

第五章 发动机噪声及排放污染

噪声: 汽车的主要噪声源 — 发动机。

汽油机的主要噪声源 — 风扇噪声和配气机构噪声。

柴油机的主要噪声源 — 燃烧噪声。

柴油机的噪声比汽油机的大。

排放: 汽油机的 CO 、 NO_x 和 HC 排放比柴油机的多,

柴油机的炭粒排放比汽油机的多。

§ 5-1 发动机噪声污染及防治

GB 规定: 城市噪声声压级白天 — $L_p \leq 42$ [dB], 夜间 — $L_p \leq 37$

[dB]。

一 噪声的评价指标

(一) 噪声的物理参数

1 声压 p

声波通过介质时, 波峰处的压力升高量 [pa]。

2 声压级 L_p — 无因次参数

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

其中 p_0 — 1000 [Hz] 时的基准声压, 即听阈声压, $p_0 = 2 \times 10^{-5}$ [pa]。

人耳能听到的听阈声压 = 2×10^{-5} [pa],

产生疼痛的痛阈声压 = 20 [pa]。相差 100 万倍左右。

3 声强 I

单位时间、单位面积上通过的声能 [W/m^2] 。

4 声强级 L_I — 无因次参数

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}]$$

其中 I_0 — 1000 [Hz] 时的基准声强, $I_0 = 10^{-12}$ [W/m^2] 。

5 声功率 W

声源在单位时间内所辐射的总能量 [W]。

$$W = \int_S I_n ds$$

其中 S — 包围声源的封闭面面积; I_n — 声强在微元面积 ds 法线方向的分量。

(1) 在自由场中, 声波球面辐射, 则

$$I_{\text{球}} = \frac{W}{4\pi r^2} \quad [\text{W}/\text{m}^2]$$

(2) 在开阔地面上, 声波半球面辐射, 则

$$I_{\text{半球}} = \frac{W}{2\pi r^2} \quad [\text{W/m}^2]$$

6 声功率级 L_w — 无因次参数

$$L_w = 10 \lg \frac{W}{W_0} \quad [\text{dB}]$$

其中 W_0 — 基准声功率, $W_0 = 10^{-12}$ [W]。

声压级 L_p , 声强级 L_I 和声功率级 L_w 的范围均为 $0 \sim 120$ [dB]。

7 频率与频带

人耳能听到的声音频率范围为 $20 \sim 20,000$ [Hz]。

将其分为若干个频率段 — 频带或频段。

常用倍频程和 $1/3$ 频程。

倍频程的中心频率 — 31.5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000, 16000…

中心频率 $f_{\text{中}}$, 上限频率 $f_{\text{上}}$ 和下限频率 $f_{\text{下}}$ 的关系为

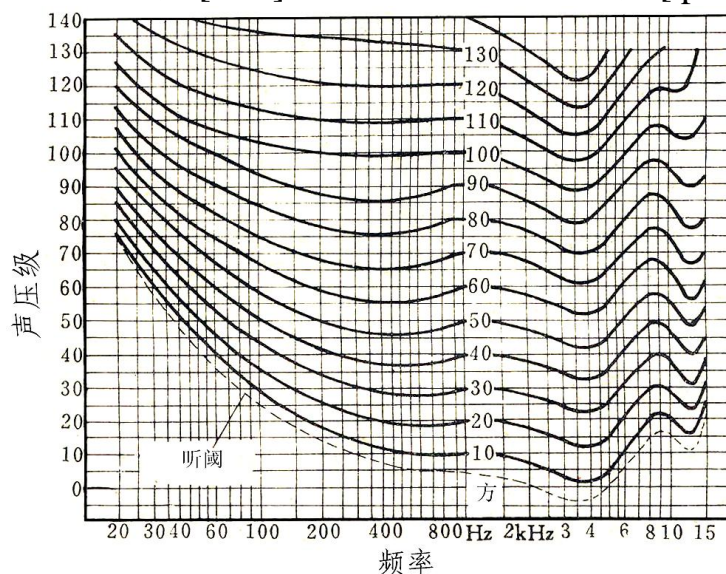
$$f_{\text{上}} = \sqrt{2} f_{\text{中}}; \quad f_{\text{下}} = \frac{1}{\sqrt{2}} f_{\text{中}}; \quad f_{\text{上}} = 2 f_{\text{下}}。$$

频谱图 — 横坐标: 频率 (频带), 纵坐标: 声压级 L_p , 声强级 L_I 或声功率级 L_w 。

(二) 主观评价 — 响度级

即使声压级相同, 而频率不同, 人耳所感受到的声音响度就会不同, 主观评价参数 — 响度级 [方] ([phon])。

以 1000 [Hz] 的纯音为基准声音, 当某噪声的响度与某声压级的纯音响度相同时, 则该纯音的声压级 [dB] 即为该噪声的响度级 [phon]。



如图的 ISO 等响曲线由大量试验得出

1 100 Hz 以下的噪声，

虽然声压级 [dB] 较高，但响度级 [phon] 却低，人耳不敏感。

低频、低声压级 [dB] 的噪声，人耳听不到。

2 同一声压级 [dB] 下，人耳对频率为 3000~4000 Hz 的噪声（波谷）最为敏感，

其响度级 [phon] 最高。

3 声压级高于 100 [dB] 时，等响曲线平缓，响度级 [phon] 仅与声压级 [dB] 有关，而与频率 [Hz] 几乎无关。说明对于高 [dB] 的噪声，人耳已分辨不出高、低频了。

二 发动机噪声分析

（一） 车辆噪声源

1 与发动机转速 n 有关的噪声源

进、排气噪声；旋转件噪声 — 风扇，空气压缩机，发电机和空调等。

2 与车速有关的噪声源

传动噪声 — 变速器，传动轴等；空气动力噪声 — 轮胎噪声，车体噪声等。

（二） 发动机噪声源 — 主要噪声源

1 直接传向大气的噪声源

进、排气噪声和风扇噪声等 — 属于空气动力噪声。

2 发动机表面辐射噪声源

由发动机零部件的机械振动引起。

(1) 燃烧噪声 — $\frac{\Delta p}{\Delta \varphi} \uparrow$, $p_{\max} \uparrow$ ，还与发动机零部件的强度、刚度有关。

(2) 机械噪声 — 发动机零部件之间的间隙撞击和零部件弹性变形，导致零部件振动引起。

三 发动机噪声的防治

（一） 降低燃烧噪声

1 采用油膜蒸发型混合气形成方式 — M 过程 $\rightarrow \frac{\Delta p}{\Delta \varphi} \downarrow$, $p_{\max} \downarrow$ 。

2 尽量使喷油先缓后急 — 推迟喷油开始时刻 $\rightarrow \frac{\Delta p}{\Delta \varphi} \downarrow$, $p_{\max} \downarrow$ 。

3 使用十六烷值高的燃料 $\rightarrow \tau_i \downarrow$ 。

（二） 加强结构强度

加固主轴承，多加和加固加强筋。

(三) 采用隔声罩壳

材料: 钢板、玻璃纤维和其它消声材料。

部位: 曲轴箱侧壁和排气总管。

(四) 采用排气消声器

排气消声器 — 声滤波器, 随频率变化。

1 阻性消声器 — 主要用于小轿车

声学性能主要取决于声吸收构造和材料的流动阻力。降低噪声的频带较广。

2 抗性消声器 — 主要用于载货汽车

声学性能主要取决于消声器的几何形状, 造成排气声能阻抗失配。阻抗失配使部分声能在消声器内来回反射阻碍向外辐射。

3 阻抗复合式消声器 — 用于各种汽车

以抗性消声器为基础, 同时采用吸声材料, 可使排气噪声大幅度降低。

(五) 低噪声发动机设计

在满足基本性能的前提下, 按降声原理设计结构参数。

§ 5-2 发动机排放污染及防治

一 发动机的污染源

(一) 排气污染 — 占发动机总污染量的 65~85%

1 一氧化碳 CO

2 氮氧化合物 NO_x

3 碳氢化合物 HC

4 燃料液滴和炭粒

5 各类铅、硫化合物

(二) 曲轴箱通风污染 — 占发动机总污染量的 20%左右

主要是碳氢化合物 HC。

(三) 汽油箱通风污染 — 占发动机总污染量的 5%左右

主要是碳氢化合物 HC。

(四) 化油器浮子室及油泵接头处的泄漏污染 — 占发动机总污染量的 5~10%

主要是碳氢化合物 HC。

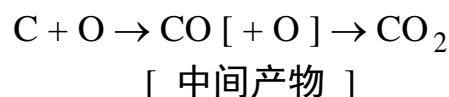
(五) 含铅、磷汽油所形成的铅、磷污染

本课程只讨论第一项 — 发动机的排气污染。

二 发动机排放污染物的形成、危害和防治

(一) 一氧化碳 CO

1 形成



产生的原因是缺氧。

汽油机上 — $\alpha < 1$ 的浓混合气；

柴油机上 — $\alpha > 1$ ，但局部过浓的混合气。

2 危害

煤气中毒 — 人体血液中的血红素对 CO 的亲合力比对 O₂ 的高，引起含 CO 的血红素所占比例增高，造成人体缺氧窒息。

3 防治

(1) 稀薄燃烧与高能点火

使混合气的 $\alpha \uparrow$ ，而又能够正常燃烧。

(2) 缩小燃烧室的激冷区

激冷区 — 燃烧室中由两个以上冷表面构成的狭窄空间，如挤气间隙。

激冷效应 — 靠近激冷区的可燃混合气，热损失过多而不能着火。

缩小燃烧室的激冷区 → 燃烧易于完全 → CO↓。

(二) 氮氧化合物 NO_x

1 形成

(1) 燃烧温度高

(2) 高温持续时间长

(3) 火焰前锋面中氧气的浓度高

产生的原因是高温。

2 危害

(1) 与肺中的水蒸汽粘合而形成稀硝酸，引起肺水肿和肺气流阻力明显上升。

(2) 与 HC 反应生成光化学过氧化物，是光化学烟雾的主要成分。

3 防治

(1) 降低压缩比 $\varepsilon \rightarrow$ 缸内温度↓ → NO_x↓。

(2) 减小点火提前角 $\theta \rightarrow$ 缸内温度↓ → NO_x↓。

(3) 废气再循环，缸内喷水，采用乳化油， $\alpha \downarrow$ 或 $\alpha \uparrow \rightarrow$ 缸内温度↓ → NO_x↓。

(4) 分层燃烧 → 降低混合气的均匀性 → 缸内温度↓ → NO_x↓。

(5) 加强燃烧室内气流运动 → 混合气混合、燃烧迅速 → 高温持续时间↓ → NO_x↓。

(三) 碳氢化合物 HC

1 形成

(1) 局部混合气过浓或过稀使氧化反应减慢，热损失相对增加，不能着火。

(2) 某微小单元的混合气面容比大，热损失大，不能着火。

(3) 激冷效应。

2 危害

(1) 3,4 苯并芘 — 致癌物质。

(2) 苯甲醛和丙烯醛 — 强烈刺激眼睛和呼吸器官。

(3) 光化学烟雾的主要成分。

3 防治

(1) 降低压缩比 $\varepsilon \rightarrow$ 膨胀冲程中燃烧室壁面温度和排气温度 $\uparrow \rightarrow \text{HC}\downarrow$ 。

(2) 改善燃烧室形状, 降低面容比 \rightarrow 散热损失 $\downarrow \rightarrow \text{HC}\downarrow$ 。

(3) 稀薄燃烧与高能点火 \rightarrow 燃烧完全程度 $\uparrow \rightarrow \text{HC}\downarrow$ 。

(4) 减小点火提前角 $\theta \rightarrow \text{HC}$ 在膨胀和排气冲程中燃烧掉。

(5) 缩小燃烧室的激冷区 \rightarrow 燃烧易于完全 $\rightarrow \text{HC}\downarrow$ 。

(6) 加强燃烧室内气流运动 \rightarrow 混合气混合、燃烧完全 $\rightarrow \text{HC}\downarrow$ 。

(7) 曲轴箱强制通风

$\text{HC} \rightarrow$ 空气滤清器 \rightarrow 进气管 \rightarrow 缸内再燃烧。

(四) 燃料液滴和炭粒

1 燃料液滴

柴油机冷起动或低负荷运行时冒蓝、白烟。蓝、白烟之间没有严格的成分差异, 均为燃料液滴或水蒸汽, 只是微粒的直径不同而对光线的反射不同而已。

2 炭粒

柴油机高负荷运行时冒黑烟。

(1) 形成

缺氧, 致使燃烧中间产物 C-C, H-C 裂化, 再聚合成炭粒。

柴油机缓燃期中形成最多。

(2) 危害

A 燃烧不完全 \rightarrow 经济性 \downarrow , 动力性 \downarrow 。

B 污染大气。

C 炭粒沉积在活塞、燃烧室和排气门等零件表面, 使运动件摩擦损失增大, 甚至卡死。

(3) 防治

A 稀薄燃烧与高能点火 \rightarrow 燃烧完全程度 $\uparrow \rightarrow$ 炭粒 \downarrow 。

B 改善雾化质量 \rightarrow 混合气混合、燃烧完全 \rightarrow 炭粒 \downarrow 。

C 加强燃烧室内气流运动 \rightarrow 混合气混合、燃烧完全 \rightarrow 炭粒 \downarrow 。

D 改进发动机的结构和使用, 加速混合气形成, 提高燃烧速率。

E 采用乳化油 \rightarrow 缸内温度 $\downarrow \rightarrow$ 中间产物的热裂反应明显减少。

F 加入消烟添加剂 — 钡盐, 但有毒。

G 后期处理

小颗粒的炭粒经过静电、过饱和水蒸汽、超声波而聚合成较大颗粒的炭粒, 再通过除尘过滤器予以净化。