

参赛队号 # 2183

第七届“认证杯”数学中国

数学建模网络挑战赛

承 诺 书

我们仔细阅读了第七届“认证杯”数学中国数学建模网络挑战赛的竞赛规则。

我们完全明白，在竞赛开始后参赛队员不能以任何方式（包括电话、电子邮件、网上咨询等）与队外的任何人（包括指导教师）研究、讨论与赛题有关的问题。

我们知道，抄袭别人的成果是违反竞赛规则的，如果引用别人的成果或其他公开的资料（包括网上查到的资料），必须按照规定的参考文献的表述方式在正文引用处和参考文献中明确列出。

我们郑重承诺，严格遵守竞赛规则，以保证竞赛的公正、公平性。如有违反竞赛规则的行为，我们接受相应处理结果。

我们允许数学中国网站(www.madio.net)公布论文，以供网友之间学习交流，数学中国网站以非商业目的的论文交流不需要提前取得我们的同意。

我们的参赛队号为：2183

参赛队员（签名）：

队员 1：张妍

队员 2：袁希

队员 3：张雯瑶

参赛队教练员（签名）： 王明刚

参赛队伍组别：本科组

参赛队号 # 2183

第七届“认证杯”数学中国

数学建模网络挑战赛

编号专用页

参赛队伍的参赛队号：（请各个参赛队提前填写好）：

2183

竞赛统一编号（由竞赛组委会送至评委团前编号）：

竞赛评阅编号（由竞赛评委团评阅前进行编号）：

2014 年第七届“认证杯”数学中国 数学建模网络挑战赛第一阶段论文

题 目 不同条件下轮胎花纹的设计

关 键 词 花纹的优化和创新、人口增长模型、TRIZ 理论法

摘 要：

本文我们研究的问题的特点在于需要搜集大量的资料，要对数据进行整理分析，提取对解决问题有帮助的核心要素。整个问题主要分为四个部分来讨论：

第一部分是从车辆情况分析，通过从不同车辆适用的轮胎花纹的资料的整理和车辆轮胎上常用标志相关内容的普及。为了使研究更全面且条理清晰，我们多用表格的形式来呈现。

第二部分是从路面条件来分析，我们将路面条件分为路面等级、路面系数和天气情况三类。在路面等级中，首先进行一个简单的分层处理，其次根据调查结果，利用映射原理探究各种花纹的适用性，然后创设情境，利用匈牙利算法求出最优解；在路面系数中分别对摩擦系数和附着系数进行研究，并对路面情况进行模拟；在天气情况方面则主要确立各级评价因素，进而用回归直线方程求解。

第三部分是从使用需求来分析，其中涉及指数增长模型（Malthus人口增长模型）、阻滞增长模型（Logistic人口增长模型）、FMEA分析法、FTA分析法、灰色预测模型等。

第四部分是对轮胎花纹的设计和优化，主要运用TRIZ理论的方法解决存在的问题，并提出设计和优化方案。

整个问题的难点在于要找出大量的资料，从其中抽取核心来分析我们要研究的对象，并对相关的数据进行处理，同时要找到适合解决问题的分析方法。

参赛队号:2183

参赛密码
(由组委会填写)

所选题目：A 题

英文摘要

In this paper we study the characteristics of the problem lies in the need to collect a lot of data to sort out the data analysis , extract help to solve the problem of the core elements . The whole problem is divided into four sections to discuss :

The first part is to analyze the situation from the vehicle by the vehicle from a different tire tread applicable data collation and vehicle tires on universal common signs related content . To make the study more comprehensive and clear, we are multi-use table format to render.

The second part is to analyze from road conditions , road conditions will be divided road grade , road and weather conditions factor categories . The road grade , first performed a simple hierarchical processing, followed by the survey results , the use of mapping principle to explore the applicability of various patterns , and create situations , the use of the Hungarian algorithm to derive the optimal solution ; coefficient of friction on the road were coefficient of friction coefficient and research , and to simulate road conditions ; mainly in terms of weather conditions at all levels to establish evaluation factors , thus solving the linear regression equation .

The third part is from the use of demand analysis, which involves the exponential growth model (Malthus population growth model) , block growth model (Logistic population growth model) , FMEA analysis , FTA analysis, gray prediction model.

The fourth part is the design and optimization of the tire tread , the main use of TRIZ methods to solve problems and make design and optimization.

The whole problem lies in the difficulty to find a lot of information extracted from the core to analyze the object which we need to study , and related data processing , and analysis methods to find the appropriate solution to the problem .

参赛队号 # 2183

一、问题重述.....	7
1.1 背景知识.....	7
1.2 要分析的问题.....	7
二、问题分析.....	7
三、问题假设.....	8
四、符号说明.....	8
五、轮胎花纹与车辆情况分析.....	9
5.1 不同种类车辆的适用轮胎花纹.....	9
5.2 轮胎负荷标志.....	12
六、轮胎花纹与路面条件模型的分析、建立与求解.....	13
6.1 路面等级.....	13
6.1.1 简单分层处理.....	13
6.1.2 利用映射原理探究花纹的适应性.....	13
6.1.3 结合具体情境利用匈牙利算法求最优解.....	14
6.2 路面系数.....	15
6.2.1 路面摩擦系数 (μ).....	15
6.2.2 路面附着系数 (η).....	17
6.2.3 路面情况模拟.....	17
6.3 天气情况.....	18
6.3.1 确立各级评价因素.....	18
6.3.2 回归直线方程求解.....	19
七、轮胎花纹与使用需求模型的分析、建立与求解.....	20
7.1 客户需求.....	20
7.1.1 用户群和轮胎花纹相关分析.....	20
7.1.2 建立用户需求程度参数 CSI.....	21
7.2 价格需求.....	21
7.2.1 指数增长模型 (Malthus 人口增长模型) 的建立、分析和应用.....	21
7.2.2 阻滞增长模型 (Logistic 人口增长模型) 的建立、分析和应用.....	22
7.3 安全需求.....	23
7.3.1 利用 FMEA 分析法分析严酷度类比发生故障的情况.....	23
7.3.2 利用 FMEA 分析法进行危害性的定性分析.....	23
7.3.3 利用 FTA 分析法 (故障树分析法) 对其做定量分析.....	23
7.4 发展需求.....	24
7.4.1 发展预测表.....	24
7.4.2 灰色预测模型的建立.....	24
7.5 其他需求简述.....	26
八、轮胎花纹设计和优化.....	26

参赛队号 # 2183

8.1 现状不足分析.....	26
8.2 确定设计指标.....	27
8.2.1 树状图分析.....	27
8.2.2 权重归一化.....	28
8.3 运用 TRIZ 理论的方法解决存在的问题.....	28
8.3.1 矛盾解决矩阵（部分）.....	28
8.3.2 解决驱（制）动力较弱的问题.....	28
8.3.3 解决排水性较差的问题.....	29
8.3.4 解决减噪性较差的问题.....	30
8.3.5 解决路面适应性的问题.....	31
8.3.6 解决成本高的问题.....	31
8.3.7 解决易磨损的问题.....	32
8.3.8 解决轮胎安装方向的问题.....	33
九、模型评价.....	33
9.1 模型优点.....	33
9.2 模型缺点.....	33
9.3 模型推广.....	34
十、参考文献.....	34

一、问题重述

1. 1 背景知识

随着时代的发展，经济情况的提高，人民的生活条件越来越好。现在，每个家庭基本都有自己的私家车。车，已经成为了我们的代步工具，我们生活的一部分。然而，你对车真的了解吗？你知道轮子是车的必要部分，但你知道小小的花纹在整个车中起着重要作用吗？它虽然小，容易被人忽视，但是他的作用不容小视。

轮胎，是车辆非常重要的部分，对于一辆车来说，轮胎就是它的脚，它们总是干着最脏最累的活。轮胎，或许许多人会对他们感到不屑，认为他们只是我们的代步工具而已。那你就错了，他们也有感情，我们对他们的关注多了，他们也会给与我们回报。我们只有给与他们更多的关注和保护，他们才能为我们的行驶提供更稳定，更安全的保障。

轮胎被广泛使用在多种陆地交通工具上。为了让轮胎适用于各种路段，并保证车辆能安全地行驶，轮胎的花纹也就随之设计出了各种式样。花纹不仅是轮胎外观漂亮与否的决定因素，而且更关系到是否能够充分发挥轮胎的牵引、制动、转弯、排水及噪音等性能。

1. 2 要分析的问题

由题意可知，目的就是设计出当给定车辆情况、路面条件和使用需求时的轮胎花纹。

对不同轮胎花纹的设计方案，当前人们通过测量或实验等方法，已经积累了一些数据，也见诸各类文献当中。但由于数据量和数据精度仍有各种不足之处，还没有形成足够完善的经验公式。以下我们就建立合理的数学模型对轮胎花纹在三种情况下的各种性能特性进行定性和定量分析，并根据分析结果来设计和优化轮胎花纹。

二、问题分析

本文我们研究的问题的特点在于需要搜集大量的资料，要对数据进行整理分析，提取对解决问题有帮助的核心要素。整个问题主要分为四个部分来讨论：

第一部分是从车辆情况分析，通过从不同车辆适用的轮胎花纹的资料的整理和车辆轮胎上常用标志相关内容的普及。为了使研究更全面且条理清晰，我们多用表格的形式来呈现。

第二部分是从路面条件来分析，我们将路面条件分为路面等级、路面系数和天气情况三类。在路面等级中，首先进行一个简单的分层处理，其次根据调查结果，利用映射原理探究各种花纹的适用性，然后创设情境，利用匈牙利算法求出最优解；在路面系数中分别对摩擦系数和附着系数进行研究，并对路面情况进行模拟；在天气情况方面则主要确立各级评价因素，进而用回归直线方程求解。

第三部分是从使用需求来分析，其中涉及指数增长模型（Malthus人口增长模型）、阻滞增长模型（Logistic人口增长模型）、FMEA分析法、FTA分析法、灰色预测模型等。

第四部分是对轮胎花纹的设计和优化，主要运用TRIZ理论的方法解决存在

参赛队号 # 2183

的问题，并提出设计和优化方案。

整个问题的难点在于要找出大量的资料，从其中抽取核心来分析我们要研究的对象，并对相关的数据进行处理，同时要找到适合解决问题的分析方法。

三、模型假设

- 1、假设我们找出的数据均是正确可靠的，少量错误数据可以剔除。
- 2、假设所有数据均来自新轮胎，保证数据的准确性。
- 3、假设轮胎的制作工艺是一定的，不考虑轮胎制作工艺带来的影响。

四、符号说明

符号	符号说明
LI	负荷指数
TLCC	轮胎负荷能力
x_{ij}	矩阵第 i 行第 j 列
Σ	求和
C_{ij}	矩阵
μ	路面摩擦系数
S	刹车距离
F	汽车对地面的压力
m	总质量
v	汽车速度
η	路面附着系数
η_i	轮胎花纹接触的第 i 块路面的单元附着系数
s_i	轮胎花纹在第 i 块路面单元接触印迹的面积
y_i	湿地性能总分
v	水在沟槽中的流速
R^2	回归直线方程的精准度
CSI	用户需求程度参数
q_i	每项需求得到满足的程度
t	时刻
$x(t)$	t 时刻的成本
r	轮胎成本的固有增长率
x_m	环境所能容纳的最大成本

MCS	所有最小割集
T	顶事件
x_i	底事件
K_i	最小割集
$F_s(t)$	顶事件 T 发生的概率（不可靠度）
X	数列
C	差比值
p	误差概率
X_i	底层指标
ω_i	权系数

五、轮胎花纹与车辆情况

5. 1不同种类车辆的适用轮胎花纹

随着科技的发展，人们生活条件的提高，马路上的车辆越来越多，其种类也越来越丰富。通过观察，我们发现车辆可以分为汽车、自行车、摩托车、铁路车辆。为此，我们进行了调查研究，并将其整理如下：

①汽车



A. 货车



B. 越野汽车



C. 自卸汽车



D. 牵引汽车



E. 专用汽车



F. 客车



G. 轿车



H. 半挂车

参赛队号 # 2183

花纹与汽车的关系		
汽车种类	花纹类型	例子
A	条形花纹, 复合花纹, 横向花纹, 纵向花纹, 联合式花纹	军用卡车, 垃圾收集车
B	越野花纹	商用车
C	羊角花纹	载重汽车
D	横向花纹, 越野花纹	集装箱挂车
E	羊角花纹, 块状花纹, 不对称花纹	救护车, 消防车, 水泥搅拌车
F	高速花纹, 普通花纹, 通用花纹, 羊角花纹(后轮), 复合花纹	公共汽车, 巴士
G	高速花纹, 普通花纹, 块状花纹, 单导向花纹, 纵向花纹, 混合花纹, 条形花纹	奇瑞车, 一汽车
H	四道顺花纹, 横向花纹, 纵向花纹	挂车

②自行车



I. 公路自行车



J. 山地车



K. 攀爬车



L. 街车

花纹与自行车的关系		
自行车种类	花纹类型	例子
I	不对称花纹	捷安特公路自行车
J	越野花纹	一般山地车, 全减震山地车, 多用途山地车, 旅游山地车
K	块状花纹	特技障碍单车
L	单导向花纹	Bandit 400, CB400 sf, Bandit 400v, Impulse 400, CB400 sf

③摩托车



M. 骑士车



N. 弯梁车



O. 踏板车



P. 助力车

参赛队号 # 2183



Q. 三轮车

R. 四轮多功能车

S. 特殊用途特型摩托车

T. 电动摩托车

花纹与摩托车的关系		
摩托车种类	花纹类型	例子
M	纵横沟花纹	黑骑士
N	块状花纹	威武威胜、铃木赛弛、建设雅玛哈灵雅、f8、光阳舞 125、宗申蝶意、隆鑫风语
O	纵横沟花纹	卡什曼、Welbike、
P	越野花纹	建设、嘉陵、雅迪、林海、轻骑、力帆、大阳、宗申、新辰、铭锐
Q	斜交花纹	鑫盾、两江龙、鑫腾、SBL
R	小人字花纹	野外宿营家庭生活用车
S	双钱花纹	垃圾车、建筑用三轮车
T	普通花纹	电动两轮摩托车、电动三轮摩托车

4. 铁路车辆



H. 铁路货车



I. 铁路客车

花纹与铁路车辆的关系		
铁路车辆种类	花纹类型	例子
H	曲混花纹	冷藏车
I	四道沟花纹	运送旅客车、服务旅行车、特种用途车、

5. 2 轮胎负荷标志

①负荷指数：轮胎在标准规定的使用条件下，按速度符号标明行驶时，所能承受最大负荷的数字代号。如负荷指数 140 相当于 2500Kg 的负荷能力。

负荷指数 (LI) 与轮胎负荷能力 (TLCC) 对应表

LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg	LI	Kg
0	45	40	140	80	450	120	1400	160	4500	200	14000	240	45000
4	50	44	160	84	500	124	1600	164	5000	204	16000	244	50000
8	56	48	185	88	560	128	1800	168	5600	208	18000	248	56000
12	63	52	200	92	630	132	2000	172	6300	212	20000	252	63000
16	71	56	224	96	710	136	2240	176	7100	216	22400	256	71000
20	80	60	250	100	800	140	2500	180	8000	220	25000	260	80000
24	90	64	280	104	900	144	2800	184	9000	224	28000	264	90000
28	100	68	315	108	1000	148	3150	188	10000	228	31500	268	100000
32	112	72	355	112	1120	152	3550	192	11200	232	35500	272	112000
36	125	76	387	115	1215	155	3875	195	12150	237	41250	277	128500

②层级：(P. R. 或 PR 或 PLYRATING) 指轮胎在规定的使用条件下，能够承受最大负荷的特定强度标志。

如 10.00—20 16PR 轮胎，胎体采用了 16 层棉帘线作胎体骨架材料，能承受 3000Kg 负荷。后来由于原材料的改进和发展，胎体骨架材料采用了高强度的人造丝、尼龙、聚酯帘线和钢丝帘线等代替棉帘线，在保证承载负荷的情况下减少了帘布层数，使其具有更好的散热性能。但人们还是习惯采用棉帘线为基准表示轮胎的层级，如 10.00R20 16PR 的轮胎采用一层钢丝帘线作胎体骨架材料和 10.00—20 16PR 轮胎采用 10 层加粗尼龙帘线作胎体骨架材料，同样能承受 3000Kg 的负荷。

③负荷等级：在美国生产或出口到美国、加拿大等国的轮胎在胎侧上都要求有负荷等级标记，用 A、B、C……N 作为标记，它相当于 2、4……24 层级。

右图为负荷等级与层级对应表

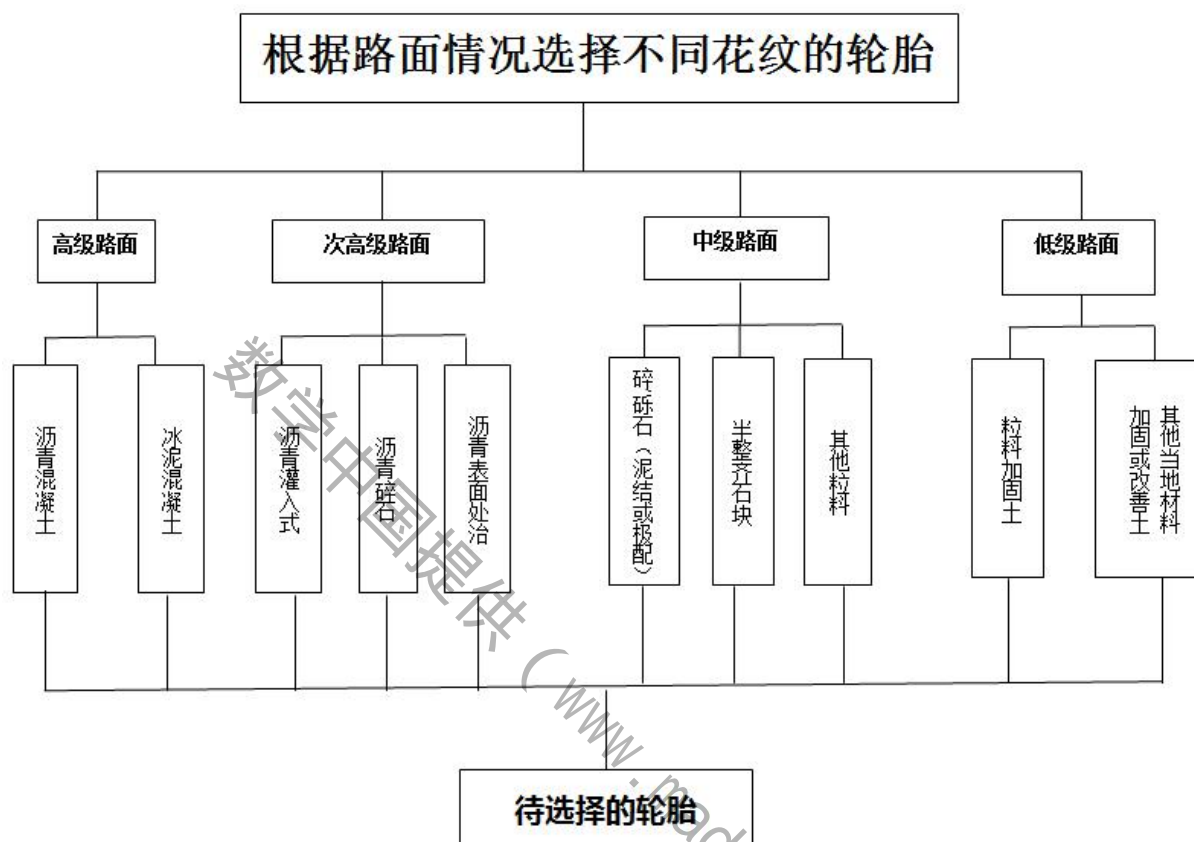
负荷等级	层级	负荷等级	层级
A	2	G	14
B	4	H	16
C	6	J	18
D	8	L	20
E	10	M	22
F	12	N	24

六、轮胎花纹与路面条件

6. 1 路面等级

6. 1. 1 简单分层处理

除了与车辆情况、轮胎本身性能有关,轮胎花纹的选择同样与路面等级有着不可分割的关系,结合资料可作如下分层处理:



6. 1. 2 利用映射原理探究花纹的适应性

根据不同花纹轮胎对不同路面的适应性作图，结果如右图所示。

可假设 $M=\{A, B, C, D, E, F, G, H, I\}$, $N=\{\text{高级路面, 次高级路面, 中级路面, 低级路面}\}$ 。

集合 M 中的元素和集合 N 中的元素之间存在一种特殊的对应关系，这个对应是集合 M 到集合 N 的映射，这是一个多对一映射。

其中 A 为直沟花纹

B 为横沟花纹

C 为纵横沟花纹

D 为越野花纹

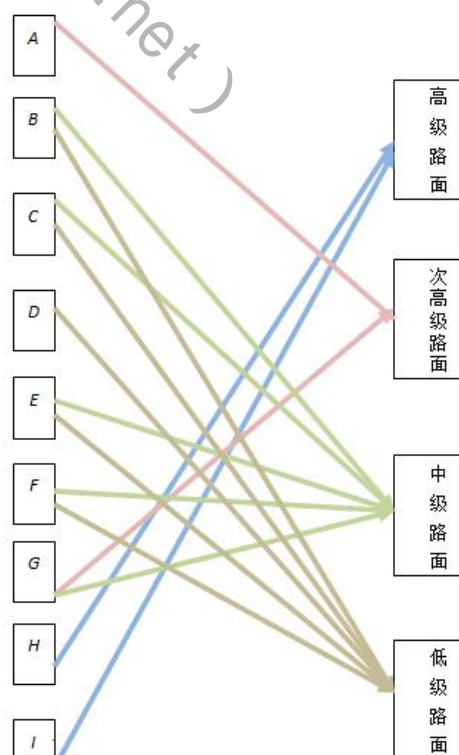
E 为泥雪地花纹

F 为块状花纹

G 为复合花纹

H 为不对称花纹

I 为单导向花纹



6. 1. 3 结合具体情境利用匈牙利算法求最优解

假设有不同等级下的 A、B、C、D、E，5 种不同路面，有甲、乙、丙、丁、戊，5 种不同花纹的轮胎，每辆车行驶完每种路面相同距离的用时各不相同（假设车速等其他条件相同且空气阻力忽略不计），具体数据见下表：

时间 路面 花纹 (m/s)	A	B	C	D	E
甲	12	7	9	7	9
乙	8	9	6	6	6
丙	7	17	12	14	9
丁	15	14	6	6	10
戊	4	10	7	10	9

现要做车辆测试，如果单从总用时的角度考虑，我们可以利用匈牙利算法求解

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{分配第 } i \text{ 种花纹的车行驶第 } j \text{ 条路时} \\ 0, & \text{不分配第 } i \text{ 种花纹的车行驶第 } j \text{ 条路时} \end{cases}$$

则目标函数为

$$\sum 12x_{11} + 7x_{12} + 9x_{13} + 7x_{14} + 9x_{15} + 8x_{21} + 9x_{22} + 6x_{23} + 6x_{24} + 6x_{25} + 7x_{31} + 17x_{32} + 12x_{33} + 14x_{34} + 9x_{35} + 15x_{41} + 14x_{42} + 6x_{43} + 6x_{44} + 10x_{45} + 4x_{51} + 10x_{52} + 7x_{53} + 10x_{54} + 9x_{55}$$

$$\text{要求每车行驶一条路，约束条件为 } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

$$\text{要求每条路作只能行驶一辆车，约束条件为 } \sum_{i=1}^n x_{ij} = 1 \quad (j=1, 2, \dots, n)$$

$$\text{变量约束为 } x_{ij} = 0 \text{ 或 } 1 \quad (i, j = 1, 2, 3, 4)$$

构建矩阵如下：

$$(c_{ij}) = \begin{bmatrix} 12 & 7 & 9 & 7 & 9 \\ 8 & 9 & 6 & 6 & 6 \\ 7 & 17 & 12 & 14 & 9 \\ 15 & 14 & 6 & 6 & 10 \\ 4 & 10 & 7 & 10 & 9 \end{bmatrix} \longrightarrow \begin{bmatrix} 5 & 0 & 2 & 0 & 2 \\ 2 & 3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 10 & 5 & 7 & 2 \\ 9 & 8 & 0 & 0 & 4 \\ 0 & 6 & 3 & 6 & 5 \end{bmatrix}$$

$$\longrightarrow \begin{bmatrix} 5 & \odot & 2 & \otimes & 2 \\ 2 & 3 & \otimes & \otimes & \odot \\ \odot & 10 & 5 & 7 & 2 \\ 9 & 8 & \odot & \otimes & 4 \\ \otimes & 6 & 3 & 6 & 5 \end{bmatrix} \xrightarrow{14} \begin{bmatrix} 5 & \odot & 2 & \otimes & 2 \\ 2 & 3 & \otimes & \otimes & \odot \\ \odot & 10 & 5 & 7 & 2 \\ 9 & 8 & \odot & \otimes & 4 \\ \otimes & 6 & 3 & 6 & 5 \end{bmatrix} \begin{matrix} \sqrt{-2} \\ \sqrt{-2} \\ \times \\ \sqrt{-2} \end{matrix}$$

参赛队号 # 2183

$$\begin{array}{c}
 \longrightarrow \begin{bmatrix} 7 & \textcircled{2} & 2 & \emptyset & 2 \\ 4 & 3 & \textcircled{3} & \emptyset & \emptyset \\ \emptyset & 8 & 3 & 5 & \textcircled{4} \\ 11 & 8 & \emptyset & \textcircled{5} & 4 \\ \textcircled{6} & 4 & 1 & 4 & 3 \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad \begin{bmatrix} 7 & \textcircled{2} & 2 & \emptyset & 2 \\ 4 & 3 & \emptyset & \textcircled{3} & \emptyset \\ \emptyset & 8 & 3 & 5 & \textcircled{4} \\ 11 & 8 & \textcircled{5} & \emptyset & 4 \\ \textcircled{6} & 4 & 1 & 4 & 3 \end{bmatrix} \\
 \\
 \longrightarrow \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad \text{或} \quad \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}
 \end{array}$$

解矩阵得到 2 个最优方案：

(1) 甲-B, 乙-C, 丙-E, 丁-D, 戊-A; (2) 甲-B, 乙-D, 丙-E, 丁-C, 戊-A.

所需时间为 $t=7+6+9+6+4=32$

通过上述内容, 我们更进一步地了解了轮胎花纹在不同路面上的适用性及要根据实际情况设计不同的方案来达到理想效果。这为后文所述轮胎花纹的创新思想奠定了基础。

6. 2 路面系数

6. 2. 1 路面摩擦系数 (μ)

定义：摩擦系数是指两表面间的摩擦力和作用在其一表面上的垂直力之比值。它是和表面的粗糙度有关, 而和接触面积的大小无关。依运动的性质, 它可分为动摩擦系数和静摩擦系数。

我们在选择轮胎时, 也要充分考虑该轮胎花纹在不同路面摩擦系数的情况下定量和定性关系。

根据已学知识, 我们知道制动距离=反应时间距离+刹车距离, 根据下表:

反应距离与制动距离表 (普通车辆)

速度 (km/h)	反应距离 (m)	制动距离 (m)
40	7	8
50	9	13
60	11	20
80	15	34
100	18	54

接着我们搜集数据, 探究摩擦系数和刹车距离之间的关系, 整理得到以下表格: (假设车速为 60km/h)

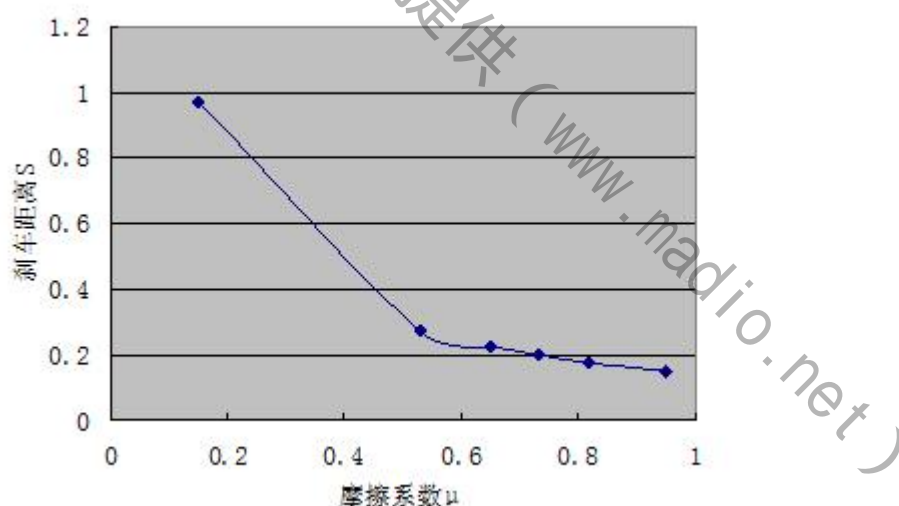
道路情况		摩擦系数 μ	刹车距离 $S(m \cdot 10^{-2})$
低级路面	雪地路面	0.15	0.9676
	粒料加固土	0.53	0.2738
中级路面	碎, 砾石路面	0.65	0.2233
次高级路面	沥青灌入式路面	0.73	0.1988
高级路面	新水泥混凝土路面	0.82	0.1770
	新沥青混凝土路面	0.95	0.1528

假设其他条件相同,

$$\because F=mg, \quad mg \mu = \frac{mv^2}{2}$$

$$\therefore \text{刹车距离 } S = \frac{v^2}{2g\mu} \quad (\text{其中 } m \text{ 为总质量})$$

根据上表及刹车距离 S 的计算公式可知 μ 与 S 存在反比例函数关系



下面研究路面摩擦系数与路面类型和路面情况之间的关系:

路面类型	路面清洁			路面覆盖砂砾(泥土)		
	干燥	潮湿	湿润	干燥	潮湿	湿润
旧路面	0.76	0.69	0.65	0.59	0.58/0.71	0.61/0.59
新路面	0.93	0.75	0.74	0.64	0.61/0.72	0.67/0.67

从上表可以看出: 同一路面在不同类型路面下摩擦系数不同; 不同类型路面在相同路面情况下摩擦系数不同; 路面等级、路面类型、水、砂砾(泥土)都会造成路面摩擦系数的显著改变, 是影响摩擦系数改变的主要因素。[1]

6. 2. 2 路面附着系数 (η)

定义：附着系数，是附着力与车轮法向（与路面垂直的方向）压力的比值。它可以看成是轮胎和路面之间的静摩擦系数。附着系数主要取决于路面的粗糙程度和潮湿泥泞程度、轮胎的花纹和气压以及车速和荷载等。

通过控制变量法，对路面四种状态作出的附着系数进行测试，结果如下：

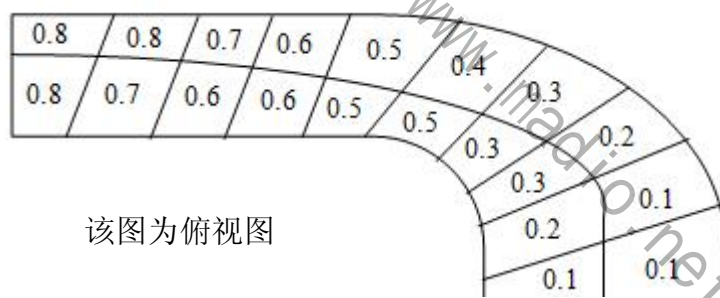
路面状态	附着系数 (η)
干燥水泥路面	0.7~1.0
潮湿水泥路面	0.4~0.6
下雨开始时	0.3~0.4
下雨时	0.1~0.2

由此可知：在干燥路面上，车速增加，附着系数几乎没有变化，而在潮湿路面上，附着系数则随速度的增加而急剧变小。在高速公路上高速行驶时，因轮胎与路面间的积水不能排除，水的阻力会使轮胎上浮，严重时会产生“水滑”现象。在这种高速行驶状态下，轮胎与路面便失去了摩擦力，汽车陷于无法控制的危险境地。如果轮胎花纹槽沟变浅，或胎压低时，更容易产生这种现象。

6. 2. 3 路面情况模拟

假设把一条道路划分成若干个路段，每个路段根据其路面条件能够单独地设置附着系数 η ，把路面状况分为直线（不考虑坡度）、转弯两类。

用以下箭头模拟路面情况，对附着系数进行设置。



该图为俯视图

（其中每块路面单元都对应着一个附着系数 η_i ，各单元 η_i 相互独立。）

结论：

- ①当路面单元的 η_i 设置为 0.7~1.0 时，可以模拟干燥水泥路面的路况；
- ②当路面单元的 η_i 设置为 0.4~0.6 时，可以模拟潮湿水泥路面的路况；
- ③当路面单元的 η_i 设置为 0.3~0.4 时，可以模拟下雨开始时或路面面层有一定磨损路面的路况；
- ④当路面单元的 η_i 设置为 0.1~0.2 时，可以模拟下雨时或路面面层严重磨损路面的路况。

参赛队号 # 2183

另外,在相邻分段的交界处可能发生轮胎同时与2块以上具有不同附着系数的路面接触的情况,此时的 η 按下式处理:

$$\eta = \frac{1}{s} \sum_{i=1}^n s_i \eta_i$$

(其中, η_i 为与轮胎花纹接触的第*i*块路面的单元附着系数, s_i 为轮胎花纹在第*i*块路面单元接触印迹的面积) [2]

通过研究,我们发现:轮胎胎面花纹的作用是使轮胎在湿路面上行驶时能够有效排水,以增大与路面之间的附着因数,但在干路面上,花纹沟空隙面积占印迹总面积的比例越大,轮胎的附着系数越小。胎面磨损后,花纹排水能力下降,使轮胎的附着系数显著下降。

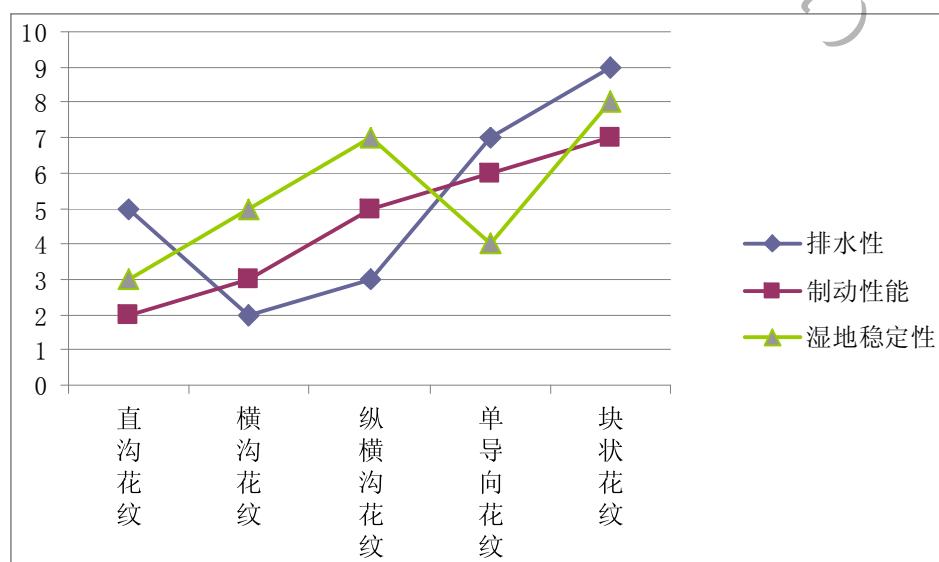
6.3 天气情况

6.3.1 确立各级评价因素

雨、雪、冰、霜、雾等天气情况和轮胎花纹也是息息相关的。在调查研究中,我们选取5种不同的花纹主要探究其在雨天情况下的湿地性能。根据对花纹的初步了解,我们从排水性、制动性、湿地稳定性三个方面研究其湿地性能,假设各性能可评为1—10分(其中10分为最优,1分为最劣)。我们将数据整理成下表:

	直沟花纹	横沟花纹	纵横沟花纹	单导向花纹	块状花纹
排水性	5	2	3	7	9
制动性能	2	3	5	6	7
湿地稳定性	3	5	7	4	8

为使数据更加直观,我们将其绘成折线图:



参赛队号 # 2183

根据上述图表可以看出：不同的轮胎花纹设计方案决定了轮胎湿地性能的不同，同时也结合不同的天气情况满足了不同的行驶需要。

6.3.2 回归直线方程求解

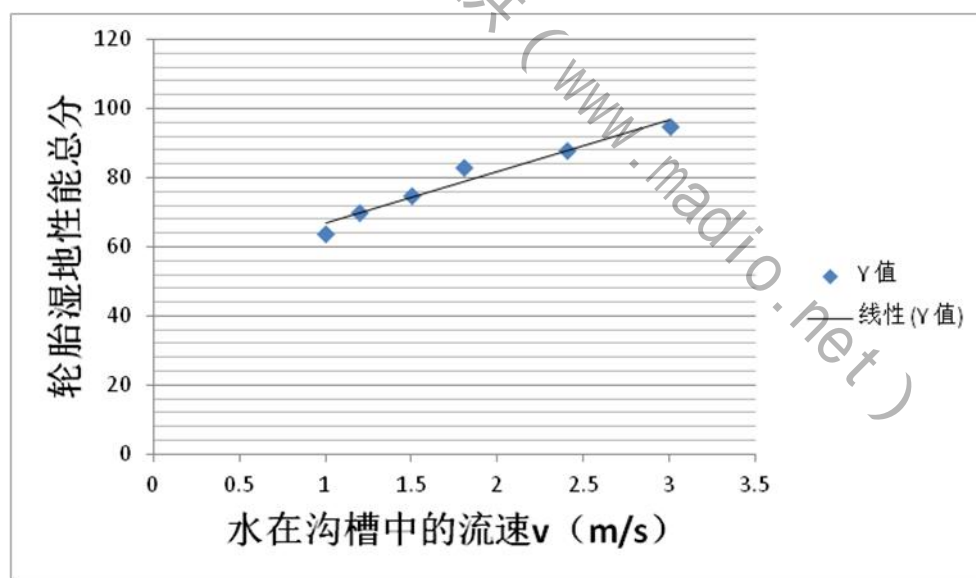
现设各种轮胎湿地性能总分为 y_i ($i=1, 2, 3, 4, 5$; 其中 1 代表直沟花纹, 2 代表横沟花纹, 按照图表顺序, 以此类推)。

在一定条件下 (如汽车型号, 人的质量, 花纹深度、宽度、节数, 沟槽深度等相等), 水在沟槽中的流速 v 与 y_i 呈正相关, 即 $v \propto y_i$ 。

于是, 以 x 轴表示流速 v (假设空气的力量和流体压强一定), 以 y 轴表示轮胎湿地性能总分 y , 可得到散点图, 从上面的散点图可以求出回归直线方程。

水在沟槽中的流速 v (m/s)	轮胎湿地性能总分
1.0	64
1.2	70
1.5	75
1.8	83
2.4	88
3.0	95

将数据绘成如下散点图:



根据散点图, 可以求得回归直线方程为:

$$y = 14.951x + 52.006$$

$$R^2 = 0.9567$$

(其中 R^2 表示回归直线方程的精准度)

七、使用需求

7.1 客户需求

7.1.1 用户群和轮胎花纹相关分析

轮胎的花纹决定着在何种路况中使用什么样的花纹轮胎，而花纹也是评定轮胎性能的一项指标。轮胎的价格是针对不同的客户群体而制定不同的市场需求策略，让车有胎所依。

下面是对不同客户群的一个调查，我们将结果整理成表格形式：

花纹	推荐用户	理由
纵向花纹	出租车司机	稳定性很高，操控性很平顺，行驶中滚动阻力小，具有较好的行驶导向性，纵向轮胎排水性能优异，在湿滑路面不易打滑，行驶中的噪音也较小
导向型花纹	喜好游走城市的人	它的抓地力是所有的胎纹中最强的，排水性能也异常出色。
混合型花纹	所有的车主	胎面的纵横方向抗滑能力比较好，这种型式花纹的轮胎适应能力强，应用范围广泛，多数汽车在出厂的时候厂商都配用这种轮胎。

根据用户群，结合下表中不同花纹轮胎的测试结果

轮胎类型	寸数范围	花纹形式	海陆比	模具花纹深度				节距种类数	S/L节距比例
				断面宽B	系列	深度范围	一般取值		
高性能轿车子午胎(HP)	13"-16"	混合花纹、单导向、非对称花纹	25-35%	B≤185	70\65\60\55	7.6-8.0	7.8	SML	0.71-0.76
				195≤B≤215	65\60\55\50	7.8-8.2	8.0		
					70\75	8.0-8.4	8.3		
				B≥225	55\50	7.8-8.2	8.0		
超高性能轿车/SUV子午胎(UHP)	17"-26"	单导向花纹、非对称花纹	25-35%	105≤B≤265	50及以下	7.8-8.2	8.0	SML	0.71-0.76
				B≥275	50及以下	8.7-9.2	9.0		
城市SUV	16"-18"	混合花纹	25-35%	B≤225	70\65\60	8.8-9.2	9	SML	0.71-0.76
				235≤B≤255	70\65\60	9.3-9.8	9.5		
				B≥265	70\65\60	9.7-10.3	10.0		
越野SUV/LT轮胎	15"-18"	块状花纹	20-40%	B≤225	65及以上	10-12.5	10.7	SL	0.85-0.88
泥地轮胎(MUD)	15"-20"	块状花纹	40-50%	ALL	70及以上	15.5-18	16.7	SL	0.85-0.88
商用轻卡轮胎(VAN)	15"-16"	混合花纹	20-35%	B≤195	75\70\65\60	7.6-8.0	9.5	SML	0.71-0.76
				205≤B≤235	65\60	7.8-8.2	10.0		
					75\70	8.0-8.4	10.5		
				B≥245	65\60	7.8-8.2	10.5		
英制轻卡轮胎	15"-16"	纵向花纹	20-30%	ALL	ALL	9.0-11.0	9.7	SL	0.85-0.88
雪地轮胎	13"-20"	根据轮胎类型确定	35-45%	根据以上轮胎类别，花纹深度加深0.5mm-1.0mm				SL	0.83-0.88

参赛队号 # 2183

我们可以得出如下结论：

①纵向花纹轮胎的节距比例为 0.85~0.88，海陆比为 20%~30%，很适宜高速及城市中行驶，而且非常适合从事出租行业的哥，因为对于他们来说，耐用的经济型轮胎才是最佳的选择。

②导向型花纹轮胎的节距比例为 0.71~0.76，海陆比为 25%~35%，一般多出现在改装车的身上，这种轮胎上的花纹多以人字型结构分部，唯一的缺点就是在行驶时，轮胎的噪音非常大，对于那些喜好操控、激走的改装爱好者来说，这种噪音就算不了什么了，因为排气管的声音会完全把胎噪掩盖住，但导向轮胎与地面的接触面积较大，所以磨损程度和燃油经济性都不理想。

③混合型花纹轮胎的节距比例为 0.71~0.76，海陆比为 20%~35%，它介于纵向花纹和导向型花纹之间。吸收了纵向花纹和导向型花纹的优点，在胎面中部一般具有曲折形的纵向花纹，而在接近胎肩的两边则设计有类似导向花纹的横向花纹。

7. 1. 2 建立用户需求程度参数 CSI

CSI 是用于评价产品(硬件、软件、服务、流程性材料)满足用户需求程度的参数，也是评价产品质量的一种综合指数。

设用户对产品提出了 n 项需求，每项需求得到满足的程度为 q_i ，($i=1, 2, \dots, n$)，则顾客满意度指数 CSI 是 q_i 的函数：

$$CSI = \Phi(q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n)$$

其中 $0 \leq q_i \leq 1, (i=1, 2, \dots, n)$

7. 2 价格需求

不同的花纹轮胎的造价也不同，因此设计轮胎花纹方案的同时也要考虑到成本问题。对此我们做了微分方程。

(注：含有自变量、未知函数的导数(或微分)的函数方程，称为微分方程)

7. 2. 1 指数增长模型(Malthus 人口增长模型)的建立、假设、分析和应用

模型假设：每年轮胎成本的增长率不变，设 $x(t)$ 为 t 时刻的成本，考察时间区间 $[t, t + \Delta t]$ 上的变动。

令 $\Delta t \rightarrow 0$ 可以得到微分方程模型

$$\frac{dx(t)}{dt} = rx(t), \quad x(0) = x_0$$

可以解得此方程的解为 $x(t) = x_0 E^{rt}$

模型分析和应用：

(1) 当 $r > 0$ 时，成本将随着时间的增加无限的增长，这是一个不合理的模型，

参赛队号 # 2183

因为一个社会市场的需求和制约不可能容纳无限增长的成本。

(2) 对于其中常数增长率 r 的估计可以使用拟合或者参数估计的方法得到。

(3) 在实际情况下，可以使用离散的近似表达式 $x(t)=x_0(1+r)^t$ 作为轮胎成本的预测表达式。

(4) 从实际情况看，指数增长模型对于时间间隔比较短，并且背景情况改变不大的情况适用。

7.2.2 阻滞增长模型 (Logistic 人口增长模型) 的建立、假设、分析和应用
和指数增长模型相比较，阻滞模型考虑到资源和环境条件等其他因素对轮胎成本的增长的阻滞作用，而且随着成本的增加，这种阻滞作用将越来越大。

模型假设：

(1) 轮胎成本的增长率 r 是当前轮胎成本的减函数 $r=r(x)$ ， $r'(x)<0$ 。

(2) $r(x)=r-sx$ ，其中 r 是成本的固有增长率，而 s 决定了环境所能容纳的最大成本 x_m 。当 $x=x_m$ 时，成本的增长速度将降为 0，从而可以得到 $s=\frac{r}{x_m}$ 。这样可

以得到 $r(x)=r(1-x/x_m)$ 。

模型建立：

相同的微元法研究可以得到下面的微分方程 $\frac{dx}{dt}=rx(1-\frac{x}{x_m})$ ， $x(0)=x_0$ 利用变量

分离的方法得到该方程的解为 $x(t)=\frac{x_m}{1+(\frac{x_m}{x_0}-1)e^{-rt}}$

模型分析和讨论：

(1) 在微分方程表达式中， rx 体现人口自身的增长趋势，因子 $(1-x/x_m)$ 反映市场尚能容纳的比例，轮胎成本的变化是这两个因素共同作用的结果。可以发现 x 越大，两个因素的作用是相反的，并且当 x 越大，市场环境和资源的阻滞作用越大。

(2) 注意到 $\frac{dx}{dt}>0$ ，并且从终的成本方程可以看到， $x(t)\leq x_m$ ， $\lim_{t\rightarrow+\infty} x(t)=x_m$

这说明人口随着时间的增加递增地趋向于 x_m 。

(3) $\frac{d^2x}{dt^2}=r(1-\frac{2x}{x_m})=0$ 表明当 $x=\frac{x_m}{2}$ 时成本的增长速度最快，从而可以得到成

本曲线上的一个拐点。

(4) 模型中所涉及到的两个参数 r ， x_m 的估计可以通过

参赛队号 # 2183

$$\frac{dx}{dt} = r - sx, \quad s = \frac{r}{xm}$$

进行线性拟合。其中 $\frac{dx}{dt} \approx \frac{\Delta x}{\Delta t}$ 。而模型的检验也可以通过这两个参数的估计量与一个实际的成本之间进行比较加以检验。

(5) 阻滞增长模型不仅能够大体上描述轮胎成本及许多物种（如人口增长率）的变化规律，而且在社会经济领域中有广泛的应用，如耐用消费品的销售量也可以用此模型来描述。

7.3 安全需求

安全需求同样是使用需求的重要指标之一，对其可靠性、可用性和不发生故障的概率进行研究。

7.3.1 利用 FMEA 分析法分析严酷度类比发生故障的情况

严酷度类别	严重程度定义
I 类(灾难的)	这是一种会导致主动（被动）零件毁坏或引起伤亡的故障。
II 类(致命的)	这种故障会导致航零件部分系统严重损坏，不能完成基本功能。
III 类(临界的)	这种故障会引起零件的部分功能无法完成，为了完成这些功能，需要采取应急措施。
IV 类(轻度的)	这种故障对零件的功能及航天员健康无影响，仅轻度影响产品有效使用和操作。

7.3.2 利用 FMEA 分析法进行危害性的定性分析

等级	定义	故障模式发生概率的特征	故障模式发生概率（在产品使用时间内）
A	经常发生	高概率	某一故障模式发生概率大于产品总故障概率的 20%
B	有时发生	中等概率	某一故障模式发生概率大于产品总故障概率的 10%，小于 20%
C	偶然发生	不常发生	某一故障模式发生概率大于产品总故障概率的 1%，小于 10%
D	很少发生	不大可能发生	某一故障模式发生概率大于产品总故障概率的 0.1%，小于 1%
E	极少发生	近乎为零	某一故障模式发生概率小于产品总故障概率的 0.1%

7.3.3 利用 FTA 分析法（故障树分析法）对其做定量分析

假设发生故障为顶事件，由 n 个事件组成故障树，可以利用最小分割计算顶事件发生概率的精确值，从而保证安全性能。

若已知故障树所有最小割集（MCS）为 K_1, K_2, \dots, K_R

参赛队号 # 2183

及底事件 x_1, x_2, \dots, x_n 发生的概率，则顶事件 T 发生的概率（不可靠度） $F_s(t)$

为：

$$F_s = P(T) = P\left(\bigcup_{i=1}^R K_i\right)$$

$$K_i \text{ 不相容时, } F_s = P(T) = P\left(\bigcup_{i=1}^R K_i\right) = \sum_{i=1}^R P(K_i)$$

$$K_i \text{ 相容时, } F_s = P(T) = P\left(\bigcup_{i=1}^R K_i\right) = \sum_{i=1}^R P(K_i) - \sum_{1 \leq i < j \leq R} P(K_i K_j) + \sum_{1 \leq i < j < k \leq R} P(K_i K_j K_k) + \dots + (-1)^{m-1} P(K_1 K_2 \dots K_R)$$

7. 4 发展需求

7. 4. 1 发展预测表

我国轮胎产业总体上看，基本发展模式仍处于粗放型状态，当前首要任务是转变重规模扩大的速度、轻技术投入的发展模式，改变重国际市场的扩大、轻国内配套市场的抢占的经营方向。总之是要转变重眼前利益、轻长远发展的模式。

据预测，“十二五”期间，我国汽车产业仍将处于高速发展阶段，汽车业仍将拉动轮胎产销的持续增长。

下面两张表是 2015 年轮胎需求量与对橡胶的需求量预测数据：

轮胎类别		需求量/万条	其中子午线轮胎/万条	子午化率/%	备注
汽车轮胎	乘用车胎	22373	22373	100	含SUV、MPV车轮胎 公制低断面无内胎 占60%、4485万条
	载重胎	8306	7475	90	
	轻卡胎	5218	3130	60	
小计		35897	32978	92	
工程机械轮胎	各类小计	1053	423	40	
	其中巨型工程机械轮胎	3	3	100	
农业轮胎		5000	800	16	
出口轮胎		15000	13799	92	
合计		56950	48000	84	

轮胎类别	子午胎				斜交胎				外胎合计			
	单胎平均耗胶/kg/条	总耗胶	SR%	SR量	单胎平均耗胶/kg/条	总耗胶	SR%	SR量	累计	NR	SR	SR%
载重	24	179.4	15	26.91	18	14.96	40	5.98	194.4	161.5	32.9	16.9
乘用车	5.6	125.3	55	68.91	-	-	-	-	125.3	56.4	68.9	55
轻卡	8	25.04	50	12.52	6	12.53	55	6.89	37.56	18.2	19.4	51.7
工程	160	67.6	15	10.15	60	37.80	40	15.1	105.5	80.2	25.3	24.0
农业	40	32.0	50	16.00	5	21.00	60	12.6	53.0	24.4	28.60	54.0
出口	8.4	115.9	49	56.80	12	14.41	45	6.49	130.3	67	63.3	48.6
总计	11.36	545.3	35.1	191.29	11.25	100.7	46.8	47.1	646	407.6	238.4	36.9
占总耗胶比/%		84.4	86.7	80.3		15.6	13.2	19.7	100	100	100	

6. 4. 2 灰色预测模型的建立

根据上表数据，我们可以建立灰色预测模型。

参赛队号 # 2183

2001~2008 年轮胎需求统计量 单位：万吨

年份	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
进口总量	166.7	214.6	256.3	342.8	406.4	644.3	736.2	805.4

① 累加生成

对数列 $X^{(0)} = [166.7, 214.6, 256.3, 342.8, 406.4, 644.3, 736.2, 805.4]$ 累加生成

$$X^{(1)} = [166.7, 381.3, 637.6, 980.4, 1386.4, 2030.7, 2766.9, 3572.3]$$

② 对 $X^{(0)}$ 进行准光滑检验和对进行准指数规律检验

$$\rho = [1.29, 0.67, 0.54, 0.41, 0.46, 0.36, 0.29]$$

可见，不满足 $\rho(k) \in [0, \varepsilon]$ 、 $\varepsilon < 0.5$ ，则称 $X^{(0)}$ 不符合为准光滑序列，须进行一阶弱化。

$$X^{(0)} = [446.54, 486.51, 531.83, 586.94, 647.98, 728.63, 770.8, 805.4] = X^{(0)}$$

则对新的 $X^{(0)}$ 累加生成为 $X^{(1)} = [446.54, 933.05, 1464.89, 2051.83, 2699.80, 3428.43, 4199.23, 5004.63]$

③ 求解 \hat{a} 、 \hat{u}

运用 MATLAB 工具算得 $\hat{a} = -0.0856$ 、 $\hat{u} = 437.24$ ，其中 $-\hat{a} \leq 0.3$ ，可用于中长期预测。

④ 建立灰色预测模型

$$\hat{x}^{(1)}(k+1) = [x^{(1)}(0) - \frac{\hat{u}}{\hat{a}}]e^{-\hat{a}k} + \frac{\hat{u}}{\hat{a}} = 5557.39 \times e^{0.0856k} - 5110.85$$

由于对 $X^{(0)}$ 进行一次一阶弱化的处理，所以 $\hat{x}^{(1)}(k+1) = \hat{x}^{(0)}(k+1)$ ，即预测 2008 年的数据为 $\hat{x}^{(0)} = 805.4$ 。

⑤ 模型检验

$$S_e = 10.34, S_x = 134.28$$

$$\varepsilon^{(0)} = [0.9, 0.86, 0.60, 0.77, 0.46, 0.86, 0.56, 8.87, 6.76, 8.83, 8.70, 3.01, 5.2, 0.65, 2.50, 9.68, 5.82, 8.59]$$

$$6.36, 0.97, 3.78, 7.14, 4.41, 7.29, 7.11, 6.20, 9.10, 3.87, 0.79, 4.51, 9.93, 0.37, 6.81, 6.32]$$

$$23.95, 0.09, 3.72, 6.54, 8.97], \bar{\varepsilon} = 11.28$$

则后验差比值为 $C = 0.077 < 0.35$ ，可见预测精度好。

小误差概率 $p = P(|\varepsilon(k) - \bar{\varepsilon}| < 0.6745S_x) = 1 > 0.95$ ，即预测精度好。

⑥ 等维新信息递推

$X^{(0)} = [446.54 \ 486.51 \ 531.834 \ 586.94 \ 647.98 \ 728.63 \ 770.8 \ 805.4]$ ，进行循环运算，直到预测到 2015 年的数据为止。

7. 5 其他需求简述

除了上述的用户需求、价格需求、安全需求和发展需求之外，使用需求还包括功能需求（做什么）、性能需求（达到什么样的指标）、环境需求（机型、操作系统等）、资源使用需求等，这些都可以通过模糊综合评价法实现。

八、轮胎花纹设计和优化

8. 1 现状不足分析

众所周知，车辆是靠车轮与地面产生摩擦力来行驶的。当车辆在潮湿或泥泞的路面上行驶时，如果车轮轮胎没有花纹，它与地面的摩擦力就很小，容易出现打滑现象。绝大多数汽车轮胎胎面都不是光滑的，其胎面有各式各样凹凸不平的花纹，这是为了增加车轮与地面的摩擦力，保证行车安全。

影响胎面花纹作用的因素较多，但起主要作用是花纹型式和花纹深度，因此，轮胎胎面花纹值得关注。

在设计创新轮胎花纹之前，我们首先调查了目前市场上大多数轮胎花纹的不足之处并整理成如下表格：

轮胎花纹	缺点
直沟花纹 	制动性能显得相对较弱； 驱动力不如其他花纹的轮胎； 不适合于沙子路等状况较差的道路
横沟花纹 	操纵性和排水性能较差； 高速行驶时的噪声较大； 由于滚动阻力大，不适于进行高速行驶
越野花纹 	不宜在较好硬路面上使用，否则行驶阻力加大且加速花纹的磨损

参赛队号 # 2183

泥雪地花纹		<p>造价成本相对较高；</p> <p>季节性太重，雪地用胎，只能冬季使用，保存起来占地又麻烦；</p> <p>在使用这种轮胎时，一定要将胎面上的防滑钉去掉，否则，会破坏路面</p>
块状花纹		<p>由于是独立的花纹块结构，耐磨性能较差；</p> <p>造价成本相对较高</p>
不对称花纹		<p>必须注意轮胎的正确安装方向</p>
单导向花纹		<p>轮胎的安装位置必须要与行驶方向相同</p>

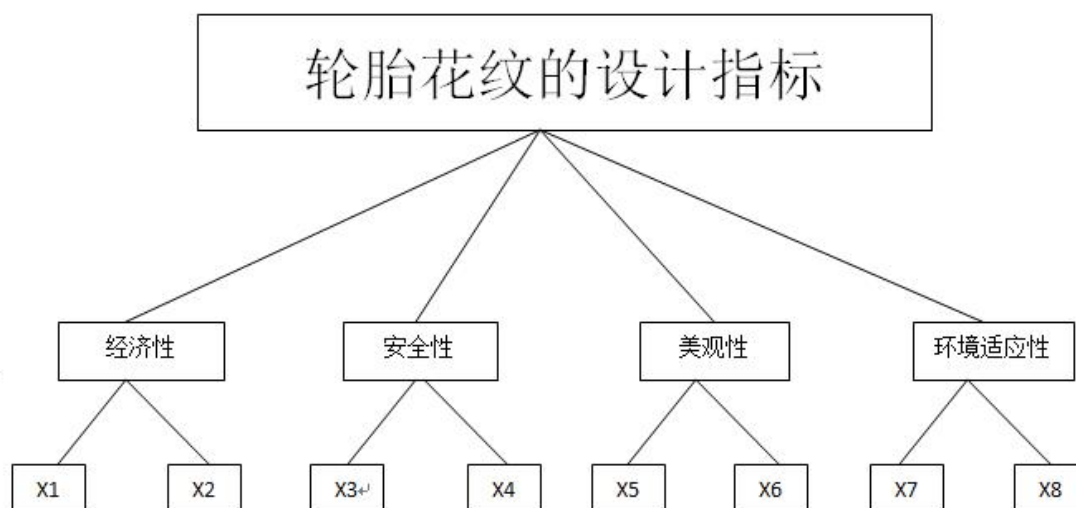
据表可知，目前市场上不同花纹的轮胎存在以下问题：

- I. 驱（制）动力较弱
- II. 排水性和减噪性较差
- III. 路面适应性
- IV. 成本高
- V. 易磨损
- VI. 轮胎安装方向

8.2 确定设计指标

8.2.1 树状图分析

根据上述问题，我们经过讨论，确定了轮胎花纹的设计指标：



X1 为驱（制）动力，X2 为耗油率，X3 为路面适应性，X4 为耐磨损性
X5 为花纹图案，X6 为对称性，X7 为噪音水平，X8 为湿地性能

8.2.2 权重归一化

设底层指标 X1, X2, …, X8, 对最高层的权系数为 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_8$,

则设计轮胎花纹的总指标为 $\sum_{i=1}^8 \omega_i X_i$ 。

可根据该式结合实际情况，基本确定轮胎花纹的设计指标。

8.3 运用 TRIZ 理论的方法解决存在的问题

8.3.1 矛盾解决矩阵（部分）

矛盾矩阵是阿奇舒勒将 39 个通用工程参数与 40 条发明原理有机地联系起来，建立起对应的关系，整理成 39×39 的矛盾矩阵表，是阿奇舒勒对 250 万份专利进行研究后所取得的成果，矩阵的构成非常紧密，而且自成体系。

<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; margin-right: 5px;">y 轴</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; text-align: center;"> 恶化的 技术特性 希望改善 的技术特性 </div> </div>		1	2	3	4	14	39
		运动物体质量	静质物体	运动尺寸物体	静尺寸物体	强度	生产性
1	运动物体质量			15, 8 29, 34		28, 27 18, 40	35, 3 24, 37
2	静止物体质量				10, 1 29, 35	28, 2 10, 27	1, 28 15, 35
3	运动物体尺寸	8, 15 29, 34				8, 35 29, 34	14, 4 28, 29
4	静止物体尺寸		35, 28 40, 29			15, 14 28, 26	30, 14 7, 26
		9 速度	2, 28 13, 38	13, 14 8		8, 3 26, 14	
		39 生产性	35, 26 24, 37	28, 27 15, 3	18, 4 28, 38	30, 7 14, 26	35, 10 2, 18

8.3.2 解决驱（制）动力较弱的问题

【希望改善的技术特性】

(10) 力量：增加车轮与地面的摩擦力，使轮胎内侧可以源源不断地提供支撑力。

【恶化的技术特性】

(25) 时间浪费：设计所花时间较普通轮胎而言更加长。

参赛队号 # 2183

(36) 装置的复杂性：轮胎花纹设计较普通轮胎而言更加复杂。

通过查矛盾解决矩阵可知使用的解决原理是：10, 37, 36 和 35, 10, 18。

驱（制）动力较弱的问题解决方案

原理编号	内容	可能的解决方案
10	预先作用原则	a. 预先完成要求的作用(整个的或部分的) b. 预先将物体安放妥当, 使它们能在现场和最方便地点立即完成所需要的作用
37	利用热膨胀原则	a. 利用材料的热膨胀(或热收缩) b. 利用一些热膨胀系数不同的材料
36	相变原则	利用相变时发生的现象, 例如体积改变, 放热或吸热
35	改变物体聚合态原则	这里包括的不仅是简单的过渡, 例如从固态过渡到液态, 还有向"假态"(假液态)和中间状态的过渡
18	机械振动原则	a. 使物体振动 b. 如果已在振动, 则提高它的振动频率(达到超声波频率) c. 利用共振频率 d. 用压电振动器替代机械振动器 e. 利用超声波振动同电磁场配合

设计优化方案:

①轮胎花纹的材料除了橡胶之外还可以利用一些热敏材料, 根据汽车行驶时与地面摩擦所产生的热量而发生轻微的热膨胀或热收缩, 使轮胎内侧可以源源不断地提供支撑力。

②可以采用非对称的沟纹边缘角度, 较缓的外侧斜面可支撑和稳固轮胎内侧, 受到的摩擦力也相对小很多。

8. 3. 3 解决排水性较差的问题

【希望改善的技术特性】

(9) 速度: 这里的速度指的是水流通过轮胎花纹沟槽排出的速度, 影响着轮胎花纹的湿地性能。

【恶化的技术特性】

(30) 物体产生的有害因素: 发生水滑现象

通过查矛盾解决矩阵可知使用的解决原理是: 1, 28, 35, 23。

排水性的问题解决方案

原理编号	内容	可能的解决方案
1	分割原则	a. 将物体分成独立的部分 b. 使物体成为可拆卸的 c. 增加物体的分割程度
28	代替力学原理原则	a. 用光学, 声学、'味学'等设计原理代替力学设计原理 b. 用电场、磁场和电磁场同物体相互作用。

参赛队号 # 2183

		c、由恒定场转向不定场，由时间固定的场转向时间变化的场，由无结构的场转向有一定结构的场 d. 利用铁磁颗粒组成的场
35	改变物体聚合态原则	这里包括的不仅是简单的过渡，例如从固态过渡到液态，还有向"假态"(假液态)和中间状态的过渡
23	反向联系原则	a. 进行反向联系 b. 如果已有反向联系，则改变它

设计优化方案：

将胎面分割，在胎面中部添加方向各异或以纵向为主的窄花纹沟槽，而在两侧则以方向各异或以横向为主的宽花纹沟槽，有利于排水性的增强。

8. 3. 4 解决减噪性较差的问题

【希望改善的技术特性】

(4) 固定件长度：轮胎的噪音水平与花纹的节距及花纹条数有关

【恶化的技术特性】

(12) 形状：轮胎花纹的形状将发生改变

通过查矛盾解决矩阵可知使用的解决原理是：13，14，15，7。

减噪性的问题解决方案

原理编号	内容	可能的解决方案
13	“相反”原则	a、不实现课题条件规定的作用而实现相反的作用 b、使物体或外部介质的活动部分成为不动的，而使不动的成为可动的 c. 将物体颠倒
14	球形原则	a. 从直线部分过渡到曲线部分，从平面过渡到球面，从正六面体或平行六面体过渡到球形结构 b. 利用棍子、球体、螺旋 c. 从直线运动过渡到旋转运动，利用离心力
15	动态原则	a、物体(或外部介质)的特性的变化应当在每一工作阶段都是最佳的 b. 将物体分成彼此相对移动的几个部分。 c. 使不动的物体成为动的
7	“玛特廖什卡”原则	a. 一个物体位于另一物体之内，而后者又位于第三个物体之内等等 b. 一个物体通过另一个物体的空腔

设计优化方案：

通过改变轮胎花纹的结构（包括节距和条数）改变轮胎的高阶振动模态特性，可以降低轮胎的噪声。[3]

参赛队号 # 2183

8.3.5 解决路面适应性的问题

【希望改善的技术特性】

(35) 适合性：不同轮胎花纹对路面的不同适应性

【恶化的技术特性】

(27) 可靠度：轮胎花纹的可靠性

通过查矛盾解决矩阵可知使用的解决原理是：35，13，8，24。

路面适应性的问题解决方案

原理编号	内容	可能的解决方案
35	改变物体聚合态原则	这里包括的不仅是简单的过渡，例如从固态过渡到液态，还有向“假态”(假液态)和中间状态的过渡
13	“相反”原则	a、不实现课题条件规定的作用而实现相反的作用 b、使物体或外部介质的活动部分成为不动的，而使不动的成为可动的 c. 将物体颠倒
8	重量补偿原则	a. 将物体与具有上升力的另一物体结合以抵消其重量 b. 将物体与介质(最好是气动力和液动力)相互作用以抵消其重量
24	“中介”原则	a. 利用可以迁移或有传送作用的中间物体 b. 把另一个(易分开的)物体暂时附加给某一物体

设计优化方案：

改变物体的物理状态，把花纹间距拉大，不做细致设计。这种设计的负面效果是公路性能下降，噪音有所增加，但是耐用性和在非铺装路面上的附着力要强于公路轮胎，是越野和公路性能兼顾的轮胎。

8.3.6 解决成本高的问题

【希望改善的技术特性】

(32) 制造性：制造过程中，在质量保证的前提下，优先考虑经济问题

(39) 生产性：生产环节的合并，减少中间环节

【恶化的技术特性】

(26) 物料数量：高成本导致轮胎价格上涨，供不应求，出现“卖方市场”

通过查矛盾解决矩阵可知使用的解决原理是：35，23，1，24 和 35，38

成本高的问题解决方案

原理编号	内容	可能的解决方案
35	改变物体聚合态原则	这里包括的不仅是简单的过渡，例如从固态过渡到液态，还有向“假态”(假液态)和中间状态的过渡
23	反向联系原则	a. 进行反向联系 b. 如果已有反向联系，则改变它

参赛队号 # 2183

1	分割原则	a. 将物体分成独立的部分 b. 使物体成为可拆卸的 c. 增加物体的分割程度
24	"中介"原则	a. 利用可以迁移或有传送作用的中间物体 b. 把另一个(易分开的)物体暂时附加给某一物体
38	利用强氧化剂原则	a. 用富氧空气代替普通空气 b. 用氧气替换富氧空气 c. 用电离辐射作用于空气或氧气 d. 用臭氧化了的氧气 e. 用臭氧替换臭氧化了的(或电离的)氧气

设计优化方案：

用溶剂代替乳液状态进行苯乙烯和丁二烯的聚合，这一过程可以更容易控制聚合物的微观结构、相对分子质量和分布状况。通过分子结构改性，溶聚丁苯橡胶可以在性能和燃油经济性之间取得平衡。同时采用三维宽沟花纹，在节约了成本的同时，也具有高燃油经济性。节省下来的燃料，相当于轮胎成本的 25%。

8. 3. 7 解决易磨损的问题

【希望改善的技术特性】

(27) 可靠度：轮胎与路面间生成驱动力、制动力以及平衡转向行驶时的离心力的侧抗力是否可靠

【恶化的技术特性】

(26) 物料数量：很可能需要增加某一具有耐磨能力的物质
通过查矛盾解决矩阵可知使用的解决原理是：21，28，40，3。

易磨损的问题解决方案

原理编号	内容	可能的解决方案
21	跃过原则	高速跃过某过程或其个别阶段(如有害的或危险的)
28	代替力学原理原则	a. 用光学，声学、‘味学’等设计原理代替力学设计原理 b. 用电场、磁场和电磁场同物体相互作用。 c. 由恒定场转向不定场，由时间固定的场转向时间变化的场，由无结构的场转向有一定结构的场 d. 利用铁磁颗粒组成的场
40	利用混合材料原则	由同种材料转为混合材料
3	局部性质原则	a. 从物体或外部介质(外部作用)的一致结构过渡到不一致结构。 b. 物体的不同部分应当具有不同的功能 c. 物体的每一部分均应具备最适于它工作的条件。

设计优化方案：

通过提供一种带有牺牲花纹条的轮胎以通过延迟不规则磨损的开始和加剧

参赛队号 # 2183

来保护轮胎胎面的主花纹条，使用一个形状系数来限定牺牲花纹条的形状，该形状系数的值在大约 0.10 至 0.50 之间。再利用先进的混炼技术、增强聚合物体系和白炭黑填充胎面的产物，保护胎纹减小摩擦，从而减小轮胎花纹的磨损。

8.3.8 解决轮胎安装方向的问题

【希望改善的技术特性】

(33) 使用方便性：设计美观的同时也要达到实用的效果

【恶化的技术特性】

(25) 时间浪费：由于轮胎方向的安装错误，汽车无法正常行驶

通过查矛盾解决矩阵可知使用的解决原理是：28，10，34

轮胎安装方向的问题解决方案

原理编号	内容	可能的解决方案
28	代替力学原理原则	a. 用光学，声学、‘味学’等设计原理代替力学设计原理 b. 用电场、磁场和电磁场同物体相互作用。 c. 由恒定场转向不定场，由时间固定的场转向时间变化的场，由无结构的场转向有一定结构的场 d. 利用铁磁颗粒组成的场
10	预先作用原则	a. 预先完成要求的作用(整个的或部分的) b. 预先将物体安放妥当，使它们能在现场和最方便地点立即完成所需要的作用
34	部分剔除和再生原则	a. 已完成自己的使命或已无用的物体部分应当剔除(溶解、蒸发等)或在工作过程中直接变化。 b. 消除的部分应当在工作过程中直接再生

设计优化方案：

将轮胎胎面平铺成一个矩形，设计花纹时考虑采用轴对称、中心对称、辐射对称等对称设计，重复某一段花纹。这样设计在安装轮胎时即使轮胎方向错误，但由于其使效果无差，也不影响正常行驶。

九、模型评价

9.1 模型优点

- ①较稳定较直观
- ②分析达到了较高的精度，能够很好地应用
- ③各个模型能够很好地衔接在一起，从车辆情况、道路条件、使用需求三方分析并综合评价，进行设计
- ④具有一定的创造性思维

9.2 模型缺点

- ①搜集到的数据有限

参赛队号 # 2183

- ②问题解决偏理论化，考虑各方面的影响因素较理想化
- ③TRIZ 理论的方法适用的条件较为苛刻，必须找到希望改善的技术性能和恶化的技术性能
- ④TRIZ 理论的方法有一定的主观性
- ⑤对设计结果进行充分挖掘的难度较大

9. 3 模型推广

- ①根据所得的结论，我们能优化设计出更好的轮胎花纹，提高汽车轮胎各方面的性能，使人们的生活和工作更加便利。
- ②文中所建立的所有模型不但适应于轮胎花纹设计的问题，还可以应用于其他设计问题。
- ③所建立的模型结构清晰，数据直观，结果易于比较，可以实现计算机编程。

十、参考文献

- [1]1001—7372 (2007) 06—0036—07，路线及路面条件设计阶段的安全性评价仿真系统，《中国公路学报》，第 20 卷，第 6 期，2007 年 11 月
- [2]贾常明、赵连文、王勇——关于附着系数的讨论，《辽宁教育学院学报》，第 19 卷，第 9 期，2002 年 9 月
- [3]葛剑敏等——低噪声轮胎设计方法与应用研究