

文章编号:1674-2869(2015)11-0015-05

汽车加油站储罐区综合安全评价

周德红,李 文,冯 豪,王 倩

武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074

摘 要:汽车加油站是较易发生火灾爆炸的危险区域,加油站的安全是人们关注的热点问题.在汽车加油站危险、有害因素分析的基础上,选用层次分析法对汽车加油站储罐区进行综合安全评价.以“汽车加油站的安全”为目标,用工艺控制、物质隔离、消防措施、安全管理作为评判指标,建立判断矩阵;结合灰色系统综合评价求出加油站各指标的关联度,最终确定汽车加油站的安全等级.为了确保安全运行,提出了汽车加油站应当配置油气回收系统和使用防火防爆器具等对策措施.

关键词:加油站;层次分析法;灰色综合分析;风险

中图分类号:X9

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.11.004

0 引 言

随着现代化交通的发展,加油站的供需量逐渐增加,伴随而来的加油站的安全性成为人们关注的焦点,特别是市区人口密集度大的地方.如何避免加油站安全风险,首先需要对加油站进行安全评价,了解潜在的风险,进而采取有效的防范措施,杜绝事故的发生.

1 加油站概况

武汉市某汽车加油站占地总面积为 1 591.7 m²,该站有:E93 号、E97 号乙醇汽油储罐各一具,均是 30 m³ 双层埋地防腐罐区,还有一具 30 m³ 双层埋地防腐 0 号柴油储罐(安全体积为 75 m³,属于三级站).

主要设备包括:**a.**主要安全设备:阻火器、拉断阀、视频监控系统、静电接地报警仪、电涌保护器等等;**b.**主要消防设备:4 kg、8 kg 的手提式干粉灭火器各 8 具,MFT35 的手推式干粉灭火器 2 具,消防锹 2 把,消防桶 2 只,灭火毯 5 床,消防沙 2 m³.该站建于 2000 年,未发生过火灾,有应急预案,有应急演练及培训记录.

该站经 2015 年改建后,主要新增设备有:各管口新设卸油和加油油气回收系统、新增液位监测系统、新建隔油池.

2 汽车加油站危险和有害因素分析

2.1 危险和有害因素

结合该项目生产工艺特点,根据《生产过程危害和有害因素分类与代码》(GB/T 13861-2009)和《企业职工伤亡事故分类》(GB6441-1986)的规定进行分类^[1].其危险、有害因素分布情况见表 1.

表 1 危险和有害因素分布情况

Table 1 Distributions of dangerous and harmful factors

危险因素	分布情况
火灾、爆炸	加油区、储罐区、油槽车卸车点、维修中
中毒和窒息	加油区、储罐区、油槽车卸车点
车辆伤害	加油区、油槽车卸车点
坍塌	罩棚
机械伤害	维修中
触电	维修中、配电房、加油机
其他	各区域

2.2 危险化学品重大危险源辨识

根据《危险化学品重大危险源辨识》(GB18218-2009)标准,辨识如表 2.

2.3 固有危险和有害程度

该加油站中乙醇汽油、柴油发生爆炸危险性较大,其具有爆炸性的化学品质量及相当于梯恩梯(TNT)的摩尔量^[2-3],详见表 3.

收稿日期:2015-08-21

基金项目:2015 年安全生产重大事故防治关键技术科技项目(hubei-0008-2015AQ);湖北省教育厅 2014 年度高校青年教师深入企业行动计划项目(XD20141332);武汉工程大学 2014 年研究生教育教学改革研究项目(yjg201407).

作者简介:周德红(1978-),男,安徽宿松人,副教授、博士.研究方向:化工安全、安全管理.

表 2 危险化学品重大危险源辨识
Table 2 Major hazard identification on hazardous chemicals

危险物质名称	危险化学品重大危险源辨识				
	临界量/t	总安全容量/m ³	充装系数	密度/(g/cm ³)	质量/t
乙醇汽油	200	60	0.9	0.79	60×0.79×0.9=42.66
柴油	5 000	30	0.9	0.88	30×0.9×0.88=23.76
辨识过程	42.66/200+23.76/5 000=0.218<1				
辨识结果	不构成危险化学品重大危险源				

表 3 油气爆炸时 TNT 当量计算
Table 3 TNT equivalent calculation of gasoline explosion

爆炸性化学品品名	总质量/t	TNT 当量/t
乙醇汽油	42.66	17.86
柴油	23.76	9.42

TNT 当量 W_{TNT} 的计算过程:

$$W_{\text{TNT}}=\alpha W_{\text{f}}Q_{\text{f}}/Q_{\text{TNT}} \quad (1)$$

式(1)中: W_{TNT} —可燃气体蒸汽云的 TNT 当量,kg; α —可燃气体蒸气云的 TNT 当量系数(统计平均值为 0.04); W_{f} —蒸气云爆炸燃烧掉的总质量,kg; Q_{f} —可燃气体的燃烧热,J/kg; Q_{TNT} —TNT 的爆炸热.

$$W_{\text{汽}}=42.66\times10^3\text{ kg};Q_{\text{TNT}}=4.52\text{ MJ/kg};$$

①已知汽油的燃烧热为: $Q_{\text{汽}}=47.3\times10^3\text{ kJ/kg}$

$$W_{\text{汽 TNT}}=\frac{0.04\times42.66\times10^3\times47.3}{4.52}=17.86\times10^3\text{ kg}$$

$$W_{\text{柴}}=23.76\times10^3\text{ kg};Q_{\text{TNT}}=4.52\text{ MJ/kg};$$

②已知柴油的燃烧热为: $Q_{\text{柴}}=44.8\times10^3\text{ kJ/kg}$

$$W_{\text{柴 TNT}}=\frac{0.04\times23.76\times10^3\times44.8}{4.52}=9.42\times10^3\text{ kg}$$

因此,乙醇汽油、柴油燃烧后放出的热量计算见表 4.

表 4 乙醇汽油燃烧后放出的热量计算
Table 4 Heat calculation of ethanol gasoline combustion

可燃性化学品品名	质量/kg	燃烧后放出的热量/kJ
乙醇汽油	42.66×10^3	2.018×10^9
柴油	23.76×10^3	1.064×10^9

注:表中“燃烧后放出的热量”的结果为质量与气体燃烧热的乘积.

从表 4 可看出,2 个 30 m³ 的汽油罐燃烧放出的热量巨大.若乙醇汽油泄漏发生火灾爆炸时,其释放的能量为 2.018×10^9 kJ,相当于 17.86×10^3 kg TNT 爆炸时产生的能量,应引起极大关注.

3 基于层次分析法的汽车加油站安全评价

安全评价方法是对评价对象的危险性、危害性进行分析的工具.为了全面、准确地发掘生产系统中的危险因素,必须根据评价对象实际选用合适的系统分析方法.根据加油站的生产工艺及其危险特征,同时考虑该加油站提供的原始资料,选用层次分析法对汽车加油站重点危险的储罐区域进行综合评价.

层次分析法就是把问题层次化,把所要研究的问题作为一个总目标,为了实现预定总目标往下按照因素间关联分解为若干不同的中间环节,这一环节就称准则层,而某些解决问题的因素(如措施、方案等)与准则层的部分因素有一定联系,这样层次间就又建立了层次,这种最低层就称为所要评判的指标层^[4-5].建立层次模型后,每一层次间各因素按照判断矩阵的标度都可进行比较判断,形成综合考虑的判断矩阵,最终与一致性指标相比较判断是否符合一致性.按照这种并引入合适的标度将判断量化,通过计算就可确定系统综合程度影响因素的权重.

3.1 单元划分

本项目把“加油站的安全性”作为目标层,把 U 中各因素作为准则层, $U=($ 工艺控制 A_1 , 物质隔离 A_2 , 消防措施 A_3 , 安全管理 $A_4)$,再由 A_1,A_2,A_3,A_4 ,继续逐层分列的因素称为指标层,详见图 1,如卸油、加油回收系统为工艺控制的指标层.

3.2 建立判断矩阵

目标层	C_1	C_2	C_3	C_4
C_1	1	1	3	5
C_2	1	1	3	5
C_3	1/3	1/3	1	1
C_4	1/5	1/5	1	1

用方根法求所需评价因素各权重向量值,其关系式为:

$$w'_i=(\prod_{j=1}^n a_{ij})^{\frac{1}{n}} (i=1,2,\cdots,n)$$

求得 $w'_1=w'_2=1.967\ 989\ 7,w'_3=0.577\ 350\ 3,w'_4=0.447\ 213\ 6$.

然后进行归一化处理求出评价因素权重向量,即由

$$W_i=\frac{w'_i}{\sum_{k=1}^n (\prod_{j=1}^n a_{kj})} (i=1,2,\cdots,n)$$
得

$W_1=W_2=0.396\ 728\ 66,W_3=0.116\ 389\ 47,W_4=0.090\ 154\ 16$.

根据 $\lambda_{\max}=\sum_{i=1}^n \frac{(AW)_i}{nw_i}$,进而可得出判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max}=4.032\ 728\ 6$. 则一致性指标为:

$$C\cdot I=\frac{\lambda_{\max}-n}{n-1}=0.010\ 909\ 53$$
,通过查指标可得 4 阶

矩阵 $R\cdot I=0.89$,则一致性比率为:

$$C\cdot R=\frac{C\cdot I}{R\cdot I}=0.012\ 257\ 9<0.1,$$

所以,满足一致性.

同理可求出指标层各因素对准则层的相对重要程度计算结果,见表 5.

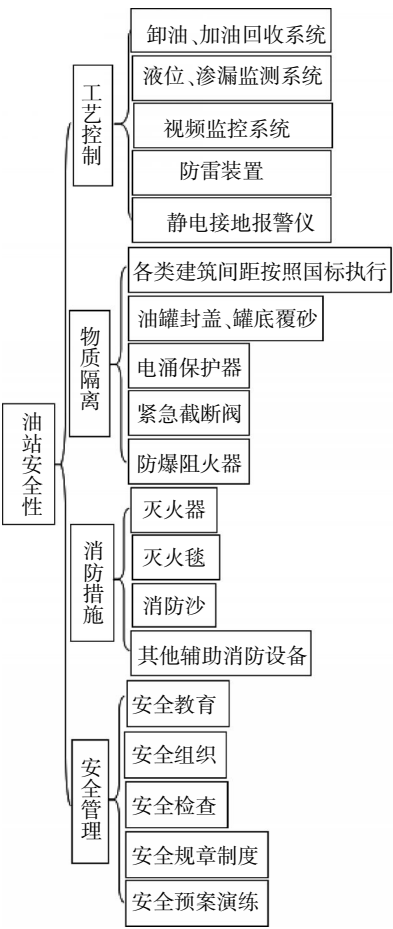


图 1 加油站安全评价层次结构

Fig.1 Safety evaluation hierarchy structure of gas station

表 5 加油站安全各影响因素的权重

Table 5 Weight of affecting factors safety of gas station

目标层	准则层	指标层	权重	专家打分
加油站的 安全 性	工艺控制 (0.396 7)	卸油、加油回收系统	0.330 0	85
		液位、渗漏监测系统	0.358 2	80
		视频监控系统	0.087 5	85
		防雷装置	0.174 9	80
		静电接地报警仪	0.049 0	85
	物质隔离 (0.396 7)	各类建筑间距按照国标执行	0.405 3	85
		油罐封盖、罐底覆砂	0.232 8	80
		电涌保护器	0.202 0	85
		紧急截断阀	0.060 2	80
		防爆阻火器	0.099 0	80
	消防措施 (0.116 4)	灭火器	0.476 2	80
		灭火毯	0.256 0	85
		消防沙	0.152 2	85
		其他辅助消防设备	0.115 6	80
	安全管理 (0.090 2)	安全教育	0.210 1	80
		安全组织	0.123 6	80
		安全检查	0.123 6	85
		安全规章制度	0.494 3	80
		安全预案演练	0.048 4	80

由权重结果显示,各因素的权重大多是不均等的,其中“工艺控制”和“物质隔离”对加油站的安全性起主要作用,而卸油和加油回收系统、液位和渗漏监测系统、各类建筑间距按照国标执行、油罐封盖、罐底覆砂占支配作用.这与现实情况相符合,证实了层次分析法的实用性与合理性.

3.3 结合灰色系统综合评价求加油站安全性各指标的关联度

灰色系统综合评价应用范围比较广,针对某一状态即预定的所要的目标,通过分析确定各指标集,

按一定序列构成矩阵,通过规范化处理后即可得到灰色关联系数,然后结合确定各评价指标的权重,综合计算出结果.实际上是对各位专家经验判断权重与某一专家的经验判断的最大值进行量化比较,比较彼此间的关联度,关联度越大,说明与专家经验判断趋于一致^[6-7].

据项目概况,以“工艺控制”为例,进行灰色综合关联分析,包括工艺控制因素评估指标和安全性等级指标,结果详见表 6.

表 6 工艺控制因素评估指标和安全性等级指标
Table 6 Indices of process control factor and safety level

指标体系	工艺控制的指标层				
	卸油、加油回收系统	液位、渗漏监测系统	视频监控系统	防雷装置	静电接地报警仪
评估指标	85	80	85	80	85
I 级[90,100]很好	95	95	95	95	95
II 级[80,90]较好	85	85	85	85	85
III 级[70,80]一般	75	75	75	75	75
IV 级[60,70]较差	65	65	65	65	65
V 级[0,60]很差	55	55	55	55	55

由表 6 可以组合成 6×5 的矩阵,根据无量纲转化公式对该矩阵按列进行纲化处理得

$$D = \begin{bmatrix} 1.108\ 7 & 1.054\ 9 & 1.108\ 7 & 1.054\ 9 & 1.108\ 7 \\ 1.239\ 1 & 1.252\ 7 & 1.239\ 1 & 1.252\ 7 & 1.252\ 7 \\ 1.108\ 7 & 0.105\ 5 & 0.105\ 5 & 0.105\ 5 & 0.105\ 5 \\ 0.978\ 3 & 0.989\ 0 & 0.989\ 0 & 0.989\ 0 & 0.989\ 0 \\ 0.847\ 8 & 0.857\ 1 & 0.857\ 1 & 0.857\ 1 & 0.857\ 1 \\ 0.717\ 4 & 0.725\ 3 & 0.725\ 3 & 0.725\ 3 & 0.725\ 2 \end{bmatrix}$$

每列依次再按差序列计算,其结果为:

$$D' = \begin{bmatrix} 0.130\ 4 & 0.191\ 8 & 0.130\ 4 & 0.191\ 8 & 0.130\ 4 \\ 0 & 0.949\ 4 & 0 & 0.949\ 4 & 0 \\ 0.130\ 4 & 0.065\ 9 & 0.130\ 4 & 0.065\ 9 & 0.130\ 4 \\ 0.260\ 9 & 0.197\ 8 & 0.260\ 9 & 0.197\ 8 & 0.260\ 9 \\ 0.391\ 3 & 0.329\ 6 & 0.391\ 3 & 0.329\ 6 & 0.391\ 3 \end{bmatrix}$$

由此可知:二级最大差为 0.949 4,二级最小差为 0.

根据最大、小差进而可求出灰色关联系数为:

$$\epsilon = \begin{bmatrix} 0.784\ 5 & 0.705\ 9 & 0.784\ 5 & 0.705\ 9 & 0.784\ 5 \\ 1 & 0.333\ 3 & 1 & 0.333\ 3 & 1 \\ 0.784\ 5 & 0.878\ 1 & 0.784\ 5 & 0.878\ 1 & 0.784\ 5 \\ 0.645\ 3 & 0.705\ 9 & 0.645\ 3 & 0.705\ 9 & 0.645\ 3 \\ 0.548\ 2 & 0.590\ 2 & 0.548\ 2 & 0.590\ 2 & 0.548\ 2 \end{bmatrix}$$

根据上面所求的“工艺控制”的指标层权重为:

$$W_1 = [0.330\ 0, 0.358\ 2, 0.087\ 5, 0.174\ 9, 0.049\ 0]$$

由此我们可求出工艺控制中的安全性因素的关联度为:

$$R_1 = W_1 \epsilon = [0.825\ 5, 0.581\ 6, 0.825\ 5, 0.581\ 6, 0.825\ 5]$$

同理,依次可求出:

$$R_2 = [0.802\ 3, 0.642\ 0, 0.802\ 3, 0.642\ 0, 0.641\ 9]$$

$$R_3 = [0.845\ 2, 0.531\ 8, 0.681\ 9, 0.461\ 8, 0.349\ 6]$$

$$R_4 = [0.643\ 5, 0.675\ 5, 0.730\ 9, 0.675\ 5, 0.675\ 5]$$

综上可得出本站的灰色关联度为:

$$R = (0.396\ 7, 0.396\ 7, 0.116\ 4, 0.090\ 2)$$

$$\begin{bmatrix} 0.825\ 5 & 0.581\ 6 & 0.825\ 5 & 0.581\ 6 & 0.641\ 9 \\ 0.802\ 3 & 0.640\ 2 & 0.802\ 3 & 0.640\ 2 & 0.641\ 9 \\ 0.845\ 2 & 0.531\ 8 & 0.681\ 9 & 0.461\ 8 & 0.349\ 6 \\ 0.643\ 5 & 0.675\ 5 & 0.730\ 9 & 0.675\ 5 & 0.675\ 5 \end{bmatrix} = (0.819\ 2, 0.608\ 2, 0.791\ 0, 0.600\ 1, 0.683\ 7)$$

综上,其最大关联度 $R_{\max} = 0.819\ 2$,表明该站的安全等级为 II 级,该站处于较安全状态.同时,也说明为进一步提高安全等级,要做好工艺控制方面措施,另外,管理和消防方面也不容忽视.

4 结 语

为确保加油站的安全运行,根据层次分析法与灰色关联度的分析结果,提出以下措施:

a. 加油站采用汽油回收系统可大大降低火灾爆炸的可能性,同时加强对油罐区油品的安全监

管,对卸油、加油和检修作业的防火安全管理,以确保加油站经营安全。

b. 加油站在运行过程中,应按规定选择满足安全要求的管道和设备,使用防火防爆工具。

c. 结合灰色系统综合评价求解出了加油站安全性各指标的关联度,从结果可以看出,该加油站安全等级处于较安全状态,但该站在随后运营中,要严抓管理,同时要保证消防器材完好无损。

致 谢

感谢 2015 年安全生产重大事故防治关键技术科技项目、湖北省教育厅 2014 年度高校青年教师深入企业行动计划项目、武汉工程大学 2014 年研究生教育教学改革研究项目的资助!

参考文献:

- [1] 牛蕴.集输油联合站安全评价中的危险、有害因素辨识[J].石油化工安全环保技术,2007(5):13-16.
NIU Yun. Collection of oil station identification of dangerous and harmful factors in the safety assessment [J]. Journal of Petroleum and Chemical Safety environmental Protection Technology, 2007(5):13-16. (in Chinese)
- [2] 王爽,王志荣.危险化学品重大危险源辨识中存在问题的研究与探讨[J].中国安全科学学报,2010(5):120-124.
WANG Shuang, WANG Zhi-rong. Dangerous chemicals and the study of the problems of the major hazards identification and discussion [J]. Chinese Journal of Safety Science, 2010(5):120-124. (in Chinese)
- [3] 杨文亮.石油化工企业火灾、爆炸重大危险源辨识及评价[D].兰州:兰州理工大学,2013.
YANG Wenliang. Petrochemical enterprise fire and explosive major hazard identification and evaluation [D]. Lanzhou: Lanzhou University of Technology, 2013. (in Chinese)
- [4] 邓曹珏,戴兴国,李光燕.层次分析法在企业职业卫生工作中的应用[J].工业安全与环保,2008(12):45-46.
DENG Cao-jue, DAI Xing-guo, LI Guang-yan. The application of analytic hierarchy process (ahp) in enterprise's occupational health work [J]. Journal of Industrial Safety and Environmental Protection, 2008 (12):45-46. (in Chinese)
- [5] 宗竹,刘德俊,姜东方.灰色关联和层次分析法在加油站安全评价中的应用[J].油气储运,2011(11):811-819.
ZONG Zhu, LIU Dejun, JIANG Dongfang. Grey correlation and analytic hierarchy process in the application of gas stations safety evaluation [J]. Journal of Oil and Gas Storage and Transportation, 2011(11): 811-819. (in Chinese)
- [6] 崔杰.灰色不确定系统建模的理论与方法研究[D].南京:南京航空航天大学,2010.
CUI Jie. Gray uncertain system modeling theory and method research [D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2010. (in Chinese)
- [7] 崔杰,党耀国,刘思峰.基于灰色关联度求解指标权重的改进方法[J].中国管理科学,2008(5):141-145.
CUI Jie, DANG Yao-guo, LIU Si-feng. The improved method for the index weight based on grey correlation degree [J]. Journal of Management Science in China, 2008(5):141-145. (in Chinese)

Comprehensive safety assessment on storage tank area in filling station

ZHOU De-hong, LI Wen, FENG Hao, WANG Qian

School of Resources and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: The filling station is the hazard area for fire and explosion, and its safety is a hot issue. The analytic hierarchy process method was chosen to comprehensively assess the storage tank area on basis of risk and harmful factors analysis. Aimed at the safety of the filling station, the process control, material isolation, fire prevention measures and safety management were used as the evaluation indicators to establish the judgment matrix, and the correlation degrees of indicators for the filling station were calculated combined with the gray system. Finally, the safety level of the filling station was determined. To ensure running safely for the filling station, the safety measures including setting vapor recovery system and using requirement fireproof and explosion-proof appliances were proposed.

Keywords: filling station; analytical hierarchy process; grey correlation; risk

本文编辑:龚晓宁