

# 苏联核反应堆低温热能利用的现状

## 1. 苏联能源的需求

苏联国土广大，地处高纬度位置。因此，气候非常寒冷，一年有大半年时间需要取暖，室内取暖消耗的能量日趋增大。目前，主要供给室内取暖需要的低温热能约占整个能量需要量的40%（电力占20%，产业占20%，运输占20%），而且这种低温热能的需要量，今后还会进一步增加。预计，到2000年将会增加70—80%（增加部分换算成煤为四亿吨）（表1）。

表1，苏联热能实际需要量及2000年的预测  
（单位：[10<sup>9</sup>千卡]）

	1958年	1970年	1980年	2000年
城市部分	0.6	1.7	2.8	
工业用	0.4	1.1	1.9	
民用	0.2	0.6	0.9	
农村部分	0.16	0.46	0.64	
合计	0.77	2.2	3.4	6.0
热水	—	0.85	1.6	3.0
蒸汽	—	0.83	1.2	2.0

这些低温热能需求的特点是：在苏联的欧洲和亚洲部分，人口集中，消耗的低温热能约占80%。目前，需要的这些热能是用石油或天然气等化石燃料解决的。可是，今后可以供给的燃料资源多数存在于乌拉尔以东地区，因此从东向西运输燃料成为一个严重的问题。此外，苏联认为化石燃料用作今后的燃料不如将其作为原料加以利用，而且随

着化石燃料需要量的增加，使人非常担心对环境造成的影响：大气污染、天然湖泊温度升高等。

基于上述原因，在苏联，利用核能代替化石燃料正在变成现实。按照核能发电计划，核反应堆低温热能供给正在得到大力的推进。

## 2. 核能发电计划与核反应堆低温热能供给

苏联自世界上第一座核能发电站（5000千瓦电力，石墨慢化、轻水冷却型反应堆）开始建造并于1954年发电以来，开展了独特的核能发电技术的开发研究工作，到1981年末，发电装机容量达到了1600万千瓦。最近，提出了进一步提高核能发电计划的方针。根据该计划，到1990年苏联核电站装机容量将增至一亿千瓦。

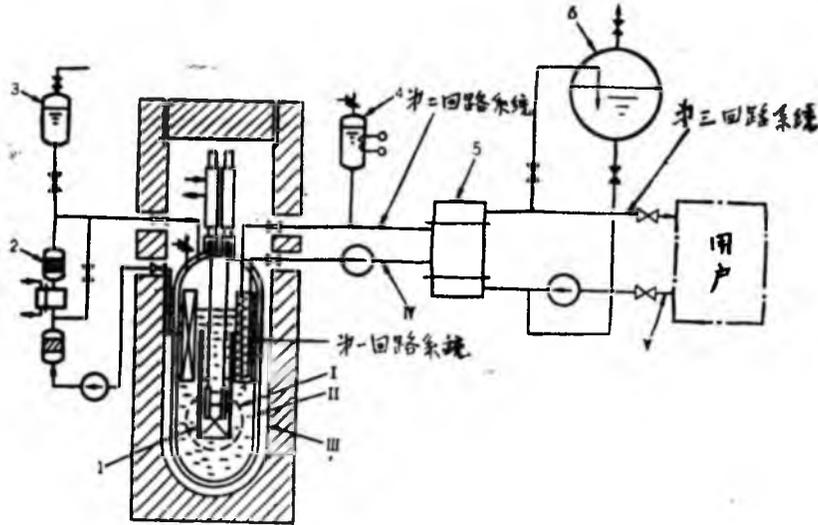
此外，正如上述，苏联低温热能需要量比电力耗能量多，使用核反应堆产生的热能来发电不如直接利用热能更为有效。因此，计划从核反应堆产生的热能中提取一部分低温热能供给附近地区取暖等使用。

现在，正在运转中的比利比诺发电站、列宁格勒发电站以及舍夫琴柯发电站（BN-350型，快中子增殖反应堆）均属这类发电站。比利比诺发电站和列宁格勒发电站用于发电并同时向附近地区供给取暖用的热能，舍夫琴柯发电站用于发电并供给海水淡化用的热能。此外，新沃罗涅日发电站正在实现同时供热的改造工程。为了适应今后的



④反应性控制只采用控制棒进行，简化了控制系统。此外，没有液体毒物系统，因此可以限制液体废料的发生量。

⑤一次/二次热交换器装在核反应堆的压力容器内，取消了一次冷却系统的管道，减少了冷却剂事故发生的可能性。



I. 释热元件 II. 压力容器 III. 防护墙 IV. 第二回路系统 V. 供热管道  
1. 堆芯 2. 一次冷却剂净化系统 3. 硼酸水注入系统 4. 第二回路系统流量调节 5. 二次/三次热交换器 6. 紧急用贮罐

图2 AST-500型反应堆生产流程

表2 AST-500型反应堆主要规格

项	目	规格
1	核反应堆输出热功率〔兆瓦〕	500
2	回路系统数	3
3	第一回路系统条件	
	压力〔绝对压力〕	20以下
	燃料入口温度〔℃〕	150—170
	燃料出口温度〔℃〕	饱和
	堆芯出口蒸汽率〔重量%〕	1以下
	再循环方式	自然循环
4	第二回路系统条件	
	压力〔绝对压力〕	15以下
	循环方式	强制循环
5	热水供给管压力〔绝对压力〕	20以下
6	堆芯条件	
	功率密度〔兆瓦/米 <sup>3</sup> 〕	39
	最大热流量〔瓦/厘米 <sup>2</sup> 〕	50
	燃料浓缩度〔%〕	1.8

### (3) 堆芯设计

核反应堆的结构如图3所示。

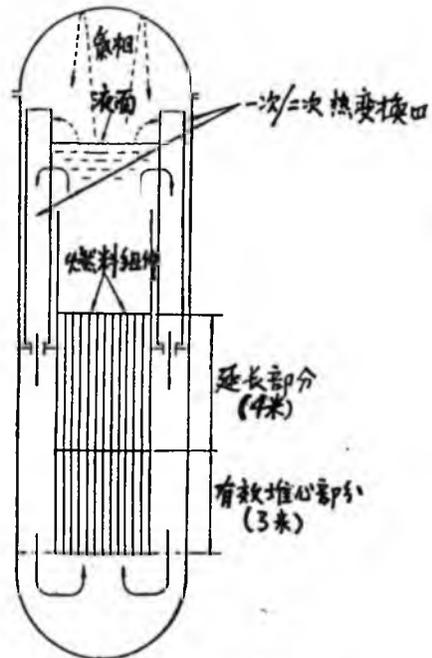


图3 核反应堆结构示意图

堆芯由121根六角柱状燃料组件组成。每个燃料组件又由169根燃料元件组成，使用锆包壳包住。该包壳在有效堆芯的上方还有四米的长度，借助在该延长部分中的自身沸腾效应产生各燃料组件热量输出所需要的自然循环力。

对于燃料的浓缩度，预定正在建造中的反应堆第一次装料包括浓缩度为1.0%的燃料组件30根，1.6%的55根，2.0%的36根，但标准值尚未最后确定。

控制棒是采用以三根邻接的燃料组件组成一个燃料棒束进行驱动的方式，兼有控制和停堆两种机能。

#### (4) 冷却系统设计

冷却剂进入堆芯时的温度为150℃。在堆芯，有一部分冷却剂（按重量比为1.5—2.0%）沸腾并以200℃的温度流出堆芯，在一次/二次热交换器之间进行热交换。但是，为了防止二次冷却剂被活化，一次/二次热交换器设置在可以确保与堆芯之间有一米屏蔽的位置上。由一次/二次热交换器出来的热水流出堆外组成第二回路系统，然后再经过二次/三次热交换器将热传给第三回路系

统，供给用户。这种冷却系统的特点是：第二回路系统的压力（12绝对压力）比第三回路系统的压力（与第一回路系统相同，16绝对压力）还低。因此，即使热交换器万一发生损坏事故，液体也不会流入第三回路系统。

#### (5) 对于外部的防护

如前所述，AST—500型反应堆本身具有很高的安全性。同时，该反应堆还考虑了反应堆内部事故对外部的影响以及飞机坠毁、附近工厂发生爆炸等外部事故的防护问题。为此，压力容器外侧筑成双层墙，中间处充有一个大气压力。万一压力容器损坏，将水注入中间处。外侧整个被防护墙围住，或者采用半地下式、地下式结构（图4）。

#### (6) 运行特性等

AST—500型反应堆的年负荷曲线如图5所示。在冬季，需要室内取暖和供给热水，其平均需要量是高峰负荷时的50%。在夏季，只需要供给热水，其平均需要量是高峰负荷时的30%。

为了满足这些需要，在冬季是利用两座AST—500型反应堆供热，高峰负荷时的不

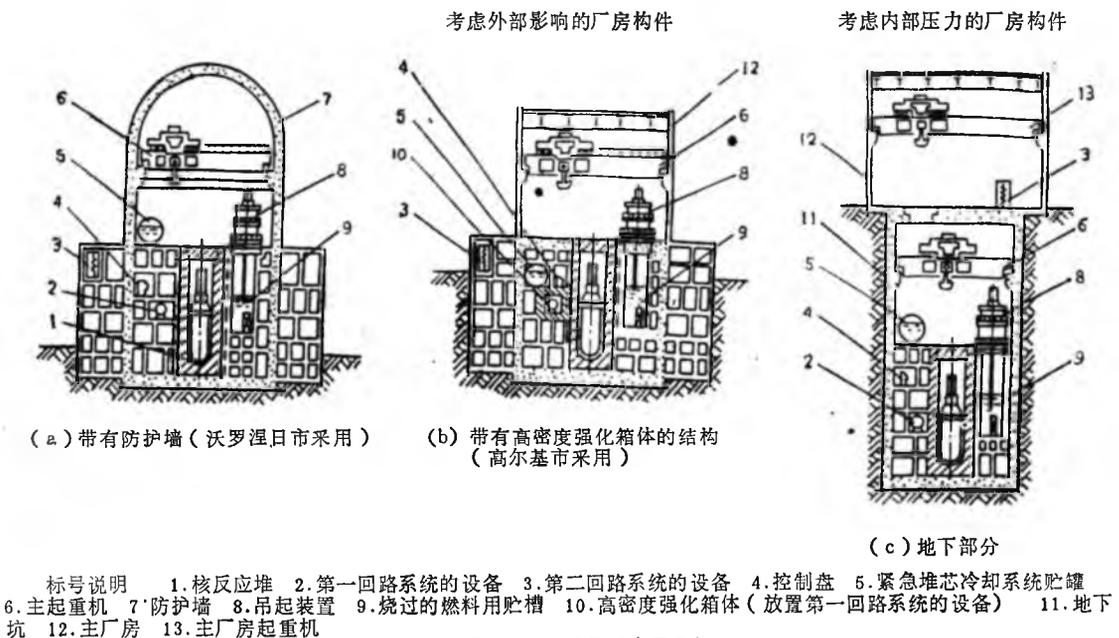


图4 反应堆外壳及设备布置示例

足部分用化石燃料补充（补充量占年供给量的10—20%。在夏季低负荷时，可以利用一座AST—500型反应堆供给所需要的热量，

## 4. 其它供热反应堆

目前，苏联主要是用AST—500型反应堆作为供热反应堆。但是，除了AST—500型反应堆外，还研制了VK—50型反应堆和使用有机物质的反应堆（阿鲁布斯反应堆）。

### (1) VK—50型反应堆

VK—50型反应堆是压力容器型单循环沸水反应堆，循环方式为自然循环，于1965年10月开始运行。在建造初期，它是以开发研究GE型沸水反应堆为目标。后来，苏联的沸水反应堆决定采用石墨孔道型式，因此长期用于基础研究工作。

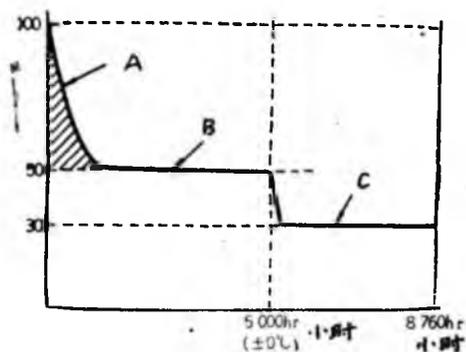
不过，最近考虑到低温热能的需要量今后将会增大，苏联已经积极地开展了供热反应堆的研究。因此，在研制AST—500型供热专用反应堆时，VK—50型反应堆用于进行自然循环式实物反应堆的试验等，并且在此有关的试验研究中得到了重新利用。

VK—50型反应堆具有很高的安全性和可靠性。因此，现在在讨论今后将VK—50型反应堆作为地区取暖用供热反应堆进行研制的问题。

### (2) 有机物质反应堆（阿鲁布斯反应堆）

阿鲁布斯反应堆是1963年开始运行的有机慢化剂、有机冷却剂反应堆。最初，它是作为在偏僻地区也便于建造的组合式发电设备进行开发研究的。但是，后来改造为供热用试验性反应堆，自1979年以后供试验与解决研究所内供热之用。

阿鲁布斯反应堆使用二甲苯基甲烷(C<sub>15</sub>H<sub>16</sub>)作冷却剂。该反应堆的特点是：①冷却剂不被活化，腐蚀生成物也很少，因此冷却剂辐射强度低，②沸点高，因此系统压力可以低。冷却剂很少被活化，这是因为冷却剂仅由碳和氢所组成而不含有氧。但是，有机物质由于本身的辐照会发生裂解，



- A. 严冬高峰负荷，用化石燃料补充
- B. 两座反应堆运行
- C. 一座反应堆运行，一座反应堆备用

图5 需要热量的年负荷曲线

另一座反应堆作为备用，在此期间可以进行修补作业。

燃料每两年更换一次。更换燃料时，本身只需要两昼夜即可完成。但是，在更换燃料的同时，还进行检修，因此实际停堆时间为20—30天。此外，每四年一次将反应堆内的结构件全部提升上来，对焊接处进行重点检查。

### (7) 经济性

两座AST—500型反应堆是作为一套设备建造的，利用该设备可以解决35万人口城市的供热问题（在欧洲部分，50万人口的城市有100个，这些都是需要这样解决的对象）。

与大型发电反应堆相比，由于出力小造成水垢的缺点以及补加了压力容器双层防护墙等安全设备，AST—500型反应堆本身的造价比较高。但是，如果与供电供热两用核反应堆相比，由于AST—500型反应堆可以靠近仅离城市两公里处，因此管道费用（每公里需要数百万卢布）降低，显示出了经济性。

裂解引起的损失量对于慢化剂和冷却剂二者都使用有机物质的核反应堆(100兆瓦)来说一年可达600吨。因此,苏联开展了关于裂解生成物除去法与废料处理法的研究工作。

对于今后有机物质反应堆的预测是:如果采用象阿鲁布斯反应堆一样的便于建造的组合方式,则认为最适用于偏僻地区的室内取暖供热。但是,要具备取得政府批准的条件尚需要相当长的时间。

## 5.核能在海水淡化中的应用

为了解决里海沿岸石油及天然气产地用水不足的问题,苏联决定利用舍夫琴柯市的快中子增殖反应堆(BN-350型)进行海水淡化,并于1961年开始了这一方面的工作。苏联研制海水淡化装置的目的在于:①海水淡化,②高盐分污水的淡化,③为发电站制取高纯度补充用水。现在有十几台海水淡化装置正在运转中(表3)

表3 苏联正在运转中的主要海水淡化装置

安装地点	正式运行(年)	型 式	级数	容量(米 <sup>3</sup> /日)	耗热率(千卡/公斤)	淡水含盐量(百万分率)
(1) 舍夫琴柯市	1969—70	多级多用途	5	2×14000	130	8
(2) "	1971—75	"	10	3×14500	75	3
(3) "	1972	急骤蒸馏	34	15000	78	10—20
(4) "	1980	多级多用途	10	14500	72	3
(5) 土库曼共和国	1973	急骤蒸馏	42	2400	50—80	20
(6) "	1980	多级多用途	10	14500	72	5
(7) 乌克兰共和国东部	1976—78	"	6	2×3800	105	20
(8) 乌兹别克共和国	1980—81	急骤蒸馏	34	2×14000	70	5

苏联尽管资源丰富,但已认识到石油等化石燃料是有限的。因此,化石燃料用作今后的燃料不如将其作为原料加以利用。此外,苏联各地区室内取暖需要的低温热能很多。为了更有效地利用热能,有必要在可以靠近城市的地方建造供热专用反应堆。从这一观点出发,开展了供热专用反应堆的研制工作,并且已经在高尔基市和沃罗涅日市开

工建造。

苏联在核反应堆低温热能的利用方面处于领先地位,已引起其他国家的重视。例如,日本等国在结合本国具体情况的基础上,根据苏联的经验,正在探求热能利用的最佳方案,进而制订出具体的实施计划。

童公和译自日本《OHM》,1982, No7. 31—35