

基于改进鱼骨图的加油船变压器 事故隐患分析

在传统鱼骨图的基础上结合层次分析法对其加以改进和优化, 从而对事故的因果关系能够在原先定性分析的基础上, 实现半定量化的目的, 能够更加清楚地排列出原因的主次, 以及更容易分析影响因素的重要程度, 使结果更加一目了然, 也为后期采取相应的措施提供了便利。与此同时, 加油船变压器作为重要的电气设备, 其能否正常工作决定着用电的可靠性和稳定性, 所以利用改进鱼骨图法分析引发加油船变压器的事故, 对保障用电高效有序地进行具有重要意义。

刘 要 竺柏康/浙江海洋大学

0 引言

鱼骨图 (Fishbone Diagram) 经常应用于质量分析中, 它具有直观、逻辑性强和因果关系明确的特点^[1]。其基本原理是用因果分析的方法, 抓住影响事件发生的主要因素, 对事件的发生过程进行推理判断, 从而得出一定的结论。该图运用分析会的方式, 集思广益, 从影响事件发生的几大因素着手, 形象地描述其因果关系。应用鱼骨图的一般步骤如下:

1) 简洁清楚地体现结果, 即提出将要针对的问题。

2) 说明可能引发问题的原因类别。

3) 按照不同方面找问题产生的原因, 然后画图。

4) 继续寻找更细原因, 画在相应的枝上; 相应一步步地寻找下去, 直到末端原因。

5) 借鉴专业人员的分析结果, 找到主要原因并且进行判断, 对主要原因进一步探讨对策, 采取更加有效的措施,

最后解决“鱼头”问题, 即最终问题。

鱼骨图能够更加准确、具体地查询问题的原因, 也是阐明问题因果关系的一种相当合适的工具, 但是鱼骨图定性地说明引发问题的原因和各方面属性, 并不能说明各种因素对于产生问题的具体重要程度, 对它的研究探讨只确定了它是不是主要因素, 并没有指出某个因素引发问题的严重程度。同时主要因素寻找过程中没有定量的直观体现, 各原因末梢间的关联性很弱, 在一定程度上也许会影响对结果的判断。

1 加油船变压器隐患因素分析

1.1 触电危害

由于变压器电压等级相对比较高, 当前一般使用的变压器等级电压是66 kV、110 kV、220 kV和550 kV, 因此工作人员在对变压器的检修时存在触电危险。例如工作检修时, 相关人员的违章检修, 或未按工作票和操作票进行操作, 没有按照相关规定进行接地就进入工作状态等^[2]。

1.2 火灾爆炸

变压器使用的有机可燃燃料制作基座与绝缘垫层, 同时使用大量的绝缘油, 使用原料的多少程度根据它的容量来确定, 例如2 000 kW的变压器便需要使用2 t的油量、80 kg的纸料和0.024 m³的木材。当变压器超负荷运转, 其内部短路时, 在温度较高或电弧的作用下, 加油船变压器中的有机可燃物会发生分



刘 要/硕士研究生

关键词/Keywords

加油船 ·
改进鱼骨图 ·
变压器 ·
隐患分析 ·

解，产生大量混合物质（包括各种气态物质），导致变压器因内部压力急剧加大甚至爆裂，迸发出的绝缘油加大了火势，导致停电事故的进一步

扩大，给电力网络带来了相当大的不利，采用鱼骨图对油浸式变压器可能产生的火灾爆炸的原因加以讨论，如图1所示。

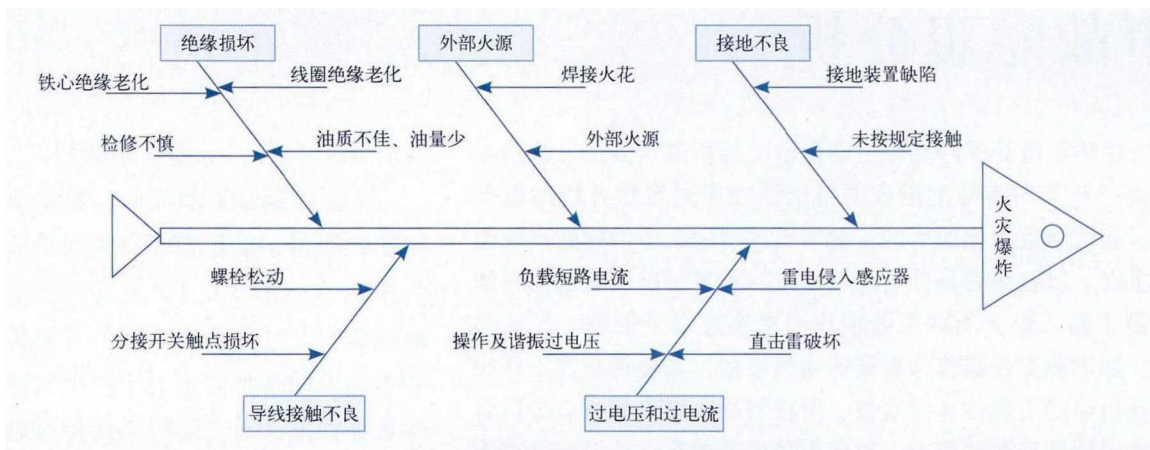


图1 加油船变压器火灾事故因果鱼骨图

1.2.1 绝缘损坏

加油船变压器长时间的过负荷运行可能让线圈过热，使绝缘快速老化，也会使其内部发生短路（匝间短路、相间短路和对地短路），从而变压器的外壳可能会发生爆裂，导致产生严重的停电事故^[3]。

油品的质量不过关，绝缘油在储存运输或工作维护时，由于储运或保护工作做得不完善，使油品里掺杂杂质和其他混合物，导致绝缘性能下降。若绝缘油性能下降到低于标准的范围，变压器内部就会发生短路，铁心绝缘外包层发热老化，破坏硅钢片间的材料。由于工作时间太长而发生老化，或裹紧铁心的螺旋管损坏，铁心造成相当大的涡流致使线圈发热，导致变压器内部空间温度快速提高，从而加剧绝缘层的老化。与此同时，检修操作不当，也会破坏绝缘吊心的绝缘性能，破坏线圈的瓷套管和绝缘物质，在这种不利状态下若变压器继续工作，便会造成短路的发生。

1.2.2 导线接触不良

线圈内部的接头、线圈之间的连接点和引至高低瓷套管的接点以及分接开关上各个触点的不稳定接触，可能会产生部分位置过热，加快绝缘层的老化速度，进一步让变压器的内部发生断路或短路的情况。由此出现的高温高压电弧会很快

分解内部油质，使绝缘油失去绝缘效果，伴随而来的产生的混合烟气会使变压器内部压力变大。当压力增加到一定值后，便会发生变压器外壳突然爆裂的危险，造成严重的事故后果。调查显示，导线接点接触不良主要包括三种原因：一是分接开关触点损坏；二是螺栓发生松动；三是焊接不合格。

1.2.3 接地不良

在变压器工作时三相负载发生失衡，零线便会有电流流过，若零线电流和接地点接触电阻相对较大，就会迅速增加接地点的温度。如果温度超上限值就会致使有机可燃物燃烧，发生严重火灾事故^[4]。

1.2.4 过电压和过电流

加油船变压器通常情况下经过架空线通电，若遇到雷雨大风，雷击架空线路后造成过电压的产生，轻则绝缘材料被雷电击穿，重则变压器当场被烧毁引发火灾。针对这种情况，变压器维护人员应该提前了解电力变压器常见的安全隐患，采取一定的安全措施。此外，变压器在操作过电压和谐振过电压的情况下也会产生火灾事故隐患。假如变压器是由于工作超负荷运行导致内部发生的短路，短路电流流过变压器时，若保护系统不灵敏或整定值太大，变压器也可能发生火灾

被烧毁^[5]。这些事故属于变压器工作中的常见故障，从供电系统稳定性方面的思考，各个部门都应该为变压器安装保护装置。

1.2.5 外部火源

由于有较多的外界因素，例如维修焊接时的焊接火花，油浸式变压器附近的电气设备和建筑物所引发的火灾对其造成相应的影响等，一定程度上都会造成变压器火灾事故的发生。

1.3 其他危害

加油船变压器不能正常工作，导致出现的一般性故障包括：整体密封性不好、绝缘性能差、分接开关接触不良、绕组绝缘老化、引线问题以及套管出现的故障等。倘若这一系列的故障没能被及时排查出来，轻则导致设备损坏或停运，重则可能导致火灾和变压器爆炸等安全事故的发生^[7]。

变压器事故隐患如图2所示。

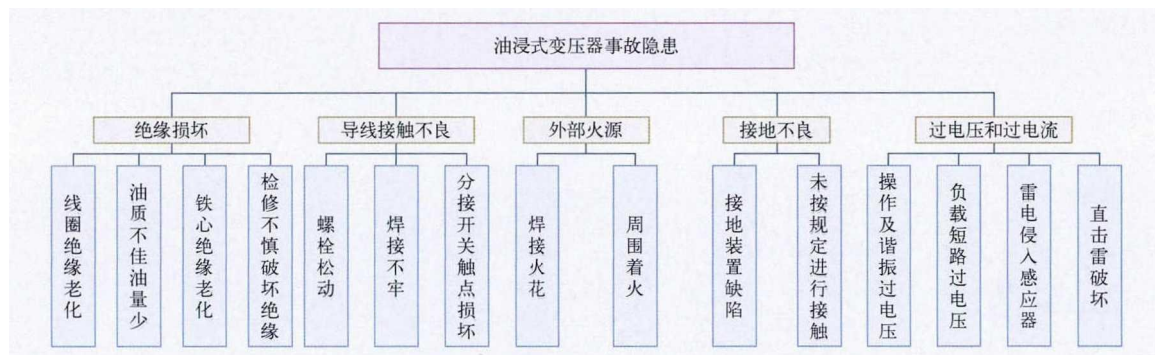


图2 加油船变压器事故隐患层次结构图

2 改进鱼骨图的步骤及实施方法

本改进是在层次分析法（AHP）的基础上，改进传统鱼骨图以达到更加清楚明了的分析结果：以往鱼骨图只能定性分析事故发生的因果关系，并不能有效快速地反映事故发生的严重程度，以及亟待解决的先后顺序。本文通过半定量的方法对传统方法加以改进，能够有效地解决该问题。根据原因各自的分类分别赋予权重指标，再从统计学的角度统计出各末端原因对于“鱼头”的相应分数，最终便得到了该因素对于事故发生的重要程度，以便于问题的解决和有效措施的提出。该方法从数量上体现出各末端因素和主原因的关联程度。统计结果中得分越高就能体现该原因对问题产生影响力越大，需要给予足够的重视。因此，找到主要因素所在，全力以赴去解决关键因素。改进鱼骨图的实施步骤如下。

1) 画出传统鱼骨图。

2) 安排专业人员对找出的主要原因进行分数评定，一般在1~5分之间，其中得分越高代表该因素对“鱼头”的产生影响力就越大。

3) 反复运用步骤2) 对主要原因下面的各个分

原因作出评定，这里的分数表示各个分原因对它的根原因的影响程度，分层打分评定，如此一直类推至末端因素。

4) 在统计学方法的基础上计算各末端因素对其上一层因素的影响程度。它的计算方法如下：假设 F_i 、 F_{ij} 分别为其主原因、第一层的分原因的得分。假设 F_{ij}^* 为处于第一层上的分原因，它相比主原因的影响因子为

$$f_{ij}^* = \frac{f_{ij}^*}{\sum_{i=1}^n F_{ij}} \quad (1)$$

F_{ij}^* 为“鱼头”，问题的最终影响因子为

$$f_{ij}^* = f_{ij}^* \times \frac{F_i^*}{\sum_{i=1}^n F_i} \quad (2)$$

5) 将最终的影响因子按照从上到下，从高到低的顺序进行排列，另外也需要制定因素确认标准（例如影响因子在0.08以上的就需要确认为重要因素），找出主要事故发生的因素。在确定要因时，要把握好标准与实际相结合的关系，系统地作出判断，原因就在于有的因素最终影响因

子特别高。

6) 由传统鱼骨图以及各因素得分统计出每个

最末端的原因, 根据最终的影响因子作出因素分析表, 统计出的表格如下表所示。

表 油浸式变压器事故隐患因素分析

主原因及得分	第一层原因及得分	最终影响因子	排序	要因确认
绝缘损坏~2	线圈老化~2	0.042	4	
	油质不佳油量少~2	0.042	5	
	铁心绝缘老化~1	0.021	1	
	检修不慎~3	0.063	8	
导线接触不良~3	螺栓松动~3	0.094	12	Y
	焊接不牢~2	0.063	9	
	分接开关触点损坏~3	0.094	13	Y
外部火源~1	焊接火花~2	0.555	6	
	周围着火~1	0.028	3	
接地不良~2	接地装置缺陷~3	0.083	10	Y
	未按规定进行接触~3	0.083	11	Y
过电压过电流~4	操作及谐振过电压~4	0.111	14	Y
	负载短路过电压~5	0.139	15	Y
	雷电侵入感应器~2	0.056	7	
	直击雷破坏~1	0.028	2	

7) 根据因素分析表确认最终要因结果, 通过分析研讨对各个因素依次排序采取针对性措施进行必要的改进。这样就可以针对性地解决排序在先的问题(级别优先性高的因素)。对于次要的因素, 也需要作出相应的改进以及防护措施减小它造成事故的概率, 以保证对事故发生的控制。

3 结束语

本文采用改进鱼骨图分析法结合加油船变压器安全问题, 对引发的火灾爆炸事故的复杂性特点进行了归纳总结。传统鱼骨图分析法只能定性确定出影响因素, 在此基础之上实现了半定量地解决问题。对油浸式变压器事故隐患作出了较为系统的评价指标体系。鉴于油浸式变压器事故隐患因素不确定性的特点, 结合了层次分析法定量地确定了众多影响因素的重要度, 其中因素排列中10~15等6个因素影响重大, 其权重值之和达到了0.604, 由此可知这6个因素是诱发油浸式变压器安全事故的最重要原因, 应优先给予严格防范和重点控制。因此, 合理地解决了油

浸式变压器事故的复杂性和多层次性以及不确定性所带来的安全评价问题, 可在实际中进行推广和应用。

参考文献

- [1] 邢文英. QC小组基础教材 [M]. 北京: 中国出版社, 2004.
- [2] 俄燕, 吴保宁. 对电力变压器常见故障及预防维护技术的探讨 [J]. 甘肃科技, 2013, 23 (1): 75-77.
- [3] 张志友. 35 kV油浸电力变压器故障诊断及检修技术探讨 [J]. 电子制作, 2013, 22 (9): 185.
- [4] 华北电力学院. 电力系统故障分析 [M]. 北京: 水利电力出版社, 2007.
- [5] 尹金良, 刘玲玲. 代价敏感相关向量机的研究及其在变压器故障诊断中的应用 [J]. 电力自动化设备, 2014, 34 (5): 111-115.
- [6] 黄海飞, 王婵娟. 浅谈电力变压器的常见故障及诊断技术 [J]. 科技与企业, 2013 (5): 320.

(收稿日期: 2017-03-17) EA