

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： 邢毅诚

学号： 3190105197

日期： 2021-10-13

地点： 教二-116

课程名称： 电机与拖动

指导老师： 史婷娜

成绩：

实验名称： 直流并励电动机

实验类型： 验证实验

同组学生姓名： 常俊杰

一、 实验目的

1. 了解直流电动机的基本特性
2. 掌握直流电动机的启动方法以及调速方法

二、 实验设备

1. 直流电机电枢电源（DC，0 240V / 2A，可调）
2. 并励直流电动机 ($P_N = 185W, U_N = 220V, I_N = 1.1A, n_N = 1600rpm, I_f < 0.16A, R_a = 20\Omega$)
3. 负载—测功机
4. 调节电阻 (DT04)(电枢调节电阻 $R_1 : 0 - 100\Omega$ ，磁场调节电阻 $R_f : 0 - 300\Omega$)
5. 直流电表 (300V 直流电压表，3A 直流电流表，200mA 直流电流表)
6. 能耗制动电阻 (DT21) $RL : 90 - 540\Omega$
7. 能耗用手动开关 (DT26)

三、 实验项目

1. 并励直流电动机启动实验
2. 改变并励直流电动机转向实验
3. 测取并励直流电动机的工作特性和机械特性
4. 并励直流电动机的调速方法
 - 改变电枢端电压 (调节电枢调节电阻 R_1)
 - 改变励磁电流
5. 并励直流电动机的能耗制动

四、 实验原理

并励直流电动机的电路图如下图所示：

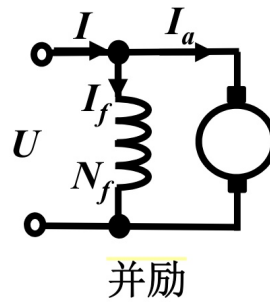


图 1: 并励直流电动机电路图

根据电压方程以及：

$$T = C_M \cdot \Phi \cdot I_a \quad (1)$$

$$E_a = C_e \cdot \Phi \cdot n \quad (2)$$

进而，我们可以解得并励直流电动机的机械特性：

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_z}{C_e C_M \Phi^2} \cdot T = n_0 - \beta T \quad (3)$$

五、 实验内容与实验数据

1. 实验 1：并励直流电动机启动实验

按照下图所示连接电路图：

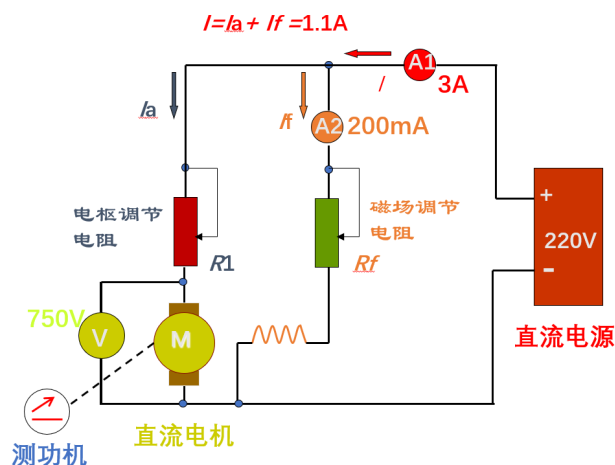


图 2: 实验电路图

将测功机加载旋钮调节至零位，并将电枢调节电阻 R_1 调节至最大，磁场调节电阻 R_f 调至最小后，将直流电源开关打开，并调节电源电压给电动机通电，观察电机转向，发现电机旋转方向反向，将电源关闭并将电机调向，方法如实验 2 所示 (如电机旋转方向正确，只需要逐渐减小电枢调节电阻 R_1 ，直至完全切除，即可完成电动机的启动实验)。

2. 实验 2：改变并励直流电动机转向实验

对调励磁绕组，将直流电源开关打开，并调节电源电压给电动机通电，发现电机转向正确，逐渐减小电枢调节电阻 R_1 ，直至完全切除。

3. 实验 3：测取并励直流电动机的工作特性和机械特性

按照实验 1, 2 方法所示，将直流电动机启动；调节转矩调零旋钮，使转矩显示为 0。

在转矩调零后，同时调节直流电源调压旋钮、测功机加载旋钮和磁场调节电阻 R_f ，使得电动机的 $U = U_N = 220V, I = I_N, n = n_N = 1600rpm$ ，此时电动机的运行达到额定工作点，记录此时的额定励磁电流 I_{fN} 。

保持电枢调节电阻 $R_1 = 0$ ，端电压 $U = U_N$ ，励磁电流 $I_f = I_{fN}$ 不变，调节测功机加载旋钮以逐渐减小电动机负载，测量电动机输入电流 I ，转速 n ，转矩 T_2 ，测量得到数据如下：

序号	端电压/V	总电流 I/A	励磁电流/mA	转速 n/rpm	转矩 T/N·M
1	220	1.1000	115.07	1600	1.17
2	220	0.9528	114.70	1620	1.02
3	220	0.8194	114.67	1636	0.87
4	220	0.6904	114.87	1654	0.72
5	220	0.5679	114.82	1674	0.57
6	220	0.4445	114.56	1691	0.42
7	220	0.3260	114.56	1714	0.27
8	220	0.1945	114.40	1735	0.12
9	220	0.1765	115.23	1717	0.06

表 1: 实验 3 实验数据

电枢电流计算公式为：

$$I_a = I - I_m \quad (4)$$

P_2 计算公式为：

$$P_2 = T \cdot \frac{2\pi n}{60} \quad (5)$$

效率 η 公式为：

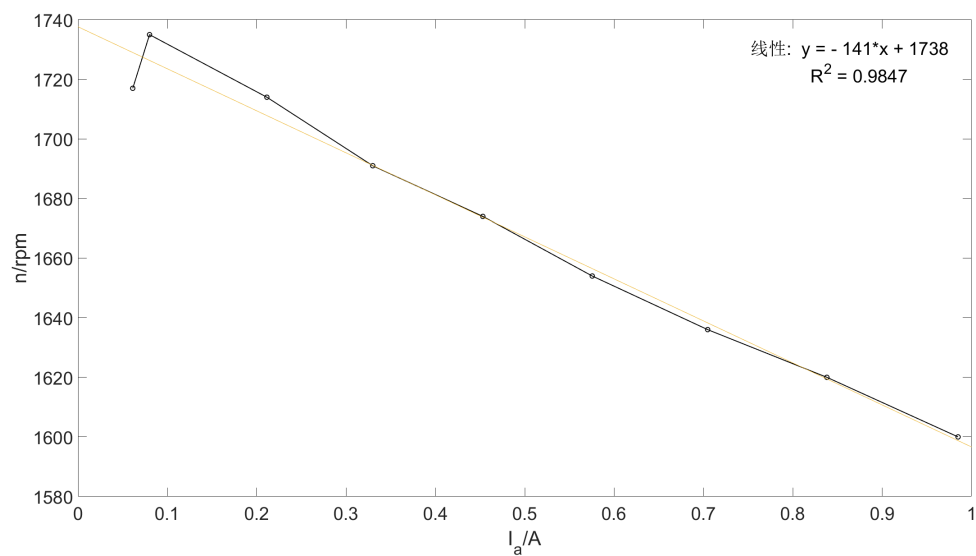
$$\eta = \frac{P_2}{U \cdot I} \quad (6)$$

进而可以计算得到相关数据如下：

电枢电流 I_a /A	功率 P_2 /W	总功率 P/W	效率 η
0.9849	196.04	242	81.01%
0.8381	173.04	209.616	82.55%
0.7047	149.05	180.268	82.68%
0.5755	124.71	151.888	82.11%
0.4531	99.92	124.938	79.98%
0.3299	74.37	97.79	76.05%
0.2114	48.46	71.72	67.57%
0.0801	21.80	42.79	50.95%
0.0613	10.79	38.83	27.78%

表 2: 实验三相关数据

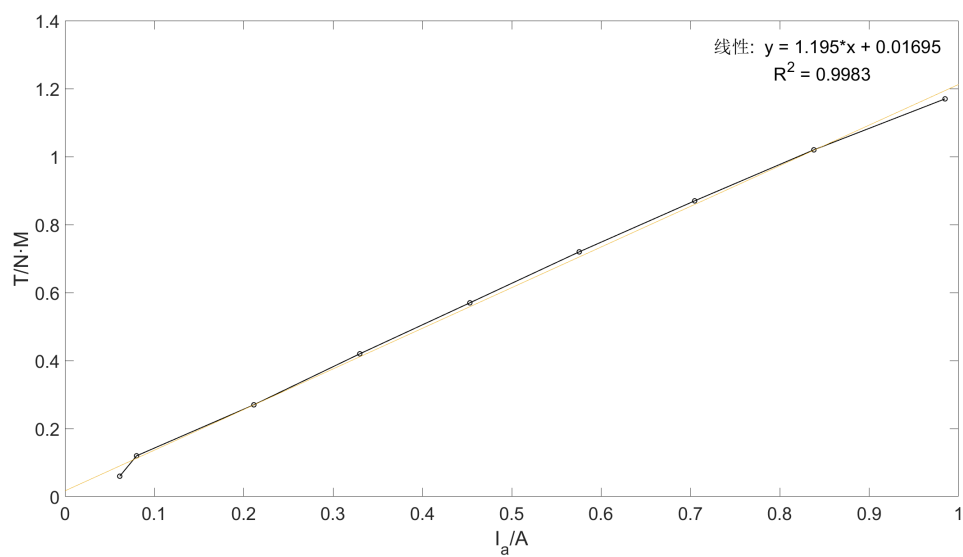
绘制得特性曲线 $n = f(I_a)$ 如下图所示：

图 3: $n = f(I_a)$ 曲线

进行最小二乘法，可以得到二者关系式：

$$n = -141I_a + 1738 \quad (7)$$

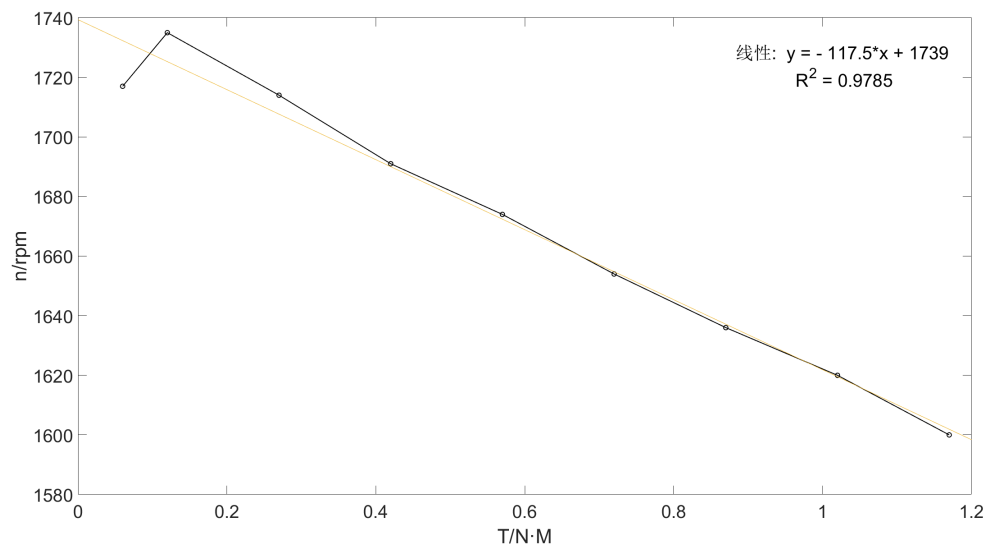
绘制得特性曲线 $T_2 = f(I_a)$

图 4: $T_2 = f(I_a)$ 曲线

进行最小二乘法，可得：

$$T_2 = 1.195I_a + 0.01695 \quad (8)$$

绘制得曲线 $n = f(T_2)$ 如下图所示：

图 5: $n = f(I_a)$ 曲线

进行最小二乘法，可得电机的机械特性：

$$n = 1739 - 117.5T_2 \quad (9)$$

可计算得：

$$n_0 = 1739 \quad (10)$$

$$\beta_N = 117.5 \quad (11)$$

4. 实验 4：并励直流电动机的调速方法

- 改变电枢端电压调速特性

按照实验 1, 2 方法所示，将直流电动机启动，调节转矩调零旋钮，使转矩显示为 0。

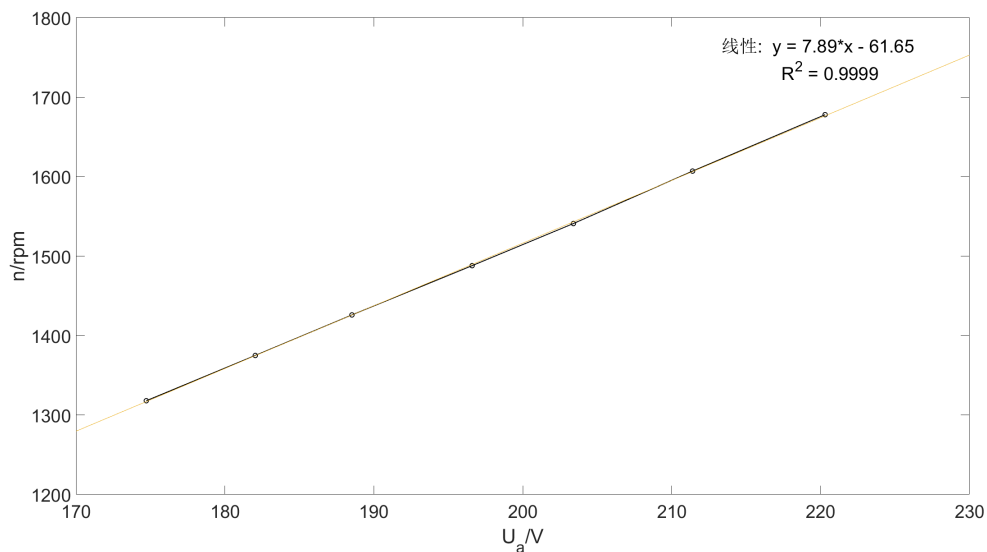
在转矩调零后，同时调节直流稳压电源的调压旋钮，测功机加载旋钮和磁场调节电阻 R_f ，使电动机的 $U = U_N, T_2 = 0.5N \cdot m, I_f = I_{fN}$

在保持 $T_2 = 0.5N \cdot m$ 和 $I_f = I_{fN}$ 不变的条件下，逐次增加电枢调节电阻 R_1 的阻值，即降低电机电枢两端的电压，在电枢调节电阻 R_1 从零调至最大值的范围内，每次测取电动机测电动机的端电压 U_a ，转速 n 和输入电流 I ，测量得到数据如下：

序号	端电压/V	转速 n/rpm	输入电流 I/A	励磁电流/A
1	220.3	1678	0.5682	116.25
2	211.4	1607	0.5708	116.19
3	203.4	1541	0.5670	117.15
4	196.6	1488	0.5634	117.08
5	188.53	1426	0.5567	117.00
6	182.04	1375	0.5670	116.95
7	174.72	1318	0.5670	116.89

表 3: 实验 4-1 实验数据

绘制调速特性曲线 $n = f(U_a)$ ，如下图所示：

图 6: $n = f(U_a)$ 曲线

进行最小二乘法，可以得到其特性曲线：

$$n = 7.89U_a - 61.65 \quad (12)$$

- 改变励磁电流调速

按照实验 1, 2 方法所示，将直流电动机启动，调节转矩调零旋钮，使转矩显示为 0。

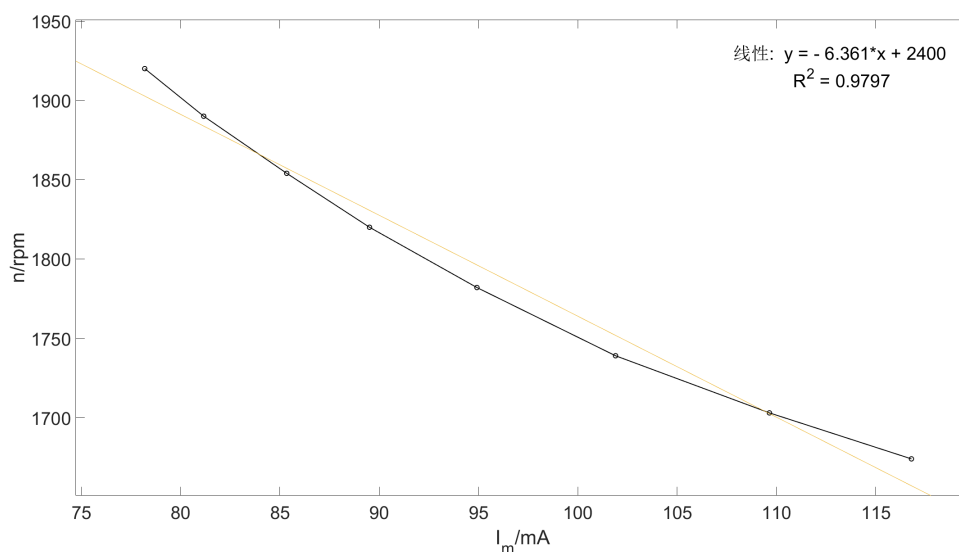
在转矩调零后，同时电枢调节电阻 R_1 和磁场调节电阻 R_f 阻值均为 0 的状况下，同时调节直流稳压电源的调压旋钮，测功机加载旋钮，使电动机的 $U = U_N, T_2 = 0.5N \cdot m$

在保持 $U = U_N, T_2 = 0.5N \cdot m$ 的条件下，逐次增加调节电阻 R_f 的组织，直至电机转速 $n = 1.2n_N$ (1920 转/分) 为止，每次测取电动机的转速 n_N ，励磁电流 I_f ，输入电流 I ，测量得到数据如下：

序号	端电压/V	转速/rpm	输入电流 I/A	励磁电流/A
1	220	1674	0.5612	116.8
2	220	1703	0.5565	109.65
3	220	1739	0.5639	101.9
4	220	1782	0.5596	94.92
5	220	1820	0.5655	89.51
6	220	1854	0.5691	85.34
7	220	1890	0.5759	81.16
8	220	1920	0.5820	78.19

表 4: 实验 4-2 实验数据

绘制调速特性曲线 $n = f(I_f)$ ，如下图所示：

图 7: $n = f(I_f)$ 曲线

由于通过改变励磁电流而改变转速的特性曲线并不是线性的，因此不能用最小二乘法进行拟合。

当通过改变电枢电压进行调速的时候，转速会随着电枢电压的增大而减小，而当改变励磁电流进行调速时，转速会随着励磁电流的减小而增大。改变电枢电压的调速方式只能使得电机转速减小，而改变励磁电流的调速方式只能使得电机转速增大，在实际中，应综合使用。

5. 实验 5：并励直流电动机的能耗制动

按照实验 1, 2 方法所示，将直流电动机启动，调节转矩调零旋钮，使转矩显示为 0。

待电机的转速稳定后，将开关 K 投向制动的位置，电动机的电枢绕组经制动电阻 R_L 闭合，实现能耗制动，观察不同阻值的制动电阻和自由停机（即制动电阻等于无穷大）的时间的差别，并记录电阻分别为 180Ω , 360Ω , 540Ω 以及负载开路时的停机时间。

由于停机时间的测量并不准确，因此采取多次测量取平均值的方式进行测量：

电阻大小	180Ω	360Ω	540Ω	空载
制动时间/s	0.88	1.33	1.67	5.79
	0.87	1.04	1.45	5.70
	0.66	1.04	1.54	5.56
	0.68	1.18	1.55	5.46
	0.69	1.03	1.48	5.69
	0.71	1.48	1.66	5.68
平均制动时间/s	0.75	1.18	1.56	5.65

表 5: 实验 5 实验数据

可以看到，平均制动时间会随着电阻的增大而逐渐减小，这是因为电阻越小，电流越大，产生的阻力矩也越大，可以使得电机更快的停止下来。能耗制动不能将机械能进行有效的利用，同时，当转速降低时，制动转矩也会随之降低；同时，能耗制动可能产生电流过大的情况。

六、 思考题

1. 并励电动机的速率特性 $n = f(I_a)$ 为什么是略微下降？是否出现上翘现象？为什么？上翘的速率特性对电动机运行有何影响？

由于 $T = C_M \Phi I_a$ ，带入特性方程，可以得到：

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_z}{C_e \Phi} \cdot I_a \quad (13)$$

由其斜率为负可知，并励电动机的速率特性 $n = f(I_a)$ 略微下降。

在本次实验中，并未出现上翘现象，但实际应用中，当电流过大时，电机可能出现上翘，原因则是此时的磁通已经饱和，因此导致速率特性出现上翘现象。若电机出现上翘现象，可能会导致电机在工作点不稳定，甚至产生“飞车”现象。

2. 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？

由于并励直流电动机的固有机特性为：

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_z}{C_e C_M \Phi^2} \cdot T = n_0 - \beta T \quad (14)$$

当电枢端电压减小时， $\frac{U_0}{C_e \Phi}$ 一项减小，这个机械特性曲线向下平移，因此与 $T = T(n)$ 曲线的交点也随之向下便宜，因此，电动机的转速降低。

3. 当电动机的负载转矩和电枢端电压不变时，减小励磁电流会引起转速的升高，为什么？

由于并励直流电动机的固有机特性为：

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_z}{C_e C_M \Phi^2} \cdot T = n_0 - \beta T \quad (15)$$

当励磁电流减小时， Φ 也随之减小，根据电动机的机械特性表达式，我们可以得知，当 Φ 减小的时候，机械特性曲线与 y 轴的交点将向下移动，而同时，机械特性的曲线的斜率的绝对值将变大，图像如下图所示：

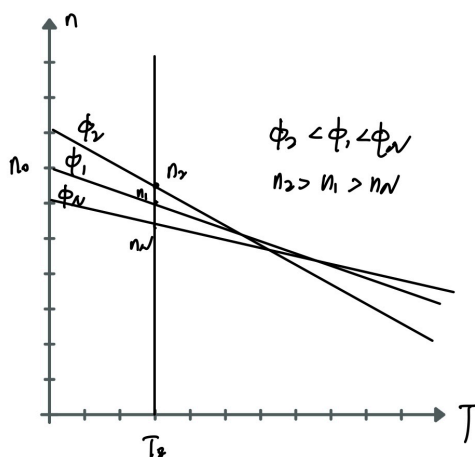


图 8: 电机机械特性曲线

由图所示，当减小励磁电流时，即磁场减弱时，会引起转速的升高。而在理论上，存在一定的可能性使得当磁通减小时，转速降低或者发生其他变化，但一般电机并不会将额定工作点位设置在该位置，因此一般来讲，励磁电流的减弱会引起转速的升高。而这也是我们常说的弱磁调速。

4. 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？

不一定，电机在磁场回路断线的时候，是否会产生飞车现象主要取决于负载的大小以及工作的点位，如断线的瞬间的拉力 T 大于负载 T_N ，则电机的转速将增大，进而有可能产生“飞车”现象，而如果断线，电机转速便会逐渐减小，甚至会停机并导致电流 I_a 过大，进而烧毁电机。

七、心得与体会

1. 关于调节电阻的思考

在进行实验 3, 4 时，需要使用电阻调节旋钮调节电阻以测量多组数据，但由于并不知道电阻调节旋钮的可调节范围，可能会造成测量数据过少，抑或是电阻调节不均匀的情况，同时，由于存在回程差，滞回效应等方面的原因，调节电阻时最好应一步到位而不是多次调节。为实现调节电阻时，能做到均匀线性，可实现旋转电阻，掌握电阻调节旋钮的大致范围，也可选取如负载力矩作为标准，进行调节，如调节电阻旋钮，每使得负载力矩减少 $0.15N \cdot M$ 时，便记录一次数据。

2. 关于磁滞现象的探讨

在进行实验 3-测取并励直流电动机的工作特性和机械特性实验时，当电动机空载时，我们发现转速不增反降；因此，我们选择将负载稍微增大，测量数据后发现，此次测量出的数据要普遍低于第一次测量出的数据，讨论后认为可能是磁滞效应或者是回程差的影响，后来发现，是由于测功机与电动机在

测量时咬合不紧，因此出现了脱节的现象，进而导致数据测量不准。在修复问题后，我们又重新测试了一遍，发现并没有磁滞现象。

3. 实验心得

在本次实验中，我们进行了直流并励电机的相关实验，整个实验进行的并不是十分顺利，在实验时甚至出现了电机脱节的现象。但总体下来，也了解到了电机的启动，制动，调速等方法，收获颇多。