

汽 轮 发 电 机 组 的 起 动 与 调 整

[苏] Г. Б. 日古列夫 著

韩元盛 译



水利电力出版社

内 容 提 要

本书介绍了30万、50万和80万kW汽轮发电机组建成投产前启动与调整方面的经验。提出了发电设备验收移交与首次启动应达到的主要技术要求；列举了启动调试工作必须遵循的法规以及分部启动和整体启动方式；同时阐述了在机组启动调整阶段预防故障和排除故障的方法。

本书适于火力发电厂运行人员和测试人员阅读。

Г.В.Жгулев

Пуск и Наладка Энергоблоков

Москва «ЭНЕРГИЯ» 1978

汽轮发电机组的启动与调整

[苏]Г.В.日古列夫著 韩元盛 译

*

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

■

850×1168毫米 32开本 8.75印张 231千字
1987年3月第一版 1987年3月北京第一次印刷

印数0001—3100册 定价2.10元

书号 15143·6196

译者前言

为了配合我国新装大型汽轮发电机组的启动调试工作，本人把苏联 Г·В·日古列夫著《汽轮发电机组的启动与调整》一书介绍给国内同行。在翻译此书过程中，曾得到山东省电力科学试验研究所一些同志的帮助；初稿译成后又请水利电力部西安热工研究所的李康、王锦荣同志校订了本书第 1、2、3、6、7 章，张兆基同志校订了第 4 章，张小英和刘文珍二同志校订了第 5 章。在此谨向这些同志表示衷心的感谢。

由于本书内容涉及范围较广，加之本人的业务知识和外文水平有限，译文定会存在一些错误和不当之处，敬请读者指正。

译者

一九八五年十二月

原 序

现代超临界参数汽轮发电机组安装结束后的启动和调整是一项很重要的工作，其根本目的在于保证全套发电设备在额定参数下长期运行。

由于把单元机组各项设备上的所有启动和调试工作联成工艺连锁很复杂，因而必须对安装、验收和调整工作提出更高的要求，并给发电厂的调试和运行人员赋予更大的责任，以保证各项设备初次试启动能安全可靠地进行。

在使用超临界参数发电机组过程中，曾对其热力系统、启动装置和主辅机设备各部件的共键结构进行了完善化，这样，就可对各级容量单元机组的常规（临时）启动调试的系统和装置、启动和初次调试的方法及其验收工作进行统一化和标准化。技术改进局、全苏热工研究所、中央汽轮机锅炉研究所以及莫斯科分所、《锅炉清洗》工厂、各安装公司调试队等单位的调试科研部门，在调整各种发电设备中积累了许多有关组织和完成调试方面的经验，提出了对启动前的化学清洗和蒸汽吹洗、锅炉汽轮机设备和管道的启动调整等行之有效的办法，以及实现第一次启动的合理工艺。

本书结合电厂从事30万、50万和80万kW机组启动调试工作人员所必须具备的理论和实践知识，阐述了设备安装工程结束后，验收的各项主要技术要求、第一次启动准备工作的程序、有关第一次启动的规程和标准，对常见的设备缺陷的检验以及防止发生故障和消除缺陷的各种办法。同时还提出了发电设备各个部件、系统装置和机组在分部启动与整体启动中进行调试的方法。

本书各章节的顺序，主要按启动调整工作的技术工艺要求编排，并要便于作为培训和提高发电厂启动调试人员以及运行人员

技术水平参考之用。

本书写作时除参考书末列举的文献外，尚选用了拉得任斯克、乌格列格尔斯克、扎波洛日、梁赞、特洛茨克和克里施斯克发电厂30万、50万和80万kW汽轮发电机组起动调试的综合技术资料。同时也参阅了全苏热工研究所(ВТИ)、技术改进局(ОРГРЭС)、波尔宗诺夫中央汽轮机锅炉研究所(ЦКТИ)、中央设计局(ЦКБ)和塔干洛格锅炉制造厂(ТКЗ)、波道里斯克奥尔仲尼启则机器制造厂(ЗиО)、哈尔科夫汽轮机制造厂(ХТГЗ)、列宁格勒金属工厂(ЛМЗ)的现行规程和技术说明书等。

技术科学副博士В.И.道伯洛赫托夫在审阅本书原稿时提出了很多宝贵意见，为此谨表谢意。本书清样时，技术科学副博士Н.Б.爱斯金、Л.Н.柯麦里曼两人曾给予真诚的帮助，在此也一并致谢。

应该将这本书的出版看作是给发电厂起动调试人员提供一种关于大型发电机组起动调试技术参考资料的初步尝试。书中错误和缺点在所难免，作者欢迎读者提出宝贵意见，并请寄往《动力出版社》，地址是：苏联、莫斯科、闸门大街10号。

目 录

译者前言

原 序

第一章 启动调试的组织与程序	1
1-1 启动调试与调试组织的组成	1
1-2 启动调试工作的准备	6
1-3 操作人员培训	9
1-4 设计与安装工程质量的检查	10
1-5 参加汽轮发电机组建造和启动调试的各有关单位相互之间的责任与任务	14
1-6 汽轮发电机组整体试验与投入工业性运行的验收	18
第二章 汽轮发电机组的主要技术特性与结构特点	22
2-1 锅炉设备主要技术特性及结构特点	22
2-2 汽轮机设备主要技术数据与结构特点	37
2-3 汽轮发电机组启动系统	49
第三章 汽轮发电机组启动前的化学清洗	57
3-1 化学清洗几个主要阶段的划分与化学清洗的方法	57
3-1-1 化学清洗各主要阶段的任务	57
3-1-2 对化学清洗系统的要求	60
3-1-3 化学清洗药剂与清洗方法的选择	68
3-2 化学清洗工艺与方式	71
3-3 化学清洗过程监督	77
第四章 管道与阀门的启动调整	81
4-1 管道与阀门安装后的验收	81
4-2 管道弹性支吊架的调整	89

4-3	汽轮发电机组起停工况下管道工作的监督	95
4-4	起动前阀门的调整	99
4-5	脉冲式安全阀的整定	103
4-6	蒸汽管道的蒸汽吹洗	106
第五章 锅炉设备的起动与调试		116
5-1	点火前的准备工作, 第一次点炉与锅炉机组燃烧工 况的调整	116
5-1-1	关于锅炉机组安装完工后验收的建议	116
5-1-2	锅炉机组首次点炉	126
5-1-3	锅炉机组的燃烧调整	132
5-2	制粉设备的起动与调整	139
5-2-1	概论	139
5-2-2	给粉机与给煤机的起动及调整	140
5-2-3	装有钢球磨煤机制粉系统的起动与调整	143
5-2-4	锤击式磨煤机制粉系统的起动与调整	154
5-3	锅炉辅助设备的起动与调整	160
5-3-1	送引风机的起动与调整	160
5-3-2	汽动风机的起动与调整	167
第六章 汽轮机组的起动与调整		174
6-1	汽轮机组安装竣工后的试验准备	174
6-2	汽轮机调节系统和润滑系统的起动与调整	180
6-2-1	总则	180
6-2-2	起动前润滑系统与调节系统的清理	182
6-2-3	润滑油系统的起动调整	188
6-2-4	汽轮机在静止状态下自动调节系统与保护系统的调整	191
6-2-5	汽轮机运行中自动调节系统与保护装置调试	198
6-3	真空系统与回热设备的起动和调整	205
6-4	除氧设备与给水装置的起动与调整	215
6-4-1	除氧设备的起动与调整	215
6-4-2	电动给水泵的起动与调整	223
6-4-3	汽动给水泵的起动与调整	233

第七章 汽轮发电机组投产起动、综合试验和停机	241
7-1 汽轮发电机组起动方式的安排	241
7-2 汽轮发电机组冷态起动的准备工作	247
7-3 汽轮发电机组冷态起动	253
7-4 汽轮发电机组半热态与热态起动	260
7-5 汽轮发电机组综合试验与停机	263
参考文献	270

第一章 启动调试的组织与程序

1-1 启动调试与调试组织的组成

启动调试工作的几个主要阶段及工作内容。

发电机组启动调试是在土建和安装工作结束之后，发电设备投入工业运行的一个最重要的阶段。

启动调试工作的主要任务是保证安装好的发电机组顺利投入运行，并满足以下各种法规的要求：

发电厂与电力网技术运行法规^[38]；

热力发电厂与热网的工艺设计标准^[35]；

建筑工程法规与标准^[58]；

煤粉制备设备与燃烧防爆以及重油或天然气锅炉防爆规程^[41]；

国家城市工业监察局发布的有关蒸汽锅炉、暖汽锅炉、蒸汽管道以及承压容器的安全运行规程^[54]；

发电厂热力设备安全技术规程^[46]；

国家颁布和部门规定的各种标准与技术条件；

各制造厂家提供的说明书，以及苏联电站部的各有关命令。

在实施启动调试工作时必须做好以下各项工作：

确认属于发电机组范围内的各种已安装完毕的设备符合设计要求和技术要求；

所有已安装好的设备和系统的承压部件都要经过强度与严密性试验；

准备好安装设备移交验收时必备的技术文件（例如各种安装登记卡片、证书、记录、结论意见书、日志、复制图纸等等）；

对已安装就绪的发电机组各个系统和全部设备的关键部件依次进行单项试验，并确认它们能正常运行；

有些发电设备与管道按规定由苏联国家矿山机械技术监察局及其他监察机关监督，因此需要向上述有关机关办理移交手续。

发电机组主机和辅机带全负荷试验和联合起动运行试验。

在机组准备起动和机组整体试验准备阶段，调试机构要求电厂建设部门提供进行调试的必要技术援助，其中有：

对工程设计阶段由制造厂和设计单位提交的有关单机起动系统和全厂起动系统以及自动调节表计与保护装置方面的建议，要进行分析 and 鉴定；

调试工作后期进行冲洗和吹管的热力系统、热工表计控制、单元操作盘的筹划工作；

拟定操作系统图、投产前试运行说明书、起动前及起动当中的操作程序以及设备与管道的清洗及吹污方式等；

对运行人员进行设备维护知识的培训；

检查安装工程文件以及按苏联国家矿山机械技术监察局要求的各种文件是否齐备，并且审阅这些文件；

参加设备分部验收工作，并提出安装工程改进意见清单以及检查执行情况；

设备运行时，对起动前后的操作进行技术指导或给予一定帮助；

参加运行值班工作并亲自参加机组的控制操作（首批样机）；

主、辅机的工况调试；

提出关于实施调试工作以及设备提高安全经济运行方面的规程性或通报性材料。

已构成系列性产品的发电机组的起动与调试工作，在制造厂代表参加下，可由电厂组织人员来实施，也可以交给专业性组织完成。但要由上级调试部门指定一名调试工作负责人，并由他来协调这项工作。

从事大型电厂调试及协作的单位名称、隶属关系和职责范围，

技术改进局及其分支机构隶属于苏联电站部技术管理总局，它的职能是负责样机与初次编入系列的发电机组设备的整体起动

和调试工作，同时也负责起动前的化学清洗工作。

全苏热工研究所及其分支机构隶属于苏联电站部技术管理总局，由它主持领导样机与初次编入系列的发电机组的起动调试工作以及推行新法化学清洗。

波尔宗诺夫中央锅炉汽轮机研究所隶属于苏联电机制造工业部，该研究所派员参加样机的起动调试。

《锅炉清洗》工厂是一个专业化工厂，隶属于苏联电站部发电设备检修总局，它负责发电设备起动前和运行期间的化学清洗。

调试局（处）直接隶属于热力发电设备安装总局所属的有关热力设备安装工业公司（托拉斯），是该公司的编制之一，它负责热力机械起动调试工作以及新编入系列发电机组设备的化学清洗。

有的调试局（处）则直接隶属于电气设备安装总局所属的有关电气设备安装公司，它负责发电机组的测量控制仪表与自动控制装置、电气设备的起动调试工作。

各发电厂的调试车间和各地区电业管理局下属的调试服务部门都隶属于苏联电站部电站运行管理总局，它负责发电机组的热机、电机、测量控制表计、自动装置等一般性的起动调试工作。

图1-1系安装公司大型调试局（处）的组成（组织机构情况），下设机组一般性调试车间与专项调试车间、生产技术科及试验室。

一般性调试车间的工作人员负责完成发电机组的大部分调试工作，有时则要承担全部调试工作。这样的车间下设若干从事调试工作的工段，每一工段又分为若干个调试小组，每小组由三、五人组成。小组的编制和数量由调试工作量和需同时进行的不同类型调试工作而定。

专项调试车间下设若干专业化调试小组，每个小组完成以下专业相近的调试工作：化学清洗、水处理与水质调试；电力传动、检测仪表、热工自动装置与保护装置调试；金属、管道与配件的调试等。调试小组及其职责范围皆可依据调试工作内容、特

调试局(处)所属的试验室负责调试所需表计、设备的收集购置和保管维修以及定期校验工作。

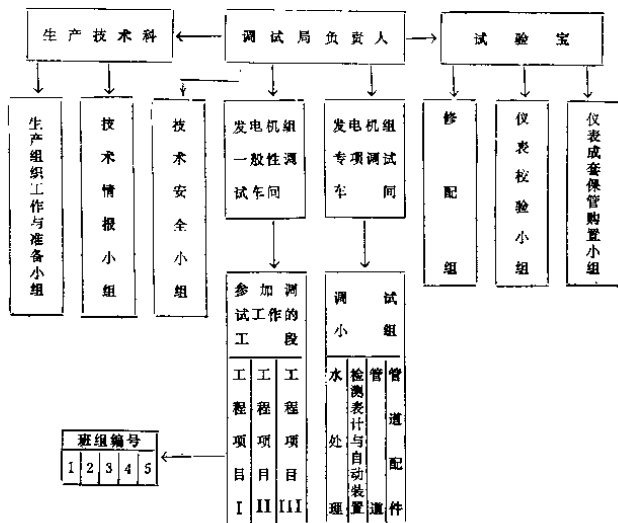


图 1-1 安装托拉斯调试局组织机构

生产技术科附设起动调试准备小组、生产组织小组和技术情报小组。技术安全工程师或是技术安全小组直接由调试局总工程师领导。技术情报小组负责向起动调试人员提供上级颁发的文件、运行导则、操作票（命令）以及设计资料等，为此必须设一名描图员和一名文书员。

参加新机组起动工程项目的调试工段的编制视起动调试工作量及其特点而定。

根据调试工作的特点及内容,调试工作可划分为:起动调试前准备工作、起动前调试、起动中调试、整体起动调试以及工况

调试。

启动调试前的准备工作包括熟悉设计资料，编制临时性的运行导则与操作系统图，培训电厂的技术人员与运行维修人员，绘制各种曲线图、系统图以及启动前和启动中（预启动和启动）的工作程序，鉴定制造厂提供的设备、部件的质量，检查安装工程的质量。

启动前的调试工作包括以下内容：水压试验，设备安装分部移交、蓄电池室投入，6kV及0.4kV配电装置备用电源送电，由直流供电的转动机械试转，各机械轴承冷却水供水系统的试验，煤粉炉烟、风管路的严密性试验，附属管道的水洗与蒸汽吹污，储水箱罐的启用，机组水汽管路的化学清洗，主蒸汽管路的蒸汽吹污，凝结水清洗设备的启动与调试，汽机、发电机、变压器与发电机绕组水冷系统的启动准备，发电机组各保护装置及闭锁装置以及讯号系统的调整和试验，投入自动调节器的准备工作，校验和调试检测表计与遥控传动装置。

启动中调试工作包括：锅炉供汽试验，汽轮机空转启动。

整体启动试验：发电机组主机与辅机整体启动试验包括以下各项内容：检查机组是否与施工图纸和要求的规格型号相符，是否符合国家城市工业监察局规程^[54]、发电厂与电力网技术运行规程^[38]、热力发电厂与热网的工艺设计标准^[35]、建筑工程法规与标准^[58]、防爆规程^[41]、发电厂热力设备安全技术规程^[40]、各种有关的国家和部门的标准与技术条件、制造厂提供的安装运行说明书、以及苏联电站部颁发的各项法令。

工况调试时炉前试验的目的是：

检查锅炉机组是否能在额定出力下长期运行；

测定排烟中化学未完全燃烧热损失（指燃烧重油及天然气的锅炉）及测定机械未完全燃烧热损失（指燃烧固体燃料的锅炉）；

查找热损耗增大的原因，并拟定减少热损耗与达到设计效率的措施；

测定锅炉烟道、燃烧室和煤粉系统的漏风量；

测定烟道和风道的阻力特性曲线以及锅炉辅机（磨煤机，引、送风机等）于最佳燃烧工况下同负荷变化的关系；

测定引风、送风、磨煤及煤粉输送方面的各项单位电耗；

利用上述测量数据编写临时的运行工况卡片。

对于编入系列的发电机组来说，并不一定要求进行常规的工况调试工作。照例，这种调试工作应由科研性质的专业化组织来完成。

1-2 起动调试工作的准备

最好是从编制工程组织计划之初就开始做起动调试准备工作。

工程组织计划规定，填写工程项目要清晰无误，需写明工程内容、具备建筑安装的各种技术文件与有关图表、确定起动调试人员的编制与技术物质装备，并且要编制好每位调试人员从机组调试阶段到投入工业性生产所承担工作的详细进度表。

工程组织计划由生产技术科或指定一位负责生产的调试工段工程负责人来编写。这位工程负责人要选择实施起动调试的方法，确定必要的测量与监视手段，决定调试人员编制并考核他们的技术水平，按照技术安全规程填写有关必用的设备、仪器、材料及防护用品的申请书，并负责联系设备材料发往施工现场的运输事项。

当编写工程组织计划时，要考虑下述多种因素：建筑安装工程竣工和交付生产的日期，建筑安装工程分项竣工顺序，设备和设计文件到达安装现场的日程，符合《技术程序表》及起动调试《工作联系网络图》要求的发电机组运行日期，完成起动前的各项准备工作、起动操作的连续性和程序等。

以起动调试工作的《技术程序表》和《工作联系网络图》为依据，拟定调试人员来厂和离厂日期，并编写好图表。

利用《工作联系网络图》编制计划时，必须掌握以下各原始

数据：按工程项目（化学清洗、蒸汽吹污、整体试运）划分的主要调试阶段实施日期、设计文件资料、工程的安装建筑施工组织设计和施工进度表、与本工程相类似的工程调试组织及工艺要求方面的资料、有关调试工作的现行标准、建筑安装工程状况的通报。

图1-2所示为适用于30万kW发电机组起调的工作联系网络图。

当一个电厂在一年当中要安装若干台发电机组时，工作联系网络图则要编绘多台机组整体起调的工作进度，在时间交叉上要表示出平行施工的各主要工程之间的关系，多台机组分别起调采取的流水间隔，以及有关建筑工程、热机安装工程、电气安装工程三者相互之间的主要衔接与交叉。每台发电机组在其联系衔接图的结束阶段都必须符合进行起调操作的工艺要求，以期达到最好的结果。

对于编入系列的发电机组，起调《技术程序表》与《工作联系网络图》在整体试验之前二个月得经起调委员会批准。

分项起调操作程序是基于总的《技术程序表》由调试机构拟定的，在实施这类操作程序之前要直接征得其他有关调试机构的同意。

直接属于工程项目的先期准备工作计有：班组人员的划分；班组间工作的分配；工作场所的装备；各工段人员的安全技术教育；每个参加调试的人员要熟悉调试的项目，并进行相当的技术培训教育；拟定和批准各种调试工作进度图表及实施细则，并征求各方面的意见。

最好是在工程组织阶段采用流水作业（即循序进行）的方法，以期使建筑安装工程同起调工作之间保持连续和紧凑。因为发电机组顺序投入运行就可能把整个起调工作分为若干个相互协调的工艺阶段，从而，无论是一台发电机组还是多台机组起调时都可以拟定各调试阶段连续过渡的标准顺序。

为了完成各个工艺阶段的工作，起调工作流水作业规定

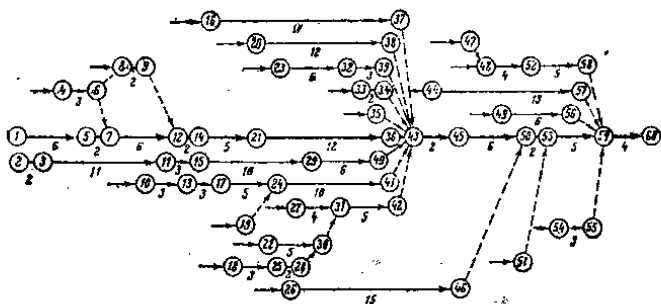


图 1-2 发电机组启动调试工作联系网络图

①→⑤—高压加热器、给水管路、锅炉本体及化学清洗系统设备安装竣工；
 ②→③—汽轮机各油箱注油；③→⑪—油泵试运行、汽轮发电机和给水泵的轴承通油试验；④→⑥—管路安装竣工及蒸汽吹管[13kgf/cm² (1.3MPa)压力]；⑤→⑦—化学清洗系统水压试验；⑦→⑫—锅炉水洗；⑧—除氧器水压试验；⑧→⑨—至除氧器的蒸汽管路吹洗及其安全阀的调整；⑫→⑬—煮炉；⑬→⑭—锅炉化学清洗；⑪→⑮—汽轮机油箱注满新油；⑮→⑯—检查轴承、转子相对膨胀(胀差)与轴向位移发送器的调整，汽轮发电机保护装置与盘车装置(BHV)试验；⑩—凝汽器安装竣工；⑩→⑬—凝结水泵安装竣工；⑬→⑰—凝结水泵试验；⑰→⑲—凝结水管道清洗；⑲→⑳—真空系统抽真空试验及其真空测量；㉑→㉒—发电机抽真空试验；㉓—循环水泵保护装置试验与试运行；㉔—升压泵安装竣工；㉔→㉕—升压泵试验；㉖—电动给水泵(ПЭН)安装竣工；㉖→㉗—电动给水泵电动机闭路冷却系统通水试验；㉗→㉘—电动给水泵冷却管路及密封管路的清洗；㉘→㉙—电动给水泵保护装置调试；㉙→㉚—电动给水泵再循环试验；㉛—汽轮机调速系统安装竣工；㉛→㉜—调速油泵试验、调速系统清理与调试；㉝—再生式空气预热器(РВН)安装竣工；㉝→㉞—再生式空气预热器试转和调整；㉟—烟气、空气管道与引、送风机安装竣工；㉟→㊱—引、送风机试运与烟、风管道系统的泄漏检查；㊲—重油设备及蒸汽-重油管路安装竣工；㊲→㊳—重油设备启动及调试(或气体燃料管路启动与调试)、重油-蒸汽管路吹污及泄漏检查；㊴→㊵—重油喷嘴试验台测试；㊶—电动过滤器测试；㊶—检测设计(КИП)、电力传动装置、保护装置、闭锁装置及讯号设备的测试；㊷→㊸—锅炉保护装置试验；㊹—磨煤机轴承通油试验及其保护试验；㊹—磨煤机安装竣工；㊺→㊻—磨煤机未装钢球前试运行；㊼—制粉系统与排粉机安装竣工；㊼→㊽—排粉机试验和制粉系统的漏风试验；㊾—给煤机安装竣工；㊾→㊿—给煤机调试与试运行；㊿→①—磨煤机装钢球及运行前准备工作；②→③—运行系统的恢复及蒸汽管路吹污前的准备工作；④→⑤—锅炉点火冲洗、调整安全阀及检查蒸汽系统严密性；⑥→⑦—发电机组主蒸汽管道吹污；⑧→⑨—运行启动系统恢复；⑩—汽轮机汽缸喷除结束；⑪→⑫—发电机组保护装置试验；⑬→⑭—汽轮发电机组空转启动，调速试验、找平衡、电气试验；⑮→⑯—发电机组带负荷试验性启动；⑰—汽动给水泵(ПТН)安装竣工；⑰→⑱—汽动给水泵启动与调试。

要把调试人员分成各种专业化小组，以便使这些调试小组的工作在建造热电厂的全部过程当中不窝工，并保持张弛均衡。总之，在提高调试工作质量的同时，也必须提高劳动生产率。

只有认真拟定调试工作联系网络图，搞好调试人员的培训、工作，发电设备部件及时移交，起动前及起动过程中的电源、原材料和化学药品的及时供应，调试人员劳动组织完善，才能使几个机组流水作业的调试工作达到优质高效。

1-3 操作人员培训

操作人员的培训工作应由热电厂、调试单位和制造厂三方的高级技术人员协同进行。这项培训工作分为三个阶段：

第一阶段是讲授有关主机和辅机的结构特性与运行要求。讲课的主要目的是给有关人员将来在同型号设备（机组）上进行现场操作实习做准备。讲授需用100~150h。

第二阶段是随岗位实习和在监护下试操作，目的在于使操作人员能在相应的岗位上独立工作。实习与试操作需时1~3个月。

第三阶段是在随岗位实习和监护操作后进行的专门理论课和实践知识课程，以及在工作岗位上对其进行单独指导。这一阶段的培训目的是使操作人员学会与熟练地掌握发电机组在不同工况下的运行，熟悉避免误操作的自动控制，熟练《操作机组的要领》。实际上，发电机组的理论知识并不能替代这种《操作机组的要领》，而只是掌握操作技巧的第一步。

要使操作人员有效地掌握排除常见事故的必备技术，在培训期的最后阶段还要进行反事故教育，以确定新培养的操作人员能否进入现场操作，以及能否进行事故状态时的操作。

同时，可根据下列各条规定，鉴定操作人员遇到设备事故时的反应能力：

是否能发现故障讯号指示？