

反渗透浓水处置的现状和发展趋势

反渗透浓水是反渗透装置的排放水，原水中的杂质在其中得到了浓缩，直接排放会对环境产生不利影响。本文简要介绍了国外目前使用较多的几种反渗透浓水处置方法：地面水排放（海洋、潮水）、深井注射、喷灌、废水处理装置和蒸发塘。

与离子交换、电渗析和蒸馏等工艺相比，反渗透、纳滤工艺在水脱盐净化处理方面有节能、化学品用量少、产水品质高和装置易于扩展等优势。从上世纪八十年代开始在欧美国家被广泛应用于工业生活用水的净化处理，目前反渗透、纳滤工艺已经成为一种水处理的标准工艺。我国从九十年代后期开始大规模使用反渗透技术，主要集中于电厂锅炉补给水、瓶装饮用水和食品医药用水的脱盐处理，近来兴建的一些较大规模的工业污水回用装置也将反渗透作为核心工艺。据粗略估算，我国的反渗透装机总容量约50 – 80 万m³/h，2003年新增处理量5 – 6 万m³/h，近三年来年增长率20 – 30 %。虽然反渗透工艺只有在装置清洗时才会产生化学品污水，在正常运行中不会产生新的污染物。但必须注意的是，在优质脱盐水的同时，进水中的杂质被浓缩了。如果反渗透浓水中得不到妥善的处置，直接排入天然水体，必然会对水环境产生不利影响。国内目前对于反渗透浓水基本没有进行特别的处置，多数采用就地排放的方式。

反渗透及纳滤系统的废物有预处理淤泥、清洗液、保护液以及浓水等副产物。除浓水之外，其他副产物与传统水处理设施一致，都有现成的处置方法可以参照。由于含浓水盐量高，传统的给排水处理都无法有效地解决这个问题。浓水水质受到原水水质、处理药剂以及回收率的影响。一般在确定浓水浓度时的简单估算方法按100 %脱盐率来进行计算，浓缩因子CF的计算公式为：

$$CF = \frac{1}{1 - \text{Rec.}} \quad (1)$$

从这个公式可以计算出，原水TDS为3 000 mg/L、回收率为75 %时浓水的TDS为12 000 mg/L。如果回收率达到90 %，TDS会达到30 000 mg/L。一个处理能力为10 MGD（百万加仑/日）的膜系统，回收率75 %时，浓水的产量为3.3 MGD，回收率90 %时，浓水产量为1.1 MGD。浓水的水质和水量之间的平衡对浓水的处置方式影响很大，同时回收率的选择也受到了处置可能方式的影响。有时将浓水与其他水或废水进行混合后排放，无论在可行性上还是经济性上都是较好的选择方案。比如将浓水与处理后的城市排水、工业废水或电厂冷却水混合排放。

如何处置浓水或与其他水的混合液，取决于浓水的水量和水质、处置地点的地理环境和对水源、土壤的潜在影响。目前国外的典型处置方法有：

- 地面水排放（海洋、潮水）；

- 深井注射；
- 喷灌；
- 废水处理装置；
- 蒸发塘。

1 地面水体排放

将膜系统浓水排入地面水体，首要关心的问题是对其对水体品质的负作用。排入水体的水质决定是否要在排放前对系统浓水进行处理。一般来说，反渗透浓水的溶解氧含量低、硫化氢含量高而且偏酸。在浓水中的一种或多种普通离子浓度高于或少于接受水体时，称之为“普通离子毒性”。

一种间接排入地表水体的方式是，将膜系统浓水与处理后的污水或雨水进行混合后排放。如果将浓缩海水与含盐量为1 000 mg/L的处理污水按2:1的比例进行混合，会将排水的TDS降到与周围海水相近。苦咸水系统浓水按类似的比例混合，也会达到与内陆地表水类似的TDS。

如果在出口的水体循环能力很强，浓水的高TDS浓度会得到快速的分散，但如果将大量的浓水排入盐度较小的湖泊、泻湖、贝壳类繁殖海域或优质鱼类生长水体，将会造成较大的毒害。

周围条件：由于接受水体可能包括河流、湖泊、河口、运河、海洋等水体，周围的条件可能变化很大。周围的条件包括接受水体的底部几何形状、水的盐度、密度和流量。接受水体的盐度、流量和密度会随水的深度、与排放点之间的距离以及时间而不同。

排放条件：排放条件包括排放设施的几何形状和排放流动条件。排放设施可以是一根管子，也可以是一个较长的多口扩散器。排放可以是水面式的，也可以式浸没式的。

排水口结构：排水口的结构要保证达到混合条件，对接受水体不会产生任何破坏，诸如水生物、野生动物和周围的区域等。一般采用简单的管口排放，在高度紊流下将浓水排入大量的接受水中足以保证稀释和混合。但大多数情况都采用仔细设计的排水口结构，以改善混合条件。这种设计叫做扩散器，在一根直管上垂直接出一些支管。

扩散器的特性和设计变量：扩散器管的长度；扩散器管的直径；管子的材质；排水口和阀门的材质；排水口和阀门的数量；排水口和阀门之间的距离；排水口与主管道的角度。

2 深井注射

浓缩水处置的另一个方法是通过深井注射把浓缩水排入地下。当条件不允许向地面水排放时，诸如水体的可接受性、水泥的可用性或管理的限制，通过深井注射把浓水排入地下是技术上可行的方法。深井注射系统一般用于处理浓缩水、污水以及工业的和危险的废水。深井按使用的类型和注射的流体分类。

深井注射是连续处置大量反渗透浓水的一种简单有效的方式，而且不受天气条件的影

响。但实施深井注射的过程非常复杂。对地理条件的要求相当特殊，选择的地点必须与适于饮用的含水层相隔离，所以注射位置要低于所有邻近的含水层，岩石的透射性要相对较高以便于注射。注射一定不能造成含水层的水质劣化。在建造注射井时的试验工作量较大，需要探明该地点的含水层的深度，分析岩石结构并进行打压试验。参考该地点的地球物理学记录，有助于发现其他可能影响注射的因素。确定注射打井位置需要完成以下工作：

- 研究的区域必须地震学上稳定。在地震影响的区域和/或注射井的向下斜坡内，注射的地层结构稳定，没有断层。
- 为了在合理的注射压力下处理大量浓缩水，必须有高度渗透的、面积广泛的注射区。
- 注射区必须含有TDS浓度超过10 000 mg/L的盐水。
- 进入受体水的注射应无经济影响，也不危及矿物资源，也不影响气体贮存或淡水储存系统。
- 封闭的注射床必须有足够的厚度且位于不渗透性的缝隙内。
- 浓缩水的水质应和蓄水层水泥相容。

为了确定监控区、封闭床、注射地层位置，蓄水层性质，以及加固钻孔的深度，必须收集试验/中间试验洞的打眼及岩心。在试验/中间试验洞完成后，用测井设备在钻孔中进行地球物理的测井记录。地球物理的测井记录至少应该包括单点电触、 γ 射线、温度、流量计、测径器、双感应、钻孔补偿的声波测井等。

注射系统的设计是基于浓缩水的流速。流速能够借助设计停留系统用于平均流速的峰值而加以调节。加固钻孔尺寸是以每日的平均注射速度和压力、最多工作日和每小时流速的峰值为依据。设计泵系统时要考虑注射压力。压力和井中的摩擦阻力、注射流体的粘度有关。此外，在可行性决策中，必须评估浓缩水、注射层液体间的密度差，以及岩层的底洞推动压力（输水率）。

注射井处理浓缩水较之共处理废水排放液有更严格的设计利施上要求。这是由于它们的工业类别的不向。施工方面的基本差别涉及井的管道和密封垫。

注射外系统应该有补救故障的回洗能力。若在加压下消除堵塞，则回洗可以起到机械清洗的作用。在低流动速度下，定期进行回洗会提高井的寿命和减少堵塞。

注射井设计中另一项考虑是浓水水质的评估。这是考虑加固钻孔类型和选择材料的匹配性。浓缩水对钢有中等的腐蚀性，因而能引起井的密封垫、钻孔加固层和岩层的结壳。浓缩水能向上迁移，因此使用监控井的网络保护上部蓄水层的报警系统，监控井一般设在注射区以上的蓄水层中，以监控水质的降级。通常由监控井采样定期检测各种参数以确定注射井是否常操作。深井注射系统需有后备的处置方法是十分重要的。后备方法实质是一种完全不同的处置方法，或是另一口注射井，或是处置浓水的某些其他的许可形式。虽然深井注射提供

了对于地向木排放处置的有生命力的替代方法，但其费用颇高。对于浓水处置，当没有其他可接受的方法时，才采用注射井方法。

3 喷灌/陆上处理

浓缩水处置能由应用陆地灌溉完成。浓缩水用于灌溉，因其暂补了用于灌溉的饮用水、地下水或地面水，所以也是一种水保护的方法。虽然此种处置方法可能是有益的，但是它一般受浓缩水水质的限制。在绝大多数情况下，浓缩水因含高浓度的溶解固体和氯化物，所以若不采用共混或大量的项处理，则不能用于喷灌。

喷灌处置只在少数的应用中采用。这样的应用最初作为中间研究计划以评定可能产生的环境影响、植物的忍受力和总体方案的可行性。

浓缩水可以经预处理或和其他水源，如处理过的排放废水共混。提供一种可利用的灌溉水。与此处置方法有关的问题主要集中在植物群、动物和/或农作物的忍受力，以及对地下水和地面水系统的影响上。浓水中受限制的组分通常是TDS、氯化物、放射性元素和金属。在实施喷灌方案前，要注意的问题是盐度，土壤的渗透性，个别离子的毒性，以及组分结垢的影响。

必须评估喷灌水通过渗透对地下苦水层，以及对可能容纳喷灌水的地面水的影响。在进行喷灌研究计划前、在确立计划的可行性和实验草案方面，政府管理机构应进行参与。

一个重要的考虑是要求灌溉水相对接近水源，必须考虑阴雨天浓缩水喷撞的实施和贮存。如果不能实现阴雨天的贮存，则必须使用后备的处置方法。用此类方法处置，应有一种监控井网络系统并定期检测参数，以提供地下水基本水质的数据以及对灌溉方案的影响。

4 蒸发塘

蒸发塘在蒸发量高、降雨量少而且有足够廉价土地的地区是一种比较实用的处置方法。蒸发塘一般要经过放渗漏衬里处理和放溢流处理，这样就不会排放到地下水和地表水水体中去，所以也不需要特别批准。但需要对渗漏进行探测和检测，溢保证不会进入地下水。蒸发残余固体要定期清理，送到垃圾填埋场处置。

蒸发塘的尺寸：蒸发塘的作用是将塘内的水以水蒸汽的形式转移到大气中。转移量决定着蒸发塘的尺寸，尺寸的选择包括面积和深度。面积主要取决于蒸发量，深度要能够满足储水和盐沉淀的要求。

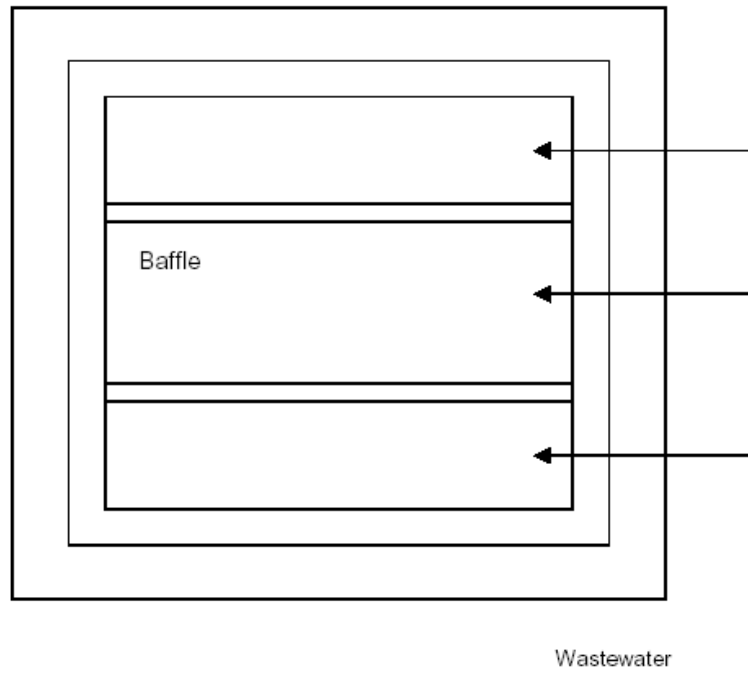


图 1 蒸发塘示意图