

# Contents 目录

## 法规园地

- 市场监管总局关于2019年全国特种设备安全状况的通告 03
- 市场监管总局关于进一步做好改进电梯维护保养模式和调整电梯检验检测方式试点工作的意见 07
- 山东省市场监督管理局关于开展2020年全省客运索道和大型游乐设施监督抽查工作的通知 10
- 山东省市场监督管理局关于开展2020年电梯维保质量监督抽查工作的通知 12
- 山东省市场监督管理局关于印发《全省市场监管系统2020年“安全生产月”活动实施方案》的通知 14

## 信息与动态

- 2020年安全生产月主题：消除事故隐患，筑牢安全防线 17
- 德州市场监督管理局与产品质量标准计量研究院一行到访山东省特种设备协会进行交流学习 18
- 省市场监管局组织召开2020年全省特种设备安全监察工作视频会议 19
- 济南锅炉集团多措并举复工复产，以最大限度扩产能、提产量、保交货 20

## 安全管理

- 板式换热器的清洗 22

编委会

编委会主任：张波

编委会副主任：郭怀力

编委会委员：

张波 郭怀力 王富兴

王黎明 王威强 侯广山

杨建明 王有存 刘大宝

侯少华 王善奎 秦国梁

张文辉

主 编：郭怀力

责任编辑：董彬

编 辑：

苏敏 田家鹏 张利红

赵路宁 韩孜君 孙宇

主 办：山东省特种设备协会

地 址：济南市华能路89号山东质监综合服务大厦2楼205室

邮政编码：250100

投稿邮箱：TX88023907@126.COM

# Contents 目录

---

高强度螺栓紧固与普通螺栓有什么区别？紧固方法有哪些？	26
钢中碳含量的7种测定方法	31
铝镁合金腐蚀行为及防护分析	33

---

## 会员来稿

220MW汽轮发电机组励磁机振动问题处理研究	35
压力容器无损检测方法论述	38
压力管道力学性能的无损检测研究概述	42
起重机械健康诊断技术综述	47
电站锅炉低温过热器、省煤器焊接质量缺陷分析与防控	53

---

## 安全知识

各种换热器介绍	58
闸阀、蝶阀、球阀、截止阀和旋塞阀的优缺点分析	62

电 话

综 合 部: 0531-88023952

鉴定评审部: 0531-88023938

培 训 部: 0531-88023939

学术咨询部: 0531-88023907

传 真

0531-88023951 55692988

网 址

<http://www.sdtzsb.com>

出版日期: 2020年6月

准印证号: 鲁连内资第0010128号

编印单位: 山东省特种设备协会

印 数: 1000册

开 本: 16开

印刷单位: 山东明达印务有限公司

# 市场监管总局关于2019年全国特种设备安全状况的通告

2020年第7号

根据《中华人民共和国特种设备安全法》《特种设备安全监察条例》的规定，现将2019年全国特种设备安全状况通告如下。

## 一、特种设备基本情况

### （一）特种设备登记数量情况。

截至2019年年底，全国特种设备总量达1525.47万台。其中：锅炉38.30万台、压力容器419.12万台、电梯709.75万台、起重机械244.01万台、客运索道1089条、大型游乐设施2.49万台（套）、场（厂）内专用机动车辆111.69万台。另有：气瓶1.64亿只、压力管道56.13万公里。（见图1）

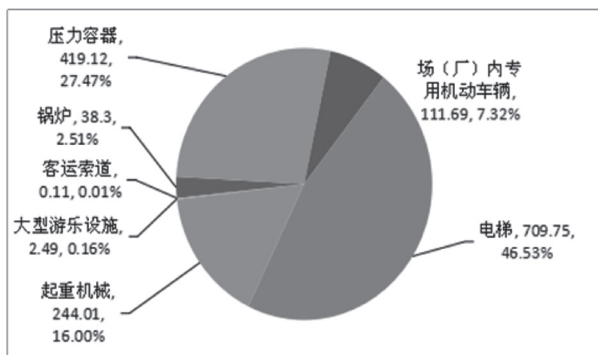


图1 2019年特种设备数量分类比例图

### （二）特种设备生产和作业人员情况。

截至2019年年底，全国共有特种设备生产（含设计、制造、安装、改造、修理、气体充装）单位78111家，持有许可证80227张，其中：设计单位3634家、持有许可证3663张，制造单位17282家、持有许可证17905张，安装改

造修理单位30470家、持有许可证30539张，移动式压力容器及气瓶充装单位27328家、持有许可证28120张。（见图2）特种设备作业人员持证1215.55万张。

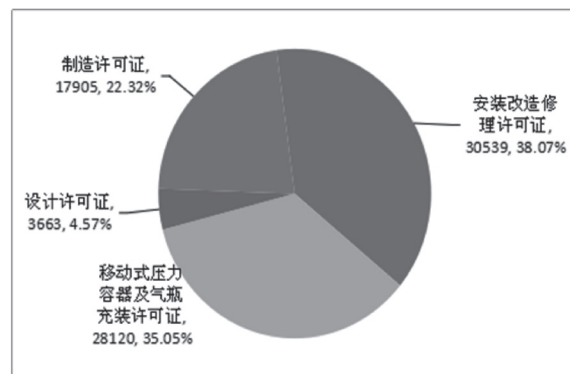


图2 2019年特种设备生产许可证分类比例图

### （三）特种设备安全监察和检验检测情况。

截至2019年年底，全国共设置特种设备安全监察机构4161个，其中国家级1个、省级33个、市级481个、县级2552个、区县派出机构1094个。全国特种设备安全监察人员共计90164人。

截至2019年年底，全国共有特种设备综合性检验机构454个，其中系统内检验机构270个，行业检验机构和企业自检机构184个。另有：型式试验机构43个，无损检测机构563个，气瓶检验机构2065个，安全阀校验机构665个，房屋建筑工地和市政工程工地起重机械检验机构310个。

2019年，全国各级特种设备安全监管部门开展特种设备执法监督检查203.04万人次，发出安全监察指令书13.39万份。特种设备检验机构对

104.39万台特种设备及部件的制造过程进行了监督检验,发现并督促企业处理质量安全问题2.10万个;对157.66万台特种设备安装、改造、修理过程进行了监督检验,发现并督促企业处理质量安全问题47.30万个。对861.37万台在用特种设备进行了定期检验,发现并督促使用单位处理质量安全问题191.32万个,其中承压类设备问题16.30万个,机电类设备问题175.02万个。

## 二、特种设备安全状况

### (一) 事故总体情况。

2019年,全国共发生特种设备事故和相关事故130起,死亡119人,受伤49人,与2018年相比,事故起数减少37起、降幅22.2%,死亡人数减少34人、降幅22.2%,受伤人数减少11人、降幅18.3%。万台特种设备死亡率为0.11。全年未发生重特大事故,特种设备安全形势总体平稳。

### (二) 事故特点。

按设备类别划分,锅炉事故11起、死亡9人,压力容器事故4起、死亡7人,气瓶事故4起、死亡3人,压力管道事故1起、死亡1人,电梯事故33起、死亡29人,起重机械事故26起、死亡26人,场(厂)内专用机动车辆事故45起、死亡42人,大型游乐设施事故6起、死亡2人。(见图3、图4)其中,事故起数排名前三位的设备为场(厂)内专用机动车辆、电梯和起重机械,均为机电类特种设备,占事故总起数的80.00%,占死亡总人数的81.51%。

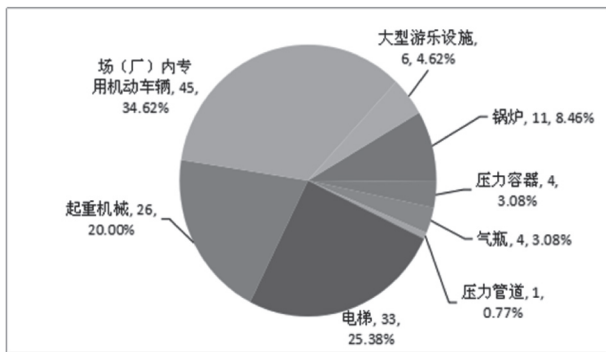


图3 2019年特种设备事故起数及占比情况

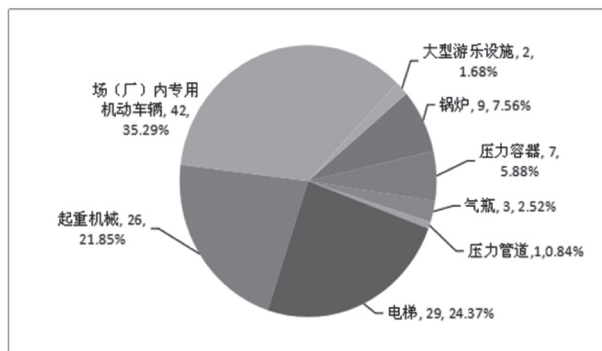


图4 2019年特种设备事故死亡人数及占比情况

按发生环节划分,发生在使用环节109起,占83.85%;维修检修环节16起,占12.31%;安装拆卸环节3起,占2.31%;充装运输环节1起,占0.77%;制造环节1起,占0.77%。(见图5)

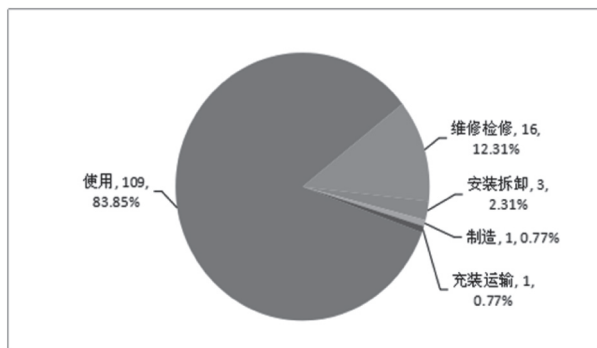


图5 2019年特种设备事故环节分布占比情况

按涉事行业划分,发生在制造业51起,占39.23%;发生在社会及公共服务业26起,占20.00%;发生在冶金石化业17起,占13.08%;发生在交通运输与物流业11起,占8.46%;其他行业和领域25起,占19.23%。(见图6)

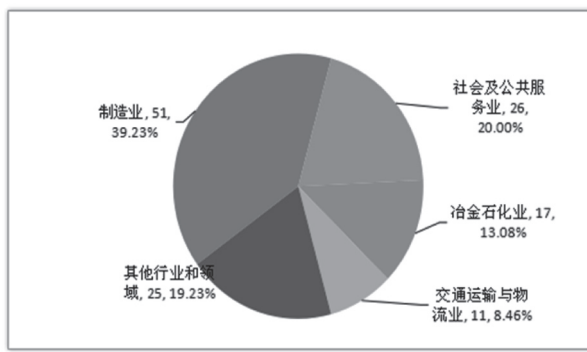


图6 2019年特种设备事故行业分布占比情况

按损坏形式划分，承压类设备（锅炉、压力容器、气瓶、压力管道）事故的主要特征是爆炸、泄漏着火等；机电类设备〔起重机械、电梯、大型游乐设施、场（厂）内专用机动车辆〕事故的主要特征是坠落、碰撞、挤压、剪切等。

按发生月份进行划分，2月份特种设备事故数量最低，8月份、10月份和12月份特种设备事故数量最高。（见图7）

其原因主要是2月份春节休假期间，工矿商贸行业停工停产，事故相对低发；8月份和10月份为暑期假期，人员安全意识懈怠，在线监测、隐患排查、安全管理等多方面存在漏洞、盲区，事故相对多发；12月份临近年底，多个行业存在赶工期、交叉作业等问题，事故相对多发。

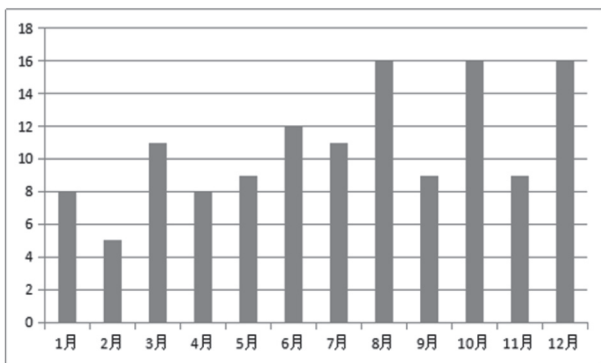


图7 2019年1-12月特种设备事故起数分布图

### （三）事故原因。

截至2019年年底，特种设备事故共结案93起，根据结案材料分析，事故原因主要分三类。一是因使用、管理不当发生事故，占总起数的87.10%左右。违章作业仍是造成事故的主要原因，具体表现为作业人员违章操作、操作不当甚至无证作业、维护缺失、管理不善等。二是因设备制造、维修检修、安装拆卸以及运行过程中产生的质量安全缺陷导致的事故约占8.60%。三是其他次生原因导致的事故，约占4.30%。（见图8）

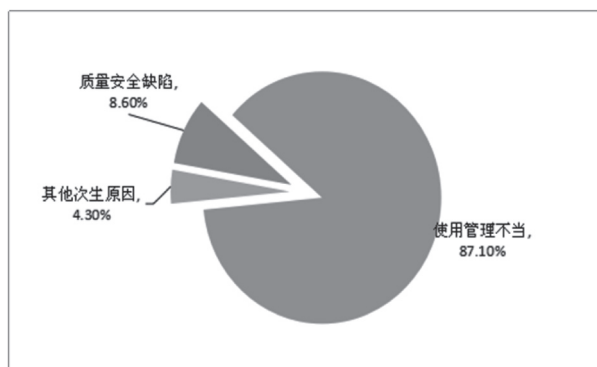


图8 2019年特种设备事故原因占比情况分布图  
事故原因按设备分类如下：

1. 锅炉事故。违章作业或操作不当1起，无证操作3起，设备缺陷和安全附件失效1起，其他次生原因3起。

2. 压力容器事故。违章作业或操作不当1起。

3. 气瓶事故。安全管理、维护保养不到位1起，其他次生原因1起。

4. 压力管道事故。安全管理、维护保养不到位1起。

5. 电梯事故。违章作业或操作不当9起，无证操作1起，设备缺陷和安全部件失效或保护装置失灵等原因4起，应急救援（自救）不当2起，安全管理、维护保养不到位8起。

6. 起重机械事故。违章作业或操作不当14起，无证操作1起，设备缺陷和安全部件失效或保护装置失灵等原因3起。

7. 场（厂）内专用机动车辆事故。违章作业或操作不当24起，无证操作10起。

8. 大型游乐设施事故。违章操作或操作不当3起，无证操作2起。

### 三、2019年特种设备安全监察与节能主要工作情况

一是牢牢守住安全底线，安全状况稳定向好。组织开展危险化学品相关特种设备、液化石油气瓶、电站锅炉范围内管道、大型游乐设施及客运索道等专项安全隐患排查治理，全国共消除各类

特种设备安全隐患 256336 处，组织推进 X80 钢级天然气管道焊接工艺和检测标准研究，取得阶段性成果。

二是深入推进放管服改革，各项工作成效显著。精简合并下放特种设备许可项目，生产单位许可项目减少 132 项，降幅达 54%；作业人员资质认定项目减少 35 项，降幅达 64%；下放省级市场监管部门实施检验检测人员子项目 8 项。进一步完善许可工作制度，优化许可工作流程，实施自我声明承诺免评审换证制度，有效降低企业制度性交易成本。

三是探索电梯监管创新，安全共治初见成效。大力推进电梯安全责任保险，不断探索电梯保险新模式。截至 2019 年年底，全国各类电梯责任保险共覆盖电梯 273.16 万台，占在用电梯数量的 38.49%，超额完成年度目标任务。

四是深化重大活动保障机制，圆满完成各项保障任务。统筹协调新中国成立 70 周年、第七届军运会等重大活动特种设备服务保障工作，建立重大活动举办地与周边省份特种设备安全联防联

治机制。

同时，一系列基础工作得到强化，监管效能进一步提升。完善法规标准体系，组织开展《起重机械型式试验规则》《热交换器能效测试与评价规则》安全技术规范制修订工作。加强特种设备信息化建设，在部分省市开展电梯质量安全追溯信息平台试点应用；气瓶质量安全追溯信息平台加快建设；移动式压力容器质量安全追溯信息平台初步建成；实现设备型式试验报告网上实时查询。加大教育培训力度，组织制作培训视频及教材，组织开展锅炉节能环保培训，提升基层安全监察人员专业能力和技术水平。加强国际交流，推动建立标准合作机制。组织开展电梯安全宣传，制作安全乘梯宣传片及公益广告，被媒体广泛转载传播，取得良好宣传效果。

特此通告。

市场监管总局  
2020 年 4 月 14 日



# 市场监管总局关于进一步做好改进电梯维护保养模式和调整电梯检验检测方式试点工作的意见

各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团市场监管局（厅、委），有关单位：

为贯彻落实《国务院办公厅关于加强电梯质量安全工作的意见》（国办发〔2018〕8号），指导相关市场监管部门进一步做好改进电梯维护保养模式和调整电梯检验检测方式试点工作，现提出如下意见。

## 一、总体要求

### （一）指导思想。

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，坚持以人民为中心的发展思想，深化“放管服”改革，充分发挥市场化机制作用，激发企业内生动力和市场活力；调动社会各方积极性，更好发挥政府为民服务的作用，守好安全底线，保障安全使用，不断提升电梯质量安全水平，让人民群众安全乘梯、放心乘梯，增强人民群众的安全感、获得感。

### （二）基本原则。

落实主体责任。调动使用、维保单位自主管理能动性，切实落实使用单位自行检测和维保单位保障电梯安全性能的主体责任。

激发市场活力。推动电梯维保由固定周期、固定项目向按需维保转变，提升维保的针对性和有效性，推动形成以维保效果为导向的定价机制，营造优质优价的良性竞争环境，激发企业提升维保质量的内生动力。

提升工作效能。坚持电梯检验的公益属性和电梯检测的市场属性，优化配置检验检测资源，充分发挥检测工作的技术诊断作用，更好发挥检验工作技术监督作用，维护群众利益。

强化智慧监管。运用信息化手段，加强大数据分析，加大信息公示力度，推行信用管理，推进责任保险，提升电梯安全监管的科学性、有效性。

## 二、重点任务

### （一）推进电梯按需维保新模式。

1. 推行“自我声明+信用管理”。根据电梯安全状况和运行工况，以提高电梯安全性、可靠性为目标，科学确定现场维保的项目、内容和周期。研究制定电梯维保质量和效果的评价指标，如乘客最关心的故障率、停梯时间、救援时间等，引导使用、维保单位从“重维保过程”向“重维保效果”转变。建立维保信息公示平台，加大信息公开力度。规范电梯维保企业标准自我声明和服务质量公开承诺，督促维保企业向社会公开现场维保的项目、内容、周期等信息，公开承诺所达到的维保质量目标和效果以及履行承诺的情况。

2. 推广“物联网+维保”。鼓励推广电梯装设基于物联网的远程监测系统，由维保单位依据实时线上检查和监测维护情况，采取针对性的线下现场维护保养，提高维护保养的科学性和有效性，最大程度地保障电梯安全运行。

### （二）科学调整电梯检验、检测方式。

1. 规范电梯自行检测。强化电梯使用单位自行检测责任，更好发挥自行检测对电梯安全状况的诊断作用。使用单位按照有关要求开展自行检测，不具备自行检测能力的可委托符合条件的维保单位或经核准的电梯检验、检测机构承担检测工作。符合开展电梯检测要求的维保单位，可从事所维保电梯的检测工作。鼓励社会力量成立电梯检测机构，按照要求核准后，提供电梯检测社会化服务。电梯检测的费用，由委托方和承担检测的单位自愿协商。从事电梯检测的人员依法应具有电梯检验检测人员资格。使用单位对于检测中发现的问题和隐患，应当及时采取措施，予以消除，保障安全使用，并及时将检测结果和整改情况进行公示。

2. 强化电梯检验的监督性和公益性。坚持电梯检验工作的公益属性，强化电梯检验对电梯质量安全的技术监督作用。特种设备技术检查机构和公益事业单位性质的特种设备检验机构（以下统称公益

性检验机构)应积极承担电梯定期检验工作。设区的市没有公益性检验机构,或者公益性检验机构能力不足的,各省、自治区、直辖市及新疆生产建设兵团市场监管局(厅、委)(以下称各省级市场监管部门)可以根据工作需要公布符合要求的其他电梯检验、检测机构,或者采用政府购买服务方式实施电梯定期检验,有效保证定期检验工作及时到位。电梯检验严格执行地方制定的收费标准,有条件的地区可以申请财政经费予以保障;试点地区可以根据检验项目的调整情况及本地实际,向有关部门申请降低电梯检验收费标准。电梯检验、检测机构不得在同一直辖市或设区的市同时承担电梯检验任务和电梯检测服务。公益性检验机构要巩固深化“不忘初心、牢记使命”主题教育成果,增强服务意识,加强廉洁从检教育,检验检测相关人员要恪守职业道德,依法施检、公正施检,不得出现无故推诿、拖延、刁难以及违反廉洁纪律、破坏营商环境的行为。

3. 科学调整电梯检验、检测内容和定期检验周期。加强电梯检测工作,充实完善具体测试项目,强化对电梯各项性能的测试试验,更好发挥检测工作的技术诊断作用。调整定期检验内容,突出直接涉及乘客安全的重点项目,强化对电梯关键安全性能的查验,更好发挥定期检验工作的技术监督作用。根据设备风险水平和安全管理状况,科学调整定期检验周期。新安装电梯监督检验后6年以内,每3年检验1次,在不实施检验的年份每年检测1次;使用6年以上、15年以内的电梯,每2年检验1次,在不实施检验的年份每年检测1次;使用15年及以上的电梯,每1年检验1次、检测1次。对于经改造的电梯,监督检验后视同新安装电梯开展检验和检测;对于使用15年以上经重大修理的电梯,监督检验后视同使用6年以上电梯开展检验和检测。

4. 强化对检验、检测工作的监督检查。加强电梯检验检测人员的考核和监管,严格实施准入,提高检验检测能力水平。各省级市场监管部门要加强对检验工作的统筹调配,按照“应检尽检”的原则,保障检验及时性和完成率。各级市场监管部门要加强对检验、检测工作质量的监督检查,

按照相关工作计划,运用“双随机、一公开”等方式,对电梯检验、检测工作开展监督检查,规范检验、检测行为,提高检验、检测工作质量。加强对投诉举报的处理,强化退出机制,对违反法律法规、不按照安全技术规范进行检验、检测的,对公益性检验机构存在违反廉洁纪律、破坏营商环境行为的,依法依规严肃查处,并将处理结果向社会公开,积极营造依法施检、公平公正的特种设备检验检测行业氛围。

### (三) 强化智慧监管和社会监督。

1. 推动智慧监管体系建设。建立电梯物联网标准化协调机制,构建统一、适用的电梯物联网标准体系,实现电梯物联网等数据的互联互通。推动大数据技术在电梯监管工作中的应用,对群众投诉举报、维保信息公示情况、电梯应急处置平台故障信息、监督检查信息、检验检测信息、物联网接入的故障等数据进行归集,开展大数据分析,监督维保单位履行维保质量目标承诺,提高电梯困人救援效率,推动电梯精准监管和隐患综合治理,降低电梯事故率和故障率,逐步建立电梯智慧救援、动态监管和公众广泛参与的智慧监管体系。

2. 强化信息公示和社会监督。完善全国特种设备检验检测单位和检验检测人员数据库,实现持证检验检测人员可查询。加快构建电梯质量安全追溯系统,实现相关信息可查询。电梯检验、检测机构要建立完善电梯检验检测信息化系统,能及时向电梯使用登记机构上传数据。市场监管部门要定期向社会公开属地电梯安全状况,以及对电梯维保、检验、检测的违法违规处理情况;同时要畅通渠道,及时受理和处置群众投诉举报,充分发挥社会监督作用。

3. 大力推进电梯责任保险。通过政策激励、试点示范、宣传引导等措施,激励电梯相关方积极投保,提高电梯安全责任保险覆盖面,发挥责任保险的事故赔偿和风险预防作用。推广电梯安全责任保险统保模式,提高保险集中度,降低投保成本。积极开展“保险+服务”、“电梯养老保险”、“检测机构职业保险”等保险创新模式的研究和试点推广,充分运用保险的市场约束激励机制,构



建电梯安全社会治理体系。

### 三、试点方式

试点工作自本意见印发之日起为期3年。第一年,各省级市场监管部门根据本意见,制定试点工作方案,确定试点地区,全面启动试点工作;第二年,跟踪试点进展,深化试点工作,扩大试点范围;第三年,凝练总结试点经验,制修订相关法律法规规范,建立长效工作机制。

#### (一) 关于推进按需维保新模式的试点。

1. 确定试点单位,明确试点要求。开展试点的电梯维保单位,应当按照“自我声明+信用管理”的要求,将企业维保工作标准和质量承诺在网上公开,有条件的地区,要在统一的电梯信息公示平台上公开;所维保的电梯应当已购买电梯责任保险。符合以上条件的维保单位和电梯,由试点地区市场监管部门统一公布。试点单位根据设备情况及维护保养说明书确定现场维保项目、内容和周期等。对具有基于物联网的远程监测系统的电梯,试点单位应当通过物联网系统实时监测电梯的运行状况,实施在线实时检查维护,现场维护保养间隔最长不超过3个月;对尚不具备物联网系统的电梯,试点单位应当每15天通过现场照片、视频等信息化手段,进行远程检查维护,其中实施“全包维保”的,现场维护保养间隔最长不超过2个月,其他电梯现场维护保养间隔最长不超过1个月。

2. 推进信息公开,强化事后监督。试点地区市场监管部门应当整合现有电梯应急处置平台、特种设备监管和检验平台等数据,建立统一的电梯信息公示平台。试点按需维保的单位要对电梯的运行、维保、故障等信息进行记录、分析和存档,定期统计分析维保质量目标实现情况并可查证,有条件的地区,要上传至电梯信息公示平台。试点地区市场监管部门对接收到的电梯困人等故障、事故、应急处置情况和监督检查中发现的违法违规行为、投诉举报等数据,进行统计分析,对实施按需维保的单位进行监督。对未按承诺实施维保、监督检查发现严重问题、维保电梯检验不合格的单位,不再开展按需维保的试点。

#### (二) 关于调整电梯检验、检测方式的试点。

1. 确定试点单位,明确工作依据。试点地区市场监管部门可以根据申请,依据《电梯使用、维护保养单位开展电梯检测的要求(试行)》(附件1),确认并公布试点地区从事自行检测的使用单位和维保单位名单。根据各地试点需要,总局特种设备局严格按照《参与试点工作的电梯检测机构核准要求(试行)》(附件2),对自愿参加试点的电梯检测机构进行核准,负责受理、审批、发证和公布。试点地区应当依据《电梯检测规则(试行)》(附件3)、《电梯定期检验规则(试行)》(附件4)开展检测和定期检验工作。同时,试点地区要及时反馈以上规范试用情况,促进相关安全技术规范的制修订和完善。

2. 强化统筹协调,严格执法检查。各省级市场监管部门要做好试点地区检验工作的统筹协调,切实加强检验检测工作的监督检查,强化对本地区从事电梯检验、检测的相关机构和人员的执法检查,依法从严查处违法违规行为,需要吊销检验、检测资格的及时移交核准发证机关。

### 四、工作要求

(一) 结合本地实情,积极稳妥推进。各省级市场监管部门制定试点工作方案,要根据本地电梯数量分布、质量安全状况等,结合安全监察和检验检测能力,以及当地维保工作情况综合考虑;要因地制宜开展试点,探索合理模式,做好试点期间的统筹协调,防止电梯失检漏检,防止维保走过场,做好平稳过渡,积极稳妥推进。

(二) 加强宣传引导,营造良好氛围。试点地区市场监管部门要加强舆论引导,正确宣传推进电梯按需维保和调整电梯检验检测方式的目标和方向,宣传电梯使用单位自行检测的责任义务以及电梯检验的公益性和监督性,动员相关单位和社会公众支持改革、参与改革,形成社会各方共同推进改革的良好氛围。

(三) 及时总结经验,定期上报情况。试点地区市场监管部门要及时总结试点工作,分析存在问题,提出意见建议,不断完善工作措施,为全面实施积累经验。各省级市场监管部门应将试点情况,每半年向总局报告。总局将做好试点的指导和监督工作。

# 山东省市场监督管理局关于开展2020年全省客运索道和大型游乐设施监督检查工作的通知

各市市场监督管理局，有关单位：

为做好2020年全省客运索道和大型游乐设施监督检查工作，现将有关事项通知如下：

## 一、工作依据

1.《中华人民共和国特种设备法》《特种设备安全监察条例》《山东省特种设备安全条例》等法律法规；

2.《客运索道安全监督管理规定》《大型游乐设施安全监察规定》《特种设备使用管理规则》等；

3.《市场监管总局办公厅关于开展大型游乐设施乘客束缚装置安全隐患专项排查治理的通知》（市监特〔2018〕42号）、《市场监管总局办公厅关于开展客运架空索道安全隐患专项排查治理的通知》（市监特设〔2018〕68号）；

4.《特种设备现场安全监督检查规则》。

## 二、工作目标

推动全省客运索道、大型游乐设施运营使用单位增强安全意识，健全管理制度，强化运行管理，落实主体责任，治理安全隐患，提升客运索道、大型游乐设施本质安全水平，预防和减少事故，遏制重特大事故，保障人民群众乘用安全。

## 三、工作内容

（一）抽查内容。在前期运营使用单位排查摸底基础上，对确定需整改的客运索道和大型游乐设施整改情况进行抽查。主要检查运营使用单位安全管理制度制定和落实情况、安全管理人员和作业人员配备情况、设备使用登记和定期检验情况、隐患整改方案制定和整改措施落实情况、应急预案制定和演练情况。客运索道重点检查吊椅

是否符合技术要求、脱索保护功能是否有效、是否具备大风监测和防范能力、吊篮和吊厢门保护作用是否有效，大型游乐设施重点检查乘客束缚装置是否有效。

（二）抽查数量。大型游乐设施运营使用单位82家，大型游乐设施190台；客运索道运营使用单位15家，客运索道16条（计划抽查数量详见附件1）。

（三）抽查单位。省局通过政府购买服务的方式确定本次监督检查实施单位。

（四）时间安排。自本通知下发之日起开始，至9月30日结束。

## 四、实施程序

（一）抽查准备。省局负责本次监督检查的组织工作，省局通过招标的方式确定抽查实施单位，并督促抽查实施单位选派符合条件的专家开展监督检查工作。抽查实施单位制定抽查工作实施方案，做好人员调配、业务培训、抽查标准、检验仪器设备等准备工作，每个抽查组至少有2名与抽查设备相对应的持证检验人员，且至少有1人具有检验师资格。抽查组中由检验师任组长，其他人员为成员。

（二）抽查实施。抽查实施工作按照《山东省客运索道、大型游乐设施监督检查细则》（附件2）进行，具体被抽查单位和设备，由抽查组在抽查实施前从全省客运索道、大型游乐设施运营使用单位和设备名单中随机选定。抽查单位在抽查组到达前3天告知相关市局，商定具体抽查事宜。抽查组到达前1天通知被抽查单位，也可直接前往现场实施监督检查。

(三) 问题处理。监督抽查结论按照《山东省客运索道、大型游乐设施监督抽查细则》分为四种情况：未发现问题、存在一般问题、存在严重问题、存在严重事故隐患。对存在的一般问题、严重问题、严重事故隐患问题的处理，按照《特种设备安全法》等法规规定处理。

对发现的一般问题，抽查组应填写《2020年客运索道、大型游乐设施监督抽查一般问题通知书》(附件2-4)，运营使用单位要对存在的一般问题及时整改，整改结果报检查组，并报送县(市、区)市场监管局跟踪确认。对发现的严重问题，抽查组应填写《2020年客运索道、大型游乐设施监督抽查严重问题通知书》(附件2-5)，及时告知被抽查单位及相关单位，并立即通知当地设区的市市场监管局，由市局依法依规处理。对抽查发现的严重事故隐患，抽查组应填写《2020年客运索道、大型游乐设施监督抽查严重事故隐患报告单》(附件2-6)，立即通知当地设区的市市场监管局和省局，由市局上报市人民政府安委会。

(四) 总结上报。抽查单位于9月30日前将全省客运索道、大型游乐设施监督抽查工作情况总结和《客运索道监督抽查统计表》(附件2-7)、《大型游乐设施监督抽查统计表》(附件2-8)书面报省局，主要包括客运索道、大型游乐设施监督抽查情况报告、问题隐患信息汇总及整改分析、工作建议等。

## 五、相关要求

(一) 监督抽查单位要认真实施监督抽查，客观、公正、及时出具抽查结果，并对其真实性负责；同时，对涉及被抽查单位的商业秘密，负有保密义务。

(二) 监督抽查人员要严格执行中央八项规定和廉洁自律要求，不得利用工作之机故意刁难被抽查单位，不得接受被抽查单位赠送的任何有价证券、礼品和现金，不得要求被抽查单位报销应当由个人支付的票据，不得参加任何被抽查单位

付费的接待。

(三) 全省客运索道、大型游乐设施监督抽查属于政府购买服务项目，抽查经费由省局专项划拨，抽查实施单位和抽查人员不得以任何名义向被抽查单位收取任何检查费用。

(四) 各市局要高度重视全省客运索道、大型游乐设施监督抽查工作，对监督抽查工作给予支持配合，委派持证安全监察人员到现场协助抽查工作，确保市监特〔2018〕42号和市监特设〔2018〕68号部署的工作全面完成，隐患全部销号。各市局要按照有关规定，依法查处发现的严重问题和严重事故隐患，对需要限期整改的，要及时发出安全监察指令书；需要停用整改的，依法责令停止使用；需要立案调查的，由执法机构及时立案，做到隐患不消除不放过，问题不解决不放过，相关单位预防纠正措施不到位不放过。

请各市局对2020年全省客运索道、大型游乐设施监督抽查中发现的问题整改情况做好督办，10月15日前将问题整改情况和《监督抽查发现问题、严重事故隐患整改落实情况统计表》(附件3)书面报送抽查组和省市场监管局。

省局特监处联系人：高智 0531—88527507，于防修 88527389

附件：1.2020年客运索道、大型游乐设施监督抽查计划表

2.山东省客运索道、大型游乐设施监督抽查细则

3.2020年山东省客运索道、大型游乐设施监督抽查发现一般问题、严重问题、严重事故隐患整改落实情况统计表

相关附件请前往山东省市场监督管理局自行下载

山东省市场监督管理局

2020年4月15日

# 山东省市场监督管理局关于开展2020年电梯维保质量监督抽查工作的通知

各市市场监督管理局，各有关单位：

为做好2020年电梯维保质量监督抽查工作，现将有关事项通知如下：

## 一、工作依据

(一)《特种设备安全法》第五十七条：负责特种设备安全监督管理的部门依照本法规定，对特种设备生产、经营、使用单位和检验、检测机构实施监督检查；

(二)《特种设备安全监察条例》第五十条：特种设备安全监督管理部门依照本条例规定，对特种设备生产、使用单位和检验检测机构实施安全监察；

(三)《山东省特种设备安全条例》第四十四条：县级以上人民政府特种设备安全监督管理部门应当对特种设备制造、安装、修理、改造和维护保养质量以及检验、检测结论进行监督抽查。监督抽查可以吸收有关专家参加，也可以委托第三方机构进行；

(四)《电梯维护保养规则》(TSGT5002-2017)；

(五)《特种设备使用管理规则》(TSG08-2017)；

(六)《特种设备现场安全监督检查规则》(国家质检总局公告2015年第5号)。

## 二、工作内容

### (一) 抽查内容

1. 电梯维护保养单位(以下简称维保单位)资源条件的持续保持情况、质量管理体系建立和运行情况、维保电梯质量情况和现场应急处置工作情况等；

2. 电梯使用单位(以下简称使用单位)安全管理机构设置和配备专兼职管理人员情况，建立安全管理制度和岗位安全责任制度和运行情况，

制定事故专项预案和演练情况，电梯使用登记、维护保养、定期检验情况，安全管理人员、作业人员持证上岗和培训、电梯投保责任保险等情况。

### (二) 抽查数量

监督抽查覆盖全省16市，包括我省发证实施电梯维保以及外省发证在我省实施电梯维保的维保单位。本次抽查不少于120家维保单位，抽查每家维保单位维保的电梯不少于6台，全省抽查电梯不少于720台。《2020年全省电梯维保质量监督抽查计划》见附件1。

### (三) 抽查重点

1. 重点抽查学校、机场、车站、医院、商场、体育场馆、酒店、写字楼、宾馆、高层住宅、大型住宅小区等人员密集场所电梯的维保质量和使用情况；

2. 近年来发生事故、群众投诉举报、媒体曝光的电梯的维保质量和使用情况。

### (四) 抽查组织

省局负责本次监督抽查的组织实施。省局通过招标的方式确定抽查实施单位，由抽查实施单位选派电梯专家开展监督抽查工作。

### (五) 时间安排

自本通知下发之日起开始，至9月30日结束。

## 三、实施程序

(一) 抽查准备。省局制定下发监督抽查通知和工作实施细则，根据2020年电梯维保单位告知性登记情况确定被抽查单位。抽查实施单位选派电梯技术专家，成立抽查组开展监督抽查工作。每个抽查组由3名电梯技术专家组成，电梯技术专家应具备电梯检验员及以上资格，每组至少有1人具有电梯检验师资格。抽查组中由电梯检验

师任组长，其他人员为组员，具体抽查时间由组长联络确定。抽查实施单位对抽查人员做好培训工作，统一抽查标准。

(二) 抽查实施。抽查工作按照《2020年山东省电梯维保质量监督抽查细则》(见附件2)进行，抽查组到达前3天告知相关市局，商定具体抽查事宜，市局选派一名特种设备安全监察人员参与监督抽查工作。抽查组到达前1天通知被抽查单位，也可直接前往企业现场实施监督抽查。被抽查维保单位维保的电梯，由抽查组在抽查当日从维保单位提供的设备名单中选定。

(三) 问题处理。按照《2020年山东省电梯维保质量监督抽查细则》规定，对维保单位抽查结论分为四种情况：未发现问题、存在一般问题、存在严重问题、存在严重事故隐患。对抽查发现的一般问题，抽查组填写《一般问题通知书》，反馈被抽查单位，由其限期落实整改，整改结果报送县(市、区)市场监管局跟踪确认并反馈抽查组；对抽查发现的严重问题，抽查组填写《严重问题通知书》，及时告知被抽查单位，通知当地设区的市市场监管局，由市局依法查处和督促整改并反馈抽查组；对抽查发现的严重事故隐患，抽查组填写《严重事故隐患报告单》，立即通知当地设区的市市场监管局和省局，由市局上报当地设区的市人民政府安委会并跟踪问题处理情况。

(四) 按时上报。抽查实施单位负责汇总监督抽查工作情况，于2020年9月30日前将本次电梯维保质量监督抽查总结报告和《2020年电梯维保质量监督抽查统计表》书面报省局，主要包括电梯监督抽查抽查情况报告、问题隐患信息汇总及分析、工作建议等。省局将对抽查结果向社会统一公布。

#### 四、相关要求

(一) 监督抽查人员要认真实施监督抽查，客观、公正、及时出具抽查结果，并对其真实性负责；同时，对涉及的被抽查单位的商业秘密，负有保密义务。

(二) 监督抽查人员要严格执行中央八项规定和廉洁自律要求，不得利用工作之机故意刁难被抽查单位，不得接受被抽查单位赠送的任何有价证券、礼品和现金，不得要求被抽查单位报销应当由个人支付的票据，不得参加任何被抽查单位付费的接待。

(三) 电梯维保质量监督抽查属于省局组织实施的监督抽查项目，所有费用纳入政府财政预算，由省局专项划拨，抽查人员不得以任何名义向被抽查单位收取任何检查费用。

(四) 各市局要高度重视电梯维保质量监督抽查工作，对监督抽查工作给予支持配合，委派安全监察人员到现场协助抽查工作。要按照有关规定，依法查处发现的严重事故隐患和重大问题，对需要限期整改的，要及时发出安全监察指令书；需要停用整改的，依法责令停止使用；需要立案调查的，由执法机构及时立案，做到隐患不消除不放过，问题不解决不放过，相关单位预防纠正措施不到位不放过。

请各市局对2020年电梯维保质量监督抽查中发现问题整改情况做好督办，11月15日前将问题整改情况和《2020年山东省电梯维保质量监督抽查发现问题、严重事故隐患整改落实情况统计表》(附件3)书面报送省局。

省局联系人：袁晓

电话：0531—88527137

邮箱：yuanxiao@shandong.cn

附件：1.2020年电梯维保质量监督抽查计划表

2.2020年山东省电梯维保质量监督抽查细则

3.2020年山东省电梯维保质量监督抽查发现问题、严重事故隐患整改落实情况统计表

山东省市场监督管理局

2020年4月15日

# 山东省市场监督管理局关于印发 《全省市场监管系统2020年“安全生产月” 活动实施方案》的通知

鲁市监特设字〔2020〕183号

各市市场监督管理局：

根据省政府安委会《关于印发〈山东省2020年“安全生产月”活动实施方案〉的通知》（鲁安发〔2019〕7号）要求，省局制定了《全省市场监管系统2020年“安全生产月”活动实施方案》，现印发给你们。请结合本地实际，认真贯彻落实。

山东省市场监督管理局

2020年5月27日

（此件依申请公开）

## 全省市场监管系统2020年 “安全生产月”活动实施方案

根据省政府安委会《关于印发〈山东省2020年“安全生产月”活动实施方案〉的通知》（鲁安发〔2020〕7号）要求，结合全省工作实际，制定全省市场监管系统2020年“安全生产月”活动实施方案如下。

### 一、总体思路

以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入学习宣传习近平总书记关于安全生产重要论述精神，认真落实党中央、国务院安全生产工作重要决策部署和省委省政府、市场监管总局有关要求，着眼加强疫情防控常态化条件下特种设备安全和专项整治三年行动排查整治工作，牢固树立安全发展理念，深入排查特种设备安全风险隐患，有效防范较大和一般事故，坚决遏制特种设备重特重大事故，切实维护人民群众生命财产安全。通过开展特种设备安全教育培训、知识普及、案例警示、问题整改、监督举报等一系列内涵丰富形式多样的特种设备安全宣传教育活动，普及特种设备安全知识，提高全民特种设备安全意识

和安全素质，推动企业特种设备安全主体责任落实，促进我省特种设备安全形势持续平稳，为决胜全面建成小康社会、决战脱贫攻坚营造稳定的特种设备安全环境。

### 二、活动时间

2020年6月1日至6月30日。

### 三、活动主题

消除事故隐患，筑牢安全防线。

### 四、主要工作内容

2020年“安全生产月”活动，在全省范围内按“四周四阶段”统一开展，每个阶段突出一个重点。

（一）第一周为“集中学习教育周”，主要开展以下活动：

1. 组织开展习近平总书记关于安全生产重要论述专题学习宣传。各级市场监管部门要以领导干部和企业负责人为重点，通过理论学习中心组专题学习、干部专题培训、专题巡回宣讲、举办专题网络课堂等形式，深入学习宣传习近平总书

记关于安全生产重要论述，推动各级树牢安全发展理念，增强从根本上消除特种设备事故隐患的政治自觉、思想自觉。省局将充分利用门户网站、微信公众号、抖音、今日头条和“山东特检云课堂”等平台向公众宣传特种设备安全知识。各地市场监管部门要在广播、电视、报刊、网站、新媒体等平台开设专题专栏，在机关、企事业单位和公共场所的宣传栏、文化长廊等广泛张贴宣传挂图、海报，摆放宣传展板，开展宣传解读，推动学习贯彻走深走实。

2. 开展线上教育。省局在“山东特检云课堂”平台开设“特种设备安全大家谈”专栏，围绕责任落实、隐患排查、风险管控、应急处置等内容，开展特种设备安全学习教育和辅导交流。各地市场监管部门要通过当地媒体、门户网站和政务新媒体、网络直播平台等，开设“特种设备安全大家谈”云课堂，组织开展网络视频访谈、远程在线辅导和特种设备安全“公开课”“微课堂”“公益讲座”等多种形式的线上活动，扩大特种设备安全宣传覆盖面。

3. 组织特种设备安全专项行动。省局将组织开展特种设备安全专家技术检查、锅炉节能及环保标准执行情况监督抽查，现场开展安全技术指导，推动企业落实主体责任。各地市场监管部门要按照当地安委会工作部署，积极组织开展企业特种设备安全“大学习、大培训、大考试”专项行动，以特种设备安全法律法规、安全技术规范、政策文件和双重预防体系建设运行知识为重点，开展企业特种设备安全培训教育，推动企业特种设备安全知识应知必会、安全技能应会必会。

(二) 第二周为“排查整治进行时展示周”，主要开展以下活动：

1. 集中宣传。各地市场监管部门要紧密结合全省安全生产专项整治三年行动统一部署和《全省特种设备安全专项整治三年行动实施方案》要求，做好当地的细化落实工作。同时，要充分利用各种媒体手段，对专项整治行动广泛宣传发动，持续深入推进，反映工作进展，及时报道成效。各市局总结梳理的排查整治进展情况和基层先进典型、经验做法以及工作成效等，每周向省局报

送不少于1篇，省局择优报送省政府安委会办公室开设的专题专栏，及时宣传推广各地做法。

2. 警示教育。各地市场监管部门要围绕特种设备事故案例和重大问题，集中组织观看事故警示教育片、进行事故案例反思讨论等警示教育活动，深入剖析事故原因，深刻吸取教训，切实引以为戒，防范特种设备安全事故发生。“安全生产月”期间，特种设备相关企业特别是大型游乐设施、客运索道等运营使用单位，要组织开展应急演练，强化操作标准规范意识，提高应急处置能力。省局将联合有关市局开展特种设备安全应急演练，以实战演练提高事故警示教育作用。

3. 排查整治。各地市场监管部门要广泛发动，督促辖区内相关特种设备企业，开展“特种设备安全啄木鸟”“特种设备安全风险扫描仪”“特种设备隐患排查显微镜”等活动，推动企业对重点场所、关键环节特种设备安全风险隐患进行全面深入排查整治，从源头上防范特种设备事故发生。各基层市场监管所要充分发挥基层“纽带”作用，广泛发动城乡社区居(村)委会、物业公司和居(村)民，开展“查找身边隐患”等活动，排查特种设备安全违法违规行为，做到防患于未然。

(三) 第三周为“安全宣传咨询周”，主要开展以下活动：

1. 集中宣传咨询。6月16日为安全宣传咨询日，各地市场监管部门要集中组织开展以线上为主、线上线下相结合的特种设备安全宣传咨询活动。线上，省局开展“电话咨询日”活动，公开省局特种设备安全咨询热线“0531-88527492”、技术专家咨询热线“0531-88023907”，面向公众及时解答各类特种设备安全咨询问题；省局继续开展“短信助力特种设备安全”活动，发送特种设备安全短信，向社会公众广泛宣传特种设备安全与节能知识。各地要依托当地主流媒体和新媒体平台，走进特种设备安全现场，介绍特种设备安全使用操作方法，宣传特种设备安全方针政策、法律法规和安全知识。线下，在严格遵守当地疫情防控要求的前提下，各地市场监管部门要组织监管人员和专家进社区、进公众聚集场所，宣传普及特种设备安全知识，送特种设备法律法规到

企业、送特种设备安全培训到现场、送特种设备安全服务到基层，营造良好的特种设备安全氛围。

2. 开展互动展示。一是各地市场监管部门要利用各类媒体、网站、手机软件等，创新开展“公众开放日”和直播互动、线上安全体验、网上有奖答题等活动；二是各地要积极引导广大群众参加中国应急信息网、全国“安全生产月”官网等平台开展的知识竞赛，以及新浪微博发起“身边的安全谣言”话题等活动；三是动员企业职工和社会公众积极参与省政府安委会办公室组织的“天天学应急”第三季全民有奖答题活动。

(四) 第四周为“安全生产齐鲁行宣传周”，主要开展以下活动：

1. 宣传宣讲。各地市场监管部门要紧紧围绕“特种设备安全专项整治三年行动”起步开局，在当地安委会的统一要求下，积极做好“区域行”“专题行”“网上行”等活动，深入宣传特种设备安全排查整治工作进展、办法措施、整改成效，尤其是要加大对典型问题企业单位的曝光力度，营造良好的特种设备安全氛围。“安全生产月”期间，省局将组织召开起重机械使用安全双重预防体系建设现场观摩活动，进一步发挥典型示范作用。

2. 举报投诉。省局畅通投诉举报咨询事项12345政务服务热线转办、政务服务咨询系统转办、全国12315平台转办、部门门户网站、来信来函等线上线下受理途径，严格落实“接诉即办”、24小时回应要求，及时办理。各地市场监管部门要严格落实省局《关于建立投诉举报快速回应机制的意见》要求，畅通群众监督和媒体监督渠道，鼓励引导广大群众特别是一线员工举报重大隐患和违法违规行为，并根据举报线索适时组织新闻媒体进行报道，及时开展案例警示教育。

(五) 同步做好安全宣传“五进”等其它活动。

“安全生产月”期间，各地市场监管部门在扎实做好每个阶段重点宣传活动的同时，要认真按照国务院安委会办公室 应急管理部印发的《推进安全宣传“五进”工作方案》要求，扎实开展特种设备安全宣传“进企业、进农村、进社区、进学校、进家庭”工作，推进“五进”活动开展，积极参与“全省应急科普优秀作品征集评

选活动”。省局将联合有关部门单位开展线上特种设备安全进校园“视频联动课堂”活动，编制《特种设备安全知识手册》向全省免费发放，在《山东特种设备》杂志开设“安全生产月”专刊，及时宣传报道各地工作成效。

## 五、工作措施

(一) 高度重视，加强领导。“安全生产月”活动将纳入安全生产责任制考核，各级市场监管部门要进一步提高对安全生产宣传教育工作的认识，认真落实上级部署要求，切实加强领导，结合当地实际，研究制定工作方案和具体的“路线图”“施工表”，明确责任单位、责任人和时间节点，周密安排部署，扎实推进落实，确保安全生产月活动开展有序。

(二) 广泛宣传，营造氛围。各级市场监管部门要充分发挥本部门宣传资源优势，紧密围绕主题，广泛进行宣传；要在重要场所、关键区域、重点路段等醒目位置悬挂特种设备安全宣传横幅、标语和口号；要认真组织开展“安全生产月”期间的每项活动，深入发动广大群众积极参与，扩大宣传声势，营造特种设备安全浓厚氛围。

(三) 扎实工作，务求实效。各级市场监管部门要把“安全生产月”活动与解决当前特种设备安全热点难点问题相结合，与精准落实常态化疫情防控、复工复产特种设备安全防范、特种设备安全专项整治等各项工作相结合，与推动落实各方面特种设备安全责任相结合，突出重点设备、关键环节，着力解决重难点问题，切实因地制宜开展好活动。

5月30日前，请各市将“安全生产月”活动方案和联络员报送省局。活动期间，请各市及时报送各地工作成效、特色做法、重要事项以及视频、图片、文字等电子版资料。7月2日前，请各市将“安全生产月”活动工作总结书面报送省局，省局汇总后报送省政府安委会办公室。

联系人：王宜坤 熊兴荣

联系电话：0531-88527930 88527498（传真）

电子邮箱：xiongxingrong\_zjj@shandong.cn

山东省市场监督管理局

2020年5月27日



## 2020年安全生产月主题：消除事故隐患， 筑牢安全防线

今年6月是第19个全国“安全生产月”。5月12日，国务院安委会办公室和应急管理部联合下发通知，以“消除事故隐患，筑牢安全防线”为主题，部署开展全国“安全生产月”和“安全生产万里行”活动。

通知强调，要以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，深入学习宣传贯彻党的十九大和十九届二中、三中、四中全会精神，深入学习贯彻习近平总书记关于安全生产重要论述，贯彻落实党中央、国务院关于安全生产重大决策部署，着眼加强疫情防控常态化条件下安全生产和专项整治三年行动排查整治工作，推动各级树牢安全发展理念，压紧压实安全生产责任，深入排查安全风险隐患，扎实推进问题整改，坚决遏制重特大事故发生，切实维护人民群众生命财产安全。

通知要求，各地区、各有关部门和单位要紧密结合实际，采取多种形式灵活开展“安全生产月”活动。要深入学习贯彻习近平总书记关于安全生产重要论述，通过理论学习中心组专题学习，网络课堂培训，在媒体平台开设专栏专题，推动学习贯彻走深走实。要开展“排查整治进行时”专题活动，紧密结合《全国安全生产专项整治三年行动计划》相关任务，通过示范引领和警示教育，推动企业和基层组织等全面深入排查整治，从源头上防范生产安全事故发生。要采取多种形式，广泛开展网络视

频访谈、远程在线辅导和安全生产“公开课”“微课堂”“公益讲座”等线上活动。要创新开展直播互动、网上展厅、线上安全体验、H5安全互动游戏等网上“全国安全宣传咨询日”活动，在全社会大力营造关注安全、关爱生命的浓厚氛围。要扎实推进安全宣传“五进”工作，按照《推进安全宣传“五进”工作方案》要求，采取线上线下结合、线上为主线下为辅的方式，扎实推进安全宣传进企业、进农村、进社区、进学校、进家庭活动。

通知指出，2020年“安全生产万里行”与“安全生产月”活动同步启动，12月份结束。各地区、各有关部门和单位要紧紧围绕《全国安全生产专项整治三年行动计划》排查整治阶段工作要求，开展“区域行”“专题行”“网上行”等宣传报道活动，推广经验做法，畅通监督渠道，曝光问题隐患，开展警示教育，推动企业落实安全生产主体责任。

通知要求，各地区、各有关部门和单位要将“安全生产月”和“安全生产万里行”活动纳入全年安全生产重点工作计划，建立健全协作机制，加强组织实施，落实保障要求，搞好统筹结合，确保活动有力有序开展，推动安全生产水平提升和形势持续稳定向好，为决胜全面建成小康社会、决战脱贫攻坚营造稳定的安全生产环境。

## 德州市场监督管理局与产品质量标准计量研究院一行到访山东省特种设备协会进行交流学习

2020年4月15日下午，德州市市场监督管理局副局长李端民，副调研员谭强，特检科科长杨传豹，副科长潘林飞，德州市产品质量标准计量研究院院长刘金龙，副院长刘振峰一行6人到达山东省特种设备协会，并在协会郭怀力秘书长带领下参观协会秘书处，随后在会议室进行了学习交流座谈会。



座谈会现场

座谈会上，郭怀力秘书长首先向德州市市场监督管理局与德州市产品质量标准计量研究院一行到访表示热烈欢迎，向到访领导详细介绍了协会发展历程及相关业务工作。德州市市场监督管理局与德州市产品质量标准计量研究院随后介绍了各自单位基本情况与社会服务工作。

通过交流经验，学术探讨，双方对今后的进一步合作达成了共识，期待能在更大范围、更广领域、更高层次开展交流与合作，实现助力标准化建设未来发展。

# 省市场监管局组织召开2020年全省特种设备安全监察工作视频会议

4月29日上午，省市场监管局通过视频系统组织召开2020年全省特种设备安全监察工作会议，认真贯彻落实全国安全生产电视电话会议、全国特种设备安全监察工作会议和全省市场监管暨落实“重点工作攻坚年”工作会议精神，全面总结2019年工作情况，对2020年重点工作及“五一”期间特种设备安全工作进行安排部署。省局二级巡视员史亮峰主持会议，省局党组成员、副局长贾峰出席会议并讲话。



贾峰指出，2019年全省特种设备战线的同志们认真学习贯彻习近平总书记关于安全生产的重要指示批示精神，落实省委省政府决策部署，按照省局党组工作要求，紧紧围绕改革发展稳定大局，严守安全底线、服务民生保障、促进产业发展，各项工作取得新进展、新成效。他强调，要充分认识2020年特种设备安全监管工作面临的新冠疫

情导致安全隐患凸显、加速复工复产导致风险增加、特种设备监管存在潜在风险隐患、边界职责落实存在薄弱环节、执法力度和成效不够明显、基础能力建设存在差距等风险问题；要严格落实“三个责任”、健全基层工作链条、发挥检验检测支撑作用、提升监管效能，努力提高特种设备安全工作治理水平；要着力加强六个方面的重点工作，一是扎实部署开展特种设备安全专项整治三年行动，二是深入推进特种设备安全双重预防体系建设，三是高度重视和抓好特种设备定期检验工作，四是全力提升电梯安全保障水平，五是加快特种设备安全监管信息化建设，六是加强特种设备安全工作队伍建设；要进一步提高政治站位，强化思想认识，时刻牢记责任，切实增强做好特种设备安全工作的紧迫感和责任感，坚决防止事故和疫情叠加，确保全省特种设备安全形势稳定向好，为推动全省经济社会高质量发展提供有力安全保障。

会议传达2020年全国特种设备安全监察工作会议精神，济南、青岛、济宁、威海、临沂、德州6市作典型经验交流，省局特监处处长作工作报告。省局相关处室（单位）和各市市场监管局、市特检（分）院（所）及邀请山东特检集团、山东省特种设备协会共235人参加会议。

## 济南锅炉集团多措并举复工复产，以最大限度扩产能、提产量、保交货

近年来,我国生物质发电行业发展迅猛。去年,我国的生物质发电装机数量已占据全球生物质发电装机总数的13%,成功登顶。作为生物质锅炉的领航者,济南锅炉集团有限公司今年的生产订单已经排得非常紧密,生产交货压力巨大。原本

性办公、远程办公等方式复工。营销人员通过邮件、电话、网络会议等形式进行项目跟踪、合同洽谈、合同执行等工作,其间洽谈签约十多个合同,合同总金额3.6亿元。

“去年是各炉型订单占比例大幅调整变化的

一年,循环流化床燃煤锅炉从60%左右下降至20%,生物质锅炉的占比则增至70%左右。”杨栩介绍。

自1989年与中科院工程热物理所合作,研发生产了国内第一台循环流化床锅炉以来,经过30多年的研发积累,济南锅炉集团有限公司已生产循环流化床锅炉



春节期间准备加班加点赶生产,却因突如其来的疫情,不得不暂时停工。

面对疫情,该公司迅速成立了以党委书记、董事长杨栩为组长的疫情防控领导小组,统筹协调安排,以最快速度统一购买了防疫物资,并建立了行之有效的防疫体系。

2月10日,济南锅炉集团有限公司全面复工复产后,实施封闭管理,严格执行“双测温两报告”制度,向复工人员每天发放口罩,免费提供午餐,同时采取错时、分散就餐等方式,减少人员聚集,为公司员工提供充分防护,确保员工安全健康投入生产。

对于办公区域人员较为集中的部门,则以弹

3000多台,成为国内外循环流化床锅炉产销量最大的企业。

据悉,该公司早在1993年就开展了生物质锅炉产品的研发,申请了应用到燃生物质炉排锅炉产品上的专利技术,产品出口到印度尼西亚。自2005年引进丹麦振动炉排技术后,逐步完善优化各项技术,形成联合炉排、水冷振动炉排、流化床锅炉三大生物质锅炉系列。2006年,该公司生产的全国第一台30MW生物质水冷振动炉排锅炉产品在国能单县生物质电厂正式投入运行。通过多年来对生物质锅炉的深入研究,公司已有效解决生物质锅炉生物质堵料、高温腐蚀、低温腐蚀、受热面积灰、结焦等技术难题。



成果奖、重点新产品奖。

面对锅炉市场需求萎缩、行业竞争愈加激烈的严峻形势，该公司及时调整营销策略，在精耕细作传统主业市场的同时，积极拓展成套、配件、改造、环保工程等市场，延长产业链，从而确保了产供销的有序衔接和市场

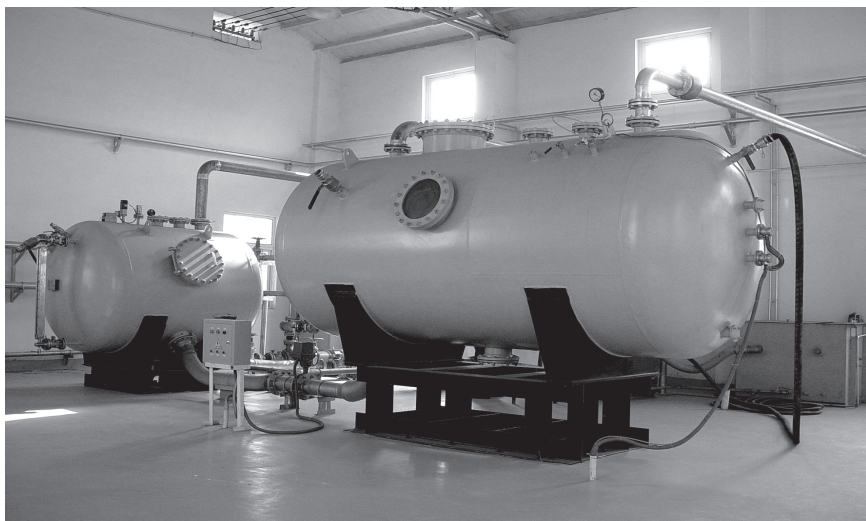
随着国家在节能、环保、排放指标等方面标准的不断提高，该公司紧抓国家大力支持可再生能源发展的契机，充分发挥最早研发、最早引进技术的优势，并不断在实践中完善，实现了建一个生物质发电项目，就成为一个新能源示范工程的目标。

济南锅炉集团有限公司长期以来一直坚持在各项资源方面尽最大能力为技术研发提供支持，尽可能提升技术研发的软硬件环境。该公司省级企业技术中心拥有 278 名工程技术人员，与知名科研院所和高校开展深入广泛的技术合作与人才培养，大力开发新技术、新工艺，近年来共获得专利 30 多项，并有多项科研成果获国家重大科技

份额的日益增大。

借助产品的技术先进性优势，该公司迅速融入“一带一路”，产品深受保加利亚、土耳其、印度尼西亚、马来西亚、越南、泰国、菲律宾、巴基斯坦、新加坡、印度、蒙古等“一带一路”沿线国家的欢迎，海外订单占比达 20%。

“尽管采取多项措施复工复产，但受疫情影响，国内供应链还未完全恢复，海外总包项目的工程施工目前无法正常开展。我们一方面加紧厂内生产，一方面与用户加强沟通，以相互理解共克时艰，我们有充分的信心，通过我们的艰苦努力，使项目在技术支持、供货、施工和服务等合同执行各方面步入正轨。”杨栩说。



# 板式换热器的清洗

板式换热器是一种结构紧凑、高效的换热设备,它具有换热效率高(其传热系数比管式换热器高3~5倍)、占地面积小(为管式换热器的1/3)、使用寿命长、投资小、易于除垢、可靠耐用等特点。

近年来被广泛应用于冶金、石油、制药、船舶、纺织、化工、医药、食品等行业,是实现加热、冷却、热回收、快速灭菌等用途的优良设备。

但是,由于板式换热器一般换热温度较高(特别是汽水交换),且其换热效率高,所以极易结垢。

同时板式换热器内部流通孔径小,结垢后使内部通道截面变小甚至堵塞,造成板式换热器换热效率降低,从而影响生产的正常进行和设备的安全。

因此,板式换热器应定期进行化学清洗,除掉污垢,以保证板式换热器的高效换热和生产的正常进行。

## 1 板式换热器的简介

板式换热器是用薄金属板(一般为不锈钢)压制成具有一定形状波纹的换热板片,然后加密封胶垫叠装而成的一种换热器。主要由传热片、密封胶垫、夹紧螺栓、压紧板、整机框架等零部件组成。

冷热介质通过相邻换热板片流经各自通道,中间通过一层薄换热板片进行换热,因此高效节能,换热系数高,使用安全可靠,结构紧凑,体积小,占地少,组合灵活,调整维修方便。

## 2 板式换热器清洗前的准备

### 2.1 板式换热器的结垢分析

板式换热器一般可分为:水-水交换和汽-水交换两种方式。水-水交换方式冷热介质均为水,且冷热水温差不大,大概在70~90℃之间,

两边结垢情况基本相同;汽-水交换方式热介质为水蒸汽,一般不易结垢,冷介质为水,温度约90℃,易结垢。

其垢样大致可分为水垢和污垢,尤以水垢为主。水垢主要是水中溶解的各种盐类受热分解溶解度降低而结晶沉积在传热片上,通常为碳酸盐、磷酸盐、硫酸盐和硅酸盐,这类垢结晶致密,比较坚硬,难以清除;污垢一般是由颗粒细小的泥砂、尘土、不溶性盐类的泥状物、胶状氢氧化物、杂物碎屑、腐蚀产物、油污、特别是菌藻的尸体及其粘性分泌物等组成,这种垢体积较大、质地疏松稀软,较易清除。

### 2.2 板式换热器除垢清洗方法和清洗工艺的选择

板式换热器的垢样以水垢为主,比较坚硬,和传热片结合牢固,难以用物理方法清除,所以选择用化学清洗中的酸清洗方法除垢。

根据板式换热器的结垢情况、老化程度和用户的求,板式换热器的化学清洗可分为拆卸清洗和不拆卸清洗两种方法。

拆卸清洗除垢比较彻底,效果好,但劳动量大、工序复杂,且容易造成换热器渗漏、零配件损坏等不良影响;不拆卸清洗除垢不够彻底,但劳动量小、工序简单,且不容易造成换热器渗漏、零配件损坏等不良影响。

当板式换热器结垢情况严重、换热效率低下,甚至堵塞时,必须采取拆卸清洗;当板式换热器结垢较轻或老化严重时,可采取不拆卸清洗。

化学清洗时可采取循环清洗和浸泡清洗相结合的清洗工艺。

循环清洗是用循环泵、清洗槽、塑料管、清

洗对象组成封闭循环系统,将循环系统中加入适量清洗剂,用循环泵循环清洗;浸泡清洗是循环系统中清洗剂均匀达到一定浓度后,关闭循环泵浸泡。

为了保证清洗剂的浓度,在循环过程中,每隔1h要检测一次清洗槽内清洗剂的浓度,使清洗剂的浓度始终保持在 $0.10 \sim 0.15\text{mol/L}$ 安全有效的范围内,必要时需添加清洗剂。遇中午或晚上可采取加清洗剂后浸泡清洗。

### 2.3 清洗剂的选择

板式换热器的传热片材料一般为奥氏体不锈钢,型号大致有AISI304、304L、AISI316、316L、316Ti,不锈钢材料需采用硝酸基清洗剂清洗。

密封垫材料一般为丁晴橡胶(NBR)130-140、丁基橡胶(RCB)140、乙丙橡胶(EPDM)150,这些材料均能耐酸、碱、酮、醇类等溶液的腐蚀。

基于此,我们采用河南省科学院能源研究所研制的不锈钢制品专用清洗剂(该清洗剂已通过河南省科学技术厅组织的技术鉴定),主要有硝酸、羟基乙酸、缓蚀剂、渗透剂、消泡剂等化学药剂组成,该清洗剂对不锈钢制品有除垢率高、腐蚀率小、除垢速度快等特点,最佳清洗浓度在 $0.10 \sim 0.15\text{mol/L}$ 范围内。该清洗剂的各项性能指标,经检测均符合HG/T2387-2007《工业设备化学清洗质量标准》的规定。

## 3 板式换热器的拆卸清洗

### 3.1 拆卸

先将板式换热器热介质的进出口阀门关闭,再将冷介质的进出口阀门关闭,排掉介质(一般为水或汽),用钢尺量出换热器传热片压缩的净尺寸(两块儿压紧板内面间的距离)并记录。

均匀、对称地拆除换热器的夹紧螺栓,轻轻地将活动压紧板沿轨道推开,逐片拆下传热片(注意不要把密封胶垫扯断或扯掉),并按顺序摆好。

由于有的换热器采用几种纹路的传热片,所以一定要记清每种纹路的片数和组合顺序。

### 3.2 拆卸化学清洗

3.2.1 化学清洗循环回路的连接用清洗泵、清洗槽、塑料管组成化学清洗循环系统(如图1所示),将拆下的传热片按顺序整齐地摆放在清洗槽内(传

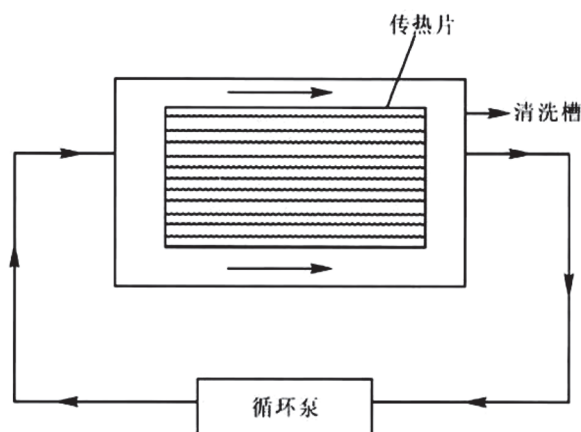


图1 拆卸清洗循环系统

热片应与水流方向平行),注水后检查系统是否正常。

### 3.2.2 化学清洗工艺实施

往清洗槽内注水直至传热片被完全淹没。加入适量清洗剂,开始循环清洗。按照化学清洗工艺,在循环过程中,每隔1h要检测一次清洗槽内清洗剂的浓度,使清洗剂的浓度始终保持在 $0.10 \sim 0.15\text{mol/L}$ 安全有效的范围内,并根据测量数据添加清洗剂。

清洗前期,反应比较剧烈,有大量泡沫出现,可喷洒消泡剂消泡,同时清洗液浓度下降较快,清洗液浓度可适当高一点儿。

当清洗剂的浓度连续2h内不变化或变化量极小,同时观察到传热片表面水垢明显减少,用塑料刷子轻轻一刷就可刷掉,此时可视为到清洗终点。

### 3.3 余垢清除

化学清洗结束后,逐片取出传热片,用清洗机将传热片两面的余垢清除,必要时用塑料刷协助刷洗。

清洗过程中清洗机压力不要太高,以490~588kPa为宜,水柱不要与传热片垂直,应有一定夹角,以免将传热片损坏。同时还应注意传热片的顺序和传热片上的密封垫的安全。

### 3.4 组装

除垢完毕,按照拆卸时传热片的叠加顺序从固定压紧板开始,依次将传热片沿轨道叠加(注意传热片上的密封胶垫不要脱落,若有脱落可用密封胶粘贴)。

传热片全部安装上后,小心地将活动压紧板沿轨道压上,把压紧螺栓依次放在丝槽内,均匀、缓慢、对称地压紧(否则容易把传热片压破或压偏,使板式换热器漏水或漏气),直到传热片的压缩净尺寸达到或略小于原来的尺寸。

### 3.5 液压试验

板式换热器组装完应按GB 16409-1996《板式换热器》标准要求两侧分别进行单侧液压试验,试验时应缓慢升压,达到规定的压力后,保压时间为10~30min,然后降至设计压力下保压,对所有密封面进行检查,看是否有渗漏现象,保压时间不少于30min。

### 3.6 恢复

液压试验安全后拆除连接管,关闭各排污阀,先打开冷介质的进出口阀门,再打开热介质的进出口阀门即可。

## 4 板式换热器的不拆卸清洗

### 4.1 不拆卸化学清洗

#### 4.1.1 化学清洗循环回路的连接

先将板式换热器热介质的进出口阀门关闭,再将冷介质的进出口阀门关闭,排掉介质(一般为水或汽)。

分别以冷热介质的进水排污口为清洗液进水口,出水排污口为清洗液出水口(若无排污口需添加并加阀门),按热介质进口—热介质出口—冷介质进口—冷介质出口的顺序,和清洗泵、清洗槽、

塑料管组成化学清洗循环系统(如图2所示)。

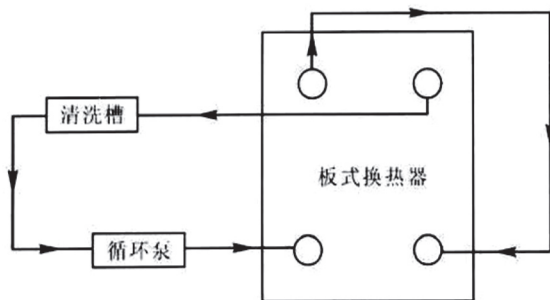


图2 不拆卸清洗循环系统

#### 4.1.2 化学清洗工艺实施

往清洗槽内注水检查系统循环正常后,加入适量清洗剂,开始循环清洗。按照化学清洗工艺,在循环过程中,每隔1h要检测一次清洗槽内清洗液的浓度,使清洗液的浓度始终保持在0.10~0.15mol/L安全有效的范围内,并根据测量数据添加清洗剂。

不拆卸化学清洗可能需要时间长一些,可采用循环清洗和过夜浸泡清洗相结合来清洗。当清洗剂浓度连续2h不变化或变化量很小时,即可停止循环。

#### 4.1.3 冲洗



结垢较多的且不宜清洗的要针对结垢的情况,配制相应的化学制剂,冲刷或者先短时间的冲泡,再用高压水枪鬃毛刷刷洗。

化学清洗结束后,由于板式换热器内部流道孔径小,总有垢渣(特别是污垢)粘附在传热片上,所以需要循环泵反复冲洗掉垢渣。把清洗槽内废液排掉,充满清水,用循环泵冲洗,废水排掉,再反复冲洗,不停接水观察,直到板式换热器内不



再有垢渣排出为止。

#### 4.2 中和、钝化处理

中和是将清洗后设备中残留的酸液进行中和而不腐蚀设备；钝化是在金属表面上形成能抑制金属溶解过程的电子导体膜，这层膜本身在介质中的溶解速度很小，以致它能使金属的阳极溶解速度保持在很小的数值上。

由于不拆卸化学清洗要用到与板式换热器相连接的几段管道，传热片为不锈钢材质不需要中和、钝化处理，但管道为钢铁材质，清洗后表面的水垢和铁锈都被清除，露出钢铁的本质，其处于十分活泼的活化状态，极易锈蚀，因此需要进行中和、钝化处理，防止出现二次锈蚀。

##### 4.2.1 中和处理

中和处理可用氢氧化钠、碳酸钠等辅以中和助剂，按 0.5% 的投加量使用，即 1 t 水加中和药剂 5kg，对循环系统内残余的酸性清洗剂进行中和处理，使 pH 达到 7 循环停止。

##### 4.2.2 钝化处理

中和处理后进行钝化处理，向循环系统内添加适量钝化预膜剂，循环均匀后使 pH 控制在 8 ~ 9 之间，钝化预膜剂的使用量按清洗剂循环水量计算，1 t 水加钝化预膜剂 10kg。

#### 4.3 恢复

钝化后拆除连接管，关闭各排污阀，先打开冷介质的进出口阀门，再打开热介质的进出口阀门即可。

### 5 应用实例

板式换热器的这两种化学清洗方法经河南省科学院能源研究所多次实践，不断完善，其工艺流程成熟、清洗周期短、污垢清洗彻底，具有经济、快捷、令客户满意等优点。

其中拆卸清洗除垢率可达到 95% 以上，不拆卸清洗虽然不能直观地观察到除垢率，但从板式换热器清洗前后进出水温度和进出水压力的变化可以看出清洗的效果。下面是 2007 年 10 月对河南省水利厅办公楼取暖用板式换热器的拆卸清洗实例。

#### 5.1 化学清洗过程控制 (见表 1)

表 1 化学清洗过程控制

清洗时间	清洗剂摩尔浓度 / (mol · L <sup>-1</sup> )	pH	清洗措施
8 00	0.02	1.5	循环加药
9 00	0.12	1.0	继续循环
10 00	0.05	1.5	循环加药
11 00	0.13	1.0	继续循环
12 00	0.08	1.0	加药浸泡
14 00	0.06	1.5	循环加药
15 00	0.13	1.0	继续循环
16 00	0.12	1.0	继续循环
17 00	0.11	1.0	继续循环
18 00	0.11	1.0	停止循环

清洗过程中采用了循环清洗和浸泡清洗相结合的方法，清洗过程用时 10 h。清洗终点根据清洗剂浓度随时间的变化情况以及观察传热片上水垢的反应程度来判断，当清洗剂的浓度连续 2 h 内不变化或变化量极小，即可视为清洗终点。

#### 5.2 清洗效果

化学清洗后用清洗机清除余垢。清洗前传热片表面完全被一层黄色的污垢覆盖，清洗后传热片表面无任何污垢，露出不锈钢的本质，除垢率基本达到 100%。

来源：自板式热交换器密封垫片技术平台

# 高强度螺栓紧固与普通螺栓有什么区别？ 紧固方法有哪些？

高强度螺栓是钢结构施工中最普遍常见的施工内容，所有钢结构工程师都会觉得熟悉得不能再熟悉了。然而事实可能并非如此，今天我们从最基本的概念入手，带你重新认识高强度螺栓，可能会颠覆你最基本的认识。

## 1 什么是高强度螺栓

高强度螺栓 (High-Strength Friction Grip Bolt)，英文直译为：高强度摩擦预紧螺栓，英文简称：HSFG。可见，我们中文施工中所说的高强度螺栓是高强度摩擦预紧螺栓的简称。在日常沟通中，仅仅是简略了“摩擦 (Friction)”“预紧 (Grip)”两个词，却造成了许多工程技术人员对高强度螺栓基本定义的理解，产生了误区。

误区一：材料等级超过 8.8 级的螺栓，就是“高强度螺栓”？

高强度螺栓和普通螺栓的核心区别并不在于使用材料的强度，而是受力的形式。本质是是否施加预紧力，并利用静摩擦力抗剪。

实际上在英标规范，美标规范中提到的高强度螺栓 (HSFGBOLT) 只有 8.8 级和 10.9 级两种 (BSEN14399/ASTM-A325&ASTM-490)，而普通螺栓却有包含有 4.6, 5.6, 8.8, 10.9, 12.9 等 (BS369211 款表 2)；由此可见，材料强度高并不一定是区别高强度螺栓与普通螺栓的关键。

误区二：高强度螺栓的承载能力高于普通螺栓，是为“高强”？

由单个螺栓的计算可知，高强度螺栓抗拉和抗剪的设计强度均低于普通螺栓。其高强实质是：正常工作时，节点不允许发生任何相对滑移，即：弹塑性变形小，节点刚度大。

可见：在给定设计节点荷载的情况下，用高强度螺栓设计的节点并不一定能节省螺栓使用数量，但是其变形小，刚度大，安全储备高。适用主梁，等要求节点刚度较大的位置，符合“强节点，弱杆件”的基本抗震设计原理。

高强度螺栓之强，并非在于其本身的承载能力设计值，而是表现于其设计节点的刚度大，安全性能高，抗破坏的能力强。

## 2 高强度螺栓规格

国内常用的高强度螺栓分为 ASTM 及 JIS 规格。通常用的 ASTM 高强度螺栓有 A325 及 A490 两种，具体情况如表一所示。

表一 ASTM 高强度螺栓通用情况

螺栓种类	型别	特性通用情况
A325	TYPE1	中碳量，碳硼或中碳合金钢适用于一般钢结构，可热浸镀锌
	TYPE2	1991 年 11 月停用
	TYPE3	TYPE3 耐候钢，耐候性抗蚀性能等同于 A242/A566/A709 等钢材。适合与耐候钢材一起使用。
A490	TYPE1	螺栓以合金钢制成，标称直径在 1/2"~1 1/2"，适用一般钢结构，不可热镀锌。
	TYPE2	螺栓通常以低碳麻田散铁钢制成，标称直径在 1/2"~1 1/2"，不可热镀锌。
	TYPE3	耐候钢，耐候性抗蚀性能等同于 A242/A588/A709 等钢材。适合与耐候钢材一起使用。不可热镀锌
A449	TYPE1	中碳量，标称直径在 1/4"~3"，适用于一般钢结构，可用于耐高温，可以热浸镀锌。
	TYPE2	低碳麻田散铁钢制成，标称直径在 1/4"~1"，不可热镀锌。

A325 螺栓主要成分为 TYPE1 及 TYPE3 两种，TYPE1 为一般结构用，如需要时可以热浸镀锌，耐候钢材应配合使用 TYPE3 螺栓，采用 TYPE3 螺栓时设计图上应特别标明，A325 螺栓的机械性能如表二所示。

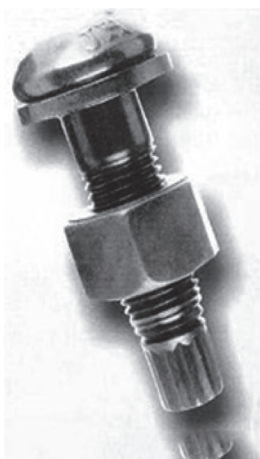
表二 ASTM 高强度螺栓机械性能

螺栓规格	直径 (in)	屈服强度 (tf/cm)	抗拉强度 (tf/CM)	
			Min	Max
A325	0.5-1	6.44	8.4	-
	1.125-1.5	5.67	7.35	-
A490	0.5-1.5	9.1	10.5	11.9
A449	0.25-1	6.44	8.4	-
	1.125-1.5	5.67	7.35	-
	1.625-3	4.06	6.3	-

A490 螺栓标准直径以英尺为单位，以 1/8 英尺为单位增量，且皆介于 1 英尺至 1.5 英尺之间，以 1 英尺左右的直径较常用。

有些特殊的情况，所需螺栓直径超过 1.5，此时可采用 A490 螺栓。A490 螺栓使用情况如表一所示，材料强度如表二所示。ASTM 高强度螺栓的螺头及螺帽皆为六角形头，其中螺帽必须为重型六角形螺帽。

JIS 规格的高强度螺栓分为六角螺栓头的 F 系列以及为减轻材料用量及美观需求而发展之圆螺栓头之 S 系列（见图一），圆螺栓头在安装后拆卸较困难。



图一 JISF10T 圆头型扭矩控制高强度螺栓

材料强度不同，F 系列又分为 F8t、F10t 及 F11t 三种，s 系列则分成 s8t 及 s10t 二种，其中 F11t 材质因品质较不易控制，仅部分制造商有制造生产资质，其材料强度如表三所示。

表三 JIS 高强度螺栓材料强度

螺栓规格	屈服强度 (tf/cm)	抗拉强度 (tf/CM)	
		Min	Max
F8t&s8t	6.4	8.0	10.0
F10t&s10t	9.0	10.0	12.0
F11t	9.5	11.0	13.0

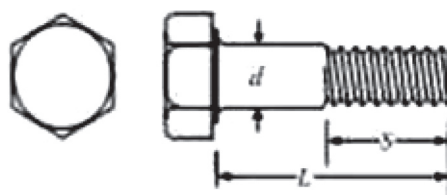
JIS 螺栓直径以 mm 为单位，一般常用的直径规格在 12mm 至 24mm 之间。有过去的热浸镀锌经验可知，高强度螺栓在热浸镀锌前处理酸洗过程中会吸收氢氧，因此会产生延迟破坏现象，延

迟破坏就是高强度螺栓紧固一段时间后发生突然断裂现象，这是因为金属结晶内蓄含的氢氧压力过大的结果。

延迟破坏在 F10t 以上之高强度螺栓才会发生，F8t 以下不会发生，故摩擦结合所使用的热浸镀锌高强度螺栓只能用 F8t 以下。

因为中国土木水利工程学会所编著的《热浸镀锌钢桥设计施工手册》明确标明建筑使用 F8t 螺栓、F10 螺帽、F35 的华司组合及镀锌试验片的疲劳强度约比黑漆母材低 12kgf/mm<sup>2</sup>，因此对热浸镀锌的高强度螺母 F8t 应视情况考虑酌增螺栓用量。

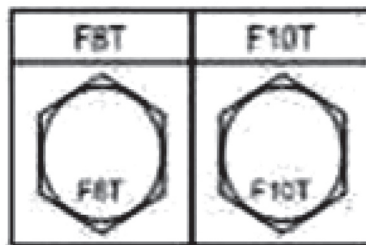
螺栓的外观如图二所示，螺栓在螺栓头会标识其种类，如图三及四所示，以方便使用及施工管理。



图二 螺栓外观及尺寸

A325		A490		
Type1	Type3	Type1	Type2	Type3

图三 ASTM 高强度螺栓之标示



图四 JIS 高强度螺栓之标示

螺栓需配合螺帽及垫圈使用，螺栓、螺帽加上垫圈组成螺栓组，表四及表五分别为 ASTM 及

JIS 高强度螺栓组的组合。耐候钢材应该配合耐候型螺栓、螺帽及垫圈使用。

表四 ASTM 高强度螺栓组

螺栓种类	型别	标准直径 (in)	螺帽型式	垫圈型式
A325	TYPE1	0.5-1.5	A563-C	F436TYPE1
	TYPE1 (热浸镀锌)	0.5-1.5	A563-DH	F436TYPE1
	TYPE3	0.5-1.5	A563-C3	F436TYPE3
A490	TYPE1,2	0.5-1.5	A563-DH	F436TYPE1
	TYPE3	0.5-1.5	A563-DH3	F436TYPE3
A449	TYPE1,2	0.25-1.5	A563-B	F436TYPE1
		1.625-3	A563-A	F436TYPE1
	TYPE1,2(热浸镀锌)	0.25-3	A563-DH	F436TYPE1

注：螺帽除 A563-B 外，其余皆为重型六角形螺栓。

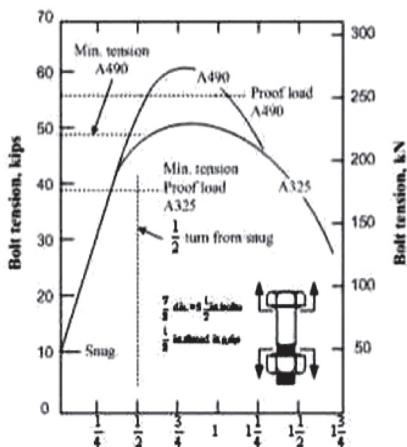
表五 JIS 高强度螺栓组

螺栓种类	螺帽型式	垫圈型式
F8T&S8T	F10 或 F8	F35
F10T&S10T	F10	F35

另外垫圈可以避免螺栓或螺帽锁紧过程因旋转而伤及钢板，亦可分散螺栓顶部压力过于集中，此外，将垫圈在旋转端（螺栓头端或螺帽端）可以降低旋转面的摩擦力。

### 3 螺栓轴拉力 - 轴向变形曲线

螺栓紧固过程会先锁到紧贴状态，所谓的紧贴状态就是使用专用的扳手拧螺栓数圈是结合面贴合之紧固状态。紧密状态下的螺栓内已经承受了部分预拉力。



图八 螺栓之轴拉力 - 轴向变形关系曲线

图八为螺栓自贴紧情况开始，螺栓之轴拉轴向变形的曲线关系，横坐标为螺帽旋转圈数，等同于轴向变形，纵坐标为螺栓拉力，曲线至紧贴状态开始呈线性关系，然后在螺牙处会先屈服，曲线进入非线性阶段，紧接着螺牙处产生颈缩而强度开始下降，最后螺牙处断裂。

螺栓受拉力时，临界断面发生在螺牙处，螺牙的最大拉力强度为材料抗拉强度与涨紧力面  $A_s$  的乘积  $T_s^b = F_s^b A_s$ 。其中， $\frac{\pi}{4} \left[ d - \left( \frac{0.9743}{n} \right) \right]^2 = 0.75$  至  $0.79 A_{bn} =$  每公分螺牙数  $d =$  螺栓标准直径  $A_b =$  螺栓标准断面积 ( $\text{cm}^2$ )  $= \pi d/4$  材料的屈服发生在螺牙的凹痕处，螺牙的屈服会发生在局限在局部区域，而螺栓的轴向拉变形的关系曲线并没明确的在那个时间点，螺栓在螺牙出屈服时的载重为 proofload，等于螺栓材料的屈服强度与张力面积的乘积，A325 螺栓的 proofload 约为自身抗拉强度的 70%，A490 螺栓的 proofload 约为自身抗拉强度的 80%。

所以高强度螺栓在安装时需要加一预紧力  $T_b$ ，此预紧力为螺栓抗拉强度 80% 表八为 A325 与 A490 螺栓最小预紧力，表九为 JIS 螺栓最小预紧力。

A572 螺栓的最小预拉力约等于其 proofload，A490 螺栓最小预紧力也很接近其 proofload，实际施工时预拉力会高出最小预紧力，因此螺栓在施加预紧力时基本上已经屈服。

原则上，在不使用螺栓破坏，且不至使螺栓产生永久塑性变形至易产生松弛前提下，螺栓的预紧力越大越好。

表八 A325 及 A490 螺栓最小预紧力

螺栓标准直径 (in)	最小预拉力 T(tf)	
	A325 螺栓	A490 螺栓
0.5	5.5	6.8
0.625	8.6	10.9
0.75	12.7	22.3
0.85	17.8	29.1
1	23.2	36.3
1.125	25.5	46.4
1.75	32.2	55.0
1.5	38.7	67.3
1.345	46.8	71.2

表九 JIS 螺栓最小预紧力

螺栓标准直径 (MM)	最小预拉力 T(tf)	
	F8T	F10T
12	4.8	5.9
16	8.5	10.6
20	13.3	16.5
22	16.5	20.5
24	19.2	23.8
27	24.2	30.1
30	30.0	37.1

#### 4 普通螺栓与高强度螺栓对比

普通螺栓可重复使用，高强度螺栓不可重复使用。

高强度螺栓一般由高强钢材制成（45号钢（8.8s），20MmTiB(10.9S)，是预应力螺栓，摩擦型用扭矩扳手施加规定预应力，承压型拧掉梅花头。普通螺栓一般由普通钢材（Q235）制成，只需拧紧即可。

普通螺栓一般为4.4级、4.8级、5.6级和8.8级。高强度螺栓一般为8.8级和10.9级，其中10.9级居多。

普通螺栓的螺孔不一定比高强度螺栓大。实际上，普通螺栓螺孔比较小。

普通螺栓A、B级螺孔一般只比螺栓大0.3~0.5mm。C级螺孔一般比螺栓大1.0~1.5mm。

摩擦型高强度螺栓靠摩擦力传递荷载，所以螺杆与螺孔之差可达1.5~2.0mm。

承压型高强度螺栓传力特性是保证在正常使

用情况下，剪力不超过摩擦力，与摩擦型高强度螺栓相同。当荷载再增大时，连接板间将发生相对滑移，连接依靠螺杆抗剪和孔壁承压来传力，与普通螺栓相同，所以螺杆与螺孔之差略小些，为1.0~1.5mm。

普通螺栓和高强度螺栓由于其设计的受力原

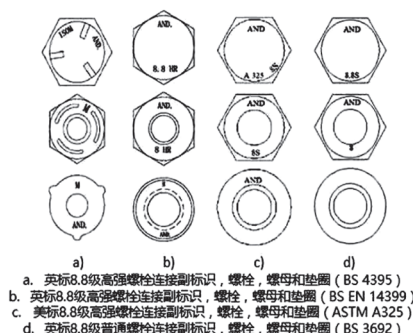
普通螺栓与高强度螺栓的检验要求

螺栓	依据标准	拉伸				冲击功 J	化学分析	硬度测试		加載力 kN
		屈服强度 MPa	拉伸强度 MPa	伸长率 %	截面收缩率 %			HRC	HV10	
普通 8.8	BS3692 ISO 898	640	830	12	52	-	R	23-34	255-335	212
	某批次实验值	885	959	29	53	-	R	29.8	294	-
高强 8.8	BS4395-1 ISO891	635	827	12	52	30J	R	25-34	260-330	207
	某批次实验值	817	944	24	58	33J	R	28.9	-	-

理不同，其在施工检验方法上有极大的区别。

同等级普通螺栓各项机械性能要求均比高强度螺栓略高，但高强度螺栓较普通螺栓多一项冲击功的验收要求。

#### 标识样式对比



普通螺栓和高强度螺栓的标示是对同等级螺栓现场识别的基本方法。由于英美标准中对于高强度螺栓扭矩值计算的取值并不相同，所以识别两种标准的螺栓也有必要。

#### 价格对比

高强度螺栓：（M24，L60，8.8级）

英标大六角高强度螺栓报价单		BS 4395 - 1(1969) (一母二垫)						
公称长度	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
	价格(元)	价格(元)	价格(元)	价格(元)	价格(元)	价格(元)	价格(元)	价格(元)
30	\$0.27	\$0.42	\$0.69	\$0.90	\$1.23	\$1.87	\$2.40	\$4.00
35	\$0.28	\$0.44	\$0.72	\$0.93	\$1.27	\$1.93	\$2.47	\$4.11
40	\$0.30	\$0.46	\$0.75	\$0.97	\$1.31	\$1.99	\$2.54	\$4.21
45	\$0.31	\$0.47	\$0.78	\$1.01	\$1.35	\$2.05	\$2.61	\$4.32
50	\$0.32	\$0.49	\$0.81	\$1.04	\$1.40	\$2.11	\$2.69	\$4.42
55	\$0.33	\$0.51	\$0.84	\$1.08	\$1.44	\$2.17	\$2.76	\$4.53
60	\$0.35	\$0.53	\$0.87	\$1.11	\$1.48	\$2.22	\$2.83	\$4.63
65	\$0.36	\$0.55	\$0.90	\$1.15	\$1.53	\$2.28	\$2.90	\$4.74
70	\$0.37	\$0.57	\$0.93	\$1.19	\$1.57	\$2.34	\$2.96	\$4.84

高强度螺栓与普通螺栓的对比

	普通螺栓	高强度螺栓
标准	GB 5781 GB 5783 BS 3692 ASME B18 2.1	GB 1228 BS EN 14399 ASTM A325 A490
依据螺栓杆承受预紧力	依靠螺栓杆承受预紧力	依靠施加的预紧力产生的摩擦力承受预紧力
工作原理		
施工工具	普通扳手 定扭矩扳手	定扭矩电动扳手 扭矩型电动扳手
使用特点	使用最为广泛，型号较多，用于普通螺栓施工及高强度螺栓的初拧施工（初拧）。	输出固定扭矩，扭矩值可调整的，通常用于高强度螺栓初拧、终拧及扭矩型高强度螺栓的复拧。有可调节扭矩的装置以及提供扭矩点的外伸卡手。

普通螺栓：( M24, L60, 8.8 级 )

附件二：

		BS3692 六角螺栓 六角螺母 六角垫圈 六角螺帽						
长度 mm	单位	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
35	套	319.68	577.37	712.76	920.41	1266.86	1957.20	
40	套	335.99	606.10	742.11	962.29	1322.53	2014.29	2756.39
45	套	350.67	631.20	773.09	998.17	1378.20	2071.37	2841.20
50	套	366.98	657.29	804.08	1035.69	1423.85	2126.46	2926.01
55	套	383.29	683.39	835.07	1071.67	1469.53	2183.91	3096.64
60	套	399.60	711.12	866.06	1109.05	1515.20	2240.99	3180.45
65	套	415.91	737.21	895.42	1144.96	1562.60	2298.08	3265.26
70	套	432.22	763.31	926.41	1182.48	1608.73	2356.00	3350.07

1.109 美元/套

可见普通螺栓大约为高强度螺栓价格的 70%，结合其验收要求的对比，可以得出，其溢价部分就应该是为了保证材料的冲击功（韧性）性能。

5 螺栓紧固方法

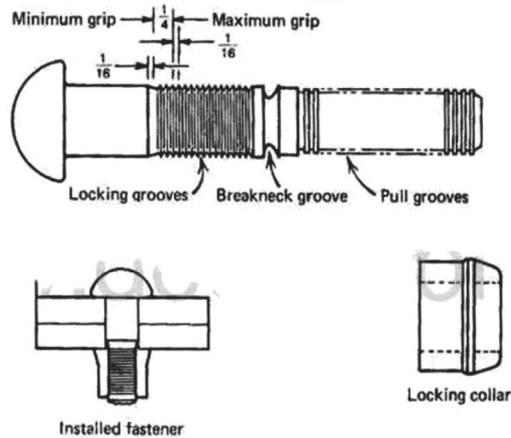
普通螺栓的紧固程度并无明确规定，锁紧时所施加的力一般只要连接紧密即可。但因锁紧时未施加拉力，因此容易出现螺帽松弛脱落现象，为防止松脱的方法可用弹簧垫圈或采用双螺帽的方法由外螺帽将内螺帽压紧以防止两螺帽同步旋转而松弛。

采用双螺帽时内螺帽需使用重型六角螺帽，外螺帽可采用一般螺帽（见图九），一般高强度螺栓不论承载型的或者擦阻型因预紧后存在张力，此预紧力引致接触面正应力可产生抗扭转摩擦阻力，因而可使螺帽产生不松脱现象，所以不必附加防脱装置。



图九采用双螺帽时内螺帽需使用重型六角螺帽，外螺帽可采用一般螺帽。

但若是由于特殊用途（例如振动机械或者车体重要结构位置）必须采用特殊夹头来防止螺帽松动的情况，螺栓的夹头决定螺栓及螺牙长度或形式，以使用来防止松脱，螺帽夹紧装置详细信息见图十。



图十 螺帽夹紧装置详细信息

6 结语

高强度螺栓目前在汽车领域使用较为广泛，主要使用在汽车强度连接及其重要的部位，像汽车的轮毂等位置，为汽车的安全稳定行驶起到无可替代的作用。

来源：承压设备设计众包平台



# 钢中碳含量的7种测定方法

金属及其复合材料的开发研制与应用，常常要求有效地控制及准确地测定其中的碳硫含量。金属材料中碳主要以游离碳，固溶碳和化合碳等形式存在，还有气态碳和表面保护的渗碳及涂敷的有机碳等。

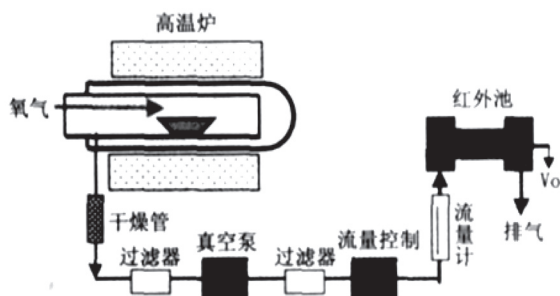
目前分析金属中碳含量的方法主要有燃烧法，发射光谱法，气体容量法，非水溶液滴定法，红外吸收法及色谱法等。由于每种测定方法有一定的适用范围，而且测定结果受很多因素的影响，如碳的存在形式、氧化时碳能否释放完全、空白值等，所以同一种方法在不同的场合准确度有一定差异。

本文整理了目前金属中碳的分析方法、样品处理、所用的仪器及应用领域等内容。

## 1. 红外吸收法

基于红外吸收法发展出的燃烧红外吸收法是属于碳（和硫）定量分析专用方法。

其原理是将试样在氧气流中燃烧，生成  $\text{CO}_2$ ，在一定压力下， $\text{CO}_2$  吸收红外线的能量与其浓度成正比，因此测出  $\text{CO}_2$  气体流经红外吸收器前后的能量变化，则可计算出含碳量。



燃烧 - 红外吸收法原理

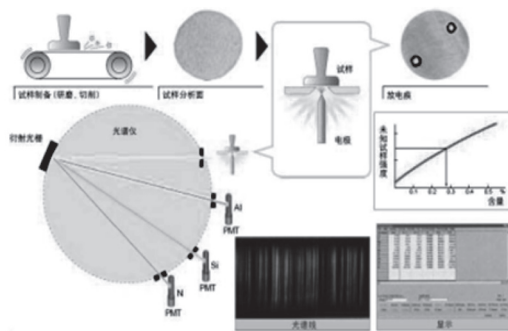
近年来，红外气体分析技术发展很快，各种利用高频感应加热燃烧及红外光谱吸收原理的分析仪器也迅速地出现。对于高频燃烧红外吸收法测定碳和硫，一般应考虑以下几个因素：试样的

干燥性、电磁感性、几何尺寸，试样量，助熔剂的种类、配比、加入次序及加入量，空白值的设置等。

该法优点是定量准确，干扰项较少。适合对碳含量准确度有较高要求，且生产中有足够时间进行检测的情况。

## 2. 发射光谱法

元素在受到热或电激发时，会由基态跃迁到激发态，而激发态会自发地返回到基态。在由激发态返回到基态的过程中，会释放每种元素的特征谱线，根据特征谱线的强度可以测定出其含量。



发射光谱仪原理

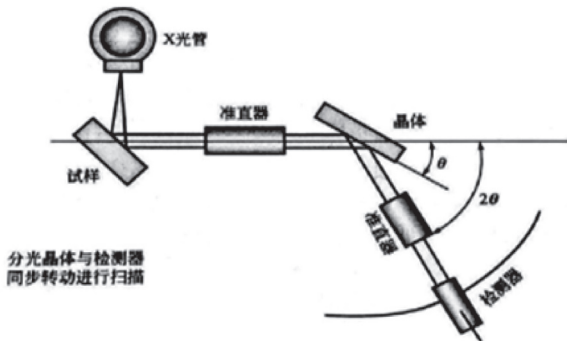
在冶金行业，由于生产的急迫性，需要在很短的时间内分析出炉水内所有主要元素的含量，而不仅仅是碳含量。火花直读发射光谱仪由于能够快速得到稳定的结果，所以成为该行业的首选。但该方法对于样品制备有特定要求。

例如，火花光谱法分析铸铁试样时，要求分析表面的碳都以碳化物的形式存在，不能有游离石墨，否则就会影响分析结果。有用户利用薄片样品急冷快，白口化好的特点，将样品制成薄片后，用火花光谱分析法测定铸铁中碳的含量。

火花光谱法分析碳素钢线状样品时，须严格加工处理好样品并使用小样品分析夹具将样品“直立”或“平躺”放在火花台上进行分析，以提高分析的精密程度。

### 3. 波长色散 X 射线法

波长色散 X-射线分析仪可以对多元素进行快速同时测定。



#### 波长色散 X 射线荧光光谱仪原理

在 X 射线激发下，被测元素原子的内层电子发生能级跃迁而发出次级 X 射线（即 X 荧光）。波长色散型 X 射线荧光光谱仪 (WDXRF) 是用晶体分光而后由探测器接收经过衍射的特征 X 射线信号。如果分光晶体和探测器作同步运动，不断地改变衍射角，便可获得样品内各种元素所产生的特征 X 射线的波长及各个波长 X 射线的强度，可以据此进行定性分析和定量分析。该种仪器产生于 50 年代，由于可以对复杂体系进行多组分同时测定而受到关注，特别在地质部门，先后配置了这种仪器，分析速度显著提高，起到了重要作用。

但是，轻元素碳由于特征辐射的波长较长，荧光产额低，在钢铁等重基体材料中，基体对碳的特征辐射的吸收衰减又很大等原因，常给碳的 XRF 分析造成一定的困难。另外，在用 X 射线荧光仪测量钢中的碳时，如果将磨过的样面连续测 10 次，可发现碳含量值在不断增加。故该方法的应用面不如前两种广泛。

### 4. 非水溶液滴定法

非水溶液滴定法是在非水溶剂中进行滴定的方法。该法可使原本在水溶液中不能滴定的某些弱酸弱碱，经选择适当溶剂，增强其酸碱性后，便可以进行滴定。CO<sub>2</sub> 在水中溶液生成的碳酸，酸性较弱，通过选择不同的有机试剂可准确滴定。

以下为常用的一种非水滴定方法：

①试样经碳硫分析仪配套的电弧燃烧炉高温燃烧。

②燃烧放出的二氧化碳气体被乙醇-乙醇胺溶液吸收，二氧化碳与乙醇胺反应生成比较稳定的 2-羟基乙基胺羧酸。

③使用 KOH 进行非水溶液滴定。

本方法中使用的试剂有毒，长期接触会影响人体健康，而且难于操作，尤其碳含量高时须预置溶液，稍不注意会跑碳造成结果偏低。非水溶液滴定法中使用的试剂多属于易燃品，实验中又涉及到高温加热操作，操作人员要有足够的安全意识。

### 5. 色谱法

火焰原子化检测器与气相色谱联用，将样品在氢气中加热，然后使用火焰原子化检测器-气相色谱法检测放出的气体（如 CH<sub>4</sub> 和 CO）。该法适用于碳含量极低，且对检测结果要求很高的情况。

### 6. 电化学方法

电位分析法测定合金中低碳含量的试验方法为：将铁样在感应炉中氧化后，用碳酸钾固体电解质组成的电化学浓差电池分析测定气态产物，从而测定碳的浓度，此法尤其适于非常低浓度碳的测定，可通过改变参比气体组成和样品的氧化速率控制分析的精密度和灵敏度。

该法实际应用较少，大多停留在实验研究阶段。

### 7. 在线分析法

在精炼钢时，常要实时控制真空炉内熔融钢中的碳含量，有冶金行业的学者介绍过利用废气的信息估计碳浓度的实例：利用真空脱碳过程中真空容器中氧气的消耗量、浓度和氧气、氩气的流速估计了熔融钢中碳的含量。

类似的在线分析方法适用于炼钢生产过程中的质量管理与性能控制。

来源：特种物资服务平台



# 铝镁合金腐蚀行为及防护分析

## 1 镁的腐蚀

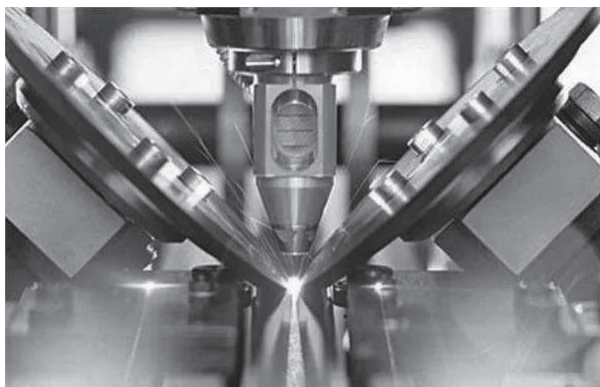
镁是所有工业合金中化学活泼性最高的金属，标准的电极电位为  $-2.3\text{V}$ ，比铁的标准电极电位低  $2\text{V}$  左右，比铝的标准电极电位低大约  $0.7\text{V}$ 。在干燥的大气环境中，镁的表面能够形成氧化膜，能够在一定程度上抵御外界对镁基体的腐蚀。

但是由于这一层氧化膜的密度较低，而且空隙较多，其防腐能力非常有限，同时还表现出明显的化学和电化学活性，并且在湿度较大的空气以及存在  $\text{Cl}^-$  的环境中，腐蚀会进一步加快。镁的电化学腐蚀主要表现为氢离子的析出过程，包括点蚀以及全面腐蚀两种表现形式，同时溶解速度非常快。在富含  $\text{Cl}^-$  的稀溶液中，镁的腐蚀电位与其标准电位存在较大的差异，其腐蚀电位大约在  $-1.7\text{V}$  左右，分析可能是由于镁表面氧化膜的保护左右有关。当  $\text{pH}$  值较高时，镁表面能够形成一层较厚的  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  沉淀膜，能够对镁基体发挥较好的保护作用。

镁铝合金在各种条件下的腐蚀行为：

### (1) 大气腐蚀。

在大气环境下，镁的腐蚀过程主要为氧的去极化过程，具体腐蚀程度主要受到大气中湿度以及各种污染物含量的影响。通常来说，空气的湿度大小对镁铝合金的腐蚀程度影响不明显，只有在大气中存在其它腐蚀性污染物时，空气湿度大小对镁铝合金的腐蚀作用才会体现出来。如果大气中基本上没有任何腐蚀性物质，则无论空气湿度有多高，镁铝合金腐蚀行为也会表现得非常微弱。而当大气中含油大量腐蚀性污染物时，镁铝合金表面的腐蚀速度就会迅速增加。镁铝合金作



为材料如果在工业大气和海洋大气环境中进行工作时，其耐腐蚀性能较差。而在干燥清洁的空气中，镁的表面的养护膜能够形成较强的保护作用，使镁铝合金的腐蚀非常微弱。

### (2) 在各种介质中的腐蚀。

在大部分有机酸、无机酸以及中性介质溶液中，镁铝合金的耐腐蚀性表现较差，而当去除镁铝合金表面氧化膜的情况下，即使是蒸馏水也会导致镁铝合金的腐蚀速度加快。但是当镁铝合金处于铬酸溶液中时，其表面会形成一定钝化膜，使其具有较好的稳定性和耐腐蚀性能。如果容易中含有  $\text{Cl}^-$  以及  $\text{SO}_4^{2-}$  时，镁铝合金表面的腐蚀会加快，而如果是在含有  $\text{SiO}_3^{2-}$ 、 $\text{CrO}_4^{2-}$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$  等离子的溶液中，镁铝合金的表面会与各种离子中的氧原子发生化学反应在其表面形成一层氧化膜，从而具有较高的耐腐蚀性能。

### (3) 电偶腐蚀与全面腐蚀。

由于镁铝合金的电极电位比大部分金属的电极电位要低，因此，镁铝合金一旦与这些金属相互接触时，其就会发生电偶腐蚀。对于  $\text{Fe}$ 、 $\text{Ni}$ 、 $\text{Cu}$  等氢过电位较低的金属，如果作为杂质存在于镁铝合金的内容，就会与镁构成腐蚀为电池，导

致镁铝合金出现严重的电偶腐蚀。而对于 Zn、Cd 等氢过电位较高的金属，镁铝合金所受的电偶腐蚀则表现的不明显。

#### (4) 点蚀与丝状腐蚀。

镁铝合金如果暴露在包含  $\text{Cl}^-$  的非氧化介质中时，就会发生点蚀现象，在中性或者碱性溶液中，镁铝合金表面的点蚀现象会进一步加剧。如果将镁铝合金浸入到 NaCl 溶液中，在经过一定的诱导之后，镁铝合金的表面会出现点蚀现象。

### 2 镁铝合金表面腐蚀的防护及处理

镁铝合金耐腐蚀能力不足，使其在多个领域的应用中受限。解决镁铝合金腐蚀防护问题，可以从其内部的杂质控制来提升镁铝合金的纯度，发展新的耐腐蚀合金离子注入镁铝合金或者激光表面改性等方式来实现，对于大规模的工业生产，则可以采用保护膜以及涂层处理等方法来实现，具有较高的经济性。当前，对镁铝合金表面防腐处理的方法主要包括化学处理、阳极氧化以及金属镀层三种。

#### (1) 化学处理。

通过化学处理能够使镁铝合金表面形成一层氧化保护膜，该保护膜能够与镁铝合金形成紧密的结合，阻挡外界腐蚀介质直接侵蚀镁铝合金表面基体，提升镁铝合金的耐腐蚀性能。在工业生产中，常用的镁铝合金化学处理方法是利用铬酸钠和氟化镁在镁铝合金表面形成保护膜来进行保护，该保护膜在受到侵蚀之后还能缓慢的自我修复，很好的保护效果。加入稀土元素也能够使镁铝合金表面形成保护膜，根据相关研究来看，该保护膜在 pH 值为 8.5 的缓冲溶液中能够使美铝合金的腐蚀速度明显减缓，但是在 pH 值为 8.5 的侵蚀性溶液中，其保护性能会下降。

#### (2) 阳极氧化。

镁铝合金的阳极氧化储能相对于化学处理方法而言，能够使镁铝合金的耐腐蚀性能得到较大

幅度的提升。镁铝合金阳极氧化的氧化膜孔隙率较高，并且孔的形状不规则，如果不对这些空隙进行处理，就容易导致腐蚀介质更容易透过氧化膜直接侵蚀镁铝合金表面。镁铝合金的阳极氧化处理更多的需要降低氧化膜的孔隙密度。微弧氧化技术是近几年发展起来的一种阳极氧化技术，通过将镁铝合金置于电解质水溶液中，并接入高电压使镁铝合金表面氧化膜中的微孔产生火花放电斑点，提升氧化膜的保护能力。因此，现对于普通的阳极氧化方式而言，该技术能够使镁铝合金的耐腐蚀性能得到较大的提升。

#### (3) 金属镀层。

镁铝合金防腐的金属镀层通常选择化学镀镍，镁铝合金在经过酸洗活化之后，在镁集体上能够直接沉积得到化学镀镍层，但是由于镁本身具有较强的化学活性，在这个过程中会有大量的氢析出，导致镀镍层与镁基体的结合力下降。在中间加入浸锌工艺，能够使镀镍层与镁基体的结合力明显提升，同时还能提升镁铝合金的表面光亮度。另外，还可以通过氟化物作为活化剂，不经过浸锌的工艺，通过化学镀镍、钝化以及热处理，镀镍层能够获得良好的力学性能、耐腐蚀性、可焊性以及环境的稳定性，并且能够使器件的小孔内部也被镀镍层覆盖，这种工艺非常适合用于航天器部件对美铝合金提出的严格防腐要求。

### 3 总结

随着镁合金在各个行业中的应用范围的不断扩大，其特性日益受到人们的重视，当前，相关行业将对其的研究重点集中在塑性改善和耐蚀性提升两个方面。镁铝合金作为当前应用量最大的镁合金材料，对其腐蚀行为的研究具有重要的意义。

来源：设计院网

# 220MW汽轮发电机组励磁机振动问题处理研究

黄天琪 华电电科院

**摘要:** 某发电厂励磁机轴承长期存在轴振超标问题, 支撑轴承频繁磨瓦或撵瓦, 更换新轴承一段时间后振动问题重复出现。经测量, 振动频谱主要表现为工频振动为主。调查发现为发-励对轮找中心方法错误及存在原始质量不平衡, 导致发励转子中心偏差大造成励磁机振动异常, 纠正发励转子找中心方法后, 又利用动平衡手段成功解决振动问题。本文给出了详细的诊断思路过程和处理方法, 可供同类振动问题参考。

**关键词:** 励磁机; 波纹联轴器; 轴振

汽轮机、励磁机、发电机等是电厂重要的组成部分, 它们能否长期稳定、安全地运行直接关系到电厂的安全经济生产和民生问题。然而, 这些设备在运行中难免地会出现振动问题。引起振动增大的原因多种多样, 主要包括转子动静碰摩、支撑刚度低、汽流激振和油膜振荡、质量不平衡、联轴器中心不良等, 这些原因又和制造、安装、检修和运行息息相关。当发生振动问题时, 如何快速识别故障、查找振动原因以及处理是发电产人员一直关心的问题。

本文针对 220MW 机组励磁机振动问题, 结合振动增大过程、故障特点以及设备检修情况, 进行详细全面的故障分析和诊断并采取了相应处理措施, 效果良好, 可供同类机组振动问题作参考。

## 1 振动异常简介

某电厂 5 号汽轮发电机组是北京重型电机厂生产的 N220-12.75/535/535 型超高压、中间再热、三缸三排汽、凝汽式机组, 轴系由高压转子、中压转子、低压转子、发电机转子、励磁机组成, 机组额定负荷 220MW, 其中发电机转子与励磁机转子通过波纹联轴器连接, 其余转子通过刚性联轴器连接。各转子均由 2 个径向轴承支撑, 其轴系结构如图 1 所示, 励磁机轴承为 #8、#9 轴承。



图 1 轴系结构简图

该机组长期存在励磁机振动大问题, #8、#9 轴承瓦振长期超过  $60\mu\text{m}$ , 平均 3~4 个月就需停机刮研或更换 #8、#9 轴承。2016 年 11 月, 3 号机组扩大性小修期间, 更换新轴承, 励磁机转子返厂修复 #8、#9 瓦轴径磨痕, 并进行单转子动平衡, 同时励磁机基础台板底部整体车削 2mm。

12 月 2 日 8:40, 3 号机组发电机并列带初负荷, #6、#7、#8、#9 瓦振分别为  $12.5\mu\text{m}$ 、 $26.0\mu\text{m}$ 、 $70\mu\text{m}$ 、 $73.1\mu\text{m}$ , 振动无发散趋势, 机组保持运行, 未作处理。

12 月 14 日 21:20, 3 号机组因发电机转子负极引线螺钉 (短引线) 断裂停机处理, 同时检查 #8、#9 轴承未见异常。12 月 30 日 1:06 汽轮机冲转, 冲转过程中 #8 瓦振由  $30\mu\text{m}$  随转速升至  $129\mu\text{m}$ , #9 瓦振由  $49\mu\text{m}$  升至  $117\mu\text{m}$ , 打闸停机, 振动趋势如图 2 所示, 励磁机振动大, 严重危害机组安全稳定运行。

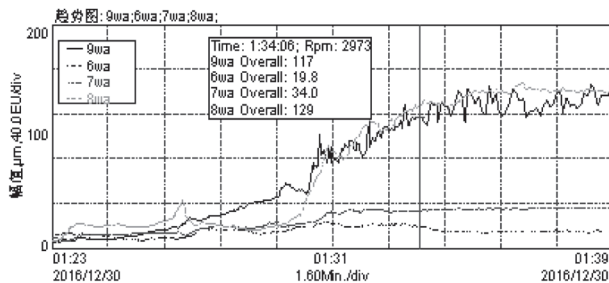


图 2 冲转振动趋势图

## 2 振动异常诊断及处理

冲转过程中，发电机轴承 #6、#7 瓦振稳定，不随转速发生较大变化，发电机转子平衡状态良好。励磁机轴承 #8、#9 瓦振随转速变化明显，从趋势看表现为质量不平衡特征，从频谱图来看（如图 3、图 4），#8 瓦振主要贡献频率为高频分量，#9 瓦振以 1X 以及 2X、3X 倍频成为为主。进一步查看低转速振动频谱发现高倍频分量始终存在，最可能的原因是励磁机轴段发生动静碰摩，另外由于检修期间励磁机基础台板底部整体车削 2mm，使励磁机支撑刚度下降，进一步放大了瓦振水平。现场实测励磁机基础台板振动为 33  $\mu\text{m}$ ，证实其基础不良。

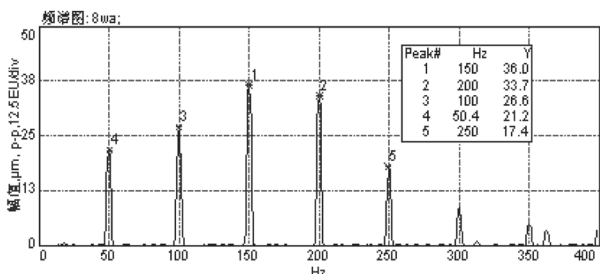


图 3 #8 瓦振频谱

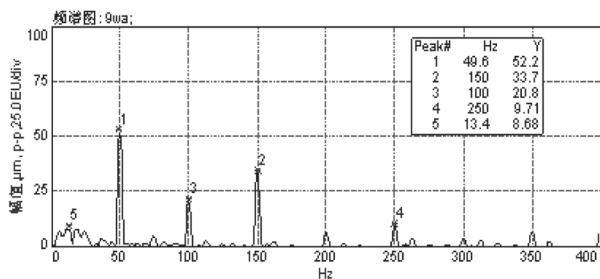


图 4 #9 瓦振频谱

揭瓦检查发现 #8 轴承上部有碎裂脱胎及碰磨现象，下瓦左前油囊部位有碎裂现象；#9 轴承上瓦完好，下瓦左侧瓦口有轻微碎裂现象（如图 5、图 6 所示）。对碎裂部位焊补处理，调整轴承各间隙至标准范围；紧固基础台板地脚螺栓，复测发励对轮中心数据，均在标准要求范围内。

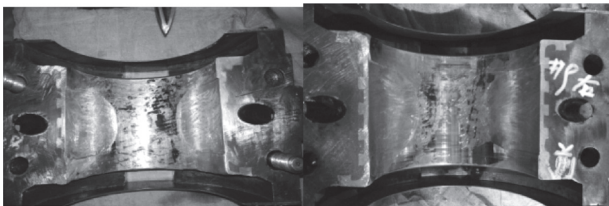


图 5 #8 瓦磨损情况 图 6 #9 瓦磨损情况

12 月 30 日，机组启机冲转，#8、#9 瓦振仍偏大，如表 1 所示，基本恢复到修后第一次启机水平，但高频分量仍然大量存在。考虑到励磁机支撑刚度不良的对振动的放大作用，决定采取现场动平衡降低转子激振力方式来降低励磁机基础振动。以表 1 数据作为动平衡原始数据，在励磁机端部 #9 轴承处试加重 100g  $\angle 60^\circ$  以及计算调整加重 120g  $\angle 20^\circ$ ，定速后振动水平如表 2 所示。发电机轴承瓦振基本不受加重影响，#8 瓦振工频略有下降，#9 瓦振工频分量下降 17  $\mu\text{m}$ ，但通频上涨 56  $\mu\text{m}$ ，第一次动平衡失败。

表 1 第一次动平衡前轴系振动数据

轴承编号	#6	#7	#8	#9
通频瓦振 $\mu\text{m}$	7.26	36.5	81.7	70.1
工频 / 相位 $\mu\text{m}/^\circ$	4.9/54	28.9/161	38.6/330	51.2/298

表 2 第一次动平衡后轴系振动数据

轴承编号	#6	#7	#8	#9
通频瓦振 $\mu\text{m}$	17.2	33.7	78.2	126
工频 / 相位 $\mu\text{m}/^\circ$	9.7/38	29.2/156	32.2/13	34.3/274

从动平衡前后数据分析，倍频成分占主导，表明质量不平衡不是引起振动异常的主要原因，在倍频成分不消除条件下动平衡无法达到消振目的。出现倍频成分的可能原因包括：中心不良、动静碰摩、零部件松动等。现重点怀疑发励对轮中心偏差大或波纹联轴器变形量过大超过其缓冲吸收极限。从检修了解到波纹联轴器运行近 20 年未检修更换，且发励对轮找中心一直沿用表计架设在波纹联轴器输出端为基准来校正励磁机对轮中心的方式。若波纹联轴器自身变形量大，此种方式将导致励磁机转子与发电机转子中心偏差过大，引发 #8、#9 轴承振动问题，最终损坏轴承。经设计单位确认此种找中心方式不可取，正确做法为表架发电机滑环端，测量和调整励磁机对轮中心。

再次复测发励对轮中心，表架波纹联轴器输出端，励磁机中心高 0.165mm，偏左 0.02mm，左张口 0.02mm，下张口 0.02mm；表架固定在发电机滑环端，测励磁机中心高 0.665mm，偏左 0.005mm，左张口 0.005mm，上张口 0.05mm。数据表明发电机、励磁机转子实际高差达 0.5mm，

严重超标，这是导致励磁机振动大的直接原因。按新方法重新找中心至标准范围，调整后励磁机中心高 0.12mm，偏右 0.005mm，左张口 0.005mm，下张口 0.035mm。

12月31日12:15，机组再次冲转定速 3000r/min，稳定 30min 后打闸，采集振动数据如表 3 所示。#8、#9 瓦振幅值虽变化不大，但组成成分变

表 3 第二次动平衡前轴系振动数据

轴承编号	#6	#7	#8	#9
通频瓦振 $\mu\text{m}$	17.2	39.4	100	119
工频 / 相位 $\mu\text{m}/^\circ$	9.3/60	32.6/158	54/6	74.3/259

化较大，倍频分量大幅降低，主要贡献频率为一倍频，本次数据才真实反映出了励磁机真实振动状况。根据调度指令，3号机组需要在两天后并网，时间紧迫，因此决定再一次利用动平衡方式降低振动水平。经分析计算，在励磁机端部 #9 轴承处加重 290g  $\angle 175^\circ$ ，1月1日21:20，机组定速 3000r/min，振动数据如表 4 所示，持续运行 60min，轴系振动稳定，至此励磁机振动问题得以解决。

表 4 第二次动平衡后轴系振动数据

轴承编号	#6	#7	#8	#9
通频瓦振 $\mu\text{m}$	16.3	26	9.11	12.1
工频 / 相位 $\mu\text{m}/^\circ$	10.4/257	22.3/160	7.6/228	9.8/96

### 3 结语

该机组励磁机振动主要原因在于发励对轮中心不正，受发电机转子激励而振动大。检修沿用错误的找中心方式而不自觉，随着运行时间延长，波纹联轴器变形量越来越大，励磁机转子与发电机转子中心偏差越来越大，加之励磁机支撑刚度不足，使振动进一步放大，轴承失效时间也进一步缩短。本次用动平衡手段使振动恢复正常水平，但只有更换波纹联轴器，加强基础台板支撑刚度等才能从彻底解决励磁机振动问题。电站设备振动故障诊断及处理是一项综合技术，要想正确掌握和应用好该技术解决现场振动问题除要求技术人员具有包括转子动力学、机械振动故障机理、振动监测分析等专业知识外，还要求对设备的工

作原理和结构特性等有足够的了解，更重要的是需要技术人员在工程应用实践中不断学习探索、领悟和积累经验。本文介绍的励磁机振动问题分析和处理案例可为今后同类振动问题的分析和处理提供参考。

### 参考文献：

- [1] 王小静, 苏荭, 张直明. 基于复合型紊流润滑理论的径向滑动轴承紊流润滑性能的研究 [J]. 机械工程学报, 2003, 39(03): 85-89.
- [2] 王永贞, 杨建刚. 汽轮发电机组摩擦引起的突发性振动分析 [J]. 电站系统工程, 2014, 30(3): 47-49.
- [3] 何正嘉, 李远霖. 汽轮发电机组轴瓦振动的深化识别 [J]. 中国电力, 1994, (12): 40-43.
- [4] 张艾萍, 王德状, 李守海. 汽轮机组振动幅值与轴承载荷及油膜刚度之间的关系 [J]. 汽轮机技术, 2002, 44(2): 80-81.
- [5] 张学延, 张卫军, 葛祥, 杨青. 电厂旋转机械设备振动问题处理案例分析 [J]. 中国电力, 2015, 48(8): 110-116.
- [6] 吴亚军, 杨天海, 姜朝晖, 杨建刚, 曹仲勋. 大型汽轮机组轴承座动力吸振现象分析 [J]. 中国电力, 2017, 50(10): 116-119.
- [7] 李汪繁, 蒋俊, 孙庆, 王超, 王坤. 大型汽轮发电机组轴系静特性分析方法研究 [J]. 中国电力, 2017, 50(2): 52-56.
- [8] 魏继龙, 杜君文, 刘俊汉, 汤志辉, 徐伟光. 600MW 发电机转子不稳定振动分析及控制 [J]. 中国电力, 2014, 47(11): 10-13.
- [9] 黎瑜春, 蔡强. 某 600MW 超临界机组振动故障分析与处理 [J]. 中国电力, 2014, 47(3): 55-58.
- [10] 何国安, 师军. 大型汽轮发电机结构振动故障的分析及治理 [J]. 中国电力, 2015, 48(6): 133-128.

# 压力容器无损检测方法论述

牛庆良 华电电科院

**摘要：**无损检测具有不破坏试件、检测灵敏度高等优点，可以应用于压力容器原材料及制造检验和再用检验。本文介绍了压力容器进行无损检测的重要性，重点对辐射、声学、电磁以及其他领域的检测技术进行介绍，并论述他们的工作原理、优缺点和应用范围，为压力容器无损检测方法选择提供参考。

**关键词：**压力容器；无损检测

## 1. 引言

压力容器的使用环境通常为高温、高压；传输介质多为有毒、易燃易爆等气或液体，一旦发生泄漏或爆炸事故，后果极其严重。无损检测主要发现压力容器原材料中的冶金缺陷，管道元件生产过程中的焊接缺陷，以及使用中的开裂、腐蚀、疲劳等缺陷，并对这些缺陷进行分级评价，为压力容器继续使用的安全评价和剩余寿命评估提供依据。无损检测技术主要用于在不破坏被检物使用性能、用途及形态的条件下实现检测，可以用于发现材料或工件内部和表面所存在的缺陷，测量试件的几何特征和尺寸，测定材料或工件的内部组成、结构、物理性能和状态等。目前，压力容器成熟应用的常规无损检测技术有目视检测、泄漏检测、磁粉检测、射线检测、超声检测、渗透检测、涡流检测等；已成熟应用的新技术包括声发射检测技术、计算机辅助成像射线检测、数字射线检测、基于时差衍射法的超声检测、超声导波检测、电磁超声、相控阵超声检测、漏磁检测、脉冲涡流检测、红外检测等，本文主要对新检测技术进行介绍和适用范围分析。

## 2. 无损检测的技术范畴

传统工业在运行方面都是依照人们的经验或固化的程序进行，而无损检测技术的应用可以使

我们在工业生产过程中不断对各类信息进行收集与整理，并做一些编程处理。当工业压力容器及压力容器管护在生产中遇到了问题，无损检测技术还可以根据之前的数据和信息分析问题、解决问题，这使现代工业生产更加安全、稳定、高效。无损检测技术的应用和运行前提是必须先进行程序设计，制定相应的逻辑运算规则，系统会按照编程规则进行数据运算，在可控制的范围内对电力体系、工业机械等进行自动化操控。另外无损检测技术可以按照逻辑关系在繁杂的运行路线中选出最佳路径，即便是有些工作人员之前对无损检测技术不了解，只要通过简单的培训就可以自行编程，在工业领域的应用前景非常广泛。

众所周知，科技是社会第一生产力，只有不断地更新、创新技术，才能保持其先进性，这也是压力容器及压力容器管护产业高速发展的重要保障。无损检测在压力容器及压力容器管护工业领域中使用了多年，并得到了较好的使用反馈，具有操作便捷、功能丰富、学习简单、可控性强等诸多优点，但是不可否认在一些特殊情况下也存在一些问题。例如，无损检测是编程技术，需要依托于电子产品向外输出，但是在电磁场强的作业环境中，电磁波会对电子元器件产生非常大的影响，轻则元器件失灵，重则编程出现乱码造

成错误和损失。所以我们需要开发适应于电磁场干扰的新技术和新工艺，让无损检测技术适应更多的工业生产，让一些特殊领域也能够利用无损检测技术的先进性进行发展。

### 3. 无损检测方法

#### 3.1 射线检测

射线检测技术一般用于检测焊缝和铸件中存在的气孔、密集气孔、夹渣和未融合、未焊透等缺陷。另外，对于人体不能进入的压力容器以及不能采用超声检测的多层包扎压力容器和球形压力容器多采用 Ir 或 Se 等同位素进行  $\gamma$  射线照相。但射线检测不适用于锻件、管材、棒材的检测。射线检测方法可获得缺陷的直观图像，对长度、宽度尺寸的定量也比较准确，检测结果有直观纪录，可以长期保存。但该方法对体积型缺陷（气孔、夹渣）检出率高，对体积型缺陷（如裂纹未熔合类），如果照相角度不适当，容易漏检。另外该方法不适宜较厚的工件，且检测成本高、速度慢，同时对人体有害，需做特殊防护。

在对焊接缝进行无损检测时，通常会采用射线探伤的方式，物质中有射线穿透时会产生能量衰减，帮助工作人员根据衰减特性对压力容器的内部缺陷情况进行了解。荧光屏观察法、射线照相法和工业 X 光射线电视法等，是几种常用的射线探伤方法。其中，射线照相法在工程设计中的应用十分常见。压力容器缺陷处有射线透过时，对于射线的吸收能力不足，投射到底部照相底片中相关部位的感光度会增大，能够有效检测压力容器的裂纹、气孔和非金属夹杂等等。运用此类检测方法，能够帮助工作人员准确获得缺陷大小及其外形特点等信息。无损检测标准通常需要依据 JB4730 标准，圆形缺陷、基本缺陷和条状夹渣等，是该标准中对焊接缝缺陷的基本分类，其中未熔合缺陷、裂纹缺陷和未焊透缺陷等属于基本缺陷，质量评定等级分为四级。运用射线探伤法，能够实现对同方向缺陷的检测，但是在垂直角度

的缺陷检测中却存在一定局限性。在应用该方法时，应该对缺陷处的射线透照情况进行分析，明确是否具备透照空间。另一方面，为了保障检测人员的安全性，在运用 RT 检测时应该做好相应的防护措施，并将警示标识设置于检测区域周围。

#### 3.2 超声波检测

超声检测（Ultrasonic Testing, UT）是利用超声波在介质中传播时产生衰减，遇到界面产生反射的性质来检测缺陷的无损检测方法。超声检测既可用于检测焊缝内部埋藏缺陷和焊缝内表面裂纹，还用于压力容器锻件和高压螺栓可能出现裂纹的检测。该方法具有灵敏度高、指向性好、穿透力强、检测速度快成本低等优点，且超声波探伤仪体积小、重量轻，便于携带和操作，对人体没有危害。但该方法无法检测表面和近表面的延伸方向平行于表面的缺陷，此外，该方法对缺陷的定性、定量表征不准确。

#### 3.3 涡流检测

涡流阵列 (ECA) 技术以电子方式驱动排列在同一个探头组合件中的多个涡流传感器，并读取传感器测出的数据。通过多路转换方式可以进行数据采集，这样就避免了单个线圈之间的互相感应。涡流阵列检测焊接接头效果，涡流阵列的主要技术特点为检测灵敏度高，检测速度快；探头尺寸可根据检测对象进行设计，易于克服提离效应影响；易于发现各方向缺陷。可以形成扫描成像，易于观察。针对于奥氏体不锈钢管道，能够对表面开口浅的缺陷进行深度测量，检测结果优于渗透检测，对于应力腐蚀和孔蚀缺陷，其灵敏度低于渗透检测。

脉冲涡流检测以脉冲电流激励代替传统正弦电流激励，在导体外产生脉冲磁场，使导体内感应出脉冲涡流，通过检测此脉冲涡流电磁场的衰减过程，实现脉冲涡流的检测与评价。脉冲涡流检测主要用于检测压力管道腐蚀情况，主要检测标准为 NB/T47013。脉冲涡流检测可以穿过混泥

土、防火材料、金属编织物、钢筋，测量材料剩余厚度；可以检测弯管和其他受限区域腐蚀厚度；支持提高高度、绝缘层厚度、油漆层厚度可达300mm。同时脉冲涡流同样存在局限性，比如脉冲涡流不能区分近场还是远场缺陷；不能检测小的点蚀及穿孔；比探头平均区域尺寸小的缺陷不能准确测量；检测时受金属结构边缘影响。

#### 3.4 磁粉检测

磁粉检测（Magnetic Testing, MT）是基于缺陷处漏磁场与磁粉相互作用而显示铁磁性材料表面和近表面缺陷的无损检测方法。在以铁磁性材料为主的压力容器原材料验收、制造安装过程质量控制与产品质量验收以及使用中的定期检验与缺陷维修监测等及格阶段，磁粉检测技术用于检测铁磁性材料表面及近表面裂纹、折叠、夹层、夹渣等方面均得到广泛的应用。磁粉检测的优点在于检测成本低、速度快，检测灵敏度高。缺点在于只适用于铁磁性材料，工件的形状和尺寸有时对探伤有影响。钢管在外加磁场作用下被磁化，当钢管中无缺陷时，则磁力线封闭于管壁内，均匀分布。如果管内壁或外壁有缺陷，磁通路变窄，磁力线发生变形，部分磁力线将穿出管壁产生漏磁通，采用位于两磁极之间并且紧贴管壁的感应线圈，探头检测漏磁场来发现缺陷的电磁检测方法，即钢管漏磁探伤方法漏磁检测现主要用于检测油气长输管线内外表面产生的腐蚀和存在的机械损伤等体积性缺陷，现用标准为NB/T47013。漏磁检测的主要特点为：对各种损伤均具有较高的检测速度；对铁磁性材料表面、近表面、内部裂纹以及锈蚀等均可获得满意的检测结果；由于磁性变化易于非接触测量和实现在线实时检测；可实现全自动化检测。

#### 3.5 渗透检测

渗透检测（Penetrant Test, PT）是基于毛细管现象揭示非多孔性固体材料表面开口缺陷，其方法是将液体渗透液渗入工件表面开口缺陷中，用

去除剂清除多余渗透液后，用显像剂表示出缺陷。渗透检测可有效用于除疏松多孔性材料外的任何种类的材料，如钢铁材料、有色金属材料、陶瓷材料和塑料等材料的表面开口缺陷。随着渗透检测方法在压力容器检测中的广泛应用，必须合理选择渗透剂及检测工艺、标准试块及受检压力容器实际缺陷试块，使用可行的渗透检测方法标准等来提高渗透检测的可靠性该方法操作简单成本低，缺陷显示直观，检测灵敏度高，可检测的材料和缺陷范围广，对形状复杂的部件一次操作就可大致做到全面检测。但只能检测出材料的表面开口缺陷且不适用于多孔性材料的检验，对工件和环境有污染。渗透检测方法在检测表面微细裂纹时往往比射线检测灵敏度高，还可用于磁粉检测无法应用到的部位。

#### 3.6 声学检测新技术

超声无损检测是基于材料对超声场的作用，通过向材料内部或表面发射超声波并接收、分析经材料传播后的超声波信号，获取被检对象信息，对其缺陷、伤损、几何特征、组织结构和力学性能等进行检测、表征和评价。超声波检测技术的方法多，应用广泛。

超声相控阵技术的主要特点是采用计算机控制多晶片探头中各芯片的激励振幅和延时，压力复合芯片受激励后能产生超声聚焦波束，声束参数（如角度、焦距和焦点尺寸等）均可调整，扫描声束能以镜面反射方式检测出不同方位缺陷。相控阵检测主要特点为检测效率高，相控阵采用S扫，即同时可以拥有许多角度的超声波；灵敏度和分辨率都比常规超声检测高；可同时拥有B扫、D扫、S扫和C扫描，可以通过建模，建立一个三维立体图形，缺陷显示非常直观；可对复杂工件进行检测，比如可以检测移动区域较小，常规超声波检测因为探头声束角度单一，存在很大的盲区，造成漏检。超声相控阵检测技术现已成熟应用于压力容器焊接接头检测和管道腐蚀检测；



同时也应用于不锈钢、小径管、接插管等焊接接头检测。

声发射 (Acoustic Emission, AE) 是指材料或结构受外力或内力作用产生变形或断裂, 以弹性波形式释放出应变能的现象。而弹性波可以反映出材料的一些性质。声发射检测就是通过探测受力时材料内部发出的应力波判断容器内部结构损伤程度的一种新的无损检测方法。压力容器在高温高压下由于材料疲劳、腐蚀等产生裂纹。在裂纹形成、扩展直至开裂过程中会发射出能量大小不同的声发射信号, 根据声发射信号的大小可判断是否有裂纹产生、及裂纹的扩展程度。

声发射与 X 射线、超声波等常规检测方法的主要区别在于它是一种动态无损检测方法。声发射信号是在外部条件作用下产生的, 对缺陷的变化极为敏感, 可以检测到微米数量级的显微裂纹产生、扩展的有关信息, 检测灵敏度很高。此外, 因为绝大多数材料都具有声发射特征, 所以声发射检测不受材料限制, 可以长期连续地监视缺陷的安全性和超限报警。

### 3.7 微波检测

与超声波无损检测技术相比较而言, 微波检测技术具有频带宽和方向性好的特点, 能够有效解决无损检测中的局限性问题。在对压力容器进行检测时采用了非接触检测的方式, 能够增强工作的连续性与实时性, 防止对材料造成污染问题。无损扫描在微波检测中的应用十分关键, 能够明确缺陷信息的实际情况, 通过电信号的获取能够帮助工作人员分析三维实时图像。在导电性能较强的复合材料或者金属中, 微波的穿透性较差, 因此适用于材料的粗糙度和表面缺陷检测。在应用微波检测时, 还需要对介电常数进行测量, 传统方式的局限性较大, 自由控微波测量的方式则能够有效解决上述问题。

## 4. 结语

无损检测技术在压力容器的检测中发挥着至

关重要的作用, 能够及时发现管道中存在的问题, 为检修与维护工作提供保障, 确保压力容器的质量合格, 防止出现严重的安全事故。在工作实践当中, 射线探伤和超声检测通常应用于焊接缝的无损检测当中, 而在原材料的无损检测当中则采用磁粉探伤和涡流检测, 此外还有微波检测方法等, 应该根据实际检测要求及压力容器类型进行选择, 增强检测的准确性。

无损检测技术对于压力容器有着非常重要的意义, 因此我们要加强对无损检测技术的深入研究, 秉承科学谨慎的态度, 不断优化无损检测技术。同时要让工作人员加强学习无损检测技术, 熟练掌握操作手法, 在实践中总结技术层面可优化的方向, 并结合当前网络技术, 充分发挥两者各自的优势, 提升压力容器的自动化程度, 促进我国工业产业的快速发展。

### 参考文献:

- [1] 魏锋, 寿比南等. 压力容器检验及无损检测: 化学工业出版社, 2003.
- [2] 王自明. 无损检测综合知识: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 沈功田, 张万岭等. 压力容器无损检测技术综述: 无损检测, 2004.
- [3] 林俊明, 林春景等. 基于磁记忆效应的一种无损检测新技术: 无损检测, 2000.
- [4] 叶琳, 张艾萍. 声发射技术在设备故障诊断中的应用: 新技术新工艺, 2010.
- [5] 曹荣庆, 周一亮, 胡志刚. 无损检测技术在锅炉压力容器检验中的应用探讨 [J]. 中小企业管理与科技 (上旬刊), 2019(12):138-139.
- [6] 刘昕. 解析压力容器无损检测技术进展 [J]. 化工管理, 2019(33):134-135.
- [7] 袁浩. 石油化工用压力容器的破坏形式及无损检测的应用 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(09):60-61.

# 压力管道力学性能的无损检测研究概述

李万军 华电电科院

**摘要：**无损检测是指在不损坏试件的前提下，以物理或化学方法为手段，借助先进的技术和设备器材，对试件的内部及表面的结构，性质，状态进行检查和测试的方法。由于管道进入服役程序之后，无法采用常规的破坏性力学性能测试，也难以在线进行性能测试，无法对剩余寿命作出准确评估，使压力管道安全使用产生了巨大风险。本文就压力管道力学性能的无损检测展开论述。

**关键词：**力学性能；无损检测；管道用钢

## 1. 前言

材料性能检测就是将反映材料内在特性的信息进行提取和显示的过程。对服役管道材料的质量进行测试，进行服役条件下安全和可靠评估，可以确保管道材料在服役中能有效工作；对发生故障和失效的管道材料进行分析，可以探讨故障和失效发生原因，从而寻求解决和改进的途径。因此，不论从基础理论或是从生产实践来看，材料力学性能的检测的重要性显而易见。衡量材料力学性能的主要指标有强度、塑性、硬度、疲劳强度、冲击韧性、断裂韧性等。

管道凭借自身在化工类液体物质方面运输的独特优势，逐步发展成自公路、铁路、船舶、航空之后的第五大运输方式，截至 2013 年底，我国油气管道总长度已超过 10 万公里，覆盖全国 31 个省、直辖市、自治区和特别行政区，但是在我国的管道建设突飞猛进，管道数量迅速增长的同时，役管道安全事故也不断增多，造成重大经济损失，对周围环境造成严重污染，对周边人员生命安全造成严重威胁。如山东某化肥厂连接氨合成塔和冷激器之间的规格为  $\phi 127\text{mm} \times 21\text{mm}$  的 Q245 钢（20 钢）工艺管道的脆断和着火事故，管

线投用时间约 2 年；某厂一废热锅炉蒸汽管线其中一段凝液排放管的环缝发生了爆裂（ $\phi 630\text{mm} \times 10\text{mm}$ ），内部介质为饱和蒸汽，材料为德国 RSt37-2，接近我国的 10 钢；山东某化肥企业合成氨分离器出口到冷换热器进口间的 Q245 钢（20 钢） $\phi 273 \times 40\text{mm}$  管道突然爆裂发生粉碎性破裂。

据不完全统计，仅山东境内合成氨和甲醇生产装置就有 167 套，每套装置中有 Q245 钢（20 钢）厚壁高压管 600 多米，而全国合成氨和甲醇生产装置约是山东省的 4 倍，即约有 670 套这类装置，仅这一行业就有 20 钢厚壁高压管 40 多万米。因此管道材料在服役过程中发生的性能变化对工业生产和设备安全服役存在重大潜在安全隐患，所以在线检测管道材料的性能意义重大。

## 2. 材料力学性能无损测试方法评价

无损检测是指在不损坏试件的前提下，以物理或化学方法为手段，借助先进的技术和设备器材，对试件的内部及表面的结构，性质，状态进行检查和测试的方法。是指对材料或工件实施一种不损害或不影响其未来使用性能或用途的检测手段。

常用的无损检测方法有射线检测（简称 RT）、

超声波检测（简称 UT）、磁粉检测（简称 MT）和渗透检测（简称 PT），称为四大常规检测方法。这四种方法是承压类特种设备制造质量检测和在用检测最常用的无损检测方法。其中 RT 和 UT 主要用于探测试件内部缺陷，MT 和 PT 主要用于探测试件表面缺陷。其他用于承压类特种设备的无损检测方法有涡流检测（简称 ET）、声发射检测（简称 AE）等射线的种类很多，其中易于穿透物质的有 X 射线、 $\gamma$  射线、中子射线三种。这三种射线都被用于无损检测，其中 X 射线和  $\gamma$  射线常应用于承压设备焊缝和其他工业产品、结构材料的缺陷检测，而中子射线仅用于一些特殊场合。射线检测是工业无损检测的一个重要专业门类。最主要的应用是探测试件内部的宏观几何缺陷（探伤）。

已经有很多测试方法可以针对硬度开展无损微损测试，如微型剪切测试法、小冲杆测试法、超声波测试法等。

微型剪切测试法是由德国工业大学焊接研究所所长 Lutz Dorn 教授首先提出的是从实验材料中取出并加工成 1.5mm 的试样，在专用装置中进行逐点剪切并记录相应的曲线，并根据关系式进行计算相应点的强度和属性值。但是对于该方法，目前的研究并不多，主要集中在对焊缝性能的测定当中。并且一般仍需要取样，并且需要与常规拉伸试验结果结合。

小冲杆试验技术最早是用于核电站在役结构材料力学性能的测定，是一种以冲杆冲压试样薄片，记录试样从加载到失效整个过程中的载荷—位移数据，并据此分析得出一系列材料性能数据的方法，现在已经用来确定材料的弹性模量、屈服强度、塑性性能、抗拉强度、断裂形态转变温度、断裂韧性、蠕变性能以及表示塑性硬化和韧性损伤的微观力学参数和黏塑性性能等各种力学性能。该方法兼具取样方便和几乎无损的优点，非常适用于那些无法取出传统试样或取样不经济的场合，

所以这种测量技术有很好的工程应用前景。但是，从测量的数据来确定材料断裂力学性能的数学方法比较复杂，结果的精度尚待进一步提高。此外，试样尺寸、冲压装置的夹具孔径和冲压试验的滚珠的直径差异素对试验结果影响有待进一步研究，同时，小冲杆试验还是需要取样进行测试，也暂时无法解决服役设备在线检测的问题。

综上传统的无损检测只能探测缺陷和剩余壁厚，表面金相只能了解材料组织的变化，都不能了解与评价材料的力学性能、断裂性能或蠕变性能的状况。传统做法多为取样测试，进行破坏性试验，试验前期准备工作较为复杂，对原结构有明显的损伤与破坏，也是不经济的，且基本无法进行现场测试或者对在役设备等进行检测，常常限制了在役设备的评定。

### 3. 压力管道破坏形式的分类

如前所述，压力管道破坏型式的分类方法有很多种。按破坏时宏观变形量的大小可分为韧性破坏（延性破坏）和脆性破坏两大类。按破坏时材料的微观（显微）断裂机制分类，可以分为韧窝断裂、解理断裂、沿晶脆性断裂和疲劳断裂等。实际工作中，往往采用一种习惯的混合分类方法，即以宏观分类法为主，再结合一些断裂特征。通常分为：韧性破坏、脆性破坏、腐蚀破坏、疲劳破坏、蠕变破坏和其他形式破坏。

#### (1) 韧性破坏

韧性破坏是一种因强度不足而发生的破坏，是管道在压力的作用下管壁上产生的应力达到材料的强度极限，因而发生断裂的一种破坏型式。发生韧性破坏的管道，其材料本身的韧性一般是非常好的，而破坏往往是由于超压而引起的。

金属的断裂是裂纹的发生和扩展的过程。金属在加工过程中可能在晶体中留下显微裂纹，这些裂纹在金属的塑性变形中将得到扩展。金属材料发生大量塑性变形时，材料内部夹杂物中或夹杂物与基体界面上会形成显微空洞。随着塑性变

形的增加，显微空洞长大并聚合，其边缘上的应力达到材料的极限强度，金属即发生断裂。

极限强度是材料最大均匀变形的抗力，表征材料在拉伸条件下所能承受的最大应力，是金属材料的主要力学性能指标，也是设计和选材的主要依据。

管道在屈服后的升压过程中，若在任意点卸压时均会留下较大的残余变形，例如鼓胀，而长度的变化几乎可以忽略不计。使用中的管道如果发现鼓胀现象，说明已因超压变形而失效，必须停止使用。至于已发生韧性破断的管道，其鼓胀现象就更为明显。

韧性破坏具有如下一些特征：

- i. 发生明显变形；
- ii. 一般不产生碎片；
- iii. 实际爆破压力与理论值相近；

iv. 断口的宏观形貌基本上是滑移、位错堆积和微孔聚合，断口呈纤维状，无金属光泽，色泽灰暗不平，断面有剪切唇。

V. 断口的微观形貌为韧窝花样，韧窝的实质就是一些大小不等的圆形、椭圆形凹坑，是材料微区塑性变形后在异相质点处形成空洞、长大聚集、互相连接并最后导致断裂的痕迹。宏观纤维状形貌是显微窝坑的概貌。

## (2) 脆性破坏

脆性破坏是指管道破坏时没有发生宏观变形，破坏时的管壁应力也远未达到材料的强度极限，有的甚至还低于屈服极限。脆性破坏往往在一瞬间发生，并以极快的速度扩展。这种破坏现象和脆性材料的破坏很相似，故称为脆性破坏。又因为它是在较低的应力状态下发生的，故又可称为低应力破坏。脆性破坏的基本原因是材料的脆性和严重缺陷。前者因焊接和热处理工艺不当而引起，后者包括安装时焊缝中遗留的缺陷和使用中产生的缺陷。此外，加载的速度、残余应力、结构的应力集中等都会加速脆断破坏的发生。

## (3) 腐蚀破坏

腐蚀破坏内容在《工业设备的腐蚀与防护》教材中已有较为详尽的论述，可参考该教材学习。

## (4) 疲劳破坏

压力管道的疲劳破坏是管道长期受到反复加压和卸压和交变载荷作用出现的金属材料疲劳，而产生的一种破坏形式。疲劳破坏时一般没有明显的塑性变形，从表现现象上与脆性破坏很相似，但其原因和发展过程却截然不同。

疲劳破坏常见如下特征。

i. 发生疲劳破坏的部位。疲劳破坏最易在两个位置发生：一是结构的几何不连续处，即管道的应力集中部位；二是存在裂纹类原始缺陷的焊缝部位，即使在交变的膜应力下也会发生疲劳裂纹的扩展而破坏，如果两种情况同存于一处，就极易产生疲劳破坏。

ii. 疲劳破坏的基本形式。疲劳破坏主要表现为爆破和泄漏两种。如果材料强度高而韧性差，疲劳裂纹产生并扩展到临界裂纹尺寸时，就会突然以极快的速度扩展而破坏；如果材料的强度较低而韧性较好，疲劳裂纹扩展到相当尺寸后即使穿透了管壁仍未达到临界裂纹尺寸，此时管道只发生介质泄漏而不爆破，这种破坏称“先漏后破”。

iii. 疲劳破坏后的整体特征。由于疲劳破坏的管道所受的膜应力并不高，一般因疲劳裂纹扩展到临界尺寸或穿透管壁发生泄漏或破坏，因此整体上无塑性变形、无直径增大或壁厚减薄，所以疲劳破坏仍为脆性状态的破坏。

iv. 疲劳断口的宏观形貌。疲劳断裂时无塑性变形，属于脆性断裂状态，断口上有明显的裂纹产生区、扩展区和最终断裂区。

V. 疲劳断口的微观特征。电镜下观察疲劳断口的裂纹扩展区时，可见到一种独特的疲劳辉纹。疲劳辉纹与宏观的贝壳十分相似但含义则不同。辉纹是在恒幅交变载荷作用下每一次循环所留下的印记，其间距反映该阶段的扩展速度。而

贝壳纹是交变载荷应力幅度变动时留下的痕迹。

#### (5) 蠕变破坏

蠕变与压力容器的蠕变原因有相似之处，即在高温环境下，只要达到一定的温度，钢材即使受到的拉应力低于该温度下的屈服强度，也会随时间的延长而发生缓慢持续的伸长，这就是钢材的蠕变现象。各种材料产生蠕变的温度界限各不相同，碳钢和普通低合金钢超过 300 ~ 400℃，即应考虑蠕变破坏问题。Cr-Ni 合金钢则具有较好的抗高温蠕变性能。一般认为，材料的使用温度不高于它的熔化温度的 25% ~ 35%，则可不考虑蠕变影响，材料发生蠕变破坏时具有明显的塑性变形，变形量的大小视材料的塑性而定。

#### 4. 压痕法测试材料性能

早在 1881 年，Hertz 就提出用压痕测定法测试材料硬度，基于该原理的传统的硬度测试方法有维氏硬度法（Vicker）、努氏硬度法（Knoop）和洛氏硬度法（Rockwell）等。基于硬度法基础上逐渐发展了压痕法测试材料力学性能，1961-1992 年许多学者在压痕法的领域取得了不少突破。其中 Oliver 和 Pharr 在 Doerner 和 Nix 工作的基础上完善了压入测量原理，奠定了纳米压入测量技术的基础，这就目前测试薄膜和复合材料常用方法之纳米压痕法。

20 世纪 80 年代以来，流行的纳米压痕法为测量小尺寸材料的性能提供了一条很好的途径，但是该方法的使用限制十分严格，例如使用温度和地面振动等方面的要求，而且不能用于现场检测。为了解决这个问题，国际上正在探讨借助纳米压痕法的理论基础，开发新的实用设备和计算理论与方法。1989 年，来自美国橡树岭国家实验室金属和陶瓷部的 F.M.Haggag，将研究成果压痕微探针（Fieldindentationmicroprobeforstructuralintegrityevaluation）应用于从硬度或微压痕中测定吕德斯应变和金属的流动性能。该自动球压痕试验机测试材料性能的基本原理是：球形压头在机电驱

动载荷施加机构的作用下，压头垂直压入已抛光被测材料表面，在同一作用点进行连续循环加载卸载，使被测材料表面发生持续位移，由此可获得压痕曲线（即载荷 - 位移曲线），并将此载荷 - 位移曲线转化成真应力 - 真塑性应变曲线，从而获得材料的综合性能，包含流动性能、屈服强度、应变硬化指数、强度系数、弹性模量、估算断裂韧度等性能参数。

#### 5. 压力管道无损检测技术的展望

关于木材的无损检测研究，国外学者早在 40 年前就开始了。1961 年，日本京都大学农学部的木尾田茂、山田正、铃木正治研究了动态抗弯弹性模量和含水率之间的关系，实验结果表明，在含水率为 4% ~ 5% 左右，纤维方向的动态抗弯弹性模量值最大，但半径方向的动态抗弯弹性模量不是最大值。Suzuki 研究了吸湿和温度对动态抗弯弹性模量和对数衰减率的影响。1965 年，京都大学农学部的铃木正治、中户莞二、相川久太郎研究了木材的动态抗弯弹性模量的频率依存性以及蠕变的关系。

自 20 世纪 70 年代以后，随着科学技术的进步，木材无损检测的研究也取得了很大的进展。1975 年，日本高知大学农学部的中山义雄利用振动法对木材梁进行无损检测。Pellerin 和 Logan 研究设计制造了木材横向振动弹性模量计算机（TransverseVibrationE-Computer），简称 E- 计算机，并于 1977 年取得美国专利。E- 计算机已为美国木材生产及科研单位广泛采用。由 E- 计算机测定的弹性模量与静弯曲测得的弹性模量非常接近，它们的相关系数为 0.96~0.99。1978 年，Paschalis 用共振法和超声波法确定了木材的强度特性与其结构特点的关系，他认为：随着晚材率和密度增加，湿润松林中的松木比干燥松林中的松木强度增加快；强度增加最慢的是接近地下水的松林中的松木。湿润松林中的松木，其强度、晚材率和密度均比干燥的和接近地下水的松林中的松木

要大。在测定弹性模量时，共振法和超声波法具有同等价值。

1980年，日本学者铃木正治研究了随着水分变化动态抗弯弹性模量的降低值与密度之间的关系。研究发现，当含水率由5%增加到35%时，动态抗弯弹性模量大幅降低，而损耗角正切增加，无论是纵向、径向还是弦向，从全干到饱和状态抗弯弹性模量的降低值，都与气干密度有关。气干密度越大的树种，降低幅度越大。另外，径向的动态抗弯弹性模量降低值大于弦向的动态抗弯弹性模量降低值。1985年，Nakao, Okano和Asano根据高次扭转振动特性对木材的正交各向异性剪切弹性模量的测定方法进行了研究。1988年，Sobue针对决定实际构造用木材的抗弯弹性模量E和剪切弹性模量G的问题进行了研究。用发泡塑料小片弹性支持木材的中央，轻轻打击试件一端的角，激发起弯曲-扭转复合振动，由配置在试件另一端两角的一对微音器（或加速度传感器）测出振动，计算处理这2个信号并求出和与差，即可以从复合信号取出单纯的弯曲振动和扭曲振动的信号。将这些信号输入FFT分析仪，即可求得瞬时的共振频率数，并同时确定E和G。

## 6. 总结

压痕试验是一种创新型无损微损测试，通过测定载荷-压痕深度的关系曲线，进而得出材料真塑性应力-真塑性应变曲线，获得材料的弹性模量、流动性能、屈服强度、应变硬化指数、硬度、估算断裂韧度、断裂能量等性能参数。由于压痕试验是无损微损测试，而且某些实验设备能够在一定程度上实现在线检测，这对在线服役设备的测试解决了一个大难题。因此采用压痕试验测试服役管道材料的力学性能是可行的，而且是一种很有发展潜力的测试技术。

## 参考文献：

- [1] 罗自治, 张传涛, 杨勇等. 国外管道失效原因分析及对我国管道管理建议[J]. 煤气与热力, 2011(1):29-32
- [2] 王威强, 李梦丽, 崔好选. 通过标准规避高压钢管应变时效脆化的发生[J]. 压力容器, 2010, 27(11):45-52.
- [3] 董雷云, 潘缉悌, 蒋晓东等. 螺旋焊管脆性开裂失效分析. 化工机械, 2000, (02):90-94.
- [4] 王威强, 余信诚, 曹怀祥等. 山东德齐隆化工集团有限公司氨分离器出口至冷交换器入口管道失效分析报告[R]. 济南: 山东省特种设备安全工程技术研究中心, 2007.
- [5] 李梦丽, 王威强, 李爱菊等. 热处理避免和消除20钢应变时效脆化试验研究[J]. 材料工程, 2011(1):57-63.
- [6] 桂立丰. 机械工程材料测试手册: 力学卷[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2001, 3-11, 99-614.
- [7] 张俊哲. 无损检测技术及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010, 2-12.
- [8] Hellier CJ. 无损检测技术与评价手册[M]. 戴光译. 北京: 中国石化出版社, 2005, 1-14.
- [9] 雷斌隆. 微型剪切试验的研究[J]. 实验力学, 1991(02):222-226.
- [10] 丁克勤, 吴永礼. 在役设备材料弹塑性力学参数测定方法综述: 小冲杆实验力学研究进展之二[J]. 实验力学, 2009, 24(6):545-557.
- [11] 税国双, 汪越胜, 曲建民. 材料力学性能退化的超声无损检测与评价[J]. 力学进展, 2005, 35(1):52-68.
- [12] 严学俭, Hermann I. 应用纳米压痕法测试类金刚石薄膜力学性能的研究[J]. 真空电子技术, 2003, (3):22-25.

# 起重机械健康诊断技术综述

李肖霞 青岛海洋机械研究所

**摘要：**现代化的港口对起重机械设备工作的安全可靠提出了严格的要求，为确保机械设备的安全运行，提高其可靠性和安全运转率，必须开展现代化故障诊断和状态监测。健康监测能够对结构或设备的状态进行连续自动监测并实时传输、分析数据，实现对危险测点及工况预警，是目前保证起重机安全运行的先进技术和重要方法之一。起重机械结构应力健康监测安全评估系统的最根本目的是要实现起重机械金属结构应力的长期健康监测安全评估，从而对起重机械的运作进行实时控制处理。

**关键词：**起重机械；健康诊断；评价

目前，起重机械已被广泛应用于工矿企业、车站仓库、建筑工地、港口码头、航空航天、海洋开发、能源建设等国民经济各个部门，是进行物质生产和物资流通不可或缺的重要装备，也是合理组织大批量生产、机械化流水作业、高效自动衔接工艺流程的关键物流装备。

起重机械是指以间歇、重复的工作方式，通过起重吊钩（或其他取物装置）的垂直升降与（或）水平运动，从而实现负荷（重物）的三维空间位移，完成起重及装卸搬运等作业的机械设备。起重机械具有多个复杂子系统，通常由金属结构、工作机构、电控设备以及安全防护装置等构成。金属结构作为整机支承平台和骨架，用于承受和传递各种载荷，自重约占整机自重的60~80%；工作机构作为运动执行机构，用于完成各个方向的运动，通常由多个零部件构成；电控设备承担着为整机或机构提供动力、控制、操纵、照明、联络等任务，并实现司机室与外界的沟通联系平台；安全防护装置用于对起重机械进行系统而有效的安全防护，通常由各种安全装置、防护装置以及

安全指示装置等构成。当前国内起重机械健康诊断技术还存在以下不足：

(1) 在起重机械金属结构的状态监测方面，针对个别机构或部件的状态监测与故障诊断措施已经有所应用，但是，全面、系统地进行金属结构的状态监测研究尚未取得实质性的进展。

(2) 当前起重机状态监控技术在宏观状态量的监控方面成熟，但是在构件的微观状态量的监测方面不成熟。应力监测方法中常用的是应变电测法，具备技术成熟、成本低的优点，但远距离传输的缺点是阻值干扰和应变衰减。此外，新兴的应力监测技术的光纤光栅法，具备精度高、抗干扰能力强的优点，但该技术尚处于研究阶段，相关理论技术不成熟，成本也高。成本高的问题极大的影响了光纤光栅应力监测技术的应用推广。

(3) 当前基于GPRS的无线发射节点监测传输技术，适用于远程监测，如野外的桥梁、输电塔等对象，其缺点是成本高，受移动通讯代理商信号覆盖影响。对于造船厂或港口码头，建立无线局域网传输监测即可满足要求。Wi-Fi传输技术

具备传输速度快、信号稳定且无需移动代理商费用。

(4) 起重机应力与振动的测点选择忽略测点之间的关系的研究。由于结构遮挡、缺少扶梯等原因导致起重机某些危险结构处无法监测，所以单一查找最大危险点选择测点存在实际监测的不足。此外，振动测点针对起升机构、回转支撑等构件，缺少对臂架系统的监测研究。

### 1. 起重机械健康监测的研究

#### 1.1 国外健康监测的发展

在国内外大型工程结构相关领域，目前普遍采用结构健康监测（Structural Health Monitoring, SHM）技术，对服役周期内的大型结构进行健康状况的不间断实时监测以保证结构的安全性能，主要应用于航空、航天、桥梁、大坝、公路、隧道、建筑、深海钻井平台等研究对象。随着计算机与信号处理、数据采集和传输、传感和测试、故障诊断等相关理论技术的迅猛发展，结构健康监测技术相对发展较快。从 80 年代起，国外学者研究开发了一些高性能的状态监测系统，如美国 B&N 公司的 7200 系列，丹麦 B&K 公司的 3542 机械状态监测系统等。它们的特点是硬件所占比例大，采集信息多，处理速度快，监测功能强，具有简单的故障诊断功能；但价格昂贵，且采用专用计算机系统及语言，新功能不易开发，对使用人员的技术要求较高。日本安川公司的 CMS 系统利用移动通信技术与智能传感技术相结合，实现了对集装箱装卸设备的远程监控。借助于远程监控可以将企业内部的信息网与控制网有效地连接起来，实现对生产状况的随时掌握。日本住友公司开发的包括金属结构应力在内的大型起重机监控系统应用超高速交换路由技术实现其遍布全世界的机械产品在线状态检测。

在机械设备健康监测领域，特别是在典型机构重要零部件中，已经率先开展了相关理论与应

用研究。例如，在滚动轴承、传动齿轮等关键零部件中，采用基于健康诊断理论的数据分析与处理方法，逐渐由传统定性诊断向“智能化、快捷化、量化”方向发展。电控设备健康监测主要集中在电力电子电路、电子产品、电机、供电系统等，并在特征参数选取、健康阈值设定、模型参数建立等方面开展了较多的理论研究。但对金属结构的监测与诊断，还未形成系统而成熟的方法和技術，虽然已有多结构检测、无损探伤，但研究成果也大都以巡检和监控为主，可以在相对恶劣的条件下长期稳定健康监测的系统还是相对缺乏。

#### 1.2 国内健康监测的发展

从 2000 年开始，国内一些科研单位及高等院校相继研制了多种状态监测和故障诊断系统，其特点是以计算机为基础，以软件开发为中心，功能多、灵活性大、适用面广、价格低。如上海交通大学开发了基于移动通信技术的港口起重设备远程监控系统 NetSCAD，利用无线网关连接现场起重设备和监控中心，通过 TCP/IP 协议实现检测数据的无线传输。天津港港口的门式起重机上安装了健康监测系统对吊装重量等参数的实时监测，并通过无线通信技术将监测数据传输至局域网。国内将起重机械纳入到特种设备行业，实行“全过程、全方位、全链条、全生命周期”的管理体系，并相应制定了起重机设计规范、起重机安全规程、起重机械安全监控管理系统、特种设备安全技术规范等，这些标准、规范和规范涉及到起重机械的设计、制造、安装、使用、检验、维护、维修、保养、管理、监督、改造等各个环节。

武汉理工大学在国内起重机状态监测方面处于领先地位，研究了起重机械健康监测数据的无线局域网传输和 GPRS 远程数据传输方法，将光纤光栅技术应用到起重机应力监测领域中。在实际应用中还是存在信号传输的不稳定性，易受环境干扰。我国的一些科研单位和高等院校也研究



了各种状态监测和故障诊断系统。但是在实现了这些功能的同时,还有很多有待改进的问题:以巡回监测为主,实时性没有很好的体现,硬件功能较弱,系统集成化程度还不够,仪表、传感器可靠性有待加强,不太能适应工业现场恶劣的工作环境。

综合来看,在国内外起重机械的健康监测应用中,主要集中在检测、监测、评估、管理等基础领域开展了较多理论和应用研究,有的逐渐形成了相关产品,并在各种类型的起重机械中得到初步应用。但总体上起重机械在健康领域尚未成熟且处于起步阶段,在技术层面上主要还停留在“检测为主、监测为辅”,监测方式主要还是以传统有线监测为主(长期健康监测很少),示范应用具有较大局部性(缺乏宏观整体性)。

## 2. 起重机械金属结构的失效原因

当前起重机械使用维护仍然采取日常检查和定期专业检查的维护制度,该维护制度不能及时的预测可能发生的故障。国内外起重机状态监测的标准也未涉及动强度、动刚度、裂纹等指标的健康监测,如ISO10972-4:2007、GB/T24809.4-2009、GB/T25196.1-2010等。《起重机安全章程》GB6067.1-2010规范了永久形变、焊接缺陷、表面探伤等宏观定性指标,也没涉及到动强度、动刚度等指标的定量标准。起重机日常维护是按《起重机安全章程》规定的宏观物理量进行监管。

引起起重机械金属结构失效的原因是十分复杂的。根据实际中反映出来的问题分析,主要有以下方面设计考虑不周,结构力流不畅,工艺不合理。如有的箱形结构在集中载荷作用处对支承加劲筋板设计不合理,筋板单薄,自身刚度及稳定性较差,起不到传力及加强作用。致使结构受载后面板产生严重的局部变形有的筋或杆件布置不合理,力流不能平滑过渡,造成局部应力集中有些受

压板宽厚比或高厚比太大,受载后产生局部失稳,部分材料未能起到应有的承力作用,改变了截面的几何特性,使截面上应力重新分布,与设计时的理想状态不一致,从而导致结构破坏有些结构几何尺寸设计不合理,刚度偏小,使结构工作不正常。制造安装质量不好。制造质量问题主要表现在有的结构件在制造时未充分满足设计的技术条件有的焊缝布置不当,焊缝质量不符合有关规范,质量不高,存在漏焊、假焊、气泡、夹渣等现象,焊缝接头不好,不平度尤其是受压翼缘板太大,制造及安装过程中未注意到这些问题造成局部失稳,因而丧失了应有的承载能力有的制造、安装精度达不到设计要求,使结构件在起重机作业过程中承受较大的冲击载荷。使用维护不当。对有的使用年限过长,超期服役的机械缺乏必要的保养和检查。未按操作规程操作,经常使机械超负荷作业,或与其他机械、障碍物相撞安全装置失灵或随意拆掉安全装置某些部件或构件损伤未及时检修等。

## 3. 起重机械应力与振动的监测技术

国内外研究中,起重机健康监测的参量主要有应力、振动、风载、温度、腐蚀等,应力和振动能够反应风载、温度、腐蚀的状态量,所以当前健康监测研究的对象主要是应力和振动的监测。综合国内外应力监测方法主要有电测法、光纤光栅法、声发射法、全息干涉法等。其中有线电测法应用成熟广泛(健康监测、离线监测都有应用),光纤光栅法和无线电测法是近几年新应用于起重机的监测方法,声发射法、全息干涉法易受环境的干扰,在起重机监测中应用较少,尤其是在健康监测中没有应用。健康监测振动的测量方法主要是应用低频加速度传感器监测减速箱、转轴的振动状态。

当前国内外研究中,起重机健康监测研究主要是应力和振动的监测。应力监测方法主要有电测法、光纤光栅法、声发射法、全息干涉法等。

其中有电测法应用成熟广泛(健康监测、离线监测都有应用),光纤光栅法和无线电测法是近几年新应用于起重机的监测方法,声发射法、全息干涉法易受环境的干扰,在起重机监测中应用较少,尤其是在健康监测中没有应用。健康监测振动的测量方法主要是应用加速度传感器监测减速箱、电机、回转轴支撑的振动状态。

各种监测方法中,传感器选型也是重要的环节。常见应力电测法在线传感器有焊接式应变传感器、工具式应变传感器。虽然这两者都能满足长期监测,但也不可避免破坏被测件的表面油漆,引起腐蚀问题。

#### 4. 起重机械应力与振动的测点选择方法

##### 4.1 应力测点的选择方法

当前对于起重机的健康监测的测点选择主要通过数值计算法、实验法、力学解析法以及三或两种方法的综合应用。当前学者的研究一般分四类。第一类,监规或经验与实验相结合的方法:通过监规或经验初步确定测点,经现场实验后,筛选测点。第二类,数值计算与同类机型参考相结合的方法:数值计算筛选测点,与同类机型比较,查漏补缺。第三类,数值计算与实验相结合的方法:数值计算筛选测点,再辅助现场实验确定最终测点。第四类,力学解析与实验相结合的方法:力学解析筛选测点,再辅助现场实验确定最终测点。

根据《港口门座起重机》(GB/T17495—2009)的规定了应力测量位置和静应力实验中较大处作为动应力测点。文献根据监规选择应力测点,对服役中的门座式起重机进行在线的静载荷和动载应力试验。文献根据经验选择应力测点,采用了温度补偿功能的反射式光线光栅传感系统对起重机械几种典型工况进行了实时健康监测。廖玉华通过有限元数值分析和同类机型对比,得出了MQ10-25的健康监测应力的测点。陈文通过有限元数值分析和文献总结,得出了MQ40-33的健康

监测应力的测点。

综上文献可知,第三类方法和第四类方法适用于就健康监测。忽略测点之间的关系的研究,由于结构遮挡、缺少扶梯等原因导致某些危险结构处无法监测,所以单一查找最大危险点选择测点存在实际监测的不足。

##### 4.2 振动的测点选择方法

当前对于起重机的健康监测的测点选择主要通过实验方法获得,测点选择对象比较固定,一般指起升机构、回转支承机构、其他结构的电机、齿轮箱、小车等。

石万祥对起升机构的减速箱、电机、钢丝绳的振动监测的方法,并制定了40t-43m门座式起重机起升机构振动状态相对判断标准的初始值。台金刚提出了离线起升机构减速器振动监测的方法。胡雄等进行了远程桥吊振动监测,主要侧重于以下部位的振动情况:小车在轨道的振动以及大梁和横梁上零部件的振动。电机和齿轮箱的振动。陈光以港口门座起重机回转支承为实例,提出振动能量的冲击判断回转支承元件的故障。

#### 5. 起重机械健康监测的传输方式

采集数据的传输方式分为有线传输和无线传输方式。有线传输技术成熟,但过长的导线要考虑到导线阻值干扰和对起重机运用空间的限制。无线传输是近几年新兴技术,它克服了传输距离的影响和起重机运用空间的限制。随着Wi-Fi技术的应用,国内外学者也将该技术应用到起重机健康监测中,如李丽基于无线传输的起重机结构应力健康监测系统研究。同时国内外的测试公司也兴起了开发基于Wi-Fi传输的测量系统,如东华测试公司等。Wi-Fi技术的传输问题是有效传输距离只有95m左右,需要加中继器扩展。

GPRS技术可达到几千米甚至十几千米数据传输,但在传输量、不稳定性方面有待改进。如廖玉华应用GPRS技术对起重机械金属结构远程

健康监测数据无线传输做了研究。3G 技术是当前新兴无线通讯技术，国内外学者正在积极的研究，它在传输量、稳定性方面优于前两种传输协议，但还没有应用。

#### 6. 起重机械应力与振动健康监测的评价

起重机械是由金属结构、工作机构、电控设备、起重作业人员组成的人-机-环境复杂系统，每个子系统的“病态”机理是不同的，例如，金属结构是由“损伤”过渡到“失效”，工作机构和电控设备则是由“异常”过渡到“故障”，起重作业人员也存在“不安全行为”过渡到“失误”，这些子系统的不同健康状态必将对系统的“病态”原理、性能特点、数据获取、指标体系等产生不同程度的影响，应分别开展理论和应用研究。

(1) 针对复杂系统及各子系统的检测或监测的健康状态海量数据，开展数据挖掘前期预处理以及子系统健康状态评价。复杂系统层次类型繁多且构造复杂，往往导致检测和监测数据海量，这些信息往往不完备甚至存在冗余。如何对海量数据进行有效处理和保存，从而减少数据样本空间，为后续有效开展系统层次的综合评价奠定坚实基础。以起重机械的信息采集源为例，基本可以分为应变类（应力/应变/位移等）、载荷类（起重量/起重力矩/极限力矩限制器）、行程类（起升高度/下降深度/运行行程/幅度/偏斜/回转限位器）、安全保护类（制动器/连锁保护/抗风防滑/防碰撞/防后倾等）等，需要对这些数据进行有效识别；而信号传感元件的优化布设方面也将会是健康监测领域的重要难题，出于对经济成本和运行状态等综合因素的考量，布设目标应是使用尽量少的数据采集设备来获取尽可能多而有效的信息。

(2) 针对复杂系统开展综合评价方法研究，从而构建系统综合评价指标体系和评判准则，以获得系统健康状态。复杂系统综合评价指标体系

的选取直接关系到综合评价结果是否准确可靠，其构建应满足客观对象的基本原则，评价指标的选取也应考虑系统的全面性、简捷性、层次性、客观性、科学性等。综合评价方法的种类很多，应根据复杂系统自身构造原理和特点，并结合各种评价方法的优缺点和适用范围，采取合适的综合评价方法对复杂系统或子系统的健康状态进行综合性能评价。

综上所述，针对起重机械这一复杂系统，由于缺乏对系统健康状况的深层次理论分析与应用研究，导致当前复杂系统健康监测技术水平总体上仍处于起步阶段，仅体现在部分检测和监测功能的局部实现，这与现代意义上的健康监测理念相差甚远。因此，开展起重机械健康监测系统理论和应用研究，不仅可以保证系统或子系统健康状态的现有基本功能，还可在检测和监测基础上进行必要的安全性健康评估，甚至是系统的长期综合性能预测。

#### 7. 研究展望

起重机械结构应力健康监测安全评估系统的最根本目的是要实现起重机械金属结构应力的长期健康监测安全评估，从而对起重机械的运作进行实时控制处理。因此，应该说本文只是做了其中的一小部分，完成了数据的采集和数据的处理，通过对数据进行简单的分析显示，达到了一定的安全评估作用，但整个系统中还有许多的工作需要做，主要包括以下几个方面对起重机械进行多个通道长期健康监测的过程中，一定会采集到大量的应力应变数据，对于这些数据的筛选和充分利用本文做得并不够。这么大量的数据的存储本身一个值得研究和讨论的问题，可以考虑选择性的存储一些有代表性的数据，这样既不会占用大量的硬盘空间，又能保存许多有价值的信息，为起重机械的故障诊断和寿命估算提供依据。针对健康监测安全评估系统，其中所采用的专家系统结构

非常简易,还有许多方面需要进一步深化。首先要对金属结构设定安全报警值,必须结合设备的具体作业情况来进行相应的设定。同时,对数据的分析还只是停留在数值上的比较,需要对数据进行更深层次的分析,找出数据之间的相互关系和变化规律,更正确更及时的预判出可能出现的状况,从而保证设备的安全运行如果要实现实时在线监控,工控机和之间的通讯是必须要考虑的问题。工控机在对动态应变仪采集上来的数据进行分析处理并判断有故障发生的时候,必须通知进行预警和保护操作,这些工作可以通过串口和通讯并改写对应的寄存器里的数据来实现本系统经过日后的不断完善和改进之后,要实现科学研究和市场产业相结合,降低成本是首要问题。

#### 结语

对于起重机械来说,传动、控制、电气等机构属于可更换部件,达到寿命极限后可以及时更换,从而避免事故的发生;而金属结构属于不可更换部件,如果遭到十分恶劣的破坏,则整台机械设备都将意味着报废,甚至会突然发生安全事故。所以,对造船起重机的金属结构实行安全监测,及时对其进行维护保养,使其维持在较为良好的工作状态中,以及对减少因为机械设备金属结构的失效造成的人员伤亡以及重大财产损失,都具有十分重大的意义。

#### 参考文献:

[1] 柯涛. 基于专家知识库的港口门座起重机金属结构安全性评估系统 [D]. 武汉理工硕士论文, 2012:1.

[2] 汪静. 起重机安全监测与控制系统设计 [D]. 东北大学硕士论文, 2010:1.

[3] Cranes Safe use ISO 10972-4:2007. Part 4: Jib cranes:1-8.

[4] 徐敏. 我国设备故障诊断技术发展简史与

未来 [C]. 第五届全国机械设备故障诊断学术会议论文集, 1996:9-10.

[5] Caloyannides, Michael A., Online Monitoring Security or Socim Control [J]. IEEE Security and Privacy, Jan., 2004.01.2, No.1:81-83.

[6] 梁磊. 光纤光栅智能材料与结构理论和应用研究 [D]. 武汉理工大学博士论文, 2005:3-5.

[7] 起重机对机构的要求 GB/T24809.4-2009. 第四部分: 臂架起重机:1-8.

[8] 陈文. 基线监测的门座式起重机维修决策支持系统研究 [D]. 武汉理工硕士论文, 2011:1.

[9] 起重机状态监控 GB/T25196.1-2010. GB/T25196.1-2010 第1部分: 总则:1-7.

[10] 起重机安全章程 GB6067.1-2010. 第一部分第三小节金属结构:10-15.

[11] 徐敏. 欧美大型旋转机械监测技术发展状况与评述 [C]. 第四届全国机械设备故障诊断学术会议论文集, 1994:7-11.

[12] 张浩, 吴启迪. 制造企业远程服务与远程工程支持系统 [M]. 上海: 同济大学出版社, 2002:45-50.

[13] 张华, 张志胜等. 设备育成监控系统设计与实现 [J]. 中国制造业信息化, 2008.13:46-48.

[14] 徐志刚. 港口大型机械金属结构应力在线检测与专家诊断系统研究 [D]. 武汉理工大学博士论文, 2008:4-5.

[15] MATSUZAKI YUJI. Smart Structures Research in Japan Review Article [J]. J. Smart Materials and Structures, 1997:1-10.

[16] 刘小贞. 起重机应力状态监测无线检测系统的设计与实现 [J]. 煤矿机械, 2007:3-4.

# 电站锅炉低温过热器、省煤器焊接质量缺陷分析与防控

牛庆良 华电电科院

**摘要：**监造某电厂正在建设的2台660MW超超临界火电机组时，发现1号、2号机组锅炉设备的低温过热器集箱管座角焊缝、吊耳角焊缝存在多处裂纹，材质均为12Cr1MoVG。作者对12Cr1MoVG材质集箱管座制作过程中的焊接、检验和热处理等工作特点展开论述，分析了产生裂纹的原因，制订了监造与检验的控制点。针对监造过程中发现的管座角焊缝裂纹问题，进行了简要分析。最后提出了针对性的优化焊接工艺，为确保锅炉集箱监造工作的质量提供参考。

**关键词：**12Cr1MoVG；监造工艺；冷裂纹

## 1. 前言

12Cr1MoVG材料是电站锅炉制造业用量最大的低合金耐热钢，其组织结构稳定且具有较高的持久强度。主要用于制作高压锅炉壁温580℃的过热器管以及管温≤570℃的集箱管、蒸汽导管和主蒸汽管等。虽然12Cr1MoVG钢属于珠光体耐热钢，焊接性能良好，在高温下具有化学稳定性和足够的抗蠕变性能及持久强度，但在一定条件下也具有一定的裂纹倾向。Cr、Mo均为碳化物的形成元素，有析出强化作用，随着含量增大，再热裂纹倾向增大。若预热温度偏低、焊接线能量偏大、焊缝强度偏高以及焊后热处理不规范的影响极易形成再热裂纹。

监造某电厂正在建设的2台660MW超超临界火电机组时，发现1号、2号机组锅炉设备的低温过热器集箱管座角焊缝、吊耳角焊缝存在多处裂纹，材质均为12Cr1MoVG。鉴于出现的问题，笔者和制造厂一同分析了裂纹产生原因，提出了针对性的优化焊接工艺和科学合理的返修工艺。鉴于此次监造的经验，笔者从编制焊接工艺到施工过程中，制造了一系列重要的检验和控制节点，使其应用到实际加工制造中，防止类似事件发生。

## 2. 焊接缺陷

山西省某电厂锅炉管道在制造过程中出现低温过热器进口集箱、省煤器出口集箱管座角焊缝缺陷的严重质量问题。

1) 1号锅炉低过侧省煤器出口集箱(前)(Φ324×68、SA106C)共检查了300个省煤器出口管(Φ44.5×7、SA210-C)和67个悬吊管(Φ70×12、SA210-C)管座角焊缝，其中分别发现223个省煤器出口管和31个悬吊管管座角焊缝存在不同程度的表面裂纹类缺陷，不合格率分别达86.62%、51.17%；裂纹出现在管座角焊缝集箱侧熔合线上，长度约5~14mm，经对部分裂纹类缺陷打磨后确认，裂纹深度约1~4mm，缺陷宏观形貌如图1、图2所示。

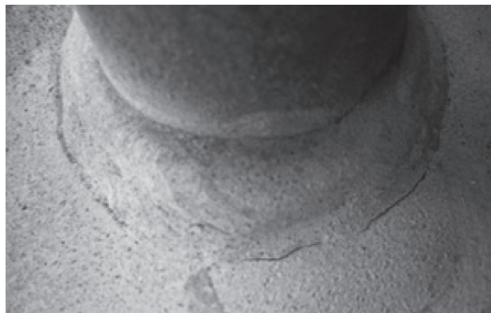


图1 缺陷形貌



图2 缺陷打磨后形貌

2) 1号锅炉低过侧省煤器出口集箱(后) ( $\Phi 324 \times 68$ 、SA106C)共检查了300个省煤器出口管( $\Phi 44.5 \times 7$ 、SA210-C)、66个悬吊管( $\Phi 70 \times 12$ 、SA210-C)、2个手孔( $\Phi 90 \times 15$ 、SA105)管座角焊缝和26个吊耳(12Cr1MoV)角焊缝,其中分别发现182个省煤器出口管、64个悬吊管、6个吊耳角焊缝管座角焊缝存在不同程度的表面裂纹类缺陷,不合格率分别达65.33%、95.52%、23.08%;裂纹均出现在管座角焊缝集箱侧熔合线位置,长度最长超过150mm,经对部分裂纹类缺陷打磨后确认,裂纹深度最大达8mm,缺陷宏观形貌如图3、图4所示。

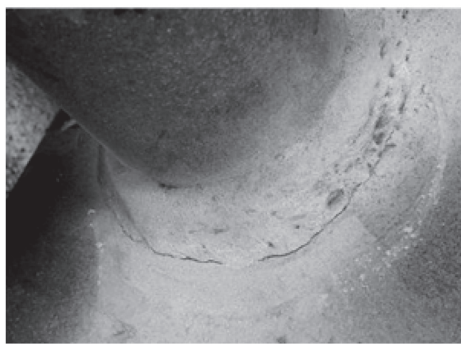


图3 缺陷形貌



图4 缺陷打磨后形貌

3) 1号炉低过进口集箱( $\Phi 457 \times 80$ 、12Cr1MoVG)共804个低过进口管( $\Phi 51 \times 7$ 、12Cr1MoVG)、2个手孔( $\Phi 90 \times 15$ 、12Cr1MoV),检查发现174个进口管管座和2个手孔管座角焊缝存在不同程度缺陷,不合格率分别为21.64%、100%。低过进口管管座角焊缝打磨最深约5mm,需补焊管座约70个;2个手孔管座角焊缝存在集箱侧熔合线裂纹,裂纹长度均约200mm,打磨最深度约8mm。

4) 2号锅炉省煤器悬吊管出口集箱( $\Phi 406 \times 65$ 、SA106C)共检查了134个悬吊管( $\Phi 70 \times 12$ 、SA210C)、2个手孔( $\Phi 95 \times 17.5$ 、SA105)和1个排空管( $\Phi 35 \times 8$ 、15CrMo)管座角焊缝,发现119个悬吊管和2个手孔管座角焊缝存在不同程度的表面裂纹类缺陷,不合格率分别达88.81%、100%,裂纹均出现在管座角焊缝集箱侧熔合线位置,长度最长超过100mm,缺陷宏观形貌如图5、图6所示。

2号锅炉共有10个106C材质集箱,其中省煤器集箱6个、4个水冷壁集箱。目前已完成3个省煤器集箱管座角焊缝检查,不合格率超过80%;其它3个省煤器集箱尚开始未生产;4个水冷壁集箱尚未检查。

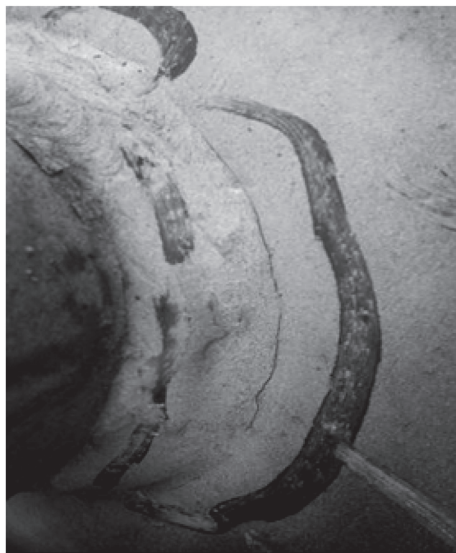


图5 悬吊管管座角焊缝裂纹形貌1

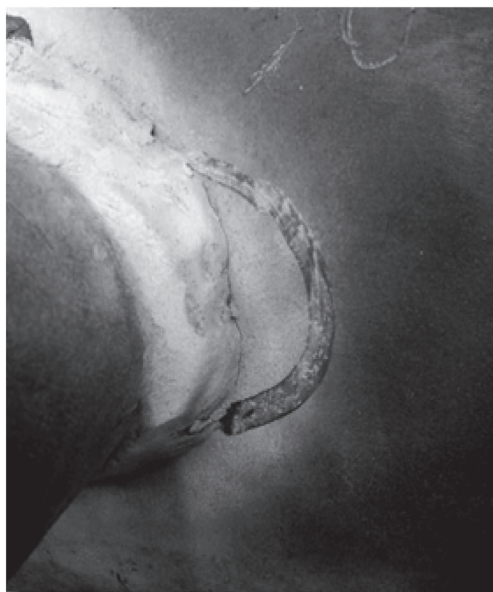


图6 悬吊管管座角焊缝裂纹形貌2

### 3. 制造厂缺陷原因分析

制造厂第一次对省煤器集箱（材料为SA106C）管座（材料为SA210C）角焊缝进行金相检查，焊缝组织为网状铁素体+贝氏体组织；母材组织为铁素体+珠光体组织；裂纹两侧有淬硬的马氏体，金相图片如图7-8所示。从金相组织可知，焊缝组织存在网状铁素体，且裂纹焊缝组织存在淬硬的马氏体组织，焊缝组织异常。

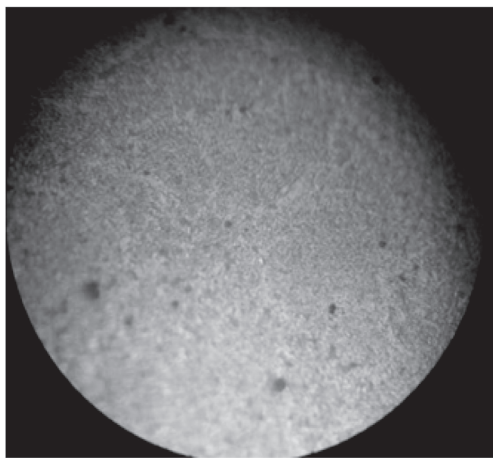


图7 焊缝组织 400×

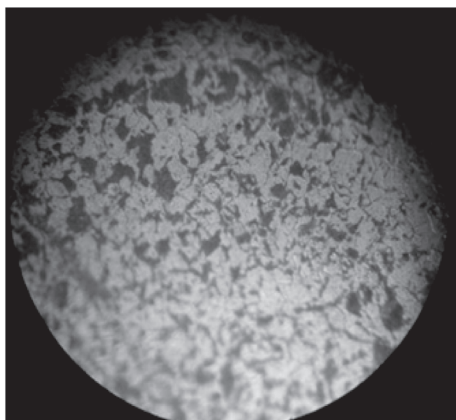


图8 母材组织 400×

1) 由于管接头及集箱本体材质均为12Cr1MoVG，该材质有冷裂纹倾向，而SA-106C，这种C-Mn固溶强化为主的钢材，其碳、锰含量较高（ASME标准要求碳含量 $\leq 0.35$ ），没有预热，且没有立即消氢处理，而产生的冷裂纹。

2) 从目前在制造现场及安装现场检查情况看，裂纹产生可能性较大的主要原因为工艺不正确，热处理工艺与规程严重不符，焊接过程中采用焊条直径偏大（最大焊条直径为5mm），热输入量大，且无预热及后热处理，单个管座角焊缝焊完后到焊后热处理之间停留时间过长，未及时采取后热处理及整体焊后热处理，造成焊后冷裂纹产生。

3) 制造厂（分包厂）应根据自身制造设备、人员等状况，重新进行焊接工艺评定，以确保焊接工艺正确性，并完善好质量体系文件，加强焊工、热处理及无损检测等特种作业人员管理与培训，严格执行有关规程规范要求，加强制造及检验过程控制，杜绝此类问题再次发生。

4) 焊接、热处理工艺为最关键，应该包含：  
 ①应采用小能量焊接方式，严格控制热输入量，焊条选择应小于4mm，对于管壁厚小于4.5mm的，建议采用3.2mm以下的焊条；  
 ②严格按规程制定热处理工艺，焊前预热温度为200~300℃，采用电加热方式，且控制好层间温度，在整个集箱焊接过程中，均要保持200~300℃状态，焊后立即进行消氢处理，整体焊完后，立即进行焊后热处理，热处理过程中严格控制升降速度，一般在300℃以下才可以不控制降温速度；  
 ③加强焊

接过程控制，确保正确的工艺执行到位。

#### 4. 焊接工艺控制

在焊接施工前，监造人员再次审核焊接工艺，检查电工资质，确保准确无误。焊接过程中严格控制人为因素带来的操作不当。值得注意的是焊接中常见缺陷一般是人为操作不当造成的。

##### 4.1 焊接工艺参数

合理的焊接工艺参数是保证焊接质量的关键。当焊接速度过快易造成未熔合、焊缝成形不良等缺陷；过慢会造成焊缝力学性能降低，变形量大，产生热裂纹。当焊接电流过小会造成未焊透、夹渣及焊缝成形不良等缺陷，过大会产生咬边、焊穿、增加焊件变形和热裂纹等缺陷，同时会使焊接接头的组织由于过热而发生变化。当焊接电压过低会有粘连母材的倾向，过高会使得电弧现象明显增加，飞溅增大。

监造检查办法：对焊接过程实行旁站，严格控制控制焊接设备上的焊接参数数据（电流、电压），如焊接电流、焊接电压、焊接速度、气体流量等。

##### 4.2 焊材选择

在选择焊接材料时，要求焊材性能同母材匹配，合金元素含量与母材相当，碳、硫、磷等有害杂质元素的含量低于母材含量，采用低氢型碱性焊条。采用手工钨极氩弧焊打底，手工电弧焊填充和盖面的焊接工艺方法。焊接时，对打底焊缝的质量要求较高，要求焊缝熔透、背面平整无缺陷，背面无渣或少渣。

焊前检查主要包括焊缝清洁和坡口形状两个方面。焊缝清洁要求保证母材的焊接坡口及两侧30mm~50mm范围内，彻底清除氧化皮、熔渣、锈、油、灰尘、水分等影响焊接质量的杂质。坡口检查项目为间隙、错边，坡口形状控制按设计进行，设计没有明确要求的按一般按坡口角度 $35^{\circ}$ ~ $45^{\circ}$ 、间隙5mm~8mm检查；焊缝错边控制在2mm~3mm以内。

##### 4.3 焊前预热

由于焊接过程是一个局部的不均匀加热、冷

却过程，受焊缝及其近缝区温度场的影响，焊件内部会出现大小不等、分布不均匀的残余应力应变场。预热的目的是减慢冷却速度，避免产生硬脆的马氏体组织，也可以减少因马氏体转变而产生的组织应力，并减少焊缝金属周围金属的温差而减少热应力，特别是降低近缝区的应力峰值。

12Cr1MoVG钢焊接前预热温度为200~300℃，预热区域以焊缝为中心，两侧至少为100mm。当采用钨极氩弧焊打底时，可按下限温度降低50℃。在整个焊接过程中，应保持层间温度不低于预热温度。众多预热方式中，由于火焰烧烤受热不均匀，所以不推荐使用该方法。

焊条按规范350℃保温2h烘干，随炉冷到150℃放入保温筒，随用随取。预热升温应缓慢均匀，防止局部过热。焊条潮湿也是焊后出现气孔、冷裂纹的重要原因之一。监造验收方法：预热温度测量用红外测温枪进行测量，测量时应距焊缝两侧各75mm。

##### 4.4 焊接手法

焊接过程严格执行多道多层、窄焊道薄焊层的焊接方法；严格控制焊枪摆动幅度，严禁摆宽道施焊，严禁焊接前随意引弧，避免造成应力集中。当焊缝的焊接量较大时，应采取两人或多人对称焊接，防止因焊缝局部收缩后引起构件变形。

焊接过程中，氩弧焊打底时，管内不得有穿堂风；厚壁大经管氩弧焊打底的焊层厚度不小于3mm。经检查合格后，应及时进行次层的焊接，以防止产生裂纹。

##### 4.5 层间温度控制

焊接时层间温度的控制是为了防止焊缝区域出现多次热应变，形成残余应力对焊缝质量不利，并可促使扩散氢逸出焊接区，防止冷裂纹产生。层间温度应等于或略高于预热温度需预热的构件。

监造检查办法：施焊过程中，层间温度应不低于规定的预热温度的下限，且不高于400℃。同一焊缝应连续施焊，力求一次完成，不能一次完成的焊缝应注意焊后的缓冷，再次焊接前必须重新进行预热。



#### 4.6 焊后消氢

每道焊缝焊接工作结束后, 必须立即进行消氢热处理。消氢热处理温度为 250~350℃, 保温时间为 30 分钟。保温工作结束后, 用硅酸铝板将其部位包裹采取缓冷措施。如果受条件限制不能马上进行热处理, 应将焊接接头用石棉布包好, 使其缓冷。本次监造过程中, 制造厂存在部分批次的焊接接头施焊前预热温度不够, 且焊后未及时消氢热处理造成的冷裂纹, 如图 9 所示。

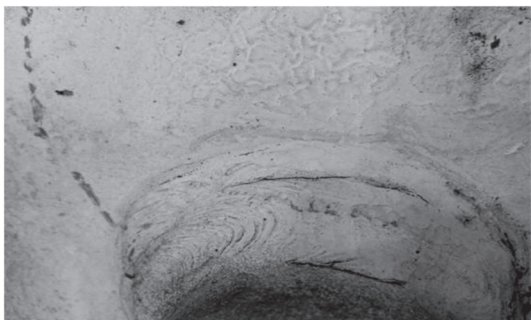


图 9 冷裂纹

### 5. 焊后热处理

#### 5.1 热处理工序

珠光体耐热钢的焊接接头一般要进行焊后热处理。热处理的目的是为了改善焊接接头及热影响区的组织和性能, 消除残余内应力, 避免在运行中因内应力过大而产生裂纹, 同时热处理能加快接头中扩散氢的溢出, 避免产生冷裂纹。

12Cr1MoVG 珠光体耐热钢厚壁管在材质、拘束条件等因素影响下, 在焊后并未出现裂纹, 而是在焊后热处理过程中有时会产生再热裂纹, 它有一个敏感的温度区, 一般在 500~700℃, 600℃左右最为敏感, 增加 480℃左右中间回火处理, 提升 500 ~ 700℃范围的加热速度, 保温设定在 720 ~ 740℃, 保温时间宜根据壁厚适当延长。

监造检查办法: 对热处理过程实行旁站, 严格控制控制焊接设备上的焊后热处理工艺参数的保温宽度、加热范围、加热速率、恒温温度、恒温时间、降温速率等状态量。

#### 5.2 热处理质量检查

##### (1) 热处理质量检查

热处理质量检查包括硬度试验、金相检验、

焊缝金属光谱分析、无损检测等。硬度试验的合格标准可按照产品技术条件有关规定, 一般焊缝和热影响区的硬度应不低于母材硬度值的 90%, 不超过母材布氏硬度加 100HB。金相检验的合格标准为无裂纹、无过烧组织、无淬硬性马氏体组织及高合金钢无网状析出物和网状组织。对焊缝金属按照 DL/T991 进行光谱分析复检, 若发现材质不符, 则应对该批焊缝进行 100% 复查。

##### (2) 不合格焊接接头处理

经评价为焊接热处理温度或时间不够的焊口, 应重新进行热处理。有超过标准规定, 需要补焊消除的缺陷时, 可采取挖补方式返修。但同一位置上的挖补次数不宜超过二次。

### 6. 结语

针对监造过程中出现的冷裂纹、未熔合等焊接缺陷, 笔者分析了缺陷产生原因并总结了一系列的监造控制节点和检验节点。对易造成缺陷的关键步骤, 做到严格控制焊材质量和焊前预热工艺, 对焊接参数和焊工手法实施旁站监督, 严格控制消氢处理和热处理工艺。对防止同类集箱管接头裂纹的产生以及提升电厂设备的制造质量提供了保证。

#### 参考文献:

- [1] 姜求志, 王金瑞. 火力发电厂金属材料手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2000.
- [2] JB/T4730. 承压设备无损检测 [S]. 北京: 国家发展和改革委员会, 2005.
- [3] DL/T821. 钢制承压管道对接焊接接头射线检验技术规范 [S]. 北京: 电力行业电站焊接标准化技术委员会, 2002.
- [4] 刘学迅. 调峰机组集汽集箱管座及支座开裂的原因分析及处理 [J]. 发电设备, 2006, 20(4): 243-245.
- [5] GB5310. 高压锅炉用无缝钢管 [S]. 北京: 国家质量监督检验检疫总局, 2008.
- [6] 周波, 崔润炯, 郭元蓉等. 12Cr1MoVG 钢大直径厚壁锅炉钢管的热处理工艺优化 [J]. 钢管, 2001, 2(1): 34-38.

# 各种换热器介绍

## 一、概述

换热器(heatexchanger),是将热流体的部分热量传递给冷流体的设备,又称热交换器。换热器在化工、石油、动力、食品及其它许多工业生产中占有重要地位,其在化工生产中换热器可作为加热器、冷却器、冷凝器、蒸发器和再沸器等,应用广泛。

## 二、分类

适用于不同介质、不同工况、不同温度、不同压力的换热器,结构型式也不同,换热器的具体分类如下:

### 1、按传热原理分类

#### (1) 间壁式换热器

间壁式换热器是温度不同的两种流体在被壁面分开的空间里流动,通过壁面的导热和流体在壁表面对流,两种流体之间进行换热。间壁式换热器有管壳式、套管式和其他型式的换热器。间壁式换热器是目前应用最为广泛的换热器。

#### (2) 蓄热式换热器

蓄热式换热器通过固体物质构成的蓄热体,把热量从高温流体传递给低温流体,热介质先通过加热固体物质达到一定温度后,冷介质再通过固体物质被加热,使之达到热量传递的目的。蓄热式换热器有旋转式、阀门切换式等。

#### (3) 流体连接间接式换热器

流体连接间接式换热器,是把两个表面式换热器由在其中循环的热载体连接起来的换热器,热载体在高温流体换热器和低温流体之间循环,在高温流体接受热量,在低温流体换热器把热量

释放给低温流体。

#### (4) 直接接触式换热器

又被称为混合式换热器,这种换热器是两种流体直接接触,彼此混合进行换热的设备,例如,冷水塔、气体冷凝器等。

#### (5) 复式换热器

兼有汽水面式间接换热及水水直接混流换热两种换热方式的设备。同汽水面式间接换热相比,具有更高的换热效率;同汽水直接混合换热相比具有较高的稳定性及较低的机组噪音。

## 2、按用途分类

### (1) 加热器

加热器是把流体加热到必要的温度,但加热流体没有发生相的变化。

### (2) 预热器

预热器预先加热流体,为工序操作提供标准的工艺参数。

### (3) 过热器

过热器用于把流体(工艺气或蒸汽)加热到过热状态。

### (4) 蒸发器

蒸发器用于加热流体,达到沸点以上温度,使其流体蒸发,一般有相的变化。

## 3、按结构分类

可分为:浮头式换热器、固定管板式换热器、U形管板换热器、板式换热器等。

## 三、各式工作原理图

各种换热器的工作原理图如下:

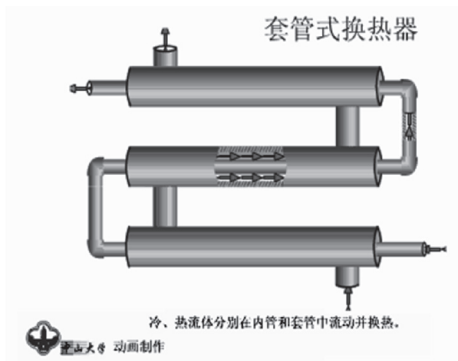


图1 套管式换热器

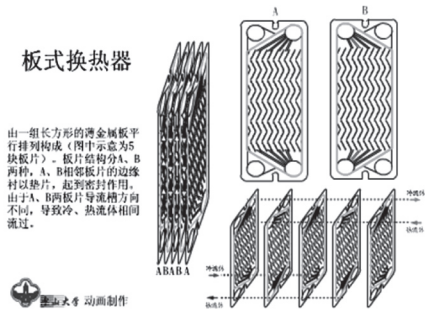


图5 板式换热器

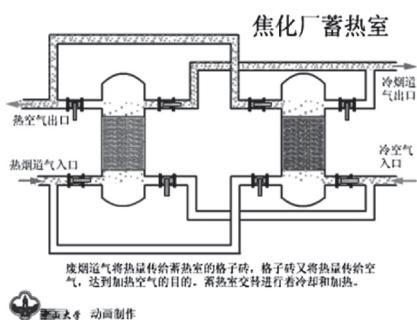


图2 焦化厂蓄热室

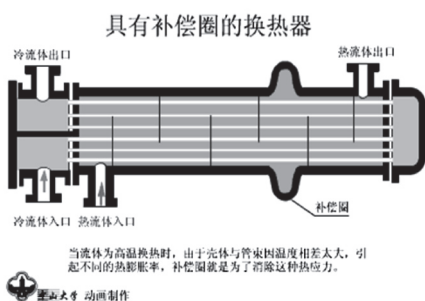


图6 具有补偿圈的换热器

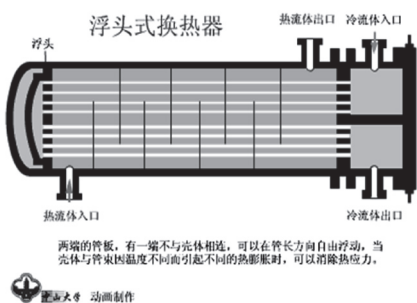


图3 浮头式换热器

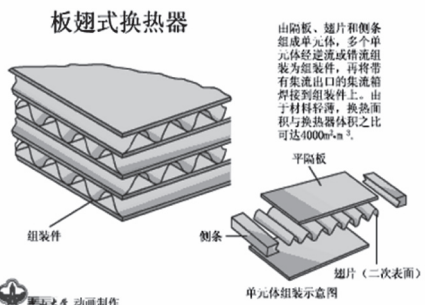


图7 板翅式换热器

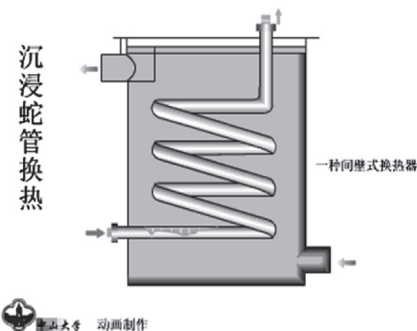


图4 沉浸蛇管换热

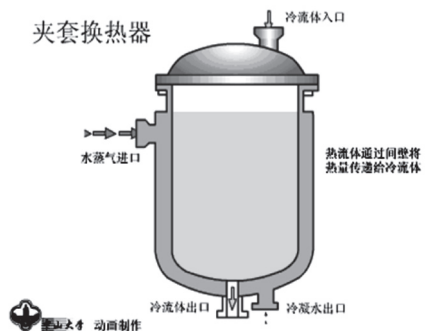


图8 夹套换热器

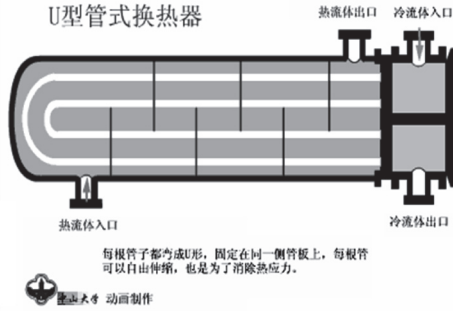


图9 U型管式换热器

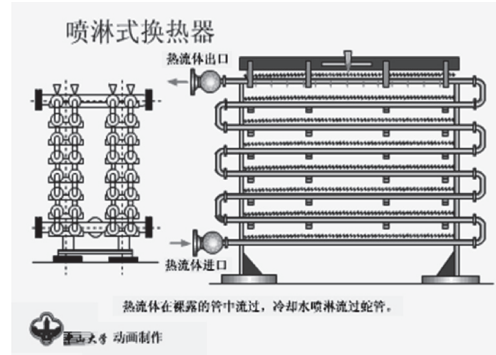


图13 喷淋式换热器

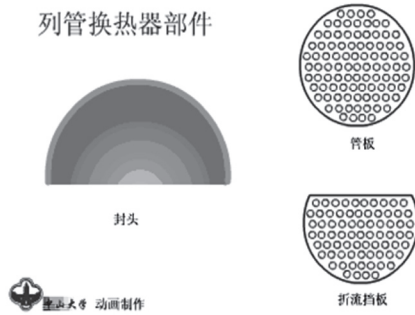


图10 列管换热器部件

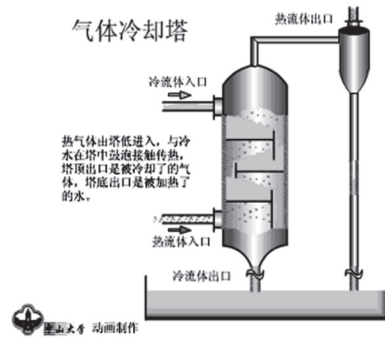


图14 气体冷却塔

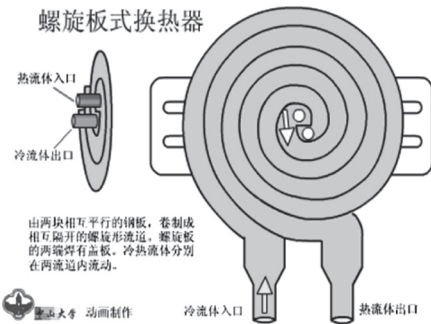


图11 螺旋板式换热器

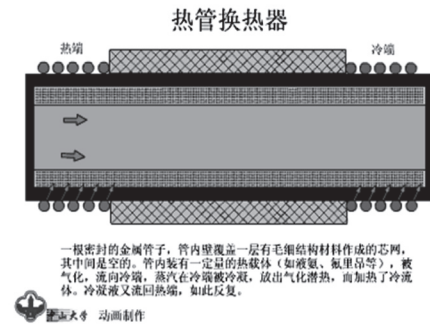


图15 热管换热器

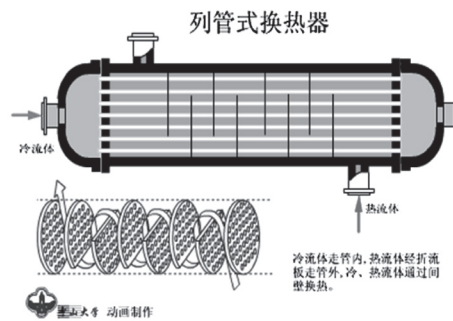


图12 列管式换热器

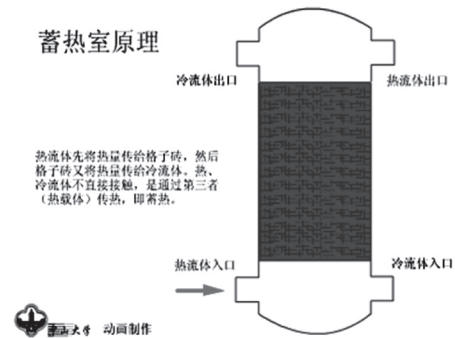
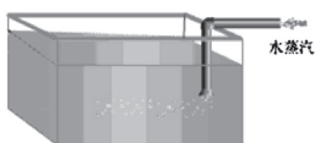


图16 蓄热室原理

### 浴室温水加热



将水蒸汽直接通入浴水池中，水蒸汽放出冷凝潜热，直接传给冷水。是一种直接混合式换热器，旧时澡堂常用此法。



图 17 浴室温水加热

## 四、行业状况

### 1、概述

换热器在石油、化工、轻工、制药、能源等工业生产中，常常用作把低温流体加热或者把高温流体冷却，把液体汽化成蒸汽或者把蒸汽冷凝成液体。

换热器既可是一种单元设备，如加热器、冷却器和凝汽器等；也可是某一工艺设备的组成部分，如氨合成塔内的换热器。

换热器是化工生产中重要的单元设备，根据统计，热交换器的吨位约占整个工艺设备的 20% 有的甚至高达 30%，其重要性可想而知。

### 2、管壳式

管壳式换热器是一个量大而品种繁多的产品，迫切需要新的耐磨损、耐腐蚀、高强度材料。见图 18。

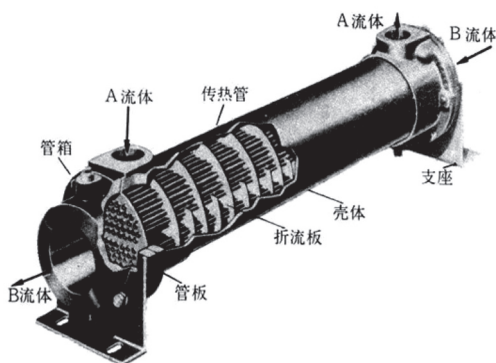


图 18 管壳式换热器

我国在发展不锈钢铜合金复合材料、铝镁合金及碳化硅等非金属材料等方面都有不同程度的进展，其中尤以钛材发展较快。

钛对海水、氯碱、醋酸等有良好的抗腐蚀能力，如再强化传热，效果将更好，一些制造单位已较好的掌握了钛材的加工制造技术。

对材料的喷涂，我国已从国外引进生产线。铝镁合金具有较高的抗腐蚀性和导热性，价格比钛材便宜，应予注意。

国内在节能增效等方面改进换热器性能，提高传热效率，减少传热面积降低压降，提高装置热强度等方面的研究取得了显著成绩。

换热器的大量使用有效的提高了能源的利用率，使企业成本降低，效益提高。

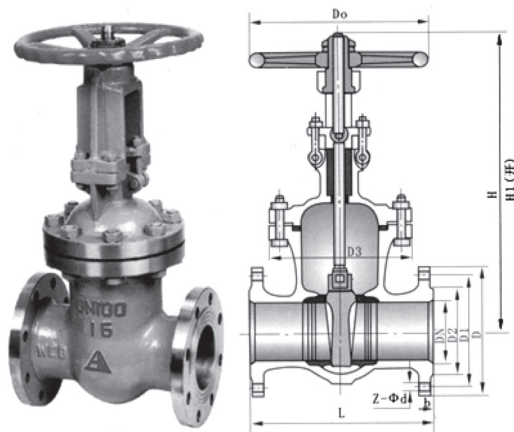
来源：石化缘科技咨询



# 闸阀、蝶阀、球阀、截止阀和旋塞阀的 优缺点分析

## 1 闸阀

闸阀是指关闭件(闸板)沿通道轴线的垂直方向移动的阀门,在管路上主要作为切断介质用,即全开或全关使用。一般,闸阀不可作为调节流量使用。它可以适用低温压也可以适用于高温高压,并可根据阀门的不同材质。但闸阀一般不用于输送泥浆等介质的管路中。



优点:

- ①流体阻力小;
- ②启、闭所需力矩较小;
- ③可以使用在介质向两方向流动的环网管路上,也就是说介质的流向不受限制;
- ④全开时,密封面受工作介质的冲蚀比截止阀小;
- ⑤形体结构比较简单,制造工艺性较好;
- ⑥结构长度比较短。

缺点:

①外形尺寸和开启高度较大,所需安装的空间亦较大;

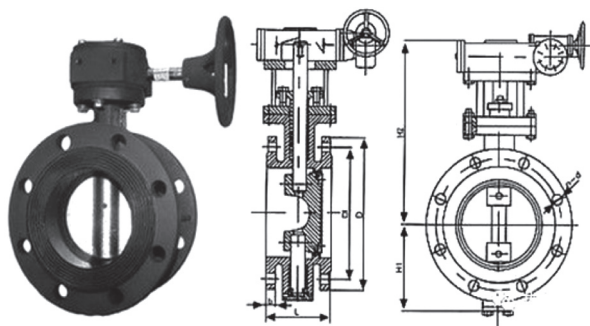
②在启闭过程中,密封面人相对摩擦,磨损较大,甚至要在高温时容易引起擦伤现象;

③一般闸阀都有两个密封面,给给加工、研磨和维修增加了一些困难;

④启闭时间长。

## 2 蝶阀

蝶阀是用圆盘式启闭件往复回转 90° 左右来开启、关闭和调节流体通道的一种阀门。



优点:

- ①结构简单,体积小,重量轻,耗材省,别用于大口径阀门中;
- ②启闭迅速,流阻小;
- ③可用于带悬浮固体颗粒的介质,依据密封面的强度也可用于粉状和颗粒状介质。可适用于通风除尘管路的双向启闭及调节,广泛用于冶金、轻工、电力、石油化工系统的煤气管道及水道等。

缺点:

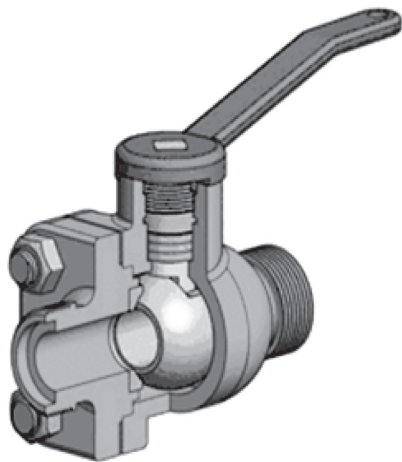
①流量调节范围不大，当开启达 30% 时，流量就将进 95% 以上；

②由于蝶阀的结构和密封材料的限制，不宜用于高温、高压的管路系统中。一般工作温度在 300℃ 以下，PN40 以下；

③密封性能相对于球阀、截止阀较差，故用于密封要求不是很高的地方。

### 3 球阀

球阀是由旋塞阀演变而来，它的启闭件是一个球体，利用球体绕阀杆的轴线旋转 90° 实现开启和关闭的目的。球阀在管道上主要用于切断、分配和改变介质流动方向，设计成 V 形开口的球阀还具有良好的流量调节功能。



优点：

- ①具有最低的流阻 ( 实际为 0)；
- ②因在工作时不会卡住 ( 在无润滑剂时 )，故能可靠地应用于腐蚀性介质和低沸点液体中；
- ③在较大的压力和温度范围内，能实现完全密封；
- ④可实现快速启闭，某些结构的启闭时间仅为 0.05~0.1s，以保证能用于试验台的自动化系统中。快速启闭阀门时，操作无冲击；
- ⑤球形关闭件能在边界位置上自动定位；
- ⑥工作介质在双面上密封可靠；
- ⑦在全开和全闭时，球体和阀座的密封面与

介质隔离，因此高速通过阀门的介质不会引起密封面的侵蚀；

⑧结构紧凑、重量轻，可以认为它是用于低温介质系统的最合理的阀门结构；

⑨阀体对称，尤其是焊接阀体结构，能很好地承受来自管道的应力；

⑩关闭件能承受关闭时的高压差。(11)全焊接阀体的球阀，可以直埋于地下，使阀门内件不受浸蚀，最高使用寿命可达 30 年，是石油、天然气管线最理想的阀门。

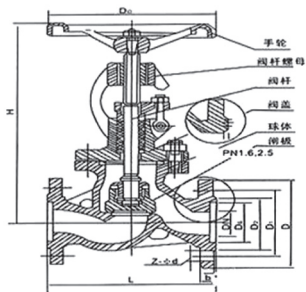
缺点：

①因为球阀最主要的阀座密封圈材料是聚四氟乙烯，它对几乎所有的化学物质都有是惰性的，且具有摩擦系数小、性能稳定、不易老化、温度适用范围广和密封性能优良的综合性特点。但聚四氟乙烯的物理特性，包括较高的膨胀系数，对冷流的敏感性和不良的热传导性，要求阀座密封的设计必须围绕这些特性进行。所以，当密封材料变硬时，密封的可靠性就受到破坏。而且，聚四氟乙烯的耐高温等级较低，只能在小于 180℃ 情况下使用。超过此温度，密封材料就会老化。而考虑长期使用的情况下，一般只会在 120℃ 不使用。

②它的调节性能相对于截止阀要差一些，尤其是气动阀 ( 或电动阀 )。

### 4 截止阀

截止阀：是指关闭件 ( 阀瓣 ) 沿阀座中心线移动的阀门。根据阀瓣的这种移动形式，阀座通口的变化是与阀瓣行程成正比例关系。由于该类阀门的阀杆开启或关闭行程相对较短，而且具有非常可靠的切断功能，又由于阀座通口的变化与阀瓣的行程成正比例关系，非常适合于对流量的调节。因此，这种类型的阀门非常迁合作为切断或调节以及节流用。



优点:

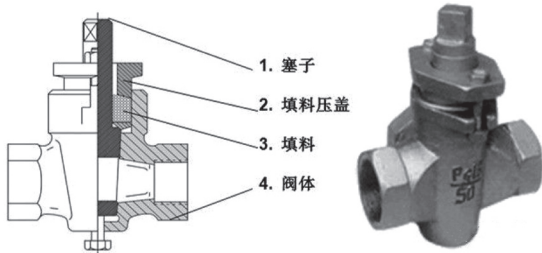
- ①在开启和关闭过程中，由于阀瓣与阀体密封面间的磨擦力比闸阀小，因而耐磨。
- ②开启高度一般仅为阀座通道的 1/4，因此比闸阀小得多；
- ③通常在阀体和阀瓣上只有一个密封面，因而制造工艺性比较好，便于维修；
- ④由于其填料一般为石棉与石墨的混合物，故耐温等级较高。一般蒸汽阀门都用截止阀。

缺点:

- ①由于介质通过阀门的流动方向发生了变化，因此截止阀的最小流阻也较高于大多数其他类型的阀门；
- ②由于行程较长，开启速度较球阀慢。

### 5 旋塞阀

旋塞阀：是指关闭件成柱塞形的旋转阀，通过 90° 的旋转使阀塞上的通道口与阀体上的通道口相通或分开，实现开启或关闭的一种阀门。阀塞的形状可成圆柱形或圆锥形。其原理与球阀基本相似，球阀是在旋塞阀的基础上发展起来的，其主要用于油田开采，同时也用于石油化工。



优点:

- ①用于经常操作，启闭迅速、轻便。
- ②流体阻力小。
- ③简单，相对体积小，重量轻，便于维修。
- ④封性能好。
- ⑤受安装方向的限制，介质的流向可任意。
- ⑥无振动，噪声小。

缺点:

- ①封面过大，从而造成扭矩太大，不够灵活。
- ②身重量影响，口径大小有限。
- ③实际使用中，如果用到大尺寸阀门，就必须使用倒旋塞结构，容易影响密封效果。

来源：承压设备设计众包平台

