

吸收式热泵技术及应用

XISHOUSHIREBENG JISHU JI YINGYONG

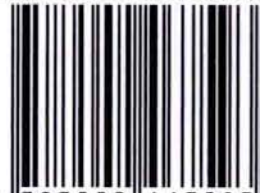
钟晓晖 勾昱君 著



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press



ISBN 978-7-5024-6759-3



9 787502 467593 >

定价29.00元

销售分类建议:能源动力

吸收式热泵技术及应用

钟晓晖 勾昱君 著

北 京
冶 金 工 业 出 版 社
2014

内 容 提 要

我国能源形势和环境问题日益严峻,必须加快开发新能源,提高能源利用效率。吸收式热泵是以热能为补偿,实现从低温向高温输送热量的设备,可以达到余热利用的目的,具有节约能源、保护环境的双重作用。目前,吸收式热泵在工业余热回收利用中的应用越来越广泛。本书从吸收式热泵技术的应用背景和研究进展出发,论述了开式循环吸收式热泵和余热-地热源吸收式热泵的原理、数值模拟和热力学分析,以及吸收式热泵在工业余热回收利用中的应用。

本书可供相关学科的研究人员、技术人员阅读、参考,也可供高等院校动力、能源等相关专业学生使用。

图书在版编目(CIP)数据

吸收式热泵技术及应用/钟晓晖,勾昱君著. —北京:
冶金工业出版社, 2014. 9

ISBN 978-7-5024-6759-3

I. ①吸… II. ①钟… ②勾… III. ①热泵—基本知识 IV. ①TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 217123 号

出 版 人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010) 64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 常国平 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-6759-3

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京佳诚信缘彩印有限公司印刷
2014 年 9 月第 1 版, 2014 年 9 月第 1 次印刷

169mm×239mm; 9.5 印张; 181 千字; 141 页

29.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010) 64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010) 64044283 传真 (010) 64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号 (100010) 电话 (010) 65289081 (兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgy.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

前 言

随着经济社会的发展,人类正面临着可能出现的能源危机以及日益严重的环境污染和生态环境破坏问题。人类生活质量的进一步提高及生存环境的进一步改善,迫切要求解决这两个世界性难题。吸收式热泵是以热能为补偿实现从低温向高温输送热量的设备,可以达到余热利用的目的,具有节约能源、保护环境的双重作用,吸收式热泵在工业余热回收利用中的应用也越来越广泛。

本书从吸收式热泵技术的应用背景和研究进展出发,论述了开式循环吸收式热泵和余热-地热源吸收式热泵的原理、数值模拟和热力学分析以及吸收式热泵在工业余热回收利用中的应用。全书共分5章。第1章介绍了世界能源现状、采用热泵回收余热的意义和热泵技术概述。第2章介绍了溴化锂二元溶液的性质、溴化锂吸收式热泵制热原理、分类和特点。第3章介绍了开式吸收式热泵的应用背景、研究进展、开式吸收式热泵与冷凝方式燃气潜热回收效果的比较、开式吸收式热泵系统的热力学评价和实验研究。第4章介绍了余热-地热源吸收式热泵研究背景、实验研究、热力学分析和地埋管换热性能研究。第5章在吸收式热泵热力过程模拟分析的基础上,介绍了热电联产集中供热三种方式对比分析和汽轮机乏汽余热能综合利用研究。

本书由钟晓晖撰写第1章、第4章、第5章,勾昱君撰写第2章、第3章。

作者在吸收式热泵技术的研究过程中,曾获得河北省自然科学基金

II 吸收式热泵技术及应用

金的资金支持，并且得到了河北联合大学冶金与能源学院老师和领导们的关心，书中的部分内容由赵斌教授提供并整理，在此一并致谢！

由于作者学术水平所限，书中不妥之处，敬请广大读者批评指正。

作 者

2014 年 6 月

于河北联合大学

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	定价(元)
热能转换与利用 (第2版)	32.00
冶金与材料热力学	65.00
金属学及热处理	25.00
金属材料与热处理	32.00
材料热工基础	40.00
冶金炉热工基础	37.00
热工测量仪表 (第2版)	46.00
金属学与热处理	42.00
加热炉基础知识与操作	29.00
钢铁冶金的环保与节能 (第2版)	56.00
钢铁产业节能减排技术路线图	32.00
冶金工业节能与余热利用技术指南	58.00
冶金工业节水减排与废水回用技术指南	79.00
钢铁工业烟尘减排与回收利用技术指南	58.00
冶金工业节能减排技术	69.00
冶金过程污染控制与资源化丛书	
绿色冶金与清洁生产	49.00
冶金过程固体废物处理与资源化	39.00
冶金过程废水处理与利用	30.00
冶金过程废气污染控制与资源化	40.00
冶金企业污染土壤和地下水整治与修复	29.00
冶金企业废弃生产设备设施处理与利用	36.00
矿山固体废物处理与资源化	26.00
电炉炼钢除尘与节能技术问答	29.00
钢铁工业废水资源回用技术与应用	68.00
电子废弃物的处理处置与资源化	29.00
工业固体废物处理与资源	39.00
物理性污染控制	48.00
冶金资源高效利用	56.00

目 录

1 绪论	1
1.1 世界能源现状	1
1.2 采用热泵回收余热的意义	2
1.3 热泵技术概述	3
1.3.1 吸收式热泵在国内外研究进展	3
1.3.2 吸收式热泵在余热回收方面的应用	5
参考文献	6
2 溴化锂吸收式热泵制热原理及分类	7
2.1 溴化锂二元溶液的性质	7
2.1.1 溴化锂二元溶液的一般性质	7
2.1.2 溴化锂二元溶液的热物理性质	7
2.1.3 溴化锂-水二元工质对溶液的腐蚀性	8
2.2 溴化锂吸收式热泵制热原理	9
2.2.1 溴化锂吸收式热泵各部件作用与高、低温制热循环	9
2.2.2 溴化锂吸收式热泵制热原理	12
2.3 溴化锂吸收式热泵的分类与介绍	12
2.3.1 溴化锂吸收式热泵的分类	12
2.3.2 第一类溴化锂吸收式热泵	14
2.3.3 第二类溴化锂吸收式热泵	16
2.4 溴化锂吸收式技术的特点	17
参考文献	18
3 开式吸收式热泵	19
3.1 开式吸收式热泵的应用背景	19
3.2 开式吸收式热泵的研究进展	22
3.3 开式吸收式热泵与冷凝方式燃气潜热回收效果的比较	25
3.3.1 开式循环吸收式热泵系统描述	25

IV 目 录

3.3.2	开式循环吸收式热泵工质的选择及参数确定	26
3.3.3	供暖工况算例	30
3.3.4	流程模拟及结果分析	31
3.4	开式吸收式热泵系统的热力学评价	33
3.4.1	热力学第一定律分析	34
3.4.2	开式循环吸收式热泵系统的焓分析	43
3.5	开式吸收式热泵实验研究	47
3.5.1	开式循环吸收式热泵系统实验装置	47
3.5.2	溶液再生实验	51
3.5.3	溶液吸收实验	53
	参考文献	61
4	余热-地热源吸收式热泵	63
4.1	余热-地热源吸收式热泵研究背景	63
4.2	双源热泵系统实验研究	65
4.2.1	实验台搭建	66
4.2.2	实验控制系统	67
4.2.3	实验方法	68
4.2.4	全工况实验研究	69
4.3	U型埋管换热性能研究	79
4.3.1	实验系统	80
4.3.2	理论分析	81
4.3.3	数值模拟	82
4.3.4	结果分析	87
4.4	双源热泵系统热力学分析	91
4.4.1	评价指标	92
4.4.2	焓效率	93
4.4.3	热泵机组热力学分析	95
4.4.4	U型埋管换热器焓分析	99
	参考文献	100
5	吸收式热泵在工业余热回收利用中的应用研究	102
5.1	研究背景及现状	102
5.1.1	研究背景	102
5.1.2	吸收式热泵回收余热技术	103

5.1.3 螺杆膨胀机回收低温余热技术	104
5.1.4 汽轮机余热能利用现状	105
5.2 吸收式热泵热力学过程模拟分析	107
5.2.1 模拟概述	107
5.2.2 数学模型建立	107
5.2.3 热力学过程模拟计算	110
5.2.4 结果分析	113
5.3 热电联产集中供热三种方式对比分析	115
5.3.1 集中供热三种方式概述	116
5.3.2 循环水吸收式热泵系统余热回收方案	118
5.3.3 循环水吸收式热泵系统数学模型	119
5.3.4 额定工况方案对比	122
5.3.5 最大工况方案对比	127
5.3.6 变工况方案对比	131
5.4 汽轮机乏汽余热能综合利用研究	134
5.4.1 乏汽源余热高效利用	134
5.4.2 乏汽余热回收综合利用系统	135
参考文献	139

1 绪 论

1.1 世界能源现状

进入 20 世纪以来,人类面临着环境与社会发展问题的严峻挑战。在人类文明高速发展的今天,能源已经成为影响人类可持续发展进程的重要因素之一。世界经济的现代化得益于化石能源,如石油、天然气、煤炭与核裂变能的广泛投入与应用。伴随着现代工业的迅速发展,人类对能源的依赖性越来越大。然而,能源消耗的急剧增加导致了环境污染、臭氧层破坏和地球变暖等问题。不仅如此,绝大部分化石能源将在 21 世纪中叶迅速地接近枯竭。据预测,按现有的已探明储备量和开采速度,石油只够开采 50 年,天然气只够开采 60 年,煤炭储量稍微多一些,但也只能开采不到 200 年。化石能源的枯竭必将导致世界经济危机和地区冲突的加剧。实际上,近些年来的中东战争和美军攻打伊拉克等归根到底还是属于能源战争。这种军事冲突在今后还将更猛烈、更频繁。

目前,世界上各个国家使用的能源主要是石油、天然气、煤等一次性不可再生能源,占能源总消耗量的 90% 左右,现有的能源供应和消耗模式是与可持续发展战略背道而驰的。但是,如何以可持续发展的方式满足人类日益增长的能源需求成为了难题。改善能源结构、开发利用新能源和提高能源利用率成为了能源、经济、环境和社会可持续发展的必经之路。我国的能源现状可以概括为总量丰富,但人均不足。中国是发展中国家,人口众多,人均能源资源相对匮乏。其中,煤炭居主导地位。2010 年,中国煤炭探明可采储量为 1145 亿吨,占世界的 13.3%,位居世界第三,仅次于美国和俄罗斯;石油资源丰富,2011 年基础储量约为 2158 亿吨,产量仅为 32 亿吨,占基础储量的 1.48%;2011 年天然气基础储量为 4 万亿立方米,产量只有 1025 亿立方米,占基础储量的 2.56%。中国的水资源十分丰富,其理论蕴藏量相当于 6.19 万亿千瓦时的年发电量,占世界水力资源量的 12%,居世界首位;2010 年中国核电产量为 738.8 亿千瓦时,占全球的 2.7%,位居世界第九;2011 年比 2010 增长 16.9%、达到 863.9 亿千瓦时。按目前估计,中国拥有世界第三位的煤炭探明可采储量,第一位的水力资源蕴藏量和第九位的核电产量^[1]。但是,中国的单位 GDP 能耗却很高,为发达国家的 4~6 倍。中国每公斤标煤 GDP 仅为 0.36 美元,日本为 5.58 美元,是我国的 15 倍^[2]。

目前我国是世界第二大能源消费国,能源年产量以4%~5%的速度增长,而这样的增长速度还远远满足不了国民经济发展的需要,供需矛盾日益显现。全国各地频频传出有拉闸限电的报道。自1990年以来,我国的煤炭产量一直稳居世界第一。2013年我国全年发电量达到了5.24亿千瓦时,是美国的1.3倍。煤炭作为燃料直接燃烧掉是一种极大的浪费,而且还会对环境造成严重的污染。在用煤炭发电的过程中会产生大量的 CO_2 、 SO_2 和粉尘,对大气环境造成严重的破坏,并加剧了温室效应,产生大面积的酸雨,破坏我国的生态环境。2013年年初以来,我国中东部地区出现了严重的雾霾天气,特别是北京、天津、西安等大城市的雾霾现象尤为严重。雾霾产生的原因很多,主要原因包括汽车尾气排放、城市建设污染、煤炭排放等。雾霾最严重的城市同时也是堵车最严重的城市,如北京、上海,当然不是偶然,但是治理汽车尾气如油品升级不会很难;城市建设污染也是可控的。 $\text{PM}_{2.5}$ 是形成雾霾最重要的直接内因,而二氧化硫、氮氧化物及烟尘又是形成 $\text{PM}_{2.5}$ 最重要的污染物。2012年我国二氧化硫排放总量2118万吨,氮氧化物排放2338万吨,烟尘排放1234.3万吨。美国环保局数据表明,美国2012年二氧化硫排放为562万吨,氮氧化物排放1116万吨,烟尘排放约为443万吨。欧洲环境署给出的2011年数据中,欧盟28国二氧化硫排放458万吨,氮氧化物排放884万吨,烟尘排放487万吨。可见,我国的排放是美国和欧盟28国的2~3倍,其中二氧化硫排放接近欧盟28个国家总和的5倍。这样的排放背景下,雾霾很难避免。而煤炭消费正是中国三大污染物排放的主要来源。世界上有一半的煤炭在中国燃烧,我国二氧化硫、氮氧化物及烟尘的排放绝大部分来自于煤炭燃烧。我国2013年煤炭消耗占一次能源比重达66%,而美国和日本煤炭消耗在一次能源中一直维持在25%左右。在我国煤炭消耗中,大约一半用来发电,虽然目前的燃煤发电减排技术已经相当成熟,但由于煤炭消费的基数庞大,导致每年的排放量依然非常惊人。按照目前燃煤发电的节能减排技术,二氧化硫、氮氧化物以及烟尘的减排效率分别可以达到95%、70%~90%和99%。但即使有这样的减排技术,燃煤发电每年还是排放了二氧化硫884万吨、氮氧化物949万吨以及烟尘156万吨。仅燃煤发电排放的二氧化硫和氮氧化物就几乎占到了总排放量的一半^[3]。目前,我国在短期内还无法大规模替代煤炭,那么,雾霾治理政策的另一个关注点应该是低阶煤提质和煤的清洁利用^[4~5]。因此,面临着如此严峻的能源和环境形势,我们必须加快开发新能源,提高能源利用效率。

1.2 采用热泵回收余热的意义

目前世界上能源利用率较高的国家有日本(57%)、美国(51%)、欧盟(40%以上)。即使是工业发达国家,他们的能源利用率也不是很高,有40%~60%的热量被浪费掉。而我国的能源利用率与发达国家相比差距较大,能源利用