

本书详细地论述了电机设计的直接设计方法。书中不仅仅讨论传统电机的设计，而且对特种电机的设计也进行了深入的探讨。新设计方法不但考虑到电机本身的要求，同时全面地考虑了驱动系统中各部分（如电源、控制系统和传动系统）对电机的影响。

全书共计十六章，内容新颖、体系完整、联系实际、很有特色。

本书可供电机设计、自动控制等专业技术人员和大学教师、研究生及高年级学生参考。

POLYPHASE MOTORS

A Direct Approach

Enrico Levi

JOHN WILEY & SONS

* * * 多相电动机直接设计法

[美] E. 列维 著

陈明德 童本正 译

胡崇岳 魏璞琪

*
责任编辑：刘思源 责任校对：张佳

版式设计：霍永明 胡金瑛 责任印制：卢子祥

*
机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

重庆印制一厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*
开本 850×1168 1/32 · 印张 12⁷/₈ · 字数 324 千字

1989年1月庆重第一版·1989年1月重庆第一次印刷

印数0.001—3705册 · 定价：7.60元

*
ISBN 7-111-00654-2/TM·05

译者的话

电机设计虽然是电机工程中的一门较老的学科，但列维教授在本书中指出，它并不是停止不前的，随着电子计算机技术的不断发展，新型功能材料（如超导材料、非晶态合金高导磁率软磁材料、高磁能级钕铁硼永磁材料）和电子元件（如晶体管、集成电路、大功率晶闸管等）的层出不穷，为电机设计和制造开辟了新的途径，带来了新的生机。

本书作者，美国纽约理工学院（POLYTECHNIC INSTITUTE OF NEW YORK）的列维教授（Prof. Enrico Levi）总结了多年的设计经验，改进了传统的电机设计程式，提出了一种较为直接的设计方法。这种方法，是先把电动机仅作为整个系统中的一个部件来研究，同时也研究系统中的其它机电部件，特别是电源转换装置。在这个基础上给出基本的设计概念。基于这个基本原理，把电动机所要求的性能指标，转换成与热极限特性、电磁极限特性和回路参数有关的表达式，从这些关系式直接计算出最合适的几何尺寸。

列维教授作为一个电物理学教授，除了在电机研究领域里有较深的造诣外，还在机电能量转换、磁流体发电原理等方面作过广泛的研究。1981年至1983年，本书译者副研究员陈明德作为中国科学院电工研究所派出的访问学者，曾在列维教授亲自领导的研究小组里工作和学习，并且帮助过教授整理原著的初稿，请教并一起探讨过有关直接设计法的一些概念问题。1984年9月列维教授应邀访华时在中国科学院电工研究所、清华大学、华中工学院等单位介绍了他所提出的这种设计方法，曾得到国内电机专家的关注和好评。为使更多的电气科技工作者了解这一方法，征得教授的同意，着手翻译了这本书，以满足广大读者的需要。列维教

授为能把他的设计思想介绍给中国电机界的同行们，专门为中文版写了序言。

本书第八至十四章由童本正翻译，第十五、十六章由胡崇岳翻译，前言，专用术语和附录由魏璞琪翻译。陈明德翻译了其余部分。胡崇岳、童本正对各章分别作了校对，全书由陈明德统稿并作了认真的审校。

在翻译过程中始终得到列维教授的关注和帮助，在出版过程中得到高庆荣和陈国华等同志的热心支持，在此谨向他们深表谢意。

由于译者水平有限、错误在所难免，敬希读者批评指正。

译 者

中文版序

电能的消耗量标志着一个国家工业化的程度。目前还不能说世界上有哪一个国家的耗电量已达到了饱和的地步，中华人民共和国的情况尤为如此，在今后几年里中国的发电量将会大幅度增长。

目前世界上三分之二的用电负荷是电动机，而多相电动机又占其中的90%以上。从这个统计数据就足以表明，人们应当重视电动机设计。当然，现在对电动机设计感兴趣的另一个重要因素是近年来各种新材料的涌现，如低损耗的非晶态合金、高磁能级的永磁体、还有新型固态开关元件，如金属氧化物半导体场效应晶体管(MOSFET)、可关断晶闸管(GTO)、大规模集成块和逻辑电路。其次无消耗的励磁和调速在驱动系统中被广泛采用，既节能又可靠，降低了成本。由于这些新材料和新技术的开发，使得在空间、水中和陆地的交通运输、自动控制和机器人中的电气装置将会进一步优于气动或液压传动装置。因此在中国出版这本多相电动机的设计是适时的。

中国科学院电工研究所的陈明德副研究员和与他合作的同事们为翻译这本书作了很大的努力，为感谢他们和所有前不久我访问中国时所结识的朋友们，谨以此书奉献。

美国纽约 福勒斯特希尔

恩瑞柯·列维
(Enrico Levi)

1986年5月

前 言

工程设计需要人类心智创造性的劳动，就此意义而言，它不是刻板的计算程序，而是一门艺术。电机设计也不例外。

以前的电机设计运用直观的步骤得出全面的概貌，继而采用试探法逐步得出最佳方案。为得到一个令人满意的结果，就需要进行大量使人厌烦的重复性计算工作。现在计算机的出现固然可以使设计人员从这种繁杂的计算工作中解脱出来，然而这并未给电机设计带来所期望的创新。这是因为大多数电机虽然尺寸不同，但都是按照同样的设计模式制造出来的，所以基本上大同小异。尽管在50年代末期开始有了很好的计算机设计程序，以后又逐步完善，但实际的设计仍很机械，而且许多设计程序被一些主要公司所垄断。因此，计算机的发展对电机设计只起了两个作用：使电机设计人员的求业机会减少和创新精神越来越弱。

诚然，在特种电机的领域里，设计人员仍能起作用，可是这些产品都是由一些小公司生产的，他们面临着可怕的竞争。这些公司里，为数不多的设计人员中，多数还是来自国外，僧多粥少，害怕失业，因此他们把设计程序视为专利相互保密。这样，新一代的工程师看不到在电机设计方面有施展他们才能的机会，也就对电机设计这个领域失去了信心。

在许多大学里，电机设计课程已被取消，有关电机设计的英文书籍也很少印刷。然而这并不意味电机设计专业已经僵化，相反，由于能源危机，人们重新估量了价格和效率之间的关系，新材料的诞生（诸如超导材料、高磁能级永磁材料、非晶态合金材料、热离子和固态开关元件等），新应用的开发（如直线推进器、磁悬浮装置和磁流体发电）和新而经济的制造工艺，所有这些都正在影响着电机的设计。

设计人员将会再度被重视，需求量也将增加。不过此时对新的设计人员会提出更广和更深的要求：要学更多的量子力学和流体力学的知识，以了解新材料的功能；要学更深的电力电子学和计算机知识，以便懂得电子换向替代机械换向的原理以及微机控制和计算机辅助绘制磁通图和强度分析等。

为得到一种更为易懂和方便的设计方法，作者曾研究和发展了一种统一的、应用于机电能量转换装置的设计方法。本书概括和完善了这种方法，并列举了许多专门和详细的设计例子。

虽然本书主要针对多相电动机的设计，然而其大部分内容仍适用于各种电机。全书基本上分成两大部分。第一部分讲述电机设计所涉及的基本概念，这些概念贯穿在所有的电机装置及其功能之中。还探讨了整个系统中各种电的和机械的部分，特别是具有反馈调速驱动电源变换器。第二部分在前一部分理论的基础上运用一种新的方法进行电机设计。老的设计方法是用试探法，从一个预设的几何尺寸开始，得出特性计算，从误差中重新再设一个几何尺寸，得到更接近的特性，如此重复多次迭代来完成。而新的设计方法是直接从电机的技术条件出发、着重于电磁负载，建立最合适的几何形状，最后得到最佳尺寸。

最后一章提到了一些非传统的电机结构，以此作为例子，让设计人员充分发挥其想象力，用新研究出的材料去设计独特的电机。对于这些几何形状复杂的电机采用本书提倡的直接设计法是最为有效的。

本书的目的并非想替代那些已十分成功的计算机辅助设计，而只是想使它更加完善。书中把原先设计书里的一些图表数据变换成公式（如铁磁材料的 $B-H$ 特性等），以便于数值计算。一般来说，本书着重于物理概念而不只是代数式子，着重于综合而不只是分析，希望这样处理后能使人们对电机设计产生“兴趣”。

电机设计的书分成两类：一类是分章讨论各种电机的设计；另一类是着重讨论各种电机的共同特性。本书力求把这两个极端的方法折中处理，并在本书的开始就列举一些专门的计算例子，

使读者能边学边用，把刚学到的知识马上用到实际，以增强他们提高自己设计能力的信心。

有经验的设计人员，当他们体会到这种新方法的优点时，将会发现其中许多内容对他们来讲并不陌生。为此，作者要感谢他的老师，耶胡迪·内奥脱 (Yehuda Naot) 和迈克尔·利乌基兹—加里克 (Michael Liwschitz-Garik)。

直接设计法是美国运输部资助的一个项目中的子项目。作者要感谢小马修·格里诺 (Matthew Guarino, Jr.)，是他发起和监督这项研究的，并经常给予鼓励。还要感谢那些参与这个项目的同事和学生，特别是亚历山大·利无伦 (Dr. Alexander Levran) 博士，他为本书撰写了永磁电机设计的部分。

第一次有机会把材料整理成册，并作为研究生的讲义是作者在休假年离开纽约理工学院前往以色列理工学院，接受 Lady Davis 资助在那里作为访问教授时完成的，为此要感谢在该校所得到的一切帮助。

作者还要感谢西门子的弗农·B·杭辛格 (Vernon B. Honsiger) 博士、西屋公司的斯蒂芬·B·库兹涅索夫 (Stephen B. Kuznetsov) 博士和威斯康辛大学的托马斯·A·列波 (Thomas A. Lipo) 和唐纳德·W·诺沃特尼 (Donald W. Novotny) 教授，他们仔细地审阅了初稿，并提出许多宝贵的建议。同时还要感谢纽约理工学院的齐万·扎巴 (Ziven Zabar) 教授、列昂·伯列蓬 (Leo Birenbaum) 教授为编辑此书所付出的艰苦的努力，还有扎巴夫人她绘制了本书大部分的插图。

最后要感激纽约理工学院的印刷中心为本书排字，特别是卡罗·德弗里 (Carol Devlin) 夫人，她以高度的耐心辨认潦草的手稿然后再打入编辑机。还要感谢 John Wiley and Sons 出版社全体工作人员在本书出版中所给予的专业性的指导。

福勒斯特希尔，纽约

E·列维 (Enrico Levi)

1983年12月

符 号 表

符号	含 义	SI	单 位
α	实际导体的等效厚度、宽度	m	(米)
a	加速度	m/s^2	(米/秒 ²)
A	面积	m^2	(米 ²)
A_{cu}	铜截面积	m^2	(米 ²)
A_j	磁场绕组截面积	m^2	(米 ²)
A	磁矢量势	Wb/m	(韦伯/米)
AR	尺寸比		
AT	安匝数	A	(安)
B	磁通密度(气隙中的有效值)	T	(特斯拉)
B_G	电枢磁密(磁通密度)有效值	T	(特斯拉)
B_{ave}	磁密B的平均值	T	(特斯拉)
B_o	铁心中磁密B的峰值	T	(特斯拉)
B_M	永磁体中的磁密	T	(特斯拉)
B_f	磁极激励的磁密有效值	T	(特斯拉)
B_p	磁密B的峰值	T	(特斯拉)
B_r	剩磁磁密	T	(特斯拉)
B_t	齿磁密峰值	T	(特斯拉)
B_t'	齿等效磁密峰值	T	(特斯拉)
c	单位体积比热	$JK^{-1}m^{-3}$	(焦耳/开 ·米 ³)
c	总导体数		
c_s	每槽导体数		
c	绝对速度	m/s	(米/秒)
c	光速 $c=3 \times 10^8$	m/s	(米/秒)
C	相对于B和K的无量纲系数		
C_d	直轴磁密基波幅值与其峰值之比		
C_d	阻力系数		

X

C_1	B_1 的基波幅值与其峰值之比	
C_q	交轴磁密基波幅值与其峰值之比	
d	轴径; 节圆直径; 相邻线圈间的距离	m (米)
D	内膛直径; 水管直径	m (米)
D_i	内径	m (米)
D_o	外径	m (米)
D'	端环平均直径	m (米)
e	电势(cmf)	V (伏)
e	自然对数之底数 $e=2.718281828$	
e_a	电枢电势	V (伏)
e_f'	折算到原边初级的磁场电势	V (伏)
e_{ph}	相电势	V (伏)
E	电场强度	V/m (伏/米)
E	弹性模量	N/m ² (牛顿/米 ²)
f	频率	Hz
f_B	波形系数 = B_{rms}/B_{ave}	
f_e	实际导体单位表面上的力	N/m ² (牛顿/米 ²)
F	磁势	A (安培)
F	力	N (牛顿)
F_c	离心力	N (牛顿)
F_e	电动力	N (牛顿)
F.D.A.有限差分法		
F.E.A.有限元法		
g	重力加速度 $g=9.81$	m/s ² (米/秒 ²)
g	气隙有效长度	m (米)
g'	气隙的物理长度或实际长度	m (米)
[G]	转矩矩阵	
h	高度	m (米)
h_c	铁心高	m (米)
h_s	槽高	m (米)
h	传热系数	WK ⁻¹ m ⁻² (瓦· 开 ⁻¹ ·米 ⁻²)
h_{ew}	绕组端部的传热系数	WK ⁻¹ m ⁻² (瓦·

		开 \cdot 米 $^{-2}$)
H	水头=液柱高度; 轴高	m. (米)
H	磁场强度	A/m (安/米)
H_c	矫顽力	A/m (安/米)
H_i	铁中的磁场强度	A/m (安/米)
H_M	永久磁铁中的磁场强度	A/m (安/米)
i	电流	A (安培)
[i]	电流矩阵	
i_s	单位磁化电流	
I	电流	A (安)
I_a	电枢电流; 磁势	A (安)
I_f'	折算到电枢上的磁场电流; 磁势	A (安)
I_d	直轴磁势	A (安)
I_q	交轴磁势	A (安)
I_{pk}	相电流	A (安)
I_{st}	起动电流	A (安)
I_μ	磁化电流	A (安)
J	体电流密度	A/m 2 (安/米 2)
k_o	卡氏系数	
k_{o_1}	铜填充系数	
k_d	分布系数	
k_{df}	绕组系数= $k_d \cdot k_p$	
k_f	摩擦系数	
k_{Fe}	叠片系数	
k_p	短距系数	
k_{s_0}	饱和系数	
k_g	风道系数	
K	面电流密度	A/m 2 (安/米 2)
K_N	K 的额定值	A/m 2 (安/米 2)
$K_{s, \lambda}$	斜槽系数	
KE	动能	J (焦耳)
l	长度; 距离	m (米)
l	电机内膛的实际长度	m (米)

Ⅷ

l_{e0}	导体平均长度	m	(米)
l_{re}	叠片长度	m	(米)
l_p	极面长度	m	(米)
l_M	永磁体长度	m	(米)
L	电机内膛有效长度	m	(米)
L_l	导条长度	m	(米)
L	电感	H	(亨利)
L	漏电感	H	(亨)
L	短路电感	H	(亨)
m	质量	kg	(公斤)
m^*	包括旋转体惯量的等效质量	kg	(公斤)
n	相数		
m'	磁势	A	(安)
M	磁化强度	A/m	(安/米)
M	自感; 互感和磁化电感	H	(亨)
M	直轴电感	H	(亨)
M	磁场绕组电感	H	(亨)
M	交轴电感	H	(亨)
n	每辆车的轴数		
n	单位法线		
n	时间谐波的序数		
n	转速	r/min	
n_b	基本转速		
n_L	负载转速		
n_w	轮子转速		
n_v	风道数		
N	串联匝数		
N_a	电枢绕组匝数		
N_{oof}	线圈数		
N_{eff}	有效匝数 $= k_{ap} \cdot N$		
N	每极磁场线圈匝数		
N_{Pr}	普兰台脱(Prandtl)数 $N_{Pr} = Cq\mu/\lambda$		
N_{Re}	雷诺(Peynolds)数 $N_{Re} = \xi V D / \mu = V D / \nu$		

OC	过载能力	
p	极对数	
p	周长	m (米)
p	压力	p_a (帕)
p	功率密度	W/m^2 (瓦/米 ²),
p_{s-dtss}	有效导体单位表面的功率损失	W/m^2 (瓦/米 ²)
p	时间导数算子d/dt	
p.u.	标么值(以额定值为基准)	
P	磁导	H^{-1} (1/亨)
P	功率	W (瓦)
P_i	视在功率 $P_i = P/\eta \cdot \cos\alpha$	W (瓦)
P_m	机械功率	W (瓦)
P_R	额定功率	W (瓦)
P_z	通过气隙传送到次级的功率	W (瓦)
P_{ou}	铜损耗	W (瓦)
P_{Fe}	铁心损耗	W (瓦)
P_{Ftu}	摩擦和风损耗	W (瓦)
P_{stray}	杂散损耗	W (瓦)
P_{dtss}	总损耗	W (瓦)
PM	永久磁铁	
q	每极每相槽数	
Q	槽数	
Q	流动速率或流量	m^3/s (米 ³ /秒)
Q	热流速率	W (瓦)
r	齿轮变比; 标么电阻; 相带数	
r	半径	m (米)
rms	方均根值	
rpm	每分钟转数	
R	曲线的半径	m (米)
R	磁阻	H (亨)
R	热阻	KW^{-1} (开/瓦)
R	运动的阻力	N (牛)
R	电阻	Ω (欧)

s	截面积	m^2	(米 ²)
S	表面积	m^2	(米 ²)
S	斜槽	m	(米)
S	转差率 $S = V_1/V_2 = 1 - w_s/\Omega$		
$S_{p.o.}$	对应最大转矩的转差率		
S_n	第 n 次谐波的转差率		
$[S]$	弹性矩阵		
SF	形状函数	$AWb^{-1}m^{-1}$	(安/韦·米)
SI	国际标准		
t	时间	s	(秒)
t	厚度	m	(米)
t	摄氏温度	$^{\circ}C$	(摄氏度)
T	绝对温度	K	(开氏度)
T	转矩	$N \cdot m$	(牛·米)
T_t	视在转矩 $T_t = P_t/w_s$	Nm	(牛·米)
$T_{p.o.}$	最大转矩	Nm	(牛·米)
T_D	阻尼转矩	Nm	(牛·米)
T_s	同步转矩	Nm	(牛·米)
$T.E.$	牵引力	N	(牛)
$[T]$	负载列向量	A/m^2	(安/米 ²)
v	速度	ms^{-1}	(米/秒)
v	电压	V	(伏)
V	电压	V	(伏)
VAR	伏安电抗	W	(瓦)
w	相对流速	m/s	(米/秒)
w	单位体积能	J/m^3	(焦/米 ³)
w	宽度	m	(米)
w_o	槽开口宽度	m	(米)
w_s	槽宽	m	(米)
w_i	齿宽	m	(米)
w_v	通风道宽	m	(米)
W	贮存的能量	J	(焦)
W	重量; 集中负载	N	(牛)

W	线圈的跨距	m	(米)
x	线性坐标	m	(米)
x	标么电抗		
X	电抗	Ω	(欧)
X_m	励磁电抗	Ω	(欧)
X_d	直轴电抗	Ω	(欧)
X_q	交轴电抗	Ω	(欧)
X_{sc}	短路电抗	Ω	(欧)
u	线性坐标	m	(米)
Y	用槽距表示的线圈跨距		
z	线性坐标	m	(米)
Z	阻抗	Ω	(欧)
Z_R	额定(基本)阻抗	Ω	(欧)
Z	齿数		
α	粘性系数; 多项式的插值; 温度系数		
α	极弧系数 $\alpha = B_{av} e / B_p$		
α	\bar{B} 导前于 \bar{k} 或 $(-\bar{e})$ 导前于 \bar{I} 的角度		
α	触发延迟角		
α_s	槽角度		
β	\bar{K}_r 导前于 \bar{K}_a 或 \bar{I}_f' 导前于 \bar{I}_a 的角度		
$B_{p.o.}$	峰值转矩时的 β 角		
ν	电导率	Ω/m	(欧/米)
δ	集肤深度	m	(米)
δ	功率角或 \bar{B}_f 导前于 \bar{B}_i 或 $(-\bar{e}_f')$ 导前于 \bar{V}_a 的角度		
$\delta_{p.o.}$	峰值转矩时的 δ 值		
Δ	毫米表示的叠片厚度		
ε	微小量		
ε	单位长度的轴向变形		
η	效率		
η_R	额定功率时的效率		
η_i	机械传动或齿轮传动效率		
ϑ	极坐标		

δ	超过环境温度的温升	K (开)
θ	惯性矩	kgm^2 (公斤·米 ²)
λ	热导率	$\text{WK}^{-1}\text{m}^{-1}$ (瓦/开 氏度·米)
λ	每单位铁心叠片长度的漏磁导	
μ	转子的空间谐波序数	
μ	动力粘度	Ns/m^2 (牛·秒/米 ²)
μ	绝对磁导率	H/m (亨/米)
μ_0	真空磁导率 $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$	H/m (亨/米)
μ_i	铁的绝对磁导率	H/m (亨/米)
ν	动粘滞度	m^2/s (米 ² /秒)
ν	振荡频率	s^{-1} (1/秒)
ν	磁阻率	m/H (米/亨)
ν	以 2τ 为基值的空间谐波的序数	
ν'	以 $2\rho\tau$ 为基值的空间谐波的序数	
ξ	比重	kg/m^3 (公斤/米 ³)
ξ	有效导体高	
π	$= 3.141592654$	
ρ	摩擦角	
σ	机械应力	N/m^2 (牛/米 ²)
σ	漏磁系数 $\sigma = X_i/X_m$ 或 $\sigma = 1 + 1/a$	
τ	极距	m (米)
τ_s	槽距	m (米)
τ_{00}	开路时间常数	s (秒)
τ_{s0}	短路时间常数	s (秒)
τ_T	热时间常数	s (秒)
ϕ	相角或 \bar{B}_i 导前于 \bar{K} 或 \bar{V} 导前于 \bar{I} 的角度	
ϕ	标量静电位	V (伏)
ϕ_m	标量磁位	A (安)
ϕ	每极磁通	Wb (韦伯)
ϕ_M	永磁体内磁通	Wb (韦伯)
ψ	\bar{B}_i 导前于 \bar{K}_a 或 $(-e_i')$ 导前于 I_a 的角度	
ψ	磁链	Wb (韦伯)

ω	角频率	s^{-1}	(1/秒)
ω_s	同步速度	s^{-1}	(1/秒)
Ω	角速度	s^{-1}	(1/秒)

下标

<i>a</i>	电枢; 空气
<i>ac</i>	交流
<i>ave</i>	平均值
<i>b</i>	基值; 反向; 导条
<i>c</i>	冷却介质; 矫顽的; 曲线; 转换; 卡氏
<i>co</i>	导体
<i>con</i>	变换
<i>cu</i>	铜
<i>d</i>	通风道; 直轴; 阻力
<i>D</i>	阻尼绕组; 阻力
<i>diss</i>	损耗
<i>dc</i>	直流
<i>dr</i>	转子直轴绕组
<i>ds</i>	定子直轴绕组
<i>e</i>	电磁的; 涡流; 端部
<i>elec</i>	电的
<i>eff</i>	有效的
<i>ew</i>	绕组端部
<i>f</i>	磁场; 正向
<i>Fe</i>	铁
<i>g</i>	气隙; 齿轮
<i>h</i>	磁滞; 谐波
<i>H</i>	大齿轮
<i>i</i>	铁; 绝缘; 内部的
<i>kin</i>	动量的
<i>l</i>	漏磁
<i>L</i>	机车; 小齿轮; 负载

XVIII

<i>m</i>	磁化; 相互的; 自身的
<i>mech</i>	机械的
<i>M</i>	永久磁铁
<i>MCR</i>	最大连续运行额定点
<i>n</i>	法线的; 第 <i>n</i> 次谐波
<i>N</i>	结点
<i>o</i>	外部的; 开口
<i>P</i>	峰值; 极; 小传动齿轮
<i>ph</i>	相
<i>p.o.</i>	峰值
<i>p.u.</i>	标么值
<i>Pr</i>	普兰台脱(Prandtl)
<i>q</i>	交轴的
<i>r</i>	剩磁; 径向的
<i>R</i>	额定的
<i>Re</i>	雷诺(Reynolds)
<i>s</i>	源; 同步; 表面; 槽
<i>sa</i>	饱和
<i>sc</i>	短路
<i>st</i>	起动; 杂散损耗
<i>t</i>	切向的; 齿; 发射; 移项; 有限元
<i>tt</i>	齿顶
<i>T</i>	热的
<i>TB</i>	极限试验点
<i>v</i>	通风道
<i>w</i>	轮; 绕组; 车辆
<i>x</i>	<i>x</i> 分量
<i>y</i>	<i>y</i> 分量
<i>z</i>	<i>z</i> 分量
<i>o</i>	真空
<i>1</i>	初级(原边)
<i>2</i>	次级(副边)
<i>θ</i>	极坐标的