

# 机械制造工程训练 创新设计与制作教程

胡青春 陈松茂 莫海军 编著



JIXIE ZHIZAO GONGCHENG XUNLIAN CHUANGXIN SHEJI YU ZHIZUO JIAOCHENG



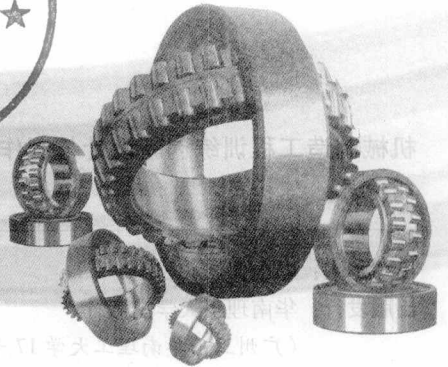
华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

013024277

TH16  
265

# 机械制工程训练 创新设计与制作教程

胡青春 陈松茂 莫海军 编著



北航 C1630347



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

TH 16

>65

013054577

## 内 容 简 介

《机械制造工程训练创新设计与制作教程》是教师们经过三年的教学实践编写而成，共收录无动力自滑车、电动式直航船、弹簧动力小车、工艺品数控加工、工艺品消失模铸造、铝合金阳极氧化制作工艺品、焊接工艺品和激光内雕作品等8个创新项目专题。每一项目专题内容均涵盖训练目的及意义、主要要求、设计与制作原理、关键零部件的设计方法，并结合实例介绍作品的设计构思与部分零件加工工艺设计。本书对工科院校学生在工程训练中开展以创新实践教育为主题的工程实践活动有良好的指导作用，也可作为中学生科技创新活动的参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

机械制造工程训练创新设计与制作教程/胡青春, 陈松茂, 莫海军编著. —广州: 华南理工大学出版社, 2013. 2

ISBN 978-7-5623-3847-5

I. ①机… II. ①胡…②陈…③莫… III. ①机械制造工艺-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 004923 号

## 机械制造工程训练创新设计与制作教程

胡青春 陈松茂 莫海军 编著

出 版 人: 韩中伟

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

http://www.scutpress.com.cn E-mail: scutcl3@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

责任编辑: 张 颖

印 刷 者: 广州嘉正印刷包装有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 8.5 插页: 2 字数: 210 千

版 次: 2013 年 2 月第 1 版 2013 年 2 月第 1 次印刷

印 数: 1~2000 册

定 价: 19.00 元

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换



图 1-1 无动力自滑车助跑斜道

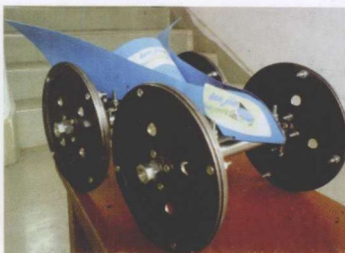


图 1-6(b) 蓝甲战车实物图



图 1-9(b) 飞火流星号实物图



图 1-4 流线型设计实例

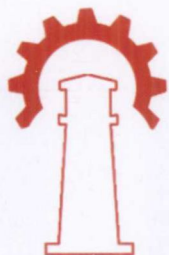


图 2-6 船身 Logo 示例



图 2-8 大白鲨号标志



图 2-10 集结号直航船标志



图 2-13 河蟹号直航船标志



图 2-9(b) 大白鲨号直航船实物图



图 2-11(b) 集结号直航船实物图



图 2-12(b) 河蟹号直航船实物图

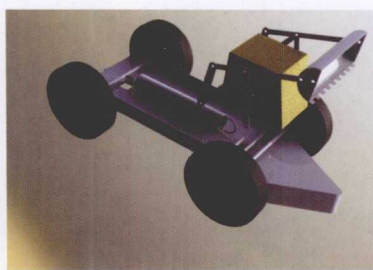


图 3-11 弹簧小车造型效果图

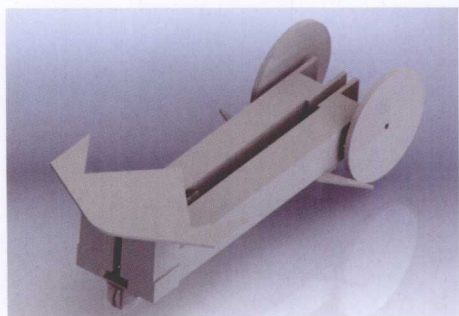


图 3-13 Dash Tooth (冲击之牙)

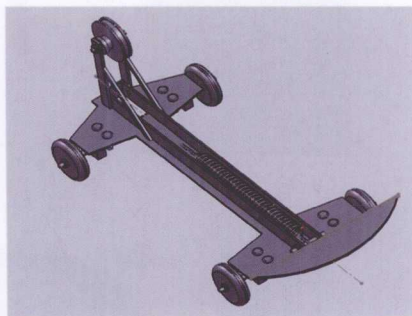
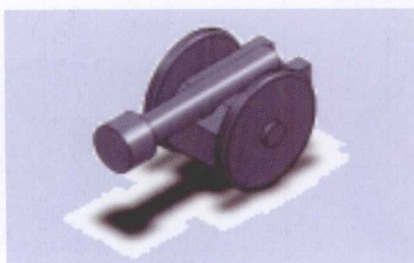
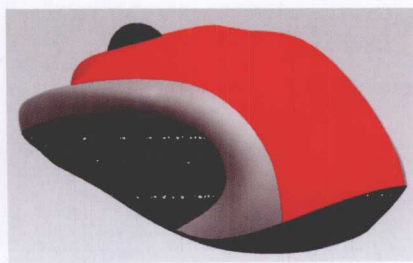


图 3-17 火箭勇士



(a) 中国象棋



(b) 光电鼠标

图 4-2 创新设计作品实例



图 5-25 学生习作——礼炮

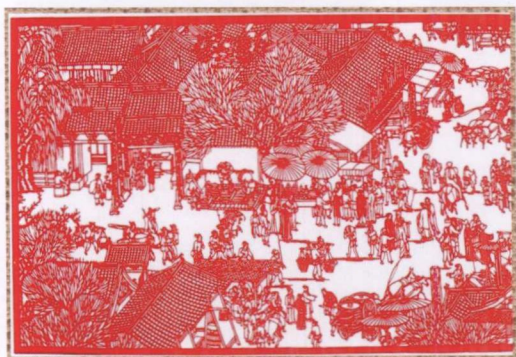


图 6-13 清明上河图（原作局部）



图 6-15 作品《中华醒狮》



图 6-16 作品《华彩折扇》（正面）

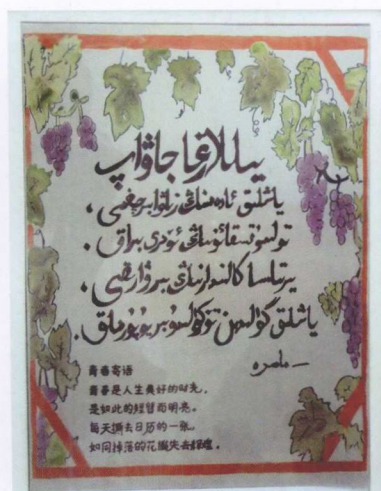
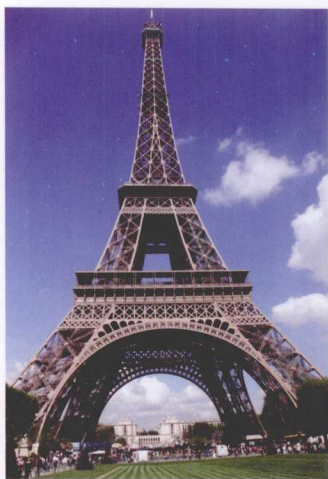


图 6-17 作品《青春》



(a) 艾菲尔铁塔原貌



(b) 铁塔模仿设计 3D 设计图

图 7-1 铁塔的模仿设计



图 7-12 “荷兰风车”作品



图 7-5 “焊”动亚运工艺品



图 7-14 “巨蟒桥”作品



图 8-2 卡通龙



图 8-11 加工后卡通龙效果图

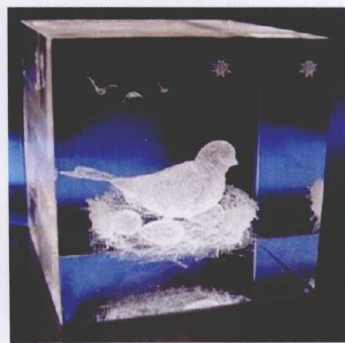


图 8-14 典型的激光内雕作品

# 目 录

绪论 .....	(1)
<b>1 无动力自滑车</b> .....	(3)
1.1 训练目的 .....	(4)
1.2 内容及要求 .....	(4)
1.3 设计指引 .....	(5)
1.4 制作指引 .....	(10)
1.5 创新拓展的思考 .....	(16)
<b>2 电动式直航船</b> .....	(17)
2.1 训练目的 .....	(18)
2.2 内容及要求 .....	(18)
2.3 设计指引 .....	(20)
2.4 制作指引 .....	(27)
2.5 创新拓展的思考 .....	(30)
<b>3 弹簧动力小车</b> .....	(31)
3.1 训练目的 .....	(32)
3.2 内容及要求 .....	(32)
3.3 设计指引 .....	(33)
3.4 制作指引 .....	(39)
3.5 创新拓展的思考 .....	(45)
<b>4 工艺品数控加工</b> .....	(47)
4.1 训练目的 .....	(48)
4.2 内容及要求 .....	(48)
4.3 设计指引 .....	(49)
4.4 加工指引 .....	(52)
4.5 作品的评价 .....	(62)
4.6 创新拓展的思考 .....	(62)



<b>5</b>	<b>工艺品消失模铸造</b> .....	(64)
5.1	训练目的 .....	(65)
5.2	内容及要求 .....	(65)
5.3	设计指引 .....	(66)
5.4	制作指引 .....	(76)
<b>6</b>	<b>铝合金阳极氧化制作工艺</b> .....	(83)
6.1	训练目的 .....	(84)
6.2	内容及要求 .....	(84)
6.3	设计指引 .....	(85)
6.4	创新拓展的思考 .....	(99)
<b>7</b>	<b>焊接工艺品</b> .....	(100)
7.1	训练目的 .....	(101)
7.2	内容及要求 .....	(101)
7.3	设计指引 .....	(102)
7.4	制作指引 .....	(110)
7.5	制作实例指引与欣赏 .....	(115)
7.6	创新拓展的思考 .....	(118)
<b>8</b>	<b>激光内雕作品制作</b> .....	(119)
8.1	训练目的 .....	(119)
8.2	内容及要求 .....	(120)
8.3	设计指引 .....	(121)
8.4	加工指引 .....	(122)
8.5	作品的评价 .....	(128)
8.6	创新拓展的思考 .....	(129)
	<b>参考文献</b> .....	(130)

# 绪论

机械制造工程训练创新设计与制作教学过程是建立在机械制造技术基础训练上的一种综合创新活动,旨在培养受训学生的工程意识,强化学生对机械产品设计及制造过程的了解,激发学生学习的积极主动性,提高学生的实践操作能力、独立思考能力和解决基础制造工程实际问题的技术创新能力,同时增强学生的团队协作能力。

综合创新训练活动的目的是使学生进一步了解现代机械装备以及新工艺、新技术和新材料的应用;对简单零件能够选择合适的加工方式并进行工艺分析;发挥学生的主观能动性,独立设计及制作小工件或工艺品,培养创新能力;设计出具有新颖性、实用性、结构合理且成本较低的综合创新作品,提高学生综合应用能力。

综合创新训练活动一般过程如图0-1所示,包括四个阶段,即创新设计与制作的布置与动员、创新设计的构思和论证、创新制作及制作报告编制、创新设计与制作的答辩和评价。

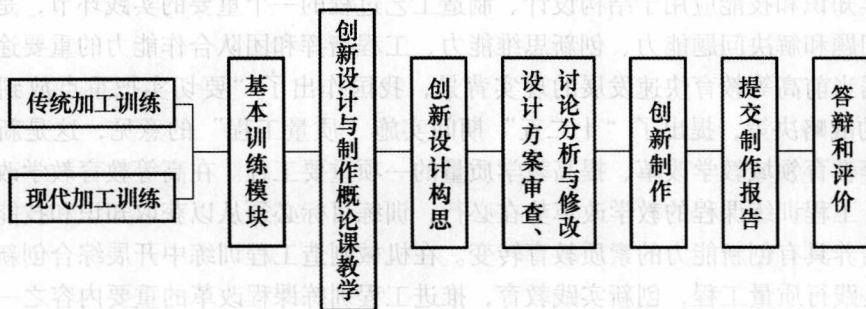


图0-1

在综合创新训练之前的基本训练模块属于基础工程训练,其重点是对学生进行工程训练的基本知识、基本操作技能的训练,要求学生了解机械制造的一般过程和基本知识;熟悉机械零件的常用加工方法及其所用的主要设备和工具;初步掌握现代机械的一般特点及知识。

创新设计与制作的布置与动员环节一般以概论课教学形式进行。在理解创新设计概念和领会制作要求的基础上布置创新设计与制作的基本任务,根据现有的创新平台给出选题要求,并由学生结合各自专业特点及个人爱好自由组队,确定选题。

创新设计的构思和论证是在选题确定后,首先进行资料收集,从新颖性、实用性和

综合性的角度去构思设计方案,并反复讨论、修改和论证,最后形成较合理可行的设计方案。在此基础上最终选定制作题目,并编制相应的选题报告。选题报告的内容需包括选题的新颖性、实用性和综合性简要分析,必要的零部件图,拟采用的材料及制作工艺等。选题报告经指导教师审查同意后即可进入制作实施阶段。

创新制作及制作报告编制阶段是学生按照设计要求独立完成自己的作品,并编制相关说明书等技术文件。学生由设计到制作肯定会遇到许多具体问题,此时应保持良好的心态,积极面对遇到的问题,主动思考,寻找解决问题的方法,提高工程实践能力;应注意团队成员之间互相沟通、互相鼓励,保持创新制作的热情和信心,提高团队合作能力;应经常与指导教师交流,及时解决出现的各类问题。制作完成后,学生要提交包括创新制作方案、设计过程、实现手段、所遇的问题及解决措施、产品使用说明书和收获体会等在内的制作报告。

创新设计与制作的答辩和评价是在创新制作完成之后,由专业教师、指导教师、学生代表组成答辩小组,对每个学生的作品进行综合评价。综合评价内容包括作品设计的创新性、结构合理性、工艺性以及使用说明书的正确性、完整性、图纸质量,此外,还包括学生的作品竞赛或演示表现及答辩能力等。

综上所述,综合创新训练对学生的基本要求是围绕机械制造业训练内容,设计制作完成一件创新作品,并提交创新制作报告,综合与创新训练使学生变被动为主动,可以按照自己的意愿确定选题、使用CAD/CAM软件进行设计、选择材料及采购零件,自己制定工艺、加工、装配与调试,并编写设计说明书、研究报告、参加竞赛或演示等。因此,综合创新训练是一个全方位培养和提高学生工程素质和创新意识的教学环节,它是将所学知识和技能应用于结构设计、制造工艺过程的一个重要的实践环节,是学生获取分析问题和解决问题能力、创新思维能力、工程指挥和团队合作能力的重要途径。

根据当前高等教育快速发展的现实背景,我国作出了“要切实把重点放到提高质量上”的战略决策,提出了“十二五”期间实施“质量工程”的意见,这是新时期我国在高等教育领域教学改革、提高教学质量的一项重要工程。在高等教育教学改革的新形势下,工程训练课程的教学改革势在必行,训练目标必须从以获取知识和技能的应试教育向培养具有创新能力的素质教育转变。在机械制造业训练中开展综合创新训练活动,就是践行质量工程,创新实践教育,推进工程训练课程改革的重要内容之一。

综合创新训练是高等教育教学改革的一种新方法,它加强了实践环节,普及和提高了工程技术教育,最重要的是落实了素质教育。目前,许多高校在机械制造业训练中积极开展综合创新训练活动。实践证明,通过综合创新训练可取得良好的教学效果。

本书是集体智慧的结晶。由胡青春老师拟定编写大纲,第一章和第二章由陈松茂编写,第三章由莫海军编写,第四章由徐忠阳编写,第五章由张木青编写,第六章由谢红希、陈毓莉编写,第七章和第八章由杨林丰编写。胡青春、陈松茂和莫海军负责全书的统稿和审核工作。

由于作者水平有限,书中不足之处,望学术同仁不吝赐教,以便在今后的教学实践中不断完善与提高。

## 1

## 无动力自滑车

## 本章导读

“无动力自滑车”创新设计与制作是一项典型的理论与实践紧密结合的大学生创新性工程训练综合项目，在各工程类高等院校的工程训练教学中得到推崇，也受到了广大师生的欢迎。

本章以“无动力自滑车”大学生创新设计与制作竞赛为背景，首先系统叙述该项目的训练目的及意义、主要内容及要求等；然后详细介绍“无动力自滑车”的设计与制作原理，包括理论分析、可行性方案设计以及关键零部件的设计等；接着结合实例介绍作品的设计构思与部分零件加工工艺设计，展示学生的设计理念和加工工艺设计过程；最后简单探讨由“无动力自滑车”延伸出来的关于创新拓展方面的思考。

## 重点与难点

- ◆ 整车设计要考虑同一起点上如何最大限度地增加小车的重力势能。
- ◆ 整车设计与制作要充分考虑各种阻力作用，尽可能减少各种摩擦力影响。
- ◆ 整车设计与制作要考虑如何控制小车保持直线运动。

## 涉及主要工种

- ◇ 车工
- ◇ 铣工
- ◇ 刨工
- ◇ 磨工
- ◇ 钳工
- ◇ 焊接
- ◇ 钣金加工
- ◇ 表面处理
- ◇ 数控加工
- ◇ 锻压

## 1.1 训练目的

- (1) 了解自滑车的设计理论与方法，掌握自滑车加工工艺、装配、公差要求等知识与技能；
- (2) 加深学生对工程训练实操技能和方法的理解，熟悉各种加工设备的使用，进一步提高机械设计与制造水平；
- (3) 加强学生的团队协作精神，营造浓郁的实践创新氛围；
- (4) 学生初步学会运用所学技能设计制作小作品，提高动手能力，增强创新意识。

## 1.2 内容及要求

### 1.2.1 主要内容

本项目主要是针对机械类或近机类学生而专门开设的。学生在完成了3~4周的工程训练以后，初步掌握了工程训练各实习工种的理论知识和实操技能，基本接触了车、铣、刨、磨、钳、焊、锻、铸等传统冷热加工方法及其加工设备，以及数控车、数控铣、电火花、线切割、加工中心、快速成型、表面处理等现代加工方法及相关仪器设备。在剩下的1~2周实习时间里，可通过举办“无动力自滑车”创新设计与制作竞赛等活动形式，进一步提高学生综合运用各种工程训练知识和技能来解决工程实际问题的能力。

“无动力自滑车”创新设计与制作竞赛的主要内容是：要求所有参赛小车在规定的 $40^\circ$ 仰角、垂直高度0.8m、宽1m的助跑斜道上（由钢板和角钢支架焊接而成，如图1-1所示），不施加任何外力作用而自由下滑，测量它在水平面上前进的最远直线距离。

竞赛可采取小组或班级对抗的形式进行。小组与小组间进行单项竞赛，班与班级间进行团体总分排名。每个班级的学生各自组队，以4~5人为一组，通过自由组合或班内协调方式产生，每组推选一名队长。在队长组织下，各参赛小组学生分工协作，按照竞赛规则共同设计制作各自的小车。每部参赛小车均有三次自滑机会，取其中直线距离最远的一次为最终竞赛成绩。小组单项赛由自滑成绩、答辩成绩、专家评审成绩组成；班级团体总分由各班所有参赛小组最好自滑成绩累加而成。

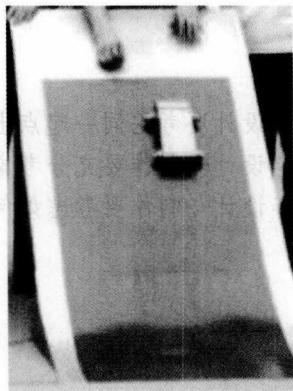


图1-1 无动力自滑车助跑斜道  
(见彩图)

## 1.2.2 设计及制作要求

- (1) 整车的结构组成必须包含车轮、车架及外壳，整车重量不能超过 2.5kg；
- (2) 车辆名称自定，需在车身上设计能够体现竞赛主题的标志（Logo）；
- (3) 在规定范围内自选材料，材料数量限额提供。除装饰用外，所有功能结构件必须使用金属材料制成；
- (4) 除了标准件外，小车的所有零部件必须独立设计和制作；
- (5) 小车只能使用滑动轴承，不能使用滚动轴承结构；
- (6) 在保证性能和功能的前提下，要求小车的造型尽量美观、新颖，结构合理、制作简单且成本最低；
- (7) 必须考虑小车零部件易于装配、调整和修理等问题；
- (8) 必须使用 CAD 软件（如 AutoCAD、UG、Pro/E、Solidworks 等）进行整车的设计和制图（包括原理图、示意图、零件图和装配图等），并撰写产品设计说明书（包括设计构思、方案选择、基本原理、计算方法和过程、成本分析和参考资料等）以及零件加工工艺分析与设计，制定零件加工工艺过程；
- (9) 设计与制作过程必须充分运用所学的各种工程训练知识和技能。

## 1.2.3 对学生的要求

- (1) 需具备基本的机械基础知识，熟读工程训练教材；
- (2) 应具有较强的机械设计与工程制图能力，熟练运用 CAD 软件进行产品设计；
- (3) 熟练掌握各种加工仪器和设备使用方法和技巧；
- (4) 熟悉“无动力自滑车”的基本结构知识及自滑原理。

## 1.3 设计指引

### 1.3.1 基本理论分析

“无动力自滑车”从 40° 仰角斜道滚动滑下，遵循牛顿运动定律和能量守恒原理。因此，通过相关物理方程和数学公式可理论计算出小车在水平面上前进的最大距离，直观分析有利于或有碍于小车运动的因素，从而指导我们选择较佳的结构及制作方案。

如图 1-2 所示，在 1m 高、40° 仰角的助跑斜道上，小车以零初速度往下运动，并在重力势能作用下加速经过斜道，进入地面作减速运动，直至停止。假设理想状态下，小车总体质量为  $m$ ，整车重心为  $O$ ，重心与地面垂直距离为  $h$  ( $h < 1\text{m}$ )；小车车轮与斜道的滚动摩擦系数为  $\mu_1$ ，与地面的滚动摩擦系数为  $\mu_2$ ；在斜道上运动时，小车受到重力  $G$ 、斜道支撑力  $N_1$ 、摩擦力合力  $f_{\text{摩}1}$ （斜道对车轮的滚动摩擦力  $f_{\text{滚}1}$  与轮轴与轴承的

滑动摩擦力 $f_{\text{滑}1}$ 的合力)以及风的阻力 $f_{\text{风}}$ 的共同作用,获得运动加速度 $a_1$ ;小车从斜道运动到达地面时的瞬时速度为 $v_i$ ;在地面上运动时,小车受到重力 $G$ 、地面支撑力 $N_2$ 、摩擦力合力 $f_{\text{摩}2}$ (地面对车轮的滚动摩擦力 $f_{\text{滚}2}$ 与轮轴与轴承的滑动摩擦力 $f_{\text{滑}2}$ 的合力)以及风的阻力 $f_{\text{风}}$ 的共同作用,获得运动加速度 $a_2$ ;最大前进距离为 $s$ 。

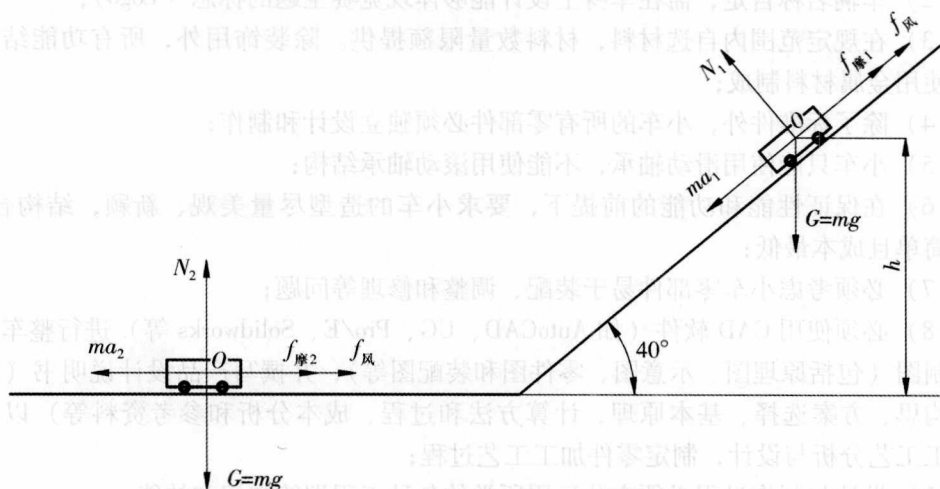


图 1-2 小车运动时的力学及运动状态

根据牛顿运动定律和力平衡原理,小车运动时的相关计算如下:

(1) 小车在斜道上运动时的相关计算:

$$ma_1 = mgsin40^\circ - f_{\text{摩}1} - f_{\text{风}} \quad (1-1)$$

$$f_{\text{摩}1} = f_{\text{滚}1} + f_{\text{滑}1} = N_1\mu_1 + f_{\text{滑}1} = \mu_1 mg\cos40^\circ + f_{\text{滑}1} \quad (1-2)$$

$$ma_1 = mgsin40^\circ - \mu_1 mg\cos40^\circ - f_{\text{滑}1} - f_{\text{风}} \quad (1-3)$$

$$a_1 = (\sin40^\circ - \mu_1 \cos40^\circ)g - \frac{f_{\text{风}} + f_{\text{滑}1}}{m} \quad (1-4)$$

$$v_i = \sqrt{2gh\left(1 - \mu_1 \cot40^\circ - \frac{f_{\text{风}} + f_{\text{滑}1}}{mgsin40^\circ}\right)} \quad (1-5)$$

(2) 小车在地面上运动时的相关计算:

$$ma_2 = -f_{\text{摩}2} - f_{\text{风}} \quad (1-6)$$

$$f_{\text{摩}2} = f_{\text{滚}2} + f_{\text{滑}2} = N_2\mu_2 + f_{\text{滑}2} = \mu_2 mg + f_{\text{滑}2} \quad (1-7)$$

$$a_2 = -\mu_2 g - \frac{f_{\text{风}} + f_{\text{滑}2}}{m} \quad (1-8)$$

$$s = \frac{v_i^2}{2a_2} \quad (1-9)$$

把式(1-5)、式(1-8)代入式(1-9)则有:

$$s = \frac{1 - \mu_1 \cot40^\circ - \frac{f_{\text{风}} + f_{\text{滑}1}}{mgsin40^\circ}}{\mu_2 + \frac{f_{\text{风}} + f_{\text{滑}2}}{mg}} \cdot h \quad (1-10)$$

由式(1-10)可知,小车在地面上的最大前进距离 $s$ 受到初始重心高度 $h$ 、摩擦系数 $\mu_1$ 和 $\mu_2$ 、轮轴与轴承的滑动摩擦力 $f_{滑1}$ 和 $f_{滑2}$ 以及风阻 $f_{风}$ 的共同制约。当 $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 、 $f_{滑1}$ 、 $f_{滑2}$ 、 $f_{风}$ 越小且 $h$ 越大,则小车的最大前进距离 $s$ 越大。

因此,要使小车跑得尽可能远,在整车设计过程中必须考虑以下四个主要因素的影响:

(1) 摩擦损耗。整车设计的结构应尽可能减小各种摩擦损耗的影响,包括车轮与斜面、车轮与地面、轮轴与轴承之间等的摩擦损耗。

(2) 小车重心高度。整车设计既要充分考虑运动的平稳性,又要尽可能提高小车重心高度,增加势能作用。然而,小车的前进距离、稳定性与小车重心高度存在一定关系,如图1-3所示。随着重心高度的增大,小车的前进距离呈非线性增大,而小车的稳定性则呈非线性降低直至失稳。

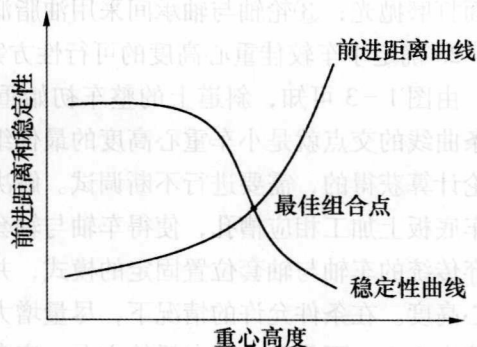


图 1-3 小车前进距离、稳定性与重心高度关系

(3) 风的阻力。整车设计要充分考虑小车在运动过程中风的影响,特别是设计小车外形时应尽可能减小各种风阻。

(4) 直线运动。整车设计应尽可能保证小车作直线运动而不会左右拐弯,实现跑得更远的目的。

### 1.3.2 可行性方案设计

根据以上理论分析,无动力自滑车设计与制作的首要目的是解决以上四个主要因素的影响,即减小摩擦损耗、寻找较佳重心位置、降低风阻及提高直线运动功能。其次,要确定车轮、车轴与轴套间的连接方式,提高车轮转动惯量,以及设计小车外观造型等内容。因此,针对无动力自滑车,分别提出如下相关可能性设计思路及方案,以供参考。

#### 1. 减小摩擦损耗的可行性方案

无动力自滑车的摩擦损耗主要包括三个方面内容:轮轴与轴承之间的滑动摩擦、车轮与斜面之间的滚动摩擦、车轮与地面之间的滚动摩擦。因而,在不考虑改变斜面与地面条件下,车轮、车轴与轴承的设计最为关键。轮轴与轴承的滑动摩擦力与轮轴与轴承的形状、尺寸、润滑条件、承受载荷等多种因素有关,计算相对比较复杂。影响轮轴与轴承摩擦系数的参数主要有材质、表面粗糙度、表面结构、润滑方式等。因此,车轮、车轴与轴承的设计,首先要选择摩擦系数较小的金属材质(如钢-铜组合等);其次结构设计要合理,在保证较大转动惯量的前提下,车轮与斜道、地面的接触面积尽可能小,从而减小摩擦面积;再次,车轮或车轴外表面的加工尺寸必须满足较高的精度要



求,降低表面粗糙度值,以减小不必要的能量损失;第四,适当对车轮与车轴之间的滑动接触进行润滑(如在车轴或轴套内表面涂覆润滑脂或润滑油);第五,整车结构设计尽可能将大部分重量集中在车轮上,减少小车底盘重量(可将底盘设计为由两侧板和连接轴组成的机构等),以便减小车轮与车轴的正压力,降低地面摩擦力。从多次竞赛情况来看,若指定材料规格,成绩突出的小车其车轮、车轴的设计都有一些共同点,主要归纳为:①车轮、车轴采用圆钢材料,轴承或轴套采用黄铜材料;②车轴直径一般取 $6 \sim 10 \text{ mm}$ 、车轮直径一般取 $40 \sim 50 \text{ mm}$ ,采用精度较高的机床设备加工获得,并进行表面打磨抛光;③轮轴与轴承间采用油脂润滑方式。

### 2. 确定小车较佳重心高度的可行性方案

由图1-3可知,斜道上的整车初始重心高度与前进距离、运动稳定性存在关联。两条曲线的交点就是小车重心高度的最佳组合点。但是,这一组合点的位置是很难通过理论计算获得的,需要进行不断调试。解决办法是,设计轴套为水平移动可调式,即在小车底板上加工相应槽孔,使得车轴与轴套可在底板前后不同位置调整并用螺钉固定,摒弃传统的车轴与轴套位置固定的模式,并通过多次滑动测试试验,来获得小车较佳的重心高度。在条件允许的情况下,尽量增大小车的重量,并且使整车重量尽可能集中在车轮中心上,而且重心偏向后轮方向,底盘弯曲向下,使重心贴近地面。此外,设计小车的前轴比后轴短,使同侧的前后轮有一定的角度,能使小车更好地保持直线前进。

### 3. 降低风阻的可行性方案

风的阻力主要集中作用在正向运动的车身表面面积,因此,根据空气流体动力学原理,减小风阻的办法是减小风作用在车身表面正向面积,为此,可采用流线型的车身设计模式(如图1-4所示的F1赛车、飞机机头、“和谐号”火车车头等),并且尽可能将车盖设计得较低,同时增加加工精度,保证车轮与车轴之间最适当的间隙,以减小风阻。



图1-4 流线型设计实例(见彩图)

### 4. 实现直线运动的可行性方案

无动力自滑车的设计最主要目的之一是控制小车沿直线运动而不会左右拐弯或打转。如果能让同一个车轴上的两个轮子大小相等并且同心,同时保证两车轴平行以及车轮与车轴的垂直度,那么就基本能保证小车沿着直线运动。然而,由于受到加工精度以及学生个人制作能力的限制,较难保证两车轴间具有较高的平行精度。解决办法如下: