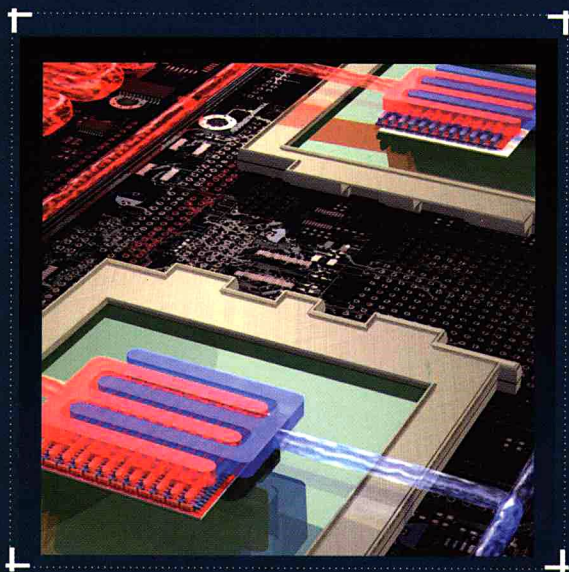
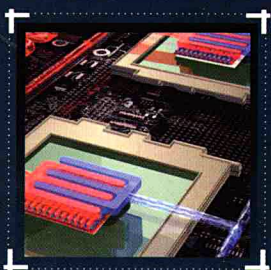




# 电子设备热设计 速查手册

■ 王健石 朱东霞 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

电工与电子实用手册系列

# 电子设备热设计速查手册

王健石 朱东霞 主编

李庆国 赖盛辉 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本手册以技术数据、图表和曲线全面地介绍了电子设备热设计最常用的技术资料和技术数据。全书共8章:电子设备热设计;型材散热器;插片、铸造、组合、水冷散热器;叉指形散热器;热管;导热绝缘材料;电子设备热测试;厂商产品推介。

本手册可供电子设备热设计、电子结构设计、可靠性设计、热测试等技术人员和工人使用,也可供高等院校电子机械工程专业广大师生参考。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

电子设备热设计速查手册/王健石,朱东霞主编. —北京:电子工业出版社,2008.10

(电工与电子实用手册系列)

ISBN 978-7-121-07414-1

I. 电… II. ①王… ②朱… III. 电子设备—热环境—设计—手册 IV. TN02-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第145961号

责任编辑:竺南直

印 刷:北京智力达印刷有限公司

装 订:北京中新伟业印刷有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:29.5 字数:628千字

印 次:2008年10月第1次印刷

定 价:59.80元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

# 《电子设备热设计速查手册》

## 编 委 会

主编	王健石	朱东霞			
主审	李庆国	赖盛辉			
编委	王健石	朱东霞	李庆国	赖盛辉	迟献臣
	穆伟	马敬	代丽琼	雷家军	何仁芳
	董彩文	徐志启	谷超臣	张力	朱辉
	樊国栋	雍波	韩新宇	钟家骐	雷远秀

## 前 言

近年来,电子产品竞争激烈,对电子产品热设计要求愈来愈高,但电子设备热设计方面的资料极少,给电子热设计工程师、热可靠性工程师、电子结构设计工程师带来了一定的困难。为了适应电子工业的发展,满足电子设备热设计、热可靠性、电子结构设计工程师们的需要,我们编写了《电子设备热设计速查手册》一书。

手册为广大读者提供了大量的技术数据和图表,内容丰富,数据可靠,突出专业,突出实用,查找快捷,方便读者。手册中的热设计产品,均提供厂商名称及通信地址,便于读者选购。

手册可供电子设备热设计、热可靠性设计、电子结构设计工程技术人员和工人使用,也可供高等院校电子机械工程专业广大师生参考,是电子整机厂所、公司图书馆必上架图书。

手册在编写过程中得到了成都西河散热器厂、成都良森电子有限责任公司、镇江市大路散热器厂、天津市南开区兴德散热器制品厂等厂商的大力支持,在此向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,缺乏经验,不足之处敬请广大读者批评指正。

编 者

2008年3月于成都

# 目 录

第 1 章 电子设备热设计 .....	(1)
1.1 常用单位换算表 .....	(1)
1.1.1 长度单位换算系数表 .....	(1)
1.1.2 米制面积单位换算系数表 .....	(1)
1.1.3 米制体积单位换算系数表 .....	(2)
1.1.4 米制质量单位换算系数表 .....	(2)
1.1.5 米制力单位换算系数表 .....	(3)
1.1.6 功、能与热量单位换算系数表 .....	(3)
1.1.7 米制压力与应力单位换算系数表 .....	(4)
1.1.8 功率、能量流及热流单位换算系数表 .....	(4)
1.1.9 不同温标间的换算关系 .....	(5)
1.1.10 不同温标的绝对零点、水冰点、水三相点及水沸点 .....	(5)
1.1.11 动力黏度单位换算系数表 .....	(5)
1.1.12 热导率、传热系数换算表 .....	(6)
1.1.13 功、能、热量英制单位换算系数表 .....	(6)
1.1.14 功率、能流、热流英制单位换算系数表 .....	(7)
1.1.15 法定计量单位常见使用错误 .....	(7)
1.2 各种零件类型冷却方法 .....	(10)
1.3 冷却方法的选择和冷却极限 .....	(10)
1.3.1 冷却方法的选择 .....	(10)
1.3.2 冷却极限 .....	(11)
1.4 传热方法 .....	(12)
1.4.1 传导 .....	(12)
1.4.2 对流 .....	(14)
1.4.3 辐射 .....	(17)

1.5	机载雷达热设计 .....	(19)
1.5.1	机载雷达常用冷源 .....	(19)
1.5.2	雷达常用的冷却方法及其选择原则 .....	(21)
1.6	印制组装件热设计 .....	(26)
1.6.1	一般印制板热设计 .....	(26)
1.6.2	导热条印制板的热设计 .....	(27)
1.6.3	导热板(层)印制板的热计算 .....	(28)
1.6.4	空芯印制板的换热计算 .....	(29)
1.7	机箱的热设计 .....	(30)
1.7.1	密封机箱温升的推算和散热限度 .....	(30)
1.7.2	通风机箱温升的推算和散热限度 .....	(31)
1.7.3	强制风冷通风机箱温升的推算 .....	(32)
1.8	强迫风冷 .....	(33)
1.8.1	直接气冷法 .....	(33)
1.8.2	冷壁冷却法 .....	(34)
1.8.3	通流冷却法 .....	(34)
1.8.4	三种冷却方式的比较 .....	(35)
1.8.5	强迫冷却用风机 .....	(37)
1.8.6	冷却剂流通过径的设计 .....	(39)
1.8.7	气流倒流问题及风道的考虑 .....	(41)
1.8.8	整机风冷设计举例 .....	(42)
1.8.9	电子机壳内气流速度和气流静压损失的计算 .....	(49)
1.9	液体冷却热设计 .....	(58)
1.9.1	液冷印制电路板上集成电路表面温度的控制 .....	(58)
1.9.2	晶体管在水冷冷板下表面温度的计算 .....	(62)
1.10	半导体致冷 .....	(67)
1.10.1	半导体致冷原理 .....	(67)
1.10.2	半导体致冷的优越性 .....	(68)
1.10.3	性能参数与曲线 .....	(68)
1.10.4	半导体致冷应用成功的关键是散热 .....	(69)

1.10.5	半导体致冷器型号及技术参数 .....	(71)
1.11	热设计示例 .....	(73)
1.11.1	示例 1 .....	(73)
1.11.2	示例 2 .....	(75)
1.11.3	示例 3 .....	(76)
1.11.4	示例 4 .....	(77)
1.11.5	示例 5 .....	(78)
1.11.6	示例 6 .....	(80)
1.11.7	示例 7 .....	(81)
1.11.8	示例 8 .....	(82)
1.11.9	示例 9 .....	(84)
1.11.10	示例 10 .....	(85)
1.11.11	示例 11 .....	(86)
1.11.12	示例 12 .....	(87)
1.11.13	示例 13 .....	(89)
<b>第 2 章</b>	<b>型材散热器 .....</b>	<b>(90)</b>
2.1	宽度 < 100mm 的型材散热器 .....	(90)
2.2	100mm ≤ 宽度 ≤ 200mm 的型材散热器 .....	(117)
2.3	宽度大于等于 200mm 的型材散热器 .....	(145)
2.4	西竹型材散热器 .....	(157)
2.5	有热阻曲线和温升曲线的型材散热器 .....	(168)
2.6	机箱一体化型材散热器 .....	(178)
2.7	电阻外壳散热器 .....	(187)
<b>第 3 章</b>	<b>插片、铸造、组合、水冷散热器 .....</b>	<b>(189)</b>
3.1	铝板插片散热器 .....	(189)
3.2	铝型材插片散热器 .....	(194)
3.3	电力半导体用铸造散热器 .....	(199)
3.3.1	型号及系列 .....	(199)
3.3.2	外形尺寸和安装尺寸 .....	(200)
3.3.3	技术要求 .....	(210)



3.3.4	散热器特性曲线示例	(212)
3.4	铸造类散热器用绝缘件和紧固件	(213)
3.4.1	绝缘件	(213)
3.4.2	紧固件	(219)
3.5	组合散热器	(229)
3.6	型材组合散热器	(232)
3.7	水冷散热器	(234)
<b>第4章</b>	<b>叉指形散热器</b>	<b>(237)</b>
4.1	国标(GB/T7423.2—1987)叉指形散热器	(237)
4.2	非标叉指形散热器	(276)
<b>第5章</b>	<b>热管</b>	<b>(279)</b>
5.1	热管理论	(279)
5.1.1	热管基本结构及工作原理	(279)
5.1.2	热管的最大毛细压差	(279)
5.1.3	传热极限	(279)
5.1.4	品质因数	(281)
5.1.5	热管的起动特性	(281)
5.2	热管热阻	(282)
5.3	管芯	(284)
5.3.1	典型的毛细芯结构	(284)
5.3.2	典型毛细芯最小弯月面半径、有效毛细孔半径、毛细压力	(284)
5.3.3	典型管芯的换热系数	(285)
5.3.4	毛细芯的渗透率	(286)
5.3.5	管芯导热系数的计算	(288)
5.3.6	管芯特性比较	(288)
5.3.7	几种管芯的性能	(289)
5.4	工质	(289)
5.4.1	常用工质的温度范围	(289)
5.4.2	工质的性质	(290)
5.4.3	工质物性曲线和热管设计参数随温度变化曲线	(292)

5.5	热管材料	(302)
5.6	热管的相容性	(303)
5.7	铝无管芯重力热管	(306)
5.7.1	品种规格	(306)
5.7.2	技术性能指标	(308)
5.7.3	性能测试方法	(310)
5.8	热管设计程序	(311)
5.8.1	明确任务	(311)
5.8.2	选择工质	(311)
5.8.3	壳体设计	(311)
5.8.4	管芯计算	(311)
5.8.5	充液量计算	(312)
5.8.6	内部工作极限计算	(312)
5.8.7	传热校核计算	(312)
5.9	热管散热器系列	(313)
5.9.1	自冷式热管散热器	(313)
5.9.2	风冷式热管散热器	(316)
<b>第6章</b>	<b>导热绝缘材料</b>	<b>(319)</b>
6.1	导热绝缘矽胶布	(319)
6.2	导热绝缘矽胶片	(320)
6.3	导热绝缘软垫	(322)
6.4	导热绝缘帽套	(322)
6.5	导热绝缘套管	(324)
6.6	热传导胶带	(325)
6.6.1	T404、T412、PB105、PB108 热传导胶带	(325)
6.6.2	108S、C165 热传导胶带	(326)
6.6.3	T405、T410~T414 热传导胶带	(327)
6.6.4	Bond Ply 100 导热的压敏胶带	(329)
6.7	散热风机	(330)
6.7.1	DC25×25×10 散热风机	(330)

6.7.2	DC30×30×10 散热风机	(331)
6.7.3	DC40×40×10 散热风机	(332)
6.7.4	DC40×40×20 散热风机	(333)
6.7.5	DC50×50×10 散热风机	(334)
6.7.6	DC50×50×15 散热风机	(335)
6.7.7	DC60×60×15 散热风机	(335)
6.7.8	DC60×60×25 散热风机	(336)
6.7.9	DC70×70×15 散热风机	(337)
6.7.10	DC70×70×25 散热风机	(337)
6.7.11	DC80×80×15 散热风机	(338)
6.7.12	DC80×80×25 散热风机	(339)
6.7.13	DC80×80×32 散热风机	(339)
6.7.14	DC92×92×25 散热风机	(340)
6.7.15	DC120×120×25 散热风机	(341)
6.7.16	DC120×120×38 散热风机	(342)
6.7.17	DC172×150×25 散热风机	(342)
6.7.18	DC172×150×51 散热风机	(343)
6.7.19	AC80×80×25 散热风机	(344)
6.7.20	AC80×80×38 散热风机	(344)
6.7.21	AC90×90×25 散热风机	(345)
6.7.22	AC92×92×38 散热风机	(346)
6.7.23	AC110×110×25 散热风机	(346)
6.7.24	AC120×120×25 散热风机	(347)
6.7.25	AC120×120×38 散热风机	(348)
6.7.26	AC172×150×51 散热风机	(348)
6.7.27	AC180×180×60 散热风机	(349)
6.7.28	AC220×220×60 散热风机	(350)
6.7.29	AC $\phi$ 220×60 散热风机	(350)
6.7.30	AC $\phi$ 254×89 散热风机	(351)
6.7.31	怎样选择风扇	(352)

6.7.32	风扇使用注意事项 .....	(352)
6.7.33	降低风扇噪声的方法 .....	(352)
6.8	相变材料 .....	(353)
6.8.1	T—pcm 580 系列高性能相变材料 .....	(353)
6.8.2	T—pcm 900 相变材料 .....	(354)
6.8.3	T—mate2900 导热相变材料 .....	(356)
6.8.4	T—pcm HP105 高性能相变材料 .....	(357)
6.8.5	Kensflow 2310 导热相变材料 .....	(358)
6.8.6	TIP 系列相变化导热界面材料 .....	(358)
6.8.7	HD2300、2301~2303 导热相变化材料 .....	(359)
6.8.8	THERMFLOW 相变材料 .....	(360)
6.9	导热硅脂 .....	(362)
6.9.1	SC—3101 导热硅脂 .....	(362)
6.9.2	SC—3102 导热硅脂 .....	(363)
6.9.3	SC—3103 导热硅脂 .....	(363)
6.9.4	SC—5101 导热硅脂 .....	(364)
6.9.5	SC—5102 导热硅脂 .....	(364)
6.9.6	SC—5103 导热硅脂 .....	(365)
6.9.7	SC—810/导热硅脂 .....	(365)
6.9.8	SC—8102 导热硅脂 .....	(366)
6.9.9	高导热绝缘硅脂 .....	(366)
6.9.10	耐高温导热硅脂 .....	(367)
6.9.11	GG—1200、GG—1304(G)、GG—1340、GG—1350、GG—1380 导热硅脂 .....	(368)
6.9.12	高导热绝缘硅脂 .....	(369)
6.9.13	HTSP 强效导热硅脂 .....	(369)
6.9.14	TLZ—240 导热硅脂 .....	(370)
6.10	导热胶 .....	(372)
6.10.1	国产 JM 系列导热导冷胶泥 .....	(372)
6.10.2	TC—225 双组分室温交联液体硅胶 .....	(372)

6.10.3	TC—213 双组分室温交联液体硅胶 .....	(373)
6.10.4	TC—219 双组分室温交联液体硅胶 .....	(374)
6.10.5	TC—215 双组分室温交联液体硅胶 .....	(375)
6.10.6	TC—200 双组分室温交联液体硅胶 .....	(376)
6.10.7	TC—230 双组分室温交联液体硅胶 .....	(377)
6.10.8	No.1 环氧树脂导热灌封胶 .....	(378)
6.10.9	152 导热灌封硅橡胶 .....	(379)
6.10.10	自动化点涂导热胶 .....	(381)
6.10.11	Loctite® 导热胶 .....	(382)
6.10.12	Ac898 导热胶 .....	(384)
6.10.13	DE—6305 导热绝缘灌封胶 .....	(385)
6.10.14	【3415Q】绝缘导热胶 .....	(386)
6.10.15	Sil—Pad400 系列导热弹性橡胶 .....	(387)
6.10.16	Sil—Pad900S 系列导热绝缘弹性橡胶 .....	(388)
6.10.17	Sil—Pad2000 高性能、高可靠性的导热绝缘体 .....	(389)
6.10.18	Sil—PadK—10 导热绝缘体 .....	(390)
6.10.19	DJ—1916 有机硅导热胶 .....	(391)
6.10.20	T609、T441、T444、1671、1678、1680 导热绝缘弹性橡胶 .....	(392)
6.10.21	导热填充剂 .....	(394)
6.10.22	HT9316 单组分室温导热硅橡胶 .....	(395)
6.10.23	耐高温型导热胶 .....	(396)
6.11	云母片 .....	(397)
6.12	绝缘粒(绝缘垫圈) .....	(400)
<b>第7章</b>	<b>电子设备热测试 .....</b>	<b>(401)</b>
7.1	散热器热阻测试方法 .....	(401)
7.1.1	散热器在自然冷却状态下的热阻测试方法(摘自 SJ1267—1977) .....	(401)
7.1.2	散热器强迫风冷热阻测试方法(摘自 SJ2242—82) .....	(403)
7.2	电力半导体器件用散热器的热阻和流阻测试方法 .....	(405)
7.2.1	原理和加热电流 .....	(405)
7.2.2	测试系统要求和说明 .....	(406)

7.2.3	测试条件 .....	(408)
7.2.4	测量和计算 .....	(408)
7.3	电子设备强迫风冷热特性测试方法 .....	(409)
7.3.1	温度测试方法 .....	(409)
7.3.2	压力测试内容 .....	(411)
7.3.3	空气流速测试方法 .....	(413)
7.3.4	空气流量测试方法 .....	(414)
7.3.5	数据处理 .....	(417)
7.4	重力热管传热性能试验方法 .....	(419)
7.4.1	试样及其制备 .....	(419)
7.4.2	试验装置和仪器 .....	(420)
7.4.3	试验条件 .....	(420)
7.4.4	试验程序 .....	(421)
7.4.5	试验结果的计算 .....	(422)
7.5	热管寿命试验方法 .....	(423)
7.5.1	原理概要 .....	(423)
7.5.2	试样制备 .....	(423)
7.5.3	试验装置和仪器 .....	(425)
7.5.4	试验条件 .....	(425)
7.5.5	试验程序 .....	(426)
7.5.6	试验结果的处理 .....	(426)
7.5.7	试验结果的评定 .....	(427)
7.6	电子设备热测试用热电偶 .....	(427)
7.6.1	铜—铜镍(又称康铜)热电偶丝 .....	(427)
7.6.2	镍铬—铜镍(康铜)热电偶丝 .....	(431)
7.6.3	热电偶允差 .....	(436)
7.6.4	铜—铜镍(T型)热电偶分度表(摘自 GB/T 16839.1—1997) .....	(436)
7.6.5	镍铬—铜镍(E型)热电偶分度表(摘自 GB/T 16839.1—1997) .....	(440)
<b>第8章 厂商产品推介 .....</b>		<b>(450)</b>
<b>参考文献 .....</b>		<b>(455)</b>

# 第 1 章 电子设备热设计

## 1.1 常用单位换算表

### 1.1.1 长度单位换算系数表(表 1-1)

表 1-1 米制长度单位换算系数表

单位	km	hm	dam	m	dm	cm	mm	$\mu\text{m}$	nm	pm	$\text{\AA}$	X 单位
千米(公里)	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$	$10^{15}$	$10^{13}$	$10^{16}$
百米	$10^{-1}$	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^5$	$10^8$	$10^{11}$	$10^{14}$	$10^{12}$	$10^{15}$
十米	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^4$	$10^7$	$10^{10}$	$10^{13}$	$10^{11}$	$10^{14}$
米	$10^{-3}$	$10^{-2}$	10	1	10	$10^2$	$10^3$	$10^6$	$10^9$	$10^{12}$	$10^{10}$	$10^{13}$
分米	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	$10^2$	$10^5$	$10^8$	$10^{11}$	$10^9$	$10^{12}$
厘米	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	10	$10^4$	$10^7$	$10^{10}$	$10^8$	$10^{11}$
毫米	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-1}$	1	$10^3$	$10^6$	$10^9$	$10^7$	$10^{10}$
微米	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-5}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	1	$10^3$	$10^6$	$10^4$	$10^7$
纳米	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1	$10^3$	10	$10^4$
皮米	$10^{-15}$	$10^{-14}$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-6}$	$10^{-3}$	1	$10^{-2}$	10
埃	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-9}$	$10^{-8}$	$10^{-7}$	$10^{-4}$	$10^{-1}$	$10^2$	1	$10^3$
X 单位*	$10^{-16}$	$10^{-15}$	$10^{-14}$	$10^{-13}$	$10^{-12}$	$10^{-11}$	$10^{-10}$	$10^{-7}$	$10^{-4}$	$10^{-1}$	$10^{-3}$	1

\* 1X 单位 =  $1.002 \times 10^{-4} \text{nm}$ , 过去有的技术文件中称它为“毫埃”(m $\text{\AA}$ )

### 1.1.2 米制面积单位换算系数表(表 1-2)

表 1-2 米制面积单位换算系数表

单位	$\text{km}^2$	$\text{hm}^2 = \text{ha}$	$\text{dam}^2 = \text{a}$	$\text{m}^2$	$\text{dm}^2$	$\text{cm}^2$	$\text{mm}^2$	$\mu\text{m}^2$	$\text{nm}^2$	$\text{pm}^2$	b
平方千米	1	$10^2$	$10^4$	$10^6$	$10^8$	$10^{10}$	$10^{12}$	$10^{18}$	$10^{24}$	$10^{30}$	
平方百米 = 公顷	$10^{-2}$	1	$10^2$	$10^4$	$10^6$	$10^8$	$10^{10}$	$10^{16}$	$10^{22}$	$10^{28}$	
平方十米 = 公亩	$10^{-4}$	$10^{-2}$	1	$10^2$	$10^4$	$10^6$	$10^8$	$10^{14}$	$10^{20}$	$10^{26}$	
平方米	$10^{-6}$	$10^{-1}$	$10^{-2}$	1	$10^2$	$10^4$	$10^6$	$10^{12}$	$10^{18}$	$10^{24}$	$10^{28}$
平方分米	$10^{-8}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	1	$10^2$	$10^4$	$10^{10}$	$10^{16}$	$10^{22}$	$10^{26}$
平方厘米	$10^{-10}$	$10^{-8}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	1	$10^2$	$10^8$	$10^{14}$	$10^{20}$	$10^{24}$
平方毫米	$10^{-12}$	$10^{-10}$	$10^{-8}$	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-2}$	1	$10^6$	$10^{12}$	$10^{18}$	$10^{22}$
平方微米	$10^{-18}$	$10^{-16}$	$10^{-14}$	$10^{-12}$	$10^{-10}$	$10^{-8}$	$10^{-6}$	1	$10^6$	$10^{12}$	$10^{16}$
平方纳米	$10^{-24}$	$10^{-22}$	$10^{-20}$	$10^{-18}$	$10^{-16}$	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{-6}$	1	$10^6$	$10^{10}$
平方皮米	$10^{-30}$	$10^{-28}$	$10^{-26}$	$10^{-24}$	$10^{-22}$	$10^{-20}$	$10^{-18}$	$10^{-12}$	$10^{-6}$	1	$10^4$
靶恩				$10^{-28}$	$10^{-26}$	$10^{-24}$	$10^{-22}$	$10^{-16}$	$10^{-10}$	$10^{-4}$	1

### 1.1.3 米制体积单位换算系数表(表 1-3)

表 1-3 米制体积单位换算系数表

单位	km <sup>3</sup>	hm <sup>3</sup>	dam <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	hL	daL	dm <sup>3</sup> =L	dL	cL	cm <sup>3</sup> =mL	mm <sup>3</sup> = $\mu$ L	$\mu$ m <sup>3</sup> =fL	nm <sup>3</sup>	pm <sup>3</sup>
立方千米	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>27</sup>	10 <sup>36</sup>	10 <sup>45</sup>
立方百米	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>24</sup>	10 <sup>33</sup>	10 <sup>42</sup>
立方十米	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>21</sup>	10 <sup>30</sup>	10 <sup>39</sup>
立方米	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>27</sup>	10 <sup>36</sup>
百升	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>17</sup>	10 <sup>26</sup>	10 <sup>35</sup>
十升	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>16</sup>	10 <sup>25</sup>	10 <sup>34</sup>
立方分米=升	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>24</sup>	10 <sup>33</sup>
分升	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>14</sup>	10 <sup>23</sup>	10 <sup>32</sup>
厘升	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>4</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>22</sup>	10 <sup>31</sup>
立方厘米=毫升	10 <sup>-15</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>21</sup>	10 <sup>30</sup>
立方毫米=微升	10 <sup>-18</sup>	10 <sup>-15</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>9</sup>	10 <sup>18</sup>	10 <sup>27</sup>
立方微米=飞升	10 <sup>-27</sup>	10 <sup>-24</sup>	10 <sup>-21</sup>	10 <sup>-18</sup>	10 <sup>-17</sup>	10 <sup>-16</sup>	10 <sup>-15</sup>	10 <sup>-14</sup>	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	1	10 <sup>9</sup>	10 <sup>18</sup>
立方纳米	10 <sup>-36</sup>	10 <sup>-33</sup>	10 <sup>-30</sup>	10 <sup>-27</sup>	10 <sup>-26</sup>	10 <sup>-25</sup>	10 <sup>-24</sup>	10 <sup>-23</sup>	10 <sup>-22</sup>	10 <sup>-21</sup>	10 <sup>-18</sup>	10 <sup>-9</sup>	1	10 <sup>9</sup>
立方皮米	10 <sup>-45</sup>	10 <sup>-42</sup>	10 <sup>-39</sup>	10 <sup>-36</sup>	10 <sup>-35</sup>	10 <sup>-34</sup>	10 <sup>-33</sup>	10 <sup>-32</sup>	10 <sup>-31</sup>	10 <sup>-30</sup>	10 <sup>-27</sup>	10 <sup>-18</sup>	10 <sup>-9</sup>	1

### 1.1.4 米制质量单位换算系数表(表 1-4)

表 1-4 米制质量单位换算系数表

单位	Mt	kt	Mg	dt	kg	hg	dag	g	dg	mg	$\mu$ g*	carat**
兆吨	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>11</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>13</sup>	10 <sup>15</sup>	10 <sup>18</sup>	
千吨	10 <sup>-3</sup>	1	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>10</sup>	10 <sup>12</sup>	10 <sup>15</sup>	
吨=兆克	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>7</sup>	10 <sup>9</sup>	10 <sup>12</sup>	
分吨	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>8</sup>	10 <sup>11</sup>	
千克	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>6</sup>	10 <sup>9</sup>	5 $\times$ 10 <sup>3</sup>
百克	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>3</sup>	10 <sup>5</sup>	10 <sup>8</sup>	5 $\times$ 10 <sup>2</sup>
十克	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>2</sup>	10 <sup>4</sup>	10 <sup>7</sup>	5 $\times$ 10
兑	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	10 <sup>3</sup>	10 <sup>6</sup>	5
分克	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10 <sup>2</sup>	10 <sup>5</sup>	0.5
毫克	10 <sup>-15</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	1	10 <sup>3</sup>	5 $\times$ 10 <sup>-3</sup>
微克	10 <sup>-13</sup>	10 <sup>-15</sup>	10 <sup>-12</sup>	10 <sup>-11</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-3</sup>	1	5 $\times$ 10 <sup>-6</sup>
克拉					2 $\times$ 10 <sup>-4</sup>	2 $\times$ 10 <sup>-3</sup>	2 $\times$ 10 <sup>-2</sup>	2 $\times$ 10 <sup>-1</sup>	2	2 $\times$ 10 <sup>2</sup>	2 $\times$ 10 <sup>5</sup>	1

\* 过去称为  $\gamma$ 。  
\*\* 只用于钻石、珍珠、贵金属



### 1.1.5 米制力单位换算系数表(表 1-5)

表 1-5 米制力单位换算系数表

单位	N	dyn	gf	kgf	Sthen=0.1kN	sthen(sn)=kN
牛顿	1	$10^5$	$0.102^{**} \times 10^3$ $\approx 10^2$	$0.102 \approx 10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$
达因	$10^{-5}$	1	$0.102 \times 10^{-2}$ $\approx 10^{-3}$	$0.102 \times 10^{-5}$ $\approx 10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$
克力***	$9.807^* \times 10^{-3}$ $\approx 10^{-2}$	$9.807 \times 10^2 \approx$ $10^3$	1	$10^{-3}$	$9.807 \times 10^{-5}$ $\approx 10^{-4}$	$9.807 \times 10^{-6} \approx$ $10^{-5}$
千克力	$9.807 \approx 10$	$9.807 \times 10^5 \approx$ $10^6$	$10^3$	1	$9.807 \times 10^{-2}$ $\approx 10^{-2}$	$9.807 \times 10^{-3} \approx$ $10^{-2}$
百牛	$10^2$	$10^7$	$0.102 \times 10^5 \approx$ $10^4$	$0.102 \times 10^2$ $\approx 10$	1	$10^{-1}$
千牛	$10^3$	$10^8$	$0.102 \times 10^6 \approx$ $10^5$	$0.102 \times 10^3$ $\approx 10^2$	10	1

\* 准确值为 9.80665。  
 \*\* 准确值为 0.101 971 6。  
 \*\*\* 克力在西欧有些国家,有一个专门名称“pond”。千克力则称为“kilopond”,其符号分别为 P、kp

### 1.1.6 功、能与热量单位换算系数表(表 1-6)

表 1-6 功、能与热量单位换算系数表

单位	$J=N \cdot m=W \cdot s$	cal	$W \cdot h$	kgf · m	erg
焦耳	1	0.2388	$277.778 \times 10^{-6}$	0.10197	$10^7$
卡路里*	4.1868	1	$1.163 \times 10^{-3}$	0.4269	$41.868 \times 10^6$
瓦小时	3600	$0.85984 \times 10^3$	1	$0.3671 \times 10^3$	$36.00 \times 10^7$
千克力米	9.806 65	2.3418	$2.7241 \times 10^{-3}$	1	$98.0665 \times 10^6$
尔格	$10^{-7}$	$23.884 \times 10^{-9}$	$27.778 \times 10^{-12}$	$10.197 \times 10^{-9}$	1
达因米	$10^{-5}$	$2.3884 \times 10^{-6}$	$2.7778 \times 10^{-9}$	$1.0197 \times 10^{-6}$	$10^2$
米制马力小时	$2.6478 \times 10^6$	$632.41 \times 10^3$	735.51	$0.26999 \times 10^6$	$26.478 \times 10^{12}$
升大气压	101.33	24.201	$28.147 \times 10^{-3}$	10.332	$1.0133 \times 10^9$
电子伏特	$1.602 \times 10^{-19}$	$3.8262 \times 10^{-20}$	$4.450 \times 10^{-23}$	$1.6336 \times 10^{-20}$	$1.602 \times 10^{-12}$

单位	dyn · m	米制马力小时	L · atm	eV
焦耳	$10^5$	$0.37767 \times 10^{-6}$	$9.8689 \times 10^{-3}$	$6.2422 \times 10^{18}$
卡路里	$0.41868 \times 10^6$	$1.581 \times 10^{-6}$	$41.319 \times 10^{-3}$	$2.614 \times 10^{19}$
瓦小时	$360.0 \times 10^6$	$1.3597 \times 10^{-3}$	35.528	$2.2472 \times 10^{22}$
千克力米	$980.665 \times 10^3$	$3.7040 \times 10^{-6}$	$96.781 \times 10^{-3}$	$6.1215 \times 10^{19}$
尔格	$10^{-2}$	$37.767 \times 10^{-15}$	$0.9869 \times 10^{-9}$	$6.2422 \times 10^{11}$
达因米	1	$3.7767 \times 10^{-12}$	$98.689 \times 10^{-9}$	$6.2422 \times 10^{13}$
米制马力小时	$264.78 \times 10^9$	1	$26.131 \times 10^3$	$1.6528 \times 10^{25}$
升大气压	$10.133 \times 10^6$	$38.269 \times 10^{-6}$	1	$6.3251 \times 10^{20}$
电子伏特	$1.602 \times 10^{-14}$	$6.0503 \times 10^{-26}$	$1.581 \times 10^{-21}$	1

\* 为国际蒸汽表卡路里之值(下同)