

Model of Products

工业设计模型制作

赵真 | 著



工业设计模型制作

■ 赵 真 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

工业设计模型制作 / 赵真著. —北京: 北京理工大学出版社, 2009. 1

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1833 - 7

I. 工… II. 赵… III. 工业产品 - 模型 - 制作 - 高等学校: 技术学校 - 教材 IV. TB476

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 186980 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / [http:// www. bitpress. com. cn](http://www.bitpress.com.cn)

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京圣瑞伦印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 8.5

彩 插 / 1

字 数 / 168 千字

版 次 / 2009 年 1 月第 1 版 2009 年 1 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 2000 册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 20.00 元

责任印制 / 边心超

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

Editorial Board 编写委员会

主任委员 汤重熹

委 员 刘境奇 彭 亮 关俊良 王其全 濮礼建 袁和法 廖 伟 江 杉

智力支持 上海工设设计师机构

上海木马工业产品设计有限公司

上海盘古工业产品设计有限公司

上海汴泽产品设计有限公司

上海雄策工业设计公司

广州大学工业设计研究所

华南工业设计院

广东川上广告有限公司

源创意设计事务所

北京立方创新产品设计有限公司

北京华洋新拓工业设计有限公司

苏州原点设计有限公司

苏州腾扬产品设计研发中心

扬州市旅游产品工程设计公司

阿诺模型工作室

出版说明 Editorial Note

现代设计艺术学科具有极强的理论性、实践性与实用性特征,作为这个学科的21世纪教育,构建创新教学体系与培养实践能力无疑是其改革的大趋势。

我们邀请了国内具有丰富的教学及设计经验的一线教师,从设计行业的视角出发,通过对构架、内容、编写方式等诸多方面的深入探讨,最终期望实现“优秀教材+优秀教学=优先就业”的目标,为学生量身定制出贴近行业、注重实践的设计教材。

本套丛书特点如下:

1. 贴近市场与企业的需求

本套丛书从设计实践的角度,突出学生需要的知识结构、知识要点和知识深度,并在所选案例中融入作者丰富的设计经验,深入浅出,与理论内容相互呼应,最大程度地贴近市场需求,使学生既掌握本专业较前沿的知识与创新能力,又能将所学知识在实践中灵活应用。

2. 突出内容的新颖性

本套丛书内容上的新颖性主要体现在以下方面:新的专业理念,如面向市场,结合企业,结合地方经济发展需求的教育理念;新的案例,如近期的参赛作品、设计项目、热门话题等;新的专业技能技巧等。每一章末的思考题,也作了精心的编排,以期更符合目前的教学特点,更有利于学生的能力培养。

3. 引用企业成功案例

设计案例教学法是应用学科教育的一个实用方法,案例教学法充实了课堂的教学内容和丰富的教学信息,并以生动、贴近生活的案例调动了学生的设计思维积极性与求知欲,使教学达到一个更完善、更合理、更科学的结构与

体系,促进设计教学的改革。本套丛书有一个突出的特色就是引用了许多业已成功实施的实际案例,这些案例多数选自本套教材的主编、参编者或设计企业在实践中参与设计的探索与应用,缩小了社会实践与课堂学习的距离。

4. 强调可读性与应用性

本套教材突出应用性、通俗性和趣味性,可读性强,易于掌握和入门,结合课堂讲授学生收获更大,体会更深刻,有效地提高了设计教学的质量与效率,使传统的教学模式从教学内容、教材与教学方法上都有不断的更新与改革。

本教材集中了许多院校教材与教学改革的经验与成果,体现了设计教学的发展方向。

编写委员会

模型制作和使用是工业设计专业的重要组成部分。本书的写作目的是努力向工业设计专业的学生和对工业设计有兴趣的读者提供一本通过阅读基本掌握模型制作、使用要点,以及相关前沿知识的教材。

本书由两个部分组成。

第一部分讲述传统模型制作,目的是介绍手工制作模型的方法和技艺。其中,手工制作泡沫塑料草模是设计师推敲和初步交流设计创意不可缺少的重要工具,手脑并用是调动人的所有思维参与设计的最好方式,和完全依赖计算机设计有极大的区别,因此草模在制作上有很多经验和要点值得交流掌握。ABS 板材制作的仿真模型是设计院校具有综合意义的基本教学内容,同时在设计模型服务不很完善的一些地区比较需要,因此讲述得比较详细。油泥模型虽然除汽车设计使用较多以外其他行业很少使用,但由于近年汽车工业迅速发展,因此关心的人越来越多,而玻璃钢模型对于表达大型的、奇异不规则曲面的、薄型壳体的产品有较高价值,本书也对它们作了不少介绍。至于一些传统简单的,或者已经不太符合目前设计发展情况的模型制作方法,例如纸模型、木模型等,读者有兴趣或需要可以阅读其他有关书籍。

第二部分讲述计算机虚拟模型的特点、使用价值和一些常用的内容,目的是从工业设计的角度,以合适的程度扩大对虚拟模型的了解和应用。近年来中国

工业设计发展迅速,其中很大一部分原因就是得益于计算机技术的广泛应用,因此有必要从实际出发,根据工业设计专业学生知识面广的特点,以非工程专业的角度介绍一些 CAD 的历史、比较前沿及平时不易接触到的虚拟模型应用情况等。这些知识不能直接用来制作真实模型,但有利于开阔知识视野,融入数字技术给工业设计带来的广阔空间,了解和运用计算机模型来提高设计速度和质量。一些在企业中运用的现代技术如快速成型机、逆向工程等知识,对于学生缩短学校与实际工作之间的距离有帮助,因此值得学习。

本书注重教材的代表性、前沿性、科学性,尽量采用在设计教学实践和设计机构日常工作中积累的实际经验作为实例,尽量广泛收集和传递目前设计模型所相关的设备、软件、应用资料信息,以便使读者较全面地了解和掌握设计模型的制作要点,以及作为工业设计的设计师最需要的广泛而全面的模型知识和情况。

目 录 C o n t e n t s

设计模型简述

01

1.1 设计模型的用途	001
一、创意推敲	001
二、设计交流	004
三、低成本验证设计成果	004
1.2 学习设计模型的意义	005
一、掌握工业知识	005
二、培养空间想象能力	007
三、有利于更好地进入设计行业	007

真实模型

02

2.1 草模型	008
一、泡沫塑料草模型	008
二、手工捏制草模型	021
2.2 仿真模型	022
一、塑料仿真模型	022
二、油泥仿真模型	056
三、玻璃钢仿真模型	063

2.3 实物模型 069

一、快速成形机制作实物模型	069
二、雕刻机制作实物模型	079

虚拟模型

03

3.1 计算机三维建模发展	082
一、CAD 应用发展	082
二、CAD 技术发展	093
三、适合工业设计的 CAD 模式	097
3.2 虚拟模型的作用和意义	103
一、模拟外观	104
二、模拟静态物理量	112
三、模拟干涉	112
四、有限元分析表现	113
3.3 计算机逆向工程	114
一、什么是逆向工程	114
二、逆向工程技术实施的条件	122
三、曲线曲面的光顺处理	127

01

设计模型简述

工业设计的表现方法主要有效果图、工程三视图、设计模型三种。其中,效果图主要用于一般的视觉交流,例如创意构思发表和讨论、与客户会审设计方案、在平面媒体上发表和展出等;三视图主要用于和工程技术人员交流结构及制造参数;设计模型主要用于原始方案讨论、设计定型表现、结构验证和工艺验证,运用计算机参数化虚拟模型还可以转化为效果图、三视图,并且直接用于数控加工模型和样机。模型比较直观,可以在最接近真实的情况下验证产品的人机工学情况,也可以用作生产、装配、维修的工艺分析工具。由于模型具有很多其他表现方式无法比拟的特殊价值,因此现在的工业设计已经不能缺少设计模型。根据使用的设计阶段、交流对象、制作程度,可以把模型分为草

模(草模型)、仿真模型(实体模型)、实物模型(Mock Up)几类。由于先进制造时代的大批制造、快速更新的特点,为避免设计失误,更需要接近样机的模型进行市场检验。在这种需求下,工业设计的终极模型可以等同于样机和小批试制品,因此从这个意义上理解,样机也可以作为最高级的模型看待。

1.1 设计模型的用途

一、创意推敲

设计师的最大价值是设计创意,这是一个不断肯定又不断否定的思考过程,需要进行不断的试错和纠错,因此需要一个把思维物化的工具帮助推敲和修改,设计模型就是这样的一个工具。

设计模型在各个设计阶段起的辅助作用是不同的。在创意设计阶段,设计师需要捕捉最原始的灵感火花,这个灵感可能来自某个自然界物体、某个产品的变形发展,也可能是一种朦胧的意境。但不管是哪

一种，它们首先都是一种不同抽象程度的感觉，然后才是感觉的具像化。

现代医学告诉我们，人的大脑有很大的潜力，而且左右脑分工不同。左脑着眼于个体和局部，擅长逻辑和理性的思维、数字技能、科技技能、分析能力、方法规则等；右脑着眼于整体和全局，擅长直觉和潜意识思维、创造性、洞察力、感性想象、立体思维、综合能力等。这就不难理解，为什么立体直观模型，尤其是用作推敲的草模型会对擅长直觉和感性想象的右半脑创意思维产生很大的促进。

模型是设计的立体表现方法，草模型首先就是用于创意设计时的立体思考和推敲。这种借助简单制造工具在坯料上“制造草稿”的做法，能把设计师从绞尽脑汁的冥思苦想中带到生动形象的立体创造意境中，因此是工业设计师们有别于平面设计、环艺设计的一种独特的思维和推敲方法。这种方法是如此简单有效，因此所有的工业设计师在学习和工作中都把它作为思考创意的必要部分看待，成为开展工作不能缺少的一个组成部分。

通常寻找和捕捉灵感最快捷的方法是使用纸笔勾画出造型的轮廓，但在大多数情况下这种轮廓表现的只是平面感觉，粗糙而且不完整，很多三维的形象造型要素在草图中很难体现。除非设计师有丰富的经验和扎实的空间想象能力，能够像建模软件那样把纸上的二维造型拟合（fit）成三维造型，否则草图和真正有用的三维形象之间的差距较大。

使用计算机进行三维创意也是激发、产生和捕捉灵感的好方法，借助熟练的计算机使用技术和一些快速生成的几何形体，可以调动脑子里积累的产品造型资料，激活思考本次设计的创新途径。在不断组合与调整各实体的总体关系时，能激发创意灵感并借此大致捕捉脑子里所出现的造型感觉。

但是和快速制作草模型相比，上述方法都缺少思

维过程的实时具像三维表达，而这种表达需要动手制造才能同步进行。可以形象地把草模制作过程称为“用手思考”，而把用手思考和用笔、用计算机思考有效地结合起来，才能最敏捷地捕捉到那一闪而过的灵感火花。

注意，这里说的是草模制作，而不是草模使用。单纯的使用意味着将制作过程交给设计辅助人员完成，自己则根据看到的草模来进行下一步的思考。看起来这是一种轻松高效的设计方法，但实际上这是一个不连贯的间歇设计过程，只是串联几个思想片段企图获得设计创意，这和设计后期把具有高表现力的仿真模型和实物模型委托专业的模型制造企业完成具有本质上的区别。

模型制造企业的出现是提高效率的一种社会分工。由于先进的制造技术和市场竞争的原因，模型的真实表现力要求越来越高，制造时间也要求越来越短，因此推动了相关的各种服务。除此之外也有人认为，设计师花费大力气亲自制作仿真模型后会由此产生偏爱，不利于坚决否定设计，因此交给别人制作比较超脱，能够客观冷静地看待设计的好坏。也有人认为和国外保障专业的模型制作工人合法的工作权益有关，要求将高表现模型委托给这些以制作模型为生的人们制作。但是不管怎样，变化不定而又低值的草模型只能由设计师自己完成，这在哪方面来说都能够成立。

人们常说心灵手巧，其实心灵者未必个个手巧，而手巧者则一定心灵。很

多脑子动得快的人动手不一定准确利索，而能工巧匠却绝不可能是个愚笨的人。这是因为从生理角度上看，手的活动和脑的思维在很大程度上是相互促进的。

中国工程院院士、上海华山医院手外科主任顾玉东教授曾指出，大脑的创造性思维离不开动手实践，手是人脑进化的动力。从大脑皮层显示的信息来看，手部在大脑皮层所占的面积最大，接近1/3。当人的手指做简单运动时，脑的血流量比不动手时增加10%，而做复杂精巧的动作时，脑的血流量可增加到35%以上。脑血流量的增加有利于思维的敏捷，因此可以说“手是人的第二大脑”，动手实践是人类获取知识和能力最重要的途径。他呼吁人们重视手脑并用，并提出：“现在一些高科技的发明部分替代了手的作用，但我要告诫大家，凡是要做前人没有做过的事，都得从动手开始。”

由此可见，模型制作有其生理意义上的理论依据，既动手又动脑思考创意的生理本质就在于最大限度地调动整个大脑的全部开发能力，这样做才能拥有最高的创意效率。想象一下，手上拿着模型从各个角度观察思考，然后锉掉一点再看看想想，这种手和脑的配合带来的流畅思维能不出色吗？

一个现象可能使有些人仍然对设计师动手做模型的必要性存有疑问，因为实践中经常可以发现，有时候缺乏草模或者自己不做草模对于一些设计师影

响似乎不大，那是什么原因？

对此需要指出的是，那些设计师几乎无一例外是资深设计师，缺少草模对于他们可能不是一个太困难的问题，因为他们能够借助以往的设计经验和出色的创意能力，较好地把握立体形态和结构细节弥补上去，想象的东西能够在纸上或电脑上很快变成一个明确的概念形象。但是，对于许多年轻设计师而言，用动手帮助思考就不能忽视，特别是创意前期感觉还比较朦胧的时候，可以用草模和设计团队的成员直观地进行交流沟通，共同策划出正确的创意方案，使设想更快地得到确认和获得信心。实践共识是，对一些带有自由曲面的造型创意进行推敲时，笔和计算机都显得束手无策，只有通过设计师实际动手制作草模才能理解曲面的变化，从而最终完整地表现创意意图和找到合理的设计。

曾供职于微软的 Google 全球副总裁兼大中华区总裁李开复曾表示，Google 对人才的要求是每位工程师不但要有创新发想的能力，还必须亲自动手做，简而言之就是要求工程师既可以创新又能实践。可见，动手应该是创新推敲的组成部分。设计师在思考工业设计方案时，制作草模就是用手思考。著名的包豪斯工业设计教育体系的重要组成部分就是将课堂搬进作坊，动手动脑结合，使思维在动手中得到强化，并引申到灵活运用有关的工业知识。目前各设计院校和设计机构都重视草模对创意灵感的表达，在这类草模型的推敲应用中，许多有价值的想法在刚露头角的朦胧时期就能够得到同行和客户的肯定和好评。

创意草模既然是工业设计的快速表达方式，就需要相应的快速制造材料和工具，以及低廉的人工和材料费用。目前，创意草模的制作材料已从原来的石膏、纸、木材等普遍转变为加工更灵活、更方便、更节省时间的泡沫塑料，以便适应目前求证设计方案的快速变换的要求，而且制作精度不错。一般情况下，借助

量具和样板,即使是松软的 EPS 泡沫塑料草模的大尺寸误差一般也只有 3~5 mm 左右,要求高的部分可以达到 1 mm 左右,用作创意方案推敲足够了。

二、设计交流

设计交流主要是指对客户或上级进行设计阶段成果汇报,届时除使用效果图外,还需要使用仿真模型(实体模型)进行形象交流。这是因为客户没有经过专业的设计训练,不善于将色彩和某些造型表现简略的草模想象成实物效果,因此必须使用仿真模型。

仿真模型的外观和设计高度一致,但内部没有功能部件,甚至可以是实心的,因此仅仅是一个有用的外形。港台企业将仿真模型称为“手板”,也有的称为“首办”,意思是手工制作的第一个样品,但在一些场合延伸到了手工、半手工制作的模型称谓。现在这个称呼也流传到了国内,在一些设计网站和模型制作机构的介绍中使用了“手板”这个名词。

没有什么能比反映真实情况的模型更适合设计交流。从某种意义上讲,效果图具有相当的欺骗性,在透视、色彩、肌理、灯光、场景、艺术处理(虚化、渐变等)等手段的使用下,即使是一个简单的立方体也能变得讨人喜欢。另外,计算机模型和三视图的强烈专业感也会轻易获取普通客户的信任,计算机建模中充满神秘感的密布网格、三视图中密布的中心线等等,都增加了图面的整齐和专业性,容易获得客户的盲目信任,而无法发现真实产品可能存在的隐患。例如效果图上漂亮轻巧的造型做成实物后有可能会发现,它是一个体量庞大的笨拙产品。相反,模型使人们提前零距离地接触到了最后的实际结果,因此没有误差和欺骗,真实可靠。

在大多数情况下,仿真模型是 1:1 的实体模型,以便形象地表现产品的设计意图并初步了解其外观的人机工学关系。根据具体情况,仿真模型有很多材

料和工艺可以选择。例如实心或空心的塑料模型(家用电器等)、玻璃钢制作的薄壁容器类模型(车辆罩壳等)、油泥和玻璃钢制作的汽车模型等。有时候为了验证部分设计,例如卡车的内部空间的人机工学设计,也可以只做驾驶室部分。

三、低成本验证设计成果

低成本验证设计成果的内容包括市场价值、工艺价值和使用价值。

1. 验证市场价值

为了避免市场风险,企业总是努力在产品正式投产前对其价值做出正确判断,模型的使用给企业和设计师提供了和竞争对手直接比较的生动可靠的工具。例如,把制作出的逼真的仿真模型带到客户面前,直接听取对这种设计的评价和建议,以便决策是否继续开发或投产;一些市场经济发达的国家地区甚至可以凭看样订货的合同向银行贷款以全力推进产品迅速上市。和产品投产上市后发现问题并采取召回相比,用仿真模型验证产品市场价值的成本极低。

2. 验证工艺价值

模型制作使设计最终以实体形态展现出来,设计师对真实的、可接触的设计模型进行体验后,可对设计方案进行进一步的推敲完善,使其更适合实际开模和生产。实现这个目标的模型是实体模型,由于拥有和成品完全相同的结构细节,而且具有近似的强度等物理特性,因此实体模型可用于验证设计的各种工

艺性,包括制造工艺性、装配工艺性和维修工艺性。

目前,很多实体模型都已经使用数控机械制造,借助计算机仿真加工可以事先利用数据库和专家诊断系统评价其加工制造工艺性;一些小尺寸产品(手机、数码相机等)还可以直接在模型上装配、试用和拆分,了解装配、维修工艺性。这种了解和评价借助计算机网络的协同设计和管理模式可以达到极高的工作效率,而且这一系列工作的成本极低。

3. 验证使用价值

模型给设计师提供了验证使用价值的机会,这种验证借助于飞速发展的先进制造技术,不但可以快速低成本地制造外形极其精确的实体模型以验证产品的技术价值(如为交通工具提供风洞试验的精确实体模型),还可以小批量地制造与终极产品的结构、材料几乎完全一致的样品,用来验证产品真实的人机工学价值(如电动工具的使用者疲劳分析、驾驶室的舒适性和可操作性体验等)。

除了传统的真实模型外,现代科技提供的计算机虚拟模型还能更低成本地验证设计,不但可以轻易解决以往机械设计中大量的计算难题,如零部件空间运动和干涉情况、物理数据(质量、重心、转动惯量等)的计算求取等,还能在很多特殊情况下将产品使用价值的验证结果表达出来,例如汽车碰撞后的安全情况、车内人员的逃生机会等。这种

验证和效益相比,其成本几乎为零,而且便于直观地分析和确认,已经成为重要设计中必不可少的评价手段。

1.2 学习设计模型的意义

一、掌握工业知识

工业设计是综合性的边缘专业,包括艺术、技术和商业,因此工业设计师也应该是知识全面的人。有人说工业设计师是30%的艺术家、30%的工程师、10%的诗人、10%的商人、10%的企业家、10%的推销员,表达的就是这个意思。模型制作过程有助于学生全面理解、掌握、运用工业知识,这对艺术类院校的学生尤其重要。

模型制作可以使学生掌握和接触以机械工程为主的一系列相关知识,大致有以下几方面内容。

1. 工具使用技能

工具不仅是单纯的制造器具,而且是工业设计专业的学生体会、贴近工程技术和制造业的一个媒介和途径。和几十年前崇尚孩子自己动手、大搞科技时的社会风气不同,现在劳动课、科技小组中掌握做木工、做航模、装无线电、修自行车、修电灯、修日常用品等种种受人称赞、心灵手巧的动手环境正远离人们而去,对制造、生产缺乏感觉,使得现在的工业设计学生和艺术、技术、经济交叉构成的人员素质相差颇远。

工具的使用能使人们置身于制造气氛中,培养对工业设计的“工业”意识,更好地理解工业设计和环艺、平面、多媒体设计的区别。

2. 量具使用技能

计量器具广泛地存在于人们的生活中,秦朝统一全国后立即实行度量衡统一,这说明计量器具是多么重要。作为工程制造品质保证的尺寸、形状、位置控制工具,量具制造和使用在制造业中始终具有至高无

上的地位。

在工业设计传统模型制作中,量具的精度一般,种类也不多,主要是尺寸控制类的工具,如长度、高度、角度、半径等;也有一些简单的形状控制的量具,如平面;基本上没有位置控制的综合量规等。实验室常见的具有计量资质的量具有游标卡尺、高度游标卡尺、直角尺、R 规等。近年来由于先进制造技术的发展,高精度模型已和样机逐渐接近,这方面使用的量具无论在精度和种类上,和制造企业基本已无差距。

量具使用技能是工业设计学生的动手能力标志之一,是否能够准确灵活地测取现有产品的关键尺寸,以及在模型制作中巧妙地利用量具有效提高效率和精度,决定着对制造工艺过程的理解和掌握程度。而量具操作的严格规范也有助于培养学生注重科学、一丝不苟的良好作风。

3. 机械制图技能

工业设计的制图属于机械制图范畴,但具有本专业的一些特点。工业设计的主要对象是产品外观,工程师分工的图面表现为向产品结构和装配适当延伸,一般不绘制单独的系列零件图。因此,工业设计制图包括总装、部装、零件图三部分内容,以总装图为主。

工业设计的学科交叉性要求设计师熟练掌握制图技能,除了按教科书的理论学习外,还必须借助模型制作的实践机会熟悉和理解制图。

4. 产品测绘技能

产品测绘综合了量具使用、机械制图、设计分析等技能要素,是工业设计师在改良产品时必须熟练掌握的操作技能,而这种技能最好的学习方法就是通过模型制作逐渐掌握。

5. 材料基本知识

和观摩相比,亲手制作模型对不同材料和不同工艺的对应关系感觉更真切。制作中常用的材料主要有泡沫塑料、ABS 板料等,还包括玻璃钢、要求较高的

一些模型所使用的金属、塑料等各种材料。

6. 工艺分析技能

工艺分析和设计的关系密切。工业设计是人们预先安排机器制造结果的创造活动,需要遵循机器制造的规则,这个规则的重要组成部分就是制造工艺的分析。模型制作过程中有很多原理和产品制造工艺相似甚至一致,因此给在校学生提供了体会真实制造的机会,这是只用计算机设计无法做到的。

7. 全面理性思考能力

工业设计的模型制作具有明显的工业色彩,工艺逻辑性强,材料分析全面,需要学生严密思考,有利于培养学生全面理性的思考能力,以积极适应今后的工作环境。

8. 产品结构理解

模型是了解产品结构最好的对象,即使是只有外表的实体模型也能提供壳体的基本结构,更不要说还有很多不罩外壳的产品,例如自行车,必须理解结构后才能动手。

心灵手巧是动手的结果,四肢不勤的人不可能成为心灵手巧的出色人物。现代社会的文明进步并不是要我们摒弃动手制作,相反将我们带到了一个愉快动手的境界,这种能力成为了现代人的文明素质之一,这在许多兴趣广泛的成功者身上得到了证明。工具、量具、制图、测绘、材料、工艺、思考分析、结构理解等综合锻炼,使工业设计比其他设计专业更能够使学生适应艰苦而充满

挑战的工作，培养更好的顽强作风。从这个意义理解，动手已经超越了简单的手工作，成为提高素质的重要途径。

二、培养空间想象能力

工业设计师需要超乎常人的空间想象能力，这需要在实践中积累，而边做边想地“用手思考”则是培养这种想象力的最好途径。事实证明，许多学生看上去不错的方案仅仅是平面上的构思，而且只有一个方向的视图，很难扩展成立体的完整方案。究其原因就在于相当缺乏空间想象力，脑子里闪现的或信手涂抹所得的都是平面形象，根本没有立体因素，所以当然困难。这类方案如果用 EPS 边削边琢磨、不断改变角度观察思考，其中一部分还是有可能变成各视角都还能接受的构思。经过这样的训练，

学生创意灵感的空间质量会得到很好的提高。

三、有利于更好地进入设计行业

草模是工业设计师必须具备的动手能力，而模型制作在工业设计领域中则是为设计服务的辅助工作。实践表明，一名资深设计师需要几名设计辅助人员协助工作，除了一般的设计管理、客户执行、财务后勤以外，计算机建模、效果图渲染、模型制作、设计市场调查等都需要年轻设计师和相关专业的人员参加，这些都是进入设计行业很好的途径。不少颇有才能的工业设计毕业生在一时找不到满意的设计师岗位时，都能够凭一手出色的手艺从模型和建模工作起步进入设计机构；在圆满完成下达的模型制作或计算机建模任务时会提出自己颇有见地的建议，或是在任务紧张时一起参加工作而得到表现机会，从而由于在工作中表现出优异才能而得到提拔晋升，最终一步步地进入设计界圈子。这种凭实力闯世界的方式虽然迂回曲折，但却是颇有成效的成功途径。

02

真实模型

真实模型是本书为了对应第三章虚拟模型而使用的一个词汇，在其他同类教材和书籍中并没有这样的提法。真实模型指的是以实际物理形态存在的模型，包括草模型、仿真模型和实物模型。

2.1 草模型

一、泡沫塑料草模型

(一) 适用范围

1. 适合用途范围

(1) 创意推敲

草模型（简称“草模”）、手绘草图、计算机快速推敲造型是产品设计创意阶段的主要思考表现形式和工具。目前广泛使用的泡沫塑料草模和十多年前普遍使用的石膏、油泥、木材、纸张等相比，已被证实使用更方便简单、价格更低廉，是现阶段比较理想的设计辅助工具。

(2) 细化验证

设计细化阶段需要把设计构思从二维转变为三维，相关的因素有验证体量、基本的人机关系、初步确认装配和维修性能等。这个阶段的泡沫塑料模型比创意推敲草模要精细和规范，虽然和仿真模型相比还确实是草模，但创意推敲相比已经是另外意义上的模型了。为了有所区别，可将其称为细化验证草模。

细化验证草模很多时候用于和客户的交流，主要是在委托专业的模型工厂用数控机床制作仿真或实物模型前，双方对设计进行总体评价和认可时使用。

2. 适合表现范围

泡沫草模有很大的用途，但受材料本身疏松、柔软等特性的限制，比较适合表现模型的下列形状。

(1) 凸起形状

外表鼓凸形状适合表现加工有两个原因，一是切削产生的向下分力将使疏松的材料压紧，避免发生材料脱落崩碎现象；二是凸起形状的前方永远畅通，因此便于实现工具的切削运动。

（2）粗厚形状

由于材料的低强度和低刚度，为避免断裂失效和失稳变形，需要保证模型受力部分的粗细和厚薄。

3. 不适合表现范围

某些形状不适合利用泡沫塑料表现制作，主要有以下几种。

（1）内凹形状

除了板料冲压和铸造注塑的方法，内凹形状是比较难加工的。工业上采用车、钻、铣、镗、磨等机械切削加工内型，而使用手动工具的钳工则只能采用凿、刮、墩、打击、研磨等简单方法，除非是耗事巨大的精细加工，否则效果不好。对于泡沫塑料草模，尤其是 EPS 草模，内凹加工是个难题。

EPS 泡沫塑料结构松散，特别不适合加工内凹的形状。这不但是因为沒有合适工具削或挖，还因为沿内凹面切削的切削分力很容易把泡沫颗粒掰下来，造成一个个窟窿和坑点。因此，就凹面表达材料而言，泡沫塑料不如可塑性材料，如油泥、软陶土等有效。

其实，根据草模的使用性质，在很多情况下并不需要做得非常精细，而只要能够大体上表达设计意图和产品体量即可，因此最好能够和客户沟通，征得同意后将薄壳结构简化成实心的外观模

型，保证外观造型设计的视觉表达，或者贴上有一定立体光线感的 CorelDRAW 图样即可。

（2）薄壳类型

薄壳造型的工件不适合用泡沫塑料材料表达，这有以下两方面的原因。

一方面，由于泡沫塑料是一种松脆的材料，因此即使是硬质的泡沫塑料也不适合加工成薄壳的形状，不但锉削时非常容易破裂，而且即使是略厚的薄壳，小心翼翼做成后也不容易保管和使用，稍有不慎就会损坏。

另一方面，使用切削材料的方法加工壳形的泡沫塑料草模极其困难，需要慎重。相对来说，管状的样式由于两端开放便于工具运动好一些，但封闭的凹面体（尤其是弧形的）基本上无法加工到满意的程度。通常对于采用泡沫塑料表达壳体结构（例如薄壳形抽油烟机集烟腔等需要直接表达的金属板材结构）最好尽力避免，或者争取变通，即在允许的情况下使用卡纸制作平面、柱形和锥形弧面，效果还不错，但球形和大尺寸零件只用卡纸制作也有困难，需要加支撑。

（3）细线、细棒、薄片、尖锐边缘

在可能的情况下，可以尽量用其他材料代替泡沫塑料制作细线和细棒等，这也和材料本身的强度有关。通常细线可以用钢丝、电线、塑料线，细棒可以用木棒，薄片用纸或 EPS 吹塑纸板等代替。尖锐边缘的制作难度在于材料本身的致密程度，当用细砂纸打磨出尖锐边缘时很容易材料脱落。

有时候为了保持模型的整体效果，也采用高密度 EPS（如利用结实的包装件、水果保鲜箱等）和硬质 PU、PS 加工。以此类推，一些精细的小物件如果不用打图粘贴的话也可以用其他材料代替，不过草模型不应该花费太多的精力。

用泡沫塑料制作的细棒等模型在搬运运输时要格外小心，以免损坏。

（二）材料

1. 可发性聚苯乙烯泡沫塑料（EPS）

可发性聚苯乙烯泡沫塑料（EPS）是一种应用广泛的轻质包装保温材料，白色，有可见的颗粒感。

EPS 原粒由聚苯乙烯（PS）粒料经预发（活化，即将丁烷气体压入颗粒中），然后在置入某形状模具的密闭空间中通入蒸汽加热。热量以及蒸汽压入 EPS 原粒，促使丁烷膨胀而将原粒发泡紧密挤压成型。工厂通常使用大尺寸矩形模具将活化粒料发泡成巨大的块料后，用电热丝平整切割成为厚度不等的板材供应市场，也可以根据用户的专业需要制成指定形状，如管道保温层和各种包装保护零件，常见于家电和计算机等电器产品边角保护的包装箱垫及异型件、高级水果和水产的保鲜包装箱，以及一些普通的保温器皿如一次性饭盒等。由于具有微细闭孔的结构特点，EPS 在工业和建筑上被广泛用于建筑墙体、屋面、冷库、空调、车辆、船舶的保温隔热。

根据原轻工部部标准 QB/T 1649—1992 规定，EPS 包装材料密度（ kg/m^3 ）分为 I、II、III、IV 四类。

I. 15.0~19.9, II. 20.0~24.9, III. 25.0~29.9, IV. 30.0~34.9。

但由于管理方面的原因，实际上市销售的成品密度可能低于上述标准，有的甚至可低至 $10 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。

由于投入原料的数量不同，得到的成品的颗粒结合度和强度都不同。I 类产品价格便宜，但结构疏松，能较方便地掰下颗粒发泡料，加工时容易损坏，一般只能制作比较粗糙的零件，如大的箱体机身等。用于电器包装的用料大多相当结实，而做成水产保鲜箱的材料密度最大，可以用来做厚度较薄、比较精细的模型零件。

制作工业设计草模的 EPS 一般从商店购买。商店供应的 EPS 板料尺寸通常为 $1.5 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ ，厚度为 $2 \sim 10 \text{ cm}$ ，切割面不是很平，边缘处泡沫粒粗大且疏松

容易掉落。

2. 硬质聚苯乙烯泡沫（PS）

硬质聚苯乙烯泡沫（PS）结构为带无数小气孔的固体，像馒头的剖面，是一种具有高抗压、保温、防潮、轻质、耐腐蚀、长寿命等优异性能的材料，广泛应用于冰箱和热水器的隔热保温，以及墙体、屋顶、低温储藏地面、泊车平台、机场跑道、高速公路等领域的保温防潮。

硬质 PS 块料和板料是用挤出法制造的，是一种物理发泡法。将 PS（聚苯乙烯）粒料和丁烷气体都置入 PS 挤出机的容器中，在高压高温条件下使 PS 融化、丁烷气体液化，经充分混匀后从挤出口挤出。由于压力瞬间消失，PS 被气化膨胀的丁烷气体均匀撑开，像膨化食品那样被突然爆得又大又均匀，中间充满了微孔。调节 PS 和丁烷的比例，可以得到发泡程度不同的挤出型聚苯乙烯泡沫（PS）。

PS 是大量使用的建筑材料，通常不在商店购买。制作模型用的 PS 是已经发泡成型材料，由厂方按需要切割成块状或板状直接供货，一般价格为每立方米 900 元左右。

3. 硬质聚氨酯泡沫塑料（PU）

聚氨酯泡沫塑料（PU）都由双组分材料（习惯上称为白料和黑料）混合后实时发泡而成，是一种化学发泡法。白料是多种原料（物理发泡剂、催化剂、硅油、水、泡沫稳定剂及硬化剂等）组成的混合物，黑料主要是多亚甲基多苯基