

# 储罐底板腐蚀状况的贝叶斯判别预测方法

张颖,陈荣刚,戴光,龙飞飞  
(大庆石油学院,黑龙江大庆,163318)

**摘要:**储罐底板腐蚀状况的严重程度是指导储罐维修的主要指标。针对难以停产检测储罐底板腐蚀的情况,利用统计相关分析方法,结合专家经验,确定反应储罐底板腐蚀状况的主要外部表征因素,建立基于外部表征因素的储罐底板腐蚀状况贝叶斯判别预测方法。通过对某油库16台储罐的预测分析,对比声发射在线检测结果,符合率为87.5%。计算结果表明,该方法能够解决储罐底板腐蚀状况的预测问题,具有一定的工程应用价值。

**关键词:**贝叶斯判别;储罐底板腐蚀;预测;声发射检测

中图分类号:TE972 文献标识码:A 文章编号:1001-4837(2010)01-0031-04

doi:10.3969/j.issn.1001-4837.2010.01.008

## Research of Bayes Discriminant Analysis in Prediction of Tank Bottom Corrosion

ZHANG Ying, CHEN Rong-gang, DAI Guang, LONG Fei-fei  
(Daqing Petroleum Institute, Daqing 163318, China)

**Abstract:** The condition of tank bottom corrosion is the main indicators to guide the maintenance of tank. Considering the difficulty to shut down and carry out testing on tank floors, combining with expertise, the major external factors of the tank bottom corrosion are determined with variance analysis. The Bayes distinguishing prediction technique is established. Through the prediction and analysis on 16 tanks in a depot, comparing with the result of acoustic emission testing, coincidence rate reaches 87.5%. The results show that this prediction technique is able to resolve the problem of the prediction of tank bottom corrosion, and can be applied in engineering applications.

**Key words:** bayes distinguishing analysis; tank bottom corrosion; prediction; acoustic emission testing

### 1 前言

常压储罐是油品的主要储存设备,我国现有各种类型油品储罐数十万台,还有数个大型战略储油罐群正在建设中,因此它的安全性和经济性越来越受到关注。储罐底板是储罐最易发生腐蚀的部位。我国目前主要采取定期开罐的方法,对储罐底板腐

蚀状况进行检测。该方法虽可避免一些腐蚀引起的泄漏事故,但由于需停产检测,检测时间长、费用较高,且检修对象的确定存在盲目性,容易造成漏检和过度检验,给储罐的安全经济运行带来隐患<sup>[1,2]</sup>。

储罐底板腐蚀机理复杂,底板腐蚀速率等数据获取困难,而许多与储罐底板腐蚀状况相关的外部因素尚未得到有效利用。这些外部因素具有复杂性、不确定性和不完备性,无法直接与储罐底板腐蚀

状况建立关系。为此,文中采用多元统计方法中的 Bayes 判别分析理论,根据单因素方差分析方法,确定与储罐底板腐蚀状况相关的外部因素,建立储罐底板腐蚀状况的 Bayes 判别预测模型。通过与测试储罐声发射评价结果的对比分析,证明该方法的可靠性和可行性,实现对储罐底板腐蚀状况的预测评价,指导储罐维修计划的制定。

### 2 Bayes 判别分析的基本理论

Bayes 判别分析就是根据已有的每个类别的若干样本数据,总结出客观事物分类的规律性,建立 Bayes 判别模型;当应用该模型进行数据样品类别判别时,只需根据建立的判别函数和判别准则,即可判别该数据样品所属类别<sup>[3-5]</sup>。Bayes 判别分析的主要步骤如下:

(1) 列出样本观测矩阵

设样本有  $m$  个总体  $G_1, G_2, \dots, G_m$ , 建立观测矩阵:

$$X_j^i = (x_{j1}^1, x_{j1}^2, \dots, x_{j1}^{n_i}; x_{j2}^1, x_{j2}^2, \dots, x_{j2}^{n_i}; \dots; x_{ji}^1, x_{ji}^2, \dots, x_{ji}^{n_i}) \quad (j_i = 1, 2, \dots, n_i; i = 1, 2, \dots, m) \quad (1)$$

(2) 求出各总体的均值向量  $\mu_i$  及协方差矩阵  $\Sigma_i$

$$\mu_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_j^i \quad (2)$$

$$\Sigma_i = \frac{1}{n_i - m} \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^{n_i} [(x_j^i - \mu_i)(x_j^i - \mu_i)^T] \quad (3)$$

式中  $n = \sum_{i=1}^m n_i$ ,  $m$  为总体分类数

(3) 建立判别函数

$$y_i(X) = q_i (2\pi)^{-\frac{n}{2}} |\Sigma_i|^{-\frac{1}{2}} \exp[-\frac{1}{2}(X - \mu_i)^T \Sigma_i^{-1} (X - \mu_i)] \quad (4)$$

令  $z_i(X) = \ln[(2\pi)^{\frac{n}{2}} y_i(X)]$ , 则判别函数为:

$$z_i(X) = \ln q_i - \frac{1}{2} \ln |\Sigma_i| - \frac{1}{2} X^T \Sigma_i^{-1} X + X^T \Sigma_i^{-1} \mu_i - \frac{1}{2} \mu_i^T \Sigma_i^{-1} \mu_i \quad (5)$$

(4) 判别准则

Bayes 判别预测准则为:

$$\text{若 } z_i(X) = \max_{1 \leq i \leq k} z_i(X), \text{ 则 } X \in G_i \quad (6)$$

(5) 经验样本回代检验

对经验样本的回代正确率进行检验,当回代正确率大于 80% 时,即认为所建立的函数模型可投入使用。

### 3 储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测方法的基本内容及其建立

#### 3.1 基本内容

根据上述贝叶斯判别方法的基本理论,建立储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测方法,该方法的主要流程如图 1 所示。

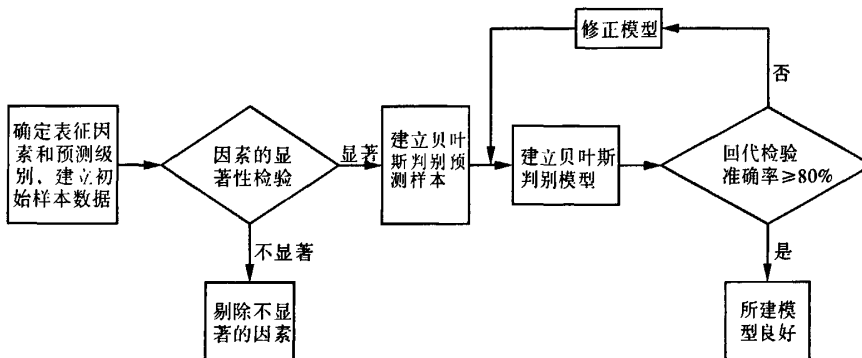


图 1 储罐底板腐蚀状况贝叶斯判别预测方法流程图

#### 3.2 储罐底板腐蚀状况影响因素的确定及量化

文中所研究的影响因素并非是导致腐蚀发生的

直接因素,而是与腐蚀过程的产生与发展有着密切关系的表征因素。通过这些表征因素的分析,能够

确定储罐底板的腐蚀状况。根据储罐底板腐蚀机理及现场专家经验,确定 8 种主要表征因素,即:使用时间、存储介质、使用温度、外观腐蚀情况、基础完好情况、容积、材质和结构形式,并建立 8 种表征因素量化分级规则。

### 3.3 储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测等级的划分

参照《常压金属储罐声发射检测及评价方法》<sup>[6]</sup>中对储罐底板腐蚀状况等级的划分标准,将 Bayes 判别预测等级分为 5 级,即声发射评价级别(简称为 AEC)即为 Bayes 判别预测等级(简称为 BC),如表 1 所示。

表 1 储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测等级的划分

| 储罐底板腐蚀状况       | 非常<br>微少 | 少量   | 中等    | 动态   | 高动态 |
|----------------|----------|------|-------|------|-----|
| 声发射评价级别(AEC)   | I 级      | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 |
| Bayes 判别级别(BC) | I 级      | II 级 | III 级 | IV 级 | V 级 |

### 3.4 储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测样本数据的建立

根据表征因素量化分级规则和底板腐蚀状况 Bayes 判别预测等级划分方法,对多年积累的储罐声发射在线检测及评价历史数据进行处理,建立不同判别等级的样本数据。

### 3.5 储罐底板腐蚀状况影响因素的显著性检验

采用单因素方差分析方法,利用样本数据,对前述储罐底板腐蚀状况的 8 种主要表征因素与 BC 间的相关性进行显著性检验,结果见表 2。

表 2 储罐底板腐蚀状况表征因素单因素方差分析结果

| 表征因素       | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | $x_7$ | $x_8$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $F$        | 15.17 | 2.86  | 3.46  | 43.66 | 60.41 | 11.52 | 2.30  | 2.80  |
| $F_{0.05}$ | 2.28  | 2.67  | 2.67  | 3.06  | 3.06  | 2.44  | 3.97  | 3.91  |

注: $F$ 为检验统计量, $\alpha=0.05$ 为所取显著水平, $F_{0.05}$ 为给定显著水平下相应自由度的  $F$  分布临界值。若  $F \geq F_{0.05}$ ,则可认为因素对 AE 级别影响显著。

由表 2 可知,使用时间( $x_1$ )、存储介质( $x_2$ )、使用温度( $x_3$ )、外观腐蚀情况( $x_4$ )、基础完好情况( $x_5$ )和储罐容积( $x_6$ )这 6 种表征因素对 BC 影响显著,而储罐结构形式( $x_7$ )和材质( $x_8$ )则影响不显著。相关性检验结果表明,储罐结构形式对底板腐蚀状况影响不显著。由于检验样本储罐用材料主要是 Q235A,因此通过对样本数据的分析,也得出了底板材质对腐蚀状况影响不显著的结果,这虽与专家经验不符,但也从侧面说明显著性检验的正确性。

### 3.6 储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测方程的建立

利用前述理论和方法,以使用时间( $x_1$ )、存储介质( $x_2$ )、使用温度( $x_3$ )、外观腐蚀情况( $x_4$ )、基础完好情况( $x_5$ )和储罐容积( $x_6$ )6 个相关性显著的影响因素组成输入向量,以 Bayes 判别级别(BC)作为输出目标,利用提取的 120 个样本数据,计算得到贝叶斯判别预测方程,如式(7)所示。由于没有 V 级的样本数据,所以仅建立 I ~ IV 级的判别方程。对样本数据进行回代检验,回代正确率为 90.9%,大于 80%,证明建立的储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测方程满足要求。

$$\begin{cases} z_1 = 1.44x_1 + 0.835x_2 + 1.683x_3 + 9.978x_4 \\ \quad + 8.307x_5 - 0.423x_6 - 19.041 \\ z_2 = 1.654x_1 + 1.751x_2 + 0.861x_3 + 14.757x_4 \\ \quad + 10.799x_5 - 2.093x_6 - 25.769 \\ z_3 = 1.935x_1 + 3.176x_2 + 1.733x_3 + 19.004x_4 \\ \quad + 17.152x_5 - 3.958x_6 - 51.328 \\ z_4 = 4.052x_1 + 2.949x_2 + 1.203x_3 + 24.499x_4 \\ \quad + 18.904x_5 - 3.716x_6 - 81.269 \end{cases} \quad (7)$$

当利用式(7)进行储罐底板腐蚀状况预测时,根据式(6) Bayes 判别预测准则,预测级别为最大判别分数  $\max(z_i)$  所对应的级别  $i$ 。

### 4 储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测实例

按照建立的储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测方法,对某油库 16 个储罐底板腐蚀状况进行预测,预测结果如表 3 所示。通过与声发射检测评价结果相比较可知,仅有 2 台储罐的 Bayes 判别预测级别与声发射检测评价结果不符,符合率达 87.5%, Bayes 判别预测结果较好。通过对级别不符的 2 台储罐数据进行分析可知,导致不符合的原因主要是由于样本数据中储罐底板腐蚀状况为 IV 级的数据较少,而 Bayes 判别预测方法中的先验概率是以样本级别的频数体现的,所以造成预测结果的偏差。因此,可通过增加样本数据来完善 Bayes 判别预测模型,进一步提高预测结果的准确性。

### 5 结语

综合采用 Bayes 判别预测方法和统计相关性分

表3 16台储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测结果

| 序号 | $x_1$ | $x_2$ | $x_3$ | $x_4$ | $x_5$ | $x_6$ | BC | AEC |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|-----|
| 1  | 4     | 3     | 4     | 3     | 2     | 3     | 3  | Ⅲ   |
| 2  | 4     | 3     | 4     | 3     | 2     | 3     | 3  | Ⅲ   |
| 3  | 4     | 3     | 4     | 2     | 1     | 1     | 2  | Ⅱ   |
| 4  | 4     | 3     | 4     | 3     | 1     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 5  | 4     | 3     | 4     | 3     | 1     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 6  | 4     | 4     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2  | Ⅱ   |
| 7  | 4     | 2     | 3     | 2     | 2     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 8  | 4     | 2     | 3     | 2     | 2     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 9  | 4     | 2     | 3     | 2     | 2     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 10 | 4     | 2     | 3     | 2     | 2     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 11 | 4     | 2     | 3     | 2     | 2     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 12 | 4     | 2     | 3     | 3     | 2     | 1     | 3  | Ⅲ   |
| 13 | 4     | 2     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2  | Ⅱ   |
| 14 | 4     | 2     | 2     | 3     | 3     | 1     | 3  | Ⅳ   |
| 15 | 4     | 2     | 2     | 1     | 2     | 1     | 2  | Ⅱ   |
| 16 | 4     | 2     | 2     | 3     | 1     | 1     | 2  | Ⅲ   |

析方法,结合专家经验,建立基于外部表征因素的储罐底板腐蚀状况 Bayes 判别预测方法。通过对某油库 16 台储罐的预测分析,对比声发射检测评价结果,符合率为 87.5%。因此,可采用该方法对 Q235 类材料制造的储罐底板腐蚀状况进行预测,指导制定科学的储罐维修计划,实现储罐的预测维修。

文中建立的 Bayes 判别预测模型虽然具有一定的实用价值,但由于样本数据的不完备,未能建立 V 级的判别方程。因此,需通过增加样本数据来不断

完善该模型,以提高预测结果的准确性。

参考文献:

[1] 关卫和,沈纯厚,陶元宏,等.大型立式储罐在线声发射检测与安全性评估[J].压力容器,2005,22(1):40-44.

[2] 戴光,李善春,李伟.储罐的声发射在线检测技术与研究进展[J].压力容器,2005,22(03):33-35.

[3] Onur C. Hamsici and Aleix M. Martinez. Bayes Optimality in Linear Discriminant Analysis[J]. IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell,2008,30(4):647-657.

[4] Nitters, G,Davies D R,Epping, W J M Koninklijke. Discriminant Analysis and Neural Nets; Valuable Tools To Optimize Completion Practices[J]. SPE Drilling & Completion,1995,10:127-133.

[5] 雷兢,沈斐敏.贝叶斯(Bayes)判别分析理论在安全评价中的应用[J].工业安全与环保,2004,30(5):39-40.

[6] JB/T 10764—2007,常压金属储罐声发射检测及评价方法[S].

收稿日期:2009-05-12 修稿日期:2009-10-22

作者简介:张颖(1972-),男,博士,副教授,主要从事过程装备安全检测及完整性评价工作,通讯地址:163318 黑龙江省大庆市大庆石油学院机械科学与工程学院,E-mail:aezy163@163.com

(上接第4页)

参考文献:

[1] 徐自立.高温金属材料的性能、强度设计及工程应用[M].北京:化学工业出版社,2005.

[2] 沈复中.炉管剩余寿命预测[J].大氮肥,2001,24(4):224-232.

[3] 林英,徐自立,黄继蓉.乙烯裂解炉管无损检测评述[J].化工机械,1989,16(4):250-254.

[4] 谭毅,王富岗,李德俊,等.乙烯裂解管减薄损伤及寿命预测方法[J].大连理工大学学报,1990,30(6):687-692.

[5] 王印培,柳曾典. HK40 炉管长期服役后的性能[J].华东理工大学学报,2001,27(3):323-328.

[6] Petkovic - Luton R, Ramanarayanan TA. Mixed - oxidant Attack of High - temperature Alloys in Carbon - and Ox-

gen - containing Environments[J]. Oxidation of Metals. 1990,34: 381 - 400.

[7] Ling S, Ramanarayanan TA, Petkovic - Luton R. Computational Modelling of Mixed Oxidation - carburization Processes: Part 1[J]. Oxidation of Metals,1993,40: 179 - 196.

[8] Kaya A A, Krauklis P, Young D J. Microstructure of HK40 Alloy After High Temperature Service in Oxidizing/ carburizing Environment I. Oxidation Phenomena and Propagation of a Crack [J]. Materials Characterization, 2002,49:11 - 21.

收稿日期:2009-10-21

作者简介:陈涛(1976-),男,高级工程师,主要从事压力容器与管道材料应用基础研究,通讯地址:230031 安徽省合肥市市长江西路 888 号合肥通用机械研究院,E-mail:chentaoht@yahoo.cn.

# 储罐底板腐蚀状况的贝叶斯判别预测方法

作者: [张颖](#), [陈荣刚](#), [戴光](#), [龙飞飞](#), [ZHANG Ying](#), [CHEN Rong-gang](#), [DAI Guang](#), [LONG Fei-fei](#)  
作者单位: [大庆石油学院](#)  
刊名: [压力容器](#) [ISTIC](#) [PKU](#)  
英文刊名: [PRESSURE VESSEL TECHNOLOGY](#)  
年, 卷(期): 2010, 27(1)  
引用次数: 0次

## 参考文献(6条)

1. [关卫和](#), [沈纯厚](#), [陶元宏](#), [陈颖峰](#) [大型立式储罐在线声发射检测与安全性评估](#)[期刊论文]-[压力容器](#) 2005(1)
2. [戴光](#), [李善春](#), [李伟](#) [储罐的声发射在线检测技术与研究进展](#)[期刊论文]-[压力容器](#) 2005(3)
3. [Onur C.Hamsici](#), [Aleix M.Martinez](#) [Bayes Optimality in Linear Discriminant Analysis](#) 2008(4)
4. [Nitters G](#), [Davies D R](#), [Epping W J](#), [M Koninklijke](#) [Discriminant Analysis and Neural Nets:Valuable Tools To Optimize Completion Practices](#) 1995
5. [雷兢](#), [沈斐敏](#) [贝叶斯\(Bayes\)判别分析理论在安全评价中的应用](#)[期刊论文]-[工业安全与环保](#) 2004(5)
6. [JB/T 10764-2007](#). [常压金属储罐声发射检测及评价方法](#) 2007

## 相似文献(0条)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_ylrq201001008.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_ylrq201001008.aspx)

下载时间: 2010年5月31日