

集合式高压并联电容器耐爆设计浅谈

周则望

(日新电机(无锡)有限公司,江苏 无锡 214000)

摘要:本文讨论了集合式高压并联电容器在设计时,耐爆能力的考虑;提出了一些在耐爆方面,设计时需要注意的要点,并提出了一些设计时的建议。

关键词:集合式高压并联电容器;机械强度;串并联;压力保护;耐爆

[DOI]10.12231/j.issn.1000-8772.2020.35.208

电容器在现代工业领域中应用十分广泛,种类很多。集合式高压并联电容器是其中一种,其主要用于电力输配电系统、高电压试验等,耐爆能力是它的一项重要安全性指标。

高压并联电容器的耐爆能力主要考核的是当电容器发生极间击穿时注入故障点的能量是否会导致电容器箱壳产生爆炸破裂。

并联电容器在运行中发生极间贯穿性击穿短路故障时,由于与之直接并联的所有健全电容器首先对故障电容器短路放电,以及随即由电源提供的工频故障电流通过故障通道,极有可能导致故障电容器的外壳爆裂。为了避免爆裂起火等重大事故的发生,集合式高压并联电容器需严格按照国家集合式电容器的相关标准进行设计,并优化心体结构,杜绝电容器箱壳的破裂。具体实施方法如下:

1 严格执行集合电容器标准

电容器箱体的机械强度满足标准《JB/T 7112-2000 集合式高压并联电容器》第 5.2.6 条机械强度要求:外壳应有足够的机械强度,并能满足正常起吊、运输状态下无明显变形;DL/T628-1997《集合式高压并联电容器订货技术条件》第 4.30 条机械强度要求:电容器外壳应有足够的机械强度。所以,在设计集合式电容器箱体时应明确:应能承受住在其内部施加 0.1MPa 负压及 0.06MPa 正压的机械强度试验,而无损伤及永久性变形,并在正常起吊、运输状态下无明显变形。针对 35kV20000kvar 的集合式电容器,设计时可将电容器外壳壁板,设计成波浪形,并辅以扁钢加强,从而加强机械强度并达到增加散热面积的效果,如图 1 所示:

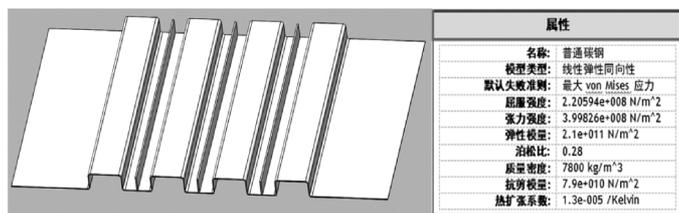


图 1

图 1 中,箱体采用 Q235 碳素钢,波纹结构设计,当给箱体板施加 1.035 个大气压的压力时,设计仿真的结果如图 2 所示:

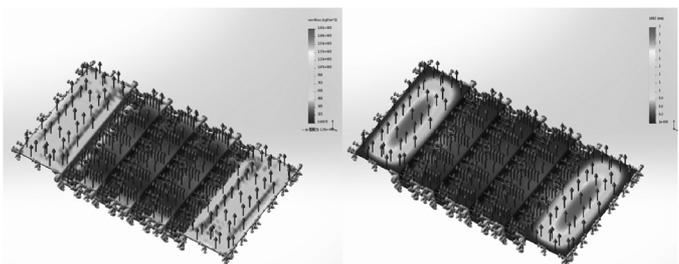


图 2



图 3

结果显示,应力最大为 1830kgf/cm²,位移最大为 3mm,完全符合设计基准:应力小于 2500kgf/cm²,位移小于 5mm。

通过型式试验验证,此形式的电容器外壳,机械强度足够,完全可以耐受电容器相应的内部压力,具体试验数据详见图 3。

2 电容器内部结构

能使电容器箱体破裂的电容器故障,需发生极间贯穿性击穿,而集合式电容器内部串联段较多,以 35kV20000kvar 的集合式电容器为例,内部结构 32 并 12 串,须使 12 个串联段全部击穿。在设计集合式电容器时,场强应尽量低,从而降低发生元件击穿的概率。即使发生元件击穿(即容量变化),一个串联段击穿时,电容器差压保护发出跳闸信号,电容器随即退出运行,其余串联段承受过压的时间相当短暂不会发生元件击穿。且 1 个串联段发生击穿短路时,由于串联数较多,其余完好串联段承受的过电压也较低(如 12 串的电容器有 1 串击穿时其余串联段的过电压仅为 1.09 倍),不会发生极间贯穿性击穿。因此集合式电容器不可能发生极间贯穿性击穿,不会导致箱体破裂。以 35kV20000kvar 集合式电容器为例,爆破能量计算如下:

集合式电容器各差压段内部元件接线如图 4 所示,当电容器内部一个元件发生击穿时,该串联段剩余完好元件对故障点 P 注入能量。同时,该串联段以外的其余完好元件对故障点 P 注入能量。

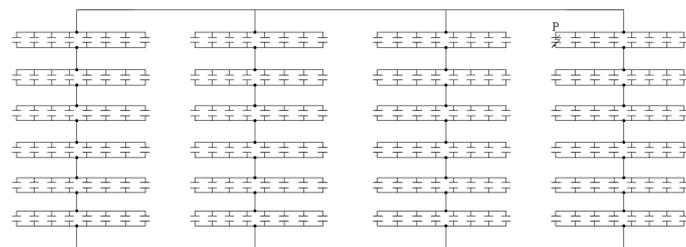


图 4 电容器内部元件接线

放电能量计算如下:

$$W_p = \frac{1}{2} C_{\Sigma} U_{\Sigma}^2 \left(1 - \frac{C_{\Sigma}}{C_{\Sigma g}} \right)$$

其中, W_p -注入故障点的能量; C_{Σ} -故障前总的电容量为 $8C \times 4/6 = 16C/3$; U_{Σ} -故障前电容器两端的峰值电压(考虑 1.1 倍过电压)为: $1.1 \times \sqrt{2} \times 42/2 \sqrt{3} = 18.861 \text{ kV}$; $C_{\Sigma g}$ 为故障后总的电容量为 $28C/5$

代入上式

$$W_p = \frac{1}{2} \times \frac{16}{3} C \times (18.861)^2 \times \left(1 - \frac{\frac{16}{3} C}{\frac{28}{5} C} \right) = 45.17C$$

其中, $C=40.6 \mu\text{F}$ 代入上式得

$$W_p = 45.17 \times 40.6 = 1834 \text{ W} \cdot \text{s} = 1.834 \text{ kW} \cdot \text{s}$$

结论: 一个元件击穿时, 注入故障点的爆破能量为 $W_p = 1.834 \text{ kW} \cdot \text{s}$, 注入故障点的爆破能量仅 $1.8 \text{ kW} \cdot \text{s}$, 远小于 $15 \text{ kW} \cdot \text{s}$ 的要求, 满足要求。

3 采用双重压力保护

为应对集合式电容器常规内部故障时产生的压力, 在保证高机械强度箱体设计的同时, 可采取双重压力保护措施, 具体如下:

(1) 在电容器波纹式油量补偿膨胀器侧面安装限位开关, 当箱体内部出现异常气体的时候, 波纹膨胀器会瞬间膨胀, 当内部压力超过 0.03 MPa 时, 膨胀器侧壁触及行程开关, 由此发出跳闸信号, 使电容器退出运行。

(2) 在电容器箱体上部装有压力释放阀。当电容器内部出现故障时, 箱体内压力迅速增加, 当油箱内部压力大于 0.05 MPa 时, 压力释放阀在 2 ms 内迅速动作, 释放出压力并发出跳闸信号, 使电容器退出运行, 确保箱体不致变形或爆裂。

由于电容器箱体可以承受 0.1 MPa 正压力而无损伤及变形, 在箱体破裂前膨胀器压力保护及压力释放阀压力保护的双重保护均已动作, 因此不会因压力导致变形或爆裂。

4 结束语

综上所述, 在设计集合式电容器时: (1) 内部心体采用串联段数量多、并联段分割开的结构形式, 以确保不发生极间贯穿性击穿; (2) 加强集合式电容器箱壳的机械强度; (3) 采用双重压力保护; 在以上三方面改善设计, 可以有效提高集合式高压并联电容器的耐爆能力。

参考文献

- [1] JB/T 7112-2000《集合式高电压并联电容器》。
- [2] DL/T 628-1997《集合式高压并联电容器订货技术条件》。