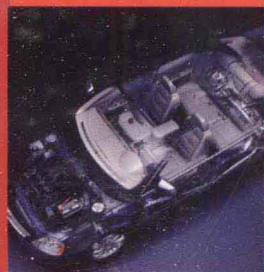




汽车先进技术译丛

汽车及其 驱动系统 虚拟产品开发



[德] Ulrich Seiffert 著
Gotthard Rainer(Hrsg.)
谢志华 朱瑶兰 陈力禾 田祺 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车先进技术译丛

汽车及其驱动系统 虚拟产品开发

[德] Ulrich Seiffert / Gotthard Rainer(Hrsg.) 著

谢志华 朱瑶兰 陈力禾 田 祺 译



机械工业出版社

本书介绍了虚拟技术在汽车产品研发中的应用情况,汽车电子化趋势给汽车设计带来的影响,AUTOSAR 技术的应用,虚拟系统开发流程,动力总成虚拟开发方法及工具,传动系统的优化,产品研发过程中的仿真,集成的虚拟整车仿真等。

本书可供汽车行业从事汽车及零部件设计、制造的工程技术人员阅读使用,也可供汽车专业师生参考。

Originally published in the German language by Vieweg + Teubner, 65189

Wiesbaden, Germany, as: Seiffert, Ulrich/ Rainer, Gotthard (Eds):

Virtuelle Produktentstehung für Fahrzeug und Antrieb im Kfz. 2008

© Vieweg + Teubner I/ GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2008

Vieweg Verlag is a part of Springer Science + Business Media

本书中文简体字版由 Springer 授权机械工业出版社独家出版。版权所有,侵权必究。

本书版权登记号:图字 01-2010-0435 号

图书在版编目(CIP)数据

汽车及其驱动系统虚拟产品开发/(德)塞弗尔特(Seiffert, U.),
(德)莱内(Rainer, G.)著;谢志华等译. —北京:机械工业出版社,
2013.9

(汽车先进技术译丛)

ISBN 978-7-111-43729-1

I. ①汽… II. ①塞…②莱…③谢… III. ①数字技术—应用—汽车—
产品开发 IV. ①U46-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 190885 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:徐巍 责任编辑:徐巍 孙鹏

版式设计:常天培 责任校对:刘怡丹

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

北京汇林印务有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm×239mm·20.5 印张·399 千字

0 001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-43729-1

定价:128.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

和以前一样，对于车辆研发，市场的要求越来越高，法规的要求越来越严。高的行驶安全性和质量要求、尽可能低的废气排放值、低的外部噪声、低的燃油消耗以及与此相关的低的二氧化碳排放、可接受的行驶功率、更多的车型种类、与交通系统集成以及国际竞争，这些仅仅是其中的一些关键词。除了产品之外，起决定性作用的因素就是提高竞争能力的研发过程了。本书中所描述的虚拟研发内容，基本上都在主题为 VVC（虚拟车辆研发）和 VPC（虚拟动力系统研发）的 ATZ/MTZ（汽车技术杂志/发动机技术杂志）会议上出现过，适合作为整车研发以及部件研发如动力系统、车身、底盘、电气系统研发专业参考使用。尽管基于硬件和样机的物理测试不可或缺，但虚拟研发过程不仅可以提高研发质量，而且还可以缩短研发时间。

本书的读者对象为实践领域和知识领域的汽车行业、供应商、电子行业以及软硬件行业的专业人员，也可作为汽车技术专业师生的阅读参考使用。

我们特别感谢在本书成书过程中为我们提供咨询和帮助的专业人员，尤其是在专业咨询和解决方案描述方面。

我们还要感谢 Vieweg 出版社，特别是本书编辑 Tohmas Zipsner 先生，还有校对和预审人员。

2008 年 3 月

作者

目 录

前言

第1章 整车	1
1.1 虚拟技术在产品研发中的应用	1
1.1.1 对汽车工业的影响	1
1.1.2 产品研发过程和虚拟研发的作用	5
1.1.3 虚拟技术在零部件和特性开发中的应用	12
1.1.4 小结和展望	24
1.2 设计工具和专家系统	26
1.2.1 引言	26
1.2.2 “集成研发过程”	27
1.2.3 在研发初期运用设计工具实现基于仿真的开发	31
1.2.4 强化知识在工程过程中的利用	37
1.2.5 知识数据库的应用	43
1.2.6 小结和展望	50
1.3 商用车在方案阶段的虚拟研发	51
1.3.1 方案研发,前期准备	52
1.3.2 方案研发阶段的仿真工具举例	54
1.3.3 未来的虚拟产品研发	64
1.4 加速产品研发过程	65
1.4.1 引言	65
1.4.2 三个加速要素	67
1.4.3 例子选析	72
1.4.4 小结和展望	76
1.5 排气系统方案设计中的虚拟分布式研发过程	76
1.5.1 引言	76
1.5.2 排气系统研发过程中的计算机辅助工程方法	77
1.5.3 排气系统分析的数字工具箱	79
1.5.4 举例	83
1.5.5 在合作伙伴中推广共同的工作方法	85
1.5.6 小结	86
第2章 汽车电子学	87
2.1 汽车电子学:通往未来安全环保交通的关键技术	87

2.1.1 全球性的挑战	87
2.1.2 汽车电子和系统网络化	89
2.1.3 汽车电子系统的质量确保方法	96
2.1.4 总结	99
2.2 AUTOSAR——标准、应用和后续开发	99
2.2.1 引言	99
2.2.2 AUTOSAR——管理介绍	100
2.2.3 AUTOSAR 的技术方案	101
2.2.4 AUTOSAR 技术规范书的进展状态	108
2.2.5 AUTOSAR 标准符合性鉴定	110
2.2.6 AUTOSAR 第二阶段 2007 ~ 2009	111
2.2.7 结论和展望	113
2.3 虚拟系统开发——从需求到控制器	114
2.3.1 引言	114
2.3.2 由需求增加带来的电气/电子开发流程复杂度提高	115
2.3.3 传统的系统构架和控制器开发	118
2.3.4 用于电气电子系统开发的完整工具集合	120
2.3.5 总结	129
第3章 发动机	132
3.1 动力总成的虚拟开发技术现状——以标定为例	132
3.1.1 引言	132
3.1.2 动力总成开发流程	133
3.1.3 在道路上行驶车辆的标定	134
3.1.4 在滚动测试平台上对车辆的标定	137
3.1.5 在发动机、变速器与动力总成测试平台上的标定	141
3.1.6 硬件在环 (HiL) 和模型在环 (MiL) 环境中的标定	142
3.1.7 小结与展望	145
3.2 采用仿真与试验开发控制传动	148
3.2.1 引言	148
3.2.2 开发工具: 仿真技术与测量技术	149
3.2.3 齿数	150
3.2.4 链类型	152
3.2.5 动力学结果	154
3.2.6 非圆形链轮	156
3.2.7 仿真技术的构造和构建	159
3.2.8 小结	162
3.3 发动机的虚拟开发	163
3.3.1 引言	163

3.3.2	开发规划	163
3.3.3	CAE 支持与虚拟产品交付	165
3.3.4	强度与冷却	166
3.3.5	载荷交变与热力学	167
3.3.6	成本与重量	168
3.3.7	NVH 与重量	170
3.3.8	文档与项目管理	172
3.3.9	发动机管理、软件与应用	172
3.3.10	小结	173
3.3.11	结论	173
3.4	发动机开发的可靠性方法	174
3.4.1	引言	174
3.4.2	可靠性过程	174
3.4.3	小结	182
3.5	活塞组的三维仿真	183
3.5.1	引言	183
3.5.2	组合件中活塞组的仿真	183
3.5.3	应用示例: 摩擦分析	191
3.5.4	小结	193
3.6	采用过程仿真和载荷交变仿真实现发动机控制装置的数据输入	194
3.6.1	引言	194
3.6.2	动机	194
3.6.3	在应用环节中导入预算的基础	194
3.6.4	采用预算时有效基本数据导入的工具	196
3.6.5	仿真在填充检定、力矩结构和点火角度规定中的应用	198
3.6.6	在数字逻辑过程中采用仿真的其他方法	209
3.6.7	小结	210
第4章	变速器	211
4.1	引言	211
4.2	优化过程的分类	211
4.3	拓扑优化: 概念解释和类比	213
4.4	拓扑优化的原则性流程	214
4.5	一个差速器盖拓扑优化的基本经验	215
4.6	油底壳的拓扑优化	225
4.7	变速器外壳的拓扑优化	230
4.8	止动片的优化	236
4.9	与产品研发过程的结合	239

第5章 动力总成系统/混合动力	241
5.1 基于模型的动力总成系统开发	
——从设计开发到测试验证的普遍工具链的新方案	241
5.1.1 引言	241
5.1.2 基于模块的开发流程工具	242
5.1.3 总结	249
5.2 交通环境中的混合动力车辆	251
5.2.1 引言	251
5.2.2 模拟仿真环境	251
5.2.3 模拟仿真结果	256
5.2.4 总结	259
5.3 液体沸腾对于内燃机冷却中的热传递的影响	261
5.3.1 引言	261
5.3.2 沸腾	261
5.3.3 建模和计算方法	266
5.3.4 应用举例	268
5.3.5 总结	270
5.4 动力总成系统中的 NVH（噪声、振动和声振粗糙度）特性仿真	271
5.4.1 引言	271
5.4.2 模型复杂度	271
5.4.3 软件和建模方法	273
5.4.4 前横向动力总成系统的研究	277
5.4.5 综述	287
第6章 辅助装置	289
6.1 产品研发过程中的仿真	289
6.1.1 引言	289
6.1.2 冷却模块的动力学分析	289
6.1.3 增压空气冷却器的温度变化应力	290
6.1.4 发动机室的气流	292
6.1.5 热结构模块混合支架的设计	294
6.1.6 用热力学乘员模型进行舒适性评价	295
6.1.7 用 BISS 进行增压空气冷却器的动力学计算	296
6.1.8 R744 制冷循环充液量的优化	296
6.2 集成的虚拟整车仿真，以热管理为例说明	301
6.2.1 引言	301
6.2.2 动机和问题的提出	302
6.2.3 集成工程的技术、方法和工具	303

6.2.4	联合仿真在热能管理中所起的作用	306
6.2.5	一种不相关联合仿真平台的设计——以热管理为例的整车模型的建立	307
6.2.6	热力学耦合整车模型中的能量流分析	313
6.2.7	小结和展望	317
展望		320

第 1 章 整 车

1.1 虚拟技术在产品研发中的应用

1.1.1 对汽车工业的影响

活动性是人类社会基本的需求之一。汽车作为当今社会一种独特的交通工具不再被视为是可有可无的。确保未来的活动性，既是一项对于社会的政治责任，又是一项技术性的挑战。

当今时代的汽车工业正处在急剧的变化之中。由于不断变化着的前提条件及其影响，必须做出未来社会能够胜任的决策。

对于影响到整个社会、影响到人们的行为方式以及人们对产品期望的各种各样因素的准确分析，成为运筹帷幄的基础。归属于这些影响因素的有全球化趋势以及对于汽车来说不断变化的顾客需求。下面将要介绍对汽车工业各个方面的影响因素和它们对产品研发过程的作用。不过，其重点不是关于总在不断变化着的前提条件对汽车产品的直接作用，而是涉及研发过程必要的调整和新技术的应用，以便凭借优秀的资源在激烈的竞争中立于不败之地。

1.1.1.1 全球趋势

全球趋势的演变能够通过每天许许多多的单一信息来加以追踪（图 1-1）。

诸如水和石油这类自然资源的逐渐短缺会对未来的人类社会产生巨大的影响。而在欧洲，早已度过城市化进程的高峰期，在南美和亚洲地区的大都会却正方兴未艾地进行着。

人类在自然土地上持续生存居住，遭受严重损失的自然灾害事件明显地增多了。正因为如此，不仅在社会大众层面，而且在政治层面上，环境这一课题越来越受到关注，例如造成温室效应的原因和解决之道。

老龄化不仅仅只是每个人自身都会经历到的事情。整个社会的老龄化还会以多种方式对经济环境产生影响。图 1-2 显示了德国至 21 世纪末人口年龄结构分布的变化情况。

目前德国有三千万人（37%）的年龄超过了五十岁。将来（2030 年）会有约一半的人口年龄超过五十岁。六十岁及其以上人口的数量增长特别快。而这一

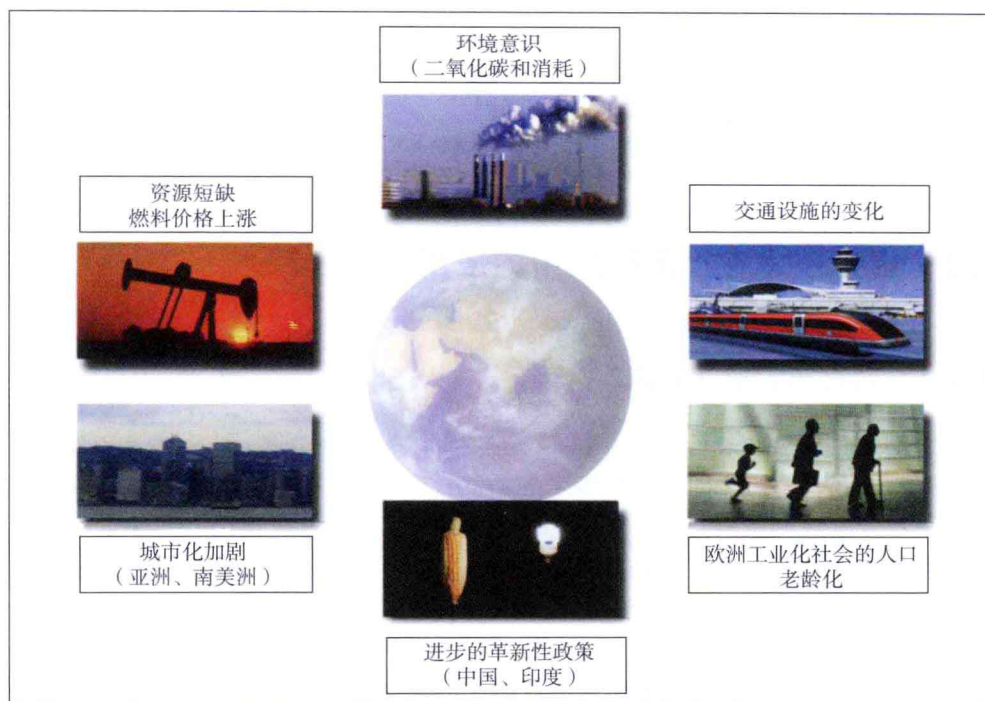


图 1-1 全球趋势

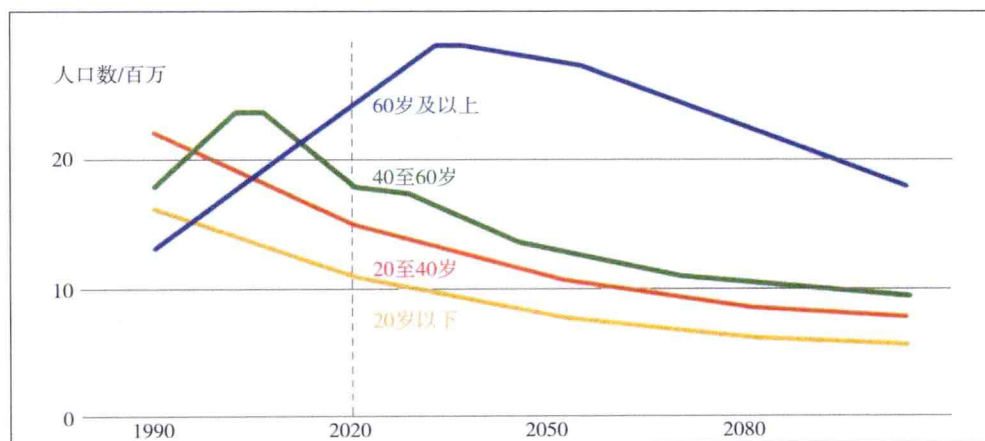


图 1-2 以德国为例的社会老龄化

年龄段的人将会成为汽车消费客户的重要组成部分。我们会说到代加。代加就是以快的增长速度和高的消费潜力为特征的。

这群人希望在他们的晚年享受生活，继续参与丰富多彩的社会活动，同样继续自主自立。活动性也属于他们的希望，而且是他们无论如何都不会愿意放弃的希望。更进一步地，活动性的理念在这群人中起着越来越重要的作用。

全球人口变化、全球化以及不仅在私人范围内，而且在职业领域内不断增强的国际性交往联系，不可逆转地导致了日益增长的流通需求。这不仅涉及需要运输的货物，而且涉及信息和人。

根据不同的情况，德国交通运输研究人员已经制订了一整套的详细预案，以满足地区性交通运输发展的需要。可以看出，在柏林、汉堡、莱茵/鲁尔、莱茵/美茵、斯图加特和慕尼黑地区的交通运输需求明显增长（图 1-3）。

与此相关地，正如在图 1-4 上也可以看出这些相应地区预期的人口变化情况：东部地区的人口减少；而柏林地区的人口则在急剧地增加。不过，最快的增长应该首先是出现在南部，即所谓的“大慕尼黑地区”。

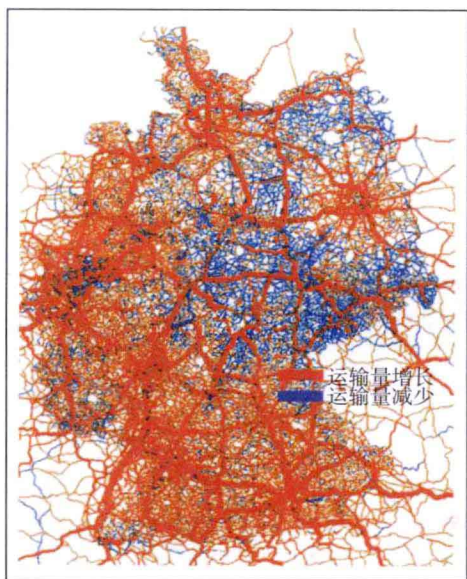


图 1-3 德国交通运输量的变化情况

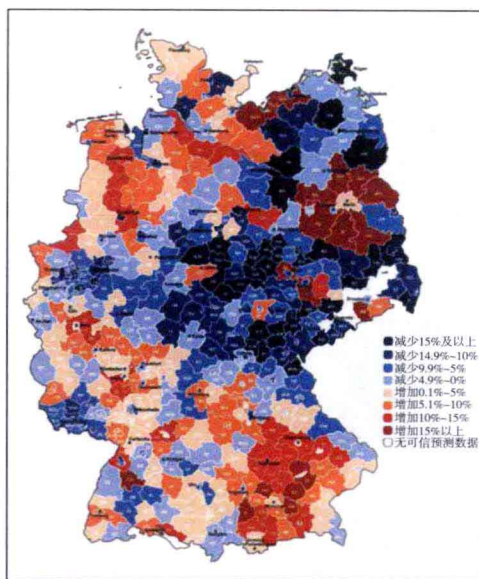


图 1-4 德国人口迁移状况一览

1.1.1.2 变化的顾客期望所提出的要求

除了准确把握全球性的变化和这些变化所带来的影响外，及时地了解并且回应顾客的需求愿望，对于一个企业的成功来说至关重要。

个人对于独特性和唯一性的愿望，一一对应地反映在顾客的购买行为之中。不断地突出差异性对于提高销售量是十分必要的（图 1-5）。

更有甚者，顾客总是希望汽车要按照个性化的特征来进行构造。以市场为导

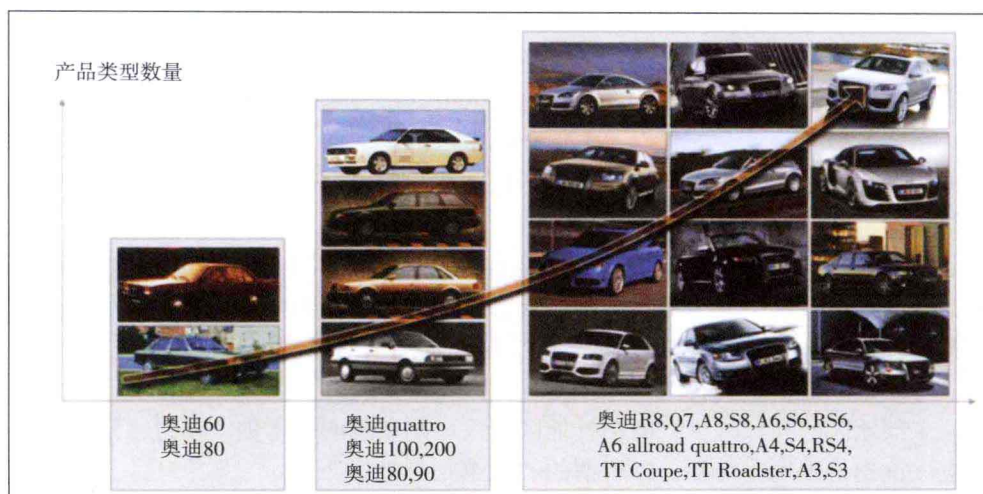


图 1-5 产品的类型随时间不断增加

向的革新，就正是这个意思。亦即严格地按照顾客的意愿来实施独特的选择性配置。由此带来了组合和变化的多样性。而这种多样性所引发的产品复杂性（图 1-6）则既必须在产品的研发过程中、又必须在产品的制造过程中得到消化。



图 1-6 产品的革新引发了产品的复杂性

汽车以仅仅同一颜色、同一样式和同一配置来大批量生产的时代——就如同亨利·福特只是经过一次推介就将T型车成功地市场化一样，是一去不复返了。

尽管差异性和复杂性在不断提高，顾客也不会再接受比较长的“等待时间”。这是个竞争激烈的领域，更多地要求汽车制造者必须总是以独具魅力的产品和革新手段成为占领市场的第一人。产品从研发直至市场化的时间（市场化时间），变得越来越短了。这样一来，对于研发来说，尽管复杂程度和多样性大幅提高，研发的时间却是越来越短（图1-7）。当然，在此过程中，最高的质量标准是必须遵守的。

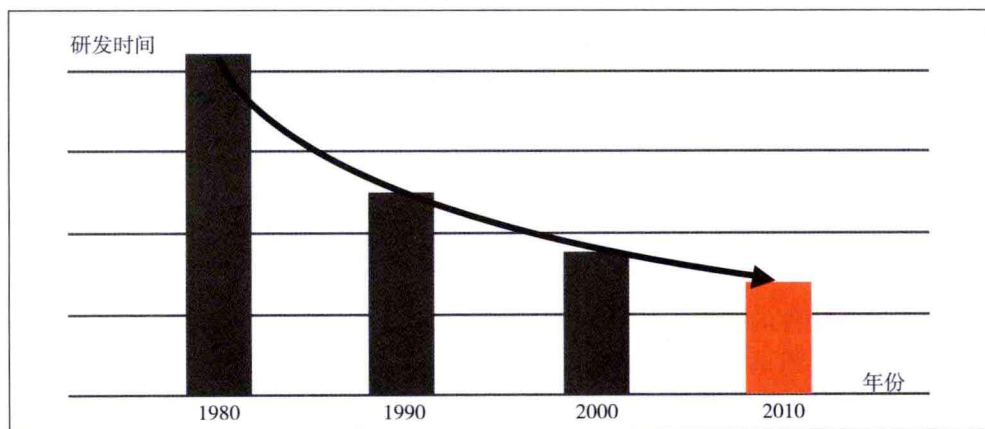


图 1-7 新产品的研发时间在缩短

1.1.1.3 新的途径

汽车的研发过程必须与图1-8所示的影响因素相适应。如果继续沿用传统的研发方法，似乎只会产生对于研发人员和原材料的这样一种资源需求，即一种也许不会给企业带来经济效益的需求。

成功的关键在于，在产品的整个研发过程中，坚持不懈地运用虚拟研发方法。这些方法不仅要在产品的早期研发阶段贯彻实施，而且要作为软件版本和硬件类型不断推陈出新的保障措施来强制执行。

1.1.2 产品研发过程和虚拟研发的作用

1.1.2.1 产品研发过程中的同型变化

在产品开发过程中，仿真所起的作用越来越大。仿真过程能够充分地满足人们的期望。它在很大程度上有助于：

- 1) 缩短研发时间。
- 2) 掌握不断增长的种类多样性。

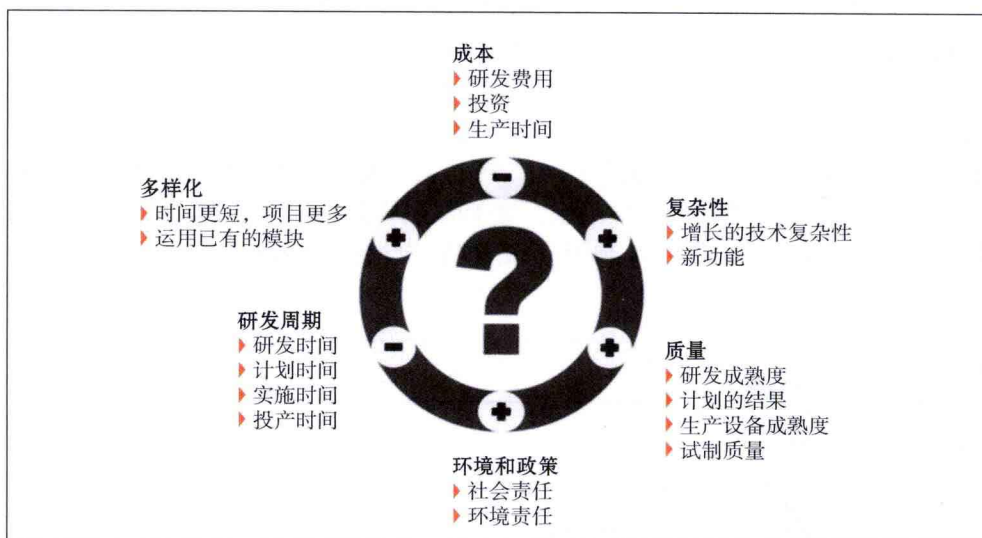


图 1-8 汽车工业面临的现实挑战

- 3) 减免硬件的消耗。
- 4) 提高样机试验的质量。
- 5) 扩展试验的可能性。

下面的图 1-9 阐明了虚拟研发的目的。即通过早期的功能设计，使得新研发汽车的成熟度在概念阶段就达到一个较高的水平。只有在研发早期即已达到

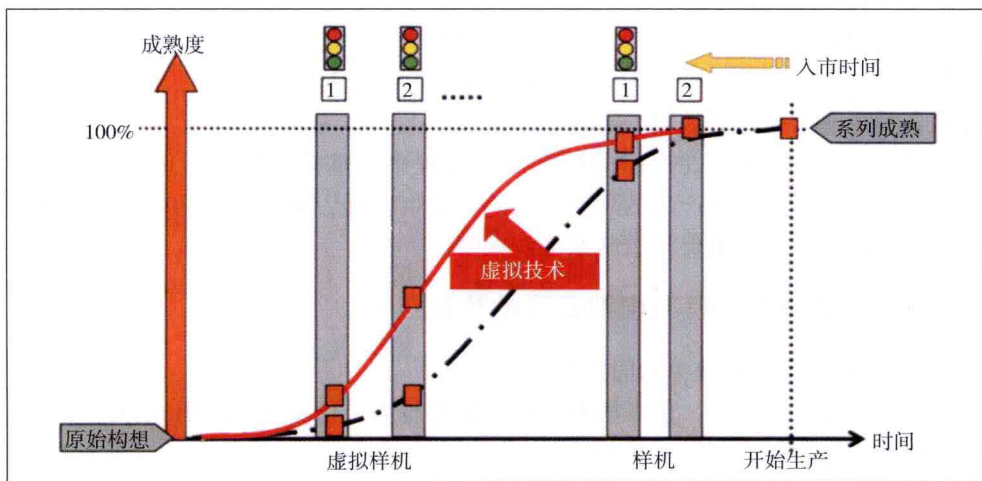


图 1-9 研发过程中的成熟度

较高的产品成熟度，才能使缩短产品研发时间及缩短产品的入市时间（Time to Market）成为可能。

1.1.2.2 研发过程的同步

在传统的研发过程（图 1-10）中，汽车的零部件（动力系统、底盘、传动系统、电器、配置等）都是在制造出第一辆车（例如样机）之后，才得以相互协调匹配的。因此，研发工作的同步只能出现在研发过程的后期。

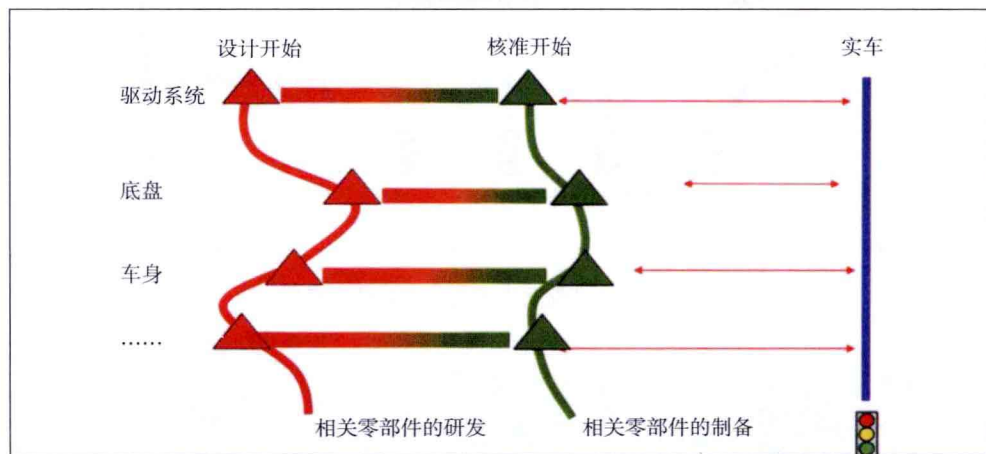


图 1-10 以右端的硬件同步为特征的传统研发过程

与此不同，在虚拟的研发过程中则集成了虚拟的项目进程。根据这些进程，零件不仅必须在几何尺寸上、而且必须从功能上相互验证确认。这种在“虚拟样机”上功能的一步步叠加，使新开发汽车的成熟度提高，并且使得这种成熟度具有透明的可测量性。由于硬件的不相关性，能够同时对各种功能进行试验。这样的一种相互关系，人们称为同步过程（图 1-11）。

1.1.2.3 数据库

为了支持这种成熟度工作模式，全部与之相关的所需数据和信息都必须相应地进行组织和管理。创建一个跨学科的数据库是非常有意义的。这个数据库就像服务商一样，以一种与项目管理紧密协调的方式，把数据准备过程组织管理起来。数据库要完成的任务如下（图 1-12）。

（1）数据

- 1) 数据内容。
- 2) 详细程度。
- 3) 为相应用户设定运用时间和配置。

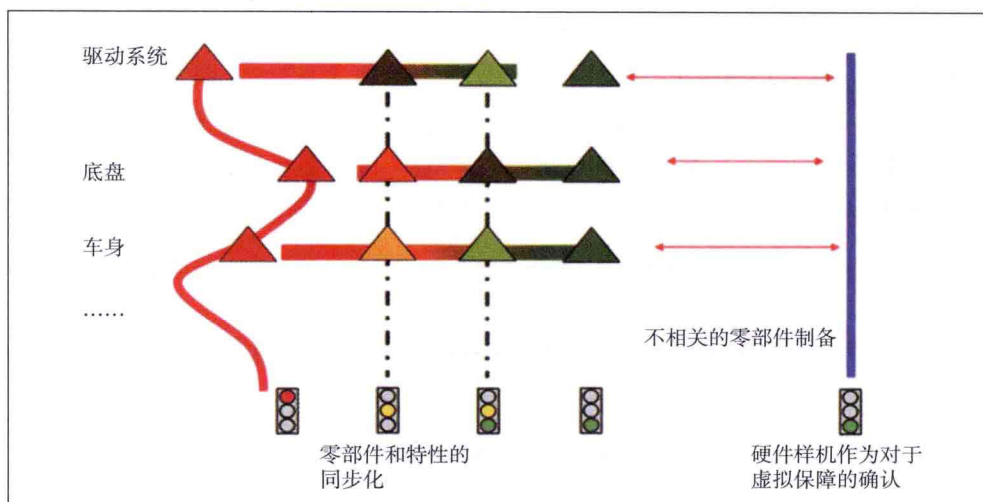


图 1-11 同步过程发生在硬件之前的虚拟研发

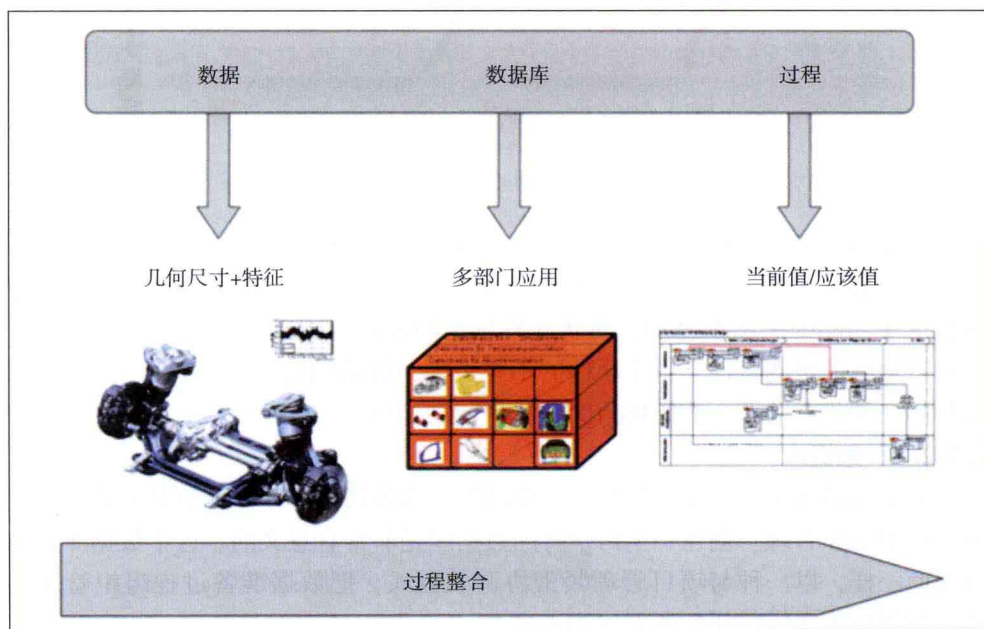


图 1-12 过程数据库的工作任务范围

- 4) 专业化的数据处理。
- 5) 数据跟踪。