

8-5-2020

Modeling and Simulation on Railway Bulk Oil Transit Operations

Jingheng Ma

1. Dept. of Logistics Information & Logistics Engineering LEU, Chongqing 401311, China; ;

Xingchang Liu

1. Dept. of Logistics Information & Logistics Engineering LEU, Chongqing 401311, China; ;

Youhong Fan

1. Dept. of Logistics Information & Logistics Engineering LEU, Chongqing 401311, China; ;

Kang Jin

2. Students' Affairs of Chongqing Energy College, Chongqing 402260, China;

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

Modeling and Simulation on Railway Bulk Oil Transit Operations

Abstract

Abstract: The railway bulk oil transit operation is a hybrid (discrete/continuous) system because of the main body of the continuous flow oil and a variety of discrete events. According to the system's characteristics of complex process, great difficulty, high risk, *the oil transit operation model was established based on discrete rate simulation* and system's continuity, predict events, emergencies were analyzed. The model was converted into linear programming, the effective rate was calculated under constraints, and *the operation process and event scheduling was simulated. It was verified that the model is feasible. By obtaining the dynamic behavior and real-time data, its efficiency was analyzed considering that it has reference on making reasonable decision, improving the process efficiency and assuring safety.*

Keywords

oil transit, hybrid system, discrete rate simulation, linear programming, scheduling

Recommended Citation

Ma Jingheng, Liu Xingchang, Fan Youhong, Kang Jin. Modeling and Simulation on Railway Bulk Oil Transit Operations[J]. Journal of System Simulation, 2015, 27(11): 2676-2681.

铁路散装油料收发作业的建模与仿真

马静恒¹, 刘兴长¹, 樊友洪¹, 康瑾²

(1. 后勤工程学院后勤信息与军事物流工程系, 重庆 401311; 2. 重庆能源职业学院学生处, 重庆 402260)

摘要: 铁路散装油料收发作业是一个以油料的连续流动作为主体, 同时包含多项离散事件的连续/离散混合系统, 针对该系统作业流程复杂、难度大、危险性高的特点, 建立了油料收发作业的离散速率仿真模型, 并对系统的连续性、预知事件、突发事件进行了分析。将模型转换为线性规划问题, 在约束条件下计算模型的有效速率, 完成了对作业流程、事件调度的仿真, 验证了模型的可行性。通过获取作业流程中的动态行为和实时数据对系统进行有效分析, 对于合理决策、提高收发油效率、保障作业安全具有一定的参考价值。

关键词: 油料收发; 混合系统; 离散速率仿真; 线性规划; 调度

中图分类号: TP391.9 文献标识码: A 文章编号: 1004-731X (2015) 11-2676-06

Modeling and Simulation on Railway Bulk Oil Transit Operations

Ma Jingheng¹, Liu Xingchang¹, Fan Youhong¹, Kang Jin²

(1. Dept. of Logistics Information & Logistics Engineering LEU, Chongqing 401311, China;

2. Students' Affairs of Chongqing Energy College, Chongqing 402260, China)

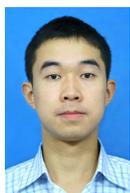
Abstract: The railway bulk oil transit operation is a hybrid (discrete/continuous) system because of the main body of the continuous flow oil and a variety of discrete events. According to the system's characteristics of complex process, great difficulty, high risk, *the oil transit operation model was established based on discrete rate simulation* and system's continuity, predict events, emergencies were analyzed. The model was converted into linear programming, the effective rate was calculated under constraints, and *the operation process and event scheduling was simulated. It was verified that the model is feasible. By obtaining the dynamic behavior and real-time data, its efficiency was analyzed considering that it has reference on making reasonable decision, improving the process efficiency and assuring safety.*

Keywords: oil transit; hybrid system; discrete rate simulation; linear programming; scheduling

引言

铁路散装油料收发作业是后方油库日常业务中的重要组成部分。近年来, 随着信息化水平的提高, 油料收发的作业效率也得到了明显提升, 极大的缓解了单纯依靠人工操作、费时费力的落后局

面。但是, 从目前情况来看, 收发油作业并没有从根本上消除人为因素带来的影响, 收发作业大多仍采用基于经验规则的人工调度, 收发作业过程中的安全隐患仍然比较严重。在作业过程中, 经常会出现诸如对油罐储油量估算不够准确、对液面升降(上升/下降)情况了解不够及时等情况, 溢油、漏油、混油的故事时有发生。铁路散装油料收发作业几乎贯穿油库的所有设施设备, 作业流程复杂、难度大、危险性高, 因此, 需要在作业实施之前拟定详细、合理的收发作业方案, 严密组织分工, 在作业过程中实



收稿日期: 2014-04-29 修回日期: 2014-06-24;
作者简介: 马静恒(1982-), 男, 四川泸州, 硕士, 讲师, 研究方向为系统仿真和虚拟现实; 刘兴长(1973-), 男, 吉林蛟河, 博士, 教授, 研究方向为后勤信息化; 樊友洪(1977-), 女, 湖北荆州, 硕士, 讲师, 研究方向为后勤信息化。

<http://www.china-simulation.com>

• 2676 •

时、科学的调度, 才能确保作业过程的安全有序。

整个铁路散装油料的收发作业过程以油料作为主体, 油料在收发系统中以一定的速率连续流动, 体现出连续系统的特点, 同时, 作业过程也包含了设备启停、方案切换、设备故障等离散事件。因此, 铁路散装油料收发作业其本质上是一个连续/离散混合系统。本文以收发油作业中较为复杂的收油作业作为重点, 采用现代可视化仿真软件 *ExtendSim* 建立基于离散速率的收发作业仿真模型, 研究收发油过程中的动态行为, 辨识系统中的瓶颈环节, 对合理决策、提高收发油效率、保障作业过程安全具有一定的参考价值。

1 铁路散装油料收发作业建模

1.1 铁路散装油料收发的作业流程

铁路散装油料收发作业是油库一项经常性的业务工作, 其基本要求是及时、安全、保质、保量。通常, 收发油作业按时间可以分为作业前、作业中、作业后 3 个阶段。以接收轻油作业为例^[1], 作业前, 油库管理人员需要首先制定收油计划, 明确交代任务和作业方案, 提出分工和注意事项。机车入库到位后, 要核对相关信息并检查机车各项指标是否完整, 此后化验员逐车化验, 同时消防员准备好消防器材。进入收油阶段, 按照作业方案开启相应的油罐、阀门, 将鹤管放入油槽车, 之后启泵进而进入收油阶段。在收油过程中作业人员必须全程监护, 适时切换罐车、开关阀门。收油结束后, 要放空管线, 关闭所有阀门, 待静置规定时间后, 测量相关数据, 核算收油数量。而在作业的最后阶段则需要清理现场并填写相关记录。

油料收发作业按作业展开地域划分为栈桥、泵棚、储油罐 3 大部分, 每一个作业区都有相应的处理事件, 系统以油料在整个作业系统中连续状态的流动作为基础, 尤其强调油料长期、连续、平稳的动态过程。收发油的主要设备设施包括油槽车、鹤管、胶管、阀门、泵、管线、储油罐、放空罐等,

相互之间衔接紧密。收发油过程以时间作为衡量效率的主要标准, 同时要保证流速和储油量不能超过设备设施的处理能力, 因此作业过程必须专人专管、实时监控才能确保安全。

1.2 基于线性规划的离散速率仿真

铁路散装油料收发作业包含了油料的连续动态行为和对设施设备操作的离散事件, 是一种混合系统。由于连续与离散动态特性共存和相互作用, 这就要求对于系统的分析不能够简单的将连续部分和离散部分分离开来, 而是需要通过合理的建立模型来正确、统一的描述 2 种动态行为及相互关系^[2]。因此, 对收发作业混合系统进行建模, 应该将对离散行为的描述嵌入到连续动态的模型中去, 即将连续问题“离散化”。

离散速率仿真(Discrete Rate Simulation, DRS)是一种使用基于逻辑事件来模拟线性连续进程和混合系统的建模方法^[3], 旨在当具有特定约束条件时最大化流体速率。离散速率仿真的时间推进机制是由事件驱动的, 即没有固定的时间步长, 只有当事件发生时, 离散速率模型的状态才会发生改变。比如, 以储油罐为例, 在 DRS 过程中, 当关键事件发生时, 储油罐会更新其信息(罐的内容, 流入和流出总量, 罐是否已经装满), 并告知作业系统其新的状态, 进而触发系统中的其它决策。

1.2.1 DRS 的过程描述

在 DRS 中, 将具有相同速率且相互连接的模块网络定义为“速率段”, 则 DRS 的过程描述如下:

- 在仿真开始首先计算模型每个速率段的有效速率。
- 在为每一个流体过程模块定义了流入和流出的有效速率之后, 模块会预测下一个关键事件在什么时候发生, 在该事件内速率段的有效速率将保持不变, 直到下一个事件到来或流入/流出速率发生改变为止。
- 当一个事件的发生可能改变一个或多个

有效速率时, 每个可能被影响的模块都会更新其内部信息并重新计算有效速率。

● 一旦重新计算了有效速率, 所有被影响的模块都将更新自己的内部信息, 并重新调度它们的未来事件。

因此, 无论流体系统多么复杂, DRS 都必须准确的确定整个模型中每个事件的有效速率集。

1.2.2 将离散速率模型作为线性规划问题求解

离散速率仿真的关键是将模型转化为线性规划问题(Linear Programming, LP)。通过转化, 可以计算出系统在给定的约束条件下的最大有效速率。在 DRS 模型中, 定义每个速率段为一个决策变量, 包含有效速率的模型区域定义为 LP 区域, LP 区域的范围会随着时间并根据事件和模型环境的改变而发生变化。求解线性规划问题通常采用单纯形算法, 当事件发生时, 按照图 1 所示步骤重新计算有效速率进而求出相应的目标函数。

算法首先确定待计算的内容中包含了多少个有效速率, 即确定所谓的“LP 区域”。第 2 步收集来自 LP 区域中所有的约束条件, 由于绝大多数约束条件都是上界机制, 即对决策变量给出最大值限制(有效速率 ≤ 最大速率), 因此, 约束条件不会增加 LP 问题的复杂性。第 3 步是执行 LP 计算, 由于有效速率是 LP 中的决策变量, 一个可能的可行

解是将所有的有效速率设置为 0, 这虽然不是最优解, 但确保了问题至少有一个解, 之后通过单纯形算法的迭代逐步增加有效速率, 最终达到最大化流速的目的, 而最大化流速正是 LP 问题中的最大化目标函数。最后, 系统使用新的有效速率更新模型。

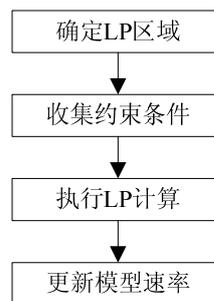


图 1 离散速率模型的求解步骤

1.3 收油作业系统的构成与分析

1.3.1 收油作业系统的构成

考虑到作业流程具有较长的时间跨度, 在仿真系统的建模中, 忽略掉了作业时间相对较短的事件(比如油料加注满后对储油罐的切换)以及与流体运动无关的事件(比如化验员检验油品)。将收油作业模型抽象描述为如图 2 所示的工艺流程。

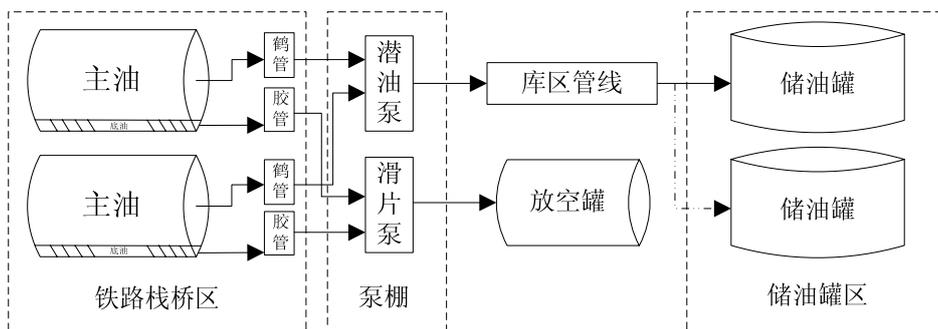


图 2 铁路散装油料收油工艺流程图

作业系统的实体是油料, 资源包括完成作业需要的人员、设备等。模型的起始时间从鹤管抽取油槽车油料开始, 油料经由鹤管到达泵棚, 再经过泵

棚流向储油罐区。油料的流速由泵控制, 可以单个鹤管工作, 也可以双鹤管双泵同时工作, 此时的流速大约是单鹤管的两倍。当完成一个油槽车油料输

送后, 切换到下一个油槽车, 在切换的过程中不停泵, 也就是说, 除非发生故障等特殊情况下, 整个收油的过程中油料在管线中的流动是连续不间断的, 切换油槽车的过程由人工完成。在储油罐区, 可以根据实际情况选择油料存放的油罐。通常, 存放油料都有一定的规则, 以防止混油事故的发生。并不是所有油罐一开始都是空的, 这需要在收油之前就要事先了解各个油罐的储油量。储油罐灌注到安全高度时人工关闭, 并切换到其它油罐继续灌注。油槽车下部的底油经胶管流向放空罐, 抽底油可在作业过程中分散进行也可最后集中进行。以底油接收完毕作为整个收油仿真过程的结束, 此时的管线已经放空。

1.3.2 系统分析

铁路散装收发油是一类典型的连续作业过程, 具有连续、平稳的特点^[4]。多种装置与收油管线相互衔接, 在物理上形成了固定的作业网络。由于管线柔性弱, 使得作业过程中的中断将会造成巨大的损耗。因此, 不允许作业中油料流动产生较大的波动, 不允许突然的变更收油方案。可以从以下几个方面来分析系统的特性。

(1) 系统的连续性。从收油开始, 油料在管道内以一定速度连续流动直到收油结束。在此期间, 收发油设备连续运行时间越长, 则作业效率越高。设备启停、管道切换等作业过程将会影响系统的连续性, 理论上, 如果整个作业过程没有设备暂停, 没有管道切换, 则系统具有良好的平稳性, 其效率也最高。实际上, 鹤管和储油罐都需要在作业过程中不断切换, 这将造成流体的局部波动, 而诸如雷雨天气等突发情况则会造成系统暂停, 这将会影响系统的连续性能, 需要适当的延长仿真时间。在储油罐区, 选择空罐进行加注会减少切换的次数, 但如果空罐与空罐之间距离较远, 则会增加人员在切换储油罐时耗费的时间。

(2) 系统的预知事件。按作业事件的确定与否则可以将仿真系统事件分为预知事件和突发事件。预

知事件包括油槽车排队进出收油区、油泵控制流速、管线内油料的合流与分流、储油罐切换、接收底油至放空罐等, 所有预知事件的作业设备和运行参数明确, 体现出整个收发油状态的运行演变过程。预知事件是必定会发生的, 但事件在何时处于何种状态则需要通过仿真结果来获得。

(3) 突发事件的动态调度。收发油过程经常会受到不确定因素的影响, 这其中既有设备的运行故障, 也有天气等不可抗拒的原因, 而收发油事故的发生往往是由于对突发事件的监管疏忽和处理不及时所造成的, 因此, 当突发事件发生时, 动态调度必须快速做出响应, 以确保作业安全。在模型中, 有必要通过对一些突发事件的仿真来评估这些事件对于系统状态的影响。对突发事件的仿真主要是通过调整动态约束条件, 使实体和资源在突发事件前后处于不同的状态来完成的。以单个油泵的随机故障为例, 当故障发生时, 收油速度会因此降低, 故障间隔时间和故障修理时间服从一定的概率分布, 仿真结果可以反映出某次油泵的故障使得收油时间延迟了多少, 设备的利用率降低了多少。

2 铁路散装收油作业的仿真实例

2.1 收油作业流程仿真

本次仿真以某油库的一次铁路散装收轻油作业作为实例, 使用 Rate 库和 item 库中的模块建立系统流图^[5-6], 而发油作业的构图方法也与此类似。仿真的基本参数设置如下:

- 系统的全局时间单位为 min, 仿真时间为 400 min。
- 油槽车共有 6 辆, 每辆载油量 80 m^3 , 即总收油量为 480 m^3 。
- 采用双泵同时收油, 单泵的最大流速为 $60 \text{ m}^3/\text{h}$ 。
- 储油罐共 5 个, 单个油罐最大储油量为 200 m^3 。放空罐的容量为 25 m^3 , 初始默认为空。

● 单个油槽车的底油油量约为 $0.6\sim 0.7\text{ m}^3$ ，仿真在该区间内取随机数，底油采取分散抽取。

仿真模型的流程图如图 3 所示。

图中，Interchange 的 5 号和 10 号模块作为载油的油槽车既可以模拟油槽车进出库的事件，又可以模拟鹤管收油到泵棚的流程。将底油量作为 Interchange 模块的下限可以较好的衔接到下一个抽底油事件。ConveyFlow 模块用于调整油料从铁路栈桥区输送到储油罐区过程的延时。各储油罐前的阀门尽管对于线性规划目标函数的约束条件是可有可无的，但阀门更重要的作用是将储油罐区与收油区加以区分，从而可以将储油罐区单独作为一个子系统以完成相关事件的仿真。整个收油系统的仿真结果如图 4 所示。

仿真所得到的收油作业总时间约为 4 h 30min，这与实际情况基本相符，由此可以看出，仿真模型可以较好的反映出收油作业的状态变化情况。放空罐的油量变化在一定时间内斜率发生了改变，这是因为采用分散抽底油的方法对于不同油罐的收油时间间隔不是均匀的。仿真开始时储油罐中的油量是随机的，Diverge 模块可以选择储油罐的加注顺序，本例中，选择由上至下依次加注。当然，也可以有其它的加注顺序，比如优先选择空油罐加注。但在实际中，由于罐与罐之间存在一定距离，加上切换储油罐需要人工操作，因此收油时间并不一定会减少。另外，收油顺序的混乱对于油库的日常管理也会增加不小的难度。

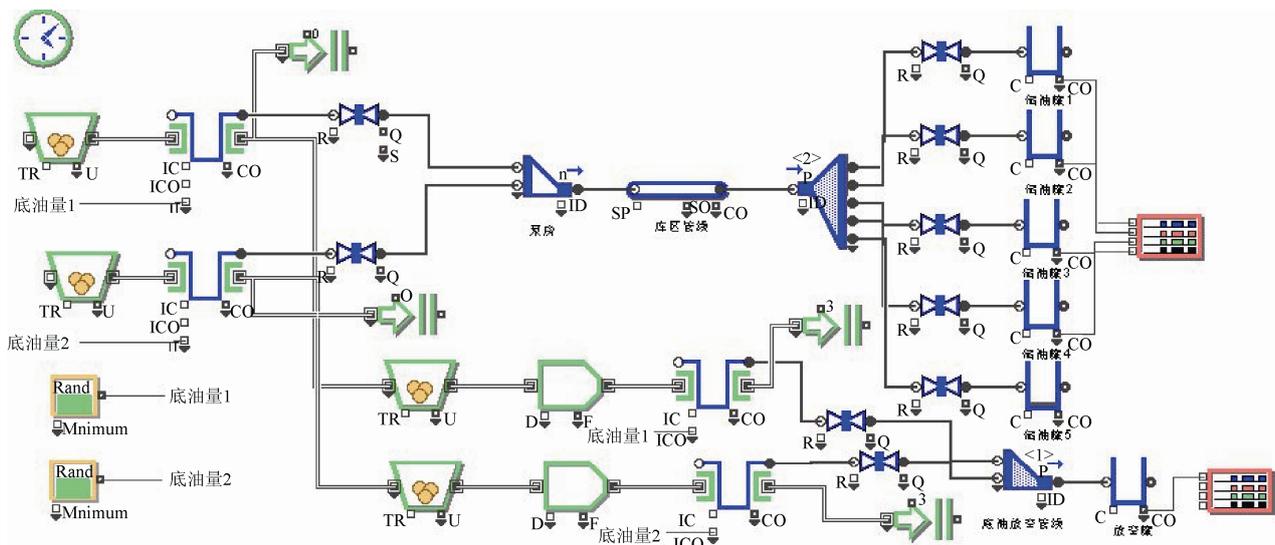
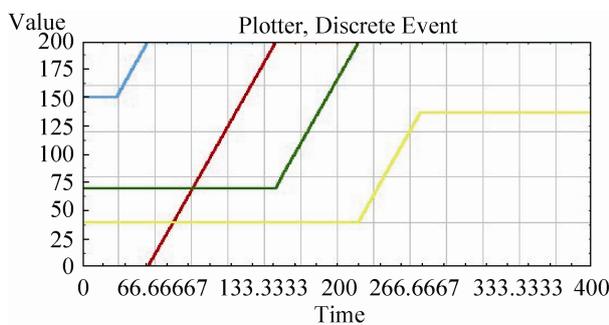
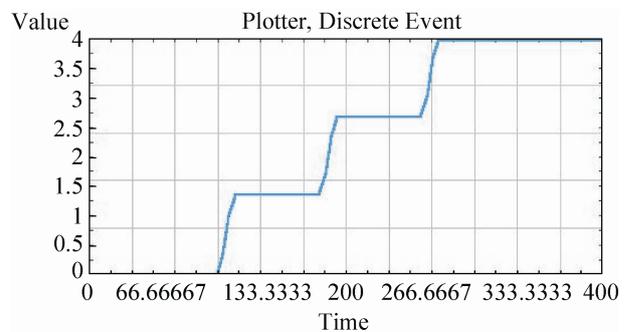


图 3 收油模型的仿真流程图



(a) 储油罐



(b) 放空罐

图 4 油罐的储油量随时间变化的情况

2.2 预知事件调度的仿真

对于预知事件的调度来说,最主要的是预测系统状态发生变化的具体时刻。在收油的过程中,可以预测每一个油罐的收油耗时以及收油结束的具体时间点,如表 1 所示,从而提醒作业人员及时切换管道,避免由于长时间疲劳工作加之疏忽大意发生溢油等事故。

表 1 单个油罐的收油耗时

油罐	收油起始时间	收油结束时间	收油耗时/min
1 号储油罐	8:00	8:51	51
2 号储油罐	8:51	10:31	100
3 号储油罐	10:31	11:36	65
4 号储油罐	11:36	12:24	48
放空罐	9:40	12:33	172.5

收油结束后,决策者可以掌握各个油罐的具体储油量,如表 2 所示,以便核对收油的实际损耗,为进一步的业务工作提供数据支撑。

表 2 单个油罐油量的变化情况

油罐	油罐初始油量/m ³	收油后的油罐油量/m ³	本次收油量/m ³
1 号储油罐	150	200	50
2 号储油罐	0	200	200
3 号储油罐	70	200	130
4 号储油罐	40	136.16	96.16
放空罐	0	3.96	3.96

2.3 异常事件的仿真

对于长时间的收发油作业来说,突发事件时有发生,这其中既有设备的机械故障,也有因操作不当引起的安全事故,本例中,仅选择两例异常事件作为仿真实例。

2.3.1 油泵管道故障

作业过程中常见的情况是设备的随机故障,需要及时维修,这时收油速度会受到影响。本例中,假设泵棚管道出现如下情况:

- 单个油泵管道出现故障,在维修时间内速率降为 0,而另一个油泵仍然正常工作。

- 故障间隔时间(TBF)服从均值为 4 200 的指数分布,故障修理时间(TTR)服从三角分布,最小为 10 min,最大为 150 min,最可能为 60 min。

将 Shutdown 模块加入模型中,连接到其中一个泵房阀门的 R 端,仿真 500 次获得收油总时间的统计数据如图 5 所示,设备共出现故障 21 次,故障率为 4.2%,发生故障后作业时间平均延长了约 74 min。

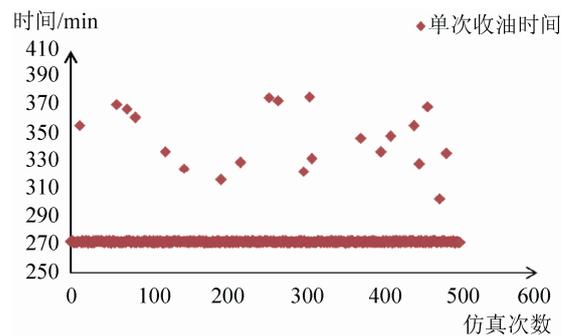


图 5 仿真 500 次的收油总量散点图

2.3.2 储油罐溢油

收发油突发事件中的溢油事故大多是因为作业人员疏忽大意或是经验不足造成的。发生溢油时,必须停止当前的所有操作,及时快速的处理事故,防止造成更严重的后果。溢油的仿真包含两个部分,其一是估算溢油量,将 Tank 模块的容量设置为无限,当发现溢油时会停止收油作业,此时记录下当前时间,而发生溢油的储油罐的实际油量可以由测量得到,这样通过计算就能得出本次溢油的溢油量,如图 6 所示。另一部分是评估事故发生对于系统连续性的影响,根据作业总时间的延长以及发生事故相关设备的利用率进一步了解事故对于作业效率的影响。

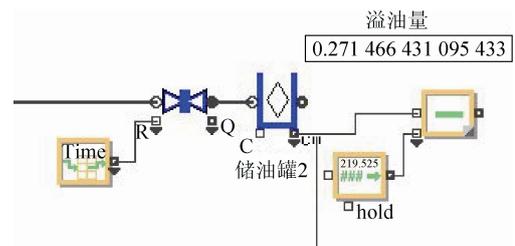


图 6 溢油量的估算

(下转第 2688 页)