

CNIC-00685

TSHUNE-0055

CN9300212

中国核科技报告

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT

中国核科技报告第 1000 号

COMPREHENSIVE UTILIZATION WITH
LOW-TEMPERATURE HEATING REACTOR

(CNIC-00685)



原子能出版社

中国核信息中心

China Nuclear Information Centre



董铎：清华大学核能技术设计研究院教授。
1959年毕业于清华大学工程物理系反应堆工程
工程专业。

Dong Duo, Professor of the Institute of Nuclear
Energy Technology, Tsinghua University.
Graduated from the Department of Engineering
Physics of Tsinghua University in 1959, major-
ing in reactor engineering.

CNIC-00685

TSHUNE-0055

低温核供热反应堆的综合利用

董 铎 张达芳 吴少融 张振声
高祖琰 苏庆善 彭木彰 叶遂生

(清华大学核能技术设计研究院)

摘 要

扼要地介绍了利用 5MW 低温核供热试验堆基地开展热电联供、工业供汽、核能制冷及核能海水淡化方面的研究进展情况。着重介绍了实现上述各项的原理,系统及参数。研究的目的是为商业规模的供热堆探索综合利用的途径。从而降低供热成本,使其在与煤的竞争中处于更加有利的地位。

COMPREHENSIVE UTILIZATION WITH LOW-TEMPERATURE HEATING REACTOR

(In Chinese)

Dong Duo Zhang Dafang Wu Shaorong Zhang Zhensheng
Gao Zuying Su Qingshan Peng Muzhang Ye Suisheng

(INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY
TECHNOLOGY, TSINGHUA UNIVERSITY)

ABSTRACT

Using 5 MW low-temperature heating test reactor as experimental basis, the research of nuclear energy applications, such as heat-electricity co-generation, process steam supply, nuclear refrigeration and nuclear desalination of sea water is introduced. The emphases are in the principles, systems and parameters to realize the items mentioned above. The purpose of the study is to find ways for comprehensive utilization of the nuclear heating reactor at the commercial-scale. Therefore, the nuclear heating reactor could reduce its costs and have advantages to compete with coal-fired plant.

引言

供热反应堆只用于冬季供暖,其平均负荷因子较低,这个因子即使在我国北方供暖的城市也难以超过 0.5。由于核供热堆的基本投资比同等功率规模的燃煤锅炉厂高,但核供热的燃料成本便宜,因此,开展综合利用,提高核供热堆的年运行负荷率,对改善该堆的经济性是很重要的,所以,设法尽可能降低供热堆的比投资,开发低温供热堆的综合利用,提高其负荷因子,降低固定资产在供热成本中的比例,是低温供热堆推广的重要问题。

利用 5MW 低温供热试验堆基地,我院开展了热电联供、工业供汽、核能制冷及核能海水淡化等方面的研究,目的在于给 200MW 的工业性供热堆探索综合利用的途径,提供综合利用的经验及技术数据,使其供热成本降低,与煤竞争处于更加有利的地位。

1 热电联供

由于城市居民采暖是一项福利事业,当地政府或企业都给以补贴,再加上价格体系上的不合理,致使电价高于热价,因此低温堆采用热电联供,“以电补热”,从而降低供热成本,提高经济效益。

低温供热堆虽然其参数低,如若采用优化设计,发电效率可达 10% 左右。为了取得供热堆热电联供的经验,为商业供热堆提供热电联供的设计依据,我院于 1990 年底在 5MW 供热堆上开展了热电联供的研究。

5MW 低温供热堆采用了低压蒸汽发电方案,在发电的同时,余热进行供暖,虽然发电效率低(7.5%)、但整个系统热效率高,使供热堆的经济效益得以增加,该系统采用专门设计的两相流低压蒸汽透平及低压蒸发器,水循环泵抽气等新技术,使蒸汽发电系统与低温堆相匹配,达到 7.5% 的发电效率。

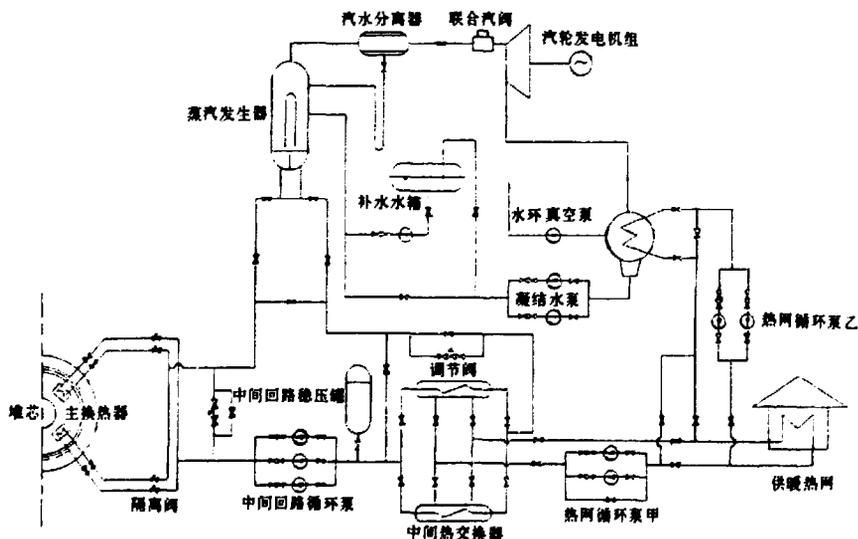


图 1 蒸汽-电力转换系统流程图

5MW 低温供热堆其余热供暖采用四回路布置,二回路隔离,三回路发电,四回路——冷凝回路供暖、防止了放射性物质进入蒸汽回路及热网系统,安全性好,详见图 1。该堆热电联供运行工况下的参数见表 1。

表 1 热电联供运行参数

堆芯功率	MW	2
蒸发器的热功率	MW	1.8
输出电功率	MW	0.15
一回路压力	MPa	1.47
堆芯进出口温度	℃	173/192
二回路压力	MPa	1.7
主热交换器二次侧		
进出口温度	℃	147/167
二回路流量	t/h	124
蒸汽回路		
蒸发器出口压力	MPa	0.43
汽机进口压力	MPa	0.38
汽机进口温度	℃	142
汽机背压	MPa	0.025
冷凝水温度	℃	65
热网(冷凝器循环水系统)		
热网给水温度	℃	55
热网回水温度	℃	45
热网压力	MPa	<0.49

按照上述方案,一座 200MW 供热堆的热电联供,其流程如图 2 所示。

表 2 给出 200MW 核供热堆的主要参数。

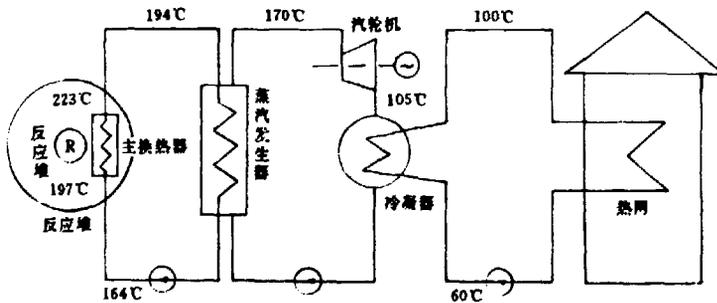


图 2 热电联供系统原理图

表 2 200MW 供热堆蒸汽回路参数表

堆热功率	MW	200
蒸发器热功率	MW	200
一回路压力	MPa	2.5
堆芯进出口温度	℃	197/223
二回路压力	MPa	3.0
二回路主换热器		
二次侧进出口温度	℃	164/194
蒸汽回路		
蒸发器出口压力	MPa	0.8
汽机进口温度	℃	170
汽机背压	MPa	0.12
发电量	MW	22
冷凝水温度	℃	105
热网		
供水温度	℃	100
回水温度	℃	60

由此可见,在供热同时(供热面积约 400 万 m^2 基荷),发电效率可达 10%~11%(即发电 20~22 MW),由于单位电价高出热价 3 倍之多,因此采用热电联供的方式,可使核供热站经济效益提高 20%~30%,其所增加的发电设备投资回收期约 3 年左右。

2 工艺供汽

工艺用热主要用 120~200℃ 的低压蒸汽,核供热堆可以满足大部分工艺用热所需的参数,而低温工艺用热是整个能源消耗中的又一大户。工艺供热可用于熬盐、煮糖、化工、轻纺、稠油热采和输油伴热等各方面,所以它用途广、用户多,工艺供热又是全年负荷,因此较半年供热运行具有更好的经济效益。

在 5 MW 堆的二回路上,安装了专门设计的低压蒸汽发生器。实验运行结果表明,该蒸发器工作稳定,可以给出 150℃ 左右低压蒸汽供工艺供热用。

200 MW 供热堆工业供汽时一回路与二回路的参数与热电联供一样,三回路产生的蒸汽直接送到各工业用户,该堆每小时可生产 0.8 MPa 的饱和蒸汽 280 t。也可设计成热汽联供,冬天主要供暖或生产少量的汽,夏天则全部供汽。

如有特殊需要该堆还可以在部分负荷下(非满功率)产生大于 0.8 MPa 的蒸汽。

3 核能制冷

核供热堆作为空调及工业生产冷冻水的能源也是该堆综合利用的一个重要方面,这样它不仅可以在冬天用于供暖,而且也可以作为夏天空调及工业制冷的热源,低温堆则可实现全年运行,大大提高供热堆的利用率,从而更好地降低供热成本。它不仅可以在我国北方城市

建造,也可以逐渐发展到供热季节较短、但制冷季节较长的我国南方城市。最近上海、南京、武汉相继提出建造低温供热堆的意向。

利用核能供热生产冷冻水的原理是:供热堆作为热源,利用溴化锂溶液的物理特性,在不同真空度下,加热或冷却溴化锂溶液,造成其溶液的浓度差,并且利用水在真空状态下的蒸发吸收汽化潜热,从而达到制备冷冻水的目的。将反应堆三回路产生的高温水或蒸汽接入溴化锂吸收式制冷机发生器的换热器中,即可实现溴化锂吸收制冷。其原理见图 3。

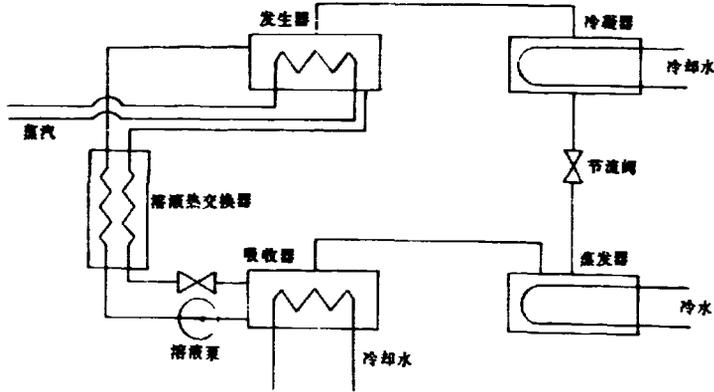


图 3 溴化锂吸收式制冷机原理图

溴化锂吸收式制冷机在我国已有很多厂家生产,双效制冷机最大功率一般为 12.6 GJ/h,需要蒸汽参数为 0.4~0.8 MPa,这个参数对 200 MW 供热堆是可以提供的。据初步推算,一座 200 MW 的低温供热堆制冷面积可达 300 万 m^2 。

为了取得低温堆溴化锂制冷的运行经验,以 5 MW 供热堆为热源,用溴化锂吸收式制冷机制备冷冻水的设备及冷网在我院已经安装完毕,现已开始调试,准备夏天开始制冷试验。该系统采用双效溴化锂制冷机,制冷机的功率为 0.84 GJ/h,其蒸汽参数为 0.6 MPa,制冷面积为 2500 m^2 ,冷冻水的温度为 7~12 $^{\circ}C$ 。

4 核能海水淡化

按照热电联供的原理在发电的同时还可以利用余热进行海水淡化(见图 4)。

一座 200 MW 的低温供热堆,其蒸汽参数同热电联供,在发电 22 MW 的情况下,采用多效蒸发法(即 MED 法)每天可生产淡水 12 万 m^3 ,这方面的论证工作我院正在进行。为了取得核能海水淡化的直接经验,以 5 MW 供热堆为热源,用多效蒸发法(MED 法)结合我院稀土车间含氯化铵的废水溶液处理,模拟海水淡化的实验装置正在进行设计,预计明年该装置可正式建成并投入运行。

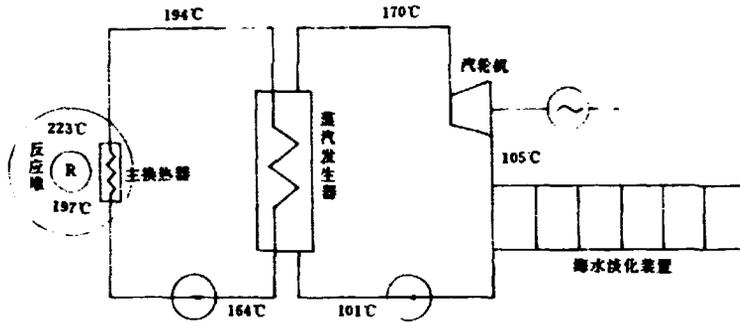


图4 海水淡化系统原理图

目前国际原子能机构(IAEA)正在组织其成员国开展为北非地区海水淡化方面的研究工作,我国 200MW 低温供热堆海水淡化方案得到了北非国家的赞赏。北非地区是淡水奇缺的地区,到 2000 年每天缺水 2100 万 m^3 ,以 200 MW 堆的容量计算则需 100 余座。

我国沿海很多城市例如青岛、天津等淡水也很缺乏,都在寻找淡水水源,因此,低温供热堆用在海水淡化上将有广阔的潜在市场和发展前途。

综上所述,低温核供热堆不仅可以作为北方地区集中供热的热源,而且可以用于工业供汽、热电联供、海水淡化,以及大面积制冷等用途。对低温堆综合利用技术的开发,将会进一步改善低温供热堆的经济性,并扩大其应用领域。

参 考 文 献

- [1] 董铎等. 5MW 低温供热堆热电联供. 清华大学核能技术研究院, 1991.9
- [2] 王大中等. The HR-200 Nuclear Desalination System. 清华大学核能技术研究院, 1991.9
- [3] 董铎等. 5MW 低温供热堆淡化制冷研究. 核动力工程, 1991.12(2)

低温核供热反应堆的综合利用

原子能出版社出版

(北京 2108 信箱)

中国核科技报告编辑部排版

核科学技术情报研究所印刷

☆

开本 787×1092 1/16 · 印张 1/2 · 字数 6 千字

1992 年 11 月北京第一版 · 1992 年 11 月北京第一次印刷

ISBN 7-5022-0767-8

TL · 490

CHINA NUCLEAR SCIENCE & TECHNOLOGY REPORT



This report is subject to copyright. All rights are reserved. Submission of a report for publication implies the transfer of the exclusive publication right from the author(s) to the publisher. No part of this publication, except abstract, may be reproduced, stored in data banks or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher, China Nuclear Information Centre, and/or Atomic Energy Press. Violations fall under the prosecution act of the Copyright Law of China. The China Nuclear Information Centre and Atomic Energy Press do not accept any responsibility for loss or damage arising from the use of information contained in any of its reports or in any communication about its test or investigations.

ISBN 7-5022-0767-8
TL • 490

P.O.Box 2103
Beijing, China

China Nuclear Information Centre