

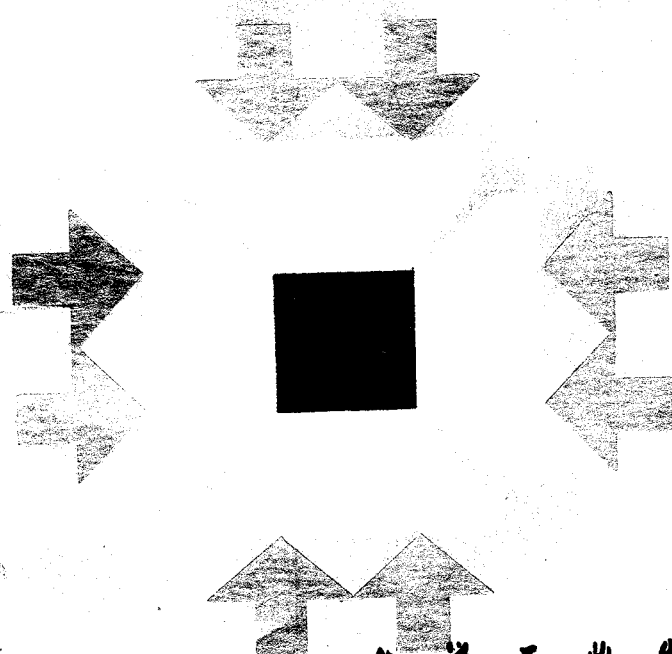
SHEBEI SHEJI CAILIAO JIQI TEXING

[美] 伊恩·L·斯佩恩 编著
杰克·波韦

高压技术

第一卷

设备设计、材料及其特性



化学工业出版社

内 容 简 介

本书论述了高压装置的基本技术以及高压技术在工业上的应用,所收集内容广泛,而且反映了最先进的技术。

本书分两卷出版,第一卷包括高压设备设计、材料及其特性、检测方法与安全操作等内容;第二卷讲述高压技术的应用与工艺,主要包括高压化学合成、高压合成晶体材料、等静压制以及液体射流切割等内容。

本书适合从事高压技术及有关专业的工程技术人员阅读,还可供大专院校的师生参考。

本书第一卷译稿曾经北京市通用机械公司余亚屏同志审核。

Ian L. Spain Jac Paauwe

High Pressure Technology

Volume I

Equipment Design, Materials, and Properties

Marcel Dekker, Inc. New York 1977

高 压 技 术

第 一 卷

设备设计、材料及其特性

陈国理 等译

高家驹 校

许锡嘉

责任编辑:李建斌

封面设计:季玉芳

化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 850×1168¹/₃₂ 印张 20¹/₈ 字数 559千字 印数 1—2,490

1987年2月北京第1版 1987年2月北京第1次印刷

统一书号 15063.3855 定价 5.00 元

译者序言

1910年德国工程师纳特(Nernst)等研制成功了能耐200公斤/厘米²压力的高压容器,使研究了20多年的氢、氮合成氨的工业生产得以实现,接着合成甲醇、合成尿素以聚乙烯的生产中相继使用了高压技术,使这几种工业产品获得大量的生产。

压力不仅能促进化学反应,还能改变一些物质的物理性能。非金属的白磷,经超高压等静压挤压可变为具有金属性能的黑磷;脆性的陶瓷,可通过高压挤压提高其韧性。此外,人造水晶、人造金刚石、金属的切割与成型、采矿与粉末冶金也都应用了高压技术。高压技术目前已应用到许多工业部门。

高压技术包括高压装置(高压压缩机及高压超高压容器)及其操作。内容涉及设备设计、强度计算、密封技术、材料炼制及选用等;操作方面包括安全规则、检测技术等。关于这方面的理论与知识,在国内介绍较早的要推苏联З.Б. КОНТОРОВИЧ所著“化工机械及器械计算原理”(1954)及А.Д. ДОМАШНЕВ所著“化学生产机器及设备”(1957),前者主要是论述高压圆筒强度计算原理,后者兼有高压容器结构的论述及强度计算方法以及结构材料的选用,但两者都是教材性质的书,只论述高压容器的一些主要问题,对高压技术的其它方面,则语焉不详。虽然如此,两者对我国的高压技术仍然起了启蒙的作用。50年代后期,国内介绍了美国伊利诺(Illinois)大学教授EDWARD·W·COMINGS的专著:“High Pressure Technology”(1956),该书共十二章,前七章为设备、材料、强度计算、安全操作及实验技术,后四章为化工的高压操作、化学反应器及合成氨工艺。该书的介绍,对我国高压技术的发展起了一定的作用。1977年,美国马里兰大学教授伊恩·L·斯佩恩(Ian L·Spain)与杰克·波韦(Jac Paauwe)编著了本书“HIGH

PRESSURE TECHNOLOGY”第一、二两卷,第一卷为设备设计、材料及其特性;第二卷为高压技术的应用与工艺。每卷十四章。美国这两套专著,后者比前者无论是内容份量方面或技术水平方面,都大大推进了一步。第一卷中介绍了耐1000公斤/厘米²以上压力的超高压装置,并介绍了流体、材料及固体物质在超高压下的特性及力学性能,这些内容都是近期科学研究的成果,为前者所未有;第二卷中应用与工艺由原来只是合成氨一种工艺扩展到九种工艺,其中包括七十八年以来迅速发展的等静压挤压技术以及最新发展的金属液压成型、液体喷射切割技术。每章并附有大量参考文献及参考图书目录,方便读者查阅原始文献。为了使国内工程界广大工程技术人员、高等院校师生都能接触了解这些内容,特予翻译介绍。无疑,如果这两卷书的内容为我国广大科技人员所掌握,则将变为巨大的技术力量,对我国高压技术的应用、对四化建设将会有很大的促进作用。这是译者深切的期望。

书中人名甚多,翻译时均按商务印书馆《英语姓名译名手册》的译名统一,并附在书后作为索引。名词术语则遵从清华大学编《英汉技术词典》的译法并与化工机械专业《化工容器及设备》一书所规定者一致。

本卷前言、第一卷介绍、第一章由陈国理译;第二章由张业民、陈柏暖译;第三、四章由陈柏暖译;第五章由邓李文译;第六章由钟汉通译;第七章由陈国理译;第八章由钟汉通译;第九章由曾晓英、陈国理译;第十章由赖仁芳、陈柏暖译;第十一章由赖仁芳、陈国理译;第十二章由黎廷新译;第十三章由简趣玲、陈国元译;第十四章由蓝福堂译;附录(全书人名索引)由陈国理整理。全书最后由陈国理统稿。

本卷译稿蒙化工部化肥中心、上海化工研究院高级工程师高家驹及广东省化工建设公司高级工程师许锡嘉校阅,在此谨向他们表示衷心的感谢。

译 者

1985年6月

作者序言

本书分为两卷，试图论述高压装置的基本技术、高压对材料的影响及其在技术上的应用。虽然在此之前已有一些书谈到高压技术的个别专题或总结现代高压方面的某些研究，而本书却填补了目前高压技术文献中的空白。

编者的基本目的是想将它写成一本实用的书，供以高压为手段的工业生产或实验室使用。由于书内各章都是高压技术状况的总结，专业人员对这些内容将会特别感兴趣。毫无疑问，读者将从中获得以前所不熟悉的工艺技术、实际知识和具体应用。书中目录概括了迄今只分散在许多论文和书册中的资料，此外，还提供了大量的参考文献，以引导读者作更深一步的研究。

本书对初学者或学生也是非常有用的，他们将从中得到有关设备、安全等方面基本知识的梗概，而许多有经验的研究人员将会从中得到许多有价值的资料。此外可以看出，本书还有更广泛的作用，它把研究和近期的应用紧密联系在一起。因此，可以预期本书将会促进新的技术和应用。

此外，一些单位的领导者和行政管理人员也将会对本书感兴趣，他们可以从书中了解到整个高压领域的概貌。学校的教师可以从中得到许多可供课堂讨论的设备设计、设备特点和高压工艺的例题和习题。

本书还可作为高等学校在校学生或早期的研究生的专业教科书。如将本书作为开阔学生视野、使其由一门专业知识而及其它学科知识之用则会特别有价值。因而它可以用于物理、化学、机械或工业工程课中。

本书原系美国碳素学会1972年会议上的一篇宣讲论文，会议上H·特蕾西·霍尔（H. Tracy Hall）博士由于他在高压科学领域

的创造性发明而获得推崇，这篇由H·特·霍尔博士介绍的论文随后得到出版。正是这篇论文促使马塞尔·德克尔公司 (Marits Dekker, Inc.) 的总裁马里特斯·德克尔 (Marits Dekker) 博士建议出一本关于高压工艺和技术的书。由于编写工作量很大，决定由编者两人和撰稿者若干人共同进行这一工作。我们希望将它写成一本实用的书，其中许多章是由工业生产和政府实验室中公认的权威写的。

可以肯定，由于高压工艺涉及的范围很广，取材不可避免有所遗漏，我们希望能包括主要的方面，也引入一些大家不太熟悉的内容。

高压技术是一门具有吸引力的技术学科，如果这两卷书能激发读者更大的兴趣，就算达到了目的。

伊恩·L·斯佩恩

杰克·波韦

第一卷介绍

本卷分为若干部分，首先考虑的是高压系统的一般操作，包括标准操作规程、安全及安全规则、检验方法、有害物质及处理。着重强调，只要小心和遵守规程，高压设备是可以安全使用的。但作为一个专业人员，应知道爆炸泄压可能产生的影响，并懂得计算由此可能引起的破坏以及对它的控制。

第二大类涉及高压技术系统，内容包括高压构件、泵和压缩机、压力容器、超高压设备和高压测量等章。在所有装置中，结构材料是首要的。因而专用一章论述此题。此外，对构件的无损检验作概要的介绍。

第三大类介绍与主要工艺有关的材料在高压下的基本特性，并在有关章节中分别讨论液体和固体的特性，最后一章介绍了材料的机械性能。相变的介绍则放在第二卷。

应用过去的情况作为指南推断将来的应用有时是可能的。值得注意的是，高压技术是否继续进行绪论章中所指出的、过去做过现在还在进行的一些基础研究，并在这些同样的范例中得到应用，只有等待时间的回答。

第一卷撰稿人

- 杰克·波韦 (JAC PAAUWE), 美国马里兰, 银泉, 海面武器中心白橡树实验室; 美国马里兰, 科勒吉 (College) 广场, 马里兰大学, 化学工程系, 高压科学实验室。
- 伊恩·L·斯佩恩 (IAN L. SPAIN), 美国马里兰, 科勒吉广场, 马里兰大学, 化学工程系, 高压科学与工程材料实验室。
- V·C·D道森 (V·C·D·DAWSON), 美国马里兰, 银泉, 海面武器中心白橡树实验室。
- 约翰·N·费登尼亚 (JOHN N·FEDNIA), 美国马里兰, 罗克维莱 (Rockville), 职业工程师。曾在海面武器中心白橡树实验室工作。
- P·E·詹姆斯·M·埃德米斯顿 (P·E·JAMES, M·EDMISTON), 美国马里兰, 银泉, 美国仪器公司特拉文诺尔 (Travenol) 实验室部、工业产品部工程经理。
- P·博尔塞蒂斯 (P·BOLSAITIS), 委内瑞拉、加拉加斯 (IVIC) 工程与计算中心。
- 爱德华·L·克里斯科罗 (EDWARD L·CRISCUOLO), 美国马里兰, 银泉, 海面武器中心白橡树实验室。
- 威廉·B·斯特里特 (WILLIAM·B·STREETT), 美国纽约, 西点 (West Point), 美国海军学院, 科学研究实验室。
- H·LI·D·皮尤 (H·LI·D·PUGH), 苏格兰, 东基布赖德 (East Kilbride), 国家工程实验室, 流体静压挤压及高压工程部。
- E·F·钱德勒 (E·F·CHANDLER), 苏格兰, 东基布赖德, 国家工程实验室, 流体静压挤压及高压工程部。
-

目 录

译者序言

作者序言

第一卷介绍

第一卷撰稿人

第一章 高压技术的过去、现在和展望..... 1

参考文献 11

第二章 高压作业.....13

§ 2.1 绪言..... 13

§ 2.2 高压系统中的力和能量..... 13

§ 2.3 某些高压事故的起因..... 16

§ 2.4 设计与可靠性..... 17

§ 2.5 材料..... 23

§ 2.6 试验及安全..... 23

§ 2.7 标准操作规程及操作说明书..... 25

参考文献.....27

参考图书.....28

第三章 安全与安全规范.....29

§ 3.1 绪言..... 29

一、惰性气体.....30

二、与空气形成爆炸混合物的气体.....30

§ 3.2 冲击波特性31

§ 3.3 计算方法32

一、气体膨胀释放的能量.....32

二、当量TNT重量.....35

三、爆炸等压曲线.....37

四、爆炸破坏的评定.....40

五、碎片与次生破坏.....42

六、高压液体.....43

§ 3.4 破坏的评定和举例45

§ 3.5 安全规范49

§ 3.6 小结51

参考文献.....51

第四章 有害物质及其处理	52
§ 4.1 绪言	52
一、化学工业中的高压技术	53
§ 4.2 有害物质的特性	53
一、危害健康	53
二、易燃性	56
三、易爆性	58
§ 4.3 有害物质	59
一、工业有害物质	59
二、压力对生物的影响	62
§ 4.4 工业安全	64
一、职业安全	64
二、工业事故	65
三、高压对材料的损害	66
参考文献	69
第五章 高压部件	72
§ 5.1 绪言	72
§ 5.2 静密封	74
一、标准的锥形密封	76
二、其它管道接头及密封	84
三、容器端盖密封	87
四、电导线接头	97
五、视镜	99
§ 5.3 管子、管道和软管	101
§ 5.4 阀门	104
一、旋塞阀	104
二、球阀	106
三、闸阀	107
四、截止阀	108
五、隔膜阀	109
六、蝶阀	111
七、箍紧阀、挤压阀或夹紧阀	112
八、止逆阀	113
九、泄放阀和安全阀	115
十、调节阀	117
十一、针形阀	118

十二、阀的泄漏·····	125
§ 5.5 高压系统的流体流动·····	125
§ 5.6 小结·····	133
参考图书·····	134
参考文献·····	136
第六章 泵和压缩机 ·····	138
§ 6.1 绪言·····	138
§ 6.2 一般分类与准则·····	139
§ 6.3 往复式泵和压缩机·····	147
一、基本原理·····	147
二、流体压缩的热力学和功率计算·····	149
三、曲柄式操作的泵和压缩机·····	162
四、用流体操作的装置(倍加器)·····	168
五、隔膜式装置·····	175
六、水银活塞式压缩机·····	180
七、动密封·····	183
八、压缩机气阀·····	195
九、往复式压缩机设计和维修中的一些问题·····	202
§ 6.4 旋转式泵和压缩机·····	206
一、正位移式装置·····	206
二、动能式或动力式装置·····	213
§ 6.5 特殊的压缩系统·····	228
一、前言·····	228
二、冲击管·····	228
三、弹道式活塞压缩机·····	228
四、两级轻质气体发射器·····	230
五、脉冲磁场和高能量激光·····	231
§ 6.6 小结·····	232
参考文献·····	234
参考图书·····	237
第七章 高压圆筒容器 ·····	239
§ 7.1 圆筒容器·····	239
一、一般应力——应变方程式·····	239
二、圆筒仅受内压时的弹性操作方程式·····	241
三、提高圆筒强度方法的一般评论·····	244
四、有直径过盈的复合圆筒·····	246

五、自增强过程	251
六、自增强处理的径向膨胀	260
§ 7.2 剖分式高压容器	264
§ 7.3 高压釜、蠕变及应力松弛	268
§ 7.4 高压容器的疲劳设计程序	280
§ 7.5 高压容器的螺塞	291
§ 7.6 小结	294
参考文献	294
第八章 高压系统的压力与温度测量	296
§ 8.1 绪言	296
§ 8.2 压力测量	296
一、一次测量与二次测量准则	296
二、一次测量准则	298
三、二次测量压力仪表	307
§ 8.3 高压系统中温度的测量	321
§ 8.4 高压下其它特性的测量	325
参考文献	325
参考图书	328
第九章 高压设备用材	330
§ 9.1 绪言	330
§ 9.2 结构材料的性能	330
一、屈服强度	333
二、塑性变形和延性	339
三、断裂强度和韧性	343
四、高温强度	350
五、环境影响	354
§ 9.3 高强度材料的选择	357
一、超高强度钢	357
二、高强度铝合金	360
三、高强度钛合金	362
四、其它结构材料	362
五、低温材料	365
六、高温材料	366
参考文献	368
附录	371
第十章 无损检验	388

§ 10.1 绪言	388
§ 10.2 射线照相	389
一、射线源	389
二、胶片特性	393
三、射线照相技术	395
四、显影过程	399
五、射线照相分析	399
六、放射安全	400
§ 10.3 超声检验	401
一、超声波基本原理	402
二、超声波的传播	403
三、超声波检测装置	404
四、超声波检验方法	405
§ 10.4 液体渗透检验	406
一、基本原理	406
二、荧光渗透法	407
三、染色渗透法	408
§ 10.5 磁粉检验	409
一、磁粉检验基本原理	409
二、磁化方法	410
三、检验介质 (磁粉)	411
四、去磁	412
§ 10.6 其它无损检验方法	412
参考文献	413
第十一章 超高压装置及技术	414
§ 11.1 绪言	414
§ 11.2 活塞—圆筒式装置	416
§ 11.3 对置砧座式装置	418
一、布里奇曼砧座	419
二、带式 and 环式结构	423
三、四面体、正六面体和其它多层砧座挤压	425
§ 11.4 压力标准与标定	429
一、一次标准	430
二、二次压力标准	431
三、固定点压力	434
四、超高压设备的标定	435

§ 11.5 超高压系统的极限能力·····	436
参考图书·····	439
参考文献·····	439
第十二章 流体在高压下的特性 ·····	444
§ 12.1 绪言·····	444
§ 12.2 热力学关系·····	446
一、固定组分系统·····	446
二、溶液·····	453
§ 12.3 P V T 状态方程式和平衡特性·····	456
一、状态方程式·····	456
二、派生特性·····	464
三、对应状态·····	468
四、流体的一般特性·····	470
§ 12.4 传递特性·····	473
一、粘度·····	474
二、导热系数·····	476
三、扩散·····	477
§ 12.5 流体混合物的相平衡·····	483
一、液—气平衡·····	480
二、液—液平衡·····	481
三、气—气平衡·····	483
§ 12.6 未来的发展·····	491
参考文献·····	493
第十三章 材料在高压下的特性 ·····	498
§ 13.1 绪言·····	498
§ 13.2 状态方程、压缩系数和弹性常数·····	498
一、一般问题·····	498
二、测定压缩系数或等温过程数据的实验方法·····	502
三、等温方程的经验关系式·····	505
四、不同温度下等温过程数据的修正·····	510
五、弹性常数及其随压力的变化·····	514
六、结束语·····	517
§ 13.3 压力对材料导电性的影响·····	517
一、单质金属·····	519
二、半金属·····	520
三、合金·····	522

四、半导体	523
§ 13.4 压力对原子迁移过程的影响	525
一、扩散	526
二、离子导电性	529
§ 13.5 压力对材料导热性的影响	532
§ 13.6 其它特性	534
附录 A	539
附录 B	541
参考文献	568
第十四章 固体在压力下的机械性能	574
§ 14.1 绪言	574
§ 14.2 实验设备和方法	575
一、拉伸和压缩装置	575
二、扭转装置	580
§ 14.3 压力和加压介质对材料性能的影响	582
一、压力下材料结构的变化	582
二、加压介质的影响	585
§ 14.4 液体静压力对金属的影响	587
一、延展性	587
二、脆性—延展性转变温度	591
三、压力预应变后的剩余延展性	593
四、抗拉强度和缩颈现象	595
五、应力—应变关系	598
六、断裂应力	602
七、延展性的转变	607
§ 14.5 液体静压力对聚合物的影响	608
一、应力—应变关系	609
二、延展性和不稳定性	609
三、屈服应力和断裂应力	613
四、杨氏模量	614
§ 14.6 结语	615
参考文献	616
附录 全书人名索引	623
本书第二卷简目	637

第一章 高压技术的过去、现在和展望

杰克·波韦

伊恩·L·斯佩恩

现代高压科学和技术的起源可以追溯到许多个世纪以前，虽然最早的许多记载已经遗失，但从最早时候人们需要控制水的供应以及所使用的设备（例如用来提升水的阿基米德螺旋，以至发展成为现代的水泵）来看，清楚地说明这些都是压力技术的应用。罗马人还成功地发展了利用压力来输送水和分配水的技术。图 1—1 中所示水泵的基本原理和许多现代用的水泵非常相似。

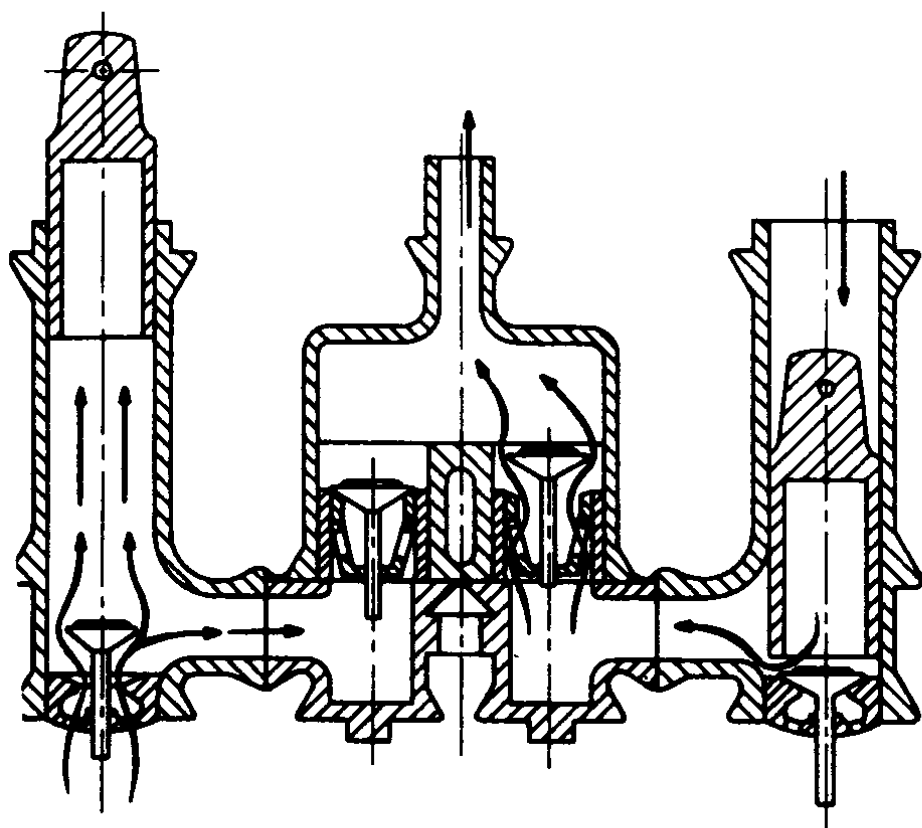


图 1-1 早期的泵的结构——创制者为亚历山大的斯特斯彼阿斯 (Ctesibios)，可能与阿基米德斯 (Archimedes) 同一时期

利用蒸汽的动力的设想导致了高压技术的发展。早在1125年，德国里姆斯（Rheims）的一个修道士曾使用蒸汽将空气吹进风琴的簧管里去。1663年，沃色斯特州（Worcester）的玛奎斯（Marguis）获得第一台蒸汽机的专利。法国人丹尼斯·帕平（Denis Papin）设计与建造了一艘装有蒸汽机的船，并声明他的这项发明是1700年初在德国卡色尔（Kassel）提出的。该项发明并非利用蒸汽作为动力，更确切地说，是利用了蒸汽冷凝产生的压差。

这个时期，虽然没有取得实质性的成果，但是促使许多工作在技术上取得重要的发展，例如马兰（Morland）采用了皮革活塞杯和轴罩后，为泵的改进打下了基础。

然而这个时期正是詹姆斯·瓦特（James Watt）提出改进蒸汽机之前的一百年，1769年，詹姆斯·瓦特在蒸汽作为动力的应用方面做了一项必要的改进，他首先利用正蒸汽压力推动活塞；其次，他把上下或往复的直线运动转变为圆周运动。接着在许多领域得到重要的应用，主要是用于铁路和海上的运输以及用作工业机械的动力。虽然上述这些机械所使用的蒸汽压力是相当低的，但锅炉还是

经常失效爆破。因而促使人们采用安全的规则与规范。

第一台高压釜被普遍认为是帕平（Papin）于1680年建造的。这台用于骨头萃取的压力容器是用青铜制成的，并具有鞍座夹钳紧固的安全盖（见图1-2）。此外还有根据均衡和平衡原理设计的安全阀，这种容器目前还在应用。这种装置还可在测量压力时用于预测压力的平衡。

帕平在英国工作过一段时间，在那里他会见过罗伯

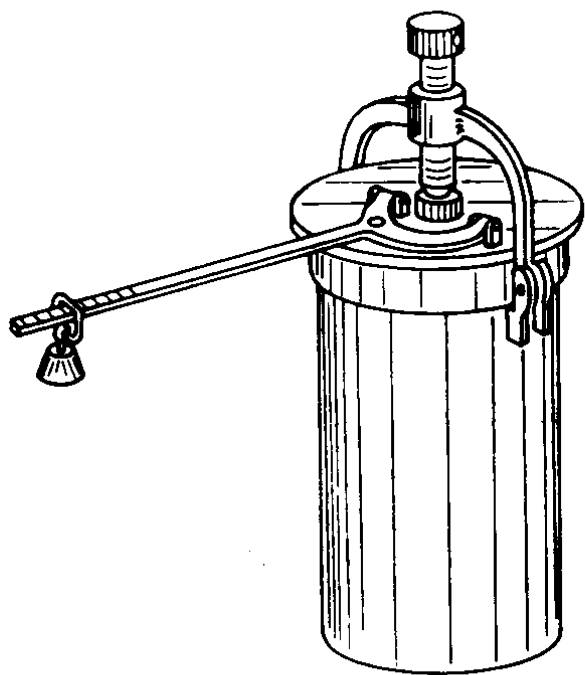


图 1 2 具有安全阀的帕平高压釜简图
（取自汤久（Tongue）的文章^[12]）