

浅析乘用车长下坡山路制动试验方法

管欣臣, 窦 瑞, 马 尧, 李义超

中汽零部件技术(天津)有限公司, 天津

收稿日期: 2025年7月8日; 录用日期: 2025年8月22日; 发布日期: 2025年9月2日

摘 要

针对山区长下坡工况下因制动系统热衰退引发的交通安全问题, 本文提出了一套完整的乘用车长下坡山路制动性能测试方法, 用于分析制动系统在高热负荷下的性能表现。其目的是验证制动系统的安全性, 确保车辆即使在高热负荷下仍能安全制动, 且不会造成制动系统或车辆其他部件的损坏。本文围绕长下坡试验的技术要求、试验内容以及数据分析等方面, 详细介绍乘用车长下坡山路制动试验方法。

关键词

长下坡制动, 道路试验, 试验方法, 制动系统

Analysis of Braking Test Methodology for Passenger Vehicles on Extended Mountain Pass Descents

Xinchen Guan, Rui Dou, Yao Ma, Yichao Li

CATARC Component Technology (Tianjin) Co., Ltd., Tianjin

Received: Jul. 8th, 2025; accepted: Aug. 22nd, 2025; published: Sep. 2nd, 2025

Abstract

In response to the traffic safety issues caused by the thermal fading of braking systems under the working condition of long downhill slopes in mountainous areas, this paper proposes a complete braking performance testing method for passenger cars on long downhill mountain roads, which is used to analyze the performance of braking systems under high thermal load. The purpose is to verify the safety of the braking system, ensuring that the vehicle can still brake safely even under high thermal load without causing damage to the braking system or other components of the vehicle. This paper elaborates on the braking test method for passenger cars on long downhill mountain roads in terms of technical requirements, test contents and data analysis related to the long downhill test.

Keywords

Prolonged Downhill Braking, On-Road Testing, Test Methodology, Braking System

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年来, 由于制动器失效导致的交通事故层出不穷, 而在山区的一些长下坡路段, 高温失效往往是制动器最主要的失效形式[1]。当车辆在长下坡路段行驶时, 为了控制车速从而保证驾驶安全, 需要频繁地进行制动, 制动时摩擦片和制动盘之间剧烈的摩擦会使制动器温度快速升高; 而下坡时, 出于安全考虑, 车速一般都很低, 制动器周边空气流动不足, 散热十分缓慢, 最终导致制动器处的热量持续累积, 温度过高, 制动性能减退严重造成制动系统失效, 严重危及驾驶员生命安全[2] [3]。

而不同车辆的型号、配置不同, 再加上不同人的驾驶习惯不同[4], 车辆制动系统在长下坡工况下的表现也往往大不相同; 因此为了提升整车安全性, 在试验阶段, 以一套系统且科学的测试方法对整车制动性能进行测试, 是十分必要的。

2. 试验技术要求

关于长下坡山路制动试验方法的技术要求, 本文主要围绕数据采集及设备要求、试验车辆要求、试验人员要求等方面进行介绍。

2.1. 数据采集及设备要求

2.1.1. 制动系统温度

制动系统的温度是本试验中重点关注的指标。当制动器温度临近或超过设计最高温度时, 会造成制动盘产生热裂纹、摩擦片摩擦效能降低、制动液高温失效等情况, 制动器的性能会大幅下降, 因此试验中需要实时采集制动盘、制动液以及制动软管的温度, 确保其全程都在安全温度以下。

传感器方面, 制动盘温度选择嵌入式 K 型热电偶, 对于通风盘, 需采集内外、盘面温度; 对于实心盘, 采集单侧温度即可, 如图 1 所示。



Figure 1. Brake disc temperature sensor layout

图 1. 制动盘温度布置位置示意图

制动液温度选择排气螺钉伸入式 K 型热电偶，布置在制动卡钳内；制动软管温度选择卡箍式 K 型热电偶，根据制动软管的长度均匀布置在软管表面，如图 2 所示。



Figure 2. Brake hose temperature sensor layout
图 2. 制动盘温度布置位置示意图

2.1.2. 环境温湿度

环境温湿度作为路试中“隐形变量”，往往能在一定程度上影响试验结果，因此对于环境温湿度的测量记录是必不可少的。

传感器方面选择温湿度一体的传感器，考虑到驾驶室内可能开空调等因素，因此传感器布置于驾驶室外，一般放在车顶处。

2.1.3. 制动压力

试验中需要实时采集轮缸制动压力，重点关注制动系统在高温情况下，是否能稳定提供制动压力。

传感器选择管路压力传感器，布置在轮边制动器的制动管路上。

2.1.4. 踏板力及踏板行程

试验中需要实时采集人脚给予制动踏板的压力以及制动踏板的行程，结合管路压力能得到制动踏板特性曲线，并对试验前后的踏板感觉进行对比。

传感器选择压力传感器以及拉线式位移传感器，布置在踏板处。

2.1.5. 车速

试验中需要实时采集试验车辆的移动速度以及车辆行驶距离，由于车辆仪表处的车速是计算值而非实际车速，与实际车速有较大误差，因此额外加装传感器对车速进行采集。

选择 GPS 来监测车速以及车辆位移情况，为防止山内信号丢失，布置在整车顶部中间位置。

2.2. 试验车辆要求

首先最基本的要求，试验车辆应符合安全驾驶的条件，满足社会道路行驶条件，满足相关法律法规要求。

试验车辆车身及相关制动冷却部件设计状态尽可能接近量产状态，以此保证试验的有效性；试验方案尽可能选用苛刻的车辆组合状态，例如：试验时用最大车辆许用载荷，采用较小的空气动力学轮毂方案等，以此得到极限状态下的试验数据。

对于新能源汽车(纯电、混动)，除上述基本要求外，还应关闭其能量回收功能或将其调至最小档位，以此来模拟制动系统最大负荷下的状态。

2.3. 试验道路及驾驶员要求

国内符合要求的试验路段较多，如表 1 所示。

Table 1. Overview of domestic long downhill routes
表 1. 国内长下坡路线概况

云南省丽江市大东段：阿鱼垛 - 电站段		广东省清远市阳山段：分水坳 - 秤架林场		重庆黑山谷路段	
试验里程(km)	19.1	试验里程(km)	15.4	试验里程(km)	11
海拔落差(m)	1210	海拔落差(m)	920	海拔落差(m)	1300
平均坡度(%)	6.34	平均坡度(%)	6.0	平均坡度(%)	7.5%~10%
拐弯数量(个)	57 (缓)	拐弯数量(个)	62 (较缓)	拐弯数量	>40
试验时间(min)	21.5 ± 2	试验时间(min)	18.5 ± 1	试验时间(min)	13 ± 1
天门山山路		四川黄龙路段		其他试验地点	
试验里程(km)	10.77	试验里程(km)	21	试验里程(km)	>11
海拔落差(m)	1100	海拔落差(m)	1100	海拔落差(m)	>920
平均坡度(%)	9.8	平均坡度(%)	5%~7%	平均坡度(%)	>6.0
拐弯数量	99 (急)	拐弯数量	-	拐弯数量	>50
试验时间(min)	25 ± 2	试验时间(min)	25 ± 2	-	-

目前业内认可的路线为重庆市綦江区万盛经开区石林镇附近山路(重庆黑山谷路段)，全程约 18 公里，落差 1300 m，坡度 8%~10%，全程多弯路，是典型的连续下坡山路(路线如图 3 所示)。



Figure 3. Chongqing Heishangu Route map
图 3. 重庆黑山谷路段路线图

由于山路情况复杂，且山上气候多变，多雨多雾，因此要求驾驶员需具备丰富驾驶经验，要求超过 10 年驾龄，能够熟练地对测试设备进行安装、调试、操作和故障应急解决，熟练掌握试验过程和方法，熟悉试验道路各段路况，保证试验按时完成。

2.4. 试验样件测量记录要求

为得到试验样件的磨损情况，需要对试验前后的摩擦片、制动盘的厚度进行测量，摩擦片宜测量 5 个点，制动盘宜测量 4 个点，测量点位置如图 4、图 5 所示。

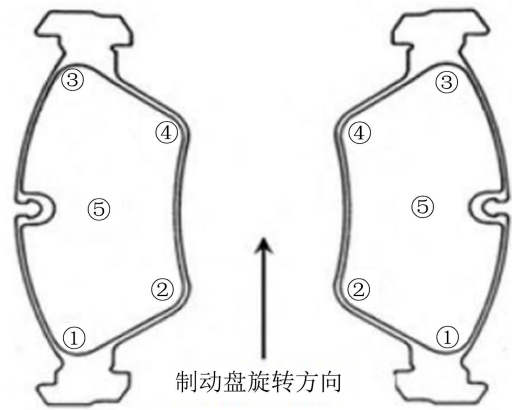


Figure 4. Brake pad measurement position diagram
图 4. 摩擦片测量位置示意图

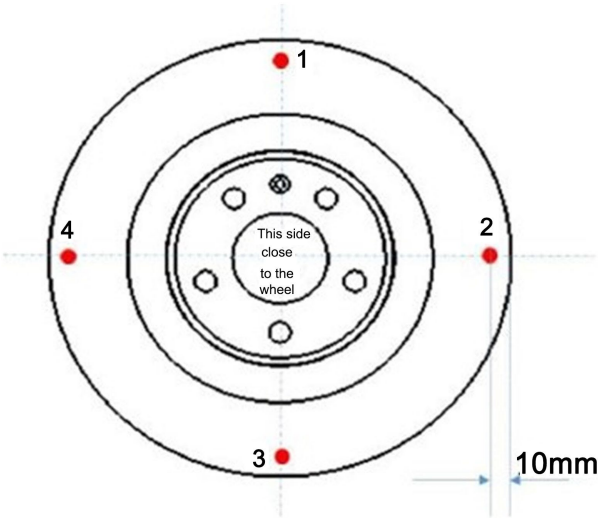


Figure 5. Brake disc measurement position diagram
图 5. 制动盘测量位置示意图

3. 试验内容

3.1. 试验样件准备

试验前，需要确认样件状态，确保方案正确以及样件完好，对试验件试验前的状态进行拍照记录，并按照 2.4 试验样件测量要求对试验前的摩擦片、制动盘的厚度进行测量。

3.2. 试验样车准备

首先要检查试验样车状态,确保其能安全行驶后,按照试验要求拆换前后制动器、制动盘、摩擦片、制动软管等试验件,并布置各类传感器,调试试验设备。

样件完成换装后,检查轮胎胎压、磨损等情况,检查制动液、机油液位并按照试验要求对整车进行配重(可用沙袋、水箱等充当配重物),确保各轴轴荷满足设计要求。配重完成后,对整车姿态进行测量记录,要求记录四个车轮处的车轮中心距离上翼子板的间隙,以及车头、车尾的离地间隙。

3.3. 试验开始

提前将准备好的试验车辆驾驶至起点,期间尽可能不进行制动,避免制动盘、制动液等温度过高。确保到达起点处时车辆燃油量不低于 95%(电车的 SOC 不低于 90%)。起点处时,待制动盘温度降至 50℃ 以下且制动液温度降至 30℃ 以下后,方可开始试验。

3.4. 试验中及驾驶要求

启动车辆,开启测试设备,随后在起点处原地用力将制动踏板匀速踩下,直至踏板到极限位置,重复 2~3 次,以此记录车辆经过高温之前的踏板特性曲线。随后发车并按规定路线行驶。

结合交通安全法中对下坡工况车速的规定[5]以及陈胜营[6]等人对运行车速的研究,要求试验过程中除特定位置需要挂前进挡进行加速外,全程应车速控制在 20~30 km/h 之间,且尽量保证整个试验过程中全程处于制动状态,以此尽可能地模拟车辆下坡时的真实情况;同时为了消除发动机、变速箱等部件对制动系统的影响,下坡制动工况应保证车辆处于 N 挡或空挡[7]。

3.5. 试验结束

车辆行驶至终点后,将车辆停稳,用力踩下制动踏板至极限位置,并每隔 5 分钟重复一次,一共需要进行五次。同时车辆要继续保持不熄火状态,设备保持开启,持续记录各项数据直至五次制动结束且制动液温度开始呈下降趋势,结束试验。

3.6. 样车还原

试验结束后,需要将试验样件从样车中拆下,拍照记录并按照 2.4 试验样件测量要求再次测量摩擦片、制动盘的厚度。拆除试验设备并将车辆恢复至可正常行驶状态。

3.7. 注意事项

- 1) 尽量选择无风、无雨、无雾的天气进行试验;
- 2) 试验过程中,如遇突发状况导致车辆刹停,或车速超过 40 km/h,则数据无效,应返回起点等待温度下降后,重新开始试验;
- 3) 试验结束后需关注摩擦片厚度,确保其能进行后续试验;
- 4) 单组试验样件最多进行三轮试验。

4. 数据分析

试验结束后,需要对采集到的数据进行处理,正式试验报告中需包含以下内容:

- 1) 制动液温度、制动盘温度以及制动软管温度需要生成“温度-时间”曲线,如图 6 所示,可直观地看出制动系统在试验过程中的最高温度以及温度的变化趋势。
- 2) 环境温湿度需生成“温湿度-时间”曲线,如图 7 所示,用于记录、判定环境条件。

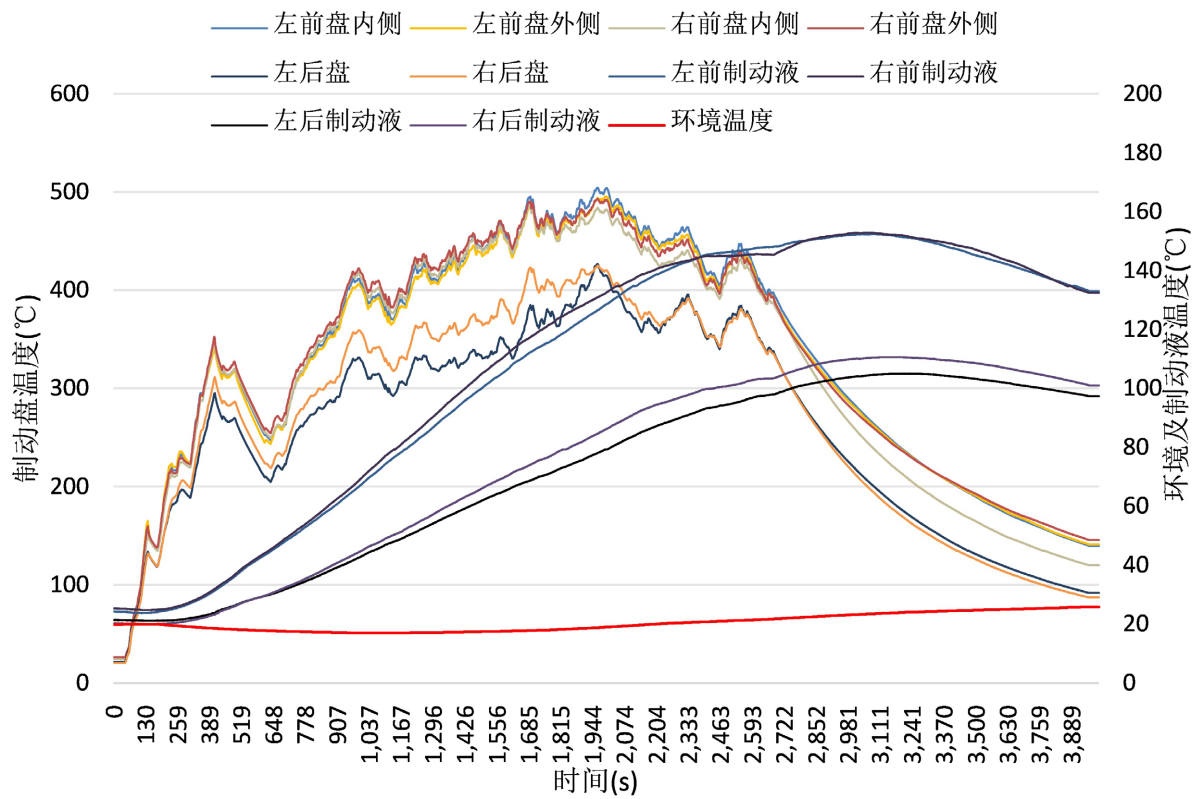


Figure 6. Temp vs. Time curve

图 6. 温度 - 时间曲线

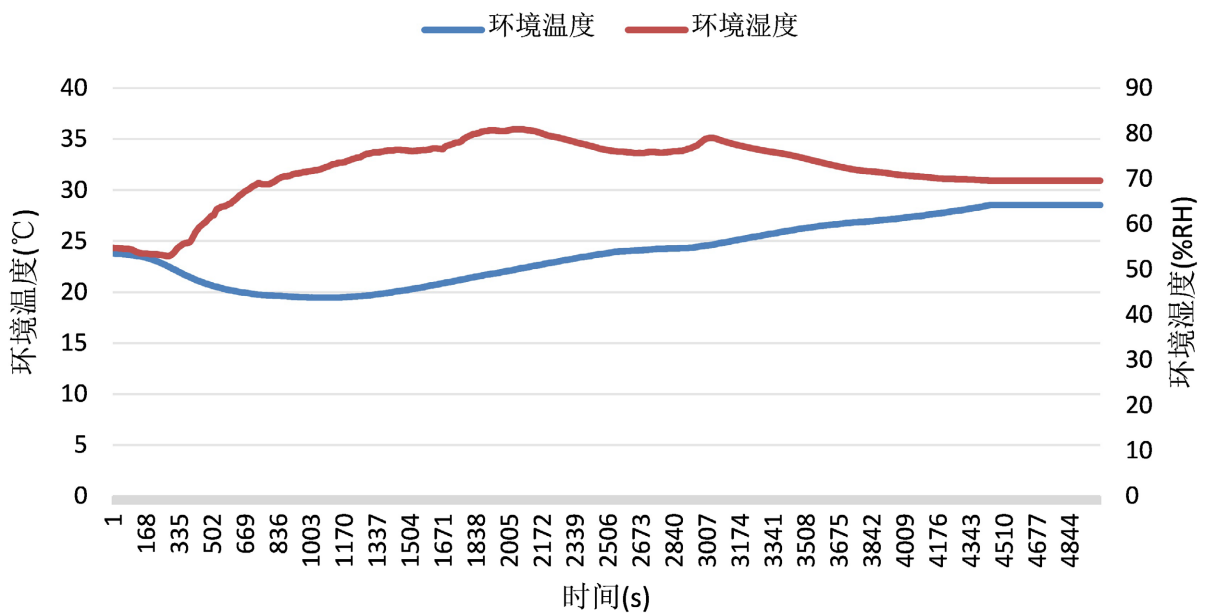


Figure 7. Temperature-Humidity vs. Time curve

图 7. 温湿度 - 时间曲线

3) 踏板力以及制动压力，需生成“制动踏板特性曲线”，用于对比试验前、试验后、升温后三个阶段

段的制动系统特性，如图 8 所示。

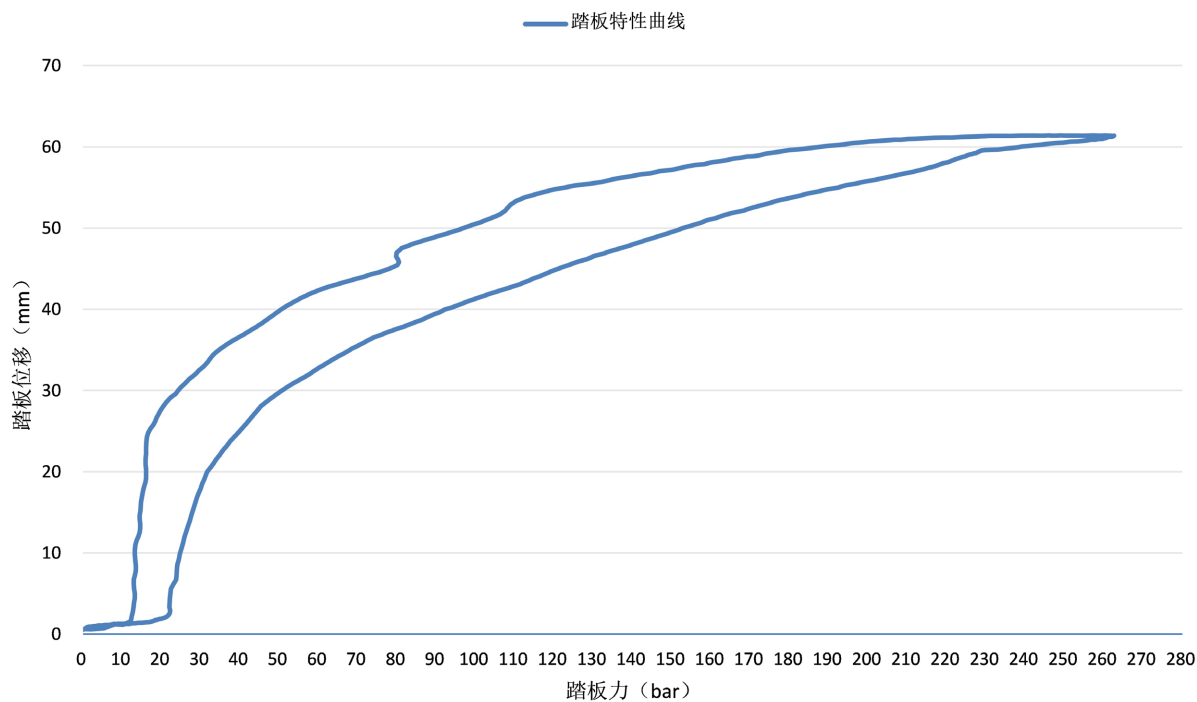


Figure 8. Brake pedal characteristic curve

图 8. 制动踏板特性曲线

4) 车速需生成“速度-时间”曲线，用于检测整车的行进速度，如图 9 所示。

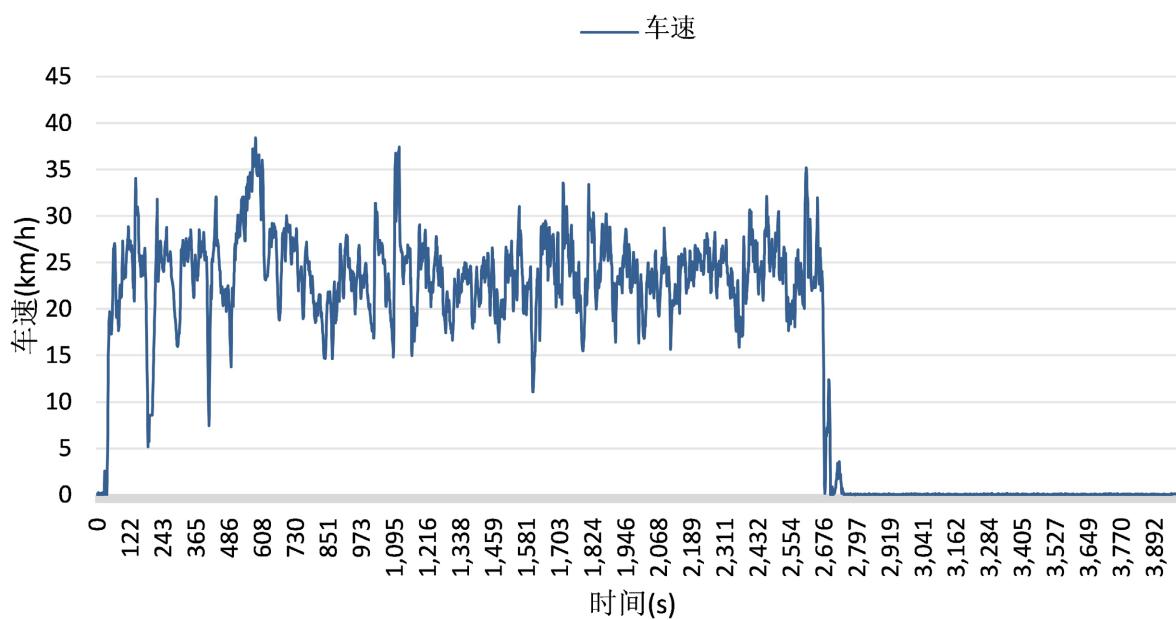


Figure 9. Velocity vs. Time curve

图 9. 速度 - 时间曲线

以上各项的指标判定(制动盘、制动液、制动软管的最高温度、环境温湿度范围、车速等)需详见各车型对应的设计规范,不能一概而论。

5. 结语

目前,业内关于长下坡山路制动试验还未形成系统的标准文件。本文结合实际项目经验,从技术要求、试验内容以及数据分析等方面系统地介绍了长下坡山路制动试验方法,为整车性能摸底以及后续制动性能提升提供了相应的整车测试方法,同时也为业内制定长下坡制动相关试验标准提供了一定的参考价值。

参考文献

- [1] 张庆明. 公路连续长大下坡路段事故分析及安全措施研究[J]. 交通世界, 2024(30): 24-26.
- [2] 蔡鹏, 尹文锋. 公路连续长大下坡路段交通安全性研究[J]. 工程建设与设计, 2021(18): 84-86, 90.
- [3] 刘兴旺, 吴京梅, 姜恒. 连续长大下坡路段安全性分析技术探讨[J]. 公路交通科技(应用技术版), 2008, 4(12): 27-29.
- [4] 殷秀芬. 山区双车道公路下坡路段不同风格驾驶人的驾驶稳定性评价研究[D]: [硕士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2022.
- [5] 中华人民共和国道路交通安全法实施条例[Z]. 国务院令 第 405 号, 2004.
- [6] 陈胜营, 张剑飞, 汪亚干. 运行车速与道路设计[J]. 公路, 1998(11): 40-43.
- [7] 肖润谋, 周晓悦, 叶燕仙. 排气制动下汽车制动失效的坡长临界值计算[J]. 安全与环境学报, 2007(6): 107-109.