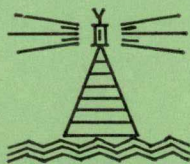


内河航道工人初级技术培训教材

航道工程船舶
机械电力拖动

Jixie Dianli tuodong



交通部航道职工教育研究组编

1984.5 武 汉

240232

前 言

为了适应内河航道职工教育发展的新形势，交通部教育局于一九八三年一月在南京召开了有十五个省、市、自治区航道部门有关人员参加的会议，成立了内河航道职工教育研究组。会后，分工编写了十三个工种的初级技术理论教学计划和大纲，并经交通部教育局审核颁发试行。同年八月，内河航道技术培训教材编写会议确定编写具有内河航道特点的、适合初级技术教育的一套教材。这套教材共有二十一种；本书即是其中的一种。

本教材编写的目的，是使学员了解挖泥船机械电力拖动的一般原理和自动控制的一般知识，熟知航道工程船舶常用控制电器的构造、作用、性能和工作原理，以便在一般条件下能独立地工作。本书内容包括电力拖动的基本知识、交流电力拖动系统、直流电力拖动系统、可控硅在电力拖动中的应用以及航道系统船舶电力拖动的部分实例。它适合航道船舶电工、岸电维修电工、仪修工、充电工等工种培训之用，也可供有关生产、技术和管理人员参考。

本教材由长江航道局汪溟生同志编写。王育德、李维素、肖崇新、李家、谭汝超、刘德信、初厚增、刘廉波、朱道安、鲍志超等同志参加审稿，最后由李寿同志审阅定稿。由于编写时间仓促，资料不够齐全，难以完全适合各地情况。各地在组织教学时，可适当补充有关内容，不当之处，请提宝贵意见。对于在编写和校审中给予支持的有关同志，谨表示衷心感谢。

交通部航道职工教育研究组

240232 九八四年九月

4615/97

绪 论

为适应我国航运事业的迅速发展，航道整治及疏浚工程需要大量的挖泥船为之服务。近几年来，全国各水系使用的挖泥船不仅在数量上越来越多，而且装机容量和自动化程度也不断提高，挖泥船已在航道事业中发挥着重要的作用。

挖泥航与一般船舶显著不同之处在于它具有挖泥机械。这些挖泥机械功率较大，工况各异，几乎都以电力作为动力，即采用电动机来拖动。尤其是挖泥机械自动化的电力拖动，已成为挖泥船电气化和自动化的基础和核心，成为挖泥船自动化程度高低的标志。

此外，航道系统具有线长、点多、工作分散等特点，挖泥船施工时，要求操作人员有较强的独立工作能力，能迅速、及时、就地排除故障，以保证生产顺利进行。因此，广大船舶电工必须具备一定的有关挖泥机械电力拖动方面的理论知识和操作维护技能，只有这样才能独立地分析问题和解决问题，才能与挖泥船不断发展的形势相适应。

本书是根据内河航道系统电工培训任务而编写的，其目的是使学员能掌握船舶常用电器、交流电力拖动系统、直流电力拖动系统的概况；了解继电器——接触器控制系统、电机放大机控制系统、可控硅——电动机直流调速系统的基本环节。此外，还从目前使用的挖泥船中选用了一些船舶辅机和挖泥机械的电力拖动典型线路实例，对其工作原理进行了分析和讨论。

考虑到各水系挖泥船技术状况不一，本书内容在广度上力求照顾各地区特点，做到有代表性；在深度上着重基本概念的叙述，尽量结合航道生产的实际。

本书可以作为航道系统电专业的初级培训教材，也可以在职工技术教育中供有关专业中级培训时使用。

(111)	.....	目录	.....	第一卷
(111)	.....	目录	.....	第二卷
(120)	.....	目录	.....	第三卷
(121)	.....	目录	.....	第四卷
绪论	.....	.....	.....	.....
第一章	生产机械和电动机的机械特性.....	(1)	.....	.....
第一节	生产机械的机械特性.....	(1)	.....	.....
第二节	电动机的机械特性.....	(2)	.....	.....
第三节	电力拖动系统稳定工作的条件.....	(4)	.....	.....
第四节	挖泥船机械的特点.....	(6)	.....	.....
第二章	船舶电力拖动系统图和常用电器.....	(11)	.....	.....
第一节	船舶电力拖动系统图与符号.....	(11)	.....	.....
第二节	电器的一般知识.....	(22)	.....	.....
第三节	手动电器.....	(28)	.....	.....
第四节	主令电器和行程开关.....	(35)	.....	.....
第五节	接触器.....	(42)	.....	.....
第六节	继电器.....	(60)	.....	.....
第七节	保护电器.....	(81)	.....	.....
第八节	变阻器和电阻器.....	(90)	.....	.....
第三章	可控硅在电力拖动中的应用.....	(96)	.....	.....
第一节	可控硅——电动机拖动系统.....	(96)	.....	.....
第二节	可控硅的触发电路.....	(98)	.....	.....
第三节	可控硅系统中的反馈.....	(106)	.....	.....

第四章 直流电力拖动系统 (113)

第一节 直流电动机的机械特性 (113)

第二节 直流电动机的起动及反转 (120)

第三节 直流电动机的制动 (125)

第四节 直流电动机的调速 (133)

第五章 交流电力拖动系统 (145)

第一节 异步电动机的机械特性 (145)

第二节 异步电动机的正、反转及联锁控制 (148)

第三节 异步电动机的降压起动 (157)

第四节 线绕式异步电动机的起动 (169)

第五节 异步电动机的制动 (174)

第六节 异步电动机的调速 (185)

第六章 挖泥船机械电力拖动线路实例 (194)

第一节 泵、通风机的控制线路 (194)

第二节 空压机自动控制线路 (197)

第三节 升降机控制线路 (199)

第四节 锚机系统设备控制线路 (202)

第五节 辅助锅炉的自动控制线路 (206)

第六节 制冷装置自动控制线路 (222)

第七节 自动舵控制线路 (227)

第八节 耙头绞车控制线路 (242)

第九节 绞刀的控制线路 (255)

第十节 斗桥架绞车的控制线路 (257)

第十一节 斗链的控制线路 (260)

第一章 生产机械和电动机的机械特性

在各种类型的挖泥船中，几乎所有的生产机械（这里指各种船舶辅机和挖泥机械）都是以电作为动力，采用电动机来拖动。电动机在生产机械上的应用就是电力拖动所要研究的内容。

电动机和生产机械紧密结合成一个整体，按照人们的指令去工作，它们必须合理地配合，才能得到最佳的工作状态。因此，我们在研究电力拖动的时候，首先应该了解生产机械的机械特性和电动机的机械特性。

第一节 生产机械的机械特性

电动机带动生产机械运行，生产机械反过来对电动机会产生一定的阻力或阻转矩（也叫负载转矩）。生产机械的阻转矩与转速之间是存在一定关系的，即 $n=f(M_z)$ ，这种关系我们称为生产机械的机械特性。

不同的生产机械其机械特性也不一定相同，一般可以分为三种基本类型，如图 1—1 所示。

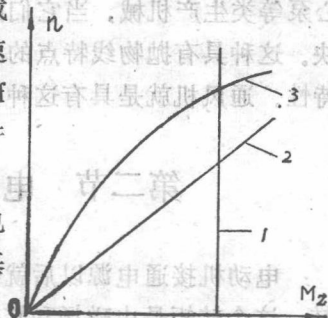


图 1—1 生产机械的机械特性

一、阻转矩与转速无关的机械特性

图 1—1 中的直线 1 代表这种机械特性。图中 n 为生产机械的转速， M_z 为生产机械的阻转矩。例如起货机、吊艇机、运输一定重量的皮带运输机，这类机械的阻转矩不随转速的变化而变化，即 $M_z = \text{常数}$ ，机械特性是一条与 n 轴平行的直线。我们把这种负载也叫做恒转矩负载。

二、阻转矩与转速成正比的机械特性

图 1—1 中的直线 2 代表这种机械特性。例如挖泥船上一种最简单的直流调速拖动系统，即简单的发电机—电动机系统，是由柴油机或交流电动机来拖动一台他励直流发电机，发电机则对一个恒定的电阻元件（直流电动机）供电。他励直流发电机的电磁转矩将近似等于拖动电动机轴上的阻转矩，这个阻转矩与转速是成正比的。

三、阻转矩与转速的平方成正比的机械特性

图 1—1 中的曲线 3 代表这种机械特性。例如通风机、离心泵等类生产机械，当它们的转速升高时，阻转矩增加得很快。这种具有抛物线特点的机械特性，我们通常又称为通风机特性。通风机就是具有这种机械特性的典型机械。

第二节 电动机的机械特性

电动机接通电源以后就会产生一个转矩，带动生产机械旋转。这个转矩是由磁场和转子导体中的电流决定的，即通电的导体在磁场中将会受到力的作用，所以我们称它为电磁转矩。

电动机的电磁转矩与转速之间也存在一定的关系,即 $n=f(M)$,可用实验或计算的方法求出,用曲线表示出来,就是电动机的机械特性。电动机的起动、制动、调速和正反转都与它的机械特性有关。因此,在制订电动机的控制方案时,必须考虑到电动机的机械特性。

绝大部分电动机的转速都是随着转矩的增大而降低的,但转速降低的程度却各不相同。如果电动机的转矩增大时,转速的变化很小,我们说电动机具有硬的机械特性。如果电动机的转矩增大时,转速有很大的下降,我们就说电动机具有软的机械特性。根据软硬程度的不同,一般将电动机的机械特性分为三类,如图 1—2 所示。

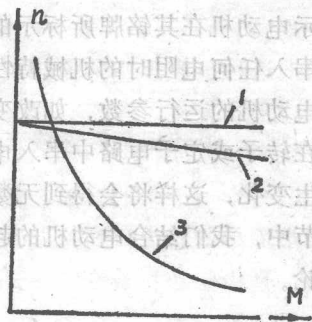


图 1—2 电动机的机械特性

1. 绝对硬的机械特性

图 1—2 中的直线 1 代表绝对硬的机械特性。图中 n 为电动机的转速, M 为电动机的电磁转矩。例如同步电动机的转速任何时候都是等于同步转速的,与其电磁转矩无关。象这种转矩发生变化而转速始终保持不变的机械特性,是一条与 M 轴平行的直线,我们称它为绝对硬的机械特性。

2. 硬的机械特性

图 1—2 中的曲线 2 代表硬的机械特性。例如三相异步电动机、他励和并励电动机,从空载到满载,它的转速下降很少。象这种转矩增大时,转速略有降低的机械特性是一条稍微向下倾斜的直线,我们称它为硬的机械特性。

3. 软的机械特性

图 1—2 中的曲线 3 代表软的机械特性。例如串励直流电动机，当它转矩增大时，转速有相当大的降落，特性曲线各部分的硬度是不同的。

必须指出，电动机的机械特性是可以改变的。我们在这里提到机械特性是指电动机固有的机械特性，也叫自然特性。它表示电动机在其铭牌所标示的额定条件下，转子或定子电路中不串入任何电阻时的机械特性。如果我们根据运行要求，改变了电动机的运行参数，如改变了电动机的电压、频率、磁通以及在转子或定子电路中串入电阻等，都会使电动机的机械特性发生变化，这样将会得到无数的人为机械特性。在今后的有关章节中，我们结合电动机的起动、制动、调速等具体问题再作讨论。

第三节 电力拖动系统稳定工作的条件

电动机带动生产机械，电动机的电磁转矩必须与生产机械的阻转矩相适应。如果电动机以某一额定转速稳定旋转时，电动机的转矩必须等于生产机械的阻转矩，并且两个转矩的方向相反，系统处于稳定平衡状态。

图 1—3 表示了异步电动机拖动一恒转矩的生产机械的运行状态。曲线 1 是三相异步电动机的机械特性，直线 2 是生产机械的机械特性，显然，这是一个恒转矩负载。这两条机械特性有两

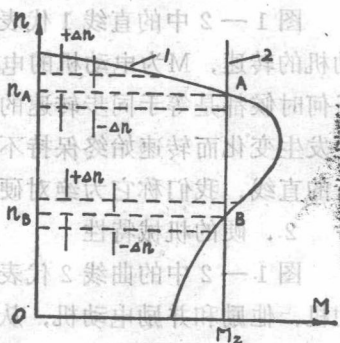


图 1—3 异步电动机拖动生产机械运行状况

个交点A和B,在A点和B点,电动机的转矩等于生产机械的阻转矩,并且两个转矩的方向是相反的。按照上面所说的,此时系统处于平衡状态,是不是这两点都能稳定工作呢?

先看A点。在A点,电动机的转矩 M 与生产机械的阻转矩 M_z 大小相等,方向相反,转速为 n_A 。如果因外力或某其它因素使工作转速稍微升高 $(+\Delta n)$,则电动机的转矩就小于阻转矩。外力消除以后,由于阻转矩大于电动机的转矩,转速就要降低而回到A点的转速。如果外力或某其它因素使工作转速降低 $(-\Delta n)$,电动机转矩就大于阻转矩。外力消除后,转速将上升,也恢复到A点的转速。由此可见,A点是能够稳定工作的。

再看另一个交点B点。B点电动机的转矩也等于阻转矩,两个转矩的方向相反。同样,我们也假定有一个外力或其它因素使转速上升 $(+\Delta n)$,从特性上可以看到,电动机的转矩就大于阻转矩,因此转速会继续上升。即使外力消除了,转速也仍将上升,一直达到A点,才能稳定工作。假如外力或某其它因素使转速略微下降 $(-\Delta n)$,则电动机的转矩就小于阻转矩,转速就会继续下降。转速越低,电动机的转矩就越小。所以即使外力已经消失,转速也要一直下降到零为止。上面的情况说明,如果外界的扰动使转速略有变化,这个拖动系统就不可能再恢复到B点的转速。在实际生产中,这种外界扰动是经常发生的,而且随时可能使转速变动。例如电源电压有波动,机械摩擦会有变化,电路的参数会有变化等等。这些波动变化都会影响拖动系统的转速,所以不可能在B点维持稳定的工作。

根据上面分析,拖动系统只能稳定工作在A点。由此可知,一个拖动系统能否稳定工作,必须满足两个条件:一个条件是

电动机的电磁转矩与生产机械的阻转矩大小相等，方向相反；另一个条件是如果有外界扰动使转速升高或降低，在扰动消除以后，能恢复到原来的转速。

第四节 挖泥船机械的特点

挖泥船的类型较多，其挖泥机械也各不相同，在分析挖泥机械电力拖动时，有必要对挖泥船的施工特点及挖泥机械的性能有一定的了解。

一、各类挖泥船的施工及挖泥机械

1. 耙吸或挖泥船。这是一种自航吸扬式挖泥船，在吸泥口处设有耙头，随着船舶的低速前进而耙起水底泥土，通过泥泵吸入并将泥浆排进本船的泥舱内，待装满后即加速自航到深水抛泥区卸泥。它的主要挖泥机械有泥泵、耙头架升降绞车等。

2. 绞吸式挖泥船。一般为非自航吸扬式挖泥船，在吸泥口处设有绞刀，随着船舶的横移和前移，转动的绞刀绞碎河底泥土，通过泥泵作用，从吸泥口、吸泥管吸进泥浆，经过船尾拖挂着的浮动排泥管，将泥土卸于水下或输送到陆地泥塘。它的主要挖泥机械是绞刀、绞刀架升降绞车、横移绞车、定位桩升降绞车等。

3. 链斗式挖泥船。它是利用装在斗桥滚筒上能连续运转的一连串泥斗，挖取河底泥沙。泥沙由溜泥槽滑入泥驳内，或经皮带输送机送至堆泥处，同时收放锚缆使船横移和前移进行挖泥。有非自航式的，也有自航式的。它的主要挖泥机械是斗链、斗桥架升降绞车、横移绞车等。

4. 抓扬式挖泥船。一般为非自航单斗式挖泥船，施工时需配备拖轮和泥驳进行卸泥。也有自航式的，施工时可自挖自卸。通过船上一台或数台可旋转的抓斗机，在不同角度抓取河底泥土。船舶位移用一般的锚绞车，主要挖泥机械是抓斗机。

5. 铲斗式挖泥船。为非自航单斗式挖泥船。挖泥时将两根前桩和一根后桩插到河底，并将船舶抬到一定高度，使船舶的一部分重量支撑在前面的两根桩上，这样使铲斗机挖泥时产生的强大反力不会使船舶移动。铲斗挖泥时，先放下斗柄使其与河底垂直，推压机构使斗柄不断向河底下压。同时，起升机构提升，则铲斗向前方推移而起挖掘作用，装满后斗柄回收至空处，以便起升机构将铲斗提升至水面上，挖掘平台回转，将铲斗中的泥土卸于泥驳内，然后回转依次在不同角度放下铲斗重新挖泥。主要挖泥机械是铲斗机、定位桩、升降绞车等。

6. 吹泥船。为非自航浮动泵站，是挖泥船的主要辅助船只之一。吹泥时，将船旁泥驳中的泥土用高压水冲成稀泥浆后，由泥泵吸入，经排泥管吹排出去。一般可用来吹填洼地、造田或农田积肥。主要挖泥机械是泥泵。

二、挖泥机械的特点

挖泥机械的电力拖动与一般营运船舶常规机械的电力拖动有许多明显不同的要求。因此，必须了解挖泥机械的基本特点及对电力拖动所提出的要求，才能更好地分析具体的拖动方案及控制线路。挖泥机械的基本特点是：

1. 挖泥机械具有较大的功率，一般成为船舶电站及动力装置配置的主要用电设备。有资料已经说明，在我国建造并使用的挖泥船中，大功率的挖泥机械其电动机的功率已达到与发电机装置总功率相比拟的程度，甚至电动机功率与发电机功率是

匹配的, 这个比值一般在40%以上, 很多均在60%以上。这对船舶电站的影响是相当大的。

2. 挖泥机械有调速和堵转的要求, 但对调速系统的精度和快速性要求不高, 这是与冶金、机床、造纸等企业的电力拖动显著不同的。

3. 挖泥机械作业时, 常有几种工作状态的可能性, 因此必须进行主电路的工况转换, 而这种主电路的特点是大电流的。所以在考虑拖动方案时, 一方面要注意选择各种大电流的电器元件, 用于大电流主电路的工况转换, 同时又要尽量设法减少这类元件的数量和结构简化。

三、挖土机特性

在挖泥机械的电力拖动系统中, 有许多机械都具有挖土机特性, 即堵转特性。

什么是挖土机特性呢? 图1—4所示工作机械电动机的机械特性曲线就表达了典型的挖土机特性。图中AB段为电动机正常工作特性, BC、CD段或BD段即为挖土机特性。一般取B点为额定工作点, D点为堵转点, C点称为转折点。这样可得到两种斜率的下垂特性, 即转速按两种不同速率下降的特性。当挖泥机械开始发生过载时, 转速下降稍慢一些, 相应过载能力也就强一些, 然后较快地过渡到堵转状态。

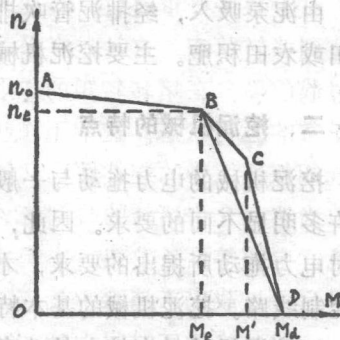


图1—4 典型的挖土机特性

由于船舶电站容量有限, 发电机饱和等影响, 实际得到的

挖土机特性不可能这样清晰地过渡和呈标准的线性状态，而是象图 1—5 那样圆滑的弯曲。

挖土机特性的优点是：

1. 静态堵转转矩使挖泥机械的强度得到保证，在过载时不会损坏。

许多挖泥机械经常会发生过载，并且过载的大小又不能事先预见。而工作机械的结构强度是不能做得无限大的，规定了静态堵转转矩，就使结构强度的考虑有了一个最大值的限制。

2. 过载发生时，使挖泥机械转速突然迅速下降，这对很多挖泥机械来讲，都能或多或少地减少过载程度，以便恢复正常工作。

对于某些严重过载，转速的下降甚至可以达到停止状态，即达到堵转状态。这时，在采取了各种相应的措施以后，排除了过载故障，在堵转转矩的作用下，工作机械开始加速，又转入正常的运行状态。这个工作状态的转换过程是自动进行的，它既能保证工作的连续性，又能减轻操作人员的劳动强度。

当然，允许堵转的时间应该有所限制，因为堵转电流会使电机、电缆等设备发热，影响其使用寿命。当超过允许堵转时间以后，过载仍未消除，就应该自动断开系统工作并发出信号。一般允许堵转时间为 10~30 秒。

3. 在有一定过载能力的条件下，可以限制动力装置的输出功率，避免配备过大的装置功率。

前面已经提到过，挖泥机械的装置功率往往是该船动力装

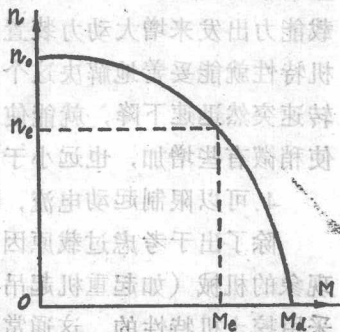


图 1—5 实际的挖土机特性

置功率的主要部分，特别是一些大功率的挖泥机械，单纯从过载能力出发来增大动力装置功率的办法是不可取的。采用挖土机特性就能妥善地解决这个矛盾。当过载发生时，挖泥机械的转速突然迅速下降，就能使输出功率限制在一定的范围内，即使稍微有些增加，也远小于转矩过载的程度。

4. 可以限制起动电流，保证快速起动。

除了出于考虑过载原因以外，对于某些一般不会出现过载现象的机械（如起重机起吊规定的负载），在某些场合下也有采用挖土机特性的。这通常是因为以下的一些因素：如电动机功率较大；有调速要求；起动频繁等。这时采用挖土机特性的目的主要是限制起动电流，以保证快速起动，而不是为了堵转。

态外止管隆衣以百至基判不郎整并，舞长重气整某千伙

、斜井，冠以肱臂的应卧怀谷丁如采衣，相衣。态外并部隆衣朝
并又，整肌就并时并工，不用并的联并并整衣，制站舞衣丁

、前并整衣自县整衣舞并的态外并工个衣。态外并整衣常五人

、更整衣整衣人并舞并舞衣又，并整衣的并工五整衣舞衣
更会整衣并整衣因，舞并整衣整衣的并整衣并整衣，然整

和并整衣并整衣整衣。命整衣整衣其整衣，整衣整衣整衣整衣，并整
并出整衣并并工整衣并整衣自整衣整衣，整衣整衣整衣，并整衣

。将08-01衣的并整衣并整衣一，号

出并整衣整衣并整衣并，并并整衣并整衣整衣一衣衣，8

。率整衣整衣的大整衣整衣整衣，率整

整衣整衣整衣整衣并并率整衣整衣的并整衣整衣，整衣整衣整衣并

第二章 船舶电力拖动系统图与常用电器

随着生产的不断发展，各种类型挖泥船的自动化程度越来越高。挖泥机械和船舶辅机不仅能自动地完成正反转、调速、制动等工作，而且实现了自动控制和远距离操纵，既减轻了繁重的体力劳动，又提高了生产效率和工作质量。所有这些，都是由一套完整的电力拖动自动控制系统来实现的。

一般说来，电力拖动系统由三个部分组成：一是需要拖动的生产机械本身；二是拖动生产机械的动力设备——电动机，选择电动机时，应根据生产机械对电力拖动所提出的要求，合理地确定其容量、型式及机械特性；三是由各种电器组成的一个控制系统，以便迅速而准确地对生产机械进行自动控制。

要了解电力拖动自动控制系统，必须首先了解组成控制系统的各种电器的一般结构、动作原理、性能特点。同时，还要掌握控制线路的图示法，即能看懂线路图，还能绘制线路图。

第一节 船舶电力拖动系统图与符号

一、电气线路图上的图形符号与文字符号

电力拖动系统是按自动控制原理，由电动机和大量的电气元件组成自动控制线路的。为了能够明确地表达设计意图，为

表2-1 电力拖动系统常用图形符号

名 称	图 形 符 号	名 称	图 形 符 号
一、基 本 符 号		三、电 阻	
直 流		电 阻	
交 流		变 阻 器	
交 直 流		电 位 器	
电 气 连 接			
可 拆 卸 接 头			
非 电 的 连 接			
换 接 片		励 磁 变 阻 器	
接 地		断 开 式 励 磁 变 阻 器	
接 机 壳			
二、导 线、电 缆、母 线 及 直 连 接		四、电 机	
电 缆 和 电 线		旋 转 电 机 绕 组	
汇 流 排		(1) 换 向 绕 组	
多 根 电 线		(2) 补 偿 绕 组	
连 接 的 跨 越 导 线		(3) 交 流 电 机 定 子 绕 组 或 直 流 电 机 串 励 绕 组	
不 连 接 的 跨 越 导 线		(4) 直 流 电 机 并 励 绕 组	
导 线 的 分 支 和 合 并		三 相 鼠 笼 式 异 步 电 动 机	
		三 相 同 步 发 电 机	
		三 相 鼠 笼 异 步 电 动 机	