



CHENGZHEN GONGRE GUANWANG GONGCHENG SHIGONG JISHU

城镇供热管网工程 施工技术

董铁山 董久樟 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

CHENGZHEN GONGRE GUANWANG GONGCHENG SHIGONG JISHU

城镇供热管网工程 施工技术

董铁山 董久樟 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书主要介绍城镇供热管网工程施工技术,全书共分十章,主要包括:与供热管网相关专业的基础知识的介绍;供热管网工程中常用的工具、机械和材料;供热管网相关工程的施工介绍;电焊与气焊技术;供热管网施工的安全技术;供热管网工程项目部的施工管理等。

本书具有三大特点:① 实用性,通过介绍供热管网的工序操作要点、施工方法、管理模式,便于施工人员在工作中参照使用;② 规范性,为贯彻行业规范,在本书中引用了大量的最新国家、行业和地方标准,并在附录中列出常用规程规范一览表,便于施工人员在工作中查阅;③ 可读性,本书力求做到理论够用,注重实际操作,突出重点,深入浅出,通俗易懂,以便读者用最少的时间得到最大的利益。

本书的读者对象主要是城镇供热管网的施工技术人员,对于供热管网施工管理人员以及相关工程的研究人员也具有很强的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

城镇供热管网工程施工技术/董铁山,董久樟编著. —北京:
中国电力出版社, 2009
ISBN 978 - 7 - 5083 - 7883 - 1

I. 城… II. ①董…②董… III. 城镇 - 供热管道: 管网 -
工程施工 IV. TU995.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 149271 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 3 月第一版 2009 年 3 月北京第一次印刷

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 35 印张 865 千字

印数 0001—3000 册 定价 58.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



城镇集中供热由三部分组成，即热源、供热管网和室内采暖系统。本书只讨论供热管网工程施工技术。

集中供热管网是城镇重要的基础设施之一，世界各发达国家十分注重发展城镇集中供热事业。目前，俄罗斯城市集中供热占总热量需求的 86%；德国集中供热总热量为 1961 万 GJ，也是集中供热较好的国家。我国城镇集中供热事业起步较晚，北京于 1958 年兴建第一条供热管线，到 2007 年底管线总长已超过 800km，供热面积已超过 1.2 亿 m^2 。与此同时，全国其他城市集中供热事业也有了快速发展，据不完全统计，全国 600 多个城市中有集中供热设施的城市已达到 321 个，供热面积超过 20 亿 m^2 ，热水管网总长在 6 万 km 以上，蒸汽管网总长约在 1.5 万 km 以上。

不言而喻，集中供热事业发展的过程就是城市建设发展的过程，就是供热管网工程设计、施工和管理队伍成长、壮大与发展的过程。目前，集中供热管网施工队伍已初具规模，且具有一定的施工水平。但是施工队伍的管理水平和作业水平与快速发展的集中供热事业的要求还有一定差距，亟待提高。

作者早年服务于热力管道施工一线，经过刻苦学习、潜心钻研，从技术员、施工人员到高级工程师，将毕生精力都投入到了城镇集中供热事业当中。从 20 世纪 80 年代初他一直在国家市政单位担任技术监督、管理工作，在此期间出版了多部著作，并参与讲学。该书是作者的又一部力作，它深入浅出、通俗易懂、可操作性强，对于供热管网工程的施工技术人员是一本不可多得的好书。

城镇供热管网工程的施工是一门综合性的施工技术，施工人员除了应精通管道安装、电气焊技术以外，还应对起重吊装、砌筑与混凝土等工程内容有一定了解。为满足以上需要，本书在编写时注重了知识架构的系统性和完整性，能够最大限度地帮助供热管网工程施工、监理和管理人员解决工作中的难题。

本书在介绍施工技术时强调实用性和普及性，因此有意减少了一些理论上的论述；对于目前出现的新材料、新技术和新工艺等尚无形成标准或规范者尽量较少涉及。希望该书的问世能够对广大城镇集中供热工程建设者有所裨益。

张连生

2008 年 7 月

城镇供热管网是城市重要的基础设施,其施工技术水平直接反映一个城市的现代化程度,特别是在大力提倡环境保护的今天,供热管网的存在,具有举足轻重的作用。

城镇管网(集中供热)是一门年轻的施工技术,近年来,其发展异常迅猛,特别是改革开放以来,城镇供热管网的发展,大有雷霆万钧之势。以北京为例,20世纪50年代末,北京供热管道总长不超过60km,最大管径为DN600,但是到目前,据不完全统计,全市供热管网总长已超过800km,最大管径为DN1200,热力站总数逾2000座。这些骄人成绩的取得,除了国家大量投资外,还浸透了市政工人的汗水。与此同时,也培养、锻炼了一大批工人和管理人员。

但是我们也要清醒地看到,目前真正的熟练技术工人与合格的管理人员都显得十分不足,远远跟不上形势的需要,也就是说,目前不论是工人还是管理人员的水平都亟待提高。

鉴于以上情况,笔者愿意以微薄之力作出小小贡献,即利用多年积累的资料,依照有关规程或规范,编成本书,奉献给读者。

本书有以下三个特点:

其一,实用性。

由于笔者多年在施工生产第一线,对于施工中诸多工序比较熟悉,为了节省读者的时间,撰文时均以某工序操作要点的形式来叙述,这样既贴近实际,又能把问题讲清楚。此外,在供热管网施工中,常有大量土建工序出现,如土方工程、砌筑工程和混凝土工程等工序,这些工序质量的好坏,直接影响着供热管网的质量。因此,本书也用一定篇幅对土建工序作了介绍,供读者使用。掌握某些学科的基础知识,对于施工人员来讲是至关重要的,因此本书也把常用的水力学、材料力学等基础知识列了出来,供施工人员在工作中查阅。总之,本书的立意是通过介绍供热管网的工序操作要点、施工方法、管理模式,以便施工人员在工作中根据具体情况、现场条件参照使用,解决问题。

其二,规范性。

所谓规范性就是笔者在撰文中,学习、查阅和参考了供热管网有关的规程和规范等技术文件,一方面用这些文件来规范本书的写作;另一方面用来指导和检查施工现场的各项工作。

供热管网在施工中涉及诸多工种和专业,为了贯彻国家在基本建设中的方针和政策,如质量第一、安全生产以及环境保护等方面的有关规程和规范,笔者除了在撰文中遵循和引用之外,还在书的附录中列出了常用规程和规范一览表,以便施工人员在工作中查阅。

其三,可读性。

本书的读者对象主要是现场施工人员。而施工人员的工作异常忙碌,整天风餐露宿。为了节省他们的时间,笔者在撰文中力求做到在理论上够用;在实际操作方面突出重点,简明扼要;在文字方面力求深入浅出,通俗易懂。总之,为了增加本书的可读性,尽量做到使读

者用较少的时间，得到较大的收益。

供热管网工程的施工技术涉及面极广，特别是随着信息时代的到来，新工艺、新材料不断出现，但由于时间仓促和笔者水平所限，这些科技成果未能及时反映。俟本书再版时定要补充。

本书在编写过程中，参考了部分已出版的文献资料，在此向有关作者表示衷心的感谢和诚挚敬意。由于笔者水平有限，书中不足之处在所难免，恳切欢迎读者、专家提出批评和指正，以便进一步修正、完善。

编 者

2009 年 1 月



序
前言

第一章 基础知识	1
第一节 供热工程常用计量单位及其换算	1
第二节 管道与管件的标准化	11
第三节 供热管网图纸特点与制图、识图要点	16
第四节 常用水力学知识	32
第五节 材料力学基础知识	43
第六节 热工基础知识	52
第二章 城镇供热管网工程施工中常用的工具与机械	58
第一节 常用测量工具	58
第二节 管道工常用工具	63
第三节 常用电动工具	69
第四节 土建工程施工常用机具	72
第五节 常用动力机械	80
第三章 城镇供热管网工程常用材料	87
第一节 常用金属材料概述	87
第二节 常用金属材料	92
第三节 常用管材	116
第四节 常用管件	148
第五节 常用阀门(体)与法兰	169
第六节 水泥	211
第四章 供热管网土建工程的施工	217
第一节 土方工程施工要点	217
第二节 顶管工程施工要点	230
第三节 砌筑工程施工要点	235
第四节 混凝土工程施工要点	239

第五章 起重工程	254
第一节 起重工程常用机具.....	254
第二节 垂直运输.....	261
第三节 水平运输.....	268
第六章 供热管网（道）的施工	278
第一节 供热管道敷设的一般形式.....	278
第二节 供热管网（道）的施工流程与施工要点.....	282
第三节 供热管道常用的连接形式.....	285
第四节 管道支座（架）与吊架的安装.....	300
第五节 管件预制与加工.....	319
第六节 管道的胀缩与补偿.....	336
第七节 阀门安装.....	351
第八节 供热管道的试验、清洗和试运行.....	361
第七章 供热管网中热力站的施工	372
第一节 热力站的功能与供热管网连接的一般模式.....	372
第二节 热力站施工安装的一般规定和流程以及对“土建”的要求.....	376
第三节 换热器的安装.....	378
第四节 水泵的安装.....	392
第五节 喷射器（泵）安装.....	398
第六节 疏水器的安装.....	400
第七节 热力站常用计量仪表的安装.....	402
第八章 电焊技术与气焊、气割技术	413
第一节 电焊技术一般规定.....	413
第二节 常用电焊机.....	414
第三节 常用电焊条.....	418
第四节 常用手工电弧焊操作要点.....	428
第五节 焊接应力和变形的防止与矫正变形的措施.....	432
第六节 供热管网工程焊接质量检验.....	435
第七节 气焊与气割设备.....	439
第八节 气焊技术.....	443
第九节 气割技术.....	449
第九章 供热管网的保温工程	457
第一节 管道与设备的除锈.....	457

第二节	管道与设备的防腐（涂漆）	463
第三节	供热管道与设备的保温适用范围和选料原则	468
第四节	保温结构及其技术要求与质量标准	471
第五节	供热管道保温结构的施工	475
第六节	供热管道附件保温施工要点	480
第七节	供热管网设备的保温	486
第十章	供热管网施工中的安全技术	492
第一节	安全生产方针——“安全第一，预防为主”	492
第二节	供热管网施工中有关安全生产的一般要求	493
第三节	供热管网施工现场临时用电安全技术	495
第四节	消防安全技术	496
第五节	土方工程施工安全技术	498
第六节	管道安装安全技术	500
第七节	电焊与气焊（割）安全技术	502
第八节	高空作业与吊装作业安全技术	503
第九节	文明施工与环境保护	505
第十一章	项目部的施工管理工作	509
第一节	施工组织设计的编制	509
第二节	计划管理工作	517
第三节	技术交底工作	525
第四节	限额领料单	529
第五节	工程质量验收工作	531
第六节	工程预算管理工作	537
第七节	工程竣工验收工作	544
附录	城镇供热管网工程施工技术常用的技术规程、规范和标准	550
参考文献		551



第一章

基础知识

第一节 供热工程常用计量单位及其换算

一、法定计量单位

新中国成立前,我国是一个半封建半殖民地国家,生产力十分落后,反映在计量制度上也很落后、很混乱。为了扭转这种局面,早在 1959 年,国务院就发布了《关于统一计量制度的命令》,确定米制为我国的基本计量制度。从那时起,全国推广米制、改革市制、限制英制和废除旧杂制的工作,取得了显著成绩。

改革开放以来,为了适应经济建设的飞速发展,为了与国际接轨,1984 年,国务院又发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》。为了全面深入贯彻这一重要决定,有关部门又颁发了 GB 3100—1993《国际单位制及其应用》在全国范围内发行、推广。

新颁布的法定计量单位是以国际单位制单位为基础,其特点是结构简单,科学性强,使用方便,易于推广。现将有关内容介绍如下:

(1) GB 3100—1993《国际单位制及其应用》,我国法定计量单位的基础是国际单位制,一切属于国际单位制的单位都是我国的法定计量单位。

(2) 国际单位制(SI)单位。国际单位制(SI)的单位包括 SI 的基本单位、SI 导出单位和 SI 单位的倍数单位。SI 的基本单位见表 1-1,包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位见表 1-2。

表 1-1

SI 的基本单位

量的名称	单位名称	单位符号	量的名称	单位名称	单位符号
长度	米	m	热力学温度	开[尔文]	K
质量	千克(公斤)	kg	物质的量	摩[尔]	mol
时间	秒	s	发光强度	坎[德拉]	cd
电流	安[培]	A			



表 1-2 包括 SI 辅助单位在内的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[平面]角	弧度	rad	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m/m} = 1$
立体角	球面度	sr	$1 \text{ sr} = 1 \text{ m}^2/\text{m}^2 = 1$
频率	赫[兹]	Hz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$
力	牛[顿]	N	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$
压力、压强、应力	帕[斯卡]	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$
能[量]、功、热量	焦[耳]	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
功率、辐[射能]通量	瓦[特]	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$
电荷[量]	库[仑]	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
电压、电动势、电位(电势)	伏[特]	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W/A}$
电容	法[拉]	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C/V}$
电阻	欧[姆]	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$
电导	西[门子]	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
磁通[量]	韦[伯]	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
磁通[量]密度, 磁感应强度	特[斯拉]	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb/m}^2$
电感	亨[利]	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A}$
摄氏温度	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$
光通量	流[明]	lm	$1 \text{ lm} = 1 \text{ cd} \cdot \text{sr}$
[光]照度	勒[克斯]	lx	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$

由于人类健康安全防护上的需要而确定的具有专门名称的 SI 导出单位见表 1-3。

表 1-3 由于人类健康安全防护上的需要而确定的具有专门名称的 SI 导出单位

量的名称	SI 导出单位		
	名称	符号	用 SI 基本单位和 SI 导出单位表示
[放射性]活度	贝可[勒尔]	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
吸收剂量	戈[瑞]	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$
比授[予]能			
比释动能	希[沃特]	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J/kg}$
剂量当量			

用于构成 SI 单位的倍数单位和分数单位的词头见表 1-4。

表 1-4 用于构成 SI 单位的倍数单位和分数单位的词头

因数	词头名称		符号
	英文	中文	
10^{24}	yotta	尧[它]	Y
10^{21}	zetta	泽[它]	Z
10^{18}	exa	艾[可萨]	E
10^{15}	peta	拍[它]	P
10^{12}	tera	太[拉]	T
10^9	giga	吉[咖]	G
10^6	mega	兆	M
10^3	kilo	千	k
10^2	hecto	百	h



续表

因 数	词 头 名 称		符 号
	英 文	中 文	
10^1	deca	十	da
10^{-1}	deci	分	d
10^{-2}	centi	厘	c
10^{-3}	milli	毫	m
10^{-6}	micro	微	μ
10^{-9}	nano	纳 [诺]	n
10^{-12}	pico	皮 [可]	p
10^{-15}	femto	飞 [母托]	f
10^{-18}	atto	阿 [托]	a
10^{-21}	zepto	仄 [普托]	z
10^{-24}	yocto	幺 [科托]	y

(3) 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位见表 1-5。

表 1-5 可与国际单位制单位并用的我国法定计量单位

量 的 名 称	单 位 名 称	单 位 符 号	与 SI 单位的关系
时 间	分	min	1 min = 60s
	[小] 时	h	1 h = 60 min = 3/600s
	日 (天)	d	1 d = 24 h = 86/400s
[平 面] 角	度	°	1° = (π / 180) rad
	[角] 分	'	1' = (1 / 60) ° = (π / 10 800) rad
	[角] 秒	"	1" = (1 / 60) ' = (π / 648 000) rad
体 积	升	L, (l)	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ³
质 量	吨	t	1 t = 10 ³ kg
	原子质量单位	u	1 u $\approx$ 1. 660 540 $\times$ 10 ⁻²⁷ kg
旋 转 速 度	转 每 分	r/min	1 r/min = (1 / 60) s ⁻¹
长 度	海 里	n mile	1 n mile = 1852 m (只用于航行)
速 度	节	kn	1 kn = 1 n mile/h = (1852 / 3600) m/s (只用于航行)
能	电子伏	eV	1 eV $\approx$ 1. 602 177 $\times$ 10 ⁻¹⁹ J
级 差	分 贝	dB	
线 密 度	特 [克斯]	tex	1 tex = 10 ⁻⁶ kg/m
面 积	公 顷	hm ²	1 hm ² = 10 ⁴ m ²

注 1 平面角单位度、分、秒的符号,在组合单位中采用 (°)、(′)、(″) 的形式。

例如,不用 °/s 而用 (°) /s。

2 升的符号中,小写字母 l 为备用符号。

3 公顷的国际通用符号为 ha。

(4) 常用计量单位名称、符号及对主单位的比见表 1-6。

表 1-6 常用计量单位名称、符号及对主单位的比

类 别	单 位 名 称	代 号	对主单位的比
长 度	微 米	μm	百万分之一米 (1/1 000 000m)
	毫 米	mm	千分之一米 (1/1000m)
	厘 米	cm	百分之一米 (1/100m)
	米	m	主单位
	十 米	dam	米的十倍 (10m)
	百 米	hm	米的百倍 (100m)
	千米 (公里)	km	米的千倍 (1000m)
质 量	毫 克	mg	百万分之一千克 (1/1 000 000kg)
	厘 克	cg	十万分之一千克 (1/100 000kg)
	分 克	dg	万分之一千克 (1/10 000kg)
	克	g	千分之一千克 (1/1000kg)
	十 克	dag	百分之一千克 (1/100kg)
	百 克	hg	十分之一千克 (1/10kg)
	千 克	kg	主单位
	吨	t	千克的千倍 (1000kg)
体 积	毫 升	mL	千分之一升 (1/1000L)
	厘 升	cL	百分之一升 (1/100L)
	分 升	dL	十分之一升 (1/10L)
	升	L	主单位
	十 升	daL	升的十倍 (10L)
	百 升	hL	升的百倍 (100L)
	千升 (m^3)	kL	升的千倍 (1000L)
	立方毫米	mm^3	一兆分之一立方米 (10^{-9}m^3)
	立方厘米	cm^3	百万分之一立方米 (1/1 000 000 m^3)
	立方米	m^3	主单位

注 $1\mu\text{m}=1000\text{nm}$ (纳米); $1\text{nm}=10\text{\AA}$ (埃); $1\text{\AA}$ (埃) $=10^{-8}\text{cm}$ 。

二、常用计量单位的换算

(1) 常用非法定计量单位与法定计量单位的换算关系见表 1-7。

表 1-7 常用非法定计量单位与法定计量单位的换算关系

量的名称	非法定计量单位		法定计量单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	
力	千克力	kgf	牛顿	N	$1\text{kgf}=9.806\,65\text{N}$
力矩	千克力米	$\text{kgf}\cdot\text{m}$	牛顿米	$\text{N}\cdot\text{m}$	$1\text{kgf}\cdot\text{m}=9.806\,65\text{N}\cdot\text{m}$
应力、压力	千克力每平方厘米	kgf/cm^2	帕斯卡	Pa	$1\text{kgf}/\text{cm}^2=9.806\,65\times 10^4\text{Pa}$ $=0.098\,07\text{MPa}$



续表

量的名称	非法定计量单位		法定计量单位		换算关系
	名称	符号	名称	符号	
压强	千克力每平方毫米	kgf/mm ²	帕斯卡	Pa	1 kgf/mm ² = 9.806 65 × 10 ⁶ Pa
	千克力每平方米	kgf/m ²	帕斯卡	Pa	1 kgf/m ² = 9.806 65 Pa
	工程大气压	at	帕斯卡	Pa	1 at = 9.806 65 × 10 ⁴ Pa = 0.098 07 MPa
	巴	bar	帕斯卡	Pa	1 bar = 10 ⁵ Pa
	毫米水柱	mmH ₂ O	帕斯卡	Pa	1 mmH ₂ O = 9.806 65 Pa
	毫米汞柱	mmHg	帕斯卡	Pa	1 mmHg = 133.322 Pa
[动力] 黏度	泊	P	帕斯卡秒	Pa · s	1 P = 0.1 Pa · s
能量、功	千克力米	kgf · m	焦耳	J	1 kgf · m = 9.806 65 J
功率	千克力米每秒	kgf · m/s	瓦特	W	1 kgf · m/s = 9.806 65 W
	马力		瓦特	W	1 马力 = 735.499 W
热、热量	国际蒸汽表卡	cal	焦耳	J	1 cal = 4.186 8 J
热导	国际蒸汽表卡 每秒厘米开尔文	cal/(s · cm · K)	瓦特每米开尔文	W/(m · K)	1 cal/(s · cm · K) = 4.186 8 × 10 ² W/(m · K)
传热系数	国际蒸汽表卡每 秒平方厘米开尔文	cal/(s · cm ² · K)	瓦特每平方米 米开尔文	W/(m ² · K)	1 cal/(s · cm ² · K) = 4.186 8 × 10 ⁴ W/(m ² · K)
比热容、比嫡	国际蒸汽表卡 每克开尔文	cal/(g · K)	焦耳每千克开尔文	J/(kg · K)	1 cal/(g · K) = 4.186 8 × 10 ³ J/(kg · K)
比焓(比内能)	国际蒸汽表卡每克	cal/g	焦耳每千克	J/kg	1 cal/g = 4.186 8 × 10 ³ J/kg

(2) 空间单位的换算见表 1-8 ~ 表 1-13。

表 1-8

长度单位换算

	m	in	ft	yd	km	mile	nmile
米	1	39.37	3.281	1.094	10 ⁻³	6.21 × 10 ⁻⁴	5.40 × 10 ⁻⁴
英寸	0.025 4	1	0.083 3	0.027 8	0.254 × 10 ⁻⁴	1.578 × 10 ⁻⁵	1.371 × 10 ⁻⁵
英尺	0.304 8	12	1	0.333	0.304 8 × 10 ⁻³	1.894 × 10 ⁻⁴	1.646 × 10 ⁻⁴
码	0.914 4	36	3	1	0.914 4 × 10 ⁻²	5.682 × 10 ⁻⁴	4.937 × 10 ⁻⁴
公里	1000	3.937 × 10 ⁴	3281	1094	1	0.621	0.540
英里	1609	63 360	5280	1760	1.609	1	0.869
海里	1852	72913	6076	2025	1.825	1.151	1

表 1-9

面积单位换算

	m ²	in ²	ft ²	yd ²	市亩	acre	mile ²	km ²	ha
米 ²	1	1550	10.76	1.196	1.5 × 10 ⁻³	2.471 × 10 ⁴	3.861 × 10 ⁻⁷	10 ⁻⁶	10 ⁻⁴
英寸 ²	6.452 × 10 ⁻⁴	1	6.944 × 10 ⁻³	7.716 × 10 ⁻⁴	9.677 × 10 ⁻⁷	1.594 × 10 ⁻⁷	2.491 × 10 ⁻¹⁰	0.645 × 10 ⁻⁹	6.452 × 10 ⁻⁸

续表

	m ²	in ²	ft ²	yd ²	市亩	acre	mile ²	km ²	ha
英尺 ²	0.092 9	144	1	0.111 1	1.394×10^{-4}	2.296×10^{-5}	3.587×10^{-8}	9.29×10^{-8}	9.29×10^{-6}
码 ²	0.836	1296	9	1	1.254×10^{-3}	2.066×10^{-4}	3.228×10^{-7}	8.361×10^{-7}	8.361×10^{-5}
市亩	666.7	1.033×10^6	7.176×10^3	797.3	1	0.164 6	2.574×10^{-4}	6.667×10^{-4}	6.667×10^{-2}
英亩	4046.9	6.273×10^6	43 560	4840	6.073	1	1.563×10^{-3}	4.047×10^{-3}	0.404 7
英里 ²	2.59×10^6	4.014×10^9	2.788×10^7	3.098×10^6	3.885×10^3	640	1	2.59	2.59×10^2
公里 ²	10^6	1.55×10^9	1.076×10^7	1.196×10^6	1500	247.1	0.386	1	100
公顷	10^4	1.55×10^7	1.076×10^5	1.196×10^4	15	2.471	3.86×10^{-3}	0.01	1

表 1-10

容积体积单位换算

	m ³	dm ³ (L)	in ³	ft ³	yd ³	UKgal	USgal
米 ³	1	1000	61 024	35.31	1.308	220	264
分米 ³ (升)	0.001	1	61.024	0.035 31	1.308×10^{-3}	0.220	0.264
英寸 ³	$0.163 9 \times 10^{-4}$	1.639×10^{-2}	1	5.787×10^{-4}	2.143×10^{-5}	3.605×10^{-3}	4.329×10^{-3}
英尺 ³	0.028 32	28.32	1728	1	0.037 04	6.229	7.481
码 ³	0.764 6	764.6	46 656	27	1	168.2	202
英加仑	4.546×10^{-3}	4.546	277.42	0.160 5	5.946×10^{-3}	1	1.201
美加仑	3.785×10^{-3}	3.785	231	0.133 7	4.951×10^{-3}	0.832 7	1

表 1-11

速度单位换算

	m/s	ft/s	yd/s	km/h	mile/h	nmile/h
米/秒	1	3.281	1.094	3.6	2.237	1.944
英尺/秒	0.304 8	1	0.333 3	1.097 3	0.681 9	0.592 5
码/秒	0.914 4	3	1	3.291 9	2.045 7	1.777 5
千米/时	0.277 8	0.911 4	0.303 3	1	0.621 4	0.54
英里/时	0.447 0	1.466 7	0.488 9	1.069 3	1	0.868 9
海里/时	0.514 4	1.688 1	0.562 7	1.852	1.150 8	1

表 1-12

角度单位换算

	rad	°	'	"
弧度	1	57.296	3437.8	206 265
度	0.017 45	1	60	3600
分	2.909×10^{-4}	0.016 67	1	60
秒	4.848×10^{-6}	2.778×10^{-4}	0.016 67	1



表 1-13

角速度单位换算

	rad/s	rad/min	r/s	r/min	(°)/s	(°)/min
弧度/秒	1	60	0.159 2	9.549	57.296	3437.8
弧度/分	0.016 67	1	2.653×10^{-3}	0.159 2	0.955	57.296
转/秒	6.283	376.99	1	60	360	21 600
转/分	0.104 7	6.283	0.016 67	1	6	3600
度/秒	0.017 45	1.047 2	2.778×10^{-3}	0.160 7	1	60
度/分	2.909×10^{-4}	0.017 45	4.63×10^{-5}	2.778×10^{-3}	0.016 67	1

(3) 力学单位的换算见表 1-14 ~ 表 1-23。

表 1-14

质量单位换算

	t	kg	g	ton	USton	lb	oz
吨	1	1000	10^6	0.984 2	1.102	2204.6	35 274
千克	10^{-3}	1	10^3	9.842×10^{-4}	1.102×10^{-3}	2.204 6	35.274
克	10^{-6}	10^{-3}	1	9.842×10^{-7}	1.102×10^{-6}	$2.204 6 \times 10^{-3}$	0.035 27
英吨	1.016	1016	1.016×10^6	1	1.12	2240	35 840
美吨	0.907 2	907.2	9.072×10^5	0.892 9	1	2000	32 000
磅	4.536×10^{-4}	0.453 6	453.6	4.464×10^{-4}	5×10^{-4}	1	16
盎司	2.835×10^{-5}	0.028 35	28.35	2.790×10^{-5}	3.125×10^{-5}	0.062 5	1

表 1-15

密度单位换算

	kg/m ³	g/cm ³	g/mL	t/m ³	ton/yd ³	lb/ft ³	lb/in ³	lg/UKgal	lb/USgal
千克/米 ³	1	0.001	10^{-3}	10^{-3}	7.525×10^{-4}	6.243×10^{-2}	3.613×10^{-5}	1.002×10^{-2}	0.835×10^{-2}
克/厘米 ³	10^3	1	1	1	0.752 5	62.43	0.036 13	10.02	8.345
克/毫升	1000	1	1	1	0.752 5	62.43	0.036 13	10.02	8.345
吨/米 ³	1000	1	1	1	0.752 5	62.43	0.036 13	10.02	8.345
英吨/码 ³	1329	1.329	1.329	1.329	1	82.93	0.048	13.32	11.09
磅/英尺 ³	16.02	1.602×10^{-2}	1.602×10^{-2}	1.602×10^{-2}	0.012 1	1	5.787×10^{-4}	0.160 5	0.133 7
磅/英寸 ³	27 680	27.68	27.68	27.68	20.83	1728	1	277.4	231
磅/英加仑	99.78	9.978×10^{-2}	9.978×10^{-2}	9.978×10^{-2}	0.075 1	6.229	3.605×10^{-3}	1	0.833
磅/美加仑	119.8	0.119 8	0.119 8	0.119 8	0.090 2	7.481	4.329×10^{-3}	1.201	1

表 1-16

比体积单位换算

	m^3/kg	L/kg	ft^3/lb	in^3/lb	ft^3/ton	UKgal/lb
米 ³ /千克	1	1000	16.02	27 680	35 881	99.78
升/千克	0.001	1	0.016 02	27.68	35.881	0.099 78
英尺 ³ /磅	0.062 43	62.43	1	1728	2240	6.229
英寸 ³ /磅	3.613×10^{-5}	0.036 1	5.787×10^{-4}	1	1.296	3.605×10^{-3}
英尺 ³ /英吨	2.787×10^{-5}	0.027 9	4.464×10^{-4}	0.771 4	1	2.781×10^{-3}
英加仑/磅	10.02×10^{-3}	10.02	0.160 5	277.4	359.6	1

表 1-17

力、重力单位换算

	N	kgf	lbf	tf	tonf	UStonf
牛顿	1	0.101 97	0.224 8	$1.019 7 \times 10^{-4}$	$1.003 6 \times 10^{-4}$	1.124×10^{-4}
千克力	9.806 7	1	2.204 6	10^{-3}	9.842×10^{-4}	1.102×10^{-3}
磅力	4.448	0.453 6	1	4.536×10^{-4}	4.464×10^{-4}	5×10^{-4}
吨力	$9.806 7 \times 10^3$	10^3	2204.6	1	0.984 2	1.102 3
英吨力	9964	$1.016 1 \times 10^3$	2240	1.016 1	1	1.12
美吨力	8896	907.2	2000	0.907 2	0.892 9	1

表 1-18

压力、压强、应力单位换算

	$\text{Pa} (\text{N}/\text{m}^2)$	kgf/cm^2	atm	mH_2O	$\text{mmHg} (\text{Torr})$	inH_2O	lbf/ft^2	lbf/in^2
帕斯卡	1	$1.019 7 \times 10^{-5}$	9.869×10^{-6}	$1.019 7 \times 10^{-4}$	7.5×10^{-3}	$4.014 6 \times 10^{-3}$	$2.088 5 \times 10^{-2}$	$1.450 4 \times 10^{-4}$
千克力/厘米 ²	$9.806 7 \times 10^4$	1	0.967 8	10	735.5	395	2048	14.22
标准大气压	$1.013 3 \times 10^5$	1.033 3	1	10.333	760	407.5	2116.8	14.696
米水柱	9807	0.1	0.096 8	1	73.556	39.40	204.77	1.422 3
毫米汞柱(托)	133.32	1.36×10^3	1.31×10^3	0.013 6	1	0.535 2	2.784 5	0.019 3
英寸水柱	249	2.54×10^{-3}	2.46×10^{-3}	2.54×10^{-2}	1.87	1	5.202 3	3.61×10^{-2}
磅力/英尺 ²	47.88	4.883×10^{-4}	4.724×10^{-4}	4.884×10^{-3}	0.359 1	0.192 2	1	6.944×10^{-3}
磅力/英寸 ²	6894	0.070 3	0.068 0	0.703	5172	27.72	144	1

表 1-19

动力黏度单位换算

	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	cP	μP	$\text{kgf} \cdot \text{s}/\text{m}^2$	$\text{lbf} \cdot \text{s}/\text{ft}^2$	$\text{lbf} \cdot \text{h}/\text{ft}^2$
帕斯卡秒	1	10^3	10^7	0.101 97	$2.088 5 \times 10^{-2}$	$5.801 5 \times 10^{-6}$
厘泊	10^{-3}	1	10^4	$1.019 7 \times 10^{-4}$	$2.088 5 \times 10^{-5}$	$5.801 5 \times 10^{-9}$
微泊	10^{-7}	10^{-4}	1	1.019 7	$2.088 5 \times 10^{-9}$	$5.801 5 \times 10^{-13}$
千克力秒/米 ²	9.806 7	9806.7	0.980 7	1	0.204 8	5.689×10^{-5}
磅力秒/英尺 ²	47.88	47 880	4.788×10^8	4.882 4	1	$2.777 8 \times 10^{-4}$
磅力·时/英尺 ²	$1.723 7 \times 10^5$	$1.723 7 \times 10^8$	$1.723 7 \times 10^{12}$	$1.757 7 \times 10^4$	3600	1