

# 高压电机启动方式的特性比较和分析

邵少奇

(盈德气体公司, 浙江省杭州市朝晖路 203 号深蓝广场写字楼 26 楼 310000)

**摘要:** 简介大型高压电机的启动方式, 通过采集到的空压机实际运行曲线和数据, 对自藕变压器、极板可移动式水电阻和热变电阻式水电阻 3 种空压机电机的启动方式进行了比较和分析。

**关键词:** 空压机; 电机; 启动

**中图分类号:** TH452      **文献标识码:** B

## Comparison and analysis of the start-up modes of high-voltage motor

Shao Shao-qi

(Yingde Gas Corporation, 26th Floor, Shenlan Square, 203 Zhaohui Road, Hangzhou 310000, Zhejiang, P. R. China)

**Abstract:** A brief introduction focuses on the start-up modes of large scale high-voltage motor. The practical operating curves and data of air compressor are collected to make comparison and analysis of three start-up modes, i. e., the autotransformer mode, the movable-plate water-resistance mode and the thermal-resistor water-resistance mode.

**Keywords:** Air compressor; Motor; Start-up

大型空压机电机的启动方式, 往往根据设计人员个人对启动方式的理解和掌握情况来确定。盈德气体公司有 3 套大型空分设备的空压机和电机为同类型、等容量, 但采取了自藕变压器、极板可移动式水电阻和热变电阻式水电阻 3 种不同的启动方式。现根据现场采集到的实际启动曲线对这 3 种电机启动方式进行比较和分析, 供参考。

### 1 常用高压电机启动方式

#### 1.1 直接启动

直接启动就是在全电压条件下直接启动电机。如果电网条件允许, 可以采用直接启动。但在实际生产过程中往往由于电网容量有限, 很少采用直接启动。由于采用直接启动时, 启动电流大, 使电压下降幅度较大, 对于供电系统有较大的冲击, 如果压降超过一定值, 有可能导致上级变电所跳闸。故

在实际运行中很少采用这种直接启动方法。

#### 1.2 串联电抗器启动

串联电抗器启动就是在电机启动的时候串入电抗器, 以限制和降低电机启动时的启动电流及电网压降, 当电机运行稳定且电流达到一定值时, 切除电抗器变为电机直接启动模式。由于启动过程中电机端的电压也下降, 容易导致启动转矩不够, 在启动过程中还会出现一个二次冲击的过程。

#### 1.3 自藕变压器启动

自藕变压器启动就是在电机启动的时候, 通过可选择的自藕变压器的中间插头进行降压启动, 当电机运行稳定或电流达到一定值时, 切除自藕变压器, 进入正常运行方式。自藕变压器在启动过程中的启动电流相对较小, 但有一个二次冲击, 对电网和电机等设备都有一定的冲击。

收稿日期: 2008-01-17; 修回日期: 2008-04-07

作者简介: 邵少奇 (1980—), 男, 电气工程师, 毕业于武汉化工学院 (现武汉工程大学), 现在盈德气体公司从事电控设计工作。

### 1.4 变电阻软启动

变电阻软启动包括热变电阻启动和液阻启动，主要通过回路中串入可变的液态电阻来分担部分压降。随着启动时间的推移，可变电阻上的压降减少，最终使高压电机顺利启动。变电阻启动方式在启动过程中的启动特性较好，但不适宜频繁启动。

### 1.5 磁控软启动

磁控软启动就是通过调节可控硅的导通角来调节电抗器磁通量的改变，从而改变电机端的电压大小，达到电机较为平稳启动的目的。但技术不够成熟，目前应用也不是很广泛。

### 1.6 变频软启动

变频软启动就是利用可控硅元件的通断作用将工频电源变换为另一频率的电源，主要采用“交—直—交”方式（VVVF变频或矢量控制变频、直接转矩控制变频），先把工频交流电源通过整流器转换成直流电源，然后再把直流电源逆变转换成频率、电压均可控制的交流电源，供给电机，来达到平稳启动的目的。现在，矩阵交交变频也在发展中。变频软启动与其他启动方式相比具有很大的优越性，随着技术的发展，是最具有发展前景的高压电机启动方式。

## 2 空分设备高压电机启动方式的选择规律

电机拖动空分设备空压机，并不需要进行调速处理，大型空压机也不是需要进行频繁启动的设备。变频软启动虽然效果好，但目前投资过大，缺乏经济性，在电网条件允许的情况下不建议采用变

频软启动；磁控软启动是一种新技术，技术的成熟性还有待考证。因此，目前对于大型空压机的启动方式主要还是考虑采用自藕变压器启动、电抗器启动和变电阻软启动。

## 3 空压机和电机的相关参数

### 3.1 空压机参数

空压机的轴功率：8668kW；额定转矩：55932N·m，折算到电机额定转速时的转动惯量（GD<sup>2</sup>）为2700kg·m<sup>2</sup>；转速为0时的阻力矩/额定转矩：0.1；转速为额定转速时的阻力矩/额定转矩：0.3；进气节流装置充分关闭时的启动阻力矩：5593.2N·m

### 3.2 电机参数

异步电动机的额定功率：10000kW；额定电压：（10±5%）kV；额定电流：645A；全电压启动电流：5I<sub>e</sub>；额定转速：1491r/min；额定效率：97.5%；功率因子（cosφ）：0.92；转子GD<sup>2</sup>：976kg·m<sup>2</sup>；额定转矩：64059N·m；启动转矩/额定转矩：0.5；最大转矩/额定转矩：2.2。

### 3.3 空压机入口导叶开度、转矩与电机转速的关系

空压机入口导叶开度、转矩与电机转速的关系如图1所示。

### 3.4 电机转矩、电流、电压、速度及空压机导入转矩的关系

电机转矩、电流、电压、速度及空压机导入转矩的关系如图2所示。

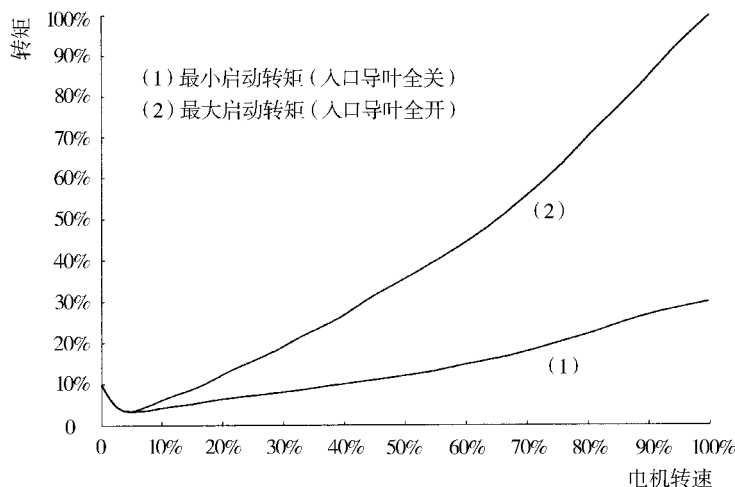


图1 空压机入口导叶开度、转矩与电机转速的关系

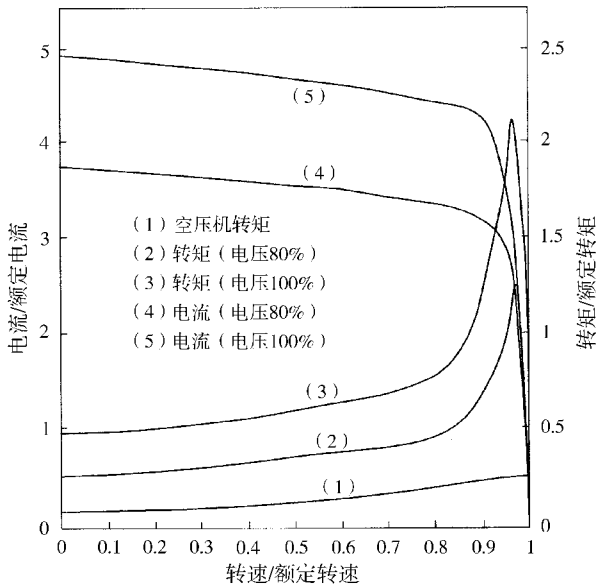


图2 电机转矩、电流、电压、速度及空压机导入转矩的关系

### 3.5 电机转矩与空压机转矩的配合关系

为了保证电机能够顺利拖动空压机，在启动的瞬间，电机产生的启动转矩必须大于电机和空压机转速为0时的综合阻力矩（空压机入口导叶接近全关）之和；为了保证空压机能够稳定运行，电机产生的启动转矩必须大于空压机阻力矩的10%~15%。从图2可以看出：在空压机入口导叶全开的情况下，可能会使空压机无法平稳启动及启动后无法稳定运行，故在启动后要将电机切换到全压运行，以保证设备长期、稳定运行。

## 4 采集到的3种启动方式的实际运行曲线

### 4.1 自藕变压器启动方式

电网的主要技术参数：最大运行方式下的短路容量：587.99MVA；最小运行方式下的短路容量：322.5MVA；主变容量为3×50MVA的变压器；短路阻抗：14%；母线电压：10kV；基准电压：10.5kV；频率：50Hz；采用10kV电缆进线；启动时采用2×50MVA的变压器。

采用自藕变压器启动的一次方案主接线如图3所示。

控制过程说明：启动步骤：在接收到启动信号后，首先闭合断路器QF2，延时约1秒后闭合断路器QF1，电机进入降压启动过程，待电机降压启动完成时断路器QF2断开，延时约1秒后闭合断路器QF3，启动完成进入全压运行状态；停止过程：在接收到停车信号后，首先断开断路器

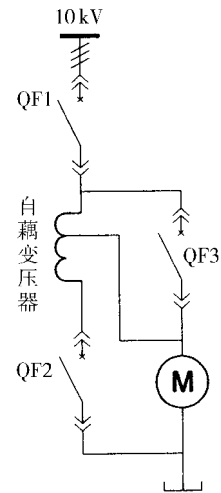


图3 采用自藕变压器启动的一次方案主接线图

QF1，由断路器QF1联锁断开QF3，停车过程完成。

采用自藕变压器进行启动的方式，二次侧接的是采用75%的一次侧端电压，实际启动电流是2000A，约为额定电流的3.1倍；电压下降幅度为0.7kV（从10.6kV降至9.9kV）。自藕变压器按二次侧电压额定电压的78.8%、75%、71.2%为3个设计点进行设计，即引出3个端电压。

采集到的实际运行曲线如图4所示。

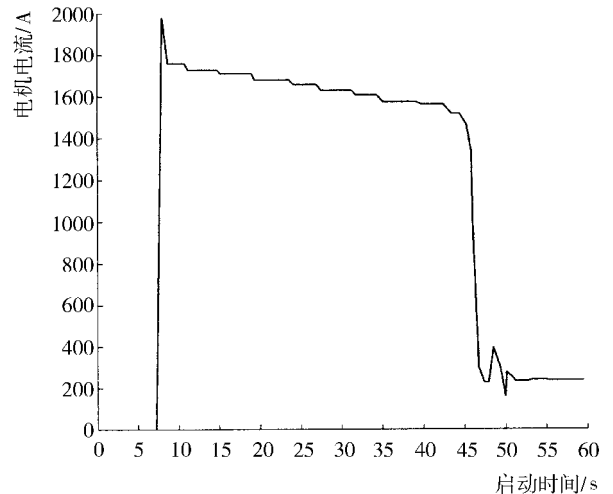


图4 采用自藕变压器降压启动的空压机实际运行曲线

### 4.2 极板可移动式水电阻启动方式

电网的主要技术参数：最大运行方式下的短路容量：435MVA；最小运行方式下的短路容量：302.5MVA；主变容量为63MVA的变压器；母线电压：10kV；基准电压：10.5kV；频率：50Hz；采用10kV电缆进线；启动时采用1×63MVA的

变压器。

采用极板可移动式水电阻启动的一次方案主接线如图 5 所示。

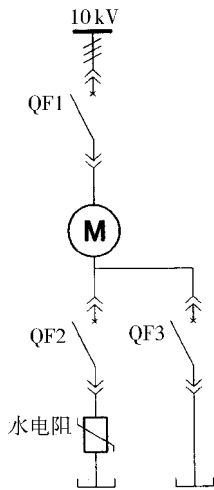


图 5 采用极板可移动式水电阻启动的一次方案主接线图

控制过程说明：启动步骤：在接收到启动信号后，首先闭合断路器 QF2，延时约 1 秒后闭合断路器 QF1，电机进入降压启动过程，待电机降压启动完成时闭合断路器 QF3，由断路器 QF3 联锁断开断路器 QF2，启动完成，进入全压运行状态；

停止过程：在接收到停车信号后，首先断开断路器 QF3，由断路器 QF3 联锁断开断路器 QF2，停车过程完成。

图 5 中的断路器 QF2 可以用线路隔断来替代，但需要进行手动操作；在电机功率较小的情况下，也可采用真空接触器进行联锁控制。

采用极板可移动式水电阻启动方式，启动时的电流为 2150A，约为额定电流的 3.33 倍，电压下降幅度为 1.1kV（从 10.6kV 降至 9.5kV），将启动电流为额定电流的 3 倍作为设计点进行设计。

采集到的实际运行曲线如图 6 所示。

#### 4.3 热变电阻式水电阻启动方式

电网的主要技术参数：最大运行方式下的短路容量：644MVA；最小运行方式下的短路容量：372MVA；主变容量为 50MVA 的变压器；母线电压：10kV；基准电压：10.5kV；频率：50Hz，采用 10kV 架空进线；启动时采用 1 × 50MVA 的变压器。

采用热变电阻式水电阻启动的一次方案主接线和控制过程与采用极板可移动式水电阻启动方式相同。

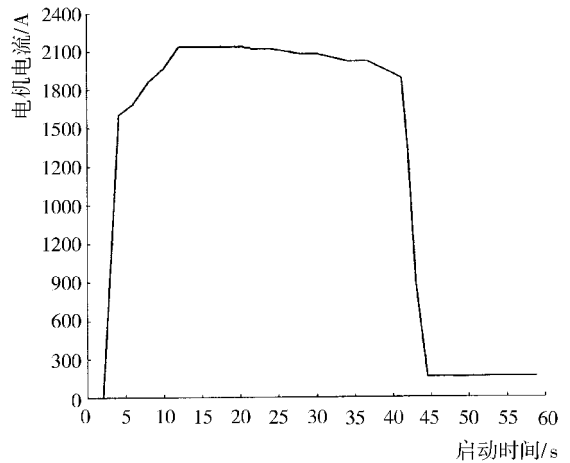


图 6 采用极板可移动式水电阻启动的空压机实际运行曲线

采用热变电阻式水电阻启动方式，启动时的电流为 2100A，约为额定电流的 3.26 倍，电压下降幅度为 1.3kV（从 10.7kV 降至 9.4kV），将启动电流为额定电流的 3 倍作为设计点进行设计。

采集到的实际运行曲线如图 7 所示。

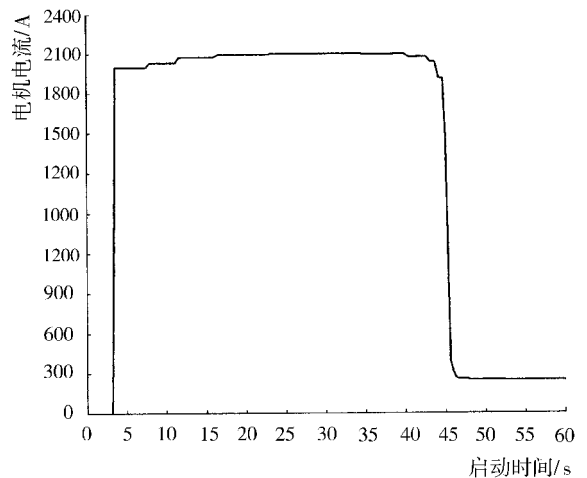


图 7 采用热变电阻式水电阻启动的空压机实际运行曲线

### 5 3 种启动方式的比较和分析

根据目前实际采集到的启动曲线情况来看，这 3 种启动方式都无特别明显的优势和特别大的区别，3 种不同的启动方式将电网的压降值都控制在电网允许的范围内，启动电流的倍数都控制在额定电流的 3 倍左右，启动时间都控制在 42 ~ 45 秒内。由于各地现场的情况不完全一致，实际运行情况肯定受其他启动因素的影响，所以认为这 3 种启动方式都是大型电机比较理想的启动方式，其对电网产生的压降大小除了和当地电网容量有很大关系外，

和其上级主变压器的容量也有密不可分的关系。

采取不同的电机启动方式启动空压机时的技术参数比较见表 1。

表 1 采取不同的电机启动方式启动空压机时的技术参数

参 数	自藕变压器	极板可移动 式水电阻	热变电阻式 水电阻
电源的进线方式	电缆进线	电缆进线	架空进线
电网最大短路容量/MVA	587.99	435	644
电网最小短路容量/MVA	322.5	302.5	372
启动时主变容量/MVA	2 ×50	63	50
电网电压下降情况/V	700	1100	1300
启动时的电流值/A	2000	2150	2100
启动时的电流倍数	3.1	3.33	3.26
带空压机启动时间/s	42	43	44

对这 3 种启动方式的基本优缺点进行分析：

(1) 自藕变压器启动方式的主要优点在于后期不需要维护，而且容量可以设计得很大，在国外也被广泛使用，并且占地面积也相对较小，需要的土建投资成本比较低，但设备本身的投资成本相对较高；缺点就是自藕变压器只有 3 个端头，端电压可调节范围有限，启动时产生的一个二次冲击会对电网和设备造成冲击。

(2) 相对来说，极板可移动式水电阻启动方式启动的初始电流要小，由于极板的移动是靠小变频器和伺服电机拖动，极板的可靠性从理论上讲，比热变电阻式的固定极板低；极板可移动式水电阻启动的优点是电阻值可调，可在现场随时调整启动阻值，来达到调节电机端电压及母线电压的目的，启动完成时无二次冲击。

(3) 热变电阻式水电阻启动方式在启动过程中电流波动比较小，电压下降幅度也属于正常范围，其他数据（如电流、启动时间、电流倍数）也基本与极板可移动式水电阻启动方式相同。热变电阻式水电阻启动方式的优点也是电阻值可调，虽与极板可移动式水电阻调节阻值相比，较烦琐（现在热变电阻也已经出现了在启动前可以调整极板，在启动过程中极板不动的改进型热变电阻式水电阻），但由于极板在启动过程中不变化，所以安全性优于极板可移动式的水电阻。启动完成时无二次冲击。

(4) 极板可移动式水电阻和热变电阻式水电阻启动方式的共同缺点，是每次启动后液体温度上升较大，不能在短时间内多次启动。启动容量设计得不大，目前还只是在功率为 18000kW 以下的电机上应用，主要还是集中在功率为 12000kW 以下的电机。占地面积很大，土建投资成本相对较高，后期需要进行维护。

## 6 结束语

在选择大型电机常用的降压启动方式时候，要结合电网条件、启动设备的价格、占地面积和土建投资等各方面综合考虑。如果是特大型电机和比较注重启动装置的后期免维护性，那就选择自藕变压器启动方式；在场地面积小、配电房面积有限的情况下，也建议采用自藕变压器启动方式。在场地条件允许的情况下，要考虑土建投资和设备投资的性价比，选择性价比最高的启动方式。如果需要电机端的电压可调节范围比较大，建议采用水电阻启动方式，至于是采用极板可移动式还是热变电阻式，可根据电控操作人员的操作习惯来选择。□

## 普莱克斯中国为船厂提供气体

2008 年 8 月 26 日，普莱克斯中国与广州中船龙穴造船有限公司（以下简称：广州龙穴）签署了气体供应合同。广州龙穴是中国船舶工业集团公司（CSSC）旗下的大型船舶总装企业，也是中国三大造船基地之一的龙穴造船基地的核心企业。普莱克斯中国还为中国船舶工业集团公司上海长兴岛造船基地供气。

自 20 世纪 90 年代起，普莱克斯中国为国内造船厂供应优质液氧，代替高能耗的小型空分设备和大量钢瓶气。

这种新供应模式提高了供应稳定性并带来显著的节能降耗效果。除了供气之外，普莱克斯中国还针对船厂普遍存在的各种技术问题，不断为船厂开发新的气体应用并改善焊接切割技术。

普莱克斯中国还和其他中国造船业的客户保持合作，包括沪东中华造船（集团）有限公司、上海外高桥造船有限公司、上海江南长兴造船有限公司以及中远船务等等。

本刊