

## 核能应用：淡化海水

通过 IAEA 支持的研究，已为示范核淡化系统的实际应用确定了方案

Toshio Konishi

在世界的许多地方，水资源缺乏，不能满足生活在那里的人们需求。在许多情况下，淡水供应的天然来源受到污染和日趋咸化的威胁。同时，对清洁的、可饮用水的需求日益增长，尤其是在人口快速增长的地区。

解决这些紧迫的水问题的部分办法也许来自海洋的丰富资源。淡化是提供可饮用水可采用的最有前途的方法之一，而核电厂可能是实现这一情景的一个重要组成部分。在过去的几十年里，世界总的淡化容量一直稳步增长，这种趋势预计要持续到下个世纪，越来越多的国家对利用核能淡化海水感兴趣。

利用核能发电的理由同样适用于潜在的利用核能淡化海水。这些理由有，例如，在缺乏廉价的水电或化石燃料资源的地区核能的经济竞争性，能源供应的多样性，化石燃料资源的保护，技术开发的促进和通过避免排放大气污染物和温室气体环境保护。

早在 60 年代和 70 年代，IAEA 就调查过利用核能淡化海水的可行性，但当时人们的兴趣主要是利用核能发电、地区供热和工业加工供热。但自 1989 年以来，IAEA 成员国对核淡化重新表示出兴趣，

并就这个问题正式通过了若干决议。在这种支持下，越来越多的 IAEA 成员国和国际组织参加了有关会议，并提供了相关的专门知识和支持。涉及 20 多个成员国的这种援助和支持包括提供专家服务和基金。此外，IAEA 进行了若干旨在分析核反应堆用于海水淡化的技术和经济潜力的研究工作。

一项称作“核淡化作为北非低成本可饮用水的一种来源的潜力”的研究报告已于 1996 年完成，并以 IAEA 技术文件形式 (IAEA TECDOC-917) 发表。这项研究分析了五个国家 (阿尔及利亚、埃及、阿拉伯利比亚民众国、摩洛哥和突尼斯) 对电力和可饮用水的需求及可获得的能源和水资源。研究范围涉及有代表性场址的选择、适合于每个场址的能源来源和淡化工艺的各种组合的分析、经济因素、财政问题、地方参与、基础设施要求以及制度和环境问题。另一份 IAEA 出版物 (TECDOC-666) 中描述的其他一般性研究调查了不同类型应用的成本。这些分析表明核能海水淡化在技术上和经济上都是可行的。

---

\* 这里所说的核淡化系指在一个一体化综合设施中用海水生产可饮用水。在这个综合设施中，核反应堆和淡化系统同处一个场址，相关设备和服务是共享的，淡化过程所用的能源由核反应堆提供。

---

Konishi 先生是 IAEA 核动力和燃料循环处核技术开发科职员。



将海水的盐分提取出来需要能源

## 对全球经验的分析

IAEA 最近的一些活动一直集中在帮助一些国家评估利用核电厂淡化海水的经济可行性。开发了能够进行因场址而异的经济评价的若干方法。有一个计算机程序可供各国在此类分析中使用,并且一些专家已受到该程序应用方面的培训。目前正在设想的是为分配两用电厂的费用和确定它们的最佳匹配开发一个更详尽的计算机程序。

1995年,IAEA 召集了一个专家咨询组以评价在匹配核电厂和热应用系统如地区供热网和淡化工艺方面的全球经验。目前,有12个国家的核热电联供和单一供热反应堆的大约500堆年的运营经验可以借鉴。

在日本和哈萨克斯坦的某些地方,核能已用于海水淡化。日本的淡化厂大多是为厂区供水,而哈萨克斯坦的阿克套淡化综合设施则向附近的一个居民区供水。

在许多工业化国家热衷于发展民用大型核电站的时候,一些成员国对小型堆

(SMR)越来越感兴趣。这些小型堆更适合较小的和较薄弱的电网,且与预计的电力需求增长率更加匹配。许多可饮用水短缺的国家有适合SMR的电网。用SMR发电和淡化海水可能是一个合适的选择。IAEA在一份技术文件(TEC-DOC-881)中发表的一项SMR调查结果表明,许多不同类型的SMR电厂已设计成功。供应商已提供这些反应堆作为与淡化工艺匹配的可能选择。

## 确定方案

按照IAEA大会决议,机构进一步致力于与确定核淡化和示范该技术的方案

\* 就一个“切实可行的”方案而言,人们认为它应满足下列条件:在执行过程中没有任何技术障碍,并且有一个合适的场址;按照某种预定的进度执行起来在技术上是可行的;投资成本能估算并在一个可接受的范围内。核技术和淡化技术有未来商业应用的前景。

有关的活动,并确立一项示范计划,旨在通过设计、建造、运行和维护适当的设施建立起信心,即核淡化在技术上和经济上是可行的,同时又满足已建立的安全性和可靠性标准。为此目的,发起了一个有感兴趣的成员国的代表参与的为期两年的“方案确定计划(OIP)”。

OIP 的目的在于,就淡化技术和反应堆类型而言,从广泛的可能方案中选出几个最切实可行的示范用候选方案。示范方案基于的反应堆技术和淡化技术在示范时就可直接利用,不需要进一步开发。

在确定切实可行的示范用方案过程中,对已有的反应堆名单进行审评,并确定几个最合适的反应堆。基于设计和许可证审批状况的一套筛选标准被用作筛选工具。利用这些筛选标准,确定了目前可利用的或在今后大约 10 年内可利用的反应堆技术。然后考虑了其他的筛选因素,排除了一些方案。这些方案包括:尚未提供商业使用的各种反应堆设计;近期内不大可能成为商业上可利用的液态金属冷却反应堆和高温气冷堆;不大可能适合许多水短缺国家的电网的大型堆;目前在经济上似乎缺少竞争性的小型堆(但它们在那些对水需求低,且可饮用水生产的替代系统也很昂贵的场址却是可行的);以及为防止放射性向热接收系统释放而可能需要安装额外系统的沸水堆。

还考虑了适合与核反应堆匹配的淡化技术。采用反渗透(RO)工艺和多效应蒸馏(MED)工艺的淡化,由于其能耗和投资成本相对较低而可靠性高,似乎是最有前景的。起初,还考虑将多级闪蒸(MSF)作为一种候选方案。但 MED 工艺较 MSF 工艺能耗更低,对腐蚀和结垢敏感性更小,而且其部分负荷的可运行性更灵活。因此,由于较 MED 没有任何固有的优点,MSF 作为一种候选方案就被排除了。

示范用淡化工艺不需要在大规模商业生产的水平上实施。两三组串机或两三台单机就可以提供能完全代表较大规模

生产设施的设计和运行实绩特点,因为较大的淡化厂只不过是多组串机或多台单机并联运行而已。

把反应堆和淡化工艺组合起来构成一个一体化设施时,在选择过程中必须考虑它们的兼容性。在确定切实的示范用方案过程中也应针对它们的重要性考虑进度、基础设施和投资要求。

经过这样的筛选以后,为核淡化示范确定了三个可推荐的、切实可行的候选方案。这些方案采用成熟的水冷堆和淡化技术。

**方案 1:RO 淡化与在建的或与处于先进设计阶段的预计近期内建造的核动力堆结合。**该反应堆的最佳容量应在中等规模范围内。两三组 RO 串机,每组串机每天处理 10000 立方米海水就可以提供合适的示范。一座新建的反应堆就能为 RO 和反应堆系统的完全一体化(包括给水预加热和系统设计的最佳化)提供最佳机会。用这样的示范设施来推断较大规模的商业生产设施就容易了。

**方案 2:上述 RO 淡化与目前在运行的反应堆结合。**可能需要对现有的核系统的外围设备作一些小的设计修改。这么做的优点包括:实施周期短、反应堆规模的选择范围宽和核基础设施可利用性高。中型规模的反应堆是最佳的,因为它提供的系统接近于最有可能在商业生产设施中采用的系统。

**方案 3:MED 淡化与小型反应堆结合。**这个方案适合于示范每天高达 80 000 立方米能力的核淡化。

可以断定,如果有投资商感兴趣,这些示范方案是可以实施的。RO 方案需要投资约 2500 万到 5000 万美元, MED 方案则需要 2 亿到 3 亿美元,后者包括反应堆成本。

在 OIP 期间,确定和表征示范候选方案的过程要求考虑许多核淡化的示范以及商业开发所必须处理的问题。示范计划旨在增强信心和确认被认为在核淡化设

施的设计、建造、运行和维护方面是重要的具体特征或参数。为进行更彻底的验证和评估,确定了若干涵盖技术、安全和经济问题的课题。这类要调研的特定课题包括:核反应堆和淡化系统之间的相互作用;核淡化系统所特有的核安全要求,以及给水预加热对 RO 系统性能的影响。

对核淡化厂基础设施的要求问题被认为是一个重要问题,对没有任何核动力经验的成员国来说尤其如此。一个示范项目如果在这样一个国家实施,则可能为发展该国的核基础设施(特别是核监管结构)构筑一个非常有效的和切实可行的框架。

在日本和哈萨克斯坦,与核电厂联接的淡化设施多年来一直在生产淡化水。除核淡化厂方面的这些经验外,相当多的成员国已对这种方案表示了兴趣。正在进行或计划进行的国家和双边项目将丰富核淡化方面的国际经验。这些项目对于商业开发将是有益的,并有助于解决下个世纪可饮用水的供给问题。这些项目包括在中国、印度、大韩民国、摩洛哥和俄罗斯联邦的计划和活动。这些项目以及其他一些感兴趣的成员国开展的研究与开发将对全球示范计划作出贡献。它们被认为是国际合作与援助的基础,而且也对其他感兴趣的国家有益。利用从这些计划中获得的经验而不是照搬其具体作法将是很重要的。

全球对核淡化兴趣的日益增加致使 IAEA 于 1997 年 5 月在大韩民国的大田组织召开了一次“核能海水淡化”国际学术讨论会。这次学术讨论会是在与其他国际组织的合作下召开的,为审议核淡化系统最新技术经验、设计和开发及其前景提供

了一个论坛。

### 未来发展方向

迄今所做的研究表明,利用核能淡化海水对许多国家来说是一种现实的方案。海水淡化设施的不断发展为核淡化系统的引入和商业应用提供了一个潜在市场。IAEA 的为期两年的 OIP 已为核淡化的示范确定了几种切实可行的技术方案。示范计划必须着重解决与商业项目相关的那些问题。一些问题,特别是对核淡化的经济竞争性和整体经济性有重大影响的技术特性,确实需要示范才能证实假设和估计。由于几个国家已在进行核淡化方面的活动,因此正计划于 1997 年提出一个“协调研究计划”。

在今后若干年里,继续深化相关研究,和帮助(例如,通过实施示范计划)感兴趣的成员国建设其基础设施将是非常重要的。IAEA 将继续支持那些鼓励各国积极参与的活动和强调共享技术专门知识和有效地使用已有财政资源的活动。为便于共享有关知识和经验,正着手成立一个国际核淡化咨询组(INDAG),参加人员来自正在运行、开发、设计、规划核淡化厂的成员国和对核淡化厂感兴趣的成员国。

这一国际合作迄今获得的成果表明,存在着利用核能淡化海水的切实可行方案,但要付诸实施,就必须加强对公众的教育和增强投资商的信心。实现这一目的的手段包括,继续安全可靠地运行核电厂,获得有关核能及其他能源的比较性风险和收益的事实资料,以及对核淡化设施的保守成本估算。这将是继续进行有效开发、示范和大规模应用以帮助解决世界日益严重的给水问题的坚实基础。 □