用MVA法对石油化工装置电动机再起动的分析计算

刘京周

（中国石化工程建设有限公司，北京 100101）

摘要：再起动是保障工艺流程安全的重要措施之一。通过对某石油化工装置变电所供电系统的运行工况分析，利用MVA法对电动机分批再起动进行了计算，并用ETAP进行仿真，根据MVA法计算结果和ETAP仿真结果，得出MVA法计算结果偏于保守的结论。

关键词：MVA法　ETAP仿真 再起动,电压水平

Analysis and calculation of motor restart in petrochemical plant by MVA method

LIU Jingzhou

(Sinopec Engineering Construction Co., Ltd., Beijing 100101, China)

Abstract: Restart is one of the important measures to ensure the safety of process flow. Based on the analysis of the operation condition of the power supply system of a petrochemical plant substation, the batch restart of the motor is calculated by MVA method, and is simulated by ETAP. According to the results of MVA method and ETAP simulation, it is concluded that the results of MVA method are conservative.

Key words: MVA method;ETAP simulation;restart; voltage level

0　引言

随着我国石化装置的大型化，人们对于石化装置的安全性及自动化程度要求越来越高，为了避免突然停电对石化装置安全性产生巨大影响和直接的经济损失，很多装置都要求某些重要电动机在供电电源短时中断后又恢复供电时再起动。电动机再起动时，母线电压水平应满足规范要求，利用MVA法计算电动机再起动时各母线的电压水平，是行之有效的方法，计算过程较为清晰明了。MVA法的实质是电阻法的一种变换。在电阻法中，回路的阻抗是回路中各不同单元阻抗之和。按定义导纳是阻抗的倒数，于是系统导纳的倒数就是系统各单元导纳倒数之和。同样，按定义，回路或单元的导纳就是在标幺电压下，当电源为无穷大系统时，能通过回路或单元，流至短路事故的最大电流或MVA数。

1　再起动工况分析

再起动是按工艺要求需要再起动的电动

机，由于供电电源短时中断后又恢复供电时，自动再加速的过程。

和电动机一般起动相比，再起动有如下特点。

1）成组电动机同时起动。

2）当电压恢复时，即开始再起动，此时电动机一般仍有一定转速。

3）再起动的电动机一般带有负载。

需要再起动的电动机，应按照工艺过程和母线电压恢复程度，分组、分批及分期再起动。

根据规范GB 50055—2011《通用用电设备配电设计规范》的要求，在一般情况下，电动机不频繁起动时，配电母线上的电压不应低于额定电压的85%。大量电动机同时起动时，有可能使母线压降太大，而将系统拖垮。因此，当需要再起动的电动机较多时，在供电中断后，可先断开所有与中低压母线相连的电动机，然后对需要再起动的电动机，按批次发送再起动信号，实现分批再起动，以满足规范对母线电压的要求。对于低压电动机，一般通过接触器控制，在母线电压低于某一定值时，接触器线圈不足以维持触点位置，接触器触头将自动分离。因此，低压母线一旦失电，与其相连的所有低压电动机均自动断开；对于中压电动机，一般通过断路器直接控制，断路器的开断不受母线电压的影响，因此必须装设低电压保护，一旦中压母线失电，则通过低电压保护断开与电动机相连的断路器。

某石化装置供电系统6 kV及0.38 kV均采用单母线分段接线。根据自动转换开关(ATS)动作的可能性，电动机再起动可以分为多种情况，但本文仅对6 kV ATS动作，0.38 kV ATS不动作的情况进行分析计算。

6 kV系统A段各批次再起动容量均大于等于B段各批次再起动容量，而B段既有负荷大于A段既有负荷，0.38 kV系统I段各批次再起动容量均大于等于II段各批次再起动容量。因此，最严重的情况为：最小运行方式下，A段进线电源故障，6 kV侧ATS投入，所有接于A段和I段的再起动电动机均参加再起动。

在最严重情况下，6kV系统A段母线失电，与A段母线直接相连的中压电动机均通过低电压保护跳开断路器，接于0.38 kV系统I段和III段母线的所有低压电动机，均因为接触器线圈失电而与母线断开，此时，6 kV母联QF3投入运行，由于0.38 kV母联比6 kV母联动作时间高一个时间段，因此，0.38 kV系统保持分列运行。

在计算电动机起动压降时，应考虑既有负荷对起动压降的影响。对于本计算，所有在B段和II段及IV段上的用电设备，除有再起动要求的电动机外，均应作为既有负荷，需要系数取0.8，功率因数取0.92。本计算中B段和II段上的有再起动要求的电动机，均相应地与A段和I段参加再起动的电动机互为备用关系，因此不再重复计入既有负荷。另外，既有负荷还应计及已经再起动完成的电动机。各批次再起动容量以及再起动时的既有负荷如表1所示。

表1 各批次再起动时的既有负荷

Tabl. 1 Existing load during restart of each batch

分批再起动时，各母线上的再起动容量和既有负荷/kW										
	第 1 批起动时		第 2 批起动时		第 3 批起动时		第 4 批起动时		第 5 批起动时	
	起动容量	既有负荷	起动容量	既有负荷	起动容量	既有负荷	起动容量	既有负荷	起动容量	既有负荷
6 kV 母线	2 220	4 012	160	6 232	0	6 392	0	6 392	0	6 392
II 段母线	0	539	0	539	0	539	0	539	0	539
I 段母线	111	0	0	111	159	111	15	270	26	285
IV 段母线	0	619	0	619	0	619	0	619	0	619

2 用MVA法计算电压水平

MVA法是电阻法的一种变化，利用MVA法计算电动机再起动时各母线的电压水平，是一种非常方便快捷的方法，这种方法的输入数据和计算过程都比较简单明了。根据SGEE 0029—2001《电气专业基础工程设计导则—电动机起动电压水平计算》，第1批再起动时，各元件MVA计算方法如表2所示。MVA系统图如图1所示。

表2 第1批再起动时各元件的MVA计算

Tab. 2 MVA calculation of each component in the first batch of restart

元件名称	计算公式	计算结果	备注
系统	MVA=S''_{min}	136	MVA=S''_{min}为系统最小短路容量
变压器 T1	MVA2=(S_T×100)/u_T%	35.56	u_T%=4.5 S_T=1.6 MV·A
变压器 T2	MVA3=(S_T×100)/u_T%	35.56	u_T%=4.5 S_T=1.6 MV·A
变压器 T3	MVA4=(S_T×100)/u_T%	26.67	u_T%=6 S_T=1.6 MV·A
变压器 T4	MVA5=(S_T×100)/u_T%	26.67	u_T%=6 S_T=1.6 MV·A
A 段再起动电机	MVA6=(k_d×P_M)/0.85	15.67	k_d=6 P_M=2.22 MW
I 段再起动电动机	MVA7=(k_d×P_M)/0.8	0.97	k_d=7 P_M=0.111 MW
6 kV 既有负荷	MVA8=S_{fh}	4.36	S_{fh}=4.012/0.92 =4.36
II 段既有负荷	MVA9=S_{fh}	0.59	S_{fh}=0.539 62 /0.92 =0.59
IV 段既有负荷	MVA10=S_{fh}	0.67	S_{fh}=0.619 41 /0.92 =0.67
	$MVA_{\Sigma1}$=(MVA2×MVA7)/(MVA2+MVA7)	0.94	网络变换
	$MVA_{\Sigma1}$=(MVA2×MVA7)/(MVA2+MVA7)	0.58	网络变换
	$MVA_{\Sigma3}$=(MVA3×MVA9)/(MVA3+MVA9)	0.65	网络变换
	$MVA_{\Sigma4}$=MVA6+$MVA_{\Sigma1}$+$MVA_{\Sigma2}$+MVA8+$MVA_{\Sigma3}$	22.2	网络变换

若起动前，各段母线电压水平均在额定电压下，根据MVA法，第1批电动机再起动时，各段母线电压水平计算公式为

$$u_B\%=MVA1/(MVA1+MVA_{\Sigma4})\times100\%=85.97\% \quad (1)$$

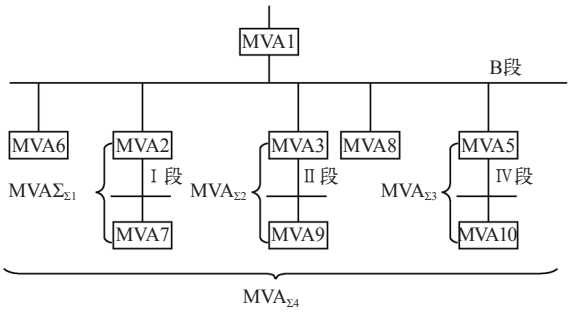


图1 第1批再起动时的MVA系统图

Fig. 1 MVA system diagram for the first batch of restart

$$u_{I}\%=u_B\%\times MVA2/(MVA2+MVA7)\times100\%=83.69\% \quad (2)$$

$$u_{II}\%=u_B\%\times MVA3/(MVA3+MVA9)\times100\%=84.57\% \quad (3)$$

$$u_{IV}\%=u_B\%\times MVA5/(MVA5+MVA10)\times100\%=83.86\% \quad (4)$$

若起动前，各母线电压水平偏离额定电压，则以上各母线的电压水平还应乘以一个修正系数$k=U/U_e$，其中，U为电动机起动前各级母线的实际电压，U_e为母线的额定电压。

其他批次再起动时，各母线电压水平计算过程类似，这里不再赘述，仅将在母线电压为额定电压的情况下的计算结果列于表3。

表3 分批再起动时各母线段的电压水平

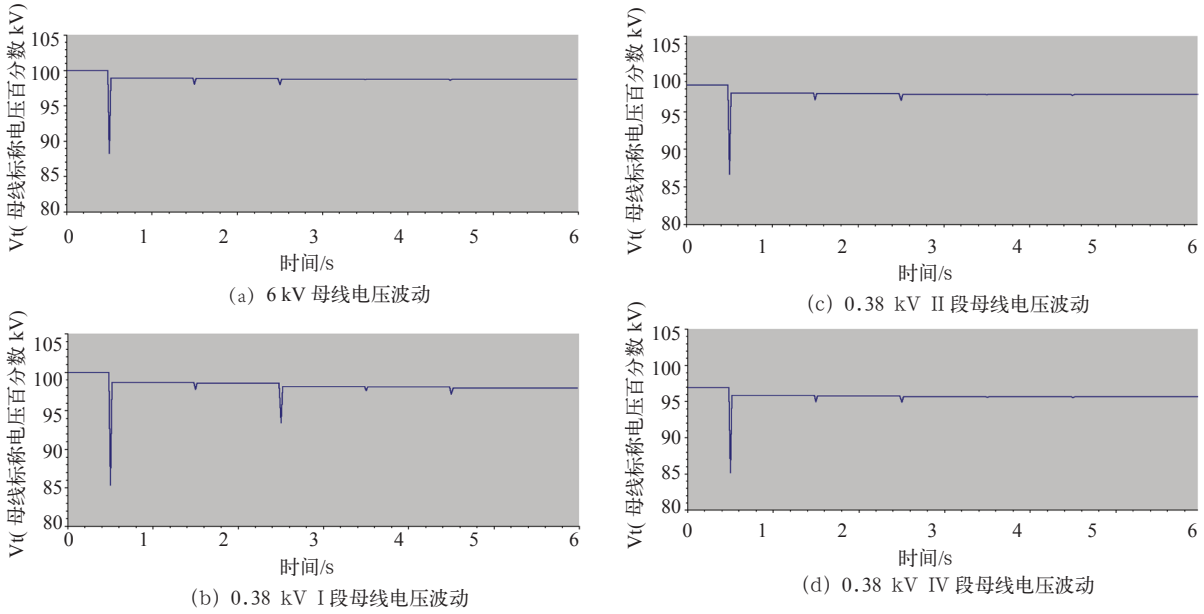
Tab. 3 Voltage level of each bus during batch restart

	第一批	第二批	第三批	第四批	第五批
6 kV 母线（%）	85.97	93.49	93.26	93.89	93.82
0.38 kV I 段（%）	83.69	93.11	89.49	92.67	92.30
0.38 kV II 段（%）	84.57	91.99	91.77	92.39	92.32
0.38 kV IV 段（%）	83.86	91.15	90.93	91.54	91.47

由以上计算结果可以看出，在母线电压为额定电压的情况下，第一批再起动时，除6 kV母线电压水平能够满足规范要求外，其他各母线的电压水平均不能满足规范要求。第二批至第五批再起动时，所有母线电压均维持在较高水平，均能满足规范要求。

为了检验MVA法计算结果的正确性，用ETAP进一步仿真计算，在系统电压为额定电压的情况下，输出各母线电压波动情况如图2所示，并将仿真结果列于表4。

由表4的仿真结果可以看出，在母线电压为额定电压的情况下，电动机分批再起动时，所有母线电压水平均能满足规范要求。



(a) 6 kV 母线电压波动　(c) 0.38 kV II 段母线电压波动

(b) 0.38 kV I 段母线电压波动　(d) 0.38 kV IV 段母线电压波动

图2　ETAP仿真各母线电压波动情况

Fig. 2 ETAP simulation of bus voltage fluctuation

表4　分批再起动时，各母线段的电压水平ETAP仿真结果

Tab. 4 ETAP simulation results of voltage level for each bus during batch restart

	第一批	第二批	第三批	第四批	第五批
6 kV 母线（%）	88.27	98.02	97.98	98.68	98.60
0.38 kV I 段（%）	85.36	97.76	93.47	97.60	97.14
0.38 kV II 段（%）	86.68	96.54	96.50	97.21	97.13
0.38 kV IV 段（%）	85.15	94.94	94.90	95.60	95.52

根据以上MVA法计算结果和ETAP仿真情况，将计算结果和仿真结果共同列于表5，以便于比较。

由表5不难看出，利用MVA法计算的结果和用ETAP仿真结果，存在较大差异，甚至用MVA法在第一批再起动计算时，计算结果除6 kV母线电压水平能够满足规范要求外，其他各母线电压水平均不能满足要求。为什么会存在这种情况呢？原因主要有两个：一是MVA法在计算各母线电压水平时，忽略了部分阻抗。MVA法计算母线电压水平的实质是电阻的分压，在系统阻抗既定的情况下，由于MVA法忽略了母线阻抗、电缆线路阻抗以及各主要元件阻抗和接触阻抗等，使得母线至用电设备的总阻抗偏小，相应的此部分的阻抗分压就会偏小，从而导致MVA法计算的母线电压水平偏低；二是忽略了电动机再起动功率因数较低的影响。在进行网络变换和计算各母线电压水平时，分母均采用各负荷的MVA数直接相加，分母是偏大的，计算结果是偏小的。假设两个用电设备的容量分别为$S_1=a+\mathrm{j}b(\mathrm{MV\cdot A})$，$\widetilde{S}_2=a+\mathrm{j}b(\mathrm{MV\cdot A})$，那么很容易证明$|\widetilde{S}_1|+|\widetilde{S}_2|$是大于等于$|\widetilde{S}_1+\widetilde{S}_2|$的，等号

表5 计算结果和仿真结果比较

Tab.5 Comparisons of calculation results and simulation results

	第一批		第二批		第三批		第四批		第五批	
	MVA 法	ETAP	MVA 法	ETAP	MVA 法	ETAP	MVA 法	ETAP	MVA 法	ETAP
6 kV 母线（%）	85.97	88.27	93.49	98.02	93.26	97.98	93.89	98.68	93.82	98.60
0.38 kV I 段（%）	83.69	85.36	93.11	97.76	89.49	93.47	92.67	97.60	92.30	97.14
0.38 kV II 段（%）	84.57	86.68	91.99	96.54	91.77	96.50	92.39	97.21	92.32	97.13
0.38 kV IV 段（%）	83.86	85.15	91.15	94.94	90.93	94.90	91.54	95.60	91.47	95.52

仅在$a/A=b/B$时成立，并且a/A和b/B比值相差越大，$|\widetilde{S}_1|+|\widetilde{S}_2|$比$|\widetilde{S}_1+\widetilde{S}_2|$就大得越多。那么什么情况下$a/A=b/B$成立呢？很显然在这两个用电设备功率因数相同时，此式成立，才能有$|\widetilde{S}_1|+|\widetilde{S}_2|=|\widetilde{S}_1+\widetilde{S}_2|$。但在本文中，电动机起动时会产生大量的感性无功，起动功率因数较低，约为0.25，既有负荷的功率因数约为0.92，两者相差较大，因此$|\widetilde{S}_1|+|\widetilde{S}_2|$比$|\widetilde{S}_1+\widetilde{S}_2|$有较大偏差，这也是导致用MVA法计算母线电压水平，结果偏低的一个重要原因。

3 结束语

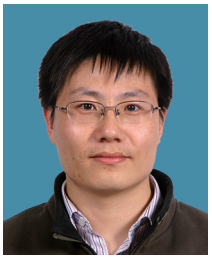
MVA法的实质是电阻法的一种变换。这种方法的输入数据和中间运算过程都比较简单，是一种工程实用算法，但由于MVA法忽略了部分阻抗值以及计算公式本身的缺陷，计算结果较为保守，是一种粗略算法。若用MVA法计算结果不能满足规范要求时，还应该用其他方法作进一步验算，以确定电动机再起动的分批是否合理。

参考文献

[1] 通用用电设备配电设计规范：GB 50055—2011[S].

[2] 电气专业基础工程设计导则—电动机起动电压水平计算：SGEE 0029—2001[S].

作者简介



刘京周

刘京周（1986－），男，本科，工程师，主要研究方向为化工厂配电。

(收稿日期：2019－10－13)EA