

一起罐式断路器故障分析与防范措施研究

杨鹏

中国南方电网有限责任公司超高压输电公司梧州局，广西 梧州 543000

摘 要： 随着电力系统的规模不断扩大和电压等级的不断提高，罐式断路器在电力系统中的应用越来越广泛。然而，由于设备老化、维护不当、设计缺陷等原因，罐式断路器故障频发，给电力系统的安全稳定运行带来了很大的影响。基于此，本文介绍了一起 LW24-72.5 无功补偿用罐式断路器故障的分析和处理，详细分析了其故障现象表现、故障原因，并对 35kV 低压无功补偿用断路器灭弧室触头触指变形弯曲隐患技术进行改进研究，认为通过 X 光检测灭弧室触指情况、增加静触头安装固定强度、增大静触头触指对中的偏差冗余空间、改进安装工艺等技术措施，可以全面提升无功补偿用断路器的运行性能，进而保障电网的稳定运行。

关 键 词： 罐式断路器；触指弯曲；X 光检测

A Study on Fault Analysis and Preventive Measures of Tank-type Circuit Breakers

Yang Peng

Wuzhou Bureau, Ultra High Voltage Transmission Company, China Southern Power Grid Co., Ltd, Guangxi, Wuzhou 543000

Abstract： With the continuous expansion of the scale of the power system and the continuous improvement of the voltage level, the application of Tank-type circuit breaker in the power system is more and more extensive. However, due to equipment aging, improper maintenance, design defects and other reasons, tank-type circuit breaker failures occur frequently, bringing great impact on the safe and stable operation of the power system. Based on this, his paper introduces the fault analysis and treatment of a LW24-72.5 tank circuit breaker for reactive power compensation, makes a detailed analysis of its failure phenomenon performance and causes of failure, and improve and study the hidden danger technology of deformation and bending of contact finger of 35kV low voltage reactive power compensation circuit breaker interrupter. It is considered that the operation performance of circuit breakers for reactive power compensation can be improved comprehensively by X-ray detection of contacts in the arc extinguishing chamber, increasing the fixed strength of static contacts, increasing the deviation redundancy space in the contact pairs of static contacts, and improving the installation process, so that it can guarantee the stable operation of power grid.

Key words： tank-type circuit breaker; contact finger bending; X-ray inspection

引言

随着电力系统的不断发展和扩大，断路器作为电力系统中的重要设备，其安全性和稳定性对于电力系统的正常运行至关重要。罐式断路器作为一种特殊的断路器，在电力系统中得到了广泛应用。然而，在实际运行过程中，由于罐式断路器会跟随电力系统的电压、无功功率等需求进行投切，因此存在动作次数频繁，切断电流大等问题。这些问题会使得断路器出现各种故障^[1-4]，严重影响了电力系统的稳定性和安全性。为此，本文针对 LW24-72.5 型断路器灭弧室触头触指变形弯曲故障进行了深入分析，并提出相应的改进措施，对提升罐式断路器运行性能具有重要意义。

一、LW24-72.5 型罐式断路器灭弧室触指变形故障分析

（一）缺陷隐患情况

2019 年 12 月 21 日某站发生的一起断路器灭弧室放电爆炸故

障，于是对该断路器进行了返厂解体，解体时发现该断路器灭弧室静触头触指片发生了明显的内弯，静触头触指内出现了电弧灼烧，而静弧触头端部则出现了六棱锥状的情况。参见图 1。测量结果显示，B 相静触头的内直径为 $\phi 85.59\text{mm}$ （要求 $\phi 85\text{mm}$ ）；静弧触头由圆形变成六边形，最大外径 17.92mm，最小外径



16.71mm，长度为16.06mm（要求16mm）。



>图1 静触头下触指4片触指被撞击后向内弯曲

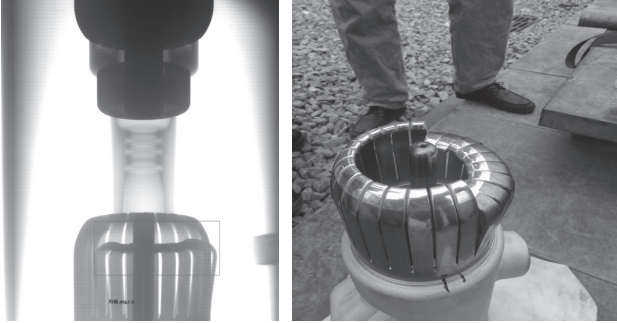
B相静触头内侧有不均匀摩擦痕迹和接触面电弧烧蚀现象，静弧触头端部经开断电弧烧蚀呈六角锥孔形，如图3所示。测量发现，B相外径 $\phi 35.84\text{mm}$ （要求 $\phi 36\text{mm}$ ），长度109.19mm（要求109mm）；动弧触头内径由圆形（要求 $\phi 18\text{mm}$ ）变形六边形，最小内径19.3mm。进一步观察发现，动侧主触头与静触头对应的也有不均匀摩擦痕迹和接触面电弧烧蚀现象，动弧触头内部经开断电弧烧蚀也呈现六角锥孔形。如图2所示。



>图2 触头间有不均匀摩擦痕迹和接触面电弧烧蚀现象

针对断路器情况，推断故障的原因可能是故障断路器带滤波器负荷操作次数多造成的。当操作次数过多时，灭弧室触指会发生弯曲，触头磨损会日益加重，进而会造成灭弧室触头接触不良，致使断路器出现对外壳持续放电的情况，最终引起相间接地故障。

发现该断路器故障之后，立即对多个变电站总计152台LW24-40.5/72.5型罐式断路器灭弧室进行了全面的X射线检查，检查发现其中有31台断路器存在灭弧室静触头触指片弯曲变形情况。仅仅某局范围内就发现了9台14相静主触头触指有弯曲情况。在2020年11月又进行了以次抽检，抽检中再次发现1项存在同样问题。如图3所示。



>图3 部分触指变形X射线成像图与实物对比图

（二）LW24-72.5型罐式断路器触指变形原因初步分析

对LW24-72.5型罐式断路器发生触指弯曲设备的动作次数、回路电阻及发生弯曲程度的相关性进行了深度分析，发现：一是操作动作的次数与静主触头的触指弯曲情况并没有明显的正相关性；二是回路电阻无法直接反映灭弧室实际的状况。以上出现故障的回路电阻都在允许的合格范围之内，并且回路的电阻值与静

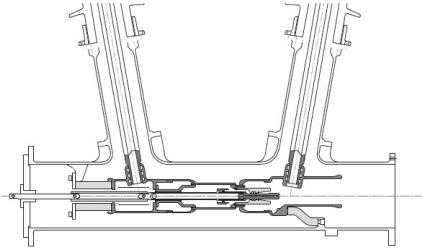
主触头触指弯曲程度没有关系；三是截至目前，X光检测法是最能反映灭弧室内部实际情况的一种方法，见下图1。

表1 触指弯曲变形情况与操作次数、回路电阻对比情况

序号	设备编号	相别	出厂时间	操作次数	回路电阻	静主触头触指弯曲情况
1	311	A	2006	2220	59.2 $\mu\Omega$	6片
2	311	B	2006	2220	68.4 $\mu\Omega$	9片
3	314	A	2011	2618	80.6 $\mu\Omega$	7片
4	314	B	2011	2618	73.7 $\mu\Omega$	15片
5	314	C	2011	2618	55.1 $\mu\Omega$	3片
6	315	B	2006	980	62.5 $\mu\Omega$	8片
7	302	A	2011	112	53.4 $\mu\Omega$	9片
8	321	B	2011	628	52.7 $\mu\Omega$	9片
9	322	A	2011	474	53.4 $\mu\Omega$	1片
10	322	C	2011	474	53.2 $\mu\Omega$	4片
11	324	A	2011	864	70.6 $\mu\Omega$	8片
12	324	C	2011	864	72.3 $\mu\Omega$	2片
13	312	B	2007	259	95.7 $\mu\Omega$	5片
14	315	A	2007	291	67.2 $\mu\Omega$	5片

（三）产品结构分析

LW24-72.5断路器的灭弧室结构如图4所示，其动侧触头系统在罐体内采用固定并支撑在四点的一圆柱状绝缘筒，这种安装结构会使得灭弧室结构更加稳固；静侧使用一只单臂“Z”字形绝缘台固定并支撑在罐体内，由于频繁投切的电容器和电抗器过程中产生的高频率涌流操作和热效应，静侧触头会出现微小的抖动，这种抖动虽然微小，但还是会影响到静侧灭弧室触头和动侧触头的对中。



>图4 LW24-72.5型罐式断路器单相灭弧室结构

罐体上的静侧支撑如图3所示，在其装配和运行过程中，静侧触头会受到一定影响发生偏移。具体来讲，在罐体上，断路器在操作瞬间，可能会导致静侧触头发生颤动，这种颤动会影响灭弧室触头间的相对位置，造成对中发生变化，合闸时，由于触头碰撞，会造成静侧触片发生弯曲，这主要源于空间所限，只有一处使用“Z”型绝缘部件由两颗螺钉固定^[5]。



>图5 灭弧室静侧及导电连接结构



（四）工艺控制问题

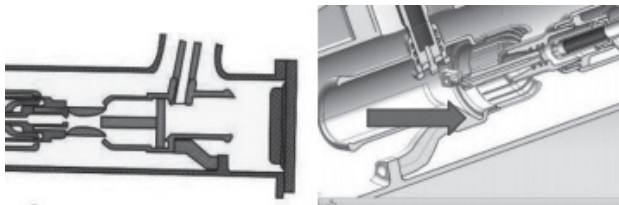
在传统的断路器对中过程中，一般都运用的都是静侧对中^[6]，也就是说，将灭弧室动侧安装在静侧安装前面，这主要在于动侧会四点固定，会使得后续安装更为精确。安装灭弧室静侧触头时需要检查对中状态，通常情况下，是检查在刚合点处动静触头的接触情况。同时，要确保对中效果，也需要适当调整静侧触头的安装位置。但是，这种方式也存在一定的缺陷：首先，它没有将动侧实际安装误差计算在内；此外，灭弧室中对中操作在安装导体之前，对中后的导体下落会对已经对中的灭弧室造成压力，无法得到释放。

二、技术改进措施

（一）加强静触头安装固定强度

罐式断路器中的静触头安装固定是非常重要的环节之一。静触头是断路器中的关键部件之一，负责连接电源和负载，可以确保电流传输的稳定性、防止电弧烧蚀、防止短路故障的出现，确保断路器的可靠稳定运行^[7]。如果静触头的安装固定出现故障，会导致触头接触不良、接触电阻增大、发热等问题，进而影响断路器的正常工作和安全性能^[8]。

在不改变原有灭弧室电场及灭弧室空间结构的情况下^[9]，在中心导体底部加安装固定板，通俗来讲，就是变原有的单臂支撑更为双臂支撑），由此减小静侧支撑不足导致静侧灭弧室操作中的颤动对触头对中的影响；同时改变了静侧导体和灭弧室之间的自由连接状态，改为固定连接结构，减少操作中触指连接状态的相对变化对电阻的影响。见图6。

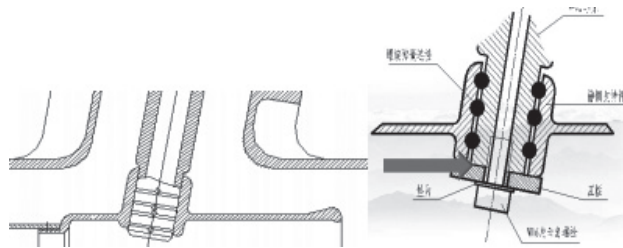


>图6 加装固定板的中心导体

（二）增加电联接裕度

电联接裕度是指断路器在分断故障电流时，电接触部件能够承受的电动力和热效应的裕量。这个裕量决定了断路器在分断大电流时的稳定性和可靠性。其是罐式断路器设计中的一个重要因素，需要考虑触头压力、灭弧室结构^[10]、导体材料和截面积、绝缘支撑结构和整体结构布局等多个方面。通过对这些因素的优化设计和合理配置，可以提高罐式断路器的电联接裕度，确保其在分断大电流时的稳定性和可靠性。

在本次改进过程中，对中心导体灭弧室电连接方式进行了更改，由原来的表带触指连接更改为压缩量大的螺旋弹簧连接，数量由原来的2条增加到了3条，进一步增大电联接接触的热熔性，增加电联接裕度，提高电联接可靠性，避免因为中心导体与灭弧室静触头间接触变化造成电联接性能降低、回路电阻升高。见图7。



>图7 灭弧室螺旋弹簧连接

（三）增大静触头触指对中的偏差冗余空间

在罐式断路器中，静触头触指对中的偏差冗余空间需要适当增大^[11]。首先，通过控制触指对中的偏差冗余空间，可以确保触头之间接触面积最大化，从而减少接触电阻，提高电流传导效率。其次，由于静触头触指对中的偏差冗余空间的存在，当电流通过触头时，各触指的温度上升和分布更加均匀。这种温度分布的均匀性可以增强设备的热稳定性，防止因局部过热而导致设备损坏。同时，在短路等大电流情况下，静触头受到的电动力会很大。通过设置偏差冗余空间，可以吸收一部分电动力，减少对触指的冲击，提高设备的机械稳定性^[12,13]。此外，在大电流情况下，如果触头之间没有偏差冗余空间，可能会导致触头熔焊。通过设置偏差冗余空间，可以避免这种情况的发生，提高设备的可维护性^[14]。

为此，针对该罐式断路器，在不影响产品灭弧室触头间电场分布，不降低断口绝缘强度的情况下，对静触头触指端部外形局部结构进行了调整，由原来的一个圆弧过渡改为两段圆弧过渡，并增加了圆弧半径，使得触头对中冗余偏差能力提高1mm，由原来的3mm增加到4mm。见图8。



>图8 调整后的静触头触指端部外形局部结构

（四）安装工艺改进

灭弧室对中改为双侧对中方式：

第一步：灭弧室静侧在灭弧室动侧安装完毕后开始安装；通过刚合点处动和静触头接触检查对中状态的同时安装静侧触头，第一次对中则通过静侧安装位置的调整来完成；随后安装中心导体；

第二步：通过完整合闸后的触头状态再次矫正对中状态，如有必要，则在灭弧室动侧及静侧同时对安装位置做出调整；

第三步：执行慢分慢合操作，对刚分、刚合、合闸到位处进行最终校正对中状态^[15]，如果中对发生变化，重复上面的步骤，重新进行对中；

第四步：严格执行断路器出厂前的200次机械磨合操作，操作后对灭弧室中对状态进行检查^[16]。



三、改造成效

对经过技术改进的断路器进行了10000次的型式试验，未发现断路器触指变形弯曲情况，同时对现场该型号的断路器均按照改造方案大修后，现场运行正常，运行一段时间后进行 X 光检测，都未发现断路器触指变形弯曲情况。

四、结论

本文通过介绍一起无功补偿用断路器故障处理，通过解体检

查、性能检测、X 光检测等技术手段分析原因，提出了断路器性能提升的有效措施，成效十分明显，并得到推广应用，有力地保证了设备健康稳定运行。随着智能化和自动化技术的不断发展，未来可以进一步将智能化和自动化技术应用于罐式断路器的设计和制造中，实现更加智能化和自动化的维护和管理。这将有助于提高电力系统的稳定性和安全性，减少人工干预和操作失误的可能性。

参考文献

- [1]王贵山,李应宏,房博一.一起罐式断路器故障原因分析及改进措施[J].高压电器,2022,58(08):280-284.
- [2]葛志成,官文涛,史晓飞,等. LW30A-550型罐式断路器故障缺陷分析与处理[J].吉林电力,2020,48(06):54-56.
- [3]林智敏,李庆凯,蔡恒滨,等.一起GIS断路器合闸故障分析与处理[J].高压电器,2012,48(02):99-101.
- [4]秦怡宁,曾彦珺,曹鸿,等. LW15A-550型断路器爆炸事故原因分析[J].高压电器,2016,52(07):179-184+191.
- [5]李凯枫. 低压无功补偿装置用断路器故障分析与改进措施研究[J].广西电力,2021,44(04):68-74.
- [6]赵芳. 工艺控制对真空灭弧室质量的影响[J].企业技术开发,2015,34(08):103-104.
- [7]全嘉青. 从专利浅谈塑料外壳式断路器静触头导电回路技术[J].电器与能效管理技术,2021,(02):8-13+87.
- [8]车磊. 真空断路器触头碰撞的分析和优化[J].机械,2011,38(08):23-26.
- [9]张光中. 高压断路器故障机理与操作机构故障诊断技术[J].科技创新与应用,2023,13(35):73-76.
- [10]肖毅,徐灿. SF₆断路器解体大修工艺质量控制[J].湖北电力,2006,(06):12-14.
- [11]王刚,彭彦卿,庄志坚,等. 基于无刷直流机电流的断路器手车梅花触头对中度诊断方法[J].高压电器,2020,56(03):46-53.
- [12]王刚,彭彦卿,庄志坚,等. 适用于不同对中度的断路器手车梅花触头啮合尺寸计算[J].高压电器,2020,56(04):35-41+61.
- [13]黄劭哲,陈丽安. 断路器手车触头过热性故障机理分析及防止措施[J].高压电器,2019,55(01):237-242.
- [14]王红艳. 12kV可移开式手车断路器的电动力分析及改进[J].高压电器,2016,52(9):50-54.
- [15]李琼,李佳蔚. 420kV单断口SF₆断路器灭弧室对中的工艺研究[J].电气时代,2016,(06):68-70.
- [16]黎德初,钱建春. 发电机出口断路器灭弧室碎裂案例分析[J].电工技术,2013,(07):64-65.