

# 建议在油田发展核供热堆

◇ 中国原子能科学研究院研究员 孙汉城

◇ 中国科学院理论物理所研究员、学部委员 何祚庥

◇ 北京应用物理与计算数学研究所研究员 杜祥瑞



一、我国石油工业对国民经济作出了重大贡献。但我国石油资源并不很丰富。东部各大油田都已进入了中期或晚期，维持稳产已是十分艰巨的任务。新疆油田刚开发，形成可观的产量还有一个相当长的过程。“八五”计划中，我国石油产量的增长率远低于其他行业，“九五”也难改观。千方百计节约石油、天然气已刻

不容缓。

目前，各油田有大约 14% 的原油和天然气被消耗于油田自身所需的各种供热源上，如高凝油与稠油开采、输油、生活供暖等等。用别的能源将宝贵的原油和天然气替代下来，有相当大的潜力可挖。如果改用烧煤，则会造成大量运输、污染和处理炉渣的难题，而且

各油田能得到的煤都是议价煤，经济上不合算。改用核能没有运输困难和污染问题，只是基建投资较大，但长期的运行费用很小，总的经济效益是合算的。

## 二、核供热是干净、安全的

各种能源对环境的影响与运输量对比如表 1 所示：

由表 1 可见，核能是干净的。当然，它也有缺点，产生了高放射性的废料，但量不大，可以长期贮存。

在日常运行中，核供热堆都选用有固有安全性的堆型，而且还有一系列以防万一的安全措施，可以放心地建在闹市区。

例如加拿大 Slowpoke-3 型堆，平

时堆自动安全运行，对环境辐射影响可忽略不计（比安全规定还好三个量级），万一有事故时，可以依靠非能动作用自动安全停堆，停堆后又靠非能动作用导出停堆后的余热。堆芯设置在一个水池中，单靠池水的自然循环导热，也可维持堆芯冷却相当长时间。即使运行人员离开现场一星期或更长时间，堆仍处在安全状态。所以这种堆俗称“傻瓜堆”。

## 三、核供热堆系列的四个层次

根据不同的应用对象，可按供热水（或汽）的温度，将核供热堆分为四类，即四个层次。

1. 为小区域生活采暖用的，供 80℃ 左右的热水。

由于油田生活区大多数分散，宜建这一类小堆。

最佳堆型为加拿大 Slowpoke-3 型，常压池式自然

表 1 10 万千瓦供热站对环境的影响

从烟囱排入大气(吨/年)	烧矿物燃料的热水锅炉			核供热堆
	石油	煤	天然气	
二氧化碳	150000	187500	240000	0
氧化硫	925	375	2.5	0
氧化氮	375	500	200	0
重金属	37.5	0.5	0	0
放射性影响	变化的，有时高	一般高于天然放射性本底	轻微的氡放射性	少于天然放射性本底的 1/4000
灰(吨/年)	62.5	~10000	10	0
高放射性废物(乏燃料)	0	0	0	0.25 米 <sup>3</sup> /年
燃料运输	46250 吨/年	72500 吨/年	0.5 亿米 <sup>3</sup> /年	2.5 吨/年

荷的整数倍。因而确立了电荷的分立性。

密立根于 1953 年与世长辞，弗莱彻也于 1981 年去世，对于弗莱彻提出的署名问题人们也无法查证，但是有两点启示是可以肯定的：一是密立根的实验是在许多物理学家（包括他的前辈和他的学生）的工作基础上产生出来的；二是密立根不是因循蹈矩地重复前人的工作而是以一个伟大物理学家的洞察力揭示微观物质世界的本质方面。正是这八十多年前的实验不仅揭示了电荷的分立性而且第一次精确测量了电子的电荷值。这一成果很快得到了广泛的承认，密立根因此成为各知名科学院的成员，1916 年被选为美国物理学会主席，1923 年诺贝尔奖金的获得者。

表 2 核低温供热堆与燃油气炉经济性对比

	燃油气炉		Slowpoke-3 堆型	
	1台 17吨炉	2台 17吨炉	单堆 (1万千瓦)	双堆 (2×1万千瓦)
利息 (年息 10%, 万元/年)	26	52	170	300
折旧费 (万元/年)	26	52	57	100
燃料费 (万元/年)	292	584	40	80
总和 (万元/年)	344	688	267	480

注: 运行费用两者相仿, 未计入对比。

循环供热堆。我国核工业总公司北京核工程研究设计院曾与加拿大合作设计这种堆型, 我国核工业总公司原子能科学研究院有研制与生产出口微型堆 (相当于 Slowpoke-2 型) 的经验。核工业总公司系统有多台池式堆的运行经验。这种堆完全国产化是没有问题的。为加快进度, 继续与加拿大合作也是可以考虑的。

建一个一万千瓦的 Slowpoke-3 堆, 中加合作, 建设投资约 1700 万元, 工期 1.5 年, 可供 15 万平方米建筑面积采暖, 与 17 吨热水锅炉相当。反应堆可用 30—40 年, 核燃料 (5% 浓缩铀) 每九年更换一次 (以每年运行半年采暖计), 经济性比烧议价油便宜。

低温供热堆在半年运行期间, 一般不需要停堆检修, 但为防万一, 一个地区以建双堆为宜。由于一些基础设施公用, 建双堆总共 3000 万元就够了。建单堆、双堆与建燃油气炉的经济性对比如表 2 所示。以辽河油田管理局所在地兴隆台地区为例, 该地区地理上分三片, 共建 10 个 1 万千瓦的供热堆, 建议先集资 3000 万元, 建 2 个 1 万千瓦的堆作示范, 以后再增建。

2. 为采油生产供热用的低温供热堆, 引出 150℃ 左右的热水或蒸汽。

油田生产中需用大量 90℃ 或更高的热水, 用于高凝油开采, 管道加温等。最佳堆型为瑞典的 SECURE-H 型, (加压池式硼水控制供热堆), 引出 150℃ 的热水输送到数公里以外, 供数十平方公里油井生产用, 建一个 10 万千瓦的堆投资不到 1 亿, 工期 3.5—4 年; 20 万千瓦的投资 1.5 亿, 工期 4 年, 北京核工程研究设计院与瑞典也有合作设计经验。这种堆也是绝对安全的“傻瓜堆”。清华大学参照德国经验研制成功的一体化壳式供热堆也属于这种类型。但一体化壳式堆的安全性不如 SECURE-H 与 Slowpoke-3。如原苏联规定, SECURE-H 等型可建在城市, 而一体化壳式堆必须远离城市边界至少 5 公里。

3. 热电联供堆, 供 9 MPa 的蒸汽和 290℃ 的热水。除发电外, 给热网提供上述蒸汽参数可满足大部

分工业蒸汽用户的要求, 包括石油化工企业的要求。

表 3 高温气冷堆开采稠油的投入、产出比较

		2×20 万千瓦	4×20 万千瓦
投入	利息 (亿元/年)	1.0	1.4
	折旧 (亿元/年)	0.333	0.467
	燃料 (亿元/年)	0.28	0.56
	运行维修 (亿元/年)	0.242	0.364
	总计 (亿元/年)	1.855	2.791
产出	原油 (亿元/年)	1.225	2.45
	电 (亿元/年)	0.9	1.8
	总计 (亿元/年)	2.125	4.25

注: 原油 90% 按平价油 200 元/吨, 10% 按议价油 650 元/吨计, 电按平价、议价平均 0.20 元/度计。

建议选用瑞典 SECURE-P (PIUS) 型, 这种堆目前还在研制阶段, 北京核工程研究设计院参与了中瑞合作设计。

#### 4. 高温气冷堆

为开采稠油, (约占总量的 1/4), 需用大量 350℃ 的高压水蒸汽注入油井作吞吐 (开采前期) 或 300℃ 水蒸汽作气驱 (开采后期), 初期 1 吨蒸汽可出 1 吨多油, 后期约 4 吨汽才出 1 吨油。

辽河油田稠油问题更为严重, 约占 1/3。他们有燃天然气热采锅炉 74 台, 年耗天然气 4.5 亿立方米, 因天然气不够用, 90 年冬停了 20 多台锅炉。预计“八五”末, “九五”初将需 125 台锅炉, 年耗天然气 11 亿立方米, 气源难以解决。建议部分地改用核能, 建高温气冷堆, 这种堆是负温度系数 (即当温度升高时, 堆的反应性下降) 的绝对安全的。高温气冷堆是热电两用型, 在发电的同时提供 400℃ 以上的高压水蒸汽。为缩短工期, 可中德合作, 工期 5 年, 标准设计是 20 万千瓦的模块堆。

以辽河油田为例, 其中曙光油田可以建一个 4×20 万千瓦的, 投资 14 亿, 年产油 100 万吨 (按 1 吨油/4 吨汽的保险估计)、发电 9 亿度 (电功率为 15 万千瓦, 按每年发电 6000 小时计)。高升油田可建一个 2×20 万千瓦的, 投资 10 亿, 年产油 50 万吨, 发电 4.5 亿度 (电功率 7.5 万千瓦)。投入产出初步估计如表 3 所示。

如表 3 所示, 产出明显大于投入。目前将宝贵的化工原料——天然气烧掉来换稠油, 经济上是亏损的。若改用核能, 将扭亏为盈, 且省下大量天然气支持化工工业。也不受我国天然气源不足的限制。总之在上述四类供热堆中, 第 1、2 两类已可直接进入工程阶段, 投资也不大, 建议在近期内实现。第 3、4 类尚在研究阶段, 需国家加强研究投资开发, 然后付诸工程。第四类高温气冷堆尚有“863”高技术支持, 第 3 类尚待落实。