

CHERNOBYL

The Legacy Continuesⁱ

信息和用户指南

本手册的内容以及相关的 *Chernobyl, The Legacy Continues* 软件属于 Gatekeeper Technology Group Inc. 的财产，并受版权保护。严禁全部或部分复制。如需软件或用户手册的其他副本，请联系 Gatekeeper Technology Group, 130115.5 Road, Fruita Colorado, 81521。您也可以通过我们的网站 www.gatekeepsw.com/support 与我们联系。

Chernobyl, The Legacy Continues 仍在继续 版权所有 Gatekeeper Technology Group 和 Silsoft Software Development © 1998。保留所有权利。未经作者事先书面许可，不得以书面或电子形式复制本手册或相关软件的任何部分。

目录

- 1. 系统要求和程序安装..... 6
 - 安装指南: 7
 - Windows® 3.1: 7
 - Windows® 95: 7
 - 安装故障排除: 8
- 2. 世界历史上最严重的核事故.....10
- 3. Chernobyl 文件和菜单基础知识17
- 4. 热核电站快速概述.....18
- 5. 如何正确启动大型设备?31
- 6. 切尔诺贝利核电站循环概述.....35
 - 1、除盐水供应泵:38
 - 2&3、冷凝水储罐 - 1 和储罐 - 2:38
 - 4、紧急反应堆冷却 (ERC) 泵:39
 - 5、柴油驱动紧急反应堆冷却 (ERC) 泵:40
 - 6、蒸汽通风口 HEPA 过滤系统:40
 - 7、工厂通风烟囱:41
 - 8、凝结水精处理系统:41

9、低压给水加热器:42

10、冷凝器热井泵:43

11、热井补充阀:43

12、发电机:43

13、励磁机:44

14、热井和凝汽器:45

15、除氧器 (DA) 液位控制阀:47

16、除氧器 (DA):48

17、主反应堆给料泵:49

18、除氧器蒸汽供应:50

19、高压给水加热器:50

20、反应堆给水调节器:50

21、反应器进料隔离阀:51

22、反应器循环泵:51

23、紧急反应堆冷却 (ERC) 控制调节器:51

24、主蒸汽排放调节器:52

25&27、反应堆离线堆芯冷却系统:52

26、反应器蒸汽分离器鼓:54

28、反应堆控制（吸收）棒：	57
29、堆芯氦辐射探测器：	58
30、主蒸汽切断调节器：	58
31、涡轮机截止阀和控制阀：	58
32、通风管辐射监测器：	61
33、冷却池：	61
34、循环水泵：	62
35、蒸汽喷射空气喷射器：	62
7. Reactor“快速”操作基础知识	64
8. 反应堆加油	68
9. 汽轮机基础知识	71
10. 发电机和电气基础知识	78
11. 工厂逐步启动程序	84
12. 用户提示、秘密和其他有用信息	98

1. 系统要求和程序安装¹²

Chernobyl, The Legacy Continues 的最低系统要求是：

- Windows® 3.1, 配备 8 MB RAM（强烈建议使用 Windows® 95 和 16 MB 或更多 RAM）。
- 80486 66 MHz 处理器（推荐 Pentium®）
- 10 MB 可用磁盘空间。
- 640 x 480、256 色 VGA 图形（强烈建议使用更高的分辨率和颜色。1024 x 768、24 位颜色是最佳选择）。
- 四速或更快的 CD-ROM 驱动器。
- Sound Blaster® 或带扬声器的兼容声卡。
- 鼠标或其他指点设备。

由于可以同时屏幕上打开的控件数量较多，因此建议使用高于最低颜色和分辨率的颜色和分辨率。该软件产品设计为在 1024 x 768 分辨率和 24 位颜色下运行最佳。它在 800 x 600 分辨率下也能正常工作。如果必须在 640 x 480 分辨率下使用，屏幕会非常拥挤。它会起作用，但您必须通过级联窗口并学习如何使用鼠标右键和左键来充分利用您的空间。

¹ Windows®、Windows® 3.1 和 Windows® 95 是 Microsoft Corporation 的注册商标。

² Pentium® 和 Indeo® 是英特尔公司的注册商标。

要记住的重要提示：当您单击中性点时，鼠标右键会将背景图形带到前景。进行实践，并学习如何充分利用鼠标...特别是如果您必须以 640 x 480 分辨率运行时。

安装指南：

Windows® 3.1：

1. 将 CD-ROM 放入 CD-ROM 驱动器中。
2. 从“程序管理器”菜单中，选择“RUN”，然后输入“CD-ROM 驱动器号 + SETUP”。
3. 单击“确定”。

Windows® 95：

1. 将 CD 放入 CD-ROM 驱动器中。
2. 单击“开始”（Windows® 屏幕的左下角）。
3. 单击“运行”。这将打开一个窗口，允许您放置 CD-ROM 驱动器盘符和文件名。安装切尔诺贝利的文件称为 SETUP。将 CD-ROM 驱动器盘符与 SETUP 一起放入数据字段中，然后按 Enter 键。示例：**D:SETUP**。
4. 安装程序会将切尔诺贝利安装在名为 Chrnobyl 的文件夹中。如果这不是您想要放置程序文件的文件夹，安装程序将提示您更改它。加载后，可以通过单击 Windows® 程序部分中的切尔诺贝利图标来访问切尔诺贝利。

安装故障排除：

如果您在加载或操作切尔诺贝利软件时遇到问题，最常见的纠正方法如下：

1. 切尔诺贝利在安装过程中写入一个 .ini 文件，告诉程序您的基本配置。如果您有多个 CD-ROM 驱动器，或者您的硬盘驱动器有多个分区，则此 .ini 可能不会指示程序在正确的驱动器上查找 .AVI 文件（电影文件）。要纠正此问题，请选择位于 Windows 附件部分的 **记事本** 程序（可以通过依次选择“开始”、“程序”和“附件”来找到该程序）。进入记事本程序后，选择“文件”和“打开”以打开 Chrnobyl.ini 文件。该文件位于硬盘上的 CHRNOBYL 目录中。（在记事本中打开文件时，必须选择所有文件，而不是打开文件菜单中显示的默认 .TXT 文件）。

访问 CHRNOBYL.INI 文件后，您必须确定切尔诺贝利 CD-ROM 磁盘将从哪个驱动器运行。该驱动器必须放置在 CHRNOBYL.INI 文件的行上。下面是 CHRNOBYL.INI 文件上部的示例。

[驱动器]

CD ROM DRIVE=D: （此行必须包含运行 Chernobyl CD 的 CD-ROM 驱动器。如果此驱动器号不正确，则必须使用正确的驱动器号来代替显示的驱动器号）。

CHERNOBYL GROUP =C:\WINDOWS\START
MENU\PROGRAMS\CHERNOBYL

[目录]

(.INI 文件从此时继续)。

编辑 .INI 文件后，必须使用记事本保存功能保存该文件。

2. 如果上述步骤 1 未能解决问题，并且出现黑色电影框且没有电影显示，则应重新加载 Chernobyl CD 中包含的 Intel® IVI4.3 驱动程序。通过选择 CD 上的正确文件夹（Windows® 3.1 的 W31_dvr 或 Windows 95 的 W95_dvr）并安装适用于 Windows 驱动程序的 Intel Indeo® 4.3 视频即可完成此操作。通过更改到操作系统的目录并单击安装文件来安装这些驱动程序。Intel Indeo® 驱动程序的安装程序对于 Windows® 3.1 应用程序是 SETUP31，对于 Windows® 95 应用程序是 SETUP95。

2. 世界历史上最严重的核事故

1986 年 4 月 26 日当地时间凌晨 1 点刚过，切尔诺贝利核电站 4 号反应堆发生了世界历史上最严重的核事故。这次事故向大气中喷射的放射性碎片是 1945 年在日本广岛投下原子弹的 200 多倍。切尔诺贝利核电站位于前苏联乌克兰基辅约 120 英里处。

这起事故是由多种因素共同造成的。首先是切尔诺贝利核电站所用反应堆的设计存在严重缺陷。切尔诺贝利反应堆设计称为 RBMK - 1000。还有 15 座与切尔诺贝利#4 设计相同的反应堆仍在前苏联运行，其中包括切尔诺贝利核电站所在地的三座相同的装置。苏联 RBMK-1000 反应堆有几个独特且令人不寒而栗的特性。其中五个特征是：

1. 运行时加油。除了加拿大 CANDU 反应堆设计之外，它们是世界上唯一具有此殊荣的商业动力反应堆。美国压水反应堆（PWR）和沸水反应堆（BWR）必须关闭才能补充燃料。RBMK-1000 反应堆之所以如此设计，部分原因是它们可以用于武器级铀浓缩的一级。
2. 出于经济原因，他们使用未浓缩铀作为燃料。目前不涉及核物理，使用未浓缩铀会产生一些具有挑战性的操作问题。其中之一是反应堆无法在降低的功率范围下运行任何时间长度。这种现象称为反应堆中毒。这是导致事故发生的因素之一。
3. 它们是石墨慢化的。这是一个复杂的话题，但石墨调节也导致了事故。

RBMK-1000 不像美国压水堆和沸水堆那样使用水作为部分慢化剂，而是使用石墨。未浓缩铀和石墨慢化的结合造成了当反应堆开始排空时反应堆堆

芯中的功率水平增加的情况。空洞是指冷却核心的水开始转变为蒸汽的情况。随着反应堆容器中的水含量减少，从而增加了空洞程度，反应堆堆芯中的功率上升的趋势就越大。事实上，世界上所有的商业动力反应堆在反应堆失效时都会经历功率下降。当反应堆失效时，RBMK-1000 的功率会增加。这显着降低了反应堆系统的整体安全性。

4. 停止核链式反应的控制棒在其尖端使用石墨“水置换器”。由于反应堆是用石墨减速的，这会导致反应堆功率在反应堆紧急停堆时瞬间增加。紧急停堆是反应堆堆芯的紧急关闭。除 RBMK 外，所有商用动力反应堆均设计为插入控制棒并在 3 秒内停止核链式反应。RBMK 需要 30 多秒才能完全插入控制棒并停止核链式反应。控制棒的缓慢移动，加上石墨尖端导致功率瞬间增加，都促成了事故。
5. 苏联 RBMK-1000 反应堆不采用安全壳结构。仅此一点就可以大大降低切尔诺贝利事故的严重性。美国的反应堆安装在压力密封的安全壳内，该安全壳旨在容纳放射性成分，以防发生切尔诺贝利等事故。这些安全壳结构造价昂贵，并且大大增加了新工厂的建设时间。苏联决定不将反应堆安置在密封的安全壳内。

由于缺乏遏制措施，再加上列出的其他项目，再加上操作不当，导致事故当晚 31 名人员死亡。它还对环境造成了难以估量的破坏。自事故发生以来，碎片踪迹路径上的癌症和先天缺陷事件令人震惊。大气碎片痕迹从乌克兰东部一直延伸到欧洲，并绕了半个地球。

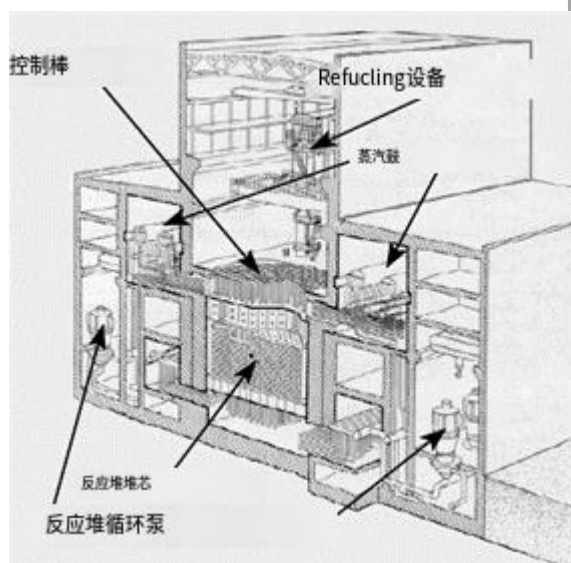


图 2-11: RBMK - 1000 反应器横截面图

RBMK-1000 反应堆的设计被认为是事故的主要因素。然而，这并不是唯一的因素。人为错误，严重的人为错误，是导致事故的主要原因。尽管存在所有设计缺陷，RBMK-1000 反应堆仍拥有众多安全系统来防止事故发生。与所有商业发电反应堆一样，这些安全系统旨在超越操作员，以保护核电站免受可能导致辐射损失的问题的影响。如果操作员关闭或停止服务，这些系统将无效。事实上，这些保护系统在切尔诺贝利的一次测试中已经停止使用。

具有讽刺意味的是，正是在对最后也是最关键的反应堆冷却剂备用系统进行测试时，反应堆发生了爆炸。这项测试称为滚动惯性测试，旨在了解涡轮发电机的惯性将继续为反应堆进料泵和循环泵提供运行动力多长时间。

切尔诺贝利核电站的涡轮发电机组非常大。它们的额定功率为 1000 兆瓦。涡轮机和发电机中的转子重量达数百吨。当没有足够的蒸汽使涡轮发电机保持额定速度（苏联电力系统为 3,000 RPM - 美国为 3,600 RPM）时，涡轮机和发电机在从额定转速下降时可能需要长达三小时才能停止。

滚动惯性测试使涡轮发电机保持与关键反应堆冷却剂系统的连接。涡轮机和发电机转子的重量就像一个巨大的飞轮。该飞轮或滚动惯性利用涡轮机/发电机组中存储的能量来保持泵旋转和泵送。

设计用于测试滚动惯性的存在严重缺陷的程序规定紧急反应堆冷却系统必须停止运行。这包括应急柴油发动机备用系统。由于这些系统被手动停止运行，反应堆上不存在后备保护。反应堆功率降低至较低值以开始测试。不幸的是，正如我们之前介绍的，RBMK - 1000 反应堆的设计目的不是在低于 80% 的功率下运行。当功率降至远低于此水平时，反应堆就会“中毒”。这仅仅意味着抑制中子反应的放射性化合物的增加超出了反应堆堆芯维持核链式反应的能力。该反应堆本质上正在缓慢地核死亡。

当这种类型的反应堆中毒时，公认的操作做法是关闭反应堆并让“有毒”化合物在系统中衰变。一旦它们衰变，（通常大约 24 小时）反应堆就可以重新启动。一个简单问题的简单解决方案。然而，切尔诺贝利核电站的操作人员并不想完全关闭反应堆，因为测试会失败。因此，他们打破了 RBMK-1000 操作的基本规则。操作人员从反应堆堆芯上拆除了所有中子抑制控制棒。

重要的是要了解堆芯中的核反应是通过调节堆芯中控制棒的数量来控制。当控制棒全部插入反应堆堆芯时，产生核反应的中子就会被阻止，因为它们被吸收或抑制。当您从堆芯中移除控制棒时，可用中子的数量会增加，核链式反应就会开始或增加。随着从堆芯中移除更多棒而获得越来越多的自由中子，堆芯中的温度迅速升高。

当反应堆中毒时，操作员并没有将其关闭以使有毒化合物衰变。相反，他们从核心移除了所有控制棒，以迫使反应在有毒化合物中发生。再加上所有紧急备份系统都停止服务，这确实是一个致命错误。

爆炸前几秒钟，操作员意识到自己犯了一个可怕的错误，并按下了 AZ（急停按钮）插入控制棒，关闭了反应堆。不幸的是，正如我们之前所说，RBMK 中的控制棒速度极慢，石墨“水置换器”尖端实际上会在停止核链式反应之前导致核心功率增加。

反应堆的功率急剧增加，导致冷却堆芯的大部分水变成蒸汽。这称为排空反应器。如前所述，当 RBMK 反应堆堆芯失效时，功率会增加而不是减少。这反过来会导致更多的蒸汽形成，从而导致功率再次增加。RBMK 功率呈指数级增长，导致冷却系统中的管道发生严重破裂，从而引发大规模蒸汽爆炸。

蒸汽爆炸发生且冷却系统完全失效后，燃料元件的外壳（或包层）温度急剧升高。过热蒸汽与燃料包壳中的合金发生反应，形成氢气。随后氢气引发了第二次爆炸。这种大量的能量释放使石墨核心着火。

据估计，在 9 秒的时间内，反应堆的功率输出增加到正常最大值的 1200 倍。RBMK 的额定热输出为 3000 兆瓦。这意味着在 9 秒内反应堆的功率增加到 3,600,000 兆瓦或 3.6 吉瓦。就马力而言，这大约是无约束马力 4,825,728,000！不用说，反应堆爆炸了。



图 2-22: 大爆炸后的俯视图

由于当时前苏联政治体制的严峻，工厂当局甚至不承认发生了事故。他们不断地将水抽入一个不存在的反应堆！工厂经理坚持要求对反应堆进行物理检查，实际上将两个不同的人送死。每个人都受到了致命剂量的辐射，回来后报告说反应堆并不存在。厂长仍然没有接受他们的说法。

最初爆炸发生一天多后，居住在切尔诺贝利核电站地区的当地居民甚至没有撤离。直到瑞典一家核电站的工人外出工作后不断触发辐射探测器，世界其他地方才知道发生了事故。这引发了一项调查，最终发现了切尔诺贝利事故。

切尔诺贝利#4 反应堆最终被密封在一个巨大的混凝土石棺中，以阻止石墨火灾并防止放射性物质泄漏到环境中。事故残骸将在数百年内保持剧毒。石棺受到持续监测，以确保其不泄漏辐射。如果石棺失效，环境将再次暴露在大量不受约束的辐射下。

具有讽刺意味的是，切尔诺贝利核电站剩余的三座反应堆已重新启动。这是因为前苏联加盟共和国严重的财政困境。其中可怕的方面是他们是否有财力来正确运行和维护仍在使用的其他 15 座反应堆。

不幸的是，切尔诺贝利事故的教训至今仍在吸取。事故发生后，主要辐射路径中不同类型癌症的死亡率和出生缺陷率比正常情况高出许多倍。即使现在，科学家们仍在研究辐射对人类和环境的影响，以确定这次事故的严重程度。我们是否应用了在切尔诺贝利所学到的知识来防止事故重演？

前苏联当局坚称，他们已经开展了大量培训工作，以防止事故重演。他们表示，现在要求严格遵守既定的操作程序。反应堆控制棒上的石墨“水置换器”尖端已被拆除，以方便反应堆紧急停堆。

就 RBMK-1000 系统最主要的设计缺陷而言，它们是无法缓解的。只要反应堆在运行，它们就仍然不安全，并且容易受到放射性物质意外泄漏（可能是大量）的影响。

尽管被打包为游戏，Chernobyl, The Legacy Continues 却非常准确地模拟了 RBMK 反应堆及其造成的危险。我们通过删除许多子系统来稍微简化其操作，以使非技术用户能够理解操作的主要组件。然而，整体操作非常准确，让用户可以体验操作切尔诺贝利核电站的实际情况。看看您是否可以做出必要的决定并保持反应堆正常运行。祝你好运！你肯定会需要它。

3. Chernobyl 文件和菜单基础知识

每当切尔诺贝利程序启动时，都会加载一个称为初始条件文件（始终称为 IC 文件）的文件。该文件包含在预设点启动切尔诺贝利计划的数据。当您选择想要操作的级别时，就是这种情况。当您选择工厂操作员、轮班主管、总工程师或工厂经理时，IC 文件会加载关键数据，以便模拟器知道负载、温度、每台设备所处的压力等。作为切尔诺贝利的用户，您还可以轻松保存自己的初始条件。这使您可以随时保存模拟器的状态并稍后返回。

要保存或恢复初始条件，您必须首先启动程序。在程序中，您必须在屏幕左上角的下拉菜单中选择“**文件**”标题。当您单击“**文件**”时，您将打开一个菜单，其中显示“**保存**”和“**恢复**”。当您选择“**保存**”时，将打开一个名为“**初始化文件**”的框。此框允许您在“**所选文件**”框中放置名称或数字组合。您输入的姓名或号码末尾必须带有 .icd。一个例子是，如果您将游戏的当前状态保存在您的姓名和日期下，您可以在框中输入如下内容：

Selected file(s) joe91997.icd.

然后您可以单击“**保存**”框。恢复该特定初始条件时，您可以单击“**文件**”标题，然后选择“**恢复**”。与以前一样打开相同的基本框。不同之处在于您可以使用滚动条找到您想要调用或恢复的游戏的名称。您必须单击它以将其放入“**选定的文件**”框中，然后单击“**恢复**”按钮。如果您知道要加载的初始化文件的名称，也可以在“**选定的文件**”框中键入该名称，然后单击“**恢复**”按钮。滚动条和文件列表框只是为了您的方便。

4. 热核电站快速概述

茶壶和风车是热力发电站工作原理最常用的例证之一。然而，作为发电厂的简单类比，它是相当准确的。参见图 4-1。

常规能源和核能发电都有一个共同的要素。这个常见的元素就是热。通过将燃烧或原子分裂产生的热量转化为蒸汽，我们可以使涡轮机转动。然后利用涡轮机的机械运动来转动发电机。发电机的机械运

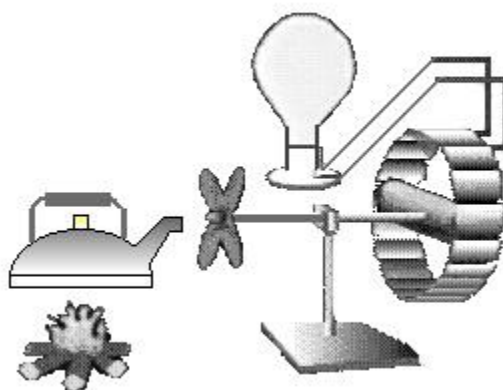


图 4-11：基本茶壶发电厂

动产生电力。图 4-1 很好地说明了这一点。茶壶下面燃烧的木头产生的热量从壶嘴中产生蒸汽。这些蒸汽撞击风车使其旋转。当它旋转时，发电机转动，不断破坏发电机内部的磁场。这会产生点亮灯泡的电力。

现代核电站要复杂得多，但能量转换的原理非常相似。我们不是燃烧木材来产生热量使水壶中的水沸腾，而是创造了受控的核反应。该反应通过核燃料芯内的中子运动（通常称为中子通量）产生热量。一旦我们产生了热量，其余的过程基本上是相同的。参见图 4-2。

热量在锅炉或通常所说的蒸汽发生器中将水转化为蒸

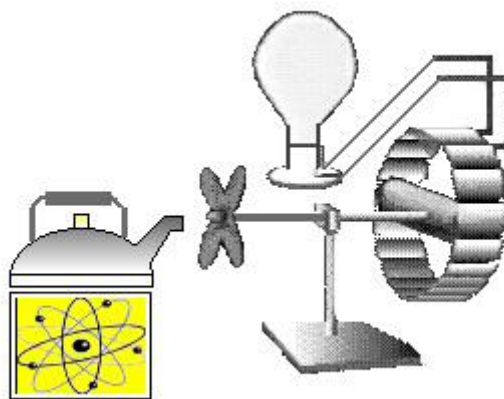


图 4-22：基本茶壶（核动力）

汽。从蒸汽发生器流出的蒸汽冲击风车或涡轮机。当蒸汽冲击风车或涡轮机时，蒸汽中的一些能量被传递给风车涡轮机。这是一个非常关键的理解领域。

事实上，现代核电站中的一切都是能量交换或转换过程的一部分。核电站的能量交换过程为：

1. **核能到热能**（在反应堆中）
2. **热力到机械**（在涡轮机中）
3. **机械到电气**（在发电机中）

请记住，在核电站中，我们只是将能量从一种形式转变为另一种形式。这就是为什么需要这么多不同的设备。

图表 4 中的布置不太实用，因为茶壶最终会变干。这需要不断地向水壶补充水。图 4-3 是我们的茶壶和风车布置的更复杂的视图。我们现在正在对植物循环如何运作有一个更现实的认识。

在图 4-3 中，我们用简化的核反应堆取代了茶壶。反应堆顶部的棒代表吸收棒或控制棒。这些棒通过电子方式从核心中拉出，以允许核链式反应开始。它们被称为吸收棒，因为它们位于核心时，它们会吸收自由中子并停止核链式反应。几乎所有用于发电的商业核反应堆都使用吸收棒来停止或控制核反应。还有几种其他方法可以控制反应堆内的核反应，但控制棒是主要的控制手段。在紧急情况（反应堆 SCRAM 或 TRIP）期间，这些棒会“撞”入堆芯以停止核链式反应。

核心中的核链式反应会产生热量。这种热量产生蒸汽。来自反应堆的蒸汽流入涡轮机。蒸汽冲击涡轮机中的叶片并释放能量。请记住，核电站是一系列能量转移和能量交换的集合体。当蒸汽冲击涡轮叶片时，能量以热量的形式传递给叶片。这会产生用于驱动发电机的运动或机械能。蒸汽在核电站中以大约 650 华氏度的温度进入涡轮机。一旦蒸汽穿过涡轮机中的所有叶片，蒸汽的温度就会降至约 200 华氏度。

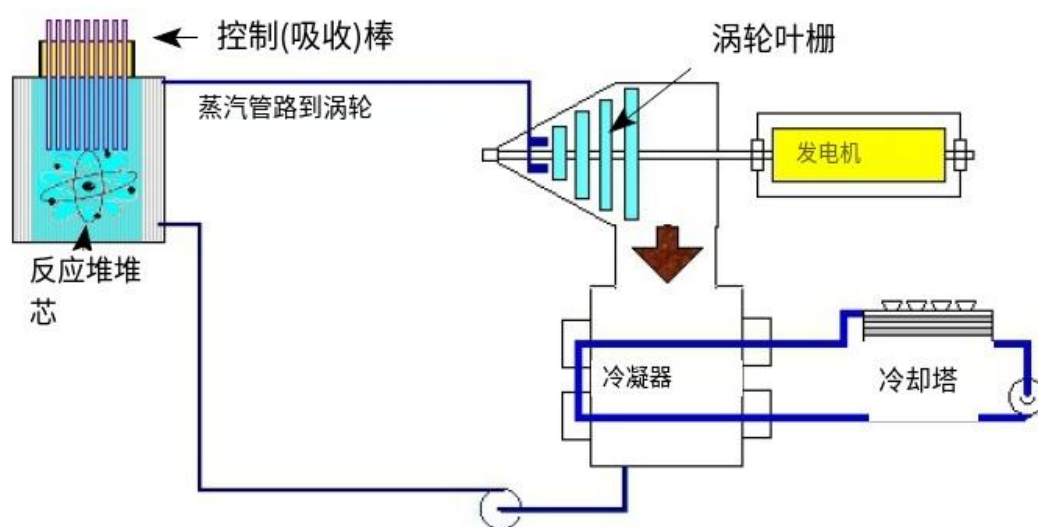


图 4-33: 简化的工厂循环图

这造成了一个有趣的情况，**在继续之前必须理解这一情况！**当温度低于水的沸点时怎么会有蒸汽呢？答案与温度为 500 华氏度时如何仍有水的答案相同。压力！答案永远是压力。水在 212 华氏度时沸腾，但前提是海平面压力为大气压。这是 14.7 psia，或绝对磅每平方英寸。如果您前往科罗拉多州海拔 14,000 英尺的山顶，水将在大约 196°F 的温度下开始沸腾。如果您前往低于海平面的加利福尼亚州死亡谷，水的沸腾温度将略高于 212°F。

水或蒸汽所处的压力决定了它何时是蒸汽以及何时是水。涡轮机末级中仍然有 200E F 蒸汽的原因是因为冷凝器中的压力非常低，或者通常称为真空。

下一个问题应该是，

“冷凝器中的真空从何而来？”

冷凝器中的真空主要来自蒸汽冷凝回水。在 **Chernobyl, The Legacy Continues** 的训练室里，有一部电影展示了一加仑罐子装满了部分水。然后将加仑罐放在本生灯顶部并煮沸。沸腾后，将盖子盖在加仑罐上。立即将罐子从本生灯中取出（否则持续加热和蒸汽膨胀会导致其爆炸），然后将一壶冷水倒在罐子顶部。罐子会内爆或收缩，就像空气从气球中逸出一样。参见图 4-4。

这是因为蒸汽和水之间的体积差异巨大。真空中蒸汽的体积是水的1600倍。当蒸汽冷却到凝结点以下时，它会变回水，并在容器上产生真空。这对于了解任何工厂的运行都至关重要。正如锅炉或反应堆中的水加热会导



图 4-44: 加仑罐中蒸汽的收缩

致水膨胀并增加压力一样，冷却蒸汽会导致其收缩并占用更少的空间。

图 4-5是“蒸汽表”的副本。这本或类似的小册子将放在所有核电站和化石燃料发电厂的控制室中。这本小册子和其他类似出版物列出了饱和蒸汽和过热蒸汽的特性。操作员可以查看含水系统中的压力和温度计，并判断系统中是否有蒸汽或是否仍然是水。一个很好的例子是冷凝器。如果操作员知道只有 2.5 psia（绝对磅每平方英寸），蒸汽表会显示冷凝器中的温度。

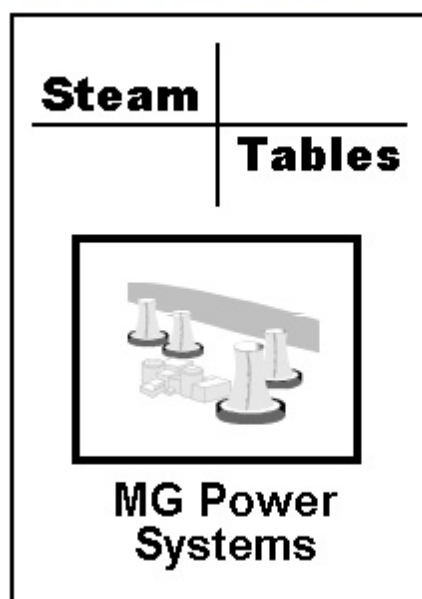


图 4-55: 蒸汽表

蒸汽流经涡轮机并释放大部分能量后，流入冷凝器。在图 4-3 中，冷凝器是涡轮机下方的装置。涡轮机排出的蒸汽进入顶部并向下流过数百个小管。小管含有来自冷却塔或池塘、湖泊或海洋的冷却水。然而，大多数工厂都使用冷却塔。

涡轮机排气中的废热被“转移”到流经冷凝器管的冷却水中。当热量从涡轮机的废蒸汽中排出时，它会收缩。这导致

体积大幅减少。当发生体积减小时，冷凝器中形成真空。这大大提高了工厂的效率。值得注意的是，现代工厂的热效率实际上非常低。

如果我们测量反应堆堆芯中的总热量，然后利用该热量来产生蒸汽，并利用蒸汽来转动涡轮机，并利用涡轮机的机械运动来转动发电机，然后从发电机中产生热量：尽可能高效，我们将只拥有反应堆核心的大约 $1/3$ 热量。这大约是 33% 的效率。更容易理解燃煤电厂的能量损失。

我们可以在实验室中准确测量 1 磅煤可提供多少热量。然后我们可以在高效锅炉中燃烧相同的煤并产生蒸汽。我们可以将这种蒸汽转化为涡轮机中的机械运动。然后我们可以利用涡轮机的机械运动来转动发电机并产生电力。以最高效的方式发电后，我们将仅拥有最初煤炭能源的 30% 至 35%。热量去哪儿了？

在燃煤电厂中，大部分热量在两个位置损失：

A. 煤炭燃烧产生的废气

B. 冷凝器和冷却塔

在核电站中，大部分热量通过冷凝器和冷却塔损失。尽管核电站的燃烧不会造成烟囱损失，但核电站的基本效率远低于化石燃料电站。这是因为核电站的运行温度和压力要低得多。在**朗肯循环**中，在降低的温度和压力下运行会大大降低过程的效率。出于安全考虑，核电站在较低的温度和压力下运行。

核电站和化石电站中使用的基本循环称为**朗肯循环**。朗肯循环是图 4-3所示的连续循环。即：

A. 加热和能量存储（例如在反应堆或锅炉中）

B. 膨胀和能量释放（在涡轮机中）

C. 冷凝和收缩（在冷凝器中）

当温度和压力降低时，循环效率也会成比例下降。

蒸汽冷凝后落入冷凝器底部。这就是所谓的热井。热井配有泵，可将冷凝水返回整个循环。在图 4-3中，您可以看到流量从热井泵返回到反应器。事实上，在返回反应堆之前，循环中还有一些额外的设备和其他物品。让我们添加一些此类设备以使图 4-3中的循环更加真实。

图 4-6 添加了一些项目，有助于构建更真实的植物周期视图。我们添加的项目之一是反应器上的蒸汽鼓。汽包是蒸汽和水的收集和分离点。我们在图 4-6 中添加的另一个项目是冷凝水精处理，或在线冷凝水处理系统。这是核电站整个周期中的关键项目。我们还添加了“除气器”。除氧器是一种帮助加热进入反应堆的水的装置。它还用于去除给水中的溶解氧。溶解氧对反应器和连接管道中的金属非常有害。如果不去除溶解的氧，就会导致系统腐蚀。除了损坏系

统中的金属之外，腐蚀还成为一种必须处理的放射性废物。让我们遵循图 4-6 中的新流程。

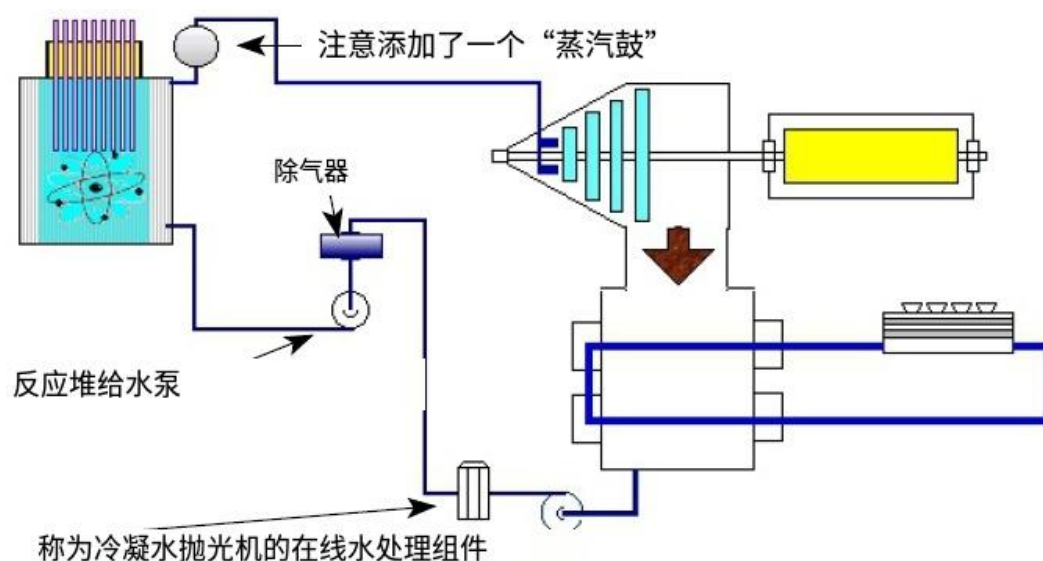


图 4-66: 简单给水系统流程图

在图 4-6 中，我们像之前一样从反应堆开始。我们在这里放了一个蒸汽鼓作为水和蒸汽之间的分离点。如果我们只是强迫水通过反应堆，我们可能会因所谓的“水感应”而严重损坏涡轮机。蒸汽轮机是为蒸汽而不是水而设计的。水会严重损坏蒸汽轮机。因此，我们放置了一个连接到反应堆水回路的大桶作为收集点。通过保持桶中的水位，我们始终知道反应器中有足够的水。在任何使用滚筒的工厂中，例如 RBMK - 1000 反应器，**滚筒液位是操作员最关心的问题之一！**

汽包液位下降意味着核燃料核心可能会暴露在周围没有冷却水的情况下。这种暴露可能导致核心材料熔化或爆炸。堆芯并非设计用于通过蒸汽冷却。它设计为仅通过水冷却。保持鼓声电平高于最低值的极端重要性怎么强调都不为过。对足够水位的

需求是核电站使用许多额外系统和设备的原因，以确保反应堆中的水流永远不会流失。稍后我们将介绍紧急核心冷却系统。

但是，您必须记住保持反应器中水位的重要性。

蒸汽从汽包流向涡轮机。将大部分能量传递给涡轮机后，废蒸汽被冷凝器管中的冷却水冷凝，并落入热井。如前所述，热井泵迫使给水返回循环。我们在循环中添加了一种称为凝结水精处理装置的装置。凝结水精处理机是水处理设备，用于去除通过循环泵送到反应器的水中的污染物。

纯净水不导电。如果水是 100% 的纯净水，它就是完美的绝缘体。不幸的是，水会吸收它接触到的任何东西。它被称为万能溶剂。如果电气设备掉入洗澡水中，您可能会触电，原因是水中的污染物。水中天然含有许多矿物质、铁和其他杂质。如果通过几种处理方法之一去除这些杂质，水就不会导电。测量水中杂质的主要方法之一是**电导率**。电导率是水传导多少电量的测量值。在大型核电厂或火电厂中，水纯度极高。经测试，工厂蒸汽/水循环中的水由于其高纯度而传导很少的电力。

水现在从抛光系统流经**除气器**。除氧器是一种双重用途的设备。它有助于加热流向反应器的水，并去除水中的一些溶解氧。溶解氧是化石燃料和核电站的一个主要问题。当浓度较高时，它会导致管道系统和反应堆容器本身严重腐蚀。除氧器使用蒸汽（稍后我们将介绍蒸汽的供应来源）来去除进入给水中的溶解氧。除氧器排气，以便去除给水中的溶解氧。由于 RBMK-1000 反应堆装置的给水具有放射性，因此从除氧器排出的蒸汽在排放前必须进入处理设施去

除放射性污染物。

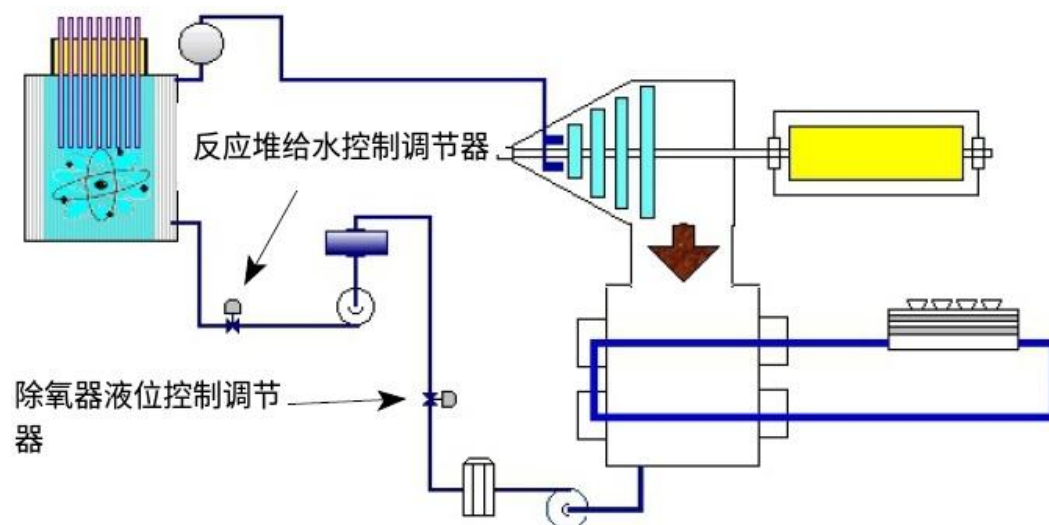


图 4-77: 在我们的示意图中添加流量控制阀

您是否注意到切尔诺贝利核电站像许多核电站一样使用烟囱？这是因为有几种不同的系统和设备必须排出少量的蒸汽和其他气体。由于大部分排放材料具有放射性，因此必须对其进行处理和/或过滤。这些工厂中的烟囱是所有系统经过过滤和/或处理后的公共通风点。

经过处理的给水从除氧器通过反应器给水泵被泵送到反应器。在图 4-6 中，我们只显示了一台泵。您必须记住保持汽包中的水位是多么重要。这需要备用系统和泵来维持反应器中的液位。这涵盖了图 4-3 中流程图或原理图的主要变化。这确实不是很复杂，不是吗？让我们继续添加更多细节。请参见图 4-7，我们介绍了除氧器补给调节阀和反应器补给调节器控制阀。

图 4-7 与图 4-6 相同，只是我们添加了两个非常重要的控制阀。它们是除氧器补充调节器控制阀和反应器补充调节器控制阀。我们已经强调了维持反应堆水位的重要性。值得注意的是，如果除氧器中水位下降，反应堆给水泵将没有任何水泵送到反应堆。因此，保持除氧器水位也极其重要。请记住，有一

个应急堆芯冷却剂系统（ECCS），如果正常反应堆供给系统无法维持液位，该系统将淹没堆芯。我们稍后会介绍这个系统。

除氧器和反应器补充调节器控制阀均可由操作员以手动模式操作。通常，这两个阀门都处于工厂控制系统的自动操作模式下，无需操作员干预即可保持液位。然而，在低功率输出和不稳定条件下，操作员可能需要将这些调节器中的一个或两个调节器置于手动状态并控制阀门位置。让我们继续看一下图 4-8 中添加的更多循环。

图 4-8 与之前的示意图相同，只是添加了一个完成整个蒸汽/水循环的非常重要的系统。我们添加了反应堆堆芯循环系统，即 RCCS。

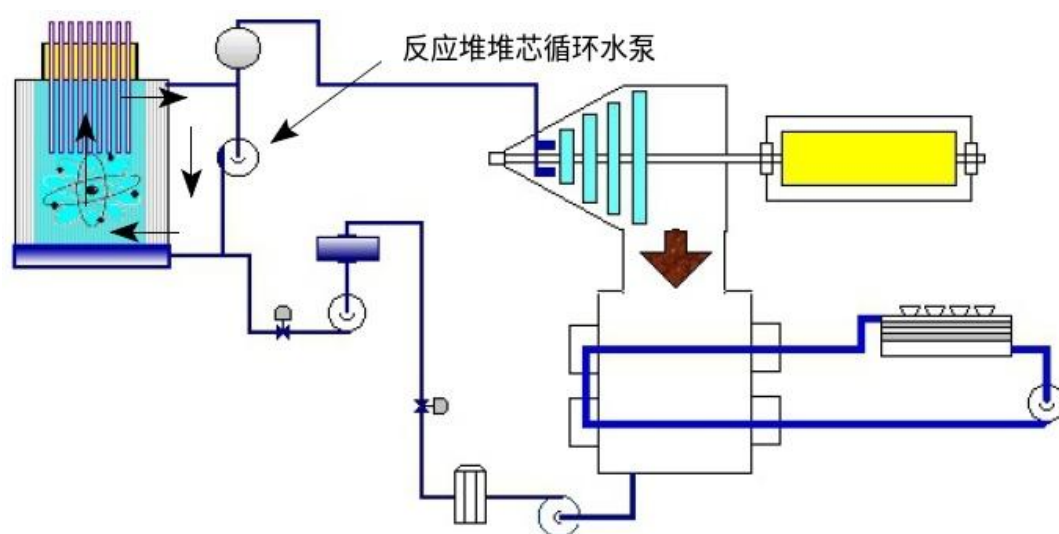


图 4-88: 反应堆堆芯冷却系统

反应堆循环泵维持稳定的水流通过反应堆核心。重要的是要了解当今世界有多种类型的反应堆用于发电。RBMK-1000 被认为是沸水反应堆。这意味着通过核心循环的水形成蒸汽泡。这些蒸汽泡“释放”或向上流入汽包并流出到涡轮机。已经被加热但尚未热到形成蒸汽泡的水与进入的冷却器给水混合，并被

反应堆循环泵迫使返回反应堆核心。我们已经对整个蒸汽水循环进行了非常简单的概述。让我们在看图 4-8 的同时快速回顾一下要点：

1. 核裂变产生的热量在反应堆中形成蒸汽。
2. 蒸汽在汽包中与水分离。
3. 蒸汽通过主蒸汽管线流至涡轮机。
4. 蒸汽在涡轮机中释放出大部分能量。
5. 涡轮机排出的蒸汽流入冷凝器。管，将蒸汽冷凝回水并在冷凝器中产生真空。
6. 来自冷却塔的冷却水通过冷凝器循环。

严格控制核心的沸腾是绝对必要的。RBMK 具有令人讨厌的正空腔系数，当反应堆中的水含量减少时，它会产生更多的热量。这意味着不仅低水位会导致反应性增加，而且堆芯中过多的蒸汽也会导致反应性增加。堆芯中过多的蒸汽会暴露燃料束并使其承受高温。操作员决不能让反应堆的功率水平增加堆芯的空洞。可以连续读出反应堆堆芯中的空洞量。必须注意这一点，以确保核心保持在水环境中。在任何情况下都不能在没有循环水泵运行的情况下运行反应器！即使在关闭期间，堆芯也会产生衰变热。该热量必须消散，否则反应活性会增加，并导致随后的熔化和/或爆炸。让操作者小心！

7. 凝结的蒸汽称为凝结水并落入热井。
8. 热井泵将水泵送通过水处理设备并到达除氧器，在除氧器中添加热量以预热并驱动给水中的溶解氧。
9. 除氧器中的给水落入反应堆给水泵，压力升高以克服反应堆压力。
10. 给水进入反应堆，通过反应堆循环水泵循环。被加热到足以形成蒸汽的水从汽包流到涡轮机。循环再次开始。

这涵盖了工厂的主要蒸汽/水循环。有许多子系统是工厂主蒸汽/水循环的一部分并支持工厂的运行。这些子系统之一是抽汽系统。请参阅图 4-9，我们将介绍概述原理图中的新内容。前面我们提到除氧器从另一个系统接收蒸汽。该蒸汽用于加热进入的给水并驱除给水中的溶解氧。除氧器的蒸汽来自主汽轮机**抽汽系统**。抽汽系统为工厂的许多不同部分提供用于各种不同目的的蒸汽。抽汽系统的主要目的是为**给水加热器**提供加热蒸汽。

图 4-9 包含两个给水加热器和除氧器。它们是低压给水加热器和高压给水加热器。我们仅展示两个给水加热器，因为它简化了原理图。实际上，工厂可以使用几个不同阶段的给水加热。典型的工厂可以有多个低压和高压给水加热器。给水加热器的目的是利用来自汽轮机的较低压力和温度的蒸汽来加热流向

反应堆的给水。

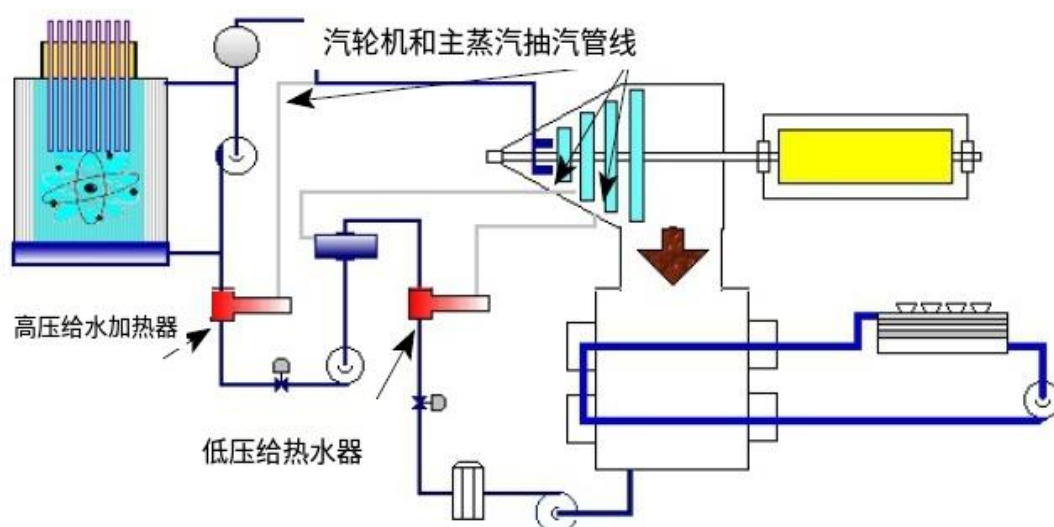


图 4-99: 带抽汽系统的工厂循环

加热反应堆的给水供应可减少反应堆系统的热应力和冲击。它还使用来自涡轮机不同级的较低压力和温度的蒸汽，这些蒸汽通常作为废热进入冷凝器。总体而言，给水加热器提高了工厂循环的效率并减少了反应堆的压力。在我们的图表中，最高压力提取来自主蒸汽管线。

然而，大多数抽气是从涡轮机的低压级进行的。这使得涡轮机能够使用最高压力和温度的蒸汽来发电，然后将其转储到不需要主蒸汽中包含的更高压力和温度的另一个用户。

通过添加抽汽系统，我们已经概述了热电厂循环。如果您对到目前为止所涵盖的材料感到满意，那么掌握工厂的操作应该没有任何困难。蒸汽/水循环是工厂运营的主要部分。我们将在“切尔诺贝利核电站循环概述”中介绍实际的切尔诺贝利核电站循环。第 6 节将介绍 ECCS（紧急核心冷却系统）和我们在本节中简要提到的其他系统。

5. 如何正确启动大型设备？

任何工厂，包括核电站，都需要大型旋转设备才能运行。这种设备通常非常昂贵并且通常不稳定。在核电站中，还存在放射性核污染的问题，这使得日常维护变得更加困难。因此，设备的正确投入使用非常重要。大型设备未能正确启动可能会造成广泛的损坏。

泵是任何核电站的主要部分。它们是精密设备并且非常昂贵。有许多不同类型和尺寸的泵，我们可以花很多时间来研究。然而，我们不会在这个主题上花费大量时间。我们将学习将这些大型昂贵设备投入使用的正确方法，并继续讨论其他更重要的项目。

泵有几项在启动前和启动后必须检查的项目。

泵的容量越大，必须检查的内容就越多。许多较大的泵和设备都有辅助油泵系统，必须在启动主泵或设备之前运行。油泵系统通常具有储油器，启动前必须检查油位。参见图 5-1。



图 5-11: 反应器进料泵，辅助润滑油泵系统

如果泵没有辅助抽油系统，则几乎总是有带有某种油位观察窗的轴承油箱。在启动泵之前必须检查这些液位是否足够。然而，最需要关注的是泵本身的实际阀门。

要记住的第一条规则是大型泵在执行其工作时会产生巨大的热量。例如，当所有反应堆循环泵同时运行时，它们会产生足够的热量来产生蒸汽。事实上，核电站在将核燃料装入堆芯之前会进行一项称为“**热功能**”的测试。这意味着仅利用反应堆循环泵产生的热量，它们实际上就可以产生足够的蒸汽来启动涡轮机和发电机并产生少量电力。显然，运行再循环泵所需的功率比测试期间涡轮发电机产生的功率大很多倍。

如果您不为这些泵和其他大型泵提供流路，它们将很快因**气蚀**现象而自我毁灭。气蚀可能是由多种原因引起的。当发生气蚀时，泵听起来就像是在泵送砾石。它将剧烈振动并产生内部热量。这些热量会迅速积聚，直到泵的内部组件被损坏。这里的结论是什么？泵运行后必须打开排放口。如果排放口关闭，大多数大型泵都有**再循环阀**。再循环阀允许部分泵的流量再循环回到吸入口，或回到系统中的另一个点。操作员确保存在流动路径至关重要。确保存在流动路径的主要部分是在**泵运行后**打开排出阀。如果有原因导致排放打不开，那么再循环阀打开是至关重要的、必要的、关键的。

如果在排放阀打开的情况下启动大容量泵，可能会造成大范围的管道和容器损坏。系统必须慢慢填充。在排放阀打开且系统减压的情况下启动大容量泵可能会导致称为“**水锤**”的情况。水锤现象非常严重，可能会导致管道、阀门或压力容器破裂。谨防水锤。

我们已经介绍了排放阀，但还有另一个同样重要的阀门。在启动泵之前绝对必须打开**吸入阀**或**泵入口阀**。另一个对某些泵至关重要的阀门是**排气阀**。泵上使用了几种不同类型的通风口。

许多泵都有外壳排气阀。该阀门在泵的初始填充过程中打开，以确保外壳内没有空气。泵注满且系统准备好运行后，除非泵或系统排空，否则该阀门不需要再次打开。冷凝泵（也称为热井泵）必须在排气阀始终打开的情况下运行。本段前面介绍的排气阀对大气开放。冷凝泵上的排气阀通过管道连接到冷凝器。

您还记得冷凝器处于真空状态吗？泵实际上无法从真空中抽气。因此，为了使冷凝泵从热井中排出水，它必须与冷凝器处于相同的压力。这就是为什么冷凝器的排气阀必须打开的原因。未能打开凝结水泵通风口将导致凝结水泵无法从热井中抽水。

在大型泵的启动和操作过程中还必须涉及另一个领域。如果吸入阀打开，但没有水可泵送，则会出现与吸入阀关闭相同的效果。泵必须具有足够的**净正吸头 (NPSH)** 要求。这仅仅意味着泵吸入口的压力必须高于制造商的最低压力，否则泵将损坏。每个泵都是不同的。一般来说，泵越大，运行所需的吸入压头就越大。只要确保保持足够的热井液位、除氧器液位和反应器罐液位即可。如果液位正常，泵可能有足够的吸入压力。

让我们快速回顾一下启动大型泵所需的条件：

1. 吸入阀打开。
2. 润滑油系统运行（如果配备）。
3. 如果不使用辅助油泵系统，轴承润滑油油位足够。
4. 待抽吸容器内的液位足够。

5. 如果是凝结水（热井）泵之一，则打开排气阀。
6. 再循环阀打开（如果配备）。
7. 排放阀打开（泵启动并“达到速度”后）。

这涵盖了启动大型泵的主要细节。这只是“冰山一角”，但您现在已经足够了解如何操作该工厂了。只要记住这里涵盖的项目就可以了。

6. 切尔诺贝利核电站循环概述

我们已经介绍了通用工厂中的整个蒸汽/水循环，甚至还介绍了 RBMK-1000 的一些小细节。我们现在要更具体地了解切尔诺贝利核电站。我们将直接跳到 **Chernobyl, The Legacy Continues** 中使用的“示意图”。示意图是工厂主要流程和系统的单线视图。此类绘图的另一个名称是 **P & ID**。这代表**管道和仪表图**。原理图或 P & ID 与实际切尔诺贝利核电站中的实际流程和设备非常相似。我们尽力保持原理图和模拟在技术上尽可能准确。有许多项目被简化，但总的来说，我们保持了整个工厂系统和设备的准确性。

如果您从《切尔诺贝利，遗产继续》的下拉菜单中选择“帮助”，然后选择“**逐个系统描述**”，您将找到一个完全交互式的原理图，您可以单击一个设备并接收多媒体说明。本培训文件遵循切尔诺贝利计划帮助文件中多媒体培训的总体方向。如果本文档无法以易于理解的方式进行解释，您应该转到切尔诺贝利程序中的多媒体帮助文件。您可能会发现它们更容易理解。

图 6-1 是用于识别原理图或 P & ID 上的零件或组件的图例或图例。当您覆盖实际的 P & ID 时，请根据需要参考它。我们在图例中包含了 5

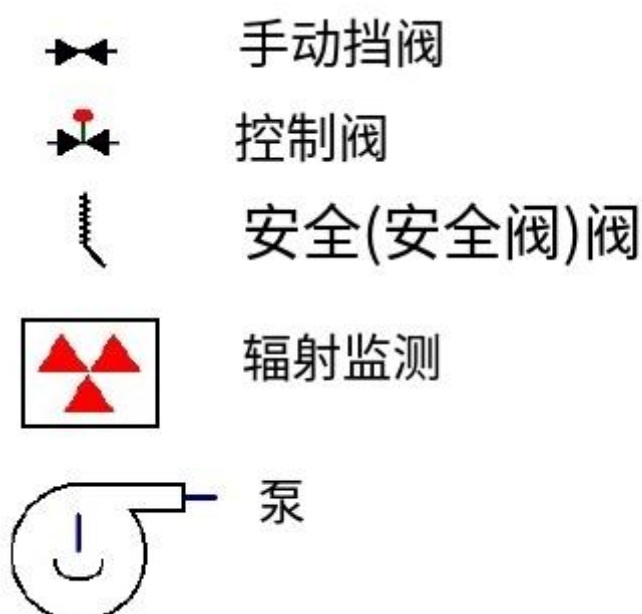


图 6-11: P&ID 图例

个项目，您必须能够在 P&ID 上识别它们。实际原理图或 P & ID 位于下一页的图 6-2 中。

我们将从第 1 项开始循环概述，即位于原理图左下角的水处理厂 (WTP) 泵。

您应该注意到原理图（图 6-2）上的每个项目都已编号。该编号是下面提供的文档的识别号。

使用它们：

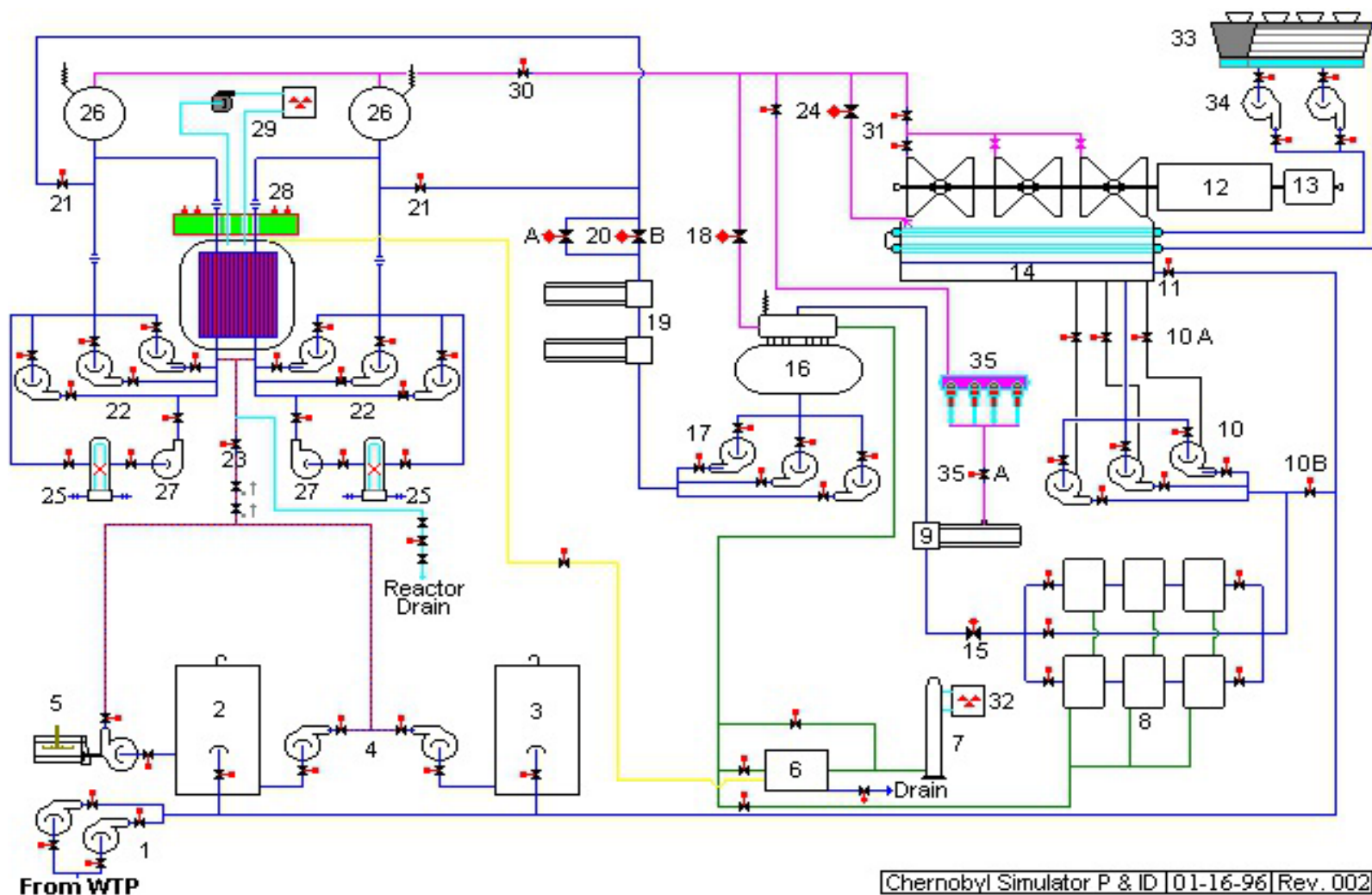


图 6-22: 切尔诺贝利参考 P & ID

1、除盐水供应泵：除盐水供应泵位于 P & I D 的左下角，通过水处理下拉菜单进行控制。有两台电动泵，每台都能为发电机组提供所有补给水需求。

这包括应急反应堆冷却（ERC）系统的应急供应需求。每个泵的最大流量为每分钟 3,500 加仑。用于启动任一泵的逻辑包括吸入阀打开、排出阀关闭以及至少一个冷凝水储存罐补充阀打开。如果两个冷凝水储罐均未准备好运行，则泵将不会启动。不满足这些“许可”会导致“水处理补充泵故障”警报响起。**许可是控制系统逻辑启动设备所需的任何项目。**

泵达到额定速度后（大约 7 秒的启动时间），可以在不关闭泵的情况下打开排放阀。除盐水泵具有以下控制装置：

- a) 泵 - 1 启动和停止按钮。
- b) 泵 - 2 启动和停止按钮。
- c) 泵 - 1 流量。
- d) 泵-2 流量。
- e) 储罐 - 1 出口阀打开和关闭按钮。
- f) 储罐 - 2 出口阀打开和关闭按钮。
- g) 储罐 - 1 液位指示器。
- h) 储罐 - 2 液位指示器。

2&3、冷凝水储罐 - 1 和储罐 - 2：冷凝水储罐是带通风口的碳钢储罐，带有聚乙烯衬里。这些水箱有一个本地液位指示器，以及用于水处理泵控制的数字液位指示器。水箱液位测量范围为 0' 至 30'。每个水箱中的每英尺

水相当于 32,000 加仑的冷凝水。每个储罐的冷凝水储存总量为 960,000 加仑。由于需要进行大量处理，储罐的补给水成本为每加仑 5 卢布。所有来自水处理厂的用于反应器的水均已软化和去矿物质。这意味着几乎所有污染物都被去除，并且水不会导电。水箱的初始条件始终为 1 号水箱 20 英尺，2 号水箱 20 英尺。如果您希望“加满”，则必须启动水处理厂。请记住，反应堆水的生产成本为每加仑五卢布。

与水箱的连接包括由水处理泵控制装置控制的组合入口阀和出口阀。当 WTP 补充泵运行时，它允许水流入储罐。当 WTP 补充泵关闭时，它允许真空将冷凝水拖入工厂冷凝器。还有与电动紧急反应堆冷却 (ERC) 泵的第二个连接。冷凝水储罐的第三个也是最后一个连接是通往备用柴油驱动紧急反应堆冷却 (ERC) 泵的管线。

4、紧急反应堆冷却 (ERC) 泵： 紧急反应堆冷却 (ERC) 泵是电动全容量泵。其中任何一个都能够每小时向反应堆供应 850 万磅的水。这些泵的控制装置位于紧急堆芯冷却控制装置上。如果反应堆冷却回路中的压力低于 500 psig，则允许启动任一泵，吸入阀打开，排出阀关闭。如果反应堆冷却回路中的压力高于 500psig，任一 ERC 泵都可以在排放阀处于打开位置的情况下启动（当反应堆运行时，排放阀应保持在打开状态以用于紧急目的）。

泵的指示器包括泵状态、吸入阀和排出阀状态、反应堆冷却回路压力指示以及泵和阀的启动/停止、打开/关闭按钮。控制装置中包含紧急反应堆冷却 (ERC) 自动按钮。自动按钮会自动调整 ERC 泵的运行状态，并在反应器再循环循环中出现低流量时启动泵。如果紧急核心冷却系统退出自动模式，警报将提

醒操作员该关键保护系统已关闭。该警报将一直保持，直到泵重新置于“自动”状态。

5、柴油驱动紧急反应堆冷却 (ERC) 泵：该泵的功能与第 - 4 项中的电动 ERC 泵相同。唯一的区别是柴油驱动器不需要电源来运行。由于它是根据“死车”（车站服务丢失）信号气动启动的，因此不需要电力。所有控制装置均与电动 ERC 泵相同，但有一个值得注意的例外。

柴油驱动泵具有速度控制设置，要求操作员在发动机上手动调节速度。当发动机以 900 RPM 运转时，即可获得额定流量。然而，由于泵的流量非常非线性，因此当发动机 RPM 低于 850 RPM 时，来自泵的流量将迅速减小，并且在 800 RPM 时几乎消失（假设反应堆冷却回路中的额定压力）。相反，发动机将在 970 RPM 时发出“危险、高柴油驱动 ERC RPM 警报”。如果在 1050 RPM 以上运行，柴油机将自行损坏且无法工作。

6、蒸汽通风口 HEPA 过滤系统：蒸汽通风口 HEPA 过滤系统设计用于去除除氧器通风系统、反应堆氦辐射探测器通风系统和抛光机再生通风口中的放射性颗粒。该系统的控制位于 HEPA 过滤器控制上。控件包括进入和退出服务按钮以及旁路气流关闭和打开按钮。旁路气流选择绕过 HEPA 过滤器并将放射性通风口排放到大气中。旁通阀设计用于根据需要绕过 HEPA 过滤器，以将过滤器上的“压差”维持在可接受的值。压差是加压管道、容器或设备的入口和出口之间的压差。

示例：如果进入过滤器单元的压力为 25 psi，流出抛光机单元的压力为 10 psi，则存在 15 psi 压差。通常写为 15 **psid**（每平方英寸压差）。

绕过 HEPA 过滤器，或 HEPA 过滤器因过度使用而失效，会导致排气烟囱中根据排出气体中的放射性含量发出高辐射警报。更换 HEPA 过滤器的费用为 100,000.00 卢布。

7、工厂通风烟囱：工厂通风烟囱将微放射性气体从 HEPA 过滤系统排放到大气中。唯一的面板指示是“高 VentStack 辐射”警报，声音为 1 rem。“Very High Vent Stack Radiation”警报以 3 rems 响起。最终警报将为“通风烟囱辐射 - 危险”警报，并以 5 rems 发出声音。

8、凝结水精处理系统：凝结水精处理系统由两个 100% 容量的在线除盐机组组成。凝结水精处理机的控制装置位于凝结水系统控制装置的控制室中。抛光器控制器和指示器包括抛光器 - 1、服务按钮的输入和输出、抛光器 - 2 服务的输入和输出按钮、每个系统的再生按钮以及每个系统的状态灯。

当在线冷凝水除盐器（抛光机）装置自身“耗尽”时，Ph（酸度）会降低，电导率（水传导电流的测量值，表明水中的杂质）增加。

当冷凝水系统纯度因抛光机耗尽而开始下降时，当电导率达到 2 微姆欧或更高、Ph 值为 8.5 或更低时，就会发出警报。操作员必须通过选择备用设备上的 IN 按钮并选择使用中设备上的 OUT 按钮来使备用容器投入使用。

当低凝结水水质警报响起时，备用的在线除盐器（抛光装置）必须投入使用。这是由操作员完成的功能。它不是由计算机或控制系统自动完成的。如果您不进行冷凝水系统控制并开始对耗尽的抛光系统进行再生，则运行中的装置最终将自行耗尽。当运行中的机组自行耗尽时，凝结水、给水和反应堆水的化

学性质将严重恶化，以至于需要关闭反应堆机组。观察位于冷凝水控制器上的冷凝水电导率监控器非常重要。电导率应始终低于 3 微欧姆。

9、低压给水加热器： 低压给水加热器是管壳式换热器，如图 13 所示。这是一个简单的**换热器**。换热器是任何能源系统的组成部分。顾名思义，热交换器用于能量传输。它们的设计目的是将一个系统中的能量转移或交换到另一个系统中。对于给水加热器，来自涡轮抽汽或主蒸汽系统的蒸汽能量流入热交换器的顶部。这称为**壳侧**。之所以这样称呼，是因为蒸汽在一系列含有冷凝水或给水的管道周围自由流动。热交换器的这部分称为**管侧**。壳程和管程之间没有连接。冷凝水通过穿过热交换器管侧的管道流入和流出给水加热器。进入热交换器壳程的蒸汽在管内及其周围流动。

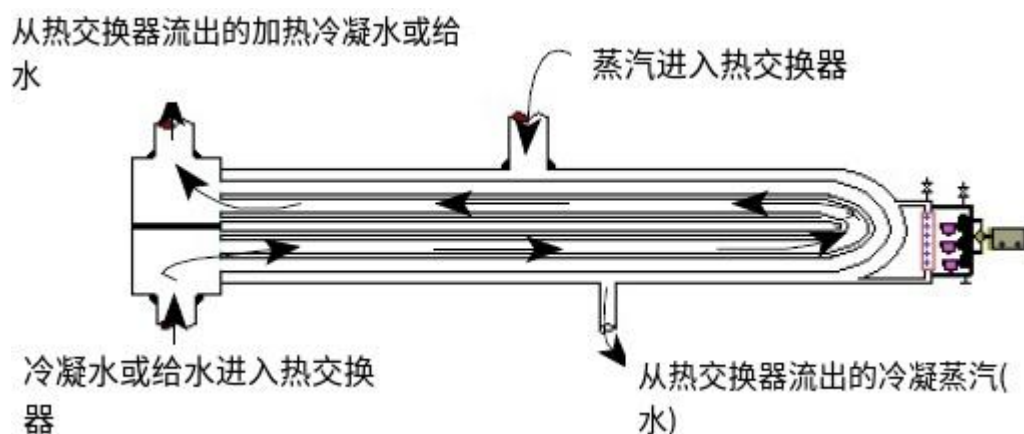


图 6-33: 典型给水加热器

当热蒸汽与管侧冷却得多的管道接触时，热量从蒸汽传递（“交换”）到管侧的冷凝水或给水。随着更多的热量被交换，蒸汽冷凝或返回到水并从热交换器的底部流出。这种冷凝水或冷凝水可以流向工厂冷凝器，或者流向另一个平均温度更低的热交换器。请记住，冷凝水或给水加热器的目的是提高系统效率，并减少对反应器的热冲击。

10、冷凝器热井泵：共有三个冷凝器热井泵。冷凝器热井泵是非常大的立式罐式离心泵。满负载运行需要其中两个。它们配备有吸入阀、排出阀和排气阀。排气阀和吸气阀必须打开才能启动，并且排气阀必须关闭。

热井泵不允许启动低热井液位，泵也不允许热井液位跳闸。如果热井泵在没有水的情况下运行（无论是启动还是运行期间干转），泵将停止泵送。如果这些情况中的任何一个在几分钟内没有得到纠正，泵将被“毁坏”，并且修理费用约为 400,000.00 卢布（每台）。

11、热井补充阀：该阀由给水控制器控制。当处于自动模式时，设定点应为 70"。如果没有任何故障，并且任一冷凝水储罐补给阀打开并且存在足够的液位，或者如果 WTP 补给泵处于运行状态，则该阀将保持自动状态下的液位。由于凝汽器处于真空状态，凝结水储罐中的水被真空吸入凝汽器，这就是通常所说的“真空拖动”系统。

重要的是要记住，热井液位是一个极其关键的项目。这是因为低液位会阻止泵泵送。这会导致整个循环停止水流，导致反应堆紧急停止，并启动紧急反应堆冷却系统。

高水位同样严重，因为当热井太满时，输送冷却水的管道被冷凝水覆盖，涡轮机排出的蒸汽停止冷凝。这会导致冷凝器失去真空、涡轮机跳闸（紧急关闭）以及反应堆紧急停堆。要启动冷凝泵，您必须选择冷凝系统控制，然后单击所需热井泵的“开启”按钮。该泵的吸入阀、排出阀和排气阀自动工作。

12、发电机：发电机是一个非常大的（1000 兆瓦）氢冷双极发电机。它的转速为 3000 RPM。除了维持冷却水流向内置于发电机外壳中的热交换器以及

维持外壳内适当的氢气压力之外，操作员对发电机几乎没有做任何事情。轴承的油由透平油系统提供。发电机电压由“励磁”量或励磁提供的直流电压控制。

重要的是要记住，发电机产生的负载量或兆瓦完全取决于涡轮机为其提供的马力。进入发电机的机械马力将始终等于发电机输出的电能。这又回到了物理学中最基本的基础知识……输入的能量=输出的能量减去循环中的损失。这些损失主要是通过冷却系统的热损失和通过轴承的摩擦损失。这两种损失都非常小。

13、励磁机：励磁机是一个大型发电机，它提供维持发电机中旋转磁场所需的直流电（D.C.）。值得注意的是，通过增加或减少从励磁机到发电机磁场的直流电压量来增加或减少发电机输出电压。这是基于整个电力系统（电网）电压和监督电力系统（电网）运行的电力调度员的突发奇想的操作员功能。

14、热井和凝汽器：凝汽器是冷却塔的冷却水流经管子，将汽轮机排汽

凝结成水的大型装置。图 6-4 是涡轮机和冷凝器的侧视图。

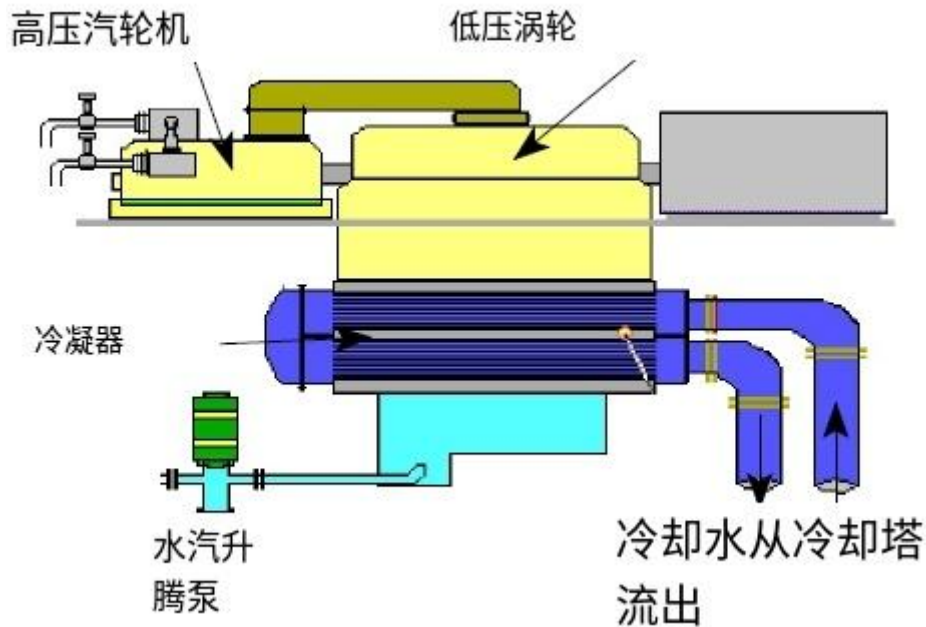


图 6-44：涡轮机和冷凝器的侧视图

冷凝器，很像我们之前看到的给水加热器，只不过是一个非常大的热交换器。事实上，它是整个工厂中最大的热交换器。涡轮机废气流过冷却水流经的管道。正如已经多次解释的那样，管中的冷水消除了涡轮机排气中的剩余热量。这导致涡轮机排出的蒸汽变回水（冷凝）。当排出的蒸汽变回水时，冷凝器中形成真空。

冷凝器中的真空或负压大小对于整体操作非常重要。如果真空度降低太多（即冷凝器中的真空量减少并且冷凝器开始具有正压），涡轮机将跳闸（紧急停机）。涡轮机排气中必须具有高负压，否则可能会损坏涡轮叶片。由于蒸汽在涡轮叶片上凝结成水。为什么水会凝结在涡轮叶片上？压力！记住我们之前说过，答案总是压力。

随着冷凝器压力的增加，蒸汽变成水的温度也会增加。由于大部分能量已从蒸汽中去除，因此它实际上可以开始在涡轮叶片中凝结。请记住，涡轮机以 3000 RPM 的速度旋转（在美国，两极发电机上的涡轮发电机以 3600 RPM 的速度旋转）。如果这些长刀片接触水滴，可能会发生严重损坏甚至断裂。

所有发电厂冷凝器都有某种形式的真空设备来帮助维持冷凝器中的真空。这是因为空气和其他不凝性气体进入蒸汽/水循环。这些气体如果不通过真空设备去除，将在冷凝器中积聚，导致其失去真空。同样，这将使涡轮机跳闸（紧急关闭）。真空设备可以是机械、电动真空泵，或者真空设备可以是蒸汽文丘里管的形式。蒸汽文丘里管或蒸汽喷射空气喷射器使用文丘里管装置中的蒸汽去除空气和其他不凝气体并产生真空。这将在第 35 项（蒸汽喷射空气喷射器）下进行更详细的介绍。

热井是冷凝器底部的集水池，用于储存冷凝蒸汽（冷凝水）。热井储存大量凝结水。热井中的液位由液位控制阀控制，当液位低于设定值时，液位控制阀打开，将水吸入冷凝器。

任何发电厂的一个主要问题是数千根冷凝器管中任何一根的泄漏。由于冷凝器充满了小直径管道，冷却塔的冷却水流经其中，泄漏会导致非常不纯的冷却水被吸入热井。请记住，冷凝器中存在真空。当冷却水管泄漏时，冷凝器中的超低压将水从泄漏管吸入热井。

冷凝管泄漏非常严重，因为热井中的水非常纯净。另一方面，冷却水非常脏。它流经冷却塔并吸入空气以引起蒸发。由于浓缩效应，蒸发增加了冷却水中的污染物。只有水蒸发了，杂质留在剩余的水中。除了浓缩作用外，冷却水

还受到冷却塔本身的灰尘和污垢的轰击。当这些污浊的冷却水由于冷凝器管泄漏而进入热井时，会迅速降低冷凝水的纯度。这导致冷凝水在线抛光系统很快排出。泄漏越严重，抛光机在试图保持冷凝水的高纯度时排气速度就越快。这会导致抛光机的排气速度快于再生速度。当这种情况发生时，整个蒸汽/水循环的纯度就会消失，并且工厂必须停止运行。**让操作者小心！切尔诺贝利核电站冷凝器管大量泄漏！**

15、除氧器（DA）液位控制阀：DA 液位控制阀由主控制室的凝结水系统控制器控制。在自动模式下，它将保持高度在 16'。在手动模式下，操作员可以通过控制器打开和关闭补给阀来调节流量。如果当工厂处于全功率输出时没有冷凝水流向 DA，则 DA 中的液位将降低至反应堆给水泵将在大约三分钟内停止泵送的点。

将会有许多警告警报表明流量和最终液位较低。重要的是要记住，DA 水平的损失意味着反应器进料泵将停止泵送。如果发生这种情况，将需要应急反应堆供水系统向反应堆提供必要的水。每当紧急反应堆冷却系统启动时，出于安全目的，反应堆都会紧急停止。因此，由于多种原因，DA 水平的损失非常严重：

- A. 极其昂贵的反应堆进料泵将被毁坏。每件的更换成本略高于 2,000,000.00 卢布。
- B. 反应堆将紧急停车，关闭整个工厂。
- C. 紧急反应堆冷却（ERC）系统用冷水冲击热反应堆。

- D. 紧急停堆和 ERC 行动后重新启动的时间范围至少为两天。这相当于因停机而损失的巨额卢布。

16、除氧器 (DA): DA 被视为开放式给水加热器。与我们在第 9 项中介绍的给水加热器热交换器不同, 蒸汽和冷凝水彼此完全接触。见图 15。DA 有两个目的。首先是从冷凝水中驱除溶解氧和其他不凝气体。DA 的第二个目的是帮助加热进入的给水。

DA 充满了流入的冷凝水流过的托盘。这会将冷凝水分解成细小的水滴。进入除氧器的蒸汽吹过“托盘”并导致冷凝水闪蒸。然后, 冷凝水通过托盘落入储罐时重新冷凝。该作用释放溶解氧和其他不凝性气体。这些气体上升到除氧器的顶部并从通风口排出。

当我们谈到除氧器中的液位时, 我们实际上是在谈论 DA 下方的 DA 储罐中的液位。DA 本身没有级别。冷凝水通过托盘落入储罐。这是维持实际水平地方。DA (储罐) 中的正常液位为 120"。

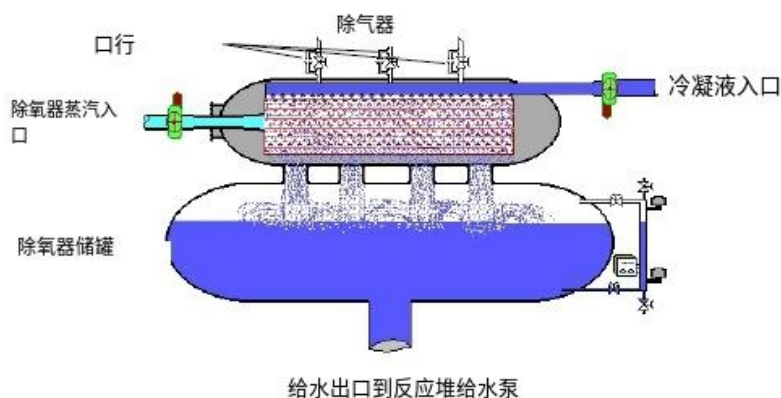
流向 DA 的蒸汽由压力控制阀 (原理图上的项目编号 18) 进行调节。DA 中的正常压力在 16 至 25 psig 之间。

DA 中有六个水位异常警报:

- A. **除氧器被淹 - 紧急高水位。**这是一个严重的问题, 因为淹没 DA 会淹没需要更换的 HEPA 过滤器。允许 DA 进水将花费 500,000.00 卢布来修复 HEPA 过滤系统。当 DA 水平高于 180" 时, 此警报就会出现。

- B. **除氧器高 高水平。**这将关闭主蒸汽管线进水阀，以防止 DA 高液位将水回流到蒸汽系统中。当从主蒸汽管线到 DA 的蒸汽阀关闭时，水的化学性质开始恶化。当 DA 水平高于 160" 时，此警报就会出现。
- C. **除氧器高级。**这是不言自明的，也是警告用户问题的第一步。当 DA 水平高于 130" 时，此警报就会出现。
- D. **除氧器低液位。**这是不言自明的，也是向操作员发出问题警告的第一步。当 DA 水平低于 100" 时，此警报就会出现。

- E. **除氧器低低水平。**这是反应堆给水泵被毁、紧急反应堆冷却系统启动以及反应堆紧急启动的前奏。



- F. **除氧器低位**

- 反应器

SCRAM。该

图 6-55: 除氧器 (DA) 开放式给水加热器

警报表明反应堆已进入紧急关闭状态，并且紧急反应堆冷却（ERC）系统已启动。如果不在两（2）分钟内关闭反应堆进料泵，它们将被毁坏，每台损失 3,500,000.00 卢布。

17、主反应堆给料泵：三（3）个主电动反应器给料泵，每个泵的容量为 70%。这样可以始终为两（2）台泵和一台备用泵提供 140% 的容量流量。反应器进料泵的启动许可要求，如果排放集管中的压力低于 500 psig，则吸入阀打开，排放阀关闭。DA 水平也必须高于低报警水平。如前所述，如果没有水

的情况下运行超过两 (2) 分钟, 空的 DA 液位将导致反应堆紧急停止、启动 ERC 系统并损坏反应堆给水泵。反应堆给水泵由给水控制器控制。

18、除氧器蒸汽供应: 该阀门由主控制室的除氧器蒸汽供应控制器控制。自动模式下的正常压力为 16 至 25 psig。

19、高压给水加热器: 高压给水加热器的目的是通过提高给水温度来减少对反应堆的热冲击。高压给水加热器的蒸汽由主汽轮机的高压抽汽提供。

高压给水加热器的工作原理与项目编号 - 9 中的低压给水加热器完全相同。请参阅项目 - 9 和图表 - 15。

20、反应堆给水调节器: 反应堆给水调节器由两 (2) 个多范围调节器组成。进入反应器的给水流量如此之高, 以至于仅使用一 (1) 个阀门就需要阀门太大并且成本太高。因此, 存在低范围调节器和高范围调节器。它们均由给水泵和系统控制装置控制。如果这些阀门出现故障, 后果相当严重。

如果反应堆进水阀无法打开, 反应堆汽包将淹没并导致涡轮机跳闸以防止进水。如果反应堆进水阀未能关闭, 反应堆水位将降至危险水平, 并需要反应堆进行 SCRAM 和紧急反应堆进水 (ERC) 系统用冷水淹没反应堆。当然, 这两种情况都很严重, 应该避免。示意图中的项目编号 - 21 是反应器进料隔离阀, 是反应器进料阀无法打开时的备用阀。参见下文第 21 项。反应堆进料控制阀由给水泵和系统控制器控制。高量程阀和低量程阀在给水泵和系统控制装置上标记为启动阀和主阀。启动阀一直可用到额定功率的 20% 左右。主阀必须在功率输出超过 20% 时投入使用, 否则会发生反应堆液位损失。

给水泵和系统控制还可以选择三元件控制。三元件控制设计为仅在使用主给水调节器时使用。三元件控制是一种控制系统，可“查看”流向涡轮机的蒸汽流量并使其与给水流量保持平衡。反应器鼓液位是第三个元件，起到蒸汽流量和给水流量的调节作用。当不在三元件控制中时，控制系统“查看”的唯一项目是鼓电平。这对于低功率输出来说是可以的。然而，当工厂功率水平升高到足以需要主给水阀时，应选择三元件控制，以实现更平稳、更准确的反应堆水位控制。

21、反应器进料隔离阀： 有两 (2) 个相同的阀门，一个用于左侧蒸汽分离器罐，一个用于右侧蒸汽分离器罐。这些阀门被设计为完全打开或完全关闭的隔离阀。建议它们始终保持开放状态。

22、反应器循环泵： 两 (2) 个反应器回路各有三 (3) 个相同的泵。每个回路需要两 (2) 个泵才能正常运行。当然，这会在每个回路上留下一台泵作为备用。这些泵的启动许可与所有其他泵相同。吸入口必须打开，排放口必须关闭。一旦泵启动，操作员必须打开排出阀。这些泵非常大并且更换或维修非常昂贵。

这些泵由回路 1 和回路 2 再循环泵控制进行控制。这些泵与吸收棒结合使用，以控制反应器中的空隙量。请记住，RBMK -1000 具有正的空隙系数。这意味着功率水平随着燃料温度的升高而增加。您可以在循环泵控制上偏置来自反应器进料泵的流量。

23、紧急反应堆冷却（ERC）控制调节器： 该调节器控制当主系统发生冷却剂损失时向反应堆倾倒多少水。该阀会因堆芯冷却剂偏移的任何损

失以及堆芯中的任何高温条件而触发打开。每当该阀门打开超过 5% 时，反应器将自动 SCRAM（如果尚未这样做）。阀门打开时的自动 SCRAM 应强调除非紧急情况否则不要操作该阀门的重要性。当一台或多台 ERC 泵运行时，该阀门全开时，将在大约两 (2) 或三 (3) 分钟内淹没汽包蒸汽分离器（离线时）。如果允许该系统不受限制地运行，则当整个反应堆水系统充满容量时，分离器安全装置和主蒸汽安全装置将“爆炸”。这会损坏安全阀，因为它们是为蒸汽而不是水设计的。这是非常昂贵的修复。使用应急反应堆冷却（ERC）系统时，操作员必须密切注意。ERC 系统上没有操作员可控制的级别。操作员只需淹没反应器，然后停止流动。通过将蒸汽从满液式反应器排放到冷凝器来实现冷却。在用应急反应堆冷却系统淹没反应堆后，操作员应将停堆堆芯冷却剂系统投入运行（如果有）。

24、主蒸汽排放调节器：该阀门由主蒸汽排放控制器控制。该阀门设计用于在额定反应器压力下通过最大额定流量的 50%。它用于反应堆瞬态、启动和关闭期间稳定蒸汽流量、压力和温度，以防止在这些时间段内对涡轮机造成重大干扰。该阀门配有自动和手动设置。在自动模式下，操作员必须提供流量设定值。在手动模式下，操作员控制阀门的打开量。主蒸汽排放控制指示蒸汽流量和阀门开度，并允许操作员设置系统控制的压力设定点。

25&27、反应堆离线堆芯冷却系统：有两个热交换器（有关热交换器的说明，请参阅项目编号 - 9 和两个冷却剂泵。每个回路有一 (1) 个热交换器和一 (1) 个冷却剂泵。该系统使用工厂冷却水来冷却反应堆关闭时产生的衰变热。商业核电站的停堆冷却系统至关重要。反应堆运行燃料负载的时间越长，产生的放射性衰变产物就越多。即使控制（吸收）棒完全进入并且反应堆

处于紧急状态，衰变产物的积累也会产生热量。这种衰变热可高达反应堆总功率输出的 7%。

这是核电站面临的较大运营问题之一。由于衰变热问题，他们无法在几天之内完全关闭反应堆。这就是为什么使用如此多的备用系统来维持流向核反应堆的水流。

如果不存在衰变热问题，反应堆的运行会安全得多。这是因为当出现问题时，只需关闭反应堆即可修复问题。然而，核反应堆在关闭后仍会产生数百万“BTU”（英国热量单位）的热量。切尔诺贝利反应堆的额定热功率为 3000 兆瓦。如果在关闭后产生 5% 的衰变热，这意味着在反应堆紧急停堆之后，仍然必须处理 1.5 亿瓦的能量。

如果工厂出于某种原因无法维持冷却流，反应堆的核心就会沸腾干涸。当它被煮干时，核心的温度会飙升。请记住，随着水从核心材料中沸腾出来，RBMK 的正空隙系数使得发电量急剧增加。这意味着，如果在 SCRAM 后几天内无法继续冷却堆芯，就会发生严重甚至灾难性的事故。

停堆核心冷却系统由每个回路上的热交换器和每个回路上的泵组成。泵和热交换器的控制装置位于离线核心冷却控制装置上。以下控制与离线堆芯冷却系统相关：

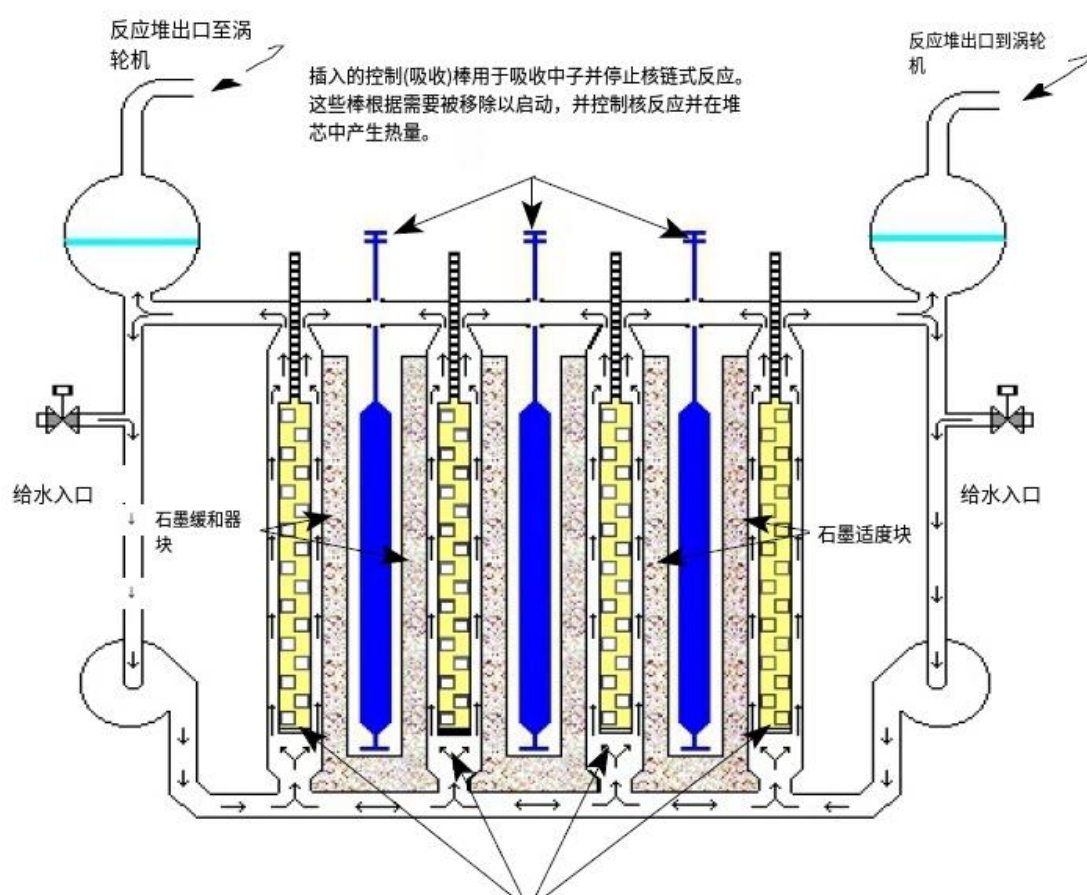
- A. 从反应堆堆芯到热交换器的入口阀和出口阀。
- B. 关闭循环泵。这些使用任何泵的标准许可。如果泵的排放口没有压力，则吸入口打开，排放口关闭。泵启动后必须打开排放口，这一点至关重要。

C. 每个泵/热交换器组合的关闭冷却流量指示器。

D. 热交换器的温度指示器 INTO 和 OUT。

E. 每个回路的最大（计算出的）燃油温度。

26、反应器蒸汽分离器鼓： 这些是反应器的蒸汽分离器鼓。它们是 60 英寸的容器，形成反应堆蒸汽回路中蒸汽和水之间的界面。稍微加热的反应堆给水进入每个回路的分离器“降液管”中的反应堆回路。（见图 6-6）。这些



含有大量未浓缩铀小球的燃料束箭头描绘了水从反应堆入口开始的流动路径，向下通过反应堆循环泵，向上通过燃料束，在那里水被转化为蒸汽。

图 6-66: RBMK - 1000 石墨慢化反应堆电路特写

水直接滴入 反应堆再循环泵被泵送通过堆芯（燃料堆），在那里吸收热量并形成蒸汽泡。然后水蒸汽混合物从堆芯（燃料堆）顶部流出并进入蒸汽分离器

鼓。水混合物在分离器鼓中分离，蒸汽流向涡轮机，其中不含蒸汽气泡的较冷的水通过核心再循环。

RBMK - 1000 的循环率约为 8 比 1。这意味着在额定蒸汽流量（800 万磅/小时）下，再循环泵将通过堆芯的流量维持在大约 6400 万磅/小时。这个要求非常高，也非常有必要。堆芯中的蒸汽产量必须保持在某一点以下，否则将无法实现堆芯的适当冷却。

从机械角度来说，这个反应器非常简单。就像茶壶吹风车一样。水在核反应堆堆芯内被加热，蒸汽水混合物在蒸汽分离器鼓中分离。

在图 6-6 中，值得注意的是用于控制堆芯中中子反应速度的吸收棒。将吸收剂或控制棒从堆芯中取出以开始反应，并将吸收剂或控制棒插入堆芯中以停止反应。图 16 中应观察的其他项目是石墨慢化剂块、流路箭头所示的蒸汽水混合物的流路以及反应器的给水入口。

尽管有两个汽包，但每个蒸汽分离器汽包没有单独的液位指示器。反应堆控制和给水控制上的两个鼓只有一个共同的液位指示。汽分离器汽包内的正常水位视为“0”。当水位增加超过正常水位时，数字向正方向增加。当水位从正常水位下降时，数字向负方向增加。如下 液位警报及其设定点与蒸汽分离器液位相关：

反应器蒸汽分离器液位。当液位增加到+25”时，此警报就会响起。当蒸汽分离器达到此液位时，就会出现严重问题。排水液位以防止蒸汽系统中出现水是至关重要的。

如果液位达到如此高且原因尚未找到或纠正，则应关闭反应器进料泵。如果反应堆给水系统仍然迫使水进入系统，则存在向主涡轮机截止阀注水的可能性。

这会严重损坏蒸汽管道，并可能提升分离器鼓和蒸汽系统上的安全泄压阀。由于多种原因，这种情况很严重：

- 对反应器和主蒸汽管线的热冲击。
- 对涡轮阀门的热冲击（涡轮现在应该跳闸，阀门关闭。如果涡轮不跳闸，它将完全损坏）。
- 主蒸汽和分离罐安全泄压阀可以打开。这会向大气中产生大量放射性蒸汽。由于这些安全阀是针对蒸汽而不是水而设计的，因此它们可能会损坏并且无法按设计重新关闭。当系统吹向大气时，这会产生更大的辐射问题。

以下警报及其设定点旨在让操作员了解蒸汽分离器鼓和反应器回路中的液位：

- **反应器汽包被淹。**当汽包液位达到+22"时，此警报就会响起。
- **反应器汽包高液位。**当汽包液位达到+16"时，该警报响起。此时汽轮机将自动停机（跳闸），反应堆将紧急停止运行。
- **反应器汽包低液位。**当汽包液位达到-7"时，此警报就会响起。这是可能出现非常严重问题的第一个警告。核心不能暴露！
- **反应器汽包低低液位。**当汽包液位达到 -14" 时，此警报将响起。在此液位，反应堆将 SCRAM，这将自动使涡轮机跳闸，并启动紧急反应堆冷却

(ERC) 系统（如果处于自动状态）。请记住，当 ERC 启动时，堆芯被冷水淹没，这会对反应堆组件造成严重的热冲击。

28、反应堆控制（吸收）棒： 这些是 RBMK-1000 的主要控制装置。当插入堆芯时，中子被吸收，从而停止核链式反应。核反应是由操作员以非常小心、缓慢且受控的方式手动从堆芯中拉出棒来启动的。连锁反应一旦开始，就会呈指数级增长。它很快就会失控。重要的是不要快速拉动杆。

一旦反应堆达到临界状态，棒就需要不断调节以维持反应堆堆芯的功率水平。与真正的 RBMK-1000 反应堆不同，我们的反应堆具有自动功率调节器，允许操作员设置所需的功率输出。

反应堆功率调节面板允许您将反应堆置于自动控制模式。这是通过按下 ON 按钮选择打开控制块来完成的。一旦打开，您可以使用鼠标单击功率设定点块旁边的向上和向下箭头选项来选择您希望反应堆维持的所需功率水平。必须注意一次只能少量更改功率设定值。太快地改变功率水平可能会扰乱反应堆并导致中子功率浪涌，从而使反应堆“失效”并损坏燃料束。要将反应堆功率水平提高 2% 以上，需要重置汽轮机。

重置涡轮机需要润滑油、液压油和蒸汽密封件投入使用，并且真空系统投入使用，并在冷凝器上抽真空。（参见涡轮机支持系统和冷凝器真空系统控制块）。反应堆功率调节面板还允许您查看中子速率、中子通量和中子通量日志。这些指示器为您提供了监测反应堆中中子活动的不同方法。随着这些指标的增加，反应堆中的中子活动和功率水平也会增加。其他指标是燃料燃耗，它显示燃料中存在多少潜在反应性。请理解，这不是剩余燃料的百分比，它只是

反应堆正常运行时的潜在反应性。实际上，反应堆将在该块指示的 40% 到 20% 之间的任何地方失去临界性。这是因为持续的中子反应需要几个因素，例如“良好”或反应性燃料位于堆芯中的位置，以及拉动什么棒。

反应堆功率调节面板还允许您启用和禁用反应堆紧急跳闸（关闭）系统。当您将反应堆安全系统选择到关闭位置时，反应堆紧急关闭系统将被禁用。这是一件非常危险的事情。禁用紧急关闭系统是摧毁切尔诺贝利#4 反应堆的一个主要部分。热功率校正允许反应堆功率调节面板为操作员提供真实准确的热功率水平指示器，而不是基于中子速率和通量的计算值。如果您希望“跳闸”或快速关闭反应堆，您可以选择位于反应堆功率调节面板的反应堆紧急停堆部分的跳闸按钮。

29、堆芯氦辐射探测器：堆芯氦辐射探测器旨在提醒操作员反应堆堆芯内可能存在蒸汽发生管泄漏。RBMK 的设计使得管泄漏很难检测到。由于反应堆的核心充满了石墨慢化剂（见图 16），石墨阻塞的区域充满了氦气。这些区域中的氦气通过辐射探测器循环，检查放射性碘。如果有任何蒸汽发生管泄漏，水/蒸汽混合物将立即导致石墨堆叠核心区域形成放射性碘。这将引发警报，表明堆芯可能存在管道泄漏。这只是一个报警功能。

30、主蒸汽切断调节器：它用于将反应堆与涡轮机隔离，以进行水压测试、蒸汽系统中的紧急情况以及蒸汽系统中的项目维护。没有打开或关闭该阀门的逻辑。这仅由操作员自行决定。建议该阀门始终保持关闭状态。

31、涡轮机截止阀和控制阀：涡轮截止阀和控制阀是控制进入涡轮的蒸汽的精密阀门。这些阀门设计为完全冗余，以确保正确控制和停止进入涡轮

机的蒸汽。切尔诺贝利涡轮机使用主控制阀组件和启动阀或旁通阀组件。启动阀组件是低流量阀系统，允许蒸汽流量高达额定值的约 20%。大于此的蒸汽流量需要选择主阀。

重要的是要记住，涡轮转子重达数百吨。该转子的转速为 3000 RPM（美国为 3600 RPM）。当发电机加载到最大输出时，涡轮机将产生超过 150 万马力的功率。使涡轮机保持在 3000 RPM 的唯一因素是发电机与电网“同步”。如果出于任何原因，发电机断路器打开，则没有任何东西可以阻止涡轮机进入严重超速。因此，汽轮机停止阀和控制阀与速度控制系统（调速器）相结合，必须立即做出反应。如果他们不这样做，涡轮机就会变成一颗巨大的手榴弹，爆炸成数千块。

涡轮机控制阀对反应堆压力的变化做出反应，以维持稳定的主蒸汽压力。这是一个非常重要且关键的概念，必须掌握才能有效运行工厂。随着反应堆功率输出的增加，蒸汽压力将开始增加。当蒸汽压力增加到操作员所需的设定值时，涡轮阀门打开，允许更多蒸汽通过涡轮。这增加了工厂的电力输出。如果反应堆功率输出下降，主蒸汽系统的蒸汽压力就会下降。一旦涡轮机控制系统检测到压力下降，涡轮机控制阀就会开始关闭。这减少了进入涡轮机的蒸汽量并减少了发电机的电力输出。确保您理解这个概念。以后肯定会对你有帮助的。

切尔诺贝利核电站的涡轮机控制由速度和负载控制器组成。发电机并网前必须控制转速，发电机并网后必须控制负载。通过打开蒸汽阀并向涡轮机引入更多蒸汽来控制涡轮机的速度和负载。这可以通过按下手动按钮并使用向上箭

头增加阀门来完成。在打开蒸汽进气阀之前必须重置涡轮机。要重置涡轮机，您必须完成以下操作：

- A. 启动润滑油泵。该控制装置位于涡轮机支持系统下方。
- B. 启动液压油泵。该控制装置位于涡轮机支持系统下方。
- C. 安装蒸汽密封件。该控制装置位于涡轮机支持系统下方。
- D. 启动冷凝器真空系统。这些控制器位于冷凝器真空系统下方。

在达到蒸汽压力之前，冷凝器真空系统将不会运行。因此，为了重置涡轮机，反应堆必须产生足够的蒸汽来为真空系统提供动力。这在任何时候都应该不是问题。衰变热通常足以产生真空系统所需的蒸汽。汽轮机上有两个蒸汽进气阀系统。第一个是标记为启动的小型旁路系统。启动阀仅通过总蒸汽流量的约 20%。必须在涡轮机达到 20% 负载后选择主阀进行维修。要将涡轮机自动滚动到额定速度，请选择滚动的速度（慢速、中速或快速），然后选择您选择的滚动速度。滚动速率和滚动速度取决于反应堆蒸汽温度和压力以及涡轮机壳体温度。如果涡轮机很冷，您应该选择较慢的速度并在每个预先编程的停止点停止，以使温度缓慢升高。请记住，涡轮机中有大量的铁，必须以缓慢且合理的方式加热，以防止金属应力。最好的方法是观察振动计和差胀计。如果振动较大或膨胀差较高，则应减慢滚动速度，或保持在预先编程的点之一。

膨胀差是由于涡轮的转子比壳体受热快而引起的。如果过度，涡轮机可能会受到严重损坏。涡轮机控制面板是监测涡轮机速度、发电机负载和反应堆汽包压力的绝佳场所。反应器鼓压力由涡轮阀门的打开和关闭控制，以在自动运行时维持压力设定值。要将压力设定值放入控制系统，您必须单击设定值数据

字段并将所需的设定值放入该字段中。如果涡轮机阀门选择为自动，则涡轮机将仅控制到该设定点。

由涡轮机面板控制的最后一个项目是发电机断路器和发电机同步镜。当涡轮机转速达到或接近 3600 rpm 时，您可以将发电机同步镜选择到 ON 位置。它应该以顺时针方向缓慢旋转。您应该小心地等待，直到示波器的转速低于 6 rpm（相当慢），然后当示波器到达上死点之前 2 或 3 度时，关闭发电机断路器。一旦发电机断路器闭合，您必须打开涡轮机阀门，足以给发电机施加至少 20 兆瓦的负载。这是通过使用自动涡轮阀降低压力设定值，或将涡轮阀置于手动位置并选择它们打开足够大以增加负载来实现的。如果阀门打开得不够快，发电机断路器可能会跳闸（打开）以防止发电机出现反向功率。反向功率是指功率流入而不是流出发电机。这本质上使发电机成为电动机而不是发电机。虽然发电机可以用作电动机，但如果蒸汽流不能保持极长的低压叶片冷却，涡轮机可能会损坏。

32、通风管辐射监测器：通风管辐射监测器可指示 HEPA 过滤器的状况。当 HEPA 过滤器全面投入使用时（其周围的旁路 100% 关闭），辐射将正常。当 HEPA 过滤器开始堵塞时，旁路自动开始打开，以将差值保持在 7"。旁路打开的越多，释放到通风管的辐射就越多。通风管辐射监测器仅具有报警功能。

33、冷却池：冷却池供应流经工厂冷凝器的水。这是导致涡轮机排出蒸汽冷凝的水，因此可以在蒸汽水循环中重新使用。切尔诺贝利的冷却池相当大（实际上是一个非常大的水库），夏季和冬季的温度波动很小。

34、循环水泵：循环泵将冷却水从冷却池中抽出，通过冷凝器并返回冷却池。这些是非常大的泵。它们的额定流量为每分钟 15,000 加仑。这相当于每个设备产生全功率输出冷却整个工厂所需流量的 70%。失去一（1）个泵（或无法在较高负载下启动两个泵）将导致冷凝器中积聚过多热量。这将迅速导致冷凝器压力增加，直到涡轮机跳闸，并使反应堆紧急停止。这些泵的控制装置位于冷凝器循环水泵控制装置中。控制装置包括每个泵的开和关按钮以及工厂冷凝器的流量和压力指示器。吸入阀和排出阀是自动的，并通过泵的开关按钮起作用。

35、蒸汽喷射空气喷射器：蒸汽喷射空气喷射器使用蒸汽从冷凝器中吸取空气和其他不可冷凝物，以确保冷凝器中的真空保持在尽可能高的负压。蒸汽喷射空气喷射器使用来自主蒸汽管线的高压蒸汽为蒸汽“文丘里管”提供动力。

文丘里管是一种简单的装置，可以增加蒸汽通过锥形管道的速度。参见图 6-7。

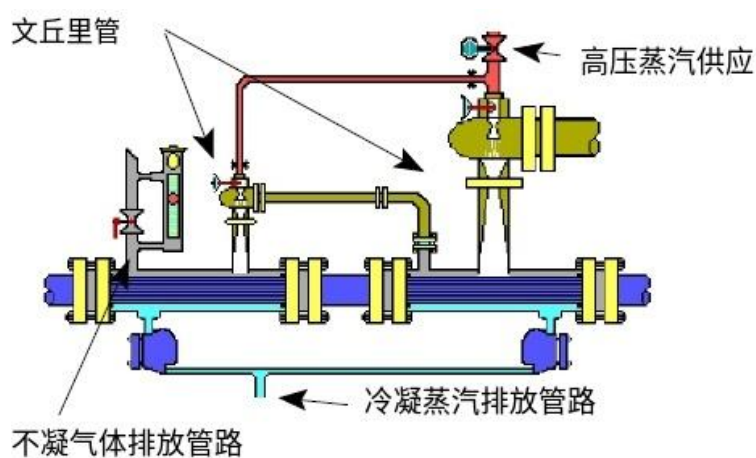


图 6-77: 蒸汽喷射空气喷射器

一项物理定律指出，“当速度增加时，压力减少”。这是自然的物理定律。当蒸汽通过文丘里管加速时，文丘里管内的压

力降低至接近真空。这些文丘里管通过管道连接到冷凝器。

文丘里管的负压大于冷凝器内的负压。

因此，文丘里管或蒸汽喷射空气喷射器从冷凝器中吸取不凝气体。通过每个文丘里管的蒸汽与来自冷凝器的不凝性气体混合。蒸汽和气体都离开文丘里管并进入冷凝器部分。冷凝器部分有冷却水流过其管道。由此产生的冷凝会在文丘里管中产生更大的负压。冷凝蒸汽（冷凝水）排至低压给水加热器。不凝性气体通过排气管排放到 HEPA 过滤器，放射性核素在过滤器中被过滤。剩余的气体在排气管中排出。

7. Reactor“快速”操作基础知识

核反应堆的相互作用极其复杂。人们花很长时间去学校学习，以了解核电和核理论之间复杂的相互关系。然而，我们在这里仅介绍反应堆控制的基础知识。我们将把它带到一个实际的水平，你必须做什么来控制反应堆内的反应，为涡轮机产生蒸汽。

反应堆只不过是一个包含可裂变材料（铀）的核堆和促进中子活动的环境。在最容易理解的形式中，中子与铀原子碰撞，导致它们分裂并释放能量。参见下图 7-11。

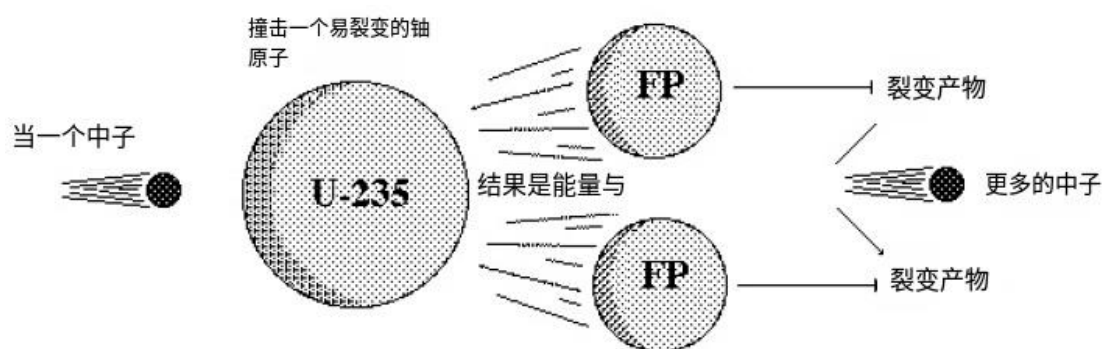


图 7-11: 核裂变一览

发生此活动的环境称为减速剂。RBMK 反应堆使用石墨作为慢化剂。石墨会减慢中子速度而不吸收它们。这是反应堆的关键要素。如果中子太快，或者中子在撞击铀之前被吸收，它们就不会分裂铀原子。因此，我们必须减慢中子的速度，以便它们有机会分裂铀原子并产生能量。如果我们吸收中子，反应就会停止。

作为一个帮助理解正在发生的事情的非常简单的说法，**自由中子是在反应堆中产生热量的**。尽管实际上是铀原子产生了绝大多数热量，但如果不被中子

分裂，它们就无法这样做。中子活动越多，核心产生的热量就越多，因为更多的铀原子正在分裂。

自持核裂变是指一个自由中子分裂一个铀原子，导致能量释放，同时释放出一个额外的中子，该中子继续分裂另一个铀原子。这反过来又释放了另一个中子来分裂另一个原子，这个过程继续进行。

问题在于我们的控制程度。由于我们谈论的是数百万个中子和数百万个铀原子，因此这种链式反应很快就会失控。我们必须提供一些可控的东西来维持自由中子的数量。因此，我们在反应堆中放置可拆卸的棒来吸收中子。吸收棒吸收裂变产生的中子并减缓或停止核链式反应。

还有其他方法可以阻止堆芯中的中子活动。其中之一是硼等中子抑制化合物。任何吸收中子的物质都被称为反应堆毒物，因为它会减慢反应速度。如果操作不当，反应堆本身会迅速积聚有毒化合物。切尔诺贝利风格的 RBMK 反应堆使用非浓缩铀。当在降低的功率水平下运行时，会产生氙气。氙气是导致切尔诺贝利核电站 4 号机组被毁的事故的主要因素。在滚动惯性测试期间，他们以部分功率水平运行反应堆。在此期间，氙不断积聚，抑制中子活动。这就是所谓的反应堆中毒。切尔诺贝利 RBMK 反应堆必须在 60% 以上的功率下运行，否则会发生氙中毒并关闭反应堆。从氙气中毒中恢复只需关闭一段时间（最多 36 小时）以使氙气衰变。

总之，随着中子通量的增加，热量也会增加。随着中子通量减少，反应堆中的热量减少。我们已经发现 RBMK 反应堆具有较高的正空隙系数。这意味着反应堆变得越热，中子活动就会进一步增强，产生更多的热量。这对于任何反

应堆来说都是一个非常糟糕的设计缺陷。设计反应堆最安全的方法是建造反应堆内部越热，发生中子反应性越少的反应堆。这是一个负的空隙系数。由于我们必须接受 RBMK 的设计，因此让我们介绍一下如何控制它。

反应堆控制：

首先也是最重要的，必须为反应堆保留冷却水。反应堆水位绝对必须保持在正常运行水平。这是反应堆控制中最基本和最关键的一项。在任何情况下都不允许水位低于汽包水位。未覆盖的燃料包是所有事故中最具破坏性的。当燃料束暴露时，它会很快过热并熔化。这就是“熔断”一词的由来。一旦这种情况开始，反应堆可能就无法恢复了。这是因为燃料被容纳或包覆在锆合金中。熔化时会释放出氢气。氢气具有很强的爆炸性。

切尔诺贝利反应堆上有两 (2) 个备用系统用于加水。主备用系统由两 (2) 个电动泵组成，辅助系统由柴油发动机驱动泵组成。这些系统中的任何一个都旨在维持反应堆中的水位。这些装置泵送的水直接来自冷凝水储罐。由于这些水完全未加热，因此当应急堆芯冷却系统投入使用时，反应堆可能会受到一些严重的热冲击。它只能用于紧急目的。

其次，如果中子被吸收，反应就会停止。它们可以通过将吸收棒推入反应堆容器来吸收，从而使棒在中子撞击铀原子之前吸收中子。这就是 RBMK 反应堆如何控制自身并自行关闭的方式。吸收棒被系统地拉动以开始反应。反应由插入反应堆容器的中子吸收棒的数量和数量控制。应始终缓慢而小心地拉动减震杆。吸收棒的快速拉动已导致所有类型的反应堆（包括 RBMK 反应堆）发生

严重事故。拉杆应该是缓慢的、深思熟虑的、受控的动作，要求操作员密切监视反应。在拉杆过程中，必须非常仔细地观察中子速率、中子通量和热功率。

中子速率将是您正在改变反应堆中中子活动量的第一个、最明显的迹象。在反应堆吸收棒控制网格上，您可以直接在标有“拉杆”的选择开关下方监测中子活动。您还可以在反应堆热功率调节面板上标有中子速率、中子通量和中子通量日志的区域中观察中子活动。（正）数越大，反应器中的反应性越大。

8. 反应堆加油

这个游戏和苏联的 RBMK-1000 反应堆一样，都是在线加油的。燃料状态和燃耗通过两 (2) 种方式进行监控。第一个是位于反应堆功率调节面板上的燃料燃尽指示器。这表明总燃料燃烧状态。由于反应堆中的燃料燃烧不是线性的，因此实际上可能会因燃料含量高达 40% 而失去临界性。这是因为在运行期间反应堆中建立了通量模式。反应堆的某些区域往往比其他区域燃烧燃料更快。当反应堆通量模式高度不平衡时，即使反应堆其他部分有足够的燃料负载，当反应堆堆芯的某些部分已使用其燃料时，也可能失去临界性。您应该使用位于反应堆控制棒矩阵底部的盖革计数器来确定单个燃料束、燃料燃烧情况。参见下图 8-1:

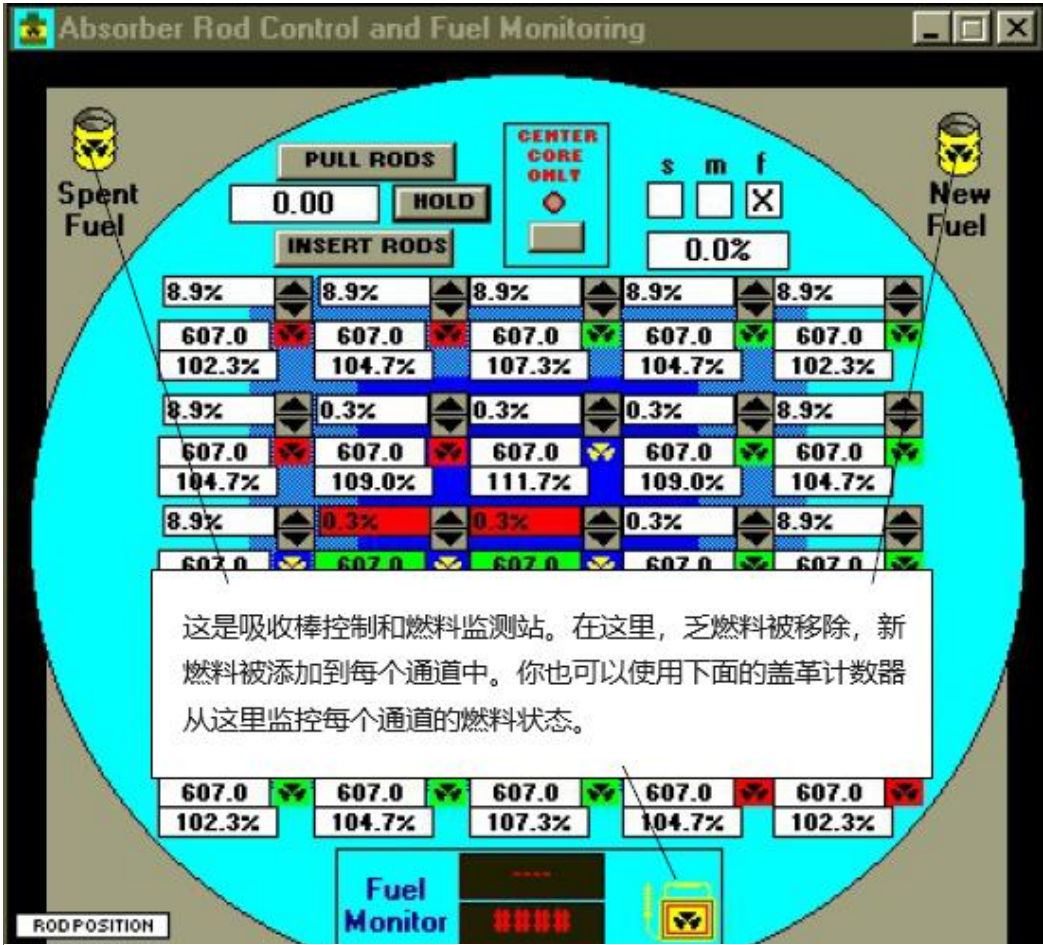


图 8-11: 反应堆加油

要确定燃料中剩余的反应性，请将鼠标移到位于吸收棒矩阵的燃料监视器部分的黄色盖革计数器的顶部。在盖革计数器上单击并按住左键，然后小心地将其移到您要检查的燃料束上。当您正确位于该束上方时，该束将变成蓝色。这表明可以释放鼠标左键。当您释放鼠标左键时，燃料监视器将显示该燃料束中仍然可用的反应量。

您应该尽可能多地使用燃料包的反应性来维持预算。过早更换燃料会给您带来三个方面的损失……首先是现有燃料的使用损失。如果更换太快，燃料中剩余的能量就会损失。其次是乏燃料储存成本。由于乏燃料具有高放射性，必须储存数百年。这种存储和处理成本是巨大的，并且会严重“削减”您的预算。第三是新燃料的实际成本。显然，当安装新燃料时，您必须付费。

当需要给通道加油时，必须格外小心。您必须首先将鼠标移动到指定通道的顶部并单击鼠标左键来移除耗尽的燃料。然后，您必须在牢牢按住鼠标左键的同时将鼠标移动到矩阵上标有“废燃料”的桶上方。将鼠标直接放置在乏燃料桶顶部后，您可以将乏燃料释放到乏燃料存放区域。如果您在将鼠标左键放置在乏燃料桶上之前“错过”或释放鼠标左键，则会因燃料处理不当而产生大量预算费用。这是因为处理不当的燃料包会产生大量的清理成本。

要向反应堆添加新燃料，您必须首先按照上一段所述从通道中取出耗尽的燃料。一旦耗尽的燃料沉积在废燃料桶中，您必须将鼠标放在新燃料桶上。在新燃料桶顶部的正上方，单击并按住鼠标左键。按住鼠标左键，将新的燃料束移动到之前移除耗尽燃料的反应堆通道。当通道变成蓝色时，松开鼠标左键，将新燃料存入通道中。与清除耗尽的燃料一样，如果您在直接定位到通道上方

之前释放鼠标按钮，则会产生燃料清理成本。您还需要支付新燃料包的费用，以替换您掉落的损坏的燃料包。正确的定位对于在加油操作期间维持预算至关重要。

*注意：何时加油的最佳指标是减振器杆的位置。*如果所有的杆几乎 100% 都脱离了，那么你就非常接近失去临界点了。当所有吸收棒达到 100% 饱和时，您将失去临界性。这是合乎逻辑的，因为棒通过吸收中子来控制反应堆功率输出。当燃料反应性降低到不再需要吸收棒的程度时，就没有足够的反应性来维持链式反应。这时反应堆功率会非常迅速地下降到功率的 20% 以下。

一旦反应活性和功率水平因燃料耗尽而下降，由于堆芯中氙气的积聚，您可能无法快速重新启动反应堆。尝试快速补充燃料可能会增加反应性，但由于为了克服氙中毒的影响而呈指数级增加功率，因此存在反应失控的极端危险。

与往常一样，在失去临界值后尝试恢复临界值时要非常小心，即使是很短的一段时间。不要低估氙气中毒的影响。这是 1986 年灾难发生时注定要失败的 4 号反应堆的操作者所犯的错误。

9. 汽轮机基础知识

蒸汽轮机实际上是一个非常基本的设备。它只不过是一个旋转机械、能量传递机器。它只是将蒸汽中的热能转化为驱动发电机所需的旋转机械能。

有些人将涡轮机视为压力装置。然而，这是不准确的。涡轮机是一种热设备。它似乎是一个压力装置，因为蒸汽的压力随着热量的消失而下降。因此，当热量在涡轮机的各个阶段被移除时，压力就会下降。做功的是蒸汽中的热能，而不是压力。

蒸汽通过入口阀流入涡轮机，入口阀停止并控制通过分级的蒸汽流。在入口阀之后，蒸汽流经喷嘴块。这是一种固定装置，可将蒸汽均匀分配到涡轮机的



图 9-11: 涡轮转子

的第一级。涡轮机中的“级”是一组旋转叶片，位于引导蒸汽的固定叶片之间。图 9-1 是涡轮机的旋转部分。

这通常称为涡轮转子。该图中所示的旋转叶片之间是固定叶片，它们将蒸汽流重新引导到下一组旋转叶片上。

一组旋转叶片和一组固定叶片的组合

构成一个涡轮级。

蒸汽通过一系列液压打开、弹簧关闭的控制阀和截止阀进入涡轮机。出于安全原因，这些阀门采用弹簧关闭。每当出现需要立即关闭涡轮机的严重问题时，入口阀都会以非常快的速度“跳闸”关闭。阀门的关闭不依赖于液压系统。出于安全原因，有必要以这种方式建造涡轮机。蒸汽轮机必须能够极快地阻止

蒸汽流过它。这是因为，如果在涡轮发电机带载时发电机断路器打开，则很有可能出现破坏性超速。我们将在下一章介绍发电机的电气理论。然而，现在您

必须承认，如果涡轮机没有极其快速的阀门关闭系统，您很容易将涡轮机分散到整个乡村。事实上，这种事已



经发生过不止

图 9-22

一次了。图 9-2 是涡轮机壳体和相关的蒸汽阀。注意它们与涡轮机相比有多大。这是因为它们必须能够处理高压和高温蒸汽，并且必须能够在紧急情况下极快地关闭。

涡轮机的第一级是压力和温度最高的级。当蒸汽在叶片中释放能量时，压力和温度降低。这导致蒸汽体积增加，因为随着压力和温度降低，蒸汽密度降低。因此，当蒸汽继续通过涡轮机时，涡轮机中的分级变得更大并且叶片变得更长。最长或最大的叶片提取的能量最少。最小的叶片做功最多，因为蒸汽中有大量可用能量。

蒸汽必须引导通过叶片，因为蒸汽与大多数物质一样，会选择阻力最小的路径。因此，有几种不同的密封工艺用于防止蒸汽绕过优选路径。叶片尖端和级间转子上通常有密封条。这些密封件可防止蒸汽在不做任何工作的情况下逸

出叶片路径。图 9-3 是涡轮机蒸汽密封的放大图。涡轮机密封件通常是金属迷宫式密封件。这意味着它们是间隙非常小的金属高/低条，为蒸汽通过提供了曲折的路径。简而言之，涡轮机密封件产生的蒸汽路径比通过叶片的主蒸汽流路径更困难且阻力更大。

蒸汽密封或填料有两种主要类型。第一个防止蒸汽绕过涡轮机的内部分级。这称为级间填充。第二个防止蒸汽从涡轮机壳体逸出到大气中。这称为常压包装。由于涡轮机转子必须在每个部分的两端从涡轮机壳体中伸出，因此必须使用这些区域使用一组特殊的密封件或填料。

级间填料不需要蒸汽供应或泄漏，因为一切都在涡轮机内部。常压型密封件需要蒸汽供应来阻止试图泄漏的蒸汽，并且需要一个泄漏系统来捕获从外壳常压密封件泄漏的蒸汽。每当涡轮机中存在较大温差时，第一个可能出现金属与金属间隙问题的区域就是蒸汽密封。典型的迷宫式蒸汽密封如图 9-3 所示。

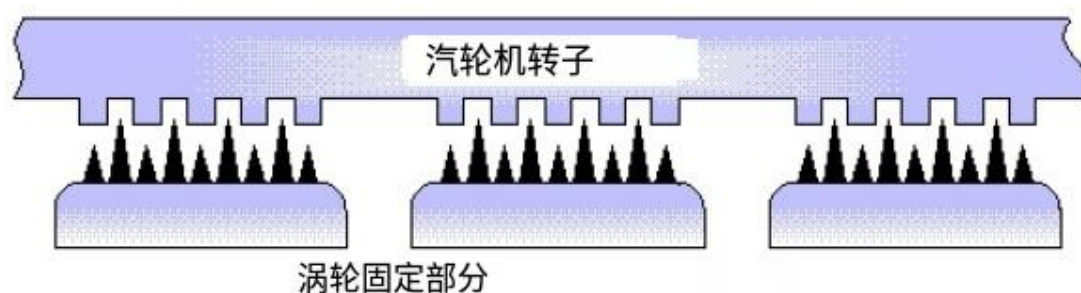


图 9-33: 涡轮机蒸汽密封

蒸汽涡轮机的固定叶片和旋转叶片之间的公差通常非常接近。这对于提高涡轮机的效率是必要的。任何时候，如果您有一个非常大的快速旋转机械设备，且部件之间的间隙很小，那么如果发生摩擦，就有可能造成严重损坏。由

于我们已经介绍了蒸汽轮机是热设备而不是压力设备，因此我们必须小心限制
涡轮机在运行过程中温度变化的速率和量。

由于蒸汽涡轮机的旋转部分不连接到静止部分，蒸汽温度的快速变化会导致旋转部分比静止部分更快地膨胀或收缩。如果不控制这种增长，这可能会导致蒸汽轮机出现严重问题。我们把这种膨胀和收缩称为**微分膨胀**。

切尔诺贝利涡轮机的膨胀差在涡轮机控制部分显示。如果蒸汽温度变化过快，涡轮转子的热膨胀或收缩速度往往会比涡轮较重的壳体部分更快。这在涡轮机功率输出快速或大幅变化期间最为明显。随着通过涡轮机的蒸汽流量增加或减少，涡轮机内的温度发生变化。这种温度变化几乎总是首先影响涡轮转子。作为一般规则，应尽可能限制负载（功率）变化的量和速率。太快或一次变化太大会导致涡轮机中的高膨胀差。这种膨胀差如果严重，将使涡轮机跳闸，如果过于严重，则会对涡轮机的旋转和静止部分造成广泛损坏。

蒸汽轮机需要多个子系统才能运行。汽轮机必须提供的主要支持项目是：

- 润滑油系统具有足够的冷却能力，可消除轴承中产生的热量。该系统始终具有紧急备用装置，通常采用电池驱动的直流油泵的形式。当涡轮机从额定速度下降时，这是保持润滑所必需的。重要的是要记住，像切尔诺贝利这样的大型蒸汽轮机可能需要长达两个小时才能停止。这是因为涡轮转子的重量很大。它就像一列大型货运列



图 9-44：涡轮润滑油泵

车……它有着巨大的动力。每当主油系统丢失或关闭时，涡轮机就会跳闸，从而使备用系统上的涡轮机滚动。图 9-4 是典型的涡轮机润滑油泵。

- 用于操作涡轮机控制阀和截止阀的液压油系统。一些涡轮机使用润滑油系统的一部分作为控制油。然而，大多数使用带有外部液压油泵的



图 9-55: 典型的汽轮机液压油系统

完全独立的油系统。由于液

压油系统克服试图关闭阀门的大弹簧的压力使涡轮阀门保持打开状

态，因此只要液压油系统跳闸或关闭，涡轮就会跳闸。图 9-5 是典型的液压油系统。

- 一种转动齿轮系统，可在启动前和关闭后缓慢旋转涡轮机。该系统可防止极长且沉重的涡轮转子因壳体内金属温度高而弯曲。有趣的是，热涡轮转子会向上弯曲，而不是向下弯曲。这是因为构成转子的大块铁将在上侧膨胀，因为壳体中的热量往往顶部高于底部（热量上升）。当转子的上半部分膨胀时，转子上的力会产生向上的弓形。



图 9-66: 涡轮盘车装置

- 蒸汽密封蒸汽供应和泄漏系统，用于防止蒸汽从涡轮机壳体泄漏到大气中。通过捕获泄漏蒸汽并将其输送到热交换器，可以提高工厂循环的效率。
- 防止涡轮机积水的排水系统。这些排水阀必须在启动和关闭期间打开，以防止水团进入涡轮机，从而损坏固定和旋转部件。水接触涡轮机的高温静止部分和旋转部分会对涡轮机及其部件造成严重损坏。在启动和关闭时保持排水管畅通非常重要。
- 允许操作员控制涡轮机的速度和负载的控制系统。该控制系统通常称为调速器系统。使用涡轮机控制器的速度控制部分将涡轮机加速到额定或同步速度。一旦发电机断路器闭合，发电机的速度就会被电气锁定到电气系统。这可以防止涡轮机加速。打开涡轮机控制阀会增加进入涡轮机的蒸汽和进入发电机的马力。发电机马力的增加增加了发电机的功率输出，但没有增加速度。控制系统的这一部分称为负载控制。如果电力系统发生事件，或者发电机断路器打开，涡轮发电机的速度将不再“锁定”到电力系统。这意味着涡轮机产生的所有马力都无处可去。如果涡轮机控制阀没有极



图 9-77: 典型的涡轮机控制面板

快地关闭，涡轮机就会因破坏性超速而散落在乡村各地。图 9-7 是典型涡轮机控制面板的一部分。

- 一种冷凝器或排汽系统，可排出涡轮机排气口蒸汽中的无用热量（称为汽化潜热）。如果冷凝器没有足够的冷却水或者冷凝器真空系统工作不正常，涡轮机就会跳闸。这是因为涡轮机被设计为仅在涡轮机排气级中的非常高的负压下运行。如果该真空降低太多或完全消失，则涡轮机效率大大降低，并且会发生低压涡轮级的加热。如果冷凝器中的

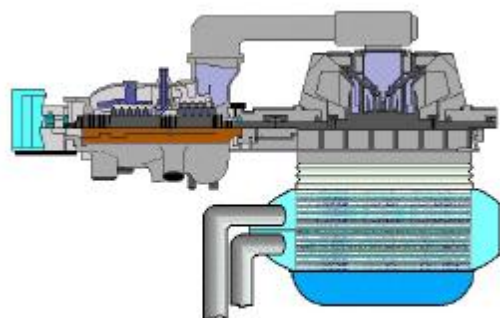


图 9-88: 涡轮机和冷凝器

的压力增加太多（即使在涡轮机跳闸之后），冷凝器上的紧急高压破裂隔膜将会破裂。这是必要的，因为像切尔诺贝利这样的核电站中的冷凝器非常大，并且是为负压而不是正压而设计的。破裂隔膜可防止发生潜在的爆炸事故。这种

隔膜的维修工作非常昂贵。图 9-8 是涡轮机和冷凝器的侧视图。

这些系统中的每一个都必须在启动或操作涡轮机之前投入使用。这些系统之一的损失将导致涡轮机跳闸，并导致整个工厂关闭。这是对涡轮机构造和操作的非常简短和最小化的解释。请记住，实际的切尔诺贝利操作员可能并不比您现在更了解涡轮机操作.....有点可怕不是吗。

10. 发电机和电气基础知识

世界各地的书店和图书馆都有许多优秀的基础电学课程。本节并不是完整的基础电力课程。它旨在帮助您了解切尔诺贝利发电机的电气操作。

我必须强调，在与许多不同国家的电力公司打交道的 25 年中，我们对这个行业的电气了解非常贫乏。大多数人认为发电厂的操作员具有丰富的电气知识。他们通常不会！发电过程主要是一个机械过程。发电机本身（而不是涡轮机）对其的控制很少。操作员通过控制进入涡轮机的蒸汽量来控制发电机的功率输出。发电机拥有的少数控制装置之一是电压。这是由励磁系统控制的。如果您了解发电机的基本原理，那么发电厂的电气部分就很容易掌握。

了解基本的电在很大程度上是了解简单磁铁的一个功能。天然磁铁存在于世界各地的自然界中。许多儿童都会接触并玩耍如图 10-1 所示的磁铁。



图 10-11: 简单的磁铁

指南针只不过是一个悬浮的磁铁，它与地球的磁北极和磁南极对齐。这是学习发电机如何工作时非常关键的一点。磁铁有北极和南极。如果将两块磁铁彼此靠近放置，并且北极和南极彼此最接近，则磁铁会卡在一起。然而，如果你试图将两个北极或两个南极强行拉在一起，那就相当困难了。这是一个基本的陈述...磁铁的异极相互吸引...就像磁铁的两极相斥一样。



图 10-22: 磁通量线

如果我们在柜台上放置一块磁铁，并在上面撒上铁屑，铁屑就会根据磁通量线自行排

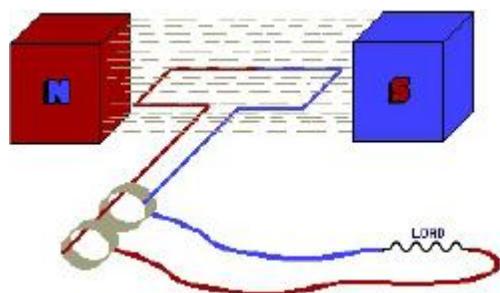


图 10-33: 用永磁体构造的基本发电机

列。参见图 10-2。这些通量线非常强大。当金属物体穿过这些磁力线而破坏这些磁力线时，就会产生电流。这是建造发电机的基础。通过打破磁场中的磁通线，产生电力。图 10-3 是使用天然磁铁构建

的发电机，以提供磁力线。该图中的磁体是静止的，而发电机的旋转部分（称为电枢）是从发电机中取出电力的地方。磁通线如图 10-3 所示。旋转的电枢“切割”了这些看不见的磁通线。这会在发电机的旋转部分产生电压和电流。该生成器的问题在于它非常不实用。

永磁体不允许我们控制发电机的电压。当电枢的旋转动作产生电流时，产生的电力必须通过电刷从发电机中取出。在大型商业公用发电机上，这些电刷会很大，并且会很快磨损。因此，有必要使用大型旋转电磁体为我们的发电机产生磁场，并让电力从静止部分流出。除此之外，天然磁铁不适合用来建造发电机。它们的磁通量有限，需要比目前大很多倍的发电机才能产生一定量的电力。无一例外，商业发电机在内部使用电磁体来产生发电所需的旋转磁通量线。

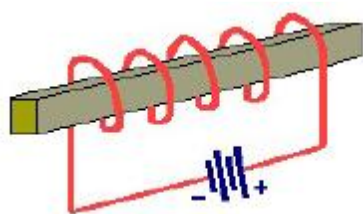


图 10-44: 基本电磁铁

通过将铜线绕在铁棒上，然后向铜线的每一端施加直流电，可以构建简单的电磁体。参见图 10-4。电磁体可以做得非常强大。大型钢铁和金属作业使用电磁铁来吸起铁和汽车车

身。这是因为他们太强大了。直流电 (DC) 用于构建电磁体，因为交流电 (AC) 不起作用。

使用电磁铁构建发电机使我们能够控制发电机的输出电压。这是因为我们可以通过控制电磁体中的电压来控制电磁体中产生的磁通量。如果我们在发电机中旋转时增加电磁铁的电压，则发电机的电压也会增加。让我们看一下使用旋转电磁场发电的基本发电机。参见图 10-5。在该图中，我们将图 10-4 中的

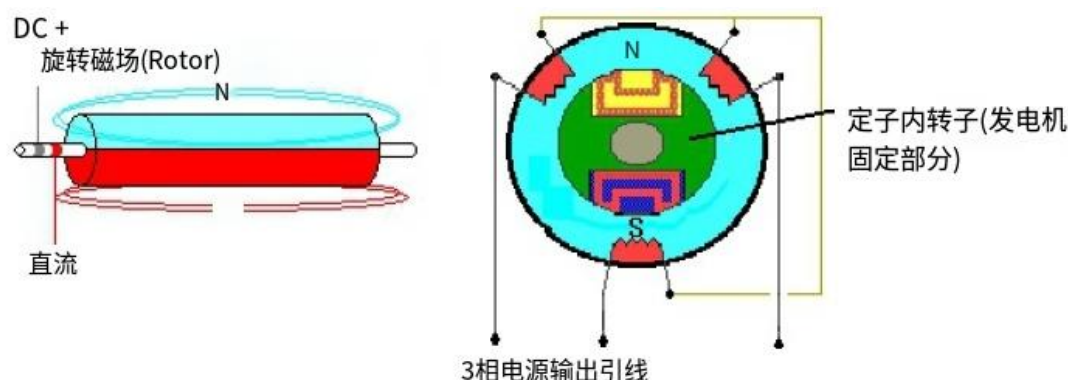


图 10-55: 发电机内的旋转磁场

简单电磁体变成了旋转电磁体。然后，我们将旋转电磁体（我们将其称为转子）放入固定电枢（我们将其称为定子）中，我们现在拥有所有现代商用发电机的基础。转子仍然有北极和南极。这一点没有改变。改变的是我们切割磁通量线以产生电流的方式。在图 10-3 中，磁场是静止的，电枢在旋转时会切割磁通线。您还记得吗，这意味着产生的电力必须通过电刷从发电机流出。通过使磁场旋转并且电枢静止，电力可以在没有电刷的情况下从发电机中流出。唯一需要电刷的地方是向磁场提供直流 (DC) 电压以使转子磁化。与发电机所能产生的功率相比，这是非常小的功率。因此，提供场电压的电刷非常小并且相对无故障。

在图 10-5 中，我们看到转子位于定子内部。当它转动时，磁通线被三组独立的绕组断开。绕组是构成发电机组件的线圈的术语。之所以采用三组绕组，每组相距 120°，是因为所有商用发电机都产生三 (3) 相电力。当您查看高压

线时，您通常会看到三 (3) 根独立的导体或电线来传输电力。这是三 (3) 相电源。大多数家庭将三 (3) 相电源接入断路器或保险丝盒，然后将单相电源接入室内 110 伏插座。但是，如果有电灶或电烘干机，则很可能使用三 (3) 相电源。

大型公用发电机的电压输出取决于发电机的设计以及操作员向旋转磁场施加的直流电压。这是操作员在发电机上实际控制的少数事情之一。如果操作员增加进入发电机旋转磁场的直流电压，发电机的输出电压也会增加。操作员可以控制的电压变化范围有限。如果操作员将旋转磁场电压更改得太高或太低，发电机将跳闸（紧急停机），以防止损坏内部组件或损坏电力系统组件。

所有发电厂都使用变压器根据需要升压或降压。这使得电力系统可以根据需要使用许多不同的电压水平，以提高传输和效率。典型的公用发电机可产生 22,000 伏的电力。变压器将立即将其升压至更高的电压，以实现高效传输。您会看到，随着变压器中电压的增加，电流会减少。这意味着传输线的导体可以更小，成本也更低。当电力到达你家时，可能会经过几个变压器。它还将通过一个小型变压器将电压降至 220 伏，供家庭使用。您的标准墙壁插座大约为 110 伏，是因为我们仅使用进入您房屋的三 (3) 相电源中的两 (2) 根引线。这有效地将电压降低了 50%。

我们已经介绍了如何产生和控制公用发电机的电压。那么我们如何产生电流呢？没有电流的电压就不能做功。它被称为静电。它对于很多事情来说并不是特别有用。然而，当您将电压与安培（安培或电流）结合起来时，我们就有了一种可以做有用功的产品。事实上，瓦特是衡量电力做功的量度。瓦特是功

率的量度。要获得电瓦特，我们必须有电压和电流的组合。如果我们有 120 伏特和一 (1) 安培的电力，那么我们就有 120 瓦。这是因为伏特 $\times$ 安培 = 瓦特。您家中的标准 60 瓦灯泡将使用大约 $\frac{1}{2}$ 安培的电流。这是因为有 120 伏电压。 $120 \times \frac{1}{2} = 60$ 瓦。

电流是由输入发电机的马力产生的。这是我们可以从发电机中获取瓦特的唯一方法。我们必须投入马力。涡轮机转动越困难，产生的功率就越多。你有没有注意到我说得更重，而不是更快？一旦发电机达到额定速度（在美国为 3,600 rpm），我们就可以将发电机与电网同步。在美国，电网或电力系统的额定运行频率为 60 赫兹或周期。

电力频率由电网上的电力系统运营商维持。他们有责任确保进入电力系统的电力不会超过实际使用的电力。如果发电厂产生的电力超过电力系统当前所需的电力，则电力频率将会增加。这意味着电力系统上所有部件的速度都会增加，包括发电机。这也会导致电压升高。如果由于需求多于发电而没有足够的电力投入电力系统，系统的用电频率将会降低。这将减慢电力系统（包括发电机）上运行的所有设备的速度。这也会导致电压降低。这就是导致电力系统负荷重且需求高的地区发生臭名昭著的**限电**现象的原因。

由于电网如此之大，发电站必须使其发电机的速度达到电力系统的电速度，然后与正在运行的电力系统并联（或同步）。如果不正确执行此操作，可能会对发电机造成损坏（可能很严重）。这是因为，在一个有数百个连接的系统上，一个单独的发电厂必须与系统上连接在一起的其余发电厂的精确电速度相匹配。

理解为什么会这样的一个简单方法是看一下它的小规模版本。让我们考虑一个小型汽油动力便携式发电机。如果我们将标准灯插入其中，引擎将必须比不为任何东西供电时更加努力地工作才能保持灯亮着。如果我们将电钻插入其中，每次按下电钻上的按钮时，它都会打开发动机油门。该发电机试图将其电频率维持在 60 个周期。如果您将另一盏灯和一个电加热器插入该发电机，汽油发动机的节流阀将继续打开，以保持发电机处于额定速度，并保持 60 个周期的电力输出。如果您向该发电机插入过多的电量，并且发动机的油门已经完全打开，则发电机的速度将会减慢并且电压将会下降。光线会变暗，钻头会变慢，加热器散发的热量也会减少。您现在正在尝试使用超出可用电量的电量。能量输入=能量输出。您使用的电力不能超过您生产的电力。

如果我们在灯、加热器和电钻运行后立即将它们全部关闭，则发动机油门将必须非常快地关闭，否则便携式发电机的发动机将迅速增加速度。这是因为节气门打开，向发动机提供足够的汽油来完成电钻、加热器和灯所需的工作。当您停止使用电钻、加热器和灯中的能量时，就会产生过多的能量来满足正在使用的需求。您现在正尝试向系统投入超出所需的功率。能量输入=能量输出。您产生的电力不能超过您使用的电力。额外的能量只会使发动机加速，直到油门关闭，或者直到它自我毁灭，以先到者为准。

您必须记住的是.....发电机的**功率**由您放入涡轮机的蒸汽量控制。这是因为能量输入=能量输出。发电机输出的电压由操作员控制将多少直流电压施加到发电机中的旋转磁场中。

11. 工厂逐步启动程序

如果在操作期间您意外跳闸或关闭设备并希望重新启动，则应遵循操作程序。操作程序的问题在于，它甚至无法涵盖因设备故障、控制故障和其他类似问题而可能发生的场景的断裂。因此，此处提供的程序是标准程序，提供了切尔诺贝利核电站上线的主要步骤。您仍然需要根据工厂系统和设备的故障做出决策。

与往常一样，您可以保存当前位置以供以后随时选择使用。本手册“Chernobyl 文件和菜单基础知识”解释了保存游戏并稍后调用它的过程。此启动过程假设所有设备均已关闭，并且离线核心冷却系统正常运行。有了这个，我们来看看过程：

1. 优化您的屏幕视图，以便您可以查看尽可能多的相关数据。这包括使用下拉菜单的原理（SCHEMATICS）图部分。此菜单部分中有几个重要且信息丰富的工厂系统示意图。其中特别是概述（OVERVIEW），它根据切尔诺贝利核电站的单线图为您提供流量、压力、温度和其他相关数据。根据需要使用这些显示器来跟踪工厂及其主要系统的状况。
2. 您应该选择显示（DISPLAYS），然后选择选择趋势（SELECT TRENDS）以放置必要的趋势以供查看。您可以将任何趋势放在任何颜色上。但是，如果将它们放置在逻辑颜色格式中，通常会更容易。要选择趋势，您必须在白色选择框中的数据点上单击鼠标（打开选择趋势框后）。在所需数据点上单击鼠标后，必须单击要为其分配数据点的笔颜色的右侧按钮。这会将该数据点“安装”到所需的笔颜色上。

3. 您应该在启动期间放置以下趋势以供查看：

反应器液位（建议颜色 - 红色）

除氧器级别（建议颜色 - 浅绿色）

热井水平仪（建议颜色 - 深绿色）

反应器进料流量（建议颜色 - 蓝色）

反应器蒸汽流量（建议颜色 - 洋红色）

中子率（建议颜色 - 白色）

中子通量（建议颜色 - 浅灰色）

热能（建议颜色 - 深灰色）

冷凝真空（建议颜色 - 黄色）

以上趋势将为您提供启动过程中所需的相关数据。选择趋势后，您可以通过在控制板上的数据趋势图顶部单击鼠标，或者选择“显示（DISPLAYS）”然后选择“趋势（TRENDS）”来查看趋势图。如果可能的话，建议您始终保留趋势显示。同样，这在某种程度上取决于您所操作的屏幕分辨率。

4. 确保冷凝水储罐有足够的水位以供启动。您必须记住，这些水箱还为紧急核心冷却系统提供水。要检查储罐水位，请单击“水处理泵和冷凝水存储（WATER TREATMENT PUMPS AND CONDENSATE STORAGE）”控件。

两个水箱的电量都应高于 50%。如果不是，您必须通过单击要启动的泵的

“启动 (START)”按钮来启动补充系统泵。请记住，水非常昂贵。当水箱液位恢复时，不要忘记关闭泵而浪费时间。如果不停止泵或关闭阀门，就会将宝贵的冷凝水排入下水道。

5. 确保热井液位正常且热井补充系统正常运行。如果未确认热井中有足够的水，则切勿尝试启动热井泵。要验证热井补充状态，请单击冷凝器热井液位控制。热井液位设定值应设置为 0。如果不是“自动 (AUTO)”，请单击“自动 (AUTO)”选择。热井液位应接近 0。如果显示负数，则表明液位较低，应在启动热井泵之前加注。
6. 一旦确认热井液位正常，即可启动凝结水泵并向除氧器注水。要启动凝结泵，请单击冷凝系统 (CONDENSATE SYSTEM) 控件。您应该通过单击 M 键将 DA LEVEL CONTROL 置于手动状态。然后，您应该通过单击向下箭头键关闭 DA FLOW VALVE。DA 流量阀关闭后，您可以通过单击所需泵的“开启 (ON)”按钮来启动冷凝泵。
7. 在派出外部操作员验证凝结水泵正常运行后，您可以将 DA LEVEL CONTROL (DA 液位控制) 重新设置为 AUTO (自动)。这是通过单击 A 键并验证红色 AUTO 指示灯亮起来完成的。您应该观察 DA LEVEL 以确保其保持在正常水平 0 指示。
8. 您现在必须将冷凝水精处理系统投入使用，以开始连续的水净化过程。这是通过选择所需的抛光机并单击 IN 按钮来完成的。当抛光机运行时，绿灯应亮起。如果对停止使用的抛光机的状态有任何疑问，您应该开始再生。这是昂贵的，但比因水质不好而关闭工厂要便宜。要将停止运行的抛

光机置于再生状态，请按“再生（REGENERATE）”按钮。红灯应亮起，系统状态显示屏应显示 REGEN。

9. 您现在应该将冷凝器循环水泵投入使用。这是通过选择冷凝器循环水泵（CONDENSER CIRCULATING WATER PUMPS）控制来完成的。所有阀门都自动安装在这些冷却工厂冷凝器的巨大泵上。要启动一台泵，您必须按下所需泵的“ON”按钮。您应该验证流量是否增加到超过 500,000GPM。
10. 您现在应该验证 HEPA 过滤器状态。这是通过选择 HEPA 过滤器控制来完成的。HEPA 过滤器应处于“IN”状态，并且“BYPASS AIR FLOW”（旁路气流）应关闭，如绿色“CLOSE”（关闭）灯亮起所示。
11. 您现在可以将反应器进料泵投入使用。这是通过选择给水泵和系统（FEEDWATER PUMPS AND SYSTEM）控制来完成的。在没有首先检查除氧器液位的情况下，切勿将反应器给水泵投入使用。检查趋势，或通过选择“冷凝系统（CONDENSATE SYSTEM）”控制打开并检查液位。验证 DA 水平正常后，您可以通过选择所需泵的入口阀上的“打开”和所需泵的排放阀上的“关闭”来启动反应器进料泵。阀门完成排序后，您可以选择所需泵的“ON”按钮。当达到运行速度时，在排放阀上选择“打开”。这将使泵联机。
12. 反应器鼓液位控制应置于单元件控制中，直到反应器上的功率水平允许使用主阀。如果 3 元素控制灯亮起，请按按钮将其关闭。这将使控制系统处于单元件控制状态。您还应该验证启动阀是否是正在使用的阀。它应该被照亮。如果没有，请单击它。您可以通过选择 AUTO 按钮将鼓电平控制置

于 AUTO 位置。反应器鼓液位设定点应为 0%。这相当于正常的反应器罐液位。

13. 您应该验证紧急核心冷却系统是否已准备好运行。这是通过选择紧急核心冷却系统并选择自动按钮来完成的。黄灯将亮起以确认自动选择。
14. 您应该确保反应堆 SCRAM 控制已打开。这些保护电路可以防止您在误操作时损坏反应堆，甚至损坏您自己。要检查反应堆保护电路，必须选择反应堆功率调节控制。自动紧急停止控制位于该控制装置的左下侧。按下 ON 按钮并确认红灯亮起。
15. 您现在可以启动循环 1 和循环 2 再循环泵。对于初始启动，每个回路只需要一台泵。要启动再循环泵，您必须选择 LOOP - 1 (2) RECIRC PUMPS 控制。两个循环的过程是相同的。您必须确保每个循环都遵循此过程。在没有首先检查反应器液位的情况下，切勿将反应器再循环泵投入使用。检查趋势，或通过选择给水泵和系统控制打开并检查液位。验证反应器液位正常后，您可以通过选择所需泵的入口阀上的“打开”和所需泵的出口阀上的“关闭”来启动反应器再循环泵。阀门完成排序后，您可以选择所需泵的“ON”按钮。当达到运行速度时，选择出口阀上的“打开”。这将使泵联机。请记住，您必须在两个回路中的每一个上至少启动一个再循环泵。
16. 现在，再循环泵已运行且反应堆供给系统已运行，您可以停止离线堆芯冷却系统。由于衰变热，这将开始反应堆上的初始蒸汽过程。选择离线核心冷却系统控制。最好的办法是保持入口阀打开，关闭出口阀并停止泵。为此，请按下标记为“loop - 1”和“loop - 2 出口阀”的左侧按钮。这将停止流

动。然后，您可以按标有“泵”的左侧按钮来关闭泵。恭喜！如果您已完成此过程，那么您现在正在正式预热系统。

17. 选择除氧器蒸汽供应控制。按 AUTO 按钮将 DA STEAM VLV 置于自动压力控制模式。您应该按 PRS SET POINT 块上的向上箭头键将压力设定点增加到大约 20 psig。DA VENT VLV 最初应打开至大约 50%。您必须记住，这是将空气和其他不凝性气体排放到 HEPA 过滤系统。该通风口开得越多，HEPA 过滤器上的负载就越大。
18. 您现在应该选择“MAIN STEAM DUMP CONTROL”（主蒸汽排放控制）控制。这是将主蒸汽从反应器旁路至冷凝器的大型蒸汽阀。您应该按自动按钮将其置于压力控制模式。然后，您应该通过按 SETPOINT 标题栏下的向上和向下箭头键来应用 350（大约）psig 设置点。这意味着阀门将根据需要打开，以防止主蒸汽压力超过 350 psig。
19. 您现在应该选择 REACTOR DRAIN CONTROL 控件。您在 SETPOINT 块中放置大约 4" 的设定点。您必须单击设定点块，然后输入所需的设定点。然后您应该按 AUTO 按钮。如果反应器液位上升，这会自动打开反应器排水阀 高于+4.0。
20. 如果您正在观察趋势图或其他数据点，您会注意到自从移除离线核心冷却系统以来，您正在加热系统。此时您应该准备好涡轮机/发电机的滚动。准备涡轮发电机滚动的第一步是启动支持系统。选择涡轮机支持系统控制。首先要投入使用的是润滑油。这是通过按“开始”按钮来完成的。在继续之前，您应该派遣现场操作员检查涡轮机和油系统是否存在泄漏或其他问

题。润滑油系统正常运行后，应启动液压油系统。按下液压油系统的启动按钮。您现在应该打开涡轮机的蒸汽排水管。按下蒸汽排水管的“打开”按钮。此时请勿启动汽封系统。直到下一步将涡轮机置于盘车装置上后才可以启动。

21. 选择涡轮机控制控件。您应该按下转动齿轮开启按钮。如果启动，转速将增加至约 20 RPM，并且转动齿轮指示灯将呈红色亮起。
22. 返回涡轮机支撑系统控制并按下蒸汽密封启动按钮。START 灯应呈红色亮起，并且压力应增加至 5 psig 以上。
23. 您现在可以启动真空系统。选择冷凝器真空系统控制。按冷凝器真空断路器上的关闭按钮。这是关闭时打开以释放冷凝器真空的阀门。将冷凝器真空泵按钮按至开启位置。注意：在主蒸汽管路上有足够的蒸汽压力之前，真空系统不会运行，ON 指示灯也不会亮起。主蒸汽压力必须至少为 250 psig，才有足够的动力蒸汽使空气喷射器正常工作。此外，在涡轮机转动齿轮且蒸汽密封打开之前，切勿启动冷凝器真空系统。
24. 您应该让衰变热增加蒸汽压力，直到达到 350 psig。当达到 350 psig 时，蒸汽排放控制阀应打开以维持该压力。当冷凝器真空增加到最大时，涡轮机可以重置。选择涡轮机控制并按下重置按钮。如果满足许可条件，涡轮机将重置，并且速度设定值选择指示灯将在 900 rpm 时亮起。在选择“自动”或手动增加阀门位置之前，涡轮机不会转动。然而，目前蒸汽中没有足够的能量来安全地转动涡轮机。

25. 选择反应器功率调节控制。在“自动反应器控制”标题下，您应该按下“开启”按钮。一旦拉杆并使反应堆达到临界状态，自动反应堆控制就会接管。使用 POWER SETPOINT 块上的向上箭头，将功率水平设定点增加到 5%。左箭头每次增加 5% 的功率水平设定点，右箭头每次增加 0.5% 的功率水平。这些设置不会影响反应堆，直到您手动将吸收棒拉至临界状态。您还应该按下调节器面板 REACTOR SCRAM 部分上的 RESET 按钮。如果满足所有许可，反应堆控制棒此时应重置。
26. 此时您可以启动拉杆来开始连锁反应并使反应堆达到临界状态。选择减震杆控制。按“仅中心核心”按钮。它应该呈红色亮起。这只会拉动核心中心的吸收杆。出于安全目的，这可以在初始拉杆过程中保持外芯杆的插入。您现在应该选择 S（慢）、M（中）或 F（快）拉速。理想的方法是选择 F，直到负对数通量指标接近正（+）设置。负对数通量指示器是拉杆按钮下方的数据字段。这是连锁反应何时开始的最佳指示。请记住，当达到临界状态时，中子速率将呈指数级增加。按 F 按钮进行快速拉动，然后按 PULL RODS 按钮。中心杆的杆位置指示器应开始变化。指示器显示插入的百分比。当读数为 100% 时，这表明吸收棒 100% 在芯中。
27. 在下拉菜单中选择原理图。选择 REACTOR CORE STATUS 原理图。在初始拉至关键阶段期间应该可以查看该原理图。您还应该监视中子速率、中子通量和热功率的趋势图。
28. 当负对数通量达到约 -4.00 时，应按 S 按钮将拉杆速率更改为 SLOW。此时您应该非常仔细地监视趋势图，并观察最高燃油温度。最大燃料温度

在吸收棒矩阵和核心状态示意图上都有指示。两个最高的燃油通道将始终显示为红色。

29. 一旦达到临界状态，反应堆应该保持您之前选择的功率水平。选择反应器功率调节控制。使用 POWER SETPOINT 块上的向上箭头，将功率水平设定点增加到 10%。
30. 当您增加功率水平时，冷凝器的蒸汽排放阀将打开，以维持您之前设置的压力设定值。您现在应该将压力设定值增加到 650 psig，为涡轮机滚动做好准备。要增加蒸汽旁通阀上的压力设定值，请选择主蒸汽排放控制控件。然后，您应该通过按 SETPOINT 标题栏下的向上和向下箭头键来应用 650（大约）psig 设置点。这意味着阀门将根据需要打开，以防止主蒸汽压力超过 650 psig。

注意：当主蒸汽压力达到 650 psig 时，您现在可以启动涡轮机滚动。这可以在手动模式下通过打开蒸汽旁通（启动）阀同时监控涡轮机速度来完成，或者通过将涡轮机速度控制置于自动模式来自动完成。滚动涡轮机的推荐方法是“自动”。这是因为，只要您拥有一个非常大的快速旋转机械设备，且部件之间的间隙很小，如果发生摩擦，就有可能造成严重损坏。

由于我们已经介绍了蒸汽轮机是热设备而不是压力设备，因此我们必须小心限制涡轮机在运行过程中温度变化的速率和量。由于蒸汽涡轮机的旋转部分不连接到静止部分，蒸汽温度的快速变化会导致旋转部分比静止部分更快地膨胀或收缩。如果不控制这种增长，这可能会导致蒸汽轮机出现严重问题。我们把这种膨胀和收缩称为微分膨胀。

切尔诺贝利涡轮机上的差膨胀计显示在振动计旁边的涡轮机控制部分上。

如果蒸汽温度变化过快，涡轮转子的热膨胀或收缩速度往往会比涡轮较重的壳体部分更快。这是在涡轮机功率输出上升或发生较大变化时注意到的。随着通过涡轮机的蒸汽流量增加或减少，涡轮机内的温度发生变化。这种温度变化几乎总是首先影响涡轮转子。作为一般规则，尝试并限制在卷升过程中增加涡轮机速度的速度。太快或一次变化太大会导致涡轮机中的高膨胀差。这种膨胀差如果严重，将使涡轮机跳闸，如果过于严重，则会对涡轮机的旋转和静止部分造成广泛损坏。

31. 综上所述，您现在可以通过选择涡轮机控制并按下自动按钮将涡轮机置于自动模式。它应该亮起，并且“手动”按钮应该熄灭。当您按下“自动”按钮时，涡轮机启动阀应开始逐渐打开。速度设定值应预先选择为 900 rpm，如果涡轮机已离线超过 48 小时，则滚动速率应为“慢”。如果涡轮机离线时间少于 48 小时但超过 24 小时，则滚转率应为“中”。如果涡轮机离线时间少于 24 小时，则滚动速率应为“快”。
32. 当涡轮机到达第一个自动停止点（900 rpm）时，您应该查看振动和膨胀差。如果它们非常低，请按下一个速度停止点按钮（1800 rpm）。持续监控反应堆和工厂的其他部分，以确保一切正常运行。
33. 当涡轮机到达第二个自动停止点（1800 rpm）时，您应该查看振动和膨胀差。如果它们非常低，请按下一个速度停止点按钮（2700 rpm）。持续监控反应堆和工厂的其他部分，以确保一切正常运行。

34. 当涡轮机到达第三个自动停止点（2700 rpm）时，您应该查看振动和膨胀差。如果它们非常低，请按最终速度停止点按钮（3600 rpm）。持续监控反应堆和工厂的其他部分，以确保一切正常运行。
35. 当涡轮机达到 3600 rpm 时，您应该检查主蒸汽排放控制阀到冷凝器的开度。应该快关门了。有必要将设定点增加到 1600 psig 以上。这将关闭旁通阀，并允许涡轮机通过调节涡轮机入口阀来控制反应堆蒸汽压力。要增加主蒸汽排放控制阀的设定值，您必须选择“主蒸汽排放控制”控制装置。然后，您应该通过按 SETPOINT 标题栏下的向上和向下箭头键来应用 1650（大约）psig 设置点。
36. 在涡轮机转速为 3600 rpm 时，您应该将发电机同步仪选择到“ON”位置。这是通过按下 SCOPE ON/OFF 按钮来完成的。一旦按下，瞄准镜就应该开始旋转。如果涡轮机处于自动模式，示波器最终将在快速（顺时针）方向稳定在约 9 rpm 的转速。当示波器到达上止点（TDC）前几度时，按下发电机断路器上的关闭按钮。如果范围足够慢并且闭合角度正确，则发电机断路器将闭合。
37. 您应该注意到，当发电机断路器闭合时，闭合时的涡轮节流压力成为压力设定值。从这一点来看，反应堆功率的变化将导致系统中的压力发生变化。这些压力变化将导致涡轮机阀门发生必要的变化，以维持压力设定点。发电机功率（兆瓦，位于涡轮机控制面板的左下角）将按比例增加和减少。请记住，能量输入=能量输出。

38. 您现在可以将反应堆功率水平提高到 15%。这是通过选择反应器功率调节控制来完成的。使用 POWER SETPOINT 块上的向上箭头，将功率水平设定点增加到 15%。

39. 在大约 80 兆瓦或更多时，有几项工作需要完成。这些项目是：

- 选择给水泵和系统控制并更改为三 (3) 元件控制，并将主阀投入使用。这是通过按下主阀按钮来完成的。启动阀灯应熄灭，主阀灯应亮起。您还应该按下 3 元素控制按钮。它应该照亮。
- 选择涡轮机控制并按下主阀按钮将主阀投入使用。主阀上的红灯应亮起，启动上的红灯应熄灭。
- 选择涡轮机支撑系统控制并关闭涡轮机排水管。这是通过按下蒸汽排水管上的关闭按钮来完成的。

40. 您现在可以将反应堆功率水平提高到 20%。这是通过选择反应器功率调节控制来完成的。使用 POWER SETPOINT 块上的向上箭头，将功率级别设定点增加到 20%。

41. 此时您可以投入第二台冷凝泵。这是通过选择“冷凝系统”控制并按下第二个冷凝泵的“开启”按钮来完成的。

42. 此时，您可以将第二个反应器进料泵投入使用。这是通过选择给水泵和系统，然后在所需泵的入口阀上选择打开，并在所需泵的排出阀上选择关闭来完成的。阀门完成排序后，您可以选择所需泵的“ON”按钮。当达到运行速度时，在排放阀上选择“打开”。这将使泵联机。

43. 此时，如果涡轮机上的振动和膨胀不均正常，则可以将反应堆功率水平提高到 25%。这是通过选择反应堆功率调节控制来完成的。使用 POWER SETPOINT 块上的向上箭头，将功率水平设定点增加到 25%。您还可以通过按“ON”按钮将热功率校正系统投入使用。这为反应堆控制系统提供了补偿。
44. 从此时起反应堆功率可以缓慢增加至 100%。在此期间，您将必须监控并执行以下功能：
45. 开始将涡轮阀门上的压力设定值增加至 1500 psig。这是通过选择涡轮控制并单击压力设定值块，然后输入所需的设定值来完成的。设定点应缓慢增加，每个变化周期变化不超过 50 psig。
46. 在大约 250 兆瓦时，您应该放置第二个反应堆循环泵投入使用。这是通过您必须选择 LOOP - 1 (2) RECIRC PUMPS 控制来完成的。两个循环的过程是相同的。您必须确保每个循环都遵循此过程。在没有首先检查反应堆液位的情况下，切勿将反应堆再循环泵投入使用。检查趋势，或通过选择给水泵和系统控制打开并检查液位。验证反应堆液位正常后，您可以通过选择所需泵的入口阀上的“打开”和所需泵的出口阀上的“关闭”来启动反应堆再循环泵。阀门完成排序后，您可以选择所需泵的“ON”按钮。当达到运行速度时，选择出口阀上的“打开”。这将使泵联机。请记住，您必须在两个回路中的每一个上至少启动一个再循环泵。
47. 在大约 500 兆瓦时，您应该将第二个循环水泵投入使用。这是通过选择冷凝器循环水泵控制来完成的。所有阀门都自动安装在这些冷却工厂冷凝器

的巨大泵上。要启动一台泵，您必须按下所需泵的“ON”按钮。您应该验证流量是否增加到超过 1,000,000 GPM。

48. 启动过程到此结束。恭喜你，你现在正在赚钱。

12. 用户提示、秘密和其他有用信息

切尔诺贝利软件程序具有一些高级功能，可以增强高级用户的体验。探索该程序将揭示其中的许多内容。如果探索不是您的方式，请阅读本节以获取一些快速提示。这些提示按照对我们许多 Beta 测试用户最重要的顺序列出。

故障控制 - 许多 Beta 测试人员认为，有机会在没有故障的情况下操作工厂将使模拟更加有趣，并让他们有时间学习操作，而无需不断地与故障和故障作斗争。因此，我们放置了一个故障开关，允许您关闭和打开故障。此开关位于“日期和时间”菜单功能的底部菜单栏。单击页面底部的“日期和时间”菜单功能。这将打开一个标有“选项”的框。此框包含有关模拟的信息，其中包括：

- 模型更新时间（以秒为单位）。
- 空闲内存。
- 免费的系统资源。
- 随机故障（故障）的状态。

在内存不足或系统资源低于 70% 的计算机上，可能需要减慢更新时间。为此，您必须单击“选项”标题。这将打开一个标有以下标签的框：

- 单位
- 时间步长
- 故障

如果单击“单位”菜单项，将出现一个选择框，允许您在公制和美制单位之间进行更改。这允许用户选择模拟器运行的测量系统。

如果单击时间步长，将出现一个选择框，允许您更改更新时间步长。选项有 100 毫秒（默认）和 200 毫秒。如果您的机器是速度较慢的 Pentium® 或 80486，或者您使用的 RAM 小于 16 Mb，则如果您选择 200 ms 设置，程序可能会运行得更好。这使计算周期数减半，并允许较慢的处理器“跟上”程序。如果您不确定是否需要减慢更新周期，请尝试 200 毫秒设置。如果程序看起来运行得更好，或者随机处理器“锁定”（处理器停止响应，需要重新启动）停止，则保留 200 毫秒设置。

如果单击“故障”，将打开一个选择框，其中有两个选择。它们是开和关的。如果选择“关闭”设置，将避免所有随机故障。此设置允许您无故障地操作切尔诺贝利模拟器。

诊断模式 - 对于高级用户，有一个诊断模式。该模式是通过在启动文件中放置命令行提示符 /D 来启动的。这需要用户单击一次切尔诺贝利图标来启动程序。不要启动该程序，您应该只突出显示该图标。当它突出显示时，单击鼠标右键一次。这将打开一个对话框，允许您执行许多功能。在此对话框的底部有一个“属性”设置。单击此项目将打开第二个框，其中有两个选择。第一个是**常规**，第二个是**快捷方式**。如果单击“快捷方式”，则会出现一个标记为“目标”的数据字段。这一行是启动切尔诺贝利的路径和可执行调用。您必须紧跟在 **CHENOBYL.EXE** 之后放置一个空格和 /d。将其添加到命令行后，您必须在屏幕底部**应用**。下次您启动模拟器时，它将处于诊断模式。

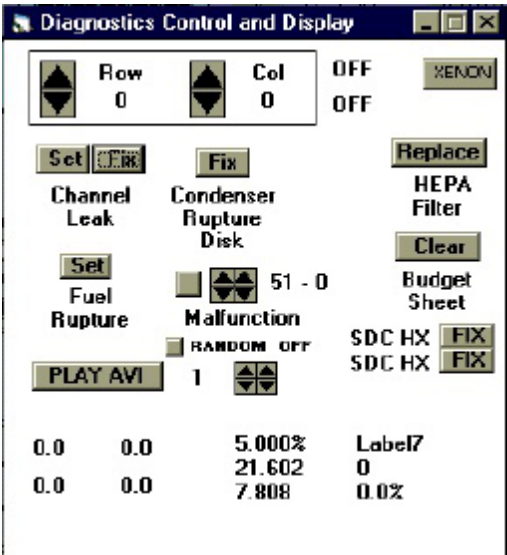


图 12-11: 诊断控制

诊断模式在名为“显示”的下拉菜单下

放置另一个提示。这个提示被恰当地称为“诊断”。单击诊断提示时，将打开一个菜单项框，如图 12-1 所示。

通过此显示框，您可以使用左上角的行和列选择燃油通道泄漏并进行修复。

该框还允许您播放电影并按数字选择特定故障。尝试诊断屏幕，有一些强大的

的工具可用。

ⁱ 本书由 Google Translate 翻译完成。