

北京图书馆藏

68484

中文资料

電器技术

DIANJI JISHU

高压断路器和高压电网论文选编二

北京开关厂

1980

目 录

关于改进电工产品研制和设计方法的几点初步意见	
.....	一机部电工总局总工程师 汤明奇(1)
关于高压断路器可靠性设计问题	
.....	北京开关厂 陆首群(13)
断路器动作参数测量的光电计数方法	
.....	清华大学 王伯翰(33)
SF ₆ 断路器喷口电弧特性的分析及喷口设计判据	
.....	北京电器研究所 袁文川(41)
500千伏断路器陶瓷并联电阻的技术参数、检验方法和可靠性问题	
.....	北京电力设计院 刘 继(60)
关于高压断路器若干抗震措施及其初步分析计算	
.....	北京开关厂 高 汉(73)
断路器非同期非全相动作事故分析	
.....	河南省电力科学试验所 要焕年(84)
SN10—10“小排气”开关合切电容器试验报告	
.....	辽 阳 电 业 局 东北电管局技术改进局 孙业武(97) 北 京 开 关 厂
断路器相间电容耦合系数的分析和计算	
.....	北京开关厂 陆首群(105)
断路器在两线接地故障下切空线试验的必要性	
.....	武汉水力电力学院 陈慈萱(134)
LSJC—35Ⅱ型电流互感器、电场的数值计算	
.....	河北电力学院 邵汉光 北京开关厂 吴植臻(141) 电力部电科院 丁玉瑜



A790223

关于改进电工产品研制和设计方法的 几点初步意见

一机部电工总局 总工程师 汤明奇

(一)

机械工业，包括电工制造部门是国民经济的“技术装备部”。在实现社会主义四个现代化的宏伟目标中，我们担负着光荣而艰巨的任务。华主席在五届人大的政府工作报告中提出：“机械工业担负着为国民经济各部门提供技术装备的重要任务”，要“努力生产各种高质量的机械设备，提高大型的、精密的现代化成套设备的生产水平”。华主席的指示明确了我们电工行业在国民经济中的地位、作用、任务和发展方向。自从中央作出向四个现代化进军战略部署后，使用部门对我们提出了新的、更高的要求。他们希望能用质量可靠的、技术先进的、能量消耗小的和自动化程度高的现代化电气设备武装自己。此外，使用部门也要求我们做到单机成套、机组成套、生产线成套和工厂成套。这就是说，我们不仅要生产成套，还要努力做到设计成套，我们要能按照用户提出的电气化生产流程，进行设计和组织生产成套，为用户做好技术服务工作，使用户拿到“钥匙”后就能“开车”。这就是我们面临的新形势，我们在思想上、组织上和方法上都需要有相应的转变。

建国三十年以来，电工行业从无到有，从修理到制造，从仿制到自行设计，产品的发展基本上形成了一个比较齐全的体系。我们已能供应三十万千瓦的水电和火电的成套电站设备，三十三万伏的成套输变电设备，1700热连轧机为代表的成套电气传动装置，100吨电动自卸车和75吨电弧炉成套设备等。我们有些产品已达到七十年代的国际水平，如整流子变速电动机与日本同类产品的性能指标及经济指标相同；轨道异步电动机已和西欧BBC公司的系列产品相当。辉光离子氮化炉，150公斤~20吨工频感应炉，电子束焊机，等离子焊接切割机，110千伏直降式电炉变压器，以及聚酰亚胺绝缘材料等都有较高的水平。

在产品的设计方面，1953年由电工局组织了电动机和变压器等的统一设计工作，按照苏联技术标准和当时掌握的经验设计方法和部份美国西屋公司技术资料，统一设计了中小型异步电机、中型同步电机、小型直流电机、110千伏及31500千伏安以下的电力变压器，以及一些派生的产品。1954年起引进了苏联和捷克技术，通过仿制，加速了产品发展进程。例如：上海三个主机厂在1955年就生产出6000千瓦的汽轮发电机组及电站锅

炉。通过仿制，培养了设计和工艺队伍，掌握苏联和捷克的产品设计程序、工艺规程和工艺装备的使用技术，逐步进入自行设计阶段，到1958年，国内已能生产25000千瓦的火电站、72500千瓦的水电站和220千伏级的输变电成套设备及工矿电机车设备等。

一九五八～一九六六年自行设计，大有发展。不少行业开始进行了一些科学试验工作，如电机的绕组电磁分析，杂散损耗，通风散热，双水内冷研究，绝缘结构；汽轮机，锅炉的基础技术研究，水轮机的转轮模型试验，变压器的高压绝缘试验和高压电器的断流能力试验等，为六十年代自行开发10至30万千瓦水、火电机组，新系列电机电器，330千伏超高压输变电设备等创造了条件。

文革期间，由于极左路线的破坏干扰，一些电工行业的科研单位“拆庙赶神”，科研停滞，企业的技术资料散失很多，设计工艺的规程制度，破的多，立的少，产品设计方法混乱，工艺纪律荡然，忽视产品质量，成为风气，流毒很大。此外，有些单位把产品的先进性错误地理解为片面追求体积小，重量轻，任意改图纸，“吃裕度”，降低性能要求，不保证产品质量的可靠性。开发新产品时，缺乏试验研究工作，仅凭生产经验设计，以致不少的新产品投产后质量不稳定，不能商品化。总之，前一个阶段，电工行业的技术实质上陷于停顿状态；天长日久，老产品的“市场生命期”已近衰竭，电工企业的生产就陷入了“吃不饱”和“吃不了”的技术经济危机。

粉碎“四人帮”的三年来，大家都在努力整顿提高，团结一致向前看，形势在一天天地好起来，科研和设计工作也有所前进和发展。不少单位在推行电子计算机辅助设计等方面，已获得了一些成果。一九七九年，我们初步安排了电工行业的产品更新换代计划。这一任务是十分艰巨的。在现有产品中，大部分产品是建国以来仿制，或在此基础上改进设计的。多数产品技术经济指标落后，产品质量可靠度不高。属于四、五十年代水平的约占40%，六十年代水平55%，七十年代水平5%。我们必须解放思想，开动机器，实事求是，探寻出新的研制和设计工作方法，才能使产品更新换代工作的质量和数量的两方面都有个飞跃；我们必须埋头苦干，大踏步前进，完成这一历史使命。

(二)

近三十年来，原子能、宇宙航行、石油化工和冶金矿山工业的发展要求不断提高电工产品的技术经济指标。电工产品发展的总趋势是品种复杂化、高参数和大容量化，设备成套和自动化，要求有更高的质量可靠性，维修简易和成本低廉等。为了使产品取得市场竞争的优势，国外技术上先进的企业在大搞科学试验，寻求新技术新工艺和新材料的同时，也不断改进新产品的研制程序和设计方法。产品设计方法的发展可分为以下三个阶段。

1、经验设计阶段

从十九世纪到1945年前，电工产品设计是以基本物理定律和生产经验为基础，运用一些附有经验常数的算式，组成典型计算程序为主要设计方法。所设计的结构件的安全裕度较大，出图后即制成原型样机，反复试验，多次修改，直到满足原定技术条件，即

宣告试制完成。这种方法，只能掌握整机的综合性能，对零部件性能掌握甚少。由于对产品结构部件试验较少，整机试验分析也不深入，对产品临界、瞬变和动态下的研究很不充分。并且，所用测试手段和试验方法的技术水平不高，对产品在运行中的异常现象和后果也不很理解。因此，新产品研制周期长，寿命和质量水平低，材料消耗较大。重型高压产品出厂后，多患“先天不足”的“婴儿病”，需要多方面“医治”，即“完善化”。目前，我们的新产品研制工作大多仍停留在这一阶段。

2、加强技术分析和科学试验阶段

自1945至1965年，国外技术先进的电工企业都充实试验手段，提高测试技术，加强了新产品的基础技术和零部件的试验研究，模拟技术及模型试验不断发展改进；大型电工产品的专用试验台或站更加完善。一方面，产品整机试验渐趋周全，能从各种环境使用条件上，对产品的性能和结构稳定性进行测试；另一方面，对产品的结构部件从材料力学、流体力学、热力学和电磁学等角度进行试验和技术分析，从而掌握了主要零部件的应力应变、弹性疲劳、机电振动和电气腐蚀等特性。这样，新产品的质量可靠性、寿命和效率得到提高、材料消耗降低，产品的更新换代周期也缩短了。

五十年代间，电子模拟计算机及数字计算机，在国外已开始应用于电机和变压器的电磁设计，以缩短设计时间。模拟计算机测算电机在瞬变状态下的运行特性，弥补了新产品型式试验不足之处。

我们在六十年代初期也建立和扩建了一些电工行业研究所和工厂试验室。为加强产品试验研究和技术分析打下基础。但由于林彪、“四人帮”的横加干扰，电工行业的科研基地大受摧残，损失很大。再加，我们原来学习苏联的“初步、技术和施工设计的三段法”，简化成为所谓“扩初设计”和“施工设计”两段，实际上取消了技术分析性的技术设计。因此，我们的火电、水电机组、输变电设备、电动机等只是做了一部分科学试验和技术分析工作；产品设计主要靠“模化”、“比拟外推”式的经验设计方法，还没有真正进入以科研和技术分析为基础的设计阶段。

3、自动化设计阶段

自1965年起，由于电子数字计算机在速度、容量、外部设备和“软件”（即语言加工、编译程序等）的迅速发展，计算机辅助设计（简称CAD），在国外电工企业已广泛的应用于产品设计。CAD系统有两大类：一是广义的、指凡有计算机参与的设计工作系统，如发展新产品的技术研究分析和成套工程的设计计算；二是在生产过程自动化狭义范围内，对一种新产品和零件的设计过程，包括零部件分解设计，编制材料明细表，自动绘图，用智能终端修改图形和设计，直到获得最佳设计，最后输出加工数据纸带，供生产线上的数控装置自动加工之用。当前CAD系统功能大致有三种型式：即数据检查式、试行式（Cut and Try）和会话式。

（1）数据检查式适用于以标准化工作为基础的生产性设计。主要步骤：搞好基本系列的标准图纸，按定货技术条件检查已存入计算机存储器的标准部件与算式，调出最佳图纸及工艺指令等。

(2) 试行式: 通过一个终端显示装置(CRT), 将设计图形显示出来, 由设计者作出判断, 通过软件输入计算机, 将设计反复修改, 使之最佳化。

(3) 人机会话式: 可以通过终端显示器显示图表、图形、零件剖面图等。设计者可用键盘、感应板或光笔在CRT上直接改图, 实现人机对话, 这种方式要求终端带有微处理机, 进行逻辑判断, 具有“智能功能”。例如, 日本东芝公司研究出一种带有CAD的自动生产系统(PAS), 其中使用了检查式和会话式两种设计系统, 用于开关板、电机、自动化成套装置和集成电路设计。该公司利用这种方式设计中小型电动机, 仅标准品种就有150多种、非标准品种有4500种, 若再考虑不同电压、频率、绝缘等级、特性、尺寸形状等技术要求, 产品规格可达10万种以上, 能适应国际市场的多种需要。利用CAD系统, 该公司的生产准备周期缩短为原来的五分之一到十分之一, 大大提高了生产技术水平。

瑞典ASEA公司的电力变压器设计, 也全部采用检索式自动化设计, 籍CAD将9000张标准零部件图形, 计算数据, 算式等以软件形式, 存入计算机数据库, 只要设计人员输入定货产品技术条件, 就可调出110至750千伏的变压器的设计性能数据和生产用图纸资料等。

杭州汽轮机厂引进的西德西门子技术, 工业汽轮机自1至80兆瓦、转速3000~16000转/分, 也是计算机“检索式”或“积木式”设计。它是在程序设计基础上, 运用人机组合的CAD手法, 以适应多规格, 单个或小批生产的订货需要。

近年来, 国际市场需求发生了很大变化, 电机电器的应用范围进一步扩大, 环境条件和配套要求更加复杂, 电工产品的品种规格更加多样化, 非标准产品和专用电机电器的需要量超过了标准品, 例如, 日本在1975年生产标准电机一百九十万台, 非标准电机为三百万台。国际市场要求电工产品提高质量、降低成本和缩短交货期。只有发展多品种小批量的灵活生产方式, 企业管理能够实行及时的“动态管理”, 才能适应市场竞争的需要。所以, 电工产品的企业生产性的设计, 采取电子计算机的“检索式”是大势所趋, 我们必须迎头赶上; 杭州汽轮机厂技术引进的设计方法, 应在电工全行业推广应用。

(三)

电工产品也可以按其采用成熟生产技术经验及新技术知识程度, 把设计方法分为两大类: 一是日常生产业务或商品化的生产设计, 按企业生产计划和订货合同要求随时进行; 所用设计方法以“标准组合(积木式)”和“内插式”为主, 并利用电子计算机, 向“检索式”的自动化设计发展。这种设计方法是以成熟的技术经验和标准化、通用化、系列化工作为基础的。

另一类是开发研究性的新产品设计, 以大量的科研和技术分析工作为后盾, 应用电子计算机辅助设计, 伴随着部件和样品的研究试验, 进行多种方案的对比分析, 直至得到最佳设计。这种新产品经评价证明可转入生产时, 企业再在“三化”上做些工作, 将研制成果的信息等存在计算机存储器内, 以便随订货进行商品化的生产设计。

由此可见，我们需要弄清楚新产品的定义，过去曾把用户提出的特殊规格产品（例如60周波的电机、电器）或“在市场上至今还未提供过的商品”称为新产品，这种定义是不确切的。现在，大家认为新产品是具有一项或多项特点的产品：

（1）具有新的技术原理、设计构思和结构要素，例如磁流体发电装置，超导电机电缆等；

（2）采用新的材料、主件和特种工艺，例如全塑料乾式电力变压器，SF₆组合开关设备等；

（3）具有新的性能特点或容量、电压、电源等级成倍地“外推”增大，例如在20万千瓦火电机组型式上发展60万千瓦的火电机组等。

（4）具有新的用途或市场：如电子加速器有医用、工业用多种型式，电子计算机推广应用于控制工业成套设备，有多种控制计算机等。

我们也可以进一步按开发新产品的科研工作量和企业制造技术特点等，把新产品分为以下几类：

1、全新新产品：指采用新技术原理、新结构、新材料和新工艺等而研制的新产品，试验研究工作量最大、研制周期最长。

2、新用途新产品：指为适应新用途或新市场需要而制成的，性能有特殊要求的新产品或新系列。如家用电器等。

3、换代新产品：产品的结构原理未变，但采用新的材料或元件，新工艺等科研产品，可消除薄弱环节，性能有飞跃提高的新产品、新系列。

4、改进新产品：老产品的结构型式变动很少，但采用了一些新技术、新工艺、新材料，性能和可靠性有显著提高的半新半旧产品。

5、本企业的新产品：此产品对市场来说已不是新产品，但对企业来说仍是新产品，过去没有生产过。由于市场上已有了现成的产品与技术可借鉴，因此生产厂一般多采用技术引进的方式，以便尽快制造出此种产品来。这种新产品也需要试制一番，实际上对全行业来说并不是新产品。

6、一次性生产的特殊订货及规格变化的产品，应尽量采用成熟的生产技术经验和“三化”资料，进行生产性设计，在技术管理严密的企业，可一次投产成功，不应作为新产品论。

新产品设计的任务是把新的科研成果包括新设计理论、新工艺、新材料和新技术等充分利用到生产中去，使成为一种新型的技术装备，中心环节是做好科研与产品设计的结合，有些关键科研工作还必须先行，使具有技术储备。总之，新产品研制和设计是一个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，这里有三个重点。即：

1、新产品的功能综合研究：肯定新产品的技术目标和任务，明确其总功能，分功能及基本操作运行要求等，亦即将产品的技术条件研究清楚。

2、电气热力等机能设计研究：对新产品的结构机理和技术性能进行周密试验研究，使能达到一定的设计目的和技术条件要求。这是“软件”性质的与“系列设计”有关。

3、机械结构设计研究；包括部件零件的设计研究，新产品的结构几何形状、尺寸、模型及工艺方法等，这是“硬件”性质的，多属于机械结构元件设计研究的范畴。

只有将以上三方面的研究开发工作综合地做好，才能设计出真正的新产品来，才有可能将新的设计构思变为具体的产品实物。

(四)

根据上述情况，对电工产品的研制和设计方法，初步提出以下几点意见。

1、制订好新产品的发展计划

企业最重要的计划措施是监视现有产品的技术效果，经济效益和在市场上的生命力，并不断地设计开发有前途的新产品，以保证销售额的逐年增长。一个企业的新产品计划搞不好，必然跨台。凭直观订计划，不系统化，风险大，必须用科学的系统分析方法。企业的领导干部对今后产品发展方向应做到心中有数，每个企业都应订出当前、近期和远年的研制计划，即：

(1) 战术性的产品改进计划，以解决当前生产中存在的问题为主，如：保证投产的产品质量的长期稳定和提高；提高现有设备利用率，降低制造成本，革新工艺和工艺装备；针对当前生产中出现的技术问题，组织技术攻关，进行实践循环（PDCA循环）等。

(2) 战略性的研制计划：以发展本企业的技术，发展新产品为主要课题。如：研制市场上有需要的新产品和新系统，对现有产品准备更新换代或发展新系列产品，使投产后能在市场立足五年以上。

(3) 基础性技术开发计划：以从事新理论、新技术、新材料、新工艺的研究为主要目标，一般是远期的（三、四年以上）。例如：预测科技发展动向，确定探索性的研究开发课题；新型材料的研究为发展新技术而进行的基础研究；为更新本企业产品的先行的基础研究等。

制订上述计划，必须事先做好充分的情报收集和调查研究分析工作。计划的制订有三个出发点。一是根据市场的需要；二是根据企业的技术条件和潜力，三是根据企业的经营方针和发展方向，以使计划切合实际。

2、明确新产品研制的技术政策

在总结三十年来经验教训的基础上，合理地继承自己的生产技术经验前提下，从全局出发，制订电工装备的技术政策，兹建议几点如下：

(1) 电工产品设计，首先须摸清用户系统设计和工程的要求，充分满足用户需要，促进成套供应，这是改进和发展电工产品的根本方向。

(2) 产品的先进性具体包括“可靠、耐用、高效、经济、好用、好造、好修、好看。”而电工产品要把质量可靠性和高效率（低损耗）作为首先应遵循的设计原则。电工产品必须强调质量第一、安全可靠第一；必须纠正过去那种吃设计裕度，片面追求重

量轻、体积小、不保证产品可靠性与耐用度的错误做法。

(3) 材料要立足于国内, 但应主动研究材料性质, 促进新材料的应用和发展, 并开展相应的新工艺研究。

(4) 针对不同类型的产品, 促进电工各专业的“三化”“和五统一”工作。例如: 重型电站设备包括水电、火电机组、大型电力变压器等, 最低限度应要求产品技术条件、铸锻件毛胚、联接尺寸与安装尺寸、主要原材料和附件、备件统一; 系列产品如中小型电动机、变压器等应做到基础系列统一; 元件性质的产品如继电器、微电机、低压电器、可控硅片等应做到图纸工艺统一, 电材类产品如电线、电缆、电瓷、电碳等产品应全行业彻底统一等。

(5) 全部电工产品应符合国际电工协会(IEC)标准, 行业和企业标准应比IEC定的水平更高, 更细致和更全面, 以便能在国际市场有竞争能力。

(6) 对引进技术应全面消化, 全面采用。经过一个生产实践阶段后, 在总结经验和科学试验的基础上, 再改进提高。

(7) 试验研究成果是发展和设计新产品的先行任务, 要把经验设计转变为科研设计。

(8) 对基础系列产品及重型电力设备要组织“三结合”联合设计。应发展积木式结构, 或标准组合设计, 作到基型小, 变型多; 机械部件固定化, 电气规格多样化, 促使生产技术管理动态化, 以适应国际市场的需要。

(9) 要发展系统工程, 促进技术成套、设备成套和技术服务到用户满意为止。

(10) 选用代用材料, 必须保证不降低产品质量。发展铝线电工产品要从铜、铝材质客观差异的实际出发, 在保证质量可靠性的基础上, 进行技术经济评价, 并制订铝线电工产品相应的技术标准。

(11) 基础标准是产品设计的重要依据, 通用化、系列化是电工产品发展的重要环节, 应由归口研究所组织骨干厂, 首先抓好技术标准工作, 包括: 专业的产品技术条件和试验方法标准; 产品设计数据与“算法语言”标准, 形成专业的“数据库”和“设计标准手册”, 行业材料标准、基础元件、通用件标准; 制图及图形符号和基本尺寸法(如开关板组合尺寸, 电机中心高、底脚尺寸)标准等。此外, 还要有本专业的典型工艺守则(如热处理、三防处理、表面处理、油漆、线圈浸漆等)。

(12) 由原型样机转入企业生产的新产品, 必须研究提高其工艺性、应核算几个指标如下:

※继承性系数: 它等于原有零件数和新产品的零件总数比值。此系数增大, 可以减少试制时间, 改善批量生产条件。

※标准化系数: 它等于标准零件数和新产品的零件总数比值。此系数越大, 越能保证质量, 便于专业化协作, 有利于用户维修。

※装配劳动量系数: 它等于选配劳动量和机电加工劳动量的比值。此系数增大, 标志着机械化生产程度的提高。

※修配劳动量系数: 它等于修修配配工作劳动量与正常装配劳动量的比值。此系数减少, 则易于提高装配工作的质量和机械化程度。

※材料利用率系数：它等于零件净重和材料消耗定额的比值，这个系数表明材料利用的程度。

3、建立科学的新产品研制和设计程序

如前所述，要发展新产品，必须大搞“前期科研”，建立长期的技术储备，基础技术理论和共性的、学科性的研究工作（如：等离子体物理、半导体表面物理、超导物理、电弧机理、绝缘介质理论、非线性振动理论等）必须领先。但在新产品开发目标和设计构思原则确定以后，结合看新产品的机能和结构，还要做大量的有针对性的科技试验研究工作；只有在这方面有成果后，才能进行技术设计和施工设计，甚至在技术设计时还会出现技术难关，需要进行“后期研究和开发”。所以，研制和设计新产品是一项错综复杂的工作，必须按科学程序办事。从提出新产品技术任务书，到设计研究科室和试制车间制出原型样机，再进入商品化的工厂生产，其程序大致可分为五个步骤。即：

- (1) 情报～搞好调查研究，订出新产品目标；
- (2) 科研～根据初步构思设计，进行技术分析，开展科学试验研究；
- (3) 模型～进行基础性技术设计，制出原型样件样机，全面测试和评价；
- (4) 试制～进行生产性设计，检查工艺性，正式交工厂试制和鉴定；
- (5) 生产～调整工装和生产线、准备好商品化试生产。

以上程序是一环扣一环，紧密交叉结合。最后，小批商品交用户试运行后，应把用户意见作为情报反馈给设计部门，对设计作必要的修改，使之完善化。商品大量进入市场后，也要经常收集用户情报，供给研制设计部门，以便研究“下一代产品”的更新问题，兹绘制一“图解”如附件，供参考。

4、掌握近代物理数学方法和模拟技术等

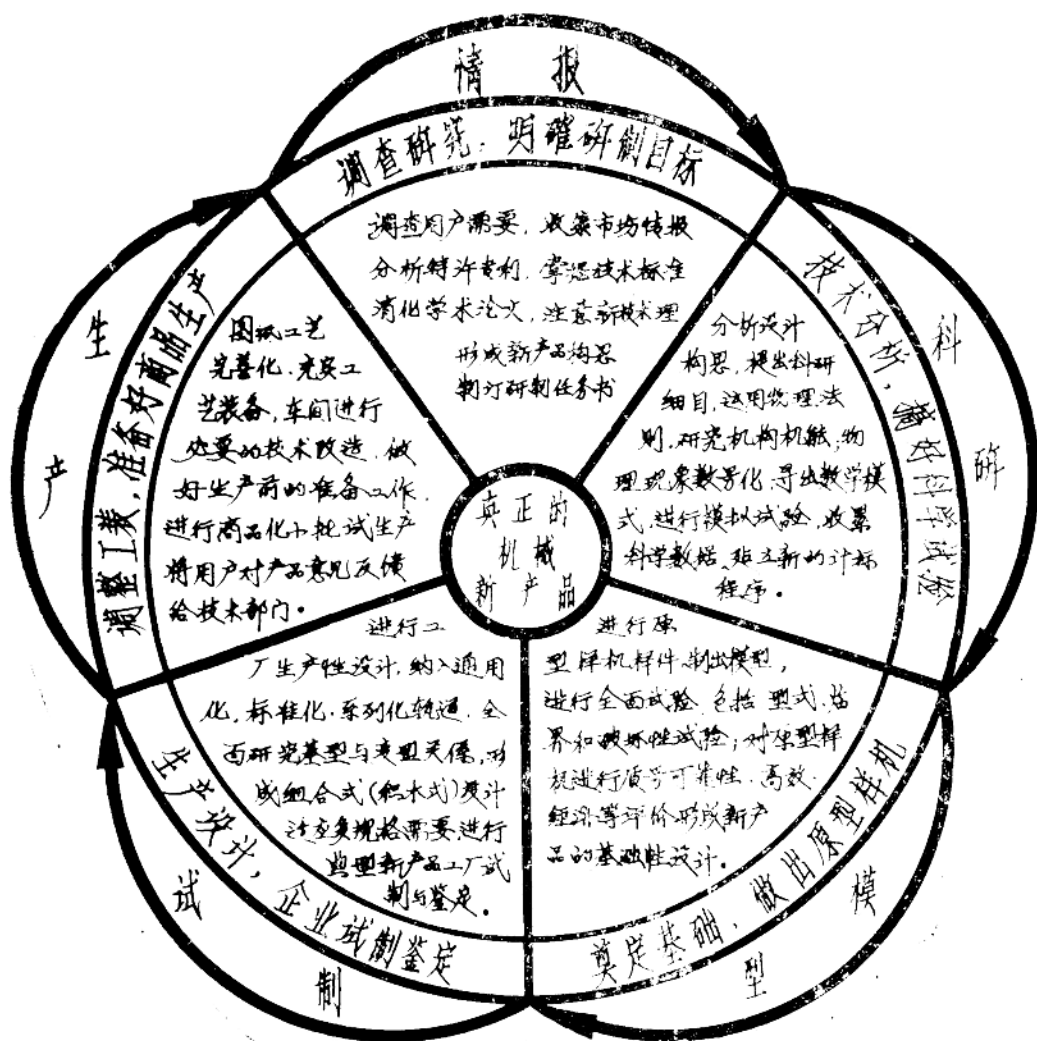
电工产品及其成套设备设计的目的，是确定一个物质、能量转换或信息传递的负荷的多种元件组合体，在各种运行条件下，其内应力和变形（机械的、电气的、热力的等）必须保持在规定的范围内，以保证常年安全满载。设计方案的选定将受到材料、工艺、最小许可重量以及相邻产品间和“子系统”间的“交接面”的技术限制。因此，近代设计往往利用最新的数学物理方法，辅之以模拟试验技术，进行大量的结构组合和技术分析工作，包括成套设备的、系统设计的多方案比较在内。

以弹性力学、流体力学、材料力学和电动力学等理论为基础的解析法，只能求解包含少量未知数的数学物理方程，用于简单的结构件如杆、柱、索、梁以及形状简单的板、壳等，不能解决复杂结构件的问题。因此，现代产品设计的分析方法主要采用数值分析算法及电子计算机，其中应用较多的是“有限差分法”和“有限元素法”（简称FEM）。后者的应用面更为广阔。

(1) 有限差分法：产品设计中的技术难关大多属于“物理场论”的范畴。例如：电机、变压器的电磁场、动力机械的热力场、流量场，结构件的应力场，热传导系统的温度场等，这些物理场的数学模型是一致的。有限差分法的原理，是把场的偏微分方程离散化，变为差分联立的线性方程，用算术求解。这一方法现在多用于电工产品的电磁

怎样研制电工新产品〔图解〕

精心试验 精心设计 精心施工



场分析；但对复杂铁心线圈结构，求解精度不够高，在使用上有局限性。

(2)有限元素法：它是在结构设计的基础上，结合大型高速电子计算机的应用而发展起来的。有限元素法直接从所研究的结构件物理模型出发，根据变分法及最小总势能等力学理论，直接进行离散化，在模型上比较任意地画出网格节点，列出矩阵数学式，利用电子计算机解出数值，它不通过把问题归结为微分方程式这一中间手续，具有更直观的物理意义。对于任意形状的结构件，可把边界节点完全放在场区边界上，从而在边界上能得出精确的“逼近值”。由几种材料组成的结构件，也可以把节点在分界面上而予以较好的处理。同时，可根据实际需要，在一部分区域（例如应力集中处）配置较密的节点，而在次要的区域中配置较疏的节点，使在不过分增加节点的总数下，提高计算精确度。有限元素法的计算格式虽较复杂，但可利用电子计算机自动地完成。通过编制标准计算程序和运用计算机，此法已成为设计自动化的一个重要组成部分。杭州汽轮机厂和郑州机械研究所掌握SAP—5（结构分析）程序正在我国机电行业中推广采用。当前采用有限元素法较成熟的领域是：线性结构力学，热传导、静态及动态弹性分析等，正在发展中的有：非线性力学分析、断裂力学分析、电磁场、结构件与流体的相互作用分析等。我们电工行业的结构研究和设计人员，已有不少同志在学习运用这一方法，希望在全行业推广的更快些，并应自己开发出更多的专用程序来。

在现代化电工产品及成套系统设计中，用多种模拟技术以补充或代替1：1的样机模型试验，为设计提供可靠的科学数据，是很重要的。根据相似原理，把产品结构按适当比例缩小，用钢材、合金或塑料制造出物理模型，进行多种试验，我们在水轮机、汽轮机上等已积累了不少经验，其他产品也应酌情采用。其次，是模拟计算机，即用电子元件组成等价装置，可产生连续“信息”，进行“实时”计算，可以描绘物理系统的振动、冲击、瞬变等动态特性。大量的成套系统设计方案的选择比较，如自动控制和保护系统等，必须利用模拟计算机进行试验，才能得出最佳设计。当产品设计系统特别复杂，设计分析需要高灵活性和高精度时，就需要采用数字计算机的数字模拟技术。当前数字计算机的模拟技术已占优势，美、日和西欧国家的高压电器厂，近年来都以模拟数字计算机代替了原有的模拟装置，以研究高压电器的设计和试验方法等问题，我们应迎头赶上。

5、新产品研制的每一阶段，应进行评价和技术经济分析

新产品的设计是企业一切生产技术工作的根据。产品质量的水平、工艺性优劣、生产效率及生产成本等，首先取决于设计的先进程度。因此，要求新产品必须具备技术上的先进性（先进性首先包括质量可靠性和高效率），又具备经济上的合理性，这种要求只有通过设计各阶段进行评价或技术经济分析才能实现。产品技术上的先进性和经济上的合理性，主要反映在产品的使用质量和结构的工艺性上。

电工产品使用质量的经济含意，系指符合用户要求的程度，包括产品的可靠度和寿命、效率、生产能力、减轻劳动和改善劳动条件等。其中使用寿命和可靠性是电工产品最重要的使用质量，一般应与产品使用维修等费用分开，作为一个独立指标进行估算，检验和评议。

电工产品工艺性是指使产品具有合理的几何尺寸形状、选用合适的技术参数和材料，以便于制造和批量生产。工艺性好的结构可以保证在一定生产条件下采用效率最高和各种费用最低的加工方法，在设计过程中，分阶段评定每个零部件的工艺性，以减少产品制造时的劳动量、节约材料，降低产品成本，缩短生产周期等。

所以每一个新产品研制和设计者必须把技术与经济结合起来，随时注意研究新产品的使用质量和结构的工艺性与经济性。通过科学试验和分析，把两者的矛盾统一起来。

6、改进设计组织机构

当前，电工行业的大多数企业和研究所都是由技术总负责人领导一个产品设计科或室，其中有十多名较有经验的主管设计师，领导几个产品设计组或各主管一个品种系列产品，并掌握其全部设计技术。这是一种“单线式”的组织形式，横的协作关系很少。当品种多，订货规格多，有严格技术及特种使用要求时，产品的设计复杂，工作量大，即穷于应付。有的厂、所分设几个分类产品设计科室，也不灵活，产品的改进和发展太慢，不能适应“四化”形势的需要。

目前国外多数电工制造厂家，大多采取“复线式”组织形式，即将合同性生产设计工作和新产品开发设计分为两大部分。新产品开发设计部门中包括几个品种的“新产品项目开发组”，每组在一个时期内负责研究开发一个新品种或系列产品的开发性设计。并根据设计方法、材料选用、工艺分析、数值计算法、试验技术等需要，配有“专家”协助产品设计者进行设计，合同性的生产设计科室则根据标准化的设计工艺资料和基础系列产品图纸，根据订货合同规格，随时进行生产设计，如前所述，多采用CAD方式进行日常设计工作。

有的工厂，还有所谓“通用设计技术”部门，负责基础件设计及“三化”工作，以支援上述两个设计部门。

此外，一些大厂设有专业技术开发和产品试验研究室，例如：

(1) 产品基础技术试验研究室：包括应用力学、材料应用研究、热工及流体力学、电场磁场分析研究，燃烧研究试验等。

(2) 基础元件试验研究室：如冷却器、特种阀门、流量计等试验研究。

(3) 数值分析与计算中心

(4) 自动化及电子器件应用研究室

(5) 测试技术研究室

(6) 模型和试制车间

(7) 资料档案室等

以上几个室有技术总负责人，负责与设计科室紧密结合，完成开发新产品所需要技术攻关课题任务。我们电工行业的厂办研究所（或二类所）与之相当，但如何与工厂设计部门紧密地围绕开发新产品联合作战，在组织上、计划上都必须改进和作好整体布置安排。

在进行大型成套设备及系统设计时，应采用“矩阵式”的设计组织，这种组织是

前述复线式组织的进一步发展。它有从上而下的技术“职能”部门,和有从左而右的“项目或方案”部门,纵横交织,如同数学上的矩阵,围绕一种成套新产品订货合同,进行总系统和分系统的设计,每一种订货合同由一个“项目技术经理”负全责,从承接订货,到成套新产品方案的技术设计、组织“分包”、保证质量、成本评价和工期等都由其督导实现,在执行“项目”任务时,方案项目技术经理有权从专业技术职能部门抽调人员,组织临时性的技术班子,制订规划进度,进行设计,确定评价点,检查工作质量,研究成本,解决技术关键问题,按总交货期协调各项工作进度等,各专业职能部门,按规划安排做好技术支援和后勤工作,并须保证工作质量与进度。企业的最高技术经理负责平衡“项目”与“职能”两条线上的重大问题、一般“项目”技术组织的技术人员都应很精练,固定用人不多,而从“职能”部门借用的流动人员随项目工程需要有增有减。我们电工行业的成套设计研究部门应研究采用这种组织形式。

关于高压断路器可靠性设计问题

北京开关厂 总工程师 陆首群

一、前 言

众所周知，可靠性是时间性的质量。随着科学技术的进步，多功能、高功能产品的发展，结构复杂化程度的增加，组成产品的零部件的种类和数量的增多，更由于产品与大系统发生联系或联系紧密程度的增加，产品可靠性这个质量指标更为突出。

高压断路器这个产品一方面和日益扩大的大系统（电力系统）相连接，产品可靠性是系统可靠性的一部分；另一方面，其主要功能是用来保证系统可靠性的（排出系统中的故障），不言而喻，高压断路器产品本身可靠性显见其重要。

产品可靠性主要由两部分组成，即产品的固有可靠性和使用可靠性。前者以设计、制造为重点，后者以使用、维修为重点。当然两者是互相关联的，有人比喻为这两者是整个产品可靠性技术的两个车轮，是很恰当的。

1978年国际大电网会议（CIGRE）高压开关设备第13专业组会议上，西德代表对13—07号论文的补充报告中指出，根据西德的调查，运行中发生的故障有50%是由于制造缺陷造成的（由制造缺陷引起的故障最多，在制造缺陷中当然包括设计缺陷），其次是由于安装不良造成的故障，维护工作不当引起的故障占第三位。因此，保证产品固有可靠性非常重要。这一观点，为国际大电网会议第10研究委员会所接受。

国内在这方面没有精确的统计，看法并不一致。东北电网有个统计资料，统计1972—1977年在东北电网中运行的122台SW6—220型高压少油断路器，在其全部故障中，属制造质量不良的占比率47.5%，属安装或检修质量不良的占比率52.5%，这和西德统计的比率相近。

在制造质量问题中，欧美日本不少人估计，因设计造成的产品质量问题约占70%左右，其中尤以可靠性问题为最突出。国产机电产品的设计，大多还停留在经验设计阶段，不管是否同意70%的比率，产品设计质量问题比较突出，是勿容忽视的。

有人对工厂推行全面质量管理（TQC）不涉及到设计领域，仅在现场管理上做文章，对此能否从根本上解决产品质量问题，建立完整的质量保证体制，提出疑问，这是有道理的。因此，作为全面质量管理当前发展的主要趋向之一，提出了建立Q&R或T&R体制（即质量管理和可靠性管理体制或全面质量管理和可靠性管理体制），采用优化设计和价值工程，引起了人们的注意。全面质量管理必须延伸到设计阶段，并以可靠性设计作为其重点。

二、初步设计阶段的可靠性预测

产品固有可靠性也可称为潜在可靠性，主要取决于设计，一旦设计完成，其固有可靠性的概率表示，即固有可靠度几乎已经确定。

虽然产品可靠性的真实评估，最后要到实际使用中才能获得，但在产品初步设计阶段，就需要对可靠性进行预测。

美国军用规格对可靠性预测作了如下的定义：“根据产品零件、机能（或功能）、工作环境及其相互关系的知识，推测该产品将来的性能，这种技术便称为可靠性预测”。

这里需作两点解释：

（一）这里指的知识，指根据生产、运行（或使用）以及试验所取得的经验。必须指出，只限于上述经验（一般是过去的经验）可以重复的时候，并在此基础上有可能建立产品的可靠性数学模型时，产品的可靠性预测才有条件进行。

（二）这里所指产品将来的性能，使产品性能带上时间的特征。如前所述，可靠性是时间性的质量，是产品时间性的性能（即将来的性能），因此不言而喻，定义所指就是推测产品可靠性。

一般可靠性预测有：

- （一）故障率预测；
- （二）检修预测（属于保全技术）；
- （三）特性值变动或劣化故障预测。

其中，检修预测多用于使用、维修，对于可维修系统，在建立可靠性预测数学模型估算可靠度时，也是需要检修预测的。特性值变动预测，通常需建立加速寿命试验和强制劣化试验的模型（在充分研究工作条件和环境条件的基础上），而在试验基础上进行预测。故障率预测的经验或数据，来自现场生产、运行统计或样本试验，可用于建立可靠性数学模型，常用来作为产品初步设计阶段的可靠性预测。

产品构成的基础是零件，影响可靠性的最小的基本单位是零件，建立可靠性数学模型时，最好选择零件逻辑链。但各种零件千差万别，形状、材质、工艺、负载、应力、功能以及接触的环境很不一致，要确定全部零件级的故障率或可靠度几乎是不可能的。特别对复杂产品来说，要建立纯粹零件逻辑链式的数学模型，也是不可能的。

可靠性预测包括建立数学模型的步骤是：

（一）整个产品可以看作作为一个系统，根据产品的基本功能或结构进行分解编制方框图，方框图可以代表具有一种或多种功能的部件、组件或产品，个别也可代表关键零件。如将断路器产品分解为操动机构（产品）、中间连杆（零件、部件或组件）、断路器传动机构（组件）、断路器静止的机械结构（组件）、绝缘结构（组件）、触头及载流系统（组件）、灭弧结构（组件）等，这些环节都是从断路器产品分解出来按基本功能编制的方框图，每一个方框，我们称之为“功能方框”。上述功能方框所代表的具体结构（零件、部件、组件、产品）在建立可靠性数学模型时，具体结构可以重复，但功能上不能重复。

(二) 把这些方框图按可靠性逻辑的观点(如每一功能方框如发生故障都会导致整个产品的故障时, 这些功能方框在逻辑上是串联的; 只有个别按多余法设计或冗长设计的环节属并联)重新组合成模型, 一般是将这些功能方框画成串联逻辑链。

(三) 根据各种情报(现场运行数据, 样本试验数据, 相似结构经验数据等)确定各功能方框的故障率并推算可靠度, 从而可预测整个产品的故障率和可靠度。

(四) 为了降低产品整体和其零部件的故障率, 提高可靠度, 要制定可靠性预测目标方案。预测目标方案要有科学分析根据, 要有具体措施。

(五) 设计可靠性试验模型, 对经采取措施后的产品及其各环节的可靠性预测目标进行试验验证。

上述功能方框, 如果有条件, 还可进一步分解, 如将操动机构分解为辅助开关、线圈和脱扣系统、机构动作部份、机构静止结构部份等, 进一步细分的功能方框必须以能确定其故障率为条件。

如上所述, 可靠性预测数学模型的基本环节是产品按功能和结构分解而成的功能方框, 这样的功能方框鉴于以往的经验, 以能够计算可靠度为前提。

假如我们接到了220千伏高压少油断路器(配用液压操动机构)的新产品设计任务, 其可靠性数学模型便如图1所示。与各功能方框相联系的故障数据见表1(一般来自相似结构的生产、运行统计资料或样本试验资料; 某些环节如无现成经验供借鉴, 其故障数据的获得还需要安排专门的可靠性试验; 若干环节或工艺的重大改进, 尚需在老产品中安排运行考核或整台样机进行试运行考核, 从中收集故障数据)。

新设计的重要目的之一, 是为了提高产品整个系统的可靠性。为此要提出可靠性预测目标值方案。表2是新设计220千伏高压少油断路器(配用液压机构)可靠性预测目标值方案。这个方案的建立决不是凭空的幻想, 而是有根据的, 见诸于下面要谈到的提高可靠性的改进措施的说明。方案中产品整体, 特别是各环节的预测目标值, 尚待在设计以后阶段采用有关可靠性试验来予以验证。否则可靠性设计不能算完成。

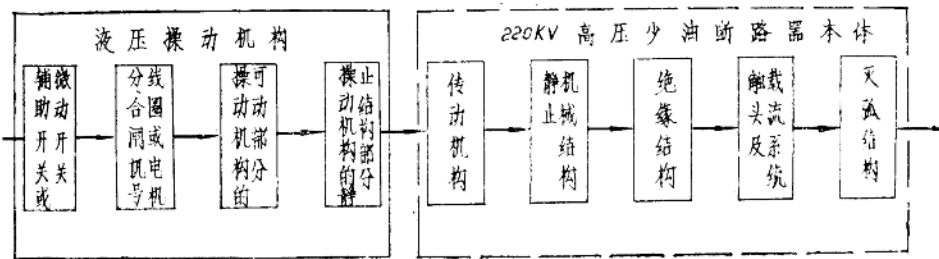


图1 220KV少油断路器(配液压机构)可靠性数学模型