

实物导向工程设计 系列丛书

高级工业造型

——使用 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0

林春深●等编著

讲述使用Pro/ENGINEER进行高级设计的方法与技巧
讲解工业造型中的实际案例
操作流程辅以数字图标的方式详细解说案例的建立过程
网站www.pdschool.cn为本书提供了配套服务



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

本书附送
光盘一张



实物导向工程设计 系列丛书

高级工业造型

——使用 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0

林春深●等编著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书在《基础工业造型——使用 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0》一书的基础上,进一步研讨了一些设计理论以及使用 Pro/ENGINEER 进行高级设计的方法和技巧。根据工业产品创意设计中的需求讲解了 Pro/ENGINEER 中的基本曲线特征,以及一些高级的曲面和实体特征。高级分析章节中介绍了曲线和曲面的物理参数分析。书中还讲述了高级倒圆角、自由曲线及自由曲面、曲面变形等高级造型工具。结合面向装配设计和分析,以及数据模型设计的高级设计理论,书中深入剖析了 Pro/ENGINEER 自顶而下和行为建模的设计方法。

本书是为工业设计领域的从业人员编写的,也可作为大专院校、职业学院相关专业的教材和指导用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高级工业造型——使用 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 / 林春深等编著. —北京:电子工业出版社, 2008.3
(实物导向工程设计系列丛书)
ISBN 978-7-121-05756-4

I. 高… II. 林… III. 工业产品—造型设计: 计算机辅助设计—应用软件, Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 IV. TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 002208 号

责任编辑: 严 力

印 刷: 北京市天竺颖华印刷厂

装 订: 三河市金马印装有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.5 字数: 602 千字

印 次: 2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数: 5000 册 定价: 42.00 元 (含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前言

中国是名符其实的“世界工厂”，制造业在中国经济中占有很大的比重。随着经济的飞速发展，消费者对产品设计的要求越来越高，同时生产工艺的发展，也对制造业的从业人员的数量和技能提出了要求。为了更好地适应这一趋势，需要编写符合实际市场要求的书籍，使读者能够更好地适应学习、生产和科研需求。

工业设计是以工学、美学、经济学为基础对工业产品进行的设计，经过了几个世纪，设计方法和设计工具都有了长足的进步。而 Pro/ENGINEER 是 PTC 公司发布的性能强大的设计工具软件，在汽车工业、模具工业、机床工业等领域中有着广泛的应用，是工业设计的一种高效解决方案。

本书与《基础工业造型——使用 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0》是姊妹书。本书在前书的基础上，讲述了一些设计理论以及使用 Pro/ENGINEER 进行高级设计的方法和技巧。根据工业产品创意设计的需求讲述了 Pro/ENGINEER 中的基本曲线特征，以及一些高级的曲面和实体特征。高级分析章节中介绍了曲线和曲面的物理参数分析。

书中还讲述了高级倒圆角、自由曲线及自由曲面、曲面变形等高级造型工具。结合面向装配设计和分析以及数据模型设计的高级设计理论，深入剖析了 Pro/ENGINEER 自顶而下和行为建模的设计方法。其中使用的范例是制造业中精选实际案例，并将这些产品开发的过程贯穿始终，务求让读者了解完整的产品开发过程，并选择自己感兴趣的方向深入学习。

书中的结构如下：

第 1 章介绍了工业产品设计过程中概念设计的含义和步骤、创意的产生、实现过程等。

第 2 章讲述了各类基准曲线的建立方法。

第 3 章讲解了用于创建较为美观、复杂的曲面高级扫描及混合方法。

第 4 章介绍了一些曲面的操作，如修剪、延伸、合并、反向法向等编辑操作；另外还讲解了移动、镜像、偏移等复制操作。

第 5 章阐述了丰富的模型分析方法，以满足模型中装配、分析和制造等工艺需求。

第 6 章用倒圆角综合范例讲述了倒圆角的定义和几何、倒圆角操作界面和基本、高级倒圆角功能。

第 7 章讲解了 Pro/ENGINEER 中的自由曲线和自由曲面功能。

第 8 章提供的一些方法可以不需要修改特征参数而直接使曲面和实体发生各类规则或不规则的变形，如展平面组、折弯实体、环形折弯、骨架折弯、自由形状、半径圆顶和剖面圆顶等。

第 9 章中介绍了 Pro/ENGINEER 中的一些高级装配功能，如阵列装配元件、复制元件、子装配件、视图管理等功能。

第 10 章中主要介绍了行为建模的三个分析工具——敏感度分析、优化/可行性设计和多

目标设计研究。

第 11 章讲述了自顶而下的设计方法和步骤，并用具体实例进行了说明。

学习本书之前，最好先行阅读《基础工业造型——使用 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0》，这本姊妹书，以便让读者能够更深刻地认识 Pro/ENGINEER 强大的造型功能。

此外，Pro/ENGINEER 的工程图、模具设计和零件的 NC 加工方面的内容将在本系列的其他书中介绍。

本书另外提供了网站的支持：<http://www.pdschool.cn>，用于解答书中的任何疑问。如果有需要帮助，可以登录并提问。

另外还可以使用以下两类方式。

电子邮件：pdschool@yahoo.cn。

邮件地址：北京海淀区清华大学 AAA-17050 信箱，100084，林春深收。

林春深

2008.1

目 录

第 1 章 概念设计及实现	1
1.1 概述	2
1.2 概念设计	2
1.3 创意的产生	3
1.3.1 直觉式创意	3
1.3.2 逻辑式创意	4
1.4 概念设计的基本任务	5
1.5 概念设计的交付物	6
1.6 原型的实现和外观设计	6
1.7 Pro/ENGINEER 曲线、曲面建模和高级特性	7
1.8 小结	10
第 2 章 基准曲线	11
2.1 曲线概述	12
2.2 草绘曲线	12
2.3 图元编辑法	14
2.3.1 经过点	14
2.3.2 使用剖截面	19
2.3.3 曲面相交	20
2.3.4 复制/复合	24
2.3.5 投影	28
2.3.6 包络	32
2.3.7 修剪	34
2.3.8 偏移	37
2.4 参数法	43

2.4.1	自文件	43
2.4.2	从方程	47
2.5	小结	51
2.6	练习	51
第 3 章	高级实体和曲面特征	55
3.1	概述	56
3.2	高级实体和曲面建模应用	56
3.3	螺旋扫描	57
3.4	扫描混合	61
3.5	可变剖面扫描	80
3.6	边界混合	97
3.7	截面混合至曲面	104
3.8	曲面间混合	106
3.9	从文件混合	108
3.10	圆锥曲面和 N 侧曲面片	111
3.10.1	圆锥曲面	112
3.10.2	逼近混合	115
3.10.3	N 侧曲面片	115
3.11	小结	117
3.12	练习	117
第 4 章	曲面编辑	123
4.1	概述	124
4.2	复制和粘贴	124
4.2.1	复制—粘贴	124
4.2.2	复制—选择性粘贴	130
4.3	镜像	131
4.4	填充	133
4.5	偏移	136
4.6	修剪	150
4.7	延伸	152
4.8	改变曲面方向	156
4.9	合并	158

4.10	加厚.....	162
4.11	实体化.....	165
4.12	小结.....	172
4.13	练习.....	172
第 5 章	高级分析.....	177
5.1	概述.....	178
5.2	曲线分析.....	178
5.2.1	边类型分析.....	178
5.2.2	曲率.....	179
5.2.3	半径.....	180
5.2.4	某点信息.....	181
5.2.5	偏移.....	183
5.2.6	偏差.....	183
5.3	曲面分析.....	185
5.3.1	高斯曲率.....	185
5.3.2	剖面.....	186
5.3.3	斜率.....	188
5.3.4	曲率和法向.....	189
5.3.5	半径.....	191
5.3.6	反射分析.....	191
5.3.7	某点信息.....	192
5.3.8	拔模检测.....	193
5.3.9	偏移.....	194
5.3.10	偏差.....	195
5.3.11	阴影.....	195
5.3.12	二面角.....	197
5.4	模型分析.....	198
5.4.1	短边.....	198
5.4.2	厚度.....	199
5.5	小结.....	200
第 6 章	高级倒圆角.....	201
6.1	倒圆角的定义和几何.....	202

6.1.1	倒圆角的定义	202
6.1.2	滚球模型	203
6.1.3	垂直于骨架倒圆角的曲面	204
6.1.4	可变半径的倒圆角	204
6.1.5	边-曲面倒圆角	205
6.1.6	完整倒圆角	206
6.1.7	通过曲线的倒圆角	206
6.1.8	曲面片过渡	207
6.1.9	参照邻接的倒圆角	207
6.2	Pro/ENGINEER 倒圆角操作界面和基本操作	208
6.3	Pro/ENGINEER 倒圆角高级功能	209
6.3.1	单特征和多重特征	210
6.3.2	倒圆角集的定义	210
6.3.3	“边链”倒圆角和“曲面—曲面”倒圆角	214
6.3.4	“边-曲面”倒圆角	215
6.3.5	倒圆角范围: 混合和终止曲面	217
6.3.6	段选择	218
6.3.7	可变半径倒圆角	219
6.3.8	过渡	219
6.3.9	连接	228
6.3.10	完整倒圆角	229
6.3.11	通过曲线的倒圆角	231
6.3.12	圆锥倒圆角	232
6.4	倒圆角综合范例	233
6.5	小结	253
6.6	倒圆角综合练习	254
第 7 章	自由曲线和自由曲面	255
7.1	自由曲线	257
7.1.1	自由曲线工具的操作界面	257
7.1.2	使用曲线上的点或控制点生成自由曲线	260
7.1.3	平面曲线	262
7.1.4	表面上的自由曲线	262
7.1.5	将曲线投影到曲面创建 COS	263

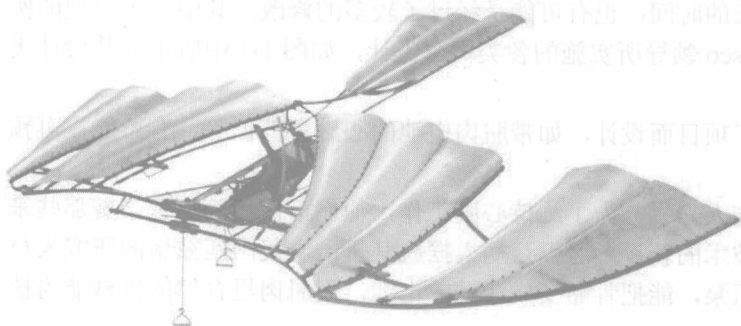
7.1.6	自由曲线的编辑	264
7.1.7	自由曲线的曲率	269
7.2	自由曲面	269
7.2.1	Pro/ENGINEER 自由曲面的操作界面	270
7.2.2	以边界曲线来创建曲面	270
7.2.3	自由曲面的连接	272
7.2.4	自由曲面的修剪	273
7.3	小结	273
7.4	练习	274
第 8 章	变形特征	275
8.1	展平面组	276
8.2	折弯实体	279
8.3	环形折弯	282
8.4	骨架折弯	287
8.5	自由形状	291
8.5.1	曲面自由形状	292
8.5.2	实体自由形状	294
8.6	半径圆顶	297
8.7	剖面圆顶	299
8.7.1	无轮廓混合剖面圆顶	301
8.7.2	有轮廓混合剖面圆顶	303
8.7.3	扫描剖面圆顶	306
8.8	小结	308
8.9	练习	308
第 9 章	高级装配	311
9.1	阵列装配元件	312
9.1.1	参照阵列	314
9.1.2	填充阵列	318
9.1.3	尺寸阵列	320
9.2	对装配组件的操作	321
9.2.1	组件中特征的复制	321
9.2.2	组件的重新构建	324

9.2.3 元件的复制	326
9.3 表示	329
9.4 小结	332
第 10 章 行为建模	333
10.1 行为建模的步骤	334
10.2 行为建模中分析模型的参数介绍	335
10.3 行为建模中的敏感度分析	337
10.4 行为建模中的可行性/优化研究	340
10.5 行为建模中的多目标设计研究	344
10.6 小结	348
10.7 练习	348
第 11 章 自顶而下的设计方法	349
11.1 概述	350
11.2 自顶而下的设计步骤	350
11.3 实例	352
11.4 小结	358
11.5 练习	358
附录 A 基本图形交换规范标准 IGES	359
A.1 IGES 功能	359
A.1.1 IGES 元素	359
A.1.2 IGES 文件结构	363
附录 B 曲线方程	365

第 1 章

概念设计及实现

本章讲述了设计过程中概念设计的含义、概念设计的步骤、创意产生、实现过程等；介绍了 Pro/ENGINEER 的高级曲面功能，以及其在概念具体化过程中的作用。



1.1 概述

在本系列丛书的前一本《基础工业造型——使用 Pro/ENGINEER wildfire 3.0》简要介绍了产品的开发过程，主要内容讲述了基本的实体造型观念和 Pro/ENGINEER 基础建模方法。其中包括用于建模的一些基本特征以及辅之的编辑、测量和零件装配工具。学习完之后，可以实现自下而上的总体装配设计，即从零件到装配件的设计过程。学会后就可以胜任一些基本的机械设计，如一般的机构、机床、化工容器、简单的电子产品等的设计。

本书将在设计理念上继承前一本书中的思想，并进而讲述 Pro/ENGINEER 的一些高级建模功能。

在前一本书中的第一章中已介绍，设计的整个过程可分为需求分析、概念设计、详细设计、制造设计和改进设计等几个阶段。在社会分工非常细致的今天，每个设计人员一般负责这个“设计链”中的一部分或几个部分，而且使用的工具也不尽相同。当然作为一名合格的设计人员需要对所有环节均有所了解，虽然可以不必样样精通（一般也不可能做到），但是，必须在对某一环节深入理解的基础上，熟练并掌握设计手段和独具一格的设计方法。

本书主要涉及将概念设计具体化至实现详细设计过程，以及 Pro/ENGINEER 中的一些高级建模特征、编辑方法和设计工具。

1.2 概念设计

“概念”来自于“对已存在问题的思考和未被发现的想法”，“概念设计”则是为了实现这些想法提出的解决方案。具体而言，它可能是一个改进的方案，也可能是一个实验模型，属于哪一类则取决于具体的需求。

如果是对已有产品进行系统测试，并针对出现的显著问题，提出基于存在问题的因果概念模型，则这类概念设计将是一个改进的方案；如果有一个创新的想法，在项目开始的初期，使用一种易于理解的方式表达出来，这是一种概念模型。对于新产品设计，所进行的概念设计属于后者。

概念设计是概念设计师的产品。概念设计师也被认为是“视觉上的未来派画家”或“概念艺术家”。其设计的产品并不是最终产品。事实上，许多概念设计均未被实现或具体化。如果被实现，也有可能要经过较长的时间；也有可能是经过了较多的修改。其中一个典型的例子是 Venus 项目，由 Jacque Fresco 领导所实施的各类概念设计，如图 1-1 中所示为其设计飞行器原型。

另外有一些概念设计是为了项目而设计，如带肌肉电池的心脏复苏仪等，有可能在可预见的未来（2010 年）得以实现。

对饱受心动过缓病症折磨的病人来说，为了维持心脏工作，他们不得不随身携带着那些笨重的外接电源。一种使用无线技术的新设备可以帮病人摆脱其折磨。美国匹兹堡的研究人员发明了一种动力完全自给的液压泵，能把骨骼变成活动的电池，用肌肉里存储的机械能为植入设备提供能量。

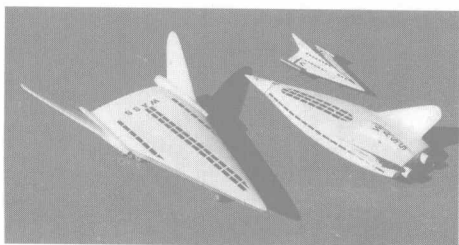


图 1-1 飞行器原型

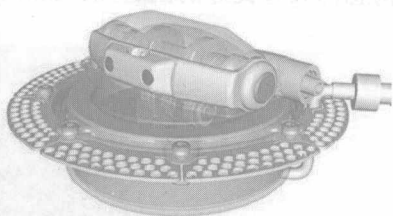


图 1-2 心脏复苏仪

上图 1-2 是心脏复苏仪的概念设计图, 只要把自动充气式的心脏复苏仪套在心脏病患者的胸前, 它就能对患者的心脏进行均匀的复苏性挤压。如果一切顺利的话, 2010 年前就能投入实际应用。

概念设计人员使用他们的单纯想象力, 借用其他科学理论(主要是物理学)的概念, 并尽力避免违背已知的物理学定律。在电影《达芬奇密码》中, 可以看到具有传奇色彩的达芬奇在其年代科学理论知识基础上设计出的、古老的飞行器概念设计(The Aerial Screw Flying Machine)原型, 如图 1-3 所示。

概念设计决定了整个项目开发的创意方向, 并可帮助团队更好地理解他们正在协同合作的设计目标。这个目标可以是范围较大的宏观概念, 也可以是细节的创新改进方案。概念设计的存在, 可以让设计人员更有效地与协作伙伴了解项目所传达的内容或理念, 非常适合大型的项目团队开发出更美观更优质的产品。如耐克公司设计的跑鞋, 就是多人协作开发的成功的典型例子, 如图 1-4 所示。

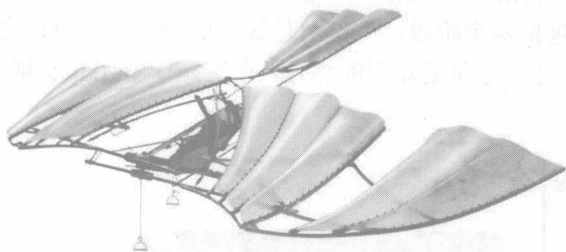


图 1-3 达芬奇设计的飞行器

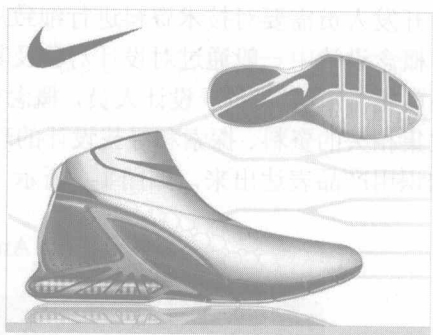


图 1-4 Nike 跑鞋

1.3 创意的产生

设计概念的构想阶段也就是概念设计师对产品原型的构建阶段。概念设计师运用自己的对已有问题的洞察力、理解和综合知识塑造新产品, 在此过程中展现自己的创造性和艺术天赋。

1.3.1 直觉式创意

产品创意的方法从广义来看可分为两个类型, 直觉式和逻辑式。直觉式创意的构建方法建立在个人或团队概念产生之基础上, 采用跳跃式的思维方式, 目的在于从思维上突破常规限制, 从而重新构建产品各要素之间的关系。正是由于突破了常规的限制和障碍, 由此得到

的产品构想都具有良好的创造性、新颖性。

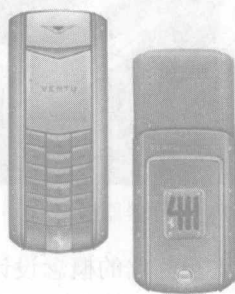


图 1-5 直觉式创意

Vertu 系列奢侈品牌手机是 Nokia 公司独资的另一手机品牌。Vertu 整个系列的手机皆由 Frank Nuovo 设计，其中 Vertu Ascent Ferrari 60 系列的手机设计灵感来自于法拉利顶级的 GT 跑车，如图 1-5 所示。

1.3.2 逻辑式创意

与直觉式不同，逻辑式创意方法要求通过系统的、逻辑推理的过程逐步探求产品的解决方案。这类方法强调在总体设计思想的引导下，将技术资料分析与专家意见相结合，解决产品技术的问题。逻辑式创意方法认为，虽然在设计的初始阶段技术解决方案可能未明确显现，但通过一系列特定而又具有延续性的方法仍然能够得到优化的解决方案。运用此类方法时，设计开发人员需要对技术资料进行细致周密的筛选、分析和拓展工作。

概念设计中一般通过对设计对象及其之间的相互关系进行描述来确定产品的功能，这些关系就是“知识”。对于设计人员，概念设计包括两个阶段：一方面是知识的分析，在设计之前收集相关的资料、探索和寻找设计的理论；另一方面是知识的综合，在实践中发明和实现，将知识用产品表达出来，如图 1-6 所示。

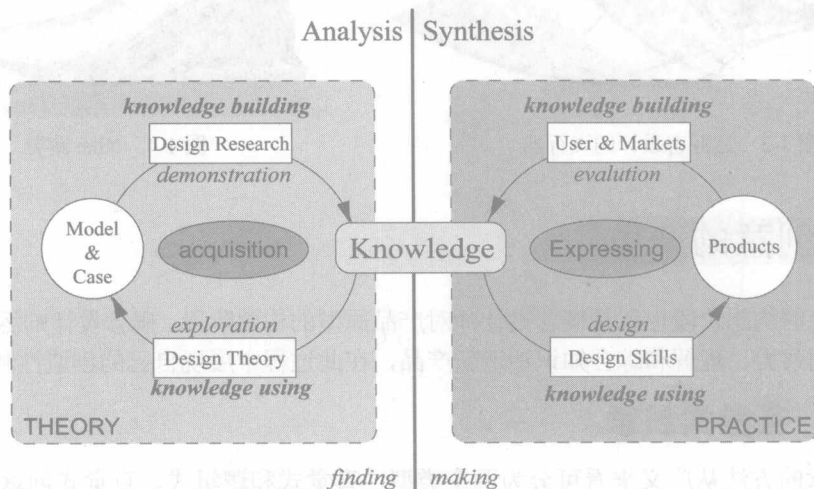


图 1-6 概念设计中的知识转换

在概念设计的创意阶段,设计师可能会面临的潜在问题是受到自己预先设想的解决方案的影响,这种设计方案是在接触设计任务的第一时间自然产生的。而另一个存在于设计创意阶段的问题是:设计组中的设计人员可能会局限于各自经验,从而导致在新产品设计中无法产生重大的飞跃。

因此,对于重要的设计项目,创意阶段的目标之一,是希望产生尽可能多的设计想法,如数十个甚至几百个解决方案。从产品整体策略入手,通过系统的设计方法可以得到各种产品的创意。可以使用建立在设计信息收集基础上的头脑风暴法,对各种可行的技术信息进行分析和归纳,由设计师通过综合思考得出结论,产生设计创意。设计师可通过自己的经验和判断、预见能力,再结合设计的一些基本原则,针对具体项目,就其最与众不同的特点或因素进行深入分析思考,产生大量的设计创意。如图1-7的自行车椅座设计。

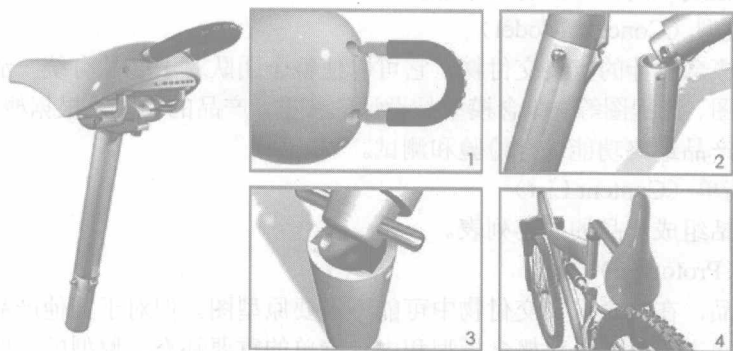


图 1-7 自行车椅座的设计

1.4 概念设计的基本任务

一般来说,产品的概念设计是一个团队的工作,需要将各人的创意用科学的方法进行综合,其基本任务包括如下。

1. 发现问题

对产品需求进行深入的分析,特别是对于一些不容易发现的潜在问题。如微软的许多鼠标设计可同时适用于左手习惯和右手习惯的用户。这对于使用右手习惯的人群,包括设计师本身,可能都不会发现,但是却没有考虑对于左手习惯的用户,可能就会带来众多不便。这个问题可以在用户观察中发现,也可以在头脑风暴的过程中得到注意。

2. 概念扩展

某个问题或概念可以引申出很多相应或相对的信息。因此就需要一定的概念扩展技能,全面地覆盖可能涉及的内容,以及关注这些信息之间的交互。这样,可使设计出的产品具有更吸引人的地方。

3. 数据分析

对于不断扩展的概念范围和海量信息,需要进行相应整理和过滤,提取最终所需的数据进行分析并决策。

4. 概念描述

概念可以通过文字和图形进行描述,让设计人员更容易地理解需要传达的理念。请注意,除了图形的形式,文字的描述一样很重要。

1.5 概念设计的交付物

概念设计是产品早期的设计过程,其交付物主要是描述产品各要素交互的概念图、必要的文字和图形描述。在很多情况下,需要针对产品需求提供低保真纸面原型设计(Lo-fi Paper Prototyping)和模型等,以及根据该原型进行评估和测试。根据实际情况的不同,具体交付物的内容和细致程度不同,主要有以下几类。

(1) 概念模型(Concept Model)

概念模型是概念设计的重要交付物,它可以使整个团队对于产品有统一清晰的认识。其表现形式有概念图、流程图等。概念模型是设计的依据,产品的功能是根据概念设计生成的,并根据其内容对产品最终功能进行检验和测试。

(2) 内容清单(Content List)

内容清单包括组成产品的内容列表。

(3) 原型(Prototype)

对于软件产品,在概念设计交付物中可能不需要原型图。但对于其他产品,特别是外观影响较大的产品而言,原型是对概念模型和内容清单的重要补充。原型的一般形式是低保真原型(Lo-fi Paper Prototype)或淡彩着色的原型图。因为人的自然视觉效果是二维的,所以二维的设计图对于设计内容的理解非常有帮助,必要时还可以加以色彩。图 1-8 是一款 Audi 两厢车的低保真纸面原型设计。



图 1-8 原型设计

这类原型设计图可以使用黑色铅笔或彩色铅笔完成,亦可以使用数码手绘板在电脑上直接绘制。

1.6 原型的实现和外观设计

成功的概念设计大师必须具有广泛的科学和工程技术知识,另一方面具有引人注目的艺术天赋,这样才可以设计出优异的质量和具有艺术美感的线条。在设计的过程中,结构设计