

10MW级高压变频器在合成氨装置主机系统中的应用分析

Analysis on Application for 10MW High-voltage Converter in the Host System of Synthetic Ammonia Device

北京利德华福电气技术有限公司 杨长英



作者简介:

杨长英, 1999年毕业于华北电力大学, 长期从事高、低压电气传动与自动化控制系统的集成应用研究与工程设计工作。

摘要: 本文通过对现有40万吨合成氨装置主压缩机组驱动系统分析, 指出了其中存在的问题。针对性提出采用电气驱动替代“锅炉+汽轮机”驱动的新思路; 通过对两种驱动形式的经济性比较, 技术可行性分析, 阐述了该新型驱动形式的可行性和良好应用前景。

关键词: 电气驱动; 锅炉+汽轮机驱动; 高压变频

Abstract: Abstract: This paper analyzes the host compressor unit system of existing 400 thousand tons synthetic ammonia device, and points out the problems in it. Specifically we propose the new idea of electric drive instead of "boiler and steam turbine drive"; and elaborates the feasibility and good application prospect of the new type drive by comparing the economical efficiency of the two drives and analyzing of their technical feasibility.

Key words: electric drive; boiler and steam turbine drive; high-voltage inverter

1 引言

目前, 国内年产单体40万吨及以上合成氨装置设计中, 合成气压缩机、氨气压缩机、二氧化碳压缩机等主压缩机组主要采用“锅炉+汽轮机驱动”的方式生产运行。该种陈旧的建设模式, 在新的经济形式和节能减排的国家背景下, 存在以下几方面的问题:

- (1) 在新建项目中, “锅炉+汽轮机驱动”的方式投资高、占地面积大、建设周期长。
- (2) 装置投产后, 燃煤锅炉的运营维护成本高。
- (3) 燃煤锅炉能效低, 厂区蒸汽跑、冒严重、烟气排放环境污染严重。
- (4) 系统调节性能差, 生产效率低, 能源浪费较大。
- (5) 锅炉蒸汽生产水耗、煤耗指标高, 生产成本压力大。

综合上述因素, 结合目前国内超大功率高压变频传动技术的成熟应用, 在某40万吨合成氨项目设计中考虑采用电力驱动替代“锅炉+汽轮机驱动”。

2 经济性可行性分析

采用电力驱动系统, 将直接节约锅炉占地、建设投入, 以及后续运营维护成本和环境污染, 提供生产效率。针对两种驱动方式的经济性比较见表1所示。

表1 合成氨装置主机系统两种不同驱动方式的经济性比较

序号	项目分项	汽轮机驱动	电气驱动	指标差值
1	设备构成	锅炉+汽轮机	电气+变频器	
2	占地面积	8900 m ²	300 m ²	减少98.5%
3	项目投资	12800万元	4100万元	节约68.0%
4	建设周期	16个月	5个月	缩短68.8%
5	生产运营	0.43元/kWh	0.40元/kWh	降低0.03元/kWh
6	水资源消耗	30g/kWh	—	节约30g/kWh
7	煤资源消耗	392g/kWh	320g/kWh	节约72g/kWh
8	环境污染源	蒸汽、热、SO ₂ 、烟气	无	环保

从上述两种方式的对比分析看, 电气驱动在经济性上优势明显。不仅可以节约项目投资费用、建设周期, 获得显著的企业收益, 而且能够取得良好的社会效益。采用该节能、环保、高效的新型结构模式, 符合企业新型可持续发展模式。

3 技术可行性分析

该40万吨合成氨装置的三台主辅机设备分别为: 18MW合成气压缩机、11MW氨气压缩机、11.5MW二氧化碳压缩机。根据工艺生产对设备工况的需求, 结合电气驱动的需要。电气驱动系统主要需具备以下几方面的能力:

- (1) 采用高压电动机驱动, 通过增速齿轮箱满足压缩机系统的高速运行需要。
- (2) 能够依工艺需求, 进行分阶段加减速调节控制, 使系统逐步升温、升压。
- (3) 能够根据合成氨装置的整体生产需求进行压缩机转速、气量调节。
- (4) 压缩机采取软启动、软停车方式, 对电网和压缩机机械系统冲击负荷小于额定的2.5倍转矩; 能够承受压缩机喘振产生的1.5 Tn波动负荷。
- (5) 电气系统对电网无冲击, 网侧功率因数大于0.9, 对电网电压谐波污染小于3%; 满足电力部门用电标准。
- (6) 系统不会由于电气系统故障而导致合成氨装置停产。

采用电压源型高压变频调速驱动系统，配套10kV供配电系统能够解决上述技术需求。从根本上，解决合成氨装置主压缩机系统的经济性与技术性的双重标准要求，实现投资小见效快，安全可靠、运营成本低的实施目的。

4 系统方案

该系统主要包括：10kV电压等级18MW合成气压缩机1台、11MW氨气压缩机1台、11.5MW二氧化碳压缩机1台。其容量均在10MW级，属超大功率旋转负载。

高压电机选用两极异步电动机驱动，采用1:3.12增速齿轮箱与压缩机负载连接。选用电压源型单元串联多电平结构变频器，网侧功率因数大于0.95，网侧谐波污染小于3%，适用于普通异步电动机；而无需增设无功补偿或选用同步电动机。

压缩机系统采用变频驱动后，压缩机组可实现软起动、软停车功能，并且能够承受系统喘振时产生的电气瞬时过载冲击负荷，而不会保护误动。采用变频启动时的电流加速曲线如图1所示。另外，变频器可以按照合成氨装置生产所需的压缩机升速曲线实现，调节压缩机转速，其启动过程的加速特性如图2所示。

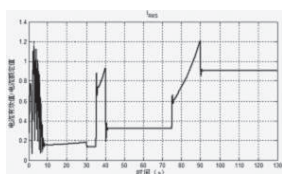


图1 压缩机启动过程电流加速特性曲线

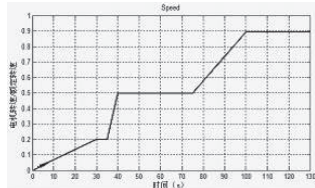


图2 压缩机启动加速特性曲线

三台压缩机的装机功率40.5MW，电网累计容量需求5.0625MVA。电气配电系统中11MW、11.5MW采用II段母线供电，18MW及备用变频器(18MW)采用III段母线供电。每段母线网侧变压器容量均为6.3MVA可同时为两段母线负载供电；确保单段电源丢失时，单段母线保证生产连续。

方案采用全容量高压变频备用的一拖一变频切换系统方案，其原理如图3所示。其中，QF为高压开关、TF为变频器、ML为母联开关、GN为隔离开关柜、M为电动机。QF_{x2}和QF_{x3}之间存在电气与逻辑双重互锁关系，防止变频器输出侧发生短路等严重事故(x表示设备编号)。

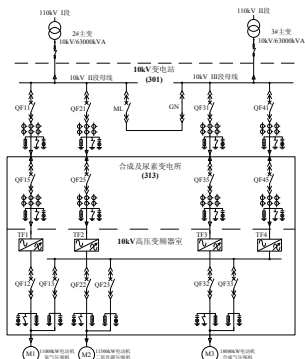


图3 高压电气配电与变频驱动一次动力系统图

厂变由两路110kV电网接入10kV高压301变电站，提供II、III两段母线变压器供电。当单段电网供电或变压器故障时，厂区可通过ML-GN依赖另外一段电源供电变压器承担生产100%用电负荷而无需停产。

三台压缩机的电动机驱动系统，由301变电站II、III段母线分别引至313变电所。其中，备用变频器下挂于III段母线，QF41提供10kV驱动电源。备用变频器可在三台电动机任意一台工作变频电气系统故障时，驱动压缩机调速运行。

正常情况下，每台压缩机均有一台主变频器TF通过QF2连接至电动机，实现压缩机的电气驱动。系统可根据合成氨装置的生产需求调节压缩机转速改变气量，达到满足生产的目的。

以合成气压缩机为例：压缩机主变频驱动时，首先检查备用变频器输出侧QF13与电动机处于断开状态，然后闭合工作变频器TF1输出侧开关QF12与电动机M1连接。送电启动步序：

- ① QF13处于分断状态；
- ② 操作QF12合闸；
- ③ 变频器允许高压合闸；
- ④ 操作QF15合闸；
- ⑤ 启动条件满足、变频器待机正常；
- ⑥ 启动变频器TF1运行；
- ⑦ 合成气压缩机电动机启动完毕。

当合成气压缩机主电气系统故障或需要检修时，压缩机可利用备用变频TF4提供不间断变频驱动运行。备用变频启动步序：

- ① 操作QF12分闸状态；
- ② 操作QF13的合闸，备用变频器TF4自动选择适配电动机启动保护参数组；
- ③ 操作确认电动机对应的工位有效，TF4具备高压合闸允许条件，允许QF45合闸；
- ④ 操作QF45合闸；
- ⑤ 压缩机具备变频器启动运行条件、变频器待机正常；
- ⑥ 启动备用变频器驱动压缩机组运行；
- ⑦ 电动机M1变频运行恢复完毕。

备用变频器TF4自动确认电动机匹配，选择与之对应的控制功能和对应的压缩机控制工艺参数；满足备用变频器可替代合成气、氨气、二氧化碳压缩机用变频器的需求。

5 配套应用技术

在采用电气驱动系统替代“锅炉+汽轮机”的驱动方案后，系统采用变频协调控制技术解决电气系统中变频器与高压开关、压缩机组、生产工艺之间的协调控制关系以及主变频器与备用变频器之间的切换替代等协调问题。(下转至65页)

4 热电阻超量程设定实验

4.1 MRTJ-71卡件模块基本规格(见表4)

表4 MRTJ-71卡件模块基本规格

Item 条目	Specification 规格
Number of input points 处理信号数量	1
Input Range 输入量程范围	Pt100 type 260 °C to 350 °C
Self-diagnosis	-Over-range check -Input circuit diagnosis with on-line calibration
Input Signal	4-wire Pt100 type RTD

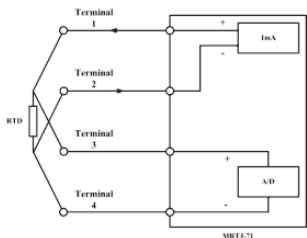


图3 热电阻卡件模块工作原理图

热电阻卡件模块工作原理如图3所示，从中可以看出，四线制热电阻卡件模块为就地传感器提供1mA恒流源，当热电阻阻值产生变化时，AI卡件模块采集到的电压随之变化。

4.2 实验过程说明

试验条件：四线制电阻（220欧姆）模拟实际传感器接在DCS机柜端子上。断线实验结果见表5。

表5 断线实验测试表格

步骤	操作	结 果				
		端子 1/2 电压 (电流源输出)	端子 3/4 (监测)	AI 软件模块质量 状态判断	CPU 显示 AI 模块工 程量 (°C)	软件是 否信赖
1	初始正常	220mV	220mV	无	322	信赖
2	断端子1	22.68V	0V	模块故障	322	不信赖
3	恢复	220mV	220mV	无	322	信赖
4	断端子2	13.7V	0.1V	超量程故障	237 (-25%)	不信赖
5	恢复	220mV	220mV	无	322	信赖
6	断端子3	220mV	不稳定, 2至3V	超量程故障	237 (-25%)	不信赖
7	恢复	220mV	220mV	无	322	信赖
8	断端子4	220mV	不稳定, 3至2V	超量程故障	352.68 (102.33%)	不信赖

5 结论

对于RT热电阻断线的4种情况，既有向高限跳变的情况，也有向低限跳变的情况。这不同于普通两线制4~20mA电流信号，任何一根线出现断线的情况，都向低限跳变。

在MELTAC平台中，参与P12降级逻辑运算的6个传感器RCP030MT、RCP033MT、RCP045MT、RCP048MT、RCP057MT、RCP060MT共计12个模拟量输入点都采用了MRTJ-71型AI卡件。因此，它们的超量程设置无法做到与一般原则的统一，需要对高限超量程范围进行设定；对于低限的超量程设定需考虑启停堆期间传感器向低限超出的可能，同时考虑途经隔离分配的模拟量信号需要区别于未经隔离分配的模拟量信号低限设置。

参考文献：

- [1] 陈黎敏.传感器技术及其应用 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [2] 广东核电培训中心, 900MW压水堆核电站系统及设备 [M]. 广东: 原子能出版社, 2004.

(上接第62页)

另外，高压变频器在运行中将产生3%的效率损失，并以热量形式散失在环境中。需要配套高压变频空-水冷却系统解决变频器的环境散热问题。通过系统化集成解决方案的应用，实现压缩机电气驱动的工艺控制、变频驱动控制、环境控制等。

6 结束语

通过对40万吨合成氨装置压缩机驱动系统的分析和实践证明，以高压变频为核心的电气驱动系统完全能够满足化工生产中对压缩机转速、气量调节的需求，并且在项目投资运营方面获得可观的经济收益。该项目的实施，为化工行业超大功率压缩机组解决能源与经济、环保、高效生产等综合问题，提供了新思路、新方法，值得在化工生产领域的能源利用、节能降耗和环保生产建设和改造项目中积极推广。