

异步电动机的升压恒功控制技术
应用综述

苟军善, 黄新宇

(北车永济新时速电机电器有限责任公司 技术中心 山西 永济 044502)



作者简介: 苟军善(1963-), 男, 高级工程师(教授级), 长期从事牵引电机设计开发与制造。

摘 要: 对交流异步电动机运行工况中较少采用升压恒功工况进行了叙述, 对升压恒功的采用及其特点、优点做了一些探讨, 并介绍一些应用实例, 供电机及系统设计参考。

关键词: 交流控制; 异步电机; 恒转矩; 恒功率; 升压恒功; 恒压恒功; 调速比; 调压比

中图分类号: TM343 文献标识码: A 文章编号: 1000-128X(2011)05-0001-05

Overviewing Asynchronous Motor Boost Constant Power Control Technology

GOU Jun-shan HUANG Xin-yu

(Technology Center, CNR Yongji Xinshisu Electric Equipment Co., Ltd., Yongji, Shanxi 044502, China)

Abstract: The less using boost constant power conditions of AC asynchronous motor operation was described. Application, character and merit of boost constant power control were discussed, and some practical examples were provided for reference to motor and system designing.**Key words:** AC control; asynchronous motor; constant torque; constant power; boost constant power; constant voltage constant power; speed-regulating ratio; voltage-regulating ratio

0 引言

交流控制技术给工程机械和机车传动技术带来革命性变化,但其本质的特点之一是驱动及牵引电动机采用了交流异步电动机,其显著的特点、优点都是由此而来的。工程机械驱动交流控制技术和交流传动机车成为现代工程机械驱动和现代机车发展的方向,正是由异步电动机无与伦比的特点和优点所决定的,特别在机车控制领域和传统的直流电动机驱动系统相比,交流异步电动机驱动系统的优越之处表现在诸多方面。但是在工程机械驱动和机车传动交流系统控制设计中我们常常考虑由不同容量的电动机和不同容量的变流器组合来达到传动系统的容量,而异步电动机方案选取与电机在系统中运行工况有很大的关系,特别采用像交直驱动系统中类似的升压恒功后,给整个交流系统和电机成本选取带来很大的优点。因而我们有必要对交流驱动系统中电机升压运行工况进行详尽考虑。

从电机学和控制理论可知,异步牵引电动机运行方式通常都是恒转矩启动,恒功率运行。恒功率运行

通常分为升压恒功和恒压恒功2种工况。在实际电机恒功运行中有3种工况:仅采用升压恒功;采用升压恒功和恒压恒功;仅采用恒压恒功。升压恒功较少采用。那么升压恒功在什么状态下应用?为什么要采用它?它有什么优点?我们通过下面异步电机的运行工作方式分析来说明它。

1 变频异步电机运行方式

从电机学知道,变频异步牵引电动机的运行方式与直流电动机有相似之处,都是恒转矩启动,恒功率运行,变频调速时异步电机的转矩公式为:

$$T = \frac{mn_p}{2R_r} \left(\frac{U_1}{f_1} \right)^2 f_s$$

式中: U_1 为定子电压; f_1 为定子频率; f_s 为转差频率; R_r 为转子电阻。

1.1 恒转矩启动

使 $\frac{U_1}{f_1} = \text{常数}$, 磁通 $\Phi = \text{常数}$; 使转差频率 $f_s = \text{常数}$, 转子有功电流 $I_2 = \text{常数}$; 转矩 $M = \text{常数}$; 最大转矩 $M_{\max} = \text{常数}$ 。

1.2 恒功率运行

1.2.1 升压恒功

使定子电压 U_1 随定子频率 f_1 正比例上升 $\frac{U_1}{f_1} = \text{常数}$, 转差频率 f_s 随定子频率 f_1 (转速 n) 反比例下降, 转矩 M 随定子的频率 f_1 反比例下降, $M \propto \frac{1}{f_1}$; 定子电压 U_1 上升, 转子有功电流 I_2 随 f_s 而下降, 定子电流 I_1 随 I_2 下降, 功率 $P = U_d \cdot I_d = \text{常数}$ 。最大转矩随定子频率而下降, $M_{\max} \propto \frac{1}{f_1}$ 。

1.2.2 恒压恒功

定子电压 U_1 上升到中间直流环节电压 $U_{d \max}$ 而不能再上升, $U_1 = \text{常数}$, 磁通 随定子频率 f_1 (转速 n) 上升而下降 (磁场削弱); 使转差频率 $f_s = \text{常数}$, 转子有功电流 $I_2 = \text{常数}$, 定子电流 $I_1 = \text{常数}$, 功率 $P = U_d \cdot I_d = \text{常数}$, 转矩 M 随定子的频率 f_1 反比例下降 $M \propto \frac{1}{f_1}$ 。最大转矩随定子频率平方而下降 $M_{\max} \propto \frac{1}{f_1^2}$ 。

从以上工况分析可以看出, 异步牵引电动机的特性与他励直流电动机完全相同。它们都能恒转矩启动, 恒功率运行。恒功率运行时同样分为升压恒功和恒压恒功 2 种方式。具体如图 1 所示。

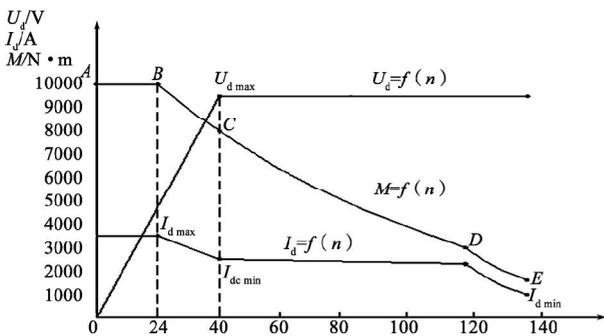


图 1 一般异步牵引电动机特性曲线与特征点

AB 为启动区; BC 为升压恒功区; CD 为恒压恒功区; DE 为自然特性区; A 为启动点; B 为进入升压恒功点; C 为进入恒压恒功点; D 为恒功最高转速点; E 为最高转速点

同时从电机和交流驱动控制理论知道, 在恒功区的升压恒功区, 其恒功调速比 $K_{cv} = \frac{n_{c \max}}{n_N}$ (恒功调速比等于恒功最大转速与额定转速的比值),

$$n = \frac{U - I \cdot \sum R}{C_c \Phi} = \frac{U}{C_c \Phi} \quad (1)$$

在升压恒功区有:

$$K_{cv} = K_{cu} \quad (2)$$

即恒功调速比 K_{cv} 正比于恒功调压比 K_{cu} (调压比 $K_{cu} = V_{c \max} / V_N$, 调压比等于恒功最高电压和额定电压的比值)

恒压恒功区:

$$K_{cv} = K_c \quad (3)$$

$K_{c\phi} = \frac{\Phi_{c \max}}{\Phi_{c \min}}$, 即恒功调速比 K_{cv} 正比于恒功调磁比

K_c 。

由式(1)式(2)式(3)可得:

$$K_{cv} = K_{cu} \cdot K_c$$

即恒功调速比等于恒功调压比 K_{cu} 与恒功调磁比 K_c 的乘积。调压调磁比的关系见图 4。

2 为何采用升压恒功

升压恒功是电机在恒功范围内的一种运行方式。上面分析了电机运行工况, 在什么情况下采用升压恒功, 为何采用升压恒功? 何种电机工况需要采用升压恒功?

2.1 调速比要求

从交流异步牵引电机和普通民用变频调速电机调速范围来看, 普通的民用变频调速异步电机恒功调速比 K_{cv} 为 1.5~2.5 倍, 电力机车、电动车组、地铁车辆的异步牵引电动机 (包括油田和轧钢用电机) 恒功调速比为 2.5~3 倍, 它们的调速比都较小, 恒功调速范围较小; 而且交流传动电力机车和动车一旦主电路确定, 中间直流环节电压将不会变化。按照一般设计要求调速的任务可以由电动机全部承担, 因此不必采用升压恒功的方式, 全部是恒压恒功 (磁场削弱) 运行方式。但是实际上调速比大小, 仅是作为机车、动车电机采用升压恒功的一个考虑因素, 调速比小不能作为交流电机采用升压恒功唯一条件, 在交流驱动系统中, 许多民用电机, 为达到减小电机体积和电机负载等方面的要求, 调速比小, 也采用了升压恒功运行。现代交流传动内燃机车要求有宽广的调速范围和较大的功率等级, 所采用的异步牵引电动机恒功调速比 K_{cv} 为 5~6 倍, 而且它的主电路中间直流环节电压随柴油机转速而变化, 完全按照恒转矩启动、恒压恒功运行考虑, 在设计其异步牵引电动机时, 通常是按颠覆转矩 M_{\max} 数值来设计, 而不是按额定转矩数值 M_N 来设计。这样电机设计的体积和重量均很大, 以至于机车条件所不允许。为了满足机车需要, 必须采用升压恒功以减小电动机的负担。下面我们通过几个实例进行探讨。

2.2 港口提升电机的要求

一种港口提升电机工作状态下提起重物时, 要求电机启动转矩大, 过载能力大, 耐冲击, 而且保证一定的提升速度, 到达一定高度后, 放下重物, 吊钩自身重量大, 构成电机一定的负载, 而且调速范围小。这种工作状况要求, 在启动点和达到最高点 (速度最大) 电机都具有较大的转矩和过载倍数。按照恒压恒功运行设计电机, 电压不变, 电机在低速点达到额定转矩或最大转矩, 但到转速最高点时, 转矩随频率升高而下降, 最大转矩也随频率平方下降, 最大转矩倍数也随频率

下降, 满足不了最高点要求的转矩及过载能力。此时电机设计需按照升压恒功要求进行, 在低速点使电机转矩达到最大转矩及过载倍数, 这样在高速点时保证电机有足够的转矩裕量和过载倍数。这样才能满足提升负载要求。这种电机完全在恒转矩启动后, 在恒功阶段完全按升压恒功运行。

例: 一种提升用电机 $P_N=373 \text{ kW}$, $U_N=250/420 \text{ V}$, $n_N=645 \text{ r/min}$, 额定转矩 $M_N=5\,480 \text{ N}\cdot\text{m}$, 频率范围 $22.2/65.5 \text{ Hz}$, $n_{\max}=1\,950 \text{ r/min}$, $M_N=1\,826 \text{ N}\cdot\text{m}$, 调速比 $K_{cv}=1.68$, 若按照这么小的调速比, 电机完全承担调速功能是可行的, 电机设计将选择最大电机最小逆变器方案, 电机工作在恒压恒功区, 但电机负载要求在额定过载能力达到 3 倍左右, 提升到最高点时电机的过载能力也接近 3 倍, 选用恒压恒功方案, 在最高速度点无法满足负载转矩和最大转矩及过载倍数的要求。因此不能采用恒压恒功方案。只有采用升压恒功方式, 选用最大逆变器最小电机方案, 才能满足负载要求。

在升压恒功区 $K_{cv} \propto K_{cu}$, 即恒功调速比 K_{cv} 正比于恒功调压比 K_{cu} , $K_{cv}=K_{cu}=420/250=1.68$, 而且 500 kVA 以下的逆变器在工程应用中已较成熟, 虽然软件成本增加些, 调速比小, 但首先还是考虑满足电机工况要求。因此该种电机负载工况的特性要求, 只能采用升压恒功。电机电压功率特性曲线如图 2 所示, 电压曲线 250 V 前恒转矩启动, 250~420 V 是升压恒功运行。

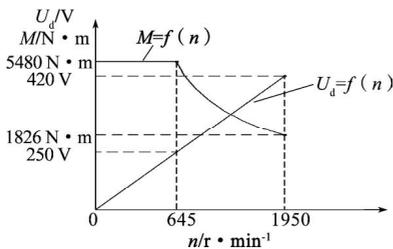


图 2 提升电机特性曲线与特征点

2.3 一般工程机械和民用电机的要求

一般工程上机械和民用使用的驱动电机恒功调速比 K_{cv} 为 1.5~3 倍, 比较小, 电机也完全可以承担调速任务, 不需要采用升压恒功来调速。但是, 在实际应用中不尽然, 看下面实例。

例如: 一台隧道掘进用异步电动机在变频的工作状态下 $P_N=168 \text{ kW}$, 额定电压 $U_N=582 \text{ V}$, $n_N=883 \text{ r/min}$, $n_{\max}=2\,389 \text{ r/min}$, 对于该电机有调速比

$$K_{cv} = \frac{n_{\max}}{n_N} = \frac{2389}{883} \approx 2.7$$

额定频率 $f_N=44.7 \text{ Hz}$, $f_{\max}=120.5 \text{ Hz}$ 按照这样的调速比 ($K_{cv}=2.7$), 驱动电机完全可以承担调速任务, 即在恒功运行阶段采用恒压恒功运行设计电机可以满足要求。但是按照这种要求设计的电机体积和重量还是超过用户的要求, 安装也超限, 同时直接进入恒压恒功 (690 V, 168 kW) 调速, 在低速点达不到额定转矩, 为了满足用户要求, 综合考虑逆变器和电机成本, 在调速比不变情况下, 除采用恒压恒功运行外, 在进入恒压

恒功前还需采用升压恒功运行方式, 满足电机额定转矩要求, 同时降低驱动电机负担。

从前面分析知道, 在升压恒功区 $\frac{U_1}{f_1} = \text{常数}$, 转差频率 f_s 随定子频率 f_1 (转速 n) 反比例下降, 由于转矩与频率成反比 ($M \propto \frac{1}{f_1}$) 降低, 进入恒压恒功区, 由于升压恒功区承担部分调速, 使电机恒压恒功区的范围缩小, 调速比变小, 也满足了电机设计及运行使用的要求。该电机采用两种运行方式:

升压恒功区: 调压比 $K_{cu}=690/582 \quad 1.19$

恒压恒功区: 调磁比 $K_c = 2389/1052 \quad 2.27$

电机调速比: $K_{cv} = K_{cu} \cdot K_c = 1.19 \times 2.27 \approx 2.7$

即在 44.7~53 Hz 之间采用升压恒功, 电压从额定电压 582 V 升到工程常用额定电压 690 V, 在 582 V、44.7 Hz 点额定转矩达到 1 818 N·m 要求, 满足了额定工况要求, 然后进入恒压 690 V、恒功 168 kW, 从 53 Hz 到 120.5 Hz 区间, 这样在升压恒功采用最大逆变器、最小电机方案, 将最大负荷转到逆变器上, 在恒压恒功区采用最大电机、最小逆变器方案, 将最大负荷转到电机上, 将一个大的调速区间变成 2 个调速较小的区间, 总的调速范围没变, 这样既满足了电机启动转矩要求, 又满足电机正常工作的额定转矩要求, 且工程用小功率逆变器和电机成本增加不多。在电机设计时, 使电机的体积缩小, 总体成本降低, 同时满足了工程使用需要。

因此, 在调速比小, 总调速范围不变的情况下, 恒压恒功调速无法达到电机要求的体积和额定转矩时, 我们增加升压恒功工作区间, 在低电压点满足额定转矩要求, 恒压恒功区满足工程使用和电机设计需要。电压功率图形如图 3 所示, BC 段采用升压恒功, CD 段采用恒压恒功。

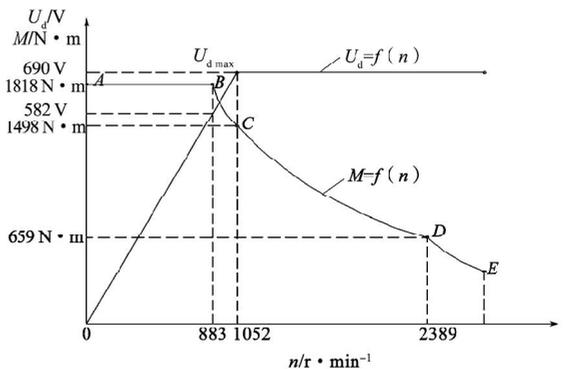


图 3 异步牵引电动机特性曲线与特征点

2.4 铁路牵引电机的要求

在铁路机车牵引领域, 如上所述, 电力机车、电动车组、地铁车辆的异步牵引电动机恒功调速比 K_{cv} 为 2.5~3 倍, 比较小。恒功调速的功能可以全部由电动机承担, 若仅采用升压恒功方式, 将要考虑最大逆变器、最小电机运行方案, 机车用逆变器单位功率的价

格是电动机的数倍,而且和机车整个特性不尽相符,满足不了机车运行要求,而且主电路中间直流环节电压一般不变,因此不采用升压恒功的方式,全部是恒压恒功(磁场削弱)方式。但是对于交流传动内燃机车的异步牵引电动机来说,其恒功调速比 K_{cv} 为5~6倍,比较大, $K_{M\max}=K_{cv} \cdot K_{M\min}=(5\sim 6)K_{\min}$,即电机最大颠覆转矩 $M_{\max}=(6\sim 7)M_N$,如果牵引电机全部承担调速任务,设计异步牵引电动机时,其颠覆转矩很大,电动机的体积和重量均达到很大,以至于机车条件所不允许。同时缩小机车调速比,将使机车功率发挥不充分,内燃机车优势发挥不出,而且内燃机车主电路中间直流环节电压与柴油机转速有关,所以必须采用升压恒功才能扩大机车恒功调速范围,以减小完全采用恒压恒功方式牵引电动机的负担。

由电机学可知,调压比 $K_{cu} <$ 调磁比 K_c ,一般调压比 K_{cu} 2倍。因为调压比过大会将负载转移到主发电机和变流器,使发电机、变流器体积过大,机车重量和体积不允许。从上述交流驱动控制理论知道调速比和调压比、调磁比的关系。下面以DF_{8DJ}机车为例进行分析。

DF_{8DJ}机车恒功速度范围是23.8~120 km/h,如图4所示。

$$\text{恒功调速比 } K_{cv} = \frac{V_{c\max}}{V_N} = \frac{120}{24} = 5 \text{ 倍。}$$

$$\text{升压恒功区 } K_{cu} = \frac{40}{24} \text{ 1.67 倍。}$$

$$\text{恒压恒功区 } K_{c\phi} = \frac{120}{40} = 3 \text{ 倍。}$$

$$K_{cv} = K_{cu} \cdot K_c = 1.67 \times 3 = 5 \text{ 倍。}$$

DF_{8DJ}异步牵引电动机 $P_N=685 \text{ kW}$, $n_N=886 \text{ r/min}$, 设 $K_{cv}=K_c=5$ 倍。

$V_{c\max}=120 \text{ km/h}$ 时,转矩过载倍数 $K_{M\min}=1.2$ 倍,则 $V_N=20 \text{ km/h}$ 时,转矩过载倍数

$$K_{M\max} = K_c \cdot K_{M\min} = 5 \times 1.2 = 6 \text{ 倍}$$

机车速度24~40 km/h,从前面电机运行工况可知,

定子电压 U_1 随定子频率 f_1 正比例上升,升压恒功: $\frac{U_1}{f_1} =$

常数,功率 $P=U_d \cdot I_d = \text{常数}$ 。这种情况下,如果电压升得越高,恒功区越宽,逆变器功率必须按启动时最大电流 $I_{c\max}$ 和40 km/h最高电压 $U_{c\max}$ 来设计。

$$P_i = U_{c\max} \cdot I_{c\max} = \frac{U_{c\max}}{U_{c\min}} \cdot (U_{c\min} \cdot I_{c\max}), \text{ 即 } P_i = K_{cu} \cdot P_N$$

此时最大转速点异步牵引电动机转矩过载倍数

$$K_M = \frac{M_{\max}}{M_N} = 1.2 = \text{常数}, \text{ 具有不变的过载系数,电机设计}$$

时采用最大逆变器、最小电动机匹配方案,即可以选择在恒功范围的最低转速时有最小过载倍数,允许最小的过载能力。在高速时仍然有适度的转矩裕量,

电机的功率能充分利用, $K_{\min}=1.2$,为最小。电机设计尺寸较小,减小了电机负担。

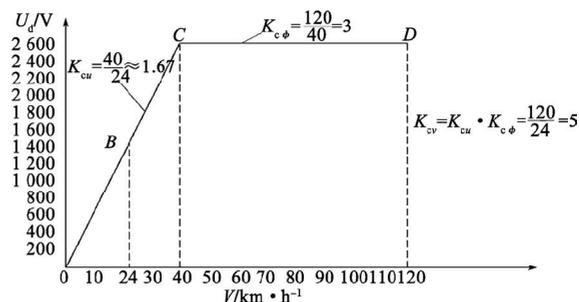


图4 一般异步牵引电动机恒功调速比 K_{cv} 与恒功调压比 K_{cu} 、恒功调磁比 K_c 的关系曲线

在机车速度40~120 km/h范围内,电压 $U_1=1310 \text{ V}$ 不变,电机功率 $P=685 \text{ kW}$ 保持不变,工作在恒压恒功区。从前面的电机运行工况知, $U_1 = \text{常数}$, $P = U_d \cdot I_d = \text{常数}$, $M = K_1 \cdot I_2$, $I_2 \propto f_1 = \text{常数}$,磁通随定子频率上升而下降,即 $\Phi \propto \frac{1}{f_1}$ 下降(磁场削弱);转矩随定子频率升高

而降低,即 $M \propto \frac{1}{f_1}$,功率曲线为恒功双曲线,由电机学可知,最大转矩与频率的平方成反比,即:

$$M_{\max} \propto \frac{1}{f_1^2}, M_{\max} \propto \frac{1}{V^2}, \text{ 最大转矩倍数与频率成反}$$

比,即: $K_M = \frac{M_{\max}}{M_N} \propto \frac{1}{f_1}$,如机车速度 $V_{c\max}=120 \text{ km/h}$ 时, $K_{M\min}=1.2$ 倍, $V_N=40 \text{ km/h}$ 时, $K_M=K_c \cdot K_{M\min}=3 \times 1.2=3.6$ 倍。

异步牵引电动机设计时按颠覆转矩 M_{\max} 数值来设计,采用最大电动机、最小逆变器匹配方案,在最高速度点电机保证有最低的过载能力,在恒功范围内低速点电机过载能力有较大的裕度,电机设计有较大的尺寸,所以电动机体积重量最大。由于中间直流环节电压 U_d 不变,中间直流环节电流 I_d 不变,逆变器容积功率 $P_i = U_d \cdot I_d = P_N$,为最小。

我们知道,电机的转矩大小决定电机的体积,由DF_{8DJ}异步牵引电动机参数知: $V_N=24 \text{ km/h}$ 时电机转速 $n_N=886 \text{ r/min}$,

$$\text{额定转矩 } M_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{685}{886} \approx 7385 \text{ N}\cdot\text{m}$$

最大颠覆转矩

$$M_{D\max} = K_{M\max} \cdot M_N = 6 \times 7385 = 44310 \text{ N}\cdot\text{m}$$

异步牵引电动机设计时必须满足 $M_{D\max}=44310 \text{ N}\cdot\text{m}$,体积和重量将变得很大。

设 $K_{cv}=K_{cu} \cdot K_c = 1.67 \times 3 = 5$ 倍, $V_{c\max}=120 \text{ km/h}$ 时 $K_{M\min}=1.2$ 倍。

则 V_N 由24 km/h上升到 $V_N=40 \text{ km/h}$ 时,

$$K_{M\max} = K_c \cdot K_{M\min} = 3 \times 1.2 = 3.6 \text{ 倍}$$

$$\text{额定转矩 } M_N = 9550 \frac{P_N}{n_N} = 9550 \times \frac{685}{1477} \approx 4429 \text{ N} \cdot \text{m},$$

比 $V_N=24 \text{ km/h}$ 时 M_N 下降了 40%。最大颠覆转矩值则为 $M_{D \max} = K_{M \max} \cdot M_N = 3.6 \times 4429 = 15944 \text{ N} \cdot \text{m}$ 。

与 $M_{D \max} = 44310 \text{ N} \cdot \text{m}$ 相比, 只为它的 36%。

当 $K_{cu} = 1.67$ 时异步牵引电动机的最大颠覆转矩下降为 $M_{D \max} = \frac{1}{K_{cu}^2} = \frac{1}{2.7} \approx 0.36$ 。使异步牵引电动机的体积和重量减小到 $1/K_{cu}^2$ 倍, 大大地减小了电动机的体积和重量。

因此, 内燃机车用异步电动机, 采用升压恒功工作区, 综合考虑机车运用特性, 可以扩大恒功范围, 降低牵引电机重量和体积, 也可满足额定点电机转矩和过载要求。同时, 有些内燃机车还可以采用 2 次升压恒功, 满足扩大恒功范围和机车运用的要求, HX_{N3} 机车就采用 2 次升压恒功。DF_{8DJ} 交流内燃机车异步牵引电动机采用升压恒功如图 5 所示。BC 段采用升压恒功方式运行, CD 段采用恒压恒功运行。

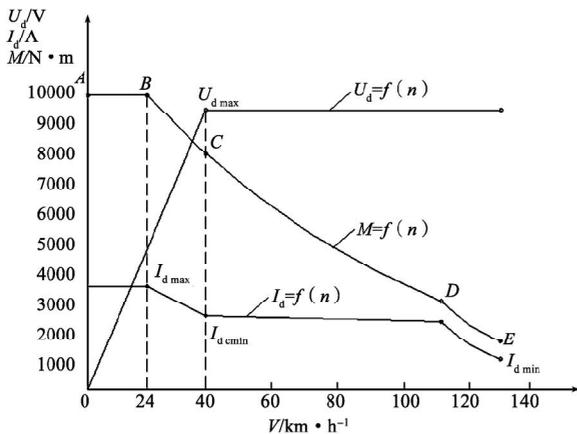


图 5 DF_{8DJ} 异步牵引电动机特性曲线与特征点

3 升压恒功的 3 种工况

在了解了异步电机采用升压恒功的优点和工况后, 我们将升压恒功用于交流传动内燃机车时 3 种工况简单介绍一下。

3.1 第一种升压恒功

压频比 $\frac{U_1}{f_1} = \text{常数}$, 恒磁通恒功率, 转差率 f_s 随定子频率 f_1 (转速 n) 反比例下降 $f_s = \frac{1}{f_1}$ 。

电压 U_1 随定子频率 f_1 (转速 n) 正比例上升, $U_1 \propto f_1$ 。

电流 I_1 随定子频率 f_1 (转速 n) 反比例下降, $I_1 \propto \frac{1}{f_1}$ 。

转矩 M 随定子频率 f_1 (转速 n) 反比例下降, $M \propto \frac{1}{f_1}$ 。

3.2 第二种升压恒功

$$\frac{U_1^2}{f_1} = \text{常数} \text{ 或 } \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{常数},$$

$$M = K_1 \cdot \Phi \cdot I_2 = \frac{U_1^2}{f_1^2} \cdot f_s = \frac{U_1^2}{f_1} \cdot \frac{f_s}{f_1} = \frac{U_1^2}{f_1} \cdot s$$

转差率 s 随 f_1 反比例下降, $s \propto \frac{1}{f_1}$, 转差频率 $f_s = \text{常数}$ 。

电压 U_1 随 $\sqrt{f_1}$ 正比例上升, $U_1 \propto \sqrt{f_1}$ 。

定子电流 I_1 随 $\sqrt{f_1}$ 反比例下降, $I_1 \propto \frac{1}{\sqrt{f_1}}$ 。

转矩随 f_1 反比例下降, $M \propto \frac{1}{f_1}$ 。

3.3 第三种升压恒功

与上述 2 种工况均不一样 $\frac{U_1}{f_1} = \text{常数}$; 电压 U_1 随转速 $n(f_1)$ 略有上升; 电流 I_1 随转速 $n(f_1)$ 略有下降; 但 $U_1 \cdot I_1 = \text{常数}$, 保持恒功率。

3 种工况中的后 2 种升压恒功的方式与第一种恒磁通恒功不同, 但在分析时可以将后 2 种等效为第一种来进行处理。

4 结论

综上所述我们对交流驱动系统中异步电机为何采用升压恒功及其优点可以得出以下的结论:

电机运行一般是恒转矩启动, 恒功率运行, 在恒功率运行中, 有升压恒功运行和恒压恒功运行, 具体要根据电机负载运行要求以及系统的匹配要求而定。

通常来说调速比小的情况 ($K_{cv} < 3$), 电机可以完全承担调速任务, 一般不采用升压恒功; 对于调速比大的情况 ($K_{cv} = 4 \sim 6$), 采用升压恒功。但这不全尽然, 调速比小的也可以采用升压恒功, 具体根据电机的负载要求和经济性选取。

一般在大型工程起调的调车和港口起吊吊车交流驱动系统的交流电机恒功运行阶段采用升压恒功工作, 不采用恒压恒功工作。这是由于电机的负载特性要求异步电动机工作在升压恒功状态才能满足运用要求, 即负载特性要求采用升压恒功工作方式。

调速范围不变, 额定转矩要求较大, 且工程上电压一定, 采用升压恒功可在电压低点达到额定转矩要求, 在额定工程电压下采用恒压恒功可满足工作负载要求, 而且可降低电机开发成本。这在工程隧道掘进机电机应用较多。

在轨道交通领域内燃机车用异步电动机和直流电动机采用升压恒功工作区, 综合考虑机车运用特性, 可以扩大恒功范围, 大大降低牵引电机重量和减小体积, 也可满足额定点电机转矩和过载要求。同时, 有些内燃机车还可以采用 2 次升压恒功, 满足扩大恒功范围和机车运用的要求。升压恒功区范围不可过大, 一般调压比 $K_{cu} > 2$ 倍。根据实际需要合理地选择恒功区的宽度, 对于系统优化经济性是非常重要的。电力

(下转第 13 页)

结果表明: 在前转向架一轴电机减振器失效时, 机车在具有高干扰不平顺线路上可以正常运行, 但电机横向振动加速度将增大。

4.2 前转向架端轴电机减振器失效

机车新轮新轨准线性稳定性和非线性稳定性满足 360 km/h 运行要求。前转向架电机横向加速度见图 4, 前转向架各轴电机横向振动加速度明显增大, 其中一轴和三轴增幅最大。

最大轮轴横向力见图 3。机车其余各项动力学指标同正常工况比较均无较大变化。

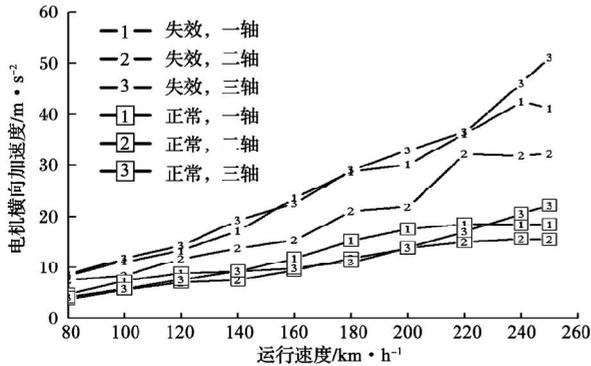


图 4 前转向架端轴电机减振器失效电机横向加速度

结果表明: 在前转向架端轴电机减振器失效时, 机车在具有高干扰不平顺线路上可以正常运行, 但电机横向振动将增大。

4.3 前转向架电机减振器全部失效

机车新轮新轨准线性稳定性满足 360 km/h 运行要求, 非线性稳定性满足 260 km/h 运行要求。电机横向加速度见图 5, 前转向架电机横向振动加速度明显增大, 其中二轴增幅最大。最大轮轴横向力见图 3, 当机车速度达

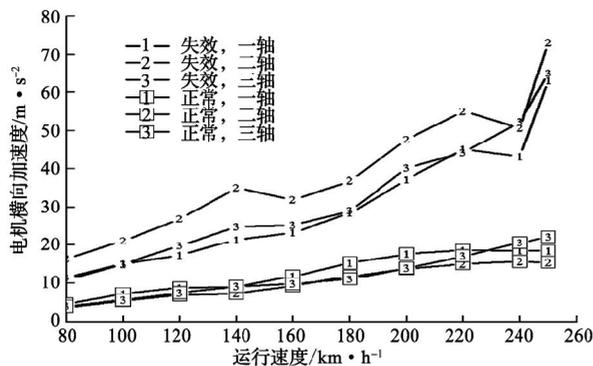


图 5 前转向架电机减振器全部失效电机横向加速度

到 250 km/h 最大轮轴横向力超过极限值 78.67 kN。机车其余各项动力学指标同正常工况比较均无较大变化。

结果表明: 在前转向架电机减振器失效时, 机车在具有高干扰不平顺线路上不能正常运行。要保证机车在具有高干扰不平顺的线路上正常运行, 必须要求前后转向架至少 4 个电机减振器正常工作。

5 结论

在一系垂向减振器完全失效、前后转向架二系垂向减振器单侧失效或二系横向减振器全部失效时, 机车在具有高干扰不平顺的线路上可以正常运行。

前转向架二系垂向减振器全部失效时, 机车能以不超过 160 km/h 的速度正常运行。前后转向架二系垂向减振器全部失效时, 机车不能正常运行。

为了保证机车磨损后的稳定性, 必须要求抗蛇行减振器工作正常。

要保证机车在具有高干扰不平顺的线路上正常运行, 必须要求前后转向架至少 4 个电机减振器正常工作。

总之, 各减振器对 200 km/h 电力机车动力学性能指标均有不同程度的影响, 由于采用弹性架悬, 横向减振器对机车动力学性能影响最小, 抗蛇形减振器、二系垂向减振器、电机减振器对车体动力学性能影响较大。在运行过程中, 应尽量保证各减振器正常工作。

参考文献:

- [1] 张红军, 陈喜红, 孙永鹏, 等. 我国 200 km/h 速度等级高速客运机车转向架平台设计分析[J] 铁道学报, 2007, 29(4): 101-106.
- [2] 罗 贇, 孙永鹏, 张红军, 钟文生. 架悬 C₀-C₀ 轴式机车电机布置及悬挂的研究[J] 铁道学报, 2006, 28(6): 41-45.
- [3] 张红军, 黄勇明, 李冠军, 罗 贇, 钟文生. 六轴提速机车采用弹性架悬方式的研究[J] 中国铁道科学, 2008, 29(3): 84-87.
- [4] 张立刚, 罗 贇, 廖志伟. HXD1B 型机车故障态动力学性能分析[J] 内燃机车, 2010(1): 18-21.
- [5] 张立刚, 罗 贇, 陈国胜. HXD1 型电力机车故障态动力学性能分析[J] 机车电传动, 2009(4): 10-12.
- [6] 陈 果, 翟婉明. 铁道轨道不平顺随机过程的数值模拟[J] 西南交通大学学报, 1999, 34(2): 138-142.
- [7] TB/T2360—93, 铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准[S] 北京: 中国铁道出版社, 1999, 34(2): 138-142.

(上接第5页)

机车和动车一般调速比小, 而且中间电压一般稳定不变, 电机完全承担调速任务, 在运行过程中, 恒功阶段不采用升压恒功区段。

参考文献:

- [1] 谢鸣皋. 交流传动技术讲座[M] 山西永济: 永济电机公司,

2007.

- [2] 冯晓云. 电力牵引交流传动及其控制系统[M] 北京: 高等教育出版社, 2009.
- [2] 邹浪平. DF_{8DJ} 型内燃机车交直电传动系统[J] 机车电传动, 2010(4): 13-16.