ICS 27.020
CCS J 92

团　　体　　标　　准

T/CSICE 029-2024

内燃机细颗粒物排放测量方法 第 1 部分：宽温域颗粒数目浓度测量

Measurement methods for fine particle emissions from internal combustion engines—Part 1: Measurement of particle number concentration over a wide temperature range

2024-06-05 发布　　2024-06-05 实施

中国内燃机学会　发 布

目　次

前　言 III
1　适用范围 1
2　规范性引用文件 1
3　术语和定义 1
4　仪器 2
5　方法原理、分类 2
5.1　方法原理 2
5.2　类型 3
6　仪器基本功能要求 3
6.1　外观要求 3
6.2　基本功能要求 3
6.3　环境条件 3
6.4　数据传输 4
6.5　电源 4
6.6　绝缘电阻 4
7　仪器技术性能要求 4
8　测试方法 4
8.1　使用前准备 4
8.2　使用流程 5
8.3　仪器校准 5
8.4　空白试验（零计数率试验） 5
9　结果计算与表示 5
9.1　定量分析 5
9.2　结果表示 5
10　质量保证与质量控制 5
11　注意事项 6
附录 A（规范性）　安全防护规范 7
附录 B（资料性）　实验平台和排气稀释系统 8
附录 C（资料性）　粒子取样系统 9
附录 D（资料性）　纳米颗粒数目测量记录表 10
D.1 检测仪器 10
D.2 取样信息 10

D.3 参数设置.....10
D.4 测量结果.....10

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国内燃机学会标准管理部提出。

本文件由中国内燃机学会归口。

本文件负责起草单位：北京航空航天大学、东风汽车集团有限公司技术中心、北京航空航天大学中法航空研究院、中国计量科学研究院、中国颗粒学会。

本文件主要起草人：陈龙飞、李光泽、常刘勇、徐征、朱美印、张斌、钟生辉、胡雪欢、张承林、李儒龙、刘成、张文阁、刘俊杰、周素红、崔博譞。

本文件于2024年首次发布。

内燃机细颗粒物排放测量方法

第 1 部分：宽温域颗粒数目浓度测量

警告：本标准的应用可能涉及到某些有危险性的材料、操作和设备，但未对与此有关的所有安全问题都提出建议。因此，用户在使用本标准之前有责任制定相应的安全和防护措施（参考附录 A），并确定相关规章限制的适用性。

1 范围

本文件规定了内燃机细颗粒物排放测量用宽温域颗粒数目浓度测量方法。内燃机涵盖的类型范围包括汽油机、柴油机、天然气发动机（CNG）、LPG 发动机、乙醇发动机和双燃料发动机（Dual fuel engine）。

本文件适用于内燃机尾气中细颗粒物数目浓度的测定。本文件也可适用于其他类似高温环境颗粒数目浓度的测定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 18352.6-2016 轻型汽车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）

GB/T 16418-2008 颗粒系统术语

GB/T 31159-2014 大气气溶胶观测术语

GB/T 6167-2007 尘埃粒子计数器性能试验方法

JJF 1562-2016 凝结核粒子计数器校准规范

ISO/DIS 27891 气溶胶颗粒数目浓度 凝结核粒子计数器的校准（Aerosol particle number concentration – Calibration of condensation particle counters）

DIN CEN TS 16976:2016 大气环境——大气气溶胶颗粒物数目浓度确定（Ambient air-Determination of the particle number concentration of atmospheric aerosol）

3 术语和定义

GB/T 16418 中界定的术语和定义，以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

颗粒 particle

有明确物理边界的物质，也称气溶胶。颗粒可以是固体、液体，也可以是介于固体和液体之间的任何一种混合物。

3.2

空气动力学直径 aerodynamic diameter

与所表征粒子具有相同的运动速度，密度为1 g/cm³球形粒子直径。

[来源：GB/T 31159-2014，2.6]

3.3

细颗粒物 particle matter

悬浮在空气中，空气动力学直径≤2.5 μm的颗粒。

[来源：GB/T 31159-2014，3.7]

3.4

颗粒数目PN particle number

所有在测量量程内给定体积空气中的颗粒总数。

3.5

颗粒数目浓度PNC particle number concentration

所有在测量量程内给定体积空气中的颗粒数目浓度。

3.6

检测效率 detection efficiency

仪器采样口所吸入的采样气体中，仪器显示的颗粒浓度与实际颗粒浓度之比。

[来源：GB/T 42660-2023，3.11]

3.7

凝结核粒子计数器CPC condensation particle counter

一种测量微纳米级颗粒数目浓度的仪器。通过使用工质过饱和蒸汽冷凝在颗粒表面，让细颗粒物凝结长大到光学可测的尺寸，再采用光学Lorenz－Mie散射方法检测颗粒的数目浓度。也称凝聚核粒子计数器。

[来源：GB/T 42660-2023，3.10]

3.8

宽温域凝结核粒子计数器WTCPC wide temperature condensation particle counter

一种能在宽温域（-10 ℃～300 ℃）内测量颗粒数目浓度的凝结核粒子计数器。通过使用工质过饱和蒸汽冷凝在颗粒上，让细颗粒物凝结长大到光学可测的尺寸，再采用光学Lorenz－Mie散射方法检测颗粒的数目浓度。相比于凝结核粒子计数器的主要区别是：仪器使用工质不同，饱和段及冷凝段工作温度不同。

3.9

工质 working fluid

用于凝结核粒子计数器，可产生过饱和蒸汽并在待测颗粒表面凝结生长至可检测粒径范围的工作介质，如正丁醇、异丙醇、水等。

4 仪器

测量仪器为宽温域凝结核粒子计数器（WTCPC），测量颗粒总数目浓度（个/mL）。最低配置需满足GB18352.6-2016 颗粒数目浓度检测相关要求。

5 方法原理、分类

5.1 方法原理

宽温域凝结核粒子计数器（WTCPC）基于凝结核粒子计数原理，主要由饱和腔、冷凝腔、光学检测

器（激光器、棱镜、检测腔、检测器）及流量控制系统（含流量控制、空气处理等）等部分组成。图1是WTCPC结构简图，其工作原理为：颗粒通过饱和腔和冷凝腔体时，由于工质过饱和蒸汽在颗粒表面的凝结，颗粒粒径会相应增大，当其以一定速度流经激光检测区域时，通过测量单位时间内颗粒散射光信号个数，计算得到气流中的颗粒数目浓度。饱和腔内的工作液应满足宽温域气溶胶测量要求，包括高温稳定性、路易斯数大于1、沸点高等。

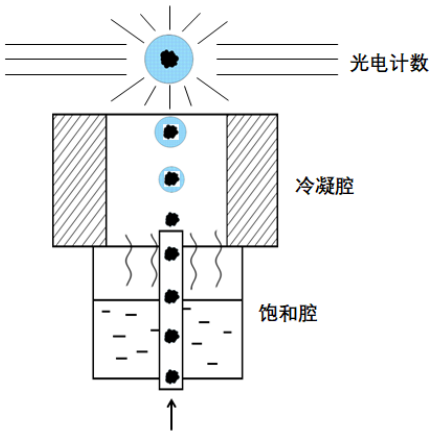


图1　仪器结构简图

5.2　类型

根据测量温度差异，可以将仪器分为：

a）常温凝结核粒子计数器

仅可直接测量常温范围（如15 ℃～25 ℃）内颗粒的凝结核粒子计数器。超出该温度范围的颗粒，需先经过加热或冷却等预处理操作，将颗粒温度调节至常温范围后（有可能造成颗粒粒径分布和浓度失真），方可进入仪器进行测量。

b）宽温域凝结核粒子计数器

可在不经预处理的情况下，直接测量涵盖高温的宽温域范围（如-10 ℃～300 ℃）颗粒的凝结核粒子计数器。

6　仪器基本功能要求

6.1　外观要求

仪器所有电镀表面不应有脱皮现象；喷漆或喷塑表面应色泽均匀，不应有明显的擦伤、露底、裂纹、起泡现象；外露零部件结合部应整齐，无粗糙不平现象；面板上的文字、符号、标志应端正清晰。

当采用有毒工质时，应有显著安全标示。

6.2　基本功能要求

可测量自身规定采样温度范围、浓度范围和粒径范围的颗粒数目浓度。

6.3　环境条件

仪器工作环境条件参数如下：

环境温度：-30 ℃～60 ℃；

相对湿度：≤85%。

注：待测颗粒采样温度需满足凝结核粒子计数器采样温度要求。

6.4 数据传输

应有串口或 CAN 总线等方式，将监测结果、装置工作状态传送给主控计算机；应有无线传输或 USB 等接口导出监测数据。

6.5 电源

装置可以使用 220 V/50 Hz 的交流试验电压交流电，电压 220 V±22 V。

6.6 绝缘电阻

仪器绝缘电阻不小于 20 MΩ。

7 仪器技术性能要求

WTCPC仪器应具备的技术性能要求见表1。

表 1 WTCPC 技术性能要求

序号	参数	指标	备注
1	采样温度	-10 ℃～300 ℃	全覆盖
2	检测效率	23 nm±1 nm：(50±12)% 41 nm±1 nm：≥90%	参考欧盟 EU PMP 标准相关要求
3	零计数率	＜5 次/min，每次跳动值不超过 10 个/mL	-
4	浓度范围	0 个/mL～20000 个/mL	单颗粒计数模式
5	粒径范围	10 nm～1000 nm	-
6	采样流量	0.3 L/min，1 L/min，1.5 L/min，2 L/min 可选	-
7	开机预热稳定时间	≤20 min	-
8	关机前冷却扫气时间	≤15 min	-
9	响应时间	≤5 s	-
10	自动注排工质功能	具有自动注入和自动排出工质功能	注排工质无需拆卸，提高测量重复性和准确性
11	尾气清洁功能	在仪器排气通入环境前加装颗粒物和有机物去除单元	-
12	仪器绝缘电阻	不小于 20 MΩ	-

8 测试方法

8.1 使用前准备

8.1.1 每次使用前，清理WTCPC气溶胶进气口过滤装置，防止大颗粒或纤维的污染。

8.1.2 每次使用前，采用流量计对WTCPC气溶胶进气口流量进行校正，误差在5%以内。
8.1.3 每次使用前，在工作场所外等较清洁环境使用自带调零滤膜装置对WTCPC进行调零。
8.1.4 每次使用前，检查和补充工质溶液。

8.2 使用流程

8.2.1 仪器开机前检查，准备管路密封性检查。

8.2.2 开机预热，设置待测目标温度。
8.2.3 预热达标，测量大气数值稳定和接ULPA过滤器的零计数测试满足要求后，开始采样。
8.2.4 下一次采样前，或达到间隔时间后，应停止采样，开展仪器自清洁。
8.2.5 测量所使用的试验平台和排气稀释系统如附录B所述，尾气需经过稀释后进行测量。
8.2.6 测量采样所使用的粒子取样系统如附录C所述
8.2.7 完成检测后，关机前，先进行仪器内部OPC维护等操作。
8.2.8 仪器状态稳定，完全降温后，正常停机。

8.3 仪器校准

参照 JJF 1562-2016 标准要求执行。

8.4 空白试验（零计数率试验）

对于零计数测试，WTCPC 至少与一个高效空气过滤器（HEPA）连接到其入口运行 10 分钟。
零计数率应满足仪器规格书要求。

9 结果计算与表示

9.1 定量分析

机动车尾气中的颗粒数目浓度，按照式（1）进行计算。

$$C_P = N_P / V_{gas} \cdots\cdots (1)$$

其中：C_P——颗粒数目浓度，个/mL
N_P——颗粒数目，个
V_{gas}——尾气体积，mL

9.2 结果表示

仪器直接显示或通过 CAN 总线等方式，将监测结果、装置工作状态传送给主控计算机。
应有 USB 接口，导出监测数据。

9.3 测量记录

测量记录应满足 GB 18352.6-2016 标准要求。

10 质量保证与质量控制

10.1 采样测试期间流量测试偏差应在 10%以内。
10.2 校准曲线相关系数应大于 0.90。

10.3 零计数率满足指标要求。

10.4 每完成一批次测试，应至少做一次零计数率检测。

10.5 干扰和消除。

使用宽温域凝结核粒子计数器测定机动车尾气中的颗粒数量时，尾气中的挥发性有机物、半挥发性有机物等不干扰测定。

使用宽温域颗粒数目浓度测定机动车尾气中的颗粒数量时，尾气是否冷却至常温不干扰测定。

11 注意事项

由于超细颗粒实时测量的特殊性，WTCPC 需定期送至具备校准能力的专业实验室进行校准，颗粒总数目浓度检测效率等校准指标应符合 ISO 27891 的要求，并应用相应粒径和颗粒总数目浓度条件下的检测效率对 WTCPC 实际测量值进行校准。

附　录　A
（规范性）
安全防护措施

A.1　实验室应制定有关的安全操作规程，采取有效的安全措施，避免造成人体伤害和设备损坏。安装人员要经过专门培训，要掌握有关工具的使用和设备安装方法。

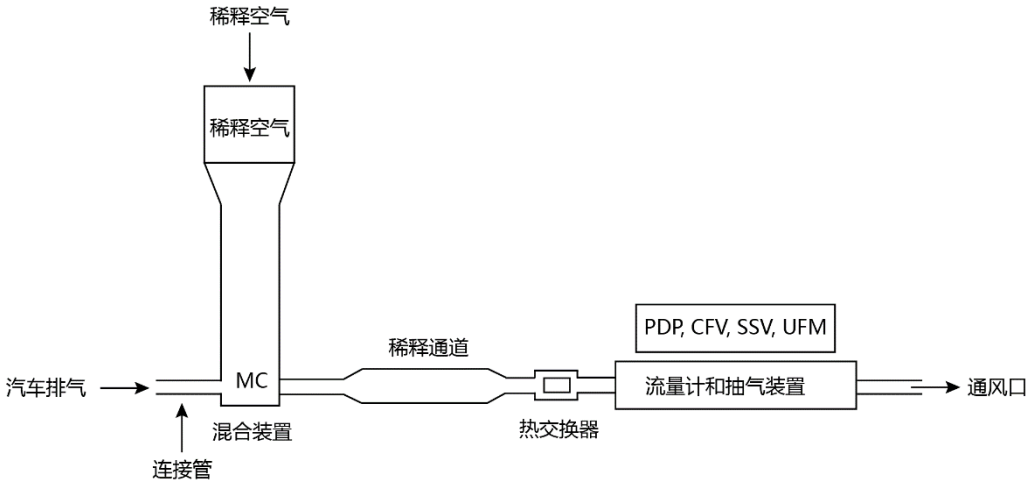
A.2　安装人员工作时要佩带防护镜、穿工作服和防护鞋，防止机械伤害发生。

A.3　根据法规采取其他的安全预防措施。

附 录 B
（资料性）
试验平台和排气稀释系统

试验平台满足 GB 18352.6-2016 标准的附件 CD.1 试验平台规格与设定要求。

排气稀释系统满足 GB 18352.6-2016 标准的附件 CD.3 排气稀释系统要求。典型排气稀释系统见图 2。



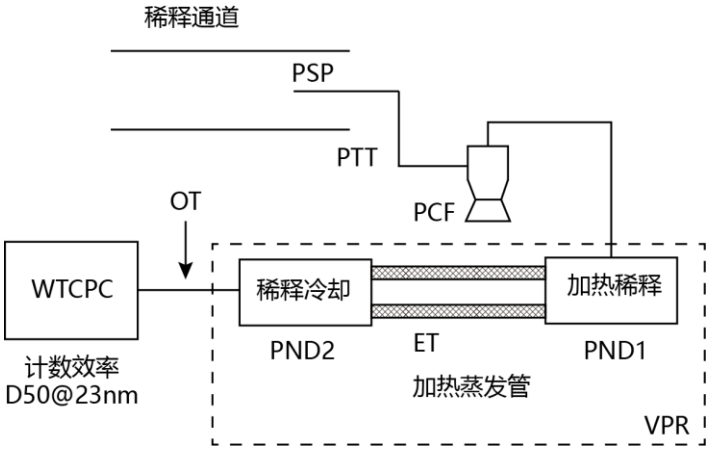
注：PDP：容积泵；CFV：临界流量文丘里管；SSV：亚音速文丘里管；UFM：超声波流量计。

图 B.1 排气稀释系统

排气稀释系统标定程序按 GB 18352.6-2016 标准附件 CD3.4 执行。

附 录 C
（资料性）
粒子取样系统

粒子取样系统应由稀释通道、取样探头、基于 WTCPC 法的粒子计数器（PNC）和合适的传输管组成，可根据 GB 18352.6-2016 标准要求在粒子计数器上游安装挥发性粒子去除器（VPR），但不安装也不影响颗粒物数目浓度测量结果。其他按 GB 18352.6-2016 标准 CD.4.3 节 颗粒物数量排放测量设备要求执行。推荐的颗粒物数量取样系统见图 3。其中，进入 PNC 的空气温度范围应满足采样温度要求（-10 ℃～300 ℃）。



注：PSP：取样探头；PTT：颗粒物导管；PCF：取样预分级器；PND：粒子稀释器；ET：蒸发管；WTCPC：宽温域凝结核粒子计数器；OT：出口管；D50@23 nm：仪器检测效率对应 50%时颗粒粒径为 23 nm

图 C.1 颗粒物数量取样系统

附录 D
（资料性）
纳米颗粒数目测量记录表

D.1 检测仪器

仪器型号：_____

D.2 取样信息

温度：_____ ℃ 压力：_____ V
相对湿度：_____ %
取样地点：_____ 取样人员：_____
取样日期：_____

D.3 参数设置

饱和段设置温度：_____ ℃ 当前设置：_____ ℃
冷凝段设置温度：_____ ℃ 当前设置：_____ ℃
激光器设置温度：_____ ℃ 当前设置：_____ ℃
总数比较设置：_____ 当前设置：_____
参考电压设置：_____ V 当前设置：_____ V

D.4 测量结果

记录时间：_____年_____月_____日_____时_____分_____秒
记录人员：_____
OPC 温度：_____ ℃ 饱和段温度：_____ ℃
冷凝段温度：_____ ℃
入口压力值：_____ mbar 总流量：_____ mL/s
旁路流量：_____ mL/s

总颗粒物数目：_____ 个/mL