

冰箱的综合设计方法

刘东明, 庄达民, 王 睿

(北京航空航天大学人机与环境工程系, 北京 100083)

摘 要: 社会的发展要求冰箱的综合设计要考虑材料、结构、形态、色彩、生产工艺、使用性能、人文因素、环境保护等因素。采用并行设计、环境意识设计和人机工效设计将很好的满足冰箱的综合设计要求。并行设计集成了制造业中诸多新技术、模式、思想, 经过系统化的抽象发展成一门新的设计方法; 环境意识设计将考虑产品在使用和回收期间对人、环境的无害化和资源化等, 其关键是制冷剂的研发和回收技术; 人机工效则是贯彻以人为本, 一切为使用者着想。本文将并行设计、环境意识设计和人机工效设计有效地结合起来讨论冰箱的综合设计方法。

关键词: 人机工效; 并行设计; 环境意识设计; 产品全生命周期

Synthetic Design Method of Refrigerator

LIU Dong-ming, ZHUANG Da-min, WANG Rui

(Department of Human-Machine-Environment Engineering, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing A100083, China)

Abstract: Along with the social development, in synthetic design of the refrigerator, several internal and external factors should be considered, such as structure, shape, color, production technology, serviceability, human factor, environmental protection. Concurrent Design, Environmentally Conscious Design and Human-Machine Ergonomics meet the requirement of synthesis design of refrigerator well. Concurrent Design which integrates a great deal of new technologies, modes, thoughts of the manufacturing industry, has been developed into a new design method through systemic abstract; Environmentally Conscious Design will consider how the product can be harmless and regenerative during its using and recycle. The main aspect of this problem is refrigerant. Human-Machine Ergonomics is to carry out People First, all thinks about the user. In his paper, the idea, which integrating Concurrent Design, Environmentally Conscious Design and Human-Machine Ergonomics Design into refrigerator design, is discussed.

Key words: Human-Machine Ergonomics; Concurrent Engineering; Environmentally Conscious Design; Products life-circle

我国是世界上冰箱生产和拥有大国, 如 2004 年我国冰箱产量为 3000 多万台, 社会的冰箱保有量达到 1.3 亿台, 每年更新的冰箱约 400 万台, 电冰箱及电冰箱压缩机出口近 2000 万台。

与世界冰箱制造大国不相适应的是我国冰箱的设计理念与制造技术等与发达国家相比有很大的差距, 这不仅制约着我国冰箱行业的发展, 还极有可能成为世界环保革命的牺牲品。如欧洲议会于 2003 年提出了《使用能源产品的生态设计要求》的指令草案 (Eco-design requirements for Energy-Using Products, 简称 EUP)。有关统计资料表明, 我国出口产品的污染密集度在 30% 以上, 每年大约有 74 亿美元出口产品因受到“绿色壁垒”的阻挡而受阻。这就要求企业应从概念形成、设计、生产制造、直至废弃后的回收、再利用及处理的各个阶段, 即产品全生命周期角度进行综合考虑实现绿色制造。为此, 本文结合人文因素来探讨冰箱的设计与研发。

1 冰箱的并行设计

并行工程 (Concurrent Engineering) 是近年来新出现的一种基于信息化的产品开发模式, 是由美国国防先进研究计划局 (DARPA) 最先提出的。并行工程是一门以集成、并行方式开发产品及其相关过程的系统工程方法学, 作为指导产品开发的哲理和技术, 它既属于设计理论和方法学的范畴, 同时其本身又是设计理论和方法学的研究对象, 是集成了制造业中诸多新技术、模式、思想, 经过系统化的抽象发展而成的。其目的就是以产品为中心, 着眼于产品的全生命周期, 建立综合的产品研制团队, 运用现代信息技术获得最优化的产品设计过程模型, 以缩短产品开发周期、提高产品质量、降低企业成本、改善市场服务。

图 1 是在吸收国外并行工程设计概念后, 将制冷剂研究、人机工效与产品回收等内容构成的冰箱并行开发过程流程图。它打破了传统的串行设计是一个静态的、顺序的和互相分离的流程模式, 很好地解决了上下游工序之间不存在经常性的信息交换、设计过程不能

及早考虑制造过程及质量保证等问题，避免了设计与制造脱节。

并行工程的特点在：

① 对一个产品从设计阶段就考虑产品的生命周期成本以及生产者成本、消费者成本和社会责任成本三个方面。采用并行工程方法可在产品设计阶段决定产品生命周期成本的90%，所消耗的费用仅占总成本的10%。其中在产品概念设计阶段的设计费用只占产品生命周期成本的1%，但可决定产品生命周期70%的资源消耗。该方法力图使设计人员从一开始就考虑产品从概念到报废全生命周期的所有因素，包括质量、成本、计划和用户需求。

② 并行设计使产品设计相关过程并行交叉，缩短反馈周期，减少设计修改工作量，并提高设计质量。

③ 并行工程以信息集成为基础，任一环节的设计更改通过网络发布到相关部门，其对设计更改的意见又将通过网络反馈到各个部门。

④ 强调团队工作，提倡专家协同，实现产品开发过程的集成和并行，得到产品设计整体最优化。

图1中，DFX为面向生命周期的设计，X可代表设计、成本、质量、装配、拆卸、制造、检测、维护、支持、服务、报废等，如：面向装配的设计(DFA)、面向拆卸的设计(DFD)等；CAE为计算机辅助工程，它将工程设计、试验、分析、文件生成乃至制造贯穿于产品研制过程的每一个环节之中，以指导和预测产品在构思和设计阶段的行为。CAPP为计算机辅助工艺过程规划，并行工程中的CAPP除了能从CAD接受信息并生成工艺外，更重要的是它随时从CAD接受阶段性的设计数据并对CAD的设计进行评价，提出改进意见。这里的CAD只是在解释CAPP，并不是图1中的过程。

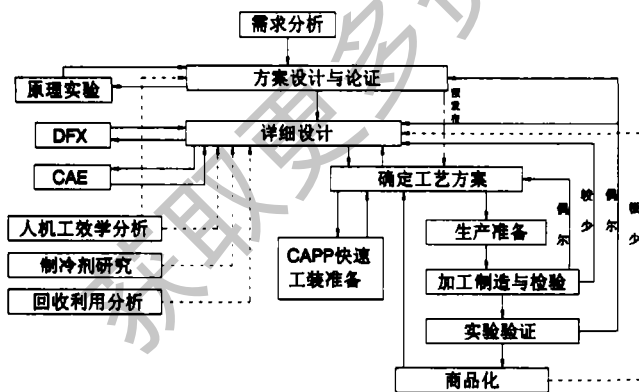


图1 并行设计流程图

注：虚线表示在并行设计中通过间接的方式或反馈的影响

2 冰箱的环境意识设计

并行设计区别与其它设计的最大特点就是对产品

全生命周期设计，而全生命周期中最薄弱而又很重要的一环是产品的回收处理。如果将物流比作血液循环，在一个资源可循环型的家电工业中，原材料的采集—设计—制造—销售—使用—废弃属于“动脉产业”。而从废弃产品中回收能利用的有用资源，并在此过程中发现设计中存在的问题，例如产品在选材、结构、标识等方面是否有利于回收利用等，进而实现废家电的减量化、资源化和无害化，则是“静脉产业”。环境意识设计的目标就是设计出节省能源、节省物料、保护环境、便于回收利用及符合人机工程的绿色产品，对于冰箱而言，环境意识设计的关键是采用各种低氟、无氟工艺取代现有的CFC工艺。主要从以下两方面着手。

2.1 改进隔热材料

最常见的隔热材料是采用隔热性能好的发泡剂制作的泡沫材料CFC-11(分子式为CCl₃F)，它易于发泡、热传导率小、隔热效果好，作为冰箱隔热材料的发泡剂一直被广泛使用。每台冰箱平均需要1千克发泡剂CFC-11。由于其对臭氧层的破坏，发达国家已从1996年开始停止使用。中国也在今年开始禁用！

目前对CFC-11的替代主要有三种方案，即HCFC-141b方案、环戊烷方案和HFC-245fa方案。

对新一代发泡剂的需求特点为：高的能效、好的TEWI(Total Equivalent Warming Impact, 综合温室效应)值、低的POCP(Photochemistry Ozone Creation Potential, 化合物光化学臭氧产生潜能)值及不可燃。对于其它隔热方式的研究正在继续，欧洲一些冰箱厂开始采用真空隔热技术。采用箱中套箱的方法能够进一步提高隔热效果。

2.2 改进制冷剂

目前，国际上针对冰箱制冷剂CFC-12的主要替代物即所谓的环保制冷剂为：HFC-134a、HC及其混合物制冷剂和HCFC混合制冷剂。但在实际使用中HFCs和HCs制冷剂还存在一些问题，制冷剂未来的趋势是：①开发新的理想的纯工质制冷剂的可能性很小；②从保护臭氧层与控制全球气候变化这两种环保要求折衷或综合来看，HCFCs制冷剂是否能在淘汰中得以幸存或者如何淘汰值得反思。③作为环保要求与安全要求的折衷，天然工质将再度兴起。

为了适应环保要求，21世纪制冷业的发展方向是：绿色环保、高效节能、减少排放、加强回收。这就要求生产厂家从“机—环境”与“人—环境”的角度出发，考虑冰箱的全生命周期，采取合适的制冷剂。根据我国现状，制冷剂的选择方面有以下几点建议：

① 在我国近几十年内，国内市场不会马上淘汰HCFCs，应充分利用其“宽限期”和“保留量”，发挥其作为替代物的作用；

② HCs 的再兴，取决于寻求环保要求与安全要求的折衷，有赖于减少安全风险新技术的开发。同样，CO₂ 的再次发展，也有待于科技的进步；

③ 正确认识混合制冷剂的作用，给予足够重视和必要的“地位”。混合物可以充分发挥“优势互补、取长补短”的作用，特别是以HCs、低GWP的HFCs和HCFCs物质组成的混合物，无论在寻求环保要求与安全要求之间的折衷或在寻求两种环保要求之间的折衷方面，都有很大的发展空间。

在飞机工业中，以空气为制冷剂的空气循环制冷方式已得到大量应用。采用空气循环制冷速冻鱼肉的实验研究也在北航获得成功。在解决高速电机、噪声等技术问题后空气循环制冷方式在有条件的地方将得到应用。由于空气对人类是绝对安全和可靠的，因此空气循环制冷方式的应用前景非常可观。

除此之外，冰箱的家庭普及率很高，耗电量不仅在一个家庭并且在整个社会的能源消耗中也占很大的比例。因此，从环境意识设计的能源属性方面，采用新技术降低能耗是节能的有效途径。如制冷剂灌注量的研究。

3 冰箱的人机工效设计

所谓人机工效，是指人与设备的合理结合，从而产生最大的效益。人机工程是一门运用系统科学理论和系统科学方法，正确处理人、机、环境三大要素间的关系，研究人、机、环境最优组合的工程技术科学。它既是一种设计思想和理论，同时也是一种有效的系统综合设计和评价技术。

在冰箱的并行设计与环境意识设计过程中，人机工效的概念、思想和方法将通过各种途径融入产品设计和开发中。

3.1 方案设计与论证阶段

① 问卷调查：像家电类产品设计最直接的信息获取是问卷调查。其内容包括：希望购买冰箱者的家庭构成，希望的冰箱体积、颜色、噪声、耗电量等。

② 产品原材料的前瞻性选择：除考虑选材的使用条件和性能外还要从人机工程的角度，联系产品的适用人群、环境因素和可能出现的环境污染及回收处理问题选择资源利用率最低、对使用者及环境影响最小的绿色材料。如前面述及的制冷剂的研究与选择。

③ 人机系统计算机仿真：将使用者和冰箱看成一个人机系统，从人性化角度确定冰箱的几何尺寸等。如假定冰箱的经常使用者为家庭主妇，身高在1.55米-1.7米之间。冰箱的高度、净深、分层等要考虑人手的可达域和舒适域范围。仿真软件涉及人体模型、人体运动学、计算机图形学等。针对人体模型要有

数据库，它涉及到人体静态尺寸和动态尺寸。图2为笔者开发的人体尺寸数据库的一个界面，数据库中有中国男子、女子和军人的人体尺寸。界面底部设置了八个功能按钮，分别为人体尺寸的最大值、最小值、均值、标准差、5%、50%以及95%及“按测量项目查询”。人机系统计算机仿真还包括对颜色的仿真、噪声预测、功率及耗电量预测、材料对绝热影响、制冷剂选择等。

④ 工业造型：人机工程被我国引进和运用的最早的两个部门是军工单位和工业造型部门。工业造型要求部件和整件符合人机工效的要求，其内容可参考相关书籍。

测量项目	最小值	最大值	均值	标准差	P5	P50	P95
体重 (kg)	40	95	61	8	50	60	60
身高	1620	1924	1795	48	1629	1829	1892
膝下点高	1370	1684	1475	39	1408	1467	1467
臀上点高	1241	1578	1394	44	1321	1380	1380
肩高	1277	1588	1382	44	1318	1379	1379
锁骨点高	968	1235	1089	37	1012	1063	1063
锁骨突出点高	729	970	827	23	777	825	825
手功能高	849	996	910	22	700	749	749
中指指尖点高	910	1121	1018	32	995	1033	1033
肘高	921	1208	1038	37	982	1033	1033
肘骨高	816	1100	921	36	966	919	919
总臂高	833	988	901	34	750	798	798
肘骨点高	394	524	450	19	421	488	488
趾高	907	1040	916	25	876	915	915
坐高(枕外隆突点)	699	913	788	26	747	787	787
...

图2 人体尺寸数据库界面

3.2 详细设计阶段

根据方案设计与论证阶段得出的结论及验证，确定具体的设计方案并进行详细的计算。采用面向生命周期的设计 (DFX) 和计算机辅助工程 (CAE) 就是人机工程思想的具体体现。在计算机辅助工程中包括人体动力学的计算。如抽屉式冰箱，人在某一姿态下打开抽屉需用多大的力。人体动力学的计算在汽车、飞机等有人驾驶的人机系统中用得更为广泛。

对不同的设计对象将采用不同的人体特性分析结果。如开关和按钮看似简单确包含很多认知工程知识，美国和日本的人机工程专家都为此作过专门研究，在美军标中还有对其专门的规定。

3.3 试验验证阶段

试验验证首先是检验产品的性能是否满足设计要求，这里包括可靠性与人机工效，产品的环境适应性等。在试验验证阶段人们往往不重视产品的人机工效评价，其后果将影响产品的使用效能。这方面的经验教训在神州号系列飞船研制中出现过，在冰箱设计中也同样出现过。早期国外投入市场的某型冰箱，门正面没有手柄，在每个门的左右则有类似手柄，其目的是冰箱门被设计成从左右两边都可以按铰链。但是不知情的使用者

拉门的左边的手柄时门打不开，用力太大还会将整个冰箱移动，因此时真正的手柄在门的右侧。无论如何，使用者仅仅希望看到在冰箱门有一个手柄。当手柄不能使用时，他们就以为门被粘住或上了锁。究其原因

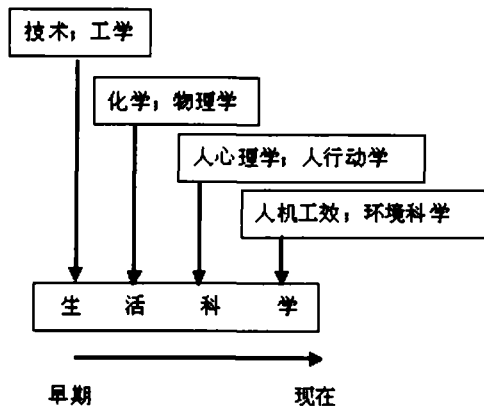


图3 商品评价的时代变化

在最后的试验验证阶段没通过人机工效评估，没有从使用者角度考虑产品的有效使用。

3.4 商品阶段

当产品投入市场后他将接受更严峻的市场检验，市场反馈回来的对商品的意见也是产品设计修改的重要依据。现代社会对商品的评价更趋人性化。图3是商品评价的时代变化，即随着技术的进步，评价指标的侧重点逐渐从广义的技术工学方面逐渐缩小到与使用者紧密相关的工效学方面。由图3可知，即使产品到了商品阶段还要经历使用者从人机工效的角度对商品的使用性能进行评价。也正如上述冰箱手柄设计，它仅考虑了厂家的方便，而没有考虑使用者的方便，这就不是一个好的商品。而环境科学指的是前述的产品在使用和回收等过程中必须符合环保要求。

4 结束语

冰箱的综合设计方法是既考虑采用最新的设计理念和方法、又考虑社会的发展对环保、对人性化提出越来越苛刻的具体要求。值得一提的是冰箱的环境意识设计将制约着我国冰箱行业的发展，还极有可能成为世界环保革命的牺牲品。而人性化设计首先是要满足人的各种特性和要求，而人机工程正是研究人的各种特性、研究人一机关系和人一环境关系的。因此，并行设计、环境意识设计和人机工效设计将在相当长的一段时间左右着冰箱的设计和发展。

参考文献

[1] 袁修干, 庄达民, 张兴超. 人机工程计算机仿真[M].

北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
 YUAN Xiu-gan, ZHUANG Da-min, ZHANG Xing-juan. Computer Simulation in Human-machine Engineering [M]. Beijing: BeiHang Press, 2005.
 [2] 刘飞, 曹华军, 张华. 绿色制造的理论与技术[M]. 北京: 科学出版社, 2005.15-16.
 LIU Fei, CAO Hua-jun, ZHANG Hua. Theory and Technology of Green Manufacture [M]. Beijing: Science Press, 2005.15-16.
 [3] 朱明喜, 王鑫. 制冷剂的过去、现状和未来[J]. 制冷学报, 2002, 1: 14-20;
 ZHU Ming-shan, WANG Xin. Past, present and future of refrigerants [J]. Journal of Refrigeration, 2002, 1:14-20.
 [4] 侯敏, 朱冬生. 废旧冰箱、空调器的回收处理及再利用技术[J]. 电机电器技术, 2003, 1:9-12.
 HOU Yi, ZHU Dong-sheng. Developments on the techniques of the Recycling Treatment an Reuse for Used and Discarded Refrigerators and Air-conditioner [J]. Electromotor Appliance Technology, 2003, 1:9-12.
 [5] 刘梅, 丁淑辉, 孟晓军, 钟佩思. 支持并行设计的产品数据管理系统研究[J]. 计算机与现代化, 2004, 7: 59-61.
 LIU Mei, DING Shu-hui, MENG Xiao-jun, ZHONG Pei-si. Research on Product Data Management System for Concurrent Engineering [J]. Computer and Modernization, 2004, 7: 59-61.
 [6] Tamura H. Human Interface [M]. Tokyo: Ohmsha Press, 1998.
 [7] 刘志峰, 万举勇, 宋守许, 王淑旺, 刘光复. 家电产品的绿色设计研究[J]. 家电科技, 2005, 3: 73-74;
 LIU Zhi-feng, WAN Ju-yong, SONG Shou-xu, WANG Shu-wang, LIU Guang-fu. Green Design for Home Appliances [J]. Household Appliance Technology, 2005, 3: 73-74.
 [8] Melngk S A, Smith R T. Green Manufacturing. Dearborn, USA: Society of manufacturing Engineers, 1996.
 [9] Steven Ashley. Designing for the environment. Mechanical Engineering, 1993, 3: 52-54.
 [10] Gutowski T, Murphy C. Environmentally Benign manufacturing. World Technology (WTEC) Division, International Technology Research Institute (ITRI), 2001, 4.

第一作者简介:

刘东明, 男, 山东青州人, 硕士研究生, 主要从事并行设计及人机工程学在设计中的应用的研究。◆