

智能变电站新型复合材料预制舱技术研究

供稿 / 国网四川省电力公司经济技术研究院 李俊 苟旭丹 李松涛
许继集团 张永峰

随着智能变电站的大面积推广，预制舱作为其核心设备得到广泛应用。由于预制舱舱体需要适应更复杂、苛刻的条件，其防腐和使用寿命问题尤为重要。本文对智能变电站预制舱的材料、框架结构和受力情况进行了深入分析，结合仿真分析手段，设计出一种新型复合材料预制舱，并根据仿真分析结果进行多次调整，最终完成了智能变电站预制舱框架实施方案，解决了预制舱在腐蚀环境下的耐腐蚀性问题并延长整个舱体的使用寿命，为智能变电站预制舱解决了一项科技难题。

一、引言

预制舱是国网新型预装式智能变电站的核心设备。目前，国家做出建设资源节约型、环境友好型社会的重大决策，加快经济发展方式转变，全力突破发展中的资源环境瓶颈。这一转变对电力工业发展有着深远的影响，变电站建设模式必须向减少土地占用、降低造价、缩短建设周期、与周围环境协调以及提高运行可靠性的模式发展。因此国网推出了具有极大优越性的整站预制式生产模式，并且从2014年开始，每年投入上百亿资金建设几百座变电站。所以开展预制舱关键技术的研究具有十分重大的意义。

预制舱采用钢结构箱房，舱内根据需要配置消防、安防、暖通、照明、通信、智能辅助控制系统及集中配线架（舱）等辅助设施。其环境应满足变电站二次设备运行条件及变电站运行调试人员现场作业要求。

由于预制舱需要代替原来变电站中的二次基建房屋使

用，因此舱体设计的最大难题是防腐和使用寿命，国网在预制舱技术标准规范中明确要求使用寿命为40年。在沿海、靠近化工厂等腐蚀条件恶劣的环境中，此项要求很难达到。

二、现有预制舱防腐寿命方面措施

现有预制舱多采用钢结构厢房，通过重防腐喷涂来抵御外界腐蚀。由于钢结构厢房存在大量焊接结构，焊接后会出现大量飞溅、焊渣、气孔和虚焊等现象，而在喷砂、打磨、除油和处理过程中也难以完全消除不良隐患。喷涂过程中依然会出现流挂、漏刷、针孔、气泡以及薄厚不均匀等缺陷，缺陷处都为后期发生腐蚀的聚集点。因此钢结构厢房很难实现40年使用寿命的要求。

所以开展其他新型材料舱体的研究，对于预制舱今后的发展、应用及推广具有非常重要的意义。

三、新型复合材料预制舱研究

玻璃钢具有优异的力学性能和超强的耐腐蚀能力，被广泛应用于风电发电叶片，游艇等产品。因此，预制舱采用玻璃钢复合材料，可以满足舱体的力学及防腐要求。本文将就玻璃钢复合材料预制舱力学性能进行详细设计与研究，并通过SOLODWORKS进行仿真、验证，以提高设计的准确性与可靠性。

1. 预制舱结构研究

预制舱底部采用16号重型槽钢，排布后整体焊接而成。槽钢上部铺设20mm厚水泥纤维板，满足4KN/m²承重性

能参数。底部水泥纤维板与舱底密封，避免水汽由底部进入舱内。舱体底部设置 4 个可抽拉式起吊轴，起吊轴满足舱体满负荷承重下起吊要求。

舱体前、后、左、右墙板及顶板内外蒙皮采用一次成型的 5mm 玻璃钢单板，内部采用优质冷轧钢板多道折弯焊接作为骨架，中间填充 40mm 聚氨酯保温材料，保证舱体承重与保温要求。

由于舱体尺寸太大无法进行实际实验和检测，所以通过新型的电子仿真分析手段——SOLIDWORKS 软件进行分析，既能快速有效的仿真分析，又能较为准确的得到结论，为产品设计提供优化设计的方向。

2. 舱体力学仿真分析

(1) 模型简化。

玻璃钢预制舱总重量约 13.5t，底座材料采用 16# 槽钢拼焊而成，舱体四周立柱采用优质冷轧钢板多道折弯焊接成骨架，舱体采用两侧四点吊装，吊点间水平距离 7m。在 SOLIDWORKS 软件中，通过一系列的模型简化和处理，简化模型如图 1 所示。

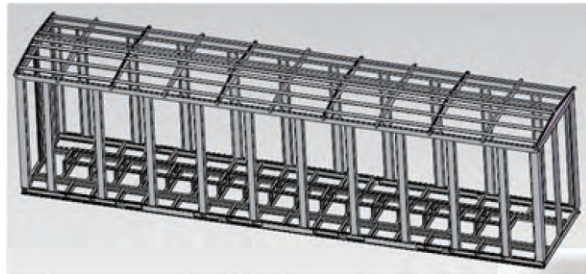


图 1 玻璃钢预制舱简化模型

(2) 网格划分。

网格质量直接影响到求解精度、求解收敛性和求解速度。细化网格可以使计算结果更精确，但是会增加 CPU 计算时间、需要更大的存储空间。因此，网格划分时需要权衡计算成本和细化网格之间的矛盾。借助 SOLIDWORKS Simulation，网格划分结果如图 2、3 所示，共有 192498 个有限元网格单元，有 936615 个有限元节点。

(3) 工况仿真。

根据 GB 17467—2010《高压 / 低压预装式变电站》和 GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》对预装式变电站的技术要求，预装式变电站的外壳应有足够的机械强度，并应耐受以下的负荷。



图 2 预制舱网格划分



图 3 网格划分局部细节

(a) 顶部负荷：最小值为 2500N/M²（竖向负荷或其他负荷）。

(b) 雪（覆冰）负荷：覆冰厚度 20mm（恶劣情况）。

(c) 风速不超过 34m/s（相当于圆柱表面上的 700Pa）。

本次预制舱结构强度力学仿真分析主要从预制舱的正面承压 12 级风、顶部承载两种工况进行有限元分析，计算出零部件应力、位移的分布图，给产品结构设计提供参考。

十二级风工况分析：风速 34m/s，风压力 0.75KN/m²。根据 GB/T 4797.5—2008《电工电子产品环境条件分类自然环境条件降水和风》标准文件的 4.4 节中表 3 和 GB/T 11022—2011《高压开关设备和控制设备标准的共用技术要求》标准文件的 2.2.2 节，预制舱在工作环境中最大受风风力为 12 级，即风速不超过 34m/s（相应于圆柱表面上的 700Pa）。

12 级风工况下预制舱强度仿真计算的位移、应力云图如图 7、8 所示。结果表明，最大变形发生在舱体立柱中上部位置，最大变形为 2.18mm，零部件的最大应力为 373.2MPa，结构抗风压安全性较高。

舱顶覆冰工况分析：（GB/T 11022—2011 要求）。

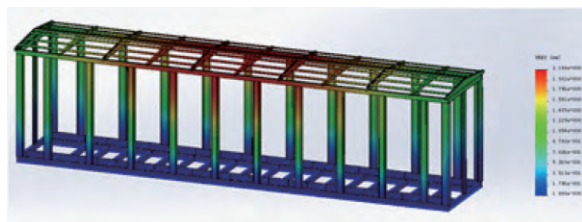


图4 12级风工况下位移云图



图5 12级风工况下应力云图

根据 GB 17467—2010 第 5.13 节要求, 预装式变电站外壳应有足够的机械强度, 所能耐受的顶部负荷最小值为 $2500\text{N}/\text{m}^2$ (竖负荷或其他负荷)。由于覆冰 20mm 产生的压力 ($200\text{N}/\text{m}^2$) 远小于国标规定的顶部负荷最小值, 本次力学仿真分析时采用国标规定负荷值, 即 $2500\text{N}/\text{m}^2$ 。

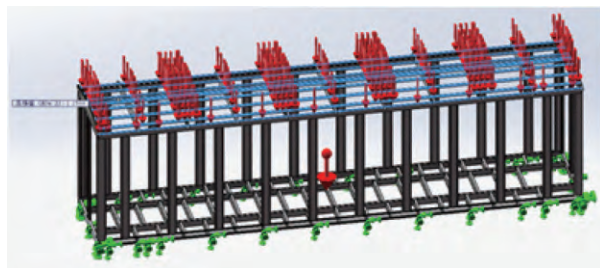


图6 顶部载荷约束图

舱顶覆冰工况下预制舱强度仿真计算的位移、应力云图如图 7、8 所示。结果表明, 舱体进行吊装时, 最大位移变形位于顶部焊接支撑板中间位置, 最大变形为 1.5099mm , 零部件受力应力小于 50MPa (最大应力为 110.14MPa), 舱体能够满足国标规定的顶部负荷要求。

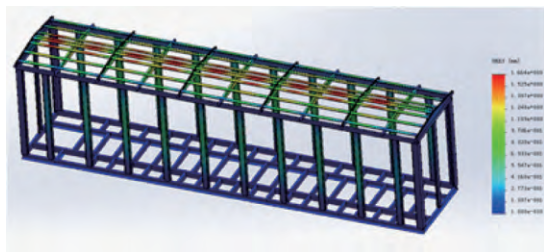


图7 顶部负荷工况下位移云图

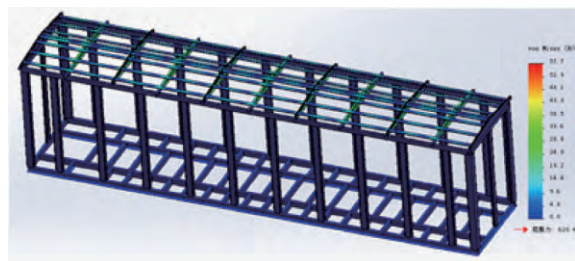


图8 顶部负荷工况下应力云图

(4) 仿真分析。

舱体竖向立柱及顶盖横梁较密, 因此舱体在竖直方向具有良好的力学性能, 如在顶部载荷、雪载情况下。但在舱体横向受力情况下, 舱体安全系数一般, 如在 12 级风工况下预制舱强度仿真计算的位移、应力云图如图 4、5 所示, 最大变形发生在舱体立柱中上部位置, 最大变形为 2.18mm , 零部件的最大应力为 373.2MPa , 结构抗风压安全性一般。

按照仿真分析结果, 在后期设计中将舱体立柱中间增焊一排水平矩形管, 以加强立柱框架的整体稳定性, 同时顶盖四角也采用采用电焊机满焊形式以提高框架强度。

四、结语

由于智能变电站预制舱舱体需要适应更复杂、苛刻的条件要求, 而舱体又尺寸太大无法进行承重、载荷及抗震实验。通过 SOLIDWORKS 可以进行仿真分析, 可以对设计进行校核, 并发现设计中的受力薄弱点, 不断地对舱体性能进行优化提升。

本研究提出了一种新型复合材料在预制舱上的应用, 并重点研究、分析了框架力学性能, 及通过仿真分析, 改进了框架结构, 完整设计了一种新的框架结构。通过这一系列的客观研究得出两点结论。

(1) 框架的结构形式对框架的力学性能起着至关重要的作用。

(2) 焊接形式对提高局部力学性能有着重要作用。

此次研究缺乏对预制舱抗震力学性能的仿真分析与验证, 后续可以通过添加地震波进行动态力学分析。IM