

第 1 篇

基础篇

绪 论

第 1 章

2015年国务院印发的《中国制造2025》，提出了实现制造强国的发展目标，对传统工科专业，特别是机电一体化相关专业的人才培养提出了更高的要求。在2018年教育部颁布的《普通高等学校本科专业类教学质量国家标准》中，明确了“创造性设计能力和工程实践能力”的两大培养要求。因此，着重培养和提高工科专业人员的创新能力和实践能力尤为迫切。大学生学科竞赛是实施创新创业教育，培养学生动手实践能力和专业综合素养的新型实践教学形式，大学生学科竞赛成为高校开展高水平创新创业教育成果交流与展示的重要平台。学科竞赛的本质是大学生从事创新实践的一种竞技性检验。

因此，国内各大高校兴起了各类机电一体化相关学科竞赛的热潮，其中，既有全国性、权威性的大赛，如全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛、全国大学生电子设计竞赛，又有各省、市及各个高校举行的机械设计大赛，如机器人创新大赛。各类学科竞赛的举办，一方面是为了增强大学生特别是工科专业学生的创新意识和学习兴趣；另一方面是为了提高学生的动手能力及培养在校大学生的工程素养。

通过参加各类学科专业竞技类大赛，在巩固理论知识的同时，还可以让学生体验到一种比赛的快乐，那就是创作、创新的快乐。当看到自己设计、制作的作品运行起来的时候，那种喜悦和快乐是溢于言表的。如果学生将自己的作品申请专利，甚至转化为产品，最终推向市场，转换为社会生产力，给人们生活带来便捷，被很多人喜爱，这将带来更大的成就感，而学科竞赛正是给大学生们提供了这样一个展示自我的舞台。

尽管很多学生都想积极参加学科竞赛，但是真正落实到如何去开展，却不知道应该从何处入手。例如，很多同学不清楚设计一个完整的机电一体化作品的流程，如何设计、加工零部件，相关材料和零部件在哪里购买，如何设计、装配机电一体化作品，如何设计动力系统和确定控制方案等。要参加机电一体化相关的学科竞赛，学生必须具备一定的专业知识，掌握电路的设计与制作、机械零件的设计与加工、计算机、单片机、可编程逻辑控制器(programmable logic controller, PLC)等知识。因此，为了给大家提供参加竞赛的方向性指导，本书将解答大学生在制作机电一体化竞赛作品时经常遇到的问题。

本书的编者总结了多年来指导学生参加全国大学生机械设计创新大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛、全国大学生电子设计竞赛的经验，以通俗易懂的形式和大量的竞赛获奖作品为样例，阐述了参加机电一体化竞赛须具备的相关专业知识，将制作和参赛过程中遇到的问题、涉及的相关知识归纳成若干个知识要点，进行详细说明。同时本书把优秀的获奖作品以项目的形式进行介绍，给予比赛学生方向性的参考，也希望有更多的大学生能够在参考本书的同时，制作出属于自己的竞赛作品，鼓励更多的大学生参与到机电一体化相关专业

的学科竞赛中。

本书的编写目的在于对大学生参加机电一体化类的学科竞赛提供一定的帮助。同时,本书也可作为“全国大学生机械创新设计大赛”“全国大学生工程训练综合能力竞赛”“全国大学生电子设计竞赛”等相关课程的指导教材,或者作为机械设计制造、电子工程、机电一体化专业的实训项目的辅助教材,也可以作为“机械原理”“机械设计”“单片机技术”“自动控制技术”等机械电子类主干课程的配套教材。

1.1 开展学科竞赛的意义

随着科技与经济的发展,社会迫切需要高等院校培养出越来越多的具有创新精神和综合能力的高素质人才,而创新精神和综合能力的培养是离不开“实践”这一环节的。事实证明,大学生在学习期间参加各类学科竞赛,不仅有助于学生理解和掌握理论知识,还能激发学生进行科学研究的兴趣,掌握解决问题的方法和手段,也是挖掘、发挥学生自身潜能,促进学生个性发展的重要举措。

面向机械设计专业、电子信息专业和机电一体化专业等的学科竞赛,主要包括全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛和全国大学生电子设计竞赛,这些专业类学科竞赛激发了学生的创新精神。实践证明,高校学生在学习期间参加各类比赛不仅能帮助其深入理解和掌握理论知识,而且还可以提高其进行科学探索与研究的兴趣,养成严谨求实、勇于创新的科学态度,学习解决问题的思路、方法和手段,丰富实践知识,锻炼动手能力、交流能力,增强团队精神。同时,这些学科竞赛对学生提高课程设计、实训、毕业设计的质量也有很大的促进作用,甚至对学生未来就业也会带来很大的帮助,可丰富学生简历。实践证明,在应届生求职过程中,企业更喜欢和倾向于聘用参加过学科竞赛和动手实践能力强的学生。

全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛、全国大学生电子设计竞赛是国家教育委员会提议在高等院校组织开展的权威性学科竞赛,是面向全国大学生的群众性科技活动。第一届全国大学生机械创新设计大赛于2004年9月在南昌大学举行;全国大学生工程训练综合能力竞赛启动时间比较晚,第一届于2009年在大连理工大学举行;第一届全国大学生电子设计竞赛于1994年开始,每两年举办一次。教育部大力鼓励工科学子参加此类含金量高的学科竞赛所体现的意义主要包含以下几点。

1) 学科竞赛有利于提高学生的实践能力

在对工科大学学生的人才培养方案中,只注重理论而弱化实践如空中楼阁,一味地强调实践而无基础理论如无源之水,学生参加学科竞赛正是理论和实践的完美结合。学科竞赛要求学生与实践过程中灵活运用理论知识,要想做到灵活运用,首先必须对专业知识有深入的理解和掌握,其次还应有一定的实践和动手能力,这种实践能力在学校的实践教学环节能够得到一定的培养,但是就目前普通高校的课程设置体系而言,实践教学环节课程设置不足的现象非常普遍。此时,实践性很强的学科竞赛为学生提供了另一个理论联系实践的平台,是学生实践教学环节的补充,对学生的综合实践能力从更高的层次进行检验检测。学科竞赛一般以课堂理论为基础,但又高于课堂理论,需要结合社会生产实践。学科竞赛的实践性可

以说是介于高校实践课程和生产现实之间,为高校实践能力培养和企业用人需求之间搭建了一座很好的桥梁。

2) 学科竞赛有利于激发创新意识,培养创新思维,提高创新能力

举办学科竞赛的初衷正是为了提高学生的综合素质,培养学生的创新能力,使学生构建解决实际问题的思维意识。从人才培养的角度,可以说是溯本求源、目的一致。同时,学科竞赛主要侧重于考查参赛者实际分析、解决问题的能力,强调创新意识和思维亮点,是一条培养高素质和创新能力人才的重要途径。

学科竞赛所含内容一般涉及多个专业领域,至少是多门课程的综合和拓展,这对学生提出了更高的要求,要求学生必须具备扎实的专业基础、对知识深度挖掘的强烈欲望,以及在实践过程中对于知识应用的创新热情。近年来,杭州师范大学钱江学院电子信息专业学生持续参加全国大学生电子设计竞赛(此项比赛属于国家级重点比赛项目,比赛强调实践、创新、创造,评审标准包括创新性、实用性、技术先进性等指标),完成了电子设计竞赛的控制类题目四旋翼飞行器的整个任务。对题目总体方案、构建、设计、制作进行大量的分析和判断,主动探索,不断尝试,不断实践,最终成功完成作品方案。

3) 学生团队意识、组织能力、科研素养得到提高

除了专业知识结构不断拓宽,学生的团队意识、组织能力、协作精神也得到了培养。通过学科竞赛,学生能合理地构建科研知识结构,激发探索欲望和创新意识,为培养良好的科研素养、独立开展科研工作打下了坚实的基础。

4) 可以以学科竞赛为载体,促进人才培养模式、课程体系的改革

学科竞赛的作品、题目一般与该学科比较前沿性的研究方面或课题契合,学科竞赛使用的实验方法一般是工科专业普遍使用的。作为教师,在多次指导学科竞赛过程中积累了大量经验,这些经验应直接对接课程体系,作为课程体系建设的参考因素之一。深化课程体系和教学内容改革,丰富教学方法和教学手段是高校对课程建设的基本要求。在专业课程中融入学科竞赛,把教学目标、教学手段、教学内容与创新思维、创新意识、实践能力培养融合起来,最终实现提升理论教学与创新教育水平的目的;同时开设以学科竞赛典型案例为主要内容的课程体系,通过案例教学扩大创新教育普及范围,打造良好的创新教育基础;加强通识教育,奠定创新基础,鼓励学生选修创新类拓展课程,培养创新思维;把最新的科技成果融入课堂,增强科技竞赛吸引力,激发大学生主动参与学科竞赛的兴趣,进而培养大学生的创新能力,从而完成工科类人才培养模式的改革。

5) 通过学科竞赛提高师资队伍建设水平,促进实践教学

教师自身的创新能力素养直接关系到学生创新能力的培养,通过本专业的学科竞赛培训、比赛,教师的实践创新能力也得到了锻炼和发展。竞赛的试题反映了当代机电一体化技术的先进水平,随着竞赛规模和影响的不断扩大,大赛日趋强调作品的创新设计和创新思想,参赛学生想要从中脱颖而出,创新思想很重要。这就要求指导教师在指导学生的过程中密切关注科技前沿,培养创新思想,增强实践创新能力。通过竞赛,教师会发现平时教学中的不足,进而改进以后的教学,同时又能把在竞赛中出现的新技术、新原理、新器件等经过研究、整理后,渗透到以后的课堂教学中,更新和扩充教学内容,探索各种灵活的教学方法和手段,以达到良好的效果。

1.2 国内机电一体化类学科竞赛开展情况

鉴于学科竞赛在培养创新人才方面的突出作用,国家高度重视学科竞赛的发展。2007年,国家颁布的《教育部 财政部关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》指出:要继续开展大学生竞赛活动,重点资助在全国具有较大影响和广泛参与面的大学生竞赛活动,激发大学生的兴趣和潜能,培养大学生的团队协作意识和创新精神。据统计,自2007年该文件出台以来,教育部资助了全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生电子设计竞赛等16项学科竞赛,表1-1列出了大赛的名称。

表 1-1 教育部资助的大学生学科竞赛

序号	大赛名称	序号	大赛名称
1	全国大学生智能汽车竞赛	9	中国(国际)传感器创新创业大赛
2	全国大学生电子设计竞赛	10	全国大学生数学建模竞赛
3	全国大学生物流设计大赛	11	全国大学生节能减排社会实践与科技竞赛
4	全国大学生化学实验邀请赛	12	全国大学生软件创新竞赛
5	全国大学生机械创新设计大赛	13	全国大学生物理实验竞赛
6	全国大学生可持续建筑设计竞赛	14	全国大学生结构设计竞赛
7	全国大学生工程训练综合能力竞赛	15	全国大学生电子商务“创新、创意及创业”挑战赛
8	全国大学生交通科技大赛	16	全国大学生控制仿真挑战赛

从表1-1中可以看出,针对机械设计专业、电子信息专业、机电一体化专业的人才培养需求,教育部组织的相关学科竞赛主要有全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛、全国大学生电子设计竞赛。下面主要介绍以上3项比赛分别在国内高校的开展情况。

1. 全国大学生机械创新设计大赛

全国大学生机械创新设计大赛是经教育部高等教育司批准,由教育部高等学校机械学科教学指导委员会主办,机械基础课程教学指导委员会、全国机械原理教学研究会、全国机械设计教学研究会、北京中教仪科技有限公司联合著名高校共同承办,面向大学生的群众性科技活动。大赛的目的在于引导高等学校在教学中注重培养大学生的创新设计意识、综合设计能力与团队协作精神;加强学生动手能力的培养和工程实践的训练,提高学生针对实际需求通过创新思维,进行机械设计和工艺制作等实践工作能力;吸引、鼓励广大学生踊跃参加课外科技活动,为优秀人才脱颖而出创造条件。从2004年到2020年,全国大学生机械创新设计大赛已经连续举行了9届。第一届全国大学生机械创新设计大赛于2004年9月在南昌大学举行。第二届以“健康与爱心”为主题,于2006年10月在湖南大学举行。第三届以“绿色与环境”为主题,于2008年秋季在武汉举行。第四届(2010年)在东南大学举行,主题为“珍爱生命,奉献社会”。第五届(2012年)在西安举行,主题为“幸福生活——今天和明天”,内容为“休闲娱乐机械和家庭用机械的设计和制作”。第六届(2014年)在北京理工大学举行,主题为“幻·梦课堂”,内容为“教室用设备和教具的设计与制作”。第七届(2016

年)在山东交通学院举行,主题为“服务社会——高效、便利、个性化”,内容为“钱币的分类、清点、整理机械装置,不同材质、形状和尺寸商品的包装机械装置,商品载运及助力机械装置”。第八届(2018年)在浙江工业大学举行,主题为“关注民生、美好家园”,内容为两个:“一是解决城市小区中家庭用车停车难问题的小型停车机械装置的设计与制作;二是辅助人工采摘包括苹果、柑橘、草莓等10种水果的小型机械装置或工具的设计与制作”。第九届(2020年)在西南交通大学举行,有两大特色:一是“实物参赛、机电结合、系统训练、创新应用”;二是大赛的获奖率不高,一等奖的获奖率仅为3%。

由上述历届大赛可以看出,全国大学生机械创新设计大赛虽然开展较晚,但发展迅速,规模越来越大,影响越来越广。同时,该项赛事也越来越得到各省、市和高校的重视。国内各省、市及高校的机械竞赛大多于2005年开始,是为参加下一届全国大学生机械创新设计大赛做准备。例如,2007年浙江省第四届大学生机械设计大赛,共有130余支队伍参加省内决赛;而在此之前,有的学校已经在校内进行了两轮甚至三轮的预赛;参加人数之多,影响范围之广,前所未有,具有非常积极的意义。国内组织竞赛较早的高校,如浙江大学,从1995年开始,就在国内率先举办机械设计大赛,学界反映良好,影响巨大。

2. 全国大学生工程训练综合能力竞赛

全国大学生工程训练综合能力竞赛是教育部高等教育司发文举办的全国性大学生科技创新实践竞赛活动,是基于国内各高校综合性工程训练教学平台,为深化实验教学改革,提升大学生工程创新意识、实践能力和团队合作精神,促进创新人才培养而开展的一项公益性科技创新实践活动。该竞赛是有较大影响力的国家级大学生科技创新竞赛,是教育部、财政部资助的大学生竞赛项目,目的是加强学生创新能力和实践能力培养,提高本科教育水平和人才培养质量。为开办此项竞赛,经教育部高等教育司批准,专门成立了全国大学生工程训练综合能力竞赛组织委员会和专家委员会。竞赛组织委员会秘书处设在大连理工大学。竞赛每两年举办一届。举办该竞赛的目的是促进各高校提高工程实践和工程训练教学改革和教学水平,培养大学生的创新设计意识、综合工程应用能力与团队协作精神,促进学生基础知识与综合能力的培养、理论与实践的有机结合,养成良好的学风,为优秀人才脱颖而出创造条件。首届全国大学生工程训练综合能力竞赛全国总决赛于2009年10月在大连理工大学隆重举行。第二届全国总决赛于2011年6月在大连理工大学举行,主题为“无碳小车”。第三届全国总决赛于2013年6月在大连理工大学举行,主题为“无碳小车越障竞赛”。第四届全国总决赛于2015年5月在合肥工业大学举行,主题为“无碳小车越障竞赛”。第五届全国总决赛(合肥赛)于2017年5月在合肥工业大学举行,主题为“重力势能驱动的自控行走小车越障竞赛”。第六届全国总决赛于2019年6月在天津职业技术师范大学举行,竞赛命题包含2类4项,即无碳小车类和移动机器人,其中无碳小车类的3项命题分别为S形赛道常规赛、8字形赛道常规赛、S环形赛道挑战赛。第七届全国总决赛于2021年9月在北京举行,以“守德崇劳工程创新求卓越,服务社会智造强国勇担当”为主题,共设置4大赛道13个赛项:①工程基础赛道,包括势能驱动车、热能驱动车和工程文化3个赛项;②“智能+”赛道,包括智能物流搬运、水下管道智能巡检、生活垃圾智能分类和智能配送无人机4个赛项;③虚拟仿真赛道,包括飞行器设计仿真、智能网联汽车设计、工程场景数字化和企业运营仿真4个赛项;④工程创客赛道,包括关键核心技术挑战和未来技术探索2个赛项。

3. 全国大学生电子设计竞赛

全国大学生电子设计竞赛是教育部、工业和信息化部共同发起的大学生学科竞赛之一,是面向大学生的群众性科技活动。竞赛的特点是与高等学校相关专业的课程体系和课程内容改革密切结合,以推动其课程教学、教学改革和实验室建设工作。电子设计竞赛有助于高等学校实施素质教育,培养大学生的实践创新意识与基本能力、团队协作的人文精神和理论联系实际的学风;有助于学生工程实践素质的培养、提高学生针对实际问题进行电子设计制作的能力;有助于吸引、鼓励广大青年学生踊跃参加课外科技活动,为优秀人才的脱颖而出创造条件。第一届全国大学生电子设计竞赛于1994年举行,1995年举办第二届,后面每两年举办一届,至2021年已经举办15届。竞赛时间定于竞赛举办年度的8月,赛期4天,采取4天3夜的半封闭式、相对集中的训练模式。针对机电一体化方向的学生,主要以电子设计竞赛的控制类题目为主,如水温控制系统、自动往返电动小汽车、简易智能电动车、液体点滴速度监控装置、风力摆控制系统、滚球控制系统、四旋翼飞行器等。竞赛题目内容既有理论设计,又有实际制作,以全面检验和加强参赛学生的理论基础和实践创新能力为最终目的。

全国大学生电子设计竞赛不仅对工科类人才的培养起到了积极的作用,而且也是各高校教学改革的重要环节。电子设计竞赛对提高学生的动手实践能力、推动大学实验教学的改革起到了积极的推动作用。对于大学生来说,电子设计竞赛有利于培养团队精神,增强动手能力,培育创新意识,加强从事科学研究的综合训练,还可以提高方案论证、数据处理、误差分析、撰写设计说明书的能力。

在这3项机电一体化竞赛中,考核的形式、目标对象和侧重点都有所不同。全国大学生机械创新设计大赛主要培养学生的结构创新意识,体现在“创新”二字,要么是前人没有做过的东西,要么是在原有的基础上做出较大的改进和完善。全国大学生工程训练综合能力竞赛和全国大学生电子设计竞赛属于竞技类比赛,要求作品能够有效地完成比赛规定的动作。不管是哪种类型的比赛,同学们都能从本书提供的方案中得到一些启发和帮助。

1.3 本书主要内容及特点

1. 本书主要内容

本书主要内容与机械、电子、机电一体化专业竞赛紧密相关,从理论以及实际操作方面给予学生最直接的指导,使学生对机电一体化竞赛有全面的了解和认识,同时给出在全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛和全国大学生电子设计竞赛中获得国家级一等奖、二等奖,省级一等奖、二等奖的优秀作品案例,从而引导参赛学生找准比赛方向,提高今后的竞赛成绩。全书共分15章。

第1章绪论。主要介绍本书编写的目的及意义,国内大学生机电一体化相关类学科竞赛的开展情况,本书的主要内容及特点。

第2章机电一体化概论。从机电一体化的来历、基本概念,机电一体化系统与传统机

械、电子控制系统的差异,机电一体化组成要素与原则、主要特征和发展特点等方面进行介绍,让学生参加比赛设计机电一体化作品时有一个原理上的认识。

第3章机械设计总论。从基本概念、组成、设计要求、设计方法、设计准则、零件材料及其选用等角度进行讲解,详细介绍在学科竞赛中经常用到的各种方案。

第4章执行元件。讲述电动机驱动部件及驱动方式,直流伺服电动机、步进电动机和伺服电动机的工作原理和控制方式,在设计机电一体化竞赛作品时电动机型号、规格、参数的选择。

第5章常用机构。讲述常用固定连接机构、常用活动连接机构和常用传动机构等。

第6章STM32微控制器。为了方便大家进行控制部分的设计,该章对大学生设计竞赛作品时常用的控制芯片STM32进行详细介绍,同时基于该控制系统给出基础案例,给出详细的硬件电路、软件系统和详细代码,为设计机电一体化作品的控制系统提供参考。

第7章传感器技术。传感器技术是机电一体化系统的感知部件,是实现自动控制、自动调节的关键环节。该章介绍学生设计机电一体化作品时常用的传感器类型,以及各类传感器的技术特点、工作原理、性能分析等。

第8章控制系统综合应用案例。结合控制处理器STM32和传感器技术,给出单片机综合应用案例,旨在为参赛学生控制应用指明方向。

第9~15章总计7章给出参赛大学生参加全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛和全国大学生电子设计竞赛的优秀作品案例,对参赛人员撰写理论方案、作品设计说明书具有一定的帮助。

2. 本书特点

本书与实践联系紧密,在指导机电一体化相关专业的学生参加各类学科竞赛的同时,还有利于提高学生的综合素质和创新能力,开阔视野。本书内容形式多样,既有机电一体化的基础知识,又有单片机技术、传感器技术的基本理论,不仅梳理了学生在设计竞赛作品时常用的理论知识,而且给出了优秀的作品案例作为参考,对于内容的编排,有一定的新意。

(1) 本书的内容与全国大学生机械创新设计大赛、全国大学生工程训练综合能力竞赛、全国大学生电子设计竞赛紧密结合,可帮助大学生在各类机电一体化相关竞赛中取得优异成绩。

(2) 本书包含多年来参赛学生及指导教师竞赛过程中积累的大量创新思想、创新方法,对参赛学生具有一定的启发作用。

(3) 本书包含大量的简图、实物照片、三维仿真图形,同时给出了控制系统的硬件电路设计、软件设计及竞赛作品实例等,可以增强学生们的感性认识,扩大学生的知识面。

第2章

机电一体化概论

机电一体化技术是将机械、电子与信息技术进行有机结合,以实现工业产品和生产过程整体最优的一种新技术。它综合了机械与精密机械、微电子与计算机、自动控制与驱动装置、传感器与信息处理技术及人工智能等多学科的最新科研成果。随着机械制造技术与其他高新技术的日益融合、集成,机电一体化已逐渐成为现代机械系统的本质特征。相比于传统机械系统,机电一体化系统结构、信息处理及控制方式等的改变导致了其功能、性质和设计方法的极大变化。

研究机电一体化系统的创新设计理论、方法及应用,是关系到我国能否凭借自主知识产权产品跻身世界制造强国的关键。在机电一体化系统创新设计过程中,概念设计阶段的设计方案创新是原创性程度较高的创新。为了给设计决策奠定正确的基础,机电一体化系统研发急需科学的设计理论和方法的指导。目前,大学生在参加机电一体化相关的学科竞赛时,所设计的机电一体化作品的系统方案基本上是依赖于指导教师和学生设计者的经验,并没有形成科学的设计方法,因此在机电一体化系统方案的创新设计中,如何从依赖设计者的经验设计,进化到遵循科学理论和方法的理性设计,是机电一体化作品能否产生创新方案的关键。

大学生参加学科竞赛若要设计出具有创新性的机电一体化作品,就需要深刻理解机电一体化的基本内涵。本章给出机电一体化的来历、基本概念,机电一体化系统与传统机械、电子控制系统的差异,机电一体化的组成要素与原则、主要特征等,旨在培养大学生在设计机电一体化作品时的科学设计理念并给予方法指导。好的设计方法论有助于大学生设计自己作品时以最优的方式完成系统开发工作,同时在设计机电一体化系统方案上有一定的创新设计,这也是本书要达成的最终目标。

综上所述,在设计机电一体化作品时,让大学生对机电一体化的基本概念和相关技术有所了解是有科学意义的。

2.1 机电一体化的来历

机电一体化(mechatronics)是用英文 mechanics 的前半部分和 electronics 的后半部分构成的一个新词,意思是机械技术和电子技术的有机结合。这一名称已得到世界各国的承认,我国的工程技术人员习惯上把它译为机电一体化技术。机电一体化又称为机械电子技术,是机械技术、电子技术和信息技术有机结合的产物。随着计算机技术的迅猛发展和广泛