

自动控制装置系统综合评估研究

朱宗林 郭世民

(中国科学院自动化研究所 北京 100080)

摘要 大型过程控制装置的功能、性能、可靠性、可用性、安全性是设备的生产方和使用方非常关心的问题. 设计出一种系统评估体系, 使各方有一个一致的标准, 是当前实践的要求. 采用层次分析法和模糊分析法对某化肥厂的自控装置进行分析, 结论与专家鉴定的一致性说明了方法的有效性.

关键词 自控装置, 评估体系, 层次分析, 模糊分析.

RESEARCH FOR AUTOMATIC CONTROL EQUIPMENT SYSTEM SYNTHETICAL EVALUATION

ZHU Zonglin GUO Shimin

(Institute of Automation, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract Functions, properties, reliability, availability and safety are of great concern to manufactures and end-users of large process control system. The integrated evaluation system can give the same standard for both of them. By means of the AHP (analytic hierarchy process) and the AFA (analytic fuzzy assemble), the DCS of Lanzhou Chemical Fertilizer Plant was evaluated. That the evaluation result was consistent with the experts' proved the validity of the evaluation system.

Key words Control equipment, system evaluation, analytic hierarchy process, fuzzy analysis

1 引言

随着现代科技的发展, 企业的经济效益的提高越来越取决于生产的环境、效率和方法等方面的改进. 作为这些改进的途径, 自动控制装置在工业过程生产中起着越来越重要的作用. 相应地系统综合评估日益成为摆在企业决策者面前急需解决的课题^[1].

进行自动控制装置的系统综合评估其目的在于

1) 在新产品设计生产过程中, 使用户目标确立合理化, 能真实满足生产要求; 使设计方案成熟完善, 能鉴别设计中的缺陷; 使生产保障健全有效, 能发现并克服生产保障的不足; 使验证试验精确完备, 能避免验证试验中的疏忽.

2)在将装置向用户介绍推广中,有强有力的系统综合评估体系作为后盾,满足用户目标的多变性和多样性,为装置赢得良好而长久的声誉.

3)在使用过程中,使装置简单易掌握,极少出现或不出现故障或失效现象,即使出现也易快速修复,不致造成大的损失.

本文选择了目前自控装置中先进的、确有发展前景的集散型控制系统(DCS——Distributed Control System)作为系统综合评估方法及应用的研究对象.

2 系统综合评估方法

作为综合评估的一般概念,则意味着对其功能、性能、可靠性、有效性和安全性等目标在各个层面上进行评价、估价、定级,以确定被考察对象的优劣好坏^[2].

本文提出建立评估体系,以层次分析和模糊聚类分析相结合的系统综合评估方法.

2.1 建立评估体系

集散型控制系统与设计方、生产方、用户方具有很大的相关性,应制定出合理的方法和指标,达到各方的共识,作者建立一个由四个方面组成的评估体系.表述如下:

1)结构上的系统评估

该方面的评估轴线为:过程级→通讯级→监控级.这是按系统的硬件结构分,从各组件、部件到部分,直至子系统,全系统建立多级递阶层次结构模型进行评估.

2)内容上的系统评估

该方面的评估轴线为:用户目标→设计评审→生产保障→验证试验.这是从使用方到设计方、生产方、又回到使用方的评估过程.

3)指标上的系统评估

该方面的评估轴线为:方法→标准.从各项评估工作到评估的量化指标,提出科学的合理的指标,制定出评估方法和试验方法,相应的评估标准和试验验证标准.

4)目标上的系统评估

该方面的评估轴线为:功能→性能→可靠性→可用性→安全性,通过五个层面完成系统的综合评估.

2.2 层次分析方法

层次分析法 AHP(The Analytic Hierarchy Process)是由美国 T. L. Saaty 教授在 1980 年提出来的一种处理复杂问题的多目标决策的新方法,其主要思路如下:首先建立多级层次结构模型,接着根据具体情况选用相应的多目标规划方法来计算各因素的相对重要性权重(排序)系数,然后请专家(或利用历史数据)对低层中各考察因素进行分析,最后对这些分析结果予以折算和统计,从而得出关于系统的分析结果.

运用层次分析法作系统综合评估,首先将系统的诸因素层次化,将总目标分解为各因素的各个组成部分,根据其关联影响和相互关系将这些因素划分成不同的层次,某一层因素对其下一层因素起支配作用,同时它又受其上一层因素的支配.各个因素形成一个从上到下有支配关系的递阶层次结构分析模型,各层称为目标层、准则层、指标层等.系统分析问题归结为最低层(指标层)相对于最高层(目标层)的相对重要性权值的确定或相对优劣次序的排序问题,并由此作出科学的优化决策和判断.

根据层次分析法的思想,将系统粗分为五层:第一层(目标层)即系统的综合评估值和等级;第二层包括功能、性能、可靠性、可用性和安全性五大因素;第三层的每一个因素分为过程控制级、通讯系统级、监控管理级和总体协调四个等级;第四层将各等级分为用户目标、设计评审、生产保障和验证试验四个因素;第五层为定性和定量指标.

2.3 模糊聚类分析方法

在综合评估问题中评判的结果为优、良、中、差等,须同时考虑多种因素时,判断出它们在对事物评估结果中的影响大小.因此,应用模糊数学方法是最为适宜的^[3].

设进行综合评估的因素集合为 $U = \{U_1, U_2, \dots, U_m\}$, 评判结果的评语集合为 $V = \{V_1, V_2, \dots, V_n\}$, 因素论域 U 和评语论域 V 之间的模糊关系可用评价矩阵来表示

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

其中 $r_{ij} = u_R \{u_i, V_j\}$ ($0 \leq r_{ij} \leq 1$) (2)

表示因素 u_i 该事物被评为 V_j 等级的程度. 矩阵 R 中的第 i 行 $R_i = \{r_{i1}, r_{i2}, \dots, r_{in}\}$ 为第 i 个因素 u_i 的单因素评价, 它是 V 上的模糊子集. 单因素评判是多因素评判的基础.

设因素论域 U 上的因素模糊子集 $A = a_1/u_1 + a_2/u_2 + \dots + a_m/u_m$ ($0 \leq a_i \leq 1$) 或简化表示为模糊向量

$$A = (a_1, a_2, \dots, a_m), \quad (3)$$

其中 a_i 为因素 u_i 对于 A 隶属度, 它是单因素 u_i 在总评定因素中所起作用大小和所占地位轻重的度量, 或叫权重. 当模糊向量(或叫权重分配) A 模糊关系矩阵 R 已知时, 应用复合运算, 可得

$$A \cdot R = B, \quad (4)$$

这里

$$B = (b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (5)$$

就是综合判断的结果, B 是评语论域 V 上的等级模糊子集, b_j 为评语等级 V_j 对综合评定所得等级模糊子集 B 的隶属度. 通常可根据最大隶属原则, 选取 b_j 的最大者为同时考虑多种因素时事物判定的评语等级.

3 系统综合评估方法应用实例

本文以中国石油化工总公司兰州化肥厂和中国科学院自动化研究所共同研制投运的“合成氨集散型计算机自动控制系统”为对象, 进行系统综合评估. 得到的结论与实际情况基本一致, 从而对本评估系统体系的合理性和方法的实用性作出了验证.

3.1 对象简介

兰化公司化肥厂“合成氨集散型计算机自动控制系统”主要由一套引进的 ICC-6000 集散型工业控制计算机装置和 5 台 PM-550 可编程控制器组成, 用于合成氨车间, 实现对六条氨生产线的分散控制集中显示及数据处理.

该系统上位管理机为 S674B 采用双机热备份, 单机内存 1M, 硬盘 69M, 磁带 15M, 字

长16位,配有多种高级语言;下位机采用5套 PM-500可编程控制器,配有模拟量输入输出320路,开关量输入输出500点,控制回路80个,配有带语言系统的智能终端一套.

目前投入运行的触媒层温度调节等25个控制回路,通过40余幅画面实现116个检测点的显示及给定值显示、阀位显示、趋势显示、越限报警显示等.系统采取了必要的安全保障措施,确保了可靠性,因此取消了备用仪表.

3.2 综合评估方法的应用

合成氨自控系统评估部分的可靠性数据在程序里被转换成最底层中各考察因素相对于结论集中的隶属度,运算得出次低层中的隶属度,这样逐级向上运算,得出最高层中系统相对于结论集的隶属度;再按最大,隶属原则定出系统的优劣等级.

系统性能在最低层的各考察因素相对于结论集的隶属度分别为

$$pbp = 0.000\ 000/Y + 0.381\ 818/L + 0.400\ 000/Z + 0.327\ 273/C,$$

$$pdc = 0.111\ 111/Y + 0.466\ 666/L + 0.366\ 666/Z + 0.133\ 333/C,$$

$$pdm = 0.260\ 869/Y + 0.365\ 217/L + 0.191\ 304/Z + 0.260\ 869/C,$$

$$pdw = 0.125\ 000/Y + 0.393\ 750/L + 0.412\ 500/Z + 0.150\ 000/C.$$

如果将过程级、通讯级、监控级和总体协调四方面的权重分配为 $k_p=3, k_c=2, k_m=3, k_w=2$. 则底层的隶属度为

$$\begin{bmatrix} 0.000\ 000 & 0.111\ 111 & 0.260\ 869 & 0.125\ 000 \\ 0.381\ 818 & 0.466\ 666 & 0.365\ 217 & 0.393\ 750 \\ 0.400\ 000 & 0.366\ 666 & 0.191\ 304 & 0.412\ 500 \\ 0.327\ 273 & 0.133\ 333 & 0.260\ 869 & 0.150\ 000 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 3 \\ 2 \\ 3 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.290\ 404 \\ 3.820\ 707 \\ 3.053\ 030 \\ 1.972\ 222 \end{bmatrix}$$

根据最大隶属原则,系统性能为良,同理可得系统功能,系统可靠性,可用性和安全性各自的一组数据.最后,便可得到整个系统关于结论集的隶属度.

$$\text{system} = 9.988\ 117/Y + 35.568\ 470/L + 35.282\ 104 + 19.575\ 397/C$$

3.3 评估结论

自动控制装置综合评估系统作出的最后评估结果如下:

DCS 系统:良;功能:良;性能:良;可靠性:中;可用性:中;安全性:中.

总的来说,综合评估的结论为兰州化肥厂的自动控制系统是成功的、良好的.因为功能和性能常常在整个系统中占有更大的权重,而且可靠性、可用性和安全性等方面也并无致命的缺陷,评估的结果与专家鉴定的结果基本上是一致的.所以系统最终的评估结果为良是真实反映了系统的实际情况.

表1 定性分析结论

	功 能	性 能	可 靠 性	可 用 性	安 全 性
过程控制级	良	良	中	中	良
通讯系统级	中	良	差	中	良
监控管理级	良	良	优	良	中
总体协调	良	良	优	良	中

表2 定量分析结论

功 能	性 能	可 靠 性	可 用 性	安 全 性	DCS 系 统
0.660 714	1.290 404	2.328 572	0.133 333	0.000 000	9.983 177
4.792 857	3.820 707	1.871 428	2.433 333	4.172 222	35.568 470
3.146 429	3.053 030	3.042 857	4.300 000	4.722 222	35.282 104
1.400 000	1.972 222	2.757 143	3.133 333	1.105 556	19.575 397

4 小 结

自动控制装置系统综合评估体系对于用户和工程技术人员了解和认识自动控制系统具有较大的实用价值. 本体系评估出了 DCS 系统的功能完备与否, 性能优良与否, 可靠性、可用性和安全性符合要求与否等. 作者认为评估工作一定要以系统的观点来研究自动控制装置的系统评估问题; 采用全方位的评估结构, 对 DCS 的评估内容进行全面、详实的划分和确定; 采用层次分析和模糊分析算法, 解决定性定量评估中的复杂性和不确定性问题; 三类信息库的构造和联结是系统综合评估的全部软件化和完善化的基础工作; 在评估中对绝对标准和相对标准加以兼顾.

参 考 文 献

- 1 Zhu Zonglin. Evaluation system for domestic dcs. 11th IFAC Workshop on Distributed Control Systems, Beijing, 1992
- 2 张新薇, 陈缅仁, 刘肖. 集散系统手册. 北京: 机械工业出版社, 1991
- 3 王凡. 模糊数学在工程中的应用. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院, 1990

朱宗林 1989年毕业于中国科学院自动化研究所控制理论与应用专业博士. 现为该所所长助理、副研究员、硕士研究生导师. 研究领域为工业自动化, 管理信息系统, 可靠性工程.

郭世民 1993年毕业于中国科学院自动化研究所工业自动化专业, 获硕士学位. 毕业论文的工作是国家八·五攻关项目“自动控制系统综合评估体系研究与应用”的一部分.