

浅谈车载天线鼓形弹簧刚性

刘淑燕 田文娟

陕西烽火通信集团有限公司 陕西 宝鸡 721000

摘要：鼓形弹簧是车载天线的重要组成部分，在天线受冲击振动等外部载荷时起缓冲减震作用，保护天线不受损坏，是天线结构的支撑。鼓形弹簧应具有与天线辐射体高度相匹配的刚性，刚性太大，起不到缓冲减震作用，天线易损坏；刚性太小，天线辐射体摆幅大，不能正常接收和发射信号，因此鼓形弹簧合理的刚性对天线能否正常使用至关重要。

关键词：车载天线；鼓形弹簧；刚性

1 概述

车载天线一般由天线基座、鼓形弹簧、天线辐射体组成。

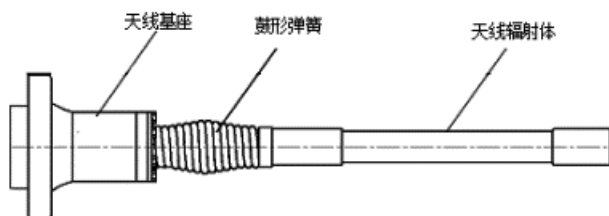


图1 车载天线结构示意图

鼓形弹簧是天线基座和天线辐射体之间的挠性连接，不仅为天线结构提供支撑，而且还要满足天线辐射体受冲击振动时减震缓冲的使用要求，同时完成工作频段内射频信号的接收和发射，是车载天线的重要组成部分。鼓形弹簧主要由上、下接头和弹簧组成，上、下接头为机加件，金属合金材料，弹簧主要由热处理后的不锈钢丝按照一定的规格比绕制而成。

2 弹簧刚性分析

车载天线在使用过程中不可避免受到车辆诱发的机械振动和冲击等作用，鼓形弹簧作为天线的强力缓冲和减震部件，将机械能转换为变形能，保护天线不受损坏。鼓形弹簧刚性大，缓冲吸振能力就强，能以小变形承受大载荷。当鼓形弹簧刚性与天线辐射体高度不匹配，天线重心高，鼓形弹簧刚性过大，缓冲减震作用就会降低，容易损坏天线辐射体；鼓形弹簧刚性过小，天线重心低，无法支撑天线辐射体，导致天线不能满足行进使用。因此鼓形弹簧合理的刚性和强度是天线正常、安全、可靠使用的保证。^[1]

以 $\phi 8\text{mm}$ 不锈钢弹簧钢丝为例， $\phi 8\text{mm}$ 不锈钢弹簧钢丝绕制鼓形弹簧后匹配1.8米车载天线，鼓形弹簧的刚性刚好能满足使用要求，既能缓冲减震，天线还不会损坏。

将 $\phi 8\text{mm}$ 鼓形弹簧（弹簧钢丝直径 $\phi 8\text{mm}$ ）在2.7米车载天线中使用时，由于2.7米车载天线辐射体质量、重心和承受载荷较大，使用 $\phi 8\text{mm}$ 鼓形弹簧后，行进过程中天线辐射体摇摆幅度大，影响天线性能，刚性不能满足使用要求。分析为车载天线的天线辐射体高度增加时，使用 $\phi 8\text{mm}$ 不锈钢弹簧钢丝绕制的鼓形弹簧刚性过小，无法支撑天线辐射体，导致天线在行进过程中天线辐射体摇摆幅度大，影响天线性能，鼓形弹簧不能满足天线使用要求（ $\phi 8\text{mm}$ 不锈钢弹簧钢丝主要参数如下：弹性模量200Gpa；屈服极限6 s865Mpa，泊松比0.3）。

对鼓形弹簧进行刚性分析，根据刚性计算公式 $F = \frac{Gd^4}{8D_m^3n}$ （ G ：材料的刚性模数（ kg/mm^2 ）； d ：弹簧的线径； D_m ：弹簧的中径； D_0 ：弹簧的外径； $D_m = D_0 - d$ ； N ：弹簧的有效圈数，一般等于弹簧总圈数-2），用直径大于 $\Phi 8\text{mm}$ 的钢丝绕制鼓形弹簧，可增加弹性、刚性和强度，满足使用要求，但成本高，且大规格钢丝订购加工周期无法保证，因此从鼓形弹簧加工工艺进行优化，提高刚性。鼓形弹簧加工工艺主要有钢丝热处理、绕制、旋绕和表面处理等工序，本次主要从绕制初张力、旋绕比和表面处理工艺提升鼓形弹簧刚性。^[2]

3 提升方案

根据评估结果，对直径 $\phi 8\text{mm}$ 不锈钢弹簧钢丝绕制的鼓形弹簧从绕制初张力、旋绕比和表面处理工艺方面进行性能提升。

3.1 绕制初张力

鼓形弹簧两端内口直径按标准 $\phi 27\text{mm}$ 设计，弹簧圈数、旋向、热处理工艺、绕制工艺流程等均与直径 $\phi 8\text{mm}$ 鼓形弹簧一致，绕制时弹簧各圈并紧旋绕，使绕制初张力最大，提高钢丝变形量，反之，则变形量变小。因此增大鼓形弹簧绕制初张力，弯曲力值相应增大，刚性则

会增强。

3.2 鼓形弹簧旋绕比

车载天线常用鼓形弹簧两端内口直径φ27mm是固定值，设计2.7米车载天线鼓形弹簧两端内口直径小于标准固定值，减小弹簧旋绕比，弹簧圈数、旋向、热处理工艺、绕制工艺流程等均与现用直径φ8mm鼓形弹簧要求一致，弹簧内口直径与φ27mm相比较，旋绕比减小，刚性增加。

3.3 表面处理

鼓形弹簧表面处理主要是喷丸处理，也称喷丸强化，是提高金属零件疲劳寿命的有效方法之一。鼓形弹簧喷丸处理是将高速弹丸流喷射到弹簧表面，使弹簧钢丝表面发生塑性变形，形成一定厚度的强化层，强化层内形成较高的残余应力层，由于钢丝表面压应力层的存在，当弹簧承受载荷时可以抵消一部分抗应力，从而提高鼓簧的疲劳强度，极大程度地改善抗疲劳强度。因此对该鼓形弹簧喷丸采用0.55~0.65合金钢丸，强度0.35A~0.45A，覆盖率90%喷丸处理。

4 仿真分析

模拟改进后的鼓形弹簧状态设计2.7米车载天线，运用ANSYS有限元仿真分析软件对天线强度进行校核和结构优化，对产品的可靠性进行评估，针对天线的实际工况，从振动强度、冲击强度两方面进行分析。

根据应力仿真结果，采用强度准则评估天线强度。

$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_s}{S}$ （ σ —零件应力，单位MPa； σ_s —材料屈服极限，单位MPa； $[\sigma]$ —材料的许用应力，单位MPa； S —设计安全系数），针对天线的实际使用工况因素、零件加工工艺及尺寸因素，选取设计安全系数 $S=2.0$ 。

4.1 振动强度仿真分析

X轴沿车身指向车头，Z轴在汽车对称面内垂直X轴向上，Y轴垂直于XOZ平面指向车身左侧，天线坐标系见图2。

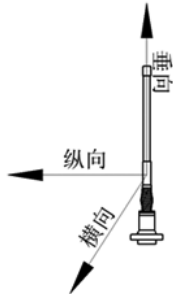


图2 天线安装方向示意图

在X、Y和Z三个方向对2.7米车载天线施加振动载荷试验条件，得到天线的应力计算，见表1。

表1 振动强度仿真结果

工况	σ_{\max} (MPa)	σ_s (MPa)	$[\sigma]$ (MPa)
X方向	60.32	240	120
Y方向	22.42	240	120
Z方向	24.99	865	432.5

其中最大应力出现在X方向振动中，约为60.32MPa，位置在鼓形弹簧上端接头处，最大应力60.32MPa小于材料的许用应力120MPa，其等效应力云图见图3。

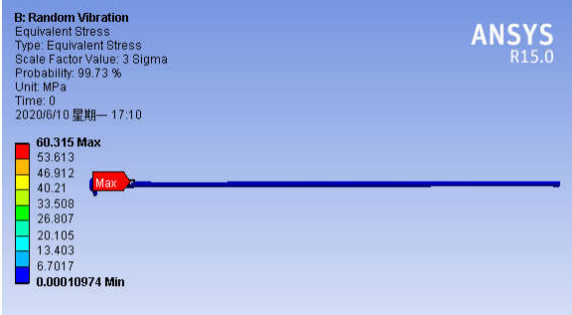


图3 天线等效应力云图（Y方向）

天线在给定的振动环境条件下产生的最大应力 σ_{\max} 均小于材料的许用应力 $[\sigma]$ ，根据强度校核准则可知，天线强度符合振动强度要求。

4.2 冲击强度仿真分析

在+X、-X、+Y、-Y、+Z和-Z六个方向对2.7米车载天线施加功能冲击强度，得到天线的应力计算结果，见表2。

表2 冲击强度仿真结果

工况	σ_{\max} (MPa)	σ_s (MPa)	$[\sigma]$ (MPa)
+X方向	41.75	240	120
-X方向	41.75	240	120
+Y方向	29.33	250	125
-Y方向	29.33	250	125
+Z方向	30.39	865	432.5
-Z方向	30.39	865	432.5

其中最大应力出现在X方向冲击中，约为41.75MPa，出现在鼓形弹簧上端接头处。最大应力41.75MPa，小于材料的许用应力120MPa，其等效应力云图见图4。

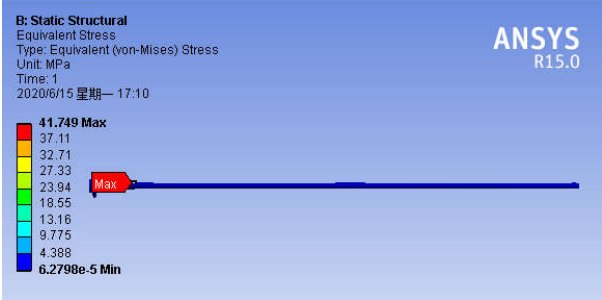


图4 天线等效应力云图（Y方向）

天线在冲击环境条件下的最大应力 σ_{\max} 小于材料许用应力 $[\sigma]$,根据强度校核准则可知,天线强度符合冲击强度要求。

4.3 仿真结果

根据振动强度和冲击强度仿真分析结果可知,天线安装改进后鼓形弹簧在振动环境条件下的最大应力和在冲击环境条件下的最大应力均小于鼓形弹簧材料的许用应力。根据强度校核准则可知,改进后天线鼓形弹簧的强度符合使用要求。^[3]

5 刚性测试及试验验证

5.1 刚性测试

加工鼓形弹簧样品,并在两端压装接头后将鼓形弹簧一端固定,在另一端施加恒定力矩,测试弹簧座刚性。施加力矩值按2.7米车载天线辐射体确定,测试过程力矩保持不变,经刚性测试,刚性显著增强。

天线使用改进后鼓形弹簧,天线辐射体静态直立状态佳,动态摇摆幅度略小。

5.2 疲劳寿命验证

将改进后的鼓形弹簧两端压接接头后,安装在试验机上进行弯曲疲劳寿命试验,在与弹簧垂直的水平面内间隔120°的3个方向上,由其顶端弯曲到90°位置,再弯曲到-90°返回为一个周期,共进行5000个周期,试验后鼓形弹簧无卡死、断裂、开圈现象。

5.3 极限弯曲验证

人工分别模拟鼓形弹簧的 $\pm 45^\circ$ 弯曲试验和 $\pm 90^\circ$ 弯曲试验的极限试验,试验后鼓形弹簧无断裂和严重开圈情况。

5.4 装车及撞击试验验证

将改进后的鼓形弹簧装成天线后,在通信车上安装,在试验场地进行跑车,观察天线辐射体静态直立姿态及动态摇摆幅度小,天线鼓形弹簧刚性状均可满足使用要求。

按照GJB 3248-1998《野战超短波通信天线通用规范》的要求对天线进行撞击试验,天线经受不大于40km/h速度的撞击,撞击15次后天线完好、无损坏,紧固件无松动,鼓形弹簧各圈无明显变形,天线指标合格。

6 结语

鼓形弹簧在车载天线中至关重要,而弹簧的刚性直接影响天线的使用。根据上述工艺改进,鼓形弹簧刚性增大,不仅保证了生产周期,还节约了成本。因此,在车载天线设计中合理选用鼓形弹簧规格及性能,才能保证车载天线的整体性能。

参考文献

- [1]袁志钟.金属材料学[M].第3版.北京:化学工业出版社,2024
- [2]成大先.机械设计手册.弹簧[M].第5版.北京:化学工业出版社,2010
- [3]张英会.弹簧手册[M].北京:机械工业出版社,2017.