永磁调速装置在塔底泵上的应用

李占勇

（南京金凌石化工程设计有限公司，江苏 南京 210042）

摘要：在石油化工企业中，随着炼油化工装置规模的不断扩大、装置类型的不断增多，随着产品结构调整，同一装置存在不同加工工况情况，而此时装置中的大型电动机根据不同工况负载率差别较大，因此电能浪费情况较为严重。通过装置增设永磁调试装置技改项目实例，在不对变电所改造的情况下就达到了节电目的，且装置运行可靠，是一种经济有效的解决方案，对该类工程有一定借鉴意义。

关键词：节电；永磁调速装置；改造

Application of permanent magnet speed regulating device on tower bottom pump

LI Zhanyong

(Nanjing Jinling Petrochemical Engineering Co., Ltd., Nanjing 210042, China)

Abstract: In petrochemical enterprises, with the continuous expansion of the scale of the oil refining chemical plant and the increase of the type of device, with the adjustment of the product structure, the same device has different processing conditions, and at this time the large motor in the device has different load rates according to different working conditions. Big difference, Therefore, the waste of electrical energy is more serious. By adding a permanent magnetic debugging device technical reform project example, the power saving purpose is achieved without transforming the substation, and the device is reliable. It is an economical and effective solution, and it has certain reference significance for this kind of project.

Key words: save electricity; permanent magnet speed regulating device; reform

0 引言

节能是当前世界各国都很重视的一个课题，电能节约是节能的一个重要方面。而电动机是使用最广泛的电气设备之一，所消耗的电能约占全部工业生产用电的60%，其节电问题显得十分重要，直接影响一个企业的经济效益。而电耗又占能耗中的相当比例（据统计在20%～30%之间），石化企业85%以上的电力消耗在交流电动机上，做好电动机电能节约，对提高企业的经济效益及促进国民经济的发展具有十分重要的意义。

电动机使用中浪费电能的主要原因有：设备陈旧、老化；电源电压过低或不对称；运行不当、负载率过低等。对于前两者可以通过将高能耗电动机更新为高效节能电动机、调节变压器分接头档位和加大电缆截面积等措施使电动机端电压偏差满足规范要求的措施来解决。而对于负载率低的情况较为复杂，主要受工艺装置运行工况影响，不同运行工况电动机负载率不同，日常生产中通常是靠泵出口阀截留，

造成能源浪费。对于新建装置或变电所有安装空间场所可以通过增设变频器来实现降速节能，这也是目前应用最广泛的一种措施。而对于一些投用多年的石油化工装置，往往变电所已经无变频器安装位，况且部分电动机为高压电动机，高压变频器体积较大，单台变频器宽度都在4 m以上。因此，在该情况下安装变频器是不现实的，此时必须通过其他方法来解决。本文通过增设另外一种调速装置——永磁调速装置，仅需对现场做局部改造，就可实现调速节能功能。

1 塔底泵现状

1.1 机泵现状

中石化金陵分公司炼油运行一部I加氢裂化装置于20世纪80年代建成投产，随着公司炼油结构调整，装置目前有两种生产方案：当采用催化柴油改质高辛烷值汽油方案时，第一分馏塔塔底循环量仅为240 t/h；采用蜡油加氢裂化方案时，第一分馏塔塔底循环量为380 t/h。而塔底泵的设计循环量为540 t/h，日常生产中只有靠泵出口阀截留。

塔底泵P－108A/B（一开一备）电动机参数如下：额定功率为315 kW；轴功率为255 kW；额定电压为6 kV；额定电流为37.1 A；实际运行电流为27 A；电动机型号为YA2 450－4 W；防爆等级为eII T3。

1.2 机泵控制及变电所现状

两台塔底泵电动机由装置北侧变电所的6 kV高压开关柜供电，正常由现场防爆操作柱开停，控制室DCS设置联锁停机信号及显示开停状态信号。

自装置投运以来，经过不断的扩能改造，变电所内已无备用开关柜安装位，且无法扩建。由于石油化工装置内均为防火、防爆场所，其周边也无新建建筑物可能，因此增设变频器是无法实现的。

2 调速节能原理

根据装置工况的实际需要，通过流量控制元件（如阀门或风门挡板等）实现流量或压力控制，以满足生产过程的需要。由于调节阀通过调节开度实现输出流量的调节，电动机和负载的转速并未发生变化，因此输入功率并不会因为阀门开度变化而变化。当阀门开度小于100%时，流体经过阀门都会造成能量损失，同时在阀门两端产生压力差，特别是在油泵输出端的压力增高，使得油泵的运转点偏离最佳效率点。因此，阀门开度减小时，电动机输入功率不会显著减小，造成能量大量浪费。

离心油泵负载符合下列定律

$$Q_1/Q_2=n_1/n_2 \qquad (1)$$

式中，Q_1和Q_2为流量，m^3/h；n_1和n_2为调速前后的转速，r/min。

$$H_1/H_2=(n_1/n_2)^2 \qquad (2)$$

式中，H_1和H_2为调速前后的压力，Pa。

$$P_1/P_2=(n_1/n_2)^3 \qquad (3)$$

式中，P_1和P_2为调速前后的功率，kW。

从式（1）～式（3）可以看出，当输出流量或压力减少时，按照离心负载的相似定律，电动机功率急剧下降，减少了能源需求，从而大大地节约了能源。

图1为油泵性能及管网特性曲线。图1中，n为油泵性能曲线；R为管网特性曲线；Q为流量；H为压力。从式（1）～式（3）及图1可以看出，当输出流量/或压力减少时，电动机功率下降，减少了能源需求，从而节约了能源。

油泵在运行时，其工作点是油泵$H-Q$曲线与管网$H-Q$曲线的交点。油泵的正常工作点为A，当流量需要从Q_1调到Q_2，且采用阀门调节时，管网特性曲线由R_1改变为R_2，其工作点由A点调至B点，功率为$O-Q_2-B-H_2'$所围成的面积，与A点（$O-Q_1-A-H_1$）相比，功率变化很小，而效率却随之降低；采用调速调节时，可按需要调整电动机转速，改变设备的性能曲线，图1中从n_1到n_2，其工作点由

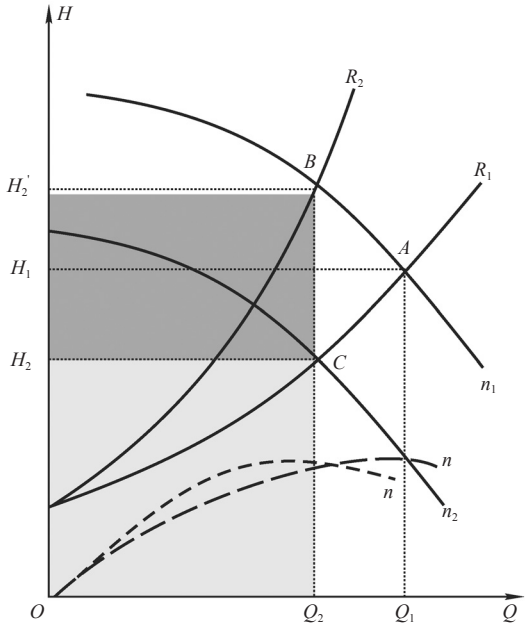

图1 油泵性能及管网特性曲线

Fig. 1 Oil pump performance and pipe network characteristic curve

A点调至C点，使其参数满足工艺要求，功率为$O-Q_2-C-H_2$所围成的面积，相较$O-Q_1-A-H_1$相比，功率降低很大，节能量$P=(H_2'-H_2)\times Q_2$，同时其效率曲线也随之平移，依然工作在高效区[1]。

由于电动机功率随转速三次方变化，故节能效果显著。

3 永磁调速装置原理及安装

3.1 永磁调速装置原理

永磁调速装置由永磁转子、铜转子及调速执行机构组成，永磁转子与负载轴连接，铜转子与电动机轴连接，永磁转子与铜转子间有间隙（称为气隙）。当铜转子随电动机旋转时，铜转子与永磁转子产生相对运动，交变的磁场通过气隙在铜转子上产生涡流，同时涡流产生的感应磁场与永磁场相互作用，从而带动永磁转子沿着与铜转子相同的方向旋转。结果在负载侧输出轴上产生扭矩，从而带动负载做旋转运动。通过调速执行机构调整永磁转子与铜转子间的气隙大小就可以控制传递扭矩的大小，从而实现可调节、可控制和可重复的负载转速，同时实现负载转速的调节。调速执行机构接收标准的4～20 mA模拟量控制信号，自动调节永磁调速器的气隙，实现对负载的转速控制。永磁调速装置结构示意图如图2所示。永磁调速装置控制示意图如图3所示。

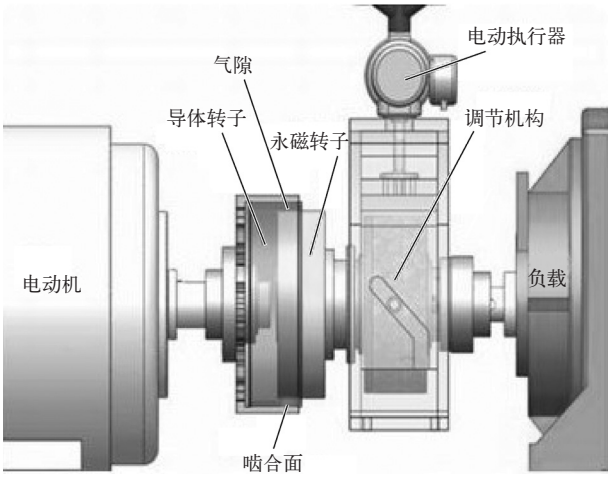

图2 永磁调速装置结构示意图

Fig. 2 Structure diagram of permanent magnet speed regulating device

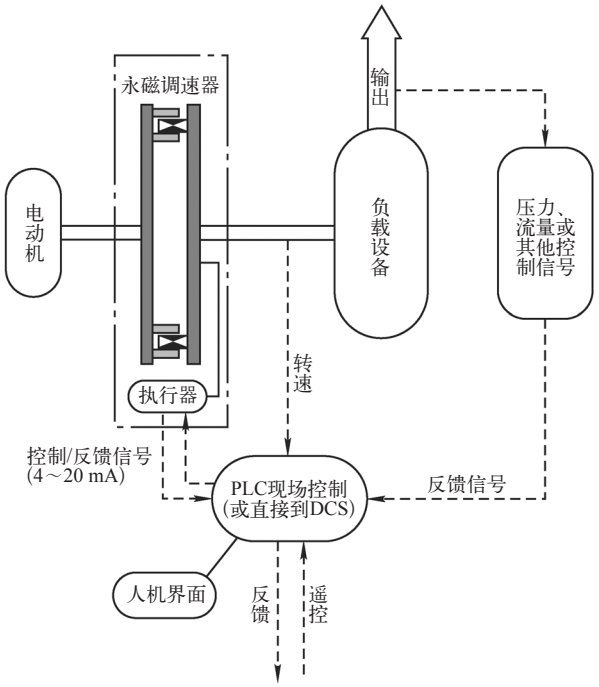

图3 永磁调速装置控制示意图

Fig. 3 Control diagram of permanent magnet speed regulating device

3.2 永磁调速装置的安装

目前塔底泵电动机与油泵之间通过联轴器

连接，本次改造永磁调速装置安装于电动机与油泵之间，中心高度与现有泵的轴中心同高。最初根据永磁调速装置厂家安装资料，要求拆除现有联轴器，将电动机与油泵通过永磁调速装置直接连接。这样只需将电动机向外侧移位425 mm重新安装即可。永磁调速装置一侧直接与电动机轴相连，另一侧采用法兰与泵轴相连。但该种安装方法存在一旦永磁调速装置故障，则必须先将电动机拆除后，永磁调速装置才能拆卸下来维修，对以后维修极为不便。最终改造按保留联轴器方案实施。采用该方案，即使永磁调速装置故障，仅需将联轴器拆卸后永磁调速装置就可以拆卸下来，方便维修。

该改造过程需要结构与设备专业配合，结构专业需对机泵基础进行延伸改造，设备专业需对永磁调速装置及其电动执行机构的安装支架进行设计制作。改造后设备安装图片如图4所示。

图4 改造后设备安装图片

Fig. 4 Device installation picture after transformation

3.3 永磁调速装置的控制系统调试改造

新增永磁调速装置需根据泵出口总管的流量大小调节转速，该过程需要仪表专业配合。通常机泵出口总管流量、压力信号均已上传至控制室DCS，仪表专业需要将流量大小信号转换成标准的4～20 mA调速信号，实现通过流量自动调节转速，也可实现DCS上手动调节转速功能。同时装置的增减速状态信号、温度报警信号、转速报警信号、温度信号、执行器开度信号和转速反馈信号送至DCS显示。

3.4 改造后的节能效果

增设永磁调速装置后，塔底泵达到了节能的效果，现场测量结果显示电动机运行时电流值由原来的27.1 A降至17 A，节电率超过35%，节电效果明显。

3.5 改造后的其他效果

增加永磁调速装置后，机泵的振动幅度可大幅降低，通过对电厂灰浆泵增加永磁调速装置前后振动幅值实测，改造后振动幅度仅为改造前的15%～40%，振动降低60%～85%[2]。

由于改造后电动机与泵之间为软连接，因此电动机起动时相当于空载起动，减小了起动电流过大对系统造成的影响。

4 改进措施

除安装过程中增加联轴器外，对中准确度同样需注意。经查不同厂家资料，各厂家对永磁调速装置的对中准确度要求各有不同，有的厂家标注误差可达到5 mm[3]，而有的厂家要求对中误差不大于0.5 mm。相差如此之大，值得深思，具体对中准确度对产品振动及轴承的影响还需进一步研究。个人认为对中准确度要求还是要高，这样才能保证永磁转子与导体转子间气隙均匀，即交变磁场也均匀，设备振动幅度才小，进而轴承磨损小，同时可以有效避免永磁转子与导体转子接触的现象。

对于一些永磁调速厂家宣传的，如：产品安装体积小，轴向距离短，改造时仅需将电动机后移较小距离即可；产品免维护；增加永磁调速装置后电动机与泵实现软连接，对中准确度要求低等不可盲目接受。永磁调速装置作为一种机械传动装置，在运行中必然存在磨损的情况，免维护显然不太现实，还是要在运行过程中注意对其保养，定期加注润滑油。

本次改造中，严格要求对中准确度，按电动机与泵机械连接准确度安装，同时运行部对其制定了操作维护规程。

5 结束语

2015年装置大修期间进行上述改造后，装置到目前为止可靠运行，在节能方面效果显著，达到了预期效果。永磁调速装置与变频调速装置各有优缺点，选择时可根据实际情况决定。在安装空间受限场所，永磁调速装置优势明显，但改造过程不可一味遵从厂家宣传。希望通过本文实例对有相关困扰的用户起到帮助作用。

参考文献

[1] 中国航空规划设计研究总院有限公司．工业与民用配电设计手册[M]．4版．北京：中国电力出版社，2017．

[2] 刘国华，王向东．永磁调速器在电厂灰浆泵系统中的应用及节能分析[J]．电力设备，2008(10)：34-36．

[3] 刘宏宇．永磁调速系统与节能[J]．上海电力，2008(3)：257-260．

作者简介

李占勇

李占勇（1981－），男，学士，工程师，从事供配电设计工作。

(收稿日期：2019－10－21)EA