

电 机 结 构

E·维德曼 W·克伦贝格尔 著

刘彦清 左俊业 于连伍 刘家馨 译

张弘夏 游善良 校

机 械 工 业 出 版 社

本书详述了各种类型电机（微电机除外）的结构、零部件的强度计算、电机的通风计算和典型的制造工艺。全书分三部分：第一部分简述了电机的一般结构和结构材料；第二部分论述了电机的总体结构和制造工艺；第三部分详述了电机结构零件的强度计算、通风计算和绕组及其绝缘。

本书可供从事电机研究、设计和制造的广大工人、工程技术人员和大专院校师生参考。

Konstruktion
elektrischer Maschinen
Von
Eugen Wiedemann Walter Kellenberger
Springer-Verlag
1 9 6 7

* * *

电 机 结 构

E·维德曼 W·克伦贝格尔 著
刘彦清 左俊业 于连伍 刘家馨 译
张弘夏 游善良 校

*

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）

机械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28 $7/8$ ·插页2·字数720千字

1976年6月北京第一版·1976年6月北京第一次印刷

印数 00,001—70,000·定价2.40元

*

统一书号：15033·4258

目 录

译者的话

第一部分 电机结构概述及结构设计基础

I. 对结构型式的影响	1
A. 工作方式	1
B. 电流种类	1
C. 转速特性	2
D. 励磁种类	3
E. 冷却方式 (按VDE 0530 § 6)	3
F. 额定运行方式 (按VDE 0530 § 8)	4
G. 防护类型	5
H. 结构型式	10
I. 拖动方式	18
J. 绝缘种类	18
K. 发热	19
L. 机械及电负荷能力	23
M. 电压和试验电压	26
N. 惯性力矩	28
O. 运输	31
P. 电机结构规范	33
Q. 冷却与损耗	33
a) 多相同步电机	35
b) 直流电动机与直流发电机	47
c) 多相异步电动机和异步发电机	47
R. 损耗热的散出	48
a) 热传导	48
b) 热辐射	54
c) 热对流	55
1. 自由流动(56)——2. 强迫流动(56)	
d) 综合散热	66
e) 不稳定运行	71
S. 稳定运行和平衡	74
a) 机械不平衡	74
1. 刚性平衡(75)——2. 弹性平衡(76)	
b) 热不平衡	78
T. 噪音和固体声	79
a) 振动和声	79
b) 纯音, 律音和噪音	79
c) 声压和声强	79

d) 最小可听限和最大听觉限	80
e) 音量	80
f) 多声源的总音量	82
g) 声强和声压分贝值的比较	83
h) 声的传播	84
i) 测量电机音量的准则	84
k) 电机噪音的来源	84
1. 空气动力噪音(85)——2. 磁噪音(85)——3. 轴承噪音(85)——4. 机械噪音(85)	
l) 用密封罩降低电机内声级	85
II. 结构材料	86
A. 钢和铁	86
a) 铸铁	86
b) 铸钢	86
c) 轧制钢、锻钢和拉制钢	87
d) 钢板	87
e) 电工钢片	87
B. 有色金属	89
a) 永磁材料	89
b) 铜	89
c) 铸黄铜, 拉制和轧制黄铜	89
d) 铸青铜, 锻造、拉制和轧制青铜	90
e) 轻金属	90
f) 金属焊料和金属镀层	90
1. 锡(90)——2. 金属焊料(90)——3. 金属镀层(91)	
g) 轴承合金	92
C. 绑扎材料	92
D. 绝缘材料	92
E. 冷却介质	93
a) 气体冷却介质	93
b) 液体冷却介质	93
F. 电刷	93
G. 滚动轴承润滑脂和轴承油	94
a) 滚动轴承润滑脂	94
b) 轴承油	95
c) 其他润滑剂	95
H. 密封材料	95

第二部分 电机的机械总结构

I. 同步电机	111
A. 与活塞机组运行的同步发电机和同步电动机	112
B. 与水轮机和泵组装的同步发电机和同步电动机	116
a) 水轮机拖动	118

1. 卧式冲击式水轮机拖动 (118) —— 2. 卧式或立式混流式或转桨式水轮机拖动 (119) —— 3. 立式轴流式水轮机拖动 (121) —— 4. 卧式或倾斜式贯流式水轮机拖动 (126)	
b) 电站建筑型式对发电机结构的影响	128
1. 具有正常内部建筑结构 (128) —— 2. 具有大大缩小机器间容积的建筑结构 (128) —— 3. 卧式和立式发电机的地下电站 (128) —— 4. 露天电站 (129)	
c) 发电机的布置和结构型式	129
d) 单相水轮发电机	132
e) 励磁机和辅助设备的设置	132
C. 与蒸汽轮机或燃气轮机和透平压缩机组装的凸极发电机和同步电动机	135
D. 变频机和冲击发电机用同步电机	135
E. 调相电机	137
F. 中频发电机	138
G. 永磁发电机	140
H. 汽轮发电机和汽轮同步电动机	141
a) 空冷发电机	145
b) 氢冷发电机	148
c) 气体和液体组合的冷却系统	150
I. 带旋转励磁整流器的交流励磁机	153
II. 直流电机	154
A. 直流发电机	155
a) 利奥那德发电机	155
b) 大电流发电机	156
c) 柴油机发电机	156
d) 汽轮机拖动的直流发电机	159
e) 单极发电机	159
f) 测功电机	160
g) 由运输车辆间接传动的发电机	160
h) 电焊电源	160
B. 直流电动机	161
a) 开启式和封闭式标准电动机	161
b) 透平电动机	162
c) 轧钢电动机	162
d) 卷扬电动机	165
III. 异步电动机 (感应电动机)	166
A. 普通电动机	167
B. 中型和大型短路转子电动机 (鼠笼转子电动机)	168
C. 滑环转子电动机	170
D. 特殊电动机	170
a) 低振动电动机	170
b) 低噪音电动机	171
c) 双速或三速变极电动机	171
d) 断续运行电动机 (特别是起重机用电机)	171
e) 堵塞电动机	171

f) 纺织电动机	171
g) 齿轮减速电动机	171
h) 通风电动机	171
i) 压力电动机	171
k) 潜水泵电动机	171
l) 辊道电动机	171
m) 防爆电动机	174
n) 大型鼠笼转子电动机	174
IV. 交流整流子电动机	174
A. 小型电动机	174
B. 串激整流子电动机	174
C. 交流整流子电动机	175
a) 具有并联特性的交流整流子电动机	175
b) 低频交流整流子电动机	175
V. 铁道机车电动机	176
A. 机车直流电动机	177
B. 脉振电流电动机	179
C. 交流电动机	179
D. 传动方式	182

第三部分 电机的结构元件

I. 叠片铁芯	188
A. 概述	188
B. 交流电机的定子铁芯	191
C. 交流和直流电机的转子叠片	197
D. 磁极叠片和极靴叠片	199
a) 直流电机主极和换向极	199
b) 同步电机的极身和极靴	200
II. 绕组和绕组绝缘	203
A. 概述	203
B. 交流电机的定子绕组	205
a) 适用于半开口槽的散下绕组、穿入绕组和插入(焊接)绕组	205
b) 嵌到开口槽中的绕组	210
C. 转子绕组	215
a) 异步鼠笼转子	215
1. 起动发热(215)——2. 起动时间(218)——3. 鼠笼转子的槽形和笼条形状(218)	
b) 异步滑环转子	220
c) 直流电机和交流整流子电机	222
1. 概述(222)——2. 绕组的制造(225)——3. 直流绕组的绝缘(230)	
D. 同步电机励磁绕组和阻尼绕组	233
a) 显极电机(凸极电机)	233
b) 汽轮发电机	235

X

E. 直流电机的励磁绕组和换向极绕组 (包括补偿绕组)	237
Ⅱ. 固定部件	240
A. 机座	240
a) 交流电机	240
b) 直流电机	246
c) 计算	248
1. 近似公式(248)——2. 精确计算(249)	
B. 直流电机的主极和换向极	253
a) 主极	253
b) 换向极	254
C. 端盖、支架和机座	255
D. 电刷、刷握和刷架	258
a) 电刷	258
b) 刷握	259
c) 刷架	261
E. 接线柱	264
Ⅳ. 旋转部件的构造	266
A. 轴	266
B. 凸极同步电机转子	267
a) 磁极及其固定	267
b) 转子体	269
C. 汽轮发电机的隐极转子	270
D. 异步电机和整流子电机的转子	272
E. 绑线计算	273
a) 钢丝绑线	273
1. 概述(273)——2. 单层绑线 (单层缠绕)(275)——3. 多层绑线 (多层缠绕)(277)——4. 算例(278)	
b) 合成树脂浸渍的玻璃丝绑带	280
F. 滑环	282
a) 异步电机的滑环	282
b) 同步电机的滑环	284
G. 整流子 (换向器, 集电器)	285
a) 结构概述	285
1. 浇注树脂整流子(287)——2. 拱形压力整流子 (287)——3. 换向片两侧压紧无明显拱形压力的结构型式(287)——4. 热套扎圈整流子(288)	
b) 拱形压力整流子的计算	288
1. 力——紧量图的确定 (290)——2. 变形和应力的确定(298)	
c) 无明显拱形压力的鸽尾整流子	300
1. 内部紧靠的换向片的结构型式(300)——2. 楔形夹紧的结构型式(300)	
d) 汽轮发电机组中整流子	301
Ⅴ. 旋转部件的强度计算	301
A. 机械负荷和安全系数概述	301
a) 机械应力状态	301
b) 等效 (相当, 基准, 标准) 应力	302

1.三度应力状态(303)——2.二度应力状态(303)——3.安全系数(304)——4.疲劳强度、瞬时强度和蠕变强度(305)——5.缺口效应、形状系数和缺口效应系数(306)	
B. 凸极同步电机转子的计算	308
a) 磁极和绕组	308
b) 磁极固定	310
1.螺杆(310)——2.鸽尾和键(311)——3.梳齿(318)	
C. 转子和磁轭	319
a) 星形转子	319
1.符号(320)——2.稳定运行(恒定角速度)时的应力(321)——3.不稳定运行(短路)时的应力(327)	
b) 盘形转子	329
1.符号(330)——2.圆周上均布负荷的等厚盘形环或环形盘(330)——3.圆周上带均布负荷的单个等厚圆盘组成的盘形转子(332)——4.圆周上带不均匀分布负荷的等厚盘形环或环形盘(335)	
c) 由单个扇形片组成的叠片磁轭圈(链式结构)的计算	336
1.符号(336)——2.同步电机(337)——3.异步电机和直流电机(344)	
D. 汽轮发电机转子	345
a) 转子齿和转子槽楔	345
b) 转子体	347
c) 绕组护环的强度计算	349
1.概述和标记(349)——2.静态护环应力(352)——3.静态温升的影响(354)——4.运行中护环的应力(356)——5.运行中温升的影响(358)——6.中心环的应力(360)——7.由护环引起的转子体的应力(361)——8.由圆周对称负荷状态的偏移引起的护环附加应力(361)	
E. 正常运行中的轴	362
a) 轴上应力表现	362
b) 轴伸——键	365
c) 横向负荷轴的弯矩	366
d) 轴的变形——弯曲曲线	371
1.图解法(371)——2.解析法(374)	
e) 轴系的安装	377
F. 不稳定运行状态下的轴	378
a) 关于轴的不稳定状态概述(特别是关于轴的振动)	378
b) 扭转振动	379
1.一个轴的扭转振动分析计算实例(379)——2.用赫尔茨方法计算多旋转质量时的扭转振动固有圆频率(381)——3.短路时轴的载荷(385)	
c) 弯曲振动	390
1.引言(390)——2.在中间具有集中质量的刚性的、可自由旋转支承上的一个无质量轴的临界角速度和固有频率(391)——3.在两个支承上光滑轴的固有频率(393)——4.在两个支承上阶梯轴的固有频率。库尔-瑞利能量法(394)——5.多支承光滑轴的固有圆频率(396)——6.多支承阶梯轴的临界转速(396)——7.磁力对电机弯曲临界转速和机械运转的影响(400)——8.各种次要因素和干扰(401)	
d) 评定电机机械振动的最佳范围	405
Ⅵ. 风扇(通风机)	408
A. 系统, 冷气流, 需要压力	408
B. 理论基础	409
a) 风扇功率	409
b) 压头产生	410

VI

c) 速度三角形	411
d) 特性曲线与性能数	411
e) 风扇的安装	411

1. 径向风扇(412)——2. 轴向风扇(412)

VII. 轴承	415
----------------------	------------

A. 概述	415
a) 拖动类型和轴承力之间的关系	416
b) 对电机轴承的要求	417
c) 轴承计算和安设的原则	417
B. 滚动轴承	418
a) 结构类型	418
b) 滚动轴承的润滑和密封	419
c) 滚动轴承的寿命和应用范围	421
C. 滑动轴承	421
a) 卧式滑动轴承	421
b) 立式轴的滑动轴承	423
D. 轴电流	427

VIII. 电机的弹性装置	427
----------------------------	------------

a) 一般情况	427
b) 具有脉动转矩电机(单相电机)的稳定运行	429
c) 不稳定运行(单相——两支路突然短路)	431
d) 实例	433
e) 不希望的自由度	435
f) 结构类型	436

IX. 附录 I ~ VII	438
-----------------------------	------------

附录 I 圆环的计算	438
-------------------------	------------

a) 薄壁环(圆筒)	438
------------------	-----

1. 圆周上作用着均匀载荷(438)——2. 集中载荷(439)

b) 厚壁环(圆盘)	439
------------------	-----

附录 II 自由和刚性固定的圆环的计算	439
----------------------------------	------------

a) 自由法兰盘(环)	439
-------------------	-----

b) 刚性固定法兰盘	440
------------------	-----

附录 III 在支臂(或轮辐)拉力作用下轮盘的应力和变形	441
---	------------

附录 IV 在外加转矩作用下的轮盘支臂上的载荷	442
--------------------------------------	------------

附录 V 对于具有旋转对称载荷圆筒的几个弯曲影响系数	443
---	------------

附录 VI 旋转弹性转子支架外自由端的径向变形	445
--------------------------------------	------------

附录 VII 记录谐振时间过程的一些量间的关系	446
--------------------------------------	------------

参考文献索引	447
---------------------	------------

表格索引	449
-------------------	------------

第一部分 电机结构概述及 结构设计基础

I 对结构型式的影响

电机的结构型式基本上取决于不同的要求:

A 工 作 方 式

a) 发电机(电流产生装置)——有时也把直流电机称为“狄那莫”——是一种把机械能转换为电能的机械。

b) 电动机是一种把电能转换为机械能的机械。

发电机和电动机在结构型式上并没有什么区别,然而,有的仅作发电机,而另一些仅作电动机。

c) 变换机是把电能转变为其他种类的电流、电压、频率或相数的单机或机组。

1. 单枢换流机是一种变换机,其变换是在一个电枢内进行的。

2. 电动发电机组也是一种变换机,它往往是由一台或多台直接连接的电动机和发电机所组成。电动机和发电机间仅进行能量的机械转换[●]。

d) 无功发电机或调相机(亦称相位补偿器)(下文均称调相机——译者)是不进行能量转换的机械,而是通过无功功率的输出或输入来调节视在功率以及稳定电网电压。其结构型式及机械设计与其他同步电机全不一样。

B 电 流 种 类

a) 直流电机。产生直流电流的发电机或通以直流电流而旋转的电动机。

1. 整流子式电机是直流电机的一般结构型式,即电流的转换是在换向器(电流变换器,整流子)上完成的直流电机(图108)。

2. 单极(同极性)电机是磁力线在转子内不改变方向的电机,因此在电枢导条中的直流不产生电流换向,通过滑环由转子表面引出电流(图116)。

b) 交流电机(任意频率的多相或单相交流电机)。产生交流电流的发电机或通以交流电流而旋转的电动机。

● 级联换流机,它是由带有机械和电气耦合的转子的异步电机和直流电机所组成的,迄今几乎尚未被采用。

1. 同步电机。分为显极同步电机（凸极电机）（下文均称凸极电机——译者）。通常电枢（定子或静子）是静止的，而磁极及励磁绕组一起旋转（图51 a、b）；仅小型低压同步电机有时电枢是旋转的，并且通过滑环输出或输入电流。这种结构型式的电机对旋转整流器式同步电机也很重要。

除每个磁极本身具有励磁线圈的凸极电机的正常结构型式外，还有磁极不绕线的特殊结构（爪极电机、同极性电机和其他中频发电机）。它们或者具有一个共同的围绕轴旋转的励磁线圈（图75），或者在定子内安放励磁绕组（图77），抑或具有一个永磁装置（图79、80）。

励磁绕组嵌放在沿转子圆周分布的槽内的同步汽轮发电机（隐极电机）（图91）。它几乎全是两极的，特殊的也有四极的，以及个别具有很高飞逸转速的水轮发电机或多极变极电机。

2. 异步电机。无整流子的异步交流感应电机——通常为电动机，仅把它的一部分（通常是定子）接在电网上，这时由于电磁感应而在另一部分（通常是转子）中产生电流。异步电机分为：

鼠笼转子，其绕组是由端部用端环短接的导条组成。鼠笼电动机又可按不同的结构型式分类，例如：深槽电机，楔形槽电机，双鼠笼电机等（图237）。

绕线转子，其绕组与滑环或离心起动机连接。滑环具有永远安放的电刷（滑环转子调节器）或者举刷及短路装置（图134）。

3. 交流整流子电机。分为单相及多相整流子电动机，其中包括交流牵引电动机和旋转整流子发电机（西门子-利达尔和谢尔比乌斯电机）（Siemens-Lydall-und Scherbius-Maschinen）（图146）。

C 转 速 特 性

在稳定运行时，发电机的转速特性与原动机有关。

a) 对于电动机，可参照 VDE（德国电气工程技术人员协会）0530● § 5 有关的转速特性。分为：

1. 不变转速的电动机。转速与负载无关（例如：同步电动机）。

2. 几乎不变转速的电动机（并励特性）。转速随负载仅有少许变化（例如：并励电动机和异步电动机）。

3. 适当变化转速的电动机（复励特性）。这里包括带复励绕组的电动机，很小功率的并励电动机，带阻尼绕组的推斥电动机等。

4. 转速变化很大的电动机（串励特性）。转速在甩负荷时增加很快（例如：串励电动机）。

b) 按照转速调整的可能性。分为：

1. 仅有一种转速的电机。

2. 有多种转速的电机（例如：变极同步电机和变极异步电机）。

3. 可调转速的电机。转速可在一定范围内调节，或者转速几乎完全是不变的（例如：具有减弱磁场的并励电动机），或者转速变化是很大的（例如：串励电动机或者与主电流调节器相连接的电动机）。

● VDE（德国电气工程技术人员协会）0530，1963“电机”，VDE柏林有限公司出版。

D 励磁种类

a) 对固定安装的电动机可按 VDE 0530● § 4 分类:

1. 自励电机的励磁由自身产生的电流实现。最初, 自励仅用于直流电机。在单晶半导体出现后, 同步电机也用它来励磁。

2. 他励 (同轴电源——译者) 电机的励磁由发电机实现, 而该发电机基本上就是用来励磁的, 而且其转速受主机转速的限制;

或者通过机械耦合 (没有或有变速比), 或者通过电耦合, 抑或通过发电机电压的电耦合。

3. 他励 (独立电源——译者) 电机的励磁由与它无关的电源实现 (例如: 励磁变换器或整流器)。

b) 对于机车及类似用途 (船舶) 的直流电机按 VDE 0535● 分类:

1. 串励: 由电枢电流励磁。

减弱磁场时励磁率为励磁的尺度。

无抽头励磁:

$$\text{励磁率} = \frac{\text{励磁电流}}{\text{电枢电流}}$$

带抽头的励磁绕组:

$$\text{励磁率} = \frac{\text{电流流过的匝数}}{\text{总匝数}}$$

额定运行时的有效励磁率 (额定励磁) 以百分率表示。

2. 并励: 励磁与电枢电压有关。

3. 他励: 由外加电源励磁。

4. 复励: 由 1 和 2 或 3 组合而成。

E 冷却方式 (按 VDE 0530● § 6)

a) 自然冷却。自然冷却的电机不用风扇, 而是通过空气的对流和辐射冷却的。

b) 自冷冷却。在自冷冷却时, 冷却空气由安装在转子上的或由转子拖动风扇吹送。

c) 外部冷却。外部冷却电机系通过不与电机同轴的通风机冷却, 或者用其他外部吹送的冷却介质代替空气。

d) 开路通风。开路通风系由流过电机的连续更换的冷却空气散热。

e) 表面冷却。在表面冷却时, 热量由封闭电机的表面向冷却介质散发。

f) 循环冷却。在循环冷却时, 热量通过中间冷却介质散掉, 中间冷却介质在电机和散热器间连续循环。

g) 液体冷却。在液体冷却时, 电机的一部分通以水或其他液体, 或者浸没在液体中。

● VDE (德国电气工程技术协会) 0530, 1963 “电机”, VDE 柏林有限公司出版。

● VDE 0535, 1955, 铁路和其他车辆上的电机和变压器规则, VDE 柏林有限公司出版。

● VDE 0530, 1963 “电机”。

h) 直接气体冷却。在直接气体冷却时, 一个或全部绕组通过在导体或线圈内流动的气体(例如: 氢气)冷却。

i) 直接液体冷却。在直接液体冷却时, 一个或全部绕组通过在导体或线圈内流动的液体(例如: 水)冷却。

k) 组合冷却。由 a) 至 i) 互相组合成的冷却。

F 额定运行方式(按 VDE 0530 §8)

a) 额定运行种类, 按 b) 至 i) 来区分额定运行(见图 1)。

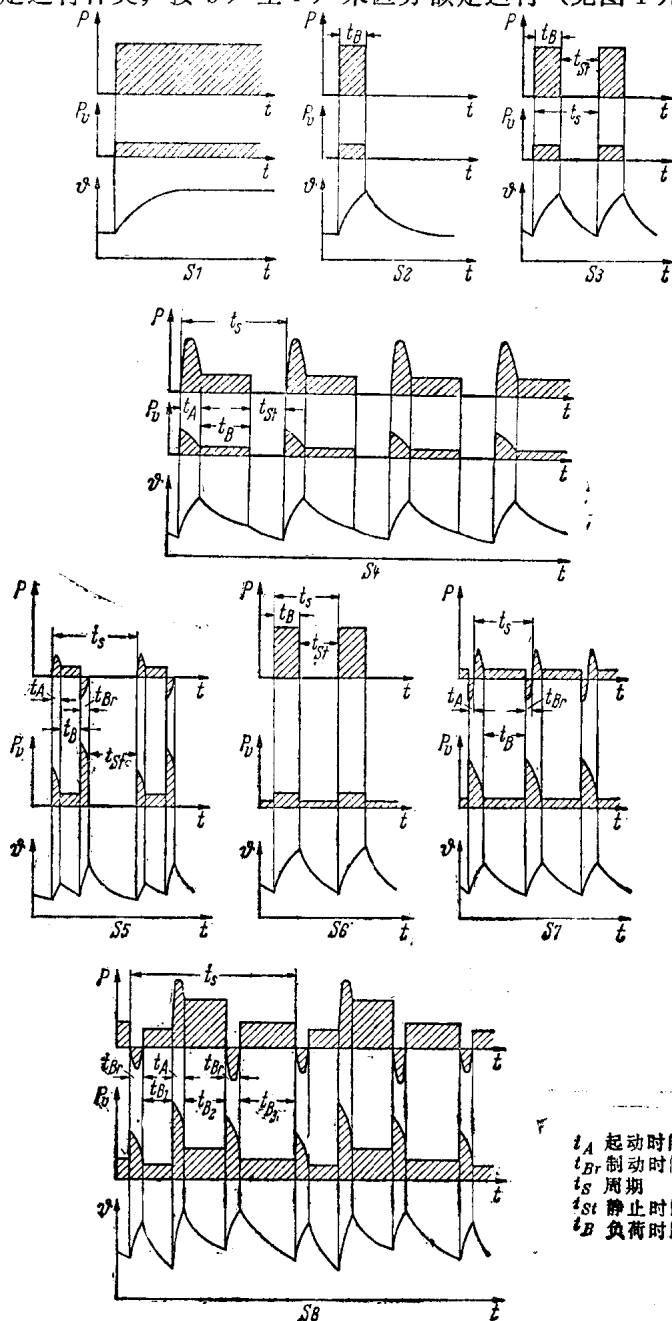


图 1 额定运行种类示图

功率 P , 电损耗 P_v 及
温度 θ 的时间曲线

b) 连续运行, S1。连续运行 S1 是一种带不变负荷的运行, 其持续时间足以达到热平衡。

c) 短时运行, S2。短时运行是带负荷运行的时间很短, 以致于不能达到热平衡。间隔(不在电机上施加电压)时间很长, 实际上已使电机温度降到冷却介质的温度。推荐短时运行的持续时间为: 10, 30, 60 及 90 分。

d) 起动对温度没有影响的间歇运行, S3。间歇运行 S3 所涉及的是由具有相同时间间隔的连续序列所组成的运行。其中每一间隔都包括一带不变负荷时间和一间歇时间。这些时间, 无论是负荷时间还是冷却时间都不足以在该时间间隔内达到热平衡, 并且假定在起动时的电流峰值对发热没有显著的影响。

e) 起动对温度有影响的间歇运行, S4。间歇运行 S4 所涉及的是由具有相同时间间隔的连续序列所组成的运行。其中每一间隔都包括一个起动时间、带不变负荷时间和间歇时间。这些时间都不足以在该时间间隔内达到热平衡; 在这种运行中, 电机停电后或者是自然停止, 抑或由机械制动器制动, 所以绕组几乎不产生附加热。

f) 起动和制动对温度有影响的间歇运行, S5。间歇运行 S5 所涉及的是由具有相同时间间隔的连续序列所组成的运行。其中每一间隔都包括起动时间、带不变负荷时间、制动时间和间歇时间。这些时间都不足以在该时间间隔内达到热平衡。在这种运行中由电(例如: 反向电流)实现制动。

g) 带间断负荷的连续运行, S6。连续运行 S6 所涉及的是由具有相同时间间隔的连续序列所组成的运行。其中每一间隔都包括带不变负荷的时间和空转时间。这些时间, 无论是在负荷时, 或是在冷却时都不足以在该时间间隔内达到热平衡。

h) 带起动和制动的不间断运行, S7。不间断运行 S7 所涉及的是由具有相同时间间隔的连续序列所组成的运行。其中每一间隔都包括起动时间、带不变负荷时间和一个电制动(例如: 通过反向电流)时间。这些时间都不足以在该时间间隔内达到热平衡。这种运行没有停转状态, 电机实际上一直处在电压的作用下。

i) 带变速的不间断运行, S8。不间断运行 S8 所涉及的是由具有相同时间间隔的连续序列所组成的运行。其中每一间隔都包括具有其所属速度中一种速度的不变负荷时间以及具有其他速度的和其直接相连的不变负荷时间。

变极异步电机是这种运行方式的一例。

G 防 护 类 型

防护类型对电机结构有显著的影响。表 1~3 是按 DIN (德国工业标准) 40050 对防接触-防异物和防水划分, 并以符号标志●。

防护标志由一个特征字母和两个特征数字组成。特征字母 P 表示防接触-防异物和防水的所有的防护类型。第一个数字表示防接触-防异物的一种防护类型(表 2), 第二个数字表示防止水浸入电机(防水)的一种防护类型(表 3)。

除了这些防接触-防异物及防水的防护类型外, 对特殊情况通常还有其他的防护类型, 尤

● 相当于 IEC 标准中的规定。

表1 防护类型
由DIN40 050 选择的电机的防护

防接触	防异物	字母及第一位数字	防水							
			不防水	防滴	防滴电机由正常位置到所有方向倾斜15°	防滴垂直方向及在水平线上30°方向	防所有方向的溅水	防喷射水	防暂时淹没	防压力水
			第二位数字或第二位数字与附加字母S							
			0	1	1S	2	3	4	4S	5
不防接触	不防固体异物	P0	P00 	—	P01S 	—	—	—	—	—
防大面积手接触	防大固体异物	P1	—	P11 	P11S 	P12 	—	—	—	—
防手指接触	防中等的和大的固体异物	P2	—	P21 	P21S 	P22 	—	—	—	—
防工具或类似物的接触	防小固体异物	P3	—	—	—	—	P33 ^① 	—	—	—
防各种方法接触	防内部灰尘堆积	P4	—	—	—	—	—	—	P44S ^② 	—
防各种方法接触	完全防尘	P5	—	—	—	—	—	—	—	—

① 要阻止风扇预料不到的接触。为预防事故，对于表面冷却的电机（防护类型P33及以上），在吸入侧和吹出侧风扇罩至少要按防护类型P1（第1位数字）制造。

冷凝水出口（最大直径8毫米）在最低位置是允许的。

冷凝水出口是由试验而得的。

VDE 0170/0171的特殊规定适用于矿用防爆机械和工厂用防爆机械。

② 按P33防异物，对电机而言包括防粗粒灰尘。

③ 落下的接触水必须是可排泄的。

④ 带可关闭孔的电机能满足各种防护类型，例如P44S或P22相应的运行条件。

续表1 DIN40 050

附录R（管道连接；冷空气过流的封闭式电机）

冷空气过流的，亦即内部冷却电机具有冷却孔，而该冷却孔与导管或管道连接；导管不与电机安装空间连通。

例：P33R

附录W（防气候）

防护型式 P..W 为带有附加防护措施的内部冷却电机所规定,以便使它能在特殊的气候条件下在户外工作。对于这种防气候电机的防接触-防异物及防水也按 DIN40 050 的规定,它通过下述设计原则推广,此外,防护型式 P 23W 还通过试验原则推广。

防护型式 P 22W

设计原则:

内部冷却孔吸入的冷空气,在与冷却部分的通道接触前,冷空气至少改变一次最小 90°方向,并且速度减缓。

绝缘绕组必须按 DIN50 016 (目前还是草案) 提高在气候变化时受湿度影响的强度。

铁部件必须防锈。

轴承润滑剂必须适应于预料的安装场所最低和最高户外温度。通过轴承盖或相应的垫片,防止细砂及水侵入轴承。

接线盒最低按防护型式 P 44 制作^①。

对工作电压超过1000伏的电机采用静态预热。

防护型式 P 23W

设计原则:

由冷却孔吸入或吹入的冷空气,在与冷却部分的通道接触前,冷空气至少改变三次最小 90°方向,这就阻碍由于大风或暴风而由冷空气吹进来的小固体异物、粗砂土、雨和雪对电机冷却部分的侵入。此外,必须规定进入通道的冷空气在该处的扩散速度不大于2.8米/秒,以便使带入的尘粒沉落。

在沉落空间处可安设吸出或用其他方式容易洗净的滤器。

绝缘绕组必须按 DIN50 016 (目前还是草案) 提高在气候变化时受湿度影响的强度。

铁部件必须防锈。

轴承润滑剂必须适于预料的安装场所最低和最高户外温度。通过轴承盖或相应的垫片防止细砂及水侵入轴承。

接线盒最低按防护型式 P 44 制作^①。

对工作电压超过1000伏的电机采用静态预热。

试验原则:

当用细砂对电机作喷砂试验时,不允许侵入电机的砂土产生损害作用。

按 DIN40 060 对 P 4 (第一位数字)、P 5 (第一位数字) 及 P .5 (第二位数字以及通过小字母和数字补充的第二位数字) 试验的一般原则,仅适用于1500转/分时约22千瓦以下的电机。

其是按 VDE 0170/0171^② 对矿用防爆和工厂用防爆电机的规定,即:

a) 隔爆外壳(简称为 exd): 外壳能承受隔爆外壳内的爆炸危险性混合物,在确定——由混合物的种类和该外壳的容积确定——试验压力下的爆炸,并且能阻止爆炸向包围外壳的混合物传播。

b) 栅状外壳(简称为 exp): 危险部分被包围在外壳内,同时用特殊装置(栅状防护叠片)挡住外壳的开口,以便在爆炸时避免外壳内部压力的严重升高,并且能阻止爆炸向包围外壳的混合物传播。

c) 外部通风型(缩写为 exf): 危险部分放在外壳内,这部分充满了过压新鲜空气或惰性气体(保护气体),使得在运行前进入外壳的危险性混合物被排出,并且在运行时这种爆炸危险性混合物不再进入外壳内。

① 接线盒的不同的防护类型 P 44 包括在防护类型 P..W 之中,并因此不特殊规定缩写标记。

② VDE 0170 和 0171, 1957, 民用防爆和矿用防爆设备规范, DVE 柏林有限公司出版。

表2 防接触-防异物

第一位 数字	防 护 范 围		解 释		一 般 原 则	
	防接触	防异物	防 接 触	防 异 物	设 计 的	试 验 的
0	不防接触	不防固体异物	在静止和内部运动部件压力下的接触是不受限制的	固体异物的侵入不受限制	盖不是必须的。装置或某些盖可穿过任意大小的孔(网眼或缝隙)	无
1	防大面积手接触	防大固体异物	在静止和内部运动部件压力下用手大面积的接触是受到限制的	直径超过50毫米的固体异物的侵入受限制	装置或盖穿过直径或宽度50毫米以下的孔(穿孔、网眼或缝隙)	不允许直径52.5毫米以上的球体在静止和内部运动部件压力下接触
2	防手指接触	防中等大小的固体异物	在静止和内部运动部件压力下用手指接触是受限制的	直径超过8毫米的固体异物的侵入受限制	装置或盖可穿过直径或宽度为8毫米以下的孔①(穿孔、网眼或缝隙)	按VDE 0470解释C的检查无论何处都不允许在静止和内部运动部件的压力下接触
3	防工具或类似物的接触	防小固体异物	在静止及内部运动部件压力下和工具、金属丝或直径超过1毫米的类似物的接触是受限制的	直径超过1毫米的固体异物侵入是受限制的	装置或顶盖不允许有孔, 接缝处1毫米以下的缝隙是允许的, 转轴、操纵元件及导线允许引出	由直径1毫米以上的弹簧钢制成的导线不能在缝隙内通过
4	防各种方法接触	防内部积尘	在静止及内部运动部件压力下用各种方法接触是受限制的	灰尘的侵入不完全受阻, 无害处的积尘是允许的	装置完全被遮盖, 并且在接缝及引线处密封。例如: 用密封绳、毡、迷宫、已加工或充分准确的未加工表面作密封。空气密封是不需要的	按VDE40 060第1页用滑石粉试验
5	防各种方法接触	完全防尘	在静止及内部运动部件压力下用各种方法接触是受限制的	完全限制灰尘侵入	装置或顶盖不允许有孔。接缝缝隙及转轴、心轴、控制元件和导线均被封闭。例如: 用密封绳、毡、迷宫、或已加工表面作密封。外壳不透气。空气密封是不需要的	按VDE40 060第1页用滑石粉试验。试验结束后, 在试样内部不允许见到灰尘

① 在矿用防爆和工厂用防爆电气设备上, 开孔高和宽超过8毫米(对角线最大 $8 \times \sqrt{2}$ 毫米)是不允许的。

d) 增高安全型(缩写为 exe); 采取特殊措施, 以便阻止火花、电弧或者危险的温度在该处形成和不在运行时出现。

e) 特殊防护型(缩写为 exs); 通过 a) 至 d) 以外的不同措施防止爆炸。

● 如果这些防护型式是经过对于矿用防爆的多蒙法——德尔内坑道检验矿工协会或对于工厂用防爆的布朗斯威科物理工程联合机构检验和承认, 则它们在西德就是允许的。