

煤矿电工手册

MEIKUANG DIANGONG SHOUCHE

7

煤炭工业出版社

煤矿电工手册

(第三分册)

提升机电力拖动(直流部分)

总 编 顾永辉 范廷瓚
主 编 郁继裳 陶绍斌 盛纪宝 田崇愿
编写人 龚幼民 邹于楼 叶祖佑
(以章次为序)

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书是《煤矿电工手册》第三分册第七专集。

本书内容主要包括矿井提升机“发电机-电动机组”及“可控硅变流器-电动机组”直流电力拖动系统的基本原理、主要设备和参数选择计算、安装、调试、运行维护及故障处理等。

书中还附有提升机直流电力拖动中常用的计算参数、典型线路及计算实例，可供技术人员、工人以及科研、设计、教学等方面的人员查阅使用。

煤 矿 电 工 手 册

提升机电力拖动（直流部分）

*

煤炭工业出版社 出版

（北京安定门外和平北路16号）

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 印张 $22 \frac{1}{2}$ 插页 4

字数 531 千字 印数 1—9,335

1981年12月第1版 1981年12月第1次印刷

书号15035·2399 定价2.95元

前 言

为高速度发展煤炭工业，加快煤矿机械化、现代化的步伐，进一步满足广大煤矿电气工作人员查阅使用方便，特组织编写这部《煤矿电工手册》。

在手册编写过程中，我们曾多次召开专业性技术座谈会，认真调查研究，广泛搜集资料，并尽量吸取广大煤矿职工在生产和科学实验中的好经验。内容力求做到准确、实用，文字简练，通俗易懂，采用的公式、图表及测试方法等附有计算实例，便于读者掌握运用。

本《手册》是由部生产司、教育司、设计管理局、科技局、制造局和科技情报所共同负责组织的。共有三十五个单位，七十多位同志参加编写。

本《手册》共分四个分册十二个专集，先按专集出版单行本，而后合订成册。

第一分册《电机与电器》由辽宁省煤炭工业局组织，抚顺矿务局、中国矿业学院为主编单位；

第二分册《矿井供电》由山东省煤炭工业局组织，新汶矿务局、山东矿业学院、中国矿业学院为主编单位；

第三分册《煤矿固定设备电力拖动》由安徽省煤炭工业局组织，淮南矿务局、淮南煤炭学院为主编单位；

第四分册《采掘运机械的电气控制及通信》由江苏、山西省煤炭工业局组织，徐州、阳泉矿务局为主编单位。

《手册》编写工作，曾得到有关单位，特别是一机、冶金、水电和国防部门的大力支持，并提供了许多宝贵意见和资料，谨此表示衷心感谢。

本《手册》编写工作涉及的面广，专业性强，但由于我们经验不足，水平有限，难免有不足之处，希广大读者提出批评、建议，便于在修订时改正。

《手册》名称及编写单位

分册名称	专 集 名 称	编 写 单 位
电机与电器	1. 电工、防爆基础 电工材料与仪表 2. 电动机 3. 变压器、高低压电器及特殊电机	抚顺、阜新、焦作、渡口矿务局，中国矿业学院、焦作矿业学院，抚顺煤矿研究所，抚顺煤矿电机厂
矿井供电	4. 地面供电 5. 井下供电及照明	新汶、枣庄、肥城、淄博、峰峰矿务局、山东矿业学院、中国矿业学院，沈阳、湖北煤矿设计院
煤矿固定设备电力拖动	6. 提升机电力拖动(交流部分) 7. 提升机电力拖动(直流部分) 8. 通风机、空压机、水泵的电力拖动 9. 钢丝绳胶带输送机电力拖动	淮南、淮北、资兴、本溪、鹤壁矿务局，淮南煤炭学院，安徽、河南、河北省煤矿设计院，上海煤矿机械研究所，沈阳煤矿设计院
采掘及运输电气机械控制	10. 采掘机械和采区运输设备的电气控制 11. 窄轨电机车及电气控制 12. 通信及监测装置	徐州、阳泉、大同、西山、平顶山、淮南矿务局，沈阳煤矿设计院、北京煤矿学校

主要文字符号

<p>B 磁通密度</p> <p>E 电势</p> <p>I、i 电流</p> <p>L 电感</p> <p>n 转速、谐波序次</p> <p>P 脉波数</p> <p>R r 电阻</p> <p>T t 时间常数、周期、温度、时间</p> <p>V 速度</p> <p>X 电抗</p> <p>α 强迫系数、滞后角</p> <p>γ 密度、裕度角</p> <p>η 效率</p> <p>μ 系数</p> <p>τ 时间</p>	<p>C 电容量、比热系数、常数</p> <p>F 提升力 f 频率</p> <p>K k 变比、系数、常数</p> <p>M 力矩、转矩</p> <p>P 功率</p> <p>Q 流量、无功功率</p> <p>S 断面积、拉氏算子、视在功率</p> <p>U u 电压、重迭角</p> <p>w 匝数</p> <p>Z 阻抗</p> <p>β 反馈系数、超前角</p> <p>δ 静差率、电感系数、角度</p> <p>θ 休止时间、导通角</p> <p>ρ 电阻率</p> <p>ω 角频率</p>
---	--

常用角标表

<p>A 磁放大器</p> <p>b 偏移、平衡</p> <p>cl 爬行</p> <p>cp 比较</p> <p>e 电势</p> <p>G 发电机</p> <p>h 高速</p> <p>k 换向极、短路</p> <p>l 网侧、线</p> <p>m、max 最大的 min 最小的</p> <p>n 次数</p> <p>oL 开环</p> <p>R 电机放大器</p> <p>st 起动</p> <p>t 变压器</p> <p>v 速度 阀侧</p> <p>α 滞后角</p> <p>ϕ 相</p>	<p>a 电枢、臂 av 平均</p> <p>c 补偿、环流、控制</p> <p>cL 闭环</p> <p>d 直流、微分、 dm 消磁</p> <p>f 励磁、反馈</p> <p>g 给定</p> <p>i 电流、理想、积分</p> <p>L 负载</p> <p>M 电动机、转矩</p> <p>N 额定</p> <p>O 空载</p> <p>P 比例</p> <p>s 同步、取样</p> <p>T、th 可控硅</p> <p>u 电压</p> <p>w 匝数</p> <p>δ 剩磁</p>
--	--

本书中的图例、文字符号采用国家标准,文字符号的角标采用国际通用注脚,但考虑到目前各厂家图纸尚未统一,为了使用方便,所有厂家图纸仍用其原图中的图例、符号,未予更改。

目 录

主要文字符号

第四章 提升机电力拖动（直流部分）	7-4-1
第一节 发电机—电动机组直流电力拖动系统	7-4-1
一、系统组成	7-4-1
二、系统的机械特性和运转状态	7-4-3
三、主回路主要设备的选择	7-4-7
四、调速系统原理及参数选择	7-4-10
五、给定部分原理及参数选择	7-4-36
第二节 发电机—电动机组直流电力拖动线路实例	7-4-46
一、线路图	7-4-46
二、电气元件作用一览表	7-4-67
三、线路原理说明	7-4-76
第三节 发电机—电动机组直流电力拖动系统主要电气设备的安装	7-4-97
一、主变流机组的安装	7-4-97
二、主直流电动机的安装	7-4-101
三、电机放大机组的安装	7-4-101
四、其他电气设备的安装	7-4-102
第四节 发电机—电动机组直流电力拖动系统的电气调试	7-4-102
一、一般性检查试验	7-4-102
二、同步电动机试运转	7-4-103
三、主回路调试	7-4-103
四、调速系统单元及环节调试	7-4-105
五、控制系统的调试	7-4-114
六、全系统调试	7-4-117
七、系统的电气测定	7-4-119
第五节 发电机—电动机组直流电力拖动系统的运行维护和故障处理	7-4-120
一、同步电动机的运行维护和故障处理	7-4-120
二、大型直流电机的运行维护和故障处理	7-4-123
三、交磁电机放大机的运行维护和故障处理	7-4-128
四、直流发电机—电动机拖动系统运行故障	7-4-129
第六节 “可控硅变流器—电动机”直流电力拖动系统	7-4-135
一、“可控硅变流器—电动机”直流电力拖动系统的组成及机械特性	7-4-135
二、可控硅变流设备	7-4-138
三、“可控硅变流器—电动机”直流电力拖动的控制系统	7-4-201
第七节 “可控硅变流器—电动机”直流电力拖动系统线路实例	7-4-264
一、磁场换向逻辑无环流可逆系统	7-4-264
二、电枢换向逻辑无环流可逆系统	7-4-288

三、磁场换向控制环流可逆系统简介	7-4-323
第八节 “可控硅变流器—电动机”直流电力拖动系统的调试	7-4-328
一、概述	7-4-328
二、一些调试依据参数的测定	7-4-332
三、单元调试	7-4-335
四、系统调试	7-4-343
五、调试中有关问题	7-4-348

第四章 提升机电力拖动(直流部分)

本章主要介绍矿井提升机采用直流电动机拖动的二种主要系统：发电机—电动机组直流电力拖动系统和可控硅（晶闸管）变流器—电动机直流电力拖动系统。

第一节 发电机—电动机组直流电力拖动系统

一、系统组成

图4-1-1示出典型的发电机—电动机组直流电力拖动系统主要环节的原理图（参看图4-2-1）。

（一）主回路

提升机T由直流主电动机ZD拖动。

直流主电动机ZD由直流主发电机ZF独立供电。

直流主发电机ZF由同步电动机TD拖动，组成变流机组。

直流主电动机励磁绕组ZD-TQ由单独的励磁机（LD，图上未画出）供电。

直流主发电机励磁绕组ZF-TQ由电机放大机组（JF）供电。

直流主回路由直流主开关ZK开闭。

（二）调速系统

本系统为采用磁放大器—电机放大机二级放大的速度闭环自动调速系统。

给定部分送来的给定信号，加到双拍磁放大器CF的给定绕组GQ，经放大后供给电机放大机JF的给定绕组GQ₁、GQ₂，经再次放大后供给直流主发电机励磁绕组ZF-TQ。

磁放大器和电机放大机反馈绕组FQ按负反馈接法分别接到各自的输出端，磁放大器构成外反馈环节，电机放机构成电压负反馈环节，使磁放大器和电机放大机具有较理想的特性。

通过和提升机硬连接的测速发电机SF获得测速反馈信号，加到磁放大器速度反馈绕组SQ，按负反馈接法，和给定信号进行综合比较，构成速度负反馈环节。

由直流主发电机及主电动机的补偿绕组BCQ和换向极绕组HXQ引出主回路电流信号，与比较信号（52R上部分电压）比较，经整流桥D截止作用，加到磁放大器电流截止绕组LQ，构成电流截止环节。

通过稳定变压器1WB，将直流主发电机ZF端电压变化信号引入磁放大器稳定绕组CQ，控制超调；通过稳定变压器2WB，将电机放大机JF端电压变化信号引入电机放大机稳定绕组WQ，起镇定作用，构成稳定环节。

（三）给定部分

由司机手柄操纵的自整角机ZJ发出手动控制信号，输入给定积分器GJ，发出反映

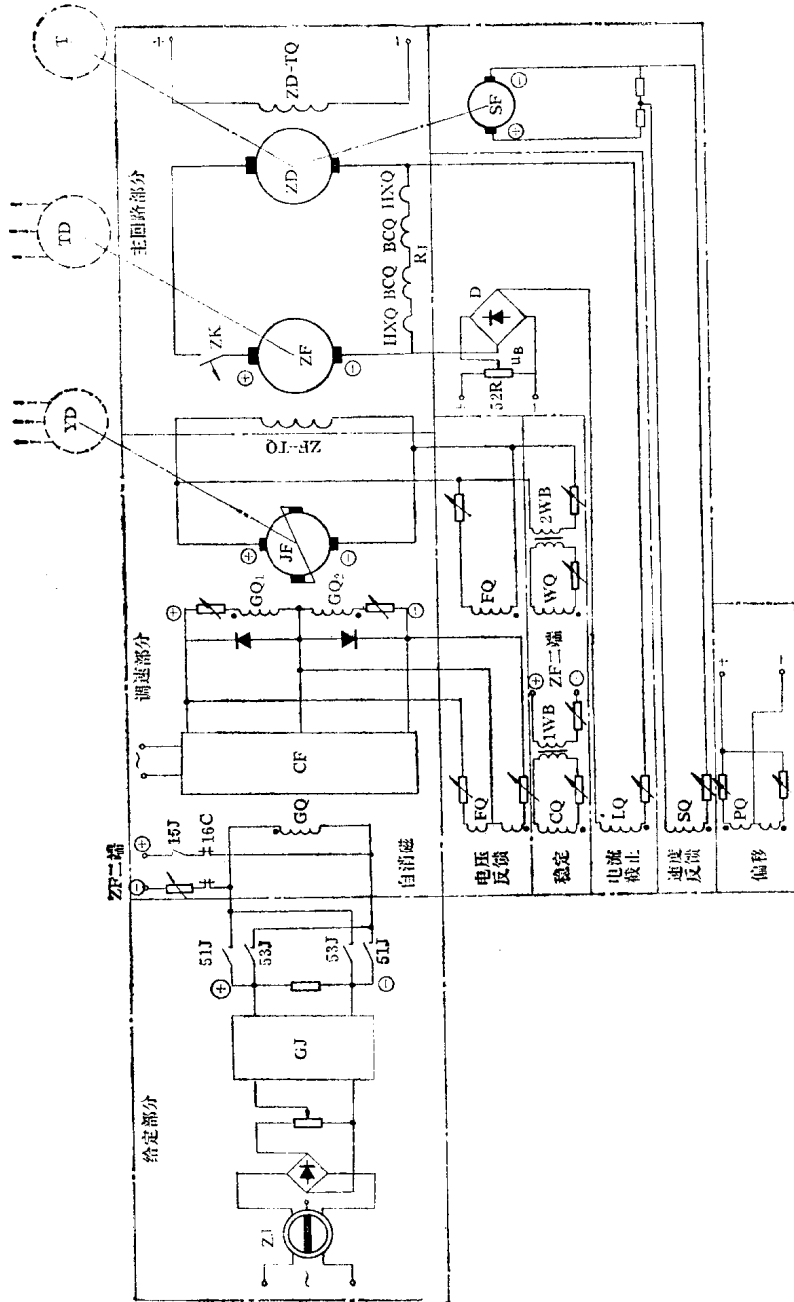


图 4-1-1 发电机—电动机组直流电力拖动系统主要环节原理图
 ZJ—给定自整角机；GJ—给定积分器；CF—磁放大器；JF—电机放大器；YD—异步电动机；ZD—直流主发电机；
 TD—同步电动机；ZD—直流主电动机；I—提升机；SF—测速发电机；1、2WB—稳定变压器；ZK—直流主开关

起（制）动、加（减）速度的一定斜率的信号，作为控制主电动机转速的给定信号。

在提升机停转时，通过弱磁接触器16C，将直流主发电机剩磁电压，反向加到磁放大器给定绕组，抑制剩磁电压，构成自消磁环节。

以上介绍的是提升机发电机—电动机组直流电力拖动系统的典型结构。在较小容量提升机的拖动系统中只用电机放大机环节而没有磁放大器；在更大容量提升机的拖动系统中，由于电机放大机容量有限，而增加中间励磁机，也就是由电机放大机给中间励磁机励磁，再由中间励磁机给主发电机励磁；也还有采用可控硅变流装置取代电机放大机、磁放大器；用硅整流装置作为主电动机励磁电源等系统。至于调速系统的其它环节亦可作适当的增、减和变动。

二、系统的机械特性和运转状态

（一）系统开环机械特性

发电机—电动机组直流电力拖动系统开环机械特性公式如下：

$$n_M = \frac{E_G}{C_{eM}} - \frac{I \Sigma R}{C_{eM}} = \frac{E_G}{C_{eM}} - \frac{M_M \Sigma R}{C_{eM} C_{MM}} \quad (\text{r/min}) \quad (4-1-1)$$

- 式中 n_M ——直流主电动机（ZD）转速，转/分；
 E_G ——直流主发电机（ZF）感应电势，伏；
 C_{eM} ——直流主电动机电势常数；电势与转速比，伏·分/转；
 I ——主回路电流，安；
 ΣR ——主回路总电阻，欧；
 M_M ——直流主电动机转矩，公斤·米；
 C_{MM} ——直流主电动机转矩常数（转矩与电流比），公斤·米/安。

主回路总电阻由下式求出：

$$\Sigma R = k(R_{aG} + R_{cG} + R_{KG} + R_{aM} + R_{cM} + R_{KM}) + \Delta R + \frac{\Delta u_G + \Delta u_M}{I} \quad (\Omega) \quad (4-1-2)$$

- 式中 k ——将电阻值由常温折合到75℃的系数；
 R_{aG} 、 R_{aM} ——直流主发电机、主电动机电枢绕组电阻，欧；
 R_{cG} 、 R_{cM} ——直流主发电机、主电动机补偿绕组电阻，欧；
 R_{KG} 、 R_{KM} ——直流主发电机、主电动机换向极绕组电阻，欧；
 ΔR ——主回路接线电阻，欧；
 Δu_G 、 Δu_M ——直流主发电机、主电动机电刷压降，伏。

1. 主电动机理想空载转速

$$n_{0M} = \frac{E_G}{C_{eM}} \quad (\text{r/min}) \quad (4-1-3)$$

n_{0M} 和主发电机电势 E_G 成正比，改变主发电机电势大小和方向即可改变主电动机转速的大小和方向。

2. 主电动机负载运行时的转速降

$$\Delta n = \frac{I \Sigma R}{C_{eM}} = \frac{M_M \Sigma R}{C_{eM} C_{MM}} \quad (\text{r/min}) \quad (4-1-4)$$

Δn 和负载（电流、转矩）成正比，负载一定时其大小正比主回路总电阻 ΣR ，因此机械特性硬度决定于主回路总电阻。

3. 系统开环静差度

$$\delta\% = \frac{\Delta n}{n_{0M}} \times 100\% \quad (4-1-5)$$

4. 系统开环机械特性曲线

系统开环机械特性曲线如图4-1-2所示。

降低主发电机电势（由 E_{G1} 降到 E_{G2} ）时，特性曲线由 1 变到 2，主发电机电势反向（由 E_{G1} 变为 E_{G7} ）时，特性曲线由 1 变到 7。

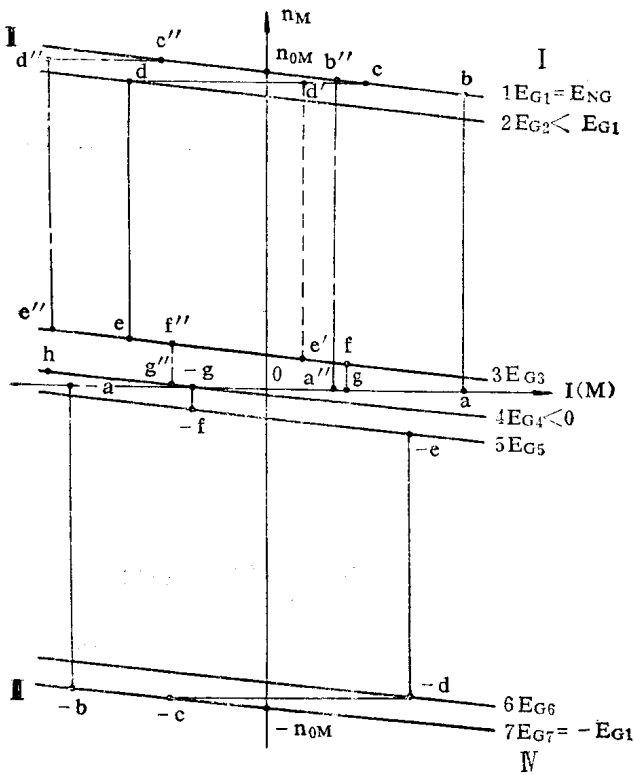


图 4-1-2 系统开环机械特性和提升机四象限运行

主回路总电阻增加，将引起负载转速降 Δn 增加，开环机械特性变软。

(二) 系统运转状态

发电机—电动机组直流电力拖动系统，应用于提升机拖动时，可以在四个象限运行，并能连续平滑过渡，因此具有极好的拖动性能。参看图4-1-2。

提升机提升重物时，随着给定电压的逐渐升高，主发电机电势 E_G 逐渐升高，产生一定起动转矩，使提升机按要求加速度逐渐升速， $0 \rightarrow a \rightarrow b$ 。起动结束，直流主发电机电势达额定值，主电动机运行在特性曲线 1，工作点由 b 过渡到 c （动态转矩消失），进入等速阶段。以上运行在机械特性第 I 象限。

当达到减速点后（若负力减速），随着给定电压的逐渐降低，主发电机电势 E_G 逐渐下降，一开始电动机转速 n_M 未变，工作点由 c 过渡到 d 。主电动机电势 E_M 大于主发电机电势 E_{G2} ，电枢电流反向。转矩反向，进行制动，主电动机转速不断下降，由 $d \rightarrow e$ ，此时主电动机处于发电运行状态，动能转化为电能反馈回主发电机，主发电机处于电动运行状态，拖动同步电动机使其处于发电运行状态，于是电能回馈交流电网。以上直流主电动机运行在机械特性第 II 象限。

当进入爬行时，发电机电势固定在一个较低的电势 E_{G3} ，沿着机械特性 3，由 e 过渡到 f ，进行爬行，直流主电动机重又回到电动机运行状态。产生爬行要求的转矩，按爬行速度运行。到停车位置制动停车 $n_M = 0$ ，回到 g 点和 0 点。以上直流主电动机又回到机

械特性第 I 象限。

如果减速阶段要求正力减速, 则运行过程为 $0 \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d' \rightarrow e' \rightarrow f \rightarrow g \rightarrow 0$ 。

如果下放重物, 等速阶段要求负力时, 运行过程为 $0 \rightarrow a'' \rightarrow b'' \rightarrow c'' \rightarrow d'' \rightarrow e'' \rightarrow f'' \rightarrow g'' \rightarrow 0$ 。

当提升机另一方向提升时, 随着给定电压的换向, 主发电机电势 E_G 反向, 主电动机转速反向, 运行过程为 $0 \rightarrow -a \rightarrow -b \rightarrow -c \rightarrow -d \rightarrow -e \rightarrow -f \rightarrow -g \rightarrow 0$ 。直流主电动机运行在机械特性曲线的第 III、IV 象限。

当下放重物时, 为了获得稳定低速(如运送炸药)、可以开正车(正转)送反电(低压反向电势 E_{G4} , 对应机械特性 4) 工作在 h 点。

(三) 闭环自动调速系统静特性

如图 4-1-1 所示典型系统的闭环静特性公式如下:

$$n_M = n_{0M} - \Delta n_L - \Delta n_J - \Delta n_\delta \quad (\text{r/min}) \quad (4-1-6)$$

式中 n_M ——直流主电动机转速, 转/分;

n_{0M} ——直流主电动机理想空载转速, 转/分;

Δn_L ——由负载引起的转速降, 转/分;

Δn_J ——由电流截止环节引起的转速降, 转/分;

Δn_δ ——由主发电机、电机放大机的剩磁电压引起的转速降, 转/分。

静特性曲线如图 4-1-3 (仅画第 I 象限) 所示。

1. 直流电动机理想空载转速 n_{0M}

$$n_{0M} = \frac{u_{GA} \cdot k_{GA} \cdot k_{GR} \cdot k_{fG}}{c_{eM} \left(1 + \frac{c_{eV}}{c_{eM}} \cdot k_{VA} \cdot k_{GR} \cdot k_{fG} \right)}$$

$$= \frac{u_{GA} \cdot k}{1 + k \cdot \beta} = \frac{u_{GA} \cdot k}{1 + k_{0L}} \quad (\text{r/min})$$

$$(4-1-7)$$

$$\text{上式} \quad k_{GA} = \frac{k'_{GA}}{1 + k_{uA}} \quad (4-1-8)$$

$$k_{GR} = \frac{k'_{GR}}{1 + k_{uR}} \quad (4-1-9)$$

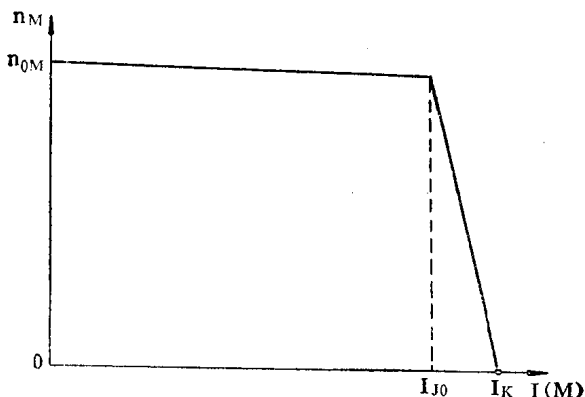


图 4-1-3 带电流截止环节的闭环静特性

$$k_{VA} = \frac{k'_{VA}}{1 + k_{uA}} \quad (4-1-10)$$

$$K = \frac{K_{GA} \cdot K_{GR} \cdot K_{fG}}{c_{eM}} = K_{GA} \cdot K_{GR} \cdot K_{fG} \cdot K_M \quad (\text{r/min} \cdot \text{v}) \quad (4-1-11)$$

$$\beta = c_{eV} \frac{K_{VA}}{K_{GA}} \quad (\text{v} \cdot \text{min/r}) \quad (4-1-12)$$

以上各式中

K'_{GA} ——磁放大器给定绕组的电压放大系数;

K'_{VA} ——磁放大器速度负反馈绕组电压放大系数;

K'_{GR} ——电机放大机给定绕组的电压放大系数;

7-4-6 提升机电力拖动（直流部分）

K_{uA} ——磁放大器外反馈绕组电压放大系数；

K_{uR} ——电机放大机电压负反馈绕组电压放大系数；

K_{tG} ——直流主发电机励磁绕组的电压放大系数；

$K_M = \frac{1}{C_{eM}}$ ——主电动机转速与电势之比，转/分·伏；

β ——速度负反馈的反馈系数；

C_{eV} ——直流测速发电机电势与主电动机转速比，伏分/转；

K ——系统各放大环节放大系数乘积，转/分·伏；

u_{gA} ——加到磁放大器给定绕组的给定电压，伏。

由式（4-1-7）可知，闭环系统开环放大倍数 K_{OL} ：

$$K_{OL} = \frac{C_{eV}}{C_{eM}} \cdot K_{VA} \cdot K_{GR} \cdot K_{tG} = K \cdot \beta \quad (4-1-13)$$

闭环系统闭环放大倍数 K_{CL} ：

$$K_{CL} = \frac{n_{0M}}{u_{gA}} = \frac{K}{1 + K_{OL}} \quad (\text{r/min} \cdot \text{v}) \quad (4-1-14)$$

2. 负载转速降 Δn_L

$$\Delta n_L = \frac{I \Sigma R}{C_{eM} \left(1 + \frac{C_{eV}}{C_{eM}} \cdot K_{VA} \cdot K_{GR} \cdot K_{tG} \right)} = \frac{I \Sigma R \cdot K_M}{1 + K_{OL}} \quad (\text{r/min}) \quad (4-1-15)$$

上式与（4-1-4）式比较，可以清楚看出，由于采用了闭环系统，分母上增加了一项 $(1 + K_{OL})$ ，因此使 Δn_L 变小，使机械特性变硬，扩大了调速范围。增加系统开环放大倍数 K_{OL} 使 Δn_L 更小，特性将变得更硬。

3. 电流截止转速降 Δn_J

$$\begin{aligned} \Delta n_J &= \frac{(IR_{sJ} - u_{cP} - \Delta u_f) K_{JA} \cdot K_{GR} \cdot K_{tG}}{C_{eM} \left(1 + \frac{C_{eV}}{C_{eM}} \cdot K_{VA} \cdot K_{GR} \cdot K_{tG} \right)} \\ &= (IR_{sJ} - u_{cP} - \Delta u_f) \cdot \frac{K}{1 + K_{OL}} \cdot \frac{K_{JA}}{K_{gA}} \quad (\text{r/min}) \quad (4-1-16) \end{aligned}$$

式中 R_{sJ} ——电流截止取样电阻，欧；

u_{cP} ——电流截止比较电压，伏；

Δu_f ——整流桥正向电压降，伏；

K_{JA} ——磁放大器电流截止绕组（LQ）的电压放大系数。

电流截止取样电阻 R_{sJ}

$$R_{sJ} = k(R_{CG} + R_{KG} + R_{CM} + R_{KM}) + \Delta R' \quad (\Omega) \quad (4-1-17)$$

式中 $\Delta R'$ ——电流截止取样回路的接线电阻，欧。

在 $I \leq \frac{u_{cP} + \Delta u_f}{R_{sJ}}$ 时，由于整流桥的截止作用 $\Delta n_J = 0$ 。当 $I > \frac{u_{cP} + \Delta u_f}{R_{sJ}}$ 时，电流

截止环节开始工作，使 Δn_J 急剧增加，电动机转速迅速下降，一直到堵转（ $n = 0$ ），从而获得所谓“挖土机特性”（参看图4-1-3）。

4. 剩磁电压转速降 Δn_s

$$\Delta n_s = \frac{\pm E_{\delta G} \pm U_{\delta R} \cdot K_{tG}}{C_{eM} \left(1 + \frac{C_{eV}}{C_{eM}} \cdot K_{vA} \cdot K_{gR} \cdot K_{tG} \right)}$$

$$= (\pm E_{\delta G} \pm u_{\delta R} \cdot K_{tG}) \cdot \frac{k_M}{1 + k_{oL}} \quad (\text{r/min}) \quad (4-1-18)$$

式中 $E_{\delta G}$ —— 直流主发电机剩磁电势, 伏;

$u_{\delta R}$ —— 电机放大机剩磁电压(已考虑电压负反馈), 伏;

$$u_{\delta R} = \frac{u'_{\delta R}}{1 + k_{uR}} \quad (\text{V}) \quad (4-1-19)$$

式中 $u'_{\delta R}$ —— 电机放大机剩磁电压, 伏。

从以上二式可以看出, 剩磁也将引起系统转速偏差, 为了减小 Δn_s 可以增强电压负反馈(即加大 k_{uR}) 使 $u_{\delta R}$ 减小, 也可以采取自消磁措施减小 $E_{\delta G}$ 和 $u'_{\delta R}$ 。

5. 系统闭环静差度 $\delta_{CL}\%$

$$\delta_{CL}\% = \frac{\Delta n_L + \Delta n_s}{n_{0M}} \times 100\% \quad (4-1-20)$$

因为在通常负载范围内, 电流截止环节不工作 ($\Delta n_I = 0$), 故上式中不包括这一项。

三、主回路主要设备的选择

(一) 直流主电动机选择

根据第一章叙述的方法确定直流主电动机功率 P_{NM} 。适合于矿井提升机使用的直流电动机主要有ZD系列和ZJD系列可逆转型大型直流电动机; ZD系列、ZJD系列和ZD₂系列有补偿绕组中型直流电动机。

(二) 直流主发电机选择

按下式确定直流主发电机功率

$$P_{NG} \geq \frac{P_{NM}}{\eta_M} \quad (\text{kW}) \quad (4-1-21)$$

式中 η_M —— 直流主电动机效率。

由于直流主发电机冷却条件一般优于直流主电动机, 因此一般可取主发电机功率 P_{NG} 大致等于主电动机功率 P_{NM} 。

$$P_{NG} \approx P_{NM} \quad (\text{kW}) \quad (4-1-22)$$

精确计算可按下式进行:

$$P_{NG} = \frac{V_m}{102} \sqrt{\frac{1}{\eta_i^2 \eta_{MM}^2} \int_0^T F^2 dt + \eta_i^2 \eta_{MG}^4 \int_0^T (-F)^2 dt} \quad (\text{kW}) \quad (4-1-23)$$

式中 V_m —— 速度图中最大速度, 米/秒;

η_i —— 传动效率;

η_{MM} —— 直流主电动机按电动机方式运行时效率;

η_{MG} —— 直流主电动机按发电机方式运行时效率;

7-4-8 提升机 电力拖动 (直流部分)

T_1 ——按电动机方式运行的时间, 秒;

T_2 ——按发电机方式运行的时间, 秒;

$T = T_1 + T_2$, 秒;

θ ——直流主电动机在一个提升循环内间歇时间, 秒;

F ——力图中提升力, 公斤。

直流主发电机额定电压一般应稍大于直流主电动机额定电压。

适合选用的大型直流发电机有ZF系列和ZJF系列; 中型直流发电机有ZF系列、ZJF系列和ZF₂系列。

(三) 主变流机组用交流电动机的选择

拖动直流主发电机的交流电动机, 一般采用同步电动机, 以利改善矿山的功率因数。其额定功率可按下式确定

$$P_{NSM} \geq \frac{P_{NG}}{\eta_G} \quad (\text{kW}) \quad (4-1-24)$$

式中 η_G ——直流主发电机效率。

但由于直流主电动机在提升起动阶段一开始即为最大值, 而直流主发电机的电压是逐渐增加的, 因此同步电动机的电流在提升起动阶段也是逐渐增加的。由此引起的损耗将远小于直流主电动机, 使选择同步电动机功率有可能小于直流主电动机功率, 尤其在加速阶段时间 t_1 相对较长时, 更是如此。精确计算可按下式进行。

$$P_{NSM} = \mu \sqrt{\frac{\int_0^{T_1} P_{SMM}^2 dt + \eta_{SMG}^2 \int_0^{T_2} P_{SMG}^2 dt}{T + \theta}} \quad (\text{kW}) \quad (4-1-25)$$

式中 $\mu = 1.05 \sim 1.1$ ——当负载减轻时, $\cos\varphi$ 降低的影响系数;

P_{SMM} ——电动机方式运行时同步电动机轴上的功率, 千瓦;

P_{SMG} ——发电机方式运行时同步电动机轴上的功率, 千瓦;

η_{SMG} ——发电机方式运行时同步电动机的效率。

已知提升机滚筒轴上功率 P 的变化, 求同步电动机轴上的功率变化时, 应在不同提升阶段分别考虑如下一些损耗:

1) 减速器中损耗, 若用传动效率 η_i 来计算时, 在电动机运行时应除以效率, 在发电机运行时应乘以效率;

2) 直流主电动机和直流主发电机电枢中的损耗, 在起动阶段可以近似地按下式估算:

$$p_a = 0.9 P_{M_{\max}} \left(\frac{1}{\eta_M} \cdot \frac{1}{\eta_G} - 1 \right)$$

其中 $P_{M_{\max}}$ 为直流主电动机轴上最大功率, 在其它运行阶段可按提升力 F 平方进行折算。在电动机运行时, 应当加上此项损耗; 而在发电机运行时, 应当减去此项损耗。

3) 提升间歇期直流主发电机的机械损耗, 可按直流主发电机平均功率的1.5%估算。

4) 当同步电动机轴上带有自身的励磁发电机时还应包括此项功率, 可按同步电动机功率的1~1.5%估算。如还带有主电动机励磁机时也应包括其功率。

按上式精确计算的同步电动机功率, 常常是直流主电动机功率的0.75~1.1倍。

同步电动机空载起动，其起动设备的选择方法参看第五章有关内容。

（四）直流主电动机励磁电源选择

本系统直流主电动机为恒定励磁，长期工作。根据其励磁数据（励磁电压、励磁电流）选择励磁机及其原动机，或者选择硅整流装置。

选择的原则是：励磁机或硅整流装置的额定电压应为主电动机励磁电压的1.05倍左右；励磁机或硅整流装置的额定电流应等于或大于主电动机额定励磁电流。

（五）直流主发电机励磁电源选择

1. 励磁电源型式选择

主变流机组的直流发电机励磁大小应随给定信号（已综合多种控制信号）作出迅速响应，从而改变主发电机输出电压、主电动机转速，达到准确控制的目的。因此目前主要选择电机放大机（也有选择可控硅变流装置）作励磁电源，对大容量直流发电机，当电机放大机容量不够时也可选用中间励磁发电机。

2. 额定电压的选择

额定电压的选择应考虑直流发电机励磁系统具有一定的强迫，以加快过渡过程和改善动态品质。对提升机拖动系统励磁强迫系数一般可取 $\alpha = 0.3 \sim 0.7$ ，因此

$$U_{NR} = (1 + \alpha) I_{NGf} \cdot R_{Gf} = (1.3 \sim 1.7) I_{NGf} \cdot R_{Gf} \quad (\text{V}) \quad (4-1-26)$$

式中 U_{NR} ——励磁电源（电机放大机）额定电压，伏；

I_{NGf} ——直流主发电机额定励磁电流，安；

R_{Gf} ——直流主发电机励磁回路电阻(75℃)，欧。

按此选择的电压使电机放大机稳态时的工作点，能在空载特性的线性段。放大倍数大、调节灵敏度高，调节范围广。

由于我国现在生产的电机放大机额定电压只有二种，即115伏和230伏，因此按上述原则不一定能选到合适的额定电压。为此，必要时在向电机厂订货中，可以对大型直流发电机的励磁绕组电压提出要求，进行协商。

3. 额定电流选择

对于电机放大机，由于它没有过载能力，因此其额定电流应选择为发电机励磁绕组最大电流的1.1~1.3倍左右。

$$I_{RN} = (1.1 \sim 1.3) I_{mGf} \quad (\text{A}) \quad (4-1-27)$$

式中 I_{mGf} ——直流发电机励磁绕组最大电流，安。

4. 励磁电源选择

根据所选的额定电压、额定电流选择合适的电机放大机（在容量较大，选不到电机放大机时，可以考虑选择中间励磁机）；或选择、设计可控硅励磁电源。

（六）直流主开关选择

1. 主开关型式

一般可以选择自动空气开关，如DW₃系列直流自动开关，要求快速性较高时，可选择DS₃₀系列、DS₁₀系列等快速自动开关。

2. 主开关额定电压、额定电流的选择

主开关额定电压、额定电流应大于或等于主电动机额定电压、额定电流。

根据额定电压、额定电流选择合适型号的开关。