

# 南京化学工业园电网电压暂降分析及防范措施

耿 铨

(南京供电公司, 江苏 南京 210019)

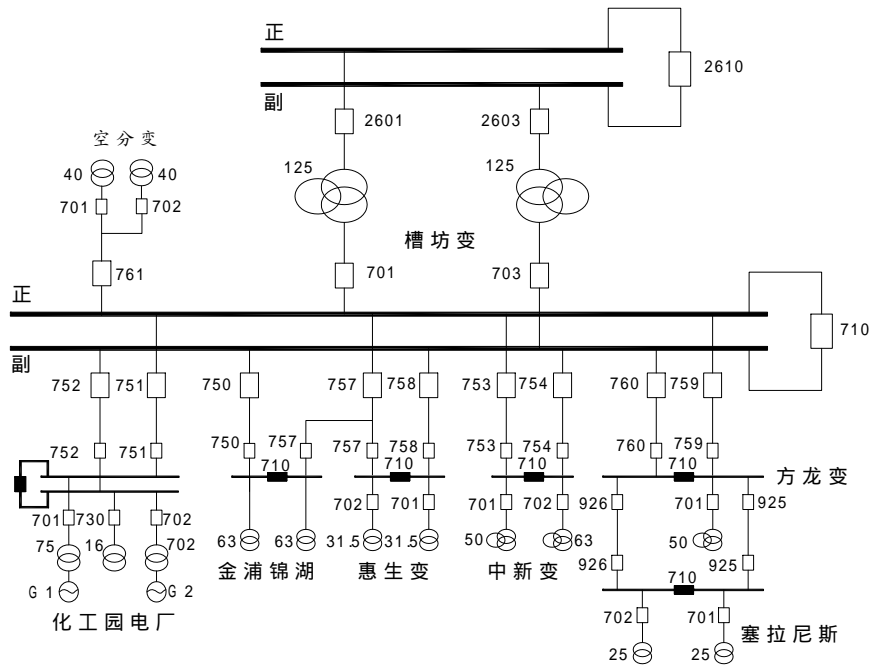
**摘 要:** 南京化学工业园是以高新技术为先导、以石油化工、天然气化工、煤化工、盐化工等基础化工, 精细化工、合成材料等深加工为主的国家级综合性化工开发区, 吸引了近 90 家著名的国内外公司落户于此。根据重化工企业连续生产的特点, 确保驻园企业安全、可靠、优质供电是调度人员的工作之重。本文将从具体的故障事例出发, 分析故障发生时对化工园电网电压幅值的变化情况, 以及对部分用户特定设备的影响程度, 从而制定相应的防范方案。便于用户找到原因所在、改进工艺流程, 减少因电压暂降造成生产损失。

**关键词:** 电压暂降; 分析; 措施

电压是电能质量的重要指标之一。电压质量对电力系统的安全与经济运行, 对保证用户安全生产和产品质量以及电气设备的安全与寿命有重要影响。本文主要探讨电压暂降中的幅值瞬时变化所产生的影响, 即当系统发生突发故障时, 电网电压有效值在短时间内突然下降又回升恢复对用户设备所造成的影响。以南京化学工业园空气化工公司的高压电机为研究对象, 分析近期发生的突发故障对化工用户大型电机设备所造成的影响, 以及有针对性提出改进、防范措施。

## 1 化工园电网结构

据 2010 年电网运行数据, 化学工业园电网最高负荷达 113.99MW (不含企业自发电), 年供电量达 11 亿千瓦时, 全年企业自发电量达 27.6184 亿千瓦时 (扬子、扬巴、惠生公司)。目前公共变电站有 220kV 槽坊变电站, 110kV 中新、方龙变及 35kV 红星变电站, 主变合计容量 496MVA。电网接线方式见图 1。



## 2 故障统计

美国空气化工产品公司是园区内一家大型化工企业，主要产品为压缩液化空气，自备 110kV 用户变一座，40000kVA 主变两台，主要电气设备为两台 20000kW 的高压同步电动机，配备的保护装置为 GE 公司的 D469 电动机保护和 ABB 公司的 D111 型励磁机保护。

## 3 故障分析

表 1 美国空气化工产品公司保护装置统计数据

Date	Dip time	Sustain/s	Trip root cause	infection
2009-11-9	7: 46	120ms	供电电网 A 相接地故障	D111 失步保护动作，电机跳闸
2009-12-21	9: 18	120ms	供电电网 A 相接地故障	D111 失步保护动作，电机跳闸
2010-2-14	11: 38	120ms	供电电网接地故障	D111 失步保护动作，电机跳闸
2010-3-27	10: 40	160ms	供电电网 C 相接地故障	D111 保护告警，电机振动大
2010-3-6	15: 07	120ms	供电电网接地故障	D111 保护告警，电机振动大
2010-4-17	22: 24	160ms	供电电网电压扰动	D111 保护告警，电机振动大
2010-4-20	16: 45	140ms	供电电网 A 相接地故障	D111 保护告警，电机振动大

表 2 同期电网运行统计数据

日期	时间	故障现象
2009-11-9	7: 46	盘城变 2601 开关 A 相流变与 26013 闸刀之间引线断裂，#1 主变 A 保护差动动作跳三侧开关。
2009-12-21	9: 18	槽坊变 110kV 槽龙线 755 因吊车碰线，A 相接地，接地距离 I 段、零序 I 段保护动作跳闸，重合不成。
2010-2-14	11: 38	桃花变 220kV 母差保护动作，三相故障。桃汉 4991 开关“603”光纤差动保护动作跳闸。汉河变汉桃 4991 开关“603”、“753”主保护动作跳闸（A、B 相，故障电流 6828.48A）。
2010-4-23	19: 40	中新变 10kV 普桥线因外破近区短路故障
2010-3-6	15: 07	盘城变 220kV 盘三线 4617 因吊车碰线，光纤差动保护动作、距离零序保护动作跳闸，重合不成（A 相接地，故障测距 2.63km）。
2010-4-17	22: 24	山江变江旺 4Y02 开关接地距离 I 段保护动作跳闸，C 相，重合成功，故障测距 10.43 公里。
2010-4-20	16: 45	槽坊变 110kV 槽龙线 755 开关距离 I 段、零序 I 段动作，重合成功，A 相故障，故障测距 8.9km，故障电流 4.6kA。

表 1 为美国空气化工产品公司保护装置统计数据，表 2 为同期电网运行统计数据。

从统计数据分析，对用户生产造成影响的 7 起故障，非用户设备自身直接原因造成，均为受到电网故障系统电压暂降影响造成，可见有必要分析故障时电压幅值的变化及对大型同步电机的影响程度。

### 3.1 故障发生时化工园电网电压变化分析

依次计算故障电流较为繁琐，就以 110kV 中新变母线短路为例，分析对 220kV 槽坊变 110kV 母线造成的影响。

①计算条件：为简化计算，假设中新变运行方式为 110kV 槽新线带两台主变运行，当中新变 110kV 母线发生三相短路时的情况下计算。

110kV 槽新线架空线为 LGJ-300，长 2.52km，电缆长 1.98km。根据《电力工程电气设计手册》查得 LGJ-300 架空线每公里电抗为 0.382Ω/km，电缆每公里电抗按 0.18Ω/km 计算。

槽坊变 110kV 母线最小短路容量为 648MVA。

计算可知，110kV 槽坊变最小短路阻抗为

$$115^2 / 648 = 20.41 \Omega$$

110kV 槽新线，线路阻抗为

$$0.382 \times 2.52 + 0.18 \times 1.98 = 1.32 \Omega$$

则，110kV 中新变母线三相短路电流为：

$$115 / 1.732 / (20.41 + 1.32) = 3.055 \text{ kA}$$

此时槽坊变 110kV 母线电压为

$$3.055 \times 1.732 \times 1.32 = 6.98 \text{ kV}$$

可见当 110kV 系统发生短路时，对公共 110kV 电压下降十分严重。

②计算条件：中新变 10kV I 段母线短路，分析对槽坊变 110kV 母线造成的影响。

（1）槽坊变最小运行方式下

中新变 1#主变容量为 50MVA，变压器短路百分比阻抗（高-中）为 10.23%，（高-低）为 18.07%，（中-低）为 6.47%。中新变 2#主变容量为 63MVA，变压器短路百分比阻抗（高-中）为 10.35%，（高-低）为 18.36%，（中-低）为 6.58%；考虑两台主变分列运行。

则中新变 1#主变阻抗为：

$$0.1807 \times 115^2 / 50 = 47.8 \Omega \text{（折算到 110kV）}$$

110kV 槽新线，线路阻抗为

$$0.382 \times 2.52 + 0.18 \times 1.98 = 1.32 \Omega$$

110kV 槽坊变最小短路阻抗为

$$115^2 / 648 = 20.41 \Omega$$

则此时中新变 10kV 母线三相短路电流为：

$$115 / 1.732 / (20.41 + 1.32 + 47.8) = 0.955 \text{ kA（折算到 110kV 侧）}$$

而此时槽坊变 110kV 母线电压约为

$$0.955 \times 1.732 \times (47.8 + 1.32) = 81.25 \text{ kV}$$

电压下降为:  $81.25/115=70.65\%$

因槽坊变 110kV 电压下降到额定电压的 70%, 又因空分变电源从槽坊变 110kV 母线接入, 忽略槽坊——空分变 110kV 线路上的电压降, 此时空分变 110kV 电压下降到额定电压的 70%。

(2) 槽坊变最大运行方式下

槽坊变 110kV 最大短路容量为 2169MVA。

由计算可知, 110kV 槽坊变最小短路阻抗为

$$115^2/2169 = 6.1 \Omega$$

由上面的计算可知: 中新变 1#主变阻抗为:

47.8Ω (折算到 110kV)

110kV 槽新线, 线路阻抗为 1.32Ω

则此时中新变 10kV 母线三相短路电流为:

$$115/1.732/(6.1+1.32+47.8) = 1.2 \text{ kA} \text{ (折算到 110kV 侧)}$$

而此时槽坊变 110kV 母线电压约为  $1.2 \times 1.732 \times (47.8 + 1.32) = 102.09 \text{ kV}$

电压下降为:  $102.09/115=88.78\%$

忽略槽坊——空分变 110kV 线路上的电压降, 此时空分变 110kV 电压下降到额定电压的 88%。

由计算可知, 当 10kV 系统发生短路时, 对公共 110kV 电压下降也较大, 尤其在系统运行在最小方式下时, 电压降尤为明显。

### 3.2 同步电机运行分析

同步电机保持正常同步运行的一个必要条件和显著标志是: 它的转速必须与电网严格对应, 电动机的转子和转子磁场必须与定子旋转磁场严格同步。这种严格的对应和同步关系是以转轴上的转矩平衡为基础的。但来自电网、负载以及电机本身的各种扰动不断地破坏着电机轴上的转矩平衡关系。尽管电机按其本身的特性, 具有一定的调节能力, 以功角  $\delta$  的相应变化自动地调节电磁转矩的大小, 以抵消各种扰动所引起的不平衡, 使转轴上的转矩关系处于动平衡之中。但电机的这种自动调节能力是有限度的, 整步功率系数  $\frac{dP_e}{d\delta} > 0$  时, 则是

稳定的。当扰动大到一定程度或超过一定时限, 就会导致电机失步。所谓失步是这种情况, 转子转速不再和定子旋转磁场的同步转速保持一致,  $\delta$  角在 0-360°范围内变化。按失步原因及性质的不同, 可

分为三种失步类型, 即断电失步、带励失步和失磁失步。其中失磁失步是由于电机励磁系统故障引起, 一般与系统关系不大。而断电失步及带励失步则通常与电网有关。断电失磁一般直接由于供电系统故障引起。而带励失步则一般由于母线电压较长时间较大幅度的降低、电动机所带负载的大幅度突增等原因所引起。因此, 由于系统中某一点故障而造成邻近站同步电机失步的情况多为带励失步。

### 3.3 动作原因分析

据分析可知, 当系统发生短路时, 对槽坊变公共 110kV 电压下降较大, 尤其故障在近区或系统运行在最小方式下时, 电压降尤为明显, 可能对同步电机安全运行造成影响。但同步电机按其本身的特性, 具有一定的调节能力, 根据整步功率系数  $\frac{dP_e}{d\delta} > 0$  可知, 只有在公共电压长时间较大幅度的降低的情况下会发生带励失步, 而电压下降的幅值和持续时间的长短对电动机的稳定性息息相关。系统发生短路故障, 主保护动作时限通常为 0 时限, 故障消除时间 200ms 以内, 电网电压能在极短时间内恢复, 同步电机应能躲过 110kV 短路引起的电压下降。

就需要从空分公司的电机保护设置再进行分析。空分变高压电机励磁控制机 D111 励磁保护时限设置为 0.1s, 电动机 D469 低电压保护时限为 2s。电网电压波动时, 故障电流一般为 120-140ms 间, 在 D111 保护时限在范围内, D469 保护不受影响。这样就可得出结论: 空分公司的同步电机在系统故障发生时, 电机同步励磁控制器电源受电压暂降的影响, 判断同步励磁失步, 引起电机励磁系统故障, 从而造成同步电机运行失步造成跳闸, 而空分公司同步励磁控制器电源取自公共电源。系统故障形成的低电压只是诱因。

## 4 防范措施

正确判断跳闸原因后, 要提高同步电机的稳定, 对于电网及用户来说, 需做到:

(1) 增大系统短路容量, 由计算可知: 在引用例子中, 槽坊变短路容量取最大值时, 中新变 10kV 母线短路引起槽坊变 110kV 母线电压下降较小, 继而引起空分变 110kV 母线电压下降的幅值较小。这

点是基于减少 10kV 线路近区短路故障对大用户的影响;

(2) 采取快速开关和保护, 迅速切除故障点, 使电压快速恢复, 减少电压波动的时间和幅值;

(3) 因为同步电动机并不是电压幅值一降低就立刻失步的, 电机能以功角  $\delta$  的相应变化自动地调节电磁转矩的大小, 以抵消各种扰动所引起的不平衡, 只要不打破电机的稳定极限, 电机还是能保持动态稳定, 不失步。基于此原因, 该电动机的失步保护时限在设备允许范围内可适当延长, 躲避瞬时故障的影响。经调度、厂方人员与外方电机厂家、保护厂家协商, 目前 D111 保护时限调整为 0.2s;

(4) 重要的是工艺流程上采取技术革新, 关键装置控制电源采用 UPS 电源集中供电, 确保故障发生时控制器本身不误动作或延时动作, 等待公共电网的电压恢复。在设备运行允许的范围内减少误动作次数, 减小损失。美国空分公司目前已对其高压电机励磁控制机电源进行改造, 统一从 UPS 电源供电。实践来看, 通过一个小小的技术改进, 大大提升了企业自身设备的安全稳定运行。

## 5 结论

近年来, 随着化工园不断发展壮大, 负荷及电量呈几何倍数增长, 重要性日显突出, 调度作为电网运行管理者深感到责任重大。本文从电网常见的电压暂降现象为切入点, 分析对特定用户造成影响的具体原因, 并从减少用户投资、切实可行的角度提出技术改进建议和方案, 为减少用户经营损失,

提升调度人员为大客户主动服务意识领域开创了新的思路。在日常应用上针对化工企业设备运行特点, 通过调度专业人员的建议, 对重要高、低压电机的控制电路进行 UPS 电源改造, 减少系统电压暂降的影响范围, 在化工园区内企业(丁苯橡胶公司、菱天公司等)已得到充分运用并取得良好的成效, 显著提高用户设备的运行稳定性。

以上是对电网电压波动影响范围及防范措施的分析论述, 因所学专业较浅, 故障分析评述难免有疏忽遗漏之处, 敬请各位专家批评指正。谢谢!

### 参考文献:

- [1] 电力工业部电力规划设计总院. 电力系统设计手册[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.
- [2] 史步海, 张选正. 特种电动机调速控制技术及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2010.
- [3] 崔家佩, 孟庆炎, 陈永芳. 电力系统继电保护与安全自动装置整定计算[M]. 北京: 中国水利出版社, 1993. 26-133, 395, 531.
- [4] 林渭勋. 电力电子技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2006.
- [5] 南京供电公司. 南京供电公司电力调度规程[Z]. 南京: 南京供电公司, 2008.

### 作者简介:

耿 铨 (1973—), 男, 江苏南京人, 工程师、调度技师, 从事调度控制运行管理、保护整定管理方面工作。