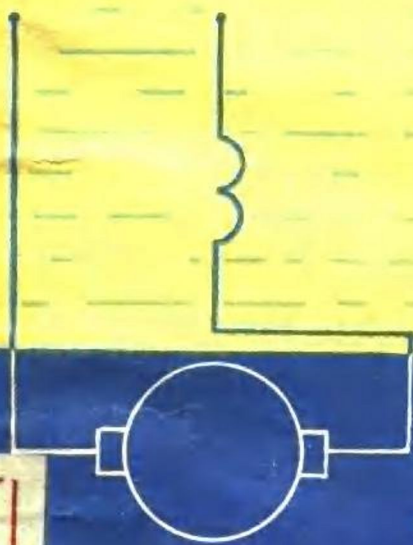


单相串激电动机

汪 国 樑



44.1

陕西科学技术出版社

单相串激电动机

汪 国 梁

陕西科学技术出版社出版

陕西省新华书店发行 西安新华印刷厂印刷

开本 787×1092 1/32 印张 9 字数 180,000

1980年12月第1版 1980年12月第1次印刷

印数 1—1,700

统一书号: 15202·7 定价: 0.73元

前 言

单相串激电动机是工业中普遍采用的电机之一。它转速高、体积小、重量轻、调速方便，所以大量地使用于小型车床、化工、医疗等部门。尤其在电动工具行业中，应用更为广泛。目前我国年产电动工具数百万台，其中大多数都以单相串激电动机作为动力头。此外，大量生活设备，如缝纫机、电冰箱和绞肉机等，也往往选用单相串激电动机来带动。因此，随着国民经济的发展及人民生活水平的提高，单相串激电动机将有日益广泛的应用前景。

虽然我国生产单相串激电动机已有较长的历史，但有关这方面的资料至今仍比较分散，没有一本完整的书籍。本书从原理、性能、结构、简单计算以及使用维修等方面，对单相串激电动机进行了比较全面的阐述。在书后的附录部分，收集了国内生产的单相串激电动机的有关技术资料，可供从事这方面的工作人员参考使用。

在编写过程中，西安交通大学肖耀富同志、西安电机厂董伯祥同志提供了不少原始资料。广州电气科学研究所林道隆同志、青海电动工具厂崔杜武同志、上海微电机厂仲稔翎同志、本溪微电机厂赫崇芝同志、西安市建二公司马忠顺同志、西安电器开关厂张振芳同志等，在审阅书稿的过程中，提供了不少宝贵意见，在此一并表示感谢。

编 者

目 录

第一章 串激电动机的工作原理.....	(1)
1—1 直流串激电动机的工作原理	(1)
1—2 交流串激电动机的工作原理	(5)
1—3 国产产品及其额定值	(7)
第二章 直流串激电动机的性能.....	(13)
2—1 反电势及电势平衡方程式	(13)
2—2 直流串激电动机的电磁转矩	(16)
2—3 直流串激电动机的基本性能	(18)
2—4 直流串激电动机的转速调节	(24)
第三章 交流串激电动机的性能.....	(29)
3—1 交流串激电动机的电磁转矩	(30)
3—2 反电势计算公式及电势平衡方程式	(36)
3—3 相量图及功率因数	(39)
3—4 交流串激电动机的转速与机械特性	(42)
3—5 交流串激电动机的转速调节	(47)
第四章 交流串激电动机的绕组.....	(54)
4—1 概 述	(54)
4—2 单迭绕组构成原理	(60)
4—3 单迭绕组的实用形式	(64)
4—4 单迭绕组实例	(67)
4—5 交流串激电动机转子绕组匝数计算	(71)
4—6 转子绕组线径的决定	(80)
4—7 交流串激电动机定子绕组匝数及线径估算	(88)
4—8 交流串激电动机定、转子绕组估算实例	(92)

第五章 串激电动机的换向过程	(108)
5—1 换向与火花	(108)
5—2 直线换向、延迟换向与提前换向	(111)
5—3 改善换向的方法	(120)
5—4 火花的成因	(141)
5—5 交流串激电动机换向过程的特点	(148)
第六章 串激电动机结构介绍	(154)
6—1 定 子	(154)
6—2 转 子	(158)
6—3 空气隙	(165)
6—4 绝缘结构	(167)
第七章 串激电动机的故障分析与修理	(169)
7—1 一般故障情况	(169)
7—2 转子绕组开路故障的检修	(173)
7—3 转子绕组短路故障的检修	(180)
7—4 转子绕组通地故障的检修	(184)
7—5 元件反接或焊头位置错误	(188)
7—6 定子绕组故障的检修	(197)
7—7 换向器的检修与拆换	(200)
7—8 电 刷	(205)
7—9 转子绕组重新绕制	(207)
7—10 定子绕组重新绕制	(226)
第八章 串激电动机的噪音及无线电干扰	(228)
8—1 串激电动机的噪音	(228)
8—2 无线电干扰及抑制方法	(241)
附 录	
附表—1 J1Z 系列电钻技术数据(老系列)	(246—247)
附图1—8 J1Z 系列电钻转子绕组图	(248)

附表—2	DT 系列电动工具用串激电动机技术数据	(252)
附表—3	电动工具用交直流两用串激电动机技术数据	(256)
附图9—12	电动工具用交直流两用串激电动机转子绕组图	(258)
附表—4	电动工具选配电机汇总表	(260)
附表—5	线 规	(262)
附表—6	U 型单相串激电动机技术数据	(263)
附表—7	SU型交直流两用串激电动机技术数据	(264)
附图13—19	U 型及SU型串激电动机转子绕组图	(265)
附表—8	G 型单相串激电动机技术数据	(269)
附图20—25	G 型单相串激电动机转子绕组图	(270)
附表—9	G 系列单相串激电动机主要性能	(273)
附表—10	G 系列单相串激电动机技术数据	(276—277)

第一章 串激电动机的工作原理

1—1 直流串激电动机的工作原理

我们的主要目的是研究交流串激电动机，但在研究交流串激电动机以前，我们先来分析一下直流串激电动机的工作原理。这是因为：

1. 串激电动机在许多情况下是设计成交直流两用的。即同一台串激电动机既可在交流电源下工作，也可以在直流电源下工作，要求在两种情况下，运行特性相似。例如电动工具用串激电动机往往设计成交直流两用的。因此在我们研究交流串激电动机工作原理时，也应分析一下这台串激电动机在直流电源下的工作情况。

2. 串激电动机在直流电源下的工作情况比较简单，分析起来比较方便，通过直流串激电动机的分析，掌握了串激电动机的基本特性以后，再来分析交流串激电动机就比较易于接受了。

图 1—1(a) 是直流串激电动机工作原理的示意图。这是一个两极电机，在磁极上套有激磁绕组，它的功用是产生磁通。磁通的方向可以根据右手定则来决定。在图中所表示的电流方向情况下，磁通的方向是自下而上的。即对下面一个磁极而言，它的磁通是从磁极流出来的，这样的磁极我们称它为北极，用英文字母 N 来表示。而对上面一个磁极来

说，它的磁通方向是流进磁极的，这样的磁极我们称它为南极，用英文字母 S 来表示。

两个磁极之间是转子，有时也称为电枢。它的铁心部分是由电工钢片迭成的圆环。一根导线沿着圆环内外表面环绕前进，构成一个闭路，这就是电枢绕组。两个磁极中间的平分线称为几何中心线，在几何中心线上放有一对电刷 A 和 B。串激电动机的激磁绕组与电枢绕组是串联接法，即激磁绕组与电枢绕组流过的是同一个电流。在图 1—1 (a) 所表示的转子导体缠绕方向下，当电流由电刷 A 流入电枢绕组时，N 极下转子导体电流方向是流进纸面，我们用符号 $\oplus$ 来表示；而 S 极下转子导体电流方向是流出纸面，我们用符号 $\odot$ 来表示。转子上的载流导体与定子磁场相作用，便产生了电磁

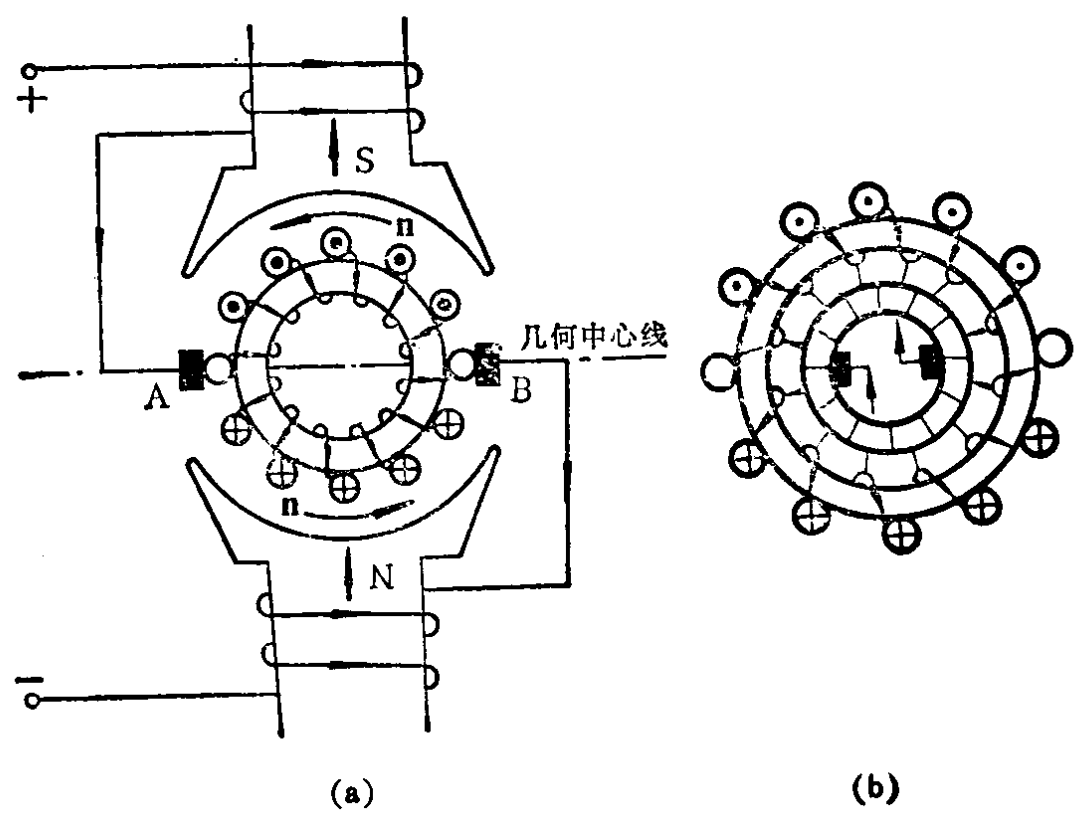


图 1—1

力。电磁力的方向可以根据电动机左手定则来决定。显然在图 1—1(a) 所表示的情况下，转子导体所产生的电磁力的方向是逆时针的。在电磁力的作用下转子便旋转起来，形成了一台串激直流电动机。

图 1—1(a) 是串激直流电动机工作原理示意图，这种结构型式的直流电动机虽然可以旋转，但工作时，导体与电刷摩擦，极易损坏。为了改进这个缺点，必须采用换向器。图 1—1(b) 中心部位就是换向器，它由互相绝缘的12个铜片所组成。12个铜片分别与12个导体元件相联接。电刷 A、B 则放在换向器上，电流从电刷流到换向器，再流入电枢绕组中。这样，借换向器之助，避免了导体与电刷的直接磨损，而电流却仍能同图 1—1(a) 一样，流入电枢导体中。

根据上面所讲的工作原理，对串激电动机可以得到以下几个重要的结论：

1. 一般情况下，电刷都放置在几何中心线上（图 1—1），因为如果电刷的位置偏离几何中心线（图 1—2），在相同电流情况下，电动机所产生的转矩可能减少。下面我们来解释这个道理。在图 1—1(a) 中电刷 A 和 B 是电枢导体电流方向改变的分界线。电刷 A、B 的上方，转子导体电流是同一个方向，都是流出纸面。电刷 A、B 的下方，转子导体电流也是同一个方向，都是流入纸面。由于电刷是电枢导体电流方向改变的分界线，在图 1—2 中，当电刷位置顺时针转动一个

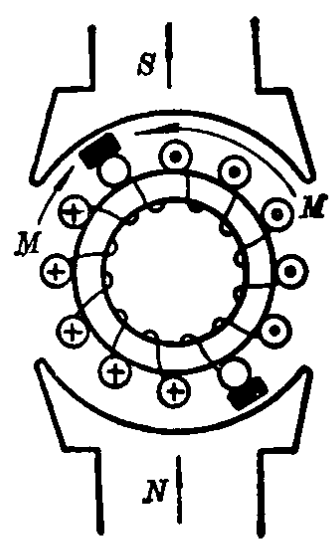


图 1—2

角度后，电流改变方向的分界线也要顺时针转过一个角度。这就使得同一极面下，转子导体电流方向不一致。例如在 S 极下，大部分转子导体电流是流出纸面 $\odot$ ，而有少部分导体电流则是流入纸面 $\oplus$ 。在同一个极面下，转子导体的电流方向相反，它们所产生的电磁力的方向也相反。例如，在 S 极面下，根据电动机左手定则可以判断出，电流流出纸面的转子导体产生逆时针方向的电磁力，而电流流入纸面的转子导体则产生顺时针方向的电磁力。由于电磁力的方向相反，互相抵消一部分，而使总的电磁转矩减少。如果把电刷的位置移到磁极中心之下，则在同一极面下，一半导体电流流入纸面，另一半导体电流流出纸面，这两部分电流所产生的转矩大小相等方向相反，全部抵消，总的电磁转矩便为零，电机就再也转不起来了。因此一般情况下，为了在同样大小的电流下能产生最大的电磁转矩，电刷的位置都是放置在几何中心线上。当然，由于性能上的需要电刷的位置也会偏离几何中心线，这个现象我们将在第五章说明。

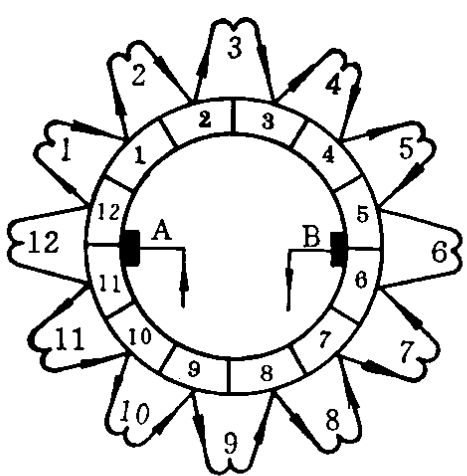


图 1 — 3

2. 在图 1 — 1 (a) 中我们可以清楚地看到，电流经电刷 A 流入转子后，分为两路：一路经过 S 极面下的导体而流到电刷 B，一路经过 N 极面下的导体而流到电刷 B，这两条支路通过电刷 A、B 并联起来，图 1 — 3 是它的示意图。

图 1 — 1 (a) 是一个两极电机，转子只有两条支路，如果

是四极电机，那就不一定是两条支路了。不过一般小型串激电机都是两极的，转子也就只有两条支路。转子的两条并联支路与定子绕组互相串联，因而定子绕组的导体截面积必须比转子绕组的导体截面积大一倍。

3. 在串激电机中，所有转子导体全部串联起来组成一条闭合回路。特别要强调指出，这条回路一定是闭合的，绝对不允许开路。这个闭合回路如果断开，对电机性能会带来重大影响。例如电磁转矩显著下降，电机带不动负载。这个现象可以通过图 1—4 来说明。在某一瞬间，假如断头的位置转到 N 极极面下，则 N 极面下这一条支路由于断开而使电流为零，当然也就不能产生转矩，因而使总的电磁转矩减少，电机出力下降。此外还会产生强烈火花，使电机不能运行，这个现象我们将在 7—2 节中进行详细分析。

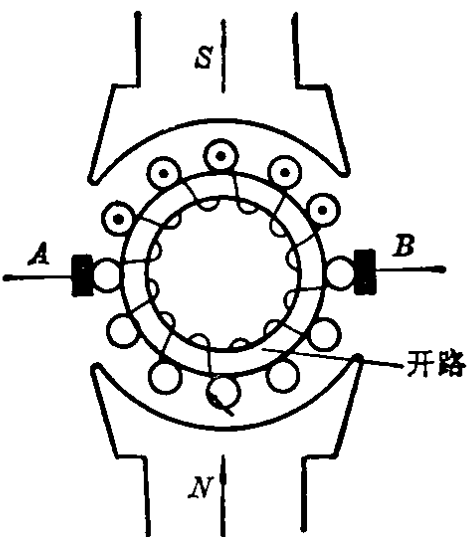


图 1—4

1—2 交流串激电动机的工作原理

图 1—5 是交流串激电动机工作原理的示意图。

由于交流串激电动机的工作原理是建立在直流串激电动机基础之上的，因此，我们从直流串激电动机的工作原理开始进行分析。图 1—5 (a) 是直流串激电动机工作原理的示意图，它是图 1—1 (a) 的简化，两个图形中的磁通以及

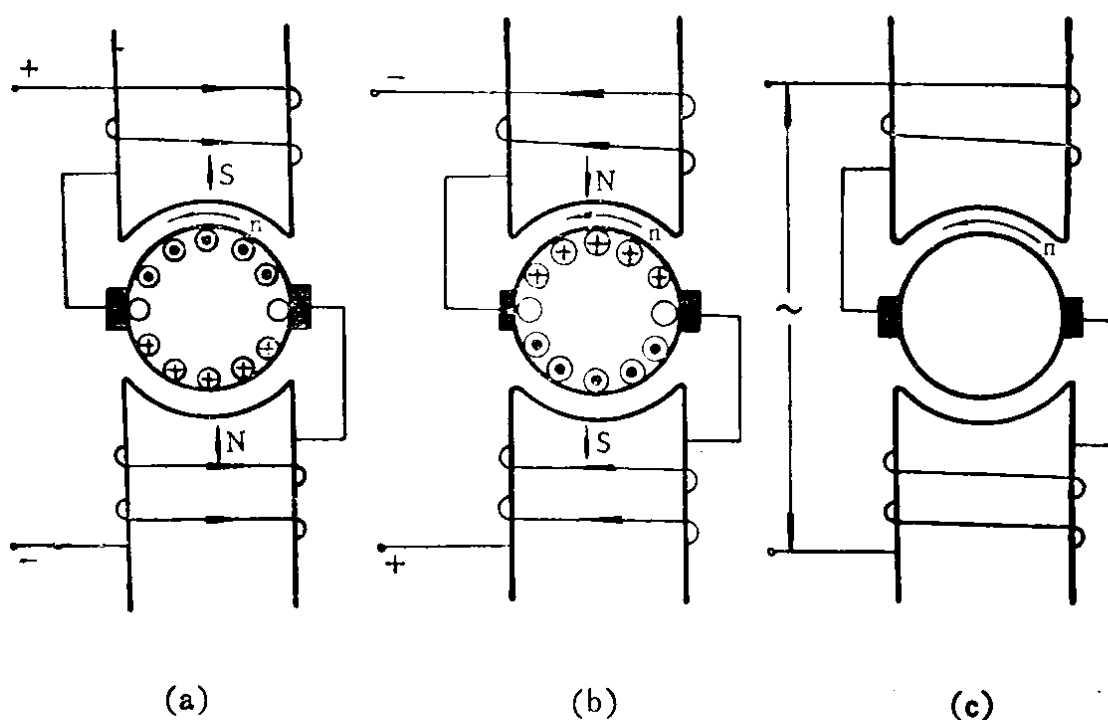


图 1 — 5

定、转子电流方向是一样的。根据图 1 — 5 (a) 所表示的磁通和电枢电流方向，根据电动机左手定则，可以决定出转子旋转方向是逆时针的。图 1 — 5 (b) 是同一台电机，唯一不同点是图 1 — 5 (b) 的电源极性已经反过来。由于是串激电机，定子电流及转子电流将同时改变方向，也就是说，定子磁通及电枢电流将同时改变方向，根据电动机左手定则可知，在磁通及电枢电流同时改变方向的情况下，转子转向不变，仍然为逆时针方向旋转。由此我们可以推论：一台直流串激电动机改接交流电压后，虽然电源极性在反复变化，但转子始终维持一恒定转向，因此也可以作为交流电动机运行，这就是单相交流串激电动机的工作原理。串激电动机若设计成在交、直流两种电源上都可以应用，也称为通用电动机。

根据上面的分析，我们可以看到交流串激电动机的工作原理与直流串激电动机的工作原理基本上是一样的，因此分析直流串激电动机得出的一些主要结论，如：电枢绕组应组成闭合回路，不能断开；电刷放在几何中心线上才能产生最大的电磁转矩；两极电机中电枢绕组是两路并联的等，也适用于交流串激电动机。

1 — 3 国产产品及其额定值

一、产品介绍

1. 单相串激电动机

单相串激电动机，适用于要求体积小、转速高、或调速范围广的场所，例如小型车床、实验室、化工、医疗器械等。

U型及G型是单相串激电动机的老产品，目前仍然大批生产，它们的主要性能及技术数据详见附表—6及附表—8。转子绕组的联结方法详见附图—13至附图—25。同一种产品由不同工厂制造，其内部技术数据不尽相同。即使是由同一工厂制造，由于材料及工艺的变更，不同年代出厂的产品，其内部数据也可能会有变动。因此附表及附图所给出的数据，不是一成不变的，仅供修理串激电机时参考。

新系列单相串激电动机是G系列。它是根据1970年5月一机部颁布的JB1135—70G系列微型单相交流串激电动机部标准而生产的新系列标准产品，可代替目前一般使用的U型及G型电动机。

G系列电动机的主要性能详见附表—9。它是开启扇冷式，机壳由钢板拉制而成。功率有8、15、25、40、60、90、

120、180、250、370、550、750 瓦共 12 种，转速分 4000、6000、8000、12000 转/分四个规格。由这 12 个容量等级及 4 个转速规格，组成 38 个不同品种的电机（附表一 9）。这 38 个不同品种的电机分别安置在 4 个不同的机座号中，这 4 个机座号的具体代号是 36、45、56、71。在 G 系列单相串激电机中，是用中心高来表示机座号的。例如机座号为 36，就表示电机转轴中心到底脚平面的距离——即中心高为 36 毫米。每一个机座号，均有三种不同长度的铁心，用铁心代号 1、2、3 来表示。分析附表一 9 所列出的几个表格，我们可以得到下面几个性能上的主要特点。

（1）从附表一 9 中的第 1 个表格可以看出，同一个铁心，当电机转速提高时，它的功率将正比例的增大。例如：机座代号为 45、长度代号为 2 这一种铁心，在转速为 4000 转/分时，额定功率为 60 瓦；转速为 6000 转/分时，额定功率为 90 瓦；转速为 8000 转/分时，额定功率为 120 瓦；转速为 12000 转/分时，额定功率为 180 瓦。即在铁心尺寸不变的情况下，电机的额定功率正比于它的转速。这是各种电机所共同具有的规律，单相串激电动机当然也不例外。

（2）从附表一 9 中的第 2 个表格可以看出，电机的功率因数也是正比于转速的。同一个容量的电机，转速越高，它的功率因数也越高。以 25 瓦电机为例，当转速为 4000 转/分时，功率因数为 0.81；转速为 6000 转/分时，功率因数为 0.86；转速为 8000 转/分时，功率因数为 0.88。转速越高，它的功率因数也越高，这是单相串激电动机性能上一个很大的特点。

（3）从附表一 9 中的第 2 个表格还可以看到，电机的

效率是正比于功率的。电机的功率越大，它的效率也越高。以 4000 转/分这一种转速的电机为例，功率为 8 瓦时，它的效率为 0.32；功率为 90 瓦时，效率为 0.56；功率为 750 瓦时，效率为 0.67。电机的功率越大，它的效率越高，这也是各种电机所共同具有的规律，单相串激电动机当然也不例外。此外，同一种功率的电机，它的效率还正比于转速。以 25 瓦这个电机为例，4000 转/分时，效率为 0.44；6000 转/分时，效率为 0.45；8000 转/分时，效率为 0.46。

（4）对一般的异步电动机而言，它的起动电流约为额定电流的 4.5—7.5 倍，起动转矩约为额定转矩的 1—2 倍。从附表—9 中的第 3、4 表格可以看出，同异步电机相比，单相串激电机具有较小的起动电流和较大的起动转矩。这是它性能上一个很可贵的特点，常用在起动比较困难的地方。

U 型、G 型及 G 系列电机，主要是为交流电源设计的，当用于直流电源时，输出功率及额定转速均会有所提高。此外还有专门设计成交、直流两用的 SU 型串激电动机，这种型号的电机在结构上和交流串激电机类似，但设计成无论在交流或直流电压下运行，都具有相同的额定转速。SU 型串激电机的技术数据及转子绕组图形详见附表—7 及附图—19。

2. 电动工具用交直流两用串激电动机

随着国民经济的发展，电动工具的应用愈来愈普遍，大多数电动工具都是采用交直流两用串激电动机来做为它的动力头，因此，我们对电动工具用交直流两用串激电动机做一简单介绍。

附表—1 是老系列——即 J1Z 系列电钻的技术数据，附

图一 1 至附图一8是对应于这种电钻的转子绕组接线图,1966年曾对电动工具用串激电动机进行了统一设计,发展成为DT系列电动工具用串激电动机,附表——2是它的技术数据。

随着电动工具的发展,为了尽可能以最少量的通用零部件派生出更多的产品,以提高劳动生产率,1974年又对电动工具用交直流两用串激电动机重新进行了统一设计。它的主要性能及电磁数据详见附表——3。从表中可以看出,三种类型的冲片制造出七种规格的电机,而绝大多数电动工具都将以这七种电机来做为它的动力头,通用性大大加强,便于制造、维护和修理。以电钻及砂轮机为例,它们选用电机的范围如附表——4所示。

二、额定值

制造工厂在设计电机时,根据所选用的导体截面、铁心尺寸、绝缘材料以及冷却方式等条件,规定了电机正常运行时的工作状态,例如它能流过多大的电流及能承受多大的电压,等等。这些在正常运行时所能承担的电流和电压等数值,便称为额定值。串激电机的额定值有额定电压、额定电流、额定功率、额定转速、额定温升等等,与一般电机大同小异,下面我们只对具有特点的几个额定值,进行讨论:

1. 额定功率

一般用途的串激电机都是作为电动机运行,因此名牌上所标明的额定功率,同其它电动机一样,都是指它转轴上所输出的机械功率。

但电动工具则不同,电动工具的名牌上有时也标明电动机的额定功率。但电动工具名牌上的额定功率不是指电动机

所输出的机械功率，而是指电动机输入的电功率。电动工具名牌上为什么与一般电动机标法不一样，这是有它道理的。因为一般的电动机带动什么负载，制造工厂无法事先知道，在名牌上标明它所能输出的机械功率，可以做为用户在选配负载时的参考。而电动工具用串激电动机情况则不同，此时，电动机已是整个电动工具中的一个部件，负载已经固定，不存在负载选配的问题。因此，把转子所能输出的机械功率标明在名牌上已经意义不大了。而把输入的电功率作为额定值标明在名牌上，可以说明耗电量的大小，这也是用户所关心的主要性能之一。

2. 额定转速

同其它电动机一样，对一般串激电动机而言，名牌上所标明的额定转速是指电机的满载转速。从2—3节的分析我们将会知道，串激电动机的空载转速远比满载转速高，因此一般情况下，在额定电压时，串激电动机不允许空载，否则，转速将上升到危险的高值，电机极易因此损坏。当然，对于几十瓦以下的小容量串激电动机，由于本身的损耗相对较大，相当于电动机已经带上了一个负载，可以允许在额定电压下空载运行。

对电动工具而言，名牌上标明的转速，可能是满载转速也可能是空载转速，视产品而异，这一点我们在看电动工具名牌时必须注意。电动工具往往是断续使用的，电动机经常在空载下运行，为了防止转速过高，噪音过大，空载转速应加以限制；尤其是砂磨工具，因受砂轮安全线速度的限制，空载转速更不能过高。所以电机的空载转速 n_0 与满载转速 n_N 之间，在设计时加以控制。例如74年电动工具用串激电动机