第 26卷第 6期 重庆工商大学学报 (自然科学版) 2009年 12月
Vol. 26 NO. 6 J Chongqing Technol Business Univ. (Nat Sci Ed) Dec. 2009

文章编号: 1672 - 058X(2009) 06 - 0543 - 05

基于千车故障数的汽车质量概率模型研究*

宋丽红[1],姚晓霞[2]
(1. 重庆工商大学 经济管理实验教学中心,重庆 400067; 2. 楚雄师范学院 数学系,云南 楚雄 675000)

摘 要: 利用汽车售后服务数据中的千车故障数,对汽车部件和整车的可靠性进行了分析,从统计学习理论分析的角度建立了可靠性理论模型,克服了传统方法中只用经验分析的不足,探讨了企业产品配件的生产组织和运送策略,为汽车质量售后管理提供了重要的决策支持。

关键词:售后管理;千车故障数;决策研究
中图分类号: O241. 82 **文献标志码**: A

产品质量是企业的生命线,售后服务是产品质量的观测点,如何用好售后服务的数据是现代企业管理的重要问题之一。整车或某个部件的"千车故障数"是一个很重要的指标,常用于描述轿车的质量。首先将轿车按生产批次划分成若干个不同的集合,再对每个集合中迄今已售出的全部轿车进行统计,由于每个集合中的轿车是陆续售出的,因此它们的统计时间的起点即售出时间是不同的。在相同使用时间长度内的整车或某个部件的保修总次数乘以 1 000再除以迄今已售出的轿车数量,即为千车故障数。

数据利用的时效性是很强的,厂方希望知道近期生产中的质量情况,但刚出厂的轿车还没有全卖出去,已售出的轿车使用几个月后的保修情况可能还没有数据反馈,因此数据显得滞后很多。当一个批次生产的轿车的 3年保修期都到时,对这批轿车的质量情况有了最准确的信息,可惜时间是轿车出厂的四、五年后,这些信息已无法指导过去的生产,对现在的生产也没有什么作用。所以如何科学地利用已知的少量售后服务数据是关系到企业生命线的重要问题。

1 部件可靠性分析

有不少模型是从经验建模的角度,通过计算机模拟来讨论千车故障数进行质量管理的模型和方法[1-3]。但这些方法的一个不足是仅仅是数据实验,也许只对一些特定的事例有用,不能从理论建模的深层次来思考问题。下面从统计学习理论的角度来分析和讨论千车故障数在质量管理方面的问题。

1.1 首次故障平均时间及应对策略

若知道某车所有部件的千车故障数,则可以通过这些数据来分析每一个部件的可靠性,进而对整车的可靠性进行分析。

把整车作为一个系统,系统就是由一些基本部件组成的完成某种规定功能的整体。产品 (包括部件和整体)失去规定功能称为故障或失效,一般称不可修产品称失效,对可修的产品称故障。为了研究的方便,

收稿日期: 2009 - 05 - 15;修回日期: 2009 - 09 - 23。
*基金项目:重庆市科委自然科学基金计划资助项目 (2007BB2205)。
作者简介:宋丽红 (1969 -),女,四川越西人,实验师,从事数据挖掘、计算机应用研究。

用一个非负随机变量 T描述产品的寿命, T的分布函数:

$$F(t) = P(T \leq t),\ t \geq 0 \tag{1}$$

称为寿命分布,而相应的存活函数:

$$R(t) = \overline{F}(t) = 1 - F(t) = P(T > t) \tag{2}$$

它给出了产品寿命不小于 t,即产品直到 t仍正常工作的概率,在可靠性理论中把 $R(t)$称作产品的可靠度。

对于同一部件来说,发生故障后经修复可以恢复其正常的功能,因此该产品的运行过程可能是正常和失效状态交替出现的。如果给出千车故障数,可能会出现属于同一辆的同一个部件的多次失效数的累积。在产品的质量管理方面,管理人员需要知道产品的首次故障平均时间: $\mathrm{MTTFF} = ET_1 = \int_0^{\infty} t\,\mathrm{d}F_1(t) = \int_0^{\infty} R(t)\,\mathrm{d}t$,其中 T_1表示首次故障时间, $F_1(t)$为其分布函数。根据这个指标,在此建议,在统计某一部件的失效次数的时候,应该区分开同一部件属于首次失效还是属于重复失效。MTTFF越大,说明该部件越稳定,在外界应力的影响下不容易出现故障;MTTFF相对较小,则管理人员需要仔细分析该部件生产过程中是否需要问题,同时需要做好该部件的质量检查工作。如果某一部件的累积故障数较大,质量管理人员需要研究是什么原因导致了该部件的重复失效,是生产方面的原因还是维修部方面的检修质量问题。若都不存在上述两方面的问题,则需要从设计角度入手,研究该部件的设计是否合理,设计的额定应力负荷是否足够。

若得到了部件的 MTTFF的分布和累积维修次数的分布,就可以估算出部件保修期内的大致费用;如果部件故障的间隔时间是非独立同分布,则可以讨论部件的可靠性增长,通过数据分析告诉质量管理人员部件的生产工艺和质量是在提高还是在下降,当部件的可靠性出现增长,说明部件的质量在提高;而当部件的可靠性下降,说明部件的生产上出现某些问题,这是质量管理人员就要开始注意该部件的生产流程了。

对于部件保修期内出故障但一般不作更换的主要零部件可以作类似首次故障时间的讨论,对保修期内出故障可以作更换的易损部件,可以讨论其寿命分布、更换次数分布。对所有故障部件引入故障比率、平均维修损失、维修更换等进行排队分析,以决定提高产品质量对减少平均维修损失的主攻目标。这些工作对生产厂家的生产、技术、经营都是很有意义的,把故障和失效看作同一概念。

1.2 早期故障与正常工作期故障的分离

由于各种原因,早期故障也可能带出工厂,夹杂在首次故障数据中,正确地区分早期故障与正常工作期故障对质量管理有非常重要的意义。早期故障是由于设计错误、工艺问题、材料缺陷或质检不严引起的,对于早期故障,可以引入早期故障率 $z/(z+n)$,其中 z表示分离出来的早期故障数, n为样本容量;同时也可以对早期故障数使用三参数 weibull函数 $F(t) = 1 - \exp(-((t-\tau)/\eta)^{\beta})\ (t > \tau)$进行拟合,可以得到 $\beta < 1$, $\tau \leq 0$的早期故障分布曲线。质量管理人员应该对早期故障有足够的重视,因为早期故障是由厂家生产质量引起的,控制好早期故障对提高产品的质量起到很关键的作用。

在实际的首次故障统计中,大量存在的是正常工作期故障。除了上面讨论的方法外,正常工作期故障数据还可采用 weibull函数进行数据拟合,它具有很好的兼容性,能把正态分布、指数分布都包容在内。在实际的应用中,两参数的 weibull函数可以较为准确地描述部件的可靠性。其可靠度函数、累积失效概率分布函数、失效概率密度函数分别表示如下:

$$R(t) = \exp(-(t/t_0)^m) \tag{3}$$

$$F(t) = 1 - \exp(-(t/t_0)^m) \tag{4}$$

$$f(t) = m(t/t_0)^{m-1}\exp(-(t/t_0)^m) \tag{5}$$

其中 m为形状, t_0为尺度参数,是 weibull分布函数的特征寿命。将式 (4)作如下变化,回归成直线函数:

$$\ln\ln(1/(1 - F(t))) = m\ln t - m\ln t_0 \tag{6}$$

设 $y = \ln\ln(1/(1 - F(t)))$, $x = \ln t$, $a = -m\ln t_0$,则 $y = mx + a$则把求解 m, a的问题转化为求线性回归问题。

正确的估计部件的正常工作期故障对做好部件的售后服务工作也有很重要意义,厂家可以根据部件的正常工作期故障分布函数制定售后服务的计划并估算出进行售后服务所要发生成本:如需要准备多少备件,备件应该按什么样的计划生产等。

2 整车的可靠性分析

可用性是一个综合反映系统可修复性的一个常用指标,它给出可修产品在特定的条件下使用时维持其规定功能的能力。可靠度就是用概率来表示这种能力的尺度。

下面考虑部件和整车之间的关系,为了方便讨论,假设整车是由 n个部件组成,并用 X_i表示部件 $i(i = 1, 2, \cdots, n)$的状态,这里若 $X_i = 1$,则表示部件正常;若 $X_i = 0$,则表示部件失效。于是,系统的状态可用一个 n维向量 $X = (X_1, X_2, \cdots, X_n)$来描述,该向量的每一个分量只取 0或 1,再令 $\phi(X) = 1$,表示系统处于状态 X时系统正常,$\phi(X) = 0$表示系统处于状态 X时系统失效,则二值函数 $\phi(.)$可以刻划系统的工作状态。这样可以用 $X_i(t)\ (i = 1, 2, \cdots, n)$和 $X = (X_1, X_2, \cdots, X_n)$分别表示部件 i和系统在时刻 t的状态。即如果掌握了所有部件的千车故障数,则可对整车的故障率进行讨论分析。

若进一步把部件分为两类,一类部件在出现故障后对汽车的整体安全性不构成影响,即出现故障后汽车仍能处于正常运行的状态;另一类部件出现故障后对整车的安全构成影响,需要立即更换,即出现故障后汽车处于失效状态。由于汽车的保养期为 3年,保养期过后则是有偿维护,因此仅研究有限时间内的可靠性指标。区分了这两类部件后,为了简便起见不妨把整车看作由第二类的部件构成的不可修的串联系统,对于可修的串联系统需要使用马尔科夫模型进行分析,由于模型分析起来较为复杂,这里只给出不可修的情形。对于保修期内的可靠性情况,不可修情形应能较为接近地描述整车出现的首次失效平均时间。

把第二类部件的个数记为 N,用 T和 T_i分别表示系统和部件 i的寿命,则:

$$T = \min(T_1, T_2, \cdots, T_N) \tag{7}$$

如果 N个部件相互独立,则整车可靠度:

$$\begin{aligned} R(t) &= P(T > t) = P(\min(T_1, T_2, \cdots, T_N) > t) = \\ &P(T_1 > t, T_2 > t, \cdots, T_N > t) = \prod_{i=1}^{N} P(T_i > t) = \prod_{i=1}^{n} R_i(t) \end{aligned} \tag{8}$$

而整车的平均寿命可以表示为,这里的平均寿命相当于保修期内的首次失效平均时间:

$$ET = \int_0^\infty R(t) = \int_0^\infty [\prod_{i=1}^{\infty} R_i(t)]\,\mathrm{d}t \tag{9}$$

若假设部件有指数寿命分布,即 $R_i(t) = \exp\{-\lambda_i t\}$,则:

$$R(t) = \exp\{-\sum_{i=1}^{N} \lambda_i t\} \tag{10}$$

$$ET = 1/\sum_{i=1}^{n} \lambda_i \tag{11}$$

由上面的分析不难看出,通过对全部部件的可靠性分析可以进一步对整车进行可靠性分析,并且第二类部件对于整车的寿命来说是至关重要的。质量管理人员应该对第二类部件做好质量把关,一般来说该类部件都是比较昂贵并且维修成本较高的,因此提高该类部件的平均寿命便可以提高整车寿命,还可以减少售后服务的成本支出。

3 配件的生产组织和运送策略

通过对所有部件的千车故障数的分析,如果可以大致地计算出部件的故障分布函数:$f(t) = P(t = T_i)$,$i \in Z$。其中 T_i 表示每个统计千车故障数的时间,在此是按月计算的。就可以求出部件在任意时间内出现故障的概率,这对工厂的生产来说具有很强的指导意义,这涉及密度估计的问题,可以通过支持向量机等方法进行密度估计[4-7]。

工厂在生产汽车配件进行汽车装配的同时,必须为已售出的汽车生产一定数量的备件,提供给维修部用于相同部件的更换。因此,要生产多少备件才能满足该部件的更换要求呢?如果多生产了就会造成浪费并且会造成备件的积压;如果生产的数量不够,则会引起用户的不满,影响厂家的声誉。在掌握了部件的故障分布函数后,厂家可以据此制定相应的生产计划。不妨假设已知某部件的故障分布函数,按批次进行预测,若已售出 3批, 3批的数目均为 100辆,则 $100 \times f(T_1) + 100 \times f(T_2) + 100 \times f(T_3)$,就是该月至少要生产的备件数目。

如果知道某 N 批产品的故障分布密度 $f_i(T_i)$(只要给出足够的样本数据,就可通过支持向量机等办法进行估计)和已知 N 批产品的销售数量 G_i,则可以算出某段时间的所需产品配件或备件 B:

$$B = \sum_{j=1}^{N} G_j f_j(T_j) \tag{12}$$

另外,由于汽车厂家生产的汽车是销往全国各地的,因此厂家也在各地设立了维修中心,每个维修中心都储备一定数量的配件以供用户维修时更换。由于我国幅员辽阔,南北的自然条件差异较大,因此自然条件对部件产生的影响也不能忽略。若某部件在南方的故障率较高,在北方的故障率较低,则需要为南方的维修中心配备更多的此部件的备件,因此还要考虑有关产品故障的地区分布情况。

4 讨 论

从"千车故障数"这个从售后服务中了解轿车等机动车质量的重要指标中分析了部件的可靠性,进而建立了整车的可靠性理论模型,并在此基础上提出了有关生产和运送策略,解决了目前售后服务中信息的时滞问题,从理论的更深层次上讨论了数据建模问题,克服了传统经验方法的局限性,将使企业售后质量管理走入更科学化而不是经验化的道路,为企业的质量管理提供了重要的决策支持。

参考文献:

[1] 罗泽举. 新型 ε-不敏感损失函数支持向量诱导回归算法及售后服务数据模型预测系统[J]. 计算机科学, 2005(8): 134-141
[2] 王惋昱. 轿车售后千车故障数的数学模型[J]. 长春大学学报, 2005(6): 61-64
[3] 王丹,谷德峰,饶彬,吴孟达. 基于样条模型的汽车可靠性双向联合预测[J]. 数学的实践与认识, 2005(7): 84-90
[4] Vapnik V N. Statistical Learning Theory[M]. John Wiley & Son, Inc. 1998
[5] Cristianini N, Taylor J S. 支持向量机导论[M]. 李国正, 王猛, 曾华军译. 北京: 电子工业出版社, 2005
[6] 宋永明. 一类集约束下的向量极值问题的最优性条件[J]. 重庆工学院学报:自然科学版, 2008(2): 60-63
[7] 朱军辉,程春蕊. 一类优化问题的区域分解法[J]. 重庆工学院学报:自然科学版, 2008(2): 78-81, 156

Research on probability model of vehicle quality based on the broken-down number per thousand cars

SONG Li-hong[1], YAO Xiao-xia[2]

(1. Economics and Management Center, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. Department of Mathematics, Chuxiong Normal University, Yunnan Chuxiong 675000, China)

Abstract: This paper uses broken-down number per thousand cars of vehicle post-salecar to analyse the reliability of vehicle parts and carload, sets up the reliability theory model from the standpoint of statistical learning theory, overcomes the deficiency of empirical analysis on traditional method, explores the strategy of production organization and transport of products parts, and offers support means for decision-making of vehicle post-sale management

Key words: post-sale management; the broken-down number per thousand cars; decision-making research

责任编辑:罗泽举

(上接第 539页)

参考文献:

[1] BONDY J A, MURTY U S R. Graph Theory with Applications [M]. New York: The Macmillan Press Ltd, 1976

[2] WEST D B. Introduction to Grapy Theory (2nd ed) [M]. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 2001

[3] ANDERSEN L D. The strong chromatic index of a cubic graph is at most 10, Topological, algebraical and combinatorial structures Frolík's emporia volume[J]. Discrete Math, 1992, 108 (1-3): 231-252

[4] CRANSTON D W. Strong edge-coloring of graphs with maximum degree 4[J]. Discrete Math, 2006, 306: 2772-2778

[5] 龙昌满. 图的边割的矩阵判别法[J]. 重庆工学院学报, 2008, 22(7): 113-137

On the optimum graph of strong edge coloring conjecture

ZHANG Wei-biao, YANG Qing-jun

(College of Mathematics and Physics, Chongqing University, Chongqing 400030, China)

Abstract: In 1985, the famous graph theory expert Erdös and Nešetřil conjectured that strong edge-coloring number of a graph is bounded above by $\frac{5}{4}\Delta^2$ when Δ is even and $\frac{1}{4}(5\Delta^2 - 2\Delta + 1)$ when Δ is odd. They gave a graph of $\Delta = 4$. In this paper, we construct a series of such graphs and prove that if the Strong Edge Coloring Conjecture is correct, the boundary number is optimum.

Key words: edge coloring; strong edge-coloring; optimum graph

责任编辑:李翠薇