

## 第二章 核电厂系统和设备

### 目 录

|               |        |
|---------------|--------|
| 2.1 一回路系统和设备  | 2 - 2  |
| 2.2 主要工艺及辅助系统 | 2 - 25 |
| 2.3 安全系统      | 2 - 44 |
| 2.4 废物处理系统    | 2 - 52 |
| 2.5 二回路系统及设备  | 2 - 57 |
| 2.6 电气系统      | 2 - 72 |

## 2.1 一回路系统和设备

**2.1.1 写出田湾核电厂一回路系统额定工况下的主要技术参数。**

| 序号 | 名称          | 数值    | 单位      |
|----|-------------|-------|---------|
| 1  | 反应堆额定热功率    | 3000  | MW      |
| 2  | 环路数         | 4     | 条       |
| 3  | 冷却剂总流量      | 86000 | $m^3/h$ |
| 4  | 反应堆出口处冷却剂压力 | 15.7  | MPa     |
| 5  | 反应堆出口处冷却剂温度 | 321   |         |
| 6  | 反应堆入口处冷却剂温度 | 291   |         |
| 7  | 设计压力        | 17.64 | MPa     |
| 8  | 设计温度        | 350   |         |
| 9  | 水压试验压力      | 24.5  | MPa     |
| 10 | 水压试验温度      | >85   |         |
| 11 | 蒸汽发生器出口压力   | 6.27  | MPa     |

**2.1.2 一回路压力边界是如何定义的？**

答案：一回路压力边界的定义如下：

- 1) 包括控制棒驱动机构外罩的反应堆压力容器；
- 2) 蒸汽发生器的一回路侧；
- 3) 反应堆冷却剂泵；
- 4) 稳压器；
- 5) 稳压器的安全阀；
- 6) 一回路各主要部件之间的连接管道、阀门和配件；
- 7) 连接辅助系统或支持系统的管道、配件和阀门，直到每条管路中的第二个隔离阀（从高压侧算起）。

**2.1.3 在压水堆核电厂升负荷的情况下，若要保持新蒸汽的压力不变，会有哪些主要问题？**

答案：

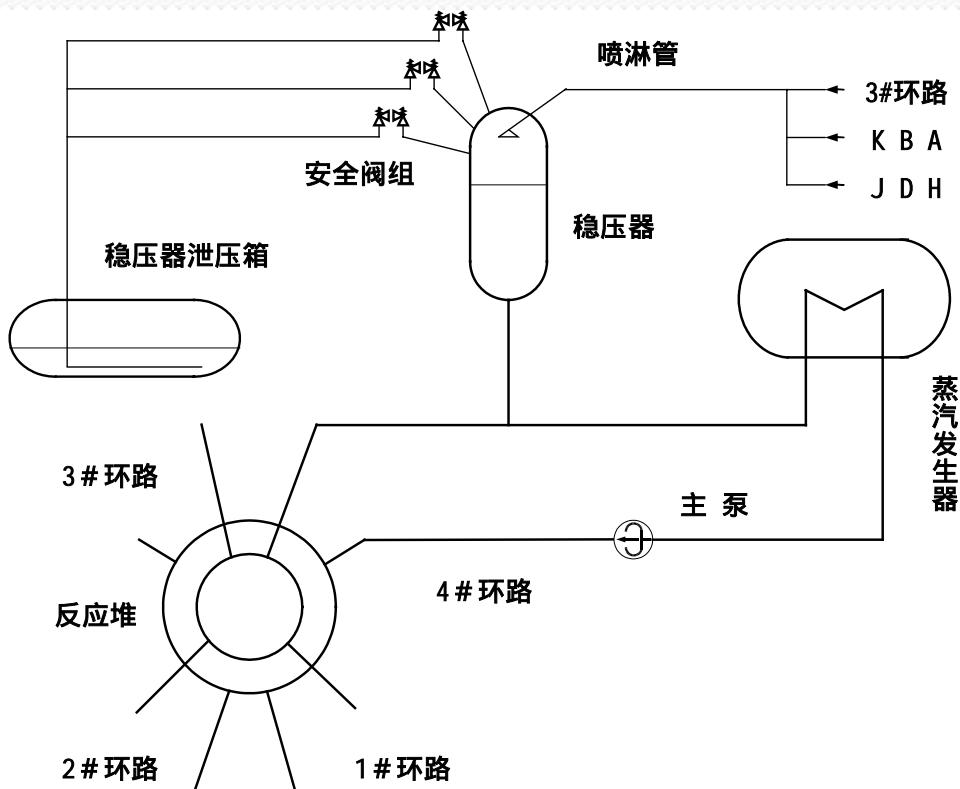
- 1) 由于反应堆冷却剂平均温度变化比较大，就要求一回路具有很大的体积变化补偿能力（稳压器），使一回路压力补偿问题变得严重了；
- 2) 对于具有负温度系数的压水堆，在功率提升中要求有较大的控制棒位移，以进行反应性补偿。

**2.1.4 画出一回路运行的各标准状态图。**

答案：

**2.1.5 画出一回路系统的流程简图，并标出主要设备的名称。**

答案：



### 2.1.6 列举出机组处于“冷”态时的主要技术参数。

答案：

- 反应堆处于次临界状态；
- 反应堆控制保护系统的控制棒全部位于最下端；
- 一回路冷却剂中硼酸浓度不低于最小允许值，该值是由一回路冷却剂当前温度、堆芯连续有效工作时间以及中子物理特性等参数决定的；
- 一回路与稳压器中的硼酸浓度差小于  $0.5\text{g/kg}$ ；
- 一回路热管段中的冷却剂温度不超过  $60^\circ\text{C}$ ；
- 一回路的压力：
  - a) 当 JNA/JMN 系统与一回路管道相连接时不超过  $1.96\text{MPa}$ ；
  - b) 其余情况下不超过  $3.4\text{MPa}$ ；
- JNA/JMN 系统处于堆芯余热导出工况；
- 一回路密封良好；
- 稳压器中的液位是  $5100 - 12400\text{ mm}$  或者反应堆中冷却剂的液位不低于反应堆冷段管口上端线；
- 蒸汽发生器中一回路与二回路间的密封良好。

### 2.1.7 列举出机组处于“热”态时的主要技术参数。

答案：

- 反应堆处于次临界状态；
- 反应堆控制保护系统的控制棒全部位于最下端；
- 一回路冷却剂中硼酸浓度不低于最小允许值，该值是由一回路冷却剂当前温度、堆芯连续有效工作时间以及中子物理特性等参数决定的；
- 一回路冷却剂温度不超过  $260^\circ\text{C}$ ；
- 一回路压力为  $(15.7 \pm 0.2)\text{ MPa}$ ；

- 稳压器中建立蒸汽空间；
- 稳压器中的液位是  $5100 \pm 150$  mm；
- 蒸汽发生器中的压力为  $(4.9 - 6.28)$  MPa；
- 蒸汽发生器中的液位为  $(H_{\text{正常}} \pm 50)$  mm。

#### 2.1.8 列举出机组处于“反应堆最小可监控功率水平”时的主要参数。

答案：

- 反应堆功率低于  $1\%N_{\text{额定}}$ ；
- 一回路冷却剂中硼酸浓度为临界时对应的硼酸浓度；
- 一回路冷却剂温度大于  $260$  °C；
- 稳压器中的液位是  $5100 \pm 150$  mm；
- 一回路压力为  $(15.7 \pm 0.2)$  MPa；
- 至少有 2 台冷却剂泵处于工作状态；
- 蒸汽发生器中的压力为  $(4.9 \sim 6.28)$  MPa；
- 蒸汽发生器中的液位为  $(H_{\text{正常}} \pm 50)$  mm；
- 反应堆控制保护系统的控制棒的棒位由状态表确定。

#### 2.1.9 列举出机组处于“带功率运行”时的主要参数。

答案：

- 反应堆功率在  $1\%N_{\text{额定}}$  到  $100\%N_{\text{额定}}$  的范围内；
- 一回路冷却剂中硼酸浓度取决于反应堆功率和控制棒的棒位；
- 一回路冷却剂温度：
  - a) “冷”管段为  $291^{+2}_{-5}$
  - b) “热”管段为  $321 \pm 5$
- 一回路压力为  $(15.7 \pm 0.2)$  MPa；
- 稳压器中的液位为  $(5100 - 8170) \pm 150$  mm；
- 蒸汽发生器中的压力为  $(4.9 - 6.28)$  MPa；
- 蒸汽发生器中的液位为  $(H_{\text{正常}} \pm 50)$  mm；
- 至少有 2 台冷却剂泵处于工作状态；
  - a) 4 台冷却剂泵---4 个循环回路都处于工作状态；
  - b) 2-3 台冷却剂泵---部分循环回路都处于工作状态；
- 反应堆控制保护系统的控制棒的棒位由状态表确定。

#### 2.1.10 列举出机组处于“维修”时的主要参数。

答案：

- 反应堆处于次临界状态；
- 反应堆控制保护系统的控制棒全部位于最下端；
- 一回路冷却剂中硼酸浓度不低于  $16\text{g}/\text{dm}^3$ ；
- 一回路冷却剂温度小于  $70$  °C；
- 一回路压力为大气压；
- 稳压器中的温度小于  $70$  °C；
- 反应堆中的液位低于反应堆主接合面  $(200 - 300)$  mm 或者是维修界线，但不能低于反应堆冷段管口上端线。

#### 2.1.11 列举出机组处于“换料”时的主要参数。

答案：

- 反应堆处于次临界状态；
- 一回路冷却剂和燃料水池中硼酸浓度不低于  $16\text{g}/\text{dm}^3$ ；
- 一回路冷却剂在堆芯出口处的温度小于  $70^\circ\text{C}$ ，燃料水池中的温度在正常计划换料期间为  $50^\circ\text{C}$ ，在将堆芯内全部燃料组件卸载到燃料水池里时温度小于  $70^\circ\text{C}$ ；
- 一回路压力为大气压。

#### 2.1.12 稳压器与一回路热管段的温度差不能大于多少度？为什么？

答案：不能大于  $70^\circ\text{C}$ 。

若温差太大，稳压器波动管处的热应力太大，有断裂的危险。

#### 2.1.13 稳压器中开始建立汽腔的一回路最低平均温度为多少度？为什么？

答案：一回路的最低平均温度为  $150^\circ\text{C}$ 。

为了保证冷却剂泵正常运行，刚开始稳压器充氮气，压力为  $2.0\text{MPa}$ ，其对应的稳压器饱和温度为  $210^\circ\text{C}$  左右，此时一回路的平均温度为  $150^\circ\text{C}$ 。

#### 2.1.14 为什么在压水堆核电厂必须保证一回路水有足够的过冷度？

答案：若一回路水过冷度太小，则一回路的水将部分地汽化，它将危及冷却剂泵的正常运行（发生汽蚀）；而且影响堆芯向一回路冷却剂的传热，使燃料元件的温度升高，这是危险的。

#### 2.1.15 一回路系统在水压试验时如何防止系统超压？

答案：作一回路水压试验时，当一回路压力高于  $18.11\text{MPa}$ ，稳压器安全阀闭锁。这时靠调节水压试验泵的小流量循环回路来保证系统压力不超过  $24.5\text{MPa}$ 。

#### 2.1.16 在一回路升温升压过程中，如余热导出系统已与一回路隔离时，有哪些防止系统超压的措施？

答案：1) 使用稳压器安全阀组：

在一回路压力低于压力整定值时，可由操纵员从 MCR 或 SCR 强制打开安全阀组的电动阀；当一回路压力高于压力整定值时，脉冲阀自动打开，从而开启安全阀组的主阀。

2) 使用应急除气阀：

可以手动打开压力容器顶盖、稳压器及蒸汽发生器的应急除气阀门以降压。

#### 2.1.17 什么是一回路冷却剂系统的“可识别泄漏”和“不可识别泄漏”？什么是“总泄漏率”？

答案：如果泄漏以原设计的方法引向某个容器，并且这个容器的总容量可以测量时，则这个泄漏称为可识别泄漏；

除可识别泄漏以外的泄漏称为不可识别泄漏；

不可识别泄漏率和可识别泄漏率之和称为总泄漏率。

#### 2.1.18 田湾核电厂正常运行时的总泄漏率和不可识别泄漏率限值为多少？

答案：

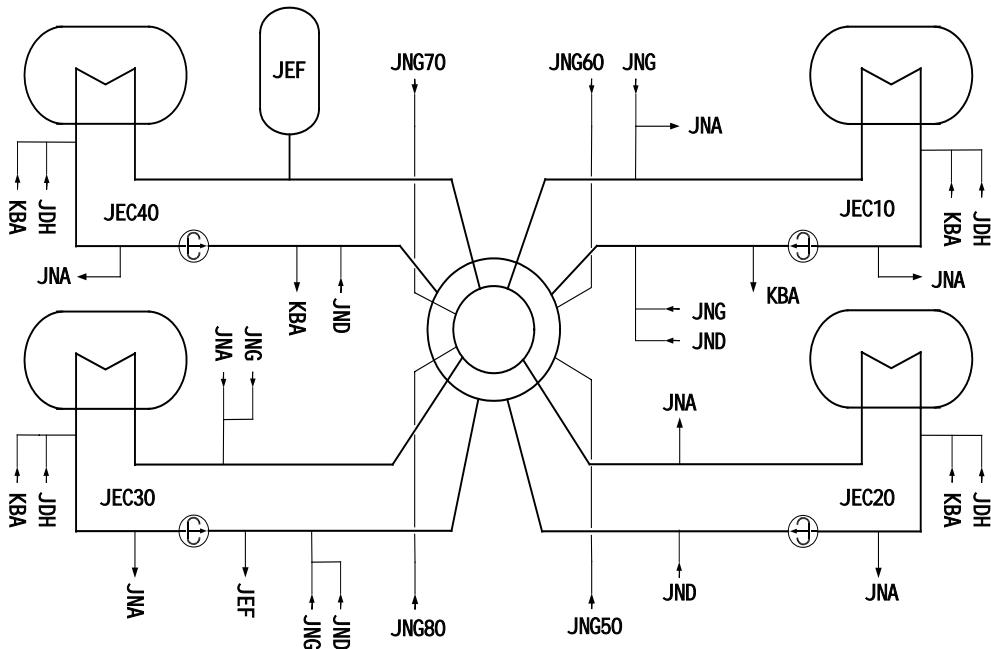
#### 2.1.19 田湾核电厂反应堆本体由哪几部分组成？

答案：

- 1) 反应堆压力容器；
- 2) 堆内构件(堆芯吊篮、堆芯围板、保护套管组件)；
- 3) 堆芯(燃料组件，控制棒组件，可燃毒物棒组件，中子 - 温度测量组件)；

- 4) 步进式电磁控制传动机构；
- 5) 上部组件；
- 6) 电气接线组件。

2.1.20 在反应堆冷却剂系统图上画出四个环路与余热导出系统、容积和硼控系统、安注系统和稳压器的连接。



2.1.21 反应堆压力容器的顶盖上有哪些开口？各有多少个？

答案：顶盖上有 121 个控制棒驱动机构接管，18 个堆芯测量仪表接管，1 个排气接管，1 个后备接管。

2.1.22 反应堆压力容器筒体与顶盖之间是如何保证密封的？

答案：通过安置在容器法兰上的 2 个同心“V”型槽内的弹性金属密封垫圈和安装在容器法兰上的 54 个均匀分布的螺栓孔内的紧固螺栓来实现，并且在这两道密封环之间设置了泄漏监测回路，一旦内环有泄漏时可以报警。

2.1.23 为什么随着反应堆运行时间的增加，必需要对一回路标准运行状态图进行修改？

答案：在辐射作用下，钢的脆性转变温度会上升，钢材吸收的快中子积分通量越多，脆性转变温度也升得越高，因此随着反应堆运行时间的增加，运行图的压力上部限制曲线朝高温区平移。为保证压力壳在运行寿期末安全运行，可能要对一回路标准状态压力与温度运行图进行修改。

2.1.24 什么是金属材料的脆性转变温度？为什么压力壳的工作温度一定要在脆性转变温度之上？在 P - T 图上画出一回路系统允许运行区和禁止运行区的范围？

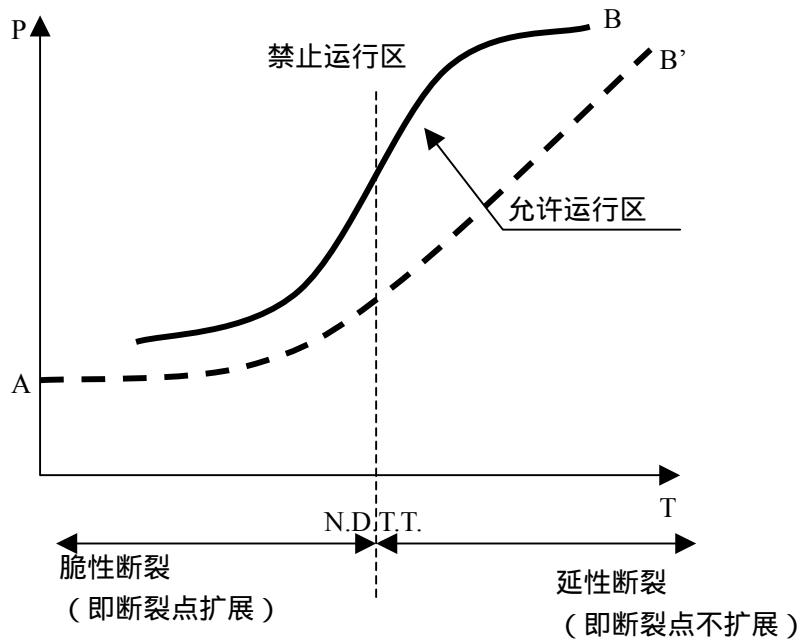
答案：脆性转变温度 (NDTT) 是指某一金属材料在一定应力作用下由韧性材料变为脆性材料的温度，此温度也称为零塑性转变温度。

当压力壳的工作温度在 NDTT 以上，金属的韧性显著增强，许用应力随温度上升而迅速增加，压力壳不易破裂。

AB 线为允许运行区和禁止运行区的分界线。AB' 为蒸汽饱和曲线。

低温下压力壳允许承受的压力小，高温下压力壳允许承受的压力可加大。

高压低温容易引起金属材料脆性断裂。



### 2.1.25 一回路系统的升降温速率是多少？为什么？

答案：一回路升温速率不超过  $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；

一回路降温速率不超过  $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，这就提供了足够的安全系数。

稳压器建立汽腔前稳压器的升温速率为  $20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，建立汽腔后为  $30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ，这是限制升、降温过程中对反应堆压力容器产生的热应力和冷却剂压力所产生的应力之和不超过设计允许值。

当发生蒸汽发生器传热管破裂时，降温速度为  $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

### 2.1.26 反应堆压力容器接管区上壳段和接管区下壳段的特点是什么？

答案：接管区上壳段特点是：

- 1) 有 4 个整体冲压成型的接管 850，是反应堆冷却剂四个环路上的出口接管（热管段）；
- 2) 有 2 个接管 250，是 2 个中压安注箱接管；
- 3) 有 1 个接管 250，是仪表接管；
- 4) 在上壳段外表面上焊有 2 个套管，用于测量运行时容器外表面的温度。
- 5) 在上壳段内表面上焊有隔流环，用于将反应堆压力容器和堆芯吊篮间的环形流道分成上下两部分，下部分为冷却剂入口流道，上部分为冷却剂出口流道，另外隔流环也用于堆芯吊篮的对心。

接管区下壳段的特点是：

- 1) 有 4 个接管 850，是反应堆冷却剂四个环路上的入口接管（冷管段）；
- 2) 有 2 个接管 250，是另外 2 个中压安注箱接管。

### 2.1.27 堆芯吊篮的作用是什么？

答案：作为反应堆的一个部件，堆芯吊篮是一个带椭圆形底的立式圆筒体，其主要作用是：

- 1) 安装和固定堆芯围板；
- 2) 安放燃料组件，控制棒组件，可燃毒物棒组件；

- 3) 提供反应堆内冷却剂流道；
- 4) 均匀分配进入每一个燃料组件的冷却剂流量；
- 5) 衰减反应堆压力容器上的入射中子注量。

#### 2.1.28 堆芯吊篮是如何固定的？

答案： 吊篮上部，通过压力容器法兰上的 12 个键和吊篮法兰的键槽相配合来固定；  
 吊篮中部，通过压力容器内壁上的隔流环和吊篮外壁上的隔流带在反应堆加热过程中由于膨胀作用相紧贴来固定；  
 吊篮下部，通过压力容器圆筒部分内侧的 8 个支架上的键与吊篮外侧的键槽相配合来固定。

#### 2.1.29 堆芯围板的作用是什么？

答案： 作为反应堆的一个部件，堆芯围板是一个由圆环组成的圆筒体，圆环之间用螺栓和开口销彼此在平面上固定。围板与吊篮一起装入容器和从容器中取出。其主要作用是：

- 1) 保证堆芯周边的几何外形（围板的内表面是按照堆芯外围轮廓制造的）；
- 2) 衰减反应堆压力容器上的入射中子注量；
- 3) 确保冷却剂按预定流道通过；
- 4) 减小中子通量分布曲线在堆芯边界外围燃料组件中燃料棒周围的“突起”。
- 5) 保证在管道破裂的事故情况下在堆内构件上产生大的压差时燃料组件的安全。

#### 2.1.30 保护套管组件的作用是什么？它包括哪些部分？

答案： 作为反应堆的一个部件，保护套管组件是一个焊接的金属结构，其主要作用是：

- 1) 燃料组件头部在高度上和在堆芯平面上的精确定位及隔离；
- 2) 安置控制棒导向管和堆芯监测系统的导向管；
- 3) 确保燃料组件内的控制棒组件导向管和堆芯监测系统的导向管分别与保护管导向格架内的对应通道相配合；
- 4) 在燃料组件上端建立一定的压力，以保障燃料组件在正常运行和瞬态下不“上浮”；
- 5) 安置带导向格架的保护管是为了保护控制棒免受冷却剂的动力作用，同时确保控制棒按设计的速度下落，以防发生卡棒事故；
- 6) 在堆芯出口和反应堆上部混合腔入口形成均匀混合的冷却剂流量。

保护套管组件包括：保护套管组件下部支承板、中板、顶板、上部支承壳段、下部多孔壳段、下部支承壳段、121 个控制棒组件保护管、39 个堆芯监测系统导向管的保护管和 15 个堆芯监测系统导向管。

#### 2.1.31 上部组件的作用是什么？它包括哪些部分？

答案： 上部组件作为反应堆的一个部件，其主要作用是：

- 1) 由带接管的反应堆顶盖密封反应堆的主结合面，形成密实的反应堆内部空间；
- 2) 安置和固定控制保护系统的步进式电磁驱动机构和其电气设备，堆芯仪表传感器线路端子以及反应堆的排气接管，并实现其密封；
- 3) 建立一定的压紧力以防止燃料组件、保护套管组件和堆芯吊篮在冷却剂的作用下上浮。

上部组件包括：带接管的反应堆顶盖、上部组件金属结构、横梁、121 个控制保护系统步进式电磁驱动机构。

**2.1.32 控制保护系统步进式电磁驱动机构的主要部件有哪些？其作用各是什么？**

答案：控制保护系统步进式电磁驱动机构主要部件有：承压壳体、电磁部件、运动部件、驱动杆和步长位置指示器。

- 1) 承压壳体是由不锈钢 08X18H10T 制成的管道，用于安置控制棒驱动机构的内部和外部部件。
- 2) 电磁部件用于产生牵引力，以保证运动部件中可动部分的移动。它由提升线圈、锁紧线圈、固定线圈和连接件组成。
- 3) 运动部件用于移动驱动杆和与驱动杆相连接的控制棒组件。它由电磁线圈的磁极、可动钩爪、固定钩爪和 4 个弹簧部件组成。
- 4) 驱动杆用于实现控制保护系统的控制棒组件与运动部件的可动部分的连接。
- 5) 步长位置指示器用于监测驱动杆和控制棒组件的位置，它可以提供控制棒组件在堆芯每 20mm 行程的位置指示。

**2.1.33 燃料芯块的中心孔有什么主要作用？**

答案：燃料芯块的中心孔是为了：

- 1) 降低芯块中心温度，防止燃料过热熔化；
- 2) 作为辅助收集腔，容纳运行过程中由芯块释放出来的裂变气体。

**2.1.34 燃料包壳内充氦气的目的是什么？**

答案：在燃料包壳内预充压力为  $2.0 \pm 0.25\text{ MPa}$  的氦气是为了：

- 1) 氦气具有很高的导热性，从而加强了芯块与包壳之间的传热；
- 2) 可以减小冷却剂压力引起的包壳压应力和蠕变。

**2.1.35 填空题：**

每个燃料组件的栅体是 6 边 形；

定位格架数是 15 个；

上、下管座各 1 个；

控制棒导向管 18 个；

中子 - 温度通量测量管 1 个；

燃料元件 311 个。

**2.1.36 控制棒的作用是什么？**

答案：控制棒用于反应堆启动、快速停堆、功率控制、功率调节、控制堆芯轴向功率分布，抑制氙震荡。

**2.1.37 控制棒吸收体是什么？**

答案：吸收体大部分为  $\text{B}_4\text{C}$  粉末，只是在底部 300mm 区段为  $\text{Dy}_2\text{O}_3\text{TiO}_3$  吸收体。因为  $\text{Dy}_2\text{O}_3\text{TiO}_3$  的热膨胀比  $\text{B}_4\text{C}$  小，这样就可以减小包壳管的应力，延长控制棒组件的工作寿期。

**2.1.38 一回路系统在换料冷停堆状态下， $P=P_{\text{atm}}$ （大气压），为何将温度限制在 20 ~ 50 范围内？**

答案：为避免一回路的硼酸水溶液在  $T < 10$  时硼析出结晶，故一回路的水温必须大于等于 10 ；

考虑到换料期间的换料操作，若一回路水温太高：

- 1) 换料水池水过分蒸发，会给换料人员的工作带来不便，故一回路的水温 50 ；
- 2)  $T_{sat}$  减少。

**2.1.39 在反应堆检修和换料时，一回路降温降压到多少度才能停最后一台冷却剂泵？**

答案：用氮气维持一回路压力  $1.5 \text{ MPa} < P < 1.8 \text{ MPa}$ ，当一回路的平均温度小于 70 时，才停最后一台冷却剂泵。

**2.1.40 蒸汽发生器给水温度与一回路冷却剂平均温度之差不能超过多少度？为什么？**

答案：蒸汽发生器给水温度与一回路冷却剂平均温度之差不能超过 120 。这是为了避免产生大的热应力，造成传热管变形或损坏。

**2.1.41 一回路在什么状态下，应投入反应堆控制棒驱动机构通风系统？**

答案：一旦一回路冷却剂的平均温度升高到 100 时或者反应堆控制棒驱动机构投电源后，就应投入反应堆控制棒驱动机构的通风系统。

**2.1.42 为了监督压力容器脆性转变温度（NDTT）的变化，在反应堆内设置了什么装置？**

答案：在压力容器上部圆筒壳段内表面最大中子注量区域安置了 12 个支承座，用于装设反应堆容器用钢“辐照”监督样品盒。

在保护管组件顶板 6 个孔眼，用于安装反应堆容器用钢的“热”监督样品盒。

**2.1.43 压水堆核电厂中有哪三方面因素影响压力容器完整性？**

- 答案：
- 1) 在稳态载荷作用下，过度的塑性变形，包括塑性失稳；
  - 2) 疲劳；
  - 3) 脆性断裂。

**2.1.44 在下表中填出田湾核电厂蒸汽发生器额定工况下的主要技术参数。**

答案：

| 序号  | 参 数 名 称           | 数 值   | 单 位 |
|-----|-------------------|-------|-----|
| 1.  | 热功率               | 753   | MW  |
| 2.  | 蒸汽产量              | 1470  | t/h |
| 3.  | 换热管数目             | 10978 | 根   |
| 4.  | 在蒸汽发生器出口处的蒸汽压力    | 6.27  | MPa |
| 5.  | 在蒸汽发生器中所产生的蒸汽温度   | 278.5 |     |
| 6.  | 在蒸汽发生器入口处一回路冷却剂温度 | 321   |     |
| 7.  | 在蒸汽发生器出口处一回路冷却剂温度 | 291   |     |
| 8.  | 给水温度              | 220   |     |
| 9.  | 在没有投入高压加热器时给水温度   | 174   |     |
| 10. | 在蒸汽发生器出口处的蒸汽湿度    | 0.20  | %   |
| 11. | 一回路冷却剂流经蒸汽发生器的流量  | 21500 | t/h |
| 12. | 连续排污流量            | 15    | t/h |
| 13. | 定期排污流量            | 45    | t/h |

**2.1.45 在升温升压或停堆冷却时，反应堆压力容器中有哪两种应力？**

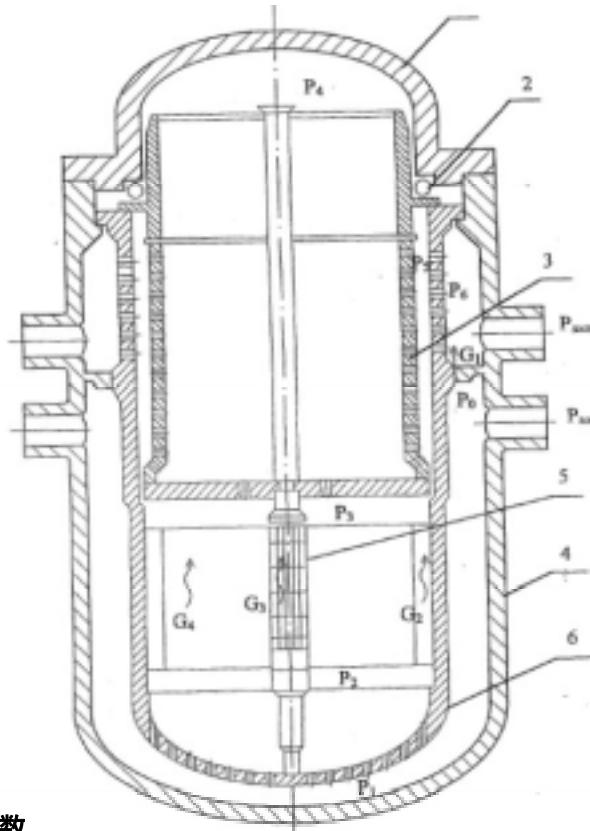
答案：反应堆压力容器中存在由反应堆冷却剂压力产生的应力和升温（或降温）过程中内、外壁

之间的温差产生的应力。

**2.1.46 请在下图中填写出各部分组件的名称。**

答案：

1. 反应堆顶盖；
2. 弹性密封管；
3. 保护管组件；
4. 反应堆压力容器；
5. 燃料组件；
6. 吊篮。



**2.1.47 在下表中填出控制棒组件的主要技术参数。**

答案：

| 序号 | 名 称                   | 数 值                          | 单 位  |
|----|-----------------------|------------------------------|------|
| 1  | 控制棒组件中控制棒数            | 18                           | 根    |
| 2  | 控制棒组件质量               | 18.5                         | kg   |
| 3  | 控制棒组件高度               | 4.215                        | m    |
| 4  | 控制棒高度                 | 4.215                        | m    |
| 5  | 控制棒包壳管直径              | $8.2 \times 10^{-3}$         | m    |
| 6  | 控制棒包壳管壁厚              | $0.5 \times 10^{-3}$         | m    |
| 7  | 控制棒包壳管材料              | 08X18H10T 不锈钢                |      |
| 8  | 吸收体材料                 | $B_4C + Dy_2O_3 \cdot TiO_3$ |      |
| 9  | 吸收体总长度                | 3.5                          | m    |
| 10 | $B_4C$                | 3.2                          | m    |
|    | $Dy_2O_3 \cdot TiO_3$ | 0.3                          | m    |
| 11 | 控制棒组件使用寿期             |                              |      |
| 11 | 调节棒组                  | 3                            | a    |
|    | 其余                    | 10                           | a    |
| 12 | 在事故保护动作时控制棒组件下落时间     | < 4                          | s    |
| 13 | 调控状态下控制棒组件步进速度        | 20                           | mm/s |

2.1.48 下图是燃料组件的示意图，请填写出画横线部件名称。

答案：

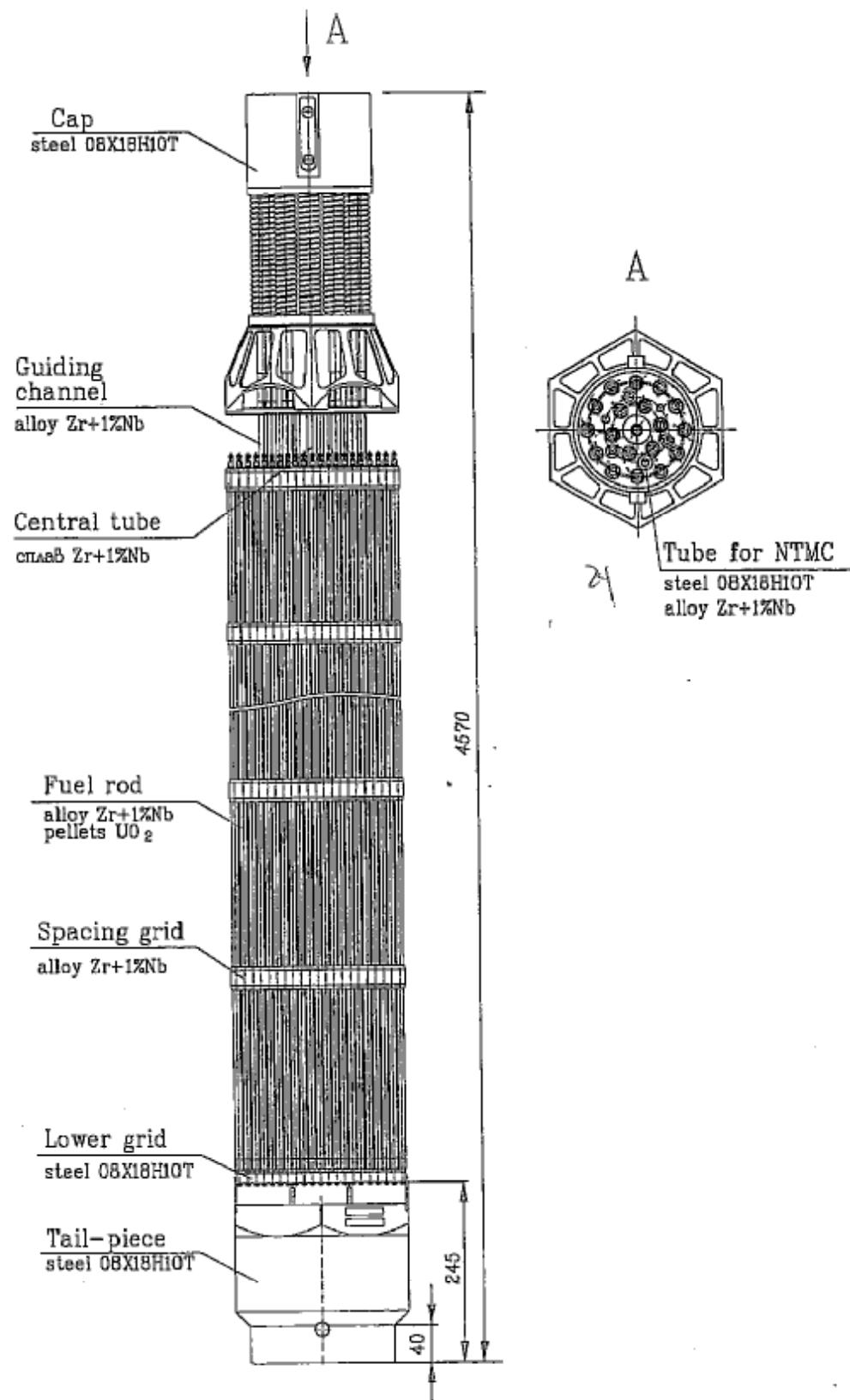


Figure F-4.2-1 – Fuel assembly

2.1.49 下图是燃料棒的示意图，请填写出画横线部件的名称。

答案：

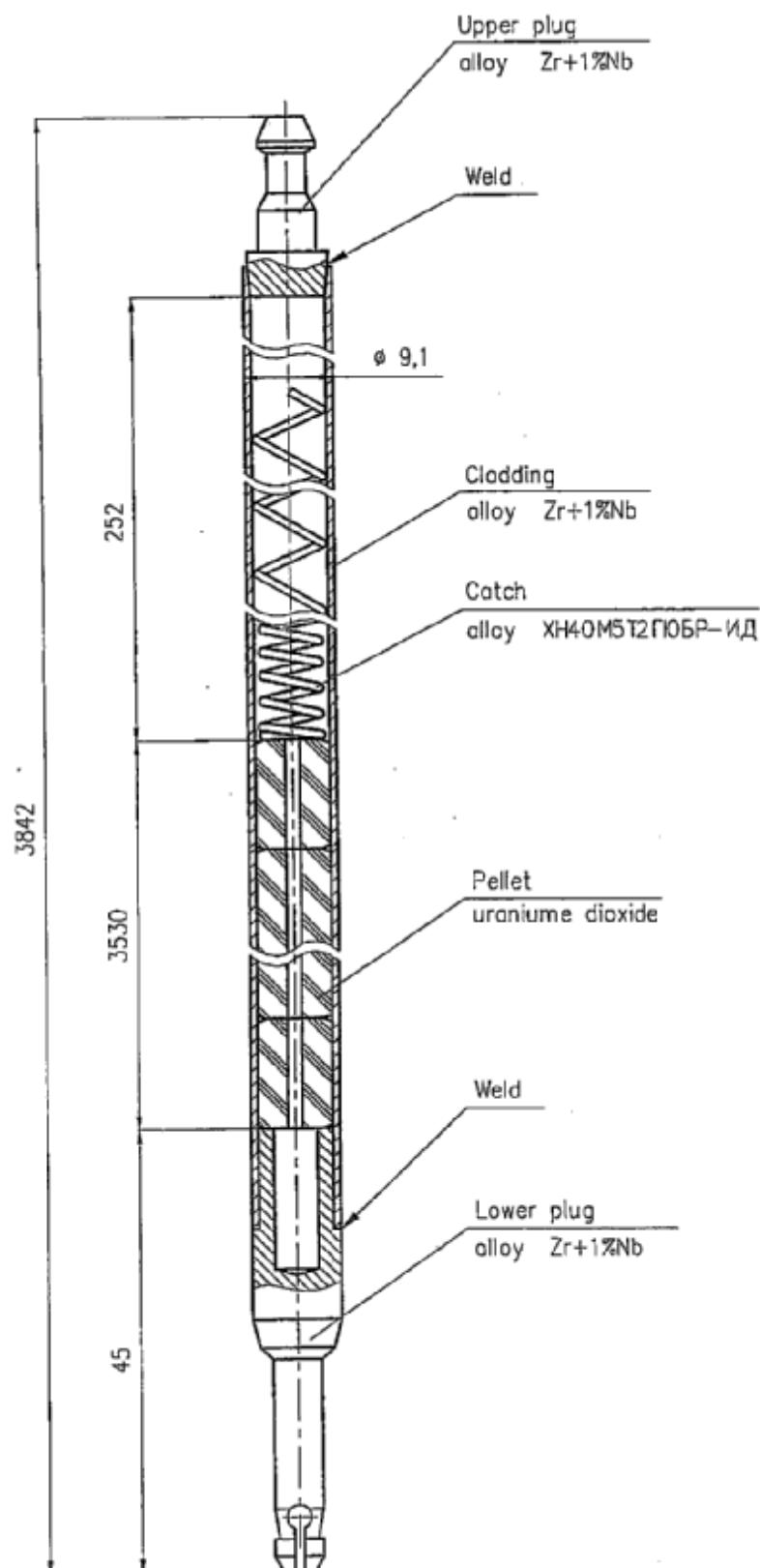


Figure F-4.2-5 – Fuel rod

2.1.50 下图是控制棒组件的示意图，请填写出画横线部件的名称。

答案：

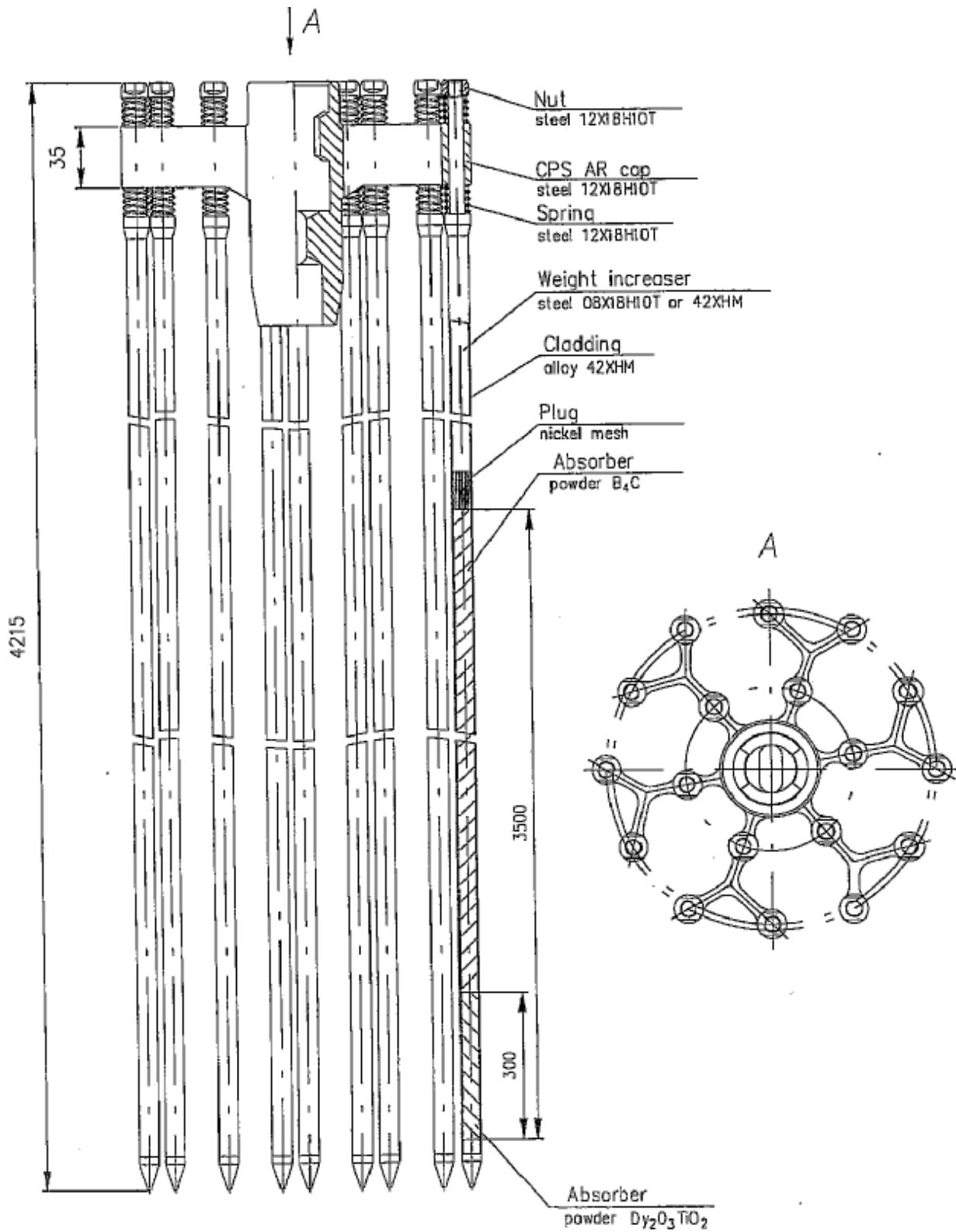


Figure F-4.2-12 – Absorbing rod of control and protection system

2.1.51 下图是单根控制棒的示意图，请填写出画横线部件的名称。

答案：

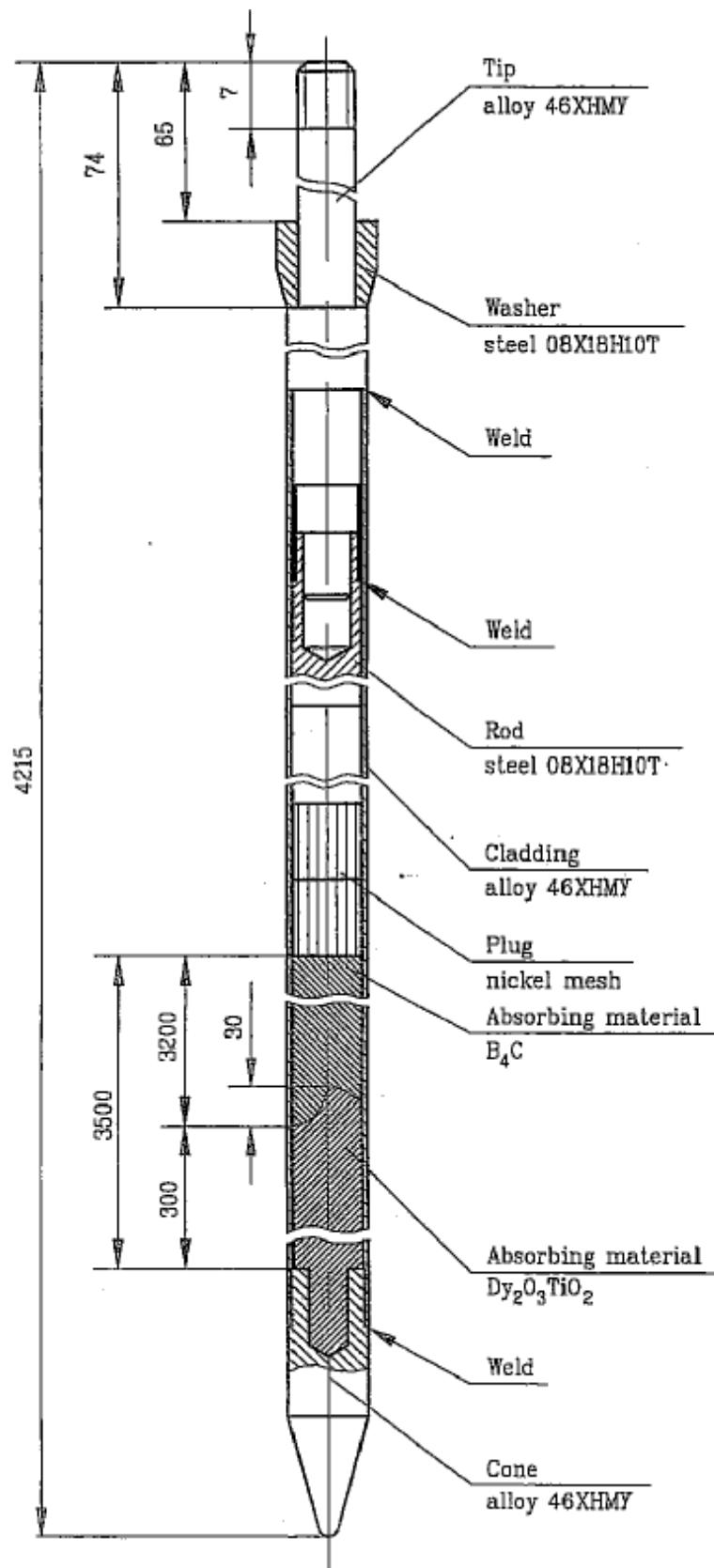


Figure F-4.2-13 – Absorbing element

2.1.52 下图是可燃毒物棒组件的示意图，请填写出画横线部件的名称。

答案：

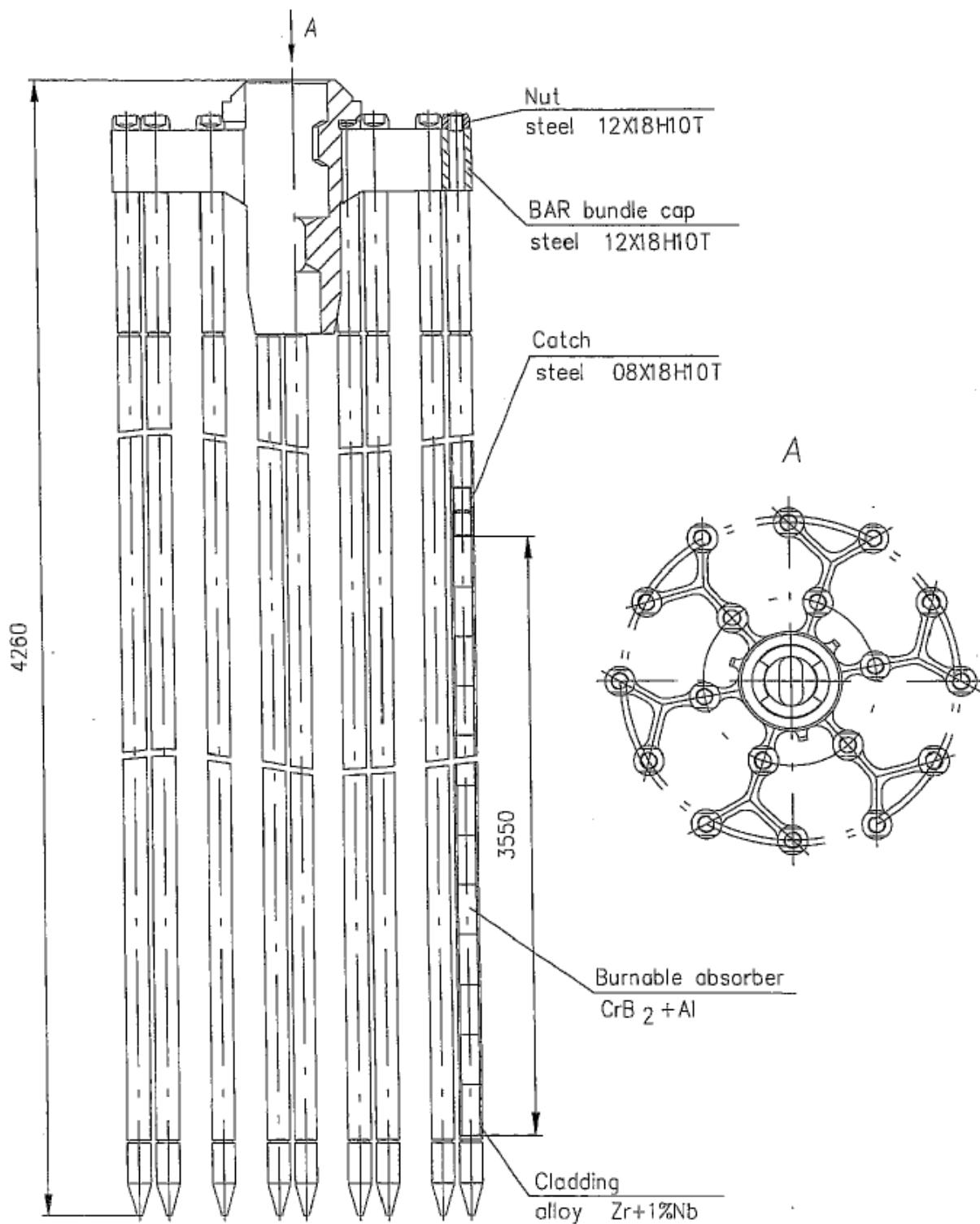
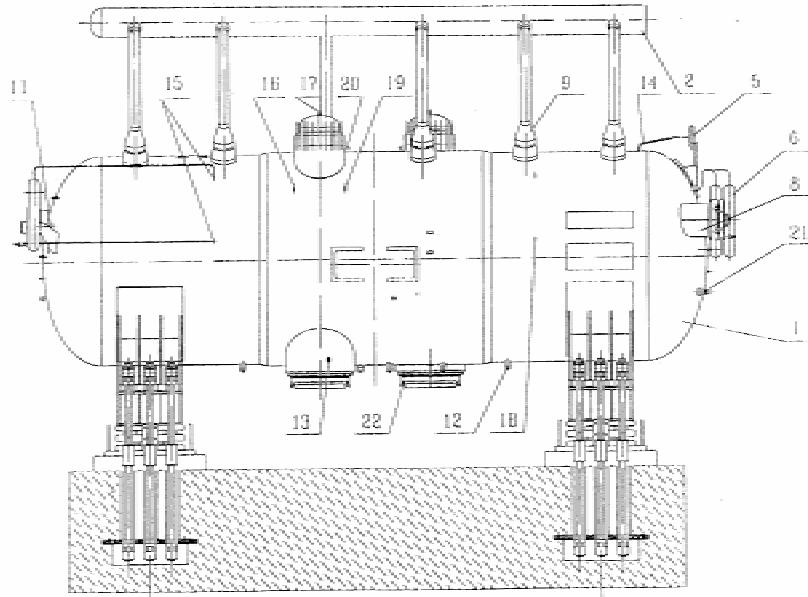


Figure F-4.2-14 - Bundle of burnable absorber rods

**2.1.53 在蒸汽发生器结构原理图上标出蒸汽发生器的主要部件名称。**

答案：



- 1) 蒸汽发生器本体(件号 1)；
- 2) 蒸汽母管组件(件号 2)；
- 3) 单腔和双腔液位计(件号 5 和 6)；
- 4) 二次侧人孔(件号 8)；
- 5) 蒸汽排出接管(件号 9)；
- 6) 应急给水接管(件号 11)；
- 7) 定期排污接管(件号 12)；
- 8) 一回路冷却剂集管的接管 (件号 13)；
- 9) 一次侧密封性检测套管 (件号 16)；
- 10) 一次侧排气套管 (件号 19)；
- 11) 二次侧密封性检测套管 (件号 20)；
- 12) “盐室”连续排污接管 (件号 21)；
- 13) 一回路冷却剂集管“穴室”的定期排污接管 (件号 22)；

**2.1.54 蒸汽发生器本体是由哪些部分组成的？**

答案： 蒸汽发生器本体为单壳卧式、热交换面浸在水下的热交换装置，它由以下部件组成：

- 1) 容器；
- 2) 换热表面；
- 3) 一回路冷却剂集流管；
- 4) 主给水分配装置；
- 5) 应急给水分配装置；
- 6) 蒸汽分离孔板；
- 7) 水下均汽板。

**2.1.55 蒸汽发生器内的一级和二级汽水分离是依靠什么实现的？**

答案：一级汽水分离是在蒸汽发生器蒸汽空间（高度为 1200mm）进行的，它是依靠蒸汽中水分的自身重量，在蒸汽运动过程中自动与蒸汽分离。

二级汽水分离是依靠安装在容器内上部空间的蒸汽分离孔板来实现的，它用于接收蒸汽，使新蒸汽的湿度达到规定的要求，同时平衡蒸汽出口速度。

**2.1.56 对蒸汽发生器传热管破裂(SGTR)有哪些放射性检测的方法？**

答案：用核取样系统连续地测量蒸汽发生器排污系统内的放射性，可监测破管的蒸汽发生器；  
测量从凝汽器抽出的不凝结气体的放射性；  
在蒸汽发生器出口管上监测新蒸汽的放射性；  
监测汽水分离再热器出口蒸汽的放射性。

**2.1.57 如果蒸汽发生器给水温度降低对水位测量有什么影响？**

答案：给水温度下降使蒸汽发生器中的二回路水温度降低，沸腾区减少，沸腾减弱，汽空间压缩，水位升高。

**2.1.58 在低负荷下突然增大蒸汽发生器的给水时，水位变化的过渡过程如何？**

答案：在低负荷下突然增加蒸汽发生器的给水时，汽水混合物因为冷水突然增加出现“收缩”现象，导致蒸汽发生器的水位下降，而后由于蒸汽流量小于给水流量，导致蒸汽发生器的液位上升。

**2.1.59 如果蒸汽流量突然增加时（例如打开 MAN 的进口阀），水位变化的过渡过程如何？**

答案：随着蒸汽流量的增加，蒸汽发生器的压力迅速下降，沸腾区增加，汽水混合物出现“膨胀”现象，导致蒸汽发生器的液位虚假上升。然后由于蒸汽流量大于给水流量，导致蒸汽发生器的液位下降。

**2.1.60 如果蒸汽压力突然降低，说明蒸汽发生器的水位的变化过程？**

答案：蒸汽发生器的压力突然降低，将导致蒸汽发生器内沸腾区增加，汽水混合物出现“膨胀”现象，导致蒸汽发生器的液位虚假上升，随着蒸汽流量大于给水流量，蒸汽发生器的液位将下降。

**2.1.61 蒸汽发生器二次侧水为什么要连续排污？正常运行时连续排污流量是多少？**

答案：在运行中，由于二回路补水，防止盐分在传热管处浓缩蒸汽发生器有遭受腐蚀的危险，为抑制腐蚀要严格进行二回路水质处理。

连续排污流量为 1.0% (15t/h)，(从冷端的盐室连续排污)；

定期排污流量，小于等于 30t/h (如果有必要，要保证总体的排污流量不小于 90t/h，单台蒸汽发生器不小于 45t/h)。

**2.1.62 稳压器在压水堆核电厂中起什么作用？**

答案：

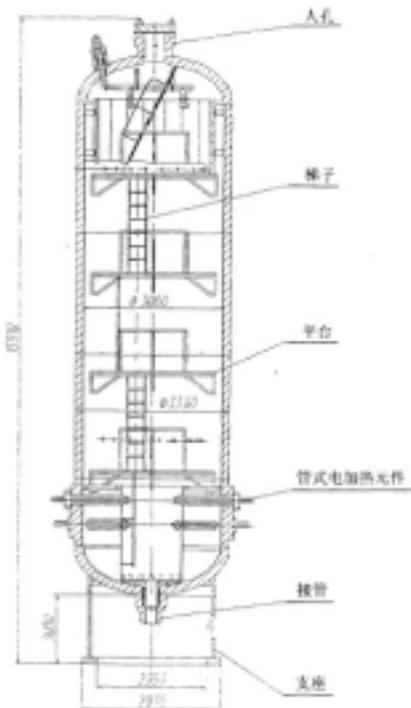
- 1) 在启动期间在一回路建立压力并保持压力。
- 2) 补偿一回路因温度变化引起的容积变化，缓解因温度变化引起的压力波动，避免冷却剂在反应堆内沸腾。
- 3) 通过喷淋和加热器来保持稳压器内水 - 汽的平衡温度，把一回路的压力限制在一个范围内，并防止一回路超压。当一回路超压时，通过安全阀把稳压器内的蒸汽卸到卸压箱内。

**2.1.63 写出稳压器在正常运行时的主要技术参数。**

- 答案：
- |              |                   |
|--------------|-------------------|
| 1) 稳压器容积     | 79 m <sup>3</sup> |
| 2) 稳压器中的水容积  | 55 m <sup>3</sup> |
| 3) 稳压器的运行压力  | 15.68 MPa         |
| 4) 稳压器水位     | 8170mm            |
| 5) 稳压器中的蒸汽温度 | 346               |
| 6) 管式电加热器的容量 | 2520kW            |

2.1.64 在下图中标出稳压器的各主要部件和管接头的名称。

答案：



2.1.65 说出稳压器各主要部件的名称。

答案：稳压器的压力容器是焊接结构，由 4 个圆柱形壳体和 2 个冲压成形的封底构成。

(1) 在上部壳体上布置有：

- 7 个液位传感器接管；
- 1 个用于安装热电阻温度传感器的套管，该温度传感器放置在水下，用于测量冷却剂温度；
- 1 个取样接管。

(2) 在第二个壳体上布置有：

- 1 个带有凸肩的环形平台，是用于放置固定件的止推环。

(3) 在第三个壳体上布置有：

- 7 个液位传感器接管；
- 1 个取样接管；
- 3 个用于安装热电阻温度传感器的套管，该温度传感器放置在水下用于测量冷却剂温度；
- 1 个用于安装热电阻温度传感器的套管，该温度传感器放置在支架上用于测量容器外壁温度。

(4) 在下部壳体上布置有：

28 组电加热器，分别布置在下部壳体两侧，每侧 14 组电加热器。电加热器用于反应堆装置启动期间加热冷却剂，以维持冷却剂的温度与一回路压力下对应的饱和温度相一致。

(5) 在上封头上布置有：

- 1 个稳压器内蒸汽排放接管；
- 1 个一回路冷却剂向稳压器的主喷淋接管；
- 1 个应急含硼水喷淋接管；
- 3 个接管，其中 1 个作为稳压器保护阀波动管道的接管，其余 2 个作为备用；
- 1 个用于安装热电阻温度传感器的套管，该温度传感器放置在支架上用于测量容器外壁温度；
- 在中心有 1 个人孔，以便对容器的内部进行检验。在人孔的颈部安装有 4 个液位传感器接管、1 个密闭性监测接管和 1 个排气阀。

(6) 在下封头上布置有：

- 连接一回路主循环管道“热”段和稳压器的波动管；
- 4 个液位传感器接管；
- 1 个用于安装热电阻温度传感器的套管，该热电阻温度传感器用于测量容器外壁温度。

#### 2.1.66 稳压器喷淋水的来源有哪些？各在什么情况下使用？

答案：喷淋水来自于 3 号反应堆冷却剂泵母管、容积和硼控系统 (KBA) 及应急硼注入系统 (JDH)，有三段平行的管段，在两个内径为 125mm 的管段上安装有快动隔离阀，在内径为 105mm 的管段上安装有调节阀。喷淋管线的预热由旁路管线和调节阀漏流来进行。

- 1) 正常冷却由调节阀 (JEF05AA201) 供到喷淋管线的一回路冷却剂来进行，正常冷却用于保持稳压器和一回路之间的温度差在限值内。
- 2) 在冷却剂泵停运并且一回路压力下降到 1.5MPa，来自容积和硼控系统 (KBA) 的喷淋水对稳压器进行冷却。
- 3) 在蒸汽发生器传热管破裂工况下，用 JDH 向稳压器喷淋来迅速降压和提高硼浓度。

#### 2.1.67 为什么要对稳压器实施连续喷淋？连续喷淋是如何实现的？

答案：连续喷淋的目的是为了：

- 1) 减小 JEF03AA101, JEF04AA101, JEF05AA201 开启时管线的热冲击；
- 2) 能保证一回路和稳压器的冷却剂进行连续交换，保证一回路和稳压器的化学成分的均匀性。

连续喷淋是通过旁路阀和调节阀 JEF05AA201 的漏流来完成的。

#### 2.1.68 使用辅助喷淋的条件是什么？为什么？

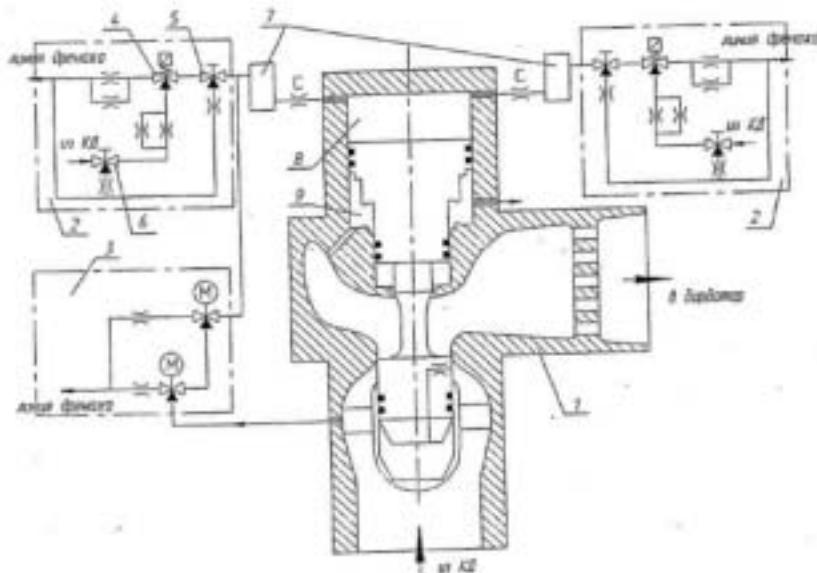
答案：条件是：

- 1) 3 号冷却剂泵停运；
- 2) 上充水温度与稳压器内的水温差小于 90 °C。

原因是：在冷却剂泵停运时，第三环路冷管段的冷却剂不能实现喷淋。温差小于 90 °C 是为了避免过冷的喷淋水对稳压器及喷淋管线形成热冲击。

#### 2.1.69 根据附图写出稳压器安全阀组的各主要部件的名称。

答案：



1. 主阀；
2. 脉冲阀；
3. 两个串联的电动阀；
4. 带有电磁线圈的弹簧脉冲阀；
5. 后置手动隔离阀；
6. 前置手动隔离阀；
7. Z型圆形腔；
8. 活塞上腔室；
9. 活塞下腔室。

#### 2.1.70 每个稳压器安全阀组由几个阀门组成？它们的功能各是什么？

答案：稳压器安全阀组有3组，第1组为监测安全阀组，第2组和第3组为运行安全阀组。每个阀组包括2个脉冲阀，1个主阀，2个电动阀，4个手动隔离阀。

脉冲阀是附带有电磁线圈的弹簧脉冲阀，它的作用是当一回路压力大于设定值（18.11MPa或18.6MPa）时自动开启，使主阀动作。

主阀的作用是降低一回路压力，将稳压器中的汽体导入卸压箱中。

电动阀的作用是在一回路压力为0.5MPa至脉冲阀开启压力范围内可由操纵员从主控室开启主阀。

在每一个脉冲阀的入口和出口处都设有一个手动隔离阀，作用是隔离脉冲阀以便进行维修。

#### 2.1.71 简述稳压器安全阀组的工作原理。

答案：主阀是依靠压差原理工作。在“等待”状态下主阀、弹簧脉冲阀和电动阀都处于关闭状态，而隔离阀处于开启状态。

当一回路压力  $P = 18.11(18.6)$  MPa 时监测（运行）阀组的脉冲阀打开，主阀活塞上腔的排气通道被关闭，气体沿着“Z”形环道，进入主阀活塞上腔。由于活塞上、下工作表面的面积不等 ( $S_{\text{上}} > S_{\text{下}}$ )，形成一定的压差，在该压差的作用下活塞向下移动，主阀便打开，这样稳压器中的气体通过主阀排到卸压箱中被冷凝，使得一回路压力降低。

当一回路压力下降到  $P = 16.7(17.1)$  MPa 时监测（运行）阀组的脉冲阀关闭，主阀活塞上腔

的排气通道打开，上腔中的气体沿着该通道排出，使上腔中的压力减小。因此活塞在压差的作用下，又向上移动，关闭主阀，阻止稳压器中的气体向卸压箱排放，使一回路的压力恢复并保持正常值。

**2.1.72 稳压器与一回路之间硼酸浓度的差别不能超过多少？当改变一回路硼酸浓度时，应注意哪些操作以保证一回路各处的硼酸浓度的均匀？**

答案： 稳压器和一回路之间的硼酸浓度差不得超过 0.5g/kg；

当改变硼酸浓度时，应注意以下操作：

- 1) 手动投入电加热器，以便增大喷淋流量；
- 2) 监测一回路及稳压器的硼酸浓度。

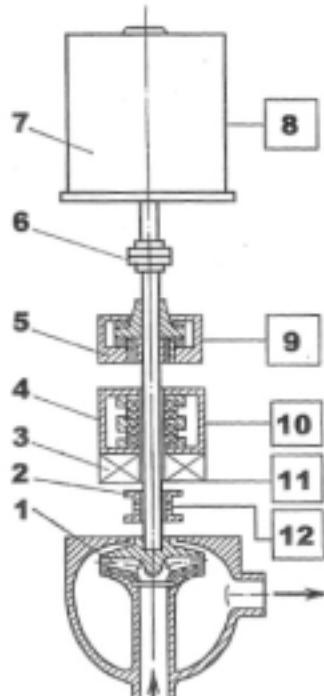
**2.1.73 列出稳压器每个电加热单元加热器组件数、每个组件的功率。**

答案： 田湾核电厂共有四组加热器，共 28 个组件，各组的组件数为 3, 3, 8, 14 个，每个组件的功率为 90 千瓦。

**2.1.74 在下图中标出反应堆冷却剂泵各主要部件的名称。**

答案：

1. 叶轮通流部分；
2. 下部径向轴承；
3. 轴密封水冷却器；
4. 轴封组件；
5. 径向 - 止推轴承；
6. 联轴节；
7. 电动机；
8. 电动机润滑油系统；
9. 径向 - 止推轴承的润滑和冷却系统；
10. 轴密封水供给系统；
11. 冷却系统；
12. 下部径向轴承供给系统。



**2.1.75 填空题：**

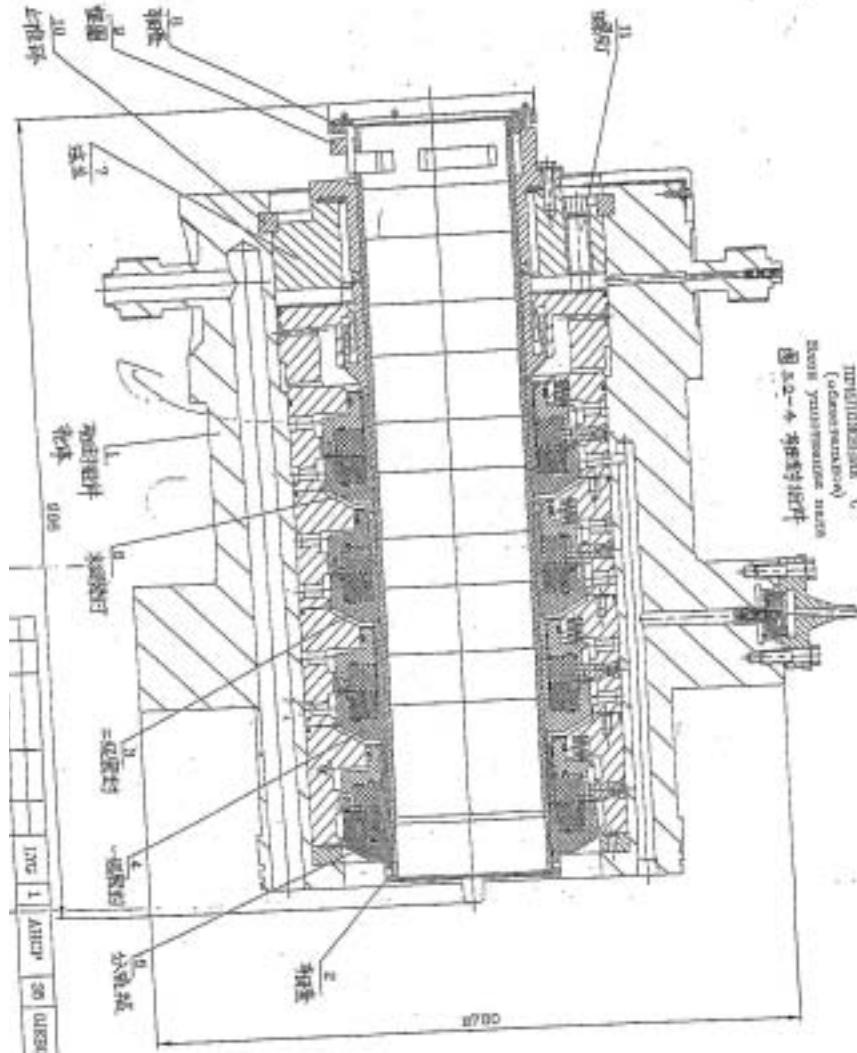
反应堆冷却剂泵的驱动电动机是 立式、双速、三相鼠笼式异步电动机，由空气冷却，而空气由两台热交换器采用 核岛设备冷却水系统(KAA) 进行冷却。电动机电压为 6.3 kV，交流电源额定功率为 5000 kW，同步转速为 1000/750 rpm。

冷却剂泵机组上共装有 四 个径向轴承和 一 个止推轴承。其中 两 个径向轴承用来支承电动机，另 两 个径向轴承和 一 个止推轴承就形成了泵轴承。电动机轴承是 油 润滑轴承，泵轴承是 水 润滑轴承。

冷却剂泵静止时，由于重力是向下的，冷却剂泵靠泵组 止推 轴承平衡；泵启动后，其推力向 上，靠 止推 轴承来平衡。

**2.1.76 在下面轴封组件图中标出各部件名称。**

答案：



### 2.1.77 反应堆冷却剂泵上的飞轮起什么作用？

答案：飞轮增加了冷却剂泵的转动惯量，当冷却剂泵电动机断电后可延长冷却剂泵继续转动的时间，在冷却剂泵电机断电且反应堆紧急停堆的情况下，能短时间保证一回路水的继续循环，有助于一回路自然循环的形成，带出堆芯热量。

2.1.78 反应堆冷却剂泵为什么有可能发生反转？如何防止冷却剂泵反转？

答案：当一台或两台冷却剂泵停运，而其它冷却剂泵在运行时，已停转泵的环路中的水会反向流动，使停运的泵反转。

为了防止冷却剂泵反转，在冷却剂泵上安装有反倒转装置。

2.1.79 反应堆冷却剂泵电机内为什么要装设电加热器？如何工作和显示？

答案：冷却剂泵停运时投入电加热器可使电机保持一个高于环境的温度，防止电机停转时水份在电机绕组上的凝结，而降低绕组的绝缘电阻。

当电机运行时，绕组本身的温升足以防止凝结现象，因此不必投入电加热器。只要冷却剂泵电机的供电开关一合上，电加热器就自动断电。与此类似只要供电开关一断开，电加热器就自动投入。电加热器的投入或退出工作状态在主控室有显示。

**2.1.80 反应堆冷却剂泵上串联布置的四道轴封是如何控制反应堆冷却剂沿泵轴泄漏的？**

答案： 来自于上充系统的冷却剂泵轴封水大约  $1.3\text{m}^3/\text{h}$  , 压力比一回路压力大  $0.5 - 0.6 \text{ MPa}$  , 进入

一级密封进水腔，其中大约  $0.05 \text{ m}^3/\text{h}$  通过分流级密封进入一回路，阻止冷却剂进入轴封。进入一级密封的剩余密封水，一部分通过一级密封动环和静环之间的表面，一部分流经卸压阀，然后两部分水混合流到二级密封进水腔。二级密封和一级密封流程一样，从二级密封来的密封水，其中大约  $1.2 \text{ m}^3/\text{h}$  进入冷却剂泵轴封水回收系统，另一部分  $0.05 \text{ m}^3/\text{h}$  进入末级密封动环和静环，在末级密封端部和端部硼冲洗系统水一起进入端部硼冲洗系统。

**2.1.81 简述反应堆冷却剂泵分流级轴封的工作原理。**

答案：来自于上充系统的轴封水压力比一回路大  $0.5 - 0.6 \text{ MPa}$ ，其中的一部分流经分流级密封的动静环之间，把静环顶起来，在动静环表面之间形成液膜，对它进行润滑和冷却并阻止一回路冷却剂进入轴封系统。

**2.1.82 当反应堆冷却剂泵失去轴封水时，能否继续运行？**

答案：当冷却剂泵失去轴封水时，冷却剂泵依靠独立回路中的水继续运行 60 分钟。

**2.1.83 简述反应堆冷却剂泵启动次数方面有哪些限制条件？**

答案：冷态 20 —— 130 启动 2 次；  
热态 250 —— 280 启动 1 次。

**2.1.84 反应堆冷却剂泵各辅助系统的功能是什么？**

- 答案：
- 1) 独立回路用于润滑和冷却可拆装部件的下部径向轴承。
  - 2) 轴封组件密封水系统(JEW)用于防止一回路的水经过冷却剂泵泄漏到外部，同时冷却和润滑轴端部密封件的摩擦表面。
  - 3) 径向 - 止推轴承的润滑和冷却系统用于润滑和冷却上部径向轴承和止推轴承，是一个闭合回路。
  - 4) 核岛设备冷却水系统(KAA)是用于冷却独立回路的循环水，轴封组件的冷却水，径向 - 止推轴承的冷却水，电动机的油和空气。
  - 5) 电动机油系统(JEV)用于润滑和冷却泵组电动机的上部和下部径向轴承(巴氏合金)，以保证电机的准备、启动和运行。
  - 6) 除硼水系统 (KBC) 用于将残留在轴封组件末端的硼用蒸馏水冲洗。
  - 7) 排气系统 (KTB) 用于将自冷却回路和轴封组件中的气体排放到电站其他系统中去。
  - 8) 疏水系统 (KTA) 用于导出泄漏水。

## 2.2 主要工艺及辅助系统

### 2.2.1 容积和硼控制系统 (KBA)

#### 2.2.1.1 容积和硼控制系统 (KBA) 有哪些主要功能和辅助功能？

答案：主要功能为：

- 1) 在所有的运行模式下（启动，停堆，功率运行，补偿冷却剂的泄漏）维持反应堆冷却剂系统中冷却剂的水装量；
- 2) 用硼酸浓度从 0 到  $16\text{gH}_3\text{BO}_3 / \text{kgH}_2\text{O}$  范围内的变化控制反应堆的反应性；
- 3) 调节一回路水的化学品质；
- 4) 净化冷却剂。

辅助功能为：

- 1) 反应堆冷却剂泵停运或核电厂断电时，为了调节一回路的压力及在一回路计划冷却工况下冷却稳压器，向稳压器输送喷淋水；
- 2) 供给反应堆冷却剂泵的密封水；
- 3) 用于一回路系统的密封性和强度试验；
- 4) 保障冷却剂的除气；
- 5) 保证应急堆芯冷却系统中压安注箱中的水位和水质。

#### 2.2.1.2 容积和硼控制系统 (KBA) 的安全功能表现在哪几个方面？

- 答案：
- 1) 补偿冷却剂的不可控制的泄漏约  $5 \text{ m}^3 / \text{h}$
  - 2) 在冷停堆工况，建立反应堆的次临界度不小于 0.02 (不考虑插入控制保护系统的控制棒)；
  - 3) 在关断反应堆冷却剂泵或断电时的停堆工况下，以流量约  $40\text{m}^3 / \text{h}$  向稳压器提供喷淋水；
  - 4) 供给  $40 \text{ g H}_3\text{BO}_3 / \text{kg H}_2\text{O}$  的硼酸溶液以及必要的化学药剂，以调节蓄压箱中的水质和水位；
  - 5) 在事故工况下，排除化学除盐水供给到反应堆冷却剂系统的可能性。

#### 2.2.1.3 正常情况下上充流量是如何控制的？

答案：正常情况下，冷却剂返回一回路是用小流量活塞式上充泵 KBA51(52, 53)AP001 完成，由稳压器中液位来决定小流量活塞式上充泵的运行。

#### 2.2.1.4 田湾核电厂容积和硼控制系统 (KBA) 有哪些主要设备？

- 答案：
- 1) 大流量上充泵 KBA20 (30) AP001；
  - 2) 小流量活塞式上充泵 KBA51 (52, 53) AP001；
  - 3) 水压试验泵 KBA90AP001；
  - 4) 下泄再生热交换器 KBA10AC001；
  - 5) 下泄后冷却器 KBA10AC002；
  - 6) 冷却剂备用下泄热交换器 KBA40AC001；
  - 7) 一回路冷却剂下泄再生热交换器 KBA10AC004；

- 8) 补给水除气器 KBA10BB001 ;  
 9) 冷却剂排水热交换器 KBA10AC003。

**2.2.1.5 简述容积和硼控制系统 (KBA) 大容量上充泵 KBA20(30)AP001 的型式和运行参数及方式。**

答案：在硼控工况下，该泵用于一回路的上充和供给硼溶液或纯凝结水。

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| 数量   | 2 台                             |
| 类型   | 带有分级式内壳的双壳体卧式离心泵                |
| 额定流量 | 60(16.7) m <sup>3</sup> /h(l/s) |
| 额定扬程 | 1850 mH <sub>2</sub> O          |
| 工作温度 | 50 ~ 104                        |
| 电机容量 | 530 kW                          |
| 供电电源 | 三相交流电                           |
| 电压   | 6000 V                          |
| 运行方式 | 间歇式                             |

**2.2.1.6 简述容积和硼控制系统 (KBA) 小容量活塞式上充泵 KBA51(52, 53)AP001 的型式和运行参数及方式。**

答案：在硼控工况下，该泵用于一回路的上充和供给硼溶液或纯凝结水。一台泵连续地运行；第二台泵在稳压器中的液位偏离正常值-200mm 时投入，并在液位上升至正常值时断开。第三台泵在必要时由操纵员手动投入。

|      |                              |
|------|------------------------------|
| 数量   | 3 台                          |
| 类型   | 活塞式                          |
| 额定流量 | 8(2.2)m <sup>3</sup> /h(l/s) |
| 额定扬程 | 1650 mH <sub>2</sub> O       |
| 工作温度 | 50 ~ 104 °C                  |
| 电机容量 | 45kW                         |
| 供电电源 | 三相交流电                        |
| 电压   | 380 V                        |
| 运行方式 | 连续式                          |

**2.2.1.7 简述下泄再生热交换器 KBA10AC001 的功能和运行参数。**

答案：下泄再生热交换器 KBA10AC001 用于冷却下泄去净化的冷却剂，并相应的加热上充到一回路的冷却剂。

|         |                                 |
|---------|---------------------------------|
| 类型      | 管壳式                             |
| 管内冷却剂流量 | 60(16.7) m <sup>3</sup> /h(l/s) |
| 管内工作压力  | 15.9 MPa                        |
| 管外冷却剂流量 | 63(17.5) m <sup>3</sup> /h(l/s) |
| 管外工作压力  | 15.5 MPa                        |
| 换热面积    | 100 m <sup>2</sup>              |

**2.2.1.8 简述一回路除气器 KBA10BB001 的功能和运行参数。**

答案：补给水除气器 KBA10BB001 用于从下泄的冷却剂中除气。除气器由除气塔和带有安装在内部的汽化器及水流导向隔板装置的水箱组成。

|          |                                     |
|----------|-------------------------------------|
| 类型       | 定压式                                 |
| 流量       | 65 ( 18.06 ) m <sup>3</sup> /h(l/s) |
| 工作压力     | 0.12 MPa                            |
| 工作温度     | 104                                 |
| 水箱(有效)容积 | 19 m <sup>3</sup>                   |

**2.2.1.9 简述冷停堆工况时容积和硼控制系统 (KBA) 的运行方式。**

答案：在达到所要求的反应堆次临界度之后，KBA 系统的除气器投入运行直至达到换料冷停堆状态，以保证向反应堆冷却剂泵供密封水、冷却剂的除气和冷却剂通过 KBE 离子交换器的净化，其流量约为 60m<sup>3</sup>/h。

冷却剂除氢和除放射性气体沿着闭合回路完成：一回路环路--下泄后冷却器 (KBA10AC002)--KBE 离子交换器--一回路冷却剂下泄再生热交换器 (KBA10AC004)--除气器--一回路冷却剂下泄再生热交换器 (KBA10AC004)--大容量上充泵 KBA20(30)AP001 吸入口--下泄再生热交换器 (KBA10AC001)--一回路环路。

冷却时，除气器的补给水来自 JNK10(40)BB001、并经 KBC11(12)AP001 输送的 16 gH<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>/kgH<sub>2</sub>O 的硼酸溶液来提供。

在一回路环路的热段中温度降低到 80℃，反应堆冷却剂泵停止运行时，稳压器的冷却由 KBA 系统的喷淋水来提供：上充泵出口管线---下泄再生热交换器 KBA10AC001---KBA69AA101---稳压器。

**2.2.1.10 简述上充下泄工况时容积和硼控制系统 (KBA) 的运行。**

答案：该工况下，系统保证以流量 30m<sup>3</sup>/h 稳定的下泄冷却剂经阀 KBA11、12AA101--KBA10AA101、102--换热器 KBA10AC001、002,去 KBE 系统净化，并经由止回阀 KBA10AA601 返回到上充管线。

反应堆冷却剂泵的密封水经由备用下泄管线的热交换器 KBA40AC001 之后供向反应堆冷却剂泵。在该管线故障的情况下，可由下泄后冷却器 KBA10AC002 之后和 KBE 离子交换器之前的管线供向反应堆冷却剂泵。

上充的流量基本由反应堆冷却剂泵的密封水的回流确定，进入除气器的流量最大为 4.8m<sup>3</sup>/h, 上充经由小流量活塞式上充泵 KBA51(52、53)AP001 根据稳压器中的液位来进行。小流量活塞式上充泵一台泵连续的运行；第二台泵在稳压器中的液位偏离设定值-200mm 时投入，并在液位上升至正常值时断开。第三台泵在必要时由操纵员手动投入。

大流量上充泵 KBA20(30)AP001 正常不工作。

补偿不可控的泄漏通过泵 KBC11(12)AP001 将纯凝结水或者硼酸溶液供应到除气器来进行。

**2.2.1.11 正常工况下，反应堆冷却剂泵轴封进水流量是多少？如何调节？**

答案：每台反应堆冷却剂泵轴封进水流量 0.9 ~ 1.2 t/h，在现场由手动阀门控制，无需专门的调节装置。

**2.2.1.12 净化单元的离子树脂交换床首次运行前要作什么处理？为什么？**

答案：饱和“硼化”处理。

这是为了避免交换床内新树脂吸收冷却剂中的硼而造成一回路冷却剂内硼的浓度降低。

### 2.2.1.13 简述各种不同工况时，上充流和下泄流的大小。

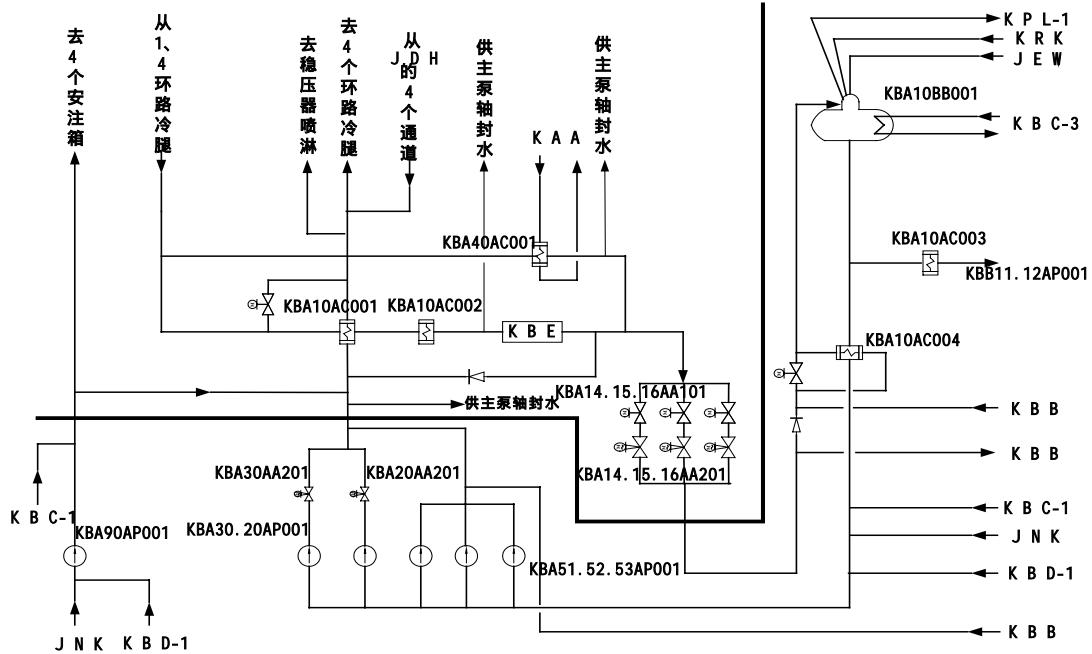
- 答案：
- 1) 一回路充水，上充流量约为  $60\text{m}^3/\text{h}$ 。
  - 2) 在堆芯换料之后，反应堆由冷态启动时系统的运行，稳定的下泄流量为  $30\text{m}^3/\text{h}$ ，稳压器中的液位靠大容量上充泵出口管上 KBA20(30)AA201 来维持。
  - 3) 反应堆带功率运行时在上充工况下系统的运行，系统保证以流量  $30\text{m}^3/\text{h}$  稳定的下泄冷却剂去 KBE 系统净化并返回到回路。上充系统的流量基本上由反应堆冷却剂泵的泄漏确定（流量约  $4.8\text{m}^3/\text{h}$ ），一回路的补给由自动操作的小流量活塞式上充泵 KBA51(52, 53)AP001 根据稳压器的液位完成。
  - 4) 硼控工况，冷却剂的下泄流量由操作人员给定，而稳压器中液位的调节或是由小流量活塞式上充泵运行，或是在大流量上充泵运行时由一回路上充管线上的调节阀自动地完成。
  - 5) 冷停堆，冷却剂的除气以流量约  $60\text{m}^3/\text{h}$  进行，在一回路中压力从额定值降低到最低 ( $0.3 \sim 0.5\text{MPa}$ ) 的情况下，系统应保证大流量上充泵以稳定的流量  $60\text{m}^3/\text{h}$  运行。

### 2.2.1.14 试描述容积和硼控制系统 (KBA) 提供的轴封注入水的流程。

答案：在正常运行期间，密封水来自于冷却剂备用下泄热交换器 KBA40AC001 后的 DN50 的冷却剂备用下泄管线，如果该管线出现故障，系统还设有从正常下泄管线来的密封水输送备用管线，密封水取自下泄后冷却器 KBA10AC002，每台主泵轴封水用量为  $0.9 \sim 1.2\text{m}^3/\text{h}$ 。如果该两管线出现故障，由上充泵出口压力集管供密封水。

在正常工况下，反应堆冷却剂泵轴封回流被排到 KBA 系统的补给水除气器。如果该管线出现故障，可将轴封回流排到反应堆厂房设备疏水系统 (KTA)。

### 2.2.1.15 画简图表示出容积和硼控制系统 (KBA) 与其它系统的连接情况。



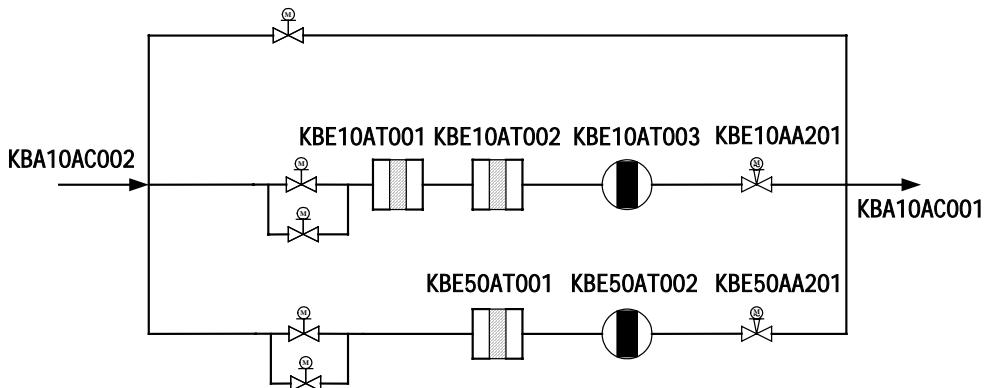
## 2.2.2 一回路冷却剂净化系统 (KBE)

### 2.2.2.1 一回路冷却剂净化系统 (KBE) 的主要功能是什么？

- 答案：
- 1) 净化以阴离子和阳离子形式存在的溶解产物；
  - 2) 净化一回路冷却剂，除去处于悬浮状态的放射性腐蚀产物，目的是保证在释热元件上的沉淀物减到最低限度和降低一回路设备和管道的放射性污染水平。

### 2.2.2.2 试画图表示出一回路冷却剂净化系统 (KBE) 的流程。

答案：



### 2.2.2.3 一回路冷却剂净化系统 (KBE) 包括哪些主要设备？简述其运行参数。

答案：系统由两组离子交换器 KBE10 和 KBE50 组成：

KBE10 包括：

- 1) 阳离子交换器 KBE10AT001；
- 2) 阴离子交换器 KBE10AT002；
- 3) 树脂捕集器 KBE10AT003；
- 4) 管道和阀件。

KBE50 包括：

- 1) 混合床离子交换器 KBE50AT001；
- 2) 树脂捕集器 KBE50AT002。

KBE10 和 KBE50 的额定流量各为 30t/h，工作压力为 15.7MPa，工作温度 55°。

## 2.2.3 一回路冷却剂贮存系统 (KBB)

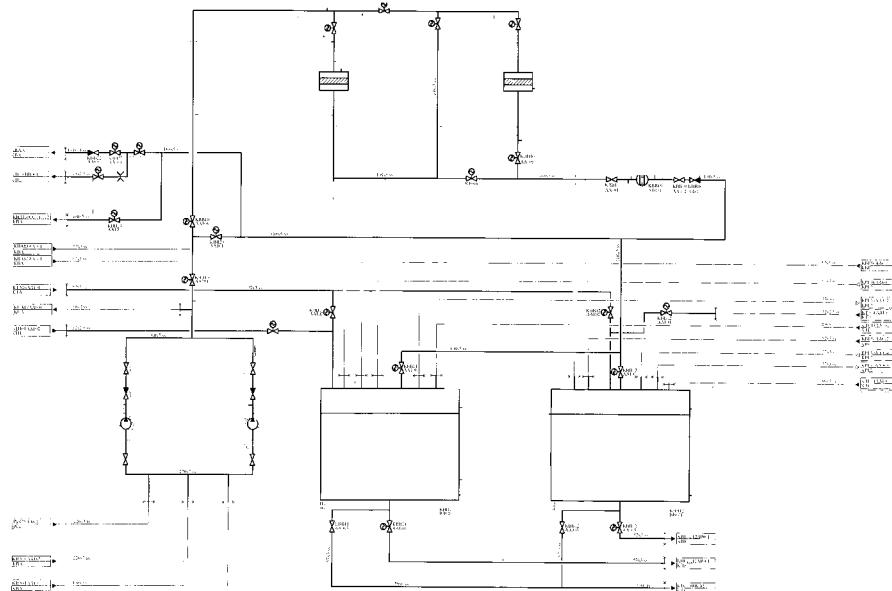
### 2.2.3.1 一回路冷却剂贮存系统 (KBB) 的主要功能是什么？

- 答案：
- 1) 在正常运行工况下，包括启动和停堆工况，以及预期运行事件工况接收和贮存一回路系统的冷却剂；
  - 2) 一回路首次充水；
  - 3) 接收和贮存来自含硼疏水收集系统 (KTC) 的疏水；

- 4) 在燃料循环寿期末从冷却剂中除去硼酸；
- 5) 除碱性金属离子。

### 2.2.3.2 根据一回路冷却剂贮存系统 (KBB) 的流程简图简述 KBB 系统的流程。

答案：



在电厂正常运行的过程中，冷却剂从一回路被排出，目的是改变冷却剂中的硼浓度，或者补偿冷却剂的容积。

冷却剂由冷却剂输出泵从容积和硼酸控制系统的除气器中排出。这些泵根据容积和硼酸控制系统的除气器的冷却剂的高液位自动地接通。冷却剂的输出流量借助于安装在泵的出口总管上的调节阀来调节。冷却剂沿着离子交换器的旁路排到冷却剂贮槽。

在停堆和冷却时，冷却剂可以从下泄管线经过容积和硼酸控制系统的除气器的旁路和冷却剂输出泵或者从反应堆设备的疏水系统(KTA)直接排到贮槽。

在燃料循环寿期末，在阴离子交换器 KBB10AT002 内从一回路的冷却剂中进行除硼。在这种工况下，用冷却剂输出泵将冷却剂送到离子交换器 KBB10AT001，KBB10AT002 并返回到容积和硼酸控制系统一回路除气器入口管线。

为了通过容积和硼酸控制系统泵的出口母管给一回路首次充水，在流程中连接硼水贮存系统(JNK)的硼溶液事故贮槽和一回路冷却剂贮存系统泵的吸入管的管线。

一回路冷却剂贮存系统泵同样地保证容积和硼酸控制系统的除气器的充水。

### 2.2.3.3 一回路冷却剂贮存系统 (KBB) 包括哪些主要设备？简述其运行参数。

答案： 1) 冷却剂输出泵 KBB11AP001，KBB12AP001；

|      |         |    |
|------|---------|----|
| 额定流量 | $m^3/h$ | 65 |
| 扬程   | $mH_2O$ | 90 |
| 工作温度 |         | 55 |

2) 冷却剂贮槽 KBB11BB001，KBB12BB001

|      |       |     |
|------|-------|-----|
| 容 积  | $m^3$ | 390 |
| 工作温度 |       | 55  |

|      |     |        |
|------|-----|--------|
| 工作压力 | MPa | 0.0025 |
|------|-----|--------|

3) 离子交换器 KBB10AT001 , KBB10AT002 ;

工作压力 : 1.25MPa

工作温度 : 55

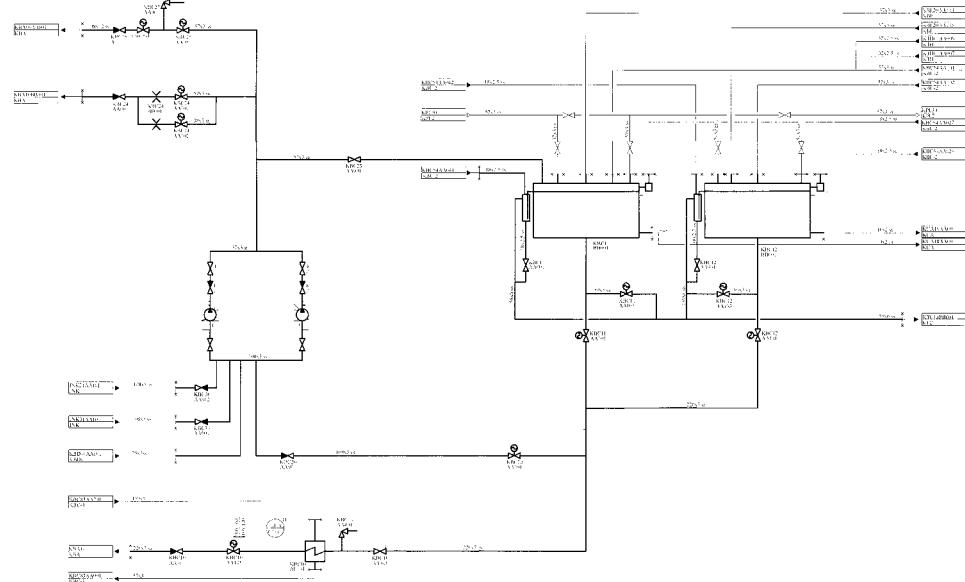
## 2.2.4 纯凝结水供应系统 (KBC1)

### 2.2.4.1 纯凝结水供应系统 (KBC1) 的主要功能是什么 ?

答案 : 主要功能如下 :

- 1) 贮存纯凝结水 ;
- 2) 向反应堆冷却剂系统 (JE) 供给纯凝结水 ;
- 3) 用取自 JNK 系统的浓度为  $16 \text{ gH}_3\text{BO}_3 / \text{kgH}_2\text{O}$  的硼酸溶液补充 JNG2 系统的蓄压箱 ;
- 4) 向 KBA 的除气器提供纯凝结水。

### 2.2.4.2 根据纯凝结水供应系统 (KBC1) 流程简图说明其流程。



答案 : 在机组启动工况下 , 纯凝结水从贮存箱 KBC11 ( 12 ) BB001 排出并通过加热器向 KBA 泵的入口总管注水。

使用纯凝结水泵从硼水贮存箱内抽取硼水充满蓄压箱。

在反应堆正常运行工况下 , 将取自 KBC11 ( 12 ) BB001 水箱的纯凝结水通过纯凝结水泵注入 KBA 系统的除气器以补偿一回路冷却剂的不可控泄漏。

在机组冷却的工况下 , 应使用纯凝结水泵将取自 JNK 水箱的硼酸溶液注入除气器以补偿一回路冷却剂容积的收缩量。

纯凝结水贮存箱的补给由 KBF 系统 , KTH 或 KBC2 系统保证。

### 2.2.4.3 列出除盐水供应系统 (KBC2) 供应的除盐水水质指标

答案：

| 指标名称                            | 数值         |
|---------------------------------|------------|
| pH 值                            | 5.6 ~ 10.0 |
| 氟离子和氯离子总浓度不超过 mg/m <sup>3</sup> | 0.05       |
| 硅酸浓度不超过 mg/m <sup>3</sup>       | 0.5        |
| 全部有机碳的浓度不超过 mg/m <sup>3</sup>   | 0.2        |
| 透明度 %                           | 95         |
| 电导率 uS/cm                       | 1.5        |

### 2.2.5 一回路冷却剂处理系统 (KBF)

#### 2.2.5.1 一回路冷却剂处理系统 (KBF) 的主要功能是什么？

答案：主要功能为：

- 1) 在核电厂不同的运行工况下对一回路排出的含硼水进行处理；
- 2) 对 KTC 系统的含硼水进行处理；
- 3) 浓硼酸的配制和净化以及浓硼酸贮存箱 JNK10、40BB002 的充水；
- 4) 对来自浓硼酸贮存箱 JNK10、40BB002 的浓硼酸进行净化；
- 5) 为 JMN 系统的化学药剂箱配制溶液。

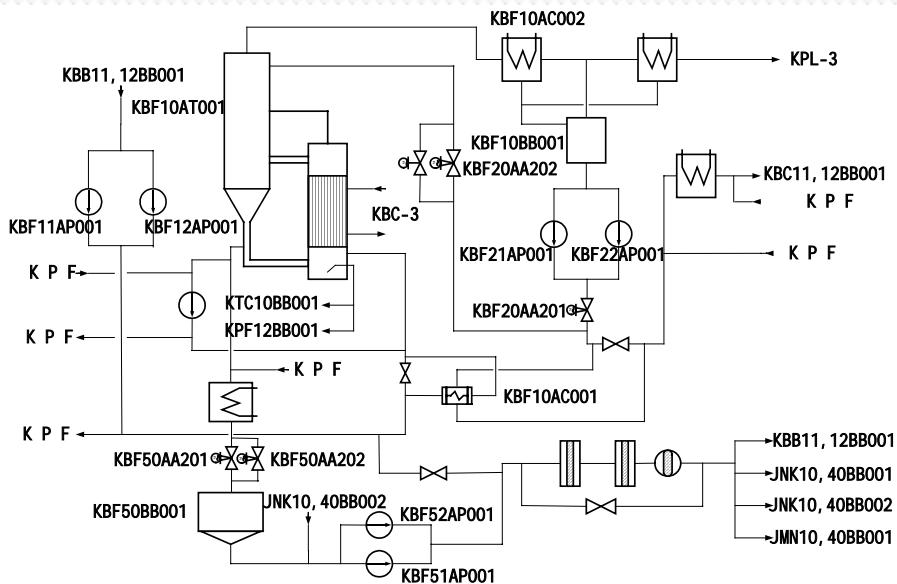
#### 2.2.5.2 根据一回路冷却剂处理系统 (KBF) 的流程简图简述该系统的运行。

答案：来自冷却剂贮存罐 KBB11、12BB001 的含硼水由泵 KBF11、12AP001 供应到蒸发器 KBF10AT001。在进入蒸发器之前，含硼水在再生加热器 KBF10AC001 中被加热。在蒸发器中硼酸被浓缩至 40g / l 或 16g / l。二次蒸汽在凝汽器 KBF10AC002 中冷凝并自流进入 KBF10BB001。凝结水箱凝结水由泵 KBF21、22AP001 通过冷却器 KBF20AC001 供应到补给水贮罐 KBC11、12BB001。如果需要的话，可以通过液体废物处理系统 KPF 的离子交换器和检测槽将凝结水排放到环境中。来自凝汽器 KBF10AC002 以及 KBF10BB001 的未凝结蒸汽和气体杂质运送到排气回流凝汽器 KBF10AC003，其中的气体排至 KPL-3 系统净化，而蒸汽凝结水被排放到凝结水箱。

蒸发后的硼浓缩液经冷却器 KBF50AC001 被送到浓缩液收集箱 KBF50BB001，并通过泵 KBF51、52AP001 从此处输送到离子交换器组 KBF50AT001、002 进行净化。经过净化硼浓缩液被输送到贮存罐 JNK10、40BB001 或 JNK10、40BB002。在浓缩液收集箱 KBF50BB001 可接收新的硼浓缩液作为电站系统的首次充水和硼酸损失的补给，在此也可给安全壳喷淋系统的化学药剂箱配制所需溶液。

KBB11、12BB001 中的含硼水也可由 KBF11、12AP001 直接输送至离子交换器组加以净化（不经过蒸馏）。

此外，还设有对 JNK10、40BB002 罐中浓硼酸溶液进行再处理的措施。KPF 系统的液体废物处理装置可作为 KBF 蒸发器的备用。



## 2.2.6 蒸汽发生器排污系统 (LCQ1)

### 2.2.6.1 蒸汽发生器排污系统 (LCQ1) 的主要功能是什么？

答案：蒸汽发生器排污系统 (LCQ1) 用来完成以下功能：

- 1) 对蒸汽发生器中排出污水、进行净化，以确保二回路有关腐蚀产物和可溶性杂质的含量在其水化学指标内。
- 2) 在反应堆停闭工况下和二回路压力为 0.1 MPa 时，进行蒸汽发生器排空。

### 2.2.6.2 简述蒸汽发生器排污系统 (LCQ1) 的运行。

答案：在核电厂正常运行工况下，蒸汽发生器的连续排污始终从所有四台蒸汽发生器（从冷端的“盐”室）以每台 15t/h 的流量进行。

在定期排污模式下，通过蒸汽发生器壳体上的定期排污接管和集流管“室”的接管，一台蒸汽发生器以  $30\text{m}^3/\text{h}$  流量的定期排污与所有的四台蒸汽发生器的连续排污同时进行。在连续排污模式下的排污水流最大为  $90\text{m}^3/\text{h}$ 。

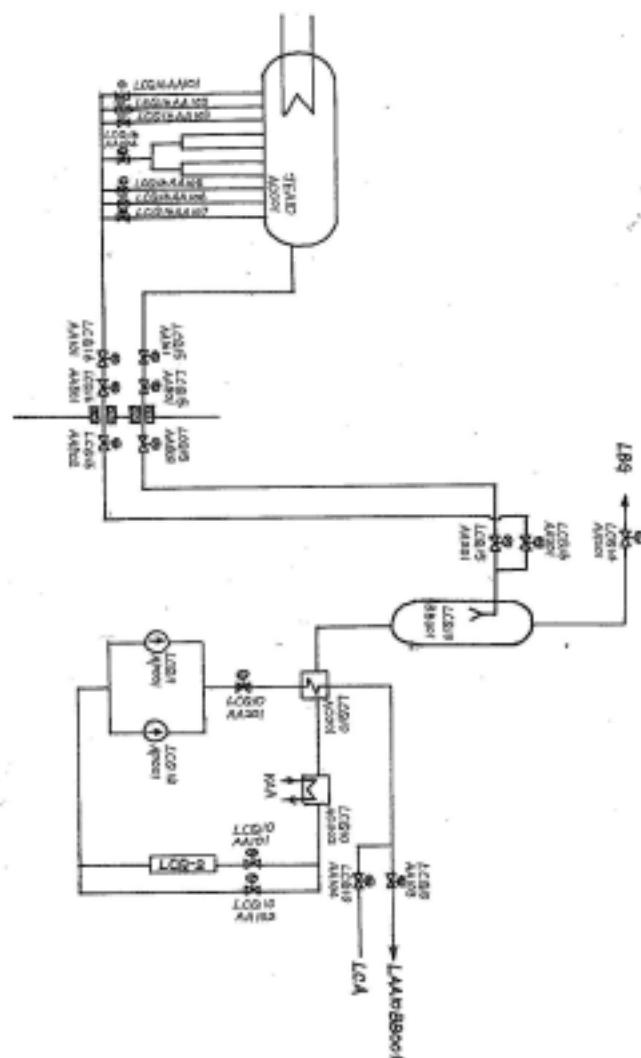
排污扩容器之后的排污水先在排污再生冷却器和排污再冷却器中被冷却到 55 的温度后再进入蒸汽发生器排污水净化系统的过滤器。

为确保排污热被回收到核电厂热力循环中去，在净化系统之后排污水被泵入排污再生冷却器，在那里被排污水的热量所加热并被送回二回路的除氧器中。

蒸汽发生器的排空在反应堆停运后且蒸汽发生器中的水温降到 80 时进行。此时水从蒸汽发生器送至 LCM 系统或 LDL 系统水箱，必要时可由 KPF 系统进行净化处理。

2.2.6.3 画出蒸汽发生器排污系统 (LCQ1) 的流程简图。

答案：



### 2.2.7 蒸汽发生器排污水净化系统 (LCQ2)

#### 2.2.7.1 蒸汽发生器排污水净化系统 (LCQ2) 包括哪些主要设备及其运行参数 ?

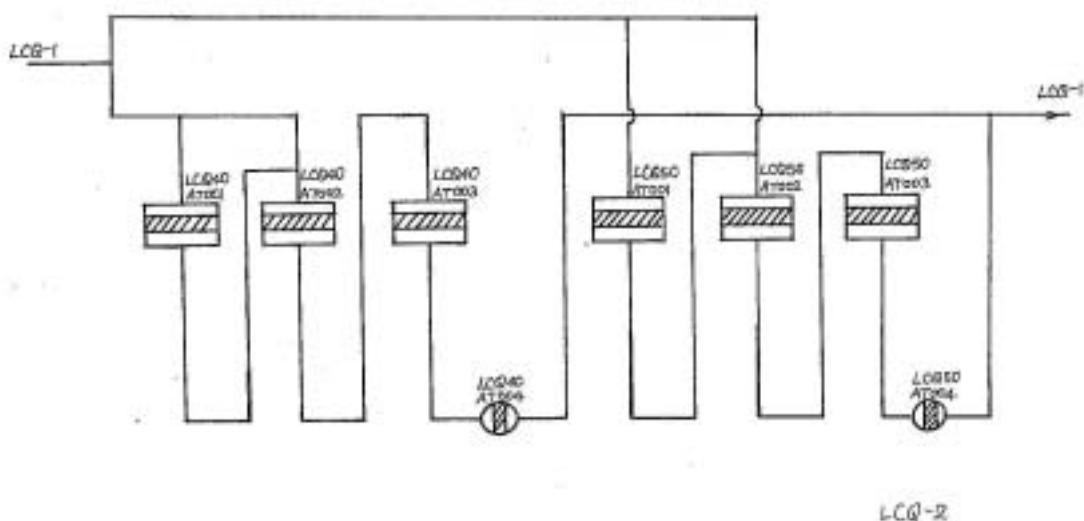
答案 : 本系统由两组相同的并联的设备组构成 , 每组包括 :

- 机械过滤器 LCQ40AT001、LCQ50AT001 ;
- H<sup>+</sup>阳离子交换器 LCQ40AT002、LCQ50AT002 ;
- OH<sup>-</sup>阴离子交换器 LCQ40AT003、LCQ50AT003 ;
- 树脂捕集器 LCQ40AT004 , LCQ50AT004。

蒸汽发生器排污水净化系统的净化能力在考虑了排污扩容器的扩容蒸汽后为 65.2m<sup>3</sup>/h , 蒸汽发生器排污水经排污冷却器后以 50 °C 的温度进入机械过滤器。

#### 2.2.7.2 画出蒸汽发生器排污水净化系统 (LCQ2) 的流程简图。

答案 :



### 2.2.8 燃料水池冷却系统 (FAK)

#### 2.2.8.1 燃料水池冷却系统 (FAK) 的主要功能及辅助功能是什么 ?

答案 : 主要功能为 :

- 1) 导出存放在燃料水池内的乏燃料组件的余热 ;
- 2) 换料时 , 在反应堆竖井、燃料水池及换料检查井的燃料组件和乏燃料上面形成辐射防护层。

辅助功能为 :

- 1) 乏燃料水池冷却系统(FAK)管道通过喷淋系统(JMN)和余热排出系统(JNA)管道排出乏燃料的余热 ;
- 2) FAK 系统及其管道用于在换料期间向反应堆竖井充硼酸溶液 ;
- 3) FAK 系统的管道在换料期间用来排空反应堆竖井 , 堆内构件检查井 , 水闸间的空腔 ;
- 4) FAK 系统管道在维修乏燃料水池和换料井衬层时用来排空乏燃料水池和换料腔 ;
- 5) FAK 系统的管道用于在换料期间由喷淋系统 (JMN) 注硼水到堆内构件检查竖井。

**2.2.8.2 简述燃料水池冷却系统 ( FAK ) 的流程。**

答案： 系统的主要流程是：

反应堆装置带功率运行时 FAK 系统的一个系列运行。

每个系列通过一条吸入总管从燃料水池吸水。当正常运行时，这个集流管布置在标高 +33m，而当水位降低时在标高+25.30m。水在热交换器 FAK10 ( 40 ) AC001 中被冷却到 36 ~ 40 °C，通过总管并返回到燃料水池，总管大约安装在燃料组件最下端的标高处，标高为+18.0m。当燃料水池的水质变化时，可把水送到 FAL 系统进行净化。同时，在因燃料水池严密性破坏而导致发生渗漏的情况下，用 FAL 系统进行补水，补水流量最大为  $40\text{m}^3/\text{h}$ 。

在 FAK 系统的一个系列发生故障时，操作人员可以转用 FAK 系统的另一系列或者用 JMN 系统的 20(30)系列中的一个对燃料水池进行冷却。

燃料水池冷却系统还包括排水管线，该管线接自燃料水池溢流口、反应堆竖井和燃料水池的两个挡板之间的空间，并将水排到硼水贮存箱。

**2.2.8.3 有哪些原因可能造成燃料水池冷却能力丧失？**

- 答案：
- 1) KAA 系统故障造成冷却水丧失；
  - 2) 泵或热交换器故障；
  - 3) 供电电源丧失；
  - 4) 相应的 FAK 管道破损。

**2.2.8.4 燃料水池冷却系统 ( FAK ) 的冷却能力为多少？依据是什么？**

答案： 燃料水池冷却系统(FAK)必须保证从燃料水池中导出最大 5 MW 的热量。

燃料水池冷却系统的参数选择应保证每个系列在正常工况下能够导出下述燃料数产生的热量：

- 1) 在 3 昼夜期间冷却 55 个组件；
- 2) 在 1 年期间冷却 55 个组件；
- 3) 在 2 年期间冷却 55 个组件；
- 4) 在 3 年期间冷却 55 个组件；
- 5) 共计 5MW。

燃料组件在水池中存放超过 3 年之后，由于释放的余热很小，不予考虑。

当燃料组件装满整个燃料水池时释放出总的余热共计 17MW。在这种情况下，FAK 系统的一个冷却系列和作为支持系统的安全壳喷淋系统 JMN20 ( 30 ) 的一个系列同时运行。

每个系列的流量为  $360 \text{ m}^3/\text{h}$ ，完成 100%的功能。

**2.2.9 燃料水池和硼水贮存箱净化系统 (FAL)****2.2.9.1 燃料水池和硼水贮存箱净化系统 (FAL) 的主要功能是什么？**

答案：燃料池和硼水贮存箱水净化系统的主要功能：

- 净化燃料池冷却系统(FAK)，除去所含的杂质，以降低它的放射性并确保透明度；
- 净化硼水贮存系统(JNK)，除去所含的杂质。

**2.2.10 反应堆冷却剂泄漏收集系统 (JET)****2.2.10.1 反应堆冷却剂泄漏收集系统 (JET) 的主要功能是什么？**

答案：反应堆冷却剂泄漏收集系统主要用于：

- 1) 收集和组织下列泄漏流到反应堆厂房设备疏水系统(KTA)并将其返回到反应堆冷却剂系统(在正常运行工况和预期运行事件下)
  - 反应堆厂房设备法兰连接处的泄漏；
  - 阀门密封处的泄漏；
  - JND、JNG、JNA、JDH 系统阀杆处的泄漏。
- 2) 泄漏源的检测。
- 3) 泄漏量估算。

**2.2.10.2 反应堆冷却剂泄漏收集系统 (JET) 收集哪些部位的泄漏冷却剂？**

答案：

- 1) 到达 JET10，DN25 母管的泄漏来自：
  - 一回路蒸汽发生器的密封；
  - 反应堆冷却剂泵密封；
  - 阀门 JEF03AA101(102)、JEF04AA101(102)和 JEF05AA101(201)的密封；
- 2) 到达 JET20，DN50 的母管的泄漏来自：
  - 应急堆芯冷却系统蓄压箱密封；
  - 应急堆芯冷却系统蓄压箱阀门 DN300 管线的密封；
  - 应急堆芯冷却系统蓄压箱管状电加热器的密封；
  - 应急堆芯冷却系统蓄压箱两个快速隔离阀之间的管段；
  - 应急堆芯冷却系统蓄压箱两个逆止阀之间的管段；
  - 稳压器管状电加热器密封；
  - 压力容器主结合面的密封；
  - 稳压器密封；

- 3) 到达 JET40 , DN25 的母管的来自一回路冷却剂净化系统的泄漏
- 来自 KBE 系统离子交换器密封 ;
  - KBE、KBC2 和 KPK 系统高低压边界管段 ;
- 4) 到达 JET50 , DN25 的母管的泄漏来自 :
- JNG-1 系统安全壳隔离阀之前的管段 ;
  - JNA 系统安全壳外侧安全壳隔离阀之后的管段 ;
  - JND 系统安全壳隔离阀之前的管段 ;
  - JDH 系统安全壳隔离阀之前的管段

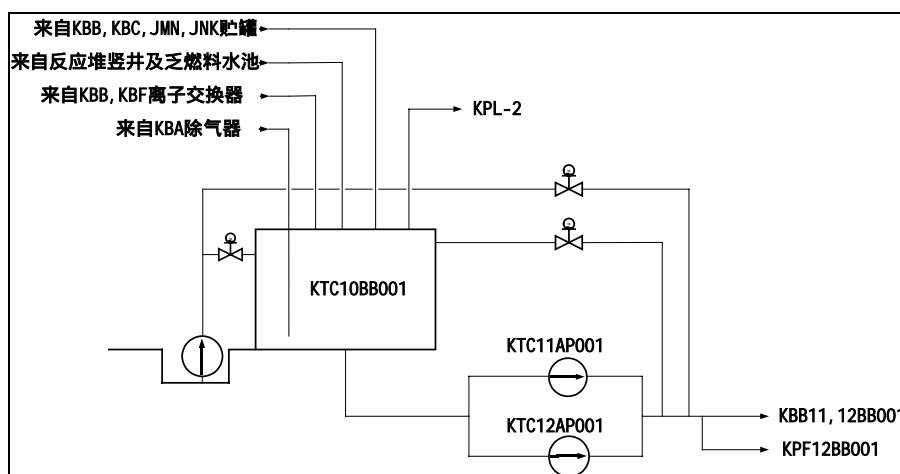
### 2.2.11 含硼疏水收集系统 ( KTC )

#### 2.2.11.1 含硼疏水收集系统 ( KTC ) 的主要功能是什么 ?

答案 : 含硼疏水收集系统 ( KTC ) 用于有序地收集含硼疏水 , 并返回到核电站的循环中。

#### 2.2.11.2 画出含硼疏水收集系统 ( KTC ) 的原理框图。

答案 :



#### 2.2.11.3 含硼疏水收集系统 ( KTC ) 用于接收从哪些系统 ( 设备 ) 来的放射性含硼疏水 ?

答案 :

- 1) 反应堆厂房含硼放射性水排水系统 ( KTF60 ) ;
- 2) 安全厂房含硼放射性水排水系统 ( KTL30 ) ;
- 3) 核辅助厂房含硼放射性水排水系统 ( KTH60 ) ;
- 4) 补给水系统水箱 KBC11,12BB001 ;
- 5) 乏燃料水池冷却系统 ( FAK ) ;
- 6) 安全壳喷淋系统水箱 JMN10,40BB001 ;

- 7) 含硼水贮存系统水箱(JNK)；
- 8) 冷却剂贮存系统水箱KBB11,12BB001；
- 9) 化容系统给水除气器KBA10BB001；
- 10) 取样系统 KUA, KUL；
- 11) 反应堆冷却剂处理系统(KBF)；
- 12) 燃料水池及含硼水贮存水净化系统 (FAL)。

### 2.2.12 一回路冷却剂化学特性自动监测系统 (KUB/KUL)

#### 2.2.12.1 简述一回路冷却剂化学特性自动监测系统 (KUB/KUL) 的主要功能。

答案：一回路冷却剂化学特性自动监测系统(KUB、KUL)是用于自动的运行监测一回路水化学指标。本系统为保证一回路水化学运行监测创造了条件，目的在于提高核电厂的安全性和可靠性。

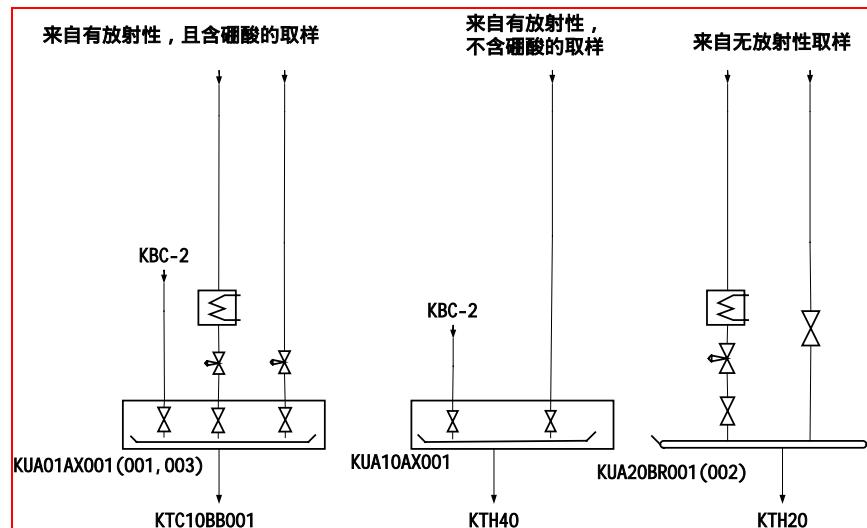
### 2.2.13 特种下水处理装置和反应堆装置辅助系统取样系统 (KUA)

#### 2.2.13.1 特种下水处理装置和反应堆装置辅助系统取样系统 (KUA) 的主要功能是什么？

答案：特种下水净化装置和反应堆装置辅助系统的取样系统(KUA)用于一回路冷却剂的质量指标和核电厂辅助系统水质进行定期人工取样以便进行实验室分析。

#### 2.2.13.2 画出特种下水处理装置和反应堆装置辅助系统取样系统 (KUA) 的流程图。

答案：



**2.2.13.3 列举特种下水处理装置和反应堆装置辅助系统取样系统 (KUA) 三种取样类型 ?**

答案 : 有放射性 , 且含硼的取样 ;  
 有放射性 , 不含硼的取样 ;  
 无放射性的取样。

**2.2.14 维持一回路冷却剂化学性质的化学药剂制备和供应系统 (KBD1)****2.2.14.1 维持一回路冷却剂化学性质的化学药剂制备和供应系统 (KBD1) 的主要功能是什么 ?**

答案 : KBD1 用于维持一回路标准水化学工况。KBD1 系统功能是 :

- 1) 接收、配制和暂存指定运行浓度的化学药剂 ;
- 2) 向一回路提供化学药剂以确保一回路冷却剂化学性质的标准指标。

**2.2.14.2 维持一回路冷却剂化学性质的化学药剂制备和供应系统 (KBD1) 的主要设备有哪些 ?**

答案 : 本系统包括 :

- 1) 2 台氨溶液间歇性贮罐 KBD30BB001 , KBD30BB002 ;
- 2) 2 台联氨溶液的间歇性贮罐 KBD40BB001 , KBD40BB002 ;
- 3) 2 台用于配制氢氧化钾溶液的带搅拌器的配制槽 KBD50AM001 , KBD50AM002 ;
- 4) 2 台用于定量输送氨溶液的溶液计量泵 KBD31AP001 , KBD32AP001 ;
- 5) 2 台用于定量输送联氨溶液的溶液计量泵 KBD41AP001 , KBD42AP001 ;
- 6) 2 台用于定量输送氢氧化钾溶液的溶液计量泵 KBD51AP001 , KBD52AP001。

**2.2.14.3 简述 KBD1 系统是如何运行的 ?**

答案 : 氨溶液是由泵 KBD31AP001 ( KBD32AP001 ) 连续的从贮罐 KBD30BB001(KBD30BB002) 输送到 KBA 上充泵的吸入母管以补充由于一回路可控泄漏而引起的氨损失。

从 KBC 水箱供应未经除气的凝结水或从 JMN 水箱供应硼酸溶液到一回路时 , 为抑制一回路冷却剂中的氧 , 由泵 KBD41AP001 或 KBD42AP001 定期将联胺溶液从贮罐 KBD40BB001 ( KBD40BB002 ) 输送到 KBA 泵的吸入母管。

联胺溶液在蓄压箱首次充水时通过泵 KBD41AP001 从贮罐 KBD40BB001(KBD40BB002) 输送到泵 KBC21、22AP001 的吸入母管 , 在蓄压箱补水时输送到泵 KBA90AP001 的吸入管。

在 JMN 系统化学药剂箱首次充水时 , 将 10% 氢氧化钾加 1% 联胺的溶液供应到硼浓缩液贮槽 KBF50AM001 用于喷淋装置碱溶液的配制。

氢氧化钾溶液在功率运行时通过泵 KBD51AP001(KBD52AP001) 从配制槽 KBD50AM001(KBD50AM002) 输送到 KBA 上充泵的吸入管以维持一回路水的额定 pH 值。

## 2.2.15 高压氮气系统 ( KRJ )

### 2.2.15.1 高压氮气系统 ( KRJ ) 的主要功能是什么 ?

- 答案 : 1) 为中压安注箱 (JNG50,60,70,80BB001) 提供约  $400\text{Nm}^3/\text{h}$  、压力为  $5.9\text{MPa}$  的氮气 ;  
2) 为稳压器 (JEF10BB001) 提供约  $250\text{Nm}^3/\text{h}$  、压力为  $1.96\text{MPa}$  的氮气。

### 2.2.15.2 高压氮气系统 ( KRJ ) 运行时注意哪些问题 ?

- 答案 : 1) 在正常运行条件受到干扰时 , KRJ 系统不运行 ;  
2) 在设计基准事故时 , KRJ 系统不运行 ;  
3) KRJ 系统的运行模式属于定期的 , 由 JNG , JEF 用户的运行模式来决定。

## 2.2.16 低压氮气系统 ( KRK )

### 2.2.16.1 低压氮气系统 ( KRK ) 的主要功能是什么 ?

- 答案 : 在正常运行时 , 低压氮气 KRK 系统向反应堆厂房及辅助厂房供应  $0.98\text{MPa}$  约  $60\text{Nm}^3/\text{h}$  氮气。

### 2.2.16.2 低压氮气系统 ( KRK ) 向哪些系统或设备供氮 ?

答案 : 在安全壳内用户 :

- 电离小室定期检修时的氮气量  $25\text{Nm}^3/\text{h}$  ;
- 供给卸压箱 JEG10BB001 约  $2\text{Nm}^3/\text{h}$  , 用以降低稳压器的安全阀可能泄漏或爆裂时释放氢气的浓度 ;
- 在反应堆停堆时将氮气供给 KTB10 总管 , 以吹扫 4 个蒸汽发生器一回路集流管中和压力容器盖下面的氢气。

在核辅助厂房主要用户 :

- 氮气以  $3\text{Nm}^3/\text{h}$  供化容系统 KBA10BB001 ;
- 氮气供给放射性气体处理系统 KPL2 ;
- 氢气浓度高时 , 由于保护信号切断燃氢系统 KPL1 , 定期对系统进行吹扫 ;

在汽轮机厂房主要用户 :

- 供给发电机 1MKA10 使氢气排出。

**2.2.17 其它系统 ( KBC2/KBC3/KLA/LCU )****2.2.17.1 简述除盐水供应系统 ( KBC2 ) 的功能及其运行。**

答案：除盐水供应系统向一回路辅助系统，特种水净化系统，化水净化系统的用户供应压力为0.7MPa的除盐水。

来自LCU系统水箱的除盐水通过两条供水管线(LCU22或LCU33)供给至KBC-2系统，上述两条管线在汇集成一条供水母管后，将除盐水送至位于不同厂房的用户。在向安全壳内用户供水的支线上，设有电动安全壳隔离阀(KBC50AA801/802)。系统自动向核岛设备冷却水系统KAA及柴油发电机设备冷却水系统PJK的呼吸箱补给除盐水，其余用户由运行人员手动供水。供给各用户的除盐水参数为： $P=0.7\text{Mpa}$ ,  $T=30^\circ\text{C}$ 。

**2.2.17.2 叙述辅助厂房蒸汽供应系统(KBC3)的功能。**

答案：KBC-3将由汽机厂房厂用汽系统提供的加热蒸汽分配给一回路系统及特种水净化系统的各个用户，并将加热蒸汽的凝结水回收，输送至汽机厂房疏水及凝结水收集系统(LCM)或排放至辅助厂房特种下水系统集水器。

**2.2.17.3 简述辅助厂房蒸汽供应系统(KBC3)的运行。**

答案：从汽机厂房送出的厂用蒸汽(0.35~0.80MPa)由LBG30管线引入核岛，再由供汽支线供给各用户。在向每一用户供汽的管线上，设有调节阀，维持供给相应用户的蒸汽压力。

供给蒸馏装置(KPF,KBF)以及纯凝结水加热器(KBC10AC001)的加热蒸汽，其凝结水流经相应的凝结水收集箱(KBC83/84/86BB001)，其他用户的加热蒸汽凝结水则由各自的集液器收集。

一回路系统各用户的加热蒸汽凝结水在收集之后，再由凝结水冷却器(KBC80AC001)冷却。特种水净化系统各用户的加热蒸汽凝结水则在凝结水冷却器KBC80AC002或KBC80AC003中冷却。在一回路硼调节工况下，一回路系统加热蒸汽用户(除氧器，纯凝结水加热器)的用汽量较大，这时可将KBC80AC002或KBC80AC003也用于冷却其凝结水。

KBC80AC001/002/003使用的冷却液为KAA系统冷却水。凝结水在被冷却至 $70^\circ\text{C}$ 后，排入LCM10BB001。在凝结水回收管线上上有放射性剂量监测仪，当凝结水的放射性升高时，将其转为直接排往KTH集水器(KTH40BB272)。

**2.2.17.4 列举控制区通风装置 ( KL ) 的各子系统。**

答案：系统：

- KLA 反应堆厂房内隔间通风单元
- KLC 安全壳环形空间负压系统
- KLD 安全壳通风及过滤系统
- KLE 主通风系统
- KLF 固体放射性废物贮存库通风系统
- KLG 安全厂房通风系统
- KLT 核服务厂房通风系统

**2.2.17.5 列举 KLA 的各子系统及其功能。**

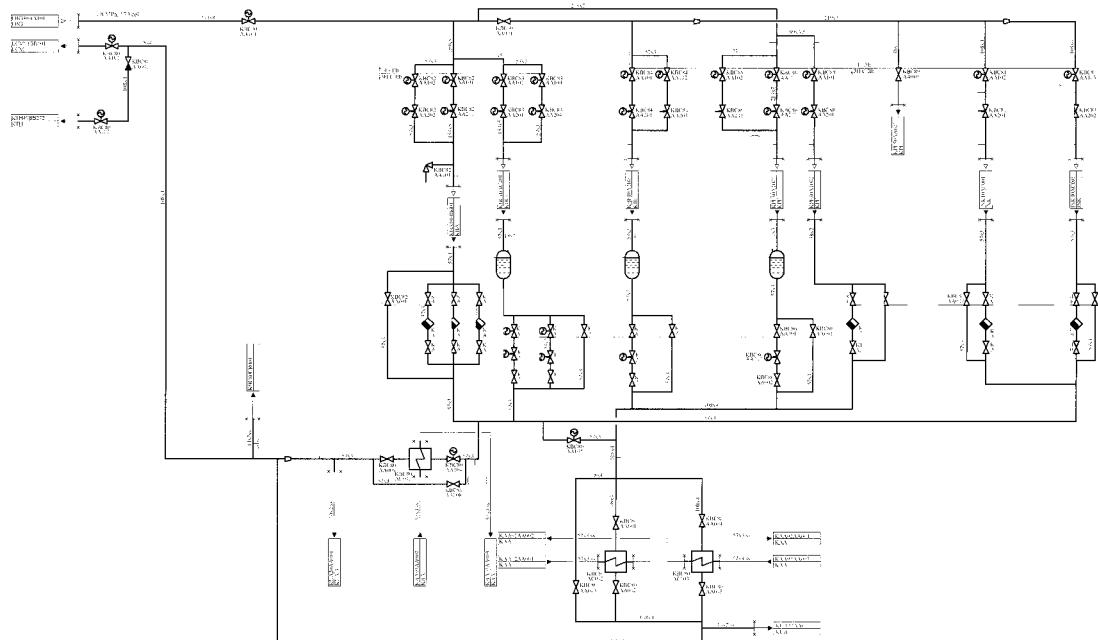
答案：系统功能：

- KLA10 反应堆竖井循环冷却系统；KLA10与KLA20一起起冷却反应堆竖井、生物屏蔽层、热屏蔽层、干保护层及底盘的作用。

- KLA20 蒸汽发生器隔间循环冷却系统； KLA20 系统导出聚集在蒸汽发生器隔间内的热量与湿气，维持隔间内的温度。同时它与 KLA10 一起起反应堆竖井循环冷却的作用。
- KLA30 控制棒驱动机构循环冷却系统； KLA30 以闭式空气强迫循环的方式冷却控制棒驱动机构。
- KLA40/60 安全壳空气循环系统； KLA40 在安全壳密封性及强度试验时，平衡安全壳内的空气温度。KLA60 起维持反应堆大厅空气温度的作用。
- KLA50 冷却剂泵电机间循环冷却系统； KLA50 冷却冷却剂泵电机间的空气，维持其温度条件。

#### 2.2.17.6 画出辅助厂房蒸汽功能供应系统(KBC3)流程简图。

答案：



#### 2.2.17.7 补给水系统 (LCU) 的功能是什么？

答案：系统功能：

- 在正常运行工况下为机组提供补给水；
- 在机组启动前冲灌一、二回路；
- 为重要设备冷却水系统和非重要设备冷却水系统提供补给水；
- 通过系统 KBC-2 为一回路辅助系统和机组特种水净化系统提供补给水；
- 冲洗主凝结水净化系统和其它用户的过滤器；
- 为蒸汽发生器的辅助给水泵提供冷却水；
- 向蒸汽发生器应急给水系统供水；
- 当应急给水系统出现故障时，本系统可向除氧器紧急供水，借助辅助给水泵向蒸汽发生器供水；
- 为机组柴油机提供补给水。

## 2.3 安全系统

### 2.3.1 安注系统

#### 2.3.1.1 田湾核电厂安全系统包括哪些子系统？

答案：安注系统 (JND、JNG1、JNG2)，

应急硼注入系统 (JDH)，

安全壳喷淋系统 (JMN) 及余热排出系统 (JNA)，

蒸汽发生器应急给水系统 (LAR、LAS)，

安全壳消氢系统 (JMT)。

#### 2.3.1.2 简述安注系统在核安全方面的功能。

答案：1) 在一回路失水情况下，注入冷水，淹没堆芯，冷却燃料组件，确保堆芯的几何形状和完整性，尤其是要确保燃料包壳的损坏在设计范围内。

2) 补偿一回路流体损失，特别是当容积和硼控系统失效时，尽量保证一回路的水装量。

#### 2.3.1.3 安注系统怎样满足单一故障准则？

答案：安全注入系统中的高压安注、中压和低压安注分系统中都设置 4 个完全独立的系列，每个系列具有自己独立的工艺部分，控制系统和支持系统。系列实行实体隔离。每一个系列中的任何部件或与其有关的系统的能动，非能动故障或由于操纵员的错误，不会导致系统其他系列中的任何一个部件的故障。只要分系统中有一个系列在失水事故中投入运行就可满足其注水要求。

#### 2.3.1.4 安注信号出现后，应监视和检查的自动动作有哪些？

答案：1) 反应堆紧急停堆；

2) 应急柴油发电机组启动；

3) 安注系统启动；

4) 汽轮发电机组脱扣；

5) 给水流量控制系统被隔离。

#### 2.3.1.5 安注信号出现后，高压安注系统 (JND) 如何动作？

答案：当发生冷却剂丧失并超过正常补给系统补偿能力的事故时，系统水泵 JND10(20, 30, 40)AP001 根据信号“一回路的过冷度  $T_{S1} < 10$ ”或者“安全壳内的压力  $P > 0.129 \text{ MPa}$ ”自动投入沿再循环管线运行。在一回路压力小于 7.9MPa 时，再循环管线上的阀门关闭，泵开始从硼水贮存箱 JNK (10, 40) BB001 取水向一回路注入 16g/l 硼酸溶液。当含硼水箱 JNK10、40BB001 中的水位达到 0.5m 水位时，泵自动转到从地坑取水。

#### 2.3.1.6 安注信号出现后，JNG2 系统如何动作？

答案：发生一回路严重泄漏时，一回路系统压力急剧下降，当  $P < 5.9 \text{ MPa}$  时逆止阀自动打开，浓度为 16g/l 硼酸溶液从其中两个系列的蓄压箱中沿着直径是 300mm 的管道注入到堆芯上部，从另外两个系列的蓄压箱中沿着直径是 300mm 的管道注入到堆芯的下部，以达到冷却堆芯的目的。当蓄压箱中的水位降到 1200mm 时，安装在连接蓄压箱和反应堆的管道上的两个快速截止阀自动关闭以避免氮气进入堆芯，使传热恶化。

#### 2.3.1.7 安注信号出现后，JNG1 系统如何动作？

答案：在发生一回路失水事故时，泵根据一回路的过冷度  $T_{S1} < 10$  或者安全壳内的压力  $P > 0.129 \text{ MPa}$  自动启动，出口阀打开，沿再循环管线运行。在一回路压力小于  $2.5 \text{ MPa}$  时，再循环管线上的阀门关闭，泵开始向一回路注入硼酸溶液；其中 JNG10, 30 直接和第一、三个环路的冷段和热段相连。而 JNG20, 40 通过中压安注的管道注入反应堆中，其管道连接到中压安注的两个逆止阀之间。开始系统从硼酸存储箱取水，在水箱水位低于  $0.5 \text{ m}$  时，自动转入从地坑取水。

**2.3.1.8 安注系统有高压、中压、低压分系统，当主管道双端断裂时，首先对反应堆起淹没作用的是什么系统？然后是什么系统？在事故发生后多长时间开始起作用？**

答案：首先是中压安注系统，其次是高压、低压安注系统。中压安注作用的时间是事故发生后的 14 至 15 秒，高、低压安注作用的时间是事故发生后 31 秒左右。

**2.3.1.9 应急硼注入系统 (JDH) 的主要功能是什么？**

答案：

- 1) 在预期运行事件并伴随没有紧急停堆的预期瞬态(ATWS)的情况下向一回路注入高浓度( $40 \text{ gH}_3\text{BO}_3 / \text{kgH}_2\text{O}$ ) 的硼酸溶液，将反应堆装置快速转为次临界状态；
- 2) 在一回路冷却剂向二回路泄漏时向稳压器注入硼酸溶液；
- 3) 在其它措施失效的情况下将反应堆装置转为次临界状态并补偿一回路冷却剂的容积收缩，以保证安全停堆。

**2.3.1.10 为什么在一回路向二回路泄漏时启动 JDH 系统？**

答案：在该事故下安全壳隔离阀关闭，从 KBA 系统无法实现喷淋；因此启动 JDH 系统。

**2.3.1.11 应急硼注入系统 (JDH) 包括哪些主要设备及运行参数？**

答案：系统由 4 组设备相同且相互之间完全独立的系列 JDH 10(20, 30, 40)组成。

在每个系列中设有：泵 JDH 10 (20, 30, 40)AP001。

本系统向稳压器或一回路注入浓度为  $40 \text{ gH}_3\text{BO}_3 / \text{kgH}_2\text{O}$ 、温度为  $70$  的硼酸溶液，其流量在一回路压力为  $0.098$  至  $22.0 \text{ MPa}$  范围内的任何压力下每个系列为  $14.5 \text{ t/h}$ 。

**2.3.1.12 简述应急硼注入系统 (JDH) 的流程。**

答案：JDH 系统的 泵 JDH10、20AP001 从浓硼水箱（硼酸浓度  $40 \text{ gH}_3\text{BO}_3 / \text{kgH}_2\text{O}$ , 水温  $70$  ,容积  $150 \text{ m}^3$ ）JNK10BB002 取水，泵 JDH30、40AP001 从浓硼水箱 JNK40BB002 取水。在泵的出口设置了泵的试验管线，浓硼溶液返回到相应的取水箱。在泵和电动隔离阀之间设置了通往反应堆冷却剂泄漏收集系统 (JET) 的管线，其目的是检测阀门的密封性。浓硼通过管道被分别送到反应堆冷段和稳压器中。

**2.3.2 安全壳喷淋系统 (JMN) /余热排出系统 (JNA)**

**2.3.2.1 安全壳喷淋系统 (JMN) 的主要功能是什么？**

答案：安全壳喷淋系统(JMN)用于执行安全壳热量排除功能：

- 通过喷淋降低安全壳的压力，以维持安全壳的压力低于设计基准事故下的安全壳设计压力；
- 事故后降低安全壳内的温度；
- 去除安全壳大气中的裂变产物，降低空气中裂变产物的总量，以防止它们泄漏到环境中去；

**2.3.2.2 安全壳喷淋系统 (JMN) 主要由哪些设备组成 ?**

答案 : 喷淋系统由四个完全独立的系列组成。每个系列包括 :

- 1 台喷淋泵 JMN10(20 , 30 , 40)AP001 ;
- 1 台化学添加泵 JMN15(25 , 35 , 45)AP001 ;
- 1 台热交换器 JMN10(20 , 30 , 40)AC001 ;
- 带有喷头的喷淋环管 ;

加药箱 JMN10 , 40BB001 分别给 JMN10(20) 和 JMN30(40) 供给化学溶液。

**2.3.2.3 简述安全壳的结构及其承受的温度和压力 ?**

答案 : 厂房采用了双层安全壳 , 由内层预应力钢筋混凝土安全壳和外层钢筋混凝土安全壳组成 ; 外层安全壳包着内层安全壳。外层安全壳的功能主要是用来抵御外来的各种作用 ; 内层安全壳带有防泄漏的碳钢衬里 , 形状类似于外层安全壳 , 用于防止放射性物质扩散。两层间隙为 1.8m 。

空气温度 :

- 正常运行工况下 , 安全壳内温度不超过 +60 °C ;
- 冷却剂丧失事故时 , 可短时间承受 190 °C 。

造成压力负载 :

- 在冷却剂丧失事故时 , 设计的极限压力为 0.40MPa ;
- 设计的负压为 21 kPa 。

**2.3.2.4 余热排出系统 (JNA) 的主要功能是什么 ?**

答案 : 反应堆正常停堆、预期运行事件以及事故下规定的速率执行其指定的余热排除和反应堆冷却功能。

该系统主要用于在停堆冷却阶段 , 当一回路压力小于 2.0MPa 、温度小于 150 °C 时导出堆芯的热量。因为在此之前热量导出依靠二回路 , 而在一回路温度低于 150 °C 时 , 从二回路导出热量将很不有效 , 故只有依靠从一回路导出热量。

**2.3.2.5 余热排出系统 (JNA) 正常运行时包括哪些借用设备 ?**

- 答案 :
- 1) 借助 JNG1 的管道与一回路相连。
  - 2) 借助 JMN 系统的泵和热交换器实现余热排除。

**2.3.3 硼水储存系统 (JNK)****2.3.3.1 硼水储存系统 (JNK) 的主要设备包括哪些 ? 参数为多少 ?**

答案 : 2 个低浓度硼水贮存箱 JNK(10 , 40)BB001(16gH<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> / kgH<sub>2</sub>O) , 介质温度为 70 °C , 容积为 1200 m<sup>3</sup> 。

2 个高浓度硼水贮存箱 JNK(10 , 40)BB002(40gH<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> / kgH<sub>2</sub>O) , 介质温度为 70 °C , 容积为 150 m<sup>3</sup> 。

硼酸溶液贮存箱 JNK(10 , 40)BB001 的加热泵 JNK ( 10 , 40 ) AP001 。

硼酸溶液贮存箱 JNK(10 , 40)BB001 的热交换器 JNK ( 10 , 40 ) AC001 。

硼水贮存箱 JNK(10 , 40)BB002 的电加热器 JNK ( 10 , 40 ) AH001 、 002 。

### 2.3.3.2 简述硼水贮存系统 (JNK) 贮存的低浓度硼水和高浓度硼水的主要用户。

答案：系统所贮存的低浓度硼水用于下列：

- 1) 在失水事故时用于堆芯应急冷却；
- 2) 在失水事故或位于安全壳内的蒸汽管线破裂时用于安全壳喷淋；
- 3) 在机组停堆过程中的反应堆冷却期间用于向反应堆冷却剂系统提供补给水；
- 4) 机组启动时充水。

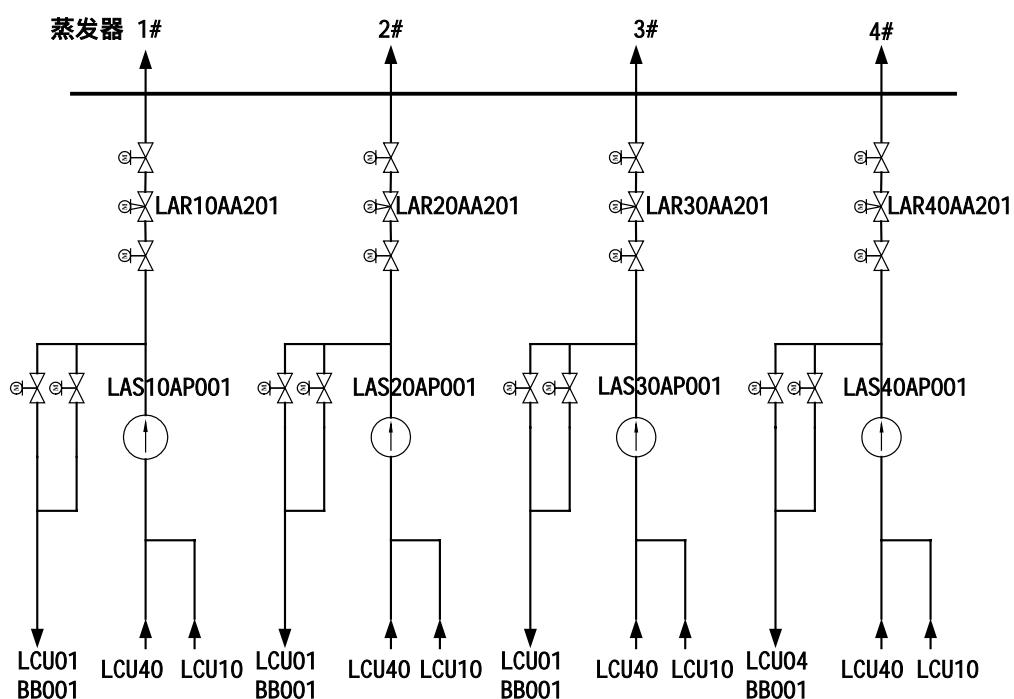
系统所贮存的高浓度硼水用于下列：

- 1) 在正常运行工况和发生预期运行事件期间控制一回路的硼浓度；
- 2) 在发生失水事故时向反应堆冷却剂系统注入硼水；
- 3) 在发生一回路向二回路泄漏事故时向稳压器注入硼水；
- 4) 在没有紧急停堆的预期瞬态 (ATWS) 期间向反应堆注入硼水。

### 2.3.4 蒸汽发生器应急给水系统 (LAR, LAS)

#### 2.3.4.1 画出蒸汽发生器应急给水系统 (LAR, LAS) 的流程简图。

答案：



**2.3.4.2 设计上对蒸汽发生器应急给水系统 ( LAR , LAS ) 的功能要求是什么 ?**

答案 : 1. 在应急给水的工况下 , 该系统应保证向 SG 提供一定流量的给水 , 该流量由 SG 中的压力决定 , 即

- $P_{SG}=8.48 \text{ MPa}$  时 , 流量  $F=105 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- $P_{SG}=6.86 \text{ MPa}$  时 , 流量  $F=145 \text{ m}^3/\text{h}$ ;
- $P_{SG}=6.27 \text{ MPa}$  时 , 流量  $F=160 \text{ m}^3/\text{h}$ ;

2. 在全厂断电时 , 该系统应保证在 120 s 向 SG 提供给水 ;
3. 该系统应保证在 SG 压力为  $8.6 \sim 0.1 \text{ MPa}$  的范围内都能实现向 SG 提供给水 ;
4. 在全厂断电时 , 该系统的一个通道和大气释放阀保证最大冷却速度为  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ;
5. 该系统应保证维持 SG 的液位给定值。

**2.3.5 核岛设备冷却水系统 ( KAA )****2.3.5.1 核岛设备冷却水系统 ( KAA ) 的主要功能是什么 ?**

答案 : 核岛设备冷却水系统用于向核岛设备、核岛系统的辅助系统以及在各种工况下保证核电厂向安全系统供给冷却水并导出热量 , 并在含有放射性物质的辅助系统与重要用户的工艺水系统之间提供一道屏障。

**2.3.5.2 简述核岛设备冷却水系统 ( KAA ) 的组成。**

答案 : 每个系列包括 :

- 2 台热交换器 KAA10(20, 30, 40)AC001, 002 ;
- 泵 KAA10 AP001, 002 ; KAA 20 AP001 ; KAA 30 AP001 ; KAA 40 AP001, 002 ;
- 波动箱 KAA10(20, 30, 40)BB001。

**2.3.5.3 如何监测一回路的水向核岛设备冷却水系统 ( KAA ) 的泄漏 ?**

答案 : 缓冲波动箱的液位增高 ;

核岛设备冷却水系统的放射性增加 ;

核岛设备冷却水系统热交换器的出口压力增加。

**2.3.5.4 一回路冷却剂可能会从哪些设备向核岛设备冷却水系统 ( KAA ) 泄漏 ?**

答案 : 从那些 KAA 侧水压力小于被冷却侧压力的热交换器中可能发生一回路的水向 KAA 的泄漏。例如 : 冷却剂泵独立回路热交换器 JEB10AC002 和一回路下泄后冷却器 KBA10AC002。

**2.3.5.5 核岛设备冷却水系统 ( KAA ) 的运行压力是如何设计的 , 为什么 ?**

答案 : 在核电厂正常运行的工况下 , 通常核岛设备冷却水系统水的压力比用户介质的压力要高 , 以避免核岛设备冷却水系统的水受到放射性物质的污染。

**2.3.5.6 在各种不同工况下 , 列出核岛设备冷却水系统 ( KAA ) 主要用户。**

答案： 正常运行工况下：

反应堆冷却剂泵的冷却；

稳压器的卸压箱；

有组织泄漏水的冷却器（KTA）；

一回路下泄水的冷却器（KBA10AC002）。

在设计的事故工况下，要求为下列系统提供冷却水：

- 喷淋热交换器(JMN)；
- 喷淋泵(JMN)；
- 高压和低压安全注入泵(JND, JNG)；
- ECCS 房间的空气冷却器；
- 燃料池冷却热交换器(FAK)。

#### 2.3.5.7 简述核岛设备冷却水系统（KAA）的工艺流程。

答案： 第 2, 3 系列的工艺流程比较简单，中间回路内的化学除盐水在泵的作用下在封闭回路内循环，冷却用户。在泵的入口安装了两台换热器，该换热器用海水冷却，并且能保证中间回路冷却水的温度在换热器出口不高于 33 度。

第 1, 4 系列要复杂一些，因为除了要给安全系统供水以外，还给正常运行系统的用户供水。在设计中考虑了用户所需的冷却水流量，所以两个系列用户的冷却水流量差不多。在正常运行时系列只有第 2 台泵在工作，也就是 KAA10,40AP002。当安全系统启动时，第一台泵才投入工作。在这两个系列之间设置了接管，当一个系列不能工作时，可以由另一个系列进行供给冷却水。设置了三通温度调节阀，可以根据用户多少自动保持泵的入口温度。而且设置了用户旁路，可以调节经过用户的给水流量。

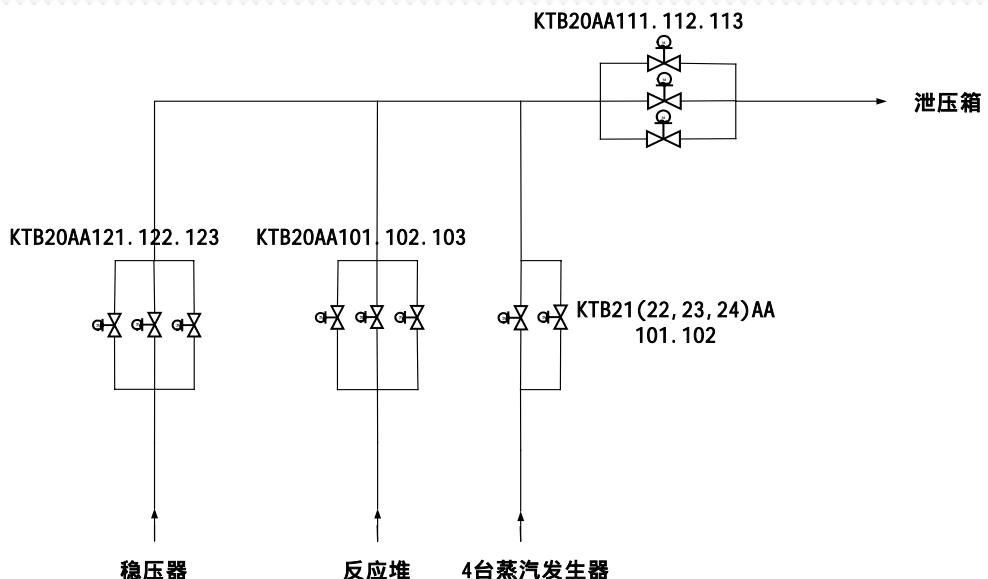
每个系列都有自己的缓冲箱，根据缓冲箱的水位，由 KBC-2 进行补水。

第 2, 3 系列的用户主要包括安全系统相应系列的泵和喷淋系统的换热器以及部分通风系统。

第 1, 4 系列的用户主要包括安全系统相应系列的泵和喷淋系统的换热器。还有：安全壳内的用户主泵和部分通风系统。还有一些其他的用户，如取样系统、三废处理系统、化学容积控制系统和通风系统等等。

#### 2.3.6 事故排气系统（KTB2）

2.3.6.1 根据事故排气系统（KTB2）的流程简图，简述事故排气系统（KTB2）的组成及在哪些情况下使用。



**答案：**本系统由下列管线及在管线上所安装的隔离阀组成，以便将蒸汽—气体混合物导入卸压箱：

- 来自反应堆顶盖的管线；
- 从蒸汽发生器的主集流管来的 4 根管线，管线被合并到一根总的管线上；
- 来自稳压器、与稳压器和稳压器安全阀组之间的蒸汽排放管线相连的管线。

从反应堆导出的蒸汽 - 气体混合物被直接导向卸压箱，在反应堆功率运行工况下，该系统不执行其功能，处于待命状态。在向一回路注水时，可以利用本系统导出空气。

一回路泄漏工况下，操纵员可以打开将反应堆和蒸汽发生器的排气管以及与稳压器蒸汽空间相连的管线上的阀门来改善反应堆装置的冷却状况；如果需要，操纵员还可以通过打开连接稳压器和卸压箱间的管线上的阀门将蒸汽 - 气体混合物排入卸压箱。

在发生导致反应堆堆芯熔化的事故工况下，操纵员在开启本系统阀门后从反应堆顶盖、稳压器和蒸汽发生器集流管中将蒸汽 - 气体混合物排放到卸压箱。

### 2.3.7 安全壳消氢系统 (JMT)

#### 2.3.7.1 安全壳消氢系统 (JMT) 的主要作用是什么？

**答案：**安全壳消氢系统 JMT 是为设计基准事故及超设计基准事故运行所设计的。

JMT 系统执行以下功能：

- 在设计基准事故下，系统维持水蒸气和空气中氢气的浓度低于点火的限值。
- 在超设计基准事故下，系统保持氢气浓度在不爆炸水平。

#### 2.3.7.2 安全壳消氢系统 (JMT) 何时投运？设计能力为多少？

**答案：**在正常运行和预期运行事故工况下，JMT 系统都不投入运行。只有在设计基准事故（失水事故）下，由于蒸汽 - 铼反应，冷却剂水介质和冷却水池的辐射包括在一回路备用系统、冷却剂和储水箱内的联氨和氨的分解等反应释放出氢气，这时系统才投入运行。

依据在 5 ~ 7 小时堆芯完全熔化的超设计基准事故下，安全壳内释放出大约 1000 kg 的氢气来设计系统容量。

**2.3.8 反应堆内检查井水应急使用系统 ( JNB )****2.3.8.1 反应堆内检查井水应急使用系统 ( JNB ) 的主要功能是什么 ?**

答案 : 在换料操作或堆内构件检查时 , 对堆内构件检查井进行放水或排空 ;

在反应堆严重事故时反应堆压力容器融化之后 , 反应堆检查井水应急使用系统用于从两个堆内构件检查井排水到安全壳地板上 , 冷却反应堆下面地板上的熔融物 ;

为了缓解对安全壳内游离碘的过滤 , 向安全壳地坑注 NaOH 溶液。

**2.3.9 柴油发电机设备冷却水系统 ( PJK )****2.3.9.1 柴油发电机设备冷却水系统 ( PJK ) 的作用是什么 ?**

答案 : 柴油发电机组中间冷却回路用于在失电条件下供给应急柴油发电机组设备散热用冷却水。

**2.3.10 堆芯捕集器 ( JMR )****2.3.10.1 说明堆芯捕集器 ( JMR ) 的作用 ?**

答案 : 严重事故的发生不仅可导致堆芯损坏 , 还可能造成反应堆压力容器失去密封作用。此时对核安全尤为重要的是防止高温、高化学活性的堆芯熔化物对安全壳造成破坏 , 维持最后一道安全屏障的完整性。装置在压力容器下方的堆芯捕集器在超设计基准事故发生时 , 在事故的不同发展阶段 , 接收、冷却堆芯、堆内构件以及压力容器的熔化物 , 减轻超设计基准事故的后果。

**2.3.10.2 简述堆芯捕集器的具体功能。**

答案 : 系统功能 :

- 在反应堆压力容器发生断裂、变形 , 但堆芯熔化物未流出压力容器之前 , 支撑压力容器底部 ;
- 保护反应堆竖井及堆芯捕集器部件免受到堆芯熔化物的热力机械破坏 ;
- 接收、存放堆芯、堆内构件以及反应堆金属构件的液态、固态熔化物 ;
- 保证堆芯熔化物稳定地向冷却水导出热量 , 以及熔融物冷却 ;
- 将熔融物限制在确定的边界之内 ;
- 保证熔融物的次临界度 ;
- 保证向水泥竖井供给冷却水 , 以及导出蒸汽 ;
- 减少向安全壳内空间的放射性物质排放 ;
- 减少氢气产生量 ;
- 保证水泥竖井内的结构部件所受热应力以及静态、动态应力不超过最大值。

## 2.4 废物处理系统

### 2.4.1 氢燃烧系统 (KPL1)

#### 2.4.1.1 氢燃烧系统 (KPL1) 的主要功能是什么？

答案：为了防止在正常运行和预计运行事件时放射性处理系统 (KPL2) 内形成混合气体危险的爆炸浓度，氢燃烧系统履行下述功能：

- 1) 从一回路除气器 (KBA10BB001) 排气中除氢；
- 2) 从稳压器卸压箱 (JEG10BB001) 排气中除氢；
- 3) 从反应堆厂房设备疏水箱 (KTA10BB001) 中除氢；
- 4) 确保氢气在复合器内的催化剂上燃烧；
- 5) 将氢浓度不超过 0.2% 的气体混合物送往放射性气体处理系统 (KPL2)。

#### 2.4.1.2 氢燃烧系统 (KPL1) 包括哪些主要设备？

答案：该系统有两条可以互换的处理线，每条处理线包括下述设备：

- 1) 排汽凝汽器(KPL11AC001\KPL12AC001)；
- 2) 缓冲槽(KPL11BB001\KPL12BB001)；
- 3) 压缩机(KPL11AN001\KPL12AN001)；
- 4) 电加热器(KPL11AH001\KPL12AH001)；
- 5) 复合器(KPL11BZ001\KPL12BZ001)；
- 6) 气体冷却器(KPL11AC002\KPL12AC002)；
- 7) 捕集器(KPL11AT001\KPL12AT001)；
- 8) 水封槽(KPL10BB003)；

#### 2.4.1.3 简述氢燃烧系统 (KPL1) 的工作过程。

答案：来自一回路除气器的气汽混合物进入本系统工作线。蒸汽在排汽凝汽器中被冷凝出来，而氮、氢和放射性惰性气体进入本系统回路。在循环回路中用氮气进行稀释；然后气体进入缓冲槽(KPL11BB001)。混合气体由压缩机送入电加热器，再进入复合器，在催化剂作用下复合，然后在气体冷却器中冷却，再通过调节阀返回缓冲槽，完成闭合回路。气体经复合、冷却后送往放射性气体处理系统。

### 2.4.2 放射性气体处理系统 (KPL2)

#### 2.4.2.1 放射性气体处理系统 (KPL2) 的功能是什么？废气来源有哪些？

答案：放射性气体处理系统处理氢燃烧系统排气和冷却剂贮槽排气，使其向环境排放的气载流输出物的放射水平在国家规定的限制之内。

废气来源为氢燃烧系统排气和冷却剂贮槽排气。

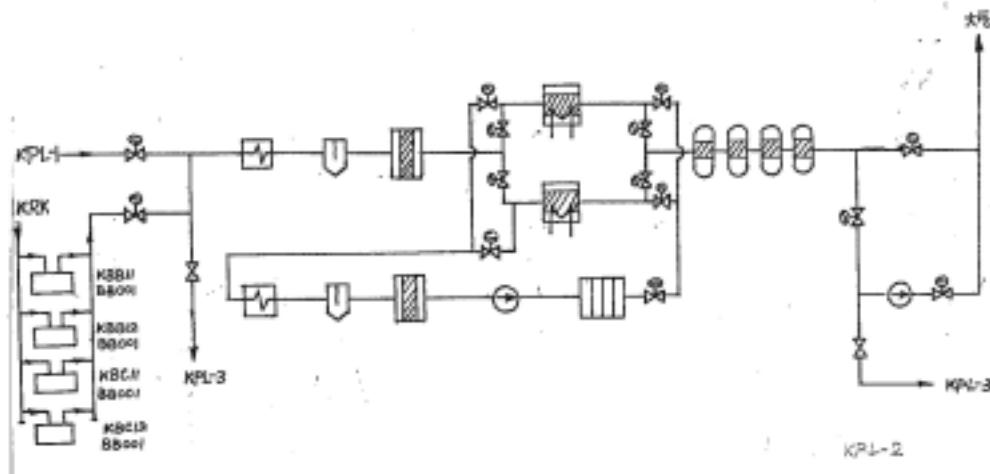
**2.4.2.2 简述放射性气体处理系统 (KPL2) 的工作原理。**

**答案：**从氢燃烧系统来的废气进入系统的主线中，先经过冷却器冷却，然后进入捕集器，在捕集器里，气体中的液滴和气体分离，气体再进入另一个冷却器，冷却后进入过滤器，气体中的小液滴在过滤器中除去，气体进入沸石干燥器，进一步干燥，干燥后的气体一次经过四个活性炭吸附器，在吸附器中气体停留一段时间，气体中的放射性物质碘，氪，氙在这段时间内衰变，最后气体经压缩机旁路排出。

从其余地方来的气体进入系统的辅助线中，处理原理同于在主线中的原理，不同是最后气体经压缩机排出。

**2.4.2.3 画出放射性气体处理系统 (KPL2) 的简易流程图。**

**答案：**

**2.4.3 贮罐排气净化系统 (KPL3)****2.4.3.1 贮罐排气净化系统 (KPL3) 的功能是什么？**

**答案：**本系统处理核电厂含有放射性液体介质贮槽的排气，使向环境排放的气态放射性量在国家标准规定的限值以内。

**2.4.3.2 简述贮罐排气净化系统 (KPL3) 的工作原理。**

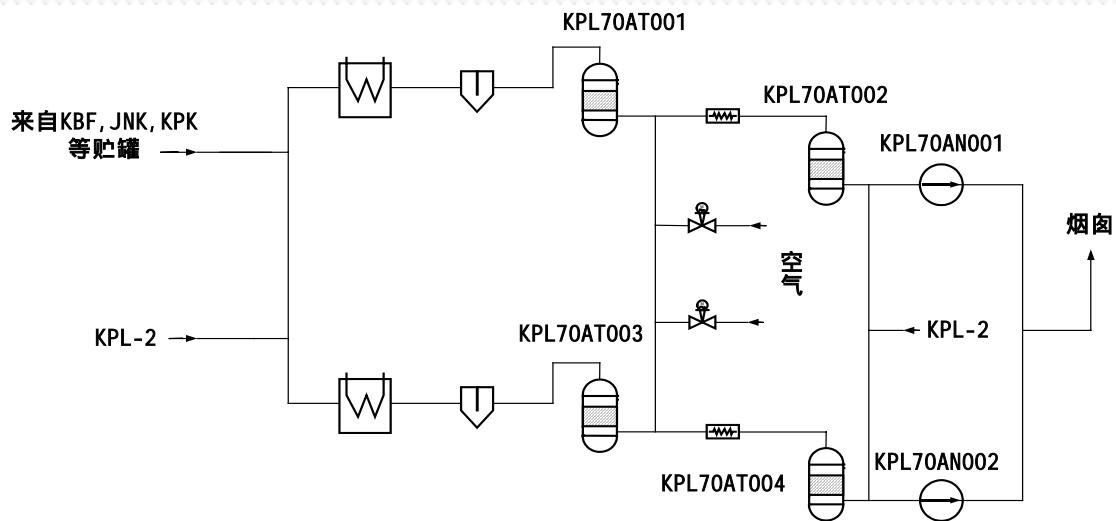
**答案：**含有液体放射性介质贮槽的排气进入工作系列的气体冷却器，冷凝出来的液滴从捕集器流入水封槽，再送到液体废物处理系统贮槽。

气、液分离后气体进入气溶胶过滤器，过滤下来的液体流入水封槽，再流入排水贮槽。

过滤后气体由电加热器加热后，进入碘过滤器。除碘后气体由压缩机送往通风系统。

**2.4.3.3 画出贮罐排气净化系统 (KPL3) 的简易流程图。**

**答案：**



## 2.4.4 地漏水处理系统 (KPF)

### 2.4.4.1 地漏水处理系统 (KPF) 的功能是什么？

答案：液体废物处理系统的功能是：

- 1) 收集和处理放射性废水；
- 2) 得到最少量的盐浓缩液；
- 3) 把处理后达到允许指标的水排向环境或当需要时部分复用。

### 2.4.4.2 地漏水处理系统 (KPF) 的废液来源有哪些？如何处理？

答案：

- 1) 离子交换器再生液；
- 2) 过滤器水力卸料产生的废水；
- 3) 房间及设备去污液(反应堆厂房、辅助厂房)；
- 4) 房间和设备去污后的冲洗水；
- 5) 取样和运行监测实验室的排水；
- 6) 辅助系统不可控的泄漏水；
- 7) 卫生闸门和洗脸盆（不合格的）；
- 8) 蒸发器化学清洗水；
- 9) 去污池水。

对于这些废水采用蒸发处理的方法，处理出来的蒸馏水或返回到机组循环利用，或在达到排放标准时向环境排放。而蒸馏所得的残余废物则作为电厂的废物进行封存处理。

### 2.4.4.3 地漏水处理系统 (KPF) 将废液分成哪几类？它们有何特点？

答案：根据放射性水平和化学组成，控制区的特种废水分成三类：

- 1) 含硼废水；
- 2) 干净排水：房间的干净地面排水、洗衣水、淋浴水；
- 3) 放射性废水：过滤器水力卸料产生的废水、房间及设备去污水、辅助系统设备不可控泄漏、蒸发器化学冲洗水、取样和运行监测实验室排水、离子交换器再生液、不合格的干净排水等。

#### 2.4.4.4 地漏水处理系统 (KPF) 包括哪些主要设备？

- 答案：
- 1) 排水槽泵 KPF21AP001(KPF22AP001)
  - 2) 冷凝液泵 KPF41AP001、KPF42AP001
  - 3) 蒸发器 KPF30AT001
  - 4) 排气凝汽器 KPF30AC020
  - 5) 冷凝液过滤器 KPF40ATO01，KPF40AT002
  - 6) 排水地坑 KPF12BB001

#### 2.4.4.5 简述废液处理过程，并说明如何防止硼酸结晶。

答案：废液先是在漩流器里进行分离，机械杂质被分离出来，以泥浆的形式送入废物固化系统的贮槽中。

从漩流器出来的废液经过两级蒸发，蒸发后经冷凝的冷凝液输送到监测槽，取样化验合格后用泵将冷凝液送到过滤器过滤后排入排放渠。当冷凝液监测不合格时，可以将其返回到排水贮槽进行二次净化。蒸发后残留液进入液体废物贮存系统的贮槽。

核辅助厂房等干净排水以及核服务厂房的洗衣水、淋浴水收集在核服务厂房的特种下水接收槽内进行监测，监测合格后排放，若不合格则送入 KPF 系统进行处理。

未冷凝的蒸汽和气体的混合物进入贮槽排气处理系统(KPL3)。

通过保持溶液一定的温度来防止硼酸结晶。

### 2.4.5 液体废物贮存系统 (KPK)

#### 2.4.5.1 液体废物贮存系统 (KPK) 的作用是什么？

答案：液体废物贮存系统用于把核电厂运行过程中产生的液体放射性废物在送往放射性废物固化系统(KPC)固化之前进行中间贮存。

#### 2.4.5.2 液体废物贮存系统 (KPK) 包括哪些主要设备及参数？

- 答案：
- 1) 蒸发残液泵 KPK40AP001、KPK40AP002；  
流量为  $3 \text{ m}^3/\text{h}$   
压头为  $36.3\text{mH}_2\text{O}$
  - 2) 蒸发残液贮槽 KPK10BB001、KPK10BB002；  
容积为  $79.6\text{m}^3$
  - 3) 中放废树脂贮槽 KPK20BB001、KPK20BB002；  
容积为  $30.5 \text{ m}^3$

**2.4.6 液体放射性废物固化系统 (KPC)****2.4.6.1 液体放射性废物固化系统 (KPC) 的功能是什么？**

答案：本系统用于把液体放射性废物(中放和低放离子交换树脂及蒸残液)与水泥和添加剂固化在钢筋混凝土容器内。

**2.4.6.2 液体放射性废物固化系统 (KPC) 收集哪些类型的废物进行处理？**

答案：

- 1) 从液体废物贮存系统的贮存槽来的蒸残液
- 2) 废离子交换树脂和泥浆固化.

**2.4.6.3 从一般原理上，可将固体废物处理过程分成哪些阶段？**

答案：固化压缩；

用水泥桶进行封存。

**2.4.6.4 在核电站的运行和维修过程中，会产生各种废物，如衣服、纸张、塑料等，通常如何处理它们？**

答案：污染的擦拭物、工作服、鞋、个人劳保用品、橡胶等密封在金属桶中的低、中放废物分别贮存在放射性固体废物库的单独隔离间内。隔离间的贮存容量为 5 年。最后经压缩将体积减为最小，最终在混凝土容器中进行封存。

**2.4.7 固体放射性废物处理与贮存系统 (KPA , KPE)****2.4.7.1 固体放射性废物处理与贮存系统 (KPA , KPE) 的主要功能是什么？**

答案：KPA 系统用于收集、分类、处理、包装和暂存核电厂在正常运行、检修及预期运行事件下产生的第 1 组、第 2 组固体放射性废物和水泥固化物。

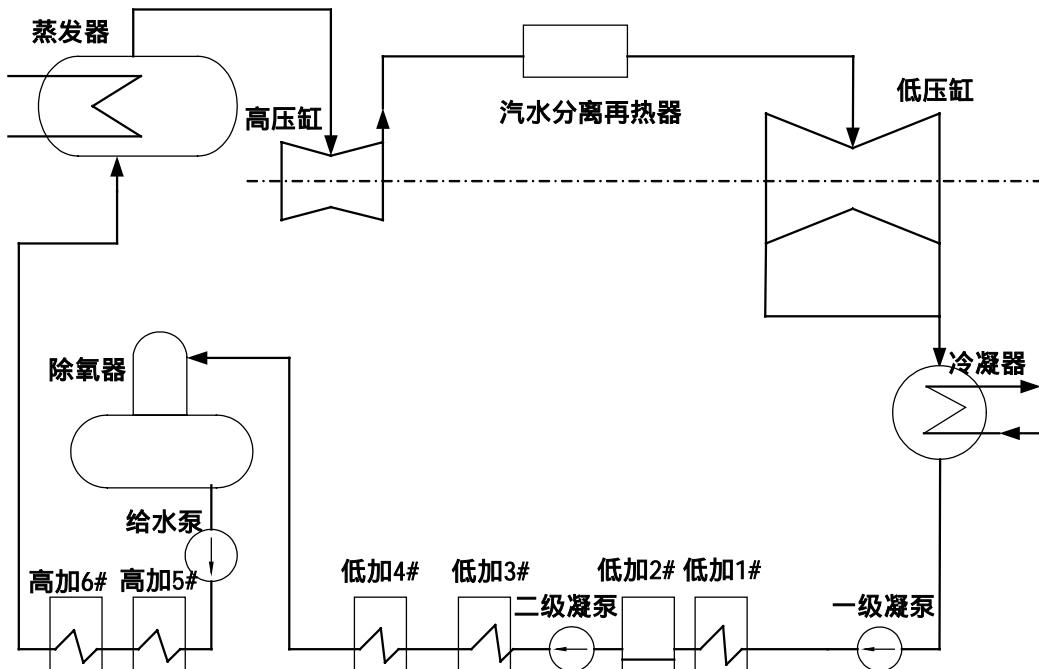
KPE 系统用于暂存两台核电机组产生的第 1 组、第 2 组水泥固化物。

## 2.5 二回路系统及设备

### 2.5.1 汽轮机辅助系统

2.5.1.1 二回路汽水循环的主要设备有哪些？试用原理性循环系统图表示。

答案：二回路汽水循环的主要设备有：蒸汽发生器的二次侧，汽轮机高压缸，汽水分离再热器，汽轮机低压缸，凝汽器，一级凝结水泵，1#和2#低压加热器，二级凝结水泵，3#和4#低压加热器，除氧器，主给水泵，5#和6#高压加热器。



2.5.1.2 在下表中填出额定工况下汽轮机抽汽系统 (LBQ LBS) 的位置，用户及参数。

答案：

| 抽汽    | 标号    | 位置           | 用户     |
|-------|-------|--------------|--------|
| 1 级抽汽 | LBQ11 | 高压缸 2 级后     | HPH-6  |
| 2 级抽汽 | LBQ12 | 高压缸 3 级后     | HPH-5  |
| 3 级抽汽 | LBQ13 | 高压缸 4 级后     | 厂用蒸汽母管 |
| 4 级抽汽 | LBS14 | 高压缸排气        | LPH-4  |
| 5 级抽汽 | LBS15 | 一、二号低压缸 2 级后 | LPH-3  |
| 6 级抽汽 | LBS16 | 三、四号低压缸 3 级后 | LPH-2  |
| 7 级抽汽 | LBS17 | 低压缸 4 级后     | LPH-1  |

2.5.1.3 汽轮机疏水系统 (MAL) 的功能是什么？

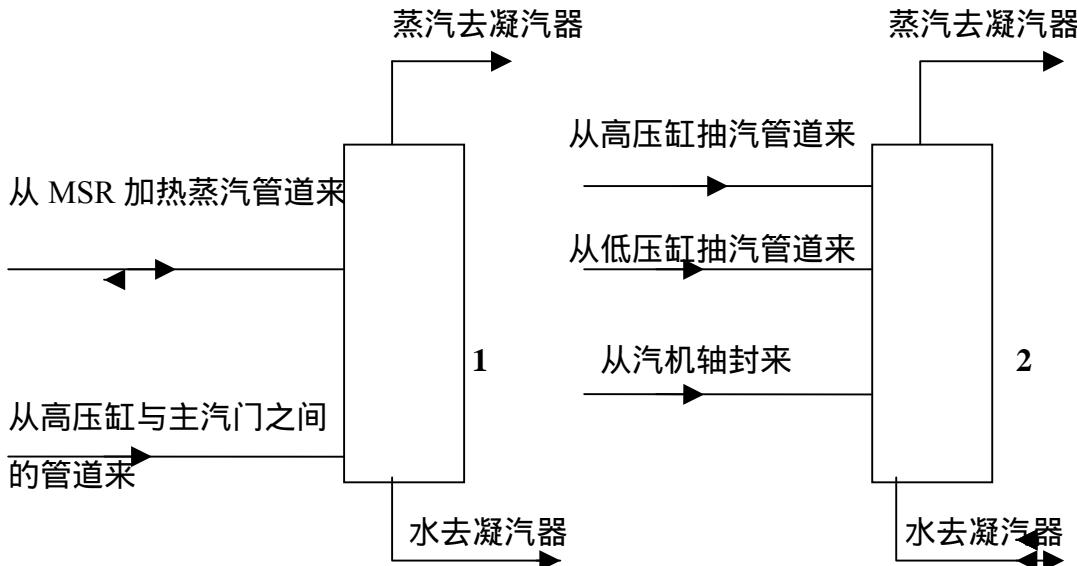
答案：系统功能：

- 在汽轮机启动时或在机组运行期间汽水分离系统投入时，汽轮机暖机或管道暖管时，将管道低点收集的水，汽和汽轮机各部分（阀体，汽缸等）的水、汽排到疏水扩容器。

2) 将疏水扩容器的蒸汽和凝结水排到汽轮机凝汽器。

#### 2.5.1.4 画出汽轮机疏水系统 (MAL) 的流程简图。

答案：



注：1、高压疏水扩容箱

2、低压疏水扩容箱

#### 2.5.1.5 汽轮机疏水系统 (MAL) 的高压疏水扩容箱 (MAL10BB001) 和低压疏水扩容箱 (MAL20BB001) 各接受哪些疏水？

答案：MAL10BB001 接受的疏水有：

- 高压缸连通管疏水
- 汽水分离再热器加热蒸汽管疏水

MAL20BB01 接受地疏水有：

- 一号低压缸 5 级抽汽管道疏水 (逆止阀之前、之后)
- 高压缸通向 4 号低压加热器的排气管道疏水 (逆止阀之前、之后)
- 高压缸 2 级抽汽管道疏水 (逆止阀之前、之后)
- 高压缸 1 级抽汽管道疏水 (逆止阀之前、之后)
- 高压缸通向除氧器的抽汽管道 (逆止阀之前、之后)
- 汽机密封系统疏水

#### 2.5.1.6 汽轮机疏水系统 (MAL) 故障可能造成什么后果？

答案：MAL 系统的故障有可能造成管道水击和汽轮机叶片的侵蚀。

#### 2.5.1.7 汽轮发电机组润滑油系统 (MVA, MVB, MVJ) 的功能是什么？

答案：汽轮发电机组润滑油系统 (MVA, MVB, MVJ) 的功能是：

为汽轮发电机组的上推轴承和径向轴承提供润滑油，为汽轮发电机组的径向轴承提供顶轴油。

#### 2.5.1.8 汽轮发电机组润滑油系统由哪些主要设备组成？

答案：

- 1) 油箱 MVA10BB001
- 2) 交流电动油泵 MVB11AP001 , MVB12AP001
- 3) 直流电动油泵 MVB13AP001 (事故用)
- 4) 油循环过滤泵 MVJ16AP001
- 5) 一个排油烟风机
- 6) 四个冷油器
- 7) 两个精细过滤器

#### 2.5.1.9 MVB 系统有几台油泵？说明它们的运行情况。

答案：MVB 系统有 2 台交流油泵和 1 台直流事故油泵。

正常运行时一台交流油泵运行，另一台备用。

为了防止辅助供电系统断电，设计有 1 台直流事故油泵。

齿轮泵当润滑油系统压力下降时，由汽轮机主轴驱动。

#### 2.5.1.10 顶轴油的作用是什么？

答案：作用：

- 1) 为汽轮发电机组径向轴承提供高压油，以使在汽轮机转速上升的初始阶段提升汽轮发电机转子；
- 2) 强制形成油膜，消除干磨擦，防止轴瓦烧毁；
- 3) 减小磨擦力矩，减少盘车装置电机功率。

#### 2.5.1.11 MVL 系统包括哪些主要设备？

答案：主要设备有：

- 1) 顶轴油泵 MVE01AP001 , MVE02AP001 ;
- 2) 12 个筛网过滤器；
- 3) 汽轮发电机轴承油压调节装置；
- 4) 盘车电动机 MAK11AE001 ；

#### 2.5.1.12 简述盘车机构投入和切除条件。

答案：盘车机构投入条件：

- 1) 从主控室投入时，必须满足：
  - 顶轴油泵的压头（由 MVL20CP301 测得）大于第一极限值， $P>5.5\text{ MPa}$ ；
  - 润滑油系统的压力（由 MVJ30CP302 测得）大于第二极限值, $P>0.03 \text{ MPa}$ ；
- 2) 自动投入条件，必须满足：
  - 上述两个条件；
  - 汽机截止阀关闭；
  - 汽机的转速小于 200 转/分钟（由 MAD11CS002 测得）;
  - 密封蒸汽的压力大于 0.005 MPa ；

盘车机构切除条件：

- 1) 汽机的转速大于 1500 转/分钟 (由 MAD11CS002 测得)；
- 2) 润滑油系统的压力 (由 MVJ30CP302 测得) 小于第二极限值， $P < 0.03 \text{ MPa}$ ；

**2.5.1.13 汽轮机轴封系统 (LBW) 的主要功能是什么？**

答案：汽轮机轴密封系统的主要功能是：

- 当向汽机供汽时，防止蒸汽通过汽缸末级密封的缝隙泄漏到汽机厂房里；当汽缸里存在真空度时，防止空气进入汽缸。
- 防止蒸汽从汽机主汽门、凝汽器排放阀、汽水分离再热器的截止调节阀的活塞杆泄漏掉。
- 从汽机的末级密封把蒸汽和空气混合物抽到密封汽冷却器里。

**2.5.1.14 密封蒸汽压力额定值是多少？如何调节？**

答案：轴封母管的蒸汽压力为  $0.12 \text{ MPa}$ 。由调节阀 LBW10AA201 自动调节。

**2.5.1.15 汽轮机轴封系统 (LBW) 密封蒸汽来源有哪几个？**

答案：有二个：一个来自除氧器，另一个来自厂用蒸汽。

**2.5.1.16 汽轮机轴封排气如何冷却？**

答案：利用轴封抽汽机抽到轴封冷却器，用凝结水冷却。

**2.5.1.17 凝汽器真空系统 (MAJ) 的功能是什么？**

答案：系统功能：

- 1) 在汽轮机供汽前建立凝汽器真空，为汽轮机提供规定的背压；
- 2) 在汽轮机正常运行时维持相应的凝汽器真空值。
- 3) 在轴封蒸汽冷却器中建立相应的真空。

**2.5.1.18 凝汽器真空下降的原因有哪些？**

答案：原因：

- 1) 抽真空装置故障；
- 2) 汽轮机轴封系统运行异常；
- 3) 循环水系统故障而断水；
- 4) 凝汽器漏气；
- 5) 传热管变脏，结垢较严重。

**2.5.1.19 凝汽器真空度是如何随汽机负荷变化的？**

答案：

**2.5.1.20 凝汽器真空系统 (MAJ) 是如何投运的？**

答案：

**2.5.1.21 凝汽器胶球清洗系统 (PAH) 如何运行？**

答案：胶球从设在射水泵头部的装球室通过胶球分配器送到循环水管道入口，同循环水一起进入到凝汽器并进入管子内。在运行中胶球清洗管子内表面，胶球通过一个管子后，然后进入到第二个水室，从那里进入到第二个凝汽器水室和管子，此后，胶球进入到循环水管道，然后通过收球器到射水泵入口，再一次进入到装球室，进入下一个循环。

**2.5.1.22 汽轮机液压控制系统（MAX）的功能是什么？**

答案： 功能为：

- 1) 在汽轮机准备启动时和运行期间，向汽轮机控制系统的液压部分提供必须的油量；
- 2) 如果短期失去厂用电，向汽轮机控制系统的液压部分提供事故油；
- 3) 在要求的范围内维持入口油温；
- 4) 在控制系统的油箱中分离油中的水分，并用机械方式进行油净化，去除油中的空气；
- 5) 防止油气漏到汽机厂房内。

**2.5.2 发电机辅助系统****2.5.2.1 定子冷却水系统（MKF）的作用是什么？**

答案： 定子冷却水系统（MKF）采用化学除盐水或精处理后的凝结水来冷却发电机定子绕组，以保证汽轮发电机组的正常运行。

**2.5.2.2 发电机氢气冷却系统（MKG）的功能是什么？**

答案： 本系统的功能是用氢气冷却发电机定子铁芯和转子线圈，保证发电机正常运行。

**2.5.2.3 发电机的励磁机是如何冷却的？**

答案： 励磁机的冷却是通过空气冷却器实现的，空气冷却器由常规岛设备冷却水系统冷却。

**2.5.2.4 分析发电机氢气温度升高的可能原因和处理方法。**

答案： 1) 所有冷却器出口氢气温度逐渐升高：

这可能是冷却水调节阀没有正常工作，应对阀门作适当调整并进一步打开以降低氢气温度直到温差消失。

另一个可能原因是 MKG 系统故障，比如氢气压力过低，如果这样，就应该通过增加氢气压力或减负荷降低氢气温度。

2) 一个或几个氢气冷却器退出运行。

这时应根据规定将发电机输出功率减低。

3) 氢温在四个氢气冷却器上都迅速升高。

这是所有氢气冷却器都失去了常规岛设备冷却水系统冷却水所致，冷却器氢气进口温度高而导致发电机跳闸。

### 2.5.3 二回路蒸汽、凝结水、给水、蒸汽旁路排放及循环水系统

#### 2.5.3.1 简述主蒸汽系统 (LBA, LBU) 供汽用户。

答案：主蒸汽系统是将从蒸汽发生器来的新蒸汽供给汽轮机，还包括主管道隔离和超压保护。

- 1) 将从蒸汽发生器来的新蒸汽供给汽轮机；
- 2) 甩负荷时，通过蒸汽旁路排放系统将蒸汽排入凝汽器；
- 3) 在正常运行时，向 MSR 供应加热蒸汽；
- 4) 在汽轮机抽汽减少时，向辅助蒸汽站供汽；
- 5) 在排除堆芯余热或保持热态时，向凝汽器排气；
- 6) 在排除堆芯余热时，向大气排放；
- 7) 在蒸汽发生器故障时，切断汽轮机供汽管道；
- 8) 蒸汽发生器超压保护。

#### 2.5.3.2 主蒸汽系统具有哪些超压保护设备？

答案：第一级保护：汽轮机旁排系统 (MAN)。该系统将蒸汽旁路排入凝汽器中，最大排放能力为蒸汽发生器 60% 的产量；

第二级保护：大气排放阀(БРУ-А)，将蒸汽排放到大气中；

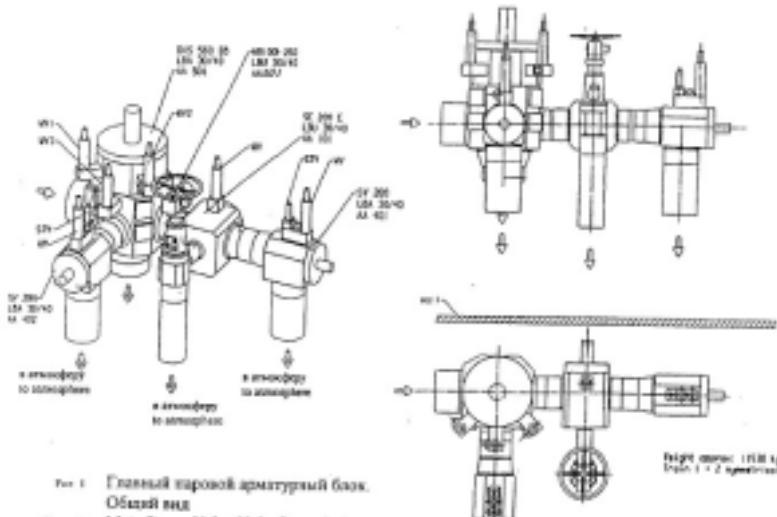
第三级保护：安全阀。每个蒸汽发生器装有两个  $2 \times 100\%$  容量的安全阀。

#### 2.5.3.3 主蒸汽隔离阀的旁路阀的作用是什么？

- 1) 对主蒸汽隔离阀下游管线暖管时提供蒸汽；
- 2) 平衡主蒸汽隔离阀两侧的蒸汽压差。

#### 2.5.3.4 在下面主蒸汽阀组图中标出各阀门的名称和蒸汽去向。

答案：



附图 4-1 主蒸汽阀组

#### 2.5.3.5 为什么在主蒸汽隔离阀的前后都要考虑主蒸汽管道的疏水？如何实现疏水？

答案：蒸汽在管道内都有部分冷凝，此冷凝水如不排走，会引起水锤冲击损坏设备。在主蒸汽隔离阀关闭时，管系的疏水通过阀前疏水系统排出。管系的安装都带有一定的倾斜度。当主

蒸汽隔离阀开启后，其阀前疏水系统关闭，疏水通过隔离阀后在主蒸汽管上的最低的疏水管和蒸汽母管疏水系统排出。

#### 2.5.3.6 新蒸汽卸压公用系统 (LBU) 的作用是什么？

答案：在机组快速甩负荷和核电厂全厂断电时，排除反应堆余热冷却反应堆时，大气释放阀将蒸气排入大气而防止安全阀动作。

#### 2.5.3.7 每条主蒸汽管线上有几只安全阀？动作定值各为多少？

答案：每条主蒸汽管线上有 2 只安全阀；动作定值：监测阀组开启压力为 8.23 MPa，运行阀组开启压力为 8.43 MPa，关闭都为 6.86 MPa。

#### 2.5.3.8 主蒸汽管线的安全阀起什么作用？

答案：作用：

- 1) 防止蒸汽发生器和蒸汽管道超压破损；
- 2) 释放反应堆冷却剂系统的热量，防止一回路系统超温超压。

#### 2.5.3.9 为减轻安全壳外主蒸汽管道破裂所造成的影响，设计上采取了什么措施？

答案：措施：

- 1) 主蒸汽隔离阀动作，把失控排放限制在一个蒸汽发生器范围内；
- 2) 触发停堆以保证反应堆安全；
- 3) 主蒸汽管道上设置防甩限位装置。

#### 2.5.3.10 蒸汽发生器传热管破裂(SGTR)时，操纵员处理的原则是什么？

答案：原则：

- 1) 正确及时判断 SGTR 发生在哪一个蒸汽发生器上；
- 2) 迅速隔离发生故障的蒸汽发生器；
- 3) 防止带放射性的蒸气向大气释放，停堆过程中，尽量使用 MAN 系统。

#### 2.5.3.11 蒸汽发生器在停用期间要进行什么特殊保养？有几种保养方式？

答案：在停用期间，必须严格限制蒸汽发生器的含氧量和 PH 值，以防止局部腐蚀，保护蒸汽发生器；

有湿保养和干保养两种。

#### 2.5.3.12 主蒸汽系统暖管时，对一回路温度和反应堆功率有何要求？

答案：主蒸汽隔离阀前的管道随着一回路的升温同时进行，下游的管道暖管要求在临界以后进行，一般堆功率限制在 1% 至 2%PN。

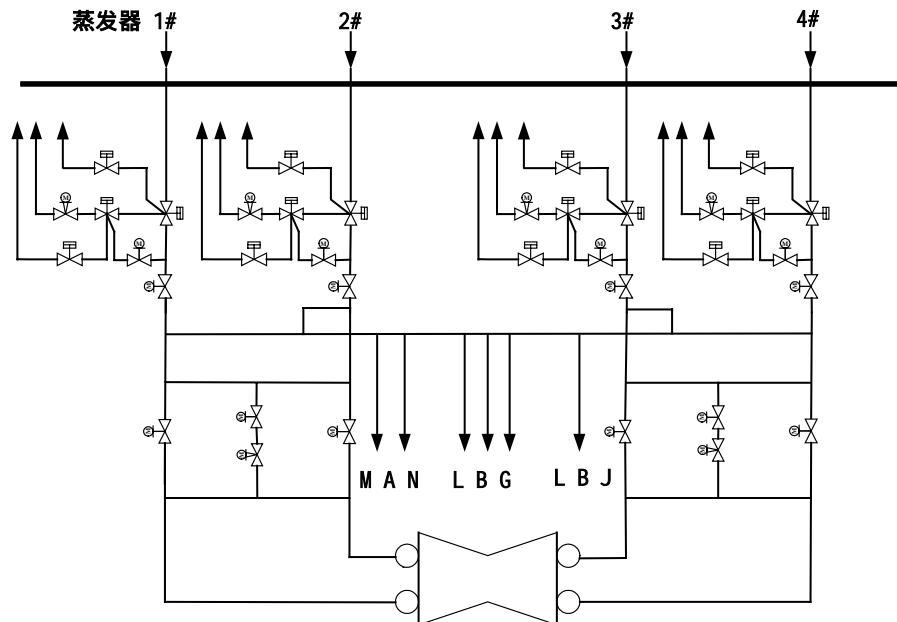
#### 2.5.3.13 简述给水泵系统 (LAC) 的功能。

答案：功能：

- 1) 将除氧器水箱里的除氧水通过高压加热器或高压加热器旁路打入蒸汽发生器；
- 2) 利用辅助给水泵在初始阶段对除氧器水箱里的水进行循环加热。

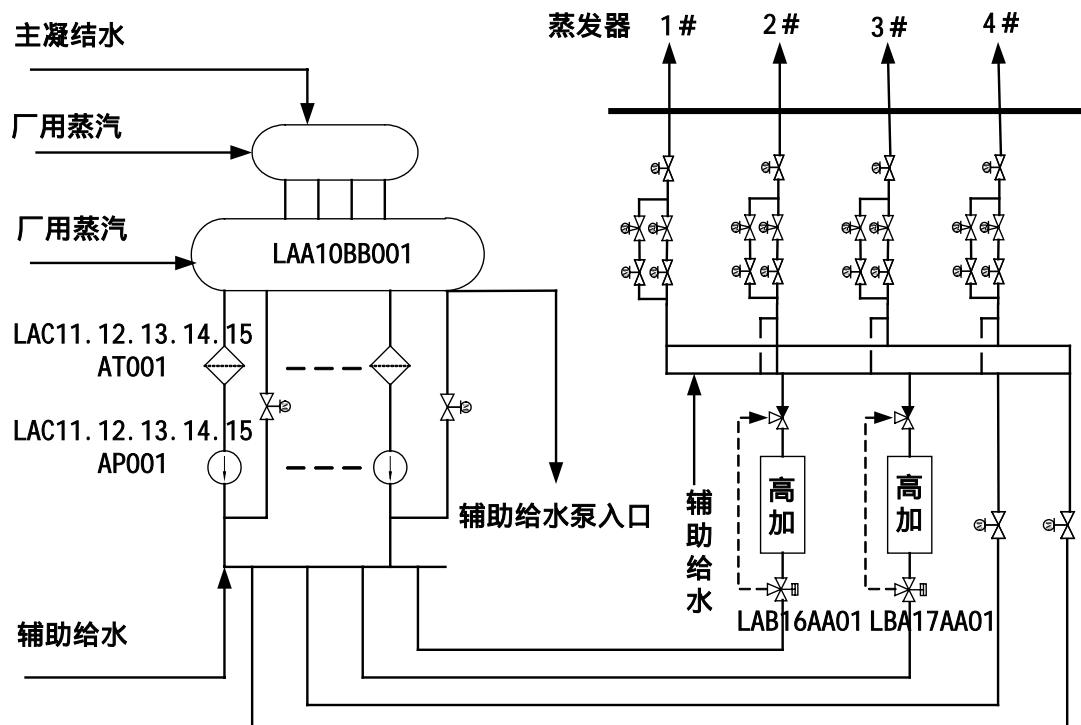
#### 2.5.3.14 画出 LBA，LBV 系统流程简图。

答案：



2.5.3.15 画出主给水系统流程简图。

答案：



2.5.3.16 简述二回路系统中除氧器的作用。

答案：除氧器的作用：

- 1) 除氧器系统是为了向给水泵供给加热的除氧水；
- 2) 维持给水泵所需的净正吸入压头；
- 3) 当给水流量与凝结水量有暂时失调时，它起到一个缓冲箱的作用；
- 4) 正常运行时向汽轮机提供密封气体。

2.5.3.17 除氧器收集哪些水和汽？

答案：除氧器收集以下水汽：

- 1) 主凝结水 LCA；
- 2) 补给水 LCU；
- 3) 高压加热器疏水 LAD；
- 4) 蒸汽发生器排污净化后回水 LCQ1；
- 5) 主给水泵小循环管线回水；
- 6) 辅助给水泵小循环管线回水；
- 7) 辅助蒸汽系统 LBG；
- 8) 汽水分离再热器凝结水系统 LCS。

#### 2.5.3.18 试述除氧器的除氧原理。

答案：1) 道尔顿分压定律：任一容器混合气体的总压力等于各种组成气体分压之和。对除氧器来说， $P_o = P_s + P_a$ 。  
其中  $P_o$  为总压力； $P_s$  为蒸汽分压力； $P_a$  为空气分压力。

- 2) 亨利定律：一容器内水中溶解的气体量与水面上该气体的分压力成正比。因此如果在等压条件下，将水加热至沸腾，使蒸汽分压力  $P_s$  几乎等于水面上的总压力，使空气分压力  $P_a$  趋近于零，这就意味着空气在水中含量趋近于零，便可达到除氧的目的。

#### 2.5.3.19 为了确保除氧效果，在除氧过程中应满足什么条件？

答案：1) 在除氧器中凝结水的温度必须加热到与除氧器压力相对应的饱和温度，即：过冷度为零。

- 2) 应及时排除凝结水中释放出来的气体，防止气体在除氧器内聚积，使空气压力  $P_a$  提高而影响除氧效果。
- 3) 尽可能扩大凝结水与加热蒸汽的接触面积，加快加热过程。
- 4) 除氧器应有足够大的空间，保证凝结水与加热蒸汽之间热交换有足够的空间，使气体有足够的时间从水中逸出。
- 5) 运行中应尽量保证除氧器的压力稳定。

#### 2.5.3.20 除氧器（LAA）共有哪几种汽源？各在什么情况下用？

答案：机组正常运行时，除氧器由三级抽气的蒸汽加热（>70%额定功率）；或由厂用蒸汽联箱供给（70%额定功率）。

#### 2.5.3.21 除氧器水位低的原因有哪些？达到低低水位后，可能产生什么结果？

答案：原因：

- 1) 除氧器水位调节阀控制回路失控。
- 2) 汽轮机组大幅度甩负荷。
- 3) 凝结水泵运行不正常。

后果：所有的给水泵将要跳闸并阻止它们启动。

#### 2.5.3.22 汽水分离再热系统 LBJ 有哪些功能？

答案：设置汽水分离再热器的目的是改善低压缸的工作条件，同时也提高了热力循环的效率。  
它的主要功能是：

- 1) 去除高压缸排出蒸汽中的水份(汽水分离的功能);
- 2) 提高进入低压缸蒸汽的温度,使其有一定的过热度(再热器功能);
- 3) 防止或减少湿蒸汽对低压缸部件的腐蚀和侵蚀;
- 4) 加热蒸汽的凝结水给高压加热系统加热。

**2.5.3.23 简述汽水分离器凝结水系统(LCT)的组成及功用。**

答案: 凝结水收集箱、凝结水排放泵及相关管道和阀门。分离水收集器排水泵LCT51, 52, 53AP001  
功用是收集分离凝结水,然后利用分离水收集器排水泵排向4级低加,加热给水。

**2.5.3.24 二回路给水加热系统包括哪些系统?**

答案: 凝汽器,凝结水系统,低压加热系统(LCC、LBJ、LCS),主给水系统(LAA、LAB、LAC)和高压给水加热器系统。

**2.5.3.25 简述凝结水系统流程和功能。**

答案: 利用一级凝结水泵将凝汽器中的水送到凝结水精处理系统,经过处理后经一号低加打到二号低加,用二级凝结水泵从二号低加吸水经三、四号低压加热器送到除氧器。

- 1) 冷却汽机轴封蒸汽,回收热量及介质。
- 2) 供应汽机旁路冷却水。
- 3) 接收低加疏水。
- 4) 供应低压缸排汽口超温时的降温水。

**2.5.3.26 概述汽轮机凝汽器的功能。**

答案: 1) 凝汽器是二回路汽水循环的冷源,接收汽机排气使之冷凝成水,冷凝水在其中贮存。  
2) 与抽气系统一起为汽轮机的排气建立和维持真空,提供汽轮机的规定背压。  
3) 接收各疏水箱的疏水。  
4) 在瞬态工况下接收旁路排放蒸汽。  
5) 必要时可破坏真空使汽轮机尽快减速。  
6) 进行初级热力除氧。

**2.5.3.27 凝汽器的管子是什么材料?**

答案: 凝汽器的管子用钛合金;

**2.5.3.28 凝汽器的管板结构如何?管板材料是什么?**

答案: 凝汽器的管板为包钛钢板。

**2.5.3.29 凝汽器开始建立真空的条件有哪些?**

答案: 1) 循环水系统投入;  
2) 汽机轴封系统已投入;  
3) 凝结水泵投入运行;  
4) 汽机润滑油系统及顶轴油系统已投入;  
5) 盘车装置已投入运行。

**2.5.3.30 影响凝汽器真空的主要因素有哪些?**

- 答案：
- 1) 冷却水进口温度
  - 2) 冷却水的流量（或温升）
  - 3) 凝汽器的传热系数（冷热侧温差）
  - 4) 不可凝气体的抽出程度
  - 5) 真空系统阀门的密闭性；
  - 6) 进入凝汽器的蒸汽排放量。

**2.5.3.31 凝汽器的真空度与汽机循环效率的关系是怎样的？凝汽器的真空度是不是越高越好？**

答案：凝汽器的饱和压力越低（即真空度越高），即代表汽水循环的冷源温度越低，根据卡诺循环理论，循环效率会提高。但也不是真空度越高越好，因为真空继续提高使汽轮机末级余速损失增大，抵消了提高真空带来的效益，因此真空度有一个最佳值的问题。

**2.5.3.32 凝结水的过冷现象是什么原因引起的？**

答案：原因：

- 1) 凝汽器内积有空气。
- 2) 凝结水水位过高，淹没了部分传热管。
- 3) 凝汽器内管子排列不佳或布置过密。（结构的排列）。

**2.5.3.33 凝结水过冷有什么不利？**

答案：

- 1) 过多的损失了热量，降低循环热效率。
- 2) 使水中的含氧量增加。

**2.5.3.34 凝结水泵（LCB）的作用是什么？共有几台？**

答案：作用：

- 1) 从凝汽器热阱输送凝结水通过低加系统到除氧器。
- 2) 提供蒸汽旁路系统的减温减压水。
- 3) 提供到疏水箱的喷淋水。
- 4) 提供给低压缸喷淋冷却系统适当流量。
- 5) 提供凝结水泵，低加疏水泵及给水泵的轴封水。
- 6) 供水经过凝结水精处理系统进行处理。

一、二级凝结水泵各有3台。

**2.5.3.35 循环水进入凝汽器汽侧有何危害？什么情况下循环水会进入凝汽器汽侧？通过测量什么可知是否有循环水漏入？**

答案：循环水进入凝汽器汽侧后，使凝结水水质恶化，导致腐蚀蒸汽发生器的危险。

循环水漏入凝汽器汽侧的情况是：

- 1) 凝汽器冷却管破裂，
- 2) 冷却管和管板胀管处不严密而泄漏。

通过测量电导率和氯离子浓度可知是否有循环水漏入。

**2.5.3.36 田湾核电厂共有多少级，多少个低压加热器？它们的加热汽源来自何处？**

答案：4级加热。

7个低压加热器，除了一级为4个，其余各级为1个。

4号低加来自高压缸的排汽，低压缸的3级抽汽分别进入1, 2, 3号低压加热器。

#### 2.5.3.37 简述低压加热器疏水系统(LCJ)的工作过程。

答案：4号低加的蒸汽疏水经MSR的疏水系统泵至4号低加后，3号低加的蒸汽疏水排2号低加，2号为复合式低加，1号低加的疏水排凝汽器。

#### 2.5.3.38 低压加热系统有哪几种运行方式？

答案：1) 4级加热都投入，

2) 第3级加热器被隔离，

3) 第4级加热器被隔离，

4) 3和4级加热器被隔离。

#### 2.5.3.39 高压加热系统的(LAD)功用是什么？

答案：用从汽轮机高压缸来的抽汽加热给水，收集从汽水分离再热器来的疏水；

提高热效率。

#### 2.5.3.40 高压加热器上有哪些安全阀？它们的释出物排向何处？设置汽侧安全阀主要考虑了哪些因素？

答案：有4个安全阀，每个5#高加上有2个；

排出物去大气。

设置汽侧安全阀主要考虑了：

1) 所有高压加热器进口疏水阀故障全开；

2) 有两条给水管破裂。

#### 2.5.3.41 高压加热系统(LAD)的每组高加系列中的出口隔离阀及其旁路阀，和进口隔离阀的开启，关闭之间有何关系？

答案：只有当出口隔离阀的旁路阀全开后，出口隔离阀方能开启。当出口隔离阀全开后，此旁路阀自动关闭。

当出口隔离阀全开后，入口隔离阀才能开启。(出口隔离阀旁路阀用于在启动此系统时往系统中充水)。

#### 2.5.3.42 简述厂用蒸汽系统(LBG)的功能。

答案：1) 供除氧器启动和汽轮机启动时轴封所需蒸汽；

2) 在冷却状态时排出蒸汽发生器的热量

3) 在启动和正常运行时为核电厂其他用户提供蒸汽；

4) 为其他机组提供蒸汽；

5) 在电负荷减少或汽轮机关断时保证厂用蒸汽的供应。

#### 2.5.3.43 凝结水喷淋水系统(LCE)的功能是什么？

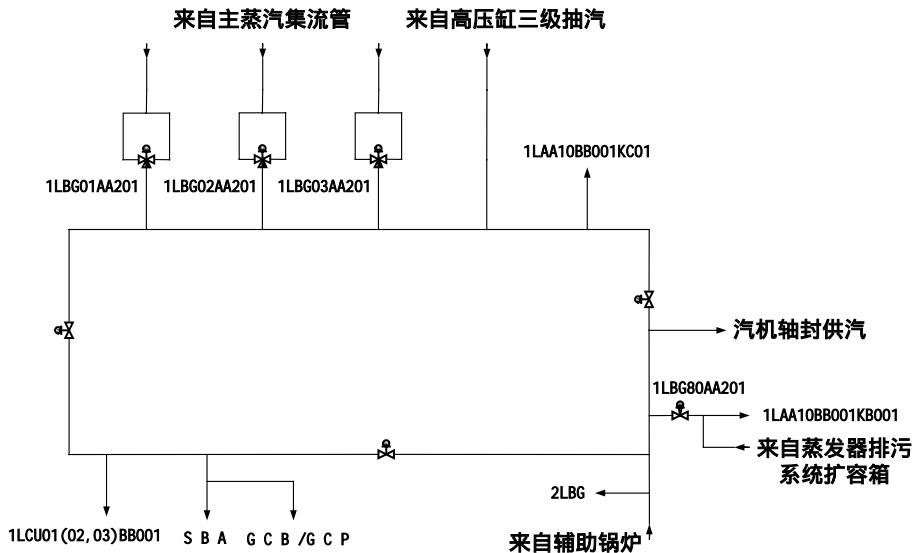
答案：降低低压缸排汽温度；在旁排工作时，冷却主蒸汽旁路阀排到凝汽器的蒸汽。

#### 2.5.3.44 凝结水喷淋水系统(LCE)故障时，会产生什么后果？

答案：低压缸排汽温度升高，而无喷淋水冷却，会导致汽轮机叶片升温，对叶片不利。

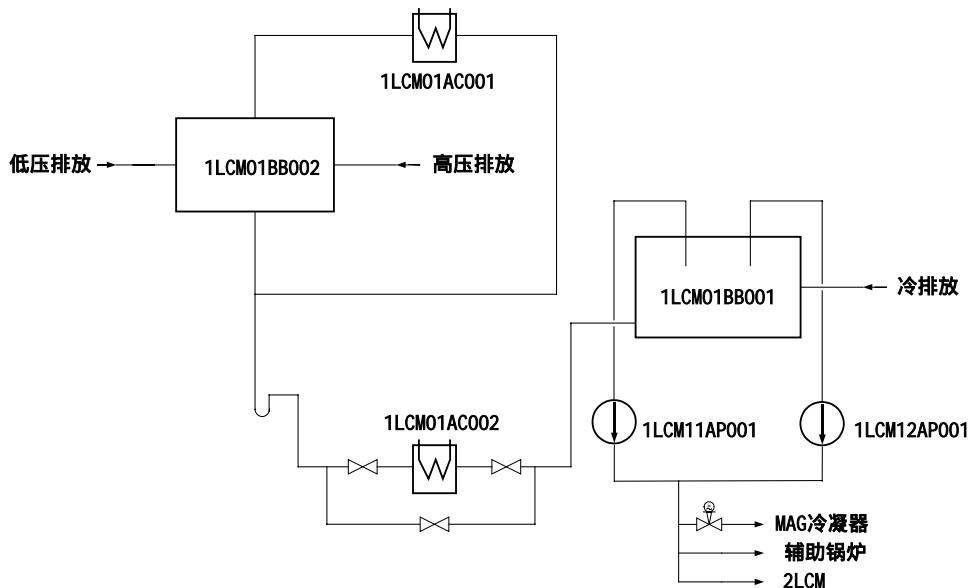
## 2.5.3.45 画出厂用蒸汽系统 ( LBG ) 的流程简图。

答案：



## 2.5.3.46 画出凝结水及疏水系统 ( LCM ) 的流程简图?

答案：



## 2.5.3.47 常规岛设备冷却水系统 ( PGB ) 的功能是什么？

答案：常规岛设备冷却水系统 PGB 在正常运行工况下向汽机厂房的一些主要用户供给设备冷却水。这些用户按承受压力能力的大小又可分为高压用户和低压用户。对高压用户，常规岛设备冷却水系统 PGB 供给的冷却水压力可达到 0.6MPa；而对低压用户，常规岛设备冷却水系统 PGB 供给的冷却水压力仅为 0.2MPa。

## 2.5.3.48 常规岛设备冷却水系统 ( PGB ) 泄漏时，会产生什么后果？

答案：系统介质流失，缓冲箱补水。超过补水能力时，系统将会出现“失去流量”的后果，这时必须立即将汽轮机减负荷并停机。

## 2.5.3.49 汽轮机旁路排放系统 ( MAN ) 的主要功能是什么？

答案：在汽轮机启动和甩负荷时，通过快速动作的汽轮机旁路阀将蒸汽发生器的过量的蒸汽排到凝汽器，以防蒸汽发生器超压而使安全阀和大气释放阀动作，在机组冷却阶段也投入运行。

#### 2.5.3.50 新蒸汽卸压共用系统 (LBU) 向大气排放阀的压力定值为多少？依据什么？

答案：**BRU-A** 的压力定值为 7.145MPa，依据是：达到此值说明 MAN 系统已经不能承受相应的负荷变化，如不打开大气排放阀，有可能导致安全阀开启。

#### 2.5.3.51 填空题：大气释放阀(BRU-A)的工作特性。

当 SG 的压力上升到 7.145 MPa 时，**BRU-A** 前的 截止阀 打开，**BRU-A** 开始工作，并且在 5 秒内 **BRU-A** 的开度由初始时的 50% 达到 100%。在此过程中，若 SG 的压力下降到 6.67 MPa 时，**BRU-A** 开始逐步关闭，当 SG 的压力下降到 6.272 MPa 时，**BRU-A** 前的 截止阀 关闭，**BRU-A** 停止工作，并立即恢复到初始时 50% 开度。

每个 **BRU-A** 的最大通流量为 900 m<sup>3</sup>/h。

#### 2.5.3.52 填空题：汽机旁排阀 (BRU-K) 的工作特性。

汽机旁排阀 (**BRU-K**) 共有 8 个，分为 4 组：

第 1 组 - 1 个 **BRU-K**；

第 2 组 - 1 个 **BRU-K**；

第 3 组 - 3 个 **BRU-K**；

第 4 组 - 3 个 **BRU-K**；

1% - 13% 开度为 **BRU-K** 的逻辑控制区，其中 1% - 10% 开度范围内 **BRU-K** 的流量为 0；13% - 19% 开度为 **BRU-K** 位移传递区，19% - 100% 开度为 **BRU-K** 同步工作区，其中 70% - 100% 开度范围内 **BRU-K** 的流量保持恒定。每个 **BRU-K** 的最大通流量为 450 m<sup>3</sup>/h。

当主蒸汽管道的压力上升到 6.27 MPa 时，第 1 组的 **BRU-K** 开始工作，并且开度逐渐加大到 19%，使主蒸汽管道中的压力维持 5.9 MPa。

当第 1 组的 **BRU-K** 开度达到 19% 时，若压力继续上升，则第 2 组的 **BRU-K** 开始工作，并且开度连续加大到 13%，同时第 1 组的 **BRU-K** 开度减小到 16%。此时，若压力仍然高于定值，则第 1 组和第 2 组的 **BRU-K** 将随着压力的变化，一起间歇式工作。

当第 1 组和第 2 组的 **BRU-K** 开度均为 19% 时，压力仍然高于定值，则第 3 组的 **BRU-K** 开始工作，并且开度连续加大到 13%，同时第 1 组和第 2 组的 **BRU-K** 开度均减小到 14.5%。此时，若压力仍然高于定值，则第 1 组、第 2 组和第 3 组的 **BRU-K** 将随着压力的变化，一起间歇式工作。

当第 1 组、第 2 组和第 3 组的 **BRU-K** 开度均为 19% 时，若压力仍然高于定值，则第 4 组的 **BRU-K** 开始工作，并且开度连续加大到 13%，同时第 1 组、第 2 组和第 3 组的 **BRU-K** 开度都减小到 17.2%；若压力仍然高于定值，则第 1 组、第 2 组、第 3 组和第 4 组的 **BRU-K** 将随着压力的变化，一起间歇式工作，直到开度均增加到 19%。此后，8 个 **BRU-K** 进入同步工作区，以 19% 的开度为起点，同时工作。

#### 2.5.3.53 辅助给水系统 (LAH) 的功能是什么？

答案：系统功能

- 1) 辅助给水系统 LAH 的主要功能是机组在非稳定工况（如启动、停堆和冷却）和非预期瞬态下运行时向蒸汽发生器供应给水；
- 2) 辅助给水系统 LAH 的安全功能是当蒸汽发生器应急给水泵出现故障时，辅助给水泵可以作为它的备用泵向蒸汽发生器供水。

#### 2.5.3.54 凝结水和疏水收集（回收）系统 (LCM) 的疏水箱 (LCM01BB001) 接收哪些疏水？

答案： 疏水箱 (LCM01BB001) 接收温度低于 100°C 的来水，包括：

- 1) 汽轮机的低温疏排水
- 2) 蒸汽发生器排污系统 (LCQ) 的凝结水
- 3) 特种厂房的凝结水

#### 2.5.3.55 循环水系统的功能是什么？

答案： 向汽轮机凝汽器及常规岛辅助冷却水系统的增压泵提供冷却海水。

#### 2.5.3.56 田湾核电厂循环水泵 (PAC) 有什么特点？简述该泵的主要技术参数。

答案： 循环水泵 PAC21AP001,PAC22 AP001,PAC31 AP001,PAC32 AP001 用于向汽机凝汽器输送冷却用的海水。

循环水泵的电动机采用两级转速，以保证电动机在海水温度较低的情况下能以低转速工作的可能性。

##### 主要技术参数

- 数量：4 个
- 转数：290/245 rpm
- 正常流量：12.3/9.8 m<sup>3</sup>/h
- 功率：1900/1200kW
- 材料：不锈钢
- 安全等级：4 级
- 工作状态：不间断地连续工作

## 2.6 电 气

### 2.6.1 电力输送系统

#### 2.6.1.1 输电系统的主要功能是什么？

答案：正常运行时向电网输送电能，当机组停机后或启动时从电网获取电能。

#### 2.6.1.2 主变低压侧绕组采用 Y 形接法有何优点？

答案：主变低压侧绕组采用 Y 形接法，三相同相位同大小的相电势便在三角形闭合回路中产生三次谐波电流，三次谐波电流起励磁电流作用，在铁芯内产生正弦波磁通，从而感应出正弦波的感应电势，起到改善电势波形的作用。

#### 2.6.1.3 为什么主要要设立分接开关？在带载情况下能否改变分接开关位置？

答案：为使电网供给稳定的电压，控制电力潮流或调节负荷电流，需对变压器进行电压调整，所以设立分接开关。

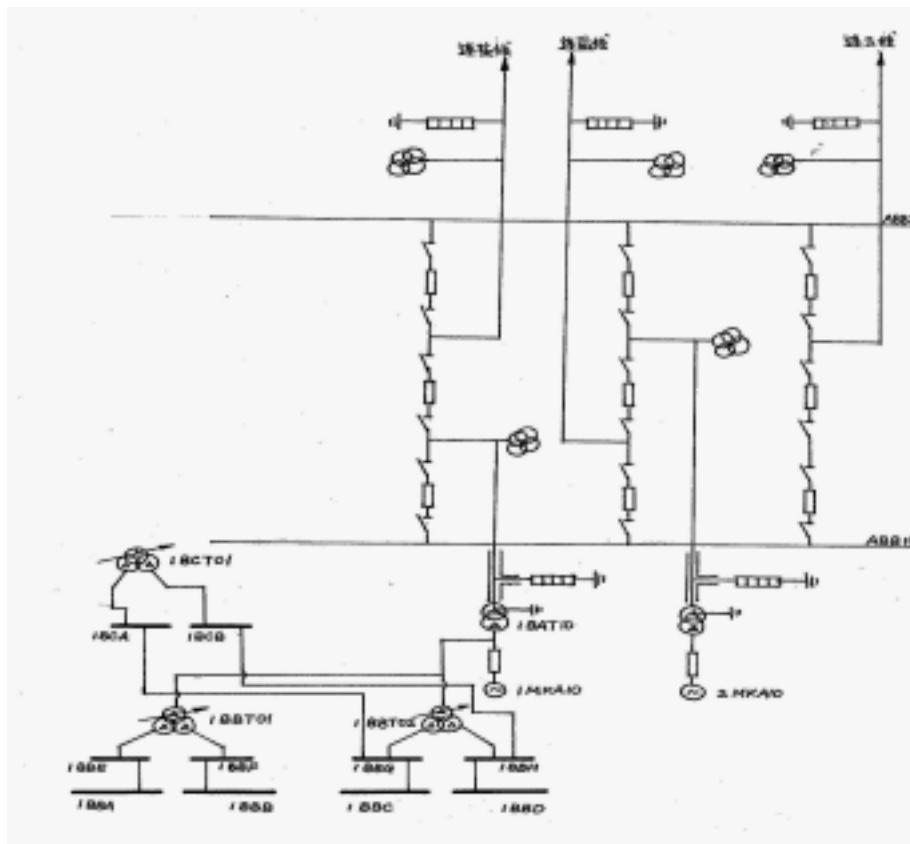
田湾核电站主变采用无载调压方式，所以在带载情况下不能改变分接开关位置。

#### 2.6.1.4 变压器油呼吸器中的硅胶由原来的兰色变为粉红色是什么问题？如何处理？

答案：硅胶吸入空气中的水分失效后，由原来的兰色变为粉红色；  
换掉硅胶。

#### 2.6.1.5 画出田湾核电厂 500kV 输电系统单线图（包括发电机）。

答案：



#### 2.6.1.6 变压器温度是反应变压器什么地方的温度？为什么这样设置？

答案： 变压器的主要热源是绕组和铁芯，所以变压器温度是反应绕组和铁芯的温度；根据变压器容量大小采用相应的冷却方式，保证变压器正常稳定运行。

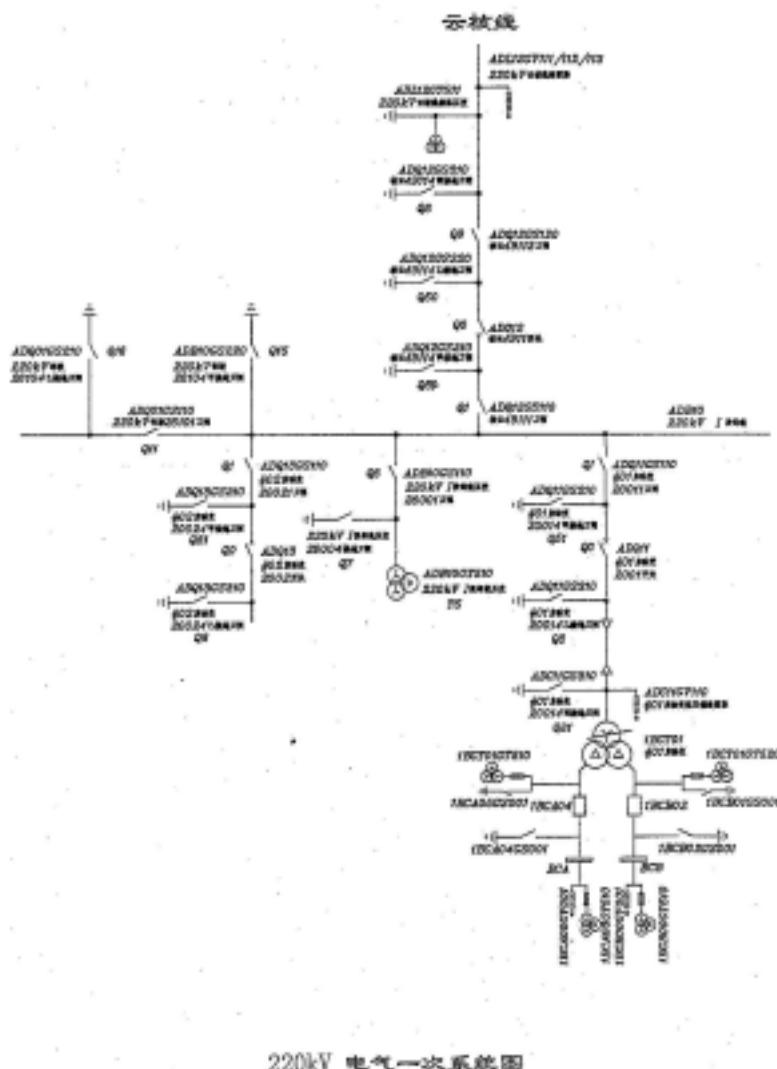
#### 2.6.1.7 超高压开关装置为什么要设置联锁装置？

答案： 为了防止误操作：

- 1) 防止带负荷拉刀闸；
- 2) 防止带电合接地刀闸；
- 3) 防止带接地刀闸合隔离刀闸。

#### 2.6.1.8 画出田湾核电厂 220kV 电气一次系统图。

答案：



220kV 电气一次系统图

#### 2.6.1.9 发电机出线端间隔的作用是什么？

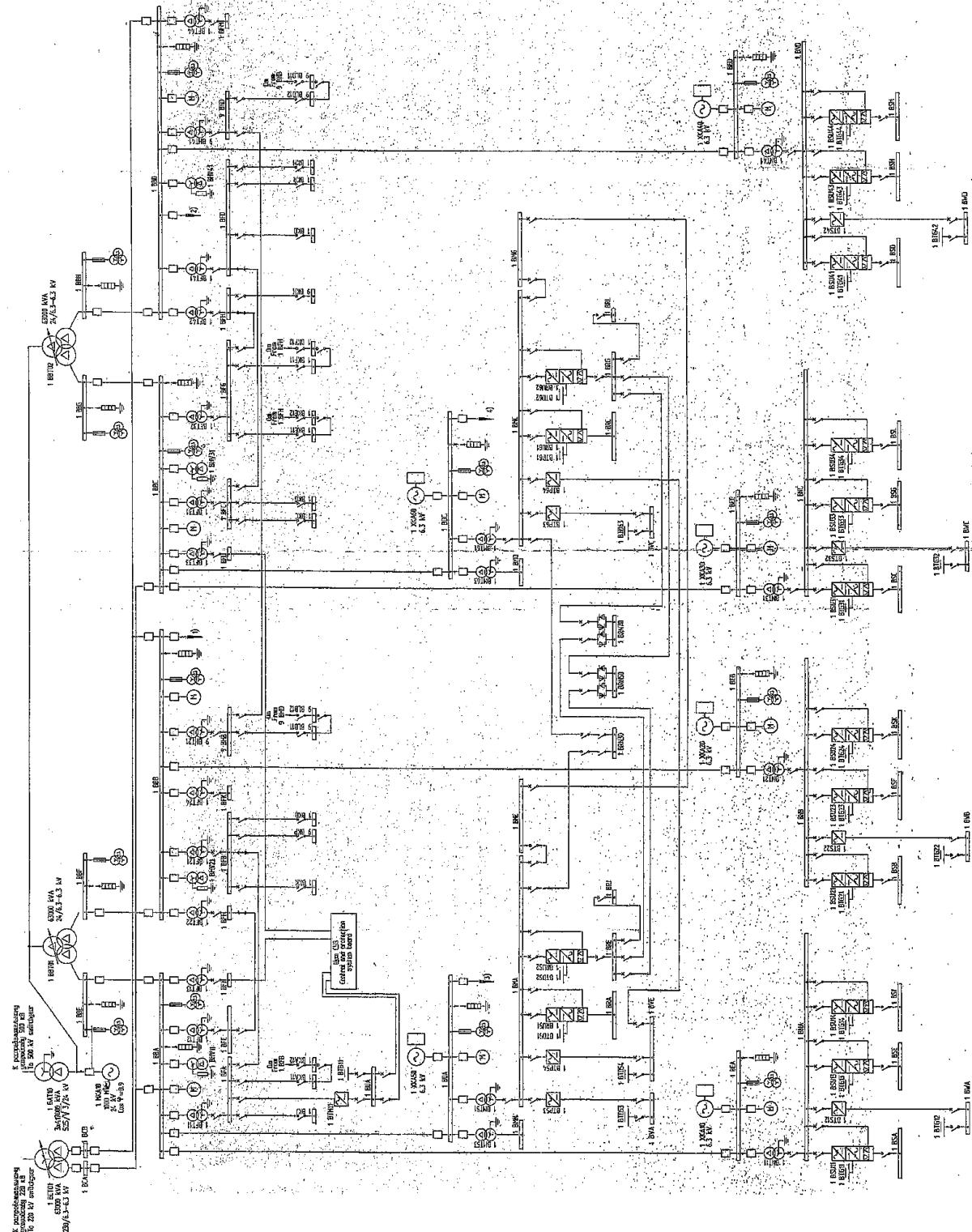
答案： 保持相与相之间有一定的绝缘距离，保证人身安全，提供一个屏蔽以便最大限度降低外部磁场，同时允许通风。

#### 2.6.1.10 填空题：

变压器是借助于 电磁感应 定律，以相同的 频率 在两个或多个耦合的绕组之间传输 能量 的 静止 电器。

## 2.6.1.11 画出田湾核电厂厂用电系统图。

答案：



## 2.6.1.12 发电机负荷开关的作用是什么？它的最大断流容量限制为多少？当故障电流超过此值，该开关能否断开？如不能，请指出如何切断该故障？

答案：作用：

- 借助发电机断路器，实现与电网同步；
- 当机组故障时，通过发电机断路器，实现机组与系统解列；
- 能接通和断开负荷电流；
- 能断开发电机变压器组回路的短路电流及断开发电机异步运行电流。

最大电流容量是 180kA 的热稳定电流和 500kA 的动稳定电流。

当电流超过此值时不能断开，则断开上部高压侧（500kV）的断路器。

#### 2.6.1.13 填空题：

装设接地线时，应先接 地端，后接 导体端。拆除时 与之相反。

#### 2.6.1.14 断路器的主要作用是什么？

答案：作用：

- 1) 控制作用，即根据电网运行需要投入或切除其供电的电力设备和线路；
- 2) 保护作用，即当电力设备或线路故障时，将故障部分从电网切除以保证电网的非故障部分的正常运行。

#### 2.6.1.15 在高压电路中，高压断路器两端为什么要设置隔离开关？隔离开关能否断开负荷？

答案：当检修时，建立明显的断开点，保护人身安全。

隔离开关不能断开负荷。

#### 2.6.1.16 电气设备的倒闸操作原则是什么？

答案：电气设备上的停、送电基本原则：

- 1) 停电拉闸操作：断路器 负荷侧隔离刀闸 母线侧隔离刀闸 合接地刀闸；
- 2) 送电操作：拉开接地刀闸 母线侧隔离刀闸 负荷侧隔离刀闸 断路器。

### 2.6.2 厂用电系统

#### 2.6.2.1 柴油发电机的自动启动条件是什么？

答案：当正常供电系统 6kV 电源失电（包括低频率超时），而 6kV 备用电源自动投入失败或不可用时，柴油发电机将自动启动，并进入自动加载状态。

#### 2.6.2.2 如何从柴油发电机所带的 6kV 电源系统见段的恢复到正常供电系统？

答案：柴油发电机启动后，转入自动带负荷运行，在此期间，一般在 30 分钟内不需要人员干预。当安全系统设备完成了安全停堆任务，此时如外电网供电恢复正常，可利用柴油发电机组的同期功能将柴油发电机与厂用 6kV 系统短时并列，再人为断开柴油发电机出口开关，转入正常运行系统供电状态。

#### 2.6.2.3 柴油发电机组启动后，如何进行手动正常停机？当它接到手动停机命令的同时又接到一个自动启动的命令，将会发生什么情况？

答案：当机组同时接到停机和启动两个信号时，启动信号优先于停机信号，如果机组原为运行状

态，则仍维持运行，若原为停机状态，则机组自动启动。

**2.6.2.4 柴油发电机组处于试验状态时，投入的保护比它带负荷运行时要多得多，为什么？如果此时突然出现一个柴油发电机组自动启动信号，试验状态下的保护是否还起作用？**

答案：因为柴油发电机组是对安全十分重要的系统，在处于试验状态时，为确保柴油发电机组及辅助系统的完整性和有效性，必须投入所有的保护。

在带负荷运行时，主要目的在于确保电厂重要设备的完整，所以柴油发电机组及其辅助系统的某些不正常信号出现时不应该立即将柴油发电机停机。

当柴油机发电机组自动启动信号出现时，试验状态下的保护将被自动切除。

**#1 机组厂用电系统中 6kV 配电装置有哪些？**

答案：#1 号机组厂用电系统 6kV 交流电配电装置有：

- 1) ~ 6kV 配电装置，正常电源 BBA、BBB、BBC、BBB；
- 2) ~ 6kV 配电装置，正常运行可靠电源 BDA、BDC；
- 3) ~ 6kV 配电装置，应急电源 BEA、BEB、BEC、BED；
- 4) 运行机组辅助变压器 ~ 6kV 配电中心，正常电源 BBE、BBF、BBG、BBH；
- 5) 备用变压器 ~ 6kV 配电中心，正常电源 BCA、BCB；

**2.6.2.6 简述#1 机组厂用电系统中柴油发电机的种类和放置位置。**

答案：#1 号机组厂用电系统中柴油机分为 3 类：

- 1) 备用柴油发电机 XKA10、XKA20、XKA30、XKA40，它们分别与 ~ 6kV 配电装置，应急电源 BEA、BEB、BEC、BED 相连；
- 2) 机组柴油发电机 XKA50、XKA60，它们分别与 ~ 6kV 配电装置，正常运行可靠电源 BDA、BDC 相连；
- 3) 移动柴油机 XKA70。

**2.6.2.7 当内、外电源均失去时，如何保证某些重要设备的供电？**

答案：启动本机组的柴油发电机组供电；

直流 UPS 供电。

**2.6.2.8 当一台机组内、外电源均失去较长时间，需要从相邻机组的一台柴油发电机组对失电机组的应急母线供电时，必须具备什么条件？**

答案：其相邻机组的两台柴油发电机组均处于可用状态；柴油机发电机进入到“热”备用工况。

**2.6.2.9 写出田湾核电站备用变压器的主要技术参数？它采用何种调压方式？在什么情况下，调压装置被自动闭锁？**

答案：厂用备用变压器型号为：TP HC——63000/220 ± 8 × 1.5%；

电压为：220/6.3-6.3kV；

接线方式：Y/ —— ——11——11

高低压侧额定容量：HV/LV1——LV2 63000/31500/31500

高低压侧额定电流：HV/LV1——LV2 165/2887——2887A

变压器采用有载调压方式。

当主电源失去，在母线电源由主电源向辅助电源自动倒换过程中，调压装置被闭锁。

**2.6.2.10 田湾核电站 380V 交流电气系统分为正常配电系统和事故应急配电系统，它们分别由哪些 6.0kV 电源供电？**

- 答案：
- 1) 正常配电：单元发电机，为单元机组提供正常工作的电源。两台机组柴油发电机，为正常运行可靠供电系统提供应急交流电源
  - 2) 事故应急配电：厂外备用电源 525/24 , 24/6.3 ; 厂外备用电源 220/6.3 ;
  - 3) 四台应急柴油机：为应急供电系统供应应急交流电源。

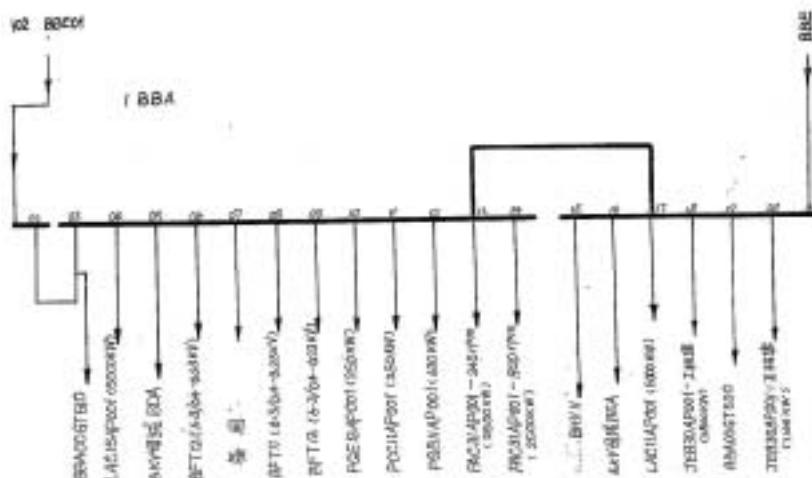
**2.6.2.11 控制棒驱动机构供电系统的功能有哪些？**

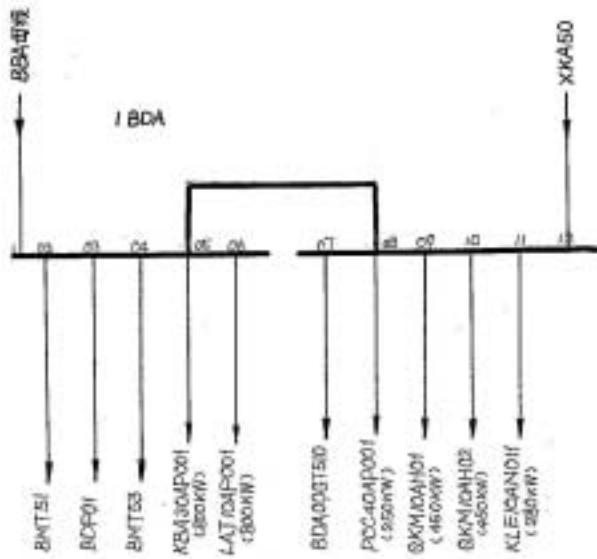
- 答案：电源系统保证：

- 1) 提供电压为 380/220V , 50Hz 三线制可靠电源用户的转换与配置；
- 2) 从两个独立的变压器提供三相 220V , 50Hz 电源供调节棒的移动和停止用；
- 3) 在调节棒交流供电电压短时（2秒以内）下降的情况下，提供 110V 直流电压。
- 4) 交流 380V 由配电盘 BFJ、BFL 供电。备用电源、直流电源由 220V 配电盘 BUA 供电。

**2.6.2.12 画图表示出田湾核电站 1BBA 母线所带的设备名称。**

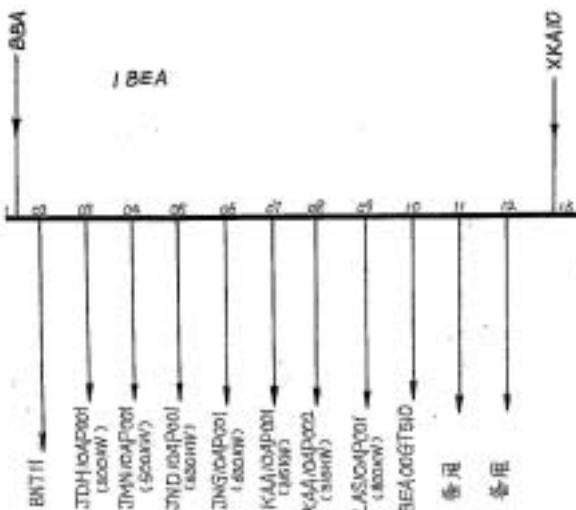
- 答案：





2.6.2.16 画图表示出田湾核电站 1BEA 母线所带的设备名称。

答案：



2.6.2.17 直流供电系统的功能是什么？

答案： 直流供电系统向所有的控制保护和信号系统供给各种等级的直流电源，并通过直流/交流逆变器向重要的和永久的 220V 交流系统供电。

- 1) 应急供电系统中监控系统 (MCS) 的用电设备；
- 2) 控制安全系统 (CCS) 用电设备，包括机组的工艺设备；
- 3) 控制最重要的反应堆机组系统辅助设备的探测系统；
- 4) 应急照明。

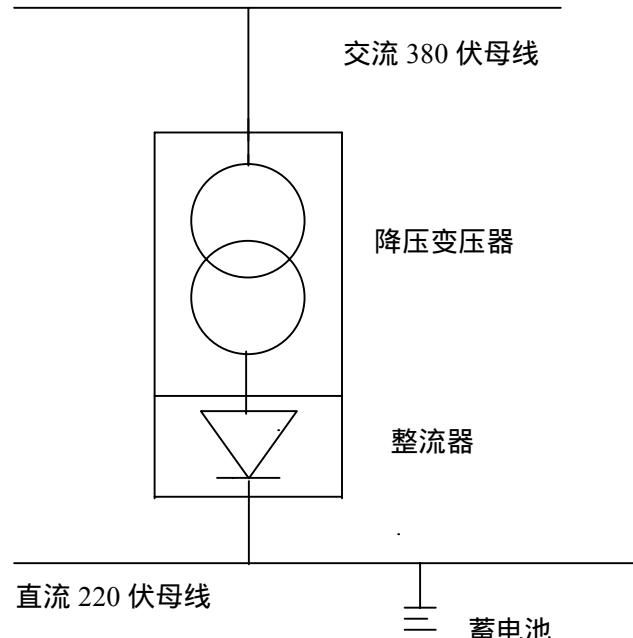
2.6.2.18 由 230V 直流配电盘供电的设备有哪些？

答案： 为安全系统及需要直流配套系统设备供电：

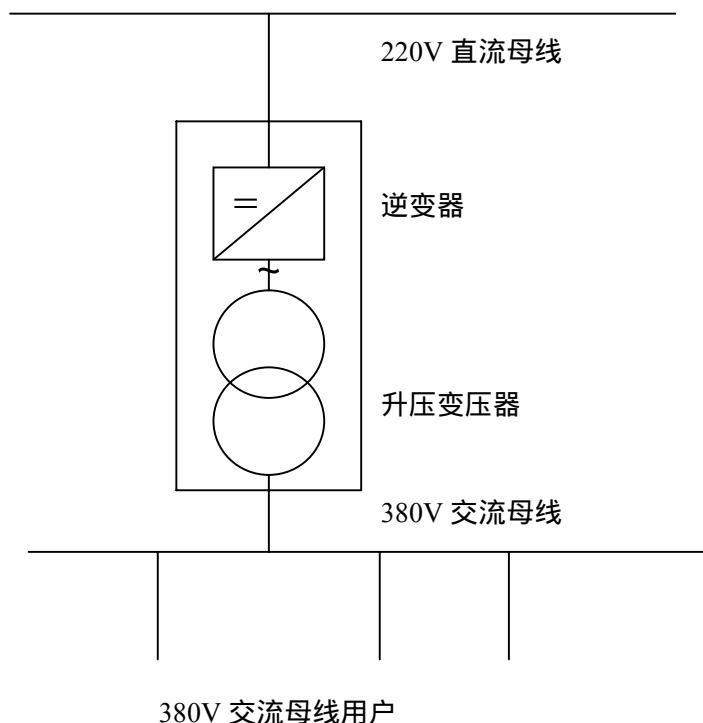
- 1) 应急供电系统中监控系统 (MCS) 的工作电源用电设备，
- 2) 控制安全系统 (CCS) 的用电设备，包括机组的工艺设备，

- 3) 控制最重要的反应堆机组系统辅助设备的探测系统，  
 4) 应急照明。

**2.6.2.19 画出田湾核电厂 230V 直流电源和配电系统 ( LAA ) 简图。**



**2.6.2.20 画出田湾核电厂交流不间断电源系统简图。**



**2.6.2.21 对不间断交流电源来说，当失去相关的 380V 电源时，将出现什么情况？该母线电压是否受影响？为什么？**

答案： 将由蓄电池供电，母线电压不变，蓄电池为备用电源。

2.6.2.22 列出由 125V 直流配电盘供电的设备。

答案：正常运行供电系统的 110V 直流系统，用于反应堆 CPS(控制保护系统)的备用电源，当为 CPS 供电的厂用变压器输出电压在 3 至 5S 期间下降时，直流蓄电池组放电，保证 CPS 系统控制在设定的位置。