

海洋盐差能的“膜”届求职之旅

刘潇¹, 曹光中¹, 高明丽², 吴红², 冯红艳², 蒋晨啸^{1,*}, 徐铜文^{1,*}

¹ 中国科学技术大学化学与材料科学学院应用化学系, 合肥 230026

² 化学国家级实验教学示范中心(中国科学技术大学), 合肥 230026

摘要: 海洋盐差能发电是一项新兴的绿色能源, 具有巨大的开发潜力。本文借用拟人化的手法, 通过海洋盐差能在离子交换膜公司的求职之旅, 简述了离子交换膜和反向电渗析技术, 介绍海洋盐差能的利用现状以及被用于发电的原理。本文希望通过生动形象的语言加深读者对海洋盐差能的认识和理解, 增强“能源安全”意识。

关键词: 盐差能; 离子交换膜; 反向电渗析

中图分类号: G64; O6

Seawater Salinity Gradient Energy's Job Application in the Field of Membranes

Xiao Liu¹, Guangzhong Cao¹, Mingli Gao², Hong Wu², Hongyan Feng², Chenxiao Jiang^{1,*}, Tongwen Xu^{1,*}

¹ Department of Applied Chemistry, School of Chemistry and Materials Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China.

² National Demonstration Center for Experimental Chemistry Education (University of Science and Technology of China), Hefei 230026, China

Abstract: Salinity gradient energy presents a promising opportunity for renewable energy, gaining significant interest in the sustainable power sector. This article presents an overview of the application of ion exchange membranes and reverse electro dialysis techniques to harness energy from salinity gradients in seawater, employing anthropomorphic terminology to enhance understanding. The main focus lies in the utilization of ion exchange membrane technology for power generation, with a particular emphasis on its current implementation status and underlying operational principles. The research aims to enhance readers' comprehension of salinity gradient energy in seawater and promote awareness of “energy security” through the use of descriptive language.

Key Words: Salinity gradient energy; Ion exchange membrane; Reverse electro dialysis

某一天, 海洋盐差能在家正无聊地刷着短视频, 手机上突然弹出了一则离子交换膜公司的招聘广告: “诚聘能源领域的专业人才, 让我们一起成为‘电力青年’”。想到自己的好兄弟海洋潮汐能、海洋温差能、海洋波浪能和海流能都在各自的工作岗位上大放光彩, 而自己和他们同样是能源专业的优秀毕业生, 却一直赋闲在家, 海洋盐差能心动了, 他立马关掉手机软件, 开始准备面试的事情。

收稿: 2023-06-23; 录用: 2023-07-12; 网络发表: 2023-08-17

*通讯作者, Emails: jcx11@ustc.edu.cn (蒋晨啸); twxu@ustc.edu.cn (徐铜文)

基金资助: 国家自然科学基金项目(U22A20411, 22008227); 国家重点研发计划项目(2022YFB3805303); 安徽省科技重大项目(202103a05020008)

1 面试

在工作人员的指引下，海洋盐差能走进了离子交换膜公司的办公室，只见面试官是两位身形较薄的中年人。其中一位男士热情地开启话题，“您好，欢迎参加本次面试，我们是本次的面试官，我是阳离子交换膜，旁边的这位女士是阴离子交换膜。听说您打算应聘能源岗位，请问您在该领域有哪些工作优势？”

海洋盐差能微微一笑，不紧不慢地开始自我介绍：“大家好，我是来自海洋能源家族的海洋盐差能，主要存在于河海交汇处，是海水和河水之间由于盐分的浓度差异而产生的化学电位差能^[1] (图1)。举个简单的例子，当我们把浓度不同的两杯氯化钠溶液倒在同一个烧杯时，氯化钠会从浓度高的溶液自发扩散至浓度低的溶液中，直至两者浓度相等，那么这个过程其实就蕴含了我能够发电的原理。我的能量十分巨大，据估计，全球可利用的盐差功率可达2.6 TW^[2]，我国潜在的可利用盐差能约为0.1 TW^[3]，具有非常广阔的发展前景。听闻贵公司以离子交换膜材料和相关的膜过程而闻名，我认为可以尝试设计出适合我的材料和工艺，将我所蕴含的化学电位差能转化为有效电能，充分发挥我的绿色清洁和储量巨大的优势。”

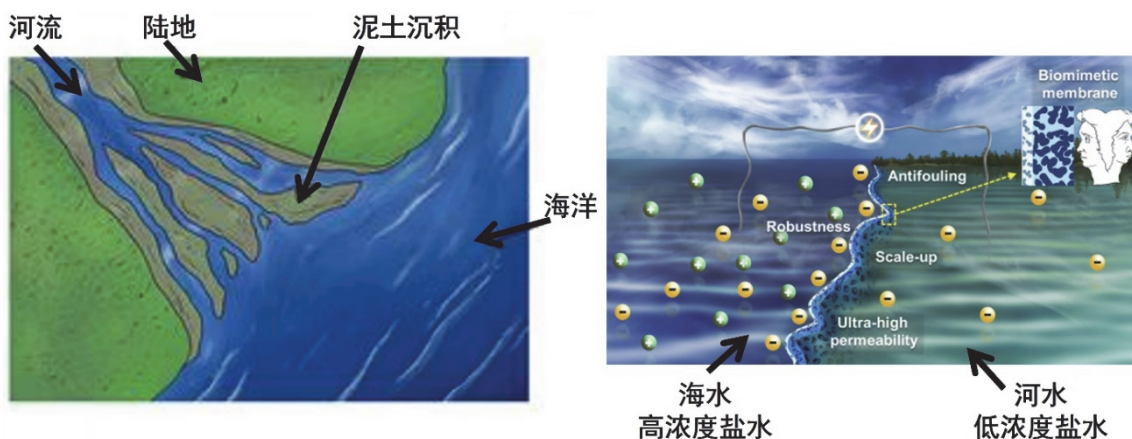


图1 海洋盐差能产生背景^[4]

阴离子交换膜眼前一亮，“不错，如你所见，我们公司确实以膜和膜过程见长。请问你对离子交换膜有什么了解吗？”海洋盐差能短暂地思考了一下，回答道：“离子交换膜，说得通俗一点，就像是一个筛子，能够筛去粗沙代表它具有良好的选择性，能快速地传导细沙的筛子代表它具有良好的传导性，只有这两种性能兼具的筛子才是我们想要的筛子，这就意味着好的离子交换膜要兼具选择性和传导性。离子交换膜通常是由疏水的聚合物主链、固定的离子交换基团(固定基团)和可移动的反离子组成，按照荷电基团的种类可以划分为阳离子交换膜、阴离子交换膜、两性膜和双极膜^[5]。”

阴离子交换膜满脸欣慰，“不错，看来你对离子交换膜还是有一定了解的。就拿我来说吧，我是阴离子交换膜，我的固定基团是荷正电的，我可以选择性传递阴离子，同时抑制阳离子的传输；而阳离子交换膜则恰恰相反。两性膜的固定基团既有荷正电又有荷负电的。双极膜比较特殊，它是一种复合材料，是由阴、阳离子交换膜层和中间的催化层组装而成，在电场的作用下，中间催化层的水分子可发生定向的水分解^[5]。提到膜过程，我们公司最近在开发反向电渗析技术，如果您方便的话，不妨跟我们到车间看一看，说不定可以跟您产生奇妙的效果。”

2 车间参观

见到海洋盐差能后，电渗析主任热情地开启了他的介绍，“我们公司在电渗析领域从业多年，

开发出许多类型的电渗析技术，比如说以离子膜为基础的传统电渗析、双极膜电渗析、选择性电渗析、置换电渗析、冲击电渗析和反向电渗析。现在我们正在参观的就是反向电渗析车间。”

在一个膜堆前，众人停住了脚步。“看，这就是我们的反向电渗析团队，我们可以看到这个团队由众多成员组成，绝大多数成员看起来身材苗条，他们就是发挥了关键作用的离子交换膜。工作的时候，阴离子交换膜和阳离子交换膜按照交替的顺序排队，他们彼此之间留有一定的工作空间。我们收集的海水和河水分别在这些空间里办公。对了，队伍的最外端是我们的阴极和阳极，当他们连通负载时，海水中的钠离子和氯离子会分别从阳离子交换膜和阴离子交换膜那里通过，前往河水所在的办公区域，这种离子的定向迁移就会产生内电流，而阴极和阳极负责发生电化学反应，把内电流转化为电子迁移的外电流^[6]。概括起来，就是无数个浓差电池串联在了一起，其中发挥关键作用的‘浓差’正好符合你自身的优势。”

“那他们这个团队在一定的时间里又能产生多大能量呢？”海洋盐差能激动地问道。“这得看他们的团队电位和团队电阻了，总电位越大，总电阻越小，团队的输出功率就越大^[6]。刚刚提到我们把他们整个团队看成一组电池，而这组电池是由多个浓差电池串联在一起的，那电位其实就是他们的电压。很显然，当浓差电池的浓度差越大，离子交换膜的选择透过性越高，单个电池的电压越大。当电池个数越多，他们的团队电压就越大。”电渗析主任认真地分析道。

“那它们的电阻又由哪些部分组成呢？”海洋盐差能决定打破砂锅问到底。电渗析主任欣慰地回答道：“参与这项团队工作的每一部分其实都有电阻，我们对此进行了划分，像阴离子交换膜、阳离子交换膜、海水、河水以及电极共同构成的电阻，我们称之为欧姆电阻，这是大多数情况下我们团队电阻的主要构成。如果阴阳离子膜自身的电阻能够降低，那么团队的电阻会有效降低，从而提高团队的工作能力。阴离子交换膜和阳离子交换膜很辛苦，他们需要经常进修，从而从各方面提升自己，比如自身的材料和结构，这样一方面可以降低自身的电阻，另一方面能够提高自身离子的选择透过性。”听到这里，阳离子交换膜不好意思地摸摸头，“嘿嘿，其实我们也没感觉到很累，因为我们是真心觉得这份工作能够带给我们幸福感和获得感。前几年国家提出了‘碳达峰、碳中和’的计划，能源行业需要进行转型和升级。未来肯定会减少那些不可再生的化石能源的使用，绿色清洁能源必然会受到广泛的使用。试想有一天，这个世界10%的电都是我们生产的，无数个家庭因为我们的工作成果而生活得更加幸福(图2)，这将是一件多么幸福的事情啊！”

“他们还是太谦虚了，别看他们来我们公司的日子不长，但是却干了很多的实事，几乎各种电渗析团队中都能看到他们的身影，在各项工作中都发挥了重要的作用，所以我说他们是我们公司的核心骨干。”说到这里，电渗析主任拍了拍海洋盐差能的肩膀，“好样的，加油，我相信你也可以像他们一样在能源领域闪闪发光的！”海洋盐差能望着这个可爱的团队，腼腆地笑了。

一番深入的交谈后，面试官离子交换膜和主任电渗析被海洋盐差能工作的热情和求知的真诚所打动，工作合同签订得很顺利。

3 入职培训

很快，海洋盐差能就迎来了他的入职培训，这次的主讲人是经验丰富的电渗析主任。

“大家好，欢迎加入我们离子交换膜公司。其实离子交换膜这个东西在咱们中国发展得比较晚，早在20世纪，欧美和日本就在离子交换膜领域布局，掌握了许多核心技术。许多产品拒绝销售给我们，或者是故意将价格抬高。”讲到这里，电渗析主任颇为无奈，但随后他语气一转，“近些年来，在我国科学家的努力下，国内离子膜研究一直在‘奋力追赶’，到目前有望实现‘弯道超车’。值得一提的是，徐铜文教授团队领导的‘均相离子膜制备关键技术及应用’项目^[9]对均相离子膜绿色化、低成本化生产和工业化应用进行了系统深入的研究，有力推动了离子膜材料基础研究与应用开发。近期，他们课题组也是成果频出，例如蒋晨啸副研究员提出的用于高镁锂比盐湖卤水提锂的‘离子精馏’技术^[7]、杨正金教授研发出的能在膜孔道内部实现近无摩擦的离子传递的三嗪框架聚合物

膜^[8]。一直以来，我们公司与徐铜文教授课题组开展了许多的课题合作和人才培养，许多员工都受益于此，逐步成长为公司乃至整个离子交换膜领域的骨干！”

听到这里，海洋盐差能暗下决心，自己要珍惜工作和学习机会，坚定理想信念，脚踏实地地做好自己的工作，真正把论文写在祖国的大地上！



图2 海洋盐差能发电及应用

参 考 文 献

- [1] 纪娟, 胡以怀, 贾靖. 能源技术, **2007**, 28 (6), 336.
- [2] Wick, G. L.; Schmitt, W. R. *Mar Technol. Soc. J.* **1977**, 11, 16.
- [3] 刘伯羽, 李少红, 王刚. 可再生能源, **2010**, 28 (2), 141.
- [4] Zhou, Y.; Jiang, L. *Joule* **2020**, 4, 2244.
- [5] 徐铜文. 膜科学与技术, **2008**, 132 (5), 1.
- [6] 陈霞, 蒋晨啸, 汪耀明, 徐铜文. 化工学报, **2018**, 69 (1), 188.
- [7] Jiang, C. X.; Chen, B. L.; Xu, Z. A.; Li, X. Y.; Wang, Y. M.; Ge, L.; Xu, T. W. *AIChE J.* **2022**, 68, e17710.
- [8] Zuo, P. P.; Ye, C. C.; Jiao, Z. G.; Luo, J.; Fang, J. K.; Schubert, U. S.; Mckeown, N. B.; Liu, T. L.; Yang, Z. J.; Xu, T. W. *Nature* **2023**, 617, 299.
- [9] 2018年度国家技术发明奖获奖项目目录及简介. [2023-08-16].
https://www.most.gov.cn/ztzl/gjxjsjldh/jldh2018/jldh18jlgg/201812/t20181226_144347.html