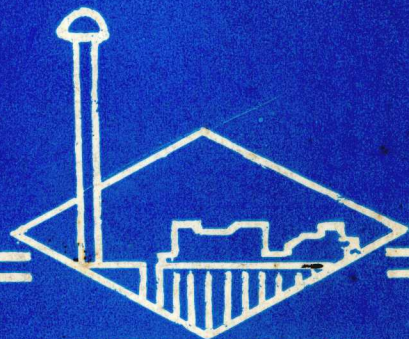


透平鼓风机站设计



1981 WUHAN

重慶市圖書館

内 容 简 介

本书扼要阐述了透平鼓风机的基本原理；介绍了国内外生产的各类鼓风机（轴流式、离心式，风量 $120\sim 7000\text{m}^3/\text{min}$ ，风压 $0.5\sim 5.5\text{kgf}/\text{cm}^2$ ）的性能；重点论述了大型轴流式、离心式鼓风机特性曲线的几种常用的换算方法，以及鼓风机及其原动机和主要辅助设备的选择和计算；论述了透平鼓风机的各种调节、自动控制，及保安设施的不同特点和要求，介绍了透平鼓风机站的布置及其热力系统的设计。另外对透平鼓风机吸风空气过滤，噪音防治的设计及计算，和各种过滤装置、消声装置的特性等都有专章论述。为当前国内较为完整和系统地论述鼓风机站设计的参考资料，可供各类鼓风机站的设计、运行人员参考使用，亦可作为大专院校的教学参考材料。

内 部 发 行

武汉钢铁设计研究院 出版

武汉市江汉印刷厂 印刷

一九八一年六月第一版

前 言

随着我国冶金、化工、航空等工业的迅速发展,我国自己制造和引进的大型离心式或轴流式鼓风机组逐年增加。为适应我国工业迅速发展的需要,我们重点调查和总结了我国铁钢厂的高炉鼓风机的设计、施工、运行等方面的经验,编写了这本《透平鼓风机站设计》。

在编写中,我们曾到制造厂和生产现场进行了调查研究,并向有关的科研,教学、设计等单位进行了学习,召开了各种类型的调查会和审稿会,得到了全国许多设计、施工、生产、制造和教学科研等单位的积极支持和热情帮助。对此我们表示衷心的感谢!

本书中所涉及的规范、标准、技术政策等,如与国家 and 上级现行规定有矛盾之处,应以国家和上级有关规定为准。

本书由武汉钢铁设计研究院负责主编,参加编写的有重庆钢铁设计研究院,马鞍山钢铁设计研究院,湖南省钢铁设计院。

由于编写人员水平所限,经验不足,书中难免存在不少缺点和错误,欢迎广大读者批评指正。

《透平鼓风机站设计》编写组

目 录

第一章 鼓风机的基本知识

第一节 空气的物理性质	(1)
一 气体状态方程和状态参数	(1)
二 湿空气	(10)
第二节 有关热力学和空气动力学的基本理论	(16)
一 气体流动中的能量方程式	(16)
二 鼓风机的基本压缩过程及其压缩功	(17)
三 鼓风机的效率和功率	(24)
四 鼓风中气流的运动特性	(28)
第三节 鼓风机的工作原理和性能	(36)
一 容积式鼓风机的工作原理和性能	(36)
二 透平式鼓风机的工作原理和性能	(38)
三 进气参数不同时特性曲线的换算	(41)
第四节 鼓风机的安全界限及安全运行区	(63)
一 鼓风机运行的安全界限	(63)
二 各种鼓风机的安全运行区和有效使用区	(64)
第五节 现有高炉鼓风机的技术特性和特性曲线	(65)
一 高炉鼓风机的技术特性表	(65)
二 高炉鼓风机的特性曲线图	(65)

第二章 鼓风机的选择及高炉对鼓风机的要求

第一节 鼓风机的选择	(92)
一 选择鼓风机的一般要求	(92)
二 鼓风机的风量及压力的确定	(92)
三 运行工况的折算	(95)
第二节 高炉操作及其对鼓风的要求	(115)
一 高炉冶炼的主要指标	(115)
二 高炉操作对鼓风的要求	(116)
三 高炉冶炼所需的鼓风量及风压	(117)
四 高炉冶炼的强化措施对鼓风的影响	(118)
第三节 高炉鼓风机的选择	(121)
一 确定运行工况区	(121)

二 换算风量、风压	(121)
三 选择鼓风机	(122)
四 例题	(122)
第四节 高炉系列及其配套风机	(127)
第三章 鼓风机的并联与串联	(134)
第一节 鼓风机的并联	(134)
一 鼓风机的并联方式及其总特性曲线	(134)
二 鼓风机并联的运行工况	(135)
三 鼓风机并联的应用及设备选择	(136)
第二节 鼓风机的串联	(137)
一 鼓风机的串联方式及其计算	(137)
二 鼓风机串联的总特性曲线	(139)
三 鼓风机串联的运行工况	(143)
四 鼓风机串联的协调性	(144)
五 鼓风机串联的应用及设备选择	(145)
第三节 鼓风机并联与串联在高炉供风中的应用	(145)
一 高炉鼓风机并联供风的应用	(146)
二 高炉鼓风机串联供风的应用	(147)
第四节 高炉加压鼓风机	(147)
一 高炉加压鼓风机的选择	(147)
二 加压机选择计算举例	(148)
三 中小型加压机性能规格	(157)
四 高炉鼓风机串联加压后的实际效应	(162)
第四章 鼓风机的原动机配置	(167)
第一节 鼓风机的原动机概述	(167)
一 电动机	(167)
二 汽轮机	(167)
第二节 电动鼓风机的电动机配置	(168)
一 对电动机的要求	(168)
二 几种鼓风机常用的电动机	(169)
第三节 汽动鼓风机的汽轮机配置	(175)
一 汽轮机的产品型号	(175)
二 汽轮机的循环热效率及参数	(176)
三 汽轮机的汽耗量和汽耗率	(178)
四 对汽轮机的配置要求	(179)
第四节 汽轮机变工况的计算	(181)
一 负荷变化时的汽耗率和汽耗量	(181)

二	转速变化时的蒸汽量变化	(182)
三	蒸汽参数改变时的汽耗量	(182)
第五节	凝汽器的变工况计算	(184)
第六节	汽轮机的主要辅助设备	(185)
第五章	附属设备的选择	(193)
第一节	冷风系统附属设备	(193)
一	放风阀	(193)
二	止回阀	(196)
三	过压阀	(198)
第二节	汽水系统附属设备	(198)
一	高压加热器	(198)
二	凝结水泵	(198)
三	疏水设备	(200)
四	虹吸抽气器	(211)
五	水过滤器	(212)
第三节	油系统附属设备	(213)
一	油冷却器	(213)
二	油过滤设备	(219)
三	高位补充油箱	(221)
四	高位事故油箱	(222)
五	事故排油箱	(222)
第四节	起重机	(222)
第六章	空气过滤	(246)
第一节	基本概念	(246)
一	粉尘及其过滤对象	(246)
二	粉尘的比重	(246)
三	粉尘的形状和粒度	(246)
四	粉尘浓度	(247)
五	粉尘的带电性	(247)
六	粉尘的粘附性	(248)
七	其他	(248)
第二节	鼓风机对吸入气体的含尘要求	(248)
一	尘埃对鼓风机的影响	(248)
二	鼓风机对吸入气体的含尘要求	(249)
第三节	空气过滤设备	(249)
一	空气过滤设备的分类及选型	(249)
二	浸油金属网格空气过滤器	(251)

三	自动浸油空气过滤器	(256)
四	百叶式惯性空气过滤器	(262)
五	轴流式旋风分离器	(264)
六	填充料空气过滤器	(268)
七	M型泡沫塑料过滤器	(270)
八	自动卷绕式(卷帘式)空气过滤器	(272)
九	袋式空气过滤器	(276)
第四节	卸尘装置	(284)
一	闪动卸尘阀	(284)
二	压板式卸尘阀	(286)
三	回转卸尘器	(287)
四	螺旋卸尘机	(288)
第五节	空气过滤系统	(289)
一	空气过滤系统型式的确定	(289)
二	吸风口装置	(289)
三	吸风塔	(292)
四	滤风室	(292)
五	空气过滤器布置	(294)
六	密封门	(295)
第七章	噪声控制	(296)
第一节	噪声的基本概念	(296)
一	声波与噪声	(296)
二	噪声的物理量度	(299)
三	声音的主观评价	(301)
第二节	噪声允许标准及其控制途径	(306)
一	噪声允许标准	(306)
二	噪声控制途径	(309)
第三节	吸声处理	(309)
一	吸声材料	(309)
二	穿孔板共振吸声结构	(310)
三	微穿孔板吸声结构	(310)
四	吸声尖劈	(310)
五	吸声减噪效果估算	(311)
第四节	消声器	(311)
一	消声器设计的基本要求	(311)
二	消声器的种类及功能	(311)
三	消声器的设计步骤	(321)
第五节	隔声	(322)

一 隔声材料的传声损失(隔声值)	(322)
二 隔声罩	(324)
三 隔声操作间	(325)
第六节 阻尼	(326)
第七节 鼓风机站噪声控制实例	(328)
一 进风口消声器	(328)
二 出风口消声器	(330)
三 隔声罩	(330)
四 管道的噪声控制	(331)
五 放风消声	(331)
第八章 鼓风机站热力系统	(336)
第一节 汽、水系统	(336)
一 主蒸汽管系统	(336)
二 主凝结水管系统	(338)
三 疏水、放水管系统	(338)
四 循环水管系统	(339)
第二节 风管系统	(343)
一 鼓风机进、出风管道系统	(343)
二 鼓风机站配风管系统	(344)
第三节 汽动鼓风机站热力系统示例	(346)
第四节 鼓风机站油管系统	(346)
一 油的补充、过滤、排放系统	(346)
二 高位事故油箱供油系统	(348)
第五节 鼓风除湿系统	(349)
一 脱湿方法	(349)
二 脱湿系统	(350)
第六节 鼓风机并、串联管路系统	(354)
一 并联管路系统	(354)
二 串联管路系统	(355)
第九章 高炉鼓风机的调节、自动控制及保安系统	(356)
第一节 鼓风机的调节、控制及保安系统	(356)
一 调节、自动控制及保安系统的任务和目的	(356)
二 自动调节、自动控制及保安系统的项目及装置	(362)
第二节 高炉鼓风机的原动机及其辅助设备的调节、自动控制及保安系统	(374)
一 汽轮机的调节、自动控制和保安装置	(374)
二 辅助设备的自动控制和保安装置	(375)
三 电动机的启动及保护	(377)

第三节	富氧、热风炉充压时的控制	(379)
一	富氧鼓风时的控制	(379)
二	热风炉充压时的控制	(381)
第四节	几种高炉鼓风机的调节、自动控制系统的介绍	(383)
一	Z 3250—46轴流式鼓风机	(383)
二	V A S 9018轴流式鼓风机	(386)
三	K—4250—41型离心式鼓风机	(392)
四	其他鼓风机	(393)
第十章	鼓风机房的位置及站房布置	(396)
第一节	站房的位置及厂区的总平面布置	(396)
第二节	站房布置的基本要求	(397)
第三节	厂房建筑物的配置	(398)
一	滤风室的配置	(398)
二	自备锅炉房的汽动鼓风机站的配置	(399)
三	无自备锅炉房的汽动鼓风机站的配置	(402)
四	电动鼓风机站主厂房及变电配电间的配置	(402)
五	其他辅助间的配置	(404)
六	厂房建筑物配置的经济比较项目	(404)
第四节	设备布置	(404)
一	鼓风机跨的单层布置和双层布置	(404)
二	运转层的平台式布置和岛式布置	(405)
三	机组的横向布置和纵向布置	(407)
四	鼓风机组定位	(408)
五	起重机的布置	(410)
六	鼓风机房主要尺寸的决定	(411)
七	鼓风机房的通道、平台、楼梯及交通门	(412)
八	安装检修场地	(414)
九	其他附属设备的布置	(414)
十	热工计控的布置	(417)
十一	地下设施的布置	(418)
十二	鼓风机并、串联时的设备布置	(419)
第五节	管道布置	(421)
一	管道布置的一般要求	(421)
二	汽动鼓风机站的管道布置	(421)
三	电动鼓风机站的管道布置	(424)
第六节	风管热补偿设计与计算	(424)
一	风管热补偿设计的意义	(424)
二	风管热补偿的形式	(425)

三	出风管道的热补偿设计	(427)
四	出风管热补偿设计计算示例	(429)
第七节	高炉鼓风机站布置示例	(438)
第十一章	对其他专业的要求	(441)
第一节	对鼓风机组设计、制造的技术条件要求	(441)
一	向制造厂提供的技术条件及资料, 和技术要求	(441)
二	制造厂负责提供站房工艺设计所需的技术资料和图纸	(443)
第二节	土建部分	(444)
第三节	电气部分	(446)
一	供电	(446)
二	照明	(446)
三	电讯	(446)
第四节	热工仪表及信号	(447)
一	总计量仪表	(447)
二	鼓风机组的热工测量仪表及安装位置	(447)
三	信号	(449)
第五节	采暖通风	(450)
一	站房的采暖通风	(450)
二	鼓风机站内的设备散热量	(450)
三	主电机的机械通风	(453)
第六节	供水部份	(455)
第七节	机修和检验	(456)
第十二章	技术经济指示	(458)
第一节	鼓风机站技术经济指标	(458)
第二节	高炉鼓风设施技术经济指标	(459)
附录 V A	S9018轴流式鼓风机的调试及性能考核	(466)
第一节	一般调试内容	(466)
第二节	VAS9018轴流鼓风机的调试项目	(468)
第三节	考核验收	(469)
参考资料		(473)

第一章 鼓风机的基本知识

第一节 空气的物理性质

空气是高炉鼓风机的工作介质。空气是各种气体的混合物，它主要由氮、氧两种气体组成。实际上大气中还含有一定的水蒸汽。在标准状态下，干空气的组成如表1—1。

表1—1 干空气的组成

气 体	分 子 式	分 子 量	体 积 (%)	重 量 (%)
氮	N ₂	28.016	78.03	75.6
氧	O ₂	32.00	20.93	23.1
氩	Ar	39.944	0.932	1.286
二氧化碳	CO ₂	44.010	0.03	0.046
氖	Ne	20.183	(15~18) × 10 ⁻⁴	1.2 × 10 ⁻³
氦	He	4.003	(4.6~5.3) × 10 ⁻⁴	7 × 10 ⁻⁵
氪	Kr	83.80	1.08 × 10 ⁻⁴	3 × 10 ⁻⁴
氙	Xe	131.3	0.08 × 10 ⁻⁴	4 × 10 ⁻⁵
氢	H ₂	2.016	0.5 × 10 ⁻⁴	3.6 × 10 ⁻⁶
臭 氧	O ₃	48.00	(1~2) × 10 ⁻⁶	2 × 10 ⁻⁵

在工业区空气中还含有更多的二氧化碳，一氧化碳，二氧化硫和氧化氮等有害气体。

一、气体状态方程式和状态参数

气体在流动或工作过程中，其状态是不断变化的，反映工质状态特征的物理量称为状态参数。常用的状态参数有压力、温度、比容、比热、内能、热焓、熵等。其中压力、温度、比容称为基本状态参数。只要其中两个基本状态参数量确定以后，其他的参数量也就相应确定。

气体在某种状态下，其压力、温度、比容之间的关系的数学表达式称为气体状态方程式。

(一) 理想气体的状态方程式

理想气体是指气体分子本身体积微小，不占空间，而且分子之间没有相互作用力的气体。理想气体的状态方程式为：

$$Pv = \frac{P}{\rho} = RT \quad (1-1)$$

或 $PV = GRT$

式中：P——气体的绝对压力 kgf/m²abs.；

v——气体的比容 m³/kg；

V——G公斤质量气体的容积 m³；

ρ —— 气体的密度 kg/m^3 ;
 T —— 气体的绝对温度 $^\circ\text{K}$;
 R —— 气体常数 $\text{kgf}\cdot\text{m}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{K})$ 。

气体常数 R ，是指每公斤质量气体，温度升高 1°K 时所作的膨胀功，对于给定的某种气体， R 为一定值，与气体的压力和温度无关。 R 可按式 $R = 848/M$ 计算。式中 M 为气体的分子量。干空气的 $R = 29.27$ ，水蒸汽的 $R = 47.07$ 。

理想气体实际上是不存在的。但压力不太高和温度不太低的气体（如空气压力为 $0 \sim 50$ ata）可以按理想气体处理。对于过热蒸汽亦可以近似地按理想气体计算，但饱和蒸汽为实际气体，不能应用理想气体的特性方程式。

一般气体的主要物理常数见表 1—2。

表 1—2

气 体 名 称	分 子 式	分 子 量 M	气体常 数 R $\text{kgf}\cdot\text{m}/$ $(\text{kg}\cdot^\circ\text{K})$	标准状态 下的密度 ρ_0 kg/Nm^3	绝 热 指 数 $K = \frac{C_P}{C_V}$	定压比热 C_P $\text{kCal}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$			动力粘 度 μ $\text{kg}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ $\times 10^{-6}$		导热系数 λ $\text{kcal}/$ $(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C})$	
						0 $^\circ\text{C}$	100 $^\circ\text{C}$	200 $^\circ\text{C}$	0 $^\circ\text{C}$	系 数 C	0 $^\circ\text{C}$	系 数 C
						氮	N_2	28.016	30.26	1.250	1.40	0.248
氨	NH_3	17.031	49.80	0.76	1.32	0.491	0.527	0.570	0.94	426	0.0173	
氩	Ar	39.944	21.23	1.784	1.66	0.125			2.15		0.014	
乙 炔	C_2H_2	26.04	32.5	1.162	1.23	0.392			0.96			
氢	H_2	2.016	420.3	0.0899	1.409	3.4	3.45	3.47	0.89	83	0.151	94
氦	He	4.003	212.0	0.179	1.66	1.25			1.92	78	0.123	
氧	O_2	32.000	26.05	1.429	1.40	0.2185	0.2277	0.2364	1.94	110	0.021	144
甲 烷	CH_4	16.042	52.90	0.717	1.319	0.516	0.586	0.668	1.05	198	0.026	
一氧化碳	CO	28.011	30.28	1.25	1.40	0.248	0.250	0.253	1.76	100	0.019	156
二氧化碳	CO_2	44.011	19.25	1.9777	1.30	0.196	0.220	0.228	1.44	260	0.012	
二氧化硫	SO_2	64.060	13.23	2.858	1.40	0.145	0.159	0.171	1.19	416	0.0067	
氯	Cl_2	70.914	11.97	3.170	1.34	0.113			1.28		0.007	
乙 烷	C_2H_6	30.07	25.22	1.356	1.20	0.394			0.88		0.016	
乙 烯	C_2H_4	28.052	30.25	1.260	1.261	0.352			0.97	2.39	0.015	
丙 烷	C_3H_8	44.09	18.74	2.019	1.150	0.370					0.013	
丙 烯	C_3H_6	42.08	20.15	1.915		0.329					0.011	
空气(干)		28.96	29.27	1.293	1.402	0.2389	0.2425	0.2466	1.75	122	0.021	125
水蒸汽	H_2O	18.016	47.07	0.804	1.33	0.4438	0.4539	0.4657		961		

(二) 气体的状态参数

1. 压力

按其测量的基准不同分为：表压、绝对压力和真空度（或负压）。表压 = 绝对压力 - 大

气压力；真空度（负压）=大气压力-绝对压力；真空 = $\frac{\text{真空度}}{\text{大气压力}} \times 100\%$ 。

工程上常用的压力单位有：kgf/cm²；kgf/m²；mmH₂O；mH₂O或大气压力、ata、atm、等。气象学上为了考虑不同纬度上地球引力的影响，所以往往采用mb为大气压力的单位，1 mb = $\frac{1}{1000}$ bar，而1 bar为每平方厘米上受100达因的力。各压力单位间的换算可查表1-3。

表1-3 压力单位换算表

kgf/m ²	kgf/cm ² (工程大气压)	atm (物理大气压)	mmHg	m H ₂ O	mb	lb/in ²	in H ₂ O
1 × 10 ⁴	1	0.9678	735.53	10.00	981.00	14.223	395.0
1.0333 × 10 ⁴	1.0333	1	760.00	10.3333	1013.25	14.696	407.5
1.36 × 10	0.00136	0.00131	1	0.0136	1.3332	0.0193	0.535
1 × 10 ³	0.1	0.0968	73.556	1	98.10	1.4223	39.40
1.02 × 10	0.00102	0.000987	0.750062	0.0102	1	0.01451	0.402
7.03 × 10 ²	0.0703	0.0680	51.75	0.703	68.95	1	27.22
2.54 × 10	0.00254	0.00246	1.87	0.0254	2.45	0.0361	1

一般在工程或实际生产中，为了便于测读，往往采用表压（kgf/cm²或kgf/cm²g）或工程大气压作为气体的压力单位。但在热力学或流体力学计算中，当涉及气体状态时，则必须采用绝对大气压（kgf/cm²abs或ata）。

2. 温度

一般常用摄氏温度作为计量单位。但在热力学计算中则采用绝对温度。即：

$$T = t + 273 \quad ^\circ\text{K} \quad (1-2)$$

式中 t—摄氏温度 $^\circ\text{C}$ 。

3. 比容、重度或密度

任何工质（包括气体）的量均指该工质的质量，1公斤工质占有的容积称为比容

$$V = \frac{V}{m} \quad \text{m}^3/\text{kg} \quad (1-3)$$

单位体积所具有的质量称为密度，所以密度即比容的倒数

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v} \quad \text{kg/m}^3 \quad (1-4)$$

而单位体积工质所具有的重量（即重力）称为重度

$$\gamma = \frac{mg}{V} = \frac{P \cdot g}{9.81} \quad \text{kgf/m}^3 \quad (1-5)$$

在标准状态下干空气的密度 $\rho_0 = 1.293 \text{ kg/Nm}^3$ 。所以，温度为 $t^\circ\text{C}$ ，压力为 $P \text{ ata}$ 时，干空气的密度为：

$$\rho = 1.293 \frac{273}{273+t} \cdot \frac{P}{1.0333} \quad \text{kg/m}^3 \quad (1-4a)$$

不同温度和压力下，干空气的密度可查表1-4。

表 1—4

压力 8ata 及 以下 时, 压

t °C	p ata												
	1.0	1.033	2.0	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8
-40	1.47	1.52	2.93	4.40	4.69	4.98	5.27	5.57	5.86	6.16	6.45	6.74	7.04
-35	1.43	1.48	2.86	4.29	4.57	4.86	5.14	5.43	5.71	6.00	6.29	6.57	6.86
-30	1.41	1.45	2.81	4.22	4.50	4.78	5.06	5.34	5.62	5.90	6.19	6.47	6.75
-28	1.39	1.44	2.79	4.18	4.46	4.74	5.02	5.30	5.58	5.85	6.14	6.41	6.69
-26	1.38	1.43	2.77	4.15	4.43	4.70	4.98	5.26	5.53	5.81	6.09	6.36	6.64
-24	1.37	1.42	2.74	4.12	4.39	4.66	4.94	5.21	5.49	5.76	6.04	6.31	6.59
-22	1.36	1.41	2.72	4.08	4.36	4.63	4.90	5.17	5.44	5.72	5.99	6.26	6.53
-20	1.35	1.40	2.70	4.05	4.32	4.60	4.86	5.13	5.40	5.67	5.94	6.21	6.48
-18	1.34	1.38	2.68	4.02	4.29	4.55	4.82	5.09	5.36	5.63	5.89	6.16	6.43
-16	1.33	1.37	2.66	3.99	4.25	4.52	4.79	5.05	5.32	5.58	5.85	6.11	6.38
-14	1.32	1.36	2.64	3.96	4.22	4.48	4.75	5.01	5.28	5.54	5.80	6.07	6.33
-12	1.31	1.35	2.62	3.93	4.19	4.45	4.72	4.97	5.24	5.50	5.76	6.02	6.28
-10	1.30	1.34	2.60	3.90	4.16	4.42	4.68	4.94	5.20	5.46	5.72	5.97	6.23
-8	1.29	1.33	2.58	3.87	4.13	4.38	4.64	4.90	5.16	5.41	5.67	5.93	6.19
-6	1.28	1.32	2.56	3.84	4.09	4.35	4.60	4.86	5.12	5.37	5.63	5.89	6.14
-4	1.27	1.31	2.54	3.81	4.06	4.32	4.57	4.83	5.08	5.33	5.59	5.84	6.10
-2	1.26	1.30	2.52	3.78	4.03	4.29	4.54	4.79	5.04	5.29	5.55	5.80	6.05
0	1.25	1.29	2.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.76	5.00	5.26	5.51	5.76	6.01
2	1.24	1.28	2.48	3.73	3.98	4.22	4.47	4.72	4.97	5.22	5.47	5.71	5.96
4	1.23	1.27	2.47	3.70	3.95	4.19	4.44	4.69	4.93	5.18	5.43	5.67	5.92
6	1.22	1.27	2.45	3.67	3.92	4.16	4.41	4.65	4.90	5.14	5.39	5.63	5.88
8	1.22	1.26	2.43	3.65	3.89	4.13	4.38	4.62	4.86	5.11	5.35	5.59	5.84
10	1.21	1.25	2.41	3.62	3.86	4.10	4.35	4.59	4.83	5.07	5.31	5.55	5.79
12	1.20	1.24	2.40	3.60	3.84	4.07	4.32	4.55	4.79	5.03	5.27	5.51	5.75
14	1.19	1.23	2.38	3.57	3.81	4.05	4.29	4.52	4.76	5.00	5.24	5.48	5.71
16	1.18	1.22	2.36	3.55	3.78	4.02	4.26	4.49	4.73	4.96	5.20	5.44	5.67
18	1.17	1.21	2.35	3.52	3.76	3.99	4.23	4.46	4.70	4.93	5.17	5.40	5.63
20	1.17	1.20	2.33	3.50	3.73	3.96	4.20	4.43	4.66	4.90	5.13	5.36	5.60
22	1.16	1.20	2.32	3.47	3.71	3.93	4.17	4.40	4.63	4.86	5.10	5.33	5.56
24	1.15	1.19	2.30	3.45	3.68	3.91	4.14	4.37	4.60	4.83	5.06	5.29	5.52
26	1.14	1.18	2.28	3.43	3.66	3.88	4.11	4.34	4.57	4.80	5.03	5.26	5.48
28	1.13	1.17	2.27	3.40	3.63	3.86	4.08	4.31	4.54	4.77	5.00	5.23	5.45
30	1.13	1.16	2.25	3.38	3.61	3.83	4.06	4.28	4.51	4.74	4.97	5.20	5.42
32	1.12	1.16	2.24	3.36	3.58	3.81	4.03	4.26	4.48	4.70	4.93	5.15	5.38

压缩空气的密度 ρ (kg/M³)

5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0
7.33	7.62	7.92	8.21	8.50	8.80	9.09	9.38	9.68	9.97	10.26	10.56	10.85	11.14	11.44	11.73
7.15	7.43	7.72	8.00	8.29	8.58	8.86	9.15	9.43	9.72	10.01	10.29	10.58	10.86	11.15	11.43
7.03	7.31	7.59	7.87	8.15	8.43	8.72	9.00	9.28	9.56	9.84	10.12	10.40	10.68	10.97	11.25
6.97	7.25	7.53	7.81	8.06	8.36	8.64	8.92	9.20	9.48	9.76	10.03	10.32	10.60	10.88	11.15
6.92	7.19	7.47	7.75	8.02	8.30	8.57	8.85	9.13	9.40	9.68	9.96	10.23	10.51	10.79	11.06
6.86	7.13	7.41	7.68	7.96	8.23	8.51	8.78	9.05	9.33	9.60	9.88	10.15	10.43	10.70	10.98
6.81	7.08	7.35	7.62	7.89	8.17	8.44	8.71	8.98	9.25	9.53	9.80	10.07	10.34	10.62	10.89
6.75	7.03	7.29	7.56	7.83	8.10	8.37	8.64	8.91	9.18	9.45	9.72	9.99	10.26	10.53	10.80
6.70	6.97	7.23	7.50	7.77	8.04	8.31	8.57	8.84	9.11	9.38	9.65	9.91	10.18	10.45	10.71
6.65	6.91	7.18	7.44	7.71	7.98	8.24	8.51	8.77	9.04	9.30	9.57	9.84	10.10	10.37	10.63
6.59	6.86	7.12	7.39	7.65	7.91	8.18	8.44	8.71	8.97	9.23	9.50	9.76	10.02	10.29	10.55
6.54	6.81	7.07	7.33	7.59	7.85	8.11	8.37	8.64	8.90	9.16	9.42	9.69	9.95	10.21	10.47
6.49	6.75	7.01	7.27	7.53	7.79	8.05	8.31	8.57	8.83	9.09	9.35	9.61	9.87	10.13	10.39
6.45	6.70	6.96	7.22	7.48	7.73	7.99	8.25	8.51	8.77	9.02	9.28	9.54	9.80	10.06	10.31
6.40	6.65	6.91	7.16	7.42	7.68	7.93	8.19	8.44	8.70	8.96	9.21	9.47	9.72	9.98	10.24
6.35	6.60	6.86	7.11	7.37	7.62	7.87	8.13	8.38	8.64	8.89	9.14	9.40	9.65	9.91	10.16
6.30	6.55	6.81	7.06	7.31	7.56	7.82	8.07	8.32	8.57	8.82	9.08	9.33	9.58	9.83	10.08
6.25	6.51	6.76	7.01	7.26	7.51	7.76	8.01	8.26	8.51	8.76	9.01	9.26	9.51	9.76	10.01
6.21	6.46	6.71	6.96	7.20	7.45	7.70	7.95	8.20	8.45	8.70	8.94	9.19	9.44	9.69	9.94
6.17	6.41	6.66	6.91	7.15	7.40	7.65	7.89	8.14	8.39	8.63	8.88	9.13	9.37	9.62	9.87
6.12	6.37	6.61	6.86	7.10	7.35	7.59	7.84	8.08	8.32	8.57	8.82	9.06	9.31	9.55	9.80
6.08	6.32	6.56	6.81	7.05	7.29	7.54	7.78	8.02	8.27	8.51	8.75	9.00	9.24	9.48	9.73
6.04	6.27	6.52	6.76	7.00	7.24	7.48	7.73	7.97	8.21	8.45	8.69	8.93	9.17	9.42	9.66
5.99	6.23	6.47	6.71	6.95	7.19	7.43	7.67	7.91	8.15	8.39	8.63	8.87	9.11	9.35	9.59
5.95	6.19	6.43	6.67	6.90	7.14	7.38	7.62	7.86	8.09	8.33	8.57	8.80	9.05	9.28	9.52
5.91	6.15	6.38	6.62	6.86	7.09	7.33	7.57	7.80	8.04	8.27	8.51	8.74	8.98	9.22	9.46
5.87	6.10	6.34	6.57	6.81	7.04	7.28	7.51	7.75	7.98	8.22	8.45	8.68	8.92	9.16	9.39
5.83	6.06	6.30	6.53	6.76	7.00	7.23	7.46	7.70	7.93	8.16	8.39	8.63	8.86	9.09	9.33
5.79	6.02	6.25	6.48	6.72	6.95	7.18	7.41	7.64	7.87	8.11	8.34	8.57	8.80	9.03	9.26
5.75	5.98	6.21	6.44	6.67	6.90	7.13	7.36	7.59	7.82	8.05	8.28	8.51	8.74	8.97	9.20
5.71	5.94	6.17	6.40	6.63	6.86	7.08	7.31	7.54	7.77	8.00	8.23	8.45	8.68	8.91	9.14
5.67	5.90	6.13	6.36	6.58	6.81	7.04	7.26	7.49	7.72	7.94	8.17	8.40	8.63	8.85	9.08
5.64	5.86	6.09	6.31	6.54	6.76	6.99	7.22	7.44	7.67	7.89	8.12	8.34	8.57	8.79	9.02
5.60	5.82	6.05	6.27	6.50	6.72	6.94	7.17	7.39	7.62	7.84	8.06	8.29	8.51	8.74	9.96

续表 1—4

t °C	p ata													
	1.0	1.033	2.0	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	
34	1.11	1.15	2.23	3.34	3.56	3.78	4.01	4.23	4.45	4.67	4.90	5.12	5.34	
36	1.11	1.14	2.21	3.32	3.54	3.76	3.98	4.20	4.42	4.64	4.86	5.09	5.31	
38	1.10	1.14	2.20	3.30	3.51	3.73	3.95	4.17	4.39	4.61	4.83	5.05	5.27	
40	1.09	1.13	2.18	3.27	3.49	3.71	3.93	4.15	4.37	4.58	4.80	5.02	5.24	
42	1.08	1.12	2.17	3.25	3.47	3.69	3.90	4.12	4.34	4.55	4.77	4.99	5.21	
44	1.08	1.11	2.15	3.23	3.45	3.66	3.88	4.10	4.31	4.53	4.74	4.96	5.17	
46	1.07	1.11	2.14	3.21	3.43	3.64	3.86	4.07	4.28	4.50	4.71	4.93	5.14	
48	1.06	1.10	2.13	3.19	3.41	3.62	3.83	4.04	4.26	4.47	4.68	4.90	5.11	
50	1.06	1.09	2.12	3.17	3.38	3.60	3.81	4.02	4.23	4.44	4.65	4.87	5.08	
60	1.03	1.06	2.05	3.08	3.28	3.49	3.69	3.90	4.10	4.31	4.51	4.72	4.92	
70	1.00	1.03	1.99	2.99	3.19	3.39	3.59	3.78	3.98	4.18	4.38	4.58	4.78	
80	0.968	1.00	1.94	2.90	3.10	3.29	3.48	3.68	3.87	4.06	4.26	4.45	4.65	
90	0.941	0.972	1.88	2.82	3.01	3.20	3.39	3.58	3.76	3.95	4.14	4.33	4.52	
100	0.916	0.946	1.83	2.75	2.93	3.11	3.30	3.48	3.66	3.85	4.03	4.21	4.40	
110	0.891	0.922	1.78	2.68	2.85	3.03	3.21	3.39	3.57	3.75	3.92	4.10	4.28	
120	0.869	0.898	1.74	2.61	2.78	2.96	3.13	3.30	3.48	3.65	3.82	4.00	4.17	
130	0.848	0.876	1.70	2.54	2.71	2.88	3.05	3.22	3.39	3.56	3.73	3.90	4.07	
140	0.827	0.855	1.65	2.48	2.65	2.81	2.98	3.14	3.32	3.47	3.64	3.80	3.97	
150	0.808	0.835	1.62	2.42	2.58	2.75	2.91	3.07	3.23	3.39	3.55	3.71	3.88	
160	0.789	0.815	1.58	2.37	2.52	2.68	2.84	3.00	3.16	3.31	3.47	3.63	3.79	
170	0.771	0.797	1.54	2.31	2.47	2.62	2.78	2.93	3.08	3.24	3.39	3.55	3.70	
180	0.754	0.779	1.51	2.26	2.41	2.56	2.71	2.86	3.02	3.17	3.32	3.47	3.62	
190	0.738	0.762	1.48	2.21	2.36	2.51	2.66	2.80	2.95	3.10	3.25	3.39	3.54	
200	0.722	0.746	1.44	2.17	2.31	2.46	2.60	2.74	2.89	3.03	3.18	3.32	3.47	
210	0.707	0.731	1.41	2.12	2.26	2.40	2.55	2.69	2.83	2.97	3.11	3.25	3.39	
220	0.693	0.716	1.39	2.08	2.21	2.36	2.49	2.63	2.77	2.91	3.05	3.19	3.33	
230	0.679	0.702	1.36	2.04	2.17	2.31	2.44	2.58	2.72	2.85	2.99	3.12	3.26	
240	0.666	0.688	1.33	2.00	2.13	2.26	2.40	2.53	2.66	2.80	2.93	3.06	3.20	
250	0.653	0.675	1.31	1.96	2.09	2.22	2.35	2.48	2.61	2.74	2.87	3.00	3.14	
260	0.641	0.662	1.28	1.92	2.05	2.18	2.31	2.43	2.56	2.69	2.82	2.95	3.08	
270	0.629	0.650	1.26	1.89	2.01	2.14	2.26	2.39	2.52	2.64	2.77	2.89	3.02	
280	0.618	0.638	1.24	1.85	1.97	2.10	2.22	2.35	2.47	2.59	2.72	2.84	2.97	
290	0.607	0.627	1.21	1.82	1.94	2.06	2.18	2.31	2.43	2.55	2.67	2.79	2.91	
300	0.596	0.616	1.19	1.79	1.91	2.03	2.15	2.27	2.38	2.50	2.62	2.74	2.86	

5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.8	7.0	7.2	7.4	7.6	7.8	8.0
5.56	5.79	6.01	6.23	6.45	6.68	6.90	7.12	7.34	7.57	7.79	8.01	8.23	8.46	8.68	8.90
5.53	5.75	5.97	6.19	6.41	6.63	6.85	7.08	7.30	7.52	7.74	7.96	8.18	8.40	8.62	8.84
5.49	5.71	5.93	6.15	6.37	6.59	6.81	7.03	7.25	7.47	7.69	7.91	8.13	8.35	8.57	8.79
5.46	5.68	5.89	6.11	6.33	6.55	6.77	6.99	7.20	7.42	7.64	7.86	8.08	8.29	8.51	8.73
5.42	5.64	5.86	6.07	6.29	6.51	6.72	6.94	7.16	7.37	7.59	7.81	8.03	8.24	8.46	8.68
5.39	5.60	5.82	6.03	6.25	6.47	6.68	6.90	7.11	7.33	7.54	7.76	7.97	8.19	8.41	8.62
5.35	5.57	5.78	6.00	6.21	6.43	6.64	6.85	7.07	7.28	7.50	7.71	7.92	8.14	8.35	8.57
5.32	5.53	5.75	5.96	6.17	6.39	6.60	6.81	7.02	7.24	7.45	7.66	7.88	8.09	8.30	8.51
5.29	5.50	5.71	5.92	6.13	6.35	6.56	6.77	6.98	7.19	7.40	7.61	7.83	8.04	8.25	8.46
5.13	5.33	5.54	5.74	5.95	6.16	6.36	6.57	6.77	6.98	7.18	7.39	7.59	7.80	8.00	8.21
4.98	5.18	5.38	5.58	5.78	5.98	6.17	6.37	6.57	6.77	6.97	7.17	7.37	7.57	7.77	7.97
4.84	5.03	5.23	5.42	5.61	5.81	6.00	6.19	6.39	6.58	6.77	6.97	7.16	7.35	7.55	7.74
4.71	4.89	5.08	5.27	5.46	5.65	5.83	6.03	6.21	6.40	6.59	6.78	6.96	6.15	7.34	7.53
4.58	4.76	4.95	5.13	5.31	5.50	5.68	5.86	6.04	6.23	6.41	6.59	6.78	6.96	7.14	7.33
4.46	4.64	4.82	5.00	5.17	5.35	5.53	5.71	5.89	6.07	6.24	6.42	6.60	6.78	6.96	7.14
4.35	4.52	4.69	4.87	5.04	5.22	5.39	5.56	5.74	5.91	6.08	6.26	6.43	6.61	6.78	6.95
4.24	4.41	4.58	4.75	4.92	5.09	5.26	5.43	5.59	5.76	5.93	6.10	6.27	6.44	6.61	6.78
4.14	4.30	4.47	4.63	4.80	4.96	5.13	5.29	5.46	5.62	5.79	5.96	6.12	6.29	6.45	6.62
4.04	4.20	4.36	4.52	4.68	4.85	5.01	5.17	5.33	5.49	5.65	5.81	5.98	6.14	6.30	6.46
3.94	4.10	4.26	4.42	4.58	4.73	4.89	5.05	5.21	5.36	5.52	5.68	5.84	6.00	6.15	6.31
3.86	4.01	4.16	4.32	4.47	4.63	4.78	4.94	5.09	5.24	5.40	5.55	5.71	5.86	6.01	6.17
3.77	3.92	4.07	4.22	4.37	4.52	4.68	4.83	4.98	5.13	5.28	5.43	5.58	5.73	5.88	6.03
3.69	3.84	3.98	4.13	4.28	4.43	4.57	4.72	4.87	5.02	5.16	5.31	5.46	5.61	5.76	5.90
3.61	3.76	3.90	4.04	4.19	4.33	4.48	4.62	4.77	4.91	5.06	5.20	5.34	5.49	5.63	5.78
3.54	3.68	3.82	3.96	4.10	4.24	4.39	4.53	4.67	4.81	4.95	5.09	5.23	5.38	5.52	5.66
3.46	3.60	3.74	3.88	4.02	4.16	4.30	4.43	4.57	4.71	4.85	4.99	5.13	5.27	5.40	5.54
3.40	3.53	3.67	3.80	3.94	4.07	4.21	4.35	4.48	4.62	4.75	4.89	5.03	5.16	5.30	5.43
3.33	3.46	3.60	3.73	3.86	4.00	4.13	4.26	4.40	4.53	4.66	4.79	4.93	5.06	5.19	5.33
3.27	3.40	3.52	3.66	3.79	3.92	4.05	4.18	4.31	4.44	4.57	4.70	4.83	4.96	5.09	5.23
3.20	3.33	3.46	3.59	3.72	3.85	3.97	4.10	4.23	4.36	4.49	4.61	4.74	4.87	5.00	5.13
3.15	3.27	3.40	3.52	3.65	3.77	3.90	4.03	4.15	4.28	4.40	4.53	4.66	4.78	4.91	5.03
3.09	3.21	3.34	3.46	3.58	3.71	3.83	3.95	4.08	4.20	4.32	4.45	4.57	4.69	4.82	4.94
3.03	3.15	3.28	3.40	3.52	3.64	3.76	3.88	4.00	4.13	4.25	4.37	4.49	4.61	4.73	4.85
2.98	3.10	3.22	3.34	3.46	3.58	3.70	3.82	3.93	4.05	4.17	4.29	4.41	4.53	4.65	4.77