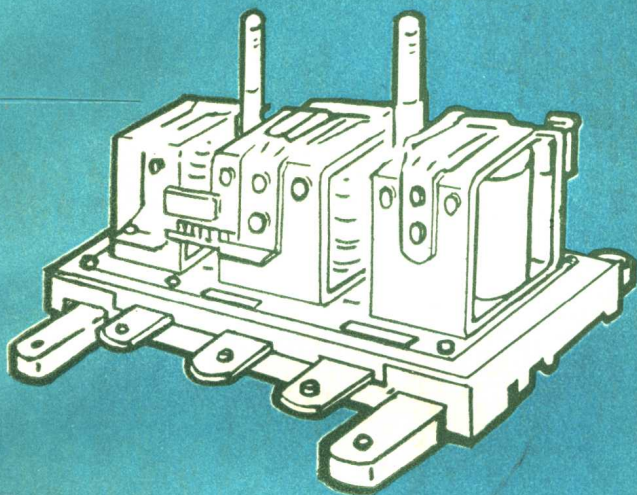


工程机械司机学习丛书



DIANQI SHEBEI

电气设备

中国铁道出版社

工 程 机 械 司 机 学 习 丛 书

电 气 设 备

金志尧 编

中 国 铁 道 出 版 社

1981年·北京

内 容 提 要

本书着重介绍工程机械电气设备的构造、特性、工作原理、故障及其排除方法。书中对直流电机的绕制方法也作了说明。内容包括：一、起动机；二、充电系统；三、点火系统；四、仪表及灯光；五、工程机械电机绕组。

可供工程机械司机和从事工程机械修理工作的工人阅读。

工程机械司机学习丛书

电 气 设 备

金志尧 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 王俊法

封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：3.5 字数：79 千

1981年8月第1版 1981年8月第1次印刷

印数：0001—6,000册 定价：0.30元

目 录

第一章 起动系统	1
第一节 起动机的结构和工作原理.....	1
第二节 起动机的特性.....	3
第三节 起动机的传动机构和控制装置.....	9
第四节 起动机的检查修理.....	10
第五节 起动机运用中的故障及其排除方法.....	12
第二章 充电系统	16
第一节 直流发电机的结构、工作原理与特性.....	16
第二节 直流发电机的调节器.....	24
第三节 直流发电机的保护装置.....	27
第四节 直流发电机与蓄电池并联工作的情况.....	30
第五节 永磁转子交流发电机和感应转子式 交流发电机.....	31
第六节 硅整流交流发电机和晶体管调节器.....	33
第七节 直流发电机的检验与修理.....	41
第三章 点火系统	44
第一节 蓄电池点火装置.....	44
第二节 磁电机点火装置.....	59
第三节 预热器.....	63
第四章 仪表系统	65
第一节 电流表.....	65
第二节 燃油表.....	66
第三节 机油压力表.....	68
第四节 水温表.....	71

第五章 灯光系统	73
第一节 开关部分	73
第二节 灯光系统的故障及其排除方法	75
第三节 其它	77
第六章 工程机械直流电机绕组	83
第一节 概述	83
第二节 单叠绕组与单波绕组	85
第三节 复叠绕组与复波绕组	95
第四节 蛙形绕组	99
第五节 绕组的对称条件与电阻、电压的确定	104
第六节 电机的故障及其排除方法	107

第一章 起 动 系 统

第一节 起动机的结构和工作原理

起动机由电机、控制部分和传动部分组成,如图 1—1 所示。

起动电机是一个直流串励电动机,其磁极由固定在机壳内壁上的铁芯和励磁绕组构成。电枢结构与常见的发电机电枢基本相同,不同的是为了获得较大的起动转矩,起动时的电流较大(流经电枢绕组的电流达几百安培),故采用粗大的矩形裸铜线绕制而成。电刷用含铜石墨制成。换向器和电枢装在同一由石墨青铜衬套支承的轴上,为了减轻重量和控制尺寸,通常做成四极的。大功率的起动机也有六极的。四极起动机电刷一般采用两对软质炭刷,且相对电刷是同极性的。换向器铜片间的绝缘云母片不凹入,以免电刷磨下的铜末聚集而使换向片短路。

直流电动机是将电能变为机械能的设备,其工作原理如图1—2所示。

将电枢接上电源时,电流流经换向器线圈 $a b c d$ 。通电线圈经过 $a b$ 段和 $c d$ 段时,在磁场中分别受到电磁力 F 和 F' 的作用。力的方向按左手定则可以确定。这两个力分别对转轴产生一个转矩 M ,驱动电枢旋转。要使起动机不断的旋转,就必须保持 M 的方向不变,因而要求在 N 极下的导线电流总是向外流,在 S 极下的导线电流总是向内流,这是靠换向器来保证的。

电磁转矩 M 的大小与电枢电流 I_s 及磁通 Φ 的大小成正

比。可用下式表示:

$$M = C \Phi I_s \quad (1-1)$$

式中 C ——比例常数, 与电机结构有关。

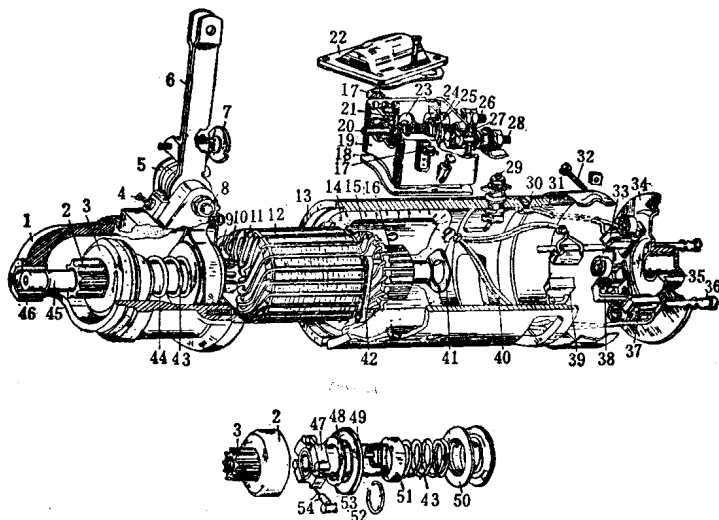


图 1-1 起动机的结构

- 1 ——驱动端盖; 2 ——起动小齿轮; 3 ——单向啮合器; 4 ——齿轮行程调整螺钉; 5 ——传动叉回位弹簧; 6 ——传动叉; 7 ——电路接合推片; 8 ——传动叉轴; 9 ——止推垫圈; 10 ——起动机轴中间轴承; 11 ——电枢绕组; 12 ——电枢铁芯; 13 ——外壳; 14 ——励磁绕组; 15 ——磁极铁芯; 16 ——换向器; 17 ——接点火线圈的接线柱; 18 ——起动开关衬垫; 19 ——起动开关; 20 ——开关推杆; 21 ——接点火线圈电路的内触点; 22 ——起动开关盖; 23 ——接触盘; 24 ——起动开关触点绝缘体; 25 ——起动开关接触盘; 26 ——蓄电池接线柱; 27 ——触点; 28 ——起动机接线柱; 29 ——起动机接线柱; 30 ——正极碳刷接铁接线柱; 31 ——防尘箍; 32 ——防尘箍拉紧螺栓; 33 ——正极碳刷架(接铁); 34 ——前端盖; 35 ——前轴承; 36 ——拉紧螺栓; 37 ——正极碳刷; 38 ——负极碳刷架; 39 ——负极碳刷; 40 ——负极碳刷电线; 41 ——绝缘止推垫圈; 42 ——励磁绕组连接片; 43 ——单向啮合器弹簧; 44 ——单向啮合器花键套; 45 ——起动机轴; 46 ——后轴承; 47 ——单向啮合器十字块; 48 ——承推环; 49 ——单向啮合器外圈盖; 50 ——推鼓; 51 ——弹簧止推垫圈; 52 ——锁环; 53 ——单向啮合器滚子; 54 ——活柱及弹簧。

当电枢旋转时，由于电枢绕组在磁场中运动，切割了磁力线，因而在绕组中感应出电动势 E' (如图1—2所示)。 E' 的方向可用右手定则来判断，它始终与外加电流的方向相反。这个由于电枢旋转而产生的电动势称为反电势。

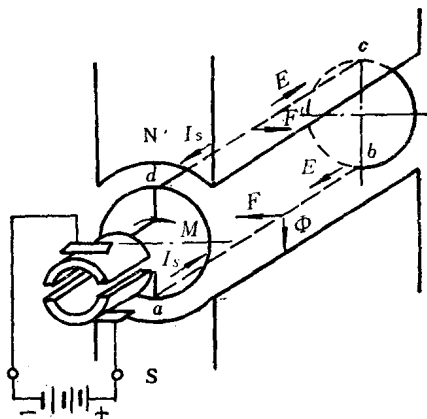


图 1—2 直流电动机工作原理

反电势的大小与电枢转速 n 、磁极磁通 Φ 成正比，即：

$$E = K \Phi n \quad (1-2)$$

式中 K ——常数，由电机结构决定。

第二节 起动机的特性

直流电动机和发电机，有他励、串励和复励。工程机械的起动机通常是串励电动机。

一、起 动 转 矩

串励电动机起动转矩大，为了更深刻了解串励直流电动

机这一特点，可与并励直流电动机的转矩特性进行比较。

并励直流电动机的励磁绕组与电枢绕组并联，其接线如图 1—3 所示。

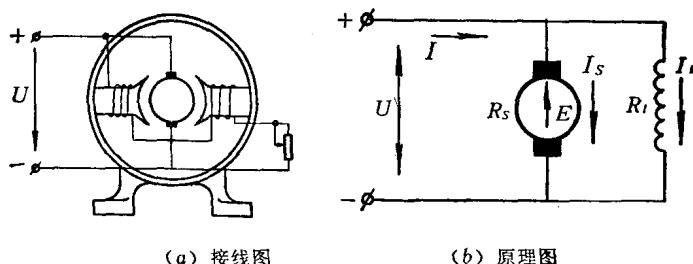


图 1—3 并励直流电动机

电压与电枢电流的关系为

$$U = E + I_s R_s \quad (1-3)$$

电压与励磁电流的关系为

$$U = I_f R_f \quad (1-4)$$

由式 (1-1) 得 $M = C\Phi I_s$ 和 (1-4) 可知，当电源电压 U 和励磁绕组的电阻 R_f 不变时，励磁电流 I_f 及其所生磁通 Φ 也保持不变（忽略电枢反应的影响），即 $\Phi = \text{常数}$ 。所以并励直流电机的特点之一就是：它的磁通 Φ 等于常数，即电磁转矩与电枢电流成正比。

串励电动机的电枢绕组与励磁绕组串联（如图 1—4 所示），所以电枢电流 I_s 与励磁电流 I_f 是同一个电流，即

$$I_s = I_f \quad (1-5)$$

因为 $I_s = I_f$ ，所以串励直流电动机的磁通是随负载电流 I_s 的大小不同而改变。在磁路未饱和时，磁通 Φ 与电枢电流 I_s 成正比，即

$$\Phi = K I_s \quad (1-6)$$

将式 (1-6) 代入式 (1-1) 得：

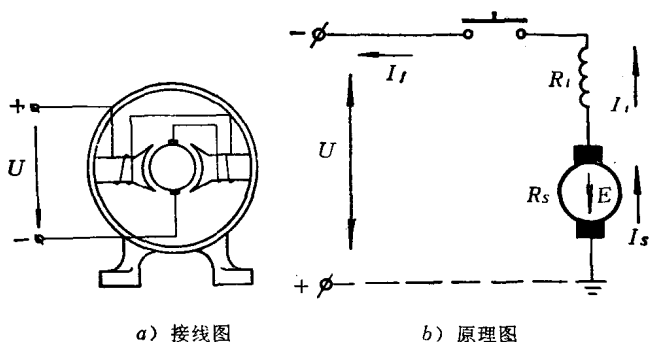


图 1-4 串励直流电动机

$$M = C\Phi I_s = K I_s^2 \quad (1-7)$$

这是串励电动机的一个重要特点。

因电枢和激磁绕组是同一个电流，所以串励直流电动机可产生比并励直流电动机大得多的转矩，这就是串励直流电动机适宜作为起动机的理由之一。

二、转 速

串励直流电动机具有轻载转速高、重载转速低的特点。

在并励直流电动机中，根据公式 (1-2) 和 (1-3) 得：

$$n = \frac{E}{K_i \Phi} = \frac{U - I_s R_s}{K_i \Phi} \quad (1-8)$$

因为在并励电动机中，磁通 Φ 不随 I_s 而变化，故转矩与 I_s 成正比。同时，电枢电阻 R_s 很小，故转矩或 I_s 增大时电机转速下降极小的机械特性，如图 1-5 a 所示。

串励直流电动机则与此不同。在图 1-4 所示的线路中，根据克希荷夫第二定律：蓄电池的电动势 E_x 与起动机的电

动势 E (反电势) 的代数和, 等于电枢和励磁绕组的电压降、电刷接触电压降、连接导线的电压降及蓄电池内的电阻电压降之代数和。即

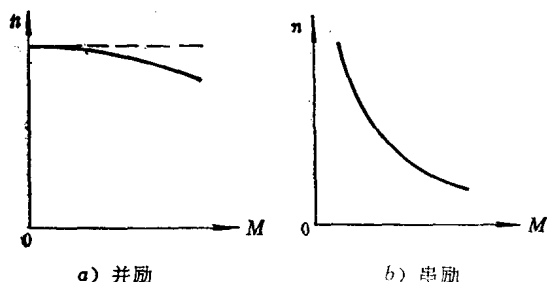


图 1-5 直流电动机的机械特性

$$\begin{aligned} E_x - E &= I_s(R_s + R_l + R_d + R_x) + \Delta U_{ds} \\ &= I_s \Sigma R + \Delta U_{ds} \end{aligned} \quad (1-9)$$

式中 R_s ——电枢绕组电阻;

R_l ——励磁绕组电阻;

R_d ——连接导线电阻;

R_x ——蓄电池的内电阻;

ΔU_{ds} ——电刷接触电压降。

由公式 (1-10) 可求得起动机的反电势

$$E = E_x - I_s \Sigma R - \Delta U_{ds} \quad (1-10)$$

由式 (1-2) 和 (1-10) 得

$$n = \frac{E_x - I_s \Sigma R - \Delta U_{ds}}{K_l \Phi} \quad (1-11)$$

由上式可知, 当电动机的电枢电流 I_s 增加时, 则电压降 $I_s \cdot \Sigma R$ 增加, 在磁路未饱和时, 磁通 Φ 也增加。因此, 电动机的转速将随 $I_s \Sigma R$ 及 Φ 的增加而急剧下降, 故导致串励电动机在轻载时 I_s 小, 转速高, 而重载时转速低的机械特性 (图1-5 b 所示)。串励电动机的这个特性使它能可靠地起

动发动机。这是用它作为起动机的又一理由。

串励电动机在重载时转速低的特点保证了起动的安全可靠。但是它在轻载或空载时转速很高，容易造成“飞车”事故，这是安全生产所不允许的。因为串励电动机不允许在轻载或空载下运行，所以它与工作机械的联接都采用刚性联接或齿轮联接。

三、起动机的功率

起动机的电磁功率为

$$P_d = EI_s \quad (1-12)$$

式中 E —— 起动机的反电势。

当起动机完全制动时，其反电势 $E = 0$ 即

$$E_x - I_s \Sigma R - \Delta U_{ds} = 0$$

这时电枢电流达到最大值 $I_{s_{max}}$ (称为“锁止电流”)。即

$$I_{s_{max}} = \frac{E_x - \Delta U_{ds}}{\Sigma R} \quad (1-13)$$

将式 (1-10) 代入式 (1-12) 得起动机功率的表达式

$$\begin{aligned} P_d &= EI_s = (E_x - I_s \Sigma R - \Delta U_{ds}) I_s \\ &= (E_x - \Delta U_{ds}) I_s - I_s^2 \Sigma R \end{aligned} \quad (1-14)$$

所以当 $I_s = 0$ 以及 $I_s = I_{s_{max}}$ 时起动机功率 P_d 为零。即 P_d 只在 I_s 从零到最大值阶段中发生变化 (如图1-6中曲线 P_d 所示)。

由于起动机轴承和电刷摩擦的机械损失以及磁滞和涡流损失，起动机的实际输出功率 P 小于理论上的功率 P_d 。

欲求电磁功率最大值 P_{max} ，可将式 (1-14) 微分

$$\frac{dP_d}{dI_s} = E_x - \Delta U_{ds} - 2I_s \Sigma R \quad (1-15)$$

(二) 当完全锁止时(全制动), 相当于刚接入启动机的情况, 这时 $n = 0$, 电枢电流 I_s 和转矩 M 达到最大值。

(三) 在启动机空转时, 电流为 I_0 , 转速 n 达到最大值。

工厂经常通过空转和完全制动两项试验来检验启动机的工作是否正常。

四、影响启动机功率和转矩的因素

启动机的功率和转矩的下降, 会引起启动时无力、启动次数增加, 甚至根本不能启动。影响启动机功率和转矩的因素如下:

(一) 启动机电枢电阻 R_s 、电刷接触电压降 ΔU_{ds} 及连接导线的电阻 R_d 的影响。从式 (1—14) 可以看出, 总电阻 ΣR 增加, 则功率下降。因此希望 R_s 尽可能减小, 但 R_s 的减小受到尺寸的限制, 所以不能过小。

采用软性电刷, 加大电刷压力, 可使 ΔU_{ds} 减小, 但压力过大会增加磨损, 所以实际上是用较硬的电刷, 因而 ΔU_{ds} 的减小受到限制。

为了减小连接导线的电阻, 应尽可能缩短蓄电池与启动机之间的距离, 选用截面积较大的导线, 并保证连接良好。

(二) 蓄电池内阻的影响: 蓄电池的容量越大, 则其内阻越小, 启动机的功率和转矩可以增大。

(三) 温度的影响: 温度是通过影响蓄电池内阻而影响启动机功率和转矩的。温度降低时蓄电池的内阻增加, 启动机的功率和转矩降低。

第三节 启动机的传动机构和控制装置

传动机构的作用是: 启动时, 使启动机轴上的啮合小齿

轮向飞轮齿环啮入，将起动机转矩传给发动机曲轴，启动后，使起动机和飞轮齿环自动脱开。因此，传动机构应满足下列要求：

1. 齿轮啮合要容易，不发生冲击；
2. 发动机启动后，防止发动机拖动起机电枢高速旋转而造成“飞车”事故；
3. 发动机工作时，起动机齿轮不能再啮入；
4. 传动机构简单可靠。

根据工作原理的不同起动机的传动机构可分为：

(1) 惯性啮合式起动机。其啮合小齿轮借惯性力自动啮入飞轮齿环，启动后，小齿轮靠惯性力自动与齿环脱开。这种结构可靠性较差，现已很少采用。

(2) 电磁啮合式起动机。它是靠起动机磁极磁通的吸力，使电枢沿轴向移动而使小齿轮啮入飞轮齿环。

(3) 强制啮合式起动机。它靠人力或电磁铁杆经杠杆推动啮合小齿轮啮入飞轮齿环。

按控制机构的不同起动机可分为直接操纵和远距操纵（也叫电磁操纵）两种。

第四节 起动机的检查修理

一、外部检查修理

(一) 检查之前，首先应擦净起动机外壳的油污。

(二) 检查和调整炭刷的弹簧力。

(三) 用铁丝钩提起电刷弹簧时，在刷架中不应有卡阻现象。电刷和换向器的接触面积不应低于75%，否则需要进行研磨。电刷的搭铁线，不应有松动现象。电刷应有良好的绝缘，否则需要拆修。如这些故障能从外面排除，则可不必

全部解体，若内部尚有损坏之处，则应将起动机拆开，抽出电枢，进行磁极的检查。

二、磁极的检查修理

首先应检查励磁绕组各接头有无松动和脱焊现象，然后再检查励磁绕组是否有断路、短路及绝缘是否良好。如励磁绕组有短路和绝缘损坏时，应进行修理。

三、电枢的检查和修理

首先检查电枢轴是否弯曲，必要时需校正。电枢轴颈与衬套的配合不能松动或过紧。换向器表面若有烧蚀，可用砂纸打磨。若失圆度超过0.05毫米，应放到车床上加工（车圆）。铜片间的云母不可用锯条割深，防止电刷粉将换向器短路。检查铜片焊线头是否松动。

电枢绕组的检查方法是：

（一）断路的检查

将毫安表引出导线的两根触针，接触两个在水平位置的相邻换向片。因为水平位置的绕组导线被磁场切割时产生的感应电动势大，所以当毫安表触针触到这两个换向片时，若该两导线无断路，则在此电动势作用下，便有电流产生。否则便无电流。逐渐转动电枢，用同样方法检查所有的绕组导线和换向片是否断路。

（二）短路检查

将电枢放在检验仪的V形座中，接通电源，在电枢铁芯线槽上放一钢片，若该槽内导线有短路时，钢片就振动。这是由于短路线匝形成闭合回路，感应而产生的交流电及交变磁场吸动铁片而造成的。若发现有1~2个线匝短路，可将此线匝端剪断，把与该线匝相接的换向片和相邻的换向片焊在

一起。若短路的导线较多，则应重绕电枢。

（三）搭铁的检验

由于导线的绝缘损坏，绕组与电枢轴和铁芯接触而搭铁时，可用试灯检验，即试灯的一端触换向片，一端触电枢轴或铁芯，接通电源后，试灯亮就说明有接铁处，为了找到搭铁的线匝，可将试灯触头沿换向片滑动，当触头接触到接铁处的换向片时，灯最亮。

四、传动和控制机构的检查修理

起动机小齿轮的轮齿最易磨损，若磨损过于严重，应进行焊修。

单向啮合器不应打滑，否则需加调整。此外，尚需检查齿轮缓冲弹簧和传动叉等。

对控制机构，主要是检查起动机开关和线路、检查接线柱和接触盘接触是否良好、有无烧蚀、是否因绝缘损坏而搭铁、弹簧是否折断等。对电磁开关还要检查电磁线圈有无断路、短路和搭铁现象，必要时进行修复。

检查各运动部位，如发现有粘住或滞住的现象，应用细砂纸将其工作表面打磨光滑。

接触器表面如稍有损伤，可用细砂纸修整。

活柱位置可用调整螺钉进行调整。当活柱推入到限位器接触的位置时，小齿轮端面与小齿轮限位器之间的间隙约为1~2毫米。

第五节 起动机运用中的故障及其排除方法

一、灯光亮度无变动，起动机不转动

开亮大灯，按下手起动按钮或踩下脚踏起动开关，如大