

盾构机电动机启动时电压暂降计算

喻宇峰

(中国铁建重工集团股份有限公司 湖南 长沙 410100)

摘要: 文章参照《工业与民用供配电设计手册(第四版)》(以下简称《设计手册》),当最大功率异步电动机最后启动时,计算系统的变压器、电缆和电动机的阻抗,再求出电动机启动时配电柜铜排的电压相对值,判断电压暂降是否符合手册要求,并推荐合适的启动方式。

关键词: 异步电动机;启动;阻抗;母线电压相对值

1 现况

现在与盾构机相关的电气论文,关注点主要是负荷计算和调试方法。负荷计算用于选择变压器;调试方法用于解决系统中出现的故障。而针对盾构机电能质量相关的文章,参考资料并不多。本文从电压暂降的角度出发,假设当盾构机变压器容量为800kVA,阻抗电压为6%时,在小功率电动机都启动完毕以后,再启动一台功率最大的电动机。这个时候并联的回路最多,并联后的总阻抗最小,变压器里流过最大的尖峰电流,变压器里分压最多。相反,负载端分压最少,计算此时的电压暂降,可以判断电动机是否能正常启动,以及是否需要修改启动方式。盾构机里大部分都是异步电动机,应优先选用直接启动,求出满足此变压器下适合直接启动的电动机的最大功率。

引起电压暂降的原因很多,包括配电系统发生短路、异步电动机启动和开关操作等都能引起电压暂降。本文只考虑异步电动机启动时引起的暂降。电动机启动前的电压均方根值 U 与启动时的电压均方根值 U_{st} 之差叫做电压暂降,以系统标称电压 U_n 的百分数表示为:

$$\Delta u_{st} = \frac{U - U_{st}}{U_n} \times 100\%$$

电动机启动时,电压 U_{st} 以系统标称电压 U_n 的百分数表示为:

$$u_{st} = \frac{U_{st}}{U_n} \times 100\%$$

本文计算出了电动机启动时配电柜铜排电压相对值 u_{stB} ,以及电动机启动时的端子电压相对值 u_{stM} 。

2 论文学习

《电动机启动时低压暂降计算法之参考与改进》建议低压电动机启动时电压暂降的详细计算应采用有各单位制。各元件的电阻和电抗应分别计算。

《设计手册》12.1.3.2(3)低压配电设计中笼型电动机全压启动的判断条件可简化为:电动机启动时配电母线的电压不低于系统标称电压的85%。通常,只要电动机额定功率不超过电源变压器额定容量的30%,即可全压启动,仅在估算结果处于边缘情况时,才需要进行详细计算。

《设计手册》6.5.5.2节,电动机启动时配电系统中的电压允许值要求电动机启动时,其端子电压应能保证被拖动机械要求的启动转矩,且在配电系统中引起的电压暂降不应妨碍其他用电设备的工作,即电动机启动时,配电母线上的电压应符合如下要求:一般情况下,电动机频繁启动时不应低于系统标称电压的90%,电动机不频繁启动时,不宜低于系统标称电压的85%。电动机启动时配电母线电压的计算方法和按电源容量估算,允许全压启动的电动机最大功率详见《设计手册》中表6.5-4、表6.5-7。但这种计算方法仅用于近似计算,必要时要按照《设计手册》第4章介绍的方法,计算出网络的阻抗,再求出母线和电动机端子的电压。

3 系统介绍

图1所示为盾构机供电系统简图,图中,T为变压器, M_1 为现在已经启动完毕的电动机(数量可变), M_2 为新启动的一台最大功率的电动机,启动方式为星三角启动。变压器和配电柜的铜排很近,忽略这段的线路阻抗;大功率电动机采用放射式接线方式,直接接到配电柜的铜排上;已启动电动机等效成一个负载接到配电柜的铜排上。

图2为图1对应的单相等值电路图, $U_{NT}/\sqrt{3}$ 为变压器单相电压, Z_T 为变压器阻抗, R_T 为变压器电阻, X_T 为变压器电抗。 Z_{L1} 为第1台已经启动完毕的电动机回路的电缆的阻抗, R_{L1} 为第1台已经启动完毕的电动机回路的电缆的电阻, X_{L1} 为第1台已经启动完毕的电动机回路的电缆的电抗。 Z_{M1} 为第1台已经启动完毕的电动机回路的电动机的阻抗, R_{M1} 为第1台已经启动完毕的电动机回路的电动机的电阻, X_{M1} 为第1台已经启动

完毕的电动机回路的电动机的电抗。 Z_{Lst} 为新启动的电动机回路的电缆的阻抗, R_{Lst} 为新启动的电动机回路的电缆的电阻, X_{Lst} 为新启动的电动机回路的电缆的电抗。 Z_{Mst} 为新启动的电动机回路的电动机的阻抗, R_{Mst} 为新启动的电动机回路的电动机的电阻, X_{Mst} 为新启动的电动机回路的电动机的电抗。 Z_1 为一台已经启动完毕的电动机回路的总阻抗, Z_{33} 为 33 台已经启动完毕的电动机回路的并联总阻抗 (图上省略画), Z_{st} 为新启动的电动机回路的总阻抗。

4 计算

4.1 变压器阻抗计算

变压器为双绕组变压器, 变压器阻抗:

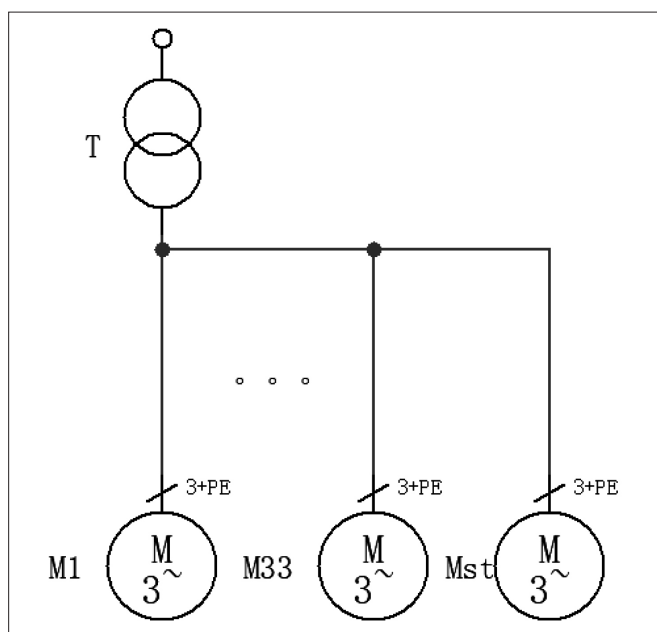


图 1 盾构机供电系统简图

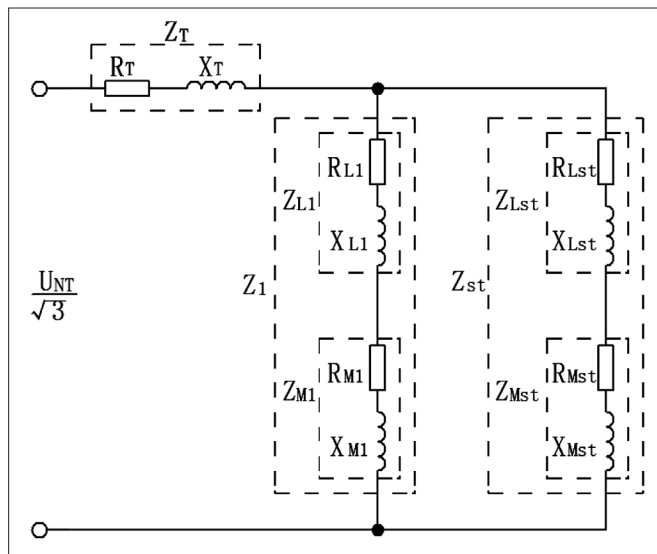


图 2 图 1 对应的单相等值电路图

$$Z_T = R_T + jX_T$$

$$Z_T = \frac{u_{kN} U_{NT}^2}{100\% S_{NT}} (\Omega)$$

$$R_T = \frac{P_{kNT}}{3I_{NT}^2} (\Omega)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} (\Omega)$$

式中: u_{kN} —额定阻抗电压百分数;

U_{NT} —变压器高压侧或低压侧的额定电压 (kV);

S_{NT} —变压器额定容量 (MVA);

P_{kNT} —变压器负载损耗 (W);

I_{NT} —变压器高压侧或低压侧的额定电流 (A)。

如果要得到某台变压器精确的 R_T 值, 可以先从变压器短路试验得到 P_{kNT} 值, 再求出 R_T 值。

这台变压器的阻抗数据直接从《设计手册》中表 4.3-5 得到, 10kV 侧系统短路容量为 100MVA, 低压侧阻抗值为:

$$Z_T = 0.00197 + j0.01303 (\Omega)$$

4.2 已经启动完毕的回路阻抗计算

为了计算方便, 已启动完毕的电动机都选择相同功率的电动机。电动机功率选择 15kW, 功率因数为 0.85, 共计 33 台。连接电动机的电缆面积为 10mm^2 , 长度都选择 50m。已启动完毕的所有电动机与新启动的电动机视在功率相加, 总视在功率接近变压器额定容量 800kVA, 让系统的电压暂降尽量最大。

电动机为异步电动机, 电动机阻抗:

$$Z_M = R_M + jX_M$$

$$Z_M = \frac{U_{NM}^2}{S_{NM}} (\Omega)$$

$$R_M = Z_M \cos \varphi$$

$$X_M = Z_M \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

式中: U_{NM} —电动机额定电压 (kV);

S_{NM} —电动机的额定视在功率 (MVA)。

1 台电动机的阻抗值:

$$Z_{M1} = 6.28756 + j3.89668 (\Omega)$$

电动机电缆的阻抗数据直接从《设计手册》中表 9.4-23 获得。相对于“明敷 (相间距 150mm)” 一列, 盾构机电缆敷设更接近“穿管导线” 一列。一根电缆的阻抗值:

$$Z_{L1} = 0.102 + j0.0054 (\Omega)$$

1 个回路包括电缆、电动机的总阻抗:

$$Z_1 = 6.38956 + j3.90208 (\Omega)$$

33 个回路并联后的总阻抗:

$$Z_{33} = 0.193623 + j0.118245 (\Omega)$$

4.3 新启动电机回路阻抗计算

电动机为异步电动机, 电动机堵转阻抗:

$$Z_{Mst} = R_{Mst} + jX_{Mst}$$

$$Z_{Mst} = \frac{1}{I_{LR}/I_{NM}} \frac{U_{NM}^2}{S_{NM}} (\Omega)$$

式中: I_{LR}/I_{NM} —转子堵转电流与电动机额定电流之比;

u_{NM} —电动机额定电压 (kV);

S_{NM} —电动机的额定视在功率 (MVA)。

数据可以参考 YE2 系列异步电动机标准。电缆连接的低压电动机群, $X_M=0.922Z_{Mst}$, $R_M=0.42X_M$ 。电动机三角形接线时一相阻抗为 Z_{Mst} , 等效成星形接线时相阻抗为 $Z_{Mst}/3$; 星三角启动时, 直接为星形接线, 相阻抗为 Z_{Mst} , 相当于阻抗增加了 3 倍。星三角启动, 启动电流减少了 1/3, 同样相当于堵转阻抗增加了 3 倍。

315kW 电动机直接启动时,

$$Z_{Mst}=0.025359+j0.06038 (\Omega)$$

星三角启动时,

$$Z_{Mst}=0.076077+j0.18114 (\Omega)$$

把所有电动机的堵转阻抗计算完以后对比, 315kW 星三角启动堵转阻抗值, 刚好接近 110kW 电动机的堵转阻抗值 $Z_{Mst}=0.069636+j0.165799 (\Omega)$, 而且数值大一点。用 110kW 电动机参数, 代替 315kW 电动机星三角启动的参数, 不会让电压暂降的数值变大, 顺便求出 110kW 电动机启动时候的电压暂降。

同小功率电动机电缆数据, 电缆的阻抗数据直接从《设计手册》中表 9.4-23 获得。电动机电缆面积为 240mm^2 , 长度按 50m 计算:

$$Z_{Lst}=0.0043+j0.004 (\Omega)$$

整个回路包括电缆、电动机的总阻抗:

$$Z_{st}=0.073936+j0.169799 (\Omega)$$

4.4 电动机启动时配电柜铜排电压相对值

Z_{33} 并联 Z_{st} 阻抗值:

$$Z_{B1} = \frac{Z_{33}Z_{st}}{Z_{33}+Z_{st}}=0.06759+j0.082788 (\Omega)$$

Z_{B1} 串联 Z_T 阻抗值:

$$Z_{B2}=Z_{B1}+Z_T=0.06956+j0.095818 (\Omega)$$

电动机启动时配电柜铜排电压相对值:

$$u_{stB} = \frac{Z_{B1}}{Z_{B2}}=90.26\%$$

电动机启动时的端子电压相对值:

$$u_{stM} = u_{stB} \left| \frac{Z_{Mst}}{Z_{st}} \right| = 90.26\% \times 97.1\% = 87.6\%$$

电动机启动时配电柜铜排电压:

$$U_{stB}=k_1 U_{NT}=0.9026U_{NT}$$

电动机启动时端子电压:

$$U_{stM}=k_1 K_2 U_{NT}=0.876U_{NT}$$

5 结语

在前面假设的前提下, 315kW 电动机星三角启动时配电柜母排上电压暂降不低于系统标称电压的 90%, 对于其他功能来说没有影响。电动机可以频繁启动, 符合照明系统对电压暂降的要求。在保证启动转矩的情况下, 不超过 110kW 的电动机可以直接启动, 不需要任何降压措施, 电动机的启动顺序也没有限制。而大于 110kW 的电动机, 需要改成降压启动, 否则会影响照明灯的寿命等。在保证启动转矩的前提下, 优选选用星三角启动, 其次选用软启动。对控制回路来说, 电压暂降也不会导致接触器等元器件的误动作。对于操作箱的配电, 只要单独考虑各自回路的电压暂降即可, 不需要再从系统的角度考虑。当某些回路在应急的情况下需要发电机供电时, 需要结合发电机的样本, 相应地调整启动方式。

参考文献:

- [1] 中国航空规划设计研究总院有限公司. 工业与民用供配电设计手册 (第四版) [M]. 北京: 中国电力出版社, 2016.
- [2] 卞铠生. 电动机启动时低压暂降算法之参考与改进 [J]. 建筑电气, 2016(6): 3-7.

作者简介: 喻宇峰 (1981.08-), 男, 汉族, 湖南长沙人, 本科, 中级职称, 研究方向: 配电。