

[开关设备]

420 kV 隔离开关绝缘结构优化

文/特变电工中发上海高压开关有限公司 常越 孟珍政 唐华超 孟维东 汤伟 魏俊梅

介绍了 GIS 典型双母线间隔布置中隔离开关需要具备的功能。对新型 420 kV 隔离开关的技术参数及其设计结构上的独特特点进行了详细介绍。结合断口联合加压型式试验，对其断口绝缘结构进行了优化设计，优化后的 420 kV 隔离开关顺利通过了整套绝缘型式试验验证，提高了断口绝缘可靠性。

电力工业是一个国家经济发展的命脉。400 kV 等级电网是印度、伊朗等中南亚国家的基本网架，420 kV GIS 是保证其安全可靠运行的关键设备。

在 GIS 中，隔离开关不仅要有可靠的断口绝缘能力，而且要具备切合母线转换电流的能力。隔离开关一般配置电动机操动机构，分合闸速度慢。在切合母线转换电流时，如果设计不当，极易对隔离开关动静侧触头造成严重烧蚀，进而破坏其断口绝缘性能。提高隔离开关切合母线转换电流能力的有效措施是增设合适的引弧触头。

本文介绍了 GIS 典型双母线间隔布置中隔离开关需要具备的功能；详细介绍了 420 kV 隔离开关主要技术参数和设计特点；从需要满足的绝缘水平出发，结合绝缘型式试验时最为苛刻的断口联合加压试验，应用有限元分析计算方法对引弧触头进行了优化设计，优化后隔离开关中的电场强度最大值较原结构降低了 41.2%，提高了断口绝缘安全裕度。根据本文优化结果研制的 420 kV 隔离开关在西安国家高压电器质量监督检验中心按照 IEC 62271—102《高压交流隔离开关和接地开关》标准顺利通过了整套绝缘型式试验考核，进一步验证了其断口绝缘性

能的高可靠性。

双母线间隔中隔离开关需要具备的功能

双母线布置具有较高的供电可靠性，400 kV 电站通常采用双母线布置。双母线布置的单线图如图 1 所示，其中序号 2 和 5 代表两条主母线，3、4 和 10 为隔离开关，6 和 9 为维护接地开关，7 为断路器，8 为电流互感器，11 为快速接地开关，12 为电压互感器，13 为出线。

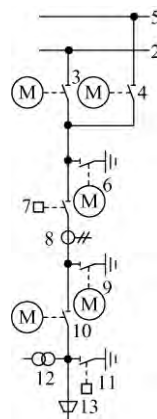


图 1 双母线单线图

对应的双母线 420 kV GIS 间隔布置如图 2 所示。

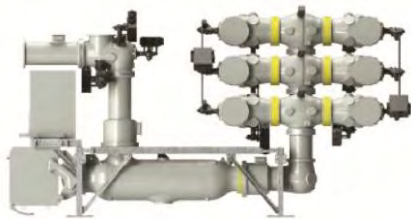


图2 双母线 420 kV GIS 间隔布置

在双母线 420 kV GIS 间隔布置中,隔离开关 3 和 4 的功能之一是需要母线 2 或 5 及断路器 7 检修时形成可靠断口,将带电元件与不带电元件进行有效可靠隔离;功能之二是当改变供电母线接线时,需要在断口两端电压接近的条件下,带电流分合闸,即切合母线转换电流。

IEC 62271—102《高压交流隔离开关和接地开关》标准中要求 420 kV 隔离开关的母线转换电流是其额定电流的 60%。较高的母线转换电流会对隔离开关动静侧触头造成严重烧损,降低其断口绝缘能力。

420 kV 隔离开关

420 kV 隔离开关整体外形结构如图 3 所示,由静触头、动触头及壳体等主要部件组成。

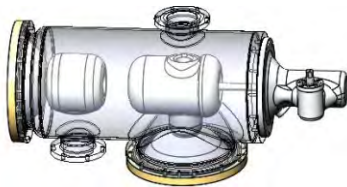


图3 420 kV 隔离开关外形结构

420 kV 隔离开关主要技术参数见表 1。

表 1 420 kV 隔离开关主要技术参数

项目	数值
额定电压/kV	420
额定电流/A	4 000
额定频率/Hz	50
额定雷电冲击 耐受电压/kV	对地 1 425 断口 1 425+240
额定操作冲击 耐受电压/kV	对地 1 050 断口 900+345
额定短时工频 耐受电压/kV	对地 650 断口 815
额定母线转换电流	2 400 A/100 V
机械寿命	10 000 次

新型 420 kV 隔离开关具有以下独特特点:

- 1) 通流结构和屏蔽结构合二为一,结构简单,额定电流高,绝缘水平高。
- 2) 动侧可以组合维护接地开关或快速接地开关,静侧也可以组合维护接地开关或快速接地开关,实现了隔离开关与接地开关的紧凑组合。
- 3) 带有自力型结构的引弧触头,可以提高额定母线转换电流,减轻母线电流转换过程中触头的烧损,提高电寿命。
- 4) 可以切合容性和感性小电流,机械寿命 10 000 次,可靠性高。

420 kV 隔离开关引弧触头优化设计

隔离开关的断口绝缘性能主要取决于屏蔽结构的优良设计。

本文结合 420 kV 隔离开关绝缘型式试验时最为苛刻的断口联合加压试验,应用有限元分析计算软件 ANSYS 对引弧触头绝缘结构进行优化设计。

420 kV 隔离开关优化后的电位等值云图分布如图 4 所示,优化前后的局部电场强度等值云图对比如图 5 所示。



图4 电位等值云图分布(优化后)

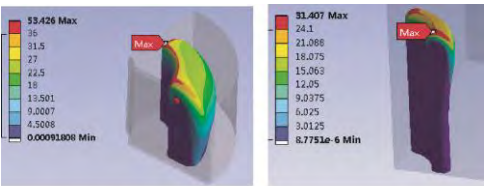


图5 优化前后局部电场强度等值云图对比

由图 5 可知,优化前,引弧触头上电场强度最大值为 53.43 kV/mm;优化后,引弧触头上电场强度最大值为 31.41 kV/mm,较原结构降低了 41.2%。420 kV 隔离开关额定 SF₆ 充气压力为 0.58 MPa,最低功能 SF₆ 充气压力为 0.5 MPa,根据黎斌著《SF₆ 高压电器设计》中相关规定,在雷电冲击耐受电压作用下,其许用场强见表 2。

表 2 SF₆ 许用场强

气压/MPa	许用场强(kV/mm)
0.58	41.0
0.4	34.2

因此,优化前的 420 kV 隔离开关断口绝缘性能不能满足绝缘水平要求,而优化后的 420 kV 隔离开关断口绝缘性能不仅满足绝缘水平要求,且具有较大的安全裕度。

420 kV 隔离开关型式试验验证

根据本文优化结果研制的 420 kV 隔离开关在西安国家高压电器质量监督检验中心严格按照 IEC 6227—102《高压交流隔离开关和接地开关》标准一次性顺利通过了整套绝缘型式试验,进一步验证了其断口绝缘性能的高可靠性。[EA](#)

(收稿日期:2020.08.03)

(上接第 60 页)

Q235-a.f 热轧钢板,许用应力取值 $[\sigma]_{\text{许}}=235 \text{ MPa}/1.5=156 \text{ MPa}$;弹性模量 E 取 206 GPa;当 $r=b$ 时, $h=K=b/a$,即应力最大点在拉杆位置,其弯曲应力最大;经计算得

$$t = \sqrt{\frac{\alpha a^2 q}{[\sigma]_{\text{许}}}} = \sqrt{\frac{0.618 \times 475^2 \times 1.6 \text{ MPa}}{156 \text{ MPa}}}$$

$t=37.8$;取整 40 mm。

(2) 位移计算

当 $r=a$ 时, $h= r/a=1$,位移最大点发生在圆板最外部位

$$\begin{aligned} \omega_{\max} &= (\omega)_{h=1} = \beta m^4 \frac{q}{E} t \\ &= 0.038 \times \left(\frac{475}{40}\right)^4 \times \frac{1.6 \times 10^6 \text{ Pa}}{2.06 \times 10^{11} \text{ Pa}} \times 40 \end{aligned}$$

$\omega_{\max}=0.234 \text{ 7 mm}$;满足使用要求。

结束语

利用焊接坡口,设计锥面密封工装,在锥面上加工出环向密封槽,实现定位密封,对铸造罐体在焊接前完

成检漏试验,基本保证了焊接后铸件气密性的 100%合格。图 6 为密封性能检测合格后,550 kV 隔离开关装配照片。现公司对 363 kV、420 kV、550 kV、800 kV 和 1 100 kV 等不同电压等级的焊接铸造罐体及母线罐体封头类似焊件在焊接前均已完成了气密性试验,较以往传统工艺,在焊接后进行气密性能检验,杜绝了因铸造罐体漏气导致的返工返修现象,每年可节约数百万元的成本,保证了生产进度。[EA](#)



图 6 550 kV 隔离开关装配

(收稿日期:2021.01.22)