

常压核供热——技术现实经济可行的清洁能源

田嘉夫

(清华大学核能技术设计研究院, 北京 100084)

[摘要] 为治理城市的燃煤污染和降低二氧化碳的排放量, 我国需要开发大型清洁能源。核能是可供选择的清洁能源之一, 核能不仅可以用于发电, 而且可以替代燃煤为城市供热。在我国现有池式反应堆技术的基础上, 设计出的常压供热反应堆, 可以满足城市供热的需要, 具有高度的安全性和可靠性, 是一种技术现实和经济可行的解决方案。在我国发展城市集中供热的条件下, 采用这种大型热源, 将会以较大的规模来改善大气环境和降低温室气体的排放。

[关键词] 大气污染; 温室气体; 核能供热

我国的能源消费结构以煤炭为主, 一次能源的生产和消费中, 煤炭占了 73%~75%; 燃煤使大气环境遭受污染, 我国大气中 SO_2 的 87%, 二氧化碳的 71%, 氮氧化物的 67%, 是来自燃煤, 其严重程度越来越引起社会各界的关注。大气污染已危及人们的身心健康, 以致成为城市经济发展和会进步的障碍, 甚至还影响到我国的国际形象。

北方需要采暖的城市, 由于是在市区内大量燃煤, 情况更为严重。为彻底控制燃煤型污染, 改善大气环境, 就需要逐步转变能源结构。很多发达国家历史上也曾经历过遭受污染的阶段, 但后来逐渐增加石油、天然气、电力等清洁能源的比例, 并着重发展核电和水电, 情况有所好转。某些石油和天然气等资源缺乏的发达国家, 例如法国, 就大量地发展了核电, 很多建筑采暖也直接使用电能。虽然人均能源消费水平比我国高得多, 但城市环境清洁, 其二氧化碳温室气体排放量也相对较低。

我国需要大量使用清洁能源, 但却受到了资源条件和经济条件的双重限制, 由于石油和天然气资源缺乏, 直接使用电力采暖在经济上又难以承受。核能是清洁能源, 也是 21 世纪发电领域的支柱能源, 但对我国来说, 目前核电还是一个需要从国外

成套引进技术的项目, 投资和成本较高, 在电力工业中所占比例较低, 还很难用于采暖。摆在中国人面前的, 是需要开发适合中国国情、技术现实、经济可行的清洁能源, 以便减少对燃煤的依赖。

采暖是北方城市不可缺少的, 但采暖仅需要低温热能。城市大型供热系统中的传输介质也仅是温度为 100℃ 左右的热水。取得这种低温热能, 无需很复杂的核能技术。通常, 在简单的池式实验研究用反应堆中, 就会产生几十度的热水, 并由空冷塔将热量散发出去, 以维持实验反应堆的正常运行。因此, 利用这种池式反应堆的技术基础, 就有可能发展一种城市采暖热源, 这会使输出核能的工作变得简单易行。

基于这样的立意和思路, 经过近 20 年的深入研究, 现已设计出了简单安全的专用供热反应堆——深水池供热堆。经过国家能源和环保部门专家的多次研究和评审, 一致确认这种深水池供热堆技术成熟, 容易实施和建设, 能够安全而经济地供热, 作为安全清洁能源的结论是可信的。

深水池供热堆是一种常压核供热技术, 在我国可以成为一种有实用价值的新型低温热源, 是因为有如下一些原因:

1 安全性和可靠性是首要问题

由于供热要求热源靠近用户，作为供热用的反应堆就需要比核电站反应堆有更高的安全性，才能为城市或居民区供热。深水池供热堆工作在常压之下，与核电站的那种加压反应堆不同，它不会因压力而引发泄漏，不会发生影响到周围居民的事故，是一种可以靠近城市或在城市内建设的反应堆。与此相反，如果选用类似核电站的那种壳式有压力的反应堆，就需要增加安全设施，需要2层或3层壳来预防可能发生的泄漏。还要采用一些核电站设计中有利于安全的先进技术，须经过必要的攻关和实验，才能达到供热所需要的靠近城市建设的安全标准。因此，常压核供热与加压核供热相比，在安全设计方面有原则性区别，它避开了许多需要攻关的技术难点和需要研制的重大设备，可以在我国现有技术的基础上，实现简单、安全和高效率的供热。

另外，深水池是埋入地下的，反应堆的核心部分处于地下深处。外界发生的事故，以及一些如地震等自然灾害，对地面以下的反应堆影响较小，不会引发核泄漏事故，在安全上更有保障，对城市应用可以更为放心。

世界上建有几百座这种常压池式反应堆，主要是为实验研究的目的而建设的，有些就建造在城市或大学校园内。在几十年的运行中，都很安全。法国有一座大型的池式反应堆，功率为70 MW，就建造在巴黎市区边界附近，距城市中心（巴黎圣母院）仅17 km，已安全运行30多年。

北京在1964年就建成了2座池式研究反应堆，至今仍在运行。多年的运行经验说明，这种反应堆很少需要特殊的维护和管理，它自身具有很高的安全性和可靠性。

总之，常压池式反应堆过去主要用于实验研究、教学和人员培训，并不把它作为动力堆加以考虑。在深水池的设想及其一系列技术被研究以后，在经济供热的规模（100 MW以上）上，利用我国已有技术基础，就能简单而容易地达到高度的安全性和可靠性，这对于核能低温供热的开发和应用具有现实意义。

2 集中供热是实施核供热的基础条件

我国人口众多，城市建筑密集，热源建设能够由政府实行统一计划管理，适宜发展集中供热。在

国家产业政策中，明确规定鼓励和支持发展城市集中供热。因此，集中供热已成为我国的一项重要的重要的城市基础设施，得到了迅速的发展。至1997年底，全国城市实现集中供热的建筑面积已超过 8×10^8 m²，约占城市总建筑面积的12%。

城市实施集中供热，可在很大程度上改善供热质量，节约能源，减轻对大气的污染。城市热源布局由分散变为集中，可减少大量的小锅炉房，减少高层建筑与烟囱的交错排列，也可减少市内煤、灰的交叉运输，对城市环境的改善起到不可替代的作用。

集中供热的实施为采用核能提供了条件，因为核供热只有在它的功率规模较大，与大型管网系统相匹配时，在经济上才具有与燃煤相竞争的能力。对于有些发达国家，正是由于其分散的供热方式，而难以采用核能供热。他们也设想改造供热系统，但在联网供热上往往遇到很大困难，因为仅仅靠经济利益的驱动，还不能保证预期范围内的所有用户都同意与管网连接，很难形成一个大型完整的供热系统。我国在这方面具有自己的特点，已经建成和正在建设着很多集中供热系统，这些系统迫切需要大型清洁能源。

3 核供热的经济性是问题的关键

就世界范围来说，大中城市为采暖而建设的区域供热联网，是较大型的供热系统，其容量可达600 MW或1200 MW。用于供热的反应堆规模，可达200 MW至400 MW。这样的规模仅是核电站反应堆的1/10，而核电站只有在较大的规模下，才具有经济竞争力，那么，这么小的供热反应堆，能否在经济上与其它供热能源相竞争，就成为这项应用研究的关键。

国外现有的研究和设计，多半是在其原有核电技术的基础上，采用类似核电站的加压反应堆。设计出的供热堆，在单位功率的造价上，都不能低于核电站，而仅用于季节性供热，经济收益较低，因此，还都没有进入工程建设。

深水池供热堆的设计结果与此不同，因为池式堆是最简单和最便宜的一种堆型，技术和设备又都是国内成熟的，所以它的建造费用低得多。按一些设计单位的估计，1座200 MW深水池供热堆大约需要投资1.8亿元，仅相当于加压供热堆的1/3左右。与燃煤锅炉相比，达到同样规模，大约需要7

台大型锅炉,其投资合计约为1.1亿元。核供热堆比锅炉房的投资高一些,但核供热堆的使用寿命为锅炉的2~3倍。这说明国产化的供热堆,在200 MW的规模下,已经可以和国内锅炉的造价相比。

深水池供热堆的燃料利用率已在研究中有所提高,可以使供热成本降低。又因为核燃料价格,按发热量计算,在国内外都是较低的,所以,与燃煤锅炉中1t煤(热值为20 934 kJ/kg)产生的热量相同时,所需要的核燃料费仅为60~70元。这在当前国内燃料价格中是较低的,与北京的煤和天然气的价格相比,仅是煤的三分之一,天然气的十二分之一。

所以,从这种规模的核供热的投资和成本来看,这项常压核供热技术在远离煤源的地区,将可能比常规供热更经济。与较清洁的能源相比,经济性会好得多。这主要是因为,这项技术本身符合中国国情。

4 核供热是环境清洁的能源

对于核热源,人们担心它会不会有放射性污染,其实在核供热堆的设计中,已经将它可能产生的气体、液体和固体放射性加以严格限制。它向供热站外排出的气体放射性,比燃煤锅炉排放的天然放射性还低,液体和固体放射性也都不会影响周围

环境。由核反应堆供出的热水,是经过两次热交换,可以保证在供热管网中不会带入放射性,所以常压核供热是环境清洁的能源。

与常规供热相比,1座200 MW的核供热堆,每年为采暖供热,可替代燃煤130 000 t左右。这些燃煤大约会产生二氧化硫3 500 t,氮氧化物1 200 t,烟尘1 600 t,以及二氧化碳温室气体320 000 t。当改用天然气供热时,可显著降低二氧化硫和烟尘的排放,而氮氧化物和二氧化碳只能降至1/2左右。核供热可以完全消除这些污染,显著地改善大气环境。

由于我国供热需求总量很大,这项技术预计在可能的应用范围内,能大量地减少污染排放物。例如,若假定已实施集中供热的 $8 \times 10^8 \text{ m}^2$ 的一半热源机组采用核供热,将需要建设200 MW供热堆160余座。这些供热堆每年在采暖供热中,将可替代燃煤2 000多万t。不仅城市大气环境会有很大改善,而且还会减少我国二氧化碳排放量达5 000多万t。

总之,适应我国城市集中供热的条件,利用国内具有的核能技术基础,转化适用而成熟的核供热科技成果,可以为大气污染的治理,从而也为经济的可持续发展,开辟一条具有我国特色的发展道路。

Non-pressurized Heating Reactor——a Realizable And Economical Clean Energy

Tian Jiafu

(*Institute of nuclear energy technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China*)

[Abstract] The substitution of a large-scale clean energy for burning coal is needed in China because of serious pollution in cities and CO₂ emission. Nuclear energy is an option of the clean energy, it can not only be used for generating electricity but also for urban district heating in stead of coal. A non-pressurized heating reactor has been designed based on experience of pool type research reactors of China. It can supply heat for urban district heating system and has a high level of safety and reliability. This is a realizable and economical solution for clean energy supply. Since the district heating systems are plentifully developed in cities of China, the heating sources which can be used in the systems will be able to improve air-environment and decrease greenhouse gas emission in a large-scale.

[Key words] atmospheric pollution; greenhouse gas; nuclear heating