

膜技术在泉水直饮项目中的应用

王伟

济南美丰环保产品有限公司 山东 济南 250306

摘要：在济南市的各大泉水公园（趵突泉公园、五龙潭公园、环城公园）的泉水直饮工程项目的设计和建设中，以及在舜井/泉城路片区的泉水直饮工程项目的设计和建设中，均采用了以膜技术作为主要的水处理核心工艺技术，配合以过滤、臭氧/紫外线等设备，将泉水净化处理达到优质直饮水的标准，实现了泉水先观后用的效果。在本文中，将分别论述介绍：超滤膜、反渗透膜、纳滤膜的技术特点；以舜井/泉城路片区的泉水直饮工程为例，介绍膜技术的应用；应用膜技术的过程中所出现的问题和展望。

关键词：泉水直饮，膜技术，超滤，反渗透，纳滤

“济南泉水甲天下”，济南市号称“泉城”，泉水对于济南市的老百姓来说有着特殊的意义和含义。泉水的先观后用，包括饮用，一直是泉城老百姓的愿望。济南市政府在其核心商圈泉城路片区，以及各知名泉水公园内，陆续建设了一批泉水直饮项目，采用了膜技术，配合过滤和臭氧/紫外线消毒工艺，将泉水净化处理达到优质直饮水的标准，并通过卫生食品级管道，恒压输送至各个泉水直饮点，实现了泉水先观后用的效果，为广大市民和来济游客提供了免费饮用的洁净泉水。

本文介绍了在此类项目中，水处理工艺路线和所采用的技术选择，分别比较了超滤（UF）、反渗透（RO）、纳滤（NF）等膜技术的特点，过滤器、紫外线杀菌（UV）、臭氧杀菌（O₃）的应用、出现的问题和展望，以及在项目建设、运行和运维中总结的经验、教训。

作者期望通过本文，对未来城市中公益性质的管道直饮水项目建设，起到借鉴和抛砖引玉的作用。

1 水处理工艺路线的确定

按照目前的设计规范，直饮水处理的核心处理工艺主要分为：超滤、反渗透和纳滤三种，以下做分别的说明介绍。

1.1 超滤

1.1.1 原理介绍

超滤膜对溶质的过滤截留过程，一般被认定为机械筛分的原理，也就是说超滤膜上都具有一定尺寸和形状的微孔，当溶剂（通常为水）在压力的作用下，会把溶液中的微粒带向膜表面，当微粒尺寸大于膜孔径时，微粒会停留在膜表面而被截留，溶剂（例如水）和小于超滤膜孔径的颗粒，则会通过超滤膜，实现分离的效果。超滤适用于分离分子量大于500 Da(道尔顿)，直径大于0.1 μm 的大分子、胶体等溶解物和不溶于水的悬浮物，但无法截留无机离子和小分子的物质。

1.1.2 特点

超滤膜可以有效去除颗粒物、悬浮物、有机物、胶体、细菌、病毒及藻类微生物等物质，处理的过程中不需要投加药物，但是超滤膜对水中可溶性离子状态的物质没有脱除效果。对于含盐量较高，或者部分离子含量超标的原水，超滤工艺就无法满足要求了。与纳滤、反渗透相比，超滤设备的造价和运行成本是最低的。

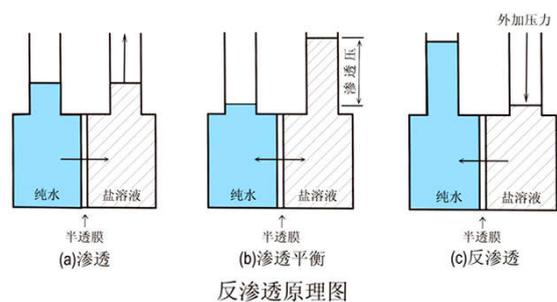
1.1.3 适用范围

在本文所讨论的泉水直饮水处理工艺范畴中，超滤一般是应用在原水水质较好，原水含盐量、硬度、碱度、无机盐离子等理化指标都合格（即符合《中华人民共和国城镇建设行业标准——饮用净水水质标准》CJ/94—2005中的相关标准^[1]）时，可采用超滤作为直饮水处理的主体工艺。

1.2 反渗透

1.2.1 原理介绍

反渗透膜是一种半透膜，其特性是只允许水分子通过，而能够阻止溶解性固形物等溶质的通过，从而将纯水和盐分进行分离。使用反渗透装置制取纯水的方法过程就是，在反渗透膜的进水一侧，利用机械压力，使水分子能够克服渗透压，并利用半透膜特性透过反渗透膜到达纯水一侧，得到纯水的过程。其模型化的原理如下图所示：



1.2.2 特点

反渗透膜的特点是脱盐率高，其对无机盐离子、溶解性总固体的去除率可高达99%（单支膜）/97%（装置）以上，比如，反渗透装置的进水中的溶解性总固体含量如果为500 mg/L，产水就会变为15 mg/L左右；来水中的悬浮物、有机物、胶体、细菌、病毒及藻类微生物等物质，可几乎100%脱除；对预处理的要求比较苛刻：来水中不能有颗粒物，不能有氧化性物质，需要有阻止在膜的浓水侧结垢的措施（软化或投加阻垢剂），需要有较高的操作压力。造价是三种工艺中最高的。

1.2.3 适用范围

在直饮水处理领域范畴内，反渗透可几乎适用于各种原水水质，尤其适用于原水含盐量较高的地区。

但是对于以泉水作为原水进行处理，并且要求实现泉水直饮的目标效果的话，则需要慎重考虑。原因是，如果采用反渗透工艺，几乎所有的无机盐离子都会被脱除掉，接近了纯净水的指标，虽然是能够达到直饮水的标准，但却失去了泉水的所有风味风貌和特点，成为同质化的纯净水。违背了“既要达到直饮水的标准，同时又要保持泉城泉水的风味风貌，避免成为同质化的纯净水”的宗旨，因此，在济南市的泉水直饮项目中，不宜采用反渗透工艺。

1.3 纳滤

1.3.1 原理介绍

纳滤是介于超滤与反渗透之间的一种膜过滤工艺，因其膜孔径为纳米级（10-9m），因此称其为纳滤膜，纳滤的工作原理与反渗透基本相同，都是在进水一侧施加机械压力，使水分子能够克服渗透压，透过膜到达淡水一侧。其与反渗透所不同的是，反渗透膜是将无机盐离子几乎无选择地全部脱除，而纳滤膜则具有选择性脱除功能，其截留分子量在200—1000Da(道尔顿)之间，可选择性地截留直径大于1nm左右的粒子^[2]，而允许直径小于1nm左右的粒子通过，实现的效果就是能够有效截留二价及以上的离子和有机分子，而允许大部分一价离子通过，从而实现高底价离子的分离和高低分子量有机物的分离。

1.3.2 特点

纳滤膜的最主要的特点就是可以选择性地脱盐，即允许一价离子通过膜，截留二价及以上的离子和有机分子；纳滤膜能够实现超滤膜的所有功能（脱除有机物、颗粒物、胶体、微生物等）；纳滤装置的运行压力比反渗透装置的运行压力相对要低，电能消耗约为反渗透的1/2左右；对预处理的要求仍然比较苛刻：来水中不能有

颗粒物，不能有氧化性物质，需要有阻止在膜的浓水侧结垢的措施（软化或投加阻垢剂）。造价介于超滤和反渗透之间。

1.3.3 适用范围

在直饮水的工艺设计中，纳滤一般用于原水含盐量较高或有脱盐需求的地区。由于纳滤膜所具有的选择性脱盐功能，可以将原水中的钙、镁等产生硬度的二价离子，以及铅、汞、砷等更高价的重金属离子，还有能产生苦味的硫酸根离子等，以较高的脱除率进行脱除；保留了钠、钾等一价离子的透过，同时能完全滤除有机物、胶体、细菌、病毒及藻类微生物等物质；采用纳滤工艺也可避免采用反渗透工艺造成的与纯净水同质化的可能。因此，项目建设方在方案设计时，就是在比较了超滤、反渗透和纳滤的特点后，最终选择采用了纳滤工艺作为核心处理工艺，既提高了水质，改善了口感，又保留了泉水的原始风貌风格，让市民、游客在饮用时既保证了安全，又能体验感受到泉水的甘甜和清凉。

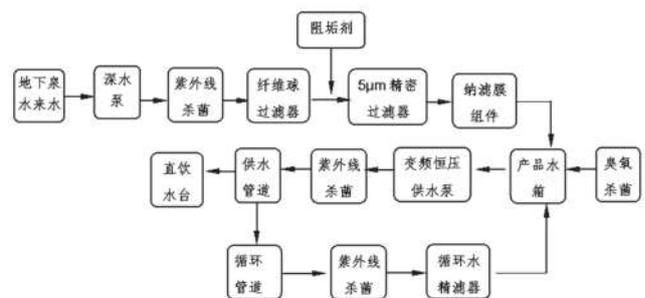
2 工艺流程介绍

济南市政府于2015-2016年，在位于历下区的核心商圈和景区——舜井/泉城路片区，建设了100处泉水直饮点，其设施部分主要由水处理设备、输送管线、直饮水台等三大部分组成，本章节将主要介绍该项目中水处理设备的功能，以及各辅助设备如何与膜技术和装备相配合，在泉水直饮项目中发挥作用。

2.1 原水水源情况及主工艺选择。

原水取自舜井，济南有句老话叫‘旱不涸、涝不溢’说的就是舜井。该原水中的溶解性总固体含量为486 mg/L，电导率为736 μ S/cm，总硬度为300.15mg/L（以CaCO₃计），这些指标都接近直饮水标准中的上限值了，稍有波动就会超标，并且这种水质的原水，其饮用的口感并不会太好，必须要进行脱盐处理。结合第一章所做的介绍，建设方采用了纳滤为主工艺路线。

2.2 设备的工艺流程。



2.3 各主要装置功能介绍。

深水泵：设置在距离舜井泉眼约20米处的一座竖井

内,其水源与舜井同源,深水泵可将舜井泉水输送至制水设备间。

紫外线杀菌器(过滤器前):设置在过滤器前,用于杀灭原水中的各种细菌、病毒、藻类等有机物。

纤维球过滤器:可以去除原水中的颗粒物、悬浮物、降低浊度,防止颗粒物在高压泵增压后损伤纳滤膜。过滤器的填料为纤维球,通过定期反洗来恢复其过滤功能。

阻垢剂投加装置:在纳滤装置之前设置阻垢剂投加装置,以微克级连续定量向水中投加阻垢剂,用来防止纳滤膜结垢。阻垢剂的分子量都非常大,不会透过纳滤膜,不会进入到产水侧,并且所选择投加的阻垢剂必须是取得食品级认证的安全产品。

5 μm 精密过滤器:设置在纳滤膜装置之前,作用是滤除掉粒径大于5微米的颗粒物,进一步防止颗粒物在经高压泵增压后损伤纳滤膜。

纳滤装置:本项目设计的纳滤装置出力为10 m^3/h ,选用的为美国/海德能公司生产的高性能纳滤膜元件(ESNA1-LF2),水的回收率为65%。

产品水箱:食品级不锈钢水箱,容积为5立方米。

臭氧杀菌器:臭氧作为强氧化剂,具有较高的杀菌能力,本设计的目的是将水中透过纳滤膜的少量有机物和细菌分解氧化而去除,确保管网供水的生化指标达到要求。

变频恒压供水泵:设置了二台不锈钢立式多级增压泵,通过变频控制器、压力控制器等恒压供水装置,将产品水恒压输送至外接的循环管网,进而将净化后的泉水送达每个直饮水台的直饮水嘴处。

紫外线杀菌器(进入输水管网前):设置在进入输水管网前,用于将产品水中有可能残存的未被臭氧发生器杀死的少量有机物和细菌分解氧化而去除,进一步确保管网供水的生化指标达到要求。

循环管线管网:泉水直饮的输水管线采用的是卫生食品级不锈钢管,由产品水箱经变频恒压供水泵输送至设于户外的100处直饮水台水点,然后再循环回水至产品水箱,供水期间24小时不间断循环运行。

紫外线杀菌器+循环水过滤器:在循环回水进入产品水箱之前,再经过一次紫外线杀菌器杀菌处理,以及循环水过滤器的过滤处理,防止可能存在的二次污染影响。

3 应用过程中的问题和展望

舜井/泉城路片区的泉水直饮项目自2016年全部建成投运以来,至今(2022年)已经运行了6年,总体上来讲

是非常成功的,本文总结了一些经验和教训,供今后类似项目建设时借鉴和参考。

3.1 大桶客问题

由于泉水经过了净化和消毒处理,水质明显优于直接从天然泉眼中涌出的天然泉水,因此使得原本习惯于用大桶在黑虎泉、白石泉、迎仙泉等天然泉水处接水的市民,转而在直饮水点处接水,这是一个让人感到有些尴尬的问题。后来我们设计了用手机扫二维码取水的方式,才从技术上解决了大桶客的现象,但同时出现的问题是,很多老年人没有手机或者是不会操作智能手机扫码,从而无法饮用泉水直饮水,并且还有一部分声音提出,扫二维码是否会泄露市民和游客的隐私(管理者曾多次出面澄清不存在此漏洞和风险),但仍然是一个存在部分争议的问题,需要留待更多时间和后来的更有智慧者来解决。

3.2 管线意外破裂后的维修,以及造成的影响等问题

由于该项目建设在城市的核心商圈和核心景区周边,人流密集,并且地下输水管线所埋设的区域涵盖了人行道、机动车道、广场、商铺、机关单位、宾馆等等,环境复杂,有时会因为路面施工、车辆碾压、城市更新施工等,造成供水管线的损坏,一旦维修不及时就会影响市民和游客的使用体验,并可能产生投诉。因此,如果能在设计规划阶段,或者在施工工艺改进上,能够规避开地下管线遭受意外破坏的影响,将会在日常维护和水质保证上轻松很多,这也是对未来的类似项目的一个提示。

3.3 项目建设的几点注意事项。

(1)水源一定要选择能够保持常年稳定供水的水源,水质要尽可能稳定。

(2)设计布局和规划管线一定要合理,就能减少消耗,且维护方便。

(3)施工单位的资质和能力要有保障,必须要有机电设备安装资质,以及必须要有涉水卫生许可批件,尽量要求具有丰富的类似业绩和工程经验。

(4)所选用的设备和材料,必须都要有涉水卫生许可批件。

(5)项目建成后,需要到当地的卫生管理部门办理卫生许可证,才能够投运。

4 结论

采用膜技术作为泉水直饮工程的技术手段时,应根据原水的水质情况作为选择的重要依据:当原水水质比较好,各项指标都能稳定达到直饮水标准时,可以选择

超滤；当原水的含盐量适中（在直饮水指标上限值附近时），需要适当降低含盐量、硬度、重金属离子，以及需要确保去除细菌病毒有机物时，可以选择纳滤；当原水的含盐量非常高，且采用纳滤无法确保达标，或者建设方希望得到纯净水级别的直饮水时，应选择反渗透。

采用膜技术作为泉水直饮工程的核心工艺时，前面应该有预处理（过滤、加药、杀菌等），后面应该有后处理（杀菌、消毒等），同时配合适宜的泵、阀、仪表、控制、输送等配套装置，来组成完整的水处理系统。

济南市的舜井/泉城路片区的泉水直饮工程，是目前国内覆盖面积最大，铺设管线最长、续存运维时间最长的公益性直饮水项目，该项目的应用经验对未来的类似项目具有示范和借鉴意义。

参考文献

[1]中华人民共和国城镇建设行业标准——《饮用净水水质标准》CJ/94—2005

[2]范瑾初.金兆丰，主编，严熙世，主审，水质工程，中国建筑工业出版社，2009