基于用户视角的越野乘用车涉水性能试验方法研究

于翔　付龙　陈正东　李奇　刘汉斌

（中国第一汽车股份有限公司研发总院，长春 130013）

【摘要】为解决越野乘用车市场快速发展和用户使用场景多元化条件下，以“最大涉水深度”为单一指标的涉水性能评价方法难以全面反映用户真实需求的问题，从用户实际使用视角出发，通过调研分析用户在城市、野外和应急等场景下的涉水场景与核心关切内容，构建了一套包含静态密封性、动态通过性、动力系统稳定性、电子系统可靠性及涉水后恢复性5个维度的综合试验方法，并建立了主观评价与客观数据相结合的评价体系。研究结果表明，该方法能更全面、科学地评估越野乘用车的涉水性能，为性能开发目标设定提供依据。

关键词：越野乘用车　涉水性能　试验方法　评价体系

中图分类号：U467.1+9　　**文献标志码：**A　　**DOI：**10.20104/j.cnki.1674-6546.20260007

Research on Water-Wading Performance Test Methods for Off-Road Passenger Vehicles from a User Perspective

Yu Xiang, Fu Long, Chen Zhengdong, Li Qi, Liu Hanbin

(Global R&D Center, China FAW Corporation Limited, Changchun 130013)

【**Abstract**】With the rapid development of the off-road passenger vehicle market and the diversification of user application scenarios, the traditional water-wading performance evaluation method, which relies solely on “maximum wading depth,” has become inadequate for comprehensively reflecting users’ actual needs. From the perspective of real-world user experience, the paper investigates and analyzes user encounters and core concerns in scenarios such as urban, off-road and emergency water crossings. A multidimensional testing framework is established, encompassing 5 key dimensions: static sealing, dynamic traversal capability, powertrain stability, electronic system reliability and post-wading recovery. Furthermore, an integrated evaluation system combining subjective assessments and objective data is developed. The results demonstrate that this method provides a more comprehensive and scientific evaluation of the water-wading performance of off-road passenger vehicles. It offers valuable references for automotive manufacturers in setting R&D targets and assists consumers in making informed vehicle selection decisions.

Key words: Off-road passenger vehicles, Water-wading performance, Test methods, Evaluation system

【引用格式】于翔，付龙，陈正东，等. 基于用户视角的越野乘用车涉水性能试验方法研究[J]. 汽车工程师，2026(8)：17-24.

YU X, FU L, CHEN Z D, et al. Research on Water-Wading Performance Test Methods for Off-Road Passenger Vehicles from a User Perspective[J]. Automotive Engineer, 2026(8): 17-24.

1　前言

近年来，随着户外生活方式的兴起和汽车技术的升级，越野乘用车已从单一的生产工具转变为满足用户城市休闲和户外探险需求的综合性产品[1]。在积水路段、泥泞河道等特殊环境下，涉水能力直接关系到车辆的通过性、安全性与可靠性。尤其是在全球气候变化导致极端天气事件增多、城市内涝频发的背景下，在暴雨与洪水灾害中，因车辆涉水不当导致的交通事故占比显著上升[2]。整车开发过程中的涉水试验即通过模拟上述场景，验证车辆在水域环境下的适应能力。

目前，国内外的越野乘用车涉水试验大多基于单一水深、固定车速的标准化条件，性能评价普遍以“最大涉水深度”为核心指标[3-4]，即车辆在特定条件下能够安全通过的水深高度。这一指标虽然直观易懂，但将复杂的、多变量的用户使用场景简化为单一的、在理想条件下测得的物理参数，导致评价结果与用户的真实需求和实际体验之间存在巨大差距。其主要局限性在于：传统试验通常在静态涉水池中进行，测试得到车辆静止或匀速行驶时不熄火条件下的最大水深，这与用户实际面临的动态、复杂多变的涉水场景存在巨大差异；同时，“最大涉水深度”指标仅考核通过性，却忽略了用户在涉水过程中及事后的乘员舱体验、功能可靠性以及便利与经济性；此外，对于应急浮水、涉水感应、水深可视化、底盘透视和智能驾驶辅助等用户最关切的新技术与新功能，传统方法无法满足评价要求。

综上所述，从用户视角出发，涉水性能需求正在从单一的通过性向安全性、舒适性、可靠性及便利性等多维度扩展[5-6]。此外，纯电动汽车和混合动力汽车的动力系统特性与传统燃油汽车存在显著差异[7]，如“应急浮水功能”突破了传统涉水能力的界限，进一步凸显了现有评价体系的局限性。

针对上述问题，本文从用户视角出发，提出面向越野乘用车涉水性能的试验方法与综合评估体系，通过解析典型涉水场景下的用户需求，将用户核心关注点映射为边界试验条件，并以此为基础设计相关试验，复现真实涉水环境，揭示不同涉水工况下不同维度的车辆性能和用户的主观感知，为越野乘用车涉水性能的用户导向开发与评价提供理论支持与技术路径。

2　用户视角下的涉水性能需求分析

为准确把握越野乘用车用户对涉水性能的真实需求，通过对多位资深越野爱好者的深度访谈、收集主要汽车网站和论坛的信息，系统梳理了用户涉水使用的场景特征和核心关注点。根据统计，越野乘用车用户的涉水使用场景主要可归纳为城市内涝场景、野外越野场景和应急脱险场景3个类别，不同场景下用户的核心关切点和车辆面临的挑战各有侧重，具体如表1所示。统计中发现，85%以上的越野乘用车用户每年会遇到1~2次涉水工况，其中城市内涝是最常见的涉水场景，占比超过75%，野外越野中的涉水行为虽然频率较低，但用户关注度更高，对车辆性能要求也更为严苛。

表1　越野乘用车用户典型涉水场景　m

场景类型	场景特征	典型水深	用户核心关切
城市内涝	城市道路积水，水下路况不确定因素多，可能伴有障碍物	0.3~0.5	安全通过性、车厢密封性、电子设备能否正常工作
野外越野	自然环境中的溪流、河滩，水质浑浊，河床常有淤泥、碎石，水流速度较快	0.5~0.8	车辆密封性、动力系统稳定性、底盘防护性能、涉水后恢复性
应急脱险	车辆意外驶入深水区，如地库淹水、水位突然上涨，直接威胁安全	>0.8	生命安全、应急逃生能力、动力系统输出是否中断

通过对调研数据进行整理分析，识别出用户对涉水性能的核心关注点，建立模型如图1所示。

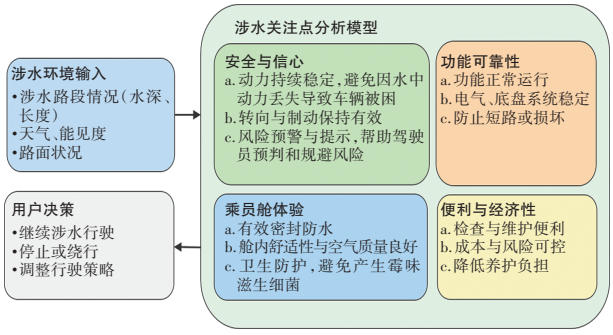


图1　涉水性能关注点分析模型

3　基于用户视角的涉水性能试验方法

基于用户需求分析结果，本文构建了包含5个维度的涉水性能试验方法，分别是静态密封性试验、动态通过性试验、动力系统稳定性试验、电子系统可靠性试验、涉水后恢复性试验，从不同角度评估车辆的涉水性能[7-12]。

3.1　试验方法设计原则

本文试验方法设计遵循4个方面的原则：

a. 用户场景覆盖原则：试验条件应最大程度包含用户真实使用场景，包括水深、流速、水质、水底状况等要素。

b. 全面性原则：试验项目应覆盖用户关心的所有涉水性能维度，包括密封性、通过性、稳定性、可靠性和恢复性。

c. 可重复性原则：在专业的汽车试验场进行，确保试验条件和试验过程可控，能够重复进行，试验结果可对比。

d. 安全性原则：试验过程应确保人员及车辆安全，设置必要的安全防护措施和终止条件。

3.2 多维度试验项目设计

3.2.1 试验准备

在进行试验前需对试验车辆进行整备，保证车辆状态符合试验要求，整备内容包括：

a. 为保证试验过程中流入干区的漏水点均能被有效观察或排查，试验前需拆除乘员舱、备胎舱内的地毯、侧围饰板和所有门护板。

b. 针对装配在车身钣金上具备防水密封功能的零部件，如卡扣、螺栓、贴片等，拆除内饰件后需重新装配或进行同等级的密封处理，保证因零部件拆除而失去密封能力的孔洞恢复至原车状态。

c. 测量整车绝缘电阻和空气滤清器质量。

3.2.2 静态密封性试验

静态密封性试验主要评估车辆静止状态下车身各部位的防水能力，直接决定涉水过程中驾乘人员的舒适性及对车辆内饰的保护能力，避免因进水导致的车内异味、霉菌滋生等问题，试验方法如下：

a. 将涉水池放水至水深分别为600 mm和700 mm，车辆以最低稳定车速前进行驶至涉水池中央后停车熄火，1 min后前进驶出涉水池。

b. 将涉水池放水至水深800 mm或车辆设计最大涉水深度水位，车辆以最低稳定车速前进行驶至涉水池中央后停车，混合动力汽车或传统燃油汽车需维持发动机怠速运转，纯电动汽车则须保持高压系统持续激活，10 min后前进驶出涉水池。

c. 监测驾驶舱地毯、备胎舱、车门内侧等部位的渗水情况，使用检漏灯确定泄漏点位置。

d. 记录各部位进水时间及进水量。

3.2.3 动态通过性试验

动态通过性试验评估车辆在行驶状态下通过涉水路面的综合能力，反映用户在实际涉水驾驶中的体验，如冲水时是否会熄火、水花是否会遮挡视线等，试验方法如下：

a. 匀速通过工况：将涉水池放水至水深分别为500 mm、600 mm、700 mm、800 mm，车辆以最低稳定车速匀速在水域中连续行驶150 m，评估车辆最大水深通过能力。

b. 长距离涉水工况：将涉水池放水至水深300 mm，车辆以40 km/h的速度行驶通过涉水池，累计在水域中连续行驶1 km，评估车辆持续涉水能力。

c. 波浪冲击工况：将涉水池放水至水深400 mm，以40 km/h的速度入水，入水后立即制动至10 km/h车速行驶通过涉水池，模拟产生波浪的场景，评估车辆抗浪涌能力。

3.2.4 动力系统稳定性试验

动力系统稳定性试验检验涉水过程中及涉水后动力总成的工作状态，确保涉水过程中动力不中断，避免因进水导致的发动机损坏或电力系统故障，提升涉水安全性，试验方法为：将涉水池放水至水深400 mm，车辆以30 km/h的速度进入涉水池，驾驶员踩下油门踏板至开度最大并维持5 s进行急加速，随后立即松开油门踏板，观察发动机或电机运行是否平稳，车辆是否抖动。

在完成静态密封性试验、动态通过性试验和动力系统稳定性试验后，对空气滤清器进行称重。

3.2.5 电子系统可靠性试验

电子系统可靠性试验验证涉水对车辆电子设备的影响，回应用户对“涉水后电子设备是否工作正常”的关切，避免因电子系统失效导致车辆功能受限或安全隐患，确保涉水后各项智能功能正常可用，试验方法如下：

a. 在动态通过性和动力系统稳定性试验涉水前、后及过程中，全程监控并操作关键电子系统，包括全景影像、雷达传感器、灯光系统、中控屏幕等。

b. 测量整车绝缘电阻，评估防水效果。

3.2.6 涉水后恢复性试验

涉水后恢复性试验评估涉水后车辆检查和维护的便利性，直接关联用户关注的“涉水后是否麻烦”问题，降低用户涉水后的维护成本和时间成本，提升长期使用满意度，试验方法如下：

a. 评估底盘排水孔设计合理性，实时记录排水量，待积水排空后，计算积水排空90%的时间。

b. 模拟用户日常保养流程，测量检查关键部件（如差速器、分动器）的耗时。

4 基于用户视角的涉水性能综合评价体系

4.1 客观评价指标

本文基于内部调研数据，依据相关试验方法对各维度客观评价指标进行了量化与标准化处理，同时为将用户需求与技术特性进行系统性关联，引入质量功能展开（Quality Function Deployment，QFD）方法，通过构建质量屋将调研所得需求准确映射至各评价维度。在此基础上，采用层次分析法（Analytic Hierarchy Process，AHP）确定各维度的综合权重，评价采用百分制。

静态密封性试验的评价指标为乘员舱密封性，

用于评估车辆在不同水深条件下短时浸泡时的乘员舱防水能力，评分公式为：

$$Y_s=\max\left\{0,100-\sum_{i=1}^{3}\left[a_i(10P_i+5Q_i)\right]\right\} \quad (1)$$

式中：i=1,2,3分别对应650 mm、750 mm、850 mm水深工况；α_i为工况i的权重，取值分别为α_1=1.0、α_2=1.2、α_3=1.5；P_i、Q_i分别为工况i条件下乘员舱内的漏水点数量、总漏水量。

动态通过性试验的评价指标为最大涉水通过性和车身姿态稳定性。最大涉水通过性用于评估车辆在深水区时以最低稳定车速通过的能力，评分公式为：

$$Y_w=\frac{\sum_{j=1}^{4}\left(\beta_j Y_j\right)}{\sum_{j=1}^{4}\beta_j} \quad (2)$$

式中：j=1,2,3,4分别对应550 mm、650 mm、750 mm、850 mm水深工况；β_j为工况j的权重，取值为β_1=0.8、β_2=1.0、β_3=1.2、β_4=1.5；Y_j为工况j的通过性评价结果，通过时取Y_j=100，不通过时取Y_j=0。

车身姿态稳定性用于评估车辆在冲击入水时的车身俯仰姿态与水花对驾驶员视野的遮挡情况，评分公式为：

$$Y_b=\frac{\sum_{k=1}^{2}\gamma_k\times 0.5(Y_{a,k}+Y_{s,k})}{\sum_{k=1}^{2}\gamma_k} \quad (3)$$

式中：k=1,2分别对应300 mm、400 mm水深工况；$Y_{a,k}$=max{0,100−30(|$\theta_{a,k}$|−1.5)}、$Y_{s,k}$=max{0,100−25S_k/0.3}分别为俯仰角、遮挡面积单项得分；$\theta_{a,k}$、S_k分别为工况k条件下实测最大俯仰角、风窗水花遮挡面积；γ_k为工况k的加权系数，取值为γ_1=1.0、γ_2=1.2。

动力系统稳定性的评价指标为动力输出平稳性和进气系统防水性。动力输出平稳性用于评估发动机或电机在水中的转速是否平稳，是否存在抖动、失火或功率中断现象，评分准则如表2所示。

表2　动力输出平稳性客观评价量化准则

转速波动率E/%	动力输出平稳性得分Y_p/分
≤1.5	100
>1.5~3	80
>3~5	60
>5	0

进气系统防水性用于评估进气口位置设计是否合理，以及空气滤清器的密封性和防水设计能否有效防止水被吸入发动机，评分公式为：

$$Y_i=\max\{0,100-1.111m\} \quad (4)$$

式中：m为空气滤清器增加的质量。

对于没有空气滤清器的纯电动车型，进气系统防水性评分为100分。

电子系统可靠性的评价指标包括功能完好性与系统绝缘性。功能完好性用于评估车辆涉水后电子系统的可靠性，评分公式为：

$$Y_f=\max\{0,100-10N\} \quad (5)$$

式中：N为功能异常数量。

系统绝缘性主要通过车辆涉水后的整车绝缘电阻表征，评分公式为：

$$Y_r=\max\{0,100-1\,000M\} \quad (6)$$

式中：M为绝缘电阻下降率。

对于不涉及高压绝缘阻值的传统燃油车型，系统绝缘性评分为100分。

涉水后恢复性试验评价指标包括排水便利性和检修便捷性。排水便利性主要用于评估底盘排水孔设计是否合理、积水能否快速排干，以避免底盘锈蚀，评分公式为：

$$Y_d=\max\{0,100-t_d/2\} \quad (7)$$

式中：t_d为底盘积水排空90%所需时间。

检修便捷性主要用于评估涉水后检修的便捷程度，评分公式为：

$$Y_m=\max\{0,100-t_c/2\} \quad (8)$$

式中：t_c为技师检查关键部件（如差速器通气孔、电驱动系统通气孔、发动机舱）所需工时。

客观评价总得分为各维度评分与相应权重乘积之和：

$$S_0=0.25Y_s+0.20Y_w+0.10Y_b+0.15Y_p+0.10Y_i+0.10Y_f+0.05Y_r+0.03Y_d+0.02Y_m \quad (9)$$

4.2　主观评价指标量化设计

4.2.1　主观评价评分规则

在所有客观试验项目完成后，由5名专业试车员组成评价小组，在尽量保持与客观测试同步的条件下，采用5分制对车辆进行独立主观评分，并通过讨论形成最终的综合评价结果。评价小组全体成员均须持有国内或国外整车制造商的高级驾驶资质，参加过不少于5个越野车型的测试与评价项目，其中新能源越野车型的项目不少于2个。

4.2.2　主观评价项目评分标准

主观评价评分依据如表3所示。基于表3中的4项评价维度，每位评价人员独立对各维度进行5分制评分（1~5分），个人主观评价总分即为4项维度得

分之和,将全部5位评价人员的个人总分相加即得到该车型的主观评价总体得分S_s。

表3 主观评价评分依据

评价维度	5分(非常满意)	4分(满意)	3分(一般)	2分(不满意)	1分(非常不满意)
涉水信心感	车辆姿态极其稳健,动力响应线性且持续,无异响或顿挫,电子辅助系统(如透明底盘、水深监测系统)工作精准,驾驶员毫无心理压力	车辆姿态稳定,动力输出平稳,关键系统工作正常,驾驶员信心充足,仅在水深接近极限时有轻微紧张感	车辆能够通过,但可能出现轻微晃动、动力轻微波动或电子系统偶发误报警,驾驶员需要集中精力保持控制	车辆姿态不稳定,出现明显前倾或漂浮感,动力有中断风险,驾驶员感到明显紧张和不确定性	车辆表现出即将失控的迹象,如严重漂浮、动力突然中断、关键系统失灵,驾驶员感到极度不安和危险
车厢洁净度	车厢内部完全干燥,无任何水汽、水渍或异味,密封性极佳	车厢内部基本干燥,有轻微湿气,无异味,对舒适性无影响	车厢内地毯或部分内饰有轻微潮湿感,但无流动积水,产生短暂异味	车厢内地毯明显进水,或座椅下部等区域有积水,产生持续异味	车厢内出现多处明显漏水,形成积水,内饰被浸泡,产生浓重霉味或污水异味
功能可靠性	所有功能(包括动力、转向、制动、空调、影音、所有传感器及辅助系统)在涉水全程及之后工作均正常,无任何功能失效或误报警	核心功能完全正常,个别非核心功能有轻微、短暂的性能变化(如某个雷达反应略慢),但能快速恢复	核心功能正常,但出现1~2项非核心功能失灵(如环车影像系统卡顿、音响破音)或偶发误报警,涉水后需要重启才能恢复	部分核心功能(如雷达、影像系统)出现失灵或频繁误报警,影响驾驶安全性和使用便利性	出现核心功能失灵(如动力受限、制动助力异常)或多个系统同时报错,车辆无法正常使用
维护便利性	积水迅速排空,关键检查点(如空气滤清器、差速器通气孔)布置位置合理,无需工具或使用简单工具即可快速检查,制动盘片几乎无锈蚀或能迅速磨掉	排水和检查较为便利,仅需进行少量、简单的操作即可完成基本检查	排水不够彻底,部分检查项目需要拆卸少量部件(如发动机下护板),耗时较长	底盘积水难以自行排干,关键部件检查非常困难,需要举升车辆并由专业技师使用专用工具操作,维护成本高	设计存在明显缺陷,涉水后必须前往服务站进行深度检查和保养,否则存在安全隐患,经济成本和时间成本高

4.3 综合评分的确定

综合得分为:

$$S=0.7S_0+0.3S_s \tag{10}$$

综合评分等级如表4所示。

表4 综合评分等级

等级	得分/分	说明
优秀	[90,100]	涉水性能优异,能满足极端涉水场景需求
良好	[80,90)	涉水性能可靠,能满足大多数涉水场景需求
中等	[70,80)	涉水性能基本满足需求,但存在一定局限性
及格	[60,70)	涉水性能勉强满足需求,但存在很多局限性
待改进	[0,60)	涉水性能存在明显短板,需改进

5 案例应用与验证

5.1 试验方案设计

5.1.1 试验对象

为验证本文试验方法及评价体系的有效性和实用性,选取了2款价格区间和技术路线差异显著的高端混合动力越野乘用车型A和车型B作为测试对象,覆盖从顶级奢华到主流豪华的市场区间,以确保验证的普适性。试验车辆如图2所示,具体信息如表5所示。



(a)车型A (b)车型B

图2 试验车型

表5 试验车辆信息 万元

车型代号	售价区间	驾驶模式	悬架高度
A	30~40	含涉水模式	可调节
B	90~100	含涉水、浮水模式	可调节

5.1.2 试验场地与设备

测试在专业试验场进行,搭载高精度测量设备,如表6所示。

5.1.3 试验流程

车辆涉水性能主观评价的具体流程如下:

a. 调整试验水深,安装相关测试设备并完成车辆状态检查。

b. 按照静态密封性、动态通过性、动力系统稳定性、电子系统可靠性及涉水后恢复性5个维度依次开展测试。

c. 试验过程中，由5名具备专业经验的评价人员对车辆进行独立主观评价并记录评分结果。

d. 计算主、客观得分及综合得分，并开展对比分析。

表6　试验场地及设备

类别	名称	规格型号
试验场地	某检测中心涉水池	长度×宽度：150 m×4 m 入水角：5° 水深范围：0~1 000 mm（可调）
车身姿态测量设备	高性能GPS	VBOX 3i
风窗水花遮挡面积测量设备	高性能相机	Sony a7s3
电气安全测量设备	绝缘电阻测试仪	Fluke 1508
数据监控与采集设备	车载数据采集系统	INTEST
水密封性检查设备	工业内窥镜	德朗

5.2　试验结果与分析

静态密封性试验数据及客观评价结果如表7所示，车型A、车型B静态密封性得分分别为64.10分和93.75分。

表7　静态密封性试验数据与得分

试验水深/mm	静置时间/min	漏水量/L		漏水点数量/个		得分/分	
		车型A	车型B	车型A	车型B	车型A	车型B
600	1	0.5	0	2	0	77.5	100
700	1	1.5	0	2	0	67.0	100
800	10	20.0	3	4	1	0	62.5

动态通过性试验数据及客观评价结果如表8、表9所示，车型A、车型B最大涉水通过性得分均为100分，车型A、车型B车身姿态稳定性得分分别为55.4分、88.7分。

表8　最大涉水通过性试验数据与得分

试验水深/mm	是否通过		得分/分	
	车型A	车型B	车型A	车型B
500	是	是	100	100
600	是	是	100	100
700	是	是	100	100
800	是	是	100	100

表9　车身姿态稳定性试验数据与得分

试验水深/mm	俯仰角/(°)		水花遮挡面积/m^2		得分/分	
	车型A	车型B	车型A	车型B	车型A	车型B
300	2.0	1.2	0.50	0.20	71.7	91.7
400	2.8	1.5	0.70	0.25	40.1	85.7
	3.5	1.8	0.90	0.30		

动力系统稳定性、电子系统可靠性、涉水后恢复性试验数据及客观评价结果如表10~表12所示。

表10　动力系统稳定性试验数据与得分

指标	车型A	车型B
转速波动率/%	4.0	1.5
动力输出平稳性得分/分	60	80
空气滤清器增加的质量/g	22	8
进气系统防水性得分/分	45	80

表11　电子系统可靠性试验数据与得分

评价指标	车型A	车型B
功能异常数量/个	5	0
功能完好性得分/分	50	100
绝缘电阻下降率/%	0	0
系统绝缘性得分/分	100	100

表12　涉水后恢复性试验数据

评价指标	车型A	车型B
底盘排水时间/min	60	40
排水便利性得分/分	70	80
检查工时/min	35	40
检修便捷性得分/分	30	20

最终，车型A、车型B的客观评价得分分别为67.8分、87.1分。

主观评价结果如表13、表14所示，车型A、车型B的主观评价得分分别为54分、76分。

表13　车型A主观评价结果　　分

评价指标	评价人员1	评价人员2	评价人员3	评价人员4	评价人员5
涉水信心感	3	3	2	3	2
车厢洁净度	2	3	3	2	3
功能可靠性	3	3	3	3	3
维护便利性	2	3	3	2	3
总分	10	12	11	10	11

表14　车型B主观评价结果　　分

评价指标	评价人员1	评价人员2	评价人员3	评价人员4	评价人员5
涉水信心感	4	5	4	4	4
车厢洁净度	4	4	4	4	4
功能可靠性	4	5	5	5	4
维护便利性	3	2	2	2	3
总分	15	16	15	15	15

基于客观评价结果和主观评价结果，得到车型A、车型B最终综合得分分别为63.66分、83.77分，等级分别为及格、良好。

由试验结果可知：车型B在密封性、稳定性和可靠性等核心指标上均展现出显著优势，综合表现突出，对应定位为高端涉水性能车型，面向对涉水能力有较高要求的用户；车型A在多项关键技术指标上存在明显不足，需进行系统性改进，对应定位为经济型基础版本，适合对价格敏感但需基本涉水能力的用户。

车型A与车型B均能够通过850 mm水深测试，以传统的“最大涉水深度”这一单一指标衡量，无法有效区分两款车型在真实涉水场景下的性能差异，更无法反映用户在涉水全过程中的实际体验。本文提出的基于用户视角的多维度综合评价体系通过量化5个关键维度的表现，不仅有效区分了车型A与车型B在涉水性能上的显著差异，更可为整车涉水性能的研发改进和用户选购提供科学、全面的评价依据。试验结果充分证明了传统单一评价指标的局限性，以及多维度综合评价体系在准确反映车辆真实涉水性能和用户体验方面的必要性和优越性。

6 结束语

本文从用户视角出发，系统分析了越野乘用车用户涉水性能需求，构建了包含静态密封性、动态通过性、动力系统稳定性、电子系统可靠性及涉水后恢复性5个维度的试验方法，并建立了主观评价与客观数据相结合的综合评价体系，通过试验验证了该方法的实用性。当前，越野乘用车用户涉水需求已从单一的通过性扩展为安全性、舒适性、可靠性与便利性的多元体系，本文构建的涉水试验方法和评价体系能够体现上述需求，有效克服传统评价方法的局限性。

未来，越野乘用车涉水性能验证将呈现出智能化、系统化与场景多元化趋势。随着传感技术与人工智能的深度融合，验证也将从依赖单一物理测试向“数据驱动+实时仿真”的评价体系演进，能够对车辆涉水状态下动力总成系统密封性、结构件耐腐蚀可靠性等隐性指标进行预测。面向多元用户场景，涉水性能的验证边界将持续拓展，不仅涵盖极端水流、冰水混合等复杂工况，更需将新能源车型的应急浮水、高压系统绝缘防护等创新功能纳入标准化评价范畴。

参 考 文 献

[1] 谢侦续, 刘春辉. 中国越野车市场发展趋势及西部区域市场机会研究[J]. 汽车与配件, 2024(18): 66-70.
XIE Z X, LIU C H. Research on the Development Trends of China’s Off-Road Vehicle Market and Market Opportunities in the Western Region[J]. Automobile & Parts, 2024(18): 66-70.

[2] 徐乐进. 基于车辆轨迹数据的车辆涉水风险研究[D]. 厦门: 厦门理工学院, 2024.
XU L J. Research on Vehicle Wading Risk Based on Vehicle Trajectory Data[D]. Xiamen: Xiamen University of Technology, 2024.

[3] 王凤杰, 周广凤, 蒋鹏鹏. 重型军用越野汽车涉水通过性分析[J]. 专用汽车, 2019(12): 89-93.
WANG F J, ZHOU G F, JIANG P P. Analysis of Wading Ability of Heavy Military Off-Road Vehicle[J]. Special Purpose Vehicle, 2019(12): 89-93.

[4] 黄凯, 周美玲, 王旭东, 等. 浅谈汽车涉水试验常见问题及解决思路[J]. 内蒙古科技与经济, 2019(24): 84+128.
HUANG K, ZHOU M L, WANG X D, et al. A Brief Discussion on Common Problems and Solutions in Vehicle Water Wading Tests[J]. Inner Mongolia Science Technology & Economy, 2019(24): 84+128.

[5] 宋名洋. 基于VOF方法的某SUV车型涉水性能仿真研究[J]. 汽车工程学报, 2022, 12(3): 267-275.
SONG M Y. Water Wading Performance Simulation for a SUV Based on VOF Method[J]. Chinese Journal of Automotive Engineering, 2022, 12(3): 267-275.

[6] 王魏兴, 夏春波, 赵东鹏, 等. 车速边界条件对整车涉水仿真结果的影响分析[J]. 环境技术, 2025, 43(1): 16-23.
WANG W X, XIA C B, ZHAO D P, et al. Analysis of the Influence of Vehicle Speed Boundary Conditions on Vehicle Wading Simulation Results[J]. Environmental Technology, 2025, 43(1): 16-23.

[7] 汤柱良, 卢海隔, 梁振辉, 等. 基于应变测试方法的汽车涉水姿态研究[J]. 汽车工程师, 2021(11): 42-45.
TANG Z L, LU H G, LIANG Z H, et al. Research on Wading Vehicle Attitude Based on Strain Test Method[J]. Automotive Engineer, 2021(11): 42-45.

[8] 冯博, 李国峰, 谭纯岩. 某车型在涉水试验中的漏水问题分析[J]. 汽车实用技术, 2019(11): 93-95.
FENG B, LI G F, TAN C Y. Analysis of Water Leakage in Wading Test of a Car Model[J]. Automobile Applied Technology, 2019(11): 93-95.

[9] 康国强, 陆龙海. 应对新能源车涉水试验标准提高的密封设计研究[J]. 汽车文摘, 2021(7): 42-45.

KANG G Q, LU L H. Sealing Design for New Energy Vehicle Wading Test Standards Improvement[J]. Automotive Digest, 2021(7): 42-45.

[10] 李建华, 张磊涛, 付志军, 等. 新能源汽车上海地方法规涉水检测经验浅析[J]. 汽车实用技术, 2021, 46(20): 138-140+146.
LI J H, ZHANG L T, FU Z J, et al. The Experience of New Energy Vehicles Wading Test According to Shanghai Local Regulations[J]. Automobile Applied Technology, 2021, 46(20): 138-140+146.

[11] 黄志春. 越野汽车维修性试验评价研究[D]. 长春: 吉林大学, 2014.
HUANG Z C. Research on Maintainability Test Evaluation for Off-Road Vehicle[D]. Changchun: Jilin University, 2014.

[12] 杨刚, 尚志诚, 钟欣. 电动汽车绝缘电阻测量方法仿真与试验分析[J]. 汽车实用技术, 2020, 45(23): 5-7.
YANG G, SHANG Z C, ZHONG X. Simulation and Test Analysis of Insulation Resistance Measurement Methodfor Electric Vehicles[J]. Automobile Applied Technology, 2020, 45(23): 5-7.

（责任编辑　斛　畔）

修改稿收到日期为2026年2月11日。

（上接第16页）

参　考　文　献

[1] OANA Y, ENOMOTO T, KUWATA T, et al. NVH Development of a High Torque SUV Using a Novel Active Torque Rod System[J]. SAE Technical Paper 2018-01-0685, 2018.

[2] SHANGGUAN W B. Engine Mounts and Powertrain Mounting Systems: A Review[J]. International Journal of Vehicle Design, 2009, 49(4): 237-258.

[3] YANG L, ZHOU Y Z, LI Z, et al. Research on Design Method of Radial Magnetized Linear Voice Coil Motor[C]// The Proceedings of the 16th Annual Conference of China Electrotechnical Society. Singapore: Springer, 2022: 1150-1156.

[4] ZHANG W, ZHANG H, MU J R, et al. Design of a Single-Sided, Coreless, Flat-Type Linear Voice Coil Motor[J]. Actuators, 2023, 12(2).

[5] ZHU Z J, XIAO Y, LI Y Q, et al. Design and Optimization of a High Thrust Density Voice Coil Motor with Auxiliary Enhanced Magnetic Circuits[J]. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2025, 40(2): 1215-1224.

[6] SHIN B H, LEE J W, SHIM H H, et al. Design of Electromagnetic Moving-Coil Type Voice Coil Motor for Scanning Mirror of Barcode Reader[J]. Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers A, 2016, 40(1): 17-22.

[7] 张弓, 于兰英, 柯坚. 新颖高频动圈式永磁直线电机的研究[J]. 机械科学与技术, 2008, 27(4): 456-461.
ZHANG G, YU L Y, KE J. Study of a Novel High Frequency Moving Coil Permanent Magnet Linear Motor[J]. Mechanical Science and Technology for Aerospace Engineering, 2008, 27(4): 456-461.

[8] WU S, JIAO Z X, YAN L, et al. Development of a Direct-Drive Servo Valve with High-Frequency Voice Coil Motor and Advanced Digital Controller[J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, 2014, 19(3): 932-942.

[9] LI L Y, MA M N, KOU B Q, et al. Analysis and Design of Moving-Magnet-Type Linear Synchronous Motor for Electromagnetic Launch System[J]. IEEE Transactions on Plasma Science, 2011, 39(1): 121-126.

[10] ABDALLA I I, IBRAHIM T, MOHD NOR N. Optimization of Iron-Cored Linear Motor with Trapezoidal Magnet Using Finite-Element Analysis[C]// 2014 5th International Conference on Intelligent and Advanced Systems (ICIAS). Kuala Lumpur, Malaysia: IEEE, 2014: 1-6.

[11] MURAGISHI Y. Active Damper Unit Driven by "RECIPROCATING-MOTOR" [J]. Journal of the Japan Society for Precision Engineering, 2007, 73(4): 414-417.

[12] BU Y G, RYOTA A, MIZUNO T. Examination of Vibration Control of Linear Oscillatory Actuator[J]. Electrical Engineering in Japan, 2012, 178(4): 55-62.

（责任编辑　斛　畔）

修改稿收到日期为2026年3月9日。