

主设备保护技术发展的回顾与前瞻

王维俭, 桂林

(清华大学电机系, 北京 100084)

摘要: 近30年来, 电气主设备继电保护技术取得了显著进步, 中国首先提出“多回路分析法”, 为主设备主保护方案的选择采用“量化优化设计方法”奠定了理论基础。随着我国大型、特大型发电机组的大量投运, 造就了一大批主设备保护技术工作者。面向未来将有更多更大的主设备保护技术难题等待去解决。

关键词: 电气主设备; 继电保护技术; 多回路分析法; 量化优化设计

Review and prospect of technology development of protection for electric main equipment

WANG Wei-jian, GUI Lin

(Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: In the past thirty years, the technology of relay protection for electric main equipment has been remarkably improved. The multi-loop method has been firstly presented by Chinese researchers, which established the theoretic basis of quantitative and optimum design method of main protection configuration scheme for the electric main equipment. Along with many large-sized generators going into operation, a group of relaying workers have been brought up. Many technique problems on the relay protection for electric main equipment need to be solved in the future.

Key words: electric main equipment; relay protection technology; multi-loop method; quantitative and optimum design method

中图分类号: TM77 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2008)12-0005-03

1 主设备保护技术的历史回顾

我国300 MW发电机问世以前, 主设备保护技术长期停滞不前, 有业内人士认为发电机、变压器电气主设备的继电保护只要有30~40年代的技术知识就可应付, 因此大部分继电保护专业工作者和研究人员多集中在输电线路保护方面, 严重影响主设备保护的发展, 20世纪70年代以前的中国电机工程学会继电保护学术年会上, 很少发表主设备保护方面的论文, 更谈不上有这方面的学术专著。

随着电力事业的发展, 单机容量日益增大, 对发电机变压器等电气设备的安全要求越来越高, 迫使继电保护工作者再也不能容忍主设备保护技术的落后状况, 因此转而主攻这一专业技术, 急起直追比较先进的线路保护。

众所周知的继电保护技术指标之一——灵敏度是衡量保护技术性能的重要指标, 其含义是被保护设备内部发生短路时确保保护装置灵敏动作, 切除短路, 避免事故扩大。为此定义灵敏系数 K_{sen}

K_{sen} = 内部故障实际可能的最小短路电流/保护装置启动电流

线路保护一直执行上述定义, 可是主设备保护却取“最小短路电流”为发电机或变压器外部端口的金属性两相短路电流。现在已经清楚, 发电机定子绕组或变压器各侧绕组的最小短路电流(指保护用电流互感器测量到的电流)不是机端两相短路, 而是绕组内部某处发生的相间或匝间短路。这样的灵敏系数校验方法多年长期为国内外同行采用, 校验结果即使得到 $K_{sen} \geq 1.5$ 也不能保证发电机或变压器绕组发生内部短路时差动保护一定动作。这类技术问题不是主设备保护技术人员没有看到, 而是苦于不会准确计算绕组内部短路电流, 这一现象自始至终悬而不解, 不得不使主设备的主保护(各种差动)技术停滞不前。

有鉴于此, 清华大学 **高景德院士** 和王祥珩教授, 结合发电机继电保护的需要, 提出了发电机定子绕组内部短路的“多回路分析法”, 已通过国家科技鉴定, 并在30余座发电厂获得推广应用, 奠定了

主设备主保护设计的理论基础。现在发电机的各种主保护设计已不再是单凭经验和概念,它能够知道定子绕组各种内部相间、匝间和分支开焊故障时各支路电流大小和相位,能够明确绕组内部故障时各种主保护的灵敏系数大小,它们各自的保护死区在哪里、有多大?最终达到发电机主保护配置方案的优化,这就是主保护的定量化设计。

随着单机容量的不断增大,造就了国内一大批主设备保护的技术工作者,正是他们的工作保证了发电机组的安全运行,同时推动着主设备保护技术的不断发展。他们是《电力系统保护与控制》期刊的忠实读者和主要撰稿人,办好期刊必须依靠他们。相当数量的主设备保护科技人员活跃在设计、运行、教学和科研岗位上,每次学术年会上都有不少高质量的主设备保护论文发表,学术气氛活跃。

由于性能、价格和售后服务的优点,大批大型主设备保护装置,如三峡、龙滩、拉西瓦等电站,改由国内供货,实属可喜可贺。这是我国电气主设备保护技术进步丰硕成果的反映。

2 主设备保护技术的前瞻

在欣喜主设备保护技术的进步和主设备保护技术队伍的形成之际,面临已经到来和即将到来的1000 MW级汽轮和水轮发电机组的继电保护任务,在这里提出值得思考和探索的技术问题,和同行共同讨论。

(1) 对于300 MW及以上发电机和330 kV及以上变压器,保护用电流互感器宜选保证暂态误差的TPY型,应对混用5P(10P)和TPY型电流互感器的变压器差动保护进行技术改造,使之成为统一的TPY或统一的5P(5PR),理由是变压器外部短路时,5P(10P)互感器不能保证暂态误差小于10%,在暂态性能上与TPY不匹配,可能导致暂态不平衡电流过大,引起差动保护误动。

(2) 世界范围的变压器铁心材质和加工工艺的改进,使变压器铁心的磁化特性大有改进,工作磁密提高,饱和磁密下降,剩磁磁密抬高,使变压器空载合闸励磁涌流的2次谐波成分普遍减小。鉴于目前空投变压器时差动保护误动频繁,宜适当降低二次谐波制动比(例如由15%~20%减为10%~15%)。

(3) 和应涌流造成变压器或发电机差动保护误动,图1中两台发变组并联于高压母线,G2停运,T1、G1在运行中,T2空载合闸,不管T1、T2中性点是否接地,T1中总有和应涌流流过,因为即使T1、T2中性点均不接地,T1、T2均无零序涌流,但励磁

涌流一定有正、负序电流,后者分流到G1、T1成为和应涌流,对G1、T1的纵差保护而言,和应涌流是穿越性的暂态电流,通常T1差动保护有二次谐波等制动特性,可能不致误动,但发电机纵差保护一般没有二次谐波制动特性,再计及两侧互感器暂态特性不一致,可能导致G1纵差保护误动。

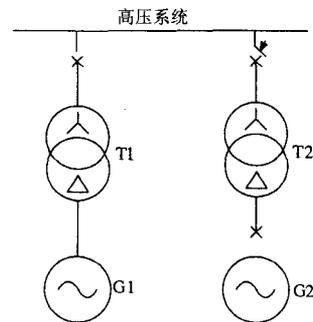


图1 和应涌流示意图

Fig.1 Schematic diagram of sympathetic inrush current

深入探讨和应涌流的产生机理并采取有效的防误动措施,也是当前的一个热点问题。

(4) 近年来若干高校在研究与励磁涌流无关的变压器内部短路主保护方面,倾注了很大精力,取得了可喜的成绩,让同行看到了解决变压器内部短路新保护的曙光。重要的是一定要研制样机,坚持试运和不断完善,最终在变压器内部短路保护上代替已有差动原理,彻底从区分内部短路电流和励磁涌流的困境中解脱出来。

(5) 亟待新版《大型发电机变压器继电保护整定计算导则》早日完成编制和出版发行。超高压、大容量机组的大量投运,新的原理和运行经验日丰富,修订DL/T684—1999版整定计算导则刻不容缓,以此指导大机组保护的设计、整定和运行维护工作。

一旦条件成熟,全面修改主设备主保护灵敏系数按外部端口两相短路的校核条件,因为对于比率制动特性纵差保护在此条件下灵敏系数总是满足要求的,且这种校核条件根本无法计算横差保护的灵敏系数。

(6) 几个保护定值整定问题

a. 《IEEE Guide for AC Generator Protection》2006年版提出失磁保护中静稳极限阻抗圆和异步边界阻抗圆的X轴下端定值分别取 $-1.25X_d$ 和 $-1.10X_d$,个人认为不妥,仍应取 $-X_d$,但汽轮发电机静稳极限阻抗圆的功角整定值应取小于 90° (一般可取为 $55^\circ \sim 65^\circ$,详见另文讨论)。

b. 发电机定子绕组匝间短路纵向 $3U_0$ 保护应

在运行经验和内部匝间短路分析计算的基础上确定合理的定值;防误动的辅助判据应有更深入的研究。

c. 单元件零序电流横差保护定值与定子绕组结构(分布或集中布置)、大轴振动和偏心程度有关,振动、偏心较大和集中式定子绕组的发电机单元件横差保护的定值可能超过 5%,分布式定子绕组发电机,经过现场测试,单元件横差保护定值可小于 5%。

(7) 继续提高主设备主保护设计和运行的技术水平。现在我国大部分大型水电机的主保护配置方案均已采用量化优化的设计方法,但是特大型(600~1000 MW 级)火电机组主保护配置方案的设计仍依然故我,仅凭经验和概念办事,这种定性化设计方法的结果是设计和运行人员心中无数,不清楚选用的主保护方案的优缺点,究竟起到多好的保护作用?保护动作死区在哪里?如何进一步完善和提高?问题的症结是保护工作者不知道内部短路电流的大小和相位。我们说主设备保护技术水平长期落后于线路保护,首先是落后在对绕组内部短路电

流的认识,这对主设备保护技术人员来说是一个致命的弱点。由于发电机变压器绕组内部短路电流计算的复杂性,目前还不能要求所有发电机变压器主保护方案设计都作内部短路分析计算,以便采用量化优化设计方法,但 600~1000 MW 级的特大型机组还是应该高标准要求,因为我国已有自主知识产权的“多回路分析法”和“主保护量化优化设计方法”。进一步还将和电机制造厂合作,改变特大型汽轮发电机组的中性点侧引出方式,为推广单元件横差保护、裂相横差保护,完全和/或不完全纵差保护创造条件,以期获得特大型汽轮发电机主保护的全面完善。

收稿日期:2008-05-04

作者简介:

王维俭(1930-),男,教授,长期从事大机组保护教学和研究工作;E-mail:Wangwj-qhdx@263.net

桂林(1974-),男,博士,助研,研究方向为大机组保护及故障分析。

(上接第 4 页 continued from page 4)

- [13] IEEE Committee Report. Second Supplement to a Bibliography for the Study of Subsynchronous Resonance Between Rotating Machines and Power Systems[J]. IEEE Trans on Power Apparatus and Systems, 1985, 104(2): 321-327.
- [14] IEEE Committee Report. Third Supplement to a Bibliography for the Study of Subsynchronous Resonance Between Rotating Machines and Power Systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1991, 6(2): 830-833.
- [15] Iravani M R, Agrawal B L, Baker D H, et al. Fourth Supplement to a Bibliography for the Study of Subsynchronous Resonance Between Rotating Machines and Power Systems[J]. IEEE Trans on Power Systems, 1997, 12(3): 1276-1282.
- [16] Anderson P M, Agrawal B L, Van Ness J E. Subsynchronous Resonance in Power Systems[M]. New York:

IEEE Press, 1989.

- [17] Padiyar K R. Analysis of Subsynchronous Resonance in Power Systems[J]. Kluwer Academic Publisher, 1998.
- [18] 程时杰,曹一家,江全元.电力系统次同步振荡问题的理论与方法[M].北京:科学出版社,2008.

收稿日期:2008-05-21

作者简介:

文劲宇(1970-),男,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为电力系统运行与控制,电能存储与电力安全等;E-mail:jinyu.wen@hust.edu.cn

孙海顺(1971-),男,博士,副教授,主要研究方向为电力系统分析与仿真,FACTS,舰船电力系统等;

程时杰(1945-),男,博士,教授,博士生导师,中国科学院院士,主要研究方向为电力系统运行与控制、人工智能、电力电子、电能存储等。E-mail:sjcheng@hust.edu.cn

热烈祝贺《继电器》杂志更名为《电力系统保护与控制》