

[压缩机]

高压电动机零序保护动作原因分析

文/杭州华成设计研究院有限公司 侯国峰

通过现场实际试车过程中高压电动机的零序保护动作和综保的故障记录波形，查找问题的原因，说明零序保护对高压电动机的重要性，以及施工过程中需要注意的问题和解决方法。

中铝中州铝业有限公司（以下简称“中州铝业”，原名为中国铝业股份有限公司中州分公司）是中国铝业股份有限公司下属氧化铝生产企业之一，现年产氧化铝 225 万 t/a。2020 年底在对中州熟料窑脱硝改造过程中，因原有高压开关柜为 1991 年生产的 GFC 型手车式高压开关柜，运行时间长，故障较多，为满足生产需求对整个高压配电室的高压开关柜进行更新改造。此次更新改造后的高压开关柜为 KYN28A-12 型金属铠装高压开关柜，内装 VD4 真空断路器，配置 SEL-351A 综合保护器，保护定值由总包方提供。共有 CO₂ 压缩机 6 台，主要承担将石灰炉产出的 CO₂ 进一步净化和提压，输送到氧化铝厂的碳分槽岗位，在碳分槽内连续不断地通入 CO₂ 气体，可以使铝酸钠溶液不断地析出氢氧化铝。

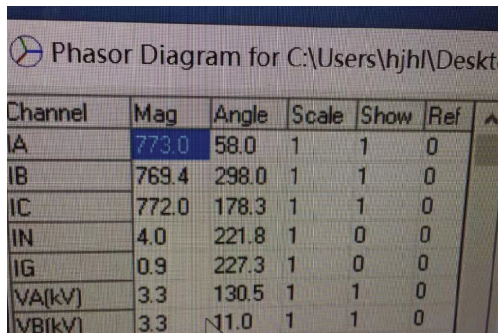
试车过程

本次试车过程中出现问题的 4[#]CO₂ 压缩机，离心压缩机参数为 D500-3.1/0.93，电动机参数为 YK11000-2，电压 6 kV，额定功率 1 000 kW，电流 114 A，功率因数 0.88，转速 2 985 r/min，起动方式为直接起动方式。

因此次改造只是对高压柜拆除更新，控制电缆和电力电缆均利用原有的电缆，本项目总包方给出保护定值是高压电动机单相接地保护二次侧 60 mA，时限 1 s，零序电流互感器电流比 50/1。过电流 2 A，速断 15.5 A，

选用 SEL-351A 长反时限曲线，电流互感器电流比 400/5。

2021 年 1 月 15 日晚上 21 点左右，对 4[#]CO₂ 压缩机的电动机进行空试，起动 1 s 左右跳闸，查 SEL-351A 综保记录，是单相接地保护动作，起动时三相电流在 770 A 左右，零序电流一次电流 4 A，折算到二次电流为 4/50=80 mA，超过保护设定值动作。通过 SEL-351A 综保的记录来看，A、B、C 三相电流的波形正常为标准的正弦波，零序电流波形也是正弦波。一般根据理论来说，真正高压电动机发生接地故障时产生相电压降低、非故障相电压升高的典型故障波形，而本次零序电流保护动作前后 ABC 三相相电压数值正常，电流波形正常，由此可以判断出本次保护动作应该不会是真正的接地故障造成的。SEL-351A 电流记录值如图 1 所示，其中 I_N 为零序电流值，三相电流及零序电流波形如图 2 所示。



Channel	Mag	Angle	Scale	Show	Ref
IA	773.0	58.0	1	1	0
IB	769.4	298.0	1	1	0
IC	772.0	178.3	1	1	0
IN	4.0	221.8	1	0	0
IG	0.9	227.3	1	0	0
VA(kV)	3.3	130.5	1	1	0
VB(kV)	3.3	11.0	1	1	0

图 1 SEL-351A 电流记录值

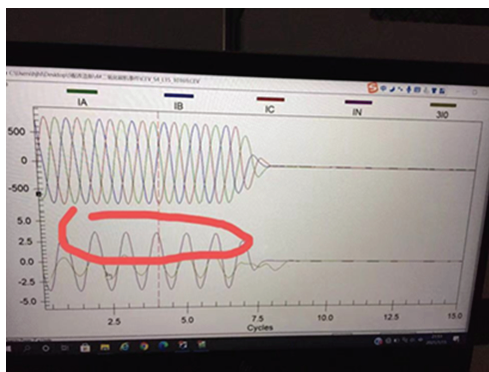


图2 三相电流及零序电流波形图

零序故障原因查找

根据 SEL-351A 保护记录二次侧零序电流达到 80 mA, 超过保护定值的 60 mA, 引起 SEL 保护报零序故障, 经过现场讨论决定分两个方面检查: 首先检查综保、高压电动机和电缆有没有问题; 其次对零序互感器的接法进行检查。

停电后, 查看 SEL 保护装置的定值、电流比和二次端子接线均正确。同时通过对保护装置加装试验电流, 零序保护的動作值和動作时限也均正常。

对电动机绝缘和电力电缆绝缘用 2 500 V 兆欧表进行了检测, 高压电动机对地绝缘电阻 1 000 MΩ, 高压电缆绝缘 550 MΩ。同时打开电动机接线盒, 对电动机星点进行打开, 对电动机三相绕组进行了直流电阻测量, 三相分别为 96.82 mΩ、97.91 mΩ 和 97.57 mΩ, 三相绕组阻值相差 0.7%。电动机和电缆绝缘均合格, 高压电动机的电阻也合格。

原有高压柜拆除前压缩机起动均正常, 原有 4#CO₂ 压缩机高压开关柜 GFC 的零序互感器型号为 LJZ-Φ65, 接电容器接法, 零序二次电流接在 K₁、K₃ 处 1~4 A。更新改造后 KYN28A-12 型金属铠装式高压柜的零序互感器为 LXX-100 型电流互感器, 电流比为 50/1, 额定输出为 5 V·A。经检查零序 TA 安装牢固, 外观正常, 二次接线也正确无松动现象, 查看试验报告, 零序 TA 的电流比、伏安特性和直阻测试均正常。

解决办法

对零序电流互感器高压电缆的穿接方法进行了仔细检查, 因新的零序互感器是装在高压开关柜内的, 发现施工单位在利用旧高压电缆的过程中, 没有将高压电缆

的屏蔽层穿过零序电流互感器, 为方便施工只是在下方将屏蔽层直接接到高压配电室的总接地线处。

正常电动机运行时, 高压电缆的三相电流矢量和为零, 高压电缆的屏蔽层是没有电流流过的, 在零序 TA 的铁心中不产生磁通, 所以零序 TA 的一次电流值会非常小。而当电动机故障或电缆单相接地故障时, 电缆某相芯与电缆屏蔽层短路, 接地故障电流会流向电缆屏蔽层, 顺着电缆屏蔽层流入高压配电室的接地点。此时零序 TA 的铁心中产生磁通, 零序 TA 在二次侧相应地产生二次电流引起综保装置动作。

本次试车过程中施工单位按图 3 的接法, 穿过零序 TA 的电流 $3I_0 = I_A + I_B + I_C - I_i$, 造成无接地故障但零序 TA 有电流流过, 根据图 1 和图 2 分析, 当零序电流达到保护设定值时, 综保动作。

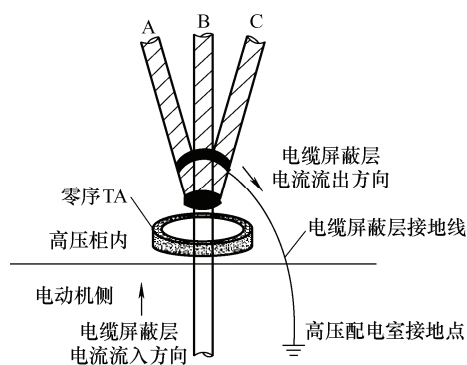


图3 施工单位的接法

改为图 4 的接法后, 穿过零序 TA 的电流 $3I_0 = I_A + I_B + I_C - I_i + I_N$, 由于屏蔽层上的电流 I_i 与 I_N 大小相等, 方向相反, 在零序 TA 中正好能互相抵消。施工单位的接法如图 3 所示, 零序 TA 正确的接法如图 4 所示。

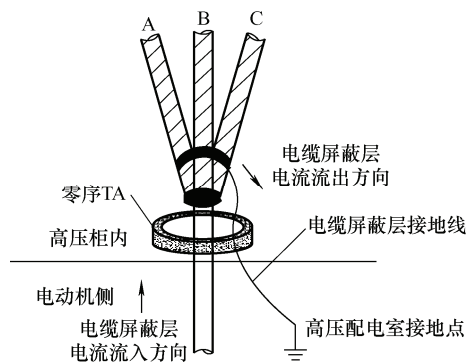


图4 零序 TA 正确的接法

施工单位按图 4 接法将高压电缆的屏蔽层重新接好后,空试电动机时起动成功,电动机空试电流 40 A 左右,零序电流值 I_N 一次电流为 0.28 A,换算到二次电流为 $0.28/50=5.6\text{ mA}$,如图 5 所示。 $4^\# \text{CO}_2$ 压缩机带负荷起动

成功后,电动机电流值 92 A 左右,零序电流值 I_N 一次电流为 0.58 A,换算到二次电流为 $0.58/50=11.6\text{ mA}$,如图 6 所示。

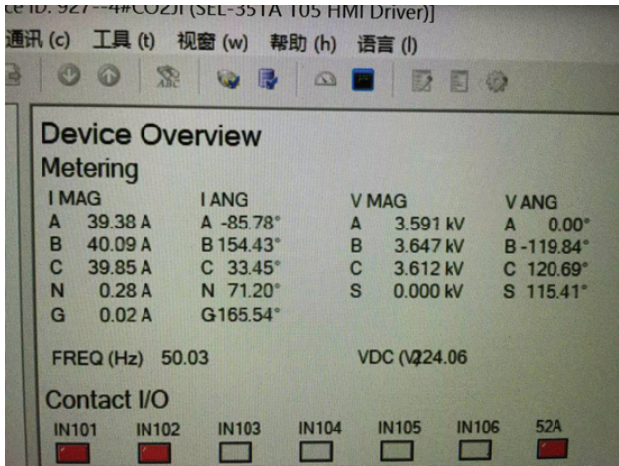


图 5 空试电动机综保读数

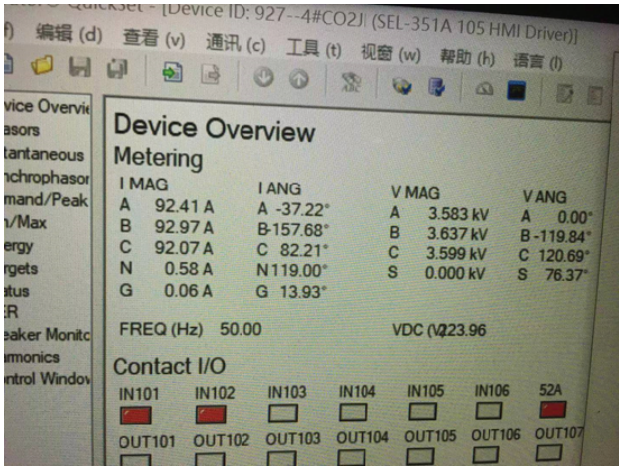


图 6 带负荷综保读数

结束语

现在高压回路上综保功能都比较完善,灵敏系数高,对高压电动机的保护也更加强大。所以在一些改造项目中,一定要对现场进行详细踏勘,要求施工队伍在改造过程中对各种保护、各种元器件的接法要严格按设计图样的要求来做,特别是一些跳闸的保护,要对现场施工环节仔细核对。对出现的问题要认真分析,只有在找出原因后才能对症处理,解决后就能顺利开车,确保以后生产的稳定运行。千万不能擅自更改保护定值,造成保护不动作,从而造成设备的损坏。设计和施工过程中要严格按设计手册上的要求设计和接线,特别是一些细小的地方,比如高压电缆屏蔽层的接地方式要特别注意。EA

(收稿日期: 2021.01.28)