doi:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.06.029

基于 GO 法的猪肉产品流通全过程可靠性研究*

田帅辉[1]　王　旭[1]　常　兰[2]　王振锋[3]

(1.重庆大学机械工程学院,重庆 400030;2.重庆电力高等专科学校经济管理系,重庆 400053;
3.河南农业大学机电工程学院,郑州 450002)

摘要:为提升猪肉产品流通过程的可靠性,提出将 GO 法引入猪肉产品流通全过程的可靠性研究中。首先建立猪肉产品流通全过程结构模型,对生猪养殖、屠宰加工、储运销售环节的影响因素进行诊断;然后运用 GO 法原理,将猪肉产品流通全过程转换成 GO 图模型,借助频数统计法和模糊层次分析法确定各影响因素的故障概率,对猪肉产品流通全过程可靠性进行精确计算;最后对猪肉产品流通全过程的可靠性进行直接定性分析和重要度计算,找出影响猪肉产品流通全过程可靠性的重要因素。通过对猪肉产品流通全过程可靠性进行定量计算和定性分析结果的比较,证明 GO 法在猪肉产品流通全过程可靠性分析的有效性及优越性。

关键词:猪肉　流通全过程　GO 法　可靠性

中图分类号:TS251.5+1;X913.4　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-1298(2013)06-0168-07

Reliability of Whole Circulation Process for Pork Product Based on GO Methodology

Tian Shuaihui[1]　Wang Xu[1]　Chang Lan[2]　Wang Zhenfeng[3]

(1. *College of Mechanical Engineering*, *Chongqing University*, *Chongqing* 400030, *China*
2. *Department of Economic Management*, *Chongqing Electric Power College*, *Chongqing* 400053, *China*
3. *College of Mechanical and Electrical Engineering*, *Henan Agricultural University*, *Zhengzhou* 450002, *China*)

Abstract: In order to improve the reliability of the whole circulation process about pork product, GO methodology was applied in the reliability research. First, the structure model of the whole circulation process about pork product was built up, and the influencing factors of each step, including pig-breeding, slaughter-process, storage-transportation and sales, were diagnosed. Secondly, with the GO methodology the whole circulation process about pork product was transformed into the GO chart, and then the failure probability of influencing factors were determined by the method of frequency statistics and fuzzy analytic hierarchy process and the process reliability was calculated in detail. Finally, reliability of the whole circulation process about pork product was analyzed qualitatively and the importance degree of minimal cut sets was calculated so that the main factors influenced the reliability of whole circulation process about pork product were determined. The quantative and qualitative methods were compared and the result showed that the GO method had effectiveness and superior performance in research on reliability of the whole circulation process about pork product.

Key words: Pork　Circulation process　GO methodology　Reliability

引言

近年来,注水猪肉、瘦肉精、病死猪肉等猪肉问题事件经常见诸报端,猪肉安全已经成为消费者和政府广泛关注的问题之一。确保猪肉从“养殖场到餐桌”全过程质量安全对猪肉行业的发展具有重要

收稿日期:2012-05-24　修回日期:2012-09-18

*国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2006AA04A123)、国家社会科学基金资助项目(11BGL006)、中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CDJZR12118801)和重庆市科技攻关资助项目(cstc2012gg-yyjs80024)

作者简介:田帅辉,博士生,主要从事现代物流和农产品安全追溯研究,E-mail:tianshuaihui2007@163.com

通讯作者:王旭,教授,博士生导师,主要从事现代物流和质量管理研究,E-mail:wx921@163.com

意义。针对猪肉及相关农产品的质量安全问题，国外养猪业主要通过实施国家动物监控[1~2]、建立追溯系统[3]、数字化生产管理[4]等措施保障肉类安全，国内则是通过建立安全监控系统或全程可追溯系统等措施加强肉类质量保障[5~8]，大大提升了猪肉产品的质量安全水平。然而猪肉产品流通全过程包括了生猪养殖-采购-屠宰加工-配送仓储-销售-监测等多个复杂环节，任何环节出现异常都会影响猪肉产品质量。因此，除上述措施外，还有必要找出每一环节中影响猪肉产品质量的主要因素，提升猪肉产品流通过程的可靠性。

本文将 GO 法这一系统可靠性分析方法应用在猪肉产品流通全过程可靠性分析中。对复杂的猪肉产品流通全过程进行适当简化，建立猪肉流通全过程的结构模型，将结构模型转换为 GO 图，通过 GO 法模型确定猪肉产品流通全过程的可靠度，找到影响猪肉产品流通过程的重要因素，为提高猪肉产品流通全过程的可靠性提供决策依据。

1　GO 法概述

GO 法是一种以成功为导向的系统可靠性分析技术，其基本思想是把系统图或工程图直接翻译成 GO 图，再利用 GO 图对系统可靠性进行定量和定性分析，主要适用于有多状态和有时序的系统的可靠性和安全性分析。GO 法的主要步骤是建立 GO 图和进行 GO 运算，GO 图和 GO 运算的两大要素是操作符和信号流，其中，操作符代表具体的部件（或逻辑关系），用信号流连接操作符，代表具体的物流（或逻辑进程）。在 GO 法中，操作符代表单元功能和单元输入、输出信号之间的逻辑关系，其属性有类型、数据和运算规则，GO 法中已定义了 17 种标准的操作符，各操作符的概念及运算规则参见文献[9]。信号流表示系统单元的输入和输出信号以及单元之间的关联，信号流连接操作符生成 GO 图，信号流的属性是状态值和状态概率。GO 法系统可靠性分析的具体流程如图 1 所示[9]。

目前，GO 法的应用研究主要集中在对复杂可修复的机器、设备等硬件系统的可靠性分析上[10~13]，部分学者也将 GO 法应用在供应链、应急管理、生产制造过程等虚拟系统可靠性研究方面[14~16]，均取得了一定的研究成果。本文认为，猪肉产品流通全过程的可靠性是指猪肉产品供应链环境中，在规定的操作环境和条件下，沿着猪肉产品流通的全过程，形成符合质量安全要求的猪肉产品的过程能力（用概率表示）。猪肉产品流通全过程是一个涉及生猪养殖、屠宰加工、仓储配送、销售等多个复杂环节的复杂过程，在猪肉产品流通的有序环节中，每一个环节都可能处于多种状态。由于当前关于猪肉产品流通全过程可靠性的研究很少，GO 法为研究猪肉产品流通全过程的可靠性提供了很好的借鉴，采用 GO 法进行猪肉产品流通全过程的可靠性分析是可行的。

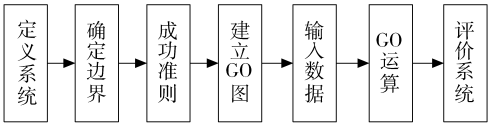

图 1　GO 法系统可靠性分析流程图

Fig. 1　Analytical flow chart of system reliability based on GO methodology

2　猪肉产品流通全过程结构模型

2.1　模型建立

猪肉产品流通全过程是指与生鲜猪肉产品生产密切相关的具有上下游关系的所有环节组成的整个流程，包括最初的种猪繁育、生猪养殖、生猪运输、屠宰加工、猪肉冷藏、猪肉配送、猪肉销售以及相关的饲料采购、兽药采购、检验检疫、政府监管等环节。文献[17]将整个猪肉产品的生产和流通过程中分为投入品采购、生猪饲养管理、生猪屠宰加工、猪肉储运销售 4 大环节，每个环节又包含多个小环节。由于猪肉产品流通过程的复杂性，为研究方便，本文界定猪肉产品流通过程只包括与猪肉质量安全相关性较大的 3 大环节，即生猪养殖、屠宰加工、储运销售，将文献[17]中的投入品采购及其他子环节作为 3 大环节的影响因素来考虑（2.2 节将具体阐述）。因此，猪肉产品流通全过程的结构模型如图 2 所示。在储运销售环节，其主体为猪肉销售商，暂不考虑猪肉销售商服务的消费者（包括家庭消费者、酒店、饭店等），在我国猪肉销售商主要包括超市、农贸市场和猪肉专卖店，且超市和农贸市场的销售量占多数。因此，为简化研究，本文将储运销售环节简化为两部分，一部分为超市，另一部分为农贸市场，其中超市的猪肉产品安全可靠性要明显高于农贸市场。

2.2　猪肉产品流通全过程影响因素诊断

要保证猪肉产品流通全过程的可靠性，必须确

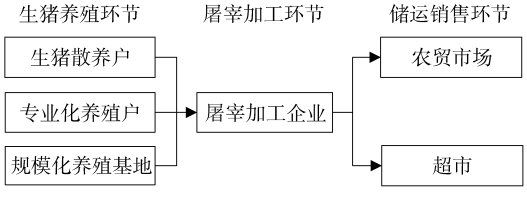

图 2　猪肉产品流程全过程结构模型

Fig. 2　Structure model of whole circulation process for pork product

保猪肉产品流通全过程各环节即生猪养殖、屠宰加工、储运销售等环节的正常运营。然而生猪养殖、屠宰加工、储运销售等环节本身就是复杂的环节,必须诊断出影响各环节可靠性的主要因素。文献[17]给出了猪肉产品流通各环节的主要子链节点,视为各环节的影响因素。此基础上,运用鱼骨图从“人、机、料、法、环”等方面归纳影响猪肉产品流通全过程各环节可靠性的主要因素。其中,生猪养殖环节的影响因素共 8 种:采购仔猪的健康水平、饲料及添加剂安全、兽药使用及残留情况、疫病防治、饲养员健康水平、饲喂设施设备、养殖环境消毒及清洁、养殖档案等;屠宰加工环节的影响因素共 8 种:生猪运输安全控制、生猪检验检疫、屠宰加工设备、操作人员健康水平、屠宰环境消毒及清洁、宰后检验检疫、猪肉储存保鲜、屠宰档案等;储运销售环节的影响因素共 6 种:猪肉配送安全控制、入市检验检疫、冷藏保鲜水平、分割包装管理、销售人员健康水平、销售环境消毒及清洁等。

3 猪肉产品流通全过程 GO 图的建立

为研究的方便,且不失一般性,本文假定图 1 中猪肉产品流通全过程中涉及的各主体的数量均为 1。根据猪肉产品流通的全过程(图 2)及诊断的猪肉产品流通全过程的各环节影响因素,建立猪肉产品流通全过程的 GO 图,如图 3 所示。

图 3 中共有 3 种操作符:第 2 类(或门)、第 5 类(信号发生器)和第 10 类(与门),操作符号内的数字前一个表示类型号,后一个表示操作符编号,信号流上面的数字表示信号流编号,信号流中除了输入操作符发出的信号流按照各自操作符号表示外,其他信号流均按照数字顺序从小到大排列。具体的操作符及信号流说明如下:

操作符 1 - 8、9 - 16、17 - 24 分别为生猪散养户(操作符 25)、专业化养殖户(操作符 26)、规模化养殖基地(操作符 27)的 8 种影响因素代号,即信号源。它们任何一个发生故障,所对应的输出信号 25、26、27 就会发生故障,因此输入信号 1 - 8、9 - 16、17 - 24 均为与门关系(用类型 10 表示)。

由于只有当生猪散养户、专业化养殖户、规模化养殖基地全部发生故障时,屠宰加工企业才会发生故障,故操作符 28 对应的输入信号 25、26、27 之间为或门关系(用类型 2 表示)。

操作符 29 - 36 为屠宰加工企业的 8 种影响因素代号,即信号源。它们任何一个发生故障,所对应的输出信号 37 就会发生故障,进而导致屠宰加工企业对应的操作符 38 发生故障。因此输入信号 29 - 36 为与门关系(用类型 10 表示),生猪养殖企业对应的输出信号 28 和屠宰加工企业 8 种影响因素对应的输出信号 37 之间为与门关系(用类型 10 表示)。

屠宰加工后的猪肉产品将配送至超市、农贸市场,因此操作符 53、54 分别代表农贸市场、超市的猪肉销售行为。同理,可知操作符 39 - 44、46 - 51 分别为农贸市场、超市的影响因素代号,输入信号 40 - 45、47 - 52 均为与门关系(用类型 10 表示)。

输出信号 56 代表猪肉产品流通过程最终的成功概率,即猪肉产品流通全过程的可靠度。

4 猪肉产品流通全过程可靠度的定量计算

由于猪肉产品流通全过程的 GO 图(图 3)中间

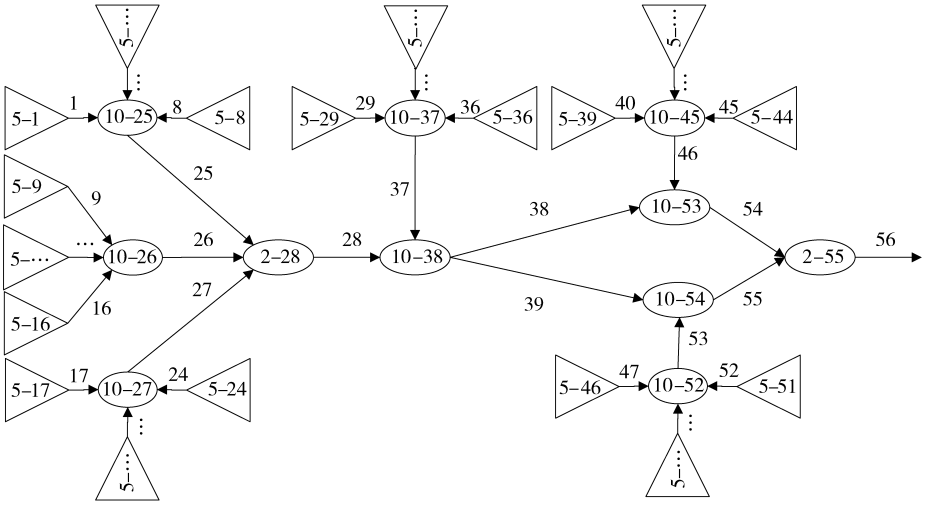

图 3 猪肉产品流通全过程 GO 图

Fig. 3 GO chart of whole circulation process for pork product

操作符全为逻辑操作符，这为实现计算机编程及自动化的定量计算提供了方便。设输入操作符的成功状态为 1，失效状态为 0，则信号流也只有成功状态 1 和失效状态 0。设操作符的输入信号成功概率为 $P(S=1)$，失效概率为 $P(S=0)$，输出信号的概率为 $P(R)(R=1,0)$，涉及猪肉产品流通全过程 GO 图中的 3 种类型操作符的运算法则如下：

(1)或门(类型 2)(图 4)

当 N 个相互独立的输入信号中全部发生故障时，输出信号才发生故障，即只要 N 个相互独立的输入信号有一个成功，则就会有输出信号，其运算法则如下：

输出信号的成功概率为

$$P(R=1)=1-P(S_1=0)P(S_2=0)\cdots P(S_i=0)$$

失效概率为

$$P(R=0)=P(S_1=0)P(S_2=0)\cdots P(S_i=0)$$

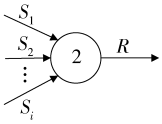

图 4　或门

Fig. 4　"Or" gate

(2)单信号发生器(类型 5)(图 5)

单信号发生器中输出信号的状态概率就是操作符的状态概率。

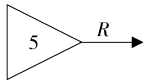

图 5　单信号发生器

Fig. 5　Single signal generator

(3) 与门(类型 10)(图 6)

当 N 个相互独立的输入信号中有一个发生故障，输出信号发生故障，其运算法如下：

输出信号的成功概率为

$$P(R=1)=P(S_1=1)P(S_2=1)\cdots P(S_i=1)$$

失效概率为

$$P(R=0)=1-P(S_1=1)P(S_2=1)\cdots P(S_i=1)$$

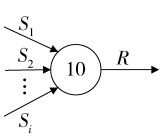

图 6　与门

Fig. 6　"And" gate

按照以上运算法则，从猪肉产品流通全过程 GO 图的输入操作符的输入信号开始，根据下一个操作符的运算法则进行运算，得到其输出信号的状态概率，并依次按照 GO 图中的信号流顺序逐步计算出各输出信号的状态概率，这样就可以很方便地计算最终输出信号的状态概率，即猪肉产品流通全过程的可靠性。

由于猪肉产品流通全过程的复杂性，假设猪肉产品流通全过程各环节的影响因素的单次故障对于猪肉产品流通全过程可靠度的影响是同等的，即本文只考虑影响因素发生的频率，不考虑影响因素的权重差别。各影响因素的权重差别将在后续的研究中逐步展开。因此，在进行上述计算之前，需要知道各输入操作符的故障数据，即猪肉产品流通过程各环节的影响因素发生故障的概率。本文通过频数统计法和模糊层次组合分析法(Fuzzy analysis hierarchy process，FAHP)相结合的方法确定影响因素发生故障的概率，可以更真实地反映猪肉产品流通全过程的可靠性程度。首先，由屠宰加工企业组织整个猪肉供应链统计某段时间内各影响因素在猪肉产品流通过程中出现故障的频数，计算其发生故障的概率；其次，针对部分影响因素的统计数据缺乏及所处环境的变化所导致故障率的不确定性，聘请猪肉供应链企业管理人员及业内专家对该部分影响因素发生的故障概率与已统计到的其他影响因素的故障概率进行比较，给出"频繁、不频繁"等模糊语言，采用文献[18]给出的模糊层次分析法，将这些模糊语言转换成数学语言，计算出该部分影响因素发生故障的概率，具体步骤如下：

(1)选用基于三角模糊数的 FAHP 标度方法建立影响因素关于发生故障频率的两两比较的模糊标度，如表 1 所示。

表 1　模糊标度及其含义

Tab. 1　Fuzzy scale and its meaning

标度	含义
0.1	两个因素相比，后者比前者发生频率极其频繁(前者可忽略)
0.3	两个因素相比，后者比前者发生频率明显频繁
0.5	两个因素相比，两者发生频率同等频繁
0.7	两个元素相比，前者比后者发生频率明显频繁
0.9	两个因素相比，前者比后者发生频率极其频繁(后者可忽略)
0.2、0.4、0.6、0.8	为以上两判断之间的中间状态对应的标度

(2)针对猪肉产品流通过程中的每一个环节中的每个主体，分别建立基于三角模糊数的模糊判断矩阵。模糊判断矩阵中的元素采用三角模糊数(m,l,n)表示。其中，l 为中值，表示两因素比较最可能的发生故障频率的高低关系，中值的选取依据表 1 所示的模糊标度；m 和 n 分别为上界和下界，表示两

因素发生故障频率高低的相对关系范围。在建立模糊判断矩阵的过程中,根据经验丰富的企业人员和业内专家的经验对影响因素进行两两比较,首先确定三角模糊数中值,再确定上下界值,从而构造出每一流通环节中每个主体各影响因素两两比较的判断矩阵。考虑到篇幅限制,本文仅列出屠宰加工环节各影响因素的比较判断矩阵,其余环节省略,如表 2 所示,其中 B_{11} ~ B_{18} 表示屠宰加工环节的 8 大影响因素。

表 2 屠宰加工环节各影响因素比较判断矩阵

Tab. 2 Judgement matrix of influencing factors in slaughter-process step

	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{14}	B_{15}	B_{16}	B_{17}	B_{18}
B_{11}	0.50,0.50,0.50	0.05,0.10,0.15	0.40,0.50,0.60	0.45,0.50,0.55	0.25,0.30,0.35	0.10,0.20,0.30	0.15,0.20,0.25	0.45,0.50,0.55
B_{12}	0.95,0.90,0.85	0.50,0.50,0.50	0.95,0.90,0.85	0.95,0.90,0.85	0.80,0.70,0.60	0.65,0.60,0.55	0.75,0.65,0.55	0.95,0.90,0.85
B_{13}	0.40,0.50,0.60	0.05,0.10,0.15	0.50,0.50,0.50	0.45,0.50,0.55	0.15,0.20,0.25	0.05,0.15,0.25	0.10,0.15,0.20	0.45,0.50,0.55
B_{14}	0.45,0.50,0.55	0.05,0.10,0.15	0.45,0.50,0.55	0.50,0.50,0.50	0.15,0.20,0.25	0.10,0.15,0.20	0.10,0.15,0.20	0.45,0.50,0.55
B_{15}	0.75,0.70,0.65	0.20,0.30,0.40	0.805,0.80,0.75	0.85,0.80,0.75	0.50,0.50,0.50	0.20,0.30,0.40	0.35,0.40,0.45	0.85,0.80,0.75
B_{16}	0.90,0.80,0.70	0.35,0.40,0.45	0.95,0.85,0.75	0.90,0.85,0.80	0.80,0.70,0.60	0.50,0.50,0.50	0.65,0.60,0.55	0.95,0.75,0.85
B_{17}	0.85,0.80,0.75	0.25,0.35,0.45	0.90,0.85,0.80	0.90,0.85,0.80	0.65,0.60,0.55	0.35,0.40,0.45	0.50,0.50,0.50	0.90,0.85,0.80
B_{18}	0.45,0.50,0.55	0.05,0.10,0.15	0.45,0.50,0.55	0.45,0.50,0.55	0.15,0.20,0.25	0.05,0.10,0.15	0.10,0.15,0.20	0.50,0.50,0.50

(3)影响因素故障发生概率的计算方法。选用置信度排序法[19]来计算猪肉产品流通过程每一环节各影响因素的故障概率。

统计以重庆某屠宰加工企业为核心的猪肉供应链在 2010 年 6 月 ~2011 年 12 月期间运行数据,经过上述 FAHP 方法的计算,得到猪肉产品流通过程各环节所有影响因素发生故障的概率,具体如表 3、表 4、表 5 所示(表中空格表示影响因素的故障概率太小,可忽略不计)。

表 3 生猪养殖环节影响因素的故障概率

Tab. 3 Failure probability of influencing factors in pig-breeding

影响因素	故障概率		
	生猪散养户	专业化养殖户	规模养殖基地
采购仔猪的健康水平	0.058	0.045	0.039
饲料及添加剂安全	0.046	0.038	0.035
兽药使用及残留情况	0.101		
疫病防治	0.124	0.070	0.042
饲养员健康水平			
饲喂设施设备			
养殖环境消毒及清洁			
养殖档案			

在图 3 中,将表 3 ~5 给出的各输入操作符的故障概率代入,依据 GO 图的运算规则,按照 GO 图中的信号流顺序依次计算出猪肉产品流通全过程各输出信号的可靠性值,最后的输出信号 56 即代表了整个猪肉产品流通全过程的可靠度,具体计算结果如表 6 所示,其中信号流 56 的计算涉及到有关共有信号流问题[9]。

通过表 6 不难发现,猪肉产品流通全过程的可靠度只有 0.828,显然不能满足猪肉产品高品质的安全要求,这与猪肉产品流通过程中涉及的多个复杂环节、多主体有关。因此有必要进一步找出制约猪肉产品流通全过程可靠性的关键因素以便进行更好地控制和改善。

表 4 屠宰加工环节影响因素的故障概率

Tab. 4 Failure probability of influencing factors in slaughter-process

影响因素	故障概率
生猪运输安全控制	
生猪检验检疫	0.054
屠宰加工设备	
操作人员健康水平	
屠宰环境消毒及清洁	0.029
宰后检验检疫	0.044
猪肉储存保鲜	0.038
屠宰档案	

表 5 储运销售环节影响因素的故障概率

Tab. 5 Failure probability of influencing factors in storage-transportation and sales

影响因素	故障概率	
	农贸市场	超市
猪肉配送安全控制	0.018	0.015
入市检验检疫	0.060	0.054
冷藏保鲜水平	0.068	
分割包装管理		
销售人员健康水平		
销售环境消毒及清洁	0.034	0.027

5 猪肉产品流通全过程状态概率定性分析

为进一步找出制约猪肉产品流通过程可靠性的重要因素,并验证 GO 法在猪肉产品流通过程可靠度计算中的可行性与有效性,对猪肉产品流通全过程的状态概率采用故障树方法进行定量计算和定性

分析，并对各环节各主体影响因素的重要度进行计算。

表 6　猪肉产品流通全过程可靠性计算结果

Tab. 6　Reliability calculation result of whole circulation process for pork product

信号流	成功概率	信号流	成功概率	信号流	成功概率
1	0.942	20	0.958	39	0.841
2	0.954	21	1	40	0.982
3	0.899	22	1	41	0.940
4	0.876	23	1	42	0.932
5	1	24	1	43	1
6	1	25	0.708	44	1
7	1	26	0.854	45	0.966
8	1	27	0.888	46	0.831
9	0.955	28	0.995	47	0.985
10	0.962	29	1	48	0.946
11	1	30	0.946	49	1
12	0.930	31	1	50	1
13	1	32	1	51	1
14	1	33	0.971	52	0.973
15	1	34	0.956	53	0.907
16	1	35	0.962	54	0.699
17	0.961	36	1	55	0.763
18	0.965	37	0.845	56	0.828
19	1	38	0.841		

计算猪肉产品流通全过程的最小割集，方法如下：求 1 阶割集时，只要假设 M 个操作符中某个操作符处于失效状态，其成功概率为 0，其他操作符状态概率不变，直接计算过程的成功概率，如果过程成功概率为 0，则该操作符的故障状态即为过程的 1 个 1 阶割集。M 个操作符依次计算即可求得过程所有的 1 阶割集。M 个操作符中在 1 阶割集以外取 2 个操作符，用同样的方法可得到所有 2 阶最小割集。以此类推，可得到过程的各阶割集。求高阶割集时，高阶组合中如果已包含某低阶的割集，则不必进行过程成功概率计算，这样求得的割集才是最小割集。这种方法易于编程实现，对复杂系统也能实现自动化计算。求出的最小割集如表 7 中的第 1、2 列。

计算最小割集发生的概率：最小割集中操作符失效状态的组合代表猪肉产品流通过程中各环节影响因素失效事件的组合，则最小割集的发生概率为这些环节影响因素失效概率的乘积。同时，猪肉产品流通全过程的故障概率应为所有最小割集的并集概率，由于最小割集不是完全独立的，用布尔代数计算其并集的概率是极其复杂的。通常最小割集的发生概率都很小，近似假设最小割集相互独立，用发生概率的总和作为系统故障概率。具体的计算结果如表 7 中第 3 列。其中 1 阶割集 4 个，主要是由屠宰

表 7　最小割集及重要度情况

Tab. 7　Minimal cut sets and importance degree

阶数	割集内操作符编号	割集概率	重要度/%
1	30	5.400×10^{-2}	28.71
1	33	2.900×10^{-2}	15.42
1	34	4.400×10^{-2}	23.39
1	35	3.800×10^{-2}	20.20
2	39,46	2.700×10^{-4}	0.14
2	39,47	9.700×10^{-4}	0.52
2	39,52	4.900×10^{-4}	0.26
2	40,46	9.000×10^{-4}	0.48
2	40,47	3.240×10^{-3}	1.72
2	40,52	1.620×10^{-3}	0.86
2	41,46	1.020×10^{-3}	0.54
2	41,47	3.670×10^{-3}	1.95
2	41,52	1.840×10^{-3}	0.98
2	44,46	5.100×10^{-4}	0.27
2	44,47	1.840×10^{-3}	0.98
2	44,52	9.200×10^{-4}	0.49
3	1,9,17	1.000×10^{-4}	0.05
3	1,9,18	9.000×10^{-5}	0.05
3	1,9,20	1.100×10^{-4}	0.06
3	1,10,17	9.000×10^{-5}	0.05
3	1,10,18	8.000×10^{-5}	0.04
3	1,10,20	9.000×10^{-5}	0.05
3	1,12,17	1.600×10^{-4}	0.09
3	1,12,18	1.400×10^{-4}	0.07
3	1,12,20	1.700×10^{-4}	0.09
3	2,9,17	8.000×10^{-5}	0.04
3	2,9,18	7.000×10^{-5}	0.04
3	2,9,20	9.000×10^{-5}	0.05
3	2,10,17	7.000×10^{-5}	0.04
3	2,10,18	6.000×10^{-5}	0.03
3	2,10,20	7.000×10^{-5}	0.04
3	2,12,17	1.300×10^{-4}	0.07
3	2,12,18	1.100×10^{-4}	0.06
3	2,12,20	1.400×10^{-4}	0.07
3	3,9,17	1.800×10^{-4}	0.10
3	3,9,18	1.600×10^{-4}	0.09
3	3,9,20	1.900×10^{-4}	0.10
3	3,10,17	1.500×10^{-4}	0.08
3	3,10,18	1.300×10^{-4}	0.07
3	3,10,20	1.600×10^{-4}	0.09
3	3,12,17	2.800×10^{-4}	0.15
3	3,12,18	2.500×10^{-4}	0.13
3	3,12,20	3.000×10^{-4}	0.16
3	4,9,17	2.200×10^{-4}	0.12
3	4,9,18	2.000×10^{-4}	0.11
3	4,9,20	2.300×10^{-4}	0.12
3	4,10,17	1.800×10^{-4}	0.10
3	4,10,18	1.600×10^{-4}	0.09
3	4,10,20	2.000×10^{-4}	0.11
3	4,12,17	3.400×10^{-4}	0.18
3	4,12,18	3.000×10^{-4}	0.16
3	4,12,20	3.600×10^{-4}	0.19
合计		0.1881	100

加工环节的影响因素来确定;2 阶割集 12 个,主要是 2 个储运销售环节中每个主体的 1 个影响因素所组成的集合;3 阶割集 36 个,主要是由 3 个生猪养殖户中每个养殖户的 1 个影响因素所组成的集合。

重要度的计算:最小割集的发生概率可用于评价最小割集的重要度,重要度代表了该割集故障概率占猪肉产品流通全过程故障概率的百分比,重要度越大说明该因素对流通过程的故障影响越大,应加以重点关注和控制。计算结果如表 7 中的第 4 列。

从表 7 中可知,猪肉产品流通过程最小割集发生概率的总和为 0.188 1,这是流通过程故障概率的近似值。对猪肉产品流通全过程可靠性影响较大的前三位影响因素分别为屠宰加工环节的"生猪检验检疫"、"宰后检验检疫"、"猪肉储存保鲜",分别达到 28.71%、23.39%、20.20%,依次类推,就可以确定在猪肉产品流通全过程中需要重点关注的影响因素,这就为猪肉产品流通全过程的改善和优化提供了思路与依据。

计算结果比较:本文通过定量计算和定性分析两种不同方法计算得到猪肉产品流通全过程的故障概率,具体计算结果如表 8 所示。从结果来看,两者得到的猪肉产品流通全过程的可靠度非常近似,也证明了 GO 法在猪肉产品流通全过程可靠性分析中的可行性与有效性以及 GO 法在系统建模、定量算法等方面具有独特的优势。

表 8 两种不同方法计算结果比较

Tab.8 Result comparison of two methods

计算方法	成功概率	故障概率
基于 GO 法的精确定量计算	0.827 0	0.173 0
直接定性分析法(所有最小割集概率之和)	0.811 9	0.188 1

6 结束语

通过建立猪肉产品流通全过程结构模型,并对其影响因素进行诊断分析;运用 GO 法建立了猪肉产品流通全过程可靠性的 GO 图模型,该模型既能对系统可靠性进行精确性计算,也能对猪肉产品流通全过程的可靠性进行定性分析和重要度计算,找出制约猪肉产品流通全过程可靠性的影响因素,为提高猪肉产品流通全过程可靠性提供重要依据。

参 考 文 献

1 Willard C L, Eric J B, George W H, et al. Design and implementation of the United States national animal health monitoring system 1995 national swine study [J]. Preventive Veterinary Medicine, 1998,34(2): 147 ~ 159.

2 Enting J, Huirne R B M, Dijkhuizen A A, et al. Zovex, a knowledge-integrated computer system to support health management on pig farms[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000, 26(1): 13 ~ 35.

3 Sterling L, Deevon B. Market opportunities and treats to U.S. pork industry posed by traceability systems[J]. International Food and Agribusiness Management Review, 2001,4(3): 287 ~ 302.

4 Petersen B, Knura-Deszczka S, Ponsgen-Schmidt E, et al. Computerised food safety monitoring in animal production [J]. Livestock Production Science, 2002, 76(3): 207 ~ 213.

5 谢菊芳,陆昌华,李保明,等. 基于.NET 构架的安全猪肉全程可追溯系统实现[J]. 农业工程学报,2006,22(6):218 ~ 220.
Xie Jufang, Lu Changhua, Li Baoming, et al. Implementation of pork traceability system based on .NET framework [J]. Transactions of the CSAE, 2006, 22 (6):218 ~ 220. (in Chinese)

6 周仲芳,游洪,王彭军,等. RFID 技术在活猪检验检疫监督管理中的应用研究[J]. 农业工程学报,2008,24(2):241 ~ 245.
Zhou Zhongfang, You Hong, Wang Pengjun, et al. Application of radio frequency identification in the supervision and management of live pigs [J]. Transactions of the CSAE, 2008,24(2):241 ~ 245. (in Chinese)

7 陈长喜,张宏福,飞颉经纬. 肉鸡产业技术体系生产监测与产品质量可追溯平台设计[J]. 农业机械学报,2010,41(8):100 ~ 106.
Chen Changxi, Zhang Hongfu, Feixie Jingwei. Traceability platform design of production monitoring and products quality for broilers industry technology system[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010,41(8):100 ~ 106. (in Chinese)

8 杨信廷,钱建平,范蓓蕾,等. 农产品物流过程追溯中的智能配送系统[J]. 农业机械学报,2011,42(5):241 ~ 245.
Yang Xinting, Qian Jianping, Fan Beilei, et al. Establishment of intelligent distribution system applying in logistics process traceability for agricultural product[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery,2011,42(5):241 ~ 245. (in Chinese)

9 沈祖培,黄祥瑞. GO 法原理及应用——一种系统可靠性分析方法[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

10 蔡国强,周莉茗,李熙,等. 基于 GO 法的城市轨道交通车门系统可靠性分析[J]. 西南交通大学学报,2011,46(2):264 ~ 270.
Cai Guoqiang, Zhou Liming, Li Xi, et al. Reliability analysis of urban rail transit vehicle's door system based on GO method[J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2011,46(2):264 ~ 270. (in Chinese)

(下转第 279 页)

machining[J]. ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, 2008, 130(3): 1 ~ 7.
7 陈逢军, 尹韶辉, 范玉峰. 一种非球面超精密单点磨削与形状误差补偿技术[J]. 机械工程学报, 2010, 46(23): 186 ~ 191.
Chen Fengjun, Yin Shaohui, Fan Yufeng. Ultra-precision single-point grinding technique and profile error compensation method for machining aspheric mould[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(23): 186 ~ 191. (in Chinese)
8 Kuang Jao-Hwa, Hsu Chao-Ming, Hu Chin-Che. Dynamic behavior of globoidal cam systems with torque compensation mechanisms [J]. Mechanism and Machine Theory, 2010, 45(8):1 201 ~ 1 214.
9 李静, 沈南燕, 何永义, 等. 凸轮非圆磨削动态误差预测及补偿[J]. 制造技术与机床, 2009(10): 64 ~ 68.
Li Jing, Shen Nanyan, He Yongyi, et al. Research on the dynamic error prediction and compensation in cam non-circular grinding process[J]. Manufacturing Technology & Machine Tool, 2009(10): 64 ~ 68. (in Chinese)
10 Demeulenaere B, De Schutter J. Dynamically compensated cams for rigid cam-follower systems with fluctuating cam speed and dominating inertial forces[C]// 2001 IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings, 2001, 2: 763 ~ 768.
11 武志斌, 徐鸿钧, 姚正军, 等. 高效磨削时磨削热问题的研究[J]. 农业机械学报,2001,32(4): 99 ~ 103.
Wu Zhibin, Xu Hongjun, Yao Zhengjun, et al. The choke point and its counter measures of high efficiency grinding[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001,32(4): 99 ~ 103. (in Chinese)
12 Patnaik D, Vijayender S P. Venkateswara R. A new model for grinding force prediction and analysis[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2010, 50(3): 231 ~ 240.
13 Tang Qian, Pei Linqing, Xiao Hansong. Numerical and experimental analysis of quenching process for cam manufacturing[J]. Journal of Central South University of Technology, 2010, 17(3): 529 ~ 536.
14 范晋伟, 关佳亮, 王文超, 等. 数控磨床磨削运动精度分析与控制方法的理论研究[J]. 北京工业大学学报, 2001, 27(4): 479 ~ 483.
Fan Jinwei, Guan Jialiang, Wang Wenchao, et al. Study on the movement accuracy analysis and control for CNC grinding machining tool[J]. Journal of Beijing Polytechnic University, 2001, 27(4): 479 ~ 483. (in Chinese)
15 邓朝晖, 王娟, 曹德芳, 等. 凸轮轴磨削加工过程的动态优化和仿真[J]. 湖南大学学报:自然科学版, 2009, 36(5): 21 ~ 26.
Deng Zhaohui, Wang Juan, Cao Defang, et al. Dynamic optimization and simulation of camshaft grinding process[J]. Journal of Hunan University: Natural Sciences, 2009, 36(5): 21 ~ 26. (in Chinese)

(上接第 174 页)

11 王超,张雪松,徐政,等. 基于 GO 法的特高压直流输电可靠性研究[J]. 浙江大学学报:工学版,2009,43(1):159 ~ 165.
Wang Chao, Zhang Xuesong, Xu Zheng, et al. Reliability analysis of ultra high voltage direct current system based on GO methodology[J]. Journal of Zhejiang University:Engineering Science, 2009,43 (1):159 ~ 165. (in Chinese)
12 王智,包成玉. YAG 激光器系统可靠性分析中 GO 法的应用[J]. 清华大学学报:自然科学版,2007,47(3):377 ~ 380.
Wang Zhi, Bao Chengyu. Application of GO methodology for reliability analysis of YAG laser system [J] . Journal of Tsinghua University: Natural Science Edition, 2007, 47(3) : 377 ~ 380. (in Chinese)
13 王淑娟,王桂丽,翟国富. GO 法在铁路客车电子防滑器仿真综合试验系统可靠性分析中的应用研究[J]. 系统工程理论与实践,2006,26(10) :95 ~ 101.
Wang Shujuan, Wang Guili, Zhai Guofu. Application and research of GO methodology in reliability analysis of synthetical simulated experiment system of railway electronic antiskid devices[J]. Systems Engineering—Theory & Practice, 2006,26(10): 95 ~ 101. (in Chinese)
14 张根保,陈国华,庞继红,等. GO 法在供应链可靠性诊断中的应用[J]. 重庆大学学报,2010,33(12):40 ~ 46.
Zhang Genbao, Chen Guohua, Pang Jihong, et al. Application of GO methodology in reliability analysis of supply chain[J]. Journal of Chongqing University, 2010,33(12):40 ~ 46. (in Chinese)
15 贾增科. 基于 GO 法的应急管理系统可靠性分析[J]. 系统工程,2011,29 (10):123 ~ 126.
Jia Zengke. Reliability analysis of emergency management system based on GO method[J]. Systems Engineering, 2011,29(10): 123 ~ 126. (in Chinese)
16 张根保,葛红玉. GO 法在产品装配过程质量分析中的应用研究[J]. 中国机械工程,2010,21(22): 2 689 ~ 2 692.
Zhang Genbao, Ge Hongyu. Application and research of GO methodology in quality analysis of product assembly processes[J]. China Mechanical Engineering, 2010,21(22): 2 689 ~ 2 692. (in Chinese)
17 沙鸣, 孙世民. 供应链环境下猪肉质量链链节点的重要程度分析[J]. 中国农村经济,2011(9):49 ~ 59.
Sha Ming, Sun Shimin. Analysis of importance degree about pork quality chain nodes under supply chain[J]. Chinese Rural Economy,2011(9):49 ~ 59. (in Chinese)
18 王化吉,宗长富,管欣,等. 基于模糊层次分析法的汽车操纵稳定性主观评价指标权重确定方法[J]. 机械工程学报, 2011,47(24):83 ~ 90.
Wang Huaji, Zong Changfu, Guan Xin, et al. Method of determining weights of subjective evaluation indexes for car handling and stability based on fuzzy analytic hierarchy process[J]. Journal of Mechanical Engineering,2011,47(24): 83 ~ 90. (in Chinese)
19 覃柏英. FAHP 的标度系统与排序方法研究[D]. 南宁:广西大学,2005.
Tan Baiying. The research of scale system and ranking method of FAHP[D]. Nanning:Guangxi University, 2005. (in Chinese)