

附件 1

ICS

CCS

团 体 标 准

T/CAQI XXX—2024

汽车用碳陶制动盘技术要求及测试方法

Technical requirements and test methods of carbon ceramic driving
disc for automobiles

(征求意见稿)

2024-XX-XX 发布

2024-XX-XX 实施

中国质量检验协会 发 布

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有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由××××提出。

本文件由中国质量检验协会归口。

本文件主要起草单位：

本文件主要起草人：

汽车用碳陶制动盘技术要求及测试方法

1 范围

本文件规定了汽车用碳陶制动盘(以下简称“制动盘”)的材料要求、尺寸及形位公差、性能要求、试验及评价方法等。

本文件适用于GB/T 15089规定的M1类车辆原车配套、盘体材料为连续碳纤维增强的碳陶复合材料制动盘,短碳纤维增强的碳陶复合材料的制动盘可参照执行。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法
- GB/T 1031 产品几何量技术规范(GPS) 表面结构 轮廓法 表面粗糙度参数及其数值
- GB/T 1958 产品几何量技术规范(GPS) 形状和位置公差 检测规定
- GB/T 2493 砂轮的回转试验方法
- GB/T 3177 产品几何量技术规范(GPS) 光滑工件尺寸的检验
- GB/T 3398.2 塑料 硬度测试 第2部分:洛氏硬度
- GB/T 6461 金属基体上金属和其他无机覆盖层经腐蚀试验后的试样和试件的评级
- GB/T 6569 精细陶瓷弯曲强度试验方法
- GB/T 9239 机械振动 恒态(刚性)转子平衡品质要求
- GB/T 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验
- GB/T 14389 工程陶瓷冲击韧性试验方法
- GB/T 15089 机动车辆及挂车分类
- GB/T 30512 汽车禁用物质要求
- GB/T 33501 碳碳复合材料拉伸性能试验方法
- GB/T 34422 汽车用制动盘
- GB/T 34559 碳碳复合材料压缩性能试验方法
- QC/T 556 汽车制动器 温度测量和热电偶安装
- QC/T 564 乘用车制动器性能要求及台架试验方法
- QC/T 592 液压制动钳总成性能要求及台架试验方法
- SAE J2522 Inertia Dynamometer Disc And Drum Brake Effectiveness Test Procedure

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 碳陶 C/C-SiC

碳纤维增强碳基和陶瓷基复合材料。

3.2 盘体 brake disc body

制动盘中与刹车片配合起摩擦制动作用的零件。

3.3 盘毂 disc hub

非整体式碳陶制动盘中与盘体和车轴连接的零件。

3.4 整体式碳陶制动盘 integral C/C-SiC brake disc

整体结构全部由碳陶材料制备的制动盘。

3.5 非整体式碳陶制动盘 non-integral C/C-SiC brake disc

由碳陶盘体、金属盘毂、紧固件及附属件组成的制动盘。

3.6 厚度差 disc thickness variation (DTV)

两制动面厚度在任一圆周/径向上的变化量。

3.7 最小使用厚度 minimum thickness

制动盘磨损后的最小可用剩余厚度。

3.8 AMS 试验 AMS test

起源于德国知名汽车杂志Auto Motor Sport, 规定了一种高强度的制动性能试验工况。

3.9 最小使用重量 minimum working weight

在满足安全性能的前提下，制动盘可以正常工作且保持最佳性能的最小质量。

3.10 盘体密度 disk density

单位体积制动盘材料的质量。

4 技术要求

4.1 总则

产品应按规定程序批准的产品图样及技术文件制造。

4.2 盘体材料要求

盘体材料物理及力学性能、物相组成应符合表1规定。

表 1 盘体材料要求

盘体材料	物理及力学性能							
	抗弯强度 MPa	抗压强度 MPa	冲击韧性 kJ/m ²	抗拉强度 MPa	制动面硬 度 HRL	单侧制动 面硬度差 HRL	双侧制动 面硬度差 HRL	密度 g/cm ³
碳陶 复合材料	≥60	≥200	≥10	≥60	≥100	≤15	≤20	≥2.0

4.3 盘毂材料性能

对于非整体式制动盘，盘毂材料为金属材料，其力学性能应满足抗拉强度≥150MPa。盘毂材料及力学性能参数也可由供需双方协商确定。

4.4 制动盘尺寸公差和形位公差

制动盘尺寸公差和形位公差应符合表2规定。

表 2 制动盘尺寸公差和形位公差

车辆 类型	制动面跳 动 mm	制动盘周向 DTV mm	制动盘径向 DTV mm	制动面与轮毂安 装面的平行度 mm	轮辋安装面跳 动 mm	制动面平面度 mm
M1	≤0.05	≤0.01	≤0.05	≤0.10	≤0.05	≤0.05

4.5 制动面粗糙度

制动盘制动面表面粗糙度Ra值不应大于3.2 μm。

4.6 剩余不平衡量

4.6.1 制动盘剩余不平衡量应小于 500g•mm，也可由供需双方协商确定。

4.6.2 制动盘平衡量应采用去除材料的方法，去除材料的尺寸应符合图 1 的要求。

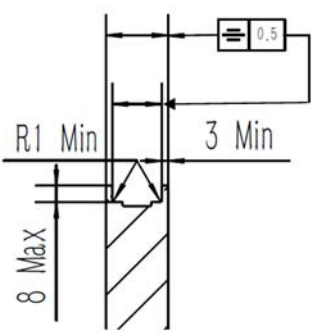


图 1 制动盘去除材料示意图

注：单位为毫米。

5 外观要求

5.1 盘面裂纹

允许出现较浅的网状裂纹,不应存在延伸到基体的裂纹;不应存在贯穿裂纹(裂纹直线贯穿整个盘面内外径或裂纹贯穿整个涂层)。

注:制动盘基体是以碳纤维为增强材料的复合材料,制动盘涂层是覆盖在基体表面的一层陶瓷材料。

5.2 残余硅渣

工作面与盘毂安装面不允许有残硅,内外轮廓面的残硅外轮廓直径 $\leq 2\text{ mm}$,高度 $\leq 0.3\text{ mm}$ 。

5.3 崩边/掉块

单个摩擦面轻微掉块缺陷总数量不超过4处,摩擦面穿孔眼边缘单个缺陷不允许超过 $2\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 、摩擦面内环损坏 $2\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 缺陷、摩擦面外环损坏 $2\text{ mm}\times 1\text{ mm}$ 缺陷、非摩擦面不允许出现 $3\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 以上的掉块缺陷。

5.4 砂眼缺陷

单侧摩擦面单个砂眼直径 $\leq 0.5\text{ mm}$,同时在任意 $50\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 的区域内,砂眼总数量不超过8个。

6 性能要求

6.1 回转强度

按GB/T 2493砂轮的回转试验方法试验后,应满足如下要求:制动盘破碎时的转速不应小于3000转/分钟。

6.2 静扭强度

按附录A.5.1的规定进行静扭强度试验后,整体式碳陶制动盘不应出现A.3.1所述失效,非整体式碳陶制动盘不应出现A.3.2所述失效。

6.3 热疲劳性能

按附录A.5.2的规定进行热疲劳试验后,应满足如下要求:制动盘样品失效时的热疲劳试验循环数不应小于150。

6.4 高负载试验

按附录A.5.3的规定进行高负载试验后,整体式碳陶制动盘不应出现A.3.1所述失效,非整体式碳陶制动盘不应出现A.3.2所述失效。

6.5 AMS

按附录A.5.4的规定进行AMS试验后,整体式碳陶制动盘不应出现A.3.1所述失效,非整体式碳陶制动盘不应出现A.3.2所述失效。

6.6 最低使用重量

制动盘应在显著位置注明最低使用厚度,标识应清晰、永久,也可由供需双方协商确定。

6.7 涂装要求

对于非整体式碳陶制动盘,应对金属盘毂、紧固件及附属件进行防腐检验。

6.7.1 涂层耐高温性能

金属盘毂、紧固件及附属件在300℃空气气氛环境下放置1小时，自然冷却至室温后，喷涂区域涂层不应出现任何起泡、裂纹、脱落现象。

6.7.2 涂层耐腐蚀性能

金属盘毂、紧固件及附属件在300℃环境下放置1小时，自然冷却至室温后，按照GB/T 10125进行中性盐雾试验不应小于120小时。

7 禁用、限制物质要求

制动盘需满足GB/T 30512汽车禁用物质要求。

8 检验方法

8.1 盘体制动面硬度

- a) 盘体制动面的硬度检测按 GB/T 3398.2 的规定进行。
- b) 硬度检测部位应在制动面中部，沿圆周均布测试至少 4 个点（如图 2 示）。
- c) 通风盘的硬度应选择在筋条正上方的制动面测试。
- d) 每一点硬度均应符合表 1 中的规定。

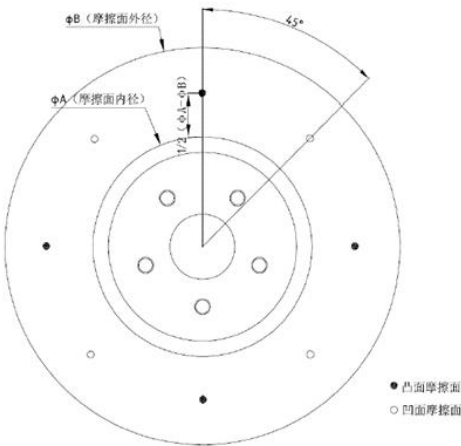


图 2 硬度检测位置

8.2 力学性能

8.2.1 盘体的抗压试验按照 GB / T 34559 进行。

- a) 试样尺寸 B×W×L 为 10×10×10mm（如图 3），试样的载荷加载方向如下图 4 规定。
- b) 试验试样应取自试棒或本体，数量不少于 5 根，试验结果中 5 个测试值的算术平均值符合表 1 规定时为合格；
- c) 试验的结果不合格时，应从该炉次中重新抽取 5 个试样进行复试。

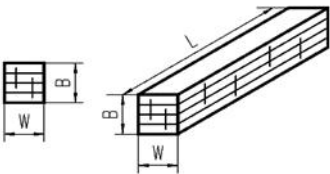


图3 试样尺寸

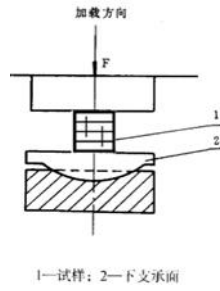


图4 抗压试验载荷加载方向

8.2.2 盘体的抗弯试验按照 GB/T 6569 进行。

- a) 试样尺寸 $B \times W \times L$ 为 $4 \times 10 \times 55\text{mm}$ (如图5), 试样的载荷加载方向如图6规定。
- b) 试验试样应取自试棒或本体, 数量不少于5根, 试验结果中5个测试值的算术平均值符合表1规定时为合格;
- c) 试验的结果不合格时, 应从该炉次中重新抽取5个试样进行复试。

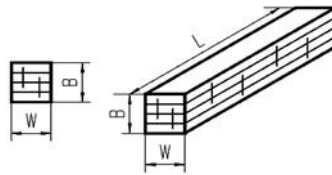


图5 试样尺寸

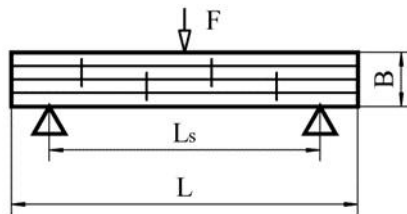


图6 抗弯试验载荷加载方向

8.2.3 盘体的冲击韧性试验按照 GB/T 14389 进行。

- a) 试样尺寸 $B \times W \times L$ 为 $10 \times 10 \times 55\text{mm}$ (如图7), 试样的载荷加载方向如图8规定。
- b) 试验试样应取自试棒或本体, 数量不少于5根, 试验结果中5个测试值的算术平均值符合表1规定时为合格;
- c) 试验的结果不合格时, 应从该炉次中重新抽取5个试样进行复试。

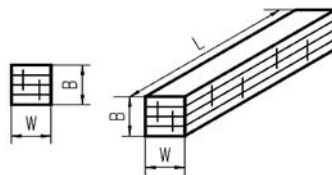


图7 试样尺寸

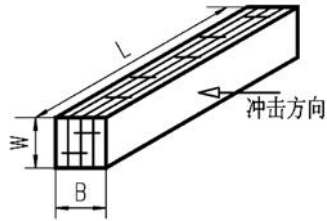


图 8 冲击韧性试验载荷加载方向

8.2.4 盘体的抗拉试验按照 GB/T 33501 进行。

- a) 试样尺寸 $B \times W \times L$ 为 $10 \times 15 \times 150\text{mm}$ (如图 9)，试样的载荷加载方向如图 10 规定。
- b) 试验试样应取自试棒或本体，数量不少于 5 根，试验结果中 5 个测试值的算术平均值符合表 1 规定时为合格；
- c) 试验的结果不合格时，应从该炉次中重新抽取 5 个试样进行复试。

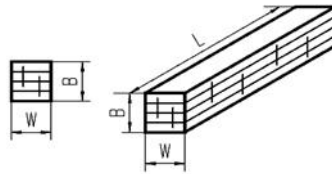


图 9 试样尺寸



图 10 抗拉试验载荷加载方向

8.2.5 金属盘毂的抗拉强度试验按 GB/T 228 的规定进行。

- a) 试验试样应取自试棒或本体，按照 GB/T 9439 的规定进行试样的制备。
- b) 试验结果的评定及试验的有效性按 GB/T 9439 的规定。

8.3 盘体密度

采用排水法测试试样的体积密度，试样尺寸 $B \times W \times L$ 为 $10 \times 10 \times 10\text{mm}$ (如图 11)，采用精度为 0.001g 的电子分析天平称量试样质量。

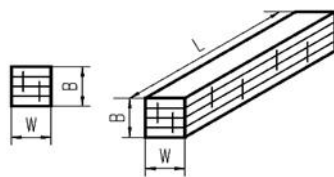


图 11 试样尺寸

8.3.1 通过公式 1 计算试样的密度。

$$D = \frac{m_1 d}{m_3 - m_2} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

D ——密度，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ）；

d ——水的密度，单位为克每立方厘米（ g/cm^3 ）；

m_1 ——试样的干燥质量，单位为克（ g ）；

m_2 ——饱和试样在水中的质重（试样在水中抽真空至试样上无气泡出现后取出，放入静水平金属网篮中称量在水中的重量），单位为克（ g ）；

m_3 ——饱和试样在空气中的质量（试样在水中抽真空至试样上无气泡出现后取出，将表面水擦干净后称量在空气中的重量），单位为克（ g ）。

8.3.2 试验试样应取自试棒或本体，数量不少于 5 根，试验结果中五个测试值的算术平均值符合表 1 规定时为合格。

8.3.3 试验的结果不合格时，应从该炉次中重新抽取 5 个试样进行复试。

8.4 尺寸公差和形位公差

8.4.1 制动盘周向 DTV 的检测位置参考图 12，分别在 1-1'、2-2'、3-3' 三个位置进行检测。

8.4.2 制动面跳动检测位置参考图 11，分别在 3、3' 两个位置进行检测。

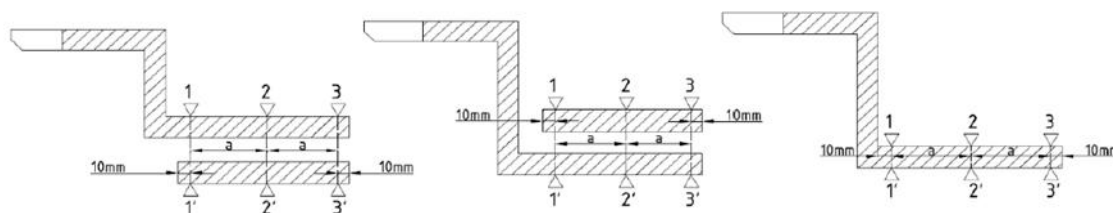


图 12 DTV 及制动面跳动检测位置

8.4.3 DTV 与制动面跳动检测时，工件旋转需大于 2 圈。

8.4.4 基准孔直径，通风盘单边壁厚变化量的检测方法按 GB/T 3177 的规定。

8.4.5 制动面平面度、安装面平面度的检测方法按 GB/T 3177 的规定。

8.5 制动面粗糙度

制动面粗糙度的检测方法按 GB/T 1031 的规定。

8.6 剩余不平衡量

剩余不平衡量的检测方法按 GB/T 9239 的规定。

8.7 外观

在充足的自然光或荧光灯条件下，通过目测和手感方法对产品进行检查。

9 检验规则

9.1 出厂检验

出厂检验项目及抽样数量应按照表 3。

表 3 制动盘尺寸公差和形位公差要求

序号	项目	技术要求	试验方法	抽样数量
1	尺寸公差及形位公差	4.4	9.4	100%
2	剩余不平衡量	5.1	9.6	100%
3	外观	6.0	9.7	100%

9.2 型式试验

有下列情况之一时应进行型式试验。

- c) 新产品或老产品转生产的试制定型鉴定；
- d) 正式生产后，如结构、材料、工艺有较大改变，可能影响产品性能；
- e) 产品长期停产后，恢复生产；
- f) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异；
- g) 国家质量监督机构提出进行型式检验的要求。

附 录 A
(规范性)
制动盘台架试验

A.1 范围

本附录规定了静扭强度、热疲劳、AMS、高负载的台架试验方法、技术要求和失效判定准则。

A.2 试验相关要求

A.2.1 试验惯量

试验惯量的设置应尽可能接近理论惯量。理论惯量是指，在车辆制动时产生的总惯量在相应车轮上分配的惯量。按公式A.1计算。

$$I = M \cdot r_{dyn}^2 \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

I ——理论转动惯量，单位为千克二次方米(kg·m²)；

M ——试验质量(制动时，车辆总质量在相应车轮上分配的质量)，单位为千克(kg)；

r_{dyn} ——轮胎动态滚动半径，单位为米(m)。

A.2.2 试验质量

前制动器的试验质量M的计算方法，按公式A.2计算。

$$M = \frac{G_a(b+T \cdot h_g)}{2 \cdot L} \dots\dots\dots (A.2)$$

后制动器的试验质量 M 的计算方法，按公式 A.3 计算。

$$M = \frac{G_a(a-T \cdot h_g)}{2 \cdot L} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

G_a ——汽车满载总质量，单位为千克(kg)；

L ——汽车轴距，单位为米(m)；

h_g ——汽车满载时重心高度，单位为米(m)；

a ——满载时重心至前轴的水平距离，单位为米(m)；

b ——满载时重心至后轴的水平距离，单位为米(m)；

T ——试验所需最大制动强度；(如无其他规定，所有试验计算前制动器的试验质量时，取减速度1g。

注：计算后制动器的试验质量时，取减速度0.45g, g=9.8m/s²)。

A.2.3 环境要求

A.2.3.1 试验时不带车轮，在试验阶段，若试验无明确规定，则被试制动器处冷却风速应当限定为 11m/s，其他情况下的风速不做限定。

A.2.3.2 若试验无明确规定，出风口的冷却空气温度为：室温。

A.2.3.3 若试验无明确规定，冷却风量要求≥2500m³/h。

A. 2.4 试验设备要求

除另有规定外，试验设备应满足 QC/T 564 中试验设备要求的规定。

A. 2.5 采样率

下列自动数据采集系统取样频率最小100Hz：

- a) 制动等效线速度测试；
- b) 制动管路压力；
- c) 制动输出力矩；
- d) 制动盘温度；
- e) 制动液波动量（可选）；
- f) 冷却风速；

A. 2.6 温度测量

热电偶安装位置为制动衬块接触面的摩擦轨迹中心半径处，温度测量应符合QC/T 556的规定。

A. 3 样品失效判定准则

A. 3.1 整体式碳陶制动盘样品失效判定准则

台架试验过程中，当制动盘出现如下现象之一时，即判定制动盘样品失效。

- a) 制动盘制动面的径向裂纹长度超过制动面宽度的三分之二；
- b) 制动盘制动面有连带面积大于 1cm^2 、深度大于 0.5mm 的剥落；
- c) 制动盘制动面的裂纹达到了制动盘制动面内径或外径；
- d) 制动盘制动面上有贯穿性径向裂纹；
- e) 制动盘在制动面外的任何区域出现变形、结构损坏或裂纹。

A. 3.2 非整体式碳陶制动盘样品失效判定准则

- a) 制动盘制动面的径向裂纹长度超过制动面宽度的三分之二；
- b) 制动盘制动面有连带面积大于 1cm^2 、深度大于 0.5mm 的剥落；
- c) 制动盘制动面的裂纹达到了制动盘制动面内径或外径；
- d) 制动盘制动面上有贯穿性径向裂纹；
- e) 制动盘从连接部位延伸至制动盘内径或外径的裂纹；
- f) 制动盘制动面外的任何区域出现变形、结构损坏或裂纹；
- g) 紧固件出现松动、损坏现象。

A. 4 试验样件准备

A. 4.1 总则

若试验无特殊要求，试验使用随机抽取的正常生产工艺生产的新制动盘进行。

A. 4.2 制动盘要求

A. 4.2.1 若试验无特殊要求，每个试验应测试 3 个样本。

A. 4.2.2 试验前后，应对制动盘的厚度、跳动、DTV、粗糙度进行检测并记录。

A. 4.3 摩擦片要求

试验前后，对试验使用的每一副摩擦片厚度进行检测与记录。

A. 4. 4 制动器总成要求

试验前总成跳动检测应小于等于0.05mm。

A. 5 试验方法及技术要求

A. 5. 1 静扭强度试验

按QC/T 592规定的试验方法进行试验。试样为带新制动衬块的制动钳总成及半磨损状态制动衬块的制动钳总成两种状态，模拟实车状态固定制动钳总成，加液压至20MPa，在沿制动盘旋转方向上施加两倍最大制动力矩的扭矩，并保持5s。

A. 5. 2 热疲劳试验

热疲劳试验应符合表A. 1的规定。

表 A. 1 热疲劳试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按SAE J2522中6.2规定的试验方法进行。
2	热疲劳试验	每循环制动初始温度：100° C； 制动初始速度：80%V _{max} （V _{max} 为厂定最大设计车速）； 制动终止速度：20km/h； 制动周期：70s； 制动减速度：5m/s ² ； 每循环制动次数：2。
注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。		

A. 5. 3 高负载试验

高负载试验应符合表A. 2的规定。

表 A. 2 高负载试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按SAE J2522中6.2规定的试验方法进行。
2	高负载试验	每循环制动初始温度：100° C； 制动初始速度：最大车速； 制动减速度：1g(g=9.8m/s ²)； 制动终止速度：0.5km/h； 每循环制动次数：1； 循环数：70。
注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。		

A. 5. 4 AMS试验

AMS试验应符合表A. 3的规定。

表 A. 3 AMS 试验

序号	试验项目	试验方法及试验条件
1	磨合	按SAE J2522中6.2规定的试验方法进行。
2	AMS试验	每循环制动初始温度：100° C ； 制动初始速度：100km/h ； 制动减速度：1g ($g=9.8\text{m/s}^2$) ； 制动终止速度：0 ； 单个循环制动次数：10 ； 单次制动循环时间： 由 ‘车辆加速时间’ + ‘1秒反应时间’ + ‘减速时间 (2.83s)’ 三部分组成， 不同配置的车辆单次制动循环时间不同， 如下图A.1示； 循环数：1。
注：磨合程序结束后，若盘片贴合面积未达到80%以上，应按序号1的试验方法和试验条件继续磨合。		

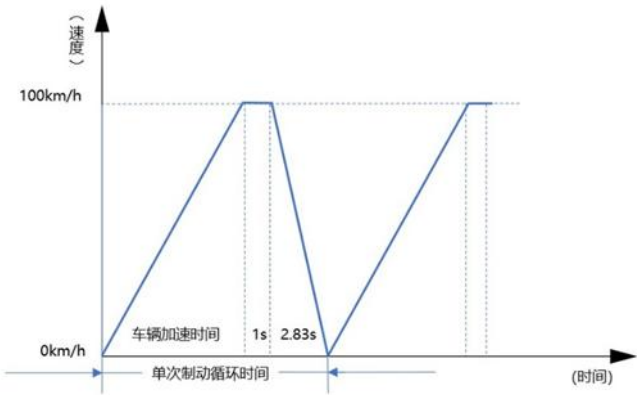


图 A. 1 AMS 单次制动循环时间示意图