

[节能降耗]

调节输煤系统负载提高电动机运行效率的两种实用措施

文/浙江浙能乐清发电有限责任公司 管海民

从节能降耗的角度出发，理论推算出三相异步电动机经济运行的效率范围，给出目前输煤系统的大部分电动机处于轻载运行状态。提出采用斗轮堆取机自动取料和分流挡板角度控制两种实用措施，提高输煤系统的负载，降低输煤单耗。

异步电动机因构造简单，安全耐用，广泛应用于火力发电厂输煤系统中，是电能的最大消耗者。但由于负载率、效率和功率因数都很低，有功损耗和无功占用相对增加，造成了大量的电能浪费。为了解决三相异步电动机运行效率低的问题，国家质量监督检验检疫总局发布了国家强制性标准 BG/T 12497—2006《三相异步电动机经济运行》。在火力发电厂输煤系统的实际工作中，过多地考虑设备的安全性和可靠性，普遍存在着“大马拉小车”的现象，运行效率低下。乐电公司在对三相异步电动机运行效率进行理论推算后，将节能降耗的重点放在提高输煤系统负载上。这样既降低了设备的运行时间，减轻了运行人员的工作量，又提高了电动机的运行效率，经过多年的不断改进，取得了良好的效果。

三相异步电动机运行效率的理论推算

三相异步电动机在驱动机械负载时，输入功率 P_1 不是全部转换成输出功率 P_2 ，因为电动机运行时，自身有损耗。因而电动机效率 η 就是输出功率 P_2 与输入功率 P_1 的百分比，即

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \times 100\% \quad (1)$$

$$P_1 = P_2 + \sum P = P_2 + (P_{Cu} + P_{Fe} + P_{\Omega} + P_{\Delta}) \quad (2)$$

式中， P_{Cu} 是绕组铜耗； P_{Fe} 是绕组铁耗； P_{Ω} 是机械损耗； P_{Δ} 是杂耗。

P_{Fe} 、 P_{Ω} 和 P_{Δ} 是不变的损耗；而绕组铜耗包括定子绕组铜耗和转子绕组铜耗，与电流二次方成正比，属可变损耗。

从上述理论计算可以得出，当电动机空载运行时， P_2 和 η 均为零；带载运行时， P_2 和 η 随之增大，当负载增加至可变损耗等于不变损耗时，电动机效率达到最大值；若负载继续增加， P_{Cu} 随着电流二次方迅速增加，此时电动机效率反而有所下降。故此，电动机的经济运行效率在 $(0.75 \sim 1) P_N$ 范围内。在查看乐电公司输煤系统电动机运行电流后，统计发现大部分电动机在带载运行时，工作电流只有额定电流的一半左右，大部分时间在 $(0.55 \sim 0.85) P_N$ 范围内运行，长期处于轻载运行状态。因而提升电动机效率的空间很大，调节输煤系统的运行载荷，是节能降耗的关键。

斗轮机自动取料系统

斗轮机取料工艺常用作业模式为水平全层取料法，该取料方式有一明显的缺点，即在相同步进距离的前提下，斗轮机悬臂回转角度越大，斗轮取煤深度越浅，如图 1 所示。

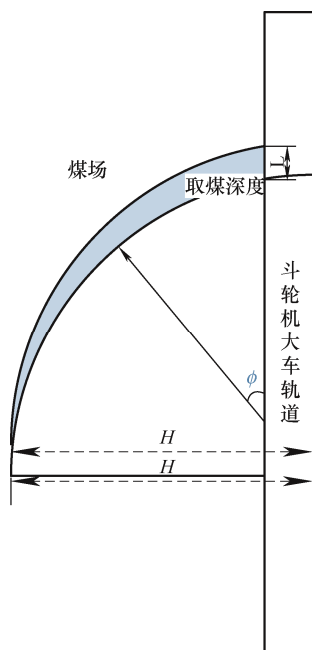


图 1 斗轮机取料深度示意图

通过理论计算得出

$$f = \rho h v L \cos \theta \quad (3)$$

式中， f 是取料流量； ρ 是煤密度； h 是取料层高； v 是斗轮回转速度； L 是斗轮机取料大车步进距离； θ 是斗臂与大车导轨夹角。

从式 (3) 得出，取料流量就是回转角度的函数。

为了提高上仓系统电动机的效率，要保证上仓流量在设备额定出力附近运行。从理论上只要建立悬臂角度与回转速度的控制逻辑，即可解决问题。但受煤层不规则和煤堆塌方等因素影响，如不能实时检测取料流量，仍然解决不了控制负载的难题。

从 2010 年开始，乐电公司就开始探索如何实时流量检测的问题。2010 年采用的图像采集系统因为容易受到外部光线的干扰而淘汰。2014 年在斗轮机自动控制的基础上，引入激光扫描悬臂皮带截面，解决了光线干扰的问题，但现场粉尘的影响和响应时间长，使得这种方式并不理想。2016 年在查阅实际效果时，发现斗轮驱动电

动机的实时电流与取料流量之间有简单的线性关系，而且电流响应时间短，不易受外界干扰。最后决定采用斗轮驱动电动机实时电流 I_1 为基础，建立起简单的线性关系，即

$$f = k I_1 \quad (4)$$

式中， f 是取料流量； k 是设备线性系数，在比对取料实时流量与斗轮驱动电动机实时电流基础上，根据实际数据确定该系数。

在解决上述问题的基础上，斗轮机自动取料系统的回转速度控制，在悬臂回转角度的基础上，结合取料量进行设定，并进行闭环 PID 控制。使取料平均流量，从手动取料的 1 150 t/h 增加至 1 400 t/h，并接近设备的额定出力 1 600 t/h。上仓输煤设备平均负载的提高，使得上仓设备的电动机运行功率大部分时间在 (0.7~0.90) P_N 范围内运行，提升上仓设备电动机的运行效率。

分流挡板角度控制系统

港口火力发电厂的输煤系统的入厂煤流量，受到潮位高低、清舱作业和驾驶人操作熟练程度等因素的影响，入厂煤流量很不稳定。因此，在采用分流上仓运行方式时，上仓系统的运行设备经常处于轻载运行状态。由于上仓系统运输距离长，所以先满足上仓负载是最为经济高效的方法。

为调控上仓系统的负载，在广泛应用于输煤系统的三通挡板上进行技术改造。如图 2 所示，入厂煤流从上方以抛物线的轨迹进入，当 $\angle \gamma$ 为零时，煤流全部进入煤场；当 $\angle \gamma$ 为最大值时，煤流全部进入煤仓； $\angle \gamma$ 角度不断增大，分流上仓的煤量也随之增加， $\angle \gamma$ 角度值与上仓的流量对应关系受各种因素的影响，只能从现场调试获得。为了提高分流挡板的分流效果，在普通落煤筒内壁增装可调倾角的挡煤板，尽可能地将煤流引至三通落煤筒中心位置。

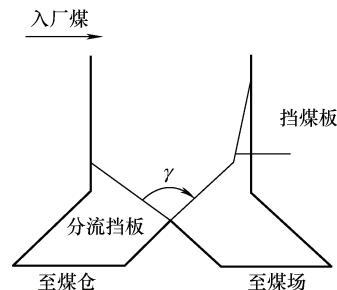


图 2 分流挡板示意图

(下转第 65 页)

换；二是增加自耦变压器降压起动球磨机同步电动机风险应急旁路，在变频器切换工频无法完成时，确保能够起动球磨机。技改配电电气设计图如图 3 所示。

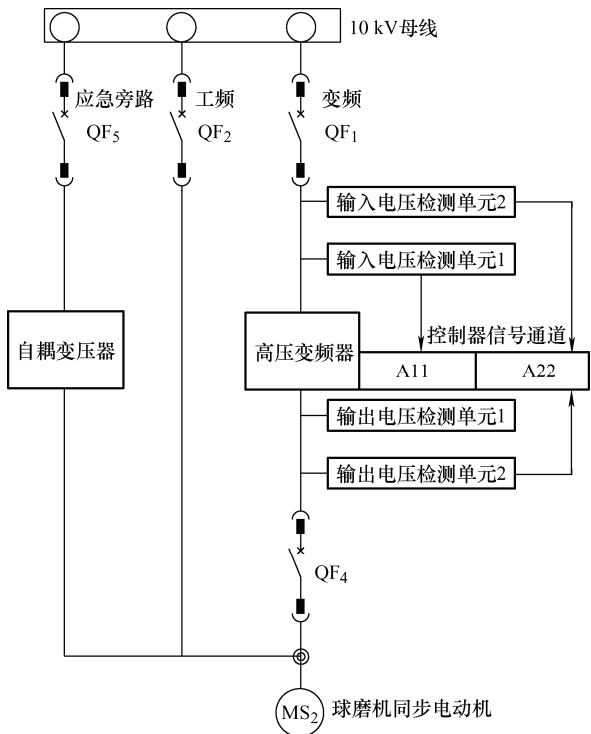


图 3 球磨机同步电动机技改配电电气设计图

与原来电气配置比较，此次技改设计保留了原来一台变频器起动两台磨机的高效设计，半自磨机的变频拖动运行回路不变，只是从起动球磨机同步电动机的可靠性角度入手解决问题。一是把变频器锁相信号检测传输单元由单路扩展为双路，提高信号容错率；二是增加一台自耦变压器和一台高压断路器 5QF 构造风险应急旁路，形成冗余热备用。通过这样的设计改造，变频器的锁相信号检测成功概率提升 1 倍，与应急旁路叠加后球磨机同步电动机的起动可靠性提高了 2 倍。

结束语

通过对金徽矿业变频器起动球磨机同步电动机的投切工频问题针对性技术改造，既保留了原来经济高效的电气设计，又提高了可靠性，满足了生产需要，对大型磨机电动机的可靠起动应用具有较大的推广借鉴意义。EA

(收稿日期：2021.01.23)

(上接第 62 页)

在自动控制上，在分流挡板的上一级皮带机上，安装激光扫描检测带式输送机上的煤流截面，通过积分运算，得出入厂煤瞬时煤量。为满足控制需要，该装置应采用一类激光，分辨率 0.050，响应时间 0.1 s，扫描频率不小于 15 Hz。分流挡板角度检测传感器则固定在分流挡板的驱动臂上。煤量和角度以 4~20 mA 模拟量信号传送至输煤程控。由于皮带机的速率是不变的，所检测的煤量流至分流挡板的时间也是不变的。根据入厂煤量的大小，每个流量区间对应不同的分流挡板角度。考虑到不同的落煤筒结构和煤流进入分流挡板上方的不规则流向，挡板角度的设定必须根据实际情况试验确定，编写分流挡板的角度控制程序，实现自动闭环控制。使得分流上仓时，上仓设备的平均负载接近设备的额定出力。

结束语

自 2011 年 3 月开始，斗轮机自动取料系统和分流挡板角度控制系统在乐电公司陆续投运，并在实际应用中不断创新改进，该公司近十年来的输煤单耗趋势曲线如图 3 所示。

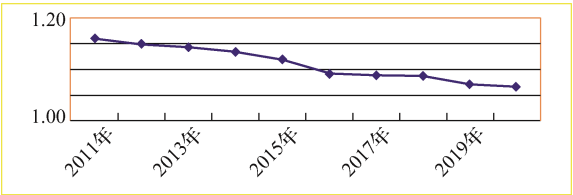


图 3 输煤单耗趋势曲线

上仓系统的负载调控日趋平稳可靠，电动机效率稳步上升，安全经济效益不断显现。EA

(收稿日期：2021.03.22)