

乏燃料



乏燃料又称辐照核燃料。在反应堆内烧过的核燃料。核燃料在堆内经中子轰击发生核反应，经一定时间从堆内卸出。它含有大量未用完的可增殖材料 ^{238}U 或 ^{232}Th ，未烧完的和新生成的易裂变材料 ^{239}Pu 、 ^{235}U 或 ^{233}U 以及核燃料在辐照过程中产生的镎、钼、锝等超铀元素，另外还有裂变元素 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 、 ^{99}Tc 等。经过冷却后把有用核素提取出来或把乏燃料直接贮存。

乏燃料溶解

乏燃料后处理首端过程中一个步骤。目前广泛应用的固体核燃料一般是制成元件的形式(外面是包壳，里面是燃料芯)。包壳有铝包壳、不锈钢包壳、锆或锆合金包壳等；燃料芯的材料有铀燃料(金属铀，二氧化铀，铀合金，陶瓷体)、钚燃料、钍燃料等不同类型。对于不同的燃料芯，以及考虑到采用的化学分离过程中的特殊要求，所用的溶解方法也不相同。切断后的元件和去壳后的核燃料芯体一般用硝酸溶解，烧结的二氧化钚、钍和二氧化钍在硝酸中溶解缓慢，可以加入氟离子作催化剂，以便加快溶解过程，即使如此，氧化钍在硝酸中的溶解仍是缓慢的。对铀—铝合金元件可用硝酸溶解，但需以硝酸汞催化剂使铝溶解加快，亦可用氢氧化钠—硝酸钠溶液将铝溶去，再用硝酸的溶解铀。

国外概况：乏燃料溶解包括两个部分：一是去壳；二是溶芯。对于生产堆元件国外均采用化学去壳法。对于铝合金壳均采用碱溶解的方法。

其基本原理如下：铝是一种两性金属，它既溶于酸，又能溶于碱，而铀则不溶于碱。因此元件的铝包壳通常可用氢氧化钠溶解。铝壳与氢氧化钠发生如下反应： $2\text{Al}+2\text{NaOH}+2\text{H}_2\text{O}\rightarrow 2\text{NaAlO}_2+3\text{H}_2\uparrow$

氢气与空气混合，在浓度为4—75%(体积)的范围内，达到燃点时可引起爆炸。为了保证过程的安全，需尽量减少反应产生的氢气体量。在氢氧化钠溶液中加入适量的硝酸铀，可将上述反应生成的氢气抑制在最小值。其近似的总反应为： $\text{Al}+0.85\text{NaOH}+1.05\text{NaNO}_3\rightarrow \text{NaAlO}_2+0.9\text{NaNO}_2+0.15\text{NH}_3\uparrow+0.2\text{H}_2\text{O}$

习惯上称氢氧化钠与硝酸钠的混合液为混合碱。它与铝壳反应生成的氨气与空气混合，在浓度为15.7—27.4%(体积)的范围内也有爆炸的危险，但爆炸限比氢气窄得多，因而较易控制。所以用碱溶解铝壳时都加入硝酸钠。

其溶解过程如下：先在溶解器内加一定量的润湿水(上一批元件去壳后的漂洗水)，再加入元件和浓混合碱，通入稀释空气和搅拌空气，通过溶解器夹套用蒸汽加热升温至沸点。铝壳完全溶解所需的时间是通过实验确定的。溶壳完毕后，向溶解器夹套通入冷却水，待降至 50°C 后，将偏铝酸钠废液从溶解器中转出，并送至废水处理和贮存厂房。然后用去离子水漂洗钍芯，漂洗水抽出后留作下批元件去壳时的稀释水(即润湿水)。

处理技术

乏燃料后处理技术，就是用中国自己制造的设备和技术，把已经使用3%—4%的铀废料(乏燃料)，以化学方法将铀和钚从裂变产物中分离出来，称为乏燃料再溶解和后处理技术。回收的铀和钚可在核电厂混合氧化物燃料中再循环使用，以生产更多能量，从而使铀资源得到更充分利用并减少浓缩需求。后处理也通过减少高放废物的体积和去除钚有

助于废物的最终处置，乏燃料后处理技术，是高放射性条件下的高技术，其意义是世界上核电站的核燃料处理与保存本身就是一个十分困难的事情，有了这一技术，不仅能充分利用核燃料的功能，提高核燃料利用能力，为人类造福，更重要的是为减小了体积，降低了放射性，为保存核废物创造了条件，对环境也是一个大贡献。

2010年12月21日，中国第一座动力堆乏燃料后处理中间试验工厂——中核四〇四中试工程热调试取得成功。热调试的成功，实现了核燃料闭式循环的目标，有力地推动了核燃料产业及核电的快速发展，为中国先进后处理工程技术的开发提供了重要的研究实验平台，标志着中国已掌握了动力堆乏燃料后处理技术。

注意事项

在后处理工艺流程中，乏燃料溶解是首端部分，也是关键的一个步骤，它对整个后处理工艺有着很大的影响。特别是对动力堆元件的处理，由于燃料的燃耗高，不溶物增加，因此溶解不完全，就会对后续流程起着不良的作用。另外，在元件切割中，处理不当就可能发生锆屑燃烧的事件，在溶解过程中可能发生临界事故等问题。首端处理也是后处理流程中技术难度最大的部分。它要求设备高度自动化和可靠性。因此，切断一溶解的技术国外只有少数的几个国家，如美、俄、法才能。许多国家是靠进口才解决问题的，如印度、日本等。

原文地址：<http://www.china-nengyuan.com/baike/1232.html>