

[开关设备]

550 kV 高压开关壳体焊件检漏工装设计

文/ 新程(营口)精密设备有限公司 申子文 张震 马远斌 程俊明

沈阳仪表科学研究院 申明俭

在气体绝缘金属封闭开关设备(GIS)中,高压开关产品壳体的每一个部分零件均需要进行气密性能检验,但对于尺寸规格较大的铸造焊件,需要在焊接后进行气密性能检测,由于铸件质量的不稳定性,存在一定比例的铸件漏气,需要将漏气铸件切断,进行返修,大大降低了产能比,影响交货进度。故寻求设计一种对铸造罐体在焊接前即可进行气密性检测的检漏工装,以保证焊接后整体零件的气密性能合格。

电力工业是国家经济发展的命脉,建设特高压电网是中国优化电力发展的必然要求,气密性能对气体绝缘金属封闭开关设备(以下简称为GIS)至关重要,是保证GIS安全可靠运行的基础。550 kV GIS 隔离开关主体焊接结构如图1所示,在实际生产过程中,该大型焊件两端为铸造铝合金罐体,中部为卷制铝筒,其气密



图1 550 kV GIS 隔离开关主体焊接结构图

性能检测是在焊接及法兰精加工工序完成后进行,存在一定比例的铸件漏气现象。针对550 kV GIS 隔离开关两端铸造罐体的结构,设计了一套夹持密封工装,实现了两端铸造罐体在焊接前完成气密性能的检测,保证铸件在焊接后的气密性能检漏试验合格。

工装的结构设计

1. 工装主体结构设计

铸造罐体在焊接前进行粗加工,保证各个法兰端面密封位置的粗糙度达到 $R_a3.2$ 以上,工装的设计示意图如图2所示,左侧法兰采用半法兰环夹压密封,配合螺栓联接预紧固定;主体密封结构采用穿杆式夹持密封,拉杆与底板采用螺纹联接,并使用螺母预紧,形成双螺母锁紧功能,拉杆直径 $\phi 36$ mm,整体长度超过1 m,长径比较大,导致拉杆挠度较大,多处拉杆与上盖板装配时难以实现同步对位,因此在其中三根拉杆上套有支持筒,支持筒上部装配导向环,以保证多处拉杆与上盖板装配时的准确对位。

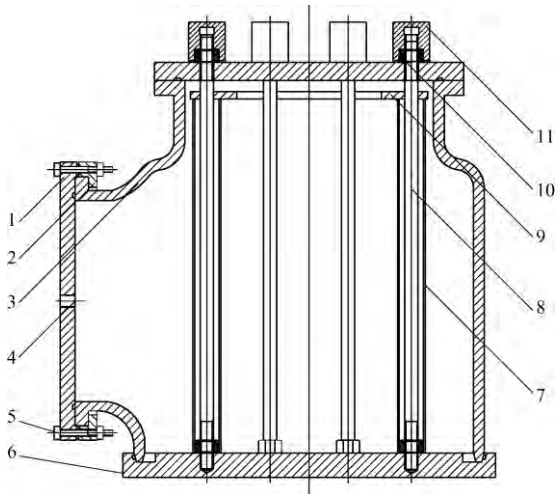


图2 工装设计示意图

1—侧法兰盖板 2—半环夹子 3—工件 4—充气接口
5—螺栓螺母 6—底部盖板 7—支持筒 8—拉杆 9—导向环
10—螺母 11—密封螺帽

2. 顶部与底部密封结构设计

当上部盖板安装好后,此时拉杆从上部盖板密封圈内侧穿出,因此需要做二次密封,密封结构如图3所示,将拉杆上装配的大螺母预紧后,再安装密封螺帽,顶部形成密封。

针对焊接坡口位置,由于坡口处平面较窄,很难实现平面密封,因此将密封位置设计在铸件的外坡口处,即在锥面上形成密封,工装锥面上的密封槽底部与工件坡口锥面平行,密封槽侧面与锥面垂直,压缩量按70%设计,与平面密封压缩量相同,经实际验证可实现与平面密封等同的密封效果,预紧时工件会随底部工装上设计好的锥面自动校直,底部工装锥面密封槽内的密封圈随之压缩,进而实现底部密封,如图4所示,设计底部密封工装锥面时,在工装锥面与铸件坡口之间预留0.5 mm左右的间隙,这样既保证了密封圈的弹性密封性能,也兼顾了工件与底工装的垂直度。

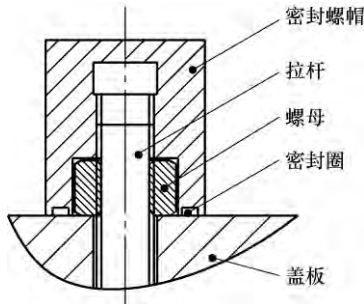


图3 二次密封结构

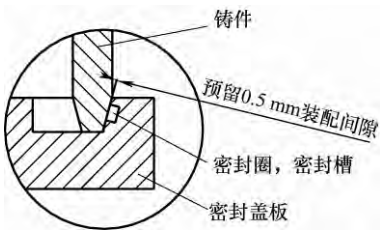


图4 底部密封

板面强度位移计算

1. 设计参数

铸造罐体例行水压试验1.6 MPa,气密性能检测,试验压力0.8 MPa。

2. 数学模型

参照等厚实心圆板的应力和位移计算公式,选用内边固定,外边自由的公式模型计算。如图5中,在内周边上作用均布载荷 q 、 σ_r 、 σ_θ 分别板上下表面处的径向与圆周向弯曲应力。

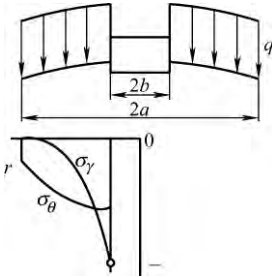


图5 座力计算

$$\sigma_{\max} = (\sigma_r)_{h=K} = \pm \alpha m^2 q$$
$$\omega_{\max} = (\omega)_{h=1} = \beta m^4 \frac{q}{E} t$$

式中, $K=b/a$; ω 挠度向下为正; t 为板厚; $h=r/a$; $m=a/t$; r 为所求点距中心半径; E 为弹性模量。

k 、 α 、 β 取值对照表见表1。

表1 K 、 α 、 β 取值对照表

K	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
α	1.633	1.041	0.618	0.324	0.135	0.032
β	0.193	0.094	0.038	0.012	0.002	0.000 1

(1) 板厚度计算

根据产品实际尺寸,已知式中 $a=475$ mm;
 $b=280$ mm; $q=1.6$ MPa; $K=b/a=0.589$,查表1近似取值0.6;对应 α 取值0.618; β 取值0.038;底板材质选用
(下转第63页)

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

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

$\omega_{\max}=0.234 \text{ 7 mm}$;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)