

154 吨电动轮自卸汽车在矿山运行的效率评价及电气可靠性分析^①

陈荣国 胡家骥 徐选华
(中南工业大学管理系, 长沙 410083)

段家典 李连琪
(湘潭电机厂, 湘潭 411101)

摘 要 对在德兴铜矿运行的进口及合作生产(湘潭电机厂生产)154 吨级电动轮自卸汽车的运行效率采用 DEA(数据包络分析)方法进行了评价, 利用可靠性工程进行了电气故障分析, 采用模糊故障模式和模糊危害度对汽车电气系统的各子系统进行了参数计算, 得出了牵引电动机系统和电器柜系统的模糊危害度大的结论。

关键词 数据包络分析 相对有效性 可靠性工程 威布尔分布 模糊危害度 模糊集合

1 电动轮自卸汽车的评价指标和模型

DEA 方法是根据多指标输入和多指标输出, 对同类型单位(企业、部门或大型设备)进行相对有效性评价的一种新方法。从统计角度看, 它也是一种新的非参数统计方法。因此应用到矿山大型设备效率评价中, 能很好地反映出最优车型和最优车辆。

1.1 评价指标

经过调查, 研究和试算, 我们确定进行电动轮自卸汽车(以下简称为汽车)综合效率评价的指标为:

(1) 产出指标三项

台年周转量, 单位是万吨·公里/台年。

台班作业率。

台月效率, 它是一项综合指标, 全面反映了汽车运输的技术和管理水平, 其公式为: 台月效率 = 每台车报告期完成的货物周转量 / 每台车报告期日历工作月数, 万吨·公里/台月(本文所指的台月效率为平均台月效率)。

(2) 投入指标六项

轮胎消耗, 柴油消耗, 备件消耗, 其它油耗, 材料消耗, 人工费用。

以上投入指标(单位是万元, 以 1990 年为不变价)综合起来即是汽车运行的综合成本。

1.2 运行资料汇总

表 1 的数据来自 154 吨级汽车于 1991 年在德兴铜矿运行的统计数据资料。

1.3 相对有效性评价及分析

我们采用 DEA 方法中的 C²GS² 模型进行汽车相对有效性评价, 其线性规划问题为^[1]:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta \\ & \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j + S^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j - S^+ = y_0 \end{array} \right. \\ & S. t. \left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, 3, \dots, n \\ S^- \geq 0, S^+ \geq 0 \end{array} \right. \end{aligned}$$

考虑决策单元 Z, 就是对 Z[#] 车进行 DEA 有效性评价。依照上述模型, 利用表 1 中数据, 依次列出线性规划模型, 并利用计算机进行求解, 其评价结果如表 2。

① 收稿日期: 1993-11-22

表1 德兴铜矿154吨级汽车1991年运行统计数据

车号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	33	40
轮胎消耗(万元)	16	18	4	2	0	0	2	0	0	0	4	4
柴油消耗(万元)	14	12.64	0.07	26	0.46	18.71	4.51	16.04	11.46	13.55	9.56	19.05
备件消耗(万元)	21.05	35.79	31.58	12.63	25.26	21.05	21.05	17.89	17.89	52.63	37.74	36.84
其它油耗(万元)	2.15	1.94	0.01	4.0	0.07	2.88	0.69	2.47	1.76	2.08	1.47	2.93
材料消耗(万元)	1.96	1.77	0.01	3.64	0.06	2.62	0.63	2.55	1.61	1.9	1.34	2.67
人工费用(万元)	2.82	2.55	0.01	5.24	0.09	3.77	0.91	3.23	2.31	2.27	1.93	3.84
周转量 (万吨·公里/台年)	119.45	107.97	0.58	220.05	3.96	159.8	38.52	136.97	97.89	115.71	81.68	162.71
台班作业率(%)	27.1	26.6	0.2	39.9	8.1	35.5	7.6	30.2	24.9	22.8	13.4	27.3
台月效率 (万吨·公里/台月)	9.95	9.0	0.05	18.34	0.33	13.32	3.21	11.41	8.16	9.64	6.81	13.56

表2 DEA有效性评价结果

车号	1	2	3	4
θ^*	0.978 658	0.877 156	0	0.988 162
车号	5	6	7	8
θ^*	0.001 541	0.998 177	0.437 162	0.955 165
车号	9	10	33	40
θ^*	0.997 872	0.387 854	0.577 686	0.667 856

从结果可以得出,相对有效值比较高的有1[#]、4[#]、6[#]、8[#]、9[#]车,而 θ^* 值较低的有3[#]、5[#]、10[#]、33[#]车。

汽车的服役年限不同,运行时间不同,而且统计数据也有误差,都会影响到上述有效值。但从这一结果可了解到一个不可否认的事实,相对有效值是参差不同的。同时国产、进口汽车由于备品备件的供应情况和维修难度系数不同,会影响到汽车的运行效率。

我们从评价结果进一步分析,得到另一个结论: θ^* 较小的原因,很大程度上在于备件的供应和管理。因为备件的供应不善,会直接影响到汽车的修理,甚至出现运行停止、等待备件供应的情况,而且备件的供应不如柴油、轮胎那么容易,一旦缺少,不是短时间内可以解决的。因此,想要提高汽车的整体运行水平,势必要加强备品备件的供应和管理工作。

我们以有效值只有0.577 686的33[#]车为例,具体分析如下:

(1)投入方面。备件费用过大,主要是管理中浪费过大。

(2)产出方面。台月效率较低,是由于备

件供应不足或不及时引起汽车停歇时间过长,其相应的 C^2GS^2 的最优解为

$$\begin{aligned}\lambda^{0T} &= (\lambda_1^0, \lambda_2^0, \dots, \lambda_{22}^0)^T \\ &= (0, 0.665\ 278, 0, \dots, 0) \\ S^{-0T} &= (S_1^{-0}, S_2^{-0}, S_3^{-0}, S_4^{-0}, S_6^{-0}, S^{-0}) \\ &= (0.035, 0, 0.87, 0.005, 0, \\ &\quad 0.006\ 7) \\ S^{+0T} &= (S_1^{+0}, S_2^{+0}, S_3^{+0}) \\ &= (12.829\ 25, 5.832\ 708, \\ &\quad 20.420\ 312)\end{aligned}$$

若想提高其 θ^* 值,投入方面应由

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 4 \\ 9.56 \\ 34.74 \\ 1.47 \\ 1.34 \\ 1.93 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{缩减}} \begin{bmatrix} 3.39 \\ 9.56 \\ 19.68 \\ 1.38 \\ 1.34 \\ 1.81 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{调整幅度}} \begin{bmatrix} 5.3\% \\ 0 \\ 43.4\% \\ 6.1\% \\ 0 \\ 6.2\% \end{bmatrix}$$

产出方面应由

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 81.68 \\ 13.4 \\ 6.81 \end{bmatrix} \xrightarrow{\text{增加到}} \begin{bmatrix} 94.5 \\ 19.2 \\ 27.23 \end{bmatrix},$$

$$\text{调整幅度为} \begin{bmatrix} 15.7\% \\ 43.3\% \\ 299.9\% \end{bmatrix}$$

经过管理人员和工作人员的努力,得到这样的调整后,其 $\theta^* = 0.999\ 876$ 。以上计算分析为企业及设计部门提供了有关设备管理和运行效率的信息,明确改进管理的方向、途径和目标,可进一步提高经济效益。

2 汽车电气系统可靠性分析

在设备管理中,可靠性工程研究的是设备在一定时间内发生故障的概率,其中的主要指标有三项:

- (1) 可靠度。系统、设备或零部件在规定条件、规定时间内无故障地完成规定功能的概率。
- (2) 故障率。单位时间内的故障次数。
- (3) 平均故障间隔。平均无故障运行时间。

2.1 利用可靠性工程进行设备故障分析

设备故障分布常为指数分布、高斯分布和威布尔分布等。我们利用威布尔分布,求出相应参数,确定故障分布类型或直接计算可靠性指标。

- (1) 可靠性函数为 $R(t) = e^{-t^m/b}$
- (2) 故障率函数为 $\lambda(t) = m/b \cdot t^{m-1}$
- (3) 平均故障间隔为 $MTBF = b^{1/m} \Gamma(1/m + 1)$

分别通过对 a 、 m 、 b 、 u 的估计,然后计算上述三项指标。采用威布尔分布概率分布纸进行估计,虽不很精确,但适用性较强,而且使用时不要求具有很高的理论知识。计算得出汽车电气系统可靠性指标如表 3。

从表中结果可知,相对而言,3[#] 车的可靠性比较高,而 7[#]、10[#]、33[#] 的可靠性比较低。

2.2 故障模式及效应分析中的模糊危害度

故障模式及效应分析(FMEA)的目的是将致命效应的故障模式消灭在设备(即系统)使用之前。因此,故障危害度是 FMEA 的一个重要概念。

进行危害度分析的任务是:首先将危害度较大的故障模式找出来,然后采取相应措施予以消除或使其发生的概率尽可能低。

所谓故障模式的危害度,是指该故障模式对环境、设备和人员造成的损害程度。它包括两方面的内容:

表 3 汽车电气系统可靠性指标

车号	可靠性函数 $R(t)$ 的子函数 $Q(t)$	故障率 $\lambda(t)$	MTBF/h
1	$t^{1.05}/300$	$(1.05/300)t^{0.05}$	286
2	$t/340$	$1/340$	340
3	$t/450$	$1/450$	450
4	$t^{1.1}/320$	$(1.1/320)t^{0.1}$	290
5	$t^{1.05}/300$	$(1.05/300)t^{0.05}$	286
6	$t/310$	$1/310$	310
7	$t^{1.2}/200$	$(1.2/200)t^{0.2}$	167
8	$t^{1.05}/300$	$(1.05/300)t^{0.05}$	286
9	$t^{1.05}/240$	$(1.05/240)t^{0.05}$	229
10	$t^{1.05}/210$	$(1.05/210)t^{0.05}$	200
33	$t^{1.1}/180$	$(1.1/180)t^{0.1}$	164
40	$t^{1.05}/280$	$(1.05/280)t^{0.05}$	267

注: $R(t) = e^{-Q(t)}$

(1) 由故障模式出现的概率来表示的该故障模式出现的可能性大小。

(2) 该故障模式出现之后,它对环境,设备和人员造成的损害程度大小。

为了区别于危害度定义中的损害程度,我们把这儿的损害程度叫做“后损害程度”或“条件损害程度”。

区别故障模式的等级,实际上是按照后损害程度的大小来对故障模式进行分类。通常,后损害程度是用诸如“严重损害”、“显著损害”、“轻微损害”、“几乎无损害”、“功能下降”等模糊语言来表示和描述的。可见,故障模式的等级本来是模糊概念。

某模糊故障模式对环境、设备和人员造成的损害程度,称为该模糊故障模式的模糊危害度。

(1) 模糊故障模式的等级

模糊故障模式的等级是普通故障模式等级的拓展。这里,我们仍然采用普通 FMEA 中常用的国际电工委员会关于故障模式等级的划分标准,见表 4。

从表中关于后损害程度的描述看出,这种在等级之间划出明确界限的处理方法完全是人为的,实际上等级之间不可能有明确的界限。因此,我们用四个模糊故障模式子集 D_1 、 D_2 、 D_3 、 D_4 分别表示四个等级 I、II、III、IV。 $D_j(j = 1, 2, 3, 4)$ 的意义如下:

$D_1 \overset{\Delta}{=} \text{“几乎无损害”}$, $D_2 \overset{\Delta}{=} \text{“轻微损害”}$
 $D_3 \overset{\Delta}{=} \text{“显著损害”}$, $D_4 \overset{\Delta}{=} \text{“严重损害”}$ 。
 $\epsilon_j (j = 1, 2, 3, 4)$ 分别表示四个故障等级的当量故障系数, 其值为 $\epsilon_1 = 0.2$, $\epsilon_2 = 1$, $\epsilon_3 = 10$, $\epsilon_4 = 100$ 。模糊危害度(μ_j) 的度量是既要考虑 ϵ_j 的大小, 也要考虑故障(这里, 由其出现的概率即系统的不可靠度 F_s 表示) 对模糊子集 D_j 的隶属度 $u_{D_j}(F_s)$, 即 $\mu_j = \epsilon_j u_{D_j}(F_s)$ 。

表 4 故障模式等级划分标准

等级	后 损 害 程 度
I	导致系统功能下降, 但对系统 and 环境几乎不造成损害, 对人员完全无害。
II	导致系统预定功能下降, 对系统和人员造成轻微损害。
III	导致系统预定功能丧失, 从而对系统 and 环境造成显著损害, 但无人员死亡。
IV	导致系统预定功能丧失, 从而对系统 and 环境造成严重损害, 并导致人员死亡。

注: 表中罗马数字 I 到 IV 既表示故障等级, 又是后损害程度的四个度量, 一般称 III、IV 两级为致命效应。

(2) 模糊危害度的估计
汽车电气系统可分为八个子系统: 散装电器系统、电器柜系统、同步发电机系统、整流柜系统、司机室电气系统、充电励磁机系统、制动电阻系统和牵引电动机系统。其中每个子

系统出现故障称为其模糊故障模式。
我们以 40[#] 车为例, 由于统计数据精确性有限, 此估计结果仅供参考。从统计中可得出各故障模式相对电气系统为条件出现的概率 (0.16, 0.32, 0.02, 0.04, 0.34, 0.02, 0.03, 0.07) 和子系统的模糊危害度 (3.601, 26.714, 9.102, 7.751, 10.724, 8.201, 13.601 以及 35.201)。从计算结果中可知, 牵引电动机系统和电器柜系统的模糊危害度较大。因此, 要想提高整体功能, 降低损害, 首先要考虑提高这两个系统的可靠性, 降低其故障出现的概率, 保证整个电气系统的协调动作。另外, 散装电器系统和司机室电气系统出现故障的概率也比较大, 要想提高整体功能, 也要提高维修和制造、装配水平, 降低其故障率。

参考文献

1 魏权龄. 评价相对有效性的 DEA 方法. 北京: 中国人民大学出版社, 1988.
2 胡家骥. 运筹学(II). 长沙: 中南工业大学出版社.
3 李廷杰, 高 和. 模糊系统与数学, 1988, 2(2).
4 [日]盐见弘, 岛冈淳, 石山敬幸(著), 故障模式和效应分析 & 故障树分析的应用. 北京: 机械工业出版社, 1987.

(上接 3 页)
 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化于 15.537~15.609, 平均值为 15.540, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化于 38.682~38.951, 平均值为 38.780。与 Zartman (1979) 总结的地幔、造山带下地壳和上地壳不同来源铅和相应铅同位素相比较, 可以看出上述比值较为接近上地幔铅的相应同位素比值。
(4) 稀土元素组成中 δEu 值接近 1, 无铕异常。
综上所述, 可以认为, 本区富碱花岗斑岩的成岩物质来源于地壳深部或上地幔, 其成因

类型可能属“A”型花岗岩石类。

参考文献

1 张玉泉等. 岩石学报, 1987, (1): 17-25.
2 薛纪越等. 矿物学报, 1984, (2): 20-25.
3 涂光帜等. 见: 南京国际花岗岩成因讨论会论文集, 北京: 科学出版社, 1984: 1-10.
4 李文桦. 地质与勘探, 1982, (4): 10.
5 Collins W J, Beams S D *et al.* Contributions to Mineralog and Petrology, 1980, 80(2): 189-200.