



# 基于实际工况的重型商用货车碳排放研究

Research on Heavy Duty Commercial Truck Carbon Emissions upon Real World  
Operation Situations Report

成都天府创新环境科技研究院有限公司

2023.11

Chengdu Tianfu Innovative Environmental Science and Technology Research Institute Co., LTD

## 关于作者

本研究由成都天府创新环境科技研究院有限公司统筹撰写，主要作者为：  
陈伟程，黄映楠，何苗，明镇洋，储典。

## 致谢

感谢能源基金会（Energy Foundation China）对本研究的资金支持。

## 免责声明

- 若无特别声明，报告中陈述的观点仅代表作者个人意见，不代表能源基金会的观点。能源基金会不保证本报告中信息及数据的准确性，不对任何人使用本报告引起的后果承担责任。

- 凡提及某些公司、产品及服务时，并不意味着它们已为能源基金会所认可或推荐，或优于未提及的其他类似公司、产品及服务。

# 目录

第 1 章 项目背景和目标	1
1.1 项目背景	1
1.1.1 碳达峰碳中和	1
1.1.2 减污降碳协同增效	2
1.1.3 柴油货车污染治理攻坚行动	3
1.1.4 国内外燃料消耗量限值现状	4
1.1.5 重型货车的碳排放现状	5
1.1.6 小结	7
1.2 项目目标	8
第 2 章 研究内容	9
2.1 研究内容	9
2.1.1 油耗模型搭建	9
2.1.2 微观工况识别	10
2.1.3 多维度碳排放因子数据库构建	10
2.1.4 碳排放因子验证	11
2.1.5 探索实际道路行驶工况和发动机参数在油耗监测和模拟计算上的价值	12
2.1.6 探讨研究结果为相关部门提供数据支撑的可能性	12
2.2 技术路线	13
第 3 章 数据处理分析	15
3.1 样本数据筛选	15
3.1.1 典型车型的筛选	15
3.1.2 典型参数的筛选	18
3.2 数据主要问题	19
3.3 数据质量分析	24
3.3.1 数据处理流程	24
3.3.2 数据清洗结果	26

3.4 全年上线车辆分析 .....	31
3.5 本章小结 .....	37
第 4 章 综合油耗分析 .....	39
4.1 综合油耗技术路线 .....	39
4.2 综合油耗的分段方法 .....	40
4.3 分段后的数据再清洗 .....	41
4.3.1 时间密度 .....	41
4.3.2 车速积分/里程差 .....	42
4.4 综合油耗计算方法 .....	45
4.4.1 比较喷油量和油箱液位 .....	45
4.4.2 比较积分算法和求和算法 .....	46
4.4.3 比较里程段分别计算油耗和综合计算油耗 .....	47
4.4.4 活动范围筛选 .....	48
4.4.5 时速筛选 .....	50
4.5 综合油耗计算结果 .....	51
4.5.1 车辆数量分布 .....	51
4.5.2 综合油耗均值 .....	52
4.5.3 怠速段和行驶段油耗 .....	53
4.6 重型专项作业车的油耗分析 .....	57
4.6.1 数据筛选 .....	57
4.6.2 数据清洗与切段 .....	58
4.6.3 专项作业车工况分析 .....	59
4.6.4 专项作业车的油耗 .....	60
4.7 本章小结 .....	63
第 5 章 工况识别及其油耗 .....	65
5.1 工况识别方法 .....	65
5.2 可视化方法 .....	69
5.3 工况识别和模型构建结果 .....	72

5.3.1 载货汽车 .....	72
5.3.2 牵引汽车 .....	77
5.3.3 自卸汽车 .....	81
5.3.4 速度-加速度-功率和油耗的分布 .....	86
5.4 本章小结 .....	94
第 6 章 多场景油耗分析 .....	96
6.1 停车点及负载识别 .....	96
6.1.1 停车点及负载识别方法流程 .....	96
6.1.2 停车点及负载识别结果 .....	101
6.2 区域场景识别 .....	109
6.2.1 行驶场景对油耗的影响 .....	109
6.2.2 场景筛选方法 .....	112
6.2.3 场景匹配方法 .....	114
6.2.4 不同场景的油耗 .....	115
6.3 长短途油耗分析 .....	117
6.4 多维度油耗分析 .....	119
6.4.1 多场景与负载匹配算法 .....	119
6.4.2 结果分析 .....	120
6.5 油耗与温度的关系分析 .....	124
6.5.1 验证方法 .....	124
6.5.2 结果分析 .....	126
6.6 本章小结 .....	127
第 7 章 碳排放因子验证 .....	129
7.1 PEMS 排放对比验证 .....	129
7.1.1 技术路线 .....	129
7.1.2 验证结果 .....	133
7.2 实车油耗对比验证 .....	135
7.2.1 验证方法 .....	136

7.2.2 验证结果 .....	139
7.2.3 结果分析 .....	141
7.3 本章小结 .....	145
第 8 章 碳排放因子数据库 .....	146
8.1 碳排放系数计算 .....	146
8.2 数据库 .....	147
第 9 章 项目成果、结论和建议 .....	151
9.1 项目成果 .....	151
9.1.1 建立一套对重型货车实际道路行驶工况和发动机参数大数据 质量分析和数据清理的方法 .....	151
9.1.2 构建重型货车在实际道路运行的微观工况数据库 .....	152
9.1.3 建立重型货车多维度的碳排放因子数据库 .....	153
9.2 项目结论 .....	155
9.3 项目建议 .....	156

# 第 1 章 项目背景和目标

## 1.1 项目背景

### 1.1.1 碳达峰碳中和

2020年9月，习近平总书记在第七十五届联合国大会上宣布，中国力争2030年前二氧化碳排放达到峰值，努力争取2060年前实现碳中和目标。

为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰、碳中和的重大战略决策，扎实推进碳达峰行动，2021年10月，国务院印发了《2030年前碳达峰行动方案》，其中要求到2025年单位国内生产总值二氧化碳排放比2020年下降18%，到2030年单位国内生产总值二氧化碳排放比2005年下降65%以上。同时要求将碳达峰贯穿于经济社会发展全过程和各方面，重点实施能源绿色低碳转型行动、节能降碳增效行动、工业领域碳达峰行动、城乡建设碳达峰行动、交通运输绿色低碳行动、循环经济助力降碳行动、绿色低碳科技创新行动、碳汇能力巩固提升行动、绿色低碳全民行动、各地区梯次有序碳达峰行动等“碳达峰十大行动”。在政策保障上，要求建立统一规范的碳排放统计核算体系。加强碳排放统计核算能力建设，深化核算方法研究，加快建立统一规范的碳排放统计核算体系。支持行业、企业依据自身特点开展碳排放核算方法学研究，建立健全碳排放计量体系。推进碳排放实测技术发展，加快遥感测量、大数据、云计算等新兴技术在碳排放实测技术领域的应用，提高统计核算水平。积极参与国际碳排放核算方法研究，推动建立更为公平合理的碳排放核算方法体系。

碳排放统计核算是做好碳达峰碳中和工作的重要基础，是制定政策、推动工作、开展考核、谈判履约的重要依据。为贯彻落实《中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》和《2030年前碳达峰行动方案》有关部署，夯实碳达峰碳中和工作基础，2022年8月，国家发展改革委、国家统计局、生态环境部联合印发《关于加快建立统一规范的碳排放统计核算体系实施方案》。要求到2023年，职责清晰、分工明确、衔接顺畅的

部门协作机制基本建立，相关统计基础进一步加强，各行业碳排放统计核算工作稳步开展，碳排放数据对碳达峰碳中和各项工作支撑能力显著增强，统一规范的碳排放统计核算体系初步建成。到 2025 年，统一规范的碳排放统计核算体系进一步完善，碳排放统计基础更加扎实，核算方法更加科学，技术手段更加先进，数据质量全面提高，为碳达峰碳中和工作提供全面、科学、可靠数据支持。

### 1.1.2 减污降碳协同增效

温室气体与空气污染物具有同根同源性。煤炭等化石燃料在燃烧过程中既产生二氧化碳等温室气体，也会产生颗粒物、一氧化碳、二氧化硫等空气污染物。温室气体与空气污染物在控制措施方面也具有协同效应。当前，我国生态环境保护结构性、根源性、趋势性压力总体上尚未根本缓解，结构性污染问题仍然突出。进一步将大气污染防治与温室气体控排措施深度融合，将加快生态环境质量由量变到质变的改善进程。

为深入贯彻落实党中央、国务院关于碳达峰碳中和决策部署，落实新阶段生态文明建设有关要求，协同推进减污降碳，实现一体谋划、一体部署、一体推进、一体考核。2022 年 6 月，生态环境部印发了《减污降碳协同增效实施方案》。面对生态文明建设新形势新任务新要求，基于空气污染物和碳排放高度同根同源的特征，遵循减污降碳内在规律，强化源头治理、系统治理、综合治理，切实发挥好降碳行动对生态环境质量改善的源头牵引作用，充分利用现有生态环境制度体系协同促进低碳发展，创新政策措施，优化治理路线，推动减污降碳协同增效。方案目标要求到 2025 年，减污降碳协同推进的工作格局基本形成；重点区域、重点领域结构优化调整和绿色低碳发展取得明显成效；形成一批可复制、可推广的典型经验；减污降碳协同度有效提升。到 2030 年，减污降碳协同能力显著提升，助力实现碳达峰目标；大气污染防治重点区域碳达峰与空气质量改善协同推进取得显著成效；水、土壤、固体废物等污染防治领域协同治理水平显著提高。



该方案还在优化环境治理中，要求推进大气污染防治协同控制，提出推进移动源大气污染物排放和碳排放的协同治理。在强化支撑保障中，要求完善减污降碳法规标准，推动将协同控制温室气体排放纳入生态环境相关法律法规和研究制订重点行业温室气体排放相关标准。

### 1.1.3 柴油货车污染治理攻坚行动

近年来，通过制定实施《大气污染防治行动计划》和《打赢蓝天保卫战三年行动计划》，我国环境空气质量明显改善，人民群众蓝天幸福感、获得感显著增强。但重点地区、重点领域大气污染问题仍然突出，京津冀及周边等区域细颗粒物（PM<sub>2.5</sub>）浓度仍处于高位，秋冬季重污染天气依然高发、频发；臭氧污染日益凸显，特别是在夏季，已成为导致部分城市空气质量超标的首要因子；柴油货车污染尚未有效解决，移动源是氮氧化物排放的重要来源，对秋冬季PM<sub>2.5</sub>污染和夏季臭氧污染影响较大，大气污染防治工作任重道远。

为贯彻落实《中共中央 国务院关于深入打好污染防治攻坚战的意见》有关要求，打好重污染天气消除、臭氧污染防治、柴油货车污染治理三个标志性战役，解决人民群众关心的突出大气环境问题，持续改善空气质量，2022年11月，生态环境部等15部门联合印发了《柴油货车污染治理攻坚行动方案》。方案提出强化挥发性有机物（VOCs）、氮氧化物等多污染物协同减排，目标是到2025年，全国柴油货车排放检测合格率超过90%，氮氧化物排放量下降12%，新能源和国六排放标准货车保有量占比力争超过40%。

据中国移动源环境管理年报（2022）统计，2021年全国货车CO、HC、NO<sub>x</sub>、PM排放量分别为206.2万吨、51.6万吨、480.7万吨、5.8万吨，占汽车排放总量的29.7%、28.4%、84.6%、91.1%。重型货车的四项污染物排放量分别为73.5万吨、32.2万吨、432.5万吨、3.3万吨。因此，重型柴油货运车辆的污染物和CO<sub>2</sub>协同减排是未来我国交通领域减排的重点领域。

### 1.1.4 国内外燃料消耗量限值现状

重型商用车的碳排放与燃油消耗情况息息相关。我国工信部于 2022 年 6 月 17 日公开征求《重型商用车辆燃料消耗量限值》强制性国家标准的意见。如图 1-1 所示，考虑到我国第三阶段货车/客车油耗与 2025 年国外先进水平差距保守估计在 15%左右，半挂牵引汽车油耗差距将在 20%，为实现减污降碳协同增效等规划目标，本次征求意见稿考虑到了缩小此类差距。征求意见稿中将所有车型的油耗标准整体加严了 15%左右，同时增加了与限值对应的 CO<sub>2</sub> 排放量的计算方法。



图 1-1 国内外重型商用车油耗标准趋势

此外，国际上其他国家也对重型货运车辆碳排放在原先的基础上提出了更高的要求。美国环境保护署（EPA）在拜登总统的《洁净货车法案》要求减少新生产的中/重型车辆的污染物和温室气体排放的背景下，于 2023 年 4 月 12 日公布了其拟议的重型车辆第 3 阶段温室气体标准，征求对 2027-2032 年的拟议第三阶段标准的意见，提案更新加严了 2027 车型年车辆的 CO<sub>2</sub> 排放标准，并提

出 2028-2032 重型车 CO<sub>2</sub> 要求。2023 年 10 月 16 日，欧盟理事会通过了针对货车及大客车（重型车）的二氧化碳排放标准提案，通过了目前全球最为严格积极的重型货车二氧化碳减排目标：到 2030 年减排 43%；到 2035 年减排 64%；到 2040 年减排 90%。

### 1.1.5 重型货车的碳排放现状

交通运输是控制碳排放的重要领域之一，根据 Our World in Data (<https://ourworldindata.org>) 机构的数据统计（如图 1-2 所示），2021 年全球 CO<sub>2</sub> 排放量达到了 371.2 亿吨，中国的 CO<sub>2</sub> 排放呈现持续增长的趋势，2021 年排放量达到 114.7 亿吨，占全球 CO<sub>2</sub> 排放量的 31%。2019 年交通部门排放占全球 CO<sub>2</sub> 排放量的 22.17%，其增长率高于任何其他行业。另外根据不同计算来源，我国交通部门碳排放约占总量的 7.6% - 11%，位于建筑制造、电力和工业之后，仍是碳排放的主要来源之一。公路交通也是成为落实“双碳”战略的重点领域。欧美国家的经验表明，交通部门的碳达峰会晚于工业、住宅和商业等部门，因此也是“脱碳”难度最高的行业。

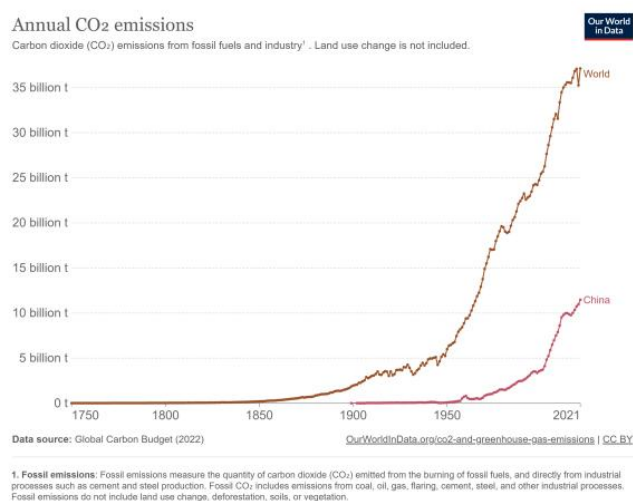


图 1-2 全球和中国二氧化碳年排放量（1750-2021 年）

交通运输中的碳排放主要来源于运输过程中交通运输工具燃料燃烧产生的

CO<sub>2</sub>排放。根据交通运输部交通规划研究院的数据分析表明，交通运输领域不同运输方式产生的碳排放量差异明显。公路运输（含社会车辆、营运车辆）是交通领域碳排放的重点方面，排放量占交通领域碳排放总量的 86.76%。水路运输排放占比为 6.47%，民航运输排放占比为 6.09%，铁路运输碳排放占比为 0.68%。因此，促进公路交通部门减少碳排放成为我国落实“双碳”战略的主要任务之一。如图 1-3 所示在公路运输中，重型货车的 CO<sub>2</sub>排放量最大，占公路运输碳排放总量的 54%，重型货车是未来我国公路交通及整个交通运输领域减排的重中之重。

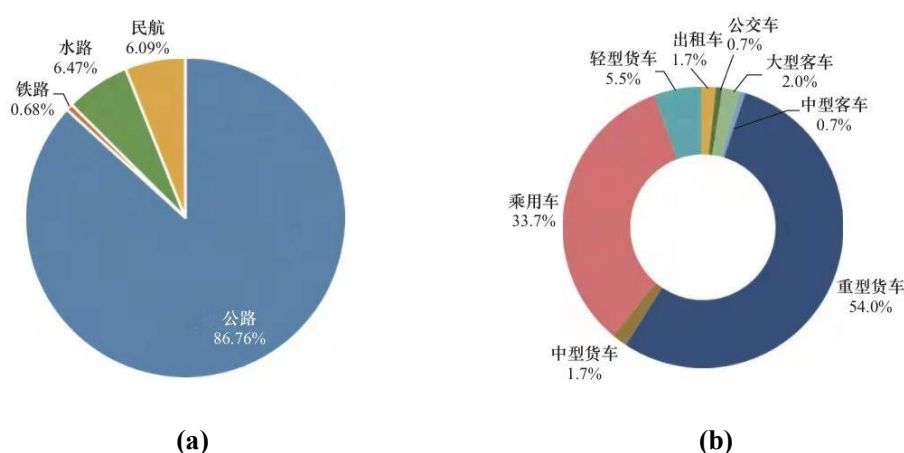


图 1-3 (a) 我国交通运输领域 CO<sub>2</sub>排放量占比（2019 年）

(b) 公路运输各类车型 CO<sub>2</sub>排放情况（2019 年）

据 2021 年交通运输行业发展统计公报统计，2021 年末全国拥有公路营运汽车 1231.96 万辆，比上年末增长 5.2%。分结构来看，拥有载客汽车 58.70 万辆、1751.03 万客位，分别下降 4.2%和 4.9%；如图 1-4 所示，拥有载货汽车 1173.26 万辆、17099.50 万吨位，分别增长 5.7%和 8.3%，其中，载货汽车 406.94 万辆、4923.43 万吨位，分别下降 1.7%和增长 5.6%，专用货车 60.39 万辆、718.76 万吨位，分别增长 19.2%和 20.5%，牵引汽车 346.68 万辆、增长 11.5%，挂车 359.25 万辆、增长 7.4%。由此可见，重型货车和乘用车是未来我国公路运输，也是整个交通运输行业节能减排的关键方面。

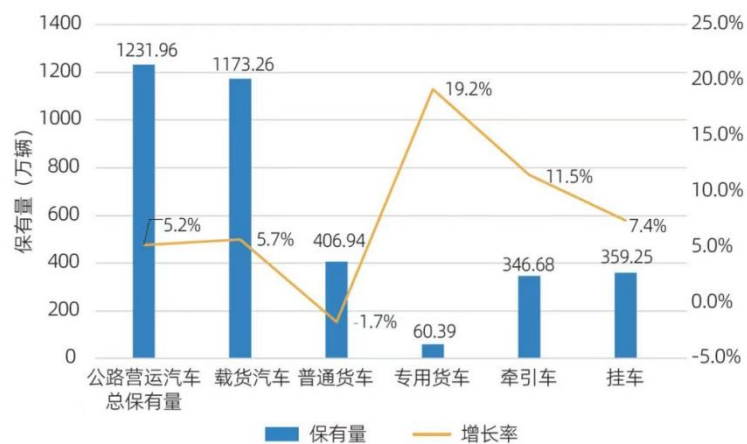


图 1-4 全国公路营运汽车及各类载货汽车保有量（2021 年）

### 1.1.6 小结

在愈加紧迫的“双碳”目标背景和严格的政策标准情况下，考虑到重型柴油货车在交通领域碳排放占比较高的情况，开展重型柴油货车的碳排放研究至关重要。开展这些工作的首要任务是建立描述交通运输行业碳排放的高精度核算方法，为减少交通领域的碳排放相关政策和提供支撑。

目前，我国还没有建立健全交通领域统一规范的碳排放统计核算体系。当下国内比较流行的交通碳排放计算方法有：（1）“自上而下”的高油耗计算方法；（2）“自上而下”的基于汽车保有量的碳排放计算方法；（3）基于客货运量、周转量和碳排放强度的宏观计算方法；（4）基于城市规模的汽车保有量或周转量的中观计算方法；（5）基于乘客出行方式及其排放强度的乘客碳排放微观计算方法。但是每种方法都有其模型、参数和数据的准确性问题。例如，常规计算方法的实际燃料消耗率是基于燃料消耗量限值标准和燃料消耗量调查。碳排放模型一般采用限值与实际消耗率的换算率。但是由于燃料消耗率随着车辆类型、实际运行条件、大气环境和驾驶员习惯的不同而不同，因此燃料消耗率的准确性总是值得怀疑。要获得实际的燃油消耗率，必须建立一系列方法，

根据一些连续稳定的数据集模拟数据。目前，重型车第六阶段排放标准特别强调了对氮氧化物排放的严格限制，并引入了实际道路行驶工况和发动机参数等相关参数数据，以减少柴油和汽油重型车辆（HDV）的排放。这些参数可以被视为一个稳定、连续的数据源。

因此，根据实际道路行驶工况和发动机参数，本项目可以基于参数分析并建立模型，根据模型输出结果，进一步对我国重型商用重型货车的实际燃料消耗情况进行系统分析。通过道路工况的构建，比较在法规标准的不同工况条件下柴油消耗量与实际柴油消耗量的差异，为建立重型商用重型货车碳排放源清单奠定基础。

## 1.2 项目目标

本项目拟运用 10059 辆重型货车的实际道路行驶工况及发动机运行参数数据，建立连续稳定的燃油消耗模型，并模拟重型货车在实际运行过程的油耗。通过实际工况和发动机参数的大数据，可以节省大量现场检查、检测和实验的费用。该项目旨在：（1）基于重型货车实际工况和发动机参数大数据，运用模式模拟、聚类分析、实验比对等方法，构建重型货车实际道路碳排放因子模型，给出分道路类型、车辆类型、不同负载和使用场景下的重型货车实际道路的碳排放因子数据库。（2）探讨实际工况和发动机参数数据应用于实际道路油耗水平和碳排放强度监测和管控的可行性、可操作性以及合理性。（3）探讨结果为重型货车下一阶段排放标准制定、油耗限值标准修订提供数据支撑；为减污降碳协同增效政策提供技术依据的可能性。

# 第 2 章 研究内容

## 2.1 研究内容

本研究综合利用重型货车实际道路行驶工况和发动机参数数据，通过数据清洗、修复和处理，搭建基于实际道路行驶工况和发动机参数的油耗模型。得到动态应用场景下重型商用货车多维度的碳排放因子数据库，并开展多角度的分析。

### 2.1.1 油耗模型搭建

交通领域中重型货车的保有量日益增长，能够准确计算重型货车的综合油耗对帮助交通领域的碳减排显得尤为重要。其实这不仅涉及环境污染和能源消耗，还涉及经济效益。然而，传统的实验室测试和模拟工况时常不能完全反映实际驾驶条件下的油耗，因为实际的道路行驶工况包含了多种复杂的因素，包括驾驶者行为、交通流量、道路类型、地形等。例如，货车在城市道路上的频繁停车、加速和减速，与其在高速公路上的稳定行驶对油耗的影响是截然不同的。货车的发动机参数（如动力性能、载重能力、气动形态等）也会影响油耗。比如，可能存在高效能的引擎在某些工况下比低效能的引擎更为节油，而在另一些工况下结果则相反。因此，重型货车的综合油耗计算需要结合不同的行驶工况和影响因素，开展本研究需要从实际道路的行驶工况入手，同时考虑重型货车的发动机参数等因素，以获得更真实、准确的数据。

除此之外，不同的车型、质量区间和使用场景也与油耗存在显著的关系。例如，一辆大型的重型货车在长途运输中的油耗与其在短途、城市配送中的油耗是有所不同的，但这些差异值通常不能直接得到，需要开展更深层的研究和分析。综合的油耗计算实际上是一个动态的、复杂的系统，涉及众多的变量和因素，它们之间相互作用，共同决定了重型货车的油耗。利用大量的实际行驶数据，开展模型模拟和结果分析，不仅可以更准确地了解实际道路油耗，还可

以为相关部门和企业提供科学的决策依据，帮助他们制定更加合理、有效的能源节约和污染防治策略。

### **2.1.2 微观工况识别**

传统的油耗测量方法往往采用宏观的视角，而忽略了实际行驶中的微小变化。但是微观工况识别则着眼于这些细节，通过深入挖掘真实行驶数据，来揭示实际行驶中的各种细微变化对油耗的影响。微观工况识别在本研究中起到了重要的作用。

真实的道路行驶工况是复杂且多变的。一个驾驶任务，可能会涉及多种不同的驾驶模式，如加速、匀速、减速、等待、转弯等。每一种驾驶模式对油耗的影响都是不同的。例如，频繁地加速和减速会导致油耗增加，而匀速行驶则相对更为节能。微观工况识别的目的是为了准确地判定重型货车在实际行驶中所经历的这些驾驶模式，为油耗的准确测量和分析提供数据支持。本研究拟采集货车行驶中的多项实时参数，利用高效的数据分析算法，对数据进行处理和分析，保证微观工况的准确识别。

微观工况识别还需要分析重型货车的发动机参数。由于重型货车的结构、性能、载重等参数不同，即使在相同的驾驶模式下的油耗也会有差异。例如，一辆高效的货车在加速模式下的油耗可能比一辆低效的货车要低。因此，在微观工况识别时，需结合发动机参数进行详细的考察和分析。

### **2.1.3 多维度碳排放因子数据库构建**

在实际运输中，重型货车经历的不同场景和工况会对油耗产生不同的影响。因此，分析多场景和工况的油耗可以帮助项目组了解重型货车在不同驾驶环境、不同负载条件下的油耗表现，得到更精准的分析结果。重型货车面对不同的驾驶场景（如城市、高速、山路和乡村道路等）都有不同的驾驶模式和油耗特性。例如，城市中红绿灯频繁且交通拥堵，车辆可能会经常处于低速甚至是停车状态，会导致油耗相对较高；在高速公路上，车辆可以保持相对稳定地



高速行驶，油耗相对较低。除上述的场景外，不同地区、不同气候和不同海拔也都可能影响重型货车的油耗。对比驾驶场景时，应综合考虑以上多重因素。

重型货车的载重量也是影响油耗的一个重要因素。同一辆车在满载、半载或空载的状态下，油耗是完全不同的。满载的货车需要更多的动力来克服车身重量带来的阻力，会导致油耗增加。

通过对不同场景下的驾驶模式、路况、车辆状态等进行深入地研究和分析，可以更准确地计算多场景下的油耗。通过数据采集、模拟仿真和实地测试等方法，可以得到不同场景下的油耗数据，为运输企业和相关部门提供科学的决策依据。建立多维度的碳排放因子数据库，确保油耗数据的应用价值，包含重型货车在不同车型、不同场景（气候、地理和交通特性）、不同负载的碳排放因子，确保数据库的科学性和实用性。

#### 2.1.4 碳排放因子验证

为确保重型货车的油耗和碳排放数据的准确性，本研究开展了 3 种方式的验证，包括 PEMS 试验验证、法规工况比较验证和实车验证。

便携式排放测量系统（PEMS, Portable Emission Measurement System）广泛应用于实时测量车辆的排放特性。该设备通过与车辆尾气管道相连的探针采集污染物的浓度，包括一氧化碳（CO）、二氧化碳（CO<sub>2</sub>）、碳氢化合物（HC）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）和颗粒物（PM）等，同时通过与车辆传感器相接，得到发动机及车辆的相关技术参数，如发动机转速、进气管压力、进气管温度以及车辆速度等。对比分析车辆 PEMS 试验数据与车辆的实际道路行驶工况和发动机参数的数据，能够验证实际道路行驶工况和发动机参数用于本研究的准确性，并帮助项目组发现可能存在的偏差，优化油耗模型。

实车验证是用于验证本研究的综合油耗模型以及微观工况识别结果。本研究选择了汽车保有量排名靠前的重型货车开展验证。对比货车司机的加油记录结果和对应时间内的实际道路行驶工况和发动机参数数据，帮助验证实际道路行驶工况和发动机参数数据用于本研究中计算综合油耗的可行性。

法规工况验证是利用微观工况切分结果和不同车型和质量区间的重型货车

的燃料消耗限值进行对比。对微观工况识别的结果进行法规工况的模拟和验证可以检验微观工况识别结果的准确性。

油耗及碳排放因子的验证是确保数据真实性、科学性和可靠性的关键步骤。只有通过严格的验证，才能确保得到的数据能够真实反映货车的油耗和碳排放情况，从而为相关部门的政策制定和市场监管提供有力支持。

### **2.1.5 探索实际道路行驶工况和发动机参数在油耗监测和模拟计算上的价值**

实际道路行驶工况和发动机参数能够提供车辆的实际运行状态，如驾驶模式、油耗、排放等信息。一方面，准确有效地利用这些参数，可以更好地了解重型货车的真实性能，以及重型货车与不同道路、气候、驾驶行为等多种因素之间的复杂关系。深入研究参数的大数据样本，可以进一步定位对油耗产生主导影响的具体因素。另一方面，根据实际道路行驶工况和发动机参数研究提供的新方向，提炼出和重型货车油耗和碳减排相关的实用策略和建议，用以推动重型货车行业的持续优化，可涉及技术创新、驾驶培训、道路基础设施改进等多个层面。实际道路行驶工况和发动机参数数据不仅提供了新的研究窗口，更打开了一个推动中国重型货车向更加环保、高效和可持续方向发展的的大门。

### **2.1.6 探讨研究结果为相关部门提供数据支撑的可能性**

主要是探讨研究结果为重型货车下一阶段排放标准制定、油耗限值标准修订提供数据支撑的可能性。在当代技术飞速发展的背景下，重型货车的实际道路行驶工况和发动机参数已经在众多领域显现出其不可估量的价值，尤其是在重型货车的油耗监测与模拟计算上。获取车辆实时运行状态信息技术逐渐发展成熟，使得获取更精准的油耗与排放数据成为可能。为了确保未来的排放与油耗标准真实反映重型货车在实际工况下的性能，以下是实际道路行驶工况和发动机参数数据在这方面的应用潜力。一是能够实时监测和记录车辆的多种运行参数，如引擎转速、节气门位置、燃油消耗等，这些数据可以提供关于车辆在

不同工况下的详细信息。与传统的油耗测试方法相比，基于实际道路行驶工况和发动机参数的油耗计算方法能够更真实的反映车辆在实际道路、气候和驾驶行为等条件下的油耗表现。二是可以深入探索不同场景和工况对油耗和碳排放的影响，从而为相关部门制定更为精准的 CO<sub>2</sub> 排放限值和燃油消耗限值提供参考。例如，长时间的怠速、频繁的起停、高速行驶等工况可能都会对油耗产生不同的影响，而这些都可以通过实际道路行驶工况和发动机参数数据进行定量分析。三是可以为重型货车制造商提供有价值的反馈。基于这些数据，制造商可以更好地了解自己产品在实际应用中的表现，从而进行必要的技术优化或创新。例如，如果数据显示某一型号的货车在爬坡工况下的油耗明显增加，那么制造商可能会考虑改进其动力系统或传动系统来解决这一问题。四是基于实际道路行驶工况和发动机参数的油耗计算方法还可以为相关部门提供一个实时监测和调整油耗标准的手段。随着技术的发展和市场需求的变化，油耗限值可能需要进行不断的修订。而实际道路行驶工况和发动机参数数据提供了一个实时、大数据的来源，可以帮助相关部门快速反应市场变化，及时修订相关标准。

实际道路行驶工况和发动机参数数据无疑为重型货车的排放与油耗标准制定提供了一种方法。能够更真实、更精准地了解车辆在实际工况下的性能，为相关部门、制造商和其他相关方提供有力的数据支撑。通过对该数据的深入研究和应用，能够推动整个行业向更加绿色、高效的方向前进。

## 2.2 技术路线

项目研究框架如图 2-1 所示，本研究筛选车辆总质量大于 12 吨的重型商用货车作为研究对象，导出其实际道路行驶工况和发动机参数数据，对数据开展清洗、修复和挖掘等处理，以喷油量参数作为基础分析数据，油箱液位和做工情况作为辅助分析数据，对一段时间和行驶里程内的油耗数据建立油耗模型，并开展相关模型模拟，计算其综合碳排放因子。结合重型商用货车在实际运行中高速、国道、省道和建成区（非建成区）等使用场景，有无货物负载的负载场景，牵引汽车、载货汽车、自卸汽车等车型的实际应用场景，构建多维度的碳排放因子数据库。利用法规工况验证、PEMS 试验、实车验证数据和模型模

拟结果比较，进一步验证模型结果的准确性。

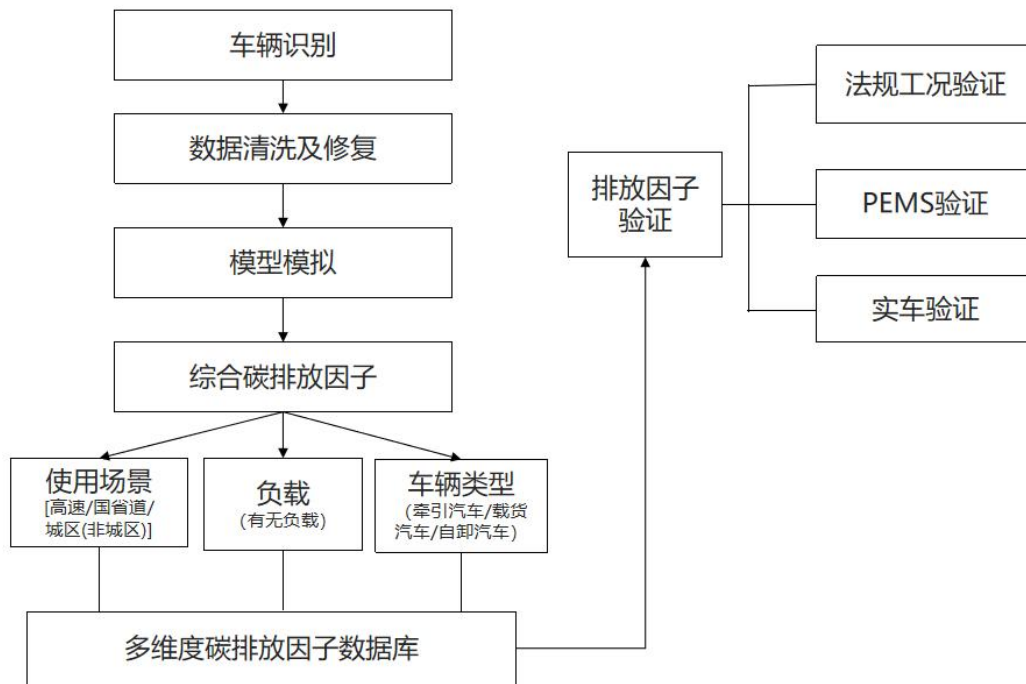


图 2-1 技术路线

# 第 3 章 数据处理分析

## 3.1 样本数据筛选

### 3.1.1 典型车型的筛选

为得到更真实的重型货车分布情况，样本数据主要是以重型货车的销量为依据，来筛选部分典型的车型。筛选条件是：自《重型柴油车污染物排放限值及测量方法（中国第六阶段）》（GB17691-2018）发布以来，按照此标准生产的重型牵引汽车、重型载货汽车和重型自卸汽车，车辆的总质量均大于 12 吨。再根据信息公开数据中销量的相应比例，来确定每一车辆类型每一总质量区间的具体数量。筛选的详细结果如表 3-1 所示，筛选车辆共计 10059 辆，78 个车辆类型，其中牵引汽车 5324 辆，自卸汽车 2880 辆，载货汽车 1855 辆。样本车辆的运行时间范围是 2022 年 1 月至 12 月。本研究均是基于上述部分典型车型的数据分析结果（不包括专项作业车），不能代表通用情况。

表 3-1 样本车辆类型和总质量区间分布

车型编号	数量
牵引汽车	
(46-49t)	5324
QY-4649-01	740
QY-4649-02	450
QY-4649-03	450
QY-4649-04	730
QY-4649-05	704
QY-4649-06	450
QY-4649-07	450
QY-4649-08	450
QY-4649-09	450
QY-4649-10	450
总计	5324

车型编号	数量
载货汽车	

<b>(12-16t]</b>	<b>191</b>
ZH-1216-01	39
ZH-1216-02	39
ZH-1216-03	20
ZH-1216-04	40
ZH-1216-05	16
ZH-1216-06	37
<b>(16-20t]</b>	<b>743</b>
ZH-1620-01	55
ZH-1620-02	79
ZH-1620-03	70
ZH-1620-04	89
ZH-1620-05	111
ZH-1620-06	91
ZH-1620-07	76
ZH-1620-08	32
ZH-1620-09	70
ZH-1620-10	70
<b>(20-25t]</b>	<b>696</b>
ZH-2025-01	262
ZH-2025-02	69
ZH-2025-03	60
ZH-2025-04	73
ZH-2025-05	62
ZH-2025-06	57
ZH-2025-07	53
ZH-2025-08	60
<b>(25-31t]</b>	<b>224</b>
ZH-2531-01	73
ZH-2531-02	20
ZH-2531-03	14
ZH-2531-04	20
ZH-2531-05	15
ZH-2531-06	20
ZH-2531-07	15
ZH-2531-08	47
<b>&gt;31t</b>	<b>1</b>
ZH-31-01	1
<b>总计</b>	<b>1855</b>

车型编号	数量
自卸汽车	
<b>(12-16t]</b>	<b>176</b>
ZX-1216-01	45
ZX-1216-02	55
ZX-1216-03	13
ZX-1216-04	24

ZX-1216-05	8
ZX-1216-06	31
<b>(16-20t]</b>	<b>562</b>
ZX-1620-01	97
ZX-1620-02	50
ZX-1620-03	34
ZX-1620-04	50
ZX-1620-05	63
ZX-1620-06	50
ZX-1620-07	50
ZX-1620-08	50
ZX-1620-09	50
ZX-1620-10	68
<b>(20-25t]</b>	<b>728</b>
ZX-2025-01	136
ZX-2025-02	170
ZX-2025-03	70
ZX-2025-04	43
ZX-2025-05	70
ZX-2025-06	25
ZX-2025-07	70
ZX-2025-08	70
ZX-2025-09	11
ZX-2025-10	63
<b>(25-31t]</b>	<b>1414</b>
ZX-2531-01	162
ZX-2531-02	46
ZX-2531-03	30
ZX-2531-04	78
ZX-2531-05	240
ZX-2531-06	470
ZX-2531-07	120
ZX-2531-08	148
ZX-2531-09	120
<b>总计</b>	<b>2880</b>

表 3-2 为 2022 年不同车辆类型和总质量区间的货车销量数据。如表所示，载货汽车 (>31t) 在 2022 年的销量极低，销售占比接近为 0。样本筛选是依据不同车型的销量在总量中的占比，在样本总量中进行分配，得到每个车型的采样数量。因此，对于销量很少的车型，在样本筛选中的占比也很低。由于车型的销量低，小样本量不会对研究结果造成显著影响。另外，表中牵引汽车是用总质量来表示的，实际上牵引汽车的质量应该为整车重量加上牵引总质量来表示。据统计 2022 年牵引汽车(18-27t]销量前十的车型，其整车重量加上牵引总

质量均在 46-49 吨区间内，因此样本数据所选的牵引汽车为总质量在 18-27 吨，整车重量加上牵引总质量在 46-49 吨，下文均以牵引汽车(46-49t]来表示。

表 3-2 2022 年分车型和总质量区间的重型柴油货车（总质量≥12t）销量

车辆类型	总质量区间	总销量	销量占比
牵引汽车	(18-27t]	269932	76.64%
载货汽车	(12-16t]	3624	1.01%
载货汽车	(16-20t]	13234	3.68%
载货汽车	(20-25t]	12402	3.45%
载货汽车	(25-31t]	4162	1.16%
载货汽车	>31t	20	0.01%
自卸汽车	(12-16t]	2439	0.68%
自卸汽车	(16-20t]	10027	2.79%
自卸汽车	(20-25t]	13728	3.82%
自卸汽车	(25-31t]	24306	6.76%

### 3.1.2 典型参数的筛选

如图 3-1 所示，重型货车实际道路行驶工况和发动机参数共有 28 项。其中包括了与车辆相关的参数，如车辆识别代码（VIN 码, Vehicle Identification Number）、终端报文采集时间、车速和累计里程等；和地理位置相关的参数，如经纬度；与发动机性能的相关参数，如发动机转速。基于上述参数的大数据分析运用，能够更深入地了解车辆性能和状态。

本研究共筛选了 19 项重型货车的典型参数。其中在重型货车的动态数据中筛选了 10 项参数，其中包括发动机燃料流量和油箱液位，2 项与油耗相关的参数，以及 VIN、终端报文采集时间、车速、累计里程、经纬度、发动机输出扭矩、摩擦扭矩和发动机转速等 8 项实时运行参数。在静态注册数据中筛选了 5 项参数，包括车辆型号、发动机型号、基准扭矩、总质量和整备质量。还选用了发动机额定功率及对应转速、发动机最大扭矩及对应转速、常用燃料箱体积和车辆类型等 4 项参数，参与辅助计算和异常值筛选等工作。



	字段名	字段含义	数据长度.bytes.	精度	单位	偏移量
1	vid	vin	#N/A			#N/A
2	2000	终端报文采集时间	#N/A			#N/A
3	2001	车速	2	1/256	km/h	0
4	2202	累计里程	4	0.1	km	0
5	2501	定位状态	1		0	#N/A
6	2502	经度	4	0.000001		0
7	2503	纬度	4	0.000001		0
8	50000	流水号	#N/A			#N/A
9	50011	大气压力	1	0.5	kPa	0
10	50012	发动机净输出扭矩	1		%	-125
11	50013	摩擦扭矩	1		%	-125
12	50014	发动机转速	2	0.125	rpm	0
13	50015	发动机燃料流量	2	0.05	L/h	0
14	50016	SCR上游NOx传感器输出值	2	0.05	ppm	-200
15	50017	SCR下游NOx传感器输出值	2	0.05	ppm	-200
16	50018	反应剂余量	1	0.4	%	0
17	50019	进气量	2	0.05	kg/h	0
18	50020	SCR入口温度	2	0.03125	C	-273
19	50021	SCR出口温度	2	0.03125	C	-273
20	50022	DPF压差	2	0.1	kPa	0
21	50023	发动机冷却液温度	1	1	C	-40
22	50024	油箱液位	1	0.4	%	0
23	8888	终端报文发送时间	#N/A			#N/A
24	9999	服务器时间	#N/A			#N/A
25	ctype	接入标识_协议种类_协议版本	#N/A			#N/A
26	type	转发类型	#N/A			#N/A
27	vtype	车辆类型	#N/A			#N/A
28	model_cn	车型	#N/A			#N/A

图 3-1 重型货车实际道路行驶工况和发动机参数字段项

## 3.2 数据主要问题

实际道路行驶工况和发动机参数的大数据，能提供与车辆有关的大量信息，在车辆维护、性能评估和故障诊断中起到了重要的作用。但部分数据存在数据质量的问题，特别是在数据缺失、精确性和可靠性方面。

数据缺失是实际道路行驶工况和发动机参数数据中的常见问题。车辆在一些情况下可能无法记录或发送数据。例如，车辆的传感器发生故障或被关闭时，与传感器相关的数据可能会缺失。由于存储空间和传输带宽的限制，系统可能会选择性地记录或发送数据，导致数据间歇性缺失。缺失数据可能会误导后续的数据分析和决策，特别是需要分析连续数据时。

数据的精确性也会受到多方面的影响。比如车载传感器容易受到温度、湿度、震动和其他外部因素的影响，因此传感器的测量数据可能会有误差。非官方的读取器可能会提供非精确或误导性的数据。原厂设备也可能受到制造偏差、

校准误差等因素的影响，导致数据的不精确。而数据不精确可能会导致故障诊断错误、维护决策不恰当等行为。

数据的可靠性不仅受到硬件设备的影响，还受到软件算法和通信协议的影响。例如，当车辆与数据读取器之间的通信中断时，可能会导致数据传输失败。软件算法的缺陷也可能导致数据解释错误，而影响数据的可靠性。不可靠的数据可能会导致对车辆状况产生错误的判断，采取不恰当的行动。

综上所述，尽管实际道路行驶工况和发动机参数数据为车辆的运行记录提供了宝贵的信息资源，但仍然存在数据质量的问题。为了充分利用实际道路行驶工况和发动机参数数据并确保其准确反映车辆的真实情况，需要对数据进行仔细的审核和校验，确保数据的完整性、精确性和可靠性。

本研究使用的数据，主要存在以下问题：数据断点、数据重复、数据范围异常、数据突变、数据含有大量 0 值和空值等。图 3-2 所示为最常见的时间断点问题，比如相邻两条数据记录的时间间隔为 2 秒或 3 秒，按照数据上传标准，数据的上传频率是 1 赫兹(Hz)。这可能是有多种原因造成的，比如车辆的电子控制单元（ECU）遭遇瞬时故障或电力暂时中断，可能会导致数据传输中断；终端接口与读取设备之间的物理连接出现问题时，如松动或损坏，也可能导致数据传输中断；使用的数据读取软件或工具本身若存在缺陷或不稳定，会导致数据读取不完整或出错；外部的电磁干扰或其他环境因素，也会影响数据的正常传输。



datetime	车辆编号	时间信息	消息类型	终端报文采集时间	车速	累计里程	定位状态	经度	纬度
2022/1/7 21:23	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	0	116.913965	39.864483
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295
2022/1/8 7:05	LFWS	2.02201E+13	REALTIME	2.02201E+13	0	49925	1	4294.967295	4294.967295

示例 (b)

图 3-3 数据重复、超出范围示例

除此之外，图 3-4、图 3-5 和图 3-6 中也展示了数据处理过程中出现的不同问题。图 3-4 是发动机燃料流量数据异常，图中发动机燃料流量值超过了 3000L/h，属于极异常的数据。图 3-5 是速度异常的情况，在整车行驶段内，有超过 50% 的速度数据都为 0。图 3-6 所示为累计里程下降，车辆的累计里程数据出现了越来越低的情况，这是不符合常理的，具体的数据统计结果在 3.3.2 中有详细介绍。

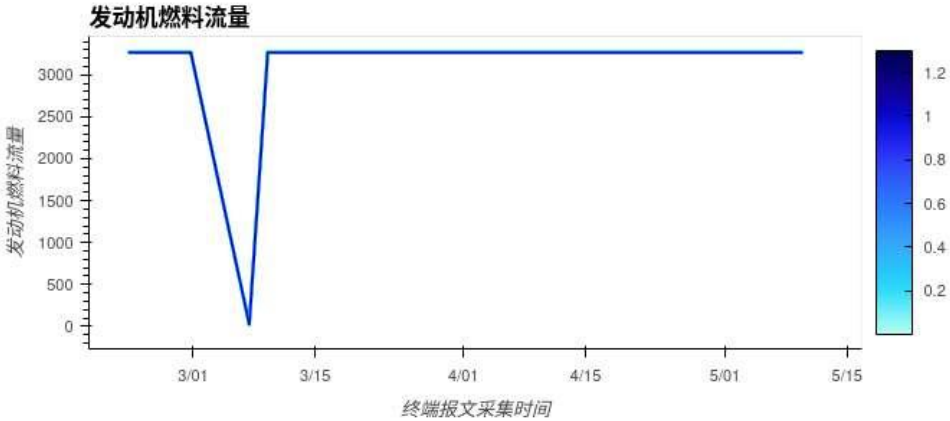


图 3-4 发动机燃料流量异常数据

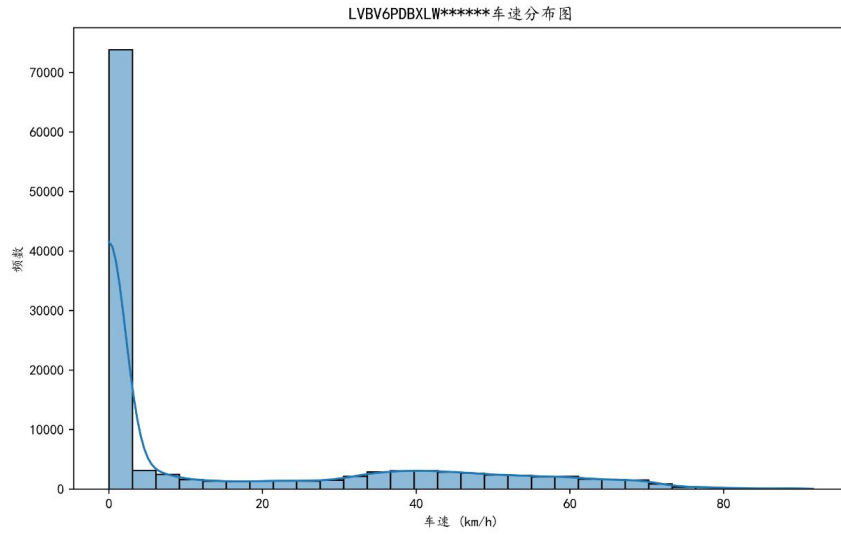


图 3-5 超过 50%比例的车速数据为 0

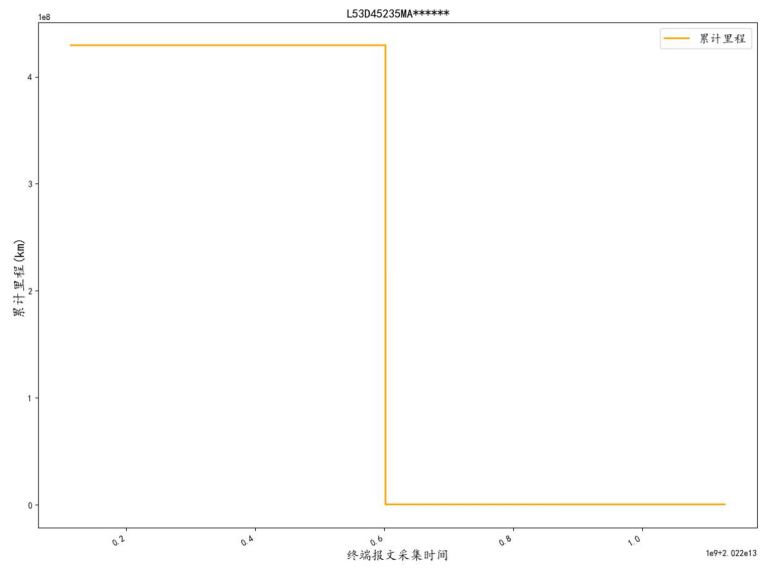


图 3-6 累计里程下降示例

### 3.3 数据质量分析

#### 3.3.1 数据处理流程

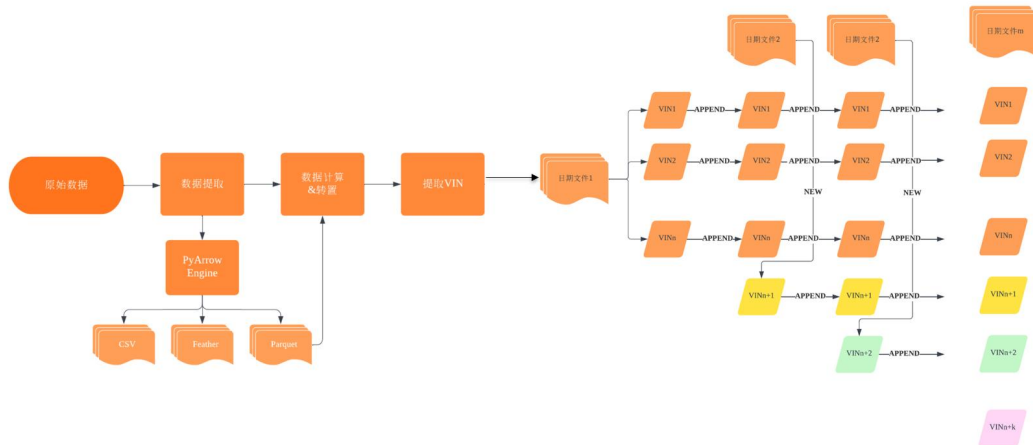


图 3-7 数据提取和转置流程

本研究的原始数据是按照时间来进行分布的，从 2022 年 1 月 1 日至 12 月 31 日，共分为 12 个月份文件夹。每个月份文件夹中都含有相应月份天数的日文件夹，每个日文件夹下又包含几百到上千不等的数据存储文件。每个文件含有不同车辆在不同运行时段的数据，因此提取单车行驶数据的文件非常复杂。在经过多次尝试后，该研究设计了如图 3-7 所示的数据提取流程。

原始数据的提取流程，使用了“PyArrow Engine”对处理速度进行加速，该引擎支持多种数据格式的读写，如 CSV、Feather 和 Parquet 等。数据提取的方法主要是提取所有车辆的 VIN 码，再遍历所有的 VIN 码，来读取分散在不同的文件夹中的符合当前 VIN 码的运行数据。例如，对于车辆编号为“VIN1”的车辆，先寻找所有日期中该车的运行数据，再进行合并。依此类推，对于新出现的 VIN 码，如 VINn+1、VINn+2 和 VINn+k，会新建并存储在相应的数据结构中，形成初始的以单车文件进行储存的车辆行驶数据库。

根据 3.2 中提到的样本数据中存在的数据质量问题，需对合并之后的初始数据库进行清洗，筛选出能最终纳入计算的文件数据。具体的清洗过程如图 3-8 所示，在数据清洗过程中，首先从合并的文件夹中获取所有的“parquet”文件，然后检查每个文件是否存在一个输出路径。如果文件已经被处理，那么将跳过

这个文件，否则将开始处理该文件。在读取数据时，使用了特定的数据类型后端来确保数据的完整性。读取数据后，首先按照“终端报文采集时间”列对数据进行排序，这能确保数据的时间连续性和一致性。同时，对于缺失“终端报文采集时间”字段项的数据都会被删除，因为该项缺失的数据可能会影响后续分析的准确性。同时还删除了在这一列中的重复项。再将此时间列转换为标准的日期格式，并设置为数据框的索引，以方便后续的时间序列分析。

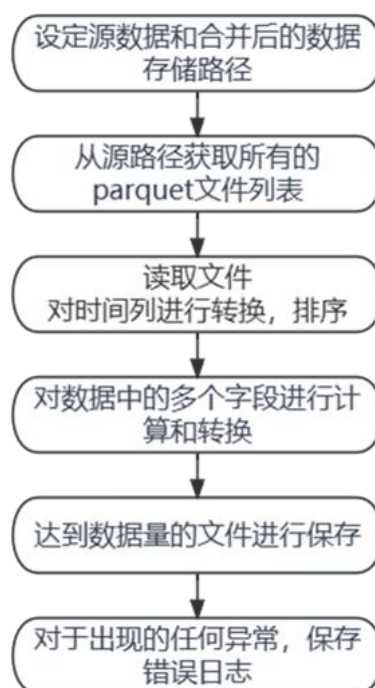


图 3-8 数据清洗流程

如表 3-3 所示，本研究对表中的数值列，进行了标准化和转换处理。具体的数据转换规则如表所示。表 3-4 所示为数据处理过程中的过滤条件，所列条件是基于对参数的物理解理解和常识来设置的，保证选用数据在合理范围内。后续选用的数据仅保留了满足上述条件的行。处理后的数据长度达到或超过 86400 条（运行时间为 1 天），则将数据保存到输出路径。如果在处理数据的过程中出现任何错误，会将相关的错误信息和文件路径写入日志文件，以便后续的问题追踪和调试。本研究的数据清洗过程细致和全面，确保了数据的质量和可靠性，为后续的数据分析和业务决策奠定了坚实的基础。

表 3-3 数据转换规则

数据列名	转换规则
车速	车速 / 256
累计里程	累计里程 / 10
经度	经度 * 0.000001
纬度	纬度 * 0.000001
大气压力	大气压力 / 2
发动机净输出扭矩	发动机净输出扭矩 - 125
摩擦扭矩	摩擦扭矩 - 125
发动机转速	发动机转速 * 0.125
发动机燃料流量	发动机燃料流量 * 0.05
SCR 上游 NOx 传感器输出值	SCR 上游 NOx 传感器输出值 * 0.05 -
SCR 下游 NOx 传感器输出值	SCR 下游 NOx 传感器输出值 * 0.05 -
反应剂余量	反应剂余量 * 0.4
进气量	进气量 * 0.05
SCR 入口温度	SCR 入口温度 * 0.03125 - 273
SCR 出口温度	SCR 出口温度 * 0.03125 - 273
DPF 压差	DPF 压差 * 0.1
发动机冷却液温度	发动机冷却液温度 - 40
油箱液位	油箱液位 * 0.4

表 3-4 数据过滤条件

数据列名	过滤条件
车速	0 ≤ 车速 ≤ 150
累计里程	累计里程 > 0
发动机净输出扭矩	0 ≤ 发动机净输出扭矩 ≤ 100
摩擦扭矩	0 ≤ 摩擦扭矩 ≤ 100
发动机转速	发动机转速 > 0
发动机燃料流量	0 < 发动机燃料流量 < 500
油箱液位	0 ≤ 油箱液位 ≤ 100

### 3.3.2 数据清洗结果

原始数据共有 10059 辆车，约 365.8 亿条数据记录。其中数据文件损坏的车辆有 117 辆，约 5.59 亿条数据无法使用。运行数据不足一天的车辆有 1196 辆，约 953.8 万条数据，删除了这部分数据来保证数据质量和完整性。基于表 3-4 的数据过滤条件，清洗了约 54.4 亿条数据。针对数据集中的某些关键列（如“车速”“累计里程”“发动机净输出扭矩”“摩擦扭矩”“发动机转速”“发动机燃料流量”和“油箱液位”等）进行了缺失值筛选，如图 3-10 所示，删除了包含这些关



键列的空白值，约 2.2 亿条记录。最终清洗后的数据共有 8634 辆车，约 303.5 亿条数据，占原始数据的 82.9%。该步骤清洗了部分不完整、不准确和无关的数据，使保留的数据更加准确和有代表性。

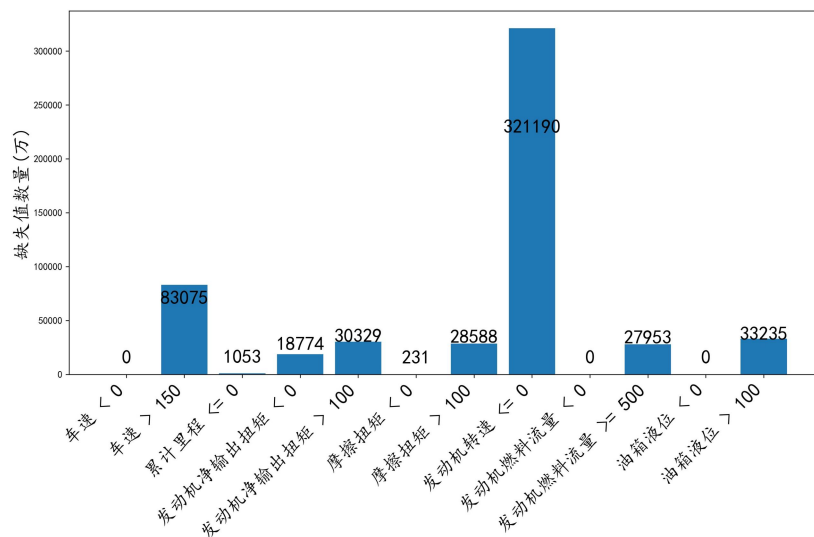


图 3-9 根据清洗规则筛选掉的数据量统计

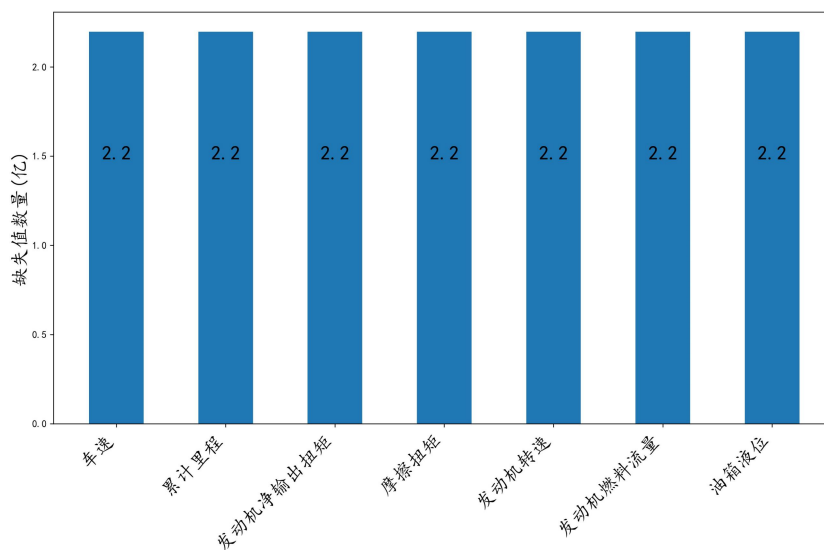


图 3-10 字段空白值统计

在对比分析了清洗前后的数据量分布图之后，本研究得出了以下分析结果：

(1) 数据范围差异。原始数据的分布范围更宽泛，车辆运行数据按照运行的总小时数折合成天数后最大值接近 285 天。经数据清洗后，数据范围折合成天数后均小于 200 天，有超过 10 辆运行时间大于 200 天的车辆被清洗掉。(2) 清洗前后数据分布图的主峰部分存在明显差异。在清洗前的图中，数据的主峰紧

邻 0，暗示可能存在大量新车或者很少行驶的车辆。清洗后的数据分布中，主峰位置在 50 附近，表明大部分车辆的运行数据量在此范围内。该差异表示原始数据中可能含有过多的异常或错误记录，但这些记录在数据清洗过程中被有效地排除。（3）数据密度差异。原始数据中靠近 0 的数据量的车辆异常多，此现象在实际应用中是不太可能出现的。这也进一步证实了原数据中存在大量的异常值或错误记录。经过清洗后，这一问题得到了明显的改善，数据分布更为均匀和连续。（4）两张图的主峰虽有差异，但均表现出了数据的长尾性。随着运行数据量的增加，车辆数量明显减少，这与常识相符，即车辆行驶的数据越多数量越少。但在清洗后的数据中，由于限制了数据范围，长尾性表现更为突出。综上所述，通过对比清洗前后的数据分布图，证明了数据清洗的重要性和必要性。

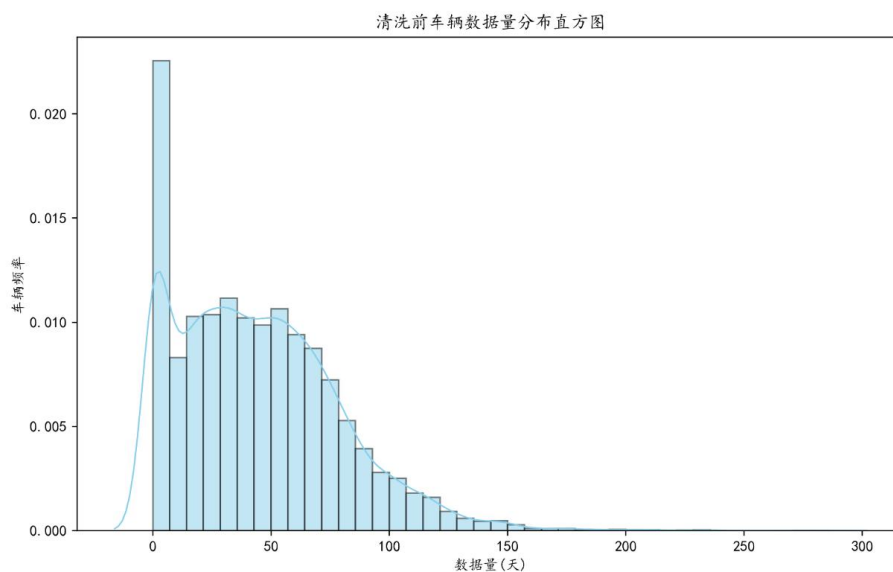


图 3-11 清洗前车辆数据分布情况

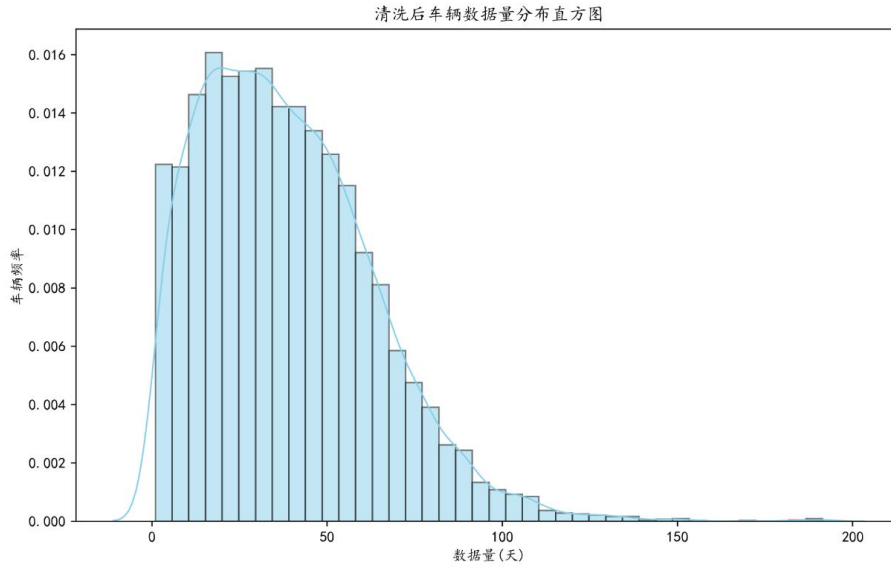


图 3-12 清洗前车辆数据分布情况

图 3-13 是 2022 年全部车辆的累计里程分布图，通过分析发现，大多数车辆的累计里程在 0 到 100,000 公里之间，该区间的车辆数量明显高于其他区间，约有 800 辆。当里程超过 100,000 公里后，车辆数量呈现明显下降的趋势。在 175,000 到 200,000 公里的区间内，车辆的数量逐渐趋近于 0，表明仅有极少的车辆年行驶里程能达到该数值。

图 3-14 是 2022 年分车辆类型的累计里程分布图。3 种颜色分别代表 3 种不同的车辆类型。蓝色代表自卸汽车，该车型在 0-50,000 公里区间内占据主导地位，在该区间以后数量急剧下降。表示自卸汽车主要被用于短途行驶或者低速工况较多。橙色代表载货汽车，该车型在所有里程区间内都保持着相对稳定的分布，但在 50,000-100,000 公里区间内，数量较高于自卸汽车。绿色是牵引汽车，其在 50,000-125,000 公里区间内数量最多，超过了其他的车型。说明该车型可能被广泛用于中长途的运输。大部分载货汽车和自卸汽车的行驶里程都集中在 0-100,000 公里范围内，相比之下，约有一半数量的牵引汽车年行驶里程超过了十万公里。不同类型的车辆在里程分布上存在显著差异，这反映了各类型车辆的使用习惯、耐用性和功能定位。比如，部分车型更适用于短途运输，另一部分车型更适用于长途运输或持续使用。

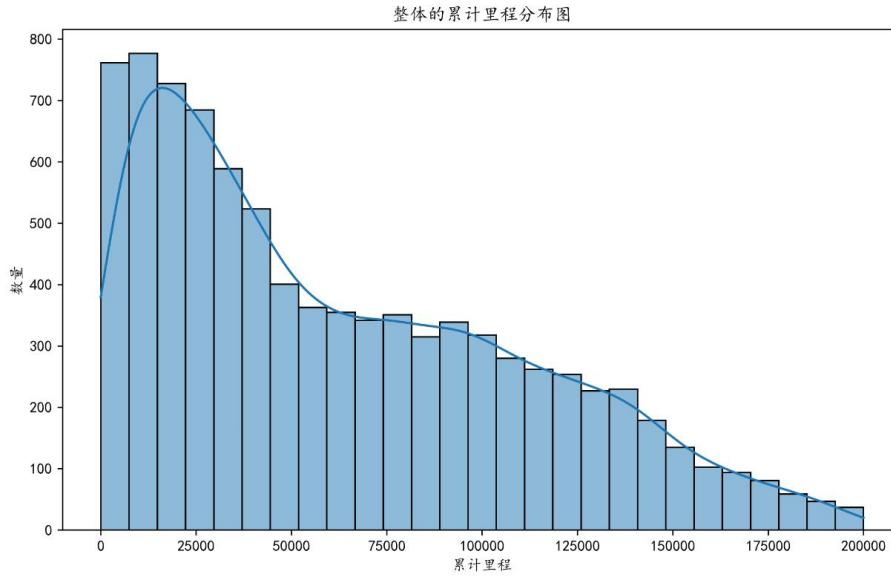


图 3-13 2022 年全部车辆的累计里程分布图

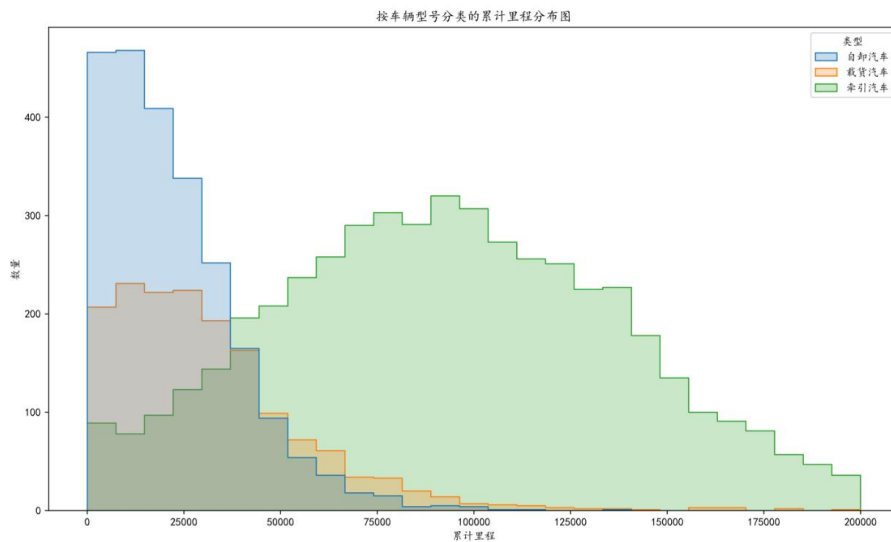


图 3-14 2022 年分车辆类型的累计里程分布图

图 3-16 展示了原始数据和清洗后数据的分车型和质量区间的数量分布。清洗后的数据分布中自卸汽车(12-16t]和载货汽车(12-16t]的样本量偏少，分别有 135 辆和 167 辆。除此之外，载货汽车(>31t)的样本车辆仅有 1 辆，不具有代表性，因此没有纳入后续的计算分析。

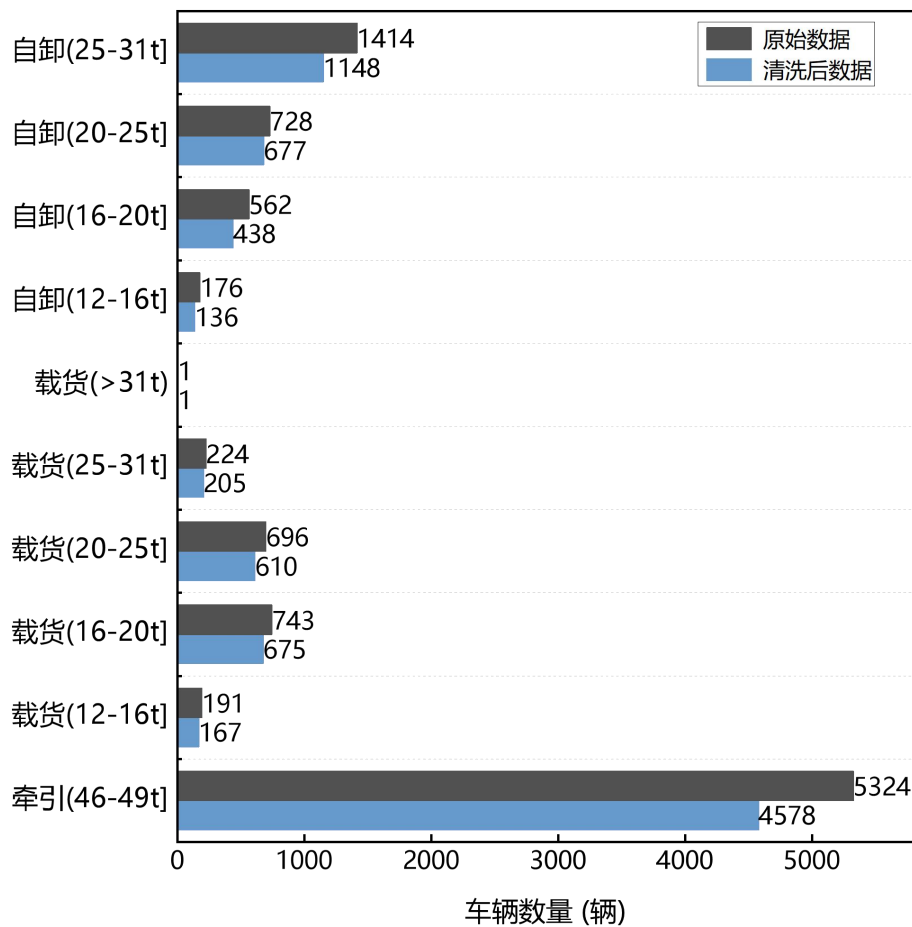


图 3-16 清洗前后的分车型和质量区间的数量分布

### 3.4 全年上线车辆分析

本节统计了样本数据中自 2022 年 1 月上线车辆，即有实际道路行驶工况和发动机参数数据的车辆，认为这些车辆是在 2022 年全年都在投入使用的车辆。通过不同车辆类型和质量区间的数量，分析这些车辆在 2022 年全年的上线天数、日均行驶时长和日均行驶里程。图 3-15 是自 2022 年 1 月上线的车辆分车型和质量区间的数量分布。1 月上线的车辆共有 7326 辆，约占样本车辆的 85%。从车型和质量区间来看，自卸汽车(12-16t)和载货汽车(12-16t)的数量较少。

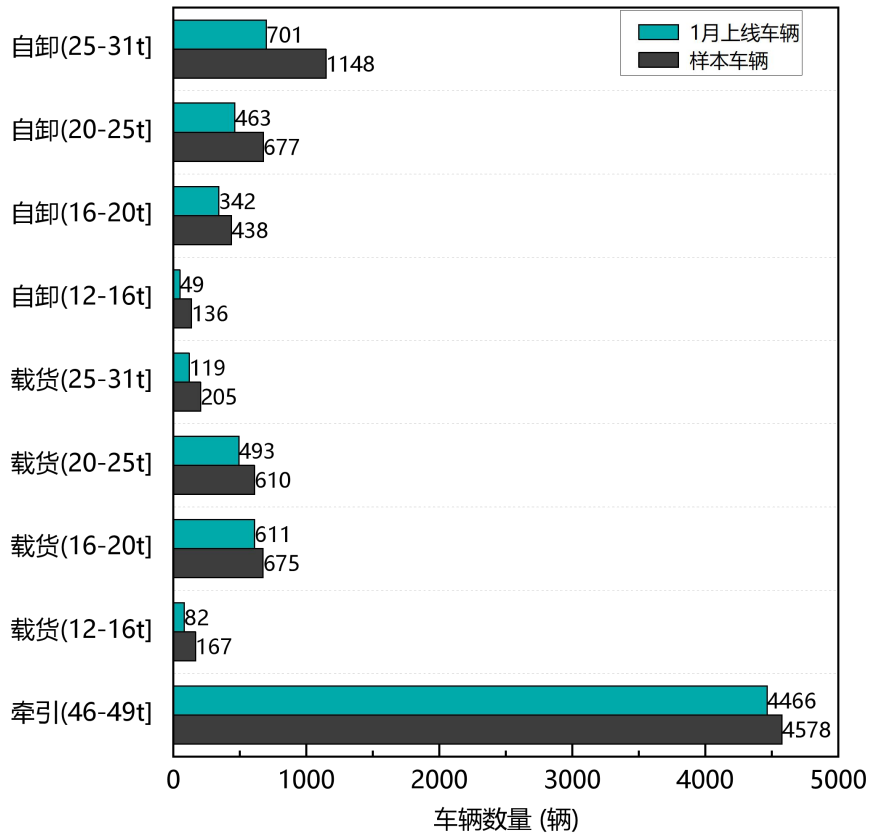


图 3-15 2022 年 1 月上线车辆的数量分布

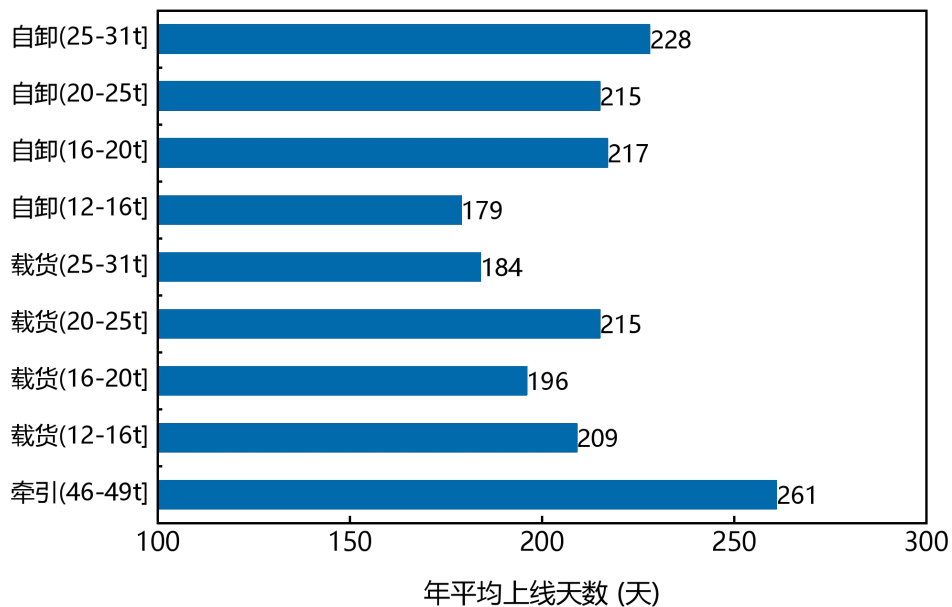


图 3-16 2022 年车辆的年平均上线天数

图 3-16 是不同车型和质量区间车辆在 2022 年的平均上线天数。从图上可以看出，载货汽车(12-16t)和自卸汽车(25-31t)的上线天数约在 180 天，除此以外

的车型和质量区间的上线天数均超过 200 天。其中牵引汽车的平均上线天数最多，超过了 250 天。

图 3-17 是不同车型和质量区间的汽车 2022 年日平均行驶里程的分布情况。图 3-18 是不同车型在不同质量区间的日均行驶里程概率分布直方图。在计算日均行驶里程时，首先计算每辆车全年的日行驶里程，计算方法为每天最后一行数据的里程表的值与当天第一行数据中里程表的值相减。在计算每辆车的日均行驶里程时，先删去异常值，即行驶里程不足 1 公里和大于 1000 公里的活跃天数。每辆车的日均行驶里程按照车型和质量区间的分布结果显示，自卸汽车(12-16t]和(16-20t]的日均行驶里程分布最为集中，平均值分别为 85km 和 78km，中位数均分别为 71km 和 77km。牵引汽车(46-49t]的日均行驶里程数最大，分布最分散，平均值为 349km，中位数为 347km。其他车辆的日均行驶里程分布的平均值和中位数在 150km 以下。

图 3-19 统计了 2022 年不同车型和质量区间车辆日均行驶时长的分布情况。图 3-20 是不同车型在不同质量区间的日均行驶时长概率分布直方图。日均行驶时长的计算方法是每天的最后一行数据的传输时间减每天第一行数据的传输时间，该算法可能存在车辆在中途休息的状态而导致日均行驶时长被高估的现象。这里对一天中行驶时长低于 30 分钟的数据进行删除，再计算全年所有活跃天数的行驶时长的平均值，得到汽车的日均行驶时长。每辆车的日均行驶时长按照车型和质量区间的分布结果显示，牵引汽车(46-49t]的日均行驶时间最长，平均值和中位数均为 14.4 小时，自卸汽车(20-25t]和自卸汽车(25-31t]的日均行驶时长平均值为 11 小时，中位数超过了 10 小时，其他车辆的日均行驶时长分布平均值和中位数 10 小时以内。

根据工业和信息化部车辆型式核准信息，2021 年国内电动货车的平均标称续航里程为 320km。根据对不同车型和质量区间的汽车 2022 年的日均行驶里程的详细分析。各质量段的自卸及载货汽车分布均集中在 200km 以下，牵引汽车(46-49t]分布较为分散且均值超过 320km。因此在重型货车电动化推广过程中，建议优先考虑推动自卸汽车和载货汽车的电动化。

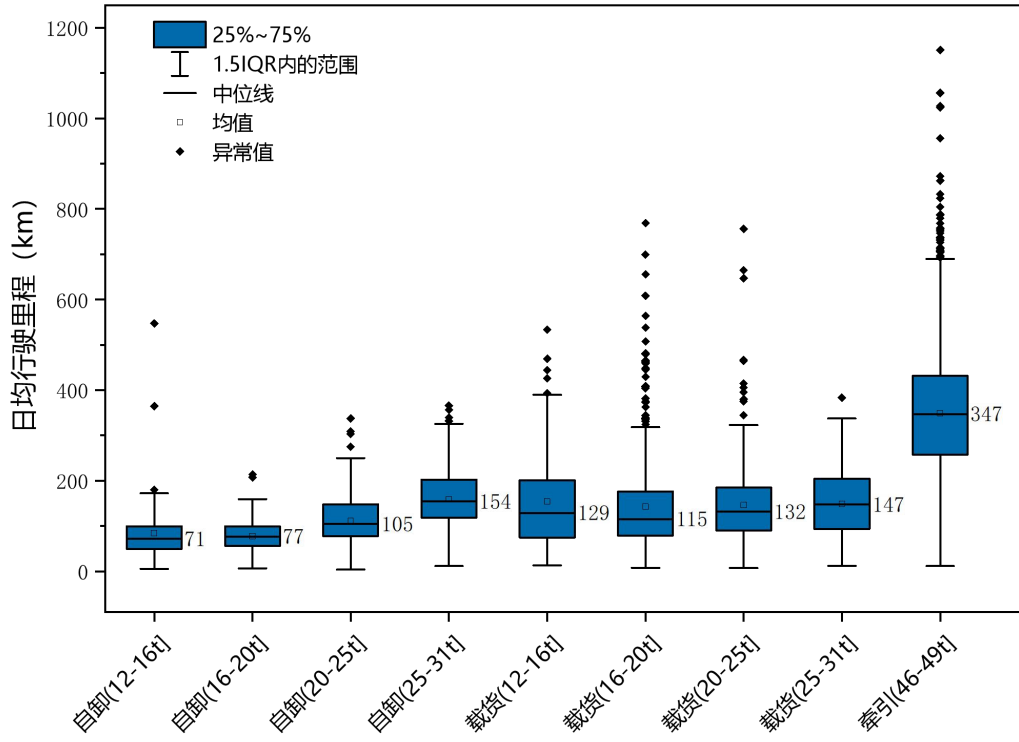
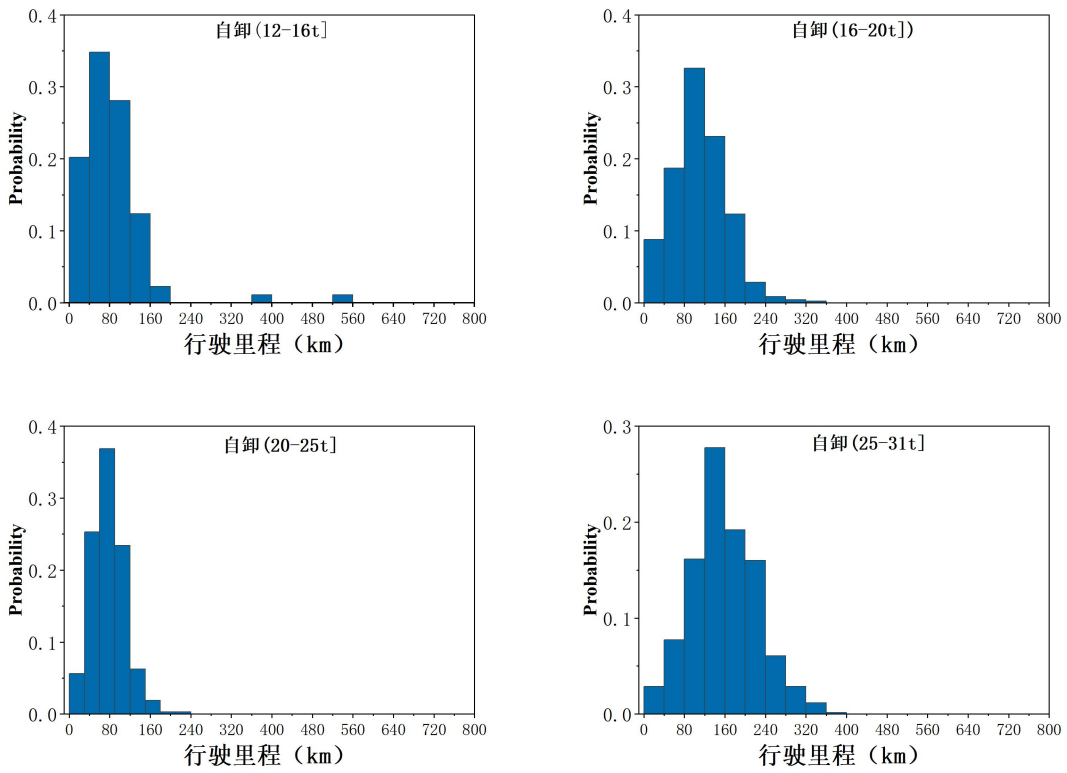


图 3-17 不同车型和质量区间车辆的日均行驶里程





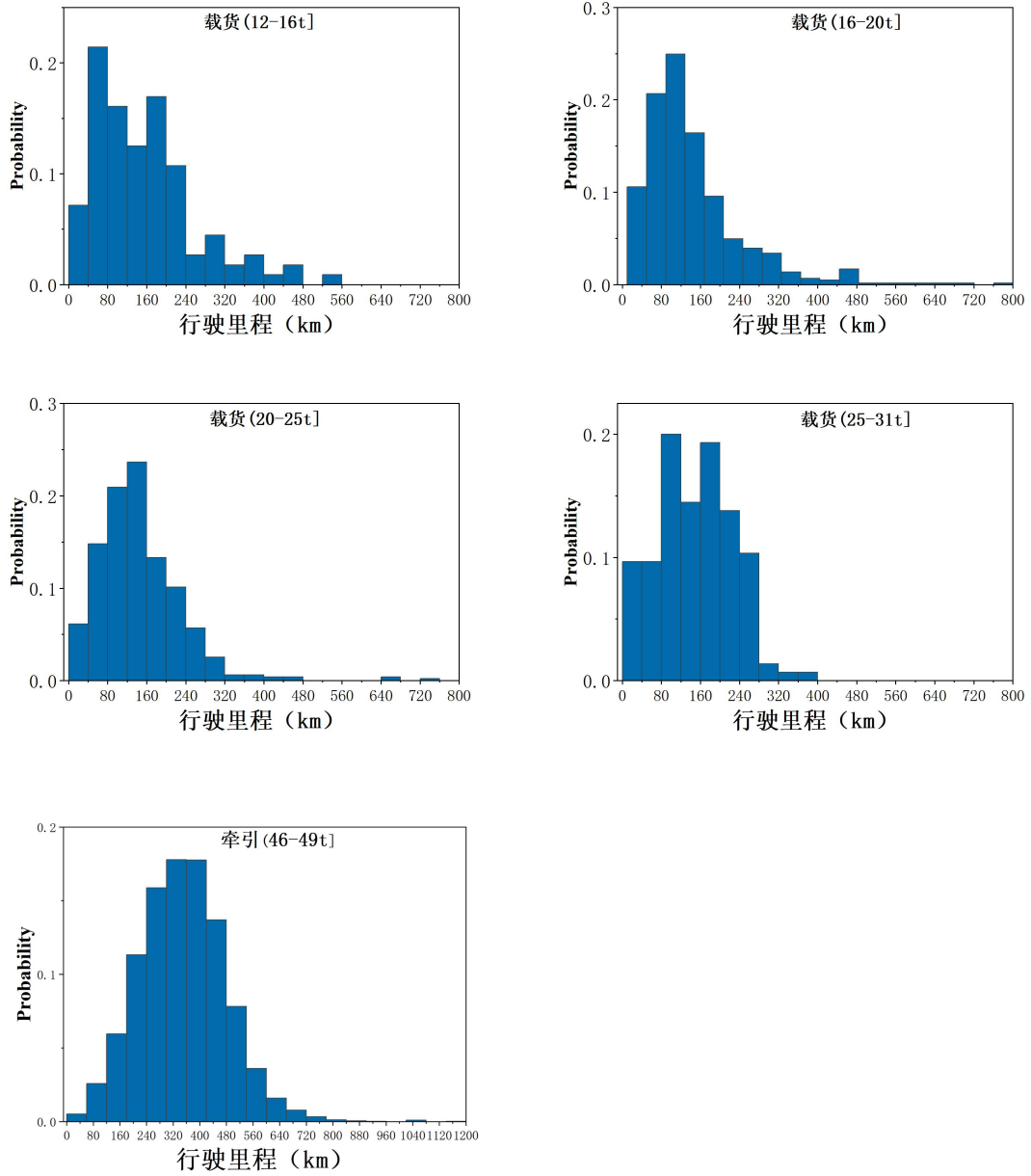


图 3-18 车辆日均行驶里程概率分布直方图

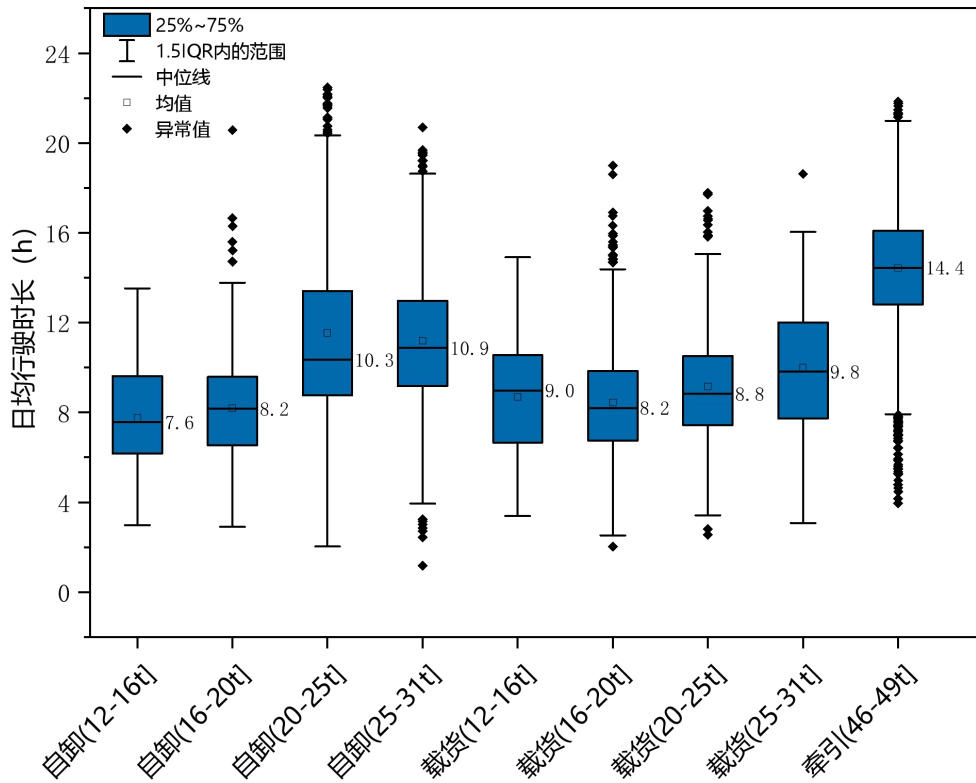
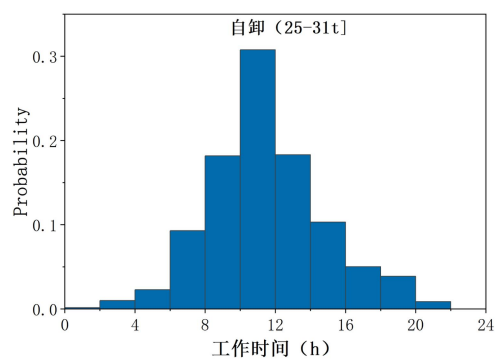
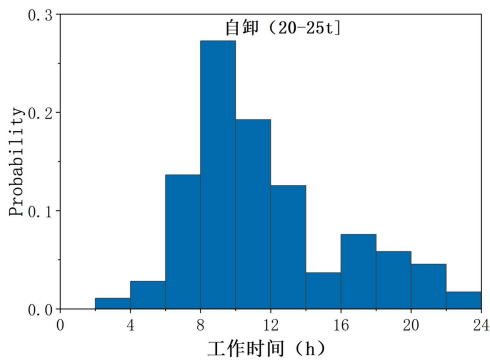
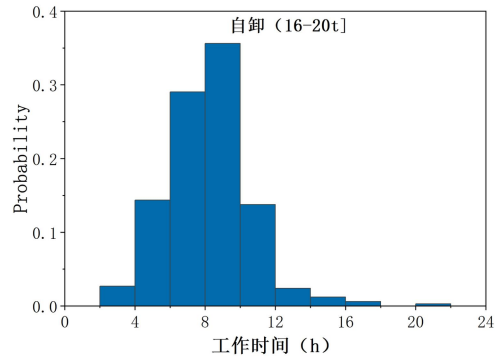
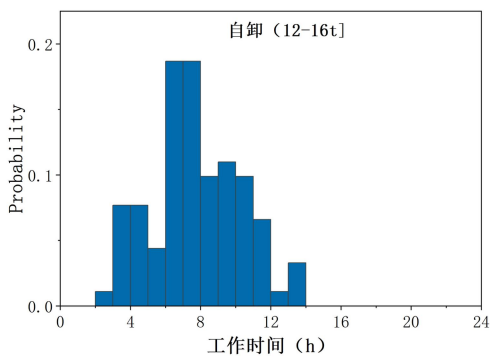


图 3-19 不同车型和质量区间车辆的日均上线时长



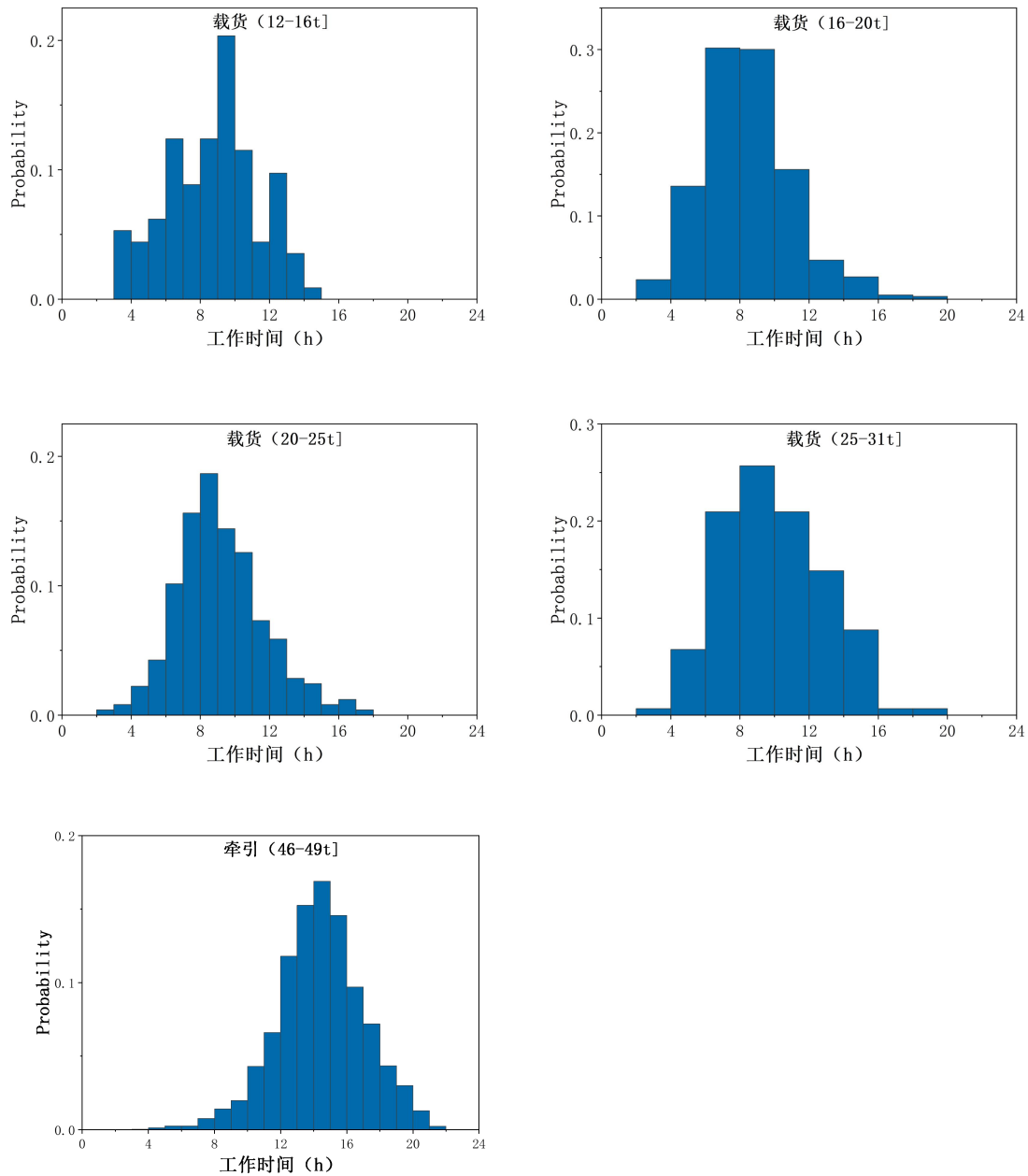


图 3-20 车辆日均行驶时长概率分布直方图

### 3.5 本章小结

本章深入探讨了数据清洗和分析的重要性。原始数据共有 10059 辆重型货车和 365.8 亿条数据。大数据样本包含了一些冗余、错误和无效信息，通过数据清洗可以确保后续分析的准确性和有效性。本章在数据清洗中，删除了不足一天的运行数据、损坏的数据文件，以及缺失关键列的数据项。最终，清洗后

共有 8634 辆车，数据总量约 303.5 亿条，占原始数据的 82.9%。

通过对比清洗前后的数据分布，看出数据质量显著提升。数据清洗有效地排除了原始数据中的异常值和错误记录，数据运行时间范围由接近 285 天（运行小时折合成天数）缩小到低于 200 天，使得数据分布更均匀和连续。

本章还详细分析了 2022 年的车辆累计行驶里程，大多数车辆的累计行驶里程都在 0-100,000 公里区间内，反映出车辆的使用状况和耐用性。不同车辆类型的累计里程分布也揭示了其功能和使用场景，例如自卸汽车主要用于短途行驶，牵引汽车主要用于中长途行驶。

本章还从车辆的全年上线天数着手，分析了车辆的日均行驶里程和日均上线天数。从日均行驶里程来看，自卸汽车(12-16t]和(16-20t]的分布最为集中，平均值分别为 85km 和 78km，中位数均分别为 71km 和 77km。牵引汽车(46-49t]的日均行驶里程数最大，分布最分散，平均值为 349km，中位数为 347km。其他车辆的日均行驶里程分布的平均值和中位数在 150km 以下。从日均行驶时长来看，牵引汽车(46-49t]的日均行驶时间最长，平均值和中位数均为 14.4 小时，自卸汽车(20-25t]和自卸汽车(25-31t]的日均行驶时长平均值为 11 小时，中位数超过了 10 小时，其他车辆的日均行驶时长分布平均值和中位数 10 小时以内。

总体而言，本章说明了数据清洗在数据分析中的核心地位。只有经过严格的数据处理和筛选，才能确保基于这些数据分析结果的准确性。此外，通过深入分析实时车辆数据，也对车辆的使用习惯、耐用性和功能定位有了更深入的了解，能为后续的研究和决策提供参考。

# 第 4 章 综合油耗分析

## 4.1 综合油耗技术路线

本研究针对重型货车全年运行中的逐秒数据，根据其连续性进行分段处理，以提高重型货车综合油耗计算的准确性。以下是详细的处理流程和结果分析：

### 一、原始数据预处理

原始数据的存在时间跨度长、数据量大和不连续的问题，为了后续的数据分析的准确性，先对数据进行分段处理。经过测试验证发现，将连续数据段的间隔长度设定为 10 分钟，既能保证数据的有效性和完整性，又能降低不连续性对计算的影响。

### 二、数据筛选与验证

在确定分段的间隔长度后，对全部数据段按照 2 个标准进行再筛选，分别为时间密度和速度积分/里程差。利用这 2 个标准的目的是对里程段的数据缺失程度进行筛选。通过设定合理的阈值，删除了部分低质量的数据段。

### 三、油耗计算

经上述处理后，得到了大量连续且高质量的数据段，项目组将利用这些数据段计算重型货车的综合油耗值。本研究以“发动机燃料流量”这项参数的积分值作为柴油消耗量。积分的具体计算方法是：通过将每秒的燃料流量进行积分，再将每一段积分结果与和此里程段相同车型相同质量区间的其他里程段的积分结果相加得出总消耗量。数据段首尾行的里程表差值作为重型货车的行驶里程。考虑到数据段首尾可能存在误差，本研究将取整数值作为最终的行驶里程。每一种车型都将所有柴油消耗量和行驶里程进行加和，并计算比值，得到这种车型的综合油耗。即

$$\text{综合油耗} = \text{发动机燃料流量（积分）} / \text{里程表首尾里程差}$$

### 四、结果分析

综合油耗的计算流程图 4-1 所示。通过计算得到了不同车辆类型在不同质量区

间的综合油耗值，同时与《重型商用车辆燃料消耗量限值》第三阶段和第四阶段（征求意见稿）进行分析比较，值得注意的是该综合油耗值是一个平均值，未考虑车辆的负载情况。

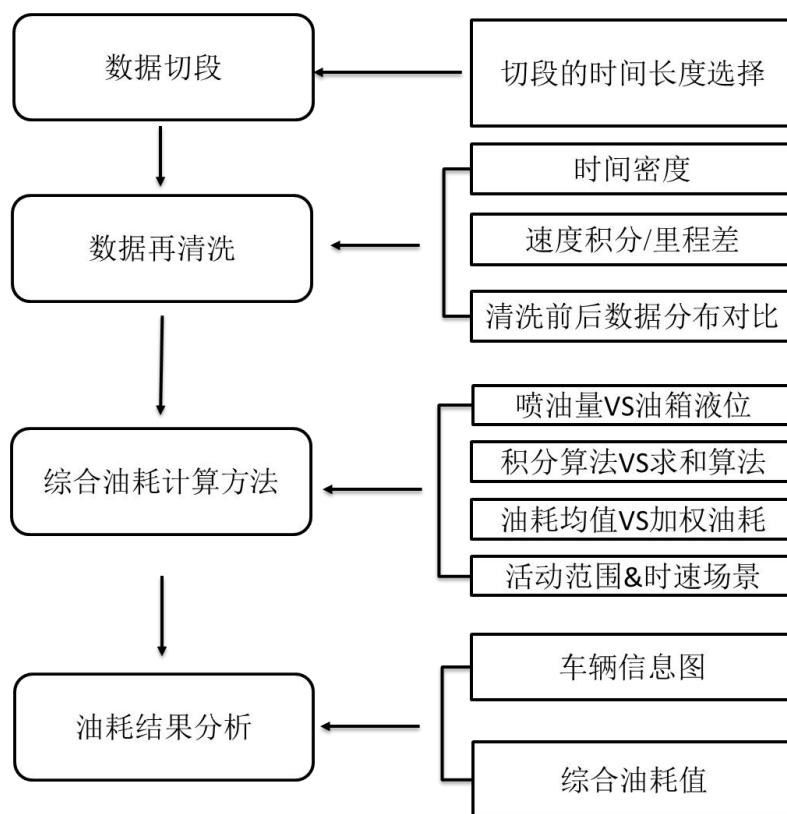


图 4-1 综合油耗计算流程图

## 4.2 综合油耗的分段方法

在分段时间间隔的选择上，为保证尽量涵盖所选重型货车样本的全部工况，本研究分别按照 5 分钟、10 分钟、20 分钟和 30 分钟的时间间隔进行划分。具体结果如图 4-2 所示。

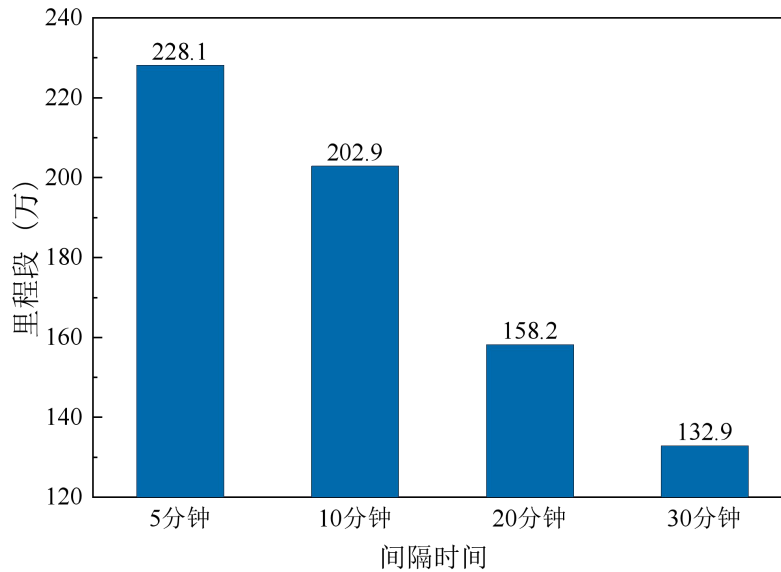


图 4-2 不同时间切分的里程段数量

重型货车连续运行时长对油耗计算准确性存在一定影响。理想状态下，车辆平稳运行的时间越长，其通过计算的油耗值越能反映实际情况，但若选择 20 分钟或者 30 分钟作为分段的时间间隔，会删除过多的数据行，可能导致得到的油耗无法全部覆盖重型货车的行驶状况。理论来说，选择 5 分钟作为分段的时间间隔能够涵盖更多的重型货车行驶状态。但是分段时间 5 分钟得到的数据量过于庞大，考虑到计算机算力以及后续分场景分负载的油耗计算，且以十分钟作为分段依据所产生的段落数量与五分钟所得的分段数量差距不大，本研究选定将 10 分钟作为分段的时间间隔，所选里程段约共 203 万段。

## 4.3 分段后的数据再清洗

### 4.3.1 时间密度

将全部数据进行分段处理后，需进行数据再处理。本研究在这里设定时间密度这一变量，该变量的计算方式如下：

$$\text{时间密度} = \text{里程段的数据中含有真实数据量} / \text{应有数据量}$$

由于原始数据为逐秒数据，里程段中含有的真实的数据行数为本里程段的真实数据量，应有数据量指的是此里程段的运行时间范围内包含的秒数，即数

据行的数量，用首行和尾行的时刻差来表达。

对于时间密度的具体数值设定，本研究分别选择了 0.5 到 1 之间的数值进行比较分析（图 4-3）。当时间密度为 1 时，说明此里程段数据质量最优，没有缺失值，但时间密度为 1 的里程段仅占所有里程段的 9.1%。为兼顾数据质量和数据数量，本研究设定时间密度的标准值为 0.9，当某个里程段的真实行数与里程段的时间间隔的比例小于 0.9 时，那么认为该里程段质量不高，连续性不强，进行删除。最终得到的时间密度大于 0.9 的里程段占分段后里程段的 77.3%。

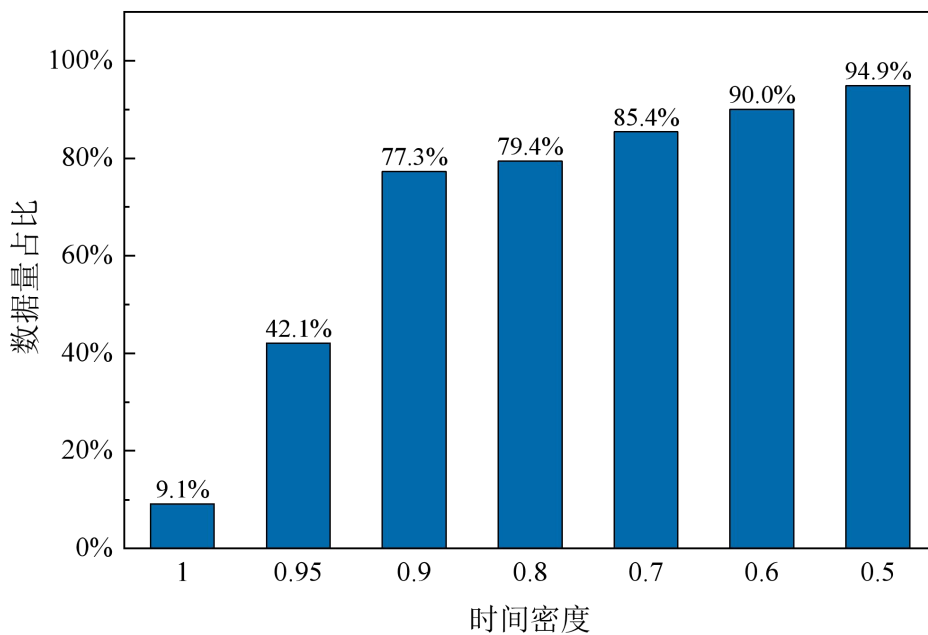


图 4-3 不同时间密度下的数据量占比

### 4.3.2 车速积分/里程差

为了提高综合油耗计算的准确性，本章对重型货车运行中的全年逐秒数据进行分段处理。初步设定时间密度为 0.9，然后引入车速积分和里程差比值这一指标变量，进一步验证切段数据的质量。以下是详细的处理流程和结果分析：

#### (1) 数据分段处理与速度积分

在对逐秒数据进行处理时，选择将时间密度设定为 90%，并且设定连续数据段的时间间隔为十分钟。在每个段落中，对每秒的速度数据进行积分，得到该时间段内车辆行驶的里程估算值。



## (2)车速积分与实际里程的比较

如果一个里程段中每一秒的数据都未缺失，那么通过对速度积分得到的行驶里程应该与货车在该时间段内的实际行驶的里程几乎相同。里程表的首尾里程差可以记录该里程段的实际行驶里程，但当里程段中存在大量数据缺失时，速度积分得到的里程值可能无法准确反映实际行驶里程。

## (3)车速积分与首尾里程差比值的验证方法

为了考察每个时间密度下车速积分与首尾里程差的比值分布情况，本研究计算了每个里程段的车速积分与首尾里程差的比值。如果比值分布较为集中，说明数据段的质量较高；如果比值分布较为离散，则表明数据段的质量较低。

## (4)验证结果

图 4-4 展示了不同时间密度下车速积分与首尾里程差比值的分布情况。横轴为时间密度，表示筛选出时间密度大于此数值的所有里程段。纵轴为比例，表示经过时间密度筛选后的所有里程段中，对每个里程段计算车速积分/里程差的比值。蓝色曲线表示这个比值在 0.95 到 1.05 的里程段的数量占所有段数量的比例，红色曲线表示这个比值在 0.9 到 1.1 的里程段数量占所有段数量的比例，黄色曲线表示 0.8 到 1.2 的比例和绿色曲线表示 0.5 到 1.5 的比例。结果表明，随着时间密度筛选值的升高，每一条曲线都在逐渐上升，而时间密度在 0.8 到 0.83 时，车速积分/里程差的误差在 5%范围内的比例达到最大（如图 4-5）。在时间密度为 0.9 时，该比值变化不明显，但是可以囊括更多的数据，因此为了兼顾数据量和数据质量这两个指标，本研究将时间密度选定为 0.9，即里程段的数据中含有真实数据量和应有数据量的比值至少为 90%。

综上所述，通过对逐秒数据的分段处理和车速积分与实际里程的比较，验证了时间密度为 0.9 的数据段质量较高。因此，本研究选择该时间密度来计算综合油耗。在此基础上，开展综合油耗计算的详细分析和比较不同车辆类型在不同质量区间的综合油耗等工作。

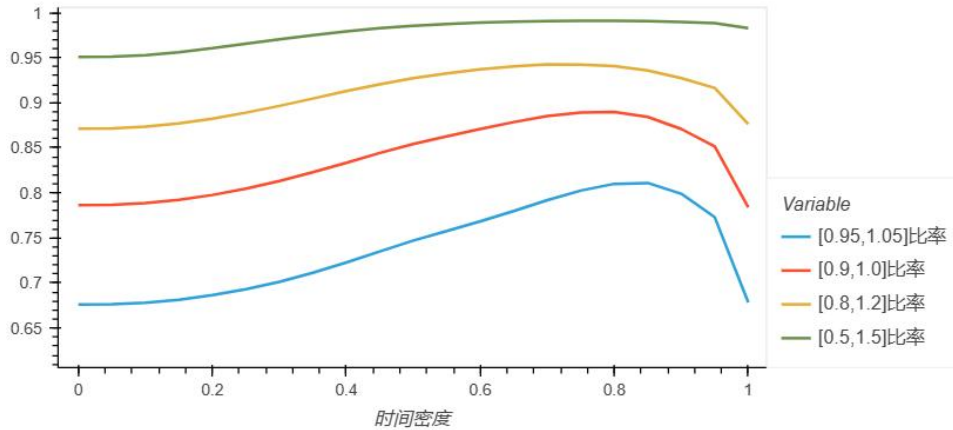


图 4-4 不同时间密度下车速积分与首尾里程差比值的分布情况

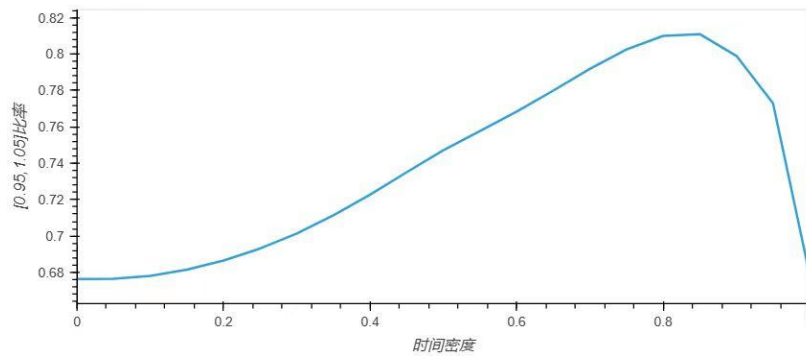


图 4-5 速度积分/里程差分布误差在 5%范围内的比例

依照常理，时间密度为 1 的里程段数据缺失的数据最小，数据质量最高，其车速积分/里程差的比值接近 1 的占比应该最大，但如图 4-4 的 4 条曲线所示，在时间密度为 1 时，都呈现急速下降的趋势。

针对此现象，本研究筛选了所有时间密度大于 0.95 的里程段，考察其里程差的分布情况，如图 4-6 所示，超过 60% 的里程段的行驶里程低于 1km。因此，尽管速度积分与里程差的比值与 1 差距较大，但实际上因为行驶里程较短，速度积分与里程表差值仅有几百米，这就导致速度积分与里程差比值为 1 时差距较大，但并不能说明时间密度接近于 1 的里程段数据质量差。时间密度接近于 1 的缺失值较少的里程段，大多是运行时间短、行驶里程短的里程段，从计算油耗的角度来看，运行时间较短的工况会影响油耗计算的准确性。因此，将时间密度选择为 1 是不合适的，不仅会筛选掉大多数里程段（时间密度为 1 的里程段仅占全部里程段的 9.1%），而且所选里程段的工况信息较为单一，将严重

影响油耗计算的准确性。基于以上因素，本研究将时间密度的筛选值设定为 0.9。并在此基础上，进一步删除质量较差的车速积分/里程差的比值小于 0.5 或者大于 1.5 的里程段内的数据。

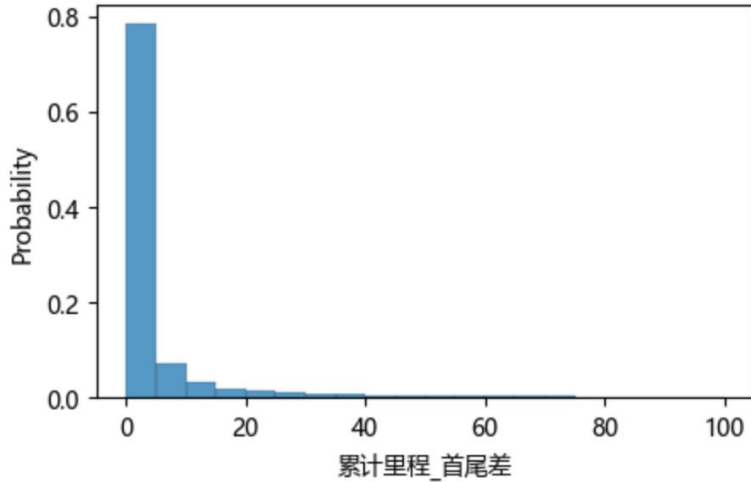


图 4-6 里程分布情况

此外，还需删去累计里程小于 0 和累计里程明显过大的段。因为累计里程小于 0 是明显的异常情况，累计里程明显过大的判定方法如下：

$$\text{里程表首尾差} > 2 \times \text{车速均值} \times \text{时间跨度}$$

将车速均值与时间跨度的乘积作为里程段行驶里程的估计值，如果里程表的首尾里程差大于 2 倍的车速均值和时间的乘积，那么认为这是累计里程明显过大，数据质量差，删除该数据段。

综上所述，通过上述对于里程段的再清洗过程，本研究从 9001 台车的行驶数据中共得到 244.67 亿条可用且质量较高的数据，约占清洗后数据的 81%。

## 4.4 综合油耗计算方法

### 4.4.1 比较喷油量和油箱液位

为准确量化柴油消耗量，本研究选择了油箱液位和发动机喷油量 2 种方法进行比较研究。方法 1 是通过测量油箱液位的变化情况来估算柴油的消耗量。但由于油箱液位数据波动较大且不稳定，此方法存在一定的误差；方法 2 是根

据发动机喷油量的变化情况来计算柴油消耗量，该方法中数据呈现出整体稳定且上升的趋势，因此本研究以方法 2 作为主要的柴油消耗量衡量方法。

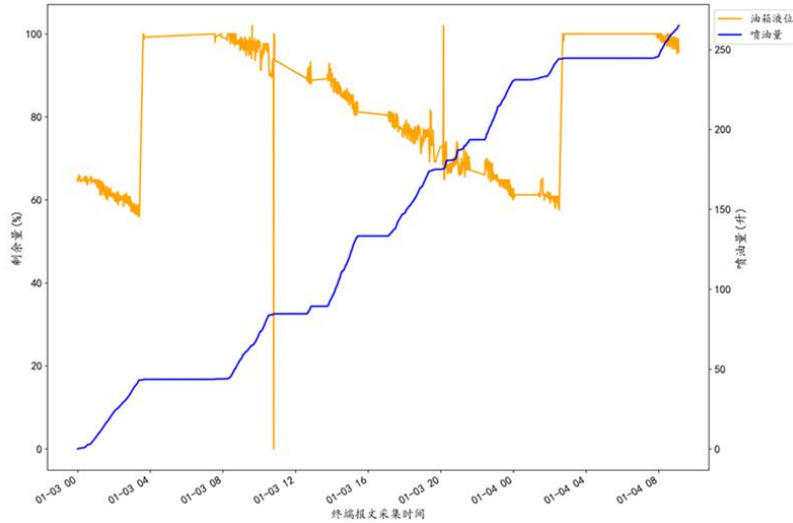


图 4-7 L53D4532XMA\*\*\*\*\*喷油量和油箱液位的比较

数据切段后，以单车连续里程段的数据作为研究对象，分析其喷油量和油箱液位的变化情况。如图 4-7 所示，黄色的线是油箱液位随时间的变化情况，蓝色的线是喷油量随时间的变化情况。图中油箱液位数据波动较大且不稳定，单车差别最大在 50L 以上，此方法计算出的油耗并不准确。相比之下，喷油量数据整体呈现稳定上升的趋势，因此本研究选择以喷油量数据来计算油耗。

由于喷油量数据缺失的情况不可避免，本研究提出了一种对喷油量数据积分的算法，即利用该段的喷油量对里程段的时间进行积分，得到此里程段的油耗。此积分算法能够弥补因数据缺失而损失的喷油量，使计算结果更符合实际情况。

#### 4.4.2 比较积分算法和求和算法

将喷油量数据作为计算油耗的参数之后，有 2 种方法计算每个里程段的柴油消耗量。方法 1 是对一个里程段内所有的喷油量求和计算此里程段的柴油消耗量；方法 2 是对一个里程段内的喷油量数据逐秒积分，弥补缺失值，将积分后的结果作为此里程段的柴油消耗量。本研究将比较分析两种算法，结果如图

4-8 所示。

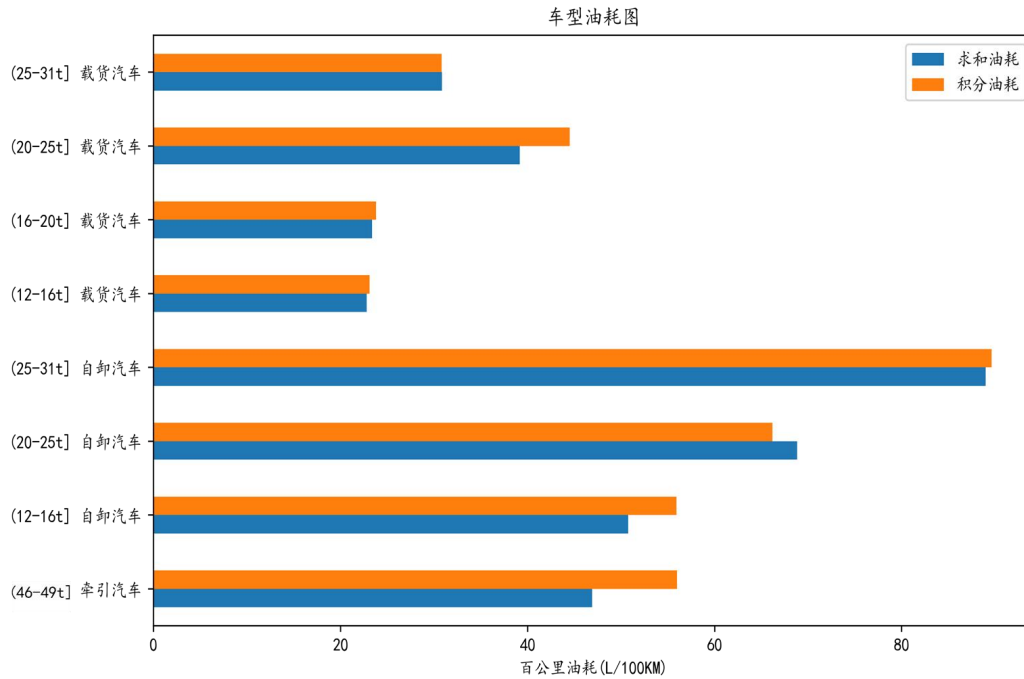


图 4-8 通过积分算法与求和算法计算的油耗比较

如图所示，通过积分算法和求和算法计算的平均油耗量，在整体上相差不大。积分算法的油耗量要大于求和算法的油耗量，只有自卸汽车(20-25t]的油耗量是求和算法大于积分算法。综合考虑喷油量数据的情况，积分算法相较于求和算法能够弥补缺失值，因此本研究选择用发动机喷油量的积分数据作为里程段的油耗。

#### 4.4.3 比较里程段分别计算油耗和综合计算油耗

依据上述切段数据与数据清洗方法，对所有筛选后的里程段按照车型和质量区间计算油耗均值。有 2 种计算综合油耗的方法。方法 1 是使用整体的喷油量总和除以总的行驶里程计算平均油耗。这种方法的优点在于其全面性和代表性。其包含了所有的里程和柴油消耗量，确保最终的油耗计算结果能真实地反映车辆在所有里程中的实际燃油效率。如果一个较短距离里程段的油耗比较高，那么该方法可以削弱其对整体油耗的影响。方法 2 是先单独计算每一段的油耗，再取每段油耗的平均值。这种方法可能会导致某些里程短但油耗特别高的里程

段对总体的平均油耗有较大的影响，因为它赋予每一段里程相同的权重，不考虑段里程的长度。

考虑上述使用场景，本研究选择使用方法 1 进行计算。特别是在特殊工况下，里程虽然短，但其油耗远超出法定油耗，如果采用方法 2，可能会对整体的评估结果产生不成比例的影响。而方法 1 能够平衡各段里程的影响，提供一个更加准确、有代表性的评估结果。

#### 4.4.4 活动范围筛选

除去对于对原始数据质量的筛选，即时间密度的筛选和速度积分与里程差比值大小的筛选，本节还考虑了车辆的实际行驶状况。如图 4-9 所示，该车在某一厂区范围内运行，其车速和里程几乎为 0，但是存在发动机长时间在喷油的情况，造成计算得到的油耗偏大，影响行驶状况的油耗结果。

针对上述车辆在场区内做功的情况，为保证油耗计算结果的准确性，本章引入了活动范围这一变量。筛选每个里程段内的经纬度极值，选择最大的经度纬度以及最小的经度纬度，依照经纬度极值计算相应的横向距离和纵向距离，两者相乘得到活动范围，单位是平方千米（ $\text{km}^2$ ）。具体计算步骤如图 4-10 所示。

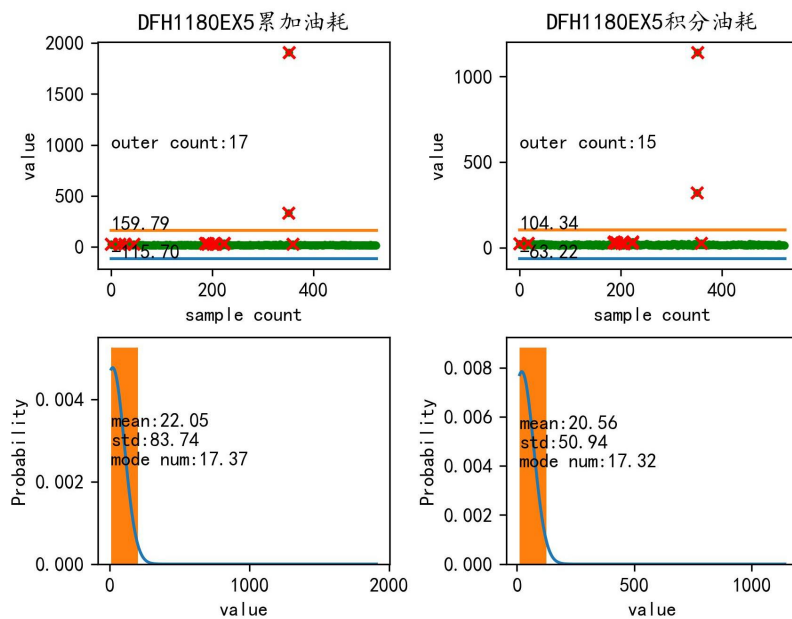


图 4-9 场区做功油耗对比

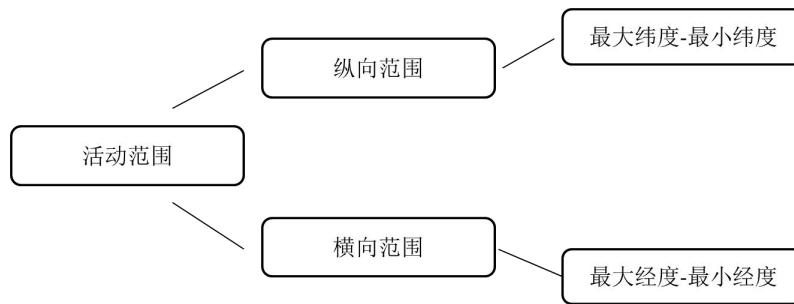


图 4-10 活动范围计算

将汽车行驶数据的经纬度变量引入后，本研究发现，很多经度和纬度数据存在异常，如存在一些经纬度数值错误，或者数值为 0。为保证数据质量，首先剔除经纬度值为 0 的数据，其次依照我国国土范围的经纬度限值——经度范围数值在 73°到 135°之间，纬度范围数值在 3°到 53°之间进行进一步的筛选。

本节还分车型分析了油耗值大于 100L/100km 的里程段的活动范围分布情况，如图 4-11 所示。在上述条件的里程段中，超过 90%的里程段活动范围小于 2km<sup>2</sup>。这表明绝大多数的油耗值较大的里程段是在场区内的数据段，汽车在场区内运行，里程和速度都很小，但是发动机持续喷油，因此油耗量较高，在计算综合油耗时应该剔除掉这部分里程段。

综合考虑，本章首先计算综合油耗值，即不考虑汽车的工作状态。将全部的里程段按照不同车型和不同质量区间分别计算油耗，得到综合油耗值之后，再区分汽车工作状态分别计算油耗。对于油耗量小于等于 100L/100km 的所有里程段，认为其基本属于正常行驶的工作状态，而对于油耗量大于 100L/100km 的里程段，认为其活动范围不超过 5 km<sup>2</sup>的里程段属于在厂区内做功的里程段。经分析，原切段数据为 202.9 万段，其中活动范围小于等于 5 km<sup>2</sup>的里程段有 53.4 万段。约占原切断数据的 26.3%。

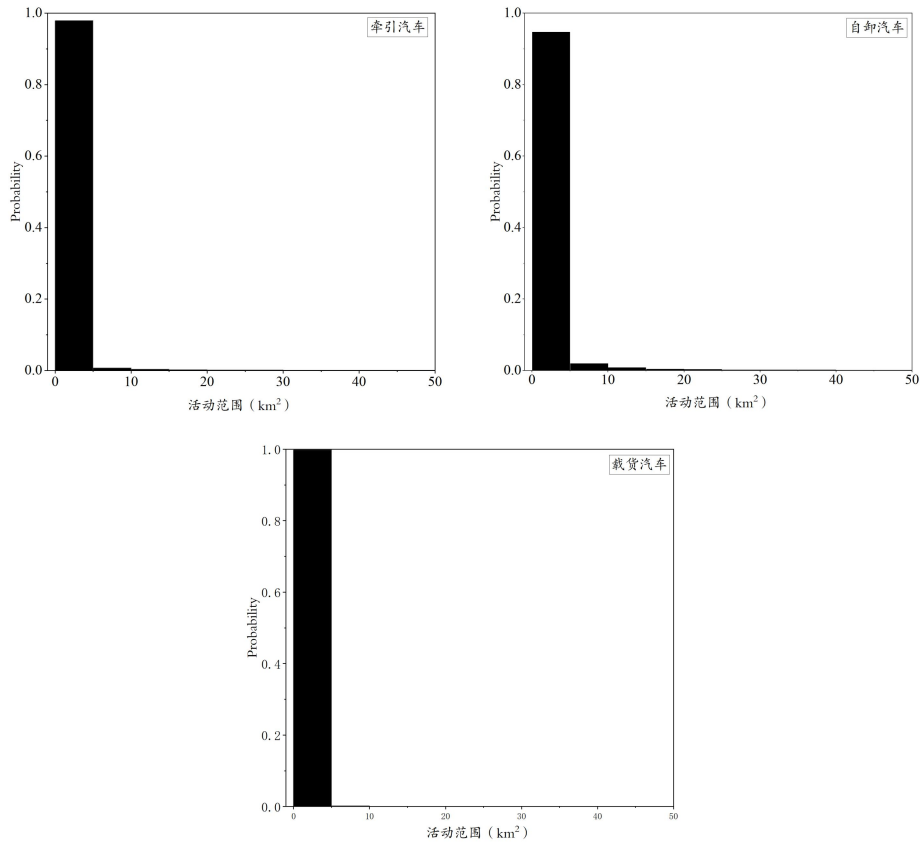


图 4-11 车辆活动范围分布图

#### 4.4.5 时速筛选

在进行活动范围筛选后，发现在所有活动范围大于  $5 \text{ km}^2$  的里程段中，部分里程段活动范围很大，但是其相对应的行驶时间和行驶里程却很小，如下图所示。时间跨度表示行驶时间，第一行的数据表示，行驶时间为 52 分钟，但是里程表的变化为 2 公里，而依据经纬度算出的横向距离和纵向距离分别为 20 公里和 9 公里，这显然是不合理的，在计算实际油耗的过程中需要将这部分不合理的里程段剔除掉。

针对异常数据，本章引入时速这一变量，单位为  $\text{km/h}$ ，计算公式如下所示：

$$\text{时速} = \text{累计里程}(\text{km}) / \text{时间跨度}(\text{h})$$

本章认为时速低于  $5 \text{ km/h}$  的里程段并非一直处于行驶状态的。汽车可能是一段时间在行驶，另外一段时间在场区工作，或者存在其他的工况。而此种工况的里程段计算出的综合油耗将会使得整体油耗结果升高，这部分筛选出的里



程段数量为 72.8 万段，约占原切断数据的 35.8%。

H	L	U	V	W
累计里程	时间跨度	横向距离	纵向距离	活动范围
2	0 days 00:52:34	20.10456397	9.50438635	191.0815434
32	0 days 01:13:53	21.08394488	17.9318498	378.0741337
41	0 days 01:01:55	16.32800563	23.4991574	383.6943749
36	0 days 00:46:47	25.69549186	10.2964278	264.5717771
23	0 days 00:35:46	19.78397868	5.06626325	100.2308441
35	0 days 00:48:20	25.96671036	10.2955383	267.3412599

图 4-12 异常数据示例

## 4.5 综合油耗计算结果

### 4.5.1 车辆数量分布

图 4-13 展示了在数据清洗流程中车辆数量的变化。样本车辆总共有 10059 辆。在第一次数据清洗后，即对原始数据的异常状况和进行初步的数据质量筛选后，车辆数量为 8634 辆。接下来进行数据切段，按照里程段的时间密度和速度积分/里程差这两个变量的数值来判断里程段的数据质量，筛选掉数据质量较差的里程段，剩余 8519 辆车。最后删去经纬度数据异常的里程段，最终得到 8501 辆汽车。这说明在逐步地数据清洗之后，排除了异常、缺失或者不符合油耗计算标准的数据，提升了数据的质量和准确性。

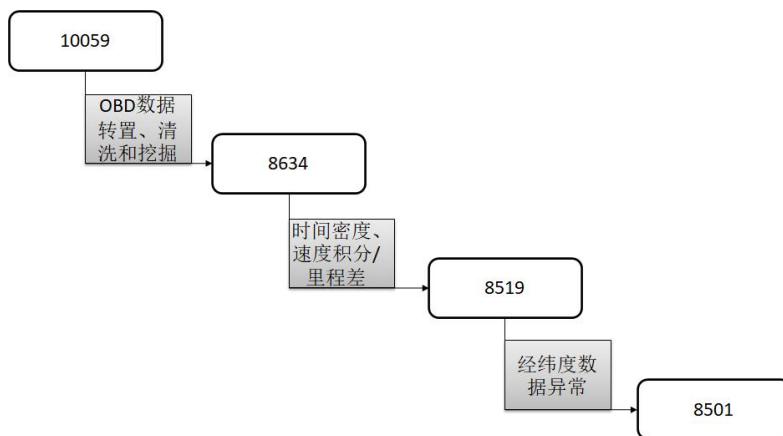


图 4-13 数据清洗流程（车数变化）

图 4-14 是进行切段筛选后，未进行活动范围和时速合理限值筛选的车辆数

量分布图，共计 8501 辆车。从图中可以看出，牵引汽车(46-49t)的数量最多，共有 4569 辆，超过全部车辆数量的 50%。自卸汽车(25-31t)的数量相对较多，有 1123 辆。在计算和展示油耗均值时，本章会以车型和车辆总质量作为区分标准。清洗后全部参与综合油耗计算的车辆信息，包括不同车辆类型和不同质量区间车辆的数量分布情况，共计 8238 辆。其中包含载货汽车、自卸汽车和牵引汽车 3 种车型，并区分了 4 个质量区间的载货汽车、4 个质量区间的自卸汽车和 1 个质量区间的牵引汽车。

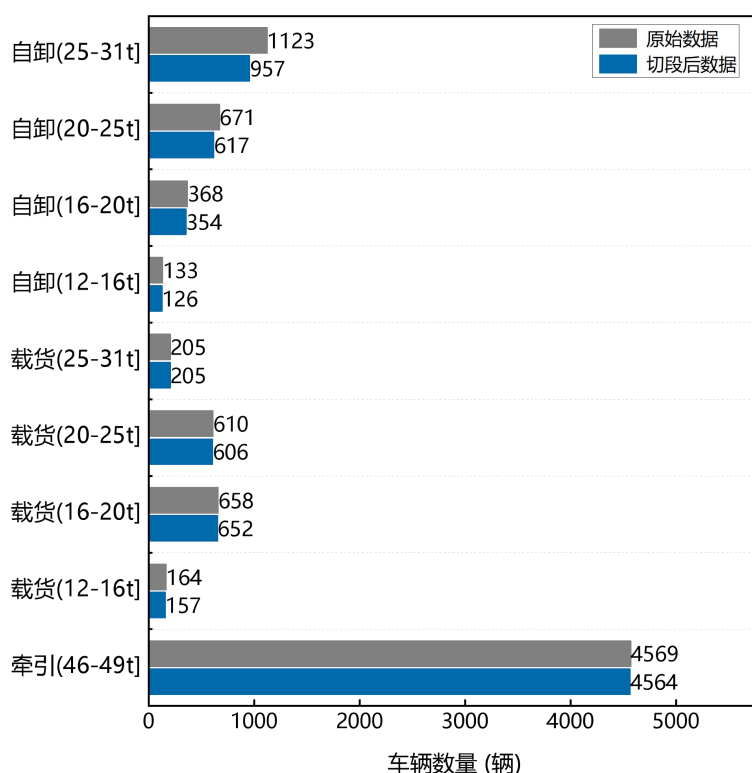


图 4-14 原始数据和切段后数据的车辆数量分布

#### 4.5.2 综合油耗均值

分别将每一车型和质量区间车辆的燃油消耗量和累计里程进行加和，得到总油耗和总里程。用总油耗除以总里程来计算每种车型和质量区间的平均油耗，并对比分析每种车型和质量区间的平均油耗。

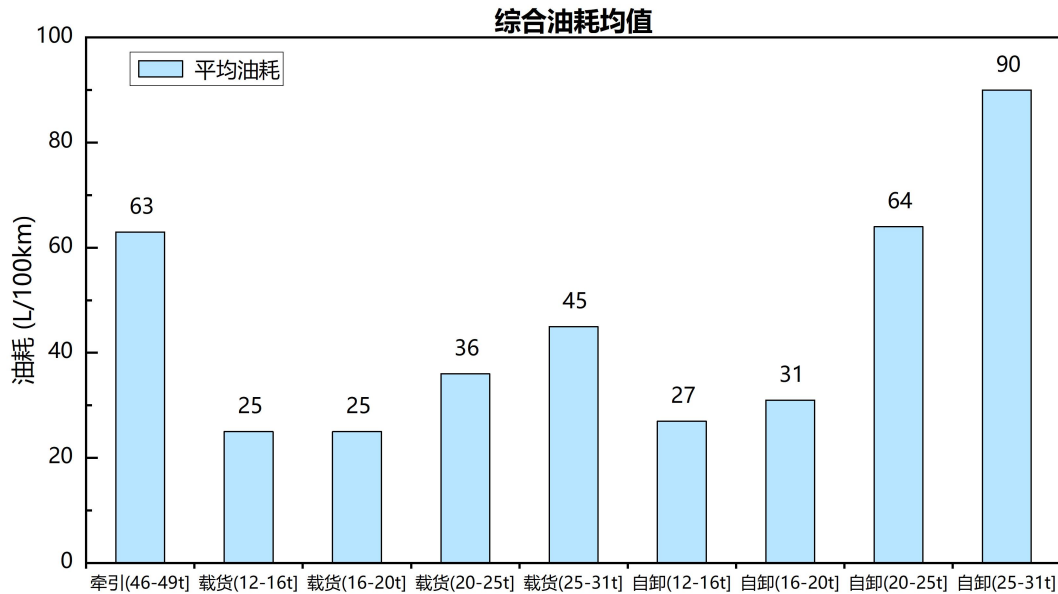


图 4-15 综合油耗均值分布

如图 4-15 所示，自卸汽车(25-31t)的综合油耗均值极高，达到了 90L/100km。牵引汽车的综合油耗均值在 63L/100km，载货汽车的综合油耗均值最低，在 25~45 L/100km。本节综合油耗均值是全部分段的计算结果，包含了部分原地做功的里程段，其中牵引汽车(46-49t)、自卸汽车(20-25t)和自卸汽车(25-31t)的综合油耗均值较高，可能是由于其原地做功和低速工况的占比较大所致，下一小节将比较分析区分低速里程段和行驶里程段的油耗均值。

值得注意的是，该项研究的计算中负载使用的是一个平均值，牵引汽车和自卸汽车在工作中具有不同的应用和特点，牵引汽车主要负责货物运输，自卸汽车则主要用于建筑工地和矿山等场所的货物运输。车辆的油耗均值较高可能是实际工况所导致的，需要进一步结合行驶场景分析，如是否有负载和行驶道路状态。

### 4.5.3 怠速段和行驶段油耗

对全部里程段按照活动范围和时速进行筛选，得到活动范围大于 5km<sup>2</sup> 且时速大于 5km/h 的全部里程段，并纳入短怠速时段的油耗（时间少于 3 分钟的怠速段），将这部分里程段的数据按照车型和质量区间对里程和喷油量加和，再比值得到油耗值，结果如图 4-16 所示。

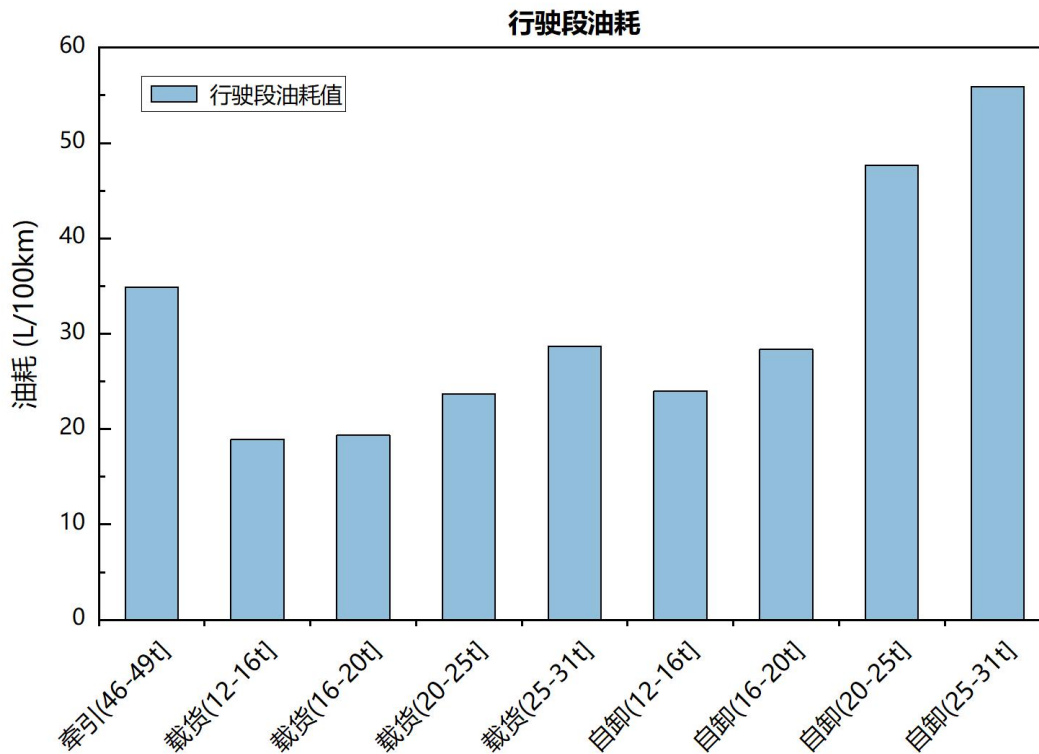


图 4-16 行驶段的油耗分布

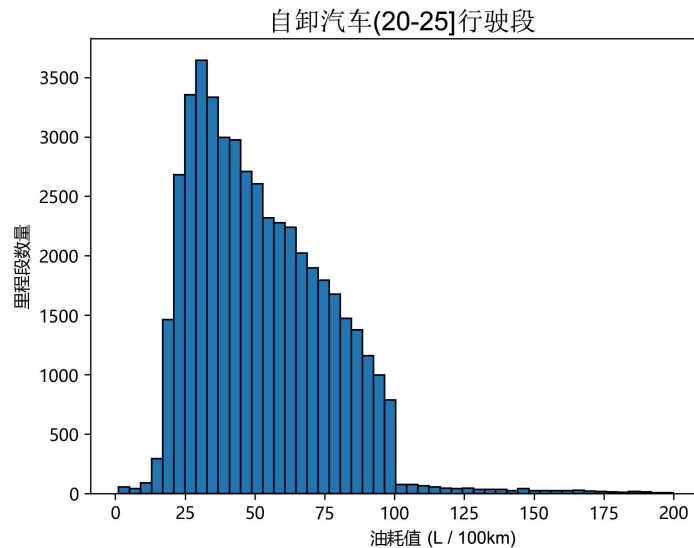
从整体来看，筛选得到的全部行驶里程段油耗值相比于不考虑实际工作的综合油耗值下降较多。牵引汽车、载货汽车、自卸汽车(12-16t)和自卸汽车(16-20t)的油耗值相对较低，自卸汽车(20-25t)和自卸汽车(25-31t)的油耗值相对较高。

图 4-17 筛选了自卸汽车(25-31t)部分油耗较大的里程段，每一行数据代表一个行驶里程段，如第一行数据表示这辆自卸汽车在 18 分 23 秒的时间内行驶了 5.4km，而发动机燃料流量积分变量的数值为 98549.4。这个变量是针对原始数据的逐秒数据进行按秒积分得到的，原始数据中的发动机燃料流量的单位是 L/h，这里对它按秒积分，应将得到的数值除以 3600，得到这一里程段的发动机燃料消耗量，单位为 L。因此第一行数据所代表的里程段的发动机燃料消耗量为 27.37L，这显然是不符合实际的。而其他数据行也基本上存在相同的问题，即发动机燃料消耗量过大导致里程段的油耗值过大。

A	B	C	H	I	M	P
车辆类型	车辆编号	总重区间	累计里程_首尾	发动机燃料流量_积分	实际时长	油耗_积分
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	5.4	98549.4	0 days 00:18:23	506.941358
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	3.5	57844.2	0 days 00:13:32	459.0809524
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	4.5	73326.15	0 days 00:16:19	452.6305556
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	7.3	111093.15	0 days 00:26:37	422.7288813
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	7.4	112194.7	0 days 00:23:15	421.1512763
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	7.7	116589.15	0 days 00:24:47	420.5957792
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	15.8	231850.775	0 days 00:47:32	407.6138801
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	7.8	112509	0 days 00:28:34	400.6730769
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	8.7	125107.825	0 days 00:26:20	399.4502714
自卸汽车	LZGCR	(25-31t]	5.1	73335.625	0 days 00:17:09	399.4315087

图 4-17 油耗数据异常情况

这里还对自卸汽车(20-25t]和自卸汽车(25-31t]的全部里程段做了油耗值的分布，如图 4-18 所示。这里的油耗值指的是每个里程段的油耗值，是每个里程段的累计喷油量和累计里程的比值，它能够代表每个里程段自身的油耗情况。从图中可以看出。自卸汽车(20-25t]里程段油耗值主要集中分布在 25-40L/100km，且超过 40L/100km 的里程段明显更多。自卸汽车(25-31t]里程段油耗值主要集中分布在 35-60L/100km，而自卸汽车(20-25t] 和(25-31t]第三阶段的油耗限值分别为 37.5L/100km 和 41L/100km。从整体来看，这两个车型行驶段的大部分里程段的油耗水平都高于限值。



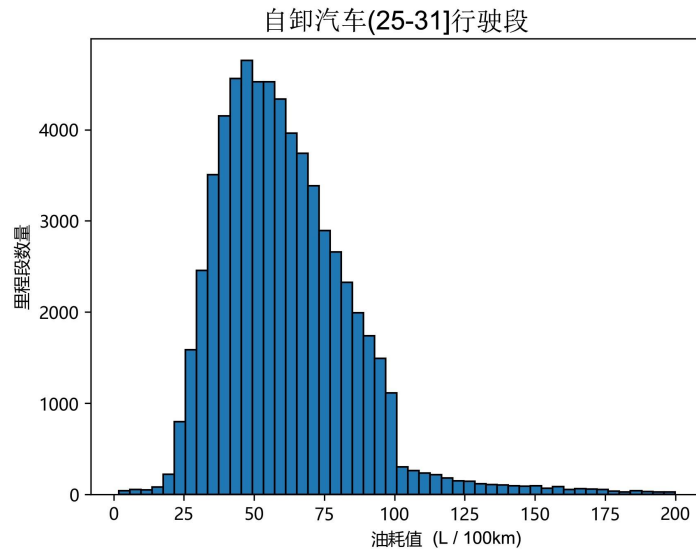


图 4-18 自卸汽车(20-25t)和(25-31t)的行驶段油耗分布图

本章还分析讨论了怠速段的油耗值。由于车辆除了行驶状态以外，还有大量场区内原地做功的状态，这种情况会出现里程段内的行驶里程较短但是油耗值极大的情况。因此，对于怠速时的油耗值，这里用喷油量与时间的比值来表达，得到每小时的油耗，再进行比较分析。

如图 4-19 为怠速里程段的油耗值，单位为 L/h，怠速里程段指的是时速小于 15km/h 以及活动范围小于 5km<sup>2</sup>的里程段。整体来看，自卸汽车(20-25t) 和自卸汽车(25-31t)的怠速油耗值较大，这可能是由于其本身的实际工作状态导致的。自卸汽车本身需要长时间地原地卸货，利用重力将货物从车厢中倾倒入来，这可能会导致其发动机一直在工作，进而使得其怠速油耗较高。牵引汽车(46-49t)的怠速油耗也较高，这可能是其本身质量较大所导致的。

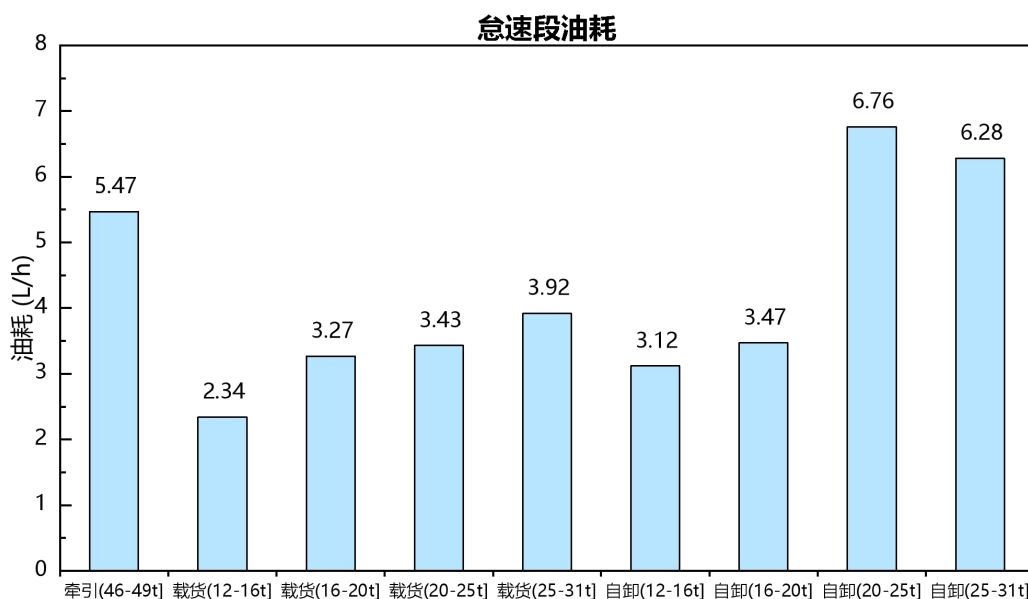


图 4-19 怠速段油耗的分布

## 4.6 重型专项作业车的油耗分析

专项作业车是一种广泛应用于各种工程和作业现场的车辆，包括装载机、压路机、挖掘机、吊车等。这些车辆的油耗量直接关系到作业成本和环境影响。本研究旨在分析不同类型专项作业车的油耗情况，以便更好地了解其能源消耗特征，为进一步优化作业效率和节能减排提供理论支持。

### 4.6.1 数据筛选

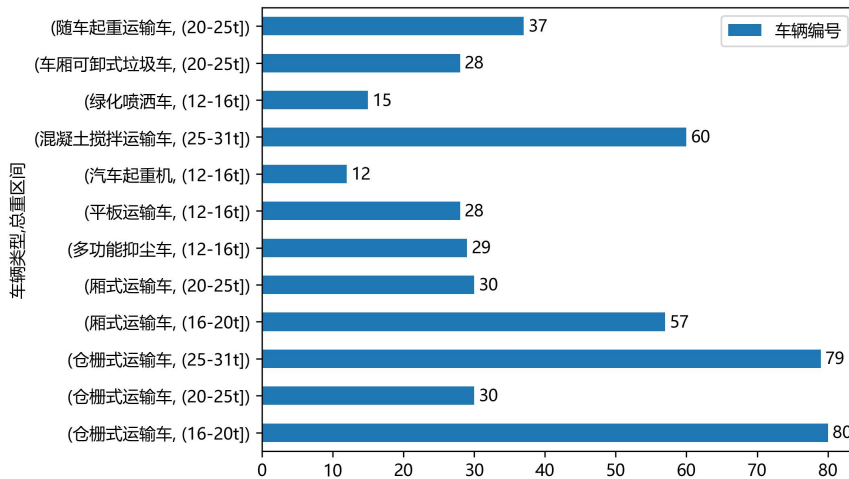
下一阶段的重型商用车燃料消耗量标准中暂未考虑给出单独的专项作业车的油耗标准限值，但是下一阶段重型货车的排放标准中会考虑纳入专项作业车的 CO<sub>2</sub> 排放限值。目前，暂时还没有关于重型专项作业车碳排放方面的研究，因此本研究拟对重型专项作业车的综合油耗开展初步的分析，为重型货车下一阶段排放标准的制订提供技术和数据支持。重型专项作业车的样本数据也是根据销量筛选，主要是选取每个质量区间销量前五的车型（燃油车），每个车型随机筛选 30 辆车的参数数据。样本共筛选了 19 个车型，570 辆专项作业车的参数数据，具体情况如表 4-2。样本数据的运行时间范围也是从 2022 年 1 月至 2022 年 12 月。

表 4-2 专项作业车样本数据

质量区间	专项作业车具体类别	数量
(12-16t]	绿化喷洒车	30
	平板运输车	30
	多功能抑尘车	30
	汽车起重机	30
(16-20t]	仓栅式运输车	90
	厢式运输车	60
(20-25t]	随车起重运输车	60
	厢式运输车	30
	车厢可卸式垃圾车	30
	仓栅式运输车	30
(25-31t]	仓栅式运输车	90
	混凝土搅拌运输车	60

#### 4.6.2 数据清洗与切段

专项作业车的原始数据与上述 10059 辆车的字段项一致，数据处理方法和流程也与 3.3.1 相同。原始数据中全部的专项作业车数量为 570 辆，共计约 12 亿条数据。其中有 62 辆车的损坏，数据无法读取；再按照上述过程对原始数据进行初步的提取和整理，并进行相应的合并和清洗过程，经数据清洗后剩余 485 辆车，共计约 8 亿条数据，约占原始数据比例的 67%。再按照之前时间间隔 10 分钟对所有专项作业车进行切段划分。在这个过程中出现了部分损坏的文件，剔除损坏文件后剩余车辆为 385 辆。各车型的具体数量信息如下图所示。





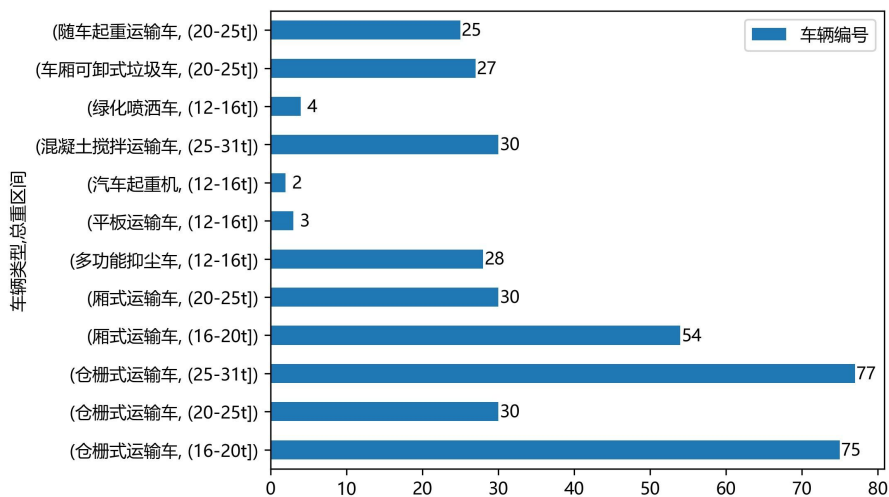


图 4-20 数据清洗前后专项作业车的数量分布

### 4.6.3 专项作业车工况分析

随车起重运输车是一种多功能的车辆，主要用于装载和卸载货物。它具有一个可伸缩的吊臂，以及一个可以旋转的吊钩，能够在狭窄的空间内进行货物装卸。这种车辆通常用于建筑工地、物流公司、港口和码头等场所。随车起重运输车的油耗主要取决于其工作负载和操作时间。在重载作业时，油耗会相对较高。此外，频繁的启动和停止也会导致油耗增加。

车厢可卸式垃圾车主要用于城市垃圾的收集和运输。这种车辆具有一个可拆卸的垃圾箱，可以方便地装载和卸载垃圾。在垃圾收集过程中，它能够自动压缩垃圾，以节省空间并增加载重量。车厢可卸式垃圾车的油耗与垃圾的收集和运输距离密切相关。在短距离运输时，油耗相对较低。但随着运输距离的增加，油耗也会相应增加。

绿化洒水车主要用于城市的绿化和灌溉。这种车辆具有一个大型水箱和喷洒系统，可以方便地给植物和草坪浇水。在城市绿化工作中，它是不可或缺的工具。绿化洒水车的油耗主要取决于其喷洒的距离和水的重量：在短距离喷洒时，绿化洒水车水箱的含水量相对较小，油耗相对较低；但随着喷洒距离的增加，水箱含水量会上升，油耗也会相应增加。

混凝土搅拌运输车主要用于运输混凝土。这种车辆具有一个大型的搅拌筒，可以在运输过程中保持混凝土的搅拌。在建筑工地中，它是重要的建筑材料运

输工具。混凝土搅拌运输车的油耗主要取决于其运输距离和混凝土的重量。在短距离运输时，油耗相对较低。但随着运输距离的增加，油耗也会相应增加。

汽车起重机是一种重型设备，主要用于吊装和搬运重物。它具有一个可伸缩的吊臂和一个可以旋转的吊钩，能够在各种环境下进行重物装卸。这种设备在建筑工地、物流公司和港口等场所被广泛使用。汽车起重机的油耗主要取决于其工作负载和操作时间。在重载作业时，油耗会相对较高。此外，频繁的启动和停止也会导致油耗增加。

平板运输车主要用于运输大型设备和重物。这种车辆具有一个平坦的载货平台，可以方便地装载和卸载重物。在工厂、建筑工地和物流公司中，它是常用的运输工具。平板运输车的油耗主要取决于其运输距离和载重量。在短距离运输时，油耗相对较低。但随着运输距离的增加，油耗也会相应增加。

多功能抑尘车主要用于城市的清洁和维护。这种车辆具有高压喷水系统和一个大型的水箱，可以方便地清洗街道和公共区域，是城市维护工作中重要的清洁工具。多功能抑尘车的油耗主要取决于其清洗的距离和水的重量。在短距离清洗时，油耗相对较低。但随着清洗距离的增加，油耗也会相应增加。

厢式运输车主要用于货物的运输。这种车辆具有一个封闭的货箱，可以保护货物免受天气和其他因素的影响，是物流公司和贸易公司常用的运输工具。厢式运输车的油耗主要取决于其运输距离和载重量。在短距离运输时，油耗相对较低。但随着运输距离的增加，油耗也会相应增加。

仓栅式运输车主要用于农产品的运输和动物的运输。这种车辆具有一个开放式的货箱，可以方便地装载和卸载货物，常用于农场和动物运输。

#### **4.6.4 专项作业车的油耗**

对专项作业车按照车型进行分类，每一类车型下的全部作业车的油耗量相加，作为这个车型的燃料消耗总量，全部作业车的行驶里程作为这个车型的里程和，将两个值作比得到这一类车型的综合油耗值。各车型的综合油耗值如图 4-19 所示。这是不区分工作状况的综合油耗值，是车辆整体的油耗情况。

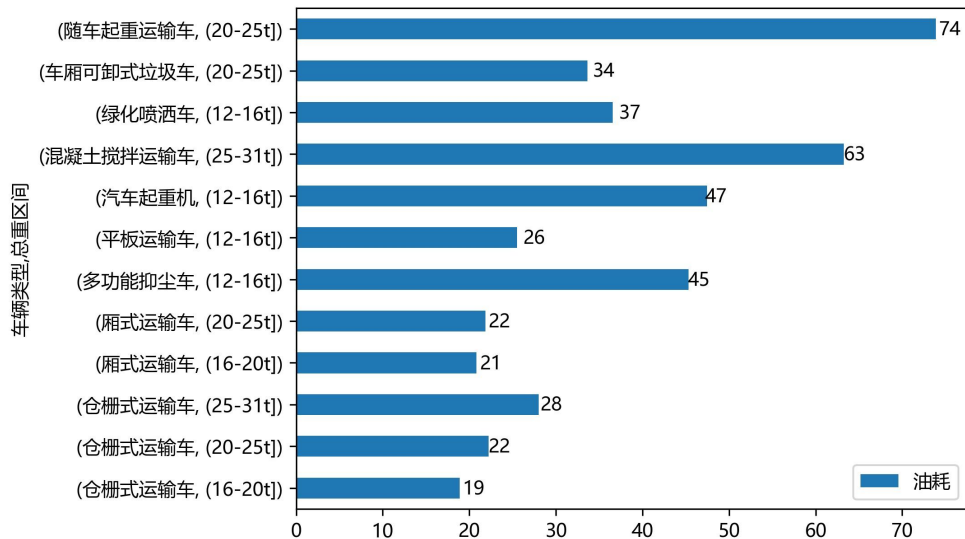


图 4-21 专项作业车的综合油耗均值

为进一步分析各专项作业车在行驶状况和工作状况下的油耗水平，需要对数据进行合理的筛选。为此，本节将全部数据划分为行驶状况和工作状况，进一步考察各专项作业车的油耗水平。

本节对累计里程差值和时速这两个变量进行筛选。如果某里程段的里程差小于 2km 且时速小于 10km/h，就认为该车在该里程段内是停留在某个区域原地做功。不属于上述情况的里程段则认为是行驶状态。通过划分，得到的作业状态里程段数量为 2.7 万段，行驶状态里程段的数据量为 5.5 万段。

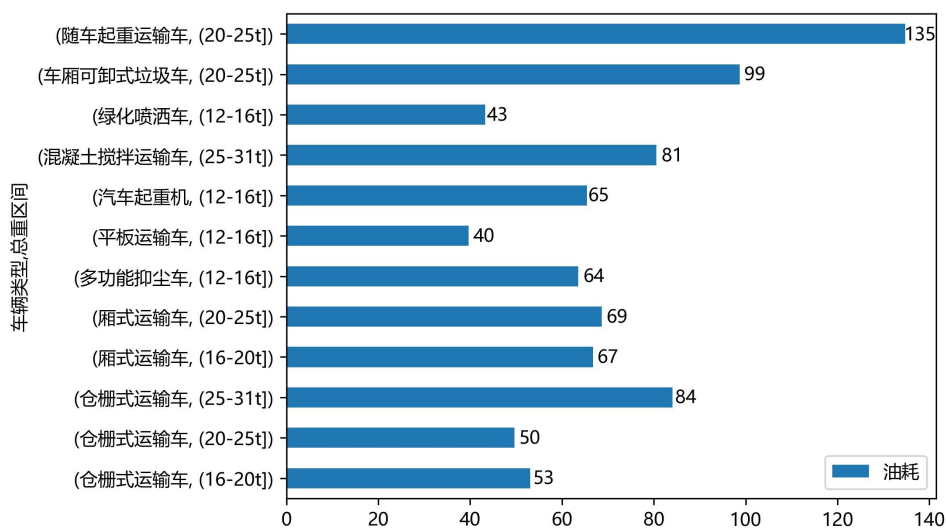


图 4-22 专项作业车作业状态油耗

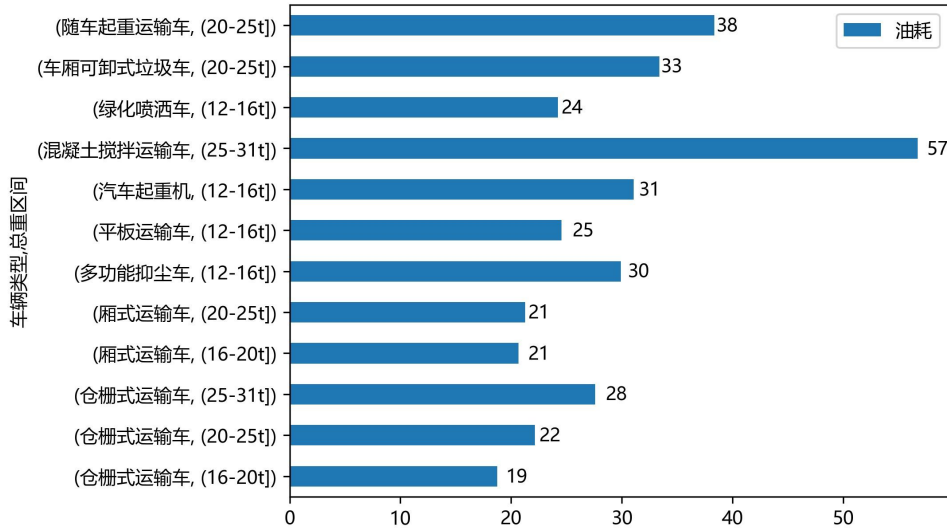


图 4-23 专项作业车行驶状态油耗

图 4-22 和图 4-23 分别为专项作业车在行驶状态时和在作业状态时的平均油耗。从图上可以看出，专项作业车作业状态的油耗要远远大于行驶状态的油耗。可以判断，当专项作业车在作业时，里程变化很小，而发动机持续工作，不停地消耗燃料，导致油耗值增加。

随车起重运输车原地做功的油耗与行驶状态的油耗差距最大，为 97L/100km，造成这种油耗差异的主要原因是随车起重运输车的作业工况和行驶工况的不同。在行驶状态下，车辆主要克服道路阻力和空气阻力，而作业状态下，车辆需要承受额外的负载，导致发动机需要更高的功率输出，从而增加了油耗。

根据车厢可卸式垃圾车在作业和行驶工况下的油耗数据，在作业工况下的油耗为 99 L/100km，而在行驶工况下的油耗为 33 L/100km，可以发现作业工况下的油耗明显高于行驶工况。车厢可卸式垃圾车是一种重要的环境卫生设备，广泛应用于城市垃圾的收集和运输。其主要工作任务是收集和转运城市垃圾。在作业过程中，车辆需要多次往返于垃圾收集点位和垃圾处理设施之间，并且需要在有限的时间内尽可能多地收集垃圾。因此，其作业工况相对复杂，涉及频繁地起步、停车、加速和减速等动作。车厢可卸式垃圾车的行驶工况则相对简单，主要是指垃圾车在直线行驶状态下的油耗情况。一般来说，行驶工况的油耗受到道路状况、行驶速度以及车辆自重等因素的影响。

多功能抑尘车、厢式运输车和仓栅式运输车是三种广泛应用于物流、运输

和仓储领域的重要工程车辆。多功能抑尘车的作业油耗为 64L/100km，而行驶油耗为 30L/100km。厢式运输车不同质量区间的作业油耗和行驶油耗按照质量区间逐渐上升。仓栅式运输车的行驶油耗与这一趋势吻合，而作业油耗(16-20t]的油耗稍大于(20-25t]的油耗，但是远小于(25-31t]的油耗。这可能是由于 (16-20t]的仓栅式运输车数量是(20-25t]数量的两倍多，因此造成 (20-25t]的油耗值偏低，不具有代表性。三种车辆在作业状态下的油耗均高于行驶状态。造成这种油耗差异的原因主要与车辆的工作负载、操作方式、行驶速度和道路状况等因素有关。在作业状态下，多功能抑尘车、厢式运输车和仓栅式运输车需要承受额外的工作负载，如货物重量、空气阻力和摩擦阻力等，导致油耗增加。

## 4.7 本章小结

本章详细介绍了重型货车全年运行中的逐秒数据的研究流程和结果分析。对原始数据进行分段处理，以解决数据量大的问题并提高油耗计算的准确性。研究发现将连续数据段的间隔长度设定为 10 分钟，既能保证数据的有效性和完整性，又能降低数据的不连续性对计算的影响。在此基础上，对筛选后的数据段进行验证，根据时间密度和速度积分/里程差 2 个标准进行再筛选。通过设定合理的阈值，成功地剔除了大部分低质量数据段，进一步提高了数据的质量。

然后计算筛选后的数据段的油耗值。具体方法是对发动机燃料流量的积分值进行计算，再与和此里程段中相同车型相同质量区间的其他里程段的积分结果相加得出总消耗量。同时，取整数值作为最终的行驶里程，并计算每一种车型的综合油耗。除此之外，通过对活动范围和时速的限定，将里程段区分为怠速段和行驶段，并分别计算了怠速段和行驶段的综合油耗。

通过对比发现牵引汽车(46-49t]、自卸汽车(20-25t]和自卸汽车(25-31t]的综合油耗均值相对较高，将行程段划分为行驶段和怠速段以后，牵引汽车(46-49t]的行驶段的油耗值相对较低，但是自卸汽车(20-25t]和自卸汽车(25-31t]的油耗仍然相对较高。从怠速段的油耗值来看，牵引汽车(46-49t]、自卸汽车(20-25t]和自卸汽车(25-31t]的怠速油耗值较大，说明其原地做功的时候更多。该比较分析有利于更好地评估重型货车的燃油经济性能。

本章还分析了专项作业车的综合油耗，共选取了 570 辆专项作业车，经数据清洗后为 385 辆车，涵盖了 4 个质量区间，9 个类别。并将专项作业车的油耗按照工况分为行驶工况和作业工况来开展分析。研究发现，专项作业车作业状态的油耗要远远大于行驶状态的油耗，其中随车起重运输车原地做功的油耗与行驶状态的油耗差距最大，为 97L/100km。车厢可卸式垃圾车油耗的差距也达到了 66L/100km。目前，暂时还没有关于重型专项作业车碳排放方面的研究，该项工作的初步研究为相关部门提供了重型专项作业车油耗的粗略情况，能为下一阶段重型专项作业车的 CO<sub>2</sub> 排放限值标准提供一定的参考。

# 第 5 章 工况识别及其油耗

## 5.1 工况识别方法

车辆在行驶过程中会经历多种工况，如加速、匀速、减速、上坡、下坡和怠速等。为了更好地理解汽车的性能、燃油经济性和排放特性，常常需要对这些工况进行精确地切段。图 5-1 是重型货车在正常行驶途中收集的实际道路行驶工况和发动机的参数数据—速度相关性的时间变化情况。结果表明，尽管在整个数据采集时段内，重型货车的速度随时间出现了较大的波动；然而，在较短的时间内（如图 5-1 中的 1-3 分钟内），重型货车的行驶速度变化幅度很小。因此，可以将行驶状况并未发生明显改变的运行段归为一个工况段（即图中的蓝线），这样不仅可以保留原始数据所代表的行驶工况，同时又对这些工况进行了细微的拆分。鉴于此，本项目通过设计相应的拟合算法来对车辆行驶的速度数据进行拟合，并在此基础上划分不同的行驶工况。

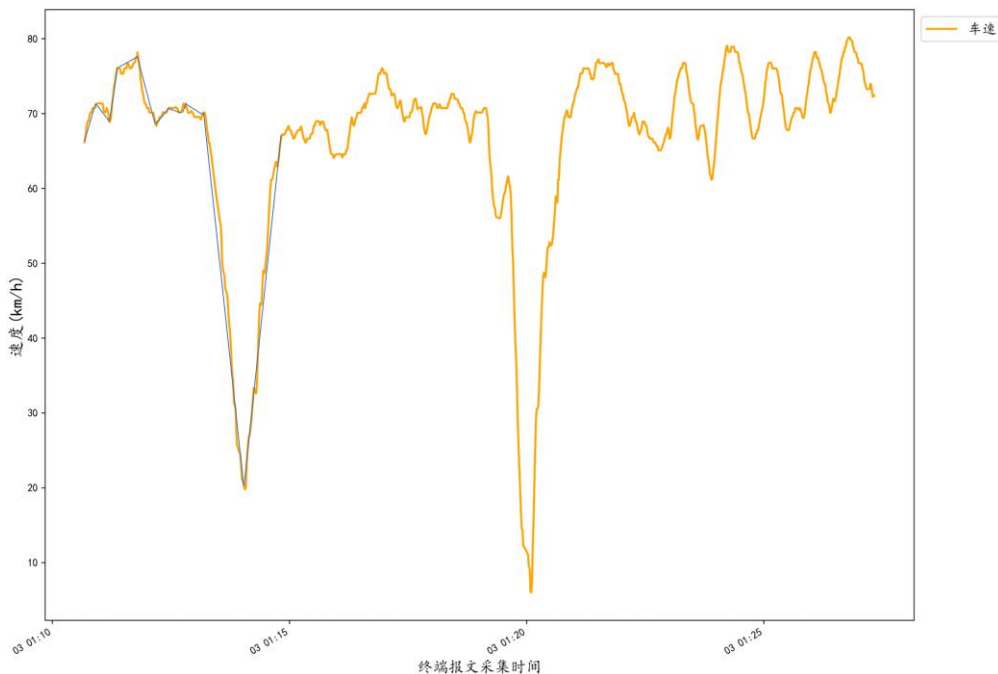


图 5-1 车辆原始速度曲线和理想状态下工况切段曲线对比  
(VIN 码: L53D4523XMA\*\*\*\*\*)

在众多的拟合算法中，卡尔曼滤波（Kalman Filter，以下简称 KF）作为一

种递归的线性最佳估计算法，因其具有高准确性和实时性等优点，成为现代控制理论和信号处理领域中的重要算法。作为专为线性动态系统在存在高斯噪声的条件下进行状态估计而设计的算法，卡尔曼滤波具有多种显著的优点：首先，它为给定的系统模型和噪声特性提供了最佳的线性估计，确保其性能在某种意义上达到最优。与需要所有数据的批处理算法不同，它是一种递归滤波器，这意味着它只需要前一时刻的状态估计和当前的新测量数据，这在实时系统中非常有价值；其次，由于卡尔曼滤波考虑了系统和测量的噪声模型，它能够有效地处理数据中的噪声和干扰，从而得到更精确的状态估计。尽管标准的卡尔曼滤波是为线性系统设计的，但多种变种已被开发出来以处理非线性系统，增加了其灵活性。并且，由于其线性和递归的特性，卡尔曼滤波对计算的需求相对较低，因此该算法特别适合于嵌入式系统和其他计算资源受限的环境。

通过汽车上的传感器（如速度传感器、加速度计、扭矩传感器等）实时收集的汽车行驶数据通常会受到仪器噪声的影响。卡尔曼滤波能够在实时地估计车辆的状态时滤除这些噪声，为工况的检测提供准确的数据基础。利用经过滤波的数据，可以更准确地检测车辆何时开始加速、何时进入匀速行驶、何时开始减速等。例如，当经过滤波的速度数据显示汽车的速度在一段时间内持续增加时，可以判断汽车处于加速工况。当速度数据稳定时，汽车可能处于匀速行驶工况。通过对每个切分出的工况段，又可以进一步提取关键特性，如加速度的均值、最大值、变化率以及分段的油耗和平均功率等，为后续的分析和研究提供数据支持。

卡尔曼滤波的核心思想是基于系统的模型和测量值对系统状态进行估计。而该算法的简化的线性动态系统可以表示为：

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= \mathbf{A}\mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{w}_{k-1} \\ \mathbf{z}_k &= \mathbf{H}\mathbf{x}_k + \mathbf{v}_k \end{aligned}$$

其中， $\mathbf{x}_k$  是系统在时刻  $k$  的状态， $\mathbf{u}_k$  是控制输入， $\mathbf{z}_k$  是测量值。 $\mathbf{w}_k$  和  $\mathbf{v}_k$  分别是过程噪声和测量噪声，通常假设为高斯白噪声。这两个方程分别被称为系统方程和观测方程。

卡尔曼滤波分为两个主要步骤：预测和更新。预测就是首先利用系统的动态模型，基于当前的状态估计和控制输入预测下一个时刻的状态。之后，预测



状态的不确定性或误差也会更新。

$$\begin{aligned}\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} &= \mathbf{A}\hat{\mathbf{x}}_{k-1|k-1} + \mathbf{B}\mathbf{u}_k \\ \mathbf{P}_{k|k-1} &= \mathbf{A}\mathbf{P}_{k-1|k-1}\mathbf{A}^T + \mathbf{Q}\end{aligned}$$

其中， $\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}$ 是在时刻  $k$  对状态的预测， $\mathbf{P}_{k|k-1}$  是预测误差的协方差， $\mathbf{Q}$  是过程噪声的协方差。

当新的测量数据可用时，卡尔曼滤波将使用这些测量数据来修正或“更新”预测状态，从而得到一个更为精确的新的状态估计。

$$\begin{aligned}\mathbf{K}_k &= \mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}^T(\mathbf{H}\mathbf{P}_{k|k-1}\mathbf{H}^T + \mathbf{R})^{-1} \\ \hat{\mathbf{x}}_{k|k} &= \hat{\mathbf{x}}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k(\mathbf{z}_k - \mathbf{H}\hat{\mathbf{x}}_{k|k-1}) \\ \mathbf{P}_{k|k} &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k\mathbf{H})\mathbf{P}_{k|k-1}\end{aligned}$$

其中， $\mathbf{K}_k$  是卡尔曼增益，它决定了预测和测量的加权程度， $\mathbf{R}$  是测量噪声的协方差。这两个步骤循环进行，确保在每一时刻都获得系统状态的最佳估计。

基于上述算法，本章设计了图 5-2 所示的具体流程。首先，从给定的数据集中读取与车辆行驶相关的各种参数（如速度、加速度、扭矩和发动机转速等）。为了能够处理实际中可能出现的不连续数据点，根据时间的连续性，本章选择以 1 秒及以上断点为标准将数据分为不同的段，保留运行时间在 10 秒以下的段，并将运行时间在 10s 以上的段进行滤波。在此基础上，为减少数据中可能存在极少的缺失值或异常值（低于 2 秒）的影响，使用三次样条插值方法来补全这些数据。其次，一辆车在行驶过程中，可能有时保持恒定速度行驶，有时可能加速或减速。为了更好地分析车辆的行驶特性，本项目通过计算速度的变化（即：加速度）来具体划分车辆匀速和非匀速的行驶时段，并对各个时段进行编码，将其标记为加速度恒定段或者非恒定段。由于目前的时段长短不一，并且拥有 10% 的数据段长度在 180 秒以上；同时，为了更加合理地计算每个分段的功率，本项目将 10 秒以上的分段切分到 10 秒以下，这样可以避免在分段交界处出现滤波引起的误差。最后，为了消除数据存在的噪声，采用卡尔曼滤波方法进行数据平滑处理，并进一步提取车辆行驶的关键特征（如速度的极大值和极小值点），从而更好地理解 and 描述车辆在不同时间段的行驶特性。此外，在上述数据处理的基础上，本项目进一步提取每个数据段的统计信息

（如段的起始时间、起始速度、该段的持续时间、平均加速度以及在这段时间内的燃油消耗情况，等），并同时计算每个时间段内的平均功率。

在此阶段之后，本项目深入挖掘了车速、加速度、功率与燃油消耗之间的复杂关系。依照前文所述，通过对车速和加速度数据进行精细的分箱处理，将这两个连续变量细分成一系列离散的区间，可以更精确地捕捉到车辆的行驶状态。通过选取合适的区间划分，并计算每个区间的中心值，能够为每个独特的行驶情境找到一个代表性的状态。并在此基础上，将每条行驶记录都准确分类到相应的速度和加速度区间内，形成了便于进一步分析的数据结构。为了进行更具体的分析，本项目按车辆型号对数据进行了划分，确保对每种车型的性能进行个别评估。而对功率数据也同样采用分箱处理，将其从 0-100% 的连续范围划分为十个离散的区间。在清理了异常或不合理的功率数据之后，我们根据每条记录的功率值相对于其所处工况的功率范围，将其分配到相应的功率区间。

有了这些详尽划分的数据，本章能够深入分析在各种车速、加速度和功率条件下的平均燃油消耗情况。这不仅能够详细了解车辆在不同行驶状态下的燃油效率，还揭示了功率如何影响燃油消耗，为优化车辆性能、提高燃油经济性提供了坚实的数据基础。通过将所有这些综合分析的成果进行整理，为每种车型生成了一份详细的报告。该报告清晰地展示了在不同行驶条件下，车辆的燃油消耗状况，为车辆制造商、车队运营者和政策制定者提供了极为宝贵的资源。通过对这些报告的仔细研究，相关方可以更全面地理解重型货车的燃油消耗特点，从而制定出更为精准和有效的策略来降低燃油消耗，减少运营成本，实现经济和环境的双赢。

最后，为了使处理后的数据更加直观，对相关数据进行了可视化处理，从而更加直观地将车辆的速度变化、行驶特性等信息加以展示。这不仅可以验证方法和结果的准确性，还可以为后续的数据分析提供直观的参考。综上所述，通过这一分析步骤，不仅提升了对重型货车燃油消耗特性的理解，也为进一步优化车辆设计和提升燃油经济性奠定了坚实的数据基础。

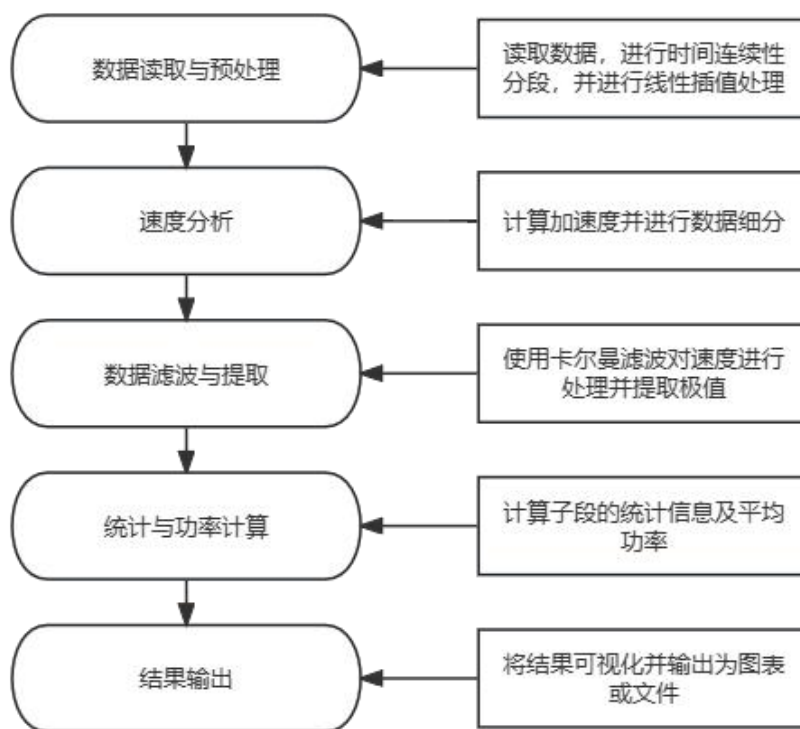


图 5-2 工况切段流程图

## 5.2 可视化方法

图 5-3 为经过卡尔曼滤波处理之后的单车分段数据，一辆车的行驶数据可能被分成上万个数据段，每个数据段记录了起始时间、持续时间、起始速度、加速度、累计油耗和该段的平均功率。利用起始速度、持续时间和加速度，可以确定该数据段的平均速度和行驶距离；利用累计油耗和该段的行驶数据，可以计算该段的油耗（L/100km）。通过合并同类型的车辆实际道路行驶工况和发动机参数数据可以得到 3 种不同类型货车（载货汽车、自卸汽车和牵引汽车）的整体工况以及油耗分布。

	start_time	start_velocity	time_duration(s)	acceleration	gas_consumption	类型	vin	车型	平均功率	segment_index
0	2022-05-31 14:37:25	24.781250	9	-1.580295	74.85	自卸 汽车 LRDV6P		B.	38.048143	0
1	2022-05-31 14:37:34	10.558594	1	0.312500	31.50	自卸 汽车 LRDV6P		B.	137.533479	0
2	2022-05-31 14:37:35	10.871094	9	0.917535	314.89	自卸 汽车 LRDV6P		B.	155.042790	0
3	2022-05-31 14:37:44	19.128906	1	1.312500	28.05	自卸 汽车 LRDV6P		B.	119.648733	0
4	2022-05-31 14:37:45	20.441406	9	1.684028	516.77	自卸 汽车 LRDV6P		B.	266.428397	0
...	...	...	...	...	...	...			...	...
22	2022-12-08 14:43:07	1.453125	1	0.578125	11.50	自卸 汽车 LRDV6P		B.	52.169126	7280
23	2022-12-08 14:43:08	2.031250	3	0.488281	11.25	自卸 汽车 LRDV6P		B.	18.259575	7280
0	2022-12-08 14:43:42	1.984375	9	-0.001302	28.05	自卸 汽车 LRDV6P		B.	14.922142	7281
1	2022-12-08 14:43:51	1.972656	1	0.011719	3.15	自卸 汽车 LRDV6P		B.	13.207005	7281
2	2022-12-08 14:43:52	1.984375	6	0.000000	20.70	自卸 汽车 LRDV6P		B.	16.072957	7281

54126 rows × 10 columns

图 5-3 工况切段后输出的单车文件

针对卡尔曼滤波之后的结果进行可视化的流程如图 5-4 所示。具体做法如下：首先，对数据集进行了分类，将不同的车辆类型归纳到对应的车辆编号列表中，并读取与这些车辆编号相关的滤波之后的文件数据。对于每个滤波文件，都检查了其车辆编号是否存在于列表文件中，并按需从这些文件中读取数据。之后，按照三个大类（载货、自卸、牵引）对与同属一个类型的车辆滤波数据进行合并，这样形成了同一个类型下不同总质量区间汽车的工况文件。针对合并之后的文件，对其进行简要的数据筛选，得到加速度在 $\pm 2\text{m/s}^2$ 范围内的数据段纳入工况的绘制和距离、油耗的计算。

对于工况的绘制，本章利用筛选完的同一类型的所有的工况段进行可视化，来揭示特定车型在不同工况下的性能分布。通过将车速（作为 x 轴）与加速度（作为 y 轴）结合在一起，可以深入了解车辆在各种驾驶情境下的状态。数据被分别分割成了 50 个区间，从而产生了一个  $50 \times 50$  的网格。通过在图上对这些组合进行颜色编码，可以获得某一特定速度和加速度组合出现的频率，从图中得知常见的工况段和罕见的工况段。自然对数转换进一步突出了数据分布的特点，使得不同工况的频率差异更为明显。而网格线则提供了清晰的参考，方便读者快速识别特定的速度和加速度值。上述方法提供了一个直观的方式来理解车辆在各种驾驶情境下的行为模式。

由于重型货车在某种特定工况下行驶距离并不会产生较大变化，需要调整

油耗的计算方法。例如在厂区卸货时，货车并未移动或者移动距离较少，但由于发动机一直做功，发动机燃料流量数据正常，但是速度却基本为零，累计里程也不会发生较大变化，如果再按照百公里油耗进行统计，那么该段的油耗数据将远远超出正常范围。因此，本章将行驶距离为零或者接近零的工况段分离出来，然后计算以小时为单位的油耗，并生成了油耗的分布直方图，展示了在行驶距离接近零的特殊工况下重型货车的油耗情况。对于行驶距离明显不为零的情况，则计算百公里油耗。

在计算了在不同速度和加速度下的平均油耗后，使用二维直方图来可视化这些数据。该直方图以速度和加速度为轴，颜色表示平均油耗，为用户提供了一个清晰、直观的图像，展示了载货汽车在不同行驶条件下的油耗情况。直方图旨在揭示在不同的行驶条件下，特别是在不同的速度和加速度下，这类车辆的油耗表现。这种分析可以为汽车制造商、车队管理者或任何关心车辆效率的人提供有效的数据支撑。

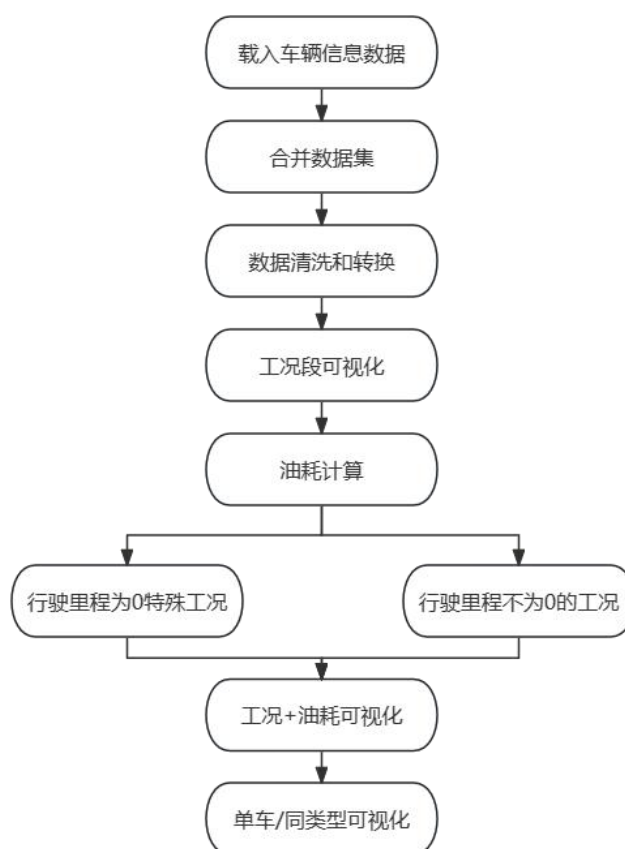


图 5-4 滤波结果可视化流程

## 5.3 工况识别和模型构建结果

经过以上数据清洗、分段和滤波流程之后的货车共有 8160 辆，270 亿条数据，约占第一次清洗后的分析数据总量的 89.1%。其中载货汽车 1518 辆，自卸汽车 2290 辆，牵引汽车 4352 辆。分段之后的结果如图 5-5 所示，其中载货汽车约 5 亿段，自卸汽车约 9.5 万段，牵引汽车约 35 亿段；通过筛选加速度在  $\pm 2\text{m/s}^2$  之间的段落排除异常数据，筛选结果如图 5-5 所示，其中载货汽车的异常率为 0.96%，自卸汽车的异常率为 0.11%，牵引汽车的异常率为 0.31%。

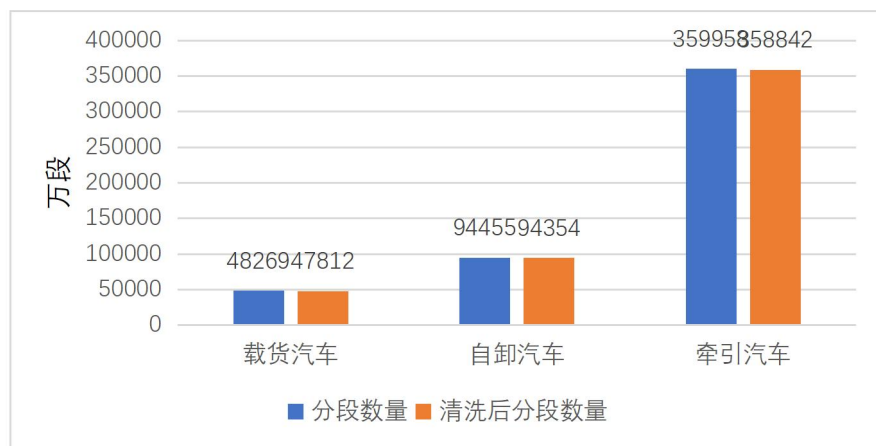


图 5-5 加速度筛选后的分段数量

### 5.3.1 载货汽车

载货汽车的工况图提供了其在不同速度下的加速度表现，因为它反映了车辆在实际行驶中的表现和可能的使用场景。图 5-6 横轴为速度，单位  $\text{km/h}$ ；纵轴为加速度，单位为  $\text{m/s}^2$ ；颜色代表工况数量，颜色越深表示该工况下分段数量越多。结果显示：

(1) 加速度的分布：图中可以看出，载货汽车在大多数情况下的加速度都集中在  $\pm 0.4 \text{m/s}^2$  之间。表明载货汽车的设计更偏向于稳定和平稳地驾驶，而不是高速和突然地加速。

(2) 速度与加速度的关系：随着速度的增加，加速度呈现出逐渐减少的趋势。这可能与载货汽车的结构和设计有关。随着速度的增加，车辆的稳定性和

安全性变得更加重要，因此加速度会相应减少。在速度较低，约 0~10km/h 的范围内，载货汽车具有显著的高加速度范围。这可能是因为载货汽车在城市道路或堵塞的交通情况中，需要频繁地启动和停车。在速度范围为 10~60km/h 时，该车的加速度主要集中在 $\pm 0.15\text{m/s}^2$ 之间。这表示载货汽车在一般的行驶情况下，加速度较为稳定。当速度超过 60 km/h 时，加速度则集中在  $0\text{ m/s}^2$  附近，这可能是因为高速行驶时，载货汽车为保持稳定和安全，减少了加减速。

(3) 低速与高速行驶的差异：在速度较低的范围内，载货汽车可能经常在城市道路上行驶，其中包括频繁地启动、停车和低速行驶。而在速度较高的范围内，载货汽车可能在高速公路或其他快速道路上行驶，其中需要稳定的速度和较低的加速度。

载货汽车的工况图提供了该车在不同速度和加速度下的实际表现。这种信息对于汽车制造商、设计师和使用者来说都是非常有价值的，因为它帮助他们更好地理解载货汽车的性能和使用场景。

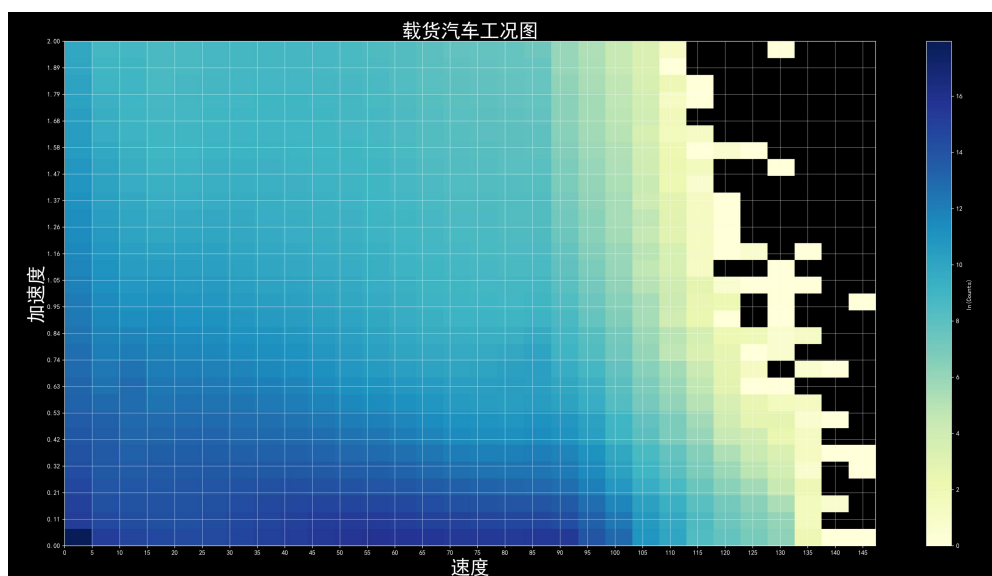


图 5-6 载货汽车工况图

表 5-1 详细展示了在不同速度范围下的加速度分布以及其相应出现的频率或比例。当速度为 0~5 km/h 时，有 13.6% 的情况下加速度在  $0.05\sim 0.15\text{ m/s}^2$  范围内。进一步观察，对于速度区间 40~90 km/h，它们的加速度也都主要集中在  $-0.15\sim 0.15\text{ m/s}^2$  区间。这提供了一个明确的信号，即在速度范围内，加速度的这一特定区间非常常见。不仅如此，表中还揭示了一些有趣的趋势。例如，

在 0~5 km/h 的速度下，还有 1.3% 的频率表明加速度在 -0.15~-0.05 m/s<sup>2</sup> 区间。这种负加速度的存在可能与减速或刹车有关。表 5-1 展示了在不同速度下，设备或车辆的加速度变化情况及其相对频率。

表 5-1 载货汽车占比 TOP20 工况区间分布

速度区间 (km/h)	加速度区间 (m/s <sup>2</sup> )	占比
0-5	0.05-0.15	13.6%
0-5	-0.05-0.05	2.6%
55-60	0.05-0.15	1.9%
85-90	0.05-0.15	1.8%
50-55	0.05-0.15	1.8%
60-65	0.05-0.15	1.7%
85-90	-0.05-0.05	1.6%
45-50	0.05-0.15	1.5%
65-70	0.05-0.15	1.5%
75-80	0.05-0.15	1.5%
70-75	0.05-0.15	1.4%
55-60	-0.05-0.05	1.3%
0-5	-0.15--0.05	1.3%
60-65	-0.05-0.05	1.3%
50-55	-0.05-0.05	1.3%
80-85	0.05-0.15	1.2%
40-45	0.05-0.15	1.2%
75-80	-0.05-0.05	1.2%
65-70	-0.05-0.05	1.1%
70-75	-0.05-0.05	1.1%

图 5-7 展示了载货汽车在不同工况段的油耗分布情况，通过直方图清晰地揭示了载货汽车在每一特定工况段的油耗模式。首先，从图中可以看出，大多数载货汽车的油耗集中在非常低的区间内（0~50L/100km）。这种集中的趋势意味着在大多数工况段中，载货汽车具有相对较低的油耗。除了这一主要的低油耗区间外，还展现了一个逐渐减少的油耗分布。随着油耗的增加，车辆数量逐渐减少，这种模式在油耗达到 500L/100km 以后变得尤为明显。尽管这些油耗较高的车辆数量较少，但仍然能提供一些关键的信息。它们可能是在某些特殊工况下的车辆，亦或可能是需要进行维护或检查的车辆，因为它们的油耗明显高于平均水平。此外，值得注意的是，油耗在 1200L/100km 及其以上的区间内，车辆数量显著减少，几乎接近零。可能是极端的工况段中，有少数车辆会有极高的油耗，这也可能是车辆存在某种异常情况。总体而言，图 5-7 为本研究提供了一个全面的视野，展示了载货汽车在各个工况段的油耗分布。大多数



载货汽车具有低油耗的特性，但也存在一部分油耗较高的车辆。对于运营者和决策者，这项分析结果可以作为提高效率、降低成本和保护环境的重要参考。特别是对于那些油耗异常的车辆，需要进一步地分析和干预，以确保车辆的正常运行并减少不必要的油耗。

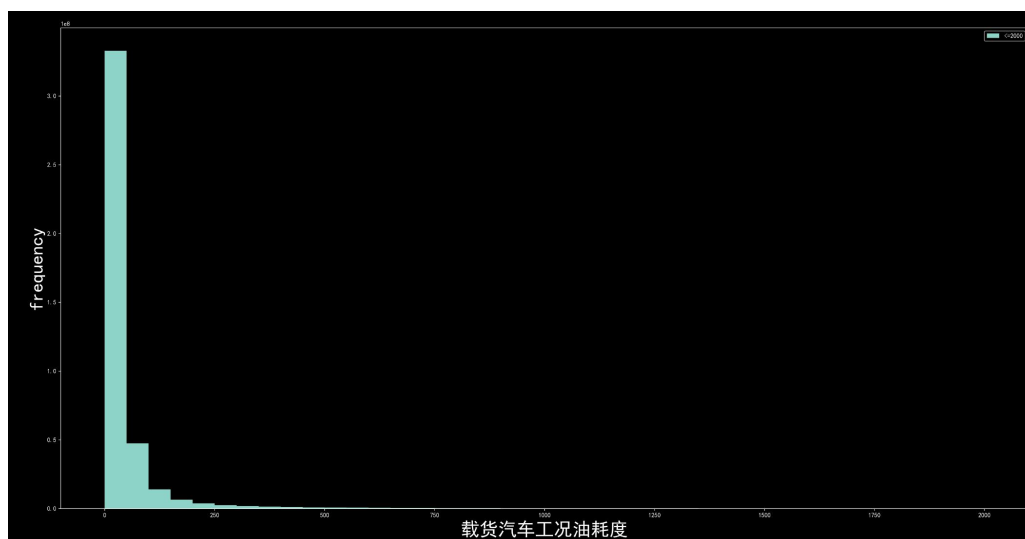


图 5-7 载货汽车工况段油耗分布情况

图 5-8 为载货汽车的工况油耗图，该图只选择了油耗低于 500L/100km 的工况段进行绘制，约占总段落数量的 98%。通过速度和加速度的交叉分析，能够更加直观地展示在不同的行驶工况下，汽车的油耗表现。图中的颜色深浅展示了不同工况下的油耗情况。从图中可以明显看出，在某些特定的速度和加速度组合下，油耗会显著增加。通过对图 5-8 对分析，该研究可以得到以下结论：

(1) 低速高加速度区域分析：

在速度范围 0-10 km/h 区间内，在加速度较高的区域，油耗较高。这可能意味着在启动或者低速行驶时，如果频繁进行大幅度的加速，油耗会大大增加。对于载货汽车来说，低速时往往是满载或近满载的状态，此时需要更大的动力来启动或加速，因此油耗也会相对较高。

(2) 中速平稳驾驶区域分析：

在速度范围 10-60 km/h 区间内，油耗相对较低，该范围区间的加速度也较低。这表明在此速度范围区间内，载货汽车大多数时候进行的是平稳地行驶，油耗也相对稳定。在长途运输中，保持一个稳定的中速对于节约油耗是非常有

益的。

### (3) 高速行驶区域分析：

当速度超过 110 km/h 时，油耗在某些特定的低加速度区域有所增加。这可能意味着在高速行驶时，如果需要频繁地变速或加速，油耗会显著增加。高速道路上，特别是下坡或超车时，可能会有较大的加速，这会导致油耗增加，但高速段的加速度又普遍较低，很少出现高加速度的情况，符合常理。

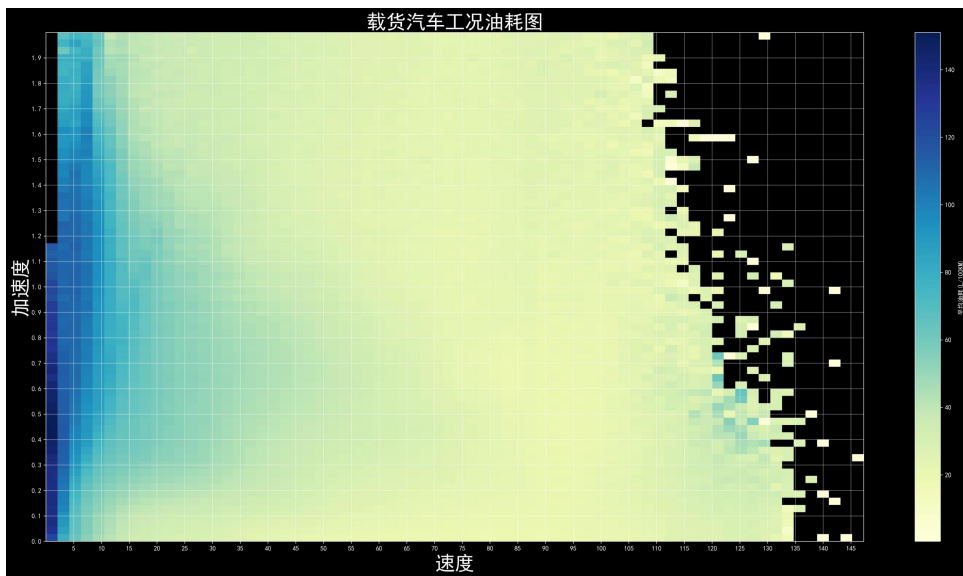


图 5-8 载货汽车工况油耗图

对于行驶距离为 0 的工况段，由于无法直接计算油耗，该研究中将其转换成了以时间为衡量标准的油耗，单位为升每小时（L/h）。图 5-9 展示了当行驶距离为 0 时，即在车辆静止不动的情境下，载货汽车的工况油耗分布。通过油耗直方图（单位：小时），可以看出，载货汽车在待机状态下的油耗状态。首先，油耗的分布中存在一个明显的峰值，这意味着大量的载货汽车油耗都处于某一特定油耗区间内。这种现象反映了大多数载货汽车在常规的空载或待机状态下的油耗水平。其次，直方图中的颜色变化也能提供关于油耗频率的信息。从深紫色到黄色的渐变代表着油耗出现的频率，其中深紫色代表油耗出现的频率较低，而黄色则代表频率较高。颜色编码能够更直观地看出载货汽车数量最多的油耗区间。载货汽车的油耗范围约在 1 -3L/h。直方图展示了大部分载货汽车的油耗都集中在一个较窄的范围区间内，意味着大部分的载货汽车在静止状

态下具有相似的油耗特性。也有小部分载货汽车的油耗显著高于此范围，形成了“长尾分布”，表示这些车辆可能存在某种异常或特殊的工况状态。总体来看，该图展示了载货汽车在接近静止状态下的油耗模式。大多数车辆都在一个普遍的油耗范围区间内，但也有一小部分车辆具有较高的油耗。为了确保运营效率和环境可持续性，对于油耗较高的载货汽车，需要再进一步的诊断和分析，来确定其背后的原因并采取适当的措施。此外，该结果可以帮助运营者、环境专家和决策者更好地理解 and 优化载货汽车的油耗，从而实现更加经济和环保的运营目标。

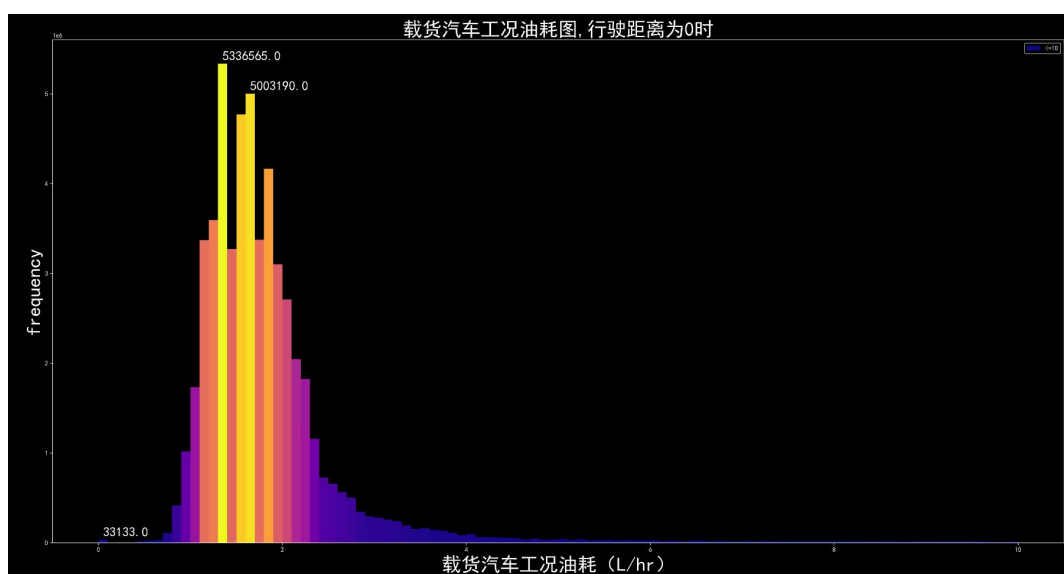


图 5-9 按小时计算的行驶距离为 0 的载货汽车工况油耗分布

### 5.3.2 牵引汽车

牵引汽车是一种专为拖拉挂车而设计的重型车辆，常用于长途货物运输。它的设计和工作性质使其的油耗特点与自卸汽车截然不同。牵引汽车在低速度下的加速度分布与载货汽车相似，在高速度范围内，加速度呈现出更为明显的下降趋势。在速度超过 100 km/h 之后，牵引汽车的加速度几乎降到了  $0 \text{ m/s}^2$ ，说明牵引汽车在高速行驶时几乎不会再进行大的加速。在中速范围内，即 40~80 km/h，牵引汽车的加速度分布更均匀，显示出牵引汽车在该速度范围内有更多的工况选择。

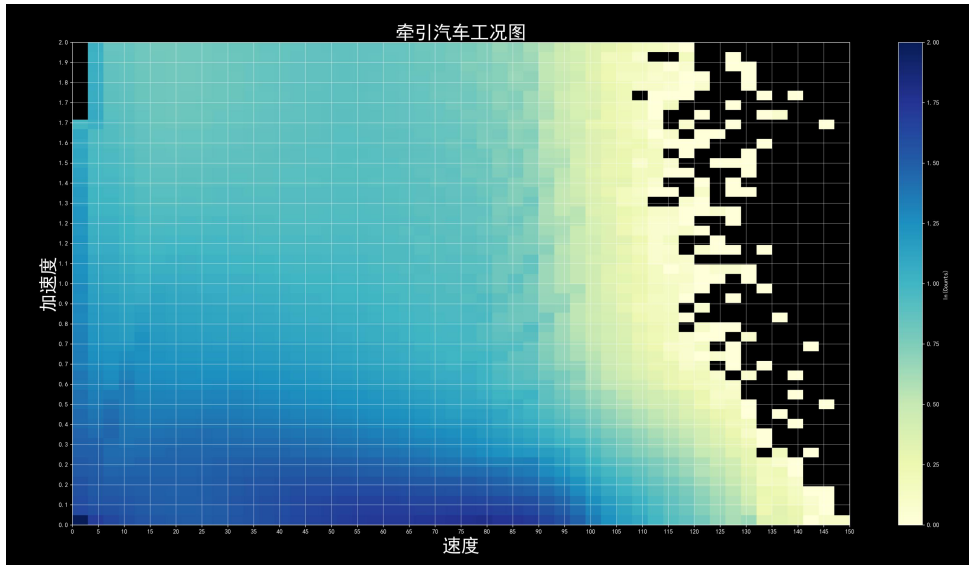


图 5-10 牵引汽车工况图

表 5-2 详细地展示了牵引汽车在不同速度范围区间内的加速度分布及其相应的频率。与载货汽车的工况分布相似，在速度为 0-5 km/h 的范围内，有 12% 的情况下加速度为 0.05-0.15 m/s<sup>2</sup>。这表示在驾驶启动或低速期间，牵引汽车经常在这个加速度范围内运行。该数据可能与起步时的初始加速和对低速控制的需求有关。另外，在速度 50-90 km/h 的范围区间内，其加速度集中分布在 -0.05 到 0.15 m/s<sup>2</sup> 的范围内，这进一步确认了在多个速度范围内，这个加速度区间都是一个常见的运行状态。

表 5-2 牵引汽车占比 TOP20 工况区间分布

速度区间 (km/h)	加速度区间 (m/s <sup>2</sup> )	占比
0-5	0.05-0.15	12%
75-80	0.05-0.15	4%
70-75	0.05-0.15	3%
80-85	0.05-0.15	3%
75-80	-0.05-0.05	3%
60-65	0.05-0.15	3%
55-60	0.05-0.15	2%
65-70	0.05-0.15	2%
0-5	-0.05-0.05	2%
70-75	-0.05-0.05	2%
50-55	0.05-0.15	2%
80-85	-0.05-0.05	2%
85-90	0.05-0.15	2%
65-70	-0.05-0.05	2%
60-65	-0.05-0.05	2%
55-60	-0.05-0.05	2%
45-50	0.05-0.15	2%
85-90	-0.05-0.05	2%
50-55	-0.05-0.05	1%

图 5-11 呈现了牵引汽车在不同工况段的油耗分布特征。从整体上看，图形展现出明显的右偏分布，意味着大多数牵引汽车的油耗集中在较低的区间，而较高的油耗值则相对较少。首先，观察到 0-100L/100km 范围内的油耗频率最高，这代表大部分的牵引汽车在这个油耗范围内运行。尤其是在 0-50L/100km 的范围内，油耗的频次非常高，这意味着绝大多数牵引汽车的油耗都是在这个较低的水平上。这些可能是在长途运输或高速公路上行驶的牵引汽车，由于连续行驶和较高的速度，这些情况往往导致油耗在较低的水平上。随着油耗值的增加，可以观察到频次的明显下降。在 100-200L/100km 的油耗区间，虽然还有一部分牵引汽车，但频次已经明显低于前面的区间。这可能是日常的短途运输、频繁的启停和城市内行驶有关，其油耗相对较高。值得注意的是，当油耗超过 200L/100km 时，频次变得非常稀少。这些极高的油耗值可能与特定的工况、超载或车辆的机械问题有关。这些异常高的油耗数据可能会导致更高的运营成本和潜在的机械故障，可以为运营和维护管理提供数据支撑。

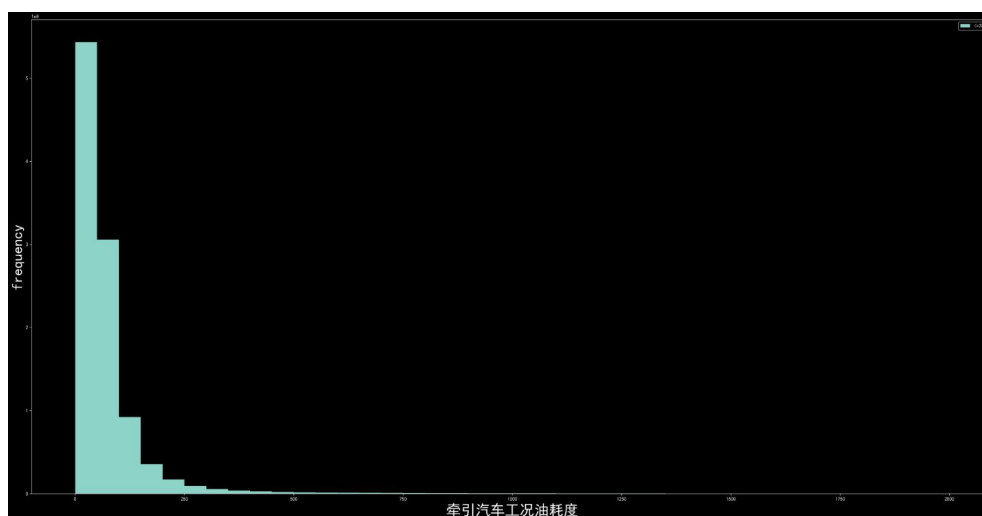


图 5-11 牵引汽车工况段油耗分布情况

从图 5-12 中可以明显看出，牵引汽车的工况油耗有以下特点：

(1) 低速区间（0-30km/h）的油耗特点：

与自卸汽车类似，牵引汽车在低速、频繁启停的城市交通环境中油耗也会相对增高。这主要是因为，在低速情况下，车辆需要更频繁地进行加速和减速，发动机工作在非最佳效率区间，而且制动时的能量损失也较大。由于低速时的启停更加频繁，加速度变化对油耗的影响更为显著。频繁地加速和减速会导致

更多的能量损失。

(2) 中速区间的油耗稳定性：

在 30-90 km/h 的中速区间，牵引汽车的油耗相对较为稳定。因为在这个速度范围内，发动机、变速箱和其他机械部件都能工作在相对高效的状态。

(3) 当速度范围在 90 km/h 以上的高速区间时：

尤其在 100-135 km/h 的范围内，油耗会稍有增高。这主要是因为高速行驶时，风阻对车辆的影响增加，导致发动机需要提供更多的动力以维持高速。风阻与速度的平方成正比，因此在高速行驶时，风阻对油耗的影响尤为显著。在高速行驶时，若频繁进行加速，那么油耗会进一步增加。特别是在高速公路上进行的大幅度加速，会导致发动机工作在高负荷状态，油耗急剧上升。

牵引汽车的油耗在不同的速度区间都有其特点。在低速时，油耗主要受加速度的变化影响；在中速时，油耗相对稳定，但仍然受到加速度的影响；而在高速时，风阻和加速度变化是导致油耗增加的主要原因。对于长途运输的牵引汽车，要想有效降低油耗，就需要尽量维持一个稳定的速度和避免频繁的加速和减速。

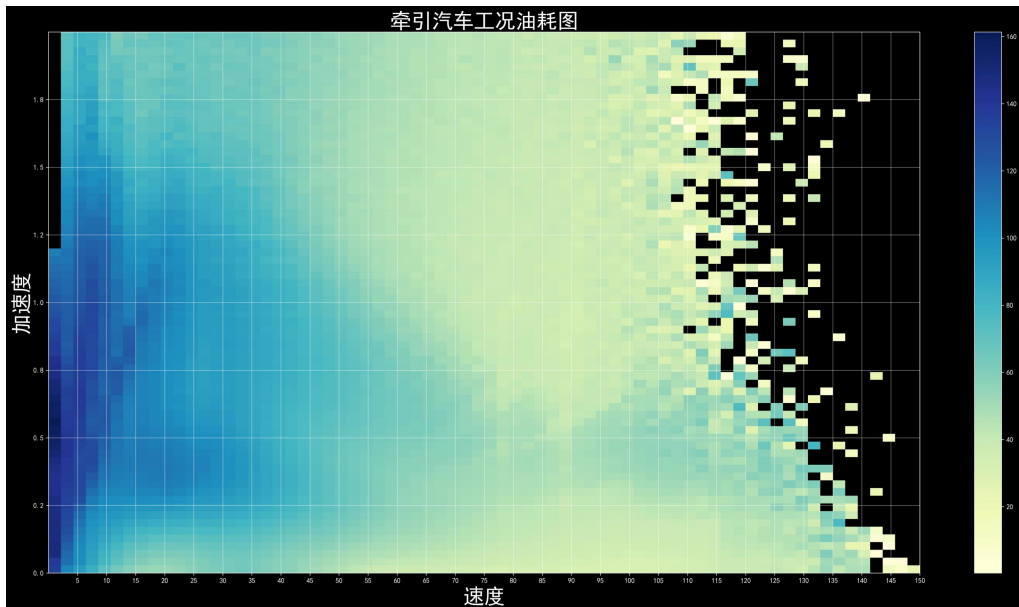


图 5-12 牵引汽车工况油耗图

图 5-13 呈现了按小时计算的行驶距离为 0 的牵引汽车在各工况段的油耗分布情况。首先，从整体趋势来看，该图展现了一个典型的钟型分布，即大部分

的牵引汽车在一个中心区间的油耗集中，而在该区间的两侧，油耗的车辆数量逐渐减少。这种分布形态对于数据分析和解读具有重要的意义。中心区间的油耗范围大致集中在 1-5 L/h 之间，可以认为是牵引汽车在静止状态下的正常油耗范围。特别是约在 2-3 L/h 的范围区间，油耗的高峰值是最为明显的，这表明在此油耗范围内的牵引汽车数量是最多的。考虑到这是行驶距离为 0 的情境，这可能代表了牵引汽车在等待、停车或其他非运动状态下的典型油耗。然而，存在一部分牵引汽车的油耗低于中心区间，甚至低于 0.5 L/h。这可能暗示这部分汽车在静止状态下采取了更为节能的措施，或者这些汽车本身具有更高的燃油效率。另一方面，图表的右侧也显示了一些油耗明显高于中心区间的数据点，尽管这些数据点的频次较低。这些较高的油耗可能与特定的车型、机械问题或其他不正常的工况有关。

此外，从图中还可以看出，在 7 L/h 以上的区域，油耗的频次显著下降，几乎接近于零。这种极端的油耗情况可能是少数特例，需要特别关注和进一步地研究。该图提供了关于牵引汽车在静止状态下的油耗分布的详细信息。大部分牵引汽车的油耗集中在一个中心区间，但同时也存在一些异常的油耗情况。

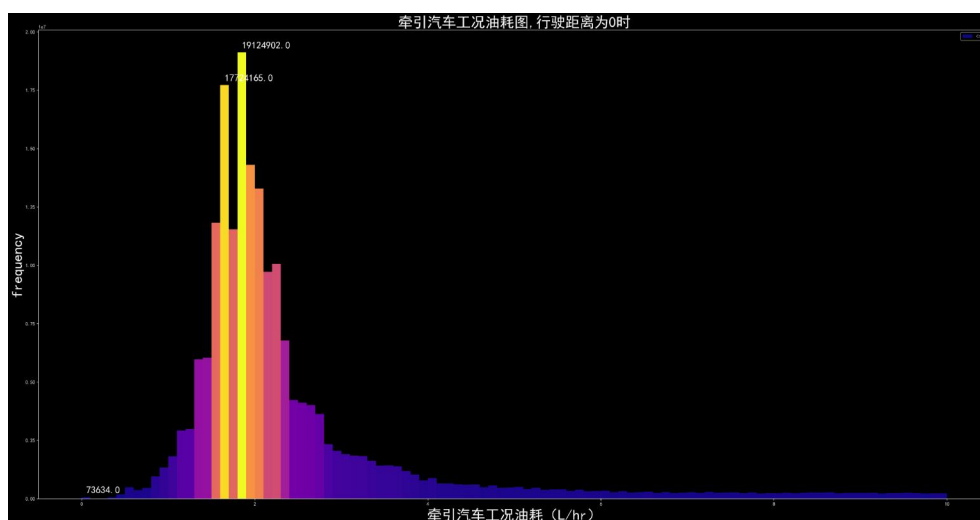


图 5-13 按小时计算的行驶距离为 0 的载货汽车工况油耗分布

### 5.3.3 自卸汽车

如图 5-14 所示自卸汽车的工况图与前两者差别较大。在低速范围内，自卸

汽车的加速度主要集中在 $\pm 0.6\text{m/s}^2$ ，意味着自卸汽车即使在低速下也可能有较大的加速。在中速范围，自卸汽车的加速度呈现出一个明显的下降趋势，但在高速范围内，加速度仍然保持在 $\pm 0.5\text{m/s}^2$ ，与载货汽车和牵引汽车有所不同。

表 5-3 展示了自卸汽车在各种速度下的加速度数据及其相应的出现频率。通过与之前提供的牵引汽车的数据进行比较，可以分析两种汽车类型之间的主要差异。首先，最明显的差异是在速度为  $0\sim 5\text{km/h}$  的范围内。对于自卸汽车，29%的情况下，其加速度为  $0.05\sim 0.15\text{m/s}^2$ ，而在同一速度范围内，牵引汽车的这一比例只有 12%。这可能意味着自卸汽车在启动或低速驾驶时，更倾向于保持一个相对较高的稳定加速度，同时也证明自卸汽车在低速区间内的工况占比较高。其次，对于自卸汽车，在  $0\sim 5\text{km/h}$  的速度范围内，还出现了多种不同的加速度区间，如  $-0.15\sim 0.05\text{m/s}^2$ 、 $0.15\sim 0.25\text{m/s}^2$  等，表明在低速下，自卸汽车可能会经历更加复杂和多变的加速或减速情况。相比之下，载货汽车和牵引汽车在相似的速度范围内的加速度数据则相对简单。另外，在中速至高速的范围内，如  $55\sim 60\text{km/h}$ 、 $60\sim 65\text{km/h}$  等，3 种汽车的数据都占有了  $0.05\sim 0.15\text{m/s}^2$  的加速度区间，但频率的百分比略有不同。这可能与两者的负载能力、重量和动力系统有关。自卸汽车在低速下的加速度表现更加多样和复杂。这可能与其设计和工作原理有关，例如，自卸汽车在装载或卸载物料时可能需要进行精细的速度和加速度控制。而牵引汽车则更多地在中高速区间展现其稳定性。

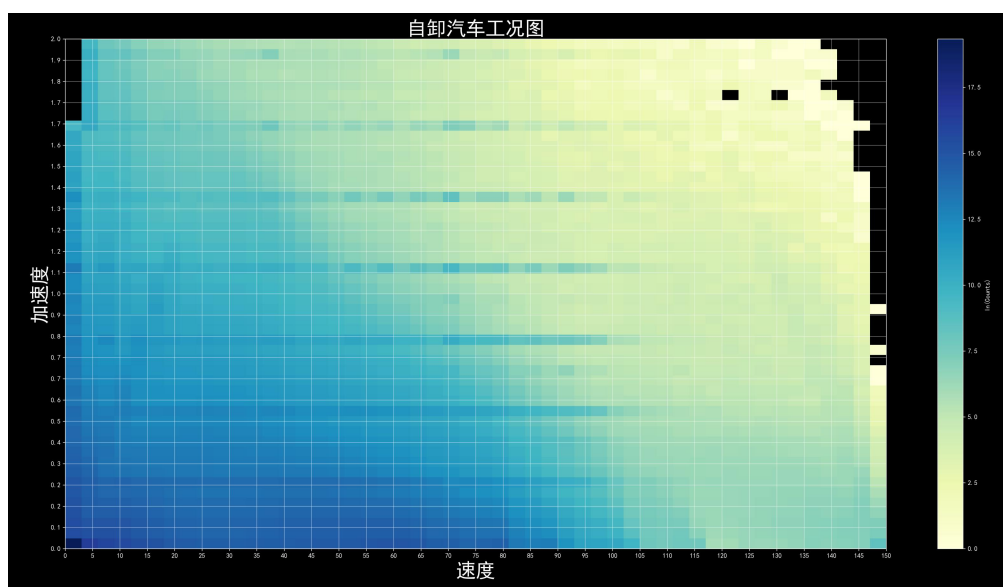


图 5-14 自卸汽车工况图



表 5-3 自卸汽车占比 TOP20 工况区间分布

速度区间 (km/h)	加速度区间 (m/s <sup>2</sup> )	占比
0-5	0.05-0.15	29%
0-5	-0.05-0.05	4%
5-10	0.05-0.15	2%
5-10	-0.05-0.05	2%
0-5	-0.15--0.05	2%
10-15	0.05-0.15	2%
0-5	0.15-0.25	2%
10-15	-0.05-0.05	1%
0-5	-0.25--0.15	1%
55-60	0.05-0.15	1%
15-20	0.05-0.15	1%
60-65	0.05-0.15	1%
0-5	0.25-0.35	1%
50-55	0.05-0.15	1%
5-10	0.15-0.25	1%
45-50	0.05-0.15	1%
5-10	-0.15--0.05	1%
40-45	0.05-0.15	1%
15-20	-0.05-0.05	1%
10-15	0.15-0.25	1%

图 5-15 显示了自卸汽车在不同工况段的油耗分布情况，呈现出一个右偏分布，大部分的油耗值集中在较低的范围。0~100L/100km 范围内的油耗值有最高的频率，表示大部分自卸汽车的油耗在此范围区间内。特别是在 0~50L/km 范围内，油耗的频次尤为突出。在 100~500L/100km 的油耗区间，可以看出频次的明显下降，但仍然有一定数量的自卸汽车。可能与中距离运输和某些特定工作环境有关。当油耗超过 500L/100km，频次进一步降低，可能是在特殊工况中的自卸汽车。对比载货汽车和牵引汽车，当百公里油耗达到 100L 以上时，自卸汽车工况段出现的频率要高于载货汽车和牵引汽车，这反映了自卸汽车在短距离运输、频繁的装卸和其他与城市内运输相关的工况下的油耗特点，与自卸汽车特定的装卸工作和频繁的启停有关。

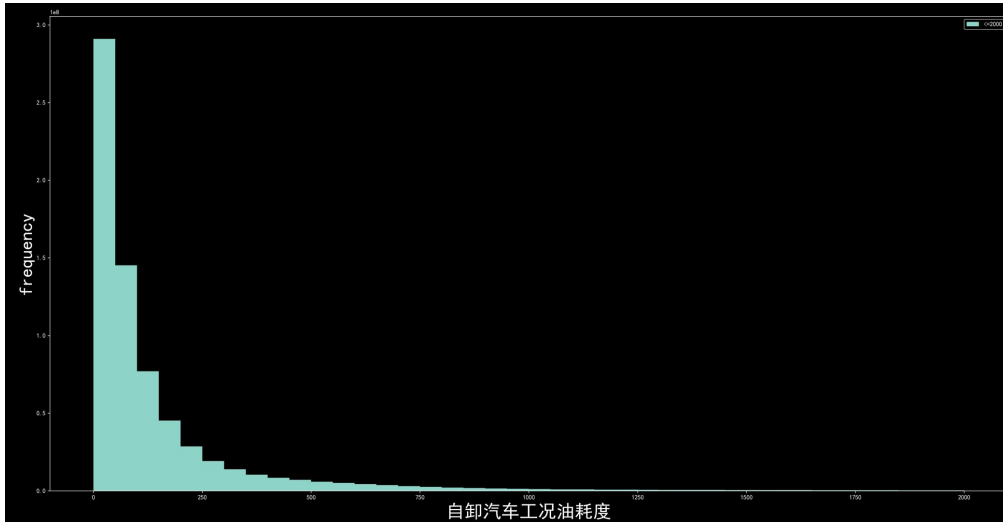


图 5-15 自卸汽车工况段油耗分布情况

自卸汽车是为建筑、采矿等重工业而设计的大型车辆，它的主要功能是运输大量的材料，如沙石、土壤和其他建筑材料，并能在目的地自动倾卸。由于这些特点，自卸汽车的油耗受多种因素的影响。图 5-16 可以看出，自卸汽车在低速度区间的油耗明显增高。这与车辆的实际运行工况密切相关。在施工现场或采矿区，自卸汽车经常需要在狭窄和曲折的道路上行驶，它们在低速下频繁地启动、停车、转弯和倒车。在这些工况下，发动机需要提供更多的动力来克服车辆的惯性和装载物的重量，导致油耗增加。另外，在速度为 0~15 km/h 和加速度为 0~0.5 m/s<sup>2</sup> 的范围内，油耗较高。这是因为在这个速度和加速度区间，自卸汽车可能正处于起步阶段，需要更大的扭矩和动力来推动重载的车身前进，这无疑会增加油耗。此外，低速度下的频繁制动和起步也使得油耗显著增加。与载货汽车和牵引汽车不同的是，自卸汽车在速度较高的低速区间内，如在 5~30 km/h 区间内仍有着比载货汽车和牵引汽车高的油耗，可能是在进行卸货等缓慢做工的特殊工况。而在高速度区间，尤其是在 80~120 km/h 之间，油耗则表现出相对稳定的趋势。这是因为在这个速度区间，车辆已经进入了巡航状态，发动机不需要频繁地调整输出的动力。同时，车辆的气动阻力在这一速度区间内相对较小，所以油耗没有明显的波动。

综上所述，自卸汽车的油耗受其特定的使用场景和工况影响很大。为了提高其燃油经济性，可以考虑在低速行驶时采用更为经济的驾驶习惯，例如减少不必要的启停，尽量使车辆保持在一个较为稳定的速度，或者使用更加经济和

高效的发动机。

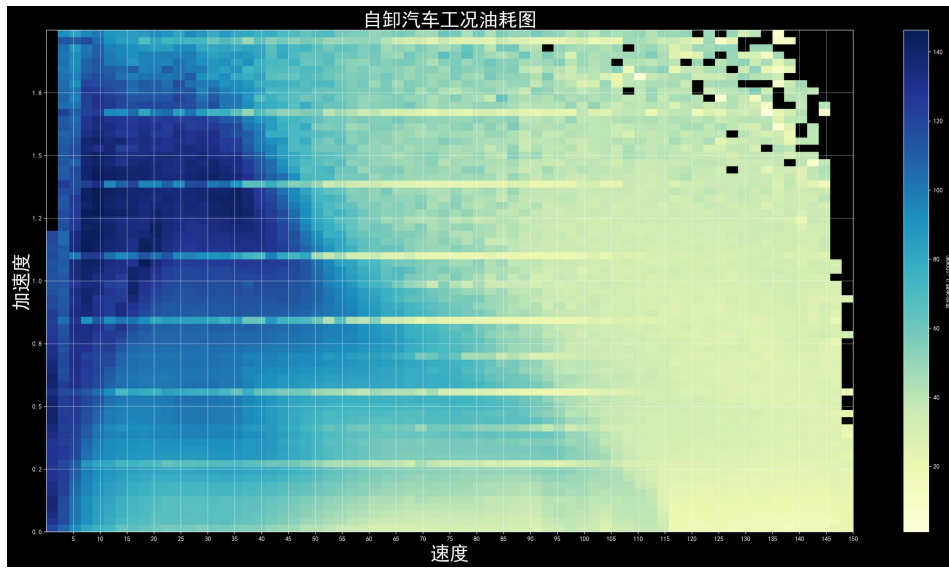


图 5-16 自卸汽车工况油耗图

图 5-17 展示了按小时计算的行驶距离为 0 的自卸汽车工况油耗分布，从图中可以看到，油耗数据分布在 x 轴上，而其相应的频次则显示在 y 轴上。图表中使用了不同的颜色来代表不同的油耗范围。首先，油耗值最小的部分（靠近 x 轴的左端）具有最高的频次，这表明大多数自卸汽车在行驶距离为 0 时，其每小时油耗都相对较低。随着油耗的逐渐增加，频次呈现出逐渐下降的趋势。在频次最高的部分，油耗范围约在 0~4L/h 之间。说明当自卸汽车处于停止状态时，大多数汽车的油耗都集中在这个范围内。这可能是因为车辆在静止时所进行的基本操作（如保持引擎在怠速运行）导致的固定油耗以及在某些装卸货等特定工况下的油耗。随着油耗值的增大，其对应的频次逐渐减少。说明在行驶距离为 0 的情况下，以时间为单位衡量时只有少数自卸汽车的油耗会达到较高的值。该图提供了关于自卸汽车在行驶距离为 0 时油耗的详细分布信息。大多数车辆的油耗都集中在一个较低的范围，而随着油耗的增加，处于较高油耗范围的车辆数量逐渐减少。

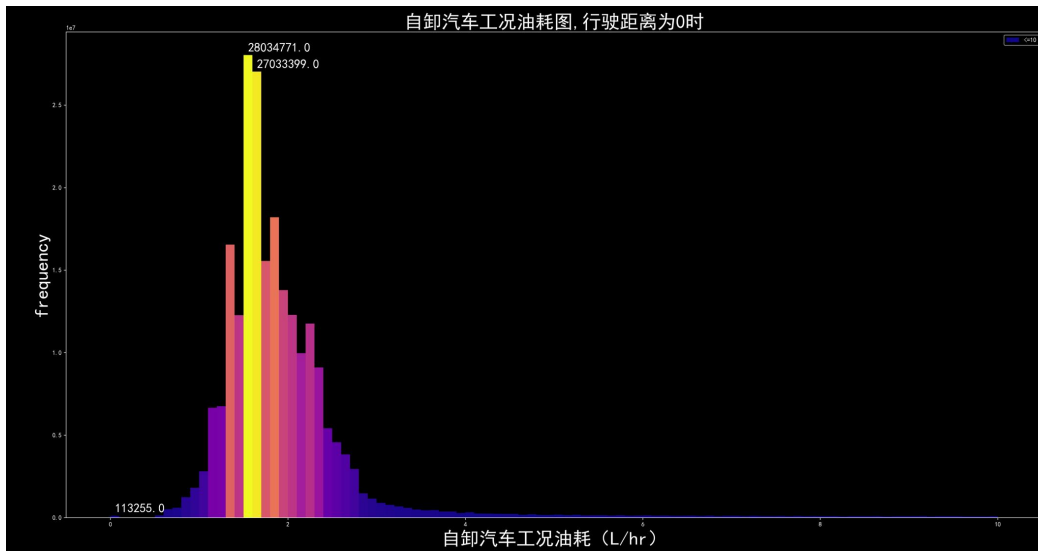


图 5-17 按小时计算的行驶距离为 0 的自卸汽车工况油耗分布

### 5.3.4 速度-加速度-功率和油耗的分布

图 5-18 到图 5-20 均选择了曲面图作为展现速度-加速度-功率和油耗的分布的形式。该形式可以直观地呈现中间速度、加速度与平均功率三者之间的复杂关系。其中 x 轴代表中间速度，y 轴代表加速度，而 z 轴代表平均功率，曲面的颜色则表示每百公里的平均油耗，从而提供了一个全面的视角来看待这四个变量的关联。

在车型 A 的图形中，油耗的增加区域在中间速度为 0~20km/h 和加速度为 0~2m/s<sup>2</sup> 的交叉范围内表现得尤为明显。与此同时，可以清晰地观察到，随着加速度的逐渐增加，油耗也随之上升，表明这两者之间存在着正相关的关系。而对于车型 B 的图形，油耗的高值区域相对于前一个图形更为集中和醒目，特别是在加速度位于 0~2 m/s<sup>2</sup> 范围时。这可能意味着在这一特定的加速度范围内，车辆的油耗有显著的上升趋势。另一方面，车型 C 的图形与前两者有所区别。虽然加速度为 0~2 m/s<sup>2</sup> 范围内的油耗仍旧偏高，但相比于前两者，在中间速度为 0~20km/h 的范围内的油耗区域不是很明显，可能与车辆的其他技术参数或者使用条件有关。因此，对于所选车型，当速度在较低范围时，油耗都呈现较高的趋势。这可能意味着，在这种工况区间下，车辆油耗增加。最后，当平均功率逐渐增加（z 轴高度），油耗也随之上升，这意味着车辆在高功率输出时

需要更多的油耗来维持其性能。上述研究分析提供了一个深入了解车辆中间速度、加速度、平均功率与油耗之间关系的窗口。

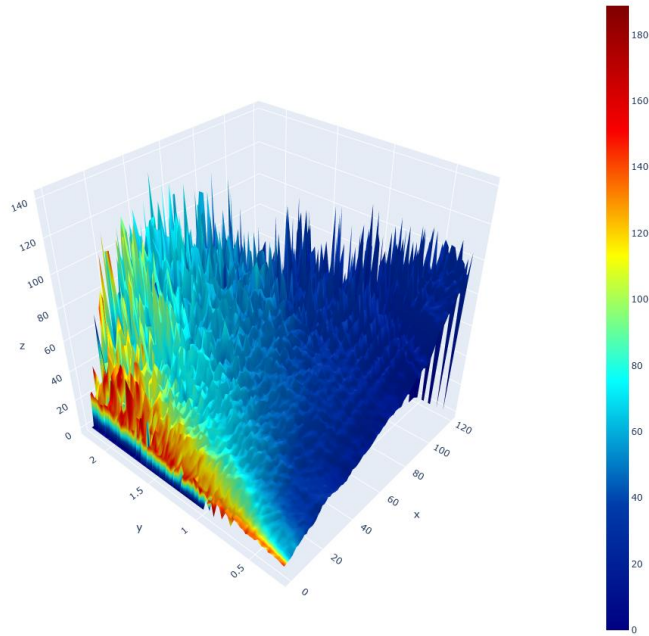


图 5-18 车型 A 工况-功率-油耗图

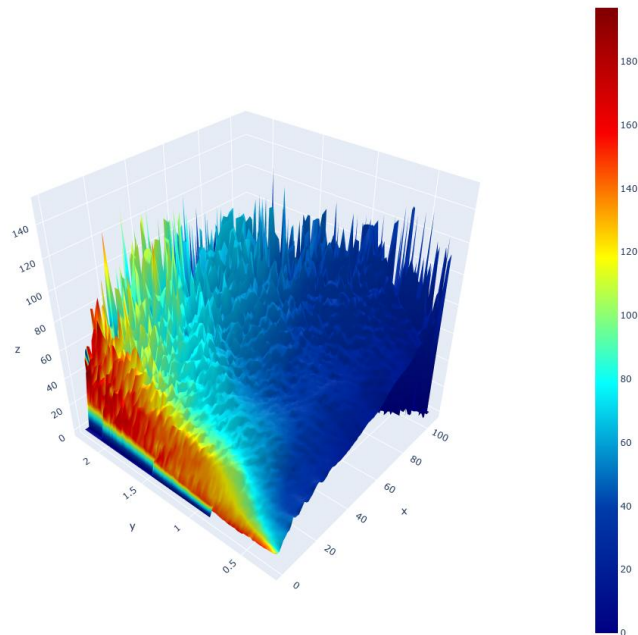


图 5-19 车型 B 工况-功率-油耗图

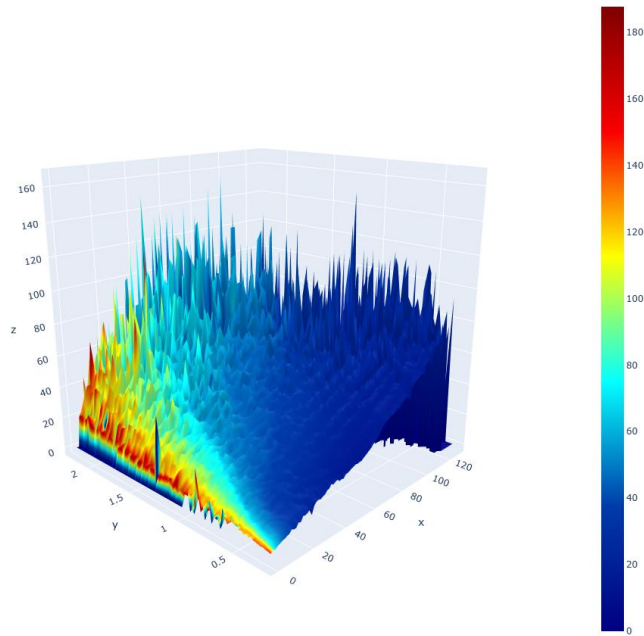


图 5-20 车型 C 工况-功率-油耗图

图 5-21 至图 5-23 为占比最高的三辆自卸汽车车型的工况-功率-油耗图。这是描述自卸汽车在不同情况下的加速度、功率或油耗变化情况。从颜色渐变的区域可以看出，所有图像都有明显的波动。尤其是在 Z 轴上的高值，表明在某些特定的速度和加速度区间里，相应的参数值可能达到了其极值。而这种极值可能与车辆的加速度、功率或油耗有关。从图 5-21 可以看出，在加速度  $1.5\sim 2\text{m/s}^2$  区间存在一个明显的红色区域，代表该区域的油耗相对较高。在加速度的  $0\sim 1.5\text{m/s}^2$  之间，颜色呈现为蓝绿色，表示该区域的油耗相对较低。在第二张和第三张图中，颜色分布有所不同。尤其是第三张图，红色区域明显扩大，覆盖了加速度区间的大部分区域，意味着在这些区域内，油耗值可能有显著增加。这些变化与车辆载重、驾驶习惯、路况等多种因素有关。与前三张载货汽车的图像进行比较，自卸汽车的数据分布似乎更为集中。这可能是由于自卸汽车与载货汽车在结构和功能上存在一些差异，使得自卸汽车在某些情况下的性能表现更为突出。另外，与载货汽车相比，自卸汽车在低速区间内的油耗可能会更高。这是因为自卸汽车原地做功或者低速做功的工况比载货汽车多。通过对比分析，可以看出自卸汽车与载货汽车在某些性能参数上存在明显的差异。这些差异不仅与两者的结构和功能有关，还可能与使用环境、驾驶习惯等多种

因素相关联。为选择和使用这两种车辆提供参考。

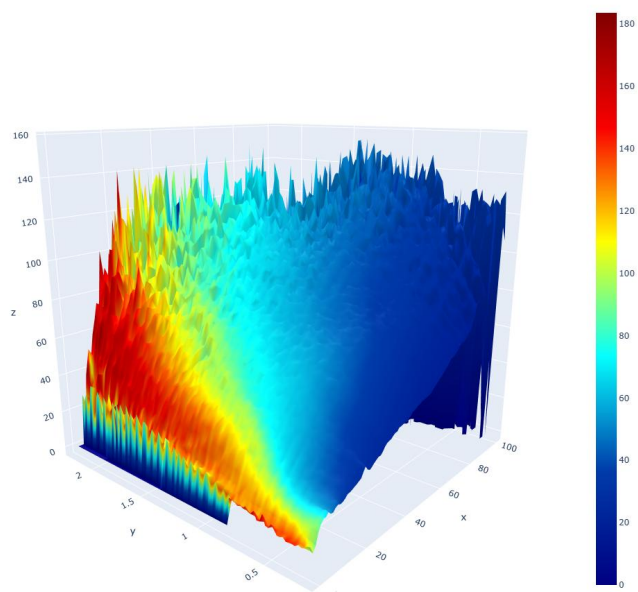


图 5-21 车型 D 工况-功率-油耗图

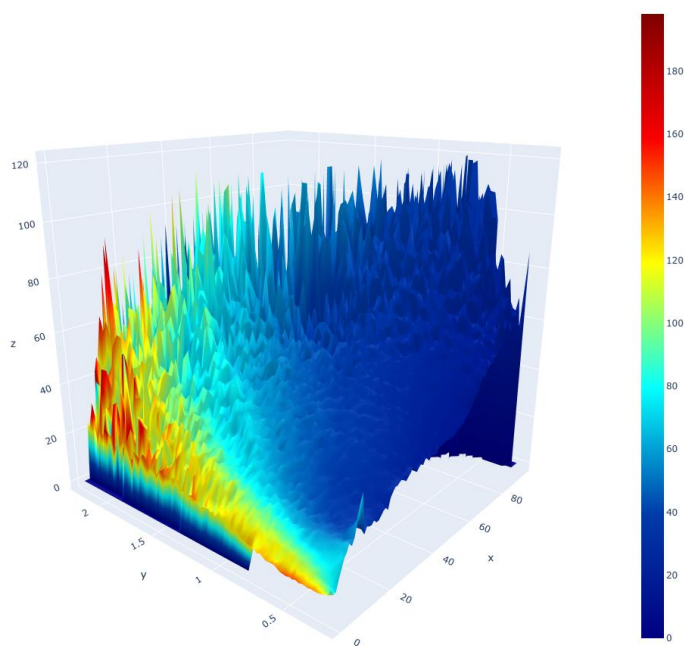


图 5-22 车型 E 工况-功率-油耗图

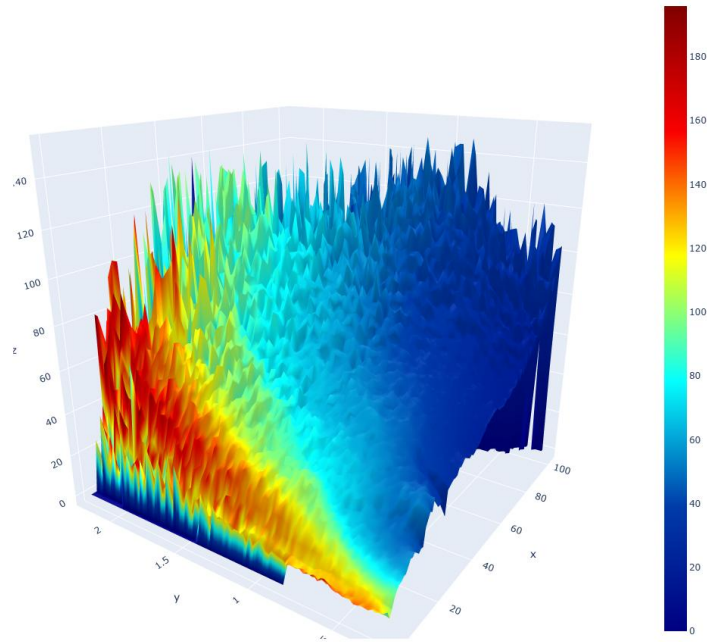


图 5-23 车型 F 工况-功率-油耗图

图 5-24 和图 5-26 为占比最高的三个型号的牵引汽车工况-功率-油耗图。通过图像可以明显看出每个车型在功率与油耗之间的关系有所不同。车型 G 和车型 H 的图形都显示了一个明显的红色和黄色的高峰区域，这代表在特定的速度和加速度条件下，油耗相对较高。然而，车型 I 的图像较为平坦，红色和黄色区域不太集中，说明它在多种速度和加速度条件下的油耗都相对较低。在所有车型中，当速度从 0 开始增加时，油耗都呈现出一个上升的趋势。这与常规的物理学原理相符合，因为车辆在高速下需要消耗更多的能量来克服空气阻力，从而导致油耗增加。对于加速度，所有车型都表现出一个相似的规律：当加速度增加时，油耗也增加。这是因为在加速过程中，车辆需要更多的能量，从而消耗更多的油。从图中还可以看出，随着速度的增加，在同一加速度下，发动机功率经历了先增加后下降，然后再次增加的过程，可能与发动机、涡轮增压器、传动系统和其他相关系统之间的相互作用有关。

而与载货汽车和自卸汽车相比，同一工况区间下的牵引汽车的发动机功率普遍较高，并且尽管三种类型的货车都是低速区间内油耗较高，但是牵引汽车的低速区间宽度还是普遍大于载货汽车和自卸汽车，具体表现在载货汽车和自



卸汽车一般在速度 0~20km/h 的工况区间内出现较高的油耗，而牵引汽车的较高油耗值则普遍分布在 0~50km/h 的速度区间内。这可能与牵引汽车自己的设计用途有关，因为它们专为拉动重负载而设计，如半挂车或全挂车，这些车辆在满载时的重量可能远超其他车型。牵引汽车主要在高速公路上行驶，需要保持高速并在上坡时也保持速度，这就需要更高的持续功率。另外，从静止状态启动，特别是在上坡，或制动时，都需要强大的力量确保安全性。考虑到其长途运输的特性，牵引汽车必须具备超强的可靠性和耐用性。更大的功率可以确保发动机在大多数工作时间内都在其较低的效率范围内运行，延长其使用寿命。此外，牵引汽车可能会面临各种工作条件，如不同的天气和地形，因此需要更大的功率储备和高扭矩以适应各种需求。在所选车型的参数表中，牵引汽车的发动机额定功率和最大转速普遍大于所选的载货汽车和自卸汽车，也证实了这一点。

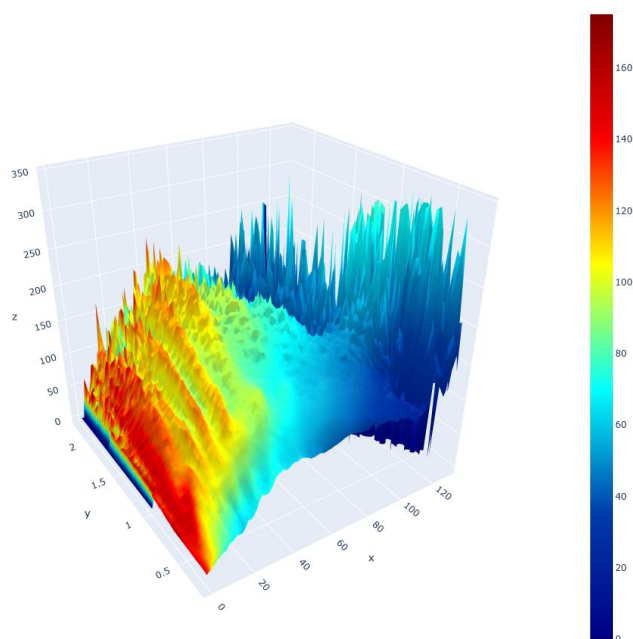


图 5-24 车型 G 工况-功率-油耗图

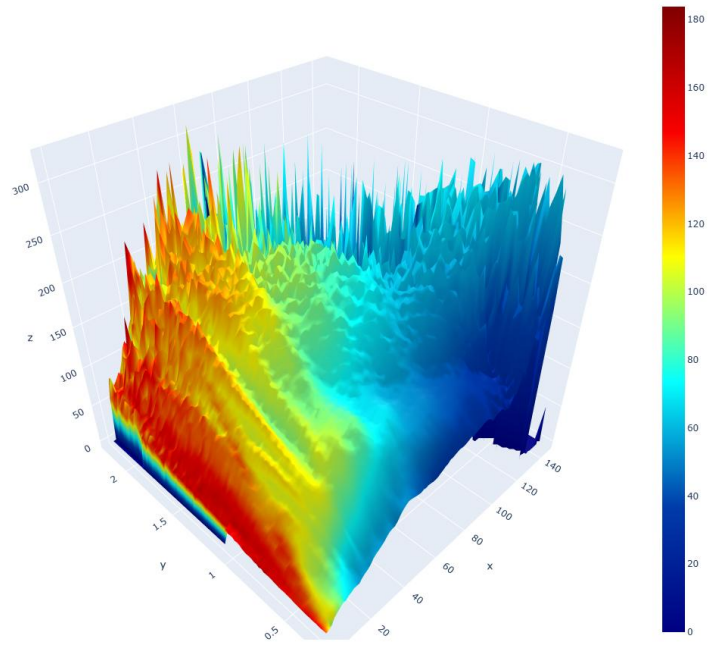


图 5-25 车型 H 工况-功率-油耗图

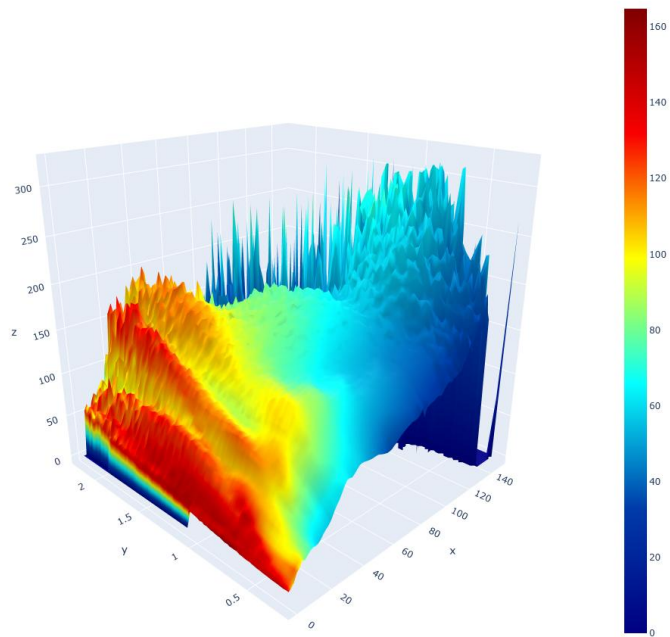


图 5-26 车型 I 工况-功率-油耗图

汽车油耗与功率之间的关系是一个相当复杂的相互作用，其背后蕴含的深层因素需要细致探究。其中，速度和加速度是两个重要变量，但当对数据进行

更深入的分析时，更多的微妙关联开始浮现。车辆在特定工况下的负载是与其功率直接相关的。在相同的工况下，负载越大，车辆所需的功率就越大。这也解释了功率与油耗之间的关系显得非常紧密的原因，因为它们都是负载变化的直接反映。随着负载的增加，油耗也随之增加。

以车型 C 的载货汽车为例，根据表 5-4 和图 5-27 中的数据，明显可以看到油耗与功率之间的关系并不是简单的线性关系，尤其是在不同的速度和加速度下。在较低的速度，如 5 km/h 下，油耗在不同的功率区间都有所变化，但这种变化相对温和。推测这可能是因为在这样的低速和低加速度组合下，车辆的发动机正在一个更为高效的工作模式下运转。但是，当速度上升到 10 km/h 和 15 km/h，情况开始发生变化。油耗现在对于加速度和功率的变化显得更为敏感。更为明显的是，在高速度和高加速度组合下，油耗随着功率的提升而急剧上升。这主要是因为在这种工况下，发动机需要产生更大的动力来推动车辆。此外，还有一些特别的功率范围，其中油耗的变化似乎不太规律。例如，在某些功率区间，尽管功率有所提升，油耗的增长却没有按预期那样增加。这可能与车辆的某些其他系统如冷却系统或传动系统的效率有关。

综上，虽然油耗与功率之间的关系在表面上似乎很明显，但当我们深入挖掘这种关系时，会发现其中蕴含的各种微妙因素。对于驾驶者来说，了解这些关系意味着他们可以更有效地控制油耗，特别是在高速或大加速度驾驶时。同时，对于汽车制造商来说，这些发现提供了进一步优化和改进车辆性能的机会，从而实现更高的燃油效率。

表 5-4 车型 C 的速度-加速度-功率和油耗的分布

速度区间	加速度区间	平均速度	平均加速度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0 [0.0, 5.0)	(0.0, 0.1)	2.281276042	0.059888238	93.16683093	110.8079771	99.21991177	110.3643817	98.90385437	118.901214	113.2883115	153.9329748	129.7178679	167.6506446
1 [0.0, 5.0)	(0.1, 0.2)	2.281276042	0.159882313	97.18924577	97.93370522	98.15028752	97.71816031	100.3650440	110.7246504	118.0323013	128.1446042	137.7173366	145.8263876
2 [0.0, 5.0)	(0.2, 0.3)	2.281276042	0.259877387	86.86644022	96.0277368	91.2147466	100.15919177	113.1208668	118.3049615	123.6595763	142.931076	127.963099	107.35584
3 [0.0, 5.0)	(0.3, 0.4)	2.281276042	0.359871962	95.72224383	103.1479492	107.6156763	106.1073856	118.5444262	134.9703682	143.5095966	149.7308342	168.4041168	107.4971174
4 [0.0, 5.0)	(0.4, 0.5)	2.281276042	0.459866536	80.59770142	90.63633951	111.9303873	99.11605354	139.0775657	143.1881623	161.9432862	153.3805006	147.2146258	136.7862333
5 [0.0, 5.0)	(0.5, 0.6)	2.281276042	0.559861111	107.9200168	109.0302866	127.043418	129.4959825	148.0833814	158.4969555	161.4059117	166.0612855	150.4132659	182
6 [0.0, 5.0)	(0.6, 0.7)	2.281276042	0.659855693	100.3800732	108.0582025	116.6505851	131.0989899	143.4530289	142.6987959	144.7519024	160.1678953	162.9577629	176.7680724
7 [0.0, 5.0)	(0.7, 0.8)	2.851269531	0.75985026	77.52439025	105.2895027	111.6870556	134.5905247	142.3533397	145.9349545	151.6049977	168.5238305	173.0929312	183.4156625
8 [0.0, 5.0)	(0.8, 0.9)	2.851269531	0.859844835	87.27688171	112.3485984	117.3834112	130.7139445	139.4661885	144.3629238	153.4359329	171.9308463	173.992136	186.0256017
9 [0.0, 5.0)	(0.9, 1.0)	2.851269531	0.959839341	97.89187707	107.1534219	111.3533934	137.2289414	142.8176121	162.0047188	163.3363228	157.9340686	163.4184411	166.0988887
10 [0.0, 5.0)	(1.0, 1.1)	2.851269531	1.059833964	87.50989389	108.7305461	115.1138722	137.8163044	139.2962398	158.4309889	168.7682478	172.1241811	164.9785911	177.8320238
11 [0.0, 5.0)	(1.1, 1.2)	2.851269531	1.159828559	113.8897647	103.7827986	130.8122811	131.2003444	140.0061795	136.18475	159.1773208	158.3247212	179.0597599	166.00901
12 [0.0, 5.0)	(1.2, 1.3)	2.93767904	1.254823405	76.96391133	98.76693491	109.5258462	122.017132	145.6157665	149.2882977	160.511712	158.6693505	162.508784	175.1923191
13 [0.0, 5.0)	(1.3, 1.4)	3.421263021	1.359817708	114.5832567	132.496211	134.0893944	140.3775948	147.773640	151.0000285	172.990451	158.3073651	161.9290964	175.8030648
14 [0.0, 5.0)	(1.4, 1.5)	3.421263021	1.459812263	88.81821304	130.0029501	129.1800943	135.889655	144.3691024	165.4849928	152.7714162	176.1289238	150.842848	189.174923
15 [0.0, 5.0)	(1.5, 1.6)	3.421263021	1.559806858	77.76230686	106.3429898	106.3429898	143.2158009	129.585232	148.9487757	150.4426335	158.6372062	177.0103944	164.0972030
16 [0.0, 5.0)	(1.6, 1.7)	3.421263021	1.659801432	88.18522542	115.0879189	126.9128017	150.6319234	155.655155	143.6455668	171.823034	174.3845012	183.5488856	163.0574867
17 [0.0, 5.0)	(1.7, 1.8)	3.421263021	1.759796007	90.18498345	113.1872	133.4051799	120.7758816	132.9269377	150.7968961	152.4428999	154.9510461	173.3973555	184.2307882
18 [0.0, 5.0)	(1.8, 1.9)	3.421263021	1.859790562	105.4517858	131.118712	147.8730716	187.8309829	192.1729411	154.491389	162.8187449	139.835447	161.6029195	176.8976246
19 [0.0, 5.0)	(1.9, 2.0)	3.99126651	1.959785156	107.3043748	114.2895939	160.869084	155.0525312	163.1672762	154.8345878	178.5801343			
20 [5.0, 10.0)	(0.0, 0.1)	7.411217448	0.059888238	37.60576106	53.08468087	65.31886661	77.86596458	90.48327995	105.0324897	125.9661272	143.7408984	142.7219224	169.8378235
21 [5.0, 10.0)	(0.1, 0.2)	7.411217448	0.159882813	30.89788376	47.64405015	59.7872602	71.87832165	84.99322916	96.3373928	105.9807753	127.8874952	133.7352995	113.1685809
22 [5.0, 10.0)	(0.2, 0.3)	7.411217448	0.259877387	28.9180293	47.04532089	60.9046142	73.29040199	88.11991895	100.0384211	115.7919726	129.7387848	126.6069618	155.0914463
23 [5.0, 10.0)	(0.3, 0.4)	7.411217448	0.359871962	28.3286127	49.03315982	62.3029297	76.95129335	90.8568265	107.270695	110.9288319	125.7515295	147.0284995	170.4903246
24 [5.0, 10.0)	(0.4, 0.5)	7.411217448	0.459866536	31.77218417	52.1546519	65.11879235	78.5937649	95.019396	110.2407122	123.2270991	137.1679517	148.0312969	170.1814579
25 [5.0, 10.0)	(0.5, 0.6)	7.411217448	0.559861111	35.7918232	54.89628858	68.2706883	81.91783658	95.19412398	113.0502322	128.5321897	146.3906403	161.3947441	176.4289962
26 [5.0, 10.0)	(0.6, 0.7)	7.411217448	0.659855693	44.7203721	61.2074892	74.0396959	88.6131169	104.0502461	120.9234774	138.8328826	149.1105013	160.1944441	171.8330331
27 [5.0, 10.0)	(0.7, 0.8)	7.411217448	0.75985026	41.54504781	61.7464834	75.06884751	87.3493277	104.9793855	121.8847917	132.7734205	146.9263818	156.855811	165.2142163
28 [5.0, 10.0)	(0.8, 0.9)	7.411217448	0.859844835	54.77150044	68.13422999	80.99724399	95.06857262	109.3952476	120.1202096	131.832535	152.0662912	160.0079597	165.80912
29 [5.0, 10.0)	(0.9, 1.0)	7.411217448	0.959839341	56.76464449	73.49329902	83.88536185	96.53658925	110.3243401	127.9502179	137.9710128	151.6999808	160.8901966	180.045391
30 [5.0, 10.0)	(1.0, 1.1)	7.411217448	1.059833964	63.13454913	75.85839172	83.41237942	93.2427842	105.2492929	114.2077693	132.4485811	142.1663054	149.4186326	167.3617716
31 [5.0, 10.0)	(1.1, 1.2)	7.411217448	1.159828559	51.72666653	75.6621259	95.01702737	95.01698357	110.8878532	121.8348081	136.7022204	145.7206265	166.0707077	175.7291279
32 [5.0, 10.0)	(1.2, 1.3)	7.411217448	1.259823134	69.73822317	82.22642546	95.00665721	98.03545127	113.4000640	127.5018837	143.9553094	149.8126182	154.9198516	174.9324767
33 [5.0, 10.0)	(1.3, 1.4)	7.411217448	1.359817708	77.84753906	85.33249355	96.50017711	105.6799708	115.4970788	118.9479947	131.3761267	154.3038729	154.7524747	166.4294489
34 [5.0, 10.0)	(1.4, 1.5)	7.411217448	1.459812263	81.16690444	86.91293534	97.7192137	104.329299	114.2077693	132.4485811	142.1663054	149.4186326	151.4892981	184.8289291
35 [5.0, 10.0)	(1.5, 1.6)	7.411217448	1.559806858	77.70339178	86.36510224	97.62166208	113.0937753	107.9032919	134.6740908	139.7283904	150.8788116	164.8278968	168.9440994
36 [5.0, 10.0)	(1.6, 1.7)	7.411217448	1.659801432	86.47761907	90.04353669	112.8601951	109.1238881	118.0615995	130.463873	131.6326351	131.1873004	152.73396	165.0476252
37 [5.0, 10.0)	(1.7, 1.8)	7.537882068	1.757913905	102.2406668	103.1217783	103.1187615	118.4081859	122.8109053	132.7301931	158.0548389	163.7695701	163.6787044	166.7762603
38 [5.0, 10.0)	(1.8, 1.9)	7.411217448	1.859790562	93.6159872	104.2824788	107.8434663	122.1498866	129.3337396	148.6208878	158.073458	144.218873	151.0306815	131.1238884
39 [5.0, 10.0)	(1.9, 2.0)	7.411217448	1.959785156	101.0023538	111.7211154	110.2288694	109.8496737	114.2102134	130.1555852	137.422678	136.3080544	132.755418	167.784423
40 [10.0, 15.0)	(0.0, 0.1)	12.54115885	0.059888238	28.08189209	40.67015335	51.0955638	66.9786178	83.76191524	96.64866677	122.083214	124.1012917	156.4175152	174.9134479
41 [10.0, 15.0)	(0.1, 0.2)	12.54115885	0.159882813	21.95126451	36.01717696	46.41399858	58.05180708	72.17934744	85.86530803	95.4488058	103.020273	142.6797712	140.7497488
42 [10.0, 15.0)	(0.2, 0.3)	12.54115885	0.259877387	18.54718901	24.41146901	35.49311178	55.05062454	69.47893323	84.98075829	94.94857663	109.9788923	114.6812263	122.873787
43 [10.0, 15.0)	(0.3, 0.4)	12.54115885	0.359871962	17.61121784	35.18832908	47.79903465	61.37149168	76.18280461	88.4687755	99.4455778	98.1315309	108.9385843	99.1367105
44 [10.0, 15.0)	(0.4, 0.5)	12.54115885	0.459866536	15.26085889	35.2114639	47.0089236	58.50711632	70.61879677	85.54150194	97.48097233	100.3274629	112.96324	132.7300992
45 [10.0, 15.0)	(0.5, 0.6)	12.54115885	0.559861111	21.62489967	40.80131273	53.0997743	65.17842244	78.82543203	90.127181	105.8877829	113.1189176	127.3899712	128.9812846
46 [10.0, 15.0)	(0.6, 0.7)	12.54115885	0.659855693	26.72237957	45.90482762	59.11760733	67.03285695	79.24437267	90.8189499	107.4827487	118.3311159	123.0903487	150.1198786
47 [10.0, 15.0)	(0.7, 0.8)	12.54115885	0.75985026	32.4657352	45.02665076	58.48569313	67.98813839	79.94446116	88.82234349	100.8517486	118.0417074	128.4621389	144.5649203
48 [10.0, 15.0)	(0.8, 0.9)	12.54115885	0.859844835	37.70354455	52.01303479	63.10024123	74.07232178	84.19031629	97.64254348	106.7297486	118.883314	124.2010931	127.2420875
49 [10.0, 15.0)	(0.9, 1.0)	12.54115885	0.959839341	59.83958079	64.96039956	76.2047447	80.4830269	88.45231894	103.3059892	106.6792488	118.883314	124.2010931	127.2420875
50 [10.0, 15.0)	(1.0, 1.1)	12.54115885	1.059833964	49.11869208	59.12094339	70.72679379	78.3154208	88.45231894	95.83364263	94.96844231</			

种类型货车的工况和油耗分别进行了可视化。

之后详细介绍了载货汽车、牵引汽车和自卸汽车的工作性质及其油耗特点，并通过对比分析展示了 2 种车辆在不同速度区间的油耗差异。自卸汽车相比其他两类在低速区间时展示出了更高的油耗，这很大程度上是基于其本身的设计和使用场景决定的，这与第 4 章的计算结果也相吻合。

总的来说，自卸汽车、载货汽车和牵引汽车在油耗分布上都有其独特的特点。了解这些特点和原因对于提高运营效率、降低成本和进行有效地车辆维护都是至关重要的。在未来的研究中，更深入地数据分析和实地考察可以进一步揭示这 3 种汽车在不同工况下的油耗模式和原因。

# 第 6 章 多场景油耗分析

## 6.1 停车点及负载识别

### 6.1.1 停车点及负载识别方法流程

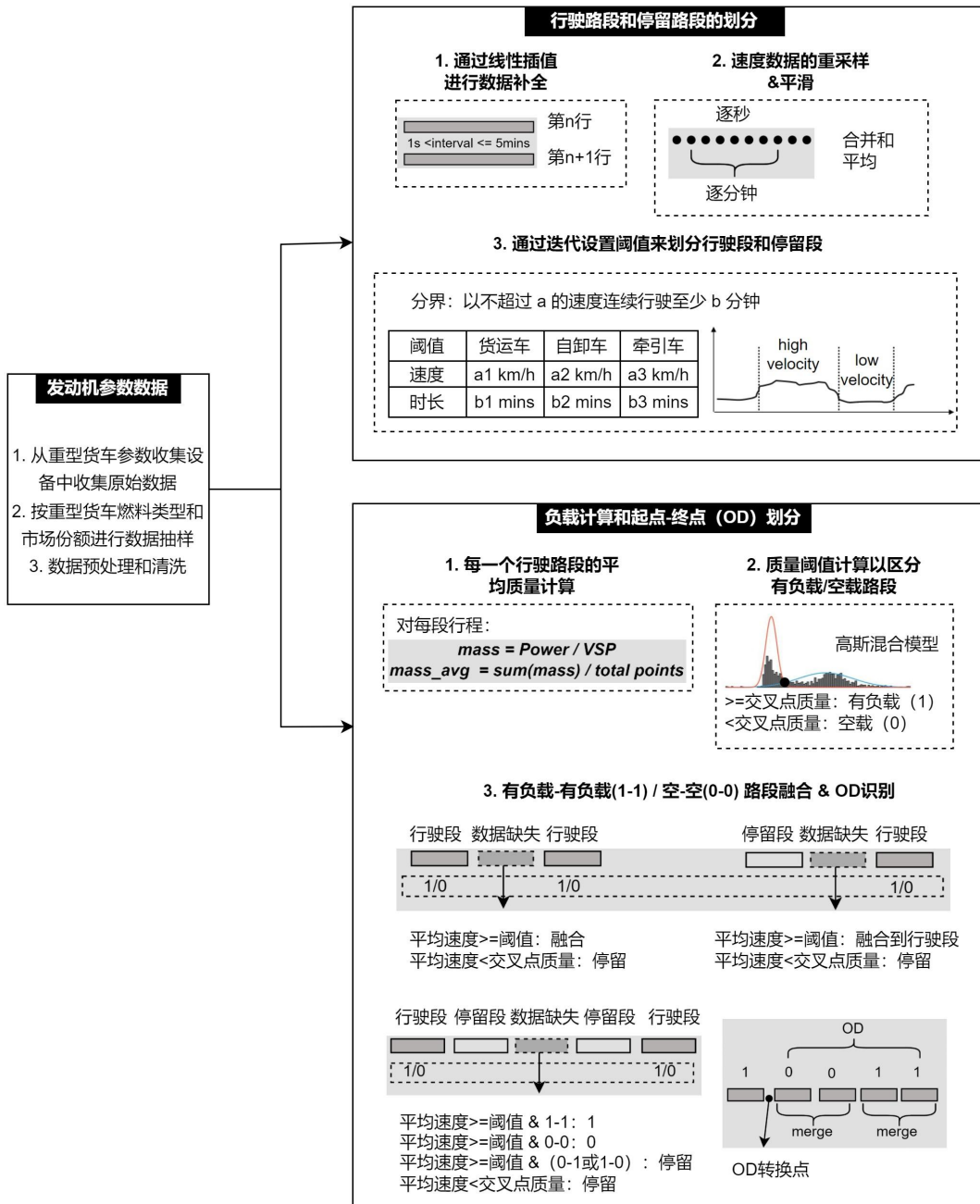


图 6-1 停车点与负载识别流程

如图 6-1 所示，停车点及负载识别研究框架分为三个部分，一是实际道路

行驶工况和发动机参数数据采集与预处理，二是基于实际道路行驶工况和发动机参数数据的重型货车运行特征描述方法，三是重型货车的运行特征统计。在特征方法部分，首先对数据进行了补充，以保证数据的连续性，然后引入数据重采样，将数据单位从秒融合到分钟，这样既减少了计算量，又对原始数据起到了平滑作用，避免了数据偏差。再设置平均速度阈值和持续时间阈值，按照载货汽车、自卸汽车和牵引汽车的分类，分别分离出行驶路段和停留路段。对得到的行驶路段，计算车辆的平均载荷，并通过去混合法区分有负载路段和空载路段。根据缺失数据段平均行驶速度确定其状态为停留段或行驶段。然后，根据该路段前后行驶路段的负载状态，判断出所确定的行驶路段的负载状态。根据得到的负载状态，可以进一步构建重型货车行驶的起讫点（OD），并对 OD 的运行特性进行统计。

### （1）数据来源

样本数据如 3.1 章节所示。

### （2）数据清洗和补全

通过如表 6-1 的规则对异常数据进行清洗。涉及的参数主要包括速度、燃油流量和经纬度，根据规则直接删除存在明显错误值的行。

表 6-1 清洗原始实际道路行驶工况和发动机参数数据的规则

数据字段	清洗规则
速度 (km/h)	<0 且 >150
燃油流量 (L/h)	≤0 且 >500
GPS 坐标 (°)	超出中国范围

在 3.2 章节中描述了时间断点的问题，相邻两行数据的时间间隔不全是 1 秒，有可能是 2 秒甚至更长。为减小数据缺失带来的影响，在考虑车辆行驶习惯的基础上制定数据补全规则，对于时间间隔为 2 秒到 300 秒之间的相邻两行，补全中间缺失数据。具体的数据补全规则如下。通过获取需要补全位置的首尾两行的日期时间、速度和里程值，并使用以下公式按秒获取缺失的数据。

$$M_i = M_a + \frac{M_b - M_a}{T_b - T_a} (i - a)$$

$$V_i = (M_{i+1} - M_{i-1}) / (T_{i+1} - T_{i-1})$$

上述公式中， $M$ 代表里程； $i$ 代表新增时间点； $a$ 代表首位时间点； $b$ 代表末尾时间点； $V$ 代表速度； $T$ 代表某个时间点的具体时间。完成数据添加过程后，数据行数比原始数据集增加了一倍。

### (3) 停留路段和行驶路段的划分

这部分内容根据二级数据计算的效率很低，因此以重新采样为分钟级数据的方法进行计算，其中新形成的点，以一分钟内的平均速度表示。分钟级数据不仅减少了数据量，而且使数据更加平滑。通过设定一个速度  $m$  km/h，作为区分正常行驶路段和停留路段的阈值。停留路段指的是装卸货物、加油、吃饭和短暂休息等发生停车行为的路段，因此停留路段的速度低于行驶路段。在本研究中，在某一行程中，如果速度低于  $m$  km/h 的时间超过  $n$  分钟，则认为该路段属于停留路段，否则属于行驶路段。

由于不同类型车辆的特点和运行场景有很大差异，因此很难用同一套阈值来划分行驶路段（Low 等人，2020；Parmar 等人，2020；Schmid 等人，2018）。经过多次迭代优化，本节最终确定的一组阈值参数为：自卸汽车和载货汽车，速度阈值设为 4 km/h，持续时间阈值设为 10 分钟；牵引汽车，速度阈值设为 20 km/h，持续时间阈值设为 5 分钟。

### (4) 负载状态识别

为了识别不同行驶路段的车辆负载情况，首先是计算每一秒的车辆总质量。选择机动车比功率（VSP）方法来标准化不同驾驶条件下不同路段的平均燃油流量（Jiménez-Palacios, 1999）。VSP 是用于衡量车辆相对于其重量的功率输出的指标，常用于交通运输领域，用于比较不同车辆的性能和效率。在本研究中，将 VSP 作为比较一辆车在装载和卸载状态下效率的标准方法。VSP 计算公式如下：

$$VSP = \frac{power}{mass} = v(1.1 * a + 0.132) + 3.02 * 10^{-4} * v^3$$

其中， $power$ 代表发动机功率或车辆运行时克服阻力（如空气阻力、滚动阻力和坡度）所需的功率； $mass$ 代表车辆质量或重量（通常以公斤或磅为单



位)； $v$ 表示速度； $a$ 代表加速度。

发动机功率是根据实际道路行驶工况和发动机参数数据的数值计算得出的，计算公式如下：

$$power = 2 * pi * Engine Speed * \frac{Engine Net Output Torque}{100} * torque_{max}/60$$

其中， $Engine Speed$ 指发动机的转速， $Engine Net Output Torque$ 指发动机的净输出扭矩， $torque_{max}$ 指最大扭矩， $pi$ 为圆周率。

在获得每个数据点的重型货车质量后，再计算上一步定义的每个行驶路段的平均质量，并对平均质量的分布情况开展分析。出于降低成本和提高效率的需要，重型货车在行驶过程中通常处于两种装载状态，即有负载和空载。这两种装载状态可视为2个独立的事件，在数据集足够大的情况下，每种状态都呈现稳态分布。因此，采用高斯混合模型（Yang和Ahuja，1998年）的方法来解决每个行驶路段的平均质量分布。高斯混合模型（GMM）是一种用于建模和分析复杂数据的概率模型，由多个简单分布（通常为高斯分布）组成，每个分布称为一个“分量”。在本研究中，分量代表有负载的独立事件和空载的独立事件。使用GMM时，一项关键任务是估算模型参数，包括每个分量的均值、标准差和混合权重。这通常是通过最大似然估计（MLE）或期望最大化（EM）算法完成的（Moon，1996年）。经过去混合处理后，生成两条高斯分布曲线，分别代表有负载和空载状态下重型货车的质量分布，2条曲线的交点可视为区分空载和有负载的阈值。因此，如果某行驶路段的平均负载大于或等于该临界值，则该路段被视为有负载路段，标记为1；反之，则该路段被视为空载路段，标记为0。模型公式及相关说明如下。

$$p(x) = \sum_{i=1}^k a_i * \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} * e^{-\frac{(x-u_i)^2}{2\sigma_i^2}}$$

其中， $p(x)$ 代表观测数据点 $x$ 的概率密度， $K$ 代表混合分量的数量（或高斯分布的数量）； $a_i$ 代表第 $i$ 个高斯分布的权重，满足 $\sum a_i = 1$ ，表示每个分布的重要性； $u_i$ 代表第 $i$ 个高斯分布的平均值，表示该分布的中心位置； $\sigma_i$ 代表第 $i$ 个高斯分布的标准差，表示该分布的离散程度。

#### (5) 起点终点计算、验证和映射

对于单个重型货车而言，得出的负载特征值并不严格按照上述 0 和 1 的顺序排列，而是可能出现相同特征值连续排列的情况，如 1-1 或 0-1。出现这种情况的原因是，车辆在行驶过程中，即使没有进行装载或卸载活动，也可能出现短暂停车或慢速行驶的情况。另外，可能装载或卸载活动时涉及的货物量极少，不会对车辆是装载还是空载的判断产生实质性的改变。

本研究建立了几种合并规则来消除连续出现的相似特征值。如图 6-1 所示，通过计算缺失数据段的平均速度，并结合其前后的驾驶和负载状态，来设定缺失数据段的状态。对于载货汽车和自卸汽车，平均速度阈值为 4 km/h 行驶路段视为连续的空载或有负载路段。

在合并负载特征值的基础上，本研究中定义了重型货车运行的 OD。首先考虑了那些非常明显的断点，即数据缺失超过 2 小时的位置。根据上述方法，数据时间缺失超过 2 小时的地方几乎都是停留路段。与实际经验一致，即数据缺失超过 2 小时就意味着货物运输的结束，并且运输过程中几乎没有短暂的休息、用餐、车辆加油等行为。根据这些超过 2 小时的停留时间将数据划分子级。对于子级数据，利用数据中固有的负载特征值特性，并结合实际驾驶员运输习惯，采用严格的时间分割方法。根据这种方法，将一次完整的 OD 行程定义如下：(a) 单个空载路段及其相邻的下一个有负载路段，以及 (b) 单个空载车段和其相邻的下一个有负载车段，以及随后相邻的空载车段。这两种情况都被定义为完整的 OD 路段，它们在时间上遵循严格的时间顺序。

虽然通过数值方法确定并定义了重型货车的 OD，但为了确保研究方法的适用性，其准确性还需要进一步验证。验证主要依靠装载点和卸载点的空间识别，具体方法如下：在已构建的 OD 路段中，存在从空载到有负载的切换停留段。通过计算这些停留段的中心点位置，并分析它们与地图上兴趣点 (POI) 之间的空间关系。考虑到固有的空间偏差，如果它们之间的空间距离小于 500 米，就可以认为识别是准确的。本研究对 10 辆车进行了验证，结果显示 OD 识别的准确率为 91.36%。这表明用于 OD 分割的方法是可靠的。在识别出所有完整的 OD 路段之后，为了直观地表示 OD 的空间分布，将所有 OD 的起点和终点映射到地图上，能够获得全国范围内重型货车的 OD 的热点图 (图 6-2)。

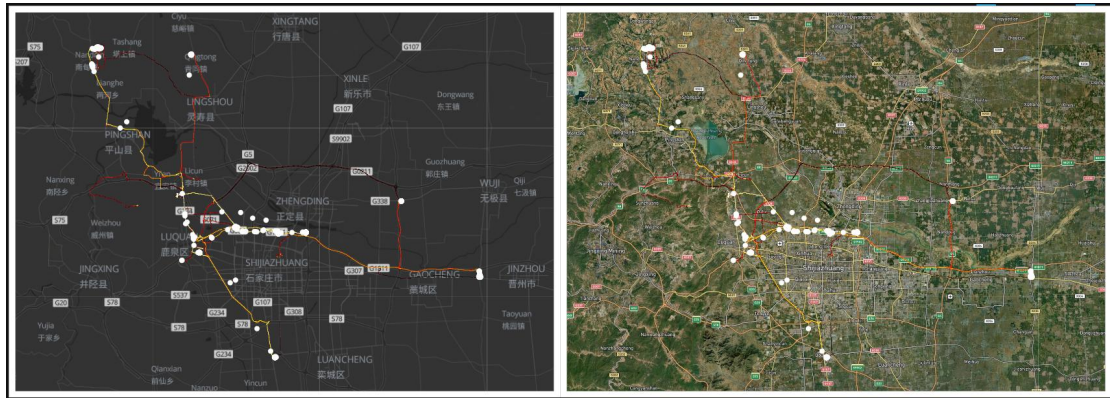


图 6-2 停车点验证比较

### (6) 货车运行特性分析

通过进一步的数据分析，加深对重型货车运行特征的理解。在 OD 层面，计算了以下内容：(a)行驶过程中的平均速度，包括空载路段、有负载路段和总平均速度，以及每个 OD 路段的速度分布；(b)车辆起停事件数、(c)重型货车的平均行驶距离，包括空载路段、有负载路段和总里程；(d)空载时间所占百分比；(e)重型货车的 OD 的空间分布图。(a)至(d)部分使用 Python 进行计算，(e)部分使用 Kepler.GL 平台进行计算（Medvedenko 和 Namiot，2021 年）。

## 6.1.2 停车点及负载识别结果

### (1) 平均 OD 行程速度

在 OD 级别，载货汽车、自卸汽车和牵引汽车的平均行驶速度各不相同。牵引汽车最大平均速度可达 40 km/h；载货汽车的平均速度次之，约为 23km/h；自卸汽车的平均速度最低，约为 16km/h。总体而言，载货汽车和牵引汽车的中位平均速度低于各自的总体平均速度；而自卸汽车的平均速度中值与其整体平均速度极为接近。从数据分散程度来看，自卸汽车的平均车速主要分布在 1.5km/h~30.5km/h 范围内，范围较小，而载货汽车和牵引汽车的平均车速则分别位于为 1.5km/h~43km/h 和 15.5km/h~60.5km/h，跨度较大。同时，3 类重型货车在不同总质量区间的平均行驶速度也存在差异。随着总质量的上升，自卸汽车和牵引汽车的平均行驶速度呈现上升趋势，而载货汽车的平均行驶速度趋势不明显（图 6-3）。

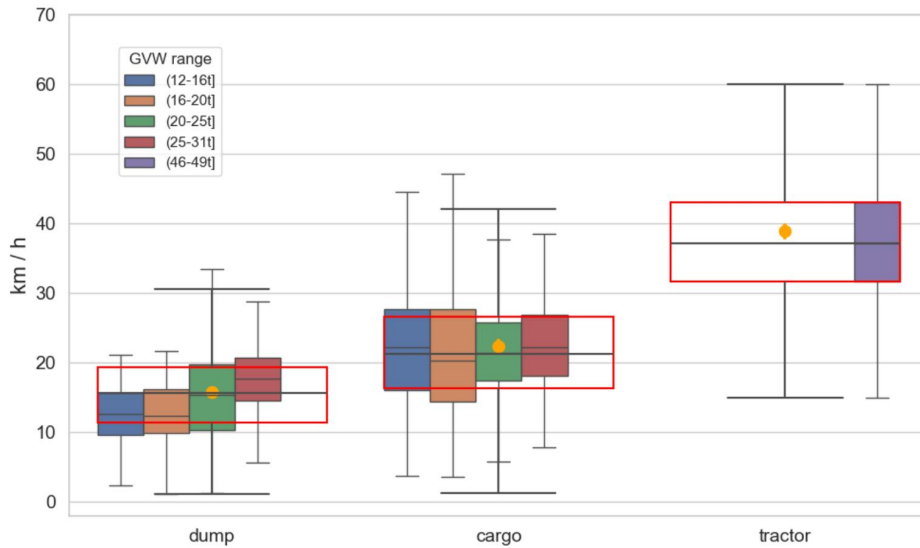


图 6-3 不同类型重型货车在 OD 行程中的平均速度（橙色线）和中值速度

3 种重型货车的平均行驶速度的分布在数据分布的样本模式上呈现正态分布。利用正态分布函数进行拟合后，得到三个函数方程来表征不同类型重型货车的平均行驶速度分布。其中， $f$  表示分布概率， $x_{cargo}$ 、 $x_{dump}$  和  $x_{tractor}$  分别表示载货汽车、自卸汽车和牵引汽车的平均行驶速度值（图 6-4）。拟合泛函的 P 值均小于 0.01，表明拟合曲线可以理想地表征原始数据的分布。

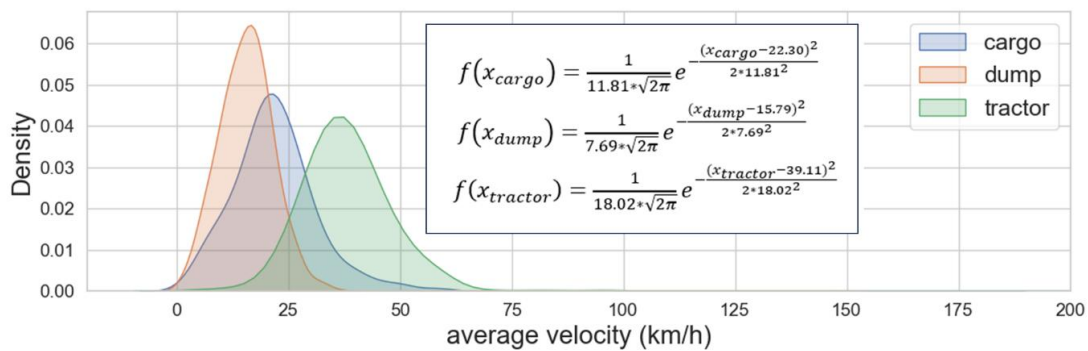


图 6-4 载货汽车、自卸汽车和牵引汽车平均行驶速度分布

## (2) 起止对的计数和 OD 的平均停留时间

在 OD 层面，牵引汽车平均起停次数最高，达到 4.9 次，说明行驶过程中出现部分装卸、休息、就餐行为的频率较高；自卸汽车平均起停次数第二高，约为 3.9 次；载货汽车平均起停次数最少，约为 2.8 次。由于根据 OD 的定义，车

辆至少经历一次装卸行为，因此从车辆最初启动到车辆停止运输货物时，所有重型货车的平均启动和停止次数至少为 2。

自卸汽车、载货汽车和牵引汽车的平均起停次数中位数均显著低于各自总体平均起停次数；自卸汽车、载货汽车和牵引汽车的平均启动和停止次数中位数分别约为 2、3 和 4，比各自的总体平均启动和停止次数少约 0.8。从数据分散程度来看，载货汽车、自卸汽车和牵引汽车的平均起停次数在数据跨度上逐渐增加。自卸汽车平均起停次数主要分布在 2~4 次之间，跨度较小；载货汽车的平均启动和停止次数在 2~7 次；牵引汽车平均起停次数位于 2~12 次之间，跨度明显较大。同时，3 种重型货车在不同总质量带内的平均起停次数也存在差异。随着总质量的增加，载货汽车和牵引汽车的平均起停次数分布保持不变；自卸汽车平均启停次数呈上升趋势（如图 6-5）。

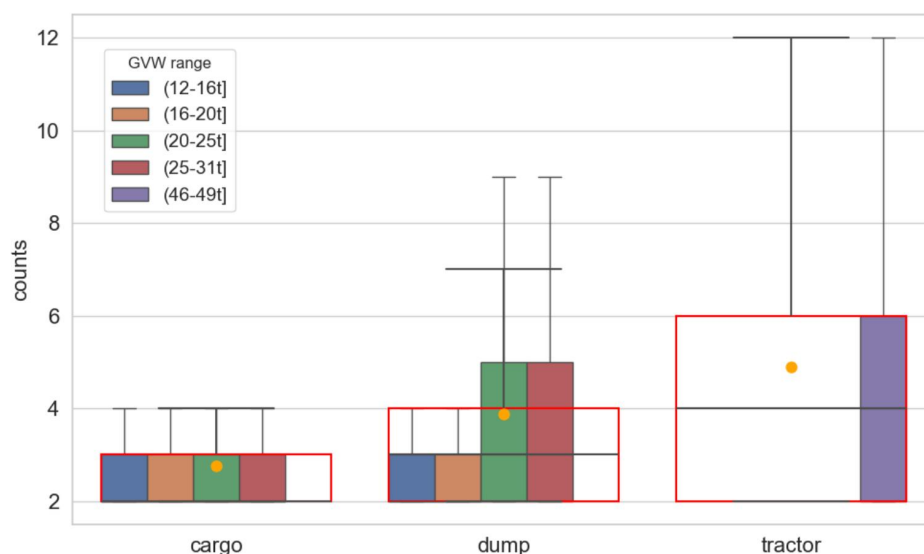


图 6-5 OD 行程中不同类型重型货车的平均起停对数（橙色线）和中位数

在 OD 水平上，载货汽车、自卸汽车和牵引汽车之间的平均停留时间存在差异。牵引汽车的平均停留时间最长，可达 2.1 小时；自卸汽车的平均停留时间次之，约为 1.6 小时；载货汽车的平均停留时间最短，约为 1.2 小时。总体而言，自卸汽车、载货汽车和牵引汽车的平均停留时间中位数显著低于各自的总体平均停留时间；自卸汽车、载货汽车和牵引汽车的平均停留时间中位数分别约为 0.9 小时、1.05 小时和 1.4 小时。从数据分散度来看，载货汽车、自卸汽

车、牵引汽车的平均停留时长跨度逐渐增大。载货汽车平均停留时长主要分布在 0.2~3.05 小时之间，50%的数据分布在 0.5~1.5 小时之间，跨度较小；自卸汽车平均停留时间分布在 0.2~4 小时范围内，50%的数据分布在 0.55~1.9 小时范围内；牵引汽车平均停留时长分布在 0.1~6 小时之间，其中 50%的数据分布在 0.55~2.7 小时之间，跨度明显更大。同时，3 种重型货车的平均停留时间在不同总质量带上存在差异，但规律性和差异程度不强（图 6-6）。

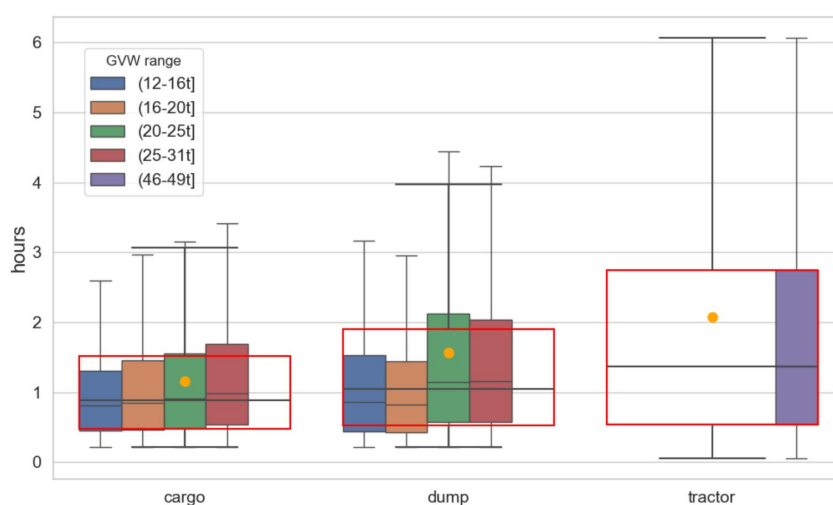


图 6-6 不同类型重型货车在 OD 行程中的平均停留时间（橙色线）和中值停留时间

从数据分布格局来看，3 种重型货车的平均停留时长分布均不符合正态分布特征，而是呈现左偏态。这种模式潜在地表明，虽然按照驾驶员的想法，大多数重型货车在 OD 行驶期间往往会减少停车次数，以便将货物更快地运送到目的地，但部分车辆在 OD 行驶过程中，由于受车辆自身突发状况、路况以及驾驶员个人行为的影响，会出现较长的停车时间（图 6-7）。

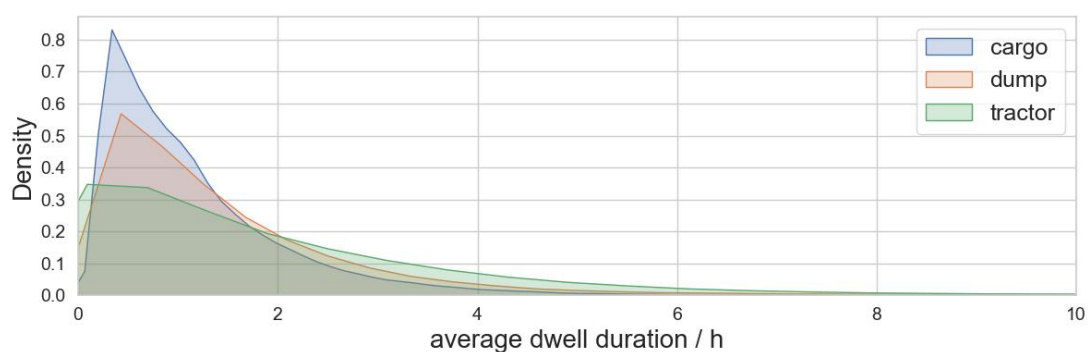


图 6-7 载货汽车、自卸汽车和牵引汽车平均停车时长分布

### (3) OD 行程里程

在 OD 级别，牵引汽车的平均行驶里程最高，达到约 195 公里，这与牵引汽车更多地用于长途运输有着密不可分的关系；载货汽车的平均里程次之，约为 110 公里；自卸汽车平均行驶里程最短，约为 95 公里。总体而言，自卸汽车、载货汽车和牵引汽车的平均里程中位数均略低于各自的总体平均里程。从数据分布的分散性来看，自卸汽车、载货汽车和牵引汽车的平均行驶里程跨度逐渐增大。自卸汽车平均行驶里程主要分布在 0~225 公里之间，跨度相对较小；载货汽车平均行驶里程在 3~275 公里之间；牵引汽车平均行驶里程在 0.2~400 公里之间，跨度明显更大。同时，3 种重型货车在不同总质量下的平均行驶里程也存在差异。随着总质量的上升，载货汽车平均行驶里程的分布没有变化；自卸汽车和牵引汽车的平均行驶里程呈上升趋势（图 6-8）。

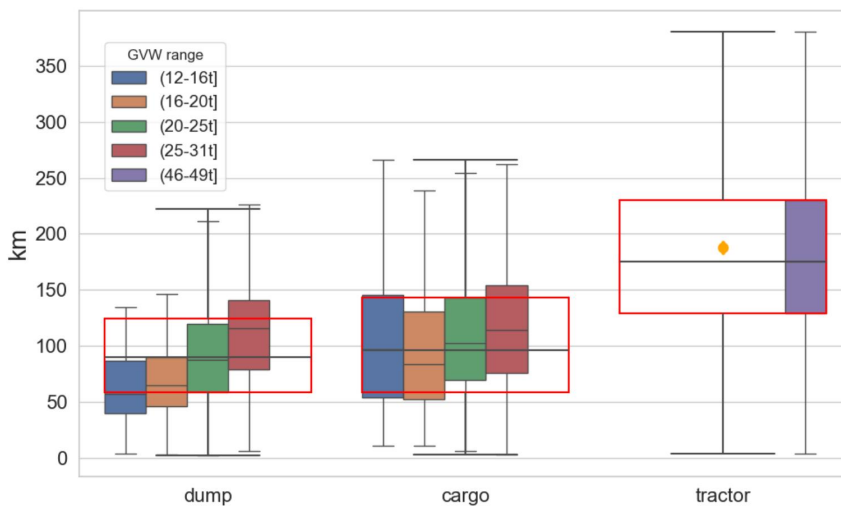


图 6-8 不同类型重型货车在 OD 行程的平均里程（橙色线）和中位里程

从数据分布规律来看，3 种重型货车的平均行驶里程分布均呈现正态分布。使用正态分布函数进行拟合后，得到三个函数方程来表征不同重型货车的平均行驶里程的分布。其中  $y$  表示分布概率， $i_{cargo}$ 、 $i_{dump}$  和  $i_{tractor}$  分别表示载货汽车、自卸汽车和牵引汽车的平均行驶速度值。拟合泛函的 P 值均小于 0.01，表明拟合曲线可以理想地表征原始数据的分布（图 6-9）。

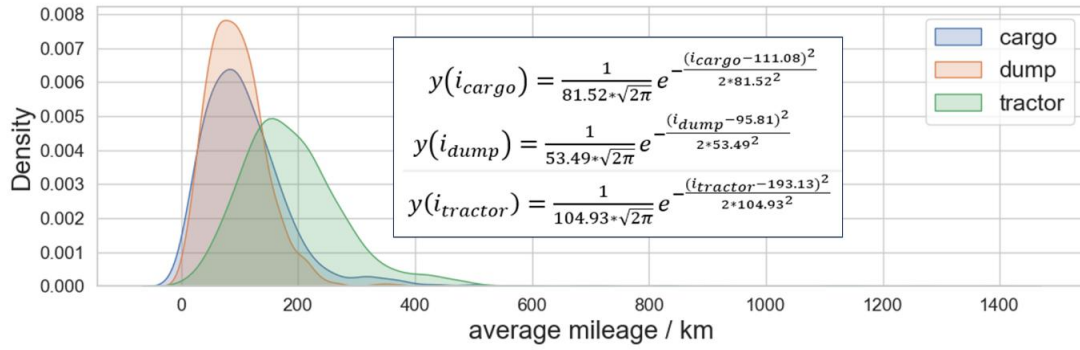


图 6-9 载货汽车、自卸汽车和牵引汽车平均里程分布

#### (4) 空载率

OD 层面，载货汽车、自卸汽车和牵引汽车的空载率略有差异，分别为 33.01%、33.58%和 31.71%。总体而言，自卸汽车、载货汽车和牵引汽车的空车率中值均略低于各自的整体空车率。从数据分散程度来看，载货汽车、自卸汽车和牵引汽车之间的分散程度差异不大。50%载货汽车空载率主要分布在 14%至 55%之间；自卸汽车的比例在 16.5%至 54%之间；牵引汽车的比例在 16%至 49%之间。三种重型货车在不同总质量区间的空载率存在差异。随着总质量的上升，载货汽车空载率上升，牵引汽车空载率下降，自卸汽车空载率波动（图 6-10）。

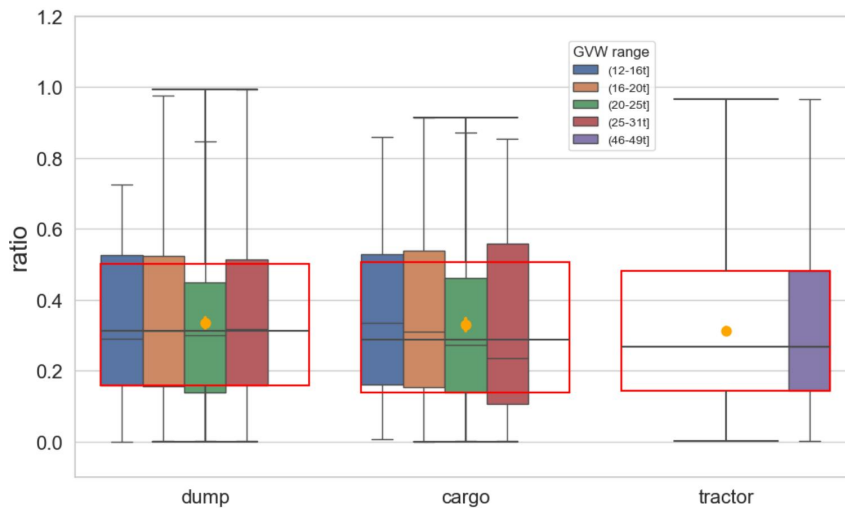


图 6-10 不同类型重型货车在 OD 行程中的平均空载率（橙色线）和中位数

尽管 3 类重型货车的空载系数值的分布区间基本相同，但三者更细粒度的数据分布形态上存在明显差异。载货汽车空载率的分布概率为单峰，自卸汽



车和牵引汽车的分布概率为双峰。载货汽车空载率在 17%附近达到分布概率峰值，配送概率约为 1.7%；牵引汽车空载率在 18%附近达到分布概率峰值，分布概率约为 2%，并在 50%附近形成高度较小的第二个分布概率峰值，分布概率约为 1.3%。牵引汽车空载率在分布概率峰值附近分别在 10%和 30%处达到单峰，且两次分布概率比较接近，分别约为 1.6%和 1.7%（图 6-11）。

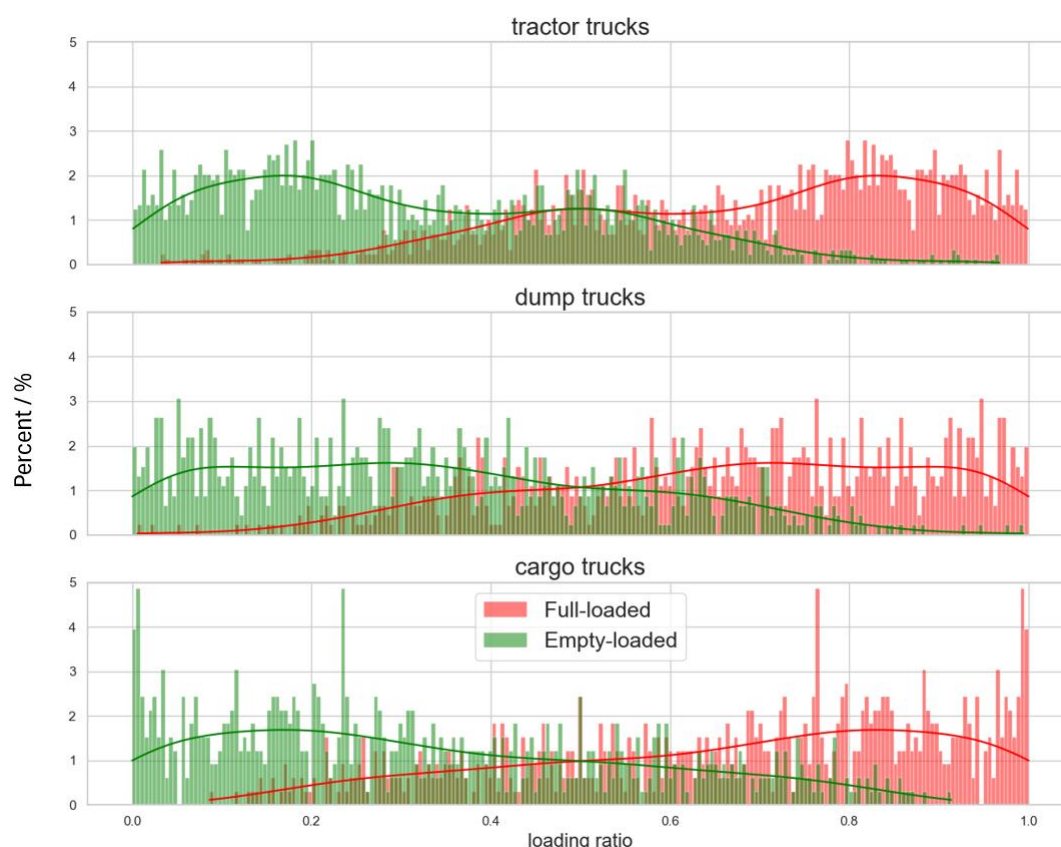


图 6-11 载货汽车、自卸汽车、牵引汽车有负载空载比例分布

### (5) OD 的空间分布

在 OD 空间分布水平上，每种重型货车的出发地和目的地都表现出一致的空间分布模式。自卸汽车的始发地和目的地分布较为集中，主要集中在北京、天津、石家庄等城市建成区，形成了几个明显的集群。载货汽车的始发地和目的地分布范围稍广，但仍然主要集中在城市建成区。它们与交通网络有一定程度的重叠，形成放射状的分布格局。牵引汽车的始发地和目的地分布范围最广。它们不仅存在于城市建成区内，而且与交通网络呈现出明显地重叠，形成“中心枢纽—网络”的分布格局（图 6-12）。

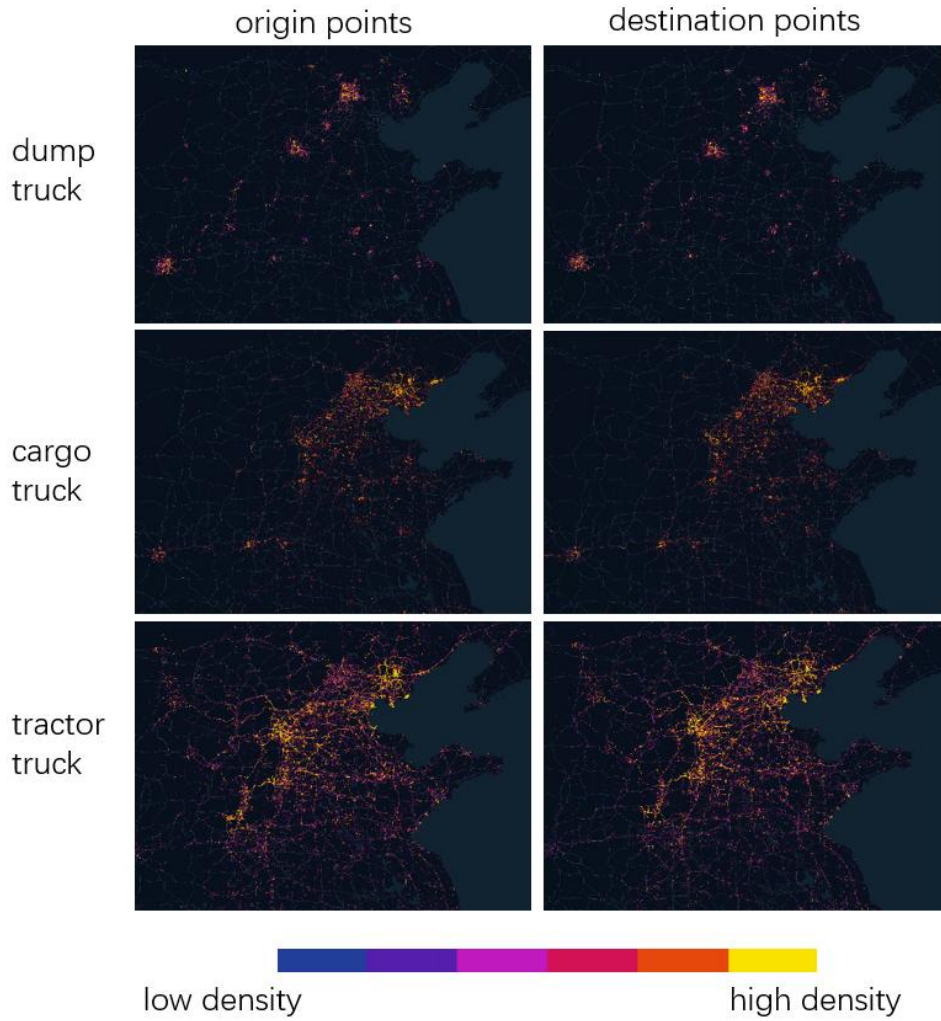


图 6-12 不同重型货车始发地和目的地点的密度及空间分布格局

结合重型货车的起点和终点来看，这些空间分布特征得到了进一步的支持。牵引汽车绝大多数运输发生在城市内且城际距离较近，但也存在一定比例的长途运输；载货汽车运输也基本发生在城市内部和城际距离较近的情况，长途运输比例明显较低；而对于自卸汽车来说，跨城市的长途运输线路几乎不存在，相关运输活动高度集中在北京、石家庄等大型区域城市内，如图 6-13 所示。



图 6-13 不同重型商用货车 OD 链路的空间分布

(红、黄、蓝线分别代表牵引汽车、载货汽车和自卸汽车)

## 6.2 区域场景识别

### 6.2.1 行驶场景对油耗的影响

行驶场景会影响车辆的油耗。不同的行驶场景会对重型货车的油耗产生不同的影响，如不同的道路状况对车辆油耗的影响有明显差异。道路状况较差，如坑洼、石头等，会导致车辆颠簸，增加轮胎磨损和发动机负担，从而增加油耗。同时，道路拥堵也会增加汽车的启动、停止次数，使油耗增加。道路的坡度和弯度也会影响汽车的油耗。在上坡或下坡较多的路段行驶，需要消耗更多地能量来克服重力作用，从而增加油耗。此外，频繁的转弯和曲线行驶也会增加油耗，因为这需要汽车不断加速和减速，以及改变行驶方向。不同类型的车辆有着不同的油耗表现。例如，柴油车和汽油车的油耗差异较大；四驱车和两驱车的油耗也会有所差异。驾驶员的驾驶习惯对油耗也有很大的影响。频繁地加速、刹车和急转弯等行驶习惯会增加汽车的工作负担，使油耗增加。而平稳

地行驶和合理地换挡则可以降低油耗。交通状况和行驶速度也是影响油耗的重要因素。在交通拥堵的城市道路上行驶，车辆需要频繁启动和刹车，以及在低速状态下行驶，都会增加油耗。相反，在畅通行驶的高速公路上，车辆可以保持稳定的速度和减少频繁的加速和刹车，从而降低油耗。

此外，风阻和气候条件也是影响汽车油耗的因素之一。在高速行驶时，风阻会成为阻碍车辆前进的重要因素。风阻越大，需要车辆发动机提供的动力也越大，从而增加油耗。此外，恶劣的气候条件如高温、低温、雨雪等也会影响轮胎的摩擦系数和车辆的保温需求，从而对油耗产生影响。地形和海拔对汽车油耗有较大影响。在上坡或下坡较多的地形中行驶，需要车辆的发动机提供更多的动力以维持稳定的行驶速度，因此会增加油耗。另外，随着海拔的升高，空气稀薄，发动机进气量和燃烧效率降低，也会导致油耗增加。车辆负载也会影响油耗。负载越大，油耗越高。例如，有负载货物或乘客的车辆会比空载车辆的油耗更高。

综上所述，行驶场景对汽车油耗有重要影响。由于不同车辆在不同行驶场景中的油耗表现会有所不同，因此为了更准确地计算油耗，必须针对不同的行驶场景进行分别计算。分场景计算油耗可以更加贴近实际情况。不同的行驶场景具有不同的路况、交通状况、气候条件等因素，这些因素都会对油耗产生影响。例如，城市道路和高速公路的行驶状况和油耗表现就有所不同，因此需要分别计算城市道路和高速公路的油耗。分场景计算油耗也可以提高计算的准确性和精度。不同车辆在不同行驶场景中的油耗表现会有所不同，因此如果将所有车辆的油耗进行混合计算，就会导致计算结果不够准确和精度不高。而分场景计算油耗可以针对不同车辆在不同行驶场景中的油耗进行分别计算，从而提高了计算的准确性和精度。

载货汽车主要用于货物运输，通常在高速公路、国道和省道上行驶。其设计注重承载能力，一般具有较大的车厢和较强的悬挂系统，以应对各种道路条件和负载情况。载货汽车的行驶场景通常包括城市道路、高速公路、土路、泥泞路、松软路面、山路等。不同行驶场景对载货汽车的油耗有着不同的影响。城市道路和高速公路是载货汽车最常见的行驶场景之一。在这两个场景下，车

辆主要克服滚动阻力和空气阻力。由于这两个场景下的交通状况较为稳定，因此油耗相对较低。而在城市道路上行驶时，由于交通状况较为拥堵，速度较慢，可能会导致油耗增加。土路、泥泞路、松软路面和山路等这些行驶场景相对于城市道路和高速公路更为复杂，因为车辆需要克服更多的阻力，例如不规则的路面、陡峭的坡道、急转弯等，汽车需要不断调整车速和方向。这些因素都会导致油耗增加。载货汽车的总质量以及货物的装载情况也会对油耗产生影响。总质量越大、货物装载越多，车辆行驶时的阻力也就越大，从而油耗也会增加。此外，装载货物的形状和分布也会影响车辆的空气动力学性能，从而影响油耗。气候条件也是影响载货汽车油耗的一个重要因素。高温、低温、雨雪等恶劣天气条件都会增加车辆的油耗。例如，在高温天气下，空调的使用会增加发动机的负荷，从而增加油耗。而在低温天气下，需要使用加热器来保持车内温度，也会增加油耗。

牵引汽车主要用于牵引挂车或半挂车，行驶场景多样。一般来说，牵引汽车的主要工况包括启动、行驶、制动和空载等。牵引汽车在启动时需要消耗较大的能量来克服摩擦力和惯性，因此油耗相对较高。特别是在寒冷的冬季或炎热的夏季，由于需要使用空调或暖风等额外设备，油耗会进一步增加。在行驶过程中，牵引汽车的油耗会根据不同的行驶速度和路况而有所不同。一般来说，高速行驶时油耗较低，而低速行驶或频繁加速和减速时油耗较高。此外，行驶的路况也会影响油耗，在良好路面上，如高速公路，其行驶速度较快；而在较差路面上，如国道或省道，其行驶速度会受到一定限制。在制动过程中，牵引汽车需要消耗能量来克服摩擦力和惯性，因此油耗也会增加。特别是在频繁制动和紧急制动时，油耗会更加明显。当牵引汽车空载时，其油耗相对较低，但仍然需要消耗一定的燃料以维持车辆的运行和冷却等。

自卸汽车是一种主要用于工程建设的车辆，可以用于运输和倾倒各种散装物料，主要用于货物装卸，通常在工地、矿山等场所使用。其设计注重卸载货物的便利性和快速性，因此在行驶过程中，可能会遇到各种复杂地形和恶劣路况。自卸汽车通常用于矿山开采中运输矿石、煤炭等矿产资源。由于矿山的道路条件较为恶劣，行驶速度经常需要加减速度和制动，同时需要运输的重型货

物较多，因此油耗较高。在基础设施建设领域，自卸汽车可以用于运输各种建筑材料，如沙子、碎石、土方等。这些材料的形状和分布会影响车辆的油耗，如运输液体货物时油耗会较高。此外，基础设施建设通常需要在不同的地点进行运输，因此需要频繁地启动和停车，也会增加油耗。在城市建设和维护领域，自卸汽车可以用于运输各种建筑材料和垃圾。运输材料的形状和分布会影响车辆的油耗，运输液体货物时油耗会较高。此外，城市道路通常较为拥挤，需要频繁地加减速度和制动，也会增加油耗。

因此，分场景地计算油耗是非常有必要的。运输车辆在行驶过程中，不同的行驶场景会对车辆的油耗产生不同的影响。因此，为了准确评估车辆的燃油效率，了解不同场景下的油耗表现，分场景计算油耗是一种不可或缺的研究方法，对于载货汽车、牵引汽车和自卸汽车等运输车辆的油耗评估和管理具有重要意义。

## 6.2.2 场景筛选方法

为处理和分析车辆的行驶数据，首先读取相关的地理信息数据，这些数据描述了“建成区”的地理范围。为了确保后续分析的准确性，本研究对这些建成区进行了缓冲区处理，即扩大了其覆盖范围，避免了由于 GPS 经度引起的微小误差。将处理过后的地理信息数据保存为建成区数据。

接下来，为确保数据的真实性，本研究对每一个 `parquet` 文件进行筛选。速度设置须在合理的范围内，该处设置为 0~150km/h；累计里程须大于 0km，发动机转速也必须大于 0r/min，保证车辆是在行驶状态下；发动机燃料流量小于 500L/h，确保其在正常的消耗范围内；车辆的经度设置在 73~136°，纬度设置在 3~54°，确保车辆的行驶范围在我国边界线内。将筛选后的经纬度数据转换为地理数据格式，然后与建成区数据进行了地理空间信息上的匹配，以判断每个数据点是否位于建成区内。这一步是通过空间关联操作，将每一车辆数据点与建成区比较，看其是否位于建成区内。

为了进一步细化分析，使用了基于时间差的方法将数据分段。例如，如果一辆车在 600 秒内没有任何数据，那么认为在这段时间内是停止状态，然后将

其停止状态之前和之后的数据视为两个独立的段。提取每一个段内车辆的基本信息，以及该段的开始和结束时间，还有识别该段是否位于建成区内。这种分析对于研究车辆的行驶模式非常有价值，可以知道车辆在建成区内和建成区外的行驶时间占比，或者在哪些时间段车辆更倾向于在建成区内行驶等。

对于国道、省道和高速场景行驶数据的筛选则与建成区类似，在地理信息系统（GIS）中，点（point）、线（polyline）和面（polygon）是三种基本的空间要素类型。它们的匹配和分析方法各有特点，为了更好地理解这些特点，以及如何有效地利用这些特点，以实际应用为例：与前文提到的建成区匹配相似，首先要进行的是车辆数据与国省道、高速道路的匹配。上述内容提到了如何确定一个点是否在某一个多边形区域内，称为“点在面内”查询。这种查询的基础思想是，对于一个给定的点，可以确定它是否位于一个特定的多边形（如建成区）内。常用的算法包括射线法或者奇偶法等。对车辆数据进行分析时，希望可以确定每一个车辆数据点是否位于建成区内，从而进行进一步的分析（图 6-14）。当考虑国省道和高速道路时，更关注于线形要素。在这种情况下，问题变成了确定一个点是否在某一条线的一定距离范围内，或者说点与线的最短距离是否小于某一阈值。这可以帮助确定车辆是否在道路上或接近道路。与“点在面内”查询相比，点与线的匹配更加依赖于距离计算。线与面之间的空间关系可以更复杂。当实际关注于线（例如道路）如何穿越一个特定的区域，或者线的某一部分是否在区域内，例如，想确定某一条道路在建成区内的长度比例，或者是否有道路连接两个不同的建成区。同样地，线与线之间的匹配也可以是复杂的。例如，要确定两条道路是否交叉，交叉在哪里，或者它们是否平行或接近。此外，还可能关心道路之间的相对距离。对于车辆的行驶数据，当考虑与国省道和高速的匹配时，主要考虑的是点与线的关系。与建成区的匹配相似，但更加强调距离的计算。例如，不仅想确定车辆是否在某条道路上，还想确定车辆与道路的距离。这有助于了解车辆的行驶模式，例如它是否倾向于沿着主要道路行驶，或者是否经常偏离道路。点、线和面是 GIS 中三种基本的空间要素，它们之间的匹配和分析各有特点。理解这些特点，能够帮助我们更加有效地利用这些信息进行复杂的空间分析。无论是确定车辆是否在建成区内，还是

与国省道和高速的匹配，都需要精确的空间分析方法得到可靠的结果。

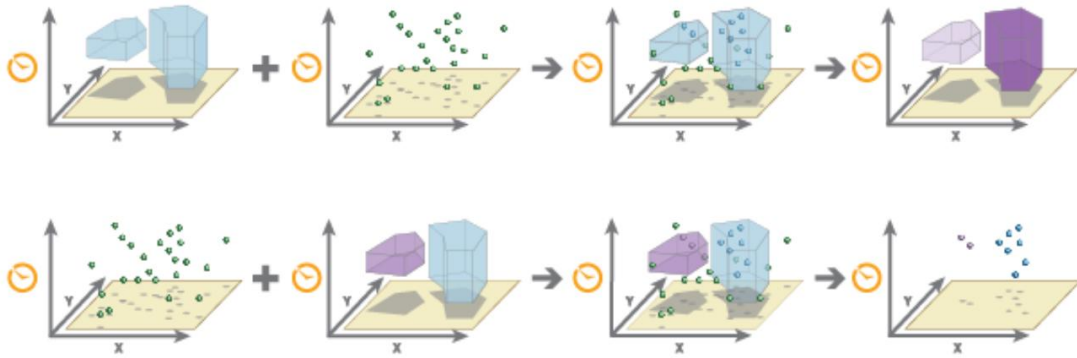


图 6-14 “连接要素”工具的时空连接的两个示例

### 6.2.3 场景匹配方法

通过采用上述筛选方法，获得了每个里程段的具体场景信息，包括是否位于建成区以及是否位于高速、国道或省道。将这些信息整理为每个里程段的四列数据，如果该里程段位于高速上，则相应列的值为 True，否则为 False，如图 6-15 所示。

A	C	J	K	L	M	N	O	P	U
车辆类型	总质量区间	开始时间	结束时间	时间跨度	实际时长	实际时长 / 时间跨度	车速_积分 / 累计里程_首尾差	油耗_积分	是否高速
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/1 3:21	2022/1/1 3:49	0.471388889	0 days 00:27:40	0.978196818	0.997380549	51.19455645	TRUE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/1 4:32	2022/1/1 4:34	0.039166667	0 days 00:02:21	1	1.059508309	83.18551587	TRUE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/1 19:51	2022/1/1 20:24	0.556388889	0 days 00:31:28	0.942586121	0.98990257	66.41242459	FALSE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/2 1:04	2022/1/2 3:03	1.988611111	0 days 01:48:10	0.906551194	0.997316561	40.65789868	FALSE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/2 3:52	2022/1/2 7:35	3.705833333	0 days 03:26:15	0.927591635	1.00827574	30.99387784	FALSE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/2 8:24	2022/1/2 9:11	0.780277778	0 days 00:44:28	0.949804201	0.997373372	23.51982639	FALSE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/3 0:45	2022/1/3 4:24	3.650555556	0 days 03:21:28	0.919799117	0.998455507	43.53052731	FALSE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/3 4:55	2022/1/3 6:10	1.239166667	0 days 01:10:08	0.943286259	0.997556504	44.81859568	TRUE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/3 7:42	2022/1/3 8:01	0.315833333	0 days 00:18:17	0.964819701	1.003183904	34.85057998	FALSE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/3 22:47	2022/1/3 23:29	0.702777778	0 days 00:38:34	0.914624506	1.000163644	39.11254085	TRUE
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/4 0:32	0.811111111	0 days 00:44:50	0.921232877	0.996621436	36.37439954	TRUE	
牵引汽车	(18-27t]	2022/1/4 1:02	2022/1/4 2:30	1.466666667	0 days 01:19:50	0.90719697	0.997412633	44.42455396	FALSE

图 6-15 高速里程段数据示例

然后，需要将这 4 列信息（是否高速、是否国道、是否省道和是否建成区）与其他每一段的详细信息进行匹配，包括累计里程和发动机燃料流量的积分值等与计算油耗相关的信息。通过将场景信息与每一段的详细信息进行匹配，可以更方便地计算不同场景下的油耗并进行对比分析。为了计算区分场景的油耗，筛选出全部在高速或者其他场景上的里程段，并按照车型和总质量区间进行分类。然后，计算所有里程段的发动机燃料流量积分的总和与累计里程的总和之



比，从而得到该车型在该总质量区间内的平均油耗。最后将不同场景下的每种车型进行对比分析，是否在建成区的油耗对比、是否在高速的油耗对比、是否在国道的油耗对比以及是否在省道的油耗对比。这种方法可以更准确地了解不同车型在不同场景下的油耗表现，从而更好地评估运输车辆的性能和燃油效率。

#### 6.2.4 不同场景的油耗

城市建成区是指城市行政区内实际已开发建设、市政公用设施和公共设施基本具备的地区。通常来讲，由于城市非建成区的道路状况可能较差，例如路面不平整或道路上的障碍物可能会增加车辆行驶的阻力，从而增加油耗；而建成区的道路状况通常较好，有助于减少油耗。其次，非建成区的工厂较多，可能会含有更多的例如原地做功的特殊工况存在，导致其油耗相比建成区更高。但对于不同的货车结果也不尽然，需要进一步具体分析。例如有的城市建成区内地道路网络密集，交通流量较大，而且交通信号灯和道路障碍物等增加了行驶的难度，这种复杂的路况会对货车油耗产生了显著的影响。在拥堵的城市道路频繁启停、急加速或急刹车等行为都会导致油耗增加；而在非建成区，驾驶员可能更放松，驾驶行为更为平稳，较少急加速或急刹车，这反而会使得油耗减少。除此之外，车辆的负载情况也会影响货车的油耗值，本小节中暂时未将负载情况加入结果计算，因此这里的油耗计算结果是一个平均负载状况的油耗值。

具体的建成区与非建成区的综合油耗均值计算结果如图 6-16 所示。可以看出，大部分车型在建成区内的油耗都大于其在非建成区内的油耗。其中自卸汽车(25-31t]在建成区比建成区的油耗高出了 5L/100km，该类型车辆的样本量足够大，很有可能是因为所选汽车在非建成区内做功的情况较多引起的。而其他的自卸汽车在建成区的油耗大于在非建成区的油耗，可能与其工作状态有关。自卸汽车主要用于装载和运输散装物料（如泥土、砂石等）。自卸汽车需要更频繁地装载和卸载物料，进行近似原地做功的工况，可能导致车辆的油耗较高。

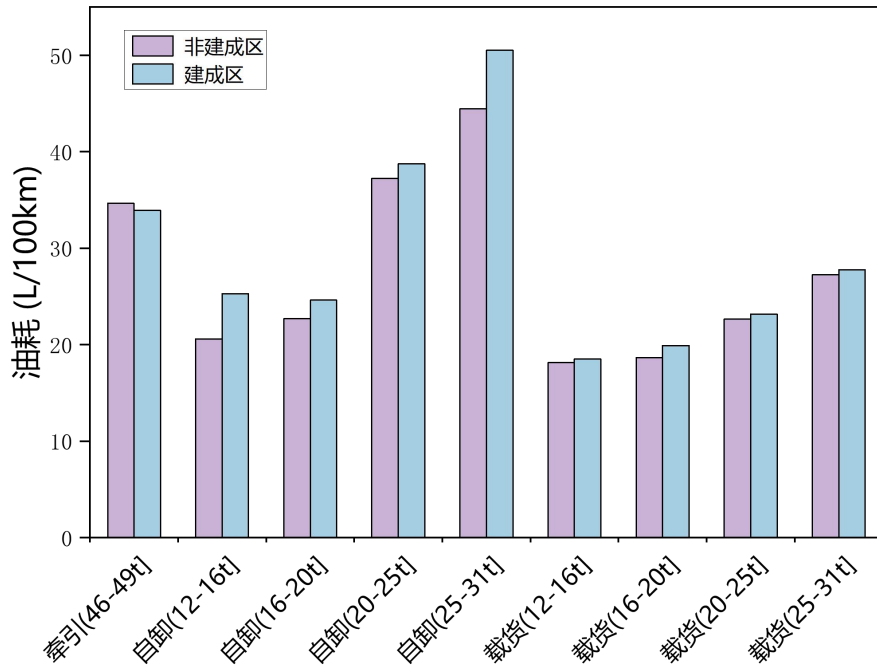


图 6-16 建成区和非建成区的综合油耗均值分布

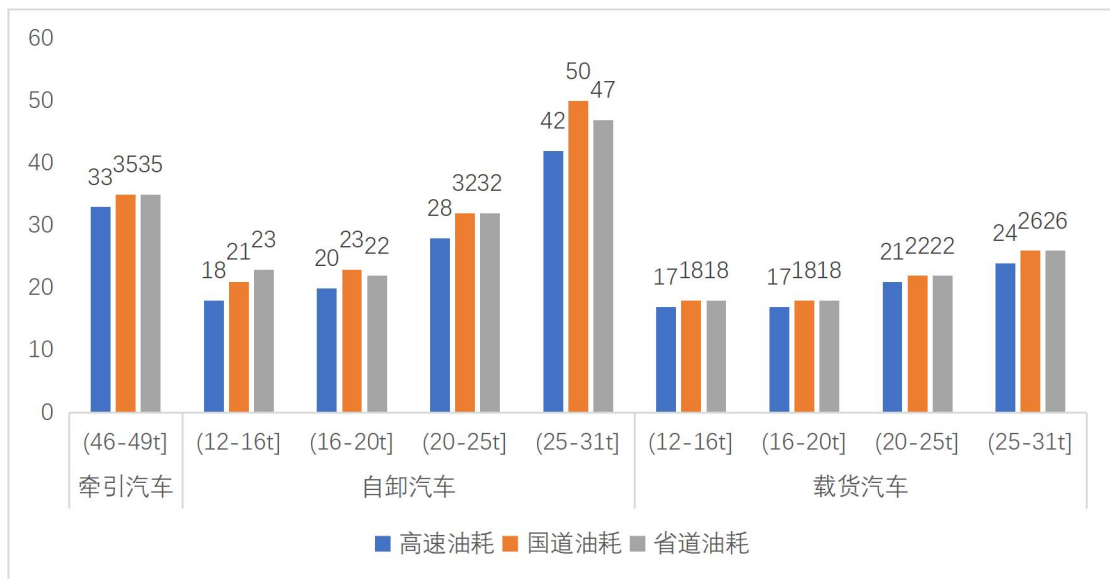


图 6-17 高速、国道和省道的综合油耗均值

图 6-17 是高速、国道和省道综合油耗均值分布，在高速场景的油耗值都略低于在国道和省道场景。国道和省道往往会有更多的坑洼、拥堵和弯道，这些因素都会增加车辆的燃油消耗。坑洼路面会导致车辆的阻力增加，从而增加燃油消耗。而拥堵情况下，车辆需要频繁启动和停止，也会导致燃油消耗的增加。

相比之下，高速公路通常具有更好的路况和更少的交通拥堵，因此油耗较低。同时，行驶速度也会影响油耗值的大小。在国道和省道上，车辆的行驶速度通常较低，而在高速上则会有更高的平均速度。根据空气动力学原理，较高的行驶速度会导致空气阻力的增加，从而增加燃油消耗。

牵引汽车在运输货物时需要承受较大的牵引力，这将增加发动机的负载并导致更高的油耗。自卸汽车在装载和卸载货物的过程中可能频繁加减速度和缓慢行动，这些操作会增加燃油消耗。载货汽车在行驶过程中需要保持稳定的载荷状态以避免紧急制动或突然加速，这些操作都会对油耗产生负面影响。

### 6.3 长短途油耗分析

本节对样本车辆中每辆车有行驶数据的天数定义为活跃天数，并计算每辆车的活跃天数中行驶里程大于 300km 的比例。如果这个比例大于等于 0.6，即该车在全年的行驶数据中有超过 60%的活跃天数的行驶里程数大于 300km，就将其视作长途行驶汽车，否则为短途行驶汽车。在对每辆汽车进行分类后，再与全部汽车的里程段数据进行匹配，将长途汽车的每个里程段赋值为 1，短途汽车的每个里程段赋值为 0。将全部里程段按照车型、质量区间和长途短途进行分类，在每一个类别下分别将发动机喷油量和累计里程这两项参数进行加和，并比较分析用两种不同参数计算得到的平均油耗，单位是 L/100km。

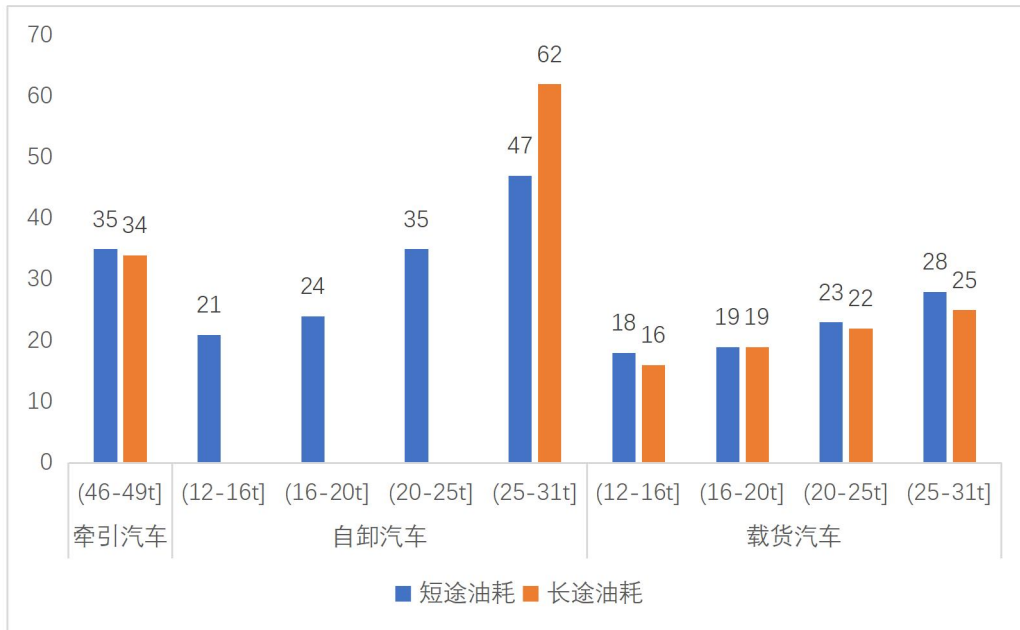


图 6-18 各车型长短途的油耗均值分布

如图 6-18 所示，整体来看，长途汽车的油耗值要低于短途汽车，牵引汽车和载货汽车各质量区间下的油耗值是基本吻合这一特点的。自卸汽车由于其本身的工作性质，因此自卸汽车(12-16t]、自卸汽车(16-20t]和自卸汽车(20-25t]这 3 个质量区间内没有长途行驶的汽车，可以看出自卸汽车长途行驶较少，更多的工况是短途行驶或原地做功。自卸汽车(25-31t]的长途汽车油耗要高于短途汽车，从图 6-19 对各车型的数量统计中可以看出，该车型和质量区间下被标记为长途汽车的仅有 5 辆，而短途汽车为 974 辆，因此这 5 辆汽车的里程段计算所得的油耗均值不具有代表性，这一结果也符合自卸汽车的实际工作状况，即长途行驶较少，原地做功及短途行驶较多。

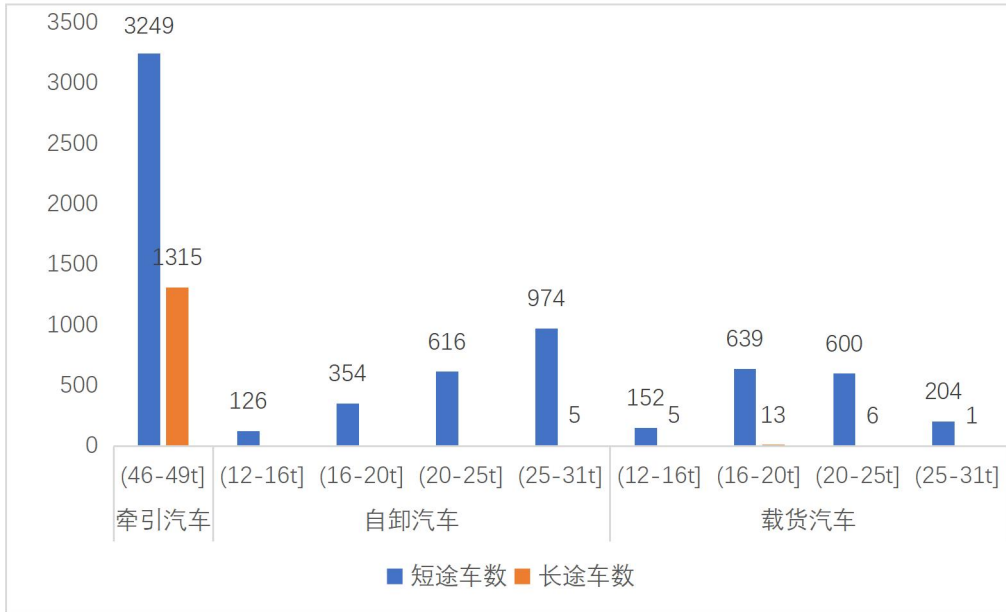


图 6-19 长短途汽车数量

图 6-19 中可以看出绝大多数的汽车都是短途汽车，全年内 60%以上活跃天数的行驶里程在 300 公里以上的汽车仅牵引汽车的比例多一些，自卸汽车和载货汽车的长途汽车的数量较小，代表性较弱。

## 6.4 多维度油耗分析

### 6.4.1 多场景与负载匹配算法

通过计算得到了每个里程段的场景信息（是否在建成区、是否在高速以及是否在国道省道），并且依据负载识别算法计算得到了每个里程段的负载情况，这个负载情况是一个 0-1 变量。因此，每个里程段其实有五个维度的 0-1 变量，包括是否在四种场景以及是否负载（空载或者有负载）。最终数据示意如下表 6-2 所示。

表 6-2 场景与负载匹配数据示意图

车辆类型	总质量区间	车辆编号	开始时间	结束时间	是否建成区	是否高速	是否国道	是否省道	负载
牵引汽车	(46-49t]	Vin1	20220228 123445	20220228 154537	True	False	False	False	0
牵引汽车	(46-49t]	Vin1	20220404	20220404	False	False	True	False	1

汽车			104823	190213					
牵引	(46-49t]	Vin1	20220912	20220912	False	False	False	True	0
汽车			191523	235457					

每一行代表一个切分的里程段，这个里程段包含其本身所具有的信息，比如说车辆信息（车辆类型、车辆编号和总质量等），里程段信息（开始时间、结束时间、实际时长和累计里程等），油耗信息（喷油量数据、油耗值等）。通过上一小节的场景与油耗匹配，可以得到每个里程段的场景信息，及是否为建成区、高速、国道和省道四个场景。而负载识别的算法与计算油耗的算法并不相同，它针对实际道路行驶工况和发动机参数数据清洗后的逐秒数据进行识别并赋值，得到的负载值是一个 0-1 变量，0 表示这辆汽车在这一秒的状态为空载，1 表示汽车在这一秒的状态为有负载。场景信息与油耗数据的匹配是依照里程段进行的，需要将每一秒的负载信息，折算到每个里程段上。同时，需要考察每一个里程段的每一秒的负载状况，如果某一个里程段的实际时长为 1 小时，那么这一里程段应该包含 3600 条逐秒数据，由于数据缺失，可能它包含的数据量为 3500 条。如果这 3500 条数据中负载变量为 1 的数据比负载变量为 0 的数据量多，那么我们就把这一里程段的负载值设定为 1，反之，则设为 0。

负载匹配算法是一个估计值，假设每一里程段是单车的连续行驶里程段，所以整体上认为在一个里程段内，负载或者空载的状态持续不变。但考虑到实际情况，一个里程段内极有可能出现空载、半载和满载三种状态。例如，对应到负载识别的结果中，可能出现一个里程段有 800 条数据，399 条数据的负载变量为 0，401 条数据的负载变量为 1，而依据上述匹配算法折合到里程段上，这一里程段的负载就变成了 1，其负载状态都是有负载，这将会导致最终油耗计算结果出现误差。

## 6.4.2 结果分析

场景信息的四个 0-1 变量是不重复的，即如果一辆车的一个里程段被判定为在建成区，那么这一里程段就不在高速、国道和省道上。所以，场景间变量是不需要相互进行匹配，考虑到数据量较大，分为四种场景，将每一种场景与

负载信息单独按上述算法进行匹配。按照四种场景下的空载有负载状况进行分类，对每一车型每一总质量区间下的柴油消耗量和累计里程进行加和，再求比值得到每一车型每一总质量区间的区分有负载空载的油耗值，结果如图 6-20 所示。

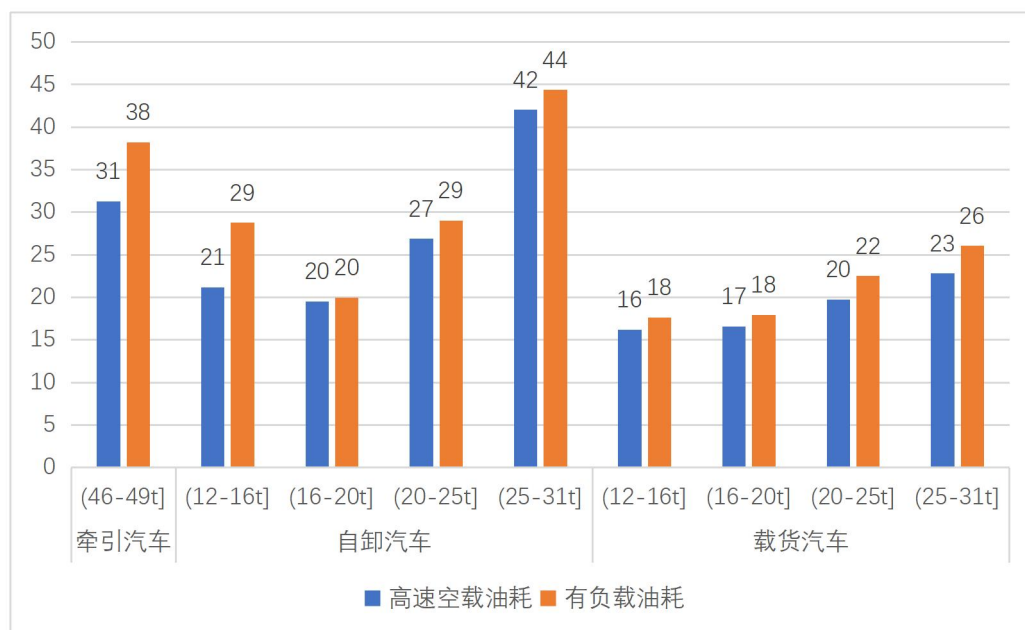


图 6-20 高速场景有负载和空载的综合油耗均值分布

图 6-21 是高速场景有负载和空载的综合油耗均值分布。如图所示，有负载状况下的油耗值整体大于空载状况下的油耗值，符合实际情况，说明整体的算法与实际状况没有较大的偏差。在高速场景，牵引汽车(49-49t]的空载油耗值与有负载油耗值相差较多，可能是因为牵引汽车有负载与空载质量差距较大造成的。而自卸汽车(12-16t]在高速的空载油耗比满载油耗更高，可能是因为自卸汽车主要用于短途的装卸货，在高速场景行驶的时候很少，因此自卸汽车(12-16t]在高速场景的数据样本量极少导致的结果异常。

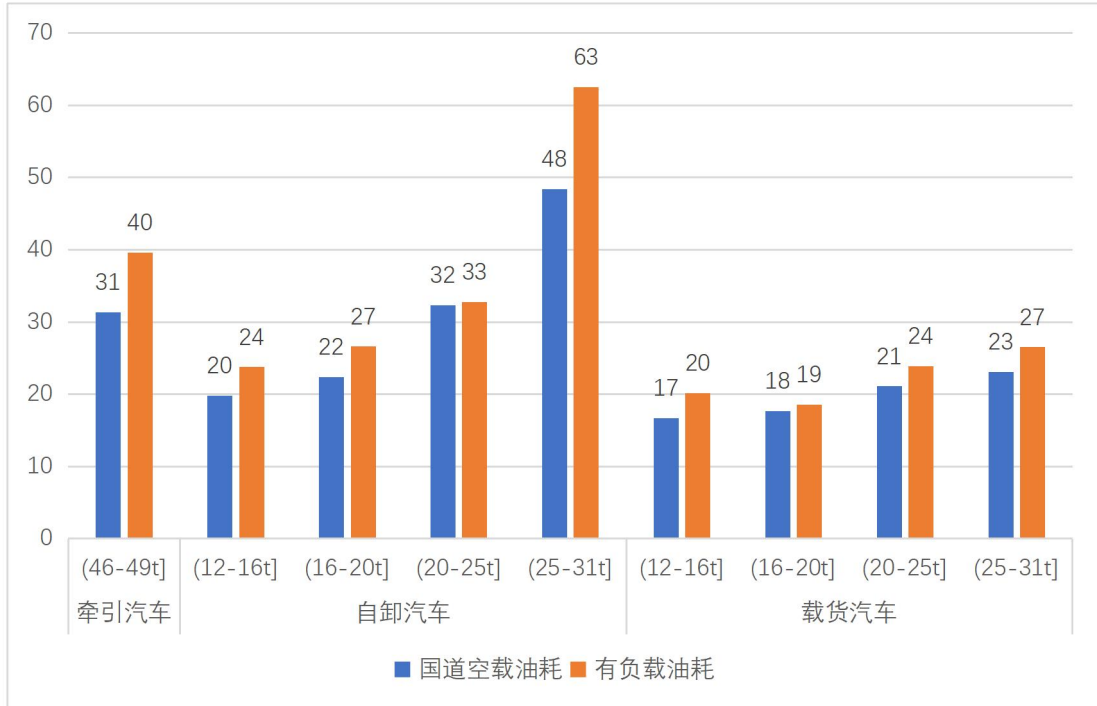


图 6-22 国道场景有负载和空载的综合油耗均值分布

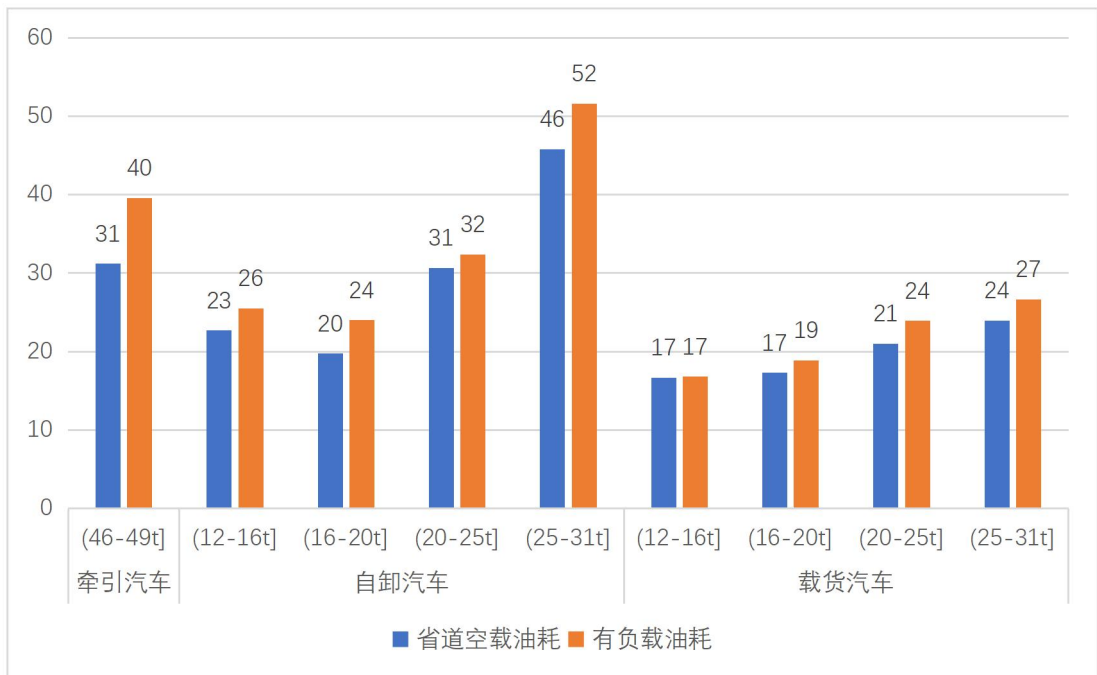


图 6-23 省道场景有负载和空载的综合油耗均值分布

图 6-22 和图 6-23 为在国道和省道行驶时有负载和空载的综合油耗均值分布情况。图中可以看出，牵引汽车(46-49t]和自卸汽车(25-31t]的有负载油耗和空载油耗的差值较大。可能的原因是第 4 章中分析的自卸汽车(25-31t]的整体油耗



值较大，而国道省道场景下的油耗值尤其突出可以考虑以下原因。国道和省道的道路条件较差，可能存在路面不平整、交通信号灯较多、交通拥堵等情况，导致车辆行驶速度不稳定，需要频繁加速和减速，从而增加油耗。自卸汽车(25-31t)的载重较大，吨位更大的自卸汽车通常具有更大的载重量，在国道和省道行驶时，需要克服较大的阻力，导致油耗增加。此外，在国道和省道行驶时，可能会遇到较多的交通情况，需要进行频繁地制动。制动会导致发动机的功率消耗增加，从而增加油耗。

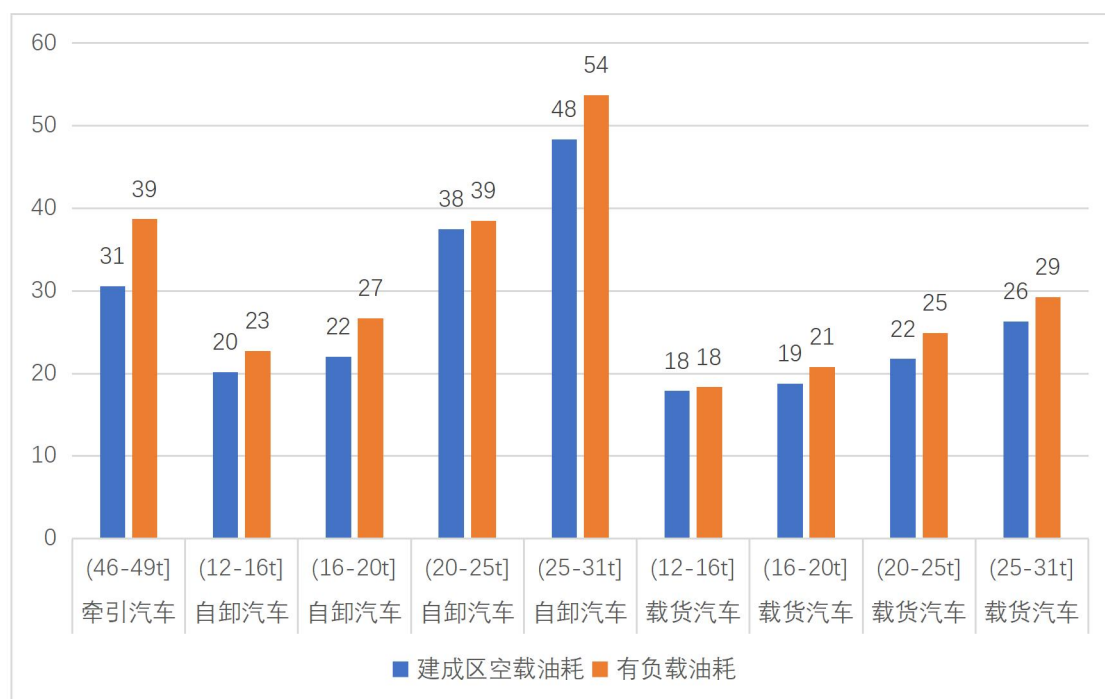


图 6-24 建成区场景有负载和空载的综合油耗均值分布

图 6-25 是建成区场景的有负载和空载的综合油耗均值分布。如图所示，在建成区范围内行驶的里程段有负载的油耗值均大于空载的油耗值，3 种车型的负载油耗值差异都很明显，其中牵引汽车的差异仍然较大。三个场景下自卸汽车(25-31t)的空载与有负载的油耗值差距均较大，分析分场景后的数据量大小。处于国道场景下的里程段数量仅有 2041 段，占全部自卸汽车(25-31t)里程段的 2.4%，处于省道场景下的里程段数量仅有 6006 段，占全部自卸汽车(25-31t)里程段的 7.2%，处于建成区场景下的里程段数量为 11719 段，占全部自卸汽车(25-31t)里程段的 17.7%。可以看出，自卸汽车(25-31t)在三种场景下的里程段数

量占比均较小，因此加权后计算所得油耗值较高，代表性不够强。

## 6.5 油耗与温度的关系分析

### 6.5.1 验证方法

(1) 选取 10 辆重型货车进行案例分析

选取 10 辆车进行案例分析，其基本信息如表 6-3 所示。

表 6-3 10 辆重型货车信息

VIN	车辆类型	总质量区间
LZGJLGW49MX*****	牵引汽车	(46-49t]
LRDS6PEB4MT*****	牵引汽车	(46-49t]
LNxDBL0H0ML*****	牵引汽车	(46-49t]
LRDS6PEB6MR*****	牵引汽车	(46-49t]
LRDS6PEB2NR*****	牵引汽车	(46-49t]
LZZ1CLWB2MA*****	牵引汽车	(46-49t]
LZZ1CLWB9MA*****	牵引汽车	(46-49t]
LZZ1CLWB4MA*****	牵引汽车	(46-49t]
LZZ1CLWB5MA*****	牵引汽车	(46-49t]
LZZ1ELVF0KN*****	自卸汽车	(20-25t]

(2) 数据筛选和清洗

首先筛选这 10 辆货车在 1 月、4 月、7 月和 10 月的实际道路行驶工况和发动机参数数据，再依据经纬度这项参数数据，筛选这 10 辆货车在 1 月、4 月、7 月和 10 月在京津冀地区的行驶数据。京津冀地区的经纬度定义如下： $113.45^{\circ} < \text{经度} < 119.83^{\circ}$ ， $36.08^{\circ} < \text{纬度} < 42.67^{\circ}$ 。10 辆货车清洗后的具体数据如表 6-4 所示，其中，VIN 码为 LRDS6PEB2NR\*\*\*\*\* 的货车 1 月份在京津冀地区的行驶数据量为 0。其它货车的数据没有空白值。

表 6-4 10 辆货车清洗后数据

VIN 码	车辆类型	总质量区间	1 月份 数据量	4 月份 数据量	7 月份 数据量	10 月份 数据量
LZGJLGW49MX*****	牵引汽车	(46-49t]	71	18	12	59

LRDS6PEB4MT*****	牵引汽车	(46-49t]	43	26	15	56
LNxDBL0H0ML*****	牵引汽车	(46-49t]	14	18	7	6
LRDS6PEB6MR*****	牵引汽车	(46-49t]	20	13	12	10
LRDS6PEB2NR*****	牵引汽车	(46-49t]	0	17	13	43
LZZ1CLWB2MA*****	牵引汽车	(46-49t]	14	4	8	9
LZZ1CLWB9MA*****	牵引汽车	(46-49t]	8	51	16	18
LZZ1CLWB4MA*****	牵引汽车	(46-49t]	33	39	18	15
LZZ1CLWB5MA*****	牵引汽车	(46-49t]	8	7	10	20
LZZ1ELVF0KN*****	自卸汽车	(20-25t]	2	7	8	6

### (3) 根据发动机燃料流量积分和车速积分数据计算油耗

筛选得到1月、4月、7月和10月在京津冀地区的行驶数据，计算每个货车分别在1月、4月、7月和10月的油耗。为准确计算油耗，选取发动机燃料流量积分数据和车速积分数据进行计算。其中，发动机燃料流量积分即为该车的当前油耗，车速积分即为该车的当前行驶里程。将每月的筛选得到的数据中的发动机燃料流量积分进行求和即为该月总油耗，车速积分求和即为该月总行驶里程。百公里油耗的计算公式如下：

$$FC_{\text{百公里}} = \frac{\sum F^*}{\sum V^*} \div 3600 \times 100$$

其中  $FC_{\text{百公里}}$  为一个月的百公里油耗，单位为 L/100km； $F^*$  为发动机燃料流量积分，单位为 L， $V^*$  为车速积分，单位为 km。利用上述公式，可以计算重型货车在4个月中的每个月的油耗，并与每个月的温度平均值进行对比，分析温度和油耗的关系。2022年京津冀地区1月、4月、7月和10月的平均最高和最低温度如表6-5所示。京津冀地区1月份平均气温在-5~3℃，4月份平均气温在22~9℃，7月份平均气温在31~22℃，10月份平均气温在19~10℃。

表 6-5 2022 年京津冀地区 1、4、7、10 月份平均最高/最低温度

地区	北京	天津	河北
1月平均最高、最低气温/℃	3	3	3
	-5	-5	-4
4月平均最高、最低气温/℃	22	22	22
	9	10	11
7月平均最高、最低气温/℃	31	31	32
	22	23	23
10月平均最高、最低气温/℃	18	19	19

	7	10	10
--	---	----	----

## 6.5.2 结果分析

表 6-6 所示为 10 辆车在不同月份的油耗。从表中可以看出，部分车辆的油耗随着温度变化差异不大。图 6-26 是 3 辆油耗随温度变化差异较明显的车辆，从图中可以看出，油耗在 1 月和 10 月较高，在 4 月和 7 月较低。这可能与 1 月和 10 月温度较低，4 月和 7 月温度较高有关。

表 6-6 10 辆货车在不同月份的油耗

VIN 码	车辆类型	总质量区间	1 月油耗 (L/100km)	4 月油耗 (L/100km)	7 月油耗 (L/100km)	10 月油耗 (L/100km)
LZGJLGW49MX*****	牵引汽车	(46-49t]	35.11	36.87	34.77	37.00
LRDS6PEB4MT*****	牵引汽车	(46-49t]	59.67	57.66	52.24	79.22
LNxDBL0H0ML*****	牵引汽车	(46-49t]	36.99	35.85	34.24	39.22
LRDS6PEB6MR*****	牵引汽车	(46-49t]	35.68	30.07	35.47	34.01
LRDS6PEB2NR*****	牵引汽车	(46-49t]	0	29.04	29.73	30.16
LZZ1CLWB2MA*****	牵引汽车	(46-49t]	36.14	26.92	34.74	49.39
LZZ1CLWB9MA*****	牵引汽车	(46-49t]	34.71	33.21	31.87	31.61
LZZ1CLWB4MA*****	牵引汽车	(46-49t]	38.79	35.91	39.78	37.40
LZZ1CLWB5MA*****	牵引汽车	(46-49t]	44.35	30.83	26.09	30.20
LZZ1ELVF0KN*****	自卸汽车	(20-25t]	68.24	58.63	51.94	57.64

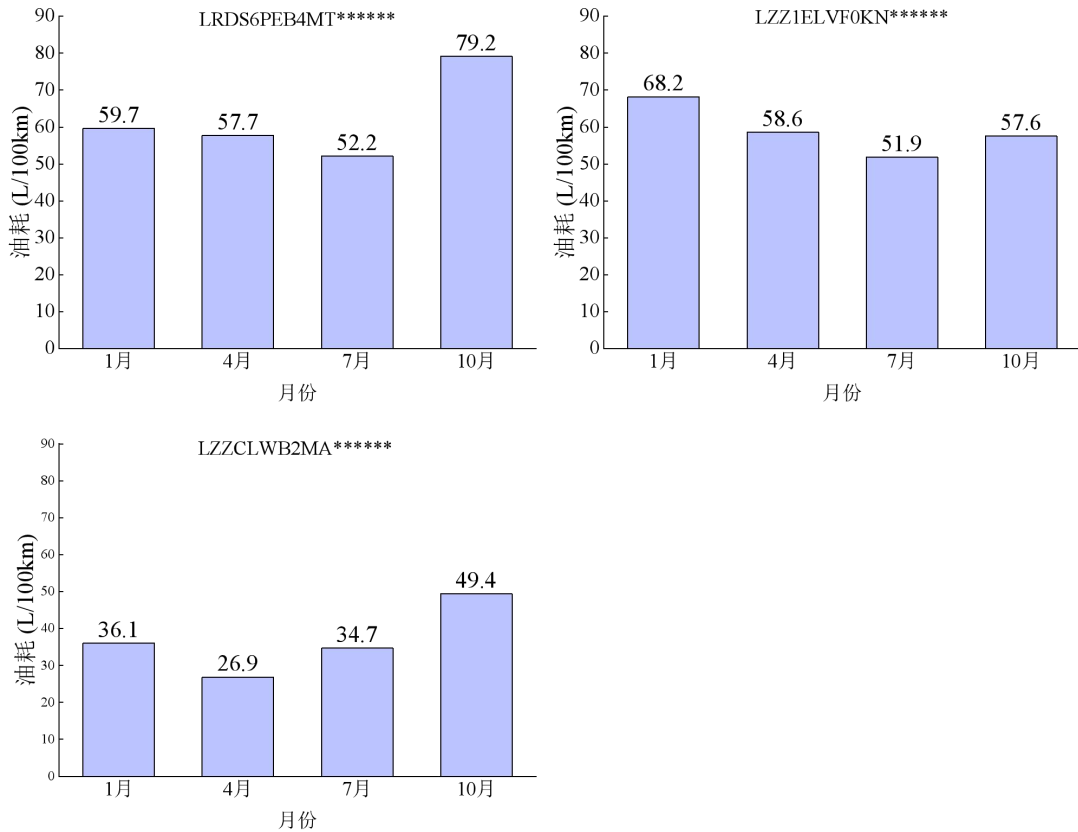


图 6-26 3 辆重型货车在不同月份的油耗

本小节选取了 10 辆重型货车，开展了温度对油耗影响的初步分析。初步研究发现 1 月份，即温度低的时候油耗普遍高于其他月份，可能是冬天开启空调升温导致。而夏季则没有明显的油耗高的趋势。该结果可能与样本数据量较小有关，结果不具有普遍性，建议进一步加大数据量，选取更多的货车进行分析，得出更加具有普遍性的规律和结论。

## 6.6 本章小结

在深入研究多场景下车辆油耗的基础上，本章构建了一套系统的油耗计算方法和分析框架，为准确评估和预测车辆的油耗情况提供了强有力的支持。该研究主要集中在不同行车环境和车辆负载状态下的油耗计算，涵盖了建成区、高速、国道、省道和长短途等多种行驶场景，为车辆能耗、CO<sub>2</sub> 排放的管理和优化提供了数据支持。

通过分析不同场景的综合油耗均值发现，绝大部分车辆在建成区的油耗会

略高于非建成区，可能是与建成区的道路状况相关。所有车型在高速场景的油耗值都略低于在国道和省道场景，与实际情况相符。通过划分长短途场景，可以看出自卸汽车因其本身的工作性质，几乎没有长途汽车，其短途的油耗随着总质量的增加而增加；载货汽车和牵引汽车的短途油耗都是略高于长途油耗，载货汽车的油耗值也是随着总质量的增加而增加。

本章还重点研究了场景信息的匹配和车辆负载状态的准确识别。通过将车辆行驶数据与特定场景进行关联，并运用负载识别算法确定车辆在每个里程段的负载状态，为油耗计算提供了多维度的数据空间。通过匹配负载信息到每个里程段，实现了对不同车型、不同总质量区间在不同场景下空载和有负载油耗的计算。这种方法不仅提升了油耗计算的准确性，也使得油耗分析更为细致和深入。通过对比分析表明几乎所有场景下有负载状况下的油耗值都大于空载状况下的油耗值。仅有 1 个车型在 1 种场景下的油耗值是空载大于满载，可能是样本数据量很少导致的结果偏差。

尽管本章提出的油耗计算方法在实际应用中取得了良好的效果，但仍有一些局限性和改进空间。负载匹配算法作为一个估计值，其准确性仍有待进一步提升。此外，数据完整性和准确性对最终结果的影响巨大，提升数据质量是未来工作的重点。此外，油耗受多种因素影响，包括天气条件、驾驶行为等，将这些因素纳入油耗计算框架将是未来研究的重要方向。

综上所述，本章为多场景油耗计算提供了一套有效的方法论和实践框架，不仅提升了油耗计算的准确性，也为深入了解油耗影响因素提供了有力的工具。未来通过对算法的优化和提升数据质量，有望进一步提高油耗计算的准确性，为车辆能效管理和油耗优化提供更为坚实的数据支持。

# 第 7 章 碳排放因子验证

## 7.1 PEMS 排放对比验证

### 7.1.1 技术路线

PEMS 主要用于测量车辆在实际路况下的尾气排放。与传统的固定排放测试设备不同，PEMS 是在真实驾驶情况下进行测试，而不是在实验室内的滚筒试验台上。PEMS 测试为汽车制造商、监管机构和研究者提供了车辆在实际驾驶条件下的尾气排放数据，有助于更准确地评估车辆的环境影响。

PEMS 的主要组件包括：排放分析仪（用于测量尾气中的主要污染物，如一氧化碳（CO）、氮氧化物（NO<sub>x</sub>）、碳氢化合物（THC）和颗粒物（PM）等）；流量计（测量尾气的流量，以确定排放的总量）；全球定位系统（GPS）（记录车辆的位置和速度，帮助分析驾驶条件和环境对排放的影响）；车载电脑（记录所有数据并同步到主控制系统）以及动力学数据采集器（测量车辆的速度、加速度、转速等参数）。与实验室测试结果可能存在的偏差不同，PEMS 测试可以反映真实的驾驶条件下的排放，可以在各种驾驶条件和路况下使用，为监管机构提供了一个在实际路况下检查车辆排放的方法。

本研究中的 PEMS 排放测试，主要是对比分析实际道路行驶工况和发动机参数数据计算的碳排放量和 PEMS 试验所测得的碳排放量，来验证利用实际道路行驶工况和发动机参数数据计算模拟 CO<sub>2</sub>排放量的可行性，具体的技术路线图如图 7-1 所示。为了确保实际道路行驶工况和发动机参数数据的准确性和有效性，本研究选取了 5 辆重型货车进行 PEMS 试验，表 7-1 为 5 辆重型货车的具体信息。完成 PEMS 试验后，导出试验时间段范围内的实际道路行驶工况和发动机参数数据。对比分析通过实际道路行驶工况和发动机参数数据计算得到的碳排放数据与 PEMS 试验的实际测量的碳排放数据，验证实际道路行驶工况和发动机参数数据的可靠性和准确性。此验证旨在确保实际道路行驶工况和发动机参数系统能为用户提供精确、可靠的车辆排放信息。

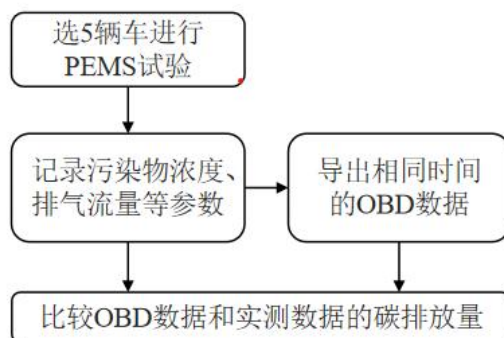


图 7-1 PEMS 测试技术路线

表 7-1 PEMS 测试所选车辆信息

样车编号	S01	S02	S03	S04	S05
制造年月	2021 年 7 月	2021 年 11 月	2021 年 8 月	2021 年 3 月	2021 年 9 月
整备质量 (kg)	7880	11280	9000	8020	8500
最大允许总质量 (kg)	18000	25000	18000	18000	18000
发动机额定功率 (kw/rpm)	180/2300	199/2300	180/2300	172/2200	191/2300
发动机排量 (L)	6.234	6.234	6.234	5.132	6.2

PEMS 测试的数据格式如图 7-2 所示，数据表包含了 GPS、海拔、速度和排气测量等相关的参数。该表的列包括时间戳 (TimeStamp)：记录的采集日期和时间；GPS 海拔 (GPSAltitude)：基于 GPS 数据的海拔；GPS 纬度 (GPSLatitude)：纬度坐标；GPS 经度 (GPSLongitude)：经度坐标；GPS 速度 (GPSSpeed)：车辆的速度；排气体积流率 1 (ExhaustVolumeFlowRate\_1)：显示排气体积流速；尾气中一氧化碳浓度 (Tailpipe\_CO\_Conc)：尾气中的一氧化碳浓度。尾气中二氧化碳浓度 (Tailpipe\_CO2\_Conc)：尾气中的二氧化碳浓度。



TimeStamp	GPSAltitude	GPSLatitude	GPSLongitude	GPSSpeed	ExhaustVolumeFlowRate_1	Tailpipe_CO_Conc	Tailpipe_CO2_Conc
II	[m]	[deg]	[deg]	[km/h]	[m3/min]	[vol%]	[vol%]
Absolute_time	GPS_Altitude	GPS_Latitude	GPS_Longitude	GPS_VehicleSpeed	PF_ExhaustFlowRate1	GA_COConc	GA_CO2Conc
07/08/2022 06:01:28.6539993	24.5	23.30079833	113.2927668	0.064000003	0.0008363	0.002057948	0.057992743
07/08/2022 06:01:29.6409988	24.60000038	23.30079867	113.2927672	0.054000001	0.0027814	0.002261	0.065350818
07/08/2022 06:01:30.6409988	24.70000076	23.3007999	113.2927672	0.056000002	0.0002434	0.0011785	0.069262439
07/08/2022 06:01:31.6469985	24.70000076	23.30079933	113.2927673	0.112000003	0.0002418	0.001039736	0.074463776
07/08/2022 06:01:32.6409988	24.79999924	23.30079967	113.2927675	0.163000003	0.0013581	0.001039679	0.06693642
07/08/2022 06:01:33.6409988	24.79999924	23.3008	113.2927675	0.055	0.0006826	0.001038618	0.081824512
07/08/2022 06:01:34.6469985	24.89999962	23.30080033	113.2927677	0.116999999	0.0030145	0.001693089	0.072317816
07/08/2022 06:01:35.6419906	24.89999962	23.30080067	113.2927677	0.129999995	-0.0001075	0.001740915	0.079182782
07/08/2022 06:01:36.6469985	24.89999962	23.30080083	113.2927678	0.039999999	0.0005106	0.001408663	0.090548749
07/08/2022 06:01:37.6419906	25	23.300801	113.2927677	0.082000002	0.0019746	0.001227276	0.094450537
07/08/2022 06:01:38.6419906	25	23.30080117	113.2927675	0.094999999	0.0020328	0.001448057	0.084311267
07/08/2022 06:01:39.6419906	24.89999962	23.30080167	113.2927677	0.103	0.0005387	0.001943182	0.078123901
07/08/2022 06:01:40.6419906	24.79999924	23.300802	113.2927675	0.064999998	-0.0005282	0.000611621	0.074520587
07/08/2022 06:01:41.6409988	24.70000076	23.30080233	113.2927672	0.108999997	0.0002294	0.001396679	0.066760632
07/08/2022 06:01:42.6409988	24.5	23.30080333	113.2927668	0.061999999	-0.0006517	0.001461699	0.073818311
07/08/2022 06:01:43.6409988	24.29999924	23.30080467	113.2927663	0.097000003	0.0017975	0.001991733	0.091220721
07/08/2022 06:01:44.6409988	24.29999924	23.30080567	113.2927657	0.101999998	0.0012742	0.002000823	0.072207281
07/08/2022 06:01:45.6409988	24.10000038	23.30080683	113.2927648	0.310000002	0.0002354	0.002703706	0.076409552
07/08/2022 06:01:46.6469985	24	23.300808	113.2927638	0.056000002	-0.0005204	0.001828592	0.076018439
07/08/2022 06:01:47.6409988	23.89999962	23.300809	113.2927622	0.208000004	-2.20E-05	0.002708406	0.083509113
07/08/2022 06:01:48.6409988	23.70000076	23.30081	113.2927608	0.104999997	0.0011246	0.001720887	0.079302893
07/08/2022 06:01:49.6409988	23.39999962	23.30081083	113.29276	0.264999986	0.0004392	0.002114805	0.092079376
07/08/2022 06:01:50.6409988	23.20000076	23.30081167	113.292759	0.202000007	0.0024853	0.002627444	0.083667279
07/08/2022 06:01:51.6460037	22.89999962	23.300812	113.2927587	0.059	-0.0004231	0.002247809	0.074266382
07/08/2022 06:01:52.6409988	22.70000076	23.300812	113.292758	0.064000003	-0.0006608	0.002052124	0.075590747
07/08/2022 06:01:53.6409988	22.39999962	23.30081217	113.2927575	0.101999998	0.00056933	0.001586505	0.072026624
07/08/2022 06:01:54.6409988	22.20000076	23.30081183	113.2927572	0.130999997	-3.55E-05	0.001991355	0.079906299
07/08/2022 06:01:55.6409988	22.10000038	23.30081183	113.2927565	0.170000002	0.003956	0.002307997	0.07697934
07/08/2022 06:01:56.6409988	22.10000038	23.30081167	113.2927563	0.104000002	0.0025602	0.001805807	0.093596008
07/08/2022 06:01:57.6409988	22	23.30081083	113.292757	0.153999999	0.0002601	0.002298286	0.085331665
07/08/2022 06:01:58.6409988	21.79999924	23.30081017	113.2927578	0.064000003	0.001335	0.001614532	0.078953418
07/08/2022 06:01:59.6409988	21.70000076	23.3008095	113.2927588	0.083999999	0.0089117	0.001725003	0.090492584
07/08/2022 06:02:00.6409988	21.60000038	23.30080917	113.2927598	0.182999998	-0.0006159	0.0008147	0.083874042

图 7-2 PEMS 数据格式示例

为了准确计算汽车尾气中的碳排放量，需要考虑各种因素，结合给定的公式和表格进行操作。碳排放量计算的核心公式为

$$m_{gas} = \sum \mu_{gas,i} \times C_{gas,i} \times q_{mer,i} \times \frac{1}{f}$$

其中 $\mu_{gas,i}$ 为气体  $i$  的摩尔体积； $C_{gas,i}$ 为气体  $i$  的浓度，以 ppm 为单位； $q_{mer,i}$ 为每种气体的排放流量，以 kg/s 为单位； $f$ 为采样频率。利用公式 $\mu_{gas,i} = M_{gas}/(M_{e,i} \times 1000)$ 可以得到 $\mu_{gas,i}$ ， $M_{gas}$ 和 $M_{e,i}$ 分别表示气体组分的摩尔质量和气体  $i$  排气瞬时的摩尔质量，单位均为 g/mol。气体的密度 $\rho_{gas}$ 可以通过公式 $\rho_{gas} = M_{gas}/22.414$  计算得到。结合表格中提供的各种汽车燃料（如汽油、CNG、柴油、T 柴油和 LPG）的相关参数，可以准确计算出每种燃料燃烧时产生的碳排放量。例如，对于柴油，其相应的 NOx、CO、HC 等的密度值和排放参数都已列在表中，结合前述公式，可以得到柴油燃烧时的碳排放。总之，结合公式和表格数据，可以对不同汽车燃料的碳排放进行详细的计算和分析，为汽车尾气排放的控制和管理提供科学的依据。具体的引用数据表 7-2 所示。

表 7-2 原始排气的 u 值和排气密度

燃料	$\rho_{dic}$	气体					
		NO <sub>x</sub>	CO	HC	CO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
		$\rho_{gas}[\text{kg/m}^3]$					
		2.053	1.250	a)	1.9636	1.4277	0.716
$u_{gas}^{b)}$							
柴油	1.2943	0.001587	0.000966	0.000479	0.001517	0.001103	0.000552
CNG <sup>c)</sup>	1.2661	0.001621	0.000987	0.000528 <sup>d)</sup>	0.001551	0.001128	0.000565
丙烷	1.2805	0.001603	0.000976	0.000512	0.001533	0.001115	0.000559
丁烷	1.2832	0.001600	0.000974	0.000505	0.001530	0.001113	0.000558
LPG <sup>e)</sup>	1.2811	0.001602	0.000976	0.000510	0.001533	0.001115	0.000559
a) 取决于燃料。 b) 在 $\lambda=2$ , 干空气, 273K, 101.3kPa下。 c) $u$ 精度0.2%质量组分: C=66-76%;H=22-25%;N=0-12% d) NMHC基于CH <sub>2.93</sub> (对总碳氢使用CH <sub>4</sub> 的 $u_{gas}$ 系数) e) $u$ 精度0.2%质量组分: C3=70-90%;C4=10-30% f) 燃料的碳/氢/氧摩尔比 (C H O) : 柴油: CH <sub>1.86</sub> O <sub>0.006</sub> LPG: CH <sub>2.525</sub> NG和生物甲烷: CH <sub>4</sub>							

通过实际道路行驶工况和发动机参数来计算排放则较为简单，利用瞬时燃料流量即油耗转化为碳排放数据，公式为  $CO_2(\text{g/s}) = \text{发动机燃油流量(L/h)} * \text{燃油密度}(\text{kg/m}^3) / 3600 * \text{柴油中碳质量比} / \text{排放污染物中二氧化碳比值}$ 。考虑到油品的不同，柴油在 20°C 时的密度为  $832.8\text{kg/m}^3$ ，该数据对于确定车辆消耗的燃料质量和进一步计算碳排放至关重要。柴油的组成也很重要，柴油中的碳质量比是 0.866。当燃料燃烧时，碳与空气中的氧结合，形成  $CO_2$ ，导致温室气体排放。再考虑到排放的污染物，某种污染物与总污染物的比例值得关注，对于  $CO_2$ ，其在排放污染物中的比值为 0.273。结合上述数据，可以对车辆的二氧化碳排放进行更为精确地评估。为了准确估算碳排放量，首先要获知油耗数据，油耗以 L/h 为单位，再利用上述换算系数和公式，计算车辆的  $CO_2$  排放量，以 g/s 为单位。

## 7.1.2 验证结果

此次 PEMS 试验测试时间范围较短，5 辆车的实际道路行驶工况和发动机参数数据连续性较好。图 7-3 所示为 5 辆车清洗前后的实际道路参数数据量的分布，其中 S01 和 S02 的数据量较少，车辆 S01 清洗前的数据量为 1997 条，清洗后降至 1826 条；车辆 S02 的数据量从 2452 条降至 1926 条；车辆 S03-S05 的运行时间较长，清洗后的数据量均在 7000 条以上。

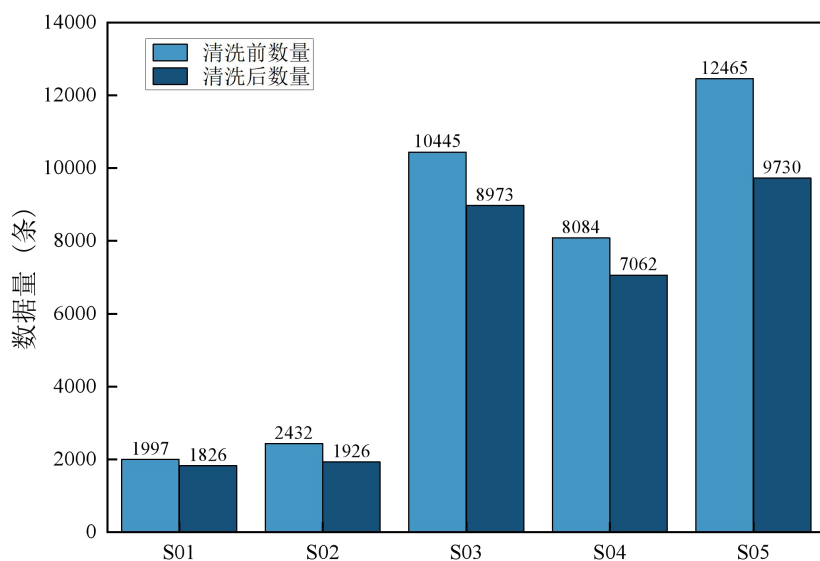


图 7-3 PEMS 试验车辆的实际道路行驶工况和发动机参数数据量

对比 5 辆重型货车，使用实际道路行驶工况和发动机参数和 PEMS 试验 2 种数据得到的 CO<sub>2</sub> 排放量，结果如图 7-4 所示。比较分析发现，使用实际道路行驶工况和发动机参数数据与 PEMS 数据在计算 CO<sub>2</sub> 排放量时存在一定的差异。车辆 S01、S02、S03 和 S04，实际道路行驶工况和发动机参数数据计算的 CO<sub>2</sub> 排放量和 PEMS 数据测试结果差别很小，而车辆 S05 通过 2 种测试方法得到的结果偏差在 20% 以上，可能是因为车辆 S05 的行驶工况多是高速行驶，且速度波动较大。虽然实际道路行驶工况和发动机参数与 PEMS 试验两种数据收集方法在某些工况下可能存在一定差异，但两者都能够提供有关 CO<sub>2</sub> 排放量的信息，PEMS 测试验证了实际道路行驶工况和发动机参数数据在连续性较好的情况下的准确性。

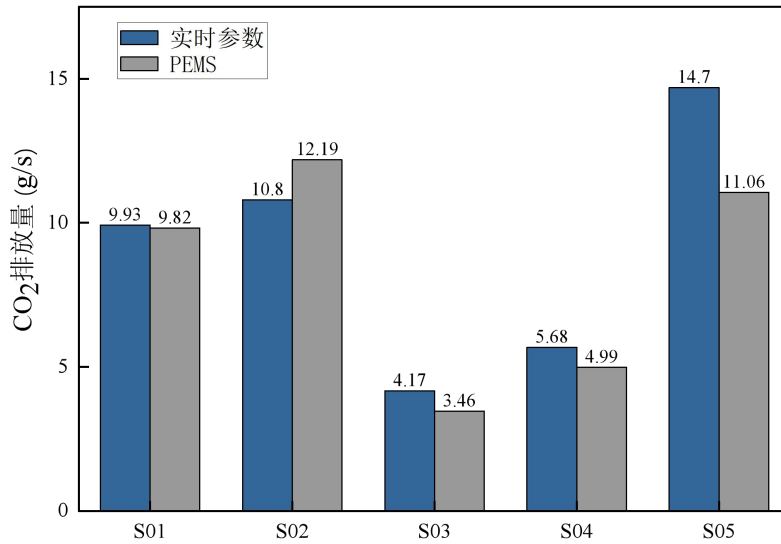


图 7-4 实际道路行驶工况和发动机参数和 PEMS 数据计算得到的 CO<sub>2</sub> 排放量对比

图 7-5 可以看出车辆 S01 和 S05 的速度变化情况。车辆 S01 的速度变化图显示，车辆的实际道路行驶工况和发动机参数记录的速度数据与 PEMS 的 GPS 速度数据相对较为接近，波动幅度也相对较小。较好的数据后效果验证了实际道路行驶工况和发动机参数数据和 PEMS 数据的准确性与一致性。而车辆 S05 在高速工况下测得的速度变化图表现出较大的数据差异与波动，特别是某些时间段内，实际道路行驶工况和发动机参数记录的速度与 GPS 速度出现了明显偏差。数据的不稳定性可能源于高速工况下各种外部因素的干扰，如路况、车流等。综上，在不同的测试工况下，车辆的实际道路行驶工况和发动机参数数据与 PEMS 数据的一致性与稳定性会有所差异，但使用货车实际道路行驶工况和发动机参数数据来计算重型货车的油耗和碳排放量是合理可行的。

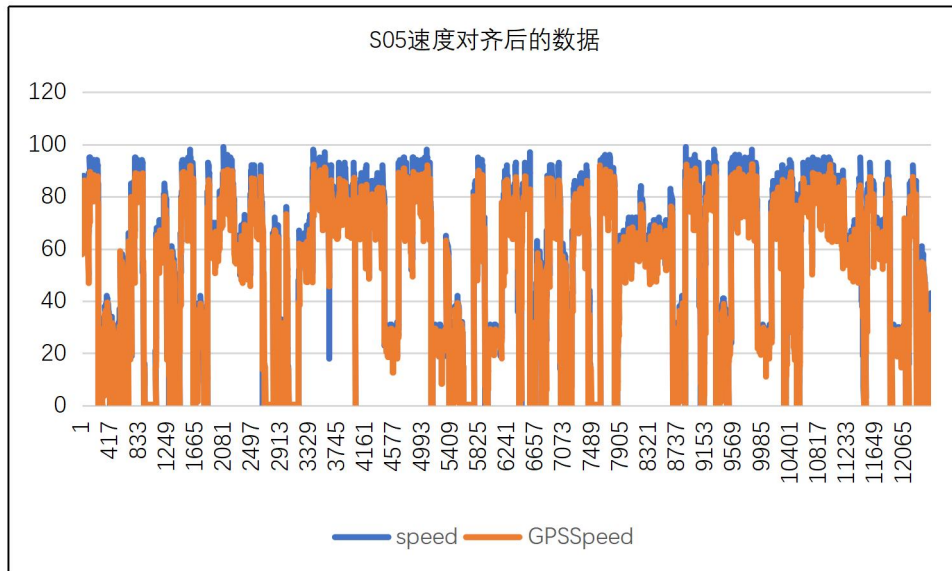
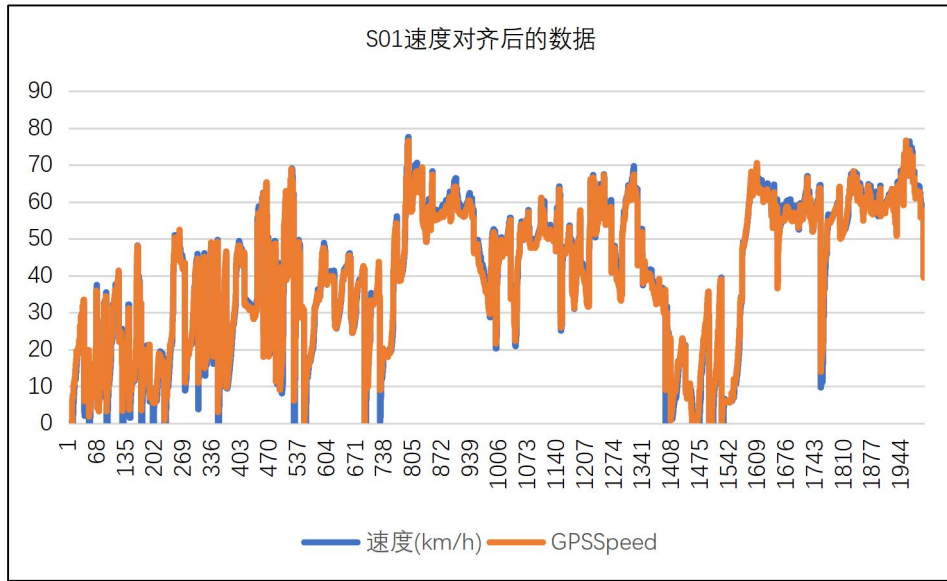


图 7-5 实际道路行驶工况和发动机参数和 PEMS 数据测得的速度对比

## 7.2 实车油耗对比验证

本节主要分析比较 100 辆实车记录数据与实际道路行驶工况和发动机参数数据，以验证使用实际道路行驶工况和发动机参数数据中的参数来计算重型货车的油耗和碳排放量的合理性和准确性。

## 7.2.1 验证方法

### (1) 选取 100 辆重型货车

选取货车的城市包括北京、成都、唐山和包头 4 个城市。货车类型包括牵引汽车、载货汽车和自卸汽车，其中自卸汽车 37 辆，载货汽车 24 辆，牵引汽车 39 辆。由于少量司机在实际记录中存在失误，最后纳入计算的车辆如图 7-6 所示，共有 94 辆，其中自卸汽车 37 辆，载货汽车 18 辆，牵引汽车 39 辆。筛选的车辆型号和市场保留量等详细数据如表 7-3 所示，但因为完全匹配困难较大，因此筛选时对车型做了部分调整。

关于货车所承载的货类，以唐山为例，货车中有 60% 运输大宗物料，包括铁矿石、煤炭、沙石料、铁粉、熟料、水泥等，32% 的货车运输化纤、废钢、玻璃、铁板、钢铁等产品，8% 的货车运输散货。

表 7-3 实车型号筛选标准

车辆型号	销量	车辆类型
车型 01	2.78%	牵引汽车
车型 02	1.90%	牵引汽车
车型 03	1.37%	牵引汽车
车型 04	1.30%	牵引汽车
车型 05	0.83%	载货汽车
车型 06	0.26%	载货汽车
车型 07	0.19%	载货汽车
车型 08	0.12%	载货汽车
车型 09	0.11%	载货汽车
车型 10	0.11%	载货汽车

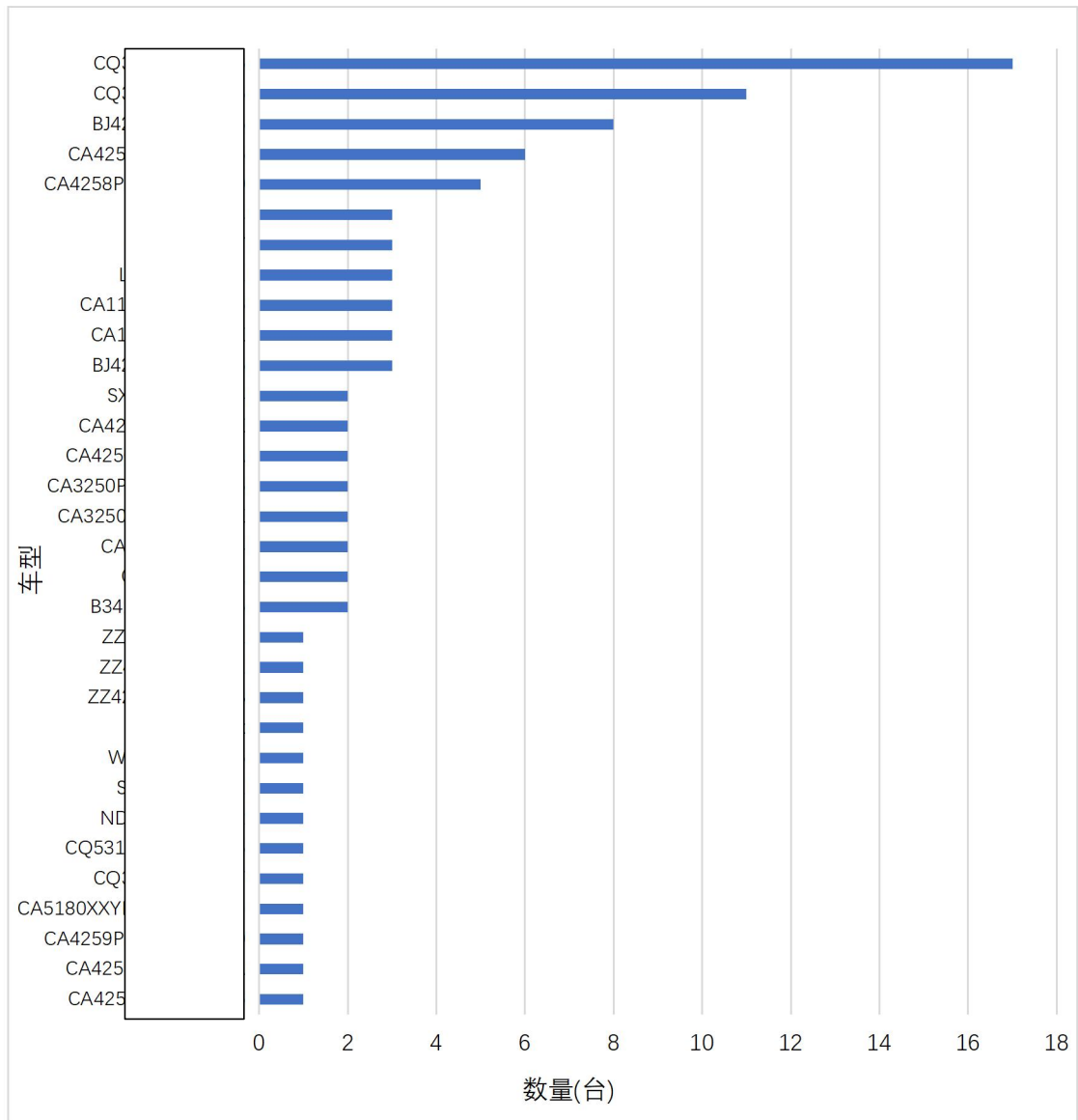


图 7-6 纳入实车验证的车型及数量

(2) 收集司机记录车辆加油数据和行驶里程数据并进行清洗。

收集司机记录的车辆行驶 4 月、5 月和 6 月三个月内的加油数据和行驶里程数据，记录的信息主要包括加油时间、加油量、加油小票、当前里程数、坐标以及地址信息。获取车辆的 VIN 码和油箱容积数据（油箱容积主要为 350L、400L、600L、800L 和 1100L），进行清洗及计算。原始数据共 3332 条，删去缺失值、重复值和异常值，剩余数据 1160 条，占原始数据比例 34.82%。数据按照手机号（车牌号）及记录时间排序，进行数据分析。如果在同一个司机记录的数据中，当前加油时间与上一次加油时间间隔超过 3 天，则认为中间可能存在未被记录的加油情况，为避免漏记带来的油耗计算误差，对数据进行筛选，

只保留时间间隔不超过 3 天的加油数据。最终得到包括 48 位司机记录的 243 条数据，约占剩余数据比例的 20.9%。

### (3) 根据油箱液位和发动机燃料流量数据计算油耗

为准确计算实际道路行驶工况和发动机参数记录的油耗，选取油箱液位和发动机燃料流量两个参数分别计算，并综合判断。在 2 次加油间隔期间，货车油箱在第 1 次加油时会产生从最低液位突增到最高液位的变化，经过行驶油箱液位逐渐降低，到第 2 次加油时，又会产生从最低液位突增到最高液位的变化。根据司机记录的加油时间，在实际道路行驶工况和发动机参数数据中寻找对应的油箱液位变化时间段，如图 7-7 所示。

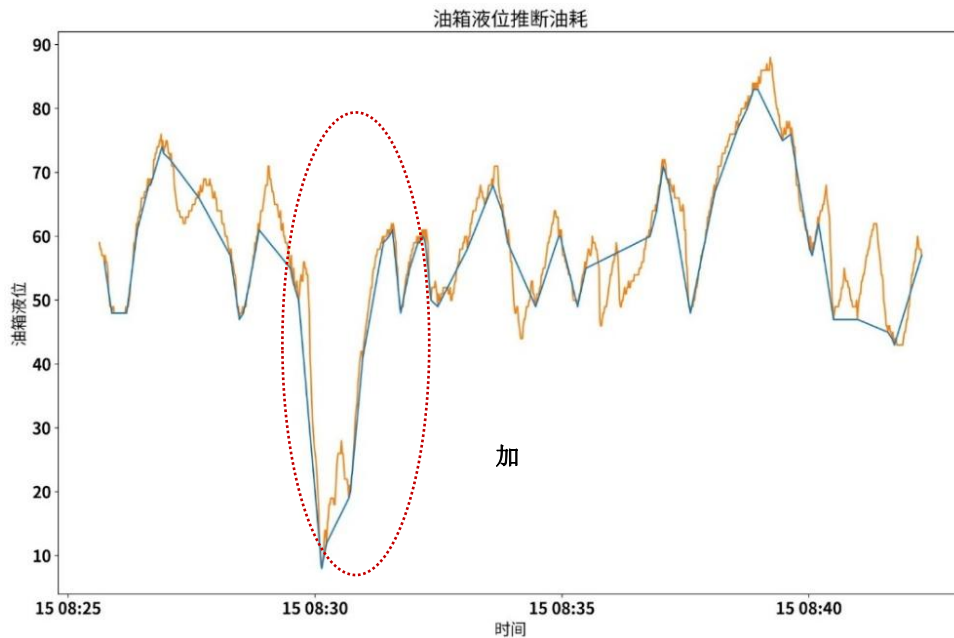


图 7-7 某个加油时间段内货车油箱液位变化

第一次加油后最高油箱液位至下一次加油前最低油箱液位之间的油箱变化量即为本次行驶所消耗的油量，每次加油时油箱从最低液位突增到最高液位的变化量即为本次加油量，与司机记录的加油量相对应。计算公式如下：

$$FC(\text{parameter}) = (L_{(\max,t1)} - L_{(\min,t2)})(\%) \times V$$

$$RQ(\text{parameter}) = (L_{(\max,t2)} - L_{(\min,t2)})(\%) \times V$$

其中  $FC(\text{parameter})$  为利用油箱液位所计算的 actual road driving conditions and engine parameter fuel consumption, unit is L;  $L_{(\max,t1)}$  为上一次加油后最高油箱液位 (%) ;  $L_{(\min,t2)}$  为本次加油前最低油箱液位 (%) ;  $V$  为当前货车的油箱容积, unit is L.



发动机燃料流量是指单位时间内通过进气道进入发动机燃烧室的燃气量，单位为 L/s。采集逐秒数据，将两次加油期间每秒消耗的发动机燃气流量求和即为本次行驶所消耗的油量，与用油箱液位计算的耗油量相对应。计算公式如下：

$$FC^*(Oparamater) = \sum_{n=t2-t1}^{i=t1} F/3600$$

其中  $FC^*(paramater)$  为利用发动机燃料流量计算的油耗，单位为 L；F 为发动机燃料流量，单位为 L/s。t1 为上次加油的时间，t2 为本次加油的时间。司机记录的加油时间存在延迟，一般延迟时间在 20min 内，个别数据延迟超过 2h，经过计算确认由时间延迟产生的误差对结果没有影响。以上对数据的清洗筛选及计算均使用 Python 进行。

### 7.2.2 验证结果

分别利用油箱液位和发动机燃料流量计算得到油耗。参与计算的包括 30 位司机所记录的 152 条数据，均来自成都、唐山、包头 3 个城市（北京地区的司机由于清洗全部被筛掉），其中唐山和包头的司机占比较多（图 7-8）。计算最终得到了 152 个由实际道路行驶工况和发动机参数计算得到的加油量数据，108 条由油箱液位和发动机燃料流量计算得到的油耗数据。

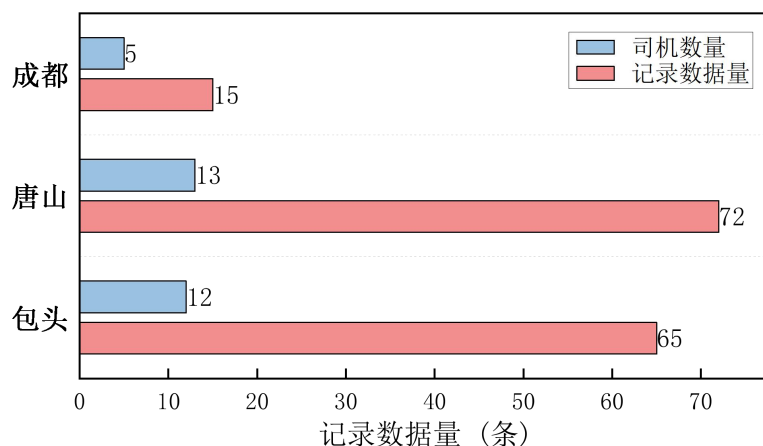


图 7-8 纳入结果计算的司机所属地区及分布情况

表 7-4 和图 7-9 为某一司机（VIN 码：LRDS6PEB5PR\*\*\*\*\*）的计算结果。结果显示，该司机利用实际道路行驶工况和发动机参数计算的加油量数据与司

机记录加油量较为吻合，由油箱液位和发动机燃料流量计算得到的油耗数据也较为吻合，结果较好。

表 7-4 LRDS6PEB5PR\*\*\*\*\*货车计算结果示例

司机记录时间	司机加油量 (L)	当前里程 (km)	油箱液位最低值 (%)	油箱液位最高值 (%)	油箱液位变化量 (L)	油耗：油箱液位计算 (L)	油耗：燃料流量计算 (L)
2023-04-27 10:14:40	313.48	25859	36.8	100	379.2		
2023-04-29 07:58:38	493.63	27142	22.8	100	463.2	463.2	446.2
2023-05-07 09:15:28	522.29	30949	16.8	100	499.2		
2023-05-08 22:16:39	237.86	31564	68.8	100	187.2	187.2	217.1
2023-05-21 13:53:25	267.56	36375	62.8	100	223.2		
2023-05-22 16:46:58	200.67	36960	70	100	180	180	182.3
2023-05-23 15:54:34	210.87	37521	70.8	100	175.2	175.2	180.1
2023-05-25 14:58:15	433.95	38674	32	100	408	408	392.6

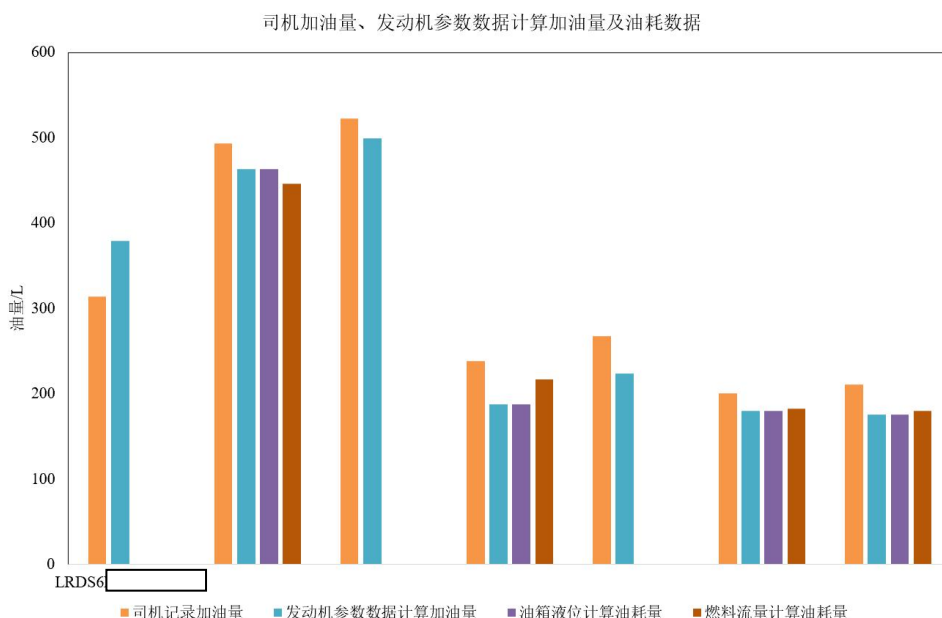


图 7-9 计算结果示例 (VIN 码: LRDS6PEB5PR\*\*\*\*\*)

图 7-10 为另一司机 (VIN 码: LZZ1CLVB9LW\*\*\*\*\* ) 的计算结果，结果显示，利用实际道路行驶工况和发动机参数数据计算的加油量与司机记录的加油量差别较大，利用油箱液位和燃料流量计算得到的油耗的差别也较大。由于实际道路行驶工况和发动机参数数据存在某些时间段的缺失，发动机燃料流量求和计算得到的数据很可能小于利用油箱液位所计算的油耗，结果与规律较为吻合，但对于油耗计算的差异，还需要进一步拟合观察。

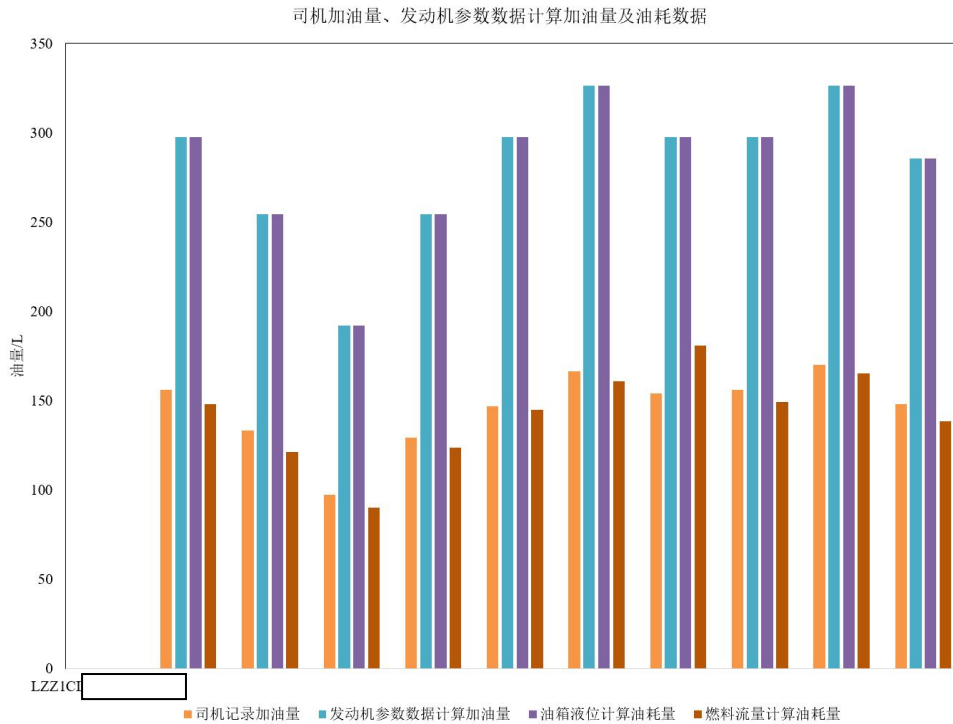


图 7-10 计算结果示例 (VIN 码: LZZ1CLVB9LW\*\*\*\*\*)

### 7.2.3 结果分析

图 7-11 为加油时发动机油箱液位变化量和司机记录加油量的拟合曲线， $R^2$  结果为 0.2688，拟合结果较差。但单个司机的拟合结果较好，例如 VIN 码为 LRDS6PEB5PR\*\*\*\*的司机  $R^2$  为 0.9295，VIN 码为 LFWSRUSJ0NA\*\*\*\*的司机  $R^2$  为 0.7583。

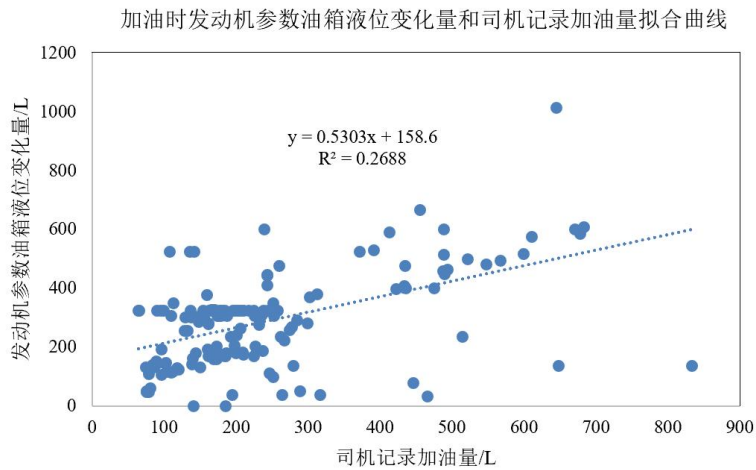


图 7-11 实际道路行驶工况和发动机参数数据油箱液位变化和司机记录加油量拟合曲线

图 7-12 为利用油箱液位和燃料流量计算的油耗拟合曲线， $R^2$  结果 0.3821，拟合结果也较差。与加油量一样，单个司机的拟合结果较好。

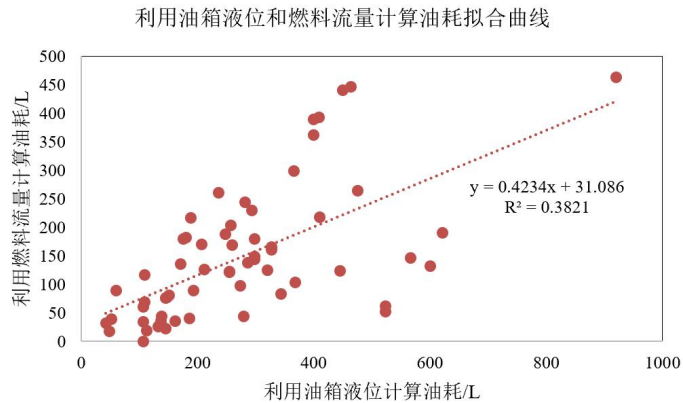


图 7-12 实际道路行驶工况和发动机参数数据油箱液位变化和燃料流量的拟合曲线

图 7-13 选取了一些司机的计算结果，司机记录加油量与实际道路行驶工况和发动机参数数据计算加油量较为贴近，但油箱液位计算油耗量与燃料流量计算油耗量差异非常明显。整体上，不同司机的差异较大，因此算法的合理性和准确性应该针对每个司机进行具体分析，而所有司机拟合效果较差。排除样本量过少的司机数据，分析每一位司机的拟合效果，如表 7-5 所示，可以发现成都和唐山地区使用实际道路行驶工况和发动机参数数据中的参数来计算重型货车的油耗比较合理和准确， $R^2$  大部分在 0.7~0.9 左右，但在包头地区加油量曲线拟合度  $R^2$  拟合效果较差，说明使用实际道路行驶工况和发动机参数数据中的参数来计算重型货车的油耗比较合理和准确，但存在地区差异。第四列为通过司机记录的加油量与行驶里程计算得到的油耗值(L/100km)，整体来看，成都和唐山车辆的油耗值偏小，而包头的油耗值偏大。数据中不可避免地会存在司机错记、漏记的情况，以及实际道路行驶工况和发动机参数数据可能会存在缺失，难以进行有效的排查，但在误差允许范围内，该结果可以接受。

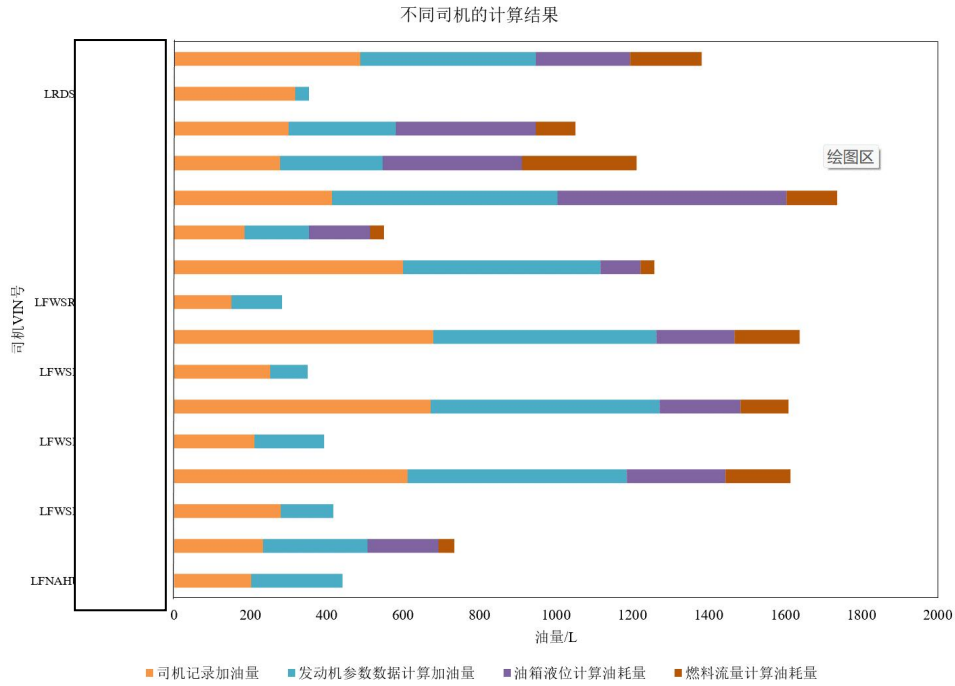


图 7-13 不同司机实车验证计算结果

表 7-5 不同司机实车验证拟合结果

VIN 码	地区	加油量曲线拟合度	油耗值(L/100KM)
LFWSRXSJXMA*****	成都	0.7731	45.39
LRDS6PEB5PR*****	唐山	0.9205	38.45
LFWSRUSJ0NA*****	唐山	0.7583	36.03
LZGJL4Y41MX*****	唐山	0.0003	20.78
LZZ1CLVB9LW*****	唐山	0.9806	37.18
LRDS6PEB2NT*****	唐山	0.594	11.05
LRDS6PEB2NT*****	唐山	0.1919	11.48
LZFF31T63MD*****	包头	0.0817	64.41
LZFF31T64MD*****	包头	0.0016	59.37
LZFF31T65MD*****	包头	0.2295	58.48
LZFF31T60MD*****	包头	0.0267	64.41
LZZ8BXNF3MC*****	包头	0.0092	——

注：一些司机的样本量过小，不适合进行拟合，因此表中只对数据大于 5 条以上的司机进行了拟合。

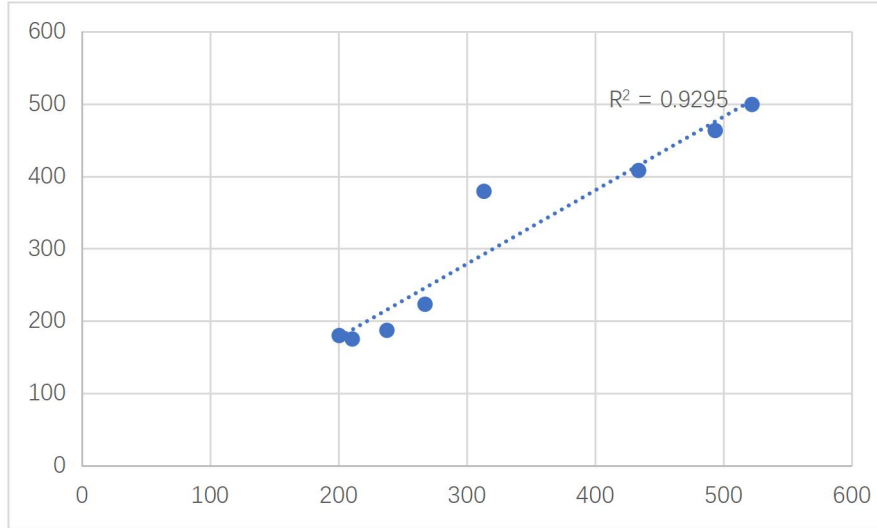


图 7-14 某司机(LZZ1CLVB9LW\*\*\*\*\*)加油量与油箱液位变动对应油量图

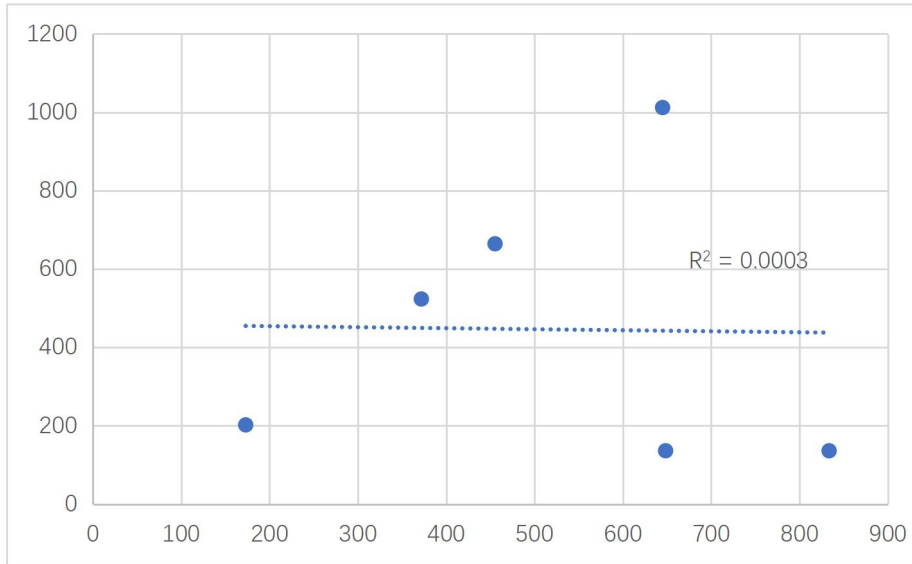


图 7-15 某司机(LZGJL4Y41MX\*\*\*\*\*)加油量与油箱液位变动对应油量图

对比分析图 7-14 和图 7-15，可以发现部分司机记录的加油量和实际情况较为符合，而部分司机记录的数据和实际发动机油箱液位的变化情况差距较大，因此整体来说相关系数较低，车辆间的数据质量差异较大。根据上述可以确定的分析结果，使用实际道路行驶工况和发动机参数数据中的参数计算重型货车的油耗比较合理和准确。但由于司机记录过程中的不可控因素存在以及实际道路行驶工况和发动机参数数据本身存在的问题，建议进一步加大样本量进行计算，综合判断。同时可以进一步优化算法根据实车数据计算发动机油耗。

### 7.3 本章小结

本章通过 PEMS 试验和实车验证方法进行了碳排放因子验证。PEMS 试验测试了 5 辆重型货车，并对比分析重型货车实际道路行驶工况和发动机参数数据计算的碳排放量和 PEMS 试验测得的碳排放量。PEMS 作为一种实时监控系系统，印证了由货车实际运行工况和发动机参数数据计算得到的二氧化碳的排放数据是可靠的，使用该参数数据来计算重型货车的油耗和碳排放量是合理可行的。

实车验证是分析比较 100 辆实车记录数据与实际道路行驶工况和发动机参数数据，比较的参数包括燃料流量和油箱液位。该验证结果与司机是否按规定记录相关。结果表明按照规定记录的司机，其加油量与实际道路行驶工况和发动机参数数据计算加油量较为贴近，但油箱液位计算油耗量与燃料流量计算油耗量差异非常明显。

综上所述，碳排放因子验证结果不仅验证了当前车辆制造技术的进步和节能优势，还表明在实际运行中，许多车型能够有效控制油耗，确保环境可持续性。同时也有少数车型的油耗超过限值标准，应提醒相关部门和制造商对特定车型进行进一步的研究和改进。本章为验证货车实际运行工况和发动机参数数据是否可用于油耗分析和排放监测提供了一个深入、全面的视角，不仅对现有的研究方法和技术进行了验证，还为未来的研究和实践提供了启示。

## 第 8 章 碳排放因子数据库

### 8.1 碳排放系数计算

当探讨车辆的燃油排放对环境的影响时，碳排放系数的计算变得尤为重要。车辆的碳排放不仅与其驱动方式和使用的燃料种类有关，还与燃料的碳含量以及完全燃烧后产生的 CO<sub>2</sub> 量有关。柴油作为车辆的常用燃料，对环境的影响越来越受到关注。为了更好地理解柴油燃烧后的碳排放，其碳排放系数必须被进行精确地计算。表 8-1 为燃油碳排放的计算参数表。

柴油主要由碳和氢组成，其燃烧会产生 CO<sub>2</sub>。为了计算柴油燃烧后的 CO<sub>2</sub> 排放量，首先需要知道柴油的密度和其所含的能量。根据提供的数据，柴油的密度为 0.83 kg/L，这意味着 1L 柴油的质量为 0.83kg。进一步地，柴油的下热值为 42652 kJ/kg，这意味着每公斤柴油燃烧时可以释放 42652 kJ 的能量。而 1TJ 的能量会产生 20.2 吨碳排放，而 1TJ = 1×10<sup>9</sup>KJ。为了将其从升转换为吨 CO<sub>2</sub>，还需要使用 44/12 的转换系数。因此，使用这个转换系数，可以计算每升柴油燃烧产生的二氧化碳量。即排放系数 =  $(0.83 \text{ kg/L} \times 1\text{L} \times 42652 \text{ kJ/kg} \times 98\% \times 20.2 \text{ tC/TJ} / 10^9) \times 44/12 = 0.002569605 \text{ tC/L}$ ，这意味着每燃烧 1 升柴油会产生约 0.002569605 吨的二氧化碳排放。综上所述，计算柴油的碳排放系数是一个涉及多个变量和步骤的过程。为了得到准确的结果，项目组必须考虑燃料的碳含量、燃烧时产生的二氧化碳量以及其他相关因素。通过这些计算可以更好地了解车辆柴油排放对环境的真实影响，从而采取适当的措施来降低其对环境的影响。



表 8-1 燃油碳排放的计算参数表

GHG类型	燃料种类	参数	数量	单位
CO2排放	汽油	密度	0.73	kg/L
		NCV	43070	kJ/kg
		排放因子	18.9	tC/TJ
		燃烧效率	98%	
	柴油	密度	0.83	kg/L
		NCV	42652	kJ/kg
		排放因子	20.2	tC/TJ
		燃烧效率	98%	
公式简化: $\text{密度} \times \text{燃油排放因子} \times 44/12 \times 1000/1000000$				
汽油:	0.002135291	吨碳/升		
柴油:	0.002569605	吨碳/升		

## 8.2 数据库

表 8-2 为不同类型车辆、总质量区间、使用场景、负载、百公里油耗及碳排放因子的数据。车辆类型对于百公里油耗和碳排放因子具有显著影响。观察数据可以明显看出，牵引汽车、自卸汽车与载货汽车在相似的总质量区间和使用场景下，油耗和碳排放的数据均存在差异。其中，自卸汽车在多数重量区间内的碳排放因子普遍高于载货汽车，而牵引汽车则在某些重量区间内超过自卸汽车。车辆的总质量区间也会影响油耗与碳排放，在相同的车辆类型和使用场景下，随着总质量的增加，百公里油耗和碳排放因子均呈上升趋势。例如，从数据中可以看出，随着质量的上升，在各种场景下载货汽车的油耗都相应地有所增高。

使用场景是另一个关键因素。无论是牵引汽车、自卸汽车还是载货汽车，高速和国道的使用场景下，油耗和碳排放因子通常较低。这可能与高速和国道上车辆能够维持稳定的行驶速度，减少频繁加速和减速的情况有关。相比之下，建成区的使用场景由于需要应对更多的停启、转弯和变速，因此油耗和碳排放因子普遍较高。此外，车辆的负载状况也对油耗和碳排放有明显影响。空载和有负载的情况下，油耗和碳排放因子存在差异。有负载情况下，由于车辆需要消耗更多的能量来移动更重的负载，因此油耗和碳排放因子均高于空载情况。总结来说，车辆类型、总质量区间、使用场景和负载状况都是影响油耗和碳排放

放的重要因素。在制定相关政策和规范时，应综合考虑这些因素，制定针对性的措施，以实现更高效、环保的车辆运输系统。进一步的研究可以深入探讨这些因素之间的相互作用，为未来的技术创新和政策制定提供更为准确的指导。

表 8-2 多场景下重型货车碳排放因子数据库

车辆类型	总质量区间	使用场景	负载	油耗(L/100km)	碳排放因子(g/km)		
载货汽车	(12-16t]	国道	空载	16.71	429		
			有负载	20.17	518		
	(16-20t]		空载	17.69	455		
			有负载	18.57	477		
	(20-25t]		空载	21.09	542		
			有负载	23.90	614		
	(25-31t]		空载	23.11	594		
			空载	16.71	429		
	(12-16t]		省道	空载	16.64	428	
				有负载	16.80	432	
	(16-20t]			空载	17.29	444	
				有负载	18.86	485	
	(20-25t]			空载	20.99	539	
				有负载	23.92	615	
	(25-31t]			空载	23.95	616	
				有负载	26.65	685	
	(12-16t]			高速	空载	16.18	416
					有负载	17.61	452
	(16-20t]				空载	16.59	426
					有负载	17.92	460
	(20-25t]				空载	19.73	507
					有负载	22.50	578
	(25-31t]				空载	22.79	586
					有负载	26.05	669
(12-16t]	建成区	空载			17.88	459	
		有负载			18.34	471	

		空载	18.79	483
		有负载	20.82	535
(16-20t]		空载	21.75	559
(20-25t]		有负载	24.92	640
		空载	26.29	676
(25-31t]		有负载	29.26	752
<hr/>				
(46-49t]	国道	空载	31.34	805
		有负载	39.63	1018
<hr/>				
(46-49t]	省道	空载	31.18	801
		有负载	39.56	1017
<hr/>				
(46-49t]	高速	空载	31.30	804
		有负载	38.22	982
<hr/>				
(46-49t]	建成区	空载	30.57	786
		有负载	38.69	994
<hr/>				
(12-16t]		空载	19.82	509
		有负载	23.76	611
(16-20t]		空载	22.38	575
	国道	有负载	26.61	684
(20-25t]		空载	32.30	830
		有负载	32.78	842
(25-31t]		空载	48.41	1244
		有负载	62.51	1606
<hr/>				
(12-16t]		空载	22.67	583
		有负载	25.51	656
<hr/>				
(16-20t]		空载	19.74	507
	省道	有负载	23.98	616
(20-25t]		空载	30.64	787
		有负载	32.39	832
<hr/>				
(25-31t]		空载	45.81	1177
		有负载	51.60	1326
<hr/>				
(12-16t]		空载	21.17	544
	高速	有负载	28.75	739
(16-20t]		空载	19.51	501
<hr/>				

		有负载	19.95	513
		空载	26.86	690
(20-25t]		有负载	29.04	746
		空载	42.04	1080
(25-31t]		有负载	44.36	1140
		空载	20.16	518
(12-16t]		有负载	22.75	585
		空载	22.04	566
(16-20t]		有负载	26.67	685
	建成区	空载	37.50	964
(20-25t]		有负载	38.51	990
		空载	48.38	1243
(25-31t]		有负载	53.71	1380

# 第 9 章 项目成果、结论和建议

## 9.1 项目成果

### 9.1.1 建立一套对重型货车实际道路行驶工况和发动机参数大数据质量分析和数据清理的方法

本研究对重型货车实际道路行驶工况和发动机参数大数据执行了一系列详尽而严格的质量分析、采样以及数据清理工作，旨在提升数据集的准确性和可靠性，从而为后续的分析 and 决策提供坚实的数据支持。

在数据处理方面，考虑到原始数据的庞大和复杂性，团队采取了一系列高效的数据清理和预处理方法。这包括对异常值的检测和剔除、数据的平滑处理和缺失值的填补等。通过这些处理步骤，确保了数据的质量，为确保模拟计算的准确性打下了坚实基础。数据集涵盖了 10059 辆车辆和高达 365.8 亿条的数据记录。首先识别并移除了运行数据不足一天车辆，该步骤对剔除短暂且可能导致分析偏差的数据至关重要。紧接着，依据预先设定的数据过滤条件，进行了深入的数据清洗工作。为确保剩余数据的质量，项目组还对数据集中的关键列，执行了缺失值筛选，清除了包含空白值的记录。最终清洗后数据量占原始数据的 82.9%。

在动态与静态数据整合方面，团队运用了先进的数据融合技术，实现了来自不同源的数据的有效整合。这不仅增强了数据的完整性，也提升了数据的应用价值。在此基础上，运用瞬态数据加总和积分等方法，对车辆的能效和污染物排放进行了精确计算。

总体来说，该方法学的建立对实际道路数据进行了质量分析、采样和数据清理在数据质量保障方面发挥了关键作用，确保了数据分析的准确性和后续决策的有效性。通过一系列严格的数据清洗和质量控制流程，为车辆数据分析和运行特性研究提供了可靠的数据源。这不仅体现了数据清洗在数据科学项目中

的重要性，也为后续类似项目提供了操作范例和经验教训。

### 9.1.2 构建重型货车在实际道路运行的微观工况数据库

同时，为了构建实际道路运行工况，本项目对 8160 辆重型货车的行驶数据进行了微观切分。共计处理了约 270 亿条数据，占到了分析数据总量的 89.1%。项目采用了卡尔曼滤波算法对货车的行驶数据进行深度处理。在卡尔曼滤波处理的基础上，将每辆货车的行驶数据进行了分段处理，记录了每个数据段的起始时间、持续时间、起始速度、加速度、累计油耗和该段的平均功率等关键信息。这样的处理不仅大大减少了数据的噪声，还提高了数据的准确性和可用性，为后续的分析 and 可视化提供了坚实的基础。

为确保分析的准确性，项目组设定了严格的筛选标准，将加速度超过  $\pm 2\text{m/s}^2$  的数据段视为异常数据并予以排除。这种策略有效地降低了异常数据对分析结果的影响，保证了结果的准确性和可靠性。最终实现的异常数据率非常低：载货汽车 0.96%、自卸汽车 0.11% 和牵引汽车 0.31%。通过上述的数据处理和异常数据筛选，能够更准确地识别出实际道路上的微观行驶工况。项目将车辆的车速和加速度数据结合起来，创造了一个二维的工作空间，这样不仅能展示单一变量的分布，还能展现两者之间复杂且富有洞见的关系。进一步将这个空间划分为任意维度的网格后，能够详细观察到每个工况区间内的数据分布情况。通过这种细粒度的划分，结果揭示了特定车型在不同工况下的性能分布，从而提供了更丰富、更具深度的数据视图。

在计算了在不同速度和加速度条件下的平均油耗后，并将这些数据以颜色的形式呈现在工况分布图上，从而为用户提供了一种直观且易于理解的方式来查看货车在各种行驶条件下的燃油效率。通过一系列的可视化手段，如颜色编码、网格线和自然对数转换，增强了数据的可读性和可解释性。颜色编码能够快速识别出高频和低频的工况，网格线提供了清晰的参考标准，而自然对数转换则进一步放大了数据分布的差异，使得即使是在低频区域，细微的变化也能被轻易地捕捉到。

### 9.1.3 建立重型货车多维度的碳排放因子数据库

本项目为了对多场景下货车的油耗进行细致地计算，考虑了道路属性和负载因素对油耗的影响。通过分析不同时间间隔对油耗计算的影响，确定 10 分钟为最优的数据采样间隔。该时间间隔在保持计算准确性的同时，防止了数据丢失，确保了对货车行驶状况的全面覆盖，共计获得 202.9 万个里程段的数据。在进行数据清洗时，引入了“时间密度”这一变量，并设定标准值为 0.9，以确保数据的完整性和质量。在此标准下，时间密度大于 0.9 的里程段占分段后里程段的 77.3%。为增强油耗计算的准确性，项目还引入了车速积分和里程差比值作为评估数据完整性和准确性的指标，并通过筛选排除了一些可能引起油耗异常高的特殊工况段。最终，项目比较和分析了两种油耗量计算方法，一种是基于整体喷油量总加和总行驶里程，另一种则是单独计算每一段的油耗并取平均值。考虑到计算的全面性和代表性，选择了第一种方法进行油耗计算。

之后，为了深入了解不同类型车辆在各类道路条件和负载状态下的油耗特性，本项目对广泛的行驶数据进行了细致地分析和计算，进而形成了区分道路属性和负载的多场景油耗的综合评估。具体来看，在高速公路上的行驶数据中，牵引汽车(46-49t]的空载和有负载状态下的油耗差异尤为显著，表明在高速行驶条件下，负载状态对于油耗的影响不容忽视。这一现象在牵引汽车上尤为明显，可能是由于其在不同负载状态下，车辆动力系统的工作效率和空气阻力等因素发生变化所致。在国道和省道的运行条件下，数据也显示出类似的趋势，其中自卸汽车(25-31t]的有负载与空载油耗差值明显，再次验证了负载状态对油耗的重要影响。在建成区的行驶条件下，不同类型的车辆均表现出了负载状态对油耗有显著影响的特点。牵引汽车在有负载和空载状态下的油耗差异最为显著，表明即使在城市行驶的复杂路况下，负载状态仍然是影响油耗的关键因素。

通过对多场景下车辆油耗的综合分析，不仅揭示了负载状态和道路类型对油耗的直接影响，而且为车辆的能耗管理和优化提供了数据支持和理论依据。为了进一步提高分析的准确性和可靠性，未来的工作可以考虑引入更多的车辆类型和运行条件，以及更细粒度的数据，以期得到更为全面和深入的认识。

基于上述方法，本研究成功构建了一个综合性、多场景、分类型的重型货车排放因子数据库。此数据库涉及了牵引汽车、自卸汽车和载货汽车这三大主要类别，并在这三类车型中进一步细分了不同的载重范围。此外，为了确保数据的广泛适用性，还针对国道、省道、高速以及建成区等关键行驶场景进行了详细地考察。每个特定场景下，都收集并分析了车辆在空载和有负载两种状态下的百公里油耗和碳排放数据。这样的细致分类不仅使得数据库具有很高的实用性和参考价值，而且也为相关部门、研究机构和企业提供了一个在实际应用中评估和制定策略时所必需的强大工具。此数据库的建立旨在推动对重型货车碳排放的科学认知，为环境保护和交通行业的可持续性提供科学依据。期望通过这样的研究，能进一步推动相关部门和企业未来的决策中更加重视碳排放控制，从而为打造更加环保的交通系统作出贡献。



## 9.2 项目结论

### **(1) 运用重型货车实际道路行驶工况和发动机参数数据计算重型货车的碳排放方法可行、数据可靠。**

通过与 PEMS 试验结果和实车试验结果，本项目基于喷油量累积计算的油耗数据具有很高的数据准确性。同时车辆的累积里程数据也具有较高的数据精度和数据质量。本项目采用的方法对百公里油耗的模拟和计算具有较高的数据精度。随着国六标准的持续实施，重型货车实际道路行驶工况和发动机参数数据将会包括大部分实际运行车辆的数据，具有较好的代表性。这将为我们国家下一步油耗标准制定提供高质量、低成本的工况和真实油耗数据。

本项目采用的方法可支撑道路交通领域碳排放核算的相关需求。目前的道路交通，尤其是机动车碳排放核算中，多采用车队或组织的油耗数据进行核算。其缺点是无法掌握具体车辆的能耗数据，因此无法提出有针对性的减碳措施。本研究探索的模型算法，可以分场景，分区域，分道路等级，并针对划定区域进行车辆油耗和里程的精确核算，可为单车，车队，运营商，制造商以及划定的区域（省、市政府）等提供符合其需求的高颗粒的碳排放核算基础数据。

综上所述，重型货车实际道路行驶工况和发动机参数数据因其准确性和可靠性，未来将会成为支撑碳排放核算及油耗标准制定的重要数据源，可在相关标准和核算规则制定过程中将其纳入。

### **(2) 重型柴油货车（≥12 吨）实际行驶工况的油耗范围约在 19-56L/100km。自卸汽车(20-31t)较同等总质量其他货车的油耗值较高。**

本研究将行驶段的条件设置为：活动范围大于 5km<sup>2</sup> 且时速大于 5km/h 的全部里程段，并纳入短怠速时段的油耗（时间少于 3 分钟的怠速段）。通过分析，重型货车在行驶工况的油耗范围约在 19-56L/100km。且同一类型车辆的油耗随着总质量的增加而增加，与实际情况相符。自卸汽车(20-25t)和自卸汽车(25-31t]

的油耗值相对较高。自卸汽车(20-25t]的里程段油耗值主要集中在 25-40 L/100km, 自卸汽车(25-31t]的里程段油耗值主要集中在 35-60L/100km。

车辆除了行驶状态以外, 还有大量场区内原地做功的状态, 本研究中用喷油量与时间的比值来表达原地做功的油耗。整体来看, 自卸汽车(20-25t]和自卸汽车(25-31t]的怠速油耗值较大, 这可能是由于其本身的实际工作状态导致的。自卸汽车本身需要长时间地原地卸货, 利用重力将货物从车厢中倾倒出来, 这可能会导致其发动机一直在工作, 进而使得其怠速油耗较高。另外, 牵引汽车(46-49t]的怠速油耗也较高, 这可能是其本身质量较大所导致的。

**(3) 专项作业车在不同工况(作业/行驶)下的油耗差异较大, 不同类型的专项作业车在作业状态下的油耗有明显差异。**

本研究设定如果里程段的里程差小于 2km 且时速小于 10km/h, 则认为该车在该里程段内是停留在某个区域的原地做功状态, 不属于上述情况的里程段则认为是行驶状态。分析发现, 专项作业车作业状态的油耗要远远大于行驶状态的油耗。其中, 随车起重运输车原地做功的油耗与行驶状态的油耗差距最大, 为 97L/100km; 车厢可卸式垃圾车的差距也达到了 66L/100km。另外, 不同类别专项作业车的原地做功油耗值差异也较大, 原地做功油耗值的分布范围在 40-135L/100km。

目前, 重型商用车燃料消耗量标准和排放标准中均未考虑单独的专项作业车的油耗标准限值和 CO<sub>2</sub> 排放限值。面对专项作业车原地做功时的高油耗和 CO<sub>2</sub> 高排放的表现, 还需要扩展研究的深度和广度, 为重型货车下一阶段排放标准中专项作业车 CO<sub>2</sub> 排放标准的制订提供技术和数据支持。

### 9.3 项目建议

1、建议在下一阶段排放标准中, 纳入使用重型货车实际道路行驶工况和发动机参数数据测算重型货车(包括专项作业车)的温室气体排放量, 为标准制定提供的技术支持。

2、将本项目成果尽快建立重型货车温室气体排放(不包括专项作业车)的

清单模型，为建立交通领域统一规范的碳排放统计核算体系和构建完善碳监测评估技术方法体系提供重型货车碳排放的数据支撑。

3、进一步研究驾驶特征（比如：行驶区域、货运通道、温度和海拔等因素）对油耗的影响，为企业提供细分市场的车型开发相关建议。

4、深入研究重型专项作业车的油耗表现，扩大重型专项作业车的样本数据量和类别，利用重型货车实际道路行驶工况和发动机参数数据研究重型专项作业车不同工况下的油耗，为下一阶段排放标准中重型专项作业车的温室气体排放标准制定提供数据支持。