

# 朱家包包铁矿运输系统可靠性研究

吕文生 杨 鹏 陈国桢  
(北京科技大学)

**摘 要** 依据马尔可夫理论建立了朱家包包铁矿露天运输模型。通过分析计算,得出朱家包包铁矿运输系统最低配置下的系统可靠度,为矿山生产提供理论指导。

**关键词** 马尔可夫理论 露天矿运输 可靠度

## Study on the Reliability of the Hauling System of Zhujiabaobao Iron Mine

Lu Wensheng Yang Peng Chen Guozhen  
(University of Science and Technology Beijing)

**Abstract** Based on Markoff theory, the hauling model for the open pit of Zhujiabaobao Iron Mine was established. Through analysis and calculation, the reliability of the hauling system with the minimum equipment was obtained and used as theoretical guidance for the mine's production.

**Keywords** Markoff theory, Hauling of open-pit mine, Reliability

## 1 概 述

### 1.1 可靠性与可用度

可靠性是对设备或系统在无故障条件下的工作能力的量度,又称为可靠度。其实质是指在规定条件和规定时间内,设备或系统完成规定功能的概率,或不出现故障的概率。

维修性是指在规定的时间内,修复设备或系统的能力。维修度是在规定的时间内设备或系统的维修性的量度,是在规定时间内修复设备或系统的概率。

可用度是系统在经受构成交替更新过程的连续“完好”和“修复”循环时,能够在任一随机时刻 $t$ 正常工作的概率。是对可维修系统可靠性和维修性的综合描述。

对于可修复系统来说,研究系统的工作能力,既要考虑系统的可靠性,又要考虑系统的维修性,忽略任何一方都是片面的。因此在研究系统能力时,采用可用度指标比可靠度指标更为合理。

可用度指标也仅描述了设备或系统的可作业时间,而在露天矿生产过程中,设备或系统的实际生产能力除了与可作业时间有关外,还跟影响设备或系统的人和环境因素有重大关系。为了综合考虑影响设备或系统生产能力的各因素,我们引入了生产能力有效率这一概念,它包括3个方面内容:(1)人的

可靠度;(2)外界环境的影响程度;(3)设备或系统的固有可靠度。

### 1.2 系统可用度的马尔可夫求解

马尔可夫过程关注系统的“状态”(如工作、不工作)以及状态的“转换”。在马尔可夫过程模型中,系统从状态 $i$ 转换到状态 $j$ 的转换概率这 $P_{ij}$ ,此概率只决定于状态 $i$ 和 $j$ ,而与以前其它所有状态无关,此外 $P_{ij}$ 也不随时间变化。

在建立马尔可夫过程可用模型时,同时补充以下假设:

(1) 在时刻 $(t, t + dt)$ 发生故障的条件概率是 $\lambda dt$ ;

(2) 在时刻 $(t, t + dt)$ 出现修理的条件概率是 $\mu dt$ ;

(3) 不同时出现两次更多次故障或修理的概率;

(4) 每次故障或修理或修理的事件与所有其它事件无关;

(5)  $\lambda$ (故障率)和 $\mu$ (修理率)是常数(如指数分布)。

1.2.1 单台设备的可靠性分析

假定设备的故障率为  $\lambda$ , 修理率为  $\mu$ , 则设备在  $(t, t + dt)$  时的故障条件概率是  $\lambda dt$ , 在  $(t, t + dt)$  时完成修理的条件概率是  $\mu dt$ , 据马尔可夫转换微系数矩阵得:

$$P(t) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 - \lambda \Delta t & \lambda \Delta t \\ \mu \Delta t & 1 - \mu \Delta t \end{bmatrix},$$

单台设备的可用度是:

$A(t) = P_0(t)$ , (设备在时刻  $t$  处于可工作状态的概率);

$P_0(t) + P_1(t) = 1$ , (设备在时刻  $t$  处于可工作或故障状态的概率)。

因此可以得到:

$$P_0(t + dt) = P_0(t)(1 - \lambda dt) + P_1(t)\mu dt;$$

$$P_1(t + dt) = P_0(t)\lambda dt + P_1(t)(1 - \mu dt).$$

由此推导出系统稳态可用度为

$$A_s = \lim_{t \rightarrow \infty} A(t) = A(\infty) = \frac{\mu}{\lambda + \mu}.$$

设备的生产能力有效率为:

$$P = (1 - K)AR_p = (1 - K)\frac{\mu}{\lambda + \mu}(1 - X),$$

式中,  $K$  为环境因素对设备生产能力的可能影响程度;  $X$  为为人因素对设备生产能力的可能影响程度;  $\lambda, \mu$  分别为故障率和修理率。

1.2.2 系统可用度模型

(1) 具有可修复或可更换装置的串联系统。对于无缓冲设备的系统, 系统中每一部件都正常工作时, 系统才能正常工作, 这样的系统为硬性串联系统, 系统稳态可用度为

$$A_s = \prod_{i=1}^n \left( \frac{1}{1 + a_i} \right),$$

式中,  $a_i = \frac{\text{平均故障时间}}{\text{平均故障间隔时间}} = \frac{\lambda_i}{\mu_i}$  即第  $i$  个单元的

维修系数;  $a_s = \sum_{i=1}^n a_i$  为系统维修系数; 系统故障率:

$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i$ ; 平均故障间隔时间:  $MTBF_s = \frac{1}{\lambda_s}$ , 系统

故障修复率:  $\mu_s = \frac{\lambda_s}{a_s}$ ; 系统平均故障时间:  $MTTR_s$

$$= \frac{1}{\mu_s}.$$

系统生产能力有效度:  $P_s = \min(Q_1 P_1, Q_1 P_2, \dots, Q_n P_n) / \min(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ , 系统实际生产能力为:  $Q_s = \min(Q_1, Q_2, \dots, Q_n)$ 。

当串联系统设有缓冲仓时, 该系统可视为柔性

连接系统。柔性系统的稳态有效度为

$$A = R - S \cdot e^{CQ/q},$$

其中,  $R = \min(A_{1,h}, A_{h,2})$ 。  $A_{1,h}, A_{h,2}$  分别为前后部分与缓冲仓硬性连接的有效度;  $q$  为流经各环节货物流量,  $t/\text{min}$ ;  $Q$  为缓冲仓容积,  $t$ ;  $C$  为一系数, 它随系统中  $q$  的变化呈抛物线变化。

(2) 具有可修复或可更换装置的并联系统。并联系统在并联部分的部件全部失效时才导致系统失效。其稳态可用度为

$$A_s = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - A_i) = 1 - \prod_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\mu_i};$$

系统的生产能力有效度为:  $P_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i$ ;

系统的生产能力为:  $Q_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i$ 。

2 朱家包包铁矿运输系统简介

朱家包包铁矿采场主要由狮子头、南头山和东头山 3 个山头组成, 封闭圈标高为 1 270 m, 现已转入深凹露天开采。

朱家包包铁矿设计采用铁路、公路联合运输方式开拓: 采场 1 300 m 以上全部采用铁路运输, 深部 1 285 m 以下布置两套运输系统, 一套是铁路, 一套是公路。公路从矿仓西部下坑, 纵向坡度为 8%, 路面宽 21 m, 可运行 100 t 电动轮汽车。铁路运输系统为 1 258 m 铁路从矿山站东北侧进入采场深部, 1 270 m 和 1 285 m 铁路也从矿山站东北侧进入采场深部, 1 267 m 封闭圈以下设置下盘固定帮折返线, 纵向坡度为 30%, 共有 1 258 m、1 234 m、1 210 m、1 186 m 等 4 个折返台。深部铁路一直延伸到 1 162 m, 掘沟及扩帮形成铁路进线空间的矿岩均由汽车公路运往场外倒装矿仓转铁路运出; 在 1 174 m 设置倒装台, 1 162 m 至露天坑底 1 054 m 之间的矿岩均用汽车将矿岩运至倒装台, 然后用电铲装到列车上经铁路运出。

3 朱家包包铁矿运输系统可靠性研究

3.1 模型建立(图 1)

朱家包包铁矿运输系统可以看作是电铲、汽车、转载站、电机车、矿仓(或排土场)等部件组成的柔性串联系统。而其中各部件内部如电铲、汽车、电机车等组成并联关系。因此, 朱矿运输系统整体组成一个复杂串并联系统。

图 1 中,  $A_1 \sim A_i$  分别指某台电铲;  $B_1 \sim B_j$  分别指某辆汽车;  $C_1 \sim C_k$  分别指某个转载站;  $D_1 \sim D_l$  分别指某辆电机车;  $E_1 \sim E_m$  分别指某电机车卸载点。

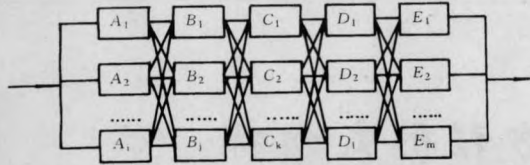


图1 朱矿运输系统模型示意

### 3.2 系统指标求解

为将复杂系统简化求解,必须先做以下假设:①不同环节的设备不同时发生故障(完全失效);②以转载站为界,站前或站后某个环节出现故障,其它设备将无法工作;③电机车卸载点的可用度为1。

#### 3.2.1 系统初始条件

(1) 故障率和修复率。设备故障间隔时间一般服从负指数分布,设分布函数为:  $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$ 。式中参数  $\lambda$  即为设备故障率,其倒数为平均故障间隔时间。

设备故障修复时间同样也服从负指数分布,分布函数为:  $M(t) = 1 - e^{-\mu t}$ 。式中参数  $\mu$  即为设备故障修复率,其倒数为平均故障修复时间。

(2) 子系统可靠性指标分析。根据朱家包包铁现场统计数据,WK-4电铲的固有可用度为  $A_1 = 0.93$ ,电铲生产能力有效度为  $P_1 = 0.79$ ;3307汽车的固有可用度为  $A_2 = 0.53$ ;振动放矿机的固有可用度为  $A_3 = 0.94$ ,转载站生产能力有效度为  $P_3 = 0.91$ ;电机车的固有可用度为  $A_4 = 0.92$ ,电机车生产能力有效度为  $P_4 = 0.80$ 。通过对数据分析发现,设备的实际生产能力和设备额定生产能力相差较大,尤其对于电铲、汽车这样的设备,人和环境因素对设备生产能力的影 响非常大。

(3) 系统可靠性指标分析。系统是由电铲、汽车、转载站和电机车组成的柔性串联系统,其系统实际生产能力有效度为

$$P_s = \frac{\min(N_1 P_1 Q_1, N_2 P_2 Q_2, N_3 P_3 Q_3, N_4 P_4 Q_4)}{\min(N_1 Q_1, N_2 Q_2, N_3 Q_3, N_4 Q_4)}$$

式中, $N$ 、 $P$ 、 $Q$ 分别为不同生产环节中设备的数量、可靠度与额定生产能力。

为达到系统设计生产能力,在综合考虑人为因素和环境因素等条件下,按照朱家包包铁矿各种设备现有实际生产能力来计算,确定各种设备的最小数量为WK-4电铲11台;3307汽车32辆;转载站3个;电机车12台。

#### 3.2.2 系统可用度求解及分析

在系统不同环节设备不完全失效的条件下,由电铲-汽车-转载站组成的子系统可用度为  $A_{123} = A_1 A_2 A_3 = 0.77$ ;由转载站-电机车组成的子系统的可用度为  $A_{34} = 0.86$ ,则

$$R = \min(A_{123}, A_{34}) = 0.77,$$

$$S = R - A_{124} = 0.02,$$

整个系统的可用度为  $A = R - S \cdot e^{CQ/q} \approx 0.76$ 。

### 4 结论

运用马尔可夫理论可以较好地确定系统可靠度问题,同时确定系统所需设备的基本配置,为矿山管理者提供理论指导。根据系统模型可以看出,在露天矿运输过程中,转载站在整个系统中起了承上启下的作用,转载站的可用度或转载矿仓容积的变化必然会引起整个系统可用度的变化。因此要提高系统可用度首先应靠提高转载站的可用度和矿仓有效容积。另外,系统中各生产环节可用度采用现场统计数据的时间比较法取得,在系统冗余度大的情况下,所得结果比实际值偏小1%~2%。

#### 参 考 文 献

- 1 章国栋,陈延孝.系统可靠性与维修的分析与设计.北京:北京航空航天大学出版社,1990
- 2 周百传.露天矿运输.北京:冶金工业出版社,1994
- 3 王喜富,张达贤.用系统可靠性数字仿真方法计算半连续工艺系统的可靠性.金属矿山,1994(6):10~13

(收稿日期 2001-03-16)

### ·信息苑·

## 财政部、国家税务总局关于调整冶金联合企业矿山 铁矿石资源税适用税额的通知

为促进冶金矿山发展,平衡不同类型的企业的资源税负担,鼓励公平竞争,财政部、国家税务总局研究决定,自2002年4月1日起,对冶金联合企业矿山(含1993年12月31日从联合企业矿山中独立

出来的铁矿山企业)铁矿石资源税,减按规定税额标准的40%征收。对于由此造成地方财政减少的收入,中央财政将予以适当补助。