

《国外机械工业基本情况》参考资料

国外机电产品设计方法概述

第一机械工业部技术情报所编

第一机械工业部技术情报所

国外机电产品设计方法概述

一机部技术情报所编

(内部资料)

*

第一机械工业部技术情报所编辑出版

机械工业出版社印刷厂印刷

中国书店(北京琉璃厂西街)经售

*

1978年11月北京

代号: 78-13 • 定价: 0.26 元

目 录

绪 论	1
第一节 国外机械工业常用的产品设计方法	3
一、组合式(或“积木式”)设计	3
二、内插式设计	4
三、外推式(或“模化”)设计	4
四、开发性设计	5
第二节 新产品的开发研究设计	5
一、新产品开发研究的设计程序	6
二、开发新产品的工程技术分析方法	8
三、新产品开发设计与质量可靠性	11
第三节 商品化的生产设计	13
一、生产设计的任务与内容	13
二、生产设计以标准化、通用化和系列化为基础	13
三、生产设计的基本原则——简单化设计	15
第四节 电子计算机辅助设计和自动设计	15
一、计算机辅助产品设计及其程序语言	17
二、计算机辅助产品设计的工作方式	18
三、从计算机辅助设计到设计自动化	19
第五节 系统工程设计	20
一、系统设计的基本概念和特点	21
二、系统设计的程序和方法	22
三、大规模系统设计的方法要点	25
第六节 开发新产品的重要措施	26
一、建立“现代化科技中心”,充实工厂的试验研究室	26
二、长年累月收集技术情报,为新产品设计、构思创造条件	26
三、加强研制新产品的组织管理	27
四、大力培养设计人员	28
主要参考资料	30

绪 论

随着各国机械工业的不断发展,新技术大量涌现,机械产品的“改型换代”日益频繁,新产品研制、设计方法也不断改进和革新。

当前,国外机电产品设计工作面临的形势主要是:

1. 机电产品的技术要求日趋复杂化。非但要求产品高参数、大容量(如火力发电机组的单机容量平均每七年增一倍)、高效率、低消耗、成套性和自动化,而且要求产品在严苛的技术条件下(湿热地带、高原寒带、海洋盐雾、空间深冷、冲击、振动和腐蚀等)有更高的质量耐久性和运转可靠性。

2. 新技术从发明到实际应用的周期大为缩短,如电子显微镜为 35 年,燃气轮机为 25 年,数控机床仅 5 年^[1]。

在工业先进国家,从科研成果到第一台商品的制成,平均时间约五年;汽车工业需时更短^[2]。

3. 新技术促进了机械工业制造技术和工艺方法的革新,以及加工的自动化和生产管理的科学化;随着制品生产周期的缩短,要求提高新产品设计的效能。

4. 电子计算机的应用,增大了技术数据和信息处理的能力,促使产品设计采用最佳技术和多方案选择;采用计算机辅助设计或自动化设计系统的厂家,能更快地制出优质价廉的新产品,因而,在商品市场上,压倒了因循守旧的同行业工厂。

5. 系统工程学的产生和发展,运筹学和控制论等理论的完善化,为先进的成套设备设计提供了有利条件。

6. 第三世界工业发展中国家,如巴西、印度和南斯拉夫等的机械工业成长迅速,仿制机电产品的能力日益增强,迫使工业发达国家的机电产品提前改型换代^[3]。因而,许多机床的品种每隔 5~6 年(个别的 2~3 年)改型或改进结构一次,不少机床改为数字控制(NC);大量仪表产品从采用新技术制成,到市场销售的衰落期(或商品“生命期”),平均为 5 年;在重型机器制造中所采用的器件、材料和设备,由“新”变“老”(或淘汰),的平均时间:材料为 11 年,非标准设备和结构件为 8 年,工艺技术为 7 年。

国外机械工业的实践表明:迅速掌握新技术和高速度发展新产品的主要途径是:

1. 加强工业、企业的科学试验和研究工作。把大力开展科研工作,应用基础科学的研究成果,掌握机电产品的基础技术理论,采用现代的产品设计方法,作为开发新产品的基础和先决条件。

国外机电垄断企业根据市场的调查研究,摸清用户对新产品(新技术)的要求,制定了新产品和新技术的科研目标规划,并向科研工作投入了大量的人力和资金。从事发明创造的公司,用于科学研究的费用约占它的销售总额的 7~10%,其中 50% 以上用于研制新产品^[1]。

2. 高度重视产品的改型换代工作。美国企业资本家认为^[4]:工业劳动生产率的提高,包括产品设计、机械与设备、工人的技能效率以及生产量四个要素;并应在统筹兼顾中,把产品的改型换代的设计工作放在首位。因为,合理的产品设计,既保证了设计要求,又能相

对地减少产品所包括的零件数、材料费和工模具，并节约加工零件的时间和人力。所以，产品设计的目标，不是把产品搞得多么华丽，而是要充分保证性能和简化结构。美国垄断公司要求新的设计构思尽快付诸实施，最好让试制车间一天二十四小时连轴转，尽快制出新产品的样机。

3. 建立和推行新产品研制管理和调度工作的新体制。现代化的机电成套设备和重大新产品一般包括新、老零部件的品种成百上千，数量有的在万件以上；牵涉的协作单位也达几十到几百个；生产技术准备文件往往有数百种之多，平行交叉的作业任务十分复杂。据美国哈米尔顿公司于1965年对大量企业的生产技术活动进行调查，发现阻碍新产品发展的种种因素中，50%以上是由组织管理不当所造成的。因此，近年来，国外一些机电设备制造企业都以“系统方法”(System Approach)为基础，建立和推行了新产品研制规划和调度工作的“系统管理”(System Management)体制，以缩短新产品从规划研制到投入商品生产的周期[5]。

4. 发展自动化设计系统及一元化的生产技术准备工作系统[6]。

自1965年，电子计算机进入了集成电路时代，计算能力大为提高；小型及微型计算机相继出现，存贮容量增大也很快，如1977年美国出售的磁泡存贮器容量达80~92 Kb (“千位”)[7]。因此，计算机辅助设计(CAD)的概念已有很大的变化和发展，即有条件的企业除已建立产品自动设计系统(AD)外，正在尝试将计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAM)二者结合起来，组成机械制品生产的整体封闭系统，并使生产技术准备工作一元化；自动化设计的输出既包括产品设计图纸，又包括工艺规程、工艺装备及定额资料等；通常以微型胶卷、磁带、微型数据卡片等形式供应生产车间，从而进一步缩短了生产准备周期和简化了生产技术文件等[8]。

第一节 国外机械工业常用的产品设计方法

资本主义企业的机械制品，都是迎合市场需要而发展的。因此，在研制和设计新产品时，首先进行广泛市场调查，探询用户要求，收集技术情报。据此制定出企业的商业经营政策和新产品开发规划。

新产品的设计，是以过去生产经验的总结、技术知识的积累、科研成果的评价和技术标准等为基础的；并经历了不断的改进过程：1945年前的经验设计时期，产品设计中运用较多的经验算式；所设计的结构及零部件的安全裕度较大。在1945~1965年为加强科学试验和技术分析的时期，其特点是加强了产品及其零部件的试验研究，模拟技术有很大发展，产品的整体系统试验趋于完善化。由于电子数字计算机在速度、容量、外围设备和“软件”系统的迅速发展，自1965年以后计算机辅助设计日渐普及，机电产品的设计进入自动化时期^[9]。

国外机电产品的设计方法，按其采用过去经验及新技术知识程度可分为四类：

1. 以标准化、通用化的零部件和已生产过的部件为基础，进行组合式或“积木式”的产品设计。
2. 已掌握生产技术实践知识的设计，如在两个已有设计方案中的“内插式”(Interpolation)设计。
3. 超出过去生产经验外的设计，即在现有设计中采用“外推式”(Extrapolation)或模化放大式的设计。
4. 建立在新理论和新技术上的设计，与已有正规生产的产品设计大不相同的开发性的新设计^[10]。

一、组合式(或积木式)设计

此法是把产品看为标准元件和装配部件的有机组合，利用不同产品规格的机座与结构件的通用性。凡工业用途广和价格廉的机械产品(如普通机床、中小型电机、水泵和风机等)，都以此设计方法形成标准系列。当有特种规格订货时，企业“三化”的程度可利用电子计算机自动设计，即将合同订单上的技术规范直接加工为设计信息，图纸和制造说明资料等。

在重工业中，采用很多所谓“用户定制”(Custom made)的大型机器，其成本大、售价高，且很贵重，往往要用“量体裁衣式”(Tailor made)的设计方法，以便最佳地满足用户的特殊要求。虽然如此，设计时也要尽量采用已有的标准设计和部件，力争纳入标准产品系列，或使与标准产品十分接近。例如：美国德拉瓦(Delaval)透平机器厂，按标准部件的组合方式完成工业用的压缩机设计，其中标准部件有：

1. 转子锻件 5 种；
2. 透平叶轮 10 种，叶型 15 种；
3. 内部结构装配用的隔板 10 种；
4. 压缩机总装配用的进气和排气端盖各 10 种。

利用上述标准件，根据订货合同规范，能设计规格变化范围很广的压缩机；由进气和排气端盖的不同选择，就可以组成 25 种的外部装配型式。

每个标准部件的技术特征及其应用范围,都是在总结过去生产经验及科学技术分析的基础上事先规定的。设计者可运用优选法,选择标准部件,组合成产品,以达到用户的技术要求;设计时往往要进行几个组合方案的评价比较,最后才使设计定案。

二、内插式设计

此法对有标准系列化的中小机电产品,不大使用;因系列产品中每一容量等级的增量不大;因而,应向用户推荐,采用容量大小合适的标准产品,不必修改设计。

对高技术 (Highly engineered) 产品,此法的使用程度也很有限。高技术设备的问题复杂,需要进行大量的科研和技术开发工作,才使产品设计定型;任何设计的修改,如没有相应的科研成果作后盾,会导致质量、可靠性的破坏。例如,原子能反应堆及航空用燃气轮机等,从一种用途改变为其他用途,只允许极有限的内插式设计修改。

在两个现有设计中作内插式设计,是一般重型机械产品最常用的设计法(对现有生产实践和设计技术的正确的应用)。由于这种设计是在以往生产技术成功的经验范围之内,故设计者只要精心细致地对待,就能通过最小的试验和研究工作,设计出成功的产品;不言而喻,同时也有把握做些技术上的改进。

三、外推式(或“模化”)设计

产品设计中的小范围外推或“模化”,可看作是内插设计的相似做法,但也可能有风险。对实践和技术知识的“外推”,其本质上与“内插”不同。内插法是在已知领域内,而外插法是在未知领域。一般的工程技术实践是可应用于内插式设计的。在已知应用范围内,采用“已存在的设计实践知识”(established design practice)是可保证产品质量的。这种设计实践的性质是半经验式的,属于生产经验与试验研究结果的近似和简化了的综合分析。虽然这种实践不能给出最佳的、精确的技术答案,但在其所依靠的科学试验和生产经验的范围以内,能给出实用性的设计方案。任何外推如果超出这一范围即会产生过去实践的准确性和合理性的问题。例如,1976年11月,英国德来克斯电站的66万千瓦发电机在运行了15000小时后,因发电机转子产生振动而停机。该机的制造商派生斯公司在检查后声称,事故是由于插入发电机转子补偿槽的钢块的热膨胀引起二者相对运动而磨损,导致转子产生裂纹。这种纵向开“补偿槽”的办法,在50万千瓦发电机中已有较多经验,德来克斯事故就是用外推法把50万千瓦发电机延伸到66万千瓦而造成的。这样,该66万千瓦的转子就存在未预见的设计缺陷。现在,全世界的发电设备制造厂普遍认为:发电设备向更大容量发展时,需要更充分、严密的试验研究工作^[11]。

再如,大型旋转机械常用的轴瓦式轴承,如盲目沿用已有的设计实践,进行外推式的设计或不加分析地选用标准品,也会发生重大质量事故;其原因有三:

1. 简化的设计法则或标准,不能包罗全部运行因素。应用设计规程虽能选出较合理的轴承尺寸,但未必能给出一个适当的“转子响应”(rotor response),即合于旋转体的动态特性要求。

2. 将最早订出的应用范围保持明确的定义,尚有困难;因老制造厂的设计部门有时没人知道过去设计实践的基础所在。因此,这类设计实践需要再评价和改进。

3. 经常有迅速的和连续的技术发展使设计实践陈旧。这种技术变化不仅由于设计者应

用的工具在变化,也由于所设计的机械产品在变化。参数、容量和技术条件都有新的要求,设计实践如不改变,就与新产品的发展相脱节。

因此,在现有设计实践基础上作外推时,必须运用基础理论和技术知识,对过去的实践经验进行技术分析,对质量可靠性有疑问的环节,必须作科学实验;把经过分析评价的过去技术经验和新的试验研究成果结合起来,以进行新设计。设计外推量越大,这种技术开发性工作量也越大。

四、开发性设计

美国的机电设备制造垄断公司,把新原理、新技术的开发性设计工作,交给有科研能力的单位进行。如在企业产品设计部门进行则单独组织技术队伍,成立“新设计方案组”以完成从研制到新产品试运行的全部工作。

开发性设计方式也有多种多样。每种方式的工作重点都是放在采用新科研成果和新技术知识之上的。大致有三种类型:

1. 设计可能与原生产的标准系列产品相似,但代表一个巨大的现有技术经验的外推。设计的目标往往是现有产品的改型换代,使成为具有竞争能力的新系列。

2. 设计需要新技术和新经验,对现有设计部门是陌生的,但在其他企业已有这种产品,例如,一个制造厂过去只设计往复式空气压缩机,现要开发和设计大型离心式空压机。

3. 新设计比现有生产技术需要深而远的新技术知识和大量科研成果。设计工作是一种新技术开发工作,也是应用科学研究与生产设计或商品化设计的桥梁。例如,美国、日本和西欧国家,当前所研制的超导发电机,其设计工作即属于这一类。开发性设计既需要大量的材料、样件及原型机的试验,又需要“技术集锦”性的理论综合和分析工作,故属于创造发明性质的设计工作。

综上所述,企业的产品设计可以分为两大类:一是日常生产业务的设计或商品化的生产设计,可按企业的经营规划和用户订货随时进行;所用的设计方法以标准组合法和内插法为主;国外正利用电子计算机,向自动设计发展;另一是企业自主开发新品种的开发研究性设计,伴随着大量的科研和技术分析工作;在应用计算机辅助设计下,其方案需经历多次的反复修改。开发研究设计的新产品,经评价证明可转入生产时,企业即可以此为基础,进行商品化的生产设计。

第二节 新产品的开发研究设计

把新的科学发现及有关的基础理论和应用科学(设计理论、新材料、新工艺等)的研究成果利用到生产中去,使成为一种新型的技术装备,中心环节是做好技术开发研究工作。一般来说,这类工作包括两大部分,即:

1. 机能设计研究:对新产品的结构机理和技术性能进行开发研究,使达到一定的设计目标或技术条件的要求。这是“软件”性质,属于“系统设计”的范畴。

2. 结构设计研究:包括细部设计,研究新产品的机构形状,尺寸,材料选用,模型等,这是“硬件”性质,属于机械结构元件(机械零部件)设计的范畴。

以上两种设计任务的表达方式见表 1。

表 1

类 别	机 能 设 计	结 构 设 计
表达方式及工作成果	1. 技术规范书 2. 设计计算书 3. 曲线、图表 4. 计算数式 5. 基本布置图、系统图、外型草图、估价图等 6. 辅助草图及说明 7. 标志或记号图	1. 零件图 2. 分装配或部件图 3. 新产品总装配图 4. 原型机、模型等 5. 技术说明及图纸等
工作性质	软 件 系统设计	硬 件 机械、零部件设计

由上可见,设计工作是将新的设计构思变为具体的实物。设计者所掌握的有关技术理论、技术经验和各种设想,需用图形、数字、算式及记号等叙述出来,以便直觉的分析、评价、判断和修正,而达到最佳的设计方案。在此过程中,把各种技术经济因素合理地按顺序排列起来,从而定量地掌握各种机能、特性与规格等,最后用尺寸链、零件、部件及整体结构等,将设计要求和构思具体呈现出来。为此,设计时必须运用有关的基础或技术理论知识,如机械力学、材料力学、机构学、弹性力学、塑性力学、流体力学、热力学及电磁学等,进行大量技术分析、综合和验证。因此,新产品设计是一种十分复杂而细致的工作,必须有一整套科学的工作程序和方法。

一、新产品开发研究的设计程序

机械工业的新产品,从提出任务和实验室出成果,到商品化生产,在工业发达国家,大体上经历五个阶段,即:技术情报收集、应用研究(前期开发)、设计开发(后期开发)、生产准备(生产设计)和正式投产〔12〕、〔13〕、〔14〕。

第一阶段:收集和整理国内外技术情报,包括基础理论及应用科研成果,技术特许专利,市场调查和商品行情,用户对老产品的质量评价及索赔意见,市场竞争性的产品特点,以及有关产品设计规范及标准资料等,如美国 IBM 公司对所销售的 370 系列电子计算机,在两年内曾研究分析了上千个用户的意见,并结合预测条件的变化可能性,如新材料和新工艺的可能采用等,拟定出新产品开发研究的目标,形成新产品的构思或概念,订出新产品的初步技术规范。

在此阶段,对拟定的新产品目标,应按下列项目予以评价:

1. 新产品开发目标的技术评价:提高质量、改善性能和降低成本的程度,技术实施的可能性,与现有产品的配合,系列化的可能性等。

2. 市场适应性评价:市场需要程度,生产批量大小的预测,与外厂同类产品的销售竞争是否将占优势,销售后被人仿制的可能性,在市场的销售寿命周期等。

3. 费用评价:技术开发的困难程度及开发费用的估计和回收期,投资的利润率,对企业利润贡献程度,利润损益的分歧点等。

4. 其他评价:如材料及标准零件是否容易到手,是否另加研究开发;工厂批量生产时是

否需要技术改造；新产品的包装运输有无新的开发要求。

经评价得出合适结论后，才决定着手开发研究。

第二阶段：根据第一阶段拟订的新产品构思设计及其技术规范，开展新产品的工程技术分析（Engineering analysis）和试验研究。这一阶段可称为应用研究或“前期开发”阶段，其主要任务是通过运用基础技术理论，对新产品整体及局部构思和技术目的，进行科学分析和试验，以克服发展新产品的技术难关。一方面，大量的研究分析课题是以产品为对象，采用新原理，同时研制新机构，并进行模拟试验，使原来的新设计构思与技术条件完善化；另一方面，也可能有一部分课题是与基础研究相交叉，带有“学科性”，不能以某一种新产品为限制条件；例如，可能牵涉到自然科学理论的延伸和深化，基础测试技术的应用研究、特种材料物性的微观研究等，这时，应用研究将渗透到基础研究中去。在这一阶段，将积累大量的技术数据，编制出新的技术计算公式等，为进行新产品的 basic 设计，即具体的机能和结构设计创造条件。

当前，国外对热核聚变反应堆及智能机械人等的研究，仍处于应用研究阶段，而磁流体发电装置、燃料电池、自适应控制机床，群控机床及生产电子器件的特种设备等基本已完成应用研究，而进入新产品设计开发阶段。

第三阶段：是新产品的开发设计或称“后期开发”阶段。这是在上一阶段的研究分析和试验成果基础上，具体对新产品的机能和结构进行设计，并试制出“原型机”，通过型式试验和评价，如认为已达到新产品开发目标，则将试制结果，整理成“基本设计”资料，连同原型机，移交工厂，以便作商业化生产的设计。

在进行开发设计时，按新产品的构思设计的复杂程度，将产品整体分解成几个主要部分，拟定每一主要部分的性能规范，进行设计的分析与综合，使之图样化和数值化，在各部分之间取得协调，然后组成整体，并验证是否达到原订规范要求。此时，往往须提出多种设计方案，进行对比，使之最佳化。研究开发新产品的机能，一般从三方面入手：

1. 针对新产品的使用要求，研究其基本性能规格。例如，在设计新机床时，须研究其加工内容，工件尺寸，加工精度，进刀速度，切削速度，进给力，主轴速度，主轴功率及容许重量等。

2. 除基本机能外，研究其操作与安全等的适应性机能。例如：产品的质量耐久性，运行稳定性，可靠性，寿命；维修难易程度，零件互换性，与其他产品的关系；对环境条件的适应性；外观形状等。

3. 辅助机能的研究，即制造、检查与运搬等过程的必要的二次机能。例如：加工、装配、检查和测定用的基准及重心要求；加工装配和运搬用的辅助装置设计等。

在开发设计新产品时，产品机械结构应力求简化，避免不必要的复杂性，以简化对材料、零件和加工条件的要求；同时，对新产品成本，亦应分析、预测或估计。

第四阶段：进行生产设计：首先将开发设计（基本设计）资料加以消化，结合工厂制造条件，在基本设计所提供的指导性的基本结构及技术数值规范下，作补充的机能设计和细部设计，对零件、部件及结构要素进行详细的检查，对各零部件的材料、形状、尺寸、加工工艺方法，热处理，装配方法，检查方法等都加以确定，以适应商品化生产的要求（最终以制造图纸、采购规范和制造技术书等形式出现）；同时，进行车间的设备调整和技术改造，以便小批试生产，以及研究和确定正式投产的问题。

第五阶段：进一步使设计资料完善化，调整工艺装备及设备，增加试生产批量，转入正常生产。

新产品的研究开发和设计程序如图 1 所示。在电子计算机辅助下，近代新产品的开发设计是一个寻求最佳设计方案的反复过程（Iterative Process）〔15〕〔16〕。

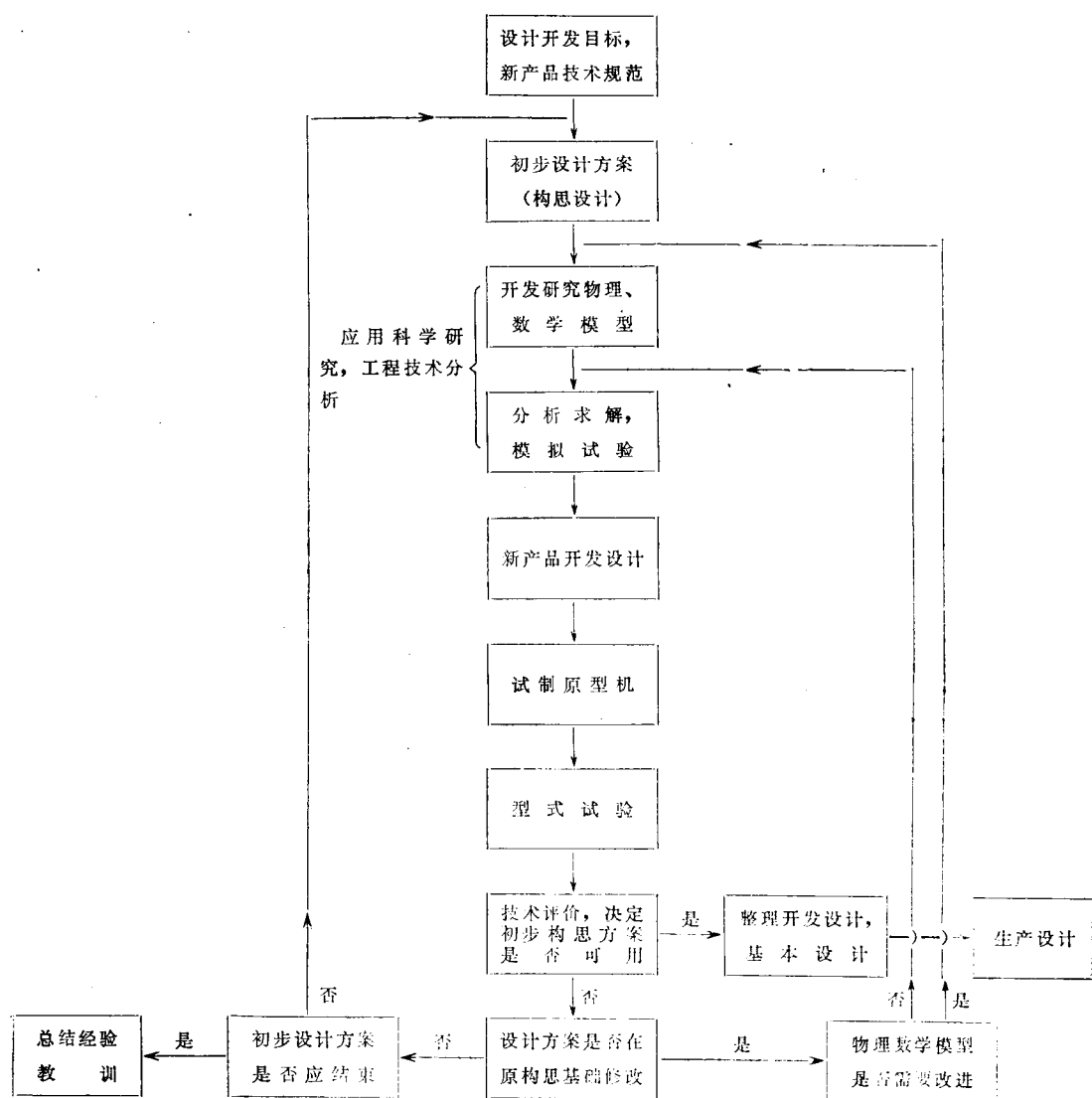


图 1 新产品的研究开发和设计程序

二、开发新产品的工程技术分析方法

在新产品的开发设计中，存在大量的技术分析工作。例如，一个庞大的科研队伍从事复杂产品（如核反应堆）的研制，或由一个设计员确定新型开关的弹簧片，会遇到不同的技术难题，而必须作试验研究和技术分析。因此，对于近代新产品和成套设备的开发，是把构思中的对象（或目标），看作是一个“元件组群”或“大系统”，首先将它分解为若干个元件或

“子系统”，然后对每个元件或子系统进行解剖，明确其牵涉的技术问题，加以研究解决。换言之，把整体新产品或大的“系统设计”解析为一系列的单独的小型设计问题。对每个设计问题都在运用物理法则的基础上，订出数学模型，进行定量分析和试验比较。如试验结果不符合计算预测值，则需检查数学模型是否精确，测试技术是否完善，必要时修改数学模型和重新试验，可能反复多次，直至试验结果导致变化设计参数的最佳值的选择。这里，不仅为设计一个最优元件打下科学基础，而且往往会使技术基础理论向纵深发展，产生新的设计计算数据和公式，且可推广应用于同类型新产品。技术分析的工作程序大致如图2所示：

1. 设计技术问题的定义

明确要解决的技术问题的定义是订出解题的目标，并须对问题有定量的答案要求，例如：要求某机械新产品的功率为若干千瓦，及其温升不高于 60°C ；某机械零件的内部应力和应变的限值，其过渡振动的振幅在5秒后以0.1毫米为限等。此外，还应估计成本及完成技术开发的时间。有经验的技术分析者可从技术情报及文献中，找出相类问题的参考解答。

2. 制订模型

首先，以具体物理实物状态的理想化、近似化和假定化（因时间、费用、材料及生产条件等的制约，不得不如此），制订“数学模型”。数学模型是解决技术物理问题的数学程序，它可包括一个简单的数学方程、一组方程、一个描述计算程序的流程图或一套计算机数学计算程序语言。新产品的技术分析者，除利用现有技术手册中的计算公式外，还以研究制备数学模型为手段，有系统地运用物理法则和数学工具去分析技术问题；在有限的时间和成本内，开发一个更完善的数学模型，以便解题和定量地求得答案。在制订模型时，还根据已知技术条件和选择的材料，选定一些技术常数，如弹性系数，比重、密度、粘性系数、热传导率、热膨胀系数、摩擦系数、比电阻等；有些常数也可作为“集合参数”（Lumped parameter）处理。通过数学模型，就可运用模拟技术理论，订出物理模型、模拟计算机模型以及数字计算机模型；有时三者相互结合，组成混合模型，对所研究的元件或子系统进行全面模拟试验。

3. 物理法则的运用

物理法则主要包括机械力学、机构学、弹性论、塑性论、材料力学、摩擦磨损学、流体力学、热传导论、能量转换论及电动力学等中的基础理论与方程式，技术分析者针对所研究的对象，利用有关学科的理论法则，作好技术分析；从基础理论到联系实际的应用，也须做具体的研究工作。例如，当前，在数学塑性力学中，虽有很多理论，但塑性材料的实际应力与变形的关系，仍难用准确的数式或数学模型表达，而有待进一步研究。

4. 计算与验算

电子计算机是工程技术分析用的强大工具，使设计计算方法发生了根本的变化；已广泛

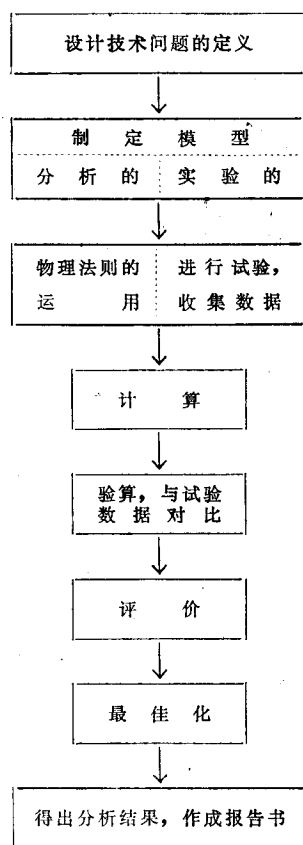


图2 设计技术分析的程序

用于机、电产品的开发设计中，使工作效率提高了若干个数量级（据称，一台电子计算机可取代145名设计计算工作者）；以往难解的方程，现均可用计算机取得数值的解法；模型试验的数据处理也用计算机完成。所以，作为一个现代设计人员，在从事技术分析的工作中，如缺乏运用电子计算机的知识与经验，应用新理论和新技术将感到很费力。

在技术分析过程中，必须分阶段地或有重点地检验计算和试验结果，以便及早发现矛盾并及时解决之，验算的方法如表2所示：

表 2

检 查 的 方 法	检 查 结 果 表 达 方 式	
	数 值 式	文 字 表 示 式 (方 程 式)
数学的方法	同一计算式，反复计算，反向的计算，用另一种方法计算	同 左
工程经验方法	根据过去经验，对照验算 用实用算法验算，用数量大小顺序排列方法	度量验算法，极限值比较法，倾向值验算法，符号校核法，相关连的因子数比较分析方法

在计算时，所需用的近似数学运算法，有一元方程式解法、矩阵法、图式解法、试行错误法、微分方程式的数值解法、数值积分法、差分方程解法、有限元素法等，以上均可编成软件，利用计算机完成运算。

5. 评价与最佳化

对所研究的问题，经过技术分析，得到的某些数量、数式或其他表示式答案等，还须从较广的领域角度作评价研究。计算者所设定的数学模型、模拟试验和预期实物及其试验结果，将会有差异。评价的任务就是在实物未制出前，用科学的方法推断理论与实际相接近的程度。例如，对技术分析的结果——部件的形状尺寸，机构的运动、位移、速度，全重量与重量分布，机械振动数、惯性力、摩擦，应力、变形、疲劳，流体的压力、流速、流量，动力和动力消耗等——加以评议。在发现明显的不合理时，应从头分析研究，检查数学模型；必要时，改进模型，再做试验，以求技术分析的结果合理和最佳化。如美国福特汽车公司1967年开始研制高温燃气轮发动机，决定采用全陶瓷气体流道，设计目标是发展一套不冷却的陶瓷部件，其运行温度达1350℃；其设计技术的分析任务，是与新材料和新工艺的开发密切结合为一整体。陶瓷是脆性材料，抗压性甚强，抗张性很差，变形裕度很有限，强度性质有较大的变化；这些特点都与脆性材料的缺乏耐久性及屈服强度有关。因此，该公司设计开发部门为正确地对待陶瓷材料的特征，首先抛弃了常用于延性材料的传统设计方法，而采用理论周密的概率论设计分析方法，充分运用统计学等理论工具，使设计满足质量可靠性的要求；同时，确立了模型研究试验及有关分析工具，力求在决定机能设计与结构“响应”时，将误差减至最小程度〔17〕。

根据上述原则，对采用全陶瓷燃气轮机的转子，按以下的分析程序以确定设计开发方案：

1. 设计目的定义及制约条件：根据空气热动力学理论，设定温度负荷；明确性能要求，惯性，瞬变状态；提出几何学的封装要求；耐久性和寿命（100000英里）以及成本指标等。
2. 选择设计“构思”方案：进行初步技术分析和试验，选择材料与制造工艺，拟定结构造型及部件排列组合方式。

3. 设计构思的完善化及最优化: 进行模型试验, 从宏观的装配模型上决定负荷及边界条件, 作细致的应力分析及强度分析, 争取最大强度的最优化。

4. 质量可靠性分析: 从负荷及强度的分布, 用先进的质量控制与机械证明方法, 判断元件和系统的质量可靠性。

5. 设计构思的验证: 通过装配试验及原型发动机试验, 证实原设计构思是可取的。

三、新产品开发设计与质量可靠性

近代机械工业产品的发展要求, 是设备成套和自动化, 品种复杂、高参数和大容量化, 高效率、低消耗和维修简易; 特别强调产品必须有更高的质量可靠性或可信性。在大工业生产系统中, 那怕是一个很小的元件故障, 都会造成严重损失。为此, 在新产品规划、研究开发、设计和制造阶段, 都评价质量。在开发设计之前, 预测质量的可靠性, 研究试验检查的方法。为了给产品质量可靠性设计作准备, 经常收集有关产品的制造、包装、保管、运输、使用和维修的意见和数据, 加以分析, 并反映到新产品的开发设计中。

1. 拟定质量可靠性的定量设计目标

质量可靠性可用“可靠度”来衡量, 即指设备系统、主机、辅机、机器部件及元件等在规定的使用与环境条件下、规定的时间内(或距离、周波、次数等), 能保证正常性能的概率。同一产品所规定的使用条件和时间不同, 质量可靠概率也不同。

产品故障有两大类: 即破坏性故障(如灯泡烧坏了即成废物)和劣化故障(如机床使用一个时期后精度降低)。前者的判断轻而易举; 后者的判断必须做质量试验研究, 及调查分析现场的使用记录。

机器设备是耐久性产品, 不能因发生质量事故而抛弃, 必须易修保用。从故障发生时起到修理保全时的概率叫做“保全度”。容易修理的产品具有广义的可靠性: 即无故障的可靠度及易修复的保全度。广义的可靠度又称“可用度”。对于成套设备系统, 也要求综合质量的可靠性, 即系统有效性——可靠度、可用度及实现机能概率之乘积。

在开发设计时, 应拟定新产品的可靠度指标及其在各个零部件的分配水平。对于成套设备, 辅机、元件等的质量可靠度, 必须大于主机之质量可靠度, 以保证整体系统的质量可靠度。

当前评价质量可靠性, 广泛应用的时间尺度如下:

不能修理的产品——平均或有效寿命, 如日本横河公司规定其“I系列”电子仪器的有效寿命为10年(日本工业标准);

可修理的产品——平均故障间隔期或平均检修间隔期, 如美国西屋电器公司规定其“地下成套变电设备”投入运行后, 可十年不检修。

2. 提高质量可靠性的设计方法要点

质量可靠性包括产品固有的可靠性和使用的可靠性; 前者是先天性的、主导性的, 由设计和制造者负责保证; 后者须由使用者合理维护保养。为了提高产品的固有质量可靠性, 合理的设计, 正确的施工制造, 以及生产过程中严格的质量管理等都很重要, 其中设计方法是首要环节。新产品开发设计是创造性的活动, 不仅要考虑新产品的质量可靠性与保全性, 而且须研究产品的全部质量特性, 以及成本等。为此, 在设计时须注意以下几点^[18]:

(1) 加强设计开发规划, 根据拟订的设计总目标, 进行分析, 分成细目, 逐一订出日

程、明确其质量可靠性的关键问题，研究解决进度，评价方法，所需条件费用等，逐项落实并及时综合平衡。

(2) 有计划地积累基础技术数据，如科研、材料、工艺、应力分析、环境试验数据、新型元件、回路等，编成技术及质量可靠性手册、图表和标准零件表，以备设计者选用。

(3) 运用系统工程理论，进行产品可靠性设计。首先使整个产品或全系统、子系统及元件的质量可靠度与保全度定义明确，并有合理的定量分布。研究适当的评价法，具体的评价尺度和评价时间。为了整体产品的高度可靠，高可靠度的元件用于高处，低可靠度的元件用于可低之处。如照明灯泡即使损坏对整体系统无大的影响，但信号回路中的灯泡有重大标示作用，损坏时影响大，必须用寿命长的灯泡。

机械系统用的部件及回路应标准化、组合化、积木化。根据实践经验，为保证外插式或“模化”设计的可靠度，须通过试验以验证计算。有些产品的重量和体积限制很严，但可靠度要求甚高，必须选用特制的螺栓螺帽等紧固件等。

对油压、空气系统，应强调耐高压及耐爆破的安全性设计，并能抗污染及恶劣环境条件。为了安全运行，重量与体积限制须与质量可靠性要求相平衡。

(4) 为了实现可靠性设计，设计者必须重视和慎重选择各种元件和外购件，特别要弄清楚元件与外购件的质量水平和使用条件。必须筛选零部件，并作必要的“降格”(derating)使用。应编制选用材料、元件推荐表，以及重要元件与劣化元件的可靠度表等。

(5) 在进行开发设计时，须对材料、元件及部品样件进行大量“临界试验”和寿命与使用故障试验。根据试验结果，调整各部件的应力限度，明确应力及安全界限。对选用的电子器件，应适当地降低其定额值，通常只用其商品规定值之10~15%，但亦应考虑可靠性与经济效果的关系。须从质量、容积、重量和成本等方面全面综合分析。

(6) 设计时要注意研究产品及其零部件的耐环境性。很多材料有劣化倾向，往往因热负荷、振动等环境应力，尘土、潮气、锈蚀及排气污染等随时间而质量下降。在使用材料时，必须从环境条件考虑而留有余地；同时还要采取防止物性劣化的设计工艺措施，如加隔离罩、密封、胶封、涂漆、改善包装等。在开发设计阶段，必须有周详的耐环境性试验计划，及种种的组合设计与工艺措施；在得到试验结果和评价后，纳入设计中。

(7) 设计标准化、简单化是提高质量可靠性的有力措施。简单化的产品，元件品种数量少，故障机率小。在标准化的设计中，以用成熟的技术数据为多；部件典型化、元件互换性大，检修容易，保全度高，为用户所欢迎。

(8) 开发设计新产品时，必须研究人与机器的关系。为了防止操作事故，设计产品时须考虑到人的生理条件及心理状态，确实做到产品操作方便，保养容易，使不因人们的疲劳而发生意外的误操作，例如，加连锁装置和保险装置等。

(9) 在研究开发新产品时，需要同时进行开发新的测试、试验与检查技术，如新元件和材料的耐应力等机能试验法，试制阶段的分装配试验法，分系统调试法，投产后的零部件检查和成品出厂试验程序与新方法等。

第三节 商品化的生产设计

从完成新产品开发研究设计的任务，即做出“基本设计”，到投入生产，在工业发达国家的机器厂里，还要以前一阶段的成果为基础，做好细致的“生产设计”，以保证新产品能够商品化。

一、生产设计的任务与内容

生产设计的任务，是在基本设计中主要机能、结构和指针性的技术数据规定下，结合本企业制造条件，作出补充或更细致的产品设计。在进行生产设计时，必须对产品整体结构和各个零部件，从工艺材料等角度，作更周密的研究；对结构要素及每个零件进行“细部设计”，从而确定各部件的材料、形状、尺寸、热处理等工艺要求、装配方法、检验方法等。同时估算每一部件的成本。总之，生产设计是以最有利于本企业为目标，提出完整的制造图纸、外购协作件及材料规范、制造技术指示书，以保证新产品顺利地进入试制和生产的阶段。

为此，生产设计者必须充分掌握本企业操作工人的技术水平，设备制造能力及加工精度，原材料及外购件供应状态，装配能力，质量管理水平，以及市场流通同类产品的质量、价格、交货期等最新情报。在本企业生产作业计划、工具准备和设备计划等部门的协作配合，及充分发挥本企业生产能力的原则下，选择最佳制造方法，处理好设计图纸和工艺指示等文件。

在生产设计时，为保证实现产品及其零部件的机能指标，对工艺方法如铸造、锻压、焊接、模压、棒材加工、板材冲压、表面处理等，必须结合零件的最终形状、尺寸、重量等作慎重的分析研究；在评价优缺点时，还需考虑制成品之成本及交货期等要求。

生产批量的大小直接影响或决定生产设计的性质。在生产量很小或单个生产时，由开发研究设计阶段试作出的样品或基本设计，如果适用于最终成品要求，即在满足用户技术条件的前提下，就可照原试制品采用，或将原基本设计稍加修改后即予投产，以加速实现新产品规划。但对生产批量大，使用面广的产品，为了降低生产成本，尽量缩短生产周期，使产品在国内外市场上有竞争能力，则对生产设计须下大功夫；这时的设计活动应不同于前一种多从制造角度考虑，而是以“面向用户”为重点，使商品化的产品成为“名牌货”。

设计技术与生产技术是互相渗透和互相促进的，生产设计必须随企业的生产技术革新不断改进和提高，设计必须符合制造技术的实况；生产设计时还要注意采用现代化的设计作业工具与手段，如电子计算机、自动绘图机等，以压缩技术准备时间，促进生产设计最佳化。

二、生产设计以标准化、通用化和系列化为基础

生产设计的产品型式、结构、零部件、元件等的“三化”（即标准化、通用化、系列化等，）可使制图简单化，不但能提高产品设计的工作效率，更重要的是在制造时能使质量稳定，成本降低，工期缩短和零部件互换性增大，并为大量生产和专业化协作创造优越的条件。

件。

1. “三化”对技术发展的重大意义

广义的标准, 包含测定单位的基准, 语言符号的定义, 产品的型式和材料性质, 产品的技术等级、质量、尺寸, 产品的制造工艺、试验和操作(使用)方法的规范, 以及有关规格等。产品设计者应深刻认识到工业标准及工厂规格, 对指导设计的重要性。

“三化”是长年累月生产实践的总结和科研成果的精华; 可使企业的技术水平普遍提高, 及初进厂的技术人员迅速掌握成熟的技术知识。依靠“三化”, 可防止过去生产中的技术过失和事故再反复出现。此外, 为了制造和设计高质量和低成本的产品, 必须采用“集锦”性、实践过的可靠技术数据; 而创造性设计理论的出现, 及新构思变成成为现实, 也将进一步提高标准化水平。

在机械工业的技术, 日趋多学科和复杂化的今天, 任何一种新产品的的设计, 不能依靠一、两个专业人员, 而必须以“三化”为基础, 由设计者与科研、制造、生产管理人员组成不同形式的队伍, 通力协作来完成。

2. “三化”的技术经济效益

一般规律是: 一个企业的“三化”水平愈高, 向市场提供变型产品、系列产品的能力就愈大。例如:

瑞士勃朗鲍威尔公司 3000 转/分汽轮机, 低压排汽缸为五种标准规格; 从中选用不同规格的排汽口, 可做出 10~170 万千瓦共 20 种不同容量的汽轮机。

意大利菲亚特的拖拉机系列产品, 其发动机为两种缸径(100 和 110 毫米); 在改变缸数、冲程、转速下, 可得到不同马力、等级和参数; 所用轮式底盘为四种, 其中, 一种底盘可用两种或三种发动机配合, 而组成九种基本型号的轮式拖拉机。每一基型拖拉机可变型为四轮驱动, 并搭配成 30 种不同型号的产品, 以适应山地、果园、耕种等各种作业的需要。

西门子威塞尔汽轮机厂, 按积木式原则设计和拼凑各种变型机组中, 即 5 种低压前段分别与 6 种背压后段、8 种冷凝后段, 组成 157 个尺寸的基型; 在变换每一尺寸基型中少量零部件的条件下, 可满足各种规定蒸汽参数、功率和转速范围的要求。另外, 4 种高压前段分别同 6 种背压后段、7 种冷凝后段, 又组成 122 个尺寸的基准, 而提供 134 种变型机组。

3. 生产设计必需的工厂标准

国外机械制造厂家都订有一系列工厂标准, 并要求设计、工艺和生产人员严格遵守和执行;

通用规格——文件分类法, 文字省略法, 工厂用符号, 记号等。

基本规格——制图标准, 设计标准, 计算方法, 标准技术数据等。

材料规格——材料采购规格, 材料标注法, 标准材料表, 材料容许公差, 材料检验法等。

零件规格——标准零件规格, 零件记号, 标准规格零件, 零件详明规范, 设计及加工规定。

通用部件——通用部件规格, 标准组合元件规格, 特性, 检验方法等。

工 夹 具——工具、刃具规格, 工夹具记号, 测定工具及装置, 工夹具设计标准等。

工艺规程——机床精度, 加工条件, 加工记号, 冷却剂, 表面处理、热处理规定, 典型工艺规程, 标准工时计算法, 特种材料作法等。