

硅酸盐工厂热平衡

国家建材局生产办公室

内部发行

出版者：国家建材局
生产办公室

印刷者：浙江大学印刷厂

一九八三年四月出版

2.80

前 言

为贯彻国家计委、国家经委一九八一年公布的《对工矿企业和城市节约能源的若干具体要求》（五十八条）关于开展企业热平衡的规定，在硅酸盐工厂大力节约能源，普遍开展企业热平衡工作，我们请浙江大学硅酸盐教研室帮助编写了这本“硅酸盐工厂热平衡”，提供给硅酸盐工厂做为开展企业热平衡工作的参考。

本书共分十章，前三章主要介绍开展热平衡工作的基础知识，仪器仪表的选用等。第四章至第九章为硅酸盐工厂热工设备（水泥窑、玻璃窑、陶瓷、砖瓦窑、烘干设备、锅炉等）的热平衡测量和计算方法。第十章为企业全面进行热平衡的步骤方法。附录中还列有热工参考数据和图表以便查阅。

本书除供给硅酸盐工厂开展节约能源、进行热平衡工作的同志应用之外，还可作为有关科研、设计单位进行热工研究和热工设计的参考，有关院校和部门培训节能和热工专业人员时，也可作为参考资料。

本书绪论、第一、二、五、九、十章由沈锦林同志编写，第三、四章由杨家灿同志编写，第六、七、八章由蒋欣之同志编写。

参加本书审稿的有清华大学沈幼庭，建材研究院黄锦扬、赵介山，国家建材局李恨冬等同志。山东建材学院于志贤同志、国家建材局陈敏同志对全书进行了全面的审定。建材研究院黄锦扬、赵介山，北京墙体材料公司赵琰，咸阳陶瓷所赛勤国等同志也都提供了许多资料。在此向所有参加本书编审工作和提供资料的同志表示谢忱。

本书虽经许多专家的审阅和讨论。但是，由于硅酸盐工厂热平衡这项工作还是比较新的工作，各专业的热平衡测试标准还没有制定出来，因而本书提出的热平衡计算办法、测试内容等尚不完善。由于我们水平有限，~~对本书文比较匆忙~~，所以缺点和错误难免，希望同志们在使用过程中发现问题及时指正，~~并请各家多提宝贵意见~~，以便重新修订。

国家建材局生产办公室

一九八二年十一月

绪 论

能源是发展国民经济，进行社会主义现代化建设和提高人民生活水平的重要物质基础。

我国是一个能源比较丰富的国家，煤的储存量仅次于苏联、美国居世界的第三位，全国保有储量达6424亿吨。石油的储量占世界第八位，已探明的地质储量为71.4亿吨，剩余可采储量是14.5亿吨。天然气探明的储量为2617亿立方米，占世界第十六位。水力资源极为丰富，理论蕴藏量为6.8亿千瓦，居世界第一位，我国可开发的装机容量为3.8亿千瓦，但这些丰富的水力资源，大多地处在人迹难到的西北、西南地区。如以可采储量计算，我国按人口平均能源资源量只相当于世界平均数的一半，美国的十分之一，苏联的七分之一。从每人能源资源平均数看，我国能源资源并不丰富。

解放以后，建国三十一年来，我国能源的开发和利用有很大的增长，与解放初期相比，煤炭产量增加了19倍，石油850多倍，天然气1730多倍，水力发电34倍。随着生产的发展和人民生活需要的增长，工农业总产值增长了9倍，能源消耗总量却增长了24倍。我国一九八〇年能源消耗总量已达六亿吨标准煤。这个消耗量同日本一九七九年的能源消耗量（五点五亿吨标准煤）相近。但是，我国的国民生产总值只等于日本的四分之一。虽然由于资源情况和经济结构等的不同，不完全可比，但还是可以大体上反映我国能源利用上的一个很大的问题，就是浪费太大，利用效率太低。据统计，我国生产与生活的全部活动过程中，最后变为有用的能和功仅占百分之三十（其余百分之七十浪费了）。而一些工业发达国家能源利用率分别是：美国百分之五十，英国为百分之四十，日本为百分之五十四。这说明我国能源的利用率太低，节能潜力很大。

我国实现四个现代化需要大量能源。当前，我国能源的形势是紧迫的，已经影响了国民经济的发展速度。但也是能够通过努力来加以改变的。为了解决我国能源问题，必须提高能源对国民经济发展重要作用的认识，研究制定稳定的能源政策和科学的能源规划，加强科学管理，开源和节流，开发和节约并重，近期要把节能放在优先地位。我们要以节约能源为中心，加强科学管理，进行技术改造和结构改革，提高能源利用率，用相同数量的能源，获得生产和生活水平的提高，为早日实现社会主义现代化而努力。

一、硅酸盐工业能源消耗概况

硅酸盐工业是使用能源的大户，如其主要部门建材工业每年消耗大约五千多万吨标准煤，仅低于电力、冶金、化工部门居全国第四位。在轻工业中的日用玻璃、陶瓷、搪瓷、灯泡等生产每年消耗大约八百万吨标准煤，占轻工业的能耗百分之十八左右。在冶金工业中耐火材料能耗也占相当比重。因此抓好硅酸盐工业的节能，对于促进我国国民经济调整和发展，对于提高硅酸盐工业生产、管理、技术水平、实现现代化，都具有重要的意义。

目前硅酸盐工业现状是设备、工艺陈旧落后，能耗大，热效率低，浪费大，与国外同类产品先进水平相比存在很大差距，如以主要产品水泥、平板玻璃为例，一九八一年全国大中型水泥企业熟料热耗平均为1453千卡/公斤，而日本为808千卡/公斤。如果我们的热耗降到日本的水平，就可以用同样多的燃料，多生产水泥熟料一千三百万吨。我国平板玻璃每箱耗标准煤46.45公斤，而日本只有20公斤。如果达到日本的水平，不需要增加燃料就可以使全国平板玻璃的产量翻一番。

我国产品能源消耗高的主要原因：

1、管理水平低。能源管理机构不健全，基础工作薄弱，缺少必要的计量测试手段，忽视计量统计工作。至今，不少企业不同程度地存在着消耗没定额，使用不计量的现象。

2、生产工艺和技术装备落后。以水泥为例，国外自五十年代后期开始，能耗高的湿法窑就逐渐为带悬浮预热器的干法窑所取代，七十年代又在悬浮预热器的基础上，发展了窑外分解新技术。而我国目前水泥湿法窑生产还占主要地位，约占62%。特别是由于供需矛盾尖锐，加之我们技术准备不足，目前还不得不沿用一些耗能高，技术落后的生产工艺和装备。

3、工业结构和产品结构不合理。目前能耗高的小回转窑、小玻璃窑、小砖瓦窑占相当大的比重。据统计小回转窑平均每吨熟料标准煤耗272公斤，比大回转窑约高70公斤标准煤。平板玻璃单位能耗，大窑为30.81公斤标准煤/重箱，小窑为87.8公斤标准煤/重箱，比例近似1:3。小土砖窑的能耗比轮窑或隧道窑高50~100%。

在产品结构方面，主要是我们长期对省能新产品的发展重视不够，近几年虽引起重视，有了较快发展，但所占比例还很小。而国外正逐渐以省能的新型材料来取代。

4、设备（窑炉）材质差。窑炉是硅酸盐工业的主要热工设备，消耗燃料最多，约占燃料总耗量的75%左右。

国外水泥窑采用高质量耐火材料作炉衬，窑炉寿命可达3~5年，而我国的只能用70~120天。国外玻璃窑寿命可达6~8年，还采取了全保温的节能措施，而国内窑炉只能用二年半左右，关键部位还得吹冷风保护，更增加了热损失。由于设备材质差，使用周期短、停窑检修频繁，点火升温一次，就浪费了大量能源。

因此，针对我国硅酸盐工业能耗高、热效低、浪费大的实际状况，今后搞好企业热平衡，加强能源科学管理，积极采用新技术，有计划地改革旧工艺、旧设备，大力发展节能新材料，逐步改变产品结构，使产品的能源单耗、热效率接近国际先进水平是我们努力的目标。

二、节能与热平衡

什么叫节能？简要地说，节能就是节约能源消费。它的含义很广，即从能源生产开始，一直到最终消费为止，在开采、运输、加工、转换、使用等各个环节上都要减少损失和浪费，提高其有效利用程度。

根据节能的本意，它不是简单的能源消费数量的减少，更不应该影响社会活力，降低生产和生活水平，而是要充分发挥能源利用的效果，力求以最少数量的能源消耗，获得最

大的经济效益，为社会创造更多可供消费的财富，从而达到发展生产、改善生活之目的。也就是说，生产同样数量的产品或产值，要尽可能多地减少能源消费量，或者是以同样数量的能源，生产出更多的产品，这就是节约能源的经济概念。

节能的内容主要包括两个方面：一方面要提高能量利用效率，降低单位产品或产值的能源消耗量，称之为直接节能；另一方面，调整工业结构和产品构成，在生产中减少原材料的消耗，提高产品质量等等，就可以减少能源消费量，也叫做间接节能。

节约能源是我国实现“四化”最紧迫的任务之一，形势迫切要求我们尽快提高能源利用水平，迅速降低能源消耗。研究节能，主要是研究先进的省能工艺，以技术进步求得能源的消耗减少，重点是研究如何减少损失，如何使损失中可利用的部分再利用起来，以减少一次能源的消耗。热平衡是实现向科学管理要能，向科学技术要能的一项重要基础工作。通过热平衡，了解能耗状况、用能水平，节能潜力和省能效果，为制定以节能为中心的技术改造措施，提出可靠的科学依据。以便使工厂生产达到优质、高产、低消耗。窑炉在硅酸盐工厂中具有特殊地位，拟称“工厂的心脏”，它耗能多、对产品的产质量影响大。热平衡和热工测量是窑炉常用的研究方法，其目的就是考查窑炉的热效率，分析热能损失情况，挖掘节能潜力，进一步提高窑炉热效率；分析窑炉工况，各部位结构参数和操作是否合理，找出存在问题，以便改进生产，并为下周期窑炉冷修提供修改依据；对比采取新技术、新工艺后的技术经济效果；积累技术生产资料，为实现窑炉自动化监控提供参数，同时也有利于将窑炉各项技术经济指标提高到新的水平。

近年来许多硅酸盐工厂贯彻国家经委五十八条要求，开展了企业热平衡工作，推动了节能工作的开展，为企业进行节能技术改造准备了条件，取得了很好的效果。但是这个工作开展得还不够普遍。为此，推动硅酸盐工厂全面开展热平衡工作，制定有关热平衡测定的规定和标准，统一计算办法，建立热平衡测试中心，举办热平衡测试培训班等都是当前很迫切的工作，目前都还在刚刚开始进行。编写“硅酸盐工厂热平衡”也是为促进普遍开展热平衡测定的一个尝试。希望能够通过这本书的出版使硅酸盐工厂开展热平衡出现一个新局面。

目 录

绪 论

第一章 热平衡基本概念

第一节 热平衡中常用术语····· (2)

第二节 热平衡的原则方法····· (11)

第二章 热工基础知识

第一节 热平衡理论基础····· (12)

第二节 工质的性质及计算····· (13)

第三节 传热的实用计算····· (19)

第四节 燃料的组成及其发热量计算····· (27)

第五节 燃料燃烧计算····· (32)

一、燃料燃烧分析计算法····· (32)

二、各种燃料的经验计算公式····· (36)

三、空气过剩系数 α 的计算····· (37)

四、燃烧温度计算····· (38)

第三章 热工测量技术及仪表

第一节 概述····· (39)

第二节 温度测量及仪表····· (41)

一、膨胀式温度计····· (42)

二、压力表式温度计····· (43)

三、热电偶····· (44)

四、热电偶的传热误差及特种电偶····· (50)

五、热电偶的显示仪表····· (57)

六、电阻温度计····· (60)

七、辐射式高温计及其它测温仪····· (64)

八、热流计····· (71)

第三节 压力测量及仪表····· (73)

一、液柱式压力计····· (73)

二、弹性式压力计····· (75)

三、压力计的选择、安装和使用····· (76)

第四节 流量测量及仪表····· (76)

一、普通毕托管(测速管或动压管)····· (77)

二、动压平均管(笛形管)····· (82)

三、防堵毕托管····· (83)

四、风速仪····· (84)

五、差压式流量计····· (85)

六、转子流量计····· (87)

七、椭圆齿轮流量计	(89)
八、湿式流量计	(89)
九、涡轮流量计	(90)
十、靶式流量计	(91)
第五节 气体含尘率的测量及仪表	(93)
第六节 气体湿含量的测量及仪表	(101)
第七节 烟气成分的测量及仪表	(107)
第八节 煤的工业分析法	(114)
第四章 水泥窑的热工测量与热平衡	
第一节 热平衡体系	(123)
第二节 热平衡测量方案	(126)
第三节 回转窑的热平衡测量与计算	(133)
一、单项测量与计算	(133)
二、物料平衡	(145)
三、热量平衡	(147)
第四节 回转窑热平衡计算实例	(154)
第五节 回转窑热工分析	(176)
第六节 立窑的热工测量与热平衡	(180)
一、立窑的单项测量	(180)
二、物料平衡	(189)
三、热平衡	(190)
四、立窑热平衡计算实例	(191)
五、立窑几个主要经济指标的对比	(202)
第五章 玻璃熔窑热工测量与热平衡	
第一节 玻璃熔窑热平衡体系	(205)
第二节 玻璃熔窑热平衡测试方案	(206)
一、燃油蓄热式马蹄焰池窑热平衡测试方案	(206)
二、燃发生炉煤气横火焰平板池窑(熔化部、蓄热室系统)热平衡测试方案	(208)
三、燃发生炉煤气换热式双炉盖池窑热平衡测试方案	(211)
四、燃半煤气坩埚方炉热工测试方案	(213)
第三节 玻璃熔窑热平衡测试	(215)
第四节 玻璃熔窑热平衡计算	(237)
一、熔化部热平衡计算	(237)
二、蓄热室系统热平衡计算	(241)
三、熔化部、蓄热室系统热平衡计算	(244)
四、熔窑主要技术参数	(247)
第五节 热平衡测试计算实例	(249)
例 1、燃发生炉煤气六机平板窑热平衡测试计算	(249)

例 2、燃油蓄热式马蹄焰玻璃池窑热平衡测试计算	(275)
第六节 玻璃熔窑热工分析与节能	(292)
第六章 陶瓷焙烧窑炉的热工测量与热平衡	
第一节 热平衡体系	(301)
第二节 热平衡测试方案的制定	(302)
一、隧道窑热工测试方案	(302)
二、间歇式窑炉热工测试方案	(308)
三、陶瓷焙烧窑炉热工测试的步骤	(313)
第三节 陶瓷焙烧窑炉热平衡的计算	(315)
一、隧道窑热平衡的计算	(315)
二、间歇式窑炉的热平衡计算	(323)
第四节 焙烧陶瓷隧道窑的热平衡计算实例	(328)
例 1、油烧普瓷隧道窑的热平衡计算	(328)
例 2、煤烧普瓷隧道窑的热平衡计算	(334)
第五节 焙烧陶瓷窑炉的热工分析	(341)
第七章 砖瓦焙烧窑炉的热工测量与热平衡	
第一节 热平衡体系	(354)
第二节 热平衡测试方案的制定	(356)
一、隧道窑热工测试方案	(356)
二、轮窑热工测试方案	(364)
三、烧砖窑炉热工测试的步骤	(373)
第三节 烧砖窑炉热平衡的计算	(374)
一、隧道窑热平衡的计算	(374)
二、轮窑热平衡的计算	(382)
第四节 烧砖窑炉热平衡的计算例	(389)
例 1、烧砖隧道窑热平衡的计算	(389)
例 2、烧砖轮窑热平衡的计算	(395)
第五节 烧砖窑炉的热工分析	(398)
第八章 干燥器的热工测量与热平衡	
第一节 $I-X$ 图的应用	(402)
一、空气热含量	(402)
二、 $I-X$ 图的使用	(402)
三、利用 $I-X$ 图求干燥过程所需空气量	(404)
第二节 热平衡体系	(405)
第三节 热平衡测试方案的制定	(406)
一、干燥器(室)热工测试方案	(406)
二、烘干机的测试方案	(409)
第四节 干燥器(室)的热平衡计算	(411)

一、干燥器的物料衡算	(411)
二、空气予热器的热量衡算	(411)
三、干燥器的热平衡	(412)
四、干燥器的热效率及其热平衡的分析	(413)
第五节 烘干机的热平衡计算	(416)
一、烘干机的物料衡算	(416)
二、烘干机的热平衡	(417)
三、热平衡计算例	(418)
第九章 工业锅炉热工测量与热平衡	
第一节 工业锅炉热平衡试验方案	(422)
第二节 工业锅炉热平衡试验	(425)
一、工业锅炉正平衡试验方法	(425)
二、工业锅炉反平衡试验方法	(429)
第三节 工业锅炉热平衡试验计算示例	(434)
第四节 余热锅炉热平衡测试	(438)
第五节 锅炉节能措施	(441)
第十章 工厂能量平衡	
第一节 工厂(车间)能量平衡的一步步骤	(445)
第二节 动力设备测试	(449)
一、电动机耗能和效率测试	(449)
二、风机耗能和效率测试	(450)
三、水泵耗能和效率测试	(455)
四、空气压缩机耗能、排气量和压缩空气量测试	(457)
第三节 供热管道的热损失	(463)
一、供热管道热损失计算	(463)
二、蒸汽管道热损失测定方法	(465)
第四节 工厂(车间)能量平衡的有关说明	(466)
第五节 节能措施的技术经济分析	(469)
第六节 节约能源的途径	(471)
附表	
一、常用化学元素表	(474)
二、工程单位制和国际单位制的换算	(475)
三、常用耐火材料的主要物理性能	(476)
四、隔热材料的容重和导热系数	(477)
五、常用气体的平均恒压比热	(478)
六、饱和水和饱和蒸汽表	(479)
七、空气的相对湿度表	(482)
八、在760毫米汞柱压力下空气饱和和水蒸汽压力 and 含水量	(486)
九、常用热电偶分度	(489)
十、地区气象表	(499)
主要参考资料	

第一章 热平衡基本概念

开展热平衡是企业实行科学管理的重要环节。能量平衡是对体系收入能量与支出能量在数量上的平衡关系进行考察。它是对生产中使用能量的情况进行定量分析的一种科学方法。能量平衡简称能平衡，通称热平衡。

根据进行热平衡的具体对象和范围，热平衡一般分为设备热平衡和企业热平衡。前者是对一个设备，一台机器的热平衡；后者是对一个车间，一座工厂的热平衡。很明显，设备热平衡是企业热平衡的基础，企业的能量利用水平，在很大程度上取决于企业内众多设备的热利用好坏，因而搞好设备能量平衡是十分重要的。同时，企业热平衡又是设备热平衡的综合与提高，设备之间用能的相互配合，各种不同能源利用的合理安排，能量的调度、分配等均需通过企业热平衡来加以解决，因而企业热平衡对合理利用能源来说，更显得迫切和具有重要意义。

硅酸盐工业是能源消耗较多的工业。窑炉在硅酸盐工厂中是消耗燃料最多的设备，约占全厂燃料消耗量的70%左右。为此对硅酸盐工业中主要部分水泥、玻璃、陶瓷、砖瓦工厂中的窑炉进行热平衡是节约能源的有效措施，是硅酸盐工厂企业热平衡的重要组成部分。

热平衡的根本目的就是节约能源的消耗。其任务就是摸清设备工况及用能情况、及时发现存在问题，进一步提出改进措施。通过热平衡测定，以计量与测试手段和一定的顺序方法，对设备或企业的燃料(能源)使用进行考查和分析，使能达到以下几个方面：

1. 摸清情况，为节能与科学管理提供依据。
 - (1) 能源的构成和消耗情况：包括收支、单耗、损失等；
 - (2) 能量的有效利用情况：包括效率、利用系数等；
 - (3) 余热资源和回收情况：包括重热量、余热量、回收率等等。
2. 掌握设备(窑炉)和企业各部位热量消耗情况，分析各部耗能是否合理，发现存在的问题。
3. 提出改进措施，提高热利用，加强回收未用能(余热)，搞好科学管理。
 - (1) 合理组织燃料燃烧，选择良好燃烧设备，精心操作管理。从而降低燃耗，提高燃烧的效率；
 - (2) 合理利用热能，使设备能在最佳工况下运行，使热能得到多次利用和充分利用；
 - (3) 设备(窑炉)采取保温措施，减少热损失；
 - (4) 在建材和玻璃工业中，余热占整个行业燃料消耗量的17~40%，加强余热回收，用于予热空气和煤气，予热、干燥物料，生产蒸汽和热水等等，在生产中对节约能源消耗有很大意义；
 - (5) 改革工艺，改革设备，加强热交换，提高热利用率；

(6) 加强燃料管理和用汽管理。

应当指出,热平衡实际上是一种动态平衡,即体系的能量收支是随时相等的。因此,在热平衡计算时,如果发现不平衡,肯定有漏项或计算错误,应当找出来。热平衡是指热量的数量平衡,而未考虑其质量的差别和影响。

总之,热平衡不但是进行能量分析的科学方法,而且是实现能源科学管理的有效手段,是节约能源的一项重要基础工作。是生产中达到优质、高产、低消耗的基本措施。

第一节 热平衡中常用术语

热平衡中经常遇到一些术语,根据国家四项能源标准(G B 2586~2589—81),现简述如下:

1. 热平衡

热平衡是对使用能源的设备或企业,在生产应用过程中,输入能量和输出能量之间的平衡关系进行考查。以设备为对象称为设备热平衡,以企业为对象称为企业热平衡。

热平衡原仅指热量的平衡,但目前国内习惯上已泛指各种能源均包括在内的能量平衡。

2. 热设备

热设备是指和热现象与热过程有关的各种设备。主要是与燃烧(它使燃料的化学能转换为热能)传热和热交换有关的设备。通常包括热工设备和热力设备两大类。热工设备一般是指各种加热器、冷却器、换热器、干燥设备,蒸发器,各种加热炉、工业炉窑等等;热力设备主要指热动力设备,如锅炉、燃烧室、各种热机如内燃机(汽油机、柴油机等)和外燃机(蒸汽机、蒸汽轮机、燃气轮机)等。

3. 工质

工质是生产过程中工作物质的简称。它通常为工艺过程的媒介物质或能量交换的载能体。工质多为气体和液体,因为它们具有良好的流动性与体积变化特性。如水、水蒸气、油、空气、燃气、烟气等都是经常遇到的工质。

4. 体系(或系统)

体系即进行能量平衡的对象。在对有关能量的性质与规律的研究中,首先要把研究的对象同周围的物体区别出来,通常把单独划分出来的研究对象称谓体系。体系应有明确的边界线,以确定其研究的具体范围。在热平衡中,具有明确边界线的体系就是进行热平衡的范围和对象。

体系以外的其余物体称为外界(或环境)。显然,体系是我们进行研究的对象,对外界则不加研究,但要考虑体系与外界之间的质量交换和能量交换。

体系大体上可分为开口体系、封闭体系、绝热体系和孤立体系等几种。

(1) 开口体系

是指和外界有质量交换的体系。实际上几乎各种热设备,为了保持连续工作和生产,都有工质或物料不断地流进流出,即有质量交换,故多属于开口体系。

(2) 封闭体系

是指和外界没有质量交换的体系。

(3) 绝热体系

是指与外界没有热交换的体系。

(4) 孤立体系

是指与外界既无质量交换，又无能量交换的体系。

体系的具体选取与划分要根据研究问题的性质、要求和目的，以及有利于分析与计算来加以确定。

5. 状态参数

体系的状态，就是指某一时刻体系所处的状况。它是体系各种特性的总标志。体系的状态是用状态参数来描写的，凡是能用来表明体系所处热工状态的物理量都可作为状态参数，如温度、压力(压强)、比容、内能、焓和熵等。状态参数的基本特性是仅仅取决于状态，即它只与体系所处的状态有关，而与其它条件无关，与达到这一状态的变化途径无关。

(1) 温度(T)

温度是物体冷热程度的标志，它是物质分子热运动的强弱程度的反映。物体分子的平均动能越大，物体温度越高。目前使用的温标是1968年通过的国际实用温标。国际实用温标规定以热力学温度为基本温度，其符号为 T ，单位为开尔文(K)，规定 $1K$ 等于水的三相点热力学温度的 $\frac{1}{273.16}$ 。它与摄氏温标的关系为：

$$t = T - 273.16 \quad (^\circ\text{C}) \quad (1-1)$$

(2) 压力(P)

单位面积上所受的垂直作用力称为压强，工程上则多称为压力。气体压力与气体分子浓度和平均动能有关。

压力的测量一般采用压力计或真空计。它们所指示的压力，并不是气体的真正压力(即绝对压力)，而是绝对压力与当地大气压力的差值，即相对压力。当气体的压力(绝对压力) P 高于大气压力 P_d 时，压力计的读数叫表压力 P_b ，即

$$P_b = P - P_d \quad (1-2)$$

当气体的压力小于大气压力 P_d 时，真空计的读数 H 叫真空度，即

$$H = P_d - P \quad (1-3)$$

绝对压力和表压力，真空度和大气压力之间的关系如图1-1所示

大气压力是随地点、高度、气候等因素而变化，在粗略计算中可以认为它是不变的。

压力的单位，国际单位制(SI)规定为帕斯卡(P_a)，即每平方米上作用1牛顿的力时为1帕斯卡。

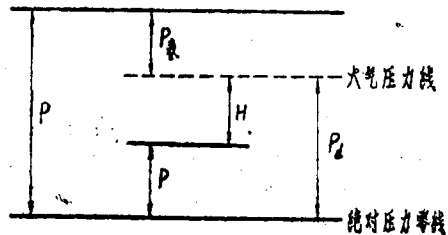


图1-1 绝对压力、表压力、真空度、大气压力关系

$$1P_0 = 1N/m^2,$$

工程上压力单位为 kgf/m^2 或 kgf/cm^2 , $1kgf/cm^2$ 通常称为1工程大气压。此外, 单位还有巴、标准大气压、毫米汞柱、毫米水柱等。它们之间的换算关系如表1—1。

表 1—1 常用压力单位换算表

	帕 斯 卡 $P_0 = N/m^2$	巴 bar	工 程 气 压 $at = kgf/cm^2$	物 理 气 压 atm	毫 米 汞 柱 $mmHg$	毫 米 水 柱 mmH_2O
P_0	1	10^{-5}	1.0197×10^{-5}	0.9869×10^{-5}	0.007501	0.10197
bar	10^5	1	1.0197	0.9869	750.1	10197
at	98066.5	0.980665	1	0.9678	735.6	10000
atm	101325	1.01325	1.0332	1	760	10332
$mmHg$	133.32	0.0013332	0.00136	0.0013158	1	13.6
mmH_2O	9.80665	0.980665×10^{-4}	10^{-4}	0.9678×10^{-4}	0.07356	1

(3) 比容(v)

比容是单位质量的物质所具有的容积。即

$$v = \frac{V}{m} \quad (1-4)$$

式中 V ——体积(容积)(m^3)

m ——质量(kg)

比容的倒数称为密度(ρ), 即单位体积内所含物质的质量(m), 即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1-5)$$

重度(γ)是单位容积的物质所具有的重量(G), 即

$$\gamma = \frac{G}{V} = \rho \cdot g \quad (kgf/m^3) \quad (1-6)$$

式中 g ——重力加速度($g = 9.81m/s^2$)

用状态参数来描述工质的状态时只有当工质随时处在均匀状态时才有意义。所谓均匀状态。即工质各处的状态参数都相同。

6. 平衡状态

当一切驱使其状态变化的不平衡势都不存在时, 体系的一切可见的宏观变化均将停止。此时体系所处的状态称为平衡状态。

任何不平衡势都会引起体系状态的变化。例如, 当体系内部与外界之间存在着温差而彼此产生热接触时, 将有热量自发地从高温物体传向低温物体而引起体系状态不断的变化。状态变化朝着削弱温差的方向进行。直至温度差消失时为止。可见, 温差的存在使系

统处于热的不平衡，从而产生热流。温差可认为是驱动热流的不平衡势，而温差的消失，则是系统建立热平衡的必要条件。同样，压力差、电势差、化学势差的存在引起传动、导电、化学及物理化学等能量转移现象，并同时使热力系状态不断变化，而这些不平衡势的消失是使系统达到平衡的必要条件，因此一切不平衡势是导致体系能量传递和状态变化的必要条件，而每一种平衡将对应某一种不平衡势的消失。

7. 显热、潜热、反应热

在热交换中引起物质发生温度变化所吸收或放出的热量称显热，一般指定压条件下的显热。

当物质发生相变时所吸收或放出的热量，如蒸发热（凝结热）、融解热（凝固热）、升华热（凝聚热）等称潜热，此时温度不发生变化，在定压下进行。

由物质化学反应所产生或吸收的热量称反应热。通常在定温定压或定温定容条件下进行。

8. 输入热量、输出热量、循环热量

输入的热量就是进行热平衡的对象所收入的全部热量，它通常包括由工质和物料所带入的热量和外界供给的热量两个方面，如工质和物料的物理显热。燃料、电力、蒸气等能源的供入热。化学反应放热、相变放出的潜热，燃料及空气予热显热等。

输出热量就是进行热平衡的对象所支出的全部热量。它通常包括工质或产品带走的热量和向外排出的各种热量，如工质和产品的焓值、外供的蒸气、排烟、排气、散热、蓄热。化学反应吸热、相变吸收的潜热等。

在热平衡对象内部回收而循环使用的热量称内循环热，一般可不单计。

在热平衡对象外部回收而循环使用的热量称外循环热，应同时出现在输入热量与输出热量中。

9. 热平衡基准

为使热平衡的计算有一个共同的基础，规定：

(1) 基准温度

基准温度是热量计算和内能及焓的计算的起算温度，也就是认为在基准温度时内能和焓为零。

基准温度原则上以环境温度为基准，若采用其它温度时应予说明。本书考虑目前工厂常用情况及便于查有关图表、数据，规定以 0°C 为基准温度。

(2) 燃料发热量

燃料发热量又称热值，是指单位量燃料完全燃烧时所放出的热量。对固、液体燃料所用热值单位为 kcal/kg ；对气体燃料热值单位为 kcal/Nm^3 。

在热平衡计算中燃料发热量以燃料应用基低位发热量为基准。

(3) 燃烧用空气

燃烧用空气原则上采用下列空气组成：

按体积（容积）百分数 O_2 21.0%， N_2 79.0%

按质量（重量）百分数 O_2 23.2%， N_2 76.8%

10. 标准燃料

为便于对各种燃料消耗量进行统一计算和比较，将各种燃料按规定数值量进行折算，其数值为标准燃料热值。对于低位发热量等于29.27兆焦（或7000千卡）的固体燃料，称1公斤标准煤。

对于低位发热量等于41.82兆焦（或10000千卡）的液体或气体燃料，称1公斤标准油或1立方米标准气。

11. 等价热量

等价热量是指各种不同形式能量之间的折算，即是指得到一个单位其它形式的能量或一个单位的某种物质（如1公斤蒸气）在工业上实际要消耗的一次能源的热量。在我国目前条件下非燃料能源与耗能工质平均等价热量换算。见下表（表1—2）。

表 1—2 等价热量换算表

名 称	单 位	等价标煤 (公斤)	平均折算热量 (千卡)	备 注
电	度	0.428	3000	
新鲜水	吨	0.257	1800	
循环水	吨	0.143	1000	
软化水	吨	0.486	3400	
除氧水	吨	0.971	6800	
氧	标立方米	0.400	2800(2500~3000)	
压缩空气	标立方米	0.040	280	
鼓风	标立方米	0.030	210	
低压蒸汽	公斤	0.129	900(680~1000)	压力为 4~10 kg/cm ² 的饱和 蒸汽，工业锅 炉 $\eta=0.70$
城市煤气	标立方米		7700	
焦炭	公斤		8000	
电石	公斤		14500	
汽油	公斤	1.619	11330	
柴油	公斤	1.729	12100	
煤油	公斤	1.619	11330	
重油	公斤	1.571	11000	
渣油	公斤	1.414	9900	

12. 能质

能的品质是以其做功本领来度量，能的质量以能的品质系数予以定量的描述。

$$\text{能的品质系数 } \lambda = \frac{\text{做功能}}{\text{能}} = \frac{\text{做功能}}{\text{做功能} + \text{不做功能}}$$

$$\text{即 } \lambda = \frac{\text{烟}}{\text{烟} + \text{炆}} \quad (1-7)$$

烟是能量中可转化为功的部分，不可转化为功的部分为炆。烟值就标志着能的品质，烟不守恒。用能过程能量既不能消耗也不能损失，而能质降低，烟值减少。

几种能的品质系数 λ 如下：

电磁能 $\lambda_{\text{电}} \doteq 1$ ；

力学机械能 $\lambda_{\text{机}} \doteq 1$ ；

化学能 $\lambda_{\text{化}} \doteq 0 \sim 1$ ；

热能 随温度高低而不同，热源温度愈高，其品位也愈高。

$$\lambda_{\text{热}} = 1 - \frac{T_0}{T - T_0} \ln \frac{T}{T_0} \quad (1-8)$$

式中 T_0 ——环境温度(K)；

T ——热源温度(K)。

烟是物系的一个状态函数，它与物系的焓 H 和熵 S 有关。常用能源系统的烟计算方法如下：

(1) 稳定物系烟的计算

$$E = H - H_0 - T_0(S - S_0) = \Delta H - T_0 \Delta S \quad (\text{kcal/h}) \quad (1-9)$$

式中 E ——物系在某状态所具有的烟；

H ——物系在某状态所具有的焓；

H_0 ——物系在环境状态的焓；

T_0 ——环境温度；

S ——物系在某状态的熵；

S_0 ——物系在环境状态的熵。

(2) 温度为 T_1 ，压力为 1 大气压(即与环境压力相等)的无相变流体(气体或液体)的烟计算：

$$E = Q_{1-0} \left[1 - \frac{T_0}{T_1 - T_0} \ln \frac{T_1}{T_0} \right] \quad (1-10)$$

式中 Q_{1-0} ——流体从 T_1 转变为环境温度 T_0 所放出或吸收的热量。

(3) 温度为 T 的恒温热源的热量 Q 的烟计算

$$E = Q \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (1-11)$$

(4) 机械能和电能理论上可以 100% 转变为功，所以它们的烟就等于它们本身的数