

# 温州代表性市政道路的路面车辙分析及其防治建议

徐向明

温州浙南科技城开发建设有限公司, 浙江 温州

收稿日期: 2023年9月19日; 录用日期: 2023年11月17日; 发布日期: 2023年11月27日

## 摘要

市政道路运营方面最为凸显的就是车辙问题, 其对路面质量以及车辆行驶的安全带来很大影响。本次挑选了温州具有代表性的数条道路进行调查并分析车辙情况, 对其展开钻芯取样, 对车辙出现的原因进行深入分析。并以此作为参考, 对各种路面结构车辙创建相应的计算模型, 主要探究轴重和温度对车辙产生的影响。通过所得结果可以看出, 城区道路交通中存在一定的超载量, 且它与车辙深度之间呈正相关关系, 伴随着路面厚度的不断加大, 温度对车辙也呈现出明显的正相关关系; 与单独荷载这一原因相比, 荷载与温度耦合前提下驾车者深度增幅平均达到22%; 最后根据模型研判结果, 从增强交通疏导、优化级配设计、混合料抗车辙剂的使用以及交通渠化区域洒水降温四个方面提出了车辙预防性建议。

## 关键词

沥青路面, 温州, 温度, 车辙, 模型

# Analysis of Road Ruts on Representative Municipal Roads in Wenzhou and Suggestions for Prevention and Control

Xiangming Xu

Wenzhou Zhenan Science and Technology City Development and Construction Co., Ltd., Wenzhou Zhejiang

Received: Sep. 19<sup>th</sup>, 2023; accepted: Nov. 17<sup>th</sup>, 2023; published: Nov. 27<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The most prominent issue in the operation of municipal roads is the issue of ruts, which has a signifi-

cant impact on road quality and vehicle safety. This time, several representative roads in Wenzhou were selected for investigation and analysis of rut conditions. Drill core sampling was conducted on them to conduct an in-depth analysis of the causes of ruts. And as a reference, create corresponding calculation models for various road structure ruts, mainly exploring the impact of axle load and temperature on ruts. From the results obtained, it can be seen that there is a certain amount of overload in urban road traffic, and it is positively correlated with the depth of ruts. With the continuous increase of road thickness, temperature also shows a significant positive correlation with ruts; compared with the single load, the average increase in driver depth under the coupling of load and temperature reached 22%; finally, based on the model analysis results, preventive suggestions for ruts were proposed from four aspects: enhancing traffic diversion, optimizing grading design, using anti-rutting agents for mixtures, and watering and cooling in traffic channelization areas.

## Keywords

Asphalt Pavement, Wenzhou, Temperature, Rut, Model

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

作为 5 大协办城市之一，温州也正全力以赴迎亚运，随着亚运的临近，温州交通需要补齐交通基础设施短板，当甬莞、瓯江通道、温丽等高速公路满负荷运行后，车流量显著增加，温州市政道路荷载随之提升，原道路路面由于各种原因导致出现路面永久变形的比例增加，对道路质量以及车辆的安全行驶带来很大影响，同时随着交通量日益增加、物流业发展速度的持续加快，货车数量越来越多，城市道路中会不时出现大货车超载行驶的现象，导致沥青路面病害情况持续加重，在水和高温的共同作用下，沥青路面的永久变形加剧呈现[1] [2] [3]。

一般出现车辙的原因有多种，除了沥青路面的基本结构与温度之外，通常与车辆的荷载也有很大关系[4] [5] [6]。当前的研究中，多数研究者公认的市政道路车辙大致分为磨损型、结构性、压密型和失稳型，而出现在市政道路中的，多以前三者为主，这也将可以指导我们在维修养护时对结构进行处理的方式方法[7]，在车辙机理研究中，朱洪洲、黄晓明和吴传海等人的研究较有代表性，朱洪洲、黄晓明[8]研究表明，集料和沥青的性能以及成型后的空隙率是影响车辙产生的首要因素，集料影响空隙率最终起决定性作用。吴传海[9]研究表明，沥青用量、级配和空隙率影响车辙的发展，油量偏大和最大公称粒径偏小是影响车辙的重要原因；在基于车辙指标进行道路结构设计的密切相关的研究中，通常以室内车辙试验得出的动稳定度 DS 来作为材料的控制指标，但是路面设计中并没有相应的控制指标进行验算。国外的判断方法主要依托于专门的试验仪器去匹配相应的评价指标，如法国沥青路面车辙仪(PRT)、汉堡车辙设备(HWTD)、佐治亚沥青路面分析仪(APA)等[10]，但这类分析方法成本高昂，且与我国以半刚性基层的特点并不相符。因此，在本次研究中，将以温州城区选取具有交通量代表性的市政道路的车辙工况为例，提出采用基于钻芯取样检测结合有限元模型的方式，以两种典型的路面结构为对象，深入分析其车辙病害产生原因及其影响因素，最终将给出防治建议，以供设计和运维方参考。

## 2. 典型路面的车辙病害特征

### 2.1. 概述

以温州市的市政道路为例，本次调研了地处温州地区，路段总长为 22.3 km。路面结构组成主要为：最上面一层厚度为 4 厘米，沥青混凝土级别为 AC-13 细粒式密级；下面一层厚度为 5 厘米，沥青混凝土级别为 AC-20 中粒式密级；基层厚度为 20 厘米，沥青混凝土级别为水泥稳定碎石；底层厚度为 20 厘米，沥青混凝土级别为水泥稳定砂砾；垫层厚度为 15 厘米，沥青混凝土级别为天然砂砾。

深入现场进行调研，发现通车之后路基段路面车辙数量一共为 24 处，总长度 14,226 m，总面积 51062.3 m<sup>2</sup>。车辙深度在 10 毫米到 15 毫米之间的共 6612 m，面积约 18,233 m<sup>2</sup>；车辙深度超过 15 毫米的共 4151 m，面积约 20,239 m<sup>2</sup>。车辙病害除在超限检测站以及平交路口比较多见之外，在比较长的爬坡路段也经常见到，具体情况可见图 1。

### 2.2. 路面检测

对车辙路段的沥青路面进行质量检测，发现上面层芯样孔隙率和油石比有将近四分之三处的达不到标准，矿物及配里面与标准技术要求明显不符。0 mm~2.36 mm 筛的通过率高，即细料和矿粉含量高。下面层芯样不合格空隙率为 25%，油石比与级配与相关要求基本保持一致。车辙芯样对应的相关指标与有关要求保持一致，总体达到了翻修和改建的标准。



Figure 1. Road rut damage map of the study road section  
图 1. 研究路段的路面车辙病害图

从芯样的检测结果我们也可以知道，控制车辙就需要控制沥青用量和级配组成。在配合比设计的过程中，需要确保在集配范畴之内混合料的基础构成与骨架结构保持一致。在后续施工的时候需要合理设计生产配合比，按照设计的有关数值全面控制偏差情况的出现[11]。

### 2.3. 交通量调研

结合项目提前对交通量作出的预测，2022 年全年每天交通量大致在 6689 辆左右(折算之后的数量为 9365 pcu/d)，拖挂以及大货车的汇总日交通量为 2511 辆(折算数 6141 pcu/d)。

根据管理部分的监测数据，可以看出 2022 年 1 月到 6 月份货车以及全部车型的交通运输量以及具体的增长趋势，具体情况可见图 2、图 3。随着国家有关部门对市政道路收费政策全面取消，一定量的货运车辆的行驶不再是通过高速公路，而是在市政道路[12]。图 2 和图 3 分别展示了本路段全车型和货车车型交通量的增长情况。

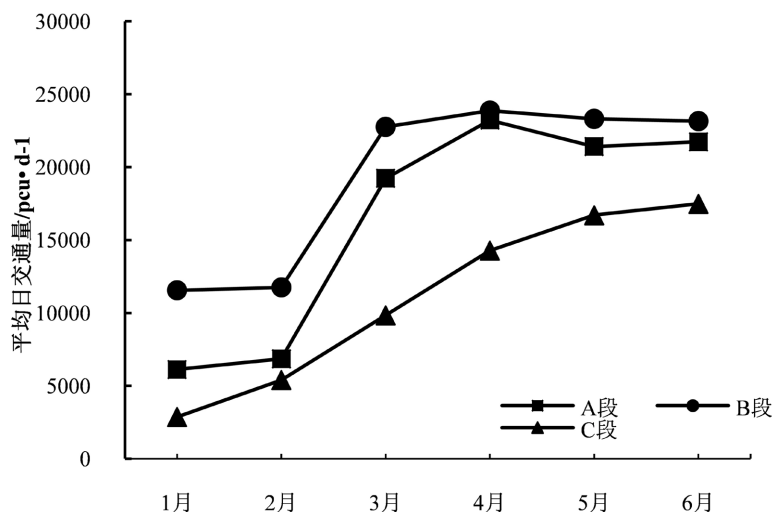


Figure 2. Growth of traffic volume for all vehicle models from January to June 2022  
图 2. 2022 年 1 月~6 月全车型交通量增长情况

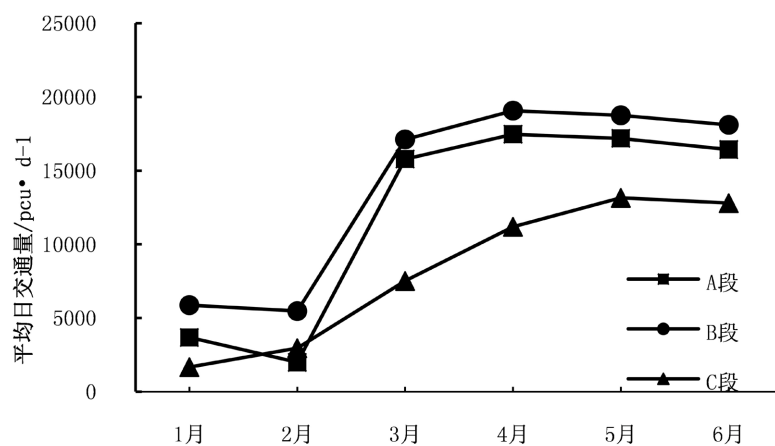


Figure 3. Growth of truck traffic volume from January to June 2022  
图 3. 2022 年 1 月~6 月货车交通量增长情况

从图 2 和图 3 可以看出,2022 年 3 月之后的车流量相比前期有明显的增长,其中增速最快的是 A 段,3 月份的增速相比 2 月份增长了 3 倍。从各车型增幅来看,该路段车流强度增加的主要原因是货车车流强度大幅增加。相邻的支路已基本永久封闭,原在国道上行驶的货车也转入该路段,实际车流量远大于预期车流量,主要是重型货车。

## 2.4. 气候因素

温州该区域每年的 7、8、9 等月份沥青路面的温度不低于 60℃,在停车过程中车辆往往要释放很多高温气体,导致路面被持续加热,因此与普通路段相比,停车路段的温度往往更高,如果载货量较大很容易出现车辙[13]。

## 3. 基于模型的车辙分析

### 3.1. 模型参数

随着地区经济的发展,重卡在温州的比重将不断提高,行驶在该路段的重型货车成为路面车辙的主

要贡献因子，这也对市政道路建设提出了严峻挑战，尤其在有坡度和有路标的平交路口。本文在研究时案例选择两轮均布荷载，研究不同荷载(标准荷载和重荷载)和恒变温两种环境下沥青路面对应的车辙深度。

为了本地区车辙分析中考虑温度，需要在模型中添加温度场。确认好理性路面的结构之后，对温度场产生影响的环境包括多种，除了每天的最低和最高气温之外，还包括每天的平均风速、日照时间以及太阳辐射总量等。温度场的形成主要是由气温、对流换热和路面有效辐射引起的。这两种类型的边界条件在定义时主要参考外部温度用户的子程序。图4代表7月份某天温州区域该路段气温的整体变化情况。

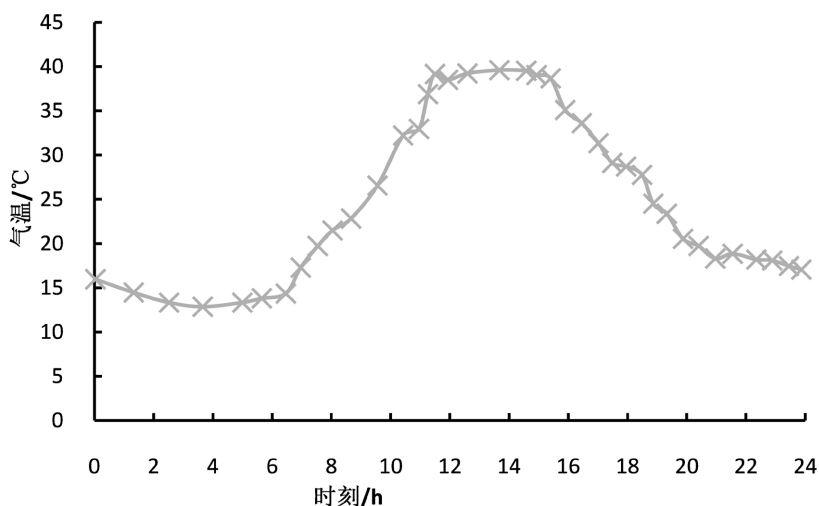


Figure 4. Typical temperature changes of Wenzhou on one day in summer

图4. 温州夏季一天典型气温变化

选用了数值模拟建立一个模型。路面二维模型具体情况可见图5。该模型厚度和宽度分别为3米和3.75米。在研究时主要对两种不同的路面结构进行模拟。模型结构自上到下一共分为6层，最上面一层为AC-13，厚度为4厘米；第二层为AC-20，厚度为5厘米；第三层为水稳砾石基层，厚度为20厘米；第四层为水稳砾石基层，厚度为20厘米；第五层为天然砾石垫层，厚度为15厘米；最下一层为土基层。

该路段交通拥堵特征明显，根据预测交通量，模型模拟考虑了100 kN、150 kN以及200 kN的轴荷。轮胎与地面接触的宽度为21.3厘米。经计算，线荷载大小分别为117,371 N/m、176,056 N/m、234,742 N/m。计算航迹的过程中最重要的一部分是模拟温度场。

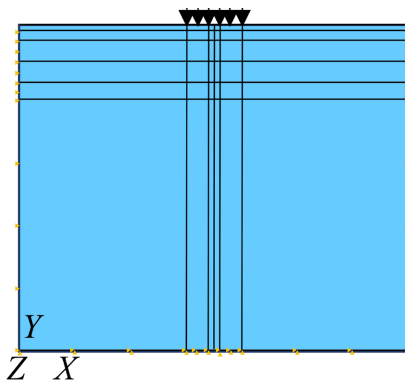


Figure 5. Geometric model of road surface

图5. 路面几何模型图

### 3.2. 沥青路面车辙深度分析

经计算可以发现作用 50 万次沥青路面车辙情况具体可见表 1。

**Table 1.** Statistics of road ruts

**表 1.** 路面车辙统计表

| 路面结构                           | 温度场 | 轴重     |        |        |
|--------------------------------|-----|--------|--------|--------|
|                                |     | 100 kN | 150 kN | 200 kN |
| 结构一<br>4 cm AC13 + 6 cm AC-20  | 考虑  | 5.73   | 8.44   | 11.26  |
|                                | -   | 4.91   | 6.45   | 8.17   |
| 结构二<br>4 cm AC13 + 10 cm ATB25 | 考虑  | 6.15   | 9.61   | 12.10  |
|                                | -   | 5.01   | 6.85   | 8.98   |

注：路面车辙的单位为 mm。

将荷载因素充分考虑在内，如果沥青路面结构层较薄，则结构性车辙会小；如果将荷载和温度同时考虑在内，结构 1 路面、结构 2 车辙受到温度影响的平均贡献率分别为 11.2%、17.8%。由此不难看出，如果沥青路面的厚度较大，那么温度会对车辙产生更为明显的影响。

在轴荷保持一致的前提下，受到荷载和温度两者的影响，与单纯受到荷载影响的车辙深度明显更大。结构一：车辙深度分别增加 14.2%、13.6%，轴重 100 kN、150 kN 分别为 200 kN、13.1%，结构二：车辙深度分别增加 21.4%、23.6%、24.1%，轴重 100 kN、150 kN、200 kN 在荷载和温度的共同作用下，车辙深度比单一荷载作用下的深度平均增加 22%。

在相同温度条件下(无论是否考虑温度场)，车辙深度与超载呈几何级数增加。同时，加入了温度场后，同等级的车辙深度几乎均加大了 10%~30%，因此温度的影响因素不容忽视。

### 4. 预防建议

1) 建议对路面超重的交通量进行有效疏导，将治理重点放在超载上，以此可以减少超重超载对重型混凝土路面造成的破坏。

2) 对级配设计引起重视。在设计配合比在过程中，需要确保混合料结构与骨架结构保持一致，在后续施工的时候也要对生产配合比的设计引起高度重视，严格控制误差范围。

3) 在该项目里面有的路段已经发现车辙，尤其是以有坡度和交通渠化的路口更为多见，建议是首先进行车辙严重的面层(尤其针对超过 2 cm 的车辙)铣刨，然后实施路面更新面层，或进行基层补强，在后续养护施工时可以在面层混合料面添加适量的抗车辙剂。

4) 为降低高温对沥青混凝土路面产生的影响，在爬坡以及十字路口等地方选择在每日午时等温度较高的时段向路面洒水，有助于更好的降温。需要注意的是，洒水可能会导致沥青粘附性有所降低，在此基础上出现坑槽以及集料剥落等常见的病害，因此洒水的综合效益需要进行深入探究。

### 5. 结语

本文基于温州某市政道路钻芯取样检测并数值模型的方式，以两种典型的路面结构为对象，分析温州地区的夏季气温特点和交通量特征，分析其车辙病害产生原因及其影响因素，本文选用数值模拟建立路面模型，结果显示：

- 1) 路面车辙的出现与沥青的使用量、矿料级配之间有密不可分的关系。
- 2) 伴随着超载量的持续增加，将对路面结构带来更严重的永久变形。

3) 温州该区域夏天温度非常高, 载重过大以及太阳辐射很容易出现车辙。与荷载这一单独原因相比, 荷载与温度耦合前提下车载深度的增幅平均达到 22%。考虑了温度场后, 同等级的车辙深度几乎均加大了 10%~30%。

4) 从交通疏导、级配设计、混合料抗车辙剂的使用以及交通渠化区域洒水降温四个方面进行了车辙预防性建议。

## 参考文献

- [1] 赵碧全. 基于层间接触状态的半刚性基层沥青路面车辙的解析与表达[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2021.
- [2] 万娟霞, 马尚言, 李自齐. 河西地区沥青路面车辙病害原因及防治措施[J]. 山西建筑, 2021, 47(17): 108-110.
- [3] 曹丽萍, 董泽蛟, 孙立军. 从温度分布频率探讨沥青路面的永久变形[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(12): 1617-1621.
- [4] 高尊. 沥青路面抗车辙性能评估与结构优化研究[J]. 城市道桥与防洪, 2020(7): 260-262+28.
- [5] 申冲冲, 司春棣, 凡涛涛, 张孟强, 高海波. 变温重载作用下沥青路面结构动态变形特性研究[J]. 石家庄铁道大学学报(自然科学版), 2023, 36(1): 54-60+119.
- [6] 张冀雯, 马宪永, 赵含, 等. 基于分布式光纤形状传感的沥青混合料车辙变形监测研究[J]. 中国公路学报, 2023, 36(3): 98-107.
- [7] Li, N., Tang, W., Yu, X., Zhan, H., Wang, X. and Wang, Z.Y. (2022) Laboratory Investigation on Blending Process of Reclaimed Asphalt Mixture. *Construction and Building Materials*, **325**, Article ID: 126793. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126793>
- [8] 朱洪洲, 黄晓明. 沥青混合料高温稳定性影响因素分析[J]. 公路交通科技, 2004, 21(4): 1-3+8.
- [9] 吴传海. 重载交通沥青路面车辙成因及混合料组成设计研究[D]: [博士学位论文]. 西安: 长安大学, 2008.
- [10] 向浩, 朱洪洲, 钟伟明. 沥青混合料水稳定性评价方法综述[J]. 中外公路, 2016, 36(6): 278-283.
- [11] 张晨晨, 王旭东, 黄英强, 等. 沥青混合料生产配合比均衡设计方法[J]. 中外公路, 2013, 33(1): 253-255.
- [12] 中华人民共和国交通运输部. [图解]政府还贷二级公路取消收费后补助资金管理系列政策[J]. [http://jtyst.jl.gov.cn/zw\\_133208/zcjd/202112/t20211220\\_8326378.html](http://jtyst.jl.gov.cn/zw_133208/zcjd/202112/t20211220_8326378.html), 2021-12-17.
- [13] 张久鹏, 裴建中, 王秉纲. 连续变温下沥青路面车辙分析与高温预警[J]. 同济大学学报(自然科学版), 2011, 39(2): 242-246+258.