

基于故障树分析的化工运输泵故障分析与维护

饶楚楚¹, 潘丽莉²

¹衢州职业技术学院, 浙江 衢州

²衢州华友钴新材料有限公司, 浙江 衢州

Email: raochuchu@qq.com

收稿日期: 2020年10月27日; 录用日期: 2020年11月9日; 发布日期: 2020年11月16日

摘要

运输泵在化工行业的产品生产过程中起着重要作用, 泵故障会引起巨大的生产损失, 而泵故障类型及原因复杂, 维护没有针对性, 常常出现维护不到位及过度维护的现象。本文通过提取衢州华友钴新材料有限公司车间一年的泵维修记录, 分析其故障原因。通过故障树分析方法, 对基本事件进行划分, 并计算基本事件的临界重要度, 从而得到影响泵运行的重要原因, 根据基本事件的重要度排序, 制定相应的维护计划, 提高设备的运行稳定性。

关键词

化工泵, 故障树分析, 重要度分析, 维护

Research on Failure Analysis and Maintenance of Chemical Transport Pump Based on Fault Tree Analysis

Chuchu Rao¹, Lili Pan²

¹Quzhou College and Technology, Quzhou Zhejiang

²Quzhou Huayou Cobalt New Material Co., Ltd., Quzhou Zhejiang

Email: raochuchu@qq.com

Received: Oct. 27th, 2020; accepted: Nov. 9th, 2020; published: Nov. 16th, 2020

Abstract

Transportation pump plays an important role in the production process of chemical industry. Pump failure will cause huge production losses. However, pump failure types and causes are com-

plex, and maintenance is not targeted, so maintenance is often not in place and excessive. In this paper, the pump maintenance records of a chemical enterprise for one year were extracted to analyze the cause of its failure. Based on the fault tree analysis method, the basic events are divided, and the critical importance degree of the basic events is calculated, so as to get the important reasons affecting the pump operation. According to the order of the importance degree of the basic events, the corresponding maintenance plan is made to improve the operation stability of the equipment.

Keywords

Chemical Pump, Fault Tree Analysis, Importance Analysis, Maintenance

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

化工产品企业是流程型生产企业, 从原材料到成品通常是多种生产设备通过各种运输设备组合成为流水线独立完成[1] [2]。因此生产线上除了关键的生产设备之外, 运输设备也是决定正常生产的重要环节。泵是用来输送液体并提高其压力的机器, 用于化工生产可简称为“化工泵”, 主要包括离心泵和容积泵。其特殊的运行环境要求其具有耐高温、低温, 耐腐蚀, 耐磨损, 以及防泄漏结构等。其常见的故障现象有泵发热、无法启动、流量不足等等, 对于泵的点检维护需要根据实际的运行环境进行制定, 因此对泵进行故障分析及维护进行研究具有很重要的意义[3] [4]。

故障树分析是一种倒立树状的逻辑因果关系分析方法, 是对造成故障的人、设备、环境、软件、硬件等各方面原因进行分析, 画出故障树图, 从而确定故障原因及其发生的概率。其特点是故障树分析可以进行定性、定量两种维度的分析及评价; 故障树图具有全面性、形象化的特点, 通过故障树图可以充分地描述导致事故的各种原因, 提高了故障分析下的维护实效性; 通过各种基本事件发生的统计概率, 确定对事故发生的影响程度, 从而获得事件的重要性; 故障树分析是针对某一事故进行分析, 不具有系统性、生产流程性的特点, 因此具有一定的局限性; 对于复杂的系统分析会带来巨大的计算工作, 定量分析有一定的困难。国内很多学者都通过故障树分析对自身领域内的事故进行了分析, 取得了很好的成果。左名玉[5]通过故障树分析对航空齿轮箱进行了故障分析, 掌握了齿轮箱的结构特点与故障发生的关系, 从而制定更为有效的维护计划。还有应用故障树分析在其他各领域的故障分析实例, 都取得了很大的成果。除了故障树分析的直接应用, 还有故障树与灰色理论相结合的故障分析, 以应对故障记录数据少的情况, 以及结合故障树与各种先进算法的新故障分析模型等, 以获取更为准确的故障预测结果。根据故障树分析的优势及劣势, 本文所研究的化工运输泵故障分析具有特定性, 且需要对泵的故障进行定性及定量分析, 因此基于故障树分析方法对化工运输泵进行故障分析及维护是可行的。

2. 常见的离心泵故障原因分析

根据调取 2019 年衢州华友钴新材料有限公司车间泵实际生产设备维护日志, 分析得出常见的离心泵故障主要有以下几种: 泵卡死、不排液、漏液、泵异响、泵发热等, 具体的故障现象及影响故障的事件发生如下图 1 所示:

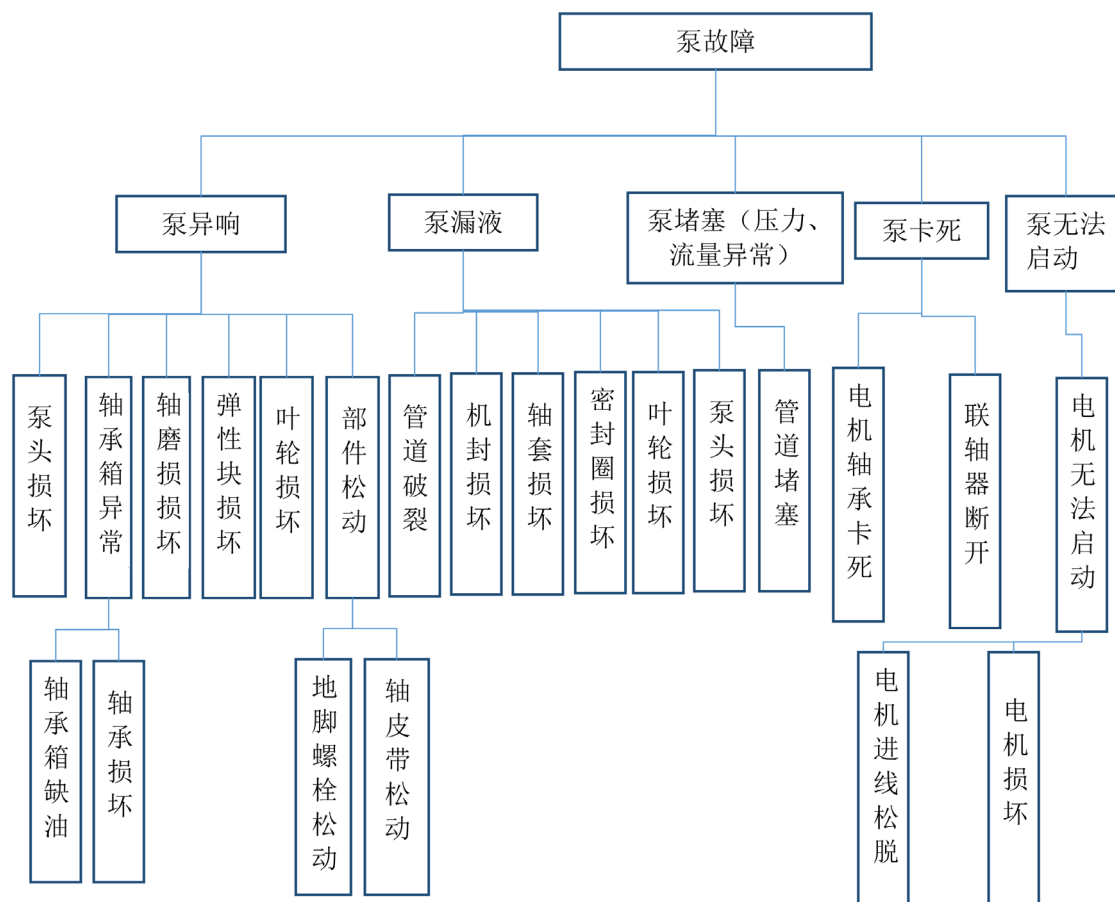


Figure 1. Fault classification of workshop pumps in Quzhou Huayou Cobalt New Materials Co. Ltd.

图 1. 衢州华友钴新材料有限公司车间泵的故障分类

以上企业维修记录的泵主要应用在四氧化三钴产品的生产运输泵,这一流程生产线原材料为硫酸钴,其最大的特点为:运输过程中需要经过高温加热,冷却过程中易结晶,同时具有腐蚀性。在对泵的维修记录统计过程中,主要发现以下几种故障现象:泵异响、泵漏液、泵压力不足、泵卡死等。

从统计的上千条维护日志中,统计了每个底层发生的基本事件数,及维修的停机时间。为了明确底层事件对发生故障的重要性判断,从统计数据中获得基本事件的发生概率及平均停机时间,如表 1 所示。

Table 1. Occurrence probability and average downtime of basic events

表 1. 基本事件的发生概率及平均停机时间

基本事件	发生概率	平均停机时间	基本事件	发生概率	停机时间
泵头损坏(磨损引起)	0.12	3.75	轴套损坏	0.12	2
轴承箱缺油	0.02		密封圈损坏	0.06	4.58
轴承损坏	0.12	1.5	管道堵塞	0.02	2
轴磨损损坏	0.02	3.5	电机轴承卡死	0.04	1
弹性块损坏	0.16	1.5	联轴器断开	0.02	1.5
叶轮损坏	0.16	3.12	电机进线松脱	0	

Continued

地脚螺栓松动	0.02	1	电机损坏	0	
轴皮带松动	0.02	1	机封损坏	0.24	2.345
管道破裂	0.02	1			

3. 基本事件的重要度分析

基本事件的发生影响了泵故障的发生, 若明确基本事件对目标事件的影响, 对于维护计划的制定具有非常重要的意义。预防性维护计划是为了预防设备故障而影响生产制定的日常计划, 是提高设备生产效能的最经济的方法。其目的在于从设备的设计、制造、使用以致维修的全过程, 设法减低设备本身价值和维修等有关设备使用的一切维修费用, 以及由于设备劣化而带来的损失等全部费用, 用以提高企业的生产效能。因此分析基本事件的重要度对于后期维护计划的制定具有非常大的意义。

3.1. 故障树分析

故障树是分析故障重要度的重要方法, 既适用于定性分析, 又能进行定量分析, 故障树分析的特点是简洁明了、形象化[6]。方法流程为首先确定顶上事件, 在本文中, 泵故障就是顶上事件, 再对基本事件进行描述, 绘制故障树图。在故障树图的基础上再进行最小割集的划分, 最后进行结构重要度、临界重要度进行分析, 故障树分析是以系统工程方法研究安全问题的准确性与系统性[7] [8]。根据故障树分析方法, 首先明确各基本事件的代号, 如下表 2 所示。

Table 2. Code names for base events

表 2. 基本事件的代号

基本事件	代号	基本事件	代号
泵头损坏	X1	机封损坏	X10
轴承箱缺油	X2	轴套损坏	X11
轴承损坏	X3	密封圈损坏	X12
轴磨损损坏	X4	管道堵塞	X13
弹性块损坏	X5	电机轴承卡死	X14
叶轮损坏	X6	联轴器断开	X15
地脚螺栓松动	X7	电机进线松脱	X16
轴皮带松动	X8	电机损坏	X17
管道破裂	X9		

3.2. 绘制故障树

绘制故障树的流程为首先确定顶上事件, 通过逻辑门将发生的事件与顶上事件进行连接, 其中会存在一些中间事件, 按照故障树要求绘制相应的故障树, 故障树绘制图形符号如下图 2 所示, 目前市场上也有很多故障树绘制软件, 如亿图、Free FTA 等, 根据故障树绘制要求, 对顶上事件一步步往下推, 直到没有深究的事件, 即基本事件为止, 因此针对本文的研究对象化工运输泵的故障统计数据中, 可得如图 3 所示的泵故障故障树图。



Figure 2. Fault tree drawing graphics set
图 2. 故障树绘制图形集

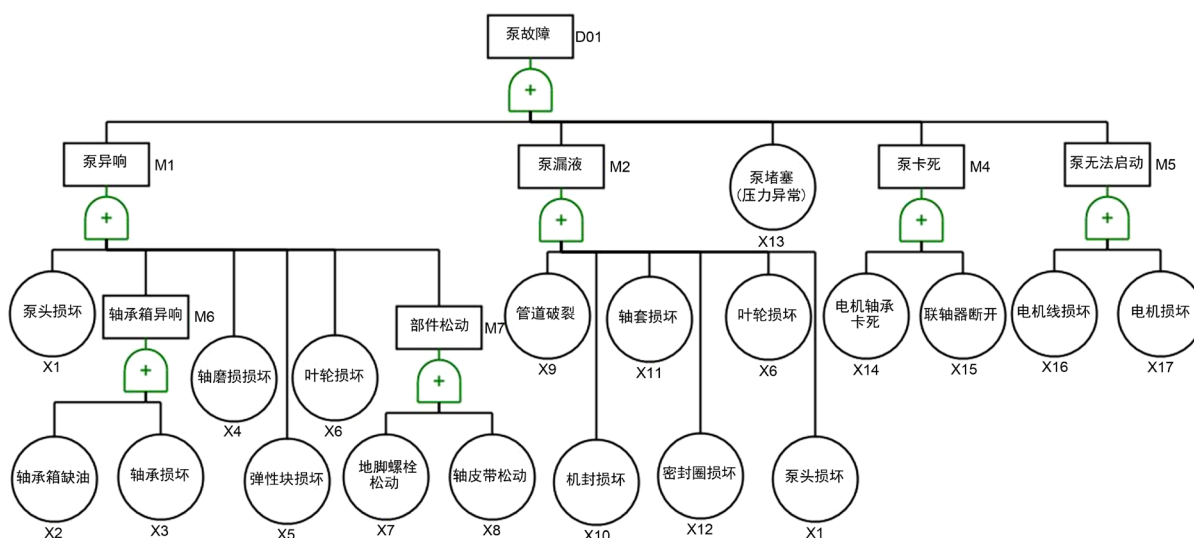


Figure 3. Chemical transportation pump fault tree diagram
图 3. 化工运输泵故障树图

3.3. 重要度分析

故障树中从初始事件(initiator)到事件之间的路径称为分割集合(cut set)。从初始事件到事件之间的最短可能路径称为最小分割集合(minimal cut set)。因此泵故障树的最小割集为: (X1), X1; (X10), X10; (X11), X11; (X12), X12; (X13), X13; (X14), X14; (X15), X15; (X16), X16; (X18), X18; (X2), X2; (X3), X3; (X4), X4; (X5), X5; (X6), X6; (X7), X7; (X8), X8; (X9), X9。最小分割集合是计算重要度的基础。

结构重要度:

结构重要度是指基本事件在故障树的位置的重要度, 泵故障树中的每个基本事件都会造成顶上事件的发生, 因此在结构上, 所有的基本事件都是同等重要的, $I(X17) = I(X16) = I(X15) = I(X14) = I(X13) = I(X12) = I(X11) = I(X10) = I(X9) = I(X8) = I(X7) = I(X6) = I(X5) = I(X4) = I(X3) = I(X2) = I(X1)$ 。

临界重要度: 根据临界重要度(也称关键重要度), 其通过基本事件发生概率的相对变化率与目标事件发生概率的相对变化率之比, 来反应基本事件对系统变化的重要性, 是最关键的一个评判指标, 其分析函数为[9]:

$$I_G(i) = \frac{\partial \ln g}{\partial \ln q_i}$$

其中 g 为目标事件的发生函数, q_i 为基本事件发生的概率。

计算各基本事件的临界重要度, 可以为制定相应的维护计划起到重要的指导作用。计算结果如下表 3 所示。

Table 3. Significance results

表 3. 重要度结果

基本事件代号	重要度	基本事件代号	重要度	基本事件代号	重要度
X10	0.127	X12	0.026	X9	0.008
X5	0.076	X14	0.017	X13	0.008
X6	0.076	X2	0.008	X15	0.008
X1	0.055	X4	0.008	X16	0.000
X3	0.055	X7	0.008	X17	0.000
X11	0.055	X8	0.008		

由表 3 数据可知, X10 基本事件对于顶上事件发生概率的影响最大, 需要特殊关注, 同时 X5, X6 也对顶上事件的影响较大, 需多关注。X10 事件为机封损坏, X5 为轴套损坏, X6 为叶轮损坏。在制定维护计划时, 需要在泵使用过程中要多关注化工产品的杂质过滤问题, 在进入泵压之前设计过滤环节, 减少颗粒杂质以很高的速度滑入密封面, 将端面表面划伤而失效[10]。

4. 结论

化工泵是化工生产过程中的重要设备, 其故障的发生会直接影响整个化工产品生产线的正常运行, 因此对于泵的维护尤为重要。本文通过某化工企业一年的泵维护日志, 对其进行故障树分析, 得出机封故障是影响泵运行最大的基本原因, 因此在制定维护计划时, 需要更多地关注机封的使用情况, 缩减机封维护的维护周期, 同时深层次地分析机封故障发生的原因, 对于化工产品液体流动参杂的颗粒物杂质, 需要及时地进行清理及过滤, 从而延长机封的使用寿命, 提高泵运行的稳定性。

基金项目

高等学校国内访问工程师“校企合作项目”(FG2019164)。

参考文献

- [1] 周启蕾. 浅谈工业生产化工泵的现状与发展方向[J]. 化工自动化及仪表, 2015(1): 69.
- [2] 王延兵. 化工泵的维护与技术改造策略分析[J]. 化学工程与装备, 2015(9): 75.
- [3] 张戟, 吴钢. 化工泵的常见故障及维护保养策略研究[J]. 建筑技术研究, 2019, 2(2): 102-103.

- [4] 刘孝坤. 机泵发生故障的原因及解决方法[J]. 中国设备工程, 2020, 448(12): 55-57.
- [5] 陈晗霄. 基于虚拟仪器的大型高速齿轮箱故障诊断系统研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 电子科技大学.
- [6] 左名玉, 王优强, 莫君, 胡宇, 房玉鑫. 基于灰色关联和故障树分析的航空齿轮箱故障诊断[J]. 青岛理工大学学报, 2020, 41(4): 92-97.
- [7] 聂国健, 雷林林, 葛智君, 罗剑武. 复杂系统动态故障树分析方法及其应用研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2020, 38(3): 1-6.
- [8] 柯瑞同, 吕大志. 航空装备系统的动态故障树分析方法研究[J]. 飞机设计, 2015, 20(6): 45-48.
- [9] 凌牧, 袁海文, 马钊, 黄操. 改进的动态故障树转化为二元决策图的成分组合算法与应用[J]. 系统工程与电子技术, 2016, 15(7): 108-110.
- [10] 陈志平. 关于化工设备使用中的故障及措施探析[J]. 化工管理, 2017(8): 25.