



全国汽车标准化技术委员会

National Technical Committee of Auto Standardization

**电动汽车应急浮水功能标准
领航项目研究报告**

全国汽车标准化技术委员会

电动车辆分技术委员会

2026 年 3 月

前言

近年来极端降水引发暴雨、内涝等情况造成车辆被淹愈加频繁。我国高度重视自然灾害防控、智驾安全应急技术的发展，分别纳入十四五国家综合防灾减灾规划与交通强国建设纲要。而车辆应急浮水功能的开发正是为了提升车辆在极端环境下的生存能力，为车辆和乘客提供额外的安全保障。

本项目旨在利用如车载水下声呐探测、电机独立控制驱动技术、驻车雷达、涉水浸水检测、AI 深度学习、IMU、高精度成像技术、路径规划与车辆运动控制等多感知融合方法以及零部件--整车密封防水技术，实现电动汽车在深度涉浮水中的安全行驶，提高暴雨降水等自然灾害下电动汽车自我救援能力，提升电动汽车在水域行驶的智能极致安全性能。根据项目研究结果和实践情况，探索应急浮水功能在电动汽车应用过程需要标准化的技术要求，为后续标准化工作的开展奠定基础，促进该功能在电动汽车行业的推广应用。

项目牵头单位：比亚迪汽车工业有限公司

项目参与单位：中国汽车技术研究中心有限公司

主要编写人：逄金铭、晏婷、窦拓、何春浩、薛小伟、林墩、兰远锋、蒋金方、马秀梅、甘顺、于洋、史书恒。

目录

- 1 研究概述..... 1
 - 1.1 研究背景..... 1
 - 1.2 研究目的..... 2
 - 1.3 场景范围..... 2
- 2 应急浮水通用功能与要求定义..... 3
 - 2.1 基本定义..... 3
- 3 应急浮水功能关键要求研究..... 4
 - 3.1 防水密封..... 4
 - 3.2 车辆运动控制..... 7
 - 3.3 智能感知技术..... 10
 - 3.4 应急安全技术..... 12
- 4 应急浮水标准化分析及建议..... 14
 - 4.1 应急浮水标准现状分析..... 14
 - 4.2 现有相关标准梳理..... 15
 - 4.3 标准化需求分析..... 16
 - 4.4 标准化建议..... 17
 - 4.5 标准体系规划..... 17

电动汽车应急浮水功能标准领航项目研究报告

1 研究概述

1.1 研究背景

随着全球气候变化加剧，极端天气事件频发，车辆涉水事故风险显著上升，应急浮水技术作为提升乘用车、特种车辆及军用载具安全性的关键手段，近年来受到汽车行业、军用及学术界的广泛关注。本报告将从汽车行业、军方以及学术界一一说明目前应急浮水的发展现状：

■ 汽车行业关于应急浮水技术相关应用目前有：

① “水盾卫士”自动浮水系统：此系统目前入选工信部“智能安全技术重点攻关目录”，并参与国际标准《道路车辆-乘用车外部防护》(ISO 2958:2024)的修订；此系统主要采用激光谐振陀螺仪、AI 物联网、轻质高浮力材料，可实现 0.3 秒内触发浮力装置，救援效率提升 80%。

② 比亚迪仰望 U8：仰望 U8 应急浮水目前属于市面上唯一已经批量生产的浮水系统；具备短时间内(30min 以内)、一定速度(低于 3kph)行驶、结合易四方技术的应急浮水脱困功能，主要用于短时应急脱困。

③ 奇瑞捷途纵横 G700/G900 等：2025 年 10 月，奇瑞官方宣发捷途纵横 G700/G900 的浮水功能；同步发布了长江横渡挑战的实测数据，采用涡轮螺旋桨系统，实现了 4.5 节航速，可长时间(官方宣布 40min)水上航行，具备常规化水上行驶能力；目前已量产上市。

④ 浙江三一装备浮水自救装置：该装置通过水位监测器、可展开漂浮桶，使车辆在一定深度后的积水情境中可自动浮起。

⑤ 奇瑞汽车涉水遇险远程避险脱困专利：通过空气弹簧抬升车身，并结合浮水气囊引爆机制，实现远程避险控制。车辆可接收车主移动终端指令，选择智能驾驶脱困或浮水模式；目前还未量产上市。

⑥ 吉利 2025 年 4 月发布的银河战舰车型具备应急浮水能力：从汽车之家等获取的新闻信息表明吉利银河战舰将在 26 年批量量产上市；25 年上海车展中发布的银河战舰应急浮水功能包含涉水雷达、行业独有的车载声呐，具备 80cm 的超高涉水能力以及

连续浮水时长 2h，航行速度在 8.5kph 以内。

■ 军用两栖与应急浮水技术：

① 中国 AG600“鲲龙”水陆两栖飞机：全球最大民用水上飞机，具备灭火和军事运输能力，可在海上起降；其研制定位目前转向着重于民用领域上的水上应急救援、森林灭火、海上巡查等。

② 地效飞行器研发：可低空高速掠海飞行，兼具浮水与飞行能力。

■ 应急浮水的前沿研究与技术创新：

① 智能浮水系统的 AI 优化：东南大学结合浮动车数据时空挖掘和自编码器网络，提升车辆在复杂环境例如涉水下的状态预测能力，从而可优化应急浮水系统的触发时机，减少误判。

② 材料科学与浮力优化：“水盾卫士”采用防弹纳米涂层，提升浮水装置的耐穿刺性。

发展趋势：根据市场发展现状，应急浮水功能未来的发展趋势很大可能从高端选配向安全刚需进行转变，同时 AI 技术和新材料技术也会推动智能浮水系统的升级。

1.2 研究目的

本领航项目的研究目的主要包含如下几点：

- ① 定义电动汽车应急浮水功能的基本场景、基本性能参数指标；
- ② 定义实现电动汽车应急浮水功能的基本性能参数指标所对应的关键技术、性能指标测试方法；
- ③ 分析现有的电动汽车应急浮水标准现状、技术的发展现状和趋势，了解现有标准的缺口，为后续产出应急浮水系列标准做参考；
- ④ 为后续行业应急浮水功能的研发提供基本的参考标准。

1.3 场景范围

1.3.1 应用场景

应急浮水功能主要覆盖以下高风险场景：

城市内涝：车辆误入深水路段导致的涉水失控；

桥梁/堤岸坠落：因碰撞或失控落水的极端事故；

野外深度涉水：越野或渡河时的意外进入深水区。

1.3.2 限制场景

冲入深水区车辆车身已经严重损毁的情况。

1.3.3 适用车型

适用于具有应急浮水功能的电动汽车，此处所指电动汽车，为 GB/T 19596-2017 定义的、具备电驱动能力的纯电动与插电式混合动力电动汽车，不含非插电式混合动力汽车与传统燃油车。

2 应急浮水通用功能与要求定义

引言：随着电动汽车智能化的快速发展，车辆安全性能的全面提升成为行业核心课题。应急浮水功能作为一项重要的主动安全技术，旨在车辆涉浮水或落水等极端场景下，通过车身结构材料水密封和轻量化优化、车辆运动和感知控制及乘员逃生辅助等手段，最大限度保障人员安全。本章节围绕应急浮水通用功能的应用展开，明确其基础定义、通用性能要求及适用场景，为后续技术开发与测试验证提供依据。

2.1 基本定义

2.1.1 基础功能定义

电动汽车应急浮水功能定义为在车辆进入较深水域后，通过主动或被动机制实现短时漂浮且能安全返回陆地，确保车辆在一定时间内保持稳定姿态，避免快速下沉，同时在漂浮过程中为人员提供应急逃生窗口。4 大基础核心功能如下：

水中运动：通过车辆运动控制、分布式电驱、车辆智能感知与控制等技术，可以实现车辆的方向控制以及速度的变换，为车辆从水域中返回陆地或避开水中障碍物提供助力；

浮力维持：通过密封舱体、可展开浮囊或材料轻量化设计提供足够浮力；

姿态稳定：控制车辆倾斜角度，防止侧翻或倒扣；

逃生辅助：自动解锁车门/车窗，触发应急灯光及报警信号，辅助乘员撤离。

2.1.2 基础性能要求

(1) 为确保功能可靠性，应急浮水系统需满足以下性能指标：

浮力持续时间：应满足浮水 30min 内，车内最高积水线不允许超过车内有效排水体积的 5%；

车身倾斜角：横倾角 $\leq 15^\circ$ ，纵倾角 $\leq 10^\circ$ （避免舱内进水过快）；

触发响应时间：入水后 5 秒内启动浮水机制；

环境适应性：支持水深 1.5m 以上、流速 $\leq 3\text{m/s}$ 的水域场景。

3 应急浮水功能关键要求研究

应急浮水功能是车辆在涉水意外中保障乘员安全的关键能力，其技术实现涉及多学科交叉与系统化集成。本章节围绕应急浮水功能的四大关键技术展开研究：防水密封技术、车辆运动控制技术、智能感知技术、应急安全技术。四者协同构成闭环安全体系，其性能指标与可靠性直接决定浮水功能的实效性。本章将逐项分析关键技术的要求边界、实现路径与验证方法，为后续工程化应用提供理论依据。

3.1 防水密封

作为应急浮水功能的前置基础与核心前提，防水密封技术的失效将直接导致乘员舱进水、电气系统短路，使后续所有控制、感知、安全功能失去载体，其性能边界直接决定了应急浮水功能的基础可行性。该技术通过材料体系优化与车身结构设计，保障车辆浮水全过程中舱体的静态与动态水密性，是浮水场景下乘员生存空间与电气系统安全的核心保障。防水密封体系主要分为整车水密封与零部件水密封两大维度，相关要求与试验方法核心参考 GB/T 4208-2017《外壳防护等级 (IP 代码)》、GB 18384-2020《电动汽车安全要求》、GB/T 30038-2013《道路车辆 电气电子设备防护等级 (IP 代码)》。

3.1.1 整车水密封

（1）要求

- 整车系统防水等级应不低于 IPX7，试验条件需满足 GB/T 4208-2017 的规定；
- 完成应急浮水试验后，车辆高压系统应无漏电、短路等安全风险，低压系统核心功能正常且密封性能不失效；

- 浮水试验后整车高压系统的绝缘值应满足 GB 18384-2020 规定的绝缘要求，直流电路绝缘电阻不小于 $100\Omega/V$ ，交流电路绝缘电阻不小于 $500\Omega/V$ 。

(2) 实现路径

当前行业内具备应急浮水能力的车型，均采用“全域密封+冗余防护”的整车水密设计方案，核心技术路径与行业对比如下：

- 多道密封结构设计：主流车型均采用车门三道密封方案（主密封、副密封、辅助密封），门洞密封条采用海绵加橡胶复合材质，针对门槛、A/B 柱、机舱、后备箱等关键区域进行全周密封强化；部分高端车型（如比亚迪仰望 U8）采用五层整车防水结构，针对车身焊缝、拼接缝采用激光焊接 + 密封胶双重处理，进一步提升水密性。

- 关键点位专项防护：针对整车气压平衡泄压阀，采用单向防水结构，浮水状态下自动闭合防止水倒灌；针对线束过孔、安装孔位，采用橡胶护套 + 灌胶密封 + 防水堵盖的冗余设计，杜绝水沿线束或缝隙进入乘员舱。

- 行业技术差异：欧美车企传统技术路线侧重短时涉水能力，整车防水多满足 IPX6 级要求；国内车企针对城市内涝场景，强化了长时浮水的密封性能，主流量产车型均达到 IPX7 级整车防水，核心高压部件普遍达到 IPX8 级。

(3) 验证方法

- IPX7 防水性能试验：按 GB/T 4208-2017 中 14.2.7 条款规定执行，试验车辆应完全浸入水中，车辆最低点至水面的距离不小于 1m，车辆顶部至水面的距离不小于 0.15m，浸入持续时间为 30min；试验后取出车辆，检查车身无明显进水渗漏，密封结构无失效。

- 高压绝缘性能验证：按 GB 18384-2020 中第 6 章条款规定执行，完成浸水试验后，在常温环境下静置 30min，测量整车高压系统对车身地的绝缘电阻，直流电路绝缘电阻应不小于 $100\Omega/V$ ，交流电路绝缘电阻应不小于 $500\Omega/V$ 。

- 功能完整性验证：浸水试验完成后，车辆低压系统的门锁、车窗、灯光、仪表等核心功能应正常工作，无短路、卡滞、失效情况。

3.1.2 零部件水密封

(1) 要求

舱外密封要求:

- 乘员舱外部浪涌线以下的低压系统及零部件，防水等级应不低于 IPX7，试验条件需满足 GB/T 4208 的要求；

- 乘员舱外部布置的高压系统及零部件，如电驱总成、电混系统、直流母线、电池包、电机控制器、车载电源、高压配电箱等防水等级宜不低于 IPX8。

舱内密封要求:

- 在车辆进入应急浮水模式下，应满足浮水 30min 内，车内最高积水线不允许超过车内有效排水体积的 5%，积水不得影响乘员核心生存空间与逃生操作。

(2) 实现路径

- 舱外高压零部件防护：电池包采用全焊接密封壳体 + 多道氟橡胶密封圈结构，接插件集成高压互锁与防水密封结构，主流方案防护等级达到 IP6K9K+IPX8；电驱总成采用双唇油封 + 迷宫密封 + 防水呼吸器组合设计，呼吸器内置疏水透气膜，既平衡腔体气压又防止水进入电机内部；高压线束采用全密封防水接插件，线束末端采用灌胶密封，杜绝水沿线束腔体渗透。

- 舱外低压零部件防护：车外传感器、执行器、线束接插件均采用 IPX7 级车规级防水设计，门槛、保险杠处的水位传感器采用电容式防水封装，避免浸水后失效；底盘布置的低压线束采用防水波纹管 + 全密封护套防护，过孔处采用橡胶件过盈配合 + 密封胶双重处理。

- 舱内密封与排水设计：针对乘员舱地板、仪表台、座椅安装孔、线束过孔等所有贯通点位，采用防水堵盖 + 密封胶全封闭处理；门槛低位设置单向排水阀，少量渗入的水可正常排出，同时防止外部水倒灌；结合整车重心与浮心匹配设计，确保浮水状态下车辆姿态平稳，积水集中于地板低位，不影响乘员生存空间与逃生操作。

(3) 验证方法

- 零部件 IP 等级试验：舱外低压零部件按 GB/T 30038-2013 中 IPX7 条款执行，浸入 1m 水深持续 30min，试验后零部件功能正常，无进水、短路；高压零部件按 IPX8 条款执行，浸入深度不低于 1.5m，持续时间不低于 30min，试验后绝缘性能满足 GB 18384-2020 要求，功能无失效。

- 舱内密封性能试验：将车辆置于静止水域中完全浮起，持续浮置 30min，期间

每 5min 记录一次车内积水高度，试验结束后计算积水总体积，验证其不超过车内有效排水体积的 5%；试验后车内低压电气部件功能正常，无短路、失效。

3.2 车辆运动控制

在防水密封技术保障车辆基础生存空间与电气安全的前提下，车辆运动控制技术是实现应急浮水自救的核心执行环节。其核心目标是克服水中流体扰动，实现车辆浮态稳定与可控机动，使车辆具备脱离危险水域、驶向安全区域的核心能力，是应急浮水功能从“被动防护”向“主动自救”升级的核心支撑。该技术主要分为基础机动性能要求与动力性能要求两大维度，相关要求同时符合 GB 7258-2017《机动车运行安全技术条件》中车辆操纵稳定性的相关要求。

3.2.1 基础性能要求

（1）要求

应急浮水过程中，车辆应具备在水中前进、倒车及转向等水中行驶能力，确保车辆可规避危险、驶向浅滩或登陆点，实现自救。

（2）实现路径

当前行业内实现车辆应急浮水/水中行驶能力的技术路线主要分为两大量产落地方向，一类是以比亚迪仰望 U8 为代表的四轮独立电驱动矢量控制方案，无需额外加装水下推进装置，依托整车现有驱动系统实现水中机动；另一类是以奇瑞捷途纵横 G700 为代表的专用螺旋桨（涡轮推进器）辅助推进方案，通过加装独立的水下推进系统实现水中航行，两类方案均已完成实车验证与量产上市，核心技术路径与实现逻辑如下：

方案一：四轮独立电驱动矢量控制方案

该方案为当前应急浮水功能的主流技术路线，核心依托整车原生四轮独立电驱架构，无需对车身底盘进行大幅改造，以“应急脱困”为核心研发定位，适配城市内涝、意外落水等突发应急场景。

- 水中推进与转向控制：浮水状态下车轮与地面无附着力，传统转向系统无法提供转向力，通过四电机独立控制左右车轮的转速与扭矩，利用车轮高速转动划水产生推进力，通过双侧车轮同方向正转实现前进、同方向反转实现倒车；依靠左右车轮的转速

差与扭矩差形成偏转力矩，实现车辆转向，甚至可完成 360°原地转向动作。该方案已在比亚迪仰望 U8 等量产车型上实现稳定落地，可在静止水域中可靠完成前进、倒车、转向等基础操控动作，满足应急自救的核心需求。

- 浮态姿态稳定控制：通过整车重心与浮心的匹配设计，将电池包等重型部件布置于车身低位，降低整车重心，确保浮水状态下车辆横倾、纵倾角度控制在安全阈值内；结合 IMU 实时采集的姿态数据，通过四电机扭矩的动态分配，抵消水流扰动带来的姿态偏移，避免车辆侧翻、进水加剧，保障浮水全程的车身稳定。

方案二：专用螺旋桨（涡轮推进器）辅助推进方案

该方案为硬派越野车型拓展水陆两栖能力的创新技术路线，以奇瑞捷途纵横 G700 搭载的“纵横方舟”水陆两栖技术为代表，核心通过加装独立的水下螺旋桨推进系统，将车辆浮水能力从“应急脱困”拓展为“主动航行”，可适配更复杂的自然水域场景。

- 水中推进与转向控制：该方案的核心动力源为车尾双侧加装的军工级高压涡轮螺旋桨推进器，单台推进器额定功率 15kW，峰值功率可达 18kW，最高转速 9000r/min，双推进器合计可输出 3000N 的最大推力，可带动 3 吨级车身在水中实现最高 7km/h 的稳定航速，远超应急浮水的基础车速要求，同时可稳定实现水中倒车、转向等操控动作。推进系统采用 800V 高压碳化硅平台供电，高配车型采用独立专用动力电池为推进系统供电，与整车混动系统形成物理隔离，实现冗余安全防护，避免整车动力系统故障导致推进功能失效；转向控制采用方向盘与双推进器矢量联动控制逻辑，通过调节双侧推进器的推力差实现转向，同时可配合车轮转速协同控制，进一步提升转向响应速度与操控精度，在有水流扰动的复杂水域中仍可保持稳定的转向操控能力。

- 浮态姿态稳定控制：在整车重心与浮心匹配设计的基础上，该方案额外搭载 6 轴陀螺仪，以每秒 100 组的频率采集车辆横倾、纵倾、加速度等姿态数据，可在 0.5s 内完成车身姿态修正；同时可通过双侧推进器的推力动态调节，配合车轮扭矩分配，抵消水流乱流、漩涡带来的姿态偏移，在流速 5-10km/h 的自然水域中仍可保持车身平稳，避免出现“栽头”、侧翻等风险。

（3）验证方法

- 基础性能验证：试验环境为无风、无明显浪高的静止水域，水深不小于车辆最大涉水深度 + 0.5m，确保车辆完全浮起、车轮无接地；试验过程中，分别操作车辆完

成前进、倒车、左右转向动作，验证车辆可稳定实现上述动作，无明显跑偏、失控、姿态剧烈波动等情况，试验全程车辆密封性能无失效。

- 拓展性能验证（针对螺旋桨推进方案）：针对具备主动航行能力的车型，可在循环水槽或低流速自然水域中，模拟流速不大于 5km/h 的水流工况，验证车辆在水流扰动下仍可稳定实现前进、倒车、转向动作，航行轨迹与姿态控制满足设计要求，无明显被水流冲偏、失控等情况。

3.2.2 动力性能要求

（1）要求

① 基本驱动力分配

通过性：车辆应具备安全驶入水中以及出水登陆的能力，车辆的出、入水坡度不应低于 10%。

② 动态响应能力

快速性：额定载荷下，在静止水域中，车辆的最大浮水车速应不小于 3km/h，最大倒车浮水车速不应小于 2km/h。

续航里程：额定载荷下，在静止水域中，车辆以 3km/h 的浮水车速匀速行驶，电量从 100%消耗到 20%的过程中，行驶总里程应 $\geq 1\text{km}$ 。

操纵性：额定载荷下，在静止水域中行驶时，其操稳性需满足：方向盘打死状态下，车辆在水中的稳定回转直径应 $\leq 15\text{m}$ 。

制动性：额定载荷下，在静止水域中行驶时，车辆制动初始速度 3km/h 下的制动距离不大于 9m。

（2）实现路径

- 出入水能力保障：通过扭矩矢量控制优化低速大扭矩输出特性，确保车辆在 10% 坡道上可稳定低速行驶，避免出入水时打滑；结合涉水传感器实时监测水深，出入水过程中自动调整动力分配，提前启动密封防护措施，避免车轮半接地状态下动力失控。

- 水中动力与续航优化：针对水中行驶的流体阻力特性，优化电机控制策略，提升低速大扭矩输出效率，确保达到 3km/h 的前进车速；通过整车能量管理优化，限制浮

水模式下非必要高压部件的功耗，优先保障驱动系统供电，确保满足 1km 以上的续航要求，为乘员预留充足的自救时间。

- 操纵稳定性优化：针对浮水状态下的车辆动力学特性，优化差速转向控制算法，通过左右车轮的精准扭矩分配，实现稳定转向，确保回转直径 $\leq 15\text{m}$ ；结合 IMU 实时姿态数据，动态调整转向过程中的扭矩输出，避免转向时车辆横倾角超标，防止侧翻风险。

（3）试验方法

- 试验环境为无风、无明显水流的静止水域，试验车辆为额定载荷状态。
- 出入水坡度验证：在试验场地设置坡度为 10%的坡道，坡道末端接入试验水池，水深不小于车辆最大涉水深度；车辆以不大于 5km/h 的速度匀速驶入水中，完全浮起后，再以不大于 5km/h 的速度驶出水池、完成登陆，重复 3 次，验证车辆可正常完成出入水动作，无打滑、动力中断、密封失效等情况。
- 最大浮水车速验证：车辆完全浮起、车轮无接地，分别以最大动力输出向前、向后行驶，记录车辆稳定后的最大前进车速与最大倒车车速，验证前进车速 $\geq 3\text{km/h}$ ，倒车车速 $\geq 2\text{km/h}$ 。
- 浮水续航里程验证：车辆满电状态下，以 3km/h 的稳定车速在静止水域中匀速行驶，直至动力电池电量下降至 20%，记录行驶的总里程，验证总里程 $\geq 1\text{km}$ ；试验过程中车辆动力系统无异常，姿态稳定。
- 操纵性验证：车辆完全浮起、车轮无接地，方向盘打至极限位置，以稳定车速行驶，记录车辆完成 360° 稳定回转后的平均回转直径，验证回转直径 $\leq 15\text{m}$ ；试验过程中车辆无侧翻、失控、进水加剧等情况。

3.3 智能感知技术

防水密封的基础防护与运动控制的机动执行，均依赖于精准、实时的环境与车辆状态数据输入，智能感知技术正是应急浮水全流程的感知中枢与决策触发核心，承担着模式自动触发、状态实时监测、风险分级预警的关键职能，是实现“感知 - 决策 - 执行”闭环控制的核心数据底座。相关要求与试验方法核心参考 GB/T 28587-2012《移动测量系统惯性测量单元》、同时符合 GB 7258-2017 中机动车报警装置的相关要求。

（1）要求

浮水水位监测：开启应急浮水模式后，车辆应具备对车身两侧水位的实时监测能力，测

量误差不大于 $\pm 5\text{cm}$ ，水位达到触发阈值时可正常触发模式启动与预警。

姿态感知：开启应急浮水模式后，车辆应具备通过惯性测量单元（IMU）对车辆姿态的实时感知能力，包括：

- a. 横倾角（Roll Angle）：测量范围 $\pm 90^\circ$ ，精度不低于 $\pm 1^\circ$ ；
- b. 纵倾角（Trim Angle）：测量范围 $\pm 90^\circ$ ，精度不低于 $\pm 1^\circ$ 。

当姿态超出安全阈值（如横倾角 $>15^\circ$ ）时，应触发报警。

加速度感知：开启应急浮水模式后，浮水车辆应通过惯性测量单元（IMU）具备对车辆加速度的实时感知能力，要求加速度测量误差不大于 $\pm 1\%$ 。

车窗/车门等感知：开启应急浮水模式后，车辆应能准确识别并反馈以下关键部件的状态：

- a. 所有车门开闭状态；
- b. 所有车窗升降状态；
- c. 车辆锁止状态；
- d. 密封机构的工作状态。

（2）实现路径

行业主流采用多源传感器冗余融合感知方案，依托车身域控制器实现数据融合与决策，核心技术路径如下：

- 水位监测系统：在车身两侧布置多个涉水传感器，实时采集水深数据，当水深超过车辆最大涉水深度、即将浮起时，自动触发应急浮水模式预启动；部分车型搭配毫米波雷达辅助监测水面范围与水流情况，进一步提升环境感知能力。

- 姿态与加速度感知系统：采用车规级六轴 IMU（三轴加速度计+三轴陀螺仪），符合 GB/T 28587-2012 的性能要求，实时采集车辆的横倾角、纵倾角、角速度、加速度等数据，通过滤波算法消除水流扰动带来的高频噪声，为姿态稳定控制提供精准数据；当姿态超出安全阈值时，立即触发报警，并同步调整动力分配，修正车辆姿态。

- 车身状态感知系统：通过车身域控制器（BCM）集成车门锁止传感器、车窗位置传感器、门锁状态传感器、密封机构位置传感器的信号，实时采集并反馈关键部件的开闭状态；应急浮水模式启动后，若检测到车门、车窗未关闭，立即通过语音、仪表提示乘员关闭，避免乘员舱进水。

行业现状：目前量产车型的应急浮水感知系统均采用冗余设计，避免单一传感器失效导致的决策错误。

（3）验证方法

- 水位监测验证：将试验车辆置于试验水池中，以 0.1m 为步长逐步升高水位，从门槛以下 0.2m 至车辆完全浮起，每一步长稳定后记录车辆水位监测系统的显示值与实际水位值，验证系统可实时监测车身两侧水位，测量误差不大于±5cm；当水位达到应急浮水模式触发阈值时，验证系统可正常触发模式启动与预警。

- 姿态感知验证：按 GB/T 28587-2012 中第 8 章条款执行，将车辆搭载的 IMU 安装于高精度三轴转台，分别设置横倾角、纵倾角为±10°、±20°、±30°、±40°、±50°、±60°、±70°、±80°、±90°，记录 IMU 的测量值，验证测量范围覆盖±90°，测量精度不低于±1°；在浮水试验中，模拟车辆横倾角超过 10°的工况，验证系统可立即触发声光报警。

- 车身状态感知验证：静态工况下，分别操作所有车门的开闭、所有车窗的全行程升降、车辆门锁的锁止与解锁、密封机构的动作，每一项操作重复 10 次，记录车辆系统的反馈状态，验证识别准确率 100%，无错报、漏报；在浮水试验过程中重复上述操作，验证系统在浮水状态下仍可正常识别，无失效。

3.4 应急安全技术

在基础防护、机动执行、感知决策三大系统构成的主体功能框架之外，应急安全技术是保障乘员生命安全的最后一道兜底防线。其核心聚焦于极端工况下的高压安全防护、乘员引导、逃生通道保障与应急救援协同，确保即使主体功能出现异常，仍能为乘员预留逃生与救援的核心条件。相关要求与试验方法核心参考 GB 18384-2020《电动汽车安全要求》、GB 7258-2017《机动车运行安全技术条件》。

（1）要求

- 高压安全控制：应急浮水过程中，车辆应具备实时绝缘监测能力；当绝缘阻值低于 500 Ω/V 的情况下，禁止在水中直接切断动力输出，需在车辆上岸退出浮水模式后，再限制或切断高压动力，避免水中动力中断导致车辆失控。

- 人机交互与预警：应急浮水过程中，车辆应具备语音提示、信息显示、故障预警等人机信息交互功能，清晰告知乘员浮水模式状态、操作指引与风险预警信息，避免

乘员恐慌。

- 逃生通道冗余保障：车辆需确保应急浮水过程中，车门、车窗和天窗等具备可开启性与防失效性，具体要求如下：

- a. 所有可开启车门在浮水全程及浮水后，均可通过电动解锁与机械解锁正常开启；
- b. 车窗电动升降功能在浮水期间可正常工作，无卡滞、失效；
- c. 车辆若配备天窗，浮水期间及浮水后功能可正常使用，可随时打开为车内人员预留逃生路径。

（2）实现路径

- 冗余高压安全控制：采用双路冗余绝缘监测仪，实时监测高压系统正、负极对车身地的绝缘电阻，符合 GB 18384-2020 的要求；应急浮水模式下，绝缘监测策略优化为“报警优先、延迟断电”，当绝缘阻值低于安全阈值时，仅触发分级声光报警，持续监测绝缘状态，不直接切断高压动力，保障车辆水中行驶能力，直至车辆登陆退出浮水模式后，再执行动力限制或切断，避免乘员被困水中。

- 分级人机交互系统：应急浮水模式启动后，通过仪表、中控屏同步显示浮水模式状态、实时水位、车辆姿态、操作指引等核心信息，同时通过语音播报清晰告知乘员“已进入应急浮水模式，请关闭车门车窗、系好安全带，保持镇定，可通过方向盘控制车辆驶向浅滩”；当出现绝缘异常、姿态超标、进水加剧等风险时，立即触发分级声光预警，同步告知乘员应对措施，避免乘员因恐慌出现误操作。

- 逃生通道冗余设计：车门、车窗、天窗的控制系统采用低压蓄电池 + 备用超级电容双路冗余供电，避免浮水过程中主电源失效导致无法开启；车门锁采用电动解锁 + 车内机械拉手解锁双冗余设计，即使电动系统完全失效，乘员仍可通过机械拉手正常开启车门；车窗、天窗的驱动电机采用 IPX7 级防水设计，浮水过程中可正常工作，同时保留应急手动开启功能；天窗玻璃采用钢化安全玻璃，设置应急敲击断点，可通过车内安全锤敲碎，作为备用逃生通道。

- 行业现状：目前国内具备应急浮水能力的量产车型，均已实现逃生通道双冗余设计，国内团体标准也明确将浮水过程中车门、车窗的可开启性列为强制性要求，杜绝因电气失效导致乘员被困舱内的风险。

（3）验证方法

- 高压安全控制验证：按 GB 18384-2020 中第 6 章条款执行，通过模拟高压系统绝缘故障，将绝缘阻值降至 $500\Omega/V$ 以下，验证车辆在应急浮水模式下，不会直接切断高压动力输出，仅触发声光报警；车辆退出浮水模式后，验证系统可正常执行动力限制或切断操作；完成 30min 浮水试验后，测量高压系统绝缘电阻，应满足 GB 18384-2020 的要求。

- 人机交互功能验证：静态触发应急浮水模式，验证车辆可通过语音、仪表显示、中控屏显示同步提示浮水模式状态与操作指引，信息清晰准确；模拟绝缘异常、姿态超标、车门未关闭等故障工况，验证系统可正常触发分级声光预警，预警信息明确，可同步告知乘员应对措施。

- 逃生通道可开启性验证：将车辆完全浮于静止水域中，在 30min 浮水期间，分别完成以下操作：

- ◆ 对所有车门，分别操作电动解锁与车内机械拉手解锁，验证所有车门均可正常开启，无卡滞、锁死；
- ◆ 对所有车窗，操作电动升降完成全行程升降，重复 3 次，验证车窗升降功能正常，无失效；
- ◆ 对配备天窗的车辆，操作天窗完成全行程开闭，重复 3 次，验证天窗功能正常，可正常开启；浮水试验结束后，重复上述所有操作，验证所有功能仍可正常工作，无失效。

4 应急浮水标准化分析及建议

4.1 应急浮水标准现状分析

当前国内外标准体系主要聚焦于车辆基本的防水性能要求，但对车辆落水等场景下的相关功能及性能进行要求，亟需对标准体系系统性梳理与分析。现行标准多聚焦于车辆功能安全、防水等级定义等，在应急浮水技术条件、水密封关键性技术、浮水测试方法等方面尚未统一规范。

本文旨在分析国内外应急浮水技术标准的现状与差距，探讨行业实践与政策导向的协同路径，为未来标准体系的完善提供参考，助力实现从“实验性技术”到“标准化安全配置”的跨越。

4.2 现有相关标准梳理

4.2.1 国内标准梳理

目前与电动汽车涉水、浮水相关的国内标准有 5 项，具体如下：

1) GB 18384-2025《电动汽车安全要求》的防水要求提出车辆高压部件需满足防水等级要求或整车通过防水测试。

2) GB 4208-2017《外壳防护等级(IP 代码)》“对水进入外壳防护”中提到 IPX7/IPX5/IPX4 等试验定义以及试验方法。

3) GB 38031-2025《电动汽车用动力蓄电池安全要求》明确规定了电池包或系统浸水试验。

4) GB/T 30038-2013《道路车辆电子电气设备防护等级》明确给出水防护等级定义、水防护试验和要求、水防护等级试验条件说明。

5) GB 7258-2017《机动车运行安全技术条件》提出车门和车窗密封需良好，无漏水现象，舱外部接插件需满足防水要求。

4.2.2 国际标准梳理

目前和电动汽车应急浮水功能相关的国际标准有 3 项，具体如下：

1) ISO 26262《道路车辆功能安全》；

2) ISO 16750-3《道路车辆-防护等级(IP 代码)-电气设备对外来物、水和接触的防护》对电动汽车的防水要求做了明确定义。

3) ISO2958:2024《Road Vehicles-exterior protection for passenger cars》通过各类关键技术的实现赋能整车各项创新功能。

4) ISO 2958:2004《Road vehicles — Exterior protection for passenger cars》有提及应急浮水工况，但未给出整车以及零部件防水的基本性能指标以及实现这些整车和零部件防水基本性能指标的试验方法。

5) UN R100《电动汽车涉水安全性的国际法规要求》中附件 7B 提到静态水域涉水的深度、长度以及涉水时间等要求。

6) SAE J575《汽车照明设备的水密性试验》明确提出照明设备的水淋测试要求包括角度、转速平台、喷洒量、直径等。

7) ENCAP-EURO Rescue & Extrication Test and Assessment Protocol 2025 中 post

crash intervention 和 3.2.6 中 vehicle submergence 车辆落水要求中明确提到落水工况的 2 点救援措施：车窗在 2 分钟内能够自动开启。在 ENCAP 新车评价规程中将落水工况加入到碰撞后安全范围，仅定义了车窗的开启时限：但车辆落水后的要求在当前标准未进行明确要求。

4.3 标准化需求分析

当前电动车辆防水标准体系较为完善，但标准侧重点均在外壳防护、整车和零部件防水等级定义和试验条件方法，但未对车辆落水等场景进行进一步的要求规范，存在一定的局限性。如涉水深度覆盖不足，当前标准体系中规定的涉水深度均较浅，达不到车辆浮水的前提条件，不能对车辆浮水性能进行判定。另外，标准要求更侧重于防水测试后的电安全，对车辆性能、功能等未做出明确要求，无法对车辆应急浮水性能进行综合评估。

一、必要性

安全形势严峻。我国电动汽车保有量已突破 3000 万辆，但极端天气频发导致车辆涉水事故激增。2021 年郑州“7·20”特大暴雨中，大量电动汽车因电池进水短路引发火灾，暴露出当前标准仅关注“被动防水”而缺乏“主动浮水”安全设计的重大缺陷。

标准体系空白。现行 GB 18384-2020 等标准仅规定 150mm 涉水深度要求，未涵盖车辆意外落水或深水漂浮场景。当积水深度超过 500mm 时，车辆极易从接地涉水进入漂浮状态，电池包可能因内外压差失衡导致密封失效、进而引发热失控，亟需建立应急浮水全链条的安全评估规范，完善电动汽车极端环境安全标准体系。

国际竞争需要。若我国率先建立应急浮水国家标准体系，可掌握该领域的国际标准话语权，在全球汽车技术法规中推动中国方案落地，巩固我国新能源汽车产业的全球领先优势。

二、可行性

技术基础成熟。目前部分企业已推出车辆应急浮水功能，证明了关键技术的可行性。此外，国内车企在电池包 IP68 防护、车身密封设计方面积累丰富经验，为应急浮水要求奠定了基础。

产业支撑完善。我国拥有全球最完整的电动汽车产业链，从传感器、控制器到整车集成均可自主配套，标准实施具备产业基础。

政策环境有利。《新能源汽车产业发展规划（2021-2035 年）》明确将"安全性"列为首要目标，为标准制定提供政策依据。

建立电动汽车应急浮水标准体系兼具紧迫性与可行性。在标准体系制定前期可制定推荐性标准明确应急浮水状态定义与测试方法，中期升级为强制性安全要求，远期推动纳入国际标准法规，全面提升电动汽车极端环境安全保障能力。

4.4 标准化建议

基于以上标准化分析，为实现车辆应急浮水功能应用落地，本报告建议从修订现有标准提高场景适用性，制定新标准满足场景特殊需求的充分性两方面开展标准化工作。

4.5 标准体系规划

对于应急浮水要求，可在现有的标准体系中考虑本场景的特殊性，调整标准要求或者增加更加严苛的性能要求，也可以针对该场景制定车辆应急浮水系列标准。

制定车辆应急浮水系列标准，针对本场景的特殊要求，可从车辆应急浮水通用要求、密封性要求、运动控制性要求、智能感知要求、应急安全要求、测试方法等几方面进行考虑。

1、车辆应急浮水通用要求

通用要求中可应急浮水定义、浮水等级分类、车辆基本性能及功能要求等几方面进行规定。

明确应急浮水功能的术语定义并通过应急浮水定义对车辆类型进行划分，后续可按车辆是否具有应急浮水功能提出不同的要求。同时对车辆浮水等级进行分类，按涉水深度及时长可分为常规涉水：水深 $\leq 300\text{mm}$ ，车轮接地，具备完整地面附着力；深涉水：水深 $300\text{mm}\sim$ 车辆最大接地涉水深度，车轮接地，附着力下降；临界浮水：水深达到车辆浮水临界值，车轮部分脱离地面，附着力接近丧失；短时完全浮水：水深超过临界值，车轮完全脱离地面，车辆可短时间漂浮；长时完全浮水：水深超过临界值，车轮完全脱离地面，车辆可长时间漂浮五种状态，按浮水等级明确应急浮水功能开启条件。当应急浮水功能开启时，车辆应满足整车绝缘正常、整车具有报警信号等基本性能及功能要求。另外，标准还需明确该功能开启的限制条件，避免功能滥用。

2、车辆密封性要求

该部分可按照划分好的浮水等级对车辆密封性能提出不同的要求，对于涉水工况，

车辆需满足现有标准体系中涉水要求（如 GB 18384 防水要求）；对于浮水工况，可按车辆分类设定相关密封性要求如乘员舱内进水程度及进水速率等。

3、车辆浮水状态下的运动控制要求

该部分标准主要适用于具有应急浮水功能的车辆，可豁免未具有此功能的车型。对于具有应急浮水功能的车辆，当应急浮水功能开启时，可从行驶速度、行驶时间、转弯稳定性等方面考虑车辆行驶的操作性及稳定性。

4、车辆浮水状态下的智能感知要求

该部分标准主要适用于具有应急浮水功能的车辆，可豁免未具有此功能的车型。对于具有应急浮水功能的车辆，当应急浮水功能开启时，需具备对于周围水位、车身姿态、加速度等性能指标的感知监测能力。

5、车辆应急安全要求

该部分标准适用于具有应急浮水功能的车辆，按照涉水等级对车辆应急安全提出相关要求，如自动开启天窗或侧窗、整车绝缘电阻正常等要求。

6、车辆应急浮水功能测试方法

按照车辆浮水状态下的操控性及稳定性要求提出对应的测试方法。