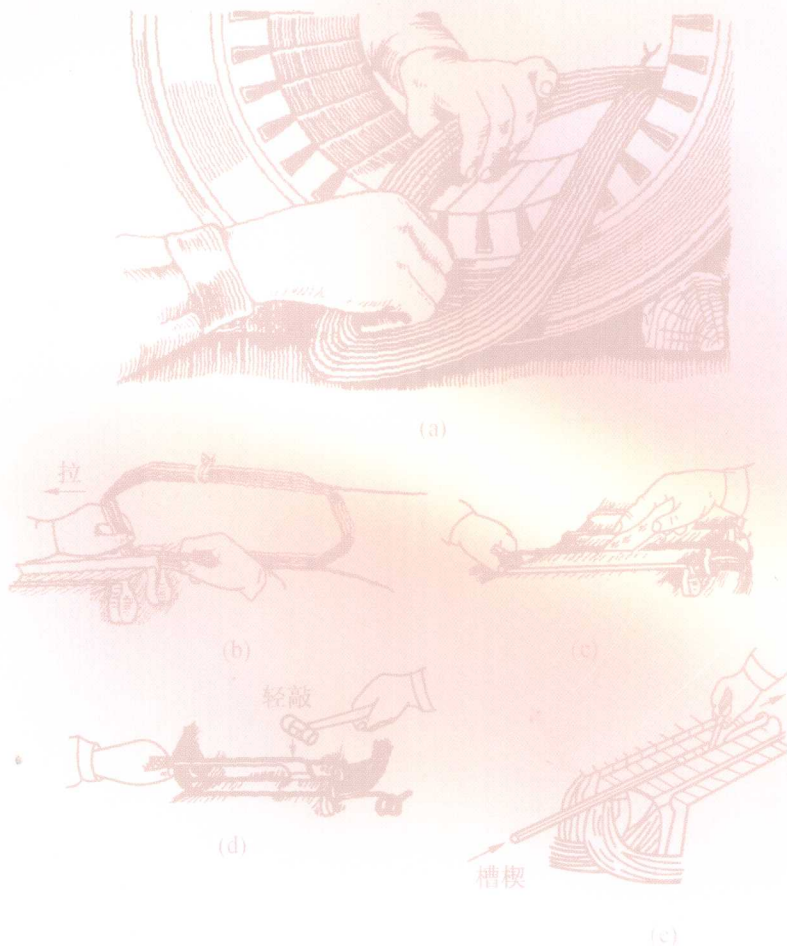


矿山电机拖动与控制实训教材

● 主 编 梁南丁



煤炭工业出版社

中 等 职 业 教 育 规 划 教 材
中国煤炭教育协会职业教育教学与教材建设委员会审定

矿山电机拖动与控制实训教材

主 编 梁南丁

副 主 编 董德明

参编人员 郭 娜 杭公平 郭建华 王立亚

煤 炭 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

矿山电机拖动与控制实训教材/梁南丁主编. —北京:
煤炭工业出版社, 2009. 6

中等职业教育规划教材

ISBN 978-7-5020-3449-8

I. 矿… II. 梁… III. ①矿山-电机-电力传动-专业
学校-教材②矿山-电机-控制系统-专业学校-教材

IV. TD614

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 004074 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

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 787mm × 1092mm¹/₁₆ 印张 10³/₄

字数 246 千字 印数 1—5,000

2009 年 6 月第 1 版 2009 年 6 月第 1 次印刷

社内编号 6254 定价 22.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 本社负责调换

内 容 提 要

本书内容由矿山电机拖动与控制基本能力训练项目和专业能力训练项目构成。其中专业能力训练项目包括：电机及小型变压器拆装实训，三相异步电动机绕组的故障检修实训，电动机下线工艺实训，控制线路安装接线工艺实训，交流提升机操作实训。全书采用任务驱动为导向的教学模式，以操作过程和工艺过程进行课程内容设计，有较强的操作性和实用性。

本书可作为中等职业学校矿山机电专业的实训教材或与矿山电机拖动与控制教材配套成理论实践一体化教材，也可作为从事矿山机电岗位工作的工程技术人员、维修电工的培训教材和参考书。

煤炭中等专业教育分专业教学与教材建设委员会

(煤矿机电类专业)

主 任 何富贤

副主任 何全茂 刘秀艳 郭 雨 卢芳革

委 员 (按姓氏笔画排序)

王纪风	王国文	王瑞捧	田树钰	关书安	刘英才
刘胜利	朱庆华	余升平	吴文亮	李 佳	陆 红
姜宏勋	郝敬豪	钟 诚	潘连彪	魏 良	魏晋文

前 言

为贯彻《教育部办公厅、国家安全生产监督管理总局办公厅、中国煤炭工业协会关于实施职业院校煤炭行业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》（教职成厅〔2008〕4号）精神，加快煤炭专业技能型人才的培养，满足煤炭行业发展对人才的迫切需求，依托煤炭职业学（院）校建立煤炭行业技能型人才培养培训基地，培养面向煤矿生产企业一线，具有与本专业岗位群相适应的文化水平和良好的职业道德，了解矿山企业生产的全过程，掌握本专业的专业知识和技能，具有从事矿山机电设备的生产运行、维护检修的中级技能型人才，中国煤炭教育协会组织煤炭职业学（院）校专家、学者编写了机电工程配套系列教材。

《矿山电机拖动与控制实训教材》一书是矿山机电专业中等职业教育规划教材中的一本，可作为中等职业学校机电专业矿山电机拖动与控制实训课程教学用书，也可作为在职人员培养提高的培训教材。

本书由河南平顶山工业职业技术学院梁南丁主编并统稿，其编写了专业能力训练项目一；河南平顶山工业职业技术学院董德明任副主编，其编写了专业能力训练项目三；河南平顶山工业职业技术学院王立亚编写了专业能力训练项目二；河南工程技术学校郭娜编写了专业能力训练项目四；宁夏第一工业学校郭建华编写了基本能力训练项目；江苏徐州机电工程学校杭公平编写了专业能力训练项目五。河南平顶山煤业集团公司机电处处长、教授级高工陶建平和平顶山工业职业技术学院庞元俊教授主审书稿。

本书在编写过程中得到河南平顶山煤业集团公司及各生产厂矿的大力支持，在此表示衷心地感谢。

中国煤炭教育协会职业教育
教学与教材建设委员会

2009年4月

目 次

基本能力训练项目	1
模块 1 直流电动机机械特性测试训练	1
模块 2 直流电动机的启动、调速和反转训练	6
模块 3 变压器空载与短路训练	10
模块 4 三相变压器连接组别测定训练	15
模块 5 异步电动机空载堵转训练	19
模块 6 三相异步电动机的启动、调速训练	22
模块 7 自整角机特性测定训练	25
专业能力训练项目一 电机及小型变压器拆装实训	28
模块 1 电机修理前的整体检查	28
模块 2 电机的正确拆装	32
模块 3 电机的安装、使用与维护	36
模块 4 直流电机常见故障及处理方法	52
模块 5 小型变压器的拆装与维护	64
专业能力训练项目二 三相异步电动机绕组的故障检修实训	70
模块 1 定子绕组接地故障的检修	70
模块 2 定子绕组短路故障的检修	73
模块 3 定子绕组断路故障的检修	77
模块 4 定子绕组接错故障的检修	80
模块 5 转子绕组断路故障的检修	84
专业能力训练项目三 电动机下线工艺实训	88
模块 1 三相异步电动机定子绕组的重绕	88
模块 2 绕线工艺	99
模块 3 嵌线工艺	102
模块 4 绕组连接	114
专业能力训练项目四 控制线路安装接线工艺实训	118
模块 1 电动机控制线路安装的基础	118
模块 2 三相异步电动机连动控制线路安装与检修	123

模块 3 电动机 Y— Δ 启动控制线路的安装	127
模块 4 运用 PLC 实现电动机正、反转及 Y— Δ 启动控制	131
模块 5 运用 PLC 实现电动机能耗制动和反接制动	135
模块 6 运用 PLC 实现电动机顺序控制	138
专业能力训练项目五 交流提升机操作实训	142
模块 1 PLC 交流提升机操作实训	142
模块 2 PLC 交流提升机日常维护及故障处理	150
参考文献	162

基本能力训练项目

模块 1 直流电动机机械特性测试训练

一、训练目的

掌握并励直流电动机和他励直流电动机机械特性的测定方法。

二、训练器材

并励直流电动机 1 台；他励直流电动机 1 台；测速发电机及转速表 TG 1 台；直流测功机 MG 1 台；直流电流表 4 块；直流电压表 3 块；可变电阻器 4 台。

三、训练内容与步骤

(一) 并励直流电动机机械特性测试

1. 训练内容

(1) 固有机械特性的测定： $U = U_N$ ， $I_f = I_{fN}$ ， $R_1 = 0$ ，测取 $n = f(T)$ 或 $n = f(I)$ 。

(2) 电枢回路串电阻时人为机械特性的测定： $U = U_N$ ， $I_f = I_{fN}$ ， $R_2 = \text{常数}$ ，测取 $n = f(T)$ 或 $n = f(I)$ 。

(3) 改变电枢电压时人为机械特性的测定： $I_f = I_{fN}$ ， $U_a = \text{常数}$ ，测取 $n = f(T)$ 或 $n = f(I)$ 。

(4) 改变励磁电流时人为机械特性的测定： $U = U_N$ ， $R_1 = 0$ ， $I_f = \text{常数}$ ，测取 $n = f(T)$ 或 $n = f(I)$ 。

2. 训练步骤

1) 固有机机械特性的测定

(1) 按图 1-1 接线，校正直流测功机 MG 按他励发电机连接，在此作为并励直流电动机 M 的负载，用于测量电动机的转矩。

(2) 线路检查正确后，将并励直流电动机 M 的磁场调节电阻 R_{f1} 调至最小值，电枢串联启动电阻 R_1 调至最大值，接通电枢电源使其启动，并使其旋转方向符合转速表正向旋转的要求。

(3) M 启动正常后，将电阻 R_1 调至零，调节电枢电源的电压为额定值，

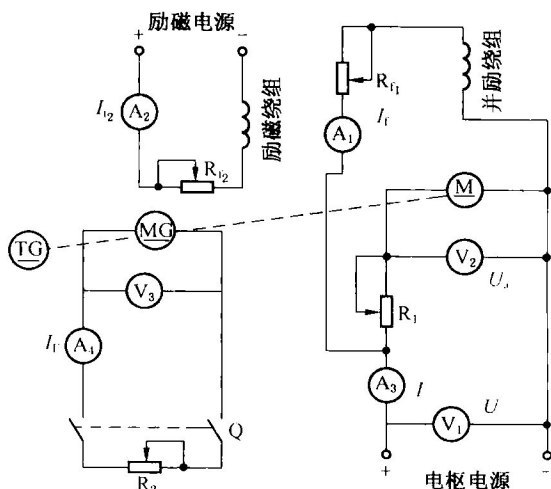


图 1-1 并励直流电动机机械特性训练接线图

调节 R_2 使直流测功机的电枢电压在额定值左右。

(4) 合上开关 Q ，调节其负载电阻 R_2 和电动机的磁场调节电阻 R_{f1} ，使电动机达到额定值： $U = U_N$ 、 $I = I_N$ 、 $n = n_N$ 。此时， M 的励磁电流 I_f 即为额定励磁电流 I_{fN} 。

(5) 在保持 $U = U_N$ 、 $I_f = I_{fN}$ 不变的条件下，逐次减小电动机负载，直到断开开关 Q 为止，其间共测取 6 组数据。

(6) 每次记录电动机输入电流 I 和转速 n ，并填入表 1-1 中。

2) 电枢回路串电阻时人为机械特性的测定

(1) 按图 1-1 接线，检查无误后，按上述过程启动直流电动机。

(2) 调节 R_1 在一定的位罝，记录此时的电阻值，并保持不变；调节电枢电源使电动机端电压为额定值，并保持不变。

(3) 在保持 $U = U_N$ 、 $I_f = I_{fN}$ 、 $R_1 = \text{常数}$ 的条件下，增加电动机负载，直到输入电流为额定值。然后从输入电流自额定值开始逐渐减小负载，直到断开开关 Q 为止，其间共测取 6 组数据。

(4) 每次记录电动机的输入电流 I 和转速 n ，并填入表 1-2 中。

3) 改变电枢电压时人为机械特性的测定

(1) 调节 R_{f1} 使 $I_f = I_{fN}$ ，并保持不变。

(2) 调节 R_1 ，改变电枢电压 U_a ，并记录此时的电枢电压并保持不变。

(3) 其余操作方法同固有机械特性的测定。

(4) 测取 6 组数据，并填入表 1-3 中。

4) 改变励磁电流时人为机械特性的测定

(1) 调节 $R_1 = 0$ ，调节 R_{f1} ，改变励磁电流大小，记录此时的励磁电流并保持不变。

(2) 其余操作方法同固有机机械特性的测定。

(3) 测取 6 组数据，并填入表 1-4 中。

(二) 他励直流电动机机械特性测试

1. 训练内容

(1) 保持电动机的励磁电流为额定值，测定他励电动机在电动及回馈制动、电动及反接制动、能耗制动运行状态下的固有机机械特性。

(2) 保持电动机的电枢电压为额定值、电枢电阻为零，削弱电动机的励磁电流时，测定电动机在电动状态下的人为机械特性。

2. 训练步骤

1) $U = U_N$ 、 $R_2 = 0$ 时电动机在电动及回馈制动状态下机械特性的测定

(1) 按图 1-2 接线， R_1 置阻值最小位置， R_2 、 R_3 及 R_4 置阻值最大位置，转速表置正向，并将 Q_1 合向 1 电源端， Q_2 合向 2' 短接端。检查无误后，启动直流电动机（注意：先接通“励磁电源”，再接通“电枢电源”）。

(2) 调节电枢电源电压为额定值，调节 R_2 阻值至零值位置，调节 R_3 阻值，使电流表 A_3 的电流 I_{fN} 为校正值。

(3) 调节电动机 M 的磁场，调节电阻 R_1 阻值和测功机 MG 的负载电阻 R_4 阻值，使励磁电流 $I_f = I_{fN}$ ，电动机 M 的 $n = n_N$ 。保持 $U = U_N$ 、 $I_f = I_{fN}$ 不变，增大 R_4 阻值，直至空载（断开 Q_2 的 2' 上的短接线），测取电动机 M 在额定负载至空载范围的 n 、 I_a ，取 6~7 组数

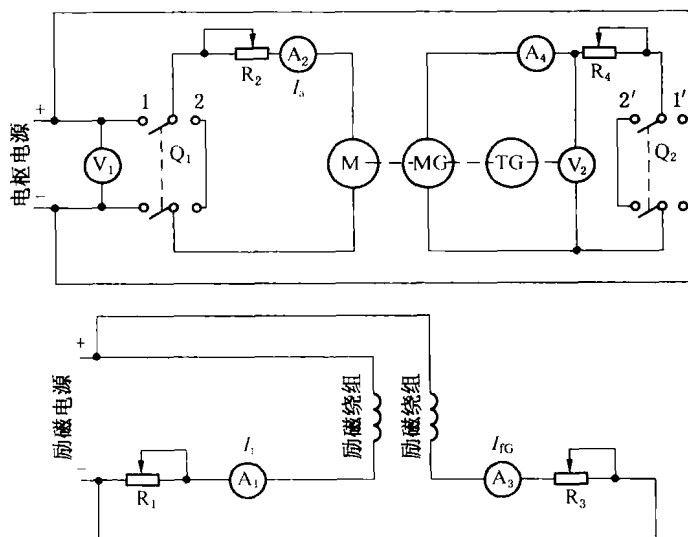


图 1-2 他励直流电动机机械特性训练接线图

据记录于表 1-5 中。

(4) 在确定 Q_2 上短接线断开的情况下，把 R_4 调至零值位置（调至零值后用导线短接），再减小 R_3 阻值，使 MG 的空载电压与电枢电源电压值接近相等（在开关 Q_2 两端测），并且极性相同，把开关 Q_2 合向 1' 端。

(5) 保持电枢电源电压 $U = U_N$ 、 $I_f = I_{fN}$ ，调节 R_3 阻值，使阻值增加，电动机转速升高，当电流表 A_2 的电流值为 0A 时，此时电动机转速为理想空载转速。继续增加 R_3 阻值，使电动机进入第二象限回馈制动状态运行，测取电动机 M 的 n 、 I_a ，取 6~7 组数据记录于表 1-6 中。

(6) 停机（先关断“电枢电源”开关，再关断“励磁电源”开关，并将开关 Q_2 合向 2' 端）。

2) $U = U_N$ 、 $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ 时电动机在电动运行及反接制动状态下的机械特性的测定

(1) 按图 1-2 接线，调节 R_2 为一定值， Q_1 合向 1 端， Q_2 合向 2' 端（短接线仍拆掉），把测功机 MG 电枢的两个插头对调， R_1 、 R_3 置最小值， R_2 置定值， R_4 置最大值。

(2) 先接通“励磁电源”，再接通“电枢电源”，使电动机 M 启动运转。在 Q_2 两端测量测功机 MG 的空载电压是否和“电枢电源”的电压极性相反，若极性相反，检查 R_4 阻值确在最大位置时，把 Q_2 合向 1' 端。

(3) 保持电动机的电枢电源电压 $U = U_N$ 、 $I_f = I_{fN}$ 不变，逐渐减小 R_4 阻值，使电机减速直至为零。把转速表的正、反开关打在反向位置，继续减小 R_4 阻值，使电动机进入“反向”旋转，转速在反方向上逐渐上升，此时电动机工作于电势反接制动状态运行，直至电动机 M 的 $I_a = I_{aN}$ ，测取电动机在第一、四象限的 n 、 I_a ，取 6~7 组数据记录于表 1-7 中。

(4) 停机（必须按照先关断“电枢电源”而后关断“励磁电源”的次序，并随手将开关 Q_2 合向到 2' 端）。

3) 电动机在能耗制动状态下机械特性的测定（至少要测定两种不同 R_2 阻值下的两

组数据)

(1) 按图 1-2 接线, R_2 取某一固定阻值, 将开关 Q_1 合向 2 端, R_1 置最大值, R_3 置最小值, R_4 调为某定值, 开关 Q_2 合向 1' 端。

(2) 先接通“励磁电源”, 再接通“电枢电源”, 使校正直流测功机 MG 启动运转, 调节电枢电源电压为额定值, 调节 R_1 使电动机 M 的 $I_f = I_{fN}$, 调节 R_3 使测功机 MG 的励磁电流 I_{fc} 为校正值, 先减少 R_4 阻值, 使电动机 M 的能耗制动电流 $I_a = 0.8I_{aN}$, 然后逐次增加 R_4 阻值, 其间测取电动机 M 的 I_a 、 n , 取 6~7 组数据记录于表 1-8 中。

当忽略不变损耗时, 可近似认为电动机轴上的输出转矩等于电动机的电磁转矩 $T = C_M \Phi I_a$, 他励电动机在磁通 Φ 不变的情况下, 其机械特性可以由曲线 $n = f(I_a)$ 来描述。

4) 削弱励磁电流使 $I_f = \underline{\hspace{1cm}}\% I_{fN}$ 、 $U = U_N$ 时电动机在电动状态下机械特性的测定其过程同上, 将测试数据填入表 1-9 中。

四、训练记录

1. 并励直流电动机机械特性测试记录

表 1-1 固有机械特性
($U = U_N = \underline{\hspace{1cm}} \text{ V}$ $I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ A}$)

I/A						
$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
$T/(\text{N} \cdot \text{m})$						

表 1-2 电枢回路串电阻的人为机械特性
($U = U_N = \underline{\hspace{1cm}} \text{ V}$, $I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ A}$, $R_1 = \underline{\hspace{1cm}} \Omega$)

I/A						
$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
$T/(\text{N} \cdot \text{m})$						

表 1-3 改变电枢电压的人为机械特性
($I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{1cm}} \text{ A}$, $U_a = \underline{\hspace{1cm}} \text{ V}$)

I/A						
$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
$T/(\text{N} \cdot \text{m})$						

表 1-4 改变励磁电流的人为机械特性
($U = U_N = \underline{\hspace{1cm}} \text{ V}$, $I_f = \underline{\hspace{1cm}} \text{ A}$)

I/A						
$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
$T/(\text{N} \cdot \text{m})$						

2. 他励直流电动机机械特性测试记录

表 1-5 在电动及回馈制动状态下的机械特性

$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
I_a/A						

表 1-6 在电动及回馈制动状态下的机械特性

$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
I_a/A						

表 1-7 在电动及反接制动状态下的机械特性

$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
I_a/A						

表 1-8 能耗制动状态下的机械特性

$R_2 = ______ \Omega$ 时	$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$					
	I_a/A					
$R_2 = ______ \Omega$ 时	$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$					
	I_a/A					

表 1-9 削弱励磁电流时的人为机械特性

$n/(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$						
I_a/A						

五、训练报告

- (1) 填写训练资料表格。
- (2) 根据训练所测各组资料，用坐标纸分别绘制并励直流电动机和他励直流电动机的固有机械特性和各种人为机械特性。
- (3) 根据所绘制的特性曲线分析、说明各机械特性的特点。

复习思考题

- 1. 当电动机的负载转矩和励磁电流不变时，减小电枢端电压，为什么会引起电动机转速降低？
- 2. 并励电动机在负载运行中，当磁场回路断线时是否一定会出现“飞车”？为什么？
- 3. 改变并励电动机电源的极性能否改变其转向？为什么？
- 4. 回馈制动训练中，如何判别电动机运行在理想空载点？

5. 直流电动机从第一象限运行到第二象限, 转子旋转方向不变, 试问电磁转矩的方向是否也不变? 为什么?

模块2 直流电动机的启动、调速和反转训练

一、训练目的

掌握并励直流电动机和他励直流电动机的启动、调速及反转的操作方法。

二、训练器材

并励直流电动机 1 台; 他励直流电动机 1 台; 测速发电机及转速表 TG 1 台; 直流测功机 MG 1 台; 直流电流表 4 块; 直流电压表 3 块; 可变电阻器 4 台。

三、训练内容与步骤

(一) 训练内容

1. 直流电动机的启动

直流电动机启动瞬间 $n=0$, 电枢电动势 $E_a=0$, 且电枢电阻又很小, 所以启动电流 I_{st} 将达到很大的值。它会引起电网电压的波动, 影响电网上其他用户的正常用电, 并且还会使电动机轴受到很大的冲击。为此, 除了个别小容量电动机采用直接启动外, 一般直流电动机是不容许直接启动的。

并励直流电动机常用的启动方法有电枢串电阻启动; 他励直流电动机常用的启动方法有电枢串电阻启动和降压启动两种。

2. 直流电动机的调速

为了提高劳动生产率和保证产品质量, 要求生产机械在不同的情况下有不同的工作速度, 为此直流电动机需改变速度, 即需调速。直流电动机有 3 种调速方法: 电枢串电阻调速、降压调速和弱磁调速。

3. 直流电动机的反转

通过改变励磁电流方向或改变电枢电压方向即可改变电动机的旋转方向。

(二) 训练步骤

1. 并励直流电动机启动、调速及反转训练

1) 并励直流电动机电枢回路串电阻启动

(1) 按图 1-3 接线, 检查接线是否正确, 其他要求同前一训练。

(2) 电动机启动前将励磁回路电阻 R_{f1} 调至最小, 将电枢电阻 R_1 调至最大。

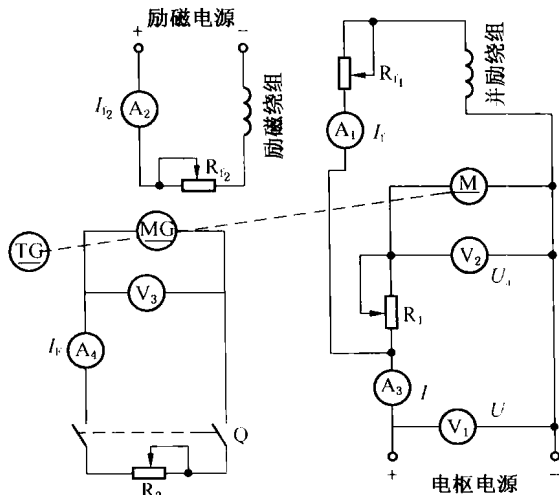


图 1-3 并励直流电动机启动、调速、反转训练接线图

(3) 接通电枢电源, 启动电动机, 电动机转动后, 随着转速的升高逐渐减小电阻 R_1 , 同时注意观察电流表的读数, 直到 R_1 为零, 电动机启动过程结束。

2) 并励直流电动机调速

(1) 并励直流电动机改变电枢电压调速:

①电动机 M 启动正常后, 将其电枢串联电阻 R_1 调至零, 调节电枢电源的电压为额定值, 此时端电压即为电枢电压。调节 R_{f2} , 使直流测功机的电枢电压在额定值左右, 调节 R_{f1} , 使 $I_f = I_{fN}$ 。

②合上开关 Q, 调节其负载电阻 R_2 , 使电动机的输入电流 $I \approx 0.5I_N$, 记录此时发电机的励磁电流 I_{f2} 和电枢电流 I_F 。

③在保持发电机的励磁电流 I_{f2} 和电枢电流 I_F 不变 (即 $T_2 = \text{常数}$) 以及电动机励磁电流 $I_f = I_{fN}$ 不变的条件下, 逐渐调节 R_1 , 以改变电枢电压 U_a 。测定对应的电枢电压 U_a 和转速 n , 取 6~7 组数据填入表 1-10 中。

(2) 并励直流电动机改变励磁电流调速:

①电动机 M 启动正常后, 将其电枢串联电阻 R_1 调至零, 调节电枢电源的电压为额定值, 并保持不变, 调节 R_{f2} , 使直流测功机的电枢电压在额定值左右。

②合上开关 Q, 调节其负载电阻 R_2 , 使电动机的输入电流 $I \approx 0.5I_N$, 记录此时测功机 MG 的励磁电流 I_{f2} 和电枢电流 I_F 。

③在保持测功机的励磁电流 I_{f2} 和电枢电流 I_F 不变 (即 $T_2 = \text{常数}$) 以及电动机端电压为 $U = U_N$ 的条件下, 逐渐增大 R_{f1} , 以减小励磁电流 I_f 。测定对应的励磁电流 I_f 与转速 n , 取 6~7 组数据填入表 1-11 中 (注意转速不得大于 $1.3n_N$)。

3) 并励直流电动机的反转

(1) 切断电枢电源, 观察电动机旋转方向。然后将励磁绕组两端对调, 重新启动电动机, 观察电动机旋转方向是否发生改变, 记录结果。

(2) 切断电枢电源, 观察电动机旋转方向。然后将电枢绕组两端对调, 重新启动电动机, 观察电动机旋转方向是否发生改变, 记录结果。

(3) 将励磁绕组两端和电枢绕组两端同时对调, 注意观察电动机旋转方向是否发生变化。

2. 他励直流电动机启动、调速及反转训练

1) 他励直流电动机降低电枢电压启动

(1) 按图 1-4 接线。

(2) 将 R_2 置最大值位置, R_1 置最小值位置, 检查线路正确无误后, 接通励磁电源, 再将开关 Q_1 合向 1 端, 启动电动机 M。

(3) 随着转速 n 的升高, 逐渐减小 R_2 , 直到 R_2 全部切除, 此时电动机加额定电压, 电动机启动过程结束。

2) 他励直流电动机的调速

(1) 他励直流电动机改变电枢回路电阻调速:

①按图 1-4 接线。

②按上述方法启动电动机, 将开关 Q_2 合向 2' 短接端, 使测功机 MG 开始工作。

③电动机启动后, 调节 R_1 使 $I_f = I_{fN}$, 调节 R_3 使 MG 励磁电流 I_{fG} 为校正值, 且使 $U =$

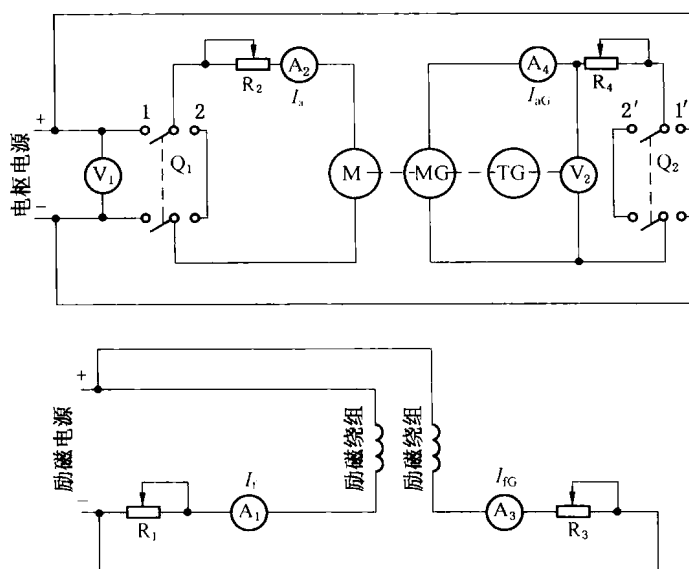


图 1-4 他励直流电动机启动、调速、反转训练接线图

U_N ，并维持不变。调节 R_4 使测功机电枢电流 I_{aG} 等于某定值开始记录。

④使 R_2 由零开始增大，每次 R_2 改变后都通过调节 R_4 将测功机电枢电流 I_{aG} 调回到原来选定的值，用转速表测取 6~7 个点的转速，将每次相应数据记入表 1-12 中。

(2) 他励直流电动机改变电枢电源电压调速：

①按图 1-4 接线。

②按上述方法启动电动机，将开关 Q_2 合向 2' 短接端，使测功机 MG 开始工作。

③电动机启动后，使 $R_2 = 0$ ，调节 R_3 使 MG 励磁电流 I_{fG} 为校正值，且使 $U_a = U_N$ ，并维持不变。调节 R_4 使测功机电枢电流 I_{aG} 等于某定值开始记录。

④每次降低电动机电源电压后都通过调节 R_4 将测功机电枢电流 I_{aG} 调回到原来选定的值，用转速表测取 6 个点的转速，将每次相应数据记入表 1-13 中。

(3) 他励直流电动机弱磁调速：

①按图 1-4 接线。

②按上述方法启动电动机，将开关 Q_2 合向 2' 短接端，使测功机 MG 开始工作。

③电动机启动后，使 $R_2 = 0$ ，调节 R_1 使 $I_f = I_{fN}$ ，调节 R_3 使 MG 励磁电流 I_{fG} 为校正值，且使 $U = U_N$ ，并维持不变。调节 R_4 使测功机电枢电流 I_{aG} 等于某定值开始记录。

④每次增大 R_1 以减少电动机的激磁电流 I_f 后，都通过调节 R_4 将测功机电枢电流 I_{aG} 调回到原来选定的值，用转速表测取 6~7 个点的转速，将每次相应数据记入表 1-14 中。

3) 他励直流电动机的反转

(1) 切断电枢电源，观察电动机旋转方向。然后将励磁绕组两端对调，重新启动电动机，观察电动机旋转方向是否发生改变，记录结果。

(2) 切断电枢电源，观察电动机旋转方向。然后将电枢绕组两端对调，重新启动电动机，观察电动机旋转方向是否发生改变，记录结果。

(3) 将励磁绕组两端和电枢绕组两端同时对调, 注意观察电动机旋转方向是否发生变化。

四、训练记录

1. 并励直流电动机调速训练记录

表 1-10 改变电枢电压调速训练

($I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_F = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{f2} = \underline{\hspace{1cm}}$ A)

U_a/V						
$n/(r \cdot \min^{-1})$						

表 1-11 改变励磁电流调速训练

($U = U_N = \underline{\hspace{1cm}}$ V, $I_F = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{f2} = \underline{\hspace{1cm}}$ A)

I_f/A						
$n/(r \cdot \min^{-1})$						

2. 他励直流电动机调速训练记录

表 1-12 改变电枢回路电阻调速训练

($I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{Rc} = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{aG} = \underline{\hspace{1cm}}$ A)

R_2/Ω						
$n/(r \cdot \min^{-1})$						

表 1-13 改变电枢电源电压调速训练

($I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{Rc} = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{aG} = \underline{\hspace{1cm}}$ A)

U_a/V						
$n/(r \cdot \min^{-1})$						

表 1-14 减弱励磁磁通调速训练

($I_f = I_{fN} = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{Rc} = \underline{\hspace{1cm}}$ A, $I_{aG} = \underline{\hspace{1cm}}$ A)

I_f/A						
$n/(r \cdot \min^{-1})$						

五、训练报告

(1) 根据训练过程记录和填写训练数据, 绘出并励电动机和他励电动机调速特性曲线。