

高等学校教学用书

选矿厂的 电气设备与供电

A·E·特罗普著



中国工业出版社

高等学校教学用书



选矿厂的 电气设备与供电

A·E·特罗普、著

运宪 译

中国工业出版社

本書討論選礦廠的供電、電力拖动及電氣設備。內容包括：
電力拖動的理論，電機及電器，選礦廠機械的電力拖动裝置，選
礦廠的照明設備，選礦廠的供電及照明計算，選礦廠中調度檢查
及自動控制用的設備，以及有關電氣設備維護方面的簡要知識。

本書對象為選礦廠的工程技術人員（生產人員及電氣人員），
也可供礦業及冶金學校學生和設計機構的設計人員之用。

本書經冶金工業部工業教育司推薦作為高等學校選礦專業
“選礦廠電力設備”課程的教學用書。

А. Е. Троп

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ И ЭЛЕКТРОСНАБ
ЖЕНИЕ ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК

Металлургиздат

Свердловск—1953

* * *

選礦廠的
電氣設備與供電

運亮 譯

（根據冶金工業出版社紙型重印）

*

中國工業出版社出版（北京修頓區路內10號）
（北京市書刊出版事業許可證出字第110號）

北京市印刷一廠印刷

新華書店科技發行所發行·各地新華書店經售

*

開本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印張 $10 \frac{2}{16}$ · 字數 240,000

1958年9月北京第一版

1951年6月北京新一版·1961年6月北京第一次印刷

印數 0001—1030 · 定價：1.70 元

統一書號：15165 · 132（冶金—49）

目 录

前言	6
第一章 电力拖动的原理	8
1. 电力拖动的动力学原理	8
2. 选矿厂用电动机的特性	12
3. 电动机的发热及冷却	26
4. 电动机的选择	30
5. 电动机向工作机传动的办法	37
第二章 电机及电器	41
1. 选矿厂用电动机的结构	41
2. 电力变压器	48
3. 整流器	50
4. 低压开关设备	52
5. 高压电器	68
6. 继电器	84
7. 电子-离子仪器及继电器	105
第三章 选矿厂机械的电力拖动	115
1. 选择电力拖动装置的原则	115
2. 破碎机械的电力拖动	116
3. 磨碎机的电力拖动	118
4. 筛的电力拖动	119
5. 浮选机的电力拖动	121
6. 脱水机及浓缩机的电力拖动	122
7. 真空泵及压缩机的电力拖动	123
8. 重力选矿机械的电力拖动	125
9. 烧結厂机械的电力拖动	126
10. 洗矿机的电力拖动	128
11. 除尘及收尘机械的电力拖动	129
12. 团矿厂机械的电力拖动	129
13. 泵的电力拖动	131

14. 运输机械的电力拖动	133
15. 提升机械的电力拖动	134
第四章 选矿厂的照明	137
1. 选矿厂电气照明的特点	137
2. 照明工程的概念及量值	139
3. 电光源	143
4. 选矿厂的照明装置	147
5. 电气照明的计算	151
6. 照明网路的装设	158
第五章 选矿厂的供电	164
1. 选矿厂的供电系统	164
2. 短路电流的计算	170
3. 短路电流的效应及对短路电流的限制	185
4. 高压设备的选择	191
5. 电力负载的决定及变压器功率的选择	193
6. 变电站及配电站的结构形式	198
7. 选矿厂变电站中保护及测量的总则	202
8. 选矿厂供电自动化的原则	222
9. 选矿厂的电力网路	224
10. 电力网路的计算原理	234
第六章 选矿厂机械的控制	248
1. 电力拖动装置的控制方法	248
2. 感应电动机的远距控制及自动控制电路	248
3. 同步电动机的远距控制及自动控制电路	253
4. 直流电动机的控制电路	256
5. 选矿厂机械的拖动装置的控制系統	257
第七章 选矿厂中的检查及调节	270
1. 选矿厂中的调度检查	270
2. 检查及统计用的电气仪器	276
3. 自动调节	293
4. 生产信号	307
5. 调度电话	311
第八章 选矿厂电力设施的管理	316

1. 耗电量及其定额.....	316
2. 功率因数.....	321
3. 工厂电气设备的管理.....	326
4. 接地.....	328
5. 电气设备运行中的安全措施.....	333
参考文献	337

前 言

增加矿石中有用成分的提取量和改善精矿质量的办法之一就是广泛利用电能来拖动选矿机械，就是广泛利用电能来实现选矿机械工艺流程的自动化和远距控制。同时，自动化和电力拖动更是进一步提高劳动生产率的手段。

在选矿厂，应当最广泛地采用调度管理和远距控制，以及生产过程的全盘机械化，应当不断地改进电力拖动和供电以提高设备的生产率和产品产量。

选矿工业有着巨大的潜力和广阔的发展前途。

选矿厂工作者应当最大限度地利用现有的设备，使费力和繁重的工作完全机械化，使选矿机械和选矿流程电气化和自动化，并利用社会主义经济的优点，以达到进一步发展我国选矿工业的目的。

本书阐述了选矿厂电气设备和供电的各种问题。在这方面的文献是较少的。同时，规模最大的科学研究机关和设计机关（有用矿物机械处理科学研究设计院，顿巴斯煤矿设计院，南方矿井设计院，斯大林诺国立矿井设计院，卡拉冈达国立矿井设计院，等等）在选矿厂自动化、调节及检查等方面已完成了重要的研究工作并创制了电气设计的标准设计。

作者的任务是把在选矿机械电力拖动、选矿厂电气照明和供电方面积累起来的经验加以系统化。

书中注意到了选矿过程自动及远距控制、检查及调节等问题。

书中配备有必要的线路图和表，在表中示出了选矿厂用电机和电器的主要特性。

第一章是作者和斯维尔多洛夫斯克矿业学院的教员、矿山机电工程师 C. A. 泽利斯基共同执笔写的。

讀者對本書的所有意見，請寄斯維爾多洛夫斯克矿业學院本人（斯維爾多洛夫斯克市古比雪夫大街 30 號）或冶金出版社斯維爾多洛夫斯克分社（斯維爾多洛夫斯克市工業大廈）。讀者的意見，作者將在今後的工作中加以考慮。

作 者

第一章 电力拖动的原理

1. 电力拖动的动力学原理

所有机器装置或机器都是由执行一定生产过程的工作机械与拖动该机械作旋转或前进运动的原动机组成的联合装置。

最广泛采用的原动机是电动机。

电力拖动装置由电动机、操纵及调节器具组成，系借助于电的或机械的传动装置使工作机械运行的装置。

以上定义指出电力拖动装置有三个组成部分：

- a) 电动机（一台或一组）；
- b) 装置于电动机操纵及调节系统内的各种电器；
- B) 电动机与工作机械之间的传动装置。

工作机械与电力拖动装置是个统一的整体，所以电力拖动装置的优劣对机组的质量影响很大。

拖动装置应保证机器运行的可靠性，并在生产率最高及产品质量最好的条件下保证机器运行的经济性。同时，拖动装置应既便于管理又安全，並应有轻便及适合生产条件的结构。

各种机械根据它们所执行的生产过程特性，对电力拖动装置各有不同的特殊要求。例如通风设备要求有启动次数不多而能保证通风机单向恆速转动的拖动装置。挖掘机则相反，其拖动装置应保证在频繁启动的条件下能变更转速和转向。如果所选择的电力拖动装置的特性正符合生产机械的特性，则其选择可认为是正确的。

以上为选择电动机（型式、结构、特性，等等）、传动装置（型式，传动比，等等）、电器及电动机控制与调节系统的基本要求。

选择电力拖动装置时，必须注意到经济，不单要选择的技术数

据上最完美的拖动装置，更要紧的是同时保证设备购置费、安装费及维护费最低。

电力拖动是比较年轻的技术部门。最初用一台电动机带动数台由传动装置连系起来的机器，这是成组拖动。以后采用了更合理地单独拖动，即每台机器装设单独的电动机。单独拖动目前已被广泛采用。这种拖动方式的重大缺点是对某些机器必须配备以极复杂的传动装置。采用多电动机拖动（例如浮选机）可使机器的结构大为简化。

工作机械在工作过程中产生旋转或前进的运动。这运动是在作用力（原动力） F （千克）的作用下产生的。同时阻力 F_c （千克）阻碍运动。阻力可区分为有用力（例如有用矿物破碎时的阻力）及摩擦力。

在运动系统中任何速度的变化都会引起惯性力（或动态力） F_d （千克）。当速度加快时（加速度为 $+a$ 米/秒²）动态力的方向与原动力相反；当速度减慢时（减速度为 $-a$ 米/秒²）动态力的方向与原动力（作用力）的方向相同。

在前进运动中，原动力与阻力间之关系用下式表示：

$$F = F_c + F_d = F_c + ma, \quad (1)$$

式中 m ——前进物体的质量，千克·米⁻¹·秒²；

$a = \frac{dv}{dt}$ ——加速度（减速度），米·秒⁻²。

旋转运动中的力宜以相应的力矩来代替。此时公式（1）化为：

$$M = M_c + M_d = M_c + J\varepsilon, \quad (2)$$

式中 M ——转矩，千克·米；

M_c ——静阻力矩，千克·米；

$M_d = J\varepsilon$ ——动态力矩，千克·米；

J ——机械旋转部分的转动惯量；千克米·秒⁻²；

$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ ——角加速度（减速度），秒⁻²。

公式 (1) 及 (2) 主要的运动公式，因为它确定了决定运动特性的加速度 a (或角加速度 ε)，动态力及阻力 (或相应的力矩) 間之关系。

如已知轉矩及阻力矩，則利用运动公式就能决定角加速度及速度变化的规律。

$$\varepsilon = \frac{M - M_c}{J} \quad (3)$$

在速度变化规律公式中和运动公式中均同样包含系統的換算轉动慣量 J 。

換算轉动慣量即是我們所研究的系統的轉动慣量根据某一假定速度或某一軸換算后的等值轉动慣量。

在換算轉动慣量时，以动能維持不变为基础。因为旋轉体的动能为：

$$A = J \frac{\omega^2}{2}, \quad (4)$$

所以在系統中可得出等式 (图 1)：

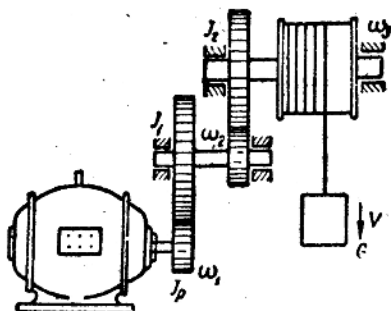


图 1 用以确定換算轉力矩的装置图

$$J_0 \frac{\omega_0^2}{2} = J_0 \frac{\omega_0^2}{2} + J_1 \frac{\omega_1^2}{2} + J_2 \frac{\omega_2^2}{2} + J_3 \frac{\omega_3^2}{2} + \dots, \quad (5)$$

式中 J_0 ——換算轉动慣量，千克·米·秒⁻²；
 ω_0 ——电动机的角速度，秒⁻¹；

J_0 ——电动机的轉动慣量, 千克·米·秒⁻²;

$\omega_1, \omega_2, \dots$ ——机械装置各元件的角速度, 秒⁻¹;

$J_1, J_2, \dots$ ——机械装置相应元件的轉动慣量, 千克·米·秒⁻²;

因此, J_s 是工作机各旋轉环节的等值轉动慣量。显然,

$$J_s = J_0 + J_1 \left(\frac{\omega_1}{\omega_0} \right)^2 + J_2 \left(\frac{\omega_2}{\omega_0} \right)^2 + J_3 \left(\frac{\omega_3}{\omega_0} \right)^2 + \dots \quad (5')$$

每一个旋轉元件的轉动慣量 J 等于:

$$J = mR_u^2 \quad (6)$$

但是在电力拖动理論中, 不根据轉动慣量来演算而根据迴轉力矩来演算。迴轉力矩的符号为 GD^2 。在公式 (6) 中, 以重量 G 及重力加速度 g 来代替質量, 以直径 D_u 来代替迴轉半径 R_u , 則

$$J = mR_u^2 = \frac{G}{g} \cdot \frac{D_u^2}{4} = \frac{GD^2}{4g} \quad (7)$$

迴轉力矩 GD^2 用千克·米²表示^①, 它与系統的換算迴轉力矩的关系同轉动慣量与換算轉动慣量的关系相似:

$$GD_s^2 = GD_0^2 + GD_1^2 \frac{1}{i_1^2} + GD_2^2 \frac{1}{i_2^2} + GD_3^2 \frac{1}{i_3^2} + \dots, \quad (8)$$

式中 $i_1 = \frac{\omega_0}{\omega_1}$; $i_2 = \frac{\omega_0}{\omega_2}$; $i_3 = \frac{\omega_0}{\omega_3} \dots$ 传动比。

当机械含有前进运动的部分时, 換算迴轉力矩可用下式决定:

$$\frac{GD_s^2}{4g} = \frac{GD_0^2}{4g} + \frac{mv^2}{\omega_0^2} \quad (9)$$

或

$$GD_s^2 = GD_0^2 + 365G \left(\frac{v}{n} \right)^2, \quad (10)$$

式中 m ——前进运动部分的质量, 千克·米⁻¹·秒²;

v ——前进运动部分的速度, 米·秒⁻¹;

① 迴轉力矩值載于电动机产品目录中, 在机器及机械的产品目录中也有。

G ——前进运动部分的重量，千克，

n_0 ——电动机的转速，转/分。

通式为：

$$GD_2^2 = \sum_{n=1}^{n=k} \frac{GD_n^2}{i^2} + \sum_{n=k+1}^{n=m} 365 G \left(\frac{v}{n} \right)^2. \quad (11)$$

2. 选矿厂用电动机的特性

选矿厂中采用三相交流感应电动机及同步电动机，很少采用直流电动机。最被广泛采用的是三相感应电动机。

采用何种电动机来拖动，取决于电动机的主要电气机械质量：电动机的启动与调节性能，反映转矩对速度关系 $M = f(\omega)$ 的机械特性。

在选择电动机时，以及在解电力拖动的基本运动方程式时，必须充分了解该种电动机的机械特性。

电动机的机械特性可按下列方法分类：

1) 绝对硬（同步）特性。同步电动机具有这种特性，它以恒速旋转而不受负载的影响。

2) 硬特性，负载自空载转变到标称负载时，速度降低不显著。三相感应电动机及并激直流电动机具有这种特性。

3) 软特性，负载增大时速度降落很大。串激直流电动机及某些特殊电力拖动装置具有这种特性。

并激直流电动机

直流电动机根据磁极绕组（激磁绕组）在电枢绕组的接线方法来分类。

激磁绕组与电枢并联的电动机称作并激电动机。激磁绕组与电枢串联的电动机称为串激电动机。

复激电动机有两个激磁绕组，一个并联，一个串联。

图 2 表示直流电动机的接线图。

直流电动机的转矩等于：

$$M = k_M \Phi I_a, \quad (12)$$

式中 Φ ——磁通；

I_a ——电枢绕组中的电流；

k_M ——系数。

直流并激电动机的特点为网路电压不变时磁通中具有恒定值。因此并激电动机的

$$M = k'_M I_a,$$

即转矩与电枢绕组中的电流成正比。

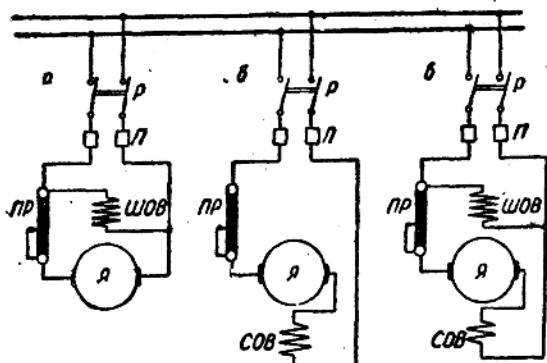


图 2 直流电动机的接线图

a—并激电动机；б—串激电动机；в—复激电动机

P—刀形开关；II—保险器；PP—启动变阻器；Я—电枢；

ШОБ—并激绕组；СОБ—串激绕组

电动机机械特性曲线的形状由下式决定：

$$n = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{r_a}{k_E \Phi} I_a = \frac{U}{k_E \Phi} - \frac{r_a}{k' \Phi^2} M, \quad (13)$$

式中 n ——电枢的旋转速度，转/分；

r_a ——电枢绕组的电阻，欧；

k_E ——比例系数；

$$k' = k_E k_M.$$

在公式 (13) 中只有轉速 n 及电流 I_a (或轉矩 M) 是变数, 所以机械特性曲线为傾角不大的直线 (图 3 上的 AB 直线)。特性曲线的傾角决定于下值:

$$\frac{r_a}{k_E \Phi} \text{ 或 } \frac{r_a}{k' \Phi^2}。$$

如将电枢电路内的电阻增大 (例如增大到 $r_a + R_D$ 值), 则特性曲线变得更陡。

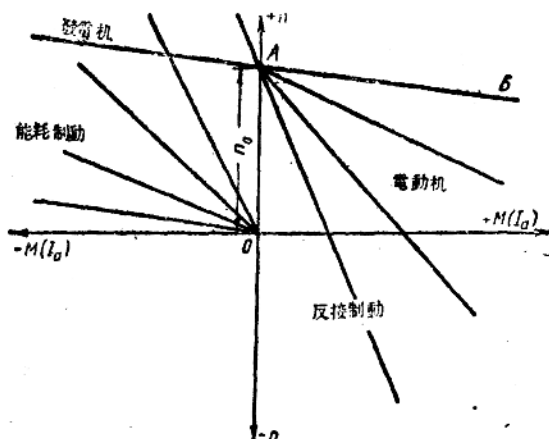


图 3 並激电动机在不同运行方式下的特性曲线
在空轉时, $M=0$ 及 $I_a=0$, 速度等于:

$$n_0 = \frac{U}{k_E \Phi}。$$

此量叫作边界轉速。

如果电动机的旋轉速度超过边界值 n_0 , 則轉矩变成負数 (制动力矩) —— 电动机作发电制動运行, 将电力送入网路。

此外, 並激电动机尚有以下运行方式: a) 能耗制動, 此时电枢与网路断接而閉合于电阻上, 电动机本身作为发电机来运

行；6) 反接制动，此时工作机械带着电动机旋轉，其旋轉方向与电动机繞組按规定方式連接时的旋轉方向相反。

在經濟方面最有利的是向网路反饋电力的发电制动。最不利的是反接制动，因为这种运行方式耗用网路的电力很多。

直流並激电动机各种运行方式的机械特性曲綫示于图 3。

直流电动机电枢电路中的电流等于：

$$I_a = \frac{U - \gamma_a n \Phi}{r_a} \quad (14)$$

启动时， $n=0$ ，电流很大（为正常值的 15—20 倍）。因此直流电动机仅利用电枢电路中的变阻器来启动。随着轉速的增长，将变阻器的电阻逐漸减小。

为了改变旋轉方向，必須改变电枢繞組或激磁繞組中的电流方向（图 4）。

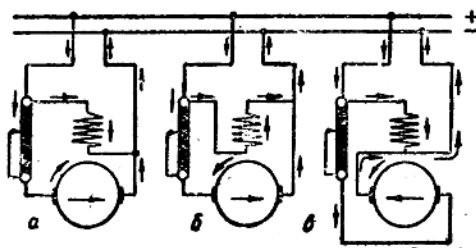


图 4 改变直流电动机旋轉方向的方法

a—順时針旋轉；б—用換接激磁繞組来改变旋轉方向；

в—用換接电枢繞組来改变旋轉方向

由公式 (13) 看出，調节轉数可用三种方法：a) 在电枢电路中加入电阻(图 3)；б) 改变磁通量 Φ ；B) 改变外施电压。

在电枢电路中加入电阻可将速度減低到零，但是这种調节速度的方法伴随着很大的电力損失。要改变磁通量时，将变阻器接到激磁繞組电路中。用这种方法，可使普通电动机的速度高于正常值。

在大功率拖动裝置中，主要用改变外施电压的办法来調节。

如果将电压逐级自零改变到正常值，就得到一系列的平行特性曲线（图5）。在特定的力矩下，每条特性曲线相应于某一速度值。

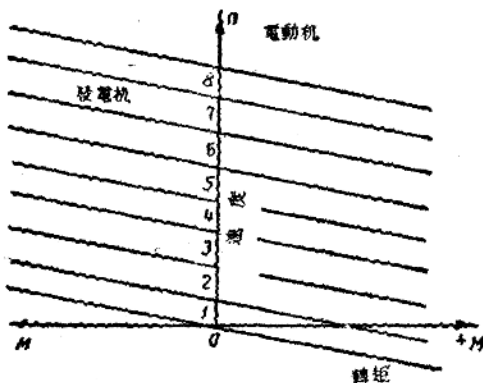


图5 直流电动机用改变外施电压来调节
转速时的特性曲线

具有可变电压的直流电源为电动发电机组^①，它将交流电变成直流电。这种拖动装置的电路示于图6。

调速用改变直流发电机激磁电路中电阻的方法来实现，在改变电阻时，直流电动机的电压发生变化。

上述的调速方法要求装设三台功率大致相同的电机，这样就使基本投资加大了。

串激直流电动机 *

串激电动机（图2，φ）主要用于电力牵引和吊车的拖动。这种电动机的特点为电枢电流 I_a 与激磁电流 I_f 相等：

$$I_a = I_f = I,$$

因此磁通与电枢绕组中的电流成比例， $\Phi \propto I_a = I_f = I$ 。将此等式代入公式（12），得出：

① 也可采用水激整流器。