



中国汽车腐蚀测评研究报告

(2024 年)

中消会 CA-CAP 工作组秘书处

长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

编委会

主 编：王 昆 曲卫东 郑 虹 马应斌

副主编：罗予富 郑元辉 李景升 王宣锋 李 彤 姜文义

委 员（按姓氏字母排序）：

安 涛 蔡元平 曹宝华 陈 龙 陈 旭 杜洪忠
范伟江 高承明 顾 静 郭晓亮 韩明博 何忠树
柯胜蓝 黎祖超 李 熙 李符先 李卓翰 罗明军
吕浔荻 马迪卓 孟 佳 潘雪城 彭华江 邱 勋
尚 生 邵建豪 沈 健 宋文婷 孙 卓 孙才旺
陀家晖 王 凯 王淞任 王永豪 吴久生 徐 鹏
徐平红 虞莲雯 曾庆杨 张兴勃 张忠海

中消会CA-CAP工作组秘书处
长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

前言

一、研究背景与目的

在全球汽车产业快速发展的今天，汽车腐蚀问题成为影响车辆性能与寿命的重要因素。腐蚀不仅损害汽车的外观，更直接影响到汽车的安全性能和使用成本。尤其在中国，随着汽车保有量的持续增长，各种腐蚀问题逐渐显现，这对车主、制造商甚至国家经济都构成了不小的挑战。因此，系统性地开展汽车腐蚀测评研究，对于优化车辆设计、提高制造质量、减少维护成本、保护用户权益具有重大的指导意义。

中国独特的气候条件，如南方的高温高湿和北方的降雪（融雪盐的使用），对汽车的耐腐蚀性能提出了更高的要求。此外，中国复杂的道路条件和城市空气污染亦对汽车腐蚀加剧有着不容忽视的影响。因此，针对中国具体情况开展深入的腐蚀机理研究和防护技术研发显得尤为重要。

面对全球汽车市场激烈的竞争形势，为了规避因质量缺陷所导致的召回索赔等售后问题，快速地适应国内外法规政策及使用场景，我国车企亟需开展更严苛的腐蚀测试，精准识别汽车腐蚀质量风险，切实提升产品竞争力，以应对复杂多变的市场环境。

CA-CAP 于 2020 年正式启动，2021 年发布耐腐蚀性能测评规则，2022 年发布首批测评结果，三年以来，完成了 19 款热门车型的测评和结果发布。CA-CAP 填补了行业专业领域空白，为汽车耐腐蚀与老化性能的衡量提供了标尺。测评动态更是吸引了新华社、中央电视台、中国新闻网等权威媒体的广泛报道，为广大消费者选车购车、生产企业质量提升、政府监管部门管理提供了有价值的参考，有效促进了我国汽车产品质量提升。

CA-CAP 在各级主管部门的领导及行业同伴的支持下，经历了从无到有，从有到优、从优到精的蜕变。CA-CAP 作为我国乃至全球范围内的汽车耐腐蚀性能测评的先行者，一直致力于打造科学、权威、公正的汽车耐腐蚀测评平台，不断强化测评体系建设，持续开展测评并发布结果，同时积极开展行业间的交流与合作，助力我国汽车走出国门、面向世界。

为了更好地服务消费者、服务行业、服务政府监管部门，开展本项研究工作，旨在：

1. 评估和比较不同车型在各种环境下的腐蚀情况。
2. 对测评和试验数据展开分析，提供有价值的试验评价数据。
3. 为汽车行业的质量提升、标准制定、政策研究提供科学依据。

二、研究方法与技术路径

研究采用的主要技术路径包括但不限于：

1. 市场投诉案例数据调查和收集：系统收集并分析在实际使用中的汽车腐蚀案例，以反映真实的腐蚀问题现状。
2. 影响腐蚀的环境因素分析：研究相关文献和资料，收集中国和海外典型地区的环境气候数据。
3. 试验数据统计和分析：分别统计 CA-CAP 测评数据和常规腐蚀试验的数据，分析其规律和特点，提供有价值的结论。
4. 典型案例分析：选取试验或市场中常见的典型腐蚀问题案例，提供分析，为行业技术改进提供指导。
5. 腐蚀技术研究：从目标定位、开发设计、材料选用、生产工艺和试验验证等方面展开研究，提供参考建议。

三、结构概述

本研究报告比较全面地呈现了汽车腐蚀的各个方面，提供了腐蚀环境研究、市场和试验数据分析、典型案例分析和腐蚀技术研究等方面的内容。

本研究报告共分为六章：

- 1.全球汽车腐蚀市场和环境研究。
- 2.CA-CAP 测评运营管理。
- 3.CA-CAP 测评标准体系。
- 4.CA-CAP 测评结果分析。
- 5.汽车腐蚀试验数据统计及典型案例分析。
- 6.汽车防腐技术研究。

四、研究的意义

汽车腐蚀问题对于消费者而言，直接关系到车辆的安全性和经济效益。对于生产企业，腐蚀问题的解决有助于提高产品竞争力和市场信誉。国家层面上，系统化的腐蚀研究和标准化可以促进汽车行业的健康发展，推动环保和可持续发展政策的实施。

本研究在提升国内汽车工业的国际竞争力方面具有深远意义。随着全球汽车行业对环保和可持续发展的要求日益增高，提高汽车的耐腐蚀性能成为了全球市场的一大竞争优势。中国在这一领域的研究不仅能够推动本国汽车工业的发展，也有助于形成全球范围内的技术和标准话语权。

本研究的成果预期将发挥以下作用：

- 1.提高消费者满意度：通过改善汽车腐蚀防护性能，延长车辆寿命，减少维护成本，从而提升消费者的使用满意度和信任度。

2.优化产品设计和制造：研究结果将支持汽车工程师在设计阶段考虑更有效的腐蚀防护措施，促使制造过程更加精细化，提高整车质量。

3.制定相关标准和政策：为政府和行业标准化机构提供科学数据和建议，帮助制定或修订相关的技术标准和政策，进一步规范市场，保护消费者权益。

五、编制工作的开展

研究报告集结了国内专业领域资深专家和机构的力量，确保了研究的全面性和先进性。通过严谨的资料收集和数据分析，确保研究结果的科学性和实用性。专家审查和公开反馈环节也保证了报告的客观性和权威性。

研究报告的编制过程经历了以下几个关键阶段：

1.需求分析和预研：通过行业调研，收集和分析国内外汽车腐蚀问题的现状和技术发展趋势，明确研究需求和目标。

2.组织架构建设：成立编制工作组，并分别成立资料收集小组、数据整理统计小组、文字编写小组和审核校对小组，确保报告编制工作的顺利进行。

3.数据收集与试验测试：广泛收集行业数据，包括市场投诉数据、腐蚀测评数据、常规腐蚀试验数据、零部件试验数据和典型腐蚀问题案例等。

4.分析评估与报告撰写：对收集的数据进行深入分析，评估不同防腐技术的效果，并在此基础上撰写详细的研究报告。

5.专家审查和反馈：报告初稿完成后，提交给行业专家和技术审查团队进行审查，收集反馈并进行必要的修改和完善。

6.研究报告发布和推广：研究成果经过审查和批准后公开发布，并通过各种渠道进行推广，包括行业会议、研讨会和媒体发布等。

六、编制单位

此外，报告的编制也得到了行业协会和媒体机构的大力支持，确保了其广泛的行业代表性和权威性。

编制单位主要包括：

1.中国消费品质量安全促进会：作为编制工作的指导单位，提供了编制资源和组织保障。

2.长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司：作为编制工作的牵头单位，负责进行项目组织统筹，资料收集，测评和试验的数据整理、统计和分析，典型案例的收集和提供，报告的编辑、排版和校对等。

3.中国汽车工程研究院股份有限公司：负责汽车市场腐蚀投诉案例数据的整理、统计和分析，参与第2章的编写。

4.中汽研汽车检验中心（呼伦贝尔）有限公司：参与测评数据整理和分析。

5.重庆长安汽车股份有限公司：负责收集海外典型地区的腐蚀环境气候数据，参与第2章和6章的编写。

6.中国第一汽车集团有限公司：参与第5章的编写。

7.一汽奔腾汽车股份有限公司：参与第5章的编写。

8.广汽乘用车有限公司：参与第5章的编写。

9.广汽埃安新能源汽车股份有限公司：参与第5章的编写。

10.一汽-大众汽车有限公司：参与第5章的编写。

11.上海蔚来汽车有限公司：参与第5章的编写。

- 12.上海汽车集团股份有限公司乘用车分公司：参与第 5 章的编写。
- 13.华为技术有限公司：参与第 5 章的编写。
- 14.北京新能源汽车股份有限公司：参与第 6 章的编写。
- 15.上汽大众汽车有限公司：参与第 6 章的编写。
- 16.通标标准技术服务（上海）有限公司：参与第 6 章的编写。
- 17.广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院：参与第 6 章的编写。
- 18.比亚迪汽车有限公司：参与第 6 章的编写。
- 19.广州小鹏汽车科技有限公司：参与第 6 章的编写。
- 20.北京车质网信息技术有限公司：负责汽车市场腐蚀投诉案例的收集。

汽车的腐蚀技术研究是一项复杂的工程，涉及多个学科。受时间、资源及专业、能力所限，本研究的内容未必全面，观点未必准确，但本研究报告提供了大量的市场用户、测评和试验数据，并对汽车腐蚀研究进行了比较系统和全面的分析，汇聚了行业众多专家的劳动结晶，为消费者、生产企业和政府监管部门提供了有价值的参考，具有一定的指导意义。本研究报告内容的疏漏或不足之处，恳请广大专家、学者及社会各界予以批评指正，以便我们在后续工作中不断完善。我们也希望通过本研究搭建与各方的交流平台，共同推动我国汽车技术进步。

中消会 CA-CAP 工作组秘书处

长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

2024 年 11 月

目录

第 1 章 全球汽车腐蚀市场和环境研究.....	1
1.1 全球汽车市场腐蚀情况研究	1
1.1.1 国内汽车市场腐蚀情况	1
1.1.2 国外汽车市场腐蚀情况	12
1.2 全球汽车腐蚀政策法规研究	15
1.2.1 国内汽车市场腐蚀政策法规	15
1.2.2 国外汽车市场腐蚀政策法规	15
1.3 全球汽车腐蚀环境研究	17
1.3.1 影响汽车腐蚀的环境因素	17
1.3.2 我国及部分海外国家的气候环境	22
1.4 全球汽车腐蚀试验方法研究	34
1.4.1 国内汽车腐蚀试验方法	35
1.4.2 国外汽车腐蚀试验方法	37
1.4.3 各试验方法对比	40
1.4.4 当前汽车腐蚀试验存在的问题与不足	41
第 2 章 CA-CAP 测评运营管理	43
2.1 项目简介	43
2.2 目的与意义	44
2.3 工作组成员	44
2.4 工作职责	45
2.5 运行管理	46
2.5.1 车辆选取	46
2.5.2 测评实施	47
2.5.3 结果发布	48

2.5.4 数据管理	49
2.5.5 异议处理	50
2.5.6 费用管理	50
2.6 技术研究和交流活动	50
2.7 声明	51
第3章 CA-CAP 测评标准体系	52
3.1 试验条件	52
3.2 试验方法	53
3.2.1 试验工况	53
3.2.2 试验周期和评价节点	60
3.3 评价方法	61
3.3.1 外观评价	61
3.3.2 功能评价	69
3.3.3 划痕评价	73
3.3.4 综合评价	77
第4章 CA-CAP 测评结果分析	79
4.1 测评样车构成情况	79
4.2 测评综合得分分析	81
4.3 测评各指标得分分析	86
4.3.1 外观评价指标得分分析	86
4.3.2 功能评价指标得分分析	91
4.3.3 划痕评价指标得分分析	95
4.4 测评星级评定情况	101
第5章 汽车腐蚀试验数据统计及典型案例分析	105
5.1 汽车系统分类	105

5.2 腐蚀试验外观数据统计及典型案例分析	106
5.2.1 腐蚀试验外观数据统计	106
5.2.2 腐蚀试验外观问题典型案例分析	111
5.3 腐蚀试验功能故障数据统计及典型案例分析.....	128
5.3.1 腐蚀试验功能故障数据统计	128
5.3.2 腐蚀试验功能故障典型案例分析.....	135
5.4 腐蚀试验划痕数据统计及典型案例分析	144
5.4.1 腐蚀试验划痕数据统计	144
5.4.2 腐蚀试验划痕典型案例分析	147
第6章 汽车防腐技术研究.....	149
6.1 防腐开发目标设定	149
6.2 结构设计	152
6.2.1 车身防腐分区	152
6.2.2 车身腐蚀防护	156
6.3 材料选用	164
6.3.1 非镀层钢板	165
6.3.2 带镀层的钢板	168
6.3.3 轻金属合金钢板	177
6.3.4 不锈钢材料	181
6.3.5 碳纤维材料	182
6.3.6 不同材料在循环盐雾试验中的结果对比	182
6.4 制造工艺	185
6.4.1 冲压	185
6.4.2 焊装	187
6.4.3 涂装	189

6.4.4 总装.....	196
6.5 试验验证.....	196
6.5.1 零部件防腐性能验证.....	196
6.5.2 白车身防腐性能验证.....	198
6.5.3 整车防腐性能验证.....	199
结语.....	203
参考文献.....	205
附录.....	207

中消会CA-CAP工作组秘书处
长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

第 1 章 全球汽车腐蚀市场和环境研究

全球各主要汽车市场的腐蚀状况各不相同，主要受到气候、道路条件、环境污染及汽车保护措施等因素的影响。例如，欧洲和北美地区，由于更为严格的环保法规和先进的汽车制造技术，汽车腐蚀问题相对较少。而在发展中国家，由于腐蚀方面相关的法规和政策相对宽松，加之道路和气候条件的影响，腐蚀问题较为严重。

1.1 全球汽车市场腐蚀情况研究

1.1.1 国内汽车市场腐蚀情况

在中国，随着汽车保有量的迅速增长，关于汽车腐蚀问题的投诉也日益增多。消费者普遍关注车辆在保质期内出现的腐蚀问题，尤其是在沿海高湿度地区和北方冬季使用融雪盐的地区，车辆腐蚀尤为严重。

1.1.1.1 国内汽车市场投诉与召回案例

一、投诉案例

1. 国内某汽车制造商因腐蚀被投诉案例

事件描述：一名车主发现其购买的 2015 年款汽车在使用 3 年后，底盘和门边框架出现了严重的腐蚀问题，车主随后向制造商提出了投诉。

投诉原因：经过初步检查，发现车辆的腐蚀主要是由于底盘防护不当和材料选择不恰当导致的，此问题在车主群体中引发广泛关注，并导致多起类似投诉。

处置方案：制造商最终采取了包括改进生产工艺、使用更耐蚀

的材料以及提供延长保修期等措施，以解决和预防未来的类似问题。

注：数据来源于车质网。

二、召回案例

1. 国内某汽车制造商因腐蚀引发召回案例

事件描述：自 2020 年 8 月 15 日起，召回部分 2013 年 7 月 13 日至 2017 年 9 月 13 日生产的某小型 SUV 汽车，共计 190352 辆。

召回原因：召回范围内车辆发动机 ECU 的主线束端子可能会出现进水或被污染的问题，在高压水枪冲洗等情况下，高压水会通过 ECU 主线束端子进入 ECU 内部，导致 ECU 控制单元进水内部电路腐蚀，极端情况会造成车辆无法启动或动力中断，存在安全隐患。

处置方案：制造商将为召回范围内的车辆免费加装 ECU 防水罩，并诊断检查 ECU 是否存在故障，对于存在故障的 ECU 免费更换，以消除安全隐患。

注：数据来源于国家市场监督管理总局缺陷产品召回技术中心。

2. 国内某汽车制造商因腐蚀引发召回案例

事件描述：自 2023 年 12 月 30 日起，召回 2018 年 7 月 23 日至 2021 年 9 月 26 日生产的部分 SUV 和轿车，共计 1188020 辆。

召回原因：召回范围内车辆因发动机废气再循环阀（EGR 阀）密封不严，内部轴承可能被含氯冷凝水腐蚀，造成阀体卡滞，发动机运转不良，故障灯点亮，CO、NOX 等污染物排放增加，存在不合理排放。极端情况下，可能出现低速熄火，动力中断，存在安全隐患。

处置方案：制造商将为召回范围内车辆免费更换改良后的 EGR

阀，以消除隐患。

注：数据来源于国家市场监督管理总局缺陷产品召回技术中心。

1.1.1.2 国内汽车市场投诉数据

随着国内汽车市场和消费群体的日渐成熟，消费者对高质量产品的定义也发生了新的变化，对汽车质量提出了更严苛的要求。腐蚀是汽车感官质量问题的主要呈现形式之一，目前腐蚀类投诉已位居汽车投诉排行榜前列，已成为消费者重点关注的质量问题。

为了给行业提供参考，本报告搜集、整理了车质网近年来（截止至 2024 年 6 月）约 2.7 万宗投诉案例，进行数据统计和分析。

1. 近 11 年国内汽车腐蚀相关投诉数量



图 1-1 近 11 年国内汽车腐蚀相关投诉数量

近年来，随着汽车销量的猛增和售后服务的规范程度提高，腐蚀相关投诉的数量激增，2014 年至 2019 年腐蚀相关投诉量每年递增，2020 年至 2022 年投诉量有所下降，可能与疫情有关。

2023 年投诉量再次上涨，2024 年上半年腐蚀相关投诉已经达到

2000 例以上，与 2021 年持平，预计全年较 2023 年有大幅上涨。

2. 腐蚀相关投诉与所有类型投诉随使用年限的变化情况

国内汽车腐蚀相关投诉与所有类型投诉随使用年限的变化情况

如图 1-2 至图 1-4 所示。

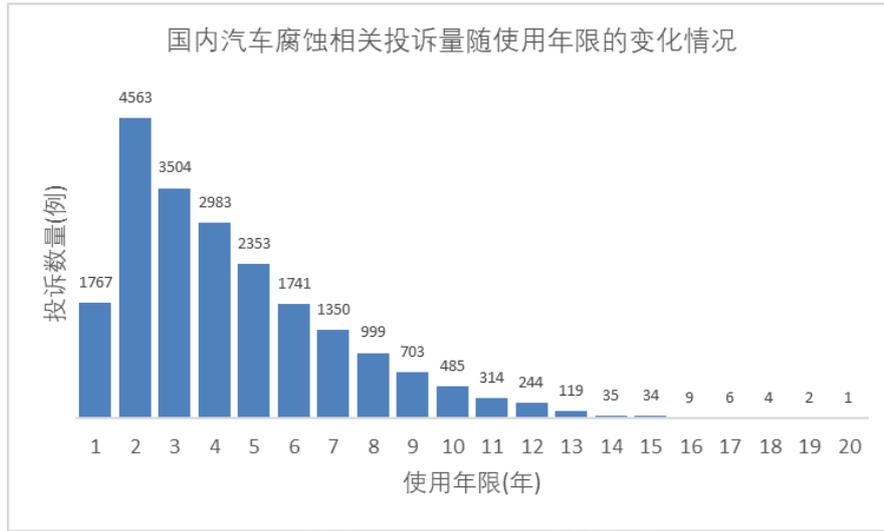


图 1-2 国内汽车腐蚀相关投诉量随使用年限的变化情况

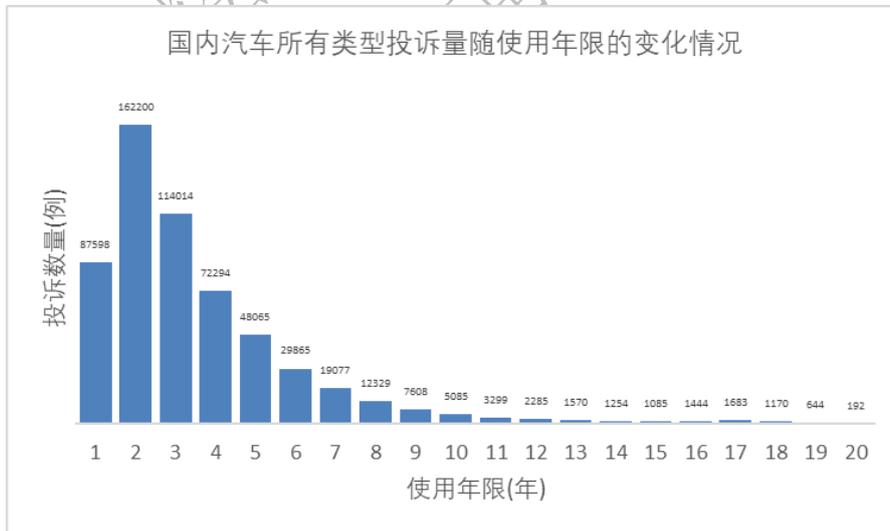


图 1-3 国内汽车所有类型投诉量随使用年限的变化情况

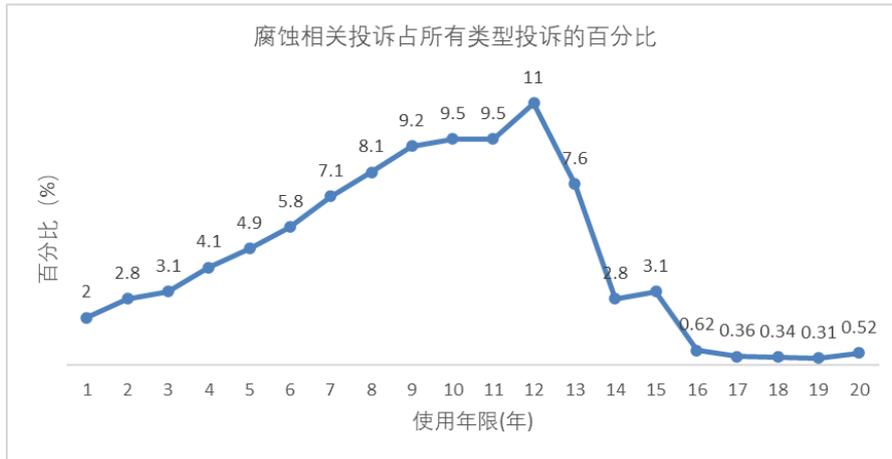


图 1-4 腐蚀相关投诉占所有类型投诉的百分比

腐蚀相关投诉与所有类型投诉的发生时间规律基本一致，投诉数量峰值在使用的第 2 年，说明消费者在使用前期对质量问题的敏感度更高。随着使用年限的增长，腐蚀相关投诉与所有类型投诉数量均呈下降趋势，可能与消费者敏感度降低有关。

腐蚀相关投诉数量在使用前期的占比逐年升高，至第 12 年到达峰值。这可能是因为在使用前期，腐蚀问题敏感度更高，更容易引起消费者关注。

12 年后，腐蚀相关投诉占比迅速下降并趋于稳定，一方面可能是因为多年使用后其他类型投诉数量也开始迅速增长，另一方面可能是与多年使用后腐蚀问题用户敏感度降低有关。

3. 腐蚀相关投诉高频次零件和部位

通过投诉案例分析和数据统计发现，市场用户投诉问题主要集中在用户高可见区域，如车身、车门、座椅、制动器等。另外，大量的腐蚀相关投诉发生在汽车使用的早期阶段。

需要指出的是，消费投诉案例中，由于不同消费者对汽车的认知、了解程度存在差异，有时无法做到准确地描述汽车发生腐蚀的零件名称，与专业工程人员的叫法存在一定差异性，因此在统计该

部分内容时，将其定义为“消费者语义”。

按消费者语义，消费者投诉中出现频次较高的零部件如图 1-5 所示。





图 1-5 按消费者语义，出现频次较高的零件或区域

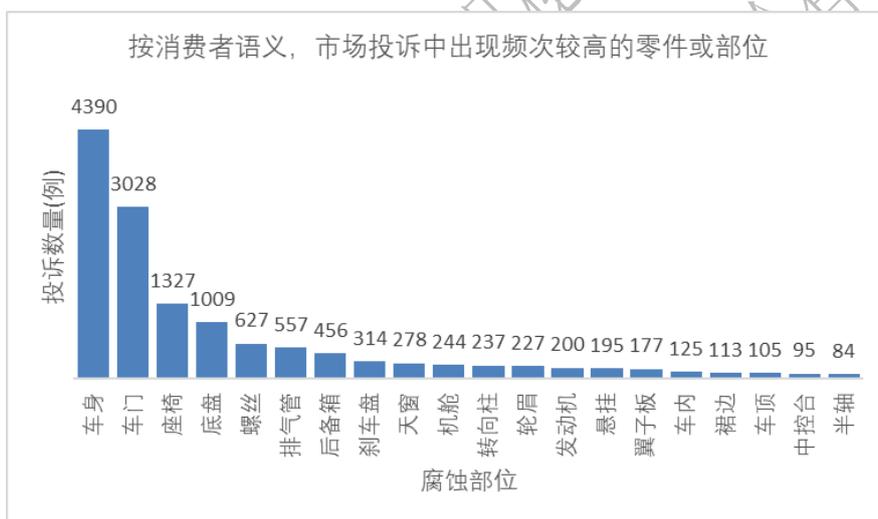


图 1-6 按消费者语义，市场投诉中出现频次较高的零件或部位

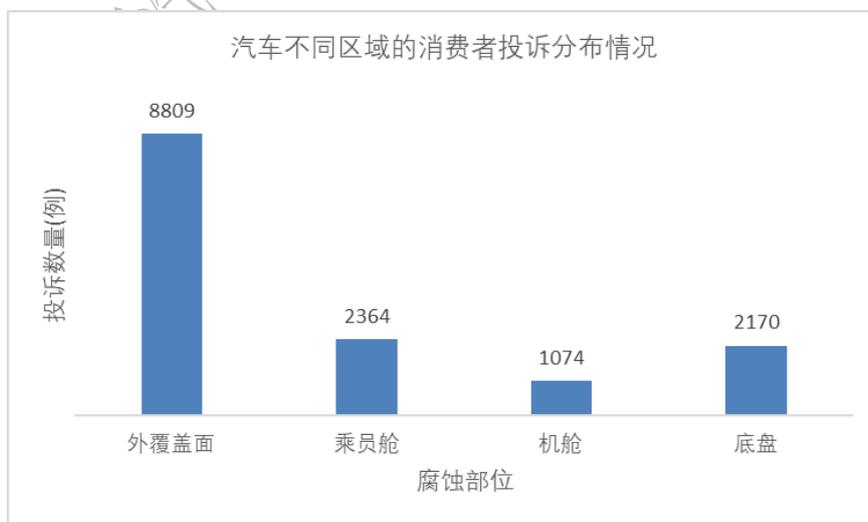


图 1-7 汽车不同区域的消费者投诉分布情况

车身及附件区域的投诉量最多（约占整体投诉量的 60%），机舱区域投诉量最少，乘员舱和底盘区域大致持平，不同区域投诉量分布与区域可见性、零件数量有关。

腐蚀相关投诉中的另一个现象是零件的腐蚀严重程度（腐蚀等级）较高，引发投诉的零部件与研发阶段的腐蚀试验中暴露出来的问题具有较高的关联性。

4. 腐蚀相关投诉与车辆销售价格的关系

腐蚀相关投诉与车辆销售价格的关系，如图 1-8 所示。

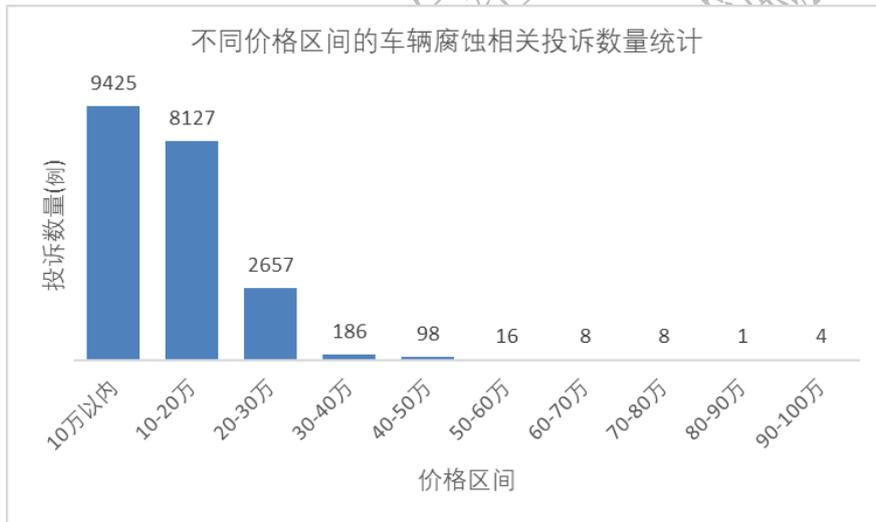


图 1-8 不同价格区间的车辆腐蚀相关投诉数量统计

统计结果显示，腐蚀相关投诉绝大多数集中在 30 万元以下的车型中，30 万元以上售价的车型发生腐蚀相关投诉的数量较少，随着车辆售价的增加，腐蚀相关投诉有减少的趋势。

腐蚀相关投诉量与车辆的防腐质量密切相关，售价较高车型在防腐成本方面的投入较高，市场投诉的问题较少，而售价较低车型在防腐成本方面投入较少，市场投诉的问题较多，因此企业在制定车型的防腐设计目标时，在成本与质量之间应做好平衡。

5. 不同品牌和车型的腐蚀相关投诉销量比

影响汽车投诉量的因素包括车型销量、投诉渠道通畅度、用户投诉意识、用户对车型的信心度等多重因素相关。本报告分别基于品牌和车型的销量前 50 名的样本进行统计，统计结果呈现：

①腐蚀相关投诉销量比排名前 20 名的汽车品牌 and 车型。

②腐蚀相关投诉量绝对值前 10 名的汽车品牌 and 车型。

统计结果见图 1-9 至图 1-12。

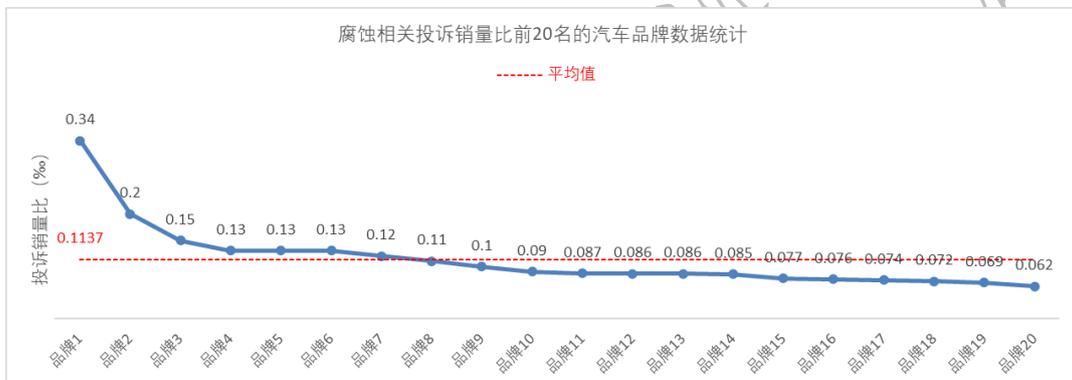


图 1-9 腐蚀相关投诉销量比前 20 名的汽车品牌数据统计

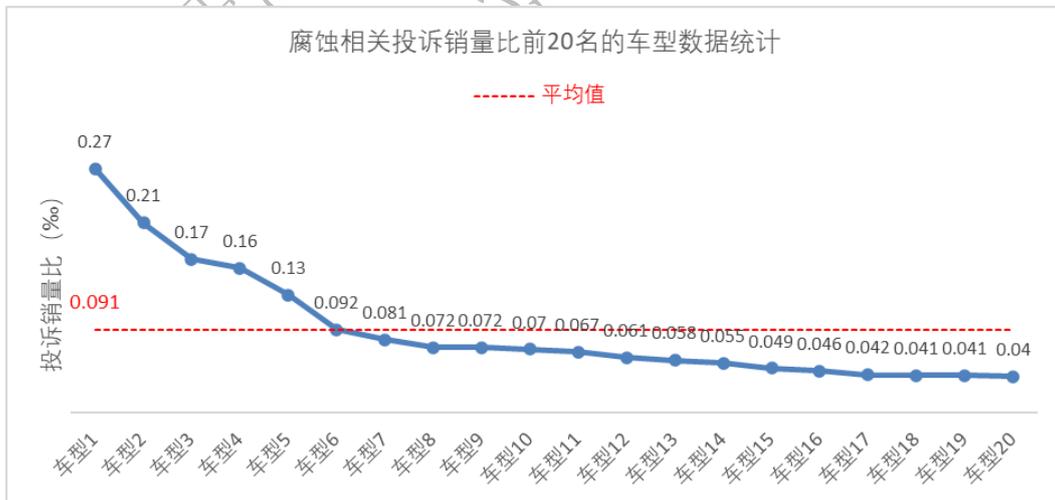


图 1-10 腐蚀相关投诉销量比前 20 名的车型数据统计

在汽车品牌方面，最大值约为最小值的 5.5 倍，腐蚀相关投诉销量比平均值为 0.11%，最大值约为平均值的 3 倍。

在车型方面，最大值约为最小值的 6.8 倍，腐蚀相关投诉销量比平均值为 0.091%，最大值约为平均值的 3 倍。

整体而言，不同汽车品牌和车型的腐蚀相关投诉销量比变化趋势大体一致，排名前 6 名的销量比较高，排名 6 名以后的差别不大。

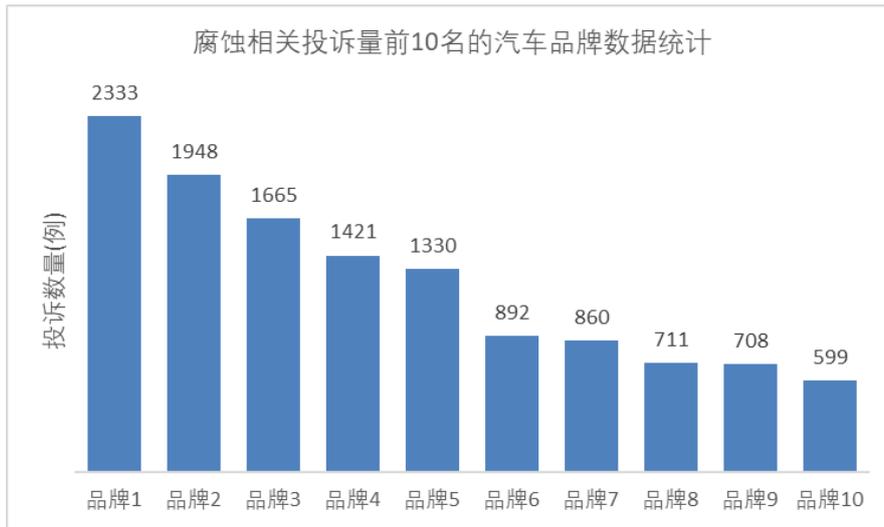


图 1-11 腐蚀相关投诉量前 10 名的汽车品牌数据统计

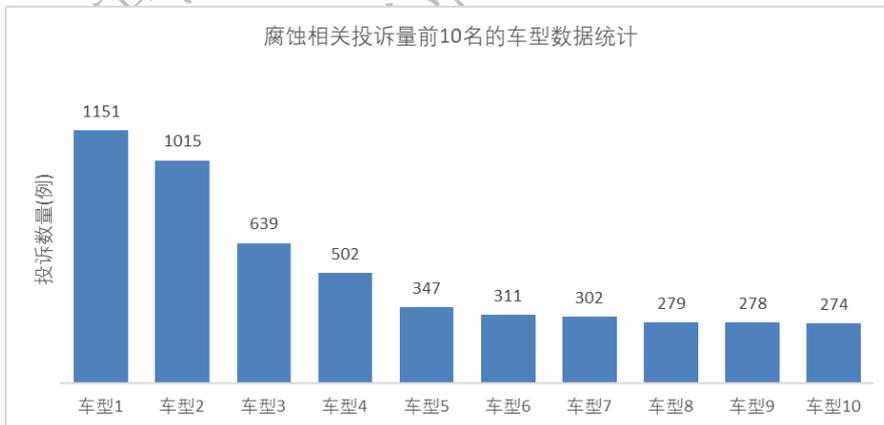


图 1-12 腐蚀相关投诉量前 10 名的车型数据统计

腐蚀相关投诉量与销量、投诉渠道畅通性、用户投诉意识、用户对车辆的敏感度等多重因素相关。

6. 不同省份的腐蚀相关投诉销量比

统计了 2013 年至 2022 年这 10 年间，31 个省级行政区（暂无港、澳、台数据）的腐蚀相关投诉销量比，统计结果及全国腐蚀投诉销量比分别见图 1-13、图 1-14。



图 1-13 2013 年至 2022 年不同省份的腐蚀相关投诉销量比数据统计



图 1-14 全国腐蚀投诉销量比地图（不含港、澳、台数据）

平均值为 0.070%，其中 18 个省级行政区的投诉销量比大于或

等于平均值，13个省级行政区的投诉销量比小于平均值。

投诉销量比大于或等于平均值的18个省级行政区均全部或部分处于湿润及半湿润地区，14个全部或部分处于亚热带及热带地区，投诉销量比小于平均值的13个省级行政区中，有7个全部或部分处于干旱及半干旱地区，有10个全部或部分处于温带及高原气候区，这说明腐蚀相关投诉销量比与所在地区干湿状况和温度高度相关，高温高湿的地区腐蚀相关投诉发生的比例高，低温干燥的地区腐蚀相关投诉发生的比例低。

投诉销量比大于或等于平均值的18个省级行政区中，有10个沿海，投诉销量比小于平均值的13个省级行政区中，仅有1个沿海，初步分析原因为沿海地区高湿度、高盐分环境会加速金属材料的腐蚀。

1.1.2 国外汽车市场腐蚀情况

欧美等发达国家政府在历史上通过引导或约束汽车企业向消费者公开汽车耐蚀承诺，促使这些国家最终形成了如今汽车企业自愿承诺、自我履责、自觉保修的良性市场氛围和汽车文化。

1.1.2.1 国外汽车市场召回案例

一、日本某汽车制造商因腐蚀引发召回案例

事件描述：当地时间2024年1月31日，对2019年12月至2024年1月生产的三款车型，涉及79万余辆汽车实施召回。

召回原因：相关车型前下摆臂连接部位耐久性存在不足。当车辆在频繁使用融雪盐的地区行驶时，该部位可能发生腐蚀进而产生裂缝，甚至可能导致螺栓脱落，影响车辆正常行驶。

处置方案：车辆召回后，售后部门将逐步对用户车辆的左、右前下摆臂进行更换，并且在维修完成的车辆 VIN 码刻印位置涂上黄色油漆。

注：数据来源于日本国土交通省公开信息。

二、德国某汽车制造商因腐蚀引发召回案例

事件描述：在美国召回部分 2006—2012 年款 ML、GL 和 R 级车辆，共计 15604 辆。

召回原因：湿气可能会在制动助力器外壳积聚并导致其腐蚀，从而导致制动性能下降或制动失效。制动性能下降或制动失效会增加碰撞风险。

处置方案：向受影响的车主发出通知函，建议车主在采取补救措施之前不要驾驶车辆。经销商将拆下橡胶套，检查制动助力器，并根据需要更换制动助力器，所有维修将免费进行。

注：数据来源于中国汽车召回网。

1.1.2.2 国外汽车市场投诉和召回数据

近年来，在国内汽车市场日益内卷的背景下，中国汽车制造商将出海作为重要工作，纷纷进军欧洲、东南亚和中东等地，寻求新的增长点。另一方面，跨国汽车制造商面对激烈的竞争和过剩的产能等危机，也开始寻求将中国的生产工厂作为出海基地。

在国外历史上，因汽车腐蚀问题造成的索赔事件已多次发生，例如某日系汽车品牌在北美市场曾因车身腐蚀引发安全隐患而被司法诉讼，虽最终达成和解协议，但也因此付出了数十亿美元的代价；某自主品牌由于腐蚀风险应对不足，导致其产品出口澳大利亚市场后频繁遭受索赔困扰。

美国汽车腐蚀投诉从 20 世纪 70 年代开始。当时，一些车主和汽车修理厂开始注意到汽车腐蚀问题的严重性，并开始向汽车制造商和相关部门投诉。数据显示，美国因汽车腐蚀问题引起的召回案例已达 570 起，涉及 270 余个品牌、5614 万余台车辆。根据统计，美国汽车腐蚀投诉从 1995 年开始随时间的变化整体呈上升趋势，2014 年达到峰值后开始下降，但近几年又有上升趋势。车辆使用年限方面，腐蚀投诉大多集中在前 20 年，其中使用年限第 9 年时达到峰值。

加拿大由于其寒冷的气候特别依赖道路融雪盐，加剧了车辆腐蚀的情况，底盘部位的腐蚀问题尤为突出。加拿大因汽车腐蚀问题引起的召回案例已达 337 起，涉及 89 个品牌、717 万余台车辆，从统计数据上看，不同时期的案例数量波动较大，其中数量峰值超过 50 万辆。

英国由于其温带海洋性气候，全年较为湿润，促进了汽车腐蚀的进程。在英国，汽车腐蚀通常影响车辆的底盘和车体，特别是那些经常停放在户外且不常进行保养的车辆更易受到腐蚀的影响。英国因腐蚀引起的召回案例从 20 世纪 90 年代开始，已接近 200 起，涉及 300 多万辆车、60 多个汽车品牌。

俄罗斯因其广阔的国土面积和多样的气候，面临独特的挑战。在较冷的地区，融雪盐的大量使用加速了腐蚀，而在较温暖的南部地区，腐蚀率通常较低。某些地区由于工业排放等环境污染物的影响，腐蚀发生率较高。2023 年，经俄罗斯相关媒体报道、国内媒体大范围转载，大量不同品牌的国产汽车在俄罗斯出现质量问题，其中，消费者抱怨的主要问题之一是汽车腐蚀生锈。在 2014 年至 2022 年期间，俄罗斯已累计发生 21 起因汽车腐蚀造成的召回事

件，涉及车辆超过 27 万台。

1.2 全球汽车腐蚀政策法规研究

在 21 世纪初，中国汽车主要出口亚洲和非洲等部分低销量、低质量市场的国家。中国汽车工业协会发布的数据显示，2023 年中国汽车出口 491 万辆，创下历史新高，并首次超越日本（同期 442 万辆）成为世界最大的汽车出口国。随着近几年中国新能源汽车产业的快速发展，中国汽车出口量不断增长，出口欧美等发达国家的市场布局将成为未来的发展趋势，这也意味着中国汽车将面临欧美发达国家更严格的法规政策及更严苛的腐蚀环境等问题。

1.2.1 国内汽车市场腐蚀政策法规

耐腐蚀性能是衡量汽车产品质量的重要指标，发达国家通过引导或约束措施已形成了汽车企业耐蚀质量自愿承诺、自我履责、自觉保修的良性市场氛围。近年来，我国汽车防腐技术水平取得了长足进步，但是国内目前尚未有明确的针对汽车腐蚀方面的法规政策出台。

中共中央、国务院印发的《质量强国建设纲要》强调要推动质量社会共治，并明确提出“创新质量治理模式，健全以法治为基础、政府为主导、社会各方参与的多元治理机制，强化基层治理、企业主责和行业自律”。汽车产业是国民经济的重要支柱，汽车企业应积极践行质量强国战略，充分发挥引领示范作用，全面推进行业质量诚信自律。

1.2.2 国外汽车市场腐蚀政策法规

早在 20 世纪，欧美等发达国家和地区就已通过出台相关法规政策和发起倡议等方式对进口汽车的耐腐蚀性能提出要求。在安全准入和售后保修方面，主流汽车企业自愿承诺遵守腐蚀条款及保修规定，我国汽车产品出口海外时，不仅要考虑如何开发符合当地用户需求的车型及配置，还应深入了解出口目标国家和地区的准入法规和售后政策。

部分海外国家在汽车腐蚀方面的政策法规见表 1-1。

表 1-1 部分海外国家在汽车腐蚀方面的政策法规

国家	监管部门	监管方式	准入/售后要求	部分车企腐蚀承诺
德国	德国联邦汽车运输管理局(KBA)、德国汽车协会(VDA)	法规强制	强制对行驶、转向、动力系统等进行安全技术鉴定，将腐蚀检查项纳入年检体系	福特：2 年油漆外观腐蚀保修，12 年钣金锈穿保修 大众：3 年油漆外观腐蚀保修，12 年钣金锈穿保修
美国	美国交通部(DOT,NHTSA)	法规强制	大灯、制动管、安全带等检查项需满足耐腐蚀要求，结构件、安全件需进行安全技术鉴定	丰田：5 年钣金锈穿保修
加拿大	加拿大交通部(DOT,CA)	法规强制	大灯、制动管、安全带等检查项需满足耐腐蚀要求，结构件、安全件需进行安全技术鉴定	丰田：5 年钣金锈穿保修 大众：7 年钣金锈穿保修
英国	英国驾驶员和车辆标准局(DVSA)	官方倡议	车辆重点腐蚀检查项包括制动系统、转向系统、车身等结构件	上汽：7 年钣金锈穿保修

我国汽车出口企业普遍缺乏作出质保承诺的经验，应深入分析当前国外企业的汽车耐蚀质保承诺内容，包括承诺部位、承诺年限、承诺问题类别（锈蚀或锈穿）等，制定符合自身定位与当地市场环境的质保条款，并承担相应的责任，才能适应竞争激烈的发达国家市场。

1.3 全球汽车腐蚀环境研究

汽车制造所用的材料以金属为主，在使用过程中受到各种环境因素的影响，如工业污染、高温高湿、道路石击、沿海城市海洋性气候及寒冷地区融雪盐使用等，这些环境因素加速了汽车的腐蚀。

1.3.1 影响汽车腐蚀的环境因素

影响汽车腐蚀的环境可以分为气象环境和道路环境，如表 1-2 所示。

表 1-2 汽车腐蚀的主要影响因素

环境类别	主要影响因素
气象环境	湿度
	温度
	降雨量
	酸雨
	氯离子
	固体颗粒
道路环境	泥沙和碎石
	路面积水
	融雪盐

气象环境中的温度、湿度、降雪量等数据获得相对容易，而道路环境中的数据获取难度较大且评价标准不统一，这给研究带来不少难度。

一、气象环境

1. 湿度

潮湿的大气容易引起结露现象，湿度越大，结露越容易发生。结露的金属表面形成一层薄水膜，水膜存在时间越长，腐蚀危害性越大。腐蚀速度剧增时的大气相对湿度值称为临界湿度。研究表明，钢的临界湿度值为60%~80%，钢铁、铜、镍、锌等金属临界湿度值为50%~70%。

空气中实际所含水蒸气密度和同温度下饱和水蒸气密度的百分比，叫做空气的相对湿度。由于在温度相同时，蒸汽的密度和蒸汽压强成正比，所以相对湿度通常就是实际水蒸气压强和同温度下饱和水蒸气压强的百分比。本报告中用水蒸气压力值来呈现不同地区的环境湿度。

2. 温度

结露与温度有关，在临界湿度附近能否结露要取决于气温变化。大量统计表明，如果其他条件相同，平均气温高的地区，大气腐蚀速率较大。昼夜的温差变化对腐蚀也有影响，在夜间温度下降，金属表面温度低于周围大气温度，大气中的水汽在金属表面凝结，从而加速腐蚀。

3. 降雨

雨水沾湿金属表面，冲刷破坏腐蚀产物保护层，促进腐蚀。另一方面，雨水也有可能冲洗掉金属表面的灰尘、含盐粒子等减缓腐蚀。

4. 酸雨

酸雨一般指的是 pH 值小于 5.6 的雨水，具有较强的腐蚀性。酸雨不仅为金属提供了电解质，降雨的过程还存在对金属的冲刷作用，假如不及时洗车，在弱酸中的水分渐渐蒸发后，残留的电解质浓度越来越高，从而加速了汽车的腐蚀。

表 1-3 为全球典型酸雨区概况。

表 1-3 全球典型酸雨区概况

酸雨区	主要国家	酸雨类型	主要成分
东亚地区	中国	煤炭型	硫酸
	日本	石油型	硝酸
北欧地区	德国、英国	石油型	硝酸
北美地区	美国、加拿大	石油型	硝酸

我国是继欧洲、北美之后世界上的第三大酸雨区。中国酸雨区面积多达 200 万平方公里，按区域分为华中酸雨区、西南酸雨区和华东沿海酸雨区。北欧酸雨区与北美酸雨区的总面积大约为 1000 多万平方公里，且出现酸雨现象的地区面积正逐年扩大。世界酸雨分布区如图 1-15 所示。



图 1-15 世界酸雨分布区示意图

5. 氯离子

在海洋附近的大气中含有大量的氯离子，常会以结晶盐的形式散落在汽车上。氯离子具有较强的吸湿作用，引起表面水膜导电性增加，金属的腐蚀明显加速。大气中氯离子含量与海岸距离、风速、风向、季节、环境温湿度等因素相关，一般情况下，距离海岸越远，大气中的氯离子含量越少。

6. 固体颗粒

大气中固体颗粒称为尘埃，其组成复杂，除海盐粒外，还有碳和碳化物、硅酸盐、氮化物、铵盐等固体颗粒。固体颗粒加速对汽车腐蚀的原因：一是其本身具有很强的腐蚀性，溶于水有很强的导电性，如铵盐、海盐粒子；二是其具有很强的吸附性，如碳粒子能吸收 SO_2 及水汽，冷凝后生成腐蚀性溶液；三是尘埃（如泥沙颗粒）沉积处能形成微小缝隙吸附水分，构成氧的浓度差，引起局部腐蚀。

二、道路环境

1. 泥沙和碎石

汽车在非铺装道路行驶时，会遭受飞溅的泥沙和碎石的击打。飞溅的泥沙和碎石，一方面会破坏金属表面的防护涂层，使金属裸露在外，极易引发腐蚀；另一方面扬起的泥沙在金属表面上沉积，形成毛细管或缝隙，吸附水分，引起沉积腐蚀和缝隙腐蚀。

土壤的成分对腐蚀也会产生影响，土壤按 pH 值不同可以分为酸性土 ($\text{pH} \leq 6.5$)、中性土 ($6.5 < \text{pH} < 7.5$) 和碱性土 ($\text{pH} \geq 7.5$)，在酸性土壤道路上行驶的车辆，比在碱性土壤道路上行驶的车辆腐蚀更为严重。

2. 路面积水

汽车通过有积水的路面时，水会飞溅到零件表面，形成水膜，同时也使沉积的泥沙维持潮湿状态，金属处于具有导电率的水介质中，加速了汽车的腐蚀。沿海低洼地区在台风季节或豪雨时容易引发海水倒灌，导致土壤恶化和淡水盐碱化等问题。水的酸碱度、含盐种类和浓度，对汽车腐蚀的影响也不同。

3. 融雪盐

在寒冷地区，为了防止路面结冰，减少交通事故，会在道路上喷撒融雪盐（主要成分氯化钠）。融雪盐溶解在雨水或雪水中，具有很强的导电性，是腐蚀性极强的介质。融雪盐具有很强的吸附水分功能，这就使得受影响的零部件长期处于潮湿环境中，腐蚀有可能在较低的温度下发生，并且持续较长时间。

在寒冷地区，融雪盐的使用是造成汽车腐蚀的主要原因，尤其是汽车底盘和下车身区域。全球各国在除雪上以无机融雪盐为主，比例占 90% 以上，主要成分为氯化钠、氯化钙、氯化镁等氯化物。

自 20 世纪 50 年代开始，欧洲、北美地区等西方发达国家早已开始使用融雪盐，全世界每年的融雪盐使用量估计超过 6000 万吨，且正逐年增加，这无疑给汽车的使用环境带来更加严峻的耐腐蚀考验。

表 1-4 为部分国家的融雪盐使用量，图 1-16 为融雪盐在车辆底盘和车身的附着情况。

表 1-4 部分国家的融雪盐使用量

国家	融雪盐使用量（吨/年）
美国	2000 万
加拿大	500 万

(续)

国家	融雪盐使用量（吨/年）
俄罗斯	1000 万
中国	60 万~80 万



图 1-16 融雪盐在车辆底盘和车身的附着情况

1.3.2 我国及部分海外国家的气候环境

气候是由地球与大气长期进行能量交换与质量交换而形成。太阳辐射在地球表面分布差异、纬度位置、大气环流、海陆位置（季风）、地形地势和洋流等因素造成气候在世界各地不同气候类型。以气温和降水两个气候要素为基础，参照自然植被分布，世界可分为 11 种主要气候类型（图 1-17）：热带雨林气候、热带季风气候、亚热带季风和湿润气候、温带海洋性气候、温带大陆性气候、高原山地气候、热带草原气候、热带沙漠气候、地中海气候、温带季风气候和极地气候。

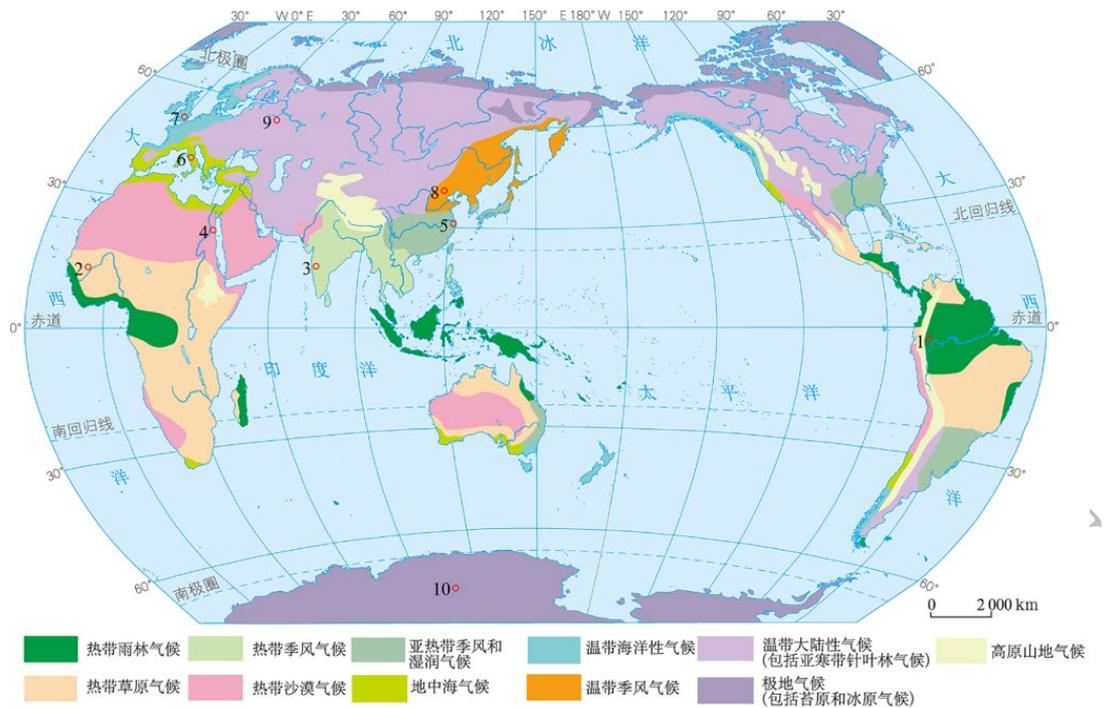


图 1-17 全球气候分布图

全球的气候复杂多样，把全部国家和地区的气候环境进行研究是不现实的。结合气候环境特点和我国汽车主要出口国家，选取了中国、英国、俄罗斯、泰国和墨西哥等 5 个国家，呈现其 1970 年至 2000 年期间 30 年的湿度、温度、降雨量等气候环境数据，为行业在制定汽车防腐目标和试验验证提供参考。

一、中国

中国幅员辽阔，跨纬度较广，距海远近差距较大，加之地势高低不同，地形类型及山脉走向多样，形成了多种多样的气候。从气候类型上看，东部属季风气候，西北部属温带大陆性气候，青藏高原属高原山地气候。从温度带划分看，有热带、亚热带、暖温带、中温带、寒温带和青藏高原区。从干湿地区划分看，有湿润地区、半湿润地区、半干旱地区、干旱地区之分。而且同一个温度带内，可含有不同的干湿区，同一个干湿地区中又含有不同的温度带。因

此在相同的气候类型中，也会有热量与干湿程度的差异。地形的复杂多样，也使气候更具复杂多样性。中国各省的温度、湿度和降雨量见图 1-18 至图 1-20。

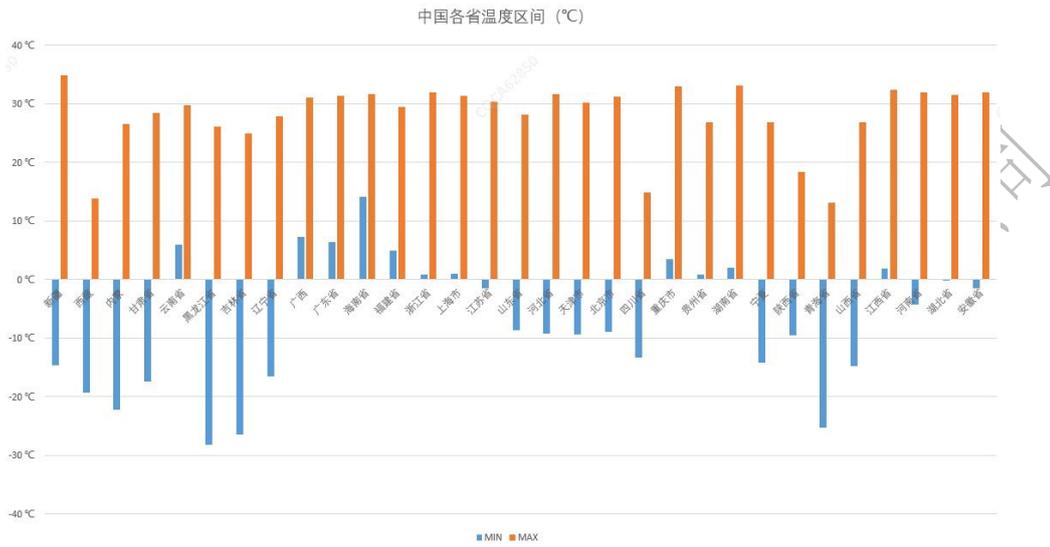


图 1-18 中国各省温度区间



图 1-19 中国各省平均湿度 (水蒸气压值)

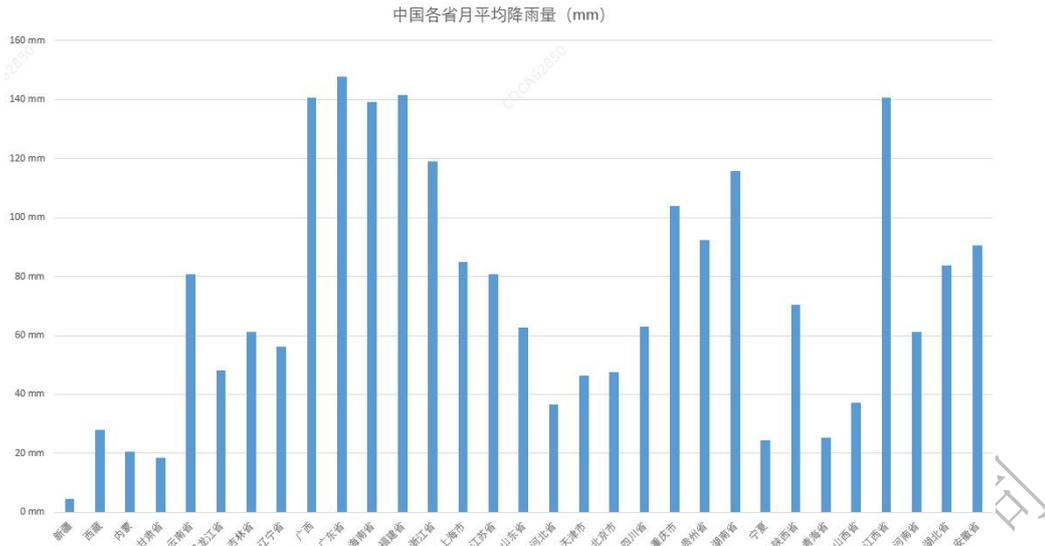


图 1-20 中国各省月平均降雨量

为了准确掌握我国不同省份的汽车动态环境腐蚀强度，海南热带汽车试验有限公司连续 5 年在全国 13 个具有代表性的省份搭载钢板挂片进行试验。调研数据显示，我国的沈阳、大连、琼海、青岛等城市为动态环境腐蚀强度较强的区域，吐鲁番、昆明、西安等城市为动态环境腐蚀强度较弱的区域，不同省份之间腐蚀强度差异较大，年均腐蚀强度最大值约为最小值的 5 倍。

结合我国汽车腐蚀市场调研数据和气象环境数据，分析发现：

①广东、海南等南方沿海地区，属于热带/亚热带季风气候，年均温度、湿度和降雨量都较高，汽车长期暴露在高温高湿的环境中，动态环境腐蚀强度较大，市场腐蚀投诉销量比也较高。

②新疆等西北地区，属于温带大陆性气候，全年温差较大，年均湿度和降雨量较低，动态环境腐蚀强度较小，市场腐蚀投诉销量比也较小。

③西藏等高原地区，属于高原山地气候，虽然昼夜温差大，但是年均温度、湿度和降雨量都较低，动态环境腐蚀强度较小（参照

昆明，海拔约 2000 米，属于高原城市），市场腐蚀投诉销量比也较小。

④山东、辽宁等北方沿海地区，属于温带季风气候，年均温度、湿度和降雨量介于南方沿海和西北地区之间，但是辽宁沈阳和大连、山东青岛的动态环境腐蚀强度较高，山东的市场腐蚀投诉销量比更是排在所有省份的第 1 位。这与该地区冬季大量使用融雪盐密切相关，融雪盐可促进雪水融化，抑制路面结冰，但是含有氯离子的雪水会加速汽车的腐蚀。

⑤汽车使用过程中除了受温度、湿度和降雨量气象环境因素影响以外，砂砾、积水和融雪盐等道路环境在汽车腐蚀中也产生作用。影响汽车腐蚀的因素是多种多样的，研究时不能单一而论，应结合气象环境和道路环境综合分析。

二、海外部分国家

我国市场腐蚀投诉销量比、气象环境条件和动态腐蚀环境强度三者之间，具有高度的相关性。鉴于我国气候的复杂多样性，全球汽车主要产销国的气候特征大多都能在国内找到相匹配的参考。选取英国、俄罗斯、泰国和墨西哥等 4 个典型国家的气候环境数据，为行业提供参考。

1. 英国

英国属于温带海洋性气候。英国受盛行西风控制，全年温和湿润，四季寒暑变化不大，但天气多变，一日之内，时晴时雨。通常最高气温不超过 32℃，最低气温不低于-10℃，平均气温 1 月 4℃~7℃，7 月 13℃~17℃。年平均降水量约 1000 毫米，北部和西部山区的年降水量超过 2000 毫米，中部和东部则少于 800 毫米。每年 1

月至 2 月最为干燥，10 月至来年 1 月最为湿润。英国的温度、湿度和降雨量见图 1-21 至图 1-23。

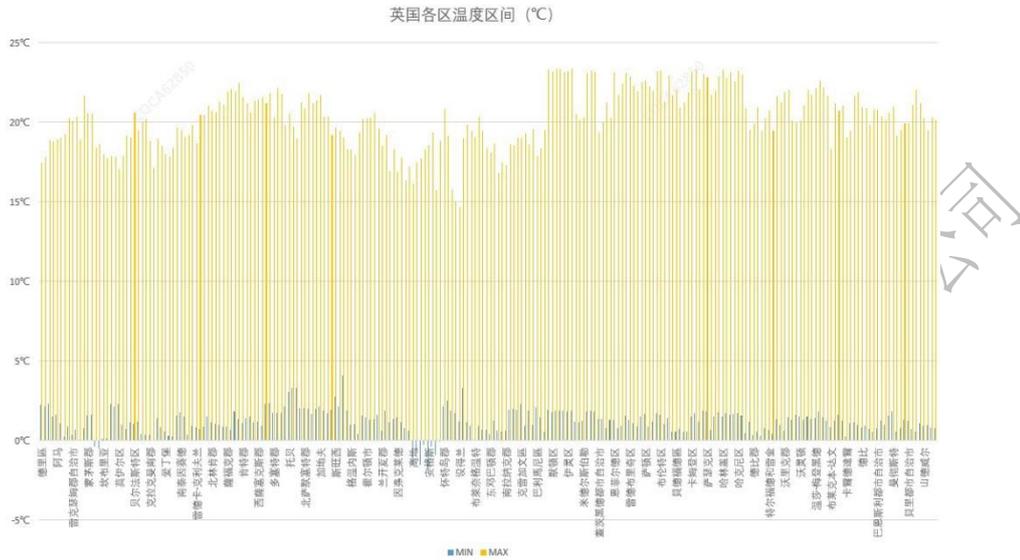


图 1-21 英国各区温度区间

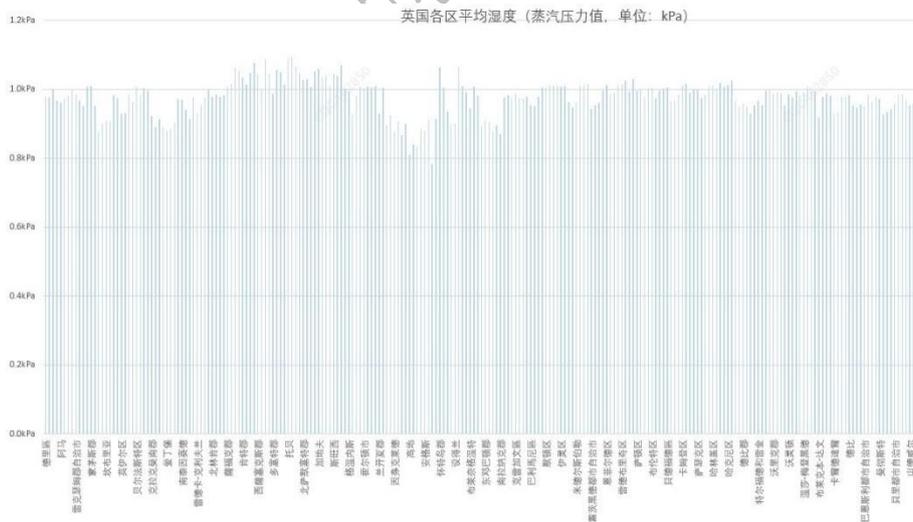


图 1-22 英国各区平均湿度 (水蒸气压力)

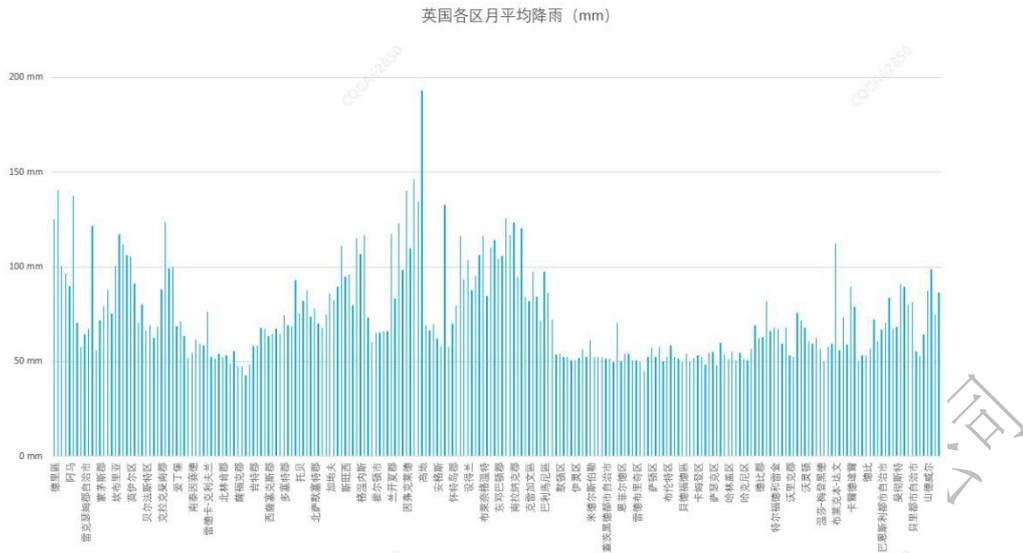


图 1-23 英国各区月平均降雨量

与中国相比，英国全域全年温差较小，高温时间较短，对腐蚀加速效果不明显，仅少部分地区最低温度到零下，导致除苏格兰高地以外的大部分地区降雪量较小，降雨量总体分布差异较小，全域均较湿润。综合而言，英国全境腐蚀环境弱于我国海南、广东等省份。部分企业将英国列为融雪盐区域，融雪盐是引发汽车腐蚀问题的主要因素。

2. 俄罗斯

俄罗斯的大部分地区处于北温带，气候多样，以温带大陆性气候为主，但北极圈以北属于寒带气候。温差普遍较大，1月平均温度为 $-18^{\circ}\text{C} \sim -10^{\circ}\text{C}$ ，7月平均温度为 $11^{\circ}\text{C} \sim 27^{\circ}\text{C}$ ，年降水量平均为150毫米~1000毫米。西伯利亚地区纬度较高，冬季严寒而漫长。俄罗斯的温度、湿度和降雨量见图 1-24 至图 1-26。

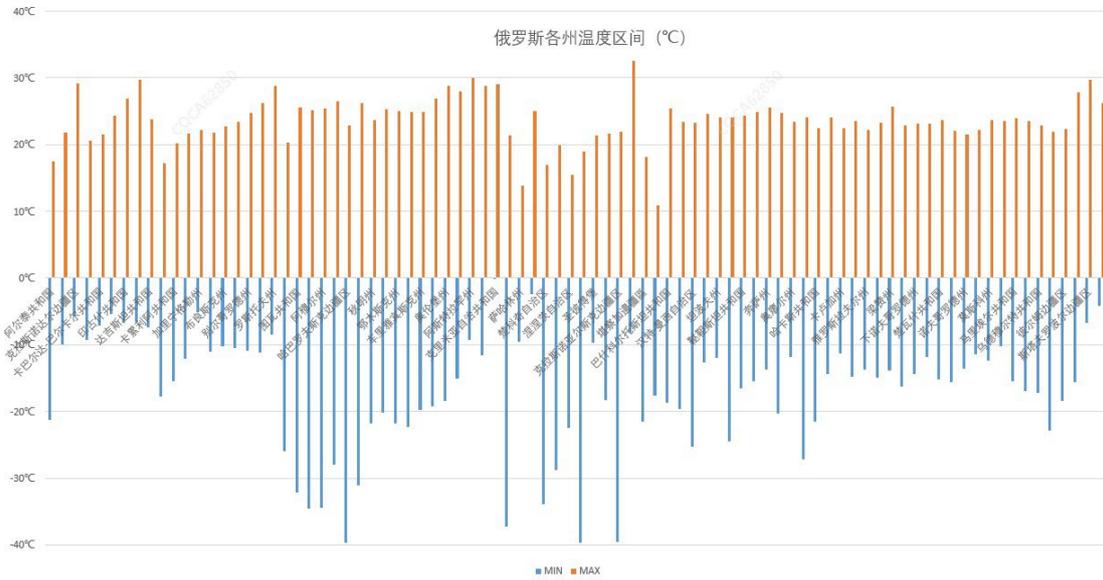


图 1-24 俄罗斯各州温度区间



图 1-25 俄罗斯各州平均湿度 (水蒸气压力)

拔 2240 米，5 月平均气温 12°C~26°C，最冷月为 1 月，平均气温 6°C~19°C。

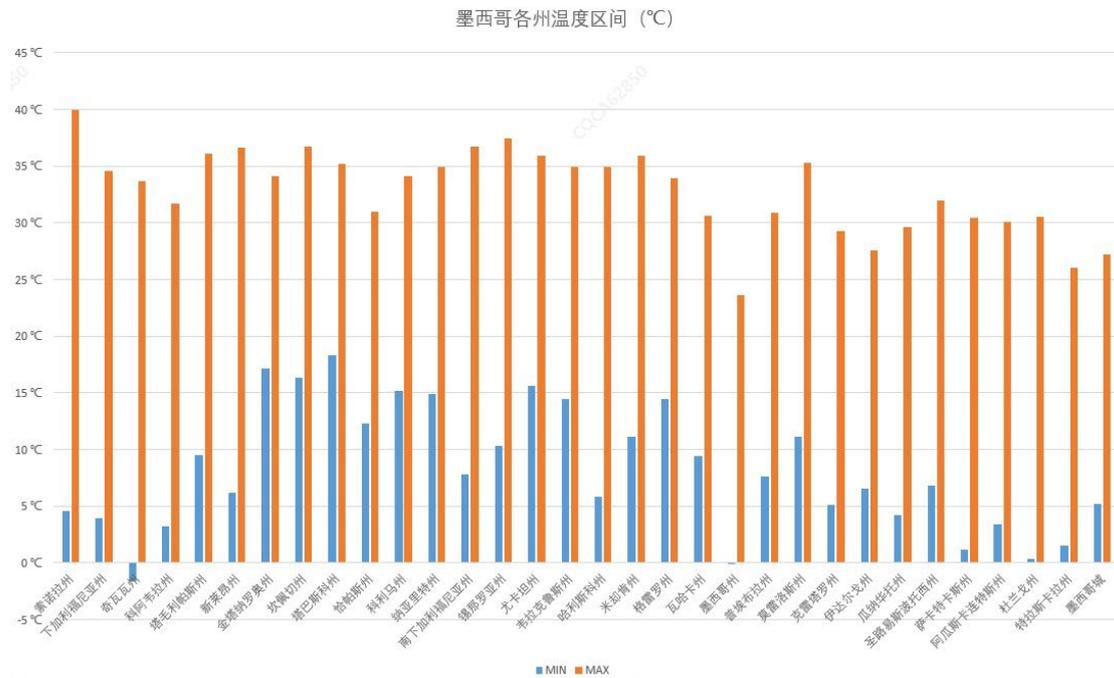


图 1-30 墨西哥各州温度区间

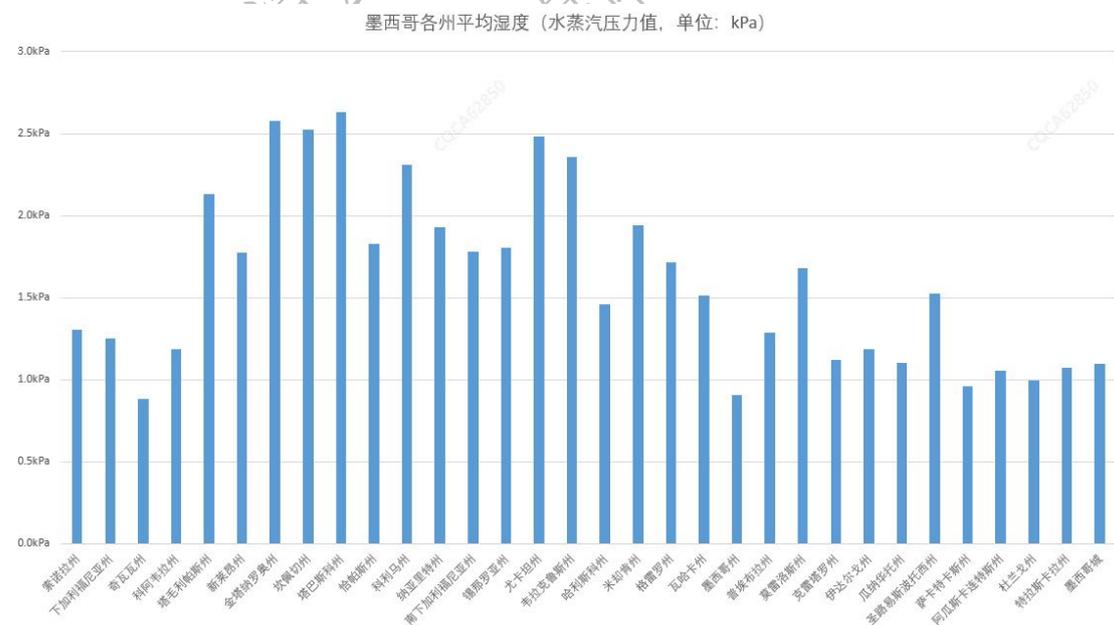


图 1-31 墨西哥各州平均湿度 (水蒸气压力)

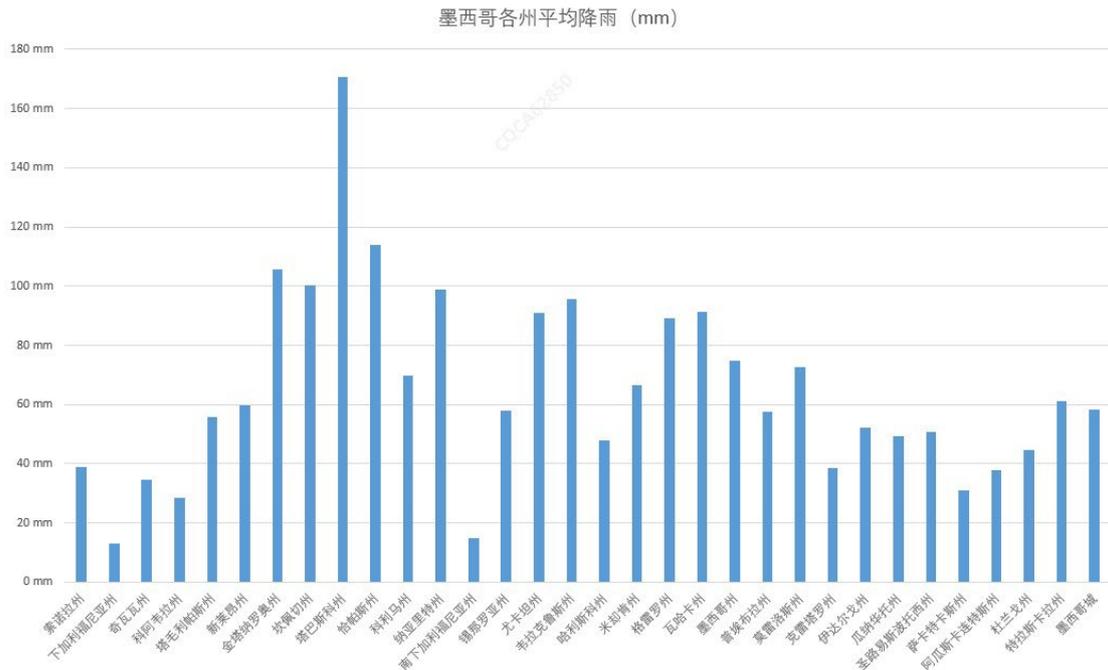


图 1-32 墨西哥各州月平均降雨量

墨西哥各州的气象环境差异较大，高温高湿等腐蚀环境比较恶劣的地区的气象环境接近于中国海南。结合温度、湿度、降雨量、盐雾、工业污染等和腐蚀环境强相关的因素，墨西哥腐蚀环境最恶劣地区接近或略高于中国海南。

1.4 全球汽车腐蚀试验方法研究

整车道路腐蚀试验是验证汽车耐腐蚀性能最有效的手段，目前已经被国内外众多汽车行业所应用，通过高温高湿环境停放、盐雾喷射、盐水槽路和碎石路行驶等多种试验工况，模拟湿热环境、沿海地区氯离子附着、冬季冰雪路面撒盐和非铺装路面等腐蚀环境，来考核及评价汽车在极其恶劣的使用条件下的耐腐蚀性能。通过试验发现产品在结构设计、材料选用和防护工艺等方面的腐蚀问题，为提高产品的耐腐蚀性能提供依据。

1.4.1 国内汽车腐蚀试验方法

1.4.1.1 QC/T 732-2005 《乘用车强化腐蚀试验方法》

国内汽车企业在腐蚀试验方面的研究起步较国外晚，但随着我国汽车工业的快速发展及国民消费水平的提高，无论是消费者还是汽车制造商，对汽车的耐腐蚀性能的关注度越来越高，汽车腐蚀试验方法的研究也更加广泛、深入，试验方法逐渐科学和完善。

1997年，海南热带汽车试验有限公司承担了机械工业部“九五”科技攻关项目的“汽车湿热曝晒及道路强化腐蚀试验研究”课题任务。作为国内最早开展整车道路腐蚀试验的试验机构，海南热带汽车试验有限公司通过中国试验工况研究和国外试验方法对比，经过反复的试验验证，于2005年发布了行业整车道路强化腐蚀试验标准——QC/T 732-2005《乘用车强化腐蚀试验方法》（表1-5）。

该方法是中国汽车行业广泛采用的腐蚀试验标准，模拟了汽车实际使用中可能遇到的各种腐蚀条件。该方法的实施有效地帮助了汽车制造商优化设计、涂装工艺和材料选择，促进了国内汽车行业耐腐蚀性能的提升。

表 1-5 QC/T 732-2005 腐蚀试验工况表

试验工况	工况参数
高速跑道行驶	里程 78km，车速 80km/h，前九圈每圈进行一次制动
驻坡	坡度 20%，驻停 3min~5min
碎石路行驶	3mm~8mm 碎石铺装的碎石路，车速 70km/h，行驶里程 4.2km
盐水槽行驶	腐蚀介质：NaCl，浓度：1.0%，车速 20km/h，里程 50m
盐水搓板路行驶	腐蚀介质：NaCl，浓度：0.5%，车速 50km/h，里程 100m

(续)

试验工况	工况参数
可靠性路行驶	里程 5.2km
高温高湿试验	温度: $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$, 湿度: $(95 \pm 3)\%RH$, 恒温恒湿停放 8h

在行标 QC/T 732 设定中, 每 10 个试验循环相当于中国腐蚀最恶劣地区汽车使用 1 年, 模拟汽车在实际使用过程中可能遭遇的各类极端条件。试验工况既涵盖了高温、高湿等普遍存在的气候因素, 又特别考虑了不同地区所特有的含氯离子的气候条件, 通过试验, 能够真实、准确地反映汽车的耐腐蚀性能。

1.4.1.2 国内其他汽车腐蚀试验方法

当前, 国内车企开展整车道路腐蚀试验使用的试验方法, 主要分为两大类, 一类是基于 QC/T 732 开发的企业标准, 一类是基于沃尔沃试验方法开发的企业标准。

表 1-6 为 A 车企基于 QC/T 732 制定的企业整车道路腐蚀试验标准相关试验工况, 主要是调整了高温高湿时间, 以达到提高腐蚀速率的目的。

表 1-6 A 车企腐蚀试验工况表

试验工况	工况参数
高速跑道行驶	里程 78km, 车速 80km/h, 前九圈每圈进行一次制动
驻坡	坡度 20%, 驻停 3 min~5min
碎石路行驶	3mm~8mm 碎石铺装的碎石路, 车速 70km/h, 行驶里程 4.2km
盐水槽行驶	腐蚀介质: NaCl, 浓度: 1.0%, 车速 20km/h, 行驶里程 50m

(续)

试验工况	工况参数
盐雾喷淋	腐蚀介质: NaCl, 浓度: 3.0%, 盐雾沉降率: 1.0 mg/cm ² ~ 2.0mg/cm ²
可靠性路行驶	里程 5.2km
高温高湿试验	温度: (50±2)°C, 湿度: (95±3)%RH 恒温恒湿停放 12h

表 1-7 为 B 车企基于沃尔沃方法制定的企业整车道路腐蚀试验标准相关试验工况, 沃尔沃方法相较于行标 QC/T 732, 在工况参数方面有所差异, 通过湿度交变, 对车身空腔腐蚀考核更为严苛。

表 1-7 B 车企腐蚀试验工况表

试验工况	工况参数
高速跑道行驶	里程 76 km~80km, 车速 120km/h
驻坡	视试验场而定, 驻停时间无要求
碎石路行驶	3mm~8mm 碎石铺装的碎石路, 里程 12km, 车速 20/50/70km/h
盐水槽行驶	腐蚀介质: NaCl, 浓度: 1.0%, 车速 20km/h, 里程 50m
盐水搓板路行驶	腐蚀介质: NaCl, 浓度: 0.5%, 车速 20/50/70km/h, 里程 900m, 行驶过程中开启盐雾动态喷淋
耐久路行驶	里程 14.0km
高温高湿试验	温度: (50±2)°C, 恒温; 湿度: (50±3) ~ (95±3) %RH 之间交变, 停放时间: 周中循环 20h, 周末循环 66 h~77h

1.4.2 国外汽车腐蚀试验方法

1.4.2.1 美系汽车腐蚀试验方法

表 1-8 列举了 C 车企整车道路腐蚀试验方法相关试验工况, 通

过模拟在恶劣腐蚀环境下汽车的使用情况，以验证产品设计和材料选用是否满足要求。相较于国内主流试验方法，该方法在盐水浓度及碎石里程方面存在较大区别，这些区别不仅反映了不同地域和市场对于汽车耐久性和可靠性要求的差异，也为我们后续试验方法比对提供更多思路。

表 1-8 C 车企腐蚀试验工况表

试验工况	工况参数
高速跑道行驶	里程 36km，车速 100km/h
驻坡	16%坡度
碎石路试验	里程 1.8km，车速 70km/h
盐水槽行驶	—
盐水搓板路行驶	腐蚀介质：NaCl，浓度：5.0%，车速 55 km/h~60km/h
盐雾喷淋	腐蚀介质：NaCl，浓度：1.0%，分为三个阶段，每阶段 3min
耐久路行驶	里程 10.0km
高温高湿试验	温度：(49±2)℃，湿度：(98±2)%RH，恒温恒湿停放 4 h~8h

1.4.2.2 欧系汽车腐蚀试验方法

表 1-9 列举了 D 车企整车道路腐蚀试验方法相关试验工况，D 车企试验方法相较于国内主流车企方法及美系方法，最大区别在该方法在盐水搓板路的腐蚀介质中增加了 CaCl_2 和 MgCl_2 ， CaCl_2 和 MgCl_2 作为海外融雪剂常用成分会对车辆造成不小的腐蚀影响。

此外，在试验过程中，D 车企还会进行复杂的环境模拟测试，如冷热循环测试和湿热测试，在高温高湿试验中穿插了低温试验，使其更为全面地模拟了用户实际使用的情况。

表 1-9 D 车企腐蚀试验工况表

试验工况	工况参数
高速跑道行驶	里程 63km, 车速 80/100km/h
驻坡	16%坡度
碎石路试验	里程 1.8km, 车速 70km/h
盐水槽行驶	腐蚀介质: NaCl, 浓度: 1.0%, 车速 20km/h, 里程 300m
盐水搓板路行驶	腐蚀介质: NaCl、CaCl ₂ 、MgCl ₂ , 浓度: 3.0%, 车速 50km/h, 里程 150m
盐雾喷淋	腐蚀介质: NaCl, 浓度: 5.0%, 时长 1h
耐久路行驶	里程 10.0km
高温高湿试验	温度: (50±2) °C, 湿度 (95±3) %RH, 恒温恒湿停放 19h (0.15mbar 负压 1h), 增加低温工况

1.4.2.3 日系腐蚀试验方法

表 1-10 列举了 E 车企整车道路腐蚀试验方法相关试验工况, E 车企试验方法相较于国内主流车企方法、美系方法及欧系方法, 最大区别在于其取消了高速跑道、驻坡及耐久路行驶, 保留了泥浆路行驶, 该试验方法还重点考核车辆在含盐路面行驶时产生的腐蚀问题。

表 1-10 E 车企腐蚀试验方法工况表

试验工况	工况参数
高速跑道行驶	—
驻坡	—
碎石路试验	里程 19.2km, 车速 50km/h
盐水槽行驶	车速 40km/h, 里程 800m

(续)

试验工况	工况参数
泥浆路	腐蚀介质：NaCl，泥沙百分比 30%，盐度 5.0%，车速 15km/h，里程 240m
盐水喷淋	腐蚀介质：NaCl，浓度：5.0%，盐水喷淋 2h（加 60km/h 风速），静置 1h
耐久路行驶	—
高温高湿试验	温度：55℃，恒温；湿度：50%RH、95%RH，循环交替，停放 12h

1.4.3 各试验方法对比

经过对比分析国内、美系、欧系和日系的汽车整车道路腐蚀试验方法，各试验方法在工况设置层面具有较高的相似性，但是在具体参数设定方面，各方法呈现出一定的差异。例如，在含盐路面行驶工况的模拟中，腐蚀介质的选择以及盐溶液的浓度设置均有所不同。因此在制定试验方法时，应紧密结合汽车产品的主要使用区域的腐蚀环境严苛程度、腐蚀因素来源以及腐蚀控制目标的差异性，进行有针对性的调整和优化，以确保试验结果的准确性和有效性。

不同企业制定的试验方法各有差异，但是通过分析腐蚀试验结果数据，不同试验方法均能暴露出汽车的腐蚀问题和薄弱环节，区别在于腐蚀出现时间和严重程度（腐蚀等级）存在一定差异。

为了验证 QC/T 732 方法的实际效果，海南热带汽车试验有限公司针对使用年限 2 年至 6 年的市场用户车辆进行了调研，这些车辆经过长时间的使用，其腐蚀状况能够真实反映出汽车在实际使用环境中的腐蚀情况。通过试验数据和市场用户数据对比分析，QC/T 732 试验方法能比较好地复现中国市场售后的腐蚀问题，其中底盘区域腐蚀问题的覆盖率高达 90% 以上，车身及机舱区域腐蚀问题的覆盖率也超过 70%。此外，试验车辆与市场用户车辆的腐蚀严重程

度（腐蚀等级）随车龄变化曲线趋势高度一致，QC/T 732 试验方法基本上能够准确模拟和反映真实用户的使用情况。

对于汽车出口而言，生产企业可在 QC/T 732 试验方法基础上，结合目标国的腐蚀环境、市场用户和法规政策等具体情况进行适当的修订与调整，在产品开发成本和售后口碑之间寻找平衡点。

1.4.4 当前汽车腐蚀试验存在的问题与不足

尽管当前的汽车腐蚀试验方法在模拟和验证汽车耐腐蚀性能方面发挥了重要的作用，但仍然存在着一些不足：试验条件与实际道路使用情况的偏差、忽视某些极端气候条件的影响以及评价标准的局限性。此外，现有的试验方法均侧重在试验验证端，各个试验方法由于试验工况、评价标准存在差异性，对试验结果的评价缺乏统一的标尺，导致无法对不同车型进行横向对比，对消费者选购产品没有直观有效的指导。因此，需要进一步地研究和开发一套既能有效验证产品耐腐蚀性能，又能提供直观对比的评价体系。

随着我国汽车技术的飞速发展，市场竞争日趋白热化，国内企业纷纷将目光转向海外市场。在二十一世纪初，中国汽车主要出口东南亚、南美洲和非洲等汽车工业欠发达地区。随着近几年我国汽车产业的快速发展，国内车企纷纷在海外布局，汽车出口量不断攀升，出口范围也扩大到欧洲和北美等发达地区，这也是中国汽车迈向高端市场的必经之路。汽车出口海外后发生腐蚀不仅影响车辆美观，引发海外用户不满，给企业带来售后成本损失，同时还会影响中国汽车在国际市场上的品牌形象。

面对全球汽车市场激烈的竞争形势，为了规避因质量缺陷所导致的召回索赔等售后问题，快速地适应国内外法规政策及使用场

景，我国车企亟需开展更严苛的腐蚀测试，精准识别汽车腐蚀质量风险，提升产品竞争力，以应对复杂多变的市场环境，做到汽车出口既能“出得去”，还能“站得稳”。因此，建立一套既能有效验证汽车耐腐蚀性能，又能进行不同车型横向对比的试验评价体系，成了行业研究的热门课题。

中消会CA-CAP工作组秘书处
长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

第 2 章 CA-CAP 测评运营管理

2.1 项目简介

“CA-CAP”全称为中国汽车耐腐蚀与老化性能评价规程（Corrosion and Ageing -Car Assessment Program），是在中国消费品质量安全促进会（以下简称“中消会”）的指导下由行业机构共同开展的耐腐蚀和老化测评项目，采用开源的创新模式，邀请国内第三方检测机构、整车生产企业，共同打造科学、权威、公正的中国汽车耐腐蚀与老化性能测评平台。海南热带汽车试验有限公司为 CA-CAP 工作组组长、秘书处常设单位。

CA-CAP 测评作为我国乃至世界范围内的汽车耐腐蚀性能测评的先行者，一直致力于打造科学、权威、公正的汽车耐腐蚀测评平台，不断优化测评体系建设，持续开展测评并发布结果，同时积极开展行业间的交流与合作，助力我国汽车走出国门、面向世界。

为了尽可能真实、有效地模拟用户实际使用情况，CA-CAP 采用最接近用户使用的整车强化腐蚀试验来验证汽车的耐腐蚀性能，设置了包括高速跑道行驶、强化坏路行驶、腐蚀综合道路行驶（碎石击打和盐水飞溅）等含有多种极端路况的动态行驶工况和具有加速腐蚀作用的盐水喷雾、高温高湿停放等静态停放工况。试验过程中汽车将经受碎石击打、盐水侵蚀、紧急驻坡、石板颠簸、波形起伏等各种极端场景的考验，将有效快速地暴露汽车腐蚀问题，以达到评价汽车耐腐蚀性能的目的。

试验以 24h 为 1 个循环，每 10 个循环为一个腐蚀年（模拟中国腐蚀环境最恶劣地区用户使用一年），试验周期为 60 循环，即模拟中国用户使用 6 年的汽车腐蚀情况。

2.2 目的与意义

汽车作为高价值的耐用消费品，其耐蚀性能直接关系到使用寿命及维护成本，因此，提高汽车的耐腐蚀性能，不仅可以提升消费者的购车体验，而且对于保障行车安全至关重要。CA-CAP 通过对汽车各部件进行腐蚀性能评估，能够帮助消费者在购车时做出更明智的决策，同时促使汽车制造商在设计和制造过程中采取更有效的防腐措施。

汽车的防腐体系是个复杂的系统工程，汽车防腐的工艺设计、材料选用与生产成本的控制密切相关。汽车从设计、生产、销售、使用，到暴露出腐蚀问题往往是 3 年以后甚至是更长时间，这对普通消费者选购产品造成了不小的困扰。通过 CA-CAP 综合评价分值和星级评定，消费者在选购产品时将不再感觉迷茫，可以一目了然地了解汽车耐腐蚀性能质量分级，从而为广大消费者在产品选购时提供一个全新维度的参考。

CA-CAP 的发布实施，成为衡量汽车产品防腐蚀与老化性能的标尺，填补了国内汽车检测行业的空白，有效促进政府监管难、消费者选车难、车企对标难等问题的解决。未来，CA-CAP 将继续开展测评并发布结果，向社会各界提供科学、公正、真实、有效的汽车耐腐蚀性能质量信息，为消费者选购产品提供参考，为车企产品质量改进指明方向，有效促进我国汽车产品质量持续提升，助力我国汽车海外出口。

2.3 工作组成员

海南热带汽车试验有限公司联合国内汽车检测机构、生产企业

等共计 22 家单位，在中国消费品质量安全促进会汽车工作委成立了 CA-CAP 工作组，致力于打造科学、权威、公正的测评平台，持续开展测评并发布结果，有效促进汽车质量提升，助力我国汽车走向国内、面向世界。

工作组先后完成了中国汽车耐腐蚀与老化性能测试评价规程（CA-CAP）发布、CA-CAP 管理办法（2021 版）发布、2 家测评机构授牌、41 名专家聘用等工作。近三年来，累计完成了 19 个车型的测评。测评动态引发社会各界广泛关注，吸引了新华社、中央电视台、中国新闻网等权威媒体报道，得到行业的高度认可。

2.4 工作职责

CA-CAP 测评车型选取、车辆购买、准备与实施、结果发布、数据管理等相关工作由获得中消会授权许可、具备资质的第三方测评机构开展。工作组的主要职责：

- 1.开展汽车耐腐蚀和老化专业领域测试评价的相关工作，积极搭建交流合作平台，加强产销企业与终端消费者的互动交流，向社会提供咨询服务。

- 2.制定年度测评计划，制定年度财务预算和资金筹备，收集国内外相关技术信息，制（修）订测评规则，开展国内外技术交流和业务合作。

- 3.测评车辆选取，测评任务受理和通知，试验实施，出具试验报告和性能画像，测评数据和车辆管理。

- 4.发布测评结果，联系合作媒体及时报道 CA-CAP 动态信息，策划和实施宣传推广活动。

- 5.组织检测机构、生产企业、科研院所等单位中在相关专业领

域具有丰富专业知识的专家，负责为测评规则制（修）订、结果评定、处理争议和解决疑难问题提供技术咨询。

6.接受中消会及有关部门委托的其他工作。

2.5 运行管理

2.5.1 车辆选取

一、基本要求

CA-CAP 测评车辆应为按生产企业出厂标准装配齐全，且安全技术条件符合相关规定的量产阶段的乘用车。

二、基本原则

CA-CAP 测评车型选取综合考虑市场保有量和关注度，兼顾不同品牌 and 不同级别，兼顾燃油车和新能源汽车。选取原则：

- 1.市场关注度较高的热门车型。
- 2.中国市场两年内新上市的全新或换代车型。
- 3.上市后月均销量 3000 辆及以上的车型（新能源汽车除外）。

三、车辆的来源

CA-CAP 测评车辆分为工作组抽取和企业申请两个类别：

1.工作组抽取：工作组根据年度测评计划，确定年度测评候选车型。

2.企业申请：企业自愿提出 CA-CAP 测评申请，向工作组提交企业自愿测评申请表，按照要求填报相关信息，工作组对企业提交的申请表进行审核，对符合申请条件的车型给予接受。

四、车辆的获取

测评车辆及相关配件，在不告知生产企业的情况下，由工作组

以普通消费者的身份在经销商处随机购买。

自愿申请 CA-CAP 测评的企业，委托工作组通过经销商处随机购买或者生产线随机抽样的方式获取测评车辆，相关配件由工作组在经销商处随机购买。

测评车辆及相关配件的购买过程和抽样过程接受媒体和消费者的监督。

2.5.2 测评实施

一、计划发布

测评车辆到位后，工作组将通过 CA-CAP 官方网站和公众号公布测评车辆车型信息，并发布测评计划（测评机构、测评场地、开始时间等）。

由企业自愿提出申请的测评，工作组应于测评正式开始前 15 个工作日，向生产企业发送试验实施通知单。

二、试验准备

试验前所有的准备工作，包括测评车辆准备、试验仪器设备准备、试验条件的确认等均由工作组组织专业试验人员进行操作。

由企业自愿提出申请的测评，生产企业的技术人员可在规定时间内了解试验的准备和进展情况，并对必要的参数予以确认，但不得对测评车辆及设备仪器进行任何操作。

三、试验开展

CA-CAP 耐腐蚀性能测试评价依据 T/CPQSA0009—2021《乘用车耐腐蚀性能测试评价规则》的相关规定进行。

试验的每一个阶段都有严格的操作规程，环境条件、车辆状态、操作步骤和任何异常情况都应做好记录，确保测试的标准化和

规范化。测试内容涉及多种腐蚀环境的模拟，如盐雾测试、湿热循环测试等，旨在全面评估车辆在各种恶劣条件下的耐腐蚀性能。

为确保测评结果的公正性、准确性，除正常试验操作以外，禁止对测评车辆及相关配件进行非维修保养目的的操作。

生产企业和媒体等非测试评价操作人员，在得到相应的许可后可在规定时间内和地点观看测试评价过程。

四、数据整理

测试评价完成后，测评工作人员应在 5 个工作日内完成试验数据的整理，并提交工作组统一管理，未经工作组的书面许可，任何机构和个人不得擅自使用相关测试评价的数据。

工作组对试验数据进行处理和计算，根据各级指标分数计算得出综合评价分值，并进行星级评定。

五、结果审核

测试评价结束后，由试验部门出具测评报告。工作组秘书处组织专家组，对测评结果进行评审，评审内容包括测评报告、原始数据和查看实车等。

专家组评审结束后，由工作组秘书处将测评结果和专家评审意见进行整理，提交至中消会秘书处进行审核。

2.5.3 结果发布

一、发布内容

测评结果发布主要包含以下内容：

- 1.外观图片：测评车辆的全景图。
- 2.车型信息：包含测评车辆的车型名称、年款、配置版本、车辆型号、车架号、指导价格等基本信息。

3.得分情况：包含测评车辆综合评价分值，各一级指标及加分项的分值。

4.星级评定：根据综合得分进行的星级评定结果。

5.得分率对比：测评车辆综合评价分值，各一级指标及加分项的得分率。

6.测评结果仅对所测评的样品负责的声明。

二、发布渠道

测评结果通过以下渠道面向公开发布：

1.CA-CAP 官方网站和公众号。

2.中消会官方网站和公众号。

3.《消费指南》杂志。

4.根据需要召开发布会进行发布。

其他媒体转载、报道 CA-CAP 相关测评结果，应注明信息来源。

2.5.4 数据管理

由工作组自筹资金购买车辆开展的测评，该车辆生产企业如有购买测评数据或试验后车辆的需求，可在测评结果公布且无异议后向工作组提出申请，并按规定支付相应费用。

由企业自愿提出申请的测评，测评数据及试验后车辆，生产企业可在测评结果发布且无异议后向工作组提出申请取回。测评结果发布后超过 60 天仍未提出取回试验车辆的，视为同意由工作组进行处置。

2.5.5 异议处理

由企业自愿提出申请的测评，生产企业对测评结果有异议时，可在结果发布后的 10 个工作日内提交申诉单，向工作组提出申诉，工作组应在收到申诉单的 30 个工作日内予以正式答复。仍存在争议时，工作组可组织生产企业进行会议讨论。

2.5.6 费用管理

工作组每年按计划自筹专项资金，作为 CA-CAP 测评及管理的费用，以保证工作组长期独立运行。

年度测评计划的测评车辆及相关配件购买和测评费用由工作组承担。

企业自愿提出申请的，按测评车辆获取方式分为以下两种情况：

1. 委托工作组经销商处随机购买的，测评车辆及相关配件购买和测评费用由提出申请的企业承担。

2. 委托工作组生产线随机抽样的，相关配件购买和测评费用由提出申请的企业承担。

2.6 技术研究和交流活动

工作组每年至少举行 1 次 CA-CAP 专题研讨和技术交流活动，也可与测评结果发布活动同时举行。生产企业和相关科研机构可与工作组开展多种形式的交流与技术合作。

工作组可视需要组织或参加公共宣传活动，与各方开展多种形式的推广和交流活动。

工作组定期评估测评规则的适用性，并根据行业发展的趋势进行必要的调整和更新。

2.7 声明

CA-CAP 是在中消会指导下开展，由工作组成员共同构建并维护的公益性汽车性能测评类项目，工作组拥有 CA-CAP 的全部权利，除企业自行进行技术开发的试验外，严禁其他机构未经工作组书面许可，以 CA-CAP 名义进行公开性或商业性目的的测试和评价。

CA-CAP 的测评结果仅对所测评的样品负责。

第3章 CA-CAP 测评标准体系

3.1 试验条件

一、整车强化腐蚀试验

在试验道路和试验室内进行具有盐水槽路面行驶、碎石击打、整车盐水喷雾和环境舱停放等内容的汽车试验。

二、预试验

依据 T/CPQS A0009-2021 《乘用车耐腐蚀性能测试评价规则》开展耐腐蚀性能的测试。正式试验开始前需要对样车进行去除保护膜、清洁、胎压检测、配载、涂层划痕等准备工作。试验开始之前，对样车进行预破坏试验：以 70 km/h 的车速跟随前车（以越野乘用车为宜）行驶通过碎石路，行驶 (7 ± 1) km，车距保持 5m~7m，行驶过程中对前照灯及雾灯进行保护。

三、试验条件

1. 高速跑道：高速跑道由直线部分和近似环形的部分相接而成，应满足车辆不低于 100km/h 行驶的要求。

2. 坡道：坡道的坡度应为 16%~20%。

3. 强化坏路：强化坏路应符合 GB/T 12678 的相关规定，一般由具有固定路形的特殊可靠性道路组成，如扭曲路、水泥不平路、凸块路、卵石路、鱼鳞坑路、井盖路、波形路、石块路、搓板路等。

4. 腐蚀综合道路：腐蚀综合道路至少应包含碎石路、盐水槽路、盐水搓板路。

5. 仪器设备设施：包含盐雾舱、环境舱、盐度计等。

3.2 试验方法

3.2.1 试验工况

为了尽可能真实、有效地模拟用户实际使用情况，CA-CAP 采用最接近用户使用的整车强化腐蚀试验来验证汽车的耐腐蚀性能，设置了高速跑道行驶（紧急制动）、强化环路行驶、腐蚀综合道路行驶（碎石击打和盐水飞溅）等含有多种极端路况的动态行驶工况和具有加速腐蚀作用的盐水喷雾、高温高湿停放等静态停放工况。试验过程中汽车将经受碎石击打、盐水侵蚀、紧急驻坡、石板颠簸、波形起伏等各种极端场景的考验，可以快速有效地暴露汽车腐蚀问题，达到评价汽车耐腐蚀性能的目的。腐蚀试验循环工况流程及工况示意图见图 3-1 至图 3-10。

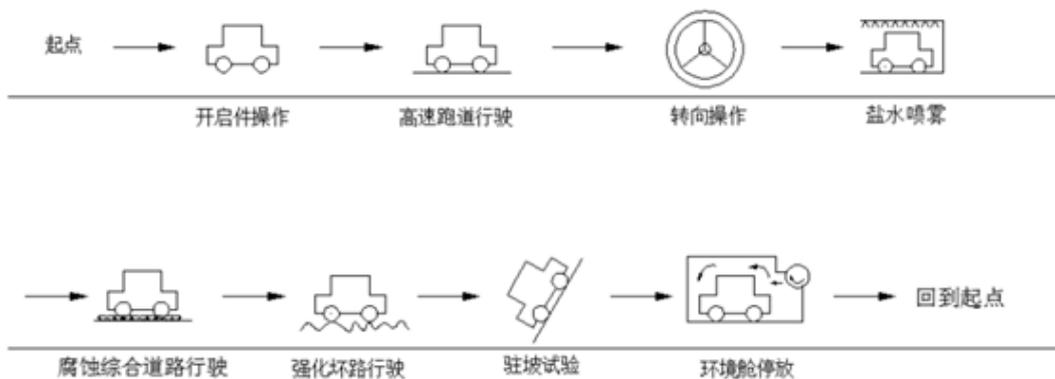


图 3-1 腐蚀试验循环主要工况流程图

一、开启件操作

①工况意义：模拟用户实际使用过程中开启件启闭操作，暴露车辆开启件连接区域零部件的耐腐蚀性能。

②操作方法：对所有的开启件进行 5 次启闭操作和检查，开启件开启时应达到最大开度，关闭时应完全闭合。



图 3-2 开启件操作示意图

二、高速跑道行驶

①工况意义：模拟用户日常高速行驶，同时汽车高速行驶空腔形成负压，有利于盐水渗透进入车身的缝隙。车辆在高速跑道上行驶过程中，进行一定次数的紧急制动，验证车辆经受腐蚀试验后的制动性能。

②操作方法：试验样车以 100km/h 的车速行驶 78km。行驶过程中在安全路段以 5m/s^2 的减速度进行 9 次制动停车，各制动点之间的间隔不少于 3 km 且均匀分布。



图 3-3 高速跑道行驶示意图

三、转向操作

①工况意义：模拟用户实际使用过程中转向操作，以此暴露车辆转向系统零部件耐腐蚀性能问题。

②操作方法：试验样车在启动状态下，转动方向盘从直线行驶位置至左转向极限位置，然后至右转向极限位置，再回至直线行驶位置，此操作重复6次。方向盘在左、右转向极限位置停留的时间不能超过3秒。



图 3-4 转向操作示意图

四、盐水喷雾

①工况意义：在热带、亚热带沿海地区，温度高湿度大，空气中含有盐分较多，加之带盐分的雨水对车身部件的长期侵蚀，会造成汽车尤其是车身部位的快速腐蚀，且盐分中的氯离子具有破坏金属表面钝化膜的作用。在盐雾室中进行静态盐雾喷射并保持一定的时间，使盐雾颗粒沉降并依附在车身表面并渗透到各处的缝隙中，考核车门、车窗及各空腔部位的密封性能，以及车辆的抗腐蚀的能力。

②操作方法：试验样车驶进盐雾舱，切断电源，关闭所有的开启件。在温度为 $(35 \pm 2)^\circ\text{C}$ 的条件下对样车进行盐水喷雾，盐水浓度为 $(3 \pm 0.3)\%$ ，喷雾时间为30min。



图 3-5 盐水喷雾示意图

五、腐蚀综合道路行驶

1. 碎石路行驶

①工况意义：模拟车辆在非铺装道路上行驶时，车身涂层受离析碎石、抛洒碎石等路面异物冲击的效果，验证车身及底盘防护涂层抗石击能力。

②行驶方法：碎石尺寸 3mm~8mm，表面尖锐，碎石路面平整，以 70km/h 的车速行驶通过碎石路，每个循环行驶 4.2 km 纯碎石里程。



图 3-6 碎石路行驶示意图

2. 含盐路面行驶

①工况意义：欧洲、北美以及我国北方的一些城市，因冬季严寒且时间漫长，为了确保汽车在冰雪覆盖的道路上安全行驶，一般都要在路面上撒融雪盐。车辆通过盐水槽路及盐水搓板路，盐水飞溅到底盘及车身下部，模拟车辆在实际使用中，融雪盐、盐碱土等对底盘零部件及车身下区域的腐蚀影响，以此来考核底盘及车身下部的耐腐蚀能力。

②行驶方法：以车速 50km/h 通过盐水搓板路，每个循环通过一次；盐水槽路：以车速 15km/h 通过盐水槽路，每 10 个循环通过 2 次。

注：盐水搓板路——盐水浓度0.5%NaCl，长50m；盐水槽路——盐水深度（40±10）mm，盐水浓度1%NaCl，长50m。



图 3-7 盐水搓板路行驶图



图 3-8 盐水槽路行驶示意图

六、强化坏路行驶

①工况意义：通过路面对车辆施加的各种形式的动态载荷，车身在行驶过程中产生扭曲变形，在行驶负压及路面激励作用下，腐蚀介质充分渗入到车辆空腔和缝隙，验证车辆在恶劣的腐蚀条件下的可靠性。

②行驶方法：行驶里程约 10km。

强化坏路一般由具有固定路形的特殊可靠性道路组成，如扭曲路、水泥不平路、凸块路、卵石路、鱼鳞坑路、井盖路、波形路、石块路、搓板路等。



图 3-8 强化环路行驶示意图

七、驻坡试验

①工况意义：模拟用户实际使用过程中驻停场景，考核制动系统在受到强化腐蚀后，驻车制动性能是否有所衰减或失效。

②操作方法：试验样车上坡、下坡各驻车制动一次，每次 3min。



图 3-9 紧急驻坡示意图

八、环境舱停放

①工况意义：高温高湿环境对整车腐蚀具有明显的加速作用，

该工况主要模拟车辆在高温、高湿、高盐、多雨的“三高一多”湿热气候环境下的使用，从而快速暴露出腐蚀问题。

②操作方法：试验样车驶进环境舱，切断电源，关闭所有的开启件。在温度为 (23 ± 2) ℃、湿度为 (50 ± 5) %RH的条件下停放12h，然后在温度为 (50 ± 2) ℃、湿度为 (95 ± 3) %RH的条件下停放8h。



图 3-10 环境舱停放示意图

3.2.2 试验周期和评价节点

通过模拟最接近用户实际使用工况的道路腐蚀试验，快速暴露腐蚀问题，以达到评价汽车耐腐蚀性能的目的，10个循环相当于腐蚀环境最恶劣地区用户使用1年。

据调查，国内用户汽车使用6年是换车的高峰期，且国内机动车免检时间为6年，因此试验周期定为模拟用户使用6年，即试验进行60循环。经过实际数据验证，60个循环的试验结果基本能验证、区分出汽车的耐腐蚀性能。

用户对3年内样车的腐蚀问题比较敏感，且根据国家市场监督

管理总局发布的汽车三包管理规定要求，家用汽车产品保修期不低于 3 年，因此设定第 30 循环评价节点。

涂层划痕评价由于其特殊性，将 30 循环的测量结果作为评价依据。

3.3 评价方法

耐腐蚀性能的综合评价应以结果为导向，取决于腐蚀试验的综合表现。汽车发生腐蚀首先是影响外观，增加汽车维护成本，降低汽车保值率；其次是腐蚀还会引起零部件功能衰退或损坏，甚至引发安全事故。通过市场用户的调研和国家有关部门公开的数据表明，汽车腐蚀方面的投诉基本集中在外观和功能两个方面。

因此，在评价汽车耐腐蚀性能时，腐蚀外观评价和功能故障评价是主要的评价指标（一级指标）。另外，根据中国汽车消费者的使用特点，对车身表面的刮蹭、油漆的划痕比较敏感，因此增加车身涂层划痕评价（加分指标）。

3.3.1 外观评价

一、外观评价基本原则

外观零部件的重要程度越高则相应的权重越大，腐蚀发生时间越早、腐蚀程度越严重、腐蚀数量越多则相应的扣分值越大。

二、确定外观考核项

外观考核项依据 T/CPQS A0009-2021《乘用车耐腐蚀性能测试评价规则》确定，包含但不限于：

- ①四门两盖、折边和尖角、钢板接缝等钣金件。
- ②螺栓螺母、铰链等紧固件。

③车门车窗装饰亮条等金属涂覆装饰件。

④底盘区域的传动系统、行驶系统、转向系统、制动系统等可视部位。

⑤新能源汽车还应重点关注“三电”相关的零部件。

为了方便检查，通常将外观考核项分成驾乘舱、机舱、车身及附件、底盘4个检查区域。检查项目可根据试验样车的结构特点做相应的调整变化，其中差异项数量比例应不超过20%。

试验开始前对外观考核项进行评价和拍照，记录其试验初始状态。试验过程中不允许任何非维修目的的样件更换，因故障维修需要更换的零部件应做好记录。

三、外观考核项重要程度划分

常规的零部件基本按其可见度区分为“高”“中”“低”三个重要程度类别。零部件的重要程度分类基本原则：

①车身钣金部件作为车身结构的主要组成部件，在衡量可见度的同时应考虑腐蚀对车身强度的影响，因此驾乘舱、车身及附件区域的所有钣金部件的外观性重要程度均设定为“高”，底盘区域的钣金部件设定为“中”。

②从安全方面因素衡量，直接涉及安全的系统部件无论在任何区域其外观性重要程度均设定为“高”。

③从样车常规保养方面衡量，常规保养或需周期性拆装的底盘区域零部件，其外观重要程度设定为“中”。

零部件外观性重要程度的说明见表3-1。

表 3-1 零部件外观性重要程度说明

检查区域	重要程度	说明
驾乘舱	高	1.所有车身钣金部件及有装饰性质的零部件。 2.人在车内或进出车辆时明显可见的零部件。
	中	车门和行李箱盖全部打开的条件下，暴露在外所有零部件。
	低	人在车外或驾乘舱内需要经过一定努力，如深蹲、侧身、弯腰等较大动作后才能看到的零部件。
机舱	中	人站在机舱前或侧部时明显可见的零部件。
	低	人站在机舱前或侧部时需要经过一定努力，如深蹲、侧身、弯腰等较大动作后才能看到的零部件。
车身及附件	高	1.车门全部打开的条件下，人在车内或进出车辆时明显可见的零部件。 2.车门、机舱盖和行李箱盖全部关闭的条件下，明显可见的零部件。 3.所有车身钣金部件及有装饰性质的零部件。
	中	车门和行李箱盖全部打开的条件下，暴露在外所有零部件。
	低	—
底盘	高	直接涉及安全的系统部件（如制动油管管体、转向油管管体、高压线束端口等）。
	中	1.所有车身钣金部件。 2.常规保养或需周期性拆装的零部件（如发动机放油螺栓、变速器放油螺栓等）。
	低	暴露在外其他零部件。

四、腐蚀等级的评定

腐蚀的分类方法有很多，按腐蚀反应机理可分为化学腐蚀、电化学腐蚀、物理腐蚀和生物腐蚀，按腐蚀环境可分为大气腐蚀、水腐蚀和土壤腐蚀等，按腐蚀形态可分为全面腐蚀和局部腐蚀（应力腐蚀、点腐蚀、晶间腐蚀、电偶腐蚀和缝隙腐蚀等）。

本报告根据腐蚀产物的不同，将腐蚀分为红锈腐蚀与非红锈腐蚀两大类，按照表 3-2 对试验样车的外观考核项进行腐蚀等级评定，红锈腐蚀等级评定示例见表 3-3，非红锈腐蚀等级评定示例见

表 3-4。

红锈腐蚀常见于钢铁基体的零部件，非红锈腐蚀常见于铝合金基体、镁合金基体的零部件和具有镍铬镀层的装饰件，红锈腐蚀与非红锈腐蚀同时出现常见于钢铁基体具有镀锌层、锌铝涂层的零部件。

由于非红锈腐蚀以白锈为主，因此非红锈腐蚀等级评定示例按白锈腐蚀等级给出，其他类型的非红锈腐蚀等级评定可做参考。

表 3-2 腐蚀等级评定

等级	腐蚀程度	腐蚀情况描述
0	无腐蚀	无任何腐蚀现象
1	微量腐蚀	1 到 5 个小的锈点
2	轻微腐蚀	较多小的锈点；锈蚀面积占部件总面积小于 10%
3	轻度腐蚀	中等尺寸的锈点；锈蚀面积占部件总面积的 (25 ± 15)%
4	中等腐蚀	很多中等尺寸的锈点；锈蚀面积占部件总面积的 (50 ± 10)%
5	大面积腐蚀	大尺寸的锈点；锈蚀面积占部件总面积的 (80 ± 20)%
6	全面积腐蚀	大面积的锈蚀区域或非常大的锈点；锈蚀面积占部件总面积的 100%
7	严重腐蚀	有少量锈垢堆积，不易脱落
8	非常严重腐蚀	有大量锈垢堆积、鼓包、开裂或呈片状脱落
9	锈穿	扩展延伸孔、穿孔、断裂或缺失

表 3-3 红锈腐蚀等级示例

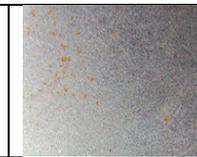
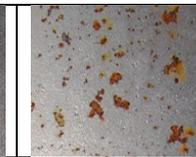
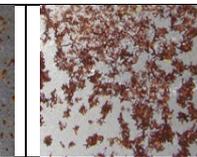
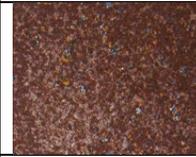
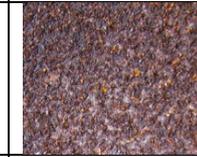
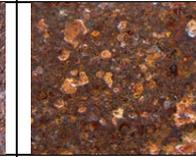
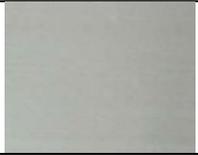
图示					
等级	0	1	2	3	4
图示					
等级	5	6	7	8	9

表 3-4 非红锈腐蚀等级示例

图 示					
等 级	0	1	2	3	4
图 示				—	—
等 级	5	6	7	8	9

五、腐蚀等级的转换

计算外观评价分值时，应对红锈和非红锈进行区分，主要基于以下两点：一是用户对红锈腐蚀与白锈腐蚀的敏感程度不同，红锈比非红锈更为敏感；二是铝合金、镀锌属于一种防腐的优化手段，若评价中不作区分将不利于发挥标准的对防腐优化的引导作用。

在进行腐蚀等级评定后，根据二者的腐蚀相对敏感度系数进行腐蚀等级转换。

腐蚀的相对敏感度系数——以红锈腐蚀类型为基准，用户对其其他腐蚀类型的相对敏感程度。

红锈腐蚀的相对敏感度系数为 1，非红锈腐蚀类型的相对敏感度系数通过实际用户腐蚀数据调查获得。

1. 红锈腐蚀等级的转换

红锈腐蚀根据腐蚀等级评定结果直接记录，无需转换计算。

2. 非红锈腐蚀等级的转换

非红锈腐蚀应先对腐蚀等级评定结果进行转换，再记录转换结果，计算方法如式 3-1 所示。

$$D_{ijk} = D \times \beta \quad \text{式(3-1)}$$

式中：

D_{ijk} ——腐蚀等级转换结果；

D ——腐蚀等级评定结果；

β ——非红锈腐蚀的相对敏感度系数，值为 0.42。

其中：

①若腐蚀等级转换计算结果为整数，则直接记录。

②若腐蚀等级转换计算结果 $n < D_{ijk} < (n + 1)$ ，则记录 $(n + 1)$ ，其中 n 为自然数。

③若腐蚀等级评定结果为 8 级或 9 级，则无需转换，直接记录腐蚀等级评定结果。

3. 红锈腐蚀与非红锈腐蚀同时出现的转换

若红锈腐蚀与非红锈腐蚀同时出现，则先对非红锈腐蚀进行腐蚀等级转换，再将转换结果与红锈腐蚀等级进行比较，取二者之间的最大值进行记录。

示例：某零部件出现红锈 2 级、非红锈 5 级，根据式 (3-1) 对非红锈腐蚀等级转换计算，转换结果为非红锈 3 级 ($D_{ijk} = 5 \times 0.42 = 2.10$ ，腐蚀等级转换结果取 3 级)，则该零部件的腐蚀等级记录为 3 级。

六、外观考核项的扣分值

根据外观考核项腐蚀等级记录表中的单个零部件腐蚀等级 (D_{ijk})，转换得出单个零部件的腐蚀扣分值 (R_{ijk})。零部件腐蚀等级扣分值转换如表 3-5 所示。若同一零部件名称中包含零部件数量不止一个，则 R_{ijk} 取其腐蚀等级扣分转换值的最大值。

表 3-5 外观考核项扣分转换

腐蚀等级	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
腐蚀程度	无	微量	轻微	轻度	中等	大面积	全面积	严重	非常严重	穿孔
扣分 值 转换	0分	1分	3分		6分		8分			10分

七、外观评价节点

在试验的第 30、60 循环两个评价节点，对外观考核项进行评价，记录其腐蚀等级。

八、指标权重系数

1. 加权系数设定的原则

评价腐蚀外观要考虑到评价的时间和零部件重要程度两个维度，用户对腐蚀外观的敏感程度会随着时间的推移而逐渐降低，因此评价节点越早，则相应的加权系数应越大，反之越小；零部件的重要程度越高，则相应的权重系数应越大，反之越小。

2. 加权系数的确定

外观评价各级加权系数，充分考虑到了腐蚀试验数据和市场用户数据两个方面，采用相对敏感度指数计算模型进行计算，计算模型如式 3-2 所示。

$$\delta = \frac{T}{N \times G \times B} \quad \text{式(3-2)}$$

式中，各字母代号释义为：

δ ——腐蚀问题相对敏感指数（加权系数）；

T ——腐蚀问题超标问题数量或投诉案例数量；

N ——单车的平均腐蚀问题数量；

G ——单车的零部件平均腐蚀等级；

B ——统计样本的车型数量。

说明：外观评价各级指标计算涉及的原始数据，与腐蚀试验统计和市场用户数据调研结果密切相关，两组数据会随着统计样本的变化而变化，因此，相应的加权系数应定期更新。

九、外观评价各级指标

外观评价中将外观考核项分为“高”“中”“低”三个类别，在第 30 循环和第 60 循环的试验结束后进行检查评价，并进行记录。

外观评价各级指标及权重系数见表 3-6。

表 3-6 外观评价各级指标

一级指标		二级指标				三级指标					
最终分值	加权扣分值	序号 (i)	评价节点	指标权重 (δ_i)	加权扣分值 (T_i)	序号 (j)	零部件类别	指标权重 (θ_j)	各零部件数量 (N_{ij})	累计扣分值 ($\sum_{k=1}^{N_{ij}} R_{ijk}$)	平均扣分值 (C_{ij})
W	W_0	1	30 循环	0.7186		1	高	0.6773			
						2	中	0.2526			
						3	低	0.0701			
		2	60 循环	0.2814		1	高	0.6773			
						2	中	0.2526			
						3	低	0.0701			

注1：i=1、2，分别对应30循环和60循环评估节点。

注2: $j=1、2、3$ ，分别对应高、中、低零部件类别。

注3: $k=1、2、\dots$ ，分别对应各零部件类别中零部件序号。

注4: 其他字母代号如表所示。

十、外观评价分值计算方法

外观评价满分值 10 分，减去加权扣分值 (W_0)，即为外观评价的最终分值 (W)，计算方法如式 3-3 所示。

$$W = 10 - \sum_{i=1}^2 \left\{ \sum_{j=1}^3 \left[\left(\frac{1}{N_{ij}} \times \sum_{k=1}^{N_{ij}} R_{ijk} \right) \times \theta_j \right] \times \delta_i \right\} \quad \text{式(3-3)}$$

式中：

W ——外观评价分值；

N_{ij} ——各零部件类别的零部件数量；

R_{ijk} ——单个零部件的腐蚀扣分值；

θ_j ——零部件类别指标权重；

δ_i ——外观评价节点指标权重。

3.3.2 功能评价

本报告的故障风险评估等级矩阵参考 GB/T 34402 《汽车产品安全风险评估与风险控制指南》制定。

样车在试验过程中出现的故障均纳入评价，原因如下：

①试验样车为具备生产合格条件的量产新车，通过了严格的可靠性和耐久性试验验证，应满足可靠性的技术要求，因此腐蚀试验中出现的故障可视为腐蚀因素引起。

②整车腐蚀试验属于强化加速的试验，在短时间内完成，试验工况以强化腐蚀试验为主，可靠性里程较短，因此试验过程中出现

的故障，腐蚀因素远远大于其他因素的影响。

根据样车试验的功能故障记录和统计结果，从严重性和可能性两个方面进行功能故障的综合风险等级评估。

一、功能评价基本原则

汽车的功能可靠性是耐腐蚀性能评价中的重要指标，功能评价要考虑到发生的功能故障的危害程度（严重性）、发生的时间（可能性）和功能故障出现的数量。

功能故障的严重性越高、发生的时间越早，则综合风险越高；发生功能故障的数量越多，则相应的扣分值越大。

二、严重性等级评估

参照 GB/T 34402 中危险事件或情形的严重性等级说明，结合整车道路腐蚀试验特点，对试验样车功能故障的严重性进行评定、分级，功能故障的严重性等级说明和示例见表 3-7。

表 3-7 功能故障严重性等级说明和示例

严重性等级	严重性等级说明	示例
高	具有突发性，且不可控，可能严重危及人身、财产安全	如制动失效、转向失效等
较高	具有突发性，且可控性较低，可能危及人身、财产安全	如安全气囊失效、变速器失效等
中	造成车辆行驶性能或功能下降，但可控，车辆有可能继续使用，若继续使用可能会导致高、较高的严重性等级	如发电机失效、螺旋弹簧断裂等
较低	对车辆行驶性能或功能有部分影响，但可控，车辆可继续使用，若继续使用可能导致较高、中的严重性等级	如气动弹簧失效、空调压缩机失效等
低	尚不影响正常使用，对车辆安全性无直接影响，不会导致停驶，但需要修复、更换零部件	如车窗装饰条松脱、线束支架断裂等

三、可能性等级评估

根据功能故障发生的时间（循环数），将可能性等级分为高、较高、中、较低和低五个等级，可能性等级说明如表 3-8 所示。

表 3-8 功能故障可能性等级说明

可能性等级	可能性等级说明
高	$0 < \Omega \leq 20$ 循环
较高	$20 < \Omega \leq 30$ 循环
中	$30 < \Omega \leq 40$ 循环
较低	$40 < \Omega \leq 50$ 循环
低	$50 < \Omega \leq 60$ 循环

注： Ω 为在试验样车某功能故障发生时的循环数。

四、功能故障综合风险等级评估

根据功能故障的严重性和可能性等级，评定功能故障的综合风险等级，如表 3-9 所示。

表 3-9 功能故障综合风险等级评估矩阵

可能性	严重性				
	低	较低	中	较高	高
低	1	2	2	3	3
较低	2	2	3	3	4
中	2	3	3	4	4
较高	3	3	4	4	5
高	3	3	4	5	5

注：表中数字分别对应功能故障的综合风险等级。

五、功能故障统计

根据故障记录和统计结果（表 3-10），按照功能故障综合风险

等级评估方法，对所有故障进行等级评估。在全部试验结束后，根据样车故障统计结果计算一级指标功能评价的最终分值（G）。

表 3-10 功能故障统计

序号	零部件名称	循环数	功能故障描述	严重性等级	可能性等级	综合风险等级 (g _i)	备注
1							
2							

六、功能故障评价分值计算

一级指标功能评价满分值 10 分，依据各功能故障的综合风险等级评估结果，采用连乘法，计算功能评价的最终分值（G），计算方法如式 3-4 所示。

$$G = 10 \times \prod_{i=1}^n \left(1 - \varphi \times \frac{g_i}{5}\right) \quad \text{式(3-4)}$$

式中：

G——功能评价分值；

n——功能故障数量；

φ——数值为 0.0810；

g_i——各功能故障对应的综合风险等级。

注：φ为腐蚀致汽车召回数与总召回数的比值，相关数据来自国家市场监督管理总局缺陷产品召回技术中心，由中汽数据有限公司整理，2020年。

3.3.3 划痕评价

为了验证车身防腐工艺和漆膜附着力，试验前在车身指定区域按照一定要求划上若干条划痕，通过测量其划痕扩散量来验证车身表面油漆质量和基材防腐性能。由于涂层划痕模拟的是用户用车时出现的磕碰场景，具有一定偶然性，因此评价车辆的耐腐蚀性能应以车辆腐蚀试验中的外观和功能的耐腐蚀综合表现为主，划痕评价设为加分项指标。

一、划痕评价基本原则

涂层划痕所在区域越重要则相应的权重越大，划痕扩散量越大则相应的扣分值越大。

二、划痕方法

每个位置的划痕由互相垂直的两条划痕组成，两条划痕间隔 25 mm，每条划痕长度为 50 mm。用划痕工具沿着金属尺划线，划痕必须穿透涂层到达金属基材，划线动作连续且速度一致，注意不要破坏周边涂层。划痕位置如图 3-11 所示。

三、划痕的测量与记录

划痕的测量应在划痕的原始腐蚀形态（如涂层脱落、起泡等）下进行，每条划痕扩散量为划痕中线至两侧腐蚀峰点距离之和，划痕测量方法如图 3-12 所示。

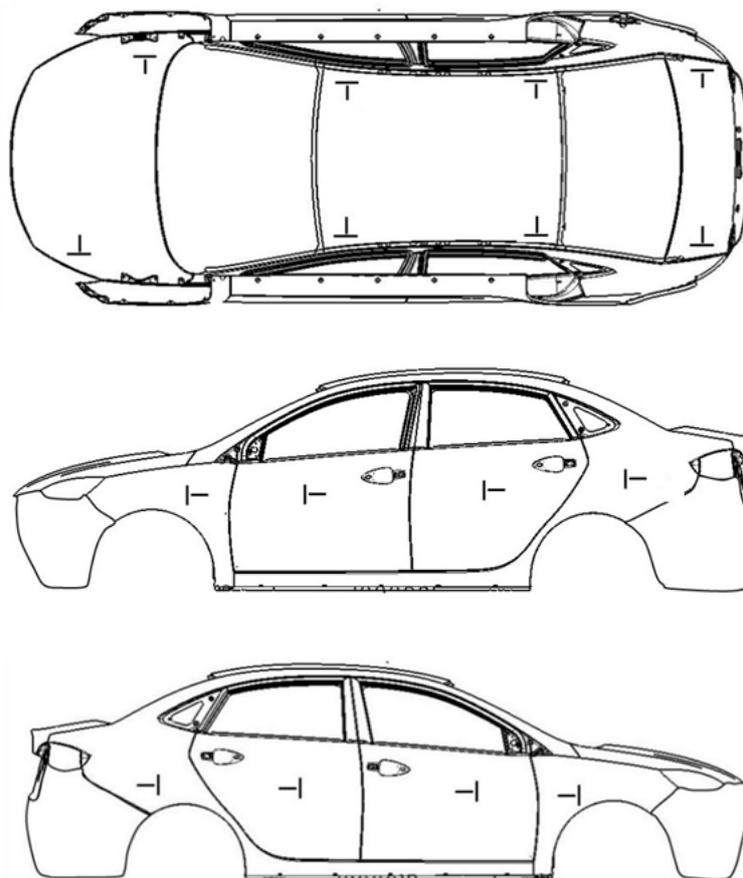


图 3-11 划痕位置图

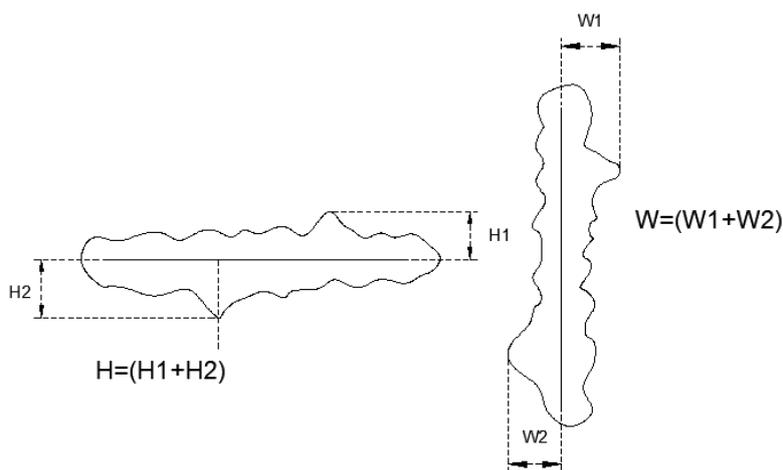


图 3-12 划痕测量方法图

完成30个腐蚀试验循环后，对划痕进行测量并记录，如表3-11所示。

表 3-11 划痕测量记录表

序号	测量部位			划痕扩散量		扩散量平均值 (mm)
	划痕区域	位置	方向	左侧 (mm)	右侧 (mm)	
1	车门	前门	垂直			
			水平			
		后门	垂直			
			水平			
2	翼子板	前翼子板	垂直			
			水平			
		后翼子板	垂直			
			水平			
3	机舱盖板	横向				
		纵向				
4	行李箱盖板	横向				
		纵向				
5	顶盖	前部	横向			
			纵向			
		后部	横向			
			纵向			

注1：区域均值为划痕所在区域所有划痕扩散量的算术平均值。

注2：当划痕没有扩散，应记录为零。

注3：最小划痕扩散量应记录为0.5mm（小于0.5mm，但大于0.0mm）。

四、涂层划痕评价各级指标

涂层划痕评价各级指标权重系数如表 3-12 所示。

表 3-12 划痕测量记录表

加分项指标		指标权重					扩散量平均值范围及其扣分值		
最终分值	加权扣分值	序号 (i)	划痕区域	指标权重 (μ_i)	区域扣分值 (H_i)	扩散量平均值 (X_i)	$X_i \leq 3$ mm	$X_i \geq 6$ mm	$3 \text{ mm} < X_i < 6 \text{ mm}$
H	H_0	1	车门	0.3			0分	2分	区间内线性差值法计算 H_i 值
		2	翼子板	0.3			0分	2分	
		3	前机盖	0.2			0分	2分	
		4	行李箱盖	0.1			0分	2分	
		5	顶盖	0.1			0分	2分	

注1: $i=1,2,3,4,5$, 分别对应车门、翼子板、前机盖、行李箱盖和顶盖的划痕区域。

注2: 其他字母代号如表所示。

五、划痕评价分值计算

指标涂层划痕评价满分值 2 分, 减去加权扣分值 (H_0), 即为涂层划痕评价的最终分值 (H), 计算方法如式 3-5 所示。

$$H = 2 - \sum_{i=1}^5 \left[\left(\frac{X_i}{3} - 1 \right) \times \mu_i \times 2 \right] \quad \text{式(3-5)}$$

式中:

H —— 涂层划痕评价分值;

X_i —— 涂层划痕评价各划痕区域扩散量平均值;

μ_i —— 涂层划痕评价各划痕区域的指标权重。

其中:

- 1.若 $X_i \leq 3$ mm, 则区域扣分值 $H_i = 0$, 即该区域不进行扣分。
- 2.若 $X_i \geq 6$ mm, 则区域扣分值 $H_i = 2$, 即该区域进行顶格扣分。
- 3.若 $3 \text{ mm} < X_i < 6 \text{ mm}$, 则区域扣分值 H_i 采用区间内线性插值法计算, 扣分值取式 3-5 的计算结果。

3.3.4 综合评价

一、综合评价分指标

一级指标外观评价满分为 10 分, 一级指标功能评价满分为 10 分, 加分项指标划痕评价满分为 2 分, 两个一级指标的连乘结果, 再加上加分项指标的分值, 即为综合评价的分值, 综合评价满分为 102 分。综合评价各指标如表 3-13 所示。

表 3-13 综合评价指标

指标类别	名称	分值代号	分值
一级指标	外观评价	W	
一级指标	功能评价	G	
加分指标	划痕评价	H	

二、综合评价分值计算

各级指标的分值分别由其相应的次级指标评价结果计算得出, 综合评价分值计算方法如式 3-6 所示。

$$Z = W \times G + H \quad \text{式(3-6)}$$

式中:

Z——综合评价分值;

W——外观评价分值；

G——功能评价分值；

H——划痕评价分值。

三、星级评定

根据综合评价分值进行星级评定，星级评定规则如表 3-14 所示。

表 3-14 星级评定规则

综合评价分值	描述	星级	示意图
$Z \geq 90.0$	优秀	5	☆☆☆☆☆
$80.0 \leq Z < 90.0$	优良	4	☆☆☆☆
$70.0 \leq Z < 80.0$	良好	3	☆☆☆
$60.0 \leq Z < 70.0$	一般	2	☆☆
$50.0 \leq Z < 60.0$	较差	1	☆
$Z < 50.0$	很差	0	无

说明：

1. 若样车出现综合风险等级为 5 级的功能故障，则评价结果仅显示综合得分，星级评定为“0”星级。

2. 星级评定“5”星级的样车必须满足涂层划痕评价分值 $H \geq 1.8$ （分），否则最高评定为“4”星级。

第 4 章 CA-CAP 测评结果分析

本章节统计、整理了近 3 年的 CA-CAP 测评数据并进行分析，为行业技术改进提供参考和指导，同时为测评规则的版本更新提供依据。

4.1 测评样车构成情况

CA-CAP 测评自 2022 年开展首次汽车耐腐蚀性能测评以来，截至 2024 年，总共已完成了 19 款热门车型的测评，其中 2022 年 6 款、2023 年 7 款、2024 年 6 款，测评样车见表 4-1 所示。

表 4-1 2022 年—2024 年 CA-CAP 测评的车辆

年份	生产单位	车型及配置
2022 年	奇瑞汽车股份有限公司	瑞虎 5X 超级英雄版 1.5L CVT 豪华版
	中国第一汽车集团有限公司	E-QM5 431km 充电 乐享版
	东风本田汽车有限公司	XR-V 1.5L CVT 舒适版
	重庆长安汽车股份有限公司	CS35 PLUS 蓝鲸 NE 1.4T DCT 豪华版
	浙江豪情汽车制造有限公司	缤越 1.4T DCT 铂金版
	一汽-大众汽车有限公司	ID.4 CROZZ 长续航 Pure+版
2023 年	肇庆小鹏新能源投资有限公司	P5 460G+
	广汽乘用车有限公司	GS8 两驱豪华智联版七座
	北京现代汽车有限公司	伊兰特 1.5L CVT GLX 精英版
	东风汽车有限公司	轩逸 1.6L CVT 悦享版
	长城汽车股份有限公司	H6 第三代 1.5T 自动两驱 Pro
	比亚迪汽车有限公司	海豹 550KM 冠军版精英型
	上汽通用汽车有限公司	E5 臻享标准续航版
2024 年	上海汽车集团股份有限公司	MG7 1.5T 至美豪华版
	一汽丰田汽车有限公司	卡罗拉 1.2T S-CVT 精英版

(续)

年份	生产单位	车型及配置
2024 年	零跑汽车有限公司	C11 300 舒享版
	重庆长安汽车股份有限公司	逸动 1.5T GDI 自动尊贵型
	北汽蓝谷麦格纳汽车有限公司	阿尔法 T5 520PRO
	广汽埃安新能源汽车股份有限公司	埃安 Y Younger 星耀版 磷酸铁锂

将测评车辆按品牌类别（合资/自主）、车型类别（轿车/SUV）、能源类别（燃油/新能源）和市场指导价的价格区间进行划分，各类别测评车辆分布情况如图 4-1 所示。

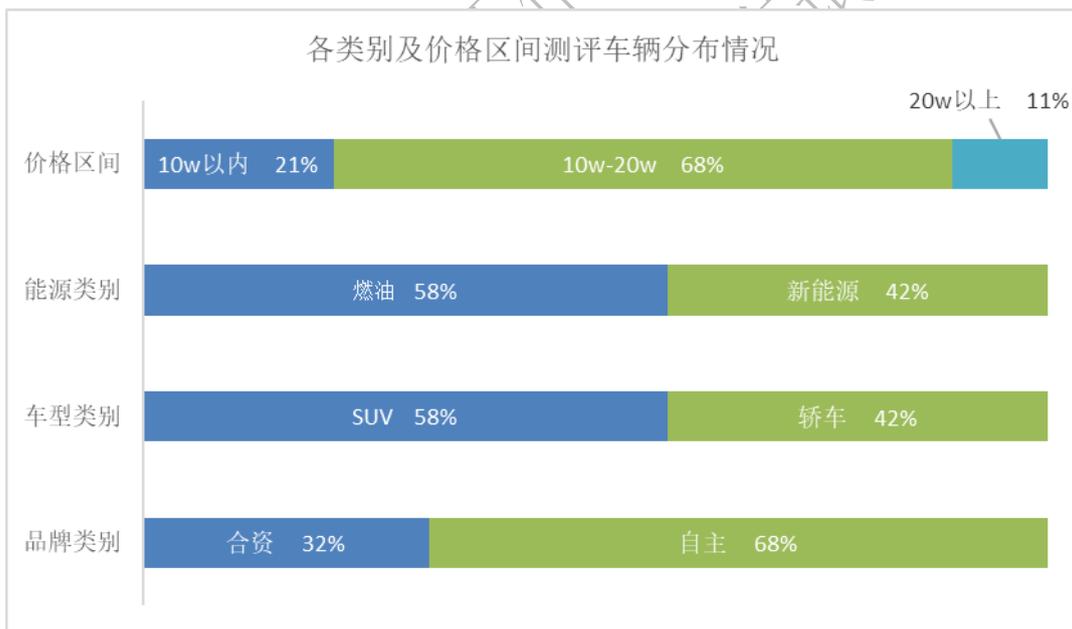


图 4-1 各类别及价格区间的测评车辆分布情况

价格区间方面，近 3 年测评车辆中市场指导价 10 万元以下的车辆共 4 辆，10 万元至 20 万元区间的车辆共 13 辆，20 万元以上的车辆共 2 辆。其中，10 万元至 20 万元区间内的车辆比例为 68%，占据大多数，据相关数据统计，此价格区间内的车型销量占比也是最高的。

能源类别方面，燃油车共 11 辆，新能源车共 8 辆，分别占比 58%、42%，据乘联会发布的最新数据显示，我国新能源车新车销量占比已经超过燃油车。为了顺应市场变化趋势，未来 CA-CAP 测评的车辆选择上应更多考虑新能源车。

车型类别方面，SUV 共 11 辆，轿车共 8 辆，分别占比 58%、42%，目前市场在售车辆，SUV 和轿车占据了大多数的份额，目前 3 年的测评车辆也是以 SUV 和轿车为主，为了提供更多差异化的性能对比，未来 CA-CAP 测评将会考虑选择 MPV、微型车等车型。

品牌类别方面，自主品牌共 13 个，合资车共 6 个，分别占比 68%、32%，据乘联会发布的数据显示，2024 年 1 月至 7 月自主品牌乘用车零售销量累计份额为 57%，相对去年同期增加 7.2 个百分点。考虑到我国汽车市场份额和汽车海外出口，未来 CA-CAP 测评仍应持续关注自主品牌的耐腐蚀性能。

4.2 测评综合得分分析

分别统计 2022 年至 2024 年全部测评车辆和不同类别的综合得分率，并进行分析。

1. 全部测评车辆的综合得分率

2021 版本的测评规则中，测评综合得分满分为 102 分，其中 5 星级分数线为 90 分（得分率 88.2%），为了方便对比分析，将综合得分分值转换为综合得分率，2022 年至 2024 年的测评车辆综合得分率见图 4-2 所示。

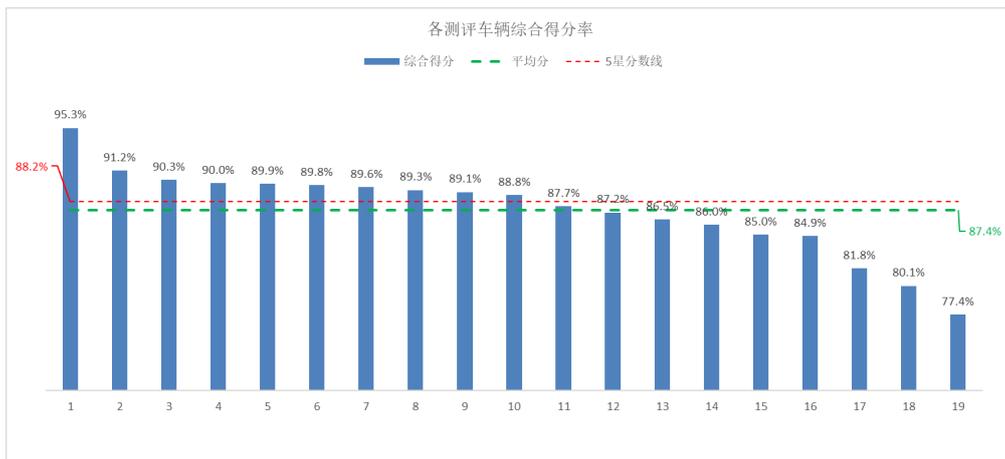


图 4-2 2022 年至 2024 年各测评车辆综合得分率

综合得分率最高值为 95.3%，最低值为 77.4%，不同的车辆综合得分存在较大差异，即不同车型之间的耐腐蚀性能存在较大差异。

平均综合得分率为 87.4%，有 11 款车型的综合得分率高于平均值，有 8 款车型的综合得分率低于平均值。

值得一提的是，在超过 5 星级分数线的车型中，除了最高值（95.3%）以外其他车型的得分率并无高出 5 星级分数线太多，且互相之间差距较小。

采用极端分组法对 19 款测评车辆的综合得分的区分度进行计算，计算结果区分度值为 0.53，达到“很好”水平，说明现行测评规则能很好地区分车辆的耐腐蚀性能。

总体而言，测评综合得分率较高，一方面说明我国汽车耐腐蚀性能较以往有较大提升；另一方面，从适应快速发展的国内外汽车市场的角度，需要考虑对测评的规则进一步修订和完善，试验方法或评价规则应更加严苛。

2. 各品牌类别平均综合得分率

将测评车辆分为自主品牌和合资品牌两大类，各品牌类别平均综合得分率见图 4-3。

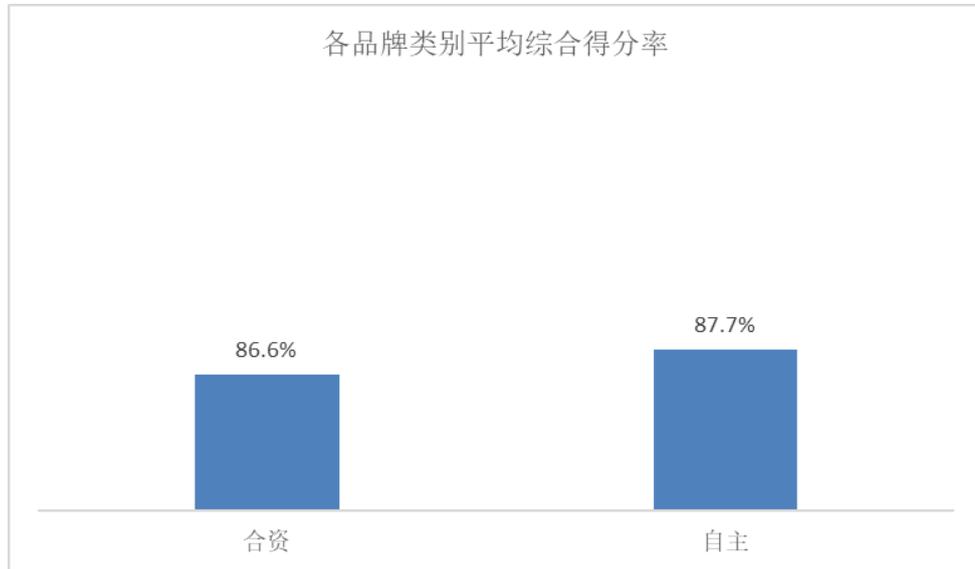


图 4-3 各品牌类别平均综合得分率

自主品牌测评综合得分率为 87.7%，合资品牌测评综合得分率为 86.6%，自主品牌表现稍微好于合资品牌。

结合常规的腐蚀试验数据，相比于合资品牌，自主品牌虽然在某些方面存在一定差距，但是随着自主品牌企业对汽车腐蚀问题越来越重视，防腐成本投入也越来越高，二者的差距正在逐步缩小，有些方面甚至优于合资品牌。

随着国内新能源汽车的发展，越来越多的自主品牌汽车开始采用铝合金甚至是碳纤维等轻量化材料，这些材料不仅能够有效减轻车身重量，防腐性能也优于普通的钢材，有效提升了车辆的耐腐蚀性能。

需要注意的是，自主品牌和合资品牌在综合得分在统计方面的差异性，与测评样本有关，不代表自主品牌汽车整体的耐腐蚀性能

已经优于合资品牌。

3. 各车型类别平均综合得分率

将测评车辆分为 SUV 和轿车两大类（目前测评的车型不涉及其他类别），各车型类别平均综合得分率见图 4-4。

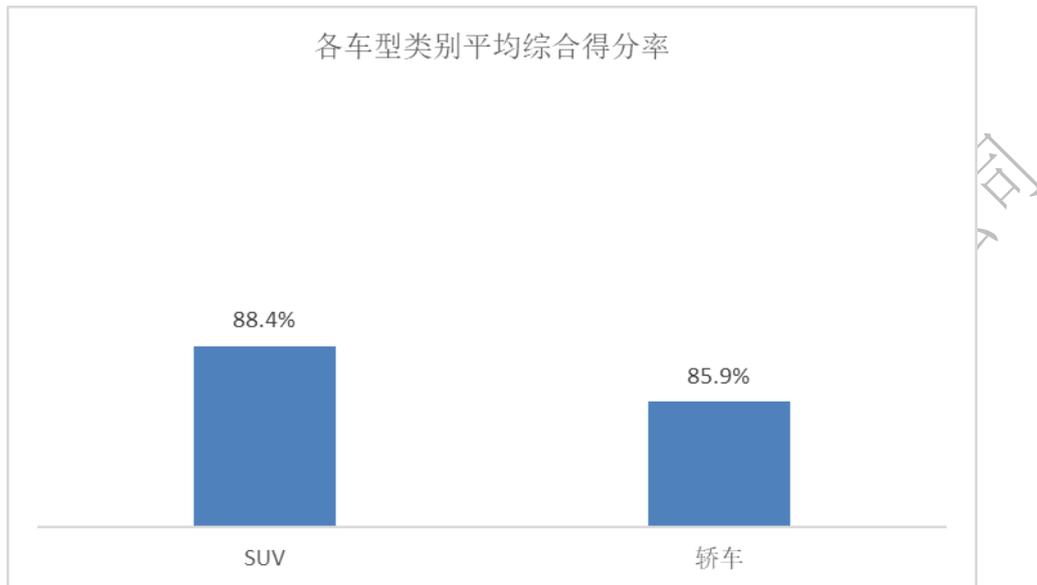


图 4-4 各车型类别综合得分率

SUV 综合得分率为 88.4%，轿车综合得分率为 85.9%，SUV 的综合得分率明显高于轿车。

SUV 综合得分率高于轿车，可能与汽车的结构有关，通常情况下，轿车相较于 SUV，离地间隙更低，车身底盘及下车身部位更容易遭受飞溅的砂砾和盐水的侵蚀。

4. 各能源类别平均综合得分率

将测评车辆分为燃油车和新能源车两大类，各能源类别平均综合得分率见图 4-5。

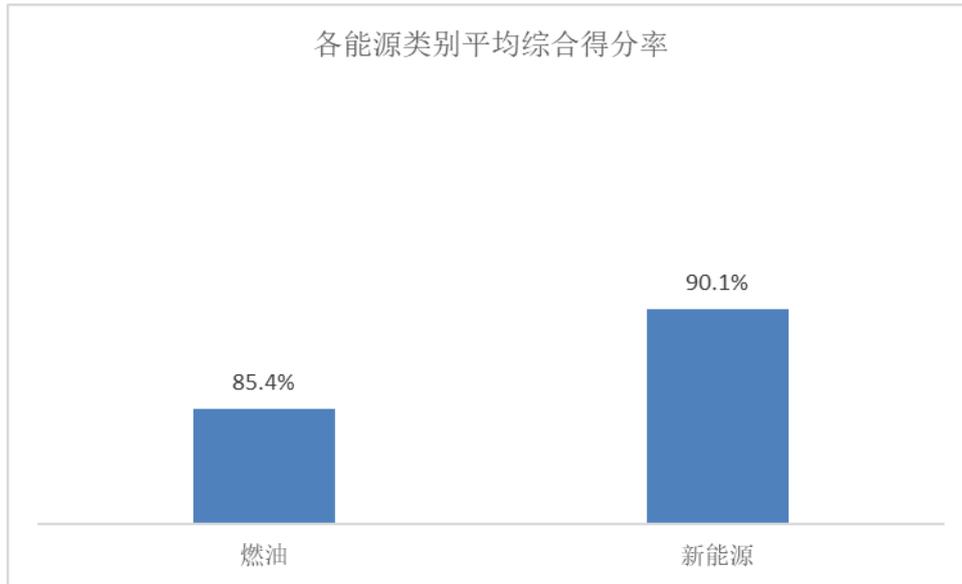


图 4-5 各能源类别平均综合得分率

燃油车综合得分率为 85.4%，新能源车综合得分率为 90.1%，新能源车的综合得分率明显高于燃油车。

新能源车综合得分率高于燃油车，与两方面有关：

①材料选用：新能源车更多地选用铝合金、镁合金等防腐性能较好的材料。

②结构特点：新能源车的结构更加简单，底盘大部分区域为电池组壳体，在做好电池组壳体表面防护和加装底盘护板的情况下，底盘区域裸露的面积较少，大大地减弱了碎石和盐水侵蚀的程度，有些新能源车机舱区域甚至 80% 以上的面积被护板覆盖，有效降低了腐蚀发生的频率。

5. 各价格区间平均综合得分率

按测评车辆的市场指导价，分为 10 万元以下、10 万元至 20 万元和 20 万元以上三个区间，各价格区间平均综合得分率见图 4-6。

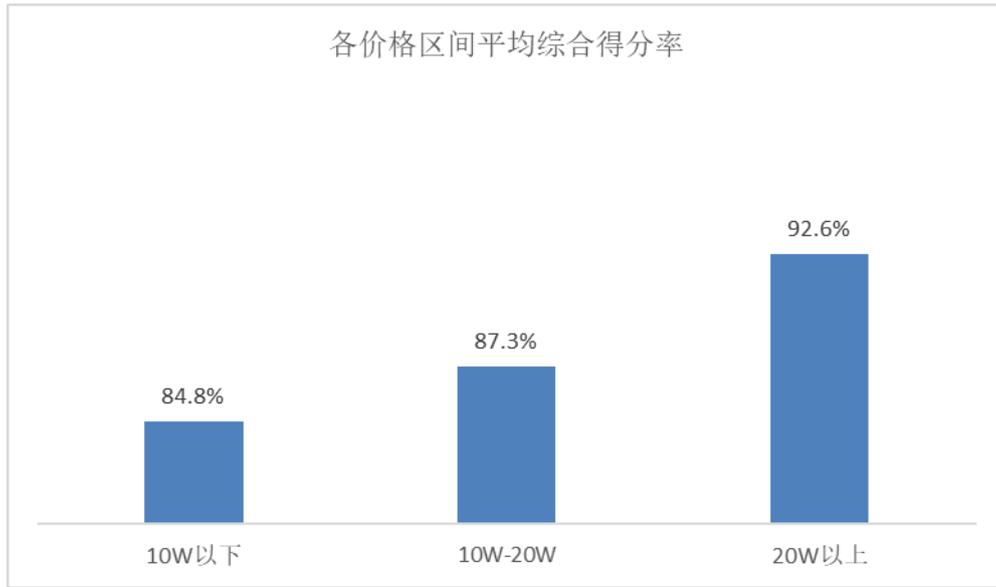


图 4-6 各价格区间平均综合得分率

10 万元以下综合得分率为 84.8%，10 万元至 20 万元综合得分率为 87.3%，20 万元以上综合得分率为 92.6%，综合得分率与指导价具有较强关联性。

汽车的防腐性能与防腐成本密切相关，通常情况下，市场定价较高的车型，防腐成本的投入也越大，测评结果也充分反映了这一点。生产企业需要在产品的市场定位、防腐成本和防腐性能三者之间，找到平衡点。

4.3 测评各指标得分分析

统计 2022 年至 2024 年测评车辆的外观、功能和划痕三项指标的得分率，并进行分析。

4.3.1 外观评价指标得分分析

统计分析各测评车辆的外观评价指标的得分率，30 循环和 60 循环不同评价节点的得分率变化，及不同类别的得分率情况。

一、各测评车辆外观评价指标得分率

各测评车辆外观得分率见图 4-7。

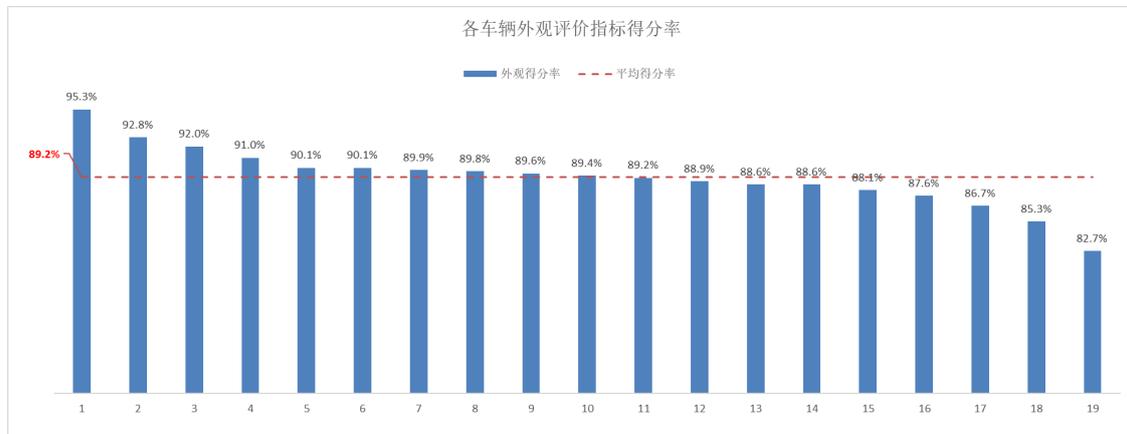


图 4-7 各测评车辆外观得分率

外观评价指标得分率最高值为 95.3%，最低值为 82.7%，平均值为 89.2%，其中有 10 款车型的外观得分率高于平均值，有 8 款车型的外观得分率低于平均值，有 1 款车型的平均得分率与平均值持平，不同车辆的外观得分率之间存在较大差异。

外观评价指标是影响综合得分的重要指标，该指标得分率与汽车的材料选用、结构设计和生产工艺密切相关。

二、各评价节点不同类别零件的扣分情况

CA-CAP 测评的外观评价分为 30 循环、60 循环两个节点，根据零件的腐蚀程度，评价腐蚀等级，再进行分值转换，进而计算其不同节点的扣分值，最后根据不同评价节点的分值计算其加权分值。

1. 外观评价指标各类别零件平均数量占比

依据 2021 版本测评规则，将外观评价指标中的外观考核零件分为“高”“中”“低”三个不同类别，各类别零件分布情况见图 4-8。

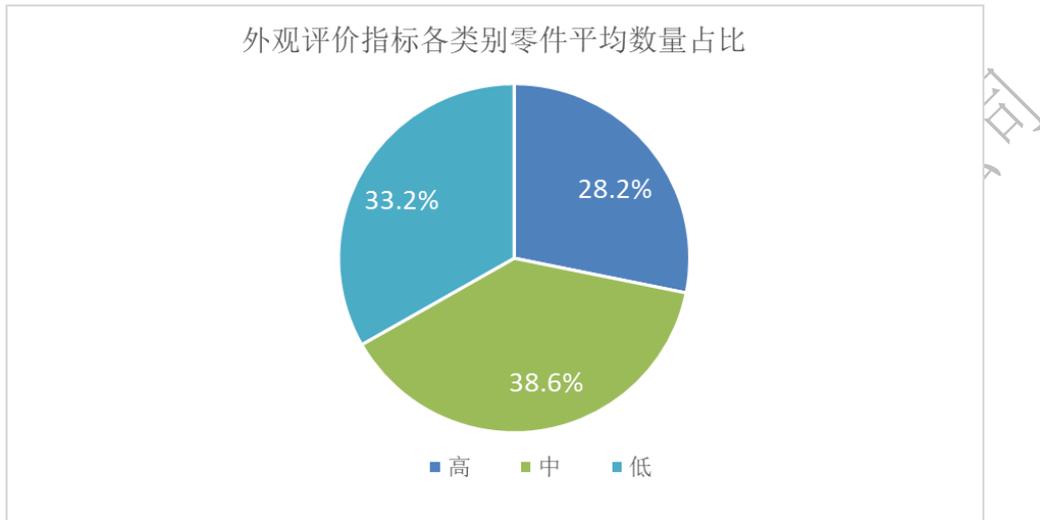


图 4-8 外观评价指标各类别零件平均数量占比

外观评价指标中，“高”类别零件平均数量占比为 28.2%，“中”类别零件平均数量占比为 38.6%，“低”类别零件平均数量占比为 33.2%，三种类别的零件平均数量约各占三分之一。

2. 各车辆不同类别零件平均扣分值

各车辆的不同类别零件第 30 循环、60 循环的平均扣分情况见图 4-9，各车辆不同评价节点的扣分情况见图 4-10 至图 4-12。

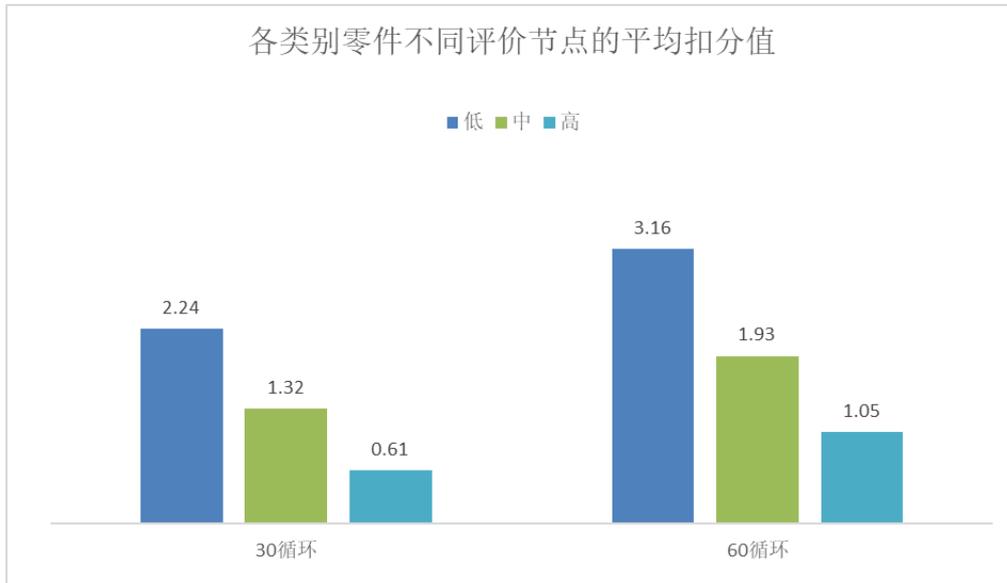


图 4-9 各类别零件不同评价节点的平均扣分值

不同的评价节点中，三个类别的零部件的平均扣分值趋势一致，按扣分值大小排序为“低” > “中” > “高”。“高”类别零件大多分布在车身及附件系统、制动系统，该类别零件生产企业普遍重视程度较高，防腐成本也较高，因此耐腐蚀性能普遍上要好很多，“低”类别零件大多分布在底盘区域，该类别零件由于更容易遭受碎石和盐水侵蚀，且防腐成本投入较低，因此腐蚀程度更严重。

随着强化腐蚀试验的进行，零件的腐蚀发生频率和严重程度逐步上升，第 60 循环评价节点的扣分值较第 30 循环节点有较大增幅。

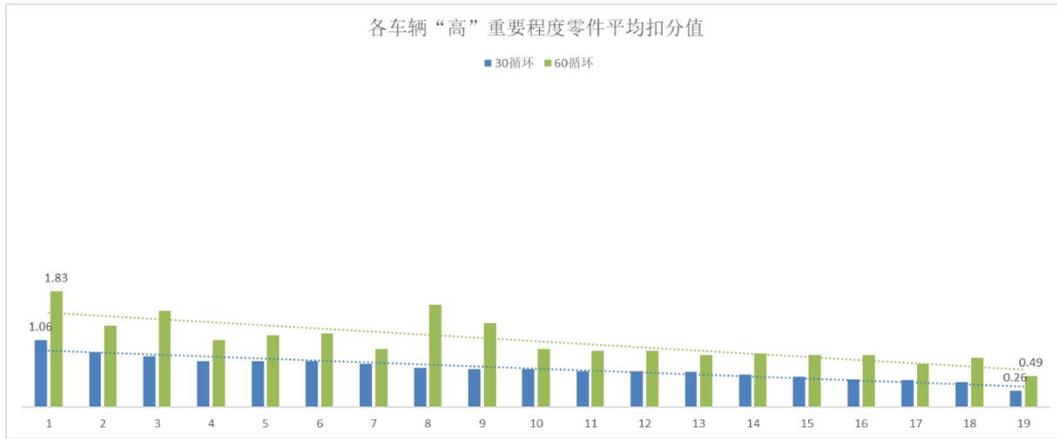


图 4-10 各车辆“高”类别零件平均扣分值

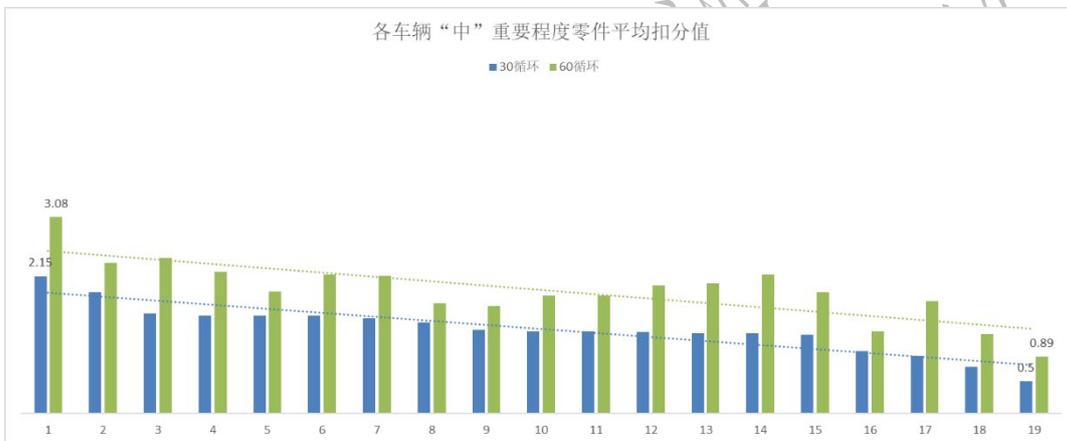


图 4-11 各车辆“中”类别零件平均扣分值



图 4-12 各车辆“低”类别零件平均扣分值

“高”类别零件中，第 30 循环最大扣分值为 1.06、最小扣分值为 0.26，第 60 循环最大扣分值为 1.83、最小扣分值为 0.49，总体而

言，扣分值处于比低的水平。

“中”类别零件中，第 30 循环最大扣分为 2.15、最小扣分为 0.50，第 60 循环最大扣分为 3.08、最小扣分为 0.89，总体而言，扣分值介于“高”和“低”之间。

“低”类别零件中，第 30 循环最大扣分为 3.40、最小扣分为 1.28，第 60 循环最大扣分为 4.52、最小扣分为 1.69，总体而言，扣分值处于较高水平。

不同车辆之间，各类别零件的扣分值存在较大的差异，以“中”类别为例，最大扣分值是最小扣分值的 4.3 倍。

比较三种类别的零件扣分值，第 30 循环和 60 循环的变化趋势大体一致。扣分值增加幅度方面，三种类别零件的排序为：“高” < “中” < “低”，即越容易发生腐蚀的零件，随着试验的进行，腐蚀程度也越来越严重。

4.3.2 功能评价指标得分分析

统计分析各测评车辆的功能评价指标的得分率及不同故障等级的分布情况，由于功能评价是在试验全周期内进行的，因此不作评价节点区分。

一、各测评车辆功能评价指标得分率

各测评车辆功能评价指标得分率见图 4-13。

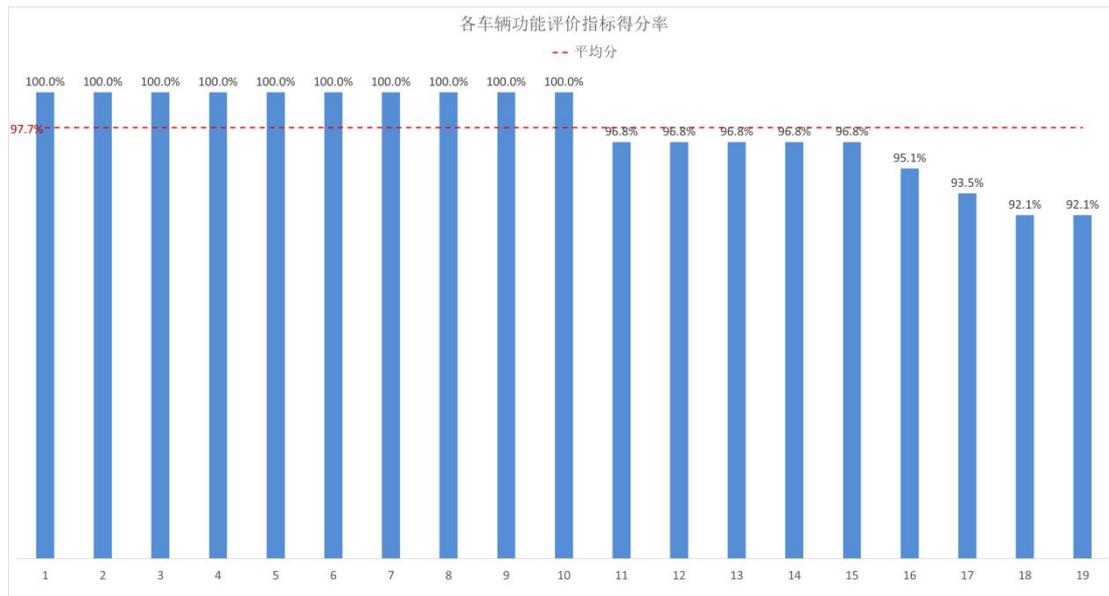


图 4-13 各车辆功能评价指标得分率

各车辆功能评价指标得分率最高值为 100%，最低为 92.1%，平均值为 97.7%，其中 10 款车型高于平均值，9 款车型低于平均值，有 10 款车型该指标得分率为 100%。

总体而言，所有车型的功能评价指标得分率差异不大，功能评价指标不是影响综合评价得分率的最主要因素。

二、功能评价指标综合风险等级分布情况

功能故障从严重性、可能性两方面进行评估，根据功能故障的严重性和可能性，判断综合风险等级。2022 年至 2024 年的测评车辆功能评价不同等级分布情况分别见图 4-14 至图 4-16。

1. 功能故障各严重性等级发生频率

测评车辆各严重性等级发生的频率见图 4-14。

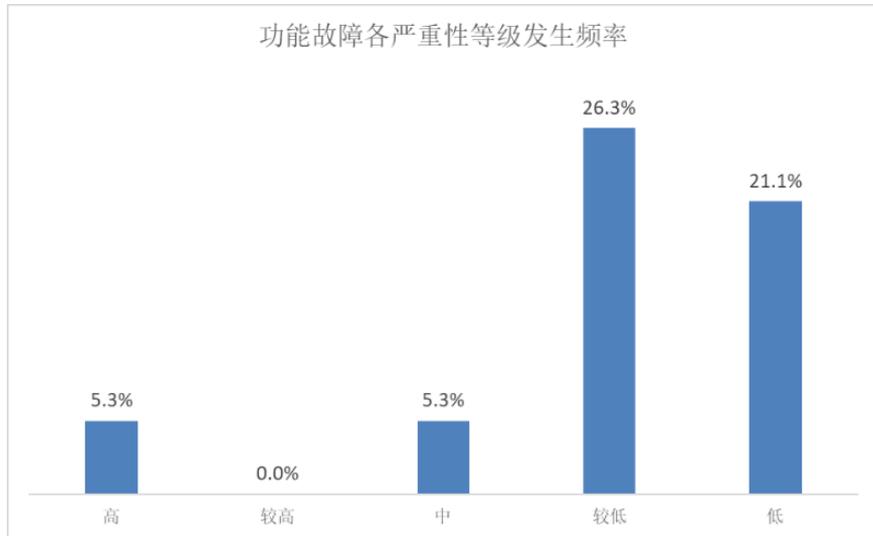


图 4-14 功能故障各严重性等级发生频率

各功能故障严重性等级的发生频率分为：“高”为 5.3%，“较高”为 0.0%，“中”为 5.3%，“较低”为 26.3%，“低”为 21.1%，测评车辆大部分功能故障的严重性等级集中在“较低”和“低”两个等级。“较低”严重性等级的故障如起动机卡死失效，“低”严重性等级的故障如燃油加注口盖板无法自动弹开。

由于当前测评车辆样本有限，功能故障更多详细数据统计及典型案例参考第 5 章内容。

2. 功能故障各可能性等级发生频率

测评车辆各可能性等级发生的频率见图 4-15。

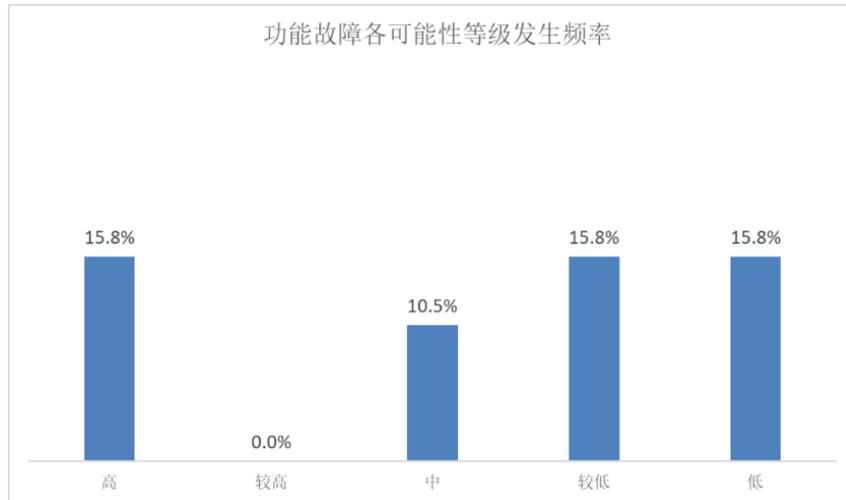


图 4-15 功能故障各可能性等级发生频率

各功能故障可能性等级的发生频率分为：“高”为 15.8%，“较高”为 0.0%，“中”为 10.5%，“较低”为 15.8%，“低”为 15.8%，除了“较高”可能性等级以外，其余四个等级发生频率相对分布均匀。

可能性等级由功能故障出现的时间节点确定，从测评结果来看，功能故障出现的时间并不集中在某个区间，而是在试验全周期内均有发生，因此功能评价指标作为衡量整车耐腐蚀性能的一个重要指标，评价的节点仍以试验全周期考核为宜。

3. 功能故障各综合风险等级分布

测评车辆各功能故障综合风险等级分布情况见图 4-16。

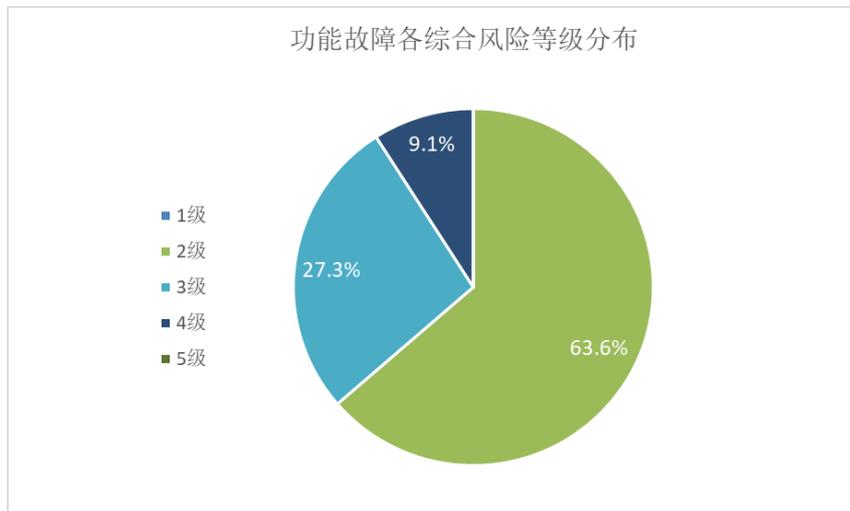


图 4-16 功能故障各综合风险等级分布

各功能故障综合风险等级分布情况：“1级”为0.0%，“2级”为63.6%，“3级”为27.3%，“4级”为9.1%，“5级”为0.0%，功能故障综合风险等级主要分布在2级和3级。

4.3.3 划痕评价指标得分分析

统计分析各测评车辆的划痕评价指标的得分率，及不同划痕区域的扣分情况。划痕评价在试验的第30循环进行。

一、各测评车辆划痕评价指标得分率

各测评车辆划痕评价指标得分率见图4-17。

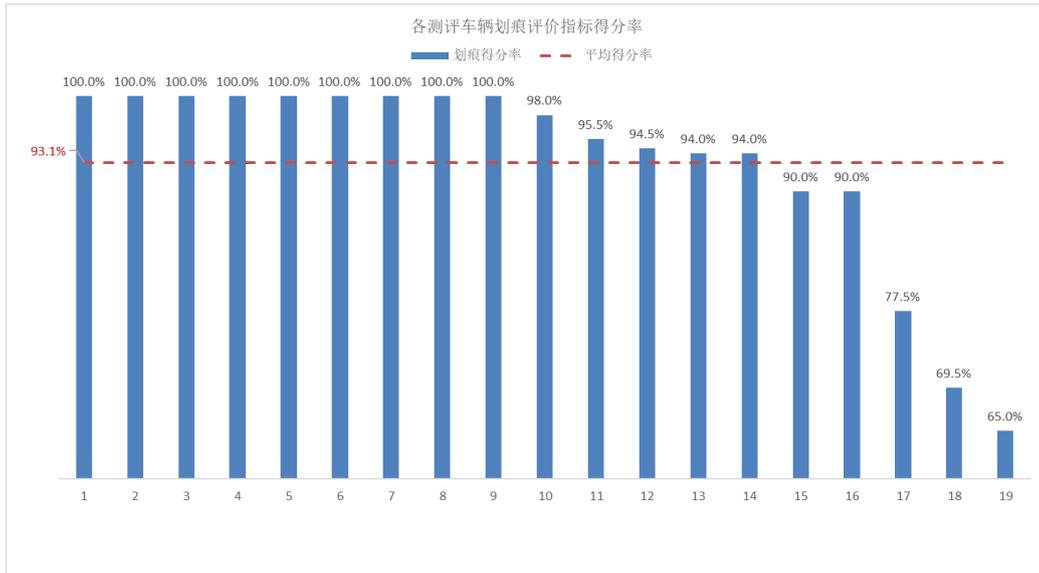


图 4-17 各测评车辆划痕评价指标得分率

各测评车辆划痕评价指标得分率最高值为100%，最低值为65.0%，平均值为93.1%，其中有14款车型得分率高于平均值，有5款车型得分率低于平均值，有9款车型得分率达到100%。

最高值与最低值之间存在较大差异，但除了最低的两个数值以外，其余车型的得分率差异不大，总体而言，得分率比较高。

划痕评价指标得分率与车身各区域（车门、翼子板、机舱盖、行李箱盖和顶盖）的基材选择密切相关，总体上较高的得分率说明车身的防腐得到各生产企业的普遍重视，大量地选用了镀锌板等耐腐蚀性能较好的基材。

二、车身各区域划痕扣分情况

统计分析车身各区域、各类别车辆的划痕评价表现。

1. 车身各区域划痕评价平均扣分率

车身各区域划痕评价平均扣分率见图 4-18。

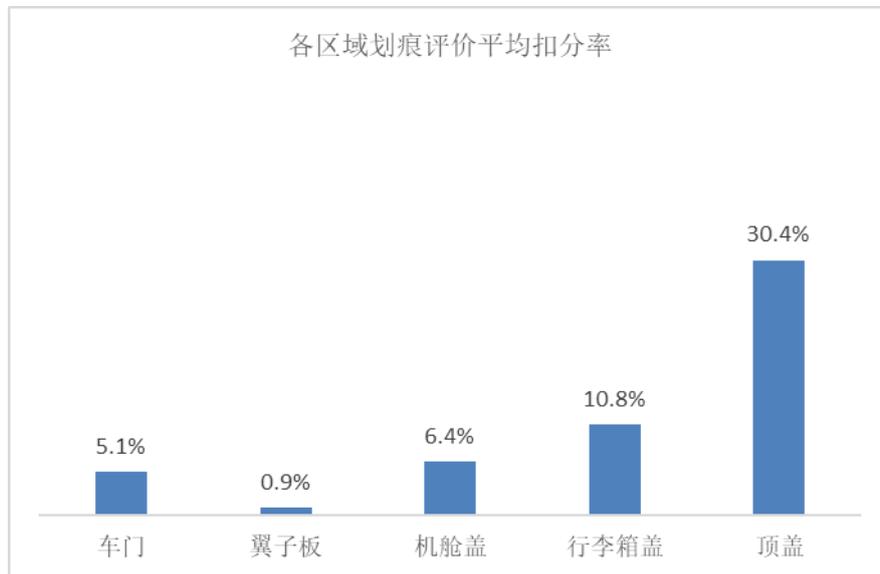


图 4-18 车身各区域划痕评价平均扣分率

翼子板的表现最好，其次是车门，顶盖的最差，各区域平均扣分率按从低到高的排序为：翼子板 < 车门 < 机舱盖 < 行李箱盖 < 顶盖。不同区域的表现差异较大，扣分率最大值约为最小值的 30 倍。

从测评结果来看，翼子板和车门各企业的重视程度和防腐成本投入较大，普遍选用耐腐蚀性能较好的基材，因此该两个区域的划痕扩蚀量都较小，而顶盖区域则是腐蚀防护的“低洼地”，采用镀锌板等耐腐蚀性能较好的基材普遍较少，因此扣分率较高。

2. 各品牌类别车身划痕平均扣分率

各品牌类别车身划痕平均扣分率见图 4-19。

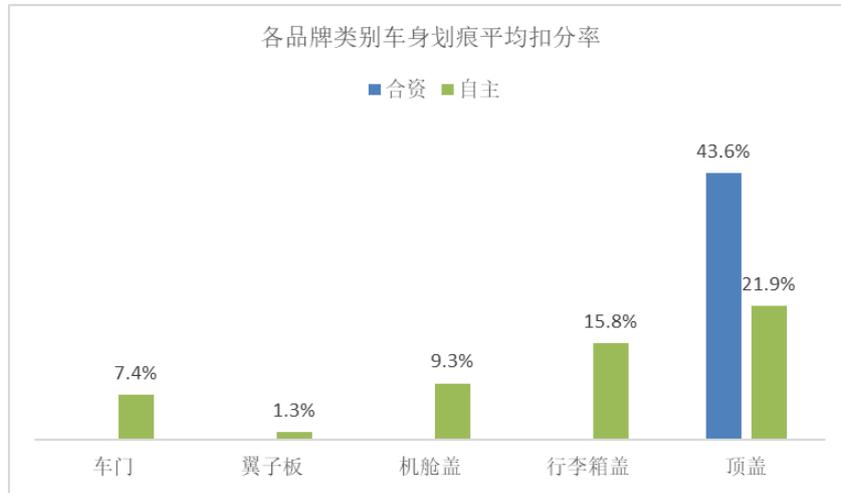


图 4-19 各品牌类别车身划痕平均扣分率

合资品牌方面，翼子板、车门、机舱盖和行李箱盖的平均划痕扣分率为 0%，顶盖平均扣分率为 43.6%。

自主品牌方面，各区域平均扣分率：翼子板为 1.3%，车门为 7.4%，机舱盖为 9.3%，行李箱盖为 15.8%，顶盖为 21.9%。

在翼子板、车门、机舱盖和行李箱的区域，合资品牌明显好于自主品牌，但是在顶盖区域，合资品牌的评价扣分率却高于自主品牌，这可能与产品定位和成本控制方面有关。

3. 各车型类别车身划痕平均扣分率

各车型类别车身划痕平均扣分率见图 4-20。

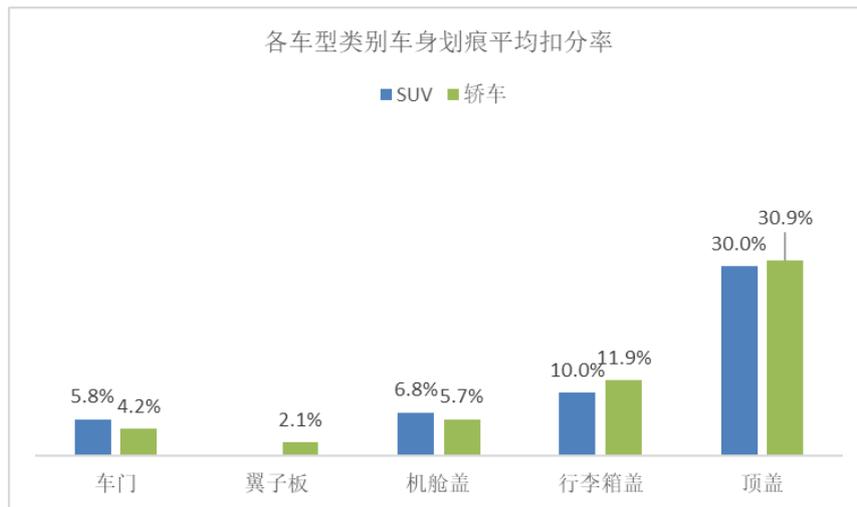


图 4-20 各车型类别车身划痕平均扣分率

总体而言，SUV 和轿车在车身划痕平均扣分率方面无明显差异性，各个区域的扣分分布情况大体一致，说明划痕评价指标的扣分率与车型关系不大。

4. 各能源类别车身划痕平均扣分率

各能源类别车身划痕平均扣分率见图 4-21。

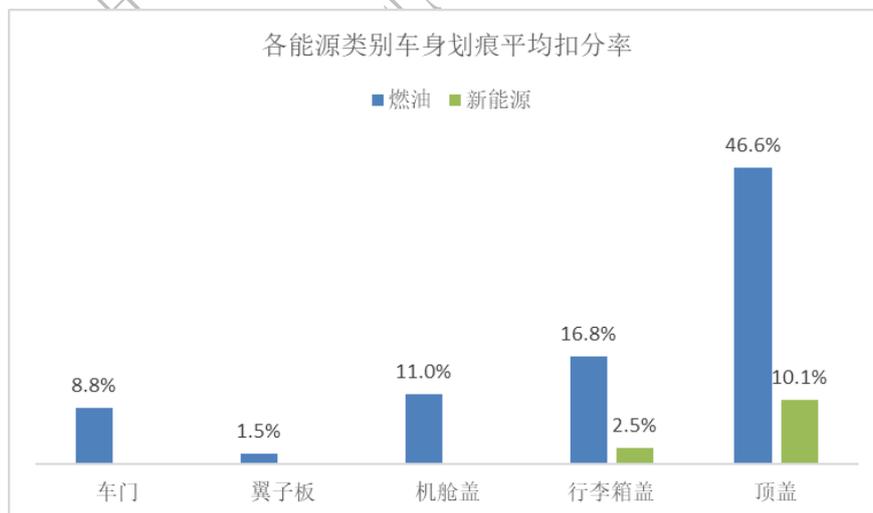


图 4-21 各能源类别车身划痕平均扣分率

燃油车方面，各区域平均扣分率最低值为翼子板的 1.5%，最大值为顶盖的 46.6%，不同区域之间存在较大的差异。

新能源车方面，翼子板、车门和机舱盖的扣分率均为 0%，最大值为顶盖的 10.1%，除了顶盖区域扣了较少的分以外，其他区域基本上不扣分。

总体而言，新能源车划痕平均扣分率要明显低于燃油车，尤其是顶盖区域，燃油车顶盖区域的划痕平均扣分率高达 46.6%，远高于新能源车的平均扣分率，这与新能源车的车身区域大量使用镀锌板等耐腐蚀性能较好的基材有关。

5. 各价格区间车身划痕平均扣分率

各价格区间车身划痕平均扣分率见图 4-22。

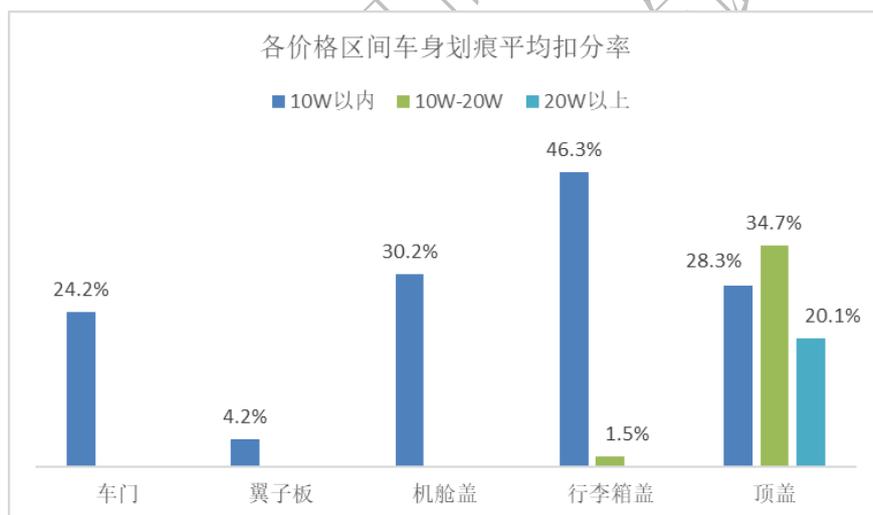


图 4-22 各价格区间车身划痕平均扣分率

10 万元以下价格区间：除了翼子板较少以外，其余区域的扣分率都比较高。

10 万元至 20 万元价格区间：车门、翼子板和机舱盖为 0%，行李箱盖为 1.5%，顶盖为 34.7%。

20 万元以上价格区间：车门、翼子板、机舱盖和行李箱盖为 0%，顶盖为 20.1%。

总体而言，划痕评价平均扣分率与指导价密切相关，价格区间越高，则扣分率越低。价格区间 10 万元以上的测评车辆，除了顶盖区域，其他车身区域的划痕平均扣分率较低或者未产生扣分。

4.4 测评星级评定情况

2021 年版本测评规则综合得分满分为 102 分，根据测评车辆的综合得分分值，将测评结果分为 0 星级至 5 星级共 6 个档次（星级评定规则如表 3-14 所示）。

1. 测评总体星级分布情况

2022 年至 2024 年共完成 19 款车型测评，总体星级分布情况见图 4-23。

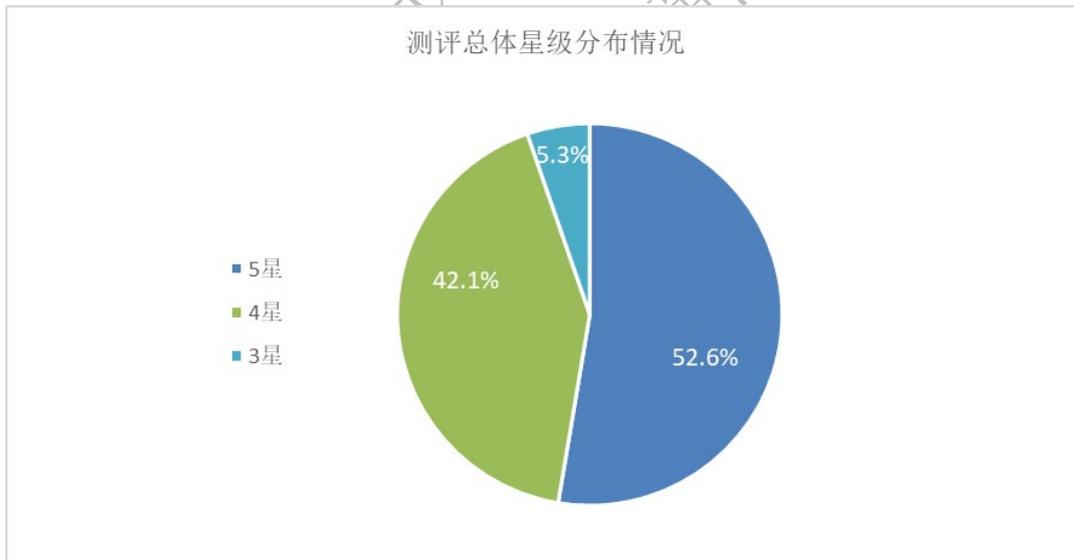


图 4-23 测评总体星级分布情况

全部测评车辆中，5 星级车型共 10 款，占比 52.6%，4 星级车型共 8 款，占比 42.1%，3 星级车型共 1 款，占比 5.3%。

测评星级分布主要集中在 5 星级和 4 星级，二者合计占比约 95%。

测评结果显示，5 星级车型比例超过一半，从引领行业技术进步和精益求精的角度，在新版本的测评规则修订时应考虑增加评价难度，以达到更好的区分度。

1. 各品牌类别星级分布情况

各品牌类别星级分布情况见图 4-24。

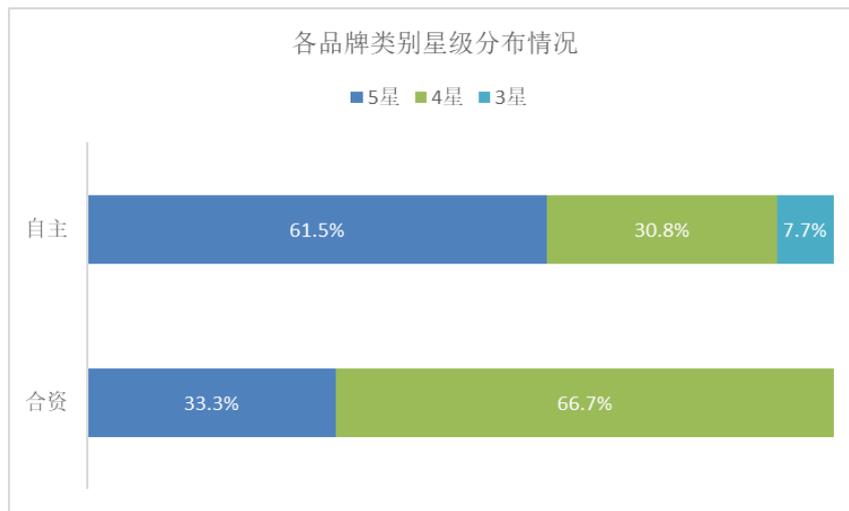


图 4-24 各品牌类别星级分布情况

5 星级占比：自主品牌 > 合资品牌；5 星级以下占比：自主品牌 < 合资品牌。

需要指出的是，受测评样统计样本限制，自主品牌 5 星级比例高于合资品牌，不代表自主品牌整体上防腐蚀性能已经超过合资品牌。

2. 各车型类别星级分布情况

各车型类别星级分布情况见图 4-25。

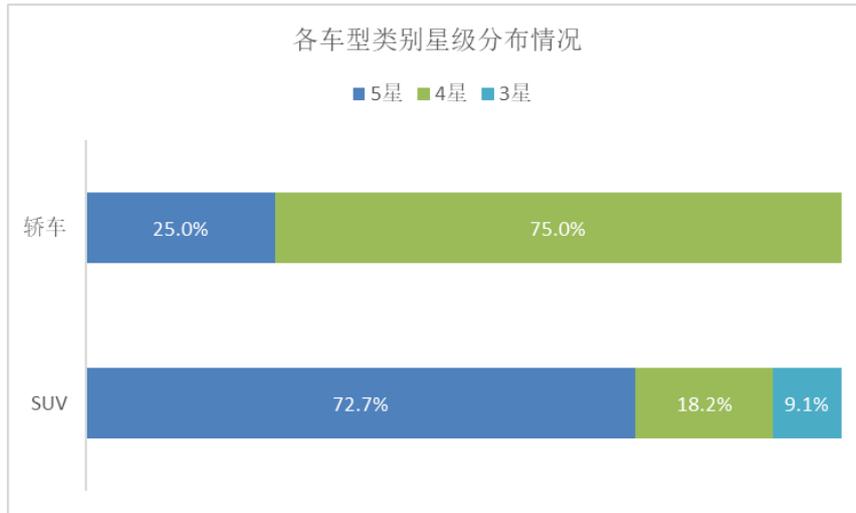


图 4-25 各车型类别星级分布情况

5 星级车在轿车中占比为 25.0%，在 SUV 中占比为 72.7%，SUV 中 5 星级占比要高于轿车。

3. 各能源类别星级分布情况

各能源类别星级分布情况见图 4-26。

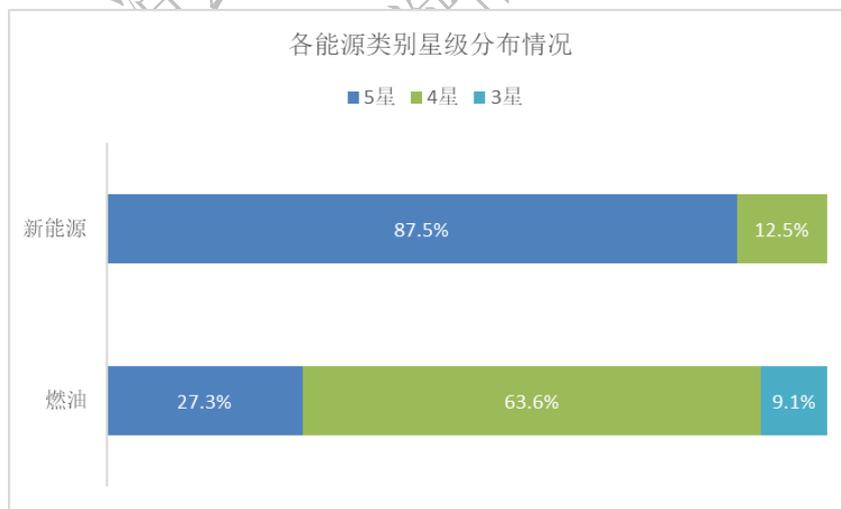


图 4-26 各能源类别星级分布情况

5 星级车在新能源车中占比为 87.5%，在燃油车中占比为 27.3%，新能源车 5 星级占比要明显高于燃油车，原因分析如前文所述。

4. 各价格区间星级分布情况

各价格区间星级分布情况见图 4-27。

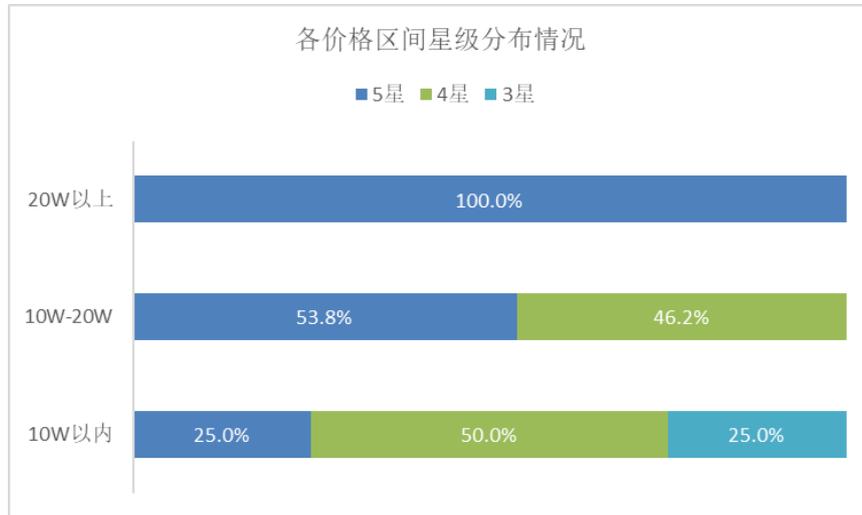


图 4-27 各价格区间星级分布情况

各价格区间内的 5 星级占比：20 万元以上价格区间中占比为 100%，10 万元至 20 万元之间价格区间占比为 53.8%，10 万元以下价格区间占比为 25.0%，随指导价的增长，5 星级占比也越来越大。

第 5 章 汽车腐蚀试验数据统计及典型案例分析

5.1 汽车系统分类

汽车由成千上万个零件组合而成，为了便于统计和分析，将汽车分为动力总成系统、行驶系统、制动系统、转向系统、传动系统、车身及附件、热管理系统、电子电气系统和辅助驾驶系统 9 大类，汽车系统分类说明见表 5-1。

表 5-1 汽车系统分类说明

序号	系统类别	说明
1	动力总成系统	动力总成指的是车辆上产生动力的一系列零部件，按燃油车和新能源车分为两大类： 1.燃油车：发动机本体、曲柄连杆机构、配气机构、润滑系统、燃料系统、进气系统、排气系统、点火系统、增压装置、悬置支架、冷却系统（发动机本体部分）等。 2.新能源车：发电单元（增程器与发电机）、动力电池、电驱动单元（电机、逆变器与控制器）。
2	行驶系统	由车架、车桥、悬架和车轮等部分组成，它的基本功用是支撑全车质量并保证汽车的行驶。
3	制动系统	制动系统包含制动油管、刹车器、制动液、制动盘和制动片等，作用主要是：使行驶中的汽车按照驾驶员的要求进行强制减速甚至停车；使已停驶的汽车在各种道路条件下（包括在坡道上）稳定驻车；使下坡行驶的汽车速度保持稳定。
4	转向系统	转向系统用于控制车辆的转向，包含转向节、转向盘、转向横拉杆、转向机等。
5	传动系统	将动力传递到车辆的驱动轮上，使车辆能够行驶的关键系统，传动系统包括变速器、离合器、驱动轴、传动轴和差速器等。
6	车身及附件	汽车车身的作用主要是保护驾驶员以及构成良好的空气力学环境。汽车车身构成部件包括车身壳体、四门两盖、翼子板、前围板、车窗、车身内外装饰、车身附件、座椅等。
7	热管理系统	包含通风、暖气、压缩机、热泵、PTC、电子风扇、冷却系统（发动机本体以外部分）等相关组件。

(续)

序号	系统类别	说明
8	电子电器系统	车体电子控制装置和车载电子控制装置的总称： 1.车体电子控制装置：包括电子控制单元 ECU、底盘控制系统和车身电子控制系统、传感器、微处理器 MPU、执行器、电控系统。 2.车载电子控制装置：包括蓄电池、发电机、调节器、仪表、照明装置、音响装置、雨刷器等组成。
9	辅助驾驶系统	辅助驾驶系统提供驾驶过程中的辅助功能，增加安全性、便利性和舒适性，包含智能驾驶、巡航控制、自动泊车、倒车影像等。

5.2 腐蚀试验外观数据统计及典型案例分析

5.2.1 腐蚀试验外观数据统计

为了方便研究，本报告对 2022 年至 2024 年的 CA-CAP 测评数据进行整理、分析，为行业提供参考。

1. 在第 30 循环的评价节点，发生腐蚀频率较高、较低的零部件对统计样本中的所有车型的外观考核项的测评数据进行整理，根据发生腐蚀的频率进行排序，图 5-1 为发生腐蚀频率较高的 20 个零部件（由高到低排序），图 5-2 为发生腐蚀频率较低的 20 个零部件（由低到高排序）。

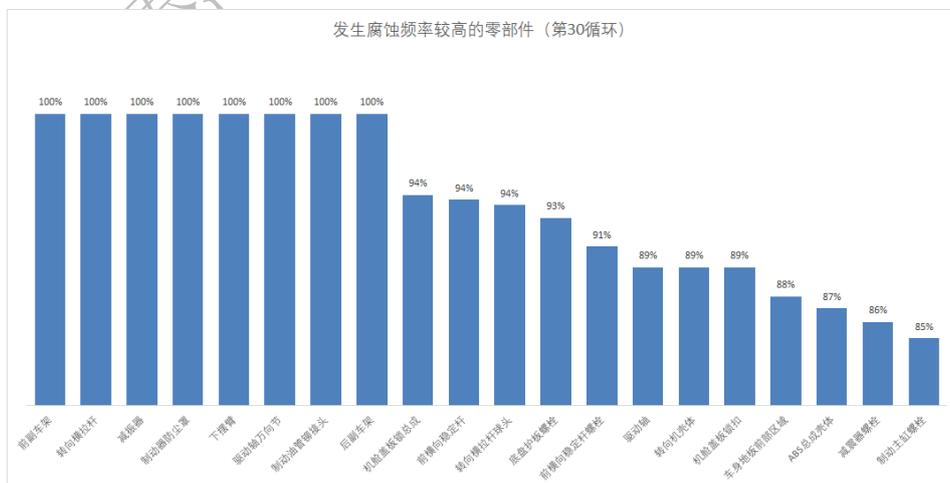


图 5-1 发生腐蚀频率较高的零部件

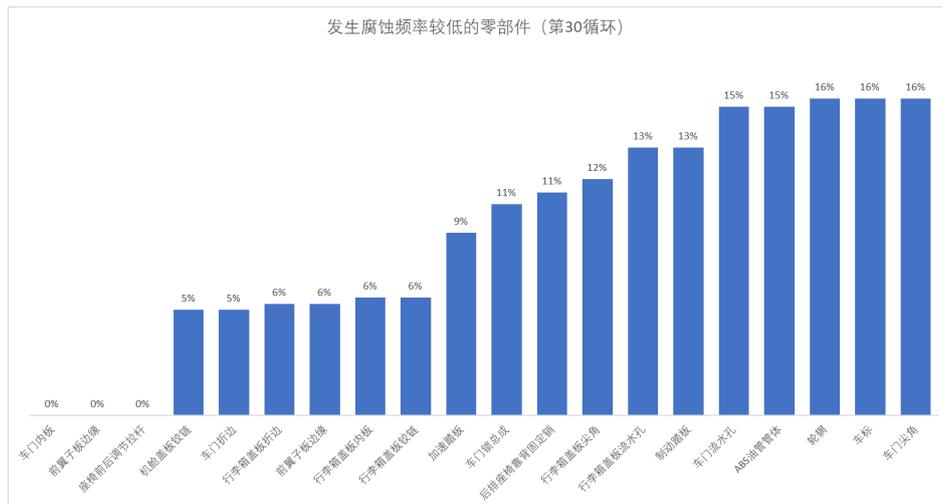


图 5-2 发生腐蚀频率较低的零部件

发生腐蚀频率较高的零件，主要集中在底盘区域，其中副车架、转向横拉杆、减振器和制动器防尘罩等零件发生频率高达100%。

发生腐蚀频率较低的零件，主要集中在车身及附件区域，其中前翼子板边缘、车门内板、座椅前后调节拉杆这些零件在所有测评车中未发生腐蚀。

两个“极端”的零部件发生腐蚀频率差异性较大，可能原因：

①底盘区域频繁遭受碎石击打和盐水飞溅，腐蚀环境较为恶劣，而车身及附件腐蚀环境相对较好。

②底盘区域零件结构相对更加复杂，且零件的材料、工艺等方面相对耐腐蚀性能较差。

2.高、低腐蚀频率零部件平均等级

分别对第30循环评价节点中发生腐蚀频率较高和较低的零部件的腐蚀等级数据进行整理，研究和分析其在第60循环评价节点的腐蚀情况，见图5-3和图5-4。

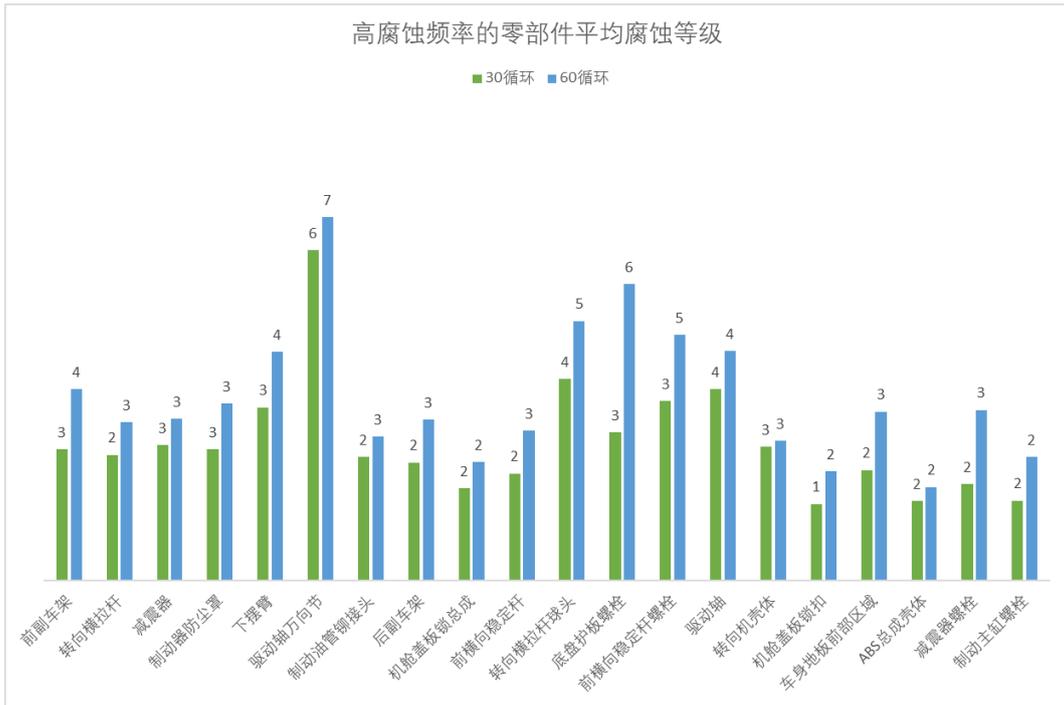


图 5-3 高腐蚀频率的零部件平均腐蚀等级

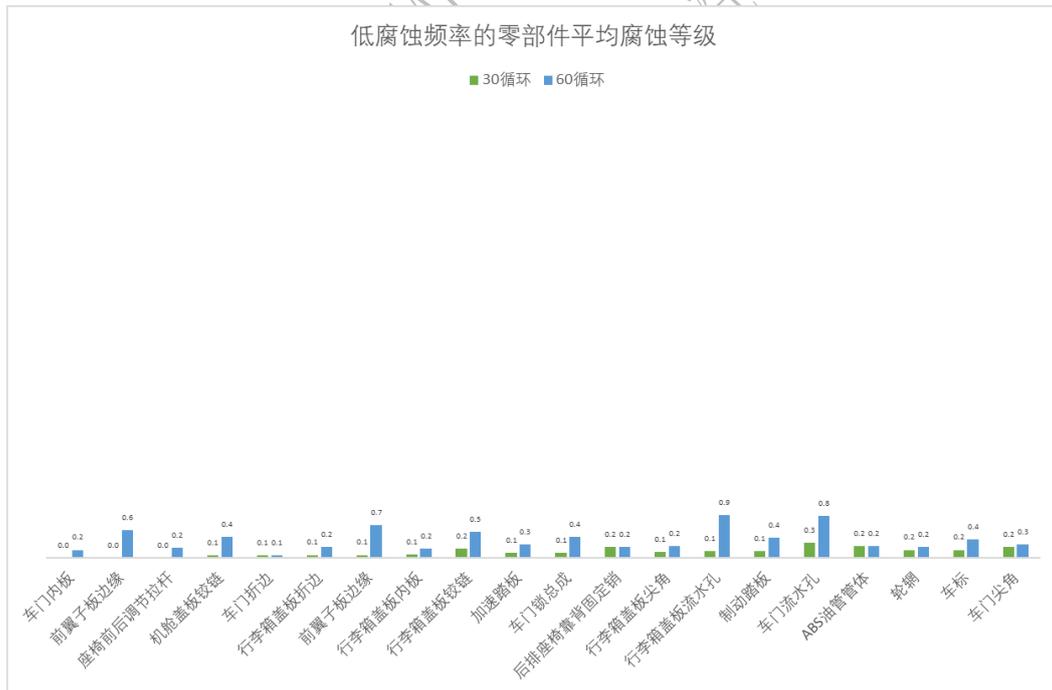


图 5-4 低腐蚀频率的零部件平均腐蚀等级

高腐蚀频率零件不光发生频率远高于低腐蚀频率零件，平均腐蚀等级也明显较高，在相同条件下，越容易发生腐蚀的零件，腐蚀程度越严重。

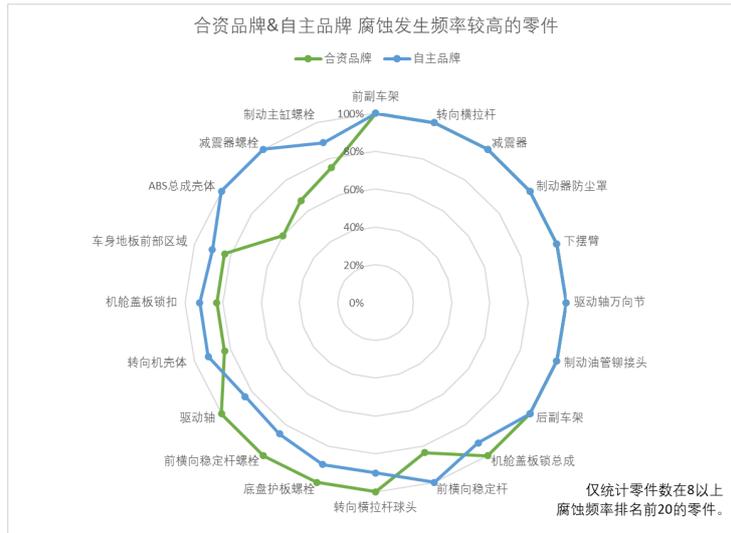


图 5-6 合资品牌&自主品牌 腐蚀发生频率较高的零件

需要指出的是，统计结果与样本是密切相关的。在发生腐蚀频率较高的零件中，不同类别车型的差异性不大，零件腐蚀严重程度主要与零件耐腐蚀性能和腐蚀环境相关。不同类别车型发生腐蚀频率较高的零件大多集中在底盘及下车身区域，如副车架、驱动轴万向节、下摆臂等零部件。

4.各系统平均腐蚀等级

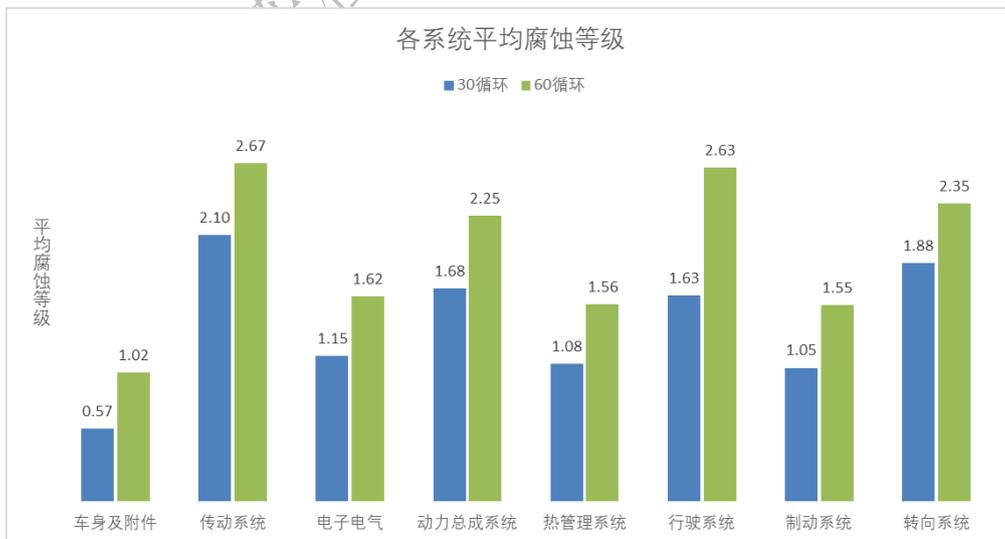


图 5-7 各系统平均腐蚀等级

统计发现，车身及附件系统腐蚀等级较低，可能与该系统零件腐蚀防护设计等级较高且所处腐蚀环境相对较好有关。

传动系统、行驶系统、转向系统等零件腐蚀等级较高，这几个系统的零件大多集中在底盘区域，腐蚀环境相对恶劣，且零件的材料、工艺等方面相对耐腐蚀性能较差。

5.2.2 腐蚀试验外观问题典型案例分析

汽车腐蚀的问题中，外观是最容易引起用户关注的问题，用户投诉和抱怨也大多集中在外观的腐蚀方面。为了便于给行业提供参考，有效指导行业防腐技术的提升，促进行业技术进步，列举了汽车腐蚀试验中的外观腐蚀问题典型案例，并进行简要分析，见表 5-2。

表 5-2 腐蚀试验外观问题典型案例分析

序号	案例分析	
1	零件名称	前副车架
	照片示例	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>试验前</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>试验后</p>  </div> </div>
	腐蚀等级	红锈腐蚀 7 级
	原因分析	<p>1.石击造成涂层破损。</p> <p>2.冲压钣金焊接表面处理不当，焊缝处的杂质、氧化物进入焊接区域，导致电泳效果不良，且锐边位置出现刀片效应，更容易腐蚀。</p> <p>3.副车架一般采用二氧化碳保护焊，焊缝一般较多氧化皮，会影响电泳效果。</p>

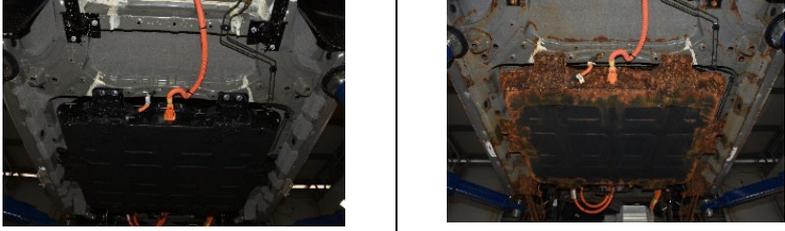
(续)

序号	案例分析			
1	优化建议	1.考核涂层厚度,优化抗石击能力。 2.焊缝位置可以通过打磨、电解抛光、酸洗等方式去除氧化物和其他杂质,然后再进行防腐处理。 3.二氧化碳保护焊焊缝建议进行打磨或抛丸等处理。		
2	零件名称	驱动轴		
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> 试验前  </td> <td style="text-align: center;"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
	腐蚀等级	红锈腐蚀 8 级		
	原因分析	前处理工艺不完善,造成膜下锈蚀,由于膜下腐蚀产物逐渐膨胀,导致涂层受张应力,迫使其进一步开裂和脱落。		
优化建议	1.抑制金属工件表面微电池的形成,减缓腐蚀反应的速率。 2.提高金属基体与涂层之间的附着力,使涂层与金属工件构成一个结合紧密的整体结构,从而达到在苛刻的腐蚀环境中延长涂层使用寿命的目的。 3.控制表面处理质量。			
3	零件名称	排气管管体		
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;"> 试验前  </td> <td style="text-align: center;"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
	腐蚀等级	红锈腐蚀 7 级		
	原因分析	由于排气系统工作温度变化范围大,并同时受到湿度、石击以及杂质的因素影响,高温下钝化层中的氧化铬会与水发生反应从而破坏钝化层的均匀致密性,导致红锈的产生。		
优化建议	1.材料选用上优先考虑耐腐蚀性能较为优秀的 4 系不锈钢,如 436。 2.焊接材料的选择应尽量采用铬含量高的材料,控制碳含量,增加铌和钛元素含量。 3.热影响区域朝上,将焊缝位置调整为朝上。			

(续)

序号	案例分析		
4	零件名称	燃油箱系带	
	照片示例	试验前 	试验后 
	腐蚀等级	红锈腐蚀 8 级	
	原因分析	当前处理不佳时, 可能导致漆膜耐蚀性下降, 且系带与燃油箱连接的缝隙位置容易积水, 试验过程长期遭受高温高湿和盐水侵蚀, 最终导致腐蚀的发生。	
	优化建议	建议提升材料质量, 加强表面处理工艺质量, 严格控制涂装前处理的质量, 确保其为后续的油漆涂层提供一个稳定、致密的基底, 增强涂层的整体耐蚀性。	
5	零件名称	侧围裙板钢板接缝	
	照片示例	试验前 	试验后 
	腐蚀等级	红锈腐蚀 7 级	
	原因分析	1. 钣金边缘是电泳漆膜防腐薄弱部位, 存在电泳工艺刀片效应的问题, 当钣金切边存在毛刺尖端时, 毛刺尖端处涂层会更加稀薄, 更容易引起锈蚀。 2. 在日常行驶中, 泥水砂石污渍会从缝隙中残留在车缝, 加速了侧围裙板的锈蚀。	
优化建议	1. 将接缝处的毛刺进行打磨、增加 PVC 底涂, 以及在缝隙位置涂敷密封胶。 2. 选择具有高边缘防腐电泳漆, 从而抑制电泳涂漆在烘干固化时的缩边现象, 增加工件边缘和焊接部位的漆膜厚度和涂膜覆盖率。 3. 焊接边增加台阶, 增加焊缝密封胶涂覆。		
6	零件名称	电池组壳体	
		试验前	试验后

(续)

序号	案例分析					
	照片示例					
6	腐蚀等级	红锈腐蚀 7 级				
	原因分析	<p>1. 电池组壳体正面腐蚀较少，而相比之下其他区域锈蚀严重，这可能是因为壳体正面喷涂其他类型的防护涂层，而其他区域未处理。</p> <p>2. 电池组壳体可能在涂装过程中前处理工艺存在问题，涂装前处理的主要作用是提高金属基体与涂层之间的附着力，并抑制金属表面的微电池形成，从而减缓腐蚀反应的速率。当前处理工艺质量不佳时，可能导致漆膜耐蚀性下降。</p>				
	优化建议	<p>1. 严格控制涂装前处理工艺的质量，确保其为后续的油漆涂层提供一个稳定、致密的基底，增强涂层的整体耐蚀性。</p> <p>2. 在电池组壳体底部及其他区域喷涂防石击涂层，保证电池组壳体整体涂装工艺的完整性。</p>				
	零件名称	变速箱油底壳				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="451 1184 895 1240">试验前</td> <td data-bbox="895 1184 1335 1240">试验后</td> </tr> <tr> <td data-bbox="451 1240 895 1503">  </td> <td data-bbox="895 1240 1335 1503">  </td> </tr> </table>	试验前	试验后		
试验前	试验后					
						
7	腐蚀等级	红锈腐蚀 8 级				
	原因分析	<p>1. 在雨天或涉水行驶后，雨水或积水可能溅射到变速箱油底壳上，长时间积累可能导致油底壳锈蚀。变速箱油底壳位于底盘易积水高湿环境，电镀锌防护性能不足以满足要求，易发生锈蚀。</p> <p>2. 连接面、压紧面等位置存在缝隙，缝隙容易发生积水导致缝隙内外浓度不均匀、形成电位差，发生缝隙腐蚀。缝隙内能够富集氯离子和形成氢离子，使 pH 值降低，从而加速腐蚀过程。</p>				

(续)

序号	案例分析				
7	优化建议	1.采用防腐性能更优异的表面防护材料。 2.采用多层涂层结构，增加膜厚，提高涂层的耐久性和防护效果。 3.严格控制涂装前处理的质量，确保其为后续的油漆涂层提供一个稳定、致密的基底，增强涂层的整体耐蚀性。			
8	零件名称	车轮轮辋螺栓			
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;">试验前</td> <td style="width: 50%;">试验后</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </table>	试验前	试验后	
试验前	试验后				
					
8	腐蚀等级	红锈腐蚀 5 级			
	原因分析	1.锌铝涂层的表面硬度相对较低，这使得它在受到外力冲击时更容易产生划痕或损伤。较低的硬度意味着涂层抵抗机械破坏的能力较弱。同时，锌铝涂层通常由片状锌片和铝片等构成，这种层状结构虽然有利于防腐蚀性能，但在受到磕碰时，层与层之间容易发生分离，导致涂层破损。 2.在拧紧螺栓的过程中，由于外力的作用，螺栓和接触面之间会发生摩擦。这个摩擦的作用力过大，就会导致螺栓涂层的破损和磨损。拧紧螺栓的力量过大，不仅会增加螺栓和接触面之间的摩擦力，还可能直接对涂层造成挤压和破坏。 3.车轮位置经常处于潮湿或多雨的环境中，轮辋螺栓容易与雨水、泥水等电解质溶液接触。如果轮辋螺栓的材料与周围金属（如铝合金轮毂）之间存在电位差，就可能形成腐蚀电池，导致轮辋螺栓作为阳极而加速腐蚀。特别是当轮辋螺栓表面的防锈层被破坏时，电偶腐蚀的风险会进一步增加。			
9	优化建议	1.采取额外的防护措施，如安装轮毂罩或使用防水垫圈。 2.优化螺栓打紧工艺，根据螺栓的规格、涂层材质和工作环境等因素，合理设置拧紧程序中的扭矩、拧紧速度等参数，确保拧紧过程中力量控制得当。 3.结构设计上可以考虑采用隐藏式设计，降低石击风险。			
	零件名称	发动机放油螺栓			

(续)

序号	案例分析			
9	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="451 349 898 730"> 试验前  </td> <td data-bbox="898 349 1335 730"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
	腐蚀等级	红锈腐蚀 8 级		
	原因分析	<p>1. 发动机位于底盘易积水高湿环境，在雨天或涉水行驶后，雨水或积水可能溅射到底盘零件上，电镀锌防护性能不足以满足要求，易发生锈蚀。</p> <p>2. 缝隙腐蚀是局部腐蚀的一种形式，发生在金属部件的连接部位。由于缝隙内氧气供应不足，容易形成浓差电池，加速腐蚀过程。发动机放油螺栓与底壳之间的缝隙是缝隙腐蚀的高发区域。</p>		
优化建议	<p>1. 提升中性盐雾试验标准的等级。</p> <p>2. 紧固件采用电镀锌不足以满足防护性能要求，建议选择防腐性能更加优异的表面防护材料，如锌镍合金。</p>			
零件名称	下摆臂			
10	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="451 1413 898 1787"> 试验前  </td> <td data-bbox="898 1413 1335 1787"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
腐蚀等级	红锈腐蚀 5 级			

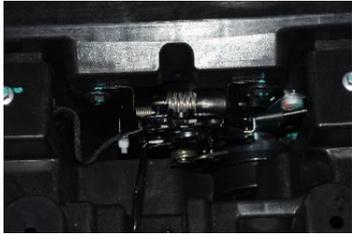
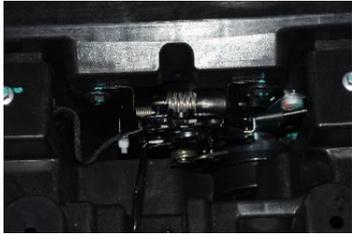
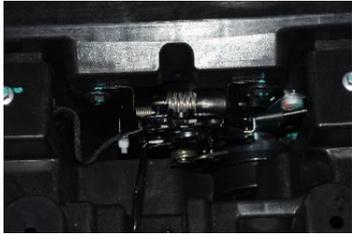
(续)

序号	案例分析					
10	原因分析	<p>1.在汽车行驶过程中，下摆臂位置易于被石击，导致防护性涂层破坏。底盘位置容易积水，下摆臂基体暴露在潮湿环境中，与空气中的氧气、水分等形成电解质溶液，从而发生点蚀。</p> <p>2.电泳漆前处理能提升提高金属基体与涂层之间的附着力，并抑制金属表面的微电池形成，从而减缓腐蚀反应的速率。当磷化质量不佳时，可能导致漆膜耐蚀性下降。</p> <p>3.电泳漆边角覆盖性差，在汽车车身和零部件的冲压加工过程中，会形成大小不同的棱边和尖角。这些边角在电泳涂装时，由于电泳漆的覆盖性不好，容易出现边缘未被充分涂覆的情况，导致边角部位生锈。</p> <p>4.连接面、压紧面及焊缝等位置存在缝隙，缝隙容易发生积水导致缝隙内外浓度不均匀、形成电位差，缝隙内为阳极，缝隙外大面积为阴极，形成腐蚀电池。缝隙内能够富集氯离子和形成氢离子，使 pH 值降低，加速腐蚀过程。</p>				
	优化建议	<p>1.下摆臂采用更优的表面涂层，采用防腐抗石击涂层，增加膜厚。</p> <p>2.采用高边缘覆盖电泳涂料，通过添加高相对分子质量的树脂作为调整剂，利用流变学控制原理，使涂膜边角覆盖性和平整度两者得以兼顾。</p> <p>3.严格控制涂装前处理的质量，确保其为后续的油漆涂层提供一个稳定、致密的基底，增强涂层的整体耐蚀性。</p> <p>4.锐边打磨，降低锐边腐蚀风险。</p>				
	零件名称	制动管管体				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="453 1361 895 1417">试验前</td> <td data-bbox="895 1361 1329 1417">试验后</td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 1417 895 1664">  </td> <td data-bbox="895 1417 1329 1664">  </td> </tr> </table>	试验前	试验后		
试验前	试验后					
						
11	腐蚀等级	红锈腐蚀 5 级				
	原因分析	<p>制动管属于制动系统，防护类型可能为表层银色富铝环氧树脂、底层热浸锌铝合金层。制动管在汽车行驶过程中受到振动、砂石击打等外力的作用，可能导致涂层破损或剥落，使得制动管管体暴露在潮湿环境中，与空气中的氧气、水分等形成电解质溶液，从而发生点蚀，形成锈蚀产物。</p>				

(续)

序号	案例分析			
11	优化建议	1.制动管通常使用钢制镀锌，建议使用镀锌镍。 2.考虑采用奥高涂层（中性盐雾试验 1000h）或 PVF 涂层（中性盐雾试验 2000h）或 PA 涂层（中性盐雾试验 3000h）。 3.结构布置上，制动管应尽量避免石击。		
12	零件名称	转向横拉杆		
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;"> 试验前  </td> <td style="width: 50%;"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
腐蚀等级	红锈腐蚀 8 级			
12	原因分析	1.转向横拉杆位于底盘位置，易于遭受石击，导致防护性涂层破坏，露出基体。底盘位置容易积水，基体暴露在潮湿环境中，容易发生点蚀。 2.转向横拉杆连接面，转向器总成夹箍与橡胶连接面等位置存在微小缝隙，汽车行驶过程中泥水等容易聚集，导致缝隙内外浓度不均匀，形成电位差，形成腐蚀电池。同时，缝隙内能够富集氯离子和形成氢离子，使 pH 值降低，加速腐蚀过程。 3.喷漆前处理能提升金属基体与涂层之间的附着力，并抑制金属表面的微电池形成，从而减缓腐蚀反应的速率。当前处理不佳时，可能导致漆膜耐蚀性下降。		
	优化建议	1.采用更优的表面涂层，增加膜厚，膜厚一般大于等于 12 μm 。 2.优化表面处理，提高表面平整度（研磨，精加工），增加电泳漆附着力。		
13	零件名称	安全带锁舌		
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;"> 试验前  </td> <td style="width: 50%;"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
腐蚀等级	红锈腐蚀 4 级			

(续)

序号	案例分析					
13	原因分析	安全带锁舌表面为镀铬工艺，提供较好的表面硬度及防腐性能。通过试验前及试验后照片可以看出，试验前零件表面未呈现银白色光亮的表面，而是出现一定程度哑光，表面粗糙度较大，结合试验后状态，可以判断腐蚀原因为零件表面镀铬层不满足要求导致。				
	优化建议	1.通过调整电镀工艺提升镀层表面质量状态及镀层厚度，提高零件防腐性能。 2.开展零件试验室防腐性能验证，提前发现问题并整改，量产后加强质量一致性监控，保证零件质量稳定性。				
14	零件名称	座椅滑轨				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">试验前</td> <td style="text-align: center;">试验后</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
	腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级				
原因分析	1.零件防腐性能较差：选用较差电泳漆导致自身防腐性能不足或电泳漆膜厚较低，防腐性能较差。 2.该位置设计较低，容易磕碰，导致漆膜破损，防腐性能降低。					
优化建议	1.选择防腐性能较好的电泳漆。 2.通过提升电泳漆膜厚增强防腐性能。 3.如果该位置容易被磕碰，可增加防护措施。					
15	零件名称	机舱盖板锁总成				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">试验前</td> <td style="text-align: center;">试验后</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 5 级					
原因分析	1.防腐设计要求过低，不能满足该位置的腐蚀强度。 2.零件电泳漆膜防腐性能不符合设计要求，可能为选用的电泳漆防腐性能低，也可能漆膜膜厚不足导致防腐性能不足。					

(续)

序号	案例分析					
15	优化建议	1.建议采用镀锌（或镀锌合金）+电泳的工艺，提升零件的防腐要求。 2.选用防腐性能高的电泳漆，并通过提升膜厚来提升防腐性能。 3.建议优化冲压切边工艺，管控毛刺高度及打磨毛刺，降低锐变腐蚀风险。				
16	零件名称	机舱盖板铰链				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="453 658 895 712">试验前</td> <td data-bbox="895 658 1335 712">试验后</td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 712 895 987">  </td> <td data-bbox="895 712 1335 987">  </td> </tr> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级					
16	原因分析	1.从零件选材来看，铰链整体为非镀锌件随车涂装，在边缘易因锐边导致发生边缘锈蚀，而对于转轴位置，存在转轴缝隙电泳不良的情况，在转轴位置易发生缝隙腐蚀。 2.从结构设计来看，铰链后面的两个转轴易受前风窗流下的水侵袭，加速转轴缝隙腐蚀的发生。				
	优化建议	1.铰链采用电镀锌-蓝白色钝化工艺，一般膜厚控制在 $5\mu\text{m} \sim 10\mu\text{m}$ 增强本体耐腐蚀性。 2.优化铰链的安装位置或增加遮盖，避免风窗流水直接侵蚀转轴位置。 3.销轴采用不锈钢材料。				
17	零件名称	前灯安装支架				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="453 1525 895 1579">试验前</td> <td data-bbox="895 1525 1335 1579">试验后</td> </tr> <tr> <td data-bbox="453 1579 895 1850">  </td> <td data-bbox="895 1579 1335 1850">  </td> </tr> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 7 级					

(续)

序号	案例分析					
17	原因分析	<p>1.锈蚀位置为两个零件钣金缝隙位置，两个钣金件通过螺栓固定后进行车身电泳，钣金搭接面内无法形成电泳层，腐蚀介质进入后诱发钣金锈蚀。</p> <p>2.在结构上，焊缝位置处于易积液区域，积液（尤其是试验过程中的盐水）侵入缝隙，加快焊缝腐蚀的发生。</p> <p>3.在涂装工艺上，未在焊缝位置涂抹焊缝密封胶密封，导致腐蚀介质更容易侵入焊缝间，加速腐蚀发生。</p> <p>4.在材料上，该位置钣金为非镀锌板，相比镀锌板更易发生锈蚀。</p>				
	优化建议	<p>1.将钣金搭接面增加凸起造型，避免在焊缝位置积水。</p> <p>2.将支架改为单独电泳然后总装，搭接面缝隙钣金采用防腐层保护。</p> <p>3.在焊缝位置增加 PVC 焊缝密封胶。</p> <p>4.将钣金改为镀锌板。</p>				
18	零件名称	减振器上支座				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">试验前</td> <td style="text-align: center;">试验后</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 7 级					
原因分析	<p>1.防腐设计要求过低，不能满足该位置的腐蚀强度。</p> <p>2.零件电泳漆膜防腐性能不符合设计要求，可能选用的电泳漆防腐性能低，也可能漆膜膜厚不足导致防腐性能不足。</p>					
优化建议	<p>1.从设计角度，建议采用镀锌（或镀锌合金）+电泳的工艺，提升该零件的防腐要求。</p> <p>2.选用防腐性能高的电泳漆，并通过提升膜厚来提升防腐性能。</p>					
19	零件名称	ECU 固定支架				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">试验前</td> <td style="text-align: center;">试验后</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </table>	试验前	试验后		
试验前	试验后					
						

(续)

序号	案例分析					
19	腐蚀等级	红锈腐蚀 8 级				
	原因分析	1.选用的电泳漆的防腐性能较差。 2.电泳漆的膜厚过低，导致边缘未形成遮盖，本体的防腐性能也不足。				
	优化建议	1.选用防腐性能良好的电泳漆。 2.提升膜厚，增加本体及边缘的防腐能力。 3.提升防腐工艺，可以采用镀锌+电泳工艺。				
20	零件名称	ABS 总成壳体				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">试验前</th> <th style="width: 50%;">试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	白锈腐蚀 5 级					
原因分析	1.铝材氧化腐蚀，主要是材料与大气中的水，氧气及腐蚀性介质的联合作用而发生的电化学破坏。 2.铝合金表面氧化膜，在含有氯离子和氧离子等侵蚀性阴离子的腐蚀性很强的介质中，侵蚀性阴离子等依然能通过氧化膜到达金属基体表面而引起铝合金的小孔腐蚀或其他类型的腐蚀。					
	优化建议	1.可考虑表面电镀或采用溶胶-凝胶法进行表面处理形成氧化膜。 2.考虑钝化或阳极氧化。				
21	零件名称	燃油导管				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%;">试验前</th> <th style="width: 50%;">试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;"></td> <td style="text-align: center;"></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级					
原因分析	1.不锈钢发生的腐蚀破坏多是局部腐蚀破坏，表面处理工艺不佳。 2.燃油导管本体基材耐腐蚀性能不足。					

(续)

序号	案例分析					
	优化建议	1.进行合理的表面处理，形成稳定钝化膜。 2.更换防腐等级更高的材料。				
	零件名称	驱动电机壳体				
22	照片示例	<table border="1"> <thead> <tr> <th>试验前</th> <th>试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
	腐蚀等级	红锈腐蚀 5 级				
原因分析	1.该零件为常规的铝材氧化腐蚀，主要是材料与大气中的水，氧气及腐蚀性介质的联合作用而发生的电化学破坏。 2.在车辆行驶过程中该位置易被积水飞溅和砂砾击打，铝合金表面氧化膜，在含有氯离子和氧离子等侵蚀性阴离子的腐蚀性很强的介质中，侵蚀性阴离子等依然能通过氧化膜到达金属基体表面而引起铝合金的小孔腐蚀或其他类型的腐蚀。					
优化建议	1.考虑增加底护板。 2.优化零件布置，减少积水和砂砾带来的零件腐蚀。					
	零件名称	车门尖角				
23	照片示例	<table border="1"> <thead> <tr> <th>试验前</th> <th>试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级					
原因分析	1.门外板折边未能包覆住内板，存在缝隙。 2.门内外板折边未压实，存在间隙。 3.密封胶刮胶不到位，密封胶未覆盖钣金边缘。 4.钣金边缘处存在焊渣或电泳后清理电泳流痕破坏了电泳层。 5.门外板采用了冷轧板。 6.钣金边缘有锐边或者毛刺。 7.未采用高锐边包覆性电泳涂料。					

(续)

序号	案例分析			
23	优化建议	1.外板折边必须包覆内板。 2.外板折边必须压实。 3.密封胶刮胶时，必须保留足够密封胶覆盖钣金边缘。 4.确保钣金清洁，电泳后打磨不能破坏电泳层。 5.建议采用双面镀锌板。 6.打磨钣金边缘，去除锐边或者毛刺。 7.采用高锐边包覆性电泳涂料。		
24	零件名称	车门限位器		
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;"> 试验前  </td> <td style="width: 50%;"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
	腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级		
	原因分析	1.限位器钣金边缘锐边、毛刺。 2.前处理电泳质量较差。 3.电泳膜厚过薄。 4.运输等环节工件边缘磕碰，破坏漆膜。		
优化建议	1.边缘位置采用倒角处理。 2.监控前处理及电泳质量。 3.监控电泳膜厚。 4.工件先镀锌再电泳。 5.注意工件防护。			
25	零件名称	车门锁扣		
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 50%;"> 试验前  </td> <td style="width: 50%;"> 试验后  </td> </tr> </table>	试验前 	试验后 
	试验前 	试验后 		
	腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级		
	原因分析	1.镀锌膜厚过低。 2.镀锌质量较差，或未进行封闭工艺。		
优化建议	1.提高镀锌膜厚，建议 $\geq 10\mu\text{m}$ 。 2.改善镀锌工艺，或改用镀锌镍合金等高防腐工艺。			

(续)

序号	案例分析					
26	零件名称	车窗装饰条				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="451 409 895 470">试验前</td> <td data-bbox="895 409 1337 470">试验后</td> </tr> <tr> <td data-bbox="451 470 895 734"></td> <td data-bbox="895 470 1337 734"></td> </tr> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级					
原因分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 不锈钢材料等级较低或者材料本身较差。 2. 内部骨架包覆工艺不良，或钢材端头切割工艺不良，导致锈蚀。 3. 饰条与窗框干涉，漆膜破损导致锈蚀。 					
27	零件名称	行李箱框钢板接缝				
	照片示例	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td data-bbox="451 1310 895 1370">试验前</td> <td data-bbox="895 1310 1337 1370">试验后</td> </tr> <tr> <td data-bbox="451 1370 895 1635"></td> <td data-bbox="895 1370 1337 1635"></td> </tr> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀 3 级					
原因分析	<ol style="list-style-type: none"> 1. 钣金锐边存在毛刺。 2. 冷轧板或者镀锌层被打磨破坏。 3. 电泳涂料锐边包覆性不良或者电泳膜厚过低。 4. 密封胶刮胶后残留不足，未覆盖钣金边缘。 5. 钣金间隙过大。 					

(续)

序号	案例分析					
27	优化建议	<ol style="list-style-type: none"> 1.注意钣金落料冲切方向，避免钣金边缘上翻；注意模具冲头维护，避免钣金锐边、毛刺或锐边毛刺打磨等问题。 2.采用镀锌板及减少钣金打磨，保护镀锌层。 3.提高电泳膜厚，或采用高锐边包覆性电泳涂料。 4.注意密封胶刮胶工艺，钣金边缘确保有密封胶覆盖。 5.控制钣金间隙，建议钣金间隙$\leq 0.5\text{mm}$。 				
28	零件名称	车身焊点（行李箱框）				
	照片示例	<table border="1"> <thead> <tr> <th>试验前</th> <th>试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
	腐蚀等级	红锈腐蚀3级				
原因分析	<ol style="list-style-type: none"> 1.前处理效果不佳。 2.电泳膜厚低，面涂层膜厚偏低。 3.冷轧板的本身基材耐腐蚀性能不足。 4.焊点位置不平整，存在高度差，压痕较深。 					
优化建议	<ol style="list-style-type: none"> 1.改善前处理工艺。 2.提高电泳膜厚及面涂层膜厚。 3.采用耐腐蚀性能较强的镀锌板。 4.点焊时，增加电极帽，或改善焊接工艺，使焊点平整。 					
29	零件名称	B柱空腔				
	照片示例	<table border="1"> <thead> <tr> <th>试验前</th> <th>试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
腐蚀等级	红锈腐蚀6级					
原因分析	<ol style="list-style-type: none"> 1.空腔电泳缺陷，电泳漆覆盖不良，电泳过程中，B柱内腔形成气泡导致电泳漆覆盖缺陷。 2.搭接面间隙也会造成电泳漆无法完全泳透。 3.干区水汽进入，加速腐蚀。 					

(续)

序号	案例分析					
29	优化建议	1.改进涂装工艺，避免 B 柱内腔形成电泳气泡。 2.结构设计上，考虑增加电泳孔等保证油漆泳透。 3.使用镀锌板替代冷轧板，提升板材的耐腐蚀性能。 4.定期检查发泡胶状态，保持较好的密封状态。				
30	零件名称	仪表板管梁				
	照片示例	<table border="1"> <thead> <tr> <th>试验前</th> <th>试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
	腐蚀等级	红锈腐蚀 6 级				
原因分析	该件无电泳，在腐蚀试验的高温高湿和盐雾环境下，极易发生基体金属腐蚀。					
优化建议	1.低成本设计，位于非客户直观可见区域，对整车功能的影响有限，批量生产过程中保证零件的涂油量满足要求，有助于减轻客户端车辆的腐蚀程度。 2.对于高端车可以采用铝骨架或者考虑增加电泳或粉末喷涂。					
31	零件名称	导水槽钢板接缝				
	照片示例	<table border="1"> <thead> <tr> <th>试验前</th> <th>试验后</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	试验前	试验后		
	试验前	试验后				
						
	腐蚀等级	红锈腐蚀 7 级				
原因分析	1.导水槽钢板接缝的搭接面发生缝隙腐蚀。该位置雨水流经，湿气易聚集，腐蚀环境苛刻。搭接间隙电泳不良，易发生缝隙腐蚀。 2.冷轧板材的防腐能力有限，金属基体较易发生腐蚀。					
优化建议	1.该区域搭接缝边缘增加焊装密封胶保护。 2.使用镀锌板材替代冷轧板，提升板材的耐腐蚀性能。					

5.3 腐蚀试验功能故障数据统计及典型案例分析

汽车可靠性是指车辆在规定的条件和规定的时间内，完成规定功能的能力，关系到用户的安全性、舒适度和使用体验。汽车功能故障是指汽车整车、系统（总成）或零部件部分或完全丧失工作能力的现象。汽车腐蚀试验中，功能故障是外观腐蚀以外最受用户关注的一个指标。

汽车功能故障类型及模式，如表 5-3 所示。

表 5-3 故障类型及模式

序号	故障类型	故障模式
1	损坏类	断裂、碎裂、裂纹、开裂、点蚀、烧蚀、击穿、变形、拉伤、龟裂、压痕、烧损、短路等。
2	退化类	老化、剥落、异常磨损、腐蚀、退磁等。
3	松脱类	松动、脱落等。
4	失调类	压力失调、间隙超差、行程失调、性能失调、干涉、卡滞等。
5	渗漏/堵塞类	堵塞、气阻、漏气、漏液、渗液等。
6	性能衰退类	性能衰退、公告限值超标、异响、过热、容量衰减等。
7	功能失效类	功能丧失、功能退化、功能超范围、功能间歇、非预期功能、功能延迟等。
8	显示类	故障灯常亮、闪烁、故障信息、黑屏、白屏、花屏、闪屏、卡屏、闪退、显示不清、显示模糊、显示异常、影像不清晰、读数不准等。
9	软件及网络通信类	初始化异常、休眠异常、总线关闭、BUG、网络连接失败、掉帧、无法记忆等。

5.3.1 腐蚀试验功能故障数据统计

由于 2022 年至 2024 年 CA-CAP 测评车辆样本有限，且故障率较低，因此数据具有一定局限性，为了方便给行业提供更加全面、科学的指导，统计了海南热带汽车试验有限公司近 5 年的试验车辆

故障数据（仅统计 60 循环以内（含）的结果），并进行分析。

1.数据统计样本情况

车辆总数为 87 辆，其中 SUV 51 辆、轿车 23 辆、商用车 8 辆、MPV 4 辆、皮卡车 1 辆。故障总数为 224 个，其中 SUV 142 个、轿车 48 个、商用车 25 个、MPV 7 个、皮卡车 2 个。统计结果见图 5-8。

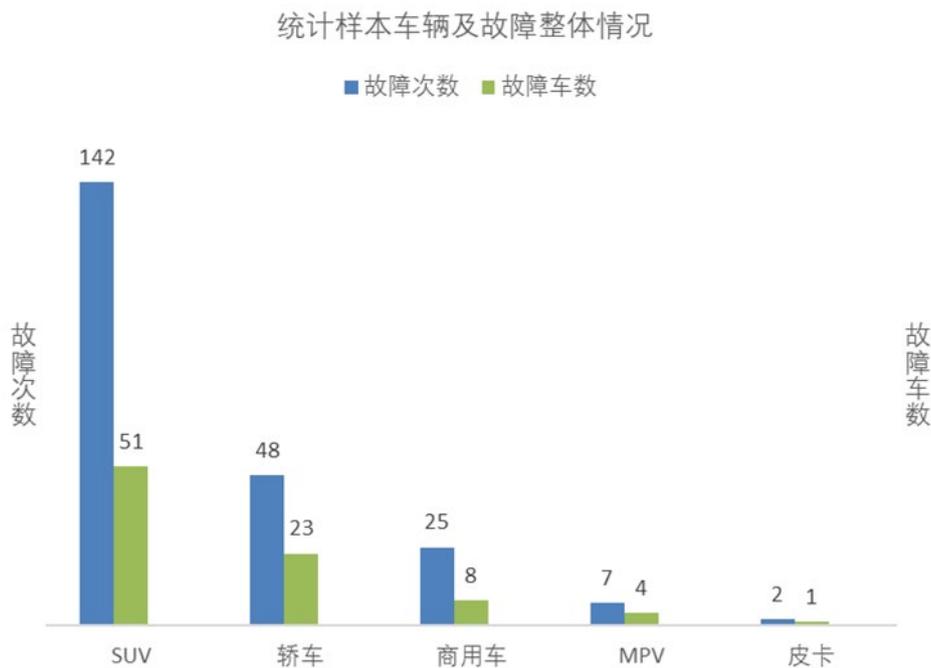


图 5-8 统计样本车辆及故障整体情况

故障数量与样车数量基本呈正相关趋势，其中商用车、MPV、皮卡车由于数量较少，不具有较强的指导意义。

2.故障按严重性、可能性的分布情况

依据 T/CPQS A0009-2021《乘用车耐腐蚀性能测试评价规则》

中关于功能故障严重性等级和可能性等级的评估方法，对所有样本中的故障进行分类统计，见图 5-9 和图 5-10。

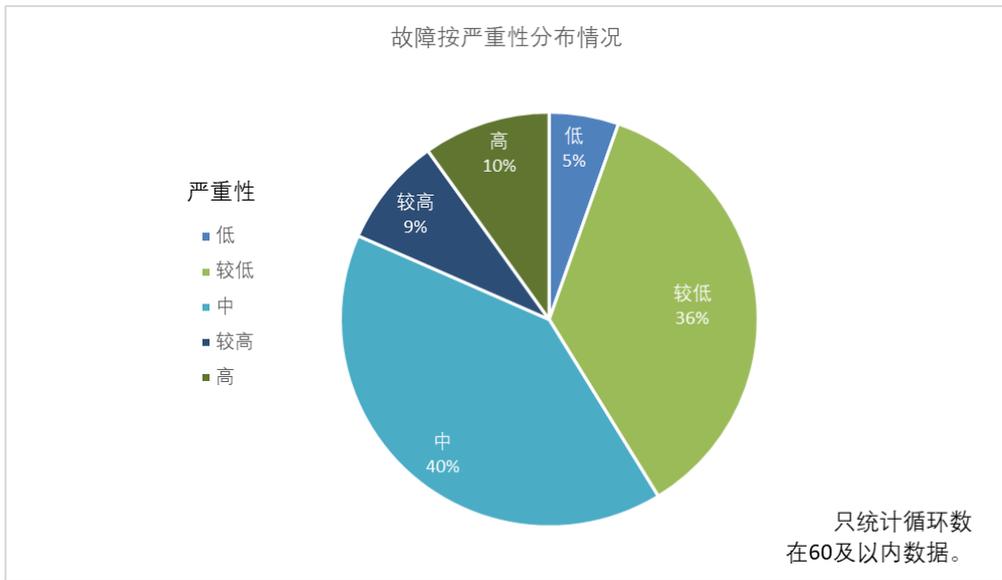


图 5-9 故障按严重性分布情况

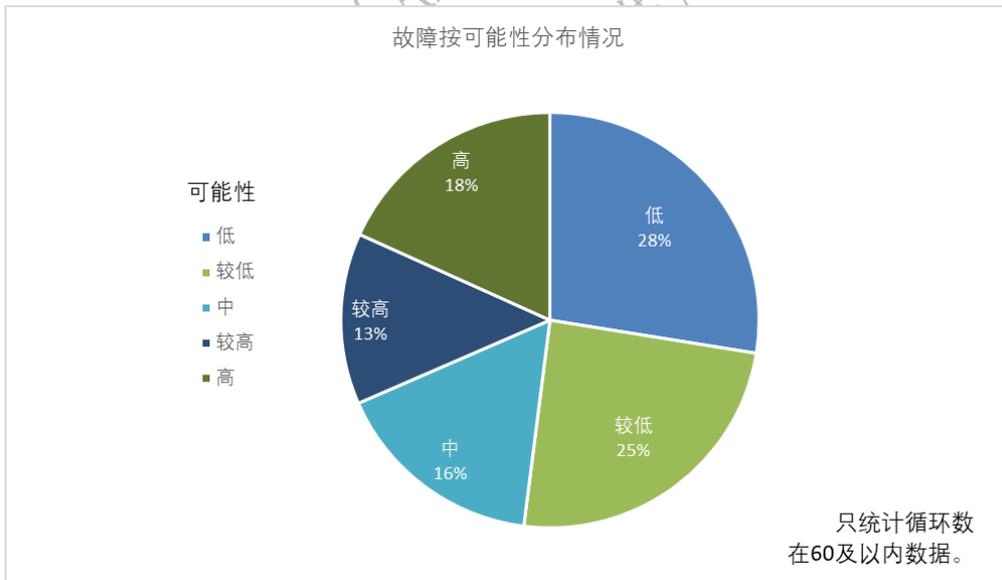


图 5-10 故障按可能性分布情况

严重性方面，大多数故障集中在较低（如空调压缩机失效）、中（如发电机失效）这两个故障类别，二者占故障总数的 76%，高、较高和低三个类别故障占故障总数的 24%。

可能性方面，不同类别均有分布，不同类别之间差异性不算太

大，其中低（50-60 循环）、较低（40-50 循环）最多，二者合计占故障总数的 53%，高（0-20 循环）、较高（20-30 循环）和中（30-40 循环）三个类别合计占故障总数 47%，即前 40 循环和后 20 循环，各约占总数的一半。

3.故障按系统分布的情况

统计结果按 5.1 中分类方法，将故障零件按 9 大系统进行分类，统计结果如图 5-11 所示。

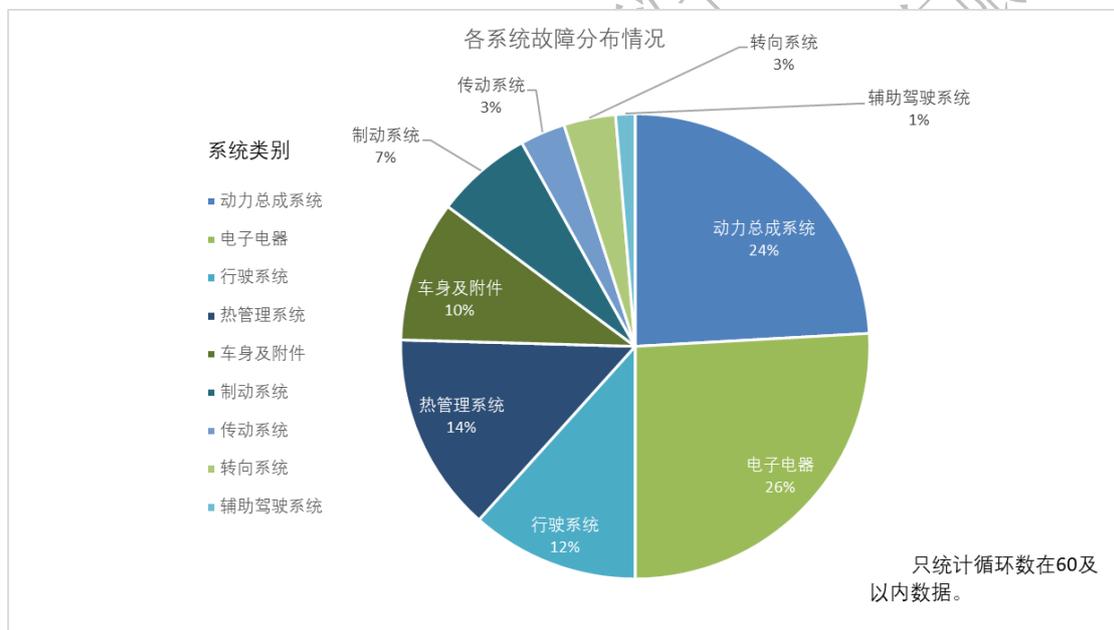


图 5-11 各系统故障分布情况

各大系统中，电子电器出现故障次数最多，占比 26%，常见的电子电器故障如仪表显示屏黑屏、中控屏幕黑屏等；其次是动力总成系统，占比 24%，常见的动力总成系统故障如车辆无法启动、动力丧失等。

车身及附件、热管理系统和行驶系统差异不大，分别为 10%、14%和 12%，制动系统、转向系统、传动系统和辅助驾驶系统比例

较小。

不同系统之间存在较大差异，与车辆的结构、零部件的质量、腐蚀环境以及零部件的数量等多种因素相关。

4.故障按类型分布的情况

按 5.3 中故障类型及模式分类方法，对故障统计进一步分析，故障按类型分布情况见图 5-12 所示。

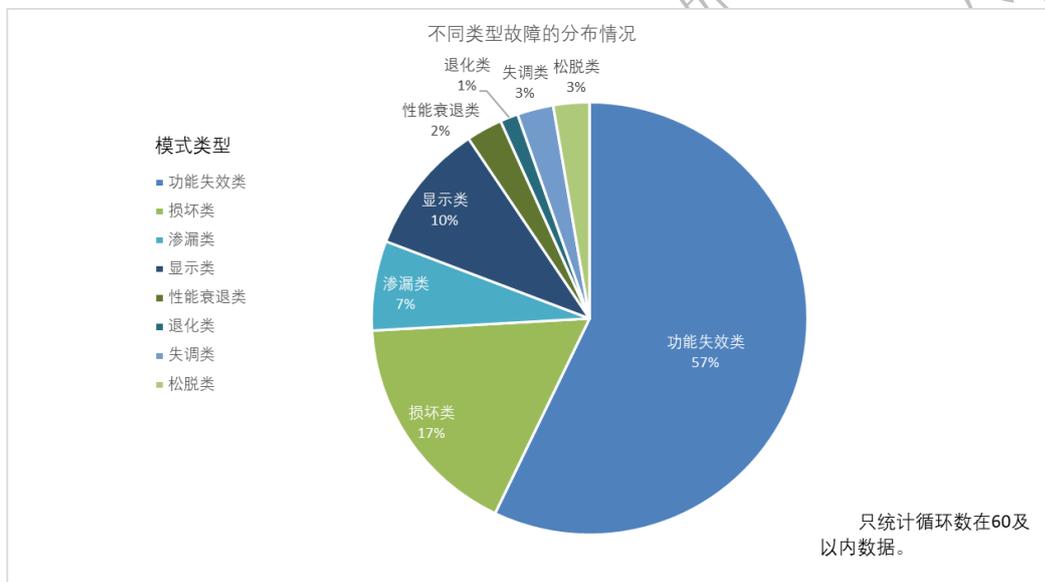


图 5-12 不同类型故障的分布情况

所有故障类型中，功能失效类占比最多，为 57%，在全部故障中占比超过一半，常见的功能失效类故障如空调压缩机卡死失效、发电机卡死失效等。

损坏类故障、显示类故障和渗漏类故障占比分别为 17%、10% 和 7%，其他类型故障比例较小，常见的损坏类故障如减振器弹簧断裂，常见的渗漏类故障如制动油管漏油。

5.常见的故障模式

按不同的故障模式进行统计，结果如图 5-13 所示。

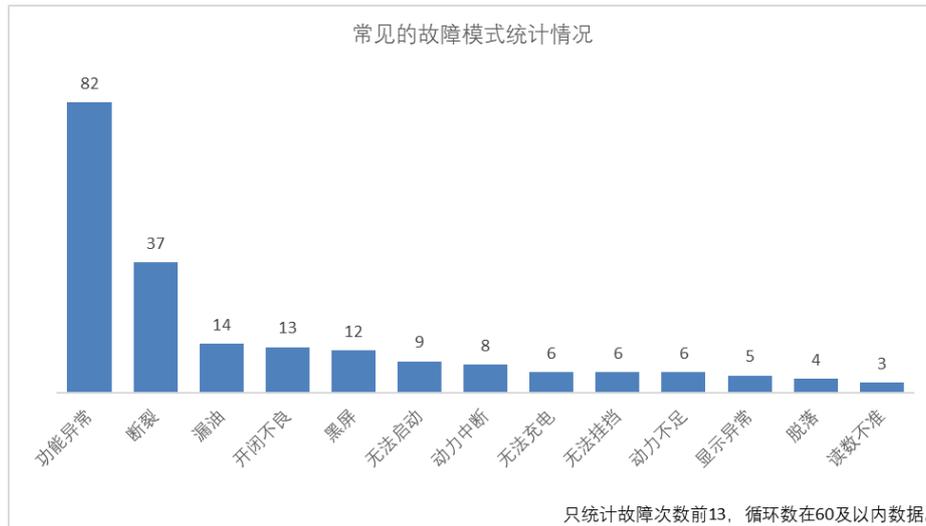


图 5-13 常见的故障模式统计情况

所有故障模式中，功能异常是出现最多的故障，共 82 例，其次是断裂，共 37 例，漏油、开闭不良、黑屏等也较为常见，分别为 14 例、13 例和 12 例。

无法启动、动力中断、无法充电、无法挂挡等动力性的故障问题，常见于新能源车辆。

统计结果呈现为出现不低于 3 次的故障模式，其余出现 1-2 次的故障具有一定偶发性，因此不在图中呈现。

6.各能源类别故障车数量和故障次数分布情况

对样本中的车辆按燃油车和新能源车进行分类，统计情况如图 5-14 所示。

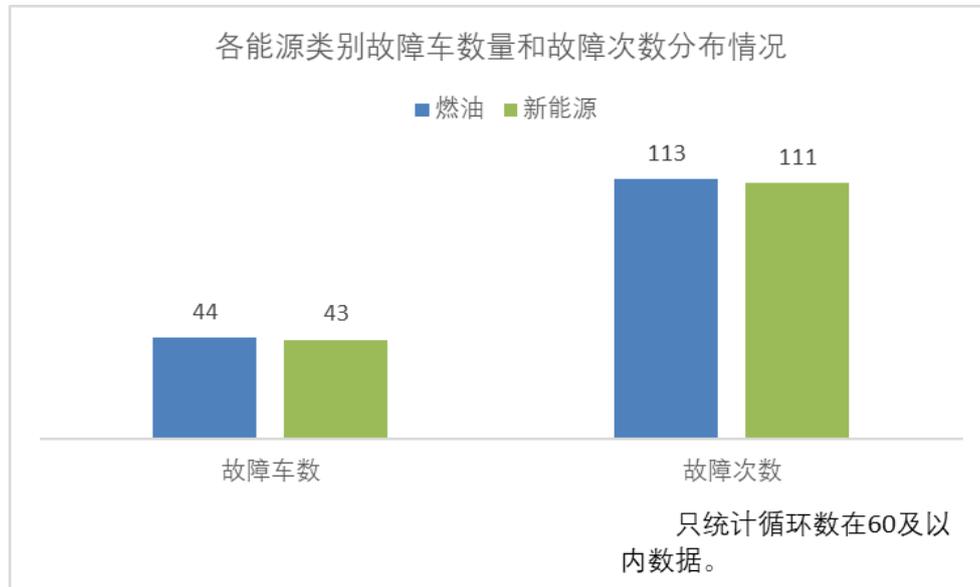


图 5-14 各能源类别故障车数量和故障次数分布情况

样本总共 87 辆车，其中燃油车 44 辆，新能源车 43 辆，二者基本持平；

燃油车故障次数为 113 例，新能源车故障次数为 111 例，新能源车稍微多于燃油车，但相差不大。

7. 容易出现故障的零件

对样本中所有故障案例进行统计和分析，筛选出现次数较多的零部件，并按燃油车和新能源车进行分类，如图 5-15 所示。

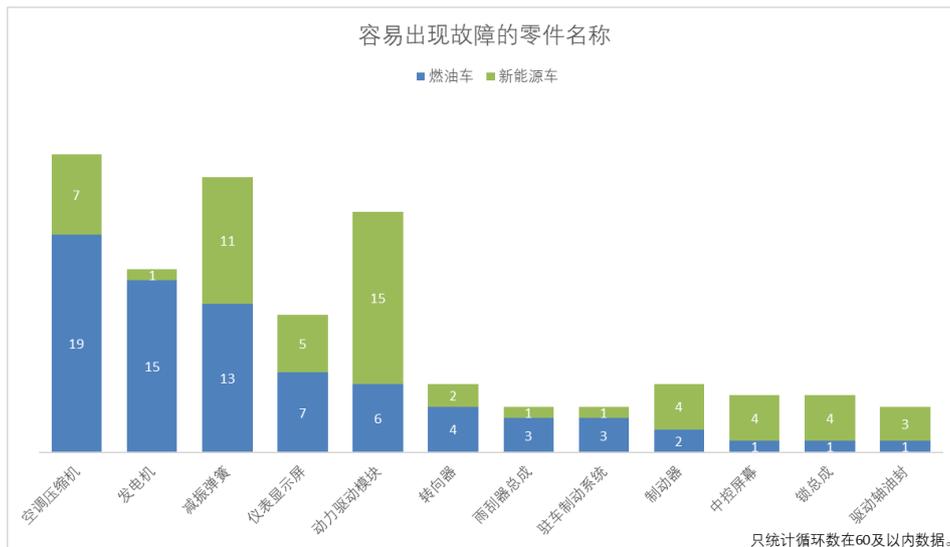


图 5-15 容易出现故障的零件名称

空调压缩机、减振弹簧、动力驱动模块和发电机是最容易出现故障的零件，分别出现 26 例、24 例、21 例和 16 例，出现次数少于四次的零件由于数量较少，未在该图中呈现。

几种容易出现故障的零件：空调压缩机——燃油车和新能源车分别为 19 例和 7 例，常见的故障模式是压缩机卡死失效，燃油车出现的比例要高于新能源车；减振弹簧——燃油车和新能源车分别为 13 例和 11 例，二者无明显差异；动力驱动模块——燃油车和新能源车分别为 6 例和 15 例，新能源车明显高于燃油车，新能源车较常见的故障模式为无法上高压、动力中断等；发电机——燃油车和新能源车分别为 15 例和 1 例，这与汽车的结构密切相关。

5.3.2 腐蚀试验功能故障典型案例分析

为了给行业提供参考，选取了腐蚀试验部分功能故障的典型案列，并进行分析，如表 5-4 所示。

表 5-4 腐蚀试验功能故障典型案例分析

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
1	电子风扇	电子风扇卡死	电子风扇金属部件设计防腐等级偏低，电子风扇金属部件锈蚀导致卡死。	电子风扇金属部件一般采用镀锌表面处理方式，建议提升电子风扇防腐等级，如镀锌增加钝化和封闭，中性盐雾试验标准提升至168h 无红锈。	
2	空调压缩机	空调不制冷，空调压缩机卡死。	此压缩机主体为铝和钢结构，因钢铝混合的阳极保护发生电偶腐蚀，导致空调压缩机卡死。	空调压缩机外部采用阳极氧化表面处理方式，内部采用镀锌镍的表面处理方式；钢铝连接部位采用隔离胶片或者喷粉处理，若结构原因不能隔离，则选用电位差小的表面处理，如达克罗、镀镍等。	
3	水加热器	车辆无法加速，检查发现水加热器功能异常，更换水加热器后恢复正常。	水加热器主体为铝、盖板为钢镀锌，故障原因： 1.水加热器本身基材耐腐蚀性能不足，锈蚀导致内部功能失效。 2.线束接头漏水，接头锈蚀导致短路。	建议提升水加热器防腐等级，如水加热器本体铝采用阳极氧化，盖板采用黑色电泳或者镀镍的表面处理方式；接头漏水建议优化设计结构或提升装配工艺。	
4	底盘暖风水管	底盘暖风水管锈蚀穿孔，导致漏液。	故障原因：1.暖风水管连接结构设计在底盘排液孔下方，加速连接卡箍的锈蚀，导致卡箍失效漏液。2.卡箍防腐等级偏低。	建议优化结构设计，暖风水管连接结构避开底盘排液区域；卡箍选用达克罗表面处理方式，提升防腐等级，一般选用中性盐雾试验标准提升至480h 或者720h 无红锈。	

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
5	制动油管 铆接头	制动油 管铆接 头锈蚀 穿孔， 导致漏 油。	通常制动油管接 头一般设计为镀 锌，中性盐雾试 验标准为 240h 无 红锈，防腐等级 偏低，容易出现 锈蚀导致穿孔漏 液。	建议选用镀锌镍表 面处理方式，提升 制动油管接头防腐 等级，将中性盐雾 试验标准提升至 480h 无红锈。	
6	制动油管 管体	制动油 管管体 锈蚀穿 孔，导 致漏 油。	制动油管管体基 材为低碳钢，表 面处理方式选用 镀锌，底盘石击 容易出现腐蚀， 导致穿孔。	建议增加 PVF 涂 层或者 PA 涂层， 提升制动油管管体 耐腐蚀能力。	
7	制动钳	制动钳 卡死， 不回 位。	制动钳一般采用 镀锌工艺，中性 盐雾试验标准为 240h 无红锈，故 障原因是表面处 理质量问题，遭 受碎石击打和盐 水侵蚀后，涂层 破损锈蚀，导致 制动钳卡死。	建议选用镀锌镍表 面处理方式，锌镍 涂层硬度较高，防 石击性能好，提升 中性盐雾试验标准 为 480h 无红锈。	
8	减振器螺 旋弹簧	减振器 螺旋弹 簧断裂	螺旋弹簧一般采 用粉末喷涂的表 面处理方式，故 障原因是遭受碎 石击打，涂层破 损，本身基材腐 蚀导致强度不 足，引发断裂。	建议螺旋弹簧选用 良好的基材，一般 采用 55CrSi；优 化制造工艺，改 进喷丸工艺、保 证良好的粉末涂 层，建议采用双 涂层粉末（膜厚 不低于 220μm）， 提升中性盐雾试 验标准为 720h 无红锈。	

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
9	车轮装饰盖板	车轮装饰盖板脱落	车轮装饰盖板的金属线圈因本身基材较差,产生锈蚀后导致卡接不牢固而脱落。	建议提升金属线圈抗腐蚀性能,将中性盐雾试验标准提升至480h无红锈。	
10	雨刮器总成	雨刮器刮臂卡死失效	雨刮臂表面采用镀锌工艺,一体冲压成型,膜厚偏低,防护等级不够,导致腐蚀后旋转阻力增大,且连杆与转轴之间存在干涉,增加电机负荷,导致雨刮臂卡死失效。	建议增加涂层膜厚,将中性盐雾试验标准提升至720h无红锈;调高连杆与转轴缝隙高度,避免干涉。	
11	燃油加注口盖板	燃油加注口盖板无法关闭	燃油加注口盖板下侧的装配间隙较小,运动过程中与侧围发生干涉;电泳漆磨损产生腐蚀,腐蚀产物累积影响盖板的开闭。	建议调整销轴处的包边尺寸,控制好销轴间隙,减少下沉量;控制盖板的车身安装点及内外板的焊接公差,同时注意盖板成型后的回弹角度。	
12	车窗玻璃升降器拉索	车窗玻璃升降器拉索断裂	车窗玻璃升降器拉索一般会涂覆油脂对其润滑,同时也能起到一定的防腐作用,故障原因为玻璃升降器的零件间的匹配间隙不当,破坏了表面的油脂层,从而导致腐蚀和断裂。	建议调整油脂的涂抹量,保证其润滑性;检查固定块及滑轨的匹配间隙。	

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
13	机舱盖板锁总成回位弹簧	机舱盖板锁总成回位弹簧断裂	机舱盖锁总成回位弹簧本身基材耐腐蚀性能不足,回位弹簧锈蚀,从而导致其强度降低,引起断裂,导致锁钩无法回位。	建议提升弹簧的耐腐蚀性能,将中性盐雾试验标准提升至 240h 无红锈。	
14	侧围外板	车身地板区域出现漏水	侧围外板因涂层厚度不足,造成局部腐蚀,腐蚀产物跨过密封的涂胶区域,产生间隙,导致局部出现漏水。	建议提升防水密封处理,如增加密封胶、搭接面增加点焊胶。	
15	空调线束卡夹	空调线束卡夹松脱	空调线束卡夹的本身基材的表面防护等级低及产品质量控制不佳,线束卡夹严重腐蚀,无法固定,导致松动脱落。	建议提升空调线束卡夹的耐腐蚀性能,将中性盐雾试验标准提升至 720h 无红锈。	
16	侧围下板	车身后部地板处出现漏水	车身后部地板局部刚度不足,试验后存在小裂纹,腐蚀后裂纹进一步扩大,导致车内漏水。	建议在车身后部地板周边增加结构胶和焊点的布置,提升局部刚度,并优化 PVC 的涂抹厚度。	
17	线束插接头	线束插接头漏水,导致短路。	线束插接头存在密封性问题,导致局部进水,内部金属腐蚀后发生短路,导致功能失效。	建议插接头密封结构,优化或提升装配工艺。	

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
18	搭铁线螺栓	螺栓锈蚀引起断裂，搭铁线接触不良。	焊接螺栓根部焊缝不完整，导致圆焊缝内部存在积水区域，螺柱锈蚀发生断裂，进而导致搭铁线接触不良。	建议优化焊接参数，保证圆焊螺栓根部是完整的焊缝。	
19	安全气囊发生器	安全气囊发生器严重腐蚀，影响气囊弹出功能。	安全气囊安装支架由于本身基材耐腐蚀性能不足，严重腐蚀后影响气囊的弹出功能。	建议提升安全气囊支架的耐腐蚀性能，将中性盐雾试验标准提升至 480h 无红锈。	
20	LED 车灯	灯珠支架功能区变色、异常，光通量严重下降。	大气中氯离子和硫离子进入 LED 车灯，加速了腐蚀。含硫的气体侵入 LED 封装胶、支架等地方，发生硫化反应，致使灯珠呈现出颜色发黄变暗；氯离子具有较强的穿透性和吸附性，会破坏金属的钝态和氧化层，使金属受到侵蚀。	1. 选择质量良好的、耐蚀的支架基材。 2. 采取适宜的电镀工艺，保证形成晶粒细腻、结构致密的镀层，镀层厚度均匀并达到防护要求。 3. 对于表层镀层为银的支架，选取有效的银保护工艺，提高银支架的防变色能力。 4. 确保 LED 封装严密，以降低因环境中的水汽和氧气等的侵入而引发各种腐蚀的可能性。	 

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
21	镀锡端子	镀锡引脚变色	<p>镀锡端子氧化是因为长直接触空气、水汽或受到异常高温、高湿度等环境影响，镀锡层吸湿表面容易形成水膜，并与空气中氧参与下表面形成无数电化学微原电池，锡作为电池失去电子被氧化，形成黑色或棕黑色氧化物层，从而影响了接触性能。氧化的端子接触电阻大，容易出现电流不稳定、信号失真、短路、开路等情况。</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.优化生产工艺。生产过程中控制不当或操作失误会导致镀锡层质量不稳定易变色，如孔隙率过高、表面粗糙等问题均会导致镀锡层易氧化变色。可通过优化镀层厚度、改进镀层结构对其进行改善。 2.增加表面预处理和活化处理。在涂装前对基材进行彻底清洗，除去油污、锈迹和杂质等，再采用物理或化学活化表面，增加表面的极性和湿润性，提高涂层的附着力和防变色性能。 3.选择合适的保护涂层。选用性能优异、防腐蚀、防变色的优质涂料，控制合理的涂装间隔，使用适合的涂层配套方案。 	
22	冷却液温度传感器	<p>发动机正常工作时，冷却液温度一直低于80℃。</p>	<p>冷却液进入传感器插接器端子，产生腐蚀，引起短路，致使冷却液温度传感器的电阻增大。由于冷却液温度传感器的电阻偏大，ECU误认为冷却液温度较高，因而提高了冷却风扇的转</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1.定期检查、清洁和修复传感器的接线端子。 2.选用合适的传感器耐腐蚀材料。需要综合考虑材料的耐腐蚀性能、机械强度、所处工作环境等多方面因素。 3.选择性能优异、防腐蚀的优质涂层和覆盖层保护传感 	

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
22			速，导致风扇高速运行，冷却系统在强冷状态下运行，所以冷却液的温度持续偏低。	器免于腐蚀，特别是那些需要在高温或高压下的传感器。	
23	燃油箱系带	油箱系带断裂	燃油箱系带因本身基材耐腐蚀性能不足，经碎石击打后，涂层破损发生锈蚀，导致在应力作用下断裂。	建议采用镀锌板加电泳工艺，而非仅电泳工艺，即便是碎石击打后的锈蚀，也只是镀锌层腐蚀，不会影响碳钢基材结构强度。在结构上进行优化，加大防护胶套，减少石击面积。	
24	燃油滤清器	燃油滤清器锈穿、漏油	燃油滤清器本身基材耐腐蚀性能较低，经碎石击打后，涂层破损发生锈蚀穿孔。	建议提升防腐设计标准，燃油滤清器一般为镀锌，将中性盐雾试验标准提升至 240h 无红锈；也可考虑结构设计优化，增加护板减少石击影响。	
25	喷油管管体	喷油管锈穿、漏油	喷油管其中一端为碳钢材质，另一端为不锈钢材质；两者之间存在电位差，发生电偶腐蚀，导致接头锈蚀穿孔漏油。	建议接头的表面处理采用锌镍合金作为其表面处理方式，减小油管连接处电位差，提高其耐腐蚀性能。	
26	动力电池	电池组绝缘故障	电池组接插件塑料壳体与铝件之间存在间隙，发生缝隙腐蚀，水汽进入后引发绝缘故障。	建议更改铝型号，采用耐腐蚀性能较好的铝材；优化护板结构设计，确保护板足够大，对盐水冲击起到阻挡作用。	

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
27	涡轮冷却空气管卡箍	涡轮冷却空气管卡箍断裂	涡轮冷却空气管卡箍通常采用不锈钢材质，导致腐蚀断裂可能原因：一是卡箍使用耐腐蚀性能偏低的不锈钢材质，因自身材质问题导致锈蚀；二是连接的地方有铝材质，存在电位差，产生电偶腐蚀；三是存在应力腐蚀。	建议使用 304 以上不锈钢材质；结构上要规避在铝材料中使用，或者增加绝缘隔绝；选用耐应力腐蚀材料。	
28	涡轮冷却液管管体	涡轮冷却液管管体开裂、漏液	涡轮冷却水管表面处理等级偏低，耐腐蚀能力较差，导致整个冷却水管体系都锈蚀严重，且存在开裂漏液现象。	建议在结构上避免石击，如增加防护结构等；表面防腐处理等级提升或材质提升，如使用铝管等。	
29	起动机	起动机卡死失效	起动机卡死失效的主要原因，一方面是安装位置过低，且缺少护板防护，极易受到碎石击打和盐水腐蚀；另一方面是表面防腐防护等级不足，耐腐蚀性能较差。	建议优化结构设计，提高起动机离地高度，另外可考虑增加护板，从而减少碎石击打和盐水腐蚀；提升表面防腐等级，提高其耐腐蚀性能。	
30	中控屏幕	中控屏幕黑屏	中控屏幕密封不良，水汽渗入，导致线束针脚或电路板发生腐蚀，引起短路，显示屏黑屏。	建议优化结构设计或提升装配工艺，避免水汽进入，提高其密封性。	

(续)

序号	零件名称	故障描述	原因分析	优化建议	照片示例
31	发电机	发电机卡死失效	发电机皮带轮及轮轴通常选用的是碳钢材质，转动机构一般不做表面处理，在盐水渗入后极易发生腐蚀，导致皮带轮及轮轴锈蚀导致卡死。	建议发电机皮带轮及轮轴选用更高等级的碳钢材质，如409材质。	

5.4 腐蚀试验划痕数据统计及典型案例分析

腐蚀试验中，为了验证车身防腐工艺和漆膜附着力，一般会在车身指定区域按照一定要求划上若干条划痕，通过测量其扩散量来验证车身表面油漆质量和基材防腐性能。

5.4.1 腐蚀试验划痕数据统计

为了方便给行业提供更加全面、科学的指导意义，统计了海南热带汽车试验有限公司近5年的试验车辆划痕扩散数据（仅统计60循环以内（含）的结果），并进行分析。划痕扩散量与车身的防腐性能密切相关，一般而言，划痕扩散量越小，说明基材和涂层的防腐性能越好，划痕扩散量越大，则基材和涂层的防腐性能越差。

1. 车身各区域划痕平均扩散量

将车身划分为车门、翼子板、机舱盖板、行李箱盖和顶盖五个区域，并分别统计其30循环和60循环的划痕扩散量数据，见图5-16所示。

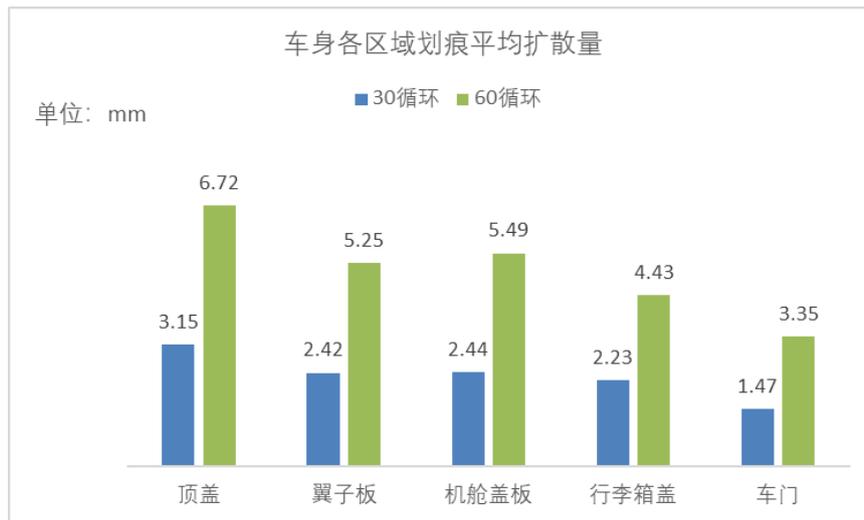


图 5-16 车身各区域划痕平均扩散量

车身五个区域中，车门的划痕表现最好，第 30 循环的平均扩散量为 1.47 mm，第 60 循环的平均扩散量为 3.35 mm，划痕的扩散量较小；顶盖的划痕表现最差，第 30 循环的平均扩散量为 3.15 mm，第 60 循环的平均扩散量为 6.72 mm，划痕扩散量最大。

车身划痕扩散量与车身各区域采用的基材及涂层质量密切相关，通过统计数据发现，不同区域划痕扩散量按大小排序为：车门 < 行李箱盖 < 机舱盖板 < 翼子板 < 顶盖，车门的划痕扩散量最小，说明大部分车企比较重视车门的基材选择，大量采用镀锌板等防腐性能较好的基材，而顶盖的划痕扩散量最大，说明大部分车企普遍不太重视顶盖的防腐，大量采用非镀锌板等防腐性能较差的基材。

通过数据分析，发现不同区域第 30 循环和第 60 循环的划痕扩散量变化趋势大致相同，第 30 循环的数据基本上能反映出车身的划痕表现（即车身不同区域的防腐性能优劣），因此在进行 CA-CAP 测评时，取第 30 循环的划痕扩散量即可评价车身划痕的防腐性能。

2.不同能源类别车辆划痕平均扩散量

将样本所有车辆分为燃油车和新能源车两大类，分别统计其划痕扩散量，见图 5-17 所示。

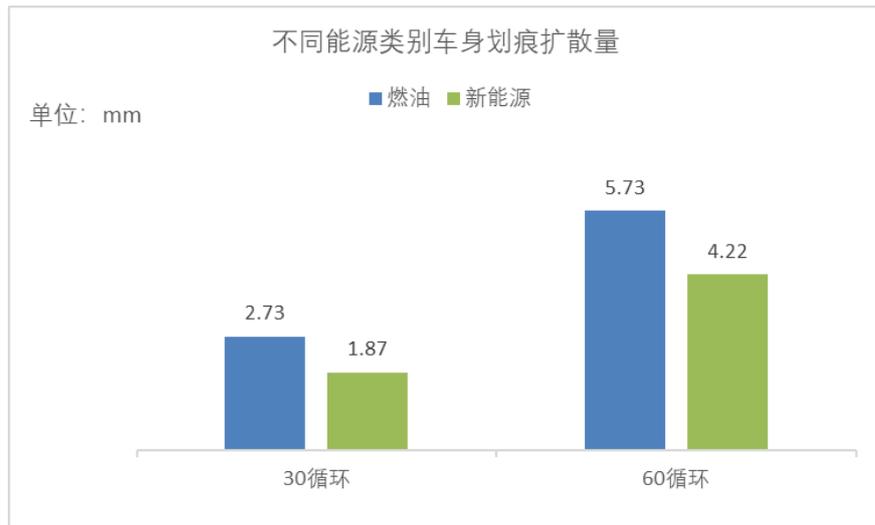


图 5-17 不同能源类别车身划痕扩散量

统计数据显示，划痕平均扩散量：新能源车 < 燃油车，说明新能源车的车身防腐蚀性能要好于燃油车，这可能与新能源车大量采用镀锌板等防腐性能较好的基材有关，车身镀锌板的采用与汽车的售价和产品定位相关，燃油车尤其是售价较低的低端车型，车身采用镀锌板比例较低，导致划痕扩散量较大。

3.不同类别样车划痕平均扩散量

样车按 SUV、轿车和 MPV 分类，统计结果如图 5-18 所示。

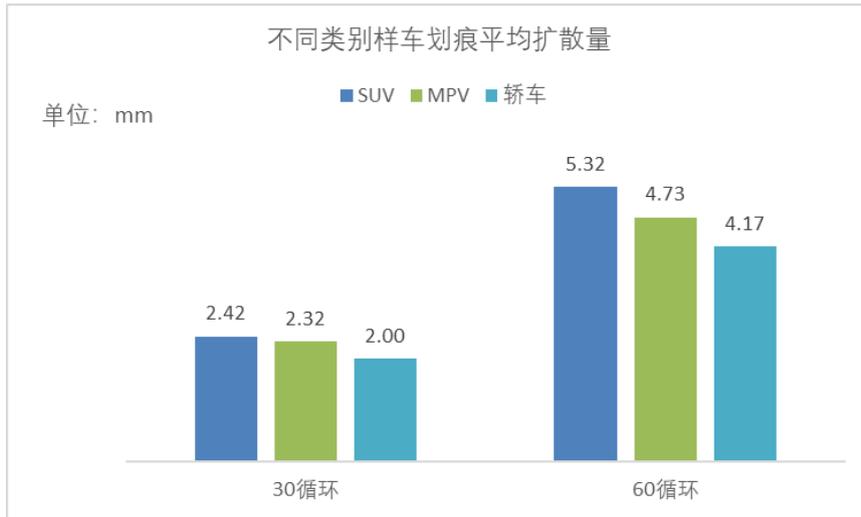


图 5-18 不同类别样车划痕平均扩散量

划痕平均扩散量：轿车 < MPV < SUV，统计样本中，轿车的划痕表现最优，其次为 MPV 和 SUV，划痕扩散量与样本的构成及不同车身的基材、涂层质量相关。

5.4.2 腐蚀试验划痕典型案例分析

选取腐蚀试验划痕扩散较严重的典型案例分析，如表 5-5 所示。

表 5-5 腐蚀试验划痕典型案例分析

划痕区域	机舱盖板	
照片示例	<p>试验前</p> <p>机舱盖板 (左)</p>	<p>试验后</p> <p>机舱盖板 (左)</p>
现象描述	划痕位置基材腐蚀，划痕两边严重扩蚀，漆膜鼓泡。	

(续)

原因分析	1.采用了冷轧板。 2.前处理效果差。 3.电泳膜厚低，面涂膜厚偏低。
优化建议	1.改善前处理性能。 2.提高电泳膜厚及面涂膜厚。 3.采用镀锌板。

中消会CA-CAP工作组秘书处
 长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

第 6 章 汽车防腐技术研究

汽车防腐技术是汽车工业中一个重要且受到持续关注的领域。随着汽车轻量化、新材料应用以及环保要求的提高，汽车防腐技术正朝着提高防腐材料的创新与应用、加强防腐设计和结构优化、建立动态腐蚀监测网络、推动行业标准的建立和完善、强化消费者科普和权益保护以及加强国际合作与技术交流等趋势发展。

6.1 防腐开发目标设定

根据汽车目标市场和腐蚀环境严苛等级，制定整车防腐目标。再根据整车防腐目标要求分解到整车各零部件的防腐要求，包括零件的表面处理要求，腐蚀试验及评价要求，白车身涂装要求，密封胶及防石击涂层的使用要求等。

高腐蚀地区主要为北美、欧洲区域，中腐蚀区域主要为东亚，低腐蚀区域主要为中亚及非洲。生产企业应该首先根据产品销售区域，再结合产品售价及目标用户确定合适的外观锈蚀、功能失效、安全性故障的质保年限，比如 3 年无外观锈蚀，6 年无功能故障、10 年无安全性故障，再细化控制目标。

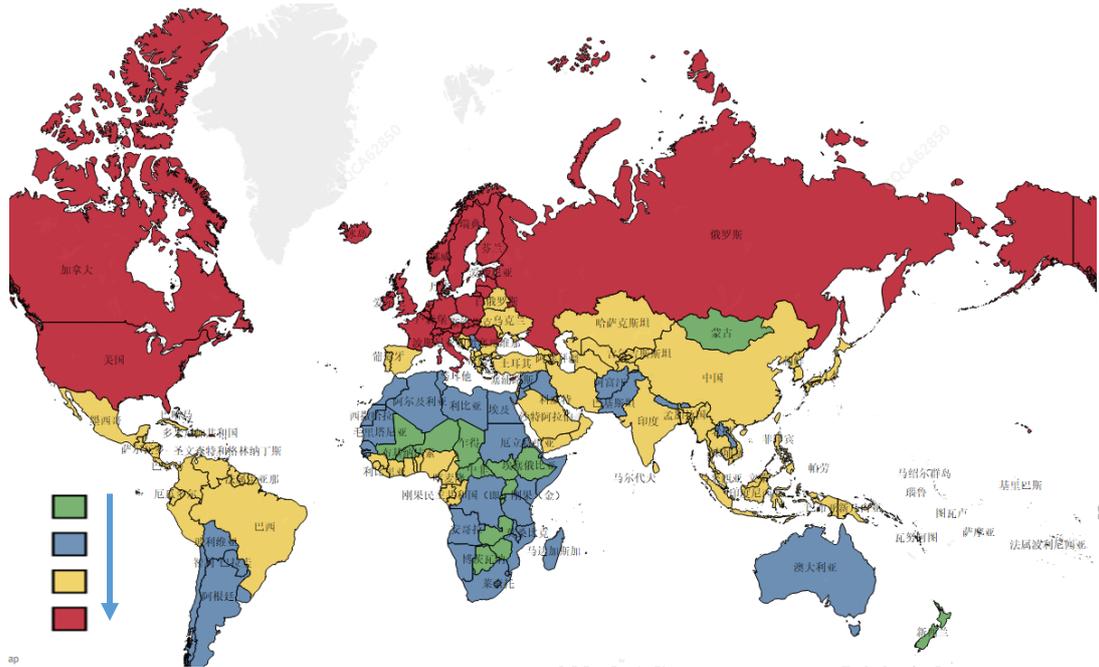


图 6-1 某车企划分的全球腐蚀环境等级

整车腐蚀防护措施建立的环节，其过程的实施和验证也是贯穿整车开发过程周期的。在企业开发新车型时，应结合企业腐蚀设计相关标准体系、目标市场及竞品车型情况，进行综合分析，从而制定出新车型的防腐目标。前期防腐目标定义清晰，对后续设计方案、生产工艺等方面起着决定性的指导作用。

在整车防腐目标清晰的前提下，整车腐蚀防护可以分解为车身防腐措施的要求和零部件/子系统防腐措施的要求两个大的方面。就车身防腐措施要求而言，车身防腐性能与设计、选材、工艺等因素有关，各个影响因素相辅相成、协同作用，共同提升车身的防腐性能。

设计方面，主要考虑的因素有钣金的连接结构，电泳方式和工艺孔设计等。以连接结构举例来说，一般钣金件之间的搭接面都是平的，在搭接面中间不容易形成电泳漆膜，此时就需要在这些连接面之间有焊接密封胶填充或者在涂装车间增加一道焊缝密封胶密

封，提供缝隙保护。但是对有些连接结构来说，连接面做不到密封，比如发动机舱里面或者有些车底的焊接在地板上的加强件或者底盘零件的安装件，传统的平面焊接连接方式在腐蚀试验后容易出现锈蚀问题。现在针对这些连接结构可以设计成凸台的方式，以使电泳液充分地渗入，从而形成最大限度的电泳漆膜保护，提升防腐性能。

材料方面，主要因素有材料的规格型号、厚度和涂层等。现阶段，在整车轻量化发展的趋势下，车身钣金件变得越来越薄，而钣金件的变薄和防腐性能的提升是矛盾的，这就需要充分考虑对腐蚀的影响，而不是单纯地从减薄减重的角度考虑。

工艺方面，主要分为密封工艺和油漆工艺。以密封工艺来说，这里包含了车身车间的密封工艺和涂装的密封工艺两个部分。密封工艺不仅有防水防尘及降噪的功能性作用，还起到防腐作用。从提升防腐方面考虑，往往车底密封取得的效果要比车内密封的效果好。

表 6-1 为某车企细化防腐目标。

表 6-1 某车企防腐目标细化

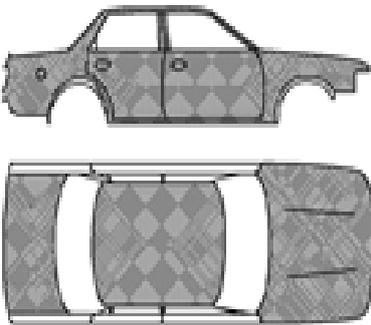
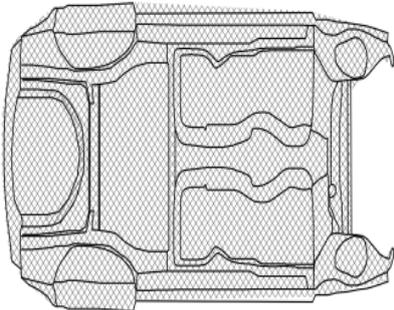
部位	高可见	中可见	低可见
车身	材料：镀锌板 电泳漆膜 $\geq 6\mu\text{m}$ 钣金搭接涂胶， 宽度 $\geq 6\text{mm}$ 尖角扣合无缝隙， 无毛刺	材料：冷轧板 电泳漆膜 $\geq 6\mu\text{m}$ 钣金件搭接涂胶， 宽度 $\geq 6\text{mm}$ 尖角扣合无缝隙， 无毛刺	材料：冷轧板 电泳漆膜 $\geq 6\mu\text{m}$ 钣金件搭接涂胶， 宽度 $\geq 6\text{mm}$ 尖角扣合无缝隙， 无毛刺
零件	高腐蚀区域： 耐中性盐雾 480h 中腐蚀区域： 耐中性盐雾 240h 低腐蚀区域： 耐中性盐雾 120h	中腐蚀区域： 耐中性盐雾 240h 低腐蚀区域： 耐中性盐雾 120h	高腐蚀区域： 耐中性盐雾 480h

6.2 结构设计

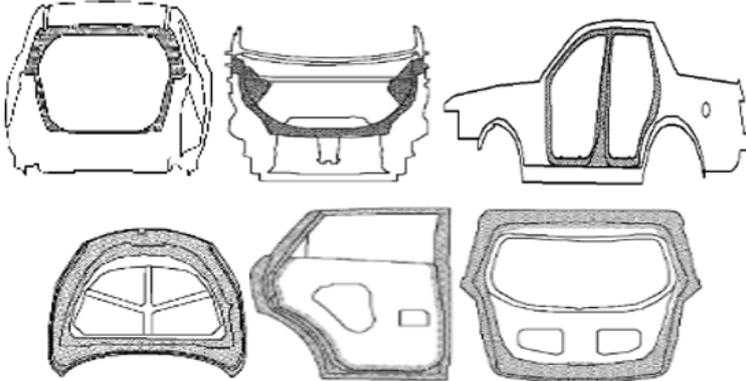
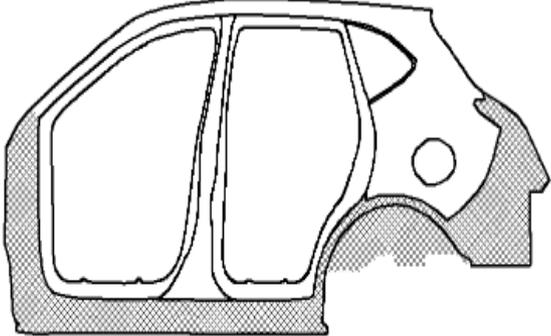
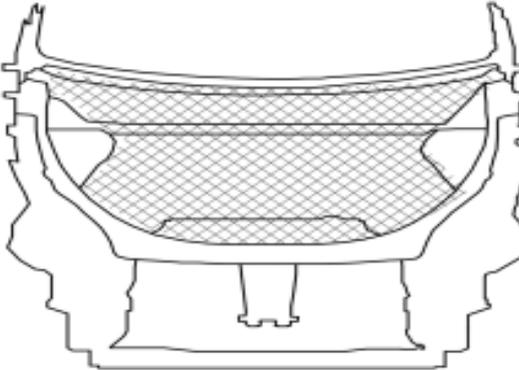
6.2.1 车身防腐分区

车身的干湿区划分是车身防腐开发设计中重要内容。车辆在涉水（如淋雨、洗车、积水、雨雾等情况）过程中，有水涌入或进水风险较大的区域，定义为湿区；除湿区以外的区域，涉水过程中无水浸入或者进水风险较小的区域，定义为干区。常见的车身各区域干湿区划分如表 6-2 所示。

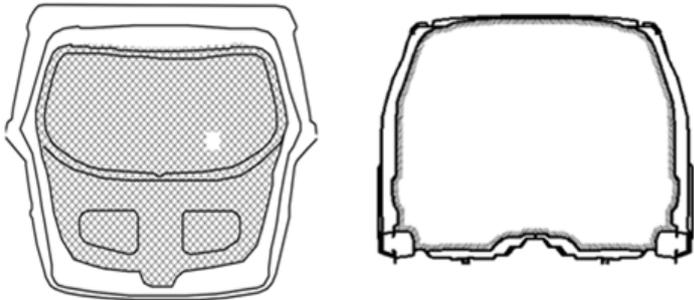
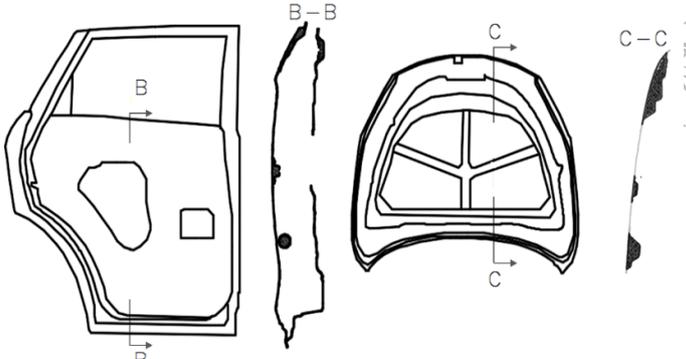
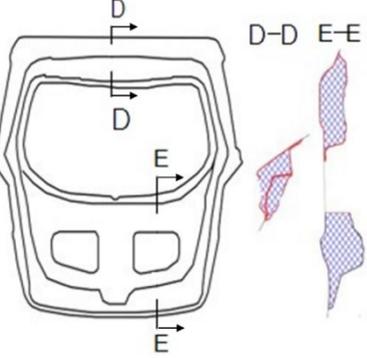
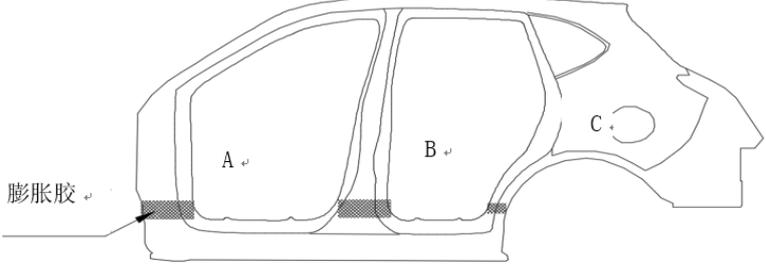
表 6-2 常见的车身各部位的干湿区划分

部位	图示	备注
乘员舱和发动机舱外直接看到的表面		深色部分为湿区
车底举起直接看到的表面		深色部分为湿区

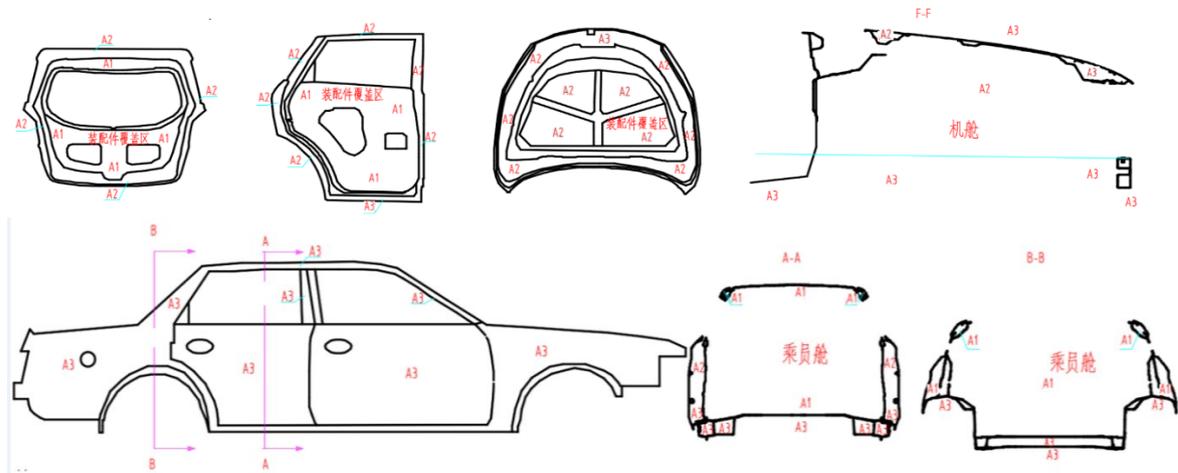
(续)

部位	图示	备注
<p>打开四门两盖直接看到的表面</p>		<p>深色部分为湿区</p>
<p>乘员舱、发动机舱外及车底被装配件覆盖的表面</p>		<p>深色部分为湿区</p>
<p>发动机舱内被装配件覆盖的表面</p>		<p>深色部分为湿区</p>

(续)

部位	图示	备注
乘员舱内和背门/行李箱内侧被装配配件覆盖的表面		深色部分为干区
车门和前罩的空腔和搭界面		深色部分为湿区
背门/行李箱的空腔和搭界面		深色部分为干区
除开闭件的车身空腔和搭界面		A/B/C柱膨胀胶的上部、乘员舱内的钣金形成的内腔为干区

依据各位置的腐蚀强度，车身各区的腐蚀环境分 3 个等级，见图 6-2。



A1—腐蚀轻微的工作环境；A2—腐蚀中等的工作环境；A3—腐蚀严重的工作环境

图 6-2 车身各区腐蚀环境等级

白车身防腐结构设计应满足白车身不同部位的防腐需求，外界腐蚀侵害因素对车身各部位的作用通常存在差异，与车身其他部位相比，下车身（车身腰线以下部位）、开闭件、翼子板相对易于腐蚀，需重点设计这些区域的防腐蚀方案。设计的基本原则：

1. 干区不进水。
2. 湿区排水通畅。
3. 预留必要的工艺孔，提高电泳效果。
4. 下地板减少迎风面，降低石击风险。
5. 提高单片钣金面积，减少钣金搭接数量和比例，降低锈蚀风险。
6. 钣金搭接位置预留刷胶位置等。

白车身防腐结构设计工作主要关注车身腔体结构设计、车身密封的结构设计，及用于局部区域涂覆防锈蜡的结构设计。电泳为白

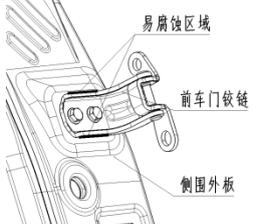
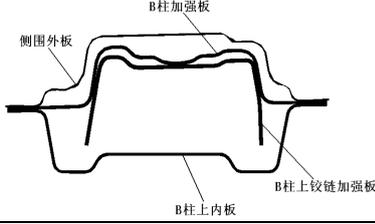
车身表面、腔体提供了最基础的防腐措施，搭接贴合及边缘结构通常采用涂焊缝密封胶、PVC 等密封防护措施。地板下横梁腔体、门槛腔体、四门下边沿腔体、前后纵梁腔体等部位可以采用注蜡防腐工艺。

腔体结构设计需要确保电泳层在腔体内的均匀分布，通常需要布置较多的排液、排气孔。设计时需综合考虑涂装材料性能、涂装工艺的差异来合理布置孔的数量、位置、尺寸以及钣金件的间隙，排气孔通常布置在车身局部的顶端，保证气体全部排出，避免在腔体内形成气室。

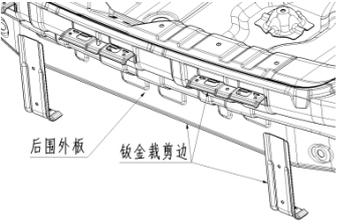
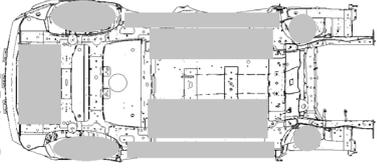
6.2.2 车身腐蚀防护

车身常见的腐蚀可以分为缝隙腐蚀、空腔腐蚀、锐边腐蚀和石击腐蚀，如表 6-3 所示。

表 6-3 车身常见腐蚀种类

腐蚀种类	易发生的部位	示例
缝隙腐蚀	车身钣金件连接、搭接、安装面部位，如前门铰链和侧围外板安装面位置，翼子板安装点、发动机盖铰链、后背门铰链与车体的安装面接触部位。	 <p>易腐蚀区域 前车门铰链 侧围外板</p>
空腔腐蚀	A\B\C 柱腔体、四门两盖内部、门槛腔体内部、前/后纵梁内部、前座椅横梁腔体内部等。	 <p>B柱加强板 侧围外板 B柱上铰链加强板 B柱上内板</p>

(续)

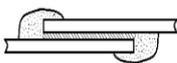
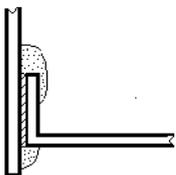
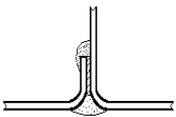
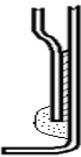
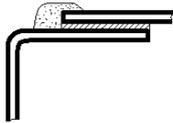
腐蚀种类	易发生的部位	示例
锐边腐蚀	车身钢板边界裁剪边处，工艺孔，安装螺钉孔，排水孔，流水槽等，如后围外板下部裁剪边、后地板下部纵横梁焊接边处。	
石击腐蚀	四门外板、后背门外板、发动机盖外板、翼子板、前/后地板下部、前后轮罩区域。	 <p style="text-align: center;">灰色为车身下部的重点石击腐蚀区域</p>

6.2.2.1 缝隙腐蚀防护

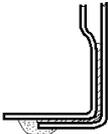
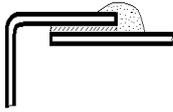
缝隙腐蚀是汽车腐蚀中最常见也是最严重的腐蚀形式，所有的金属及其合金都会发生缝隙腐蚀。在铆接、焊接及螺栓连接的位置都极易发生此类腐蚀，而含氯离子的环境更会极大地加快缝隙腐蚀的速度，对缝隙腐蚀比较敏感的宽度是 0.025mm~0.1mm。

车身板材搭接设计时，需要减少间隙及采用密封胶封闭间隙，表 6-4 为典型的密封方式。对于板材搭接时形成的腔体，除焊接边完全贴合以外，钣金件最小间隙应保证不少于 5mm。如空腔需安装隔断材料，则应保证空腔隔断材料的非贴合面距离钣金内面距离不少于 5mm。

表 6-4 典型的密封方式

典型密封形式	典型密封部位	典型密封形式	典型密封部位
	1. 防火墙与前地板搭接部位 2. 前地板与中地板搭接部位 3. 中地板与后地板搭接部位 4. 前地板与前地板中通道搭接部位 5. 顶盖与侧围外板搭接部位 6. 前轮罩前、后板搭接部位		门槛加强板、侧围外板搭接部位
	1. 闭合件包边部位 2. 侧围外板与后轮罩外板包边部位 3. 大顶与天窗骨架包边部位		侧围外板、门槛加强板、侧围外板搭接部位
	后地板与后围板搭接部位		1. 侧围外板与前风窗下横梁上板搭接部位 2. 后备箱横梁上板与尾灯灯罩板搭接部位
	1. 轮罩内板与轮罩外板搭接部位 2. 前地板与地板侧围板搭接部位 3. A 柱内板与防护墙搭接部位 4. 前轮罩板与防火墙搭接部位		1. 大顶与天窗骨架包边部位 2. 后轮罩外板与车身侧围板搭接部位
	后轮罩外板与侧围外板搭接部位		1. A 柱下内板与防火墙搭接部位 2. 侧围外板与尾灯侧灯罩板搭接部位 3. 前轮罩板与前减振器座搭接部位 4. 后围板与侧围外板搭接部位

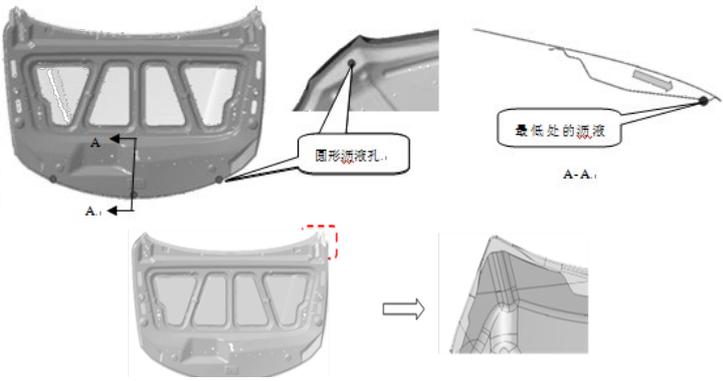
(续)

典型密封形式	典型密封部位	典型密封形式	典型密封部位
	后轮罩外板与侧围板搭接部位		1.前轮罩板与前减振器搭接部位 2.侧围外板与油箱加注口搭接部位
 代表点焊密封胶		 代表焊缝密封胶	

6.2.2.2 空腔腐蚀防护

由于电泳存在屏蔽效应，在设计时要保证有足够的排液孔（表 6-5）和排气孔（表 6-6），保证车身腔体内外表面的电泳膜厚都达到一定的厚度才能保证防腐效果，部分腐蚀环境严苛的位置可以增加注蜡防护。

表 6-5 某车型车身涂装排液孔设计要求

部位	参考设计	图示
发动机盖	发动机盖左右两侧前端最低处内板开直径至少为 6mm 的圆孔（或截面积至少为 28mm ² 椭圆孔）2 个~4 个。	

(续)

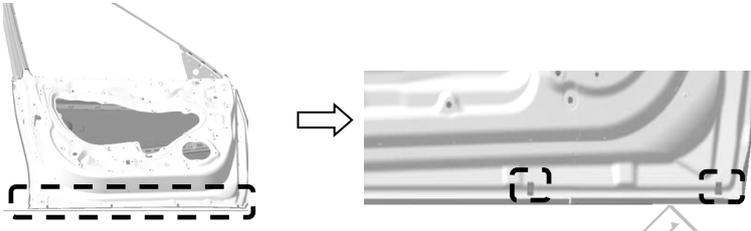
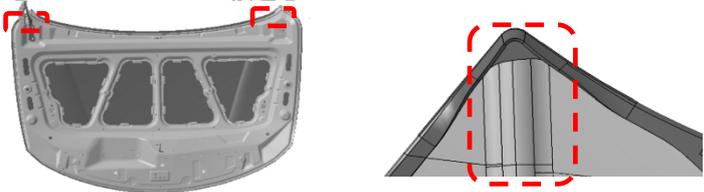
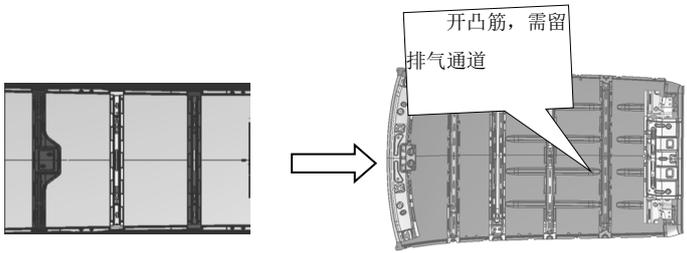
部位	参考设计	图示
前门	<p>车门下部最低点，内板开至少为 6mm×12mm 的方孔，或面积相同的长圆孔 2 个~3 个，孔间距约 200mm~350mm。为确保沥液干净，孔下沿距离外板的高度不应超过 2mm</p>	

表 6-6 某车型车身排气孔设计要求

部位	参考设计	图示
机舱盖	<p>应考虑机舱盖出入槽角度对机舱盖具体结构的排气性影响，排气孔至少保证高度 2mm~3mm，该排气孔最后应使用密封胶密封</p>	
顶盖横梁	<p>顶盖横梁因所处部位特殊，无法在顶盖多处开孔排气，应更改顶盖局部造型或更改横梁结构，使横梁前后通透，实现横梁排气的功能，顶盖尾部横梁入槽后位于最高点，应重点考虑排气性</p>	

(续)

部位	参考设计	图示
顶盖横梁	<p>对于顶盖横梁紧贴顶盖的结构：</p> <ol style="list-style-type: none"> 打膨胀胶的凹槽前后错开，两凹槽之间的钢板起凸台。 打膨胀胶的两侧钢板应做成波浪形结构 	

常见的车身开孔要求如表 6-7 所示。

表 6-7 车身工艺孔设计

车身结构区域		技术要求	
A 柱区域	A 柱下加强板	钣金间隙	电泳间隙 $\geq 5\text{mm}$ (必要的贴合面和过渡面除外, 如铰链安装面)
		电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 20\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 150mm
	A 柱上加强板	钣金间隙	电泳间隙 $\geq 5\text{mm}$
		电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 20\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 200mm
B 柱区域	B 柱加强板	钣金间隙	电泳间隙 $\geq 5\text{mm}$ (必要的贴合面和过渡面除外, 如铰链安装面)
		电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 20\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 200mm
门槛区域	侧围外板	钣金间隙	电泳间隙 $\geq 5\text{mm}$
		电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 20\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 200mm
	门槛加强板	电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 30\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 80 mm~150mm
	门槛内板	电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 30\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 200mm
顶盖区域	顶横梁	电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 10\text{mm} \sim 15\text{mm}$ (优先长圆孔) 开孔位置: 孔间距 100 mm~150mm

(续)

车身结构区域		技术要求	
前/后门区域	前后门加强梁	电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 10\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 50 mm~100mm
前/后盖区域	前后盖内板	电泳开孔位置及大小	开孔大小: $\varnothing 20\text{mm}$ 开孔位置: 孔间距 200mm

6.2.2.3 锐边腐蚀防护

锐边腐蚀是指锐边、尖角处，由于表面张力作用，漆膜薄，容易锈蚀。锐边腐蚀一般发生在尖角、折边、工艺孔、安装孔等位置。设计时需要减少这类位置腐蚀的发生，采用镀层板、涂胶密封等措施来进行防护。对于冲压钣金和孔边缘要控制好毛刺的高度，建议不超过 0.15mm。

冲压件的自由切边往往容易存在锋利的边缘甚至存在冲压毛刺，这个区域的电泳防腐能力降低，容易出现腐蚀。如果冲压的自由切边位于用户可见区域，存在由于腐蚀导致用户抱怨的风险。所以在车身结构设计中，应尽量避免在门板、翼子板、侧围外板等用户可见区域出现自由切边、冲压直孔，如无法避免，应布置闷盖、挡板、防石击涂层切边保护等相应防腐措施。

此外，冲压件的零件钢印，容易出现锋利的切边，切边位置的电泳防腐能力降低，容易出现腐蚀。如果钢印位置布置在用户可见区域，存在用户抱怨风险。所以在零件图纸中，应避免将钢印布置在减振器支座、车顶后部、翼子板边缘等用户可见区域。

6.2.2.4 石击腐蚀防护

在高速行驶状态下，车辆易受路面及周边车辆带来的砂石冲击，经常被砂石冲击的位置定义为石击区，在设计时可以采用软件

分析确定石击区域。在石击区通常采用喷涂防石击涂层进行防护。

车身底部，一般防石击涂层喷涂厚度在 0.6 mm~1.5mm，新能源车型通常把防石击涂层喷涂在电池底护板上，图 6-3 是常见的喷涂区域示意图。在进行车身底部的防石击涂层喷涂时，应符合如下要求：

1. 距离外轮廓 50 mm 以内的区域不喷涂。
2. 在容易遭受石击的如轮罩迎风面应喷涂。
3. 针对护板覆盖区域，覆盖边界小于 30 mm 的区域应进行喷涂，但应避开护板安装点。
4. 复杂的总装件覆盖区域，可不喷涂。
5. 需要进行遮蔽的孔及螺栓边缘 30 mm 以内不喷涂。

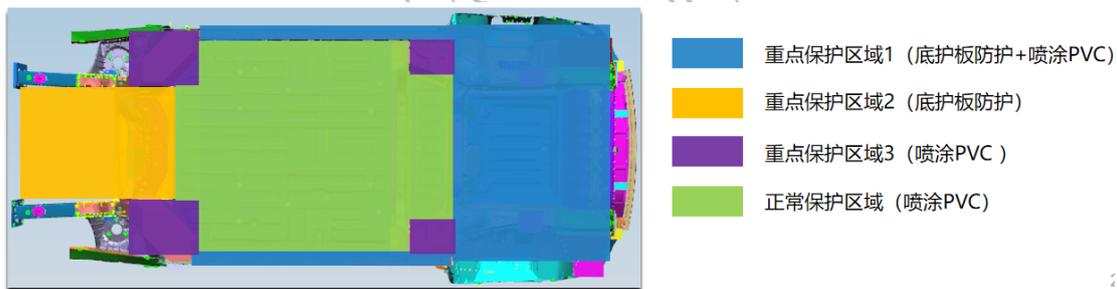


图 6-3 车身底部防石击防护示意图

车辆两侧裙边也是需要重点防护的区域，裙边防石击涂层的使用比车身底部更细腻，一般喷涂厚度在 0.3 mm~0.6mm。图 6-4 是裙边防石击胶喷涂示意图。



图 6-4 裙边防石击涂层示意图

有下护板结构的车型，可选择性喷涂裙边防石击涂层。

无下护板结构的车型，应喷涂裙边防石击涂层：

1. 喷涂区域宽度要求一般大于 40 mm。
2. 距断面 10mm 以内的区域，可不喷涂裙边防石击涂料（图 6-5）。
3. 若图示平面区域喷涂裙边防石击涂层，该区域不能设计总装安装孔（图 6-6）。

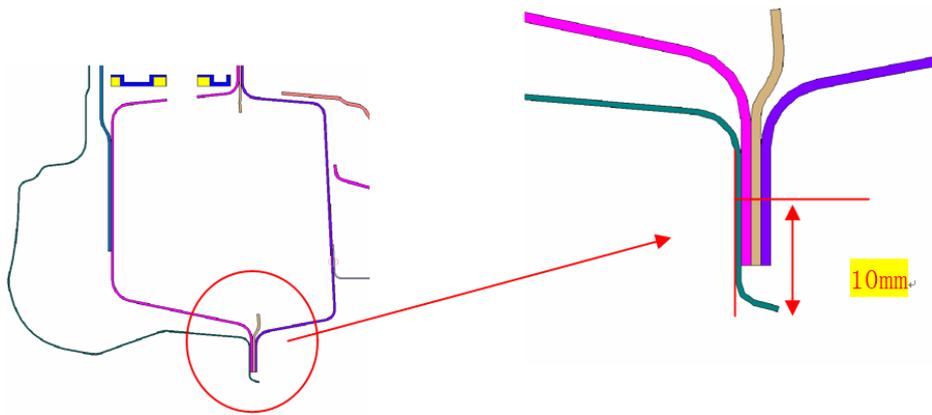


图 6-5 涂断面示意图



图 6-6 裙边防石击涂料喷涂平面区域示意图

6.3 材料选用

随着汽车轻量化技术的发展，高强度钢、铝合金、镁合金、工程塑料和复合材料等轻量化材料的使用日益增多。这些材料的使用对防腐技术提出了新的挑战，需要开发新的金属表面处理药剂、涂层防护材料以及适应这些材料特性的表面处理工艺。

车辆所用到的材料以金属为主，金属材料在汽车总重量中的占比约为 70%~80%，金属材料的腐蚀失效不但对零件外观造成影响，有时还会影响零件的功能性，并且腐蚀一旦发生，材料损失将无法挽回，腐蚀失效的代价较为昂贵，因此对金属材料的防腐保护是极其重要的。为了提高金属零件的耐蚀性能，往往采取在金属基材表面上人工形成一层与金属基材的机械、物理和化学性能不同的表面涂层，即对金属零件基材进行表面保护处理。但随着汽车市场的飞速发展，生产企业越来越重视对质量成本的控制。如何正确地选择金属零件的表面处理，既达到有效的防腐目的，又能最大程度地节约成本，是金属零件防腐的重要议题。

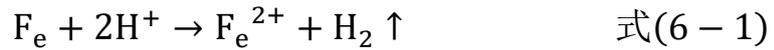
在目前的汽车工业发展阶段，车身钢板主要分为钢铁材料和轻金属合金材料。钢铁材料由于材料性能覆盖广，工业加工生产工艺成熟，价格相对较低，目前在汽车车身用材中占比九成以上；但随着汽车轻量化要求日益增长，轻金属合金材料（如铝合金、镁合金等）的制造加工工艺的日益完善，其在车身上的应用出现逐步上升趋势。

从整车防腐角度来划分，钢铁材料主要分为非镀层钢板和镀层钢板，轻金属材料目前应用最多的是铝合金钢板。

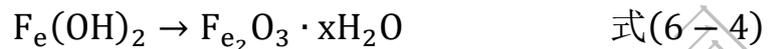
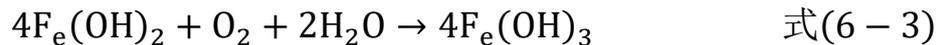
6.3.1 非镀层钢板

非镀层钢板在汽车上的应用主要是普通冷轧钢板，其本身是一种容易锈蚀的材料，在电解质环境中很快会发生电化学腐蚀。如钢材表面的电解质环境呈较强酸性的情况下，会发生析氢腐蚀；电解质环境呈弱酸性、中性或碱性的情况下，会发生吸氧腐蚀。式 6-1 至式 6-4 为钢材的析氢和吸氧腐蚀的化学反应方程式。

析氢腐蚀



吸氧腐蚀



普通冷轧钢板的腐蚀速率在汽车工业使用的钢板中，属于非常快的，以此类钢板作为车身钢板的话，有效的汽车涂装防护是车身防腐中非常关键的步骤。由于在汽车使用过程中车身油漆被破坏的情况无法避免，因此在防腐设计要求较高的车型、腐蚀环境较恶劣的区域（如底盘）、容易刮擦的区域（如四门两盖外板、侧围、翼子板），要避免使用普通冷轧钢板，如果在这些区域使用普通冷轧板的话，要在金属零件表面进行必要的腐蚀防护，如防石击涂层、防护板等。

此外，在车身涂装之前，对普通冷轧钢板零件在运输和仓储过程中的防腐措施非常关键。通过试验，发现普通冷轧钢板在无任何防腐保护措施的情况下，在 30℃、85%湿度的条件下，存放 3 天之后，钢板表面开始出现锈点（图 6-8）。普通冷轧钢板在焊接后，焊缝和焊点的区域更容易发生腐蚀，通过试验室模拟试验，在 30℃、85%湿度环境下，无任何防腐保护措施的情况下，焊缝在 24h 内出现生锈，焊点在 48h 内出现生锈。在特定的季节（如中国南方的黄梅天），高温高湿以及昼夜的温差变化带来的水汽凝结，导致无任何防腐保护措施保护的焊点在 2h 内就会生锈。表面生锈的钢板将严重影响后续涂装的涂层附着力和耐蚀性能，如图 6-9 所示。



图 6-8 在 30°C、85%湿度环境下，左侧为存放之前的普通冷轧钢板，右侧为存放 3 天之后的状态，红色区域的斑点为锈点



图 6-9 普通冷轧钢板表面腐蚀导致后续涂装涂层剥落（动态整车腐蚀强化模拟试验）

目前在国内范围的运输与仓储，通常采用涂防锈油的防锈方式，其原理是将防锈油均匀地涂于零部件表面，利用在零件表面形

成的油膜将零件与引起腐蚀的各种因素隔绝，以达到防止金属生锈的目的。

普通无镀层的钢板主要应用在车身内部件和腐蚀强度较低的区域，其需要很好地控制涂装前处理和电泳的质量，以达到良好的耐腐蚀性能。

6.3.2 带镀层的钢板

为提升汽车车身的耐蚀性能，车身钢板往往选择耐蚀性能更好的带镀层的钢板。最早用于汽车行业的带镀层钢板是镀锌钢板，随着科技和生产技术的发展，各种镀锌合金涂层钢板也逐渐用于汽车行业。

6.3.2.1 镀锌钢板

镀锌钢板于 20 世纪 70 年代开始在欧美得到应用。据统计，欧洲和北美的汽车白车身中的镀锌钢板应用比例很高，而国产自主知识产权的镀锌钢板应用比例比较低。但随着整车防腐性能成为影响汽车品牌竞争力的因素之一，国内自主品牌汽车在镀锌板的应用方面呈逐渐上升趋势。

钢板表面涂敷一层金属锌涂层，因此镀锌钢板相比普通冷轧板具有较强防腐性能。由于锌的标准电极电位比铁的标准电极电位低，作为牺牲阳极，保护钢板表面免受腐蚀，延长钢板的使用寿命。另外锌与铁相比，其腐蚀产物性质不同，相比于疏松的铁的氧化物，锌在自然环境中与潮湿空气中的 H_2O 、 O_2 、 CO_2 反应生成致密的碳酸盐薄膜，可将外部的腐蚀介质与内部金属隔离，防止内部金属进一步腐蚀。

镀锌钢板按照镀锌的方法，主要分为热镀锌和电镀锌。

1. 热镀锌

热镀锌也叫热浸锌或者热浸镀锌，是利用铁和锌的熔点不同，将除油除锈后的钢带浸入 500℃ 左右熔化的锌液中，使钢带表面附着锌层。由于热镀锌层表面粗糙度较大，对后续涂装的表面外观质量有一定影响。但随着热镀锌技术的不断发展，目前小锌花和无锌花钢板已经批量市场化，后续涂装表面外观也得到很大改善。

热镀锌钢板主要应用于汽车内外板及结构件，是国内汽车上使用的最多的镀层板。其表面有铝和锌的氧化层，表面化学活性低于电镀锌，锌层厚度变化范围较大，汽车上常用双面都为 $50\text{g}/\text{m}^2$ 的镀锌板，可满足不同区域的耐腐蚀要求。

镀锌钢板制造流程如图 6-10 所示。

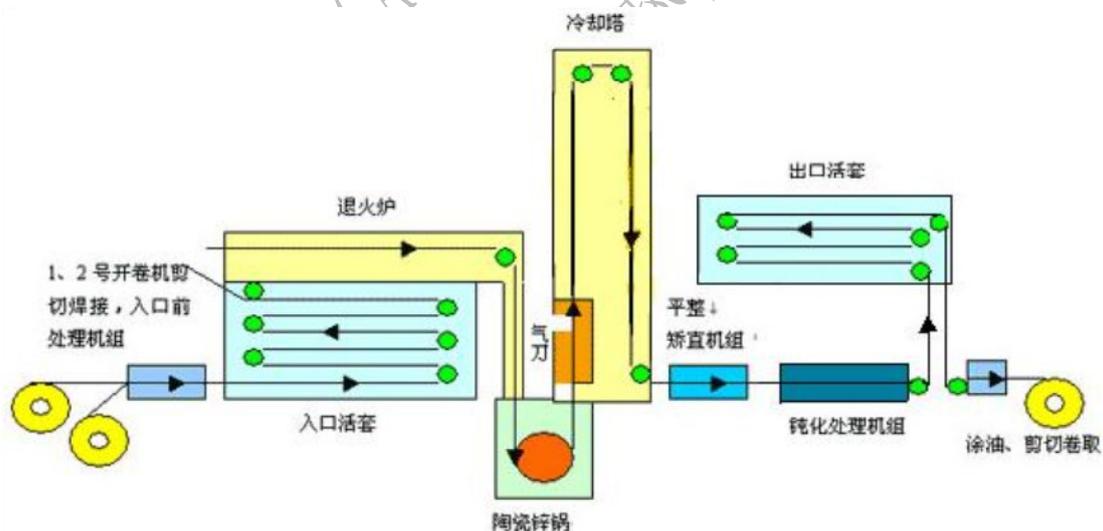


图 6-10 镀锌钢板制造流程示意图

2. 电镀锌

电镀锌，也称冷镀锌，就是利用电解，使电镀液中的锌离子得到电子后在钢带表面沉积，形成均匀、致密、结合良好的镀锌层。电镀锌钢板涂层表面粗糙度低，光滑平整，有利于提高后续涂装的

表面外观质量。另外在采用电镀锌钢板的情况下，应避免使用无铬钝化或者硅烷后处理的钢板，因为钝化层将影响钢板的导电性，使后续电泳工艺无法成膜（图 6-11）。

电镀锌材料的表面比热镀锌更加均匀，冲压成形性更好，是欧美系主机厂的常用材料，主要用在高外观表面的覆盖件上，通常厚度选择 $30\text{g}/\text{m}^2\sim 70\text{g}/\text{m}^2$ 。



图 6-11 红色圈出区域零件采用的无铬钝化镀锌钢板，电泳之后成膜性较差

由于锌是两性金属，既能和酸反应又能和碱反应。研究表明，锌在室温条件下，在 pH 值低于 6 或者高于 12.5 的区间内具有较高的腐蚀速率。因此应用镀锌钢板时，后续电泳前处理的脱脂工艺中要控制适当的 pH 值，过高的 pH 值可能会导致镀锌板表面出现“白斑”。另外如果镀锌钢板在碱性的前处理槽液中停滞过长，镀锌层表面同样会出现“白斑”（图 6-12）。因此如果遇到停线情况，需尽量避免车辆浸在槽液中；如无法避免，需加大溢流或用缓冲剂将浸洗槽槽液中和到 pH 值为 7。

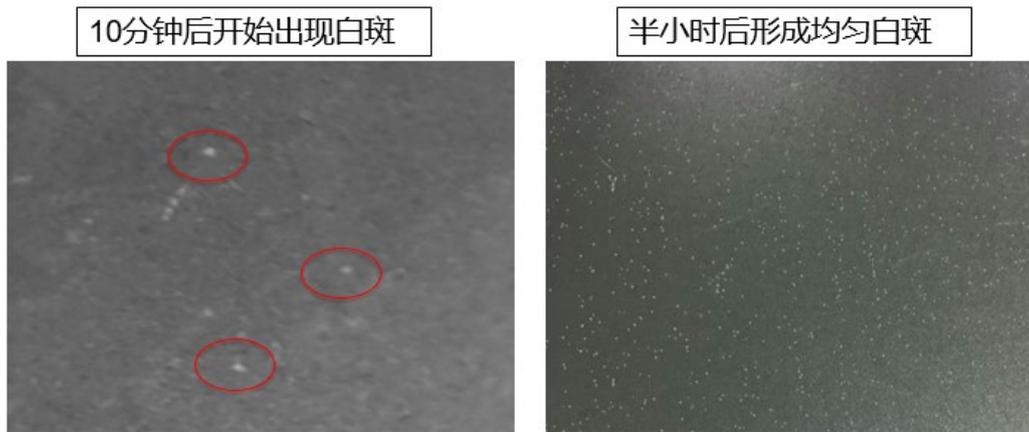


图 6-12 钢板在 pH 值为 8.6 的前处理槽液中放置，10min 之后开始出现白斑，30min 之后形成均匀白斑

6.3.2.2 热镀锌铁合金钢板

热镀锌铁合金钢板是钢板在热镀锌后，在 5~10 秒内把镀锌钢板在合金炉中加热到 550℃~560℃，使钢板中的铁向镀锌层中扩散，将纯镀锌层全部转化成锌铁合金镀层。热镀锌铁合金钢板的镀层结合力、焊接性、耐蚀性都好于普通镀锌钢板。但镀层的合金化结构导致电泳过程工艺窗口较窄，如果电泳工艺控制不当，易产生电泳针孔。相比于欧美品牌多使用镀锌钢板，日系车则偏好于热镀锌铁合金钢板。这主要取决于主机厂冲压、车身、涂装工艺特征和用材习惯。

6.3.2.3 热镀锌镁铝钢板

热镀锌镁铝钢板类似于热镀锌钢板，在镀锌液里面加入适量的镁、铝元素，最终形成锌镁铝三元合金镀层。其镀层主要成分为锌 96.4%~98%，镁 1.0%~1.8%，铝 1.0%~1.8%，镀层的主要微观结构是锌相和锌镁铝三元共晶相，见图 6-13。

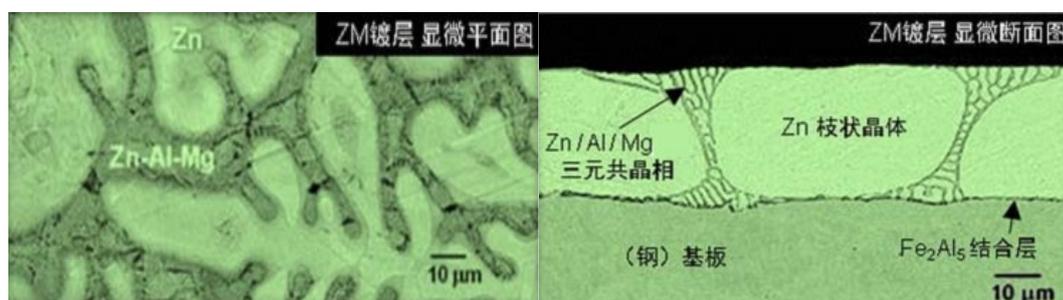


图 6-13 热镀锌镁铝合金钢板镀层微观结构

镀锌镁铝合金钢板在标准中性盐雾试验中，首次出现红锈的时间是普通镀锌钢板的 5~7 倍，见图 6-14。同时，镀锌镁铝合金涂层还具有“自愈合”能力，在钢板边缘形成稳定的保护层，显著提升了零部件和冲孔/切边边缘的耐腐蚀能力。相比于普通镀锌钢板，镀锌镁铝合金钢板的耐膜下扩蚀性能以及钢板边缘耐蚀性都比普通镀锌钢板有较大提高，见图 6-15。

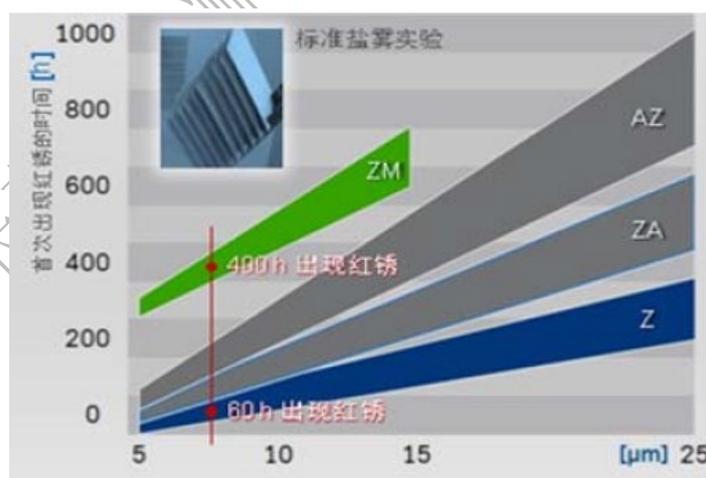


图 6-14 几种镀层钢板在标准中性盐雾试验中首次出现红锈时间对比

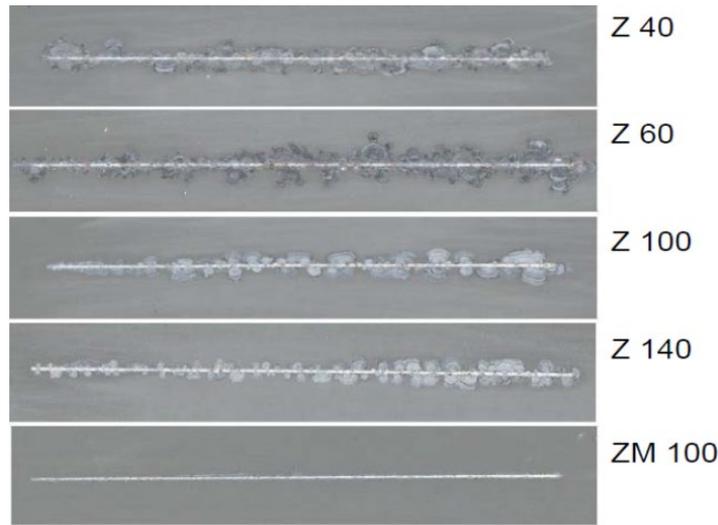


图 6-15 几种镀层钢板在 30 循环 PV1210 试验后划线区域腐蚀宽度对比

除了较好的耐蚀性能，镀锌镁铝合金钢板表面镀层更硬，具有较低摩擦系数，显著改善了摩擦过程中的表面黏滑特性，从而提升了钢板的深拉伸能力，并且在冲压成形过程中（即使在连续的冲压模具发热状态下），极大改善钢板对模具的磨损和黏附污染，减少模具擦拭及维护保养频次，提高冲压品质和效率，延长模具寿命。图 6-16 为镀锌镁铝合金钢板与普通热镀锌钢板在冲压过程中镀层磨损对比。

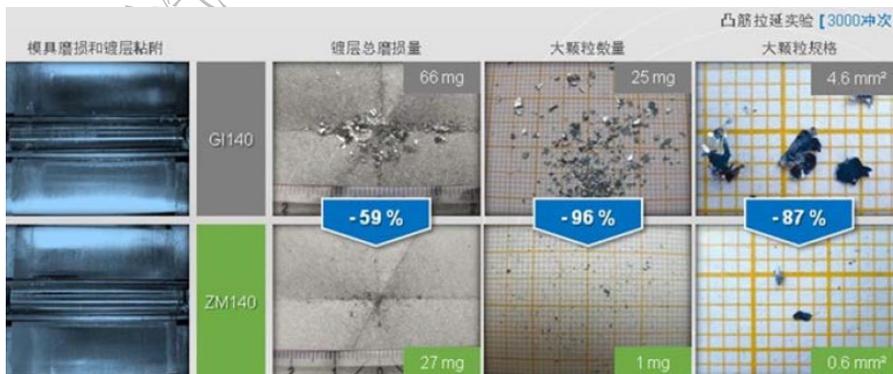


图 6-16 镀锌镁铝合金钢板与普通热镀锌钢板在冲压过程中镀层磨损对比

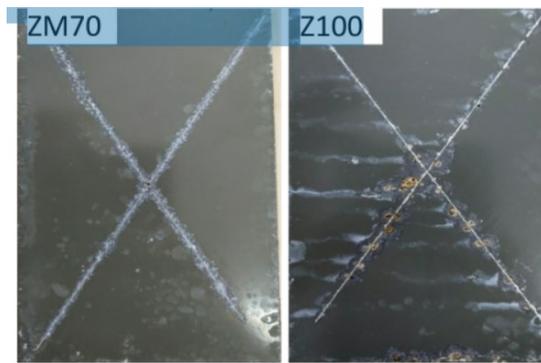


图 6-17 涂膜下的锌铝镁与镀锌板扩蚀对比

锌铝镁材料不仅拥有较低的摩擦系数利于冲压成形，且平面耐腐蚀、切边耐腐蚀和膜下耐腐蚀性能都非常优越，通常 $35\text{g}/\text{m}^2$ 的锌铝镁板就可以和 $50\text{g}/\text{m}^2$ 的镀锌板相当。目前在车身覆盖件以及底盘高腐蚀区零件得到了大量的应用。

6.3.2.4 带 Al-Si 镀层的热冲压成型的钢板

热冲压成型是将钢板加热到 900℃ 左右，快速转移到模具中高速冲压成型，通过模具中的水道进行冷却，从而得到具有超高强度零件的成型方式（图 6-18）。

在加热过程中，钢板表面会发生氧化，形成氧化皮，冷却成型之后，如果不进行抛丸/喷砂等物理处理，零件将无法进行后续电泳等表面防护处理，而对于一些形状复杂的零件，抛丸/喷砂等物理处理无法将零件所有表面的氧化皮处理干净，所以在热冲压成型过程中，需要对钢板表面进行保护，目前应用较多的是采用 Al-Si 镀层对钢板进行保护。

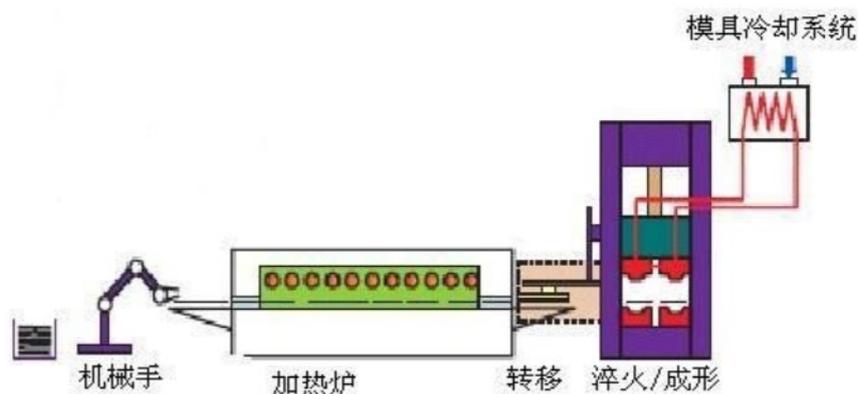


图 6-18 热冲压成型工艺示意图

Al-Si 镀层采用热镀的形式在钢板表面形成保护，在热冲压过程中，Al-Si 镀层和基体金属在晶间会互相渗透，从而镀层厚度会有所增加。Al-Si 镀层零件样品镶嵌、抛光、刻蚀（稀硝酸浸蚀液）之后，涂层结构如图 6-19 所示。

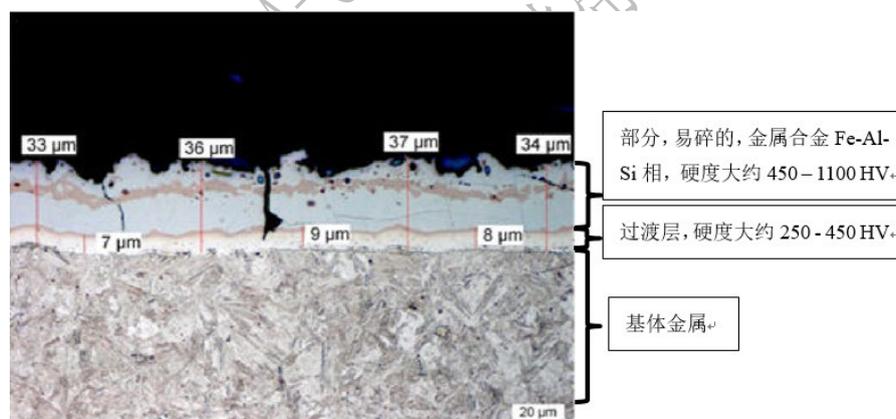


图 6-19 Al-Si 镀层 (AS150) 在热冲压成型工艺之后的结构示意图 (稀硝酸浸蚀后, OE = 500 : 1)

Al-Si 镀层的零件在后续涂装处理过程中由于其特殊的表面化学物理特性，不会发生磷化反应。在热冲压成型后，其表面为较粗糙的合金化结构（见图 6-20），保障了电泳漆膜拥有良好的表面附着力。但是，Al-Si 镀层的零件在通过磷化槽时，磷化槽中的 Al 含量必须小于一定限值，否则将影响车身其他零件的磷化效果。

对于 Al-Si 镀层的热冲压成型零件，在成型过程中通过加热炉的时间增加会导致过渡层的厚度增加，导致整个镀层的电阻增加，影响后续焊接质量（增加焊接飞溅、减小焊点直径），同时也会减少后续涂装工艺中的电泳层厚度。另外在热冲压过程中，还要对冲压模具的间隙进行监控，严格要求模具间隙大于板材厚度，否则会在冲压生产中导致零件表面的 Al-Si 镀层磨损剥落，剥落的 Al-Si 镀层残留在模具中，在持续生产过程中黏附在后续的零件表面，形成紫色斑带（见图 6-21）。紫色斑带会降低后续电泳的防腐能力，图 6-22 为 Al-Si 镀层的热冲压成型零件表面存在紫色斑带，导致动态整车腐蚀强化模拟试验后，零件表面出现涂层剥落。

随着车辆轻量化的要求越来越高，较薄厚度的超高强度零件的热冲压成型钢板在车身上应用越来越多，主要集中在超高强度车身安全结构件，如 A/B 柱加强板、中央通道、后纵梁、横梁加强件、脚部空间支撑横梁、门槛加强板、车顶侧梁加强板等。

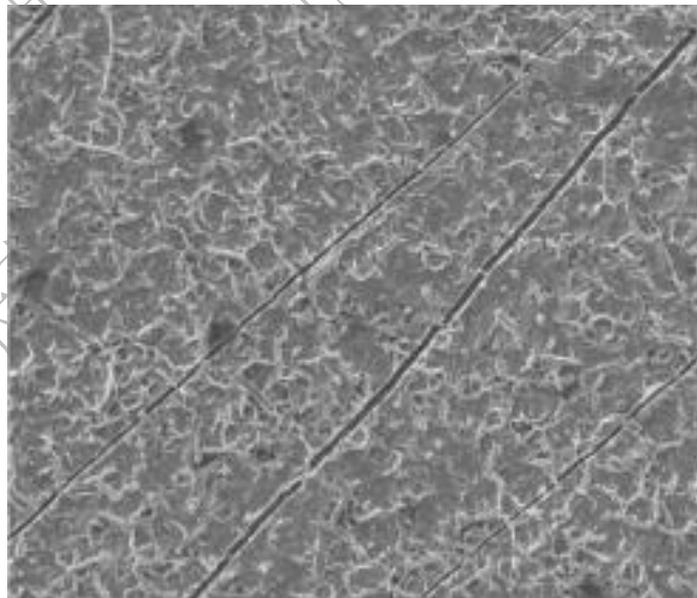


图 6-20 Al-Si 镀层在热冲压成型工艺之后的表面微观形貌（扫描电镜）

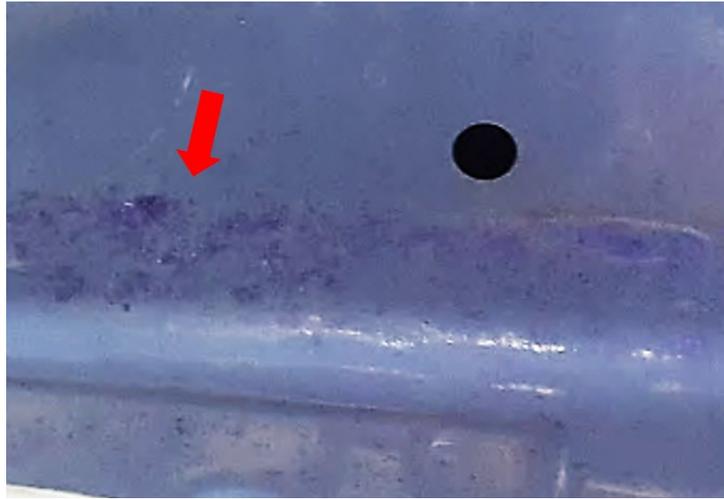


图 6-21 Al-Si 镀层的热冲压成型零件表面的紫色斑带



图 6-22 紫色斑带导致 Al-Si 镀层的热冲压成型零件涂层剥落（动态整车强化腐蚀试验）

6.3.3 轻金属合金钢板

由于环保和节能的需要，汽车的轻量化已经成为世界汽车发展的趋势。汽车的轻量化，就是在保证汽车的强度和安全性能的前提下，尽可能地降低汽车的整备质量，从而提高汽车的动力性，减少燃料消耗，降低排气污染。试验结果显示，汽车质量降低一半，燃料消耗也会降低将近一半。汽车轻量化的途径主要包括：①车型持续优化，在保留规格主参数尺寸的前提下，提升整车结构强度，降低耗材用量。②采用高强度材料，减薄车身板料厚度。③采用轻质材料，如铝、镁、陶瓷、塑料、玻璃纤维或碳纤维复合材料等。

当前，汽车轻量化措施主要采用轻质材料，用铝合金、镁合金、钛合金等轻质材料代替部分钢铁材料。

6.3.3.1 铝合金板材

目前应用最多的是铝合金材料，铝的密度约为钢的 1/3，是应用最广泛的轻量化材料。铝极容易和空气中的氧气发生反应生成致密氧化膜，这层氧化膜很好地保护了铝基材，当其受到损坏时，只要有足够的氧气存在，氧化膜就可以自我修复，因此铝材具有较好的耐腐蚀性能。铝合金材料在热带季风及海洋湿润气候条件下（如中国琼海）的腐蚀速率约为相同环境条件下锌腐蚀的二分之一，是一种耐蚀性能更好的汽车车身用材。

铝合金板材的加工流程和钢板类似（图 6-23），主要包括熔铸、热轧、冷轧、热处理等工序。目前主要使用的铝合金板材有 5000 系和 6000 系。6000 系具有较高的烘烤硬化性能，良好的成形性能，主要用于汽车外板和需要较高结构刚度的碰撞件。5000 系具有较好的成形性能，主要用于复杂的内板零件。

由于钢铝材料存在较大的电位差，容易形成电偶腐蚀，在设计时需要考虑密封、隔绝电位等措施。

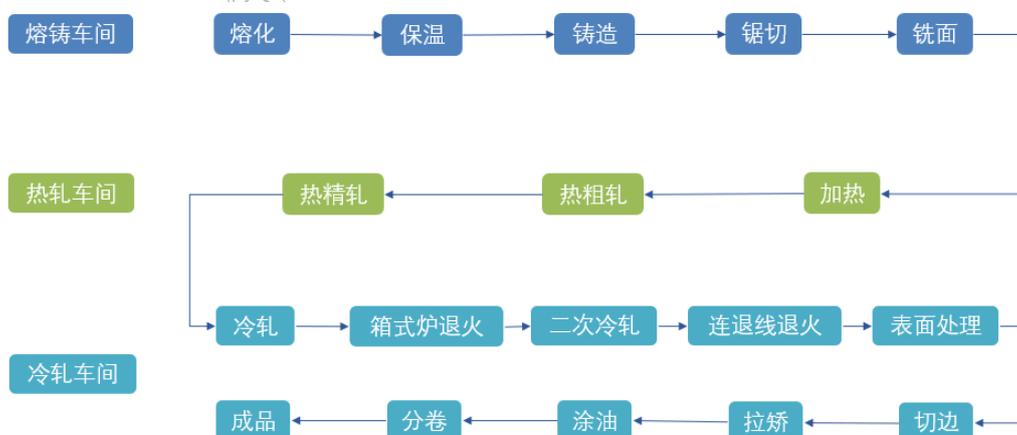


图 6-23 铝合金板材制造流程

由于铝合金材料表面覆盖着致密的氧化膜，因此在后续电泳处理过程中，需考虑对铝氧化膜的处理措施（如喷丸处理等），以避免影响电泳漆在铝合金零件表面的附着力及防腐效果。此外，鉴于铝合金在磷化液中容易溶解，铝离子会释放到磷化液中，如果铝离子的浓度在磷化槽液中超过规定值（大众要求 $\leq 50\text{mg/L}$ ），在钢铝混线生产过程中，钢板可能会出现磷化不均匀等缺陷，进而影响电泳漆膜的质量。因此，在钢铝混线生产中，必须严格控制磷化槽液中铝离子的浓度，并添加适量的氟硅酸根添加剂。同时，生产过程中还需注意对磷化槽中氟离子浓度（大众要求 $60\text{mg/L}\sim 150\text{mg/L}$ ）的精确控制，因为氟离子浓度不足将无法有效络合槽液中过量的铝离子，而氟离子浓度过高则可能侵蚀铝板和钢板，导致板材表面发黑和磷化膜变得粗糙。

涂装后的铝合金零件相比钢基材零件，更易发生丝状腐蚀，腐蚀通常发生在铝合金与其他材料的搭接区域。由于铝的标准电极电位较铁、钢、锌更负，铝更容易发生氧化反应，因此，当铝与上述金属接触时，易发生接触腐蚀。在铝、钢共线生产过程中，必须特别注意防止接触腐蚀的发生。例如，车身打磨工序中要确保铝、钢零件使用专用的打磨工具，防止铁屑黏附在铝件表面。最好为打磨工具采用彩色编码以区分，并及时清除打磨后的铁屑。涂装后，对铝制件与其他材料的接触区域应进行精细密封或粗密封处理，以防止腐蚀介质侵入零件接触面，引发接触腐蚀。在利用紧固件固定铝合金零件的过程中，总装车间应确保在安装和调整过程中避免铝合金零件表面的油漆损伤，因为油漆一旦受损，活泼的铝合金表面将很快发生接触腐蚀，导致零件表面出现丝状腐蚀。

6.3.3.2 镁合金板材

镁合金材料因其低密度、高比强度和良好的阻尼能力等特性，在汽车工业中具有广泛的应用前景。然而，镁合金的化学和电化学反应活性较高，导致其在潮湿环境、海水、土壤以及化学介质中容易受到腐蚀，同时也面临高成本和高废品率等挑战，限制了镁合金在汽车制造中使用量。尽管存在这些挑战，镁合金由于其轻量化优势，在汽车制造中的应用仍在不断扩大，特别是在乘员舱内等腐蚀相对轻微的环境，如转向支撑、座椅骨架等（图 6-24）。

镁合金的腐蚀类型包括全面腐蚀、局部腐蚀、电偶腐蚀以及应力腐蚀等。影响镁合金耐蚀性的因素包括合金成分、显微组织和腐蚀介质。例如，杂质元素如 Fe、Ni、Cu 等含量的增加会加速镁合金的腐蚀速率。为了提高镁合金的防腐性能，可以从改善镁合金的本征耐蚀性和采用表面防护处理技术两个方面进行，具体方法包括净化合金成分、开发新型耐蚀镁合金、改善镁合金的微观组织，以及应用表面钝化、有机/聚合物、金属/化合物镁合金耐蚀涂层等。

镁合金腐蚀加速现象见图 6-25，镁合金零件中性盐雾试验表现见图 6-26。



图 6-24 镁合金座椅骨架（绿色部分）

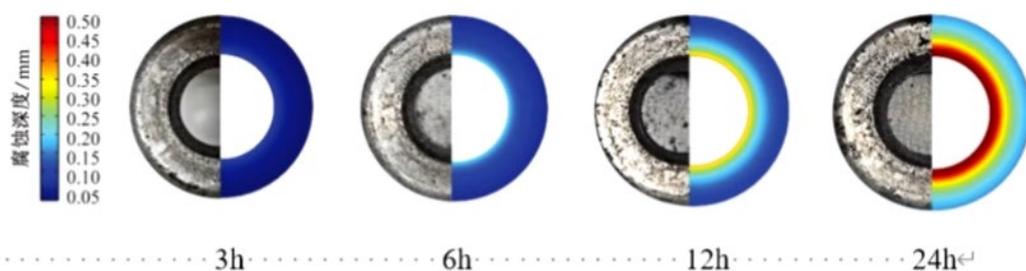


图 6-25 螺纹孔周边腐蚀深度与时间的变化



图 6-26 镁合金轮毂中性盐雾试验结果（360h）：96h 出现 3 级腐蚀，144h 出现 5 级腐蚀，360h 出现 8 级腐蚀

6.3.4 不锈钢材料

不锈钢是靠其表面形成的一层极薄而又坚固细密的稳定的富铬氧化膜（防护膜），防止氧原子继续渗入继续氧化，而获得抗锈蚀能力。按照组织把不锈钢分成奥氏体不锈钢、铁素体不锈钢、马氏体不锈钢、双相不锈钢和沉淀硬化不锈钢。铁素体不锈钢有良好的耐蚀性和焊接性，成本较低，主要应用在排气系统上。抛光后的不锈钢具有良好的外观，所以在车窗亮条上也得到了大量的应用。

在使用不锈钢时需要注意日常的维护，一旦富铬薄膜受到破坏，空气或液体中的氧原子就会不断析离出来，形成疏松的氧化铁，金属表面也就受到不断的锈蚀，同时需要注意氯离子的侵蚀。

6.3.5 碳纤维材料

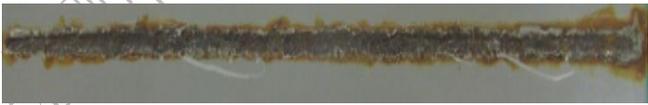
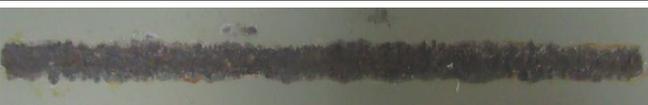
碳纤维具有高模量、高强度、低密度、低膨胀系数等优点，是汽车轻量化设计的优良材料。从 2011 年 BMW-i3 车型开始使用，BMW 7 系、AUDI R8、福特等多个车型上得到了大量的应用。但碳纤维的连接技术一直是行业难点，它与其他材料的混合连接设计仍需要加大研究。目前主要采用胶接为主，但为了获得更高的连接强度，也有在尝试 SPR 铆接等方法，使用机械连接方法时，需要注意材料的电位腐蚀问题。

6.3.6 不同材料在循环盐雾试验中的结果对比

6.3.6.1 不同材质板材在 ISO 11997-1 循环 B 中试验结果对比

表 6-8 为不同材质板材在 ISO 11997-1 循环 B 中试验结果对比情况，试验周期为 10 循环（1680h）。

表 6-8 不同材质板材在 ISO 11997-1 循环 B 中试验结果对比（10 循环）

材质		试验后	U/2
钢板	S500MC		0.7mm
	LAH340Y410T		1.4mm
	MTC1350Y1700T		1.3mm
	pHS1500CR		1.9mm
	Docol 1700M		1.5mm

(续)

材质	试验后	U/2	
CR05 GI		3.6mm	
LAH340Y410T GI		2.5mm	
pHS1500 EG		1.7mm	
CR-04 GI		2.7mm	
DHC550Y980T GI		3.7mm	
DPC820Y1180T GI		2.1mm	
BHC180Y290T GI		2.5mm	
IFC210Y340T GI		1.4mm	
DPC330Y590T GI		1.7mm	
DPC420Y780T GI		1.9mm	
LAC340Y410T GI		1.1mm	
LAC420Y480T GI		0.9mm	
镀锌镁板	CR05 ZM		1.2mm
	BHC180Y290T ZM		1.7mm

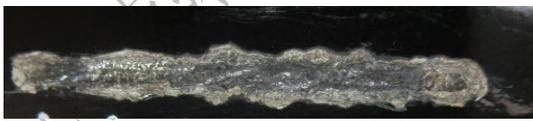
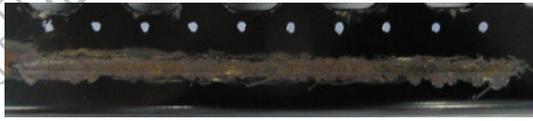
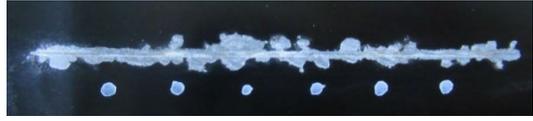
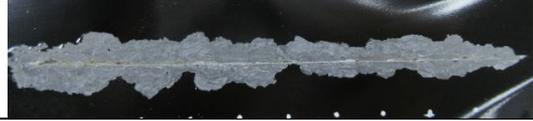
(续)

材质	试验后	U/2
LAH340Y410T ZM		1.8mm

6.3.6.2 不同材质零部件在 PV1210 循环试验中试验结果对比

在 PV1210 循环试验中，试验周期为 15 循环（504h）的不同材质零部件的试验后扩蚀表现和单边扩蚀量变化情况分别见表 6-9 和图 6-27。

表 6-9 不同材质零部件在 PV1210 循环试验（15 循环）中的扩蚀表现

材质	试验后扩蚀表现
CR300LA+KTL	
HC800LA+KTL	
CR240LA-GI40/40	
DX53D+Z100/100	
S500MC	
HX340LAD+Z100MB	

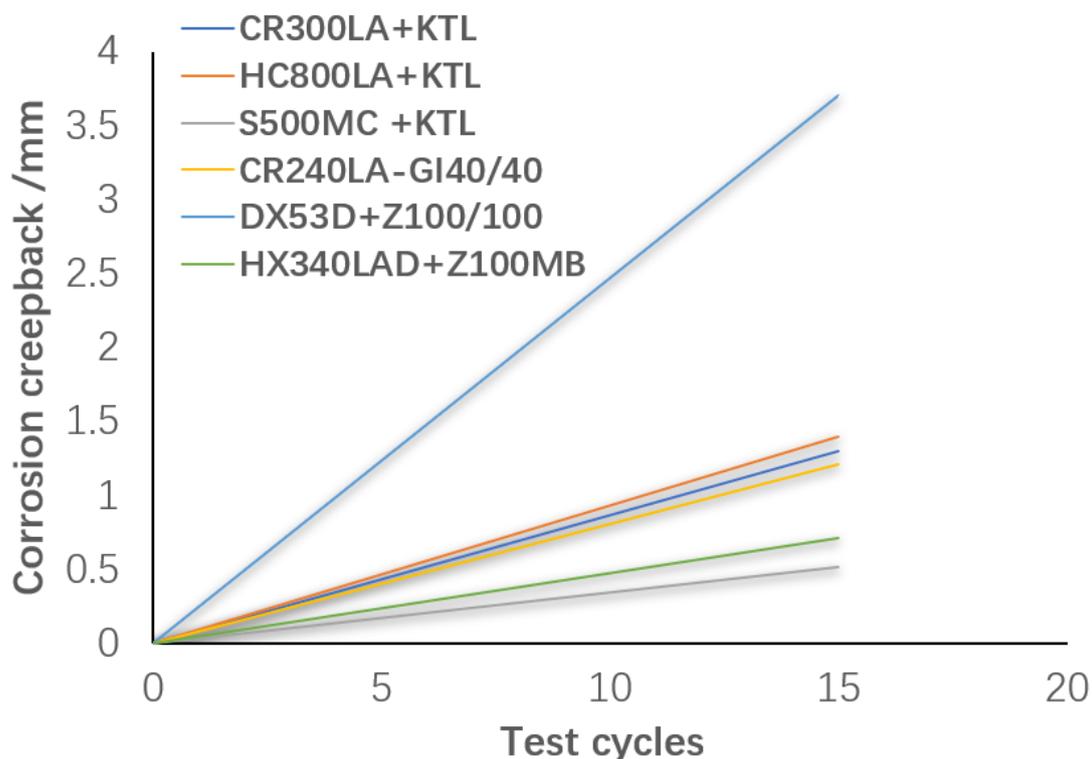


图 6-27 不同材质零部件在 PV1210 循环试验（15 循环）中划痕单边扩蚀量

6.4 制造工艺

制造工艺是达成汽车防腐设计目标的重要手段，一般分为冲压、焊装、涂装和总装四大工艺。

6.4.1 冲压

冲压是利用模具冲孔、翻边、拉延等方法使得平面坯料变成设计的形状，是钣金成形应用最多的方式。冲孔过程需要特别注意孔边缘的毛刺和圆角（ $R \geq 6\text{mm}$ ）。通常需要毛刺的高度需要小于厚度的 10%，对于高可视外观区域的零件需要在冲压后进行打磨处理，消除毛刺。冲压件的内、外转角处应设置适当的过渡圆角（见图 6-28）。

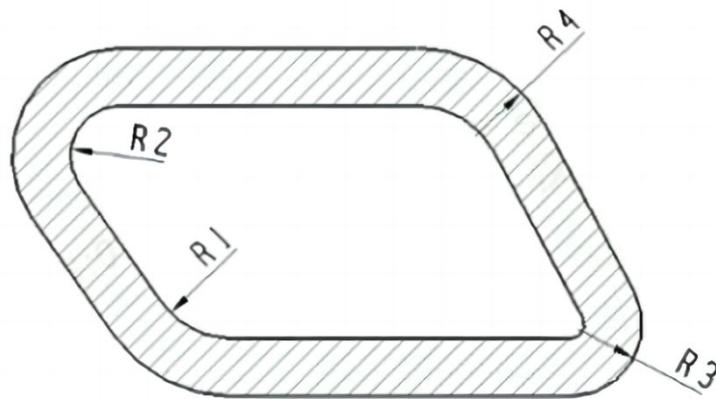


图 6-28 切边和冲孔的圆角示意图

其中：

1. 冲孔夹角大于 90° 时， $R1 \geq (0.3 \sim 0.8) t$ 。
2. 冲孔夹角小于 90° 时， $R1 \geq (0.6 \sim 1.0) t$ 。
3. 夹角大于 90° 时， $R3 \geq (0.25 \sim 0.7) t$ 。
4. 夹角小于 90° 时， $R4 \geq (0.5 \sim 0.9) t$ 。

板材拉伸、翻边过程会导致板材涂层变形、开裂甚至脱落，严重降低了材料的防腐性能，所以需要严格控制该过程的质量。部分零件还需要打磨才能达到要求的尺寸，一般单个零件上不能出现多个打磨点，每个打磨点的尺寸不超过 $100\text{mm} \times 100\text{mm}$ ，且不能打磨到基材。镀层的损伤还有可能导致涂装工序出现“针孔”等涂膜问题，从而降低漆膜质量。

在冲压工艺中，除了避免零件表面的碰伤、划伤之外，对整车防腐影响比较大的两个因素是冲压毛刺和冲压油。零件切边存在冲压毛刺，导致切边区域电泳防腐能力下降。因此在批量生产过程中，要定期维护冲压模具，消除切边毛刺，如发现毛刺，应打磨去除。特别需要重点关注如翼子板尖角、车门窗框、门把手安装孔、车门饰板安装孔、门锁安装孔、门框、加油口、高位制动灯和牌照

灯安装孔、盖子缓冲块安装孔等。在冲压过程中，大多情况下会使用冲压油来改善冲压过程中出现的问题，但冲压件上残留过多冲压油，电泳前处理无法清洗干净，从而影响电泳附着力和防腐性能，另外冲压件的仓储应避免高温和日晒，避免冲压件表面的油膜干涸，通常电泳前处理无法将干涸的油膜清洗掉，从而影响电泳附着力和防腐性能。冲压使用的拉延油、工序间防腐用油品，在使用前均应通过涂装工艺的认可，避免带入涂装车间影响涂装环境，造成车身涂膜破坏涂装质量。

6.4.2 焊装

焊装是将车身上各个钣金零件通过折边、焊接、螺接、胶接等工艺组装成白车身总成的过程。在焊接过程中，需谨慎避免产生气孔、飞溅、焊渣、氧化皮、镀层损伤等缺陷，这些问题可能会导致电泳结合力下降，进而影响镀层板的防腐性能。车身外观可视区域的焊点应确保无锈蚀，特别是缝隙边缘。对于焊接表面的处理，应打磨焊渣，确保涂装质量。

在冲压和焊接过程中，由于零件微变形可能产生微小间隙，为消除这些间隙可能引起的腐蚀，在焊接搭接位置使用点焊密封胶进行密封，而对钣金锐边则可以采用溢胶方式以增强边缘保护。

在四门两盖的折边位置，使用折边胶和密封胶进行密封处理。施工时，需注意折边胶的涂抹位置和用量，确保折边缝隙充满密封胶，同时避免过多溢出，以免干扰后续密封胶的施工。对于铝合金开闭件，某些位置仅使用折边胶即可实现良好的防腐效果。

翼子板和四门两盖的间隙面差匹配应在焊装车间完成，若重新调整安装，可能会破坏铰链与车身贴合位置的涂层，引发不必要的腐蚀。

在车身车间的生产过程中，焊接毛刺/飞溅和涂胶质量是影响整车防腐的两个重要因素。在批量生产中，对于用户直接或间接可见的区域，应优化焊接工艺，防止焊接毛刺和飞溅的产生。若出现这些问题，应及时返工去除。如图 6-29 所示，车身中央通道底部的焊接飞溅在动态整车腐蚀试验后导致基体金属腐蚀。在批量生产中，还应制定涂胶检查规范，定期进行破胶检查，以确保涂胶工艺（包括胶量和位置）符合设计要求。特别是四门两盖的折边胶，若涂胶存在缺陷，将面临较大的腐蚀风险。如图 6-30 所示，车门折边涂胶量不足，在动态整车腐蚀试验后，基体金属出现了较严重的腐蚀。



图 6-29 车身中央通道底部焊接飞溅导致腐蚀（动态整车腐蚀强化模拟试验）



图 6-30 车门折边腐蚀（动态整车腐蚀强化模拟试验）

6.4.3 涂装

涂装工艺是车身防腐的关键工序，主要包括涂装前处理、电泳、密封胶、喷漆、注蜡等工序。涂装工艺应根据车身的材料，选择与产品匹配性更好的涂装材料与工艺。如车身钢材占比较高可以选用磷化前处理，如铝合金用量较多可以选用薄膜前处理。为了适应国家“双碳”的战略可以选用 B1B2 等更节能环保的工艺。涂装不仅要考虑腐蚀的因素，也要考虑耐候的要求。

6.4.3.1 前处理

车身在电泳前需要进行除油、除污、磷化等表面处理工艺，提升电泳涂层的附着力和耐腐蚀性。目前常用的有磷化和薄膜两种前处理工艺。

一、磷化

将车身浸入磷化液，在表面形成一层不溶于水的磷酸盐转化膜的过程称为磷化。磷化处理适合全钢车身和铝合金小于 20%的车

身。磷化膜的形貌是评价磷化工序质量的重要标准，良好的磷化膜应是封闭和致密的、均匀和细小的、无挂灰、无二次磷化的。磷化工序需要重点控制以下几点：

1. 磷化温度：槽液温度是磷化工艺中至关重要的工艺参数，磷化温度过低会导致磷化膜偏薄，防腐能力减弱，磷化温度过高又会导致槽液大量结渣。

2. 磷化除渣：随着磷化反应的进行，副产物磷化渣不断产生，若不及时去除，容易导致电泳车表面发毛。此外，槽液中渣含量过高还可能导致循环管路、层流喷嘴及板式换热器堵塞。

3. 磷化促进剂：促进剂的作用简要说就是氢气的去极化，防止在工件表面形成阻碍磷化膜生成的氢气泡，使磷化膜均匀、致密。

4. 磷化液化学参数：磷化液的组成十分复杂，包括近 10 种阳离子和阴离子，在生产过程中，主要通过检测槽液的总酸、游离酸、促进剂点、渣含量等参数来监控磷化液的状态。

二、薄膜前处理

在环保、节能减排要求越来越高的情况下，前处理工艺无磷、无重金属化已成趋势，一些主机厂已应用薄膜、环保型无磷转化膜工艺。薄膜前处理适用全钢车身和铝合金比例较高的车身。此工艺对车身表面要求较高，对表面打磨遮盖力相对较差，无磷化前处理膜电阻值小，需要关注与电泳漆的配套性，与高泳透力电泳漆配套使用效果更好。

6.4.3.2 电泳

电泳是依靠涂装设备与工艺共同作用的过程，目前常用的电泳

生产线输送方式主要有垂直式、摆杆式及翻滚式。不同的输送方式会使涂装工艺参数产生变化，对车身强度的要求也不同，避免车身变形。

电泳漆膜质量的好坏直接影响车身的防腐效果，重点关注车身表面和内腔的漆膜厚度。泳透力是使结构形状复杂的工件全部表面均匀涂上漆膜的能力，泳透力的高低直接影响涂装生产效率和其漆膜防腐性。

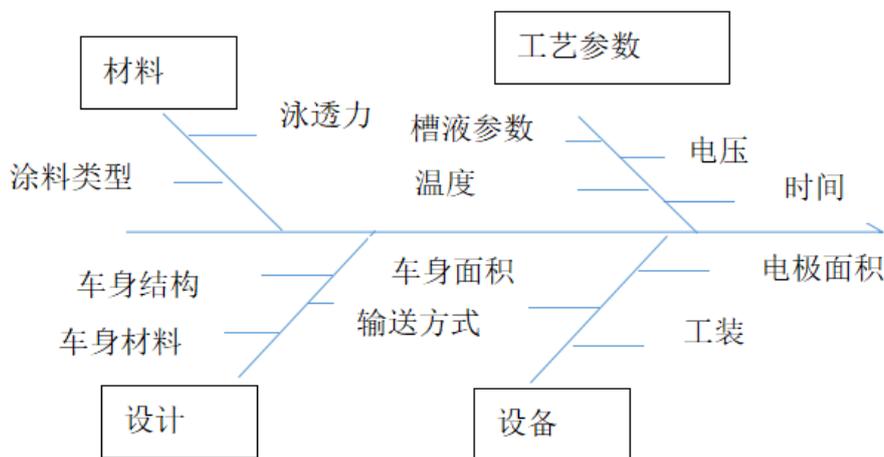


图 6-31 泳透力的影响因素

表 6-10 工艺参数变化对泳透力的影响

工艺参数	泳透力变化趋势	
	升高	降低
固体份	↑	↓
电导率	↑	↓
溶剂含量	↓	↑

(续)

工艺参数	泳透力变化趋势	
	升高	降低
涂装时间	↑	↓
涂装电压	↑	↓
涂装温度	↓	↑
电极面积	↑	↓

表 6-11 某车型的电泳膜厚要求

外表面	平面（平均） $\geq 15\mu\text{m}$ 立面（平均） $\geq 17\mu\text{m}$
内腔	平均 $\geq 12\mu\text{m}$
屏蔽盒结构	车门水切以上 10cm 为分界线：分界线以上部位膜厚 $\geq 5\mu\text{m}$ （分体式四门窗框屏蔽盒状结构部位不作要求）；分界线下部及其他部位 $\geq 10\mu\text{m}$

电泳涂装同步分析不确定因素较多、难度大，仅依赖工程师经验进行判断，缺乏数据支撑，效果差，建议引入SE分析来有效地模拟车身结构中漆膜薄弱点。图6-32列举了A柱内腔通过电泳仿真同步分析来预判薄弱区域的一个案例。

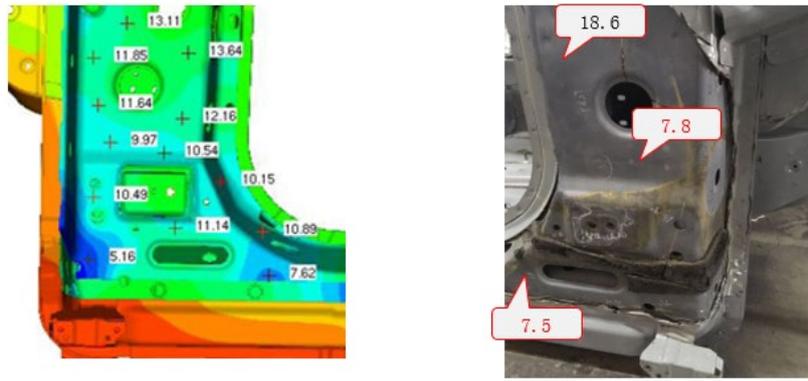


图 6-32 A 柱内腔通过电泳仿真同步分析来预判薄弱区域

6.4.3.3 涂装密封

涂装密封工艺主要包括焊缝密封胶和防石击涂层，需要保证密封质量的同时也有外观的要求。通常焊缝密封胶用于钣金搭接边缘和不能被涂装的焊接缝隙的密封，防石击涂层用于车辆底盘的防护。涂层要达到足够厚度，才能达到较好的防护作用。

此过程要特别注意胶枪的设计，车内、顶盖、前围防火墙等部位采用圆柱型胶枪，“L”型扁嘴型胶枪通常应用在车门铰链侧包边的涂装，带限位器的扁嘴胶枪用于四门两盖的包边可见位置。

6.4.3.4 喷漆

喷漆为车身赋予了靓丽的外观，同时也提供了防腐蚀涂膜所需的化学性能和机械性能，从而保证了耐蚀与耐老化性。

车身喷涂工艺通常在恒温、恒湿、高洁净度的环境内，在电泳涂层之上，采用人工和机器人自动喷涂相结合的方式进行。以三涂层系统为例，综合膜厚通常在 $90\mu\text{m}\sim 120\mu\text{m}$ ，以满足防护要求。典型的喷涂工序为：

1. 打磨：消除表面缺陷，形成良好喷涂基面，增强结合力。

2. 擦净：去除杂质，确保车身表面清洁。
3. 喷涂：为获得涂层厚度均匀、外观良好的漆膜。
4. 流平：自然挥发多余溶剂，保证漆膜平整。
5. 烘干：为使漆膜固化，使涂膜获得物理性能和化学性能。

随着“双碳”的概念提出，对喷漆涂料和工艺的环保性要求越来越高，水性涂料和配套涂装工艺得到了较大的推广和应用。由传统的溶剂型 3C1B、3C2B 改为了水性的 B1B2 等更环保的工艺。表 6-12 为某车身涂装工艺体系示例。

表 6-12 某车身涂装工艺体系

喷涂工艺	溶剂型体系				水性体系		
	3C2B	3C1B	2C1B	1C1B	3C2B	3C1B	B1B2
中涂 μm	30~40	18~23			30~40	15~20	10~15
流平 $^{\circ}\text{C}$	RT	RT			RT	RT	RT
预烘干 $^{\circ}\text{C} \times \text{min}$					(60~80) $\times 3$	80 $\times 3$	
中涂烘干 $^{\circ}\text{C} \times \text{min}$	140 $\times 20$				140 $\times 20$		
色漆涂装 μm	15~20	12~18	15~20		12~15	10~15	10~15
预烘干 $^{\circ}\text{C} \times \text{min}$					(40~80) $\times 2$	80 $\times 5$	(60~80) $\times 5$
面漆涂装 μm	30~40	30~45	30~40	30~40	35~45	35~45	40~50
流平 $^{\circ}\text{C}$	RT	RT	RT	RT	RT	RT	RT
面漆烘干 $^{\circ}\text{C} \times \text{min}$	140 $\times 20$	140 $\times 20$	140 $\times 20$				
注蜡	√	√	√	√	√	√	√

6.4.3.5 烘干

电泳涂层、密封胶、发泡材料、油漆层均需要加热固化处理，为保证烘干效果，各个涂层应在合适的烘干温度下烘烤并保持足够的时间。烘干过程需要注意以下问题：

1. 烘干条件应该选择最佳的进行，在保证烘干效果的前提下，避免烘干不足或过烘，尽可能地减少能源消耗。
2. 烘干炉一般采用两段式设计，特别是水性涂层在升温阶段应进行热量合理分布，进行预烘干。
3. 在同一烘炉中相差过大的车型混线生产，需要进行针对性调试，避免小车型在升温阶段获得热量过多，产生涂膜内气泡等烘干问题。
4. 在车型设计时，需要考虑车身在烘炉中的死角，出现涂膜固化不良问题。
5. 烘干炉输送设备润滑维护必须使用高温润滑脂，并进行涂膜与润滑脂的缩孔试验，避免破坏涂膜。
6. 定期对烘干炉进行保洁处理，更换过滤棉，避免涂膜中“炉烟”、纤维等杂质污染涂膜。
7. 定期进行炉温检查，确保车身各个部位的炉温曲线是否满足烘干窗口。

6.4.3.6 注蜡

为了获得更好的防腐性能，在车身的空腔内部增加注蜡工艺。通常在前纵梁、A/B/C 柱空腔、门槛、四门内腔、机盖和尾门内腔等位置增加注蜡。常用的蜡有溶剂型和水性两种，在选择蜡的型号时需要注意材料的固体份含量，一般固体份含量高的耐腐蚀性更好。另外要注意喷蜡厚度，建议在湿膜状态下 $30\mu\text{m}\sim 200\mu\text{m}$ 。

6.4.4 总装

在总装过程中，应对车身表面涂膜进行遮蔽，避免漆面划伤。在部件组装过程中要注意避免部件对车身匹配部位产生漆面损伤，如机盖与前保险杠、大灯等匹配位置。门盖、翼子板等尺寸匹配件应在焊装车间完成调整，避免在总装工序拆装铰链等部件，造成相关部位密封性破坏导致防腐性能降低。总装车间一般也需要建立一个漆膜维修房，对破坏的零件进行防锈，喷蜡等防护。

6.5 试验验证

防腐性能验证评价包含零部件、白车身与整车防腐性能验证评价。防腐目标由整车目标分解至系统，再分解至具体零部件，防腐验证则先完成零部件及系统试验，再最终进行整车试验验收。

6.5.1 零部件防腐性能验证

零部件防腐验证就是按零部件的设计要求，按相应的验证标准验证零件的防腐性能。最开始出现的盐雾试验类型为中性盐雾试验，腐蚀环境贴近中性，在此基础上出现了各类试验，例如NSS、ASS、CASS等。随着腐蚀试验技术发展，后续研发出了交变盐雾试验，可以分为湿热、盐雾和干燥等阶段，实现对各种环境的交替转换，可以有效测试产品性能。现阶段已经出现了多种盐雾腐蚀试验标准方法，适用于测试不同的汽车部件。

表 6-13 汽车零部件中性盐雾 ISO 9227 NSS 示例

零件名称	材质	试验周期	试验后	结论
螺栓	20MnB+ZN	24h		无基体腐蚀， 有锌腐蚀
导流片	DC53C+Z70/70	48h		无基体腐蚀， 有锌腐蚀
罩盖	DC54D+Z70/70	72h		有基体腐蚀， 有锌腐蚀
支架	SUS304	480h		有基体腐蚀
横梁	CR01+KTL	480h		240h 无基体腐蚀， 480h 有基体腐蚀
平板支架	HX420LAD+Z140	66h		66h 有基体腐蚀

表 6-14 几种常见的循环盐雾腐蚀试验对比

试验方法	代表车企	说明
ISO 11997-1 中的循环 B	奔驰、宝马	ISO 11997-1 标准针对的是油漆、清漆等类似涂层产品的测试，通过盐雾箱配制规定的盐溶液来模拟恶劣的使用环境。其中循环 B 方法，针对热固型涂料产品，与实际自然腐蚀环境具有较好的关联性。
GMW14872	通用	GMW 14872 是用于全球各地环境区域的开发及验证的试验的标准，对各类一般腐蚀、电偶腐蚀、裂缝腐蚀等都非常有效。该标准适用于车身底盘零件、发动机舱零件、内外饰零件、车身钢板等。
PV1210	大众	PV 1210 用于具有不同防腐涂层的全涂装油漆车身、车身钢板、结构组合件、结构件的样品检验及批量检验中的腐蚀检测，用来检验和评价静态载荷下的防腐特性。
M0158	日产	该方法主要以中性盐雾方法作为基础，增加干燥、湿热 2 个环节，后续经过多次优化改进，已经发展到 CCT IV，也是目前受到行业认可的使用方法，主要用于测试汽车钢板及零部件。

随着国内整车腐蚀试验研究的深入，逐渐发现整车腐蚀试验结果与零部件试验结果的一致性较差，而整车腐蚀试验结果能较好地代表用户车辆的腐蚀结果，所以找到一种能和整车腐蚀试验结果一致性较好的零部件腐蚀试验标准就成了现阶段国内各汽车企业努力的目标。

6.5.2 白车身防腐性能验证

白车身由不同的材料组成，结构和工艺均复杂，任何一个环节出现问题都会对车身造成腐蚀，且车身模具成本高、制造工艺多，更改周期长。近年来部分企业采用环境舱循环腐蚀试验来验证白车身的腐蚀情况，提前发现问题，缩短整改周期和节约费用。白车身腐蚀试验是需要尽量地体现设计状态，特别是零件的尺寸公差和涂

装工艺，以保证试验的真实性。

车身部件（如四门两盖）一直是汽车防腐重难点，某些车型由于单车售价不高防腐成本严重受限，大量采用了防腐性能较差的普通钢板，再加上制造工艺缺陷，如冲压毛刺、扣合密封不良、焊接飞溅、电泳不良、挤胶路径偏移以及装配损伤等，导致售后锈蚀频发，甚至出现锈穿，客户抱怨和投诉一直居高不下。车身防腐验证方法一般均使用循环腐蚀试验，试验通过在每循环内使盐雾、温度、湿度等条件进行规律性变化，并重复多次循环后，评价白车身的腐蚀试验结果，找到腐蚀原因并进行结构和工艺优化（图 6-33）。

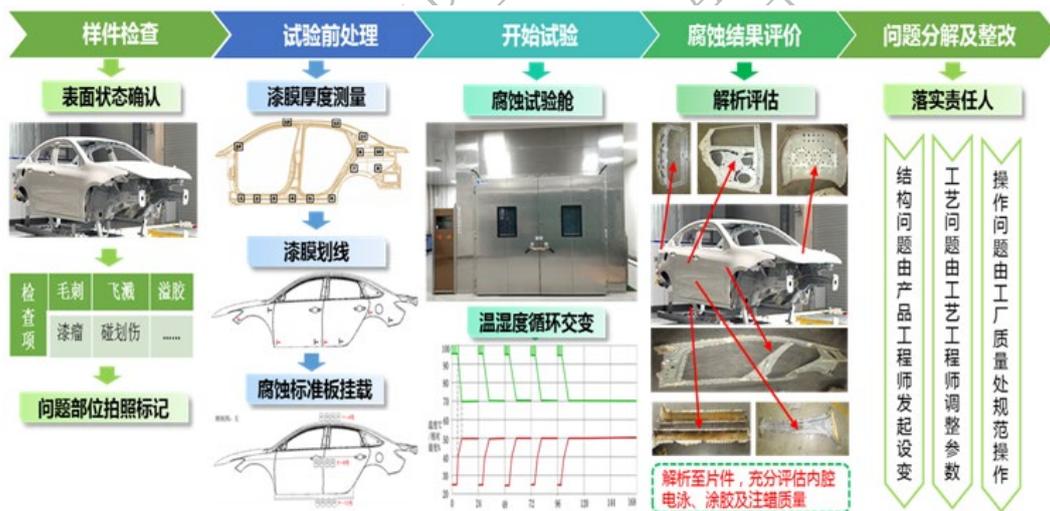


图 6-33 白车身循环腐蚀试验示例

6.5.3 整车防腐性能验证

整车强化腐蚀试验是指在试验道路和试验室内进行的具有盐水槽路面行驶、碎石击打、整车盐水喷雾和高温高湿环境舱停放等工况内容的一种验证车辆耐腐蚀性能的综合性试验方法。主要用于模拟沿海地区高盐分空气、南方地区湿热天气、北方地区下雪撒盐路

面、沙石路面等气候环境及行驶道路对汽车腐蚀的影响。整车防腐性能验证方法见第 1 章 1.4。

为了制定整车防腐设计目标，同时能更准确地模拟整车耐腐蚀性能，需要在典型城市调研气象环境数据，开展钢板挂片采集动态环境腐蚀强度，进行市场在用车的腐蚀情况调研。通过开展拆解腐蚀评价研究，识别不同地区、不同腐蚀环境下汽车各部件腐蚀情况，发现潜在的腐蚀风险。结合市场调研和整车试验结果，建立腐蚀数据库，对腐蚀环境、市场反馈、试验数据进行全面的分析，建立整车腐蚀试验标准及评价体系，从而更加客观、准确、系统地对整车耐腐蚀性能进行评估。

按照整车防腐目标要求，进一步分解到各个零部件不同评价节点的接受标准（见表 6-15）。

表 6-15 某车企制定的整车腐蚀评价标准

属性	类别	部位	领先级	高级	中级	基础级
外观	展车阶段	高可见	无锈蚀			
		机舱盖及车辆尾部	无锈蚀	无锈蚀	无锈蚀	无锈蚀
		下车体及底盘	无要求	无要求	无要求	无要求
	低可见	下车体	2 年无红锈	2 年无红锈	2 年无红锈	无要求
	中可见	机舱	3 年无红锈	3 年无红锈	3 年无红锈	1 年无红锈
		车尾下部	3 年无红锈	3 年排气尾管无红锈	3 年排气尾管无红锈	无要求
高可见	车身及开闭件	6 年无锈蚀	5 年无锈蚀	4 年无锈蚀	3 年无锈蚀	
功能	结构耐久	整车	12 年	10 年	8 年	6 年

由于腐蚀的发生与环境因素息息相关，无论是温度、湿度、光

照、降雨、道路条件等都会影响腐蚀的形态。在分析腐蚀问题时，不能单一而论，应该综合各项可能影响腐蚀的因素进行分析。由于当前汽车市场竞争日趋激烈，新车型开发节奏越来越快，如何快速、准确地发现腐蚀潜在风险，找到零部件腐蚀试验与整车腐蚀试验之间的相关性，成了行业研究的热门课题。

中消会CA-CAP工作组秘书处
长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

中消会CA-CAP工作组秘书处
长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

结语

本报告系统地呈现了中国汽车在耐腐蚀方面的研究成果，通过详细的数据分析和多方面的实证研究，揭示了中国汽车在不同环境、气候和使用条件下的腐蚀特征和风险。报告不仅为企业提供了指导性的数据支持，使其能够在设计和制造环节中更有效地提升防腐水平，还为政府和监管机构制定相关标准和政策提供了科学依据。通过对典型案例的深入分析和防护技术的探讨，本报告为行业 and 消费者提供了可靠的参考，期待未来更多的技术创新能进一步提升中国汽车的整体质量和市场竞争力。

CA-CAP 测评工作组将继续专注于汽车耐腐蚀测试和防腐技术研究，推动行业内的技术交流与合作，促进我国汽车行业的高质量发展。

中消会CA-CAP工作组秘书处
长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司

参考文献

- [1] 罗克研. 中国质量万里行[J]. 中国质量万里行, 2021.
- [2] 刘鹏,任凯旭,王鑫. 汽车产品耐蚀承诺何止千金[J]. [1]中汽数据有限公司, 2022.
- [3] 米晓宁. 中国品牌车辆出口欧洲市场腐蚀强化研讨[J]. 汽车工艺师, 2023.
- [4] 赵辉, 洪开放, 张光银, 等. 浅谈汽车腐蚀[J]. 奇瑞汽车股份有限公司, 2016.
- [5] 黄湛. 轿车车身防腐结构及材料应用[D]. 武汉理工大学, 2009.
- [6] 黄建中. 汽车腐蚀与防护技术[M]. 1. 化学工业出版社, 2004.
- [7] 宋文婷, 孙卓, 蔡元平. 整车腐蚀试验含盐路面工况探讨[C]: 中国汽车工程学会汽车产品分会 2022 年试验评价年会论文集, 海南热带汽车试验有限公司, 2022.
- [8] 孙才旺, 孙卓, 黎祖超. 中国汽车出口腐蚀环境影响因素分析[C]: 中国汽车工程学会汽车产品分会 2023 年试验评价年会论文集, 海南热带汽车试验有限公司, 2023.
- [9] 李有东, 钱立军, 徐椿. 沿海地区军用车辆腐蚀与防护对策[J]. 公路与汽运, 2009.
- [10] 杨森. 沥青表面处治设计方法研究[D]. 长安大学, 2009.
- [11] 王丽焕,毛中丽,陈琴,陈愉. 英国草地畜牧业发展的启示与建议[J]. 草业与畜牧, 2014.
- [12] 丁小明,魏晓明,李明,袁雪峰. 世界主要设施园艺国家发展现状[J]. 农业部规划设计研究院, 2016.
- [13] 李冬梅, 王鹏. 汽车不同区域强化腐蚀试验研究[J]. 汽车工艺与材料, 2015.
- [14] 冯丽. 整车强腐试验车身常见问题及分析[C]: 广东省汽车行业第八期学术会议论文集, “广汽传祺杯”, 2015.
- [15] 徐书玲, 符小锋, 李彤, 等. 乘用车强化腐蚀试验方法: QC/T 732- 2005[S]. 海南汽车试验研究所, 2005
- [16] 陈拯, 宛萍芳, 于磊, 等. 汽车常见腐蚀问题分析及改进措施探讨[J]. 环境技术, 2010.
- [17] 刘东俭. 整车腐蚀试验及评价方法的研究[D]. 吉林大学, 2020.
- [18] 孙才旺,罗予富,杨小翠. “老”有所依:汽车耐腐蚀测评[J]. [1]海南热带汽车试验有限公司, 2022.
- [19] 罗予富, 刘雪峰, 鄂海峰, 等. 乘用车耐腐蚀性能测试评价规则: T/CPQS A0009—2021[S]. 中国消费品质量安全促进会, 2021.
- [20] 王海涛. 汽车道路强化腐蚀试验及评价方法[J]. 腐蚀与防护, 2007.
- [21] 罗予富, 鄂海峰, 王永豪. 乘用车耐腐蚀性能评价规则研究[C]: 中国汽车工程学会汽车产品分会 2018 年试验评价年会论文集, 海南热带汽车试验有限公司, 2018.
- [22] 覃琳. 乘用车 15X6J 钢制车轮总成产品研发[D]. 华南理工大学, 2015.
- [23] 王永豪, 蔡元平. 汽车整车腐蚀试验主观评价方法的探讨[J]. 环境技术, 2014.
- [24] 燕林. 腐蚀的分类[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2005.
- [25] 张世骥. 压型钢板腐蚀性能研究[D]. 北京建筑大学, 2016.

- [26] 杜永银. 从汽车电控技术进步看汽车维修发展[J]. 科技创新与应用, 2012.
- [27] 周家欣. 我国轿车企业知识产权战略研究[D]. 沈阳理工大学, 2012.
- [28] 亚楠. 汽车电子: 商机无限[J]. 国际电子变压器, 2006.
- [29] 白云, 宋勇, 陶正. 高边缘防腐电泳漆的应用[J]. 表面技术, 2017.
- [30] 王彬, 苏艳. 铝合金大气腐蚀行为及其防腐措施研究进展[J]. 装备环境工程, 2012.
- [31] 冯焕玉, 贺庆中, 张执中. 汽车的故障模式及分类: QC / T34—92[S]. 中国汽车工业总公司, 1992
- [32] 罗予富, 鄂海峰. 整车道路腐蚀试验的统计结果与分析[J]. 环境技术, 2016.
- [33] 金柏正, 金文华, 朱国军. 客车特殊故障的分析与排除[J]. 汽车维护与修理, 2009.
- [34] 田永, 韦俊. 汽车金属制件腐蚀机理与试验介绍[J]. 电镀与精饰, 2013.
- [35] 鄂海峰, 罗予富, 陈曦. 整车道路腐蚀试验车身拆解后分析与问题与整改 [C]: 中国汽车工程学会汽车产品分会 2020 年试验评价年会论文集, 海南热带汽车试验有限公司, 2020.
- [36] 田永, 方瑛, 廖兵. 汽车金属部件防腐原理与措施[J]. 汽车实用技术, 2014.
- [37] 李世豪, 高静. 浅析车身排气性[J]. 现代涂料与涂装, 2019.
- [38] 肖艳. 走近车用工程塑料[J]. 橡塑资源利用, 2011.
- [39] 张国涛. 30C_fPA6 复合材料的超声波焊铆复合连接工艺研究[D]. 郑州大学, 2020.
- [40] 立冬. 镁合金助推汽车轻量化[J]. 中国有色金属报, 2010.
- [41] 曹柯. 某型改装车车厢结构有限元分析及优化[D]. 北京理工大学, 2016.
- [42] 许跃. 城市公交车运行节能技术研究[D]. 长沙理工大学, 2013.
- [43] 王彦科. 纤维增强复合材料 HPRTM 工艺中预成型体成型性及粘弹性研究[D]. 湖南大学, 2017.
- [44] 郝燕飞. 用于汽车内饰件的汉麻纤维复合材料的成型工艺与性能的研究[D]. 吉林大学, 2015.
- [45] 张文毓. 耐蚀镁合金研究现状与应用进展[J]. 全面腐蚀控制, 2019.
- [46] 叶军. 430 不锈钢集烟罩牺牲阳极保护试验研究[C]: 2014 年中国家用电器技术大会论文集, 中国轻工业出版社, 2014.
- [47] 李星. 基于 PSPC 化学品船压载舱涂装工艺研究[D]. 江苏科技大学, 2016.
- [48] 周杰. 430 铁素体不锈钢薄板 CMT 焊接工艺研究[D]. 天津大学, 2019.
- [49] 陈翌鹏. 1Cr17Ni2 钢的显微组织与力学性能研究[D]. 沈阳理工大学, 2020.
- [50] 冉明浩. 汽车涂装前处理工艺[J]. 现代涂料与涂装, 2015.
- [51] 魏俊峰. 盐雾腐蚀试验标准及在汽车行业中的应用[J]. 中国新技术新产品, 2020.
- [52] 张斌, 张志松. 典型车企循环腐蚀试验标准解读[J]. [1]吉利汽车研究院(宁波)有限公司, 2020.
- [53] 王鹏, 李冬梅. 整车腐蚀试验与实验室加速腐蚀试验关联性[J]. 汽车工程师, 2015.
- [54] 任凯旭, 张瑾, 孙建亮. 汽车大气腐蚀/老化试验标准分析[J]. 汽车实用技术, 2017.

附录

2022年至2024年各车型测评性能画像



2022年-本田 CRV



2022年-大众 ID4 CROZZ



2022年-帝豪缤越



2022年-奇瑞瑞虎 5X



2022年-红旗E-QM5



2022年-长安CS35 PLUS



2023年-比亚迪海豹



2023年-别克E5



2024年-丰田卡罗拉



2024年-零跑 C11



2024年-长安逸动

中消会CA-CAP工作组秘书处
长春汽车检测中心海南热带汽车试验有限公司