

重型锻造液压机状态分析与故障诊断系统

刘 涛¹, 赵 华¹, 计 鑫², 张 胜³, 宋彦彦¹, 李 丽⁴

(1. 机械工业仪器仪表综合技术经济研究所, 北京 100055; 2. 天津市天锻压力机有限公司, 天津 300142;

3. 机科发展科技股份有限公司, 北京 100044; 4. 北京科技成果转化服务中心, 北京 100051)

摘要: 针对重型锻造液压机故障诊断难度较大, 以及传统诊断方式费时费力、排查周期较长、只能定性分析、故障原因诊断不准确的问题, 提出了一种基于制造知识的重型锻造液压机状态分析与故障诊断方法, 给出了故障诊断流程和分析方法选取方式。并以滑块无法回程故障为例, 说明了故障树测试步骤, 以及在故障树的引导下, 故障原因的检查过程。最终, 将重型锻造液压机的故障树等级分为4级, 并给出了每一等级的危害以及处理方式和方法, 实现了重型锻造液压机远程运维中故障的快速识别与诊断分析。

关键词: 锻造液压机; 状态分析; 故障诊断; 数据采集; 智能化

DOI: 10.13330/j.issn.1000-3940.2023.03.027

中图分类号: TP277

文献标志码: A

文章编号: 1000-3940 (2023) 03-0187-06

State analysis and fault diagnosis systems on heavy forging hydraulic press

Liu Tao¹, Zhao Hua¹, Ji Xin², Zhang Sheng³, Song Yanyan¹, Li Li⁴

(1. Instrumentation Technology and Economy Institute, Beijing 100055, China;

2. Tianjin Tianduan Hydraulic Press Co., Ltd., Tianjin 300142, China;

3. Machinery Technology Development Co., Ltd., Beijing 100044, China;

4. Beijing Scientific and Technological Achievements Transformation Service Center, Beijing 100051, China)

Abstract: Aiming at the problems of difficult fault diagnosis for heavy forging hydraulic press, as well as the problems of time-consuming and laborious, long troubleshooting cycle, only qualitative analysis and inaccurate fault cause diagnosis for traditional diagnosis methods, a method of state analysis and fault diagnosis for heavy forging hydraulic press based on manufacturing knowledge was proposed, and the fault diagnosis process and selection method of analysis method were given. Taking the failure of slider unable to return as an example, the test steps of fault tree and the inspection process of fault cause under the guidance of fault tree were explained. Finally, the fault tree level of heavy forging hydraulic press was divided into four levels, and the hazard of each level and the handling methods and methods were given, so as to realize the rapid identification and diagnosis analysis of faults in the remote operation and maintenance of heavy forging hydraulic press.

Key words: forging hydraulic press; state analysis; fault diagnosis; data acquisition; intellectualization

重型锻造液压机是航空航天、核电、超临界和联合循环发电、海洋工程等领域装备技术发展的助推器, 在国民经济和国防安全中起着重要的保障作用^[1-2]。实现重型锻造液压机的智能运维是确保重型锻造生产过程安全可靠的重要手段, 也是加快锻造装备产业向智能化和服务型升级的必经之路^[1-4]。

重型锻造液压机的加工对象价值高, 装备故障造成产品报废所导致的经济损失巨大, 因此, 装备健康保障重要且迫切; 然而, 重型锻造液压机涉及机械、液压、控制、传感和信息技术等复杂系统, 采用传统的事后维修和定期维修方式保障其健康可靠对人员和资金的投入有极高的要求, 用户与设备供应商均难以负担^[5-9]。近年来, 融合物联网等技术的视情维修为重型锻造液压机运维提供了新的思路。

本文集合专家和技术人员的运维知识和经验, 凝练了统一完善的数字化的故障知识和解决办法, 提出一种基于制造知识的重型锻造液压机状态分析与故障诊断方法, 设计了重型锻造液压机状态分析与故障诊

收稿日期: 2022-05-09; 修订日期: 2022-08-13

基金项目: 民机预研项目

作者简介: 刘 涛 (1971-), 男, 硕士, 高级工程师

E-mail: liutao@instrnet.com

通信作者: 赵 华 (1987-), 女, 硕士, 高级工程师

E-mail: amyzhao@instrnet.com

断系统,实现了重型锻造液压机远程运维中故障的快速识别与诊断分析,并可提出维修维护措施。

1 故障诊断流程

重型锻造液压机故障诊断流程如图 1 所示,需要满足如下内容。

(1) 重型锻造液压机的机械结构数据、液压系统数据和电控系统数据经过预处理后传输至状态分析与故障诊断系统。

(2) 系统平台进行实时数据采集,对不同时刻

的信息样本进行跟踪分析,动态地反映出装备运行状态的劣化发展和变化过程,及时发现运行过程中出现的故障。

(3) 重型锻造液压机运行过程中出现故障后,针对设备多类故障劣化发展特点与其表现的不同形式,在故障的发展过程中进行劣化程度的分析与预估,选取合适的方法进行故障诊断。

(4) 根据故障现象与故障关系是否明确,进行检索判断。

(5) 系统向用户提供不断更新的故障处理办法和建议。

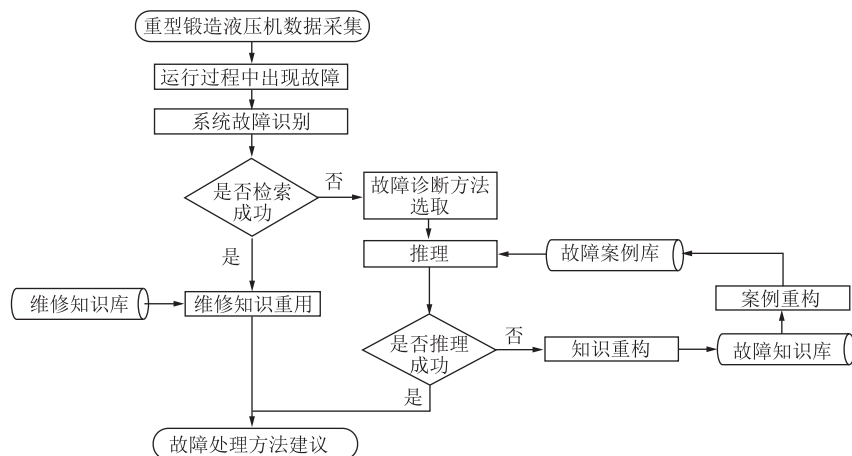


图 1 故障诊断流程

Fig. 1 Fault diagnosis process

2 故障诊断方法选取

重型锻造液压机的故障诊断方法采用基于模型驱动的分析方法和基于数据驱动的分析方法^[10]。故障诊断方法的选择主要依赖于条件传感器布置的合理程度及其数据采集的精准程度、故障部件的复杂性和故障模型的准确程度、装备在正常运行和故障情况下的运行数据充分程度、终端用户的认知程度。故障诊断选取方式如图 2 所示。

以 100 MN 锻造液压机的滑块无法回程的故障为例^[11-12],故障诊断方法可采用基于模型驱动的分析方法和基于数据驱动的分析方法。图 3 为系统的报警规则选取界面。

位置传感器可采集滑块的位置数据,用户点击动滑块回程按钮后可编程逻辑控制器(Programmable Logic Controller, PLC)可判断滑块未在规定时间内回程(正常运行和故障情况下的运行数据充分程度),用户也可在故障诊断界面上(图 4)直观地

看到该故障,同时采用故障树诊断方法进行故障诊断。

3 典型案例

本文以滑块无法回程的故障作为典型案例进行分析。图 5 为滑块无法回程的故障库举例。

在现场测试阶段,按照如下步骤测试故障树。

(1) 点击动滑块回程按钮,滑块可以正常回程。图 6 为滑块运行正常情况下的状态。

(2) 人工制造一个故障。

(3) 点击动滑块回程按钮,滑块无法回程,同时产生了滑块无法回程的报警,如图 7 所示。

(4) 根据故障树的引导,测试滑块无法回程故障的原因,进行排查。

故障原因排查步骤如下。

(a) 首先检查重型锻造液压机 HMI 界面的互锁条件是否满足滑块回程的条件(图 8)。基础事件为:互锁条件。控制标准为:互锁条件画面中滑块

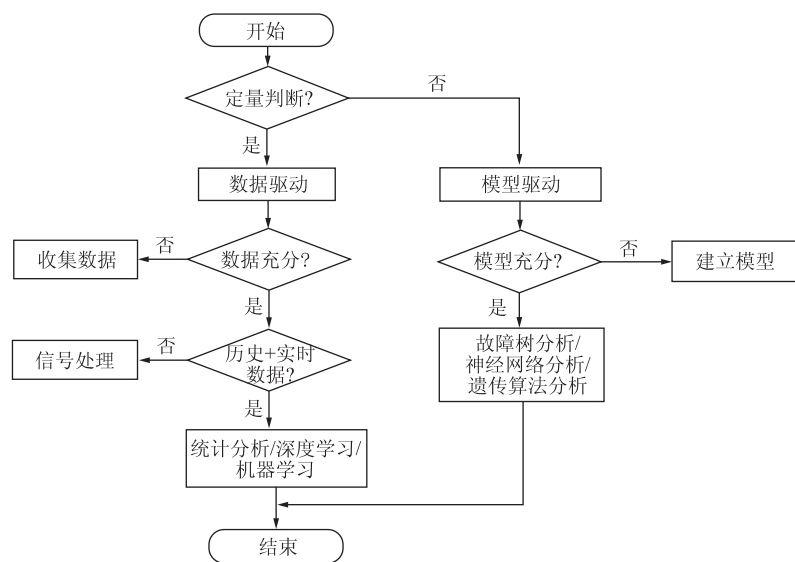


图 2 故障诊断选取方式
Fig. 2 Selection mode of fault diagnosis



图 3 报警规则选取界面
Fig. 3 Alarm rule selection interface

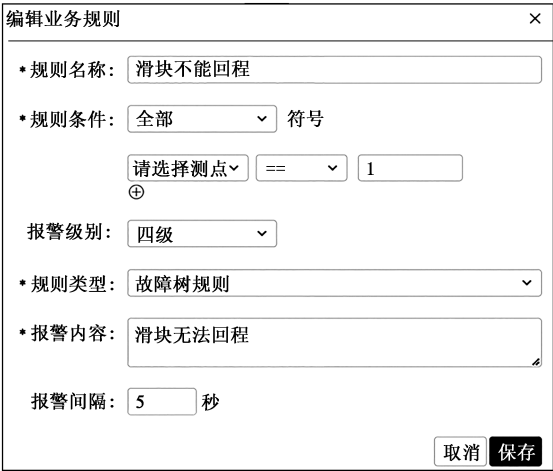


图 4 滑块无法回程故障诊断界面
Fig. 4 Fault diagnosis interface of slider failing to return

回程动作的所有条件均满足后，滑块回程允许条件变成绿色。控制措施为：检查互锁条件画面中滑块回程动作的相关互锁条件是否满足。

经过检查发现，滑块回程的互锁条件满足要求，滑块回程允许指示灯也为绿色，如图 9 所示，进入后续的检测。

(b) 检查配方参数是否满足滑块回程的要求，如图 10 所示。基础事件为：配方参数。控制标准为：工艺配方参数设置无误，满足滑块回程条件。控制措施为：检查工艺参数设置是否正确。

经检查配方参数，滑块的实际位置为 2237.5 mm，设置回程停止位置为 3900.0 mm，因此，配方参数设置正常，如图 11 所示。进入下一步的排查工作。

(c) 检查回油管路，如图 12 所示。基础事件

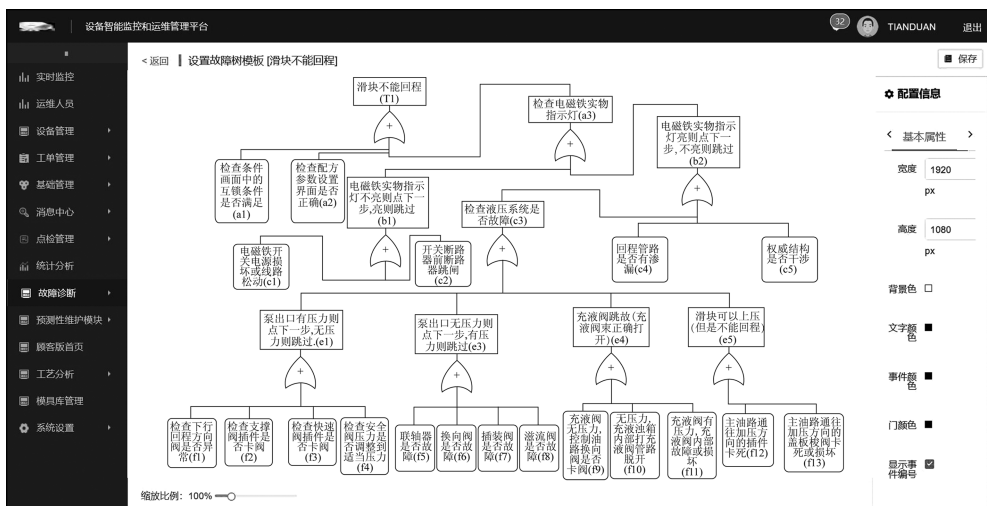


图 5 滑块无法回程的故障库举例

Fig. 5 Examples of fault libraries for slider failing to return



图 6 滑块运行正常情况下的状态

Fig. 6 State of slider under normal running condition

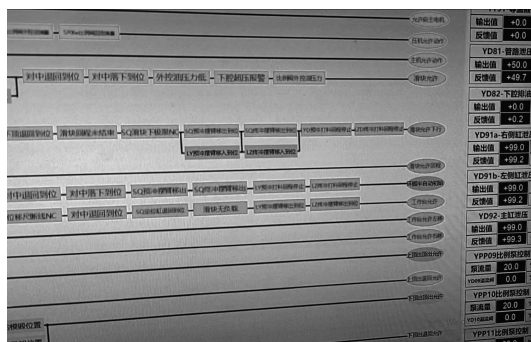


图 9 滑块回程条件满足界面

Fig. 9 Interface of slider meeting return condition

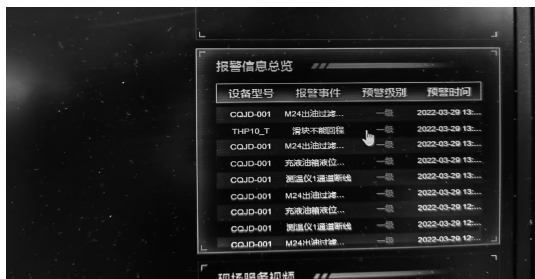


图 7 滑块无法回程的平台界面报警

Fig. 7 Platform interface alarm of slider failing to return



图 10 配方参数基础事件界面

Fig. 10 Basic event interface of formula parameters

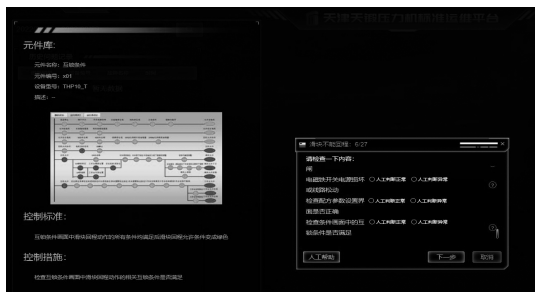


图 8 互锁条件基础事件界面

Fig. 8 Basic event interface of interlocking condition

为：回油管路。控制标准为：回程管路无渗漏。控制措施为：检查回程管路的渗漏情况。

回油管路经过巡查后，未发现异常。进入后续的排查操作。

(d) 检查电磁铁实物，指示灯不亮，则检查电气控制回路，电磁铁吸合正常，则进入后续的排查工作。经检查电磁铁吸合正常，需要进行后续的排查工作。



图 11 配方参数设置正常界面

Fig. 11 Formula parameter interface under normal setting



图 12 回油管路基础事件界面

Fig. 12 Basic event interface of oil return pipeline

(e) 系统提示为: 检查泵出口是否有压力, 经过检查发现泵出口有压力, 则点下一步进入后续的检查。

(f) 检查主管路加压方向阀, 如图 13 所示。基础事件为: 主管路加压方向阀。控制标准为: 主管路通往加压方向的插件正常。控制措施为: 拆开主管路加压方向阀, 检查其插件是否卡死。

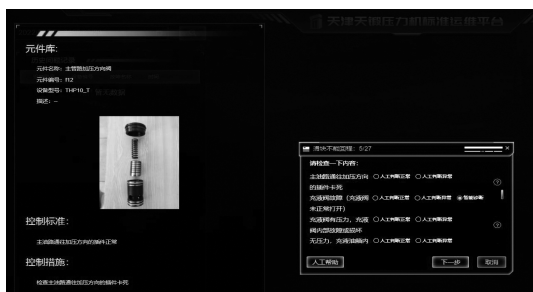


图 13 主管路加压方向阀插件基础事件界面

Fig. 13 Basic event interface of main pipeline pressure direction valve plug-in

经过检查发现主管路加压方向阀正常, 进入下一步排查操作。

(g) 检查下行回程方向阀, 如图 14 所示。基础事件为: 下行回程方向阀。控制标准为: 下行回程方向阀换向正常、线路正常。控制措施为: 检查是

否正常换向; 检查两个插装阀的阀芯是否灵活开启和关闭, 盖板油路是否正常, 阻尼孔是否堵塞, 梭阀是否卡阀; 检查线缆是否正常。



图 14 下行回程方向阀基础事件界面

Fig. 14 Basic event interface of downstream return direction valve

经过检查发现之前输入的故障, 电磁铁被拔掉, 如图 15 所示。

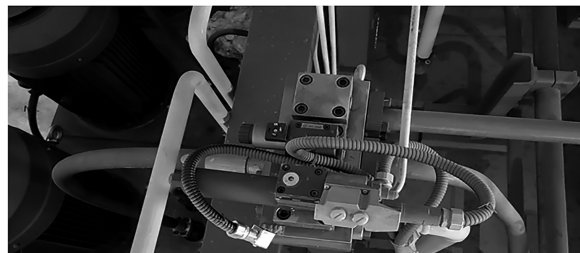


图 15 故障点

Fig. 15 Point of fault

(5) 将电磁铁修复后, 滑块能够继续工作。整个故障诊断过程结束。

除了滑块无法回程的故障树以外, 已经建立了“滑块无法加压”、“滑块无法下行”、“移动工作台无法顶起动作”、“移动工作台无法落下”、“移动工作台无法移动”、“安全插销故障”和“顶出装置故障”等故障树。后续还会根据不同系类的锻造液压机的特点建立其特有部件的故障树。

4 故障等级

重型锻造液压机按照故障的风险、可能引起设备的失效程度及性能和功能的劣化程度以及对人员生命或肢体损伤程度等将故障等级共分为 4 级。故障等级划分见表 1。

5 结语

重型锻造液压机被广泛应用于航天航空等领域,

表 1 故障等级划分
Table 1 Classification of faults

故障等级	一级故障	二级故障	三级故障	四级故障
风险	高	高	中	低
失效程度	高	中	中	低
人员损害程度	大	大	中	小
性能和功能劣化	系统级	系统级	部件级	部件级
处理方式	系统自动处理	系统自动处理	系统自动处理	系统提示, 人工处理
处理办法	需切断设备所有运动部件动作, 关闭主动力电机以及油泵, 关闭辅助控制电机以及油泵, 关闭冷却电机以及油泵, 仅保留电气控制回路和控制器正常工作	需切断设备所有运动部件动作, 关闭主动力电机以及油泵, 保留辅助控制电机以及油泵、冷却电机以及油泵、电气控制回路和控制器正常工作	需切断设备故障部件, 保留正常工作部件动作, 主动力电机以及油泵、辅助控制电机以及油泵、冷却电机以及油泵、电气控制回路和控制器正常工作	保留设备动作部件, 保留主动力电机以及油泵, 辅助控制电机以及油泵、冷却电机以及油泵、电气控制回路和控制器正常工作。部分警告长期存在时进入更高级别报警

组成部件繁多、制造工艺复杂, 故障诊断难度较大, 传统诊断过程要求具有专业基础知识和较强分析能力的不同学科多名高级技术人员参与, 方可保证诊断的效率和准确性, 但这种诊断方式费时费力, 排查周期较长, 且只能定性分析, 故障原因诊断不够准确。本文介绍的重型锻造液压机故障诊断系统, 可代替专业技术人员进行故障诊断, 加强了对液压机的运行数据分析能力, 减小液压机的运行故障率, 提高液压机设备智能化、数字化水平。

参考文献:

[1] 郑文达, 权晓惠, 李俊辉. 锻造液压机的现状及其展望 [J]. 重型机械, 2012, (3): 2-10.
Zheng W D, Quan X H, Li J H. Development history and trend of forging hydraulic press [J]. Heavy Machinery, 2012, (3): 2-10.

[2] 刘社英, 张宏. 浅谈我国锻造液压机的发展过程和发展趋势 [J]. 液压气动与密封, 2010, 30 (9): 1-4.
Liu S Y, Zhang H. Discussion on the development process of forging hydraulic press and trends [J]. Hydraulics Pneumatics & Seals, 2010, 30 (9): 1-4.

[3] 木青峰, 余心宏, 李伟伟. 精密锻造设备研究现状及发展趋势 [J]. 精密成形工程, 2015, 7 (6): 52-57.
Mu Q F, Yu X H, Li W W. Current situation and development trend of advanced precision forging equipment [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2015, 7 (6): 52-57.

[4] 牛勇, 权晓惠, 张营杰, 等. 现代自由锻造装备技术研究现状与发展趋势 [J]. 精密成形工程, 2015, 7 (6): 17-24.
Niu Y, Quan X H, Zhang Y J, et al. Current development of free forging equipment [J]. Journal of Netshape Forming Engineering, 2015, 7 (6): 17-24.

[5] 郭文行. 基于 web 的锻造液压机远程监测与诊断系统研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
Guo W X. Research on Web-based Remote Monitoring and Diagno-

sis System for Forging Hydraulic Press [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2014.

[6] 刘永平, 陈明伦. 16 MN 快速锻造液压机组液压系统故障诊断 [J]. 现代制造技术与装备, 2020, (1): 117-118.
Liu Y P, Chen M L. Fault diagnosis of hydraulic system of 16 MN rapid forging hydraulic unit [J]. Modern Manufacturing Technology and Equipment, 2020, (1): 117-118.

[7] 鲁苗, 陈柏金, 柳龙, 等. 泵控锻造液压机控制系统研究 [J]. 锻压技术, 2021, 46 (7): 140-145.
Lu M, Chen B J, Liu L, et al. Research on control system of pump-controlled forging hydraulic press [J]. Forging & Stamping Technology, 2021, 46 (7): 140-145.

[8] 赵华, 孟祥懿, 宋彦彦. 一种锻造液压机远程故障诊断系统 [J]. 机械设计, 2021, 38 (S1): 317-320.
Zhao H, Meng X Y, Song Y Y. A remote fault diagnosis system for forging hydraulic press [J]. Journal of Machine Design, 2021, 38 (S1): 317-320.

[9] 赵华, 计鑫, 张胜, 等. 基于故障树 (FTA) 的重型液压机故障诊断系统设计 [J]. 自动化与仪器仪表, 2020, (9): 79-83.
Zhao H, Ji X, Zhang S, et al. Fault diagnosis system design of heavy hydraulic press based on FTA [J]. Automation & Instrumentation, 2020, (9): 79-83.

[10] 赵文浩, 阎威武. 基于数据驱动的故障诊断研究 [J]. 微计算机信息, 2010, 26 (28): 104-106.
Zhao W H, Yan W W. Research on fault diagnosis based on data-driven [J]. Microcomputer Information, 2010, 26 (28): 104-106.

[11] 刘占稳. 100 MN 等温锻造液压机有限元结构分析与优化 [D]. 天津: 天津大学, 2008.
Liu Z W. The FE Structural Analysis and Optimization of 100 MN Isothermal Forging Hydraulic Press [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008.

[12] 王鑫, 李明珠. 重型等温锻造液压机结构概述 [J]. 机械设计, 2019, 36 (S1): 353-355.
Wang X, Li M Z. Summary of the structure of heavy isothermal forging hydraulic press [J]. Journal of Machine Design, 2019, 36 (S1): 353-355.