

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2019 年 10 月 10 日 (10.10.2019)



(10) 国际公布号
WO 2019/192043 A1

(51) 国际专利分类号:
G21F 9/12 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2018/085070

(22) 国际申请日: 2018 年 4 月 28 日 (28.04.2018)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201810290186.7 2018年4月3日 (03.04.2018) CN

(71) 申请人: 清华大学 (TSINGHUA UNIVERSITY)
[CN/CN]; 中国北京市海淀区清华园,
Beijing 100084 (CN)。

(72) 发明人: 赵璇(ZHAO, Xuan); 中国北京市海淀区清华大学能科楼A座403房间, Beijing 100084 (CN)。
李福志(LI, Fuzhi); 中国北京市海淀区清华大学能科楼A座403房间, Beijing 100084 (CN)。 张猛(ZHANG, Meng); 中国北京市海淀区清华大学能科楼A座403房间, Beijing 100084 (CN)。

(74) 代理人: 北京东方亿思知识产权代理有限公司 (BEIJING EAST IP LTD.); 中国北京市东城区东长安街1号东方广场东方经贸城东2座1601室, Beijing 100738 (CN)。

(81) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU,

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR TREATING RADIOACTIVE WASTE LIQUID

(54) 发明名称: 放射性废液处理方法及装置

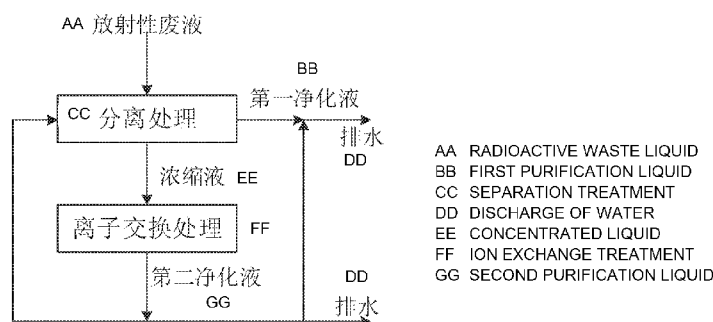


图 1

(57) Abstract: Disclosed is a method for treating radioactive waste liquid, the method comprising: subjecting the radioactive waste liquid to a separation treatment to obtain a first purification liquid and a concentrated liquid; subjecting the concentrated liquid to an ion exchange treatment to obtain a second purification liquid, wherein the first purification liquid and the second purification liquid are discharged; alternatively, the second purification liquid is returned to the separation treatment step, and the first purification liquid is discharged; alternatively, part of the second purification liquid is returned to the separation treatment step, and the first purification liquid and the remaining portion of the second purification liquid are discharged. Disclosed is a device for treating radioactive waste liquid by using the above-mentioned method. The method and device for treating radioactive waste liquid have a higher radioactive waste liquid purification level, and can significantly reduce the amount of radioactive waste generated, thereby achieving the minimization of radioactive waste.

IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT,
RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,
CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种放射性废液处理方法,该方法包括：将放射性废液进行分离处理，得到第一净化液和浓缩液；将所述浓缩液进行离子交换处理，得到第二净化液；其中，将所述第一净化液与所述第二净化液排放处理；或者，将所述第二净化液返回所述分离处理工序，将所述第一净化液排放处理；或者，将部分所述第二净化液返回所述分离处理工序，将所述第一净化液与其余部分所述第二净化液排放处理。一种利用上述方法处理放射性废液的装置。所述放射性废液处理方法及装置，具有更高的放射性废液净化水平，同时能够显著降低放射性废物的产生量，实现放射性废物的小量化。

放射性废液处理方法及装置

相关申请的交叉引用

本申请要求享有于 2018 年 04 月 03 日提交的名称为“放射性废液处理方法及装置”的中国专利申请 201810290186.7 的优先权，该申请的全部内容通过引用并入本文中。

技术领域

本申请涉及放射性废液处理技术领域，尤其涉及一种放射性废液处理方法及装置。

背景技术

对于核工业领域产生的放射性废液，反渗透处理因具有出水水质好、能耗低、适应性强等特点，离子交换因对废液中以离子形态存在的放射性核素具有很好的去除效果，均为常用的处理工艺。

因放射性废液中放射性成分复杂且含量很低，为了适应对核工业建设中环境辐射防护提出的越来越高的要求，目前对放射性废液多采用组合式处理工艺。常规的反渗透处理和离子交换的组合工艺形式是：反渗透膜设备和离子交换器串联组合，反渗透膜设备将放射性废液分离为净化液和浓缩液，净化液的放射性活度低于放射性废液，浓缩液的放射性活度高于放射性废液，净化液进入离子交换器进行进一步的净化处理。其中，放射性废液分离产生的浓缩液需要利用固化工艺形成固化体进行处理，固化体中放射性废液的体积包容量仅为 20%左右，导致产生大量二次放射性固体废物，且处理工艺复杂；而由于净化液中放射性核素的浓度降为更低水平，使得离子交换树脂的利用率也更低，从而导致二次放射性固体废物的产生量更大。

因此，需要一种新的放射性废液处理方法及装置，使放射性废物小量

化。

发明内容

根据本申请的实施例，提供了一种放射性废液处理方法及装置，具有更高的放射性废液净化水平，同时能够显著降低放射性废物的产生量，实现放射性废物的小量化。

根据本申请实施例的一个方面，提供了一种放射性废液处理方法，该方法包括：将放射性废液进行分离处理，得到第一净化液和浓缩液；将浓缩液进行离子交换处理，得到第二净化液；其中，将第一净化液与第二净化液排放处理；或者，将第二净化液返回分离处理工序，将第一净化液排放处理；或者，将部分第二净化液返回分离处理工序，将第一净化液与其余部分第二净化液排放处理。

根据本申请实施例的放射性废液处理方法，通过对放射性废液进行分离处理，得到符合甚至优于排放标准的第一净化液，将放射性核素基本保留在浓缩液中，浓缩液具有较高的放射性核素浓度，将其进行离子交换处理，能够明显提高离子交换树脂的利用效率，从而显著减少放射性废离子交换树脂的产生量。因为该方法不产生放射性浓缩液，省去了固化工艺，从而进一步降低放射性废物的产生量。

根据本申请实施例的另一个方面，还提供了一种放射性废液处理装置，该装置包括分离单元、离子交换单元和排水单元，其中，分离单元的浓缩液出口与离子交换单元的进口相连；分离单元的净化液出口连接至排水单元；离子交换单元的净化液出口连接至排水单元和/或分离单元的进口。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案，下面将对本申请实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 示出了本申请一个实施例提供的放射性废液处理方法工艺流程示意图。

图 2 示出了离子交换树脂对放射性核素铯的平衡吸附量 Q 与放射性核素铯在溶液中的平衡浓度 C_e 之间的关系图。

图 3 示出了本申请一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程示意图。

图 4 示出了本申请另一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程示意图。

图 5 示出了本申请另一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程示意图。

图 6 示出了本申请另一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程图。

图 7 示出了本申请另一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程图。

标号说明：

10，供水泵；

100，预处理单元；

101，活性炭过滤器；102，无机吸附柱；103，油水分离器；104，保安过滤器；105，缓存水箱；106，纸芯过滤器；107，自清洗过滤器；108，超滤器；

200，分离单元；

201，缓冲水箱；202，保安过滤器；203，高压泵；204，循环泵；

210，反渗透子单元；

211，第一级反渗透设备；212，第二级反渗透设备；213，反渗透设备；

221，第一级连续电除盐设备；222，第二级连续电除盐设备；223，中间水箱；224，活化剂箱；

300，离子交换单元；

301，离子交换器；

400, 排水单元;

401, 产水箱。

具体实施方式

下面将详细描述本申请的各个方面的特征和示例性实施例, 为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白, 以下结合附图及实施例, 对本申请进行进一步详细描述。应理解, 此处所描述的具体实施例仅被配置为解释本申请, 并不被配置为限定本申请。对于本领域技术人员来说, 本申请可以在不需要这些具体细节中的一些细节的情况下实施。下面对实施例的描述仅仅是为了通过示出本申请的示例来提供对本申请更好的理解。

需要说明的是, 在本文中, 诸如第一和第二等之类的关系术语仅仅用来将一个实体或者操作与另一个实体或操作区分开来, 而不一定要求或者暗示这些实体或操作之间存在任何这种实际的关系或者顺序。而且, 术语“包括”、“包含”或者其任何其他变体意在涵盖非排他性的包含, 从而使得包括一系列要素的过程、方法、物品或者设备不仅包括那些要素, 而且还包括没有明确列出的其他要素, 或者是还包括为这种过程、方法、物品或者设备所固有的要素。在没有更多限制的情况下, 由语句“包括……”限定的要素, 并不排除在包括所述要素的过程、方法、物品或者设备中还存在另外的相同要素。

放射性废水处理不同于常规的废水处理, 这是因为: 1) 放射性废水中放射性核素离子的质量浓度极低, 而进一步降低放射性核素离子的质量浓度, 以达到环境排放要求的放射性活度 10Bq/L , 这远远超出了常规废水处理技术的能力; 2) 放射性废水处理的一个重要原则就是, 放射性废物小量化; 3) 需要考虑放射性条件下设备的可操作性和可维护性。

基于放射性废水处理的以上特殊要求, 本申请实施例提供了一种放射性废液处理方法及装置, 具有更高的放射性废液净化水平, 同时能够显著降低放射性废物的产生量, 实现放射性废物的小量化。

在本文中, “浓缩倍数”按 $(\text{进水体积}) / (\text{浓缩液的体积})$ 计算; “反渗透回收率”按 $(\text{反渗透的总净化液产量}) / (\text{反渗透的总进水量})$ 计

算。

图 1 示出了本申请一个实施例提供的放射性废液处理方法工艺流程示意图，根据该方法：

首先将放射性废水进行分离处理，得到第一净化液和浓缩液。其中，浓缩倍数为 2 倍以上，优选为 2~3 倍，放射性废水中的放射性核素绝大多数被保留在浓缩液中，可以使浓缩液中放射性核素的质量浓度达到放射性废液中放射性核素的质量浓度的 2 倍以上，第一净化液中放射性核素的质量浓度则低于放射性废水中放射性核素的质量浓度，达到甚至优于排放标准的要求（放射性活度低于 10 Bq/L），进行排放处理。

进一步地，将浓缩液进行离子交换处理，得到第二净化液。这样一方面由于不会产生放射性浓缩废液，从而省去了固化工艺，降低放射性废物的产生量。另一方面，如图 2 示出了离子交换树脂对放射性核素铯的平衡吸附量 Q 与放射性核素铯在溶液中的平衡浓度 C_e 之间的关系图，可以看出，放射性核素在溶液中的平衡浓度 C_e 越高，离子交换树脂对放射性核素的平衡吸附量 Q 越高。由于在上述分离处理工序中，浓缩液中放射性核素的质量浓度可以达到放射性废液中放射性核素的质量浓度的 2 倍以上，浓缩液具有较高的放射性核素浓度，将其进行离子交换处理，能够明显提高离子交换树脂的利用效率，从而显著减少放射性废离子交换树脂的产生量，实现放射性废物的小量化。

经检测第二净化液的放射性活度符合排放标准的要求，则进行排放处理，此时，可以将第一净化液和第二净化液分别直接排放，也可以是将两者混合后排放。经检测第二净化液与第一净化液混合后符合排放标准的要求，则将第二净化液与第一净化液混合后进行排放处理。

还可以将第二净化液全部或部分返回作为分离处理工序进水的一部分，这样能够降低分离处理工序进水的放射性核素浓度，进而提高整套工艺方法对放射性核素的去污效果。

根据本申请的一些实施例，分离处理可以根据放射性废水的组分、含量、及处理要求等实际情况，采用纳滤工艺、反渗透工艺、连续电除盐工艺中的一种或两种以上的组合工艺。

尽管纳滤工艺的分离性能低于反渗透工艺，但是纳滤工艺对离子的分离具有一定的选择性，还具有过程渗透压低、操作压力低、省能等优点，因此当希望净化液中能够选择性地保留一些离子，纳滤工艺可以作为优选工艺进行放射性废水的分离处理。

当分离处理工序采用反渗透工艺时，可以采用一级或两级反渗透工艺处理，但并不限于此，还可以根据实际情况采用三级、四级或更多级反渗透工艺。

作为一个示例，将放射性废液经过一级反渗透工艺处理，得到一级反渗透净化液和一级反渗透浓缩液分别作为第一净化液和浓缩液。

可选地，一级反渗透工艺可以采用一段或两段以上的反渗透处理，当采用两段以上的反渗透处理时，上一段反渗透处理的中间浓缩液作为下一段反渗透处理的进水，即放射性废液依次经过两段以上的反渗透处理，得到浓缩液，同时从每一段送出该段净化液，所有段送出的净化液汇合为一级反渗透浓缩液。

作为另一个示例，先将放射性废液送入第一级反渗透工艺处理，得到第一级反渗透净化液和第一级反渗透浓缩液，再将第一级反渗透净化液送入第二级反渗透工艺处理，得到第二级反渗透净化液和第二级反渗透浓缩液。其中，第二级反渗透浓缩液返回送入第一级反渗透工艺，第一级反渗透浓缩液即作为上述浓缩液，送入离子交换处理工序；第二级反渗透净化液低于 10 Bq/L，符合排放标准的要求，作为第一净化液进行排放处理。

可选地，第一级反渗透工艺可以采用一段或两段以上的反渗透处理，当采用两段以上的反渗透处理时，上一段反渗透处理产生的中间浓缩液作为下一段反渗透处理的进水，即放射性废液依次经过两段以上的反渗透处理，得到浓缩液，同时从每一段送出该段净化液，所有段送出的净化液汇合为第一级反渗透净化液。

可选地，第二级反渗透工艺可以采用一段或两段以上的反渗透处理，同样地，当采用两段以上的反渗透处理时，上一段反渗透处理产生的中间浓缩液作为下一段反渗透处理的进水，即放射性废液依次经过两段以上的反渗透处理，得到第二级反渗透浓缩液，同时从每一段送出该段净化液，

所有段送出的净化液汇合为第二级反渗透净化液。

作为一个可选方案，第一级反渗透工艺和第二级反渗透工艺均采用三段反渗透处理，组成“两级三段”反渗透工艺进行放射性废水对的分离处理，具有较高的净化能力和浓缩倍数，减小离子交换处理工序的负荷，同时提高反渗透回收率。

当一级反渗透工艺产出的一级反渗透净化液或两级反渗透工艺产出的第二级反渗透净化液，放射性活度大于 10 Bq/L 时，或者，当追求所排放的净化液能够达到更低的放射性活度时，还可以将一级反渗透工艺产出的一级反渗透净化液或两级反渗透工艺产出的第二级反渗透净化液送入连续电除盐工艺进行进一步地精细处理。精细处理可以是采用一级或两级连续电除盐工艺，但并不限于此，还可以根据实际情况采用三级、四级或更高级连续电除盐工艺。

作为一个示例，将一级反渗透工艺产出的一级反渗透净化液或两级反渗透工艺产出的第二级反渗透净化液经过一级连续电除盐工艺进行精细处理，得到第一净化液，往往已经达到排放标准的要求，甚至达到天然本底水平，进行排放处理，产生的一级连续电除盐浓缩液返回一级反渗透工艺或两级反渗透工艺中的第一级反渗透工艺。

为了提高连续电除盐工艺的净化水平，还可以在一级反渗透工艺产出的一级反渗透净化液或两级反渗透工艺产出的第二级反渗透净化液中加入活化剂，再送入一级连续电除盐工艺进行深度净化处理。活化剂可以由电阻率大于 $0.5 \text{ M}\Omega \cdot \text{cm}$ 的纯水和不同种类的无机盐配制而成，活化剂中含有离子 Ca^{2+} 、 Na^{+} 、 Sr^{2+} 、 Zn^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Fe^{2+} 和 K^{+} ，阴离子种类不限，活化剂原液浓度与投加剂量相关，保证在活化剂加入放射性废水中并混合均匀后，放射性废水中含有的离子浓度如下： Ca^{2+} 0.1 mg/L~0.2 mg/L、 Na^{+} 0.2 mg/L~0.3 mg/L、 Sr^{2+} 8 mg/L~9 mg/L、 Zn^{2+} 18 mg/L~20 mg/L、 Mg^{2+} 0.2 mg/L~0.25 mg/L、 Fe^{2+} 0.04 mg/L~0.05 mg/L 和 K^{+} 100 mg/L~150 mg/L。

作为另一个示例，先将一级反渗透工艺产出的一级反渗透净化液或两级反渗透工艺产出的第二级反渗透净化液送入第一级连续电除盐工艺处理，得到第一级连续电除盐净化液和第一级连续电除盐浓缩液，再将第一

级连续电除盐净化液送入第二级连续电除盐工艺处理，得到第二级连续电除盐净化液和第二级连续电除盐浓缩液，其中，第二级连续电除盐净化液即为第一净化液，往往已经达到排放标准的要求，甚至达到天然本底水平，进行排放处理，第一级连续电除盐浓缩液和第二级连续电除盐浓缩液则返回一级反渗透工艺或两级反渗透工艺中的第一级反渗透工艺。

同样地，为了提高连续电除盐工艺的净化水平，还可以在第二级连续电除盐净化液中加入活化剂，再送入第二级连续电除盐工艺进行净化处理。活化剂可以选用如前文所述的活化剂。

可以理解的是，分离处理工序并不限于采用上述工艺，如还可以是一级以上的连续电除盐工艺；纳滤一反渗透组合工艺；纳滤一连续电除盐组合工艺；纳滤一反渗透一连续电除盐组合工艺等，本领域技术人员可以根据实际情况进行确定。

在放射性废水进行分离处理之前，可选择地对放射性废水进行预处理，但这并不是必须的工序。

考虑到放射性废水中锶、铯（尤其是铯）最容易穿透离子交换床，利用无机吸附的选择性特点对易穿透离子交换床的放射性核素进行特定吸附，从而延长离子交换树脂的使用周期，进一步减少放射性废离子交换树脂的产生量。基于上述考虑，放射性废液中锶的放射性活度、铯的放射性活度、锶与铯的总放射性活度中任一者为 10^5 Bq/L 以上时，优选进行去除锶和/或铯的预处理。当无机吸附剂针对的特定放射性核素的放射性活度超过预设的临界值，如放射性废液中锶的放射性活度、铯的放射性活度或锶与铯的总放射性活度高于 10^4 Bq/L，此时，需要更换无机吸附剂。

放射性废水中除放射性核素和无机盐之外，还可能存在的油类、有机物、胶体、颗粒物等杂质，这些杂质大部分是非放射性的，但会对无机吸附、反渗透、离子交换等工艺产生影响，预处理去除这些杂质，能够延长无机吸附剂、反渗透膜、离子交换树脂的使用周期，减少无机吸附剂和离子交换树脂的更换，进一步减少放射性废离子交换树脂的产生量和放射性废无机吸附剂的产生量。活性炭因其独特的表面性能，对油类、有机物、胶体、颗粒物等杂质都有良好的吸附能力，因此可以采用活性炭吸附去除

这些杂质，简化预处理工艺设备和流程。当活性炭床层的阻力过大或者滤过液不满足后续的进水要求（污染指数 $SDI < 2$ ）时，需要更换活性炭。

还可以预先对放射性废水调节 pH 值至 6~8，可以使反渗透工艺的处理效果更好，并使反渗透膜具有较长的使用寿命。

为了实现上述放射性废液处理方法，本申请实施例进一步提供了一种放射性废液处理装置，以下结合图 3 至图 7 进行详细说明。

图 3 示出了本申请一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程示意图。该装置包括分离单元 200、离子交换单元 300 和排水单元 400，其中，放射性废水供水与分离单元 200 的进口相连，分离单元 200 的浓缩液出口与离子交换单元 300 的进口相连；分离单元 200 的净化液出口连接至排水单元 400；离子交换单元 300 的净化液出口连接至排水单元 400 和/或分离单元 200 的进口。

作为一个示例，排水单元 400 包括第一排水子单元和第二排水子单元（图中未示出），分离单元 200 的净化液出口连接至第一排水子单元，离子交换单元 300 的净化液出口连接至第二排水子单元，第一排水子单元和第二排水子单元之间可以是连通的。这样，经检测第二净化液的放射性活度符合排放标准的要求时，可以根据不同需求将第一净化液和第二净化液分别直接排放，也可以是将两者混合后排放；经检测第二净化液与第一净化液混合后符合排放标准的要求时，则将第二净化液与第一净化液混合后进行排放。

可以理解的是，排水单元 400 可以仅仅是排水管道，也可以是在排水管道上连接产水箱 401（如图 6 和图 7 所示），或者其他将净化液排出的形式，本申请不作限制。

离子交换单元 300 的净化液出口还可以连接至分离单元 200 的进口，可以将第二净化液全部或部分返回作为分离单元 200 进水的一部分，这样能够降低分离单元 200 进水的放射性核素浓度，进而提高整套装置对放射性核素的去污效果。

根据本申请的一些实施例，分离单元 200 包括纳滤子单元、反渗透子单元、连续电除盐子单元中的一种或两种以上的组合。

作为一个示例，分离单元 200 包括反渗透子单元 210（如图 5 所示），反渗透子单元 210 中采用一级或两级反渗透设备，但并不限于此，还可以根据实际情况采用三级、四级或更多级反渗透设备。

在一些实施例中，请参照图 6 示出的本申请一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程图，反渗透子单元 210 中采用一级反渗透设备，反渗透设备 213 的浓缩液出口与离子交换单元 300 的进口相连。从反渗透设备 213 送出的净化液已经低于 10 Bq/L，符合排放标准的要求，可以进行排放处理，此时，反渗透设备 213 的净化液出口连接至排水单元 400。

为了提高反渗透回收率，反渗透设备 213 的浓缩液出口经管道分为两个支路，一个支路与反渗透设备 213 的进口相连，另一个支路与离子交换单元 300 的进口相连。这样还减少了浓缩液的排出量，降低离子交换单元 300 的负荷，进一步提高离子交换树脂的利用率，以及避免了能量浪费，节约能耗。

进一步地，反渗透设备 213 可以采用一个反渗透膜组件或两个以上的反渗透膜组件串联，当采用两个以上的反渗透膜组件时，上一个反渗透膜组件的浓缩液出口与下一个反渗透膜组件的进口相连，即将上一个反渗透膜组件产生的中间浓缩液作为下一个反渗透膜组件的进水，所有反渗透膜组件送出的净化液汇合为反渗透设备 213 的净化液。

在一些实施例中，请参照图 7 示出的本申请一个实施例提供的放射性废液处理装置工艺流程图，反渗透子单元 210 采用两级反渗透设备，其中第一级反渗透设备 211 和第二级反渗透设备 212 串联为两级，具体地，第一级反渗透设备 211 的净化液出口与第二级反渗透设备 212 的进口相连，第二级反渗透设备 212 的浓缩液出口与第一级反渗透设备 211 的进口相连，第一级反渗透设备 211 的浓缩液出口与离子交换单元 300 的进口相连。从第二级反渗透设备 212 送出的净化液往往已经低于 10 Bq/L，符合排放标准的要求，可以进行排放处理，此时，第一级反渗透设备 212 的净化液出口连接至排水单元 400。

为了提高反渗透回收率，第一级反渗透设备 211 的浓缩液出口经管道分为两个支路，一个支路与第一级反渗透设备 211 的进口相连，另一个支

路与离子交换单元 300 的进口相连。这样还减少了浓缩液的排出量，降低离子交换单元 300 的负荷，进一步提高离子交换树脂的利用率，以及避免了能量浪费，节约能耗。

进一步地，第一级反渗透设备 211 可以采用一个反渗透膜组件或两个以上的反渗透膜组件串联，当采用两个以上的反渗透膜组件时，上一个反渗透膜组件的浓缩液出口与下一个反渗透膜组件的进口相连，即将上一个反渗透膜组件产生的中间浓缩液作为下一个反渗透膜组件的进水，所有反渗透膜组件送出的净化液汇合为第一级反渗透设备 211 的净化液。

第二级反渗透设备 212 也可以采用一个反渗透膜组件或两个以上的反渗透膜组件串联，同样地，当采用两个以上的反渗透膜组件时，上一个反渗透膜组件的浓缩液出口与下一个反渗透膜组件的进口相连，即将上一个反渗透膜组件产生的中间浓缩液作为下一个反渗透膜组件的进水，所有反渗透膜组件送出的净化液汇合为第二级反渗透设备 212 的净化液。

作为一个可选方案，第一级反渗透设备 211 和第二级反渗透设备 212 均采用三段反渗透膜组件串联，组成“两级三段”反渗透单元进行放射性废水的分离处理，具有较高的净化能力和浓缩倍数，减小离子交换单元 300 的负荷，同时提高反渗透回收率。

当一级反渗透设备产出的一级反渗透净化液或两级反渗透设备产出的第二级反渗透净化液，放射性活度大于 10 Bq/L 时，或者，当追求所排放的净化液能够达到更低的放射性活度时，还可以在反渗透子单元的下流设置连续电除盐子单元，将一级反渗透设备产出的一级反渗透净化液或两级反渗透工艺产出的第二级反渗透净化液送入连续电除盐子单元进行进一步地精细处理。精细处理可以是采用一级或两级连续电除盐设备，但并不限于此，还可以根据实际情况采用三级、四级或更多级连续电除盐设备。

作为一个示例，当连续电除盐子单元采用两级连续电除盐设备时，请参照图 7，其中第一级连续电除盐设备 221 与第二级连续电除盐设备 222 串联，具体地，反渗透子单元的净化液出口，即一级反渗透设备的净化液出口或两级反渗透设备中第二级反渗透设备的净化液出口，与第一级连续电除盐设备 221 的进口相连，第一级连续电除盐设备 221 的净化液出口与

第二级连续电除盐设备 222 的进口相连，第二级连续电除盐设备 222 的净化液出口连接至排水单元 400，第一级连续电除盐设备 221 的浓缩液出口和第二级连续电除盐设备 222 的浓缩液出口分别与反渗透子单元 210 的进口相连。当反渗透子单元 210 采用一级反渗透设备时，请参照图 6，反渗透子单元 210 的进口指的是反渗透设备 213 的进口，当反渗透子单元 210 采用两级反渗透设备时，请参照图 7，反渗透子单元 210 的进口指的是第一级反渗透设备 211 的进口。

为了提高连续电除盐子单元的净化水平，当连续电除盐子单元采用一级连续电除盐设备时，可以在反渗透子单元与连续电除盐子单元之间连接一中间水箱，该中间水箱与活化剂箱相连。这样，在反渗透子单元送出的净化液中，如一级反渗透设备产出的一级反渗透净化液或两级反渗透设备产出的第二级反渗透净化液中，加入活化剂，再送入一级连续电除盐设备进行深度净化处理。当连续电除盐子单元采用两级连续电除盐设备串联时，请参照图 7，可以在第一级连续电除盐设备 221 与第二级连续电除盐设备 222 之间连接一中间水箱 223，该中间水箱 223 与活化剂箱 224 相连，并设置加药泵以控制活化剂的加入量，使经连续电除盐子单元处理后产出的净化液达到天然本底水平。

根据本申请的一些实施例，请参照图 6、图 7，离子交换单元 300 包括一级离子交换器 301，当然，也可以是两级以上的离子交换器 301 串联。

如图 4 所示，在分离单元 200 的上游还可以设置预处理单元 100，但并不是必须的。如需设置，预处理单元 100 可以是包括油水分离器、活性炭过滤器、无机膜过滤器、保安过滤器、纸芯过滤器、自清洗过滤器、超滤器、无机吸附柱中的一种或几种的组合。

考虑到放射性废水中锶、铯（尤其是铯）最容易穿透离子交换床，利用无机吸附的选择性特点对易穿透离子交换床的放射性核素进行特定吸附，从而延长离子交换树脂的使用周期，进一步减少放射性废离子交换树脂的产生量。基于上述考虑，放射性废液中锶的放射性活度、铯的放射性活度、锶与铯的总放射性活度中任一者为 10^5 Bq/L 以上时，优选通过无机

吸附柱 102（如图 5 至图 7 所示）进行去除锶和/或铯的预处理，可以采用针对锶的无机吸附柱、针对铯的无机吸附柱或针对锶和铯的无机吸附柱。

放射性废水中除放射性核素和无机盐之外，还可能存在的油类、有机物、胶体、颗粒物等杂质，这些杂质大部分是非放射性的，但会对无机吸附剂、反渗透膜、离子交换树脂等产生影响，预处理去除这些杂质，能够延长无机吸附剂、反渗透膜、离子交换树脂的使用周期，减少无机吸附剂和离子交换树脂的更换，进一步减少放射性废离子交换树脂的产生量和放射性废无机吸附剂的产生量。活性炭因其独特的表面性能，对油类、有机物、胶体、颗粒物等杂质都有良好的吸附能力，因此可以采用活性炭过滤器 101（如图 5 和图 6 所示）去除这些杂质，简化预处理工艺设备和流程。

有些放射性废水中杂质含量较多，对活性炭过滤器 101 负荷较大，采用活性炭过滤器 101 不能达到满意的杂质去除效果，请参照图 6，预处理单元 100 可以采用油水分离器 103、无机吸附柱 102、纸芯过滤器 106、自清洗过滤器 107 和超滤器 108 依次连接。其中，油水分离器 103 用于去除放射性废水中的油类杂质，降低油类杂质对后续工艺的影响；无机吸附柱 102 用于去除易穿透离子交换床的放射性核素，延长离子交换树脂的使用周期，减少放射性废离子交换树脂的产生量；可选地在油水分离器 103 与无机吸附柱 102 之间设置保安过滤器 104，去除颗粒物，对无机吸附柱 102 起保护作用，防止颗粒物堵塞吸附柱；纸芯过滤器 106 用于去除放射性废水中的颗粒物，容纳了颗粒物的滤芯便于后续的处理处置；自清洗过滤器 107 利用滤网直接拦截放射性废水中的杂质，进一步去除悬浮物和颗粒物，自清洗过滤器 107 能够自动排污，提高智能化，使工艺更高效；超滤器 108 能够深度去除放射性废水中以胶体形态存在的杂质、蛋白质、微生物和大分子有机物。采用该预处理单元 100，能够深度去除放射性废水中的杂质，使水质符合后续工艺的进水要求，大大减少杂质对分离处理工序、离子交换工序的影响，提高分离单元 200、离子交换单元 300 的运行周期。在无机吸附柱 102 与纸芯过滤器 106 之间可以连接缓存水箱 105，以缓存无机吸附处理后的放射性废水。

分离单元 200 还可以包括缓冲水箱 201，以缓存来自预处理单元 100 的放射性废水。在缓冲水箱 201 与反渗透单元 210 之间可以进一步连接保安过滤器 202，用于保护后续工艺的反渗透设备。

该装置还包括适当的供水泵 10、循环泵 204 和高压泵 203，可以是本领域常用的各种泵，例如柱塞泵、离心泵等。

采用本申请实施例提供的放射性废水处理装置，能够实施上述放射性废水方法，以实现高的放射性废液净化水平，同时能够显著降低放射性废物的产生量，实现放射性废物的小量化。

下面借助实施例来举例说明本申请，但这些实施例绝不构成对本申请的限制。

以下实施例中 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的浓度采用美国热电赛默飞 ICAP Q 型电感耦合等离子体-质谱 ICP-MS 仪进行测定，油类的浓度采用日本岛津 OCT-1 型总有机碳 TOC 分析仪进行表征。

“去污因子”按（进水的放射性活度）/（净化液的放射性活度）计算。

实施例 1

本实施例所用放射性废水处理装置采用如图 6 所示的装置，反渗透设备 213 为三个反渗透膜组件串联，每个反渗透膜组件中设置有一支反渗透膜元件陶氏 BW30-4040。装置采用的设备、元件、材料如下表所示：

名称	参数
供水泵 10	1 m ³ /h~4 m ³ /h
活性炭吸附床	1 mm~3 mm 椰壳活性炭、活性炭吸附床体积 50 L
铯吸附床	清华大学自主研发的无机离子吸附剂、铯吸附床体积 50 L
高压泵 203	格兰富离心泵、压力 2 MPa
反渗透膜元件	陶氏 BW30-4040
离子交换床	核级混床树脂 IRN160、离子交换床体积 60 L

本实施例处理的放射性废水为模拟放射性废水，其中含有 Cs^+ 2000

$\mu\text{g/L}$, Co^{2+} 875 $\mu\text{g/L}$, Sr^{2+} 1230 $\mu\text{g/L}$, 表面活性剂 10 mg/L 。

放射性废水处理装置的设计处理量为 1 m^3/h , 离子交换床处理速率约为 10 BV/h。

上述模拟放射性废水先经过活性炭吸附床预处理, 水中的表面活性剂浓度降低至 0.98 mg/L , 放射性核素离子浓度不变, 进一步经铯吸附床预处理, 水中 Cs^+ 浓度降低至 0.08 $\mu\text{g/L}$, 基本上完全去除了废水中的 Cs^+ 。

高压泵 203 操作压力为 1.5 MPa, 反渗透回收率为 60%, 3 m^3/h 浓水返回反渗透循环处理, 0.67 m^3/h 浓水进入离子交换床进行离子交换处理, 离子交换净化液产水 0.67 m^3/h , 离子交换产水全部返回作为反渗透进水的一部分, 反渗透的净化液产量达到 1 m^3/h 。

反渗透设备 213 对 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的截留率分别为 95%、98% 和 98%。在装置开始运行时, 离子交换床对三种放射性核素离子 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的去污因子较高, 分别约为 10^3 , 离子交换产水中 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 浓度分别为 0.71 $\mu\text{g/L}$ 、1.30 $\mu\text{g/L}$ 和 1.80 $\mu\text{g/L}$ 。离子交换产水与模拟放射性废水混合后作为反渗透进水, 其中 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 浓度分别为 299 $\mu\text{g/L}$ 、525 $\mu\text{g/L}$ 和 739 $\mu\text{g/L}$, 反渗透的净化液, 即装置产水中 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的浓度分别为 28.5 $\mu\text{g/L}$ 、20.6 $\mu\text{g/L}$ 和 28.9 $\mu\text{g/L}$, 此时, 装置对 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的去污因子分别达到 17、42、43。

随着装置运行时间增长, 离子交换床对 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的去污因子不断降低, 在运行 400 h 后, 离子交换床对 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的去污因子分别为 1.8、2.1 和 2.0, 离子交换产水中 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的浓度分别为 821 $\mu\text{g/L}$ 、1252 $\mu\text{g/L}$ 和 1604 $\mu\text{g/L}$, 装置产水中 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 浓度分别为 59.8 $\mu\text{g/L}$ 、40.2 $\mu\text{g/L}$ 和 54.1 $\mu\text{g/L}$, 此时, 装置对 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的去污因子分别达到 8、22、23。

如果不进行分离处理, 经活性炭吸附床和铯吸附床预处理后直接采用离子交换床对上述模拟放射性废水进行净化处理, 运行 400 h 后, 装置对 Cs^+ 、 Sr^{2+} 、 Co^{2+} 的总去污因子分别仅为 2 左右。可见, 本申请采用分离处理将放射性废水进行浓缩后, 对浓缩液进行离子交换处理, 可以大幅度提高装置对放射性核素的去污因子, 延长离子交换床使用寿命, 大幅度降低

放射性固体废物量。

如果放射性废水中污染指数 SDI 低于 2，可以不设置活性炭吸附工序。

如果放射性废水中 Cs^+ 离子含量低于 10^5 Bq/L ，可以不设置铯吸附工序。

以上所述，仅为本申请的具体实施方式，应理解，本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到各种等效的修改或替换，这些修改或替换都应涵盖在本申请的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1. 一种放射性废液处理方法，其中，所述方法包括：

将放射性废液进行分离处理，得到第一净化液和浓缩液；

将所述浓缩液进行离子交换处理，得到第二净化液；

其中，将所述第一净化液与所述第二净化液排放处理；或者，将所述第二净化液返回所述分离处理工序，将所述第一净化液排放处理；或者，将部分所述第二净化液返回所述分离处理工序，将所述第一净化液与其余部分所述第二净化液排放处理。

2. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述分离处理采用纳滤工艺、反渗透工艺、连续电除盐工艺中的一种或两种以上的组合工艺。

3. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述将放射性废液进行分离处理，得到第一净化液和浓缩液包括：将放射性废液经过一级或两级反渗透工艺处理。

4. 根据权利要求 3 所述的方法，其中，每级所述反渗透工艺采用一段或两段以上的反渗透处理，当采用两段以上的反渗透处理时，上一段反渗透处理的中间浓缩液作为下一段反渗透处理的进水，从各段送出净化液汇合为所述反渗透工艺的净化液。

5. 根据权利要求 3 所述的方法，其中，所述两级反渗透工艺处理包括：

将放射性废液依次经过第一级反渗透工艺和第二级反渗透工艺处理，将所述第二级反渗透工艺送出的第二级反渗透浓缩液返回所述第一级反渗透工艺，从所述第一级反渗透工艺送出所述浓缩液。

6. 根据权利要求 3 所述的方法，其中，所述将放射性废液经过一级或两级反渗透工艺处理之后，还包括：将所述一级或两级反渗透工艺处理得到的净化液经过一级或两级连续电除盐工艺处理。

7. 根据权利要求 6 所述的方法，其中，所述两级连续电除盐工艺处理包括：

将所述一级或两级反渗透工艺处理得到的净化液依次经过第一级连续

电除盐工艺和第二级连续电除盐工艺处理，得到所述第一净化液；所述第一级连续电除盐工艺送出的第一级连续电除盐浓缩液和所述第二级连续电除盐工艺送出的第二级连续电除盐浓缩液返回所述一级或两级反渗透工艺。

8. 根据权利要求 7 所述的方法，其中，在所述第一级连续电除盐工艺送出的中间净化液中加入活化剂，再送入所述第二级连续电除盐工艺。

9. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述放射性废液的体积为所述浓缩液的体积的 2 倍以上，所述浓缩液中放射性核素的浓度为所述放射性废液中放射性核素的浓度的 2 倍以上。

10. 根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述放射性废液进行所述分离处理之前，经过预处理，以去除油类、胶体、颗粒物、锶、铯中的一种以上，和/或，调节 pH 值。

11. 根据权利要求 10 所述的方法，其中，所述放射性废液中，锶的放射性活度、铯的放射性活度、锶与铯的总放射性活度中任一者为 10^5 Bq/L 以上时，需要进行去除锶和/或铯的预处理。

12. 一种放射性废液处理装置，其中，该装置包括分离单元、离子交换单元和排水单元，其中，

所述分离单元的浓缩液出口与所述离子交换单元的进口相连；

所述分离单元的净化液出口连接至所述排水单元；

所述离子交换单元的净化液出口连接至所述排水单元和/或所述分离单元的进口。

13. 根据权利要求 12 所述的装置，其中，所述分离单元包括纳滤子单元、反渗透子单元、连续电除盐子单元中的一种或两种以上的组合。

14. 根据权利要求 13 所述的装置，其中，所述分离单元包括反渗透子单元，其中，所述反渗透子单元包括一级或两级反渗透设备。

15. 根据权利要求 14 所述的装置，其中，所述分离单元进一步包括连续电除盐子单元，所述反渗透子单元和所述连续电除盐子单元依次连接；其中，所述连续电除盐子单元包括一级或两级连续电除盐设备。

16. 根据权利要求 14 或 15 所述的装置，其中，所述反渗透设备采用

一个反渗透膜组件或两个以上的反渗透膜组件串联，当采用两个以上的反渗透膜组件时，上一个反渗透膜组件的浓缩液出口与下一个反渗透膜组件的进口相连。

17. 根据权利要求 14 或 15 所述的装置，其中，所述反渗透子单元包括一级反渗透设备，所述反渗透设备的浓缩液出口经管道分为两个支路，一个支路与所述反渗透设备的进口相连，另一个支路与所述离子交换单元的进口相连；或者，

所述反渗透子单元包括两级反渗透设备，其中第一级反渗透设备的浓缩液出口经管道分为两个支路，一个支路与第一级反渗透设备的进口相连，另一个支路与所述离子交换单元的进口相连。

18. 根据权利要求 14 或 15 所述的装置，其中，所述反渗透子单元包括两级反渗透设备，其中，第一级反渗透设备的净化液出口与第二级反渗透设备的进口相连，第二级反渗透设备的浓缩液出口与所述第一级反渗透设备的进口相连，第一级反渗透设备的浓缩液出口与所述离子交换单元的进口相连。

19. 根据权利要求 15 所述的装置，其中，所述连续电除盐子单元包括两级连续电除盐设备，其中，所述反渗透子单元的净化液出口与所述第一级连续电除盐设备的进口相连，所述第一级连续电除盐设备的净化液出口与所述第二级连续电除盐设备的进口相连，所述第二级连续电除盐设备的净化液出口连接至所述排水单元，所述第一级连续电除盐设备的浓缩液出口和所述第二级连续电除盐设备的浓缩液出口分别与所述反渗透子单元的进口相连。

20. 根据权利要求 19 所述的装置，其中，所述第一级连续电除盐设备的净化液出口经中间水箱与所述第二级连续电除盐设备的进口相连，所述中间水箱与活化剂箱相连。

21. 根据权利要求 12 所述的装置，其中，所述离子交换单元包括一级或两级以上的离子交换器。

22. 根据权利要求 12 所述的装置，其中，该装置还包括预处理单元，所述预处理单元与所述分离单元的进口相连，用于去除放射性废液中

的油类、胶体、颗粒物、锶、铯中的一种以上，和/或，调节 pH 值。

1/4

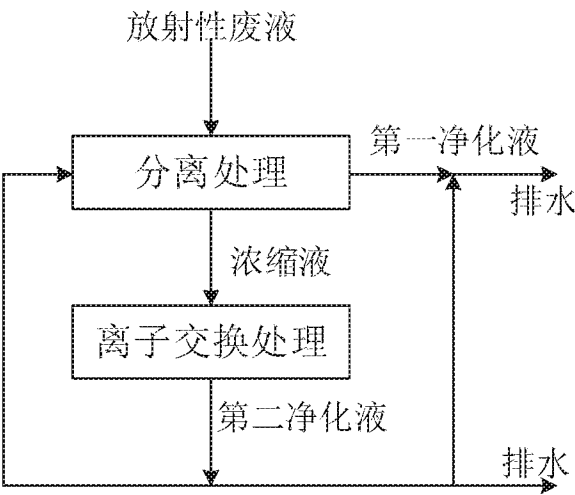


图 1

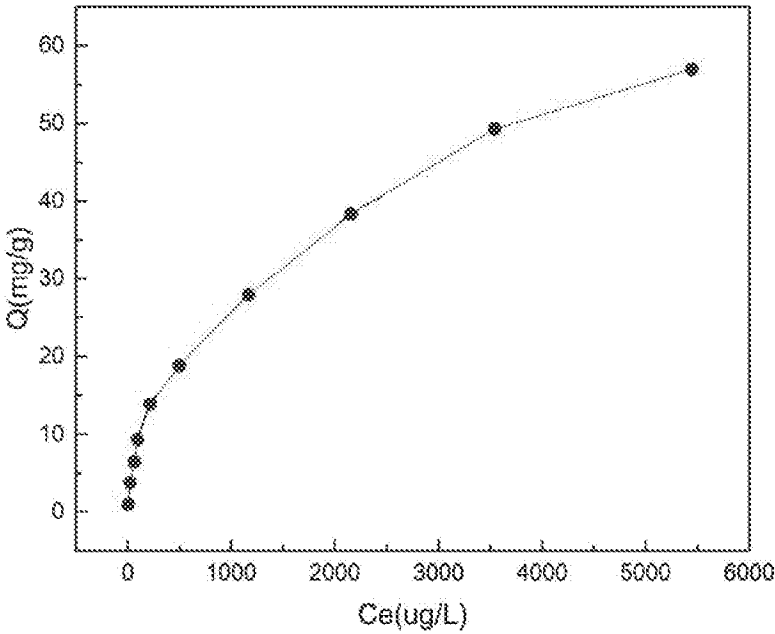


图 2

2/4

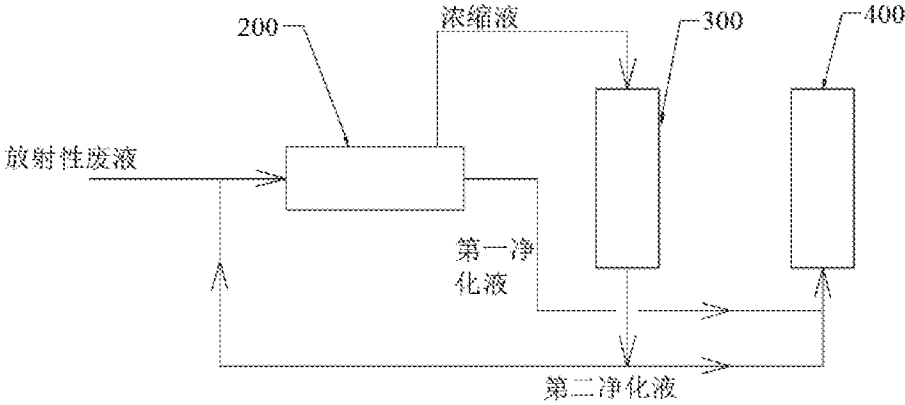


图 3

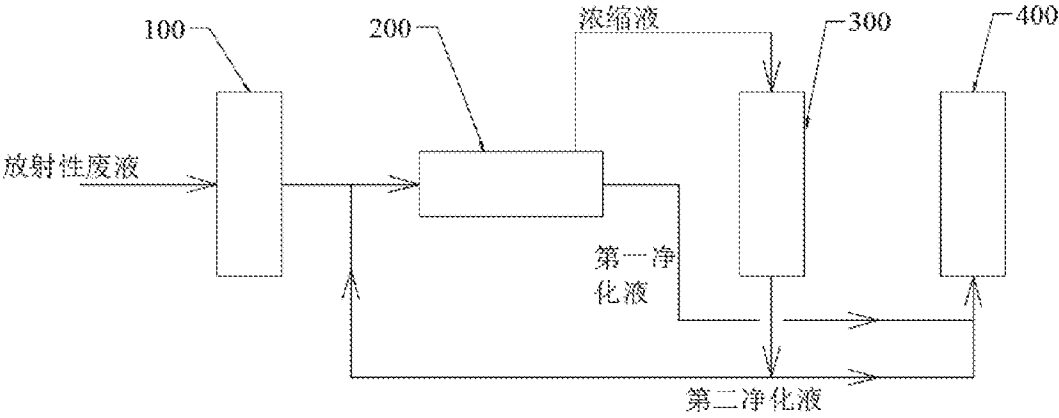


图 4

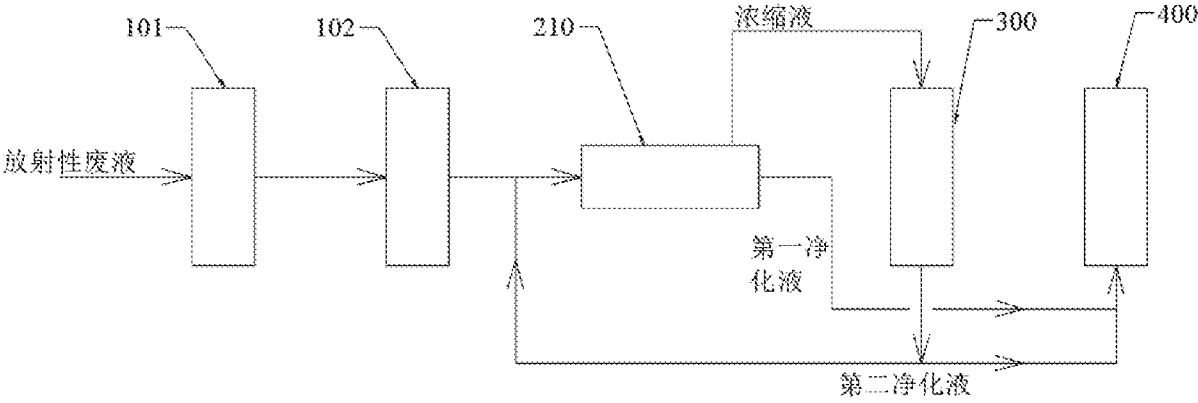


图 5

3/4

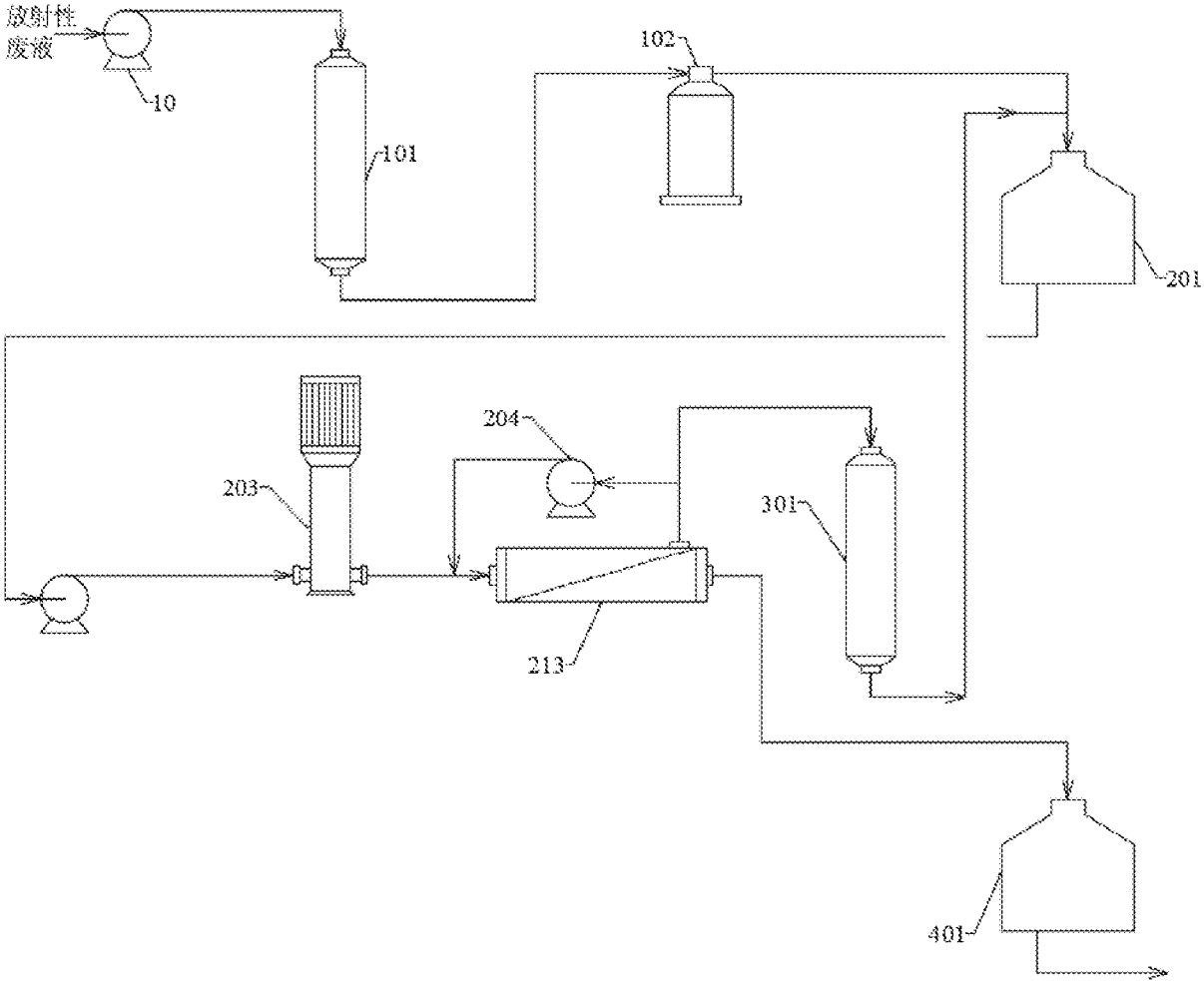


图 6

4/4

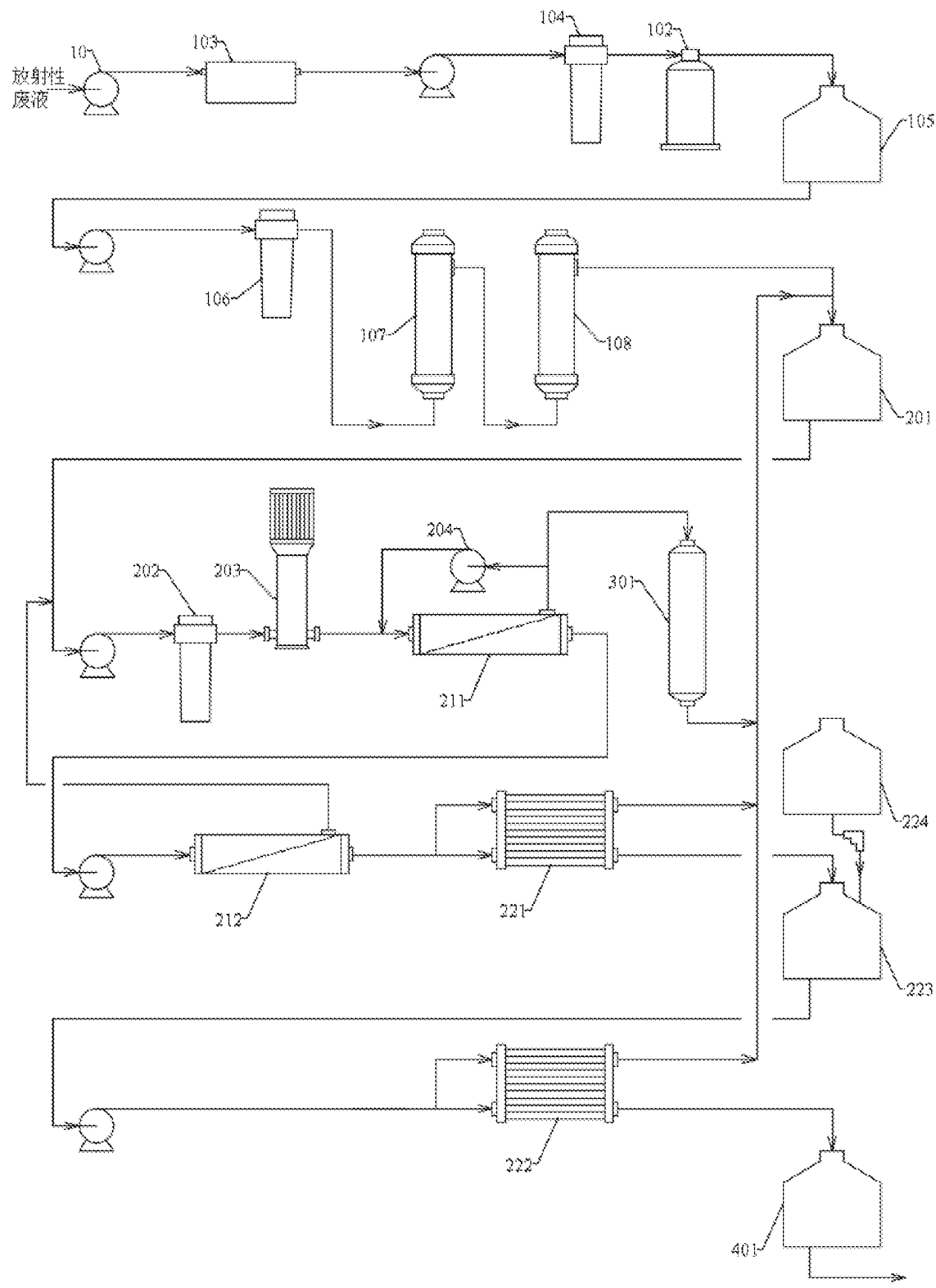


图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/CN2018/085070

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G21F 9/12(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21F09/08, G21F9/10, G21F9/12, G21F9/14, G21F9/16

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CNABS, CNTXT: 放射性, 废液, 废水, 分离, 纳滤, 反渗透, 电除盐, 离子交换, VEN: radioactive, wastewater, waste, Nanofiltration, Reverse osm, electric+ desalina+, Ion exchange

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	CN 101060021 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 24 October 2007 (2007-10-24) claim 1, and figure 1	1-22
Y	CN 103745759 A (TSINGHUA UNIVERSITY) 23 April 2014 (2014-04-23) see claims 5 and 12, and figure 1	1-22
A	CN 102930912 A (CPI YUANDA ENVIRONMENTAL-PROTECTION ENGINEERING CO., LTD.) 13 February 2013 (2013-02-13) entire document	1-22
A	US 2015368136 A1 (KURION INC.) 24 December 2015 (2015-12-24) entire document	1-22
A	US 2014263008 A1 (AVANTECH INC.) 18 September 2014 (2014-09-18) entire document	1-22
A	US 2018072592 A1 (KURION INC.) 15 March 2018 (2018-03-15) entire document	1-22



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 December 2018

Date of mailing of the international search report

08 January 2019

Name and mailing address of the ISA/CN

State Intellectual Property Office of the P. R. China (ISA/
CN)
No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing
100088
China

Facsimile No. (86-10)62019451

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/CN2018/085070

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
CN	101060021	A	24 October 2007	None			
CN	103745759	A	23 April 2014	EP	3018659	A4	01 March 2017
				WO	2015103983	A1	16 July 2015
				CN	103745759	B	18 January 2017
				CN	106448787	B	02 October 2018
				CN	106448787	A	22 February 2017
				EP	3018659	A1	11 May 2016
				JP	2017501421	A	12 January 2017
				US	2016251239	A1	01 September 2016
CN	102930912	A	13 February 2013	None			
US	2015368136	A1	24 December 2015	US	9981868	B2	29 May 2018
US	2014263008	A1	18 September 2014	MX	2015012081	A	02 June 2016
				US	2014263073	A1	18 September 2014
				JP	2016512883	A	09 May 2016
				US	9896352	B2	20 February 2018
				US	9896351	B2	20 February 2018
				EP	2973605	B1	30 May 2018
				CN	105393311	A	09 March 2016
				KR	20160000458	A	04 January 2016
				WO	2014151268	A1	25 September 2014
				CN	105393311	B	07 August 2018
				US	2018186662	A1	05 July 2018
				EP	2973605	A1	20 January 2016
US	2018072592	A1	15 March 2018	WO	2018053030	A1	22 March 2018

国际检索报告

国际申请号

PCT/CN2018/085070

A. 主题的分类 G21F 9/12 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																							
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G21F09/08, G21F9/10, G21F9/12, G21F9/14, G21F9/16 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) CNABS, CNTXT:放射性, 废液, 废水, 分离, 纳滤, 反渗透, 电除盐, 离子交换, VEN:radioactive, wastewater, waste, Nanofiltration, Reverse osm, electric+ desalina+, Ion exchange																							
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Y</td> <td>CN 101060021 A (清华大学) 2007年 10月 24日 (2007 - 10 - 24) 权利要求1, 图1</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>CN 103745759 A (清华大学) 2014年 4月 23日 (2014 - 04 - 23) 参见权利要求5, 12, 图1</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 102930912 A (中电投远达环保工程有限公司) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 全文</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2015368136 A1 (KURION INC) 2015年 12月 24日 (2015 - 12 - 24) 全文</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2014263008 A1 (AVANTECH INC) 2014年 9月 18日 (2014 - 09 - 18) 全文</td> <td>1-22</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>US 2018072592 A1 (KURION INC) 2018年 3月 15日 (2018 - 03 - 15) 全文</td> <td>1-22</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	Y	CN 101060021 A (清华大学) 2007年 10月 24日 (2007 - 10 - 24) 权利要求1, 图1	1-22	Y	CN 103745759 A (清华大学) 2014年 4月 23日 (2014 - 04 - 23) 参见权利要求5, 12, 图1	1-22	A	CN 102930912 A (中电投远达环保工程有限公司) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 全文	1-22	A	US 2015368136 A1 (KURION INC) 2015年 12月 24日 (2015 - 12 - 24) 全文	1-22	A	US 2014263008 A1 (AVANTECH INC) 2014年 9月 18日 (2014 - 09 - 18) 全文	1-22	A	US 2018072592 A1 (KURION INC) 2018年 3月 15日 (2018 - 03 - 15) 全文	1-22
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求																					
Y	CN 101060021 A (清华大学) 2007年 10月 24日 (2007 - 10 - 24) 权利要求1, 图1	1-22																					
Y	CN 103745759 A (清华大学) 2014年 4月 23日 (2014 - 04 - 23) 参见权利要求5, 12, 图1	1-22																					
A	CN 102930912 A (中电投远达环保工程有限公司) 2013年 2月 13日 (2013 - 02 - 13) 全文	1-22																					
A	US 2015368136 A1 (KURION INC) 2015年 12月 24日 (2015 - 12 - 24) 全文	1-22																					
A	US 2014263008 A1 (AVANTECH INC) 2014年 9月 18日 (2014 - 09 - 18) 全文	1-22																					
A	US 2018072592 A1 (KURION INC) 2018年 3月 15日 (2018 - 03 - 15) 全文	1-22																					
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																							
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 </td> <td> “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件 </td> </tr> </table>			* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																			
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件	“T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																						
国际检索实际完成的日期		国际检索报告邮寄日期																					
2018年 12月 19日		2019年 1月 8日																					
ISA/CN的名称和邮寄地址		受权官员																					
中国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10) 62019451		支辛辛 电话号码 86- (010) -62085684																					

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2018/085070

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利			公布日 (年/月/日)
CN	101060021	A	2007年 10月 24日	无			
CN	103745759	A	2014年 4月 23日	EP	3018659	A4	2017年 3月 1日
				WO	2015103983	A1	2015年 7月 16日
				CN	103745759	B	2017年 1月 18日
				CN	106448787	B	2018年 10月 2日
				CN	106448787	A	2017年 2月 22日
				EP	3018659	A1	2016年 5月 11日
				JP	2017501421	A	2017年 1月 12日
				US	2016251239	A1	2016年 9月 1日
CN	102930912	A	2013年 2月 13日	无			
US	2015368136	A1	2015年 12月 24日	US	9981868	B2	2018年 5月 29日
US	2014263008	A1	2014年 9月 18日	MX	2015012081	A	2016年 6月 2日
				US	2014263073	A1	2014年 9月 18日
				JP	2016512883	A	2016年 5月 9日
				US	9896352	B2	2018年 2月 20日
				US	9896351	B2	2018年 2月 20日
				EP	2973605	B1	2018年 5月 30日
				CN	105393311	A	2016年 3月 9日
				KR	20160000458	A	2016年 1月 4日
				WO	2014151268	A1	2014年 9月 25日
				CN	105393311	B	2018年 8月 7日
				US	2018186662	A1	2018年 7月 5日
				EP	2973605	A1	2016年 1月 20日
US	2018072592	A1	2018年 3月 15日	WO	2018053030	A1	2018年 3月 22日

表 PCT/ISA/210 (同族专利附件) (2015年1月)