

# 后处理厂中混合澄清槽的单体试验研究

邢东军 陈 静 李 瑞 中国核电工程有限公司

【摘 要】普雷克斯（Purex）流程是目前使用最普遍的乏燃料后处理工艺流程。混合澄清槽作为Purex流程中关键的萃取设备，其性能直接影响着最终的产品质量。通过对普雷克斯（Purex）流程中的铀纯化工艺里的2D槽进行了单体试验，通过对其泵轮转速、两相流量、两相流比对存留分数的影响，验证了混合澄清槽在不同工况下的性能，并获得最佳的操作区间。

【关键词】普雷克斯（Purex）流程，混合澄清槽，后处理厂

【DOI】10.12316/j.issn.1674-0831.2022.18.033

## 前言

乏燃料后处理工艺目前普遍采用了PUREX流程，PUREX流程核心工艺设备为萃取设备。其中铀纯化循环、溶剂再生循环的萃取设备采用了泵轮式混合澄清槽。泵轮式混合澄清槽可以保证较高的传质效率和良好的两相推动力，具体而言其采用具有抽吸力的泵轮搅拌装置，利用泵轮旋转产生的剪切力强化传质，同时旋转产生的抽吸力可用于输送料液。作为乏燃料后处理工艺中的核心工艺设备，泵轮式混合澄清槽的处理能力将直接影响相关工艺最终产品的性能指标。本文对铀纯化循环中的泵轮式混合澄清槽进行了水力学单体试验研究，为后续试验工作的顺利开展提供基础。

## 一、泵轮式混合澄清槽的结构设计

### 1.泵轮式混合澄清槽结构和物料走向

泵轮式混合澄清槽主要分为泵轮和槽体两个部分。槽体由混合室和澄清室组成，混合室截面为正方形，澄清室的长度根据工艺要求的澄清时间计算确定。混合室底部设有潜室，上部设置挡板，泵轮置于混合室中央。澄清室头部设有挡板和格栅，尾部设有水相小室和有机相小室。水相小室旁设置水相挡流板。采用回流结构，回流相所对应小室与混合室采用回流管连接，小室底部设置一定高度。回流相小室设置回流挡板，回流比取决于回流相堰口宽度比例。槽体靠尾部约三分之一处设有吹气仪表。泵轮式混合澄清槽结构示意图见图1：

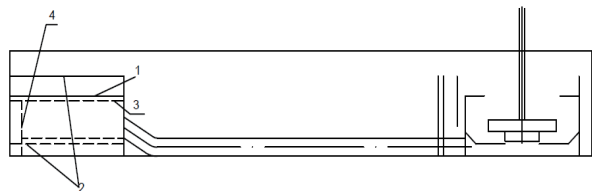
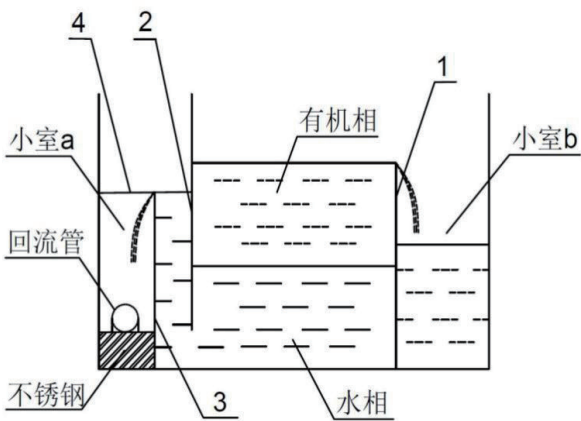


图1 泵轮式混合澄清槽结构示意图

部分混合澄清槽的流比较大，需对流量较小的相进行回流操作，使接触相比为1：1，以保证传质效率。回流结

构是泵轮式混合澄清槽设计的关键结构。具有临界安全要求的混合澄清槽还需采用扁平的槽体结构限制临界。

以水相回流为例，澄清室尾部示意图见图2。上一级的有机相和下一级的水相流入潜室，两相从混合室底部进入混合室以防止发生沟流，并对两相进行预混合。在泵轮的作用下两相搅拌混合，搅拌过程中飞溅的料液在挡板的阻拦作用下返回混合室。充分传质后混合相进入澄清室，经挡板和格栅的阻挡，去除了混合产生的泡沫，在一定时间内进行澄清分相。有机相轻轻相堰去往有机相小室，水相经水相挡流板和重相堰去往水相小室。经分流的有机相去往上级的混合室，水相在水相小室内再进行分流。在回流挡板的作用下，按比例回流到该级混合室，其他部分去往下级混合室。小室底部设置一定高度，使混合室中料液无法返混回水相小室。有机相回流的槽体结构与水相回流结构相似，仅回流管位置和回流挡板的位置有所不同。



小室a-水相小室，小室b-有机相小室，  
1-轻相堰，2-水相挡流板，3-重相堰，4-回流挡板  
图2 澄清室尾部示意图

### 2.泵轮转速

泵轮转速范围应能同时满足混合搅拌和料液输送两方面的要求。

二、泵轮式混合澄清槽的单体试验

为了验证泵轮式混合澄清槽的性能，我们选用了铀纯化工艺中具有代表性的2D槽，其特点见下表1。

表1 2D槽的特点

| 名称  | 工艺过程      | 连续相   | 特点                           |
|-----|-----------|-------|------------------------------|
| 2D槽 | 包括萃取段和洗涤段 | 有机相连续 | 级数较多（18级），通量较大，未设置回流结构，难以倒空。 |

2D槽的工艺流程如下：2DF水相料液定量进入2D混合澄清槽，采用30%TBP-煤油为2DX进行逆流萃取，并用2DS水相进行洗涤，2D槽水相出口的2DW经过2DW除油槽除油。2D槽有机相出口的2DU进入2E槽，用2EX水溶液进行反萃。

2D槽是有机相连续的混合澄清槽，在试验前，用2DX对2D槽进行充槽处理，待2D槽各级的界面、液位达到平稳状态时，即可开始两相试验。具体试验内容如下。

1.转速对存留分数的影响

按照工艺设计转速和设计流量工况下运行，当各级的界面、液位处于平稳状态时，用取样器从2D槽各级混合室内取10mL混合样品（每级混合室取3个样品），放入20mL量筒内静置5min，分相后分别读取两相总体积和水相体积，即可计算混合室内分相存留分数；从水相出口取1000mL水相样品，放入1000mL容量瓶内静置24h，用取样器取出有机相并测量其体积；同样，从有机相出口取有机相样品1000mL，放入1000mL容量瓶内静置24h，用取样器取出有机相并测量其体积。

然后调整电机转速为100、125、150、200、225、250、300、350、400、450、500r/min重复上述试验，即可得到一组转速与水相存留分数曲线数据（数据表如表2所示），作出电机转速-存留分数曲线，即可知电机转速对存留分数的影响规律。

2.两相流量对存留分数的影响

按照工艺设计转速和设计流量工况下运行，当各级的界面、液位处于平稳状态时，用取样器从2D槽各级混合室内取10mL混合样品（每级混合室取3个样品），放入20mL量筒内静置5min，分相后分别读取两相总体积和水相体积，即可计算混合室内分相存留分数；从水相出口取1000mL水相样品，放入1000mL容量瓶内静置24h，用取样器取出有机相并测量其体积；同样，从有机相出口取有机相样品1000mL，放入1000mL容量瓶内静置

24h，用取样器取出有机相并测量其体积。

然后调整工艺设计流量，按照设计流量增加0.3倍，重复上述试验内容。即可得到一组两相流量与水相存留分数曲线数据，作出两相流量-存留分数曲线，即可知两相流量对存留分数的影响规律。

继续调整工艺设计流量，按照设计流量减少0.3倍，重复上述试验内容。即可得到一组两相流量与水相存留分数曲线数据，作出两相流量-存留分数曲线，即可知两相流量对存留分数的影响规律。

3.两相流比对存留分数的影响

按照工艺设计转速和设计流量工况下运行，当各级的界面、液位处于平稳状态时，用取样器从2D槽各级混合室内取10mL混合样品（每级混合室取3个样品），放入20mL量筒内静置5min，分相后分别读取两相总体积和水相体积，即可计算混合室内分相存留分数；从水相出口取1000mL水相样品，放入1000mL容量瓶内静置24h，用取样器取出有机相并测量其体积；同样，从有机相出口取有机相样品1000mL，放入1000mL容量瓶内静置24h，用取样器取出有机相并测量其体积。

然后调整工艺设计流量，增大两相流比，重复上述试验内容。即可得到一组两相流比与水相存留分数曲线数据，作出两相流比-存留分数曲线，即可知两相流比对存留分数的影响规律。

继续调整工艺设计流量，减小两相流比，重复上述试验内容。即可得到一组两相流比与水相存留分数曲线数据，作出两相流比-存留分数曲线，即可知两相流比对存留分数的影响规律。

三、泵轮式混合澄清槽的单体试验结果分析

1.测量方法

（1）存留分数测量

将取出的两相混合样放置在10 mL量筒内，静置，待两相分相完成后读取两相总体积和水相体积，计算分散相的存留分数。

（2）相夹带测量

A.水相夹带测量

取1L（或500mL）水相样品放入量筒中，记录两相总体积。

静置12h后，利用针筒移液器将下层水相抽出约全体积的4/5，将剩余的1/5转入分液漏斗。

经分液漏斗静置一段时间后，将分液漏斗下部的水相倒空，用10mL量筒测量有机相体积并计算水相中夹带有机相的量。

B.有机相夹带测量

取1L（或500mL）有机相样品放入量筒中，记录两相总体积。

静置12h后，将量筒上层有机相倒出约全体积的4/5，将剩余的1/5转入分液漏斗。

经分液漏斗静置一段时间后，将分液漏斗下部的水相导出，用10mL量筒测量水相体积并计算有机相中夹带水相的量。

（3）泵轮抽吸力

泵轮式混合澄清槽依靠泵轮抽吸力输送料液，因此泵轮的抽吸力影响混合澄清槽的运行。泵轮的抽吸力很难直接测量，但是可以通过水相小室或有机相小室内液面高度进行分析。

2.结果分析

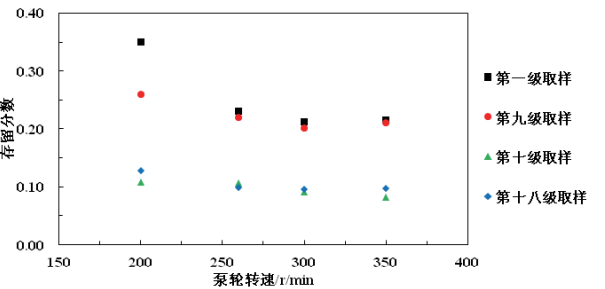
A.泵轮转速对泵轮抽吸高度的影响

表2 2D槽泵轮转速对于抽吸高度的影响

| 泵轮转速（r/min） | 150 | 200 | 260  | 300  | 350  | 400  |
|-------------|-----|-----|------|------|------|------|
| 抽吸高度（mm）    | 4.7 | 8.3 | 12.1 | 14.4 | 17.1 | 19.1 |

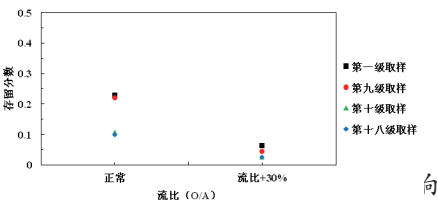
如表2所示，当2D槽泵轮转速较小时，泵轮的抽吸高度较小，会影响到2D槽混合室的进料，故在工艺操作中应选较高的泵轮转速以获取较高的抽吸高度（200–400r/min）。

B.泵轮转速对于存留分数的影响



如图3为2D槽泵轮转速对于存留分数的影响。从图中可以得到，在泵轮转速在250–350r/min下，分散相存留分数较为稳定，第一级和第九级的约为0.2，第十级和第十八级的约为0.1。第十级和第十八级的存留分数较小，主要是因为这两级距离分散相入口较远，分散相变少导致。

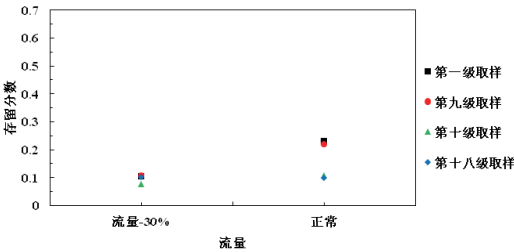
C.流比对于存留分数的影响



如图4所示，2D槽的存留分数随流比变化的趋势。

由于2D槽没有回流，故流比变化会对分散相存留分数产生较大的影响。

D.流量对于存留分数的影响



如图 5所示，2D槽流量对于存留分数的影响。从上图可以得到，流量减小，2D槽存留分数变小。

E.相夹带

表3 2D槽轻重相夹带

| 设备名称 | 重相出口         |            | 轻相出口        |            | 重相夹带 /‰ | 轻相夹带 /‰ |
|------|--------------|------------|-------------|------------|---------|---------|
|      | 有机相体积Va/(ml) | 总体积V总/(ml) | 水相体积Va/(ml) | 总体积V总/(ml) |         |         |
| 2D槽  | 1.4          | 695        | 2.1         | 806        | 2.02    | 2.61    |
|      | 0.1          | 659        | 1.6         | 500        | 0.15    | 3.21    |
|      | 0.2          | 540        | 1.2         | 580        | 0.37    | 2.07    |
|      | 1.8          | 605        | 1.5         | 540        | 2.98    | 2.78    |

如表3所示，每次试验分别从水相出口和有机相出口附近取500–1000ml样品，静置2h后，两相的夹带量较小（小于4‰）。

四、结论

典型萃取设备泵轮式混合澄清槽的水力学单体试验结果表明：

2D槽在泵轮转速250–350转/分范围内，运行稳定。正常运行时的分散相存留分数在0.1–0.2之间，且受相比和流比影响较大。

参考文献：

[1]吴秋林，王俊峰，等.核燃料后处理工程溶剂萃取设备[M].北京:中国原子能出版社，2012.  
[2]章泽甫，王俊峰，张天祥.动力堆核燃料后处理工学[M].北京:中国原子能出版社，2013.  
[3]任凤仪，周镇兴.国外核燃料后处理[M].北京:原子能出版社，2006.

作者简介：邢东军（1985–），男，汉族，河北石家庄人，硕士研究生，中级工程师，中国核电工程有限公司；研究方向：核化工研究设计。