

安全阀

ANQUANFA
JISHU

技术

章裕昆 陈殿京 杨英 王德海 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

安全阀技术

章裕昆 陈殿京 杨 英 王德海 编著



机械工业出版社

本书系统地介绍了安全阀的规范、标准、设计、选型、制造、检测、安装、使用、维修和可靠性方面的知识。本书共分 10 章，具体介绍了安全阀的基本概念、安全阀的法规和标准、安全阀的设计、安全阀的密封、弹簧直接载荷式安全阀技术基础研究、安全阀的选型、安全阀的制造、安全阀性能的试验和检测、安全阀的安装与使用维修、安全阀的可靠性等内容。

本书可作为安全阀专业的工程技术人员，包括检测、安装、使用、维修、管理和销售人员的技术参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

安全阀技术/章裕昆等编著. —北京: 机械工业出版社, 2016. 1
ISBN 978-7-111-52340-6

I. ①安… II. ①章… III. ①安全阀-工业技术 IV. ①TH134

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 301098 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 沈红 责任编辑: 沈红 崔滋恩

版式设计: 霍永明 责任校对: 刘雅娜

封面设计: 马精明 责任印制: 李洋

北京宝昌彩色印刷有限公司印刷

2016 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 20 印张 · 446 千字

0001—2000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-52340-6

定价: 75.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线: 010-88361066

读者购书热线: 010-68326294

010-88379203

策划编辑: 010-88379778

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网: www.cmpbook.com

机工官博: weibo.com/cmp1952

金书网: www.golden-book.com

教育服务网: www.cmpedu.com

序

安全阀在诸多阀类中是一种功能特殊却又十分重要的阀门。它的工作原理、结构设计、参数计算、材料选用、制造工艺及检测方法等方面，都与其他阀门有很多不同之处。不仅如此，随着工业生产的日益规模化、高参数化，安全阀由于直接关系到人员和设备的安全，因而从事安全阀设计和生产在理念上也与其他阀门存在差异。

北京航天动力研究所是一家集安全阀研发、设计、制造与检测于一体的单位，拥有丰富的技术积累和实践经验。该所的几位专家协同合作，经过三年的努力，完成了这本《安全阀技术》的编写工作，它也是在我国第一部公开出版的安全阀专业书籍。相信它的出版、发行一定会对从事安全阀研发、设计、制造的专业技术人员有所帮助，也将对我国安全阀产品性能和技术水平的提高产生促进作用。

我有幸参与该书编写和出版过程中的一些工作，清楚地了解这一过程中所经历的种种技术上和非技术上的困扰和问题，深切感受到作者们认真执着、科学严谨的工作态度和学术作风。相信读者从本书中的文字、数据、公式、图表中，除了能获取相关的专业知识，也一定会体会到航天人的这种精神。

阀门的品类繁多且功能各异，运行的工况条件也十分复杂，因而所涉及的专业知识领域广阔，但有关阀门的专业书籍却非常短缺。希望本书的出版发行能够抛砖引玉，在未来的岁月里，有更多的阀门专著问世，以满足广大阀门从业人员的需求，促进我国阀门产业的发展。

杜兆年
2015. 5.

前 言

安全阀广泛应用于国民经济各个领域，它能够防止承压设备因超压而破坏，保证设备的正常运行和人员安全。随着科学技术的迅速发展，现代工业技术水平的显著提高，安全阀的使用也越来越广泛，工况也越来越复杂和恶劣，对安全阀的性能、寿命和质量要求也是越来越高。安全阀仍然是保证设备安全的最终防线。

在一些工业发达国家，安全阀技术的研究和发展已有很长的历史。然而我国阀门工业过去长期处于落后状况，尤其安全阀的设计水平和生产水平都远远落后于国外先进水平。20世纪70年代以后，随着中国改革开放和科学技术迅速发展，从国外引进了大量石化、化工、能源、冶金、纺织等装置和设备，同时随机进口了大量按照国外先进规范和标准设计、制造的安全阀，这也促进了我国安全阀技术的加速发展，并取得显著成效。

本书汇集了作者多年来的工作实践经验，并收集了大量国内、外安全阀的相关规范、标准和资料，系统地介绍了安全阀的规范、标准、设计、选型、制造、检测、安装、使用、维修和可靠性方面的知识，为安全阀专业的工程技术人员，包括检测、安装、使用、维修、管理和销售人员提供了技术参考。

本书绪论、第4章、第7章、第8章、第10章由章裕昆编著，第5章、第6章由陈殿京编著，第1章、第2章由杨英编著，第3章、第9章由王德海编著。

本书是在兰州理工大学杜兆年教授的多年指导和帮助下成文的。作为本书主审，杜兆年教授做了大量细致的工作，并提出了许多宝贵的指导意见，谨此表示衷心的感谢。

感谢北京航天动力研究所、北京航天石化技术装备工程公司、北京中航化安全阀销售有限公司相关人员的支持和帮助。在本书的编著过程中，刘金贤及岳大皓、于兵、郭善刚、鲍鲜宇、范军、王学彬、翟启超、董海波等安全阀事业部相关人员提供了很大的帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编著者的水平有限，书中缺点和不当之处，恳请读者批评指正。

编著者

2014年11月

目 录

序

前言

本书计算用符号及单位

绪论	1
第 1 章 安全阀的基本概念	10
第 1 节 安全阀的分类	10
第 2 节 安全阀的动作原理	14
第 3 节 安全阀的工作性能要求	17
第 4 节 安全阀的名词术语	19
第 5 节 安全阀的型号编制	29
第 2 章 安全阀的法规和标准	33
第 1 节 我国的安全阀法规	33
第 2 节 我国的安全阀标准	57
第 3 节 API 标准、ASME 规范	69
第 4 节 ISO 标准	77
第 5 节 其他国家的标准	85
第 3 章 安全阀的设计	94
第 1 节 安全阀的设计依据	94
第 2 节 安全阀的典型结构和特点	96
第 3 节 安全阀基本结构的设计要求	111
第 4 节 安全阀的材料	121
第 5 节 介质排放时的反作用力及噪声计算	127
第 4 章 安全阀的密封	130
第 1 节 泄漏和密封	130
第 2 节 安全阀的密封特性	136
第 3 节 安全阀的密封结构	137
第 4 节 安全阀的密封比压	147
第 5 节 安全阀密封面的材料	150
第 5 章 弹簧直接载荷式安全阀技术基础研究	152
第 1 节 安全阀内部流场的研究方法	152
第 2 节 安全阀内部流场形态描述	157
第 3 节 安全阀的流量特性	160
第 4 节 安全阀的动态特性	173

第 6 章 安全阀的选型	181
第 1 节 安全阀的适用场合	181
第 2 节 安全阀结构型式的选择	182
第 3 节 安全阀与爆破片的串联使用	189
第 4 节 安全阀快速切换装置的应用	190
第 5 节 受控安全泄压系统的应用	191
第 6 节 安全阀的定径计算	196
第 7 节 安全阀材料的选择	207
第 8 节 安全阀进出口公称压力和公称尺寸的确定	209
第 9 节 买卖各方在安全阀选型工作中的职责	213
第 7 章 安全阀的制造	216
第 1 节 安全阀制造许可条件	216
第 2 节 安全阀的制造要求	216
第 3 节 安全阀的制造工艺	220
第 4 节 安全阀的装配和调试	240
第 8 章 安全阀性能的试验和检测	244
第 1 节 安全阀的定期检查	244
第 2 节 安全阀的型式试验	250
第 3 节 安全阀检测装置	253
第 4 节 检测装置能力对安全阀性能的影响	263
第 5 节 背压试验	266
第 6 节 低温试验	270
第 9 章 安全阀的安装、使用和维修	272
第 1 节 安全阀安装的基本要求	272
第 2 节 API RP 520- II—2003 对于泄压阀的设置和安装位置要求	273
第 3 节 API RP 520- II—2003 对于泄压阀的进口及排放管线要求	274
第 4 节 API RP 520- II—2003 对泄压阀进口及排放管线中隔离阀的设置要求	280
第 5 节 API RP 520- II—2003 对泄压阀安装的其他要求	283
第 6 节 安全阀的使用	285
第 7 节 安全阀的常见故障、原因及其排除	285
第 8 节 安全阀的修理	288
第 10 章 安全阀的可靠性	291
第 1 节 安全阀的失效分析	292
第 2 节 安全阀可靠性的保证	297
参考文献	303

本书计算用符号及单位

- A ——面积 (mm^2);
- A_o ——安全阀的流道面积 (mm^2);
- A_1 ——安全阀进口面积 (mm^2);
- A_c ——安全阀出口面积 (mm^2);
- A_r ——安全阀所需的流道面积 (mm^2);
- A_s ——安全阀阀瓣密封面积 (mm^2);
- A_B ——波纹管有效面积 (mm^2);
- b ——弹簧高径比;
- A_L ——帘面积 (mm^2);
- B ——密封面宽度 (mm);
- C ——根据气体或蒸汽在安全阀进口排放条件下的等熵指数确定的量纲为一的系数;
- C_f ——腐蚀裕度 (mm);
- C_x ——弹簧旋绕比;
- c ——通过安全阀的气体流速 (m/s);
- c_p ——比定压热容;
- c_v ——比定容热容;
- D ——弹簧中径 (mm);
- D_1 ——弹簧内径 (mm);
- D_j ——承压件计算直径 (mm);
- D_t ——运动件阻尼;
- DN——公称尺寸 (mm);
- d ——弹簧丝径 (mm);
- d_1 ——泄漏通道直径 (m);
- d_o ——安全阀流道直径 (mm);
- d_s ——安全阀密封中径 (mm);
- F ——升力, 即流体作用在阀瓣上总的向上合力 (N);
- F_b ——弹簧压并负荷 (N);
- F_s ——弹簧负荷 (N);
- F_{sc} ——弹簧在安全阀关闭状态时的负荷 (N);
- F_{sh} ——弹簧在安全阀额定开启高度时的负荷 (N);

- F_{seal} ——密封载荷 (N);
 F_{p} ——安全阀排向大气点的反作用力 (N);
 F_{B} ——阀瓣上方受到阀体腔内介质的作用力 (N);
 F' ——弹簧刚度 (N/mm);
 f_1 ——弹簧在 F_{sc} 负荷下的变形量 (mm);
 f_2 ——弹簧在 F_{sh} 负荷下的变形量 (mm);
 f_{b} ——弹簧在压并负荷下的变形量 (mm);
 G ——材料切变模量 (MPa);
 G_t ——工作温度下的材料切变模量 (MPa);
 g ——重力加速度 (m/s^2);
 H_{o} ——弹簧自由高度 (mm);
 H_{b} ——弹簧压并高度 (mm);
 h ——安全阀开启高度 (mm);
 K ——曲度系数;
 K_{b} ——排量的背压修正系数;
 K_{c} ——当安全阀上游装有爆破片时的联合修正系数;
 K_{d} ——排量系数;
 $K_{\text{d}\cdot\text{CFD}}$ ——通过 CFD 数值计算得到的排量系数;
 K_{dr} ——额定排量系数;
 K_{p} ——超压修正系数;
 K_{SH} ——过热蒸汽修正系数;
 K_t ——切变模量温度修正系数;
 K_{N} ——蒸汽定径计算中对 Napier 公式的修正系数;
 K_{η} ——黏度修正系数;
 κ ——等熵指数;
 L ——弹簧展开长度 (mm);
 L_{30} ——距离排放点 30m 处的噪声水平 (dB);
 l ——泄漏通道长度 (m);
 M ——气体摩尔质量 (kg/kmol);
 m ——运动件质量;
 n ——弹簧有效圈数;
 n_1 ——弹簧总圈数;
 p ——压力 (MPa);
 p_1 ——上游压力 (MPa);
 p_2 ——下游压力 (MPa);
 $p_{\text{av}} = (p_1 + p_2)/2$ ——泄漏通道两边的压力平均值 (MPa);
 p_{atm} ——大气压力 (MPa);

- p_b ——安全阀总背压 (MPa);
 Δp_{bl} ——安全阀启闭压差 (%);
 p_{cf} ——安全阀出口临界流动压力 (MPa);
 p_d ——安全阀的排放压力 (MPa);
 p_{dr} ——安全阀的额定排放压力 (MPa);
 p_e ——管线出口压力 (MPa);
 p_o ——安全阀进口处的压力 (MPa);
 p_r ——安全阀回座压力 (MPa);
 p_s ——安全阀整定压力 (MPa);
 p_t ——安全阀密封试验压力 (MPa);
 p_D ——承压件设计压力 (MPa);
 PN——公称压力 (0.1MPa);
 Δp_o ——超过压力;
 q_l ——液体泄漏率 (m^3/s);
 q_{lg} ——气体泄漏率 ($Pa \cdot m^3/s$);
 q_m ——质量流量 (kg/h);
 q_{min} ——保证安全阀阀瓣与阀座之间的密封所需要施加于密封面的最小密封比压 (MPa);
 q_s ——密封比压 (MPa);
 $[q]$ ——密封面材料的许用比压 (MPa);
 Re ——雷诺数;
 Re_{cr} ——临界雷诺数;
 R_m ——抗拉强度 (MPa);
 R_{sf} ——弹簧负荷比值;
 r ——安全阀额定排量压力时介质的气化潜热 (kcal/kg);
 T ——热力学温度 (K);
 T_d ——安全阀排放温度 (K);
 T_{out} ——安全阀出口温度 (K);
 t ——弹簧节距 (mm);
 t_j ——计算壁厚 (mm);
 t_m ——名义壁厚 (mm);
 t_s ——设计壁厚 (mm);
 W ——安全阀排量 (kg/h);
 W_r ——所需泄放量 (kg/h);
 W_t ——安全阀计算所得理论排量 (kg/h);
 X ——在出口条件下蒸汽所占的质量分数 (%);
 Z ——气体的压缩系数;

- η ——[动力]黏度 (Pa·s);
- η_g ——气体动力黏度 (Pa·s);
- η_l ——液体动力黏度 (Pa·s);
- ρ ——密度 (kg/m^3);
- $\rho_{\text{out} \cdot \text{g}}$ ——出口的蒸汽密度 (kg/m^3);
- $\rho_{\text{out} \cdot \text{l}}$ ——出口的液体密度 (kg/m^3);
- ρ_s ——升力系数;
- α ——弹簧螺旋角 ($^\circ$);
- φ ——焊接接头系数;
- δ_1 ——弹簧余隙 (mm);
- τ_2 ——弹簧在 F_{sh} 负荷下的切应力 (MPa);
- τ_b ——弹簧并圈切应力 (MPa);
- τ_s ——弹簧试验切应力 (MPa);
- $[\tau]$ ——许用切应力 (MPa);
- μ ——在流动温度下的绝对黏度 (cP)。

绪 论

安全阀是一种自动阀门，它不需借助外力而是利用介质本身的压力来排出额定数量的流体，以防止系统内压力超过预定的安全值。安全阀广泛应用于国民经济各个领域，它能够防止锅炉、压力容器或压力管道等承压装置和设备因超压而破坏，以保证设备的正常运行和人员安全。

随着科学技术的迅速发展，各种工业承压装置的参数越来越高、规模越来越大，设备的大型化和密集度不断加大，安全生产成为企业发展建设中不可忽视的关键问题。尽管随着工业生产装置控制水平的提高，集散控制系统得到了普遍的应用，人们在工艺控制上采用了诸如超压报警、联锁停机等多种措施，在确保装置的生产安全方面发挥了重要的作用，但是安全阀仍然是保证锅炉、压力容器及压力管道等承压装置和设备安全不可缺少的主要设施之一。安全阀被视为生产系统的最终泄压保护装置，也称为生产系统安全的最后一道防线。

1. 安全阀技术的发展

1679年法国物理学家 Denis Papin 研制的一种蒸汽压力锅上首次安装了安全阀，用来防止蒸汽压力过高而发生事故，如图 0-1 所示。它借助一个杠杆和一个可移动的重锤，保持安全阀在正常操作运行中处于关闭状态；并沿着杠杆移动重锤可以调节压力锅中蒸汽的压力，如图 0-2 所示。他所发明的首台安全阀于 1681 年获得了设计专利。

1769年瓦特蒸汽机的发明使阀门进入了机械工业领域。随着工业的发展，蒸汽机的广泛应用，促进了安全阀的发展。

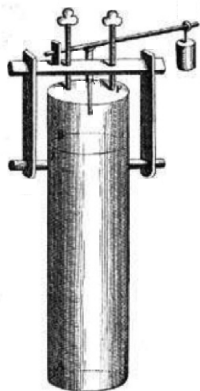


图 0-1 Denis Papin 发明的首台安全阀
(摘自 Leser 公司样本)

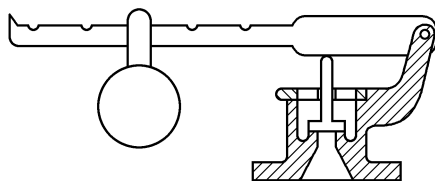


图 0-2 早期的安全阀结构

早期安全阀的阀瓣采用重锤加载而非弹簧加载的原因：一是当时生产适用的弹簧是困难的；二是对利用弹簧弹力特性作为阀瓣升力存在异议。然而，随着锅炉压力的增加，重锤很快地变得很重，由于安全阀的尺寸和工作压力的不断增加采用重锤加载而变得不切实际。虽然杠杆重锤式扩展了它的应用范围，但是杠杆不方便安装，且影响压力的调整，而且它们容易被干扰产生意外泄放。弹簧加载不仅克服了重锤加载的缺点，弹簧特性也能够与流体作用在阀瓣上的升力相匹配。为此，现在几乎所有的直接载荷式安全阀都是弹簧加载的。

早期的重锤加载在阀瓣上的直接载荷式安全阀，其阀瓣的形状类似于截止阀的阀瓣，密封面是锥面的或平面的。当增高的流体压力使阀瓣从阀座上升起时，逸出的流体不可能给予阀瓣上充分的动能，所以阀瓣的开启高度在允许的超压下是很小的。因此早期的努力是设法改进安全阀的开启高度。

1828年，Timothy Hackworth 研制了一种用于蒸汽机车和锅炉的敞开弹簧式安全阀，如图 0-3 所示，从而开启了安全阀的结构设计的新思路。当时的首个弹簧式安全阀采用的是多重叠的片簧（碟簧），其能够依靠拧紧螺母来调整弹簧力。然而，当时这种蒸汽安全装置并不比在使用中的安全装置更可靠。

1848年英国人 Charles Ritchie 利用气体的膨胀特性以抬高阀瓣，从而对安全阀的结构进行了有意义的改进。其借助于具有外周流动变流结构的阀瓣与围绕密封面的唇形，形成了一个围绕阀座的第二节流环形室，如图 0-4 所示。这种结构，使安全阀在初始开启时，排放的气体在环形室中膨胀，导致安全阀迅速起跳。但是逸出的气体流向与阀瓣呈 90°偏斜，所以只有部分动能转换成升力，安全阀只能在正常可允许的超压下实现部分开启。

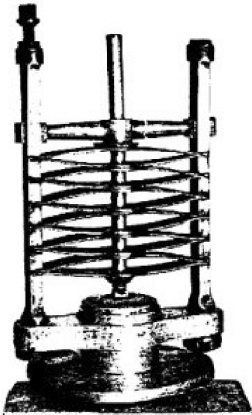


图 0-3 首个敞开弹簧式安全阀

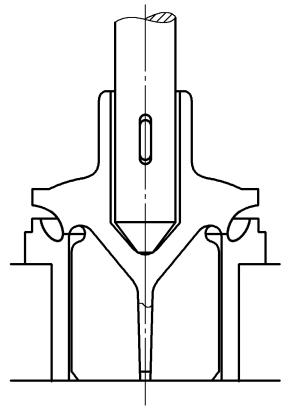


图 0-4 Ritchie 型结构

1863年 William Naylor 又改进了安全阀的开启高度，其将围绕阀瓣的唇形结构可以使排放流体转 180°，如图 0-5 所示。这种结构使排放的流体能在阀瓣上产生较大的升力，但是安全阀仅仅能够随着超压的增大而成比例地开启。流量和相应的升力在可允许的超压范围内抬起阀瓣，且最初仍然太小。

现代安全阀的设计兼备了 Ritchie 和 Naylor 的结构原理。即它包含围绕阀瓣的唇形，

有形成围绕阀座的第二节流环形室，且排放流体偏转 180°，还利用流体对于阀瓣或反冲盘的反作用力进一步增加了安全阀的开启高度。液体安全阀基于该设计原理在超压 10% 范围内还可以达到全开启。

安全阀最初用于工业锅炉和蒸汽系统的蒸汽超压排放。为了保护弹簧免受高温蒸汽的影响而致使弹簧整定压力值发生变化及可能随之而来的弹簧松弛，安全阀的阀盖是敞开的，可以使泄漏到阀盖的蒸汽直接逸散出去，如图 0-3 和图 0-6 所示。然而，现代工业生产中的过程流体是不允许逸散到安全阀的周围的，以免污染环境或损失昂贵的过程流体，因而在安全阀的结构上采取封闭式阀盖或波纹管式，如图 0-7 和图 0-8 所示。由于安全阀排放的过程流体进入封闭的排放管路会产生一定压力，为减小封闭系统中的背压对安全阀性能的影响，采用了平衡结构（活塞式或波纹管式）的弹簧载荷式安全阀或先导式结构安全阀，如图 0-8 和图 0-9 所示。

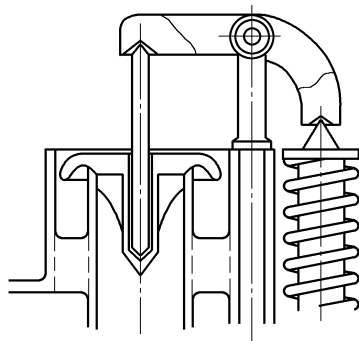


图 0-5 Naylor 型结构



图 0-6 蒸汽安全阀



图 0-7 封闭式阀盖安全阀

第二次世界大战后，由于聚合材料、润滑材料、不锈钢和钴基硬质合金的发展，各类阀门得到迅速发展，阀门制造业逐渐成为机械工业的一个重要组成部分。为适应当代工业发展的需求，研发出了一些高性能的安全阀。20 世纪 50 年代开始，国外一些企业为适应电厂动力锅炉的高温、高压蒸汽工况和节约能源的要求，研发了一种利用排放背压的特殊结构以提高回座压力，并且采用了一种弹性阀瓣结构，使得安全阀在高温、高压下的密封性能大大提高，如图 0-10 所示。为满足石油化工的发展而出现了不同类型的阀门，如耐蚀安全阀、衬里安全阀、液体泄放阀、特殊专用安全阀等。20 世纪 60 年代开始，为适应火电和核电工业的需求，研发了一些高性能、高可靠性的安全阀，如

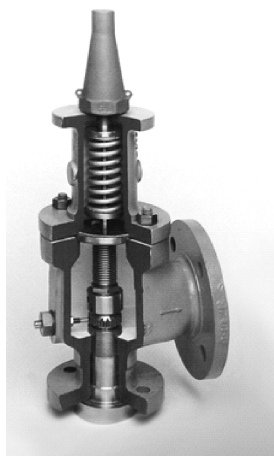


图 0-8 弹簧载荷式（波纹管式）安全阀

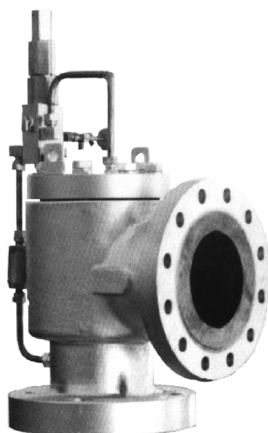


图 0-9 先导式安全阀

带动力辅助装置的安全阀、主蒸汽安全阀、稳压器安全阀、带辅助装置的先导式安全阀。为了实现弹簧直接载荷式安全阀操作压力接近整定压力的流体密封需求、安全阀准确开启及减小启闭压差，研制了带动力辅助装置的受控式安全阀，如图0-11所示。20世纪80年代开始，为满足石油化工工业的节约资源要求，研发了调制型先导式安全阀，如图0-12所示。其开启高度随进口压力增高而增加，排放量也随之增大，这就满足了按需适度排放的要求。既节约了资源，又减小了排放噪声，因而越来越多地被石油化工工业所采用。

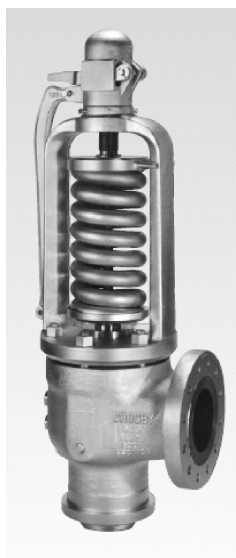


图 0-10 ASME I 安全阀
(摘自 Crosby 公司样本)

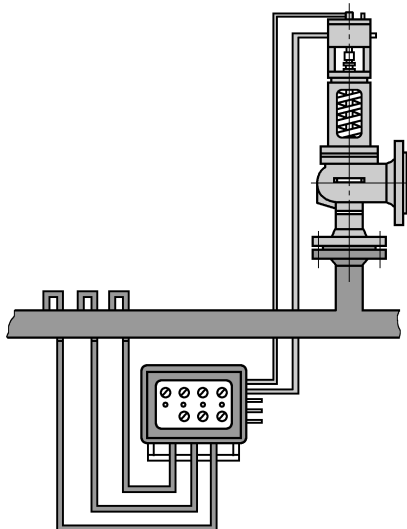


图 0-11 带动力辅助装置的受控式安全阀
(摘自 Leser 公司样本)

在一些工业发达国家,安全阀技术的研究和发展已有很长的历史。国际知名企业品牌,如美国的 CROSBY、CONSOLIDATED,德国的 LESER 都有百余年的历史。这些企业的安全阀技术先进、品种规格齐全、质量优异,在石油、化工、电力(火电、核电)、冶金、医药等行业得到了广泛的应用。在这些工业发达国家,已经形成了一套完整的安全阀理论。随着工业技术的发展,对安全阀的性能,如动态性能、可靠性等提出了更高的要求,安全阀技术仅在设计、质量控制、应用上进行局部的改进已不能满足需要。尤其是 1979 年 3 月 28 日,美国三哩岛核电站发生了一起



图 0-12 调制型先导式安全阀

(摘自北京航天石化技术装备工程公司样本)

严重的核泄漏事故,事故发生的一个主要原因是某一稳压器安全阀开启后被卡住而未能及时回座。这一事故发生后,美国电力研究所(EPRI)对安全阀进行了一系列的检验工作,EPRI在检验报告中指出:安全阀不但在设计、质量控制和应用上需要局部改进,而且有必要对安全阀的基础技术进行全新的研究。因而,从 20 世纪 70 年代末开始,对安全阀的研究又重新成为各国工程技术人员重点进行的工作,只是研究内容不再停留于其工作性能上,安全阀内部的流动状况和压力分布成为研究重点,以求更深刻地了解安全阀的工作特性。

随着研究工作的深入,人们越来越认识到,以往的试验研究存在着固有的不足,必须同时采用数值模拟的研究方法,以减少试验次数和深入地探究流动机理。由于受数值计算方法的限制,直到 20 世纪 80 年代末,才有了二维轴对称安全阀流场模型。从 20 世纪 90 年代后期开始,计算流体力学(CFD)技术的迅猛发展,使得安全阀数值仿真模型日趋完善,并应用到安全阀研发和设计完善的工程实践中。近几年来,已大大提高了人们对安全阀性能机理的理解和认识。

2. 安全阀故障导致的严重危害

安全阀在承压装置和系统中起着至关重要的作用,其故障或失效均会导致设备乃至整个系统无法正常工作甚至严重事故,尤其在核能、航空、航天领域,安全阀的失效可能导致灾难性事故的发生。

300 多年来,安全阀在应用中不断发展和完善,技术水平不断提高,至今已经是各种承压设备上必不可少的超压安全保护装置。但是,由于使用环境的苛刻和介质的多变,当今由于安全阀的制造、安装、使用、管理不当,还常常引起灾难性的事故。

每年在全世界都会发生许多锅炉和压力容器的事故,虽然有各种各样的原因,但是最常见的原因是安全阀的故障或失效。下面是近 30 年来安全阀故障导致严重事故的一些案例。

1) 美国三哩岛核泄漏事故。1979 年 3 月 28 日,美国三哩岛核电站发生了一起严

重的核泄漏事故，事故发生的一个主要原因是某一稳压器安全阀开启后被卡住未能及时回座，同时由于安全阀的阀位反馈在主控室显示错误，造成操作员做出错误判断及操作，最终导致该起事故发展成为严重的核泄漏事故。

2) 除氧器爆炸事故。1981年1月11日，我国某发电厂7号机组正常运行负荷200MW，在除氧器水位低的情况下，补充大量低温水，运行人员违反操作规程采用2.4MPa压力的二段抽汽加热（要求负荷大于150MW时采用三段抽汽）。当大量补水停止后，又未关闭汽源，造成了除氧器超压，安全阀虽然动作，但排汽量小于进汽量，压力继续升高，致使除氧器爆炸。事故造成设备和厂房严重损坏，并造成人员伤亡。

3) 贮气罐上的安全阀破裂，导致严重的毒气泄漏事故。1984年12月3日在印度中央邦首府博帕尔的美国联合碳化物公司发生一起严重的毒气泄漏事故，共造成2万多人死亡，经济损失近100亿美元。其原因是：在例行的日常保养过程中，由于维修工人的失误，导致异氰酸甲酯罐内产生了极大的压力。然而异氰酸甲酯贮气罐上的安全阀失灵，随着贮气罐内的压力增高，贮气罐上的安全阀破裂，液态异氰酸甲酯以气态从出现裂缝的安全阀中溢出，并迅速向四周扩散。

4) 稳压器安全阀泄漏导致核电站机组停堆事件。1991年6月5日，韩国STADE核电站在机组功率运行后突然发现稳压器安全阀的先导阀出现泄漏现象，经过评估，泄漏在允许的极限范围内，机组继续运行。但经过2个月的运行，发现安全阀的泄漏量越来越大，到8月14日，泄漏量已接近运行限值，机组被迫停堆到冷态维修。事后检查发现，安全阀泄漏的原因是由于阀体温差导致阀门密封面热变形。

5) Pickering NPP冷却剂事故。1994年发生的Pickering核电站冷却剂丧失事故，是由于一台标准结构的安全阀频跳造成管道破坏。事后设计了特殊结构的安全阀，替换下全世界约30个核电站一次回路中的标准结构的安全阀。

6) 锅炉超温、超压事故。1996年3月13日，我国某热电厂发生4号670 t/h锅炉超温、超压事故。原因是四个主蒸汽系统的安全阀不起作用，造成锅炉寿命损失7%的后果[锅炉承压部件严重超温、超压（最高主蒸汽压力达21.3MPa、主蒸汽温度达576℃，而额定过热器出口压力为13.7MPa、汽包压力为15.88MPa、主蒸汽温度540℃）]。

7) 安全阀泄漏，造成重大破坏和经济损失。20世纪90年代初，四川磨溪气田发生过一起由于安全阀泄漏，遇雷击引起天然气燃烧，造成重大破坏和经济损失。

8) 蒸煮锅事故。1999年7月5日，美国路易斯安那州氧化铝工厂发生数个贮罐爆炸事故，爆炸致使29人受伤。矿山安全与健康管理局（MSHA）提交的调查报告结论，爆炸原因是控制贮罐超压的安全阀和管线故障。

从上述安全阀故障导致严重事故的案例可见，无论是安全阀泄漏，还是安全阀不能正常开启，排放量不足，以及机械特性不好（频跳、卡阻），均会造成严重事故、人员伤亡和重大经济损失。

3. 安全阀规范和标准的历史

19世纪末，在欧洲发生了大量的锅炉爆炸及相应的人员伤亡事故，许多爆炸的原