

核出口管制清单 (国务院2001年4月28日批准)

中华人民共和国
国防科学技术工业委员会令

第 7 号

调整后的《核出口管制清单》，已经国务院2001年4月28日批准，现予发布，自发布之日起施行。

主任 刘积斌
二〇〇一年六月二十八日
(2001年6月28日 国务院批准)

内 容

第一部分 核材料

核材料系指源材料和特种可裂变材料。其中：

1. 源材料系指天然铀、贫化铀和钍，呈金属、合金、化合物或浓缩物形态的上述各种材料。但不包括：

- (1) 政府确信仅用于非核活动的源材料；
- (2) 在12个月期间内向某一接受国出口；
 - ① 少于500kg的天然铀；
 - ② 少于1000kg的贫化铀；
 - ③ 少于1000kg的钍。

2. 特种可裂变材料系指钚-239、铀-233、含同位素铀-235或铀-233或兼含铀-233和铀-235其同位素总丰度与铀-238的丰度比大于自然界中铀-235与铀-238的丰度比的铀，以及含有上述物质的任何材料。但不包括：

- (1) 钚-238同位素浓度超过80%的钚；
- (2) 克量或克量以下用作仪器传感元件的特种可裂变材料；
- (3) 在12个月期间内向某一接受国出口少于50有效克的特种可裂变材料。

第二部分 核设备和反应堆用非核材料

1 核反应堆和为其专门设计或制造的设备 and 部件

1.1 整体核反应堆

能够运行以便保持受控自持链式裂变反应的核反应堆，但不包括零功率反应堆，零功率反应堆定义为设计的钚最大生产率每年不超过100克的反应堆。

注释

一个"核反应堆"基本上包括反应堆容器内或直接安装在其上的物项、控制堆芯功率水平的设备和通常含有或直接接触或控制反应堆堆芯一次冷却剂的部件。

那些能适当地加以改进使每年产钚量大大超过100克的反应堆亦应包括在内。设计在较高功率水平下持续运行的反应堆，无论其产钚能力如何都不被认为是"零功率反应堆"。

1.2 核反应堆压力容器

金属容器，作为完整的装置或工厂预制的该装置的主要部件，被专门设计或制造来容纳上述1.1定义的核反应堆的堆芯，并且能承受一次冷却剂的工作压力。

注释

物项1.2包括反应堆压力容器的顶板，它是工厂预制的压力容器的主要部件。

1.3 核反应堆燃料装卸机

专门设计或制造用于在上述1.1定义的核反应堆中插入或取出燃料的操作设备。

注释

上述物项能够进行负载操作或利用技术上先进的定位或准直装置以便允许进行复杂的停堆装料操作，例如通常不可能直接观察或接近燃料的操作。"

1.4 核反应堆控制棒和设备

专门设计或制造用于控制上述1.1定义的核反应堆裂变过程的棒、支承结构或悬吊结构、棒驱动器或棒导向管。

1.5 核反应堆压力管

专门设计或制造用于容纳上述1.1定义的反应堆燃料元件和一次冷却剂的压力管，工作压力超过5.1 MPa (740 psi)。

1.6 锆管

专门设计或制造用于上述1.1定义的反应堆中在任何12个月期间数量超过500kg，而且其中铈与锆的重量比低于1:500的锆金属和合金的管或管组件。

1.7 一次冷却剂泵

专门设计或制造用于循环上述1.1定义的核反应堆用一次冷却剂的泵。

注释

专门设计和制造的泵可包括防止一次冷却剂渗漏的精密密封或多种密封的系统、全密封驱动泵，及有惯性质量系统的泵。这一定义包括鉴定为NC-1或相当标准的泵。

1.8 核反应堆内部构件

专门设计和制造用于上述1.1段所定义的核反应堆的"核反应堆内部构件"，包括堆芯支承柱、燃料通道、热屏蔽层、堆芯缓冲层、堆芯栅格板和扩散板。

注释

"核反应堆内部构件"是反应堆压力壳内的主要结构，具有一种或多种功能，例如支承堆芯、保持燃料对准、引导一次冷却水流向、提供反应堆压力壳的辐射屏蔽层、导向堆芯内仪表。

1.9 热交换器

专门设计或制造用于上述1.1段所定义的核反应堆的一次冷却水回路的热交换器（蒸汽发生器）。

注释

蒸汽发生器是专门设计或制造用于将反应堆内生成的热量（一回路侧）输送到进水（二回路侧）以产生蒸汽。对有一个中间液态金属冷却回路的液态金属快增殖堆的情况，除蒸汽发生器外，用于将一回路侧的热量输送到中间冷却回路的热交换器理所当然地属于控制范围以内。本条款的控制范围不包括应急冷却系统和衰变热冷却系统的热交换器。

1.10 中子探测和测量仪表

专门设计或制造用于测定上述1.1段所定义的核反应堆堆芯内中子通量的中子探测和测量仪表。

注释

本条款的范围包括用于测定大量程范围中子通量的堆芯内和堆芯外仪器仪表，典型地从每平方厘米每秒104个中子至每平方厘米每秒1010个中子或更高。堆芯外意指那些上述1.1段所定义的核反应堆堆芯外，但是位于生物屏蔽层内的仪器仪表。

2 反应堆用非核材料

2.1 氘和重水

任一接受方在任何12个月期间内收到的供上述1.1定义的核反应堆用的数量超过200kg氘原子的氘、重水(氧化氘)以及氘与氢原子之比超过1:5000的任何其他氘化物。

2.2 核级石墨

任一接受方在任何12个月期间内收到的供上述1.1定义的核反应堆用的数量超过 3×10^4 kg (30 t)、纯度高于百万分之五硼当量、密度大于1.50g/cm³的石墨。

注释

为了出口控制的目的，政府将确定出口符合上述技术指标的石墨是否用于核反应堆。

硼当量 (BE) 可以实验测定或以包括硼在内的杂质BEZ之总量计算得 (由于碳不被考虑是一种杂质，因此不包括BE碳)，其中：

$BEZ (\text{ppm}) = CF \times \text{元素Z的浓度} (\text{ppm为单位})$ ；

CF为转化因子： $(\sigma_Z \times A_B)$ 除以 $(\sigma_B \times A_Z)$ ； σ_B 和 σ_Z 分别为自然界形成的硼和元素Z的热中子俘获截面 (巴为单位)；以及 A_B 和 A_Z 分别为自然界形成的硼和元素Z的原子质量。

3 辐照燃料元件后处理厂以及为其专门设计或制造的设备

按语

辐照核燃料经后处理能从强放射性裂变产物以及其他超铀元素中分离钚和铀。有各种技术工艺流程能够实现这种分离。但是，多年来，“普雷克斯”已成为最普遍采用和接受的工艺流程。“普雷克斯”流程包括：将辐照核燃料溶解在硝酸中，然后利用磷酸三丁酯与一种有机稀释剂的混合剂通过溶剂萃取法分离铀、钚和裂变产物。

各种“普雷克斯”设施具有彼此相似的工艺功能，包括：辐照燃料元件的切割、燃料溶解、溶剂萃取和工艺液流的贮存。还可能有种种设备，用于：使硝酸铀酰热脱硝，把硝酸钚转化成氧化钚或金属钚，以及把裂变产物的废液处理成适合于长期贮存或处置的形式。但是，实现这些功能的设备的类型和结构在各种“普雷克斯”设施之间可能不同，原因

有几个，其中包括需要后处理的辐照核燃料的类型和数量、打算对回收材料的处理和设施设计时所考虑的安全和维修原则。

一个"辐照燃料元件后处理厂"包括通常直接接触和直接控制辐照燃料和主要核材料以及裂变产物工艺液流的设备和部件。

可以通过采取各种避免临界(例如通过几何形状)、辐射照射(例如通过屏蔽)和毒性危险(例如通过安全壳)的措施来确定这些过程,包括钚转换和钚金属生产的完整系统。

3.1 辐照燃料元件切割机

按语

这种设备能切开燃料包壳,使辐照核材料能够被溶解。专门设计的金属切割机是最常用的,当然也可能采用先进设备,例如激光器。

专门设计或制造供上述确定的后处理厂用来切割或剪切辐照燃料组件、燃料棒束或棒的遥控设备。

3.2 溶解器

按语

溶解器通常接受切碎了的乏燃料。在这种临界安全的容器内,辐照核材料被溶解在硝酸中,而剩余的壳片从工艺液流中被去掉。

专门设计或制造供上述确定的后处理厂用来溶解辐照核燃料,并能承受热、腐蚀性强的液体以及能远距离装料和维修的临界安全容器(例如小直径、环形或平板式的容器)。

3.3 溶剂萃取器和溶剂萃取设备

按语

溶剂萃取器既接受溶解器中出来的辐照燃料的溶液,又接受分离铀、钚和裂变产物的有机溶液。溶剂萃取设备通常设计得能满足严格的运行参数,例如很长的运行寿命,毋需维修或易于更换、操作和控制简便以及可适应工艺条件的各种变化。

专门设计或制造用于辐照燃料后处理厂的溶剂萃取器,例如填料塔或脉冲塔、混合澄清器或离心接触器。溶剂萃取器必须能耐硝酸的腐蚀作用。溶剂萃取器通常由低碳不锈钢、钛、锆或其他优质材料,按极高标准(包括特种焊接和检查以及质量保证和质量控制技术)加工制造而成。

3.4 化学溶液保存或贮存容器

按语

溶剂萃取阶段产生三种主要的工艺液流。所有这三种液流在如下的进一步处理过程中要使用保存或贮存容器：

(a) 用蒸发法使纯硝酸铀酰溶液浓缩，然后使其进到脱硝过程，并在此过程中转变成氧化铀。这种氧化物再在核燃料循环中利用。

(b) 通常用蒸发法浓缩强放射性裂变产物溶液，并以浓缩液形式贮存。随后可蒸发这种浓缩液并将其转换成适合于贮存或处置的形式。

(c) 在将纯硝酸铀溶液转到下几个工艺步骤前先将其浓缩并贮存。尤其是，铀溶液的保存或贮存容器要设计得能避免由于这种液流浓度和形状的改变导致的临界问题。

专门设计或制造为辐照燃料后处理厂用的保存或贮存容器。这种保存或贮存容器必须能耐硝酸的腐蚀作用。保存或贮存容器通常用低碳不锈钢、钛或锆或其他优质材料制造。保存或贮存容器可设计成能远距离操作和维修，而且它们可具有下述控制核临界的特点：

- (1) 壁或内部结构至少有百分之二的硼当量，或
- (2) 对于圆柱状容器来说，最大直径175mm(7in)，或
- (3) 对于平板式或环形容容器来说，最大宽度75 mm(3 in)。

3.5 硝酸铀到氧化铀的转化系统

按语

在大多数后处理设施中，这个最后的流程包括将硝酸铀溶液转变成二氧化铀。这个流程的主要功能是：流程进料贮存和调节、沉淀和固/液分离、煅烧、产品装运、通风、废物管理和流程控制。

专门设计或制造用于将硝酸铀转化为氧化铀、经特别配置以避免临界和辐射影响并且将毒性危害减到最小的完整系统。

3.6 氧化铀到金属铀的生产系统

按语

这个流程可能与后处理设施有关，它涉及：通常用强腐蚀性氟化氢使二氧化铀氟化，产生氟化铀；然后用高纯度钙金属使氟化铀还原，产生金属铀和氟化钙渣。这个流程的主要功能是：氟化(例如涉及用贵金属制造或作衬垫的设备)、金属还原(例如用陶瓷坩锅)、渣的回收、产品装运、通风、废物管理和流程控制。

专门设计或制造用于生产金属铀、经特别配置以避免临界和辐射影响并且将毒性危害减到最小的完整系统。

4 用于制造核反应堆燃料元件的工厂和为其专门设计或制造的设备

按语

核燃料元件是由本附件第一部分所述的一种或多种源材料或特种可裂变材料制造的。对于氧化物燃料这一种最常用的燃料类型，常用芯块压制、烧结、研磨和分级的设备。直到密封于包壳内，混合氧化物燃料是在手套箱内操作的（或等效的箱体）。在所有情况下，燃料被密封于一个合适的包壳内，这种包壳是设计作为包装燃料的第一层外壳，以便在反应堆运行时提供适当的性能和安全。此外，在所有情况下，为保证可预计的和安全的燃料性能，必须按照最高标准精确控制流程、程序和设备。

注释

考虑属于燃料元件制造的"和专门设计或制造的设备"这一含义的设备项目包括设备：

- a) 通常直接接触或加工或控制核材料生产流程的设备，
- b) 将核材料封入包壳的设备，
- c) 检验包壳或密封完整性的设备，或
- d) 检验密封燃料的最终处理的设备。

这一设备或这些设备系统可能包括例如：

- 1) 专门设计或制造用于检验燃料芯块的最终尺寸和表面缺陷的全自动芯块检查台；
- 2) 专门设计或制造用于将端塞焊接于燃料细棒（或棒）的自动焊接机；
- 3) 专门设计或制造用于检验燃料细棒（或棒）成品密封性的自动化测试和检查台；

第3)项典型地包括设备用于：a) 细棒（或棒）端塞焊缝X-射线检测，b) 充压细棒（或棒）的氦检漏，c) 细棒（或棒）的 γ -射线扫描以检验内部燃料芯块的正确装载。

5 铀同位素分离厂以及为其专门设计或制造的(除分析仪器以外的)设备

可以认为属于为铀同位素分离"专门设计或制造的(除分析仪器外的)设备"这一概念范围的设备物项包括：

5.1 气体离心机和专门设计或制造用于气体离心机的组件和构件

按语

气体离心机通常由一个(或几个)直径在75 mm(3 in)和400 mm(16in)之间的薄壁圆筒组成。圆筒处在真空环境中并且以大约300m/s或更高的线速度旋转，旋转时其中轴线保持垂直。为了达到高的转速，旋转构件的结构材料必须具有高的强度/密度比，而转筒组件及

其单个构件必须按高精度公差来制造以便使不平衡减到最小。与其他离心机不同，浓缩铀用的气体离心机的特点是：在转筒室中有一个(或几个)盘状挡板和—个固定的管列用来供应和提取UF₆气体，其特点是至少有三个单独的通道，其中两个与从转筒轴向转筒室周边伸出的收集器相连。在真空环境中还有一些不转动的关键物项，它们虽然是专门设计的，但不难制造，也不是用独特材料制造的。不过，一个离心机设施需要大量的这种构件，因此其数量是最终使用的一个重要指标。

5.1.1 转动部件

(a) 完整的转筒组件：

用本节注释中所述的一种或一种以上高强度/密度比材料制成的若干薄壁圆筒或一些相互连接的薄壁圆筒；如果是相互连接的，则圆筒通过以下5.1.1. (c)所述的弹性波纹管或环连接。转筒(如果是最终形式的话)装有以下5.1.1. (d)和(e)所述一个(或几个)内挡板和端盖。但是完整的组件可能只以部分组装形式交货。

(b) 转筒

专门设计或制造的厚度为12mm(0.5in)或更薄的直径在75mm(3in)和400mm(16in)之间、用本节注释中所述一种或一种以上高强度/密度比材料制成的薄壁圆筒。

(c) 环或波纹管：

专门设计或制造用于局部支承转筒或把数个转筒连接起来的构件。波纹管是壁厚3mm(0.12in)或更薄的直径在75mm(3in)和400mm(16in)之间、用本节注释中所述一种或一种以上高强度/密度比材料制成的有褶皱圆筒。

(d) 挡板：

专门设计或制造的直径在75 mm(3in)和400mm(16in)之间、用本节注释中所述各种高强度/密度比材料之一制成的安装在离心机转筒内的盘状构件，其作用是将排气室与主分离室隔开，在某些情况下帮助UF₆气体在转筒的主分离室中循环。

(e) 顶盖/底盖：

专门设计或制造的直径在75 mm(3in)和400mm(16in)之间、用本节注释中所述各种高强度/密度比材料之一制成的装在转筒端部的盘状构件，这样就把UF₆包容在转筒内，在有些情况下还作为整体一部分支承、保持或容纳上轴承件(顶盖)或支持马达的旋转件和下轴承件(底盖)。

注释

离心机转动构件所用材料是：

(a) 极限抗拉强度为2.05X10⁹ N/m²(300000psi)或更高的马氏体钢；

- (b) 极限抗拉强度为 $0.46 \times 10^9 \text{ N/m}^2$ (67000psi) 或更高的铝合金;
- (c) 适合于复合结构用的纤维材料, 其比模量应为 $12.3 \times 10^6 \text{ m}$ 或更高, 比极限抗拉强度应为 $0.3 \times 10^6 \text{ m}$ 或更高("比模量"是用 N/m^2 表示的杨氏模量除以用 N/m^3 表示的比重; "比极限抗拉强度"是用 N/m^2 表示的极限抗拉强度除以用 N/m^3 表示的比重)。

5.1.2 静态部件

(a) 磁悬浮轴承

专门设计或制造的轴承组合件, 由悬浮在充满阻尼介质箱中的一个环形磁铁组成。该箱要用耐UF6的材料(见5.2的注释)制造。该磁铁与装在5.1.1.(e)所述顶盖上的一个磁极片或另一个磁铁耦合。此磁铁可以是环形的, 外径与内径的比小于或等于1.6:1。它的初始磁导率可以是 0.15H/m (120000CGS制单位)或更高, 或剩磁98.5%或更高, 或产生的能量高于 80rJ/m^3 (107高斯-奥斯特)。除了具有通常的材料性质外, 先决条件是磁轴对几何轴的偏离应限制在很小的公差范围内(低于 0.1 mm 或 0.004in)或特别要求磁铁材料有均匀性。

(b) 轴承/阻尼器:

专门设计或制造的架在阻尼器上的具有枢轴/盖的轴承。枢轴通常是一种淬硬钢轴, 一端精加工成半球, 而另一端能连在5.1.1.(e)所述底盖上。但是这种轴可附有一个动压轴承。盖是球形的, 一面有一个半球形陷穴。这些构件通常是单独为阻尼器提供的。

(c) 分子泵:

专门设计或制造的内部有已加工或挤压的螺纹槽和已加工的腔的泵体。典型尺寸如下: 内径 75mm (3in)到 400mm (16in), 壁厚 10mm (0.4in)或更厚, 长度等于或大于直径。刻槽的横截面是典型的矩形, 槽深 2mm (0.08in)或更深。

(d) 电动机定子:

专门设计或制造的环形定子, 用于在真空中频率范围为 $600\text{--}2000\text{Hz}$ 、功率范围为 $50\text{--}1000\text{VA}$ 条件下同步运行的高速多相交流磁滞(或磁阻)式电动机。定子由在典型厚度为 2.0mm (0.08in)或更薄一些的薄层组成的低损耗叠片铁芯上的多相绕组组成。

(e) 离心机壳/收集器:

专门设计或制造用来容纳气体离心机的转筒组件的部件。离心机壳由一个壁厚达 30mm (1.2in)的刚性圆筒组成, 它带有经过精密机械加工的两个端面以便固定轴承和一个或多个便于安装的法兰盘。这两个经过机械加工的端面相互平行, 并以不大于 0.05 度的误差与圆筒轴垂直。离心机壳也可是一种格状结构以容纳几个转筒。这种机壳通常用耐UF6腐蚀的材料制造或是用这类材料加以保护。

(f) 收集器:

专门设计或制造的内径达 12mm (0.5in)的一些管件, 它们用来借助

皮托管作用(即利用一个例如扳弯径向配置的管的端部而形成的面迎转筒内环形气流的开口)从转筒内部提取UF₆气体,并且能与中心气体提取系统相连。这类管件用耐UF₆腐蚀的材料制造或用这类材料加以保护。

5.2 为气体离心浓缩工厂专门设计或制造的辅助系统、设备和部件

按语

气体离心浓缩工厂用的辅助系统、设备和部件是向离心机供应UF₆,把单个离心机相互联接组成级联(多级)从而逐渐提高浓缩度并且从离心机中提取UF₆"产品"和"尾料"所需的各种工厂系统,以及驱动离心机或控制该工厂所需要的设备。

通常利用经加热的高压釜将UF₆从固体中蒸发出来,气态形式的UF₆通过级联集管线路被分配到各个离心机。通过级联集管线路使从离心机流出的UF₆"产品"和"尾料"气流通到冷阱(在约203K(-70℃)下工作),气流在冷阱先冷凝,然后再送入适当的容器以便运输或贮存。由于一个浓缩工厂由排成级联式的数千个离心机组成,所以级联的集管线路有数公里长,含有几千条焊缝而且管道布局大量重复。上述设备、部件和管道系统都是按非常高的真空和净度标准制造的。

5.2.1 送料系统/产品和尾料提取系统

专门设计或制造的流程系统包括:

送料釜(或送料器),用于以高达100kPa(15 psi)的压力和1kg/h(或更大)的速率将UF₆送往离心机级联;

凝华器(或冷阱),用于以高达3kPa(0.5psi)的压力从级联中取出UF₆。凝华器能被冷却到203K(-70℃)和加热到343K(70℃);

"产品"和"尾料"器,用来把UF₆收集到容器中。

这种设施、设备和管线全部用耐UF₆的材料制成或用作衬里(见本节的注释),并且按很高的真空和净度标准制造。

5.2.2 机械集管管路系统

专门设计或制造用于在离心机级联中操作UF₆的管路系统和集管系统。管路网络通常是"三头"集管系统,每个离心机连接一个集管头。这样,在形式上有大量重复。全都用耐UF₆的材料(见本节注释)制成并且按很高的真空和净度标准制造。

5.2.3 UF₆质谱仪/离子源

专门设计或制造的磁质谱仪或四极质谱仪,这两种谱仪能从UF₆气流中"在线"取得送料、产品或尾料的样品,并且具有以下所有特点:

1. 原子质量单位的单位分辨率高于320;

2. 离子源用尼赫罗姆合金或蒙乃尔合金制成或以这些材料作为衬里或镀镍;
3. 电子轰击离子源;
4. 有一个适合于同位素分析的收集系统。

5.2.4 频率变换器

为满足5.1.2.(d)中定义的电动机定子的需要而专门设计或制造的频率变换器(又称变频器或变换器)或这类频率变换器的部件、构件和子配件。

它们具有下述所有特点:

1. 多相输出600-2000Hz;
2. 高稳定性(频率控制优于0.1%);
3. 低谐波畸变(低于2%); 和
4. 效率高于80%。

注释

以上所列物项不是直接接触UF₆ 流程气体就是直接控制离心机和直接控制这种气体从离心机到离心机以及从级联到级联的通路。

耐UF₆腐蚀的材料包括不锈钢、铝、铝合金、镍或含镍60%(或以上)的合金。

5.3 专门设计或制造用于气体扩散浓缩的组件和部件

用气体扩散法分离铀同位素时,主要的技术组件是一个特制的多孔气体扩散膜、用于冷却(经压缩过程加热的)气体的热交换器、密封阀和控制阀以及管道。由于气体扩散技术使用的是六氟化铀(UF₆),所有的设备、管道和仪器仪表(与气体接触的)表面都必须用同UF₆接触时能保持稳定的材料制成。一个气体扩散设施需要许多这样的组件,因此其数量是最终使用的一个重要指标。

5.3.1 气体扩散膜

(a) 专门设计或制造的由耐UF₆腐蚀的金属、聚合物或陶瓷材料制成的很薄的多孔过滤膜,孔的大小为100-1000 μ m,膜厚5mm(0.2in)(或以下),对于管状膜来说,直径为25mm(1 in)(或以下); 和

(b) 为制造这种过滤膜而专门制备的化合物或粉末。这类化合物和粉末包括镍或含镍60%(或以上)的合金、氧化铝或纯度99.9%(或以上)的耐UF₆的完全氟化的烃聚合物,粒度小于10 μ m。粒度高度均匀。这些都是专门为制造气体扩散膜制备的。

5.3.2 扩散室

专门设计或制造的直径大于300mm(12in)、长度大于900mm(35in)的

密闭式圆柱形容器或尺寸相当的矩形容器；该容器有直径均大于50 mm (2in) 的一个进气管和两个出气管，容器用于容纳气体扩散膜，由耐UF6的材料制成或以其作为衬里，并且设计成便于水平安装和竖直安装的形式。

5.3.3 压缩机和鼓风机

专门设计或制造的轴向离心式或正排量压缩机或鼓风机，其体积吸气能力为 $1\text{m}^3\text{UF}_6/\text{min}$ (或更大)，出口压力高达几百千帕 (100psi)，设计成在具有或没有适当功率电动机的UF6环境中长期运行。此外，还有这类压缩机或鼓风机的分离组件，这种压缩机和鼓风机的压力比在2:1和6:1之间，用耐UF6的材料制成或以其作为衬里。

5.3.4 转动轴封

专门设计或制造的真空密封装置，有密封式进气口和出气口，用于密封把压缩机或鼓风机转子同传动马达连接起来的转动轴，以保证可靠的密封，防止空气渗入充满UF6的压缩机或鼓风机的内腔。这种密封装置通常设计成将缓冲气体泄漏率限制到小于 $1000\text{cm}^3/\text{min}$ ($60\text{in}^3/\text{min}$)。

5.3.5 冷却UF6的热交换器

专门设计或制造的用耐UF6材料 (不锈钢除外) 制成或以其作为衬里或以铜或这些金属的复合物作衬里的热交换器，在压差为 100kPa (15psi) 下渗透压力变化率小于 10pa/h (0.0015psi)。

5.4 专门设计或制造的用于气体扩散浓缩的辅助系统、设备和部件

按语

气体扩散浓缩工厂用的辅助系统、设备和部件是向气体扩散组件供应UF6，把单个组件相互联结组成级联 (或多级) 以便使浓缩度逐步增高并且从各个扩散级联中提取UF6 "产品" 和 "尾料" 所需的工厂系统。由于扩散级联的惯性很大，级联运行的任何中断，特别是停车，会导致严重后果。因此，在所有工艺系统中严格持续地保持真空、自动防止事故、准确地自动调节气流对气体扩散工厂是很重要的。所有这一切，使该工厂需要装备大量专用的测量、调节和控制系统。

通常UF6从置于高压釜内的圆筒中蒸发，以气态形式经级联集管管路被分配到进口。从出口流出的UF6 "产品" 和 "尾料" 气流通过级联集管管路被分配到冷阱或压缩装置，UF6气体在那里液化，然后再进到适当的容器以便运输或贮存。由于一个气体扩散浓缩工厂由排成级联式的大量气体扩散组件组成，所以级联的集管管线有数公里长，含有几千条焊缝而且管道布局大量重复。上述设备、部件和管道系统都按非常高的真

空和净度标准制造。

5.4.1 供料系统/产品和尾料提取系统

专门设计或制造的能在300kPa (45psi) 或以下的压力下运行的流程系统，

包括：

- 供料釜(或供料系统)，用于将UF₆送入气体扩散级联；
- 凝华器(或冷阱)，用于从扩散级联中取出UF₆；
- 液化器，将来自级联的UF₆气体压缩并冷凝成液态UF₆；
- "产品"器或"尾料"器，用来把UF₆收集到容器中。

5.4.2 集管管路系统

专门设计或制造用于在气体扩散级联中操作UF₆的管路系统和集管系统。这种管路网络通常是"双头"集管系统，每个扩散单元连接一个集管头。

5.4.3 真空系统

(a) 专门设计或制造的大型真空歧管、真空集管和抽气能力为5 m³/min(或以上)的真空泵。

(b) 专门设计的在含UF₆气氛中使用的真空泵，用铝、镍或含镍量高于60%的合金制成或以其作为衬里。这些泵可以是旋转式或正压式，可有排代式密封和碳氟化合物密封并且可以有特殊工作流体存在。

5.4.4 特种截流阀和控制阀

专门设计和制造的由耐UF₆材料制成的直径为40-1500mm (1.5-59in)可手动或自动的截流阀和控制波纹管阀，用来安装在气体扩散浓缩工厂的主系统和辅助系统中。

5.4.5 UF₆质谱仪/离子源

专门设计或制造的磁质谱仪或四极质谱仪，这些谱仪能从UF₆气流中"在线"取得供料、产品或尾料的样品，并且具有以下所有特点：

1. 原子质量单位的单位分辨率高于320；
2. 离子源用尼赫罗姆合金或蒙乃尔合金制成或以这些材料作为衬里或镀镍；
3. 电子轰击离子源；
4. 有一个适合于同位素分析的收集系统。

注释

以上所列物项不是直接接触UF₆流程气体就是直接控制级联中的这种气流。所有接触流程气体的表面，均需用耐UF₆材料制成或以其作为

衬里。就本节有关气体扩散物项而言，耐UF₆腐蚀的材料包括：不锈钢、铝、铝合金、氧化铝、镍或含镍60%(或以上)的合金，以及耐UF₆的完全氟化的烃聚合物。

5.5 专门设计或制造用于气动浓缩厂的系统、设备和部件

按语

在气体动力学浓缩过程中，要压缩气态UF₆和轻气体(氢或氦)的混合气，然后使其通过分离元件。在这些元件中，通过在一个曲壁几何结构面上产生的高离心力，完成同位素分离。已经成功地开发了这种类型的两个过程：喷嘴分离过程和涡流管过程。就这两种过程而言，一个分离级的主要部件包括容纳专用分离元件(喷嘴或涡流管)的圆筒状容器、气体压缩机和用来排出压缩热的热交换器。一座气动浓缩工厂需要若干个这种分离级：因此其数量是最终用的一个重要指标。由于气动过程使用UF₆，所有设备、管线和仪器仪表中与这种气体接触的表面，都必须用同UF₆接触时能保持稳定的材料制成。

注释

本节所列物项不是直接接触UF₆流程气体就是直接控制级联中的这种气流。所有接触流程气体的表面，均需用耐UF₆材料制成或用耐UF₆材料保护。就本节有关气动浓缩物项而言，耐UF₆腐蚀的材料包括：铜、不锈钢、铝、铝合金、镍或含镍60%(或以上)的合金，以及耐UF₆的完全氟化的烃聚合物。

5.5.1 分离喷嘴

专门设计或制造的分离喷嘴及其组件。分离喷嘴由一些狭缝状、曲率半径小于1 mm(一般为0.1 mm-0.05 mm)的耐UF₆，腐蚀的弯曲通道组成，喷嘴中有一分离楔尖能将流过该喷嘴的气体分成两部分。

5.5.2 涡流管

专门设计或制造的涡流管及其组件。涡流管呈圆筒形或锥形，用耐UF₆腐蚀材料制成或加以保护，其直径在0.5cm至4cm之间，长径比率为20:1或更小，并带有1个或多个切向进口。这些涡流管的一端或两端装有喷嘴型附件。

注释

供料气体在涡流管的一端切向进入涡流管，或通过一些旋流叶片，或从沿涡流管周边分布的若干个切向位置进入涡流管。

5.5.3 压缩机和鼓风机

专门设计或制造的用耐UF₆腐蚀材料制成或加以保护的轴向离心式或正排量压缩机或鼓风机，其体积吸入能力为2m³/min或更大的UF₆/载气(氢或氦)混合气。

注释

这些压缩机和鼓风机的压力比一般在1.2:1和6:1之间。

5.5.4 转动轴封

专门设计或制造的带有密封式进气口和出气口的转动轴封，用于密封把压缩机或鼓风机转子同驱动马达连接起来的转动轴，以保证可靠的密封，防止过程气体外漏或空气或密封气体渗入充满UF₆/载气混合气的压缩机或鼓风机内腔。

5.5.5 冷却气体用热交换器

专门设计或制造的用耐UF₆腐蚀材料制成或加以保护的热交换器。

5.5.6 分离元件外壳

专门设计或制造的用耐UF₆腐蚀的材料制成或加以保护的用作容纳涡流管或分离喷嘴的分离元件外壳。

注释

这种外壳可以是直径大于300mm、长度大于900mm的圆筒状容器或尺寸相当的矩形容器，并可设计成便于水平安装或竖直安装的形式。

5.5.7 供料系统/产品和尾料提取系统

专门为浓缩工厂设计或制造的用耐UF₆腐蚀材料制成的或加以保护的流程系统，包括：

- (a) 供料釜、供料加热炉或供料系统，用于将UF₆送入浓缩过程；
- (b) 凝华器(或冷阱)，用于从浓缩过程中移出UF₆，供下一步加热转移；
- (c) 固化器或液化器，用于通过压缩UF₆并将其转换为液态形式或固态形式，从浓缩流程中移出UF₆；
- (d) "产品"器或"尾料"器，用于把UF₆收集到容器中。

5.5.8 集管管路系统

专门为操作气动级联中的UF₆设计或制造的用耐UF₆腐蚀材料制成或保护的集管管路系统。这种管路系统通常"双头"集管系统，每级或每个级组连接一个集管头。

5.5.9 真空系统和泵

(a) 为在含UF₆气氛中工作而专门设计或制造的抽气能力为5m³/min或更大的由若干真空歧管、真空集管和真空泵组成的真空系统;

(b) 为在含UF₆气氛中工作而专门设计或制造的用耐UF₆腐蚀的材料制成或保护的真空泵。这些泵也可用氟碳密封和特殊工作流体。

5.5.10 特种截流阀和控制阀

专门设计或制造的由耐UF₆腐蚀材料制成或保护的直径为40-1500 mm的可手动或自动的截流阀和控制波纹管阀, 用来安装在气动浓缩工厂的主系统和辅助系统中。

5.5.11 UF₆质谱仪/离子源

专门设计或制造的磁质谱仪或四极质谱仪, 这些谱仪能从UF₆气流中"在线"取得供料、产品或尾料的样品, 并且具有以下所有特点:

1. 质量的单位分辨率高于320;
2. 离子源用尼赫罗姆合金或蒙乃尔合金制成或以这些材料作为衬里或镀镍;
3. 电子轰击离子源;
4. 有一个适合于同位素分析的收集器系统。

5.5.12 UF₆/载气分离系统

专门设计或制造的将UF₆与载气(氢或氮)分离开来的过程系统。

注释

这些系统是为将载气中的UF₆含量降至1 ppm或更低而设计的, 并可装有下列的设备:

- (a) 低温热交换器和低温分离器, 能承受-120℃或更低的温度,
- 或
- (b) 低温制冷设备, 能承受-120℃或更低的温度, 或
 - (c) 用于将UF₆与载气分离开来的分离喷嘴或涡流管设备, 或
 - (d) UF₆冷阱, 能承受-20℃或更低的温度。

5.6 专门设计或制造用于化学交换或离子交换浓缩工厂的系统、设备和部件

按语

铀的几种同位素在质量上的微小差异, 能引起化学反应平衡小的变化。这可用作同位素分离的基础。已经开发成功两种工艺过程: 液-液化学交换过程和固-液离子交换过程。

在液-液化学交换过程中, 两种不混溶的液相(水相和有机相)作逆流接

触，结果给出数千分离级的级联效果。水相由含氯化铀的盐酸溶液组成；有机相由载氯化铀的萃取剂的有机溶剂组成。分离级联中使用的接触器可以是液-液交换柱(例如带有筛板的脉冲柱)，或是液体离心接触器。在分离级联的两端要求实现化学转化(氧化和还原)以保证各端的回流要求。一个重要的设计问题是避免这些过程物流被某些金属离子沾污。所以，一般使用塑料的、衬塑料的(包括用氟碳聚合物)和(或)衬玻璃的柱和管线。

在固-液离子交换过程中，浓缩是由铀在一种特制的作用很快的离子交换树脂或吸附剂上的吸附/解吸完成的。使铀的盐酸溶液和其他化学试剂，从载有吸附剂填充床的圆筒形浓缩柱中通过。就一个连续过程而言，需要有一个回流系统，以便把从吸附剂上解吸下来的铀返回到液流中，这样便可收集"产品"和"尾料"。这是通过使用适宜的还原/氧化化学试剂来完成的。这些试剂可在单独的外部系统中完全再生，并可在同位素分离柱内部分地再生。由于在这种工艺过程中有热的浓盐酸溶液存在，使用的设备应该用专门的耐腐蚀材料制造或保护。

5.6.1 液-液交换柱(化学交换)

为使用化学交换过程的铀浓缩工厂专门设计或制造的有机动力输入的逆流液-液交换柱(即带有筛板的脉冲柱、往复板柱和带有内部涡轮混合器的柱)。为了耐浓盐酸溶液的腐蚀，这些交换柱及其内部构件一般用适宜的塑料(例如氟碳聚合物)或玻璃制作或保护。交换柱的级停留时间一般被设计得很短(30秒或更短)。

5.6.2 液-液离心接触器(化学交换)

为使用化学交换过程的铀浓缩工厂而专门设计或制造的液-液离心接触器。此类接触器利用转动来达到有机相与水相的分散，然后借助离心力来分离这两相。为了耐浓盐酸溶液的腐蚀，这些接触器一般用适当的塑料(例如碳氟聚合物)来制造或作衬里，或衬以玻璃。离心接触器的级停留时间被设计得很短(30秒或更短)。

5.6.3 铀还原系统和设备(化学交换)

(a) 为使用化学交换过程的铀浓缩工厂专门设计或制造的、用来将铀从一种价态还原为另一种价态的电化学还原槽。与过程溶液接触的这种槽的材料必须能耐浓盐酸溶液腐蚀。

注释

这种槽的阴极室必须设计成能防止铀被再氧化到较高的价态。为了把铀保持在阴极室中，这种槽可有一个由特种阳离子交换材料制成的抗渗的隔膜。阴极一般由石墨之类适宜的固态导体组成。

(b) 装在级联的产品端为将有机相流中的U⁴⁺移出、调节酸浓度和

向电化学还原槽供料而专门设计或制造的系统。

注释

这些系统由以下设备组成：将有机相流中的U+4反萃取到水溶液中的溶剂萃取设备，完成溶液pH值调节和控制的蒸发设备和(或)其他设备，以及向电化学还原槽供料的泵或其他输送装置。一个重要的设计问题是要避免水相流被某些种类的金属离子沾污。因此，对该系统那些接触这种过程物流的部分，要用适当的材料(例如玻璃、碳氟聚合物、聚苯硫酸酯、聚醚砜和用树脂浸过的石墨)制成或保护的装置来构成。

5.6.4 供料准备系统(化学交换)

专门设计或制造的用来为化学交换铀同位素分离工厂生产高纯氯化铀供料溶液的系统。

注释

这些系统由进行纯化所需的溶解设备、溶剂萃取设备和(或)离子交换设备，以及用来将U+6或U-4还原为U+3的电解槽组成。这些系统产生只含几个ppm的铬、铁、钒、钼和其他两价或价态更高的阳离子金属杂质的氯化铀溶液。处理高纯度U+3系统的若干部分的建造材料包括玻璃、碳氟聚合物、聚苯硫酸酯或聚醚砜塑料衬里的石墨和用树脂浸过的石墨。

5.6.5 铀氧化系统(化学交换)

专门设计或制造用于将U+3氧化为U+4以便返回化学交换浓缩过程的铀同位素分离级联的系统。

注释

这些系统可装有如下设备：

(a) 使氯气和氧气与来自同位素分离设备的水相流相接触的设备以及将所得U+4萃入由级联的产品端返回的已被反萃取过的有机相的设备；

(b) 使水与盐酸分离开来，以便水和加浓了的盐酸可在适当位置被重新引入工艺过程的设备。

5.6.6 快速反应离子交换树脂/吸附剂(离子交换)

为以离子交换过程进行铀浓缩而专门设计或制造快速反应离子交换树脂或吸附剂包括：多孔大网络树脂，和(或)薄膜结构(在这些结构中，活性化学交换基因仅限于非活性多孔支持结构表面的一个涂层)，以及处于包括颗粒或纤维在内的任何适宜形式的其他复合结构。这些离子交换树脂/吸附剂的直径有0.2mm或更小，而且在化学性质上必须能

耐浓盐酸溶液腐蚀，在物理性质上必须有足够的强度因而在交换柱中不被降解。这些树脂/吸附剂是专门为实现很快的铀同位素交换动力学过程(低于10秒的交换速率减半期)而设计的，并且能在100-200℃的温度范围内操作。

5.6.7 离子交换柱(离子交换)

为以离子交换过程进行铀浓缩而专门设计或制造的用于容纳和支撑离子交换树脂/吸附剂填充床层的直径大于1000mm的圆筒状柱。这些柱一般用耐浓盐酸溶液腐蚀的材料(例如钛或碳氟塑料)制成或保护，并能在100-200℃的温度范围内和高于0.7 MPa(102psi)的压力下操作。

5.6.8 离子交换回流系统(离子交换)

(a) 专门设计或制造的用于使离子交换铀浓缩级联中所用化学还原剂再生的化学或电化学还原系统。

(b) 专门设计或制造的用于使离子交换铀浓缩级联中所用化学氧化剂再生的化学或电化学氧化系统。

注释

离子交换浓缩过程可使用例如Ti⁺³作为还原阳离子，在这种情况下，所用还原系统将通过还原Ti⁺⁴使Ti⁺³再生。

离子交换浓缩过程可使用例如Fe⁺³作为氧化剂，在这种情况下，所用氧化系统将通过氧化Fe⁺²来使Fe⁺³再生。

5.7 专门设计或制造用于以激光为基础的浓缩工/厂的系统、设备和部件

按语

目前利用激光的浓缩过程的系统有两类：一类是过程介质为原子铀蒸气的系统，另一类是过程介质为铀化合物的蒸气的系统。这些过程的通用名称包括：第一类--原子蒸气激光同位素分离(AVLIS或SILVA)；第二类--分子激光同位素分离(MLIS或MOLLS)和同位素选择性激光活化化学反应(CRISLA)。用于激光浓缩工厂的系统、设备和部件包括：(a) 铀金属蒸气供料装置(用于选择性光电离)或铀的化合物蒸气供料装置(用于光离解或化学活化)；(b) 第一类中作为"产品"和"尾料"的浓缩的铀金属和贫化的铀金属收集装置，和第二类中作为"产品"的离解的或反应的化合物和作为"尾料"的未发生变化材料的收集装置；(c) 用于选择性地激发铀-235的激光过程系统；和(d) 供料准备设备和产品转化设备。鉴于铀原子和铀化合物能谱的复杂性，可能需要同现有激光技术中的任何一种联合使用。

注释

本节所列的许多物项将直接接触铀金属蒸气、液态金属铀，或由UF₆或UF₆和其他气体的混合物组成的过程气体。所有与铀或UF₆接触的表面，都全部由耐腐蚀材料制造或保护。就有关基于激光的浓缩的物项而言，耐铀金属或铀合金蒸气或液体腐蚀的材料包括：氧化钽涂敷石墨和钽；耐UF₆腐蚀的材料包括：铜、不锈钢、铝、铝合金、镍或含镍60%或以上的合金和耐UF₆腐蚀的完全氟化的烃聚合物。

5.7.1 铀蒸发系统 (AVLIS)

专门设计或制造的铀蒸发系统。这些系统含有大功率条带式或扫描式电子束枪，打到靶上的能量大于2.5 kW/cm。

5.7.2 液态铀金属处理系统 (AVLIS)

专门设计或制造由一些坩埚及其冷却设备组成用于处理熔融铀或铀合金的液态金属处理系统。

注释

这种系统的坩埚和其他接触熔融铀或铀合金的部分，要用有适当的耐腐蚀和耐高温性能的材料制成或保护。适当的材料包括钽、氧化钽涂敷石墨、用其他稀土氧化物或其混合物涂敷的石墨。

5.7.3 铀金属"产品"和"尾料"收集器组件 (AVLIS)

专门设计或制造用于收集液态或固态铀金属的"产品"和"尾料"收集器组件。

注释

这些组件的部件由耐铀金属蒸气或液体的高温 and 腐蚀性的材料(例如氧化钽涂敷石墨或钽)制成或保护。这类部件可包括用于磁、静电或其他分离方法的管、阀、管接头、"出料槽"、进料管、热交换器和收集板。

5.7.4 分离器组件外壳 (AVLIS)

专门设计或制造的圆筒状或矩形容器，用于容纳铀金属蒸气源、电子束枪，及"产品"与"尾料"收集器。

注释

这些外壳有多种样式的开口，用于供电线路、供水管、激光束窗、真空泵接头及仪器仪表诊断和监测。这些开口均设有开闭装置，以便整修内部的部件。

5.7.5 超声膨胀喷嘴 (MLIS)

专门设计或制造的超声膨胀喷嘴，用于冷却UF₆与载气的混合气至150K或更低的温度。这种喷嘴耐UF₆腐蚀。

5.7.6 五氟化铀产品收集器 (MLIS)

专门设计或制造的UF₅固态产品收集器。这种收集器是过滤式、冲击式或旋流式收集器，或其组合；并且耐UF₅/UF₆环境的腐蚀。

5.7.7 UF₆/载气压缩机 (MLIS)

为在UF₆环境中长期操作而专门设计或制造的UF₆/载气混合气压缩机。这些压缩机中与过程气体接触的部件用耐UF₆腐蚀的材料制成或保护。

5.7.8 转动轴封 (MLIS)

专门设计或制造的带密封进气口和出气口的转动轴封，用于密封把压缩机转子与驱动马达连接起来的转动轴，以保证可靠的密封，防止过程气体外漏，或空气或密封气体漏入充满UF₆/载气混合气的压缩机内腔。

5.7.9 氟化系统 (MLIS)

专门设计或制造的用于将UF₅ (固体) 氟化为UF₆ (气体) 的系统。

注释

这些系统是为将所收集的UF₅粉末氟化为UF₆而设计的。其UF₆随后将被收集于产品容器中，或作为进料被转送到为进行进一步浓缩而设置的MLIS单元中。在一种方案中，这种氟化反应可在同位素分离系统内部完成，以便一离开"产品"收集器便反应和回收。在另一种方案中，UF₅粉末将被从"产品"收集器中移出/转送到一个适当的反应容器(例如流化床反应器、螺旋反应器或火焰塔式反应器)中进行氟化。在这两种方案中，都使用氟气(或其他适宜的氟化剂)贮存和转送设备，以及UF₆收集和转送设备。

5.7.10 UF₆质谱仪/离子源 (MLIS)

专门设计或制造的磁质谱仪或四极质谱仪，这些质谱仪能从UF₆气流中"在线"取得供料、"产品"或"尾料"的样品，并且具有以下所有特点：

1. 质量的单位分辨率高于320；
2. 离子源用尼赫罗姆合金或蒙乃尔合金制成或以这些材料作为衬里或镀镍；
3. 电子轰击离子源；
4. 有一个适合于同位素分析的收集器系统。

5.7.11 进料系统/产品和尾料提取系统 (MLIS)

为浓缩厂专门设计或制造的工艺系统或设备，用耐UF₆腐蚀的材料制成或保护，包括：

- (a) 进料釜、加热炉或系统，用于将UF₆送入浓缩过程；
- (b) 凝华器(或冷阱)，用于从浓缩过程中移出UF₆，供下一步加热转移；
- (c) 固化或液化器，用于通过压缩UF₆并将其转换为液态形式或固态形式，从浓缩过程中移出UF₆；
- (d) "产品"器或"尾料"器，用于把UF₆收集到容器中。

5.7.12 UF₆/载气分离系统 (MLIS)

为将UF₆从载气中分离出来专门设计或制造的工艺系统。载气可为氮、氩或其他气体。

注释

这类系统可装有如下设备：

- (a) 低温热交换器或低温分离器，能承受-120℃或更低的温度；
- (b) 低温冷冻器，能承受-120℃或更低的温度；
- (c) UF₆冷阱，能承受-20℃或更低的温度。

5.7.13 激光系统 (AVLIS, MLIS和CRISLA)

为铀同位素分离专门设计或制造的激光器或激光系统。

注释

AVLIS过程使用的激光系统通常由两个激光器组成：一个铜蒸气激光器和一个染料激光器。MLIS使用的激光系统通常由一个CO₂激光器或受激准分子激光器和一个多程光学池(两端有旋转镜)组成。这两种过程使用的激光器或激光系统都需要有一个谱频稳定器以便能够长时间地工作。

5.8 专门设计或制造的用于等离子体分离浓缩厂的系统、设备和部件

按语

在等离子体分离过程中，铀离子等离子体通过一个调到铀-235离子共振频率的电场，使铀-235离子优先吸收能量并增大它们螺旋状轨道的直径。具有大直径径迹的离子被捕集从而产生铀-235被浓集的产品。由电离的铀蒸气组成的等离子体被约束在由超导磁体产生的高强度磁场的真空室内。这个过程的主要技术系统包括铀等离子体发生系统、带有

超导磁体的分离器组件和用于搜“产品”和“尾料”的金属移出系统。

5.8.1 微波动力源和天线

为产生或加速离子专门设计或制造的微波动力源和天线，具有以下特性：频率高于30GHz，和用于产生离子的平均功率输出大于50kW。

5.8.2 离子激发线圈

专门设计或制造的射频离子激发线圈，送的平均功率高于40kW。

5.8.3 铀等离子体发生系统

用于高于100kHz的频率并能够输为产生铀等离子体专门设计或制造的系统，这种系统可装有高功率条带式或扫描式电子束枪，打到靶上的能量高于2.5kW/cm。

5.8.4 液态铀金属操作系统

专门设计或制造的用于熔融的铀或铀合金的液态金属操作系统和坩埚用冷却设备。

注释

这种系统中与熔融的铀或铀合金接触的坩埚和其他部件由适当的抗腐蚀和抗热材料构成或由这种材料作防护层。可适用的材料包括钽、有钽涂层的石墨、有其他稀土氧化物或这类氧化物的混合物涂层的石墨。

5.8.5 铀金属“产品”和“尾料”收集器组件

专门设计或制造的用于固态铀金属的“产品”和“尾料”收集器组件。这类收集器组件由抗热和抗铀金属蒸气腐蚀的材料构成或由这类材料作防护层，例如有钽涂层的石墨或钽。

5.8.6 分离器组件外壳

专门设计或制造的圆筒形容器。供等离子体分离浓缩厂用来容纳铀等离子体源、射频驱动线圈及“产品”和“尾料”收集器。

注释

这种外壳有多种形式的开口，用于供电线路、扩散泵接头及仪器仪表诊断和监测。这些开口设有开闭装置，以便整修内部部件；它们由适当的非磁性材料例如不锈钢构成。

5.9 专门设计或制造的用于电磁浓缩厂的系统、设备和部件

按语

在电磁过程中，由一种盐原料(典型的是四氯化铀)离子化产生的金属铀离子被加速并通过一个能使不同同位素离子沿不同轨迹运动的磁场。电磁同位素分离器的主要部件包括：同位素离子束分散/分离用的磁场、离子源及其加速系统和收集经分离的离子的系统。这个过程的辅助系统包括磁体供电系统、离子源高压供电系统、真空系统以及产品回收及部件的清洁/再循环用多种化学处理系统。

5.9.1 同位素电磁分离器

为分离铀同位素专门设计或制造的同位素电磁分离器及其设备和部件包括：

(a) 离子源

专门设计或制造的单个或多个铀离子源由蒸气源、电离器和束流加速器组成，用石墨、不锈钢或铜等适当材料制造，能提供总强度为50mA或更高的离子束流。

(b) 离子收集器

收集器板极由专门为收集浓缩和贫化铀离子束而设计或制造的两个或多个槽和容器组成，用石墨或不锈钢一类的适当材料制造。

(c) 真空外壳

为铀电磁分离器专门设计或制造的真空外壳，用不锈钢一类适当的非磁性材料制造，设计在0.1 Pa或以下的压力下运行。

注释

外壳专门设计成装有离子源、收集器板极和水冷却管路，并有用于扩散泵连接结构和可用来移出和重新安装这些部件的开闭结构。

(d) 磁极块

专门设计或制造的磁极块，直径大于2m，用来在同位素电磁分离器内维持恒定磁场并在毗连分离器之间传输磁场。

5.9.2 高压电源

为离子源专门设计或制造的高压电源，具有以下所有特点：能连续工作，输出电压为20000V或更高，输出电流为1A或更大，电压稳定性在8小时内高于0.01%。

5.9.3 磁体电源

专门设计或制造的高功率直流磁体电源，具有以下所有特点：能在100V或更高的电压下持续产生500A或更大的电流输出，电流或电压稳定性在8小时内高于0.01%。

6 生产和浓集重水、氘和氚化物的工厂和专门为其设计或制造的设备

按语

重水可以通过多种方法生产。然而只有两种方法已证明具有商业意义：水—硫化氢交换法(GS法)和氨—氢交换法。

GS法是基于在一系列塔内(通过顶部冷和底部热的方式操作)水和硫化氢之间氢与氘交换的一种方法。在此过程中，水向塔底流动，而硫化氢气体从塔底向塔顶循环。使用一系列多孔塔板促进硫化氢气体和水之间的混合。在低温下氘向水中迁移，而在高温下氘向硫化氢中迁移。氘被浓缩了的硫化氢气体或水从第一级塔的热段和冷段的接合处排出，并且在下一级塔中重复这一过程。最后一级产品(氘浓缩至高达30%的水)送入一个蒸馏单元以制备反应堆级的重水(即99.75%的氧化氘)。

氨—氢交换法可以在催化剂存在下通过同液态氨的接触从合成气中提取氘。合成气被送进交换塔，而后送至氨转换器。在交换塔内气体从塔底向塔顶流动，而液氨从塔顶向塔底流动。氘从合成气的氢中洗涤下来并在液氨中浓集。液氨然后流入塔底部的氨裂化器，而气体流入塔顶部的氨转换器。在以后的各级中进一步浓缩，最后通过蒸馏生产出反应堆级重水。合成气进料可由氨厂提供，而这个氨厂也可以结合氨—氢交换法重水厂一起建造。氨—氢交换法也可以用普通水作为氘的供料源。

利用GS法或氨—氢交换法生产重水的工厂所用的许多关键设备物项是与化学工业和石油工业的若干生产工序所用设备相同的。对于利用GS法的小厂来说尤其如此。然而，这种设备物项很少有“现货”供应。GS法和氨—氢交换法要求在高压下处理大量易燃、有腐蚀性和有毒的流体。因此，在制定使用这些方法的工厂和设备所用的设计和运行标准时，要求认真注意材料的选择和材料的规格，以保证在长期服务中有很高的安全性和可靠性。规模的选择主要取决于经济性和需要。因而，大多数设备物项将按照用户的要求制造。

最后，应该指出，对GS法和氨—氢交换法而言，那些单独地看并非专门设计或制造用于重水生产的设备物项可以组装成专门设计或制造用于生产重水的系统。氨—氢交换法所用的催化剂生产系统和在上述两种方法中将重水最终加浓至反应堆级所用的水蒸馏系统就是此类系统的实例。

专门设计或制造用于利用GS法或氨—氢交换法生产重水的设备物项包括如下：

6.1 水—硫化氢交换塔

专门设计或制造用于利用GS法生产重水的、用优质碳钢(例如

ASTMA516)制造的交换塔。该塔直径6m(20英尺)至9m(30英尺)，能够在大于或等于2Mpa(300psi)压力下和6mm或更大的容许腐蚀量下运行。

6.2 鼓风机和压缩机

专门为利用GS法生产重水而设计或制造的用于循环硫化氢气体(即含H₂S70%以上的气体)的单级、低压头(即0.2MPa或30psi)离心式鼓风机或压缩机。这些鼓风机或压缩机的气体通过能力大于或等于56m³/s(120000SCFM)，能在大于或等于1.8MPa(260psi)的吸入压力下运行，并有对湿H₂S介质的密封设计。

6.3 氨-氘交换塔

专门设计或制造用于利用氨-氘交换法生产重水的氨-氘交换塔。该塔高度大于或等于35m(114.3in)，直径1.5m(4.9 in)至2.5m(8.2in)，能够在大于15MPa(2225psi)压力下运行。这些塔至少都有一个用法兰联结的轴向孔，其直径与交换塔筒体直径相等，通过此孔可装入或拆除塔内构件。

6.4 塔内构件和多级泵

专门为利用氨-氘交换法生产重水而设计或制造的塔内构件和多级泵。塔内构件包括专门设计的促进气/液充分接触的多级接触装置。多级泵包括专门设计的用来将一个接触级内的液氨向其他级塔循环的水下泵。

6.5 氨裂化器

专门设计或制造的用于利用氨-氘交换法生产重水的氨裂化器。该装置能在大于或等于3MPa(450psi)的压力下运行。

6.6 红外吸收分析器

能在氘浓度等于或高于90%的情况下"在线"分析氢/氘比的红外吸收分析器。

6.7 催化燃烧器

专门设计或制造的用于利用氨-氘交换法生产重水时将浓缩氘气转化成重水的催化燃烧器。

6.8 整体重水提浓系统，或其蒸馏塔

专门设计或制造用于将重水提浓至反应堆级氘浓度的整体重水提浓系统，或其蒸馏塔。

注释

通常采用水蒸馏技术从轻水中分离重水的这些系统是专门设计或制造用于由浓度较低的重水原料生产反应堆级重水的（即典型地99.75%氧化氘）。

7 分别如4.和5.所定义的用于燃料元件制造和铀同位素分离的铀和钚转换厂和专门为其设计或制造的设备

出口

只有遵照《中华人民共和国核出口管制条例》所规定的程序才能出口本条款范围内的成套主要设备。在本条款范围内的所有工厂、系统和专门设计或制造的设备可用于处理、生产或使用特种可裂变材料。

7.1 铀转化厂及专门为其设计或制造的设备

按语

铀转化厂和系统可以对铀进行一种或几种转化使其从一种化学状态转变为另一种化学状态，包括：从铀浓缩物到UO₃的转化；从UO₃到UO₂的转化；从铀的氧化物到UF₄或UF₆的转化；从UF₄到UF₆的转化；从UF₆到UF₄的转化；从UF₄到金属铀的转化；以及从铀的氟化物到UO₂的转化。铀转化工厂所用许多关键设备物项与化学加工工业的若干生产工序所用设备相同。例如，这些过程中使用的各类设备可以包括：加热炉、回转炉、流化床反应器、火焰塔式反应器、液体离心机、蒸馏塔和液-液萃取塔。不过，这些物项中很少有“现货”供应，大部分将须按用户要求和规格制造。在某些情况下，为了适应所处理的一些化学品（HF、F₂、ClF₃和各种铀的氟化物）的腐蚀性质以及核临界关切，需要作专门的设计和建造考虑。最后应该指出，在所有铀转化过程中，那些单独地看不是为铀转化专门设计或制造的设备物项，可被组装成专门为铀转化而设计或制造的系统。

7.1.1 为将UO₃转化为UF₆而专门设计或制造的系统

注释

从UO₃到UF₆的转化可以直接通过氟化实现。该过程需要一个氟气源或三氟化氟源。

7.1.2 为将UO₃转化为UO₂而专门设计或制造的系统

注释

从UO₃到UO₂的转化，可以用裂解的氨气还原UO₃来实现。

7.1.3 为将UO₂转化为UF₄而专门设计或制造的系统

注释

从UO₂到UF₄的转化，可以用氟化氢气体 (HF) 在300-500℃与UO₂反应来实现。

7.1.4 为将UF₄转化为UF₆而专门设计或制造的系统

注释

从UF₄到UF₆的转化，可以用氟化在塔式反应器中与UF₄发生放热反应来实现。使流出气体通过一个冷却到-10℃的冷阱把热的流出气体中UF₆冷凝下来。该过程需要一个氟气源。

7.1.5 为将UF₄转化为金属铀而专门设计或制造的系统

注释

从UF₄到金属铀的转化，可用镁（大批量）或钙（小批量）还原UF₄来实现。还原反应一般在高于铀熔点（1130℃）的温度下进行。

7.1.6 为将UF₆转化为UO₂而专门设计或制造的系统

注释

从UF₆到UO₂的转化，可用三种方法来实现。在第一种方法中，用氢气和水蒸气将UF₆还原并水解为UO₂。在第二种方法中，通过溶解在水中而将UF₆水解，然后加入氨沉淀出重铀酸铵，接着可在820℃用氢气将重铀酸铵还原为UO₂。在第三种方法中，将气态UF₆、CO₂和NH₃通入水中，结果沉淀出碳酸铀酰铵。在500-600℃，碳酸铀酰铵与水蒸气和氢气发生反应，生成UO₂。

从UF₆到UO₂的转化，通常是燃料制造厂的第一个工序。

7.1.7 为将UF₆转化为UF₄而专门设计或制造的系统

注释

从UF₆到UF₄的转化，是用氢还原实现的。

7.1.8 为将UO₂转化为UC₁₄而专门设计或制造的设备

注释

从UO₂到UC₁₄转化可通过两个流程之一。在第一个流程中，在大约

400°C的温度下，UO₂与四氯化碳（CCl₄）发生反应。在第二个流程中，在大约700°C的温度下，以及存在碳黑（CAS1333-86-4）、一氧化碳的条件下，UO₂与氯发生反应产生UCl₄。

7.2 钚转化厂和专门为其设计或制造的设备

按语

钚转化厂和系统可以对钚进行一种或几种转化使其从一种化学状态转化为另一种化学状态。包括，从硝酸钚到PuO₂的转化；从PuO₂到PuF₄的转化；以及从PuF₄到钚金属的转化。通常钚转化厂与后处理设施相关，但是，也可能与钚燃料元件制造设施相关。许多钚转化厂的关键设备物项与化学加工工业的若干生产工序所用设备相同。例如，这些过程中使用的各类设备可以包括：加热炉、回转炉、硫化床反应器、火焰塔式反应器、液体离心机、蒸馏塔和液-液萃取塔。也需要热室、手套箱和遥控机械手。但是，这些物质项很少有“现货”供应，大部分须按用户的要求和规格制造。对与钚钚有关的特殊的放射性、毒性和临界危险特别仔细的设计是关键。在某些情况下，为了适应所处理的一些化学品（例如 HF）的腐蚀性质，需要作专门的设计和建造考虑。最后应该注意，在所有的钚转化流程中，那些单独地看不是为钚转化专门设计或制造的设备物项，可被组装成专门为钚转化而设计或制造的系统。

7.2.1 为将硝酸钚转化到氧化钚而专门设计或制造的设备

注释

该流程包括的主要功能为：流程供料贮存和调料、沉淀和固-液分离，煅烧、产品处理、通风、废物管理，以及流程控制。流程系统经过特别的设计，以避免发生临界和辐射效应，以及使得毒性危险最小。在大多数后处理设施中，这一流程包括将硝酸钚转化到氧化钚。其它流程可能包括草酸钚或过氧化钚的沉淀。

7.2.2 为生产钚金属而专门设计或制造的设备

注释

该流程通常包括氧化钚的氟化，通常以高腐蚀性的氢氟酸来生产氟化钚，而后用高纯钙金属还原生成金属钚和氟化钙残渣。该流程所包括的主要功能是氟化（例如，包括采用贵金属制造的或作为内衬的设备）、金属还原（例如，使用陶瓷坩埚）、残渣回收、产品处理、通风、废物管理和流程控制。流程系统经过特别的设计，以避免发生临界和辐射效应，以及使得毒性危险最小。其它流程包括草酸钚或过氧化钚

的氟化，然后还原至金属。