

GUANDAO 管道

ANZHUANG SHIGONG JISHU

安装施工技术

于培旺 常大年 编著



化学工业出版社

GUANDAO 管道
ANZHUANG SHIGONG JISHU

安装施工技术

■ 于培旺 常大年 编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书首先介绍了管道安装施工工作的基础知识,然后介绍了管道拐弯参数的确定、空气调节与采暖系统、氟利昂制冷系统运行、管道防腐与绝热,书中介绍的安装包括管卡支架、空调系统末端机组、供热管道、给水工程管道、室外排水管道、室内供水管道、室内塑料排水管道与洁具、辅助设备、建筑中水管道、燃气管道、氟利昂单级制冷系统,最后对怎样做好施工员提出了有针对性的建议。

本书突出实用性,是笔者多年从事管道安装施工工作经验的积累和教训的总结,对广大管道安装施工人员的实际工作有很强的指导作用,也可作为大中专院校相关专业的教学参考书和相关培训的辅导用书。

图书在版编目(CIP)数据

管道安装施工技术/于培旺,常大年编著. —北京:
化学工业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-122-00400-0

I. 管… II. ①于…②常… III. 管道施工 IV. U175

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 060893 号

责任编辑:徐娟

责任校对:徐贞珍

装帧设计:韩飞

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张26¼ 字数687千字 2007年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:58.00 元

版权所有 违者必究

前 言

为了适应建筑行业管道安装工程技术人员工作、学习，各个级别（含高级工以上）的技能培训，以及监理工程师工作需要而编写本书。

本书理论结合实际，深入浅出，体现一个“新”字，突出一个“实”字。考虑到建筑企业对复合型技术人才〔一专多能，既懂给排水（或采暖）又懂采暖（或给排水）〕的迫切需求，特将管道工程制图、常用机件（非标准管件）加工所必需的机械制图基础知识，给排水、供热、空调制冷以及市政管道安装，合并写入本书。

本书还反映了建筑管道安装新成果。如淘汰管材的替代管材安装及其与设备安装中的连接与做法等，绘制了新做法的详图，取代陈旧做法。另有部分笔者实验成果写入本书。

本书由于培旺和北京工商管理专修学院的常大年教授编著。在编写过程中得到了陈强、张连平高工的大力支持和帮助，在此深表感谢。

本书可作为大中专学校教材，用于教学。旨在培养出既懂理论，又懂操作实践的实用型人才。学生毕业后，即可顶班上岗工作，无需见习，以缓解本行业中工程技术人员缺乏的现状。

由于本人的水平有限，不可能面面俱到，书中不足之处在所难免，望广大读者和教师提出宝贵意见，以便改正，谢谢。

于培旺
2007年3月

目 录

第一章 应用基础知识	1	一、图线与剖面符号	38
第一节 水与水蒸气的性质	1	二、比例的标注及其选用	39
一、水的三态	1	三、通用符号与编号	40
二、水的膨胀性和压缩性	1	四、管径标注	41
三、水的空气溶解性	2	五、管道交叉与重叠画法	42
四、水的冻结与熔解	2	六、管道分支与转向画法	42
第二节 蒸汽的性质及其计算	3	七、索引与编号	43
一、水的汽化	3	第四节 常用机件加工知识	44
二、蒸汽的形成及其性质	3	一、一般规定	44
三、蒸汽的凝结	4	二、机件图样画法	45
四、蒸汽表及蒸汽的计算	4	三、部分螺纹画法与标注	49
第三节 空气的性质	6	四、公差	51
一、空气的湿度	6	五、施工现场螺纹加工	52
二、露点	8	六、攻丝前钻孔直径的确定	53
三、干湿球温度计	9	七、非标准法兰盘加工图画法	53
四、气体的等温过程(波义耳·马略特定律)	10	八、镊子的制作材料和淬火方法	54
五、气体的等压过程(盖·吕萨克定律)	11	第四章 管卡支架制作安装	55
六、气体的等体过程(查理定律)	11	第一节 滑动支架、吊卡制作	55
七、运用波义耳·马略特定律解释“气室”工作实况	11	一、滑动支架制作	55
第二章 几何作图及管件画法	16	二、滑动支座制作	55
第一节 几何作图	16	三、吊卡制作	55
一、线段与圆周的等份及分角线	16	四、吊杆制作	58
二、圆弧与两直线连接	18	第二节 固定支架制作	59
三、画椭圆	19	一、冷冻水管道固定支架制作	59
第二节 管件和弯管画法	20	二、热力管道固定支架常用做法	60
第三节 虾米腰弯头和三通展开图	24	第三节 吊杆与支架安装	62
一、虾米腰弯头展开图画法	24	一、多根管道并行的吊杆安装	62
二、等径三通展开画法	26	二、单根管道沿墙水平敷设支架安装	63
第三章 识图制图基本知识	27	三、双根保温管道滑动支架安装	64
第一节 正投影法	27	四、多根保温管道支架安装	65
一、正投影原理	27	第五章 管道减弯参数的确定	68
二、点、线、面的正投影	27	第一节 精确的弯曲参数的确定	68
三、投影的积聚性和重叠性	28	一、管子弯曲时轴向受力等于零的位置	68
四、直线和平面的三面投影	29	二、钢管减弯时焊缝应摆放的正确位置	68
五、体的投影	30	三、传统的弯曲半径和弯曲长度	69
第二节 轴测投影法	33	四、精确的弯曲半径和弯曲长度	69
一、轴测投影原理	33	五、精确的加热长度与浇水位置	70
二、正等轴测图	34	六、弯管质量检测	70
三、斜二测轴测图	35	第二节 弯管参数	71
第三节 管道制图局部画法	38	一、灯叉弯几何参数	71
		二、手工热减弯形躲管弯几何参数	72
		三、元宝弯几何参数	73

四、圆形补偿器几何尺寸	74	第八章 供热管道安装	114
第三节 煨弯技巧	75	第一节 常用管材与螺纹加工	114
一、降低椭圆率的措施	75	一、常用管材及阀门代号含义	114
二、增大弯曲半径的措施	75	二、管螺纹特点及其应用	115
三、不宜使用的弯管器	75	三、螺纹基本尺寸及其公差	117
第四节 折皱弯管煨制方法	76	四、螺纹加工要求	117
一、准备工作	76	五、上零件之前对管外螺纹的处理	117
二、折皱弯管不加热区弧长和距管中心 尺寸的确定	76	六、长丝螺纹加工与安装	118
三、弯管煨制与划线和下料	76	第二节 温度计安装	120
第六章 空气调节与采暖系统	80	第三节 管道的热伸长与固定支架间距	122
第一节 空气调节系统的一般分类	80	一、管材线胀系数	122
一、按所使用的空气处理设备分	80	二、固定支架间距	122
二、按载冷剂介质分	80	三、自然补偿	123
三、按空调系统形式分	80	第四节 补偿器安装	123
第二节 集中式空调系统	81	一、方形补偿器安装	123
一、直流式空调系统	81	二、圆形补偿器安装	124
二、一次回风式空调系统	81	三、套筒式补偿器安装	124
三、二次回风式空调系统	82	四、波纹管式补偿器安装	125
第三节 空气的加热	83	第五节 减压阀、疏水器安装及入户 做法	126
一、用蒸汽或热水作热媒的空气加热器 加热	83	一、减压器组装	126
二、用电加热元件对空气进行加热	87	二、疏水器组装	126
第四节 空气的冷却与净化	88	三、高压蒸汽干管抬头与疏水器安装	128
一、表面式冷却器冷却、净化	88	四、高压蒸汽减压后入户做法	129
二、喷雾室冷却、净化	91	五、热水采暖系统入户做法	129
三、空气的加湿与减湿	91	第六节 局部做法	130
第五节 风机盘管空调机组系统	91	一、多根管道成排安装时弯曲部分 做法	130
一、卧式明装风机盘管的构造	92	二、集气罐正确做法与安装	130
二、卧式暗装风机盘管的构造	92	三、分(集)水器安装	130
三、立式风机盘管的构造	93	四、采暖与空调水立管与干管连接 做法	132
第六节 空调冷冻水系统	94	第七节 采暖干管安装	133
一、开式空调水系统	94	一、基本要求	133
二、闭式空调水系统	95	二、干管变径做法	133
第七节 室内采暖系统原理	97	三、干管分路做法	133
一、重力循环热水采暖原理	97	四、套管制作与安装	134
二、机械循环热水采暖系统	100	第八节 采暖与空调水立管安装	135
第八节 低压蒸汽采暖系统	102	一、立管预制	135
一、基本概念	102	二、立管安装	135
二、蒸汽采暖系统的分类	103	第九节 散热器组对与安装	140
三、锅炉内蒸汽压力的确定	104	一、散热器组对方法	140
第七章 空调系统末端机组安装	105	二、散热器安装	140
第一节 新风空调机组安装	105	第十节 支管安装	144
一、新风空调机组安装步骤	106	第十一节 低温热水地板辐射采暖系统 安装	146
二、新风空调机组机外配管	106	第十二节 管道无沟直埋敷设	147
第二节 风机盘管空调机组安装	110	一、管道安装的基本要求	147
一、卧式风机盘管安装	111		
二、立式风机盘管安装	112		

二、直埋热力管道安装	148	第二节 接口型式及其尺寸	194
第九章 给水工程管道安装	151	第三节 管道安装	197
第一节 室外给水系统	151	一、管道安装	197
一、给水系统的组成	151	二、管道在通基上的做法	198
二、给水系统的分类	151	三、管道在枕基上的做法	200
第二节 输水管道与配水管网	152	四、接口做法	200
第三节 常用管材	153	第四节 构筑物砌筑	203
一、金属管	153	一、检查井砌筑	203
二、常用塑料管材	158	二、接合井砌筑	205
三、承插式预应力钢筋混凝土输水管	160	三、跌落井砌筑	206
四、承插式自应力钢筋混凝土输水管	163	四、隔油池砌筑	206
第四节 铸铁管道安装	164	五、雨水口砌筑	209
一、铸铁给水管刚性接口做法	164	六、井圈与铁爬梯安装	209
二、柔性接口做法	165	七、常用土建材料	212
第五节 非金属管道安装	167	第五节 排水管道严密性试验	214
一、塑料给水管件与管道安装	167	第十一章 室内供水管道安装	216
二、自应力钢筋混凝土给水管安装	170	第一节 常见给水和热水供应系统	216
第六节 管网附属部件安装	172	一、给水系统	216
一、阀门安装	172	二、热水供应系统	218
二、消火栓安装	172	第二节 常用管材	220
三、消防水泵接合器安装	175	一、金属管道的常用管材	220
四、排气阀安装	176	二、塑料管道的常用管材	221
五、水表安装	178	第三节 金属管道安装	223
六、供水减压器安装	180	一、管道预制	223
七、减压器调试	182	二、室内地下管道安装	228
第七节 给水管网附属构筑物	182	三、地下室及设备层敷设	228
一、管道支墩	182	四、给水立管安装	228
二、水塔与水池	182	五、热水供应立管安装	229
第八节 管道强度与严密性试验	185	六、冷热水支管安装	229
一、强度试验前的准备工作	185	七、常用铜管件尺寸及刨中尺寸	231
二、管道强度试验	185	第四节 聚丙烯给水管安装	234
三、管道严密性试验	187	一、施工前的准备工作	234
四、塑料管道压力试验	189	二、管材、管件的质量标准	234
第九节 管道冲洗与消毒	189	三、管道布置要求	236
一、管道冲洗	189	四、管道安装	236
二、管道消毒	190	第五节 硬聚氯乙烯等塑料管道安装	238
三、自来水(给水)消毒	190	一、接口型式	238
第十节 水质指标及水源卫生防护	191	二、塑料管件尺寸	238
一、地面水水质卫生要求	191	三、管道安装	239
二、水源卫生防护	191	第六节 自动喷水灭火系统管网安装	243
第十章 室外排水管道安装	193	一、自动喷水湿式灭火系统工作原理	243
第一节 排水管道常用管材	193	二、自动喷水灭火系统管道安装	245
一、混凝土管、钢筋混凝土管适用 范围	193	第七节 室内消火栓给水管网安装	250
二、自应力钢筋混凝土排水管	194	一、消火栓系统设备的组成与安装	250
三、预应力钢筋混凝土排水管	194	二、消火栓系统调试	251
四、穿越铁路路基顶进施工用钢筋混凝 土管	194	第十二章 室内塑料排水管道与洁具安装	253
		第一节 室内塑料排水管道安装	253
		一、一般要求与注意事项	253

二、排水管道最底部做法	255	一、室内中水站工艺流程	308
三、出屋顶的通(透)气管安装	255	二、室外中水站工艺流程	309
四、透气管在排水系统中的作用	256	第三节 中水站附件安装	311
五、检查口、扫除口、地漏安装	256	一、格栅安装	311
六、伸缩节安装	258	二、潜水射流曝气机安装	313
七、伸缩节安装位置及最大间距	259	三、液位传感器安装	314
八、排水管道安装	260	四、中水加工站内给排水管道安装	314
九、塑料管件尺寸及其排列技巧	261	五、混凝剂、消毒剂的投加管和毛发 聚集器安装	314
十、防火套管和阻火圈安装部位	269	第四节 中水系统管道安装	316
第二节 卫生洁具安装	269	一、中水站排污(泥)管出口正确 做法	316
一、坐式大便器安装	269	二、中水供应与原排水管道安装	317
二、蹲式大便器安装	271	第五节 家庭厨房废水处理再利用	318
三、小便器安装	273	一、厨房废水简易处理	318
四、洗脸盆安装	275	二、家庭厨房废水合理再利用	319
五、洗涤盆安装	278	第十五章 燃气管道系统与安装	320
六、淋浴器与浴盆安装	279	第一节 燃气的分类与特性	320
七、净身器安装	282	一、燃气的分类	320
第十三章 辅助设备安装	283	二、燃气的特性	320
第一节 冷却塔安装	283	第二节 室外燃气管道安装要求	321
一、冷却塔的主要工况参数	283	一、城镇燃气管道的分类	321
二、冷却塔安装要求	283	二、燃气管道敷设要求	321
三、冷却塔安装	283	三、室外燃气管道常见布置形式	323
第二节 换热器安装	286	四、外线燃气管道的管材与连接及其 防腐	323
一、板式换热器安装	286	第三节 燃气管道安装	325
二、容积(壳管)式换热器安装	288	一、室外燃气管道安装	325
第三节 软化水系统安装	288	二、室内燃气管道安装	338
一、阳离子树脂交换软化水系统	288	三、燃气管道强度试验和严密度试验	339
二、树脂交换软化水系统安装要求	289	第十六章 氟利昂单级制冷系统及其安装	341
第四节 清水泵安装	291	第一节 单级压缩制冷循环	341
一、离心泵的分类	291	一、制冷剂与冷媒	341
二、离心泵的工作原理及其参数	291	二、活塞式压缩制冷系统原理	341
三、卧式水泵安装	295	三、工况条件	342
四、深井泵安装	295	第二节 制冷部件功能与调节	343
第五节 污水泵安装	300	一、蒸发器的功能	343
一、PW型卧式污水泵安装	300	二、冷凝器的功能	344
二、WL型立式污水泵安装	301	三、分油器的功能	344
第六节 常用钣金展开制作	302	四、过滤(干燥)器的功能	345
一、截头圆锥展开图画法	302	五、电磁阀的功能及其故障原因	346
二、钢制漏斗及喇叭口加工尺寸	302	六、膨胀阀的功能与调试	346
三、焊接三通样板展开画法	304	七、吸、排气截止阀的功能	348
四、焊接弯头下料用样板展开画法	304	第三节 制冷机组安装	348
第十四章 建筑中水管道安装	306	第四节 冷库蒸发排管制作与安装	349
第一节 建筑中水系统	306	一、顶式蒸发排管制作安装	349
一、中水适用范围	306	二、墙排管制作与安装	349
二、中水基本类型	306	第五节 制冷管道接点与焊接技术	352
三、中水的水源	306		
四、中水生产加工与供应流程	306		
第二节 中水站工艺流程	308		

一、管材除污与配管、安装	352	附录	386
二、管道局部接点做法	355	附录 1 弓形几何尺寸	386
三、制冷剂管道焊接做法	355	附录 2 直角三角形边长和角度计算 公式	387
第六节 制冷系统试漏与吹污	357	附录 3 分和秒转换成度	388
一、系统试漏	357	附录 4 热力管道常用图例符号、代号	388
二、系统气密性试验	357	附录 5 给排水管道常用图例符号、 代号	391
三、系统吹污试验	358	附录 6 冷库常用无缝钢管规格	394
第十七章 氟利昂制冷系统运行	359	附录 7 冷冻吨换算	395
第一节 充灌制冷剂	359	附录 8 功、热量、能量单位换算 (一)	395
一、抽真空	359	附录 9 功、热量、能量单位换算 (二)	395
二、系统灌注制冷剂	360	附录 10 功率单位换算	395
第二节 制冷系统试运转	362	附录 11 力的单位换算	395
一、启动压缩机的操作程序	362	附录 12 强度 (应力) 及压力 (压强) 单位换算	396
二、压缩机正常运转时的注意事项	362	附录 13 海拔高度与大气压和温度的 关系	396
三、压缩机停止运转的操作程序	362	附录 14 拉制铜管规格	397
第三节 制冷系统调试与运行	362	附录 15 挤制铜管规格	397
一、局部调试	362	附录 16 国产冷冻机油主要规格	397
二、制冷系统试运行	364	附录 17 管道几何参数、重量、水容量和 保温层外表面放热阻力	398
第四节 添加润滑油方法	365	附录 18 橡胶石棉板规格及用途	398
第五节 制冷装置局部检修	366	附录 19 橡胶板品种、代号及适用范围	399
一、拆修液管和低压部分	366	附录 20 水的主要理化常数	399
二、排除空气的方法	366	附录 21 空气的主要成分	399
三、从装置中取出制冷剂	366	附录 22 氧-乙炔焊对口型式及组对要求	400
四、更换干燥剂	367	附录 23 氧-乙焊焊缝加强面高度和宽度	400
五、水冷式冷凝器除垢方法	367	附录 24 手工电弧焊对口型式及组对要求	400
第十八章 管道防腐与绝热	368	附录 25 电焊焊缝加强面高度和宽度	400
第一节 管道防腐	368	附录 26 我国部分城市的最大冻土深度和 海拔高度	401
一、除锈	368	附录 27 游标卡尺的使用方法	401
二、管道刷涂防锈涂料	369	附录 28 常用过滤器长度	402
三、防锈涂料名称及其代号	370	附录 29 Z45T-1.0、SZ45T-1.0 暗杆楔式 闸阀规格	403
第二节 管道绝热做法	372	附录 30 灰口铸铁三盘 (法兰) 丁字三通 尺寸	404
一、采暖管道的保温材料	372	附录 31 自然对数表	404
二、管道保温 (冷) 的构造	373	附录 32 压力单位换算	406
三、聚酯类组合保温管	374	参考文献	407
四、管道保冷构造	378	后记	408
五、露天管道防冻结措施	380		
第十九章 怎样做好施工员	382		
第一节 管道施工中的三个阶段	382		
一、施工前的准备工作	382		
二、施工阶段施工员的工作	383		
第二节 施工中的协作与配合	384		
一、与质检员、安全员的配合	384		
二、与监理工程师的配合	384		

第一章 应用基础知识

第一节 水与水蒸气的性质

一、水的三态

水在大气压力下，由 0°C 升至 100°C 为液态；如果 0°C 的水连续失去热量，则冻结成 0°C 的冰，变成固态；而 100°C 的水继续加热则成为蒸汽，为汽态。上述三态亦称为“三相”，如图 1-1 所示。图中 AC 线是水的蒸汽压（汽化）曲线，曲线上各点表示水和蒸汽成平衡时的温度和压力，如图中的 t_s 和 P_s 等；AD 线是冰的蒸汽压（升华）曲线，曲线上各点表示冰和水蒸气平衡时的温度和压力；AB（熔解）线表示压力对冰的熔点的影响，曲线上各点表示水和冰成平衡时的温度和压力。AC、AD、AB 三线相交于 A 点，该点表示水、蒸汽、冰三相平衡时的温度和压力，所以 A 点称为三相点。据试验测得纯水的三相点温度 t_a 为 0.0098°C ，压力 P_a 为 $4.579\text{mmHg} = 0.006105\text{bar} = 0.0006105\text{MPa} = 0.006025\text{atm}$ 。

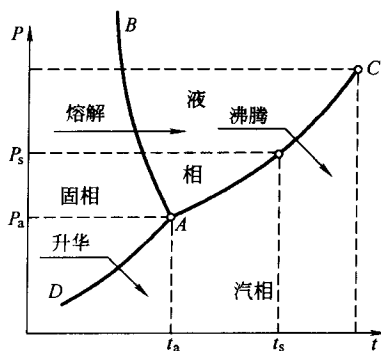


图 1-1 水的三相图

BAC、CAD、DAB 三个区域分别表示为水、蒸汽、冰单相存在时的温度和压力的范围。例如，在 BAC 区域内系属于水的温度和压力。

AB、AC、AD 每条曲线上各点可以存在两个相，如 AB 曲线上为固相和液相；AC 曲线上为液相和汽相；AD 曲线上为固相和汽相。

二、水的膨胀性和压缩性

1. 水的膨胀性

水和其他物质一样，随温度的变化而改变其体积，这种特性称为热膨胀，并用膨胀系数 α 表示。

水的膨胀系数值不是一个常数，它随温度和压力的变化而不同。如水在 1atm 下，并在温度为 $0\sim 10^{\circ}\text{C}$ 之间时， $\alpha = 0.00014/^{\circ}\text{C}$ ；而温度在 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之间 $\alpha = 0.00015/^{\circ}\text{C}$ ； $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ， $\alpha = 0.00021/^{\circ}\text{C}$ 。在采暖及空调工程中，计算膨胀水箱有效容积时， α 值取 $0.0006/^{\circ}\text{C}$ 。在采暖工程中必须考虑水的膨胀这一因素，否则将造成系统的破坏。为了确保系统正常运行，必须设置膨胀水箱，用来容纳水膨胀后增加的体积。

膨胀水箱的有效容积是根据燃烧中断时，系统水温波动必定大于设计系统温差 (Δt)，所以计算时应将设计系统温差乘以 3，即 $3\Delta t$ 。

$$V = 3\Delta t \times 0.0006V_0 \quad (1-1)$$

式中， V 为膨胀水箱有效容积， m^3 ； V_0 为系统内水的总体积， m^3 。

如果设计系统温差为 25°C 时，将式(1-1)改写成下式：

$$V = 3 \times 25 \times 0.0006V_0 = 0.045V_0$$

2. 水的压缩性

水受到压力的作用时，能略微变小其体积的性质称为水的压缩性。水的压缩性用压缩系数 β 表示，其意义是对水每增加 1atm（约为 0.1MPa 或 1bar）时，该水的体积相对减少的数值。当受到 100atm（10MPa）以内的压力，而温度在 0~20℃ 之间，每增加 1atm 时，它的压缩系数为 0.00005/bar（如每增加 1MPa，压缩系数为 0.0005/MPa）。水受压后缩小的体积（ ΔV ）用下式求出。

$$\Delta V = -\beta V_0 P \tag{1-2}$$

式中， β 为压缩系数； V_0 为加压前的体积； P 为所增加的压力。

三、水的空气溶解性

当水被加热时，溶于水中的部分空气不断地自水中分离出来。溶于水中空气的量与水的温度及所受的压力有关。在同一压力下，热水的温度越高，溶于水中的空气也越少。溶于水中的空气量和水所受的压力成正比关系。如果在 1atm 和某一温度下，1m³ 的水含 X_0 的空气量，则在同一温度和另一大气压力 P 下，水中可含 $X_g = PX_0$ 的空气量。

由此可得出结论，在水具有最高温度与所承受压力最小处，自水中分离出来的空气量最多。反之，水温最低，压力最高，自水中分离出来的空气量最少。在不同水温和压力下溶于水中的空气量见表 1-1。

表 1-1 在不同水温和压力下溶于水中的空气量

水温 /℃	空气密度 $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	溶于水中的空气量 $X_1/(\text{L}/\text{m}^3)$	表压力/bar										
			0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
			溶于水中的空气量 $X_g/(\text{g}/\text{m}^3)$										
0	1.293	29.7	38.5	57.7	77	96.2	115	134	154	173	192	211	231
5	1.27	26.6	33.8	50.7	67.6	84.5	101	118	135	152	169	186	203
10	1.247	23.7	29.6	44.4	59.2	74	88.8	104	118	133	148	163	178
15	1.226	21.4	26.3	39.5	52.6	66	78.9	92.1	105	118	132	145	158
20	1.205	20.1	24.3	36.5	48.6	61	72.9	85.1	97.2	109	122	134	146
25	1.184	19.0	22.5	33.8	45	56.3	67.5	78.8	90	101	113	124	135
30	1.165	18.0	21.0	31.5	42	52.5	63	73.5	84	94.5	105	116	126
35	1.147	17.0	19.5	29.3	39	49	58.5	68.3	78	87.8	97.5	107	117
40	1.128	16.4	18.5	27.8	37	46.3	55.5	64.8	74	83.3	92.5	102	111
45	1.111	15.9	17.7	26.6	35.4	44.3	53.1	62	70.8	79.7	88.5	97.4	106
50	1.093	15.5	17.0	25.5	34	42.5	51	59.5	68	76.8	85	93.5	102
55	1.077	15.3	16.5	24.8	33	41.3	49.5	57.8	66	74.3	82.5	90.8	99
60	1.060	15.0	16.0	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96
65	1.045	14.8	15.5	23.3	31	38.8	46.5	54.3	62	69.8	77.5	85.3	93
70	1.029	14.7	15.1	22.7	30.2	37.8	45.3	52.9	60.4	68	75.5	83.1	91
80	1.000	14.6	14.6	21.9	29.2	36.5	43.8	51.1	58.4	65.7	73	80.3	87.6
95	0.959	14.9	14.3	21.5	28.6	35.8	42.9	50	57.2	64.3	71.5	78.7	85.8

在锅炉出口处水的温度最高，但在此处不会有空气自水中分离出来，因为这里承受着较大的水柱压力。当水的温度一定，溶于水中的空气量（体积） X_1 值与在任意压力下它的体积 X_1 值是相同的，是一个不变的恒值。无论压力升高多少，它永远是 X_1 值。但溶于水中的 X_g 值则不同，它每增加 1atm，便相对 X_g 值增加 1 倍。如温度 = 0℃，表压力 = 0bar 且绝对压力近似 1.0bar 时， $X_g = 38.5\text{g}/\text{m}^3$ ；如温度不变表压为 1.0bar 而绝对压力为 2.0bar 时， $X_g = 2 \times 38.5 = 77\text{ (g}/\text{m}^3)$ ；如绝对压力为 3.0bar 时， $X_g = 3 \times 38.5 = 115.5\text{ (g}/\text{m}^3)$ 。

表 1-1 中溶于水中的空气量也可以用 X_1 表示。

四、水的冻结与熔解

1. 水的冻结

水冻结时必须放出一定热量，降低到一定的温度，这个温度叫做冰点（其他液体叫凝固

点)。在标准大气压力下,冰点温度为 0°C ,如压力每增加 0.1MPa 时,冰点便下降 0.0075°C 。

2. 冰的熔解

冻结的冰受热时,从固态变成液态的现象叫做熔解。冰受热时温度逐渐上升,待升到某一温度时,才开始熔解。冰熔解时的温度叫做熔点(冰的熔点与水的冰点完全相同)。在熔解过程中,冰的温度保持不变,只有在整个冰块完全熔化后,继续加热时温度才会上升。

3. 熔解热

因为冰受热时,温度升高。当冰的温度达到熔点时,必须继续加热,冰才能熔解。这些热量是用来改变冰的状态,而冰的温度并不改变。所以 1kg 的冰,在熔解时全部变成同温度的水所需要的热量,叫做冰的熔解热。这些热量也就是 1kg 的水在冻结时所放出的热量,现在又原封不变地将这些热量吸收了回来。熔解热的热量单位是千焦每千克 (kJ/kg)。 1kg 冰的熔解热量为 333.15kJ 。

第二节 蒸汽的性质及其计算

一、水的汽化

由水变成蒸汽的过程叫做汽化。水的汽化包括蒸发和沸腾。汽化时需要吸收热量。反之,蒸汽凝结成水时,放出热量。

1. 蒸发

在水的表面发生的汽化叫做蒸发。不论在多少温度下,水都可以蒸发。水的温度越高,汽化的就越快。

2. 沸腾

在水的内部和表面同时发生的汽化叫做沸腾。在给定的压力下,水沸腾时的温度叫做沸点。水的沸点与承受压力的大小有关,压力越大,沸点越高;反之,沸点越低。例如,在 101.325kPa 时,沸点为 100°C ,如果在 10atm ($\approx 1.013\text{MPa}$) 时,沸点为 180°C 。

水在容器内被加热时,会在容器壁上产生很多小气泡,见图 1-2(a)。在这些小气泡里也有蒸发现象。小气泡的容积很小,里面的汽很快就达到了饱和状态。水的温度继续升高,小气泡里的饱和汽压就逐渐增大,同时,气泡的体积也越来越大。因此,所受的浮力也就越大,最后脱离器壁而上升。待全部的水达到一定温度时,气泡就上升到水面而破裂,此时水便沸腾了,见图 1-2(b)。

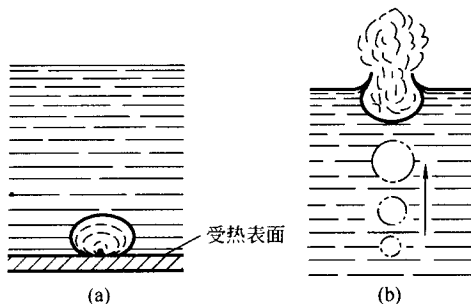


图 1-2 水沸腾过程

二、蒸汽的形成及其性质

工程上应用的蒸汽是在定压下对水加热产生的。如以 1kg 的水在 1atm 下,放入一端封闭的筒状容器中,用一个可以移动的活塞压在水面上,使水承受到一定的压力 P ,水的初始温度为 0°C ,比容积为 V_0 ,参见图 1-3 中的“a”(全图均以 1kg 水为例)。在定压下对水加热,水温便逐渐上升,而比容积略有增加,当水温增加到相应压力 P 的饱和温度 t_s 时,开始沸腾,此时的水变成了饱和水,比容用 V' 表示,见图 1-3 中的“b”。在定压下继续加热,饱和水便逐渐沸腾汽化,直至容器中最后一滴水也变为蒸汽为止,且温度不变,比容积增加

很快。参见图 1-3 中的“d”所示。此时整个容器中的蒸汽便是干饱和蒸汽，简称饱和蒸汽，比容积用 V'' 表示。

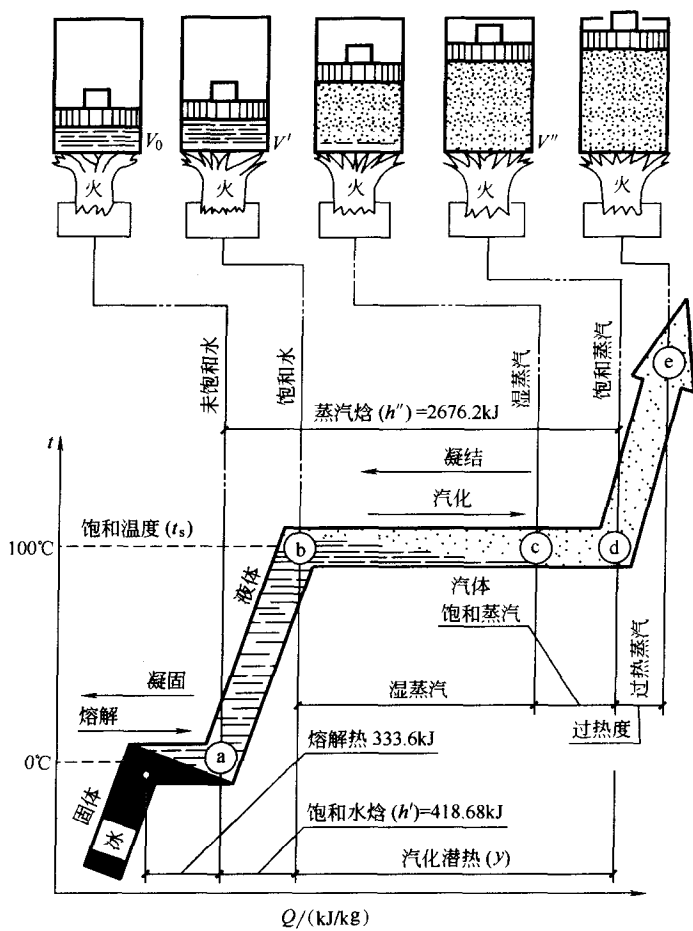


图 1-3 水的状态变化和蒸汽的形成过程

在水还没有完全变成蒸汽之前，容器中饱和水与饱和蒸汽共存，即汽水混合物，最后一滴水还没有完全变成蒸汽。见图 1-3 中的“c”。通常把这种汽水混合物叫做湿饱和蒸汽，简称湿蒸汽。

如果对于蒸汽再次加热，蒸汽的温度会继续上升，这时蒸汽的温度 t 高于饱和温度 t_s ，这种蒸汽叫做过热蒸汽，如图 1-3 中的“e”。在定压下，过热蒸汽的温度与饱和蒸汽的温度之差 ($t-t_s$) 叫做过热度。

三、蒸汽的凝结

蒸汽放出热量变成水的现象叫做凝结，所放出的热量为凝结热。水在锅炉内加热产生蒸汽的过程分为三个阶段，即水的加热阶段、水的汽化阶段（汽化时吸收的热量叫做汽化热，汽化热同凝结热）和蒸汽再次加热的过热阶段，即过热蒸汽。但只有用于动力和特殊用途的蒸汽才用过热蒸汽。一般生活用汽均为饱和蒸汽。

四、蒸汽表及蒸汽的计算

1. 蒸汽表

表 1-2 列出了饱和水与饱和蒸汽的热力特性。表中列有压力、饱和温度和焓、汽化潜热等。如果已知压力或温度，即可查出其他各项。

表 1-2 饱和水与饱和蒸汽的热力特性

温度 t / $^{\circ}\text{C}$	绝对压力 P/bar	比容/(m^3/kg)		密度/(kg/m^3)		热焓/(kJ/kg)		汽化热 r $(h''-h')/(\text{kJ}/\text{kg})$
		水 V'	蒸汽 V''	水 γ'	蒸汽 γ''	水 h'	蒸汽 h''	
0.0	0.0060	0.0010001	207.0	999.8	0.00483	0.0000	2499.5	2499.5
0.0075	0.0061	0.0010001	206.3	999.8	0.004847	0.0314	2500.8	2500.77
1.0	0.006566	0.0010001	192.6	999.9	0.005192	4.23	2502.5	2489.27
2.0	0.007054	0.0010001	179.9	999.9	0.005559	8.42	2504.5	2496.08
3.0	0.007575	0.0010001	168.2	1000	0.005945	12.64	2506.2	2493.56
4.0	0.008129	0.0010001	157.3	1000	0.006357	16.83	2508.3	2491.47
5.0	0.008719	0.0010001	147.2	1000	0.006793	21.06	2510.0	2488.94
6.0	0.009348	0.0010001	137.8	1000	0.007257	25.25	2511.7	2486.45
7.0	0.010013	0.0010001	129.1	999.9	0.007746	29.43	2513.8	2484.37
8.0	0.010721	0.0010001	121.0	999.9	0.008264	33.66	2515.4	2481.74
9.0	0.011473	0.0010003	113.4	999.8	0.008818	37.85	2517.5	2479.65
10	0.012271	0.0010004	106.4	999.7	0.009398	42.04	2519.2	2477.16
11	0.013117	0.0010005	99.91	999.6	0.01001	46.22	2521.3	2475.08
12	0.014016	0.0010006	93.84	999.5	0.01066	50.41	2523.0	2472.59
13	0.014967	0.0010007	88.18	999.3	0.01134	54.60	2525.1	2470.50
14	0.015974	0.0010008	82.90	999.2	0.01206	58.78	2526.7	2467.92
15	0.017041	0.0010010	77.97	999.0	0.01282	62.97	2528.4	2465.43
16	0.018170	0.0010011	73.39	998.9	0.01363	67.16	2530.1	2462.90
17	0.019364	0.0010013	69.10	998.7	0.01447	71.34	2531.8	2460.46
18	0.020623	0.0010015	65.09	998.6	0.01536	75.53	2533.4	2457.87
19	0.021957	0.0010016	61.34	998.4	0.01630	79.72	2535.5	2455.78
20	0.023369	0.0010018	57.84	998.2	0.01729	83.90	2537.2	2453.30
21	0.024860	0.0010021	54.56	998.0	0.01833	88.09	2538.9	2450.81
22	0.026429	0.0010023	51.50	997.7	0.01942	92.28	2541.0	2448.72
23	0.028076	0.0010025	48.62	997.5	0.02057	96.46	2542.6	2446.14
24	0.029822	0.0010028	45.93	997.2	0.02177	100.61	2544.7	2444.09
25	0.031666	0.0010030	43.40	997.0	0.02304	104.80	2546.4	2441.60
26	0.033598	0.0010033	41.04	996.8	0.02437	108.98	2548.1	2439.12
27	0.035637	0.0010036	38.82	996.4	0.02576	113.17	2550.2	2437.03
28	0.037785	0.0010038	36.73	996.2	0.02723	117.36	2551.9	2434.54
29	0.040041	0.0010041	34.77	995.9	0.02876	121.50	2553.9	2432.40
30	0.042414	0.0010044	32.93	995.6	0.03037	125.69	2555.6	2429.91
31	0.044914	0.0010047	31.20	995.3	0.03205	129.88	2557.7	2427.82
32	0.047533	0.001552	29.57	995.0	0.03382	134.06	2559.4	2425.34
33	0.050289	0.0010054	28.04	994.6	0.03566	138.25	2561.1	2422.85
34	0.053181	0.0010057	26.60	994.4	0.03764	142.44	2563.2	2420.76
35	0.056222	0.0010061	25.24	993.9	0.03962	146.58	2564.8	2418.22
36	0.059399	0.0010064	23.97	993.7	0.04172	150.77	2566.5	2415.73
37	0.062743	0.0010068	22.77	993.2	0.04392	154.95	2568.6	2413.65
38	0.066244	0.0010071	21.63	993.0	0.04623	159.14	2570.3	2411.16
39	0.069912	0.0010075	20.56	992.6	0.04864	163.33	2572.0	2408.67
40	0.073746	0.0010079	19.55	992.0	0.05115	167.51	2573.6	2406.09
41	0.077777	0.0010083	18.59	991.8	0.05379	171.66	2575.3	2403.64
42	0.081984	0.0010087	17.69	991.4	0.05653	175.85	2577.0	2401.15
43	0.086387	0.0010091	16.84	991.0	0.05938	180.03	2578.7	2398.67
44	0.090996	0.0010095	16.04	990.6	0.06234	184.22	2580.7	2396.48
45	0.095821	0.0010099	15.28	990.2	0.06544	188.41	2582.4	2393.99
46	0.100852	0.0010103	14.56	989.8	0.06868	192.59	2584.5	2391.91
47	0.106118	0.0010108	13.88	989.4	0.07205	196.78	2586.2	2389.42
48	0.111619	0.0010112	13.23	989.0	0.07559	200.93	2587.9	2386.97
49	0.117356	0.0010116	12.62	988.5	0.07924	205.11	2590.0	2384.89
50	0.123348	0.0010121	12.04	988.0	0.08306	209.30	2591.6	2382.3
55	0.1574	0.001014	9.581	986	0.1044	229.9	2598.7	2368.8
60	0.1992	0.001017	7.681	983	0.1302	251.0	2608.0	2357.0
65	0.2501	0.001020	6.207	980	0.1611	271.7	2616.8	2345.1
70	0.3116	0.001023	5.049	978	0.1981	293.0	2625.5	2332.5
75	0.3854	0.001026	4.137	975	0.2417	314.0	2634.3	2320.3
80	0.4737	0.001029	3.412	972	0.2931	334.9	2642.7	2307.8
85	0.5786	0.001032	2.831	969	0.3532	355.9	2651.5	2295.6
90	0.7012	0.001036	2.364	965.3	0.4229	376.8	2659.9	2283.1
95	0.8453	0.001040	1.985	962	0.5039	397.7	2668.2	2270.5
100	1.0133	0.001043	1.675	958	0.5970	418.7	2676.2	2257.5

续表

温度 t /°C	绝对压力 P/bar	比容/ (m^3/kg)		密度/ (kg/m^3)		热焓/ (kJ/kg)		汽化热 r $(h''-h')/(\text{kJ}/\text{kg})$
		水 V'	蒸汽 V''	水 γ'	蒸汽 γ''	水 h'	蒸汽 h''	
105	1.2082	0.001047	1.421	955	0.7036	439.6	2684.5	2244.6
110	1.4328	0.001052	1.212	951	0.8252	461.0	2692.1	2231.1
115	1.6907	0.001056	1.038	947	0.9636	482.3	2700.1	2217.8
120	1.9858	0.001061	0.893	943	1.1200	503.7	2707.6	2203.9
125	2.3212	0.001066	0.7713	938	1.297	524.6	2715.1	2190.5
130	2.7017	0.001070	0.6691	934	1.494	546.0	2722.3	2176.3
135	3.1028	0.001075	0.5826	930	1.716	567.3	2729.0	2161.7
140	3.6128	0.001081	0.5092	925	1.964	588.7	2736.1	2147.4
145	4.1561	0.001086	0.4466	921	2.239	610.0	2742.4	2132.4
150	4.7601	0.001091	0.3930	917	2.544	631.8	2748.6	2116.8
155	5.4339	0.001097	0.3470	912	2.882	653.1	2754.9	2101.8
160	6.1811	0.001102	0.3072	907	3.255	674.9	2760.8	2085.9
165	7.0078	0.001108	0.2729	902	3.665	696.7	2766.2	2069.5
170	7.9199	0.001114	0.2430	897	4.115	718.5	2771.2	2052.7
175	8.9241	0.001121	0.2170	892	4.608	740.2	2776.3	2036.1
180	10.0224	0.001127	0.1943	887	5.146	762.4	2780.9	2018.5
185	11.2384	0.001134	0.1742	882	5.741	784.6	2784.6	2000.0
190	12.5525	0.001141	0.1567	876	6.382	806.8	2988.7	2181.9

注：本表是根据莫里尔蒸汽图表换算编制的。

2. 蒸汽的计算

某一状态下的水或蒸汽的焓，数值上等于在等压下把 1kg 水从 0°C 加热到某一状态的水或蒸汽所吸收的热量。把 0°C 水的焓定为 0kJ/kg。

已知水的比热容 $c=4.1868\text{kJ}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$ ， $t^\circ\text{C}$ 水的焓就是将水从 $t_0=0^\circ\text{C}$ 加热到 $t^\circ\text{C}$ 的热量，即：

$$h(\text{kJ}/\text{kg})=c(t-t_0)=ct=4.1868t \quad (1-3)$$

【例 1-1】 水的温度由 20°C 加热到 90°C，试求出焓值。

解：用式(1-3) 计算可得：

$$h=c(t-t_0)=ct=4.1868t=4.1868\times(90-20)=239(\text{kJ}/\text{kg})$$

该焓值也可从表 1-2 中根据温度 $t=70^\circ\text{C}$ 查得。

定压下将 1kg 水从 t_1 加热到 t_2 所需热量 $q(\text{kJ}/\text{kg})$ 等于两种水的焓差：

$$q=h_2-h_1 \quad (1-4)$$

或

$$q=ct_2-ct_1=c(t_2-t_1)$$

3. 饱和蒸汽焓的计算

为了得到干饱和蒸汽必须先将水加热至沸点变成饱和水，然后继续加热，温度不变，保持饱和温度，吸收汽化潜热变成干饱和蒸汽。因此，干饱和蒸汽的焓 h'' 等于饱和水的焓 h' 和汽化潜热 r 之和，即：

$$h''=h'+r \quad (1-5)$$

【例 1-2】 求 100°C 饱和蒸汽的焓。

解：100°C 蒸汽的汽化潜热 $r=2257.5\text{kJ}/\text{kg}$ （由表 1-2 查得），用式(1-4) 求出蒸汽的焓：

$$h''=h'+r=4.1868\times 100+2257.5=2676.2(\text{kJ}/\text{kg})$$

计算结果可查表 1-2 论证。

第三节 空气的性质

一、空气的湿度

自然界中的空气不同程度地含有一定数量的蒸汽，因此都是湿空气。如果蒸汽太多，就

形成雾或下雨。相反，如果空气中蒸汽太少，草木就要干枯，人们会感到口渴，木器要裂缝等。所以大气中所含蒸汽的多少，对于动植物的生活有很大影响。

为了要确定空气中所含蒸汽的多少，我们首先引入“绝对湿度”这个概念。绝对湿度（ D ）就是空气中所含蒸汽的密度。其单位是 g/m^3 。蒸汽质量（ m ）和空气体积（ V ）的比，便等于绝对湿度（ D ）。如果蒸汽的密度 D 是 $6.39\text{g}/\text{m}^3$ ，那么，在炎热夏天的中午，蒸汽离饱和状态就很远，而在凉爽的秋天却可能达到饱和。所以为了表示大气中的湿度，除绝对湿度外，还要引入“相对湿度”这一概念。在某一温度时空气的相对湿度（ B ）是空气中的蒸汽密度 D 和同一温度下的饱和蒸汽密度（ $D_{\text{饱和}}$ ）的比。

因为蒸汽的压强近似地和它的密度成正比，所以也可以说：空气的相对湿度 B 是空气内蒸汽的压强（ P ）和同一温度下的饱和蒸汽压强（ $P_{\text{饱和}}$ ）的比，即

$$B = \frac{D}{D_{\text{饱和}}} \times 100\% \quad \text{或} \quad B = \frac{P}{P_{\text{饱和}}} \times 100\% \tag{1-6}$$

如果空气是绝对干燥的，那么， $D=0$ 或 $P=0$ ，因此 $B=0$ 。如果空气里的蒸汽达到饱和状态，那么， $D=D_{\text{饱和}}$ 或 $P=P_{\text{饱和}}$ ，因此 $B=100\%$ 。

【例 1-3】 已知空气的温度为 15°C ，绝对湿度是 $6.4\text{g}/\text{m}^3$ ，试求相对湿度。

解：由表 1-3 查得 15°C 时的饱和空气蒸汽密度（也称含湿量）是 $12.8\text{g}/\text{m}^3$ 。所以相对湿度 B 值用式(1-6)求得：

$$B = \frac{D}{D_{\text{饱和}}} \times 100\% = \frac{6.4}{12.8} \times 100\% = 50\%$$

表 1-3 湿空气的物理参数

空气温度 / $^\circ\text{C}$	干空气密度 / (kg/m^3)	饱和空气密度 / (kg/m^3)	蒸汽压力 / mmHg	饱和和空气的含湿量 ^①		饱和和空气的比热容 / $[\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})]$	饱和空气的焓 / (kJ/kg)
				(g/m^3)	(g/kg)		
40	1.218	1.097	55.32	50.91	48.8	1.110	165.79
39	1.132	1.102	55.42	48.40	46.0	1.101	157.42
38	1.135	1.107	49.69	46.00	43.5	1.097	149.47
37	1.139	1.111	47.07	43.71	41.1	1.093	142.35
36	1.142	1.116	44.56	41.51	38.8	1.089	135.65
35	1.146	1.121	42.18	39.41	36.6	1.084	128.95
34	1.150	1.126	39.90	37.40	34.4	1.080	122.67
33	1.154	1.131	37.73	35.45	32.5	1.076	115.97
32	1.157	1.136	35.66	33.64	30.6	1.072	110.11
31	1.161	1.141	33.70	31.89	28.8	1.068	104.67
30	1.165	1.146	31.82	30.21	27.2	1.063	99.65
29	1.169	1.151	30.04	28.62	25.6	1.061	94.20
28	1.173	1.156	28.35	27.09	24.0	1.059	89.18
27	1.177	1.161	26.74	25.64	22.6	1.055	84.57
26	1.181	1.166	25.21	24.24	21.4	1.051	80.39
25	1.185	1.171	23.76	22.99	20.0	1.047	75.78
24	1.189	1.176	22.38	21.68	18.8	1.043	72.01
23	1.193	1.181	21.07	20.48	17.7	1.042	67.83
22	1.197	1.185	19.83	19.33	16.6	1.041	64.06
21	1.201	1.190	18.65	18.25	15.6	1.039	61.13
20	1.205	1.195	17.53	17.22	14.7	1.038	57.78
19	1.209	1.200	16.48	16.25	13.8	1.038	54.01
18	1.213	1.204	15.48	15.31	12.9	1.037	50.66
17	1.217	1.208	14.53	14.43	12.1	1.034	47.73
16	1.222	1.214	13.63	13.59	11.4	1.034	44.80
15	1.226	1.218	12.79	12.80	10.06	1.031	41.78
14	1.230	1.223	11.99	12.03	9.97	1.030	39.19
13	1.234	1.228	11.23	11.32	9.35	1.029	36.59
12	1.238	1.232	10.52	10.64	8.75	1.026	34.08
11	1.242	1.237	9.84	10.01	8.15	1.026	31.53

续表

空气温度 /℃	干空气密度 /(kg/m³)	饱和空气密度 /(kg/m³)	蒸汽压力 /mmHg	饱和空气的含湿量 ^①		饱和空气的比热容 /[kJ/(kg·℃)]	饱和空气的焓 /(kJ/kg)
				(g/m³)	(g/kg)		
10	1.247	1.242	9.21	9.39	7.63	1.025	29.18
9	1.252	1.247	8.61	8.82	7.13	1.025	26.93
8	1.256	1.251	8.05	8.28	6.65	1.024	24.70
7	1.261	1.256	7.51	7.76	6.21	1.022	22.61
6	1.265	1.261	7.01	7.28	5.79	1.022	20.52
5	1.270	1.266	6.54	6.82	5.40	1.021	18.51
4	1.275	1.271	6.10	6.39	5.03	1.021	16.58
3	1.279	1.275	5.69	5.98	4.70	1.018	14.74
2	1.284	1.281	5.29	5.60	4.37	1.018	12.90
1	1.288	1.285	4.93	5.23	4.07	1.018	11.14
±0	1.293	1.290	4.58	4.89	3.78	1.017	9.42
-1	1.298	1.296	4.22	4.55	3.50	1.017	7.66
-2	1.303	1.301	3.88	4.22	3.19	1.017	5.90
-3	1.307	1.305	3.57	3.92	2.94	1.016	4.27
-4	1.312	1.310	3.28	3.64	2.69	1.016	2.68
-5	1.317	1.315	3.01	3.37	2.48	1.014	1.05
-6	1.322	1.320	2.76	3.13	2.27	1.014	-0.42
-7	1.327	1.326	2.53	2.90	2.08	1.014	-1.47
-8	1.332	1.331	2.32	2.69	1.91	1.013	-3.31
-9	1.337	1.335	2.12	2.49	1.75	1.013	-4.69
-10	1.342	1.341	1.95	2.30	1.60	1.013	-6.07
-11	1.348	1.344	1.78	2.14	1.49	1.013	-7.37
-12	1.353	1.350	1.63	1.98	1.33	1.013	-8.67
-13	1.358	1.355	1.49	1.83	1.22	1.013	-9.88
-14	1.363	1.361	1.36	1.70	1.11	1.012	-11.26
-15	1.368	1.367	1.24	1.58	1.01	1.012	-12.60
-16	1.374	1.372	1.13	1.46	0.92	1.012	-13.86
-17	1.379	1.378	1.03	1.35	0.84	1.010	-15.11
-18	1.385	1.384	0.94	1.25	0.76	1.010	-16.33
-19	1.390	1.389	0.85	1.15	0.69	1.009	-17.46
-20	1.396	1.395	0.77	1.05	0.63	1.009	-19.80

① 也称饱和空气内蒸汽密度。

二、露点

空气的相对湿度和温度有关，如果温度下降，而空气中的蒸汽还没有达到饱和状态，那么，空气中的蒸汽含量是不会改变的，也就是绝对湿度 D 不会改变，但空气中的蒸汽达到饱和状态时的密度 ($D_{\text{饱和}}$) 则随着温度的下降而减小，因此相对湿度 B 在温度下降时就增大。继续降低温度可以把空气的相对湿度变到使空气的相对湿度变成 100% 时的温度 (使空气中所含的未饱和蒸汽变成饱和时的温度) 叫做露点。湿空气在饱和状态下，其露点温度、湿球温度、干球温度三者是相等的。只要干球温度稍低于露点，蒸汽便开始凝结。这时便有雾生成，各种物体上有露水珠。例如，设空气的温度为 20℃，经试验测得绝对湿度为 12.8g/m³。由表 1-3 查得 20℃ 时的饱和蒸汽含湿量是 17.22g/m³；因此，相对湿度 $B = \frac{12.8}{17.22} \times 100\% = 74.33\%$ 。现在如果使温度降至 19℃，这时，蒸汽尚未达到饱和状态，所以蒸汽含量不会改变。由表 1-3 查得，这时的饱和蒸汽含湿量 (蒸汽密度) 降至 16.25g/m³，所以相对湿度为： $B = \frac{12.8}{16.25} \times 100\% = 78.77\%$ 。如果继续降低温度，饱和蒸汽含湿量必然更小，而相对湿度增大。当温度降至 15℃ 时，由表 1-3 查得饱和蒸汽含湿量

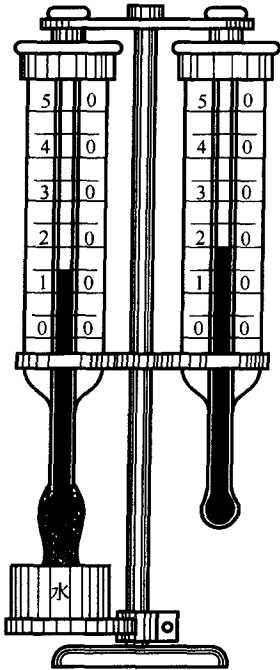


图 1-4 干湿球温度计