

# 机械设备安全学

王时龙 周 杰 康 玲 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

# 机械设备安全学

王时龙 周 杰 康 玲 主编



中国电力出版社

[www.cepp.com.cn](http://www.cepp.com.cn)

本书介绍了机械设备尤其是特种设备的基础知识和安全管理及技术的相关知识。全书共七章，第一章为一般机械设备安全知识，其余六章讲解了特种设备基本组成、工作原理和安全知识，包括涉及生命安全，危险性较大的压力容器、压力管道、锅炉、电梯、起重机械、客运索道和大型游乐设施等方面。

本书内容全面，注重结合工程实际，符合国家对安全管理提出的新要求，满足注册安全工程师执业资格认证应具备的知识和能力，为机械设备尤其是特种设备的安全使用提供理论指导。

本书主要作为高等学校安全工程专业的教材使用，也可作为其他相关专业教材以及安全技术和管理人员的培训材料和自学参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

机械设备安全学/王时龙，周杰，康玲主编. —北京：中国电力出版社，2008

ISBN 978-7-5083-6850-4

I. 机… II. ①王…②周…③康… III. 机械设备-安全技术 IV. TH188

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 017760 号

中国电力出版社出版发行

北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>

责任编辑：高 军 责任印制：陈焊彬 责任校对：朱丽芳

北京市铁成印刷厂印刷·各地新华书店经售

2008 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16·16 印张·400 千字

定价：38.00 元

### 敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

本社购书热线电话 (010-88386685)

# 前 言

安全生产工作事关重大，关系着经济建设的健康发展和人民群众的生命安危。机械设备尤其是特种设备安全是整个安全生产工作中的重要组成部分，直接关系到广大人民群众的生命和财产安全。按照我国科学发展观的要求和构建和谐社会的目标，目前机械设备安全形势依然严峻。根据安全生产管理面临的新形式，安全管理与国际接轨而出现的新环境、新问题和新特点，国家对安全管理工作提出了新的要求，并推行注册安全工程师执业资格制度。

为了适应国家对安全管理提出的新要求，加强对安全工程技术人员的培养，本书编者参考了大量的国内外有关教材、专著、案例和其他文献资料，汇集国内外生产安全的知识和经验，结合生产实践，编写了《机械设备安全学》。

全书遵循国务院第 373 号令颁布的《特种设备安全检查条例》和相关技术、管理规范，注重结合工程实际，介绍了机械设备尤其是特种设备的基本组成、原理、安全管理和安全事故案例等方面知识。各章节编写力图全面、简洁和条理化，重点、难点突出。全书共七章，第一章为一般机械设备安全知识，其余六章讲解了特种设备的工作原理和安全知识，内容涵盖了涉及生命安全，危险性较大的锅炉、压力容器、压力管道、电梯、起重机械、客运索道和大型游乐设施等方面。

全书内容广泛，符合注册安全工程师执业资格者应具备的知识和能力要求，涵盖了机械设备安全方面的系统知识，为机械设备尤其是特种设备的安全使用提供理论指导。

本书主要作为安全工程专业的教材，也可作为其他相关专业教材以及安全技术和管理人员的培训材料和自学参考书。

本书由重庆大学王时龙、周杰、康玲主编，参加编写的还有重庆大学夏红、任亨斌、冯治恒、雷松、萧红、叶蔚、姚威、何云静、彭玉鑫、李永兵、邹政等。全书最后由周杰、康玲修改定稿。

由于水平有限，加之时间仓促，书中难免有不足和疏漏之处，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前 言

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 第一章 机械安全技术基础 .....            | 1  |
| 第一节 机械安全概述 .....              | 1  |
| 一、机器的组成 .....                 | 1  |
| 二、机械产生的危害 .....               | 2  |
| 三、机械在各种状态下的安全问题 .....         | 3  |
| 第二节 机械安全通用技术 .....            | 4  |
| 一、设计与制造的本质安全措施 .....          | 4  |
| 二、可靠有效的安全防护措施 .....           | 6  |
| 三、采取安全措施应遵照的原则 .....          | 8  |
| 第二章 压力容器安全技术 .....            | 9  |
| 第一节 压力容器基础知识 .....            | 9  |
| 一、压力容器的定义和分类 .....            | 10 |
| 二、压力和压力来源 .....               | 12 |
| 第二节 压力容器的结构 .....             | 12 |
| 一、筒体 .....                    | 13 |
| 二、封头 .....                    | 17 |
| 三、法兰 .....                    | 20 |
| 四、开孔与接管 .....                 | 21 |
| 五、容器安全装置 .....                | 22 |
| 第三节 压力容器安全管理 .....            | 26 |
| 一、压力容器的安全概述 .....             | 26 |
| 二、压力容器设计、制造、检验、安装和使用的规定 ..... | 28 |
| 三、压力容器的安全管理 .....             | 32 |
| 四、压力容器的定期检验 .....             | 35 |
| 五、压力容器常见缺陷及处理 .....           | 45 |
| 第四节 压力容器事故处理 .....            | 55 |
| 一、事故现场处理 .....                | 55 |
| 二、事故技术检验与鉴定 .....             | 57 |
| 三、事故综合分析 .....                | 58 |
| 第五节 气瓶安全技术 .....              | 62 |
| 一、气瓶的分类 .....                 | 62 |
| 二、气瓶的结构形式 .....               | 63 |
| 三、气瓶的颜色标记和钢印标志 .....          | 67 |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 四、充装前的检查 .....            | 69  |
| 五、气体充装过量的危险性 .....        | 70  |
| 六、气瓶混装的危险性 .....          | 71  |
| 七、气瓶的检验周期 .....           | 72  |
| 八、气瓶检验 .....              | 72  |
| 九、检验结果处理 .....            | 74  |
| 十、气瓶的使用 .....             | 74  |
| 十一、气瓶的维护保养和贮存 .....       | 75  |
| 十二、运输 .....               | 76  |
| <b>第三章 压力管道安全技术</b> ..... | 78  |
| 第一节 压力管道安全技术基础 .....      | 78  |
| 一、压力管道的特点 .....           | 78  |
| 二、压力管道的研究范畴 .....         | 81  |
| 三、压力管道的基本要求 .....         | 87  |
| 第二节 压力管道运行使用安全 .....      | 88  |
| 一、运行前的检查 .....            | 88  |
| 二、运行中的检查和监测 .....         | 99  |
| 三、压力管道事故的呈报及分析 .....      | 103 |
| <b>第四章 锅炉安全技术</b> .....   | 108 |
| 第一节 锅炉基础知识 .....          | 108 |
| 一、锅炉的特性 .....             | 108 |
| 二、锅炉的主要技术指标 .....         | 109 |
| 三、锅炉分类及型号表示法 .....        | 110 |
| 四、燃料 .....                | 112 |
| 五、锅炉中的传热 .....            | 114 |
| 六、锅炉的构成及工作原理 .....        | 115 |
| 七、水和其他工质的性质 .....         | 117 |
| 八、锅炉水循环 .....             | 118 |
| 九、锅炉用材 .....              | 120 |
| 第二节 锅炉结构 .....            | 121 |
| 一、立式锅炉 .....              | 121 |
| 二、卧式锅壳锅炉 .....            | 124 |
| 三、双锅筒横置式水管锅炉 .....        | 127 |
| 四、辅助受热面 .....             | 130 |
| 五、蒸汽锅炉锅内装置 .....          | 136 |
| 六、锅炉安全附件 .....            | 142 |
| 第三节 锅炉事故 .....            | 146 |
| 一、锅炉事故概述 .....            | 146 |
| 二、爆炸事故 .....              | 148 |

|                             |            |
|-----------------------------|------------|
| 三、缺水事故 .....                | 151        |
| 四、满水事故 .....                | 151        |
| 五、汽水共腾 .....                | 152        |
| 六、炉管爆破事故 .....              | 153        |
| 七、过热器爆破事故 .....             | 153        |
| 八、省煤器管破裂 .....              | 154        |
| 九、水击事故 .....                | 155        |
| 十、水位表玻璃板（管）损坏 .....         | 156        |
| 十一、炉墙及炉拱损坏 .....            | 156        |
| 十二、烟道尾部二次燃烧与炉膛、烟道烟气爆炸 ..... | 157        |
| 十三、锅炉事故案例 .....             | 158        |
| <b>第四节 锅炉房管理 .....</b>      | <b>159</b> |
| 一、锅炉房要求 .....               | 159        |
| 二、规章制度 .....                | 160        |
| 三、锅炉房记录 .....               | 167        |
| 四、锅炉检验 .....                | 167        |
| 五、预防锅炉事故的措施 .....           | 169        |
| 六、锅炉的停炉保养 .....             | 170        |
| 七、锅炉的水质要求 .....             | 170        |
| 八、锅炉的安全管理 .....             | 173        |
| <b>第五章 电梯安全技术 .....</b>     | <b>174</b> |
| <b>第一节 电梯的分类和工作原理 .....</b> | <b>174</b> |
| 一、电梯的分类及型号编制 .....          | 174        |
| 二、电梯的组成 .....               | 174        |
| 三、电梯的工作原理 .....             | 176        |
| <b>第二节 电梯安全技术 .....</b>     | <b>176</b> |
| 一、电梯安全要求 .....              | 176        |
| 二、电梯安全装置 .....              | 176        |
| <b>第三节 电梯安全管理 .....</b>     | <b>178</b> |
| 一、常见电梯伤害事故 .....            | 178        |
| 二、电梯安全管理 .....              | 179        |
| <b>第六章 起重机械安全技术 .....</b>   | <b>182</b> |
| <b>第一节 起重机械概述 .....</b>     | <b>182</b> |
| 一、起重机械的工作特点及发展趋势 .....      | 182        |
| 二、起重机械的分类及主要参数 .....        | 184        |
| <b>第二节 起重机主要零部件 .....</b>   | <b>191</b> |
| 一、吊具 .....                  | 191        |
| 二、钢丝绳及索具 .....              | 202        |
| 三、滑轮及滑轮组 .....              | 207        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 四、卷筒 .....                  | 210 |
| 五、齿轮与减速器 .....              | 211 |
| 六、制动装置 .....                | 214 |
| 七、联轴器 .....                 | 217 |
| 八、车轮与轨道 .....               | 218 |
| 第三节 起重机安全装置 .....           | 218 |
| 一、位置限制与调整装置 .....           | 218 |
| 二、防风防爬装置 .....              | 220 |
| 三、安全钩、防后倾装置和回转锁定装置 .....    | 222 |
| 四、起重量限制器 .....              | 225 |
| 五、力矩限制器 .....               | 228 |
| 六、防碰装置 .....                | 232 |
| 七、危险电压报警器 .....             | 235 |
| 第四节 起重事故的类型 .....           | 236 |
| 一、起重搬运作业的特点 .....           | 236 |
| 二、起重事故的类型 .....             | 236 |
| 第五节 起重机安全操作要求 .....         | 237 |
| 第七章 客运索道、游艺机、游乐设施安全技术 ..... | 238 |
| 第一节 客运架空索道安全技术 .....        | 238 |
| 一、客运索道的组成及类型 .....          | 238 |
| 二、客运索道的特点及安全问题 .....        | 239 |
| 三、客运架空索道事故 .....            | 239 |
| 四、架空索道的事故营救 .....           | 240 |
| 第二节 游艺机、游乐设施安全技术 .....      | 241 |
| 一、游乐设施的种类 .....             | 241 |
| 二、游乐设施在制造安装过程中的注意事项 .....   | 241 |
| 三、游乐事故 .....                | 244 |
| 第三节 客运索道、游艺机、游乐设施安全技术 ..... | 246 |
| 参考文献 .....                  | 248 |

# 第一章 机械安全技术基础

机器是人类进行生产以减轻体力劳动和提高劳动生产率的主要工具，它在给人们带来高效、快捷、方便的同时，也带来了不安全因素。频频发生的机械伤害事故，给人们的生命和财产安全都带来巨大损失，由此，机械安全问题引起了全社会的广泛重视。

机械安全是指从人的安全需要出发，在使用机械的全过程的各种状态下，达到使人的身心免受外界因素危害的存在状态和保障条件。机械安全是由组成机械的各部分及整机的安全状态、使用机械的人的安全以及由机器和人的和谐关系来保证的。

## 第一节 机械安全概述

### 一、机器的组成

机器是执行机械运动的装置，用来变换或传递能量、物料或信息。机械是机器和机构的总称。

机器的发展经历了一个由简单到复杂的过程，它是由若干相互联系的零部件按一定规律装配而成、能够完成一定功能的整体。随着科学技术的发展，机器的概念也有了相应的变化。机器中除刚体外，液体、气体也参与了运动的变换。有些机器还包含了使其内部各机构正常动作的控制系统和信息处理与传递系统等。因此，一部完整的机器通常由原动机部分、传动部分、执行部分以及控制系统等组成，如图 1-1 所示。现代机器不仅可以代替人的体力劳动，而且可以代替人的脑力劳动，如智能机器人。

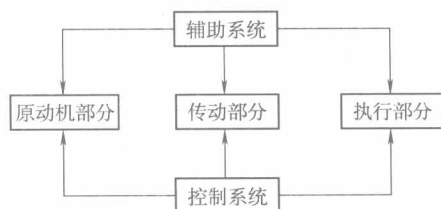


图 1-1 机器的组成

#### 1. 原动机

原动机是驱动整部机器以完成预定功能的动力源。通常一部机器只用一个原动机，复杂的机器也可能有几个动力源。一般地说，它们都是把其他形式的能量转化为可以利用的机械能。现代机器中使用的原动机大都以电动机和热力机为主。

#### 2. 执行部分

执行部分是用来完成机器预定功能的组成部分。它是通过利用机械能（如刀具或其他器具与物料的相对运动或直接作用）来改变物料的形状、尺寸、状态或位置的机构。一台机器可以只有一个执行部分（例如压路机的压辊），也可以把机器的功能分解成好几个执行部分。机器种类不同，其执行部分的结构和工作原理也就不同。

#### 3. 传动部分

机器的功能多种多样，要求的运动形式也是千变万化的，所要克服的阻力也随工作情况而异。但是原动机的运动形式、运动及动力参数却是有限的，而且是确定的。如何把原动机

的运动形式、运动及动力参数转变为执行部分所需的运动形式、运动及动力参数呢？这个任务就是靠传动部分来完成。就是说机器中所用传动部分，是用来将原动机和工作机联系起来，传递运动和动力或改变运动形式的部分。例如把旋转运动变为直线运动，高转速变为低转速，小转矩变为大转矩等。

#### 4. 控制系统及辅助系统

随着机器的功能越来越强，对机器的精确度要求也越来越高，如果机器只由上述原动机部分、传动部分、执行部分三个基本部分组成，使用起来就会遇到很多困难。所以机器除了以上三部分外，还会不同程度地增加控制系统和辅助系统等。

控制系统是用来控制机器的运动及状态的系统，如机器的起动、制动、换向、调速、压力、温度、速度等。它包括各种操纵器和显示器。人通过操纵器来控制机器，显示器把机器的运行情况适时反馈给人，以便及时、准确地控制和调整机器的状态，以保证作业任务的顺利进行并防止事故发生。操纵器是人机接口，安全人机工程学要求在这里得到集中体现。

以汽车为例，发动机是汽车的原动机，离合器、变速箱、传动轴和差速器等组成传动部分，车轮、底盘（包括车身）及悬挂系统是执行部分，转向盘和转向系统、排档杆、刹车及其踏板、离合器踏板及油门组成控制系统；后视镜、车门锁、刮雨器等为辅助装置。

一般情况下，传动部分和执行部分集中了机器上几乎所有的可动零部件。它们种类众多、运动各异、形状复杂、尺寸不一，是机械的危险区。但二者又有区别：传动部分不与作业对象直接作用，不需要操作者频繁接触，常用各种防护装置隔离或封装起来；执行部分直接与作业对象作用，并需要人员不断介入，使操作区成为机械伤害的高发区，成为安全防护的重点和难点。

## 二、机械产生的危害

机械产生的危害是指在使用机械设备过程中，可能对人的身心健康造成损伤或危害的根源或因素。它可分为两类：一类是机械性危害，另一类为非机械性危害。前者包括的主要形式有夹挤、碾压、剪切、切割、卷绕、刺伤、摩擦或磨损、飞出物打击、高压流体喷射、碰撞或跌落等；后者包括电器危害（如电击伤）、灼烫和冷冻危害、噪声危害、振动危害、电离和非电离辐射危害、材料和物质产生的危害、未履行安全人机工程学原则而产生的危害等。

### （一）机械性危害类型

机械性危害包括设备静止状态和运动状态下所呈现的各种危险。

#### 1. 静态危险

- （1）刀具的刀刃，机械设备突出部分，如表面螺栓、吊钩、手柄等。
- （2）毛坯、工具、设备边缘锋利飞边和粗糙表面（如铸造零件表面）。
- （3）引起滑跌、坠落的工作平台，尤其是平台有水或油时更为危险。

#### 2. 直线运动及旋转运动危险

- （1）作直线运动的构件，如龙门刨床的工作台、升降式铣床的工作台。
- （2）人体或衣服卷进旋转着的机械部位引起的危险，如搅拌机、卡盘、各种切削刀具、齿轮副、链条—链轮等。

#### 3. 打击危险

- （1）旋转运动加工件打击，如伸出机床的细长加工件。

(2) 旋转运动部件上凸出物打击, 如转轴上键、联轴器螺栓等。

(3) 孔洞部分的危险, 如风扇、叶片、齿轮、飞轮。

#### 4. 振动夹住危险

机械的一些振动部件结构, 如振动体的振动引起被振动体部件夹住的危险。

#### 5. 飞出物打击危险

(1) 飞出的刀具或机械部件, 如未夹紧的刀片、破碎的砂轮片、齿轮轮齿断裂等。

(2) 飞出的铁屑或工件。

### (二) 事故原因分析

安全隐患可存在于机器的设计、制造、运输、安装、使用、维护、报废等机器整个生命周期的各个环节。机械事故的发生往往是多种因素综合作用的结果, 按照安全系统的认识分析观点, 可以从物的不安全状态、人的不安全行为和安全管理上的缺陷找到原因。

#### 1. 物的不安全状态

物的安全状态是保证机械安全的重要前提和物质基础。物的不安全状态是引发事故的直接原因之一。在机械生命周期中各环节的安全隐患, 都可能引发使用中的危险事故发生。如设计不合理、计算错误、安全系数取值偏小、对使用条件估计不足等; 制造环节加工质量差、偷工减料、以次充好等; 安装运输过程中野蛮作业, 使机器的组成元件受到损伤而埋下隐患等。在使用过程中, 缺乏必要的安全防护、润滑保养不良、零部件超过其使用寿命而未及时更换、不符合卫生标准的不良作业环境等, 都可以造成机械伤害事故。

#### 2. 人的不安全行为

人的不安全行为是引发事故的另一个直接原因。人的行为受到生理、心理等多种因素的影响。缺乏安全意识和安全操作技能差, 即安全素质不高是引发事故的主要原因。例如不了解机器性能及存在的危险、不按安全操作规程操作、缺乏自我保护意识和处理意外情况的能力等。指挥失误、操作失误、监护失误等是人的不安全行为的常见表现形式。在日常生活中, 人的不安全行为大量表现在不安全的工作习惯上, 例如工具随手乱放、清理机器或测量工件不停机等。

#### 3. 安全管理缺陷

安全管理缺陷是事故的间接原因, 但在一定程度上又是主要原因。它反映了一个单位的安全管理水平。安全管理水平包括领导的安全意识, 对设备的监管, 对人员使用、维护机械的安全技能进行教育和培训, 安全规章制度的建立等。安全管理不能只局限在企业内部对机械设备使用阶段的管理, 还包括相关方面对机械产品的安全责任制的建立, 主要监管部门对企业的重要特种设备的安全监察等全方位的管理。

### 三、机械在各种状态下的安全问题

机械在运输、安装、调试、运行、维修、报废的全过程中, 都可能对人员造成伤亡或对健康造成危害, 这种危害在机械使用的任何阶段和各种状态下都有可能发生。

#### 1. 正常工作状态

机械在完成预定功能的正常状态下, 存在执行预定功能所必须具备的运动要素, 有可能产生危害后果。例如, 零部件间的相对运动、锋利刀具的运转、机械运转的噪声、振动等, 使机械在正常状态下存在碰撞、切割、环境恶化等对工作人员安全不利的危险和有害因素。

## 2. 非正常工作状态

非正常工作状态是指机械运转过程中,由于各种原因引起的意外状态,包括故障状态和检修保养状态。设备的故障,不仅可以造成局部或整机的停转,还可能对人员构成危险,如电器开关故障,会造成机器不能停机或控制不灵的危险;砂轮片破损,会导致飞出物打击危险;速度或压力控制系统出现故障,会导致速度或压力失控的危险。机械的检修保养一般都是在停机状态下进行的,但作业的特殊性往往迫使检修人员采取一些非常规的做法,例如,攀高、进入狭小或几乎封闭的空间、将安全装置短路、进入正常操作不允许进入的危险区等,使维护或修理过程容易出现正常操作不存在的危险。

## 3. 非工作状态

当机械处于停止运转状态或静止状态时,正常情况下,机械是安全的,但不排除发生意外事故的情况。如由于周围照顾不够,导致人员发生碰撞事故;室外机械在风力作用下的滑移或倾翻等。

# 第二节 机械安全通用技术

实现机械设备安全的最根本途径是设备的本质安全化。设备的本质安全化是指操作失误时,设备能自动保证安全;当设备出现故障时,能自动发现并自动排除,确保人身和设备安全。实现设备安全须从设备的设计、制造、安装、调试、运行、维护、报废等阶段考虑,同时,还应考虑机械的各种状态。决定机械安全性能的关键在于设计阶段采用的安全措施;另外还要通过使用阶段采用安全措施,最大限度地减小危险。

## 一、设计与制造的本质安全措施

设计阶段采用安全措施,是指从零件材料到零部件的合理形状和相对位置,从限制操纵力、运动件的质量和速度到减少振动和噪声,采用本质安全技术与动力源,应用零部件间的作用原理,结合人机工程学原则等多项措施,通过选用适当的设计结构,尽可能避免或减小危险;也可以通过提高设备的可靠性、操作机械化或自动化以及实行在危险区之外的调试、维护等措施。

### (一) 选用合适的设计结构,避免或减小危险

#### 1. 采用本质安全技术与动力源

本质安全技术也称机器的固有安全技术,是指利用该技术进行机械预定功能的设计和制造,就可以同时满足机器自身安全的要求,而不需要采用其他安全防护措施。

(1) 与功能匹配的合理结构,避免锐边、尖角、粗糙表面和凸出部分。在不影响预定使用功能前提下,机械设备及零部件应尽量避免设计成易引起危险的锐边、尖角、粗糙或凹凸不平的表面和较突出部分。对锐边或尖角应倒钝、折边或修圆,对可能引起刮伤的开口端应包覆。

(2) 安全距离的原则。利用安全距离来减小或消除机械风险有两种措施:一是防止可及危险部位的安全距离,使机械的有形障碍物与危险区的安全距离足够长,用来限制人体或人体某部位的运动范围;二是避免受挤压或剪切危险的安全距离,当两移动件相向移动时,可以通过增大相向运动物之间的最小距离,使人体可以安全进入或通过,也可以减小运动件间的最小距离,使人的身体部位不能进入,从而避免危险。

(3) 限制有关因素的物理量。在不影响使用功能的情况下, 根据各类机械的不同特点, 限制某些可能引起危险的物理量值来减小危险。例如, 限制运动件的质量和速度, 来减小运动件的动能; 将操纵力限制到最低值, 使操纵件不会因破坏而产生机械危险; 控制振动、噪声、过热或过低温度等, 使其低于安全标准中规定的允许指标等, 减轻振动、噪声等非机械性危险和有害因素。

(4) 使用本质安全工艺过程和动力源。对预定在有爆炸隐患场所使用的机械设备, 应采用全气动或全液压控制系统和操纵机构或本质安全电气装置, 限制最大压力不超过允许值, 并在机械设备的液压装置中使用阻燃和无毒液体, 或采用“本质安全”动力源。

## 2. 限制零件应力

机械零件选用的材料性能、设计规范、计算方法等, 都应该符合机械设计与制造专业的标准或规范的要求, 使零件的计算应力不超过许用值, 保证安全系数, 以防止由于零件应力过大而破坏或失效, 避免故障和事故的发生。

## 3. 履行安全人机工程学原则

在现代工业生产中, 所有机器和设备都要由人操纵和控制, 或者由人监督和维护, 人是生产的核心和主导, 人—机器—环境—安全形成一个不可分割的系统。因此, 要根据人—机器—环境—安全系统要求进行产品设计。

在机械设计中, 通过合理分配人机功能、适应人体特性、人机界面设计、作业空间的布置等方面履行安全人机工程学原则, 提高机械设备可操作性和可靠性, 使操作者的体力消耗和心理压力降到最低, 从而减小操作差错。例如设备所设计、选用和配置的操纵器应与人体操作部位的特性(特别是功能特性、操纵容易程度)以及控制任务相适应。

## 4. 设备使用材料具有良好的安全卫生性能

制造机械的材料、燃料和加工材料在使用期间不得危及工作人员的安全和健康。材料的力学性能, 如拉伸强度、剪切强度、冲击韧性、屈服极限等, 应能满足执行预定功能的载荷作用要求; 材料应具有均匀性, 防止由于工艺设计不合理, 使材料的金相组织不均匀而产生过大的残余应力; 材料应能适应预定的环境条件, 如具有抗蚀性、耐老化、耐磨损等能力。

应避免采用有毒的材料或物质, 应避免机械本身或由于使用某种材料而产生的气体、液体、粉尘、蒸汽或其他物质造成的火灾或爆炸危险。若必须使用, 则应采取可靠的安全卫生技术措施以保障人员的安全和健康。

## 5. 设计控制系统的安全原则

机械在使用过程中, 典型的危险情况有: 意外起动、速度变化失控、运动不能停止、运动的机械零件或工件脱落飞出、安全装置的功能受阻等。控制系统的设计应考虑各种作业的操作模式或采用故障显示装置, 使操作者可以安全地采取措施。设备的操纵器、信号和显示器应满足安全要求原则。对于可能出现误动作或误操作的操作器, 应采取必要的保护措施, 并遵循以下原则和方法:

(1) 可编程软件的安全保护。在关键的安全控制系统中, 如果采用可编程控制, 则应注意采取可靠措施, 以防止因为储存程序被有意或无意改变而使机器产生危险的误动作。建议采用故障检验系统来检查由于程序改变而引起的差错。

(2) 重新起动原则。动力中断后重新接通时, 如果机械设备自动起动将会产生危险, 应采取措施, 使动力重新接通时机械不会自行起动, 只有再次操作起动装置后机械才能运转。

这样可以防止在失电后又通电，或在停机后人员没有充分准备的情况下，由于机器的自发启动产生的危险。

(3) 关键件的冗余原则。控制系统的关键零部件，可以通过备份的方法减小机械故障率，即当一个零部件失效时，用备用件接替以实现预定功能。当与自动监控相结合时，自动监控应采用不同的设计工艺，以避免共因失效。对于设备关键部位的操纵器，一般应设电器和机械连锁装置。

(4) 定向失效模式。指部件或系统主要失效模式是预先已知的，而且，只要失效总是这些部件或系统，这样可以事先针对其失效模式采用相应的预防措施。

#### 6. 防止气动和液压系统的危险

采用热能、液压、气动等装置的机械，必须通过设计来避免由于这些能量意外释放而带来的各种潜在危险。

#### 7. 预防电的危害

用电安全是机械安全的重要组成部分，机械中电气部分应符合有关电气安全标准的要求。预防电危害应注意防止电击、短路、过载、雷电、静电和电磁场危害等。

### (二) 减小或限制操作者进入危险区

#### 1. 设备具有良好的可靠性和稳定性

可靠性是用可靠度来衡量的。机械或零部件的可靠度是指在规定的使用条件下和规定的期限内执行规定的功能而不出现故障的概率。可靠性应作为机械安全功能完备性的基础。提高机械的可靠性可降低故障率，减小需要查找故障和检修的次数，减小因为失效而使机械产生危险的可能性，从而可以减少操作者面临危险的概率。

设备不应在振动、风载或其他可预见的外在作用下倾覆或产生允许范围外的运动，即具有好的稳定性。设备若通过形体设计和自身的质量分布不能满足或完全满足稳定性要求时，则须设有安全技术措施，以保证其具有可靠的稳定性。

#### 2. 采用先进的机电自动化技术

机械化和自动化技术可以使人的操作岗位远离危险或有害场所，从而减小工伤事故，防止职业病。例如一些重要的但却危险的场合采用机器人或机械手。

#### 3. 保证调试、检查以及维修保养的安全

设备运行安全检查是设备安全管理的重要措施，是防止设备故障和事故发生的有效方法。设计机械时，应考虑到一些易损零部件拆装和更换的方便性；提供安全接近或站立措施（如梯子、平台、通道）；将机械的调整、润滑、一般维修等操作点应设置在危险区外，这样可以减少作者进入危险区的需要，从而降低操作者出现危险的概率。

## 二、可靠有效的安全防护措施

安全防护是通过采用安全装置、防护装置或其他手段，对一些机械危险进行预防的安全技术措施，它的目的是防止机械运行时产生各种对人员的伤害事故。防护装置和安全装置常统称安全防护装置。

安全防护的重点是机械的传动部分、其他运动部分、操作区、高空作业区、移动机械的移动区域以及一些机械由于特殊危险形式需要采取的特殊防护等。要确保安全，设备的可动零部件都应有相应的安全防护装置，凡人员易接触的可动零部件，应尽可能封闭或隔离。对于操作人员在设备运行时可能触及的可动零部件，必须配置必要的安全防护装置。对于运行

过程中可能超出极限位置的生产设备或零部件,应配置可靠的限位装置。若可动零部件所具有的动载荷或势能可能引起危险时,则必须配置限速、防坠落或防逆转装置。以操作者的操作位置所在平面为基准,凡高度在 2m 之内的所有传动带、转轴、传动链、联轴节、带轮、飞轮、链轮、电锯等外露危险零部件及危险部位,都必须设置安全防护装置。

### (一) 安全防护的分类与基本要求

#### 1. 安全防护装置的分类

安全防护常常采用安全装置、防护装置及其他安全措施。

防护装置是指通过设置物体障碍方式将人与危险隔离的专门安全防护的装置。

安全装置是指用于消除或减小机械伤害风险的单一装置或与防护装置联用的保护装置。

安全防护装置在人与危险之间构成安全保护屏障,在减轻操作者精神压力的同时,也使操作者形成心理依赖。一旦安全防护装置失效,就会增加损伤或危害健康的风险。为此,安全防护装置必须满足与其保护功能相适应的安全技术要求。

#### 2. 安全防护装置的一般安全要求

无论采取何种方法防护,目的都是为了安全,但在设置新的安全防护装置时,都应对具体机械进行风险评价以避免带来新的风险。为此,安全防护装置必须满足与其保护功能相适应的安全技术要求。

(1) 结构尺寸和布局形式设计合理,具有切实的保护功能。

(2) 结构必须有足够的强度、刚度、稳定性;安装可靠,不易拆卸。

(3) 装置的外形结构应尽量平整光滑,避免尖棱锐角,不增加任何附加风险,防止其成为新的危险源。

(4) 满足安全距离要求,使人体各部位远离危险。

(5) 安全防护装置应与设备运转连锁,保证安全防护装置未起作用前,设备不得运转。

(6) 不影响正常操作,不得与机械任何可动零部件接触;对人的视线障碍要达到最小限度,便于检查和维修。

采取的安全措施必须不影响机械的预定使用,而且方便使用。严禁出现为追求机械的最大效用而导致避开安全措施的行为,不应出现漏保护区。

### (二) 防护装置

机械设备或车间常见的防护装置有防护罩、防护挡板、防护栏杆和防护网等。防护装置按使用方式分为固定式和活动式两种。其安全技术要求如下:

(1) 固定防护装置是指用永久固定方式或借助紧固件固定方式,将其固定在所需的地方,不用工具就不能将其移动或打开。

(2) 活动式防护装置或防护装置的活动体打开时,尽可能与防护的机械借助铰链或导链保持连接,防止移动的防护装置或活动体丢失或不容易复原。

(3) 活动防护装置出现丧失安全功能的故障时,被控制的危险机械,其功能应不能执行或停止执行;连锁装置失效不得导致意外起动。

(4) 机械进、出料的开口部分,在满足功能要求下尽可能小,避免工作人员在此接触危险。

(5) 防护装置应能有效防止物件飞出,同时防护装置应是进入危险区的唯一通道。

### （三）安全装置

安全装置是通过自身的结构功能限制或防止机械的某种危险或限制运动速度、压力等危险因素。常见的安全装置如下：

（1）连锁装置。通常把安全防护装置与设备运转连锁，保证安全防护装置未起作用以前，设备不能运转。

（2）止一动装置。一种手动操纵装置，只有当手对操纵器作用时，机器才能起动并保持运转；当手离开操纵器时，该操纵装置则自动恢复到停止位置。

（3）自动停机装置。一种利用光电式、感应式等安全防护装置，当人或人的某一部位超越安全极限时，能使机器或其零部件停止运转。

（4）机械抑制装置。一种机械障碍（如支柱、撑杆、止转棒等）装置。该装置靠其自身强度、刚度支撑在机构中，用来防止某种危险运动发生。

（5）运动控制装置。也称行程限制装置，只允许机械零部件在有限的距离内动作。

### 三、采取安全措施应遵照的原则

安全措施包括由设计阶段采取安全措施和由用户提供补充的措施。当设计阶段的防护措施不能满足要求时，则由用户采取补充措施来最大限度地减小遗留风险。机械系统的复杂性决定了实现消除某一危险或减小某一风险往往需要采取多种措施，最终达到机械安全的目的。采取安全措施应遵照以下原则：

（1）安全先于经济。当安全卫生技术措施与其他利益发生冲突时，应以安全为重，安全第一。

（2）设计先于使用。安全决策应在机械的概念设计或初步设计阶段确定，以避免将危险遗留给用户或使用中，另外还可减少安全整改造成的浪费。

（3）设计措施不应留给用户。应该由设计阶段采用的安全措施，决不能留给使用阶段才去解决。只有当设计采用的措施无效或不完全有效时，其遗留风险可通过使用阶段采用补救安全措施解决。

（4）设计缺陷不可用信息弥补。使用信息只起提醒和警告的作用，不得以信息代替应由设计技术手段解决的安全问题。

（5）选择安全技术措施的顺序。应按照直接安全技术措施、间接安全技术措施、指示性安全技术措施和附加预防措施顺序进行。

## 第二章 压力容器安全技术

### 第一节 压力容器基础知识

压力容器是工业生产中的常用设备，其使用范围日益广泛。目前，已成为化学工业、石油工业、冶金、原子能、宇航、海洋工程、纺织、食品、城建、民用、核工业、军工等各个部门中的重要设备。其中又以石油化学工业应用最为普遍，约占压力容器总数的 50%。

在石油化学工业中，许多化学反应过程都需要在有压力的条件下才能进行，或者要用加大压力的方法来提高反应速度，因此，反应设备多半是压力容器。此外，用以精制或加热、冷却反应介质及反应生成物的各种工艺装置也往往是压力容器。石油化学工业中的压力容器可以作为简单的盛装容器，用以贮存有压力的气体、蒸汽或液化气体，如液氨贮罐、乙烯贮罐等。压力容器也可以作为其他化工设备的外壳，为各种化工单元操作如传热、蒸馏、吸收、沉降等，提供必要的压力空间，并将该压力空间与外界大气隔离。这时压力容器不能单独地构成一台设备，它内部必须装入为完成某一化工单元操作所需的内件。例如：化肥工业中的氨合成塔、尿素合成塔、二氧化碳吸收塔、氨分离器、冷热交换器，乙烯装置中所用的各种低温压力容器，以及聚乙烯装置中的超高压反应釜等，这些设备的外壳都是压力容器。

在民用工业中，城市居民或企业用的液化石油气罐，工业机械所用的各种蓄能器如水压机的蓄能器，各种动力机械和制冷机械的辅机如换热器、分离器等，都是压力容器。

航天和军事上所用的各类动力火箭的外壳都是高温、高压容器。深海探测的潜艇是典型的外压容器。在海洋和地球物理研究中，为模拟深海和地壳深层的情况，需要不同规格的内压容器。作为武器的大炮筒也是一台承受瞬时高压的敞口高压容器。

压力不仅能促进化学反应，还能改变一些物质的物理性能。某些物质经超高压挤压处理分子间的距离缩小，密度增大，甚至产生分子与原子的变形，使物质的物理性能产生根本的变化。如某些金属经超高压处理，其屈服强度、导电、导热性能都大大提高。木材经超高压挤压处理，也会具有像金属一样的强度与硬度。总之，超高压技术可以把某些性能低劣的廉价物质转变为性能优良的昂贵物质，大家所熟知的人造金刚石和人造宝石，都是采用超高压技术制成的。

近 30 年来，在发达的工业国家，核能容器获得了迅速的发展。核能容器的出现，标志着压力容器的设计、制造技术达到了一个新的更高的水平。核能容器不仅是同时承受高压高温的厚壁容器，而且容器本身还要承受堆芯核裂变时产生的强烈中子流和  $\gamma$  射线辐照，导致材料的冲击韧性和延性显著下降，使容器发生脆性破坏的可能性增加。此外，为防止容器内的放射性物质泄漏污染环境，对密封结构的可靠性也提出了更为苛刻的要求。总之，核能容器在设计、选材、制造、检验和使用维护等方面，都比一般压力容器有更高的。

蒸汽锅炉也属压力容器，但它是用直接火焰加热的特种受压容器，其设计、选材、运行及维护管理另有专门规定，通常不在一般压力容器的范畴之内。本书将在第四章进行