

矿山缓冲仓系统可靠性模型^①

才庆祥

(中国矿业大学采矿工程系, 徐州 221008)

白晓平

(西安建筑科技大学资源系, 西安 710055)

摘 要 基于缓冲仓在矿山采运系统中的工作原理, 具体分析了缓冲仓在不同情况下的故障状态及其对系统可靠性的影响和作用, 建立了一个新的缓冲仓系统可靠性模型, 并给出了利用此模型求解缓冲仓系统可靠性指标的方法和计算公式。该模型能够全面反映缓冲仓系统各环节之间在不同情况下的可靠性逻辑关系, 具有重要的理论意义和实用价值。

关键词 缓冲仓 运输系统 可靠性 故障

中图法分类号 TD824

在矿山运输生产中, 为提高系统可靠性, 通常在一些运输环节间设置缓冲仓。缓冲仓的设置, 可以减轻仓前或仓后环节发生故障时的相互影响, 从而达到提高系统可靠性的目的。这种带有缓冲仓的运输系统通常被称为软性(或柔性)连接系统, 其可靠性分析一般比不带有缓冲仓的刚性连接系统要复杂得多。唐祖章首先计算出缓冲仓与仓前环节串联的有效度和缓冲仓与仓后环节串联的有效度^[1], 认为软性连接系统的理论有效度不应大于二者的最小值; 俞书伟不考虑缓冲仓本身的机电故障^[2], 建立的软性连接系统可靠性模型为缓冲仓与仓后环节并联, 然后与仓前环节串联; 才庆祥以仓容足够大为前提^[3], 建立的软性连接系统可靠性模型为仓前环节与仓后环节并联, 然后与缓冲仓串联, 提出了缓冲仓临界可靠度的概念, 从理论上解释了设置缓冲仓可能提高系统的可靠性, 也可能降低系统的可靠性, 且二者都是有界的, 并给出了相应的计算公式; 艾尔布朗德^[4]和王喜富^[6]等对缓冲仓的合理容量进行了研究。本文进一步分析研究了矿山缓冲仓系统的工作原理、缓冲仓的作用和故障模式^[5], 不做任何假设与简化取舍, 建立了一个

新的软性连接系统可靠性模型, 更全面而直观地体现了缓冲仓在不同情况下对系统可靠性的影响。

1 缓冲仓系统可靠性模型

缓冲仓软性连接运输系统工作原理如图1所示(图中1为仓前环节, h 为缓冲仓, 2为仓后环节)。



图1 缓冲仓系统工作原理

Fig. 1 Working principle of surge bin system

利用图1, 对缓冲仓在不同情况下所起的作用分析如下:

(1) 缓冲仓的装矿和排矿要通过一定的机械与电气装置来实现, 把缓冲仓机电部分与缓冲仓分开并设想为一个元件, 用 h_1 表示它只体现缓冲仓的机电部分。在可靠性关系上, h_1 是串联在仓前环节1和仓后环节2之间。元件 h_1 故障定义为“缓冲仓发生机电故障”。

① 国家自然科学基金资助项目 59274133 收稿日期: 1998-01-17; 修回日期: 1998-10-22
才庆祥, 男, 40岁, 教授, 博士

(2) 当仓后环节 2 失效时, 仓前环节 1 可利用缓冲仓的剩余容量继续往仓中存矿, 这时缓冲仓就相当于仓后环节 2 的备用环节, 将缓冲仓的这种作用假想为一个元件 h_2 。在可靠性逻辑关系上, h_2 是仓后环节 2 的冷备环节, 仓后环节 2 正常时, h_2 不发挥作用。元件 h_2 的故障状态定义为仓满, 一旦仓满, h_2 将失去作用。

(3) 当仓前环节 1 失效时, 仓后环节 2 可借助仓中存矿继续运转, 这时缓冲仓相当于仓前环节 1 的备用环节。将缓冲仓的这种作用假想为一个元件 h_3 , 在可靠性逻辑关系上, 它是仓前环节 1 的冷备环节。仓前环节 1 正常时, h_3 不起作用。 h_3 的故障状态定义为仓空, 一旦仓空, 这种作用将消失。

根据以上对缓冲仓在不同情况下所起作用的分析可知, 如果将仓前环节 1 向缓冲仓输矿称为存矿、缓冲仓向仓后环节 2 输矿称为排矿的话, 对缓冲仓来说, 只排不存时的仓空和只存不排时的仓满均是缓冲仓的故障状态。缓冲仓还有一种故障状态就是缓冲仓本身的机电故障。

据此建立的软性 (或称柔性) 连接运输系统的可靠性模型如图 2 所示。

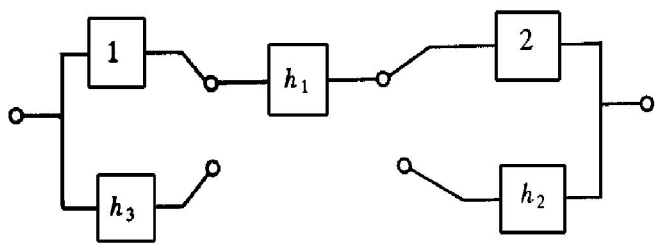


图 2 缓冲仓系统可靠性模型

Fig. 2 Reliability model of surge bin system

由图 2 可知, 当仓前环节 1 发生故障时, 环节 1 接点断开, h_3 接点与 h_1 接点接通, 这时系统通路为 $h_3 \rightarrow h_1 \rightarrow 2$; 仓后环节 2 故障时, 环节 2 接点断开, h_2 接点与 h_1 接点接通, 这时系统通路为 $1 \rightarrow h_1 \rightarrow h_2$; 仓前环节 1 和仓后环节 2 同时正常时, h_2 和 h_3 这两个元件接点处

都断开, 这时系统通路为 $1 \rightarrow h_1 \rightarrow 2$; 当环节 1 与环节 2 同时故障, 或 h_1 故障时, 整个缓冲仓系统就故障。上述模型能够较充分而直观地体现不同情况发生时缓冲仓系统中各环节之间的可靠性逻辑关系。

2 缓冲仓系统可靠性指标的求解方法

上述假想元件 h_1 , h_2 , h_3 的可靠性指标较易求得。求 h_1 的可靠性指标时, 只统计缓冲仓发生无机电故障的工作时间及对机电故障的维修时间, 然后分析其分布, 即可求出可靠性指标。同样, 求 h_2 的可靠性指标时, 只统计在仓后环节 2 失效时, 缓冲仓无仓满故障的工作时间及由仓满恢复正常的时间 (仓满发生后, 缓冲仓向仓后环节开始单纯排矿到仓前环节向缓冲仓开始存矿的一段时间为元件 h_2 的一次故障排除时间), 然后分析其分布, 即可求出可靠性指标。求 h_3 的可靠性指标时, 只统计在仓前环节 1 失效时, 缓冲仓发生无仓空故障的工作时间及由仓空恢复正常的时间 (仓空发生后, 仓前环节向缓冲仓开始单纯存矿到缓冲仓向仓后环节开始排矿的一段时间为元件 h_3 的一次故障排除时间), 然后分析其分布, 即可求出可靠性指标。

由上述模型求整个软性连接运输系统的有效度时, 先求出环节 1 与 h_3 待机贮备子系统的有效度, 再同理求出环节 2 与 h_2 待机贮备子系统的有效度, 最后将 h_1 同它们串联来求缓冲仓系统总的有效度。

下面先求前一部分环节的有效度, 如图 3 所示。

设缓冲仓正常排矿的状态为“1”, 仓空的状态为“0”。仓前环节 1 和缓冲仓 h_3 无故障工作时间分布都为指数分布, 故障率分别为 λ_1 和 λ_{h_3} , 仓前环节 1 修复时间服从指数分布, 修复率为 μ_1 , 缓冲仓 h_3 故障恢复率为 μ_{h_3} , 则系统有下面几种状态:

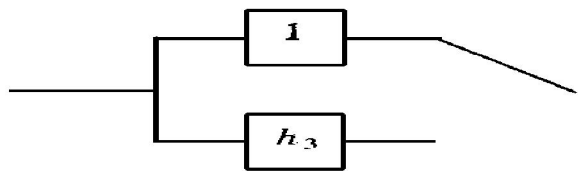


图3 缓冲仓系统可靠性模型的前一部分

Fig. 3 First part of reliability of surge bin system

S_0 —元件 1 和 h_3 都处于正常工作状态, h_3 处于非工作贮备。

S_1 —元件 1 处于失效状态, 正在修理, h_3 处于正常工作状态。

S_2 —元件 1 和 h_3 都处于失效状态, 1 正在修理。

由以上分析, 系统的状态转移图如图 4 所示。

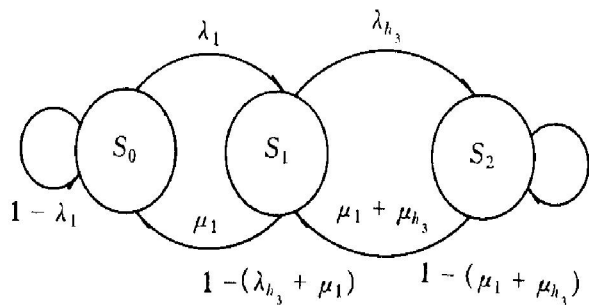


图4 状态转移图

Fig. 4 State transfer diagram

系统的概率矩阵为:

$$P = \begin{bmatrix} 1 - \lambda_1 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & 1 - (\lambda_{h_3} + \mu_1) & \lambda_{h_3} \\ 0 & \mu_1 + \mu_{h_3} & 1 - (\mu_1 + \mu_{h_3}) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$x = (x_0, x_1, x_2)$$

根据下式

$$\left. \begin{aligned} xP &= x \\ \sum_{i=0}^2 x_i &= 1 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

得

$$(x_0, x_1, x_2) \cdot$$

$$\begin{bmatrix} 1 - \lambda_1 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & 1 - (\lambda_{h_3} + \mu_1) & \lambda_{h_3} \\ 0 & \mu_1 + \mu_{h_3} & 1 - (\mu_1 + \mu_{h_3}) \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

展开上式得

$$(1 - \lambda_1) x_0 + \mu_1 x_1 = x_0 \quad (4)$$

$$\lambda_{h_3} x_1 + [1 - (\mu_1 + \mu_{h_3})] x_2 = x_2 \quad (5)$$

$$x_0 + x_1 + x_2 = 1 \quad (6)$$

由式 (4) 得

$$x_1 = \frac{\lambda_1}{\mu_1} x_0 \quad (7)$$

由式 (5) 得

$$x_2 = \frac{\lambda_{h_3}}{\mu_1 + \mu_{h_3}} x_1 \quad (8)$$

将式 (7) 代入式 (8) 得

$$x_2 = \frac{\lambda_{h_3}}{\mu_1 + \mu_{h_3}} \times \frac{\lambda_1}{\mu_1} x_0 \quad (9)$$

将式 (7) 和 (9) 代入式 (6), 并整理得

$$x_0 = \frac{\mu_1^2 + \mu_{h_3} \mu_1}{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1 + \lambda_1 \mu_{h_3} + \mu_{h_3} \mu_1} \rightarrow \leftarrow \frac{\mu_{h_3} \mu_1}{\lambda_1 \lambda_{h_3} + \mu_{h_3} \mu_1} \quad (10)$$

由同样方法求得

$$x_1 = \frac{\lambda_1 \mu_1 + \mu_{h_3} \lambda_1}{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1 + \lambda_1 \mu_{h_3} + \mu_{h_3} \mu_1} \rightarrow \leftarrow \frac{\mu_{h_3} \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_{h_3} + \mu_{h_3} \mu_1} \quad (11)$$

环节 1 与元件 h_3 子系统有效度为

$$A_{S_1} = x_0 + x_1 = \frac{\mu_1^2 + \mu_{h_3} \mu_1 + \lambda_1 \mu_1 + \mu_{h_3} \lambda_1}{\mu_1^2 + \lambda_1 \mu_1 + \lambda_1 \mu_{h_3} + \mu_{h_3} \mu_1} \rightarrow \leftarrow \frac{\lambda_1 \mu_1 + \mu_{h_3} \lambda_1}{\lambda_1 \lambda_{h_3} + \mu_{h_3} \mu_1} \quad (12)$$

同理得环节 2 与元件 h_2 子系统的有效度为

$$A_{S_3} = \frac{\mu_2^2 + \mu_{h_2} \mu_2 + \lambda_2 \mu_2 + \mu_{h_2} \lambda_2}{\mu_2^2 + \lambda_2 \mu_2 + \lambda_2 \mu_{h_2} + \mu_{h_2} \mu_2} \rightarrow$$

$$\leftarrow \frac{\lambda_2 \mu_2 + \mu_{h_2} \lambda_2}{\lambda_2 \lambda_{h_2} + \mu_{h_2} \mu_2} \quad (13)$$

元件 h_1 单独成为一个子系统, 先统计计算出其故障率 λ_{h_1} 和修复率 μ_{h_1} , 便可直接求得有效度 A_{S_2} , 即

$$A_{S_2} = \frac{\mu_{h_1}}{\mu_{h_1} + \lambda_{h_1}} \quad (14)$$

因此整个柔性连接运输系统的有效度为

$$A_S = A_{S_1} \cdot A_{S_2} \cdot A_{S_3} \quad (15)$$

3 结束语

本文把缓冲仓在系统中所起的不同作用分开考虑, 并将一定时间后系统发生的变化定义进了缓冲仓假想元件的故障状态中, 故可体现一定时间后系统可靠性逻辑关系的变化。

根据本文建立的可靠性模型, 可以很直观地理解设置缓冲仓的作用。如果仅把缓冲仓作为一个机电部分来考虑, 它串联在仓前环节 1 与仓后环节 2 之间反而会使系统有效度降低。但是考虑到缓冲仓在仓前环节 1、仓后环节 2 故障时所起的存矿、排矿的特殊作用, 即在不同情况下起仓前环节 1、仓后环节 2 的待机贮备作用, 这些作用可以提高系统的有效度。

无论是露天矿还是井工矿, 通过设置缓冲

仓来提高开采工艺系统可靠性是经常采用的一种方法。因此, 本文的研究内容与结论具有普遍意义。

REFERENCES

- 1 Tang Zuzhang (唐祖章). J of China Coal Society (煤炭学报), 1993, 18 (1): 27–32.
- 2 Yu Shuwei (俞书伟). Reliability Engineering Introduction in Coal Mines (煤矿可靠性工程引论). Beijing: Coal Industry Press, 1988: 183–190.
- 3 Cai Qingxiang (才庆祥), Peng Shiji (彭世济) and Zhang Daxian (张达贤). J of Fuxin Mining Institute (阜新矿业学院学报), 1997, 16 (1): 20–23.
- 4 Elbrond J. Bulk Solids Handling, 1982, 2 (3): 499–505.
- 5 Bai Xiaoping (白晓平). Master Thesis, (in Chinese). Xuzhou: China University of Mining & Technology, 1997: 48–58.
- 6 Wang Xifu (王喜富), Cai Qingxiang (才庆祥), Zhang Youdi (张幼蒂) *et al.* The Chinese Journal of Nonferrous Metals (中国有色金属学报), 1997, 7 (3): 14–17.
- 7 Pavlovic V. Mineral Resources Engineering, 1989, 2 (3): 225–237.
- 8 Cai Qingxiang (才庆祥) and Zhang Daxian (张达贤). J of China University of Mining & Technology (中国矿业大学学报), 1997, 26 (4): 34–37.

RELIABILITY MODEL OF SURGE BIN SYSTEM IN MINES

Cai Qingxiang¹ and Bai Xiaoping²

1 Department of Mining Engineering,

China University of Mining & Technology, Xuzhou 221008, P. R. China

2 Department of Resources,

Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, P. R. China

ABSTRACT Based on operation principles of surge bin in mining and transportation system of mines and its effect on the system reliability in different cases, a new reliability model of surge bin system has been set up, which can be used to solve the availability of the system. The reliability model has clearly reflected the reliability logic relationship among links in surge bin system, and has important theoretical significance and practical value.

Key words surge bin transport system reliability failure

(编辑 何学锋)