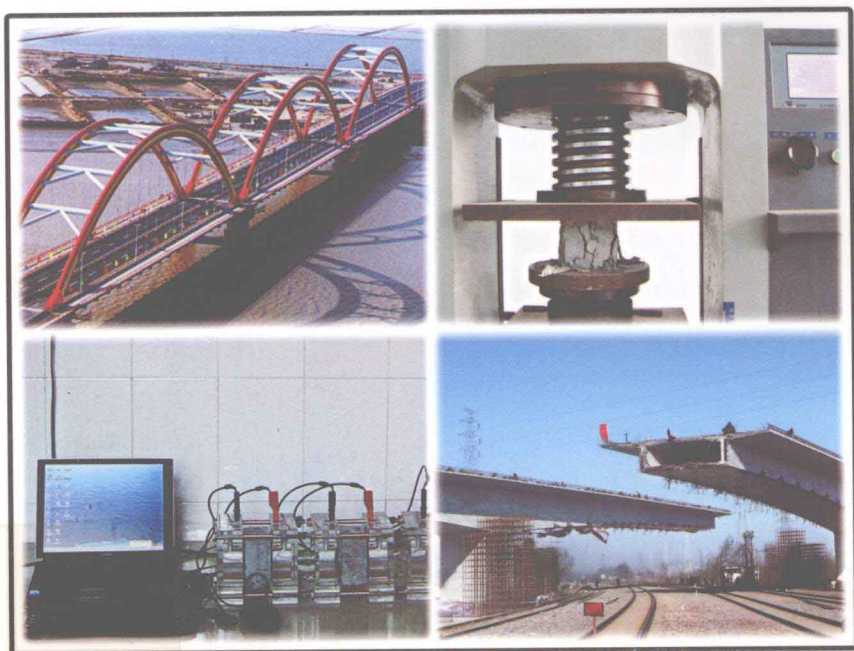


土木工程实验系列教材

TUMU GONGCHENG CAILIAO SHIYAN JIAOCHENG

土木工程材料试验教程

安明喆 张桦 编



◎ 土木工程实验系列教材

土木工程材料试验教程

安明喆 张 桦 编

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

土木工程材料试验教程/安明喆,张桦编. —北京:中国科学技术出版社,2010.6

(土木工程实验系列教材)

ISBN 978-7-5046-5637-7

I. ①土… II. ①安… ②张… III. ①土木工程-建筑材料-实验-高等学校-教材 IV. ①TU5-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 100488 号

本社图书贴有防伪标志,未贴为盗版

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮政编码:100081

电话:010-62173865 传真:010-62179148

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

科学普及出版社发行部发行

北京长宁印刷有限公司印刷

*

开本:787 毫米×1092 毫米 1/16 印张:7.25 字数:150 千字

2010 年 6 月第 1 版 2010 年 6 月第 1 次印刷

定价:12.00 元

ISBN 978-7-5046-5637-7/TU·79

(凡购买本社的图书,如有缺页、倒页、
脱页者,本社发行部负责调换)

内 容 提 要

本书为《土木工程实验系列教材》之一,共分为三章,包括土木工程材料试验技术基础部分、基本试验部分和拓展创新试验部分。内容涉及技术标准、计量单位、实验设计方法、数据分析处理方法等基础知识,重点介绍了材料基本物理性能、水泥性能、混凝土集料与力学性能、建筑钢材力学性能、建筑砂浆及外加剂减水率的试验等基本试验方法,以及轻骨料混凝土性能、掺入减水剂与掺合料的混凝土性能、混凝土耐久性、沥青和沥青混合料性能、常用防水材料的试验等拓展创新试验方法。

本书可作为土木工程相关专业的学生实验(实践)学习教材,也可供从事土木工程施工、检测、科研和管理的技术人员在工作中参考使用。

《土木工程实验系列教材》编辑委员会

主 编	魏庆朝			
副主编	汪越胜	夏 禾		
编 委	朱尔玉	王正道	刘维宁	季文玉
	李 进	李久义	姚谦锋	杨庆山
	石志飞	杨松林	王连俊	高 亮
	赵成刚	朋改非	安明喆	贺少辉
	陈立宏	张 桦		

责任编辑 崔 玲 张敬一

封面制作 中文天地

责任校对 凌红霞

责任印制 张建农

总 序

随着我国国民经济的高速发展,大规模的基础设施建设呈现出日新月异的局面,这将需要大量的基础设施建设人才。土木工程专业是培养这些建设人才的主要渠道。

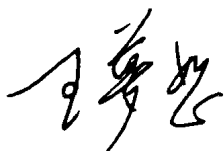
土木工程专业覆盖学科范围非常广泛,需要综合运用工程地质、工程测量、土力学、工程力学、工程设计、建筑材料、建筑设备、建筑经济等学科和施工技术、施工组织等领域的知识。

同时,土木工程又是实践性非常强的专业,实验和实习是培养高水平土木工程专业人才的必不可少的重要环节和手段。

北京交通大学土木工程专业在其 50 余年的发展历史中,始终重视实验、实习、课程设计、毕业设计等实践教学过程,从建立之初即建设了较为齐全的实验室。今天,实验教学设备和手段更加完善,实验技术和实验内容随着科技的发展不断更新。北京交通大学的教师根据多年来实验教学的经验,组织编写了土木工程专业的实验系列教材。

相信本套系列教材的出版,不仅对北京交通大学的实验教学有很好的促进作用,也会受到兄弟院校的欢迎。

中国工程院院士



前 言

土木工程材料试验是土木工程材料课程教学的重要组成部分,也是与生产实际密切联系的一门科学技术。通过试验教学,可以帮助学生加深对理论基础的理解,熟悉常用土木工程材料的技术性能,掌握材料试验原理、基本操作技能,提高分析和解决实际问题的能力。

基础设施建设过程原材料质量的评价、结构设计与施工过程控制参数的获取,以及工程质量验收依据获取均离不开土木工程材料试验。另外,新型材料的研究与开发、材料性能的改善与生产工艺的改进,制订材料的标准与修订也离不开土木工程材料试验。随着我国基础设施建设事业的飞速发展,为工程设计理论、施工技术与检测技术带来了长足的进步和发展。随之对土木工程材料性能的要求越来越高,新材料、新技术在工程中的应用也越来越多,同时相关的技术标准的编制和更新也越来越快。为适应基础设施建设业发展的新形势,培养掌握坚实的理论基础与试验操作技能的土木工程人才,采用科学的土木工程材料试验方法,要求快速、准确地检测和鉴定土木工程材料质量,研究和开发新型工程材料与应用技术,对于工程建设质量的保证和新技术的发展具有十分重要的意义。

土木工程材料试验教学主要存在的问题有:试验教学内容更新落后于工程技术发展与技术标准的更新;相比课堂理论教学,试验等实践教学环节比较薄弱;试验技术基础性知识内容匮乏;缺乏拓展和创新性试验内容,落后于土木工程领域新材料、新技术的发展。为此本

教材将试验内容分为土木工程材料试验技术基础、土木工程材料基本试验和土木工程材料拓展创新试验三个部分。试验技术基础部分介绍了土木工程材料试验过程涉及的基础知识和方法;基本试验部分根据土木工程材料与技术发展,结合最新的技术标准,对常规材料的试验项目与内容进行调整而编写;拓展创新试验部分根据土木工程领域新材料与新技术的发展,结合最新的技术标准,对土木工程领域应用较为广泛的材料性能的试验项目与内容进行了编写。

本书由安明喆主编,参加编写的人员还有北京交通大学张桦、余自若等。本书的编写大纲由参编人员共同讨论拟定,最后安明喆修改和定稿。

本书编写过程,编者参阅了大量文献和资料,在此特作声明,并向文献和资料作者表示感谢。

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中难免存在错误和疏漏之处,敬请批评指正。

编 者
2010年3月

目 录

第一章 土木工程材料试验技术基础	(1)
第一节 土木工程材料技术标准	(1)
第二节 国家法定计量单位	(3)
第三节 正交实验设计方法	(10)
第四节 试验数据统计分析与处理	(13)
第五节 土木工程材料试验基础技能	(19)
第六节 材料试验机	(21)
第二章 土木工程材料基本试验	(25)
第一节 基本物理性质试验	(25)
第二节 水泥性能试验	(28)
第三节 普通混凝土集料试验	(36)
第四节 普通混凝土拌和物和易性试验	(46)
第五节 普通混凝土立方体抗压强度试验	(50)
第六节 普通混凝土劈裂抗拉强度试验	(52)
第七节 混凝土抗压弹性模量试验方法	(53)
第八节 建筑钢材试验	(55)
第九节 建筑砂浆试验	(58)
第十节 混凝土外加剂的减水率试验	(61)
第三章 土木工程材料拓展创新试验	(64)
第一节 轻骨料混凝土试验	(64)
第二节 掺入减水剂的混凝土试验	(69)
第三节 沥青试验	(74)
第四节 普通混凝土抗水渗透性试验	(78)
第五节 混凝土抗氯离子渗透性试验	(80)
第六节 混凝土抗冻性能试验	(86)
第七节 掺入掺合料的混凝土试验	(89)
第八节 混凝土应力-应变试验	(91)
第九节 常用防水材料试验	(94)
第十节 沥青混合料试验	(100)
参考文献	(105)

第一章 土木工程材料试验技术基础

土木工程材料试验通常包括取样、性能测试与试验数据的整理、分析等技术问题。本章主要叙述这方面的基本技能。

第一节 土木工程材料技术标准

技术标准(规范)是对产品与工程建设的质量、规格及其检验方法等所作的技术规定。技术标准在经济和社会发展中占据重要的地位。土木工程材料技术标准(规范)是针对原材料、产品以及工程质量、规格、检验方法、评定方法、应用技术等做出的技术规定,因此它是在从事产品生产、工程建设、科学研究以及商品流通领域中所需共同遵循的技术法规。我国根据工程建设的需要,将土木工程材料技术标准按其特性分为基础标准、方法标准、原材料标准、能源标准、环保标准、包装标准和产品标准。

一、技术标准的等级分类

根据《中华人民共和国标准化法》的规定,按照适用范围将标准划分为国家标准、行业标准、地方标准和企业标准四个层次。各层次之间有一定的依从关系和内在联系。

1. 国家标准

国家标准是指由国家标准化主管机构批准发布,对全国经济、技术发展有重大意义,且在全国范围内统一的标准,是四级标准体系中的主体。国家标准在全国范围内适用,其他各级标准不得与之相抵触。国家标准由国务院标准化行政主管部门编制计划,协调项目分工,组织制定(含修订),统一审批、编号及发布。我国颁布实施的《GB175 - 2007 通用硅酸盐水泥》、《GB/T50081 - 2002 普通混凝土力学性能试验方法》等属于国家标准。

2. 行业标准

行业标准是指在没有国家标准而又需要在国家某个行业范围内根据统一的技术要求所制定的标准。行业标准是对国家标准的补充,是专业性、技术性较强的

标准。行业标准的制定不得与国家标准相抵触,当同一内容的国家标准公布实施后,相应的行业标准即行废止。行业标准由行业标准归口部门统一管理。行业标准的归口部门及其所管理的行业标准范围,由国务院有关行政主管部门提出申请,国务院标准化行政主管部门审查确定,并公布该行业的行业标准代号。《JG/T 738-2004 水泥强度快速检验方法》、《TB10425-94 铁路混凝土强度检验评定标准》、《SL352-2006 水工混凝土试验规程》、《JT-T525-2004 公路水泥混凝土》等分别属于我国建筑行业、铁路行业、水利行业和交通行业的技术标准。

3. 地方标准

地方标准又称为区域标准,是指对没有国家标准和行业标准而又需要在省、自治区、直辖市范围内统一的对工业产品的要求所制定的标准。地方标准由省、自治区、直辖市标准化行政主管部门制定,并报国务院标准化行政主管部门和国务院有关行政主管部门备案,仅仅在本行政区域内适用,不得与国家标准和行业标准相抵触。在国家标准或者行业标准公布实施后,相应的地方标准即行废止。《DBJ01-95-2005 预防混凝土结构工程碱骨料反应规程》属于北京市地方标准。

4. 企业标准

企业标准是对企业范围内需要协调、统一的技术要求、管理要求和工作要求所制定的标准。企业标准由企业制定,企业法人代表或法人代表授权的主管领导批准、发布,是企业组织生产、经营活动的依据。《中华人民共和国标准化法》规定:企业生产的产品没有国家标准和行业标准的,应当制定企业标准,作为组织生产的依据。企业的产品标准须报当地政府标准化行政主管部门和有关行政主管部门备案。已有国家标准或者行业标准的,国家鼓励企业制定严于国家标准或者行业标准的企业标准,在企业内部使用。

我国各级技术标准,根据需要分为试行和正式标准两类,又分为强制性标准与推荐性标准。

二、技术标准的代号与编号

每个技术标准都有自己的代号与编号。标准代号反映该标准的等级或发布单位,用汉语拼音字母表示,见表1-1。编号采用阿拉伯数字由顺序号及年代号组成,中间加一横线分开;名称以汉字表达,它反映该标准的主要内容。例如:GB175-2007 通用硅酸盐水泥标准中,GB为代号表示国家标准,175为顺序号,2007为标准年代号,通用硅酸盐水泥为名称,所以GB175-2007表示国家标准175号,2007年颁布执行的通用硅酸盐水泥标准。又如:GB/T50081-2002 普通

混凝土力学性能试验方法,表示国家推荐性标准 50081 号,是 2002 年颁布执行的普通混凝土力学性能试验方法标准。

表 1-1 技术标准所属行业及其代号

所属行业	标准代号	所属行业	标准代号
国家标准	GB	铁路行业	TB
建材行业	JC	冶金行业	YB
建筑行业	JG	水利行业	SL
交通行业	JT	电力行业	DL

由于技术标准是根据一个时间阶段的技术水平制定的,因此它只能反映该时期的技术水平,具有暂时相对的稳定性。随着科学技术的发展,可能原有的标准不但不能满足技术水平发展的需要,而且还会限制和束缚技术的发展。因而,技术标准应根据技术发展的速度与要求不断进行修订。我国约在五年左右修订一次技术标准。

三、国际标准化组织 ISO

国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO),是世界最大的非政府性标准化专门机构,是国际上范围与作用最大的标准组织之一。ISO 的主要任务是促进全球范围内的标准化及其有关活动,以利于国际间产品制订国际标准;协调世界范围内的标准化工作;报导国际标准化的交流情况以及与其他国际性组织合作研究有关标准化问题等。我国是国际标准化协会成员国,当前我国各项技术标准正向国际标准靠拢,这将有利于科学技术的交流与提高。我国评价水泥强度等级的胶砂强度试验方法采用了 ISO 标准。

第二节 国家法定计量单位^①

一、法定计量单位的构成

《中华人民共和国计量法》(以下简称《计量法》)明确规定,我国实行法定计量单位制度。国家法定计量单位是政府以法令的形式,明确规定要在全国范围内采用的计量单位。我国于 1984 年发布了《关于在我国统一实行法定计量单

^① 部分内容引自参考文献[5]。

位的命令》，同时要求逐步废除非国家法定计量单位。国家法定计量单位是统一我国单位制和量值的依据。

《计量法》规定：国家采用国际单位制。国际单位制计量单位和国家选定的其他计量单位，为国家法定计量单位。国际单位制是我国法定计量单位的主体，国际单位制如有变化，我国国家法定计量单位也将随之变化。实行法定计量单位，对我国国民经济和文化教育事业的发展，推动科学技术的进步和扩大国际交流均有重要意义。土木工程材料试验过程涉及的计量单位均使用国际单位制或国家选定的非国际单位制单位。

1. 国际单位制计量单位

国际计量委员会采用米、千克、秒、安培、开尔文、摩尔和坎德拉作为基本单位，并将其实用计量单位制命名为“国际单位制”，并规定其符号为“SI”。

SI 由于结构合理、科学简明、方便实用，适用于众多科技领域和各个行业，可实现世界范围内计量单位的统一，已成为科技、经济、文教、卫生等各界的共同语言。

(1) 国际单位制的构成

国际单位制的构成如图 1-1 所示。

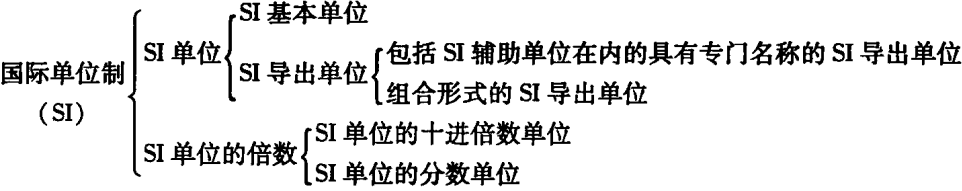


图 1-1 国际单位制(SI)的构成示意图

(2) SI 基本单位

SI 基本单位是 SI 的基础，其名称和符号见表 1-2。

表 1-2 SI 基本单位

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

(3) SI 导出单位

导出单位是用基本单位以代数形式表示的单位。为了读写和应用的方便,并且便于区分某些具有相同量纲和表达式的单位,在历史上出现了一些具有专门名称的导出单位。SI 选用了 21 个导出单位,如表 1-3 所示。SI 导出单位的单位符号和表示式可以等同使用。例如:力的单位牛顿(N)和千克米每二次方秒($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$)是完全等同的。

表 1-3 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	$1 \text{ rad} = 1 \text{ m}/\text{m} = 1$
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	$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m}/\text{s}^2$
压力,压强,应力	帕[斯卡]	Pa	$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N}/\text{m}^2$
能[量],功,热量	焦[耳]	J	$1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}$
功率,辐射通量	瓦特	W	$1 \text{ W} = 1 \text{ J}/\text{s}$
电荷[量]	库仑	C	$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot \text{s}$
电压,电动势,电势	伏特	V	$1 \text{ V} = 1 \text{ W}/\text{A}$
电容	法拉	F	$1 \text{ F} = 1 \text{ C}/\text{V}$
电阻	欧姆	Ω	$1 \Omega = 1 \text{ V}/\text{A}$
电导	西门子	S	$1 \text{ S} = 1 \Omega^{-1}$
磁通(量)	韦伯	Wb	$1 \text{ Wb} = 1 \text{ V} \cdot \text{s}$
磁通密度,磁感应强度	特斯拉	T	$1 \text{ T} = 1 \text{ Wb}/\text{m}^2$
电感	亨利	H	$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb}/\text{A}$
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	$1 \text{ lx} = 1 \text{ lm}/\text{m}^2$
放射性活度	贝克勒尔	Bq	$1 \text{ Bq} = 1 \text{ s}^{-1}$
吸收剂量	戈瑞	Gy	$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J}/\text{kg}$
剂量当量	希沃特	Sv	$1 \text{ Sv} = 1 \text{ J}/\text{kg}$

(4) SI 单位的倍数单位

SI 导出单位在实际使用时,量值的变化范围很宽,仅用 SI 单位来表示量值并不方便。为此,SI 中规定了 20 个构成十进倍数和分数单位的词头所表示的因数。这些词头既不能单独使用,也不能重叠使用,它们仅用于与 SI 单位(kg 除外)构成 SI 单位的十进倍数单位和十进分数单位。书写过程中相应于因数 10^3 (含 10^3) 以下的词头符号必须用小写正体,等于或大于因数 10^6 的词头符号必须用大写正体。从 10^3 到 10^{-3} 是十进位,其余是千进位。详见表 1-4。SI 单位加上 SI 词头后两者结合为一整体称为 SI 单位的倍数单位,或者叫 SI 单位的十进倍数或分数单位。

表 1-4 用于构成十进倍数和分数单位的词头

所表示的因数	词头名称	词头符号
10^{24}	尧[它]	Y
10^{21}	泽[它]	Z
10^{18}	艾[可萨]	E
10^{15}	拍[它]	P
10^{12}	太[拉]	T
10^9	吉[咖]	G
10^6	兆	M
10^3	千	k
10^2	百	h
10^1	十	da
10^{-1}	分	d
10^{-2}	厘	c
10^{-3}	毫	m
10^{-6}	微	μ
10^{-9}	纳[诺]	n
10^{-12}	皮[可]	p
10^{-15}	飞[母托]	f
10^{-18}	阿[托]	a
10^{-21}	仄[普托]	z
10^{-24}	幺[科托]	y

2. 国家选定的非 SI 的单位

在日常生活和一些特殊领域,还有一些广泛使用的、重要的非 SI 单位不能废除,尚需继续使用。因此,我国选定了若干非 SI 单位与 SI 单位一起,作为国家法定计量单位,它们具有同等的地位,详见表 1-5。

表 1-5 国家选定的非国际单位制单位

量的名称	单位名称	单位符号	换算关系和说明
时间	分	min	$1 \text{ min} = 60 \text{ s}$
	[小]时	h	$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3600 \text{ s}$
	天(日)	d	$1 \text{ d} = 24 \text{ h} = 86400 \text{ s}$
平面角	[角]秒	"	$1'' = (\pi/64800) \text{ rad}$
	[角]分	'	$1' = 60'' = (\pi/10800) \text{ rad}$
	度	°	$1^\circ = 60' = (\pi/180) \text{ rad}$
旋转速度	转每分	r/min	$1 \text{ r/min} = (1/60) \text{ s}^{-1}$
长度	海里	n mile	$1 \text{ n mile} = 1852 \text{ m}$ (只用于航程)
速度	节	kn	$1 \text{ kn} = 1 \text{ n mile/h} = (1852/3600) \text{ m/s}$ (只用于航行)
质量	吨	t	$1 \text{ t} = 10^3 \text{ kg}$
	原子质量单位	u	$1 \text{ u} \approx 1.660540 \times 10^{-27} \text{ kg}$
体积	升	L, (l)	$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
能	电子伏	eV	$1 \text{ eV} \approx 1.602177 \times 10^{-19} \text{ J}$
级差	分贝	dB	
线密度	特[克斯]	tex	$1 \text{ tex} = 10^{-6} \text{ kg/m}$
面积	公顷	hm ²	$1 \text{ hm}^2 = 10^4 \text{ m}^2$

我国选定的非 SI 单位包括 10 个由 CGPM 确定的允许与 SI 并用的单位,3 个暂时保留与 SI 并用的单位(海里、节、公顷)。此外,根据我国的实际需要,还选取了“转每分”、“分贝”和“特克斯”三个单位,一共 16 个 SI 基本单位,作为国家法定计量单位的组成部分。

二、法定计量单位的使用规则

1. 法定计量单位名称

有关单位的名称及其简称也有明确的规定,简称在不致混淆的情况下可等效它的全称使用。例如,在一些十进倍数单位中,如只用“毫安”而不用“毫安培”,但也不排斥使用“毫安培”。

组合单位的名称与其符号书写的次序一致。符号中的乘号没有对应名称,符号中的除号对应名称为“每”,无论分母中有几个单位,“每”只在除号的地方出现一次。例如,加速度 SI 单位的符号是 m/s^2 ,其名称为“米每二次方秒”而不是“米每秒每秒”;电能量的常用单位符号 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 名称应为“千瓦小时”。

乘方形式的单位名称,其顺序是指数名称在单位的名称之前,相应指数名称由数字加“次方”二字而成。例如,断面惯性矩单位符号 m^4 的名称应为“四次方米”。

指数为“-1”的单位,或分子为“1”的单位,其名称是以“每”字开头。例如,线膨胀系数的 SI 单位 $^{\circ}\text{C}^{-1}$ 或 K^{-1} ,其名称为“每摄氏度”或“每开尔文”。

如果长度的 2 次和 3 次幂是指面积和体积,则相应的指数名称为“平方”和“立方”,并置于长度单位的名称之前。

书写单位名称时,在其中不应加任何表示乘或除的符号或其他符号。例如,力矩的 SI 单位 $\text{N} \cdot \text{m}$ 的名称写为“牛顿米”,也可简写为“牛米”。

2. 法定计量单位符号

计量单位的符号分为单位符号(即国际通用符号)和单位的中文符号(即单位名称的简称),一般推荐使用单位符号。十进制单位符号应置于数据之后,单位符号按其名称或简称读,不得按字母读音。

单位符号字母一般为小写体,但如果单位名称来源于人名者,符号的第一个字母为大写体。单位符号后,不得附加任何标记,也没有复数形式。

组合单位符号书写方式举例及其说明见表 1-6。

表 1-6 组合单位符号书写方式举例

单位名称	符号的正确书写方式	错误或不当的书写方式
牛顿米	$\text{N} \cdot \text{m}$, Nm 牛·米	$\text{N}-\text{m}$, mN 牛-米, 牛米
米每秒	m/s , $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, $\frac{\text{m}}{\text{s}}$ 米·秒 ⁻¹ , 米/秒, $\frac{\text{米}}{\text{秒}}$	ms^{-1} 秒米, 米秒 ⁻¹