

团 体 标 准

T/CAAMTB XXX—XXXX

道路车辆—制动衬片摩擦材料—摩擦性能 缩比试验方法（征求意见稿）

Road vehicles — Brake lining friction materials—Friction
behavior scale test procedure（征求意见稿）

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国汽车工业协会 发布

目 录	页
前言 Forward	v
引言 Introduction	vi
1 范围 Scope	1
2 规范性引用文件 Normative references	1
3 术语和定义 Terms and definitions	1
3.1 缩比系数	1
3.2 缩比试验惯量	2
3.3 缩比试验转速	2
3.4 缩比制动力矩 (恒输出模式)	2
3.5 缩比试验制动压力 (恒输入条件下)	2
3.6 缩比试验摩擦系数	2
3.7 缩比试验瞬时摩擦系数	3
3.8 比制动力矩 M/P	3
3.9 充分发出的平均制动减速度 MFDD	3
3.10 制动模式	3
3.10.1 制动加载模式	3
3.10.2 制动释放模式	4
4 符号和缩略术语 Symbols and abbreviated terms	4
5 试验条件和准备: Test condition and preparation	6
5.1 试验设备: 缩比惯性试验台	6
5.2 制动压力上升速率	6
5.3 最大制动压力	6
5.4 采样频率	6
5.5 冷却风条件—风速	6
5.6 试验环境控制条件—温湿度要求	6
5.7 试验台在两次制动之间的转速	6
5.8 初始制动初温	6
5.9 试验温度测量	6
5.10 磨损测量	6
5.11 缩比试验制动盘技术要求	6
5.12 缩比制动盘横向跳动	6

5.13 试样准备	7
5.14 传感器标定	7
5.15 数据采集	7
6. 试验项目和顺序 Test items and sequence	7
6.1 试验前测量	7
6.2 磨合前检查	7
6.3 第一次（磨合前）效能试验	7
6.4 磨合试验	8
6.5 第二次效能试验	8
6.6 第一次再磨合	8
6.7 第一次衰退恢复试验	8
6.8 第二次再磨合	9
6.9 第二次衰退恢复试验	9
6.10 第三次再磨合	9
6.11 第三次效能试验	9
6.12 试验后测量和检查	9
6.13 试验现象记录	9
6.14 缩比试验大纲	9
7 试验报告 Test report.....	10
7.1 概述.....	10
7.2 表格	10
7.2.1 试验信息	10
7.2.2 试验数据	10
7.2.3 试验结果汇总表	11
7.3 图形报告	11
7.4 报告实例	11
附录 A 缩比率计算	12
附录 B 缩比试验设备	13
附录 C 缩比试验冷却风技术条件	15
附录 D 缩比试验温度测量方法	17
附录 E 制动衬片和对偶的磨损测量	18
附录 F 缩比制动盘技术条件	20
附录 G 实例一试验报告格式	21

前 言

本标准按照 GB/T 1.1 -2009 标准化工作导则 之要求起草；

本标准为中国汽车工业协会团体标准；

本标准负责起草单位：珠海格莱利摩擦材料有限公司，吉林省吉大机电设备有限公司。

参加本标准起草单位有：（排名不分先后）

长城汽车股份有限公司，北京汽车研究总院有限公司，江铃汽车股份有限公司，上汽大通汽车有限公司，安徽江淮汽车集团股份有限公司，广州汽车集团乘用车有限公司，上海大陆制动系统有限公司，浙江亚太机电股份有限公司， 东营宝丰汽车配件有限公司，重庆红宇摩擦制品有限公司，湖北飞龙摩擦密封材料股份有限公司，湖南博云汽车制动材料有限公司，力派尔(珠海)汽车配件有限公司，瑞立杭州杭城摩擦材料有限公司， 上海华信摩擦材料有限公司，国家汽车质量监督检验中心（襄阳），中国汽车工程研究院股份有限公司，烟台美丰机械有限公司，吉林省哈思制冷设备有限公司。

本标准主要起草人：李 康，王利宁，龙江虹，张建国，曾文天，易汉辉。

本标准为首次发布。

引言 Introduction

在汽车摩擦材料的产品开发过程中，对摩擦性能的测试和评价是一个首要的问题；在摩擦材料产品开发和过程质量控制中，制动器总成模拟试验起着重要的作用。但是全尺寸总成试验受到不同车型和制动器的影响，而且总成试验成本高和耗时长。因此，在汽车摩擦材料的早期开发中，我们需要一种既能够模拟实际工况，又只针对摩擦材料的试验方法，缩比试验就是一种选择。

缩比试验是以相似理论为基础的试验方法，它将全尺寸的产品或者流程，按照比例缩小，采用与全尺寸试验相同的程序，模拟实际工况进行测试；其试验结果与全尺寸试验有很好的 consistency。摩擦材料缩比试验台应具备与全尺寸总成试验台的几何要素和物理要素相一致的特点，同时采取与全尺寸总成试验相同的试验程序，试验结果才能有较高的一致性。

当前，汽车制动衬片的摩擦性能评价有两种方式，一种是恒速拖磨，另一种是减速制动。恒速拖磨的制动方式，无论是小样试验还是总成试验，都与实际驾驶工况、制动系统特性或汽车动力学特性没有相互关系。因此，这两种制动模式在摩擦副表面生成的转移膜的化学组成和结构是不相同的；其所产生的摩擦系数的含义也是不同的。所以，曾经被认为是有效的拖磨制动方式，现在被认为在评价摩擦性能上是不准确的。

本标准旨在提出一种缩比惯性测功机的试验程序，它能够在较大的行驶速度、制动温度、制动压力或制动减速度范围内，模拟汽车的制动过程，对摩擦性能进行评价，这个新的试验程序有以下特点：

1. 等同采用国际上广泛应用的制动器总成试验程序，便于与全尺寸总成试验台的数据进行比较；
2. 由于采用同一种缩比制动器和对偶，缩比试验的测试结果可用于摩擦材料之间的比较；
3. 本试验方法用于测试材料的摩擦性能，应用于原料筛选，产品早期开发，过程质量控制和样件测试；
4. 与全尺寸总成试验相比，缩比试验有更高的效率，降低测试成本；

1 范围： Scope

本标准提出了针对汽车摩擦材料的缩比惯性试验程序，用于评估制动压力（制动减速度）、温度和线速度对材料摩擦效能和磨损率的影响。

缩比试验程序的设计要考虑与全尺寸总成试验一致，这将有助于两者之间试验数据的比较和分析。考虑到中国和亚太地区的实际路况和现有的总成试验标准，本标准以 JASO C406 (1982) 和 QC/T 564 (2008) 的作为主要的参考。也可以针对欧洲车型的摩擦材料开发需求，设计与 AK Master (SAE J 2522) 或其它试验程序相当对应缩比试验规范。

考虑到试验环境对测试结果的影响，本标准规定了试验的环境条件—冷却风的速度和温湿度。本标准要求直接从衬片上截取试样。

本标准适用于原料筛选和检验、摩擦材料的早期开发、生产过程的质量控制和外来样件的测试；对试验结果的评价和报告，由用户根据自己的情况制定。

2 规范性引用文件 Normative references

本标准提出的试验程序和数据处理要求，参考了以下标准：

JASO C 406 -1982 Brake Device Dynamometer Test Procedures — Passenger Car (P1)
乘用车制动器台架试验程序 (P1 类乘用车，最高名义车速超过 140km/h)

QC/T 564 - 2008 乘用车制动器性能要求及台架试验方法
Performance requirements and bench test methods for passenger car brake

SAE J2522-2013 Dynamometer Global Brake Effectiveness 制动性能台架试验程序

ISO 26867-2009 Road vehicles — Brake lining friction materials — Friction behavior assessment for automotive brake systems
道路车辆 --- 制动衬片摩擦材料 --- 汽车制动系统摩擦性能评价

3 术语和定义： Terms and Definitions

3.1 缩比系数： Scaling ratio

总成试验和缩比试验之间缩小的比率。

缩比率的计算见附录 A

3.1.1 有效摩擦半径缩比系数 S_{Rf}

全尺寸制动盘有效摩擦半径 (R_f) 与缩比制动盘有效摩擦半径 (R_{fs}) 之比；

3.1.2 制动衬片面积缩比系数 S_{AP}

全尺寸制动衬片面积 (A_p) 与缩比制动衬片面积 (A_{ps}) 之比；

3.1.3 制动分泵面积缩比系数 S_{Db}

全尺寸制动器分泵面积与缩比制动器分泵面积之比；

3.1.4 衬片压强缩比系数 S_p

在相同管路压力下，全尺寸制动衬片的压强与缩比制动衬片压强之比；

3.2 缩比试验惯量: I_s Test inertia reflected at scale test

$$I_s = \frac{I}{(S_{Rf})^2 \times (S_{Ap})} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- I_s : 缩比试验惯量 kg·m²
- I : 制动器总成试验惯量 kg·m²
- S_{Rf} : 有效摩擦半径缩比
- S_{Ap} : 制动衬片面积缩比

3.3 缩比试验转速: n_s Rotation speed reflected at scale test

$$n_s = n \times S_{Rf} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- n_s : 缩比试验转速 rpm
- n : 总成试验转速 rpm
- S_{Rf} : 有效摩擦半径缩比

3.4 缩比制动力矩 (恒输出模式) Brake torque reflected at scale test (constant output)

$$M_s = \frac{a \times g \times I_s}{R_k} \times S_{Rf} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

- M_s : 缩比试验制动力矩 N·m
- a : 制动减速度 g
- g : 重力加速度 9.81 m/s²
- I_s : 缩比试验制动惯量 kg·m²
- R_k : 车轮滚动半径 m
- S_{Rf} : 有效摩擦半径缩比

3.5 缩比试验制动压力 (恒输入模式) Line pressure reflected at scale test (constant input)

$$P_s = P \times S_p \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- P_s : 缩比试验管路压力 bar
- P : 制动器总成试验管路压力 bar
- S_p : 衬片压强缩比

3.6 缩比试验摩擦系数 Friction coefficient at scale test μ_s

本规范要求，摩擦系数 μ_s 是以制动距离为基准的摩擦系数平均值。

该摩擦系数是从达到设定值（制动压力或制动减速度）的95%，直至到达制动释放时，其间所有瞬时摩擦系数（ μ_{s^*} ）的平均值。

注1: 根据需要，也可以选择以时间为基准的平均摩擦系数。

注2: 平均值的计算区间可以根据不同规范要求进行设置。

3.7 缩比试验瞬时摩擦系数 μ_s^* Instantaneous friction coefficient at scale test

任一时刻摩擦系数值，按照下式计算：

$$\mu_s^* = K_{\mu s} \times \frac{M_S^*}{P_S^*} \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

μ_s^* : 缩比试验瞬时摩擦系数
 $K_{\mu s}$: 缩比制动器摩擦系数计算常数 (m⁻³)

$$K_{\mu s} = \frac{1}{2 \times A_{bs} \times R_{fs} \times \eta_s} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

A_{bs} : 缩比制动分泵面积 m²
 R_{fs} : 缩比制动器有效摩擦半径 m
 η_s : 缩比制动器效率 %
 M_S^* : 缩比试验瞬时制动力矩测试值 N·m
 P_S^* : 缩比试验瞬时制动压力测试值 bar

3.8 比制动力矩 N·m / bar Specific Torque

任一时刻输出的制动力矩与输入的制动压力的比值，按照下式计算：

$$ST = \frac{M_S^*}{P_S^*} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中：

ST : 比制动力矩 N·m/bar
 M_S^* : 缩比试验瞬时制动力矩测试值 N·m
 P_S^* : 缩比试验瞬时制动压力测试值 bar

3.9 充分发出的平均制动减速度 MFDD d_{mfd} Mean Fully Developed deceleration

在刹停模式下，MFDD 可按照下式计算

$$d_{mfd} = \frac{V_b^2 - V_e^2}{25.92 \times (S_e - S_b)} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中：

d_{mfd} : 充分发出的平均制动减速度 m/s²
 V_0 : 制动初速 km/h
 V_b : 制动初速 V_0 的 80% km/h
 V_e : 制动初速 V_0 的 10% km/h
 S_e : 制动初速 10%时的制动距离 m
 S_b : 制动初速 80%时的制动距离 m

** 在减速制动条件下，充分发出的平均制动减速度的计算范围与释放速度有关。参见 3.4 GB/T 29064-2012

3.10 制动方式: Braking modes

缩比试验可以采用与全尺寸总成试验相同的制动方式来保证与两者之间的一致性和对实际工况的模拟性。缩比试验测试规范中可供选择的制动模式有：

3.10.1 制动加载模式: Braking application modes

3.10.1.1 恒输入(恒压力)制动模式: Constant input (line pressure) application mode:

在制动过程中, 管路压力维持在设定值不变。

3.10.1.2 恒输出(恒力矩)模式: Constant output (braking torque) application mode:

在制动过程中, 输出的制动力矩维持在设定值; 相当于恒减速度制动。

3.10.1.3 制动爬升模式 Ramp application mode

制动管路压力或者制动力矩, 以一定的速率缓慢和稳定地爬升, 用于评估摩擦性能的变化。

3.10.2 制动释放模式: Brake release modes

3.10.2.1 刹停制动 Brake stop

使试验惯量减速至相当于线速度0.5km/h, 或者更低的制动方式。

*在恒输出条件下刹停制动, 释放速度可以设定为1-2km/h。

3.10.2.2 减速制动模式: Brake snub

使试验惯量减速至相当于线速度不低于5km/h的制动方式。

4 符号和缩写术语 Symbols and Abbreviated Terms

符号 Symbol	定义 Definition	单位 Unit
S_{Rf}	有效摩擦半径缩比 Scale ratio of effective brake radius	—
S_{AP}	制动衬片面积缩比 Scale ratio of pad area	—
S_{Db}	制动分泵面积缩比 Scale ratio of piston area	—
S_p	衬片压强缩比(在恒输入条件下) Scale ratio of pressure applied on pads (Constant input)	—
R_f	制动器总成有效摩擦半径 Effective brake radius of brake assembly	m
R_{fs}	缩比制动器有效摩擦半径 Effective brake radius of scale brake	m
D_b	制动分泵直径 Piston diameter of brake assembly	m
D_{bs}	缩比制动器分泵直径 Piston diameter of scale brake	m
A_p	全尺寸制动器衬片面积 Full dimension pad area	m ²
A_{ps}	缩比制动衬片面积 Scale pad area	m ²
G_a	汽车满载质量 Gross vehicle weight (GVW)	kg
G_0	汽车空载质量 Unladen vehicle weight	kg
R_k	车轮滚动半径 Rolling radius	m
I	制动器总成试验惯量 Test inertia reflected at the brake assembly test	kg·m ²
I_s	缩比试验惯量 Test inertia reflected at scale test	kg·m ²

符号 Symbol	定义 Definition	单位 Unit
n	制动器总成试验转速 Rotation speed at brake assembly test	<i>rpm</i>
n_s	缩比试验转速 Rotation speed at scale test	<i>rpm</i>
M	制动器总成试验制动力矩 Brake torque at brake assembly test	<i>N·m</i>
M_s	缩比试验制动力矩 Brake torque at scale test	<i>N·m</i>
M_s^*	缩比试验瞬时制动力矩测试值 Instantaneous measured brake torque	<i>N·m</i>
P	制动器总成试验制动管路压力（恒输入模式） Line pressure at brake assembly test（constant input）	<i>bar</i>
P_s	缩比试验管路压力（恒输入模式） Line pressure at scale test（constant input）	<i>bar</i>
P_s^*	缩比试验瞬时制动压力测试值 Instantaneous measured brake pressure	<i>bar</i>
V_0	制动初速 Initial brake speed	<i>km/h</i>
V_b	80% 制动初速 80% initial speed V_0	<i>km/h</i>
V_e	释放速度 Brake release speed	<i>km/h</i>
S_b	制动初速80%时的制动距离 Calculated brake distance at 80% initial speed	<i>m</i>
S_e	制动初速10%时的制动距离 Calculated brake distance at 10% initial speed	<i>m</i>
ST	比制动力矩（单位制动压力输出的制动力矩） Specific Torque	<i>N·m/bar</i>
P_{ST}	缩比制动器贴靠压力或者产生制动力矩的最小压力 Threshold pressure of scale brake or minimum pressure required to develop braking torque	<i>bar</i>
η	全尺寸制动器效率 Efficiency of full dimension brake assembly	%
η_s	缩比制动器效率 Efficiency of scale brake	%
T_i	制动初温 Initial brake temperatue	$^{\circ}\text{C}$
T_e	制动末温制动释放温度 Final temperature at brake release	$^{\circ}\text{C}$
S	制动距离 Brake distance	<i>m</i>
a	制动减速度 Brake deceleration	<i>m/s²</i>
d_{mfd}	充分发出的制动减速度 <i>MFDD</i> Mean Fully Developed Deceleration <i>MFDD</i>	<i>m/s²</i>
μ_s	缩比试验以制动距离为基准的平均摩擦系数 Average by distance friction coefficient at scale test	—
μ_s^*	缩比试验瞬时摩擦系数 Instantaneous friction coefficient of scale test	—
$K_{\mu s}$	缩比制动器摩擦系数计算常数 Constant of scale brake for friction coefficient calculation	<i>m⁻³</i>
A_{bs}	缩比制动分泵面积 Area of piston of scale brake	<i>m²</i>

5 试验条件和准备: Test Condition and Preparation

5.1 试验设备: 缩比惯性试验台 Test equipment: Scale Inertia Dynamometer

本试验规范在缩比惯性试验台上进行。试验台技术参数见附录 B。

5.2 制动压力上升速率: Pressure rise rate

在本试验规范中,除 Ramp 试验之外,所有的制动加载,压力上升速率为 $250 \pm 50 \text{bar/s}$;

5.3 最大制动压力: Maximum brake pressure

缩比试验台制动加载系统的最大制动压力不低于 200bar;

5.4 采样频率 Sampling rate

制动压力和制动力矩的采样频率不低于 100Hz,可以根据标准要求进行设置。

5.5 冷却风条件—风速 Cooling air condition—velocity

在衰退试验(6.7 和 6.9 节)中,冷却风速为 1 m/s。其余的试验冷却风速为 11m/s。可以根据不同试验规范对冷却条件的要求,对冷却风速进行调整。

5.6 试验环境控制条件—温湿度要求: Test climate control – temperature and humidity

在缩比试验过程中,对冷却空气的温湿度要进行调节和控制。每一次制动过程中要测量和记录温湿度平均值和冷却风速。

环境控制系统(CCU)的技术参数见附录 C

注:通常情况,冷却空气的控制范围是:(20-25) °C,相对湿度:60-65%。

5.7 两次制动之间的转速 Rotational speed between brake applications

在两次制动之间的冷却时段,试验台的转动速度为 10km/h,对于衰退试验,等待转速为下一次制动初速。

5.8 初始制动温度 Initial braking temperature

初始制动温度是指制动开始时制动盘的实时温度。

5.9 试验温度测量: Temperature measurement

在制动盘厚度的中央位置钻直径 3.0mm 小孔,将 K 型热电偶埋设在有效摩擦半径的位置上。详见:附录 D。

5.10 磨损测量 Wear measurement

试验前后对衬片和对偶的厚度和重量进行测量;计算试验过程的厚度磨损和重量磨损;测量位置见附录 E。

5.11 缩比试验制动盘技术要求: Scale rotor condition

缩比试验制动盘要采用与乘用车制动盘相同的材质。制动盘技术要求见附录 F。

原则上每次试验采用新的制动盘,如果重复使用(例如生产过程质量控制),制动盘每一面应磨去 100um。厚度低于 8.5mm 的制动盘不再使用。

5.12 缩比制动盘横向跳动 Lateral run-out of scale rotor

缩比制动盘安装后的初始横向跳动 (LRO), 不超过 20 μ m, 测量位置在制动盘外侧面距边缘 5mm 处。每次试验前后, 测量和记录制动盘的横向跳动。

5.13 试样准备: Sample preparation

5.13.1 试样必须从产品上切割 (包括金属背板在内);

5.13.2 试样尺寸: 宽度: 25 (-0.10, -0.25) mm

长度: 40 (-0.10, -0.25) mm

厚度: 产品厚度 (\leq 18.0mm)。

5.13.3 试样的表面, 保持产品原有状态 (包括涂层、烧蚀等), 避免污染。

5.14 传感器标定: Calibration of Sensors

用于测量转速、温度、压力、力矩以及冷却空气速度和温湿度的传感器, 标定周期三个月或每 50 次试验。

5.15 数据采集: Data collection

缩比惯性试验台在试验过程中要自动和实时采集以下数据:

- 1) 时间
- 2) 主轴转速
- 3) 制动管路压力
- 4) 制动力矩
- 5) 制动盘温度
- 6) 冷却空气温度
- 7) 冷却空气速度
- 8) 冷却空气的相对湿度
- 9) 试验步骤和制动次数

6 试验项目和顺序 Test Items and Sequence

6.1 试验前测量 Measurements before testing

6.1.1 制动衬片测量: 分别测量和记录内外片的厚度和重量

6.1.2 对偶测量: 测量和记录缩比制动盘的厚度和重量, 以及就位后的 LRO

6.2 磨合前检查 Pre-burnish Check

制动初速:	50km/h
制动初温 (第一次制动):	$< 40^{\circ}\text{C}$
制动减速度:	0.3g
制动周期:	120s
制动次数:	10

6.3 第一次 (磨合前) 效能试验 First (pre-burnish) Effectiveness Test

制动初速:	50, 100 km/h
制动初温:	80°C
制动减速度:	0.1--0.8g
制动次数:	16

注（适用于后续效能试验）：

- 1) 制动初速和制动减速度都按照从低到高的顺序进行试验；
- 2) 每一个制动初速下，制动减速度从低到高，按照 0.1g 的递增，从 0.1g 升至 0.8g；
- 3) 根据上述要求，本规范的所有制动均采用恒输出（恒力矩）的制动方式。如果采用恒输入（恒压力）制动方式，需记录在案。

6.4 磨合试验

制动初速：	65 km/h
制动初温：	120℃
制动减速度：	0.35g
制动次数：	200

6.5 第二次效能试验

重复第一次效能试验(6.3)，但制动初速有变化。

制动初速：	20, 50, 100, 130 km/h
制动初温：	80℃
制动减速度：	0.1--0.8g
制动次数：	32

6.6 第一次再磨合

重复磨合试验（6.4），但磨合次数为 35 次。

6.7 第一次衰退恢复试验 First Fade and Recovery Test

1) 基准点试验： Baseline Point Check

制动初速：	50 km/h
制动初温：	80℃
制动减速度：	0.3 g
制动次数：	3

2) 衰退试验 Fade Test

制动初速：	100 km/h
制动初温（第一次制动）：	60℃
制动减速度：	0.45 g
制动周期：	35s
制动次数：	10

注：衰退试验结束后，立即开启冷却风；主轴以相当于 50km/h 转速旋转，120s 后开始恢复试验。

3) 恢复试验 Recovery Test

制动初速：	50 km/h
制动减速度：	0.3 g
制动周期：	120s
制动次数：	12

4) 效能检查点 Effective Spot Check

制动初速（与衰退试验相同）：	100 km/h
制动初温：	60℃

制动减速度（与衰退试验相同）:	0.45 g
制动次数:	2

6.8 第二次再磨合 Second Re-burnish

按照第一次再磨合的要求重复试验。

6.9 第二次衰退恢复试验 Second Fade and Recovery Test

按照第一次衰退恢复的技术要求重复试验，但衰退试验的制动次数为 15 次。

6.10 第三次再磨合 Third Re-burnish

按照第一次再磨合的要求重复试验。

6.11 第三次效能试验 Third Effectiveness Test

按照第二次效能试验的要求（6.5）重复进行试验。

6.12 试验后测量和检查 Final Measurements and Inspection

- 1) 按照（6.1）的要求，对衬片材料和对偶进行测量，计算厚度磨损和重量磨损。
- 2) 检查和记录（照片）衬片和对偶的表面状况。

6.13 试验现象记录 Recording of phenomena during testing

观察和记录试验过程中不正常现象，例如：噪音、振动、材料转移等

6.14 缩比试验大纲 Summary of scale test procedures

下表将前面描述的试验程序用表格的方式展现出来。

乘用车盘式制动器衬片 缩比试验大纲

(JASO C406-1982 P1)

制动器总成试验参数 parameters of vehicle and brake assembly		汽车满载质量: kg GVW	车轮滚动半径: m Rolling Radius	试验惯量: kg.m ² Inertia of brake assembly test					
缩比试验参数 parameters of scale test		制动分泵直径: m Piston Dia.	有效摩擦半径: m Effective brake radius	衬片面积: cm ² (单片) Pad area	μ计算系数 (Kmu): Constant of μ calculation				
		制动分泵直径: 0.025 m; Piston dia. of scale piston	有效摩擦半径: 0.058 m; Effctie brake radius of scale rotor	衬片面积: 10 cm ² (40×25) Scale pad area	试验惯量: kg.m ² Inertia of scale test	Kmu: 17.56 Constane of μ cal.			
		有效摩擦半径缩比: ; Scale ratio of effective radius	衬片面积缩比: ; Scale ratio of pad area	制动分泵面积缩比: ; Scale ratio of Piston area	衬片压强缩比: ; Scale ratio of line pressure				
序号 No.	试验项目 Items	制动减速度 Deceleration g	制动初速 Initial Speed km/h	制动初温 Initial Temp. ℃	制动次数 Application No. 次	制动周期 Cycle Time s	冷却风速 Coolong Speed m/s	备注 Remark	
1	试验前测量 Measurement Before Test	测量制动衬片和对偶的厚度、重量。 Measuring thickness and weight of pads and rotor							
2	磨合前检查 Pre-burnish Check	0.3	50	第一次室温 1st Ambient temp.	10	120	11		
3	第一次(磨合前)效能试验 1st (Pre-burnish) Effective Test	0.1 --- 0.8 (0.1g 递增 Increasement)	50, 100	80	每挡速度8次 共16次		11		
4	磨合 Burnish	0.35g	65	120	200		11	磨合面不低于80% Contact Area >80%	
5	第二次效能试验 2nd Effective Test	0.1 --- 0.8 (0.1g 递增 Increasement)	20, 50, 100, 130	80	每挡速度8次 共32次		11		
6	第一次再磨合 1st re-burnish	同磨合，但次数为35次。 Repeat burnish, but 35 applications							
7	第一次衰退恢复试验 1st Fade & Recovery Test	基准 Baseline	0.3g	50	80	3		11	衰退试验后立即在 50km/h转速下冷却120s。 after fade immediately cooling at 50km/h for 120s
		衰退 Fade	0.45g	100	第一次 60 1st 60	10	35	排尘	
		恢复 Recovery	0.3g	50		12	120	11	
		检查 CheckPoint	0.45g	100	60	2		11	
8	第二次再磨合 2nd re-burnish	同第一次再磨合，次数为35次。 Repeat 1st re-burnish, 35 applications							
9	第二次衰退恢复试验 2nd Fade & Recovery Test	同第一次衰退恢复试验，但衰退试验为15次。 Repeat 1st fade and recovery test, but 15 fade applications							
10	第三次再磨合 3rd re-burnish	同第一次再磨合，次数为35次。 Repeat 1st re-burnish, 35 applications							
11	第三次效能试验 3rd Effective Test	同第二次效能试验。 Rerpeat 2nd effective test							
12	试验后测量和检查 Final inspection and Measurement	测量制动衬片和对偶的厚度、重量；计算磨损量；检查和记录表面状况。 Measuring thickness and weight of pads and rotor, wear calculating and surface inspection.							

表1. 缩比试验大纲 Schedule for Scale Inertia Dynamometer Test

7、试验报告 Test Report

7.1 概述 General

试验结果的报告方式和关注内容取决于使用者的试验目的；
试验报告可以分为表格和图形报告。

7.2 表格: Tabulation

表格内容分为两部分:

7.2.1 试验信息: Test Information

至少包括: 试验日期、材料、模拟车型和制动器参数、试验规范、试验惯量, 缩比率和试验环境条件(冷却空气温湿度设置)。

7.2.2 试验数据 Test data:

7.2.2.1 每次制动要列入表格的数据, 包括:

试验序号、制动初速和释放速度、制动压力、制动力矩、摩擦系数、制动盘初始温度、制动时间、制动距离、制动减速度和 MFDD;

其中: 力矩、压力、摩擦系数要包括最大值、最小值和平均值;

7.2.2.2 根据试验目的, 还可以计算和列出: 制动压力和制动力矩稳定系数, 比制动力矩, 以及其它试验者需要了解的数据。

7.2.3 试验结果汇总表： Tabulation of Summary Data

汇总表的内容可以根据试验者或者客户的要求从试验数据中选择和处理；例如以下考虑：

7.2.3.1 平均摩擦系数：不同试验步骤或者全过程摩擦系数平均值。

7.2.3.2 关键点的摩擦系数值：例如：效能试验关键点，衰退试验最低摩擦系数等。

7.2.3.4 关键点的制动温度：例如：衰退试验制动盘最高温度（制动末温）等

7.2.3.5 磨损数据：以表格形式列出：内片、外片和制动盘的厚度磨损和重量磨损。

7.3 图形报告 Graphing

图形报告的形式取决于试验目的以及客户的要求；

但绘制包括每一次制动在内的摩擦系数和温度变化曲线是基本要求；

7.4 报告实例，见附件 G： Example of test report See Appendix G

The Definition of Scale Ratio

缩比试验和总成试验之间几何尺寸的缩比率，是计算缩比试验参数的基础。

缩比惯性试验台有以下缩比率的定义：

1. 有效摩擦半径缩比系数 S_{Rf}

全尺寸制动盘有效摩擦半径 (R_f) 与缩比制动盘有效摩擦半径 (R_{fs}) 之比。

$$S_{Rf} = \frac{R_f}{R_{fs}} = \frac{\text{全尺寸制动盘摩擦半径}}{\text{缩比制动盘摩擦半径}}$$

式中：

R_f : 制动器总成有效摩擦半径 m

R_{fs} : 缩比制动器有效摩擦半径 m

2. 衬片面积缩比系数 S_{Ap}

全尺寸制动衬片面积 (A_p) 与缩比制动衬片面积 (A_{ps}) 之比；

$$S_{Ap} = \frac{A_p}{A_{ps}} = \frac{\text{全尺寸衬片面积}}{\text{缩比衬片面积}}$$

式中：

A_p : 全尺寸制动器衬片面积 m^2

A_{ps} : 缩比制动器衬片面积 m^2

3. 制动分泵面积缩比系数 S_{Db}

全尺寸制动器分泵面积与缩比制动器分泵面积之比；

$$S_{Db} = \frac{(D_b)^2}{(D_{bs})^2} = \frac{\text{全尺寸制动分泵直径}^2}{\text{缩比制动分泵直径}^2}$$

式中：

D_b : 全尺寸制动器分泵直径 mm

D_{bs} : 缩比制动器分泵直径 mm

4. 衬片压强缩比系数（恒输入制动模式） S_p

在相同管路压力下，全尺寸制动衬片的压强与缩比制动衬片压强之比；

衬片压强缩比用于恒输入（恒压力）试验，它能够调整管路压力，保证全尺寸衬片的压强与缩比衬片压强的一致。

$$S_p = \frac{S_{Db}}{S_{Ap}} = \frac{\text{制动分泵面积缩比}}{\text{制动衬片面积缩比}}$$

式中

S_{Db} : 制动分泵面积缩比

S_{Ap} : 制动衬片面积缩比

缩比试验设备

附录 B

Equipment for Friction Material Scale Test

本试验规范所采用的试验设备为缩比惯性试验台。

为了保证试验数据与制动器总成惯性试验台的可比性，缩比惯性试验台至少应具备以下特点：

1. 摩擦材料缩比惯性试验台与制动器总成试验台的缩比率：**1:5**
2. 缩比试验台的主要技术参数：

项 目	缩比试验台参数	备 注	
1. 最大惯量	kg m ²	4.0	$I_0:0.7, I_1-I_3:0.9$, 电模拟: 0.6
2. 最高转速	rpm	4000	相当于车速: 200km/h
3. 最大制动压力	bar	250	
4. 最大扭矩	Nm	300	相当于减速度: 1.5g
5. 衬片面积(单片)	cm ²	10	40mm×25mm×2片
6. 制动分泵直径	mm	25	
7. 有效摩擦半径	mm	58	
8. 制动盘直径	mm	148	Φ 148×Φ50×9.0mm
9. 驱动电机	kW	22	调频电机

表2. 缩比试验台技术参数

3. 缩比试验参数的控制精度和测量误差的要求：

3.1 控制精度：制动管路压力、制动力矩和主轴转速的控制精度： $\pm 2\%$ FS；

转动惯量（包括试验台旋转部分的惯量）相对误差： $\pm 2\%$ FS（2% FS，指满量程的 2%）

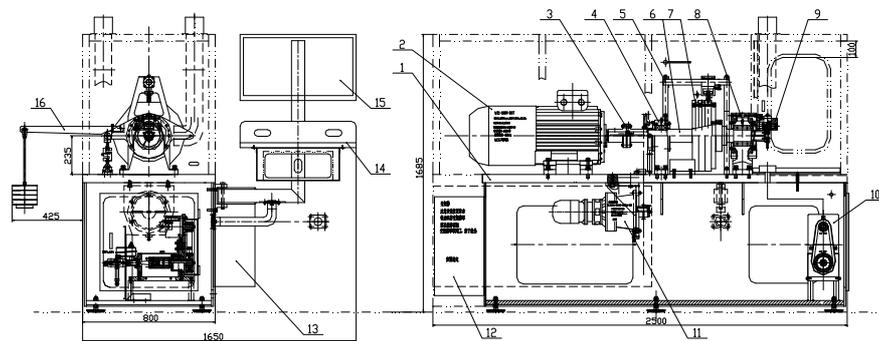
3.2 测量误差：制动力矩： $\pm 0.3\%$ FS

管路压力： $\pm 0.3\%$ FS

主轴转速： $\pm 0.1\%$ FS

制动盘温度： $\pm 0.2\%$ FS

4. 试验台的基本结构如图所示：

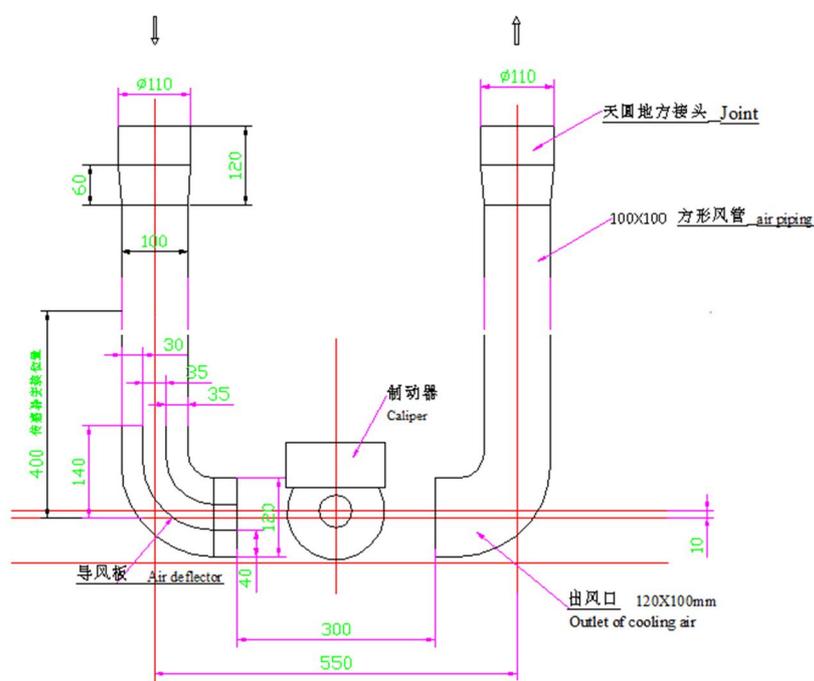


缩比试验冷却风技术条件（环境控制系统） 附录 C
Specification of Cooling Air for Scale Test (Climate Control Unit)

1. 考虑到冷却条件对试验结果的影响，缩比试验规范应该对冷却风条件做出统一的界定。

由于缩比试验采用统一的制动器和对偶，冷却风的方向也可以确定下来；因此缩比试验的冷却条件只需要再做出以下要求：

- 1.1 冷却风进（出）风口与制动器的相对位置；
- 1.2 冷却风管尺寸；
- 1.3 冷却风的风速、温度和湿度范围；可以根据要求进行调节；
- 1.4 冷却风管与制动器相对位置图：



2. 冷却风管、冷却风速与流量：

2.1 冷却风管尺寸：

风管尺寸	截面尺寸 m	风管当量直径 m
方型风管	0.10 × 0.10	0.1093
矩形出风口	0.06 × 0.12	0.091

表1 风管和出风口的尺寸

2.2 冷却风速与流量：

冷却风出口处风速 m/s	0.5	3	5	8	11	15
风量 m ³ /h	12	71	118	189	260	354
方管内风速 m/s	0.42	2.51	4.18	6.69	9.20	12.54

表2 出口风速与流量的关系

* 出风口的风速计实测值，作为风速传感器的标定值。

3. 冷却空气温湿度控制范围：

3.1 缩比试验台配置的环境控制系统（CCU）的温湿度控制范围：

相对湿度： 30-85%（含湿量 $\geq 5\text{g/kg}$ 干）

冷却空气温度： 10-45℃

3.2 通常情况下，缩比试验冷却风范围：

冷却空气温度： 20-25℃

相对湿度： 60-65% RH

4. 控制精度

温度： $\pm 1^\circ\text{C}$

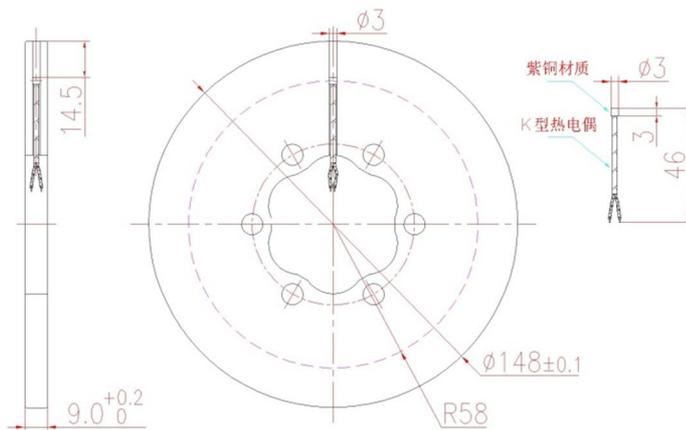
相对湿度： $\pm 5\% \text{ RH}$

缩比试验温度测量方法

附录 D

The Method of Temperature Measurement for Scale Test

1. 缩比试验的制动温度以对偶的温度为基准。
2. 制动盘热电偶安装有以下要求：
 - 2.1 采用 K 型热电偶，热电偶丝的直径为 0.3-0.5mm，其端部为银铜合金焊点；
 - 2.2 热电偶埋设在制动盘厚度的中部，处于有效摩擦半径的位置上。
 - 2.3 热电偶位置如图所示：



制动衬片和对偶的磨损测量

附录 E

Wear Measurements of Pads and Rotor

1. 厚度测量:

1.1 制动衬片磨损测量:

1.1.1 如图 1 所示每一个衬片有 5 个测量点, 其中①-④, ⑥-⑨测量点距边缘 6mm 左右, ⑤和⑩在衬片中央, 并做上

标记; 试验前后分别测量厚度, 计算平均厚度磨损;

1.1.2 按照制动方向的进入端, 对磨损数据排序, 可以对衬片的切向和径向磨损进行评价。

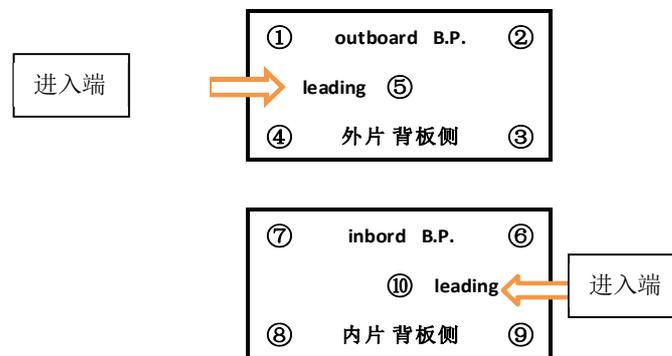


图1 衬片磨损测量位置

Fig. 1 Wear measurement of pad

1.2 制动盘厚度磨损测量:

如图 2 所示, 试验前后测量制动盘厚度, 计算制动盘厚度磨损。

测量点: 制动盘有效摩擦半径上 (距制动盘外圆 16mm), 间距 90 度, 4 个测量点。

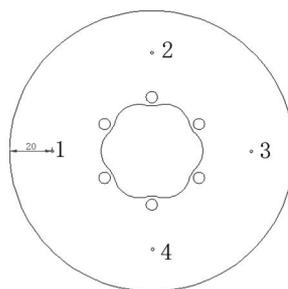


图2 制动盘磨损测量位置

Fig2. Wear measurement of rotor

2. 重量磨损测量:

2.1 衬片重量磨损测量:

试验前后对制动衬片分别称量, 计算内外衬片的重量磨损;

2.2 制动盘重量磨损测量:

试验前后对制动盘进行称重，计算制动盘的重量磨损。

3. 测量选择项：

3.1 制动盘表面粗糙度测量：

测量和记录试验前后的制动盘的表面粗糙度，作为评价厚度磨损的参考值。

3.2 制动衬片硬度测量：

试验前后测量衬片洛氏硬度（HRS），测量位置与厚度测量相同。

缩比制动盘技术条件

附录 F

Specification of Scale Rotor

1. 制动盘要求:

缩比试验制动盘要采用与乘用车制动盘相同的材质, 并且指定供应商。

2. 缩比制动盘技术要求

2.1 化学成分:

元素 Element	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr
含量 Content %	3.55±0.05	2.05±0.05	0.95±0.05	< 0.1	< 0.1	0.3-0.6	0.2-0.5

2.2 金相结构:

珠光体: >98%; 铁素体: ~ 1%; 渗碳体: 0%

石墨长度 3-4 级 (12.7-25.4)

a) 物理性能:

布氏硬度: 170-190 HB

抗拉强度: > 170 kg/cm²

3. 尺寸要求: (详见图纸)

	外径 mm	内径 mm	厚度 mm	重量 kg
毛胚	160	40	18	2.65
成品	148 ^{±0.1}	50 ^{+0.05}	9.5 ^{±0.05}	1.10

加工工艺要保证产品处在毛胚的中部。

加工后, 制动盘 DTV 不超过 10μm, 平行度不超过 0.01。

4. 制动盘双面磨削加工, 表面粗糙度: Ra ≤ 1.6

Example for the format of test report

1. 图形报告实例:

每一个试验步骤中的每一次制动的摩擦系数，最大值、最小值和平均值以及每一次制动的制动初温和制动末温相对于制动次数，绘制成曲线。

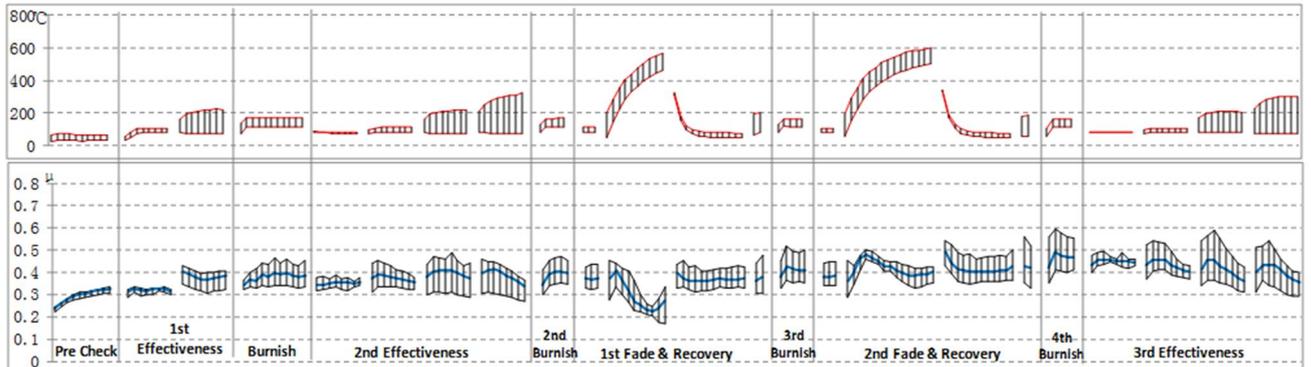


图1. 摩擦系数/制动温度与制动次数相关曲线 Friction coefficient and rotor temperature Vs No. of application

注：也可以采用其它图形报告形式（例如：直方图），对摩擦系数稳定性（离散性）进行分析。

2. 表格

表格的格式可以根据试验者或者客户要求设计：可以包括以下内容：

2.1 试验信息：

2.2 试验结果汇总表

汇总表所汇集的数据内容，取决于试验目的和客户要求，便于对试验结果进行评价。可包括（不限于）：

2.2.1: 摩擦系数。

2.2.2 关键点温度值。

2.2.3 磨损。

2.2.4 试验现象记录。