变压器故障的统计分析及预防方法

　　摘要：通过对美国近10年间变压器故障的统计分析，讨论故障的起因，并涉及了故障 类型、频率、程度及运行寿命。对预防变压器故障以延长其使用寿命的维护方法提出了建议。

　　关键词：变压器 故障统计 分析 预防

　　当前的世界范围内，不间断的电力供应已成为工业生产、国防军事、科技发展及人民生活中至关重要的因素。人们对能源不间断供应的依赖性常常是直到厂房里的生产设备突然停 止工作、大楼灯光突然全部熄灭、电梯被悬在楼层之间时才意识到各种断路器、布线及变压 器的重要性。

　　变压器故障通常是伴随着电弧和放电以及剧烈燃烧而发生，随后电力设备即发生短路或 其他故障，轻则可能仅仅是机器停转，照明完全熄灭，严重时会发生重大火灾乃至造成人身 伤亡事故。因此如何确保变压器的安全运行受到了世界各国的广泛关注。

　　美国HSB公司工程部总工程师William Bartley先生，主要负责对大型电力设备尤其是发 电机和变压器的分析和评估工作，并负责重大事故的调查、检修程序的改进及新型检测技术方面的研究。自70年代以来，他负责调查了数千起变压器故障并进行了几十年的科学统计研究。

　　在中国高速的现代化发展中，电力工业的安全运行更起着关键作用。本文从介绍美国19 88年至1997年10年间变压器故障的统计数据进行分析，为国内提供参考资料及可借鉴的科学统计方法，以达到为电力部门服务的目的。

　　1　变压器故障的统计资料

　　1.1　各类型变压器的故障

　　过去10年来，HSB发生几百起变压器故障造成了数百万美金的损失。图1中列出了按变压 器类型显示的变压器故障统计数。从图中的显示可以看出除1988年外，电力变压器故障始终 占据主导位置。

　　1.2　不同用户的变压器故障

　　变压器使用在不同的部门，故障率是不同的。为了分析变压器发生故障的危险性，可将 用户划分为11个独立类型：(1)水泥与采矿业;(2)化工、石油与天然气;(3)电力部 门;(4)食品加工;(5)医疗;(6)制造业;(7)冶金工业;(8)塑料;(9)印刷业 ;(10)商业建筑;(11)纸浆与造纸业。

　　按照HSB的Rick Jones博士风险管理的方法，将“风险”定义为发生频率与损失程度。 损失程度可以被定义为年平均毛损失，而发生频率(或称为概率)则可定义为故障发生平均 数除以总数。所以，对于每一个给定的独立组来说：

　　频率 = 故障数 / 该组中的变压器台数

　　(举例来说，如果每年平均有10起故障，在一个给定的独立组中有1,000个用户，在该组中 任何地点故障的概率就是0.01/年。)因此，可以采用产品的故障频率与程度将变压器的风 险按用户加以划分。(风险=频率×程度)。

　　图2中给出的是10年中10个独立组中变压器风险性的频率—程度“分布图”。每组曲线 中，X轴表示频率、Y轴表示程度(或平均损失)，X-Y的关系就形成了一个风险性坐标系统 。其中的斜线称为风险等价曲线(例如，对于$1,000的0.1的可能性与$10,000的0.01的可 能性可认为是同等风险的)。坐标中右上角的象限是风险性最高的区域。

　　当考虑到频率和程度时(如图2所示)，电力部门的风险是最高的，冶金工业及制造业 分别列在第二和第三位。

　　1.3　各种使用年限变压器的故障

　　按照变压器设计人员的说法，在“理想状况下”变压器的使用寿命可达30～40年，很明 显的是在实际中并非如此。在1975年的研究中，故障时的变压器平均寿命为9.4年。在1985 年的研究中，变压器平均寿命为14.9年。通常有盆形曲线显示使用初期的故障率以及位于右 端的老化结果，然而故障统计数据显示变压器的使用寿命并非无法预测。图3中显示了该研究中使用寿命的统计数据，这些数据可以用来确定对变压器进行周期检查的时间和费用。

　　在电力工业中变压器的使用寿命应当给予特别地关注。美国在二战后经历了一个工业飞速发展的阶段，并导致了基础工业特别是电力工业大规模的发展。这些自50年代到80年代安 装的设备，按其设计与运行的状况，现在大部分都已到了老化阶段。据美国商业部的数据，在1973～1974年间电力工业在新设备安装方面达到了顶峰。如今，这些设备已运行了近25年，故必须对已安装变压器的故障可能性给予特别的关注。

2　变压器故障原因分析

　　HSB收集了有关变压器故障10年来的资料并进行分析的结果表明，尽管老化趋势及使用 不同，故障的基本原因仍然相同。HSB公司电气部的总工程师J.B. Swering在论文中写到：“多种因素都可能影响到绝缘材料的预期寿命，负责电气设备操作的人员应给予细致地考虑。这些因素包括：误用、振动,过高的操作温度、雷电或涌流、过负荷、对控制设备的维护 不够、清洁不良、对闲置设备的维护不够、不恰当的润滑以及误操作等。"

　　下表中给出了在过去几十年中HSB公司总结出的有关变压器故障的基本原因 ，表中列出了分别由1975、1983以及1998年的研究得出的关于故障通常的原因及其所占百分比。

　　2.1　雷击

　　雷电波看来比以往的研究要少，这是因为改变了对起因的分类方法。现在，除非明确属 于雷击事故，一般的冲击故障均被列为“线路涌流”。

　　2.2　线路涌流

　　线路涌流(或称线路干扰)在导致变压器故障的所有因素中被列为首位。这一类中包括 合闸过电压、电压峰值、线路故障/闪络以及其他输配(T&D)方面的异常现象。这类起因在 变压器故障中占有显著比例的事实表明必须在冲击保护或对已有冲击保护充分性的验证方面 给与更多的关注。

　　2.3　工艺/制造不良

　　在HSB于1998年的研究中，仅有很小比例的故障归咎于工艺或制造方面的缺陷。例如出 线端松动或无支撑、垫块松动、焊接不良、铁心绝缘不良、抗短路强度不足以及油箱中留有异物。

　　2.4　绝缘老化

　　在过去的10年中在造成故障的起因中，绝缘老化列在第二位。由于绝缘老化的因素，变 压器的平均寿命仅有17.8年，大大低于预期为35～40年的寿命!在1983年，发生故障时变压 器的平均寿命为20年。

　　2.5　过载

　　这一类包括了确定是由过负荷导致的故障，仅指那些长期处于超过铭牌功率工作状态下的变压器。过负荷经常会发生在发电厂或用电部门持续缓慢提升负荷的情况下。最终造成变 压器超负荷运行，过高的温度导致了绝缘的过早老化。当变压器的绝缘纸板老化后，纸强度 降低。因此，外部故障的冲击力就可能导致绝缘破损，进而发生故障。

　　2.6　受潮

　　受潮这一类别包括由洪水、管道渗漏、顶盖渗漏、水分沿套管或配件侵入油箱以及绝缘 油中存在水分。

　　2.7　维护不良

　　保养不够被列为第四位导致变压器故障的因素。这一类包括未装控制其或装的不正确、 冷却剂泄漏、污垢淤积以及腐蚀。

　　2.8　破坏及故意损坏

　　这一类通常确定为明显的故意破坏行为。美国在过去的10年中没有关于这方面变压器故 障的报道。

2.9　连接松动

　　连接松动也可以包括在维护不足一类中，但是有足够的数据可将其独立列出，因此与以 往的研究也有所不同。这一类包括了在电气连接方面的制造工艺以及保养情况，其中的一个 问题就是不同性质金属之间不当的配合，尽管这种现象近几年来有所减少。另一个问题就是 螺栓连接间的紧固不恰当。

　　3　变压器维护建议

　　根据以上统计分析结果，用户可制订一个维护、检查和试验的计划。这样不但将显著地 减少变压器故障的发生以及不可预计的电力中断，而且可大量节约经费和时间。因为一旦发 生事故，不仅修理费用以及停工期的花费巨大，重绕线圈或重造一台大型的电力变压器更需 要6到12个月的时间。因而，一个包括以下建议的良好维护制度将有助于变压器获得最大的使用寿命。

　　3.1　安装及运行

　　(1)确保负荷在变压器的设计允许范围之内。在油冷变压器中需要仔细地监视顶层油 温。

　　(2)变压器的安装地点应与其设计和建造的标准相适应。若置于户外，确定该变压器 适于户外运行。

　　(3)保护变压器不受雷击及外部损坏危险。

　　3.2　对油的检验

　　变压器油的介电强度随着其中水分的增加而急剧下降。油中万分之一的水分就可使其介电强度降低近一半。除小型配电变压器外所有变压器的油样应经常作击穿试验，以确保正确 地检测水分并通过过滤将其去除。

　　应进行油中故障气体的分析。应用变压器油中8种故障气体在线监测仪，连续测定随着变压器中故障的发展而溶解于油中气体的含量，通过对气体类别及含量的分析则可确定故障 的类型。每年都应作油的物理性能试验以确定其绝缘性能，试验包括介质的击穿强度、酸度、界面张力等等。

　　3.3　经常维护

　　(1)保持瓷套管及绝缘子的清洁。

　　(2)在油冷却系统中，检查散热器有无渗漏、生锈、污垢淤积以及任何限制油自由流动的机械损伤。

　　(3)保证电气连接的紧固可靠。

　　(4)定期检查分接开关。并检验触头的紧固、灼伤、疤痕、转动灵活性及接触的定位。

　　(5)每三年应对变压器线圈、套管以及避雷器进行介损的检测。

　　(6)每年检验避雷器接地的可靠性。接地必须可靠，而引线应尽可能短。旱季应检测 接地电阻，其值不应超过5Ω。

　　(7)应考虑将在线检测系统用于最关键的变压器上。目前市场上有多种在线检测系统 ，供应商将不同的探测器与传感器加以组装，并将其与数据采集装置相连，同时提供了通过 调制解调器实现远距离通讯的功能。美国SERVERON 公司的TrueGas油中8种故障气体在线监 测仪就是极好的选择。此系统监测真实故障气体含量，结合“专家系统”诊断将无害情况与 危险事件加以区分，保证变压器的安全运行。

　　4　结束语

　　变压器是电网中的重要设备之一。虽配有避雷器、差动、接地等多重保护，但由于内部 结构复杂、电场及热场不均等诸多因素，事故率仍然很高。中国在70年代的10年中，110kV 及以上变压器的年平均绝缘事故率约为17.66台次，恶性事故和重大损失也时有发生。因此 借鉴国外经验，利用先进在线监测设备，加强状态维护模式，以使电力供应更加安全可靠。