

YLC2500型压裂车液压系统的可靠性分析

李 宣, 祁 建, 霍 光, 车永顺

(沈阳北方重工有限公司 设计研究院, 辽宁 沈阳 110141)

摘要: 该文介绍了2500型压裂车液压系统;在液压原理的基础上,建立了故障树的数学模型;从定量和定性两个方面,对液压系统的故障进行了可靠性分析,并将提高可靠性的措施应用到现场工作中,为提高压裂车液压系统的可靠性和安全性提供有力的依据。

关键词: 压裂车;液压系统;故障树;可靠性

中图分类号: TH137 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-0813(2016)01-0053-03

Reliability Analysis of Hydraulic System for YLC 2500 Fracturing Truck

LI Xuan, QI Jian, HUO Guang, CHE Yong-shun

(Shenyang Northern Heavy Industries Group Co., Ltd., Design and Research Institute, Shenyang 110141, China)

Abstract: Article introduces the model 2500 fracturing truck hydraulic system; Based on the hydraulic system principle, establishes the mathematical model of the fault tree; from the two aspects of quantitative and qualitative, the fault of the hydraulic system is analyzed, apply the method of improving reliability to working, provide a strong basis for improving the reliability and safety of fracturing truck hydraulic system.

Key words: fracturing truck; hydraulic system; fault tree; reliability

0 引言

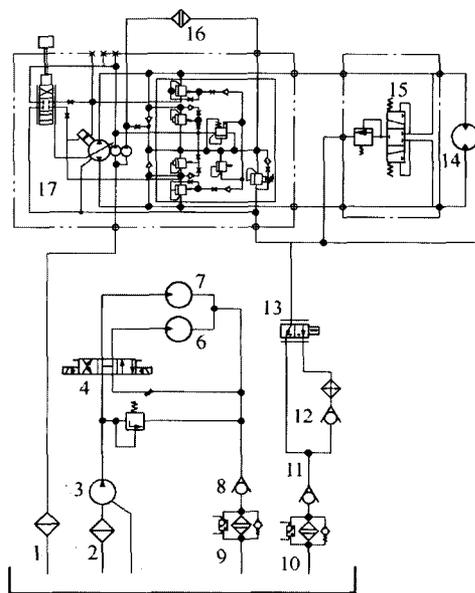
压裂作业是通过注入超高压流体使井底地层形成填砂裂缝,提高油气流通性,是石油增产的一种有效的方法。压裂车是压裂作业最重要的压裂作业成套设备之一,YLC2500型压裂车是一款大输出功率的压裂车,主要用于油气田深井、中深井的各种压裂作业。液压系统是压裂车的重要组成部分,它决定了压裂车是否能正常、连续的工作。本文将故障树分析方法应用于压裂车的液压系统,对压裂车的可靠性和安全性具有指导意义。

1 压裂车液压系统故障树的构建

1.1 液压系统的工作原理

压裂车的液压系统主要包括两部分:一部分是启动的液压系统,另一部分为冷却风扇的液压系统,压裂车的液压系统图如图1所示。柴油机启动液压系统是由液压泵提供压力源,通过控制电磁换向阀,实现液压马达工作,液压马达通过联轴器传递转速和扭矩,实现柴油机启动;液压泵由底盘的取力器驱动,液压系统中设计了两个启动马达,一台启动马达工作,另一台作为备用,备用马达可以保证能够在启动马达故障时,压裂

车还能继续工作。冷却风扇液压系统,通过底盘发动机取力,驱动多通道水箱风扇马达,风扇速度可以通过设置在发动机和传动箱上的温控开关实现自动开启。通过上面文字可以看出,液压系统是压裂车十分重要的组成部分之一,如果油机启动系统或者冷却风扇系统发生故障,压裂车就必须停止工作,会严重影响压裂作业。



1、2-吸油过滤器 3-定量泵 4-换向阀 5-溢流阀 6、7-马达
8、11、12-单向阀 9、10-回油过滤器 13-节温器 14-风扇马达
15-冲洗阀 16-压油过滤器 17-冷却变量泵

图1 液压系统原理图

收稿日期:2015-05-12

基金项目:辽宁省科技创新重大专项项目(201303003)

作者简介:李宣(1982-),男,辽宁瓦房店人,工程师,硕士研究生,从事液压系统设计和开发领域的科学研究。

1.2 故障树建立

故障树的本质是一种树状的逻辑图。一个故障树里主要包含常用事件、故障树逻辑门;故障树利用逻辑门,将常用事件联系起来,表达常用事件之间的逻辑关系,从而描述系统或者元件的故障状态。

要建立的故障树,应确定故障树的顶事件,找出影响顶事件的直接因素作为中间事件,并继续逐步进行分析,直到故障树的基本事件。为了保证 YLC2500 型压裂车能够无故障的可靠的工作,我们将作定义顶事件为液压系统故障,设定故障相互独立、系统管道和接头没有泄漏、液压元件没有泄漏,建立故障树如图 2 所示。

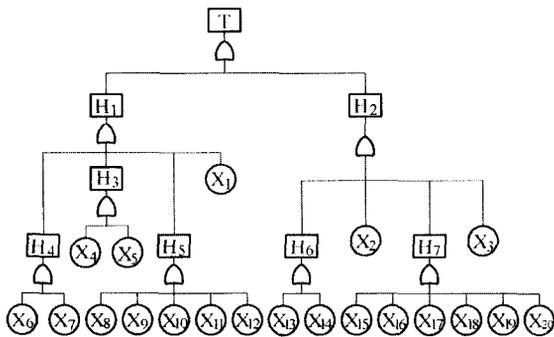


图2 故障树

故障树符号代码如下:T为液压系统故障,H₁为柴油机启动马达不工作,H₂为冷却风扇马达不工作,H₃为启动马达故障,H₄为启动马达压力不足,H₅为启动马达流量不足,H₆为风扇马达压力不足,H₇为风扇马达流量不足,X₁为液压油污染,X₂为风扇马达故障,X₃为液压油污染,X₄为主启动马达故障,X₅为备用启动马达故障,X₆为启动压力阀故障,X₇为定量泵压力不足,X₈为高压过滤器故障,X₉为油箱的损坏,X₁₀为单向阀弹簧故障,X₁₁为换向阀故障,X₁₂为定量泵导致流量不足,X₁₃冲洗阀弹簧故障,X₁₄为变量泵压力不足,X₁₅为变量泵流量不足,X₁₆为油箱的损坏,X₁₇为低油过滤器故障,X₁₈为节温器故障,X₁₉为单向阀故障,X₂₀为高压过滤器故障。

2 液压系统的故障树分析

故障树分析法是一种需要整体、综合、定量地考虑系统故障的一种方法。故障树分析主要有两部分:一是液压系统的定性分析;二是液压系统的定量分析,它们都是故障树分析的重要组成部分。

2.1 液压系统故障树的定性分析

定性分析从数学上说就是找出导致工作液压系统故障的故障树的全部最小割集,计算出系统出现故障事件多少种可能性。定性分析有上行法和下行法两种方法,本文采用上行法对液压系统故障树求解最小

割集。

$$T = H_1 \cup H_2, H_1 = X_1 \cup H_3 \cup H_4$$

$$H_2 = H_6 \cup H_7 \cup X_2 \cup X_3$$

$$H_3 = X_4 + X_5$$

$$H_4 = X_6 \cup X_7$$

$$H_5 = X_8 \cup X_9 \cup X_{10} \cup X_{11} \cup X_{12}$$

$$H_6 = X_{13} \cup X_{14}$$

$$H_7 = X_{15} \cup X_{16} \cup X_{17} \cup X_{18} \cup X_{19} \cup X_{20}$$

根据上面计算可以得到

$$T = H_1 \cup H_2$$

$$= (X_4 + X_5)(X_1 \cdot X_6 \cdots X_{12})(X_2 \cdot X_3 \cdot X_{13} \cdots X_{20})$$

因此,得到最小割集为{ X₄, X₅}, { X₁, X₆⋯X₁₂}, {X₂,

X₃, X₁₃⋯X₂₀}从定性分析可看出,液压系统是一个串并联系统,由两个元件并联和多个单元串联而成,并且串联单元比较多。串联系统的底事件数目过多是导致系统故障的影响因素多的主要原因,其主要的影是降低了系统的可靠性,由于每台设备的成本有限制,在设备承受的价格成本之内,应多增加并联系统,并利用贮备系统。

2.2 液压系统故障树的定量分析

故障树的定量分析是依据故障树中各种事件发生的概率,计算出顶事件的发生概率。故障树的定量分析主要包括求顶事件的发生概率和底事件的重要度。

1)底事件结构重要度分析

液压系统是由一个或门结构和与门结构组成。因此,可以得到:

$$X_4 \text{ 和 } X_5 \text{ 的结构重要度} = 2^{1-2} = 1/4$$

$$\text{其余底事件的结构重要度} = 2^{1-16} = 1/2^{15}$$

2)顶事件的失效率和可靠度

本文所建系统的故障树一共由 20 个底事件构成,底事件的失效率如表 1 所示。

作如下设定,计算可靠度等的相关数据,如表 1 所示。

(1)设定压裂车的大修周期为 2 次/年。

(2)压裂车的液压系统连续的工作时间为 2000h/年。

(3)每个有效周期内的工作时间 100h。

首先计算最小割集的不可靠度:

$$Q_1 = 0.999\ 57 \times 0.999\ 57 = 1.85E-7$$

$$Q_2 = 0.062 + 0.000\ 57 + 0.001\ 8 + 0.000\ 04 + 0.000\ 15$$

$$+ 0.000\ 5 + 0.001\ 1 + 0.002$$

$$= 0.068\ 66$$

$$Q_3 = 0.069\ 1$$

容斥定理部分项法计算公式为

$$S_i = \sum_{1 \leq j_1 < \dots < j_i \leq 3} Q(C_i)$$

$$Q_s = \sum_{i=1}^{13} (-1)^{i-1} S_i$$

其中, C_i 为底事件, Q_i 为最小割集的不可靠度。采用前两项近似法, 对顶事件进行近似计算,

$$S_1 = \sum_{1 \leq j_1 \leq 3} Q(C_i) = (1.85E-7) + 0.06866 + 0.0691$$

$$= 0.1378$$

$$S_2 = \sum_{1 \leq j_1 \leq j_2 \leq 3} Q(C_i) = (1.85E-7) \times 0.06866$$

$$+ (1.85E-7) \times 0.0691 + 0.06866 \times 0.0691$$

$$= 0.0047$$

$$Q_s = S_1 - S_2/2 = 0.1354$$

由定量计算可知, 压裂车的液压系统的不可靠度为 0.1354, 液压系统中有很多串联的底事件, 会提高造成了液压系统的不可靠性, 同时也能发现备用的启动马达在一定的程度上提高了液压系统的可靠性。

表 1 底事件的故障数据

序号	底事件的名称	数量	底事件的失效率/ $10^{-6} \cdot h^{-1}$	不可靠度
1	液压油污染	1	640	0.062
2	风扇马达故障	1	4.3	0.00043
3	液压油污染	1	640	0.062
4	主启动马达故障	1	4.3	0.00043
5	备用启动马达故障	1	4.3	0.00043
6	启动压力阀故障	1	5.7	0.00057
7	定量泵压力不足	1	18	0.0018
8	高压过滤器故障	1	0.4	0.00004
9	油箱的损坏	1	1.5	0.00015
10	单向阀弹簧故障	1	5	0.0005
11	换向阀故障	1	11	0.0011
12	定量泵导致流量不足	1	20	0.002
13	冲洗阀弹簧故障	1	5	0.0005
14	变量泵压力不足	1	20	0.002
15	变量泵流量不足	1	25	0.0025
16	油箱的损坏	1	1.5	0.00015
17	低油过滤器故障	2	0.4	0.00008
18	节温器故障	1	4	0.0004
19	单向阀故障	2	5	0.001
12	高压过滤器故障	1	0.4	0.00004

2.3 提高可靠性的措施

由计算可得, 压裂车的液压系统的不可靠度为 0.1354, 从而获得液压系统可靠度为 0.8646, 由于压裂车是高压作业, 在现场调试和工作的時候, 输出的水基液压力达到 120MPa, 一旦出现故障, 会的造成井口崩开, 损坏油井, 甚至伤人。因此采用如下措施:

(1) 降低一个周期中的有效工作时间为 80h, 再次经过上面的计算, 得到液压系统的可靠度为 0.9055。在现场压裂生产中, 压裂机组的压裂车都会有一台作为备用, 该备用压裂车的作用是防止压裂机组中的某台压裂车因工作时间太长和突然出现故障, 从而提高压裂机组的可靠性。

(2) 每次工作周期后, 对液压油进行检测, 如果液压油清洁度不够, 及时进行清理, 并更换过滤器滤芯。

(3) 针对表 1 中不可靠度高的故障, 不定期地进行检查, 尽早发现故障, 排除故障。

该压裂车经过现场的调试和施工作业, 采用上面的措施后, 因液压系统故障造成压裂车不能工作的情况, 明显减少, 液压发生故障的频率由每 3 个月一次, 变成每半年一次, 因此提高了压裂车的使用效率。

3 结论

(1) 故障树分析法是图形演绎法的一种, 是一种故障分析的有效方法。

(2) 以液压系统故障为顶事件, 构建了故障树, 进行定性和定量的分析, 从而找出造成故障的因素, 为压裂车液压系统的生产和故障诊断研究提供理论依据, 并采取一定措施, 提高液压系统的可靠性。

参考文献

- [1] 赵静一, 王益群, 等. 液压机液压系统的可靠度预计软件开发[J]. 液压气动与密封, 2001, (5): 9-12.
- [2] 李何清, 谭青, 等. 25 吨轮胎起重机液压系统可靠性分析[J]. 液压与气动, 2007, (5).
- [3] 候惠萍, 刘混举, 等. 基于故障树的掘进机液压系统可靠性仿真分析[J]. 液压与气动, 2003, (4): 79-81.
- [4] 王军峰, 孙由啸, 等. 900 t 提梁机液压卷扬系统的故障树分析[J]. 机床与液压, 2011, (8): 16-18.
- [5] 姜星胃. 可靠性工程技术[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 2005.
- [6] 李文杰, 张光函. 风挡玻璃成型加工电液加载控制系统的可靠性[J]. 机床与液压, 1997, (6): 43-45.
- [7] 周爱萍, 王显会. 大型特种车辆液压系统的故障树分析研究[J]. 液压气动与密封, 2010, (11): 55-58.
- [8] 吴兵, 林少芬. 基于故障树的卷板机液压系统可靠性研究[J]. 机床与液压, 2011, (19).
- [9] 刘宗恩, 韩兵奇, 张坤. 油气井防砂冲蚀试验装置[J]. 液压气动与密封, 2015, (6).
- [10] 马晓伟, 等. 基于 ADAMS 的压裂车三缸泵振动分析[J]. 机电工程, 2014, (11).
- [11] 周爱萍, 王显会. 大型特种车辆液压系统的故障树分析研究[J]. 液压气动与密封, 2010, (11).