  $\alpha$  值变大,  $j^*$  值逐与固权模式下得分趋同, 这是因为随着专家评判容忍度的提高, 指标因素间的“均衡性”更难体现。鉴于过山车监督检验的严谨性, 评判标准宜偏向保守,  $\alpha$  值应取较小值。当  $\alpha=0.2$  时, 级别变量特征量  $j^*=3.5309$ , 安全状况介于一般~恶劣之间且更偏向于恶劣, 这与过山车实际检测结论相符, 因此安全评价等级应判断为“恶劣”。

整改后, 由于各项指标均无明显缺陷, 固权模式与变权模式下的安全评价得分趋同, 安全评价等级为“良好”。

## 4 结论

(1) 本文利用层次分析法确定指标权重, 配合物元可拓理论进行过山车安全评价, 分别得出整改前、整改后的过山车安全评价等级, 验证了  $\alpha$  值取 0.2 时过山车安全评价模

型的客观性和准确性。

(2) 针对过山车整体安全影响因素多且评价不准确的问题, 将变权理论引入到过山车安全评价模型中, 使各因素指标权重随着状态改变“自动均衡”。能真实反映工程的实际情况, 应用于其他多因素影响的机械工程时适当改变  $\alpha$  值即可, 具有一定的参考价值。

### 参考文献:

[1] 刘渊, 沈功田, 赵章焰, 等. 大型过山车健康管理方法的应用研究 [J]. 机械工程学报, 2017, v.53(24):99-109.

Liu Yuan, Shen Gongtian, Zhao Zhangyan, et al. Research and Application of Health Management Method of Large Roller Coaster[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2017, v.53(24): 99-109.

[2] 国家市场监督管理总局关于2018年全国特种设备安全状况情况的通报 [J]. 中国特种设备安全, 2019, 35(04):1-4

Journal of state administration for

market regulation about the safety situation of special equipment in China in 2018 [J]. China Special Equipment Safety, 2019, 35(04):1-4.

[3] 沈勇, 鄂立军. 国内外游乐设施法规标准比较研究 [J]. 中国安全科学学报, 2010(11):84-92.

Shen Yong, E Lijun. Comparative Study on the Standards and Regulations for Amusement Devices between Home and Abroad[J]. Chinese Journal of Safety Science, 2010(11): 84-92.

[4] 林伟明, 肖原, 叶建平, 等. 大型游乐设施的多级综合安全评价方法研究 [J]. 微计算机信息, 2010(03):58-59+65.

Lin Weiming, Xiao Yuan, Ye Jianping, et al. Study on Multilevel Comprehensive Safety Evaluation Method for Amusement Ride[J]. Microcomputer Information, 2010(03): 58-59+65.

[5] 王银兰, 宋伟科, 林伟明, 等. 大型游乐设施设计风险评估方法 [J]. 中国特种设备安全, 2014(4):58-62.

Wang Yinlan, Song Weike, Lin Weiming, et al. Risk assessment method for large-scale amusement facilities design[J]. China Special Equipment Safety, 2014(4): 58-62

[6] 杨海江. 过山车的安全性分析 [D]. 北京: 北京化工大学, 2016.

[7] 张新东, 庄春吉, 杨臣剑, 等. 基

于 BP 神经网络的大型游乐设施安全评价 [J]. 安全与环境学报, 2016, 16(4):28-31.

Zhang Xindong, Zhuang Chunji, Yang Chenjian, et al. On the safety evaluation of the large-type circular amusement rides based on the BP neural network[J]. Journal of Safety and Environment, 2016, 16(4): 28-31.

[8] 陈涛, 赵章焰. 基于综合赋权法的起重机金属结构安全评价 [J]. 机械设计与研究, 2017(6):168-171.

Chen tao, zhao zhangyan. Safety evaluation of crane metal structure based on comprehensive weighting method [J]. Mechanical design and research, 2017(6):168-171.

[9] 洪兴福, 胡祥涛, 张红旗, 等. 机电系统多层次可靠性模型与评价方法研究 [J]. 机械设计与研究, 2016(06):8-12.

Hong xingfu, hu xiangtao, zhang hongqi, et al. Study on multi-level reliability model and evaluation method of electromechanical system [J]. Mechanical design and research, 2016(06):8-12.

[10] 蔡文. 可拓学概述 [J]. 系统工程理论与实践, 1998, 18(1):77-84.

Cai Wen. Overview of Extenics[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 1998, 18(1): 77-84.

[11] 杨春燕, 蔡文. 可拓学 [M]. 北京: 科学出版社, 2019:07, 11-12

[12] 蔡文, 杨春燕, 王光华. 一门新的交叉学科——可拓学 [J]. 中国科学基金, 2004(05):14-18.

Cai Wen, Yang Chunyan, Wang Guanghua. A new interdisciplinary subject – extenics[J]. China Science Foundation, 2004(05): 14-18.

[13] 林强. 基于熵值法与可拓学的泥石流危险性评价 [J]. 技术与市场, 2018, 25(12):58-60.

Lin qiang. Evaluation of debris flow risk based on entropy method and extenics [J]. Technology and market, 2018, 25(12):58-60

[14] 黄萍, 徐晶晶. 基于熵权物元可拓模型的煤矿透水安全评价 [J]. 安全与环境工程, 2017(06):148-152.

Huang ping, xu jingjing. Safety evaluation of coal mine permeability based on entropy weighted matter-element extension model [J]. Safety and environmental engineering, 2017(06):148-152

[15] 李娟, 杜艳爽, 乔建刚. 基于物元可拓理论的公路施工安全评价研究 [J]. 河北工业大学学报, 2018,47(05):86-90.

Li Juan, du yanshuang, qiao jiangang. Research on safety evaluation of highway construction based on matter-element extension theory [J]. Journal of hebei university of technology, 2008,47(05):86-90

[16] 张云峰. 基于层次分析法—可拓

理论的泥石流危险性评价 [J]. 山西建筑, 2019,45(16):75-76.

Zhang yunfeng. Debris flow risk assessment based on ahp - extension theory [J]. Shanxi architecture, 2019,45(16):75-76

[17] 邓雪, 李家铭, 曾浩健, 等. 层次分析法权重计算方法分析及其应用研究 [J]. 数学的实践与认识, 2012, 42(7):93-100.

Deng Xue, Li Jiaming, Zeng Haojian, et al. Analysis of Weights Calculation Method of Analytic Hierarchy Process and Its Application[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2012, 42(7): 93-100.

[18] 苏孜, 程霞, 卫冰清. 自然资源经济责任审计评价指标体系探究——基于层次分析法 [J]. 南京审计大学学报, 2017(2):76-84.

SU Wei, CHENG Xia, WEI Bingqing. A Study on Evaluation Index System of Economic Responsibility Audit of Natural Resources Based on Analutic Hierarchy Process[J]. Journal of Nanjing Audit University, 2017(2): 76-84.

[19] 刘文奇. 均衡函数及其在变权综合中的应用 [J]. 系统工程理论与实践, 1997, 17(4):59-65.

Liu Wenqi. Equilibrium Function and Its Application in Variable Weight Synthesis[J]. Systems Engineering - Theory & Practice, 1997, 17(4): 59-65.

[20] 黄贯虹, 方刚. 系统工程方法与应用 [M]. 广州: 暨南大学出版社, 2005, 56-62.

[21] 李娟, 杜艳爽, 乔建刚. 基于物元可拓理论的公路施工安全评价研究 [J]. 河北工业大学学报, 2018, 47(05):86-90.

Li Juan, Du Yanshuang, Qiao Jiangang.  
Research on highway construction safety

evaluation based on matter element extension theory[J]. Journal of Hebei University of Technology, 2018, 47(05): 86-90.

基金项目: 国家重点研发计划(NQI)  
“机电类特种设备风险防控与治理关键技术研究及装备研制”(课题号: 2017YFC0805701)

# 环戊烷进料线三通裂纹原因分析

王 希

(杭州市特种设备检测研究院, 杭州市 310051)

**摘要:** 通过宏观检查、壁厚测试、硬度测试、成分分析、金相分析, 对环戊烷进料线三通产生裂纹及补焊后再次开裂的原因进行分析。结果表明: 三通裂纹是制造加工时产生, 在安装应力及管系应力作用下开裂并造成泄漏, 补焊后的焊接应力作用在未消除裂纹部位造成了再次开裂。最后对补焊修复和同类型三通检验提出建议。

**关键词:** 三通; 裂纹; 脱碳; 铁素体

2011年1月某厂环戊烷进料线支线与主线连接的一个三通发生泄漏, 泄漏位置如图1。该管线自投用后共运行17个月, 期间未出现过异常状况。发现管线三通泄漏后对其进行了盖面补焊处理, 如图2补焊部位, 投

用前试压未出现异常状况, 投入使用后在图2所指泄漏部位再次泄漏。管线的基本情况如表1。未查明该三通泄漏原因, 笔者对其取样进行了检验和分析。

表1 管线的基本情况

管线名称	工作压力	温度	介质	规格	材质
环戊烷进料线	0.6	20	环戊烷	Φ168×7.1mm	20

## 2 检验试验及结果

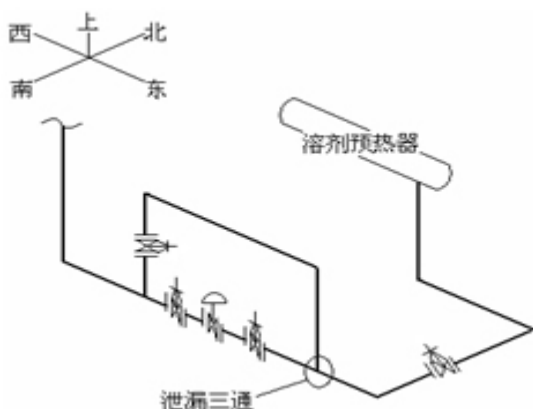


图1 泄漏三通位置示意图



图2 三通外部宏观示意图

Fig.1 请补充对应的英文图题, 下同, 不再赘述



图 2 三通内表面裂纹示意图

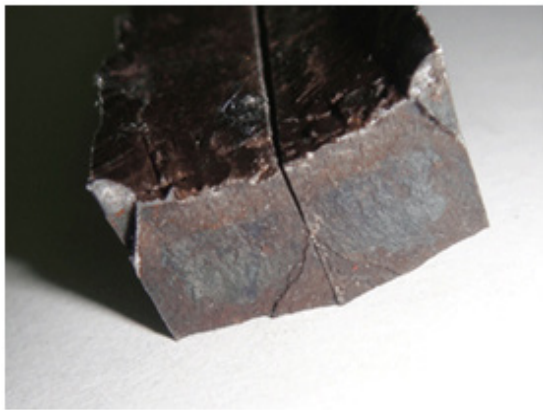


图 3 宏观断口示意图

## 1 理化检验

### 1.1 宏观检查

对泄漏的三通进行宏观检查，裂纹补焊部位及补焊后泄漏部位如图 2 所示，补焊部位为横焊一层层堆焊完成，图中泄漏部分裂纹与主管轴线垂直。对三通解剖后内表面检查，裂纹长度约 70mm，如图 3 所示。裂纹由三通内壁向外壁开裂，部分裂纹平直，三通内表面无腐蚀迹象。对图 2 泄漏部位横向切割打开断口，观察宏观断口，断口呈黑色，边角有层叠现象，为钢铁高温氧化形貌。

### 1.2 壁厚及硬度测试

对环戊烷进料线三通裂纹附近及其他部位进行壁厚测试及硬度测试：设计壁厚为 7.1mm，实测值范围为 8.06mm ~ 10.73mm，硬度测试，实测值范围 101HBHLD ~ 109HBHLD，壁厚和硬度均符合使用要求。

表 2 化学成分 (wt %)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
失效三通	0.20	0.20	0.45	0.017	0.010	0.04	0.03	0.09
	0.1 ~ 0.23	0.17 ~ 0.37	0.35 ~ 0.65	≤0.035	≤0.035	≤0.25	≤0.30	≤0.25

### 1.3 成分分析

成分分析结果如表 2 所示，符合 GB/T 699-1999 中 20 钢的要求。

### 1.4 金相分析

对三通二次泄漏部位裂纹进行金相分析，经分析该三通基体组织为铁素体+珠光体<sup>[4]</sup>，如图 4 所示；在裂纹周围有明显的脱碳层存在，如图 5 所示。

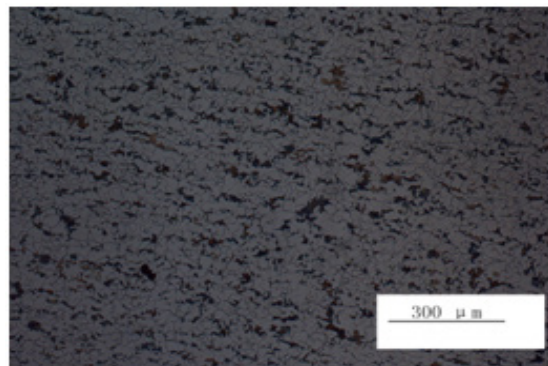


图 4 基体组织示意图

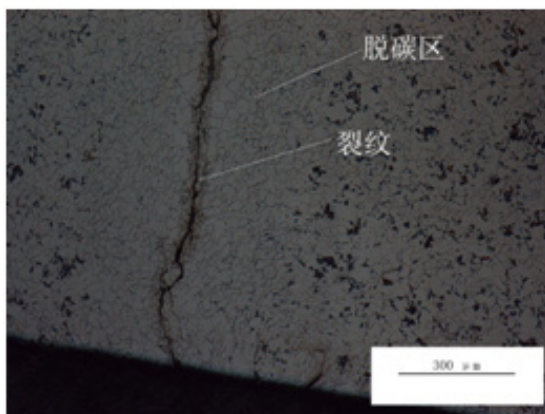


图5 裂纹及脱碳区示意图

## 2 原因分析

1、对三通进行壁厚测试、硬度测试、成分分析、正常区域金相分析，均未发现异常。

2、根据修复情况：三通发生泄漏后，对三通上部已裂透部位进行了补焊处理。下部未裂透部位未进行补焊。在补焊过程中焊接产生的应力使下部未补焊部位产生较大的应力，造成未裂透部位开裂，投入使用后发生泄漏。根据金相检查，环戊烷进料线三通正常组织为铁素体+珠光体，而裂纹周围0.3mm范围内的组织为铁素体组织，操作温度不足以造成该组织形态，表明该三通加工时金属在变形过程中已经形成部分开裂。由于放置于三通模具内的毛坯管本身存在缺陷或低熔点夹杂物，三通在挤压成形过程中形成裂缝，在应力集中作用下产生后续裂纹。存在缺陷的三通在加工后热处理过程中，裂缝附近金属组织在炉内高温环境下产生氧化脱碳，裂缝表面金属被氧化，在高温下开裂的部位氧化脱碳形成强度较低的铁素体条带。三通裂纹破坏了三通表面的完整性，不仅降低了金属的强度，而且会象切口一样存在表面引起

应力集中，在安装应力及管系应力的作用下，三通沿已经形成裂纹的铁素体条带处开裂。

## 3 结论及建议

通过以上检测和分析，环戊烷进料线三通开裂原因：

1、由于三通在加工制造过程中存在裂纹，在使用中安装应力及管系应力的作用下裂纹扩展并泄漏，这是三通开裂的主要原因。

2、三通泄漏后对裂纹未完全消除，内表面裂纹仍然存在的情况下进行补焊处理，在补焊产生的应力作用下，裂纹沿已经形成铁素体条带处裂透，造成管线再次泄漏。建议用户在对缺陷补焊处理前对裂纹进行完全消除后并依据合理的焊接工艺进行补焊处理。

3、建议对制造该批次的所有三通进行统计，加强巡检，并在管道定期检验时对三通的侧面进行磁粉检测。

## 参考文献：

- [1]. 刘迎来. 管道工程用三通泄漏失效分析及处理对策 [J] 金属热处理 2007 年第 32 卷增刊
- [2]. 刘天佑. 《金属学与热处理》 [M] 冶金工业出版社 2009
- [3]. 优质碳素结构钢 GB/T699-1999 [S]
- [4]. 黄振东. 钢铁金相图谱 [M] 中国科技文化出版社 2005
- [5]. 闻邦椿. 机械设计手册 [M] 机械工业出版社 2010

## 征 稿 启 事

《特种设备安全与节能》是杭州市锅炉压力容器技术协会和杭州市特种设备检测研究院联合主办的内部刊物，在行业内有较大影响力。现面向协会会员单位以及相关企事业单位征稿。

### （一）征稿内容要求。

本刊为技术性期刊，侧重技术与探讨，因此稿件应主要为以下内容：

- 1、行业相关的学术论文和精彩评论。
- 2、本行业特种设备研究项目的专业调研报告。
- 3、本行业特种设备管理类论文。
- 4、解读本行业新颁布的法律、法规、规章、政策、技术标准等，以及执行中的问题和建议。
- 5、在特种设备技术、安全、节能领域的新经验、新举措、新成果。
- 6、企业的新产品、新工艺的介绍性文章（要偏重技术而非宣传）。

### （二）征稿格式要求：

请在文中注明作者姓名、详细联系地址、电话及 E-mail。

1、来稿一律要求 Word 格式。文章字数要求一般不少于 2000 字，最长一般不超过 6000 字，文章要求思路清晰、合乎逻辑、简洁准确。

2、可配图表，图表像素应不低于 1200×1000；若有附图，附图线条应虚实清楚、均可辨别、图片应灰度适中，层次分明；表格采用卡线表；物理量和单位符号应符合《中华人民共和国计量单位》的规定，选用规范的单位和书写符号，并注明大小写、正斜体。

3、文章题目、标题和正文内容的书写参照学术论文格式。

### （三）来稿约定及投稿

1、文稿的著作权属于作者，文责由作者自负。作者若不允许本刊对问文稿进行删改，请在来稿时注明。

2、凡投稿被协会期刊采用者皆有相应稿费作为报酬。

3、协会每年会举办优秀论文评比活动，凡录用的论文均有机会参加评比，若被评为优秀论文的，协会将会优先向国家一级刊物《中国特种设备安全》进行推荐，并将会对优秀论文予以一定的奖励。

4、投稿

投稿邮箱：171142976@qq.com

发送电子邮件时，邮件上请加前缀“征稿”

联系人：谢梦茜

联系电话：0571-85065339

传真：0571-85065339