

# 变压器运行的安全与继电保护

张洪,常凤然

(河北电力调度通信中心,河北 石家庄 050021)

摘要:通过分析变压器热稳定要求及其在运行中可能承受的故障考验,提出了变压器保护定值整定应考虑的相关问题,对其相间故障后备保护应具备的能力提出了看法。并对变压器设计、运行及其保护配置与整定提出了建议。

关键词:变压器; 热稳定; 保护配置; 整定

中图分类号: TM772 文献标识码: B 文章编号: 1003-4897(2003)01-0054-04

## 1 引言

电力变压器的故障分为内部和外部两种故障。内部故障指变压器油箱里面发生的各种故障,主要靠瓦斯和差动保护动作切除变压器;外部故障指油箱外部绝缘套管及其引出线上发生的各种故障,一般情况下由差动保护动作切除变压器。速动保护(瓦斯和差动)无延时动作切除故障变压器,设备是否损坏主要取决于变压器的动稳定性。而在变压器各侧母线及其相连间隔的引出设备故障时,若故障设备未配保护(如低压侧母线保护)或保护拒动时,则只能靠变压器后备保护动作跳开相应开关使变压器脱离故障。因后备保护带延时动作,所以变压器必然要承受一定时间段内的区外故障造成的过电流,在此时间段内变压器是否损坏主要取决于变压器的热稳定性。因此,变压器后备保护的定值整定与变压器自身的热稳定要求之间存在着必然的联系。

## 2 变压器设计热稳定指标

文献[1]中要求“对称短路电流  $I$  的持续时间:当使用部门未提出其它要求时,用于计算承受短路耐热能力的电流  $I$  的持续时间为 2 s。注:对于自耦变压器和短路电流超过 25 倍额定电流的变压器,经制造厂与使用部门协商后,采用的短路电流持续时间可以小于 2 s。”

GB1094.5-85 中仅提供双绕组三相变压器对称短路电流  $I$  值的计算式:

$$I = \frac{U}{\sqrt{3}(Z_t + Z_s)}$$

式中:  $Z_t$  为折算到所考虑绕组的变压器的短路阻抗,  $Z_s$  为系统阻抗。

表 1 GB1094.5-85 提供系统的短路表观容量表

Tab. 1 Short-circuit apparent capacity of system in GB1094.5-85

| 电压等级 / kV | 系统最高电压 / kV | 系统短路表观容量 / MVA | 电压等级 / kV | 系统最高电压 / kV | 系统短路表观容量 / MVA |
|-----------|-------------|----------------|-----------|-------------|----------------|
| 6, 10     | 6.9, 11.5   | 500            | 220       | 242         | 15000          |
| 35        | 40.5        | 1500           | 330       | 363         | 30000          |
| 60        | 69          | 3000           | 500       | 550         | 43300          |
| 110       | 121         | 8000           |           |             |                |

当以平均电压作为基准电压,以 1000 MVA 为基准容量时,可以计算出与表 1 相对应的系统等值电抗标么值如表 2。

表 2 对应于表 1 的系统短路等值电抗

Tab. 2 Short-circuit equivalent reactance of system with Tab. 1

| 电压等级 / kV | 系统最高电压 / kV | 系统短路等值电抗标么值 | 电压等级 / kV | 系统最高电压 / kV | 系统短路等值电抗标么值 |
|-----------|-------------|-------------|-----------|-------------|-------------|
| 6, 10     | 6.9, 11.5   | 2.0         | 220       | 242         | 0.0667      |
| 35        | 40.5        | 0.667       | 330       | 363         | 0.0333      |
| 60        | 69          | 0.333       | 500       | 550         | 0.0231      |
| 110       | 121         | 0.125       |           |             |             |

按以上设计考虑,一台 220 kV/ 120 MVA 普通三卷变压器,取变压器典型参数(高低压阻抗比为 22.4)计算可知:低压侧能够承受的热稳定电流标么值约为 0.51。当两台这样的变压器并列运行,低压侧母线故障本侧分段开关跳开时,变压器低压绕组中可能的短路电流可达到 0.75 倍标么值,比设计值增大了近 50%。若三台这样的变压器并列运行,变压器低压绕组中的短路电流可能更大。

## 3 变压器保护配置情况

### 3.1 500 kV 变压器

我国运行中的 500 kV 变压器大多为单相式自

耦变压器,按技术规程<sup>[2]</sup>要求,装设瓦斯保护、过激磁保护、双重差动保护,同时在其高、中压侧均装设了阻抗保护及零序方向电流保护,低压侧装设过流保护。这些保护均作用于跳闸。高、中压侧的阻抗保护和低压侧过流保护属变压器的相间后备保护。由于500 kV变压器多为单相式变压器,所以变压器本体不会发生相间故障。在变压器所连接的高、中压系统中,线路保护一般配置了双重纵联保护,并有完整的后备保护,这样线路的故障一般会较快地切除,对变压器影响较小。因此,变压器的相间后备保护应主要在其各侧母线故障时起作用,特别是中、低压侧母线的故障(500 kV侧母线设有双套母差保护)。中、低压母线故障流过变压器的短路电流大,不仅引起变压器绕组过热,还可能造成绕组的动稳定破坏,诱发严重的内部故障。零序方向电流保护属变压器的接地故障后备保护,可以反应变压器内部、高中压侧母线及与高中压母线邻近的电气设备的接地故障。

### 3.2 220 kV 及以下变压器

220 kV变压器多为三相式三卷变压器,按技术规程要求,一般装设瓦斯保护、差动保护,同时在其高、中压侧均装设了复合电压闭锁过流保护及零序方向过电流保护与间隙保护,低压侧装设复合电压闭锁过流保护。各侧复合电压闭锁过流保护及零序方向过电流保护综合,可以反应变压器内部、各侧母线及母线邻近的电气设备的接地与相间故障,作为变压器自身主保护及各侧母线及母线邻近的电气设备的后备保护。110 kV及以下变压器一般装设瓦斯保护(对油浸式变压器)、差动保护,110 kV侧零序过电流保护、间隙保护及各侧过流保护或复合电压闭锁过流保护,这些保护的作用与220 kV变压器的作用相似。

## 4 可能考验变压器热稳定性的故障

### 4.1 500kV 变压器

由于变压器自身主保护装置及其交、直流回路的完全双重化配置,应可以不再考虑变压器差动保护范围内故障对变压器热稳定性的考验。500 kV系统母线、线路保护的完全双重化配置,快速保护在保护范围上的交叉布置,及完善的失灵保护,笔者认为可以不考虑500 kV系统侧故障对变压器热稳定性的考验。

220 kV系统侧线路保护双重化配置,母线保护目前多为单配置。因此,当母差保护校验停运或故

障拒动时,变压器只能靠其后备保护动作使其脱离故障点。变压器开关(或转带时旁路开关)与TA间的故障很可能靠变压器后备保护脱离故障点。

变压器低压侧一般经由母线带站用变、电抗器及电容器,有的变电站可能带较少的站外负荷。很多站低压母线未配母差保护,因此母线故障变压器只能靠其后备保护动作使其脱离故障点;再者,当站用变或电抗器及电容器故障而其开关或保护拒动时,变压器也要靠其后备保护动作使其脱离故障点。

### 4.2 220 kV 及以下变压器

对于两侧系统都有电源的联络变压器:任何一侧母差保护校验停运或故障拒动时;变压器开关与TA间故障时;旁路转带方式在主变套管TA至旁母引线、旁路母线、旁路开关与TA间故障时;母线(220 kV母线除外)上其他开关所带电气设备故障而其开关或保护拒动时变压器只能靠其后备保护动作使其脱离故障点。

对于仅高压侧系统有电源的降压变压器:中、低压侧母差保护校验停运或故障拒动时;中、低压侧变压器开关与TA间故障时;中、低压侧母线上其他开关所带电气设备故障而其开关或保护拒动时变压器只能靠其后备保护动作使其脱离故障点。

## 5 变压器相间后备保护的配置与整定

变压器接地故障保护定值与其所带负荷的关系不大,因此接地故障后备保护的整定延时一般较短,能够满足2 s的热稳定时间要求。在此仅关心变压器相间后备保护的定值问题。

### 5.1 整定规程要求

《220~500 kV电网继电保护装置运行整定规程》中要求<sup>[3]</sup>:

变压器各侧的过电流保护均按躲变压器额定负荷整定,但不作为短路保护的一级参与选择性配合,其动作时间应大于所有出线保护的最长时间。

变压器短路故障后备保护应主要作为相邻元件及变压器内部故障的后备保护。主电源侧的变压器相间短路后备保护主要作为变压器内部故障的后备保护。其它各侧的后备保护主要作为本侧引线、本侧母线和相邻线路的后备保护,并尽可能当变压器内部故障时起后备作用。以较短时限动作于缩小故障影响范围,以较长时限动作于断开变压器各侧断路器。

主电网间联络变压器的短路故障后备保护整定:高(中)压侧(主电源侧)相间短路后备保护动作

方向可指向变压器,作为变压器高(中)压侧绕组及对侧母线相间短路故障的后备保护,并对中(高)压侧母线故障有足够的灵敏度,灵敏系数大于1.5;如采用阻抗保护作为后备保护,且不装设振荡闭锁回路,则其动作时间应躲过系统振荡周期,其反方向偏移阻抗部分作为本侧母线故障的后备保护。

供电变电所降压变压器的短路故障后备保护整定:高压侧(主电源侧)相间短路后备保护动作方向指向变压器,对中压侧母线故障有足够灵敏度。

### 5.2 500 kV 变压器的保护

当220kV侧母差保护校验停运或故障拒动及开关与TA间故障时,变压器高压侧及本侧的阻抗保护对于金属性短路故障应能可靠动作,且保护整定延时可以在1.5~2.0s之间。如果短路为非金属性的,经弧光短路时,阻抗保护可能灵敏度不足或整定延时长于2.0s。最好在本侧设一个保变压器热稳定的反时限过流保护,其整定值应由变压器的热稳定要求决定。如果只设一个电压闭锁时限的过流保护,则其电流定值应保证在变压器本侧流过的电流接近热稳定电流时可靠动作,如整定为0.8倍的设计允许热稳定电流值(主要考虑TA和保护装置本身的测量误差),且使变压器脱离故障点动作延时长于2.0s。问题是当实际故障电流略小于保护定值时,保护将不能动作使变压器脱离故障点,故障电流仍有可能在较长的时间内造成变压器热稳定的破坏。所以,还需要有一个延时较长(如3.0~5.0s),动作值更小的电压闭锁过流保护。笔者认为:220kV侧母差保护双重化配置,并合理设计失灵保护,由它们共同实现使变压器快速脱离故障点,也应是较好的方案。(220kV母差保护直接跳变压器各侧开关,虽也可解决开关与TA间故障及母线故障变压器该侧开关拒动的问题,但在多数情况下多跳了开关,在一些情况下还可能导致500kV另一元件停电。)

变压器低压侧一般采用三角形接线,高、中压侧的阻抗保护很可能对低压侧短路起不到保护作用<sup>[4]</sup>。因此,变压器低压侧的电压闭锁过流保护多重化配置,才可以保证在任何情况下运行设备都由两套交、直流输入和输出回路相互独立,并分别控制不同断路器的继电保护装置进行保护。单相式500kV变压器的低压侧设有套管TA,可测量到变压器低压侧各相线圈流过的电流。在近低压侧断路器处还设有外附TA。这样的TA布局方便了低压侧保护多重化的交流电流回路接线要求,可将过流保

护分别接于套管TA和外附TA。在保护装置设计和制造时,要做到过流各有自身的直流逆变电源和出口跳闸继电器。在二次回路设计时,要做到使它们的直流电源受不同的熔断器控制,其中一套保护的直流熔断器熔断时不影响其他过流保护的正常运行。在保护出口所跳断路器的设计中,应满足既有跳低压侧断路器的保护段,又有跳变压器各侧断路器的保护段。实际计算表明:此过流保护应能保证对低压母线的故障有足够的灵敏度且动作时间在1.0s以内。

### 5.3 220 kV 联络变压器的保护

一般中压侧的电源较弱(不以中压侧的电压等级为主网架的电网),高压侧故障时流过变压器的故障电流远小于中、低压侧故障时流过的电流,应重点考虑中、低压侧相关设备短路时对变压器热稳定性的影响。

变压器低压侧:过流保护对于未装设母差的低压侧母线,应是此母线故障的主保护;装设了母差的低压侧母线,主变开关与TA间的故障(TA未在开关近母线侧时)也只能靠后备保护切除,作为出线保护的后备。基于另外两侧并列运行及故障时分段开关跳闸的因素,低压侧过流保护切除故障的时间不仅要不大于2.0s,而且要尽量压缩到更短的时间。实际运行中定值整定的可行性取决于低压侧是否有送出线路。低压侧为10kV的变压器,其出线一般直供用户,出线保护延时应限制在1s,主变低压侧过流保护的延时可控制在2s内。低压侧为35kV的变压器均有送出线路,此线路带下一级变电站,因此,此线路保护的延时按正常配合一般要长于1.5s,这就使得主变低压侧过流保护的整定延时大于2s。若将主变低压侧过流保护的延时整定为2s,必然与出线后备保护失配,有越级跳闸的可能。需要增加与出线保护限时电流速断配合的变压器低压侧短路过流保护,综合考虑有配合关系的保护定值,提高保护的速动性和选择性。此短路过流保护应有跳变压器各侧的功能。

变压器中压侧:使本侧相间后备保护动作时间不大于2s应该说有很大的困难。在现有按躲变压器负荷电流整定的过流保护整定原则不变的情况下,增加一段短路保护过流定值。为了压缩动作时间,可考虑与出线的阻抗II段配合,但要求此II段应对本线及相邻的下一级线路故障有灵敏度,联络线的阻抗II段因有电源的助增很难满足此要求。因此,变压器本侧电流定值应躲过出线阻抗II段保

护范围末端的短路。对于辐射线可考虑与出线的阻抗 II 段配合 (II 段应对本线及相邻的下一级线路故障有灵敏度), 躲过出线相联变电站其他侧母线短路流过本变压器的故障电流。短路过流保护动作后先跳本侧母联再跳变压器本侧开关最后跳各侧。实际系统试算表明, 在变压器并列运行、系统有检修时此保护对本侧母线两相短路的灵敏度难以达到 1.5 的要求。可以考虑增加负序电流保护以提高两相短路的灵敏度, 但综合考虑各种短路的需求, 最好还是在本侧设一个保变压器热稳定的反时限过流保护, 其整定值应由变压器的热稳定要求决定。

变压器高压侧: 作为主电源的短路过流保护应作为变压器中、低压侧故障的后备保护。在中、低压侧故障但保护拒动或开关拒动时, 高压侧过流保护应动作切除故障, 并与中、低压的短路过流段配合, 但对中、低压侧故障可能灵敏度不足, 在 220 kV 变压器保护微机化并实现双重配置, 且中、低压侧过流都具有满足延时要求并跳三侧的保护段后, 高压侧过流可不作严格要求。高压侧母线故障时, 流过变压器绕组的电流一般较中、低压侧故障时小, 变压器热稳定允许的情况下, 由按躲额定负荷电流整定的过流保护动作 (延时在 5 s 左右) 使变压器脱离故障。

#### 5.4 220 kV 及以下仅高压侧有电源的变压器保护

只考虑变压器中、低压侧相关设备短路时对变压器热稳定性的影响。

变压器低压侧: 应与联变低压侧的保护相同。

变压器中压侧: 增加一段短路保护过流定值, 可考虑与出线的阻抗 II 段配合 (II 段应对本线及相邻的下一级线路故障有灵敏度), 躲过出线相联变电站其他侧母线短路流过本变压器的故障电流, 确保变压器的热稳定, 其动作后先跳母联再跳变压器各侧。对于多级串供的线路保护要做好保护定值的综合考虑, 尽量减少不配合。此短路过流保护若在某方式下对中压侧母线灵敏度不足时, 应核算此时流过变压器的故障电流是否允许持续到按躲变压器负荷电流整定的过流保护动作。

变压器高压侧: 与联络变类似, 作为变压器中、低压侧故障的后备保护。也可增加一段短路过流保护, 与中、低压的短路过流段配合。在中、低压侧故障但保护拒动或开关拒动时, 高压侧过流保护动作

切除故障。

以保大容量主设备安全为首, 并尽量兼顾对用户供电可靠性的原则。尽可能将不配合点靠近用户, 使保护越级动作造成的影响范围尽量缩小。重要用户负荷可以考虑用备投方式解决供电可靠性。

## 6 建议

1) 变压器作为电力系统中的重要电气设备, 设计、制造及运行各环节都应注意其安全性。其动、热稳定性的设计应充分考虑变压器是否并列运行, 并列运行的台数, 几侧有电源及电网中性点接地方式等要求。

2) 为了确保变压器运行中承受故障的热稳定性, 制造厂应提供变压器绕组流过故障电流大小与允许时间的关系曲线, 类似于发电机允许承受负序的 A 值要求。

3) 变压器保护的配置与整定时, 应根据制造厂提供的变压器绕组流过故障电流大小与允许时间的关系曲线配置与之相适应的保护。

4) 变压器差动保护的应范围应包括低压侧开关, 使低压侧开关与 TA 间的故障不对变压器的热稳定构成威胁。

5) 变压器保护应尽可能实现微机化, 可以有较多的过流保护段, 使各侧的过流保护能有相对较长的延时段跳变压器各侧开关, 特别是中、低压侧保护跳变压器各侧开关的保护段有利于变压器尽快脱离故障点。

## 参考文献:

- [1] GB1094.5—85, 电力变压器[S].
- [2] GB14285-93. 继电保护和安全自动装置技术规程[S].
- [3] DL/T559-94. 220~500 kV 电网继电保护装置运行整定规程[S].
- [4] 张洪, 常凤然, 等. 500kV 变压器相间后备保护探讨[J]. 继电器, 2000, 28(7): 12-15.

收稿日期: 2002-05-15

作者简介:

张洪(1964-), 女, 硕士, 高级工程师, 从事继电保护计算、运行、管理工作;

常凤然(1967-), 男, 高级工程师, 从事继电保护计算、运行、管理工作。

## Operating safety of transformer with protection

ZHANG Hong, CHANG Feng ran

(Hebei Provincial Electric Power Dispatch Centre, Shijiazhuang 050021, China)

(下转第 60 页)

技术监督管理系统进行汇总,以便有关人员查询。

#### 5.4 技术监督试验报告管理

试验报告管理主要管理电科院所要求上报的与技术监督有关的各类试验报告。电科院或各厂(局)录入试验报告,并经必要的审批流程后,由技术监督管理系统进行汇总,以便有关人员查询。

### 6 结束语

本系统现正处于测试阶段,使用效果比较满意。由于采用了微软较先进的 ASP.NET 技术,编程语言采用的是 VB.NET,代码将在编译后运行,而不是 ASP3.0 及更低版本的代码解释执行,所以提高了执行速度,并增强了代码的保密性。同时由于采用了 Powerbuilder7.0 的 Web DataWindow 技术,解决了 FreeForm 格式的报表输入输出数据困难,人机交互界面差的问题。

#### 参考文献:

- [1] Ollie Cornes,Chris Goode,等著.崔洪斌,麻辛旗,等译. ASP.NET入门经典—VB.NET编程篇[M].北京:清华大学出版社出版,2002.
- [2] 孟军,王宝学.精通 ASP.NET网络编程[M].北京:人民邮电出版社,2002.
- [3] 王鹏,王学军,李孔军,等. PowerBuilder7.0 Programmer's Guide 程序员指南[M].北京:北京希望电子出版社,2000.
- [4] Jason Bell, Mike Clark,等著;赵彦敏译. ASP.NET程序员参考手册[M].北京:清华大学出版社,2002.

收稿日期: 2002-05-26; 改回日期:2002-07-25

作者简介:

刘敦敏(1973-),男,硕士研究生,研究方向为电动机控制;

孙云莲(1962-),女,教授、博士,研究方向为电动机控制和图像处理。

### The supervisory management system of electrical technology based on B/S mode

LIU Durr-min, SUN Yur-lian

(School of Electrical Engineering, Wuhan University, Wuhan 430072, China)

**Abstract:** At present, the data of the supervisory management system of electrical technology is dealt by hand, the information is slowly transferred, a great deal of data is required to be dealt with and the information can't be made for retrieving and sharing. With the development of computer and internet (or intranet), it is possible to update the method of the supervisory management system of electrical technology via internet (or intranet). This paper introduces the general design and techniques to complete the supervisory management of electrical technology based on B/S mode. This system adopts ASP.NET technology of Microsoft Inc. and Web DataWindow of Sun Inc. and achieved information quickly transferred, report tables collection and calculation, various query and report tables unified management. This paper also puts forward a method which adopts Web DataWindow technique of PowerBuilder7.0 to solve the problem, which is the data input and output as Freeform format.

**Key words:** ASP.NET; supervisory technology; web dataWindow; B/S mode

(上接第 53 页)

### A method to reconstruct the communication part of FTU based on the CANbus

XU Li-qin<sup>1</sup>, SUN Ying<sup>1</sup>, LI Zhi-hong<sup>2</sup>

(1. Academy of Electric Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China;

2. Xinneng Industry of Xinjiang Electric Power Company, XinJiang 830005, China)

**Abstract:** A new method is presented in this paper to reconstruct the communication part of FTU. This method make the improved FTU have the capacity to connect with the CANbus directly. On the basis, therefore, we can construct the total disintegrated Field bus net with stronger communication capacity. This paper specifies the design of hardware and software detailedly.

**Key words:** feeder automation; FTU; Fieldbus; CANbus; controller; transmitter/receiver

(上接第 57 页)

**Abstract:** With analyzing thermic stabilization requirement of transformer and fault proof on operating, this paper indicated that interrelated problem should be thought over in calculating of transformer protection. Some views are given on the ability of transformer protection in inter phase-fault. This paper also puts up a proposal for design, operating, protection scheme and setting of transformer.

**Key words:** transformer; thermic stabilization; protection scheme; setting