[开关设备]

一种电流互感器内部结构改进设计

文/西安西电开关电气有限公司　张　杭　郝学东

对252 kV气体绝缘金属封闭开关设备配置卧式断路器装配电流互感器的内部导体提出了改进设计，并通过Maxwell 3D计算软件对更改后的结构进了静电场仿真计算分析。改进后的电流互感器的内部导体各项参数符合要求。为验证产品可靠性，还进行了1.1倍绝缘的裕度试验。

气体绝缘金属封闭开关设备（以下简称GIS）经过近半个世纪的研发、运行及发展，已形成完善的系列产品，并在电网中表现出前所未有的优良使用性能，为国家经济发展做出引人注目的贡献。

为提升变电运检管理水平，国家电网公司全面总结多年来变电设备运维检修管理经验，编制了《国家电网公司变电验收通用管理规定》。《国家电网公司变电验收通用管理规定》要求：断路器和电流互感器之间应设置隔板（盆式绝缘子），这要求将现有GIS用电流互感器气室与断路器气室分开，使电流互感器气室形成一个独立气室或与其他元件共用一个气室。为满足用户要求，提升产品适应性，工程设计时在不改变原GIS用电流互感器与断路器内部结构的情况下，在电流互感器与断路器之间增加过渡母线筒，并在过渡母线筒与断路器之间设置盆式绝缘子，从而实现断路器和电流互感器分气室。但由于原断路器与电流互感器共用一个气室，表压相对GIS其他元件较高，电流互感器内部绝缘裕度较高，而原断路器与电流互感器实现分气室后，电流互感器形成一个独立气室或与隔离开关共用一个气室，其表压相对断路器气室表压有所降低，致使电流互感器内部绝缘裕度有所降低。

为实现GIS用断路器和电流互感器之间设置隔板，使断路器与电流互感器实现分气室，更需要将电流互感器气室内部结构优化，切实提高绝缘性能。

通过对252 kV气体绝缘金属封闭开关设备配置卧式断路器装配分气室电流互感器的内部导体结构进行分析，提出优化改进方案，并通过Maxwell 3D计算软件，对优化后的结构进行了电场三维模拟计算分析，最后通过对样机进行绝缘试验，证实了改进的可靠性。

改进前后的内部结构

在断路器和电流互感器之间设置隔板（盆式绝缘子）的252 kV GIS配置卧式断路器装配电流互感器内部导体的原结构如图1所示。从图1可以看出，电流互感器内部装配主要由电流互感器壳体、电流互感器线圈、导体、触头和盆式绝缘子等部分组成。导体及触头原结构图如图2所示。从图2可以看出触头2及导体5的结构，导体5直径为d=125 mm，导体与电流互感器内屏蔽距离L_1较小。

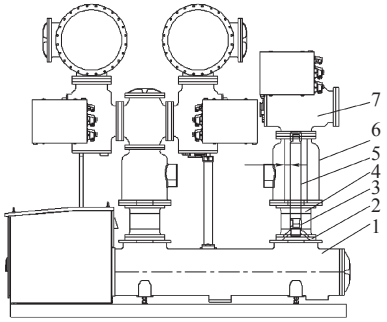

图1　电流互感器内部导体原结构图

1—断路器　2—盆式绝缘子　3—触头座　4—过渡母线筒
5—导体　6—电流互感器　7—隔离开关

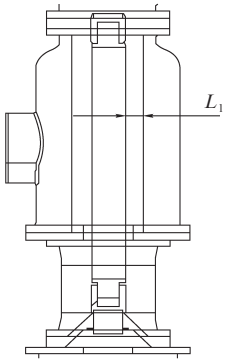

图2　导体及触头原结构图

改进后的结构如图3所示。从图1、图3比较可以看出，主要做了以下的改动：①优化了触头座3的结构；②改进了导体5的结构。改进后的触头和导体利用现有套管内部导体结构，通过计算，在保证通流能力不变的情况下，使其导体直径变小，导体5直径为$d=90$ mm，导体与电流互感器内屏蔽距离L_2明显增大。改进后电流互感器内部导体结构如图4所示。

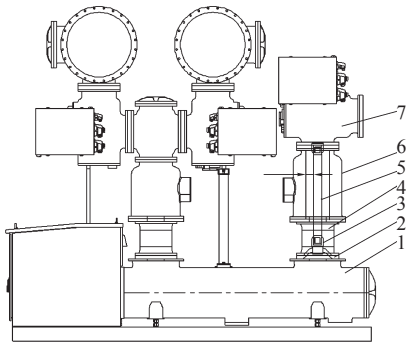

图3　电流互感器内部导体结构图

1—断路器　2—盆式绝缘子　3—触头座　4—过渡母线筒
5—导体　6—电流互感器　7—隔离开关

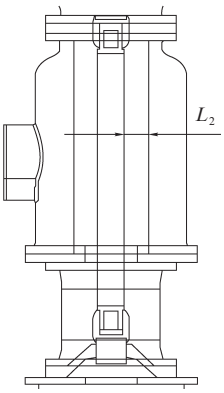

图4　优化后导体及触头结构图

通过比较可以发现，改进后的结构，不仅可以将电流互感器用的导体结构优化得更为简单，而且在不改变产品原有结构的情况下，使电流互感器内部通流能力不变，并且通过增大导体与电流互感器内屏蔽距离，优化了电流互感器气室内部电场结构。根据标准化设计及实际使用情况，通过此次改进，有利于标准化生产；同时导体结构的优化，不但优化电流互感器气室电场分布，而且提高了产品可靠性。

电场计算分析

为验证结构设计的合理性，利用Maxwell 3D计算软件对252 kV GIS配置卧式断路器装配电流互感器内部导体结构进行3D电场仿真计算分析。首先对252 kV GIS配置卧式断路器装配电流互感器内部导体进行简化，计算模型如图5所示。

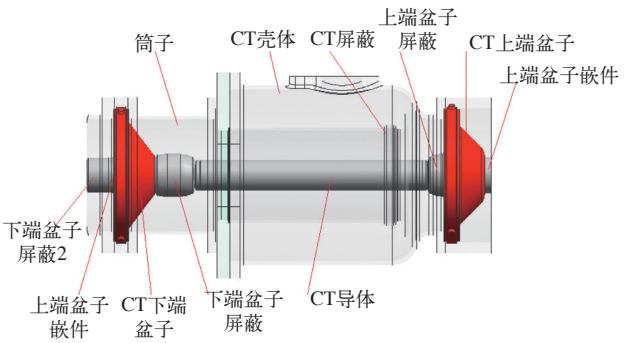

图5　有限元计算模型

252 kV GIS配置卧式断路器装配电流互感器内部导体结构3D电场仿真计算分析如下表所示。在表中，壳体的边界条件设置为导体处施加1 050 kV，电流互感器内屏蔽、壳体和母线筒为地电位。

表

名称	电场强度降低程度(%)
导体表面E_{max}	1.8
触头座表面E_{max}	20.0
电流互感器内屏蔽表面E_{max}	6.2
过渡母线筒表面E_{max}	74.6

从装结构上看，对与盆式绝缘子连接的触头座及导体结构进行优化后，相比原有结构，首先结构上得到较好地优化；其次在电场分布上，电流互感器气室内部的场强较改进前结构场强有明显改善。

试验验证

更改结构后的电流互感器内部导体在充SF_6气体压力为报警压力0.35 MPa（表计）时，进行了工频耐压试验验证，试验电压为额定值460 kV/90 s；局放达到了小于3pC的要求。另外，进行了雷电冲击试验验证，雷电冲击电压

峰值在额定值1 050 kV下，根据标准各进行了正负极性各15次，未出现任何闪络。图6为工频耐压试验时的电压；图7为局部放电试验图；图8为雷电冲击试验时的电压波形。为验证产品可靠性，还对试品进行了1.1倍的裕度试验，图9为工频耐压试验验证，试验电压为506 kV/90 s；图10为雷电冲击试验验证，雷电冲击电压峰值为1 155 kV。图11为252 kV GIS配置卧式断路器装配电流互感器内部导体试验的结构图。图12为工频耐压、雷电冲击试验的试验照片。

图6　额定工频耐压试验电压

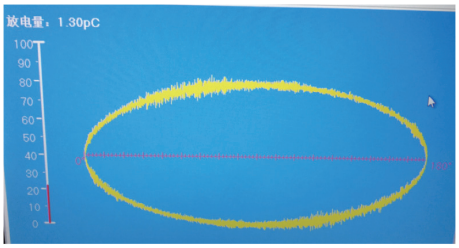

图7　局放试验

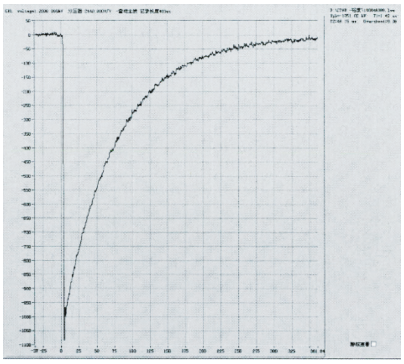

图8　额定雷电冲击电压波形

图9　1.1倍额定工频耐压试验电压

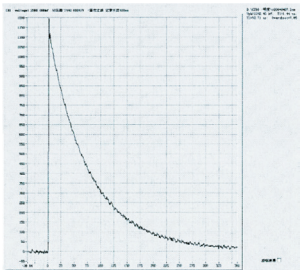

图10　1.1倍额定雷电冲击电压波形

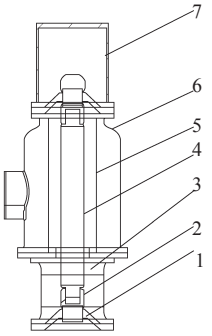

图11　电流互感器内部导体试验结构图

1—盆式绝缘子　2—触头座　3—过渡母线筒　4—导体
5—电流互感器内屏蔽　6—电流互感器　7—屏蔽工装筒

图12　工频耐压、雷电及局放试验照片图

在不改变现有产品电流互感器结构的条件下，为满足用户要求，更改后的电流互感器内部结构利用现有产品出现套管内部导体结构，相比原结构更有利于工厂标准化作业生产，其绝缘试验验证是在报警压力0.35 MPa（表计）气压下进行的，所有试验结果均符合国家相关标准。

结束语

252 kV GIS配置卧式断路器装配电流互感器内部电场的改进设计，通过Maxwell 3D计算软件对优化后的结构进行了3D静电场模块仿真计算分析。分析结果表明，更改后导体结构的电场分布得到较好地优化，更有利于工程实际应用。

通过绝缘试验进行验证表明，更改后的结构绝缘裕度较大，增加了绝缘的可靠性。此外，通过结构的改进，满足了用户要求，提升了产品适应性，为企业在激烈市场竞争中提供了技术支撑。**EA**

（收稿日期：2020.01.08）

（编辑：朱金凤）