摘要〕分清变压器的故障机理与变压器故障模式危害程度，是对电力变压器可靠性分析和风险评价的必要前提，通过对110kV及以上电压等级变压器故障实例进行随机抽样，获得数据进行归纳、分析，初步形成变压器的故障模式与故障严酷程度、故障原因的关系。〔关键词〕电力变压器；故障模式；故障严酷程度　　大型电力变压器是电网传输电能的枢纽，是电网运行的主设备，其安全可靠性是保障电力系统可靠运行的必备条件，随着电力系统规模和变压器单机容量的不断增大，其故障对国民经济造成的损失也愈来愈大，因而对变压器作可靠性分析与风险评价是日益重要的课题。1变压器故障分类　　根据统计分析工作的需要，变压器故障可进行相应的分类。1.1变压器故障按部位分类　　变压器故障按部位通常可分为绕组故障，铁心故障，分接开关故障，引线故障，套管故障，绝缘故障和密封故障等。1.2变压器故障按原因分类　　对变压器故障的原因，基本上可以做如下分类：(1)制造：制造工艺不良、设计不合理、材料质量不良、异物进入、杂质；(2)维护：维护不当、受潮、操作失误、振动；(3)环境：外部短路、雷电侵袭、自然损坏；(4)其它。1.3变压器故障按严酷程度分类　　根据变压器故障程度不同，对不同故障模式进行严酷程度分类：(1)Ⅰ类灾难性：变压器爆炸或完全损坏；(2)Ⅱ类致命性：变压器性能严重下降或严重受损，必须立即停运；(3)Ⅲ类临界性：变压器性能轻度下降或轻度受损；(4)Ⅳ类轻度性：不甚影响变压器运行但要进行非计划检修。2变压器故障按部位分类分析2.1绕组故障　　变压器绕组是变压器的心脏，构成变压器输入、　输出电能的电气回路，其故障模式可分为：绕组短路、绕组断路、绕组松动、变形、位移、绕组烧损。其中绕组短路又可分为：层间短路、匝间短路、饼间短路、股间短路。　　变压器绕组故障除外在因素外，大部分是由于绕组本身结构及绝缘不合理所引起，以绕组短路出现率最高，它不仅影响到绕组本身，而且对铁心、引线、绝缘屏等都有极大的影响。这种故障属致命性的，此时变压器内部可能出现局部高温或局部高能量放电现象，如不及时处理会导致变压器绕组完全损坏，严重时其油温迅速升高，体积膨胀，甚至导致变压器爆炸，升级为灾难性故障。　　对于变压器绕组松动、　变形、失　稳，绝缘损伤现象，变压器在这种情况下虽能运行，但实质上内部已受损，抗短路能力差，若外部短路或受到雷击的影响会进一步使绕组松散，内部场强分布不均，极易导致局部放电进而损伤导线。另外松散导线也易在电磁力作用下产生振动，互相磨擦而划破绝缘。绕组烧损是指绕组绝缘部分碳化，最终形成绕组短路，发展为致命性故障，因而这类故障属于临界性故障。　　绕组断路，当高压侧一相断路时，变压器将在非全相状态下运行，变压器低压三相电压、电流呈现不平衡，三相直流电阻也不平衡；两相断路变压器则不能运行；当低压侧两相断路时，变压器单相负载运行，断路的两相低压无电压、电流，因而变压器断路属于致命性故障。2.2铁心故障　　变压器铁心和绕组是传递、交换电磁能量主要部件，要使变压器可靠运行，除绕组质量合格外，铁心质量好坏是决定正常运行的关键。铁心的故障模式可分为：铁心多点接地、铁心接地不良、铁心片间短路。其中铁心多点接地可分为：铁心动态性多点接地和牢靠性多点接地。　　变压器铁心故障以铁心多点接地出现较多，伴随有铁心局部过热，运行时间过长将会使油纸绝缘老化、绝缘垫块碳化、铁心片绝缘层老化，甚至使铁心接地引线烧断，这类故障属临界性故障。铁心片间短路将会在强磁场中形成涡流使铁心局部过热，铁心接地不良也会使铁心局部过热，同时出现介损超标现象，局部过热现象易烧坏铁心片间绝缘，扩大铁心故障，因而它们也属临界性故障。而铁心动态性接地情况将有所不同，主要是由杂质在电场力作用下形成导电小桥，是由一些杂质纤维与金属粉末形成，有时在大电流的冲击下而摧毁，出现情况不稳定，一般不影响变压器运行，但不定期的局部过热会使内部绝缘受伤，属轻度性故障。2.3分接开关故障　　有载分接开关内部传动结构较为复杂，而且经常操作切换，它的故障直接影响到变压器的正常运行。分接开关由于受高温和绝缘油影响，　极易使触头表面氧化，生产氧化膜，使触头间接触不良电阻增大，引起局部高温，破坏接触表面。其故障模式主要有筒体爆炸、触头烧损、档序错乱、齿轮损坏。筒体爆炸甚至会导致变压器着火，属致命性故障。开关档序错乱、齿轮损坏、触头烧损在故障状态下运行将会扩大故障属临界性故障。2.4引线故障　　引线是变压器内部绕组出线与外部接线的中间环接，其接头是通过焊接而成，因而焊接质量直接影响到引线的故障发生。其主要故障模式有：引线短路、引线断路、引线接触不良。　　引线相间短路如不及时处理会导致绕组相间短路，属致命性故障，事故扩大会发展成为灾难性故障。引线对地短路、接触不良会产生局部高温烧断引线而使变压器停运，属于临界性故障。2.5套管故障　　套管是变压器内绕组与油箱外联结引线的重要保护装置。它长期遭受电场、风雨、污染等影响，易使瓷釉龟裂绝缘老化，是变压器故障多发部位。其故障模式主要有：套管炸裂、套管位移、开焊、局部放电。套管爆炸致使变压器停运甚至烧毁，故属于致命性故障；套管位移、开焊将会有水顺着套管进入变压器本体内，极易导致变压器绕组短路或相间短路，局部放电或局部过热，易使套管内部绝缘击穿，属临界性故障。2.6绝缘故障　　变压器内部绝缘是变压器质量优劣的关键，大部分故障都是因绝缘性能不佳引起，因而绝缘的好坏是变压器能否长期、安全可靠运行的基本保证。绝缘故障模式可分为：绝缘损伤、介损超标。　　绝缘损伤与介损超标在　短期内变压器仍能正常运行，但这些故障会使变压器内部产生局部放电或局部轻度过热现象，进一步损伤绝缘导致变压器内绕组局部短路、绝缘件碳化等故障，属轻度性故障。2.7密封不良　　变压器密封不良主要是接头处处理不好，如焊接质量不良、螺栓乱扣以及法兰不平等原因造成。其后果是漏油、漏气，故障时不易发现，影响范围大。故障模式有密封圈老化、瓷套脱落或破裂、箱体焊点裂纹、潜油泵处漏气等。3变压器故障分类统计3.1变压器故障按部位分类统计　　通过对1990-2000年110kV及以上电压等级电力变压器故障实例进行随机抽样整理分析，其故障按部位分类统计如表1所示。3.2变压器故障按原因分类统计　　对上述299次变压器故障按故障原因来分，其统计结果如表2所示。　　由统计数字可以看出，变压器产品质量不良是变压器故障的最主要原因，因而必须加强变压器出厂、安装及检修的验收，严格把关。其次，运行维护不当也是变压器故障的一个重要原因，要努力提高运行人员的专业水平，以便有效地减小故障率。3.3变压器故障按严酷程度分类统计　　上述变压器故障按不同严酷程度的分布如表3所示。　　从故障严酷程度的统计可以看出，变压器故障以临界性故障出现最多，灾难性故障出现率最低但危害程度最大，致命性故障出现率较高，轻度性故障率不高；严酷程度低的故障进一步发展可能逐级或越级成为严酷度高的故障，因而在变压器运行维护时要坚决杜绝Ⅰ类故障、加强防范Ⅱ类故障，密切注意Ⅲ类，时刻提防Ⅳ类故障。对于轻度性故障也不可掉以轻心，若不及时处理，故障将会扩大，如变压器渗漏，长期下去，一旦变压器缺油，绕组露出油面，将会导致相间短路，甚至变压器烧毁；又如密封不严会使变压器绝缘性能下降，可能诱发绕组短路、铁心多点接地等故障。4结语　　大型电力变压器灾难性故障或致命性故障不仅给自身带来巨大的损失，同时也严重地影响到电网的安全运行。因此，对电力变压器应建立在线监测装置，密切注视其临界状态，确定是否需要进行检修，能有效地防止故障状态的转化，减少或避免电力变压器故障发展带来的损失，提高电力变压器运行的可靠性。