

电工技术手册

第 2 卷

日本电气学会

机械工业出版社

电工技术手册

第 2 卷

日本电气学会



机械工业出版社

本书是日本电气学会组织编辑出版的《电工技术手册》(1978年第5版)的中译本。原书初版于1928年问世,迄今已改版4次。在有关电工技术的综合性工具书中,它是一部较有影响的手册,在内容广泛、综合性强等方面是颇具特色的。

全书共36篇,分4卷出版。本书是《电工技术手册》的第2卷设备部分,包括电线电缆,直流电机,同步电机,异步电机及交流换向器电机,旋转电机通论及特殊电机,变压器、电抗器和电容器,整流器和变流装置,开关设备、继电保护装置与控制装置等8篇。

本书可供从事电工技术及其他有关的广大科技人员、大专院校有关专业师生及其他有关人员参考使用。

31127/21

電気工学ハンドブック

編集兼 社団法人 電気学会
発行所

1978

* * *

电工技术手册

第2卷

日本电气学会

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

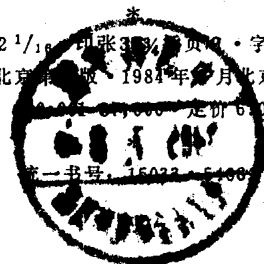
建筑工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092 1/16 印张 33 1/2 插页 12 · 字数 1054 千字

1984年8月北京第1版·1984年8月北京第一次印刷

印数 0001-61,000 定价 6.95 元



翻 译 序 例

一、本书是日本电气学会组织编辑出版的《电工技术手册》（電気工学ハンドブック）1978年第5版的中译本。原著初版于1928年问世，经历四次改版，已有半个多世纪的历史。在有关电工技术的综合性工具书中，它是一部有影响的书籍，其内容涉及的专业领域很宽，汇集的资料十分丰富，这是该书的一个显著特色。

二、科学技术的发展速度日益迅猛，学科之间相互渗透，促进了边缘学科的不断出现和科学技术综合性的大大加强。电工技术领域也和其他领域一样不断地发生深刻的变化。客观形势的发展不但要求科技人员掌握大量新知识、新理论、新成就和新应用，同时在从事本专业生产技术和科研过程中也要求十分重视科学技术综合性的研究与学习。本书的另一特色，就是着眼于反映和体现这种日益加强的综合性的客观要求。该书对促进日本科学技术的提高和发展所起的作用，原序对此的评价是十分肯定的。

我国正在向科学技术现代化进军，广大读者迫切需要从这一类综合性的工程技术手册中广泛了解各个有关的不同分支的专业知识，因此翻译此书不仅是读者的期望，也是我国科学技术发展的需要。

三、译文中的科学技术名词、术语，尽量以我国电工名词术语国家标准编审委员会、中国科学院和各学科有关部门审定的为正名。尚未经审定统一的名词、术语，则参照我国自编的《电机工程手册》和《机械工程手册》所采用的或有关专业所常用的名词。个别虽经审定，但译、校者认为需要更正者，根据译校者意见译出。

四、少量工程技术名词术语，其译名虽与我国常用名词术语相同，但由于日本工业标准与我国国家标准有差别（如电压等级、防爆规范等），其内涵不完全相同。为避免与我国习用概念相混淆，在首次出现时，一般用呼应注加以说明。

五、单位、代号、符号（包括数学、理化符号、图形符号等）一律采用原书所采用的，未加改变。

六、译、校中发现原文的错误，如属于内容上的错误，由译、校者加注说明。如明显属排印的错误，则由译、校者或编者直接改正，不逐一加注。

七、原书的图和表图中的日语汉字或假名一般均译出，个别图中的日语汉字和假名由于制版技术上的原因，按原图未作转译。

八、少量译文和译名由于不同的原因，采取了以下的处理方式：少量译文在保持原文真意的前提下，对原文采取必要的意译加工；对年代译法如昭和××年代，由于较难转译，仍译为昭和××年代，未加勉强转译为公元××年代；对原文中出现的“我国”处，仍译为“我国”，未译成“日本国”，但译者注中的“我国”是指“中国”而言；对外来语音译的名词或名称，一般均注有外来语原文，但也有个别的因有困难未曾注出。

九、原书索引按汉语拼音字母顺序重新排列，其中对重复的主标题和副标题作了必要的删节。

十、本书涉及的知识面很宽，有的内容较新，翻译这样的大型综合性电工技术手册，实践经验很少，我们的水平有限，译文中错误在所难免，热忱欢迎读者批评指正。

序

值此电气学会出版《电工技术手册》新版之际，由衷感到不胜欣幸。对以改版委员会委员长山村昌先生、干事长関根泰次先生为首的有关同仁，经过共同努力，克服种种困难，完成这项重大工作，表示衷心的感谢。

电气学会综合编辑的有关电工技术各专业的电工技术袖珍手册第一版(A 6 版)，于昭和 3 年(1928年) 8 月公开出版，至今恰好已有五十年。昭和 9 年(1934年) 12 月进行第一次改版时，将其改为 B 6 版。从昭和 17 年(1942年) 7 月起曾计划进行增订，但由于战争、印刷厂烧毁等原因，出版中断。战后不久，于昭和 23 年(1948年)末，正式进行了手册内容的修订，昭和 26 年(1951年) 7 月将其改称为电工技术手册，并改为 A 5 版出版。昭和 31 年(1956年) 2 月又对手册进行了部分修订与补充。至昭和 40 年(1965年)，进行全面修订的时机已告成熟，为此，编集了 36 篇具有广泛内容的大手册，并采用先进的装帧技术，于昭和 42 年(1967年) 出版发行。这部 B 5 版 2000 页大手册的内容和形式在一般书刊中是罕见的。近十年来，由于技术的迅速发展，要求手册内容加以全面更新，因此，组织此次修订，并改编成新版。上述历史表明，电工技术手册的编辑出版和改版是电气学会的基本工作之一。作为当代的标志，本书搜集了电工技术有关的各项技术，这些内容可以作为参考资料和教科书或作为百科全书和查找有关问题的索引，有时也可作为专业指南书用，是电工技术人员和其他广大工程技术人员的常备工具书。由于其内容新颖正确，不仅从初学者到专家均可从中得到教益，而且对手册拥有者的作用，相当于收藏了具有无限信息量的有形和无形的记忆单元。

这样一部综合手册的编辑，是在严谨认真的基础上，通过很多不同专业的学者和技术人员同心协力而取得的硕果，它与单纯求快的技术快报等不同，手册内容的取材是直接以读者所密切相关的内容为前提。上次修订时，我国正处于经济高速增长的全盛时期，而这次修订，适逢石油价格猛涨，开始出现不景气的时期，尽管如此，这次改编的总篇数和页数仍和上一版保持相同的水平，但手册所收集的内容是极为有用的，其使用价值也将是无法估量的。最后，对承担编辑的各位同仁的努力再次表示谢意，并希望应用本手册的读者，能使它开拓多方面的用途。

电气学会会长 宫地巖

昭和 53 年(1978 年) 3 月

改版致词

电工技术手册从第一版发行至今正好半个世纪,随着电工技术的发展,手册也得到发展。在此期间曾对手册进行四次修订或改版工作,平均每十年修订一次。上次改版是昭和42年(1967年),现在又到改版时期。

为适应十年来电工技术的发展,各篇的组成改变如下:考虑到电线和电缆的重要性,从旧版第7篇电气材料中分出,新增第11篇为电线电缆。旧版第32篇电子计算机经充实内容后,改为第8篇电子计算机与信息处理。旧版第16篇自动控制,经扩充内容改为第7篇控制与系统。为适应核能的重要性,旧版第21篇核能发电和特殊发电,经充实新的内容后,单独列为第23篇核能发电。旧版第29篇电气化铁路,因其范围扩大并充实现代化内容,改为第31篇电气化铁路和交通管制。删去了旧版第35篇土木建筑工程。总篇数与旧版相同,仍为36篇。为适应电工技术的发展,对其余未改篇名的各篇,也作了相当多的改写。

变动之一是单位制。旧版采用 MKS 有理化单位,新版原则上采用国际单位制(SI 单位制)。SI 单位制在 IEC 标准和 ISO 标准中均已采用,我国 JIS 标准中也已开始采用。可以预见,将来国际上必将广泛采用统一的 SI 单位制,因此,在原稿开始执笔前为对这个问题进行研究,设置了单位制专题组,明确引用 SI 单位制所产生的问题,对因引用 SI 单位制而导致不便之处,可作例外处理。

旧版发行以来的十年间,我们正处于高速发展的时代,而世界各国的技术也正在迅速发展。本书是依靠第一线 386 名技术人员和研究人员拟订方案、执笔和编辑,把这期间电工技术的进展充分反映到新版里。为了避免过多地增大篇幅,保持手册的特色,对改写的各篇篇幅作了适当的分配,使篇幅只增加 5%。

版本大小和旧版相同,仍为 B 5 版,但采用了先进的印刷技术。为力求降低成本,编辑和索引编制中采用了计算机技术。

工程技术是依靠不断的积累贮备而保持其进展。贮备有各种形式,电工技术手册则是最重要贮备场所之一。它的特点在于任何人都能选取信息,便于应用。这部手册卷帙浩瀚,内容之广,质量之高,即使从世界范围来看,亦未有伦比者。电工技术手册不仅在电工技术领域内,而且对广大社会的贡献亦将很大,为此,希望新版电工技术手册能进一步得到多方面的灵活应用。

在进行改版工作期间,学会和我国都处于经济困难时期,前途莫测,困难重重。但由于拟订方案、执笔、编辑和印刷等有关各位同仁的努力,以致对资金的筹措也制订了细致的计划,因此,终于克服困难,顺利完成修订工作,令人不胜喜悦。最后衷心致以谢意。

电工技术手册改版委员会

委员长 山村昌

昭和53年(1978年)3月

凡 例

1. 手册内容资料丰富, 文字说明力求简洁明瞭, 避免教科书式记叙。
2. 对历史记叙原则上已尽量作了省略, 对必须记叙的事物发展过程也只简单记叙。
3. 文中平假名和口语体(现代假名法)混合使用, 尽量使用当用汉字。
4. 外来语名词中, 熟知的用汉字和片假名表述, 其他的用原文表述。某些熟知的缩写的外来语名词, 仍用缩写字表述。
5. 术语采用文部省编的《学术用语集》和《电气学会专门用语集》中统一术语, 但对特殊情况未能统一的术语, 力求做到各篇内统一。
6. 单位原则上采用国际单位制(简称 SI), 特殊情况也有采用 MKSA 有理化单位。
7. 单位代号和缩写采用日本工业标准 JIS Z 8203 规定, 量的符号采用 JIS Z 8202 规定(见表 A)。此外, 某些熟知的缩写单位仍用原有的缩写单位。
8. 数学符号采用表 B 所列符号。
9. 图形符号主要采用 JIS C 0301(电气线路图符号)规定的符号。但是尚未规定的符号, 尽可能采用常用的符号(见表 C)。
10. 章、节、项的序号用点分隔的方式来区分, 图、公式、参考文献的序号按各篇分别统一编号。
11. 文中参见本篇的章、节、项用相应的数字来表示, 参见其他篇时, 在表示章、节、项的相应的数字前加上第××篇。
12. 参考文献列于各篇的最后。其中对杂志和其他文献均按惯用缩写号方式表述, 而其他读物则简略到不致于读错。
13. 文中有的地方也列出了注册商标名, 但未一一具体指明。另外, 文中所列有关设备等的价格图或表, 只表示其中一例, 未必是标准的。
14. 索引包括日语和其他文字两部分, 其他文字部分中收入有以英文、希腊字母或符号开头的词:
 - ①排列次序, 根据五十音图顺序, 按片假名、平假名(按清音、浊音、半浊音的次序排列)、汉字的顺序集中排列。以同一汉字开头的词集中按读音顺序排列。
 - ②——表示主标题, ()表示说明语。
 - ③采用音读和训读两种读法时或即使用英文开头的词, 广泛采用假名读法者, 仍须参阅两种词。
15. 附于索引中术语的英文虽然采用比较确切的《学术用语集》、国际电工委员会编的《国际电工辞典》中规定的英文名词, 但未确定的英文名词术语很多, 所以所有的英文名词术语未必都是标准的。
16. 主编和执笔者的工作单位已有一些变化, 文中所记的是根据执笔时所在的工作单位和所担任的工作。

表 A 国际单位制 (SI) 及符号

量的名称	单位的名称	单位的符号	量的符号
平面角, 弧度	弧度	rad	$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta, \varphi$
立体角	球面度	sr	Ω, ω
长度	米	m	l
面积	米 ²	m ²	A, S
体积	米 ³	m ³	V, v
时间	秒	s	t
角速度	弧度/秒	rad/s	ω
角加速度	弧度/秒 ²	rad/s ²	α
速度, 线速度	米/秒	m/s	u, v, w, c
加速度	米/秒 ²	m/s ²	a
频率	赫(兹)	Hz	f, ν
转速	转/秒	s ⁻¹	n
衰减常数	1/秒	s ⁻¹	δ
衰减常数	1/米	m ⁻¹	α
质量	千克, 吨	kg, t	m
线密度	千克/米	kg/m	ρ_l
密度, 浓度	千克/米 ³	kg/m ³	ρ
动量	千克·米/秒	kg·m/s	p
力	牛(顿)	N	F
力矩	牛·米	N·m	M
压力	帕(斯卡)	Pa	P
应力	帕(斯卡), 牛/米 ²	Pa, N/m ²	σ
粘度	帕·秒	Pa·s	η, μ
压缩系数	1/帕, 米 ² /牛	Pa ⁻¹ , m ² /N	κ
表面张力	牛/米	N/m	σ, γ
功, 能	焦(耳)	J	A, W
热力学温度	开(尔文)	K	T, θ
摄氏温度	摄氏度或度	°C	t, θ, δ
线(膨)胀系数	1/开	K ⁻¹	α
热量	焦(耳)	J	Q
热导率(导热系数)	瓦/(米·开), 瓦/(米·度)	W/(m·K), W/(m·°C)	K, λ
传热系数	瓦/(米 ² ·开), 瓦/(米 ² ·度)	W/(m ² ·K), W/(m ² ·°C)	h, K, U, a
热容	焦/开, 焦/度	J/K, J/°C	C
比热容	焦/(千克·开), 焦/(千克·度)	J/(kg·K), J/(kg·°C)	c
电流	安(培)	A	I
电量, 电荷	库(仑)	C	Q
电荷体密度	库/米 ³	C/m ³	ρ, η
电荷面密度	库/米 ²	C/m ²	σ
电场强度	伏/米	V/m	E, K
电势(电位)	伏	V	V, φ, ϕ
电势差(电位差), 电压	伏	V	U, V
电动势	伏	V	E
电通量	库(仑)	C	Ψ
电容	法(拉)	F	C
电容率(介电常数)	法/米	F/m	ϵ
电极化强度	库/米 ²	C/m ²	P, D_i

(续)

量的名称	单位的名称	单位的符号	量的符号
电偶极矩	库·米	C·m	P, p_e
电流密度	安/米 ²	A/m ²	J, S
电阻	欧(姆)	Ω	R
电抗	欧(姆)	Ω	X
阻抗	欧(姆)	Ω	Z
电导	西(门子)	S	G
电纳	西(门子)	S	B
导纳	西(门子)	S	Y
电阻率	欧·米	$\Omega \cdot m$	ρ
电导率	西/米	S/m	γ, σ
电感, 自感	亨(利)	H	L
互感	亨(利)	H	M_{12}, L_{12}
损失角	弧度	rad	δ
有功功率	瓦(特)	W	P
无功功率	乏	var	Q, P_q
表观功率	伏安	VA	S, P_s
功率因数			P_f
磁场强度	安/米	A/m	H
磁势差(磁位差)	安	A	U_m, U
磁通密度, 磁感应强度	特(斯拉)	T	B
磁通量	韦(伯)	Wb	Φ
磁导率	亨/米	H/m	μ
磁偶极矩	牛·米 ² /安, 韦·米	N·m ² /A, Wb·m	j
磁阻	1/亨, 安/韦	H ⁻¹ , A/Wb	R, R_m
磁导	亨(利)	H	A, P
光通量	流(明)	lm	Φ, Φ_v, F
光量	流·秒	lm·s	Q, Q_v
光照度	勒(克司)	lx	E, E_v
光强度	坎(德拉)	cd	I, I_v
光亮度	坎/米 ²	cd/m ²	L, L_v
波长	米	m	λ
频率, 振动量子数	赫(兹)	Hz	f, ν
声强度	瓦/米 ²	W/m ²	I, J

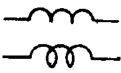
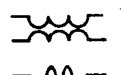
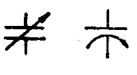
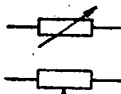
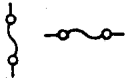
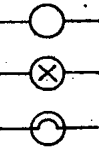
表 B 数学符号

正、负	$\pm$	极 限	$\lim$
负、正	$\mp$		$x \rightarrow 0$
乘	$\times$ 或 $\cdot$	自然对数的底	e
等于	$=$	平面角	$\angle \theta, \widehat{ABC}$
不等于	$\neq$	自然对数	$\log_e$
约等于	$\approx$	常用对数	$\log_{10}$
大于	$>$	正 弦	$\sin$
小于	$<$	余 弦	$\cos$
大于或等于	$\geq$	正 切	$\tan$
小于或等于	$\leq$	余 切	$\cot$
恒等于	$\equiv$	正 割	$\sec$
恒不等	∇	余 割	$\csc$
成正比	$\propto$	反 正 弦	$\sin^{-1}$
无穷大	∞	反 余 弦	$\cos^{-1}$
阶 乘	$!$	双曲正弦	$\sinh$
总 和	$\sum_{k=1}^n$	双曲反正弦	$\sinh^{-1}$

单位制用的十进词头代号

倍 数	词头名称	代 号	倍 数	词头名称	代 号	倍 数	词头名称	代 号
10^{12}	太〔拉〕	T	10	十	da	10^{-9}	纳〔诺〕	n
10^9	吉〔咖〕	G	10^{-1}	分	d	10^{-12}	皮〔可〕	p
10^6	兆	M	10^{-2}	厘	c	10^{-15}	飞〔姆托〕	f
10^3	千	k	10^{-3}	毫	m	10^{-18}	阿〔托〕	a
10^2	百	h	10^{-6}	微	μ			

表 C 电气图图形符号 (摘自 JIS C 0301)

基本图形符号					
名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
直 流 电	—	可变电阻或 可变电阻器		交流电源(一般)	
交 流 电	~	电感或电磁线圈		发 电 机	
频 率	AAA	可变电感		电 动 机	
表示联动的 一般图形符号	---	有铁心的电感 有铁心的线圈		设备或装置	
导线(一般)	—	互 感		仪 表	
导线的分支线	├	电容或电容器		避 雷 器	
互相连接的 交叉导线	⊕	可变电容或 可变电容器		放电保护间隙	
不连接的 跨越导线	⊕	可变电抗		熔 断 器	
端 子	○ ●	电池或直流电源 (一般)		热 电 偶	
束 线				灯	
接 地	⊥			示波器测量元件	
电阻或电阻器					

电工系统图图形符号

名 称	图 形 符 号		名 称	图 形 符 号	
	单 线	多 线		单 线	多 线
1. 旋转电机					
并励直流 发 电 机			同步发电机		
并励直流 电 动 机			异步电动机 (一般)		
串励直流 发 电 机			电动发电机组		
串励直流 电 动 机					
复励直流 发 电 机			2. 变 压 器		
复励直流 电 动 机			变压器(一般)		
单相变压器					

(续)

名 称	图 形 符 号		名 称	图 形 符 号	
	单 线	多 线		单 线	多 线
三相变压器			汞弧整流器 (一般)		
三相有载 调压变压器			4. 仪用电压互感器和电流互感器		
单相自耦 变 压 器			仪用电压 互 感 器 (一般)		
三相自耦 变 压 器			电流互感器		
单相感应 调 压 器					
三相感应 调 压 器					
3. 整 流 器			5. 配电盘安装器件		
整流器(一般)			电流表用 分 流 器		
整流器 (桥式联结)			6. 电 力 触 点		
			触点(一般) 或手动触点	a 触 点	b 触 点
可控整流元件	P 门极	n 门极	手 动 操 作 自 动 复 位 触 点		
			机 械 触 点		
			继 电 器 触 点 或 辅 助 开 关 触 点		

(续)

电磁接触 器触点	a 触点	b 触点	名 称	图 形 符 号
			过电压继电器	
7.开关和控制装置			方向继电器	
名 称	图 形 符 号		功率方向 继 电 器	
	单 线	多 线	无功功率 继 电 器	
开关(一般)			差动继电器	
隔 离 开 关 (一般)			9.仪 表	
刀 开 关			电 流 表	
空气断路器 (一般)			电 压 表	
直流快速 开 关			功 率 表	
交流断路器 (一般)			电 度 表	
拨动式开关 或转换开关			无功功率表	
8.继 电 器			10.发电厂、变电所	
名 称	图 形 符 号		发电厂(一般)	
继电器(一般)			水力发电厂	
短路继电器			火力发电厂	
接地继电器			核 电 站	
电流继电器			变 电 所	
过电流继电器			开 关 站	
过负荷继电器			11.故 障 表 示	
			故障(一般)	
			单相接地	

电气通信用图图形符号电路元件

名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
三 极 管 (直热式阴极)		npn 型晶体管	
五极管和射束功率管		单结晶体管 (P 型基极)	
冷阴极二极放电 管和稳压放电管		单结晶体管 (n 型基极)	
氛 管		pn-p 光电三极管	
引 燃 管		光电二极管	
光 电 管		发光二极管	
二极管和整流器 (一般)		光电耦合管	
变容二极管		闭合触点	
隧道二极管		分断触点	
pn-p 型晶体管		转换触点	

目 录

第1章 导体及裸电线11-1

- 1.1 裸电线的种类、性能及规格11-1
- 1.2 铜与铜系电线11-4
- 1.3 铝与铝系电线11-9
- 1.4 铁线与钢线11-14
- 1.5 裸电线的载流量11-14

第2章 绝缘电线11-16

- 2.1 绝缘电线的概况11-16
- 2.2 电磁线11-16
- 2.3 配电用电线11-20
- 2.4 控制、信号电缆11-23
- 2.5 橡皮绝缘软电缆11-24
- 2.6 软线11-29
- 2.7 机器内部配线用电线11-31
- 2.8 船用电线11-34
- 2.9 汽车用电线11-34
- 2.10 特种电线11-35
- 2.11 绝缘电线的载流量11-36

第3章 电力电缆11-37

- 3.1 品种与结构11-37
- 3.2 结构材料11-38
- 3.3 OF(充油)电缆与其他压力式电缆11-39
- 3.4 橡皮、塑料电力电缆11-41
- 3.5 特殊电缆11-41
- 3.6 电气性能11-42
- 3.7 标准规格11-43

第4章 通信电缆11-45

- 4.1 通信电缆的概况11-45
- 4.2 市内电话电缆11-47
- 4.3 长途电话电缆11-49
- 4.4 同轴电缆11-50
- 4.5 海底电缆11-52
- 4.6 其他通信电缆11-52
- 4.7 新的大容量通信线路11-53

参考文献11-54

第1章 导体及裸电线

1.1 裸电线的种类、性能及规格

1.1.1 按材料分类

(a) 单金属线 由一种金属做成的线称为单金属线，常用的有铜、铝和铁等。

(b) 合金线 用合金材料制造的线为合金线。有铜合金线、铝合金线。根据各种用途而被采用的尚有银铜线及耐热铝合金线等。

(c) 复合金属线 用包覆、压接、焊接、电镀等方法在一种金属线外包覆另一种金属制成的复合金属线有铜包钢线、铝包钢线等。

按不同材料裸电线的物理性能如表1所示。

1.1.2 按结构分类

(a) 单线 细长的金属圆线或条带称作单

线。截面的形状一般为圆形，异形的还有方形、扁平形、开槽形等。

(b) 绞线 把单线绞合而成的线称作绞线。

此时的单线称作素线，素线大多使用圆形的。

(1) 同心绞线 最普通的绞线是用一根或几根素线作中心，在其周围按同心圆状再将其余素线绞合几层而成，一般中心采用一根线。各层绞线绞合方向一般是相互交替，但在特殊的场合也可同方向绞合。还广泛使用两种以上不同材料的素线来绞合的组合绞线。特别是在镀锌钢线上绞合铝线的钢芯铝绞线(ACSR)大量地在架空线上使用。

当中心线是一根，各素线的直径相同的同心绞线的各种性能可按下式表示。

$$\text{素线总数 } N = 3n(1 + n) + 1$$

表1 裸电线的物理性能

物理性能 品种	电导率 (%)	电阻率(20°C)		电阻温度 系数 (20°C)	密度 (g/cm³)	抗拉强度 (kgf/mm²)	弹性极限 (kgf/mm²)	弹性系数 (kgf/mm²)	熔点 (°C)	线膨胀系数 (1/°C)	比热
		体积电阻 (μΩ·cm)	每克·米线的 电阻 (Ω/20°C)								
国际标准软铜	100	1.7241	0.15328	0.00393	8.89	—	—	—	—	—	—
软铜线	101~97	1.7070 1.7774	0.15176 0.15802	0.00397 0.00381	8.89	25~29.5	14.2~11.2	5000~12000	1083	0.000017	0.094
硬铜线	98~96	1.7593 1.7958	0.15640 0.15966	0.00385 0.00377	8.89	34~48	17.5~31.5	9000~12500	—	0.000017	—
硅铜线	50 45	3.4482 3.8313	0.30655 0.34061	0.00197 0.00177	8.89	50~70	28~45	10000~13000	—	0.000017	—
银铜线	96	1.7958	0.15966	0.00381	8.89	34~50	17.5~31.5	9000~12500	1083	0.000017	0.098
硬铝线	61	2.8265	0.07631	0.0040	2.70	15~17	约9.8	约6300	—	—	—
I号铝合金线	52	3.3156	0.08952	0.0036	2.70	31.5以上	约20	约6500	—	—	—
高强度铝合金线	58	2.9726	0.08026	0.0038	2.70	23~26	约15	约6500	658.7	0.00023	0.212
60耐热铝合金线	60	2.8735	0.07759	0.0040	2.70	15~17	约9.8	约6300	—	—	—
58耐热铝合金线	58	2.9726	0.08026	0.0038	2.70	15~17	约9.8	约6300	—	—	—
镀锌铁线	13以上	14.368	1.12069	0.005	7.80	35~45	17.5~39.5	17500~20500	约1400	0.000012	—
镀锌钢线	12~8	21.552	1.68103	0.005	7.80	55~100	27.5~65.0	—	—	—	—
钢芯铝绞线用 镀锌钢线	—	—	—	—	7.80	125~140	70~95	约21000	1360	0.0000115	—
铜包钢线	40 30	4.3971 5.8623	0.35345 0.46839	0.0038	8.20 8.15	80~110 100~130	—	约16900	—	0.000013	—
铝包钢线	20.3	8.4931	0.55971	0.0036	6.59	100~140	—	约16500	—	0.000013	—

绞线外径 $D = (1 + 2n) d$

绞线截面积 $S = sN$

绞线重量 $W = N(1 + k_1) w$

绞线拉断力 $T = k_2 tN$

绞线电阻 $R = r(1 + k_1)/N$

式中 n : 层数; d : 素线直径; s : 素线的截面积; w : 素线的重量; t : 素线的拉断力; r : 素线的电阻; k_1 : 绞入系数; k_2 : 损失系数。

其中 k_1, k_2 随绞线的结构不同而变化。

绞线的绞合节距与绞入系数的关系可按式计算。

$$\begin{aligned} \text{绞入系数} &= \frac{x}{p} - 1 = \sqrt{\left(\frac{\pi D'}{p}\right)^2 + 1} - 1 \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{\pi D'}{p}\right)^2 - \frac{1}{8} \left(\frac{\pi D'}{p}\right)^4 \\ &\quad + \dots \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\pi D'}{p}\right)^2 \end{aligned}$$

式中 p : 绞线的绞合节距; x : 一个节距长度内素线的展开长度; D' : 绞合层的中心直径。

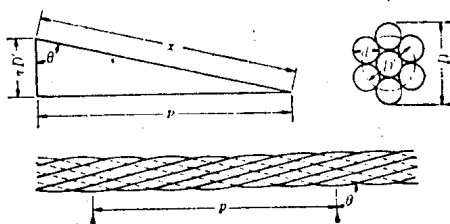


图1 同心绞线

又, 绞入角 θ 可按式求得。

$$\theta = \sin^{-1}(p/x)$$

表2列出绞入系数与绞入角。

(2) 多股绞线 也称为束绞线、捻线, 它是由多根较细的线按同一方向绞合而成。因而各素线不分层, 而是汇集成束。一般用作软电线的线芯。

(3) 复绞线 把几组绞线进一步绞合而成, 常称作绳绞线。这种绞线一般素线较细, 而且根数也较多。

(4) 扁平型绞线 把单线绞合成扁平形而成。

(c) 编织线 有圆形与扁形两种, 它是用多根细单线并在一起然后再紧密编织而成。此处的单线亦称作素线, 成一束而绞合的素线的根数称作根数, 束的数称为股数。股数均为偶数。

绞入系数 $k = \{(1 - L)/L\} \times 100(\%)$

式中 L : 编织线的长度; l : 一个编织长度 L 内一根素线的展开长度。

k 一般为 15~20%。

表2 绞入系数表

$\frac{p}{D'}$	绞入角 θ	绞入系数(%) $\left(\frac{x}{p} - 1\right) \times 100$
1	17°40'	229.8
2	32°35'	86.2
3	43°40'	44.8
4	51°50'	27.5
5	57°52'	18.1
6	62°23'	12.88
7	65°51'	9.6
8	68°35'	7.44
9	70°46'	5.92
10	72°35'	4.82
11	73°59'	4.04
12	75°21'	3.37
13	76°25'	2.88
14	77°22'	2.48
15	78°15'	2.17
16	78°52'	1.91
17	79°33'	1.69
18	80° 5'	1.51
19	80°39'	1.35
20	81° 3'	1.226
21	81°28'	1.113
22	81°52'	1.012
23	82°16'	0.919
24	82°31'	0.853
25	82°50'	0.787
26	83° 7'	0.727
27	83°19'	0.675
28	83°34'	0.628
29	83°46'	0.585
30	84° 3'	0.542

1.1.3 裸电线的规格

(a) 线径表示法 (线规) 在大正 11 年 10 月 19 日决定, 在日本标准规格第 2 号中公布如用米制表示法, 电线的直径的最大规格为 12 mm, 最小为 0.1mm, 在最大与最小规格之间共分 42 档。它与 BS (Brown and Sharp) 或 AWG (American Wire Gauge)、SWG (British Standard Wire Gauge) 及 BWG (Birmingham or Stubbs Wire Gauge) 的线号的比较如表 3 所示。BS (或者 AWG) 线规, 在大正三年以后, 我国曾作为标准线规采用,