

## 核能海水淡化:重整旗鼓

IAEA 支助的研究项目所取得的成果显示  
有多种组合和选择可用于向海洋索取淡水

Juergen Kupitz

全世界饮用水的可获取量大大超过需求量和使用量,但水资源分布不均。有些地区的水奇缺,有些地方的居民则早已受到水供应不足的困扰。海水成了实际上取之不尽的水供应来源。如果淡化海水,就能有助于缓解任何临海地区日益增多的供水问题。像所有工业过程一样,海水淡化也需要能源。

然而,化石能源的资源有限,而且这类能源的加剧使用会引起环境问题,包括气候逐渐变化这一具有深远影响的威胁。与此同时,全世界对能源的需求量在稳步增加,需要采取合适的对策。核能对当今世界的能源供应作出了重大贡献,并且有潜力作出更大的贡献。然而,释放这种潜力并不是件容易的事。

本文概述了一些国家和全球对核能用于海水淡化工艺的兴趣,并报道了 IAEA 最近在探讨目前利用核能淡化海水的可能性和潜力方面的研究成果。

### 早年的工作

早在 60 年代,人们就开始考虑将核能应用与依靠海水淡化供给饮用水的工业过程相结合。事实上,当时的特点是人们对利用核能非常乐观。个别的国家、组织和核工

业界进行过一些研究。IAEA 应成员国的要求,曾于 1964—1967 年间完成了几项技术经济研究,并以“技术报告系列”(No. 24, 51, 69 和 80)的形式发表。

当时,人们对促进将核能用于除发电以外的各种各样应用的兴趣很高。这些应用包括推进船只、集中供热、给偏远地区供应能源、供应工业过程蒸汽,以及海水淡化。还有人设想建立大型农—工—核联合企业。

在得到公众和政治家强烈支持的时期,这些核能应用并没有停留在研究阶段,而是向原型项目和示范项目前进。就海水淡化来说,前苏联设计和建造了舍甫琴柯(现在是哈萨克斯坦的阿克套)联合企业。那里的 BN-350 液态金属冷却快中子堆于 1973 年投入运行,从那时起一直边发电边给生产饮用水供热。

在这些早年的努力和成就之后发生的事,现在却成了历史。核领域的发展后来集中在建造大型的发电用动力堆身上,造成 BN-350 依然是世界上唯一的一座正在向工业规模的海水淡化设施供热的动力堆。在日本,在大型核电站中安装了几套小型海水淡化装置,生产补给水和多种用途的水。俄罗斯在核破冰船和其它核动力船上也安装了约 16 套小型的海水淡化装置。

自那以后,一直没有核能与海水淡化相结合的项目实施。但在核动力技术和淡化工艺两个方面分别取得了重要进展,并做过有关这两者相结合的几项研究。

Kupitz 先生是 IAEA 核动力处核动力工艺技术开发科科长。

## 新的兴趣

在 IAEA 大会 1989 年常会上,与会者对核反应堆用于海水淡化的潜力重新表现出了兴趣。大会正式通过决议(GC(XXXIII)/RES/515),要求 IAEA 评估核能淡化的技术和经济潜力。从那时起,每届大会的议程表中都有“经济地生产饮用水的计划”这一议题,而一些相继的决议也总是要求机构进一步开展相关的活动。

为越来越多的居民供应充足的清洁饮用水的重要性,和为满足这一需求所要解决问题的数量和难度,现已为全球所认识。人们不大了解的是,60 年代一度成为可与当时的发电用核反应堆相媲美的一种新兴技术的海水淡化,现已发展成为一种成熟的、可大规模使用的工艺,并且具有进一步改进的余地。

发电用核反应堆亦已成熟。尽管核能已成为一种技术可靠、经济有竞争力的能源,供应着全世界电力消耗量的约 17%,但在许多国家里一直受到公众和政治家接受问题的困扰。鉴于核能进一步打入电力供应市场的前景不似早先预期的那么好,人们对其它方面的应用,特别是海水淡化,重新产生了兴趣。

还有一些因素也在推动着核能海水淡化技术的发展。这些因素包括:对燃烧化石燃料的环境影响的日益关注;对能源资源多样化的好处的认识;新型中小功率改进型反应堆概念的开发;以及对提高耗能工艺过程的效率的兴趣。

自从 IAEA 恢复有关核能海水淡化的活动以来,越来越多的国家和国际组织表示关注、积极参加会议、并提供信息和支助。这些支助和支助来自 20 多个国家,包括提供专家服务和总计 57 万美金的基金。

---

## IAEA 最近的评议和研究

1989 年大会之后,IAEA 曾采取措施对有关海水淡化工艺和核反应堆组合成海水淡化厂的现有资料重新进行了评议。评议结

果在 1990 年发表的技术文件《核反应堆用于海水淡化》(TECDOC-574)中作了报道。

继这一现状评议之后,IAEA 编写并于 1992 年发表了题为《利用核能和其它手段淡化海水生产饮用水的技术经济评价》(TECDOC-666)的报告。该报告的内容包括:以世界饮用水资源的最新分析为基础估计海水淡化的必要性;有关最具发展前途的淡化工艺和能源资源的资料;对潜在供应商建议的核反应堆系统的综述。该报告具体评价了利用核能淡化海水与利用化石燃料相比较的经济生命力。进行过的研究涵盖与各种淡化工艺相结合的不同规模和不同技术的供热厂,既有核供热厂,又有化石燃料供热厂。对环境和立法与管理等其它方面的问题也进行了讨论。IAEA 将继续收集和分析适用核反应堆、淡化工艺、两者结合问题和饮用水需求量方面的信息。

1991 年,为满足 5 个北非国家(阿尔及利亚、埃及、阿拉伯利比亚民众国、摩洛哥和突尼斯)提出的援助请求,IAEA 设立了一项区域性的有关核能海水淡化的可行性研究。研究结果已于今年提交各参与国。

沙特阿拉伯也请求 IAEA 提供核能海水淡化的可行性研究方面的技术援助。这项研究已于 1993 年开始,预计 1996 年结束。

为响应 1993 年大会有关建立核能淡化示范设施的决议,正在进行另一项工作。作为第一步,正在进行的一项研究是要鉴别、定义并表征一组实用的方案,将来或许会从中选择一种或多种作为示范设施。有关这一“方案鉴别计划”的工作已于 1994 年开始,预计 1996 年结束。

这些活动、研究和报告并不是孤立进行的,而一直是以相互结合的方式进行的,彼此互相补充。它们体现了 IAEA 在促进信息交流和传播知识与经验方面的作用。因此,IAEA 可作为核能海水淡化工程的催化剂、组织者或协调者,并作为技术援助的提供者。不过,IAEA 不能对核能淡化的实际应用起牵头作用,也不能设计、建造、拥有或运行核能淡化联合企业。

## 组合、选择与前景

世界上确实有这样一些情况各异的地区以及一些国家中的许多特定地方,那里的水需求量大于供给量,而且海水淡化成了唯一或最适用的供水选择。不过,尚无可靠的数据库可用于定量估计全球的水短缺状况。

IAEA 的研究认为北非和海湾地区确实普遍缺水。作为对北非可行性研究的输入,该地区参与此项研究的国家分析了各自的水供求状况和可用来增加供给量的一些选择。他们列出了一串要求海水淡化能力在 2005 年前达到 2 万—72 万  $\text{m}^3/\text{d}$  的具体地点。事实上,北非国家早已不得不将燃烧化石燃料产生的能量用于淡化海水,以满足其对饮用水日益增长的需求。目前,该地区已

安装设备的淡化能力约为 100 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。在沙特阿拉伯,所供应的水对海水淡化的依赖更大;该国现有的淡化能力约为 400 万  $\text{m}^3/\text{d}$ 。

尽管这些地区需要进一步加强对现状的调查,并更准确地预测水供应量的变化趋势,但毫无疑问,今后将需要不断增加海水淡化量,作为对地表水与日益减少的地下水资源的补充。

淡化海水需要使用大量能源,因而成本较高。有鉴于此,这种选择目前仅限于给个人、家庭和工业用户供应饮用水。对于大面积的农业灌溉,费用仍然太高。预计这种限制至少要保持几十年。在现有的淡化工艺中,被选为研究对象的有三种,即反渗透(RO)法、多效蒸馏(MED)法和多级闪蒸(MSF)法。

目前有许多国家对淡化世界海洋中的海水感兴趣。



事实表明,将核反应堆用作海水淡化的能源不存在技术障碍。核反应堆能够按照淡化工艺的要求供电或供热,或热电并供。至于核安全,不管该核动力厂是否用于海水淡化,所用的原则、标准和措施都是一样的。一项附加的要求是,必须有充分的保护措施防止产品水受到任何可能的污染。

实际上,任何类型的核反应堆都能提供海水淡化所需的能源。从潜在供应商那里收集到了大约 20 种反应堆概念的技术信息,许多情况下还包括经济方面的信息。这些概念处于不同的设计阶段,并且基本上是中小型反应堆。属于这一功率范围的核反应堆所能提供的能量——无论是电力还是热力形式,还是二者兼有的能量——即使供给非常大的海水淡化厂使用,也都绰绰有余。例如,一座生产能力为 100 万  $\text{m}^3/\text{d}$  的淡化厂,可以给三四百万人聚居的城市供应充足的生活用水。若采用 RO 工艺,这样一座淡化厂将需要一台装机容量约 300 MWe 的核电机组。这部分人口当然还需要 4000—6000 MWe 的装机容量以满足其相应的电力需要。因此,如果打算除了为海水淡化提供能源还要向消费者供应电力,那么将只有中小型核动力机组中的较大者和大型核动力机组可作为合适的选择。因此,核反应堆完全能够同时满足这两方面的需求,并利用大型核电机组所具有的经济效益。

在北非的可行性研究中,曾设想将核反应堆纳入电网系统,此时反应堆的规模将受电网规模的限制,即不高于电网容量的 10%。由于有这个前提,可考虑的选择就只能是中小型反应堆。埃及是例外,那里甚至可以利用大型反应堆。

根据所使用的方法和假设,在 IAEA 1992 年的一般性研究中进行的经济分析表明,对纳入电网的单独供电或热电并供的大中型核电机组来说,用核电厂作火电厂的替代选择一般在经济上是有竞争力的。水的生

产成本一般在 0.7 美元/ $\text{m}^3$  和 1.1 美元/ $\text{m}^3$  之间。如果采用海水淡化厂与只供热的核反应堆相组合的方式,水的生产成本将明显上升。

在北非可行性研究的范围内进行的经济分析,证实了这些早期的结论。在这项分析中,采用的是潜在供应商提供的经济数据,而不是一般性研究中用过的参数值。

此类分析所得出的结果被认为可供指示经济可行性之用。不过,在投资之前当然还需要商定正式的合同约定价格。

已进行的研究表明,在许多不同的反应堆概念、各种淡化工艺和不同的连结方案之间,存在着众多可能的组合。期望目前正在进行的这个方案鉴别计划能找出最实用的方案,并确定相关的验证要求。

关于核能海水淡化的立法与管理问题,与任何核动力计划相关的立法与管理问题本质上是一样的。应特别指出的是,建立合适的当地基础设施对于刚开始从事核动力事业的任何国家来说都是一项艰巨的任务。经验表明这是可以做到的,尽管它肯定需要相当长的时间和需要进行大量的工作。

北非的可行性研究结果已经表明,在地区一级与有关国家合作进行此类研究是可能的。它还表明,如果采取共同的方案和联合进行工作,可取得互利的效果。有些课题领域看来特别适合于区域合作。其中包括:开发数据库和开展与技术传播有关的活动;核安全;监督管理方面的基础设施;当地的参与;以及人力资源的开发。

过去 5 年里在 IAEA 核能海水淡化计划的框架内进行的工作已经显示,有关国家的主动参与和相关的技术与经费支助的合作方式,能取得丰硕的成果。

迄今取得的所有成果说明,将核能应用于海水淡化是一种切实可行的选择。今后的任务是通过继续进行有效的开发和实际应用,向人们展示这种应用。 □