

大容量主备电动机一拖二新型软起动系统在石化企业中的应用

王树国

(中国石化工程建设有限公司, 北京 100101)

摘要: 针对传统高压变频软起动方案操作繁琐、谐波大、维护周期短和造价高的特点, 结合石化行业降低碳排放“气改电”的发展趋势, 提出了主备风机一拖二降补固态软起动方案。该方案具有起动电流小且恒定、转矩大且逐步增加的软起动特性, 同时具有不受外界环境干扰、起动时对电网影响小、无电磁干扰和费用低的特点, 该软起动方案对石化行业大容量电动机的起动起着良好推动作用。

关键词: 主备电动机; 一拖二; 降补固态软起动

Application of one drag two new soft starting systems for large capacity main and standby motors in petrochemical industry

WANG Shuguo

(Sinopec Engineering Incorporation, Beijing 100101, China)

Abstract: In view of the characteristics of traditional high-voltage frequency conversion soft start scheme, such as complicated operation, high harmonics, short maintenance cycle and high cost, combined with the development trend of “steam to electricity” to reduce carbon emissions in petrochemical industry, this paper proposes a solid-state soft start scheme with one drag two step-down compensation for main and standby motors. The soft-start scheme has the characteristics of small and constant starting current, large and gradually increasing torque, no interference from external environment, little influence on power grid, no electromagnetic interference and low cost. The soft-start scheme plays a good role in promoting the starting of large capacity motors in petrochemical industry.

Key words: main and standby motors; one drag two; step-down compensation solid soft starting

0 引言

随着国家双碳政策的发布实施, 石化企业“气改电”势在必行。同时石油化工催化裂化、加氢裂化、RDS装置和PTA装置大型化后, 大容量电动机被广泛应用。由于受到电网容量的限制, 通常这些电动机采用变频软起动、晶闸管固态软起动的起动形式, 这种常规的起动方式不但操作繁琐、工程造价高、结构复杂及维护周期短, 而且会对电网造成谐波污染。本文提出新型

一拖二无功降补软起动方案, 通过优化设计后的一拖二无功降补软起动方案完全满足大容量主机和备机两套机组的软起动, 使得装置开、停工操作更加灵活, 提升了机组冗余度, 提高了设备使用率和附加值, 大大节约了生产成本。同时无功降补方案具有起动电流小且恒定、转矩大且逐步增加的软起动特性, 不受环境温度变化的影响, 起动时对电网影响小, 无电磁干扰, 适用于大型高压笼型交流异步电动机、异步起动的高压同步

电动机的软起动,对石化行业大容量电动机的起动起着良好推动作用。

1 无功降补固态软起动方案的分析及组成

1.1 无功降补固态软起动方案分析

通常大型电动机在起动过程中将消耗大量的无功功率,从而引起电网电压的波动。为了降低电动机起动对电网电压的影响,需要在电动机端并联一个无功发生器,由它提供电动机起动过程中所需要的足够的无功功率。其等效电路如图1所示,无功补偿矢量图如图2所示。

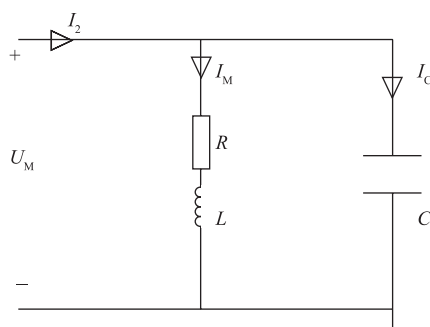


图1 无功补偿等效电路图

Fig. 1 Equivalent circuit diagram of reactive power compensation

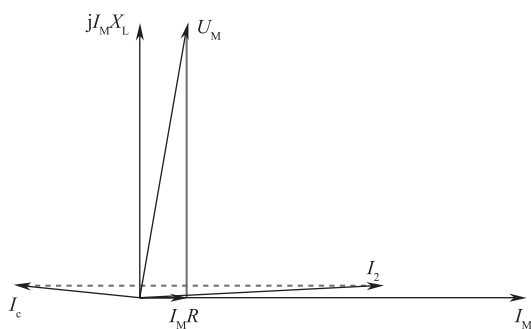


图2 无功补偿矢量图

Fig. 2 Reactive power compensation vector diagram

由图1、图2中可以看出,提供无功后,电动机起动时从系统吸收的电流 I_2 明显减少。

为了进一步降低从系统吸收的电流 I_2 ,本软起动方案将电动机及无功发生器并联回路经降压器接入电网,通过降低机端电压的方式进一步减小从系统吸收的电流。此时降压器的输出电流 I_2 为电动机电流 I_M 与无功发生器电流 I_C 之差,降

压器的输入电流 I_1 (此时从系统吸收的电流)为输出电流的 k 倍(降压器一二次电压比为 $1:k$, $k<1$)。即: $I_1=kI_2=k(I_M-I_C)$ 。当起动柜合闸后,电动机端电压逐渐升高,起动转矩逐步增加。电动机达到额定转速后,运行柜合闸,同时连接断路器及起动柜分闸,切除降补固态软起动装置,起动完毕。

为减少至最终消除操作过电压,本方案采用在转切过程中加入缓冲装置的措施。使得电动机在转切全压时没有失电过程,并且保证了电动机端电压与母线电压相角的一致性,从而消除了转切时的操作过电压,并使整个转切过程的物理过程清晰且可明确计算出来,从而可以预知转切时的状况,达到理想的转切效果。

1.2 无功降补软起动系统的组成

系统由起动柜、降压器、降压控制柜、无功控制柜、无功发生器和出线柜组成,其中,软起动装置由降压器、降压控制柜、无功控制柜和无功发生器四个装置组成,如图3所示。



图3 现场实拍降补固态软起动装置照片
(起动 20 000 kW 电动机)

Fig. 3 Photos of solid-state soft starting device for reducing compensation are actually taken on site (start 20 000 kW motor)

1.3 系统起动计算分析

使用降补固态软起动装置进行起动时,其等效电路如图4所示,其起动电流、电压等数据可由等效电路进行计算。根据等效电路,将电动机等效为一个简单的 LR 串联回路,根据电流-转速曲线可计算出不同转速时所对应的阻抗值。降压器用理想变压器和一个电抗进行等效计算,石化工程降压器电压比通常可为 $10\,000/7\,500$,其短路阻

抗值为 $0.154\ \Omega$ 。无功发生器用理想电容进行计算,工程中取其阻抗值为 $j3\ \Omega$ 。根据电网参数计算出系统阻抗,再根据等效电路图,即可计算出启动时电动机端电压、电流和网侧电压和电流。

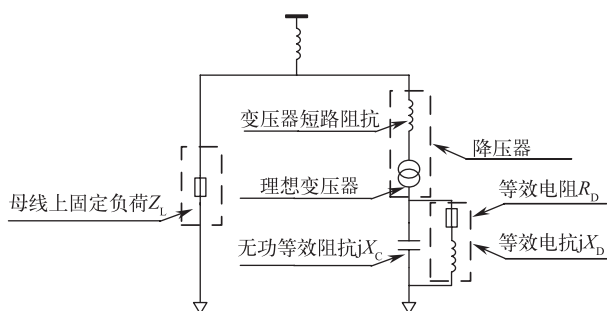


图4 启动时等效电路图

Fig. 4 Equivalent circuit diagram at start-up

1.4 一拖二降补固态软起动装置与工艺配合操作程序分析

系统启动过程中如果需要停机,从机旁或者中控室进行停机操作,此时停机信号需同时送启动柜和运行柜。在启动时PLC内部逻辑设有必要的联锁及保护,以保证电动机安全顺利的启动。启动过程如果出现故障,PLC自动停止启动并发出报警信息,并实时在触摸屏进行显示。

1.5 启动控制原理分析

1) 启动 $1^\#$ ($2^\#$)大容量电动机时,将无功控制柜转换开关旋到 $1^\#$ ($2^\#$)电动机。将 $1^\#$ ($2^\#$)启动柜、 $1^\#$ ($2^\#$)运行柜断路器手车推到工作位,并且工艺允许启动信号闭合,触摸屏上显示“允许启动”状态。

2) 从机旁按下启动按钮,降补装置的无功控制柜中PLC接收到启动指令,发送合闸信号到无功控制柜、降压控制柜,延时 1 s 发合闸信号到 $1^\#$ ($2^\#$)启动柜。 $1^\#$ ($2^\#$)启动柜合闸,电动机开始启动,触摸屏显示“正在启动”状态。

3) 电动机转速逐渐升高,电动机端电压也慢慢升高,当机端电压达到第一组电压设定值时,PLC发 $1^\#$ 分闸信号到无功控制柜,切除第一组无功发生器。当电动机端电压达到第二组电压设定值时,PLC发 $2^\#$ 分闸信号到无功控制柜,切除第二组无功发生器。

4) 当电动机电流降到电流设定值以下时,PLC发 $2^\#$ 分闸信号到降压控制柜。

5) PLC发合闸信号到 $1^\#$ ($2^\#$)运行柜, $1^\#$ ($2^\#$)运行柜合闸后,电动机在额定电压下运行,触摸屏显示“全压运行”状态。

6) PLC发分闸信号到 $1^\#$ ($2^\#$)启动柜、降压控制柜 $1^\#$ 断路器,使 $1^\#$ ($2^\#$)启动柜、降压控制柜 $1^\#$ 断路器分闸,降补软启动装置与高压电源脱开,启动完成。

2 无功降补一拖二软起动技术在石化企业应用案例分析

本系统以石化某炼油核心装置 280万 t/a 催化裂化装置项目为依托进行了催化烟机主、备风机一拖二新型软启动系统的实际应用,经过近一年的实际运行,各项技术参数指标达到了设计要求,应用效果良好。

2.1 系统分析

一拖二设备:烟机主风机电动机 $20\ 000\text{ kW}$,备用风机电动机 $16\ 000\text{ kW}$,采用一拖二无功降补方案。

原始数据为:主变压器额定容量为 $31.5\text{ MV}\cdot\text{A}$,主变压器短路阻抗百分数为 10.5% ;二段母线并列运行。

(1) 电动机参数

1) 主电动机。电动机额定功率: $20\ 000\text{ kW}$;电动机额定电压: 10 kV ;电动机额定电流: $1\ 316\text{ A}$;额定频率: 50 Hz ;额定功率因数: 0.9 ;额定效率: 97.5% ;额定转速: $1\ 486\text{ r/min}$;直接全压启动电流倍数: 4.2 ;直接全压启动转矩倍数: 0.6 ;最大转矩倍数: 1.8 ;电动机转动惯量 J : $2\ 785\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 。

2) 备用电动机。电动机额定功率: $16\ 000\text{ kW}$;电动机额定电压: 10 kV ;电动机额定电流: $1\ 055\text{ A}$;额定频率: 50 Hz ;额定功率因数: 0.9 ;额定效率: 97.3% ;额定转速: $1\ 486\text{ r/min}$;直接全压启动电流倍数: 4.2 ;直接全压启动转矩倍数: 0.6 ;最大转矩倍数: 1.8 ;电动机转动惯量 J : $1\ 692\text{ kg}\cdot\text{m}^2$ 。

(2) 负载参数

1) 20 000 kW电动机所带负荷(均折算到电动机端)。负载类型:轴流压缩机AV71+烟机+齿轮箱;负载飞轮矩:64 000kg·m²(总负载);静阻转矩:8 600 N·m;起动阻转矩:53 000 N·m。

2) 16 000 kW电动机所带负荷(均折算到电动机端)。负载类型:轴流压缩机AV63+齿轮箱;负载飞轮矩:25 000kg·m²(总负载);静阻转矩:6 500 N·m;起动阻转矩:26 000 N·m。

一拖二软起一次系统如见图5所示,现场实拍照如图6所示。

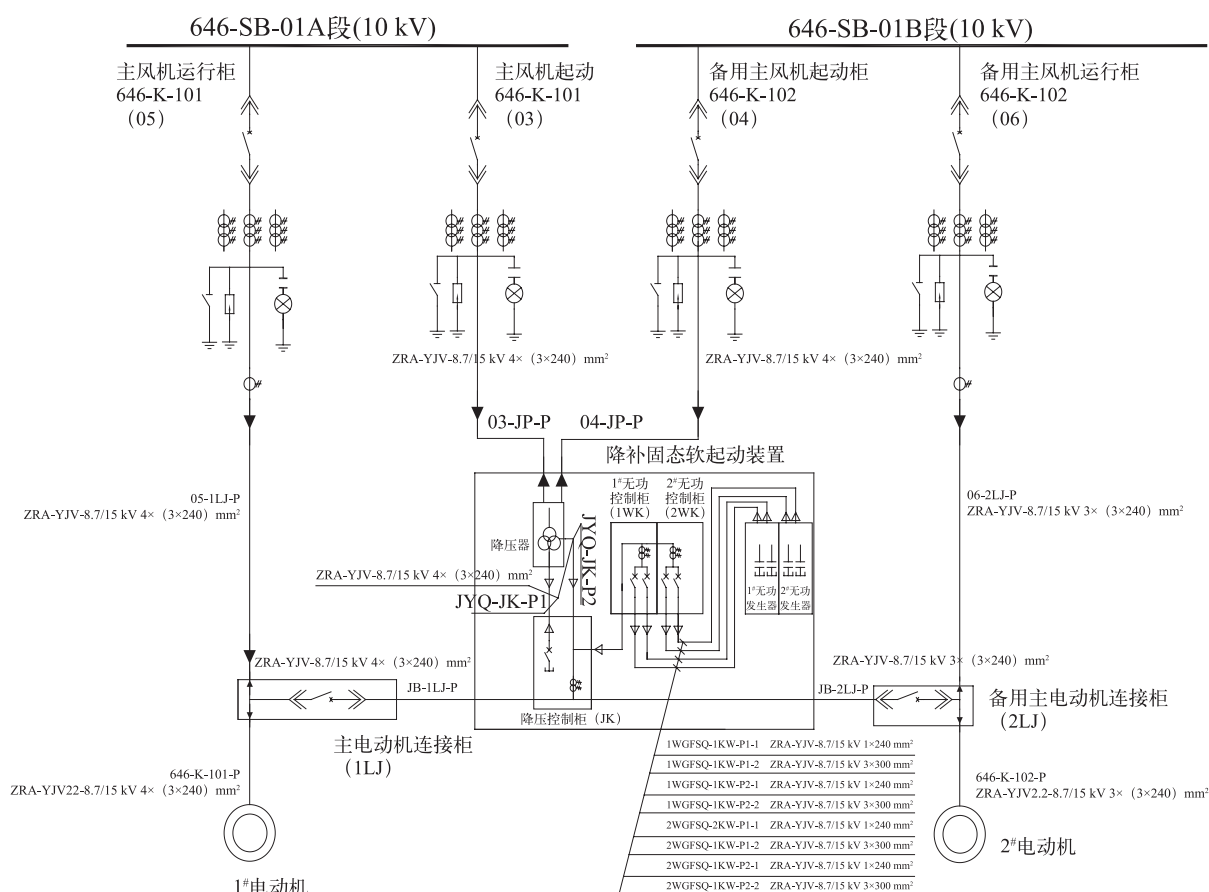


图5 无功降补一拖二软起一次系统图

Fig. 5 Primary system diagram of reactive power reduction and compensation with one drag two soft start



图6 无功降补一拖二软起一次系统实拍照片

Fig. 6 Real photos of reactive power reduction and compensation one drag two soft start primary system

2.2 计算结果统计分析

2.2.1 计算机仿真模拟曲线结果分析

根据计算出的各转速点的数据，模拟起动曲线如下。

10 kV电网侧电压变化、电流变化曲线分别如图7、图8所示。

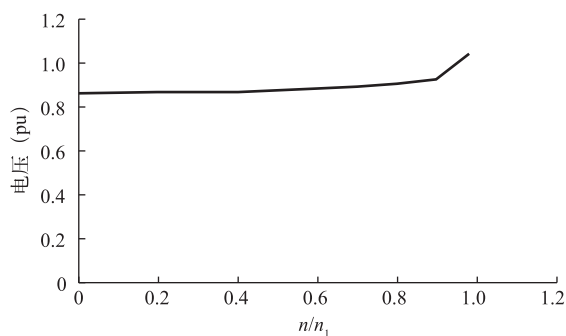


图7 10 kV 电网侧电压变化曲线图
Fig. 7 Voltage variation curve of 10 kV power net side

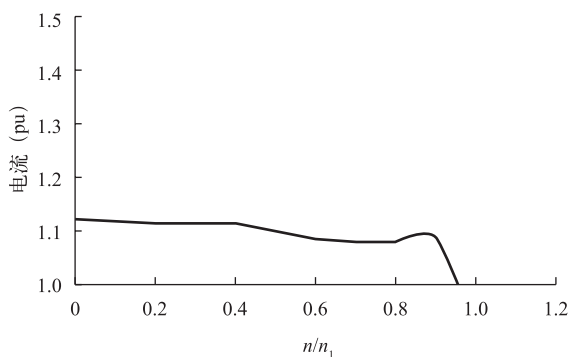


图8 10 kV 网侧电流变化曲线图
Fig. 8 Current variation curve of 10 kV power net side

电动机端电压、电流变化分别如图9、图10所示。

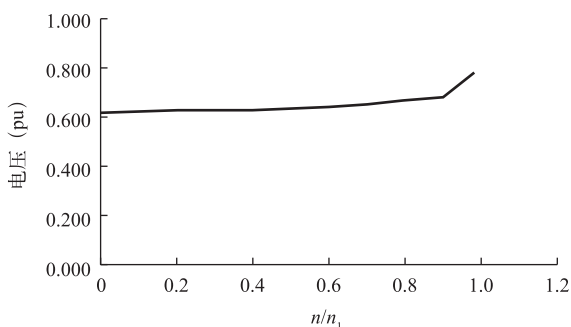


图9 电动机端电压变化曲线图
Fig. 9 Variation curve of motor terminal voltage

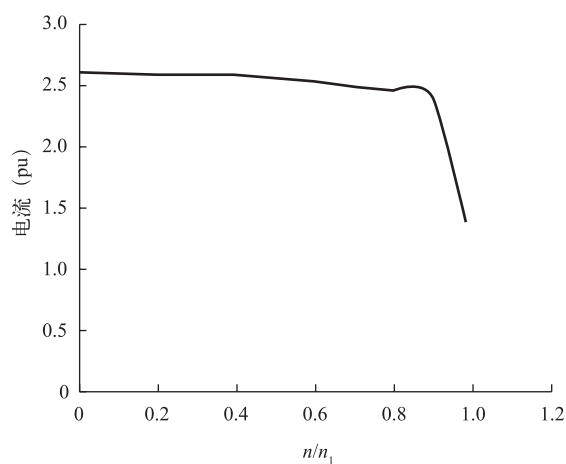


图10 电动机端电流变化曲线图
Fig. 10 Motor terminal current variation curve

起动转矩变化曲线图如图11所示。

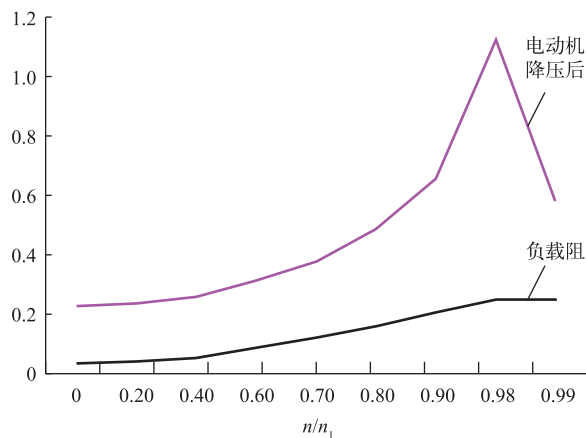


图11 起动转矩变化曲线图
Fig. 11 Starting torque variation curve

分析图7~图11曲线可以看出：网侧电流最大为1.2倍电动机额定电流，起动电流较小；10 kV电网侧电压在86.5% U_e 以上，电网电压波动较小；电动机端电压为62.5% U_e 以上，起动转矩大，从而保证能拖动风机迅速起动，起动时间也满足电动机允许值。上述计算表明，采用降补起动方式起动该电动机时，电网电压压降较小，起动转矩较大，完全满足起动时的电网和电动机要求。

2.2.2 实际测试结果分析

在系统最小方式下起动时，起动16 000 kW 备机时，起动时对应电动机不同转速时刻的实际测试结果如下表所示。

表 各转速点对应关键数据

Tab. Key data corresponding to each speed point

转速比	电动机阻抗	等效电阻	10 kV 母线电压 (pu)	电动机端电压 (pu)	网侧电流 (pu)	电动机端电流 (pu)
0	1.3	0.13	0.865	0.625	1.124	2.517
0.2	1.313	0.181	0.868	0.628	1.117	2.504
0.4	1.332	0.271	0.873	0.633	1.115	2.486
0.6	1.383	0.368	0.886	0.644	1.086	2.433
0.7	1.415	0.456	0.894	0.652	1.083	2.405
0.8	1.476	0.607	0.91	0.666	1.086	2.355
0.9	1.561	0.768	0.93	0.685	1.086	2.257
0.98	3.035	2.707	1.04	0.783	0.945	1.21

备机采用软起动, 起动时间约25 s, 此时35 kV母线波动为9.2%左右, 10 kV母线波动为13.5%; 主机采用软起动, 起动时间约39 s, 此时35 kV母线波动为9.9%左右, 10 kV母线波动为14.8%, 满足国标GB 50055—2011《通用用电设备配电设计规范》的要求, 大容量主备电动机一拖二新型软起动方案在石化企业得到成功应用。

3 结束语

大容量主备电动机一拖二无功降补方案, 通

过现场的实际运行满足大容量主机和备机两套机组的软起动及互备切换, 使得装置开、停工操作更加灵活, 提升了机组冗余度, 提高了设备使用率和附加值, 节约了生产成本。同时无功降补方案具有起动电流小且恒定、转矩大且逐步增加的软起动特性, 不受环境温度变化的影响, 起动时对电网影响小, 无电磁干扰, 适用于大型高压笼型交流异步电动机、异步起动的高压同步电动机的软起动。本新型软起动方案势必对国家的双碳排放政策及“气改电”的实施起着良好的推动作用。EA

参考文献

[1] 通用用电设备配电设计规范: GB 50055-2011[S].

作者简介



王树国

王树国(1968—), 男, 中国石化工程建设有限公司首席专家, 正高级工程师, 全国注册电气工程师, 主要研究方向为石油化工领域供配电设计。