

评价轮式装载机可修复配套件可靠性的新方法

刘中星^{1,2} 曹正清¹

(中国农业大学 工学院,北京 100083; 2. 国家工程机械质量监督检验中心,北京 102100)

摘要 为评价装载机可修复配套件可靠性是否满足整机的要求,根据装载机配套件与整机之间的可靠性关系,确定相对失效率为评价指标。根据搜集到的国内 2 家企业生产的 ZL50 装载机及其配套件在三包服务期内的故障数据,利用随机过程理论,在现有的整机可靠性水平下,计算出被评价配套件应达到的可靠性水平 $\lambda_i(t)$,将配套件现有的可靠性预测值 $\hat{\lambda}_i(t)$ 与 $\lambda_i(t)$ 相比较,从而做出被评价配套件可靠性水平能否满足要求的结论。采用上述评价方法对配套件(发动机)进行了评价和分析,结果表明该评价方法简单、易行,有明确的结论,适于生产企业运用。

关键词 轮式装载机; 配套件; 可靠性

中图分类号 TU 603

文章编号 1007-4333(2004)05-0076-03

文献标识码 A

A new method for evaluating reliability of repairable cooperatively-manufactured-wheel-loader-parts

Liu Zhongxing^{1,2}, Cao Zhengqing¹

(1. College of Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. China National Construction Machinery Quality Supervising Test Center, Beijing 102100, China)

Abstract In order to evaluate whether the reliability of repairable cooperatively-manufactured-wheel-loader-parts (CMWLP) meets the need of loader. According to reliability relation between the CMWLP and loader, relative failure rate was defined as the evaluation index. The new evaluation method was brought forward in this paper. The relative failure rate λ_i between evaluated CMWLP and similar advanced loader was applied to evaluate whether the CMWLP reliability level met the need of loader. On the basis of the failure data of ZL50 loader and the CMWLP of two enterprises during warranty period. By applying the random process theory, the required failure rate $\lambda_i(t)$ of the CMWLP was calculated in the case of available loader reliability. Reliability prediction value $\hat{\lambda}_i(t)$ (available reliability level) of the CMWLP was compared with $\lambda_i(t)$. Using the aforementioned evaluation method, reliability conditions of the ZL50 CMWLP (engines) of two enterprises was evaluated and analyzed in the paper. The results showed that this new evaluation method was simple, easy correct, very applicable, and had a relative failure rate.

Key words wheel loader; cooperatively-manufactured-parts (CMP); reliability

装载机是一种结构复杂、制造质量要求较高的产品,由上万个零部件组成。目前,国产装载机约有 60%~70%的零部件需要专业配套件厂提供,个别企业生产装载机所需配套件数量高达 80%。随着装载机生产专业化程度的提高,如发动机、变速箱、驱动桥、液压系统等可修复部件已成为配套件^[1]。而我国生产的主要零部件的使用寿命与国外差距很

大^[2],如国外发动机使用寿命为 7 700 h,国产的仅 3 000 h;液压缸国外的为 100 万~200 万次,国产的为 60 万~80 万次。缸、泵、阀等液压系统元件和发动机的可靠性水平已成为国产装载机产品质量的技术“瓶颈”,直接影响主机的可靠性。研究评价可修复配套件的可靠性能否满足整机要求,对提高整机可靠性水平具有重要的意义。

收稿日期:2004-04-05

作者简介:刘中星,硕士研究生,高级工程师,主要从事工程机械与专用汽车试验研究,安全认证、CE 认证、3C 认证工作;曹正清,教授,博士生导师,主要从事汽车拖拉机设计及计算机仿真,可靠性分析研究。

目前,国内外对配套件的可靠性评价主要利用疲劳损伤积累理论和应力强度干涉理论建立数学模型,从而找到提高配套件寿命的方法。对于在现有的整机可靠性水平下,评价配套件可靠性水平能否满足要求的研究未见报道。笔者利用随机过程理论和可靠性理论,研究提出用被评价配套件与类似先进整机的相对失效率来评判该配套件可靠性是否满足整机要求的新方法。

1 配套件与整机之间的可靠性关系

概括而言,对装载机配套件的可靠性要求是,对于需要具有或容易实现高可靠性的配套件要求较高,而对于那些无需具有或难以实现高可靠性的配套件则提出稍低要求。要确定对配套件的可靠性要求,必须分析配套件与整机可靠性之间的关系。

根据装载机中发动机、传动系、转向系、制动系、液压系统、工作装置等各子系统(可修复配套件)在可靠性上的逻辑关系,可以认为装载机各子系统的可靠性模型是串联模型。在 n 个子系统的串联系统中,若各子系统的失效相互独立,且系统的工作时间 t_s 与子系统的名义工作时间 $t_i (i = 1, 2, \dots, n)$ 相同,则系统的可靠度 $R_s(t)$ 和失效率 $s(t)$ 分别为^[3]

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad (1)$$

$$s(t) = \prod_{i=1}^n s_i(t) \quad (2)$$

式中: $R_i(t)$ 和 $s_i(t)$ 分别为第 i 个子系统的可靠度和失效率函数, $i = 1, 2, \dots, n$ 。以相对失效率 i 表征子系统可靠性在系统可靠性中的重要程度

$$i = s_i(t) / s(t) \quad (3)$$

设平均故障间隔时间(MTBF)为 T ,当失效率 $s(t)$ 为常数时^[4], T 的倒数等于失效率,对于所研究的系统有 $s(t) = 1/T_s$, 对于配套件有 $s_i(t) = 1/T_i$, 式(3)可写成

$$i = T_s / T_i \quad (4)$$

若已知系统的可靠度 $R_s(t)$ 、失效率 $s(t)$ 及第 i 个子系统的相对失效率 i , 则 i 个子系统的失效率 $s_i(t)$ 和可靠度 $R_i(t)$ 分别为

$$s_i(t) = i \cdot s(t) \quad (5)$$

$$R_i(t) = [R_s(t)]^i \quad (6)$$

2 装载机可修复配套件可靠性评价方法

对于装载机及可修复配套件在工作过程发生故

障的情况,如果不考虑修理时间,可以用随机点过程来描述^[5]。采用给定时间下的累积故障强度函数

$$N(t) = \sum_{i=1}^n t_i \quad (7)$$

表征整机与可修复配套件的可靠性。累积故障强度函数的导数为故障强度函数

$$f(t) = \frac{dN(t)}{dt} \quad (8)$$

在可靠性工程中,表征可修复系统可靠性的故障强度函数与失效率有相同的物理含义,都是单位时间内发生故障的概率(或单位时间内单个产品发生的故障数);因此,式(3)中的失效率都可以用故障强度函数代替。

鉴于目前国内装载机中大多采用了国外同类机型的先进技术^[6],其结构相同、配置相似,具有较强的可比性,笔者提出用“先进产品相对失效率评价法”来评价可修复配套件的可靠性。

运用该方法的步骤是:首先找到一种同型的或类似的先进装载机作为比较目标,计算被评价配套件在先进整机中的相对失效率 i 。在现有(或要求)的装载机整机可靠性水平下,按先进产品相对失效率 i 换算得到配套件应达到的可靠性水平。将配套件的可靠性预测值(现有的可靠性水平)与应达到的可靠性水平相比较,即可对被评价配套件的可靠性水平做出评价。

3 实例计算

目前国外 ZL50 装载机发动机的相对失效率 $i = 0.238$ ^[7]。由于整机及可修复配套件(发动机)都是可修复系统,将搜集到的国内 ZL50 装载机 1 000 工作小时内的故障数据,代入式(8)进行计算,得到整机及发动机相应威布尔过程参数 λ 和 k 的极大似然估计量 $\hat{\lambda}$ 和 \hat{k} ,进一步得到整机及发动机的故障强度函数 $f(t)$ 和 $f_i(t)$ 。由式(3)得到

$$f_i(t) = i \cdot f(t) \quad (9)$$

式中: $f_i(t)$ 为计算出来的发动机的合格失效率。 $f_i(t)$ 与 $f(t)$ 相差的程度可用相对误差 R 来表示。

$$R = ((f_i - \hat{f}_i) / \hat{f}_i) \times 100\% \quad (10)$$

当 $R \geq 0$ (即 $\hat{f}_i(t) \leq f_i(t)$) 时,表示发动机的可靠性满足要求; $R < 0$ (即 $\hat{f}_i(t) > f_i(t)$),表示发动机的可靠性不满足要求。

笔者根据国内 2 家装载机骨干生产企业最近生产的 40 台 ZL50 装载机 1 000 工作小时的三包服务故障记录(含发动机故障记录),由式(8)~(10)计算

出 $\hat{\lambda}_s(t)$, $\lambda_i(t)$, $\hat{\lambda}_i(t)$ 和 R , 结果见表 1。

表 1 利用失效率预测值计算失效率 $\lambda_i(t)$ 的结果

Table 1 Failure rate results of applying estimated failure rate to calculate $\lambda_i(t)$

| 数据来源 | $\hat{\lambda}_s(1000)/10^{-4}$ | $\lambda_i(1000)/10^{-4}$ | $\hat{\lambda}_i(1000)/10^{-4}$ | $R/\%$ |
|------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------|
| 企业 A | 54.68 | 13.02 | 16.01 | - 22.96 |
| 企业 B | 26.86 | 6.40 | 5.90 | 7.81 |

从表 1 可以看出, 企业 A 发动机的失效率 $\hat{\lambda}_i(1000)$ 比所要求的失效率 $\lambda_i(1000)$ 高, 相对误差 R 为 - 22.96%, 说明企业 A 的发动机可靠性水平不能满足整机的要求。企业 B 的发动机失效率 $\hat{\lambda}_i(1000)$ 比所要求的失效率 $\lambda_i(1000)$ 低, 相对误差 R 为 7.81%, 说明企业 B 的发动机现有的可靠性水平能满足整机的要求。

如果代入式(9)的不是现有装载机整机的可靠性指标, 而是要求的装载机整机可靠性指标, 则可以确定现有配套件的可靠性是否满足整机要求, 从而为选择配套件或配套件厂家提供依据。

4 结束语

利用随机过程理论和可靠性理论, 根据装载机与各配套件之间失效率的关系, 提出的用被评价配

套件与类似先进整机的相对失效率, 来评判该配套件可靠性是否满足整机要求的方法的优点是: 无需对配套件做疲劳寿命试验, 仅利用整机和配套件的用户使用数据就可做出配套件和整机可靠性匹配优劣的评价。通过对国内 2 家装载机骨干生产企业最近生产的 40 台 ZL50 装载机 1000 工作小时的三包服务故障记录(含发动机故障记录)数据的计算和验证, 证明该评价方法简单、易行, 符合配套件的实际情况, 有明确的结论, 适于整机生产企业运用。

参 考 文 献

- [1] 马传伟. 工程机械配套件行业任重而道远[J]. 工程机械与维修, 2001(增刊): 1
- [2] 贡凯军. 加入 WTO 与中国装载机行业的发展[J]. 工程机械, 2000(4): 1
- [3] 盐见弘. 可靠性工程基础[M]. 北京: 科学出版社, 1982. 15 ~ 47
- [4] 市田嵩, 铃木和幸. 可靠性分布与统计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 273 ~ 288
- [5] 曹晋华, 程侃. 可靠性数学引论[M]. 北京: 科学出版社, 1986. 448 ~ 456
- [6] 梁树英. 国外轮式装载机新产品特点分析[J]. 工程机械, 2001(4): 2 ~ 3
- [7] 赵瑛. 国外轮式装载机的发展现状与趋势[J]. 工程机械, 1995(11): 27