

# 运用设计方法学思想进行阀门方案设计

同济大学 张强生 汪信远

**摘要** 介绍了设计方法学的抽象方法即黑箱原理。结合实例说明了设计方法学的科学思维方法和设计工作程序在阀门方案设计中的应用。

**主题词:** 阀门 优化设计 系统设计

阀门质量的优劣往往取决于设计质量,因为制造过程对其所起的作用,本质上就在于实现设计时所规定的质量。现代工程设计经验告诉我们,设计思想的领先是提高设计质量的关键。传统的设计思想难以适应加快产品开发和更新换代的要求。国内外设计学者经过多年的探索研究,在系统工程学基础上归纳总结设计经验,终于建立了设计方法学。这是一门新兴的学科,专门研究设计过程、设计策略及设计方法。随着阀门的开发与创新,把设计方法学的科学思维方法和设计工作程序应用于阀门方案设计,对提高阀门质量,增大竞争力度将发挥很大的作用。

## 一、用抽象原理构思方案

所有人造的、具有特定目的的系统总称技术系统<sup>[1]</sup>。阀门隶属技术产物,亦可理解为技术系统(简称系统)。系统必须完成的任务是系统总功能,所以阀门系统具有截止、调节和止回的总功能。实现阀门功能的过程中,阀门与人和周围系统之间存在着相互作用。若以输入量和输出量使阀门与周围保持联系,又用系统边界使之与周围相分离,并按规定的符号(单、双实线和虚线分别表示能量、物料和信息流)绘图(图1),这就是设计方法学常用的抽象方法即黑箱原理。这是一种通过系统外部行为来探求系统内部结构的方法。

借助黑箱原理揭示系统功能结构,目的在

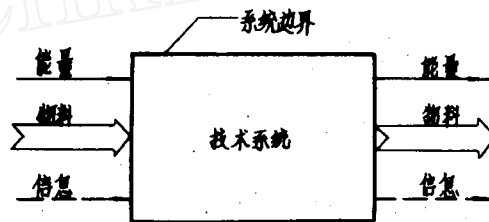


图1 技术系统的黑箱

于为构思阀门设计方案提供依据。功能结构的确定可以根据系统功能层次关系,也可以根据系统的结构关系。前者实际操作有一定难度,故剖析后一种方法的实施过程。

以闸阀为例,将阀门主要零件视为系统元件,各元件分别具有自身的输入与输出关系,并且以一定的方式相互衔接,只要参照阀门作业顺序,便能绘出用黑箱表示的系统结构。

尽管系统结构因阀门类型而异,却各具有相同的部分功能(表1,图2、3)。元件1输入生物能(力矩,角位移),输出机械能,它具有转换功能;元件1、2和5的功用是使手轮力增大至一定的轴力;元件8和9靠楔面增大密封力,所以具有变化功能,同时元件8和9又起着截断或接通通道作用具有传导功能。另外,还存在单一传导功能——截断物料(下文称密封功能),如内密封功能载体是元件8、9和10,外密封功能载体是元件4、5、6、7、10和11。因输入的能量被分解为启闭工作力、摩擦力、支承力和密封力,元件1、2和5等具有连接功能。

表1 常用功能<sup>(3)</sup>

特征 输入E/输出A	常用功能	标记	注释	图例
种类	转换		输入E和输出A的种类及表现形式不一	电机 杠杆 
大小	变化 放大 缩小		$E < A$ $E > A$	齿轮传动 杠杆 
数量	连接 合并 分支		E的数量>A E的数量<A	合流 多路传动 
地点	传导 导通 闭锁		E的地点≠A E的地点=A	管传递 单向阀 
时间	贮存		E的时刻≠A	摆动齿轮(转动) 位能 

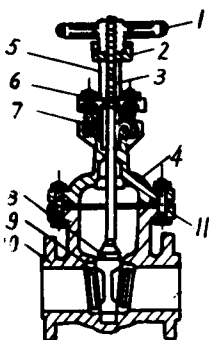


图2 闸阀结构

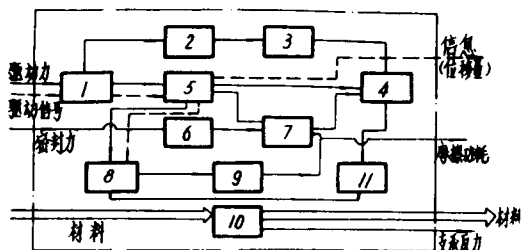


图3 闸阀系统结构

至此,不用考虑系统具体结构便抓住构思方案的本质问题,总功能可分解为若干分功能,

进一步分解还能得到许多元功能。反之,分、元功能经有序的组合成为实现系统总功能的可行的设想。因此,只要把阀门系统的分功能按一定的作用关系或者逻辑关系联结起来,便形成功能结构。分功能衔接次序和位置的不同,相应的功能结构也就不同。图4是其中的一种待设计阀门功能结构。在诸多的分功能组合中确定了最佳功能结构,就把握了构思方案的主框架,为方案的建立做好了重要的前期工作。

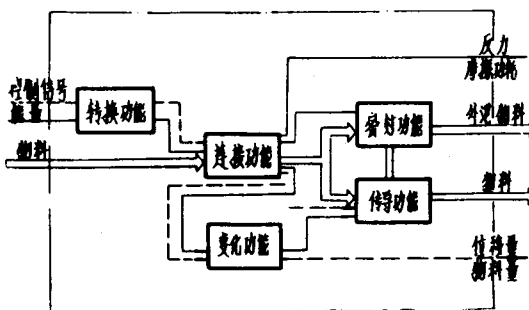


图4 阀门系统功能结构

## 二、用系统方法建立方案

设计方案是阀门总功能的解法。总功能又

是由分功能适当地搭配而成,所以分功能的解法必定是总功能的可变因素。从全局来分析系统的变化过程目的在于寻找总功能的可能解法。它是通过分析功能的所有解法及其关系生成设计方案的集合。

分功能实质上也是系统,只不过是子、元系统,它具有相同的输入与输出的转化效应。这种效应的转换往往反映在物理(或化学、生物)方面。例如,手轮通过螺旋副作用实现增力,其物理转化效应是楔块原理。转换效应又称技术物理效应(简称物理效应)。如何确定分功能的物理效应,目前有多种方法,德国柯勒的物理效应表和罗特的设计目录<sup>[2,3]</sup>便于手工检索,也可作为数据库加以贮存。前者把输入、输出量的内容抽象成物理量的概念(如长度、速度和力等),用户只要明确功能与其输入、输出,便能从表中获得相应的物理效应。后者表格的内容更为详细,它不仅提供物理效应,还有构形方法和计算公式等。

用系统方法将各分功能的物理效应组合起来,便获得总功能的物理效应。这时,它的使用价值并不大,因为人们所见到的往往是图表,充其量是原理简图或一维和二维的形体图。因此,有必要以虚带实,以软带硬逐步抽象过渡到形

体。具体的做法是在物理效应发生作用的部位,通过有目的的配置工作面:类型、形状、位置、尺寸及数目;运动特征:类型、形式、方向、大小及数目;材料特征:状态、性能、形状,从而获得方案结构草图。

现以求解密封功能问题为例,其作用部位假定在阀座和阀瓣之间。先把功能分成若干基本单元,再考虑各单元诸要素,最后把相关要素组合起来形成解法。它的作用面是密封空间,内含要素:类型(线、面)、形状(圆柱体、圆锥体等)、位置(轴向、径向)和数目(1个或2个)。其运动特征是密封面贴合前后的相对运动,内含要素:类型(平动、转动等)、形式(平面、空间运动)、方向(绕 X、Y、Z 转动或沿三轴移动)和数量(1个或2个)。材料特征是密封材料匹配,要素有:状态(固体)、性质(刚性、弹性、塑性)和形状(块状、颗粒状)。此外,输入输出对密封功能可能的影响也可考虑,如密封载荷、补偿方式及物料在密封面的堆积等。

表 2 是阀门关闭件与阀座密封功能的形态分析表,纵标目为基本单元,内容是其对应要素。表中实线表示某一种可能的形态组合,虚线则为另一种方案。对应于实线的设计方案是用于锥形截止阀的密封功能草图。

表 2 关闭件与阀座密封功能形态分析

1 密封空间	1.1 同轴圆柱面	1.2 同轴锥面	1.3 平面	1.4 同轴螺旋面	1.5 同轴心球面	1.6 组合线接触	
2 贴合前后相对运动	2.1 移动	2.2 转动	2.3 移-转	2.4 二边摆动	2.5 螺旋运动	2.6 复合运动	
3. 密封载荷	3.1 弹性力	3.2 重力	3.3 磁力	3.4 电力	3.5 惯性力	3.6 分子力	3.7 工作力
4 密封材料匹配	4.1 弹性材料对金属	4.2 软塑性材料对金属	4.3 软对软金属	4.4 硬对硬金属	4.5 软对硬金属	4.6 软硬组合件对金属	
5 补偿方式	5.1 无	5.2 自动	5.3 人工定期				
	1.6+2.1+3.7 +4.6+5.1		1.5+2.3+3.3 +4.3+5.3				

同理,也能用形态分析的方法获取“截断或接通”功能的解法。德国帕尔教授编制了相应的形态分析表,其纵标目是关闭件形状(板、圆柱、锥体或楔块、球),横标目是关闭件运动类型(平

动、转动、平面运动)及运动方向,表内直接填入形态简图,然后由简图绘制出结构草图(图 5)。

前例中密封功能的解法就有  $6 \times 6 \times 7 \times 6 \times 3$  种,即存在 4536 种解法。而闸阀系统拥有 5

个功能,可见阀门总功能的解法很多。当然,其中必定存在某些不可行的设计方案,可以通过审查予以剔除。

### 三、用优化方法确定方案

最佳设计方案是从许多可行设计方案中评选出来的。要进行评选就得准备好评据——目标函数或评价函数;为获取可行设计方案,还必须根据设计要求对设计方案的选取加以限制(约束条件);另外还应有一定的择优手段。这三要素正是用优化方法确定阀门设计方案的重要内容。

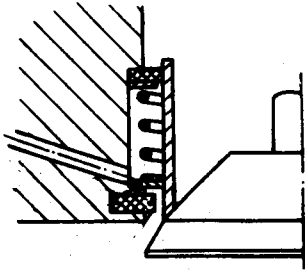


图5 锥阀密封方案

阀门方案是技术系统,设计人员优选方案

表3 ×××厂 阀门与燃气装置任务要求细目单

更改日期	要求或希望	设计要求	负责人
	希望	截断和接通流体通道,截断时锁气 接通时流动无阻碍 流动介质:固体材料,颗粒0~10mm 流量和压降 $\Delta P$ 50MPa 流体温度:700℃ 泄漏量: 驱动装置:气缸 动力源:压缩空气 有远距离控制要求 启闭频数,每30分钟启闭一次,频繁使用 使用寿命:5000次 耐磨 耐蚀主要针对二氧化硫,硫化氢 易损件容易更换 检修阀门时不从管道上卸下 润滑和调整次数尽量减少 重量 安装尺寸: 反应时间尽可能快 发生事故时(停电、汽及自然灾害)人工关闭阀无危险 材料耐热耐蚀 装置外壳其类型口径、温压级别 标志 对污染不敏感 口径的限制 颜色与周围环境协调 小批量生产 价格具有市场竞争能力约3万元(单价) 运输和贮存 尽量小的贮存空间 用简易起重机安装 专利:不损害专利 标准和规范:符合国家标准或出口国标准	
	希望		
	希望		
	希望		
	希望		

也是系统。在方案设计过程中,人对方案设计的参与表现在信息的处理和转换。它的作用过程是:对设计任务进行抽象,建立功能结构,寻求部分功能解法,形成总功能解法,对方案技术经济评价,确定最终方案。在信息转换过程中,方案设计这个子系统将反馈出若干工作状态信息,设计人员根据预定的目标作出决策,调节子系统直至获得最佳方案。这个预定的目标正是开发阀门系统的目标函数。它的基本内容是:实现技术功能,提高经济效益,注重社会效益。子系统应满足预定技术性能要求(如阀门性能指标、寿命等),还应有利于降低工程造价和产品价格,对社会产生积极作用(避免环境污染,维护生态平衡,促进生产力发展)。同时,子系统又以其系统的特征对人及环境产生影响。它包括:功能、作用原理、结构、安全及人机关系,制造、控制及安装,运输、使用维护及费用<sup>(1)(2)</sup>。子系统特征的内容包括了方案设计目标函数和约束的各方面。所以,设计人员可以参照系统特性编制任务要求细目单,以此替代目标函数和约束,作为评价方案优劣的依据。

编制设计任务细目时,设计人员要综合运用知识、经验和逻辑判断的才能,经常听取用户对细目单内容的意见,及时调整,更改有关内容。细目单所列各特征应按其重要程度规定优先次序,注明“要求”是必须满足的特征。表内所列的特征量尽可能写上详细的数据。我们结合待进行的阀门方案设计实例编制了设计任务要求细目表(表 3),表中未注“希望”即为必须满足的要求。

#### 四、结论

阀门方案择优的方法有多种,应用较广的

《阀门垫片填料手册》为专门介绍阀门用垫片,填料的工具书。该《手册》比较系统和详细地介绍了国内外阀门用垫片和填料的种类、结构、性能、参数及选用,可供从事阀门设计、销售和物资供应的人员使用。

苏州阀门厂已将其作为内部资料(16 开

首推经验判断法。它是靠评价人员的经验和直觉,对设计方案进行粗略评价的方法,适用于方案的粗选。方案的精选往往使用技术经济评价法。它是对技术和经济分别评价,综合评估的方法。首先应建立与设计任务要求细目单相对应的评价表,列出各项特征的技术或经济价值,然后分别根据其重要的程度引入权系数,再计算出各种方案的各项特征的使用价值,统计出各个方案的总使用价值,数值最大者为最佳方案。当同时存在技术价值和经济价值时,就需要根据这种阀门的社会性质与作用来决定它的使用价值,以便按最佳匹配关系找出最优的阀门方案。

设计方法学思维方法较严密、科学,所以将它的方法、步骤贯穿于阀门方案设计之中,能获得很多结构方案,可开阔设计人员的视野从中选取最佳方案。根据阀门物理效应,结构草图,评价准则等设立相应的设计信息库,将为阀门计算机辅助设计和阀门设计专家系统的建立奠定基础。

#### 参考文献

- 1 V·胡勃卡等,刘伟烈等译. 工程设计原理. 机械工业出版社,1989.
- 2 R·柯勒,吕持平. 机械、仪器和器械设计方法. 科学出版社,1982.
- 3 G·Pahl, W·Beitz. Konstruktionslehre. Springer—Verlag. Berlin,1986.
- 4 Herausgegeben von W·Beitz—HKuttner. Dubbel Taschen—buch fur den Maschinenbau. Spring—Verlag Berlin,1981.
- 5 Edited by R·W·Greene. The Chemical Engineering Guide to Valves McGraw—Hill Publications Co. New York. N. Y,1984.
- 6 J·C·Jones. Design Methods. New York To Chi Bri,1982.
- 7 K·Roth Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Springer—Verlag Belin,1982.

本、135 页)印出。现有少量剩余,可供行业单位或个人选用。有需要者,请来人来函联系。

地 址:江苏省苏州市人民路 679 号

苏州阀门厂科技情报组

联系人:陈震华 电话:(0512)773655—273

邮 编:215001 电挂:0124