

经济互助委员会国家的核能集中供热

已找出许多用核动力厂作热源的途径

V. L. Losev, M. V. Sigal 和 G. E. Soldatov

核能源历来主要用于发电。苏联的动力工业也一直遵循着主要靠核电扩大其核发电装机容量的战略。目前，苏联 45 个核电机组的总装机容量约为 35 吉瓦电 (GWe)，主要使用两种类型的反应堆，即水慢化水冷却压力容器型反应堆 (VVER) (这种成批生产的发电机组的输出电功率有 440 和 1000 兆瓦两种) 和水冷却石墨慢化工艺管型反应堆 (RBMK) (这种成批生产的发电机组的输出电功率有 1000 和 1500 兆瓦两种)。苏联科学家开发的 VVER 型反应堆机组也已成为经济互助委员会 (CMEA) 成员国发展动力生产打下了物质基础。

在苏联，甚至核电工业还处在开发阶段的初期就已明确，只把核动力工业集中在电力生产上将不足以解决困扰工业界的基本问题，即如何在我国的燃料和能源经济中以其他能源取代珍贵的有机燃料问题。能够解决这个问题的唯一途径，是把核能的应用范围扩展到为机关团体和家庭供暖，和为工业用户供热，这是一个消耗燃料极多的领域 (用于这个目的的燃料要比用于发电的多 1.5 倍)。在化石燃料资源不如苏联富有的 CMEA 国家中，这个问题就更加严重。

为满足我国燃料能源部门的要求，苏联科学家制定了发展核能集中供热的规划，该计划为综合应用下列四种方法作了安排：

- 使用从冷凝式发电厂汽轮机中抽取的不可调整的蒸汽；

Soldatov 先生是设在莫斯科的全苏核动力厂运行科学研究所的一位处长，Sigal 先生和 Losev 先生均是该所的高级职员。

- 建造使用高背压 (TK) 汽轮机的集中供热和冷凝兼备式核动力厂 (靠可调整的抽汽进行集中供热和冷凝)。

- 建造只为机关团体和家庭采暖目的生产热能的专用核工厂 (DHAPP)；

- 建造为工业供热的专业性核工厂，这些核工厂，由于在该设计中采用了新的技术措施，它们可以坐落在紧靠消费点的地方，用来供热和发电，或只供热。

目前，前三种方法在技术上最成熟。其中具有特殊地位的是利用正在运行的和正在建造的那些核动力厂的汽轮机中的不可调整的抽汽。事实上，这是至今一直在使用着的唯一一种核供热形式。核供热在 20 多年前就开始了，当时在别尔雅尔斯克工厂建立了一个系统，向工厂本身的建筑物和构筑物以及附近的生活区供应热力和热水。此后，其它工厂也采用了这种做法。在已运行工厂中的此类供热系统的总输出功率是相当可观的——1989 年初时超过 3000 兆瓦热 (MWth)。

目前正在这种核动力厂中使用的，和正在为建造中的工厂制造的各种汽轮机，用于集中供热的热输出容量，是各式各样的。(见附表。)

核动力厂供热系统的设计特点，是以保证热能用户安全的现行辐射安全要求为基础的。因此，加热水是在第三 (相对于堆芯来说) 回路中循环的。在此回路中的压力保持在比抽出的完全不可调整蒸汽的最大可能压力还要高，以便即使热水器热交换表面的完好性受到损伤也能阻止放射性产物进到加热水中。在使用 RBMK 反应堆的工厂中，加热系统的汽轮机抽汽和加热水之间有中间冷却剂回路。中间回路的压力比

抽汽型核供热机组的基本参数

汽轮机型号	每套机组汽轮机数和反应堆型号	抽汽的保证供热能力 (MWth)	被加热水的温度范围 (°C)
K-220-44	2×VVER-440	29×2	130/70
K-500-65/3000	2×RBMK-1000	87×2	150/70
K-750-65/3000	2×RBMK-1500	116×2	165/70
K-1000-60/1500-2	1×VVER-1000	232	150/70
K-1070-60/1500-3	1×VVER-1000	1047 以上	170/70

蒸汽压力高, 但比集中供热回路中的压力低。在使用 VVER 反应堆的工厂中, 管网中的水在管网加热器中被从汽轮机中抽出的蒸汽加热。所用抽汽的最高压力比反应堆回路和管网回路中的压力都要低。事故时, 为了不使加热水被放射性污染, 加热蒸汽和被加热的管网水都被切断。对加放射性水平还保持不间断的监测。

尽可能充分地利用核动力厂现有集中生产的生产能力是重要的, 而且是一种经济上可行的想法。尽管由于为了集中供热而抽取了一部分蒸汽, 使电力输出有些下降, 但装备 VVER-440 堆机组的核动力厂的双重用途 (发电和供热), 使每套机组每年能省下 30 000 吨煤当量的有机燃料。当使用 VVER-1000 机组的核动力厂也装上集中供热设备时, 则可能节约的燃料量更大。每套这种类型的动力机组每年节约的有机燃料量可达到 130 000—750 000 吨煤当量, 具体数值因所装汽轮机的类型而异。

尽管这是很鼓舞人心的, 但在大多数核动力厂中, 并不能最大限度地利用其供热能力, 原因是动力厂的位置对于潜在的热力用户来说并不总是很理想的。“保险”用户 (动力厂内部和工厂生活区的用户) 一般仅用掉集中供热装置热力总输出潜力的一小部分。经计算, 对于电输出功率为 1000 或 1500 MWe 的一座核动力厂来说, 本厂用户热力总消耗量一般只接近 30 MWth。同样, 对毗连的工厂生活区中的用户也作了计算, 消耗的总热量不超过 260 MWth。在机关团体和家庭供热方案 (采暖, 热水, 空调) 中, 核动力用来满足基本负荷, 并与使用有机燃料的调峰能源联合运行。因此, 对使用成批生产的 VVER-1000 和 K-1000-60/1500-2 汽轮机的 4 机组动力厂来说, 当地 (在厂区内和生活区内) 对核能集中供热需要的最大负荷不会大于 230 MW, 而实际的总供热能力约是此值的 4 倍。因此, 在按设计功

率水平运行的现代化工厂中, 可以开发利用的热力生产能力是相当大的。

最明智的做法当然是将这种可利用的生产能力为区的消费者提供集中的供热; 即为工业和住宅供热。然而这种方案受到多种因素的限制。有术和经济因素决定着每座核动力厂的集中供热有一个特定的覆盖区。* 若超过这个地区, 少生产的电力 (因动力厂在生产热力的工况下和将热力输送到消费点的总费用, 将超过取代

有机燃料所节约的费用。覆盖区的大小取决于该地区的气候条件 (它影响热力的输出状况)、被取代的有机燃料的价格、需要由核动力厂提供的热力的数量、铺设从动力厂通往用热的工业和住宅综合体的输热管线的具体条件、该厂中安装的发电设备的类型, 以及其它的一些因素。要着重考虑的另一问题是该地区还有哪些可实际应用的集中供热方式, 以便让它们与核动力厂供热进行具体的比较。要在打算建核动力厂时就考虑到所有这些因素并不是很容易的, 因为, 潜在的热力消费户邻近的程度, 在批准厂址过程中不是唯一的、而且经常不是最重要的判别标准。苏联现行的辐射安全要求对于从核动力厂到大型居民区的最小容许距离是有规定的。例如, 对于电输出功率为 4000 MWe 的动力厂, 最小容许距离从约 25 km (假若该地区的居民数为 10—50 万) 至 100 km (假若该地区的居民数超过 200 万)。然而, 出于多方面的原因, 核动力厂不得不建在远远超过上述标准距离的地方。因此, 就目前正在运营的大多数核动力厂而言,

* “Use of nuclear power plants as centralized heating sources for industrial and residential complexes, and agricultural energy complexes”, by Losev, V. L. Sigal, M. V., et al., *Teploenergetika* 8 (1988) (俄文)。

还有大量的热力生产能力尚未派上用场。

正在运营的和计划建造的动力厂

下面几个是有效利用核热的实例。例如，巴拉科沃核动力厂向巴拉科沃市区供热（该市离该厂 12 km，热力需求量超过 1000 MWth），罗斯托夫动力厂向伏尔加顿斯克市区供热（该市离该厂 13 km，热力需求量超过 1000 MWth），鞑靼斯克动力厂向下卡姆斯克市区供热（该市离该厂 40 km，热力需求量高达 2000 MWth），巴什基尔动力厂则向涅夫捷卡姆斯克市区供热。

目前 CMEA 国家也正在实行或正在计划向离开核动力厂一定距离的消费者供热。德意志民主共和国的布鲁诺洛伊施内核动力厂，自 1984 年以来一直在为格顿夫斯瓦尔德市区提供集中供热（该市离该厂 22 km，输出功率为 260 MWth）。以正在建造的施滕达尔核动力厂为基地的马格德堡市区供热系统，现正处在规划阶段（该市离该厂 95 km）。

在捷克斯洛伐克，计划让使用 VVER-440 反应堆（共有 12 套机组）的所有动力厂都装上集中供热设备。让博胡尼斯动力厂为特尔纳瓦市区供热，杜库凡尼动力厂为布尔诺市区供热，莫霍夫采动力厂为莱维采市区供热。还有一个从泰梅林动力厂向捷克布杰约维采市区供热的计划。从这些动力厂引出的输热网的覆盖面积很大，热输出量也相当多（例如，从杜库凡尼动力厂到布尔诺的热力输送管线长达 40 km，设计的输出功率是 500 MWth）。

波兰正在考虑让扎尔诺维茨核动力厂向格但斯克—格丁尼亚地区供热（该厂距格丁尼亚 75 km）。还有一个计划是打算从计划兴建的瓦尔塔动力厂向波兹南市区供热。

在保加利亚，一个以贝莱内核动力厂为中心向普列文（58 km）、斯维什托夫和贝莱内提供集中供热的工程项目正处在开发阶段。估算的向这些市区提供的总输出功率大概为 700 MWth。还计划让科兹洛杜伊动力厂为科兹洛杜伊市区供热。

这些动力厂的热输出系统所具有的技术参数，在许多方面与前面提到过的苏联用于从装有 VVER 堆的动力厂输出热力的系统相似。应该注意的是，CMEA 国家在解决核集中供热方面保持着密切的合作关系。这种合作是在一个直到 2000 年为止的综合性科学技术进步计划范围内进行协调的。该计划已被这些国家所通过。

除了上面所说的利用正在运行的和正在建造的那些动力厂为集中供热服务以外，还达成了建立专业化核供热厂的技术决议——建造两用的热电并供工厂（CHP）和专用的核集中供热厂（DHAPP）。苏联早已通过的电力生产发展计划，包括了一些从现在到 2000 年建造若干座此类工厂的规划。

苏联为其欧洲部分专门研制了一种 CHP 设计，该设计以 VVER-1000 反应堆和具有可调整抽汽和较高热输出量的新型汽轮机组（TK-450/500-60/3000 型汽轮机）为基础。* 这种类型的双机组 CHP 动力厂可以确保热输出功率高达 2100 MW。到 2000 年，这个规划原先打算至少要使建在敖德萨、明斯克和哈尔科夫的三座这种类型的工厂投入运行。应当指出的是，这些工厂不是单纯的集中供热工厂，而是供热和冷凝兼备的工厂（因为其中使用的汽轮机具有较大的“附加”冷凝能力）。当然，由于所涉及的反应堆的单机输出功率较大，这样做也是出于无奈。

切尔诺贝利事故后，对核动力生产方面的技术政策进行了反省，促使人们对已经研制成的 CHP 动力站的态度产生了变化。由于这些工厂的建造地点是在 70 年代后期 80 年代初期选定的（即，当时执行的要求没有现在这样严格），敖德萨和明斯克的 CHP 工厂满足不了安全方面的新要求，从而被勒令停止建造。哈尔科夫厂的设计工作也停止了。

苏联专用的集中供热核动力厂（DHAPP）的设计是与 CHP 项目同时进行的。

这样做是因为在某些情况下，建造供热-冷凝型动力厂会受到缺乏工艺过程用水的限制（对于具有较大“附加”冷凝能力的汽轮机，其冷凝器需要大量的水进行冷却）；还由于某些地区根本不需要额外的发电装机容量。为此，专门为 DHAPP 设计了单机输

* 在苏联北部边远地区，我国第一套 CHP 机组自 1974 年以来一直在成功地运行。它有 4 套核动力机组，这些机组装有水电转换型反应堆和带有可调整抽汽的供热汽轮机（比利比诺 CHP）。

见“Nuclear heat-and-power plants for the heat supply of towns and conurbations”，by Kuznetsov, Yu. A., Sakharov, A. G., Abrosimov, A. F., in: *V International Conference on Centralized District Heating*, 7-10 September 1982, Kiev, Collection of Reports, Section II, Issue 1, reports 11-29（俄文）。

出功率为 500 MWth 的水冷却水慢化反应堆。这种专用型工厂起名为 AST-500, 可以建在离居民中心不远的地方, 即距城区边缘最多为 5 km。* 这种 AST-500 目前正在高尔基市和沃罗涅日市建造。曾经计划在苏联欧洲部分建造一系列 DHAPP; 然而, 在切尔诺贝利事故发生以后, 公众对核动力的反对, 使早已安排好要建造的一些核动力项目推迟实施 (某些项目则受到怀疑)。

CMEA 国家对专用核供热工厂明确表示有兴趣。然而, 应该指出, 由于这些国家的市政建设情况特殊, 它们要求这些设施的生产能力明显地低于苏联动力生产系统中通常采用的那些设施的生产能力。因此, 苏联开发了一种单机输出功率为 300 MWth 的反应堆, 其技术参数与 AST-500 中使用的相似。此外, 苏联正在与 CMEA 国家的有关专业机构合作, 以建造输出功率更小的设施。

除继续改进专业化核供热工厂的设计和开发这种用途的新型反应堆外, 研究如何更充分地利用现有核动力厂的热输出潜力, 也具有很大的实际意义。分析表明, 这种类型的能源将在未来长期地在苏联和 CMEA 国家的核动力基础设施中占主导地位。

下面两种做法看来是特别有希望的:

- 利用现有核动力厂的供热能力为远离动力厂

的工业用户供热;

- 将已经超过标准服务寿期的核动力厂改造成为 DHAPP 系统, 也就是让这种反应堆在降低功率和不太苛刻的工况下运行。

上述第一种做法可以使核动力厂热能的潜在消费者队伍明显扩大, 并且将把核能引向燃料消耗量极大的工业供热领域。苏联和捷克斯洛伐克开发工作已经表明, 在向工业用户长距离供热方面, 采用加压热水的形式把热量从核动力厂输送给消费点的系统比较经济。然后用此种热水在用户的设备 (最好是热压机) 中生产出所要求参数的蒸汽。* 目前该项工作正接近技术实施阶段。

第二种做法目前尚处在开发阶段的初期, 如能找出一种解决办法那将是极有意义的, 因为它将有助于立即解决以下两个问题: 第一, 延长核能源主要设备的运行寿命, 第二, 用较短的时间和较低的费用建成大规模的集中供热源。

总之, 我们可以有把握地断言, 将核能源用于集中供热目的, 是一个已经在技术上做过充分探索并已获得了广泛应用的领域, 具有广阔的前途。

* "Long-distance transport of heating water from nuclear power plants for steam supply of consumers," by Sigal, M. V., Gusakov, V. I., Dlugosel'skij, S. V., *Teploenergetika* 12 (1987) (俄文), and "The problems and use of thermocompression of water vapour", by Petrovski, I. in: *Symposium on exchange of experience of CMEA member countries*, Vol. 2, Prague (November 1986) (俄文)。

* 有关这种工厂的详细介绍, 见 "Nuclear electric plants", by Kats, V. L., Kuznetsov, Yu. A., Pleskov, G. I., Tatarnikov, V. P., *At. Elektr. Stn.* 4 (1981年) (俄文)。

