

大型发电机绕组电气故障分析安全工程师考试 PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/603/2021_2022__E5_A4_A7_E5_9E_8B_E5_8F_91_E7_c62_603381.htm

摘要：综述分析了大型发电机绕组所涉及各类电气故障与不正常运行工况及其危害和一些相应分析解决方法。在发电机内部分别从转子和定子两个方面分析发生在绕组之间和绕组对地之间的故障工况，在发电机外部则分析了机端突然短路和不对称运行给绕组带来的影响。关键词：大型发电机；定子故障；转子故障；不对称运行；机端短路

大型发电机是电力系统的核心，是十分重要和昂贵的设备，其运行可靠性对系统的正常运行、用户的不间断供电、保证电能质量以至整个社会的安全运转都起着极其重要的作用。发电机绕组的故障类型主要有：定子绕组相间短路；定子绕组一相匝间短路；定子绕组单相接地；转子绕组一点接地或两点接地；转子励磁回路励磁电流消失。发电机的不正常运行状态主要有：由于外部短路引起的定子绕组过电流；由于负荷超过发电机额定容量而引起的三相对称过负荷；由外部不对称短路或不对称负荷引起的发电机负序过电流和过负荷；由于突然甩负荷引起的定子电流过电压；由于励磁回路故障或强励时间过长引起的转子绕组过负荷；由于汽轮机主汽门突然关闭引起发电机逆功率等。这些故障和不正常运行都和发电机绕组破坏有着直接的联系。

把安全工程师站点加入收藏夹

1 定子绕组故障分析

同步电机定子绕组内部故障主要包括同支路的匝间短路、同相不同支路的匝间短路、相间短路和支路开焊等。同步电机定子绕组内部故障是电机中常见的破坏性很强的故障，其很大的短

路电流会产生破坏性严重的电磁力，也可能产生过热而烧毁绕组和铁心。故障产生的负序磁场可能大大超过设计允许值而造成转子的严重损伤。定子绕组的单相接地也是发电机最常见的一种故障，通常指定子绕组与铁芯间的绝缘破坏。通过定性和定量分析故障电流后，机组需要设置相应的保护。定子故障通常都是定子绕组绝缘损坏引起的。定子绕组绝缘损坏通常有绝缘体的自然老化和绝缘击穿。当发电机端口处发生相间短路时，发电机可能出现4~5倍于额定电流的大电流，急剧增大的短路电流和产生的巨大的电磁力和电磁转矩，对定子绕组、转轴、机座都将产生极大的冲击而损伤，巨大的冲击力将直接损坏发电机定子端部线棒，使其严重变形、断裂、造成绝缘损坏。由外部原因引起的绕组绝缘损坏也很常见，如定子铁心叠装松动、绝缘体表面落下磁性物体、绕组线棒在槽内固定不紧，在运行中因振动使绝缘体发生摩擦而造成绝缘损坏；在发电机制造中因下线安装不严格造成的线棒绝缘局部缺陷、转子零部件在运行中端部固定零件脱落、端部接头开焊等都可能引起绝缘损坏，从而进一步造成定子绕组接地或相间短路故障。定子绕组内部故障分析方法有：解析计算法、试验研究法和数字仿真法。解析计算法中用的比较多的有多回路分析法，以多回路理论为依据建立凸极同步发电机定子绕组内部故障瞬态数学模型的基本指导思想是按定、转子绕组实际回路列写电压和磁链方程；在计算回路参数时从单个线圈出发，先得到单个线圈的参数，然后根据各回路的实际组成情况用有关线圈的参数计算回路参数。由于定转子之间有相对运动，一些电感系数是时变的，最后形成的是一组时变系数的微分方程，利用数值解法即可求

取凸极同步发电机定子绕组内部故障的瞬态与稳态分量。试验研究法是研究发电机故障行为和校核继电保护装置的重要方法。由于大型发电机造价昂贵，所以该方法从安全性、经济性和可行性等因素上考虑，一般是在实验室通过动模机组进行故障的动态模拟试验研究。数字仿真是利用数字计算机为工具对实际系统的数学模型进行求解分析的方法。数字仿真过程可分为4个步骤：实际系统的数学模型建立、仿真模型建立、编制和调试仿真程序、仿真结果分析和验证。这种研究方法由于具有经济性、安全性、灵活性以及方便性等优势，所以国内外数字仿真技术发展很快，并得到广泛应用。

2 转子绕组故障分析

发电机转子绕组故障的表现形式主要为匝间短路和接地故障。

匝间短路：国内运行的大型汽轮发电机组中大多数都发生过或存在转子线圈匝间短路故障。由于绕组绝缘损坏造成转子绕组匝间短路后，会形成短路电流，从而形成局部过热点。在长期运行下，局部过热点又会进一步引起绝缘损坏，导致更为严重的匝间短路，形成恶性循环的局面。

转子匝间短路同时会引起磁通的不对称和转子受力不平衡现象，而引起转子振动；定子绕组每相并联支路的环流；主轴、轴承座及端部磁化。同时较大的短路电流可能会导致转子接地故障发生。

故障原因：发电机转子通常包括多个磁极线圈，线圈引线和阻尼绕组等，具有较大的转动惯量。由于离心力的作用，在运行中线匝绝缘的移动，转子绕组端部的热变形，线匝端部垫块松动或护环绝缘衬垫老化，小的导电粒子或碎物进入转子线匝端部和转子通风沟导致转子绕组匝间短路发生。通常可以根据下面这些特征较准确地识别转子线圈是否发生匝间短路故障：

- 振动幅值增大；
- 风温提高；

在励磁电压不变的条件下,励磁电流增大; 励磁电流增大,而无功变小或不变。 接地故障:发电机转子绕组的接地故障包括一点接地和两点接地。接地是指励磁绕组绝缘损坏或击穿而使励磁绕组导体与转子铁芯相接触。发电机转子一点接地是一种较为常见的不正常的运行状态。励磁回路一点接地故障对发电机一般不会造成危害,因为发电机发生转子绕组一点接地故障时,励磁电源的泄露电阻(对地电阻)很大,限制了接地泄露电流的数值,但如果再有另外一个接地点,即发生两点接地故障时会形成部分线匝短路,这是一种非常严重的短路事故。近几年来,国内大型发电机由转子绕组接地所引起的严重运行事故并不少见。转子两点接地在控制屏上一般表现为励磁电流及定子电流增大,励磁电压及机端出口电压下降,功率因数上升(甚至进相),并伴有剧烈的振动等现象,这时应做事故紧急停机处理。 两点接地故障的危害有: 发电机励磁绕组发生两点接地之后,绕组部分被短接,使得绕组直流电阻变小,励磁电流增大;若短路匝数较多,会使发电机磁路中主磁通减少,使得机组向外输出的感性无功减少,引起机端出口电压下降,同时定子电流可能会急剧上升。 由于绕组短接的磁极磁势减小,而其它磁极的磁势则未改变,转子磁通的对称性受到破坏,转子上出现了径向的电磁力,因此引起机组的振动。振动的程度与励磁电流的大小及短接线圈的多少有关,在多极水轮机上振动尤其严重。此外,汽轮发电机励磁回路两点接地,还可能使轴系和汽机磁化。 当转子发生两点接地之后,两点之间构成回路,一部分励磁绕组被短接,两接地点之间将可能流过很大的短路电流,电流产生的电弧可能会烧坏励磁线圈及转子

本体，甚至引发火灾。故障原因：当发电机组运行时，转子在不停地运转，使线圈受到较大的离心力作用，经过长期的运行后，会使转子绕组产生轻微松动而使绕组的绝缘受到损伤。同时线圈内通过励磁电流，由于热效应作用，会加速转子绕组绝缘的老化变质。此外长时间的运转，空气中的灰尘及其它污垢会积附在绕组上面。检修时检修人员不小心将异物自转子大盖的网孔中掉入而损伤绕组的绝缘。

3 不对称运行的影响

发电机是根据三相电流平衡对称的工况下长期运行的原则设计制造的。一般情况下同步发电机所带三相负载均为对称，即使有小容量的单相负载，如照明负载等，也会均匀的分配在三个相中。但同步发电机在运行时要遇到不对称运行问题，如发电机带有大功率的单相电炉、电力机车这一类负载；输电线路由于雷击、狂风而断线使一相断开或发生不对称短路时。当三相电流对称时，其所合成的旋转磁场与转子是同方向且转速相等的即旋转磁场相对于转子来说是静止的，旋转磁场的磁力线不会切割到转子。当三相电流不对称时，即在发电机中会有正序、负序、零序三组对称分量电流产生，不对称运行的物理本质在于所接负载不对称产生不稳恒磁场，磁势幅值要发生变化，不能合成一个稳定的旋转磁势，分析需要按正、负、零序分解。

不对称运行对发电机本身的影响：

引起转子过热。不对称运行时的负序电流所产生的负序磁场对转子有两倍同步速相对速度，将在转子的励磁绕组、阻尼绕组以及转子表面感应电流，这些电流将在相应的部分引起损耗和发热，特别是隐极机的励磁绕组，散热条件差容易因过热而烧坏。

引起附加交变力矩并产生振动。负序电流产生的负转磁场对转子以两倍同步速作相对运

动，这时候负序磁场和转子励磁磁场作用，产生100周/秒频率的震动，随之还会伴生出强烈的噪音，长时间的振动会造成发电机的材料出现疲劳损伤和机械损伤。

4机端突然短路的影响

同步电机的突然短路是电力系统的最严重的故障。虽然短路过程所经历的时间极短（通常约为0.1~0.3s），但对电枢短路电流和转子电流的分析计算却非常重要。三相突然短路电流远大于稳定短路电流的宏观能量物理解释：三相电流短路后，从暂态过度到稳态，从大规模的能量交换到小规模能量交换，电枢反应重组适宜当前需要的能量场规模，在暂态过程中要释放能量，将其消耗在电阻上。短路电流中包含了许多自由分量使短路电流大大增加。由于定子非周期分量的存在，使包络线对横轴不对称，因而最大瞬时值进一步加大。当短路电流发生在转子d轴与定子绕组某一项轴线重合时，该项出现最大冲击电流，其值可达20倍额定值以上，对机电设备的机械强度危害性是很大的。突然短路时冲击电流同时将产生很大的电磁力与电磁转矩。

电磁力对电机的影响

：定子绕组槽内部分固定可靠性高，但端接部分紧固条件比槽内差，在突然短路的强大电磁力的冲击下，端接部分很容易受损伤；

电磁转矩对电机的影响

：突然短路时气隙磁场变化不大，而定子电流却增加很多，于是将产生巨大的电磁转矩。由于定、转子绕组中都有周期性和非周期性电流，因此，由它们的磁场相互作用而产生的电磁转矩比较复杂，总起来说，该电磁转矩可分为单项转矩和交变转矩两大类。这些转矩都随相关的电流一起衰减，它们对电机危害最严重的情况发生在突然短路的初瞬，在不对称突然短路时，所产生的电磁转矩更大，可达额定转矩的10倍以上。它们对定子绕组

的直接破坏在前面已有提及。5结束语 发电机的基本电气结构是由定子、转子本体和线圈组成的，其基本的电磁行为也是围绕在此四者之间进行的。在发电机的运行过程当中，绕组的结构远比本体脆弱，通常发电机的机械损伤先破坏到的也是绕组，再引发电气故障。电气故障先烧损的都是绕组，总之绝大多数故障是先源于绕组。发电机的各种异常运行和短路对绕组也很容易产生破坏影响。因此对绕组电气故障的有效分析和预防对整个系统的安全稳定供电意义很大。

100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问
www.100test.com