

工程机械效益评价指标模型

吴占文^{1,2}, 马一民¹, 常淑珍¹, 来凌红¹, 李鹏军¹

(1. 武警工程学院 基础部, 陕西 西安 710086; 2. 长安大学 工程机械学院, 陕西 西安 710064)

摘 要:为了研究和确定工程机械效益评价指标,评析了机器的最大牵引力、最大牵引功率和单位机重功率等指标,确定了技术经济综合效益评价指标作为评价机器技术经济水平的优化指标。根据自行式工程机械生产率计算特点,推导、建立了由机器的主要结构性能参数、使用条件及行走机构与地面间的牵引附着特性等因素确定的装载机生产率计算数学模型。计算结果表明,该模型能够更加客观、合理地反映机器的技术经济品质。

关键词:机械工程;装载机;评价指标;生产率;可靠性系数

中图分类号:U415.5 **文献标志码:**A

Appraising indices model of construction machinery efficiency

WU Zhan-wen^{1,2}, MA Yi-min¹, CHANG Shu-zhen¹, LAI Ling-hong¹, LI Peng-jun¹

(1. Department of Basic Courses, Armed Police Engineering College, Xi'an 710086, Shaanxi, China;

2. School of Engineering Machinery, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: In order to study the appraising indices of the construction machinery efficiency, the largest tractive force, the largest tractive power and the power per machine weight are taken as the united appraising indices of the machine's technical efficiency and economic results. According to the calculating characteristic of the self-propelled construction machinery's productivity, the mathematic model to calculate the wheel loader's productivity is developed, which is made up of the machine's main structure and performance parameters, using conditions and the traction-adhesion characteristic between the walking machinery and the surface of the earth. The reliability coefficient of several statistic models is studied to determine the mechanical design. Hence it can reflect the machines' technical and economic quality more objectively. 1 tab, 10 refs.

Key words: mechanical engineering; wheel loader; appraising indices; productivity; reliability coefficient

0 引 言

制定机器效益指标应具有技术经济的性质,能够客观反映技术参数、制造成本、使用条件、社会经济条件及其他因素对机器效益的影响。由机器整体的设计水平、机械材料和机械制造等因素确定的机

器使用可靠性水平对机器效益影响很大。机器效益指标应该包含可靠性水平的成份,但由于可靠性难以统计计算,实际中缺乏对可靠性水平运算模式的研究和引用^[1-5]。

本文研究的工程机械效益评价指标,特别是装载机生产率指标的数学模型和机器使用可靠性水平

模式,为评价新设计机器和现有机器的技术经济水平提供客观依据。建立机器参数与具体使用条件下机器工作效益指标的相互联系式,可为机器效益和技术经济水平的分析提供依据。

1 效益评价指标

机器效益和使用性能优劣可用多种指标评价,但有些指标只能从某一侧面反映机器的使用性能和技术水平,没有与机器的总体效益联系起来,如最大牵引力 F_{\max} 、最大牵引功率 P_{\max} 等指标。工程中广泛采用单位机重功率指标 P/G ,若无明确限制条件,该指标不能给出相同含义的答案。分析机器单位生产率能量消耗指标 P/Q 和单位金属消耗指标 G/Q 即可得出明确结论。两指标值愈低,表明机器的性能愈好^[6-7]。为便于分析可把 G/Q 、 P/Q 写成如下形式

$$\frac{P}{Q} \frac{G}{G} \rightarrow \min, \frac{G}{Q} \frac{P}{P} \rightarrow \min.$$

式中: Q 为机器生产率(m^3/h); P 为功率; G 为机器质量。

可以看出,当确定 P/Q 时, P/G 值应随机器技术水平的提高而增大;可当确定 G/Q 时, P/G 值应随机器技术水平的提高而减小,该值越大导致 G/Q 值亦增大,机器性能变差,这与前面讨论情况矛盾。所以,采用 P/G 评价机器性能时应有明确的规定和范围。

由上述讨论可知,研制一台机器既要考虑技术上先进,又要考虑到经济上合理。技术与经济紧密联系,技术先进性与经济合理性的最佳结合,统称为机器的技术经济效益。因此,文献[8]采用机器的技术经济效益综合评价指标 Q_{PG} ,作为设计阶段评价现有机器系列和新设计机器技术经济水平的优化指标,其表达式为

$$Q_{PG} = P_s G_s = \frac{P}{Q} \frac{G}{Q} = \frac{PG}{Q^2} \rightarrow \min \quad (1)$$

式中: P_s 为比功率; G_s 为比质量。

式(1)的含义是完成单位产量消耗的能量和金属越低,机器的技术经济效益越高。对于同类型机器, Q_{PG} 能较全面地反映其技术经济性能,该值愈低,效益愈高,是评价现有机器产品系列的技术经济水平、优选设计样机及其技术参数的优化指标依据。从式(1)可看出效益取决于生产率的平方,因此为了用该指标来评价机器的效益,必须研究生产率与机器主要技术参数、使用条件的关系。

计算 Q_{PG} 可采用理论生产率、技术生产率和使

用生产率。采用理论生产率、技术生产率时,认为相比较的机器具有相同的可靠性水平 $K_{bp}=1$;按使用生产率计算 Q_{PG} 时, K_{bp} 值可依据对机器使用可靠性资料的统计分析和预测中求得。

2 生产率计算数学模型

2.1 生产率

机器的生产率指其在单位时间内完成的作业量。机器生产率是机器效益的重要评价指标,可借此确定机器的单位生产率成本、功率消耗、金属材料消耗等效益指标。

理论生产率是在给定的使用条件下,充分发挥机器的技术性能,而没有计算工作过程中时间、材料和动力损失,是由机器结构参数和工作介质确定的一种生产率。循环式作业机械的理论生产率为

$$Q = q/t \quad (2)$$

式中: q 为装置容量或在一个工作循环中移动的物料体积(m^3); t 为循环时间(s)。

技术生产率 Q_T 是机器在 1 h 内连续作业,考虑材料、功率损失,工作速度与工作装置利用程度下降和物料结构变化(松散、压实)等影响因素后的实际生产率,可按下式确定

$$Q_T = Q K_q K_v \quad (3)$$

式中: K_v 为低于计算速度的速度系数; K_q 为考虑工作装置利用程度的系数, $K_q \approx K_H/K_p$; K_H 为物料充满系数(0.6~1.25); K_p 为土的松散系数,散料 $K_p=1.08$;铲切土时 $K_p=1.32$ 。

使用生产率 Q_s 是考虑机器的施工工艺条件、组织管理水平、技术保养和工作准备时间损失后确定的生产率,可按下式确定

$$Q_s = Q_T K_g K_{bp} \quad (4)$$

式中: K_g 为机器施工工艺条件、组织管理水平、技术保养和工作准备时间损失系数, $K_g=0.7\sim 0.9$ 。

Q 和 Q_T 用于评价机器性能的完好程度; Q_s 及其变形公式用于评价机器的性能、技术经济效益。考虑到机器的设计、材料、制造和装配等因素的影响, Q_s 计算公式还应乘以遵循统计规律的机器可靠性水平系数 K_{bp} 。

2.2 可靠性指标统计模式

机器的可靠性指标(无故障、使用寿命长、维修方便等)以一定的时间效应反映出来。实际评价机器产品可靠性可用各厂家产品的“平均无故障时间 MTBF”和“首次故障前平均工作时间 MTTF”。MTTF 指质保期内首次发生故障的台数除以发生

首次故障时的工作时间之和加上未发生故障的台数乘以质保期,这两种指标都必须选自质保期已满产品,反映的信息滞后。下述 3 种可靠性指标统计模式可用于不同场合的产品月度外部反馈。

(1) 反馈率(K_f)。反馈率指质保期(180 d)内产品保有量与发生的反馈故障次数的比率,即

$$K_f = \frac{\text{当月反馈故障次数}}{\text{月度质保期内保有量}} \times 100\% = \frac{\sum \text{单台反馈故障次数}}{\sum \text{销售台数}} \times 100\% \quad (5)$$

式中:月度质保期内保有量等于该月及此前 180 d 销售的产品之和。

服务故障是经维修人员服务后确认的故障,真实可信;反馈故障是对用户反馈的直接转化,未经服务确认,未必真实。故服务故障次数要计入反馈故障次数,反之不然。反馈率能较及时地反映上月市场故障情况,作同期比较时,实用性较强。但月度之间有时数值波动较大,统计信息按反馈故障次数计算,有虚假成分,仅可预测市场发展趋势。

(2) 故障率(K_g)。故障率指整个质保期内发生故障的比率,即

$$K_g = \frac{\text{质保期内服务故障次数}}{\text{月度销售次数}} \times 100\% \quad (6)$$

故障率是一种定量指标体系,可准确反映产品在质保期内故障的发生情况,特别是月度之间、不同机型之间可比性较强,因采用服务故障次数计算,能真实代表特定型号产品的可靠性水平。但必须计算满质保期内的产品(信息滞后 180 d),用于评价业务部门服务质量。

(3) 不可靠率(K_b)。不可靠率指某月生产的产品售出后在质保期内发生服务故障次数的比率,即

$$K_b = \frac{360 \text{ d 后质保期内服务故障次数}}{\text{月度入库台数}} \times 100\% \quad (7)$$

产品入库后销售有随机性,每台产品完成的质保期月数随统计日期不同而变化。通常指产品入库 360 d 时统计的不可靠率。但入库 360 d 后,部分产品仍可能未超出质保期或未销售,为保证数据的可比性,引入可信度 d 和加权不可靠率 K_{bj} ,以近似代替所有产品超出质保期时的水平

$$d = \frac{\sum \text{每台已完成质保期月数}}{\text{入库台数} \times 6} \times 100\% \quad (8)$$

$$K_{bj} = \frac{\text{不可靠率}}{\text{可信度}} = \frac{K_b}{d} \times 100\% \quad (9)$$

不可靠率是分析指标,用于测量和评价一段时

期内产品的可靠性水平,其加权值在不同月份及不同机型之间有一定可比性。可信度越接近于 1,不可靠率就越真实。理论上该指标最能真实反映产品可靠性水平,对分析产品质量、寻找质量改进点和评价改进效果有一定帮助。

上述 3 种可靠性指标统计模式各有特点,适用时效仅限于质保期内或 360 d 左右,反映机器可靠性水平的时效性差。为此,本文设计了如下可靠性水平统计模式

$$K_{bp} = \sum_{j=1}^N \frac{1}{j} \left[\sum_{i=1}^n \frac{1}{i} \times \frac{(\text{月台班时间} - \text{维修保养时间})}{\text{月台班时间}} \right] \quad (10)$$

式中: n 为月份数; N 为入库与销售总台数(或购买台数)。

采用式(10)可以计算任意台数、任意时间的机器可靠性水平,时间越长,台数越多,可信度就越高。

2.3 生产率计算数学模型

生产率由机器的结构性能参数、驾驶操作条件和使用条件等因素决定,铲土运输机械工作效率主要取决于行走机构与地面间的牵引附着特性,关键是建立起生产率与机器主要参数、地面条件等因素的关系。装载机可水平运送土和其他物料,堆积卸料或装车卸料,也可进行 I ~ II 级土的铲掘作业,由自行式工程机械生产率计算特点,其技术生产率为

$$Q_T = 3600qK_H/(tK_P) \quad (11)$$

或

$$Q_T = 3600q\gamma K_H/(tK_P) \quad (12)$$

式中: q 为斗容量(m^3); γ 为松散物料容积质量; t 为工作循环时间(s), $t=t_1+t_2+t_3+t_4$ 。其中, t_1 为斗的装料时间, $t_1=L_1/V_1$, L_1 为铲挖距离(m); V_1 为铲挖实际速度(m/s); $t_1=(4\sim 12)$ s(铲切土时取高值)。

$$t_1 = \frac{qK_HK_PK_d}{P_{1H}(1-\delta_1)\eta(1-(f\pm i)/(\varphi K_\varphi))}$$

式中: K_d 为铲挖阻力系数; η 为传动效率; f 为行驶阻力系数; i 为地面坡度; φ 为附着系数; K_φ 为附着质量利用系数,全轮驱动 $K_\varphi=1$; P_{1H} 为铲运作业发动机额定功率; δ_1 为铲运作业轮胎与地面间滑转率。

t_2 为运送物料时间(s), $t_2=L_2/V_2$ 。 L_2 为运距(m); V_2 为运料工作速度, $V_2=(2\sim 4)$ m/s。推导得出: $t_2=L_2F/(P_{2H}(1-\delta_2)\eta)$ 。其中, F 为机器的切线牵引力; P_{2H} 为运土工况发动机额定功率; δ_2 为运土工况轮胎与地面间滑动率。

t_3 为回程时间(s), $t_3=L_3/V_3$ 。 L_3 为回程(m);

V_3 为装载机的运行速度, $V_3 = (3 \sim 6) \text{ m/s}$ 。推导出: $t_3 = L_3 F / (P_{3H} (1 - \delta_3) \eta)$ 。其中, P_{3H} 、 δ_3 分别为回程时的发动机额定功率和轮胎与地面间滑动率。

t_4 为辅助工序时间(s), t_4 由机器的结构特点、施工工艺与组织决定, 各类机械的 t_4 值在相应资料中确定, $t_4 = t_5 + t_6 + t_7$ 。其中, t_5 为装载机离开工作面的时间, $t_5 = 4 \sim 5 \text{ s}$; t_6 为动臂举升、下降和铲斗倾翻卸料时间; $t_6 = 9 \sim 14 \text{ s}$; t_7 为换档时间, $t_7 = 4 \sim 10 \text{ s}$ 。

分析 t_1 、 t_2 、 t_3 的计算式可看出, q 、 K_H 、 K_P 、 K_b 、 P_H 、 η 、 f 、 i 、 φ 等参数和滑转率 δ 对机器的生产率均有很大影响, 即, 机器行走机构的牵引附着特性对生产率有显著影响。在此需强调两点: ①若运行阻力等于或超过额定牵引力 F_H 时, 即 $f \pm i \geq \varphi K_\varphi$, 则机器无法运行, $t_1 \rightarrow \infty$, 生产率降低到 0; ②若滑转率 $\delta \rightarrow 1$, 则完全滑转, 机器的实际行驶速度 V_1 趋近于 0, 生产率亦趋近于 0。

将 t_1 、 t_2 、 t_3 表达式及 t_4 代入 Q_T 公式, 得装载机生产率的数学模型为

$$Q_T = (D_1 q K_H K_P^{-1}) / \left[\frac{q K_H K_P K_r}{P_{1H} (1 - \delta_1) \eta (1 - (f \pm i) / (\varphi K_\varphi))} + \frac{L_2 F}{P_{2H} (1 - \delta_2) \eta} + \frac{L_3 F}{P_{3H} (1 - \delta_3)} + t_4 \right] \quad (13)$$

式中: D_1 为比例系数, $D_1 = 3\,600 \text{ (kW} \cdot \text{m/(kW} \cdot \text{h))}$, 其他参量含义、量纲见前述^[9-10]。

3 生产率和效益的综合评价

根据生产率模型, 本文采用 Q_{PG} , 设定统一使用条件、典型作业对象和环境, 对收集到的国内外装载机主流样本产品的技术经济水平, 用 C++ 编程进行了实际计算, 结果见表 1。

表 1 不同规格装载机主要技术参数、生产率和效益指标值

序号	装载机型号	P/kW	G/t	q/m^3	G_g/t	$Q/(\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1})$	$\frac{P}{Q}$	$\frac{G}{Q}$	Q_{PG}
1	936E	101	12.209	2.30	3.810	71.829	1.406	1.666	2.342
2	WA300-1	107	11.740	2.30	3.680	78.456	1.364	1.466	2.000
3	530A11	116	13.412	2.87	4.082	91.023	1.274	1.444	1.840
4	950E	120	15.856	3.10	5.170	87.848	1.366	1.769	2.416
5	ZL40A	125	12.500	2.30	4.000	87.268	1.432	1.404	2.011
6	WA400-1	149	17.598	3.10	4.960	100.502	1.483	1.716	2.544
7	540	152	16.977	3.63	5.443	119.828	1.275	1.388	1.770
8	ZL50	154	16.700	3.00	5.000	105.500	1.460	1.551	2.264
9	966E	161	20.324	3.80	6.240	113.825	1.414	1.750	2.475
10	BEN22SB	179	19.250	3.85	7.147	133.365	1.342	1.415	1.899

分析表 1 数据可看出, 日本、意大利、美国等公司的装载机产品主要技术参数选择较合理, 生产率指标值较高, 各种效益指标值均较好。

近年来, 中国装载机研制与生产部门对机器主要技术参数的选择中充分考虑了其对机器技术经济水平的影响。因此, 各项技术经济及效益指标值都较理想。通过技术革新和引进, 使产品获得了优良的性价比, 占据了我国绝大多数市场份额, 并逐步走向世界。当然, 机器产品的性能与质量取决于机器的设计、材料、制造和装配等综合因素, 我国工程机械企业在这些方面做了艰苦努力, 但产品可靠性水平与先进国家仍存在较大差距。我国企业必须在机器零部件及整体的设计、材料、制造和装配等方面全面提升产品的性能、质量和可靠性水平。

4 结 语

(1) 研究、确定了工程机械技术经济综合效益评价指标, 根据自行式工程机械生产率计算特点, 推导和建立了装载机的生产率计算数学模型, 对目前我国内外市场主流机型的生产率和技术经济水平进行了实际计算与评析。

(2) 机器的综合效益评价指标 Q_{PG} 是评价现有机器系列及新机器技术经济水平的科学指标依据, 在设计和使用阶段按照机器系统的已知特性, 可预测新机器和评估现有机器系列的性能和技术经济水平。由机器的主要结构性能参数、使用条件和行走机构与地面间的牵引附着特性确定的机器生产率指标, 经进一步研究, 可对由机械设计、材料、制造和装配水平等因素确定的机器可靠性水平系数进行计算, 能够客观、合理地反映机器的技术经济品质, 是构成综合效益评价指标的重要组成部分。

参考文献:

References:

[1] 陈庆伟, 孔书祥. 土力学[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2002.

[2] 杨晋生. 铲土运输机械设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 1981.

[3] 薛健, 姚凯翘. 浅谈工程机械利用率的影响因素及对策[J]. 筑路机械与施工机械化, 2006, 23(5): 60-62.

XUE Jian, YAO Kai-qiao. Influencing factors and measure of engineering machineries utilization[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2006, 23(5): 60-62.

类型, 显示出最好的测试结果。它对插入、替代和转移错误几乎能完全纠正, 对遗漏错误也能较好地纠正, 对单词中任意位置出现的错误也能纠正。Garbling 模型的测试结果也相当的好, 只是对转移错误的纠正略差些。 N 重评价法的纠错率低一些, 因为几种错误类型对错误字符的数量及外形具有相当大的影响。

参考文献:

References:

- [1] Pollock J J, Zamora A. Automatic spelling correction in scientific and scholarly text[J]. Communications of the ACM, 1984, 27(4): 358 - 368.
- [2] Heidorn G E, Jensen K. The EPISTLE text-critiquing system[J]. IBM Systems Journal, 1982, 21(3): 305 - 326.
- [3] Véronis J. Error in natural language dialogue between man and machine[J]. International Journal of Man-Machine Studies, 1991, 35(4): 187 - 217.
- [4] Damerau F J. A technique for computer detection and correction of spelling errors[J]. Communications of the ACM, 1964, 7(3): 171 - 176.
- [5] Kukich K. Techniques for automatically correcting words in text[J]. ACM Computing Surveys, 1992, 24(4): 377 - 439.
- [6] Kashyap R L, Oommen B J. Spelling correction using probabilistic methods[J]. Pattern Recognition Letters, 1984, 2(3): 147 - 154.
- [7] Kashyap R L, Oommen B J. An effective algorithm for string correction using a general edit distance - II: computational complexity of the algorithm and some applications[J]. Information Sciences: An International Journal, 1981, 23(4): 201 - 217.
- [8] Oflazer K. Error-tolerant finite state recognition with applications to morphological analysis and spelling correction[J]. Association for Computational Linguistics, 1996, 22(1): 73 - 89.
- [4] 范文杰, 张子达, 文 广. 挖掘装载机装载工作装置有限元分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005, 22(2): 45 - 47.
FAN Wen-jie, ZHANG Zi-da, WEN Guang. Finite element analysis on loading working equipment of backhoe loader[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2005, 22(2): 45 - 47.
- [5] 陈新轩, 孙树仁. 筑路机械使用效益基本概念及其评价方法[J]. 西安公路交通大学学报, 1996, 16(2): 101 - 103.
CHEN Xin-xuan, SUN Shu-ren. Basic concepts and evaluation methods of using efficiency of road machinery[J]. Journal of Xi'an Highway University, 1996, 16(2): 101 - 103.
- [6] 吴国进. 施工机械评价指标体系结构分析[J]. 筑路机械与施工机械化, 2002, 19(6): 25 - 26.
WU Guo-jin. Structure analysis of the appraising index system of construction machinery[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2002, 19(6): 25 - 26.
- [7] 张宏春. 装载机的正确使用与维护[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005, 22(7): 52 - 54.
- ZHANG Hong-chun. Discussion of using and maintenance of loaders[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2005, 22(7): 52 - 54.
- [8] 吴占文, 高 军, 马一民. 装载机总体参数仿真设计[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(2): 97 - 100.
WU Zhan-wen, GAO Jun, MA Yi-min. Computer aided simulation design of wheel loader's main parameters[J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(2): 97 - 100.
- [9] 王 健, 张 琦, 樊路军. 基于 Fuzzy-Eigenvector 的工程机械装备技术状况评价[J]. 筑路机械与施工机械化, 2005, 22(2): 55 - 57.
WANG Jian, ZHANG Qi, FAN Lu-jun. Evaluation on engineering machinery technology state based on Fuzzy-Eigenvector[J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2005, 22(2): 55 - 57.
- [10] 马雁军, 赵国杰. 全国农业机械行业经济效益因子分析和评价[J]. 农业机械学报, 2006, 37(2): 62 - 66.
MA Yan-jun, ZHAO Guo-jie. Factor analysis of performance of agricultural machinery industry [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Machinery, 2006, 37(2): 62 - 66.

(上接第 95 页)