

继电保护丛书

厂用电系统保护

梁世康

许光一

水利电力出版社

内 容 提 要

本书是《继电保护丛书》的一个分册，主要介绍厂用电系统保护的原理。

全书共分十五章，主要内容有：厂用电接线；厂用变压器、厂用电馈线和厂用电动机等元件的各种保护工作原理与整定计算；大容量发电厂厂用电系统的中性点接地方式与保护装置；厂用电机的工艺连锁；厂用电系统的备用电源自动投入装置。本书的最后一章列举了一个厂用电保护装置整定计算实例。

本书主要供从事电厂运行、维修及继电保护工作的同志阅读，也可供高等院校有关专业的师生参考。

继电保护丛书
厂用电系统保护
梁世康 许光一

水利电力出版社出版
(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售
水利电力出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 15.25印张 337千字
1986年10月第一版 1986年10月北京第一次印刷
印数0001—6930册 定价3.10元
书号 15143·5988

前 言

厂用电系统保护是发电厂继电保护中的一个重要环节。但是，从目前的运行状况来看，它还是一个较薄弱的环节，历年来出现的问题不少，具体表现在：保护装置配置的不够合理；保护装置的动作时间与备用电源自动投入装置的动作时间选择的不够恰当等。由于以上问题的存在，给厂用电的安全运行带来了严重的威胁，这是电力生产中需急待解决的重大问题。本书考虑到广大专业人员和工程技术人员的需要，取材既反映目前国内发电厂厂用电系统中广泛使用的继电保护，又适当介绍国外在这方面的新成果与发展趋向。

本书共分十五章，主要内容有：厂用电接线，厂用变压器、厂用电馈线保护，大容量发电厂厂用电系统的中性点接地方式和保护装置，厂用电机的保护及其工艺连锁，备用电源自动投入装置等。本书的最后一章列举了一个全面说明厂用电系统保护配合关系与整定计算的实例，以加深对厂用电系统保护的认识。

书中，第一至八章及第十四章由梁世康编写，第九至十三章由许光一编写；第十五章由二人共同编写。

本书在编写过程中，得到上海闸北发电厂继电保护班及有关单位的大力帮助。初稿完成后，由东北电力设计院的张道民、侯炳蕴、王德宝、徐友辅等进行了审阅，并提出了很多宝贵的意见。在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点错误难免，恳请读者批评指正。

编 者

1985年1月

目 录

前 言

第一章 发电厂厂用电接线	1
第一节 概述	1
第二节 厂用电接线的基本要求	3
第三节 厂用电机的分类	4
第四节 厂用电源的种类和电压的选择	5
第五节 厂用母线的接线方式和提高厂用电路可靠性的措施	10
第六节 厂用电电源的连接	13
第二章 厂用变压器保护的概述	18
第一节 厂用变压器的故障和不正常运行状况	18
第二节 厂用变压器保护装置的配置原则	20
第三节 厂用电继电保护的一般要求	24
第四节 变压器两侧电流电压的关系	25
第三章 厂用变压器的纵联差动保护装置	38
第一节 纵联差动保护装置的基本原理	38
第二节 纵差动保护的特点	41
第三节 变压器差动保护的构成方式	61
第四节 差动保护装置接线图例分析	100
第四章 厂用变压器的电流速断保护装置	105
第一节 电流速断保护的配置原则和接线方式的选择	105
第二节 电流速断保护的工作原理	105
第五章 厂用变压器的瓦斯保护装置	110
第一节 瓦斯保护的作用	110
第二节 瓦斯继电器的结构和原理	111
第三节 瓦斯保护的原理接线和整定	113

第六章 厂用变压器的过电流保护装置和零序电流

保护装置117

第一节 过电流保护装置117

第二节 带低电压起动的过电流保护装置132

第三节 复合电压起动的过电流保护装置134

第四节 负序电流保护装置141

第五节 零序电流保护装置146

第六节 低压厂用分支线的零序电流保护装置159

第七章 厂用电抗器回路和厂用高压线路的保护装置164

第一节 厂用电抗器回路的保护配置原则164

第二节 纵联差动保护装置166

第三节 过电流保护装置168

第四节 单相接地保护装置170

第五节 厂用高压线路的保护装置174

第八章 大容量发电厂厂用电系统的中性点接地方

式和保护装置183

第一节 概述183

第二节 厂用电系统中性点的接地方式184

第三节 中性点接地方式的特点186

第四节 厂用电系统的接地保护装置203

第五节 单相接地电容电流的计算240

第九章 异步电动机保护概述243

第一节 异步电动机的故障和不正常运行方式243

第二节 异步电动机保护装置的装设原则244

第十章 异步电动机的主要特性246

第一节 异步电动机的等值电路图246

第二节 异步电动机的电流和功率248

第三节 异步电动机的转矩249

第四节 厂用机械的特性253

第五节	异步电动机的机械时间常数和惰行	256
第六节	异步电动机的起动	260
第七节	异步电动机的自起动	269
第十一章	高压厂用电动机保护	273
第一节	感应型电流继电器	273
第二节	整流型电流继电器	285
第三节	电动机的相间短路保护	290
第四节	电动机的单相接地保护	297
第五节	电动机的过负荷保护	301
第六节	电动机的低电压保护	306
第十二章	低压厂用电动机保护	316
第一节	相间短路保护	316
第二节	过负荷保护	331
第三节	零序保护	337
第四节	低电压保护	339
第十三章	厂用电电动机的工艺联锁	341
第一节	输煤系统电动机的联锁	341
第二节	凝结水泵、给水泵及循环水泵的联锁	348
第三节	锅炉辅机的联锁	364
第四节	除灰系统的联锁	370
第十四章	备用电源自动投入装置	379
第一节	概述	379
第二节	对备用电源自动投入装置的基本要求	386
第三节	备用电源自动投入装置的典型接线	391
第四节	参数选择	409
第五节	备用电源自动投入装置存在的几个问题	412
第六节	大机组厂用电源快速切换	418
第十五章	厂用电保护装置整定计算算例	438

第一章 发电厂厂用电接线

第一节 概 述

现代发电厂的生产过程是完全机械化和自动化的。它需要许多机械为其主要设备(锅炉、汽轮机或水轮机、发电机)和辅助设备服务。这些机械称为厂用机械。例如,为了使锅炉能正常运行,需要给粉机、送风机和引风机连续地工作;需要给水泵一刻不停地给锅炉供水;还需要灰浆泵定时地给锅炉除灰等。这些厂用机械大多数是采用电动机拖动的(仅个别的是用蒸汽拖动的),因为电动机比其他原动机可靠、经济,且起动、安装和维修也简单,操作过程容易实现自动化。

发电厂厂用机械用电及照明用电称为发电厂的厂用电。厂用电绝大部分是使用交流电,少量的是使用直流电。

发电厂厂用电的全部电力网络、厂用电配电装置和厂用电的交直流电源等所构成的总体,称为发电厂的厂用电系统。

发电厂厂用电系统由下列各部分组成:

- (1) 发电厂各车间的全部电动机。
- (2) 发电厂的照明。
- (3) 各种电压等级的厂用电配电装置。
- (4) 直流装置。
- (5) 供电给厂用电的电源等。

厂用电系统的任何故障都会影响电能的正常生产,严重

的还会导致电厂出力的降低，甚至会迫使全厂停电，中断对电力系统的供电，这对不允许停止供电的重要用户来说，是个严重的威胁，处理不当将给国民经济造成不可估量的损失。

厂用电是发电厂中最重要的负荷。厂用电工作的可靠性在很大程度上决定着整个电厂的安全发电，因此，如何保证对厂用电高度的供电可靠性和不间断性具有十分重要的意义。

对于不同类型的发电厂，厂用电的重要程度也有所不同。从厂用电对电能生产过程的影响来看，一般来说，在水电厂中相对的不如在火电厂中重要。不同的技术条件对厂用电的供电也提出了不同的要求，如高温高压蒸汽参数的火电厂、大容量发电机及自动化程度越高的发电厂和原子能发电厂，厂用电就显得更为重要。

厂用电率是发电厂的一项重要经济指标，其数值的大小是指发电厂本身所消耗的电能占同一时间内全部发电量的百分数。设计时，厂用电率用估算的方法求得，即

$$\text{厂用电率} = \frac{\text{厂用电计算负荷}(\text{kV}\cdot\text{A}) \times 100\%}{\text{发电机容量}(\text{kV}\cdot\text{A})}$$

厂用电计算负荷就是指全厂发电机满载运行时厂用电的最大负荷。

厂用电率的大小决定于发电厂的类型、燃料的种类及其燃烧方式、蒸汽参数和自动化程度等。我国水电厂的厂用电率约为0.5~2%，热电厂为8~10%，凝汽式火电厂为5~8%。由此可见，火电厂中厂用电的耗电量是很可观的。因此，应在保证对厂用电供电可靠的前提下，尽量降低厂用电率，以提高电力生产的效率。

厂用电供电的可靠性和经济性虽与电厂的运行操作、维护检修和产品的质量等有着密切的关系，但在很大程度上取决于：厂用电接线设计正确与否；正确选择厂用电动机的类型和容量；供电电源、电压和接线方式；此外，还有赖于采用新型的继电保护和自动化措施等，有关这类问题将在下面各章节中加以叙述。

第二节 厂用电接线的基本要求

厂用电工作的可靠性在很大程度上决定整个电厂的安全发供电。为了保证厂用电的连续供电，厂用电接线应满足下列基本要求。

一、安全可靠、运行灵活

厂用电接线方式和电源容量应能适应正常、事故、检修等方面的供电要求，还应考虑到机炉起动和停用过程中的供电要求，同时还应满足切换操作的方便。一旦发生故障时，应尽量缩小事故范围，并能将备用电源及备用设备正确及时地投入，发生全厂停电事故时，应能尽快地从系统中取得起动电源。

二、投资少，结线简单、清晰，运行费用低

在考虑安全可靠的同时，还必须注意到它的经济性。因为不必要的相互连接，过多的备用设备和备用电源，不但会造成基建投资费用的浪费和运行费用的增加，而且还将使厂用电接线复杂、运行操作烦琐、增加设备的故障机会和维修工作量等。

三、供电的对应性

指在正常运行方式下，本机、炉的厂用电源由本机、炉

供给。这样，当厂用电系统发生故障时，只影响一组机炉的运行，可缩小故障范围。这个原则对多台机组的大、中型火电厂尤为重要。这种供电的对应性，可使厂用电接线简单、清晰，并给运行、维护、检修带来方便。另外，当发电机与主变压器成单元连接时，有时可避免主变压器限制发电机容量的情况（如50000kW发电机配60000kV·A主变压器）。

为了满足机炉电的对应性，要求把厂用电母线按炉分段，且各段单独运行。

四、与电气主接线的关系

厂用电接线应根据电气主接线的方式来考虑，尤其是高压厂用备用电源的引接问题。厂用电接线对有无厂外系统电源以及电厂在电力系统中的地位等应作统一考虑。

五、整体性

厂用电接线要考虑到电厂分期建设、连续施工等情况。对全厂性的公用负荷，要结合远景全面规划、统一安排、便于过渡。对扩建工程，应充分注意到原有厂用电系统的特点，做到厂用电系统的整体性。

第三节 厂用电机的分类

厂用电机的重要性，决定于被拖动的厂用设备在发电厂生产过程中的作用，以及供电中断对人身、设备和生产的影响。厂用电机可分为下列三类：

第 I 类：短时（手动切换恢复供电所需的时间）停电会影响人身或设备安全，并使生产停顿或发电量大量下降者，如给水泵、凝结水泵、引风机、循环水泵等。对第 I 类厂用电机必须保证自起动，并应由两个独立电源供电。当一个电

源失去后，另一个电源应立即自动投入。

第II类：较长时间的停电虽会损坏设备或影响正常的生产，但在允许的停电时间内通过及时操作能重新取得电源而不致于造成生产混乱者，如工业水泵、疏水泵、灰浆泵以及输煤设备等。对于这类厂用电动机应由两个电源供电，一般采用手动切换。

第III类：长时间停电不致直接影响生产者，如中央修配厂、试验室和油处理室等处的电动机。对于这类厂用电动机，一般由一个电源供电。

第四节 厂用电源的种类和电压的选择

根据厂用电系统负荷的要求不同，厂用电源可分为交流电源与直流电源两种。

一、取得厂用交流电源的两种方式

(1) 由主发电机通过厂用变压器或电抗器给厂用电系统供电。

(2) 装设独立的厂用电源，例如装设小型汽轮发电机（或水轮发电机）单独供给厂用电。

第一种供电方式可靠性很高，尤其当发电厂并入电力系统运行后，即使厂内发电机全部停止运行，也可从系统中取得电源。所以，现代的发电厂厂用电已毫无例外地由主发电机供给。这种方式比设独立的厂用电源投资少、运行简单，且容易保证第I类厂用电电动机的自起动。

在某些孤立发电厂中或者考虑到电力系统发生最严重的事故时，若厂用电系统不能及时得到供电，则可根据具体情

况，装设独立的厂用电源，作为厂用电的应急电源。

二、厂用电交流系统电压等级的选择

在确定厂用电交流系统电压等级时，不仅要考虑电动机方面的问题，还要考虑到厂用电网络方面的问题。

首先，厂用电系统供电电压要与异步电动机的技术规范相适应。从表1-1中可知，380/220V电动机的最大容量为300kW，3kV的最小容量为75kW，6kV的最小容量为200kW，由于发电厂的厂用电动机要求的容量范围很大，因此，只选一种电压等级的电动机，往往是不能满足要求的。

表 1-1 异步电动机的技术规范

电 压 (V)	同步转速 (r/min)	在各种同步转速下的功率范围(kW)					
		3000	1500	1000	750	600	500
6000		290~350	220~1050	310~2000	200~2000	200~1600	280~1250
3000		130~440	90~1250	75~1600	85~1600	90~1600	140~1250
380/220		0.6~275	0.6~300	0.8~280	2.2~245	17~180	

其次，同容量的电动机电压低的价格较低、效率较高（3kV电动机效率比6kV电动机约高1~1.5%，价格约低20%），但供电线截面要大，使铜耗量增加。另外，还应注意到不同电压等级的短路电流是不同的，它是否能采用SN轻型少油断路器，对第I类电动机的自启动是否有利等。

目前，我国发电厂中厂用电的供电电压，低压一般采用380/220V。目前，380V厂用电常用的是动力和照明合并的三相四线制的接地系统，如在技术经济上合理时也可采用动

力和照明分开的供电系统。

在低压发电厂或发电机电压为 6 kV 的小容量发电厂中，由于厂用电电动机的容量都不大，可采用 380/220V 一种电压。在大中型发电厂，可能有较小容量的电动机，此时必须有两种电压等级供电：对于容量较小的电动机和照明可用 380/220V 的电压；对于大容量电动机，则应采用 3 或 6 kV 的电压。

高压厂用电是采用 3 kV 还是 6 kV 电压等级，需要经过技术经济比较后才能确定。一般可按下列原则来考虑。

(1) 对于机组容量为 6000kW 及以下，发电机电压为 3.15~6.3kV 时，由于高压电动机较少，一般可直接由发电机电压母线上引接。

(2) 对于 12000~50000kW 机组，若发电机电压为 6.3kV 时，为了减少厂用电高压电源设备的投资和损耗，厂用电电压应为 6 kV。

(3) 对于 12000~50000kW 机组，发电机电压为 10.5 kV 时，厂用电电压不论是采用 3 kV 还是 6 kV 的，均需装设容量相同的高压厂用变压器。但考虑到电动机等的投资，一般采用 6 千伏电压较为合理。从技术上看，变压器容量一般都不超过 5600~10000kV·A，都能满足电动机自启动的要求。

(4) 对于 100000kW 及以上的机组，为了保证大容量重要电动机的自启动，一般采用 6 kV 电压。当技术经济上合理时，也可采用 3 kV 电压。

(5) 对于扩建的电厂，应考虑原有厂用电系统的电压等级、全厂厂用电电压的一致性，以及便于运行维护和统一备品备件的要求。只有在技术经济上有显著的优越性时，才

可考虑采用 3 kV 和 6 kV 并存的厂用电系统。

(6) 厂用电电压的确定对保证第 I 类电动机的自启动方面有着很大的影响, 厂用变压器与电抗器容许自启动的电动机容量可按下式计算, 即

$$P_{e.d} = \left(\frac{U_x \% - U_m \%}{U_m \% x_{B*}} \right) \times \frac{\eta_p \cos \varphi_p}{K_q} \times S_{e.b}$$

式中 $P_{e.d}$ ——允许自启动的电动机容量 (kW);

$U_x \%$ ——电源电压对厂用电电压的百分数。当用普通变压器及电抗器时, 为 100; 当用调压变压器时, 为 105;

$U_m \%$ ——自启动时要求的厂用母线电压的百分数 (见表 1-2);

x_{B*} ——变压器标么阻抗, 即变压器短路电压的百分值; 对于电抗器为 x_k ;

η_p ——自启动电动机的平均效率;

$\cos \varphi_p$ ——自启动电动机的平均功率因数;

K_q ——自启动电动机的平均启动电流倍数;

$S_{e.b}$ ——变压器的额定容量 (kV·A)。对于电抗器

$$S_{e.b} = \sqrt{3} \cdot 6 \cdot I_e, \quad I_e \text{ 为电抗器的额定电流 (A)}.$$

从上式中可看出, 影响允许自启动容量 $P_{e.d}$ 的因素有以下几个方面:

(1) 变压器的高压侧电压。它决定于电网的实际电压, 不受厂用电电压选择的影响。

(2) 电动机本身的技术特性, 即 η_p 、 $\cos \varphi_p$ 、 K_q 等值。在电动机的电压为 3 kV 或 6 kV 时, 以上数值有些差别, 但

相差不大，故对 $P_{e.g}$ 的影响也不显著（一般3~6kV电动机的 $\frac{\eta_p \cos \varphi_p}{K_q}$ 值都取 $\frac{1}{6.2}$ ）。

（3）起主要影响的是变压器的标么阻抗 x_{B*} 。为了限制厂用电母线上的短路电流，以满足断路器设备的要求，对较大容量（5600kV·A以上）的变压器，厂用电采用3kV时变压器的标么阻抗要比6kV的大，这对电动机自启动条件来说是不利的。从过去一些情况来看，当高压厂用变压器容量为5600kV·A及以下时，对高压厂用电动机的自启动一般都不成问题，而在变压器容量达到7500~10000kV·A及以上时，为了限制短路电流，变压器标么阻抗加大，对厂用电电压的选择有一定的影响。如某电厂100000kW机组，厂用变压器容量为10000kV·A，要求自启动的电动机总容量为11500kW。当采用6kV电压时，变压器标么阻抗为8%，它能保证全部电动机的自启动；当采用3kV电压时，变压器的标么阻抗为14%，不能满足全部电动机自启动的条件。因此，在选用厂用电电压时，必须注意到电动机的自启动要求。

表 1-2 自启动要求的厂用母线电压的百分数

电 压	类 型	自 起 动 电 压 $U_m\%$
3~6(kV)	高温高压电厂	65~70
	中压电厂	60~65
380/220(V)	低压母线单独自启动	60
	与高压串接同时自启动	55

三、厂用直流电源

在发电厂中，为了供给控制、保护、自动装置、事故照明和汽轮机直流油泵等的用电，要求有可靠的直流电源，即使在发电厂完全停电的情况下也要求能保证上述负荷的可靠供电。为此，一般均设有独立的直流电源——蓄电池组。蓄电池虽是可靠的直流电源，但是它价格昂贵、运行维护麻烦、寿命短，故目前许多变电所和个别发电厂中采用了交流操作电源。对于大型电厂，为了保证事故照明和汽轮机直流油泵的供电，需要装设能迅速自起动的柴油发电机组作为备用电源。

第五节 厂用母线的接线方式和提高厂用电路可靠性的措施

目前，厂用电各级电压均采用单母线的接线，并利用成套的高低压开关柜或配电箱。这种接线和装置十分可靠、简单经济，同时有利于运行和检修。

下面就两种不同电压等级的厂用母线接线方式分别作如下说明：

一、高压厂用母线

一般采用单母线接线。当接有锅炉的I类电动机时，应按炉分段。容量为240t/h及以下的锅炉，一般每炉设立一段母线；容量为400t/h及以上的锅炉，每炉由两段母线供电，并将两套辅机电动机分接在两段母线上，两段母线可由同一台厂用变压器供电；锅炉容量为65t/h时，两台锅炉可合用一段母线（或将该母线以隔离开关分段）。

二、低压厂用母线

也采用单母线接线。当厂用母线上接有锅炉的 I 类电动机时，应按炉分段，每炉一段。为了便于车间配电箱的引接和提高双套设备供电的可靠性，可用刀开关将母线分为两个半段。当厂用母线上没有锅炉的重要负荷时，两台锅炉可合用一段母线，用刀开关将母线分成两个半段。

三、公用母线

若公用负荷较多、容量较大，经技术经济比较后，可采用集中供电时，则应设立公用母线段，但应保证重要公用负荷供电的可靠性。对一些负荷较大、距离较远的全厂公用性负荷，如全厂输煤、化学水处理以及中央修配厂等，一般也应考虑设立专用的公用母线段，这样可使机炉各单元的厂用电接线更清晰、检修更方便，避免在检修单元设备时厂用母线还须带电供全厂公用性负荷而占用备用变压器，这样就提高了整个电厂运行的可靠性。由于公用母线的设置，还可以适应电厂分期建设的要求，避免电动机馈线的移接，并可减少单台变压器的容量，以满足断路器遮断容量的要求。

提高厂用电可靠性的措施：

第一、发电厂主母线用断路器分段，使厂用变压器（或线路）分别从不同电源供电，这样在某一个电源故障时，不致使全部厂用电停电。

第二、厂用电母线分段。在火力发电厂中，因锅炉的辅助设备多、用电量大，总是将每台炉的电动机接在一个厂用电母线分段上，这种连接方式称为按炉分段。一般大容量电动机采用高压，由一台厂用工作变压器从发电机电压降压供电。对大型锅炉的电动机多为双套时，再将母线分为两个半段，