

# 浅析直流发电机—直流电动机调速系统在货运索道驱动机中的应用

## The Application of DC Generator—DC Motor Speed Regulation System in Freight Ropeway Driver is Analyzed

沈彩素

Caisu Shen

广西华锡矿业有限公司铜坑矿业分公司 中国·广西河池 547000

Tongkeng Mining Branch of Guangxi China Tin Mining Co., Ltd., Hechi, Guangxi, 547000, China

**摘要:** 铜坑矿业分公司两条货运索道驱动机电气控制系统由一台 220kW 的异步电动机拖动一台 190kW 的他励直流发电机向 160kW 的他励直流电动机供电, 直流发电机和直流电动机的励磁回路由整流器供电, 以其中一条货运索道驱动机的电气控制系统为例, 分析直流电机的起动、反转、调速过程。

**Abstract:** Copper pit mining branch two freight ropeway driven by a 220kW electrical control system of asynchronous motor to drag a 190kW to 160kW separately excited separately excited dc generator dc motor power supply, DC generator and the excitation circuit dc motor by the rectifier power supply, as one of the freight ropeway drive electric control system as an example, analysis of dc motor starting, reversing, speed regulation process.

**关键词:** 直流电机; 起动; 反转; 调速

**Keywords:** DC motor; starting; inversion; control of motor speed

**DOI:** 10.12346/etr.v3i10.4418

## 1 引言

在自动控制系统中, 电力拖动系统是最重要的应用系统之一。而电动机又是电力拖动系统的核心部件, 它是将电能转化为机械能的一种有力工具。由于直流电动机具有良好的启、制动性能, 而且可以在较大范围内平滑的调速, 因此。在很多需要高性能可控制电力拖动的场合得到了广泛的应用。直流发电机—直流电动机调速系统可以获得较宽的调速范围、平滑的调速性能等优点, 在 20 世纪 60、70 年代曾经广泛使用。

## 2 货运索道电气控制系统使用现状

铜坑矿业分公司 I 期、II 期货运索道承担地面矿石运送的任务, 线路长度约为 5.33km, 高差大, 地形复杂, 其驱动机电气控制系统是 70 年代末设计完成, 由一台 220kW 的异步电动机拖动一台 190kW 的他励直流发电机 G 向 160kW 的他励直流电动机 M 供电, 直流发电机 G 和直流电动机 M

的励磁回路由整流器供电, 该驱动机控制系统涉及直流电机的起动, 反转, 调速, 现逐一分析。货运索道驱动机简易控制原理图如图 1 所示。

## 3 直流电动机的起动与反转

### 3.1 电动机的起动

直流电动机的转速从零加速到稳定运行速度的整个过程称为起动。电动机的起动性能是衡量电动机运行性能的一项重要指标, 其中起动电流和起动转矩是两项主要内容: 起动转矩要足够大, 要克服起动时的摩擦转矩和负载转矩, 否则电动机转不起来。起动电流太大, 会对电源及电机产生有害影响。

除了小容量的直流电动机, 一般直流电动机是不允许直接接到额定电压的电源上起动的。这是因为在刚起动的一瞬间,  $n=0$ , 反电动势  $E_a=0$ , 起动电流为:

$$I_s = \frac{U}{R_a} \quad (1)$$

【作者简介】沈彩素 (1977-), 女, 中国广西南丹人, 机电工程师, 从事机电、自动化及电子信息研究。

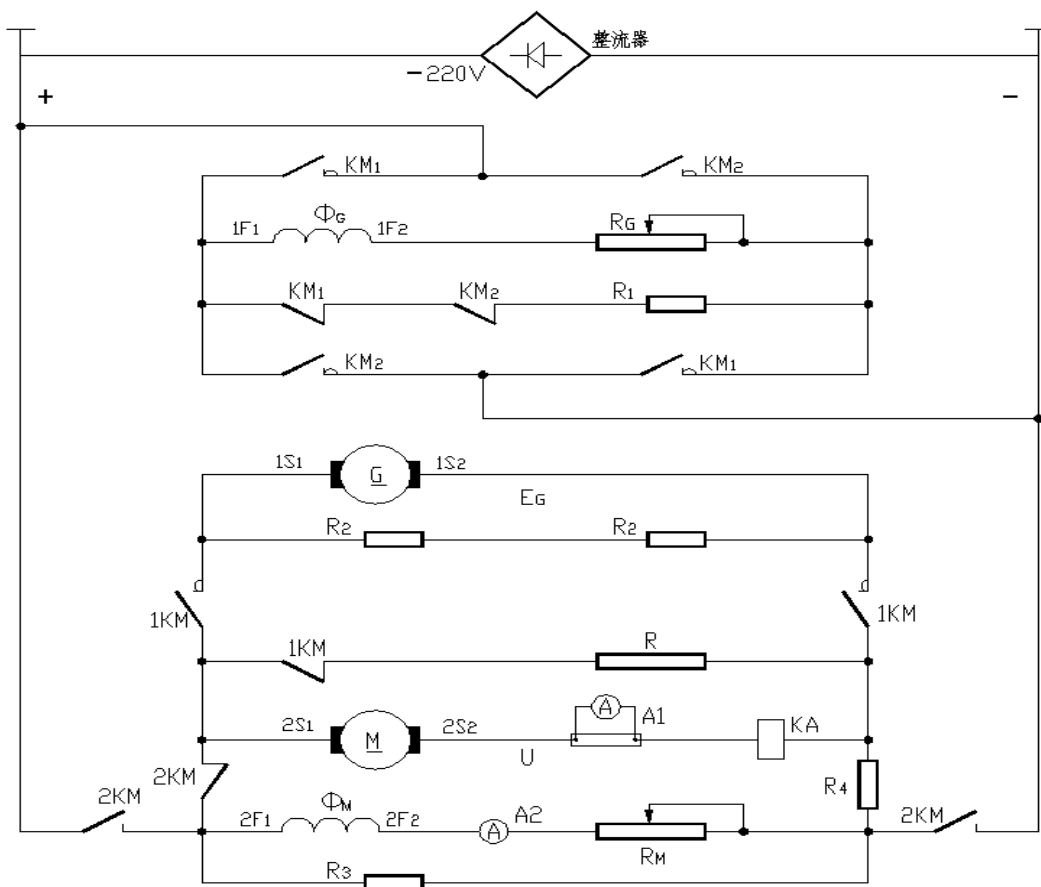


图1 直流发电机—直流电动机调速系统

而电枢电阻  $R_a$  是一个很小的数值，故起动电流很大，将达到额定电流的 10~20 倍。这样大的起动电流将产生很大的电动力，损坏电机绕组，同时引起电机换向困难，供电线路上产生很大的压降等问题，因此，必须采用一些适当的方法来起动直流电动机，一般来说，起动电流限制为额定电流的 2~2.5 倍。直流电动机的起动方法有电枢回路串电阻起动及降压起动。

### 3.1.1 电枢回路串电阻起动

如果在电枢回路串电阻  $R_s$ ，电动机接到电源后，起动电流为：

$$I_s = \frac{U}{R_a + R_s} \quad (2)$$

可见这时起动电流将减小，串的电阻越大，起动电流越小。当起动转矩大于负载转矩，电动机开始转动。随着转速升高，反电动势不断增大，起动电流逐步减小，起动转矩也逐步减小，为了在整个起动过程保持一定的起动转矩，加速电动机起动过程，可以将起动电阻一段一段逐步切除，最后电动机进入稳态运行。在电动机完成起动过程后，因起动电阻继续接在电枢回路中要消耗电能，同时起动电阻都是按照短时运行方式设计的，长时间通过较大的电流会损坏电阻，因此，起动完成后应将电阻全部切除。

由于起动转矩  $T = C\Phi I_s$ ，在同一起动电流  $I_s$  的数值下，为了产生尽可能大的起动转矩，应使磁通  $\Phi$  尽可能大些，因此，起动时应将串在励磁回路的调节电阻全部切除，以便产生尽可能大的励磁电流和磁通。

### 3.1.2 他励直流电动机降低电枢电压起动

因他励直流电动机可单独调节电枢回路电压，故可采用降低电枢回路电压的方法起动。由式 (1) 可见，降低电枢回路电压可减小起动电流。因无外串电枢电阻，故这种方法在起动过程中不会有大量的能量消耗。如图 1 所示，通过调节直流发电机励磁回路电阻  $R_G$ ，从而改变直流电动机电枢两端电压，实现降低电枢电压起动。

### 3.2 电动机的反转

电动机转向决定于电磁转矩的方向，欲改变电磁转矩的方向，只需改变磁通方向或电枢电流方向即可。所以，改变直流电动机的方向有两种方法：

- ①保持电枢电压的极性不变，将励磁绕组反接，使励磁电流反向，从而改变磁通的方向。
- ②保持励磁绕组两端电压的极性不变，将电枢绕组反接，使电枢电流方向改变。

如图 1 所示，要改变货运索道驱动器运转方向，保持电机电枢电压的极性不变，通过改变直流发电机励磁电流  $\Phi_G$

方向,从而改变直流电动机转向,图中 KM1 为电动机正转接触器的触点, KM2 为反转接触器的触点。

#### 4 他励直流电动机的调速

调速是指用人工的办法,改变电动机电路的某一参数,从而改变电动机的机械特性,而得到不同的工作转速。由电动机的机械特性方程:

$$n = \frac{U}{C_e \Phi} - \frac{R_a + R_s}{C_e C_m \Phi^2} T \quad (3)$$

可知,他励直流电动机有三种调节转速的方法:

- ①改变电枢电压  $U$ ;
- ②改变励磁电流  $I_f$ , 即改变磁通  $\Phi$ ;
- ③电枢回路串入调节电阻  $R_s$ 。

这三种调速方法实质上是改变电动机的机械特性,使之与负载的机械特性交点改变,从而达到调速的目的。

##### 4.1 降低电枢电压调速

由于电动机的电枢电压不能超过额定电压,因此电压只能由额定电压向低调。由(3)式可见,改变磁通  $\Phi$ , 或改变电枢电压  $U$ , 都可以达到调速的目的。图1中调节直流发电机 G 的励磁回路电阻  $R_G$ , 改变发电机的磁通  $\Phi_G$ , 则发电机的电动势  $E_G$  随之改变,从而改变了直流电动机电枢两端电压  $U$ , 实现调压调速。

改变直流电动机电枢电压  $U$  调速的方法具有较好的调速性能,由于调压后,机械特性的“硬度”不变,因此有较好的转速稳定性,调速范围较大,同时便于控制,可以做到无级平滑调速,损耗小。当调速性能要求较高时,往往采用这种方法。但在发电机励磁电流过小、电动机速度很低的情况下,效果却不能令人满意,这一方面是由于发电机的电枢反应及电刷接触压降的变动,另一方面是速度的低限还受到剩磁的限制。上述调速系统中,又通过改变直流电动机 M 的磁通来提高电动机的转速。在上述条件下,借助于弱磁调速手段,使调速范围增大 3 倍左右。

##### 4.2 弱磁调速

直流发电机—直流电动机调速系统(图1)中通过调节直流电动机 M 的励磁回路电阻  $R_M$ , 改变励磁电流  $I_f$ , 即改变电动机的磁通  $\Phi_M$ , 为使电机不至于过饱和,因此磁通  $\Phi_M$  只能由额定值减小,由于  $\Phi_M$  减小,机械特性的  $n_0$  升高,

斜率增大,如果负载不是很大,则可使得转速升高,  $\Phi_M$  减小越多,转速升得越高,不同的  $\Phi_M$  可得到不同的机械特性曲线,实现电动机的调磁调速。

这种调速方法的特点是由于励磁回路的电流很小,只有额定电流的 1%~3%, 不仅能量损失很小,且电阻可以做成连续调节的,便于控制。其限制是转速只能由额定磁通时对应的速度向高调,而电动机最高转速要受到电机本身的机械强度及换向的限制。

##### 4.3 电枢回路串电阻调速

他励直流电动机当电枢回路串入调节电阻  $R_s$  后,其电枢回路的总电阻为  $R_a + R_s$ , 使得机械特性的斜率增大,串联不同的  $R_s$ , 可得到不同斜率的机械特性,和负载特性交于不同的点,电动机则稳定运行在这些点。电枢回路串联电阻越大,机械特性的斜率越大,因此,在负载转矩恒定时,增大电阻  $R_s$ , 可以降低电动机的转速。

#### 5 直流发电机—直流电动机调速系统的优缺点

##### 5.1 优点

- ①速范围广,一般可达 30 倍,且可平滑调速;
- ②控制过程在励磁回路中进行,控制功率小,容易反转;
- ③无需启动电阻,启动时能量损耗小。

##### 5.2 缺点

- ①设备容量大,至少为电动机本身容量的 3 倍以上,因此价格贵;
- ②效率较低,在大容量时效率只能达 75%~80%;
- ③特性斜率较大,在某种程度上限制了调速范围的扩大。

#### 6 结语

直流发电机—直流电动机调速方法可以获得较宽的调速范围、平滑的调速性能以及较少的转速变化率。由于这种系统至少应该包含两台与调速系统电动机容量相当的旋转电机。因而应用这种调速方法存在占地多、价格贵、效率低的问题,随着电力电子技术的迅速发展,由晶闸管整流器供电的直流电动机调速系统已经取代了发电机—电动机调速系统。

#### 参考文献

- [1] 曾令全.电机学[M].北京:中国电力出版社,2007.
- [2] 高敬德.电机及电力拖动[M].北京:石油工业出版社,1997.