

团 体 标 准

T/CAAMTB XXX—XXXX

乘用车制动器动态拖滞性能要求及台架试验方法

Dynamic drag performance requirements and bench test methods for passenger car brakes

（征求意见稿）

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。

202X – XX – XX 发布

202X – XX – XX 实施

中国汽车工业协会 发 布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 符号 1

5 性能要求 2

6 试验相关要求 3

 6.1 制动器惯性试验台 3

 6.2 试验转动惯量 4

 6.3 其它要求 4

7 台架试验方法 5

 7.1 无 EPB 液压盘式制动器总成 5

 7.1.1 试验前准备 5

 7.1.2 无衬块滑行试验 5

 7.1.3 第 1 次常温滑行试验 5

 7.1.4 第 1 次常温拖曳试验 6

 7.1.5 第 1 次热态滑行试验 6

 7.1.6 第 1 次热态拖曳试验 7

 7.1.7 磨合试验 7

 7.1.8 第 2 次常温滑行试验 7

 7.1.9 第 2 次常温拖曳试验 7

 7.1.10 第 2 次热态滑行试验 7

 7.1.11 第 2 次热态拖曳试验 7

 7.1.12 试验后检查 7

 7.2 EPB 集成式液压盘式制动器总成 7

 7.2.1 试验前准备 7

 7.2.2 无衬块滑行试验 8

 7.2.3 第 1 次常温驻车滑行试验 8

 7.2.4 第 1 次常温驻车拖曳试验 8

 7.2.5 第 1 次常温叠加滑行试验 9

 7.2.6 第 1 次常温叠加拖曳试验 10

 7.2.7 第 1 次热态驻车滑行试验 11

 7.2.8 第 1 次热态驻车拖曳试验 11

 7.2.9 第 1 次热态叠加滑行试验 11

 7.2.10 第 1 次热态叠加拖曳试验 12

 7.2.11 磨合试验 12

 7.2.12 第 2 次常温驻车滑行试验 12

 7.2.13 第 2 次常温驻车拖曳试验 12

7.2.14 第2次常温叠加滑行试验.....	12
7.2.15 第2次常温叠加拖曳试验.....	12
7.2.16 第2次热态驻车滑行试验.....	13
7.2.17 第2次热态驻车拖曳试验.....	13
7.2.18 第2次热态叠加滑行试验.....	13
7.2.19 第2次热态叠加拖曳试验.....	13
7.2.20 试验后检查.....	13
7.3 EMB 电子机械制动器总成.....	13
7.3.1 试验前准备.....	13
7.3.2 无衬块滑行试验.....	13
7.3.3 第1次常温滑行试验.....	13
7.3.4 第1次常温拖曳试验.....	14
7.3.5 第1次热态滑行试验.....	14
7.3.6 第1次热态拖曳试验.....	15
7.3.7 磨合试验.....	15
7.3.8 第2次常温滑行试验.....	15
7.3.9 第2次常温拖曳试验.....	15
7.3.10 第2次热态滑行试验.....	15
7.3.11 第2次热态拖曳试验.....	15
7.3.12 试验后检查.....	15
8 数据处理方法.....	15
8.1 滑行试验.....	15
8.2 拖曳试验.....	17
附 录 A （规范性） 制动器温升控制程序.....	19
A.1 无 EPB 液压盘式制动器总成.....	19
A.2 EPB 集成式液压盘式制动器总成.....	19
A.3 EMB 电子机械制动器总成.....	19
附 录 B （资料性） 动态拖滞试验步骤顺序表.....	20
B.1 无 EPB 液压盘式制动器总成.....	20
B.2 EPB 集成式液压盘式制动器总成.....	20
B.3 EMB 电子机械制动器总成.....	22

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。

乘用车制动器动态拖滞性能要求及台架试验方法

1 范围

本文件规定了乘用车制动器动态拖滞性能要求和试验相关要求，并描述了台架试验方法。

本文件适用于GB/T 15089规定的N₁类车辆和最大设计总质量不超过3500 kg的M类车辆用液压盘式制动器总成和电子机械制动器总成。其他类制动器总成可参照执行。

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 5620 道路车辆 汽车和挂车 制动名词术语及其定义

GB/T 15089 机动车辆及挂车分类

QC/T 556 汽车制动器温度测量方法及热电偶安装要求

QC/T 564 乘用车行车制动器性能要求及台架试验方法

3 术语和定义

GB/T 5620和QC/T 564界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

动态拖滞扭矩 dynamic drag torque; residual torque

模拟车辆行驶过程中，非制动状态下，制动衬块与旋转的制动盘之间因未能完全分离而产生的残余阻力矩。

注：动态拖滞区别于静态拖滞扭矩，后者在低速旋转（通常约50 r/min）条件下测量，前者模拟实际行驶车速，更能反映制动器对整车能耗的真实影响。

3.2

滑行试验 coastdown test

模拟车辆以指定初速度行驶、切断动力源后依靠残余阻力矩自然减速至停止的试验。

3.3

拖曳试验 drag test

模拟车辆以指定速度恒速行驶，在非制动状态下连续测量制动器残余阻力矩的试验。

4 符号

下列符号适用于本文件。

i, k : 自然数, $i=0, 1, 2, \dots$; $k=0, 1, 2, \dots$ 。

N : 计算常数, 取 $N=180$ 。 N 的取值应与采样频率相协调, 以保证在10 km/h车速下, 采样时长内的制动盘旋转圈数不低于2圈。

v : 车速。

v_0 : 滑行试验初始车速。

$T_{[i]}$: 一次滑行试验或拖曳试验过程中测得的拖滞扭矩数组中第 i 个数据点的拖滞扭矩值。

$T_{SMA(v)}$: 一次滑行试验过程中, 车速降至 v 时的拖滞扭矩算术平均值。

$T_{SMA(120)} \sim T_{SMA(10)}$: 一次滑行试验过程中, 车速分别降至120 km/h、110 km/h、 $\dots$ 、10 km/h时的拖滞扭矩算术平均值。

$T_{SMA_padless(v,i)}$: 第 i 次无衬块滑行试验的 $T_{SMA(v)}$ 。

$T_{SMA_padless(v,1)}$: 第1次无衬块滑行试验的 $T_{SMA(v)}$ 。

$T_{SMA_padless(v,2)}$: 第2次无衬块滑行试验的 $T_{SMA(v)}$ 。

$T_{SMA_padless(v,avg)}$: $T_{SMA_padless(v,1)}$ 和 $T_{SMA_padless(v,2)}$ 的平均值。

$T_{SMA_pad(v,i)}$: 第 i 次带衬块滑行试验的 $T_{SMA(v)}$ 。

$T_{SMA_pad(v,1)}$: 第1次带衬块滑行试验的 $T_{SMA(v)}$ 。

$T_{SMA_pad(v,2)}$: 第2次带衬块滑行试验的 $T_{SMA(v)}$ 。

$T_{SMA_pad(v,3)}$: 第3次带衬块滑行试验的 $T_{SMA(v)}$ 。

$T_{SMA_pad(v,avg)}$: $T_{SMA_pad(v,1)}$ 、 $T_{SMA_pad(v,2)}$ 和 $T_{SMA_pad(v,3)}$ 的平均值。

T_v : $T_{SMA_pad(v,avg)}$ 与 $T_{SMA_padless(v,avg)}$ 的差值,即为车速 v 时的动态拖滞扭矩。

$T_{avg(10s,20s)}$: 一次拖曳试验过程中,第10 s至第20 s的拖滞扭矩算术平均值。

$T_{avg(30s,40s)}$: 一次拖曳试验过程中,第30 s至第40 s的拖滞扭矩算术平均值。

$T_{avg(120s,130s)}$: 一次拖曳试验过程中,第120 s至第130 s的拖滞扭矩算术平均值。

$T_{max(10s,130s)}$: 一次拖曳试验过程中第10 s至第130 s的拖滞扭矩最大值。

5 性能要求

5.1 无 EPB 液压盘式制动器总成的动态拖滞应满足表 1 要求。

表1 无 EPB 液压盘式制动器总成动态拖滞性能要求

初始温度 ℃	制动方式	预加制动管路压力 MPa	动态拖滞扭矩 N•m	
			磨合前	磨合后
≤40	行车制动	1	≤1.5	≤1.2
		3		
		7		
120±2	行车制动	1	≤2.5	≤2.0
		3		
		7		

5.2 EPB 集成式液压盘式制动器总成的动态拖滞应满足表 2 要求。

表2 EPB 集成式液压盘式制动器总成动态拖滞性能要求

初始温度 ℃	制动方式	预加制动管路压力 MPa	叠加制动		动态拖滞扭矩 N•m	
			行车制动 MPa	驻车制动 kN	磨合前	磨合后
≤40	驻车制动	1	0	10	≤2.5	≤2.0
		3				
		7				
	叠加制动	1	2	10	≤3.0	≤2.5
		3				
		7				
120±2	驻车制动	1	0	10	≤3.5	≤3.0
		3				
		7				
	叠加制动	1	2	10	≤4.0	≤3.5
		3				
		7				

5.3 EMB 电子机械制动器总成的动态拖滞应满足表 3 要求。

表3 EMB 电子机械制动器总成动态拖滞性能要求

初始温度 ℃	制动方式	预加目标夹紧力 N	动态拖滞扭矩 N·m	
			磨合前	磨合后
≤40	行车制动	10% 额定夹紧力	≤1.0	≤0.8
		30% 额定夹紧力		
		70% 额定夹紧力		
120±2	行车制动	10% 额定夹紧力	≤2.0	≤1.5
		30% 额定夹紧力		
		70% 额定夹紧力		

6 试验相关要求

6.1 制动器惯性试验台

6.1.1 制动器惯性试验台应为单工位惯性式制动器试验台，试验台应装备用于连续记录主轴转速、制动力矩、制动管路压力（或电信号）、一次制动期间所完成的转动圈数、制动时间、制动衬块（片）温度和制动盘温度的装置。

6.1.2 试验台的制动电压、电流和液压供给系统应满足各种制动工况对制动电压、电流和液压的要求，并保持稳定。

6.1.3 试验台应能够通过 CAN 总线或其他通信接口向 EPB/EMB 被测样件发送控制指令，能够驱动 EPB 电机或 EMB 电机执行驻车制动、夹紧力控制及间隙初始化等操作。

6.1.4 测量制动盘、制动衬块温度的装置和热电偶应满足 QC/T 556 的相关规定。

6.1.5 控制系统应能实现恒定输入方式、恒定输出方式等控制，其控制应满足下列要求：

- 转动惯量的模拟误差不大于 5%；
- 制动管路压力升、降速率不小于 70 MPa/s，最大制动管路压力不小于 16 MPa；
- 恒定输入方式控制时，对液压盘式制动器总成的制动管路压力超调量不大于 0.2 MPa，平均制动管路压力与目标值的偏差不大于 1% F.S.；
- 恒定输入方式控制时，对电子机械制动器总成夹紧力的超调量不大于目标值的 10%，夹紧力的实际输出值与目标值的相对偏差不大于 5%；
- 恒定输出方式控制时，其制动减速度与目标值的偏差不大于 0.5 m/s²；
- 制动初温与目标值的偏差不大于 3℃；
- 制动初速度与目标值的偏差不大于 1 km/h。

6.1.6 制动器冷却风管的内径应为 $\phi 200\text{ mm} \sim \phi 320\text{ mm}$ ，其出风口应在距离制动盘外径 300 mm~400 mm 处，冷却空气应能均匀覆盖制动器总成。

6.1.7 试验台数据采集系统应满足下列要求：

- a) 主轴转速、制动管路压力（或电信号）、制动力矩、时间的采样频率不低于 100 Hz，制动盘温度、冷却空气温度参数的采样频率不低于 10 Hz；
- b) 测量动态拖滞的扭矩传感器量程不大于 70 N·m，测量精度不低于 $\pm 0.1\%$ F.S.；
- c) 制动管路压力测量精度不应低于 $\pm 1\%$ F.S.；
- d) 转速测量精度不低于 $\pm 2\text{ r/min}$ 或 $\pm 0.5\%$ （取较大值）；
- e) 温度测量精度不低于 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.1.8 在样件处于无制动衬块状态下，试验台以 20 km/h $\pm$ 1 km/h 的车速恒速运行，稳定运行 10 s 后，在后续 150 s 内，任意 1 s 采样周期的扭矩波动值不应大于 $\pm 0.05\text{ N}\cdot\text{m}$ 。

注：“无制动衬块状态”指制动衬块不与制动盘接触的状态，可通过拆除制动衬块或将制动衬块固定于非工作位置实现。

6.1.9 所有测量仪器在使用前应经过计量校准，并应在有效期内使用，校准应可溯源至国家或国际基准。

6.2 试验转动惯量

前制动器的试验转动惯量按公式(1)进行计算，后制动器的试验转动惯量按公式(2)进行计算：

$$I_f = \frac{G_a (b+0.45h_g) \times r^2}{2L} \dots\dots\dots (1)$$

$$I_r = \frac{G_a (a-0.45h_g) \times r^2}{2L} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

I_f ——前制动器转动惯量计算值，单位为千克二次方米 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)；

I_r ——后制动器转动惯量计算值，单位为千克二次方米 ($\text{kg} \cdot \text{m}^2$)；

G_a ——车辆满载总质量，单位为千克 (kg)；

a ——重心至后轴距离，单位为米 (m)；

b ——重心至后轴距离，单位为米 (m)；

h_g ——车辆满载时重心高度，单位为米 (m)；

r ——车轮滚动半径，单位为米 (m)；

L ——车辆轴距，单位为米 (m)。

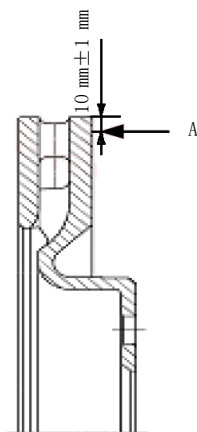
6.3 其它要求

6.3.1 样件应采用新的制动钳总成（含新的制动衬块总成）、制动盘。

6.3.2 试验夹具宜采用实车的转向节总成或后轴总成，需匹配的零部件包括实车制动盘、衬块总成、制动钳、轮毂轴承及转向节（轴头），上述各零部件应按实车结构连接。

6.3.3 按 QC/T 556 在制动盘上安装嵌入式热电偶。

6.3.4 制动盘安装后，制动盘端面跳动量不应大于 0.06 mm，测量位置见图 1。



标引序号说明：

A——测量位置。

图1 制动盘端面跳动量的测量位置

6.3.5 用酒精擦洗制动盘摩擦表面，确保制动盘摩擦表面没有损伤或油污。

6.3.6 液压盘式制动器应彻底排气。

6.3.7 EPB 和 EMB 制动器在制动释放后，执行机构应能自动回位，制动间隙应恢复至初始工作状态。

6.3.8 试验应在环境温度为 10℃~30℃、相对湿度不大于 95%的条件下进行，冷却风应为室温。

6.3.9 常温试验时，执行首次预加液压或制动夹紧力时的制动盘初始温度不应大于 40℃；热态试验时，执行首次预加液压或制动夹紧力时的制动盘初始温度不应大于 80℃。

6.3.10 根据评价需求，可进行滑行试验或仅进行拖曳试验，亦可两者均进行；热态试验温度不限于 120℃，可根据需要选取其他目标温度（如 250℃）进行测试。

7 台架试验方法

7.1 无 EPB 液压盘式制动器总成

7.1.1 试验前准备

- 7.1.1.1 将样件安装在制动器惯性试验台上。
- 7.1.1.2 测量并记录制动盘端面跳动量，确认满足 6.3.4 的要求后，方可继续试验。
- 7.1.1.3 以 120 km/h 的车速、40 km/h 的冷却风速，连续运行 1 h。
- 7.1.1.4 调整样件至无制动衬块状态。
- 7.1.1.5 系统阻力测量与清零：
 - a) 在制动盘初始温度不大于 40℃ 条件下，模拟车辆以 20 km/h ± 1 km/h 的车速恒速行驶；
 - b) 稳定运行 10 s 后，连续记录此后 150 s 内车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线；
 - c) 计算该 150 s 内的拖滞扭矩的平均值，作为试验台系统阻力；
 - d) 以此系统阻力值对扭矩传感器进行清零。
- 7.1.1.6 清零效果验证：再次模拟车辆以 20 km/h ± 1 km/h 的车速恒速行驶，稳定运行 10 s 后，检查后续 150 s 内扭矩传感器读数是否维持在 0 N·m ± 0.05 N·m 范围内。确认满足 6.1.8 的要求后，方可继续试验。

7.1.2 无衬块滑行试验

- 7.1.2.1 调整样件至无制动衬块状态。
- 7.1.2.2 在制动盘初始温度不超过 40℃ 条件下，模拟车辆从 120 km/h 的车速滑行至停止，共进行 2 次。
- 7.1.2.3 记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。
- 7.1.2.4 按 8.1 的规定计算并记录无衬块滑行试验的动态拖滞扭矩。

7.1.3 第 1 次常温滑行试验

- 7.1.3.1 试验流程图见图 2。

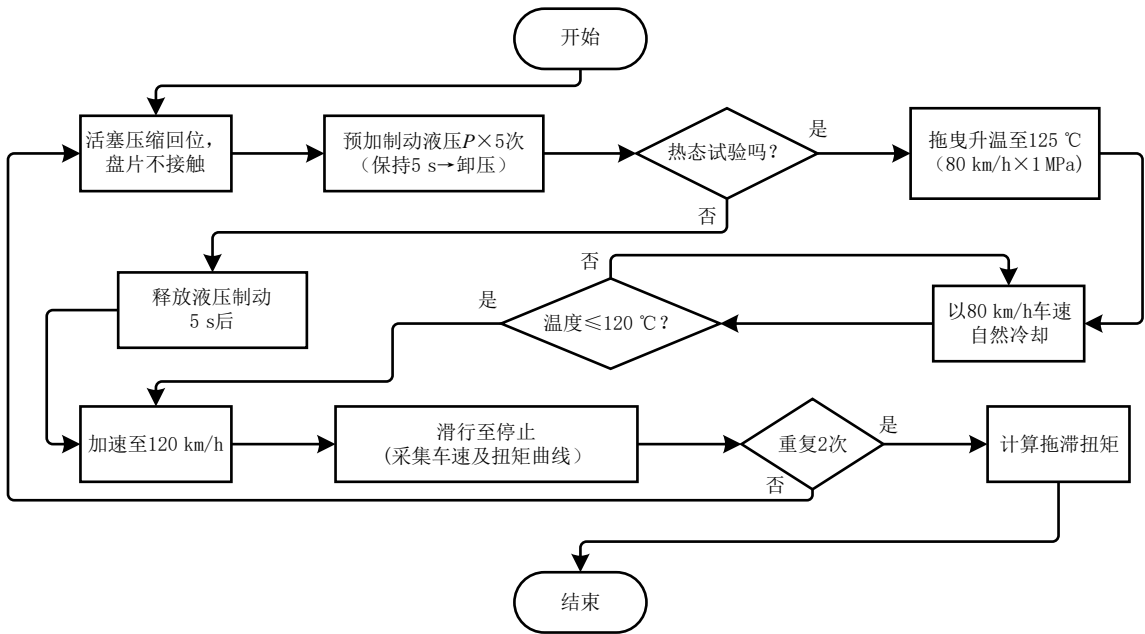


图2 无 EPB 液压盘式制动器滑行试验流程图

- 7.1.3.2 将制动钳的活塞完全压缩回位，使制动衬块不接触制动盘。
- 7.1.3.3 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。

7.1.3.4 最后一次制动释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.1.3.5 重复 7.1.3.2~7.1.3.4 的步骤 2 次。

7.1.3.6 按 8.1 的规定计算经 1 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.3.7 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.1.3.2~7.1.3.6 的步骤，计算经 3 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.3.8 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.1.3.2~7.1.3.6 的步骤，计算经 7 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.4 第 1 次常温拖曳试验

7.1.4.1 试验流程图见图 3。

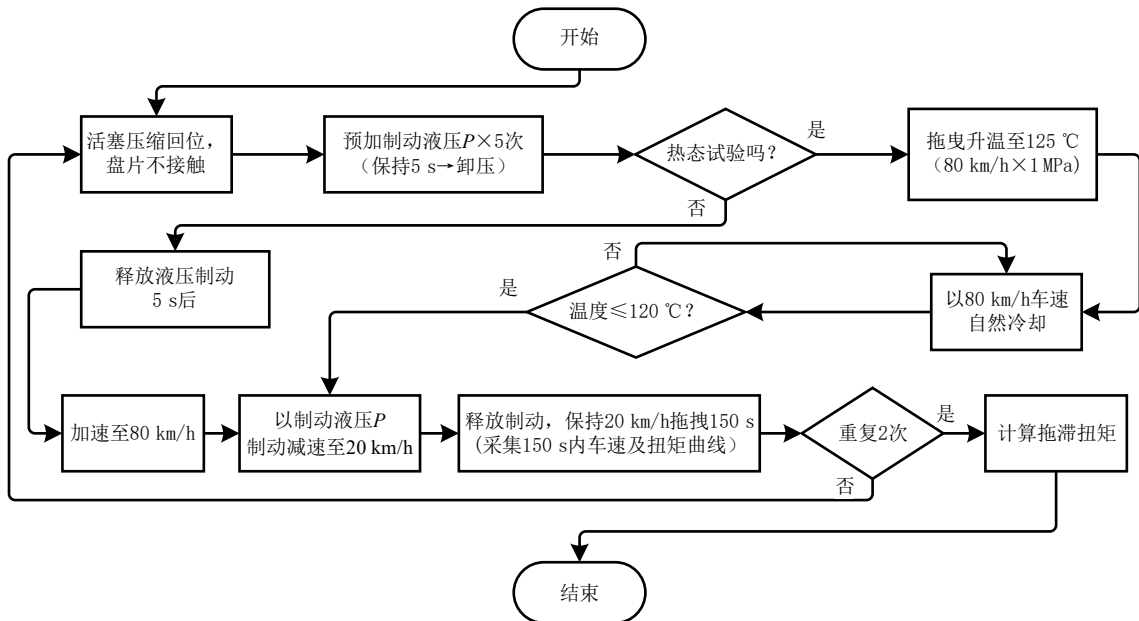


图3 无 EPB 液压盘式制动器拖曳试验流程图

7.1.4.2 将制动钳的活塞完全压缩回位，使制动衬块不接触制动盘。

7.1.4.3 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。

7.1.4.4 最后一次制动释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 80 km/h，然后以 1 MPa 的制动液压进行减速制动，直至车速降至 20 km/h 后释放制动液压至零，并保持 20 km/h $\pm$ 1 km/h 的车速连续运转 150 s。

7.1.4.5 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.1.4.6 重复 7.1.4.2~7.1.4.5 的步骤 2 次。

7.1.4.7 按 8.2 的规定计算经 1 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.4.8 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.1.4.2~7.1.4.7 的步骤，计算经 3 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.4.9 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.1.4.2~7.1.4.7 的步骤，计算经 7 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.5 第 1 次热态滑行试验

7.1.5.1 试验流程图见图 2。

7.1.5.2 将制动钳的活塞完全压缩回位，使制动衬块不接触制动盘。

7.1.5.3 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。

7.1.5.4 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125 ℃，并保持 80 km/h 恒速运行。

7.1.5.5 当制动盘温度降至 120 ℃时，将车速 2 s 内加速至 120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

- 7.1.5.6 重复 7.1.5.2~7.1.5.5 的步骤 2 次。
- 7.1.5.7 按 8.1 的规定计算经 1 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.1.5.8 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.1.5.2~7.1.5.7 的步骤，计算经 3 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.1.5.9 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.1.5.2~7.1.5.7 的步骤，计算经 7 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.6 第 1 次热态拖曳试验

- 7.1.6.1 试验流程图见图 3。
- 7.1.6.2 将制动钳的活塞完全压缩回位，使制动衬块不接触制动盘。
- 7.1.6.3 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。
- 7.1.6.4 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125 °C，并保持 80 km/h 恒速运行。
- 7.1.6.5 当制动盘温度降至 120 °C 时，以 1 MPa 的制动液压进行减速制动，直至车速降至 20 km/h 后释放制动液压至零，并保持 20 km/h $\pm$ 1 km/h 的车速连续运转 150 s。
- 7.1.6.6 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。
- 7.1.6.7 重复 7.1.6.2~7.1.6.6 的步骤 2 次。
- 7.1.6.8 按 8.2 的规定计算经 1 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.1.6.9 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.1.6.2~7.1.6.8 的步骤，计算经 3 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.1.6.10 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.1.6.2~7.1.6.8 的步骤，计算经 7 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.1.7 磨合试验

按以下试验条件进行磨合试验：

- 制动初速度：65 km/h；
- 制动末速度：不高于 1 km/h；
- 制动初温：不高于 110 °C；
- 制动减速度：3 m/s²；
- 冷却风速：10 m/s；
- 制动次数：200 次，或直至制动衬块和制动盘的接触面积达到 80% 以上，以先达到者为准。

7.1.8 第 2 次常温滑行试验

同 7.1.3。

7.1.9 第 2 次常温拖曳试验

同 7.1.4。

7.1.10 第 2 次热态滑行试验

同 7.1.5。

7.1.11 第 2 次热态拖曳试验

同 7.1.6。

7.1.12 试验后检查

- 7.1.12.1 复测制动盘端面跳动量。
- 7.1.12.2 复测系统阻力：再次模拟车辆以 20 km/h $\pm$ 1 km/h 的车速恒速行驶，稳定运行 10 s 后，检查扭矩传感器读数是否维持在 0 N·m $\pm$ 0.05 N·m 范围内。

7.2 EPB 集成式液压盘式制动器总成

7.2.1 试验前准备

同7.1.1。

7.2.2 无衬块滑行试验

同7.1.2。

7.2.3 第1次常温驻车滑行试验

7.2.3.1 试验流程图见图4。

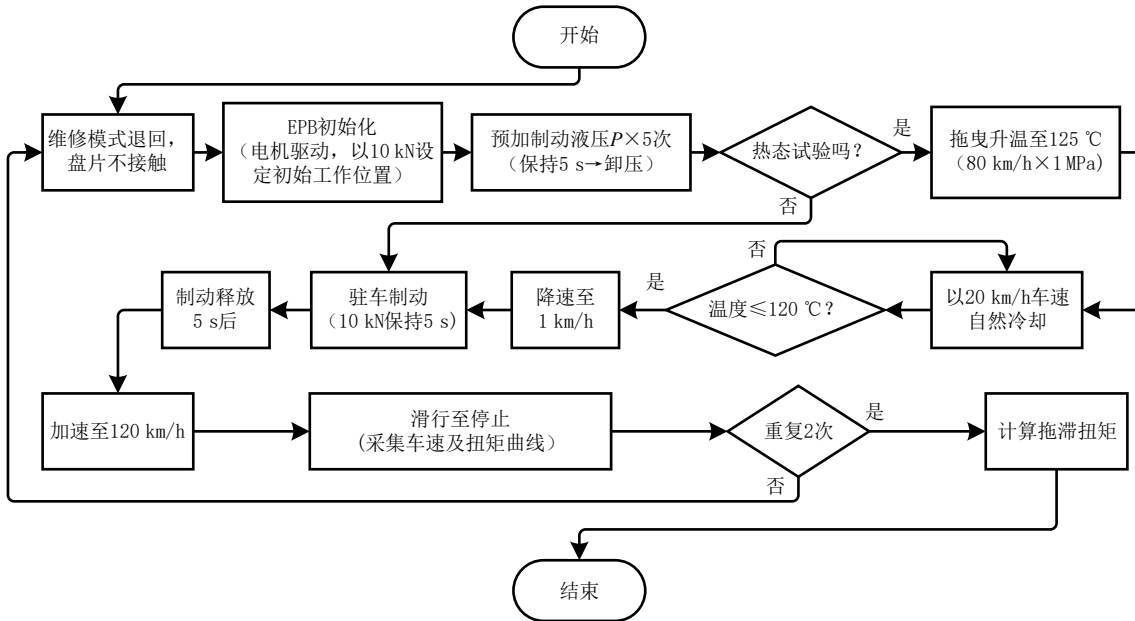


图4 EPB 集成式液压盘式制动器驻车滑行试验流程图

- 7.2.3.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。
- 7.2.3.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。
- 7.2.3.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。
- 7.2.3.5 驱动 EPB 电机以 10 kN 的目标夹紧力进行 1 次驻车制动，保持 5 s 后释放。
- 7.2.3.6 驻车制动释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。
- 7.2.3.7 重复 7.2.3.2~7.2.3.6 的步骤 2 次。
- 7.2.3.8 按 8.1 的规定计算经 1 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.2.3.9 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.2.3.2~7.2.3.8 的步骤，计算经 3 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.2.3.10 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.2.3.2~7.2.3.8 的步骤，计算经 7 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.2.4 第1次常温驻车拖曳试验

- 7.2.4.1 试验流程图见图 5。
- 7.2.4.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。
- 7.2.4.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。
- 7.2.4.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。
- 7.2.4.5 驱动 EPB 电机以 10 kN 的目标夹紧力进行 1 次驻车制动，保持 5 s 后释放。
- 7.2.4.6 驻车制动释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 80 km/h，然后以 1 MPa 的制动液压进行减速制动，直至车速降至 20 km/h 后释放制动液压至零，并保持 20 km/h ± 1 km/h 的车速连续运转 150 s。

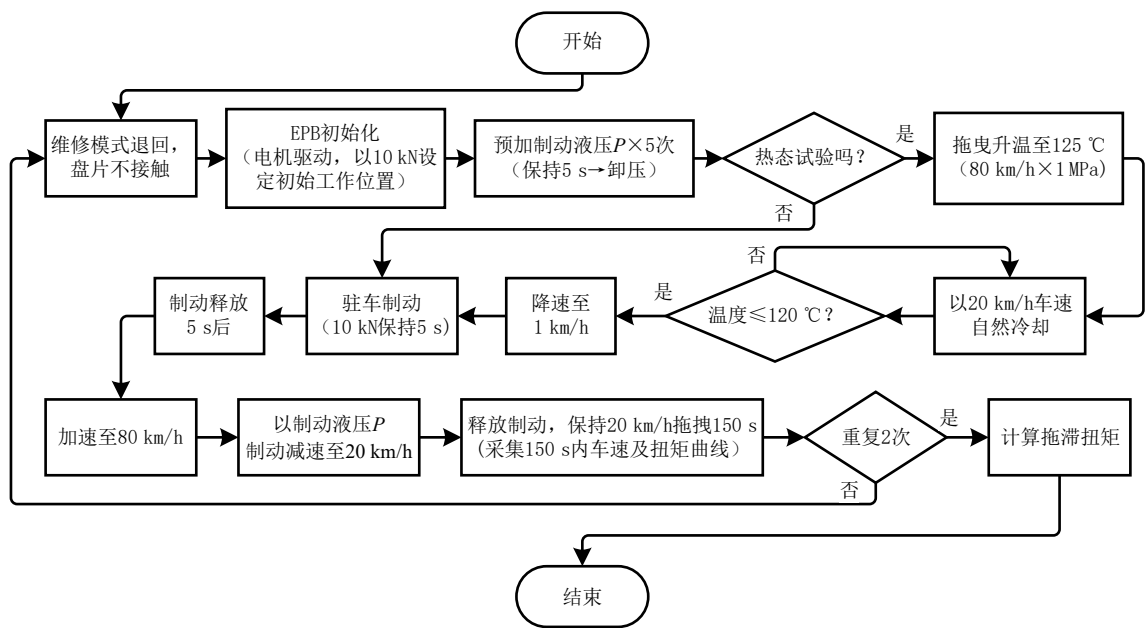


图5 EPB 集成式液压盘式制动器驻车拖曳试验流程图

- 7.2.4.7 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。
- 7.2.4.8 重复 7.2.4.2~7.2.4.7 的步骤 2 次。
- 7.2.4.9 按 8.2 的规定计算经 1 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.2.4.10 将制动液压变更为 3 MPa, 重复 7.2.4.2~7.2.4.9 的步骤, 计算经 3 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。
- 7.2.4.11 将制动液压变更为 7 MPa, 重复 7.2.4.2~7.2.4.9 的步骤, 计算经 7 MPa 预加压后的动态拖滞扭矩。

7.2.5 第 1 次常温叠加滑行试验

7.2.5.1 试验流程图见图 6。

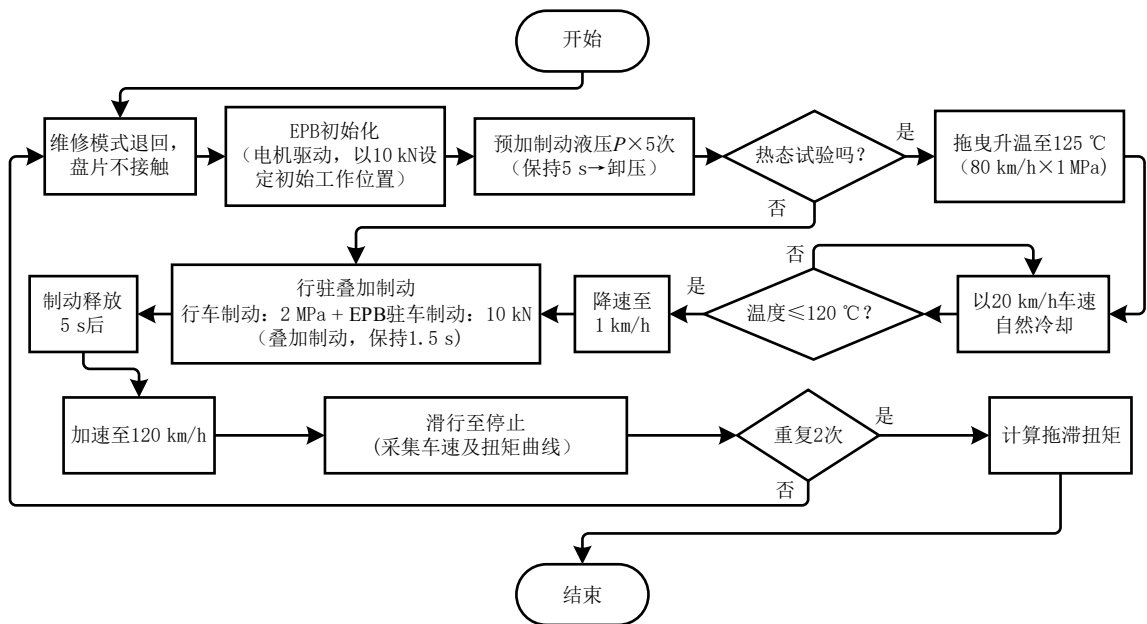


图6 EPB 集成式液压盘式制动器叠加滑行试验流程图

- 7.2.5.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。
- 7.2.5.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。
- 7.2.5.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。
- 7.2.5.5 再次对样件施加 2 MPa 的制动液压，间隔 0.5 s 后，在保持制动液压 2 MPa 不变的情况下驱动 EPB 电机以 10 kN 的目标夹紧力进行驻车制动，并保持行驻车叠加制动 1.5 s，然后先释放行车制动，再释放驻车制动。
- 7.2.5.6 行车制动和驻车制动完全释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。
- 7.2.5.7 重复 7.2.5.2~7.2.5.6 的步骤 2 次。
- 7.2.5.8 按 8.1 的规定计算经 1 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。
- 7.2.5.9 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.2.5.2~7.2.5.8 的步骤，计算经 3 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。
- 7.2.5.10 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.2.5.2~7.2.5.8 的步骤，计算经 7 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.6 第 1 次常温叠加拖曳试验

7.2.6.1 试验流程图见图 7。

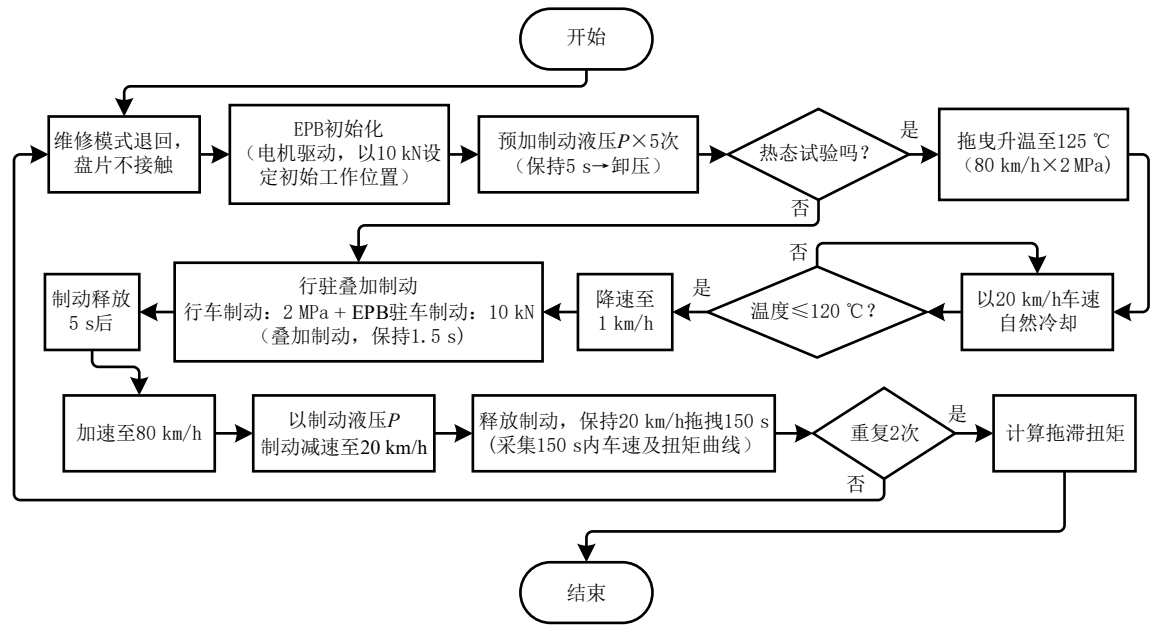


图7 EPB 集成式液压盘式制动器叠加拖曳试验流程图

- 7.2.6.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。
- 7.2.6.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。
- 7.2.6.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。
- 7.2.6.5 再次对样件施加 2 MPa 的制动液压，间隔 0.5 s 后，在保持制动液压 2 MPa 不变的情况下驱动 EPB 电机以 10 kN 的目标夹紧力进行驻车制动，并保持行驻车叠加制动 1.5 s，然后先释放行车制动，再释放驻车制动。
- 7.2.6.6 行车制动和驻车制动完全释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 80 km/h，然后以 1 MPa 的制动液压进行减速制动，直至车速降至 20 km/h 后使制动液压释放至零，并保持 20 km/h ± 1 km/h 的车速连续运转 150 s。
- 7.2.6.7 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。
- 7.2.6.8 重复 7.2.6.2~7.2.6.7 的步骤 2 次。
- 7.2.6.9 按 8.2 的规定计算经 1 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.6.10 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.2.6.2~7.2.6.9 的步骤，计算经 3 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.6.11 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.2.6.2~7.2.6.9 的步骤，计算经 7 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.7 第 1 次热态驻车滑行试验

7.2.7.1 试验流程图见图 4。

7.2.7.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。

7.2.7.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。

7.2.7.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。

7.2.7.5 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125 ℃，然后将试验台车速从 80 km/h 降至 20 km/h（降速过程中不施加液压制动），并以 20 km/h 的车速空转，使制动盘自然降温。

7.2.7.6 当制动盘温度降至 120 ℃时，立即将试验台车速降至 1 km/h 以下（降速过程中不施加液压制动），并在 2 s 内以 10 kN 的目标夹紧力进行 1 次驻车制动，保持 5 s 后释放。

7.2.7.7 驻车制动释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.2.7.8 重复 7.2.7.2~7.2.7.7 的步骤 2 次。

7.2.7.9 按 8.1 的规定计算经 1 MPa 预加压并执行热态驻车制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.7.10 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.2.7.2~7.2.7.9 的步骤，计算经 3 MPa 预加压并执行热态驻车制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.7.11 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.2.7.2~7.2.7.9 的步骤，计算经 7 MPa 预加压并执行热态驻车制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.8 第 1 次热态驻车拖曳试验

7.2.8.1 试验流程图见图 5。

7.2.8.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。

7.2.8.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。

7.2.8.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。

7.2.8.5 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125 ℃，然后将试验台车速从 80 km/h 降至 20 km/h（降速过程中不施加液压制动），并以 20 km/h 的车速空转，使制动盘自然降温。

7.2.8.6 当制动盘温度降至 120 ℃时，立即将试验台车速降至 1 km/h 以下（降速过程中不施加液压制动），并在 2 s 内以 10 kN 的目标夹紧力进行驻车制动，保持 5 s 后释放。

7.2.8.7 驻车制动释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 80 km/h，然后以 1 MPa 的制动液压进行减速制动，直至车速降至 20 km/h 后释放制动液压至零，并保持 20 km/h ± 1 km/h 的车速连续运转 150 s。

7.2.8.8 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.2.8.9 重复 7.2.8.2~7.2.8.8 的步骤 2 次。

7.2.8.10 按 8.2 的规定计算经 1 MPa 预加压并执行热态驻车制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.8.11 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.2.8.2~7.2.8.10 的步骤，计算经 3 MPa 预加压并执行热态驻车制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.8.12 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.2.8.2~7.2.8.10 的步骤，计算经 7 MPa 预加压并执行热态驻车制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.9 第 1 次热态叠加滑行试验

7.2.9.1 试验流程图见图 6。

7.2.9.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。

7.2.9.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。

7.2.9.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。

7.2.9.5 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125 ℃，然后将试验台车速从 80 km/h 降至 20 km/h（降速过程中不施加液压制动），并以 20 km/h 的车速空转，使制动盘自然降温。

7.2.9.6 当制动盘温度降至 120℃时，立即将试验台车速降至 1 km/h 以下（降速过程中不施加液压制动），再对样件施加 2 MPa 的制动液压，间隔 0.5 s 后，在保持施加制动液压 2 MPa 不变的情况下驱动 EPB 电机以 10 kN 的目标夹紧力进行驻车制动，并保持行驻叠加制动 1.5 s，然后先释放行车制动，再释放驻车制动。

7.2.9.7 行车制动和驻车制动完全释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.2.9.8 重复 7.2.9.2~7.2.5.7 的步骤 2 次。

7.2.9.9 按 8.1 的规定计算经 1 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.9.10 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.2.9.2~7.2.9.9 的步骤，计算经 3 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.9.11 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.2.9.2~7.2.9.9 的步骤，计算经 7 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.10 第 1 次热态叠加拖曳试验

7.2.10.1 试验流程图见图 7。

7.2.10.2 将制动钳的执行机构退回至维修位置，使制动衬块不接触制动盘。

7.2.10.3 驱动 EPB 电机，以 10 kN 的目标夹紧力将执行机构设定至初始工作位置。

7.2.10.4 对样件预施加 1 MPa 的制动液压，保持 5 s 后卸压至零，共进行 5 次。

7.2.10.5 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125℃，然后将试验台车速从 80 km/h 降至 20 km/h（降速过程中不施加液压制动），并以 20 km/h 的车速空转，使制动盘自然降温。

7.2.10.6 当制动盘温度降至 120℃时，立即将试验台车速降至 1 km/h 以下（降速过程中不施加液压制动），再对样件施加 2 MPa 的制动液压，间隔 0.5 s 后，在保持制动液压 2 MPa 不变的情况下驱动 EPB 电机以 10 kN 的目标夹紧力进行驻车制动，并保持行驻叠加制动 1.5 s，然后先释放行车制动，再释放驻车制动。

7.2.10.7 行车制动和驻车制动完全释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 80 km/h，然后以 1 MPa 的制动液压进行减速制动，直至车速降至 20 km/h 后释放制动液压至零，并保持 20 km/h±1 km/h 的车速连续运转 150 s。

7.2.10.8 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.2.10.9 重复 7.2.10.2~7.2.10.8 的步骤 2 次。

7.2.10.10 按 8.2 的规定计算经 1 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.10.11 将制动液压变更为 3 MPa，重复 7.2.10.2~7.2.10.10 的步骤，计算经 3 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.10.12 将制动液压变更为 7 MPa，重复 7.2.10.2~7.2.10.10 的步骤，计算经 7 MPa 预加压并执行叠加制动后的动态拖滞扭矩。

7.2.11 磨合试验

同 7.1.7。

7.2.12 第 2 次常温驻车滑行试验

同 7.2.3。

7.2.13 第 2 次常温驻车拖曳试验

同 7.2.4。

7.2.14 第 2 次常温叠加滑行试验

同 7.2.5。

7.2.15 第 2 次常温叠加拖曳试验

同 7.2.6。

7.2.16 第2次热态驻车滑行试验

同7.2.7。

7.2.17 第2次热态驻车拖曳试验

同7.2.8。

7.2.18 第2次热态叠加滑行试验

同7.2.9。

7.2.19 第2次热态叠加拖曳试验

同7.2.10。

7.2.20 试验后检查

同7.1.12。

7.3 EMB 电子机械制动器总成

7.3.1 试验前准备

同7.1.1。

7.3.2 无衬块滑行试验

同7.1.2。

7.3.3 第1次常温滑行试验

7.3.3.1 试验流程图见图8。

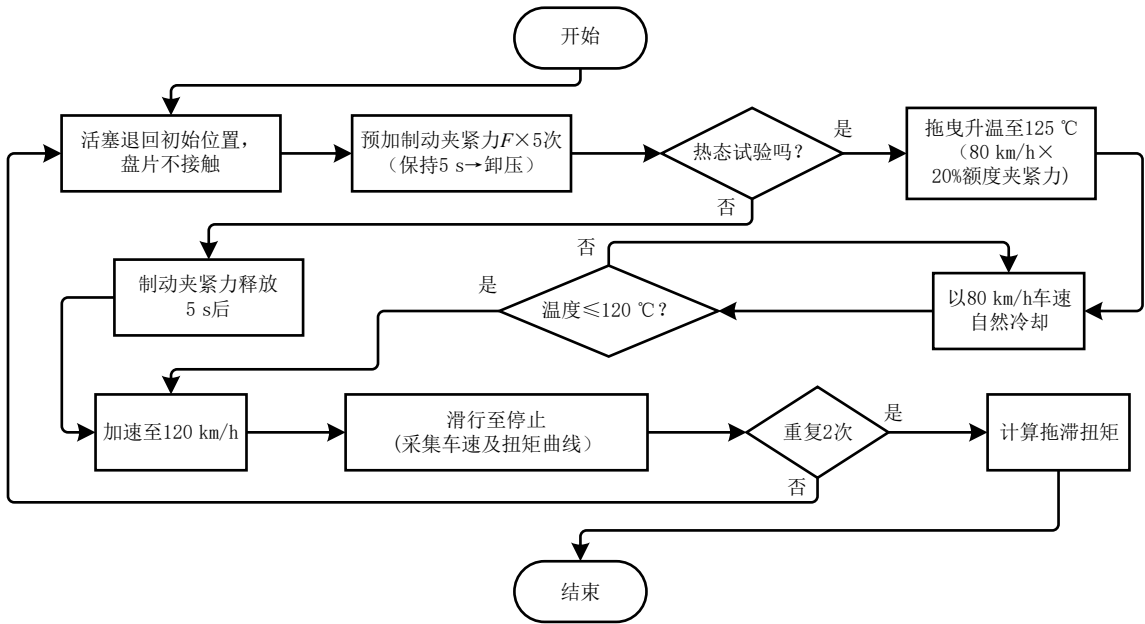


图8 EMB 电子机械制动器滑行试验流程图

7.3.3.2 将制动钳的执行机构退回至初始位置，使制动衬块不接触制动盘。

7.3.3.3 对样件以10%额定夹紧力为目标夹紧力进行预加压，保持5 s后释放，共进行5次。

注：夹紧力释放后，EMB执行机构自动回位，制动间隙恢复至初始工作状态，以下同。

7.3.3.4 最后一次制动释放5 s后，模拟车辆从静止加速至120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.3.3.5 重复7.3.3.2~7.3.3.4的步骤2次。

7.3.3.6 按 8.1 的规定计算经 10%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.3.7 将制动夹紧力变更为 30%额定夹紧力，重复 7.3.3.2~7.3.3.6 的步骤，计算经 30%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.3.8 将制动夹紧力变更为 70%额定夹紧力，重复 7.3.3.2~7.3.3.6 的步骤，计算经 70%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.4 第 1 次常温拖曳试验

7.3.4.1 试验流程图见图 9。

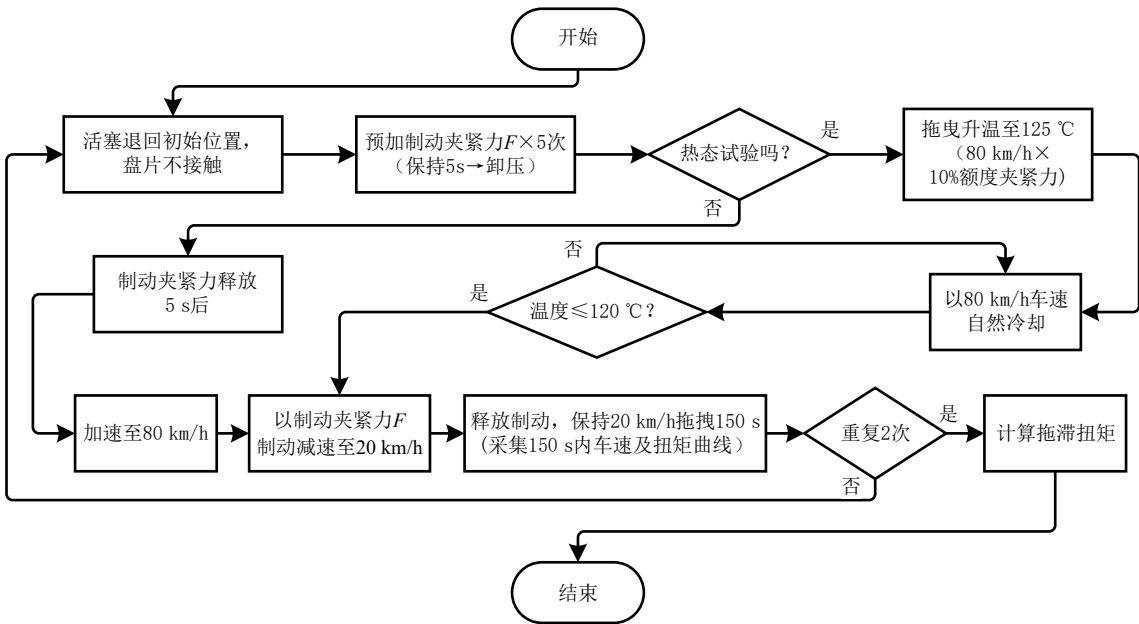


图9 EMB 电子机械制动器拖曳试验流程图

7.3.4.2 将制动钳的执行机构退回至初始位置，使制动衬块不接触制动盘。

7.3.4.3 对样件以 10%额定夹紧力为目标夹紧力进行预加压，保持 5 s 后释放，共进行 5 次。

7.3.4.4 最后一次制动释放 5 s 后，模拟车辆从静止加速至 80 km/h，然后以 10%额定夹紧力进行减速制动，直至车速降至 20 km/h 后释放制动夹紧力，并保持 20 km/h±1 km/h 的车速连续运转 150 s。

7.3.4.5 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.3.4.6 重复 7.3.4.2~7.3.4.5 的步骤 2 次。

7.3.4.7 按 8.2 的规定计算经 10%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.4.8 将制动夹紧力变更为 30%额定夹紧力，重复 7.3.4.2~7.3.4.7 的步骤，计算经 30%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.4.9 将制动夹紧力变更为 70%额定夹紧力，重复 7.3.4.2~7.3.4.7 的步骤，计算经 70%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.5 第 1 次热态滑行试验

7.3.5.1 试验流程图见图 8。

7.3.5.2 将制动钳的执行机构退回至初始位置，使制动衬块不接触制动盘。

7.3.5.3 对样件以 10%额定夹紧力为目标夹紧力进行预加压，保持 5 s 后释放，共进行 5 次。

7.3.5.4 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125℃，并保持 80 km/h 恒速运行。

7.3.5.5 当制动盘温度降至 120℃时，模拟车辆从当前车速 3 s 内加速至 120 km/h，然后滑行至停止，记录滑行过程中的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.3.5.6 重复 7.3.5.2~7.3.5.5 的步骤 2 次。

7.3.5.7 按 8.1 的规定计算经 10%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.5.8 将制动夹紧力变更为 30%额定夹紧力, 重复 7.3.5.2~7.3.5.7 的步骤, 计算经 30%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.5.9 将制动夹紧力变更为 70%额定夹紧力, 重复 7.3.5.2~7.3.5.7 的步骤, 计算经 70%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.6 第 1 次热态拖曳试验

7.3.6.1 试验流程图见图 9。

7.3.6.2 将制动钳的执行机构退回至初始位置, 使制动衬块不接触制动盘。

7.3.6.3 对样件以 10%额定夹紧力为目标夹紧力进行预加压, 保持 5 s 后释放, 共进行 5 次。

7.3.6.4 按附录 A 规定的制动器温升控制程序将制动盘温度升至 125 ℃, 并保持 80 km/h 恒速运行。

7.3.6.5 当制动盘温度降至 120 ℃时, 以 10%额定夹紧力进行减速制动, 直至车速降至 20 km/h 后释放制动夹紧力, 并保持 20 km/h $\pm$ 1 km/h 的车速连续运转 150 s。

7.3.6.6 测量并记录制动完全释放后 150 s 内的车速及拖滞扭矩随时间的变化曲线。

7.3.6.7 重复 7.3.6.2~7.3.6.6 的步骤 2 次。

7.3.6.8 按 8.2 的规定计算经 10%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.6.9 将制动夹紧力变更为 30%额定夹紧力, 重复 7.3.6.2~7.3.6.8 的步骤, 计算经 30%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.6.10 将制动夹紧力变更为 70%额定夹紧力, 重复 7.3.6.2~7.3.6.8 的步骤, 计算经 70%额定夹紧力预加压后的动态拖滞扭矩。

7.3.7 磨合试验

同 7.1.7。

7.3.8 第 2 次常温滑行试验

同 7.3.3。

7.3.9 第 2 次常温拖曳试验

同 7.3.4。

7.3.10 第 2 次热态滑行试验

同 7.3.5。

7.3.11 第 2 次热态拖曳试验

同 7.3.6。

7.3.12 试验后检查

同 7.1.12。

8 数据处理方法

8.1 滑行试验

8.1.1 对每一次滑行试验数据, 按公式(3)分别计算以下拖滞扭矩算术平均值: $T_{SMA(120)}$ 、 $T_{SMA(110)}$ 、 $\cdots$ 、 $T_{SMA(10)}$ 。

$$T_{SMA(v)} = \frac{1}{N} \sum_{i=k}^{k+N-1} T_{[i]} \cdots \cdots (3)$$

式中:

$T_{SMA(v)}$ ——一次滑行试验过程中, 车速降至 v 时的拖滞扭矩算术平均值 (见图 10), 单位为 $N \cdot m$;

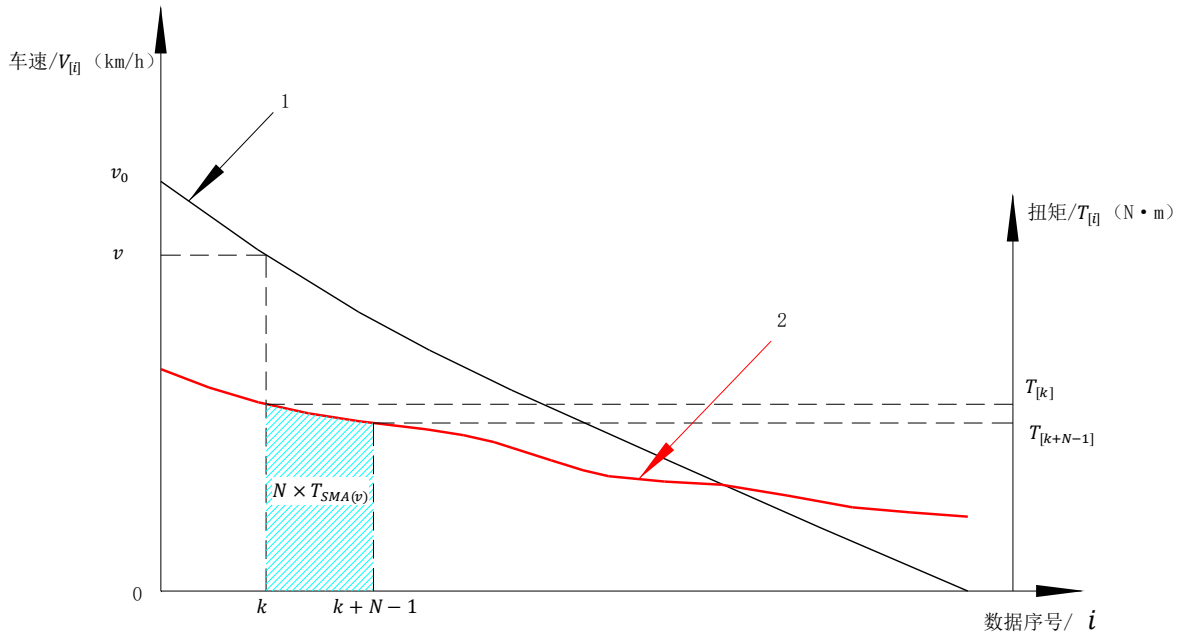
i, k ——自然数, $i=0, 1, 2, \cdots$; $k=0, 1, 2, \cdots$ 。

N ——计算常数, 取 $N=180$;

$T_{[i]}$ ——一次滑行试验测得的拖滞扭矩数组中第 i 个数据点的拖滞扭矩数值, 单位为 $N \cdot m$;

$T_{[k]}$ ——车速降至 v 时测得的第1个数据点的拖滞扭矩数值，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{[k+N-1]}$ ——从车速降至 v 开始，连续测得的第 N 个数据点的拖滞扭矩数值，单位为 $N \cdot m$ 。



标引序号说明：

1—— $V_{[i]}$ 曲线；

2—— $T_{[i]}$ 曲线；

v_0 ——滑行试验初始车速；

v ——车速；

N ——计算常数，取 $N=180$ ；

$T_{[k]}$ ——车速降至 v 时测得的第1个数据点的拖滞扭矩数值；

$T_{[k+N-1]}$ ——从车速降至 v 开始，连续测得的第 N 个数据点的拖滞扭矩数值；

$T_{SMA(v)}$ ——车速降至 v 时的拖滞扭矩算术平均值。

图10 滑行试验曲线示意

8.1.2 按公式（4）计算无衬块滑行试验的拖滞扭矩算术平均值 $T_{SMA_padless(v,avg)}$ 。

$$T_{SMA_padless(v,avg)} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 T_{SMA_padless(v,i)} = (T_{SMA_padless(v,1)} + T_{SMA_padless(v,2)})/2 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$T_{SMA_padless(v,i)}$ ——第 i 次无衬块滑行试验的 $T_{SMA,v}$ ，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{SMA_padless(v,1)}$ ——第1次无衬块滑行试验的 $T_{SMA,v}$ ，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{SMA_padless(v,2)}$ ——第2次无衬块滑行试验的 $T_{SMA,v}$ ，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{SMA_padless(v,avg)}$ —— $T_{SMA_padless(v,1)}$ 和 $T_{SMA_padless(v,2)}$ 的平均值，单位为 $N \cdot m$ 。

8.1.3 按公式（5）计算带衬块滑行试验的拖滞扭矩算术平均值 $T_{SMA_pad(v,avg)}$ 。

$$T_{SMA_pad(v,avg)} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 T_{SMA_pad(v,i)} = (T_{SMA_pad(v,1)} + T_{SMA_pad(v,2)} + T_{SMA_pad(v,3)})/3 \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$T_{SMA_pad(v,i)}$ ——第 i 次带衬块滑行试验的 $T_{SMA,v}$ ，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{SMA_pad(v,1)}$ ——第1次带衬块滑行试验的 $T_{SMA,v}$ ，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{SMA_pad(v,2)}$ ——第2次带衬块滑行试验的 $T_{SMA,v}$ ，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{SMA_pad(v,3)}$ ——第3次带衬块滑行试验的 $T_{SMA,v}$ ，单位为 $N \cdot m$ ；

$T_{SMA_pad(v,avg)}$ —— $T_{SMA_pad(v,1)}$ 、 $T_{SMA_pad(v,2)}$ 和 $T_{SMA_pad(v,3)}$ 的平均值，单位为 $N \cdot m$ 。

8.1.4 按公式（6）计算各车速 v 下的动态拖滞扭矩 T_v 。

$$T_v = T_{SMA_pad(v,avg)} - T_{SMA_padless(v,avg)} \dots\dots\dots (6)$$

式中:

T_v ——车速 v 时的动态拖滞扭矩数值, 单位为 $N \cdot m$;

$T_{SMA_pad}(v, avg)$ —— $T_{SMA_pad}(v, 1)$ 、 $T_{SMA_pad}(v, 2)$ 和 $T_{SMA_pad}(v, 3)$ 的平均值, 单位为 $N \cdot m$ 。

$T_{SMA_padless}(v, avg)$ —— $T_{SMA_padless}(v, 1)$ 和 $T_{SMA_padless}(v, 2)$ 的平均值, 单位为 $N \cdot m$ 。

8.1.5 单次滑行试验测试结果记录示例见表 4。

8.1.6 以车速 v 为横坐标, 动态拖滞扭矩 T_v 为纵坐标, 绘制动态拖滞扭矩-车速曲线。

表4 01#样件预加 1 MPa 液压释放后 120 km/h 滑行试验测试结果记录示例

车速 km/h	无衬块滑行拖滞扭矩/ $T_{SMA_padless}(v, i)$ $N \cdot m$			带衬块滑行拖滞扭矩/ $T_{SMA_pad}(v, i)$ $N \cdot m$				动态拖 滞/ T_v $N \cdot m$
	第1次试验/ $T_{SMA_padless}(v, 1)$	第2次试验/ $T_{SMA_padless}(v, 2)$	平均值/ $T_{SMA_padless}(v, avg)$	第1次试验/ $T_{SMA_pad}(v, 1)$	第2次试验/ $T_{SMA_pad}(v, 2)$	第3次试验/ $T_{SMA_pad}(v, 3)$	平均值/ $T_{SMA_pad}(v, avg)$	
120	2.5	3.1	2.8	8.9	7.8	7.3	8.0	5.2
110	2.2	3.1	2.7	8.8	7.4	6.9	7.7	5.1
100	2.0	2.2	2.1	8.1	7.8	6.5	7.5	5.4
90	1.7	2.6	2.2	8.2	7.7	6.6	7.5	5.4
80	1.6	2.0	1.8	7.9	7.3	6.2	7.1	5.3
70	1.6	1.8	1.7	7.6	7.5	5.7	6.9	5.2
60	1.5	1.7	1.6	8.2	7.0	5.7	7.0	5.4
50	1.4	1.9	1.7	7.5	6.5	5.6	6.5	4.9
40	1.3	1.9	1.6	7.8	7.0	5.9	6.9	5.3
30	1.2	1.8	1.5	6.1	6.7	5.6	6.1	4.6
20	1.0	1.5	1.3	5.9	6.8	5.5	6.1	4.8
10	0.8	0.9	0.9	6.4	6.3	4.9	5.9	5.0

8.2 拖曳试验

8.2.1 对每一次拖曳试验数据, 按公式(7)~(10)分别计算第10 s至第20 s、第30 s至第40 s和第120 s至第130 s的拖滞扭矩平均值 $T_{avg(10s, 20s)}$ 、 $T_{avg(30s, 40s)}$ 和 $T_{avg(120s, 130s)}$, 以及第10 s至第130 s拖滞扭矩的最大值 $T_{max(10s, 130s)}$ 。

$$T_{avg(10s, 20s)} = \frac{1}{N_1} \sum_{i=k_1}^{k_1+N_1-1} T_{[i]} \dots\dots\dots (7)$$

$$T_{avg(30s, 40s)} = \frac{1}{N_2} \sum_{i=k_2}^{k_2+N_2-1} T_{[i]} \dots\dots\dots (8)$$

$$T_{avg(120s, 130s)} = \frac{1}{N_3} \sum_{i=k_3}^{k_3+N_3-1} T_{[i]} \dots\dots\dots (9)$$

$$T_{max(10s, 130s)} = \text{Max}\{T_{[i]} | k_1 \leq i \leq k_1 + N_4 - 1\} \dots\dots\dots (10)$$

式中:

$T_{[i]}$ ——一次拖曳试验测得的拖滞扭矩数组中第 i 个数据点的拖滞扭矩数值, 单位为 $N \cdot m$;

i ——自然数, $i=0, 1, 2, \dots$;

k_1 ——第10 s时刻对应的数据点序号;

N_1 ——第10 s至第20 s时长内的采样点数;

k_2 ——第30 s时刻对应的数据点序号;

N_2 ——第30 s至第40 s时长内的采样点数;

k_3 ——第120 s时刻对应的数据点序号;

N_3 ——第120 s至第130 s时长内的采样点数;

N_4 ——第10 s至第130 s时长内的采样点数;

$T_{avg(10s, 20s)}$ ——一次拖曳试验过程中, 第10 s至第20 s的拖滞扭矩算术平均值, 单位为 $N \cdot m$ 。

$T_{avg(30s, 40s)}$ ——一次拖曳试验过程中, 第30 s至第40 s的拖滞扭矩算术平均值, 单位为 $N \cdot m$ 。

$T_{avg(120s, 130s)}$ ——一次拖曳试验过程中, 第120 s至第130 s的拖滞扭矩算术平均值, 单位为 $N \cdot m$ 。

$T_{max(10s, 130s)}$ ——一次拖曳试验过程中第10 s至第130 s的拖滞扭矩最大值, 单位为 $N \cdot m$ 。

8.2.2 绘制出不同温度、制动液压条件下的拖滞扭矩图，参见图 11。

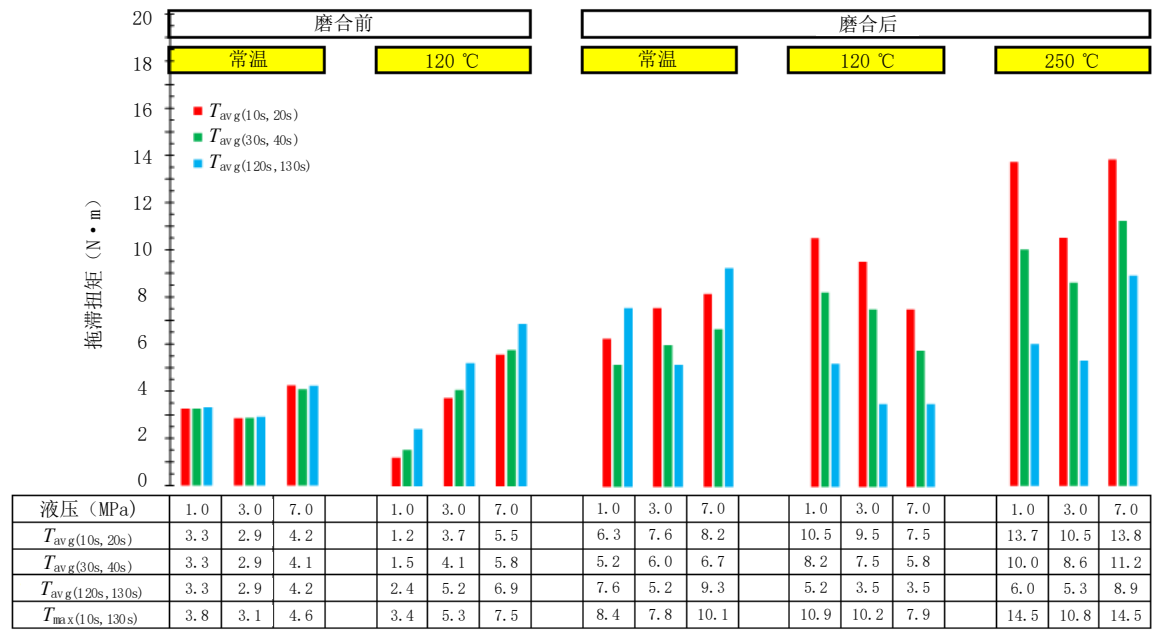


图11 不同温度、液压条件下的拖滞扭矩测试结果示意图

附 录 A
(规范性)
制动器温升控制程序

A.1 无 EPB 液压盘式制动器总成

当制动盘温度低于要求的设定温度时，按下列试验条件进行制动升温：

- a) 模拟车辆以 80 km/h 恒速运行；
- b) 以 1 MPa 的制动液压进行持续拖曳制动；
- c) 实时监测制动盘温度，当制动盘温度达到高于设定温度时，立即释放制动液压并退出温升程序。

A.2 EPB 集成式液压盘式制动器总成

同A.1。

A.3 EMB 电子机械制动器总成

当制动盘温度低于要求的设定温度时，按下列试验条件进行制动升温：

- a) 模拟车辆以 80 km/h 恒速运行；
- b) 以 10%额定夹紧力为目标夹紧力进行持续拖曳制动；
- c) 实时监测制动盘温度，当制动盘温度达到高于设定温度时，立即释放制动夹紧力并退出温升程序。

附 录 B
(资料性)
动态拖滞试验步骤顺序表

B.1 无 EPB 液压盘式制动器总成

无EPB液压盘式制动器总成的动态拖滞试验步骤见表B. 1。

表B. 1 无 EPB 液压盘式制动器总成动态拖滞试验步骤

试验 顺序	试验项目	制动盘初温 ℃	静态预制动			动态预制动			数据采集		制动减速度 m/s ²	试验 次数 次
			制动液压 MPa	保持时间 s	加压次数 次	初速度 km/h	末速度 km/h	制动液压 MPa	初速度 km/h	末速度 km/h		
1	试验前准备	—	—	—	—	120	120	0	—	—	—	—
2	无衬块滑行试验	室温	—	—	—	—	—	—	120	1	—	2
3	第1次常温滑行试验	室温	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
4	第1次常温拖曳试验	室温	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
5	第1次热态滑行试验	120	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
6	第1次热态拖曳试验	120	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
7	磨合试验	≤110	—	—	—	65	1	—	—	—	3	200
8	第2次常温滑行试验	室温	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
9	第2次常温拖曳试验	室温	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
10	第2次热态滑行试验	120	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
11	第2次热态拖曳试验	120	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
12	试验后检查	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：试验方法见7. 1。												

B.2 EPB 集成式液压盘式制动器总成

EPB集成式液压盘式制动器总成的动态拖滞试验步骤见表B. 2。

表B. 2 EPB 集成式液压盘式制动器总成动态拖滞试验步骤

试验 顺序	试验项目	制动盘 初温 ℃	驻车制动		静态预加压			动态预制动			数据采集		制动 减速度 m/s ²	试验 次数 次
			驻车 液压 MPa	驻车 夹紧力 kN	制动液压 MPa	保持 时间 s	加压 次数 次	初速度 km/h	末速度 km/h	制动液压 MPa	初速度 km/h	末速度 km/h		
1	试验前准备	—	—	—	—	—	—	120	120	0	—	—	—	—
2	无衬块滑行试验	—	—	—	—	—	—			—	120	1	—	2
3	第1次常温驻车滑行试验	室温	—	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
4	第1次常温驻车拖曳试验	室温	—	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
5	第1次常温叠加滑行试验	室温	2	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
6	第1次常温叠加拖曳试验	室温	2	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
7	第1次热态驻车滑行试验	120	—	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
8	第1次热态驻车拖曳试验	120	—	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
9	第1次热态叠加滑行试验	120	2	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
10	第1次热态叠加拖曳试验	120	2	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
11	磨合试验	≤110	—	—	—	—	—	65	1	—	—	—	3	200
12	第2次常温驻车滑行试验	室温	—	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
13	第2次常温驻车拖曳试验	室温	—	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
14	第2次常温叠加滑行试验	室温	2	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
15	第2次常温叠加拖曳试验	室温	2	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
16	第2次热态驻车滑行试验	120	—	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
17	第2次热态驻车拖曳试验	120	—	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
18	第2次热态叠加滑行试验	120	2	10	1, 3, 7	5	5	—	—	—	120	1	—	3
19	第2次热态叠加拖曳试验	120	2	10	1, 3, 7	5	5	80	20	1, 3, 7	20	20	—	3
20	试验后检查	—	—		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：试验方法见7. 2。														

B.3 EMB 电子机械制动器总成

EMB电子机械制动器总成的动态拖滞试验步骤见表B.3。

表B.3 EMB 电子机械制动器总成动态拖滞试验步骤

试验 顺序	试验项目	制动盘 初温 ℃	静态预制动			动态预制动			数据采集		制动减 速度 m/s ²	试验 次数 次
			目标夹紧力 kN	保持 时间 s	加压 次数 次	初速度 km/h	末速度 km/h	目标夹紧力 kN	初速度 km/h	末速度 km/h		
1	试验前准备	—	—	—	—	120	120	0	—	—	—	—
2	无衬块滑行试验	室温	—	—	—	—	—	—	120	1	—	2
3	第1次常温滑行试验	室温	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	—	—	—	120	1	—	3
4	第1次常温拖曳试验	室温	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	80	20	10%、30%、70% 额定夹紧力	20	20	—	3
3	第1次热态滑行试验	120	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	—	—	—	120	1	—	3
4	第1次热态拖曳试验	120	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	80	20	10%、30%、70% 额定夹紧力	20	20	—	3
5	磨合试验	≤110	—	—	—	65	1	—	—	—	3	200
6	第2次常温滑行试验	室温	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	—	—	—	120	1	—	3
7	第2次常温拖曳试验	室温	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	80	20	10%、30%、70% 额定夹紧力	20	20	—	3
6	第2次热态滑行试验	120	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	—	—	—	120	1	—	3
7	第2次热态拖曳试验	120	10%、30%、70% 额定夹紧力	5	5	80	20	10%、30%、70% 额定夹紧力	20	20	—	3
8	试验后检查	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
注：试验方法见7.3。												
