

中等專業學校教學用書

起重運輸機械的 電氣設備

米克列爾著



機械工業出版社

中等專業學校教學用書



起重運輸機械的電氣設備

米克列爾著

吳浣塵譯

蘇聯運輸和重型機械製造部批准
作為機器製造中等專業學校教學參考書



機械工業出版社

1957

中等專業學校教學用書



起重運輸機械的電氣設備

米克列爾著

吳浣塵譯

蘇聯運輸和重型機械製造部批准
作為機器製造中等專業學校教學參考書



機械工業出版社

1957

09238

出版者的話

本書詳盡地闡明了起重運輸機械的电气設備在理論上和实际运用当中的問題：起重運輸機械所采用的电机的性能；电力驅動理論的基本原理；供各种不同起重運輸機械起重、移动及轉动機構使用的电动机之計算与其类型及容量之選擇；控制、联鎖和保护电器及其選擇；起重運輸機械的电气系統；供电及布綫；电气設備的安裝、試車和試驗；电气設備的使用和主要的安全技术規則。为了便于应用实际的計算方法，書中还列出了大量的計算实例及重要的参考資料。

本書系供培养起重運輸機械專門人材的重型机器制造中等技术学校学生作为教材之用，并且也可供設計安裝和使用起重運輸機械电气設備的工程技术人员参考。

苏联 А. Г. Меклер 著 ‘Электрооборудование подъемно-транспортных машин’ (1954 年第一版)

* * *

NO. 1085

1957 年 7 月第一版 1957 年 7 月第一版第一次印刷

850×1168 $\frac{1}{32}$ 字数 319 千字 印張 $12\frac{3}{16}$ 0,001— 3,300 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号

定价(10) 1.80 元

目 次

原序.....	6
緒論.....	7
第一章 电力驱动的理论基础和供起重运输机械用的电动机的选 擇.....	9
1 电动机的机械特性.....	9
电动机的运转状态.....	10
2 直流电动机.....	16
1 直流电动机的构造及其运转(18)——2 主要关系(19)——3 并激和他激电 动机(20)——4 发电机-电动机系统(29)——5 电机放大机(32)——6 串激 电动机(34)	
3 三相交流电动机.....	56
1 三相交流电动机的构造(56)——2 主要关系(58)——3 电动机的起动及其 旋转方向的改变(60)——4 异步电动机的调速和制动状态(67)	
4 电动机的同轴运转及同步旋转系统.....	77
5 电动机的构造.....	84
6 静负载的决定.....	98
1 垂直运动(98)——2 水平运动(102)	
7 动负载的决定.....	103
1 一般形式的基本运动方程式(106)——2 直线运动的基本方程式(111)—— 3 加速时间的决定(112)——4 减速时间的决定(117)——5 运动质量向电动 机轴上的折合(119)——6 在稳定运动, 起动和制动时机械的过载(125)—— 7 在过渡状态时电动机和电器中的能量损耗(132)	
8 电动机的发热.....	135
1 决定电动机容许发热的条件(135)——2 电动机的发热和冷却过程(138) ——3 当生产机械的负载图已知时决定工作周期的等值负载(144)——4 根 据已知的等值负载选择电动机的容量(尺寸)(150)	
9 决定电动机容量的实用方法.....	152
1 起动可靠性的检验(153)——2 吊车机械标准工作状态的决定(155)——3 决定属于标准工作状态的机构的电动机功率(162)	

第二章 控制电器和保护电器	174
1 控制的类型和对电器的一般要求	174
1 控制的类型(174)——2 起动过程自动控制的原理(175)	
2 闸刀开关, 开关和熔断器	177
3 控制器	179
4 接触-继电器	182
1 接触器(182)——2 磁力起动器(188)——3 继电器(189)	
5 主令电器	195
6 终点开关	198
7 保护盘	202
8 选择控制器, 电磁站和保护盘的型号	203
9 制动电磁铁	209
10 电阻箱	219
11 重物位置指示器和风力开关	231
12 起重电磁铁	232
13 特殊型式的电器	235
第三章 起重运输机械的电气线路图	241
1 电气线路图的用途和符号	241
2 起重运输机械各独立机构的电气线路环节图	241
1 三相交流电气线路图(249)——2 直流电气线路图(268)——3 电机型自动 控制线路图(282)	
3 吊车和电葫芦的电气线路全图	284
限制桥架金属结构歪斜的装置	306
电葫芦和单轨小车的供电线和转载器的联锁	313
4 控制电梯的电气线路图	316
5 连续运输机械电动机的电气接线图	322
6 电气小车	329
第四章 起重运输机械的供电设备	333
1 供电装置的构造	333
2 导线和滑线的计算	339
3 导线和滑线的计算及保险丝的选择举例	347
第五章 起重运输机械电气设备的安装和运转	348

1 电气设备的安装.....	348
2 电气设备的調整和試驗.....	359
3 电气设备的使用.....	366
4 起重运输机械电气设备在使用时的主要技術安全規則.....	372
5 防火安全措施.....	374
6 在触电时的紧急救护.....	375
7 起重运输机械的照明.....	378

原 序

本書闡明起重運輸機械的電氣設備在理論上和實際運轉當中的問題，系供培養起重運輸機械專門人材的重型機器製造業中等技術學校學生作為教材之用。

本書適用於已熟悉吊車，電梯，葫蘆等機械部分構造和電工學原理的讀者。

編著本書時曾應用了起重運輸機械製造業和電氣工業的經驗，以及在研究起重運輸機械的工作情況時所搜集來的材料。

書中闡明的主要問題是：起重運輸機械所採用的電機的性能；電力驅動理論的基本原理；供各種不同起重運輸機械的起重，移動及轉動機構使用的電動機之計算與其類型及容量之選擇；控制，聯鎖和保護電器及其選擇；起重運輸機械的電氣系統；供电及布綫；電氣設備的安裝、試車和試驗；電氣設備的使用和主要的安全技術規則。為了便於應用實際的計算方法，在書中援引了大量的計算實例及重要的參考資料。

編著本書時曾考慮到起重運輸機械製造業和電氣工業工廠中的經驗，以及全蘇起重運輸機械製造業科學研究院（ВНИИПТМАШ）的經驗。

本書除作為教材之用以外，也可供設計起重運輸機械的電力驅動，和擔任起重運輸電氣設備的安裝和使用工作的專家們使用。

緒 論

电气設備是大多数起重運輸机械的很重要部分。沒有电气設備这些起重運輸机械中有很多就不可能以現代化的形式实现。为要說明这件事情，只需回想一下高生產率的冶金用吊車，高大建筑物的快速电梯，在建筑上，在造纸工業中的單軌和連續輸送器的自动化系統，纜式吊車等等，就足以令人相信。

在起重運輸机械中，像在任何复雜的机械中一样，电动机，傳动机構和控制系统結合而成驅动系統[●]的总概念。大多数起重運輸机械是帶有电动机工作的，而利用特殊的电器加以控制。因此在起重運輸机械中驅动系統的主要形式是电气的驅动系統，或者按另一种方式說是电力驅动。

在起重運輸机械制造業中采用單个的或多电动机型的电力驅动。第一种类型較少遇到，像在懸臂吊車这样的机械中才应用，懸臂吊車的全部工作機構就是由一个电动机驅动的。第二种类型經常遇到，是最普遍的类型（桥式吊車，纜式吊車，电葫蘆，運輸帶等等）。在这种类型的驅动系統中，起重和移动重物，小車，桥架，控制室等的各个工作機構系分別由單独的电动机驅动。一系列机械由一个电动机來驅动的成組驅动（天軸）在起重運輸机械中采用不多。

在电力驅动的理論方面和实际应用方面，俄國科学家們都有巨大的功績。早在1838年，雅可比（Б. С. Якоби）院士就曾經在涅瓦河[●]上試驗过用电力驅动的快艇；这只快艇載着11个人逆流行駛，速度达到每小时4公里。俄國物理学家烏薩琴（И. Ф. Усагин）第一个利用变压特性制出了变压器。多利沃-多布罗沃利斯基（М. О. Доливо-Добровольский）于1891年最先在世界上实现了距离175公里的电能輸

● 原文为 привод，我國有譯为“傳动系統”或“拖动系統”。——譯者

● 在列寧格勒。——譯者

送，并制成了鼠籠式和繞綫式的异步电动机[●]。这样就开辟了在工業上、在運輸上和在農業上廣泛应用电动机的远大前途。电力驅动逐漸地顯示出它本身在技術上和經濟上的优越性，并几乎排挤了其他形式的驅动系統。也僅在电力驅动創立以后，才有可能在設備重量比較不大的条件下保證機構緊張而有效的工作，許許多多的起重運輸机械才得到廣泛应用。而且电力驅动大大簡化了管理工作，并不需要高度熟練的司机員。

在苏联，电力驅动飛速地發展，保證了机器制造業，農村經濟和其他國民經濟部門的成就。

負有解决重大問題使命的苏联电力驅动科学，正在作为一个總結和指導实际活動的理論在發展着。它顯然是不同于外國資本主义性質的商店的个別的，往往是孤立的成就，它們的活動貫穿着競爭和暴利的想法。还在1921年时期就遵照列寧的指示为电气化方面的工作創立了國家實驗电工学院（从1929年改为全苏电工学院——ВЭИ），它在电力驅动的發展上產生了很大的作用。在我國（苏联）曾經出版过电力驅动理論方面的巨著——林开維奇教授（С. А. Ринкевич）的“机械能的电力分配”和波波夫教授（В. К. Попов）的“电动机在工業中的应用”以及其他的著作。以后，普通电力驅动理論和起重運輸机械的特殊电力驅动問題，在很多的苏联学者和工程师的著作中都曾經研究过。

苏联工厂出產的現代化質量优良的电气設備，在起重運輸机械上得到应用。在起重運輸机械的电力驅动方面有科学研究院及設計院在工作着。在这些機構里拟制着新的电力驅动系統，研究各种不同的起重運輸机械在使用当中电力驅动系統的運轉，和解决計算方法及標準化的問題。重型机械制造業正在为改進起重運輸机械的电力驅动，大力地進行着工作。

起重運輸机械的电力驅动今后的發展道路，必須是减小电气設備的重量和尺寸，增大交流驅动系統的調速範圍，提高电气設備在沉重和極為沉重的工作情况下的可靠性，創造控制制动器的完善設備等等。

● 我國通常称为鼠籠式感应电动机和繞綫式感应电动机。——譯者

第一章 电力驱动的理论基础和供起重运输机械用的电动机的选择

1 电动机的机械特性

机械特性 电动机的转速(轴的每分钟转数)和它所发出的转矩大小(公斤-公尺)的关系叫做电动机的机械特性 $n=f(M)$ 。当电力驱动装置稳定运动时,它的速度不变,电动机发出的转矩等于阻力转矩(负载) $M_{oa}=M_c$ 。通常随着负载转矩 M_c 增大而电动机的转数 n 降低。降低愈多,电动机的特性认为是愈软,反之在电动机负载增加很大的时候,假使速度仍然很少变化,它的特性就认为是硬的。

特性的硬性可以数值 $\beta = \frac{dM}{dn}$ 来估计它, β 称为硬度。

硬度 机械特性的硬度用机械特性对垂直坐标轴倾斜角度的正切来表示,在电动机的特性为直线的情況下用方程式 $\beta = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta M}{\Delta n}$ 来表示(圖1)。硬度的倒数 $\left(\frac{1}{\beta} = \frac{\Delta n}{\Delta M}\right)$ 决定特性的软性,因为它直接示出

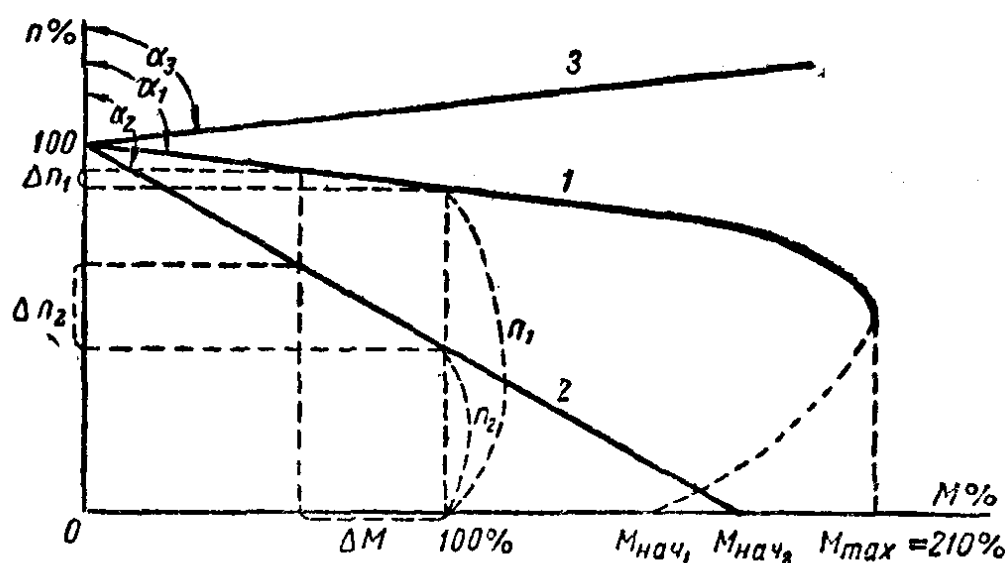


圖1 机械特性

当电动机軸上的轉矩变化一定的 ΔM 时, 电动机的轉数变化 Δn 。硬度和它的倒数可以把 ΔM (公斤-公尺) 和 Δn (轉/分) 的数值代入計算公式中計算出來, ΔM 常常是用它占額定轉矩 M_n 的百分数來表示, 而 Δn 用它占額定轉数 n_n 的百分数來表示。

例如, 比較一下圖 1 所示的特性曲綫 1 和 2 的硬性, 与負載变化 $\Delta M = 40\%$ 时所对应的轉数变化: 在較硬的特性曲綫 1 上是 $\Delta n_1 = 4\%$, 而在軟的特性 2 上是 $\Delta n_2 = 24\%$ 。

計算出硬度 $\beta_1 = \frac{\Delta M}{\Delta n_1} = \frac{40\%}{-4\%} = -10$ 和 $\beta_2 = \frac{\Delta M}{\Delta n_2} = \frac{40\%}{-24\%} = -1.67$ 。負号表示下降的特性(随負載增大而轉数减少)。

也有可能遇到具有正的硬度特性的电动机(見圖 1 上的曲綫 3)。

电动机的运转状态

电动机主要的运转状态分为两种: 电动机状态和制动状态。

电动机状态时电动机驱动起重运输机械的工作机构(輪, 鼓輪)和重物。吊車的桥架或小車的移动, 或重物的起重是典型的电动机状态。

制动状态时电动机使机械的运动部分和重物减速, 或是防止过高速度的產生。例如: 吊車的桥架或小車在停止前用电力制动; 限制重物下降的速度——在这种情况下如果没有电力制动, 重物將以自由落体的速度下落, 而这是不允许的。

表示机械特性数值的符号可以改变。因此通常將机械特性布置在坐标系的四个象限里。

起重运输机械工作时, 具有代表性的运动形式如下: 垂直方向的运动(起重和下降) 和水平方向的运动(正向和反向或在两个方向上旋轉)。

起重时电动机的轉矩和轉数取正号, 相反的方向(下降)取負号。起重时电动机所必需克服的轉矩(由于重物的重量和机械中的損耗)認作是負的^①。

① 这些轉矩称为靜阻力轉矩, 其定义見第一章第 6 節。

水平移动或旋轉时，假如我們認為运动方向及其对应的电动机轉矩是正的，那末为电动机所克服的轉矩(运动阻力，逆風之类)應該認為是負的。假如水平移动时風是帮助运动的，那末由風所產生的發动机轉矩● 應該認為和电动机轉矩同样为正的。假如吊車水平运动时，風或斜坡阻碍运动，电动机需要克服阻力，那末由于風和由于存在斜坡而產生的分力所造成的負載就是負的。使重物不要在重力作用下下落和維持速度一定的制动轉矩，它的方向和起重时相同，所以也是正的。这种下降的形式就叫做制动下降。反之，假如下降时电动机促使重物向下运动(当机械中的摩擦使輕的重物或空鈎不能下降时，这样作是必要的)，电动机轉矩的符号和轉数相同，就應該是負的。在机械移动部分中的摩擦轉矩，这时認為是正的，而重物所產生的轉矩与运动方向(向下)相同，所以應該認為是負的。这样的下降叫做动力下降。

以上所述表示在圖 2 上。在圖上各个对应的象限中示出上面列举的全部运动类型的例子，并給出附有說明速度方向，电动机轉矩 $M_{\partial\partial}$ 及靜負載轉矩 M_c 的方向的运动特性。

在水平运动时的制动情况中(象限 II)，电动机產生反抗它的軸轉动的制动轉矩 $M_{\partial\partial}$ 。反之，負載轉矩 M_c 这时促使軸轉动。嚴格地說，負載轉矩是促使运动的轉矩(由順風，吊車傾斜所產生的轉矩)和机械中的損耗轉矩之差 $M_c = M_o - M_n$ 。

在动力下降小的重物时(象限 III)，負載轉矩 M_c 是阻碍电动机轉动的損耗轉矩和帮助电动机轉动的重物轉矩之差 $M_c = M_n - M_z$ 。假如重物轉矩大于損耗轉矩，則已經不是需要电动机帮助下降的动力下降，而是需要电动机支持重物，不讓速度增高的制动下降了。这样的运动表示在象限 IV 中。在这种情况下負載轉矩的符号改变，运动的方向不变，而电动机应当發出的轉矩，方向已經不是向下，而是向上。

在圖 2 上示出一些在起重运输机械的电力驅動中应用最廣及最常見的机械特性。圖中各直綫表示某一台电动机在各种不变的運轉条件下(一定的接綫圖，电压为恒值，电动机迴路中的电阻不变)的机械特

● 意即產生动力的轉矩，原文为 *двигательный момент*。——譯者

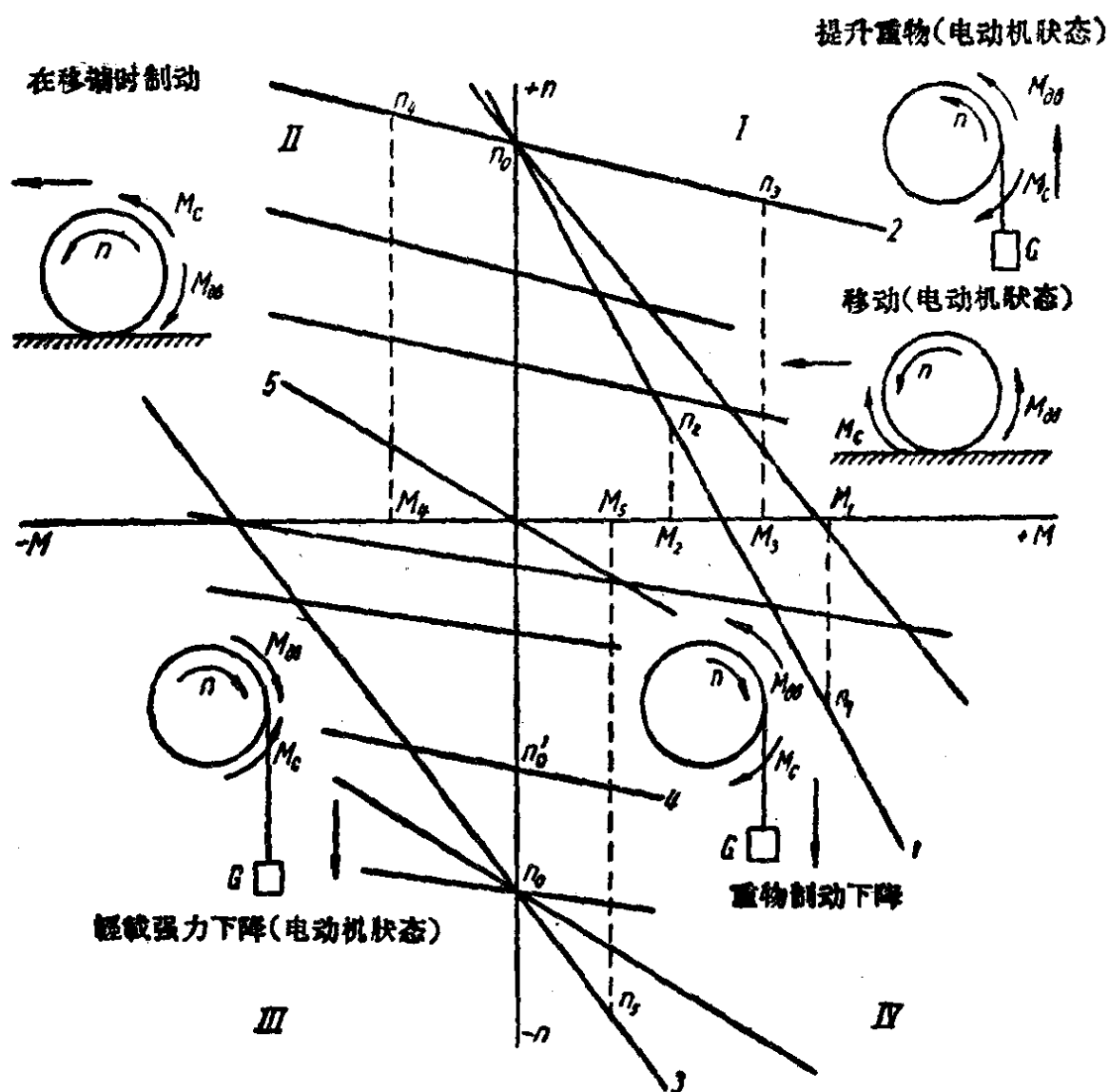


图2 转矩和速度的符号

性。

设想电动机接綫具有机械特性 1, 并使它驱动吊车的起重机构。那末当负载 $M_c = M_1$ 时, 重物将按照 n_1 的速度下降, 也就是重物转矩超过了产生向上运动的电动机转矩(牵引负载)。假如负载较小 ($M_c = M_2$), 那末电动机在同样的接綫时, 将在同样的特性 1 上运转, 并以速度 n_2 起重重物。这种情况中重物转矩是不能超过电动机转矩的。如果电动机接綫是起重, 但在牵引负载的作用下而使得重物下落, 这种使它起制动作用的运转状态叫做反接[●]。假如把使吊车向前移动的电动机换接成使吊车反向移动时, 这种状态也会产生。这时在储蓄着的动

● 在技术上采用这种制动形式的第二个名称——“电流反向”。

能作用下，往前移动將仍繼續一些时候。然后电动机發出反抗运动的轉矩，使吊車停止下來。如果这时电动机仍不断开电源，那末就开始了方向相反的运动。反接状态时能量由工作机械傳送給接在电網上的电动机，迫使电动机的軸向反对电动机轉矩的方向旋轉。工作机械的动能和取自电網的能量都白白地損失掉了，这样就使得电动机的繞組和附加电阻的發热增加。所以反接状态对于电动机的運轉是很沉重的。

現在來研究一下其他的制動情况。假設当吊車水平运动时，电动机在特性 2 上運轉，需要克服的負載轉矩 $M_c = M_3$ 。电动机旋轉的速度为 n_3 (象限 I)。設想順着吊車运动的方向刮風。風力不僅足以克服負載 $M_c = M_3$ ，甚至產生了制動轉矩 M_4 。电动机这时將过渡到制動状态，而旋轉速度 $n_4 > n_0$ 。 n_0 叫做理想空載速度 (当 $M = 0$)。电动机这样的運轉状态叫做反饋能量回电網的發電制動 (再生)。这种發電制動状态在重物以高速度下降时也会產生 (在机械特性 3 上的轉矩 M_5 时速度 $n_5 > n_0$)。

在某些情况下电动机也可能在低速下作發電機運轉，返送能量回电網并產生制動轉矩。例如当供电电压改变 (直流电动机) 或是变换極数 (交流电动机) 的情况下，理想空載速度就可能被降低了 (特性 4 上的 n'_0)。

在其他的場合中，当电动机作發電機運轉时 (在电樞兩端并联有电阻)，也可能在低速下制動。从工作机械中取得的动能轉变成成为电动机繞組和电阻中發散出來的热能。这种制動叫做能耗制動。在圖 2 上能耗制動用特性 5 表示。

用能耗制動方法制動的驅動裝置在停車以后，不会反向，因为当驅動系統停止下來时，电动机發出的轉矩也將等于零 (所有能耗制動特性都通过坐标系的原点)。獲得各种机械特性的条件和各种不同制動方法的运用，將在以后分別就各种类型的电动机加以研究。

沒有附加电阻与电網正常接綫的电动机，在額定电压时具有所謂自然机械特性。用接入附加电阻改变供电电压，及用其他方法可以得到另外一系列的特性，叫做人造特性。人造特性可用作起動、調速、制

动等等。电动机在自然特性上运转最经济，因此长期作业力求使电动机在自然特性上运转。

同样一个电动机可能在一系列的特性上运转，可以实现起重运输机械电力驱动的转速调节。

吊车，电梯和其他起重运输机械的电力驱动系统中的速度调节 在吊车，电梯和其他起重运输机械的电力驱动系统中，速度调节要求在具有高速之外，同时在重物着地和停止时要具有低速度。例如在熔铸车间中当金属液体移动时，希望能具有低速度，而在机械空载移动时希望速度能最大(为了提高生产率)。至于在建筑上，在发电站的机器房里，在机器制造厂里，以及在船舶制造业等处工作的吊车要求在额定速度之外，还要有很低的速度，才可能精确可靠地把重物装置到构架上去。电梯，特别是特殊的快速吊车和很多其他的起重运输机械，除了在额定速度运转以外，还要能够获得很低的所谓“爬行”速度来保证严格地在固定点上停车。

供调速用的电动机的机械特性，在大多数情况下希望具有尽可能硬的特性，要求甚至在各种不同的负载下，仍能保证不变的速度。但在同样情况下，当执行空载作业时(提升空钩)就不需要恒速调节，而需要使它增大，与前相反，需要一个软的电动机特性，自动地改变速度。

电动机的调速限度(范围)普通用最小的稳定速度对它在运转中达到的最大稳定速度的比例系数来估价它

$$\frac{v_{\min}}{v_{\max}} = \frac{n_{\min}}{n_{\max}}.$$

调速限度往往用电力驱动系统的相对额定速度来表示。这样从额定速度向上的调节是 $\frac{n_{\max}}{n_{\text{НОМ}}}$ ，而从额定速度向下的调节是 $\frac{n_{\min}}{n_{\text{НОМ}}}$ 。

显然全部调节范围是 $\frac{n_{\min}}{n_{\max}} = \frac{n_{\text{НОМ}}}{n_{\max}} \times \frac{n_{\min}}{n_{\text{НОМ}}}$ 。当然最低转数对最大转数之比愈小，调速的限度愈大。举例说，假如电力驱动系统的全部调节范围等于 1 : 10，那末就意味着它的最低速度为最大速度的 1/10。假如图 1 上的特性 1 和 2 是对同一个电动机来说的，那末在转

矩 $M=100\%$ 时, 調節范围是 $\frac{n_2}{n_1}=1:2$ 。輕載时电动机的調速范围减小(空載时只能以滿速運轉), 而在負載增大时就增大(在 $M=150\%$ 时調速限度 $\approx 1:8$)。

对于普通用途的吊車調速限度 $1:3$ 已經足够了, 只在安裝吊車及快速电梯上才需要有速比为 $1:10$ 的調速限度, 少数的要达到 $1:15$ 。調節的平滑性表示当負載不变时在两个相鄰特性上的速度之比。在同样范围内調節的級数愈多, 調節的平滑性愈大。

电动机任一机械特性的原始数值, 是在电动机开始轉动时, 也就是在轉数为零时所發出的轉矩(見圖 1)。这个轉矩叫做初轉矩。

如果电动机的初轉矩超过机械的靜阻力轉矩, 电动机就加速起來。电动机在經過加速而得到一定速度之后, 常常設法使它發出的轉矩大于初轉矩。如對特性 1 (圖 1) 初轉矩 $M_{\text{нач}_1}$ 小于最大容許轉矩 $M_{\text{max}}=210\%$ 。某一个轉矩, 如果超过它就要引起电动机運轉不穩定, 以后就会停下來, 这个轉矩我們叫做最大轉矩。

电动机起動时, 它的轉矩由初轉矩变到靜負載轉矩(在轉速不变时的运动阻力)。在起動時間內变化的起動轉矩的大小对电动机的加速很重要。

起動轉矩愈大, 起動愈是迅速可靠, 作用在机构上的加速力量也愈大。

当負載 $M_c=100\%$ (圖 1) 沿特性 1 加速时, 起動轉矩从 $M_{\text{нач}_1}$ 变到 $M_c=100\%$, 通过 $M_{\text{max}}=210\%$ 。在这种情况下加速在速度 n_1 时完結。在利用特性 2 加速时加速就比較慢, 起動轉矩从 $M_{\text{нач}_2}$ 变到 $M_c=100\%$, 沒有超过前一个轉矩, 而在速度 $n_2 < n_1$ 时完結。

穩定運轉 电动机的穩定運轉不是在任何条件下都是可能的。电动机在任何運轉狀態中, 如果由于外來的影响使它离开了原來的運轉狀態, 在这以后电动机仍力圖返回它原來的運轉狀態, 这个电动机的運轉才能認為是穩定的, 这对于其他的系統也同样是正确的。可以举这样的情况为例: 电动机在不变負載和不变轉速下運轉, 然后由于短时