

科技新闻

美国新型反应堆的建造计划 “西屋”公司的三种反应堆设计

“西屋”电气公司对三种堆型的经济特性作了估计,并保证其中两种堆型可按固定的电价发电。

联合装置

联合装置(图1)的特点,是具有很大的经济性,在未来的核动力中将占有重要地位。在此装置中使用了核燃料和普通燃料。

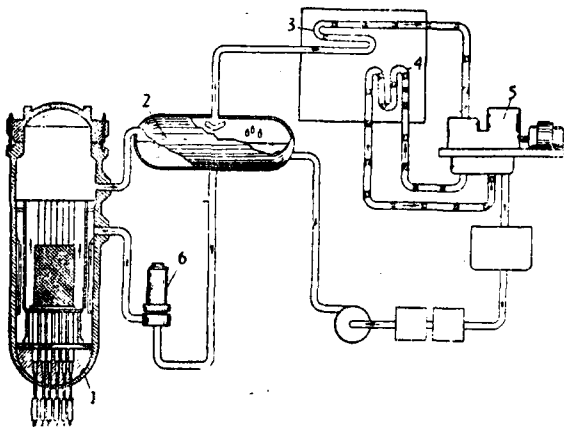


图1 联合装置

- 1—反应堆外壳; 2—蒸汽鼓; 3—火力过热器;
4—预热器; 5—透平发电机; 6—循环泵。

具有新式标准透平的沸腾反应堆的功率为22.5万千瓦。在反应堆中产生饱和蒸汽,经分离后进入过热器。在过热器产生透平所要求的参数的蒸汽。在过热器中使用石油、煤气或煤进行火力过热。燃料的种类是根据燃料的产地和使用的经济性来选择的。反应堆中装有含2.5% U^{235} 的二氧化铀的铀片。燃料的重量约为26.5吨。合同签订后,装置立即开始兴建,并在四年期间内完成。

研究了这种装置的设计后表明,有关建成装置的全部主要技术问题完全可以解决。关于立即建造装置的决定是考虑了经济为条件后作出的。在考虑到负荷系数(90%)、一般燃料价格(120分/10 × 10⁹卡)、间接费用(0.05分/瓦·小时)、年负荷值

(12.5%)和铀的价格(12美元/克)后,联合装置所生产的电能价格为0.73分/瓦·小时(其中基建费用0.34分,燃料0.27分,间接费用0.05分,运行费用0.07分)。

能生产过热蒸汽的沸騰水反应堆装置

反应堆的高能量强度是依靠水的沸腾及接着在活性区内过热蒸汽来达到的(图2)。循环水进入反应堆活性区内的管道中,在此处加热,然后沸腾。蒸汽及水的混合物向着上部进入反应堆上方的一个蒸汽鼓内(共有四个)。与蒸汽分离的水返回反应堆,并在反应堆中水重新加热至沸腾。至于蒸汽则进入设在活性区周围的过热区内的管道中。

处于氦气压力为7.03大气压中的石墨为减速剂。利用氦气来调节从石墨到压力管的传热过程,这就可以使活性区内石墨的温度保持在容许温度范围内。石墨的温度是必须加以控制的,因为,约10%的反应堆热功率是在石墨减速剂中释出的。

在活性区内生产过热蒸汽的沸騰水反应堆具有很大的前途。“西屋”公司对这种反应堆的研究极为重视,因为采用这种反应堆能建造功率为20万千瓦的

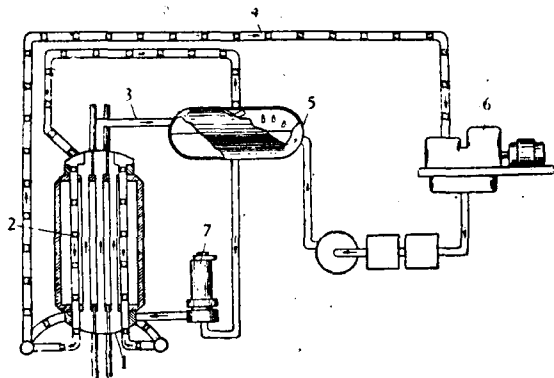


图2 能生产过热蒸汽的沸騰水装置

- 1—反应堆外壳; 2—压力管; 3—饱和蒸汽;
4—过热蒸汽; 5—蒸汽鼓; 6—透平发电机;
7—循环泵。

經濟而效率很高的裝置。

因此，首先必須對建造功率為2萬瓩的這一類裝置的模式堆作全面的研究，並應解決下列問題：控制石墨溫度（在反應堆格子內幾厘米範圍內的溫度差達220℃左右），使反應堆管道兩個區域內的水和蒸汽的流量相適應，並查明在蒸汽過熱區域內高溫情況下燃料工作的可能性。

閉合循環裝置

對功率為5千—40萬瓩的閉合循環裝置的研究證明（圖3），當功率在33萬瓩以下，電價隨裝置功率急劇下降，而超過33萬瓩以後，電價保持平穩。

功率約為30萬瓩的閉合循環的裝置開動後（計劃在1965年前開動），就可以估計其在美国普通燃料價格高的某些地區的經濟性。

為了使釋熱比較均勻和保證節約核燃料，“西屋”公司制定了活性區內裝以三種不同的 U^{235} 濃集度核燃料的方法。在不同的區域裝以不同濃集度的燃料：在中心區內裝2.1%的燃料；過渡區裝2.6%的燃料；外圍區裝2.9%的燃料。

在此種情況下，反應堆使在燃料的有三種循環過程。每一次循環結束以後，把中央地區的燃料卸下，將過渡區和外圍區的燃料逐步移向中心，而在外圍區裝入2.9%的新燃料。由於利用這種裝入燃料的方式，要求少量的調節棒和少量的貴重燃料。

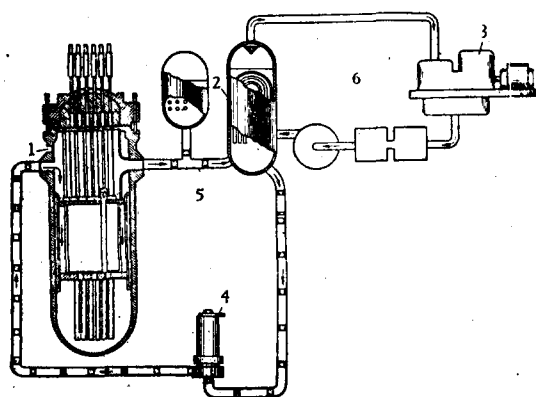


圖3 閉合循環裝置

- 1—反應堆外殼；2—蒸汽發生器；
- 3—透平發電機；4—循環泵；
- 5—載熱劑第一迴路；6—載熱劑第二迴路。

利用聯合裝置的負荷系數和原始經濟特性，可以估計具有閉合循環裝置生產的電能價格。估計證明，總電價等於0.73分/瓩·小時，其中基建費用—0.33分/瓩·小時；運行費用—0.05分/瓩·小時；燃料價格—0.3分/瓩·小時；間接費用—0.05

分/瓩·小時。

建造價格

功率為22.5萬瓩的聯合裝置可以根據已有的知識建成，而無需作大量的研究和設計。裝置成本約為4500萬美元，而研究費為450萬美元。

功率為2萬瓩能生產過熱蒸汽的沸騰水模式型裝置要求作仔細的研究和改進。模式堆的研究費將為1170萬美元。模式堆造價估計為1170萬美元。

由於對閉合循環裝置已經作了深入研究，因此研究費用祇需440萬美元。全部裝置的價格為6800萬美元。這種裝置的建造是和每瓩小時的電能所需的投資有關的。

“西屋”公司的裝置特性

聯合裝置	
電功率(有效輸出)	21.5萬瓩
反應堆的功率比額	60%
過熱器功率比額	40%
蒸汽參數	148 大氣壓力下的干蒸汽和飽和蒸汽
釋熱組件的形狀	燃料棒束
燃料	UO_2 錠片
外殼	鋳2合金或不銹鋼
反應堆外殼材料	包不銹鋼的碳鋼
工作壓力	177大氣壓
內徑	2.82米
外殼厚度	20厘米+0.64厘米(連復蓋金屬層在內)
總高度	10.37米
蒸汽分離器數	2
工作壓力	177大氣壓
內徑	1.98米
全長	6.4米
循環泵數	4
工作壓力	17大氣壓
每個泵的流量	785升/秒
予熱器和過熱器	壓力爐型的
總尺寸	44.5×23.2×19.8米
透平發電機	三級汽輪發電機
工作壓力	126.5大氣壓
工作溫度	538/538℃

能生產過熱蒸汽的沸騰水裝置

電功率(有效輸出)	2萬瓩
透平節流閥的蒸汽參數	60.81大氣壓, 480℃
釋熱組件形狀	燃料棒束
燃料	UO_2 錠片
活性區壓力管數	80
過熱區中的蒸汽參數	77.33大氣壓, 538℃
沸騰區中蒸汽和水的混合物參數	84.36大氣壓, 342℃
過熱管數	24
沸騰管數	56

反应堆外壳	
压力	7.03大气压
温度	342°C
材料	碳钢
外径	3.81米
壁厚	1.27厘米
高	7.02米
石墨砌体	
高	4.27米
直径	3.36米
蒸汽鼓中水和蒸汽的混合物的参数	84.36大气压, 318°C
循环泵	2
每一泵的输送量	200升/秒
鼓风机中氮的流量	6440公斤/小时

闭合循环装置

电功率(有效输出)	3.3万千瓦
透平节流阀上的蒸汽	在45.7大气压下的干蒸汽和饱和蒸汽

第一回路管道数	5
水的总流量	33.7·10 ⁶ 公斤/小时
正常工作压力	151大气压
反应堆外壳	
材料	包不銹鋼的碳钢
水的参数	175.75大气压, 342°C
高	12.5米
内径	3.61米
厚	25厘米+0.0064米 (連复盖金属层在內)
重量	300吨
蒸汽发生器数	5
载热剂的主要泵数	5
泵的输送量	2450升/秒
活性区中的压力	176大气压
经过反应堆的载热剂流量	33.7·10 ⁶ 公斤/小时
透平	双级透平

[摘自 "Atomic Power Proposals in America",
Nuclear Power, 4, No. 44, 109—111 (1959)]

流动层内气体物质的反应

加拿大安大略省艾尔道拉道矿业及提炼公司为改善精矿还原过程及其氟化氢处理过程采用了流动层法。结果使设备生产率提高3倍(按反应器单位积计),使氟化氢消耗量由理论消耗量的205—240%降低为105%,使氢的消耗量由理论消耗量的250%降低为96%,使产品质量保持稳定(四氯化钛含量超过99%)并大大减少工作人员。

公司利用由溶剂法从精矿提取出的三氧化钛作为流动层的原材料。利用氢还原三氧化钛可以得到二氧化钛。

二氧化钛进入反应器后用氟化氢来处理,以便取得四氯化钛。

在这两个反应阶段内,保持已确定的温度梯度是极为重要的,以便使反应能进行到底。

在进行还原反应时,温度应该接近565°C,但是不得超过这个温度,这样才能保证三氧化物完全还原或二氧化物,同时也能保证在下一阶段以很高的产率转化为四氯化钛。

进行氟化氢处理时控制温度还有更重要的意义。因为反应是可逆的,随着放热反应的进行必须使温度有增高的可能性,以便使反应尽可能接近完全。此时温度应该低于平衡温度,以免固体粒子熔化。

当进行还原和用氟化氢处理时,原氧化物不断

加入带有流动层的反应器上部,并向下移动与上升气体相逆流,成品自下排出。

气体试剂自下送入,它是先通过测量装置,然后上升与向下移动的固体粒子流形成逆流。这样,新鲜的气体与反应器下部的产品相接触,以保证的高度的转化。

温度由流动层内的热电偶进行测量,热电偶将电流送入电热器内套或控制供应冷却用的液体氮线路的调节器内。分别处理每个反应器内的各个区域的控制因素,就能精确地调节反应器内自上而下的温度,并创造对反应最有利条件。

在把原三氧化物送入还原反应器之前,加入15%的净水并保证使混合物在流动带的一个特殊单元凝结,这样就能使材料粒化。大约经过五分钟, UO_2 变成 $UO_3 \cdot 2H_2O$ 颗粒。大小为3.2毫米+9.5毫米的粒子经过筛分后,再投入循环。

颗粒的质量对于流动层中进行的过程具有特别重要的意义,颗粒应该是很坚实的,以便能承受反应器内的静压力。由压碎颗粒形成的细屑会阻碍气体通过流动层。良好的颗粒能保证最大限度的转化。

还原反应器内的高91厘米的(总高4.5米,直径35.5厘米)上部脱水区(176—316°C)是由厚6.3毫米的347型不銹鋼制成的,在其下部温度增加到565°C,外壳是由309S型不銹鋼制成的。