



中国汽车工程学会

汽车工程图书出版专家委员会 推荐出版

FORMULA RACING DESIGN FOR
COLLEGE STUDENTS

大学生 方程式赛车设计

王建 林海英 梁颖华 周文立 © 编著



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

中国汽车工程学会汽车工程图书出版专家委员会推荐出版

大学生方程式赛车设计

王 建 林海英 梁颖华 周文立 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

大学生方程式赛车设计 / 王建等编著. —北京: 北京理工大学出版社, 2016. 8

ISBN 978 - 7 - 5682 - 2691 - 2

I. ①大… II. ①王… III. ①赛车 - 设计 - 高等学校 - 教材
IV. ①U469. 602

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 175351 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 保定市中华美凯印刷有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 22

彩 插 / 8

字 数 / 329 千字

版 次 / 2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价 / 68.00 元

责任编辑 / 孟雯雯

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 王美丽

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

编写组成员名单

统 筹 王 建 林海英 梁颖华 周文立

编 委 王 建 林海英 梁颖华 周文立

周天明 张 程 吴潇潇 金明明

弓泽华 刘 强 刘政禹 范智伟

薛鹏宇 周瞰然 刘 阳 晏和玉

肖知松 陈震宇 关礼庭 杨 洋

徐 赓

序 Preface

一晃，中国大学生方程式汽车大赛（Formula Student China）已经迈入第七个年头。期间经历了太多艰辛，也收获了很多感动。艰辛留给自己回忆，感动、感恩和感谢可以写下来分享。我时常被学生们的求知精神和不懈努力而感动；我也感恩时代为我们创造的机遇；我更感谢创办这一赛事期间得到了各级领导、同事，以及企业、院校等社会各界的鼎力支持。当然还要感谢北京航空航天大学王建师生团队写成此书，感谢他们又帮我实现了一个赛事目标——用 FSC 助力学科建设。

自 1956 年第一台解放汽车下线至 2009 年中国汽车产销量跃居世界第一，汽车大国梦得以实现。此后，“由制造业大国迈向产业强国”又成为了新一代汽车人的梦想。大国与强国的差距是技术，而技术的基础是人才。发现、培养、输送和积蓄人才成为当代汽车工业的当务之急、重中之重。

有人说：国家的竞争实际上就是教育体系的竞争。”我同意这种观点，而且从 FSC 实践中得到另一个感想：中德汽车的差距等于中德学生的差距。教育体制的变革不是一朝一夕的，我无意吐槽现有的应试教育体系，但是当代大学培养出来的学生考试能力强、动手能力弱是不争的事实。汽车工业的自主发展需要大批的体系型工程师，需要工程应用能力极强的毕业生。谁能告诉我哪个学校能够批量培养？

我常说：“教育不是教育部的责任，是全民族的共同责任。”中国汽车工程学会作为一个行业技术推进组织，有责任、有义务也有能力为全产业的人才需求提供共享培养平台。中国大学生方程式汽车大赛就是这样一个平台。项目要求参赛学生用大约一年的时间，亲手设计、制造和测试一辆小型方程式赛车，这基本上是汽车产品比较完整的正向开发流程，其艰难程度对于非

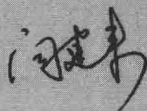
汽车产业从业人员很难理解。能够坚持下来的学生在设计能力、制造能力、成本控制能力、沟通能力与协调能力、领导能力上必将得到极大提升。但这还不是项目的全部意义，此外，我最看中的有两点：一是矢量学习能力、自主学习能力和动手能力的结合，这是车队队员们未来职业生涯的竞争法宝；二是兴趣，通过 FSC 找到发烧级汽车工程师，找到不吃不喝也要造汽车的人！

大家都知道赛车是烧钱的游戏，这个项目同样需要动员极大的社会力量才能支撑。正是因为不易，项目才赋予参训学生极大的社会责任：他们将成为中国汽车由大变强的主力军！

本书的作者团队以北航方程式车队六年的实践为基础编写此书，虽不能涵盖所有技术路线和设计理念，但其意义重大——这是从实践中形成的辅导教材，有别于传统教材，难能可贵，特此隆重推荐。

中国大学生方程式汽车大赛组委会副主任兼秘书长

中国汽车工程学会副秘书长



2016 年 8 月于京

Foreword 前言

一、大学生方程式赛车

中国大学生方程式汽车大赛被称为 FSC (Formula Student China, 中国大学生方程式) 或是 FSAE (Formula SAE, 汽车工程学会举办的方程式), 是一项由高等院校汽车工程或汽车相关专业在校学生组队参加的汽车设计与制造比赛。各参赛车队按照赛事规则和赛车制造标准, 在一年的时间内自行设计和制造出一辆在加速、制动和操控性能等方面具有优异表现的小型单人座休闲赛车。大赛设有以下比赛分项目:

静态项目: 设计答辩、营销答辩、成本答辩;

动态项目: 直线加速、八字绕环、高速避障、耐久比赛、效率测试。

世界上首届 FSAE 赛事于 1978 年在美国举行, 很快因其先进的教育理念在全世界风靡, 德国、英国、澳大利亚、日本、巴西、意大利等国家纷纷举办了各自的 FSAE。2010 年, 中国首届 FSAE 比赛由中国汽车工程学会、中国 21 所大学(专)汽车院系、易车 (BITAUTO) 联合举办。中国 FSAE 赛事秉持“中国创造, 擎动未来”的宗旨, 立足于中国汽车工程教育和汽车产业的现状, 吸收并借鉴其他国家 FSAE 赛事的成功经验, 打造一个新型的、以培养中国未来汽车产业领导者和工程师为目标的公共教育平台。通过若干年的努力, 使之逐步发展为国际青年汽车工程师的互动交流盛会, 促进中国汽车工业从“制造大国”迈向“产业大国”。

二、本书创作意义

首届中国大学生方程式汽车大赛于 2010 年举办, 有 20 所高校参赛。2015

年，中国赛油车和电车总参赛队伍已经超过 100 支，呈现如火如荼之势。然而在国内，却迟迟没有出现一本适合大学生方程式汽车大赛参赛队员的教材。实际情况是，广大新队员不得不阅读大量的英文原著，这对大多数学生而言是困难且低效的。在中外技术论坛上的交流中，许多好观点也没有得到系统性归纳。令人欣慰的是，相关学术论文总能给参赛队员带来很大帮助，但数量不多。造成中国参赛队员学习困难的原因是多方面的，主要有以下几点：

(1) 国内关于乘用车的中文书籍很多，关于赛车的中文书籍却非常少，这跟国内赛车文化起步较晚有关。初学者在参考乘用车设计类书籍时也是大有裨益，但由于赛车的设计思路常常与乘用车相去甚远，完全参考乘用车设计方法去设计赛车很容易犯方向性错误。

(2) 英文赛车类书籍阅读难度大，获取难度也大。英文赛车类书籍中含有大量赛车专有名词，会对初学者造成不小的阅读障碍。大部分英文赛车类书籍，没有在中国大陆出版发行，也没有对应的中文译本，只有一些盗版的电子影印本在 FSAE 学生群间流传。也有少部分学生托留学海外的学子购买英文书籍，漂洋过海带回中国。

(3) 关于赛车的书籍本来就少，关于大学生方程式赛车的书籍更是少之又少，即使是在 FSAE 官网上的参考自学书单中，也没有一本是专门针对 FSAE 赛事的。大多数赛车类书目是基于一级方程式赛车、耐久赛、拉力赛、印地车赛等国外流行的专业赛车比赛。大学生方程式赛车的理念虽然是脱胎于一级方程式赛车，但具体规则与 F1 相差很大，有其自己的特色，关于它的专著很少。

(4) 在可参考的文献书目中，多是针对赛车的分系统而非赛车的整体。如有许多专门介绍悬架、发动机、空气动力学，甚至是赛车驾驶理论的书籍，但整体性介绍赛车的书籍偏少。

(5) 少数参赛车队为了保持自身的技术优势，仍有闭门造车的思想。大学生方程式赛车是一个重在学习交流的平台，对于车队自身积累下来的宝贵经验，理应与大家共分享同进步。

综上所述,本书是为广大的中国 FSAE 参赛队员而编写的,希望他们能快速、全面地掌握关于 FSAE 赛车的必备知识,而且通过阅读本书,其后阅读英文原著的效果肯定是事半功倍的。同时本书也填补了没有全面系统讲解 FSAE 赛车的中文教材的业界空白。希望尽此绵薄之力,使中国 FSAE 整体水平更上一层楼,涌现出更多的世界劲旅。

三、适用读者

本书立足于大学生方程式汽车大赛,分系统地阐述了 FSAE 赛车的重点规则(2015 中国赛规则)、理论基础、零部件构造、设计思路及加工工艺,是一本面向广大大学生方程式赛车参赛队员和指导老师的教材。本书注重基础性、全面性、前沿性与实用性,既适合入门级的参赛队员,也适合有数年经验的 FSAE 从业人员。对于众多的业余赛车爱好者而言,本书也是绝对值得一读的。

四、本书各章节主要内容与编写作者

第 1 章 赛车总体设计: 主要讨论赛车总体布置、整车形式的选择、重要部件选型、重要参数的选取与人机设计。本章由林海英与周天明编写。

第 2 章 车架: 讨论了钢管车架常用材料与结构设计、仿真优化流程与焊接工艺,最后还对单体壳技术进行了介绍。本章由林海英与张程编写。

第 3 章 赛车动力学: 介绍了赛车的基本运动、赛车轮胎特性与转向特性。本章由梁颖华与吴潇潇编写。

第 4 章 悬架与转向: 悬架部分系统讲述悬架构造、悬架几何、悬架刚度与悬架结构设计。转向部分讲解了转向几何与转向结构设计。本章由周文立与金明明编写。

第 5 章 制动: 讨论了制动系统的总体设计与理论计算、制动部件的选型。本章由梁颖华与弓泽华编写。

第 6 章 发动机: 讲解发动机的各子系统,如进气、排气、水路、油路、

油底壳改造等。此外还介绍了常用的发动机 ECU 调试方法、发动机台架实验与实车发动机的调试方法。本章由刘强、刘政禹、范智伟、薛鹏宇、周瞰然编写。

第 7 章 传动：全面讲解气动换挡技术，主减速器、差速器、传动轴、万向节的设计与选型，最后对车轮系统进行了介绍。本章由刘阳、晏和玉、肖知松编写。

第 8 章 电子系统：以实现仪表显示、换挡控制、数据记录、无线传输等功能的综合电子系统为目标，按设计流程介绍了系统的总体设计、硬件设计、软件设计及上位机设计。本章由王建与周文立编写。

第 9 章 空气动力学：本章先对空气动力学套件进行概述，并介绍了 FSAE 赛事中常见的前翼、后翼与扩散器；然后论述 CFD 仿真与空气动力学套件的加工工艺。本章由陈震宇编写。

第 10 章 赛车驾驶理论：本章针对 FSAE 赛事对各个分项目进行讨论，涵盖了直线加速、八字环绕、高速避障、耐久比赛等驾驶技巧与赛车调试方法。本章由徐赓、杨洋编写。

另外，还要感谢刘斐齐、杨巽博参与初稿编写，感谢陈俊杰、操杰儿、王俊霖参与初稿的审阅并提出不少的宝贵意见。

由于编者水平有限，而且受限于书本篇幅，本书并未涉及电动方程式赛车动力系统的设计，希望后来人能够填补这一缺憾，同时欢迎广大读者批评指正。

最后十分感谢国内各大参赛院校、中国大学生方程式赛车组委会以及中国汽车工程学会对本书编写的大力支持！

编者

2016 年 3 月于北京航空航天大学

Contents

目录

第1章 赛车总体设计

- 1.1 赛车总体布置 / 002
 - 1.1.1 赛车总体布置思路 / 002
 - 1.1.2 赛车总体布置基本内容 / 004
- 1.2 整车形式的选择 / 004
 - 1.2.1 赛车基本样式 / 004
 - 1.2.2 驱动形式 / 006
 - 1.2.3 水箱与排气的布置 / 007
- 1.3 重要部件选型 / 009
 - 1.3.1 发动机选型 / 010
 - 1.3.2 轮胎选型 / 011
- 1.4 重要参数的选取 / 013
 - 1.4.1 外形参数 / 013
 - 1.4.2 质量参数 / 016
- 1.5 人机设计 / 018
 - 1.5.1 驾驶坐姿设计 / 019
 - 1.5.2 人机交互界面设计 / 023

1.5.3 车手安全装置 / 030

第2章 车架

- 2.1 钢管车架常用材料 / 040
 - 2.1.1 基准钢铁材料 / 040
 - 2.1.2 低碳钢与合金钢管件 / 041
 - 2.1.3 其他替代材料 / 044
 - 2.1.4 结构相关文件 (SES 或 SRCF 报告) / 046
- 2.2 钢管车架结构设计 / 046
 - 2.2.1 初选部分尺寸 / 046
 - 2.2.2 车架建模初步 / 047
 - 2.2.3 坡口处理 / 048
 - 2.2.4 车架结构设计 / 049
- 2.3 钢管车架仿真优化 / 057
 - 2.3.1 赛车车架几何模型与有限元模型 / 058
 - 2.3.2 车架强度仿真分析 / 060
 - 2.3.3 车架刚度仿真分析 / 067
 - 2.3.4 模态分析 / 071
- 2.4 车架的焊接定位 / 075
 - 2.4.1 铝型材夹具 / 075
 - 2.4.2 木夹具 / 076
- 2.5 单体壳简介 / 079
 - 2.5.1 单体壳技术简介 / 079
 - 2.5.2 单体壳设计 / 080
 - 2.5.3 单体壳加工工艺 / 085
 - 2.5.4 单体壳技术应用的思考 / 087

第3章 赛车动力学

- 3.1 车辆坐标系与赛车基本运动 / 090
- 3.2 赛车轮胎 / 094
 - 3.2.1 轮胎性能 / 095
 - 3.2.2 轮胎动力学 / 100
- 3.3 转向特性 / 121

第4章 悬架与转向

- 4.1 悬架简介 / 126
 - 4.1.1 独立悬架 / 126
 - 4.1.2 自由度控制 / 127
 - 4.1.3 簧上质量与簧下质量 / 128
- 4.2 车轮定位参数 / 129
 - 4.2.1 车轮外倾角 / 129
 - 4.2.2 主销后倾角与拖距 / 129
 - 4.2.3 主销内侧角与磨胎半径 / 131
 - 4.2.4 车轮前束角 / 131
- 4.3 悬架几何 / 132
 - 4.3.1 等效臂 / 132
 - 4.3.2 侧倾中心 / 134
 - 4.3.3 纵倾中心 / 135
- 4.4 刚度控制 / 136
 - 4.4.1 悬架线刚度 / 137
 - 4.4.2 偏频 / 138
 - 4.4.3 悬架角刚度 / 138
 - 4.4.4 阻尼比 / 139

- 4.5 悬架结构设计 / 140
 - 4.5.1 控制臂 / 140
 - 4.5.2 推杆与拉杆 / 142
 - 4.5.3 防倾杆 / 143
- 4.6 转向简介 / 144
 - 4.6.1 转向系组成 / 144
 - 4.6.2 转向系传动比 / 145
 - 4.6.3 最小转弯半径 / 145
 - 4.6.4 轮跳转向 / 146
 - 4.6.5 阿克曼转向 / 146
 - 4.6.6 赛车中的阿克曼 / 148
- 4.7 转向结构设计 / 149
 - 4.7.1 齿轮齿条计算 / 149
 - 4.7.2 转向柱设计 / 152
 - 4.7.3 转向旷量 / 156

第5章 制动

- 5.1 制动系统总体设计 / 158
- 5.2 制动系统理论计算 / 160
 - 5.2.1 制动系统基本工作原理 / 160
 - 5.2.2 计算过程 / 161
- 5.3 制动部件的选择 / 163
 - 5.3.1 制动卡钳 / 163
 - 5.3.2 制动主缸 / 165
 - 5.3.3 平衡杆 / 167
 - 5.3.4 制动盘 / 168
 - 5.3.5 制动油管 / 170

第6章 发动机

- 6.1 几款常用发动机 / 172
 - 6.1.1 CBR600 / 173
 - 6.1.2 CRF450 / 174
 - 6.1.3 LD450 / 174
- 6.2 进气系统 / 175
 - 6.2.1 吸气方式 / 175
 - 6.2.2 进气系统的布置 / 176
 - 6.2.3 空气滤清器 / 178
 - 6.2.4 节气门 / 179
 - 6.2.5 限流阀 / 180
 - 6.2.6 稳压腔 / 181
 - 6.2.7 进气歧管 / 181
 - 6.2.8 进气系统的仿真 / 182
- 6.3 排气系统 / 184
 - 6.3.1 排气歧管 / 185
 - 6.3.2 排气布置 / 187
 - 6.3.3 排气材料 / 188
 - 6.3.4 噪声测定 / 188
- 6.4 冷却系统 / 191
 - 6.4.1 冷却系统基本组成 / 192
 - 6.4.2 散热器的设计 / 192
 - 6.4.3 风扇的选择 / 196
 - 6.4.4 冷却管路 / 196
 - 6.4.5 溢流瓶 / 196
 - 6.4.6 冷却液 / 197
- 6.5 燃油供给系统 / 197

- 6.5.1 油路回油 / 202
- 6.6 油底壳 / 205
 - 6.6.1 湿式油底壳 / 205
 - 6.6.2 干式油底壳 / 207
- 6.7 发动机 ECU / 209
 - 6.7.1 选择一款 ECU / 210
 - 6.7.2 输入/输出信号 / 213
- 6.8 台架实验 / 214
 - 6.8.1 台架的搭建 / 214
 - 6.8.2 台架标定 / 216
- 6.9 实车测试 / 218
 - 6.9.1 换挡切火 / 219
 - 6.9.2 起步控制 / 220
 - 6.9.3 牵引力控制 / 223

第7章 传动

- 7.1 气动换挡 / 226
 - 7.1.1 气动元件计算与选型 / 227
 - 7.1.2 换挡时序 / 235
- 7.2 主减速器 / 238
 - 7.2.1 主减速器传动比的确定 / 239
 - 7.2.2 链传动的设计 / 243
- 7.3 差速器 / 250
 - 7.3.1 自由差速器 / 250
 - 7.3.2 托森差速器 / 251
 - 7.3.3 摩擦片式限滑差速器 / 252
- 7.4 半轴总成 / 254

- 7.4.1 传动半轴的设计计算 / 254
- 7.4.2 万向节选型 / 255
- 7.5 车轮系统 / 256
 - 7.5.1 立柱 / 256
 - 7.5.2 轮毂 / 257
 - 7.5.3 轮辋 / 258

第8章 电子系统

- 8.1 主芯片 / 262
 - 8.1.1 51 单片机 / 263
 - 8.1.2 ARM 单片机 / 264
- 8.2 电源系统 / 265
 - 8.2.1 蓄电池电压输入 / 266
 - 8.2.2 发动机 ECU 电压输入 / 266
 - 8.2.3 电池 / 267
 - 8.2.4 直流电压转换 / 268
- 8.3 仪表系统 / 269
 - 8.3.1 屏幕 / 270
 - 8.3.2 转速 / 272
 - 8.3.3 挡位 / 276
 - 8.3.4 温度 / 278
 - 8.3.5 指示灯 / 279
 - 8.3.6 继电器 / 280
- 8.4 数据记录系统 / 281
 - 8.4.1 模数转换 / 282
 - 8.4.2 数据存储 / 282
 - 8.4.3 无线通信 / 284