

工业蒸汽的有效利用

张昌煜 编

GONGYE
ZHENGQI
DE
YOUXIAOLİYONG



节能技术丛书 上海科学技术出版社

内 容 提 要

本书介绍工业蒸汽在生产、输送、使用和余热利用方面的工作原理。书中从如何有效利用工业蒸汽的角度出发,对蒸汽品质及其影响因素、汽水管道布置及其保温、蒸汽疏水器、工业用汽特点、动力设备、引射装置、热交换器、蒸发及蒸馏装置、重整工艺、蒸汽蓄热器原理及其应用实例、余热利用系统的工作原理等作了比较全面的论述,并结合大量计算例题,重点说明有关工业蒸汽利用技术的设计方法。

本书也是一本蒸汽工程的技术说明书,可供各厂从事蒸汽热力设备操作、维修及其节能技术革新等工作人员和管理干部使用,也可作为热能工程、食品、纺织、化工、炼油、节能技术等有关专业的大专院校师生及工程技术人员在学习和设计蒸汽热力设备时的参考书。

工业蒸汽的有效利用

张 昌 煜 编

上海科学技术出版社出版

(上海瑞金二路450号)

新华书店上海发行所发行 芜湖新华印刷厂印刷

开本787×1092 1/16 印张22.5 插页1 字数531,000

1984年6月第1版 1984年6月第1次印刷

印数: 1—7,100

统一书号: 15119·2321 定价: 2.80元

前 言

节约能源是我国全社会的主要任务之一。积极发展余热利用技术及开发新能源,固然是一个必不可少的手段,但正确有效地耗用日常能源,也是极为重要的环节。在这方面,关于如何有效利用工业蒸汽的问题尤为重要。因为蒸汽是各行各业都不可缺少的载能工质,在能量使用过程中,通过蒸汽作为载能工质来使用的能耗量,占据了总能耗量的极大比例。

对于蒸汽问题,人们的注意力往往容易集中在提高锅炉效率方面,但却常常忽略蒸汽本身的有效利用问题,甚至对于如何有效利用蒸汽的涵义及其技术要求也不够清楚。这本书准备就这一问题进行专门讨论,以便引起人们重视,达到促进节能的目的。

涉及蒸汽有效利用技术的问题应当从热力学、流体力学和传热学等角度进行分析,这就是编写本书的主要理论依据。其次,理论应当与实践紧密结合,因此结合有关实用技术来描述这三门学科的基本概念,乃是编写本书的主要方法。这样,编者把热力学基本概念分别放在“工业蒸汽及其热能利用原理”和“蒸发和蒸馏”两章内论述;把流体力学的基本定律结合“工业蒸汽的输送及其节能措施”一章进行讨论;把传热学的计算原理与“蒸汽在热交换器中的使用”一章编写在一起。此外,有效利用蒸汽的原理和余热蒸汽的利用技术也分别在各章中结合实际使用事例进行论述。同时,根据有关读者的工作需要,对于书中每一章的内容,力求从基本概念开始介绍,一直到进行简单设计计算为止,都是按由浅入深和便于分章自学的要求进行编写的。

限于篇幅,本书中不予介绍有关蒸汽量计测和调节原理、水处理、蒸汽品质测定、疏水器测试及其结构设计和维修、阀件型式和维修等问题,尽管这些问题对于有效利用蒸汽来说也是非常重要的。

本书初稿曾以油印本印发,并于1981年9月到1982年7月在上海市工程热物理学会与上海市业余科技进修学院主办的节能班上讲授过一遍,随后在此基础上修改成本书。

在本书编写过程中得到了沈炳正教授的帮助,承他对本书的编写大纲及具体内容提出了建设性的意见。董世份同志协助编者完成全书内容的选定工作,提供了有价值的编写资料。刘序椒同志帮助绘制了部分插图,钟永祺同志协助誊抄了全部文稿。沈炳正教授及李燕生副教授还在最后对全书作了仔细审校。所有这些,均使本书内容得到进一步充实和订正,借本书出版之际,编者一并在此表示深切谢意。限于编者水平,书中缺点及谬误之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

张昌煜

1983年6月于上海机械学院

目 录

第一章 绪言	1
一、有效利用蒸汽的涵义	1
二、蒸汽负荷和蒸汽品质	1
三、蒸汽的管道损失和疏水	2
四、蒸汽的主要用途	2
五、排汽的再利用和凝结水回收	3
第二章 工业蒸汽及其热能利用原理	5
§ 2-1 基本概念	5
一、水和蒸汽的集态性质	5
二、基本术语及其概念	5
§ 2-2 热力学参数和热力图表	9
一、温度-时间和温度-压力的变化曲线	9
二、压力-比容和压力-比焓曲线图	11
三、温度-比焓和比焓-比熵曲线图	12
四、蒸汽表	12
§ 2-3 热力学定律和有用能的分析	13
一、热力学定律	13
二、能级分析	13
三、有用能分析	14
四、焓的计算式	15
五、焓的工程应用	16
§ 2-4 蒸汽动力装置循环	17
一、基本概念	17
二、蒸汽动力装置循环分析	19
§ 2-5 蒸汽的热利用和减压减温计算	25
一、蒸汽的热计算	25
二、蒸汽的热利用效率	26
三、节流降压作用	29
四、减温计算	30
五、孔隙漏汽量计算	30
第三章 纯洁蒸汽获得法	31
§ 3-1 蒸汽的品质与有效利用的关系	31
§ 3-2 生产蒸汽的过程对蒸汽品质的影响	32
一、蒸发空间内水滴的形成和逸出	33
二、影响蒸汽带水的主要因素	35
三、蒸汽清洁度和水空间的盐分平衡	40

四、引起蒸汽负荷变化的原因及其对蒸汽品质的影响	41
§ 3-3 输送蒸汽的过程对蒸汽品质的影响	46
一、凝结水的产生和疏放	46
二、输汽管道的连接系统对蒸汽品质的影响	49
§ 3-4 使用蒸汽的过程对蒸汽品质的影响	51
§ 3-5 蒸发分离器(锅筒或蒸发容器)内纯洁蒸汽获得法	52
一、概述	52
二、一次分离(粗分离)元件	53
三、二次分离(细分离)元件	54
§ 3-6 余热蒸汽洁净法	55
一、余热蒸汽洁净的必要性	55
二、洁净装置	56
三、洁净系统	57
§ 3-7 汽水分离器	58
一、扩容器	59
二、除水干燥器	60
第四章 工业蒸汽的输送及其节能措施	63
§ 4-1 汽水管路的布置特点	63
§ 4-2 管路的膨胀和膨胀器	63
一、管路的膨胀和补偿方法	63
二、膨胀器	64
§ 4-3 管路疏水	66
一、管路疏水的必要性	66
二、暖管期间的疏水	67
三、疏水管路的配置	67
四、疏水的排放	68
§ 4-4 管路计算	69
一、有关流体输送的伯努利定理	69
二、输送压头的计算	70
三、阻力的计算	71
四、管道尺寸的确定	75
五、管道中流速的确定	77
六、流量的计算	77
七、平行管路中的流量分配	80
八、利用压降计算管径的方法	81
§ 4-5 管道的保温	86
一、保温绝热层的经济厚度	86
二、保温绝热层散热的表面系数	87
三、管道的热损失	88
四、经济效益计算实例	89
§ 4-6 有关蒸汽输送技术的问题	92

第五章 蒸汽疏水器	95
§ 5-1 蒸汽疏水器的作用和种类	95
§ 5-2 机械式蒸汽疏水器	95
一、浮子式疏水器	95
二、浮桶式蒸汽疏水器	97
§ 5-3 恒温差式疏水器	98
一、压力平衡式波纹管疏水器	99
二、液体膨胀式疏水器	100
三、双金属膨胀式疏水器	101
§ 5-4 热动力式疏水器	103
§ 5-5 脉冲式疏水器和导阀式疏水器	105
一、脉冲式疏水器	105
二、导阀式疏水器	105
§ 5-6 迷宫式疏水器和孔板疏水器	106
一、迷宫式疏水器	106
二、孔板疏水器	106
§ 5-7 泵吸式疏水器	107
§ 5-8 蒸汽疏水器的选用原则	108
一、工作特性	108
二、压力和温度的限制	108
三、排放容量	109
四、制造材料	111
五、不利条件的耐受能力	111
§ 5-9 蒸汽疏水器的安装和使用	111
一、疏水地点	112
二、管道尺寸配置	112
三、空气阻塞	112
四、蒸汽阻塞	112
五、集中疏水	113
六、污物	114
七、水击现象	114
八、耐热问题	115
九、腐蚀问题	115
十、疏水管路阀件和旁路阀的设置	115
十一、凝结水的提升	117
十二、维修问题	118
§ 5-10 蒸汽疏水器的设计估算	119
一、疏水量的计算	119
二、疏水器工作压差的估算和规格尺寸的确定	123
第六章 蒸汽在动力装置中的使用	127
§ 6-1 概论	127

§ 6-2 蒸汽机	128
一、概述	128
二、蒸汽机的工作性能	129
§ 6-3 蒸汽轮机	130
一、汽轮机的工作过程	130
二、汽轮机的选型	135
三、汽轮机的使用和维护	141
§ 6-4 辅助设备	143
一、给水设备	143
二、凝汽器	143
三、油系统	145
§ 6-5 供热蒸汽动力装置	145
一、背压式汽轮机	145
二、旁路式汽轮机	145
三、联合循环	146
§ 6-6 汽轮机的故障	146
一、超速	146
二、阀门损坏	147
三、叶片损坏	147
四、机组振动	147
第七章 工业蒸汽的引射作用及其工程应用	148
§ 7-1 引射器的工作原理	148
一、射流的作用	148
二、喷嘴的工作原理及其理论计算	148
三、扩压器的原理	151
四、引射器的过程分析	152
§ 7-2 引射混合加热器	153
一、概述	153
二、主要尺寸的确定	153
三、各项参数的近似计算	154
§ 7-3 热力压缩泵	155
一、概述	155
二、引射系数	156
§ 7-4 利用蒸汽抽吸工艺气体的真空引射器	157
一、引射级数的确定	157
二、蒸汽引射器的操作特性及其估算	159
§ 7-5 蒸汽引射器系统及其工程应用	160
一、热力压缩泵系统	160
二、使用蒸汽引射器的多效蒸发制冷系统	160
三、真空引射器系统	161
四、蒸汽引射器系统的设计	164

§ 7-6 喷射蒸汽的其它用途	169
一、蒸汽喷射直接加热法	169
二、蒸汽喷射液流泵(射水器)	170
第八章 蒸汽在热交换器中的使用	172
§ 8-1 传热的基本原理	172
一、导热	172
二、对流换热	175
三、辐射换热	184
四、沸腾换热	185
五、凝结放热	187
六、受热面上出现污垢时的传热计算	192
七、热交换器中的温度分布	193
§ 8-2 凝汽换热器	196
一、环套体式热交换器	197
二、壳管式热交换器	197
三、交叉流热交换器	198
四、汽锅型热交换器	198
五、板式热交换器	198
§ 8-3 夹层容器(套层容器)	200
一、概述	200
二、套层容器的传热计算	200
三、设计套层容器的一些问题	203
§ 8-4 用蒸汽盘管加热的容器	206
一、传热计算	206
二、料液在搅动作用下进行加热或冷却的计算	206
三、加热盘管的几何形状	208
四、紧缠式盘管容器	209
§ 8-5 膜式混合加热器	210
第九章 蒸发和蒸馏	212
§ 9-1 概论	212
一、混合物的热力学概念	212
二、蒸发和蒸馏过程的热力学概念	222
§ 9-2 蒸汽蒸馏(汽馏)或提馏(汽提)	227
一、汽馏的基本原理	227
二、分批汽馏(间歇汽馏)	229
三、连续汽馏或汽提	231
§ 9-3 蒸发器	232
一、蒸发器的型式	232
二、自然循环蒸发器	232
三、强制循环蒸发器	234
§ 9-4 单效蒸发	235

一、热平衡计算	235
二、 ΔT 的修正	237
三、水蒸气的再利用	237
四、再压缩操作的特点	238
五、水蒸气再压缩蒸发器的计算	238
六、再压缩系统的热力经济评述	241
§ 9-5 多效蒸发	241
一、多效计算	242
二、进料方式	246
三、确定效数的经济指标	247
四、蒸发比和料液温度	248
五、料液的预热方法	248
六、利用加热蒸汽压缩水蒸气的方法	250
七、综合评述	251
第十章 蒸汽变换工艺	253
§ 10-1 蒸汽重整过程	253
一、概述	253
二、输入过量蒸汽的必要性	254
三、采用过量蒸汽的缺点	255
四、蒸汽的产生	255
§ 10-2 高温重整	255
一、概述	255
二、蒸汽平衡和热量回收	256
§ 10-3 低温重整	257
一、概述	257
二、蒸汽平衡和热量回收	259
§ 10-4 在重整工艺中利用低压蒸汽来回收热量	260
第十一章 蒸汽的需求和供应	261
§ 11-1 蒸汽需求曲线	261
§ 11-2 蒸汽发生器的蓄汽作用	262
§ 11-3 蒸汽的生产与供应问题	263
一、概述	263
二、锅炉压力和温度	264
三、锅炉容量	265
§ 11-4 减温器	267
一、概述	267
二、管道减温器	269
三、减温器设置方法	270
四、减温器的其它型式	270
五、减温器计算	271

第十二章 蒸汽的蓄聚	272
§ 12-1 概 论	272
一、蓄汽的重要性	272
二、发展概况	272
三、有关定义	272
四、蓄聚介质	273
§ 12-2 蓄热器的设备	273
一、蓄聚容器	273
二、充蓄和排放设备	274
三、其它设备	274
§ 12-3 蓄热器的型式和系统	275
一、降压式蓄热器及其系统	275
二、定压式蓄热器及其系统	277
三、联合式蓄热器系统	278
§ 12-4 蓄热器的热力设计	278
一、蓄聚容量	278
二、充蓄速率和排放速率	280
三、效率	280
§ 12-5 蓄热器的用途和典型布置系统	280
一、主要用途	280
二、蓄热器系统的典型实例	283
§ 12-6 经济因素分析	286
一、节约燃料	286
二、节约资金	286
三、蓄热器装置的成本	286
四、经济条件的限制	287
第十三章 回收蒸汽及其余热利用	288
§ 13-1 低位热能的利用	288
§ 13-2 回收蒸汽的汽源和汽量确定	290
一、余热蒸汽	290
二、闪蒸蒸汽(二次蒸发蒸汽)	293
三、二次蒸汽	299
§ 13-3 回收蒸汽利用系统的分析	299
一、排汽利用系统	299
二、闪蒸蒸汽利用系统	303
三、二次蒸汽利用系统	303
§ 13-4 凝结水回收系统及其输送问题	303
一、凝结水回收系统	303
二、凝结水的输送问题	308
第十四章 蒸汽在工业中的使用实例	315
§ 14-1 蒸汽在化工厂中的使用和余热回收	315

一、余热锅炉的管理·····	315
二、化工厂内发展背压发电系统的研讨·····	316
三、化工厂中的余热回收·····	316
§ 14-2 炼油厂中的总能量系统·····	318
一、概述·····	318
二、使用锅炉和汽轮机的系统·····	318
三、使用燃气轮机的系统·····	321
§ 14-3 蒸汽在甜菜制糖厂中的使用·····	322
一、工艺流程概述·····	322
二、糖汁加热计算·····	323
三、工艺用汽量计算·····	324
四、汽水系统分析·····	325
§ 14-4 蒸汽在溶糖器中的使用·····	323
一、糖的溶化过程·····	326
二、糖浆的热量计算·····	326
三、耗汽量计算·····	327
§ 14-5 蒸汽在酿酒厂中的使用·····	328
一、酿酒过程概述·····	328
二、玉米浆液的闪蒸计算·····	329
三、蒸馏·····	330
四、热力压缩泵的操作·····	330
五、真空设备·····	330
六、多效蒸发器·····	331
七、汽轮发电机·····	331
§ 14-6 改进配汽系统的实例·····	332
一、添设蒸汽管道以节约蒸汽的实例·····	332
二、木材厂提高蒸汽利用率的实例·····	333
§ 14-7 地热蒸汽的使用系统·····	334
附录	
1 饱和水及饱和蒸汽表(按压力排列)·····	337
2 未饱和水及过热蒸汽表·····	339
3 饱和水的热物性表·····	342
4 干饱和蒸汽的热物性表·····	343
5 几种饱和液体的热物性表·····	344
6 干空气的热物性表($p=1.013$ 巴)·····	344
7 在大气压力($p=1.013$ 巴)下烟气的热物性表·····	345
8 保温绝热材料的密度和导热系数表·····	345
9 若干金属材料的密度、比热和导热系数表·····	347
参考文献·····	348

第一章 绪 言

一、有效利用蒸汽的涵义

随着人类社会的发展,能源供求问题日益紧张,迫使人们不断开发新能源和充分利用现有能源。

我国地大物博,资源丰富,又有共产党的领导和社会主义制度的保证,因此我国的能源问题是可以得到妥善解决的。但是,这几年我国能源生产的发展放慢了一些,并且浪费又较严重,以致当前的能源紧张已成为制约我国经济发展的一个重要因素。为了使我国经济建设在不断提高经济效益的前提下达到党和国家制定的宏伟目标,除了加强能源开发外,必须进一步挖掘潜力,实行各种措施,节约能源消耗。

从我国现有能源消耗的结构特点来看,大部分矿物燃料(煤、石油、天然气)都用来生产工业蒸汽。电力生产和各工业部门、各工艺过程都需要利用工业蒸汽的热能或势能,因此如何有效地生产和利用蒸汽就成为节能工作的重要环节之一。

广义地说,有效利用蒸汽的涵义至少应当包括以下数方面:

- (1) 有效地生产蒸汽——要求以最少的燃料化学能获得符合所需品质的最大蒸汽量;
- (2) 有效地输送蒸汽——要求蒸汽在给定的汽压和汽温下,以最小损失率输送到用汽场所;
- (3) 有效地使用蒸汽——要求在满足动力装置或工艺过程的用汽目的的前提下,以最高的热效率使用蒸汽所具有的势能和热能;
- (4) 有效地回收蒸汽、利用余能——要求在经济合算、方法简单、建设周期短的前提下,充分地回收和利用蒸汽的压差余能(裕压发电)及低温余热。

当然,为了保证能在实际生产过程中有效地利用工业蒸汽,加强管理工作及安全生产措施、定期调查热力设备实况以了解蒸汽供求部门的工作状况、注意培养节能技术人员和开展节能技术的研究交流活动等,都是非常必要的。

二、蒸汽负荷和蒸汽品质

锅炉、蒸发器等都是生产蒸汽的主要设备,其可靠性和经济性都将影响蒸汽品质及其使用效果。因此,为了有效地利用工业蒸汽,必须重视燃烧技术、蒸汽负荷及其变化特性、水工况、热平衡测试技术和热工自动调节等问题。这里特别要提一下蒸汽负荷与蒸汽品质的关系。

蒸汽负荷对蒸汽品质(汽压、汽温及含水量等)的影响主要来自两方面。其一是由于蒸发过程本身所引起的,例如蒸发面负载过分集中(不均衡)或汽水分离设备和水处理工况不符合要求等原因所致。其二是由于实际运行工况跟不上用汽负荷的变化而引起的,例如当外界负荷突增而调节性能达不到要求时,蒸发容器内汽压将突然下降,使其内部产生汽水共腾,并造成蒸汽大量带水。

影响蒸汽品质的任一因素,都会给工业蒸汽的利用带来严重影响。例如,按容积计算

时,即使蒸汽携带的水分不到1%,但按重量计算就可能达到30~40%。这些水量对于使用蒸汽的工艺设备或汽轮机以及锅炉过热器本身,都是非常不利的。一般说来,无论是汽压下降、汽温变化或蒸汽含水量增加,其综合结果都将使工艺过程恶化或使产品(包括电力生产)的燃料单耗增加。

因此,在生产蒸汽的过程中,要求尽可能地减少蒸汽负荷的峰值。为使负荷均衡,除了设置必要的加热(燃烧)设备和自动调节系统外,还应当在蒸汽发生器的蒸发容量及其台数的选择上以及在并联供汽系统的蓄热手段方面采取必要的措施,以便在负荷变化时能保证蒸汽的品质。

三、蒸汽的管道损失和疏水

无论是蒸汽管道、容器或用汽设备都要向四周的空气散失热量。必须对它们采取良好的保温措施。但是,从节能观点来看,管道中的能量损失明显地大于其它固有设施,因此其节能的潜力就更大。

通常,用管道输送蒸汽时,应尽可能使用小管道和短距离,以使热量损失减小到最低程度。除此之外,还应尽量减小其压降。一般,对于动力装置所使用的蒸汽,经常采用高温高压参数。但对于工艺过程的蒸汽,则宜采用尽量低的压力和较小过热度,这是因为用于工艺加热的蒸汽潜热愈大愈好。在这种情况下,为了减少热损失,宁可在输送前把汽压降低到最小必要的数值。

正由于蒸汽管道具有散热损失,从而在管道中必然会产生一定数量的凝结水。因此,如果不采取适当的疏水措施,则一方面无法保证输出的蒸汽完全干燥,另一方面,当管道内积聚了相当数量的凝结水后,便可能发生水击现象。为了避免发生水击事故,以及为了保证输出的蒸汽保持一定的干燥度以达到更有效利用蒸汽的目的,应当在管道中配置汽水分离器和疏水装置。

对于工艺加热设备来说,也需要考虑蒸汽疏水的问题,否则,蒸汽凝结水将在受热面上积累起来。为了不影响传热效果,应当尽快地使凝结水离开受热面,以便为蒸汽与受热面的接触创造一个最好的条件。此外,在排出凝结水时必须做到只排水不排汽,以减少管道或用汽设备的蒸汽泄漏量。这就需要熟悉蒸汽疏水器的性能、工作原理和结构型式,也就是说,蒸汽疏水装置是有效利用蒸汽的必不可少的设备之一。

四、蒸汽的主要用途

利用蒸汽作为工质具有许多优点。除了其来源充裕、成本低廉外,主要还有如下特点:

- (1) 化学性能稳定,它既无害于人体健康,也不会造成环境污染;
- (2) 水在定温下蒸发成蒸汽,方便了设备设计和加热操作;
- (3) 蒸汽热容量较大,因而可用较小的管道输送大量热量。在同样温度下蒸汽拥有的热量约为相同质量空气或烟气的25倍;
- (4) 易于调节控制,其热量也可逐级降压释放,适合重复加热和蒸发,符合热电联合生产的要求,能获得最大的经济效益。

蒸汽的主要用途,大致有下列方面:

- (1) 蒸发过程——使溶液中水分蒸发;
- (2) 干燥过程——使固体中水分蒸发;

(3) 升温工艺——通过受热面加热(间接加热)或蒸汽与工艺介质直接接触(直接加热)的方法,使产品温度升高;

(4) 保温工艺——减少工艺过程中的介质热损失,保证工艺过程所要求的恒温过程等;

(5) 蒸馏工艺——用来分馏或精馏产品,或作为去除油脂的加工工艺等;

(6) 重整工艺——蒸汽作为原料之一,用来提高产品气质量,扩大产品气用途;

(7) 蒸汽动力——作功或发电以及热电联合生产。

通常,除了作蒸汽动力用时需要较高的汽压和汽温外,作其它用时大都只需要较低的汽压和汽温(或饱和温度)。从有效利用蒸汽角度来看,应当对于各个工艺过程采用分层分级合理使用蒸汽的原则。特别需要注意,所使用的蒸汽压力不要超过实际需要。可以使用低压蒸汽的,就不要用高压蒸汽;可以用饱和蒸汽的,就不要用过热蒸汽。一般说来,工业锅炉作降压运行固然可以提高使用蒸汽的热经济性,但是在一定的压力范围内,降低锅炉的工作压力将会严重影响蒸汽品质,进而会影响蒸汽的使用效果。因此蒸汽参数的确定,应当根据锅炉型式及用汽设备特点妥善解决。必要时可以通过减压装置来获得所需的低压蒸汽,但从有效利用蒸汽角度出发,应当先充分利用原有高压蒸汽的势能(例如裕压发电装置)。这一点在确定蒸汽的热力系统时是必须认真考虑的。

五、排汽的再利用和凝结水回收

应当把余热资源看作为又一个重要的能源。其中,直接或间接地利用用汽设备的排汽和凝结水的热量,对于有效利用蒸汽来说,起着极为重要的作用。

从生产过程中回收的余热蒸汽,或高压凝结水经过扩容后的闪蒸蒸汽,以及利用各种工质或低温介质生产出来的二次蒸汽,统称为排汽或回收蒸汽。通常,回收蒸汽的汽压不会太高。大部分回收蒸汽可作为采暖通风和生活或车间用水的热源,但也有一部分(二次蒸汽)可以直接用来弥补新汽耗量的不足。余热蒸汽还可应用于清洗机、浴池、蒸浓设备以及重油、润滑油或油脂加热等装置。

合理组织排汽的利用系统,可以提高排汽利用设备的效率。在组织排汽利用时,有时还必须消耗一部分新汽量来使排汽再生,或者还必须进一步提高新汽压力。但只要组织得合理,其结果不仅不会降低新汽的有效使用能力,相反还可以提高整个企业的热利用经济性。排汽利用系统有许多种。采用哪一种系统,主要取决于蒸汽参数、排汽量及其污染程度、排汽汽源与用汽部门的相互位置等具体条件。为了提高排汽的压力,也可以利用新汽或机械泵来进行热力压缩。在需要使用低压的余热蒸汽时,可以利用高压凝结水扩容减压产生的闪蒸蒸汽。

应当指出,凝结水所含热能约占原有新汽的20~25%,因此为了提高蒸汽的有效利用效果,还必须回收凝结水。除此之外,回收凝结水还能减少锅炉的补给水量,从而可简化水处理系统,并可降低锅炉排污水量。

然而,在采用回收凝结水及其余热利用的各有关措施之前,必须对热力系统进行技术经济核算,以校验现有系统和工艺过程的改建可能性和经济合理性,并确定出最合理的回收热量的手段。必要时,可以改变设备型式、改变工艺过程、重新组织蒸汽管道的疏水系统以及改进操作方法。回收凝结水时还必须注意凝结水的脱脂和去除杂质的工作。

最后,必须强调一下,有效利用蒸汽问题并不只是余热蒸汽的利用问题。有效利用蒸汽

的技术是要把蒸汽用得巧、用得好,达到物尽其用的目的,它着眼于不浪费蒸汽或不浪费由蒸汽带来的势能和热量。一般说来,人们往往容易看到工艺过程中余热蒸汽利用的重要性,而忽略了在生产蒸汽和输送蒸汽以及工艺用汽过程中对于有效利用蒸汽本身所带来的影响和作用,以致在还未曾使用蒸汽之前,便已使所生产的蒸汽可用能量或蒸汽量遭受极大的损失。严重时,这些无形损失要比跑汽甚至比排汽损失更为显著。因此,必须正确对待有效利用蒸汽的节能工作。应当记住,余热蒸汽的利用问题仅仅是蒸汽有效利用技术的一个方面,而绝不是唯一或全部的内容。

第二章 工业蒸汽及其热能利用原理

§ 2-1 基本概念

一、水和蒸汽的集态性质

与所有物质一样,水或蒸汽也是由大量称为分子的微粒子所组成的。一千克冰、水或蒸汽约含有 3×10^{25} 个分子,每个分子的直径约为 2×10^{-10} 米。分子是鉴别物质一切化学性能的最小粒子,在物体内彼此分开一定的距离,并且始终处于运动中。根据分子运动自由度的不同,任何物质都可能呈现三种物理状态(或称相态)——固态、液态或气态。

在固态(固相)下,各分子的运动只是围绕其结合构体的平均位置进行振动。分子彼此很靠近,集聚于晶体结构内,相邻分子的距离小于分子直径。若对固相进行加热,分子振动得更加强烈。当振动的能级在某阶段内足以使分子突破其结合构体时,固相便熔成液相。这就是说,这种相变需要吸收热量,以破除晶格约束。此外,在熔解过程中物体温度不会升高(定温过程)。单位质量的物质自开始熔解到完全熔解所需的热量称为熔解潜热,各种物质的熔解潜热各不相同,它取决于各自晶格的约束(结合)强度。熔解的逆过程称为凝固,这时,需把相同数量的潜热释放给外界。

在液态下,分子将在液体所占的容积内自由运动。液体容积的形状取决于贮存容器的形状。这时,液体分子聚集甚密,彼此相距不超过一个分子直径。分子碰撞的机缘增多,次数频繁。若对液体加热,分子将运动得更快,碰撞得更加频繁有力。碰撞结果将使某些分子具有超平均速率(短暂时间周期内),而另一些分子则低于平均速率。在液体表面处具有较高速率的那些分子可以克服其周围液体分子的吸引力而逸出液面,转入蒸气状态。继续加热到分子的平均速率等于外逸速率时,就出现沸腾。如同在熔解过程中一样,沸腾也需吸收热量,以便突破邻近分子的吸引力。沸腾(蒸发)中的液体温度不再上升。使单位质量的物质在其沸腾温度下完全蒸发所需的热量称为蒸发潜热(或称汽化潜热)。蒸发的逆过程称为凝结,这时,将把相同数量的潜热释放给外界。

在蒸气状态下的分子彼此间没有多大的吸引力,它们却以高达每秒钟数千公里的速度漫无方向地运动着。在大气压力下蒸气态分子彼此之间的距离约为分子直径的十倍。分子占据了它们所能扩及的整个空间,仅以容器壁面为限。如果容器壁面是可移动的话(例如活塞),分子也能推动此壁面,扩充到所增大的空间内。蒸气在温度较低时,可以通过压缩把它回复到液体的状态;但当加热到高于某一温度时,则不能单纯用压缩体积的方法使它液化,这个温度叫做临界温度,高于临界温度时的蒸气就称为气体。

二、基本术语及其概念

1. 质量

量度物体惯性大小的物理量,用 m 表示,其单位通常用千克。

2. 密度和比容

物体的密度(ρ)就是单位物体容积(V)的质量(m)。比容(v)是单位质量的容积,即为密度的倒数。两者的单位通常分别用千克/米³及米³/千克表示。因此

$$\rho = m/V = 1/v \quad (2-1)$$

在1巴的大气压力下,水和蒸汽的密度分别约为1000千克/米³和0.6千克/米³,或1千克蒸汽所占有的容积约为1千克水的1625倍。

3. 温度

用 t 或 T 表示。从物质的分子结构观点来看,温度是分子和原子的运动强度。粒子运动得愈有力,碰撞得愈频繁,物体就愈热,其温度就愈高。温度的度量单位为 $^{\circ}\text{C}$ 或开尔文(开),并相应称之为摄氏温度或绝对温度(或热力学温度)。这时

$$T(\text{开}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273 \quad (2-2)$$

4. 力

牛顿第一定律表明,当物体加速或减速时,必然受到作用力。牛顿第二定律说明,使物体 m (千克)获得某一加速度 a (米/秒²)的作用力 F (牛顿)为

$$F = m \cdot a \quad (2-3)$$

5. 重量

作用于物体上的地球引力就是该物体的重量,并用 G 表示。自由落体的加速度为 $g = 9.81$ 米/秒²,因而根据牛顿第二定律可得

$$G = mg \quad (2-4)$$

这样,在地球上1千克质量的任何物体都具有9.81牛顿的重量。

6. 压力

作用于蒸汽容器内壁上的压力就是由于蒸汽分子多次冲击壁面所产生的作用力(以单位壁面积计)。加热蒸汽的结果,将使其分子变得更为活跃有力,它们对壁面的碰撞也就更频繁、更强烈。所以,当容器容积不变时,加热的结果既增加了蒸汽的温度,又增加了它的压力。

用牛顿/米²(又称帕)作为压力的单位,相对说来量级较小,所以通常使用巴作为度量单位;1巴=10⁵牛顿/米²,或1巴=0.1兆帕。1巴与1个大气压力相差不多,因此巴是一个便于使用的单位。

压力的大小还可用所谓“液柱(水柱或汞柱)高度”来表示。流体的压力好比是贮藏在高度为 l 的柱形容器中的流体重量对每单位底面积的作用力,即

$$p = \text{流体重量} / \text{底面积} = l \cdot A \cdot \rho \cdot g / A = l \cdot \rho \cdot g = l \cdot \gamma \quad (2-5)$$

$$\gamma = \rho \cdot g = G/V \quad (2-6)$$

式中 γ ——流体的比重。

显然, l 愈高,意味着流体压力愈高,流体的位能也愈大。举例来说,如果以汞柱表示压力时,则由于汞的 $\rho = 13.6 \times 10^3$ 千克/米³ 和 $g = 9.81$ 米/秒², 于是

$$1 \text{ 巴} = \rho g l = (13.6 \times 10^3) \times 9.81 \times l = 10^5 \text{ 牛顿/米}^2$$

或

$$l = 0.75 \text{ 米汞柱} = 750 \text{ 毫米汞柱}$$

这就是说,1巴等于750毫米汞柱。

7. 大气压

地球上的大气主要是由79%(按容积计)的氮和21%的氧所组成的空气。离开地面愈