

水泥厂应用变频调速器综合技术报告

近一、两年我国大量引进变频调速器为各行各业进行节能改造，水泥厂的罗茨风机、立窑卸料机，供水泵等设备应用变频调速器，经过国内特别是广东的多个水泥厂的应用，长期测量的数据（如江门市水泥厂的统计数据）表明，节能效果是相当惊人的，每生产一吨水泥平均节约 43% 的电耗量。由此可见水泥行业使用变频器有明显的节能效果，是目前最为先进的设备，也是水泥厂今后技改的一个重要方向。为了让更多的厂家认识这种先进的节能技术，大胆应用，在此将变频调速器节能的原理，以及安装调试，使用中的问题作一个综合报告。

一、罗茨风机应用变频调速的节能原理

我国水泥厂较多采用立窑配备 155 ~ 215 KW 罗茨风机，传统的风量控制办法是倚靠放风阀进行调节。由于罗茨风机的供风量较为恒定的，煅烧时根据窑的情况需要随时调节风量，当窑内需要少风量时，通过放风阀放走多余的风量，造成严重的能源浪费。怎样才能节省放风所浪费的能源呢？当然最根本的办法是控制罗茨风机的转速，进行风量调节，保证窑内需多少风量就供多少风，完全免除放风所造成的浪费。因此把风机的节能问题会聚焦点，成为风机无级调速的问题，针对 155 ~ 215 KW 或更大功率电机、风机、无级调速的课题，专家们不懈的努力进行研究、攻关，最终是变频调速的方法，获得了成功。无论是造价、可靠性、改造周期是最为适合大面积推广使用的。直流电机调速的方法，如此大功率的直流电机造价很昂贵更主要的是在水泥厂大粉尘环境下，直流电机的电气寿命很短，因此无法应用。液力耦合器的调速效率较低，并需要改基础，改造周期一个多月。根据国内多个水泥厂应用结果表明，平均节能在 5 ~ 10%，这个节能效果比起采用变频调速的方法节能在 30 ~ 45% 是无法比拟的，因此很多厂家纷纷放弃液力耦合器采用变频器。

已经采用变频调速技术的厂家通过实践，实测对其可靠性，节能效果是毫不怀疑了。但是对于尚未使用过的厂家来说，会有这样的疑问，在其它厂使用也许有它的特定条件，因此有此效果，它是否适合自己的设备呢？不能下一个定论。在此我们在理论和实践上阐明，怎样估计未使用变频器的风机的节能效果。

罗茨风机的风压是不受风机转速限制的，不论转速变化如何其风压可以保持不变。而风量则与风机转速成正比的，如公式（1-1）

$$Q = K N \quad (\text{式 } 1-1)$$

Q：表示风量 N：表示风机转速 K：为系数因此风量调节，完全由变频器改变电机频率达到无级变速，起到调节风量的效果。根据现场应用工艺风机的最低频 15 Hz，通常在 35 Hz 左右，有个别时刻 50 Hz 满风量运行，由于立窑工艺基本是一致的，因此在不同的立窑风量调节量是基本相同的，凡立窑应用变频技术都可以获 40% 左右的节能效果。

二、立窑卸料调速电机改造

立窑卸料机是采用 18.5 ~ 30 KW 的滑差调速电机，转速通常控制在 300 - 1000

0 0 r p m，这是工艺上根据窑的情况，对卸料速度进行控制的。采用变频调速的方法取代滑差电机经过多个厂家的应用结果表明，平均节能量 4 0 % 左右、为什么对滑差电机进行变频改造会有如此大的节能效果呢，因为利用滑差调速方法是一种耗能的低效调速方法，如公式（2-1）滑差电机主电机轴输出功率：

$$P_0 \propto M_0 * N_0 \quad \text{式 2-1}$$

P_0 ：表示轴输出功率

M_0 ：表示负载转矩

N_0 ：表示主电机转速

滑差头输出功率：

$$P_1 \propto M_0 \cdot N_1 \quad \text{式 2-2}$$

P_1 ：表示输出功率

N_1 ：表示滑差头转速

滑差头损耗功率：

$$\Delta P = P_0 - P_1 \propto M_0 (N_0 - N_1) \quad \text{式 2-3}$$

由滑差头损耗功率公式（2-3）可以清楚看到，滑差电机的转速越低，浪费能源越大，然而卸料机的转速通常在 4 0 0 r p m 左右运行，因此改用变频调速的方式会有 5 0 ~ 6 0 % 的节能效果。在水泥厂中除了立窑卸料机是采用滑率调速电机，还有很多设备同样是采用滑差电机，要进一步挖潜应全面对低效耗能的滑差电机进行变频改造，节能前景大有可为。

三、离心式风机、水泵类设备的节能原理

有某些水泥厂是采用高压离心式风机进行供风的，该种水泥窑的风量调节是通过风门开启度对风量进行调节。对于离心式风机、水泵的变频调速改造同样有巨大的节能潜力。我们通过沸腾式锅炉高压离心式风机应用变频调速的方法调节风量，实践证明其节能效果在 3 0 ~ 5 0 %。对于水泵的变频改造节能效果高达 7 0 %。为什么离心式风机，泵类设备通过调速调节风量或流量有如此惊人的节能呢？在此将其原理加以阐明。离心式风机、泵类设备的流量与转速成正比，如公式（3-1）压力与转速平方成正比，如公式（3-2）功率与转速的立方成正比，如公式（3-3）

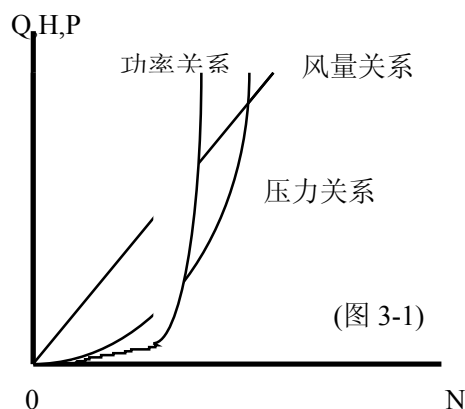
$$Q \propto N \quad \text{式 3-1} \quad Q: \text{表示流量}$$

$$H \propto N^2 \quad \text{式 3-2} \quad N: \text{表示转速}$$

$$P \propto N^3 \quad \text{式 3-3} \quad H: \text{表示压力}$$

P ：表示功率

将经上 3 个公式绘成一张图，如图 3-1 可以清楚看到，改变转速其流量线性变化的，而功耗则是立方关系变化，因此在调节风量或流量时如降低 2 0 % 的风量或流量，功耗则会下降 5 0 %。但是必须注意，转速与压力是平方关系，当转速下降 2 0 % 压力则会下降 6 4 %，因此必须要注意工艺要求压力范围不能象罗茨风机那样，不用考虑转速与风压的关系。



(图 3-1)

离心风机、泵类设备传统的风量、流量控制的，大量的能源耗在风门或截流阀的阻力上，如公式（3-4），风门或截流阀控制流量的功耗与流量关系：

$$P = P_0 + K \cdot Q \quad \text{式 3-4}$$

Q：表示流量 K：为系数

P：表示功耗 P₀：表示基本功率

由图 3-2 比较风门或截流阀控制与变频调速调节，可以看到在流量变化范围，采用变频调速的方法具有很大的节能潜力，因此在水泥厂的供水泵或其它离心风机上进行变频改造同样会取得很大的节能效果。

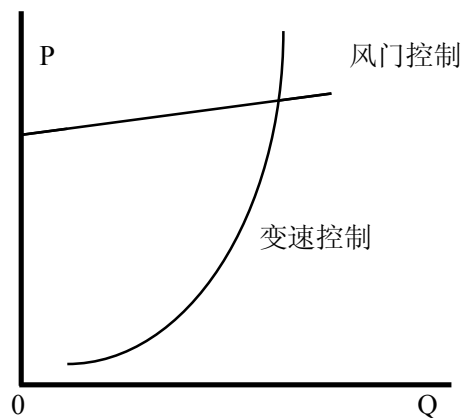


图 3-2

四、变频调速的基本原理及特性

对于普通异步电机的无级调速，必须采用变频变压，同时进行的方法才能够实现，异步电机的调速如，公式（4-1）因此利用变频技术，调整电机的供电频率，使电机得到任意转速。

$$N = 60 f (1 - S) / P \quad \text{式 4-1}$$

N：表示转速 f：表示频率 S：表示滑差率 P：表示电机极对数

从电机的设计特性，如单纯改变频率，会造成严重的磁过饱和或转矩变软，根据电机转矩特性公式（4-2）可知只要在频率 F 变化时，电压 V 跟踪变化，保持压频比 V / F 为常数，即可保证电机在变频调速的同时，保证恒转矩输出。如图 4-1 所示

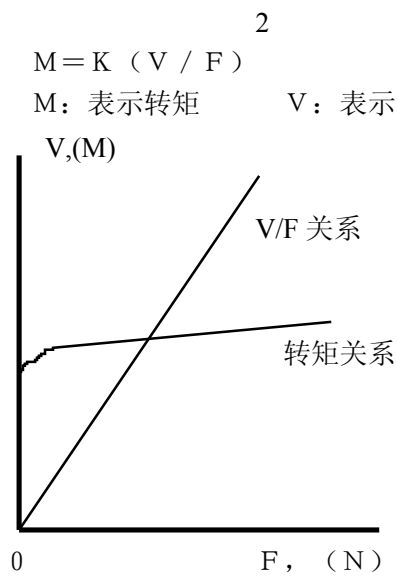


图 4-1

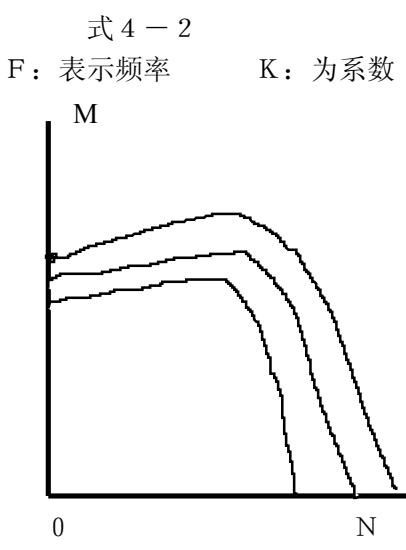


图 4-2

即可恢复生产。

、电机及水泵的变频改造

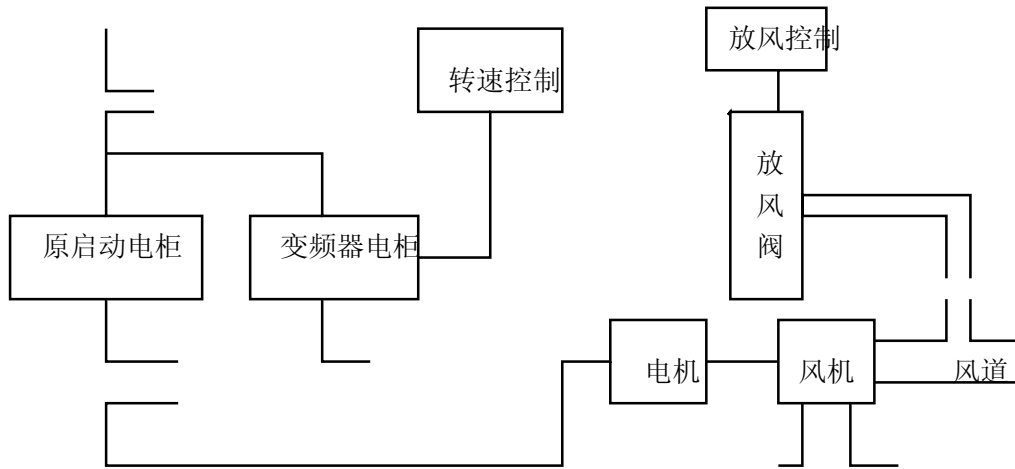


图 5-1

滑差调速电机的变频改造：改造滑差调速电机有两种方法。

首先是切换滑差电调速电机，改用普通异步电机，由变频器直接控制转速如图 5 - 2 ，将原来的滑差电机拆除换上异步电机，将原调速控制改为变频控制，这种改造方案，在机械结构上需要换电机及电气改造，需要时间不多，可以让调速系统发挥最高效率。

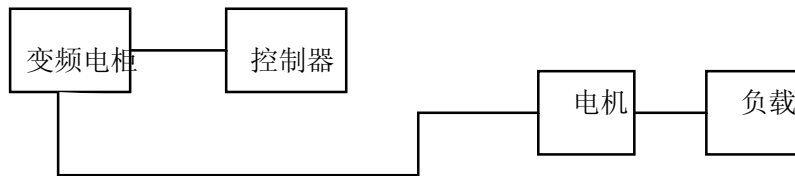


图 5-2

另外一种方法是无需更换滑差调速电机，用变频器直接控制滑差调速电机的主电机转速，将滑差头控制器设定在最大转速。如图 5 - 3 所示，这样减少了机械改造工作。但节能效果因滑差头有所损耗，会比直接用异步机调速的方法低 1 0 % 左右。

供水泵的恒压供水改造方案：

在工业生产中，用水几乎是每一个工厂必不可少的，水泥厂同样不会例外，但由于工厂用水不是每时每刻都处于恒定状态。因此水泵的流量不加控制的话，在用水低峰期，泵口压力增加，浪费能源，根据上文论述的泵类负载的节能原理，利用变频器对水泵进行调速。即可达到节能目的。如图 5 - 4 所示，采用压力传感器 P I D 调节器与变频器构成一个闭环自动控制回路，使整系统自动控制流量，保持压力恒定，从而使供水泵在最佳节能状态运行。

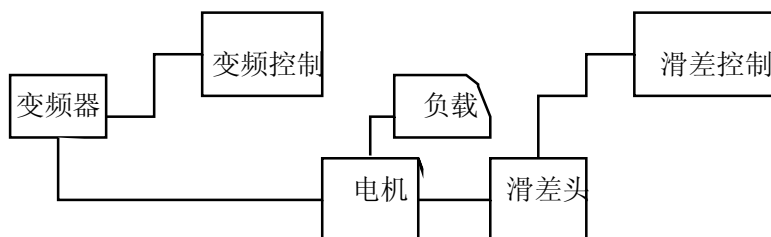


图 5-3

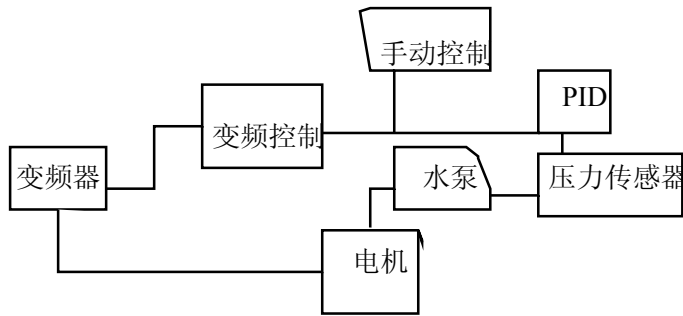


图 5-4

六、安装、调试、使用变频器应注意的几个问题

1、变频器通常是安装在配电室内，环境温度不要超过 40°C ，灰尘要较为小，特别注意避免导电性、保湿性和腐蚀性，粉尘和气体的环境安装设备。

2、电气安装时要特别注意，电源输入输出线绝对禁止错接，将电源输入线接上变频器的输出，如发生错误即马上损坏设备。

3、远距离控制线必须采用屏蔽线，并且在布线范围内必须与电力动力线相距一米，相交时必须转 90° 角，更不要将控制线与动力线放在同一个线框内，被免控制信号受到干扰。

4、变频器开机调试前必须根据负载特点，将所有参数设定好，检查无错误方可开机运行，特别注意变频器输出电流，在起动过程中，恒转速过程中，减速过程中，认真观察，如果第一次设定的参数不是十分理想时，应逐步接近。具体调试规则请参看本公司的《变频器调试手册》。

5、总结各家水泥厂在罗茨风机、立窑卸料机、水泵等设备应用，变频器所碰到的问题以及解决方法在此向各厂家作一个简介。

(1)、机械共振问题：有个别厂家在使用变频器前，无机械共振现象的。但利用变频调速之后，在某些频率，机械共振很强烈，有的甚至影响到整座建筑，其原因是原风机系统只是设计在 50Hz 市电下运行，改变频后，则在 $15 - 50\text{Hz}$ 之间无级变化。因此在某些频率点上造成机械共振，调试时必须细心检查是否存在机械共振的问题，如果有应采用频率回避的方法，即在发生共振的频率范围，跳过该频率范围使变频器不输出发生共振的频率范围。

(2)、电机低速运行的散热问题：由于电机的散热是由电机转子带的风叶吹风进行的，电机的转速降低时，吹风量减小，低速时，散热风量不够，长期运行会造成电机过热，因此在长期低速运行时，必须另加散热风扇。