

文章编号: 0253 - 9993 (2006) 06 - 0761 - 04

露天矿卡车调度关键时间参数的概率分布

王 强, 张 莹, 陈 冲, 徐文立

(清华大学 自动化系, 北京 100084)

摘 要: 基于国内某露天矿生产中的实际数据, 使用著名的 Stat: Fit 软件对露天矿卡车调度中道路运行时间、电铲装车时间和卸点卸车时间这 3 个关键时间参数的概率分布进行了分析. 结论表明, 道路运行时间符合正态分布; 电铲装车时间符合对数正态分布、对数逻辑分布、逆高斯分布; 卸点卸车时间比较稳定, 可近似看作一个常数.

关键词: 露天矿; 卡车调度; 时间参数; 概率分布

中图分类号: TD422.49 **文献标识码:** A

Probability distribution of key time parameters in open-pit mine truck dispatching

WANG Qiang, ZHANG Ying, CHEN Chong, XU Wen-li

(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: Based on actual data of a domestic open-pit mine, the probability distributions of the three key time parameters such as truck's travel time, shovels loading time and crusher's unloading time in open-pit mine truck dispatching were analyzed by Stat: Fit software. The conclusion indicates that truck's travel time accords with normal distribution, shovel's loading time accords with lognormal distribution, loglogistic distribution and inverse Gaussian distribution, and crusher's unloading time is relatively stable so that it can be seen as a constant.

Key words: open-pit mine; truck dispatching; time parameters; probability distribution

露天矿卡车调度中有 3 个关键的时间参数, 即道路运行时间、电铲装车时间和卸点卸车时间. 掌握准确的道路运行时间、电铲装车时间和卸点卸车时间, 是计算最短路、进行车流规划、实时调度的基础. 如果这些关键时间参数不够准确, 那么最短路的计算就会不准确, 车流规划的结果也将较大地偏离于实际情况^[1-3], 在此基础上作出的实时调度决策也不可能是优化的. 分析这 3 个关键参数的概率分布特性, 既有助于实际生产中的卡车调度, 也能为仿真系统设置这些参数提供依据. 需要说明的是, 笔者用于分析这 3 个关键参数概率分布的全部数据, 都是我国自主研发的某大型露天矿卡车调度系统中的 GPS 子系统采集的生产现场的实际数据. 该卡车调度系统从 2005 年初正式投入生产后, 至今一直稳定高效地运行着.

1 Stat: Fit 简介及原理

1.1 Stat: Fit 简介

Stat: Fit 是美国 Geer Mountain 公司出品的著名的统计数据拟合软件, 它能够根据提供的实际数据判

收稿日期: 2006-04-04

基金项目: “十五”国家重点科技攻关基金资助项目 (2004BA615A)

作者简介: 王 强 (1983-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生. Tel: 010-62778197, E-mail: qiang-wang03@mails.tsinghua.edu.cn

断实际情况是否满足某种概率分布, 并且给出实际情况和某种概率分布的符合程度。

应用 Stat: Fit来分析露天矿卡车调度关键时间参数的概率分布, 不仅使过程变得简单明了, 而且增强了结果的可信度。

1.2 Stat: Fit分析概率分布的原理

Stat: Fit分析概率分布使用的是极大似然估计和 K-S检验、A-D检验^[4]。

(1) 极大似然估计 假设总体含有一个总体参数 θ 的密度函数, 要用一个确定的统计量来估计 θ , 于是该密度函数可以用 $f(x, \theta)$ 表示。假设有 n 个独立的观测值 X_1, \dots, X_n , 对于这些观测值的联合密度函数 $L = f(x_1, \theta) f(x_2, \theta) \dots f(x_n, \theta)$ 称之为似然。从而最大似然可用 L 对 θ 求导并令求导后的结果等于 0 得到。为了达到这个目的, 首先对 L 取对数, 然后求导, 用这样的方法得到 $\frac{1}{f(x_1, \theta)} \frac{\partial f(x_1, \theta)}{\partial \theta} + \dots + \frac{1}{f(x_n, \theta)} \frac{\partial f(x_n, \theta)}{\partial \theta} = 0$, 对 θ 解这个方程, 就是 θ 的最大似然估计量。在有若干个参数需要估计的情况下, 可以对每个参数求偏导数, 然后令结果等于 0, 通过解联立方程得到参数的最大似然估计量。

(2) K-S检验和 A-D检验 K-S检验和 A-D检验都是拟合优度检验, 基于将样本的经验分布函数 $F_n(x)$ 和假设的分布函数 $F(x)$ 相比较。假设检验问题: $H_0: F_n(x) = F(x), H_1: F_n(x) \neq F(x)$, 定义经验分布函数 $F_n(x)$ 为如下阶梯函数 (顺序样本 $x_1 < x_2 < \dots < x_n$), 即

$$F_n(x) = \begin{cases} 0 & (x < x_1), \\ k/n & (x_k \leq x < x_{k+1}, k = 1, 2, \dots, n-1), \\ 1, & (x \geq x_n). \end{cases}$$

K-S检验: 检验统计量 $D_n = \max_x |F(x) - F_n(x)|$, 若 $D_n < D_{n, \alpha}$, 接受 H_0 ; 反之, 拒绝 H_0 。为显著性水平, $D_{n, \alpha}$ 的值可通过查 K-S检验拟合优度检验临界值表得到。

A-D检验: 检验统计量 $A_n^2 = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (2i-1) \{ \ln F(x_i) + \ln [1 - F(x_{n+1-i})] \}$, 若 $A_n^2 < A_{n, \alpha}^2$, 接受 H_0 ; 反之, 拒绝 H_0 。当在显著性水平下 $\alpha = 0.05$ 时, $A_{n, \alpha}^2 = 0.787 / (1 + 4/n - 25/n^2)$ 。

Stat: Fit对每组数据进行分析之后, 可以得到这种数据是否符合各种待检验分布的判断及各种待检验分布对应的 Rank值, Rank值反映了相应分布与实际数据的符合程度, Rank值越大, 符合程度越高。

2 道路运行时间的概率分布

道路运行时间为卡车在两个道路节点之间运行所用的时间, 节点包括道路交叉点、电铲和卸点。道路运行时间与路况、卡车状况、驾驶员等因素有关, 同时受到 GPS子系统的精度限制。图 1为某两个道路节点之间的道路运行时间数据的直方图。

由图 1可猜测道路运行时间符合正态分布。正态分布是最常见的概率分布, 便于应用于实际生产和仿真研究, 所以首先使用 Stat: Fit对正态分布进行检验, 令显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。使用多组实际数据对正态分布进行检验, 检验结果均通过, 所以认为道路运行时间符合正态分布。

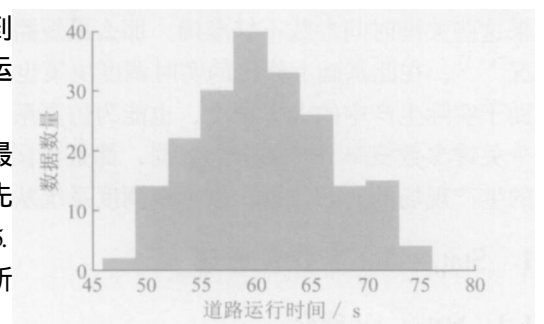


图 1 道路运行时间的直方图

Fig. 1 The histogram of truck's travel time

3 电铲装车时间的概率分布

电铲装车时间为卡车进入装车区域即开始调头到电铲装载完毕卡车离开装车区域的时间。电铲装车时间与生产环境关系密切, 例如装载时的地质情况和爆破情况, 电铲操作者的状态也会影响电铲装车时间。图 2为某电铲在 1个班中的电铲装车时间数据的直方图。

从图 2 中不易观察出电铲装车时间与常见的概率分布类似，所以使用 Stat: Fit 进行进一步分析。对 24 种常见的概率分布进行检验，令显著性水平 $\alpha = 0.05$ 。统计多组现场得到的实际数据，得到的 Rank 值见表 1，这里只列出平均值靠前的前 6 种。

由表 1 可见，皮尔逊 6 型分布的 Rank 值偏低，所以首先排除皮尔逊 6 型分布。又由于皮尔逊 5 型分布和逆威布尔分布相对于其他 3 种分布 Rank 值也相对较低，对于特定的数据，甚至会出现 Rank 值极小，也就是符合程度很低或者不符合的情况，所以也将其排除掉。所以认为电铲装车时间符合对数正态分布、对数逻辑分布、逆高斯分布。这 3 种分布 Rank 值接近，并且较高。在不同的露天矿进行卡车调度或者仿真研究时，可以根据该露天矿的实际情况选择其中最合适的一种概率分布。

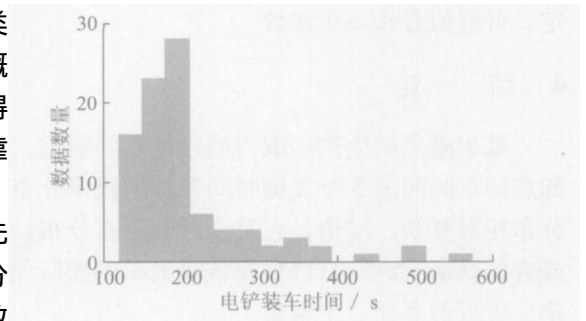


图 2 电铲装车时间的直方图

Fig. 2 The histogram of shovel's loading time

表 1 不同概率分布对应的 Rank 值

Table 1 The Rank value of different probability distributions

组 分	概率分布					
	对数正态	对数逻辑	皮尔逊 5 型	逆威布尔	逆高斯	皮尔逊 6 型
1	54.4	94.1	66.6	71.5	48.6	19.4
2	100.0	92.0	90.4	0	95.7	27.0
3	51.0	69.6	66.3	78.3	42.3	25.3
4	71.5	28.2	8.6	82.7	73.4	70.3
5	96.2	89.0	95.1	96.8	92.9	47.1
6	54.4	73.9	61.1	61.7	52.9	32.5
7	54.5	48.2	65.2	61.0	53.0	63.3
8	93.4	96.4	93.4	88.4	90.7	81.9
9	99.0	81.2	91.4	87.2	100.0	90.8
10	69.6	100.0	96.0	97.9	60.4	85.0
11	76.8	63.7	18.3	66.9	80.3	100.0
12	91.5	98.4	69.7	0	88.8	40.6
平均	76.0	77.9	68.5	66.0	73.3	56.9

对数正态分布 (Lognormal 分布):

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_{min}) \sqrt{2} \sigma} \exp\left[-\frac{[\ln(x - x_{min}) - \mu]^2}{2\sigma^2}\right],$$

式中， σ 为标准差； μ 为均值。

对数逻辑分布 (Loglogistic 分布):

$$f(x) = p \left(\frac{x - x_{min}}{b}\right)^{p-1} / \left[1 + \left(\frac{x - x_{min}}{b}\right)^p\right]^2,$$

式中， p, b 为参数。

逆高斯分布 (Inverse Gaussian 分布):

$$f(x) = \left[\frac{2}{(x - x_{min})^3}\right]^{1/2} \exp\left[-\frac{(x - x_{min})^2}{2\sigma^2(x - x_{min})}\right],$$

式中， σ 为参数。

卸点卸车时间是卡车将装载物倒入卸料点所需的时间。由于受环境、人为因素的干扰小，数值比较稳

定,可近似看作一个常数.

4 结 论

基于露天矿生产中取得的现场实际数据,使用 Stat: Fit软件分析了道路运行时间、电铲装车时间和卸点卸车时间这 3 个关键时间参数的概率分布. 结果显示,道路运行时间符合正态分布;电铲装车时间的分布相对复杂,结论是它符合对数正态分布、对数逻辑分布、逆高斯分布,在不同的露天矿进行卡车调度或者仿真研究时,可以根据该露天矿的实际情况选择其中最合适的一种概率分布;卸点卸车时间比较稳定,可近似看作一个常数.

参考文献:

- [1] Zhang Y, Zhao Y, Lu Q W, et al Optimization model of truck flow at open-pit mines and standards for feasibility test [J]. J. of Univ. of Sci. and Tech. Beijing, 2004, 11 (5): 389 ~ 393.
- [2] 苏 靖, 刘胜富, 张幼蒂, 等. 露天矿卡车调度理论的系统研究 [J]. 煤炭学报, 1997, 22 (1): 52 ~ 55.
- [3] White J W, Olson J P, Vohnout S I On improving truck/shovel productivity in open-pit mines [J]. CM Bulletin, 1993, 86 (973): 43 ~ 49.
- [4] Spiegel M R, Schiller J, Srinivasan R A. 概率与统计 (第 2 版) [M]. 孙山泽, 戴中维, 译. 北京: 科学出版社, 2002.

2007年 《煤炭学报》征订启事

《煤炭学报》是中国煤炭学会主办的、向国内外发行的煤炭科学技术方面的综合性学术刊物. 主要刊载煤田地质与勘探、煤矿开采、矿山测量、矿井建设、煤矿安全、煤矿机械工程、煤矿电气工程、煤炭加工利用、煤矿环境保护等方面的科学研究成果论著和学术论文, 以及煤矿生产建设、企业管理经验的理论总结, 也刊载重要学术问题的讨论及国内外煤炭科学技术方面的学术活动简讯.

《煤炭学报》刊载的论文具有较高的学术价值和文献收藏价值, 被 Ei、IEA Coal Abstract CD-ROM、中国科学引文数据库、科学技术文摘速报 (日本)、Coal Highlights、中国学术期刊文摘等国内外 20 多种重要文摘检索系统所收录. 1992 年荣获首届全国优秀科技期刊评比二等奖, 获中国科学技术协会优秀学术期刊二等奖, 获北京市新闻出版局、北京市科学技术期刊编辑学会全优期刊奖. 1996 年荣获第二届全国优秀科技期刊评比一等奖, 获中国科学技术协会优秀科技期刊一等奖. 1999 年荣获首届国家期刊奖. 2004 年入选百种中国杰出学术期刊.

《煤炭学报》深受广大作者、读者的爱护和支持, 也受到各级部门的重视, 在学术水平上具有较高的地位, 很多单位都将在《煤炭学报》发表的论文作为作者学术水平考核指标之一.

《煤炭学报》从 2007 年改为月刊, 每期 112 页, 每册订价 26 元, 全年共收费 312 元. 欲订阅者可直接与本编辑部联系, 编辑部随时办理订阅手续.

本刊地址: 北京市和平里煤炭科学研究总院内 《煤炭学报》编辑部 邮政编码: 100013

联系电话: (010) 84262930, E-mail: mxbhjp@126.com, mxb@vip.163.com