

表3

项 目 \ 样 号	原样	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
样液锤度Bx	34.51	34.48	34.44	34.39	34.35	34.33	34.31	34.30	34.28	34.27	34.25
样液DE值	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6	38.6
中和碱浓度%		32	32	32	32	32	32	32	32	32	32
中和温度°C		85	85	85	85	85	85	85	85	85	85
中和液的pH值		4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	5.0	5.1	5.2	5.3
E ₄₅₀	0.081	0.088	0.095	0.102	0.116	0.108	0.17	0.159	0.165	0.181	0.185
E ₆₀₀	0.010	0.016	0.023	0.018	0.033	0.022	0.08	0.067	0.070	0.078	0.083
T ₀	0.0020										
T		0.0021	0.0021	0.0024	0.0024	0.0025	0.0026	0.0027	0.0028	0.0030	0.0030
(T-T ₀)/T ₀ (%)		5	5	20	20	25	30	35	40	50	50

应用价值工程理论指导12DR型塑杯灌装 机电气控制系统的国产化设计

北京市食品研究所 刘红武

引 言

价值工程(简称VE)理论是一门被广泛应用的技术经济方法,核心内容是通过 对 VE 对象进行功能成本分析,用最低的寿命周期费用去实现必要的功能,以提高产品的服务价值。本人在对GASTI公司的12DR型塑杯灌装机的电气控制系统(以下简称“A系统”)进行国产化设计的工作中,试用VE的部分理论及方法,取得比较满意的效果。现将对A系统实施VE的必要性、实施过程及效果做比较详细的介绍。

一、对A系统实施VE的必要性

电气控制系统是塑杯灌装机的神经系统。由于A系统全部由西德产品(主要是SIMENS

公司的产品)组成,我们进行仿制工作的思路一般有两种:

(一)根据A系统的电原理图所提供的各种电气产品清单,摸清它们在电气柜内的布置方式,按原设计进口器件组装。

这种思路的优点是:技术成熟,可靠性高。但对我们将来的仿制生产,存在如下缺点:

1) 依赖进口,需要与该机在国内生产量相适应的相当数量外汇,而申请困难。

2) 成本高(参看表4)。

(二)在国内寻找功能类似或更好的同类产品直接替代进口器件。由于国产器件系列不全,A系统的几十个器件中有40%以上找不到可以直接代替的产品。如果外协专门生产这部分器件,则受以下三方面条件的影响:

1) 产品需求量小,又属新产品设计试制,厂家从经济效益考虑,收费必然偏高,仿制产品的经济效益受到损害。

2) 上述新产品的可靠性在短期内无保障。

3) 设计时间不允许。几个外协厂的设计、试验周期可能因各种工作程序的安排要求而长达几个月甚至一年。

由此可见:第二种思路更不实际。相比之下,VE理论为我们提供了解决问题的科学思路——按其机械系统要求提供的功能重新设计:因为机械系统只对电气控制系统的必要功能(或称“目标功能”)感兴趣,而不关心内部结构。在实际工作中,实现同一种功能的方案可以千差万别,如果只从原始电原理图等资料出发考虑问题,容易使思路受到束缚。认识到这一点,我们就能开阔视野,为实现产品的必要功能多找几种方案,择优选。但什么是“优”的指标呢?VE理论提供了鉴别优劣的科学方法——服务价值分析法,亦称功能成本分

析,基本关系式如下:

$$(\text{产品的})\text{服务价值} = \frac{(\text{产品的})\text{必要功能}}{(\text{产品的})\text{寿命周期费用}}$$

有此关系式之后,可以把任意多个功能相同或相近的电气产品或电路系统都拿到“必要功能”(即工作状态下的具体要求)这个前提下分析和比较,定性甚至定量地确定优劣,使得从器件的选型到电气系统的各种方案的确定都做到择优选用。

这样,在完成对A系统进行国产化(以下将新设计的电气系统简称为“B系统”)设计时,不但能满足机械系统要求提供的各项功能指标,同时还兼顾到经济效益。

二、对A系统的国产化设计实施VE的方法与步骤

1. 分析机械系统要求提供的各项功能和指标,结果列于表1。

2. 分析A系统的操作运行逻辑关系,结果绘成图1。

表1. 机械系统要求提供的功能及指标

功 能 名 称	指 标
主驱动电机的控制和自动保护	起动、停止、短路保护和过载保护
真空泵电机的控制和自动保护	同上
外罩安全保护	侧门、前板、右板离开工作位置时能自动切断控制电源
杯穴自动检测	灌装工位前检测到杯中未装入杯子时能切断控制电源
清洗运转	清洗机体时(此时杯穴内无杯)保持主电机运转
定位停机	非紧急情况下能定位停机
液面自控	1. 适用于电解质或非电解质的高粘度流体食品 2. 液面上限控制点低于贮料罐顶端约90mm(±10mm、允许误差);下限点距上限点距离从300mm~500mm可调 3. 下限点控制精度±100mm
温度自控	热压封口机构上的压盖温度保持在200°C~240°C范围内

3. 分析确定A系统的必要功能、附加功能和是否有多余功能,结果列于表2。

4. B系统的设计原则和设计结果

1) 整机的设计寿命为15年,因此B系统也以此作为标准寿命周期。

2) B系统的目标功能以表1的分析结果作为指标。

3) 为方便用户统计产量,把自动计时(属多余功能)改为自动计数。

4) B系统的操作运行逻辑图如图2,对

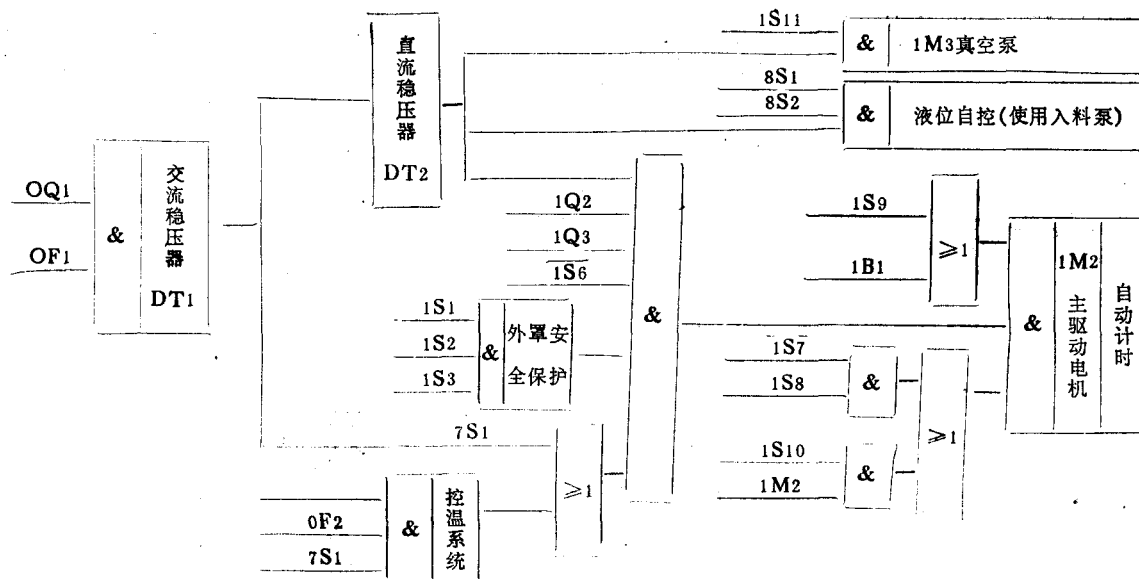


图1. A系统操作运行逻辑

表2.

A系统的功能性质分析及各项功能指标

子系统名称	功能名称	指标	功能性质分析			
			必要	附加	多余	部分多余
电源	直流稳压			✓		
	交流稳压	220V ± 2%		✓		
综合控制系统	主驱动电机的控制及自动保护	起动、停止、短路保护和过载保护	✓			
	真空泵电机的控制及自动保护	同上	✓			
	外罩安全保护	侧门、前板、右板离开工作位置的时候切断控制电源	✓			
	杯穴自动检测	灌装工位前检测到杯穴中未装入杯子时切断控制电源	✓			
	主驱动电机运转计时	自动计时			✓	
	清洗运转	清洗机体时保持主驱动电机运转	✓			
	定位停机	非紧急情况下能定位停车	✓			
液面自控	贮料罐液面自动控制	1. 适用于电解质或非电解质的高粘度流体 2. 液面控制精度: ±5mm 3. 在500mm长探头范围内能任意设定差值≥10mm的上限和下限点	✓			✓
温控	热压封口温度自动控制	热压封口机构上的压盖温度要保持在200°C~240°C范围内	✓			

此图1可知，操作几乎相同。

5) B系统的电原理图如图3, (图号: BGJ-12-1)。

6) 子系统的设计和器件的选型按VE理论最重要的公式:

$$\text{服务价值}(V) = \frac{\text{必要功能}(F)}{\text{寿命周期费用}(C)}$$

来定性或定量地分析服务价值之后决定。

下面各举一例说明。

例一，液面自控系统的设计

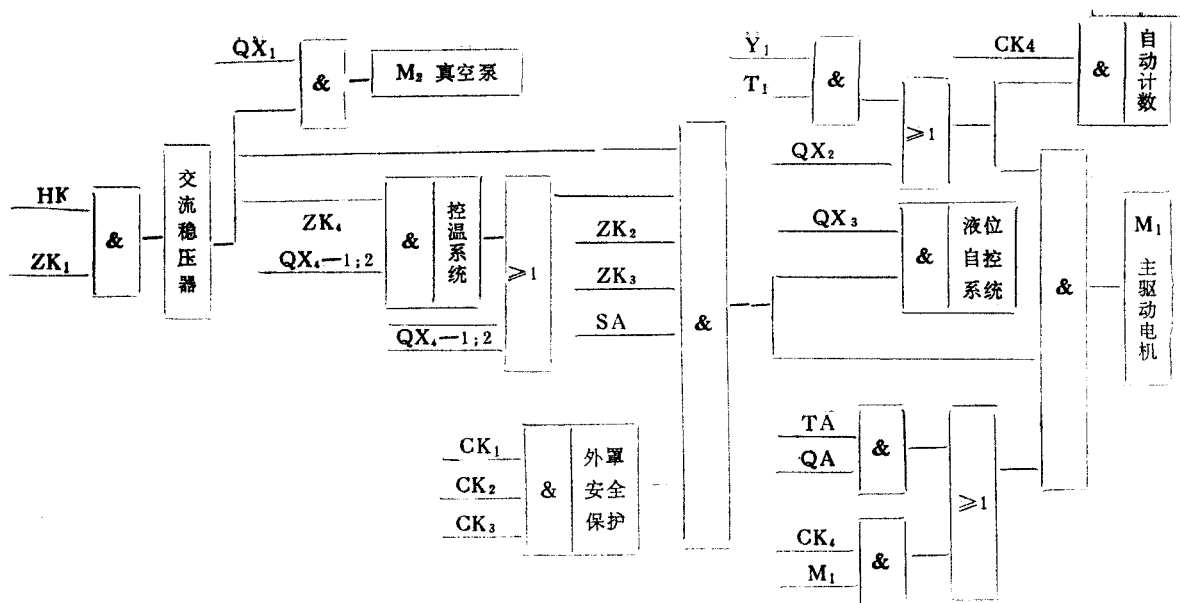


图2. BGJ15型杯状灌装机电气控制系统操作运行逻辑图

A系统中液面控制部分的核心器件由西德Endress+Hauser公司的自动化仪表FMC423和配套的电容探头组成。由于国内没有可替代的产品，我们自行设计了B系统的液面自控系统。为分析方便起见，现设：

F_{AY} ——A系统的液面控制功能。见表2。

F_{IY} ——机械系统要求提供的液面控制功能。见表1。

F_{BY} ——B系统所能达到的液面控制功能。其功能指标如下：

①适用于电解质或非电解质的高粘度流体。

②液面上限固定于探头(T_4)下方约30mm处，离贮料罐顶端距离约90mm。

③下限控制点与上限控制点之间的距离最大值为500mm。

④灌装速度7.5升/分时，下限控制精度 $\leq \pm 40\text{mm}$ ；灌装速度达最大值时（即15升/分），下限制制精度为 $\leq \pm 80\text{mm}$ 。

对照表1可见， F_{AY} 和 F_{BY} 均满足 F_{IY} 指标。因此在B系统的设计中： $F_{AY} = F_{BY}$ 。而与 F_{AY} 相应的寿命周期费用 $C_{AY} = 4800$ 元人民币，相

比之下与 F_{BY} 相应的 $C_{BY} = 483.20$ 元人民币。由上述服务价值计算式推导有：

$$\frac{V_{BY}}{V_{AY}} = \frac{F_{BY}/C_{BY}}{F_{AY}/C_{AY}} = \frac{F_{BY}/483.20}{F_{AY}/4800} = 10$$

服务价值相差约10倍（见表4中的“贮料罐液面自动控制”栏）。顺便说一句：在该子系统设计过程中，应用同样的方法对另外几种设计方案进行对比分析，认定现行方案为最优方案。

例二，三极自动开关的选型

国内现有DZ5-20/330型和引进技术生产的3VE1型两种产品可供选型，现将它们之间的区别列表分析如下：

表3

3VE1	功能特点	体积	54×82×82.5mm ³
		寿命	10 ⁵ 次
	价格	116元	
DZ5-20/330	功能特点	体积	76×88×98mm ³
		寿命	5×10 ⁴ 次
	价格	41元	

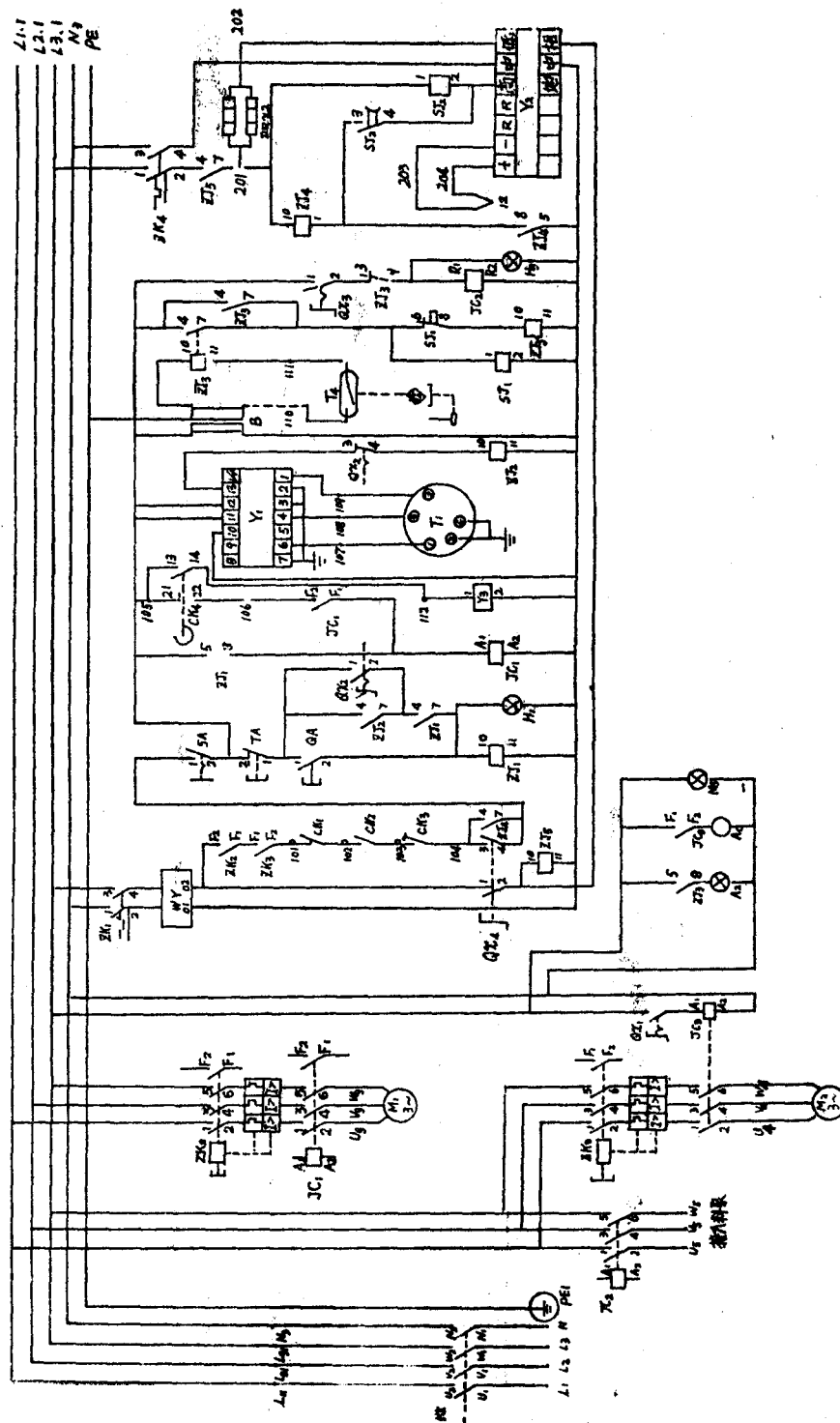


图3

表4-1

服务价值分析表

列表时间1987年12月

BGJ15型杯状灌装机电气控制系统								
子系统名称	代 号	器 件 名 称	规 格 型 号	单价(元)	器件服务价值 $V_Q=F_Q/C_Q$	子系统服务 价值 $V_Z=F_Z/C_Z$	备 注	
电 源	HK	挂锁式总开关	DK1-16/JGL	52.70	18.975	3.07		
	ZK	自动开关	DZ5-10	13×2	38.462			
	ZK ₄	自动开关	DZ5-10	13×2	38.462			
	H ₅	电源指示灯	XD ₄	11.00	90.909			
	WY	交流稳压器	PJA-0.5KW	210.00	4.762			
综 合 控 制	主 电 机 控 制 及 自动保护	H ₁	M ₁ 运转指示灯	XD ₄	11.00	90.909	0.6360	
		SA	紧急自锁开关	LAY ₃ -01 ZS/1TH	10.80	92.592		
		TA	停机开关	LAY ₃ -01 TH	8.40	119.048		
		QA	启动开关	LAY ₃ -10 TH	8.40	119.048		
		M ₁	主驱动电机	AO ₂ 8024	134	7.463		
		ZK ₂	自动开关	DZ5-20/330	41.00	24.390		
		JC ₁	交流接触器	CJ10-5	16.00	62.500		
		ZJ ₁	中间继电器	PR41C1220 №4	26.00	38.46		
	自动计数	Y ₃	计 数 器	875型	60.00	16.67	2.06	
	定位停机	CK ₄	行程开关	3SE3 100-1E	62.00	16.613		
	清洗运转	QX ₂	清洗转换开关	LAY ₃ -11X/2TH	10.20	98.039		
	外罩安全保护	ZJ ₂	中间继电器	PR41C1220 №4	26.00	38.46		
		CK ₁ ~CK ₃	行程开关	3SE3100-1B	47.00	7.092		
	杯穴自动检测	Y ₁	光电放大器	GD-A	135.00	7.407		
		T ₁	反射式远红外探头	GD-F20/Z				
	真空泵控 制及自动 保护	M ₂	真 空 泵		900.00	1.1		
		ZK ₃	自动开关	DZ5-20/330	41.00	24.390		
		JC ₃	交流接触器	CJ10-5	16.00	62.500		
		QX ₁	真空泵启动开关	LAY ₃ -10X/2TH	8.40	119.048		
		H ₄	真空泵运转指示灯	XD ₄	11.00	90.909		
贮 料 罐 液面自动 控 制	QX ₃	入料泵自控启动开关	LAY ₃ -10X/2TH	10.20	98.039	5.65	2.06	增加机加工 及材料成本 费用<280元 按280元计算
	JC ₂	交流接触器	CJ10-5	16.00	62.500			
	T ₄	磁控探头	GAG-7	8.00				
	ZJ ₃	中间继电器	PR41C1220 №4	26.00				
	SJ ₁	时间继电器	JS20-D	90.00				
	H ₂	入料泵停转指示灯	XD ₄	11.00				
	H ₃	入料泵运转指示灯	XD ₄	11.00				
	B	变 压 器	3VA 220V/6V	5.00				
热压封口 温度自控	ZJ ₄	中间继电器	PR41C1006 №4	26.00		0.305	0.305	DR 元件寿命 按 国 标 应 达 3000小时, 但 一般质量的元 件只有1500小 时左右, 这里 按1000小时计 算, 15年需用 72只电热元 件。
	QX ₄	温控启动开关	LAY ₃ -11X/2TH	8.40	119.048			
	DR	电热元件	300W/只	40.00	0.347			
	ZJ ₄	中间继电器	PR41C1220 №4	26.00	38.46			
	ZJ ₅	中间继电器	PR41C1220 №4	26.00	38.46			
	SJ ₂	时间继电器	JS20	90.00	11.11			
	T ₂	热 电 偶	WRKT-01	35.00	28.57			
	Y ₂	调 节 仪	TES-0301	210.00	4.76			

表4-2

服 务 价 值 分 析 表

列表时间 1987年12月

西德GASTI杯状灌装机电气控制系统								
子系统名称	代 号	器 件 名 称	规 格 型 号	单 价 马 克	价 人民币(元)	器件服务价值 $V_Q = F_Q / C_Q$	子系统服务 价值 $V_Z = F_Z / C_Z$	备注
电 源	0Q1	挂锁式总开关					小于0.2988 因缺0Q1器 件的 C_Q 值	
	0F1	自动开关	5SN2 G6A	62.78	207.17	4.826		
	0F2	自动开关	5SN2 G4A	62.78	207.17	4.826		
	0H1	电源指示灯	3SB1400-2A 3S31901-7AA #	5.99	19.767	50.589		
	0T1	交流稳压器	4FK12	756	2494.8	0.401		
	0T2	直流稳压器	[4AY8800] 注	[126.92]	[418.856]	[2.388]		
综 合 控 制	1S6	紧急自锁开关	3SB1000-1AC 3SB1400-OC •	17.42	56.892	17.577	小于0.569因 缺1P1和1B1 以及1M3等 件的 V_Q 值。	
	1S7	停机开关	3SB1000-OAC 3SB1400-OC •	8.58	28.314	35.318		
	1S8	启动开关	3SB1000-OAB 3SB1400-OB •	8.58	28.314	35.318		
	1M2	主驱动电机	1LA3083-4AA20	215	709.5	1.409		
	1Q2	自动开关	3VE1010-2H		116	8.620		
	1K2	交流接触器	3TB4012-OAN1	31.08	102.564	9.750		
	1K1	中间继电器	3TJ1001-0BB4	28.88	95.304	10.493		
	自动计时	计 时 器	müller					
	定位停机	行程开关	3SE3100-1E		62.00	16.613		
	清洗运转	清洗运转开关	3SB1000-2AB 3SB1400-OA •	13.15	43.395	23.044		
	1K3	中间继电器	3TJ1001-0BB4	28.88	95.304	10.493		
	外罩安全保护	行程开关	3SE3100-1B		47.00	7.092		
	杯穴自动检测	反射式近红外检测器	E03002PNOP					
	1H1	真空泵运转指示灯	3SB1400-2A 3SB1901-TAA •	5.99	19.767	50.539		
	1M3	真 空 泵	D71A4					
	1Q3	自动开关	3VE1010.2G		116	3.620		
	1K4	交流接触器	3TB4012-OAN1	31.08	102.564	9.350		
	1S11	真空泵启动开关	3SB1000-2AB 3SB1400-OB •	11.85	39.105	25.572		
贮料罐液面 自动控制	8S2	电磁阀自控启动开关	3SB1000-2AB 3SB1400-OB •	11.85	39.105	25.572	0.203	
	8S1	入料泵自控启动开关	3SB1000-2AB 3SB1400-OB •	11.85	39.105	25.572		
	8K2	交流接触器	3TB4012-OAN1	31.08	102.564	9.750		
	8B1	电容探头	EC72Z					
	8N1	调 节 仪	SILOMETER FM [423]	1400	4620	0.216		
	8P1	液面高度指示仪表	Ig=20mA					
热压封口 温度自控	7H1	温控预热指示灯	3SB1400-2A 3SB1901-7AA •	5.99	19.757	50.539		
	7V1	双向可控硅开关						
	7B1	热 电 偶						
	7N1	调 节 仪						
	7S1	温控启动开关	3SB1400-1B 3SB1000-2AB •	11.85	39.185	25.572		
	7E1 7E2	电热元件						

由表3可见, 3VE1型产品具有体积小、寿命长两项优点, 但价格高2.8倍。

本设计中, 3VE1型的上述两项优点没有得到充分发挥, 原因在于:

①经过寿命校核, 3VE1可在本机上使用66年, DZ5-20/330型也能使用33年, 均远远超过整机的设计寿命, 换言之, 两种自动开关的寿命周期费用, 等于自动开关本身的价格。

②B系统无论使用哪一种自动开关, 都不能使电气控制柜的外形尺寸增大或减小。

因此在本设计中, DZ5-20/330型自动开关的功能与3VE1型自动开关的功能完全相同, 而它们的服务价值分别是:

$$V_{3VE1} = F_{3VE1} / 116$$

$$V_{DZ5-20/330} = F_{DZ5-20/330} / 41$$

$$\text{又} \because F_{3VE1} = F_{DZ5-20/330}$$

$$\therefore \frac{V_{DZ5-20/330}}{V_{3VE1}} = 2.63(\text{倍})$$

因此选用DZ5-20/330型自动开关。

5. 列表分析A、B两个系统所使用的器件和子系统的服务价值。B系统列在表4-1, A系统列在表4-2。

1) 列表原则:

①尽量按对应的功能关系。

②所有器件均以零售价为计算依据。

③寿命超过15年的器件, 以零售价为寿命周期费用。

④F值为本设计前提下的功能定性(或定量)值。不同类型功能的器件或子系统的服务价值不具备互比性质。

三、结 论

应用VE理论指导B系统的设计工作, 主要有以下两大效果:

1. 通过对A系统的输出功能和机械系统所要求提供的功能进行分析和定义, 能很快明确B系统的目标功能, 并据此迅速投入设计工作, 缩短设计周期, 提高工作效率。

2. 由于作了功能成本分析, 使B系统具有较好的性能价格比。通过表4与A系统比较, 可以看出, 国产化设计之后的B系统的器件的服务价值, 除几个行程开关同A系统的相同以外, 其它全部高于A系统中对应可比的器件, 其中有些器件的服务价值相差10倍左右。在四个子系统中, 除温度控制部分的资料欠缺到不足以定性分析外, 电源系统的服务价值比A系统提高9.2倍, 液面自动控制系统的服务价值提高8.9倍, 综合控制系统的服务价值也提高11.8%以上。完全可以说, 本设计不仅满足机械系统的技术要求, 同时还大幅度降低成本, 提高产品的竞争能力。

3. 存在的问题

1) 因部分西德产品的价格资料不全(故表4-2中有一些未填数字的空格), 所以本文所做的价值分析还没有完全达到定量分析水平, 但足以作为定性的依据。

2) 由表4-1的温控部分可知, 电热元件是影响该子系统服务价值最大的元件, 寿命如能提高到国家标准的3000小时, 每年可节约128元电热管的配件费。

4. 结束语

价值工程的理论应用于产品设计领域, 对改变搞设计只考虑产品功能而不重视成本分析的传统习惯, 有很好的效果, 特别是在讲求经济效益的形势下, 从提高产品在市场上的竞争能力角度来看, 价值工程理论的应用更具有现实意义。