

IAEA-TECDOC-615

核能利用——供热

原子能出版社



IAEA-TECDOC-615

核能利用——供热

刘耀明 译
彭木彰

图书在版编目(CIP)数据

核能利用:供热/国际原子能机构著;刘耀明,彭本彰译. —北京:原子能出版社,1997. 1

书名原文:Nuclear Applications for Steam and Hot Water Supply

ISBN 7-5022-1057-1

I. 核… I. ①国… ②刘… ③彭… II. ①核能-应用②核能-供热 N
. TL

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 25606 号

此书中译本出版得到 IAEA 准许。

内 容 简 介

本书叙述利用核能供应蒸汽和热水问题。内容包括:引言、能源消耗状况和展望、工艺蒸汽/热水生产用反应堆概念、技术和惯例的考虑、应用现状、建议应用的说明、概要和结论。

本书可供反应堆工程的设计、研究和管理人员参考。

©原子能出版社,1997

原子能出版社出版 发行

社址:北京市海淀区阜成路 43 号 邮政编码:100037

原子能出版社印刷厂印刷 新华书店经销

开本:787×1092mm1/32 印张 4.1 字数 120 千字

1997 年 3 月北京第 1 版 1997 年 3 月北京第 1 次印刷

印数:1—50

定价:8.00 元

序

普遍认为,在未来可以预见的时间内,世界范围内可利用能源满足需求是不会构成重大问题的。预计下世纪,煤、石油和天然气仍然是主要的能源,但其价格可能较预计的增加得快。另外,还需考虑各种类型的化石燃料,当其燃烧时,引起的污染和对增加温室效应的影响问题。众所周知,核能利用不伴有引起气候变化的效应。根据这种观点,核能不仅在电力生产方面,而且在用来供应蒸汽和热水方面都颇具替代化石燃料的潜在能力。

化石燃料价格潜在的增加(特别是石油供应方面)和改善世界环境的需要(如 IAEA 成员国所强调的那样)使得热能生产方面的困难变得更为突出,这促使决定着手导致本报告的计划。本文件打算帮助鉴别利用或打算利用核电厂或专用核供热厂对工业或居民用户供热的成员国的经验。

按照成员国对利用核能供热领域的信息进行交流的要求,IAEA 组织了一些会议。本出版物由顾问们进行准备并于 1990 年 9 月在一次技术委员会会议上作过评审。感谢参加本文件准备工作的顾问们以及在派遣专家帮助 IAEA 进行这项工作方面给予大力支持的各成员国,他们做出了有价值的贡献。

期望本报告为今后的研究工作起提供有益的 latest 资料的作用。

目 录

1. 引言.....	(1)
2. 能源消耗状况和展望.....	(4)
3. 工艺蒸汽/热水生产用反应堆概念.....	(11)
3.1 温度范围的引入和定义.....	(11)
3.2 核供热厂.....	(13)
3.3 热电联供热和核电厂.....	(31)
4. 技术和惯例上的考虑.....	(35)
4.1 关于供热应用的考虑.....	(35)
4.2 关于工艺蒸汽应用的考虑.....	(38)
4.3 补充管理考虑.....	(49)
4.4 公众/政治接受.....	(50)
4.5 经济/资金.....	(51)
4.6 实施战略.....	(53)
5. 应用现状.....	(58)
5.1 核供热厂.....	(58)
5.2 热电联供核电厂(CHP).....	(62)
6. 建议应用的说明.....	(78)
6.1 重油的提取.....	(78)
6.2 地中海和中东地区将来利用核能供热的可能性	(98)
6.3 化学工艺(联邦德国).....	(100)
6.4 炼油厂(美国).....	(102)
6.5 海水淡化(美国).....	(111)
7. 概要和结论.....	(118)

参考文献.....	(124)
缩略语.....	(127)

1989年9月世界能源会议^[1]提出可以作为评估能源需求和利用框架的四个原则问题:第一个问题是,通常可获得的能源是否足以能够支持发展中国家和工业化国家的社会经济需求;第二个问题是,这些能源是否能以合理价格为所有需求能源的国家所取得。这两个问题是评估主要能源形势的基础,这在工业国家和发展中国家中是明显不同的。结论是,在可以预见的未来,可获得的足够能源基础不是关键问题。普遍的一致意见是,在21世纪的前半个世纪,煤、石油、天然气将仍然是主要的能源。其有争议的问题应该是生产者制定价格(因此影响所有能源经济的有效性)方面的市场力量的利用。通常预计,原油价格将是逐渐增加的。

另外的两个问题是,研究和发展是否将形成新能源供应方案和能源更有效的利用,以及能源生产、运输、利用是否能够在没有过分负面环境影响情况下得以实现——这些问题,对人类的重要性,看来是增大了。在最后的问题中,所有各类化石燃料,当它们燃烧时,都会产生污染,即产生S、N的氧化物、灰尘及 CO_2 , CO_2 排在最后并非不重要,它通常增加“温室效应”。所有“温室气体” CO_2 , NO/NO_x , CH_4 等都与能量生产和利用有关——导致全球变暖。另一方面,可以对S和N产物进行清除,使烟囱气体达到一定程度的清洁度,尽管由于相当重要的价格问题,还不能通过采用任何经济的成熟技术可以将 CO_2 清除。

现今的主要可利用能量生产技术,仅水力和核能两种技术不伴有产生 SO_2 , NO_x 和 CO_2 的效应。世界范围的水力能源的发展潜力受到可利用水电资源的限制,而核动力则具有更广泛的开发潜力。

核电生产保持环境清洁和提供易于输送的电力,已经可以对世界电气化起很重要的作用,本不应该由于 1979 年三里岛事故和 1986 年切尔诺贝利事故而使公众失去信任。现在,在若干支持核电的国家,正在缓慢地克服限制核电较快速和较大规模地替代使用化石燃料的火电的各种障碍。

情况是,在世界范围内,工业化国家中的化石燃料电厂产生的污染物质(值得注意的 SO_2 和 NO/NO_x),在最近几年中,从大约 500Mt/a 减少至 $420\text{Mt/a}^{[2]}$ 。这样的成绩的取得是基于以核电替代化石燃料电力、增强化石燃料设施方面的环境控制(达到较小程度)和环境保护的综合因素。考察数值用于各单独国家时发现,在经过限制电力消耗量而没有放弃主要的“生活标准”的情况下,人均硫和氮的氧化物连同其它有毒化学物质的总量,法国降到 250kg/a ,美国降到 110kg/a ,联邦德国 85kg/a^* ,日本降到 61kg/a ,英国降到 51kg/a ,前苏联降到 $33\text{kg/a}^{[2]}$ 。

由上述很清楚,当已经有了一些发展时,需要进一步增加环境控制和保护,及清洁的能源形式,以在促进形成生活高质量和清洁环境的同时,使发展中国家提高工业化水平。在清洁的能源形式方面,核能似乎在达到这些目的方面,其重要性增加了。

在最近 15 年期间,核电已经变成一种明显起重要作用的能源,年平均增长率大约达到 15%。到 1990 年末,世界范围内生产的电能中,核能的份额大约为 17%。在 25 个国家中,有 424 座核电厂(NPP)并网发电。1990 年之前,在 3 个国家中,其电能

* 本文是在 1990 年 10 月德国统一前编写的。

生产中核电份额超过 50% (法国领先, 超过 70%); 在 11 个国家中, 核电生产占其总电能生产的 1/3 或更高^[3]。

虽然核电增长率已经慢下来, 其原因已经叙述过, 但是其发展, 在一般情况下, 仍保持正的趋势。到目前, 核能的利用实际上是局限于电力生产。众所周知, 在若干主要工业化国家, 大约 70% 的一次能源消耗于工业和民用供热生产, 这些需求几乎都为所使用的便宜的化石燃料所负担, 而燃烧住户垃圾、利用沼气和应用其它替代物只达到很小的程度。可以想象到, 核能对于供应用于工业和住宅供热的工艺蒸汽和热水起着重要的作用, 特别是满足相对高的热需求量。

在所有的核电厂中, 通常从汽轮机或蒸汽发生器抽出一定量的蒸汽, 以满足该核动力厂的热需求。现今的核电厂, 只有少数的有厂外输送热, 称作热电联供核电厂 (CHP), 包括所有生产热供应厂外用户的核电厂。已经采用这种技术向现有地区供热系统供应热水和向工业供应工艺蒸汽的国家的经验已是很成功的了^[4]。此外, 在一些国家进行的技术经济研究表明, 核电厂 (NPP) 供热可以与化石燃料厂供热相竞争。与热电联供核电厂 (CHP) 相比, 专门供应蒸汽和热水作为热源的核供热厂 (NHP) 是处于早期发展和实现阶段。

根据成员国需要在核热应用 (NHA) 领域交换信息的要求, 在 1976 和 1977 年组织了两次国际原子能机构 (IAEA) 会议, 随后 1983 年组织了有专题研究组的技术委员会会议^[5], 会议确认更加关注该项课题。在 1985~1987 年期间, 召集了三次国际原子能机构顾问组会议, 评价了低温核热利用潜力^[4]、地区供热核电厂^[6]和低温核热应用的小型反应堆^[7]问题。

本文在于向成员国提供核能用于供应中低温蒸汽和热水方面的最新资料。

2.

能源消耗状况和展望

在世界范围内,能源的消耗总的来讲是增加的,虽然这种情况在工业化国家(IC)和发展中国家(DC)是不同的。发展中国家的人口增加速度较快,需要更快地增加能源供应;相比之下,工业化国家人口增加速度较慢,基本上有足够的能源。国际原子能机构(IAEA)作出的 1989~2000 年期间的世界能源消耗量估计值,用于发电的百分数,和由核能供应的百分数^[2]列于表 1 中,据此,可以得到如下结论:

- 一能源消耗量总的预期增长量;与以前预测相比(例如新德里世界能源会议),总的来讲是下降的。
- 一预期电能份额增长量是主要的,与 1989 年的 30.4%相比,在此期间可达到大约 40%~42%。核能份额的增加预计是类似的,与 1989 年的 5.1%相比,可达到 6.3%~6.9%。而工业化国家和发展中国家之间有很大差别。对于拉丁美洲,非洲,中东和南亚,东南亚和太平洋地区,核能份额很小,较高数值主要是在西欧,东欧,南美以及远东地区。

最后的结论由 1989 年期间的实际总能源(各类燃料)消耗(表 2)所证实^[3]。

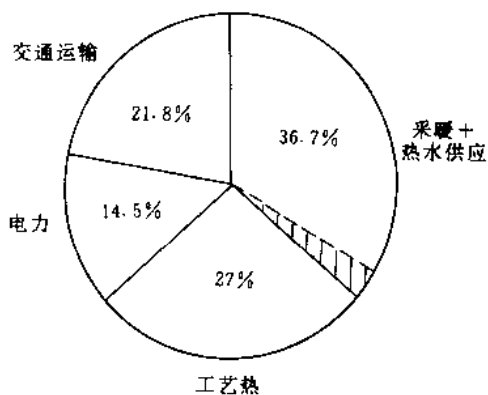


图1 联邦德国的最终能源消耗的典型分配情况

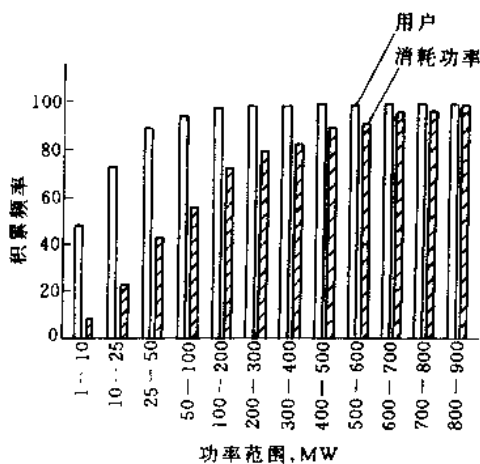


图2 用户累积频率(%)和消耗功率

表 1 世界能源消耗状况和发展趋势^[1]
世界能源总消耗量估计值(EJ)^a,用于发电的百分数和核能发电的百分数

地区	1989			1995 ^b			2000 ^b			2005 ^b		
	总能耗 %	电力生 产能耗 %	核能生 产能耗 %	总能耗 %	电力生 产能耗 %	核能生 产能耗 %	总能耗 %	电力生 产能耗 %	核能生 产能耗 %	总能耗 %	电力生 产能耗 %	核能生 产能耗 %
北美	85.7	36.7	6.8	91	42	7.1	95	45	72	97	50	7.1
				94	41	7.1	102	44	6.8	106	48	7.0
拉美	22.3	25.9	0.3	26	32	1.1	29	36	1.4	32	41	1.3
				27	33	1.1	31	39	1.3	35	48	2.0
西欧	54.7	38.5	12.2	58	40	13	61	42	12	62	46	13
				60	41	12	65	43	12	67	45	13
东欧	85.9	26.2	3.1	94	30	4.5	100	32	4.8	105	34	5.6
				95	31	4.7	104	33	5.4	111	36	7.1
非洲	13.3	23.2	0.8	16	28	0.7	18	31	0.6	19	35	0.6
				16	29	0.7	18	35	0.6	21	42	1.1
中东和南亚	22.7	21.3	0.1	26	25	0.5	30	29	1.0	33	33	1.8
				27	26	0.5	32	31	2.0	36	38	3.0

东南亚和太平洋地区	12.2	22.5		14	25		15	26		16	26	
远东	55	28.2	4.5	61	31	5.6	68	35	6.7	72	38	0.6
世界总量	352.0	30.4	5.1	385	34	5.7	416	37	5.9	437	40	6.3
				398	35	5.7	442	38	6.1	473	42	6.9
OECD 成员国	161.5	37.5	8.9	170	42	9.5	178	45	10	181	49	10
				177	42	9.2	191	45	9	199	49	10
CMEA 成员国	85	25.9	3.1	92	29	4.5	99	31	4.9	104	33	5.7
				95	30	4.7	103	33	5.5	110	36	7.2
非 OECD 和 CMEA 成员国	105.5	23.2	0.9	123	27	1.4	138	30	1.8	151	34	2.2
				127	28	1.4	147	33	2.2	164	39	2.9
世界总量	352	30.4	5.1	385	34	5.7	416	37	5.9	437	40	6.3
				398	35	5.7	442	38	6.1	473	42	6.9
WOCA 国家	234.2	33.5	6.5	254	37	1.0	273	40	7.1	285	44	7.5
				261	38	6.9	286	42	7.3	300	48	8.1
非 WOCA 国家	117.8	24.3	2.3	132	28	3.3	143	30	3.5	152	32	4.1
				137	28	3.4	156	31	3.8	172	33	4.9
世界总量	352	30.4	5.1	385	34	5.7	416	37	5.9	437	40	6.3
				398	35	5.7	442	38	6.1	473	42	6.9

a EJ = 1 exajoule = 10^{18} J = 23.9 Mt 等效油能量 (MtOE).

b 总能源消耗的上层数字、下层数字分别是低估计和高估计值。

表 2 1989 年期间的总能源(各类燃料)消耗量*(EJ)

地区	固体 ^b	液体	气体	水利	核能	地热	总计
北美	17.49	36.86	20.42	5.01	5.83	0.13	85.74
拉美	3.81	10.56	4.50	3.33	0.06	0.07	22.34
西欧	10.76	23.67	8.58	4.99	6.67	0.04	54.71
东欧	28.86	23.44	28.13	2.78	2.69	0.04	85.93
非洲	9.21	2.85	0.73	0.42	0.11	0.00	13.32
中东和南亚	8.45	8.69	4.75	0.82	0.03		22.73
东南亚和 太平洋地区	4.68	4.63	2.35	0.56		0.03	12.25
远东	29.31	17.78	2.80	2.53	2.49	0.06	54.97
世界总量	112.57	128.49	72.25	20.45	17.88	0.36	351.99
OECD 成员国	32.49	71.47	31.72	11.31	14.29	0.20	161.49
CMEA 成员国	28.53	23.23	28.09	2.52	2.64		85.01
非 OECD 和 CMEA 成员国	51.55	33.79	12.44	6.62	0.94	0.16	105.50
世界总量	112.57	128.49	72.25	20.45	17.88	0.36	351.99
WOCA 国家	59.72	99.52	43.20	16.24	15.19	0.33	234.19
非 WOCA 国家	52.86	28.97	29.05	4.21	2.69	0.04	117.81
世界总量	112.57	128.49	72.25	20.45	17.88	0.36	351.99

a. 总能源消耗量=一次能源消耗量+纯进口(进口-出口)二次能源消耗量。

b. 固体燃料包括商业木材。

由表 1 可以看出,目前世界能源的总消耗量总计大约折合为 350EJ。按最终利用细分表明,大约有 30%(即 100EJ)用于发电,剩余的 250EJ 消耗于交通运输、工业(如余热)或包括能源损耗的各种需求。

在工业化国家,能源利用通常遵循相似的总模式,这些模式从一个国家到另一个国家按地理、工业基础等情况是有所不同的。图 1 介绍的是联邦德国最终能源消耗量分配的举例^[5]。

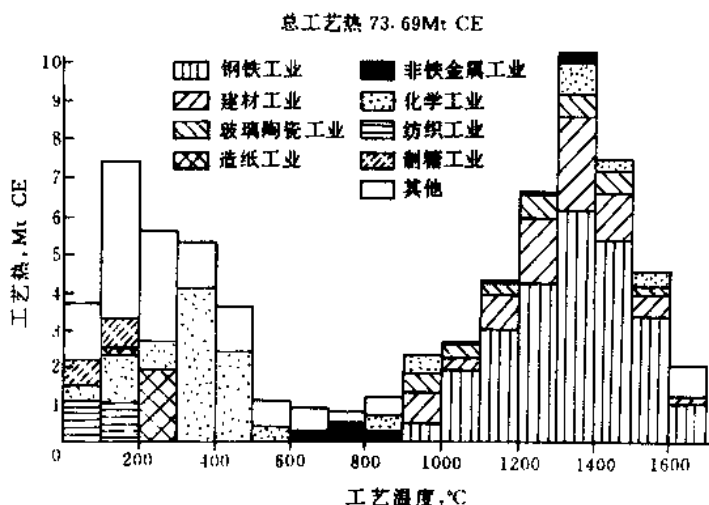


图 3 联邦德国工业热消耗按温度范围的分配

关于工业热的温度范围,在联邦德国,在高温下(超过 800°C),还需要考虑到超过 65% 的流行技术,主要为覆盖利用煤作燃料的钢铁工业需求(图 3)。其余 30%~35% 的工业热可以是核热源的潜在技术市场,这种热的大约 10%~15% 可以是作为蒸汽提供的。

世界蒸汽市场分类,在图 2 中通过常用的长条图给出,长条图表示累积需求量(%)和用户数与功率范围的函数关系。大约 50% 的用户仅需要 1~10MW,而其积分需求量稍低于总功率需求量的 10%。在高功率范围的用户数稳定减少,并且其中大约 99% 包括在 1~300MW 功率带中,此功率带大约占总能源消耗量的 80%。单独的大工业用户覆盖其余 20% 的能源。这些消费者完全均匀地分布于 300~900MW 功率范围,除少量独立的用户(900MW)外,最高功率需求量在 10~50MW 功率范围,并大约包括所有用户(几百)的 40%。此组大约消耗所利用的总工艺蒸汽能量的 35%。这些资料说明,对于核工艺蒸汽应用,考虑小功率规模的核反应堆和集中若干工业蒸汽用户成群(由集中设置的核电厂为其供热)似乎是可行的。

就可以通过核能替代化石燃料满足其热能需求的工业工艺而论,工艺蒸汽主要的用户是为了进行下述各项生产:化学(包括塑料生产),建筑材料,纸张产品,石油(包括增加石油回收和精炼)及脱盐。这些工业生产均需 150°C ~ 550°C 温度范围的热。

工艺蒸汽/热水生产用 反应堆概念

现今,全世界有若干类型可利用的反应堆,而许多的反应堆在分区供热或工艺蒸汽应用方面至少具有一些能力。各种类型的反应堆,可以按照在其可能的温度范围分类。

3.1 温度范围的引入和定义

对工艺蒸汽/热水应用,反应堆可能的温度是很重要的所需考虑的问题。反应堆类型可以分别分成为:低($T < 250^{\circ}\text{C}$)、中($250^{\circ}\text{C} < T < 550^{\circ}\text{C}$)、高($T > 550^{\circ}\text{C}$)三种温度范围。在此三种温度范围的典型应用归纳于表3中。

目前这一代的核电厂已经发展成技术上成熟和商业上具有生命力,且具优良性能和环境清洁的能源。尽管目前这一代的核动力堆生产具有令人满意的运行记录,但在一些国家中还是安排了重要的发展计划,这些国家的目标是:

- 增加安全、可靠性和简化;
- 提高燃料利用效率;
- 降低成本。