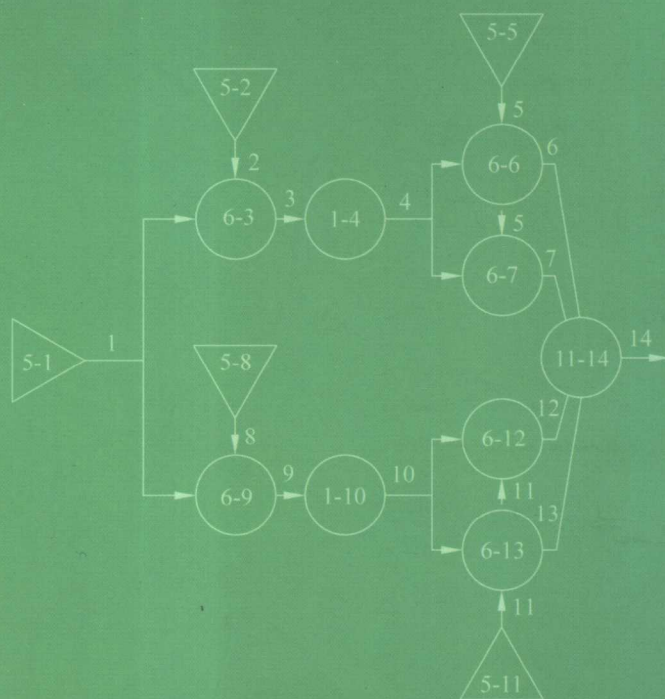




Principle and Application of GO Methodology
A System Reliability Analysis Methodology

GO法原理及应用

一种系统可靠性分析方法

沈祖培 黄祥瑞 编著

清华大学出版社

Principle and Application of GO Methodology
A System Reliability Analysis Methodology

GO 法原理及应用

一种系统可靠性分析方法

沈祖培 黄祥瑞 编著

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

GO 法是一种以成功为导向的系统概率分析技术,和常用的故障树方法一样,适用于系统可靠性、可用性、安全性和风险性分析,是一种有效的系统可靠性分析方法。本书详细介绍了 GO 法的概念和基本原理,论述了 GO 法的基本算法和新的发展,通过大量算例和实例说明 GO 法的应用方法和具体分析过程。本书可作为高等院校可靠性专业的教学参考书,也可作为从事可靠性工作的研究人员和工程技术人员的参考书。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13901104297 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

GO 法原理及应用:一种系统可靠性分析方法/沈祖培,黄祥瑞编著. —北京:清华大学出版社,2004.8

ISBN 7-302-08881-0

I. G… II. ①沈… ②黄… III. 系统可靠性—分析方法 IV. N94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 058483 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

责任编辑:朱红莲

版式设计:刘祎淼

印 刷 者:北京市清华园胶印厂

装 订 者:三河市新茂装订有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:170×240 印张:13.25 字数:253 千字

版 次:2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-08881-0/O · 369

印 数:1~2000

定 价:29.80 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770175-3103 或(010)62795704

前言

在系统可靠性分析和概率风险评价中,故障树法是一种最常用的方法,是国内外广大可靠性工程人员最熟悉的方法。GO法是一种有效的系统可靠性分析方法,GO法在20世纪60年代中期起源于美国Kaman科学公司,美国军方用于分析武器系统的安全性和可靠性。80年代GO法得到进一步完善和发展,90年代日本又发展了GO-FLOW方法,近年来随着计算机的发展和复杂系统安全性分析的需要,GO法又有了新的发展。GO法有它的特点,对于有多状态、有时序的系统,能解决一些故障树方法无能为力的复杂系统的可靠性问题,因此可以广泛应用于武器系统、国防工业、核工业、航天航空、交通物流和化工石油等工业部门的可靠性分析和安全性分析。

本书是国内第一本论述GO法的专著,介绍了GO法的基本原理和算法以及在实际工程系统中的应用方法。全书共分8章。第1、2章详细说明GO法的基本概念、原理和分析过程,通过简单的算例,使读者能初步了解GO法及其分析的过程,达到GO法入门的目的。第3章说明GO法的基本运算过程,通过两个算例,使读者掌握GO法的分析步骤和状态组合法算法。第4、5章说明GO法的新算法——概率公式算法以及可修系统和复杂系统中GO法的算法,使读者能深入了解和进一步研究GO法。第6章说明GO法和故障树方法的比较,使读者能理解GO法的优点,能更灵活地应用GO法解决具体问题。第7章介绍日本学者提出的GO-FLOW方法基本原理和算法,给读者进一步研究GO-FLOW方法提供参考。第8章说明GO法在工程系统中的实际应用,使读者能结合实际工作中的可靠性分析问题,用GO法进行分析。

GO法用GO图模拟系统,GO图与系统图相似,操作符对应系统的部件,信号流对应系统的物流。由GO图可以直接计算系统成功概率,能用于多状态、有时序的系统分析,在应用时表现出模型简洁、计算精确、适用性好等优点。但是

由于 GO 法技术较为复杂,应用上有一定的难度,国际上公开发表的 GO 法资料也比较少,因此国内 GO 法的研究和应用还有一定的局限性,还没有得到普及。本书的目的是使国内广大从事可靠性工作的研究人员和工程技术人员能了解 GO 法、熟悉 GO 法和使用 GO 法,使 GO 法得到更进一步的研究和发展,使 GO 法在工程系统实际可靠性问题中逐步得到推广应用。

本书的编写参考了国外发表的有关 GO 法的文献和资料,并包含了作者在 GO 法理论和应用方面的研究成果。作者对支持 GO 法研究及帮助本书出版的单位,专家和编辑表示衷心的感谢。书中难免有错误或不妥之处,敬请读者批评指正。

沈祖培 黄祥瑞
于清华大学
2003 年 7 月

目 录

1	GO 法概论	1
1.1	什么是 GO 法	1
1.2	GO 法的起源与发展	4
1.3	GO 法的特点	6
1.4	GO 法的应用	7
2	GO 法基本原理	9
2.1	GO 法基本概念	9
2.1.1	操作符	9
2.1.2	信号流	11
2.1.3	GO 图	11
2.1.4	GO 运算	12
2.1.5	标准操作符的类型和特点	12
2.2	标准操作符的定义及运算规则	14
2.2.1	第 1 类 两状态单元	14
2.2.2	第 2 类 或门	16
2.2.3	第 3 类 触发发生器	17
2.2.4	第 4 类 多信号发生器	19
2.2.5	第 5 类 信号发生器	20
2.2.6	第 6 类 有信号而导通的元件	22
2.2.7	第 7 类 有信号而关断的元件	24
2.2.8	第 8 类 延迟发生器	26
2.2.9	第 9 类 功能操作器	27
2.2.10	第 10 类 与门	29

2.2.11	第 11 类 M 取 K 门	30
2.2.12	第 12 类 路径分离器	32
2.2.13	第 13 类 多路输入输出器	33
2.2.14	第 14 类 线性组合发生器	35
2.2.15	第 15 类 限值概率门	36
2.2.16	第 16 类 要求恢复已导通元件	38
2.2.17	第 17 类 要求恢复已关断元件	39
2.3	GO 法分析过程和范例	41
2.3.1	系统分析过程	41
2.3.2	平台控制系统	43
2.3.3	电源开系统	48
3	GO 法的定性定量分析——状态组合算法	57
3.1	GO 法定性与定量分析的任务	57
3.2	GO 法定性与定量分析的步骤	58
3.3	设备驱动系统 GO 法分析	59
3.3.1	系统 GO 图和操作符数据	59
3.3.2	状态组合算法 GO 运算	62
3.3.3	系统可靠性评价	67
3.4	两路供水系统 GO 法分析	69
3.4.1	系统 GO 图和操作符数据	69
3.4.2	状态组合算法 GO 运算	70
3.4.3	系统可靠性评价	76
4	GO 法的定性定量分析——概率公式算法	79
4.1	信号流状态累积概率定义	79
4.2	操作符状态累积概率定量计算公式	80
4.3	状态概率公式定量算法	91
4.3.1	平台控制系统定量计算	91
4.3.2	电源开系统定量计算	94
4.3.3	设备驱动系统定量计算	97
4.3.4	两路供水系统定量计算	101

4.4	有共有信号的状态概率定量算法	104
4.4.1	共有信号定义和修正算法	104
4.4.2	共有信号的精确处理方法	107
4.4.3	供电系统分析	110
4.5	状态概率直接定性分析	114
5	GO 法在可修系统中的算法	117
5.1	可修系统 GO 法原理	117
5.1.1	可修系统的可靠性特征量	117
5.1.2	可修系统 GO 法基本概念	118
5.1.3	可修系统 GO 法分析过程	120
5.1.4	可修系统操作符的相关性	122
5.2	可修系统操作符定量计算公式	123
5.3	可修系统 GO 法应用方法	131
5.3.1	可修系统 GO 法定量分析	131
5.3.2	高压注水系统算例	136
6	GO 法与故障树法的比较	140
6.1	GO 法和故障树法的起源和建模比较	140
6.2	GO 法和故障树法在算法和应用上的比较	143
6.3	供水系统分析范例	144
6.3.1	供水系统 GO 法分析	145
6.3.2	供水系统故障树法分析	151
7	GO-FLOW 方法简介	156
7.1	GO-FLOW 方法的基本概念	156
7.2	GO-FLOW 方法的操作符及计算公式	157
7.3	GO-FLOW 方法的分析举例	162
7.4	GO-FLOW 方法的特点和应用	168
8	工程系统中 GO 法应用实例	170
8.1	天然气管道系统 GO 法可靠性分析	170

GO 法原理及应用——一种系统可靠性分析方法

8.1.1	天然气管道系统特点和 GO 法分析方法·····	170
8.1.2	天然气多井集气站系统 GO 法可靠性分析·····	174
8.1.3	天然气气田生产系统 GO 法可靠性分析·····	179
8.2	核电站电源系统 GO 法可靠性分析 ·····	182
8.2.1	核电站电源系统特点和 GO 法分析方法·····	182
8.2.2	核电站外电源系统 GO 法可靠性分析·····	189
8.2.3	核电站外电源备用系统 GO 法可靠性分析·····	198
参考文献	·····	203

GO 法概论

在系统可靠性和风险评价分析中,故障树分析(FTA)是一种最常用的有效方法。它产生于 20 世纪 60 年代,在 70 年代后期得到发展,并应用于各种系统的可靠性、安全性分析和风险评价。我国已颁布了故障树分析的国家标准与国家军用标准。然而,FTA 有其一定的局限性,对复杂系统的建树有相当的困难,特别是对有多重状态的系统、有信号反馈的系统、有时序功能变化的可维修系统等,FTA 可能变得更为复杂。

GO 法(GO methodology^[1])是一种以成功为导向的系统概率分析技术,有其自身的特点。对于有多状态、有时序的系统,尤其是有实际物流如气流、液流、电流的生产过程的安全性分析更为合适。该方法最初是在 60 年代中期由美国 Kaman 科学公司提出的,用于解决复杂系统的可靠性问题,经过长时间不断的研究和发展,GO 法的功能得到逐步完善。近年来 GO 法的算法得到进一步发展,使 GO 法的应用更为简捷、方便和实用,在系统可靠性和安全性的分析中,GO 法正受到日益广泛的研究和应用。

1.1 什么是 GO 法

GO 法是一种系统可靠性的分析方法,它的分析过程是从输入事件开始,经过一个 GO 模型的计算确定系统的最终概率。这个最终概率是把这个 GO 模型内所有描述系统运行情况的事件概率综合起来得到的,事件概率的综合是通过事件树的特定处理过程而进行的。GO 模型内的每个事件代表着一个部件或子系统的一种特定的运行状态,例如,某流体系统内一台泵的特定状态可能是“正常运行”或“故障关闭”。流体系统的“成功运行”或“故障”就是系统内所有部件的两种可能状态组合的结果,这两种结果的概率将取决于流体源、电源、工作泵、阀门和其他设备的状态概率。最初的 GO 法分析过程是计算所有部件状态每一

种组合的联合概率,这种计算需要重复不断地进行,直到将所有部件的各种状态都进行了计算为止。当所有的部件状态组合都得到评价后,把所有“成功”组合的联合概率相加,就可计算出系统成功运行的概率。当然,把所有“故障”组合的联合概率相加,就得到了系统发生故障的概率。在最初的 GO 法中,我们称上面这一过程为“事件树分析”,这是因为该过程可以用概率事件树方法的图示形式表示,对于图 1.1 所示的 3 事件系统,它的事件树如图 1.2 所示。

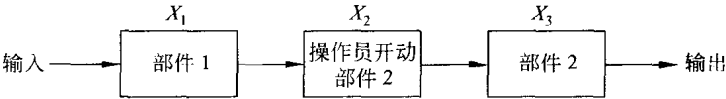


图 1.1 3 事件系统

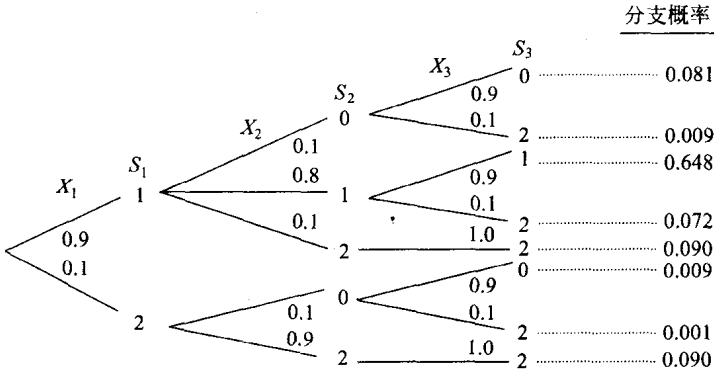


图 1.2 3 事件系统的事件树表示

图 1.1 中所示的系统是一个 3 事件串联系统,包括 2 个有部件功能的事件和 1 个人因事件,只有该串联系统中所有事件正常,才能得到 1 个系统正常的成功输出结果。同时还应注意,每个部件的运行和人因作用都可看作可能发生也可能不发生的事件。用 3 个随机变量 X_1 , X_2 和 X_3 来标志这些事件,目的是为了描述这些事件作用的不确定性或随机性。用 S_1 表示 X_1 的输出,用 S_2 表示 X_1 和 X_2 的组合输出,用 S_3 表示 X_1 , X_2 和 X_3 的组合输出,即系统的输出, S_1 , S_2 , S_3 也是随机变量。

在概率事件树中,事件 X_1 , X_2 和 X_3 的状态用整数表示,这里的状态是指每个事件所表现出的各种功能性模式。事件 X_1 有 2 种状态: 1 和 2; 事件 X_2 有 3 种状态: 0、1 和 2; 事件 X_3 有 2 种状态: 1 和 2。这个概率事件树是从 X_1 开始的,部件 1 的工作状态概率是 0.9,故障状态概率是 0.1,输出 S_1 和 X_1 相同,它们的 2 个状态分别用 1 和 2 标记,每一个状态都将同 X_2 的状态结合起来。 X_2

的状态分别是 0(表示操纵员提前开动 2 号部件)、1(表示操纵员正常开动 2 号部件)和 2(表示操纵员没有开动 2 号部件),这 3 种状态的概率分别为 0.1、0.8 和 0.1。当 X_1 的状态是 1(部件 1 处于工作状态)时, X_2 的所有 3 种状态都是可能发生的,因此在概率事件树中的这一点出现了 3 个独立的分支。当 X_1 的状态是 2(部件 1 处于故障状态)时,在概率事件树中的这一点可以只给出 2 个分支,其中 X_2 的 1 和 2 状态的概率可以组合到 1 个分支里,因为此时不论操作员的工作正确与否都不能开动 2 号部件,而此时操作员还是可以提前开动 2 号部件,因此概率事件树中在这一点的另一个分支表示 $X_2=0$ 的这种状态。 X_1 和 X_2 的组合得到 S_2 状态,对于 X_3 表示部件 2 的状态,部件 2 工作概率为 0.9,故障概率为 0.1,可以用同样的推理方法得到它的几个分支。

S_3 表示 3 事件 X_1 , X_2 和 X_3 的组合输出,代表系统的输出,它的状态由 X_1 , X_2 和 X_3 的状态组合得到。 S_3 有 3 个状态,0 表示系统提前工作,1 表示系统正常,2 表示系统故障。 S_3 的状态概率就是 3 事件状态组合的联合概率,全部联合概率集合形成了联合概率分布。这个 3 事件系统的联合概率分布如表 1.1 所示,表中最后一列的所有联合概率之和应该等于 1.0,这点可以用作检查所有事件的全部状态组合是否都已考虑在内。表中第 4 列 S_3 的状态值就代表系统输出端状态,把系统输出端每种状态(0、1 或 2)相对应的联合概率相加,就得到了系统的最终概率分布,如表 1.2 的最后一列。

表 1.1 3 事件系统的联合概率分布

X_1	X_2	X_3	S_3	联合概率
1	0	1	0	0.081
1	0	2	2	0.009
1	1	1	1	0.648
1	1	2	2	0.072
1	2	1,2	2	0.090
2	0	1	0	0.009
2	0	2	2	0.001
2	1,2	1,2	2	0.090
总 概 率				1.000

表 1.2 3 事件系统操作符和信号流状态概率

状 态	操作符 1	信号流 1	操作符 2	信号流 2	操作符 3	信号流 3
0(提前)		0.0	0.1	0.1		0.090
1(正常)	0.9	0.9	0.8	0.72	0.9	0.648
2(故障)	0.1	0.1	0.1	0.18	0.1	0.262

这个范例用 GO 法分析时,首先把 3 个事件用 3 个操作符来表示,则得到 3 个事件系统的 GO 图,如图 1.3。GO 图中的符号称为操作符,代表事件,操作符的连线称为信号流,代表事件的输入输出关系。然后由操作符 1 的状态概率计算信号 1 的状态概率,由信号 1 和操作符 2 的状态概率计算信号 2 的状态概率,再由信号 2 和操作符 3 的状态概率计算信号 3 的状态概率,就得到系统输出的状态概率。操作符的状态概率和信号流状态概率的计算过程和结果列于表 1.2,表中最后一列表示系统的最终概率分布,和事件树分析结果是完全一致的。

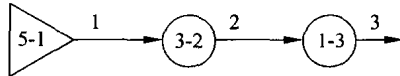


图 1.3 3 事件系统的 GO 图

该范例展示了 GO 法是如何综合事件概率的,GO 法进行每一个操作符计算时,有规定的运算规则,得到的输出信号流的状态概率已经进行综合,仍然是 3 个状态概率,不是如事件树那样,不断增加分支,因此 GO 法分析就十分简捷。GO 法分析方法就是以此为基础,通过综合事件状态组合,得到简单的 GO 运算规则,只要事件状态可以确定,这些状态的概率可以获得,那么任何系统概率综合评价问题,都可以用 GO 法分析技术来解决。

1.2 GO 法的起源与发展

1967 年,美国军方为了分析武器和导弹系统的安全性和可靠性,资助 Kaman 科学公司开发了 GO 法,同时也开发了相应的 GO 法分析程序。应用 GO 法,先后对 SPRINT、SPARTAN、NIKE HERCULES、HONESTJOHN、LANCE、MADM、M454、M422 和 M753 等导弹系统和武器系统进行了综合的安全性和可靠性分析,并对海军的 POLARIS、POSEIDON 和 TRIDENT 等武器系统进行了类似的分析,见文献[1,2]。

20 世纪 70 年代,在美国电力研究所(EPRI)和其他公共事业赞助者的努力下,通过 Kaman 科学公司的研究,增加了 GO 法的操作符,用于分析传统电站和核电站的安全性和可用性;计算系统的故障概率和可用度以及进行维修性分析,用于进行核电站乏燃料的运输、储存和后处理等过程中的风险分析,见文献[1~5]。Kaman 公司对 GO 法程序进行了不断的开发和改进,实现了故障查找的功能,完成了初步的 GO 法分析软件的开发。1978 年 EPRI 的研究报告 EPRI-NP-765^[3]、766^[4]和 767^[5]中比较系统地介绍了 GO 法的理论、功能、分析

方法和 GO 法的应用等。

20 世纪 80 年代初期,美国电力研究所每年出资大约 100 万美元用于 GO 法的理论和应用研究,使 GO 法得到进一步的完善和发展,同时也对 GO 法程序持续进行了修改和开发,GO 法软件的功能和性能不断提高,使 GO 法得到了更广泛的应用和认可,见文献[6~11]。Kaman 科学公司应用 GO 法对三哩岛电站 2 号机组的紧急停堆系统、Fort St. Vrain 电站的紧急停堆系统、2 号 Dresden 电站的应急柴油机发电系统、犹他州动力和照明公司的 2 号 Huntington 电站的辅助给水系统等进行了安全性分析。Kaman 科学公司通过评估 TVA Sequoyah 1.1MW 电站的可用度和风险概率(其中大约包括了 60 个系统和 10000 个部件的综合影响),证实了 GO 法具有模拟和分析整座核电站的能力。美国核管会在其 1982 年 4 月发布的《核电厂风险概率评估的程序导则》(草案)中,有数页内容谈到了 GO 法的强大功能。

1983 年 EPRI 又发表了关于 GO 法的研究报告^[6~11] EPRI-NP-3123, Vol. 1~6, 共 6 卷,更详细地论述了 GO 法的理论和模型、GO 法和故障树法的比较、GO 法操作符类型和功能、GO 法应用以及 GO 法的应用程序说明等。

20 世纪 80 年代后期,日本船舶研究所的 Takeshi Matsuoka 和 Michiyuki Kobayashi 两位学者在 GO 法的基础上,开发了 GO-FLOW 方法,更适合于有时序、有阶段任务的系统和动态系统的可靠性分析,并用它分析了沸水堆的堆芯应急冷却系统、压水堆辅助给水系统及储存水箱问题,见文献[12~15]。

20 世纪 90 年代初期,日本船舶研究所进一步应用 GO-FLOW 方法解决船用反应堆在火灾条件下紧急堆芯冷却系统的可靠性分析问题,在火灾的事故条件下有不同的事故序列,是有时间序列和阶段任务的问题,这些情况用 GO 法更容易模型化。GO-FLOW 方法还用于处理系统共因失效分析,系统故障概率的不确定性分析和系统动态可靠性分析等复杂可靠性问题。日本船舶研究所在日本政府科技局的支持下,开发了 GO-FLOW 方法可靠性分析通用软件,包括建模、GO-FLOW 图编辑以及实现各种分析功能,成为核反应堆系统概率风险分析的一种强有力的工具,见文献[16~19]。

近年来,我国清华大学进一步发展了 GO 法的理论和算法,提出了 GO 法的概率公式算法以及有共有信号的复杂系统的概率定量计算的精确算法,并开发了 GO 法的应用程序,使 GO 法分析和应用更为简捷,更为精确,见文献[20~25]。我国核工业部门已应用 GO 法进行了乏燃料接受和储存的风险分析,进行了核电站电源系统的安全性分析。我国石油工业部门已将 GO 法用于天然气管道输送系统的可用度分析和供气量计算,见文献[26,27]。我国对 GO 法的研究已进入国际行列,受到国际同行的重视。

虽然 GO 法具有很多优点,但由于技术较为复杂和保密等原因,国际上公开

发表的 GO 法资料比较少,GO 法的普及和应用受到一定的限制。近年来随着 GO 法的功能和算法不断地发展和完善,GO 法在应用中表现出简洁性、易用性、通用性、综合分析能力以及较高的效率和较低的费用等优点,它正逐渐成为系统评估的一种有效、通用的方法。在 GO 法逐渐普及和应用的同时,GO 法的理论、算法和应用还有待于进一步研究和开发,如有共因失效的复杂冗余系统中的 GO 法算法、系统动态可靠性分析中的 GO 法分析方法等。

1.3 GO 法的特点

GO 法的发展是基于决策树理论,它的基本思想是把系统原理图、流程图或工程图直接按一定规则翻译成 GO 图。GO 图的建立过程是用 GO 操作符去代替具体的部件如阀门、泵等,或者是代表逻辑关系;用信号流连接操作符,代表具体的物流如电流、液流等,或者是代表逻辑上的进程。操作符代表一定的功能,它与其输入、输出信号有一定的规定的运算规则,利用 GO 图和 GO 操作符的运算规则可以完成 GO 法进行系统可靠性分析的各种功能。GO 法有以下特点:

(1) GO 法直接从系统图建立 GO 图,GO 图中的操作符直接表示系统中的部件的功能,操作符的输入、输出信号表示部件之间的关系和相互作用,因此 GO 图是系统的直接模拟,GO 图中的操作符和系统的部件几乎是一一对应的。

(2) GO 图直接表示系统和部件以及部件之间的相互作用和相关性,GO 图的模拟比故障树模拟更为紧凑,并且易于检查、变换和修改。

(3) GO 法以成功为导向直接进行系统概率分析和常规的工程分析,与通常的流动过程分析相类似,易于一般工程技术人员理解和接受。

(4) GO 法不只是评价导致系统故障的事件组合,还要分析系统所有可能状态的事件的组合,因此 GO 法定性分析可以分别确定系统成功和系统故障的事件集合。

(5) GO 操作符和信号流都可以表示系统的多个状态,因此 GO 法可用于有多状态的系统概率分析,GO 法定量分析可以非常精确地计算系统的成功状态概率和故障状态概率。

(6) GO 法并非如 FTA 方法那样,只描述某一特定时刻的系统状态,而是分析事件序列过程,因此 GO 法可以描述系统和部件在各个时间点的状态和状态的变化,可用于有时序的系统概率分析。

由于 GO 法的特点也使 GO 法的使用有一定难度,因为 GO 操作符类型多,使用复杂,对系统图建立 GO 图时,要求分析人员不仅对系统非常熟悉,而且对

GO 法应有足够的理解。GO 法分析系统所有可能状态的事件组合,还可用于分析系统随时间的状态变化,致使 GO 法程序的开发也比较复杂。

1.4 GO 法的应用

由于 GO 法是另一种全新概念的系统可靠性方法,对于多状态、有时序的系统,尤其是有实际物流的过程系统的可靠性分析,有着其他方法不可替代的特点和作用,因此在概率风险评价、有时序和阶段任务的系统分析、不确定性分析和动态系统可靠性分析等方面有其独特的优点。

在 GO 法的早期开发阶段,美国将 GO 法用于分析武器和导弹系统的安全性、与可靠性问题;用于乏燃料运输储存和后处理等过程中的安全性分析;用于评价系统内部的相关性对系统运行和可靠性的影响;用于计算复杂系统的故障概率、可用度以及进行维修性分析等,因此在实际工程系统的可靠性分析中 GO 法得到较好的应用。

美国利用 GO 法解决了核电站余热冷却系统可靠性问题,在沸水反应堆堆芯冷却系统的阶段任务问题中解决多个系统在不同任务的时间段内,由于不同功能的要求而产生的有阶段任务时的可用性问题。当核电站发生失水事故时,首先是堆芯的冷却,其次是降压水池中水的冷却,最后保证较长时间的余热冷却系统的正常工作,GO 法用于解决这类阶段任务的系统可用度问题是十分方便和有效的。GO 法还可用于系统随时间有不同的运行状态的可靠性分析,计算系统随时间变化的不可用度,当系统进行周期性的定时维修和试验时,系统的不可用度计算必须考虑不同设备维修和试验时间不同的影响,有交替和无交替定时维修的影响,用建立 GO 图的办法可以描述这些过程。GO 法可以描述系统所有可能的运行状态,用不同的操作符可以较好地描述各个单元的不同功能,计算结果更加能反映真实的条件,因此 GO 法容易解决其他系统可靠性分析方法所不易解决的问题。

在更复杂的运行条件下 GO 法可以较好地描述实际情况,例如日本利用 GO 法解决船用反应堆在火灾条件下紧急堆芯冷却系统的可用度问题。由于火灾的事故条件、火情传播的方向及时间不同都会影响系统的可用性分析,这些情况用 GO 法更容易模型化。此外,用 GO 法处理系统共因失效的问题有其特点,它能比较直观地划分共因部件组,更容易改变部件的组合和配置,使 GO 法用于共因分析更为方便。日本船舶研究所开发了用于共因分析的 GO 法程序,如果有切合实际的可信的共因数据,将会得到理想的分析结果。

GO 法在动态系统的分析中具有重要的作用,所谓动态系统是指系统中的

部件之间存在着相互作用,而且部件与环境之间也存在相互作用。系统对于干扰的响应,包括时间和参数的变化,系统的结构和配置也相应变化,GO 法可以求解这类动态系统的可用度问题。复杂系统的可靠性参数和数据有不确定性时,用蒙特卡罗法和 GO 法相结合也可以分析系统可靠性参数的不确定性问题。总之 GO 法比其他可靠性分析方法具有更宽广的应用前景。

在我国 GO 法的应用也取得了显著的成果,GO 法已应用于我国西气东输大型天然气管道输运系统中的可用度计算问题,以建立和制定天然气管道输运系统的结构和运行方案,提高系统的经济性和效益。GO 法应用于我国核电站的电源系统可靠性分析,解决了在切换和恢复条件下的电源系统的可靠性计算问题,所得的结果比故障树方法更简单、更精确。求出不同条件下的电源系统恢复供电的概率,为解决可修复系统的可用度计算开辟了一种新的途径。

GO 法的功能和用途可概括为以下几方面:

(1) 提供系统可靠度和可用度的精确有效的定量信息,在概率风险评价中用于分析系统的安全性,评价系统的可靠性或可用性;用于有时序的阶段性任务中的可用度随时间变化的分析,确定系统的最佳运行方式。

(2) 分析导致系统成功和系统故障的部件事件的集合,用于验证系统设计,确定潜在的系统故障和系统结构设计的符合性,确定系统的最好配置,提供最高的运行可靠性。

(3) 确定系统部件对系统故障的贡献,对关键部件的重要性进行排序,用于评价系统的组成部分和外部事件对系统可靠性的影响,鉴别系统的关键设备,建立系统维修管理体系。

(4) 进行系统的不确定性分析和共因失效分析,用于评价系统设计参数对系统可靠性的影响,评价系统内部部件的共因失效对系统运行的影响,确定冗余系统的安全设计准则。