

Finite Element Analysis of Wind Load on a Mobile Antenna Shelter

Dong Wang Maimiao Cui Na Zhang Xinghua Fan

China Aerospace Science and Industry Group, Six Institute of the 210 Research Institute, Xi'an, Shanxi, 710065, China

Abstract

Wind load is the main load for outdoor work in the mobile antenna shelter. Its wind resistance stability design is directly related to the safety of the vehicle, and is the key factor in the design of the mobile antenna shelter. The paper introduces the calculation method of wind load on a mobile antenna shelter in a given environment, and calculates the wind load on the mobile antenna shelter in three directions: 45°, 90°, and 0°. The wind resistance stability of the vehicle was analyzed by calculating the stability moment and overturning moment of the mobile antenna shelter, and a finite element model was established to simulate the wind load of the mobile antenna shelter. The results showed that the mobile antenna shelter met the strength requirements under wind loads in three directions.

Keywords

antenna shelter; wind load; wind stability; finite element analysis

某移动天线方舱风载有限元分析

王冬 崔麦苗 张娜 樊兴华

中国航天科工集团六院 210 所, 中国·陕西 西安 710065

摘要

风载荷是移动天线方舱户外工作所承受的主要载荷, 其抗风稳定性设计直接关系到整车的安全性, 是移动天线方舱设计中的关键因素。论文介绍了某移动天线方舱在给定环境下风载荷的计算方法, 分别计算了移动天线方舱在45°、90°和0°三个方向下的风载荷。通过计算移动天线方舱的稳定力矩和倾覆力矩对整车的抗风稳定性进行了分析, 并通过建立有限元模型对移动天线方舱的风载进行模拟计算, 结果表明该移动天线方舱在三个方向的风载荷下均满足强度要求。

关键词

天线方舱; 风载荷; 抗风稳定性; 有限元分析

1 引言

移动天线方舱是以方舱为载体, 在舱内安装天线及升降机构等设备来完成对目标的监测等任务, 因其具有良好的机动性能而被广泛应用。当天线方舱在户外作业时, 风载荷是必须考虑的一个问题, 不同级别的风和不同方向的风载荷都对天线方舱的稳定性能有着不容忽视的影响。因此, 对移动天线方舱在风载荷下的载荷计算和稳定性分析是十分重要的。

2 移动天线方舱简化模型

该移动天线方舱及载车总重约为 23000kg, 整车长度约为 11m, 车宽 2.5m, 天线升降杆未展开时整车高约为 3.5m。方舱内安装有天线设备和升降杆, 升降杆固定在方舱内的底板上, 天线设备安装在升降杆的最上端。工作时升降杆通

过方舱顶部的天窗进行升降, 升降杆共有 8 节, 展开高度有 8m。该天线方舱工作风速为 20m/s, 工作环境为田野、乡村、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇。

论文对整车模型进行了简化, 并将载车的上装设备和方舱等均设定为和载车固连为一体, 如图 1 所示。考虑天线方舱在野外工作环境复杂多变, 其所受的风载方向也是多变的, 论文将天线方舱所受的风载分成三个方向进行分析, 分别为 90° 风向, 垂直于载车长度方向; 0° 风向, 沿着载车长度方向; 45° 风向, 与载车 45° 夹角的方向, 如图 2 所示。

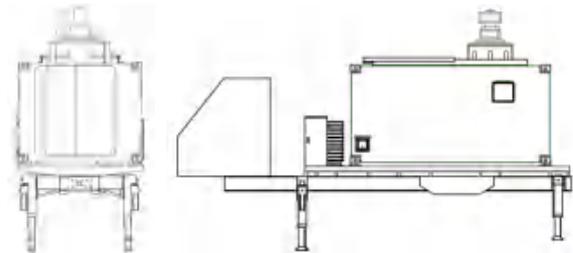


图 1 天线方舱简化模型

【作者简介】王冬 (1994-), 男, 中国陕西西安人, 硕士, 工程师, 从事车载方舱结构设计研究。

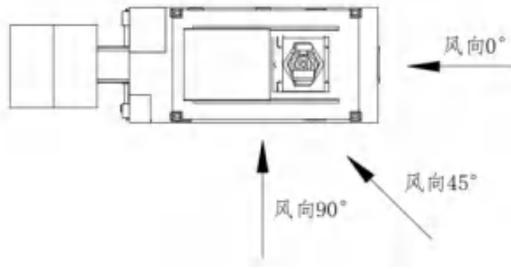


图 2 天线方舱三个方向风载图

3 移动天线方舱风载荷分析

3.1 载车风载荷的计算

天线方舱的载车包括底盘，底箱板，舱体以及上装工具箱等。

根据方舱设计手册，风速换算公式：

$$W = K\rho V^2 A \quad (1)$$

其中，K 为状态系数，取 0.664； ρ 为空气密度，取 1.226kg/m^3 ；V 为风速，取 20m/s ；A 为迎风面积， $A = \sum_i A_i$ 。

由式 (1) 得，载车 45° 风向的迎风面积 $A=14.77\text{m}^2$ ，求得整车风载荷 $W=4809.49\text{N}$ ； $M=10388.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。载车 90° 风向的迎风面积 $A=13.58\text{m}^2$ ，求得整车风载荷 $W=4422\text{N}$ ； $M=9551.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。载车 0° 风向的迎风面积 $A=5.82\text{m}^2$ ，求得整车风载荷 $W=1895.14\text{N}$ ； $M=4093.5\text{N}\cdot\text{m}$ 。

3.2 升降杆风载荷计算

升降杆展开共有 8 节，每一节均可以看成为圆柱体结构，所以升降杆每一节在 0° 、 45° 和 90° 三个方向所受的风载荷相同。

根据《高耸结构设计规范》，升降杆受到的风载荷可按式计算：

$$\omega_k = \beta_z \mu_s \mu_z \omega_0 \quad (2)$$

其中， ω_k 为作用在升降杆 z 高度处单位投影面积上的风载荷标准值， kN/m^2 ； β_z 为高度 Z 处的风振系数； μ_s 为风载荷体型系数； μ_z 为高度 z 处的风压高度变化系数； ω_0 为基本风压， $\omega_0 = v_0^2 / 1600 = 0.27\text{kN/m}^2$ 。

① 风振系数可按式计算：

$$\beta_z = 1 + \zeta \varepsilon_1 \varepsilon_2 \quad (3)$$

其中， ζ 为脉动增大系数； ε_1 为风压脉动和风压高度变化等的影响系数； ε_2 为振型、结构外形的影响系数。

② 风压高度变化系数 μ_z 由地面粗糙度类别和离地面或海平面高度来确定。

③ 升降杆的整体体型系数 μ_s 按照表 1 规定取值。

表 1 悬臂结构整体计算体型系数 μ_s

截面	风向 25	H/d			
		7	1		
圆形	粗糙	任意	0.9	0.8	0.7
	光滑		0.6	0.5	0.5

根据以上计算可得升降杆所受的风载荷和对地弯矩如表 2 所示。

3.3 天线设备风载荷计算

根据《起重机设计手册》，天线设备受到的风载荷可按式计算：

$$W = C \cdot K \cdot q \cdot A \quad (4)$$

其中，C 为风力系数，取 1.3；K 为风压高度变化系数， $K = (h/10)^{0.4} = 1.05$ ；q 为风压， $q = 0.613v^2 = 245.2\text{N/m}^2$ ；A 为结构迎风面积。

天线设备在 45° 风向时迎风面积取 0.47m^2 ，求得 $W=157.3\text{N}$ ； $M=1552.6\text{N}\cdot\text{m}$ 。天线设备在 90° 风向时迎风面积取 0.32m^2 ，求得 $W=107.1\text{N}$ ； $M=1057.1\text{N}\cdot\text{m}$ 。天线设备在 0° 风向时迎风面积取 0.34m^2 ，求得 $W=113.8\text{N}$ ； $M=1123.2\text{N}\cdot\text{m}$ 。

4 移动天线方舱抗风稳定性分析

移动天线方舱在风载荷的作用下所受的总倾覆力矩为载车、升降塔、天线设备的倾覆力矩之和，即 $M = M_{\text{车}} + M_{\text{塔}} + M_{\text{线}}$ 。不同风向下天线方舱的重心位置距离天线方舱支撑点的垂直距离为 L，则根据 $M_{\text{稳}} = mg \cdot L$ 可以求得不同风向天线方舱的稳定力矩，如表 3 所示。该移动天线方舱总质量 m 为 23000kg 。

表 2 升降杆风载荷的计算

杆节	风振系数 β_z	风载荷体型系数 μ_s	高度变化系数 μ_z	基本风压 ω_0 (kN/m^2)	标准风压 ω_k (kN/m^2)	口径 m	迎风面积 (m^2)	杆节风载 (kN)	中心高 /m	对地弯矩 $M/N\cdot\text{m}$
8	2.37	0.6	1	0.25	0.36	0.094	0.09	0.032	9.084	290.7
7	2.23	0.6	1	0.25	0.33	0.108	0.1	0.033	8.406	277.4
6	2.04	0.6	1	0.25	0.31	0.122	0.12	0.037	7.684	284.3
5	1.92	0.6	1	0.25	0.29	0.136	0.13	0.038	6.964	264.6
4	1.75	0.6	1	0.25	0.26	0.152	0.15	0.039	6.244	243.5
3	1.68	0.6	1	0.25	0.25	0.168	0.17	0.043	5.526	237.6
2	1.48	0.5	1	0.25	0.19	0.184	0.18	0.034	4.808	163.5
1	1.41	0.5	1	0.25	0.18	0.202	0.2	0.036	4.118	148.2
合计										1909.8

表3 移动天线方舱倾覆力矩 M 和稳定力矩 $M_{稳}$

风向	$M_{车}/N \cdot m$	$M_{塔}/N \cdot m$	$M_{线}/N \cdot m$	$M/N \cdot m$	L/m	$M_{稳}/N \cdot m$
45°	10388.5	1909.8	1552.6	13850.9	2.77	637100
90°	9551.5	1909.8	1057.1	12518.4	0.95	218500
0°	4093.5	1909.8	1123.2	7126.5	2.58	619200

由以上计算分析可知,移动天线方舱在45°风向时迎风面积最大,相应倾覆力矩最大;且三个风向下移动天线方舱的载车所受倾覆力矩均为最大。通过对天线方舱稳定力矩的计算可以看出,三个风向下的稳定力矩都远大于倾覆力矩,所以该移动天线方舱在20m/s的工作风速下是安全的,满足风载荷强度要求。

5 移动天线方舱风载有限元分析

5.1 有限元模型建立

对移动天线方舱的模型在ANSYS中进行简化处理。载车主体结构为钢,且方舱与载车通过焊接方式固连为一个整体。方舱骨架为钢结构,方舱大板内外是铝板粘接到一起。升降塔和天线设备主要为钢结构。各个分结构的连接方式考虑为刚性连接来减小其他因素对计算结果的影响。对载车、方舱骨架和升降杆等采用钢材料,其杨氏模量和泊松比为210GPa和0.3;对方舱内外蒙皮和部分上装设备采用铝合金材料,其杨氏模量和泊松比为70GPa和0.33。针对不同的结构采用四面体单元和六面体单元进行网格划分,以减小网格畸变。

5.2 有限元结果分析

根据上节计算的风载荷,分别在载车、升降塔和天线设备上施加力,并将移动天线方舱载车底部的四个调平支腿进行约束。计算得到三个不同风向下移动天线方舱的变形图和等效应力分布云图。

计算结果汇总如表4所示。

表4 不同风向下移动天线方舱的计算结果

	45° 风向	90° 风向	0° 风向
最大变形/mm	0.51	0.46	0.38
最大应力/MPa	16.25	12.77	4.17

比较分析可知,当移动天线方舱在45°风向下变形量最大,为0.51mm,位于天线设备处;45°风向下最大应力最大,为16.25MPa,位于载车的前端大梁处。该载车车架材料采用16MnL,抗拉强度不小于520MPa,屈服强度不小于360MPa,延伸率不小于22%。可以看出风载荷下移动天线方舱的最大应力远小于屈服强度360MPa。所以该移动天线方舱在8级风载荷下是安全的,强度是满足要求的。

6 结语

论文计算了某移动天线方舱在8级风载荷下的风载大小,分析了移动天线方舱在风载下的抗风稳定性,得出该移动天线方舱在8级风载下是稳定安全的,并且建立了有限元模型对移动天线方舱的风载进行了仿真模拟,结果表明移动天线方舱在8级风载荷下强度是满足要求的,与理论计算结果一致。

参考文献

- [1] 李钊,王志海.大型车载雷达抗风稳定性研究[J].电子机械工程,2015,31(3):11-15.
- [2] 陈亚峰.50米升降塔的静力分析[J].电子机械工程,2008,24(3):31-33.
- [3] 冯大成.某型天线车抗倾覆能力的计算与检验[J].电子机械工程,2011,27(2):28-30.
- [4] 肖飞,宋文杰,周志勇,等.某车载式可升降微波塔的抗风分析[J].特种结构,2006,23(3):3.
- [5] 刘建军,沈文军.某高转速相控阵雷达抗风能力分析[J].电子机械工程,2017,33(2):37-40.
- [6] 李艳斌.风电塔架抗震抗风有限元分析[J].内蒙古石油化工,2016(8):49-52.
- [7] 高亮.基于ABAQUS的动中通车风载荷有限元分析[J].电气与自动化,2013(6):194-196.