



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

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 1,188,020 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。

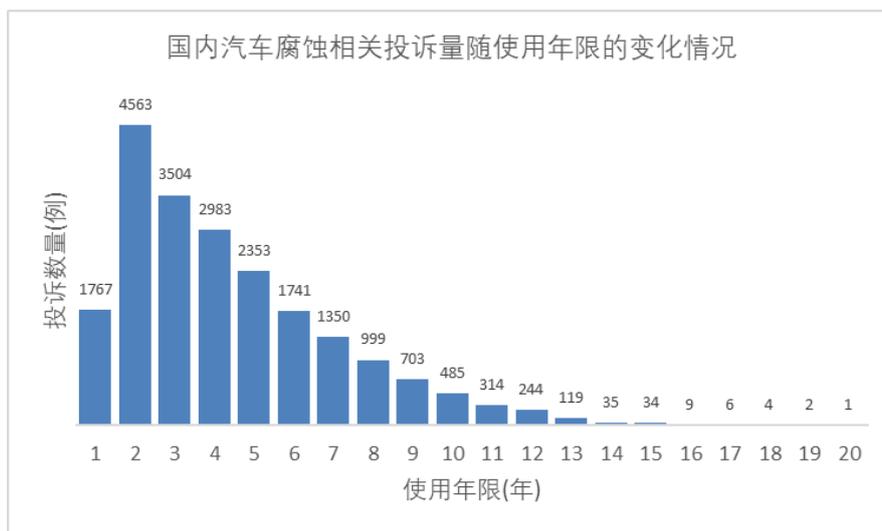


图 1-2 国内汽车腐蚀相关投诉量随使用年限的变化情况

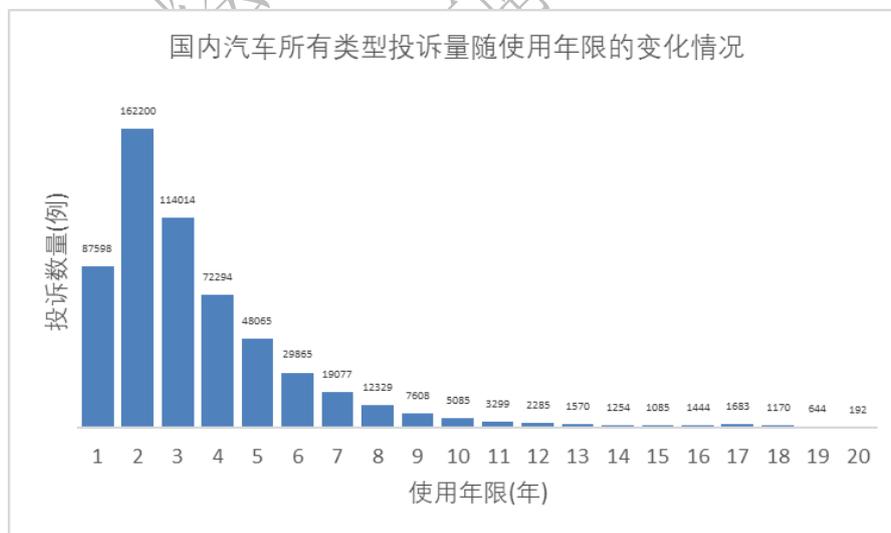


图 1-3 国内汽车所有类型投诉量随使用年限的变化情况

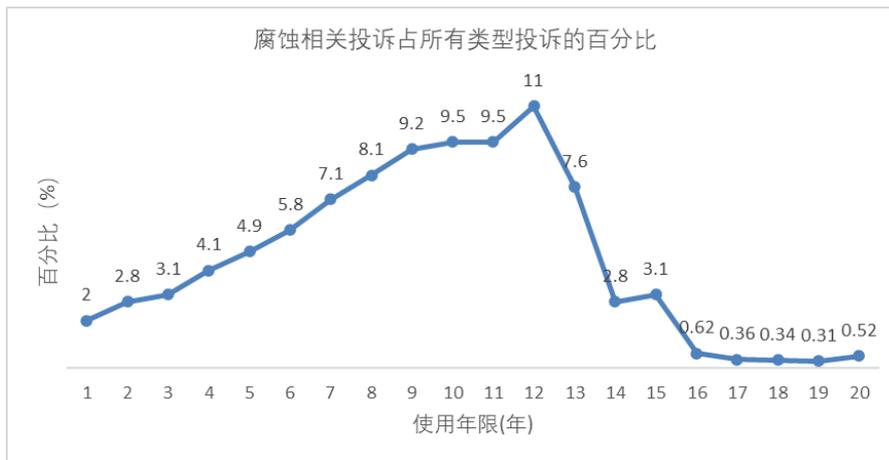


图 1-4 腐蚀相关投诉占所有类型投诉的百分比

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。



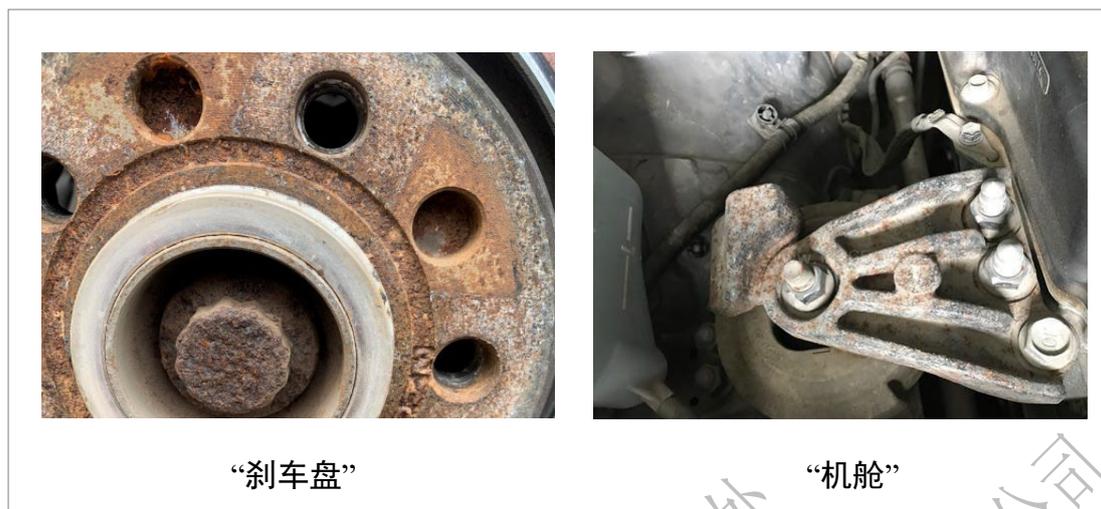


图 1-5 按消费者语义，出现频次较高的零件或区域

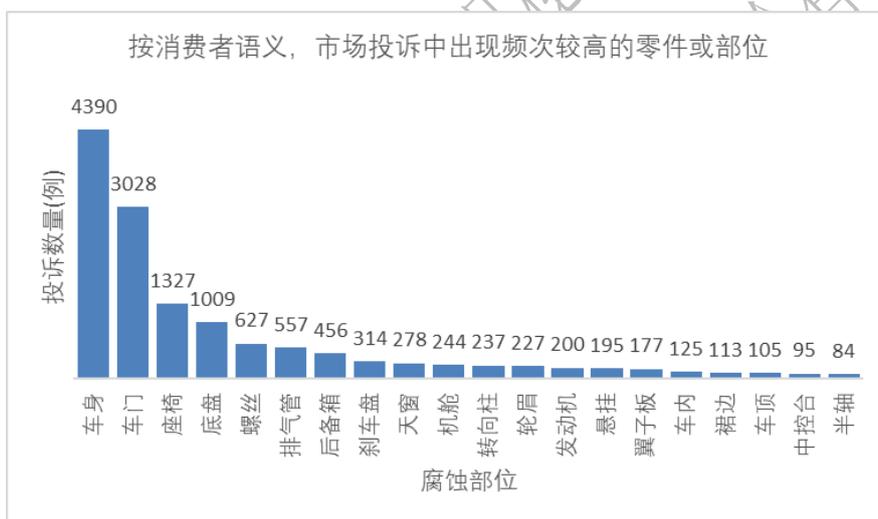


图 1-6 按消费者语义，市场投诉中出现频次较高的零件或部位

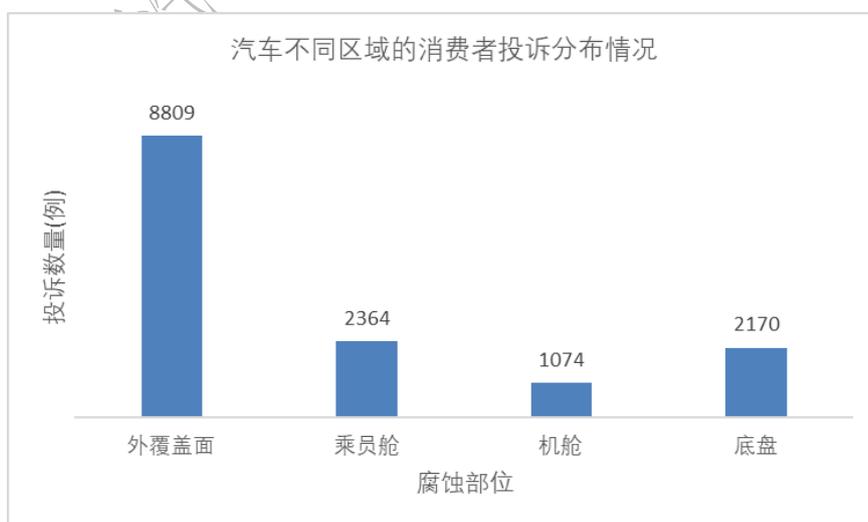


图 1-7 汽车不同区域的消费者投诉分布情况

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。

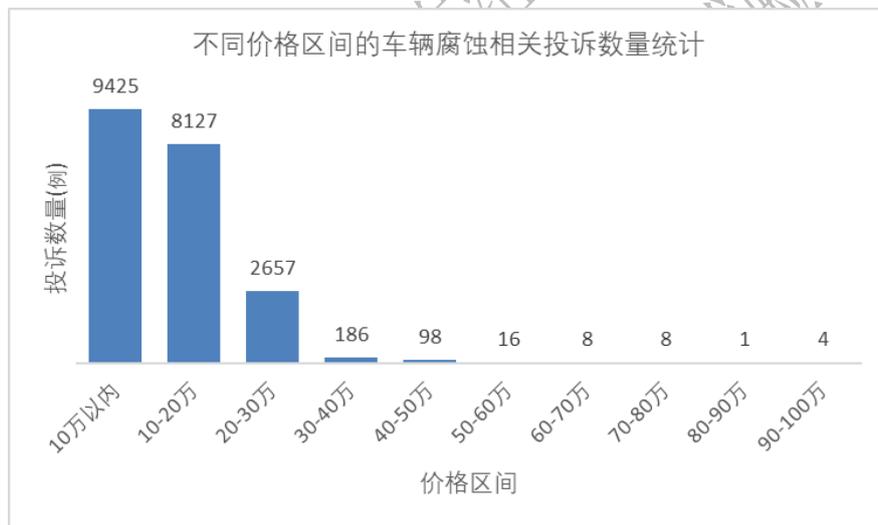


图 1-8 不同价格区间的车辆腐蚀相关投诉数量统计

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。

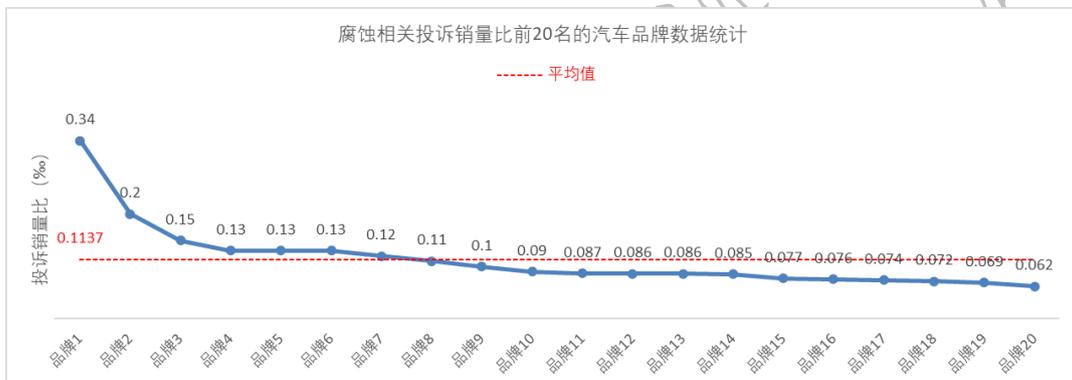


图 1-9 腐蚀相关投诉销量比前 20 名的汽车品牌数据统计

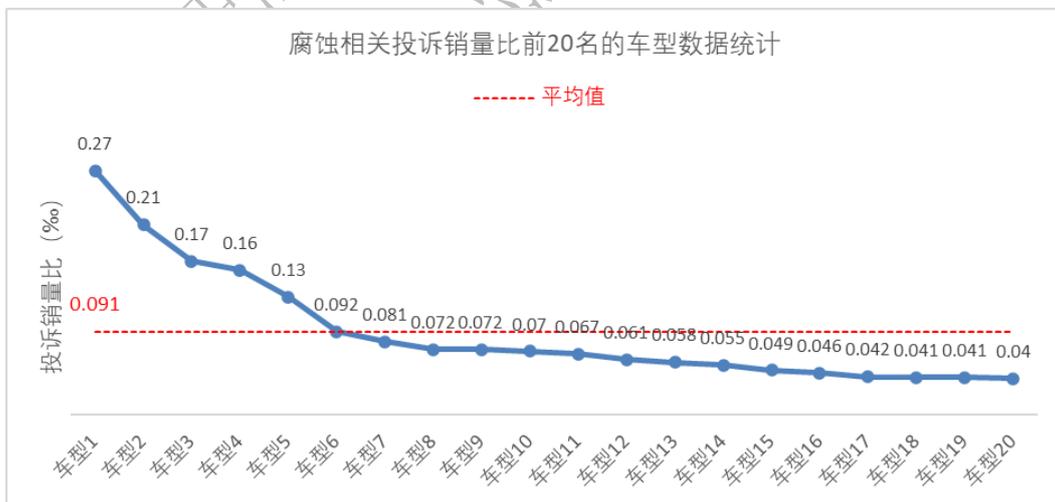


图 1-10 腐蚀相关投诉销量比前 20 名的车型数据统计

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。

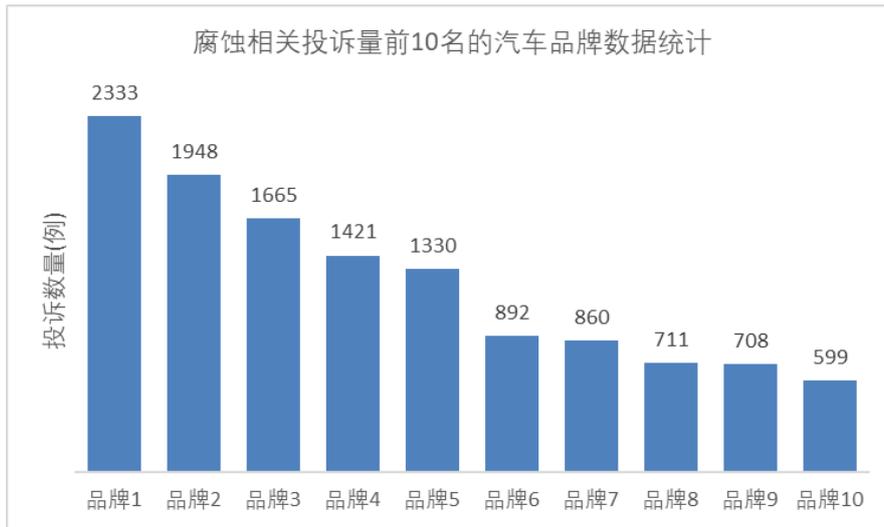


图 1-11 腐蚀相关投诉量前 10 名的汽车品牌数据统计

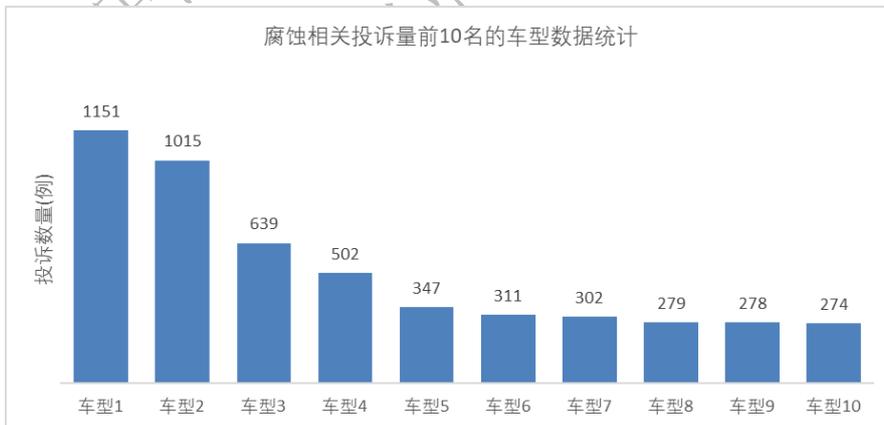


图 1-12 腐蚀相关投诉量前 10 名的车型数据统计

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，这也意味着将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。

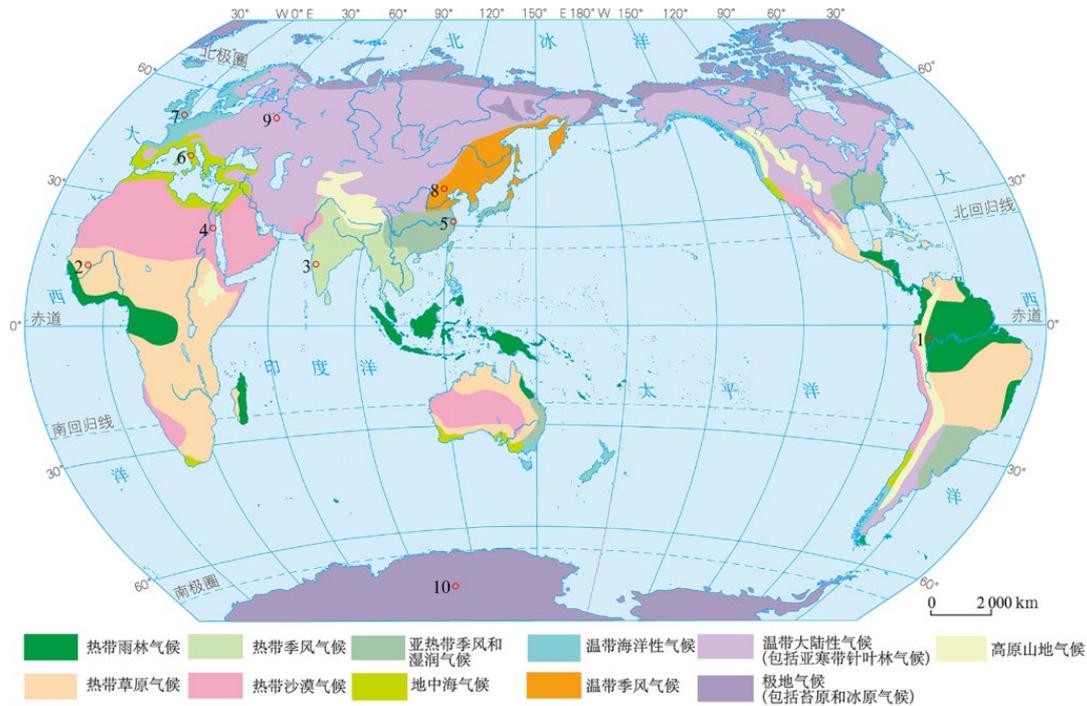


图 1-17 全球气候分布图

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。

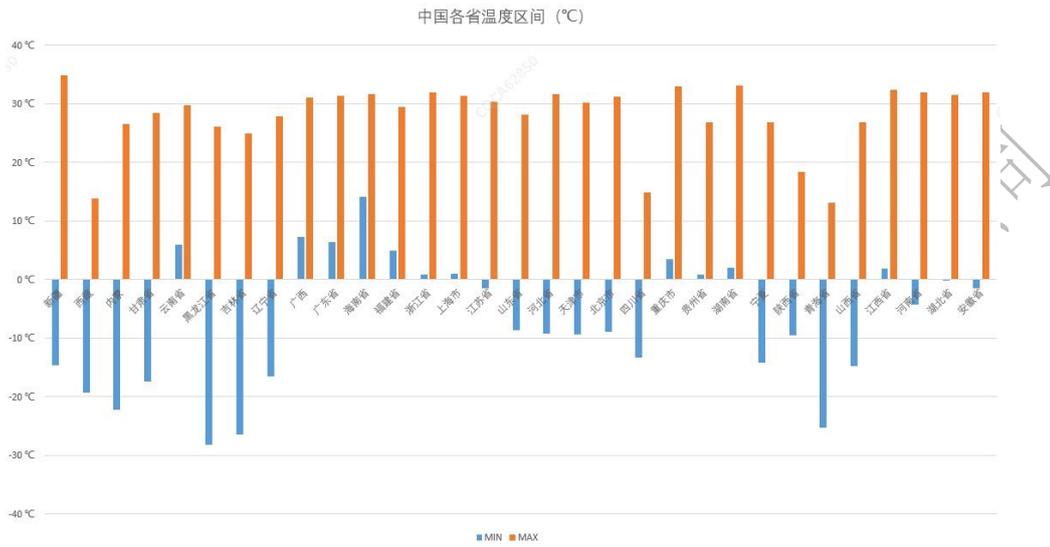


图 1-18 中国各省温度区间



图 1-19 中国各省平均湿度 (水蒸气压值)

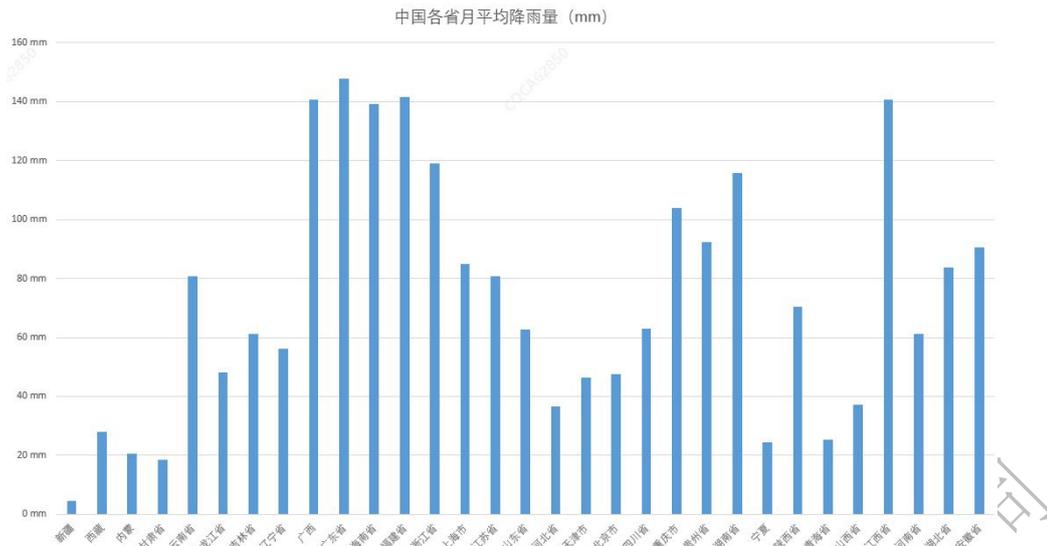


图 1-20 中国各省月平均降雨量

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。

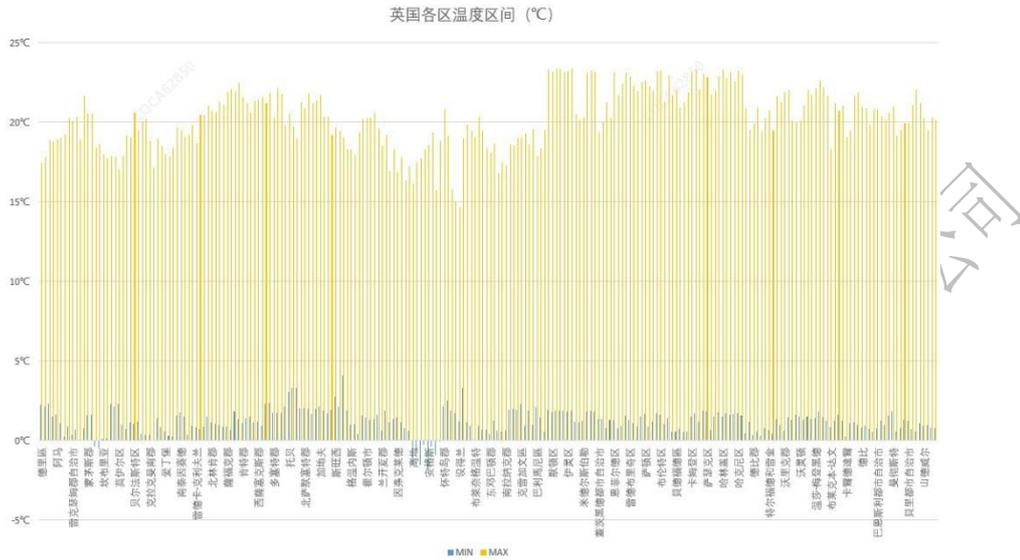


图 1-21 英国各区温度区间

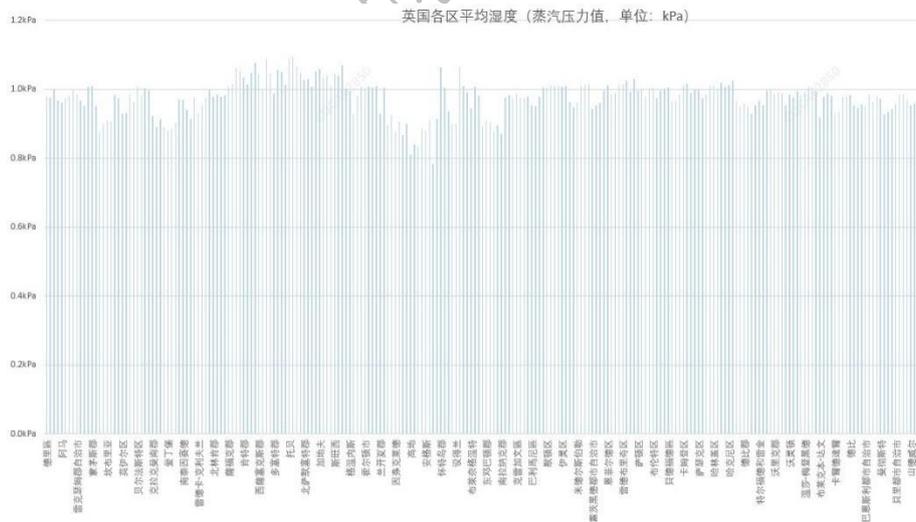


图 1-22 英国各区平均湿度 (水蒸气压力)

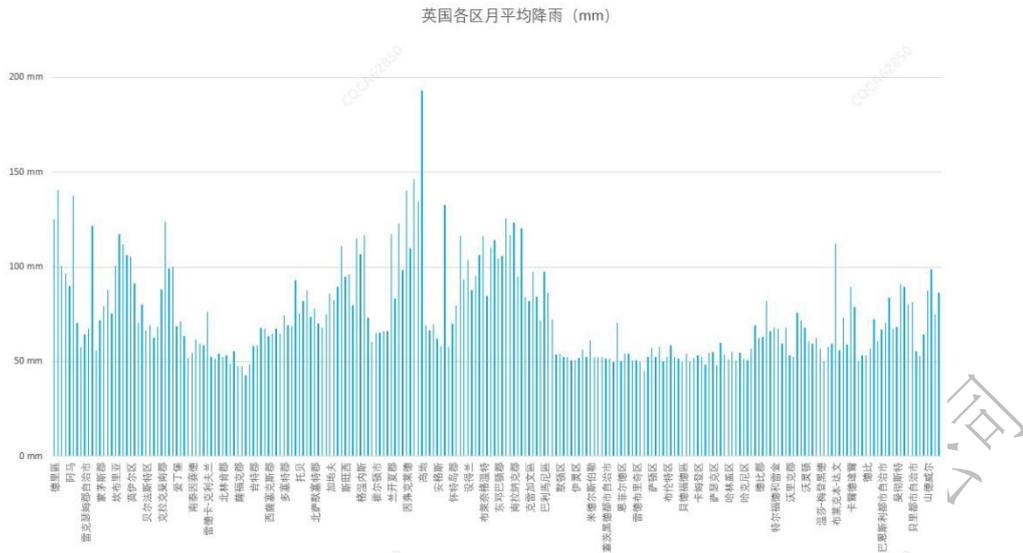


图 1-23 英国各区月平均降雨量

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。

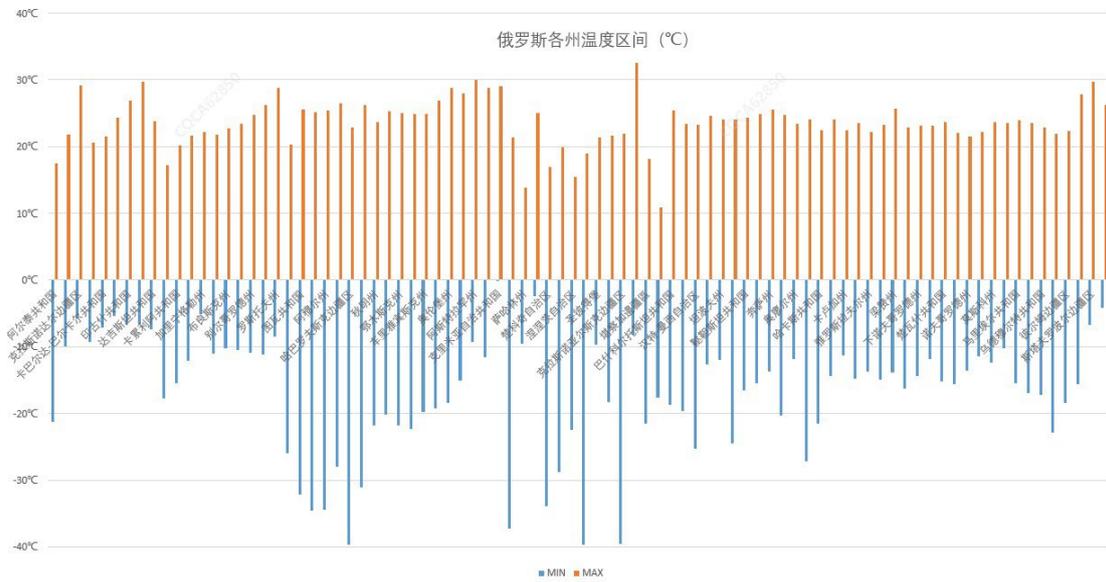


图 1-24 俄罗斯各州温度区间



图 1-25 俄罗斯各州平均湿度 (水蒸气压力)

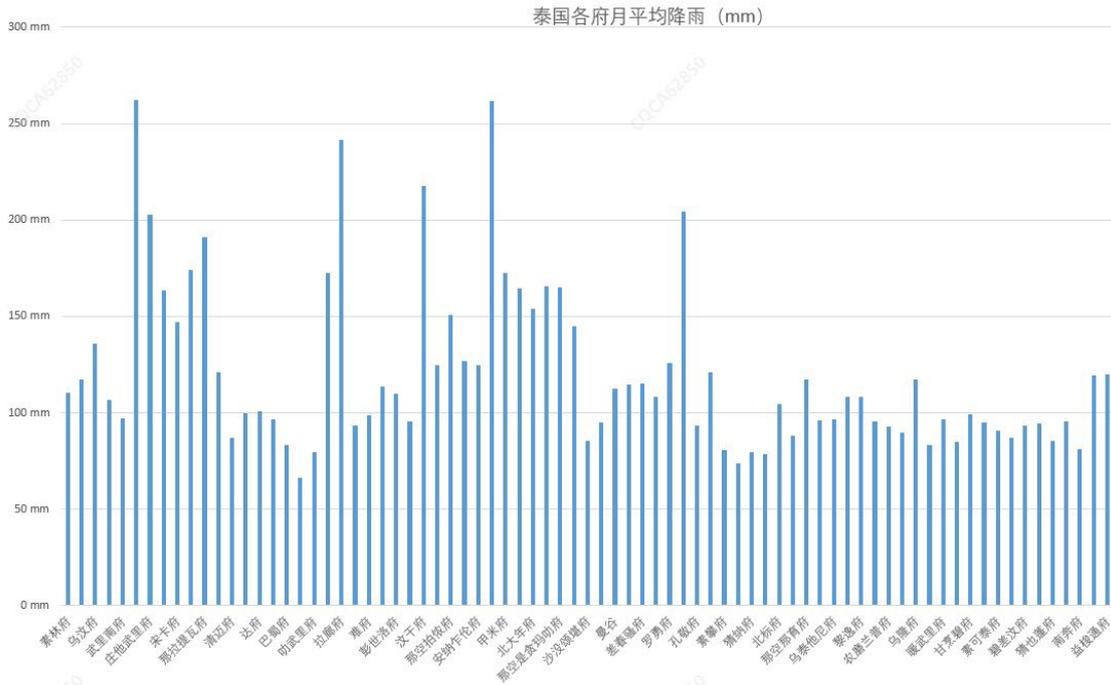


图 1-29 泰国各府月平均降雨量

泰国的年均温度、湿度和降雨量等都较高（高于中国海南），高温高湿的气候环境对汽车腐蚀的影响较大。此外，由于泰国城市和乡村的道路条件要差于中国，因此道路环境也是影响其汽车腐蚀的一个重要因素。

4. 墨西哥

墨西哥气候复杂多样，高原地区终年温和，平均气温 10℃～26℃；西北内陆为大陆性气候；沿海和东南部平原属于热带季风气候。大部分地区分旱（10月至4月）、雨（5月至9月）两季，雨季集中了全年 75%的降水量。墨西哥 70%的地方气候干燥，西北地区年平均降水量不足 250 毫米，内地为 750 毫米～1000 毫米，墨西哥湾沿岸中部与太平洋沿岸南部为 1000 毫米～2000 毫米。国土面积中湿热地区占 4.8%，干热地区占 23%，温带地区占 23.1%，干旱地区占 28.3%，极干旱地区占 20.8%。首都墨西哥城属于高原地区，海

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。

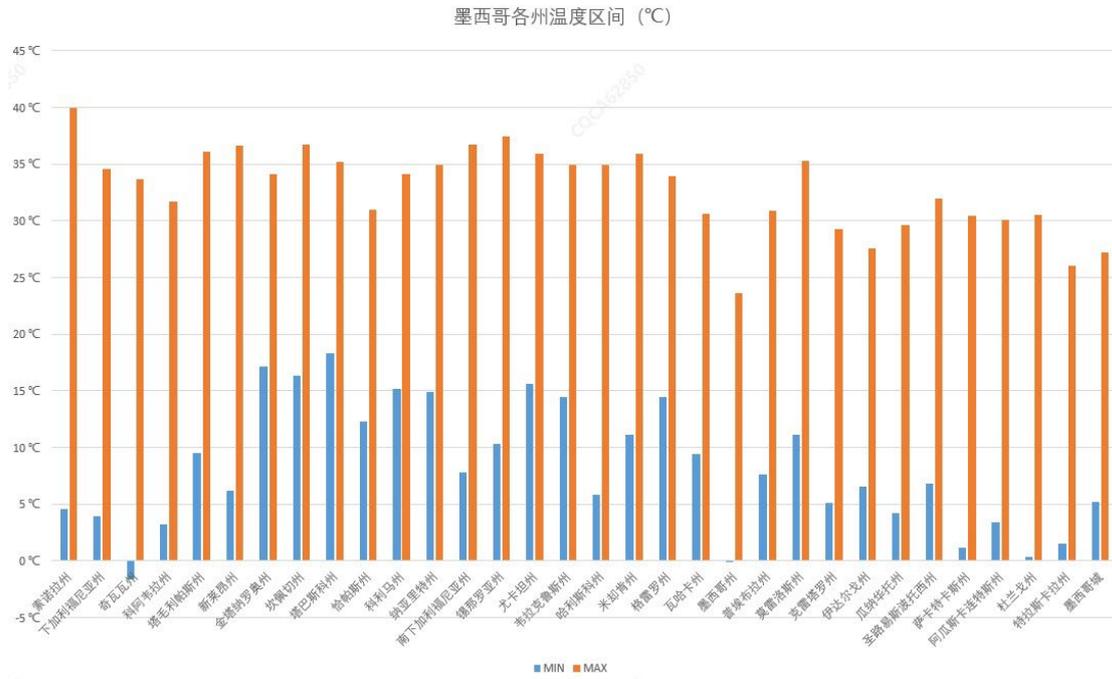


图 1-30 墨西哥各州温度区间



图 1-31 墨西哥各州平均湿度 (水蒸气压力)

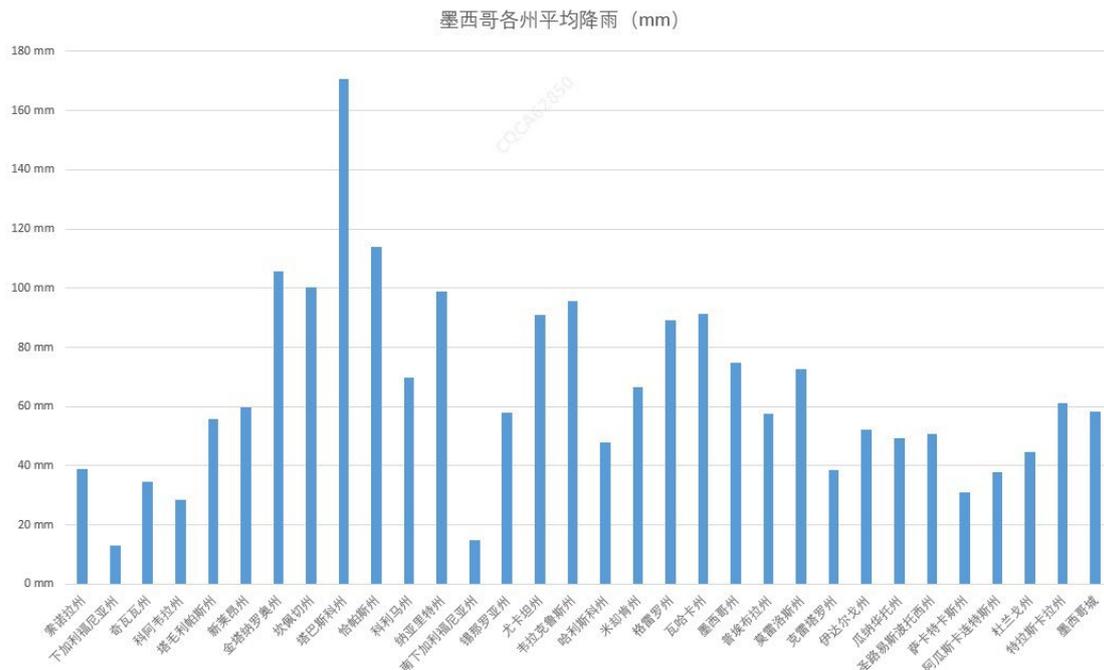


图 1-32 墨西哥各州月平均降雨量

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)℃, 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