［开关设备］

一种装配式底架结构的改进设计

文/西安西电开关电气有限公司　张　杭　郝学东

以一种 252 kV 气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）用装配式底架为研究对象，基于现场反馈的失效形式，通过 ANSYS Workbench 对这种装配式底架进行静态受力分析，结合气体绝缘金属封闭开关设备（GIS）应用工况，提出了改进设计方案。再利用 ANSYS Workbench 对这种改进的装配式底架进行静态受力分析，并验证了这种装配式底架的机械强度。

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。

随着城市用电量的急增，已使 252 kV 乃至 550 kV 电站进入市区或接近城郊，这就要求 GIS 开关设备须尽量减小占地面积或下地入洞的空间，因此设备的小型化成为 GIS 在高压领域发展方向。GIS 小型化不仅仅是简单地缩小尺寸，更积极的意义在于合理地简化结构和 GIS 的整体布置，以及 GIS 零件部件加工的需求。

底架是 GIS 最为重要的部件之一，其作用是将 GIS 相关的元件连接成一个整体，起到固定支撑作用。在结构上主要有焊接式和装配式两种底架。焊接式底架主要是将工字钢等零件按图样要求焊接成 GIS 需要的底架，再进行表面处理。鉴于底架的使用工况，一般焊接式底架须整体进行热镀锌处理。这种底架优点是结构强度高，设计简单；缺点是底架尺寸过大，热处理困难，影响生产成套。装配式底架主要是将槽钢等零件按图样要求装配成 GIS 需要的底架。这种底架优点是可实现单种零件热镀锌后再装配，提高了生产效率；缺点是设计较为复杂，底架强度须仿真计算并进行验证，以满足工程使用要求。

改进前结构

252 kV GIS 用装配式底架（如图 1 所示）正是为 GIS 小型化而设计的一种底架，底架先用主槽钢、立撑装配成底架主体；再用中间横梁、横梁水平搭接在槽钢两侧上，用于支撑断路器；拉杆及立撑用于增加底架强度和电缆槽盒固定；再用辅助槽钢及立撑组成控制柜底架，与底架主体用螺栓紧固连接，形成 252 kV GIS 用装配式底架。这种装配式底架既可以实现 GIS 各元件组合后的固定和转运，同时也解决了因整体焊接底架尺寸过大、热处理困难的难题，实现单种零件热处理，组合装配的方案。

这种 252 kV GIS 用装配式底架在工程中应用后，基本解决了底架成套的困扰，提高了 252 kV GIS 间隔生产效率。但现场安装后反馈，装配式底

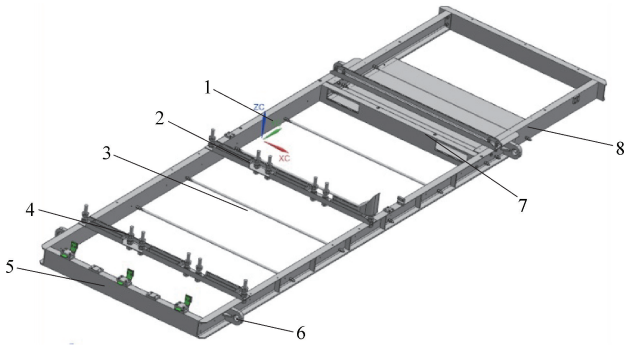

图 1　装配式底架结构图

1—主槽钢　2—中间横梁　3—拉杆　4—横梁
5—立撑　6—吊环　7—立撑　8—辅助槽钢

架中间横梁存在弯曲变形（如图 2 所示）的情况，甚至由于底架变形将与其装配的接地线剪断。

为解决 252 kV GIS 用装配式底架现场受力变形的问题，通过 ANSYS Workbench 对这种装配式底架

图 2　现场装配式底架图

进行静态受力分析。首先认为该装配式底架在匀速起吊作业时，仅承受其上安装的所有元件的重力载荷（包括底架自身重量）约为 10 t = 100 000 N。底架由槽钢、角钢等型钢和拉杆等装配而成。其中，型钢材料为 Q235-A，拉杆材料为 20 钢。底架材料的机械性能参数见下表。

表　底架材料的机械性能参数

材料	材料弹性模量 E/MP	泊松比 μ	屈服强度 σ_s/MPa	抗拉强度 σ_b/MPa	备注
Q235A	206 000	0. 3	235	375	
20	206 000	0. 3	500	700	

252 kV GIS 用装配式底架匀速起吊工况下的应力云图如图 3 所示，底架的最大 Von-Mises 应力值出现在底架吊耳的销轴孔的棱边处，属应力畸变，可不予考虑。

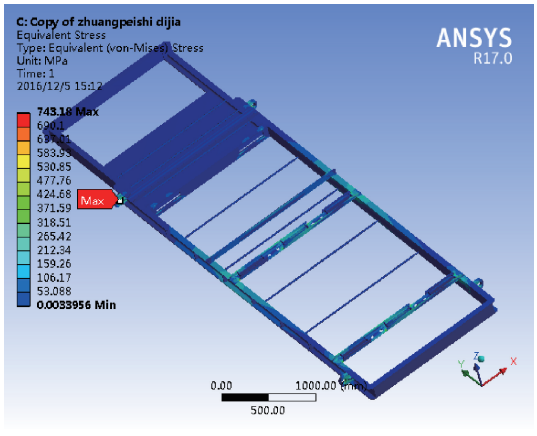

图 3　装配式底架应力云图

从图 4 得知，底架的最大形变出现在中间部位的横向槽钢中部，最大变形量为 26. 618 mm；从图 5 得知，拉杆的最大形变出现在拉杆截面突变处，最大变形量为 10. 987 mm。

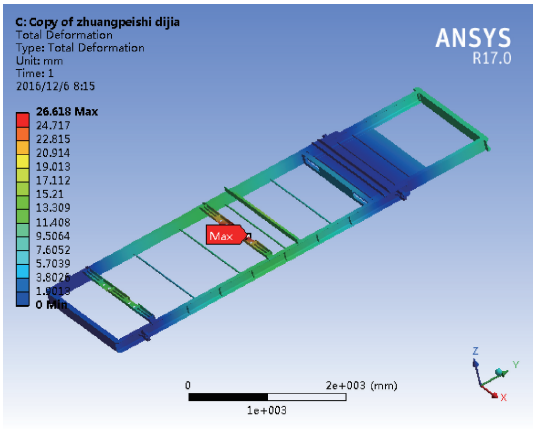

图 4　装配式底架形变云图

通过对 252 kV GIS 用装配式底架匀速起吊时的应力、位移等的计算结果进行分析，发现：剔除底架上的应力畸变、零部件棱边或尖角处的应力集中后，底架的 Von-Mises 应力值不大于 210 MPa。按抗变形计算，安全系数 S = 1. 5，Q235A 材料的设计许用应力 $[\sigma] = \sigma_b / S$ = 375/1. 5 = 250 MPa。底架用型钢的实际应力值小于许用应力型钢材料 Q235A 的许用应力值。

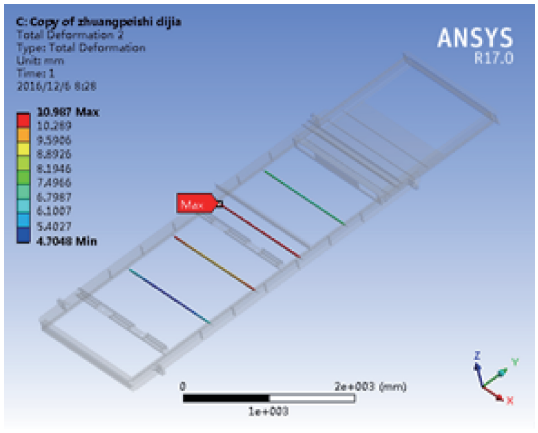

图 5　装配式底架拉杆形变云图

底架中间部位横向槽钢中部的最大变形量为 26.618 mm，与底架的宽度相比，变形显著，底架的刚度较差。

由此可以得出，252 kV GIS 用装配式底架机械强度理论上虽能满足要求，但设计裕度较小，且底架的刚度较差。

改进后结构

通过对 252 kV GIS 产品布置形式的优化，重新改进设计了 252 kV GIS 用装配式底架（如图 6 所示）。改进后的底架仍由主槽钢、立撑等型材和拉杆等装配而成。不同之处在于将底架中间横梁与横梁均由 100×48×5.3 槽钢改为 160×65×8.5 槽钢，槽钢型号与主槽钢及立撑相同，中间横梁及横梁采用与立撑的布置形式，与主槽钢用螺栓紧固。同时，将两处电缆槽盒分别设置于主槽钢内侧，取消中间横梁处拉杆。

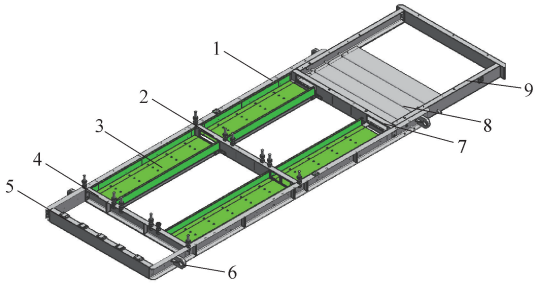

图 6　改进后装配式底架结构图

1—主槽钢　2—中间横梁　3—电缆槽盒　4—横梁
5—立撑　6—吊环　7—立撑　8—拉杆　9—辅助槽钢

利用 ANSYS Workbench 对改进后 252 kV GIS 用装配式底架现场进行静态受力分析：底架在匀速起吊 10 t（含底架自重）的 252 kV GIS 产品时的应力云图如图 7 所示，底架的形变云图如图 8 所示。

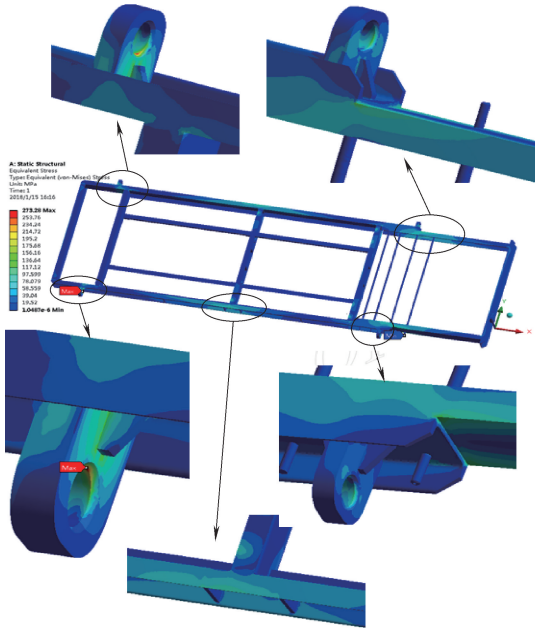

图 7　改进后装配式底架形变云图

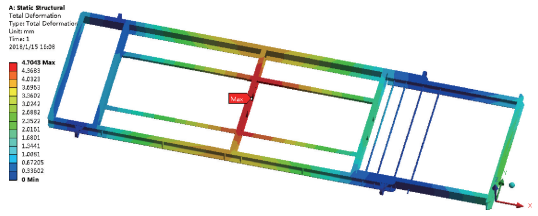

图 8　改进后装配式底架拉杆形变云图

通过对改进后的 252 kV GIS 用装配式底架在匀速起吊产品时的应力、形变等的计算结果进行分析得知：剔除底架上的应力畸变、零部件棱边或尖角处的应力集中后，底架的 Von-Mises 应力值不大于 215 MPa，从其所处位置分析，底架在此处破坏的几率非常微小。按抗变形计算，安全系数 $S=1.5$，Q235A 材料的设计许用应力 $[\sigma]=\sigma_b/S=375/1.5=250$ MPa。底架用型钢的实际应力值小于许用应力型钢材料 Q235A 的许用应力值。

底架中间部位横向槽钢中部的最大变形量为 4.704 3 mm，与底架的长、宽尺寸相比，变形微小，底架的刚度较好。

通过对 252 kV GIS 用装配式底架的结构进行优

化后，相比原有结构，首先通过仿真计算找出了这种装配式底架形变的薄弱点，并将原装配式底架中间横梁及横梁从装配结构和选材规格上进行了优化统一；其次将辅助支撑电缆槽盒用拉杆数量减少，以降低成本。以上改进，使 252 kV GIS 用装配式底架在匀速起吊产品时所受的应力、形变较改进前结构有显著改善。

图 9　改进后装配式底架转运图

试验验证

为验证改进后的 252 kV GIS 用装配式底架受力和起吊后的变形情况，将改进后的装配式底架随工程进行设计应用，并配试了电缆槽盒。利用吊车对 252 kV GIS 整间隔（如图 9 所示）进行匀速起吊转运，未发现改进后装配式底架有明显形变。

结束语

252 kV GIS 用装配式底架的改进设计，通过 ANSYS Workbench 计算软件对优化后的结构进行了静态受力仿真计算分析。分析结果表明，改进后装配式底架结构的受力分布得到较好的优化，更有利于工程实际应用。

通过起吊转运进行验证表明，改进后装配式底架的机械强度显著改善，可靠性大幅提升。此外，通过结构的改进，优化了产品结构，提升了产品性能，为企业在激烈市场竞争中提供了技术支撑。**EA**

（收稿日期：2021-04-21）

ABB 技术支持成都天府国际机场提升能源使用效率

2021 年 6 月 27 日，成都第二座国际机场——成都天府国际机场正式开航投运。作为中国“十三五”规划建设的国内最大的民用运输枢纽机场，成都天府国际机场的正式运营使成都成为继北京、上海之后国内第三个拥有两座国际机场的城市，加速推动成渝城市群的互联互通和融合发展。

作为大型综合性交通枢纽，成都天府国际机场承载成都出港的全部国际航线。即日起投入运营的机场一期工程建有 3 条跑道和 2 座航站楼，可满足年旅客吞吐量 5 000 万人次、货邮吞吐量 70 万 t 的使用需求。项目远期还将新建 3 条跑道和 66 万 m^2 的航站楼，预计可实现年旅客吞吐量 9 000 万人次、货邮吞吐量 200 万 t 的需求。

承载如此庞大的运输量，同时还要实现节能减排，势必需要智能化、数字化的技术支持。ABB 作为全球电气技术领域的领导企业为成都天府国际机场提供了电气解决方案和智能建筑控制系统，兼顾可靠配电、环境舒适、科学管理和有效节能，助力天府国际机场实现“平安、绿色、智慧、人文”的建设理念，在确保旅客舒适度的同时降低了机场的能源消耗。

ABB 为天府国际机场 T1、T2 航站楼配置了 i-bus 智能建筑控制系统，该系统涉及 19 000 多个开关回路，600 多个调光回路，4 000 多个感应器，可用于候机楼、VIP 休息室等多个场所，通过预设不同场景，全面满足旅客的使用需求。其中，智能照明控制不仅可以人性化地调节和管理候机楼内的所有灯光，同时还能通过大数据管理和应用，对众多照明数据进行收集、统计和分析，让航站楼维修保养化被动为主动。既有案例中，ABB 智能建筑控制系统可以为机场节约 30%以上的能源。在两座航站楼中，ABB i－HD 触摸屏、VD4 真空断路器、REF615 系列微机综合保护器、中压电流电压互感器等产品亦实现成功应用。

在配电领域，ABB 提供的环网柜应用于机坪照明、飞行区域下穿线及机场汽车充电场中，充分提升了线路的供电可靠性。此外，ABB Emax2 空气断路器、Tmax XT 塑壳断路器、接触器等一系列产品在机场数据中心、运行指挥大楼、现场服务大楼等场所的广泛使用为机场配电系统的稳定运行保驾护航。

ABB 电气中国总裁赵永占表示：“ABB 始终致力于成为客户的优选合作伙伴。我们很荣幸能参与这一世界级的机场项目，运用我们领先的数字化技术、深厚的行业专长以及端到端的电气解决方案，通过对大数据的深入洞察，提升能源使用效率，实现主动高效运维，从而达到机场节能减排目标，赋能行业可持续发展。”

（来源：ABB 电气）