

法美原子建造公司重型
设备制造厂关于压水反应
堆压力壳和蒸发器的生产和组装

上海锅炉厂七二八复制

一九七五年十一月

总 论

0. 绪 言

1. 90万瓩反应堆压力壳的制造
2. 90万瓩三回路反应堆的蒸发器制造
3. 质量保证
4. 反应堆压力壳和蒸发器生产厂
5. 结束语

目 录

- 0. 绪 言
- 1. 90万瓩反应堆压力壳的制造
 - 1.1. 材料, 尺寸和重量, 操作和试验条件
 - 1.2. 钢的生产
 - 1.3. 主要组件的制造
 - 1.3.1. 筒身或法兰的热加工
 - 1.3.2. 球形封头的热成形
 - 1.3.3. 粗成形(毛坯)、调质热处理、检查和试验
 - 1.3.4. 部件的机加工
 - 1.3.5. 不锈钢堆焊
 - 1.3.6. 压力壳主要组件的组装和中间应力消除热处理, 检验和试验。
 - 1.3.7. 压力壳体上部和下部组件的最后组装
 - 1.3.8. 压力壳体最后应力消除
 - 1.3.9. 压力壳体和封头区某些部位的最后机加工
 - 1.3.10. 整体压力壳的水压试验, 最后检验和试验
- 2. 90万瓩(热功率278.5万瓩)三回路反应堆蒸发器的制造
 - 2.1. 特性、设计基础、尺寸和重量
 - 2.2. 组件制造
 - 2.2.1. 下封头
 - 2.2.2. 管 板
 - 2.2.3. 管板筒身

- 2. 2. 4. 其他筒身部份
- 2. 2. 5. 管 束
- 2. 2. 6. 下部内部构件
- 2. 2. 7. 上部内部构件
- 2. 3. 组合操作
- 2. 3. 1. 蒸发器下部组装
- 2. 3. 1. 蒸发器上部组装
- 2. 3. 3. 最后组装和蒸发器检验
- 3. 质量保证
- 4. 反应堆压力壳和蒸发器生产厂
- 4. 1. 已经建造或订货的压力壳和蒸发器
- 4. 2. 法美原子建造公司生产厂的地点和生产能力
- 4. 3. 法美原子建造公司生产厂的起重设备
- 4. 4. 法美原子建造公司生产厂的制造和试验设备
- 5. 结束语

绪 言

在 在介绍法美重型设备制造厂生产压水反应堆压力壳和蒸发器之前，最好先了介其中制造的设备性质和它们的生产过程。

但是，仅仅制造和试验这些设备是不够的，它们还必需用船运至电厂工地。

影片将使你看到 90 万瓩压水反应堆压力壳从法国中部克雷沙的法美原子建造工厂运送到比利时的蒂昂兹工地的情景。这是法美原子建造公司到目前为止生产的第七个反应堆压力壳。

1. 90万瓩压力壳的制造

1.1. 材料、尺寸和重量、操作和检验条件

图1提供了主要有关说明

1.2. 钢的生产

反应堆压力壳的钢材采用电炉和真空脱气浇铸制备，克雷沙工厂装备二台90吨和一台60吨炉子，能够同时使用生产重量达180吨钢锭。

使用的钢是由锰、铜、镍组成的合金钢

锻件：ASME SA508 三级

板材：ASME SA533 一级

1.3. 主要组成的制造

图2显示了反应堆压力壳主要组件

1.3.1. 筒身或法兰的热加工

在台车式的炉子 将钢锭首先被加热到1250℃，然后送到7500吨的水压机，图3示出了在水压机上制造压力壳筒身的4个主要操作过程。

- A. 将钢锭锻打拔长。
- B. 压缩钢锭得到最终的锻件高度（墩粗）。
- C. 将钢锭放在压机上穿孔，除去中间的芯部，获得压力壳筒身。
- D. 把筒身放在轴上锻打得到最后的尺寸。

照片1，表示加热二个筒身段。

照片2，在园轴上，锻打一个筒身。

为了锻一个法兰，锻金属是用锤连续锻压。

锻打一个筒身或法兰所需的时间接近10天，包括150小时的加热。

1. 3. 2. 球形封头的热成形（压力壳底部或上封头）

参阅图 4

操作分 4 个步骤实现

1. 轧钢获得钢板。
2. 氧气切割获得园盘。
3. 超声波检验。
4. 在水压机上压成球形。

然后进行水淬加回火调质处理。

1. 3. 3. 毛坯、调质热处理、检验和试验

在热处理前，锻件部份（筒身或法兰）经受超声波试验，用机械进行粗加工，照片 3 显示了直径 4 米的筒身在立车上机加工，球形部份（上封头和下封头）被磨光和机加工以获得合适的表面条件，用超声度或着色法重新进行质量检验。在加热到 900°C 进行调质热处理。参阅照片 4。

当壁温到达足够低时，淬火结束。在淬火后，这部材料回火至 660°C 左右，对于锻压部份进行新的超声波检验。

最后的试验显示出锻件从限制夹什来看厚板的质量优越。

1. 3. 4. 机加工部份

照片 3 表示反应堆压力壳筒身段的粗加工和机加工。

照片 5、6 和 7 表示。

筒身焊接坡口机加工。

接管段孔的机加工。

压力壳上封头钻孔。

其他机加工操作将在组件连接后实现。

1. 3. 5. 不锈钢堆焊

低合金铁素体钢提供了好的机械性能，但必须对由于反应堆

冷却剂引起腐蚀进行保护。

保护用压力壳和封头内衬 304L 铬—镍型不锈钢达到堆焊层的厚度至少 $3 \cdot 2 \text{ mm}$ 。

根据部件的形状采用自动 弧带极堆焊或手工焊条堆焊。

在自动焊过程中，焊头是固重和垂直的，堆焊的组件安放在翻转台上（如果部件是圆形）或在焊接变位器上。焊接变位机使部件定位并按焊接线速度旋转。照片 8 示出筒身堆焊。为了防止任何裂缝，预热是必要的。（用 24% 铬和 12% 镍组成的合金钢）部件外表面用气体，内表面用电热丝进行加热。

质量控制包括：

着色法，堆焊金属化学成份的检查，超声波检查。堆焊后部件进行应力消除热处理。

压力壳接管段等某些部位在堆焊后进行机加工。

1. 3. 6. 压力壳主要组件的组装和中间应力消除热处理、检验和试验
组件首先放到一定的位置，随后在翻转架或变位机上用自动埋弧焊或手工焊进行组合。

照片 9 描述两个筒身的组合，现在我们将详细说明：

在焊接前，焊接区用煤气加热至 150°C 。焊缝一般是一个不对称的“双花”形坡口筒身内表面 $1/3$ ，外表面 $2/3$ ，焊满这样一个坡口需要 $180 \sim 200$ 道埋弧焊。完成焊接后，分组件在接近 600°C 加热一小时进行应力消除热处理。

焊接区的质量用超声波和 8 Mev 直线加速器检查。

在与下一个部件组合前，将分组件放在立车上进行外部焊接坡口的机加工。

照片 11 表示接管段焊接坡口的机加工。

照片1 2表示压力壳底封头和过渡段在焊接转台（变位机）上的焊接组合。

照片1 3表示上部筒身的组合。

照片1 4表示在焊接转台上封头和法兰进行焊接。

自动焊机按放在上面。焊条垂直送出，焊机进行外坡口的焊接。

反应堆压力壳体由两个分组件组合，上部和下部（上部包括接管段和法兰。）

把接管组装入接管段是一个难度很大、要求很高的操作。预先加工好的接管插进开好孔的接管段，孔也是机械加工的。焊接次序要专门考虑。为了限制接管在焊接时的辐向偏差（变形），两个相对位置的接管同时焊接，然而再进行下一对接管孔的加工。

焊缝金属的化学成份，是在同样条件下从焊接试板上，取样分析检验得到的。

1. 3. 7. 压力壳体上部和下部分组件的最后组合

这个操作示于照片1 6（外面焊接）和1 7（里面焊接）程序与其他焊接过程相同，预热，焊接，应力消除，试验和检验。

1. 3. 8. 压力壳体最后应力消除

照片1 8表示了压力壳体和封头最终应力消除的热处理炉。

压力壳体加到600℃，进行9小时热处理。

1. 3. 9. 压力壳体和封头 的最后机加工

对于上述加工还需使用带有250mm（Broach）的铣搪床和磨床进行。仅仅是某些部位进行最后机加工，例如：

法兰和封头之间连接面（密封面）。

上部压力壳体内构件支撑部份。

出口接管的内表面。

压力壳密封螺丝孔。

获得的偏心小于 0.08 mm 。

压力壳顶盖也经过最后机加工。

1. 3. 10. 整体压力壳水压试验，最后检验

照片 19 表示在垂直位置的整体压力壳，接管被装焊上帽子（即封头）。

试验压力至少是 21.4 巴 （ $1\text{ 巴} = 1.02\text{ 公斤/厘米}^2$ ）也就是最大运行压力或设计压力（ 171.3 巴 ）的 1.25 倍。在水压试验中要防止可能的变形和验证压力壳体和上封头之间的密封。

检验最后的尺寸，某些部份再进行超声波检验。

然后必须准备压力壳和它的封头运输。

对于一个三回路的反应堆压力壳（ 90 万千瓦 ）的制造时间从供应材料开始接近 $3 \sim 3\frac{1}{2}$ 年。

2. 90 万千瓦 （热功率 278.5 万千瓦 ）三回路的蒸发器制造。

2. 1. 特性—设计基础—尺寸和重量

参阅图 5

蒸发器是一个装有汽水分离器的 U 型管的热交换器。

一回路的反应堆冷却水在蒸发器的下部进，在管里循环，然而被主泵带出。

二回路系统的给水在蒸发器的上部进入，沿着蒸发器壳侧向下，在同管束接触后，放加热并蒸发。

蒸汽被旋风式汽水分离器和百叶窗式干燥器干燥。

因此，蒸发器由下部（热交换部份）和包含一级干燥器（旋风式汽水分离器）和二级干燥器的上部组成。

2.2. 组件的制造

2.2.1. 封 头

参阅图 6 和照片 1

封头是 30 吨的 ASME 规范 SA216WCC 碳锰钢铸件。它是用磁粉或着色法和 X—射线检验，然而把它安放在转台上加热，采用自动埋弧焊，在内表面堆焊第一层 ASE304L 24/10 铬—镍不锈钢（照片 2）然后进行第二层 22/12 铬—镍不锈钢堆焊。接管及人口的内表面和边缘采用手工不锈钢堆焊。在每次手工或自动埋弧堆焊式补充堆焊后进行磁粉、着色法，或超声波探伤。

然后在进口接管之间焊接因科镍分隔板，最后整个封头连同原材料和不锈钢堆焊试样进行应力消除热处理。这些试样是由于质量保证所取样的。

2.2.2. 管 板

管板是 40 吨的 ASMESA508-II，锰、钼、镍钢，厚度为 550 mm，在克雷沙工厂锻造和机加工，100% 超声波检查。

予热后，在内表面用不锈钢（Ni-Fe-Cr）自动带极堆焊二层，并进行中间超声波检验。连结半径采用手工堆焊。

为了超声波质量检查，必须对堆焊部份预先加工。

然后对坡口进行最后机加工和磁粉或着色法检验。

隔板部份采用着色法或高标准的超声波方法检验。

2.2.3. 管板筒身

这一段，像其他筒身段一样，采用 ASME，SA533B-I 低合金钢，钢板轧圆后用自动埋弧焊和手工焊焊接厚度为 84 mm。

坡口经磁粉或着色法检验，焊接接头则进行超声波和合 X—射线检验。

此外，大于或等于 50 mm 厚的接头用磁粉或着色法检验。

.... 10

2. 2. 4. 其他筒身部件

其他筒身部件包括(参看图7)

3个内径为3430 mm, 厚度为74 mm的筒身。

1个96 mm厚的锥形筒身。

2个内径为4464 mm, 厚度为94 mm筒身。

1个101 mm厚的椭圆形封头。

5个筒身如上面谈到的下筒身同样的方法制造, 锥形筒身和椭圆形封头是热压成形的。

2. 2. 5. 管束

这一部份由3388根形管组成特性如图8所示。

每一根管子必须逐根地用超声波或涡流检验, 管子的厚度必须连续测量, 任何一根不符合要求的管子自动地退换。

在弯管后的椭圆度误差小于6%。

弯曲后每根管子经受218巴水压试验。

2. 2. 6. 下部内部构件

这一项包括内筒身, 管束和八块保持管子间距的隔板。每块板含有6776个使管子通过孔和6466个使汽水混合物通过的孔。

隔板被焊接到蒸发器内筒身的螺栓上。

2. 2. 7. 上部内部构件

这一项主要包括给水环形入口管和蒸汽干燥区(旋风形和百叶窗式汽水分器)

2. 3. 组 装

我们刚叙述了51型蒸发器的主要组成部件及其制造。现在, 我们将及这些主要部份的组装, 它们在法美原子建造公司重型设备厂进行的。

2. 3. 1. 蒸发器下部组合件

2. 3. 1. 1. 管板和管板筒身段组成第一分组件

参阅图 9 和照片 3

而个部件装配后，放置在焊接翻转架上并且予热，环焊缝内壁采用手工焊，外壁采用自动埋弧焊，焊接后再热处理。

焊接接头经受超声波、磁粉， γ -射线或着色法检验。

然后将分组件进行应力消除热处理，同时处理的还有：附加的自动焊试样。

管板不锈钢堆焊试样

管板和管板筒身段的原材料试样。

管板不锈钢堆焊再用超声波或着色法检验。

然而在数控机床上将管板钻 6776 个孔。

2. 3. 1. 2. 第 2, 3, 4 节筒身和锥形筒身组成第二分组件

组合和检验方法如前所述，（参阅图 9）

2. 3. 1. 3. 二个分组件组成蒸发器下简体

参阅图 9 和照片 4

程序和前面述及的一样

组合后的重量为 115 吨

下部内部构件插入到筒体内部，然后将蒸发器下部组件组合到管板上。

2. 3. 1. 4. 在下筒身内安装管束

在蒸发器组装里，这是一个最重要，最困难的操作

这个操作分三个步骤实（参阅图 10）

第一步：

下简体放在水平位置，并且管板侧是包在过滤空气的密封室里（参

阅照片15)，然后进行插管（参阅照片6），并对每一个管口进行初步胀管。（参阅照片7）

在每个管子的角焊缝上进行设有填充焊丝的自动TIG焊接。这是一个高度困难的操作。

第二步：

在磁粉和着色法检验后，将下简体放在垂直位置，并且使管板包在第二密封室里，然而在每根管子上进行第二次加填充焊丝的自动TIG焊接。（照片8）

我们知道，在TIG焊接过程中，电弧在电极和被焊金属之间燃烧，自动焊接机控制焊接开始和停止。

调节电流密度，惰性气体流量，焊接机头的旋转和送丝。

为了检验需要，蒸发器锥形筒身段放在一个密封连接器上，使筒身内能充氮受压。

每一个管端检验包括：

如果需要，修理后进行肉眼检查。

焊缝着色法检查。

气密试验，管板上面复盖蒸馏水，筒体内氮气压力为 1.4 kg/cm^2 。

第三步：

组件返回到水平位置，在管板的整个深度实现全张管。（照片9）

然后管子除油，在管束的曲面部份装上防震栅。

2.3.1.5.

下封头和下简体组合

照片10显示了这个操作，按放在翻转架上的设备总重量达到200吨。

整个操作包括：

内外壁的环焊，封头内壁焊接区的铬-镍钢补堆焊。利用专用电炉进

进行环焊缝的应力消除热处理。(参阅图11),同时处理的有:

SA533 (筒身) SA508 (管板)

和 SA216WCC (底封头铸钢件) 钢的焊接件。

SA508 钢堆焊层

SA533, SA508 和 SA216WCC 钢, 基本金属试样板。

把隔板焊接到连接片上 (已焊在管板上)。

当然, 焊缝用四种方法检验, (着色法, 超声波, 磁粉和 X 射线)。

2.3.2, 蒸发器上部组合件

图12是蒸发器上部组件和它的内部构件的示意图, 这些部件的安装我们不在这儿叙述。

2.3.3. 最后组装和在工地上进行蒸发器水压试验, 蒸发器上部和下部组件或在工厂里或在工地上进行组装焊接, 如果操作在工地上, 垂直位置进行, 则采用手工焊接, 并用电加热器进行热处理。

二回路侧 (筒身) 经受 112.5 巴水压试验, 此时一回路侧处于大气压下。

一回路侧 (水箱和管子) 经受 225 巴水压试验, 此时二回路侧处于大气压下。

这些试验在反应堆冷却剂和二回路系统整个试验期间实现。

管板将不允许一, 二回路差压超过 112.5 巴

照片 11 表示费孙海姆蒸发器的下部组件在运输车上

照片 12 表示费孙海姆蒸发器的上面部份在运输车上

3. 质量保证

在介绍反应堆压力壳和蒸发器生产同时, 我们涉及了有关制造试验和检验问题。

这些试验和检验的目的是为了确保产品的质量, 质量由标准规定。我们使用的标准是美国规范:

附录 B 到 10CFR 部份 50, 1971

ANSI N45—2 1971 和 1981 年后。

法美原子建造公司接受美国机械工程师协会 (ASME) 使用的 N 标记。

质量保证包括了所有这些有计划的和系统的措施, 它们供了使结构, 系统和设备将令人满意地运行的信心。

反应堆压力壳和蒸发器制造的质量保证手册规了这些有计划的和系统的措施纲领。

采用这些措施的结果能够在制造期间, 表明确保这些质量, 在它的使用期间, 证实实际使用效果与确保质量的文件的一致性。

所有这些措施和相应的结果 (特别是 X—射线, 磁粉检验等等) 写在文件和相应的合订本中。

如标准所规定法美原子建造公司质量保证部门独立于工程和制造部门, 直接向总经理负责。

4. 反应堆压力壳和蒸发器生产厂

4.1. 已经生产或已订货的压力壳和蒸发器, 法美公司母公司克雷沙—洛阿黑, 在 1961~1964 年期间为舒兹核电站建造它的第一个压水反应堆压力壳。

从这以后其他 9 个压水反应堆压力壳也已经交货。

在 1981 年, 如果 6 个合同被确认, 并且没有收到其他订货, 法美公司和克雷沙工厂将完成 33 个压水堆核电站反应堆压力壳。

到 1974 年底已经完成了 9 个蒸发器。

在 1981, 如果 24 个合同被确认, 法美公司将生产 78 个蒸发器。

4.2. 法美公司生产厂的地点和它们的生产能力。

法美原子建造公司重型设备制造厂, 位于法国中部, 克雷沙—

洛阿黑工业区内，斯耐特工厂，在克雷沙和沙隆—需黑—沙红，厂内有10000人。

照片1，表示了克雷沙工业区。

克雷沙—洛阿黑为法美公司生产和交货反应堆压力壳和蒸发器的主要部组件。

这些部件在法美公司工厂组装。这个工业中心从生产钢锭直至最后产品，提供了质量和交货时间的可靠保证，照片2和3显示了法美重型设备压力壳和蒸发器的制造厂。照片4，示出了第三个法美重型设备制造厂的模型，将在1976年初投产。

这些生产厂年产量将包括：8个最大的反应堆压力壳（120万瓩～130万瓩）

18个最大的蒸发器

8个最大稳压器

这些工厂提供的起重设备和机器能够从事200万瓩核电站的反应堆压力壳和蒸发器的制造。

4.3. 法美公司生产厂的起重设备

克雷沙反应堆压力壳厂装配三台桥式行车，其中一台能够起吊340吨负荷，至23米高

目前生产能力是每年6个压力壳

蒸发器生产厂也装备，3台行车，其中一台起吊能力340吨，钩高23米高。

新厂有3跨

35米宽的一跨装配2台行车（一台600吨，一台450吨）钩高为23米。

36米宽的一跨装配2台行车（一台350吨，一台125吨）钩高18米。