

高等学校教学用书

矿山电力拖动与 控制基础

北京矿业学院矿山电工教研组编



中国工业出版社

高等学校教学用书



矿山电力拖动与 控制基础

北京矿业学院矿山电工教研组编



中国工业出版社

本书主要内容：第一部分为电力拖动的基本原理，具体分析电力拖动在矿山生产机械中的应用，包括动力学，电动机机械特性的分析，速度调整，几种特殊电力拖动方式，过渡过程，电动机容量计算选型，起动设备计算选型等；第二部分为电力拖动控制的基本原理，包括控制电器，拟定控制线路原则及一些常用的控制线路举例。

本书可作为高等工业学校矿山机电专业“矿山电力拖动与控制基础”课程的教学用书，也可供矿山机电工程技术人员参考。

矿山电力拖动与控制基础

北京矿业学院矿山电工教研组编
(根据煤炭工业出版社纸型重印)

*

煤炭工业部书刊编辑室编辑(北京东长安街煤炭工业部大楼)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张15·字数323,000

1960年8月北京第一版

1961年6月北京新一版·1963年6月北京第三次印刷

印数3,861—5,173·定价(10-5)1.70元

*

统一书号：K15165·81(煤炭-9)

編者的話

本书于 1954 年春由北京矿业学院矿山电工教研組苏联专家斯米 尔諾夫同志 指导編成初稿，經多次讲授修改。在党的建設社会主义总路綫的鼓舞下，1959 年又由我教研組教师集体进一步充实修改，并由有教师和学生参加的教学小組討論定稿。

在編写和討論中，唐山矿冶学院，山西矿业学院，焦作矿业学院，大同矿业学院，淮南矿业学院，西安矿业学院，鸡西矿业学院，北京煤炭工业学院，东北工学院，合肥工业大学，阜新煤矿学院，撫順煤矿学院，广西大学，貴州工学院，双鴨山煤矿学校，泰安煤矿学校等院校教师給予很大帮助，提出很多宝贵意見，特此志謝。

北京矿业学院矿山电工教研組

1960.2.

目 录

編者的話	
緒論	5
第一章 电力拖动动力学基础	8
§ 1-1. 电力拖动运动基本方程式	9
§ 1-2. 靜态力矩和动态力矩的折算	12
§ 1-3. 傳动的功和功率	15
§ 1-4. 帶曲柄傳动機構等效力和等效飞輪慣量的折算	16
§ 1-5. 起动和减速停車時間	18
§ 1-6. 最合理傳速比的概念	19
第二章 电动机机械特性的分析和应用	24
§ 2-1. 直流他激电动机的性質和它的机械特性分析	25
§ 2-2. 直流串激电动机的性質和它的机械特性分析	34
§ 2-3. 直流复激电动机的性質和它的机械特性分析	38
§ 2-4. 感应电动机的性質和它的机械特性分析	38
§ 2-5. 卷綫型感应电动机拖动轉子回路加电阻的起动和停止	47
§ 2-6. 卷綫型感应电动机拖动轉子回路接起动电抗器的机械特性分析	49
§ 2-7. 卷綫型感应电动机拖动轉子回路接飽和电抗器的机械特性分析	52
§ 2-8. 特种感应电动机的机械特性分析	55
§ 2-9. 同步电动机的机械特性分析	57
第三章 电力拖动的速度調整	58
§ 3-1. 直流他激电动机的調速性能	60
§ 3-2. 直流串激电动机的調速性能	62
§ 3-3. 交流感应电动机的調速性能	65
§ 3-4. 發电机-电动机組的調速性能	67
§ 3-5. 离子拖动系統的調速性能	75
第四章 几种特殊拖动方式和其調速性能	83
§ 4-1. 双电动机拖动的概念	84
§ 4-2. 双感应电动机拖动的調速性能	84
§ 4-3. 双感应电动机拖动系統的負載分配	86
§ 4-4. 双感应电动机拖动系統的几种不同接綫方式	87
§ 4-5. 双直流他激电动机的拖动系統	90
§ 4-6. 帶有滑差連軸器的电力拖动	93
§ 4-7. 电磁連軸器	94
§ 4-8. 电磁連軸器的構造特点	97
§ 4-9. 电磁連軸器的控制	98

§ 4-10. 电气同步拖动系统	106
第五章 电力拖动的负载曲线及过渡过程	107
§ 5-1. 研究电力拖动的负载曲线及过渡过程的意义	107
§ 5-2. 过渡过程的分类	108
§ 5-3. 静态力矩恒定、机械特性曲线为直线的电力拖动的机械过渡过程	109
§ 5-4. 静态力矩恒定、机械特性曲线为直线的电力拖动的起动过程	112
§ 5-5. 静态力矩恒定、机械特性曲线为直线的电力拖动的制动过程	116
§ 5-6. 三相感应电动机拖动考虑机械特性为曲线时的机械过渡过程	123
§ 5-7. 具有附加飞轮的电力拖动带动冲击负载的运行情况	127
§ 5-8. 用相对单位分析机械特性曲线为直线的电力拖动的过渡过程	129
§ 5-9. 机械过渡过程的近似算法	131
§ 5-10. 静态力矩恒定、机械特性曲线为直线的机电过渡过程	135
§ 5-11. 发电机-电动机组的机电过渡过程	139
第六章 电动机容量的计算及选型	149
§ 6-1. 电动机容量选择的一般概念	149
§ 6-2. 电动机的发热和冷却	151
§ 6-3. 工作状态的分类	155
§ 6-4. 负载长期不变或极少变动时电动机容量的选择	156
§ 6-5. 连续变动负载时电动机容量的选择	157
§ 6-6. 短时工作状态下电动机容量的选择	161
§ 6-7. 重复短时工作状态下电动机容量的选择	163
§ 6-8. 电动机的结构类型	165
§ 6-9. 容量选择的实例	167
第七章 起动设备的计算和选型	169
§ 7-1. 直流串激电动机起动设备的计算	169
§ 7-2. 发电机-电动机组起动激磁电阻计算	172
§ 7-3. 交流鼠笼型感应电动机和同步电动机起动设备的计算和选择	174
§ 7-4. 卷线型感应电动机起动变阻器计算	179
§ 7-5. 卷线型感应电动机起动变阻器采用不对称（不平衡）系统的计算	184
§ 7-6. 金属变阻器的结构及选型	189
§ 7-7. 卷线型感应电动机转子回路采用液体电阻的分析	193
第八章 电力拖动的控制电器	194
§ 8-1. 引言	194
§ 8-2. 控制装置	195
第九章 电力拖动自动控制原理	207
§ 9-1. 电力拖动自动控制系统图的绘制原则和控制元件代表符号	207
§ 9-2. 电力拖动控制自动化的基本原理	210
§ 9-3. 起动控制原则的分析	210
§ 9-4. 制动控制原则的分析	214
§ 9-5. 负载和电网电压对过渡过程的影响	217

§ 9-6. 控制系統之基本要求及不同控制方法之比較	219
第十章 電力拖動的控制綫路示例	221
§ 10-1. 鼠籠型感應電動机的控制綫路	221
§ 10-2. 卷綫型感應電動机的控制綫路	222
§ 10-3. 同步電動机的控制綫路	224
§ 10-4. 直流他激電動机的控制綫路	227
§ 10-5. 直流串激電動机的控制綫路	231
§ 10-6. 發電機-電動機組的控制綫路	233
結束語	234
主要參考書	236

緒 論

电力拖动与控制这门学科是研究用电动机来带动生产机械运转的各种问题。总的可分为电力拖动原理及控制两部分。前者是在已知生产机械的机械特性和电动机特性的基础上研究有关生产机械运转的性能，即生产机械的运动规律，加速、减速过程，转速随负载变化的规律等问题；而后者是研究为达到生产机械某种运转性能的要求，控制线路及控制设备的设计选择问题。

电力机械（发电机及电动机）的出现，尤其是1897年俄国学者多利沃·多勃罗沃尔斯基所创造的感应电动机，在技术史上是继蒸汽机之后的一个极其伟大的成就，它标志着一个新的更高的生产力的出现，使整个工业面貌大为改观。列宁给共产主义所下的简明而深刻的定义——共产主义等于苏维埃政权加电气化，充分说明了电气化在提高劳动生产率和加强国民经济实力上的重要意义。所谓电气化，主要是用电力来代替蒸汽及其他动力。电力比其他动力优越处就在于它的传递、控制方便，损耗少，效率高，在改善劳动条件及安装维护上更是其他动力所不能比拟的。这也就说明了为什么在电力机械出现后短短的几十年中电气化得到如此巨大的发展。

电气化在实践中基本上包括两大部分，即电力的传递和电能与机械能的转换。电力拖动与控制是属于第二部分的基础理论之一。1920年以前本学科没有单独设立，而是附设于电机学中。由于工业企业电气化的迅速发展，在实践中电力拖动控制方面的成果已无法概括在电机学中，因而开始形成了一个独立的学科。1925—1933年苏联学者林开维奇教授所著的“机械能的电力分配”及波波夫教授所著的“电动机在工业上的应用”两本名著奠定了电力拖动与控制作为一门独立学科的理论基础。近十几年来由于电气化和自动化的巨大发展，使得这门学科的内容大为丰富，同时它所研究的领域也相应地有些改变。

在电力拖动发展的初期，工作机组包含着三个组成部分：原动机（在电力拖动中即为电动机），机械传动装置和生产机械。而现代的电力拖动与控制学科已经不包括机械传动装置这部分内容了。主要的原因是机械传动装置在拖动系统中不是一个必须的环节，目前的趋势是尽量除去这部分，而使电动机与生产机械靠近，甚至结合成一体。新近的趋势是研究及采用液压传动及电磁联轴器 etc 新型传动装置。

在早期，电力拖动研究的内容多偏重于用电的经济性问题。因此改善用电指数是该学科的一个主要内容。而在现代电力拖动与控制中研究的内容多偏重于电力拖动的控制性能，即加速过渡过程调速的性能，以及与之有关的拖动系统动态稳定问题。

在早期电力拖动学科中，对拖动系统的自动调整问题也进行了某些探讨。近代，由于伺服系统的出现和发展，尤其是其中闭环调整系统的发展，使得电力拖动及控制的内容大大丰富了。同时由于伺服系统的发展，关于调整系统的动态稳定就成为一项急需

要解决的问题。用古典的解决电力拖动系统的过渡过程的办法已经不能满足要求。因此就产生了一门新的科学——自动调整原理，进而发展为工程控制论。由于这一学科的迅速发展，给电力拖动与控制的飞跃发展打下巩固的理论基础。如果说过去由于工业企业电气化的发展促进了电力拖动与控制学科的建立和发展，那么现在日益增长的工业企业自动化的要求就引起了电力拖动与控制学科的巨大发展，它反过来又大大地促进了工业企业向自动化发展。

电力拖动与控制科学的发展不是孤立进行的，它与其他科学技术的发展密切相关。譬如脉冲技术，计算技术，栅控水银整流器，半导体，高磁性材料，放射性同位素的新成就，以及电机电器和机械制造等方面的新成就都促进电力拖动与控制的发展。

电力拖动与控制在国民经济的发展中占有极其重要的地位。它不但促进工业企业、农业以及运输业的电气化、自动化，提高劳动生产率，同时在制造高精度、高质量的产品上也起着决定性的作用，而后者在发展国家的科学和以更新的技术装备国民经济各部门，促进整个国民经济和文化更进一步的发展上起着巨大的作用。

电力拖动与控制在现代化矿山企业中也起着很重要的作用。譬如矿井提升机，露天挖掘机，露天电机车，大型皮带运输机等矿山机械的电力拖动与控制都是极重要的科学技术课题，这些矿山机械的电力拖动与控制的改善，不仅使机械的生产率提高，工作可靠性增加，电能的损耗减少，同时也可使生产机械的机械结构及其传动系统简化，因而生产机械的重量也可相应地减轻。

我国解放前在反动派的统治下，工业极其落后，没有自己独立的工业系统。解放后在党和毛主席的英明领导下，大搞群众运动，并且在苏联和各兄弟国家的帮助下，我国逐渐建立了现代化的大企业，基本上已能以自己生产的机器装备国民经济各部门，大大地改变了我国的经济面貌。尤其是在1958年党提出了鼓足干劲、力争上游、多快好省地建设社会主义总路线后，全国人民开展了历史上空前的社会主义建设高潮，发挥了破除迷信，敢想敢说敢干的共产主义风格，创造了无数奇迹。在世界先进科学技术的研究和应用方面也获得了伟大的成就。其中也包括电力拖动与控制这门科学。

现在我国已经能自己生产很多种大型设备，很多设备的控制装置和系统都达到了先进水平。譬如已经成功地试制了容量为2800瓩和4600瓩的大型初轧机的全套电气设备，并设计和安装了具有先进水平的控制系统。目前已大量生产500×6的带泵水冷铁壳的水银整流器，成功地试制了750伏，6000安直流快速开关，并在试制1500伏，6000安的快速开关，此外还生产11瓩以下的交磁放大机，系列化的磁放大器，感应开关等自动化控制元件，这些都是我国拖动与控制技术巨大发展的证明。

1960年在党的号召下，轰轰烈烈地掀起了大搞技术革新的群众运动，积极实现机械化、半机械化，进一步改变我国工业的技术面貌，提高劳动生产率，为高速度的发展国民经济创造技术条件。在这个技术革新的高潮中，电力拖动及控制将担任着重要的任务。可以预料，在不久的将来，我国在生产技术装备上将赶上世界最先进水平。

第一章 电力拖动动力学基础

§ 1-1. 电力拖动运动基本方程式

任何一种生产机械，其电力拖动系统的运动，均包括两种方式（或称过程）：稳定的运动方式及不稳定的运动方式（或称过渡过程）。这些过程的发生，决定于电气化机组的原动力矩及阻力矩的变化规律。表明过程变化规律的方程式称为运动方程式。

某些电气化机组，在连续的生产过程中，常常频繁地进行起动与制动。因此，起动和制动过渡过程的长短将直接影响生产机械的生产率，所以研究拖动系统过渡过程有重要的实际意义。要研究拖动系统的过渡过程，可以求解运动方程式。其方程式的解答可以确定拖动系统中所需动力、力矩或电流值变化的规律（即对时间的函数），根据这些函数关系可以正确选择电动机的容量及检验电动机的发热。

在电力拖动系统中，电动机将取自电网的电能变为机械能，带动生产机械。由理论力学得知，当机组处于稳定运转时（速度不变），电动机产生的轴力矩 M （原动力矩或称转矩）仅需克服静态力矩 M_c 。（即与机械运动部分摩擦有关的阻力矩，以及与生产机械所完成有用功有关的静态力矩，如矿井提升重物）。而当机组处于过渡过程时，则电动机除需克服上述力矩外，尚需克服由机组运动部分的惯量因速度变化而引起的动态力矩 M_j 。由此可写出运动方程式：

$$M = M_c + M_j; \text{ 或 } M - M_c = M_j. \quad (1-1)$$

式中 M ——电动机产生的原动力矩（公斤·米）；

M_c ——静态力矩（公斤·米）；

M_j ——动态力矩（公斤·米）。

现在我们分析一下动态力矩：

由于拖动系统具有机械惯性，因此当拖动系统工作时，各个运动部分储存有一定数量的动能。当稳定运转时，各运动部分储存的动能是恒定的。当拖动系统加速、减速或在其他不稳定运转情况下，系统的动能储存量将发生变化，例如：加速时，动能的储存量将增加，而此部分能量将由拖动的电动机供给；减速时，拖动系统的运动部分将放出能量。由理论力学得知，以角速度 ω 转动的系统，其动能储存量等于：

$$A_j = J \frac{\omega^2}{2}. \quad (1-2)$$

式中 J ——系统的转动惯量。

当拖动系统的动能储存量变化时，产生动态功率，动态功率等于动能对时间的导数：

$$P_j = \frac{dA_j}{dt}. \quad (1-3)$$

已知动态功率，即可求得以角速度 ω 旋轉的拖动系統的动态力矩值：

$$M_j = \frac{P_j}{\omega}. \quad (1-4)$$

拖动系統的轉动慣量，对某些生产机械來說是一个变量，并且是旋轉角度 α 的函数 $J = f(\alpha)$ 。在矿山方面属于这类的生产机械包括活塞式压气机，簸动运输机和帶有圓錐形滾筒的提升机。因此在一般情况下，动态功率的計算式如下：

$$\begin{aligned} P_j &= \frac{dA_j}{dt} = \frac{d}{dt} \left(J \frac{\omega^2}{2} \right) \\ &= J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha} \frac{d\alpha}{dt} \\ &= J\omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^3}{2} \frac{dJ}{d\alpha}. \end{aligned} \quad (1-5)$$

根据式(1-4)求得动态力矩：

$$M_j = \frac{P_j}{\omega} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha}. \quad (1-6)$$

將式(1-6)代入(1-1)式則可得到一般形式的运动方程式：

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \frac{dJ}{d\alpha}. \quad (1-7)$$

式中 $J = m\rho^2$ ——轉动慣量 (公斤·米·秒²)；

$\frac{d\omega}{dt}$ ——角加速度 (秒⁻²)；

ω ——角速度 (秒⁻¹)；

ρ ——迴轉半徑 (米)。

在实际工作中，大多数生产机械的轉动慣量是常量，因此上述运动方程式可簡化为电力拖动中一般采用的形式：

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1-8)$$

下面我們对运动方程式加以分析：

根据运动方程式可以确定拖动系統的运动状态。在运动方程式中，根据 M 和 M_c 的相互关系，运动可能是加速的、减速的或等速的。

1) $M - M_c > 0$; $M_j > 0$; $\frac{d\omega}{dt} > 0$ ——加速运动；

2) $M - M_c < 0$; $M_j < 0$; $\frac{d\omega}{dt} < 0$ ——减速运动；

3) $M - M_c = 0$; $M_j = 0$; $\frac{d\omega}{dt} = 0$ ——等速运动。

当起动时 $\omega_{\text{нач}}=0$ ，虽然 $M=M_c$ ，机组仍然静止而不可能转动。因为在起动时，电动机产生的起动力矩必须大于静态力矩，即 $M_n > M_c$ 方能起动。

运动方程式

$$(\pm M) - (\pm M_c) = J \frac{d\omega}{dt} \quad (1-9)$$

其中各个量的符号及数值确定如下：

力矩符号（正或负）的确定是以拖动系统的运动方向为依据，即首先将生产机械可能的两个运动方向，根据具体情况选定其一为正方向。

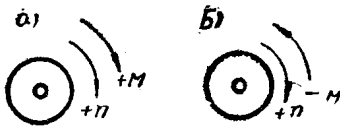


图 1-1 电动机产生的拖动(正)和制动(负)力矩

当电动机产生的原动力矩的方向与生产机械运动的正方向一致，即当电动机产生的力矩 M 协助生产机械转动时，力矩 M 取正号，称为拖动力矩，如图 1-1, a 所示。当 M 的方向与运动的正方向相反时，为负力矩，取负号。负力矩阻碍运动，称为制动力矩，如图 1-1, b 所示。

静态力矩 M_c 的方向与选定的运动正方向相反时，取正号，即当静态力矩阻止运动时算作正力矩。静态力矩协助运动时则取负号。

所有的静态力矩，根据其性质可以分为两类，即阻力矩和位力矩。

阻力矩永为正值，即永远阻碍运动。当运动方向改变时，阻力矩亦随之改变其作用方向，即永远起制动作用，阻力矩与运动方向的关系表明在图 1-2 中。由图可见当速度

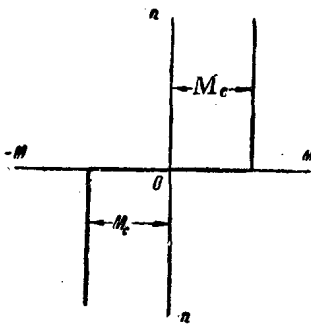


图 1-2 阻力矩与运动方向的关系

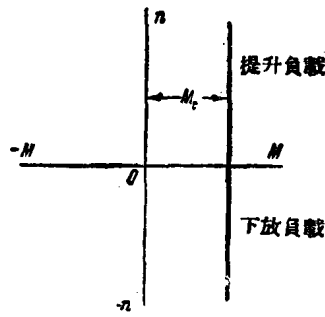


图 1-3 位力矩与运动方向的关系

改变方向时，阻力矩的作用方向发生突变。这类力矩包括摩擦力矩、切割和破碎造成的力矩（如截煤机，联合采煤机及破碎机等负载力矩）。

位力矩与运动方向无关。当运动方向改变时，位力矩仍保持其原先的作用方向，如图 1-3 所示，即当向某一个方向运动时，位力矩阻碍运动（取正号）；而向相反方向运动时，位力矩将协助运动（取负号）。

动态力矩 M_d 的方向决定于原动力矩和静态力矩的相对大小，即由两者的代数和确定。

动态力矩确定如下：在电力拖动应用中，计算动态力矩时，一般不采用转动惯量

J ，而采用飞輪慣量 GD^2 ，上述兩者的关系以下列等式表示：

$$J = \frac{GD^2}{4g} \quad (1-10)$$

式中 G ——轉动物体重量 (公斤)；

$D=2\rho$ ——迴轉直徑 (米)；

g ——重力加速度 (米·秒⁻²)；

GD^2 ——飞輪慣量 (公斤·米²)。

GD^2 的数值对于电动机的轉子、齒輪傳动裝置及提升机的滾筒等，通常均載于样本中，亦可用計算或实验的方法求出^①。

將轉动慣量数值代入动态力矩公式：

$$M_j = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \frac{d}{dt} \left(\frac{2\pi n}{60} \right) = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-11)$$

式中 $\frac{dn}{dt}$ ——电动机每秒鐘的轉速变化；

n ——电动机的轉速 (轉·分⁻¹)。

將动态力矩表示式(1-11)代入(1-1)式并考虑到力矩可能的作用方向，則得到拖动中通常应用的运动方程式：

$$(\pm M) - (\pm M_c) = \frac{GD^2}{375} \frac{dn}{dt} \quad (1-12)$$

以上分析的是旋轉运动系統的运动方程式或称力矩方程式。同样可对直綫运动系統列出运动方程式：

$$F - F_c = F_j \quad (1-13)$$

式中 F ——原动力 (公斤)；

F ——靜态力 (公斤)；

F_j ——动态力 (公斤)。

直綫运动物体的动能貯积量为：

$$A_j = m \frac{v^2}{2} \quad (1-14)$$

式中： m ——物体質量 (公斤·米⁻¹·秒²)；

v ——綫速度 (米·秒⁻¹)。

动态功率：

$$P_j = \frac{dA_j}{dt} = mv \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm}{ds} \frac{ds}{dt} = mv \frac{dv}{dt} + \frac{v^3}{2} \frac{dm}{ds} \quad (1-15)$$

式中 $\frac{dv}{dt}$ ——加速度 (米·秒⁻²)。

动态力：

^① 參看苏联 B. П. 安德列耶夫等著：“电力驅動基础”上册，中譯本 129—132 頁。

$$F_j = \frac{P_j}{v} = m \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm}{ds}. \quad (1-16)$$

將动态力代入(1-13)式得到一般形式的运动方程式:

$$F - F_c = m \frac{dv}{dt} + \frac{v^2}{2} \frac{dm}{ds}. \quad (1-17)$$

当运动物体的質量为常量时, 上式簡化为一般采用的形式:

$$(\pm F) - (\pm F_c) = m \frac{dv}{dt}. \quad (1-18)$$

上述对于轉动运动方程式的一些分析, 原則上对于直綫运动物体是同样适用的。

§ 1-2. 靜态力矩和动态力矩的折算

在电力拖动系統中, 常常包括有以不同速度移动和轉动的元件, 在分析系統的运动状态时, 通常需要对以不同速度运动的元件分別列出运动方程式, 然后联立求解。这样的解題方法在計算上比較复杂。所以为了簡化分析时的数学运算, 常常把一个真实的拖动系統以一个簡化的等值系統来代替。等值系統中, 各个元件將具有相同的速度, 这就需要对于真实系統中以不同速度运动的元件进行折算。折算后各个元件的速度均將相等, 通常是等于电动机的速度, 即將各个元件折算到电动机軸上去。折算后的等值系統, 其力学特性应与真实的拖动系統相同。

由一軸將靜态力矩折算至另一軸須保持兩軸功率相等, 并考虑中間傳动部分的損失。

圖 1-4 表示一級齒輪傳动系統。

机組轉动部分靜态力矩折算至电动机軸上时按下列公式計算:

$$M'_c = \frac{M_c \omega}{\omega_n \eta} = \frac{M_c}{j \eta}. \quad (1-19)$$

式中 M'_c ——机組轉动部分靜态力矩折算至电动机軸上的力矩;

M_c ——轉动部分的靜态力矩;

ω ——轉动部分的角速度;

ω_n ——电动机的角速度;

η ——电动机与轉动部分間傳动裝置的效率;

$j = \frac{\omega_n}{\omega}$ ——电动机与轉动部分間的傳速比 (角速度比)。

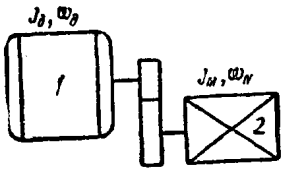


圖 1-4 一級齒輪傳动系統
1—电动机; 2—生产机械。

机組移动部分靜态力矩折算至电动机軸上时按下列公式計算:

$$M'_c = \frac{F_c v}{\omega_n \eta}. \quad (1-20)$$

式中 F_c ——移动部分的靜态力;

v ——移动部分的綫速度。

如果电动机以發电机方式運轉并向電網送电时, 能量从生产机械傳至电动机, 例如提升机下放重物时, 根据以下公式求折算至电动机軸上的轉动部分和移动部分的靜态力

矩:

$$M'_c = \frac{M_c \eta}{j} \quad (1-21)$$

$$M''_c = \frac{F_c v \eta}{\omega_n} \quad (1-22)$$

根据上述的折算原则, 可以将拖动系统各部分的静态力矩或静态力导至任意选定的转轴。

当拖动系统中同时包括转动及移动部分时, 简化等值系统折算后总的静态力矩值为:

$$M_{cnp} = \Sigma M'_c + \Sigma M''_c \quad (1-23)$$

式中 $\Sigma M'_c$ ——拖动系统中各个转动部分折算后静态力矩之和;

$\Sigma M''_c$ ——拖动系统中各个移动部分折算后静态力矩之和;

在根据上列公式进行计算时, 确定传动装置的效率是比较困难的, 因为影响传动效率的因素很多: 例如传动形式、负载的大小、润滑情况、生产机械的速度等, 通常是根据效率曲线确定其数值, 图 1-5 给出了标准齿轮传动的效率曲线, 图中 K_s 称为负载系数:

$$K_s = \frac{M}{M_H} \quad (1-24)$$

式中 M ——实际传动力矩;

M_H ——传动装置的额定力矩。

图中各条曲线, 分别对应于不同额定效率 η_H 的齿轮传动装置。

用一个等值系统代替一个真实的拖动系统时, 为了保持折算前后系统的动力学特性相同, 动态力矩同样需要进行折算, 折算前后系统中的动能贮积量应保持相等。

折算后的动态力矩按下列公式计算:

$$M_{jnp} = J'_{np} \frac{d\omega_n}{dt} = \frac{(GD^2)_{np}}{375} \frac{dn_n}{dt} \quad (1-25)$$

式中 J'_{np} 及 $(GD^2)'_{np}$ ——折算后的转动惯量及飞轮惯量值。

机组转动部分转动惯量的折算, 根据折算前后储能相等得到 (传动系统见图 1-4),

$$J'_{np} \frac{\omega^2}{2} = J \frac{\omega^2}{2}$$

由此求得:

$$J'_{np} = J \frac{\omega^2}{\omega_n^2} = \frac{J}{j^2} \quad (1-26)$$

同样可求得飞轮惯量的折算公式如下:

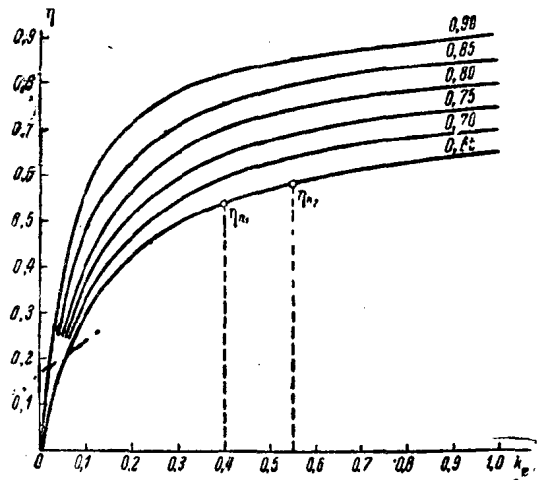


图 1-5 一级齿轮传动的效率曲线

$$(GD^2)'_{np} = \frac{(GD^2)}{j^2}. \quad (1-27)$$

机組移动部分的質量折算为轉动慣量，同样根据系統貯能不变的原理計算：

$$J''_{np} \frac{\omega_n^2}{2} = m \frac{v^2}{2}.$$

由此求得

$$J''_{np} = m \frac{v^2}{\omega_n^2}. \quad (1-28)$$

根据(1-9)可求得折算后的飞輪慣量值：

$$(GD^2)''_{np} = 4gJ''_{np} = 4gm \frac{v^2}{\omega_n^2} = 4g \frac{Q}{g} \frac{v^2}{\omega_n^2} = \frac{4Qv^2}{\omega_n^2}.$$

$$\text{或} \quad (GD^2)''_{np} = \frac{4Qv^2}{\left(\frac{2\pi n_n}{60}\right)^2} = \frac{364Qv^2}{n_n^2}. \quad (1-29)$$

式中 Q ——移动部分的重量(公斤)。

当拖动系統中同时包括轉动及移动部分时，简化等值系統折算后总飞輪慣量值为：

$$(GD^2)_{np} = (GD^2)'_{np} + (GD^2)''_{np}. \quad (1-30)$$

將上式 $(GD^2)_{np}$ 代入(1-25)式，則得到总动态力矩。

在計算动态力矩时，准确地考虑傳动損失是比較困难的，因为生产机組在过渡过程中，通过傳动裝置傳遞的力矩包括靜态力矩和动态力矩，所以利用效率曲綫时，須同时知道二者的和。此时在运动方程式中效率 η 和拖动系統的加速度 $\frac{dn}{dt}$ (它决定动态力矩值)又是两个互相关联的未知量。

若根据生产机械所要求的靜态力矩 M_{mc} 及动态力矩 M_{mj} 之和 $M_{mc} + M_{mj}$ 从效率曲綫上查得效率而計算所需电动机产生的原动力矩 $M = \frac{1}{\eta}(M_{mc} + M_{mj})$ ，則由于效率曲綫为在恒定轉速下求得的，因此在过渡过程中查該效率曲綫是有誤差的。同时，当已知电动机原动力矩 M 及生产机械的靜态力矩 M_{mc} 反求 $M_{mj} = \eta M - M_{mc}$ 时，則因为效率 η 与 $M_{mc} + M_{mj}$ 有关，所以想准确地求出 M_{mj} 来就需要用逐步試探法，这是相当麻煩的，而且也会产生誤差，所以在实际运用中意义不大。由于上述原因，在实际計算中我們仅在靜态力矩折算时考虑傳动損失，而动态力矩的折算則不考虑傳动效率。这种計算方法虽会产生一些誤差，但是亦可使誤差得到某些补偿。从下式：

$$M_1 = \frac{M_{mc}}{\eta_1} + M_{mj} \text{——此式仅于靜态力矩折算中考虑傳动效率，}$$

$$M_2 = \frac{M_{mc} + M_{mj}}{\eta_2} \text{——此式为靜、动态力矩折算中都考虑了傳动效率。}$$

可以看出：仅根据 M_{mc} 查得的效率 η_1 值比按傳动全力矩 $M_{mc} + M_{mj}$ 查得的效率 η_2 值低，使 M_1 和 M_2 值較为近似。因此可以認為仅在靜态力矩考虑效率的計算中已适当地照顧到了傳遞动态力矩时傳动損失的影响。这种方法虽仍会有些誤差，但尚可应用，这