



中华人民共和国国家标准

GB 15146.3—94

反应堆外易裂变材料的核临界安全 易裂变材料贮存的核临界安全要求

Nuclear criticality safety for fissile materials outside reactor
—Requirements for nuclear criticality safety
in the storage of fissile material

1994-07-07 发布

1995-01-01 实施

国家技术监督局 发布

中华人民共和国国家标准

反应堆外易裂变材料的核临界安全 易裂变材料贮存的核临界安全要求

GB 15146.3—94

Nuclear criticality safety for fissile materials outside reactor
—Requirements for nuclear criticality safety in the storage of fissile material

1 主题内容与适用范围

本标准规定了易裂变材料贮存中有关核临界安全的基本要求和限值。
本标准适用于易裂变材料的贮存。

2 引用标准

- GB 15146.1 反应堆外易裂变材料的核临界安全 核临界安全行政管理规定
GB 15146.2 反应堆外易裂变材料的核临界安全 易裂变材料操作、加工、处理的基本技术准则
与次临界限值

3 术语

3.1 贮存单元(单元)

作为一个整体加以对待的易裂变材料集合,材料可以是任何形状的,材料集合也可以由若干个分离的小块组成。

3.2 贮存栅元(栅元)

贮存单元被放置在其中,并具有确定边界的容积空间。

3.3 贮存阵列

由置有贮存单元的若干贮存栅元组成的规则排列。

3.4 经过验证的计算方法

经过同实验结果比较,其可靠性经过检验,确定了适用范围和在该范围内计算结果的偏移的计算方法。

4 管理要求与技术准则

4.1 管理要求

4.1.1 贮存中所有易裂变材料的操作,都必须符合 GB 15146.1 的有关要求。

4.1.2 必须将经过批准的贮存控制方法和操作规则写入书面程序;参与转移和贮存易裂变材料的人员必须熟悉这些程序;必须将贮存限值张贴出来。

4.1.3 核临界安全管理人员必须进行必要的检查,以证实有关人员执行了所制定的各项程序。

4.1.4 必须对进入贮存区进行严格的控制。

4.2 技术准则

4.2.1 易裂变材料的贮存除必须符合 GB 15146.2 的要求之外,还必须符合 4.2.2~4.2.11 条的要

国家技术监督局 1994-07-07 批准

1995-01-01 实施

求。

- 4.2.2 易裂变材料的贮存限值必须以实验数据或以经过验证的计算方法算出的结果为确定依据。
- 4.2.3 贮存设备和库房设施都必须根据良好的工程实践经验进行设计、制造和维护。
- 4.2.4 库房设施的设计应排除不合理的贮存布局和结构形式,尽量减少对行政管理的依赖。
- 4.2.5 易裂变材料的贮存,必须在诸如火灾、水淹、地震以及其他自然灾害条件下,都能够避免发生临界事故。
- 4.2.6 贮存的易裂变材料单元应封装在一定的容器之内,容器应当是密不透水的。只有肯定容器不会被水淹,或即使有水进入容器也不会达到临界时,密闭条件才可以放宽。
- 4.2.7 可以使用鸟笼式的固定装置、带盖的金属罐和在货架上使用的实体屏障结构,来保持固态易裂变材料单元之间的空间间隔。货架必须坚固和不可燃。
- 4.2.8 在贮存场所中应力求做到无易燃物品存在。如果贮存场所不可避免有较大量的易燃物品存在,例如有易燃的金属切削碎片,则必须装有消防系统。
- 4.2.9 在装有喷水系统的贮存场所,易裂变材料的容器必须设计成能防止积水的。
- 4.2.10 在装有喷水系统的固态易裂变材料贮存场所,必须对积水条件下发生核临界事故的可能性做出评价。
- 4.2.11 在需要安置核临界事故报警系统的贮存场所,报警系统的安装必须符合有关标准的规定,特别应注意恰当地确定报警系统探测器的安装位置。
- 4.2.12 必须将良好的库房管理作为核临界安全实际工作的重要组成部分。

5 贮存限值及使用条件

5.1 满足下列条件之一时,原则上不需要对易裂变材料的贮存方式加以限制:

- a. ^{235}U 富集度不大于 1.0wt% 的铀水均匀混合物或溶液;
- b. ^{235}U 富集度不大于 5.0wt%, 氢原子数与易裂变材料核素原子数之比值 ≤ 0.5 的块状铀金属或铀的固态化合物。要求这些块状物料没有凹面,单元不是由小条、小块组成。当容器内无含氢介质,且容器密不透水时,可以取消这一限制;
- c. ^{235}U 浓度不大于 11.7g/L, 或 Pu 浓度不大于 7.2g/L 的均匀水溶液,而且能保证贮存期间不发生意外浓集和沉淀的物料;
- d. 容器内装有金属状 ^{233}U 、 ^{235}U 、 ^{238}U 、 ^{239}Pu 或 ^{241}Pu 的单一核素单元,或由这些核素的任意组合组成的单元,且单元所含易裂变材料量不大于 0.015kg, 包装容器最小尺寸大于 10cm 时;
- e. (铀+钚)中钚的重量百分比不大于 0.13wt% 的钚和天然铀或贫化铀的均匀混合物或水溶液。

5.2 对几种常见易裂变材料的贮存单元,其单元限值可以采用表 1 给出的值。表 1 中 I 类单元的限值是指当单元的封装容器由不含氢的材料(如钢、铝等)制造,且壁厚不超过 1.27cm 时的限值;II 类单元限值是指封装容器为含氢材料或壁厚超过 1.27cm 时的钢、铝等材料制成的限值。

5.3 表 1 所列限值适用于铀(或钚)同位素的各种组成。但对铀-238 以外的各种铀同位素均应看作铀-235;钚-240 以外和各种钚同位素均应看作是钚-239。

5.4 表 1 中的单元,其形状一般不限(但对薄板之类的几何形状要做特殊考虑)。对于金属、化合物或混合物单元除了包住物料的薄塑料(每公斤易裂变材料不超过 10g 聚乙烯)和密封用垫圈外,一般不得有其他含氢物质,如果有,则应与物料一起计算氢与易裂变材料核素原子数比。

5.5 表 1 所列限值不宜用适用于孤立单元的各种放大因数放宽。

5.6 包容易裂变材料单元的容器应当位于栅元中心,偏离于栅元中心的值不得大于栅元尺寸的 10%。

5.7 将表 1 列出的单元按孤立的直线或平面阵列排列时,当单元中心距大于 40cm 和单元容器表面距离大于 30cm 时,所排列的单元数目可以不限。

表1 供易裂变材料贮存用的单元限值

单元类型	物 材 类 型	限 值		
		限值类型及单位	²³⁵ U 单元限值	²³⁹ Pu 单元限值
I 类单元	金属、化合物或混合物($H/X \leq 0.5$)	质量限值, kg	18.5	4.5 ³¹
	金属、化合物或混合物($0.5 < H/X \leq 2.0$)	质量限值, kg	16.0	4.5
	含氢化合物或混合物($2 < H/X \leq 20$)	质量限值, kg	3.6	2.4
	溶液或含氢混合物($H/X > 20$)	体积限值, L	3.6	2.4
II 类单元	金属、化合物或混合物($H/X \leq 2$)	质量限值, kg	9.5	3.4 ³¹
	含氢化合物或混合物($2 < H/X \leq 20$)	质量限值, kg	2.0	1.3
	溶液或含氢混合物($20 \leq H/X < 800$)	体积限值, L	2.0	1.3
	溶液或含氢混合物($H/X \geq 800$)	体积限值, L	4.0	3.0

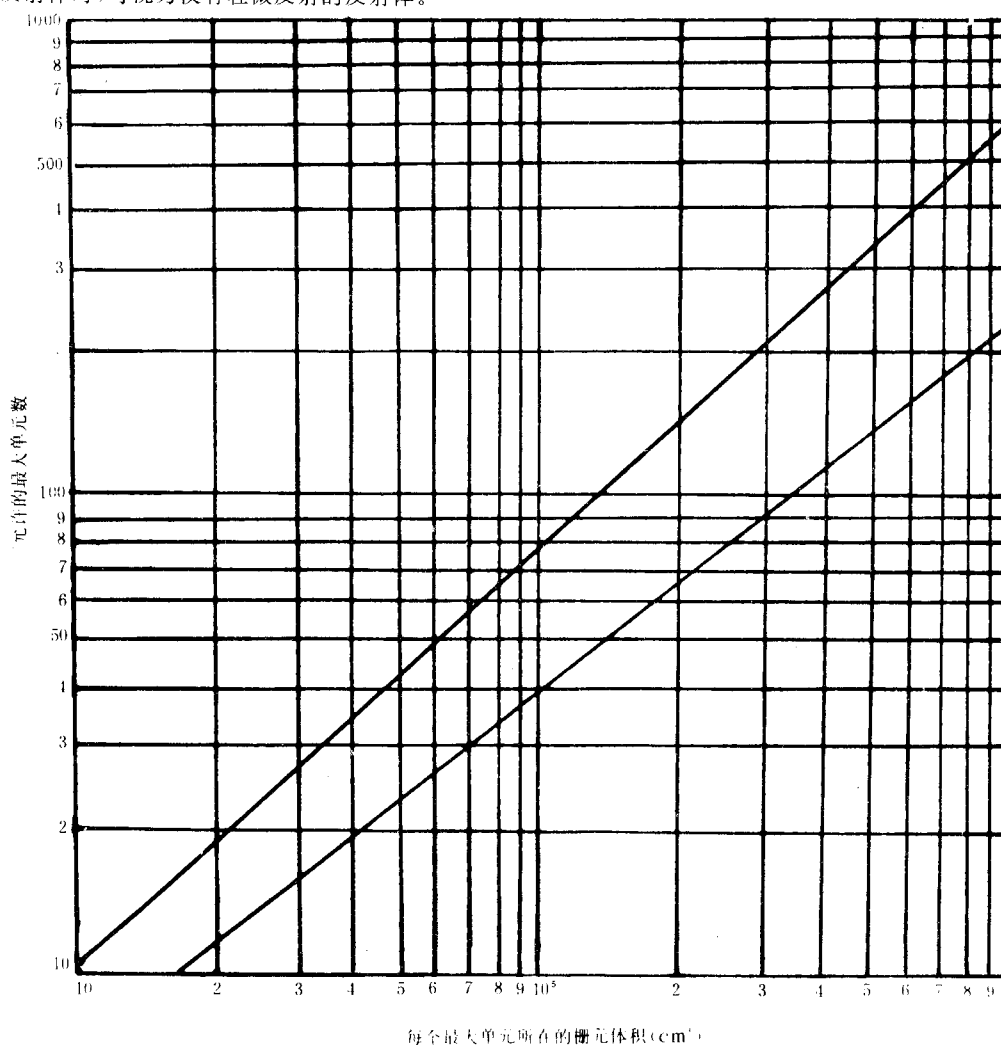
注: 1) H/X 表示物料本身的 H/²³⁵U 或 H/²³⁹Pu 原子比。

2) 对密度为 15.8g/cm³ 的与 δ 相钷合金单元, 限值为 6.0kg。

3) 对密度为 15.8g/cm³ 的与 δ 相钷合金单元, 限值为 4.5kg。

5.8 将表 1 所列的单元排成立方阵列贮存时, 允许的最大单元数与栅元体积的关系见下图。图中下曲线适用于阵列之外紧贴厚反射体(混凝土、钢、木材、泥土筑成的厚壁贮存库)的情况。上曲线适用于阵列外仅有轻微反射体的情况。

注: 轻微反射体是指反射作用较小的反射体。阵列只有两面(地面及一面墙)或一面(阵列放在大房间里)紧贴的厚反射体时, 可视为仅有轻微反射的反射体。



立方阵列允许的最大单元数目图

注：① 下曲线适用于阵列外有紧贴着的厚反射体的情况；

② 上曲线适用于阵列外有轻微反射体的情况；

③ 单元间最小表面间距 20cm；

④ 与最大单元等值的多个较小单元可以看做一个最大单元。

5.9 若单元易裂变材料数量小于表 1 所列的限值，在保持按最大单元确定的阵列易裂变材料总量和栅元尺寸不变的条件下，阵列中的单元总数可以增加。

5.10 在栅元中心距和允许单元数目已确定的条件下，可以由单元限值不同的单元组成混合阵列，但此时各类单元必须分别集中放置。

5.11 可以用从阵列中移去一些单元或用增加阵列总体积的办法在阵列内形成通道，在通道内允许工作人员通过或停留，并允许运送，但不允许在其中放置贮存单元。

5.12 贮存阵列满足下列条件之一时，可以认为是彼此孤立的。

a. 若两个平面阵列或立方阵列的表面到表面距离大于下面两值中较大的值：

每个阵列的最大尺寸；

两个阵列相距 4m 以上。

b. 两个阵列之间有 40cm 以上的混凝土或水层。

5.13 表 1 中列出的限值是针对几种常见的易裂变材料贮存单元制定的。对某些情况，规定的贮存单元限值可能限制过严或不适应，此时，可根据实验数据和或经过验证的计算方法的计算结果进行详细的安全分析，提供新的限值。这些贮存单元的例子有：

a. 有若干比水和混凝土的慢化和反射能力更强的物质（如重水、石墨、铍等）掺入易裂变材料单元；

b. 在阵列周围出现比混凝土或水反射作用更强的材料时；

c. 单元装量超过表列限值时；

d. 易裂变材料单元在操作区或操作小室内临时存放，容器不密闭时；

e. 其他未作具体规定的情况。

5.14 本标准附录 A（参考件）可供确定高富集度易裂变材料贮存限值时参考。

附录 A

高富集度易裂变材料的贮存限值及其使用条件

(参考件)

A1 本附录给出了 ^{235}U 富集度不低于30wt%的铀, ^{233}U 和钷的金属以及它们的氧化物的贮存限值,给出了它的质量限值和空间间隔限值。

这些易裂变材料在不同富集度,不同H/U(Pu)比值,不同栅格尺寸和贮存阵列中不同单元数目时的质量限值(以kg表示),如表A1~A12所列。

A2 本附录给出的限值主要是针对理想阵列情况给出的。在实践中,理想情况与实际情况有一定的差别。但本附录给出的限值可以为建立安全贮存阵列提供一个出发点。

A3 本附录给出的单元的质量限值,是按以下条件得出的:

- a. 用经过验证的计算方法计算得出。
- b. 按阵列的中子增殖因子小于0.95的条件计算得出。
- c. 以周围带20cm厚水反射层立方阵列的临界计算数据作为依据。
- d. 计算是针对放置在正方栅格的中心,易裂变材料球体的情况下进行的。

A4 使用本附录给出的高 ^{235}U 富集度铀的限值时,必须将 ^{238}U 以外的各种铀同位素,都看作是 ^{235}U ,并且 ^{233}U 的含量必须小于1%(重量);使用 ^{233}U 的限值时,必须将铀的其它同位素也看作是 ^{233}U ;使用钷的限值时,必须把 ^{240}Pu 以外的各种Pu的同位素都看作是 ^{239}Pu 。

A5 对于易裂变材料的氧化物,其贮存限值是基于一氧化物的计算得出的。这些限值也适用于其他氧化物,以及氟化物、氯化物、硝酸盐或其他盐类,只要这些化合物中氢含量不超过表中给出的值,易裂变材料的密度不超过氧化物的特征值即可。

A6 表中所列的若干单元的质量限值超过了水反射球的临界质量。在表A1~A12中,凡质量限值超过水反射球临界质量90%的值都加了标注。对于这些加过标注的单元,必须采取适当的控制来确保次临界,例如用几何控制,并应满足A8.9条的要求。

A7 应用表列数据应当谨慎。这些数据只是规定了栅元体积和栅元单元的限值,使用时必须同时使用能够有效地保证临界安全的各种措施。考虑到操作中一些实际因素,应采用更小的限值。

A8 使用表A1~A12中所列的质量限值时,必须考虑以下情况。凡遇到这些情况,必须以表A1~表A12为出发点,考虑新的限值和(或)考虑新限值的使用条件。

A8.1 慢化:

氢与易裂变材料的原子比是按易裂变材料本身求出的,不包括邻近的含氢材料。表中规定的质量限值所含的安全裕量,足以补偿诸如象用薄塑料袋包裹一个单元时的那种慢化情况。比这种情况更为显著的慢化效应,则必须用经过验证的计算方法加以估算。

A8.2 单元在栅元中的位置:

各单元必须位于栅元中央,偏离栅元中心的距离不得超过栅元尺寸的10%。如果单元质量限值降到表列值的60%,则单元在栅元中的水平位置可以不受限制。若缩减后的质量仍超过裸球临界质量的20%,则单元最小表面距必须不小于15.2cm。

A8.3 其他反射材料:

表中所列的质量也适用于厚度小于12.7cm的混凝土反射层的情况(混凝土面密度 $\rho=290\text{kg}/\text{m}^2$)。当混凝土反射层的厚度为20.3cm时,质量限值必须减少到所列值的75%。当混凝土反射层的厚度再增加时,质量限值则必须减小到所列值的60%。其他砖石结构材料的等效厚度可以由它的面密度求得。

A8.4 双批料:

对某些栅元来说,在某些几何条件下,当单元的质量加倍时,阵列会超临界。不过对于具有实用意义的大多数大块贮存单元,其几何形状都是属于反应性比较小的那一类。如果双料栅元被水反射,其 K_{eff} 值证明不超过 0.93,则表 A1~A12 阵列中有这样一个双料栅元时,整个阵列不会超临界。此外,如果能够证明,当双料栅元本身被水反射时是次临界的,则表阵列中即使有几个(不大于 8 个)双料栅元,整个阵列也不会超临界。

在做易裂变材料贮存的安全分析或建立操作规程时,必须考虑双批料的问题。诸如加强行政管理,限制容器的容量,妥善设计贮存单元等,都有利于防止双批料。

A8.5 相邻的贮存小室:

对于两个毗邻的贮存小室,当混凝土隔墙厚度和四周混凝土墙的厚度相等时,其质量限值必须降低到表中所列值的 55%。这一缩减因子已包括混凝土的反射效应。

表列值的使用条件是针对单个贮存阵列规定的。当两个贮存小室之间的间隔距离不小于这些贮存阵列相对表面的最小表面线度,则可以把这两个阵列看作是独立的阵列。

二个阵列之间,当用不小于这些子阵列相对表面的最小表面尺寸隔开时,可以将这种子阵列看作是独立的带反射层的阵列。

A8.6 缩减因子:

A8.2~A8.5 条中所要求的缩减因子可以相乘。如果结果过于保守,必须对所研究的系统用经过验证的计算方法重新加以计算。对于确定 K_{eff} 的计算方法,为保证 K_{eff} 推荐值不超过 0.95,则必须考虑其计算精度和偏移。在对缩减因子有影响的因素中,增加栅元线度比减小质量限值对缩减因子的影响更为明显。

A8.7 通道:

可以从阵列中移去一些单元或增加阵列的总体积,从而在阵列中留出空间,形成通道。由此形成的安全裕量应足以达到允许人员安全进入这样构成的贮存区域中的程度。

A8.8 容器和贮存架的材料:

表中列出的限值已经考虑了厚度小于 1.27cm 的铁制紧贴容器的效应。铁的厚度大于此值或使用其他材料时,其效应则必须用实验方法或用经过验证的计算方法加以研究。

A8.9 单元的次临界度:

每个贮存单元的所有材料在被水淹没的条件下必须是次临界的。

A8.10 单元的间距:

可能发生水淹的贮存场所中,单元表面之间的间距必须大于 12.5cm。

A8.11 单元形状:

给出的质量限值适用于任何形状的单元。

A9 表 A1~A12 中所列的质量限值在其他方面的应用:

表中所列的数值有时不能直接用于所有实际存在的系统。当满足了第 A8 条所述的各条款时,表中所列的质量限值可以推广应用到下述情况。

A9.1 不同栅元混合放置:

表 A1~A12 所描述的任何阵列中,每个栅元都可赋予它一个指数,其值为 100 除以该阵列的栅元数之商。在一个阵列中混合放置任何栅元都是允许的,其条件是只要混合后的阵列中栅元指数的总和不超过 100 即可。

A9.2 内插:

表中所列质量限值、栅元数和含氢量之间可以内插。 ^{235}U 的富集度之间也可以内插。但线性内插方法并不一定是合适的。

A9.3 非立方栅元:

表中列出的任何质量限值都可用于其栅元体积与表列值的相同且内含近似等同单元的非立方栅

元,只要该栅元的最大线度不超过最小线度的 2.5 倍即可。

表列限值也可用于非立方栅元中非近似等同的单元。其条件是只要栅元体积和单元体积保持不变,并且表征单元形状的线度的比值与表征栅元形状的相应线度的比值近似相等即可。

A9.4 单元在栅元中的位置:

放在非立方栅元中的单元必须位于栅元的中央,偏离栅元中心的距离不得超过栅元最小尺寸的 10%。如果质量限值降到表列值的 60%,则单元可以在栅元中的水平方向上任意放置。如果缩减后的质量超过裸球临界质量的 20%,则单元之间的表面间距最小必须有 15.2cm。

A9.5 阵列形状:

表中所列出的限值可适用于任何形状的阵列。

A9.6 含 ²³⁸Pu 易裂变材料单元:

表中列出的钚 -240 含量为 5wt% 的钚质量限值可以应用于任何钚 -238 含量的钚单元的贮存。

表 A1 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
金属铀 H/U≤0.01	100wt% ²³⁵ U	64	8.8	11.5	15.2	18.5	20.4 ¹⁾	23.5 ¹⁾
		125	7.3	9.6	13.1	16.3	18.2	21.4 ¹⁾
		216	6.2	8.3	11.5	14.5	16.4	19.7 ¹⁾
		243	5.4	7.3	10.3	13.1	15.0	18.2
		512	4.8	6.5	9.3	12.0	13.7	17.0
		729	4.3	5.9	8.5	11.0	12.7	15.9
		1000	3.9	5.4	7.8	10.2	11.8	14.9
金属铀 H/U≤0.01	93.2wt% ²³⁵ U,	64	9.6	12.6	16.9	20.8	23.0 ¹⁾	26.8 ¹⁾
		125	7.9	10.5	14.5	18.1	20.4	24.3 ¹⁾
		216	6.7	9.1	12.7	16.1	18.3	22.2 ¹⁾
	6.8wt% ²³⁸ U	343	5.9	8.0	11.3	14.5	16.6	20.4
		512	5.2	7.1	10.1	13.2	15.2	18.9
		729	4.7	6.4	9.2	12.1	14.0	17.7
		1000	4.2	5.8	8.5	11.2	13.0	16.5

注: 1) 数值大于水反射临界球体质量的 90%。

表 A2 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/U≤0.4	93.2wt% ²³⁵ U,	64	9.9	13.4	18.8	24.1	27.4	33.5
		125	8.0	10.9	15.6	20.4	23.5	29.4
	6.8wt% ²³⁸ U	216	6.7	9.3	13.4	17.8	20.6	26.2
		343	5.8	8.0	11.8	15.7	18.4	23.6
		512	5.1	7.1	10.5	14.1	16.6	21.5
		729	4.5	6.4	9.4	12.8	15.1	19.8
1000	4.1	5.8	8.6	11.7	13.9	18.3		

续表 A2

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/U ≤ 3.0	93.2wt% ²³⁵ U,	64	6.1	8.4	12.0	15.6	18.0	22.3
		125	4.9	6.8	9.9	13.1	15.2	19.3
	6.8wt% ²³⁸ U	216	4.1	5.7	8.4	11.3	13.2	17.1
		343	3.6	5.0	7.3	9.9	11.7	15.3
		512	3.1	4.4	6.5	8.9	10.5	13.8
		729	2.0	3.9	5.8	8.0	9.5	12.7
		1000	2.5	3.5	5.3	7.3	8.7	11.7
铀的氧化物 H/U ≤ 10	93.2wt% ²³⁵ U,	64	3.1	4.2	5.9	7.7	8.9	11.1
		125	2.5	3.4	4.9	6.5	7.6	9.6
	6.8wt% ²³⁸ U	216	2.1	2.9	4.2	5.6	6.6	8.5
		343	1.8	2.5	3.6	4.9	5.8	7.6
		512	1.5	2.2	3.2	4.4	5.2	6.9
		729	1.4	1.9	2.9	4.0	4.7	6.3
		1000	1.2	1.8	2.6	3.6	4.3	5.8
铀的氧化物 H/U ≤ 20	93.2wt% ²³⁵ U,	64	1.8	2.4	3.5	4.5	5.2	6.5 ¹⁾
		125	1.4	2.0	2.9	3.8	4.4	5.6
	6.8wt% ²³⁸ U	216	1.2	1.7	2.4	3.3	3.8	4.9
		343	1.0	1.4	2.1	2.9	3.4	4.4
		512	0.9	1.3	1.9	2.6	3.0	4.0
		729	0.8	1.1	1.7	2.3	2.8	3.7
		1000	0.7	1.0	1.5	2.1	2.5	3.4

注：1) 数值大于水反射临界球质量的 90%。

表 A3 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/U ≤ 0.4	80wt% ²³⁵ U,	64	11.1	15.1	21.4	27.7	31.7	39.1
		125	8.9	12.3	17.7	23.3	27.0	34.1
	20wt% ²³⁸ U	216	7.5	10.4	15.1	20.2	23.6	30.2
		343	6.4	9.0	13.2	17.8	20.9	27.1
		512	5.7	7.9	11.7	15.9	18.8	24.6
		729	5.0	7.1	10.6	14.4	17.1	22.6
		1000	4.6	6.4	9.6	13.1	15.7	20.8

续表 A3

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/U≤3.0	80wt% ²³⁵ U,	64	7.0	9.5	13.5	17.6	20.2	25.0
		125	5.6	7.7	11.2	14.8	17.2	21.7
	20wt% ²³⁸ U	216	4.7	6.5	9.5	12.8	14.9	192.2
		343	4.0	5.6	8.3	11.2	13.2	17.2
		512	3.5	5.0	7.4	10.0	11.9	15.6
		729	3.2	4.4	6.6	9.1	10.8	14.3
		1000	2.8	4.0	6.0	8.3	9.9	13.2
铀的氧化物 H/U≤10	80wt% ²³⁵ U,	64	3.3	4.6	6.5	8.5	9.7	12.1
		125	2.7	3.7	5.4	7.1	8.3	10.5
	20wt% ²³⁸ U	216	2.2	3.1	4.6	6.1	7.2	9.3
		343	1.9	2.7	4.0	5.4	6.4	8.3
		512	1.7	2.4	3.5	4.8	5.7	7.5
		729	1.5	2.1	3.2	4.3	5.2	6.9
		1000	1.4	1.9	2.9	4.0	4.7	6.3
铀的氧化物 H/U≤20	80wt% ²³⁵ U,	64	1.8	2.5	3.6	4.7	5.4	6.7 ¹⁾
		125	1.5	2.0	3.0	3.9	4.6	5.8
	20wt% ²³⁸ U	216	1.2	1.7	2.5	3.4	4.0	5.1
		343	1.1	1.5	2.2	3.0	3.5	4.6
		512	0.9	1.3	2.0	2.7	3.1	4.1
		729	0.8	1.2	1.8	2.4	2.9	3.8
		1000	0.7	1.1	1.6	2.2	2.6	3.5

注：1) 数值大于水反射临界球质量的 90%。

表 A4 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/U≤0.4	70wt% ²³⁵ U,	64	12.3	16.8	24.0	31.2	35.9	44.6
		125	8.9	13.7	19.8	26.2	30.5	38.7
	30wt% ²³⁸ U	216	8.3	11.5	16.9	22.6	26.5	34.2
		343	7.1	10.0	14.7	19.9	23.5	30.6
		512	6.3	8.8	13.1	17.8	21.1	27.7
		729	5.6	7.8	11.7	16.1	19.1	25.4
		1000	5.0	7.1	10.7	14.6	17.5	23.4
铀的氧化物 H/U≤3.0	70wt% ²³⁵ U,	64	7.5	10.3	14.7	19.2	22.2	27.7
	30wt% ²³⁸ U	125	6.0	8.3	12.1	16.1	18.8	23.9

续表 A4

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/U≤3.0	70wt% ²³⁵ U,	216	5.0	7.0	10.3	13.9	16.3	21.1
		343	4.3	6.0	9.0	12.2	14.4	18.8
	30wt% ²³⁸ U	512	3.8	5.3	7.9	10.8	12.9	17.0
		729	3.4	4.8	7.1	9.8	11.7	15.6
		1000	3.0	4.3	6.5	8.9	10.7	14.3
铀的氧化物 H/U≤10	70wt% ²³⁵ U,	64	3.5	4.8	6.8	9.0	10.4	13.0
		125	2.8	3.8	5.6	7.5	8.7	11.2
	30wt% ²³⁸ U	216	2.3	3.2	4.8	6.4	7.6	9.8
		343	2.0	2.8	4.1	5.6	6.7	8.8
		512	1.7	2.5	3.7	5.0	6.0	7.9
		729	1.6	2.2	3.3	4.5	5.4	7.2
		1000	1.4	2.0	3.0	4.1	4.9	6.6
铀的氧化物 H/U≤20	70wt% ²³⁵ U,	64	2.0	2.7	3.8	5.0	5.8	7.2 ¹⁾
		125	1.6	2.2	3.2	4.2	4.9	6.3
	30wt% ²³⁸ U	216	1.3	1.8	2.7	3.6	4.3	5.5
		343	1.1	1.6	2.3	3.2	3.8	4.9
		512	1.0	1.4	2.1	2.8	3.4	4.5
		729	0.9	1.2	1.9	2.6	3.1	4.1
		1000	0.8	1.1	1.7	2.3	2.8	3.7

注：1) 数值大于水反射临界球质量的90%。

表 A5 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/U≤0.4	50wt% ²³⁵ U,	64	15.9	21.9	31.8	42.0	48.8	61.8
		125	12.7	17.7	26.0	34.9	40.9	52.9
	50wt% ²³⁸ U	216	10.6	14.8	22.0	29.9	35.3	46.2
		343	9.1	12.8	19.1	26.1	31.0	41.1
		512	8.0	11.2	16.9	23.2	27.7	37.0
		729	7.1	10.0	15.1	20.9	25.0	33.7
1000	6.4	9.1	13.7	19.0	22.8	30.9		
铀的氧化物 H/U≤3.0	50wt% ²³⁵ U,	64	8.7	12.0	17.5	23.2	27.0	34.5
		125	6.9	9.7	14.3	19.2	22.6	29.4
	50wt% ²³⁸ U	216	5.8	8.1	12.1	16.4	19.4	25.6
		343	5.0	7.0	10.5	14.3	17.1	22.7

续表 A5

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物	50wt% ²³⁵ U,	512	4.3	6.1	9.2	12.7	15.2	20.4
		729	3.9	5.5	8.3	11.4	13.7	18.5
H/U≤3.0	50wt% ²³⁸ U	1000	3.5	4.9	7.5	10.4	12.5	17.0
铀的氧化物	50wt% ²³⁵ U,	64	3.9	5.4	7.8	10.3	12.0	15.2
		125	3.2	4.4	6.4	8.6	10.1	13.0
H/U≤10	50wt% ²³⁸ U	216	2.6	3.7	5.4	7.4	8.7	11.4
		343	2.3	3.2	4.7	6.4	7.7	10.1
		512	2.0	2.8	4.2	5.7	6.8	9.1
		729	1.8	2.5	3.7	5.2	6.2	8.3
		1000	1.6	2.2	3.4	4.7	5.6	7.6
铀的氧化物	50wt% ²³⁵ U,	64	2.1	2.9	4.2	5.4	6.3	7.8
		125	1.7	2.4	3.4	4.5	5.3	6.8
H/U≤20	50wt% ²³⁸ U	216	1.4	2.0	2.9	3.9	4.6	6.0
		343	1.2	1.7	2.5	3.4	4.1	5.3
		512	1.1	1.5	2.2	3.1	3.6	4.8
		729	1.0	1.3	2.0	2.8	3.3	4.4
		1000	0.9	1.2	1.8	2.5	3.0	4.0

表 A6 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物	30wt% ²³⁵ U,	64	24.6	34.2	50.5	68.0	80.0	103.9
		125	19.5	27.4	40.8	55.7	66.1	87.3
H/U≤0.4	70wt% ²³⁸ U	216	16.2	22.9	34.3	47.3	56.4	75.4
		343	13.9	19.6	29.7	41.0	49.2	66.4
		512	12.1	17.2	26.1	36.3	43.7	59.3
		729	10.8	15.3	23.3	32.5	39.2	53.6
		1000	9.7	13.8	21.1	29.5	35.6	48.9
铀的氧化物	30wt% ²³⁵ U,	64	11.1	15.3	22.4	29.8	34.8	44.5
		125	8.8	12.3	18.2	24.6	29.0	37.8
H/U≤3.0	70wt% ²³⁸ U	216	7.4	10.3	15.4	21.0	24.9	32.9
		343	6.3	8.9	13.3	18.3	21.8	29.1
		512	5.5	7.8	11.8	16.2	19.4	26.2
		729	4.9	7.0	10.5	14.6	17.5	23.7
		1000	4.4	6.3	9.5	13.3	16.0	21.7

续表 A6

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg						
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610	
铀的氧化物	30wt% ²³⁵ U,	64	4.5	6.2	9.0	11.9	13.8	17.5	
		125	3.6	5.0	7.3	9.8	11.6	15.0	
	H/U≤10	70wt% ²³⁸ U	216	3.0	4.2	6.2	8.4	10.0	13.1
			343	2.6	3.6	5.4	7.4	8.7	11.6
			512	2.2	3.2	4.7	6.5	7.8	10.4
			729	2.0	2.8	4.2	5.9	7.0	9.5
			1000	1.8	2.5	3.8	5.3	6.4	8.7
铀的氧化物	30wt% ²³⁵ U,	64	2.4	3.3	4.7	6.1	7.1	8.9	
		125	1.9	2.6	3.9	5.1	6.0	7.7	
	H/U≤20	70wt% ²³⁸ U	216	1.6	2.2	3.3	4.4	5.2	6.7
			343	1.4	1.9	2.9	3.9	4.6	6.0
			512	1.2	1.7	2.5	3.5	4.1	5.4
			729	1.1	1.5	2.3	3.1	3.7	5.0
			1000	1.0	1.4	2.1	2.8	3.4	4.6

表 A7 水反射贮存阵列中每个栅元内的钚单元质量限值

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg						
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610	
金属钚	100wt% ²³⁹ Pu	64	3.4	4.1	4.9	5.5 ¹⁾	5.8 ¹⁾	6.3 ¹⁾	
		125	2.9	3.6	4.4	5.1 ¹⁾	5.4 ¹⁾	6.0 ¹⁾	
	H/Pu≤0.01	100wt% ²³⁹ Pu	216	2.6	3.6	4.1	4.7	5.1 ¹⁾	5.7 ¹⁾
			243	2.3	2.9	3.8	4.4	4.8 ¹⁾	5.4 ¹⁾
			512	2.1	2.7	3.5	4.2	4.6	5.2 ¹⁾
			729	1.9	2.5	3.3	3.9	4.3	5.0 ¹⁾
			1000	1.7	2.3	3.1	3.7	4.1	4.8
钚的氧化物	100wt% ²³⁹ Pu	64	4.7	6.1	8.2	10.0	11.1 ¹⁾	12.9 ¹⁾	
		125	3.9	5.1	7.0	8.8	9.9	11.7 ¹⁾	
	H/Pu≤0.4	100wt% ²³⁹ Pu	216	3.3	4.4	6.2	7.8	8.9	10.7 ¹⁾
			343	2.9	3.9	5.5	7.1	8.1	9.9
			512	2.5	3.5	4.9	6.4	7.4	9.2
			729	2.3	3.1	4.5	5.9	6.8	8.6
			1000	2.1	2.9	4.1	5.5	6.3	8.0

注: 1) 数值大于水反射临界球质量的 90%。

表 A8 水反射贮存阵列中每个栅元的铀的单元质量限值

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物 H/Pu≤3.0	100wt% ²³⁹ Pu	64	3.9	5.2	7.2	9.0	10.1	12.0 ¹⁾
		125	3.2	4.3	6.1	7.8	8.8	10.7
		216	2.7	3.7	5.2	6.8	7.8	9.7
		243	2.3	3.2	4.6	6.1	7.0	8.9
		512	2.1	2.9	4.1	5.5	6.4	8.1
		729	1.8	2.6	3.8	5.0	5.9	7.5
		1000	1.7	2.3	3.4	4.6	5.4	7.0
铀的氧化物 H/Pu≤10	100wt% ²³⁹ Pu	64	2.4	3.3	4.6	5.8	6.6	8.1 ¹⁾
		125	1.9	2.7	3.8	5.0	5.7	7.1
		216	1.6	2.3	3.3	4.3	5.0	6.3
		343	1.4	2.0	2.9	3.8	4.5	5.7
		512	1.2	1.7	2.5	3.4	4.0	5.0
		729	1.1	1.6	2.3	3.1	3.7	4.8
		1000	1.0	1.4	2.1	2.8	3.4	4.4
铀的氧化物 H/Pu≤20	100wt% ²³⁹ Pu	64	1.6	2.1	3.0	3.8	4.4	5.4 ¹⁾
		125	1.3	1.7	2.5	3.2	3.7	4.7
		216	1.1	1.5	2.1	2.8	3.3	4.2
		343	0.9	1.3	1.9	2.5	2.9	3.8
		512	0.8	1.1	1.6	2.2	2.6	3.4
		729	0.7	1.0	1.5	2.0	2.4	3.1
		1000	0.6	0.9	1.3	1.8	2.2	2.9

注：1) 数值大于水反射临界球质量的 90%。

表 A9 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易 裂 变 材 料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类 型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
金属铀 H/Pu≤0.01	94.8wt% ²³⁹ Pu,	64	3.5	4.3	5.2	5.8 ¹⁾	6.2 ¹⁾	6.7 ¹⁾
		125	3.0	3.8	4.7	5.4 ¹⁾	5.8 ¹⁾	6.3 ¹⁾
		216	2.7	3.4	4.3	5.0	5.4 ¹⁾	6.0 ¹⁾
	5.2wt% ²⁴⁰ Pu	343	2.4	3.0	3.9	4.7	5.1	5.8 ¹⁾
		512	2.2	2.8	3.7	4.4	4.8	5.5 ¹⁾
		729	2.0	2.6	3.4	4.2	4.6	5.3
		1000	1.8	2.4	3.2	3.9	4.4	5.1
铀的氧化物 H/Pu≤0.4	94.8wt% ²³⁹ Pu,	64	5.0	6.6	8.8	10.9	12.0 ¹⁾	14.0 ¹⁾
	5.2wt% ²⁴⁰ Pu	125	4.1	5.5	7.6	9.5	10.7	12.7 ¹⁾

续表 A9

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
铀的氧化物	94.8wt% ²³⁹ Pu,	216	3.5	4.7	6.6	8.4	9.6	11.6 ¹⁾
		343	3.1	4.2	5.9	7.6	8.7	10.7
H/Pu≤0.4	5.2wt% ²⁴⁰ Pu	512	2.7	3.7	5.3	6.9	8.0	9.9
		729	2.4	3.3	4.8	6.3	7.3	9.2
		1000	2.2	3.0	4.4	5.9	6.8	8.7
铀的氧化物	94.8wt% ²³⁹ Pu,	64	4.4	5.9	8.1	10.3	11.6	13.9 ¹⁾
		125	3.5	4.8	6.8	8.8	10.0	12.3 ¹⁾
H/Pu≤3.0	5.2wt% ²⁴⁰ Pu	216	3.0	4.1	5.9	7.7	8.9	11.1
		343	2.6	3.6	5.2	6.8	7.9	10.1
		512	2.3	3.2	4.6	6.2	7.2	9.2
		729	2.0	2.8	4.2	5.6	6.6	8.5
		1000	1.8	2.6	3.8	5.1	6.1	7.9
铀的氧化物 ²⁾	94.8wt% ²³⁹ Pu,	64	3.0	4.1	5.8	7.5	8.5	10.5
		125	2.5	3.4	4.8	6.3	7.3	9.2
H/Pu≤10	5.2wt% ²⁴⁰ Pu	216	2.1	2.8	4.1	5.5	6.4	8.2
		343	1.8	2.5	3.6	4.9	5.7	7.3
		512	1.6	2.2	3.2	4.4	5.1	6.7
		729	1.4	2.0	2.9	3.9	4.7	6.1
		1000	1.3	1.8	2.6	3.6	4.3	5.7

注：1) 数值大于水反射临界球质量的90%。

2) 所列限值适用于含有小于1wt%²⁴¹Pu的材料。

表 A10 水反射贮存阵列中每个栅元内的铀单元质量限值

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg					
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610
金属铀	80wt% ²³⁹ Pu,	64	3.9	4.7	5.7	6.5 ¹⁾	6.9 ¹⁾	7.4 ¹⁾
		125	3.4	4.2	5.2	6.0	6.4 ¹⁾	7.1 ¹⁾
H/Pu≤0.01	20wt% ²⁴⁰ Pu	216	2.9	3.7	4.7	5.6	6.0	6.7 ¹⁾
		343	2.6	3.4	4.4	5.2	5.7	6.4 ¹⁾
		512	2.4	3.1	4.0	4.9	5.4	6.1 ¹⁾
		729	2.2	2.8	3.8	4.6	5.1	5.9
		1000	2.0	2.6	3.5	4.3	4.8	5.7
铀的氧化物	80wt% ²³⁹ Pu,	64	5.7	7.5	9.9	12.1	13.4	15.5 ¹⁾
		125	4.7	6.3	8.5	10.6	11.9	14.1
H/Pu≤0.4	20wt% ²⁴⁰ Pu	216	4.0	5.4	7.5	9.5	10.7	12.9

续表 A10

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg							
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610		
钚的氧化物	80wt% ²³⁹ Pu,	343	3.5	4.7	6.7	8.6	9.8	11.9		
		512	3.1	4.2	6.0	7.8	9.0	11.1		
	H/Pu≤0.4	20wt% ²⁴⁰ Pu	729	2.8	3.8	5.5	7.2	8.3	10.4	
			1000	2.5	3.5	5.0	6.6	7.7	9.7	
钚的氧化物	80wt% ²³⁹ Pu,	64	5.4	7.2	10.0	12.6	14.3	17.1		
		125	4.4	5.9	8.4	10.8	12.4	15.2		
		H/Pu≤3.0	20wt% ²⁴⁰ Pu	216	3.7	5.0	7.2	9.5	10.9	13.7
				343	3.2	4.4	6.4	8.4	9.8	12.4
	512	2.8	3.9	5.7	7.6	8.9	11.4			
	729	2.5	3.5	5.1	6.9	8.1	10.5			
	1000	2.3	3.2	4.7	6.3	7.5	9.7			
	钚的氧化物 ²⁾	80wt% ²³⁹ Pu,	64	3.7	5.1	7.3	9.5	11.0	13.6	
125			3.0	4.1	6.0	7.9	9.4	11.8		
H/Pu≤10		20wt% ²⁴⁰ Pu	216	2.6	3.5	5.1	6.8	8.0	10.4	
			343	2.2	3.0	4.5	6.0	7.1	9.3	
512		2.0	2.6	3.9	5.4	6.4	8.4			
729		1.7	2.4	3.6	4.8	5.8	7.7			
1000		1.6	2.2	3.2	4.5	5.3	7.1			

注：1) 数值大于水反射临界球质量的90%。

2) 所列限值适用于含有小于1wt%²⁴¹Pu的材料。

表 A11 水反射贮存阵列中每个栅元内的²³³U单元质量限值

易裂变材料		正方形贮存阵列中单元数	对不同最小尺寸(mm)的正方形贮存栅元的质量限值,kg							
类型	富集度(成分)		254	305	381	457	508	610		
金属铀	100wt% ²³³ U	64	4.2	5.3	6.7	7.8 ¹⁾	8.5 ¹⁾	9.4		
		125	3.5	4.5	5.9	7.1 ¹⁾	7.7 ¹⁾	8.8		
		H/U≤0.01	216	216	3.1	4.0	5.3	6.4	7.1 ¹⁾	8.2 ¹⁾
				243	2.7	3.5	4.8	5.9	6.6	7.7 ¹⁾
		512	2.4	3.2	4.4	5.5	6.1	7.3 ¹⁾		
		729	2.2	2.9	4.0	5.1	5.8	6.9 ¹⁾		
		1000	2.0	2.7	3.7	4.8	5.4	6.6		
铀的氧化物	100wt% ²³³ U	64	4.9	6.6	9.1	11.5	12.9 ¹⁾	15.4 ¹⁾		
		125	4.0	5.4	7.7	9.9	11.2	13.7 ¹⁾		
		H/Ui≤0.4	216	216	3.4	4.6	6.6	8.6	9.9	12.4
				343	2.9	4.0	5.8	7.7	8.9	11.3