

287073

中等专业学校教学用书

矿山电工学

(矿山机电专业用)

本溪钢铁学院
辽宁冶金学院 合編



中国工业出版社

1
3751

中等专业学校教学用书



矿山电工学

(矿山机电专业用)

本溪钢铁学院
辽宁冶金学院 合編

中国工业出版社

本书共分三篇：矿山电力拖动与自动控制，矿山供电和矿山电气设备的运营管理。内容包括：电力拖动的动力学基础，电动机的机械特性，电力拖动的速度调整，电力拖动装置的电动机选择，矿用低压电器，自动控制原理与线路，采掘与运输机械的自动控制，矿山固定设备的自动控制；矿山供电系统与负荷计算，短路电流，高压电器，继电保护装置，矿山变电所的结构，矿山电网，矿山电气照明与网络；矿山电气设备的经济指标，矿山信号与通讯，矿山电气设备的运行与检修，矿山电气安全技术等。

本书经冶金工业部教育司推荐作为中等专业学校矿冶类矿山机电专业“矿山电工学”课程的教学用书，也可供高等院校学生及矿山机电工程技术人员参考。

矿山电工学

(矿山机电专业用)

本溪钢铁学院
辽宁冶金学院 合編

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)

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ ·印张22·插页3·字数494,000

1961年9月北京第一版·1961年9月北京第一次印刷

印数0001—2337·定价(9—4) 2.10元

统一书号: 15155·556(冶金—161)

前 言

本书是按照冶金工业部 1959 年制定的中等专业学校矿山机电专业四年制教育计划编写的，授课总时数为 192 学时，分两学期讲完。

由于过去的旧教学大纲与计划要求出入较大，所以在编写之前，编者根据辽宁冶金学院 1960 年提出的大纲草案，经充分讨论后重新修订了大纲，使之符合 1959 年教育计划的要求。为了照顾矿山供电理论的系统性与完整性，把原来分散在矿山地面、井下与露天部分的变电所与电网集中讲授，这样既缩小了篇幅，又适当地加强了基础理论。

本书基本上体现了矿山电动与供电部分并重，井下与露天开采并重的精神，从中大型矿山企业出发并照顾了小型矿山的特点。内容力求精练，并尽可能结合国内情况，加强理论基础。章末附有练习，以便于教师选择作业与学生课后复习和巩固课程内容之用。

本书前五章由辽宁冶金学院编写，绪论和后四章由本溪钢铁学院编写。

编 者

目 录

緒論.....	9
---------	---

第一篇 矿山电力拖动与自动控制

第一章 电力拖动的动力学基础.....	10
---------------------	----

§ 1—1 电力拖动装置.....	10
§ 1—2 电力拖动装置的类型.....	10
§ 1—3 电力拖动的基本运动方程式.....	11
§ 1—4 静阻力矩与动阻力矩的换算.....	13
§ 1—5 电力拖动装置的起动和制动时间.....	18
§ 1—6 电力拖动装置的功及功率.....	20
§ 1—7 机械制动装置.....	22

习题 一.....	23
-----------	----

第二章 电动机的机械特性及电阻计算.....	23
------------------------	----

§ 2—1 机械特性的基本概念.....	23
§ 2—2 直流他激电动机的机械特性.....	25
§ 2—3 直流他激电动机的起动和制动.....	27
§ 2—4 直流他激电动机电力拖动装置的起动和制动过程的能量损失.....	31
§ 2—5 直流串激电动机的机械特性.....	33
§ 2—6 直流串激电动机人工机械特性曲线的绘制.....	34
§ 2—7 直流串激电动机的制动.....	36
§ 2—8 直流串激电动机的起动电阻计算.....	37
§ 2—9 直流复激电动机的机械特性.....	40
§ 2—10 三相感应电动机的机械特性.....	40
§ 2—11 绕线型感应电动机的起动和起动电阻计算.....	45
§ 2—12 交流鼠笼型感应电动机的起动和起动设备.....	50
§ 2—13 同步电动机的机械特性.....	54

习题 二.....	55
-----------	----

第三章 电力拖动的速度调整.....	56
--------------------	----

§ 3—1 速度调整的基本概念.....	56
§ 3—2 交流感应电动机的速度调整.....	57
§ 3—3 直流电动机的速度调整.....	59
§ 3—4 发电机—电动机组的调速性能.....	63
§ 3—5 交磁放大机的工作原理及其应用.....	67
§ 3—6 磁放大器的原理及其应用.....	68

习题 三.....	69
-----------	----

第四章 电动机的选择及其容量计算.....	70
-----------------------	----

§ 4—1 选择电动机的条件.....	70
---------------------	----

§ 4—2	选择电动机的电流种类和电压	71
§ 4—3	根据机械性质选择电动机	72
§ 4—4	根据工作条件和电动机结构类型选择电动机	73
§ 4—5	电动机容量选择的一般概念	75
§ 4—6	电动机的发热和冷却	77
§ 4—7	电动机工作状态的分类	80
§ 4—8	负载长期不变或极少变动时电动机容量的选择	81
§ 4—9	负载连续变动时电动机容量的选择	82
§ 4—10	短时工作状态下电动机容量的选择	84
§ 4—11	重复短时工作状态下电动机容量的选择	85
习题 四		89
第五章	矿用低压电器	90
§ 5—1	低压电器的分类及用途	90
§ 5—2	控制电器	90
§ 5—3	保护与操纵器械	99
§ 5—4	低压器械的选择	104
习题 五		106
第六章	自动控制原理与线路	106
§ 6—1	电力拖动的控制装置	106
§ 6—2	电力拖动装置的线路图	107
§ 6—3	电力拖动的自动控制原理	112
§ 6—4	用限时原理的自动控制	114
§ 6—5	用限流原理的自动控制	117
§ 6—6	用限速原理的自动控制	119
习题 六		123
第七章	采掘与运输机械的自动控制	126
§ 7—1	采掘、运输电气化与自动化	126
§ 7—2	电扒胶车的控制	127
§ 7—3	电动胶车的控制	128
§ 7—4	矿用电钻的控制	129
§ 7—5	电动穿孔机的控制	129
§ 7—6	电锤的电力拖动	132
§ 7—7	CQ—3 (3KΓ—4) 型电锤的电气设备与控制	137
§ 7—8	运输机组的控制	141
习题 七		143
第八章	矿山固定设备的控制	145
§ 8—1	通风机的控制	145
§ 8—2	水泵的控制	146
§ 8—3	压气机的控制	148

§ 8—4 提升机的控制	151
习题 八	157

第二篇 矿 山 供 电

第九章 矿山供电系统的负荷计算	159
§ 9—1 矿山企业的供电系统	159
§ 9—2 电力设备的额定电压	162
§ 9—3 变电所的接线图和母线的接线方式	163
§ 9—4 负载曲线	165
§ 9—5 电力负载的确定	168
§ 9—6 主变压器容量和台数的确定	168
§ 9—7 功率损耗和电能损耗	171
§ 9—8 露天矿的电力负载	174
§ 9—9 牵引变电所	176
习题 九	179
第十章 短路电流	180
§ 10—1 短路的一般概念	180
§ 10—2 标么值	181
§ 10—3 短路电路的总阻抗	183
§ 10—4 短路电流的变化过程	188
§ 10—5 短路电流的计算	190
§ 10—6 用运算曲线决定短路电流	194
§ 10—7 短路电流的电动效应	195
§ 10—8 短路电流的热效应	197
习题 十	199
第十一章 瓷瓶, 母线和高压电器	200
§ 11—1 绝缘瓷瓶	200
§ 11—2 母线	202
§ 11—3 开关设备的触头	203
§ 11—4 高压开关	205
§ 11—5 隔离开关	211
§ 11—6 负荷开关	212
§ 11—7 高压熔断器	214
§ 11—8 电抗器	214
§ 11—9 仪用互感器	215
§ 11—10 电器选择	218
习题 十一	220
第十二章 继电保护装置和过电压	220
§ 12—1 继电保护的概念	220
§ 12—2 继电器	221

§ 12—3	10千伏以下线路的过电流保护	225
§ 12—4	变压器的继电保护	230
§ 12—5	电动机的继电保护	231
§ 12—6	过电压保护	233
习题 十二		240
第十三章	矿山变电所的结构	240
§ 13—1	矿山总降压变电所的结构	240
§ 13—2	井下中央变电所与采区变电所位置的选择与布置	241
§ 13—3	露天矿的接线点和移动变电所的结构	245
习题 十三		246
第十四章	矿山电网	246
§ 14—1	矿山电网的概念	246
§ 14—2	架空线路	248
§ 14—3	电缆线路	254
§ 14—4	室内线路	259
§ 14—5	电网的电能损耗和导线的经济截面	259
§ 14—6	导线和电缆的允许电流	263
§ 14—7	开式地方电力网的电压损失	264
§ 14—8	按允许电压损失选择导线或电缆的截面	268
§ 14—9	架空钢芯铝绞线的电压损失和导线截面的计算	273
§ 14—10	架空线路的机械强度	273
§ 14—11	矿井中的电能分配	278
§ 14—12	矿井电缆网的计算	279
§ 14—13	露天矿供电	284
§ 14—14	牵引网络的计算概念	288
§ 14—15	牵引网络的具体计算方法	290
§ 14—16	牵引变电所的设备	295
习题 十四		297
第十五章	矿山电气照明与网络	299
§ 15—1	概述	299
§ 15—2	照明技术的基本概念和单位	299
§ 15—3	电气光源和矿用照明灯	301
§ 15—4	照明计算	304
§ 15—5	照明线路和照明变压器	309
习题 十五		311
第三篇 矿山电气设备的运营管理		
第十六章	矿山电气指标	312
§ 16—1	功率因数	312
§ 16—2	提高功率因数的方法	313

§ 16—3	矿山的功率因数计算	313
§ 16—4	功率因数补偿容量的计算	314
§ 16—5	补偿的经济性分析	315
§ 16—6	电价	316
§ 16—7	矿山其他电气指标	316
附录	东北地区电价计算法	317
习题	十六	318
第十七章	矿山信号与通讯	318
§ 17—1	概述	318
§ 17—2	信号器械	319
§ 17—3	钢丝绳运输信号	322
§ 17—4	电机车运输信号	322
§ 17—5	井筒提升信号	323
§ 17—6	电话通讯系统	324
§ 17—7	永磁式和共电式电话机	325
§ 17—8	电话交换台	327
§ 17—9	矿山调度信号	331
§ 17—10	自动道岔	331
习题	十七	332
第十八章	矿山电气设备的运行与检修	333
§ 18—1	维护和检修工作的计划与组织	333
§ 18—2	电动机的维护与检修	333
§ 18—3	控制装置的检修	336
§ 18—4	电力变压器的维护与检修	336
§ 18—5	高压配电装置的维护与检修	339
§ 18—6	馈电线路的维护与检修	342
习题	十八	344
第十九章	矿山电器安全技术	345
§ 19—1	概述	345
§ 19—2	保护接地系统	348
§ 19—3	保护接地计算	35
§ 19—4	接地电阻的测量	35
习题	十九	352

緒 論

新中国成立以来，在党和毛主席的英明领导下，经过全国人民十余年来的努力，祖国的工业生产有了飞跃的发展。在第一个五年计划期间，已新建和扩建一批现代化的金属矿山，改变了旧中国采掘工业异常落后的面貌。经过了1958年以来的生产大跃进，我国的矿山企业有了更大的发展，分布全国各地的中小型矿山得到了比较全面的技术改造。我国的矿山机械与电气设备制造业，在最近几年内也有了很大的发展，矿山穿孔机、电铲、电机车、卷扬机、压气机、水泵、通风机等等中大型设备，大多数国内都已经能够制造，有的已经成批生产，并开始创造了具有我国特点的系列产品。

由于矿山井下与露天开采的生产环境比较困难，采掘工作异常繁重，另一方面由于矿石产量对于冶金工业发展具有重大影响，所以矿山企业生产机械化、电气化与自动化，在提高矿石产量、降低成本、改善劳动条件与安全生产方面有着重大意义。

矿山电工学是研究电能能在矿山企业中的应用的科学，包括电力拖动与自动控制、矿山供电以及矿山电气设备的经营管理等三部分内容，是在普通电工学的基础上，研究各种矿山电动与供电设备的理论基础、计算选择、性能结构、运行维护与检修等问题。由于近代生产技术与电工科学的蓬勃发展，一般的生产机械都是以电为动力来拖动的，并正向着自动操纵的方向前进；企业内的电气化生产设备，都需要由电力系统及各类变电所供给电能；企业生产与环境照明，更是普遍地使用电气光源的各种灯具；电话、广播通讯、信号方面，也广泛地应用各种电讯与信号设备。金属矿山企业是钢铁与有色冶金工业的原料基地，对于国民经济的发展有着重要意义，所以矿山企业应该用新的科学技术装备起来，有关电动、供电、电气照明与通讯等方面的电工技术与设备，在矿山已得到了普遍使用。由此可见，每个矿山机电工作者都须要学习这门课程，更好地为社会主义建设事业服务。

第一篇 矿山电力拖动与自动控制

第一章 电力拖动的动力学基础

§ 1—1 电力拖动装置

现代工业生产机械多数以电动机作原动机来拖动，电动机与生产机械之间由传动装置相联结，电动机把电能转变为机械能，通过传动装置带动生产机械完成不同的工作。根据生产工艺的不同，经常要求电动机进行起动、停止、逆转以及速度调整，这就需要一套控制器械来操纵。电力拖动装置包括上述电动机、控制器械和传动装置三部分，电力拖动装置和它拖动的生产机械又组成电气化生产机组。

如上所述，电力拖动装置主要包括电力拖动和自动控制两部分，前者研究拖动系统的动力学问题以及电动机的选型和运行分析，后者研究电力拖动的一般控制原理、典型控制线路以及矿山自动化等问题。

电力机械（发电机和电动机）的出现，尤其是感应电动机的出现，为电力拖动装置的产生和发展，奠定了基础。由于电力较其他动力具有很大的优越性，所以在电力机械出现以后的短短几十年期间，电气化事业得到了极其巨大的发展。

电力拖动装置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、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作用。

电力拖动装置在现代化矿山企业中，也起着很重要的作用。例如。矿井提升机，露天矿电铲、电机车等等生产机械，都是用电力拖动装置拖动与操纵的，以实现半自动及自动化生产。

§ 1—2 电力拖动装置的类型

在电力拖动出现以前，人类在生产实践中创造人力拖动、畜力拖动、风力与水力拖动、蒸汽拖动等形式，而最后实现了电力拖动。

电力拖动开始的初期，常常用一台电动机通过机械传动装置（例如天轴和皮带）带动一组生产机械，这叫作成组拖动。随着生产的发展，电力机械与控制器械有了进一步的提高，尤其是自动化的出现，开始采用生产机械的单电动机拖动与多电动机拖动。目前，单电动机和多电动机拖动是现代化电力拖动的基础，成组拖动仅保留在旧的生产设备中。

单机拖动是每一台生产机械由单独的一台电动机来拖动。在近代化的矿山企业中，单机拖动乃是一种主要的拖动方式，得到广泛的使用。单机拖动有可能提高设备生产率，占地面积很小，中间传动装置的损失可减小到最低限度。同时，单机拖动可按生产机械的生产工艺特点进行工作，可改善和提高产品质量。这种拖动方式主要是结构简单

单, 运用可靠, 便于操纵和控制, 给自动化创造了条件, 并给工作人员的安全作业提供了充分保证。

多电动机拖动是同一生产机械的各个工作机构分别由各自的电动机所拖动。多电动机拖动可以用于复杂的生产机械, 例如: 露天矿电铲。在这种拖动中, 往往将电动机和生产机械各别机构作成一体, 各部电动机按生产程序协调工作。相对来说它可使生产机械的结构及其传动系统简化。

§ 1-3 电力拖动的基本运动方程式

任何一种矿山机械, 在各种不同生产过程中都要求获得高度生产率, 这就要求对电力拖动的起动、制动、调速和停车等过程进行理论分析。尤其在拖动系统中运动频繁变化, 对于这些非生产时间的过渡过程的延续时间和特性, 可用运动力和拖动系统中阻力的变化规律来决定。

若以 F 表示作用于机构的外力或运动力, F_e 表示拖动系统的静阻力, F_x 表示动阻力, 则当迫使此机构作直线运动时, 力的平衡可用以下方程式表示:

$$F = F_e + F_x = F_e + m \frac{dv}{dt} \quad (1-1)$$

式中: F ——产生运动的合力或外力, 在某些情况下可称为牵引力 (公斤);

F_e ——稳定速度情况下的有效阻力和有害阻力, 或称为静阻力, 如拖动系统的摩擦力和提升机中被提升重物产生的重力;

$F_x = m \frac{dv}{dt}$ ——动阻力, 即机构运动部分质量的惯性阻力; 用以克服动阻力的功都以动能的形式储藏于机构中, 公斤;

m ——运动体 (或机构) 的质量, 公斤·秒²/米;

$\frac{dv}{dt}$ ——直线加速度, 米/秒²。

当所产生的运动是迴转运动时, 在稳定运转情况下, 电动机所产生的拖动力矩 M , 仅需克服静阻力矩 M_e , 而当拖动装置处于过渡过程时, 则尚需克服生产机械运动部份的动阻力矩 M_x , 由此可写出迴转运动的运动方程式:

$$M = M_e + M_x \quad \text{或} \quad M - M_e = M_x \quad (1-2)$$

式中: M ——电动机产生的拖动力矩, 公斤·米;

M_e ——静阻力矩, 公斤·米;

M_x ——动阻力矩, 公斤·米。

在拖动系统中, 各个运动部份积储有一定数量的动能, 当稳定运转时, 各迴转部份所积储的动能是恒定的。在过渡过程中, 由于运动速度的变化, 系统的动能积储量将发生变化, 例如加速时, 动能积储量将增加, 而这部份动能由拖动的电动机供给, 减速时系统的迴转部份将放出能量。若迴转运动的机械以角速度 ω 转动时, 则其动能:

$$A_x = J \frac{\omega^2}{2} \quad (1-3)$$

式中: J ——拖动系統的轉動慣量。

当拖动系統处于过渡过程中时, 产生克服动阻力矩的功率等于动能对時間的导数:

$$P_x = \frac{dA_x}{dt} \quad (1-4)$$

以动阻轉矩及角速度表示时为:

$$P_x = M_x \omega \quad \text{或} \quad M_x = \frac{P_x}{\omega} \quad (1-5)$$

拖动系統的轉動慣量, 对某些生产机构來說是一个变数, 并且是旋轉角度 α 的函数 $J = f(\alpha)$ 。属于这一类的矿山机械有: 活塞式压气机、緩动运输机和带有圓錐形卷筒的提升机, 因此在一般情况下, 功率

$$\begin{aligned} P_x &= \frac{dA_x}{dt} \\ &= \frac{d}{dt} \left(J \frac{\omega^2}{2} \right) \\ &= J \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} \\ &= J \omega \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha} \end{aligned} \quad (1-6)$$

根据 (1-5) 式求得动阻力矩:

$$M_x = \frac{P_x}{\omega} = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha} \quad (1-7)$$

将 (1-7) 式代入 (1-2) 式中, 可得迴轉运动基本方程式:

$$M - M_0 = J \frac{d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2} \cdot \frac{dJ}{d\alpha} \quad (1-8)$$

式中: $J = \int r^2 dm$ ——与迴轉軸对称的物体的轉動慣量, 公斤·米·秒²;

r ——物体质点 dm 与迴轉軸間的距離, 当物体繞对称軸迴轉时, 則

$J = m\rho^2$, 式中 ρ 为迴轉半径;

m ——物体质量。

以飞輪慣量 GD^2 代替 J 时为:

$$J = \left(\frac{D}{2} \right)^2 \cdot \frac{G}{g} = \frac{GD^2}{4g}, \quad \text{或} \quad GD^2 = 4gJ. \quad (1-9)$$

式中: G ——迴轉体的重量, 公斤;

$D = 2\rho$ ——迴轉直径, 米;

$g = 9.81$ ——重力加速度, 米/秒²。

$$\text{所以} \quad M_x = J \frac{d\omega}{dt} = \frac{GD^2}{4g} \cdot \frac{\pi \cdot dn}{30 \cdot dt} = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt}. \quad (1-10)$$

生产企业中, 大多数生产机械的轉動慣量是常量, 因此, 上述运动方程式可写成以下形式:

$$M = M_0 + \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (1-11)$$

根据运动基本方程式，可以确定拖动系统的运动状态。方程式中，根据拖动力矩 M 及静阻转矩 M_0 的相互关系，会有下列三种基本运动情况：

1) $M - M_0 > 0$, $M_n > 0$, $\frac{d\omega}{dt} > 0$ ——拖动系统产生加速运动；

2) $M - M_0 < 0$, $M_n < 0$, $\frac{d\omega}{dt} < 0$ ——拖动系统产生减速运动；

3) $M - M_0 = 0$, $M_n = 0$, $\frac{d\omega}{dt} = 0$ ——拖动系统等速运动。

关于运动基本方程式，尚能用更普遍的形式表示之：

$$(\pm M) - (\pm M_0) = \frac{GD^2}{375} \cdot \frac{dn}{dt} \quad (1-12)$$

式中正或负的确定是以拖动系统运动方向为依据的，即首先假定生产机械运动的方向为正。当电动机产生的力矩 M 的方向与生产机械的运动方向一致时，则拖动力矩 M 定为正。当 M 的方向与生产机械的运动方向相反时，则为负，称为制动力矩。

静阻力矩 M_0 的方向与选定的正方向相反时，定为正，此时阻碍运动。而当静阻力矩有助于运动进行时，定为负。

所有的静阻力矩，按其性质分为两类：即阻力矩和位力矩。阻力矩永远为正，它随拖动系统运动方向之变更而变更。阻力矩与运动方向的关系，如图 1-1 所示。当运动方向改变时，阻力矩的作用方向发生突变。

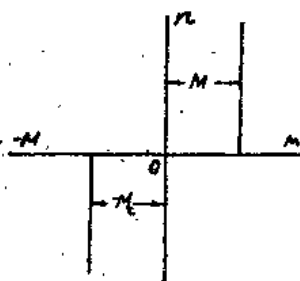


图 1-1 阻力矩与运动方向的关系

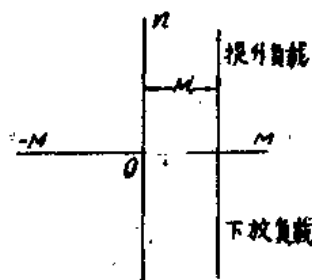


图 1-2 位力矩与运动方向的关系

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 1-2 所示。当运动系统向某一方向运动时，位力矩阻碍运动，此时定为正，而向反方向运动时，位力矩将有助于运动，则取负值。

§ 1-4 静阻力矩与动阻力矩的换算

在电力拖动系统中，常常包括有以不同速度移动和转动的元件，在研究系统的运动状态时，通常需要对以不同速度运动的元件分别列出运动方程式，然后联立求解。这样

的解题方法在计算上比较复杂。为了简化研究拖动系统运动状态时的数学运算，常将实际的拖动系统以一个简化的等值系统来代替。等值系统中，各个元件将具有相同的速度，这就需要将实际系统中以不同速度运动的元件进行换算。换算后各个元件的速度通常是等于电动机的速度，即将各个元件换算到电动机轴上去。换算后的等值系统，其力学特性应与实际的拖动系统完全相同。由一轴将静阻力矩换算至另一轴时，须保持两轴功率相等，并考虑中间传动部份的损失。

根据上述换算原则：对拖动系统为一级齿轮传动（图1-3）的系统，

$$M'_c \omega_n \eta = M_c \cdot \omega$$

或

$$M'_c = \frac{M_c \cdot \omega}{\omega_n \cdot \eta} = \frac{M_c}{i \eta} \quad (1-13)$$

式中：\$M'_c\$——由生产机械（卷筒）轴上换算至电动机轴上的静阻力矩；

\$M_c\$——生产机械轴上的静阻力矩；

\$\omega\$——生产机械轴的角速度；

\$\omega_n\$——电动机的角速度；

\$\eta\$——电动机与生产机械间传动装置的效率；

\$i\$——电动机与生产机械的传动比。

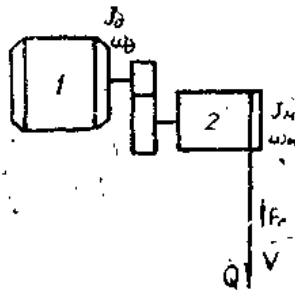


图 1-3 一级齿轮传动系统

同理，将机组移动部分静阻力矩换算至电动机轴上时有：

$$M'_m = \frac{F_c \cdot v}{\omega_n \cdot \eta} \quad (1-14)$$

式中：\$F_c\$——移动部分的静阻力；

\$v\$——移动部分的线速度。

根据上述换算原则，可以将拖动系统各部分的静阻力矩或静阻力换算至任意选定的转轴。

当拖动系统中同时包括转动及移动部分时，简化等值系统换算后，总的静阻力矩换算值为：

$$M_{np} = \Sigma M'_c + \Sigma M'_m \quad (1-15)$$

式中：\$\Sigma M'_c\$——拖动系统中各个转动部分换算后静阻力矩之和；

\$\Sigma M'_m\$——拖动系统中各个移动部分换算后静阻力矩之和。

用一个等值系统代替一个实际系统时，为了保持换算前后系统的动力学特性相同，动阻力矩同样需要换算，此时，换算前后系统的动能积储量应保持相等。

换算后的动阻转矩：

$$\begin{aligned} M_{np} &= J_{np} \frac{d\omega_n}{dt} \\ &= \frac{(GD^2)_{np}}{375} \cdot \frac{dn_n}{dt} \end{aligned} \quad (1-16)$$

式中：\$J_{np}\$及\$(GD^2)_{np}\$——换算后的转动惯量及飞轮惯量。

机組轉动部分轉动慣量的換算，根据換算前后能量关系，按图1—3所示拖动系統，則有：

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

从而求得拖动系統轉动慣量換算值：

$$J'_{np} = J \frac{\omega^2}{\omega_n^2} = \frac{J}{i^2} \quad (1-17)$$

对图1—3所示具体拖动系統則可写成：

$$J'_{np} = J_n + \sum_{k=1}^n \frac{J_k}{i_k^2}$$

拖动系統中常用飞輪慣量代替轉动慣量：

$$(GD^2)'_{np} = \frac{(GD^2)}{i^2} \quad (1-18)$$

1—3图所示拖动系統的飞輪慣量換算值：

$$(GD^2)'_{np} = (GD^2)_{ns} + (GD^2)_1 + (GD^2)_2 \frac{1}{i_1^2} + (GD^2)_n \frac{1}{i_n^2},$$

$$\text{或} \quad (GD^2)'_{np} = (GD^2)_{ns} + \sum_{k=1}^n (GD^2)_k \frac{1}{i_k^2} \quad (1-19)$$

式中：\$(GD^2)_{ns}\$ ——与电动机同速轉动部分的飞輪慣量；

\$(GD^2)_1\$ ——第一个传动齿輪的飞輪慣量；

\$(GD^2)_n\$ ——生产机械的飞輪慣量；

\$i_1\$ 及 \$i_2\$ ——系統中相应部分传动比。

机組中的移动部份质量換算为轉动慣量，仍按系統能量守恒关系計算之：

$$J'_{np} \cdot \frac{\omega_n^2}{2} = m \cdot \frac{V^2}{2}$$

$$\text{或} \quad J'_{np} = m \frac{V^2}{\omega_n^2} \quad (1-20)$$

式中：\$m\$ ——直綫运动体的质量。

将移动部份质量換算为轉动慣量后，仍可用飞輪慣量表示之：

$$\begin{aligned} (GD^2)'_{np} &= 4gJ'_{np} \\ &= 4gm \frac{V^2}{\omega_n^2} = 4g \frac{Q}{g} \cdot \frac{V^2}{\omega_n^2} \\ &= \frac{4QV^2}{\left(\frac{2\pi n_n}{60}\right)^2} = \frac{364QV^2}{n_n^2} \end{aligned} \quad (1-21)$$

式中：\$Q\$ ——移动部分的重量，公斤；

\$V\$ ——移动速度，米/秒；

\$n_n\$ ——电动机轉速，轉/分。

当拖动系統中同时包括轉动及移动部分时，簡化等值系統換算后，总飞輪慣量值

为:

$$(GD^2)_{np} = (GD^2)'_{np} + (GD^2)''_{np} \quad (1-22)$$

或
$$(GD^2)_{np} = (GD^2)_{\lambda\lambda} + \sum_{k=1}^n (GD^2)_k \frac{1}{i_k^2} + \sum_{k=1}^n \frac{364 Q_k \cdot V_k^2}{n_{\lambda, n}^2} \quad (1-23)$$

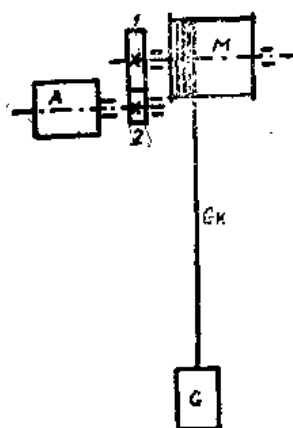


图 1-4 单罐笼提升设备

例题 1-1 单罐笼提升设备，提升重物 $G=6000$ 公斤，钢丝绳重量 $G_k=780$ 公斤，一级传速的传动比 $i=11.5$ ，传动设备效率 $\eta_p=0.94$ ，滚筒 M 与齿轮 1 的飞轮惯量 $(GD^2)_1=2700$ 公斤·米²，电动机的转子与齿轮 2 的 $(GD^2)_2=420$ 公斤·米²，电动机额定转速 $n_{\lambda, n}=494$ 转/分，滚筒直径 $D_M=3$ 米求换算的飞轮惯量，转动惯量及换算至电动机轴上的静阻力矩。

解：滚筒转速：

$$n_M = \frac{n_{\lambda, n}}{i} = \frac{494}{11.5} = 43 \text{ 转/分}$$

罐笼的直线速度：

$$v = \frac{\pi D_M n_M}{60} = \frac{3.14 \times 3 \times 43}{60} = 6.75 \text{ 米/秒}$$

则 换算的飞轮惯量：

$$\begin{aligned} (GD^2)_{np} &= (GD^2)_{\lambda\lambda} + \frac{(GD^2)_M}{i^2} + \frac{364 V^2 (G_1 + G_k)}{n_{\lambda, n}^2} \\ &= 420 + \frac{2700}{11.5^2} + \frac{364 \times 6.75^2 \times (6000 + 780)}{494^2} \\ &= 902 \text{ 公斤·米}^2 \end{aligned}$$

换算的转动惯量：

$$\begin{aligned} J_{np} &= \frac{(GD^2)_{np}}{4g} \\ &= \frac{902}{4 \times 9.81} = 23 \text{ 公斤·米·秒}^2 \end{aligned}$$

换算到电动机轴上的静阻力矩：

$$\begin{aligned} M_{c, np} &= \frac{M_c}{i \eta_p} = \frac{(G_1 + G_k) \cdot R_M}{i \eta_p} \\ &= \frac{(6000 + 780) \times 1.5}{11.5 \times 0.94} = 940 \text{ 公斤·米} \end{aligned}$$

例题 1-2 前题之单罐笼提升设备，提升重物 $G_1=3000$ 公斤；直线上升速度 $V=6$ 米/秒；滚筒直径 $D_M=1.6$ 米；电动机的转速 $n=730$ 转/分；提升设备总效率 $\eta=0.6$ ；卷筒及齿轮的转动惯量 $J=200$ 公斤·米/秒²；电动机转子及齿轮的飞轮惯量 $(GD^2)_{\lambda\lambda}=20$ 公斤·米²。试求提升绞车电动机轴上换算静力矩及电动机轴上之飞轮惯量。

解：求卷筒上的静力矩：

$$M_{c, M} = G \cdot \frac{D_M}{2} = 3000 \times \frac{1.6}{2} = 2400 \text{ 公斤·米}$$

卷筒的转速：

$$n_M = \frac{60V}{\pi D_M} = \frac{60 \times 6}{3.14 \times 1.6} = 71.6 \text{ 转/分}$$