

轨道交通空调盖板组件结构优化设计

章瑞¹ 石彦肤²

1.广东新会中集特种运输设备有限公司 广东 江门 529100

2.江门中车轨道交通装备有限公司 广东 江门 529100

【摘要】：为了解决轨道交通空调盖板组件初始设计方案结构变形过大的问题，经使用有限元技术对其原因进行了分析。在不超重的条件下，通过减小盖板厚度、改善加强筋横截面结构型式和加强筋布局的方法设计了三种优化方案；应用有限元分析技术，对三种优化方案分别进行了变形、应力分析，综合比较分析结果数据，选出了最优方案。验证了相对盖板、加强筋的厚度而言，加强筋的横截面结构和布局型式对整个盖板组承重性能影响更大。

【关键词】：空调；盖板组件；结构；优化设计；有限元

引言

在轨道交通客室空调机组中，盖板组件位于空调的顶部；当空调机组需要进行维护时，维护人员时常会踩踏在盖板组件上。因而，空调机组的盖板组件强度须满足维护人员踩踏而不发生塑性变形和破坏。目前，对盖板组件强度、变形的校核多采用人工踩踏实物验证的方式；若强度不足，改进结构后，再次进行生产实物验证；此种方式，延长了产品开发周期，提高了生产成本。

因此，在产品的设计阶段就进行分析验证是更为快捷、经济的方法。有限元分析技术为此类结构问题提供了有力的校核方法，使得仅利用结构的三维模型和材料参数便可求解强度、变形结果^[1-2]。

参考文献^[3-12]均运用有限元分析技术进行了结构优化设计：文献^[9]研究了不同加强筋分布方式对整个箱体结构的影响，应用 ANSYS 软件对不同加强筋箱体模型作有限元分析，并将结果分析比较，提出一种折衷评价函数对结果优劣进行评判，选定了最优的加强筋布局方式。文献^[10]分析结果表明，筋板截面结构型式和布局方式对车辆设备箱体刚度影响明显。文献^[11]分析探讨了加筋安装方向对疲劳寿命的影响，相对于单向加筋，双向加筋有利于提高结构抗疲劳强度。文献^[12]以最大应力与变形为目标，分析了层门形式、门板厚度、加强筋厚度和加强筋宽度对电梯层门受冲击的影响。

1 盖板组件初始结构设计方案

如图 1 所示，压缩腔盖板组位于客室空调机组顶部，其应用技术条件为盖板组的强度能够满足两个 90kg 重量的维修人员踩踏而不发生塑性变形和破坏，且变形量不宜超过 5mm。

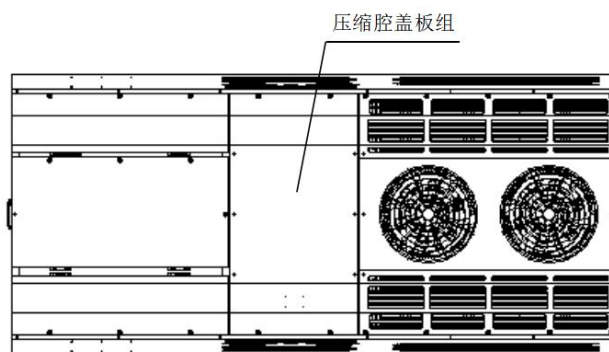


图 1 客室空调机组示意图

压缩腔盖板组材料均采用不锈钢 SUS304，初始结构设计方案如图 2 所示，盖板 1 的底面四周焊接有加强筋 2、3、5、6，盖板组底面内部焊接一个加强筋 4，三维模型如图 3 所示；盖板组件的四边、内侧相邻边均进行氩弧焊焊接，加强筋与盖板贴合面之间进行碰焊。

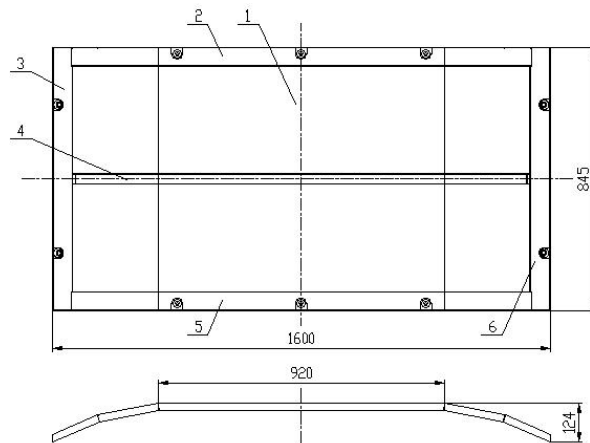


图 2 压缩腔盖板组初始结构设计方案

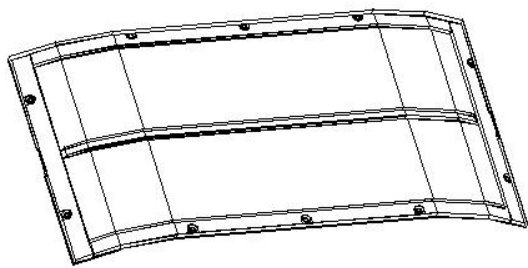


图3 压缩腔盖板组初始结构设计三维图

压缩腔盖板组的盖板厚度为 1.5mm，加强筋厚度均为 1.5mm，如表 1 所示：

表 1 压缩腔盖板组初始结构设计参数

结构参数	数值
盖板 1 厚度(mm)	1.5
加强筋 4 厚度(mm)	1.5
其它加强筋厚度(mm)	1.5
重量(kg)	23.5

为了校核盖板的强度和变形，将压缩腔盖板组初始设计结构三维模型导入有限元分析软件，进行几何模型前处理、网格划分，材料设置为不锈钢 SUS304，参数如表 2 所示：

表 2 SUS304 材料参数

名称	代号	数值
抗拉强度	Rm	520MPa
密度	ρ	7900kg/m ³
杨氏模量	E	193000MPa
泊松比	μ	0.3

按照压缩腔盖板组的实际焊接情况，在模型中将盖板与加强筋的连接设置为 Bonded；对压缩腔盖板的螺栓安装孔施加固定约束；为了模拟 2 个重为 90kg 的维修人员踩踏盖板，用 4 个 45kg 的质量球模型（直径为 80mm）施加在盖板上，并添加重力加速度 9.8N/kg，分析模型如图 4 所示：

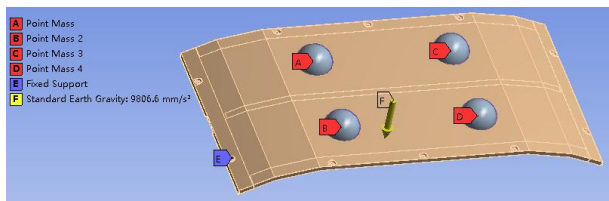


图4 压缩腔盖板组初始结构有限元分析模型图

经结果求解后，其变形、应力云图如图 5 所示，应力满足强度条件，但变形量达 5.67mm，不符合要求；因此，需对压缩腔盖板组进行结构优化，并且重量不超过 23.5kg。

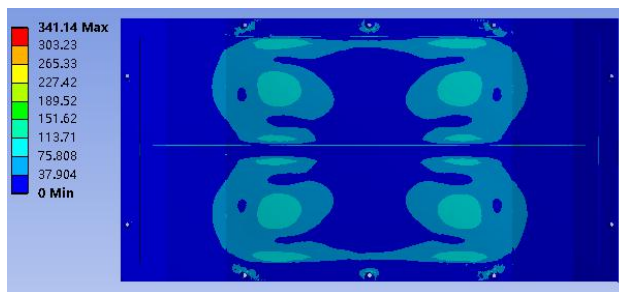
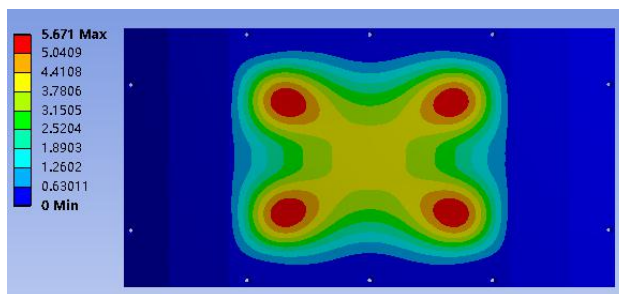


图5 压缩腔盖板组初始结构变形、应力云图

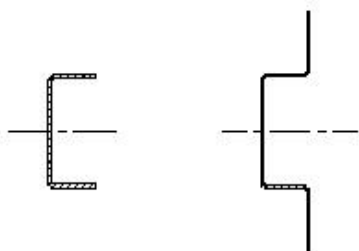
2 盖板组件结构优化设计方案

通过分析压缩腔盖板组初始结构的变形、应力云图，其变形较大部位为盖板被踩踏区域，推断盖板底部仅焊接一件加强筋的支撑强度较小；盖板的被踩踏区域和螺栓固定孔部位的应力相对 SUS304 的抗拉强度极限较小。因此，在满足不超重的条件下，通过减小盖板厚度、增加加强筋数量、优化加强筋的方法来进行压缩腔盖板组结构方案优化，设计了三种结构优化方案，如表 3 所示：

表 3 压缩腔盖板组结构优化设计方案

	方案 1	方案 2	方案 3
盖板 1 厚度(mm)	1.2	1.2	1.2
加强筋 4 横截面型式、厚度 (mm)	1.5、 U 形	1.5、 几字形	1.2、 几字形
其它加强筋厚度(mm)	1.5	1.5	1.2

其中，U 形、几字形加强筋的横截面结构型式分别如图 6 中(a)(b)所示：



(a)U形 (b)几字形

图6 加强筋横截面结构型式

三种优化方案中,盖板1厚度均为1.2mm,加强筋的厚度、布局不同;方案1结构如图7所示,盖板底部加强筋4为U形横截面,数量为3件;方案2结构如图8所示,盖板底部加强筋4为几字形横截面,数量为2件;方案3结构如图9所示,盖板底部加强筋4为几字形横截面,数量为2件,并增加6件竖直方向的几字形加强筋,同时其它加强筋的厚度减小为1.2mm。

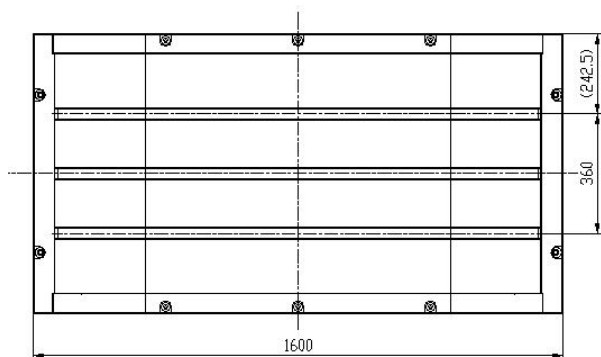


图7 方案1

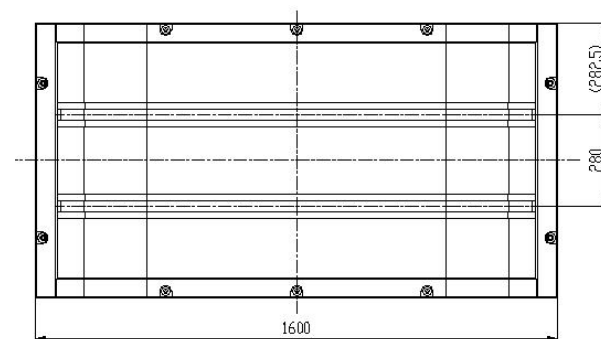


图8 方案2

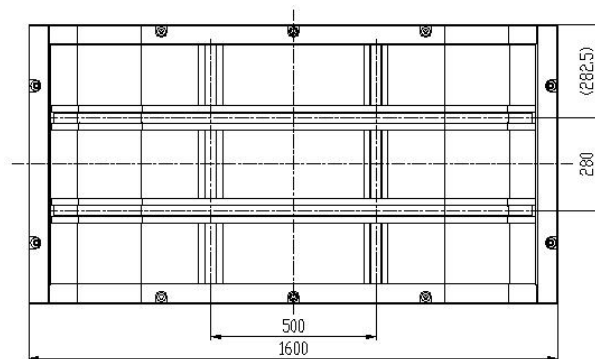


图9 方案3

3 方案择优

为了选出最优方案,同前述初始方案的结构分析条件和步骤,分别将压缩腔盖板组方案1、2、3的模型进行有限元分析,求解变形、应力后,方案1、2、3的分析结果分别如图10、11、12所示:

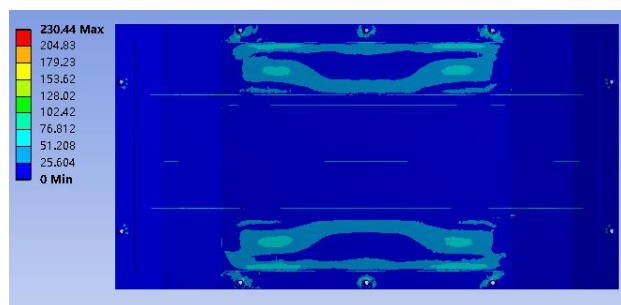
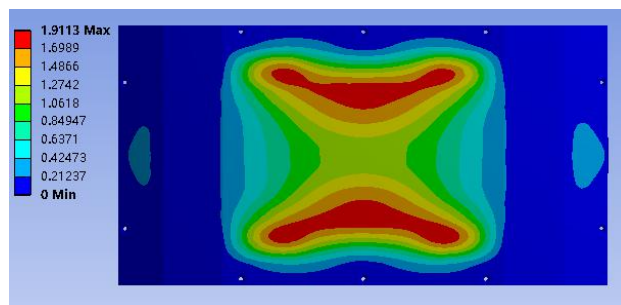
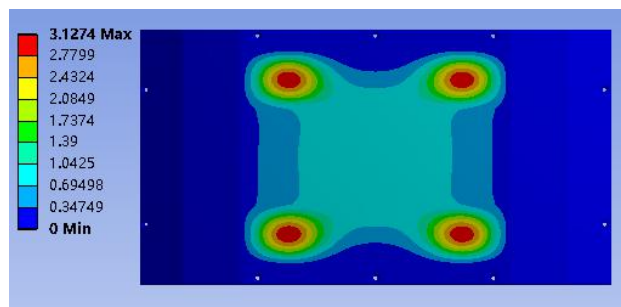


图10 方案1 变形、应力云图



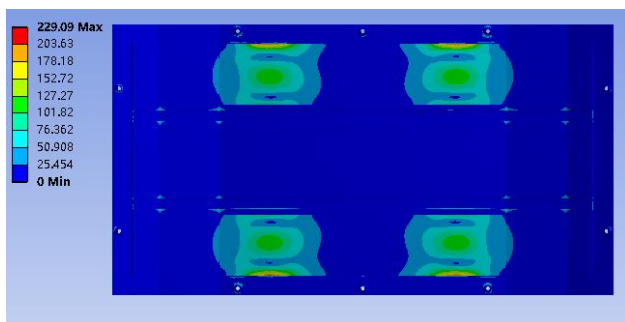


图 11 方案 2 变形、应力云图

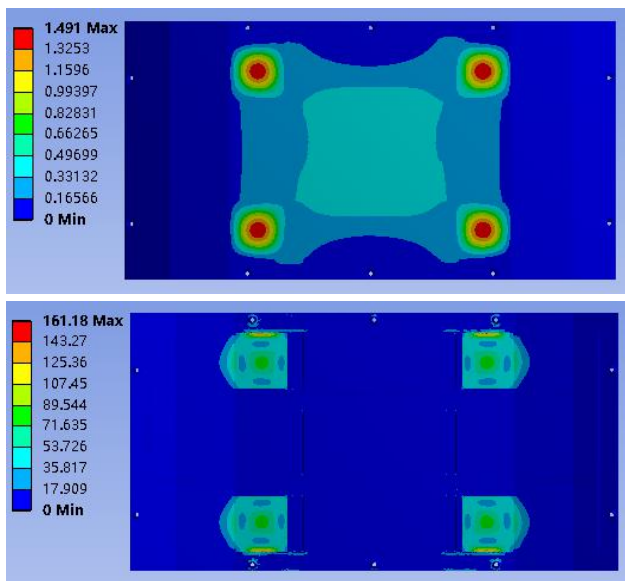


图 12 方案 3 变形、应力云图

将重量、变形、应力结果数据汇总后，如表 4 所示：

表 4 压缩腔盖板组三种结构优化方案分析结果对比

	方案 1	方案 2	方案 3
重量(Kg)	22.2	22.35	21.91
变形量(mm)	1.91	3.13	1.5
最大应力(MPa)	230.44	229.1	161.2

对比方案 1、2、3 的结果数据，方案 3 的重量、变形量、最大应力三个数值均为最小，因此方案 3 为最优方案。

结论

综上所述，应用有限元分析技术对不同方案的结构性能来进行分析择优是个有效途径。综合比较各方案的分析结果数据，研究发现：（1）相对盖板、加强筋的厚度参数而言，加强筋的横截面结构、布局型式对整个盖板组承重性能影响更大；（2）相对于 U 形加强筋，同厚度的几字形加强筋承重性能更优；（3）相对于单方向阵列布置的加强筋布局型式，井字形的布局型式性能更好。

参考文献：

- [1] 于亚婷,杜平安,王振伟.有限元法的应用现状研究[J].机械设计,2005(03):6-9.
- [2] 李曼丽,杨志兵.基于有限元分析的结构优化设计方法的研究[J].制造业自动化,2013,35(18):123-126.
- [3] 王良模,吴长风,王晨至.特种车辆方舱结构的有限元分析[J].南京理工大学学报(自然科学版),2008,32(06):707-709+728.
- [4] 张峰,王金娥.客车空调钣金框架断裂分析及改进设计[J].机械设计与制造,2014(11):138-140.
- [5] 钟志华.汽车耐撞性分析的有限元法[J].汽车工程,1994(01):1-6+11.
- [6] 王良模,王文源,张一京,陈荣华,袁刘凯,张汤赟.基于模态分析的某越野车动力总成壳体结构优化[J].南京理工大学学报,2015,39(03):358-362.
- [7] 李红建,邱少波,林逸,张君媛,刘静岩.汽车车身复杂钣金件的拓扑优化设计[J].汽车工程,2003(03):303-306+302.
- [8] 鞠盈子,庞学博,程显耀,薛鑫.动力集中动力车空调装置箱体有限元分析[J].内燃机与配件,2020(08):40-41.
- [9] 江川,向春生,刘儒贞.悬背式箱体结构加强筋布局研究[J].光电工程,2016,43(07):40-44.
- [10] 杨龙,阳光武,肖守讷,杨冰,朱涛.车辆设备箱体刚度提升方法研究[J].铁道机车车辆,2019,39(02):19-24+58.
- [11] 刘文光,林炜彦,颜龙,舒斌.基于抗振动疲劳的薄板加筋设计分析[J].工程设计学报,2016,23(04):385-390.
- [12] 贾薛铖,朱明,张鹏,张晓峰.基于 ANSYS 的电梯层门受冲击有限元分析[J].机械设计与研究,2016,32(03):134-137.