

[变压器]

海上平台干式变压器故障筛选研究

文/季国宾 梁 强 张 慧 姚长龙 李冬翌
中海油能源发展装备技术有限公司

采用典型故障分析方法研究了导致干式变压器故障的因素，结合变压器运行环境、运行经历、检修状况、定检试验、在线监测和运行工况等相关数据，定性分析了变压器发生故障的原因和相关影响因素。归纳总结了变压器的故障类型集和故障树，对以后变压器的故障诊断提供了依据。

海洋石油平台电力系统运行方式与一般陆地电力系统存在着较大的差异，海洋石油平台供电处于孤岛模式，通常使用单端电源供电，由于系统容量小，稳定性相对脆弱，且易于遭受各种外部因素的影响，因此供电安全性也相对较低。其中，干式变压器是平台生产供电设备的重要环节，目前在海上石油平台的使用范围较为广泛，由于变压器在海上电力系统中具有停电检修机会较小且不能长时间停用的特点，因此需要采取有效的对策对干式变压器的故障进行分析，确保干式变压器能更好地服务配电系统，保障生产的顺利运行。

变压器故障分析方法

为了正确地对变压器故障进行分析，尽可能全面地收集了有关海上平台干式变压器故障的各种信息及设备的运行经历，包括设备的铭牌信息、交接试验、预防性试验、巡检结果、检修记录、在线监测、运行工况及运行环境数据等。以数据为基础，结合专家系统、故障树分析和置信推理等技术手段，模仿人类专家在故障诊断过程中采用的层次渐进的思维方式，完成海上石油平台干式变压器故障的分析与研究。本文采用了以下两种分析方法。

1. 故障模式分析方法

故障模式分析方法（Fault Mode and Effect Analysis, FMEA）。对设备的故障类型及故障所

产生的现象进行分类、判断、比对和综合分析的一种设备故障分析方法，能够比较全面地对设备的各类风险缺陷进行分析与归纳，从而得出设备的故障模式，指导设备的故障筛选及故障检修。故障模式分析方法能够有效地对设备缺陷进行分析，加强人员对故障的认识和防范意识，避免设备事故的发生。

2. 故障树分析方法

故障树分析方法（Fault Tree Analysis, FTA）。以树状的方式对设备故障原因进行分级梳理，从整体到各个部件形成故障树。该方法以设备最直观的故障现象为基准，对产生该现象的原因进行分析，再对产生该现象的次级和再次级原因逐级向下进行梳理和分解，直到找出产生故障的全部原因或影响这一现象的全部因素。按照该方法能够清晰地梳理出现象与故障之间的关联，指导人员对故障的根本原因进行剖析并解决。

变压器故障类型筛选

进行海上平台电气设备典型故障的总结与整理归集，全面搜集典型故障案例及缺陷记录，建立高内聚低耦合的典型故障模式信息库。

1. 数据范围

尽可能全面地收集有关电气设备的各种信息及干式变压器的运行经历，干式变压器特征状态量主

要来源于：铭牌信息、运行环境、运行经历、检修状况、定检试验、在线监测结果和运行工况等。

1) 出厂数据。包含设备的电压等级、设备型号、制造厂、出厂日期等基础参数以及出厂试验、型式试验数据。

2) 交接、调试、试运行和考核期数据。主要包括交接试验、调试及测试数据、试运行记录和考核期记录等相关的记录和材料。

3) 实时运行数据。监测系统实时数据（如局部放电在线监测数据、热成像在线监测数据）、系统运行工况信息（如人工客户端填报数据）。

4) 检试数据。各级巡视（据调研情况，如人工红外、定期的紫外电晕监测、定期的铁心接地电流检测等），检修和带电测量（据调研情况，如定期的局放测量等）及预防性试验数据，包括检修、预试、继保、直流、远动自动化、巡视和带电测量等数据。

5) 其他信息。反映设备运行工况的图形信息，如红外测温图、历史故障照片及相关图档资料等，包括各类缺陷信息（含家族性缺陷信息）、技改信息等。

2. 筛选方法

海上平台干式变压器的故障类型主要源于对于干式变压器失效机理试验研究、典型故障的记录、缺陷记录及相关的标准规程，并结合相关的导则和试验规程，对海上干式变压器的全维度数据进行技术筛选。

依托于课题针对海上平台干式变压器失效机理研究结果、相关规程、故障案例和缺陷记录，进行专业分析提取，并组建不同的典型故障树。

结合设备诊断的需要，鉴于故障树分析具有全面反映系统故障关系的特点，分析结果明晰，具有良好的扩展性，是收集和记录相关经验性知识的良好途径。因此，以故障树为基础，实现对电力设备典型故障类型的组织，从而达到故障类型相对全面、逻辑关系又较为清晰的目的。

3. 筛选结果

海上平台干式变压器的典型故障类型提取主要按照干式变压器的不同部件进行分类，提取的结果包括干式变压器的载流部分、铁心、有载分接开关和冷却系统四个部分。在充分了解设备故障类型的

基础上，通过故障树分析构建了体现故障间因果关系的树形结构。提取的干式变压器典型故障类型集见表1。

表1 变压器故障模式筛选结果

部件名称	故障模式	子故障模式
载流系统	绕组故障	绕组短路
		绕组断路
		绕组过热
		绕组连接不良
		绕组绝缘老化
		绕组绝缘开裂
		绕组绝缘受潮
		绕组绝缘局部放电
	引线故障	引线放电
		引线焊接不良
铁心	铁心本体故障	铁心多点接地
		铁心对地绝缘电阻不良
		铁心短路
		铁心松动
有载分接开关	机械故障	开关连动（滑档）
		切换开关故障
		开关动静触头接触不良
		开关分接档位接错
		选择开关限位失灵
		开关拒动作
	电气故障	选择开关绝缘异常
		绝缘放电故障
冷却系统	风机故障	开关爬电故障
		风机运行故障
	控制系统故障	冷却效率低
		温控运行故障

变压器故障树

对于干式变压器的各故障类型进行分析归纳，并形成故障树，主树如图1所示。主树由四个子树组成，分别为载流系统故障、铁心故障、有载分接开关故障和冷却系统故障。

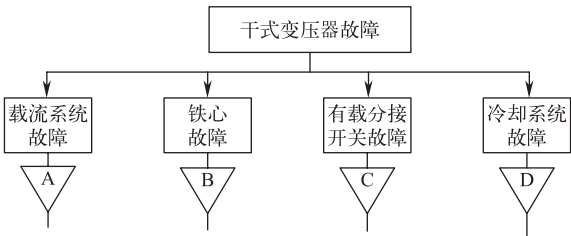


图1 干式变压器故障树主树

对四个子树进行详细的构建，图2～图5为故障子树、有载分接开关故障子树和冷却系统故障据故障树结构构建的载流系统故障子树、铁心故障子树。

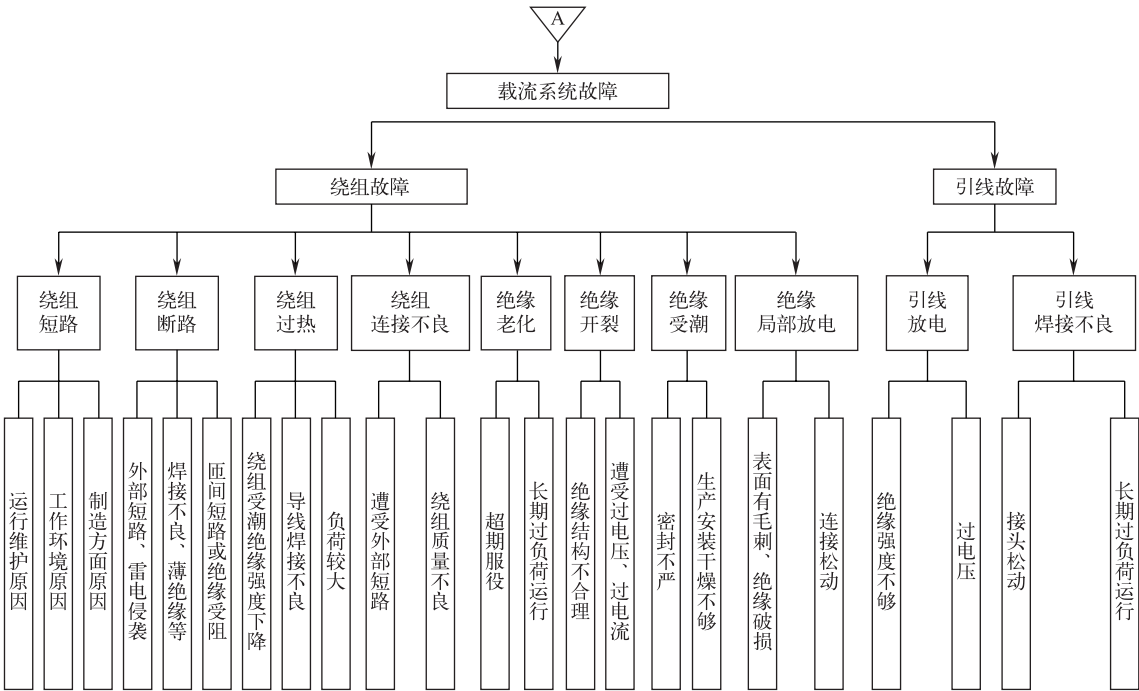


图2 干式变压器载流系统故障子树A

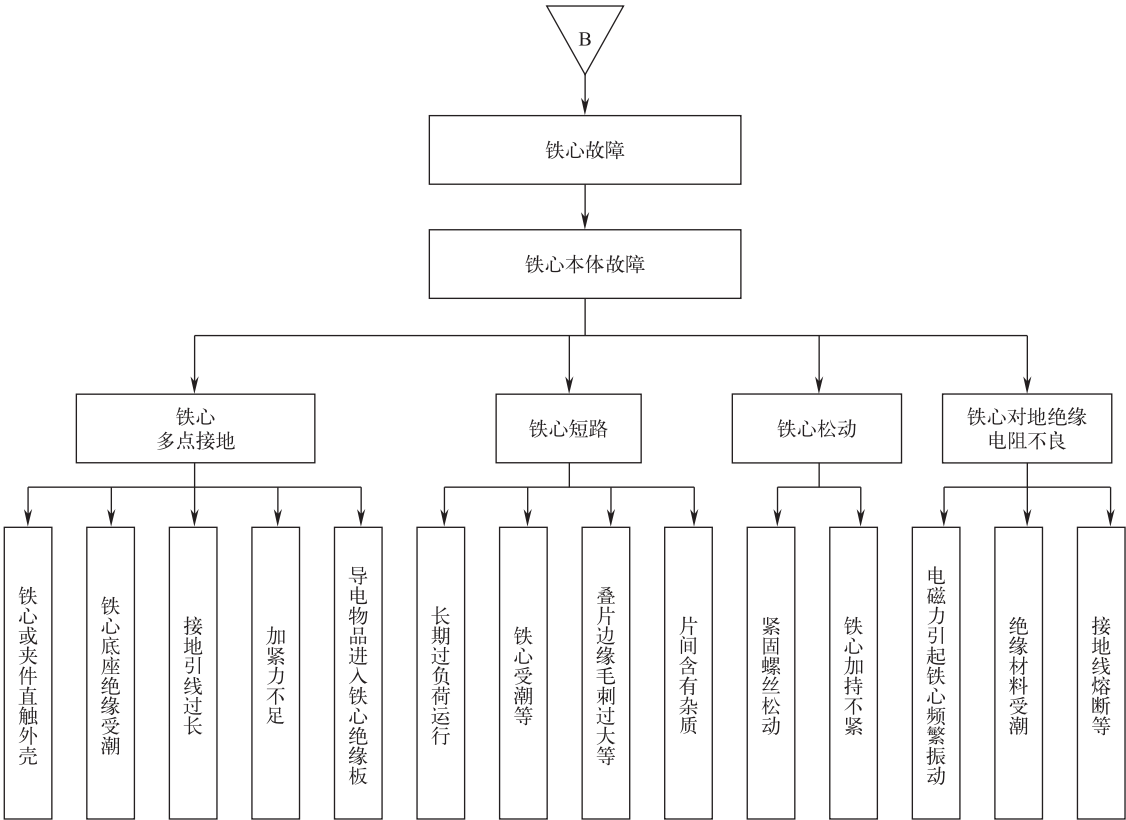


图3 干式变压器铁心故障子树B

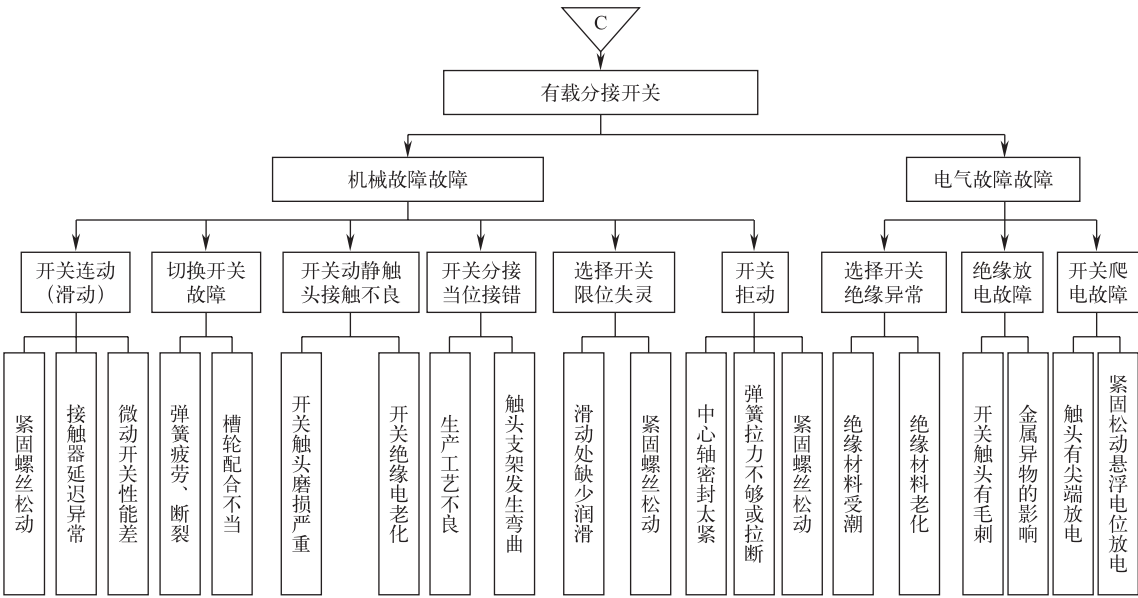


图4 干式变压器有载分接开关故障子树C

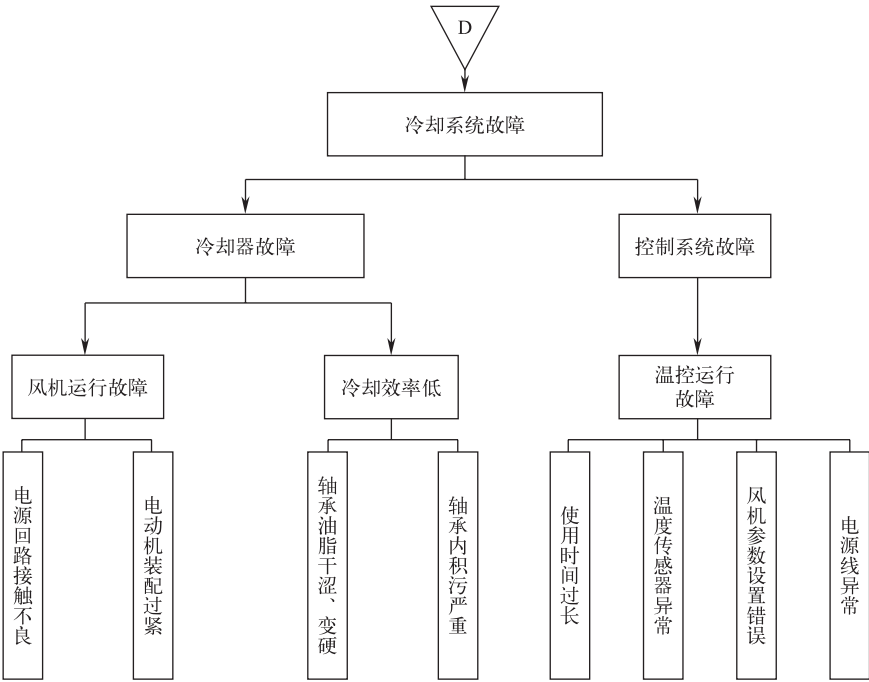


图5 干式变压器冷却系统故障子树D

结束语

通过故障模式分析和故障树分析等方法，定性地分析出设备发生典型故障的原因和影响因素之间的关联关系。通过本文的研究成果可以分析出不同的因素施加在变压器上会导致哪些种类的典型故障，这些因素的剧烈程度对典型故障的发生有何影响，是否促进故障的发生。通过从典型故障到影响

因素以及影响因素到典型故障双向推理分析，实现设备特征状态量集和故障模式集两个集合中的各个元素的关联性分析，确定影响变压器典型故障的因素有哪些及这些因素的重要程度，为干式变压器的故障诊断提供依据。EA

(收稿日期：2022-11-18)