



高等学校试用教材

橡胶机械设计

上册

华南工学院等合编
唐国俊 李健镔 主编

30.4

化学工业出版社

高等学校试用教材

橡胶机械设计

上册

华南工学院等合编

唐国俊 李健镔 主编

化学工业出版社

高等学校试用教材

橡胶机械设计

上册

华南工学院等合编

唐国俊 李健鎔 主编

责任编辑: 孙世斌

封面设计: 任 辉

机械工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

北京市二龙路印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

开本 $787 \times 1092^{1/16}$ 印张 $26\frac{1}{2}$ 字数661千字印数1-10,000

1984年6月北京第1版1984年6月北京第1次印刷

统一书号15063·3578 (K-270) 定价2.75元

内 容 提 要

本书系统的介绍了主要橡胶机械的基本知识、橡胶机械的加工原理、设计参数的选择、结构方案的分析、机械的设计计算以及发展的动向。对橡胶模具也做了概要的叙述。

全书分上、下两册，共有十二章。本书为上册，内容包括有：第一章概论；第二章开放式炼胶机；第三章压延机；第四章密闭式炼胶机；第五章螺杆挤出机；第六章注射成型机。

本书供高等学校有关专业的《橡胶机械设计》课程教学用，也可供有关行业从事橡胶机械设计、制造、使用、维护的工程技术人员和科研人员、技术管理人员参考。

前 言

本书是根据1977年11月原石化部主持召开的北戴河教材编写会议所制定的编写大纲编写的。可作为高等工业学校橡胶机械专业或高分子材料加工机械专业的试用教材。

橡胶机械是橡胶工业的组成部分，是完成橡胶制品生产的手段，是发展橡胶工业的物质基础。在种类繁多的橡胶机械中，根据专业培养目标的要求，结合橡胶机械的发展状况和我们长期的教学实践，本书仅介绍典型性较强、通用性较大的橡胶机械设备，其重点是橡胶机械的加工原理、设计参数、结构方案、设计计算、发展动向等内容。编写过程中力求做到：加强基础理论，理论联系实际，尽量反映现代科学技术方面的内容，在文字上力求通俗易懂，以利于自学。

本书分上、下两册，共十二章。上册包括：第一章：概论；第二章 开放式炼胶机；第三章 压延机；第四章 密闭式炼胶机；第五章 螺杆挤出机；第六章 注射成型机。下册包括：第七章 轮胎成型机；第八章 平板硫化机；第九章 硫化罐和水压硫化罐；第十章 轮胎定型硫化机；第十一章 鼓式硫化机；第十二章 橡胶模具。讲授全书约需180学时，各校在使用本书时，可根据具体情况适当地增减。此外，按本书进行教学，应相应的配合实验、习题课和现场参观。

本书由北京化工学院、山东化工学院和华南工学院合编。上册由华南工学院唐国俊、李健铨主编，其中：第一、四章分别由华南工学院李健铨、骆群祥编写；第二、三章由山东化工学院马占兴编写；第五、六章由北京化工学院江波编写。

下册由山东化工学院马占兴、何月梅主编，其中：第七、八章由山东化工学院何月梅编写；第九、十章分别由华南工学院骆群祥、何宇泰编写；第十一、十二章分别由北京化工学院程源、高瑞源编写。

本书上册由北京化工学院郭说养、程 源主审；下册由北京橡胶研究设计院曾繁定主审，欧炽辉、潘能谅、黄熊飞、陈肇渭等同志也参加了部分章节的审查。

本书经审、定稿会议反复讨论，作了必要的修改，力求在基本概念、基础理论和结构设计上有所加强，质量有所提高。编者在此谨向参加审、定稿会议的北京橡胶研究设计院、桂林橡胶设计研究院、大连橡胶塑料机械厂、沈阳橡胶机械厂、益阳橡胶机械厂、上海橡胶机械厂、上海第一橡胶机械厂等单位的同志以及对原稿提供过宝贵意见和资料的同志致以衷心的感谢。并且，对出版本书贡献力量的各院校的其他同志表示感谢。

本书仓卒完稿，又限于编者的水平，谬误和不妥之处在所难免，敬希各校师生和读者予以批评指正。

编者

一九八一年三月

目 录

第一章 概论	1
第一节 橡胶机械的作用及本教材的任务.....	1
一、橡胶机械及其在橡胶工业中的作用.....	1
二、本教材的任务及内容说明.....	1
第二节 橡胶机械设计的步骤和方法.....	2
一、机器的技术经济指标.....	2
二、设计的主要步骤.....	2
三、设计的主要方法.....	3
(一) 计算理论设计.....	3
(二) 实验类比设计.....	3
(三) 模型放大设计.....	3
第三节 高聚物流变学及其在橡胶机械中的应用.....	8
一、高聚物流变学的内容及发展.....	8
二、高聚物的流变特性.....	9
(一) 概述.....	9
(二) 流体的类型及其流动特性.....	10
1. 牛顿型流体及牛顿粘性流动定律	10
2. 非牛顿型流体及其流动方程式	11
(三) 高聚物的力学性质.....	16
三、指数方程式.....	19
(一) 指数方程式的内容.....	19
(二) 指数方程式的意义及其使用.....	21
(三) 指数方程式的存在问题.....	23
四、高聚物流变学在橡胶机械中的应用.....	23
第二章 开放式炼胶机	38
第一节 概述.....	38
一、用途与类型.....	38
二、基本构造.....	38
三、工作原理.....	39
四、技术特征.....	41
第二节 主要参数的确定.....	42
一、辊筒直径与辊距.....	42
二、辊筒回转速度与速比.....	42
三、横压力.....	44
四、传动功率.....	50

五、生产能力	54
第三节 传动系统	55
一、传动型式	55
二、传动电动机的选择	58
第四节 主要零部件设计	60
一、辊筒	60
二、辊筒轴承	67
三、机架与横梁	71
四、辊距调整装置	75
五、安全与制动装置	82
六、辊温调节装置	87
七、润滑系统	91
八、挡胶板	92
第五节 附属装置	93
一、翻胶与切割装置	93
二、胶片冷却装置	94
第六节 高速自动化炼胶机	95
第三章 压延机	99
第一节 概述	99
一、用途与分类	99
二、工作原理	99
三、基本结构	103
四、技术特征	105
第二节 主要参数的确定	106
一、辊筒直径与工作部分长度	106
二、辊筒速度与速比	108
三、横压力	109
四、功率消耗	114
五、生产能力	116
第三节 传动系统	118
一、传动方式	118
二、传动图	119
第四节 主要零部件设计	120
一、辊筒	120
二、辊筒轴承	141
(一) 滑动轴承	141
(二) 滚动轴承	144
三、机架	144
四、调距装置	151
五、辊筒轴交叉装置	160

六、预负荷装置	163
七、反弯曲装置	165
第五节 附属装置	165
一、递布装置	165
二、扩布装置	166
三、挡胶刮边装置	168
四、切边装置	168
五、划气泡装置	168
六、供胶装置	170
七、测厚装置	170
第六节 辊温调节装置	171
一、调温方法与原理	171
(一) 蒸汽加热与水冷却	172
(二) 介质循环加热与冷却	172
二、封严装置	173
三、热计算	174
第七节 辊筒轴承润滑系统	176
一、润滑系统	176
二、润滑油量计算	178
第八节 联动装置	179
一、纺织物压延联动装置	179
二、钢丝帘布压延机联动装置	189
第四章 密闭式炼胶机	192
第一节 概述	192
一、前言	192
二、基本结构	193
三、规格与技术特征	195
四、工作原理	195
第二节 主要参数的确定	199
一、转子的转速与速比	199
二、转子棱顶与密炼室内壁间隙	201
三、生产能力与填充系数	201
四、上顶栓对胶料的单位压力	201
五、功率	202
第三节 传动系统与机台配置	205
一、传动简介	205
二、传动型式	205
三、电动机选择	206
四、机台配置方案比较	206
第四节 主要零部件设计	207

一、转子	207
二、密炼室	215
三、加料及压料机构	221
四、卸料机构	226
五、密封装置	235
第五节 密炼机的控制系统	238
一、电气控制原理	238
二、气压传动控制原理	240
三、液压传动控制原理	241
第六节 密炼机的冷却系统	242
一、冷却系统热平衡	242
二、对冷却水的要求及耗水量计算	243
第七节 其它类型密炼机	245
一、圆筒形转子密炼机	245
二、三棱形转子密炼机	246
三、连续混炼机	246
第八节 密炼机的上下配套系统	247
一、炭黑、粉料输送系统	248
二、炭黑、粉料自动称量装置	256
三、油料输送系统及称量装置	257
四、胶料的输送与称量	258
五、加硫与压片系统	259
六、胶片冷却系统	259
第五章 螺杆挤出机	260
第一节 概述	260
一、用途与特点	260
二、结构组成与分类	260
三、螺杆挤出机的基本工作过程	262
四、挤出机的技术特征与选用	262
第二节 挤出理论与挤出机的主要参数	263
一、胶料在挤出过程中物性的变化及螺杆区域的划分	263
二、螺杆的几何参数	264
三、挤出理论	266
(一) 固体输送理论	266
(二) 流体输送理论	269
四、挤出机生产能力的计算	278
五、挤出机功率的确定	278
六、机头压力和螺杆轴向力的计算	280
七、螺杆转速的确定	282
第三节 挤出机的传动系统	284

一、对传动系统的基本要求	284
二、传动系统设计	284
三、减速方式的选择	286
四、安全保护装置	286
五、总体布置	286
第四节 主要零部件设计	288
一、螺杆	288
二、机筒	301
三、加料装置	307
(一) 楔形加料口	307
(二) 带旁压辊加料口	307
四、螺杆与机筒的组合设计	309
(一) 螺杆与机筒内壁的间隙	309
(二) 螺杆与主轴的连接方式	311
五、轴承部件	311
六、机头	314
第五节 加热冷却系统	324
一、加热冷却系统的特点	324
二、型式和结构	324
三、热平衡计算	326
四、冷却水、蒸汽及压缩空气的消耗量	327
第六节 其它类型挤出机	328
一、滤胶挤出机	328
二、螺杆塑炼机	330
三、螺杆混炼挤出机	332
四、螺杆脱硫机	336
五、排气挤出机	337
六、复合挤出机	339
七、压片挤出机	340
八、造粒挤出机	343
第七节 挤出机联动装置	345
一、胎面挤出联动装置	345
二、复合胎面挤出联动装置	345
第八节 挤出机发展动向	347
第六章 注射成型机	350
第一节 概述	350
一、用途和特点	350
二、结构	350
三、注射工艺过程	351
四、分类	352

五、规格表示法	354
第二节 主要参数的确定	354
一、注射部分	354
(一) 最大注射容积	354
(二) 注射压力	355
(三) 注射时间	356
(四) 螺杆直径和注射行程	357
(五) 塑化能力	357
(六) 螺杆驱动功率和螺杆转速	358
(七) 注射功率	359
(八) 机筒加热功率	359
二、合模部分	360
(一) 最大锁模力	360
(二) 模内压力	360
(三) 制品最大有效投影面积	361
(四) 模板尺寸	361
(五) 模板行程	361
(六) 模板最大间距和最小允许模厚	361
(七) 动模板移动速度	363
(八) 开模力	364
(九) 顶出力	364
(十) 喷嘴压紧力	364
第三节 注射装置	364
一、注射装置的型式	364
(一) 螺杆挤出式	364
(二) 柱塞注射式	365
(三) 往复螺杆式	365
(四) 带螺杆预塑的柱塞式	365
二、柱塞式注射装置	367
三、螺杆式注射装置	368
四、喷嘴	373
五、机筒结构与温控	375
第四节 合模装置	376
一、合模装置的结构和计算	376
(一) 直压式合模装置	376
(二) 液压机械式合模装置	381
(三) 二次动作式合模装置	396
二、合模装置的零部件设计	398
(一) 拉杆	398
(二) 模板	399

(三) 模板强度计算	400
三、其它装置	402
(一) 顶出装置	402
(二) 前模板回弹装置	403
第五节 多工位注射机的转盘装置	403
一、工位数的确定	404
二、生产能力的计算	404
三、结构及工作原理	405
四、主要零部件的结构类型与特征	406
(一) 转位机构	406
(二) 液压分配器	406
(三) 加热蒸汽分配器	407
第六节 电器自动控制	408
一、温度测量与控制	408
二、传动控制	408
三、安全保护装置	410

第一章 概 论

第一节 橡胶机械的作用及本教材的任务

一、橡胶机械及其在橡胶工业中的作用

橡胶是一种高分子化合物。由于它具有独特的高弹性能,极好的绝缘性、耐磨性、耐酸碱性、不透气性、不透水性,以及良好的疲劳强度……等,故它广泛应用于交通运输、工农业生产、国防、医疗卫生及生活用品中。从现代尖端科学到日常生活,都离不开橡胶。因此,橡胶工业是国民经济中的重要组成部分。

橡胶机械,这里是指橡胶制品加工所用的机器及设备。它是橡胶工业生产中的重要工具,是橡胶工业的组成部分。它的水平标志着橡胶工业生产的技术水平。它对提高橡胶制品的质量和产量、提高劳动生产率、降低成本和能耗、降低劳动强度、改善劳动环境、加强安全生产……等都起着重要的作用。因此,橡胶机械的发展,将会改变橡胶工业生产的面貌并促进其发展。

自从1820年出现人力的橡胶捏炼机起,橡胶制品生产用的硫化设备(1839年)、柱塞式胶管挤出机(1856年)、螺杆挤出机(1879年)、压延机(1843~1900年)、密闭式炼胶机(1916年)……等相继出现,逐步完善了橡胶制品生产的主要加工机械。近20年来,随着橡胶工业的发展和新兴工业——塑料工业的促进,橡胶机械得到更迅速的发展。各种新型的高速高效设备(如高速压延机、快速密炼机)、自动连续成型和自动硫化设备(如注射成型硫化机、定型硫化机)不断涌现,以及为提高机械化、自动化水平的自动称量装置、机械化运输装置和一整套性能较完善的、能严格保证半制品精度的辅机……的出现,使橡胶机械的性能更臻完善。目前,橡胶机械继续向着高速、高效、高自动化水平和广泛应用新技术方向发展。

我国的橡胶机械工业,解放前还是空白;自解放后,在党的正确领导下,从无到有、从小到大,目前已发展成为一个工业体系。除能生产一般的橡胶机械外,还能生产较先进的产品,如高速Z型四辊压延机、快速密炼机、冷喂料挤出机、复合挤出机组、定型硫化机、定型硫化机组……等。但是,与世界先进水平相比,还有一定差距,尤其是自动化水平还比较低,必须进一步努力,以赶超世界先进水平。

二、本教材的任务及内容说明

本教材是供橡胶机械专业的学生学习之用。通过学习,使学生掌握常用橡胶机械的基本结构、工作原理、基本理论,以及整机设计的设计计算方法。

本课程是在学习过基础课以及“橡胶加工工艺学”、“机械制造工艺学”等课程基础上的专业课,故它是基础知识的综合和具体运用。因此,在本教材中,其它课程已叙述过的内容,这里尽量不重复,而重点放在把它们的相关内容串起来综合运用,使学生学会一套分析问题和解决问题的方法。

橡胶机械的类型繁多,有各橡胶厂都可使用的“通用机械”,如开炼机、密炼机、压延机、挤出机等,也有因产品不同而专用的“专用机械”;有重达几百吨的,也有只重几公斤的;有功率达三千千瓦的,也有不到一千瓦的……。本课程不可能一一讲述,只能通过一些常用机械作为重点来讲授。学习时务需注意学习分析问题和解决问题的方法,触类旁通,举一反三。

全书分上下两册,共12章。除第一章扼要介绍基本理论外,其余各章都是分别介绍具体机台的设计。

第二节 橡胶机械设计的步骤和方法

一、机器的技术经济指标

要设计出好的机器,设计人员必须考虑机器的技术经济指标,如机器的使用范围、使用可靠性、操作和维修性能、机器的生产率 and 效率、机械加工工艺性、制造成本、采用新技术和“三化”(零件标准化、部件通用化、品种系列化)程度等。

设计的机器要能够准确地完成既定的工艺生产要求和具有一定的使用范围。使用范围不宜过宽或过窄,以免使机器过于庞大或限制了使用。故设计时要根据所有对机器的要求和它的经济有效性等综合考虑恰当的使用范围。

使用可靠性是指机器在长期和连续工作时必须可靠。可靠性是与机器的强度、刚度、耐磨性、紧密性等有关,设计时必须确定正确。

机器的生产率是以单位时间内的产量来表示。在保证制品质量的前提下,应尽可能提高生产率。

机器效率就是机器做有用功的能量消耗与输入的能量的百分比。在设计机器时,除了要提高生产率外,还要降低能量(包括电能、热能)消耗,充分利用能量。这就要求我们所设计的机器是高效能的。

此外,在设计时还必须考虑机器的操作和维修性能要好,机械加工工艺性也要好,重量要轻,制造成本要低。

为了适应现代化的需要,高质量、高速度的发展机械工业,就必须努力搞好“三化”,这在机器设计时是应该重视的。

各项技术经济指标之间是互相联系和互相影响的,必须抓住主要矛盾,处理好相互之间的关系。注意不要单纯追求技术指标,不顾经济成本,错误地认为:“结构越复杂越好,技术要求、精度、光洁度越高越好,选用材料越优越好”,这样造成的后果是优质材料消耗多,加工工艺复杂,成本增加,效果不好。总之,在设计时各项技术经济指标要全面考虑,系统分析,结合具体情况抓住主要矛盾,使所设计的机器达到:重量轻、体积小、性能好、效率高、成本低、使用维修方便。

二、设计的主要步骤

(一) 设计准备

1. 明确任务 设计任务书是设计的依据,设计时必须按设计任务书的要求进行。因此,在设计前必须明确任务,了解设计项目的有关方针政策、设计任务书所提出的全部设计内容和要求。然后,初步估计设计工作量,拟定设计计划,提出保质保量按时完成设计的措施。

2. 调查研究 根据设计需要,设计人员应深入现场,进行调查研究,以摸清实际情况。

查阅、搜集国内外有关技术文献资料,了解国内外的情况和技术水平,提供设计参考。

(二) 方案设计

在调查研究的基础上进行方案设计,拟出几个不同方案进行比较,最后选定一个较合理的方案。方案设计应包括主要技术参数、总体方案图、主要部件图、传动系统图、控制系统图、试验报告以及技术经济效果的分析资料等内容。

设计方案制定应充分听取各方面意见,方案确定后,尽可能组织审查,审查通过后才进一步进行施工图设计。

新型设备的设计,在方案设计后,最好经过模拟或实物试验以及工业性试验,经过试验总结达到预期的效果后才在设计中使用。

(三) 施工图设计

根据批准后的设计方案,开展施工图设计。施工图设计应包括:绘制总图、部件图、零件图,编制零件明细表、设计计算书、机器使用说明书等。

(四) 总结

设计完成后,应做出设计总结。总结出本设计的优缺点及设计工作中的经验,以利改进以后的设计工作。并且,应将设计过程中的全部设计文件整理归档。

此后,设计人员还应及时深入现场,配合机器的制造、安装、试车,以便及时发现并解决存在的问题,使工作顺利进行。

待设计、制造、试车、投产等整个周期完成后,再进一步进行总结。

三、设计的主要方法

(一) 计算理论设计

当要进行某种橡胶机械的设计,而这种机械在过去人们对它研究得比较多,了解得比较深透,已经建立了一整套比较成熟的理论和计算公式时,就可以采用理论分析的方法进行设计。也就是说,这类机械已经比较成熟,可根据机器和物料运动……等各种现象的本质进行分析,应用理论分析方法,导出现象中各参数间的一般关系方程式。有时,某种现象较为复杂,不易用数学方法把微分方程式积分解出,则可通过一些假定,将原始微分方程式加以简化而后解出。

对这类机械,可以应用这些方程式,以及工程力学、机械零件等课程所介绍的公式,对机器的参数和机器零件的强度、刚度,进行系统的理论设计和计算。

(二) 实验类比设计

有些橡胶机械,由于运动状态错综复杂,很难立出微分方程式,或即使建立了微分方程式也很难用数学方法解出。这时,就常常应用实验的方法来探求那些靠数学方法无法研究的复杂现象的规律性。在已有的相同或同类设备中进行系统的实验,通过研究、分析、类比,找出机器各参数间的规律性,总结出一些经验公式,以及某些公式中的系数的具体经验数据,供设计时使用。这种方法在我国一些厂中用得不少。

(三) 模型放大设计

直接实验方法有很大局限性。由直接实验方法所获得的实验结果,只能推广到与实验条件完全相同的现象,而不能应用到与实验情况有所不同的其它现象去;而且,直接实验方法

常常只能得出个别量之间的规律性关系，难以抓住现象的本质，因而也就很难找到现象中那些特征具有最重要的意义，以及这些特征的变化如何反映在现象的发展上面。对于一些目前没有的新设备，或由于条件的限制（如设备过大或过小，操作条件如温度或压力过高等），也很难应用这种方法。

对于新的、大型的、复杂的橡胶机械设计，可采用模型研究方法。

模型研究方法是把上述两种方法的优点结合起来所得到的一种解决广泛现象的方法，是相似理论在工程上的应用。它根据由理论分析所得的微分方程式，经过相似转换获得相似准数，并在根据相似原理建立起的模型（试验台）上通过实验求出这一类相似现象的各个相似准数间的函数关系；由此获得的函数关系，即可以适用于整个这一类现象。这样，也就可以将小型实验机台上获得的数据和规律推广应用于大型生产用的机台的设计中。这就是所谓模型放大，或称相似放大。

模型研究方法是利用小尺寸的设备进行实验，故其试验费用和时间可以节省得多。同时，在小设备中进行实验，容易改变操作条件，而且对各种数据测量既比较方便又准确。此外，模型设备还可利用玻璃或透明的塑料制成，当实验用的介质亦是透明的流体时，还可以观察过程进行的情况，由此往往可以获得有价值的资料。因此，模型研究方法是一种比较经济、灵活而且实用的方法。

将模型实验的结果应用到大型设备上去，就需要按相似理论来进行放大；也就是要求模型设备中进行的过程和实际设备所进行的过程相似。因此，模型放大方法实际上就是相似论的应用。

至于相似论的有关内容，如相似概念、相似定理、相似准数的概念及其求法……等，请参阅“化工原理”。

采用模型研究方法设计大型设备时，可以用尺寸较小的模型设备进行实验，从而取得数据，作为设计时的依据。但在进行模型实验时，要求在模型中进行的过程与在实物中进行的过程相似，这就需要满足现象相似的条件。自然界中进行的现象，它们变化的规律常常可用各个物理量间的微分方程式来表示，而在这些微分方程式中加上单值条件^①，则可分出其中的个别现象。对于模型与实物来说，它们是不同的现象，因此它们的单值条件是不同的，但它们是相似现象，所以若用无因次数群（相似准数）来表示它们的单值条件时，这些无因次数群的数值以及它们之间的关系就应该是相同的。

因此，在进行模型试验时，对于现象的相似条件，最好用无因次的数群来表示，这些相似条件也就是模型研究方法所要遵循的规则。现说明于下：

1. 模型与实物应该是几何相似的，因此若用几何尺寸的简单数群来表示其几何条件时，则这数群的数值是个定数。

2. 在模型与实物中进行的过程，应属于同一性质的现象，描述它们的微分方程式和相

① 每一类物理现象的机理在数学上都可以用基本方程式或基本方程组的形式写出来。为了能够把某一个个别现象从这一类物理现象中区分开来，还必须具有相应的具体条件，即所谓单值条件。

单值条件包括下列各项：

1. 几何条件——所有具体现象都发生在一定的几何空间内，因此，参与过程的物体几何形状和大小是应给出的单值条件。例如，胶料在挤出机内运动，应给出机筒内径 D 及工作长度 L ，螺杆的主要几何参数的具体数值。
2. 物理条件——参与过程的介质（如胶料）的物理性质，如粘度、密度……等。
3. 边界条件——过程发生在边界时的情况。例如物料在管内流动时，在进口、出口处流速的平均值及分布规律。
4. 起始条件——过程发生时的起始状态。

似准数应该相同。

3. 在模型与实物中进行过程的开始条件及边界条件相似, 亦即用无因次数群来表示其开始条件与边界条件时, 这数群的数值是相同的。

4. 上述的这些相似准数, 以及开始条件、边界条件中所包含的这些物理参数应该相似, 也就是用这些同类物理量组成的无因次简单数群来表示其变化的参数时, 这数群也应该具有相同的数值。

按上述的规则来表示模型与实物中进行的过程时, 则其各无因次数间的函数关系可以写成下式

$$\begin{aligned} B_1 &= \phi_1(X, Y, Z, T, K_1, K_2, \dots, A_1, A_2, \dots) \\ B_2 &= \phi_2(X, Y, Z, T, K_1, K_2, \dots, A_1, A_2, \dots) \end{aligned} \quad (1-1)$$

式中 B_1 、 B_2 ——试验中所需求的变数, 以无因次数群表示;

X 、 Y 、 Z ——几何相似定数^①;

T ——时间相似定数;

K_1 、 K_2 ——相似准数;

A_1 、 A_2 ——无因次的各个参数。

这样, 用无因次数来表示的函数关系 (1-1) 式, 对于二者相似的模型和实物来说, 无论在文字上与数值上都是相同的, 因此在模型实验中获得的结果就可以经模拟放大应用到实物上去。

上面叙述了模型与实物过程所必须保持的相似条件。在进行模型法研究时, 应该先以无因次数的形式写出模型与实物过程必须具备的各个相似条件; 然后根据具体情况确定模型设备的尺寸, 选择工作条件, 决定过程的操作范围。当然这些条件的选择与决定是互相关联的, 它们为上述的那些相似条件所约束, 也就是它们必须满足模型法中所需遵循的规则。当上面这些条件确定后, 就以它来布置实验, 进行操作取得数据, 最后将所获得的数据, 按上面所写出的无因次的形式来进行整理; 这样, 就可以将结果直接应用到实物过程上去。

上面叙述了模型法的一般规则。但在实际进行的过程中, 往往情况比较复杂, 要完全满足模型实验所应遵守的条件是很困难的, 有时甚至是无法实现的。因此, 实际布置模型实验时, 常常忽略一些次要的相似条件, 而只保留其主要的相似条件, 这就是近似的模型方法。它使实验的进行大大简化。当然, 在近似的模型方法中, 还需要考虑和检验各个次要相似条件对过程所产生的影响, 或设法加以校正。

现举例说明模型研究方法的应用。

1. 流体动力过程的研究 粘性流体运动方程式, 即奈维——斯托克斯 (Navier-Stokes) 方程式, 形式如下 (对 x 轴);

$$\begin{aligned} \rho \frac{\partial V_x}{\partial t} + \rho \left(V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) \\ = \rho g - \frac{\partial p}{\partial x} + \eta \left(\frac{\partial^2 V_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 V_x 、 V_y 、 V_z ——分别为流体流速 V 在 x 、 y 、 z 各轴方向上的分量, 厘米/秒;

● 在所有的相似现象中, 某一现象的两个物理量相比, 与各个相似现象的两个相应物理量相比的比值相同, 这比值称为相似定数。