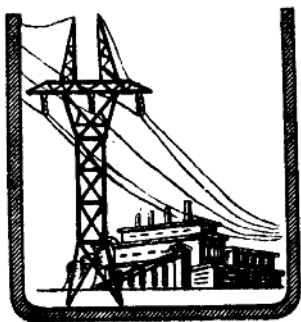


发电厂和 变电所的自用电

胡 邦 畿编写

第 五 册

发电厂和变电所电气工人丛书



水利电力出版社

出版者的話

随着工农业的大跃进，各省、市、专区、县和有条件的农业生产合作社，都在迅速地建設着中小型的火力发电厂和水电站。因之电气工人也将大量增加。为了适应电气工人的技术学习和工作的需要，我們决定出版一套“发电厂和变电所的电气工人叢書”。这套叢書共二十三册，内容包括：发电厂和变电所的电气设备概論、发电机和調相机、发电机的故障和修理、交直流电动机和励磁机、发电厂和变电所的自用电、电力变压器和調压裝置、开关设备、配电裝置、电纜、电力整流裝置、蓄电池、繼电保护和二次回路、电气仪表、发电厂和变电所的过电压保护、发电厂和变电所的安全设备和用具、发电厂和变电所的自动控制和信号设备、发电厂和变电所的遙远测量和遙远調整、发电厂和变电所的通訊设备、发电机和发动机的安裝、电力变压器的安裝、开关安裝和母綫的安裝等。文字通俗易懂，沒有高深的理論，并适当地附了一些插图来帮助理解文字叙述；它能使具有小学至初中文化程度的电气工人比較系統地从書中得到发电厂和变电所电气设备的結構、性能、安裝、运行和維護等各方面的知識。

因为担任这套叢書編写工作的各位作者写作进度不一，所以这套叢書將不根据順序出版，而是根据作者脫稿的先后陸續出版，在編写这套叢書时，我們考虑了叢書的系統性，也考虑了每册的独立性，所以不按順序出版，对讀者的影响不会太大。我們誠懇的希望讀者提出宝贵意見。

目 录

第一章 自用电的重要性	3
第一节 概論	3
第二节 自用电的范围	3
第三节 自用电的重要性	4
第二章 选择自用电电气设备的要求和意义	5
第一节 自用机械的分类及其特性	5
第二节 自用电机的特性	5
第三节 自用机械所需电动机类型的选择	8
第四节 电动机电压的选择	9
第五节 自用变压器容量的选择	10
第三章 自用电的結綫方式及其要求	12
第一节 决定自用电結綫方式的原则	12
第二节 自用电系統結綫方式的要求	12
第三节 自用电电源	13
第四节 由专用的自用发电机供电的結綫方式	14
第五节 小容量发电厂的自用电結綫方式	15
第六节 有发电机电压母綫由主发电机供給自用电的 結綫方式	17
第七节 沒有发电机电压母綫由主发电机供給自用电的 結綫方式	19
第八节 綜合式自用电供电的結綫方式	21
第九节 自用电电动机供电方式	23
第十节 直流	24
第十一节 照明	26
第十二节 变电	27



第四章 自用电在繼电保护装置的要求	28
第一节 概論	28
第二节 自用电机的保护装置及其要求	29
第三节 自用变压器的保护装置及其要求	32
第四节 自用发电机和电力網之間联络綫的保护装置及其要求	36
第五节 自用电母綫的保护	36
第五章 提高自用电設備安全运行的几种方法	38
第一节 自用电备用电源的自动合閘(ABP)	38
第二节 自用电系統中的自动重合閘裝置(АПВ)	42
第三节 自用电机的自启动	42
第四节 自用电备用机組的自动切换	47
第六章 自用电系統的事故处理	47
第一节 自用电源中断的故障处理	47
第二节 自用电配电綫路跳閘的故障处理	48
第三节 自用电高压系統的接地故障	49
第四节 自用电低压系統的接地故障	51
第五节 直流系統接地故障处理	52
第六节 自用电机的故障及处理	55
第七章 不健全自用电的事故举例	57

第一章 自用电的重要性

第一节 概 論

近代发电厂，不論水力或火力发电厂，都是复杂的綜合体；生产热能和电能的全部过程几乎完全使用机械化和自动化。生产机械化和自动化是依靠自用机械和自动装置来完成的，这些设备是为发电厂的主要机组（锅炉、汽轮机、水轮机）和辅助设备（运煤、碎煤、油处理设备）服务的。在目前发电厂里，轉动着的自用机械主要是靠电动机。为了保证在失去自用电源时重要的自用机械仍能繼續轉动，还备有由蒸汽来轉动的汽动給水泵，循环水泵和油泵。控制自动装置的是直流电源，它也是自用电的一部。直流电源由电动发电机和整流器供給。

在发电厂里，各种电压的配电装置、照明、开关的傳动机构、保护装置、訊号和連鎖装置、电焊及修理时的其他工作試驗设备等，均將消耗电能。在变电所里，也需要上述的一部分的自用电设备，例如电动发电机组、整流器、通风机和油泵等，它們也是同样要消耗电能的。用来保证发电厂和变电所正常運轉的辅助设备的总体称为自用电设备。

第二节 自用电的范围

生产电能和热能的自用装置所消耗的电能，属于自用电的范围。与生产无直接关系的負荷，例如修配車間所消耗的电能，就不属于自用电的范围。发电厂的自用装置大略可分为：

1. 发电厂各車間的电动机及其附屬设备；
2. 各种电压的自用配电设备；

3. 发电厂的全部动力电路网和照明电路;

4. 照明装置;

5. 直流装置。

直流装置用来供电給各种繼电保护装置、信号装置、自动装置、事故照明等，所以它也是属于自用装置的一部分。

第三节 自用电的重要性

自用电的工作是否可靠，將决定整个发电厂的工作是否可靠。很明显地可以得出結論：自用电源失去后，即將使自用机械停止运行，跟随着將引起发电厂的負荷下降，甚至造成全厂全市停电。自用电是发电厂中最重要环节之一，因此要保証安全发电，必須具有健全的自用电系統和设备，使自用电源能連續获得供应；这种要求，在发生事故时，更为重要。实际的运行經驗中亦說明当发生事故时，由于自用电系統結綫方式和设备不合要求而扩大事故的例子是很多的。自1956年1月到1957年3月的15个月中，在全国范圍内由于自用电系統、发电机励磁系統、发电机掉閘等电气方面的事故而扩大到全厂或全市停电的事故共28次，其中由于自用电系統存在的缺点和自用电系統的繼电保护不合理或整定不当而造成的事故12次，佔全部电气事故43%^①，这些事例是值得我們警惕的；同时也說明自用电在发电厂所处的地位是非常重要的。例如1956年5月南方某火力发电厂发生的全厂停电事故，主要就是因为高压自用电电动机的过电流繼电器的整定值沒有躲开自启动时的电流，又没有备用电源自动投入装置而造成的。

① 見人民电业1957年第16期。

第二章 选择自用电电气设备的要求和意义

第一节 自用机械的分类及其特性

发电厂自用机械对生产热能和电能的影响程度并不完全一样，按照机械的用途及其对主要机组（汽轮机、水轮机、锅炉）和附属设备连续工作的影响，可分为两大类：

1. 重要机械 当这些机械停止运转，就是很短的时候，也会引起发电厂出力的降低，或主要设备和辅助设备的损坏。火力发电厂的重要机械有给水泵、循环水泵、凝结水泵、送风机、吸风机、给粉机。水力发电厂的重要机械有机组速度调节器用的油泵，轴承滑油系统的油泵，发电机冷却水泵等。

2. 不重要机械 它们短时停止运转，不会引起发电厂出力的降低，也不致使主要或辅助设备发生损坏，火力和水力发电厂中除了重要机械外，其余机械都属于这一类。

我们知道，在发电厂自用机械中包括下面三类：

1. 阻力转矩不变的机械，它们的阻力转矩和自身的转速数无关。这一类的设备是磨煤机，碎煤机，链条炉排等。

2. 阻力转矩和自身转速的平方成正比的机械，所有的送风机和引风机都属于这类。

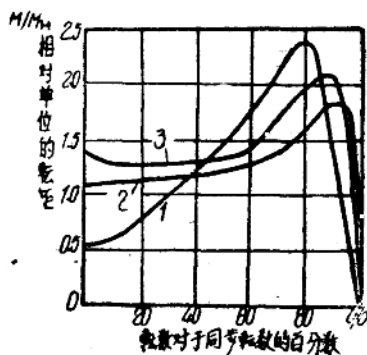
3. 阻力转矩和自身转速的1.5次方成正比的机械，离心式机械均属于这类，象离心式水泵、油泵等。

第二节 自用电动机的特性

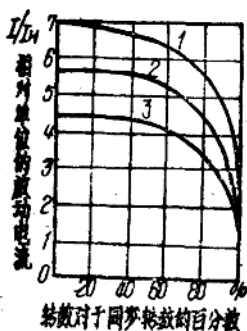
前面曾说过，在目前发电厂里，转动自用机械主要是靠电动机。电动机比起其他原动机（汽轮机、柴油机）较为安全、经

济、方便，在起动、装置和修理等方面也比较简单；采用电动机转动机械时，在生产技术操作过程容易获得自动化；这就是发电厂里大量使用电动机的原因。电动机按其构造的不同分为同期电动机，直流电动机和感应电动机。在发电厂里，用得最多的是感应电动机；感应电动机分为鼠笼式转子和绕线式转子两大类。

鼠笼式转子感应电动机的构造特别简单，工作可靠，又是各种类型电动机中最便宜的；它不需要任何起动设备，可以在自用电源的电压下直接起动，因此操纵很方便。这种电动机按构造的不同分为：普通型、双鼠笼型和深槽型三种。除了普通型鼠笼感应电动机外，其他两种型式都有较大的起动转矩和较小的起动电流，这种特性适合于自用系统的要求。因此，双鼠笼和深槽型感应电动机是电厂中用得最多的一种。图2-1为各种鼠笼型电动机的特性曲线图，曲线1为普通型的，曲线2为深槽



(甲)



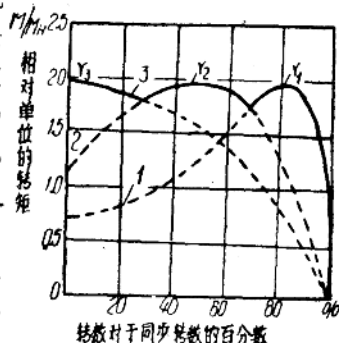
(乙)

图2-1 鼠笼型电动机特性曲线图

(甲)转矩特性曲线；(乙)起动电流和转差率的关系曲线。

型的，曲綫3为双鼠籠型的特性曲綫；图4-2(甲)为轉矩特性曲綫；(乙)为起动电流和轉差率的关系曲綫。从曲綫中可見，普通型的鼠籠型电动机的起动电流大而起动轉矩則很小。由于这种原因，目前发电厂里已逐漸以双鼠籠型或深槽型来代替了。

繞綫式电动机用轉子回路中的变阻器来起动，起动电阻随着电动机的轉速增加而减少。当电动机达到額定轉数时，变阻器的电阻被全部切除。它的主要优点是起动轉矩大，而起动电流很小。图2-2为繞綫式电动机的特性曲綫图，图中的虛綫表示当轉子回路中联接不同数值的起动电阻时($r_2 > r_1$)电动机的起动轉矩值。电动机起动时随变阻器中电阻逐漸减少，电动机的轉矩从一特性曲綫变化到另一特性曲綫上去，如图中粗綫所表示的那样。



繞綫式电动机可以利用轉子回路內的变阻器来調节轉速。但是这种調节方式，由于变阻器中的能量消耗很大，很不經濟。繞綫式电动机的轉子有用軟焊料焊接起来的接点，这种接点在电动机自起动时，特别是轉子短路时的起动时，常被损坏。繞綫式电动机因为有滑环和电刷，运行和维护都比較鼠籠式电动机复杂，价綫也較貴，近年来发电厂和变电所自用的电动机，都采用鼠籠式电动机，“电力工业技术管理暫行法規”第484条(修正部分)規定“在生产过程中不需調节轉速的繞綫式电动机应改造为鼠籠式电动机”，

其道理也就在此。

直流电动机在发电厂里使用得不多，只有在煤粉锅炉的给粉机才用直流电动机来转动。因为这些给粉机需要在很大范围内变化其转速，而改变它的励磁回路内的变阻器的位置，就能达到在很大范围内均匀地调节转速。有时汽轮机的备用油泵也用直流电动机来转动，当汽动油泵故障而停止工作时，能保证油的循环以便滑润汽轮发电机的轴承。用直流电动机来拖动油泵，是考虑当发电厂失去交流电源蒸汽压力下降时，能保证滑润油继续循环使汽轮机顺利地停下来。并从蓄电池组的直流母线上取得电源。

由于直流电动机有整流子，对它需进行经常细致的维护，特别是给煤机用的直流电动机。整流子上易掉入煤粉，就将引起严重的火花和迅速被磨损，这样不但降低电动机工作的可靠性，威胁锅炉的安全运行；还能使整流子上的火花有引起火灾的危险，因为煤粉是容易燃烧的。直流电动机的其他缺点是价格比交流电动机贵，起动麻烦，电源需要有整流设备（电动发电机组，水银整流器），这样就降低了工作的可靠性并使运转复杂化。

同步电动机效率高，同时能发出无功功率，但是它的安装费用较大，工作不大可靠，故通常均不采用。

第三节 自用机械所需电动机类型的选择

为了保证自用机械的工作可靠，达到发电厂的安全发电，在选择电动机时应符合下面几个条件：

- (1) 电动机的出力能满足在最高生产率下工作着的自用机械。
- (2) 电动机产生的转矩能使自用机械达到规定转速。

(3)在任何情況下(多次起動,自起動,自用电綫路故障等),电动机在額定出力連續运行时,发热不致超过規定值。

(4)重要自用机械的电动机,具有自己起動的能力,也就是当綫路故障电压降低时,电动机轉速减低或完全停止后,在电压恢复时,应该能自己起動而恢复正常轉速。

(5)电动机的类型应能适合工作地点的温度、湿度和灰尘等状况;在普通乾燥場所,就可采用开启式电动机;在潮湿場所,可能有水滴掉到电动机內,就应采用具有抗潮繞組防滴式电动机;在多灰尘和高温的地方,应采用全封闭式通风电动机,这种电动机的价格很貴,只用在煤粉仓和儲煤場等处。

(6)电动机的制造价格应低廉,操作应簡單,維護应方便。

选择电动机总的要求是电动机的工作特性要符合自用机械的工作条件。

第四节 电动机电压的选择

选择电动机的电压,应根据电动机的容量(瓩数)、发电机的电压和自用电結綫方式等条件来决定。当发电机电压为10千伏时,大型自用电动机的供电电压采用3千伏;但当发电机电压为6千伏时,电动机的供电电压则采用6千伏。对于其他小型自用电动机,其电压可采用380伏或220伏。

根据制造工厂的規定,电压为3千伏的电动机,功率至少为75瓩及以上,电压为6千伏的电动机,功率应在200瓩以上,而电压为220伏及380伏电动机的功率不得大于140及300瓩,但是自用机械所用的电动机,按机組容量的不同,它們的功率参差很大,自几瓩到3,000瓩。因此,小型的发电厂,如果自用机械电动机的功率不超过140或300瓩时,所有电动机的电源可

采用一种电压380伏或220伏：大型的发电厂，机组的容量大，电动机的电压可选择3千伏和380/220伏或6千伏和380/220伏两种电压。

当以发电机电压6千伏作为电动机电源时，就使自用电系统与发电机间有电的联系，因此在电动机上须有接地短路的保护设备，此种保护装置一般作用于信号。如果自用6千伏系统中电容电流超过10安培时，这保护应动作使开关掉闸，这就降低了自用电的可靠性。在3千伏的厂用电系统中，由于网路长度和电容电流都不大，可以不要接地短路保护，电动机可以一直运转到可能断开它时。

关于电动机电压究竟采用3千伏或6千伏，应在技术上和经济上进行详细的比较，然后作出决定。

第五节 自用变压器容量的选择

选择自用变压器的容量时，必须能保证：不单在长时间内能供给自用电动机的可能最大负荷，而且应在严重故障下，重要的电动机能够自起动。

按照长时期供给可能最大负荷的条件，变压器的容量决定于所连的电动机容量(瓩)，电动机的负荷系数，同时工作系数和电动机的平均效率及电动机的平均功率因数。即

$$\begin{aligned} & \text{变压器容量(千伏安)} = \\ & = \frac{\text{电动机同时工作系数}(m) \times \text{负荷系数}(\alpha)}{\text{电动机的平均效率}(n)} \times \\ & \times \frac{\text{电动机的额定出力}(P_{\text{额}}, \text{瓩})}{\text{平均功率因数}(\cos\varphi)} \end{aligned}$$

我们知道发电厂中的所有电动机，并不是同时工作，自用机械也不是在满负荷下运行，同时考虑到电动机的出力均较自用

机械为大。上式中的前部分有时亦称需要系数 K_c ，即 $K_c = \frac{m\alpha}{n}$ 。

K_c 的数值一般可采用0.5~0.6，例如自用电动机的总额定出力为1000瓩，平均功率因数为0.8，需要系数0.6，电动机的平均效率为0.95时，则变压器容量应选择为1000千伏安^①。决定电动机的额定出力 P_0 时，作为备用的电动机的容量，一般不计算在内。

为了保证自用电动机在线路故障后能够自己起动，则应按照允许自起动电动机的容量来校正变压器的容量是否足够。一般的情况是：要求自起动的电动机容量越大，自用变压器的感抗百分数（短路电压）越大时，自用变压器的容量也越大，如下表^②所示。当变压器的短路电压为8%时，容量为1000千伏安的自用变压器，允许自起动的电动机为1200瓩；如果短路电压为15%时，则允许自起动的电动机只有700瓩。

变压器的感抗百分数	8	10	15
电动机总容量(瓩)/变压器额定容量(千伏安)%	120	100	70

自用变压器的选择，是按照其供电母线段上最大的负荷来选择的，一般容量选择为560—750—1,000或2,500千伏安，如选择更大的数字，使短路故障电流数值增大，从而将使配电装置增加很多投资；但是目前发电厂中采用5万或10万瓩的汽轮发电机和蒸发量为440吨/时或更大的锅炉，自用变压器的容量有达5600或10,000千伏安的，有的自用变压器，其容量甚至超过15,000千伏安。

①变压器的容量计算为 $\frac{1000 \times 0.6}{0.8 \times 0.95} = \frac{600}{0.76} = 790$ 千伏安，选择的变压器容量根据制造厂的出品应为1000千伏安。

②表中数字的来源，可参阅1956年电业技术通讯第2期，胡邦畿所写：“厂用电动机自起动的几个问题”一文中第6式计算。

第三章 自用电的結綫方式及其要求

第一节 决定自用电結綫方式的原则

发电厂的安全运转和自用电的連續供应有极大关系，要保证自用电不致中断，必須具有健全的自用电結綫系統。自用电結綫方式的原则总的要求是：結綫簡單清楚，一目了然；又能减少运行和建造費用而又具有最大可靠性和不致中断性。具体來說：

1. 自用电結綫方式应尽量使直流与交流多分些段，已有分段的应充分利用，未有母綫分段的，应增添分段。每段母綫上，应有独立电源和备用电源自动合閘裝置。备用电源的容量应足够。

2. 采用使自用发电机能和电网分开的結綫方式。如沒有自用发电机，則結綫方式应考虑当电网发生長时期严重的电压降低及週波降低时，能分出一个或几个主发电机来担負自用电及部分重要負荷。

3. 当有几个自用电源时，其結綫方式应能互为备用。

4. 主母綫段上分配自用变压器、自用母綫及各分段上分配自用电机的方法，应考虑当主母綫发生故障时，能尽量保留大部分的主要設備及其自用机械的运转。

第二节 自用电系統結綫方式的要求

自用电系統的結綫方式应符合下面几項要求：

1. 自用电母綫按照每一台鍋炉来分段；

2. 在生产过程中互相連帶的机械系統所用的电动机，例如同一鍋炉的送风机和吸风机，或停一个时其他也得停的單位或机械系統所用的电动机，例如同一汽輪发电机的循环水泵和凝

結水泵的电动机，应分配在同一段母綫上；

3. 同一用途的电动机或备用自用机械的电动机，应分配在不同的母綫分段上；

4. 每一母綫段，在短路切断后电压恢复时，保証重要自用机械的电动机(給水泵，循环水泵，凝結水泵，吸风机，送风机等)能够自己起动；

5. 与生产无关的負荷，不应接在自用电系統上，如无法办到，至少应将这些負荷接在單独的母綫分段上；

6. 如发电厂重要部分的电动机(例如給粉机)由直流电源供給时，直流电源的供应最好应由复激式直流发电机来担任，蓄電池作为备用电源，并采用备用电源自动合閘裝置。

第三节 自用电电源

自用电电源对发电厂工作的可靠有很大影响。自用电电源有由独立的自用发电机供給的；有由主发电机通过自用变压器或电抗器供給的；也有由系統通过变压器引来的电源。

高压自用电动机电源应该由发电厂的主发电机經過变压器或电抗器而供給电源；由系統引来的电源只能作为自用电的备用电源。发电机电压上无电力输出的发电厂，即发电机发出的电能，全部通过发电机变压器組，用35千伏及以上电压分配出去的发电厂，不管是备用的或工作的自用电变压器，应考虑发电机

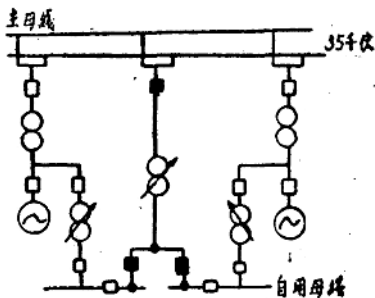


图3-1 帶負荷能調整电压的自用电电源結綫图

电压变动的影响，必要时可以选择带负荷能调整电压的分接头装置，如图 3-1 所示。自用电电源按接线法不同供给的方法也不相同，下面即将介绍自用电的各种接线方式及其优缺点。

第四节 由专用的自用发电机供电的接线方式

为了避免系统中的线路故障对自用电动机运转的影响，由专用的与系统网络不相联接的发电机供给自用电，这种供给自用电的接线方式如图 3-2 所示。这种接线方式，在经济上和技

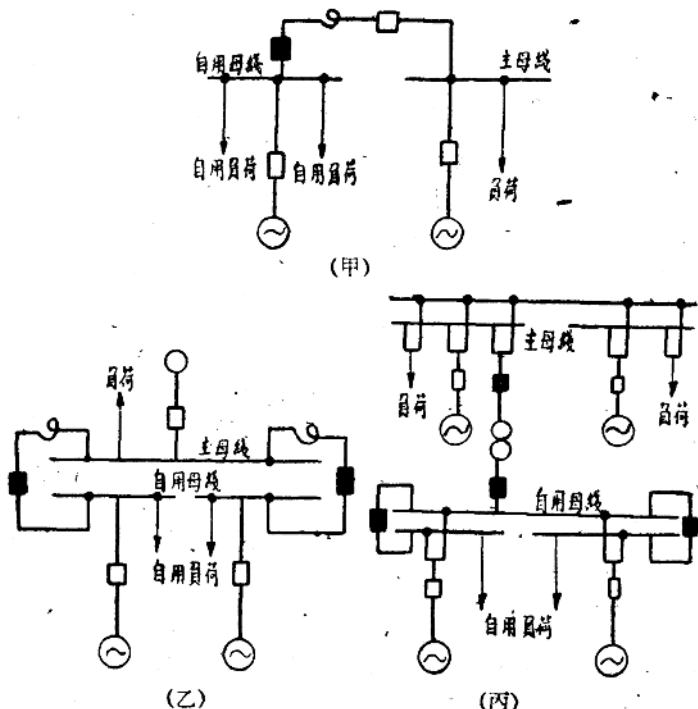


图3-2 专用发电机供自用电的接线图



术上存在很大缺点，目前已很少采用，只有个别发电厂还和其他几种結綫方式綜合使用。

“由于自用发电机在正常情况下不与主母綫連接，供自用电的專用发电机与系統不并列运轉，系統发生事故时对自用电工作不发生影响，是这种結綫的唯一优点。但由于改善了繼电保护和系統其他元件，这一优点逐渐失去作用。

这种結綫方式的缺点有以下几点：

1. 自用发电机的容量小，效率低，而投資又大，不如从主发电机处获得来得經濟；

2. 自用母綫发生故障时，將失去全部(图3-2甲)或一半(图3-2乙)自用电，使发电厂发出的电力降低很多，甚至到零；

3. 自用电的可靠性与汽輪发电机的热机部分或水輪发电机的水工部分有很大的关系；

4. 自用发电机的容量一般都較小，使自用电动机自起动的条件很坏；

5. 图3-2(丙)的接綫方式虽較(甲)(乙)两种方式好，但投資更大，不經濟。

第五节 小容量发电厂的自用电結綫方式

这种結綫方式最好用于机組不多且有发电机負荷的小容量发电厂，发电厂的自用电由主母綫供給，如图3-3所示。这种結綫方式有下面优点：

1. 自用电动机的自起动有較好条件，容易实现自起动的要求；

2. 供电母綫和自用母綫可以分段；

3. 无須專用的自用发电机，可以节省投資。

这种結綫方式存在着的缺点是：