

可修系统可靠性分析的RASP01

模拟程序功能及使用

王永建 编

焦作矿业学院采矿系

一九八九年五月

目 录

第一章 RASPOI 程序功能及模型.....	1
§ 1-1 RASPOI 程序功能.....	1
§ 1-2 RASPOI 程序模型.....	2
第二章 用户操作指南.....	7
§ 2-1 程序运行环境.....	7
§ 2-2 程序运行	7
§ 2-3 错误信息.....	9
第三章 输入参数说明及选取.....	11
§ 3-1 控制参数.....	11
§ 3-2 一般参数.....	13
§ 3-3 部件参数.....	15
§ 3-4 系统状态转移参数	17
§ 3-5 维修工类别参数 RC_i	18
§ 3-6 部件类参数 PC_i	19
§ 3-7 部件的初始状态 FS_i	19
§ 3-8 输入参数汇总.....	20
第四章 输出结果说明.....	22
§ 4-1 输入参数校核报告.....	22
§ 4-2 模拟结果输出报告.....	22
第五章 模拟模型的建立及举例.....	24
§ 5-1 模拟模型的建立及要求.....	24
§ 5-2 应用举例.....	27

例 5-1 串联系统.....	2 7
例 5-2 并联系统.....	3 3
例 5-3 温备系统.....	3 7
例 5-4 表决系统.....	4 3
例 5-5 冷备系统.....	4 7
例 5-6 混联系统.....	5 5
第六章用户自定义分布的建立与使用.....	6 5
§ 6-1 概述.....	6 5
§ 6-2 用户自定义分布的建立与使用.....	6 5
§ 6-3 应用举例.....	6 8
附录 A: RASPOL 程序中已设置的概率分布一览表.....	7 5
附录 B: 第五章、第六章中各例的模拟输出报告.....	7 7

第一章 RASPO1 程序功能及模型

§ 1-1 RASPO1 程序功能

可靠性理论起源于电子技术领域和机械技术领域，后来在国防工业中得到迅速发展，现在已逐渐渗透到现代化管理的各个领域。成为一门很有生命力的新兴的边缘学科。

可修系统的可靠性分析是从组成系统的结构及部件的寿命分布，修理时间分布等有关信息出发，来推断出与系统寿命有关的可靠性数量指标。所谓可修复系统是指当系统和组成系统的部件发生故障后，采取维修的手段使系统或部件恢复正常运行。在实际工程应用中，有相当数量的系统属于这类系统。对于这类系统，不仅要研究部件或系统本身具有的特性，还要研究它们的可维修性，探讨采用什么样的维修方法，维修策略，以提高维修速度，提高系统的可靠性，最大可能地发挥系统的工作能力。保证系统可靠、安全、经济地运行。

当构成系统各部件的寿命和故障后修理时间分布及其出现的有关分布均为指数分布时，由于指数分布的无记忆性，只要适当定义系统的状态，则可构成一马尔柯夫型系统。解决这类问题的可靠性分析已有成熟的理论，只是当系统复杂时，研究起来较困难而已。

当系统中的部件的寿命、修理时间分布等，有的服从指数分布，有的服从一般分布时随机过程理论对它就无能为力了。当然就无法对系统进行可修理时间分布都服从指数分布，这严重阻碍了可靠性工程的应用范围。为此需找到一种能解决那些非马氏型系统以及复杂

系统的分析方法，计算机模拟则解决这类问题的有效手段。

RASPO1 (Reliability Analysis Simulation Program) 可靠性分析模拟程序是对可修复系统进行可靠性分析的通用计算机模拟程序。它通过计算机对系统的运行模拟试验，得出系统各项可靠性指标。以便对系统实行最优设计、评估、使用维修、管理和最优控制等。该程序在一定程度上可解决任何工程应用上的系统可靠性分析问题。即不管是简单的还是复杂的系统；串联的，并联的，温备的，冷备的，表决的系统的及混联的系统，部件修理具有强占优先级的系统；也不论组成系统的部件的有关分布是指数分布还是一般分布，都可用 RASPO1 程序模拟解决。尤其是有关分布服从一般分布的系统和复杂的系统，更能体现出该程序的优越性。因为它们不能或很难用随机过程理论来解决。

§ 1-2 RASPO1 程序模型

应当明确，该程序的运行不能得到系统可靠性的瞬时指标，只能获得稳态指标和平均指标。对于大多数工程应用来讲，瞬时指标并无多大意义，我们所关心的正是系统的稳态指标和平均指标。能获得的主要指标有，系统处于各状态的稳态概率 π_j ；系统的稳态可用度（有效度） A ；系统的平均运行时间（无故障时间） MUT ，平均故障时间 MDT 和平均周期 MCT ；系统的稳态故障频度 M ；维修工（设备等）的稳态利用率 B ；系统初始状态为 j 的首次故障前平均时间 $MTTF_j$ 。这些指标都有严格的数学定义，这里不再列出。由于在模拟中采用事件步长法推动模拟的运行，因此，下面除

了 $MTTF_j$ 外, 其它指标均严格按照它们的数学定义转化成如下模型。

首先定义:

$E = \{0, 1, \dots, N\}$ 为系统的全体状态集;

$W = \{0, 1, \dots, K\}$ 为系统的正常状态集;

$F = \{K+1, \dots, N\}$ 为系统的故障状态集。

满足: $W \cup F = E$, $W \cap F = \emptyset$

T : 为对系统考察(或模拟)的总时间;

N : 为系统在模拟时间 T 内的周期数。

1、系统处于状态 j 的稳态概率 π_j

即在长期的运行中, 系统处于状态 j 的时间比例。

令:

$\Delta t_i \{j\}$ 为系统在模拟时间 T 内处于状态 j 的第 i 个时间区间。

$$\pi_j = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_i \Delta t_i \{j\} \quad j \in E$$

2、系统的稳态可用度(有效度) A

即在长期运行中, 系统处于正常运行的时间比例(或概率), 它是系统各正常状态的时间比例之和。

$$A = \sum_{j \in W} \pi_j = \sum_{j=0}^K \pi_j$$

3、系统的平均运行时间 MUT , 平均故障时间 MDT 和平均周期 MCT ,

令:

$\Delta t_i\{W\}$, $\Delta t_i\{F\}$ 分别为系统在第 i 周期内处于工作状态 W 和故障态 F 的时间区间。

$$MUT = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta t_i\{W\}$$

$$MDT = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta t_i\{F\}$$

$$MCT = MUT + MDT$$

4. 系统的稳态故障频度 M

它为系统平均周期的倒数。

$$M = 1 / MCT$$

5. K 号修理工 (或修理设备等) 的稳态利用率 B_K

令:

$\Delta t_i\{U_K\}$ 为第 K 号修理工在模拟时间 T 内处于忙状态的第 i 个时间区间。

$$B_K = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T \Delta t_i\{U_K\}$$

6. 系统初始状态为 1 时的首次故障前平均时间 $MTTF_1$

在 RASPO 模拟程序中, $MTTF_1$ 是按如下思想处理的。

令:

$\Delta t_j\{1\}$ 为系统在模拟时间 T 内进入状态 1 到系统发生故障止的时间区间的第 j 个样本。

N_1 为系统在模拟时间 T 内 $\Delta t_j\{1\}$ 事件发生的样本数, $N_1 \leq N$ 。

$$MTTF_i = \lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{1}{N_i} \sum_{j=1}^{N_i} \Delta t_j \{i\} \quad 1 \quad W$$

需要指出的是，这项指标只适用于系统中各部件的寿命和修理时间分布都服从指数分布或几何分布才适用。若部件的各种分布服从其它分布时，此项指标的模拟结果不能用。其原因是：这项指标的获得是把系统的每一个周期中的首次进入状态 i 的时刻假想为系统的初始时刻，到系统发生故障止的时间区间作为一个“系统首次故障”前的时间样本。这样运行 N 个周期，则可分别获得 N_i 个“初始”状态为 i 的时间样本，再取平均值而得到的。问题是只有第一个周期获得的样本才是真正的“首次故障前时间”，而以后的周期中，系统中有的部件的修理时间只是剩余修理时间，而只有指数分布和几何分布的剩余寿命和剩余修理时间才和原分布同分布。而其它分布类的剩余寿命和剩余修理时间分布与原分布则不同分布。这样取得的样本就不是作“相同试验”了，因而它们的平均值不能代表 $MTTF$ 。

另外，模拟中还收集了各部件的寿命，故障修理时间的统计参数。设 X_i 为系统在模拟时间 t 内的第 i 个样本值， N 为以收集的样本总数。各统计参数如下：

$$\text{样本均值: } u = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$\text{样本均方差: } S = \left(\frac{1}{N-1} \left(\sum_{i=1}^N X_i^2 - Nu^2 \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

方差系数: $\rho = s / u$

样本最小值: $X_{\min} = \min\{X_i | i = 1, 2, \dots, N\}$

样本最大值: $X_{\max} = \max\{X_i | i = 1, 2, \dots, N\}$

第二章 用户操作指南

§ 2-1 程序运行环境

一、硬件环境

主机: IBM-PC/XT

打印机: Brother M2024

其它主机如IBM-PC/AT, PC/XT 286及其系列机, 打印机如M1724, 3070等机上也能运行, 但汉字输出格式需作相应调整。

二、软件环境

CCDOS 2.1版

RASPO1程序配有两个软盘。1#盘是启动计算机的系统软盘, 盘上载有汉字系统及打印模块。2#盘是工作软盘, 盘上除载有RASPO1模拟程序和用户自定义分布功能块的变量公用区文件USERF、BAS外, 还有BASIC语言程序的建立、编译、连接的支持文件以及建立数据之件使用的行编辑之件, 还有第五章各示例的数据之件。另外还有约10%的空间供用户建立数据之件及用户自定义分布文件使用。

§ 2-2 程序运行步骤

一、准备工作

1、开机: 将1#盘插入软盘驱动器, 分别将显示器、主机、打印机开关置于ON位置。

2、建立数据文件: 在软盘驱动器的指示灯熄灭, 显示器上出

现“A>”后，取出1#盘，插入2#盘。调EDLIN行编辑程序，编辑输入模拟的数据模型，建立数据之件。有关EDLIN行编辑程序的使用方法，可参阅DOS手册等有关书籍。

3、建立、编译、连接用户自定义分布之件：仅当需要时才作这一步。具体过程和方法参见第六章用户自定义分布的建立和使用。

二、模拟程序运行

1、在DOS状态下调入RASPO1程序，键入：

A>RASPO1

屏幕显示：

焦作矿业学院采矿系
系统工程教研室
RASPO1软件
按任一键继续

2、键入控制参数

按任意键后，屏幕依次提示，你回答以下7项控制参数：

请输入数据之件名：——

请输入用户自定义分布之件名：——

请输入模拟周期数：——

请输入模拟总时间：——

请输入输出报告打印份数：——

打印输入报告吗？（Y/N）——

请输入随机数种子值：——

输入是否正确？（Y/N）——

检查前 7 项参数回答是否正确，若有错，则在第 8 行回答“N”
此时屏幕重新从第一行开始依次再次提示你回答。若检查无误，在第 8 行回答“Y”后，屏幕再次提示你打开打印机。

请打印打印机！！！ 按任一键继续

此后，程序正式投入模拟运行。在运行过程中，屏幕不断显示以下信息：

模拟当前时间：	××××、×××
模拟当前周期：	××
运行已耗用机时：	××：××：××

3. 运行结束后，打印机根据你要求的份数打印出输出报告。
然后回到系统的初始状态，即 A > 状态。若需运行其它系统或方案或重复运行，则从头开始运行。

§ 2-3 错误信息

RASP01 程序在运行中，可能出现的错误有：

错误 1：系统初始状态错误，打印机打印出：

系统初始状态应设为工作状态！

解决办法：修改数据文件，设系统的初始状态为工作状态，即 $SYSNOW \leq K$ （参看第三章），同时相应修改各部件的初始状态。

错误 2：部件的初始状态错误，打印机打印出：

部件的初始状态有错！

解决办法：修改数据文件，根据系统状态的定义，使系统中各部件的初始状态要与系统的初始状态相匹配。

错误 3：模型建立错误，打印机打印出：

状态定义域状态转移关系不完整！

当前系统状态： × ×

当前部件号： × ×

当前部件类： × ×

解决办法，根据出错时提供的信息（当前……）作如下检查：

①检查数据文件是否输入错误。

②若无错误，再检查模型的建立是否有错。主要检查系统状态的定义是否完全反映系统的各种不同状况。

③检查状态之间的转移关系是否有遗漏，特别是牵涉温备部件的状态转移容易出错。

④查出错误后，修改模型及数据文件。

此外，还有可能出现与一般程序运行时类似的错误，如软盘插错，文件找不到，打印机未打开等等。这些错误将在屏幕上显示错误信息。

还要注意数据输入的误差，特别是各种分布的参数应严格按照附录 A 中的要求输入。否则计算机不会显示或打印错误信息，照常运行，但输出结果是错误的。

第三章 输入参数说明及选取

§ 3-1 控制参数

控制参数是RASPO1程序运行开始时通过人机对话输入的。程序以汉字形式提问，用户通过键盘逐一回答即可。控制参数共有如下7项。

1、数据文件名

RASPO1程序通过数据文件获得模拟的数据模型，所要告诉计算机的就是这个数据模型的数据文件名。

2、用户自定义分布文件名

2、用户研究的系统中的部件的寿命或修理时间分布在附录A中查不到时，用户可用编译BASIC自编自定义分布的随机数发生器程序与RASPO1程序链接使用，这个程序的名字就是“用户自定义分布文件名”。若无这个文件，此项不必输入，直接回车即可。

3、模拟周期数和模拟总时间

这两项参数是系统模拟的终止条件。程序模拟过程中只要满足其中条件之一，模拟就终止。以谓“周期”是指系统从正常状态起始时刻，到系统发生故障，再由故障状态恢复到正常状态的瞬间为止的时间区间称为系统的一个运行“周期”。由于研究系统可靠性是基于系统在长期运行状态下的稳态性能。因此，模拟应以稳态型模拟为主。要求终止的条件“模拟周期数”和“模拟总时间”应充分大。模拟的周期数越多，模拟总时间越长，则获得的模拟结果就越接近真值。然而所需的计算机运行时间也越长，费用越高。根据概率论与数理统计观点，认为样本容量大于50时，可以认为是大

样本容量了。为此，建议模拟周期数不应小于 50，最好大于 100。当定义的系统状态数目较多时，周期数应取得更大。

有时也可能采用终止型模拟来求某项可靠性指标。比如求系统的首次故障前平均时间 MTTF。若用户所研究的系统中有寿命或修理时间不服从指数分布或几何分布的部件，而又必须研究“系统首次故障前平均时间”这项指标时，前面讲过按稳态型模拟，此项指标的模拟结果不能用，怎么办？我们就可以采用终止型模拟的方法进行模拟。其方法是采用相同的系统初始状态，不同的随机数种子值。设定模拟终止条件的“模拟周期数”为 1，进行多次的重复模拟，把每次的模拟结果记录下来取平均值即得。至于重复多少次，可根据用户给定的精度和置信水平确定。具体如下：

当给定置信水平为 α ，给定绝对精度 β ，或相对精度为 γ ($0 < \gamma < 1$) 时，满足绝对精度 β 或相对精度 γ 的模拟次数分别为：

$$n_a(\beta) = \{ i : i \geq \left(\frac{t_{i-1, 1-\alpha/2}}{\beta} \right)^2 S^2(i) \}$$

$$n_r(\gamma) = \{ i : i \geq \left(\frac{t_{i-1, 1-\alpha/2}}{\gamma \bar{x}(i)} \right)^2 S^2(i) \}$$

式中： $t_{i-1, 1-\alpha/2}$ 为具有 $i-1$ 个自由度的 t 分布上 $1-\alpha$ 置信概率的分位点。

$\bar{x}(i)$ 为 i 个样本（模拟结果）的均值。

$S^2(i)$ 为 i 个样本（模拟结果）的方差。

每次使 i 增加 1 进行模拟，并由上式检验，直到满足该式为止。同样，当用户想对其它某项指标作终止型模拟，可以同上类似的方法进行模拟。

无论采用哪一种形式的模拟，最好将模拟的时间设得尽量大，以保证模拟以预定的模拟周期结束。

4、输出报告打印份数

用户需要打印多少份模拟输出报告，则回答即可。

5、是否打印输入报告

“输入报告”是数据文件的数据内容。若用户想打印出来校对时则键入“Y”，否则键入“N”。默认值为“N”。

6、随机数种子值

若数据文件的内容不变，模拟周期数不变，当采用相同的随机数种子值进行多次重复模拟，其模拟结果完全相同。若采用不同的随机数种子值进行多次模拟，则模拟结果不同。

§ 3-2 一般参数

从 § 3-2 到 § 3-7 的参数是以数据文件的形式输入的参数。为了说明各输入参数的意义及选取，下面配合一个例子介绍。

例 3-1 某系统由 7 个部件组成，其系统的功能逻辑图如图 3-1 所示。

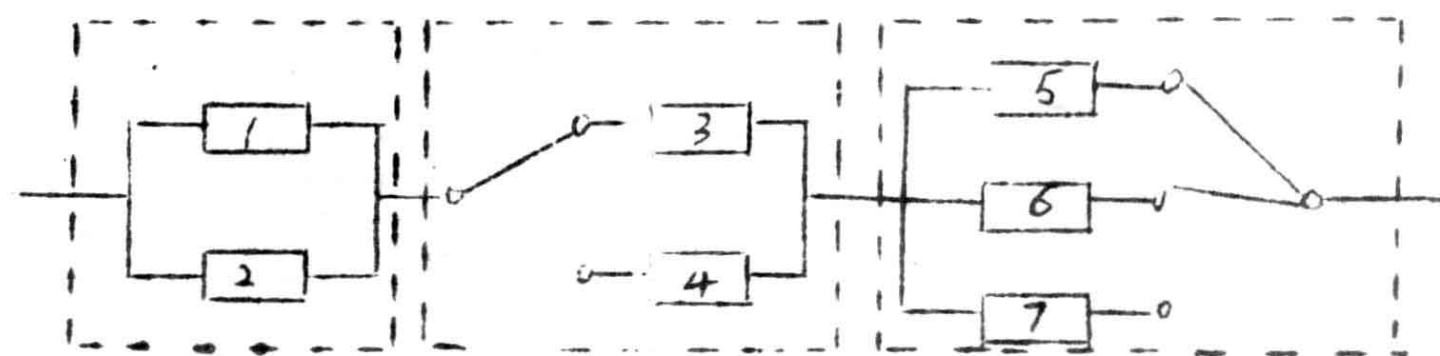


图 3-1

其中部件 1 与部件 2 组成一并联子系统。部件 3 和部件 4 组成一温备子系统即部件 3 和部件 4 在贮备期也会发生故障。部件 5、6、7 组成一冷贮备子系统。在这个子系统中，要求有两个部件同时工作，此子系统才正常。转换开关均可靠，这三个子系统又组成一个串联系统。系统配备 3 个维修工，分别编号为 1、2、3。其中 1 号维修工负责并联子系统的部件 1、2 的维修。2、3 号维修工负责温备和冷备子系统的部件 3、4、5、6、7 的维修。温备件 3、4 在修理上具有强占优先权。

一般参数共有 7 个，分别为：

1、系统状态最大编号 N

系统状态的定义分 $\{0, 1, \dots, N\} \in E$ ，为系统的全体状态集， N 是系统状态最大编号， $N \leq 600$ 。图 3-1 的 $N=23$ ，见第五章例 5-6。

2、系统正常状态最大编号 K

凡编号小于等于 K 的状态为系统正常状态，凡编号大于 K 的状态为系统故障状态。即系统的正常状态集为 $\{0, 1, \dots, K\} \in W$ ，故障状态集为 $\{K+1, K+2, \dots, N\} \in F$ 。用户定义系统状态时，需注意这一点。 $K \leq 400$ 。图 3-1 的 $K=7$ ，见例 5-6。

3、部件数 N_{PART}

指组成系统的部件总数。这里的“部件”是广义的，它可以是名副其实的部件，也可以是一个零件，大的也可以是一个子系统等，视具体问题而定。 $N_{PART} \leq 120$ 。图 3-1 中的 $N_{PART}=7$ 。