

团 体 标 准

T/CAAMTB XXXX—XXXX

轻型车制动器颗粒物排放台架测试方法

Bench test methods of brake emissions for light-duty vehicles

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2024-9-18）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国汽车工业协会 发布

目 次

前言	II
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 符号	4
5 试验相关要求	5
5.1 试验系统	5
5.2 制动夹具	11
5.3 数值修约	12
5.4 PM 采样系统	12
5.5 PN 采样系统	14
6 试验准备	17
6.1 惯量计算	17
6.2 制动器温度测量	18
6.3 制动器总成定位	18
6.4 试验前检查	19
7 试验方法	19
7.1 流量标定	20
7.2 试验前背景颗粒物校验	21
7.3 磨合试验	21
7.4 排放测量试验	21
7.5 试验后背景颗粒物校验	25
附录 A（规范性） WLTP 制动循环	26
A.1 WLTP 制动循环	26
附录 B（规范性） WLTP 循环中的制动事件	49
B.1 WLTP 循环中的制动事件	49
参考文献	55

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。

本文件修改采用了UN GTR24《轻型车制动颗粒物实验室测试方法（Laboratory Measurement of Brake Emissions for Light-Duty Vehicles）》。

本文件与UN GTR24相比，结构上有较多调整，主要变化如下：

- 删除了UN GTR24法规制定的背景相关情况介绍、结果报告和校准质控要求（见UN GTR24的第I部分、第II部分第1章、第13章、第14章）；
- 归整了一般要求、试验系统、PM采样系统、PN采样系统、试验仓设计、制动夹具、WLTP制动循环、冷却循环系统等要求为试验相关要求章节（见第5章，UN GTR24第II部分的第5章、第7章、8.5、8.6、第9章和第10章）；
- 归整了试验参数及惯量计算、制动器温度测量与安装等要求为试验准备章节（见第6章，UN GTR24第II部分的8.1、8.2、8.3和8.4）；
- 归整了流量标定、试验前背景颗粒物校验、磨合试验、排放测量试验、试验后背景颗粒物校验为试验方法章节（见第7章，UN GTR24第II部分的第11章、第12章）。

本文件与UN GTR24技术差异及其原因如下：

- 用规范性引用文件GB/T 15089替换了UN GTR24中对车辆类型的要求（见第1章，UN GTR24第II部分第2章），以符合我国技术要求；
- 删除了1类车辆、1-1类车辆、2类车辆、制动盘、制动衬片等术语定义（UN GTR24第II部分的第3章），理由是这些术语在GB/T 3730.2、GB/T 5620等标准已作定义；
- 删除了制动力分配系数建议表格（UN GTR24第II部分的表5.1），以符合我国技术要求；
- 删除了制动能量消耗检查（UN GTR24第II部分的9.4.3），理由是试验工况已对试验转动惯量、车速、制动减速度等进行了明确。
- 删除了制动温度控制验证检查（UN GTR24第II部分的10.1.3），理由是制动温度控制由试验台保证。

本文件做了下列编辑性改动：

- 更改了部分章节的标题（见第5章～第6章，UN GTR24第II部分的第5章～第12章）；
- 用 $EF_{ref, PM_{2.5}}$ 、 $EF_{ref, PM_{10}}$ 替换了 $PM_{2.5}EF_{ref}$ 、 $PM_{10}EF_{ref}$ （见公式15、公式16，UN GTR24第II部分的Eq. 12.7、Eq. 12.8），以符合GB/T 1.1要求。

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。

本文件由中国汽车工业协会标准法规工作委员会汽车制动系统专业委员会提出。

本文件由中国汽车工业协会归口。

本文件起草单位：

本文件主要起草人：

本文件为首次发布。

轻型车制动器颗粒物排放台架测试方法

1 范围

本文件规定了轻型车制动器颗粒物排放的术语和定义、符号定义、试验相关要求、试验准备以及试验方法。

本文件适用于GB/T 15089规定的M₁类和N₁类车辆用制动器，其它类车辆用制动器可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 3730.2 道路车辆 质量 名词和代码

GB/T 5620 道路车辆 汽车和挂车 制动名词术语及其定义

GB/T 8190.1 往复式内燃机 排放测量 第1部分：排放废气和颗粒物的试验台测量

GB/T 15089 机动车辆及挂车分类

GB 17691 重型柴油车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)

GB 18352.6 轻型汽车污染物排放限值及测量方法(中国第六阶段)

EN 1822-1 高效空气过滤器(EPA、HEPA与ULPA) 第1部分：分级、性能试验、标识(High efficiency air filters(EPA、HEPA and ULPA)) Part1:Classification, performance testing, marking)

3 术语和定义

GB/T 3730.2、GB/T 5620、GB/T 8190.1、GB/T 15089、GB 17691和GB 18352.6界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

制动颗粒物 brake particulate matter

制动器制动过程中收集到的排放成分。

3.2

试验仓 test chamber

制动器排放试验中安装制动器总成的密封室，参见图1。

3.3

摩擦制动份额系数 friction braking share coefficient

摩擦制动做功占整个制动过程做功的比例。

3.4

采样通道 sampling tunnel

试验仓连接至采样平面的刚性管道，参见图1。

3.5

WLTP 制动循环 WLTP-brake cycle

根据全球轻型车辆试验程序数据库中的车辆活动得出的总持续时间为15826s的驾驶循环，该循环包括10个阶段和303次减速制动，详见附录A。

3.6

气溶胶 aerosol

悬浮于空气中的固体/液体颗粒分散体系。

[来源：ISO 27891:2015 3.1]

3.7

制动颗粒物数量 brake particle number
制动器排放过程中量化得到的颗粒物数量。

3.8

制动颗粒物质量 brake particle matter
制动器排放过程中量化得到的颗粒物质量。

4 符号

表1定义的符号适用于本文件。

表1 符号定义

符号	单位	定义
TPN_{10}	个	制动器排放过程中颗粒物(包括固体颗粒物和挥发物)电迁移率粒径大于等于10 nm的总颗粒数
SPN_{10}	个	制动器排放过程中固体颗粒物电迁移率粒径大于等于10 nm的颗粒数
$PM_{2.5}$	mg	制动器排放过程中颗粒物空气动力学内径小于等于2.5 μm 的颗粒物质量
PM_{10}	mg	制动器排放过程中颗粒物空气动力学内径小于等于10 μm 的颗粒物质量
L_1	mm	试验仓入口上游直管的最小长度,至少有2倍管道内径长度的直管(参见图1)
L_2	mm	采样平面上游直管的最小长度,至少有6倍管道内径长度的直管(参见图1)
L_3	mm	采样平面下游直管的最小长度,至少有2倍管道内径长度的直管(参见图1)
L_4	mm	气体流量测量装置上游直管的最小长度,至少有5倍管道内径长度的直管(参见图1)
L_5	mm	气体流量测量装置下游直管的最小长度,至少有2倍管道内径长度的直管(参见图1)
S_Q 、 S_P 、 S_T 、 S_{RH}	-	输出冷却气体流量、压力、温度和湿度的信号(参见图1)
d_i	mm	采样通道的内径(参见图1、7)、试验仓入口和出口内径(参见图6),长度最小为175mm,最大为225mm
H_s 、 H_e	mm	布局中(流向上)强制性水平和直线部分的起点和终点(参见图1)
A_1	-	与制动器旋转轴线以及入口、出口管道轴线对齐的水平面(参见图4)
A	-	与入口对齐的垂直平面(参见图4)。
B	-	从进气管道到试验仓中心部分过渡段末端的垂直平面(参见图4)
C	-	由车辆使用的最大制动器总成或统一规定为内径450 mm制动器总成来定义的平面(参见图4)
D	-	与制动器旋转轴对齐的垂直平面(参见图4)
l_{A1}	mm	试验仓水平方向上的最大长度,应在1200 mm和1400 mm之间(参见图6)
h_D	mm	试验仓垂直于方向上的最大高度,应在600 mm和750 mm之间(参见图6)
h_B	mm	平面B的高度, h_B/h_D 大于60%(参见图6)
l_i	mm	试验仓的过渡长度(参见图6)
r_b	mm	采样通道弯曲半径,至少为采样通道内径的两倍($2 \cdot d_i$)(参见图7)
a_1	mm	采样探头距采样通道的中心的长度(参见图8)
a_2	mm	采样探头距采样通道的长度(参见图8)
d_{PM}	mm	PM采样探头内径, ($10 \text{ mm} \leq d_{PM} \leq 18 \text{ mm}$)
d_{PM-PZ}	mm	PM采样喷嘴内径, ($d_{PM-PZ} \geq 4 \text{ mm}$)
d_{PM-GX}	mm	PM采样管线内径, ($10 \text{ mm} \leq d_{PM-GX} \leq 20 \text{ mm}$)
d_{PN}	mm	PN采样探头内径, ($10 \text{ mm} \leq d_{PN} \leq 18 \text{ mm}$)
d_{PN-PZ}	mm	PN采样喷嘴内径, ($d_{PN-PZ} \geq 4 \text{ mm}$)
d_{tt}	mm	颗粒传输管线内径, ($d_{tt} \geq 4 \text{ mm}$)
d_{t1}	mm	内部传输线内径, ($d_{t1} \geq 4 \text{ mm}$)
PTT	-	颗粒传输管线
VPR	-	对初级气溶胶进行一级热稀释,挥发性颗粒去除器及二级冷稀释,并得到满足下游设备测量条件气溶胶的设备
PCRF	-	VPR上游颗粒数浓度与下游颗粒数浓度之比
PNC	-	粒子计数器
PND1	-	粒子稀释器
PND2	-	第二粒子稀释器
M_{veh}	kg	车辆试验质量

表1 符号定义（续）

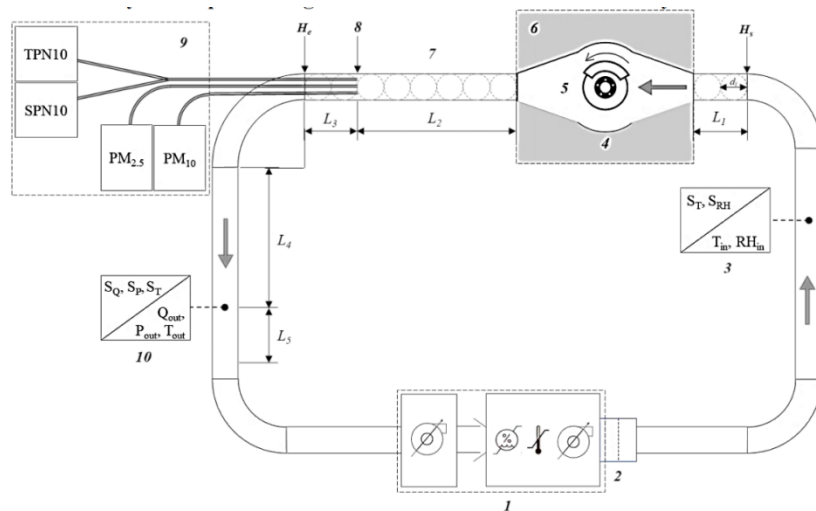
符号	单位	定义
FAF	%	施加在前轴上的制动力与车辆总制动力的比
RAF	%	施加在后轴上的制动力与车辆总制动力的比
WL_n	kg	车轮标称载荷，考虑车辆道路负载或其它类型的损失前，制动器所承受的载荷
WL_t	kg	车轮试验载荷，考虑车辆道路负载或其它类型的损失后，制动器所承受的载荷
I_n	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	制动器标称惯量，回转半径等于车轮动态滚动半径的车轮载荷
I_t	$\text{kg}\cdot\text{m}^2$	制动器试验惯量，减去车辆道路负载或其它类型损失引起的减速力后的制动标称惯量
Q_{set}	m^3/h	制动器的标称空气流量
ABT	$^{\circ}\text{C}$	WLTP制动循环阶段10试验期间的平均制动温度
IBT	$^{\circ}\text{C}$	WLTP制动循环阶段10中6个选定制动事件的平均初始制动温度
FBT	$^{\circ}\text{C}$	WLTP制动循环阶段10中6个选定制动事件的平均最终制动温度
DM	kg	制动盘或制动鼓的质量
c	-	摩擦制动份额系数
PN	-	制动颗粒物数量
PM	-	制动颗粒物质量

5 试验相关要求

5.1 试验系统

5.1.1 构成和布局

制动器颗粒物排放试验系统主要由环境调节装置、冷却空气过滤装置、试验仓、制动器试验台、采样通道、空气流量测量装置、气溶胶采样和数据采集装置等构成，试验系统构成和布局要求见图1。



标引序号说明：

- 1—环境调节装置，配有可变流量的风机、空气温度和空气湿度控制装置；
- 2—冷却空气过滤装置；
- 3—冷却空气温度和湿度传感器；
- 4—试验仓；
- 5—制动器总成；
- 6—制动器试验台；
- 7—采样通道；
- 8—配备相应PM和PN采样探头的采样平面；
- 9—收集PM质量和测量PN浓度的仪器；
- 10—空气流量测量装置。

图1 试验系统构成和布局要求示意图

5.1.2 设备精度

- 5.1.2.1 冷却空气温度的采集控制精度应为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，冷却空气相对湿度的采集控制精度应为标称值的 $\pm 5\%$ 。
- 5.1.2.2 空气流量的采集控制精度应为标称值的 $\pm 2\%$ ，空气流量用温度的测量精度应为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，空气流量用压力的测量精度应为 $\pm 0.4\text{ kPa}$ 。
- 5.1.2.3 PM 采样系统的采样流量的最大允许误差应为读数的 $\pm 2.5\%$ 或满量程的 $\pm 1.5\%$ ，以最小值为准。
- 5.1.2.4 PM 采样系统的温度的测量精度为 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，压力的测量精度为 $\pm 1.0\text{ kPa}$ 。
- 5.1.2.5 粒子计数器根据可溯源的原则，从 $1\text{ 个}/\text{cm}^3$ 到单个粒子计数模块上限的范围内，计数精度为 $\pm 10\%$ 。
- 5.1.2.6 粒子计数器粒子浓度低于 $100\text{ 个}/\text{cm}^3$ 时的分辨率至少为 $0.1\text{ 个}/\text{cm}^3$ 。
- 5.1.2.7 PN 采样系统采样流量的最大允许误差应为读数的 $\pm 5\%$ 。
- 5.1.2.8 PN 采样系统温度的测量精度应为 $\pm 1.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，压力的测量精度为 $\pm 1.0\text{ kPa}$ 。
- 5.1.2.9 制动器试验台的转动惯量的相对误差不应超过 5% 。
- 5.1.2.10 制动器热电偶测温的最大允许误差为 $\pm 2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或测量值的 $\pm 0.75\%$ 。
- 5.1.2.11 天平分辨率为 $1\text{ }\mu\text{g}$ 。

5.1.3 冷却循环系统

5.1.3.1 环境调节装置

环境调节装置为制动器总成提供清洁、连续的冷却空气，冷却空气将制动颗粒物从试验仓输送到采样通道和PM/PN采样探头中。环境调节装置输出的冷却空气最小流量为 $100\text{ m}^3/\text{h}\sim 300\text{ m}^3/\text{h}$ ，最大流量至少为最小操作流量的5倍且至少比最小操作流量大 $1000\text{ m}^3/\text{h}$ 。冷却空气温度、湿度和流量要求见表2。

表2 冷却空气温度、湿度和流量要求汇总

参数	冷却空气温度	冷却空气相对湿度	冷却空气流量
标称值	$23\text{ }^{\circ}\text{C}$	50%	根据7.1设置标称流量(Q_{set})
平均值：最大允许偏差	$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 5\%$	$\pm 5\%Q_{\text{set}}$
瞬时值：最大允许公差	$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 30\%$	$\pm 5\%Q_{\text{set}}$
瞬时值：超过最大允许公差的最长时间	每个试验段持续时间的10%	每个试验段持续时间的10%	每个试验段持续时间的5%

5.1.3.2 冷却空气温度

- 5.1.3.2.1 在试验仓上游安装温度传感器，用于持续监测冷却空气的温度，参见图1。
- 5.1.3.2.2 测量点位置的冷却空气温度应保持恒定，将冷却空气的温度设置为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，平均冷却空气温度的偏差不得超过设定值的 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。
- 5.1.3.2.3 若瞬时冷却空气温度偏差超过标称值的 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，在平均温度满足5.1.3.2.2规定的前提下，偏差持续时间不应超过试验持续时间的10%(不包括冷却部分)。

5.1.3.3 冷却空气湿度

- 5.1.3.3.1 在试验仓上游安装湿度传感器，用于持续监测冷却空气的湿度，参见图1。
- 5.1.3.3.2 测量点位置的冷却空气相对湿度应保持恒定，将冷却空气的相对湿度设置为50%，平均冷却空气湿度的偏差不得超过设定值的5%。
- 5.1.3.3.3 若瞬时冷却空气相对湿度偏差超过标称值的 $\pm 30\%$ ，在平均相对湿度满足5.1.3.3.2规定的前提下，偏差持续时间不应超过试验持续时间的10%(不包括冷却部分)。

5.1.3.4 冷却空气流量

- 5.1.3.4.1 在采样平面下游安装空气流量测量装置，参见图1。对于单点测量，将空气流量测量装置置于管道中心。对于多点测量，空气流量测量装置安装方向与气体流动方向垂直。流量测量区域的管道内径可以与采样通道的内径不同，但该区域管道内径应至少为采样通道内径的35%，空气流量测量装置

处的压力应与环境压力相差在±1 kPa 以内。

5.1.3.4.2 流量标定，测得的平均冷却气流应在试验开始时定义的设定值的±5%范围内。

5.1.3.4.3 磨合试验，测得的平均冷却气流应在给定制动器流量标定阶段规定标称值的±5%范围内。

5.1.3.4.4 排放测量试验，测量的平均冷却气流应在给定制动器流量标定阶段定义的标称值的±5%范围内。

5.1.3.4.5 在测得的平均冷却气流满足本段规定的前提下，对于流量标定，瞬时冷却气流可在设定值的±5%和±10%之间偏差，偏差时间不应超过 264 s；对于排放测量试验，瞬时冷却气流可在设定值的±5%和±10%之间偏差，偏差时间不应超过 792 s(不包括冷却部分)。

5.1.3.4.6 试验前，应对管道系统和试验仓进行系统泄漏检查。将冷却气流设置为试验给定制动器所定义的标称值流量，并在流量稳定后测量至少 2 min。如果测得的平均流量在设定值的±5%范围内，则继续进行试验。如果流量波动超过设定值的±5%则停止试验，检查流量测量装置，确定可能的泄漏源，采取纠正措施解决问题再重新试验。

5.1.3.4.7 使用测得的空气流量和采样通道内径，按公式(1)计算采样通道处相应的瞬时冷却空速：

$$U=(4\times 10^3\times Q)/(\pi\times d_i^2)\dots\dots\dots (1)$$

式中：

U —冷却空气速度，单位为千米每小时(km/h)；

Q —冷却空气流量，单位为立方米每小时(m³/h)；

d_i —采样通道的内径，单位为毫米(mm)。

5.1.3.5 冷却空气清洁

5.1.3.5.1 冷却空气过滤

进入试验系统的冷却空气应通过能将最具穿透性的粒子吸收99.95%以上的过滤介质，或者至少满足EN 1822-1规定的H13等级的过滤器，参见图1。使用与PN排放测量相同的仪器测量背景颗粒物，测量并计算 TPN_{10} 和 SPN_{10} 的背景浓度。

5.1.3.5.2 系统级背景颗粒物校验

5.1.3.5.2.1 当试验设备安装调试、重大维护后或有系统故障迹象时，应进行系统级背景颗粒物校验。

5.1.3.5.2.2 在试验仓内不安装制动器夹具和任何制动器部件的情况下进行背景颗粒物校验，PCRF 设置为最小值。

5.1.3.5.2.3 在冷却气流稳定到 5.1.3.4 规定平均值五分钟后开始背景颗粒物校验。冷却气流量的平均值满足 5.1.3.4 的要求，冷却空气温度和相对湿度的平均值满足 5.1.3.2、5.1.3.3 的要求。

5.1.3.5.2.4 应用系统的最小和最大可操作冷却空气流量执行背景颗粒物校验设置，在校验期间，当采用不同的气流设置时，试验系统可以使用单个喷嘴对 TPN_{10} 和 SPN_{10} 进行采样。

5.1.3.5.2.5 背景浓度稳定后，进行系统级背景颗粒物校验， TPN_{10} 和 SPN_{10} 采样通道内 5 min 的平均背景浓度不应大于 20 个/Ncm³。

5.1.3.5.3 背景颗粒物浓度的计算

5.1.3.5.3.1 在标准条件下(温度为 0 °C、压力为 101.325 kPa，下同)，计算 TPN_{10} 和 SPN_{10} 浓度。

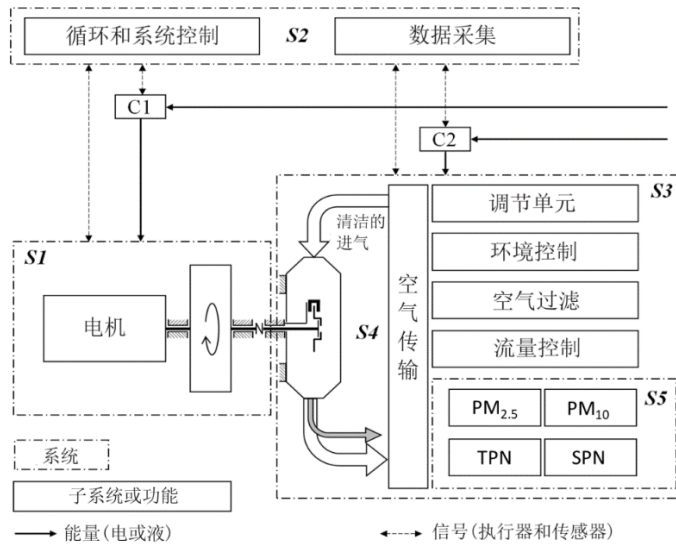
5.1.3.5.3.2 粒子数计数器零点检查。将高效空气过滤器(至少满足 EN 1822-1 规定的 H13 或相应的等级)安装在粒子数计数器的入口处，粒子数计数器显示的测量值不应大于 0.2 个/cm³，移除此过滤器改用环境空气后，粒子计数器显示测量值明显增加，再次安装高效过滤器，则测量值应返回到不大于 0.2 个/cm³。

5.1.3.5.3.3 未能达到粒子数计数器清零验证和未满足颗粒背景限值，将认定为试验无效。

5.1.3.5.3.4 当根据 7.4.3.2 计算制动排放测量试验的 TPN_{10} 和 SPN_{10} 浓度值时，不得减去背景浓度值。

5.1.4 自动化控制系统

制动颗粒物排放试验的自动化控制系统构成参见图2。自动化控制系统的数据采集通道的采样率不应低于250 Hz，其它采集通道的采样率不应低于10 Hz。



标引序号说明：

- S1—制动器试验台；
- S2—循环控制和数据采集系统；
- S3—环境调节装置；
- S4—试验仓和采样平面；
- S5—排放测量系统；
- C1、C2—试验设备控制和监测系统。

图2 自动化控制系统构成示意图

5.1.5 WLTP 制动循环

5.1.5.1 所有类型制动器的试验循环为基于时间的 WLTP 制动循环，WLTP 制动循环见图 3，WLTP 制动循环要求连续控制制动器试验台上的等效车辆行驶速度（简称“车速”，下同），WLTP 制动循环数据见附录 A。

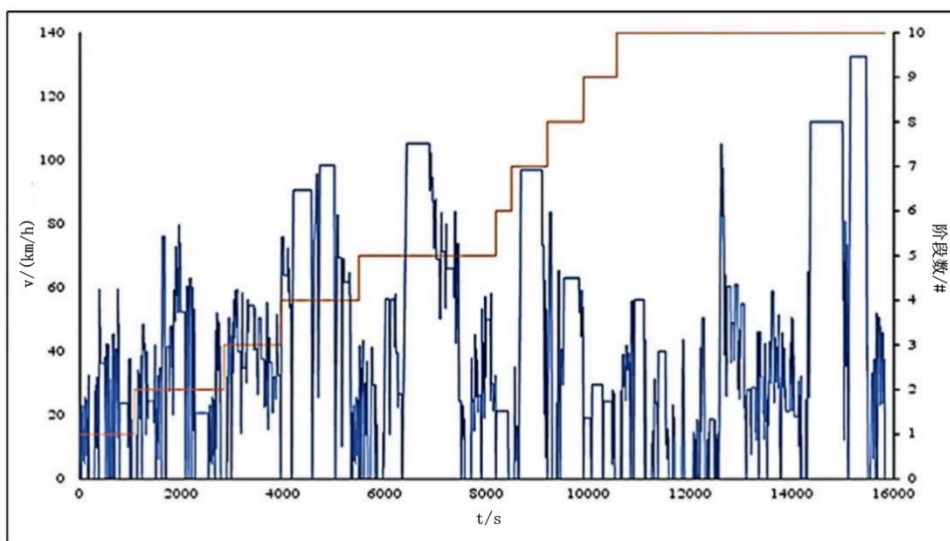


图3 WLTP 制动循环

5.1.5.2 代表不同驾驶和制动条件的 10 个单独阶段（阶段 1-10），不同阶段由冷却段隔开。

5.1.5.3 15826 s 的速度控制，不包括循环各个阶段之间的冷却段。

- 5.1.5.4 303 次制动减速事件，附录 B 描述了单次制动事件的主要特征。
- 5.1.5.5 行驶总里程 192 km，平均速度 43.7 km/h，最高速度 132.5 km/h。
- 5.1.5.6 平均制动减速度为 0.97 m/s^2 ，最大制动减速度为 2.18 m/s^2 。
- 5.1.5.7 平均制动减速持续时间为 5.7 s，最大制动减速持续时间为 15 s。

5.1.6 WLTP 制动循环检查

5.1.6.1 速度检查

- 5.1.6.1.1 当制动器试验台的实际速度超出 5.1.6.1.2 或 5.1.6.1.3 速度公差时，则视为速度违规，速度违规的次数或持续时间应满足 5.1.6.1.4~5.1.6.1.6 要求。
- 5.1.6.1.2 速度公差上限：在给定点 $\pm 1.0 \text{ s}$ 内，比标称车速高 2.0 km/h。
- 5.1.6.1.3 速度公差下限：在给定点 $\pm 1.0 \text{ s}$ 内，比标称车速低 2.0 km/h。
- 5.1.6.1.4 在进行流量标定时，WLTP 制动循环的阶段 10 的速度违规次数不得超过 158 次，这相当于阶段#10 持续时间的 3%。
- 5.1.6.1.5 在进行磨合试验时，每个 WLTP 制动循环的速度违规次数不得超过 475 次，这相当于 WLTP 制动循环持续时间的 3%，适用于 WLTP 制动器循环的所有 5 次重复。
- 5.1.6.1.6 在进行排放测量试验时，每个完整 WLTP 制动循环的速度违规次数不得超过 475 次，这相当于 WLTP 制动循环持续时间的 3% (不包括冷却阶段)。

5.1.6.2 制动减速事件的数量检查

在进行排放测量试验时，必须确保 WLTP 制动循环的所有制动减速事件的次数为 303 次。

5.1.7 试验仓设计

5.1.7.1 一般要素

- 5.1.7.1.1 试验仓参见图 4，试验仓由一个水平面和四个垂直面定义，具体符号定义参见表 1。
- 5.1.7.1.2 入口过渡容积 (图 4 中的 1) 定义为平面 A 和 B 之间的试验仓部分，并用灰色表示。
- 5.1.7.1.3 过渡角 “a” (图 4 中的 2) 定义为试验仓中过渡区域的平滑程度，在图 4 中，冷却空气从右向左流动。

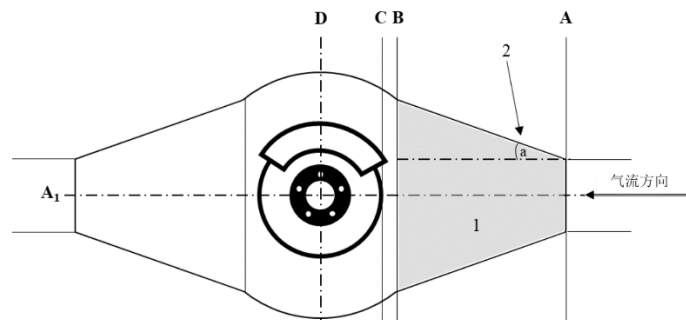


图4 试验仓的示意图

5.1.7.2 设计规范

- 5.1.7.2.1 试验仓应具有两个锥形或梯形截面，截面的延长线交点与入口和出口管道轴线重合。
- 5.1.7.2.2 从平面 A 到平面 B 的过渡应平稳、连续，无突变。
- 5.1.7.2.3 入口和出口横截面的设计应确保平滑的过渡角 ($15^\circ \leq a \leq 30^\circ$)。
- 5.1.7.2.4 分段之间的过渡点不应具有任何缺陷，缺陷位置可能会收集制动排放的颗粒物。
- 5.1.7.2.5 如果在过渡点处使用紧固件，则紧固件不得伸入试验仓区域。
- 5.1.7.2.6 与制动颗粒物接触的试验仓表面应具有无缝结构，并具有耐腐蚀性。
- 5.1.7.2.7 试验仓入口处气流的雷诺数至少为 4000，使用公式 (2) 计算给定制动排放试验的雷诺数 R_e 。

$$R_e = (U \times d_i) / (\nu \times 3.6 \times 1000) \dots\dots\dots (2)$$

- 5.1.8.1 采样通道包含无弯道和有弯道两种布局方式，试验仓出口到采样平面之间的横截面不得变化，参见图 1。
- 5.1.8.2 与气溶胶接触的采样通道表面应使用电解抛光的不锈钢材料（或同等材料），任何管道间的连接过渡都不应有积聚制动器颗粒物的缺陷。
- 5.1.8.3 在满足 5.1.8.4 所述规范的情况下，采样通道中最多出现一个不大于 90° 的弯道，采样通道内径与弯曲半径示意图参见图 7。
- 5.1.8.4 如果在采样通道中采用弯道，则在采样平面之前，弯道之后有长度至少为采样通道内径六倍的直管。此外，采样平面下游的直管长度至少为采样通道内径的两倍。
- 5.1.8.5 如果采样通道中不采用弯道，则在采样平面之前，试验仓出口之后有长度至少为采样通道内径六倍的直管。此外，采样平面下游的直管长度至少为采样通道内径的两倍。
- 5.1.8.6 本段 5.1.8.1、5.1.8.2 以及采样通道的内径的规定适用于从试验仓入口上游管道内径两倍长度的位置到采样平面下游管道内径两倍长度的位置。

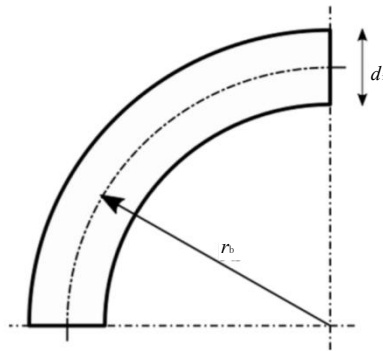


图7 采样通道内径与弯曲半径示意图

5.1.9 采样平面

- 5.1.9.1 采样平面是采样通道中放置采样探头入口的垂直平面，参见图 1。
- 5.1.9.2 PM 和 PN 采样应在采样通道的同一横截面区域内进行，采样平面内探头间距示意图参见图 8。
- 5.1.9.3 将采样探头等间距放置在采样通道的中心纵轴周围，使用采样探头的外径测量距离， a_1 不应小于 47.5 mm。
- 5.1.9.4 使用采样探头的外径测量探头到通道的距离， a_2 不应小于 47.5 mm。
- 5.1.9.5 采样平面上探头有两种布局方式，当 $175 \text{ mm} \leq d_i \leq 225 \text{ mm}$ 时可使用三个探头的布局方式，当 $190 \text{ mm} \leq d_i \leq 225 \text{ mm}$ 时可使用四个探头的布局方式。

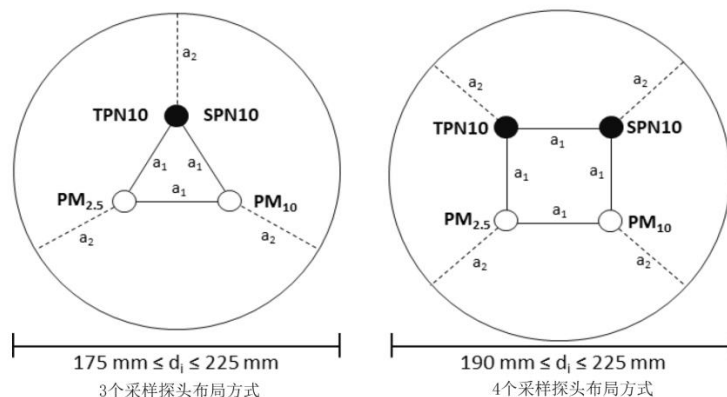


图8 采样平面内探头间距示意图

5.2 制动夹具

制动器总成的夹具可保证制动器360°自由旋转，并且在试验过程中不会出现振动。试验夹具主要包括通用型和立柱型，通用型夹具允许在没有轮毂的情况下将制动器总成直接连接到制动器试验台传动轴上，立柱型夹具允许安装特定车辆的轴承，盘式制动器和鼓式制动器夹具样式分别参见图9和图10。

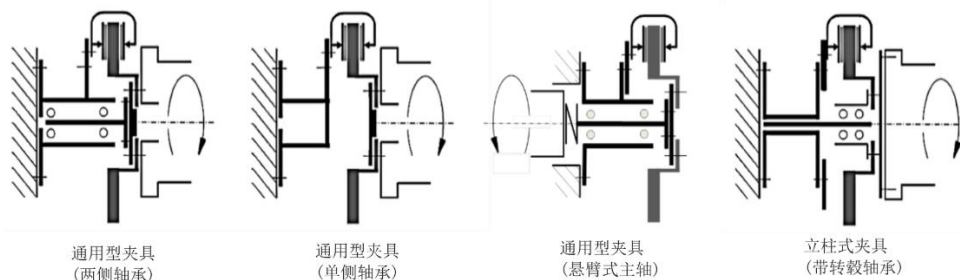


图9 盘式制动器夹具样式示意图

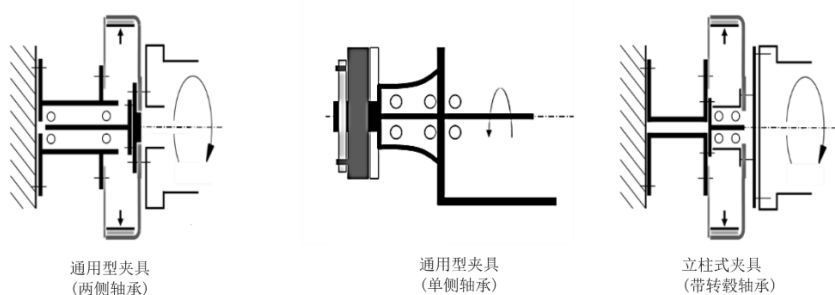


图10 鼓式制动器的夹具样式示意图

5.3 数值修约

所有数据必须使用至少六位有效数字进行处理。如果可用的有效位数较少，则必须使用所有可用的有效数字来处理数据，不允许对中间结果进行舍入。

5.4 PM 采样系统

5.4.1 采样平面

5.4.1.1 采样平面的设计应符合 5.1.9 中所述的规定，以下附加规定适用于安装有 PM 采样探头的采样平面。

5.4.1.2 使用两个带有相应采样喷嘴的采样探头进行 PM 测量，一个用于 PM_{2.5}，一个用于 PM₁₀，参见图 8 中的白点。

5.4.1.3 当使用三探头布置时，将两个 PM 采样探头 (PM_{2.5} 和 PM₁₀) 放置在采样通道下方的同一水平面上，参见图 8 左侧。

5.4.1.4 当使用四探头布置时，将两个 PM 采样探头 (PM_{2.5} 和 PM₁₀) 放置在采样通道下方的同一水平面上，参见图 8 右侧。

5.4.2 PM 采样探头

5.4.2.1 采样探头将气溶胶从采样通道输送至分离装置，采样探头应能最大限度地减少从采样喷嘴尖端到分离装置的颗粒损失。

5.4.2.2 采样探头应由不与制动颗粒物发生反应的导电材料制成，探头应电气接地，以避免电气/静电影响。探头应由不锈钢制成，内部经过电抛光处理(或同等处理)，保证采样探头内壁光滑整洁。

5.4.2.3 从采样喷嘴尖端到 PM 分离装置入口的探头总长度不得超过 1 m。

5.4.2.4 采样探头最多可使用一个 90°的弯道，弯道半径应至少为采样探头内径的四倍。

5.4.2.5 在使用期间至少每两个月清洁一次探头。

5.4.3 PM 采样喷嘴

- 5.4.3.1 采样喷嘴应由不锈钢制成，内部经过电抛光处理(或同等处理)，保证喷嘴内壁光滑整洁。
- 5.4.3.2 采样喷嘴尺寸根据应用的采样流量进行选择，至少等于一个内径或距离采样喷嘴尖端至少 10 mm，以较大者为准。
- 5.4.3.3 喷嘴尖端应具有薄壁，以最大限度地减少流量失真，喷嘴尖端的外径与内径之比应低于 1.1。
- 5.4.3.4 喷嘴孔径的变化应为锥形，锥角小于 30°。
- 5.4.3.5 喷嘴的轴线应与采样通道的轴线平行，抽吸角度保持在 15°以下。
- 5.4.3.6 每次制动排放试验前按照制造商规定的处理要求清洁喷嘴。

5.4.4 PM 分离装置

- 5.4.4.1 采用旋风分离器和重力式过滤器收集 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 颗粒物。
- 5.4.4.2 旋风分离器分离颗粒物的截止尺寸分别为 10 μm 和 2.5 μm，用于收集 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 颗粒物；
- 5.4.4.3 PM₁₀ 和 PM_{2.5} 旋风分离器应符合表 3 和 4 中所述的分离效率。
- 5.4.4.4 将旋风分离器放置在采样探头的出口处，使用不锈钢制成的适当配件将旋风分离器直接连接到采样探头的出口。

表3 PM₁₀ 旋风分离器分离效率指标

PM10	4 μm	8 μm	12.5 μm	25 μm
分离效率	<20%	<50%	>60%	>90%

表4 PM_{2.5} 旋风分离器分离效率指标

PM _{2.5}	1.5 μm	2 μm	3 μm	4 μm
分离效率	<20%	<50%	>60%	>90%

5.4.5 PM 采样管线

- 5.4.5.1 采样管线应最大限度地减少旋风分离器出口到过滤器入口之间的颗粒传输损失。
- 5.4.5.2 采样管线应由导电不锈钢制成，并配有适当的配件。或者，可以使用柔性抗静电聚四氟乙烯 (PTFE) 采样线。
- 5.4.5.3 从旋风分离器出口到过滤器支架入口的采样管线总长度不得超过 1 m。
- 5.4.5.4 采样通道外 PM 采样系统的部分(包括旋风分离器和 PM 采样管线)应确保不会发生冷凝水，温度始终保持在 15 °C 以上。
- 5.4.5.5 如果采样管线处有弯道，则弯道的弯曲半径至少是采样管线内径的 25 倍。

5.4.6 PM 采样流量

- 5.4.6.1 采样流量的设定值在制动器总成的排放测量试验保持恒定，平均采样流量应在制动排放试验设定值的±2%范围内。
- 5.4.6.2 采样流量的设置应使等速比尽可能接近 1.0，排放测量试验的平均等速比在 0.90~1.15 之间。
- 5.4.6.3 如果不满足本段中规定的采样流量或等速要求，则试验无效。
- 5.4.6.4 PM 采样装置在制动排放测量期间连续运行，包括 WLTP 制动循环各个阶段之间的冷却阶段，其中 PM 取样流量不得暂停或绕过主采样管线，在制动器排放测量试验结束后，PM 采样装置应至少再运行 10 s。

5.4.7 等速比

- 5.4.7.1 当采样通道和采样喷嘴中的空气速度相等时，被定义为等速。空气速度是根据采样通道和采样喷嘴中的空气流值和内径计算的得到的，按公式(3)和(4)计算采样通道和采用喷嘴中的空气速度：

$$U = (4 \times 1000 \times Q) / (\pi \times d_1^2) \dots\dots\dots (3)$$

$$U_s = (4 \times 1000 \times Q_s) / (\pi \times d_{PM-PZ}^2) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

U —采样通道内的平均空气速度，单位为千米每小时 (km/h)；

U_s —进入采样喷嘴的空气的平均速度，单位为千米每小时(km/h)；

Q —采样通道内的平均气流，单位为立方米每小时(m^3/h)；

Q_s —采样喷嘴内的平均气流，单位为立方米每小时(m^3/h)；

d_{PM-PZ} —采样喷嘴的内径，单位为毫米(mm)；

d_i —采样通道的内径，单位为毫米(mm)。

5.4.7.2 等速比定义为采样喷嘴中的空速与采样通道中的空速之比，公式(5)提供了计算等速比的方法。采样通道和采样喷嘴中的气流值应参考相同的温度和压力条件，因此，使用标准条件下的归一化值来确保可比性：

$$IR = (NQ_{PM-PZ}/d_{PM-PZ}^2)/(NQ/d_i^2) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

IR —等速比；

NQ_s —采样喷嘴中标准条件下的平均归一化气流，单位为标况下立方米每小时(Nm^3/h)；

NQ —采样通道中标准条件下的平均归一化气流，单位为标况下立方米每小时(Nm^3/h)；

d_{PM-PZ} —采样喷嘴的内径，单位为毫米(mm)；

d_i —采样通道的内径，单位为毫米(mm)。

5.4.7.3 在 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 制动器排放试验的排放测量试验，应采用公式(6)计算平均等速比：

$$IR = 0.06 \times (NQ_s d_{PM-PZ}^2)/(NQ d_i^2) \dots\dots\dots (6)$$

式中：

IR —等速比；

NQ_s —采样喷嘴中标准条件下的平均归一化气流，单位为标况下升每分(l/min)；

NQ —采样通道中的平均归一化气流，单位为标况下立方米每小时(Nm^3/h)；

d_{PM-PZ} —采样喷嘴的内径，单位为毫米(mm)；

d_i —采样通道的内径，单位为毫米(mm)。

5.4.8 滤纸架

5.4.8.1 滤纸架应尽可能靠近旋风分离器的出口，在支架上安装 47 mm 单级过滤器用于收集 PM 颗粒。

5.4.8.2 滤纸支架应选择由惰性和非腐蚀材料制作，滤纸工作区域流量分布均匀，内径在 34 mm 和 44 mm 之间。

5.4.8.3 滤纸架应确保不会出现冷凝水，在整个制动排放试验期间温度始终保持在 15 °C 以上。

5.4.9 滤纸

应使用带氟碳化合物涂层的玻璃纤维滤纸或氟碳化合物为基体的薄膜滤纸收集 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 。当通过滤纸的气体迎面速率为 5.33 cm/s 时，对 0.3 μm DOP (邻苯二甲酸二辛酯)、PAO (聚 α -烯烃)、CS 68649-12-7 或 CS 68037-01-4 的采集效率不低于 99%。

5.5 PN 采样系统

5.5.1 采样平面

5.5.1.1 采样平面的设计应符合 5.1.9 中所述的规范，以下附加规定适用于 PN 采样探头安装的采样平面。

5.5.1.2 采用两个采样探头进行 PN 排放测量，一个用于 TPN_{10} ，一个用于 SPN_{10} ，参见图 8 中右侧四探头布局方式中的黑点。

5.5.1.3 对于 TPN_{10} 和 SPN_{10} 使用同一个采样探头，需按 5.5.1.4、5.5.1.5 的规定使用适当的分流装置。参见图 8 中左侧三探头布局方式中的黑点。

5.5.1.4 当使用分流装置时，其材质为不锈钢且内部经电解抛光处理，以最大限度地减少管壁沉积造成的颗粒损失。每个分支的流动角度变化在 20° 以内，以确保所有分支中的流速相似，不同分支中的流速差异不超过 $\pm 5\%$ 。

5.5.1.5 当使用分流装置时,在连接 PN 采样系统的标称流量下,带和不带分流器的穿透性保持在 $\pm 5\%$ 以内。在开始测量之前,让系统稳定(流速在标称值的 $\pm 5\%$ 以内)至少 30 s;在系统稳定后,在有分流装置和无分流装置的情况下,测量 15 nm 和 1.5 μm 的颗粒物 30 s,对 15 nm 和 1.5 μm 的颗粒物穿透情况进行比较。

5.5.2 PN 采样探头

5.5.2.1 PN 采样探头将气溶胶从采样通道输送至颗粒传输管线或 PN 预分级器入口,采样探头应能最大限度地减少从采样喷嘴尖端到颗粒传输管线入口的颗粒损失。

5.5.2.2 采样探头应由不与制动颗粒物发生反应的导电材料制成,内部经过电抛光处理(或同等处理),保证采样探头内壁光滑整洁,探头应电气接地,以避免电气/静电影响。

5.5.2.3 从采样喷嘴尖端到颗粒传输管线或 PN 预分级器入口的探头总长度不得超过 1 m。

5.5.2.4 气溶胶从喷嘴尖端入口到颗粒输送管线或 PN 预分级器入口的停留时间应小于 3 s。

5.5.2.5 采样探头最多可使用一个 90° 的弯道,弯道半径应至少为采样探头内径的 4 倍。

5.5.3 PN 采样喷嘴

5.5.3.1 采样喷嘴应由不锈钢制成,内部经过电抛光处理(或同等处理),保证采样喷嘴内壁光滑整洁。

5.5.3.2 采样喷嘴尺寸根据应用的采样流量进行选择,长度至少等于一个内径或距离采样喷嘴尖端至少 10mm,以较大者为准。

5.5.3.3 喷嘴尖端应具有薄壁,以最大限度地减少流量失真,喷嘴尖端的外径与内径之比应低于 1.1。

5.5.3.4 喷嘴孔径的变化应为锥形,锥角小于 30°。

5.5.3.5 喷嘴的轴线应与采样通道的轴线平行,抽吸角度保持在 15° 以下。

5.5.3.6 每次制动排放试验前按照制造商规定的处理要求清洁喷嘴。

5.5.4 颗粒传输管线

5.5.4.1 当 PN 预分级器未直接连接到采样探头的出口时,应使用颗粒传输管线(PTT)将气溶胶从采样探头的出口转移到 PN 预分级器的入口。当 PN 预分级器直接连接到采样探头的出口时,PTT 用于将气溶胶从 PN 预分级器的出口转移到样品调节系统的入口。在任何情况下,只能使用单个 PTT。

5.5.4.2 使用适当的颗粒传输管线,以最大限度地减少采样探头出口和 PN 预分级器入口之间或 PN 预分级器出口和样品调节系统入口之间的颗粒传输损失。

5.5.4.3 当采样探头出口和 PN 预分级器入口之间或 PN 预分级器出口和样品调节系统入口之间的内径发生变化时,使用内径逐渐变化的颗粒传输管线。

5.5.4.4 使用不与气溶胶成分发生反应的导电材料制成的颗粒传输管线。

5.5.4.5 颗粒传输管线的长度与颗粒物流量之比应低于 60 000 s/m²。

5.5.4.6 颗粒物在传输管线内的停留时间应低于 1 s。

5.5.4.7 如果颗粒传输管线存在弯道,则弯道半径应至少为颗粒传输管线内径的 25 倍。

5.5.5 PN 预分级器

5.5.5.1 当使用不同的采样探头进行 TPN_{10} 和 SPN_{10} 排放测量时,使用两个旋风分离器。

5.5.5.2 当 TPN_{10} 和 SPN_{10} 使用同一个采样探头时,在分流装置上游使用一个旋风分离器,在分流装置下游使用两个旋风分离器。

5.5.5.3 将旋风分离器放置在采样探头的出口或样品调节系统的入口处。

5.5.5.4 旋风分离器在采样流量下,预分离器的分割粒径(分级效率为 50%的粒子内径)应在 2.5 μm 至 10 μm 之间。

5.5.5.5 旋风分离器能使粒径为 1.5 μm 的粒子至少 80% 进入并通过出口。

5.5.5.6 应按照仪器制造商关于清洁频率和方法的规范,经常检查和清洁旋风分离器的内壁。

5.5.6 样品调节

5.5.6.1 进入 PN 测量系统的气溶胶应在进入粒子计数器 PNC 之前进行调节,确保样品调节系统满足以下要求。

5.5.6.2 稀释系统是强制性的，应至少包括一个颗粒稀释器，以下规范适用于测量 TPN_{10} 时调节气溶胶的稀释系统：

- a) 稀释系统中与样品接触的所有部件均应由导电材料制成，应进行电气接地以防止静电影响，尽量减少颗粒沉积；
- b) 稀释系统对样品可以进行一级或多级稀释，使粒子数量浓度低于 PNC 单个粒子计数模式的上限，稀释倍数至少为 10 倍；
- c) 稀释系统能够在整个制动排放试验过程中保持稀释系数恒定(设定值的 $\pm 5\%$)；
- d) 稀释系统将稀释气体温度保持在 $38\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下；
- e) 用于过滤稀释空气的过滤器的级别至少是 H13(EN 1822-1)或达到同等性能的过滤器；
- f) 对于整个系统，电迁移率粒径为 15 nm 、 30 nm 和 50 nm 粒子的 PCRF 分别不超过电迁移率粒径为 100 nm 粒子的 PCRF 的 100%、30%和 20%。电迁移率粒径为 15 nm 、 30 nm 和 50 nm 粒子的 PCRF 应不低于电迁移率粒径为 100 nm 粒子的 PCRF 的 5%；
- g) 稀释系统实时监测稀释因子的变化并以 1 Hz 频率实时算术平均 PCRF；
- h) 稀释系统应实时输出经 PCRF 修正的 TPN_{10} ，输出频率大于或等于 0.5 Hz ；
- i) 对于电迁移率粒径为 100 nm 的颗粒穿透效率至少达到 70%；
- j) 稀释系统能够在 85 kPa 至 105 kPa 范围内的采样压力和与环境的相对压差在 $\pm 5\text{ kPa}$ 范围下运行。

5.5.6.3 挥发性颗粒去除器(VPR)包括至少一个粒子稀释器(PND1)和一个粒子蒸发装置，第二粒子稀释器(PND2)可以选择性地与 PND1 和蒸发管串联安装，以下规范适用于测量 SPN_{10} 时用于调节气溶胶的 VPR：

- a) 挥发性颗粒去除器中与样品接触的所有部件均应由导电材料制成，应进行电气接地以防止静电影响，尽量减少颗粒沉积；
- b) 挥发性颗粒去除器对样品可以进行一级或多级稀释，使粒子数量浓度低于 PNC 单个粒子计数模式的上限，稀释倍数至少为 10 倍；
- c) 挥发性颗粒去除器能够将气体温度保持在 PNC 制造商规定的最大允许入口温度以下；
- d) 挥发性颗粒去除器包括一个初始热稀释过程，在这个过程中输出温度在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 至 $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间的样气。稀释器应配备空气过滤器的级别至少是 H13(EN 1822-1)或达到同等性能的过滤器；
- e) 挥发性颗粒去除器包括一个粒子蒸发装置，控制加热阶段到恒定工作温度，蒸发装置保持在 $(350\pm 10)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的固定标称工作温度；
- f) 挥发性颗粒去除器可以指示加热阶段是否处于正确的工作温度；
- g) 对于整个系统，电迁移率粒径为 15 nm 、 30 nm 和 50 nm 粒子的 PCRF 分别不超过电迁移率粒径为 100 nm 粒子的 PCRF 的 100%、30%和 20%。电迁移率粒径为 15 nm 、 30 nm 和 50 nm 粒子的 PCRF 应不低于电迁移率粒径为 100 nm 粒子的 PCRF 的 5%；
- h) 挥发性颗粒去除器实时监测稀释因子的变化并以 1 Hz 频率实时算术平均 PCRF；
- i) 挥发性颗粒去除器应实时输出标准条件下 PCRF 校正的 SPN_{10} 浓度，输出频率大于或等于 0.5 Hz ；
- j) 通过加热和降低四十烷的 $(\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{38}\text{CH}_3)$ 分压，能使超过 99.9%的粒径大于 50 nm 且质量浓度大于 $1\text{ mg}/\text{m}^3$ 的四十烷粒子汽化；
- k) 对于电迁移率粒径为 100 nm 的颗粒穿透效率至少达到 70%；
- l) 稀释系统能够在 85 kPa 至 105 kPa 范围内的采样压力和与环境的相对压差在 $\pm 5\text{ kPa}$ 范围下运行。

5.5.7 内部传输管路

5.5.7.1 将气溶胶从稀释系统(TPN_{10})和 VPR(SPN_{10})输送至 PNC 入口的管线应符合以下规范。

5.5.7.2 使用适当的内部传输管路，以最大限度地减少稀释系统(TPN_{10})或 VPR(SPN_{10})与 PNC 入口之间的颗粒传输损失。

5.5.7.3 从稀释系统(TPN_{10})或 VPR(SPN_{10})出口到 PNC 入口的内部输送管路的总长度不得超过 1 m 。

5.5.7.4 颗粒物在内部传输管路内的停留时间应低于 1 s 。

5.5.7.5 如果内部传输管路存在弯道，则弯道半径应至少为内部传输管路内径的 10 倍。

5.5.8 粒子计数器

- 5.5.8.1 在全流量条件下，粒子计数器(PNC)用于 TPN_{10} 和 SPN_{10} 浓度的测量。
- 5.5.8.2 单个粒子计数模块在整个测量范围内对粒子浓度具有线性相应。
- 5.5.8.3 在整个测量浓度范围内的 t_{90} 响应时间小于 5 s。
- 5.5.8.4 PNC 按照仪器制造商规定的频率进行更换。

5.5.9 PN 采样流量

- 5.5.9.1 使用具有流量控制功能的设备(如临界节流孔、压力调节器、反馈控制器或其它)，确保流量稳定。实际标准条件下的归一化采样流量(NQ_{TPN10} 和 NQ_{SPN10})的偏差不得超过给定试验平均值的 $\pm 10\%$ 。
- 5.5.9.2 以 1 Hz 的频率实时反馈平均标准条件下的归一化采样流量。
- 5.5.9.3 按公式(6)计算 TPN_{10} 和 SPN_{10} 的平均等速比，制动器的排放测量试验的平均等速比应在 0.60 和 1.50 之间。
- 5.5.9.4 如果不满足本段中规定的采样流量或等速要求，则试验无效。
- 5.5.9.5 PN 采样系统应在制动排放量测量期间连续运行，包括 WLTP 制动循环各个阶段之间的冷却阶段，其中 PN 采样不得暂停或绕过主采样线，PN 采样装置应一直运行到试验后背景验证完成。

5.5.10 PN 采样系统验证程序

- 5.5.10.1 当使用校准流量计进行检查时，流入 PNC 流量的测量值应在 PNC 标称流量的 $\pm 5\%$ 范围内，每月进行一次检查。
- 5.5.10.2 在 PNC 入口处使用过滤器对 PNC 进行零点检查时，应记录浓度不大于 0.2 个/cm³，拆除过滤器后，PNC 应显示测量浓度的增加，并在更换过滤器后恢复到不大于 0.2 个/cm³，每次制动排放试验都应进行检查。
- 5.5.10.3 在每次制动排放试验前，当 H13 (EN 1822-1) 或同等性能的空气过滤器连接到样品调节系统的入口时，PNC 的测量浓度应小于 0.5 个/cm³。
- 5.5.10.4 在每次制动排放试验开始之前，应确认样品调节系统已达到正确的工作温度。

6 试验准备

6.1 惯量计算

- 6.1.1 对于 M_1 类车辆， M_{veh} 等于整车整备质量加上一个驾驶员的质量(75 kg)再加上 37.5 kg；对于 N_1 类车辆， M_{veh} 等于整车整备质量、一个驾驶员的质量(75 kg)加上 25 kg 和 28%最大设计装载质量的和。
- 6.1.2 对于 M_1 类车辆， FAF 为 77%， RAF 为 32%；对于 N_1 类车辆， FAF 为 66%， RAF 为 39%。
- 6.1.3 WL_n 是车辆试验质量和制动力分布的函数，由公式(7)和(8)计算得出：

$$WL_{n-f} = 0.5 \times M_{veh} \times FAF \dots\dots\dots (7)$$

$$WL_{n-r} = 0.5 \times M_{veh} \times RAF \dots\dots\dots (8)$$

式中：

WL_{n-f} —前轮标称载荷，单位为千克(kg)；

WL_{n-r} —后轮标称载荷，单位为千克(kg)；

M_{veh} —车辆试验质量，单位为千克(kg)；

FAF —施加在前轴上的制动力份额；

RAF —施加在后轴上的制动力份额。

- 6.1.4 WL_t 是车轮标称载荷的函数，由公式(9)和(10)计算得出， WL_t 应用于整个制动器颗粒物排放试验中包括流量标定、磨合试验和排放测量试验。

$$WL_{t-f} = 0.87 \times WL_{n-f} \dots\dots\dots (9)$$

$$WL_{t-r} = 0.87 \times WL_{n-r} \dots\dots\dots (10)$$

式中：

WL_{t-f} —前轮试验载荷，单位为千克(kg)；

WL_{t-r} —后轮试验载荷，单位为千克(kg)；

WL_{n-r} —前轮标称载荷，单位为千克(kg)；

WL_{n-r} —后轮标称载荷，单位为千克(kg)。

6.1.5 I_n 是车轮标称载荷和车轮动态滚动半径的函数，由公式(11)计算得出：

$$I_n = WL_n \times r_r^2 \dots\dots\dots (11)$$

式中：

I_n —制动器标称惯量，单位为千克·平方米(kg·m²)；

WL_n —车轮标称载荷，单位为千克(kg)；

r_r —车轮动态滚动半径，单位为米(m)。

6.1.6 I_t 是制动器标称惯量的函数，并根据公式(12)计算得出，制动器试验惯量适用于整个制动器颗粒物排放试验中包括流量标定、磨合试验和排放测量试验。

$$I_t = 0.87 \times I_n \dots\dots\dots (12)$$

式中：

I_t —制动器试验惯量，单位为千克·平方米(kg·m²)；

I_n —制动器标称惯量，单位为千克·平方米(kg·m²)。

6.2 制动器温度测量

6.2.1 采用嵌入式热电偶测量制动盘或制动鼓的温度，热电偶类型为工业K型热电偶，测量温度范围为0℃~800℃。

6.2.2 盘式制动器：将嵌入的热电偶定位在外摩擦表面上，径向定位在摩擦面中心外侧10mm处并在制动盘表面下陷(0.5±0.1)mm。在通风盘上，将热电偶置于两个散热片之间的中心位置。制动盘嵌入式热电偶安装示意图参见图11，符号“X”表示制动衬片和制动盘表面接触半径。

6.2.3 鼓式制动器：将嵌入式热电偶定位在制动鼓内表面下陷(0.5±0.1)mm的摩擦中心位置。制动鼓嵌入式热电偶安装示意图参见图12。

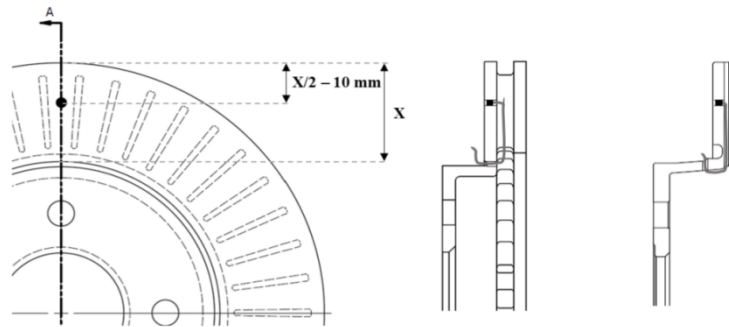


图11 制动盘嵌入式热电偶安装示意图

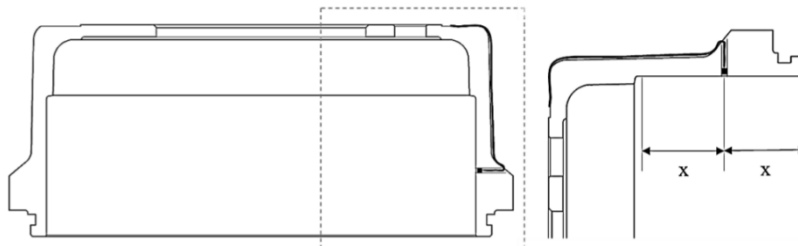


图12 制动鼓嵌入式热电偶安装示意图

6.3 制动器总成定位

6.3.1 制动器与试验仓位置

制动器总成的安装位置确定了制动器总成的旋转轴线，同时也确定了试验仓平面A₁和平面D的位置，其中平面A₁和平面D与旋转轴线垂直相交，制动器总成安装位置参见图13。

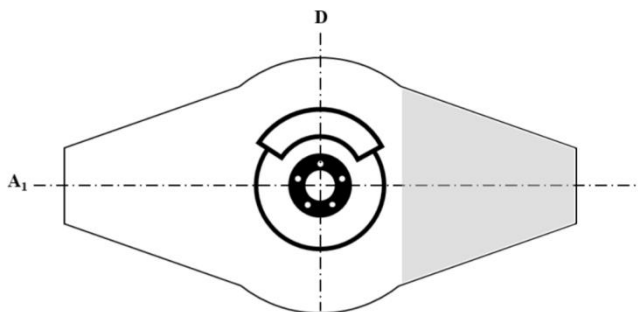


图13 制动器总成安装位置示意图

6.3.2 旋转方向与气流方向关系

试验中保持制动盘或制动鼓的旋转方向与气流方向相同，制动盘旋转方向示意图参见图14，当冷却空气从右向左流动时（图14，左侧），盘应沿逆时针方向旋转，当冷却空气从左向右流动时（图14，右侧），盘应顺时针方向旋转。

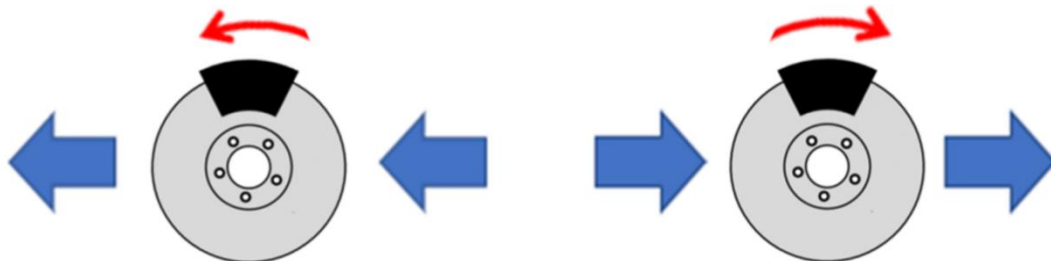


图14 制动盘旋转方向示意图

6.3.3 卡钳安装位置

将卡钳安装在制动盘上方，以尽量减少对进入的冷却空气的干扰，使卡钳中心位于12点钟位置，参见图14。试验中卡钳安装位置与车辆上的安装位置无关，其它卡钳安装位置(如车辆安装位置)是不允许的，后制动器应选择不带驻车制动功能的卡钳进行试验。如制动器总成带有颗粒收集装置，则试验中带上颗粒收集装置一同测试。

6.4 试验前检查

- 6.4.1 按 6.3.1 的要求将制动器总成安装在试验台架上，并排尽制动管路中的空气。
- 6.4.2 对试验中的制动器总成、夹具、热电偶和液压制动管路进行目视检查，确保管路连接正确。
- 6.4.3 利用外径千分尺测量制动盘和制动鼓的端跳，制动盘端跳试验位置为制动盘外表面中心线向外 10mm 位置，制动鼓端跳测量位置为制动鼓内表面的中心线上，端跳要求小于 0.05 mm。
- 6.4.4 对制动器总成施加 3 MPa 的液压压力 5 次，以便对试验仓内进行泄漏目视检查。
- 6.4.5 关闭试验仓，打开环境调节装置，并根据 5.1.3 的规定验证冷却循环系统的运行情况。
- 6.4.6 电机分别加速至 5 km/h、50 km/h 和 135 km/h，记录加速至设定速度期间以及以保持目标速度 10 秒后的剩余扭矩，5 km/h 的加速度为 1 m/s^2 ，其余两个目标速度的加速度为 2 m/s^2 ，旋转扭矩应保持在 $0 \text{ N}\cdot\text{m} \sim 20 \text{ N}\cdot\text{m}$ 之间。
- 6.4.7 将 WLTP 制动循环的第一个制动事件重复十次，以验证数据收集、试验参数、制动试验惯量和整个系统的运行情况。

7 试验方法

7.1 流量标定

7.1.1 制动器试验台流量标定试验

7.1.1.1 按 6.4 的要求安装调试制动器总成到制动器试验台上，将冷却气体流量调整到用于类似制动器的已知值，在没有参考的情况下，使用设备最大冷却空气流量的 50% 开始试验。

7.1.1.2 执行阶段 10 中的制动事件 1-7，将制动器调节至 $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。如果无法达到目标温度，则选择阶段 10 中的制动事件 1-7 之中的任意制动事件，并重复多次，直到制动温度达到 $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ 。

7.1.1.3 在 $(40 \pm 1)^\circ\text{C}$ 的制动初温下开始，执行 WLTP 制动循环的阶段 10 一次；

7.1.1.4 如果试验结果符合表 4 中的所有指标，7.1.1.2 中使用的冷却空气流量被定义为 Q_{set} ；

7.1.1.5 如果试验结果不符合表 4 中的所有指标，则确定新的冷却空气流量，并重复步骤 7.1.1.1-7.1.1.4 的过程，相同的一组制动器可用于重复冷却气流调节部分。

7.1.1.6 如果没有合适的冷却气流满足表 6 中规定的三个指标，则选择一个合适的冷却空气流量，该冷却空气流量至少满足表 6 中规定的两个指标，其中一个指标必须为 *ABT*。在这种情况下，如果指标 *IBT* 或 *FBT* 的值低于表 6 中规定的下限阈值，则以系统的最小操作流量进行了试验；如果 *IBT* 或 *FBT* 的值高于表 6 中规定的上限阈值，则以系统最大工作流量的情况下进行了试验。

7.1.1.7 如果应用了最大操作流量，且 *IBT* 和 *FBT* 均高于表 6 中规定的上限阈值，则继续应用最大操作流量进行磨合试验和排放测量试验，在这种情况下，测量数据应包括应用最大操作流量的流量标定得出的 *ABT*、*IBT* 和 *FBT* 值。

7.1.1.8 如果应用了最小操作流量，且 *IBT* 和 *FBT* 均低于表 6 中规定的下限阈值，继续应用最小操作流量进行磨合试验和排放测量试验，在这种情况下，测量数据应包括应用最小操作流量的流量标定得出的 *ABT*、*IBT* 和 *FBT* 值。

7.1.1.9 如果应用了最小操作流量，并且所有三个温度指标都低于表 6 中规定的下限阈值，则冷却空气调节应被视为无效。

7.1.1.10 在没有任何中断的情况下运行 WLTP 制动循环的阶段 10，如果在流量标定发生试验中断，应停止试验。如果经目视检查未出现泄漏等情况时，可重新启动流量标定，使用相同的制动器总成重新进行 WLTP 制动循环的阶段 10。如果在检查时有影响试验的原因（部件松动、制动液泄漏、安装不正确、振动过大等），应安装新的制动器总成，重新进行流量标定试验。

7.1.2 制动器组别

7.1.2.1 为了确定试验中制动器总成适当的冷却气流，根据前轮标称负载 (WL_{n-f}) 与制动盘或制动鼓的质量 (*DM*) 的比值进行分组。

7.1.2.2 WLTP 制动循环阶段 10 的 6 个特定制动事件参见表 5。

表5 WLTP 制动循环阶段 10 的 6 个特定制动事件

附录B对应事件号	开始时间 s	结束时间 s	制动持续时间 s	初始速度 km/h	最终速度 km/h	减速度 m/s^2	制动距离 m
序号235	12642	12646	4	97.4	82.7	1.025	100.07
序号290	14992	15001	9	112	56.1	1.724	210.12
序号291	15013	15021	8	68.2	12	1.949	89.14
序号292	15048	15057	9	80.9	35.3	1.407	145.18
序号293	15076	15083	7	73.4	39.3	1.356	109.57
序号295	15457	15472	15	132.5	34	1.824	346.87

7.1.3 制动器温度验证和可接受的标准

7.1.3.1 3 个检查参数的目标值和相应公差适用于本文件范围内规定的车辆上安装的所有类型的前制动器；表 6 中给出了 3 个检查参数的目标值和相应公差。对于后盘式制动器和后鼓式制动器，采用相应前制动器的参数。

7.1.3.2 对于碳陶制动盘或铝陶制动盘，在前轮标称负载 (WL_{n-f}) 与制动盘或制动鼓的质量 (*DM*) 的比值的基础上乘以一个系数，该系数为铸铁比热容与新材料比热容的比。

表6 WLTP 阶段 10 试验期间制动器的温度指标

组别	ABT ℃	IBT ℃	FBT ℃
$WL_{n-f} / DM \leq 45$	≥ 50 ℃	65 ± 25	95 ± 35
$45 < WL_{n-f} / DM \leq 65$	≥ 55 ℃	75 ± 25	115 ± 35
$65 < WL_{n-f} / DM \leq 85$	≥ 60 ℃	85 ± 25	130 ± 35
$WL_{n-f} / DM > 85$	≥ 65	95 ± 25	150 ± 35

7.2 试验前背景颗粒物校验

7.2.1 在流量标定结束后，磨合试验开始前进行背景颗粒物校验，制动盘/制动鼓不旋转，制动片/制动蹄不受干扰，在背景颗粒物校验过程中不施加制动压力。

7.2.2 试验前背景颗粒物验证的空气流量为 Q_{set} ，使用 TPN_{10} 和 SPN_{10} 试验系统进行颗粒物校验，PCRF 与制动排放测量试验相同。

7.2.3 在冷却气流稳定到 5.1.3.4 规定平均值后五分钟后开始试验前背景颗粒物校验。冷却空气流量的平均值满足 5.1.3.4 的要求，冷却空气温度和相对湿度的平均值满足 5.1.3.2、5.1.3.3 的要求。

7.2.4 背景浓度稳定后，进行试验前背景颗粒物校验， TPN_{10} 和 SPN_{10} 采样通道内 5 分钟的 PCRF 校正 PN 值的平均背景浓度应不大于 20 个/Ncm³。

7.3 磨合试验

7.3.1 制动器总成在进行排放测量试验前需进行磨合，磨合试验可采用与流量标定相同制动部件或全新的制动部件进行，空气流量为给定制动器的标称空气流量 (Q_{set})。

7.3.2 在 (23 ± 5) ℃ 的制动初始温度下，磨合试验共进行 5 个 WLTP 制动循环。

7.3.3 磨合过程中，WLTP 制动循环的各个阶段之间不进行冷却处理，制动器冷却适用于 WLTP 制动循环的 5 次重复之间。

7.3.4 在 WLTP 制动循环的 5 次重复循环之间进行制动器冷却处理，上一次 WLTP 制动循环结束后，当制动器温度达到 40℃ 时，再开始下一次循环。

7.3.5 如果上一次 WLTP 制动循环结束时的制动器温度在 30℃ 和 40℃ 之间，则立即开始下一次 WLTP 制动循环，无需进行制动器冷却处理。

7.3.6 如果上一次 WLTP 制动循环结束时的制动温度低于 30℃，则停止磨合试验，查找原因，待问题解决后，从新开始磨合试验。

7.3.7 在与排放测量试验相同的制动器试验台上进行磨合试验，在两个试验之间不要拆卸制动部件，如果在磨合试验开始后拆卸了制动零件，则不再适合完成磨合试验以及排放测量试验，在这种情况下，应将其更换为新的制动部件，并从头开始磨合试验。

7.3.8 5 个 WLTP 制动循环应连续运行，不得有任何中断，如果磨合试验出现中断，从中断点开始继续试验。如果实际制动器温度较低，不得进行任何预热后者减速制动处理以达到 30℃。磨合试验不得拆卸零件，如果在磨合试验开始后拆卸制动器零件，将其更换为新的制动部件，并重新开始磨合试验。

7.4 排放测量试验

7.4.1 制动器试验台排放测量

7.4.1.1 空气流量为给定制动器的标称空气流量 (Q_{set})，排放测量试验连续运行 WLTP 制动循环 1 次，在 WLTP 制动循环的不同阶段间需要进行制动器冷却处理。

7.4.1.2 在 (23 ± 5) ℃ 的制动初始温度下开始 WLTP 制动循环的阶段 1，在 WLTP 制动循环的 10 个阶段之间均需要进行制动器冷却处理，制动器温度达到 40℃ 后，立即开始阶段 2~阶段 10。

7.4.1.3 对于阶段 2~阶段 10，如果上一个阶段结束时的制动器温度在 30℃ 和 40℃ 之间，则立即开始下一阶段，无需进行制动器冷却处理。

7.4.1.4 对于阶段 2~阶段 10，如果上一个阶段结束时的制动器温度低于 30℃，则停止排放测量试验，查找原因，待问题解决后，用新的制动器总成从新开始磨合试验。

7.4.1.5 在没有任何中断的情况下连续运行 1 次 WLTP 制动循环，如果试验在 WLTP 制动循环两次连续阶段之间的冷却期间发生中断，在不拆卸零件或未进行冷却处理且中断时间不超过 1 h 的情况下可继

续试验，在中断期间应停用颗粒取样泵和冷却空气供应。如果在 WLTP 制动循环阶段 1~阶段 10 期间发生试验中断，应停止试验。将用过的 $PM_{2.5}$ 和 PM_{10} 过滤器更换为新过滤器，并在 (23 ± 5) °C 的制动初始温度下从阶段 1 重新开始排放试验。

7.4.2 制动颗粒物质量的测量

7.4.2.1 总体要求

PM 采样系统能够量化试验期间制动器产生的制动颗粒物质量，使用单独的采样系统对截止内径为 $2.5\ \mu\text{m}$ 和 $10\ \mu\text{m}$ 的制动颗粒物进行测量，计算制动器总成 PM_{10} 和 $PM_{2.5}$ 的排放。PM 采样装置示意图参见图 15，PM 采样系统由 PM 采样探头、采样喷嘴、旋风分离器、颗粒采样管线、滤纸和采样泵组成。

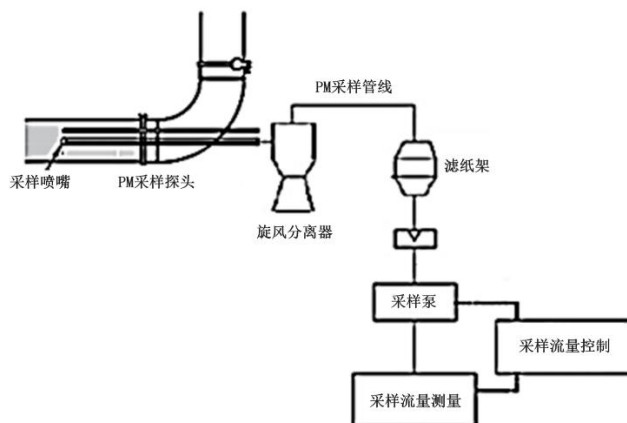


图 15 PM 采样装置示意图

7.4.2.2 称重程序

7.4.2.2.1 称重室。称重室内应无任何影响滤纸的污染物(如灰尘、气溶胶或半挥发性物质)，将称重室的环境条件调节为 (22 ± 2) °C 和 (45 ± 8) %RH，确保空气交换的气流不会影响天平的稳定性。

7.4.2.2.2 称重天平。在制动排放试验中使用相同的微量天平进行采样前和采样后称重，天平远离振动源、静电力和气流。根据 7.4.2.2.1 所述，将天平放置在受控环境中，天平分辨率为 $1\ \mu\text{g}$ ，使用校准砝码来验证微量天平的准确性和稳定性。

7.4.2.2.3 消除静电效应的影响。可以将天平放置在抗静电垫上并在称重前使用针中和器或类似装置对滤纸进行静电中和。作为代替，也可以利用相等的静电荷消除静电效应。

7.4.2.2.4 采样前调节和称重。称重前，在 (22 ± 2) °C 和 (45 ± 8) %RH 条件下稳定滤纸至少 2 小时，按 6.5.2.2.7 所述，在稳定期结束后对滤纸进行称重，并记录其重量。试验前，将滤纸储存在封闭的培养皿中，滤纸从称重室中取出后 1 小时内放入滤纸架中，使用封闭的培养皿将其转移到试验台上。

7.4.2.2.5 采样后调节和称重。在试验完成后 8 小时内使用封闭的培养皿将滤纸转移到环境室，滤纸在 (22 ± 2) °C 和 (45 ± 8) %RH 条件下稳定至少 2 小时，按 7.4.2.2.7 所述，在稳定期结束后对滤纸进行称重，并记录其重量。

7.4.2.2.6 参考滤纸称重。使用参考滤纸验证 PM 称重。至少选择两个氟碳化合物涂层的玻璃纤维滤纸或氟碳化合物为基体的薄膜滤纸作为参考滤纸，在采样滤纸称重前和称重后对参考滤纸进行称重，并记录其重量，参考滤纸试验前和试验后测量值之间的平均差值应保持在 $\pm 10\ \mu\text{g}$ 以内。此外，参考滤纸的移动平均值(最小 1 天-最大 15 天)之间的平均差值应在 $\pm 10\ \mu\text{g}$ 以内。最多每 30 天更换一次参考滤纸，采样滤纸若没有与至少存放在称重室 1 天以上的参考滤纸进行比较，则采样滤纸称重无效。

7.4.2.2.7 采样滤纸称重。按照以下程序进行采样前和采样后滤纸称重：

- 对滤纸称重两次，并记录其重量；
- 如果第一次和第二次测量之间的差值小于或等于 $30\ \mu\text{g}$ ，则使用算术平均值记录 P_e (未修正)，并根据 6.5.2.2.10 计算 P_e (修正)；
- 如果第一次和第二次测量之间的差值大于 $30\ \mu\text{g}$ ，则进行两次额外称重，并记录其重量；

- d) 当四次测量的最小和最大重量之差小于等于 38 μg 时, 使用四次重量的算术平均值记录 P_e (未修正), 并根据 6.5.2.2.10 计算 P_e (修正);
- e) 当四次测量的最小和最大重量之间的差值大于 38 μg 且小于或等于 42 μg 时, 使用四个值的中值来计算 P_e (未修正), 并根据 6.5.2.2.10 计算 P_e (修正);
- f) 当四次测量的最小和最大重量之差大于 42 μg 时, 称重过程无效。

7.4.2.2.8 浮力修正。修正采样滤纸和参考滤纸在空气中的浮力。浮力修正是采样滤纸密度、空气密度和天平砝码密度的函数, 不考虑颗粒物本身的浮力。

7.4.2.2.9 当滤纸密度未知时, 使用以下值作为过滤材料的密度 (p_f):

- 氟碳化合物涂层的玻璃纤维滤纸密度为 2300 kg/m³;
- 氟碳化合物为基体的薄膜滤纸密度为 2144 kg/m³;
- 不锈钢砝码的密度 (p_w) 为 8000 kg/m³。

7.4.2.2.10 使用未修正的平均滤纸质量测量值, 按公式 (13) 计算 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 滤纸 (采样前和采样后) 的浮力修正平均滤纸质量, 并记录校正后的测量值:

$$P_{e(\text{Corrected})} = P_{e(\text{Uncorrected})} \times [1 - (p_a/p_w)] / [1 - (p_a/p_f)] \dots\dots\dots (13)$$

式中:

- $P_{e(\text{Corrected})}$ —滤纸的修正质量, 单位为毫克 (mg);
- $P_{e(\text{Uncorrected})}$ —滤纸的未修正质量, 单位毫克 (mg);
- p_a —称重室内的空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³);
- p_w —天平砝码的密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³);
- p_f —未使用的采样滤纸的密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³)。

7.4.2.2.11 根据公式 (14), 利用称重室内的条件计算空气密度:

$$p_a = (p_b \times M_{\text{min}}) / (R \times T_a) \dots\dots\dots (14)$$

式中:

- p_a —称重室内的空气密度, 单位为千克每立方米 (kg/m³);
- p_b —称重室内的大气压力, 单位为千帕 (kPa);
- M_{min} —称重室内空气的摩尔质量, 28.836 g/mol;
- R —摩尔质量常数, 8.3144 J/mol/K;
- T_a —称重室内的空气温度, 单位为开尔文 (K)。

7.4.2.2.12 滤纸收集到的制动颗粒物质量—采样后滤纸质量测量值中减去采样前滤纸质量测量值, 按公式 (13) 计算的浮力修正平均滤纸质量测量值。计算并记录 PM_{2.5} ($P_{e(2.5)}$) 和 PM₁₀ ($P_{e(10)}$) 颗粒物质量。

7.4.2.3 PM 排放系数计算

7.4.2.3.1 测量并记录单位行程里程的 PM , 分别按公式 (15)、(16) 计算试验制动器总成的参考 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 排放系数 (EF_{ref}):

$$EF_{\text{ref}, \text{PM}_{2.5}} = [P_{e(2.5)} \times 1000 \times (NQ/60) / NQ_{\text{PM}_{2.5}}] / d \dots\dots\dots (15)$$

$$EF_{\text{ref}, \text{PM}_{10}} = [P_{e(10)} \times 1000 \times (NQ/60) / NQ_{\text{PM}_{10}}] / d \dots\dots\dots (16)$$

式中:

- $EF_{\text{ref}, \text{PM}_{2.5}}$ —制动器总成的参考 PM_{2.5} 排放系数, 单位为毫克每千米 (mg/km);
- $EF_{\text{ref}, \text{PM}_{10}}$ —制动器总成的参考 PM₁₀ 排放系数, 单位为毫克每千米 (mg/km);
- $P_{e(2.5)}$ —滤纸收集到内径小于等于 2.5 μm 的颗粒物质量, 单位为毫克 (mg);
- $P_{e(10)}$ —滤纸收集到内径小于等于 10 μm 的颗粒物质量, 单位为毫克 (mg);
- NQ —采样通道中标准条件下的平均归一化气流, 单位为标况下立方米每小时 (Nm³/h);
- $NQ_{\text{PM}_{2.5}}$ —PM_{2.5} 采样喷嘴中标准条件下的平均归一化气流, 单位为标况下升每分 (Nl/min);
- $NQ_{\text{PM}_{10}}$ —PM₁₀ 采样喷嘴中标准条件下的平均归一化气流, 单位为标况下升每分 (Nl/min);
- d —WLTP 制动循环期间的总行驶距离, 单位为千米 (km)。

7.4.2.3.2 分别按公式 (17)、(18) 计算最终 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 排放系数:

$$EF_{PM_{2.5}} = EF_{ref,PM_{2.5}} \times c \dots\dots\dots (17)$$

$$EF_{PM_{10}} = F_{ref,PM_{10}} \times c \dots\dots\dots (18)$$

式中：

$EF_{PM_{2.5}}$ —制动器总成的 $PM_{2.5}$ 排放系数，单位为毫克每千米(mg/km)；

$EF_{PM_{10}}$ —制动器总成的 PM_{10} 排放系数，单位为毫克每千米(mg/km)；

$EF_{ref,PM_{2.5}}$ —制动器总成的参考 $PM_{2.5}$ 排放系数，单位为毫克每千米(mg/km)；

$EF_{ref,PM_{10}}$ —制动器总成的参考 PM_{10} 排放系数，单位为毫克每千米(mg/km)；

c —摩擦制动份额系数。

7.4.3 制动颗粒物数量的测量

7.4.3.1 总体要求

PN采样系统能够量化试验期间制动器产生的制动颗粒物数量，PN采样和测量系统的装置采用不与制动颗粒物发生反应的导电材料，并进行电气接地，以避免电气/静电影响。PN采样和测量装置示意图如图17所示。 TPN_{10} 采样和测量系统由PN采样探头、PN采样喷嘴、颗粒传输管路、PN预分级器、稀释系统、内部传输线、测量 TPN_{10} 的粒子数计数器组成。 SPN_{10} 采样和测量系统由PN采样探头、PN采样喷嘴、颗粒传输管路、PN预分级器、挥发性颗粒去除器、内部输送管线、测量 SPN_{10} 的粒子数计数器组成。

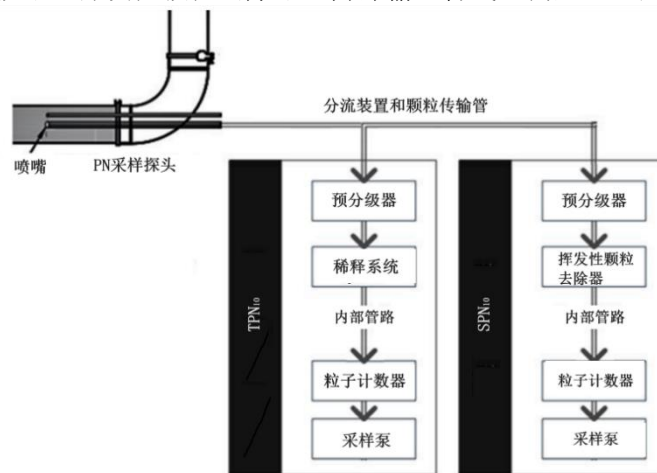


图16 PN 采样和测量装置示意图

7.4.3.2 PN 排放计算

7.4.3.2.1 测量并记录单位行程里程的PN，分别按公式(19)、(20)计算试验制动器总成的参考 TPN_{10} 和 SPN_{10} 排放系数(EF_{ref})：

$$EF_{ref, TPN_{10}} = 10^6 \times (TPN_{10\#} \times NQ) / V \dots\dots\dots (19)$$

$$EF_{ref, SPN_{10}} = 10^6 \times (SPN_{10\#} \times NQ) / V \dots\dots\dots (20)$$

式中：

$EF_{ref, TPN_{10}}$ —制动器总成单位距离的参考 TPN_{10} 数量，单位为个每公里(个/km)；

$EF_{ref, SPN_{10}}$ —制动器总成单位距离的参考 SPN_{10} 数量，单位为个每公里(个/km)；

$TPN_{10\#}$ —标准条件下平均归一化和PCRF修正后的 TPN_{10} 排放量的平均值，单位为个每标况立方厘米(个/ Ncm^3)；

$SPN_{10\#}$ —标准条件下平均归一化和PCRF校正的 SPN_{10} 排放量的平均值，单位为个每标况立方厘米(个/ Ncm^3)；

NQ —采样通道中标准条件下的平均归一化气流，单位为 Nm^3/h ；

V —WLTP制动循环的平均实际速度，单位为km/h。

7.4.3.2.2 分别按公式(21)、(22)计算最终 TPN_{10} 和 SPN_{10} ：

$$EF_{TPN_{10}} = EF_{ref, TPN_{10}} \times c \dots\dots\dots (21)$$

$$EF_{SPN_{10}} = EF_{ref, SPN_{10}} \times c \dots\dots\dots (22)$$

式中：

$EF_{TPN_{10}}$ —制动器总成的 TPN_{10} 数量，单位为个每公里(个/km)；

$EF_{SPN_{10}}$ —制动器总成的 SPN_{10} 数量，单位为个每公里(个/km)；

$EF_{ref, TPN_{10}}$ —制动器总成单位距离的参考 TPN_{10} 数量，单位为个每公里(个/km)；

$EF_{ref, SPN_{10}}$ —制动器总成单位距离的参考 SPN_{10} 数量，单位为个每公里(个/km)；

c —摩擦制动份额系数。

7.5 试验后背景颗粒物校验

7.5.1 在制动器颗粒物排放试验结束后、吹扫前进行背景校验，制动盘/制动鼓不旋转，制动片/制动蹄不受干扰，在背景校验过程中不施加制动压力。

7.5.2 试验后背景颗粒物验证的空气流量为给定制动器的标称空气流量(Q_{set})，使用 TPN_{10} 和 SPN_{10} 试验系统进行颗粒物校验，PCRF 与制动排放测量试验相同。

7.5.3 排放测量试验结束后立即开始背景试验后验证，冷却空气流量的平均值满足 5.1.3.4 的要求，冷却空气温度和相对湿度的平均值满足 5.1.3.2、5.1.3.3 的要求。

7.5.4 背景浓度稳定后，进行试验后背景颗粒物校验， PN_{10} 和 SPN_{10} 采样通道内 5 min 的 PCRF 校正 PN 值的平均背景浓度应不大于 20 个/ Ncm^3 。

附 录 A
(规范性)
WLTP 制动循环

A.1 WLTP 制动循环

见表A.1。

表A.1 WLTP 制动循环

开始时间(s)	结束时间(s)	阶段号	事件类型	初速度(km/h)	末速度(km/h)
0	4	1	停止	0.0	0.0
4	10	1	加速	0.0	20.7
10	18	1	巡航	20.7	20.7
18	24	1	减速	20.7	0.0
24	27	1	停止	0.0	0.0
27	46	1	加速	0.0	23.1
46	58	1	巡航	23.1	23.1
58	65	1	减速	23.1	5.6
65	68	1	巡航	5.6	5.6
68	77	1	加速	5.6	15.4
77	85	1	巡航	15.4	15.4
85	89	1	减速	15.4	4.4
89	92	1	巡航	4.4	4.4
92	100	1	加速	4.4	25.7
100	103	1	巡航	25.7	25.7
103	109	1	减速	25.7	7.2
109	112	1	巡航	7.2	7.2
112	122	1	加速	7.2	24.8
122	129	1	巡航	24.8	24.8
129	132	1	减速	24.8	16.7
132	135	1	巡航	16.7	16.7
135	137	1	加速	16.7	18.7
137	140	1	巡航	18.7	18.7
140	149	1	减速	18.7	0.0
149	153	1	停止	0.0	0.0
153	174	1	加速	0.0	32.5
174	177	1	巡航	32.5	32.5
177	183	1	减速	32.5	0.0
183	281	1	停止	0.0	0.0
281	295	1	加速	0.0	27.5
295	298	1	巡航	27.5	27.5
298	303	1	减速	27.5	11.8
303	306	1	巡航	11.8	11.8
306	311	1	加速	11.8	29.4
311	314	1	巡航	29.4	29.4
314	320	1	减速	29.4	9.7
320	323	1	巡航	9.7	9.7
323	333	1	加速	9.7	31.9
333	341	1	巡航	31.9	31.9
341	347	1	减速	31.9	9.5
347	351	1	巡航	9.5	9.5
351	358	1	加速	9.5	14.7
358	361	1	巡航	14.7	14.7

表A.1 WLTP制动循环（续）

开始时间(s)	结束时间(s)	阶段号	事件类型	初速度(km/h)	末速度(km/h)
361	366	1	减速	14.7	0.0
366	372	1	停止	0.0	0.0
372	381	1	加速	0.0	59.5
381	384	1	巡航	59.5	59.5
384	388	1	减速	59.5	47.6
388	402	1	巡航	47.6	47.6
402	406	1	减速	47.6	36.2
406	478	1	巡航	36.2	36.2
478	480	1	加速	36.2	38.2
480	486	1	巡航	38.2	38.2
486	490	1	减速	38.2	25.5
490	493	1	巡航	25.5	25.5
493	496	1	减速	25.5	18.4
496	499	1	巡航	18.4	18.4
499	505	1	减速	18.4	0.0
505	508	1	停止	0.0	0.0
508	516	1	加速	0.0	42.3
516	543	1	巡航	42.3	42.3
543	552	1	减速	42.3	0.0
552	555	1	停止	0.0	0.0
555	564	1	加速	0.0	42.1
564	566	1	巡航	42.1	42.1
566	576	1	减速	42.1	0.0
576	579	1	停止	0.0	0.0
579	587	1	加速	0.0	31.3
587	592	1	巡航	31.3	31.3
592	595	1	减速	31.3	12.5
595	600	1	巡航	12.5	12.5
600	605	1	减速	12.5	0.0
605	622	1	停止	0.0	0.0
622	642	1	加速	0.0	45.3
642	647	1	巡航	45.3	45.3
647	657	1	减速	45.3	0.0
657	660	1	停止	0.0	0.0
660	669	1	加速	0.0	45.5
669	673	1	巡航	45.5	45.5
673	683	1	减速	45.5	0.0
683	685	1	停止	0.0	0.0
685	704	1	加速	0.0	40.7
704	726	1	巡航	40.7	40.7
726	733	1	减速	40.7	12.8
733	736	1	巡航	12.8	12.8
736	744	1	加速	12.8	59.6
744	747	1	巡航	59.6	59.6
747	751	1	减速	59.6	46.7
751	758	1	巡航	46.7	46.7
758	759	1	加速	46.7	48.6
759	768	1	巡航	48.6	48.6
768	777	1	减速	48.6	0.0
777	778	1	停止	0.0	0.0
778	786	1	加速	0.0	23.7

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/755323042232011341>