

35kV 高压开关柜内部电场仿真及其影响因素分析

曹博宇¹ 李红雷² 高娟娟³

1 身份证号码: 1201101993****1219

2 身份证号码: 1202241987****111X

3 身份证号码: 6127291992****5464

【摘要】 35kV 开关柜的控制、绝缘、保护等功能由绝缘结构实现, 但长期的运维经验表明, 开关柜的绝缘事故是导致其运行故障的主要因素之一。

【关键词】 35kV 高压开关柜; 电场; 优化

开关柜的绝缘结构与其内部电场特性密切相关, 包括电场分布、场强大小、电场畸变与集中等, 特别是开关柜的实际产品具有复杂的内部结构、不同的零件尺寸和复杂的场域边界, 从而使三维电场有限元分析及求解较困难, 尤其在紧凑型开关柜制造与检修中, 绝缘隔板通常安装在金属导体外包覆绝缘套触头盒区域相间, 或在触头盒内加均压环, 以弥补绝缘间隙的不足。基于此, 本文详细讨论了 35kV 高压开关柜内部电场的模拟及其影响因素。

1 35kV 高压开关柜

35kV 高压开关柜用于电力系统发电、输电、配电、变电、用电, 起着通断、控制、保护等作用。高压开关柜分为 3.6kV ~ 550kV 电气产品、高压隔离开关及接地开关、高压负荷开关、高压自动重合及分段器、高压操动机构、高压防爆配电装置、高压开关柜等。其具有架空进出线、电缆进出线、母线连接等功能, 主要用于发电厂、变电站、石化、冶金轧钢、纺织、矿业、住宅、高层建筑等场所。

1.1 组成

开关柜应符合《交流金属封闭开关柜标准》的有关要求, 由柜体、断路器组成。其中, 柜体由壳体及电气元件(含绝缘件)、各种机构、二次端子、连线等组成。材料、冷轧钢板或角钢(焊接柜用)、镀锌钢板或镀锌钢板(组装柜用)、不锈钢板(非磁性)、铝板(非磁性)。

1.2 柜体功能单元

主母线室通常以“品”形或“1”形布置。断路器室、电缆室、继电器、仪表室、柜顶小母线室。

1.3 电气部件

柜内常用电气一次元件(主回路设备), 常见设备包括: 电流互感器(CT)、电压互感器(PT)、接地开关、避雷器(阻容吸收器)、隔离开关、高压断路器、高压接触器、高压熔断器、变压器、高压带电显示器、绝缘件、高压电抗器、负荷开关、高压单相并联电容器。

2 母线室整体建模及电场仿真

本文的 35kV 高压开关柜母线室, 包括高压母排、分支母排、触头盒、接地金属外壳、穿墙套管、安装板等。

因开关柜各部件结构尺寸相差大, 此外, 为了增加

爬电距离, 每个部件的外轮廓通常为不规则曲面。若直接采用自由剖分, 其结果剖分网格质量差, 计算精度不高, 或由于单元数过多导致计算机内存溢出和剖分失败。针对母线室结构特点, 采用分区域建模与局部细化剖分, 分别处理计算域内不同空间区域及结构。

2.1 分区建模与剖分

将整个求解域划分为多个不同区域, 并根据不同结构件几何特征剖分, 以保证每个区域结构件尺寸在同一空间尺度。另外, 相邻区域空间尺度相差不大, 解决了单元数过多导致剖分失败的问题。建立的 A 相回路包括母排、穿墙套管、触头盒, 空间尺度接近, 所以剖分网格尺度差小且分布均匀, 有利于求解。

2.2 局部精细化剖分

对于导体、绝缘件、气体交界处, 特别是穿墙套管区母排与套管间空气隙、触头盒区分支母排、静触头导电杆连接等电场集中区进行局部细化剖分, 提高计算精度。分层处理环绕带电母线空气域, 母线附近空气域进行局部细化剖分, 网络密集。

3 局部电场仿真分析与优化

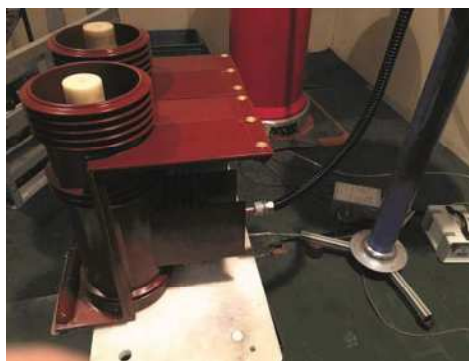


图 1 35kV 触头盒局放试验

3.1 35kV 开关柜触头盒区域电场模拟与优化

对母线室集中电场触头盒的电场分布及优化措施进行了模拟, 分析在不同位置装设不同厚度绝缘隔板对触头盒内与其相间空气域电场分布的影响。

1) 绝缘隔板对触头盒区域电场分布的影响。以环氧树脂隔板为研究对象, 分析了隔板厚度及安装位置对触头盒内电场分布的影响。在相间中间处安装 1053mm 厚的

绝缘隔板及无隔板等。由于绝缘隔板厚度与母线间距相差较大,绝缘隔板厚度在一定程度上对改善触头盒内电场分布无明显影响,进一步分析表明,绝缘隔板区域场强明显减小,类似于热缩套管降低场强的效果,在相间不同安装位置加装10mm厚环氧树脂隔板工况下,上述分析表明,在开关柜内加装绝缘隔板可提高绝缘强度,然而,开关柜的绝缘结构并未得到根本改善,为了缩短柜体尺寸,许多制造商都减少了相相对地距离,开关柜内加装绝缘隔板,加强绝缘。在实际运行中发现,在潮湿寒冷的天气下,开关柜室内湿度较大,导致开关柜内积灰受潮,水气附着在绝缘隔板上,在长时间高压作用下,极易引起放电事故。

2) 研究均压环对触头盒区域电场分布的影响。合理使用均压环可改善局部电场分布,建立触头盒区域仿真模型,比较分析均压环对其电场分布的影响,分析结果表明,增加均压环降低了触头盒内场强值,增加触头盒外场强值,使整个空间电场分布更加均匀,达到了优化电场的效果。

3.2 穿墙套管区域电场仿真与优化

分析了屏蔽罩安装在穿墙套管内是否对套管区电场分布的影响,仿真中采用的激励、边界条件与母线室整体仿真模型相同。

带屏蔽罩与不带屏蔽罩的套管横截面上电场分布计算结果表明,屏蔽罩能显著改善相邻区域的电场分布,屏蔽罩的引入使整个空间场强最大位置从母线与穿墙套管之间的空气间隙向屏蔽层附近移动,其场强值有一定程度的减小。

尽管套管区最大场强值有所增加,但由于套管通常由高绝缘强度材料制成,因而,加装屏蔽层将电场限制在穿墙套管中,削弱了套管与母排间空气间隙电场场强,有利于提高套管处电场集中度和整体绝缘水平。

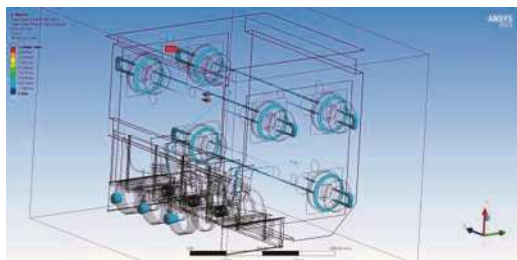


图2 35kV 开关柜母线室电场强度大于 3kV/mm 的电场位置

3.3 螺栓露牙长度对场强分布的影响

1) 螺栓露牙数对局部场强分布的影响。根据工频耐压试验标准,采用两母排间施加35kV电压仿真模型,计算不同间距不同条件下,最大场强对应的最大场强值越小,在相同数量下,相应的场强随母线间距的减小而增大。为了定量评判开关柜在工程试验中的绝缘性能,不同间

隔和不同最大允许场强下的最大露牙数,母线间距较小时,螺栓露牙数应小于GB50149中“2-3扣”的建议值。

2) 母排搭接盒对局部场强分布的影响。为了提高开关柜绝缘性能,许多厂家在开关柜母排搭接处加装了母排搭接盒,这样金属螺栓就不会暴露在搭接处,但搭接盒与螺栓底部位置距离缺乏有关,当露牙数为2.5扣,搭接盒厚度为3mm时,当螺栓底部与搭接盒间的距离不同时,计算得出无搭接盒时的最大电场强度为 $2.25\text{kV}\cdot\text{mm}^{-1}$ 。

4 结论

采用分区建模及局部剖分细化方法,建立了高压开关柜母线室的三维有限元仿真模型,模拟了额定电压下母线室的三维电场分布,得到了开关柜母线室的电场分布特征,并进一步模拟了主电场集中部位的局部优化技术,得出以下结论:

(1) 针对触头盒区域,分析了增设绝缘隔板与均压环对触头盒区域电场分布的影响。仿真分析表明,在相间增加绝缘隔板能提高局部绝缘电阻,降低隔板区电场强度。当厚度为3~10mm时,对改善触头盒区域电场分布无明显效果;在触头盒内加装均压环,可显著降低其最大电场值,使整个触头盒内电场分布更加均匀;埋深在5~15mm时,该区最大电场强度变化不大。

(2) 针对穿墙套管区域,研究了套管内屏蔽罩对电场分布的影响。仿真结果表明,屏蔽罩的引入使空间场强的最大位置从母线与穿墙套管之间的空气间隙向屏蔽罩附近移动,最大场强降低到41.5%,大幅改善了附近区域的电场分布,有助于提高整体绝缘强度。

(3) 对于螺栓露牙问题,通过模拟计算得到了不同母排间距及不同露牙数下最大场强,通过对仿真数据的整理及处理,获得了在带搭接盒、不带搭接盒工况下,不同间距下最大允许露牙数。紧凑型开关柜母排间距小,螺栓允许露牙数应小于GB 50149中“2-3扣”的建议值,母排间距越小,允许露牙数应相应减少。

以上分析结果对改善35kV高压开关柜内部电场分布,优化局部电场,提高整体绝缘水平,指导新产品研发及产品质量提升具有一定参考价值。

【参考文献】

- [1] 高杨. 高压开关柜的三维电磁场数值仿真[J]. 信息与电子工程, 2015(12).
- [2] 杨景刚. 高压开关柜内部电场仿真及其影响因素分析[J]. 高压电器, 2017(06).