



风沙环境高速公路运营安全韧性 提高路径研究

王 芳 wangfang@nxu.edu.cn

宁夏大学、宁夏公路勘察设计院

2023年6月 JUNE 2023

目录

CONTENTS

01

背景及意义

02

总体思路

03

积沙危险路段识别

04

基于“人-车-路-环境”的风险致因及识别

05

多源数据融合的预警与决策系统

An aerial photograph of a desert landscape. A long, straight road with white lane markings runs from the bottom center towards the horizon. To the left of the road, there is a strip of green, rectangular plots, possibly a small farm or a reforestation project. The rest of the landscape is composed of rolling sand dunes under a clear sky. The overall color palette is dominated by the tan and brown of the sand, with a blue tint on the left side of the image.

01

背景及意义

背景及意义

➤ 建设交通强国任务的需要

明确指出要**完善交通安全预防控制体系，有效防控系统性风险**，为交通运输安全提供保障。

➤ 建设宁夏平安交通试点的需要

通过1—2年时间，平安交通建设初见成效，交通运输安全发展理念不断深入。通过3—5年时间，平安交通建设取得显著成效，**交通基础设施本质安全水平明显提升**。



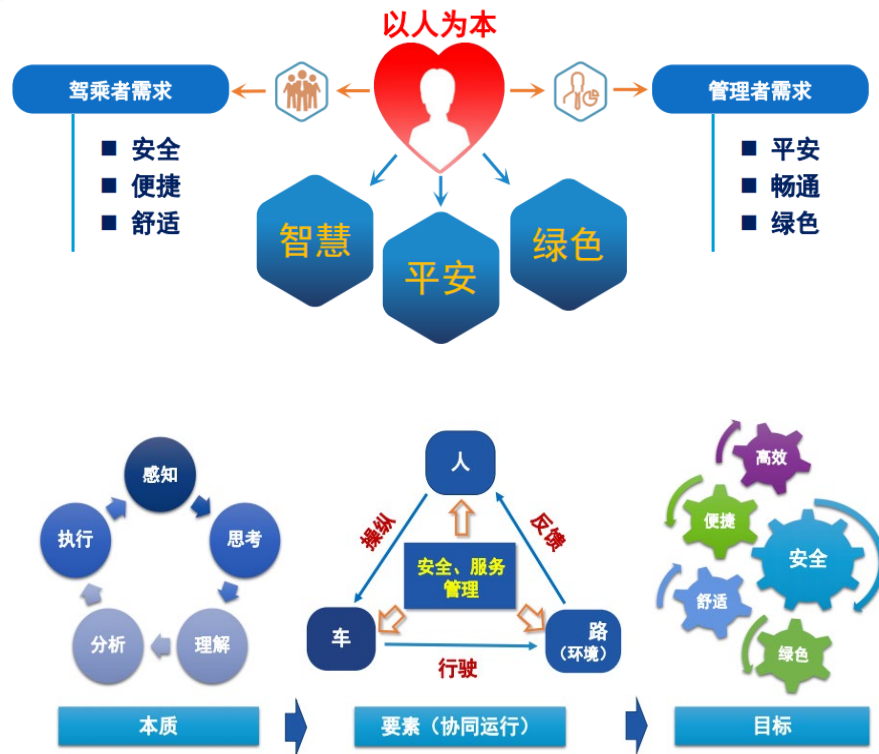
交通强国建设，助力行业发展的需要

新一代（未来）高速安全技术需要：

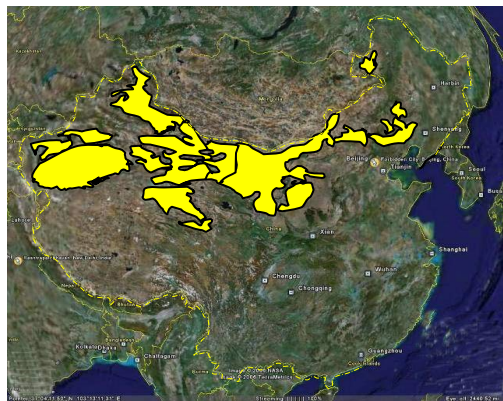
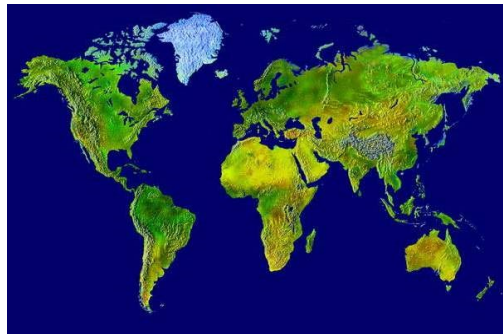
具备**全面、实时、准确的感知能力**，掌握路桥、车辆、环境的**现状并精准预测发展趋势**；

能将**各个要素更高效地协同起来**，实现创新管理；

系统全天候运行，提供有效的安全保障和无处不在的服务；



“智慧交通”建设，面向行业发展的需要



宁夏**荒漠化**土地面积占全区总面积的**53.68%**。

在穿越腾格里沙漠和毛乌素沙漠的**银百高速、乌玛高速**等，由于周围沙丘多为流动沙丘或半固定沙丘，在春季干旱环境下，即使风速不大情况下，也极易在短时间内“**扬沙**”和“**积沙**”等沙害。



服务地方重大工程，面向工程实践的需要

背景及意义

乌市高速公路的建设和运营，对于提升新疆公路网整体水平、促进区域经济社会发展具有重要意义。本项目旨在通过引进先进技术和设备，提高高速公路的建设和运营水平，为新疆的交通运输事业做出积极贡献。





02

总体思路



风沙环境高速公路 积沙危险路段确认

气象站检测数据资料
沙区公路周边沙丘分布及道路参数
沙区公路沿线地貌及已有防沙工程
无人机倾斜摄影影响数据

风沙环境高速公路主要沙源确定

基于ANSYS构建风沙环境高速公路模型

不同道路断面形式
不同风速
不同防沙体系

风沙环境高速公路积沙演变规律

基于模糊推理构建积沙危险等级模型

风沙环境高速公路车辆运行风险致因及风险识别

驾驶模拟

实车试验

车辆动力学特征

驾驶员眼动、生理特征

道路交通流量属性

风沙环境特征

道路线形特征

交通冲突理论

风险分析理论

有序Logit回归

结构方程模型

关联规则分析

贝叶斯网络

机器学习算法

风沙环境车辆瞬时风险致因模型

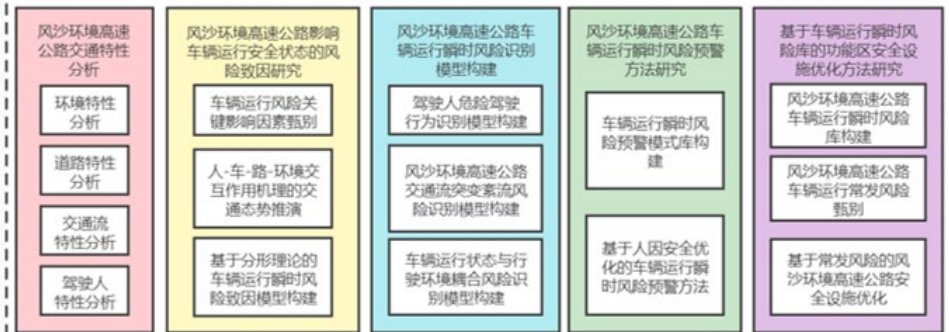
风沙环境车辆风险识别模型

宁夏沙漠高速公路预警平台



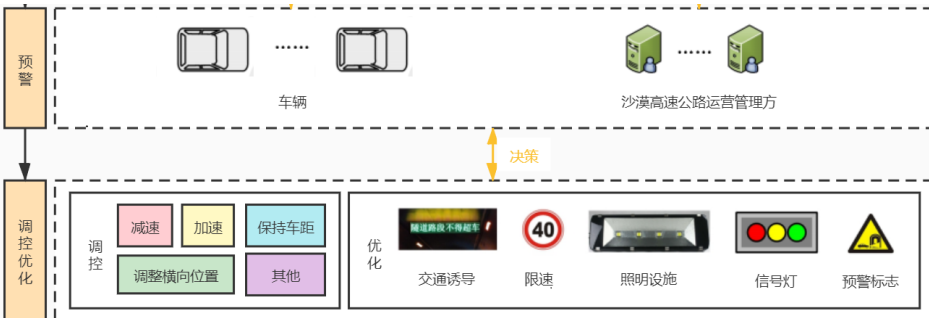
大数据为底座

基于**气象与遥感数据**的沙漠公路廊道沙丘运移规律分析，确定**“沙源”**以附着系数和能见度双指标约束，确定**“扬沙”**和**“积沙”**的临界状态；
 基于现场实车试验和室内模拟实验采集**车辆、驾驶员生心理特征参数**和**交通流特征参数**



机理分析为核心

“人-车-路-环境”系统分析，**甄别关键影响因素**。
 基于**仿真模拟驾驶舱**为基础，**推演不同交通态势**。
 基于**分形理论**构建风沙环境下车辆运行瞬时**风险模型**，确定不同风险等级的**阈值**及**驾驶员行为识别模型**、**交通流突变紊流模型**和**车辆状态吻合度模型**



系统集成与示范推广

基于**人因**的风险预警最优方案确定
 根据**风险类型、等级、预警对象**，确定各类事件**触发规则**，结合**风险预警方式和预警设施布设**，**并建立管理系统**；
 实现**“风沙环境高速公路风险识别与管理系统”**与现有商业平台的**嵌入和融合**，**验证响应速度和响应效率**。



03

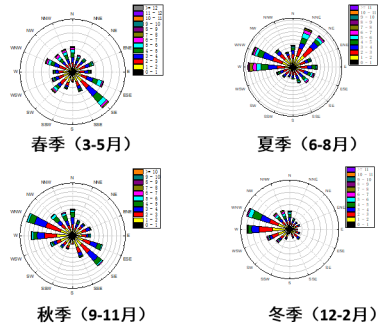
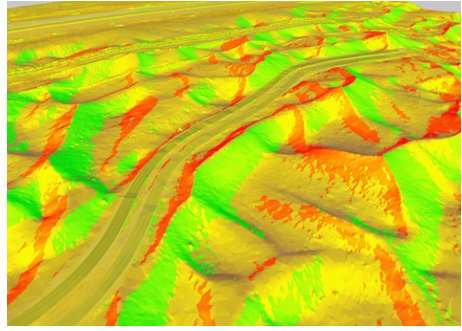
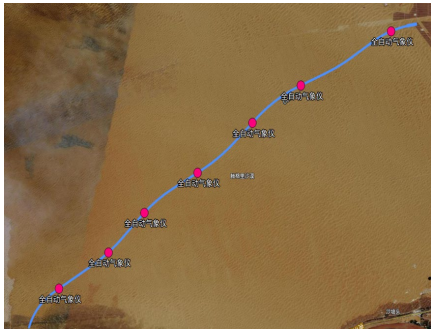
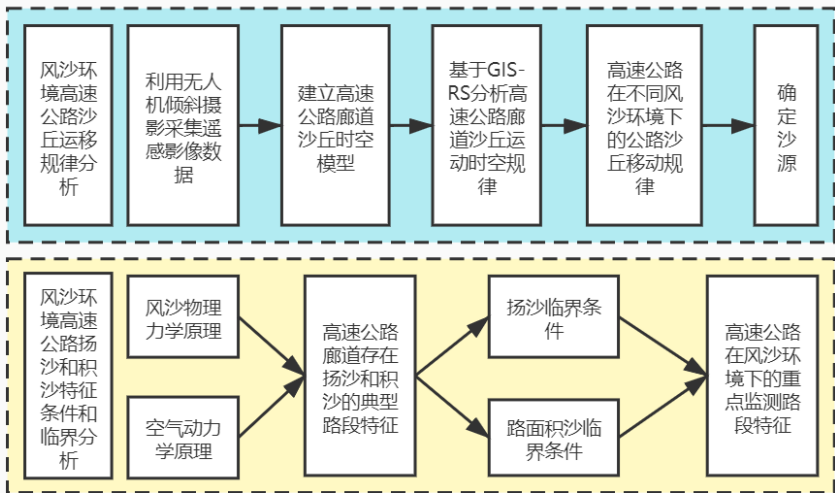
积沙危险路段识别



积沙危险路段识别

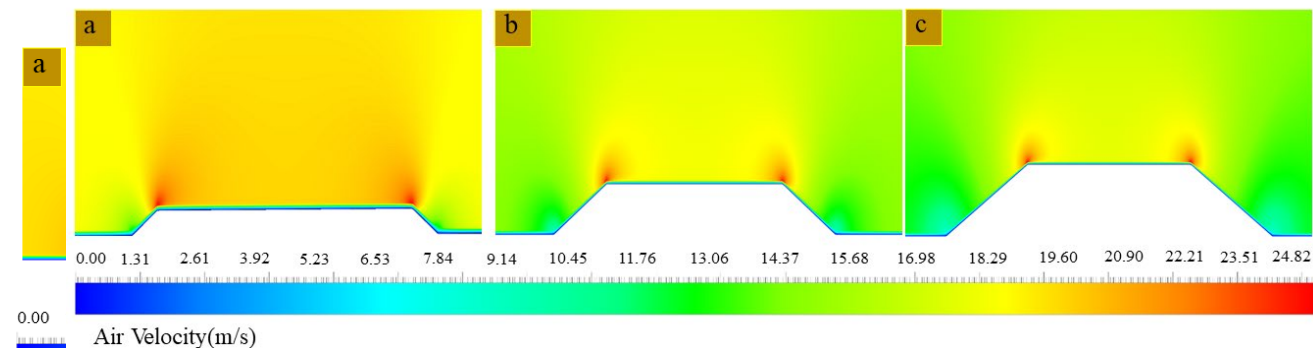
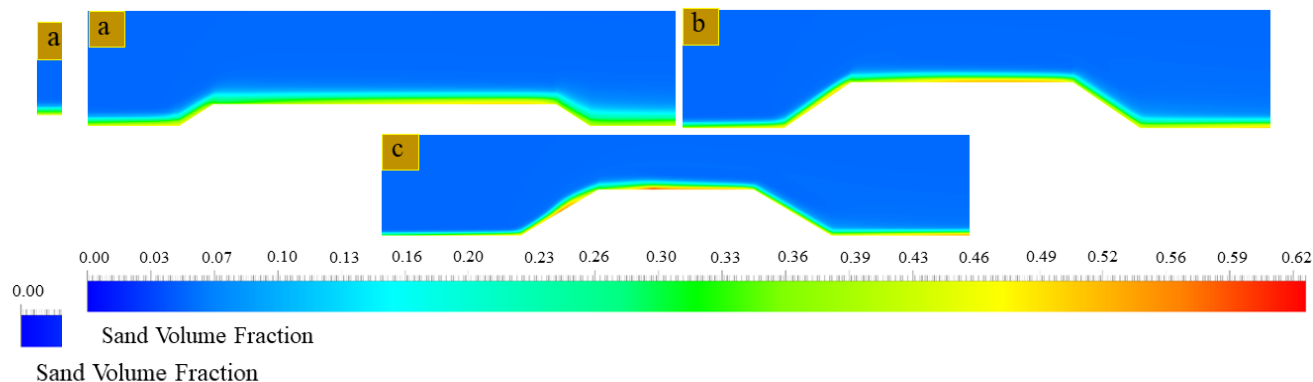
风沙环境沙源**确定**
解决对象**无序化**问题

安全行驶的**临界状态**确定
解决**边界条件模糊**

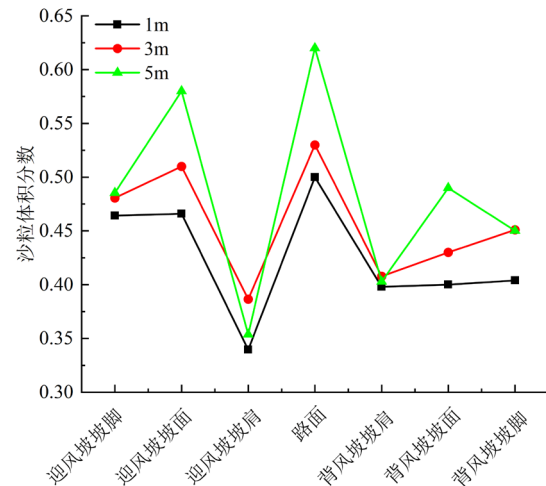


四

积沙危险路段识别



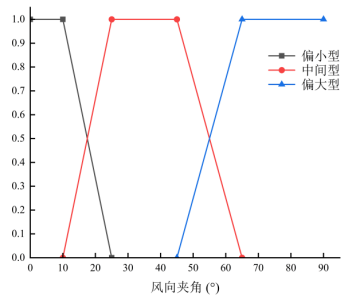
注：不同路堤高度积沙浓度云图与风速云图(a表示路堤高度1m,b表示路堤高度3m,c表示路堤高度5m)
 注：不同风向夹角积沙浓度云图与风速云图(a表示 90° 风向夹角,u表示 0° 风向夹角,c表示 45° 风向夹角,u表示 30° 风向夹角)
 注：不同路堑深度积沙浓度云图与风速云图(a表示路堑深度1m,b表示路堑深度3m,c表示路堑深度5m,)



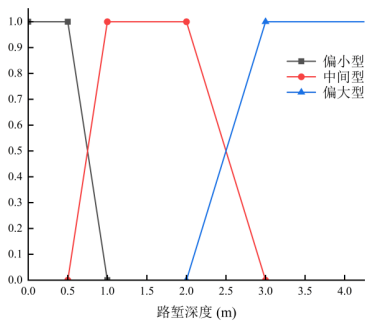
路堑迎风坡、路面和背风坡处的积沙体积分数与积沙范围都随着路堑（路堤）深度（高度）的提高而增大。路堑风向来角越小，更多的沙粒转变为沿路线走向运动，路堤对风沙流的阻滞作用越小，路堤背风坡处积沙程度越严重。路堑（路堤）深度（高度）提升至5m时，路堑各区域积沙程度和积沙区域的扩大程度愈发加剧。

四

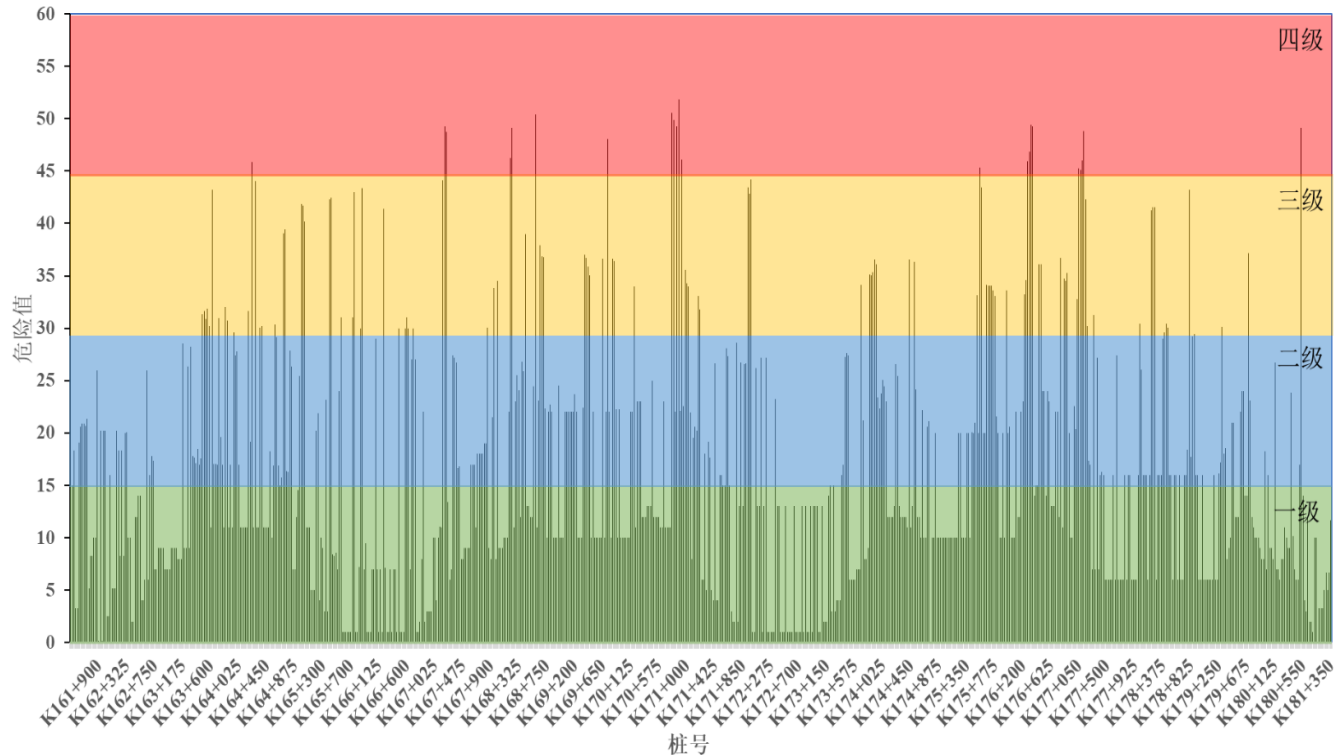
积沙危险路段识别



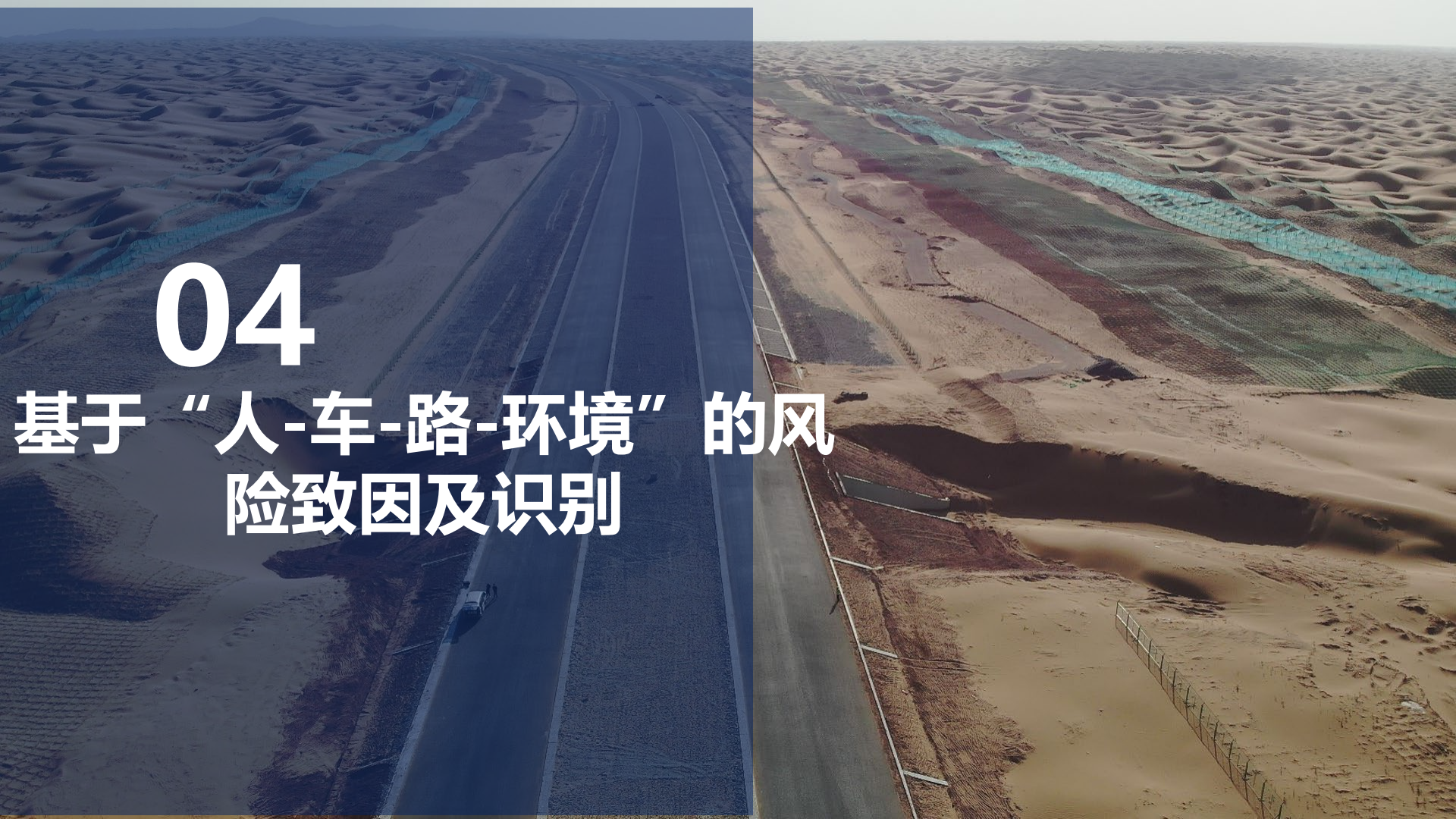
风向夹角的隶属度函数



路堑深度的隶属度函数



乌玛高速沙漠路段全长为**19.436km**。整个路段中四级危险路段长度为**1.175km**，占全路段长度的**6.0%**；三级危险路段长度为**3.225km**，占全路段长度的**16.6%**；二级危险路段长度为**6.211km**，占全路段长度的**32.0%**；一级危险路段长度为**8.825km**，占全路段长度的**45.4%**。



04

基于“人-车-路-环境”的风险致因及识别

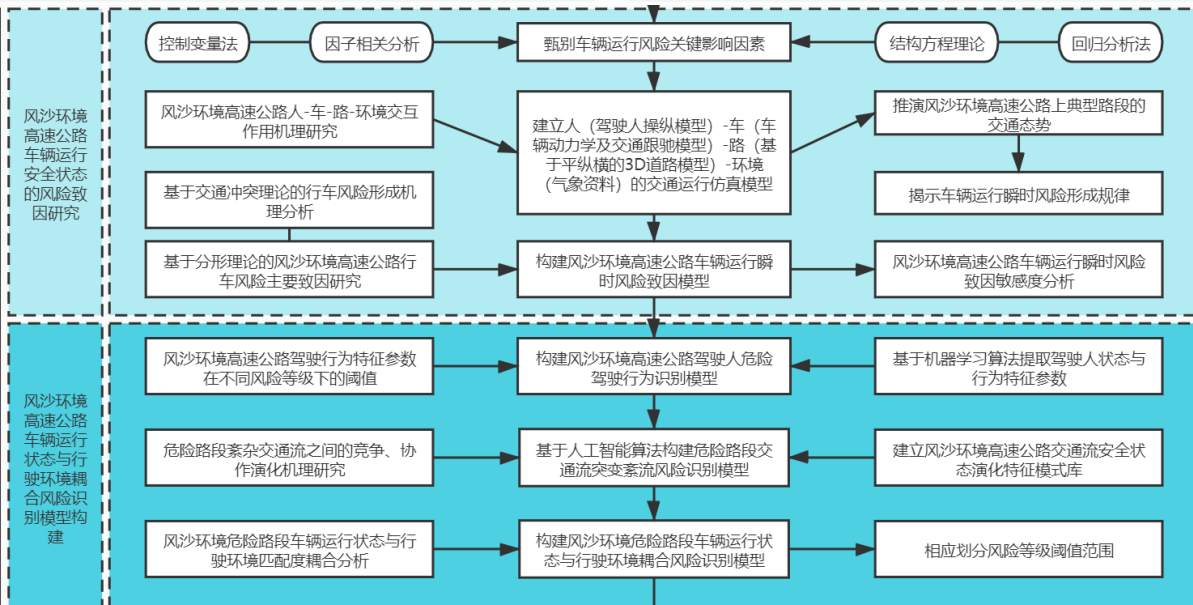
四

基于“人-车-路-环境”的风险致因及识别

问题及目标

揭示风沙环境下高速公路“人-车-路-环境”事故演变过程

建立不同风险等级下的风沙环境高速公路风险识别模型



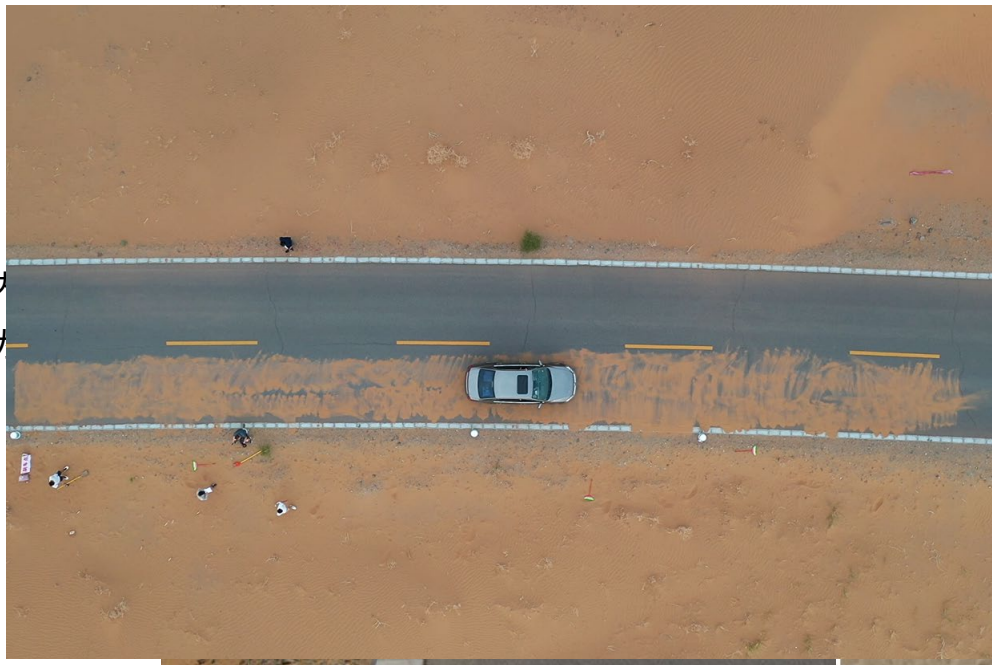
四

基于“人-车-路-环境”的风险致因及识别

试验



(a)摆式仪试验图



实车试验路段图

(b)车辆制动航拍图



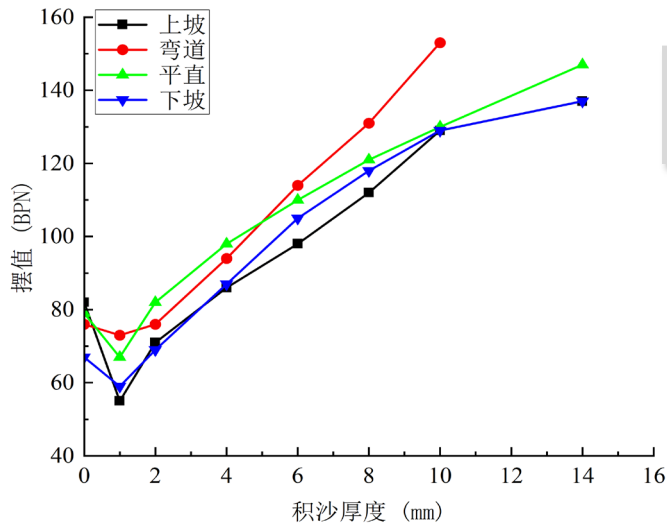
(c)驾驶员佩戴脑电仪图

四

基于“人-车-路-环境”的风险致因及识别

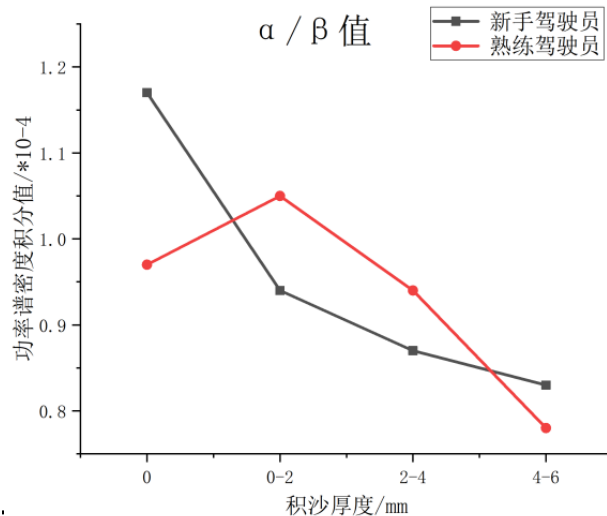
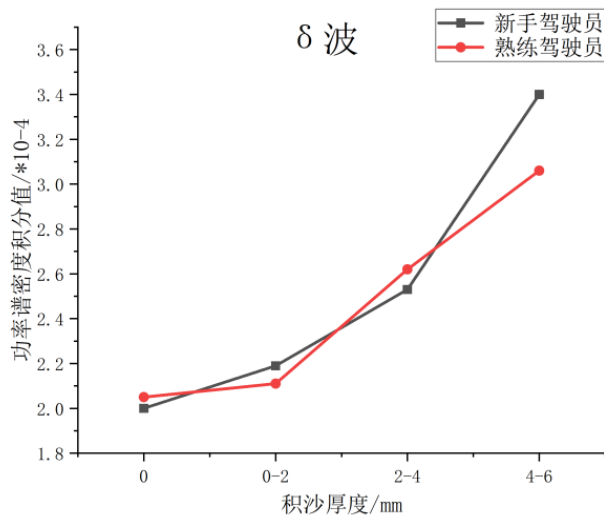
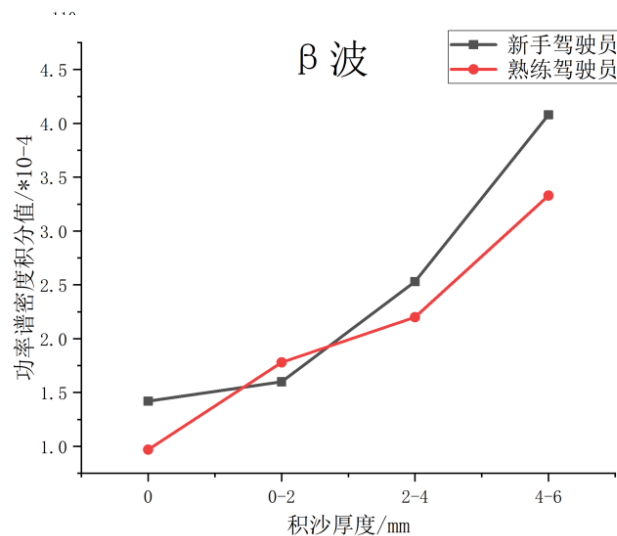
■ 路面积沙摩擦系数折减

积沙厚度	0	1	2	4	6	8	10	12	14
上坡路段摆值	82	55	71	86	98	112	129	137	153
弯道路段摆值	76	73	76	94	114	131	153		
平直路段摆值	79	67	82	98	110	121	130	147	
下坡路段摆值	67	59	69	87	105	118	129	137	



从图中可以看出，积沙严重影响了路面的抗滑性能，在沥青路面撒部分积沙，使得路面抗滑系数下降，且积沙厚度与路面抗滑系数成反比，积沙厚度越大，路面抗滑系数就越小，路面抗滑系数随着积沙厚度的增加而下降。

■ 沙漠公路实车试验驾驶员脑电分析



驾驶员脑电 β 波变化情况

驾驶员脑电 δ 波变化情况

驾驶员脑电 α/β 波变化情况

M SD

M SD

M SD

M SD

(1) 随着积沙厚度的增大, 驾驶员的脑电 β 波、δ 波功率谱密度积分值 **相对变大**

(2) 当道路积沙厚度处于 4-6mm 区间时, 驾驶员的 α/β 值最低, 而当道路积沙厚度小于 2mm 时, 驾驶员的 α/β 值在 1

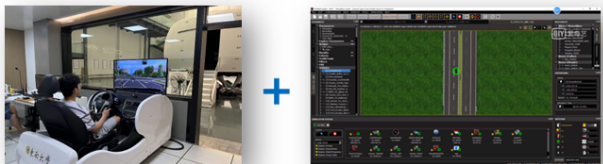
附近波动, 即脑电的 α 与 β 值成分接近, 是一种比较理想的驾驶状态

84.9	9.1	81.8	7.3
87.1	8.1	76.9	8.8
83.3	7.6	83.3	7.6

■ 风沙环境下高速公路车辆运行风险致因及风险识别研究方案

测试

Part I 风沙环境驾驶平台构建



驾驶模拟测试

Part II 场景设计



Part III 驾驶模拟实验



实验设计

驾驶模拟测试

Part V 数据处理

Part IV 数据采集



行为数据

眼动数据

心电数据

视频数据

因素

风险因素挖掘

风险影响因素及致因

人的因素

车的因素

路的因素

环境因素

- 交通流量
- 能见度

- 激进驾驶行为频次
-

微观行为推演

自由流

稳定流

拥挤流

- 速度
- 横向偏移

- 加速度
-

态势推演

Part VI 风沙环境下高速公路车辆运行瞬时风险识别

05

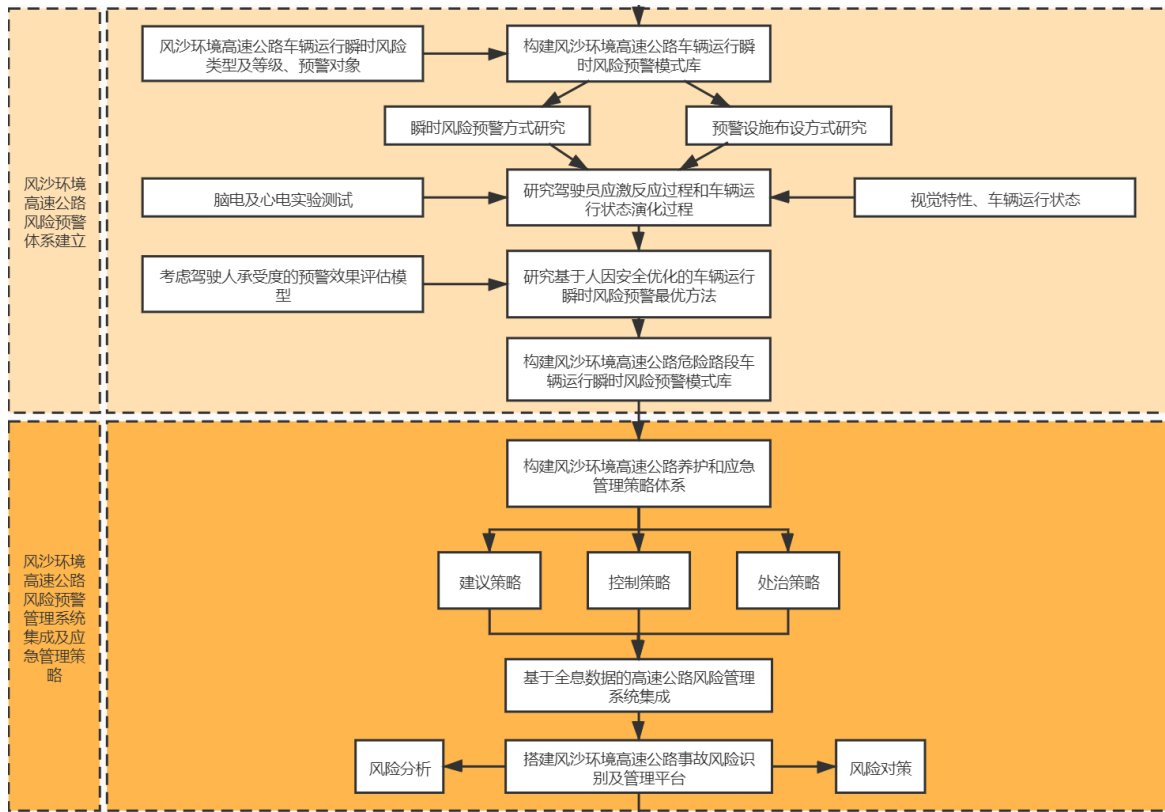
多源数据融合的预警 与决策系统



问题及目标

基于**人因工程**的风沙环境车辆瞬时风险预警方案优化

实现**多层次**的风险管控系统



五

多源数据融合的预警决策

基于多源异构数据的风沙环境高速公路风险识别

基于大数据的
临界条件确定

“人-车-路-环境”
的事故势态推演

车辆瞬时风险
识别模型建立

风沙环境高速公路事故风险管理系统建立

风险等级的风
险识别算法

基于人因的最优预
警方案

基于风险等级
的预警决策

实现

风沙环境
沙漠高速
主动安全

风沙环境高速公路事故风险智能管理与决策

调控
优化

调控

减速

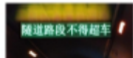
加速

保持车距

调整横向位置

其他

优化



交通诱导



限速



照明设施



信号灯



预警标志

返回

监测信息

联网告警

宁夏沙漠高速公路安全告警系统

数据录入

告警统计



告警数量变化趋势



全部告警 路面积沙 路基风蚀 风沙天气



序号	告警位置 (点击在地图中查看)	告警时间	告警等级	告警请因/原因	告警详情	建议措施	操作
01	X1.233384e Y2.338484	2029-12-12 12:12:12	红色告警	路面积沙	路面积沙面积超过60%，影响行车安全，车辆通行较为危险，需立刻处理	查看推荐解决方案	处置告警 日志 推送公告牌
02	X1.233384e Y2.338484	2029-12-12 12:12:12	黄色告警	路基风蚀	路面积沙面积超过60%，影响行车安全，车辆通行较为危险，需立刻处理	查看推荐解决方案	处置告警 日志 推送公告牌
03	X1.233384e Y2.338484	2029-12-12 12:12:12	黄色告警	风沙天气	路面积沙面积超过60%，影响行车安全，车辆通行较为危险，需立刻处理	查看推荐解决方案	处置告警 日志 推送公告牌
04	X1.233384e Y2.338484	2029-12-12 12:12:12	红色告警	路面积沙	路面积沙面积超过60%，影响行车安全，车辆通行较为危险，需立刻处理	查看推荐解决方案	已处置 日志 推送公告牌
05	X1.233384e Y2.338484	2029-12-12 12:12:12	红色告警	路基风蚀	路面积沙面积超过60%，影响行车安全，车辆通行较为危险，需立刻处理	查看推荐解决方案	已处置 日志 推送公告牌



谢谢！

汇报人：王芳

邮箱：wangfang@nxu.edu.cn