

工程实例

反渗透技术在以色列 Ashkelon 海水淡化项目中的应用

赵欣, 丁明亮, 陈晓华, 陈畅

(威立雅水务工程<北京>有限公司, 北京 100004)

摘要: 以色列的 Ashkelon 海水淡化厂于 2005 年建成, 该项目是当时世界最大的膜法海水淡化处理系统, 产水能力达到 $33 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。从处理流程、主要设备和系统调试与试运行情况等方面进行了介绍, 并对该项目的社会和环境效益进行了简要分析, 以期将膜法海水淡化技术在国外的成功建造和运营经验与同行进行交流。

关键词: 海水淡化; 反渗透; Ashkelon 海水淡化厂

中图分类号: TU991.2 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2010)10-0081-04

Application of Reverse Osmosis to Ashkelon Seawater Desalination Project in Israel

ZHAO Xin, DING Ming-liang, CHEN Xiao-hua, CHEN Chang

(Veolia Water Solutions and Technologies <Beijing> Co. Ltd., Beijing 100004, China)

Abstract: Ashkelon Desalination Plant in Israel was constructed in 2005, it was the largest desalination plant based on membrane technology in the world at that time. Its production capacity is about $33 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$. The treatment process, main equipments and commissioning of the plant are introduced, and the social and environmental benefits are analyzed, aiming at exchanging the successful experiences of overseas project cases with Chinese colleagues.

Key words: seawater desalination; reverse osmosis; Ashkelon seawater desalination

1 背景

地球上水体总量约为 $13.6 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 海水约占 97.2%。在 2.8% 的淡水中, 仅有 0.23% 可以被人类生命活动所利用。随着世界各国经济高速发展和人口的迅速增长与集中, 对淡水的需求也日益增加, 海水淡化作为未来沿海淡水资源开发的首选, 将成为沿海地区解决供水不足的重要途径之一^[1]。膜法与其他海水淡化方法相比, 具有投资少、能耗低、淡化成本低、建设周期短等优点, 可用于各种浓度的海水淡化和建造不同规模的海水淡化工程。随着膜技术的不断发展, 采用膜法进行海水淡化的投资和运行成本将不断下降。

Ashkelon 海水反渗透厂建成于 2005 年, 是当时

世界最大的采用膜技术进行海水淡化的工厂, 目前该厂可提供饮水量为 $33 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。该项目作为以色列 2000 年启动的海水淡化规划的一部分, 旨在解决该国长期存在的供水问题。

Ashkelon 海水淡化厂位于以色列南部地区, 每年为南部城市提供 $1 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的饮用水, 相当于以色列生活用水总量的 15%。

Ashkelon 海水淡化厂由 VID 海水淡化有限公司运营, 该公司是由威立雅水务及其以色列合伙人 (IDE 技术有限公司和 Elran 基础设施有限公司) 组成的合资公司。25 年的运营协议期满之后, 海水淡化厂将移交给以色列政府。该项目造价近 2.12 亿美元, 资金来源包括入股和贷款两部分。

海水淡化厂包括膜海水淡化单元和海水提升、浓盐水排放、原水预处理和产水后处理等设施,此外还建有一个专门的联合循环燃气轮机(联合发电)发电厂,提供80 MW的电力,其中56 MW供海水淡化处理使用。

先进的反渗透技术和一流的能量回收系统的应用,降低了Ashkelon海水淡化厂的运营成本,其吨水处理成本为0.53美元/m³,为同类工艺吨水成本最低。

2 工艺设计

运行的连续性和可靠性是工艺设计的重点。由

于该厂设计的饮用水生产能力是设想中的两倍,因此该厂差不多由两个独立的部分组成,每部分提供165 000 m³/d的饮用水。这两部分共用海水取水系统、海水提升泵站和最终的后处理(再矿化和消毒)设施,这些设施和泵站都具备足够的能力以确保各部分独立运行。整个海水淡化系统平稳的运行和产水水质是由众多因素所保证的,包括海水取水、海水预处理和后处理、连续的监控、基于多年经验的工艺优化以及有效的系统维护。

Ashkelon海水淡化项目的处理工艺包括5个主要部分,工艺流程如图1所示。

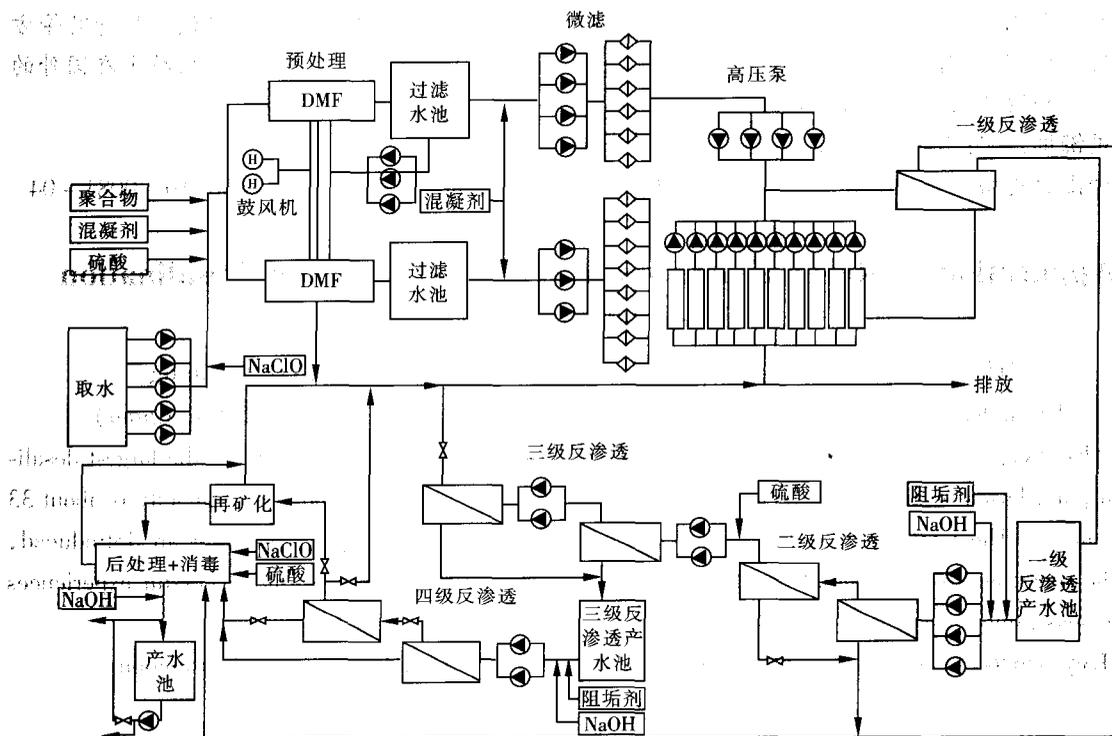


图1 Ashkelon海水淡化厂工艺流程

Fig.1 Flow chart of Ashkelon seawater desalination plant

2.1 海岸取水设施

考虑到工厂选址的限制和处理量的规模效应,选用了敞开、浸没式的取水装置,包括3条平行的高密度聚乙烯管道(管径为DN1 600,长度为1 km),以及为了保证安全取水的特殊构造。聚乙烯管道便于清洁,对海洋生物的生长具有一定的抑制作用。

2.2 海水取水与预处理

海水进水泵站配有5台流量为35 000 m³/h的立式泵,通过两根管线将海水送到预处理设施,每根管线对应着20个双层滤料重力滤池。过滤前添加化学

药剂,并通过静态混合器混合。在预处理阶段采用硫酸亚铁作为混凝剂、硫酸作为pH调节剂,以便在预处理阶段有效地降低SDI值。此外,还安装有其他化学药剂投加设备(冲击加氯、聚合物)以便在海水水质恶化时使用。

化学处理系统可以根据流速进行实时调节,并有适当冗余以确保系统的有效性。重力滤池通过石英砂和无烟煤介质实现过滤,滤速为8 m/h。这种慢滤速、长停留时间以及避免形成短流的配水和集水系统保证了过滤的高效率。即使在暴雨的浊度情

况下,用这种方式过滤的海水也满足后续处理的要求。这些滤池每两天自动反冲洗一次。

微孔过滤器构成第二级过滤,也是膜处理之前的最后一道安全屏障。

2.3 高压泵和能量回收系统

反渗透系统所需的进水压力为 7 MPa,是最为耗能的一个部分,因此任何可以减少能耗的措施都可以优化产水的成本。ERD(能量回收装置)的引入为降低能耗提供了可能。

在工厂设计初期,ERD 装置就被引入处理系统,该装置对排放浓水中机械能的回收率可达 96%。ERD 装置大大降低了吨水能耗,同传统工艺相比,吨水能耗可降低 35% 左右。

2.4 反渗透

过滤后的海水经过高压泵流向反渗透设备,这些设备与先进的双工作交换能量回收(DWEER)设施联系在一起。高压泵和能量回收设备可以各自独立运行,这有助于提高系统的灵活性和效率。

海水淡化设施由四阶段系统组成,这种设计是在考虑到出水水质的情况下采用的(氯化物 < 20 mg/L,硼 < 0.4 mg/L)。

① 第一阶段是传统的海水反渗透系统,回收率约为 45%。部分渗透水来自压力容器的进水侧(前端透透水)。这部分水的盐浓度(尤其是硼的浓度)低于整个渗透水的浓度,可以直接与其他阶段的渗透水混合。

② 经过第一阶段处理后的渗透水进入第二阶段,采用高 pH 值,提高膜对硼的去除率,此阶段的回收率为 85%,在这个阶段处理的渗透水成为最终水的一部分。

③ 经过第二阶段处理后的浓盐水进入第三处理阶段,主要是对第二阶段处理的浓盐水进行软化,在低 pH 值下回收率为 85%。由于处于酸化环境,因此在高回收率和高浓度时也不必担心膜表面上会结垢。但是由于 pH 值低,硼去除率很低,部分硼会随渗透水进入下一阶段。因此在这个阶段形成的渗透水还不能被视作为成品水,而必须经过第四阶段的处理。

④ 第四阶段的回收率达到 90%。在这个阶段采用高 pH 值,以便去除浓水中的硼。经过第四阶段处理后的水可以与成品水混合。

在“标准”的两阶段法海水处理中,第二阶段产

生的浓水直接进入第一阶段的进水,由于浓盐水的硼浓度太高,因此这种方法未被采纳。

在设计阶段还考虑过其他方案,其中有将浓盐水直接排放或使用硼选择性离子交换剂等。制水成本是确定最佳工艺和设计的一个主要考虑因素。

海水淡化设施由第一阶段的 32 个反渗透装置、第二阶段的 8 个装置、第三阶段的 2 个装置和第四阶段的 2 个装置组成。该设施共采用 25 600 支海水膜和 15 100 支苦咸水膜。最终采用了 DOW(陶氏)公司的 Filmtec 膜用于反渗透处理。

反渗透膜走廊如图 2 所示。

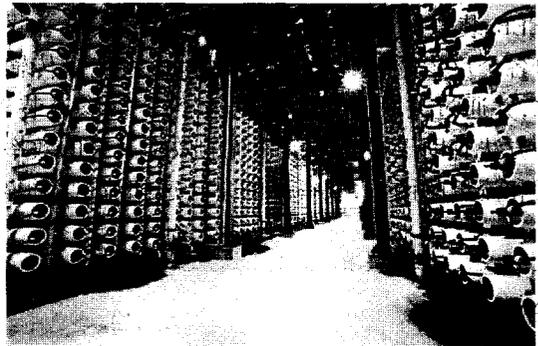


图 2 反渗透膜走廊

Fig. 2 RO membranes gallery

2.5 后处理

经过多个阶段反渗透系统的处理,从硼和氯化物含量的角度来看,出水水质已经符合要求,而采用石灰进行的后处理主要用于在将出水送入国家供水系统之前使之矿化。这个矿化过程以及碱度、硬度和 pH 值的调节过程对于满足饮用水质标准是必不可少的,可以有效防止供水管网的腐蚀。

3 主要创新技术和运营经验

传统的反渗透设备主要由高压泵、能量回收轮机和膜构成,并不适合大规模的反渗透处理厂。改进的办法之一是从本地模式转换成中央模式,采用集中泵输送海水到高压系统比传统方法更经济实惠,能量回收也同样如此。

海水的供应通过建造于海床的 3 条管线向海水淡化厂输送,经过双层滤料滤池的预处理后,海水被送入 32 组反渗透单元,每个单元具有 10 000 m³/d 的生产能力。

除了去除总盐度,反渗透系统还去除了细菌、病毒和硼,可以获得良好的产水水质,具体数据如表 1 所示。

表1 产水水质

Tab.1 Treated water characteristic

项 目	海水水质	产水保证值	产水水质 (经过后处理)
TDS/(mg·L ⁻¹)	40 679	300	180~200
氯/(mg·L ⁻¹)	22 599	20	10~15
钠/(mg·L ⁻¹)	12 200	40	6~10
硼/(mg·L ⁻¹)	≤5.3	0.4	0.2~0.3
pH	8.1	7.5~8.5	8~8.5

构成海水淡化厂的两个部分中每个都配有3个高压泵,组成1个泵送中心,将海水通过共用管线送往各个反渗透装置,另有1台泵作为备用。40个DWEER装置构成一个能量回收中心,该中心收集来自各个反渗透装置的加压浓盐水,将能量传输给海水,并通过共用进水管泵送至各个反渗透装置。这种方法有助于提高各个系统的效率。泵的效率是速度和流量的函数,效率高的泵转速和流量都很高。

Ashkelon 高压泵达到了最大限度的泵效率(最佳工况时达到88.5%)。40个DWEER构成能量回收中心,分成10组,每组4个,其中一组备用。这样便于在较大范围内进行能量回收,并提高系统的效率和灵活性。

由于Ashkelon项目的规模效应,以及近年来反渗透膜价格的降低,ERD系统对能量有效的回收和运营者对运营成本的合理控制,本项目的吨水成本被控制在较低的水平,约为0.53美元/m³。

参考文献:

- [1] 陈观文,徐平. 分离膜应用与工程案例[M]. 北京:国防工业出版社,2007.

电话:13601078062

E-mail:chang.chen@vediawater.com

收稿日期:2009-12-25

· 企业动态 ·

哈希 DR1010 COD 测定仪,高贵不贵!

DR1010 COD 测定仪是哈希公司专门根据中国用户的水质情况、使用习惯以及法规要求而开发的一款光度法 COD 测定仪,满足实验室的日常测定要求,同时支持现场测定。该仪器符合环保系统快速消解分光光度法 COD 测定标准(HJ/T 399—2007)的要求,同时支持哈希公司经典的2h消解COD测定方法。双波长自动转换测定高、低浓度COD水样,仪器内置标准COD测试曲线并支持用户自建曲线。DR1010 COD 测定仪秉承哈希公司一贯严谨的产品开发风格以及高品质风格,在品质、精度及操作方便方面都有较大优势。

更可喜的是,这款产品“高贵不贵”。由于从研发到生产进行了充分的流程优化,使得研发成本和生产成本有所改善。同时,哈希公司本着服务中国市场最广大用户的理念,将这款产品的价格降低,最大限度地提升了这款COD测定仪的性价比,将这款产品打造成为“买得起、用得好”的高品质COD测定仪。

该产品可广泛应用于工业、环保、疾控、教育科研、市政污水等领域,为客户提供准确、安全、简单、高性价比的COD测定解决方案。

(哈希公司 供稿)