

喷头实验技术方案

对 SCR 气助式喷头，现场最应该检测的是这几类参数：

1. 实际喷射量
2. 喷雾角
3. 喷雾锥形是否对称
4. 雾滴粗细趋势
5. 喷雾穿透距离
6. 喷射响应时间
7. 喷后是否挂液
8. 空气压力变化对喷雾的影响
9. 喷头是否容易偏喷、堵塞、结晶

一、测喷射量

雾化效果再好，如果实际喷射量不准，SCR 控制还是会乱。

1. 称重法

这是最可靠、最简单的方法。

准备：

电子秤，精度 0.01 g 或 0.1 g
量杯或小瓶
稳定尿素压力
稳定空气压力
PLC 按固定脉宽喷射

测试方法：

固定尿素压力，例如 0.18 MPa
固定空气压力，例如 0.22 MPa
固定喷射脉宽，例如 100 ms
连续喷射 100 次或 200 次
收集尿素液体
称重

计算：

单次喷射量 = 总质量 / 喷射次数

例如：

100 次喷射，总质量 8.5 g

单次喷射量 = $8.5 / 100 = 0.085$ g/次

然后做表：

尿素压力	空气压力	脉宽	次数	总质量	单次喷射量
0.18 MPa	0.22 MPa	50 ms	200	x g	x g
0.18 MPa	0.22 MPa	100 ms	100	x g	x g
0.18 MPa	0.22 MPa	200 ms	50	x g	x g

二、检测喷雾角

喷雾角是现场最容易判断的参数之一。

方法 1：背景板拍照法

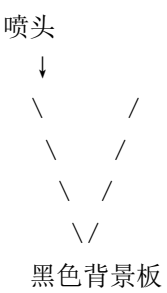
准备：

- 黑色背景板
- 白色 LED 背光或侧光
- 手机高速录像
- 直尺或标尺
- 固定喷头支架

布置：

喷头 → 喷雾 → 黑色背景

侧视示意：



拍照后测量：

在距离喷头 L 的位置，测喷雾宽度 W

喷雾角计算：

$$\text{喷雾角 } \theta = 2 \times \arctan(W / 2L)$$

例如：

$$L = 200 \text{ mm}$$

$$W = 120 \text{ mm}$$

$$\theta = 2 \times \arctan(120 / 400)$$

$$\theta \approx 33.4^\circ$$

方法 2：纸板湿痕法

这个方法更粗略，但现场很好用。

准备一张深色纸板或吸水纸，放在喷嘴前方固定距离。

例如：

距离喷嘴 100 mm

距离喷嘴 200 mm

距离喷嘴 300 mm

短喷一次，看湿痕直径。

$$\text{喷雾角} \approx 2 \times \arctan(\text{湿痕直径} / 2 \text{ 距离})$$

注意：

纸板法只能判断喷雾范围和偏斜，不能准确判断雾滴大小。因为液滴撞到纸板后会扩散。

三、判断喷雾是否对称

气助式喷头很怕偏喷。

偏喷的原因可能是：

空气孔加工不一致

某个空气孔堵塞

尿素孔偏心

喷嘴帽安装偏心

空气压力不足
尿素孔有结晶

检测方法

从正前方观察喷雾截面，或者在不同距离放纸板。

理想喷雾应该是：

圆形或接近圆形
中心位置稳定
左右雾量接近
没有明显粗液柱
没有单侧射流

异常状态：

一边雾浓，一边雾淡
喷雾中心偏向一侧
出现一条明显液柱
喷雾忽大忽小
喷后喷嘴尖端挂液

如果是你前面说的外混式“四孔空气 + 中心尿素孔”结构，可以重点看四个空气孔是否均匀。只要有一个孔堵塞或加工角度偏了，喷雾就会明显偏斜。

四、检测雾滴粗细

严格测雾滴粒径需要激光粒径仪，但现场没必要一开始就上这个。可以用几个低成本方法做趋势判断。

方法 1：激光片光观察法

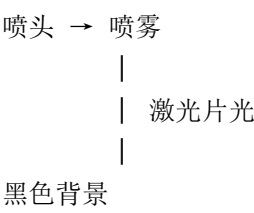
这个很推荐。

准备：

绿色激光线灯 / 激光水平仪
黑色背景
手机高速录像
固定喷嘴

让激光形成一条薄光片，穿过喷雾。

示意：



观察内容：

雾滴越细，光带越均匀、像雾状云团
液滴越大，画面里会有明显亮点、亮线、飞溅颗粒

这个方法不能给出绝对粒径，但非常适合比较：

空气压力 0.15 MPa vs 0.20 MPa vs 0.25 MPa
尿素孔 0.4 mm vs 0.5 mm
空气孔角度 10° vs 15° vs 20°

方法 2：玻璃板/亚克力板冲击法

把透明板放在喷嘴前方固定距离，比如 200 mm，短时间喷一下。

观察液滴痕迹：

痕迹	说明
细密均匀小点	雾化较好
大水点明显	雾滴偏大
中心有水柱痕迹	雾化不足
单侧大点多	偏喷或空气不均
喷后板面流挂	液滴太大或喷量过大

注意：
这个方法要短喷，不能连续喷很久。连续喷久了板面会汇流，判断失真。

方法 3：热板蒸发观察法

可以用加热金属板模拟高温排气环境，但要小心安全。

设定金属板温度，例如：

180℃
220℃
260℃
300℃

短时间喷雾到热板附近或热板前方，观察：

是否迅速蒸发
是否留下明显白色结晶
是否形成液滴滚动
是否有局部湿斑

判断：

现象	说明
很快蒸发，残留少	雾化和温度匹配较好
大液滴滚动	雾滴太大
白色结晶集中	局部过湿或喷雾偏
一侧结晶重	喷雾偏斜
喷嘴附近结晶	后吹不足或喷头温度不合适

这个方法很贴近 SCR 现场，但不能完全替代发动机实机验证。

五、检测喷雾穿透距离

气助喷头空气压力太高时，喷雾会打得很远。短混合距离系统里，喷雾穿透太强反而不好，容易直冲催化剂端面。

简易方法

在喷嘴前方放几张纸板：

100 mm
200 mm
300 mm
400 mm
500 mm

每个位置短喷一次，看湿痕强度。

判断：

如果 400~500 mm 处仍有明显大液滴冲击，说明穿透太强或雾滴偏大。

如果 100~200 mm 处已经完全扩散成均匀细雾，比较理想。

对于短距离 SCR，我更希望喷雾：

雾化细

锥形稳定

不要形成中心强液柱

不要穿透太远

六、检测喷头响应时间

这个对 PLC 控制很重要。

电磁阀不是一通电就立刻有尿素出来，断电也不是马上完全停止。

测试方法

用手机慢动作录像或高速摄像：

PLC 输出尿素阀信号

同时拍摄喷嘴出口

记录从通电到出雾的延迟

记录断电到完全停止的延迟

你会得到：

开启延迟

关闭延迟

喷后挂液时间

这些数据会影响最小喷射脉宽。

例如你设定 50 ms，但实际阀门开启延迟就有 25 ms，那么有效喷射时间只有 25 ms，重复性会很差。

建议实测：

50 ms

80 ms

100 ms

150 ms

200 ms

300 ms

观察每个脉宽下喷雾是否稳定。

最后确定一个：

最小有效尿素喷射脉宽

我建议气助式喷头第一版不要低于：

80~100 ms

除非实测证明 50 ms 也稳定。

七、检测喷后挂液

喷后挂液是结晶的直接来源。

检测方法

每次喷射后观察喷嘴出口：

尿素阀关闭

空气后吹 0.3 s

0.5 s

0.8 s

1.0 s

1.5 s

比较喷嘴口是否还有液滴。

理想状态：

尿素阀关闭后，空气后吹结束，喷嘴出口基本干净

没有明显液珠

没有慢慢滴落

如果后吹后仍然有液滴，可能原因是：

尿素阀关不严

尿素单向阀泄漏
尿素压力过高
喷嘴出口结构有积液台阶
空气后吹时间不足
空气射流没有扫到尿素孔出口

这个测试非常重要。
很多喷头不是雾化时出问题，而是停喷后慢慢结晶。

八、检测空气压力对喷雾的影响

气助式喷头一定要做空气压力扫描。

固定尿素压力和尿素脉宽，例如：

尿素压力：0.18 MPa
尿素脉宽：100 ms

改变空气压力：

0.10 MPa
0.15 MPa
0.20 MPa
0.25 MPa
0.30 MPa
0.35 MPa

每个压力下记录：

喷雾角
喷雾是否对称
喷雾是否有粗液柱
喷射量
喷后挂液
空气耗量
噪声

通常会看到：

空气压力		现象
太低		雾化粗，有液柱，挂液多
合适		雾化均匀，锥形稳定

空气压力	现象
太高	穿透太强，耗气大，喷雾可能变窄或冲得太远

你要找的是一个综合最优点，不是压力越高越好。

九、检测尿素压力对喷雾的影响

固定空气压力，例如：

空气压力：0.22 MPa

改变尿素压力：

0.10 MPa

0.15 MPa

0.20 MPa

0.25 MPa

0.30 MPa

记录：

喷射量

喷雾角

液柱情况

喷后挂液

重复性

尿素压力太低：

供液不稳定

喷射量重复性差

可能断续

尿素压力太高：

液柱动量大

空气剪切不足

喷雾变粗

喷后挂液增加

所以对气助喷头来说，尿素压力不宜盲目提高。

十、建议做一个简易喷雾测试台

1. 基本组成

- 尿素箱或清水箱
- 尿素泵
- 尿素压力传感器
- 尿素调压阀
- 尿素电磁阀
- 空气减压阀
- 空气压力传感器
- 空气电磁阀
- 喷头固定支架
- 收集容器
- 电子秤
- PLC 或单片机控制器
- 手机拍摄支架
- 黑色背景板
- LED 灯

如果初期怕尿素结晶麻烦，可以先用清水测试喷雾形态。
但最终一定要用 32.5% 尿素水溶液测试，因为它和清水的表面张力、黏度、结晶特性不同。

2. 测试项目表

建议你每个喷头都做这个表：

项目	测试方法	目标
单次喷射量	称重	重复性好
喷雾角	拍照计算	与设计匹配
对称性	正视/纸板	无明显偏喷
雾滴趋势	激光片光/玻璃板	无粗液柱
穿透距离	多距离纸板	不直冲 SCR
开启延迟	慢动作录像	可补偿
关闭延迟	慢动作录像	无拖尾

项目	测试方法	目标
喷后挂液	观察	后吹后干净
压力敏感性	扫描空气/尿素压力	找稳定区
耐久性	连续喷停循环	不堵不偏

十一、可以量化的几个指标

即使没有激光粒径仪，也可以建立几个工程指标。

1. 喷射量重复性

例如连续做 5 组：

每组 100 次喷射
分别称重

计算最大偏差。

工程上希望：

重复性误差 $\leq \pm 5\%$

如果能做到 $\pm 3\%$ ，更好。

2. 喷雾角稳定性

在固定压力下连续拍 5 次，计算喷雾角。

希望：

喷雾角变化 $\leq \pm 5^\circ$

如果每次喷雾角都不一样，说明空气压力、尿素阀、喷头结构或供液不稳定。

3. 偏心量

用纸板法测喷雾中心。

喷雾中心偏离理论中心 $\leq$ 管径的 10%

例如排气管内径 100 mm，喷雾中心偏差最好小于 10 mm。

4. 挂液评价

可以做简单等级：

等级	现象	评价
A	后吹后无明显液滴	好
B	有轻微湿润但不滴落	可接受
C	有明显液珠	需要优化
D	停喷后滴液	不合格

十二、实机验证怎么看？

台架喷得好，不代表装到排气管里一定好。最终要看发动机实机。

重点观察 5 个位置：

- 喷嘴出口
- 喷嘴附近管壁
- 混合器前缘
- SCR 催化剂端面
- 下游 NOx 数据

1. 拆检结晶位置

结晶位置	可能原因
喷嘴出口白晶	后吹不足、挂液、喷头温度不合适
喷嘴附近管壁结晶	喷射角度不对、打壁
混合器前缘结晶	喷嘴太近、液滴太大、温度低
SCR 端面中心白斑	穿透太强、混合不足
SCR 端面一侧白斑	偏喷、安装角度错误
管壁下方结晶	液滴沉积、排气流速低

2. 看下游 NO_x 曲线

喷雾和混合好时，下游 NO_x 应该：

随喷射增加平稳下降
不会剧烈振荡
不会一喷就突然异常升高

如果出现：

喷射后下游 NO_x 突然升高

要警惕 NH₃ 逃逸交叉敏感，不一定是真 NO_x 升高。

十三、我建议你的实际测试流程

你可以这样做，比较适合工程现场。

第一步：用清水初筛喷头

测试：

喷雾角
偏喷
空气压力影响
挂液
响应时间

目的是筛掉明显不合格结构。

第二步：用尿素水溶液测试

测试：

喷射量称重
喷后挂液

短时结晶趋势
停喷后吹扫效果

这个阶段确定：

空气压力
尿素压力
最小喷射脉宽
空气预吹时间
空气后吹时间

第三步：高温环境测试

用热板或热风管模拟排气温度：

200℃
220℃
250℃
300℃

看：

是否容易形成白色残留
喷雾是否打壁
雾化是否能快速蒸发

第四步：上发动机实机

先保守喷射：

喷射开启温度 $\geq 220^{\circ}\text{C}$
喷射量从理论值的 30%~50% 开始
逐步增加
观察 NO_x 变化和结晶

不要一开始就按满额定喷射。

十四、最有可能实现的检测组合

- 1. 电子秤称重法：确定喷射量
- 2. 手机慢动作 + 黑背景：看喷雾角和响应
- 3. 激光线灯：看雾滴粗细趋势
- 4. 纸板多距离法：看穿透和偏喷
- 5. 喷后挂液观察：验证空气后吹时间
- 6. 实机拆检：确认是否打壁、结晶、端面白斑

这套方法成本低，但已经足够反映喷头的一些性能

十五、一个推荐测试工况表

你可以按这个表来做：

编号	空气压力	尿素压力	尿素脉宽	预吹	后吹	测试内容
A1	0.15 MPa	0.18 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	雾化是否足够
A2	0.20 MPa	0.18 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	推荐初始点
A3	0.25 MPa	0.18 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	看穿透是否过强
A4	0.30 MPa	0.18 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	看耗气和偏喷
B1	0.22 MPa	0.12 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	低尿素压
B2	0.22 MPa	0.18 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	推荐初始点
B3	0.22 MPa	0.25 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	看液柱是否增强
C1	0.22 MPa	0.18 MPa	50 ms	200 ms	800 ms	最小脉宽
C2	0.22 MPa	0.18 MPa	80 ms	200 ms	800 ms	最小稳定脉宽
C3	0.22 MPa	0.18 MPa	150 ms	200 ms	800 ms	常用脉宽
D1	0.22 MPa	0.18 MPa	100 ms	100 ms	300 ms	后吹偏短
D2	0.22 MPa	0.18 MPa	100 ms	200 ms	800 ms	推荐点
D3	0.22 MPa	0.18 MPa	100 ms	300 ms	1500 ms	看是否过度耗气

十六、最终要形成几张标定表

最后得到工程数据：

喷射量 = f (尿素压力，空气压力，尿素脉宽)

喷雾角 = f (空气压力，尿素压力)

最小有效脉宽 = f (尿素压力，空气压力)

推荐空气后吹时间 = f (喷射脉宽, 喷头结构)

允许喷射区 = f (排温, 负荷, 排气流量)