

TQFR-3000型同步牵引发电机的外特性曲线分析

石景主

(江西铜业股份有限公司贵溪冶炼厂, 江西 贵溪 335424)

摘 要: TQFR-3000 型同步牵引发电机在考虑电压电流的限制条件下, 为了充分利用柴油机的功率, 同步牵引发电机外特性曲线和功率曲线应该保持在理想状态。而同步牵引发电机所拥有的自然外特性曲线, 无法使柴油机保持恒定功率。通过对 TQFR-3000 型同步牵引发电机的外特性曲线进行分析并调节, 使同步牵引发电机的外特性曲线和功率曲线达到理想状态。

关键词: 同步牵引发电机; 恒功率; 理想外特性; 自然外特性; 调节系统

中图分类号: TM31

文章编号: 1009-3842 (2022) 01-092-04

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



External Characteristic Curve Analysis of TQFR-3000 Synchronous Traction Generator

SHI Jing-zhu

(Guixi Smelter Jiangxi Copper Company Limited, Guixi 335424, Jiangxi, China)

Abstract: In order to make full use of the power of diesel engine, the external characteristic curve and power curve of TQFR-3000 synchronous traction generator should be kept in an ideal state under the condition of considering the voltage and current constraints. However, the natural external characteristic curve of synchronous traction generator can't keep constant power of diesel engine. By analyzing and adjusting the external characteristic curve of TQFR-3000 synchronous traction generator, the external characteristic curve and power curve of synchronous traction generator reach ideal state.

Keywords: synchronous traction generator; constant power; ideal external characteristics; natural external characteristic; regulatory system

1 引言

内燃机车通过燃油在柴油机气缸内燃烧, 对外膨胀做功而产生机械能, 通过机械连接并借助液力传动装置直接驱动机车, 或通过同步牵引发电机发电后借助电传动系统控制与车轮连接的牵引电机的旋转来驱动机车。与蒸汽机车、燃气轮机车相比, 内燃机车综合能源利用效率更高。内燃机车相比于燃气轮机车有更好的稳定性, 且其牵引的货物重量也非常大^[1]。其中同步牵引发电机是电力传动内燃机车的专用发电机, 为牵引电动机提供电力, 日常称为主发电机, 其主要作用是输出电功率。目前贵溪冶炼厂使用的 GKD2 型内燃机车上安装同步牵引发电机型号为 TQFR-3000。

2 同步牵引发电机的外特性

根据牵引发电机和牵引电动机所用的电流进行分类, 可分为直流电传动和交流电传动^[2]。因直流电机可实现平滑而经济的调速, 通常情况下不需要其它设备的配合, 只要改变其输入或励磁电压电流就能实现调速, 且改变直流电机的正负两极就可快速实现直流电机的正反转切换, 故在过去一段时间内交直流传动在电传动内燃机车上被广泛应用。当前贵溪冶炼厂使用的 GKD2 型内燃机车便是交直流电传动。其采用的 TQFR-3000 同步牵引发电机产生的三相交流电, 通过主硅整流柜将三相交流电整流为直流电, 降低电流的脉动量, 用以提供牵引电动机能源。由于牵引电动机具有一定的电感,

收稿日期: 2021-05-12

作者简介: 石景主(1989-), 男, 江西上饶人, 从事铁路运输工作。E-mail: 375945268@qq.com

其主极、换向极的绕组电感对电流的脉动成分会产生很强的电抗,起到了一定的平波作用,所以整流后的电流脉动量会比整流前更小,因此牵引电动机可以近似地看作是直流电动机。站在整流装置角度看,牵引电动机相当于一个纯电阻性的负载。当同步牵引发电机的转速 n 、励磁电流 I_L 、负载功率因素 $\cos\theta$ 保持恒定时,同步牵引发电机的端电压 U_F 和负载电流 I_F 之间的关系,称为牵引发电机外特性。TQFR-3000 型同步牵引发电机的外特性曲线如图 1。

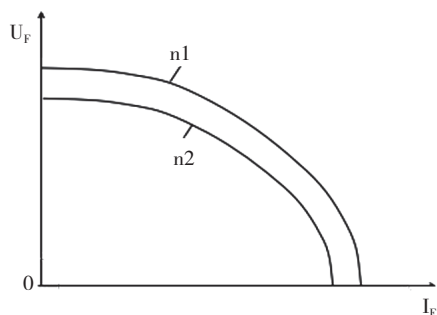


图 1 TQFR-3000 同步牵引发电机的外特性曲线

由图 1 可见, TQFR-3000 同步牵引发电机具有很强的电枢反应。当机车在运行过程中加载后,电枢电流会逐步增大,此时在电枢反应的去磁作用以及电枢线绕组的电阻压降和漏抗压降的作用下,端电压开始下降。但此时磁路很饱和,所以电枢反应的去磁作用并未使端电压产生明显的下降。随着电枢电流的逐步增加,电枢反应的去磁作用也逐渐加强,在达到一个特定值后,电机磁路失去饱和状态,此后,端电压随着电枢电流的增加而迅速下降。因此 TQFR-3000 同步牵引发电机外特性曲线为一根凸起的下降曲线。

3 同步牵引发电机的理想外特性

在交直流传动 GKD2 型内燃机车上,机车柴油机曲轴通过弹性联轴节与主发电机相连构成动力机组^[3]。柴油机发电机组向所有用电设备供电,同时向蓄电池充电。柴油机的输出功率,绝大部分都供给同步牵引发电机,只有小部分供给机车的辅助设备。柴油机的输出功率与同步牵引发电机通过励磁整流柜整流后的电功率之间的关系,可用公式(1)表示。

$$P_F = (N_e - N_f) \times \eta_F \times \eta_Z^{[4]} \quad (1)$$

其中: P_F 为同步牵引发电机输出功率(kW); N_e 为柴油机有效功率(kW); N_f 为辅助设备消耗功率(kW); η_F 为同步牵引发电机效率; η_Z 为主硅整流柜效率。

当同步牵引发电机的电流发生改变时,同步牵引发电机的输出效率和辅助设备的能耗基本保持不变,分析研究时可认为不变。所以,若同步牵引发电机的功率保持恒定,则柴油机的有效功率 N_e 也可以达到恒定的效果,即

$$P_F = U_F \times I_F \times 10^{-3} \approx \text{常数} \quad (2)$$

其中: U_F 为牵引发电机整流后电压(V); I_F 为牵引发电机整流后电流(A)。

由公式(2)可知,若功率 P_F 保持恒定不变,则可以把功率 P_F 近似的看成一个常数,所以 U_F 乘以 I_F 的积也可以看成一个常数。在机车运行过程中,电流会经常发生变化,若想保持功率 P_F 恒定不变,则电压 U_F 和电流 I_F 之间的关系 $U_F = (P_F / I_F)$ 应成反比,如图 2 线段 abcde 所示。因此同步牵引发电机的理想外特性曲线是一根等边曲线,又称为恒功率曲线。

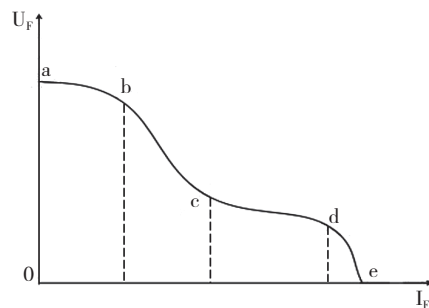


图 2 牵引发电机理想外特性曲线

4 同步牵引发电机的自然外特性

图 3 所表示的是同步牵引发电机的自然外特性曲线。当加载在负荷两端的电流发生改变,若此时励磁电流恒定,同步牵引发电机的输出功率则会产生较大的变化,柴油机的有效功率也会随之产生较大的改变。从图 2 和图 3 两条外特性曲线可以看出,同步牵引发电机自然外特性并不符合牵引发电机理想外特性的要求。但在受最高电压的限制线段 ab、受最大电流的限制线段 de 非常相似,所以,可以在牵引发电机的自然外特性曲线上,通过调节同步牵引发电机的励磁电流,使受最高电压的限制线段

ab 以及受最大电流的限制线段 de 的励磁电流恒定, 而调节 bcd 线段中的励磁电流, 使得同步牵引发电机达到理想的外特性曲线的状态。

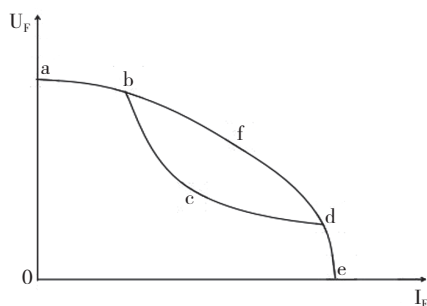


图 3 牵引发电机自然外特性曲线

5 同步牵引发电机的恒功率调节原理

从图 2 可以看出, 在理想外特性曲线 abc 上, 同步牵引发电机的励磁电流或电压会跟随负载电流的变化而发生一定的改变。为了使同步牵引发电机具有理想的外特性, 在恒功率区段 bcd 上发电机的励磁电流必须随着负载电流的变化而变化。这种同步牵引发电机转速不变, 励磁电流 $I_{FL}=f(I_F)$ [5]。这种变化就是同步牵引发电机的调整特性。在 GKD2 型内燃机车上, 设有一台励磁机和励磁整流柜, 用以提供同步牵引发电机直流励磁。内燃机车控制器 DLC(Diesel Locomotive Controller) 通过控制励磁机的励磁, 实现柴油机在一定转速下的恒功率控制 [6]。

恒功率调节过程如图 4 所示, 当机车速度增加, 同步牵引发电机的励磁电流沿自然外特性曲线 I_{FL1} 工作, 待励磁电流上升至 d 点以上时, 同步牵引发电机的功率超过额定功率, 此时柴油机呈现过载状态, 发电机组转速降低。在联调器的调节作用下, 通过提高柴油机的燃油供给量, 从而提高发电机组的转速; 同时, 通过提高悬挂点的位置, 使功率调节滑阀向上移动; 压力油从上油道流入伺服器, 伺服器朝减载的方向移动, 功率调节电阻滑臂随伺服器的移动而逆时针转动, 增大功率调节电阻值, 从而降低同步牵引发电机的励磁电流, 使其电压下降, 直到工况点落在理想外特性曲线 bcd 上, 如图 4 中的 n 点。此时联合调节器进入相对稳定的工作状态, 悬挂点也回到初始的平衡位置, 使同步牵引发电机与柴油机处于一个新的平衡环境。这时的阻值增加了, 同步牵引发电机的励磁电流为 I_{FL2} , 它小

于 I_{FL1} 。

若机车继续加速, 同步牵引发电机电流又会进一步下降, 则同步牵引发电机的励磁电流首先沿着自然外特性曲线 I_{FL2} 工作, 这时柴油机再次呈现过载现象, 发电机组的转速也再一次降低, 联调器再次发生作用, 使同步牵引发电机的工况点再一次落在理想外特性曲线 bcd 上, 这种调节一直持续到图 4 中的 c 点为止, 同步牵引发电机的励磁电流达到最小值 I_{FL3} 。若机车仍在加速, 同步牵引发电机仍沿自然外特性曲线 I_{FL3} 工作, 但这时同步牵引发电机的输出功率已低于柴油机给定功率, 柴油机将呈现欠载, 发电机组的转速也会进一步提高。此时联调器会通过降低柴油机的燃油供给量, 迫使发电机组的转速下降; 同时还通过压力油的作用, 使伺服器朝着增载的方向移动, 从而降低功率调节电阻的值, 使得同步牵引发电机的励磁电流和端电压增加, 最终同步牵引发电机的稳定工况点落在曲线 bcd 上的 m 点, 此时, 励磁电流已经由 I_{FL3} 上升到 I_{FL2} 。同步牵引发电机的工况点由 m 点调整到 b 点也是同样的过程, 调整后的励磁电流则由 I_{FL2} 上升到 I_{FL1} 。

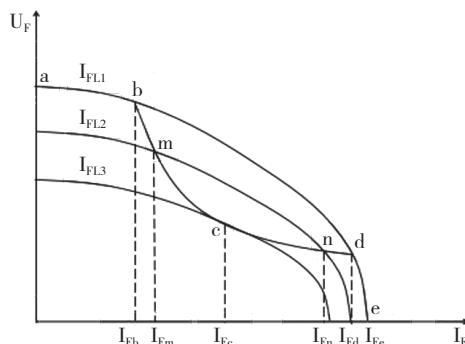


图 4 牵引发电机的特性调节曲线

通过以上分析可知, 在理想外特性曲线 bcd 区段内, 只需通过改变同步牵引发电机的励磁电流就可以使柴油机功率和同步牵引发电机的功率保持恒定不变, 达到恒定功率后, 柴油机的供油量、发电机组的转速都恢复到调节前的初始数值。如图 5 所示, 在曲线 bc 上, 随着同步牵引发电机的输出电流增加, 其励磁电流却在减小, 达到 c 点时, 同步牵引发电机的励磁电流达到最小值; 在曲线 cd 上, 随着同步牵引发电机的电流上升, 励磁电流也会上升。并在 b、d 两点达到最大值且相等。

若辅助装置的功率发生变化, 调整励磁电流的

过程与上述相似。当辅助装置功率发生下降时,柴油机呈欠载状态,此时发电机组转速会反向升高,从而提高同步牵引发电机的输出功率;相反的,当辅助装置的功率增加时,柴油机也随之产生过载现象,发电机转速则开始降低,同步牵引发电机的输出功率也会随之降低,调整后柴油机供油量和发电机组转速恢复到调整前的初始值。在调整过程中,柴油机功率一直保持恒定,使得同步牵引发电机的输出功率得到充分利用。

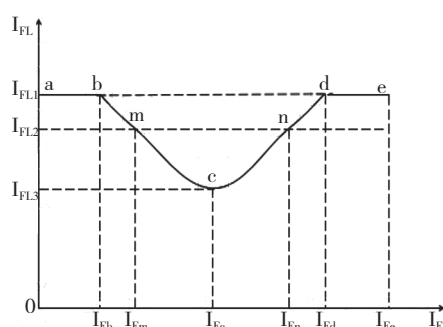


图5 牵引发电机励磁电流曲线

6 结论

内燃机车在一定转速下运行时,同步牵引发电机的输出功率经常处于自动调节状态,使柴油发电机组的有效功率在这种调节过程中保持恒定。在这种动态平衡下,同步牵引发电机使内燃机车拥有了理想的外特性曲线和恒定功率。

参考文献:

- [1] 高天岗. 内燃机车交流传动及控制系统研究[J]. 中国机械, 2014(3):96-97.
- [2] 李小良. 我国内燃机车传动方式研究[J]. 中国设备工程, 2018(1):221-222.
- [3] 蒋斌鹏. 基于内燃机车电气控制系统的研究及改进设计[D]. 成都: 西南交通大学, 2016:8.
- [4] 李旭东. 出口缅甸新型2000HP内燃机车牵引系统设计[J]. 山东工业技术, 2018(10):3-4.
- [5] 王治. DF7G内燃机车微机系统牵引控制策略的研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2016:13.
- [6] 安亮. 钢铁企业GKD_(1A)型内燃机车遥控系统的研制[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2017:18.



党的十八大以来,以习近平同志为核心的党中央把扶贫开发摆到治国理政的重要位置,全面打响脱贫攻坚战。江铜集团积极响应党中央号召,主动落实省委省政府关于脱贫攻坚的决策部署,唯实唯先,善作善成,在全国十余个省市、上百个县乡村开展了一系列行之有效的扶贫工作,为高质量打赢脱贫攻坚战贡献了江铜力量。

据不完全统计,2012年以来,江铜共捐赠2278万元,资助了江西省慈善总会“暖床前”工程,援

助了新疆阿克陶县文化宫建设,支持了九江市第十三届运动会,驰援了疫情防控一线,帮助了受疫情影响的江西华景鞋业有限公司复工复产……江铜的大爱之举获得省委省政府及相关组织的充分肯定和高度评价,被中国红十字总会授予“中国红十字奉献奖章”,获评江西省“2020年新冠肺炎疫情防控爱心捐赠榜样集体”和“2020年‘慈善一日捐’爱心单位”。