

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2026.01.029

## 12 kV 环网柜气箱设计经济性研究

夏 琨, 刘宏玉, 陈利民, 谢寅志, 汪 宁, 张敬涛, 张罗锐, 王小焕

(天津平高智能电气有限公司, 天津 300300)

**摘要:** 12 kV 充气式环网柜在中国供配电领域应用广泛, 生产厂家众多, 其气箱一般由不锈钢板焊接而成。通过三维建模和仿真计算来分析气箱上加强筋的布置方式对气箱变形的影响, 发现对于近似于矩形的气箱侧板, 加强筋沿着平行于短边的方向依次布置优于加强筋横纵或沿着平行于长边的方向布置, 得出通过合理布局加强筋的位置可以获得变形较小且较经济的气箱。分别对使用3、2.5、2 mm板厚焊接而成的气箱进行仿真计算, 得出使用2.5 mm厚不锈钢钣金焊接而成的气箱具有相对较好的设计经济性。

**关键词:** 环网柜; 气箱; 设计; 经济性; 变形

### Economic Study on the Design of Gas Compartment for 12 kV Ring Main Unit

XIA Kun, LIU Hongyu, CHEN Limin, XIE Yinshi, WANG Ning, ZHANG Jingtao,  
ZHANG Luorui, WANG Xiaohuan

(Tianjin Pinggao Intelligent Electric Co., Ltd., Tianjin 300300, China)

**Abstract:** 12 kV gas filling ring main unit is widely used in the power supply and distribution field in China and the gas compartment in many manufacturers is generally soldered from stainless steel sheet. The influence of the layout of stiffeners on the deformation of the gas compartment is analyzed through 3D modeling and simulation calculation, finding that for the side plate of the approximately rectangular gas compartment the layout of stiffeners along the direction parallel to the short side is better than that in transverse and longitudinal direction or along the direction parallel to the long side. It is concluded that the gas compartment with smaller deformation and economic performance can be obtained by reasonable layout of the stiffeners. The gas compartments soldered from thickness of 3 mm, 2.5 mm and 2 mm plate are simulated and calculated respectively. It is concluded that the gas compartment soldered from the thickness of 2.5 mm stainless steel sheet exhibits relatively favorable economic efficiency in design.

**Key words:** ring main unit; gas compartment; design; economic efficiency; deformation

## 0 引言

12 kV 环网柜具有结构简单、体积小、价格低、方案灵活等优点, 在中国供配电领域得到广泛应用。SF<sub>6</sub>环网柜在所有环网柜中占比较大。因SF<sub>6</sub>气体是强温室效应气体, 不符合绿色环保的趋势, 近些年来一些环保气体绝缘的环网柜及SF<sub>6</sub>替代气体的研究及使用越来越多。气体绝缘的环网柜一般由柜体, 气箱等部件组成, 气箱由不锈钢钣金焊接

而成, 内部装有断路器, 负荷开关等<sup>[1-16]</sup>。

国家电网有限公司发布的《12千伏环网柜(箱)标准化设计方案》中明确规定, SF<sub>6</sub>和环保气体绝缘环网柜壳体(气箱)材质的防腐蚀性不应低于304不锈钢, 标称厚度大于等于2 mm。然而, 中国南方电网有限责任公司发布的12 kV环网柜技术规范书却要求, 气箱采用的不锈钢厚度不小于2.5 mm。故12 kV环网柜气箱应该选取多厚的不锈钢板, 气箱上的加强筋应该如何布置才能具有最优的经济性<sup>[17-21]</sup>, 文中将对此进行研究。

### 1 三维建模

12 kV 气体绝缘环网柜常见的一次方案包括电压互感器(PT)柜、断路器(V)柜等,有单柜和共箱方案,常见的共箱方案有1路负荷开关加1路断路器(CV)、2路断路器(VV)、3路断路器(VVV)、4路断路器(VVVV)等。文中选取常用的12 kV SF<sub>6</sub> 3路断路器方案进行三维建模,气箱的三维模型见图1,气箱不锈钢板厚及加强筋厚均为3 mm。

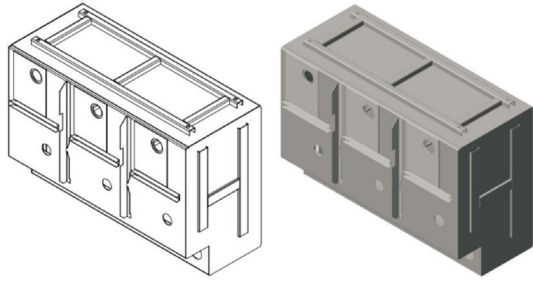


图1 3路断路器气箱三维模型示意图

Fig. 1 Structure diagram of three circuit breakers gas compartment

### 2 仿真计算

12 kV SF<sub>6</sub> 环网柜气箱采用SF<sub>6</sub> 气体作为绝缘介质,额定压力0.12~0.14 MPa(20 °C,绝对压力)。文中按照气箱内承受0.13 MPa 的压力进行计算,1个标准大气压为0.101 3 MPa,则气箱内壁承受的压强为(0.13-0.101 3) MPa=0.028 7 MPa,即28 700 N/m<sup>2</sup>。对图1所示气箱导入仿真软件,进行仿真分析,得到的变形云图见图2。

环网柜气箱由顶板、左右侧板、前板和后板等焊接而成,气箱仿真可简化为对每个侧板的仿真,对顶板的加强筋按照图3所示的几种方式布置。图3(a)、(b)为加强筋纵横布置,图3(c)为加强筋沿着平行于长边布置,图3(d)为加强筋沿着平行于短边布置。

分别对图3所示几种布置方式进行仿真计算,变形云图见图4。

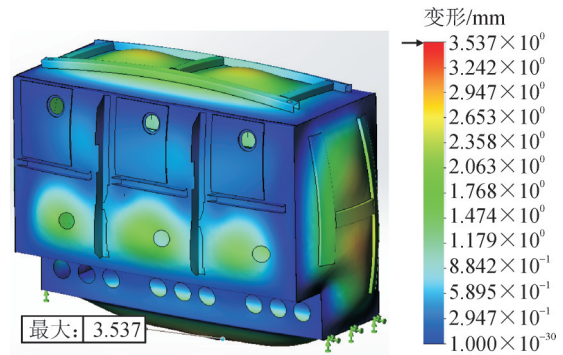
顶板不同加强筋布置时的最大变形量、整体重量见表1。

对气箱侧板的加强筋按图5所示的几种方式进行布置。

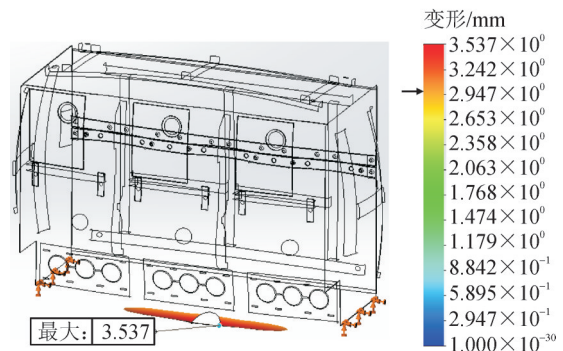
分别对图5所示侧板的几种加强筋布置进行仿真计算,变形云图见图6。

侧板不同加强筋布置时的最大变形量、侧板整

体重量见表2。



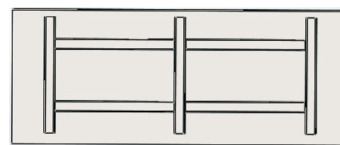
(a) 气箱整体变形



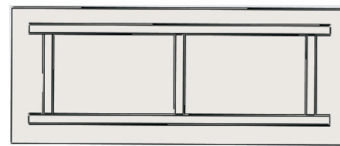
(b) 变形大于3 mm的部分(变形小于3 mm的部分隐藏)

图2 3路断路器气箱变形云图

Fig. 2 Cloud diagram of three circuit breakers gas compartment deformation



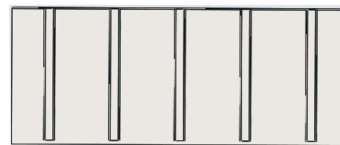
(a) 加强筋纵横布置



(b) 加强筋纵横布置



(c) 加强筋沿长边布置



(d) 加强筋沿短边布置

图3 顶板加强筋布置形式

Fig. 3 Layout of roof reinforcement

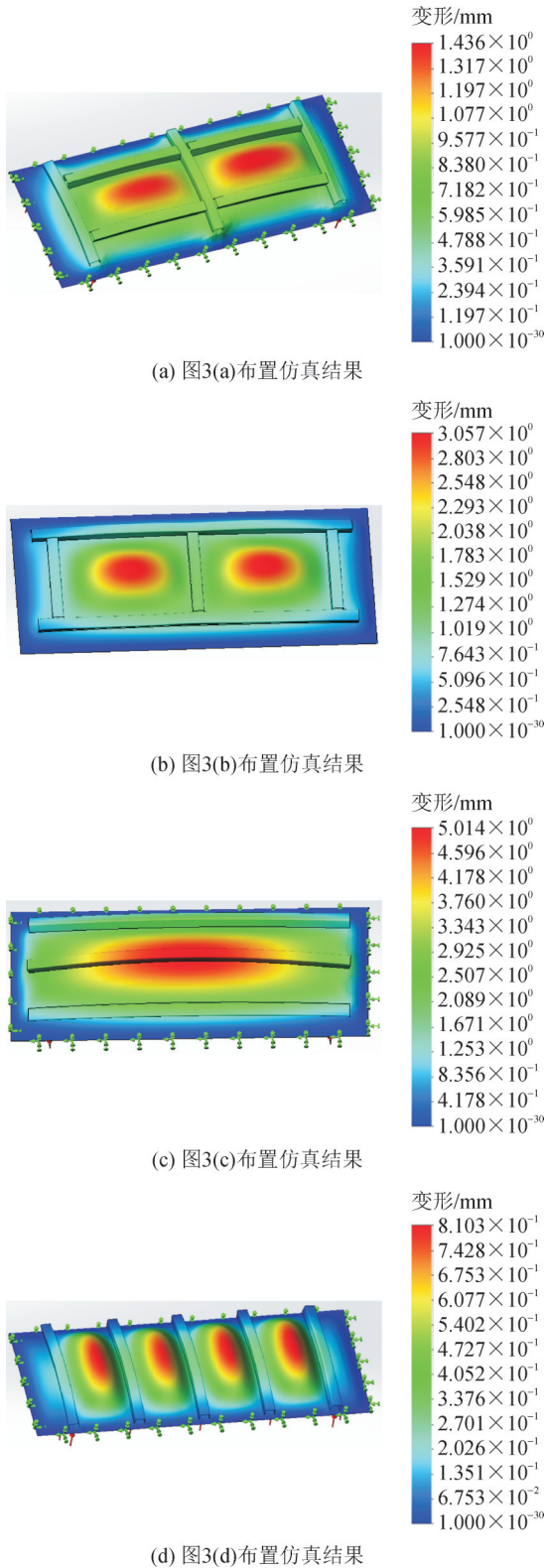


图4 顶板变形云图

Fig. 4 Cloud diagram of roof deformation

由图2-6、表1、2可知,对于类似矩形的气箱侧板,加强筋沿着平行于短边的方向依次布置具有最

表1 不同加强筋布置形式的变形、重量情况

Table 1 Deformation of different stiffener arrangements

布置形式	最大变形量/mm	钣金重量/kg
图3(a)顶板加强筋纵横布置	1.44	18.03
图3(b)顶板加强筋纵横布置	3.06	18.03
图3(c)顶板加强筋沿平行于长边布置	5.01	18.45
图3(d)顶板加强筋沿平行于短边布置	0.81	16.68

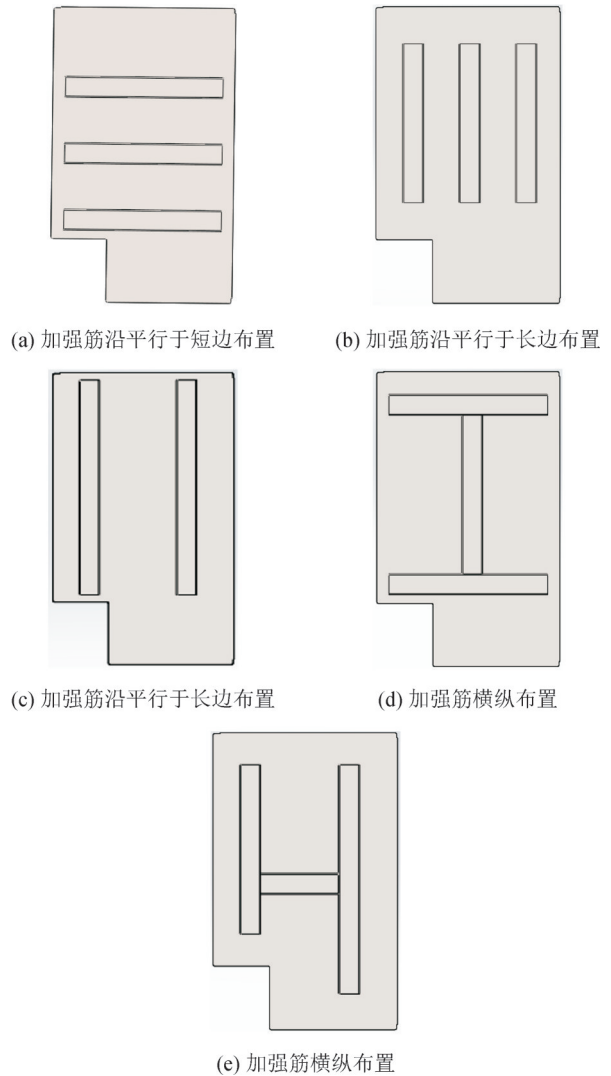


图5 侧板加强筋布置形式

Fig. 5 Layout of side plate stiffeners

小的变量。变形量从小到大依次为:加强筋沿着平行于短边的方向依次布置 < 加强筋纵横布置 < 加强筋沿着平行于长边的方向依次布置。

某公司环网柜气箱一般使用U形加强筋,见图7。U形加强筋分别选定不同的宽和高,且加强筋之间的中心距离不变,对选择不同U形加强筋的气箱顶板进行仿真分析,结果见图8。

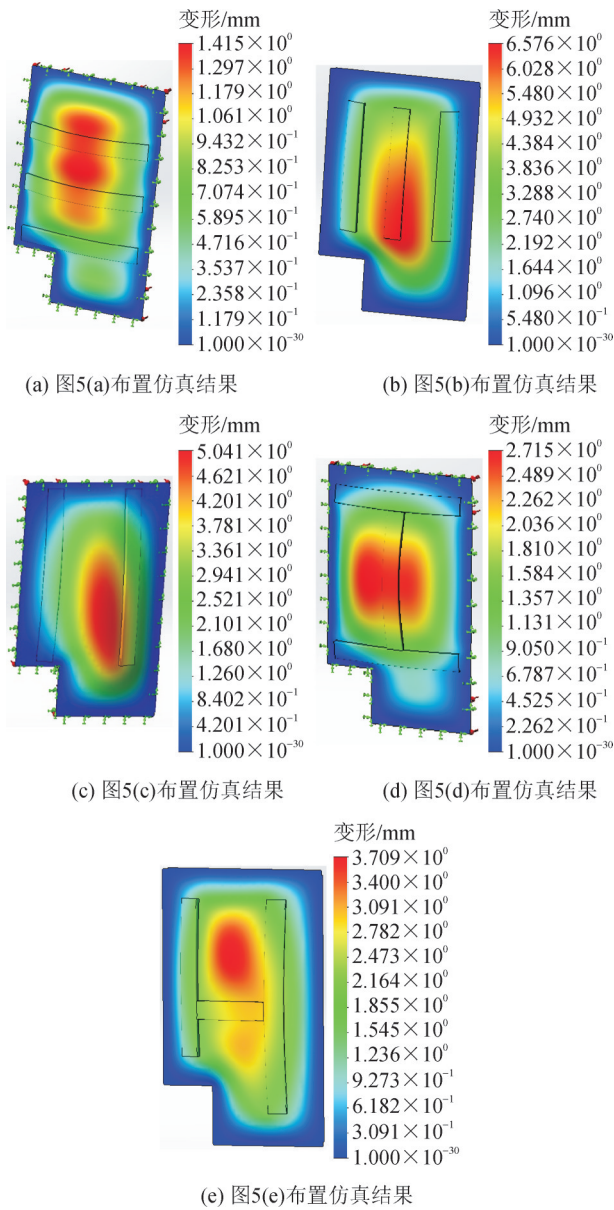


图6 侧板变形云图

Fig. 6 Cloud diagram of side plate deformation

表2 侧板不同加强筋布置形式的变形、重量情况

Table 2 Deformation of different stiffener arrangements of side plate

布置形式	最大变形	钣金重
	量/mm	量/kg
图5(a)侧板加强筋沿平行于短边布置	1.42	10.18
图5(b)侧板加强筋沿平行于长边布置	6.58	10.18
图5(c)侧板加强筋沿平行于长边布置	5.04	10.00
图5(d)侧板加强筋横纵布置	2.72	10.18
图5(e)侧板加强筋横纵布置	3.71	10.17

选择不同加强筋尺寸的顶板,其最大变形量、重量见表3。

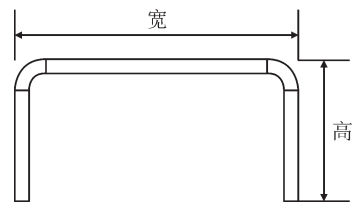


图7 U形加强筋示意图

Fig. 7 Schematic diagram of U-shaped stiffener

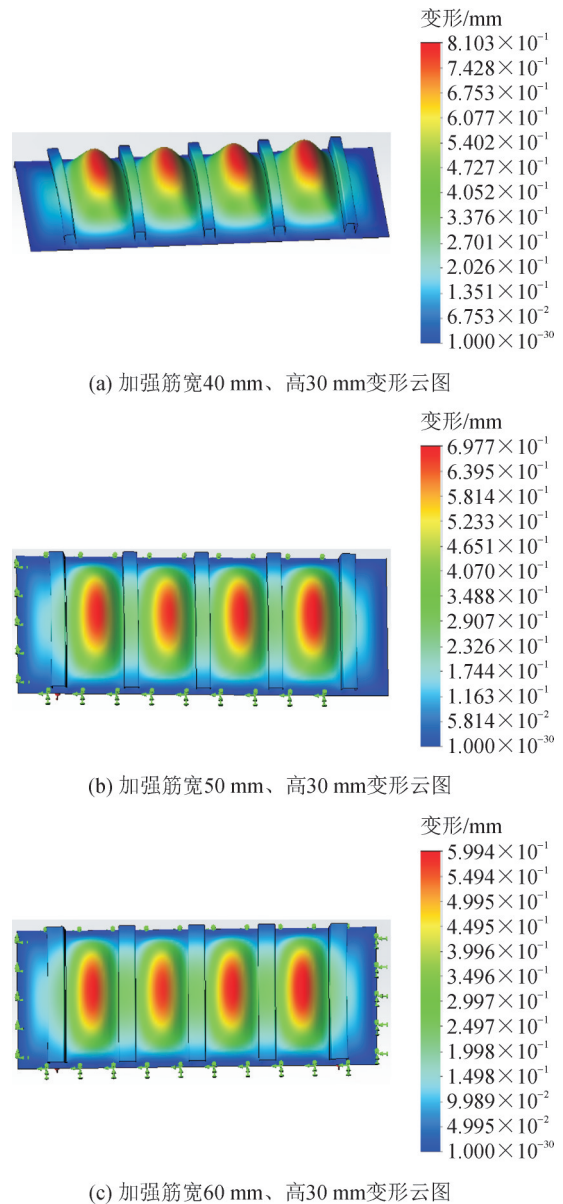


图8 顶板变形云图

Fig. 8 Cloud diagram of roof deformation

从图8和表3可知,U形加强筋的宽和高为40 mm×30 mm时,顶板变形较小且重量较轻。

分别对重量与40 mm×30 mm加强筋重量相同(m=16.82 kg)的加强筋进行仿真分析,顶板的最大变形、重量见表4。

表3 选择不同加强筋尺寸的顶板变形、重量情况

Table 3 Deformation of roof with different stiffener sizes

尺寸(宽×高)/mm	最大变形量/mm	顶板重量/kg
40×20	1.153 0	15.88
40×30	0.810 3	16.82
40×40	0.714 1	17.77
40×50	0.673 9	18.72
50×20	0.987 2	16.35
50×30	0.697 7	17.30
60×20	0.854 5	16.82
60×30	0.549 4	17.70
70×15	1.077 0	16.82
70×20	0.739 1	17.30

表4 选择不同加强筋尺寸的顶板变形情况(m=16.82 kg)

Table 4 Deformation of roof with different stiffener sizes (m=16.82 kg)

尺寸(宽×高)/mm	最大变形量/mm
35.0×32.5	0.838 8
38.0×31.0	0.819 6
40.0×30.0	0.810 3
45.0×27.5	0.799 6
50.0×25.0	0.791 4
55.0×22.5	0.809 9
60.0×20.0	0.854 5
70.0×15.0	1.077 0

从表4可知,加强筋宽和高尺寸为50 mm×25 mm时,顶板的最大变形量最小。

根据上述结果,对气箱顶板和侧板进行优化设计,优化设计后的三维模型见图9。分别对由2、2.5 mm板厚不锈钢钣金焊接而成的气箱进行三维建模,气箱外形尺寸与3 mm板厚气箱保持一致,加强筋布置形式也一致。并分别对2、2.5、3 mm不锈钢气箱进行静应力仿真计算,得出使用3种板厚焊接的气箱变形云图见图10,变形大于1 mm的部分隐藏后的变形云图见图11,变形小于3 mm的部分隐藏后的变形云图见图12。

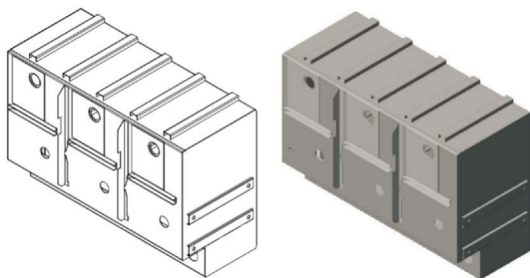
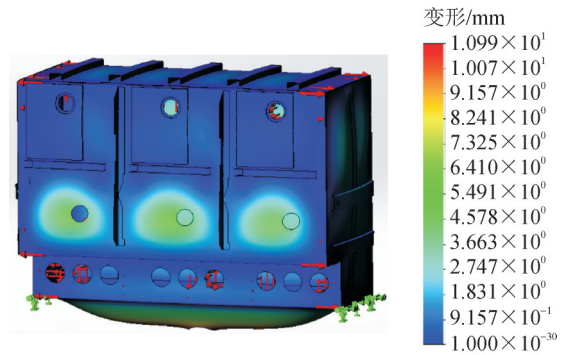


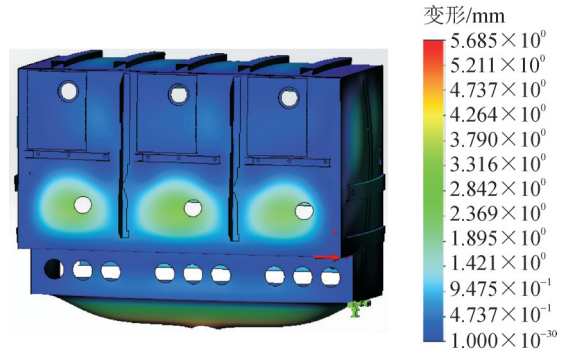
图9 优化设计后的气箱三维模型

Fig. 9 Gas compartment after optimized design

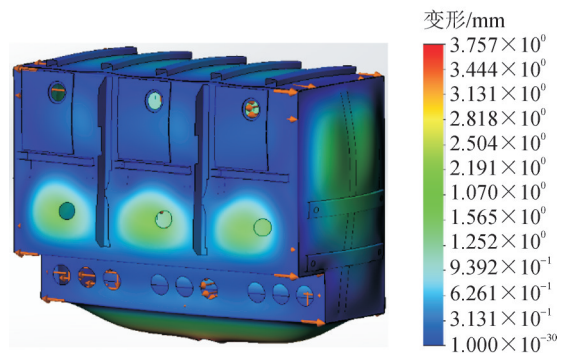
从图10-12可知,相同的加强筋布置型式,气箱钣金越厚则气箱整体的变形越小<sup>[22]</sup>。3种不锈钢板



(a) 2 mm板厚气箱变形云图



(b) 2.5 mm板厚气箱变形云图



(c) 3 mm板厚气箱变形云图

图10 3种板厚的气箱变形图

Fig. 10 Deformation diagram of gas compartment

材厚度的气箱,变形部位基本一致,变形最大处均位于气箱下部泄压阀处。由于气箱前面断路器安装处的变形小于3 mm,可满足使用要求<sup>[13-14]</sup>,故由2.5、3 mm厚不锈钢钣金焊接而成的气箱均满足设计要求。三维模型中2.5 mm气箱的钣金重量约为104.7 kg,3 mm气箱的钣金重量约为123.5 kg,使用2.5 mm厚气箱重量较3 mm厚气箱降低18.8 kg,具有较好的经济性。2 mm厚不锈钢气箱不满足中国南方电网有限责任公司的要求,为了既满足国家电网有限公司要求又满足中国南方电网有限责任公司要求,减少不锈钢板材使用种类,相关环网柜生产厂家可统一选用2.5 mm不锈钢进行环网柜气箱的优化设计。

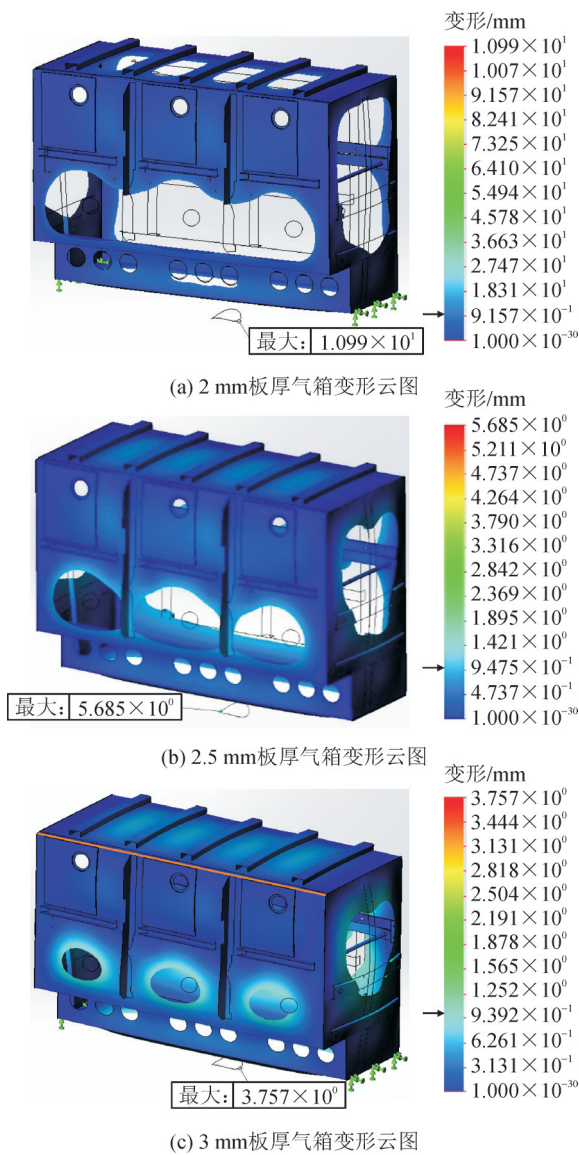


图 11 3种板厚的气箱变形图(变形大于1 mm的部分隐藏)  
 Fig. 11 Deformation diagram of gas compartment(the part with deformation greater than 1 mm is hidden)

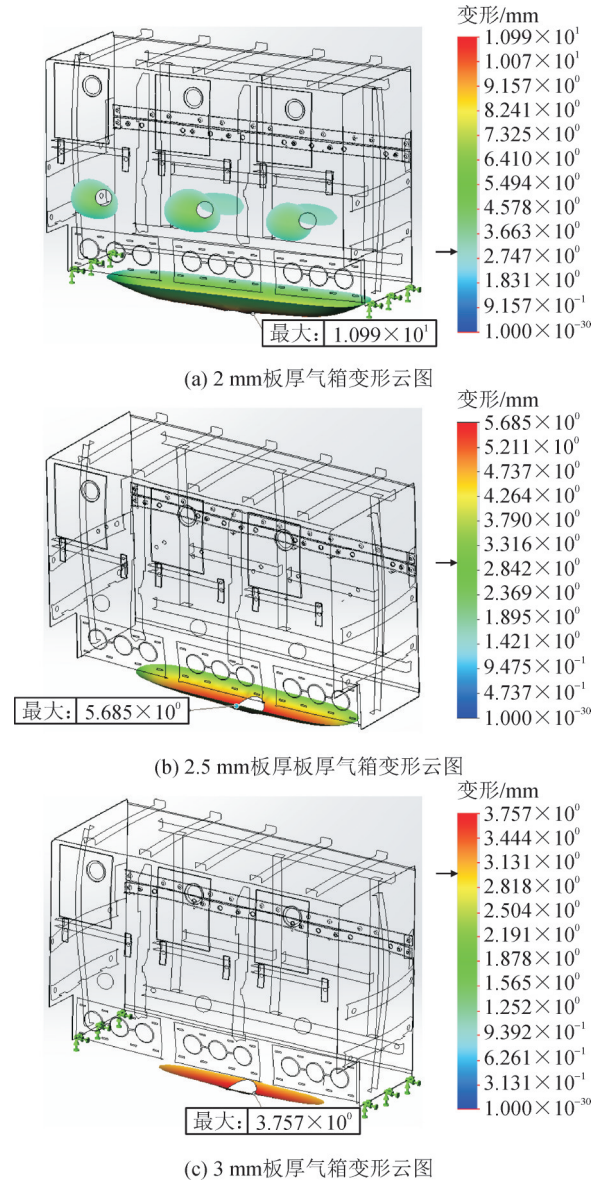


图 12 3种板厚的气箱变形云图(变形小于3 mm的部分隐藏)  
 Fig. 12 Deformation diagram of gas compartment (the part with deformation less than 3 mm is hidden)

### 3 试验验证

通过对2.5 mm板厚气箱进行样机制造,对气箱充以额定压力0.03 MPa的气体,实物变形与仿真结果类似。实物变形情况见图13。

### 4 结论

通过对12 kV环网柜气箱的仿真及样机验证,形成以下结论:

1)通过合理布局气箱各侧板上的加强筋,在气箱变形满足产品性能要求的前提下,使用2.5 mm厚不锈钢钣金焊接而成的气箱重量小于由3 mm厚不锈钢钣金焊接的气箱,具有较好的经济性。



图 13 2.5 mm厚不锈钢钣金焊接气箱实物变形图  
 Fig. 13 Physical deformation diagram of 2.5 mm-thick stainless steel sheet metal welding gas compartment

2)对于近似于矩形的气箱侧板,加强筋沿着平行于短边的方向依次布置优于加强筋横纵或沿着平行于长边的方向布置。

3)气箱侧板U形加强筋的高度和宽度的变化对气箱侧板变形都有影响,加强筋的宽度、高度越大,侧板变形越小。

## 参考文献:

- [1] 冯祥伟,张永辉,娄源通,等.一种12 kV双隔离干燥空气绝缘环网柜的研发[J]. 高压电器,2021,57(2):153-158.  
FENG Xiangwei, ZHANG Yonghui, LOU Yuantong, et al. Development of 12 kV dry air insulated RMU with two - side disconnectors[J]. High Voltage Apparatus,2021,57(2):153-158.
- [2] 朱彦卿,蒋成博,娄源通,等.基于一体式极柱的12 kV环保气体绝缘环网柜的研制[J]. 高压电器,2020,56(11):46-50.  
ZHU Yanqing, JIANG Chengbo, LOU Yuantong, et al. Research and manufacture of a novel 12 kV environmental - friendly gas insulated RMU based on an integrative embedded pole[J]. High Voltage Apparatus,2020,56(11):46-50.
- [3] 钟理鹏,刘祖龙,唐文强,等.环境友好型绝缘气体沿面放电特性及固体析出物研究现状[J]. 电力科学与技术学报,2024,39(1):13-27.  
ZHONG Lipeng, LIU Zulong, TANG Wenqiang, et al. Current research status on surface discharge characteristics and solid deposits in environmentally friendly insulating gases[J]. Journal of Electric Power Science and Technology,2024,39(1):13-27.
- [4] 程显,刘赛,葛国伟,等.±400 kV直流穿墙套管用环保气体的绝缘特性[J]. 电工技术学报,2025,40(3):900-912.  
CHENG Xian, LIU Sai, GE Guowei, et al. Insulation characterization of environmentally friendly gases for ±400 kV DC wall bushing[J]. Transactions of China Electrotechnical Society,2025,40(3):900-912.
- [5] 邓虎.12 kV环保型环网柜与中置柜关键部件绝缘特性的研究[D]. 厦门:厦门理工学院,2016.  
DENG Hu. The key component insulating properties research on environment - friendly RMU and medium voltagemetal clad switchgear[D]. Xiamen:Xiamen University of Technology,2016.
- [6] 李燕燕,郑晓果.一二次融合环网柜内置EVT的内锥套管局部放电分析[J]. 电器与能效管理技术,2024(10):31-35.  
LI Yanyan, ZHENG Xiaoguo. Partial discharge analysis on inner cone casing of built-in EVT in primary and secondary fusion ring cabinet[J]. Electrical & Energy Management Technology,2024(10):31-35.
- [7] 钱立骁,陈慎言.12~24 kV氮气绝缘环网柜的研制[J]. 高压电压技术,2014,40(12):3717-3724.  
QIAN Lixiao, CHEN Shenyan. Research and design of 12~24 kV Nitrogen insulated ring main unit[J]. High Voltage Engineering,2014,40(12):3717-3724.
- [8] 兰剑,王承玉,李庆余.中国配电开关关注的发展热点[J]. 高压电器,2015,51(10):217-220.  
LAN Jian, WANG Chengyu, LI Qingyu. Development focuses of distribution switchgears in China[J]. High Voltage Apparatus,2015,51(10):217-220.
- [9] 李啸,刘德宇,惠杰,等.40.5 kV充气柜双气箱结构设计与分析[J]. 电工电气,2021(9):54-59.  
LI Xiao, LIU Deyu, HUI Jie, et al. The structure design and analysis of 40.5 kV double-tank construction of inflatable cabinet [J]. Electrotechnics Electric,2021(9):54-59.
- [10] 薛鹏,赵谔,肖登明.N<sub>2</sub>环境下绝缘子闪络特性的试验研究[J]. 高压电器,2019,55(5):119-124.  
XUE Peng, ZHAO Su, XIAO Dengming. Experimental research on flashover characteristics of insulator with N<sub>2</sub>[J]. High Voltage Apparatus,2019,55(5):119-124.
- [11] 周柏杰,谭东现,韩冬,等.氮气环网柜中复合绝缘的工频特性研究[J]. 高压电器,2016,52(12):80-86.  
ZHOU Baijie, TAN Dongxian, HAN Dong, et al. Investigation into the characteristics of composite insulation in Nitrogen insulated ring main unit[J]. High Voltage Apparatus,2016,52(12):80-86.
- [12] 徐立新,周柏杰,谭东现.干燥空气绝缘环网柜中的复合绝缘工频特性研究[J]. 高压电器,2019,55(4):52-59.  
XU Lixin, ZHOU Baijie, TAN Dongxian. Investigations on power frequency characteristics of composite insulation configuration in dry air insulated ring main unit[J]. High Voltage Apparatus,2019,55(4):52-59.
- [13] 李福荣.关于充气柜加强筋的设计及优化[J]. 高压电器,2020,56(2):226-231.  
LI Furong. Design and optimization of stiffener of circuit-breaker's gas box in a SF<sub>6</sub> gas insulated ring - network cabinet[J]. High Voltage Apparatus,2020,56(2):226-231.
- [14] 李勇,赵顺,辛道越.基于SolidWorks和Ansys Workbench的充气柜气箱结构仿真与优化[J]. 机电工程技术,2022,51(7):183-187.  
LI Yong, ZHAO Shun, XIN Daoyue. Structure simulation and optimization of inflatable tank based on SolidWorks and Ansys Workbench[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology,2022,51(7):183-187.
- [15] 程显,韩书漠,何周,等.40.5 kV环保型气体绝缘开关柜气室结构设计[J]. 高压电压技术,2015,41(8):2772-2779.  
CHENG Xian, HAN Shumo, HE Zhou, et al. Structure design of the chamber for 40.5 kV environment - friendly cubicle gas insulated switchgear[J]. High Voltage Engineering,2015,41(8):2772-2779.
- [16] 独田娃,徐忠秋,季茂芳,等.SF<sub>6</sub>全绝缘充气环网柜的技术问题浅析[J]. 机电工程技术,2013,42(10):63-65.  
DU Tianwa, XU Zhongqiu, JI Maofang, et al. Technical problems of SF<sub>6</sub> fully insulated and inflatable ring net cabinet[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology,2013,42(10):63-65.
- [17] 季学荣,丁晓红.板壳结构加强筋优化设计方法[J]. 机械强度,2012,34(5):692-698.  
JI Xuerong, DING Xiaohong. Design optimization method of stiffeners on plane and shell structures[J]. Journal of Mechanical Strength,2012,34(5):692-698.
- [18] 陈冬民,王丽娟,陈宗渝,等.基于等效原理的板壳结构加强筋设计方法[J]. 机械科学与技术,2015,34(12):1841-1845.  
CHEN Dongmin, WANG Lijuan, CHEN Zongyu, et al. Stiffener de-

- sign method for plates and shells based on equivalence principle [J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2015, 34(12): 1841-1845.
- [19] 李 蕾, 张 葆, 李全超, 等. 基于灵敏度数的薄板结构加强筋布局优化设计[J]. 中国机械工程, 2016, 27(9): 1143-1149.  
LI Lei, ZHANG Bao, LI Quanchao, et al. Stiffener layout optimization of thin plate structures based on sensitivity number[J]. China Mechanical Engineering, 2016, 27(9): 1143-1149.
- [20] 高 明, 李庆生. 长圆形开孔平盖结构优化设计[J]. 化学工程与装备, 2017(7): 182-185.  
GAO Ming, LI Qingsheng. Optimal design of flat cover structure for long circular openings[J]. Chemical Engineering & Equipment, 2017(7): 182-185.
- [21] 沈 乐. 螺栓连接加筋平盖的优化设计探讨[J]. 山东化工, 2017, 46(18): 150-152.  
SHEN Le. Optimum design of reinforced flat roof with bolt connection[J]. Shandong Chemical Industry, 2017, 46(18): 150-152.
- [22] 刘鸿文. 简明材料力学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1997.  
LIU Hongwen. Mechanics of materials[M]. Beijing: Higher Education Press, 1997.
- 夏 琨(1991—), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事中压开关设备方面的研究工作。
- 刘宏玉(1987—), 女, 中级工程师, 硕士, 主要从事中压开关设备方面的研究工作(通信作者)(E-mail: 353296618@qq.com)。

## 《高压电器》2026年1期广告单位

封一: 上海乐研电气有限公司

封二: 陕西泰普瑞电工技术有限公司

封三: 史陶比尔(杭州)精密机械电子有限公司

封四: 西安高压电器研究院股份有限公司(业务)

前插1: 深圳市沃尔核材股份有限公司

前插2: 西安华伟电力电子技术有限责任公司

前插3: 扬州金源机器人自动化设备有限公司

前插4: 中国振华电子集团宇光电工有限公司

前插5: 陕西龙翔电器有限公司

前插6: 成都双高实业有限责任公司

前插7: 温州昌泰电气有限公司

前插8: 广州创研智能科技有限公司