

可靠性维修算例

刘长虹

(可靠性工程 (第2版))

Reliability engineering

[美] Elsayed A. Elsayed 著

电子工业出版社)

可靠性维修算例

例：在铜矿开采中，挖掘机械轮轴的故障时间，服从故障率为0.0005每小时的指数分布。每次检测的费用为120美元，未检测的故障所造成的损失为80美元。试确定以下量：

（1）使检测到故障时总预计费用最小的最优检测时间间隔；

（2）使检测到故障时单位时间预计费用最小的最优检测时间间隔。

(1) 使检测到故障时总预计费用最小的最优检测时间间隔;

解： 由于故障时间服从指数分布，

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

(1) 根据公式，使检测到故障时总预计费用最小的最优检测时间间隔，计算公式：

$$c_d(T, p) = \frac{c_1 + c_2 T}{1 - \exp(-\lambda T)} - \frac{c_2}{\lambda}$$

(1) 使检测到故障时总预计费用最小的最优检测时间间隔;

带入数据得,

$$c(T^*, p) = \frac{120 + 80T^*}{1 - \exp(-0.0005T^*)} - \frac{80}{0.0005}$$

$$T^* = 77 \text{小时}$$

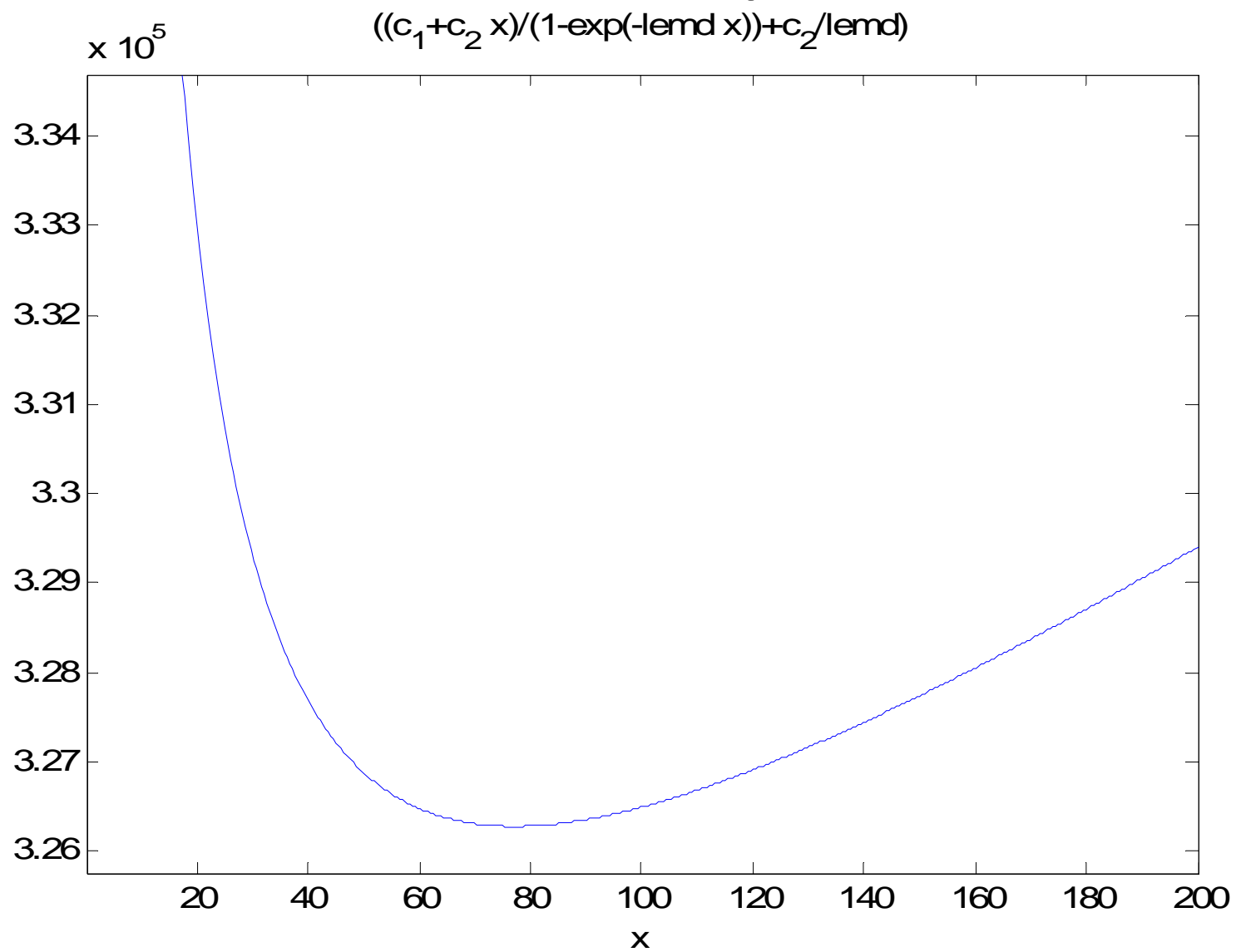
注：需要计算出该函数的最小T值，用MATLAB计算）。

(1) 使检测到故障时总预计费用最小的最优检测时间间隔;

MATLAB计算程序:

- `syms x c1 c2 lem;`
- `f=(c1+c2*x)/(1-exp(-lem*x));`
- `f1=diff(f,x,1)`
- `f2=diff(f,x,2)`
-
- 第一阶导数,
- $f1 = -c2 / (\exp(-lem*x) - 1) - (lem * \exp(-lem*x) * (c1 + c2*x)) / (\exp(-lem*x) - 1)^2;$
- 简化表达式,
- `y1=simple(f1)`
- $y1 = (c2 - \exp(-lem*x) * (c2 + c1*lem + c2*lem*x)) / (\exp(-lem*x) - 1)^2;$
- 第二阶导数:
- $f2 = (lem^2 * \exp(-lem*x) * (c1 + c2*x)) / (\exp(-lem*x) - 1)^2 - (2 * lem^2 * \exp(-2 * lem*x) * (c1 + c2*x)) / (\exp(-lem*x) - 1)^3 - (2 * c2 * lem * \exp(-lem*x)) / (\exp(-lem*x) - 1)^2$
- 简化表达式,
- `y2=simple(f2)`
- $y2 = (lem * \exp(lem*x) * (2 * c2 + c1*lem + c2*lem*x) + lem * \exp(2 * lem*x) * (c1*lem - 2 * c2 + c2*lem*x)) / (\exp(lem*x) - 1)^3。$

函数曲线图, ezplot()



MATLAB求最小值程序

- clear
- c1=120;c2=80;lemd=0.0005;
- f=@(x)((c1+c2*x)/(1-exp(-lemd*x))+c2/lemd);
- ezplot(f,[0.0001,200]);
- t0=0;
- [t1,f1]=fminsearch(f,t0)
-
- 最小函数值的T值， 和函数值：
- t1 = **76.9629**, f1 = 3.2628e+05。

(2) 使检测到故障时单位时间预计费用最小的最优检测时间间隔。

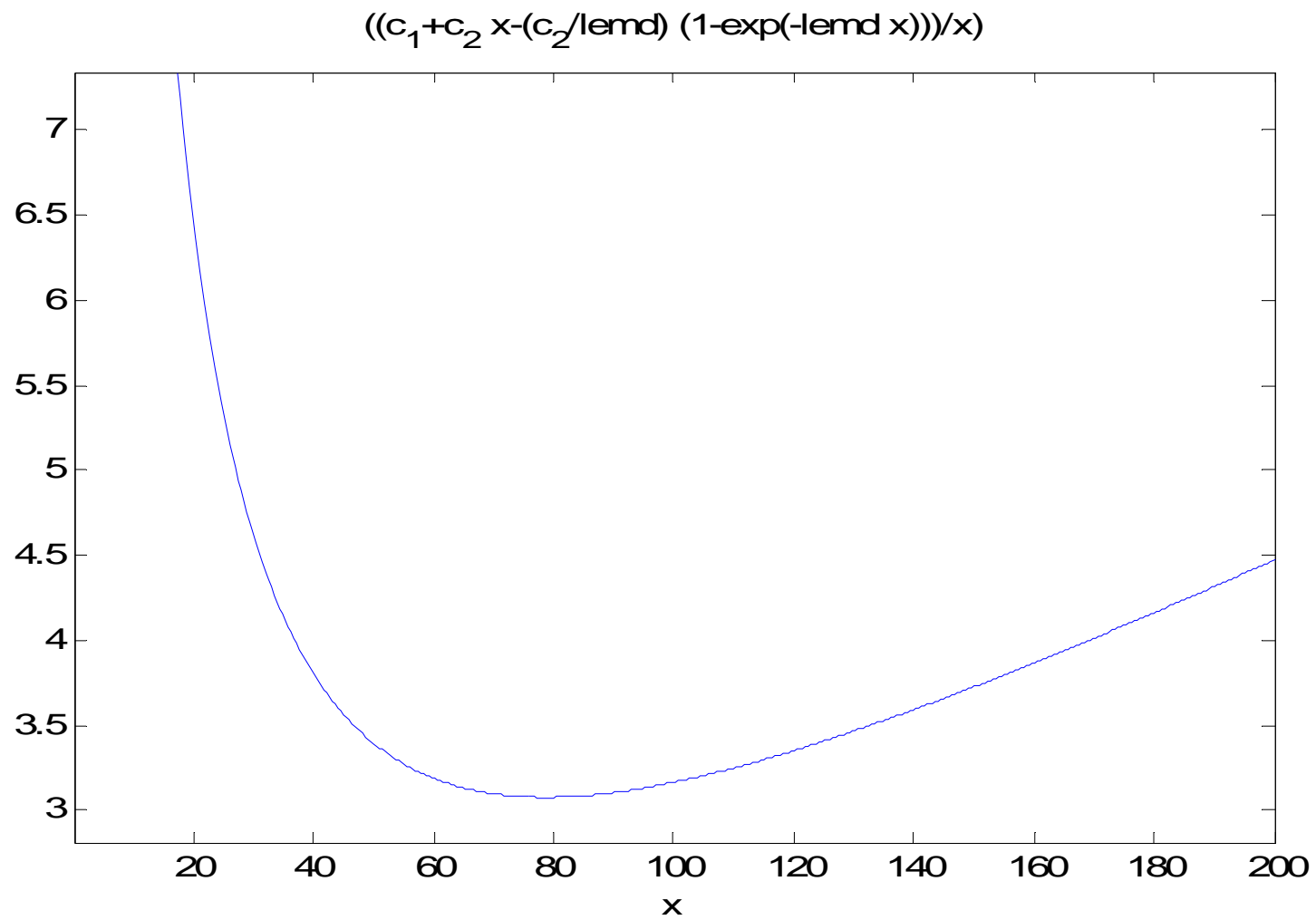
(2) 解：根据公式：

$$c_d(T, p) = \frac{c_1 + c_2 T - (c_2 / \lambda)(1 - \exp(-\lambda T))}{T}$$

$$c_d(T^*, p) = \frac{120 + 80T^* - \left(\frac{80}{0.0005}\right)(1 - \exp(-0.0005T^*))}{T^*}$$

$$T^* = 78(\text{小时})$$

MATLAB画函数图



MATLAB程序：

- `syms x c1 c2 lem;`
- `f=((c1+c2*x-(c2/lem)*(1-exp(-lem*x)))/x);`
- `f1=diff(f,x,1)`
- `y1=simple(f1)`
- `f2=diff(f,x,2)`
- `y2=simple(f2)`

计算结果：

计算结果

$$f1 = (c2 - c2*\exp(-lem*x))/x - (c1 + c2*x + (c2*(\exp(-lem*x) - 1))/lem)/x^2;$$

-

$$y1 = (c2 - c2*\exp(-lem*x))/(lem*x^2) - (c1 + c2*x*\exp(-lem*x))/x^2,$$

-

-

$$f2 = (2*(c1 + c2*x + (c2*(\exp(-lem*x) - 1))/lem))/x^3 - (2*(c2 - c2*\exp(-lem*x)))/x^2 + (c2*lem*\exp(-lem*x))/x;$$

-

-

$$y2 = (2*c1 + 2*c2*x*\exp(-lem*x))/x^3 - (2*c2 - 2*c2*\exp(-lem*x))/(lem*x^3) + (c2*lem*\exp(-lem*x))/x。$$

-

- $t1 = 78.4778, \quad f1 = 3.0783。$

总结

- 可靠性维修，是可靠性工程理论的一个重要的部分；
- 可靠性维修的计算公式比较复杂，求解往往需要用计算机求解。

总结

- MATLAB程序计算可靠性维修问题的优势：
- 符号推导微分、积分公式；
- 画函数的曲线图；
- 数值计算微分、积分；
- 采用优化命令，有效求函数的最小值。

本节课问题 1

1. 根据本例，可靠性维修解决什么问题。

问题 2

2. 如何确定“检测到故障时总预计费用最小的最优检测时间间隔”？

问题 3

3. 检测到故障时单位时间预计费用最小的最优检测时间间隔。

问题 4

4. MATLAB可以做那些事情？

问题 5

5. 本算例中MATLAB做了哪几样可靠性维修的工作？

请一一列举。

E N D

谢谢！