

工业硅冶炼 35kV 配电系统 PT 过压防护技术应用

武荣强

(新疆西部合盛硅材料有限公司 832011)

摘要: 由于工业硅冶炼操作工艺(推料、捣炉、出炉)及其冶炼特点(空烧、刺火、大塌料)决定了工业硅冶炼过程中,时刻对配电系统的电能质量造成一定影响,具体表现在:电压骤变、电压不平衡、谐波扩大等,都可能在工业硅冶炼过程中引发电压波动,进而造成烧坏其他用电设备和自身配电设备。技术方案目的在于优化母线 PT 保护配置,避免母线 PT 烧毁和熔断器熔断,提高工业硅系统供电可靠性,降低系统运行风险,减少非计划停电,提高生产效益。拟将母线 PT 柜升级改造为低残压母线过电压保护装置。装置采用低残压保护技术和母线 PT 综合智能抗谐波保护技术,解决母线过电压防护问题和 PT 运行安全隐患措施。

关键词: 工业硅炉, PT(电压互感器), 电压波动, 低残压保护技术

1. 引言

工业硅冶炼对电网电能供应需求主要体现在其高功率、高耗能、大幅度频繁波动的操作工艺和冶炼特性上。这种冶炼过程需要大量的、稳定的电力支持。因此,任何电力供应的不稳定都可能直接导致电压波动。由于工业硅冶炼操作工艺(推料、捣炉、出炉)及其冶炼特点(空烧、刺火、大塌料)决定了工业硅冶炼过程中,时刻对配电系统的电能质量造成一定影响,具体表现在:电压骤变、电压不平衡、谐波扩大等。具体来说,如电压骤降、电流不平衡等,都可能在工业硅冶炼过程中引发电压波动。电流谐波和不平衡会导致负载侧功率因数下降,这不仅影响冶炼过程的稳定性和效率,也可能对电网造成冲击,进一步加剧电压波动。其危害之一就是容易造成烧坏其他用电设备和自身配电设备。

2. 问题

某硅业 6#35kV 高压配电室 PT 柜原使用消弧柜兼 PT 功能,自投入使用以来,PT 柜频繁出现烧断 PT 保险情况,后改造为普通 PT 柜,问题依旧得不到改善,甚至出现多次烧坏 PT 现象。某年 4 月 28 日凌晨 1 点,6#35kV 高压配电室 PT 柜起火爆炸,进线速断保护动作跳闸。经检查,A、B 相 PT 保险烧毁,保险管炸裂,A 相电压互感器本体出现严重的内部过热及放电现象,造成了电压互感器本体的环氧树脂外壳炸裂,一次线圈绕组烧断炸散。

PT 即电压互感器,是将母线的高电压转换为可计量低电压,供给二次回路提供计量、测量、保护信号的重要设备。PT 柜是整个配电系统的绝缘薄弱点之一。PT 故障即母线故障,表现为熔断器熔断、PT 本体炸裂、避雷器击穿,易引起进线断路器跳闸,导致大面积停电,影响较大。此时,合理的过电压防护与绝缘配合和 PT 综合保护方案显得尤为重要,但设计和运行过程中往往很容易被忽略。某硅业 6#35kV 配电室现有的 PT 及过电压防护方案存在电缆放炮,避雷器爆炸和 PT 烧毁等事故隐患,反映出设计配合上出现不合理。

本技术方案是根据硅业供电系统运行概况拟定的一

个针对性方案,可保证硅业供电系统安全可靠运行,提高电网及工业硅冶炼生产用电设备的安全性、可靠性。

3. 工业硅冶炼中压配电系统几种过电压

工业硅冶炼中 35kV 中压系统存在如下几种过电压:工业硅炉在停送电时断路器分合闸动作过程中产生的操作过电压;工业硅炉在空烧、刺火、大塌料不正常工艺过程中产生的工艺过电压;工业硅炉在推料、捣炉、出炉操作过程中产生三相电流瞬间不平衡引起的操作过电压;硅炉补偿电容器损坏,电容元件和非线性电感在一定条件下也可能产生的谐振过电压;雷击时产生的大气过电压和单相接地时产生的弧光过电压等。下图是仪器捕捉到的某厂在工业硅炉送电操作过电压波形骤变如图 1

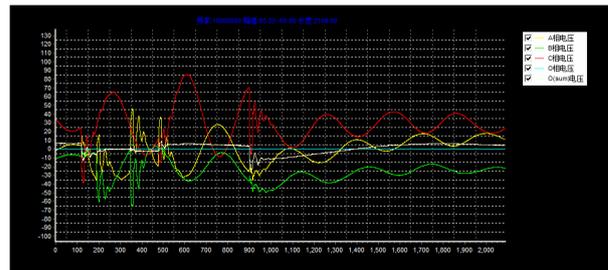


图 1: 电炉送电操作过电压波形

4. 低残压保护技术应用意义

国内外的研究和运行经验表明,激发固体绝缘如交联聚乙烯绝缘电缆等故障有很多因素,最主要因素是雷电过电压效应,运行中的旧电缆因树枝劣化只有 0.7 倍的雷电冲击耐受强度。按 0.7 倍额定耐受进行绝缘配合和保护,即将金属氧化物避雷器的保护残压降低 30%,美国北方地区电力公司和新墨西哥电力公司两年的运行统计,电缆故障率下降 80%~90%,更重要的是电缆寿命将显著延长。有研究实验表明,在避雷器标准残压 134kV 冲击下,35kV 交联电缆仅能支撑 60 次左右。

由于某硅厂 35kV 中压系统采用非有效接地方式,即小电阻接地方式,想要大幅降低金属氧化物避雷器的保护残压难度很大。某公司研发的“低残压”保护技术的突破,使得这种应用成为了可能。用低残压保护控制器

取代母线型金属氧化物避雷器，其目的是担任母线过电压限制，其作用是更好的保护连接在母线上的所有设备免受过电压的损伤。实验表明，低残压保护技术对母线过电压的抑制效果可以提高 30%以上，很大程度上降低 PT 出现绝缘闪络故障的机率，提高配电系统运行的稳定性。

低残压保护单元使系统遭受的由外部侵袭过来的雷击过电压降低 30%，如 10kV 系统可由 45kV 降低到 31.5kV 以下，35kV 系统可由 134kV 降低到 93.8kV 以下。

作为母线的一级过电压保护，残压降低 30%，将大大提高电机型避雷器等二级防护的效果，更能对电缆提供更完善的保护，大大提高电缆的运行寿命。

5、解决技术方案

针对工业硅冶炼中 35kV 中压系统存在的几种过电压情况，制定了本技术方案。目的在于优化母线 PT 保护配置，避免母线 PT 烧毁和熔断器熔断，提高工业硅冶炼系统供电可靠性，降低电网系统运行风险，减少非计划停电，提高生产效益。本技术方案拟将现场 PT 柜升级改造为低残压母线过电压保护装置。装置采用低残压保护技术和 PT 综合智能抗谐保护技术，解决母线过电压防护问题和 PT 运行安全隐患。

低残压母线过电压保护装置采用某公司研制的专用低残压保护单元 (DB30-D)，能在满足国家标准残压值基础上再降低 30%，相当于设备绝缘水平提高 30%，对 PT 等弱绝缘设备的过电压防护意义重大。

低残压母线过电压保护装置采用专用的“瞬悬复”技术，该技术由智能开关 (PTK) 和一次消谐器配合。从根本上解决了系统出现电压波动故障消除后，PT 或 PT 熔断器损坏的问题。原理如图 2。

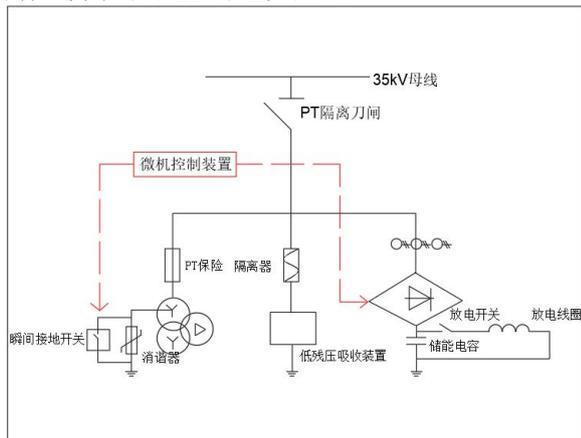


图 2：低残压母线过电压保护装置原理图

低残压母线过电压保护装置特点主要体现在以下几个方面：

- 1) 提高 PT 饱和点；
- 2) 低残压防护技术在国家标准基础上，将母线过电压残压值降低 30%，相当于设备绝缘水平提高 30%，有效保护系统中电缆、电机、电压互感器等弱绝缘设备。

3) 采用“瞬悬复”技术；其作用：采用“瞬悬复”技术，配合抗饱和和 PT，解决了在单相接地消失时，系统电网对地电容电流对 PT 造成的放电冲击，进一步保护了 PT。

电网正常运行时，智能开关 PTK 是闭合的。在中性点经小电阻接地系统中，发生单相接地时，故障点流过电容电流，非故障相的电压升高到线电压，其对地电容充以与线电压相应的电荷。在单相接地故障期间，此故障点流过电容电流，以接地点为通路。此时由于电压互感器的激磁阻抗很大，其中流过的电流很小。小电流接地选线装置开始寻找接地故障线路，一旦寻找到系统中的接地故障点，并将故障点从系统中切除后，这个电流通路被切断，非接地相将会由线电压恢复到正常相电压水平。由于接地故障点已断开，非故障相在接地期间充积累的电荷，此时只有通过互感器高压侧绕组的中性点进入大地。在这一瞬变过程中，低残压母线保护装置控制器通过采集电压互感器的信号变化，及时将智能开关 PTK 快速打开，从而切断系统对地电容电流对 PT 的放电冲击，有效保护了 PT 及其熔断器。在 35kV 中性点经小电流接地的电力系统中，90%以上的 PT 烧毁都是与单相接地有直接关系的。

4)非线性谐振过电压限制：非线性谐振即铁磁谐振，电压互感器发生铁磁谐振时，控制器二次消谐工作 600ms 左右，若谐振问题未解决，控制器打开 PTK，投入一次消谐器。防止二次消谐长期工作，造成开口三角绕组或微机消谐烧毁。二次消谐能解决的谐振问题，尽可能的不投入一次消谐器，避免一次消谐器长期投入造成损坏或中性点偏移。

5)故障报警及记录：装置故障报警功能及在线测量与记录故障电压波形，以便事后原因分析和故障查找。

6. 改造实施方案

本技术改造实施方案，是在原来 PT 柜上进行改造。

- 1)保留原 PT 柜基本功能，更换主要核心元器件；
- 2)拆除原有电压互感器，更换为励磁性能好的抗饱和电压互感器；
- 3)拆除原有氧化锌避雷器，更换为低残压保护单元；
- 4)仪表门重新布置，安装 DB30 智能控制器，重新安装二次控制回路；
- 5)在 PT 一次中性点增加智能开关和一次消谐器；
- 6)在 PT 二次回路开口三角绕组串接 1Ω 阻尼电阻。

7. 技术改造后实施效果

通过本次改造，某硅厂 6#35kV 高压配电室 PT 柜，运行一年，没有出现烧断 PT 保险及 PT 本体情况，出线电缆及电动机运行没有发现异常。具体表现在：

- 1)避免了因电压互感器柜故障导致母线停电发生大面积停电事故发生；
- 2)有效减少熔断器频繁熔断现象，保障供电连续性；
- 3)有效抑制中性点震荡引起的 PT 低频涌流冲击；

4)有效抑制供电系统中发生的工业硅炉在停送电过程中产生的操作过电压;工业硅炉在空烧、刺火、大塌料不正常工艺过程中产生的工艺过电压;工业硅炉在推料、捣炉、出炉操作过程中产生三相电流瞬间不平衡引起的操作过电压;硅炉补偿电容器损坏产生的谐振过电压;雷击时产生的大气过电压和单相接地时产生的弧光过电压等高幅值高频部分、铁磁谐振过电压、谐波畸变过电压高频部分。

5)保护器具有 PT 断线报警、谐振过电压报警、弧光接地报警、金属接地报警等功能;

6)可以准确记录系统故障状态下的参数及电压波形,便于事故原因分析;

7)在国家标准基础上,将母线过电压残压值降低 30%,相当于设备绝缘水平提高 30%,有效保护系统中电缆、电机、电压互感器等弱绝缘设备;

8)配置对外通讯接口,采用 MODBUS RTU 通讯协议,可嵌入后台,方便运维人员实时了解运行状态。

参考文献:

[1] 王 策.35kV 开关柜 PT 击穿故障与合闸过电压之间关系的分析 [J] 江西建材,2017(13):194.

[2] 潘斯铭.一起 35kV 母线 PT 高压侧熔断管烧坏事故的原因及解决方案研究[J]山东工业技术,2015(22):207.

[3] 张海明.合理避免开关柜运行中 PT 烧坏[J]黑龙江科技信息,2016(01):119.

[4] 韦克峰.一起 35 kV 母线 TV 烧坏事件的分析与思考[J]广西电力,2019(02):44-45.

[5] 赵梦雅,梁志瑞.配电网 TV 高压熔断器熔断影响因素的分析[J]电测与仪表,2016(21):81-86.

[6] 《高压输变电设备的绝缘配合》(GB311.1-2012) [S].