

锅炉安装 施工员 培训教材



大连理工大学出版社

锅炉安装施工员培训教材

李其德 唐宪德 主编

大连理工大学出版社

(辽) 新登字16号

锅炉安装施工员培训教材

Guolu Anzhuang Shigongyuan Peixun Jiaocai

李其德 唐宪德 主编

大连理工大学出版社出版发行 邮政编码: 116024

大连海军政治学院印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 34 字数: 781 千字

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

插页: 3 印数: 1—3000册

责任编辑: 韩露 晓晶 封面设计: 姜严军

责任校对: 郭鲁

ISBN 7-5611-0848-6

定价: 25.00元

TK·14

前 言

为贯彻国务院颁发的《锅炉压力容器安全监察暂行条例》及建设部颁发的(89)建才字第470号关于“建筑企业专业管理人员岗位合格证管理暂行办法”的文件精神,受大连市劳动局与市建委委托,我们编写了《锅炉安装施工员培训教材》,并在大连市第一期锅炉安装施工员培训、发证班试用,取得了较好的效果。在此基础上,经进一步整理、修改,推出这本适应于中等以上专业水平的锅炉安装施工员培训教材。

本教材较为全面地、系统地介绍了锅炉安装方面的有关基础知识、专业知识及实际操作方法,以及施工组织管理等有关内容。具有理论紧密结合实际,技术性、实用性强的特点。既可作为锅炉安装施工员的培训教材;也可作为锅炉安装单位的质量检查员、工程技术人员,检验单位的监检人员的学习资料和培训参考教材;还可以作为锅炉使用单位的技术参考资料。

本教材由李其德、唐宪德同志担任主编,其中第一篇的一、二、三章由李国宏同志编写,第五章由张嘉胜同志编写,第四、六章及附录Ⅱ由李其德同志编写,第一篇的第七章由鹿道智同志编写;第二篇由周厚生同志编写;第三篇的第一章由蒲建国编写,第二、三章由朱彦同志编写,第四、五、六、七、八、九章由曹承立同志编写;第四篇由陈雁云同志编写;第五篇由陆寅白同志编写;第六篇由徐学才同志编写;附录Ⅰ由于惠君同志编写;附录Ⅲ由薛吉滨同志编写。本教材在编写过程中,还得到辽宁省劳动厅锅炉处林志宏处长、李晓光工程师、大连市城乡建设委员会郭昌惠副主任、大连市劳动局刘善棠副局长、劳嘉寿处长等同志的指导与帮助,在此表示感谢。

编 者

目 录

第一篇 锅炉专业基础知识	(1)
第一章 锅炉传热的基本知识.....	(1)
第二章 水和水蒸汽.....	(11)
第三章 锅炉水循环的基本知识.....	(18)
第四章 锅炉.....	(27)
第五章 锅炉水处理.....	(104)
第六章 锅炉钢材.....	(132)
第七章 常压热水锅炉及热水采暖.....	(155)
第二篇 锅炉安装识图	(181)
第一章 工程施工图基本知识.....	(181)
第二章 锅炉安装工程施工图.....	(201)
第三章 锅炉安装中的建筑、电气施工图.....	(212)
第四章 采暖、通风施工图.....	(216)
第三篇 锅炉房的基本要求及建筑施工	(222)
第一章 锅炉房的基本要求.....	(222)
第二章 锅炉房的建筑施工与质量要求.....	(233)
第三章 施工企业的概述.....	(250)
第四章 施工企业管理的基本内容和机构.....	(260)
第五章 施工工程合同与工期定额.....	(267)
第六章 建筑工程招标与投标.....	(281)
第七章 施工企业计划编制与管理.....	(292)
第八章 施工预算与经济核算.....	(300)
第九章 网络计划的编制与应用.....	(315)
第四篇 锅炉安装工程管理	(334)
第一章 施工组织设计.....	(334)
第二章 施工技术管理.....	(340)
第三章 施工质量管理.....	(351)
第四章 施工安全管理.....	(361)
第五章 施工机械管理.....	(370)
第六章 工程竣工验收工作管理.....	(376)
第五篇 锅炉安装工艺及质量控制	(385)
第一章 锅炉安装前的准备.....	(385)
第二章 立式及整装锅炉安装及质量控制.....	(389)

第三章	散装锅炉安装及质量控制	(393)
第四章	锅炉辅助机械设备安装及质量控制	(416)
第五章	锅炉设备的分部试运	(428)
第六章	锅炉砌筑工艺及质量控制	(433)
第七章	保温油漆	(446)
第六篇	锅炉安装工程档案与资料	(452)
第一章	工程技术档案的形成与档案管理的重要性	(452)
第二章	锅炉安装单位应具有的资料	(454)
第三章	锅炉安装过程中的技术记录	(456)
第四章	锅炉安装工程的质量检验评定	(458)
附录 I	锅炉安装检验中常见的问题	(492)
附录 II	法定计量单位	(497)
附录 III	与锅炉安装有关的法规、标准目录	(527)
附录 IV	大连市非承压锅炉暂行管理规定	(533)
附录 V	大连市非承压锅炉安全验收技术规范 (暂行)	(534)

(101)	图工疏野工禁安收附	章二第
(111)	图工疏户申	章三第
(116)	图工疏风配	章四第
(122)	工疏策要及求要本基的安收附	篇三第
(122)	求要本基的安收附	章一第
(123)	求要量测已工疏策要的安收附	章二第
(120)	求要商业企工疏	章三第
(109)	疏野疏谷内本基的疏管业企工疏	章四第
(107)	疏宝限工已同合器工工疏	章五第
(181)	疏野已疏野工疏	章六第
(103)	疏管已疏疏野业企工疏	章七第
(100)	疏野疏野已疏野工疏	章八第
(111)	用疏已疏疏的疏书案网	章九第
(111)	野管器工禁安收附	篇四第
(111)	野管器工禁安收附	章一第
(111)	野管器工禁安收附	章二第
(111)	野管器工禁安收附	章三第
(111)	野管器工禁安收附	章四第
(111)	野管器工禁安收附	章五第
(111)	野管器工禁安收附	章六第
(111)	野管器工禁安收附	章七第
(111)	野管器工禁安收附	章八第
(111)	野管器工禁安收附	章九第
(111)	野管器工禁安收附	章十第
(111)	野管器工禁安收附	章十一第
(111)	野管器工禁安收附	章十二第
(111)	野管器工禁安收附	章十三第
(111)	野管器工禁安收附	章十四第
(111)	野管器工禁安收附	章十五第
(111)	野管器工禁安收附	章十六第
(111)	野管器工禁安收附	章十七第
(111)	野管器工禁安收附	章十八第
(111)	野管器工禁安收附	章十九第
(111)	野管器工禁安收附	章二十第

第一篇 锅炉专业基础知识

第一章 锅炉传热的基本知识

第一节 传热的基本概念

一、热导体

能够传递热量的物体都称为热的导体，一般称为热导体或导热体。

热导体一般分为良好热导体和不良热导体两种。银是最好的热导体，其次是铂、铜、铝、锌、铅，静止而又完全被封闭的空气是最不良的热导体。一般来说气体的导热性最差，液体较差，固体较好，绝大多数金属都是较好的热导体。对于不良的热导体在锅炉设备中常用来作为锅炉的保温材料或绝热材料，比如石棉等。

二、导热率

导热率也称导热系数。它是代表物体本身传导热量的能力。如短铁钩的一端烧红后，用手拿其另一端时则感到烫手；若木材的一端被烧着，用手拿其另一端时则感觉不到烫手。这就表示铁的导热率大于木材的导热率。

导热率是根据导热基本定律（傅里叶定律）给出定义式的。常用符号 λ 来表示。如前所述，导热率是表示物体导热能力的大小，其数值上等于在单位温度梯度（每升降 1°C ）作用下物体内部所产生的热流密度。

工程计算中采用的各种物体的导热率的数值都是用专门实验测定出来的。常用金属材料的导热系数及其与温度的关系见表1·1-1；保温材料的导热系数见表1·1-2；表1·1-3给出了几种常用保温材料和耐火材料的导热系数与温度的关系。

水垢的导热系数： $0.5 \sim 2.36\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ [$0.5 \sim 2\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{n} \cdot ^{\circ}\text{C})$];

烟垢的导热系数： $0.05 \sim 0.116\text{W}/(\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$ [$0.05 \sim 0.1\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{n} \cdot ^{\circ}\text{C})$].

影响导热系数数值的主要因素是物质的种类和温度。图1·1-1示出多种物质导热系数对温度的依变关系，从图中可以看到：在比较广阔的温度区间内的实用计算中，大多数材料的入都容许采用线性近似关系，即 $\lambda = \lambda_0 (1 + bt)$ ，式中 λ_0 为 0°C 时的导热系

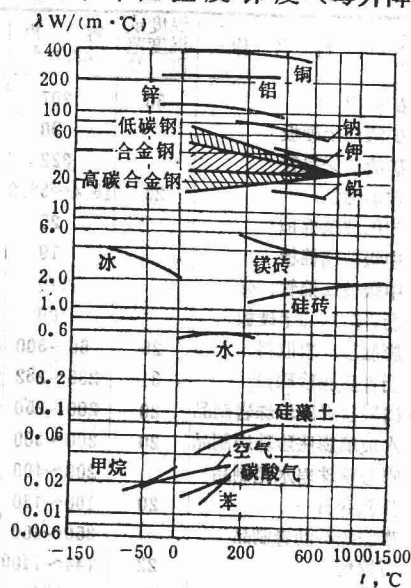


图 1·1-1 导热系数对温度的依变关系

表1-1-1

金属材料的密度、比热容和导热系数

材 料 名 称	20℃			导热系数 λ W/(m·℃)									
	密度 ρ kg/m ³	比 热 容 C_p J/(kg·℃)	导热系数 λ W/(m·℃)	温 度 (℃)									
				-100	0	100	200	300	400	600	800	1000	1200
纯铝	2710	902	236	243	236	210	238	234	228	215			
杜拉铝(96Al-4Cu,微量Mg)	2790	881	169	124	160	188	188	193					
铝合金(92Al-8Mg)	2610	901	107	86	102	123	148						
铝合金(87Al-13Si)	2660	871	162	139	158	173	176	180					
铍	1850	1758	219	382	218	170	145	129	118				
纯铜	8930	386	398	121	401	393	389	384	379	366	352		
铝青铜(90Cu-10Al)	8360	420	56	49		57	66						
青铜(89Cu-11Sn)	8800	343	24.8	24		28.4	33.2						
黄铜(70Cu-30Zn)	8440	377	109	90	106	131	143	145	148				
铜合金(60Cu-40Ni)	8920	410	22.2	19	22.2	23.4							
黄金	19300	127	315	331	318	313	310	305	300	287			
纯铁	7870	455	81.1	96.7	83.5	72.1	63.5	56.5	50.3	39.4	29.6	29.4	31.6
阿姆口铁	7860	455	73.2	82.9	74.7	67.5	61.0	54.8	49.9	38.6	29.3	29.3	31.1
灰铸铁(C≈3%)	7570	470	39.2		28.5	32.4	35.8	37.2	36.6	20.8	19.2		
碳钢(C≈0.5%)	7840	465	49.8		50.5	47.5	44.8	42.0	39.4	34.0	29.0		
碳钢(C≈1.0%)	7790	470	43.2		43.0	42.8	42.2	41.5	40.6	36.7	32.2		
碳钢(C≈1.5%)	7750	470	36.7		36.8	36.6	36.2	35.7	34.7	31.7	27.8		
铬钢(Cr≈5%)	7830	460	36.1		36.3	35.2	34.7	33.5	31.4	28.0	27.2	27.2	27.2
铬钢(Cr≈13%)	7740	460	26.8		26.5	27.0	27.0	27.0	27.6	28.4	29.0	29.0	
铬钢(Cr≈17%)	7710	460	22	22		22.2	22.6	22.6	23.3	24.0	24.8	25.5	
铬钢(Cr≈28%)	7650	460	22.6		22.6	22.8	25.5	27.2	28.5	31.8	35.1	38	
铬镍钢(13-20Cr/8-12Ni)	7820	460	15.2	12.2	14.7	16.6	18.0	19.4	20.8	23.5	26.3		
铬镍钢(17-19Cr/9-13Ni)	7830	460	14.7	11.3	14.3	16.1	17.5	18.8	20.2	22.8	25.5	28.2	30.9

表 1-1-2

保温材料的导热系数

材 料 名 称	温度或 温度范 围 ℃	容 重 kg/m ³	导热系数 W/(m·℃)	材 料 名 称	温度或 温度范 围 ℃	容 重 kg/m ³	导热系数 W/(m·℃)
矿渣棉	30	207	0.058	石棉绳		590~730	0.10~0.21
矿渣棉半硬板		90	0.052	石棉板	30	770~1045	0.10~0.14
矿渣棉保温管		322	0.043	碳酸镁石棉灰		240~490	0.077~0.086
玻璃棉毡	28	18.4~38.3	0.043	硅藻土石棉灰		280~380	0.085~0.11
超细玻璃棉毡		25	0.032	软木板	20	105~437	0.044~0.079
中级玻璃棉板		79	0.036	甘蔗板	20	282	0.067~0.072
中级玻璃棉管、壳		110	0.058	硬泡沫塑料	30	29.5~56.3	0.041~0.048
沥青玻璃棉半硬板		109	0.04	软泡沫塑料	30	41~162	0.043~0.056
膨胀珍珠岩散料	25	60~300	0.021~0.062	松木(垂直木纹)	15	496	0.15
沥青膨胀珍珠岩	31	233~282	0.069~0.076	松木(平行木纹)	21	527	0.35
磷酸盐膨胀珍珠岩制品	20	200~250	0.044~0.052	混凝土板	35	1930	0.79
水玻璃膨胀珍珠岩制品	20	200~300	0.056~0.065	玻璃		2500	0.52~1.1
膨胀珍珠岩水泥制品		200~400	0.058~0.091	大理石		2499~2707	2.70
膨胀蛭石	20	100~130	0.051~0.007	云母		290	0.58
膨胀蛭石沥青制品		350~400	0.081~0.10	水泥	30	1900	0.30
石棉粉	22	744~1400	0.099~0.19	红砖	35	1560	0.49
石棉砖	21	384	0.099				

表1-1-3

几种保温、耐火材料的导热系数与温度的关系

材 料 名 称	最高允许温度 ℃	容 重 kg/m ³	导热系数λ的计算式 W/(m·℃)
超细玻璃棉毡、管	400	18~20	$0.033 + 0.00023t$
矿棉	600	350	$0.0674 + 0.000215t$
水泥蛭石制品	800	420~450	$0.103 + 0.000198t$
水泥珍珠岩制品	600	300~400	$0.065 + 0.000105t$
粉煤灰泡沫砖	300	500	$0.099 + 0.0002t$
水泥泡沫砖	250	450	$0.1 + 0.0002t$
A级硅藻土制品	900	500	$0.0395 + 0.00019t$
B级硅藻土制品	900	550	$0.0477 + 0.0002t$
膨胀珍珠岩	1000	55	$0.0424 + 0.000137t$
微孔硅酸钙制品	650	250	$0.041 + 0.0002t$
耐火粘土砖	1350~1450	1800~2040	$(0.7 \sim 0.84) + 0.00058t$
轻质耐火粘土砖	1250~1300	800~1300	$(0.29 \sim 0.41) + 0.00026t$
超轻质耐火粘土砖	1150~1300	540~610	$0.093 + 0.00016t$
硅砖	1700	1900~1950	$0.93 + 0.0007t$
镁砖	1600~1700	2300~2600	$2.1 + 0.00019t$
铬砖	1600~1700	2600~2800	$4.7 + 0.00017t$

数值， t 为温度， b 为常数。

习惯上把导热系数小于 $0.23\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ [$0.2\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$]的材料称为隔热材料、热绝缘材料或保温材料，石棉、矿渣棉硅藻土都属于这类材料。近年来我国发展生产膨胀珍珠岩、膨胀蛭石及膨胀塑料等许多新型隔热材料，它们都具有容积重量轻、隔热性能好和价格便宜、施工方便等优点。膨胀珍珠岩在 0°C 时的导热系数仅有 $0.0425\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ [$0.0065\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$]。这些效能高的隔热材料都是蜂窝状多孔性结构的材料。在高温时，这些隔热材料中热量转移的机理包括几种方式：蜂窝固体结构的导热，穿过微小气孔的导热，在较高温度时，穿过微小气孔不仅有导热，同时还有辐射方式。为了贮藏液氢、液氮等超低温材料的需要，发展了能在 -250°C 有极高隔热效用的所谓超级隔热材料。一种最有效的方案是采用具有多层间隔的极高反射率材料的结构，以减小热辐射传递，并抽真空以减小导热热损失。这种超级隔热材料的导热系数能低到 $0.0003\text{W}/(\text{m}\cdot^\circ\text{C})$ [$0.00026\text{kcal}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$]。进一步的资料可参阅有关文献。

有一些材料，象木材、石墨以及多层抽真空结构的超级隔热材料等，它们各向的结构不同，因此不同方向上的导热系数也有很大差别，这些材料称为各向异性材料。对于各向异性材料，导热系数值必须指明方向才有意义。

第二节 热的传递

热量的传递有3种基本方式：导热、对流、辐射。

一、导 热

热量从物体中温度较高的部分传递到温度较低的部分，或者从温度较高的物体传递到与其相接触的温度较低的另一物体的过程称为导热（也称热传导）。在导热过程

中，物体各部分之间不发生相对位移，也没有能量形式的转换。

在锅炉中受压元件壁的一侧吸收火焰或烟气的热量，再将吸收的热量传给锅内的水或蒸汽，元件壁就是通过热传导（导热）来完成热量传递的。再如锅炉炉墙的散热也是通过热传导作用，即炉墙内壁吸收高温烟气的热量后通过热传导使外温度升高而散发一定的热量给室内空气。

前面已说到，各种不同的材料其导热性能是不相同的，习惯上把导热系数小于 $0.23 \text{ W/(m} \cdot \text{°C)}$ [$0.2 \text{ kcal/(m} \cdot \text{h} \cdot \text{°C)}$] 的材料称为隔热材料，热绝缘材料或保温材料。锅炉受压元件都尽量采用良好的导热材料。而炉墙则采用保温材料。

二、对 流

对流是指流体各部分之间发生相对位移所引起的热量传递过程。对流只能发生在流体中，而且必然伴随着有导热现象。在工程技术上大量遇到的是流体流过另一物体的表面时所发生的热交换过程，如锅炉对流受热面就是典型一例，热的烟气流过受压元件的一侧表面，将热传递给管壁，管壁通过热传导再将其所吸收的热量传递给在其另一侧流过的介质（水、蒸气或气水混合物）。对这种热交换过程通常给予专门的名称，叫对流换热。可知，对流换热是流体的对流与导热联合作用的结果。

就引起流动的原因而论，对流换热可区分为自然对流与强制对流两类。自然对流是由于流体冷热各部分的密度不同而引起的，热力设备的表面附近空气受热向上流动就是最常见的一例。如果流体的流动是由于水泵、风机或其他的压力差作用所造成的，则称为强制对流。冷油器、冷凝器等管内冷却水的流动、热水锅炉锅内水的流动及烟管内烟气的流动等都属于强制对流。另外，工程上常常会遇到流体在热表面上的沸腾或蒸气在冷表面上的凝结，这也属于对流换热的范围，并分别称之为沸腾换热和凝结换热。

无论哪一种形式的对流换热，单位时间内、单位面积上所交换的热量都可用下式（牛顿冷却式）来计算：

$$q = \alpha \Delta t \text{ (W/m}^2\text{)} \quad (1.1-1)$$

式中比例系数 α 称为对流换热系数。常简称为换热系数，其单位是 $\text{W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$ [$\text{kcal/(m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C)}$]。对流换热系数又常称为对流放热系数（放热系数）或给热系数。

对某一给定表面积上的换热量可如下式计算。

$$Q = F \alpha \Delta t \text{ (W)} \quad (1.1-2)$$

式中 Q ——换热量，W；

F ——表面积， m^2 ；

Δt ——平均温差， $^{\circ}\text{C}$ ；

α ——平均换热系数， $\text{W/(m}^2 \cdot \text{°C)}$ 。

通过上面两个公式可以看出换热系数 α 与换热过程中的许多因素有关，但并未揭示出影响换热系数的种种复杂因素，而只是给出了换热系数的定义。换热系数是表示物体对流换热能力的大小。其数值上等于在单位温差的作用下，流体与壁面之间所产生的热流密度（单位时间内通过单位面积的热量）。

对流换热系数的大小与换热过程中的许多因素有关。它不仅取决于流体的物理性质（ λ 、 u 、 p 、 C_p 等）、换热表面的形状与布置，而且还和流速有着密切的关系。在工程

计算中可以通过理论分析或实验的方法来确定各种场合下计算 α 的关系式。一般地说，对同一流体，强制对流的换热系数大于自然对流的换热系数值；有相变（即沸腾或凝结）时的换热系数大于无相变时的换热系数值。表1·1-4给出了几种最常见的对流换热现象的对流换热系数数值的大致范围。

表1·1-4 对流换热系数的大致范围 [W/(m²·℃)]

空气自然对流	3—10	水沸腾	2500—25000
气体强制对流	20—100	高压水蒸汽强制对流	500—3500
水自然对流	200—1000	水蒸汽凝结	5000—15000
水强制对流	1000—15000	有机蒸汽凝结	500—2000

三、辐 射

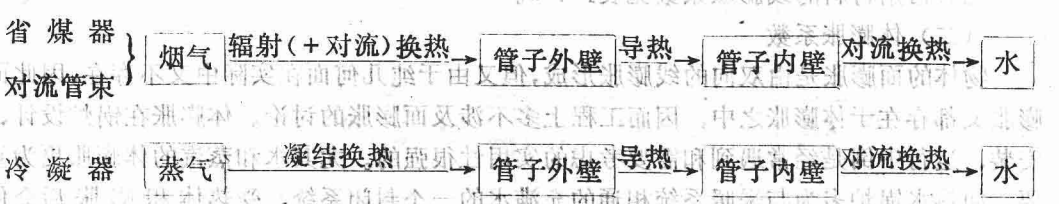
物体通过电磁波来传递能量的过程称为辐射。物体会因各种原因发出辐射能，其中因热的原因而发出辐射能的过程称为热辐射。不同的辐射过程有不同的规律，本书中以后所提到的辐射一律指热辐射。

自然界中所有的物体都在不停地向四周发出热辐射能，同时又不断地吸收其他物体发出的热辐射能。辐射与吸收过程的综合结果就造成了以辐射方式进行的物体间的能量转移——辐射换热。当物体与四周环境处于热平衡时，辐射换热量等于零，但辐射与吸收过程仍在不停地进行。

辐射能可以在真空中传播，而导热、对流这两种热传递方式只有当存在着气体、液体或固体物质时才能进行。当两个温度不同的物体被真空隔开时，例如地球与太阳之间，导热与对流都不会发生，只能进行辐射换热。这是辐射换热区别于导热、对流的一个根本特点。辐射换热区别于导热、对流的另一个特点是：它不仅产生能量的转移，而且还伴随着能量形式的转化，即从热能到辐射能及从辐射能到热能转换的。

实验证明，物体的辐射能力同温度有关，同一温度下不同物体的辐射与吸收本领也不一样。一种理想的物体叫做绝对热体（简称黑体），它能吸收所有投射到其表面上的辐射能，而它所发出的辐射能则是同一温度下所有物体发出的辐射能中的最大值（以单位时间、单位面积而论）。

以上我们简要的介绍了导热、对流、辐射3种基本方式。在绝大多数的实际问题中，这些方式往往是同时出现的。锅炉做为一种换热装置而言就是如此。这不仅表现在互相串联的几个换热环节中，对同一环节也常是如此。例如，对锅炉装置的对流管束和省煤器及汽轮机装置中的冷凝器来说，各自在热量传递过程中各个环节的换热方式可作如下分析：



第三节 物体受热后的变化

物体受热（即温度变化）后将产生各种不同的变化，比如形体的几何尺寸（热胀冷缩）、存在的状态（固、液、气）、物理性质及机械性能等都将发生变化。这里仅简要介绍这些变化的基本情况，详细情况要参考专门的论著。

一、物体受热后的形体变化

绝大多数物质受热后其形体的几何尺寸都要变大，而受冷之后则变小，这即是通常所说的热胀冷缩。但对水则例外。为了表示物体受热膨胀遇冷收缩的程度和各种物体之间胀缩程度的比较，要引入一个膨胀系数的概念。

膨胀系数包括线膨胀系数、面膨胀系数。和体膨胀系数对锅炉安装行业经常遇到的是金属材料的线膨胀和水蒸气的体膨胀。

（一）线膨胀系数

物体在温度升高1摄氏度，单位长度增加的部分称为该物体的线膨胀系数通常用符号 α 表示，其单位为 $\text{mm}/\text{mm}^\circ\text{C}$ （毫米/毫米 $\cdot^\circ\text{C}$ ），也可以为 $1/^\circ\text{C}$ 。

按线膨胀系数的概念（或定义），物体的线伸长量可由下式求：

$$\Delta L = L_0 \alpha (t_2 - t_1) (\text{mm}) \quad (1.1-3)$$

式中 ΔL ——物体温度升高后的绝对伸长量，mm；

L_0 ——物体在原始温度下的长度，mm；

α ——该物体的线膨胀系数，毫米/毫米 $\cdot^\circ\text{C}$ 或 $1/^\circ\text{C}$ ；

t_1 ——物体的原始温度， $^\circ\text{C}$ ；

t_2 ——物体升高后的温度； $^\circ\text{C}$ 。

在锅炉安装时，各受热体都会因受热后温度的升高而产生另件伸长，当温度下降或回至原始温度时又会收缩到原始长度。下面举一例可知。

例：一个10米长的锅筒，求在0.7MPa压力下运行时的伸长量，锅筒材料为20g。

解：已知 $L_0 = 10\text{m} = 10000 \text{ mm}$ ，

查表（1.1-5） $\alpha = 0.000011$ ， $t_2 = 169.5^\circ\text{C}$ （由蒸汽表查得）

$t_1 = 20^\circ\text{C}$ （取锅炉房内常温）

将已知数代入式（1.1-3）得：

$$\Delta L = L_0 \alpha (t_2 - t_1) = 10000 \times 0.000011 \times (169.5 - 20) = 16.46 \text{ mm}$$

因此，在安装锅炉时，应考虑能够自由伸长，否则锅炉结构将产生很大热应力，造成金属变形、断裂、接口处泄漏、胀口环形裂纹，炉墙开裂或倒塌等故障。

几种常用材料的线膨胀系数见表1.1-5。

（二）体膨胀系数

物体的面膨胀是由双向的线膨胀形成，但又由于纯几何面在实际中又不存在，因此面膨胀又都存在于体膨胀之中，因而工程上多不涉及面膨胀的讨论。体膨胀在锅炉设计、安装、运行中倒是经常遇到和需要考虑的实用性很强的。尤其水和蒸汽的体膨胀更为重要。如热水锅炉多为与采暖系统相通的充满水的一个封闭系统，受热体积膨胀后会

表1·1-5

线膨胀系数表

材 料	线膨胀系数 α (1/°C)	材 料	线膨胀系数 α (1/°C)
熟 铁	0.0000123	黄 铜	0.0000184
钢	0.0000110	金	0.0000142
铸 铁	0.0000120	银	0.0000197
铝	0.0000238	锡	0.0000267
青 铜	0.0000175	铅	0.0000292

系统承受相当高的压力，所以通常都需在系统中设置专门的膨胀水箱，蒸汽锅炉则正是由于蒸汽的膨胀受到限制而形成相应的压力。

液体的温度越高其体积越大，温度降低后，体积又相应变小，通常是液体的体积膨胀系数比固体的大，而气体的体积膨胀又比液体大。常用的几种液体的体积膨胀系数列于表 1·1-6。水银温度计和酒精（乙醇）温度计都是利用其热胀冷缩这一性质设计制成的，酒精温度计可测到 -40°C 的温度。

表1·1-6 液体的体积膨胀系数

材 料 名 称		体积膨胀系数
乙 醇		0.00112
水 银		0.00019
水	5—10℃	0.00005
	10—20℃	0.00015
	20—40℃	0.00030
	40—60℃	0.00046

二、物体受热后的状态变化

物质因其受热程度的不同，表现出物体的温度有高低这是人们通常很熟悉的。同样由于物质的受热程度不同，表现在物体存在的形态也是不同的。一般物体的存在形态有 3 种。即固体状态、液体状态和气体状态。通常物体在加热过程中的状态变化可用温度和热量（即焓）来说明。如图 1·1-2。

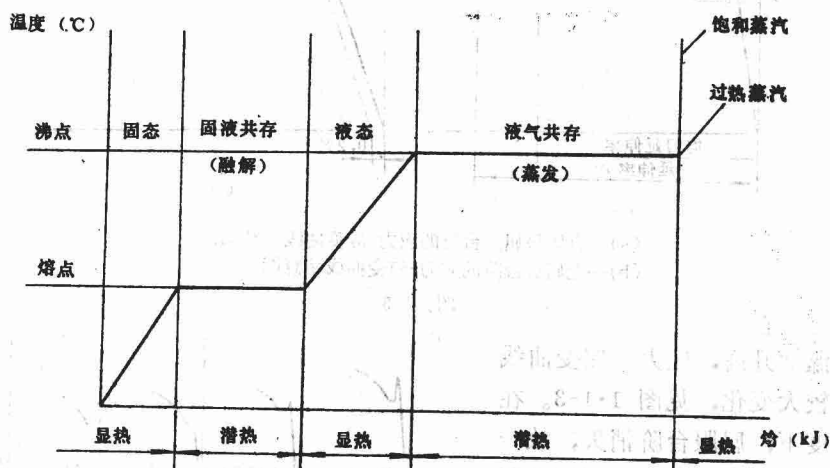


图 1·1-2 物质受热过程的状态变化

物体在固态下受热，焓值不断增加，温度不断升高，达到熔点时开始状态转化（此前所吸收的热量称显热）此时固、液同时存在，固态不断变为液态，直至全部变液态。这一过程称融解，这一过程吸收的热称潜热；继续加热则焓值继续增加，液体温度也随之升高，当达到沸点，此间吸收的热量称为显热。此后又开始从液态向气态的状态变化，这时饱和液和气同时存在，直至全部变为气态。这一过程称为蒸发，蒸发过程所吸热量称为潜热。此后如再继续加热，焓值增加，气体温度也随之升高，但不再发生状态变化，并称这时的气体为过热蒸气。相反，物体温度下降、放出热量，则会不断的从气态变为液态最后变为固态。

综上所述：在物质的3种状态变化过程中，从液体转变成气体的过程称为气化过程，简称气化，从气体转变成液体的过程称为液化过程，简称液化（或凝结）；从液体转变成固体的过程为凝固过程，简称凝固，从固体转变成液体的过程称为融解（或熔化）过程，简称融解（或熔化）。

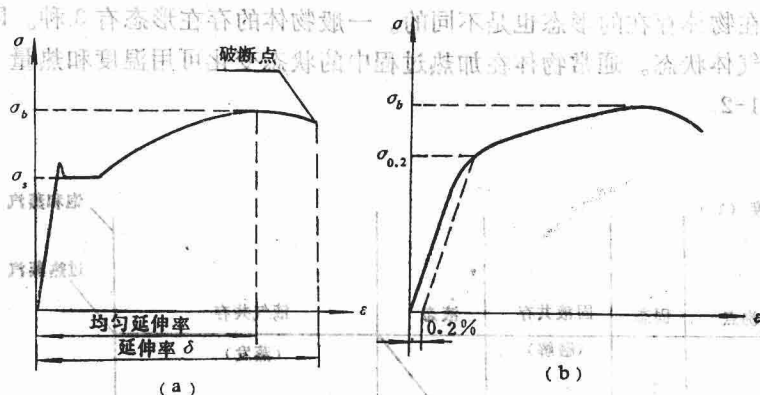
液体的气化有两种形式：从液体表面的气化现象叫做蒸发，从液体底部起泡的气化现象叫做沸腾。蒸发现象没有固定的温度界限，而沸腾则必须达到相应的温度（即沸点）才能产生。固体物质不经过液态阶段而直接变为气态的过程为升华。

关于锅炉最常用的工作介质水的三态变化将在本篇第二章中做较详细的介绍。

三、物体受热后的性能变化

物体受热后有些物理、化学性能也都随着温度的升高或降低而变化，下面只对金属材料机械性能的变化情况加以介绍。

一般塑性材料其拉伸时性能——应力—应变曲线如图1·1-3。



(a) 有明显屈服台阶的应力-应变曲线示意图；
(b) 一无屈服台阶的应力-应变曲线示意图。

图1·1-3

随着温度升高，应力—应变曲线的形状有较大变化，见图1·1-3。在较高的温度下，屈服台阶消失，故一般都按0.2%塑性变形求条件屈服限。

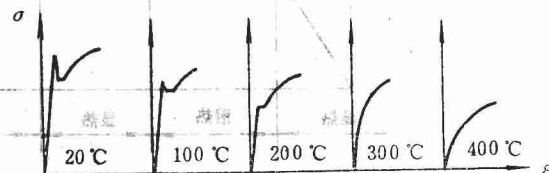


图1·1-4 温度对软钢应力-应变曲线的影响

温度对锅炉常用的20号碳钢及12Cr1MoV低合金钢条件屈服限及抗拉强度的影响如图1·1-5所示。

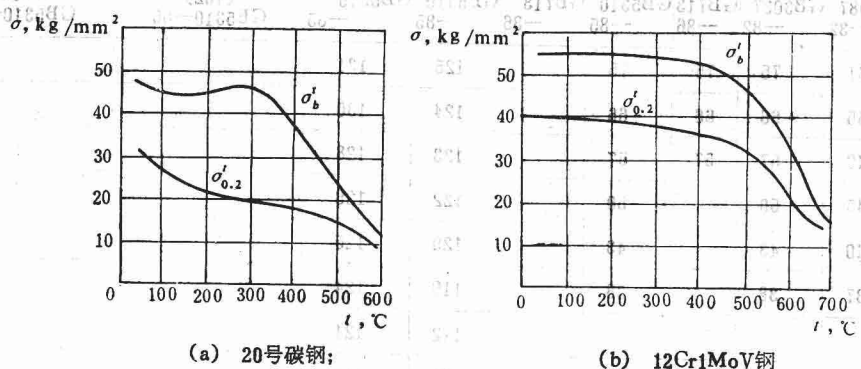


图1·1-5 温度对20号碳钢及12Cr1MoV低合金钢强度性能的影响

当然过低的温度对锅炉钢材的机械性能也会产生相应的不利影响，不过锅炉一般都不可能在低温下工作，通常只讨论高温对锅炉钢材性能的影响。比如各种锅炉钢材在不同的温度下，其计算时的许用应力是不相同的，就同一种材料由于温度的升高，其 σ_b 、 σ_s 都将降低。我国现行的锅炉受压元强度计算标准，都考虑了这一点。如表1·1-7是GB9222—88给出的常用锅炉钢材在不同计算壁温下的基本许用应力。

表1·1-7 常用锅炉钢材在不同计算壁温下的基本许用应力 $[\sigma]$ ，MPa

钢号 与 标准号	10 GB3087 —32	20 GB3037 —82	20g GB713 —86	20G GB5310 —85	16Mng GB713 —86	15CrMo GB5310 —85	12Cr1MoV GB5310 —85	12Cr2MoWVTiB* (102) GB5310—85	12Cr3MoVSiTiB* (II11) GB5310—85
σ_b^0	333	392	408	402	470	441	441	539	627
σ_s	196	226	226	226	305	225	255	333	441
计 算 壁 温 (t _{cl} , °C)	20	124	145	148	174	150	163	200	232
	250	104	125	125	149	148	156		
	260	101	123	123	146	147	155		
	280	96	118	118	140	145	153		
	300	91	113	113	135	143	151		
	320	89	109	109	132	140	148		
	340	84	102	102	130	126	144		
	350	80	100	100	129	135	143		
	360	78	97	97	127	132	141		
	380	75	92	92	122	131	138		
	400	70	87	87	117	128	135		
	410	68	83	83		127	133		
	420	66	78	78		126	132		

(续表)

钢号 与 标准号	10 GB3087 —32	20 GB3037 —82	20g GB713 —88	20G GB5310 —85	16Mng GB713 —85	15CrMo GB5310 —85	12Cr1MoV GB5310 —85	12Cr2MoWVTiB* (102) GB5310—85	12Cr3MoVSiTb* (II11) GB5310—85
430	61	75	75	75		125	131		
440	55	66	66	66		124	130		
450	49	57	57	57		123	128		
460	45	50		50		122	126		
470	40	43		43		120	125		
480	37	38		38		119	124		
490						112	121		
500						96	118		
510						82	110		
520						69	98		
530						59	86		
540						49	77	60	110
550						40	71	84	97
560							65	79	87
570							57	74	75
580							50	69	65
590								64	58
600								59	51
610								(52)	(45)
620								(43)	(39)

注：① 采用括号内的 $[\sigma]$ 计算壁厚时，必须考虑氧化损失。

② 碳钢制成的集箱，其计算壁温不应超过 430℃，对于 20G 钢，若要求使用寿命在 20 年内，可提高至 450℃。

③ 板厚适用范围：20g， $S \leq 60\text{mm}$ ；16Mng， $S \leq 36\text{mm}$ 。

④ 相邻计算壁温数值之间的 $[\sigma]$ ，可用算术内插法确定，但需舍弃小数点后的数字。

⑤ 铸钢件的 $[\sigma]$ 取表中相应数值的 0.7 倍。锻钢件的基本许用应力，当用型钢锻造时，可取表中相应钢号的数值；当用钢锭锻造时，可取表中相应钢号数值的 0.9 倍。

⑥ 表中粗线下方的数据系按持久强度 σ_D 计算的，与此数据相对应的温度表示该钢种持久强度对基本许用应力起控制作用的温度。对于带*的钢号，此粗线并不表示按持久强度计算基本许用应力的起始温度。

复 习 题

1. 什么叫热导体？热导体在锅炉上有什么用途？
2. 什么叫导热系数？影响导热系数数值的因数有哪些？
3. 热的传递方式有几种？分别说明各自的特点。
4. 举例说明各种传热方式在锅炉传热某一环节上的表现。

5. 物体受热后会产生哪几方面的变化？其变化规律如何？
6. 试说明线膨胀和体膨胀的概念，并说明它们对锅炉有何影响。
7. 试说明物体受热后的状态变化过程，这几种状态之间有何关系？
8. 金属材料受热后机械性能有何变化？这种变化对锅炉受压元件有何影响？

第二章 水和水蒸汽

第一节 水的状态变化

水，是锅炉最常用的载热介质，通常被称为工质，水受热后不仅产生状态变化，其物理性质也将随之变化，如密度、比容和焓等都随温度的变化而变化。

水的三态变化是指随着温度的变化水可以从气体状态变为液体状态，液体状态变为固体状态，而且状态变化又是可逆的。水的气体状态通常称为水蒸汽简称蒸汽；液体状态称其为水，而其固体状态称为冰。

自然界中水的三态变化可用图1·2-1来表示。

一、气化和液化

(一) 气化

水从液体状态转变为气体状态的过程为气化。气化过程都要吸收热量。水的气化一般有两种形式，即蒸发和沸腾。

蒸发——液态水表面上的气化现象叫做蒸发。

沸腾——在液态水的内部因热而产生汽泡的气化现象叫做沸腾。

(二) 液化

水蒸汽受冷从气体状态转变为液体状态的过程称为液化。液化过程（也叫做凝结）是个放热的过程，即放出气化潜热。

二、凝固和融解

(一) 凝固

液态的水转变为固态的冰的过程称为凝固。凝固是放热过程，放出的热量称为融解潜热。

(二) 融解

固态的冰转变为液态的水的过程称为融解。融解是吸热过程，其所吸收的热量与凝固时的热量相同。

三、升华

升华现象是一种不连续的状态变化过程。即固态的冰不经过液态阶段而直接转变为气态的蒸汽的过程称为升华。在一般条件下，大多数固体不易发生升华现象，但冰在冬天是常发生升华现象的。

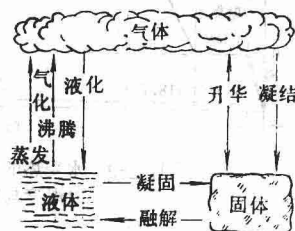


图1·2-1 水的三态变化示意图