

广义热泵论

GUANGYI REBENGLUN

◎ 肖三生
张瑞芝
编著

中国建筑工业出版社

广义热泵论

肖兰生 张瑞芝 编著



中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

广义热泵论/肖兰生, 张瑞芝编著. —北京: 中国建筑工业出版社, 2017. 5

ISBN 978-7-112-20640-7

I. ①广… II. ①肖… ②张… III. ①热泵—研究
IV. ①TH3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 069764 号

本书阐述了狭义热泵概念的历史成因, 以及与之相对应的广义热泵概念提出的必然, 并在广义热泵概念之下, 将通常的空调制冷技术理论, 与热泵技术理论有机地揉合在一起, 统而论之, 名曰《广义热泵论》。

本书共 15 章, 以电力驱动的蒸气压缩式热泵为基本内容。第 1~3 章叙述了热泵定义, 热泵分类, 热泵热源与工质, 蒸气压缩式热泵的热力学基础与热泵机组构成的基本器件。第 4~6 章分别叙述了大气/空气源热泵, (含大气—空气热泵、空气—空气热泵及大气—水热泵); 水源热泵 (含水—空气热泵及水—水热泵), 以及直接式埋地管热泵等。第 7 章叙述了热泵的输出调节 (含电机调速及压缩机内设调节装置两种方式), 以及热泵的冷热功能转换 (含利用四通换向阀与利用外部水关阀门的开关两种方式)。第 8 章叙述了水源热泵系统的定义、构成及分类。第 9~15 章分别叙述了各类水源热泵系统: 埋地管热泵系统, 地下水水源热泵系统, 地表水源热泵系统, 城市污水水源热泵系统, 城镇污水处理厂再生水源热泵系统, 火电厂冷却水源热泵系统, 以及水环热泵系统等的构成及应用。

本书在广义热泵概念之下将热泵 (制冷机) 的制冷技术理论, 与热泵的制热技术理论, 统一起来进行综合论述。编排独到, 内容新颖, 系统全面。可供暖通空调专业技术人员及大专院校师生参考。

责任编辑: 杜洁 张文胜

责任设计: 谷有稷

责任校对: 李欣慰 张颖

广义热泵论

肖兰生 张瑞芝 编著

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)

各地新华书店、建筑书店经销

霸州市顺浩图文科技发展有限公司制版

北京建筑工业出版社印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10 字数: 250 千字

2017 年 10 月第一版 2017 年 10 月第一次印刷

定价: 32.00 元

ISBN 978-7-112-20640-7

(30213)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

序 言

《广义热泵论》的两位作者，在长期从事暖通空调专业设计的同时，始终关注空调用热泵理论的发展。在“2005年全国空调与热泵节能技术交流会”上提交的《空调用热泵概论》的论文中，首次提出广义热泵的概念。

所谓的广义热泵，作者将其定义为：“在某种动力的驱动下，可连续地使热由低温物体（或介质）传向高温物体（或介质），并用以制冷或制热的装置。”即，“热泵的功能包括制冷、制热、制冷制热按需轮换、制冷制热同时进行（热回收）等。”而相对应的狭义热泵概念，忽略了热泵中热由低温侧被泵送至高温侧的实质，只着眼于热泵的用途。因此，按照狭义热泵的概念，只在用于制热或制热兼制冷时才称其为热泵，而在单纯制冷时则称其为制冷机。

作为人工冷源的无可替代性，制冷机发明百年来，备受青睐。而其所具备的制热功能，却长期以来没有得到应用。直到20世纪70年代之后，能源短缺以及大气污染的日趋严重，人们才开始对热效率相对较高，能够利用低温的、可再生能源的热泵的制热功能重视起来。

正所谓存在决定意识，制冷技术理论历经百年的发展，已十分全面系统，而对于热泵则鲜有论述。在我国，20世纪80、90年代之后，才在制冷技术理论的教科书和工具书中附加热泵章节，或者另出热泵专著。但这些附加的章节或专著，其重点均在于论述热泵的制热功能。这种制冷技术理论先入为主，制冷与制热分开叙述的状态，不仅直接导致了狭义的热泵概念，更重要的是使整个热泵的理论体系缺乏系统性，而每一部分又都是不完善的。为此，作者在发表于2011年第四期《暖通空调》杂志的《关于空调用热泵的若干概念辨析》的论文中，表达了“在暖通空调领域确立广义热泵的概念，并在这一概念的指导下进行理论著述”的愿望和建议。

此后，作者开始搜集相关资料，按着广义热泵的理念，把制冷的技术理论与有关的热泵论述揉和在一起，写出了这本《广义热泵论》。

翻阅这本《广义热泵论》，确实给人以耳目一新的感觉。书中对于热泵定义、热泵分类、热泵热源（汇）、热泵工质、热泵的热力学基础、热泵能效、大气源热泵机组、水源热泵机组及其应用系统、热泵工况转换及输出调节等的论述，均有独到之处。且在上述叙述中，包含了热泵的各种工况，如：制冷、制热、热回收、冰蓄冷、自由冷却等；各种模式，如：单级压缩、双级压缩、三级压缩、准双级压缩等。

热泵装置中，一个循环，两种效应。以低温侧为负荷端，热泵处于制冷工况；以高温侧为负荷端，热泵处于制热工况。但由于在历史上应用时间的前后差距，而导致其理论上的分离，在空调用热泵领域是一件令人深感遗憾的事情。作者为改变这一局面，做了有益的尝试。编写期间，批阅文献，串联章节，斟酌定义，推敲用语。历经4年，几易其稿，始告完成。在此谨向两位作者表示祝贺。

赵先智

2016年10月10日

前 言

在威尔金森 (Wilkinson. P) 所著《百大发明》一书中, 电冰箱榜上有名。电冰箱的核心其实是制冷机, 制冷机的发展迄今已百余年。早在 1834 年, 美国波尔金斯 (Perkins) 发明了第一台以乙醚为制冷剂的蒸气压缩式制冷机。1859 年法国人卡列 (Carre) 发明了氨—水吸收式制冷机。1875 年卡列 (Carre) 和林德 (Linde) 发明了以氨作为制冷剂的氨蒸气压缩式制冷机, 成为现代压缩式制冷机的发端。由于天然冷源及其作用十分有限, 而制冷机又是人工冷源的唯一选择, 因此深受重视并不断发展。之后, 于 20 世纪 30 年代始逐步改用氟利昂制冷剂, 20 世纪 80 年代末始逐步使用无氯氟利昂的制冷剂。制冷机的核心设备压缩机也在活塞式之外先后发明了离心式、螺杆式、滚动转子式及涡旋式等。

制冷机的原理是, 在某种动力的驱动下——使热由低温侧传至高温侧, 在低温侧由于热的失去而达到制冷的目的, 而传至高温侧的热被冷却水或空气带走而未加利用。

其实, 制冷机高温侧因热的获得而产生的制热效应, 也应该是可以利用的, 这一点在 1824 年法国人卡诺 (S. Carnot) 发表的逆卡诺循环理论中已有原则揭示。而在 1854 年初开尔文 (L. Kelvin) 也曾提出: 冷冻装置可以用于加热。

冷冻装置在用于加热时, 通常被称作热泵。

热泵的高温侧, 在为空调等用户供热时, 其低温侧用于制冷, 或单纯为热泵的供热运行提供热的来源, 即所谓的低温热源。

根据逆卡诺循环理论, 热泵在制热时有着较高的能效, 其制热系数永远大于 1, 且在某些场合要远大于 1。

但是, 由于热可以用柴草、煤炭及油、气的燃烧比较方便地取得, 不必斥资购置精密的“制冷机”, 并耗费在当时而言仍比较宝贵的电能。长期以来, 制冷机的制冷功能在生产及生活的各项领域——包括空调冷源在内, 应用广泛。而其制热功能的应用, 要滞后和少了许多。20 世纪 70 年代的石油危机之后, 人们才开始对能效相对较高, 可以利用低品位、可再生能源的“制冷机”供热——热泵, 重视起来。

正所谓存在决定意识, 制冷技术理论历经百余年的发展, 已十分全面系统。而对于热泵则鲜有完整的论述。在我国, 20 世纪 80 年代之后, 才在制冷技术的教科书或工具书中附加热泵章节, 或另出专著。而这些附加的热泵章节或热泵专著, 重点均在于论述其制热功能。这就在理论著述和习惯上形成了一个狭义的热泵概念, 即以制冷为目的时称为制冷机, 以制热为目的或制热、制冷双功能时才称为热泵。其实, 热泵称谓的实质在于热从低温侧向高温侧的泵送——提升与传输, 而不应在于其是否用于制热。热泵在运行时, 制冷与制热两种效应同时并存。在工程应用中, 或用其制冷, 或用其制热, 或制冷与制热按需 (或季节) 轮换, 或制冷与制热同时进行。在应用其制冷时, 通常称为制冷机。但制冷机也是热泵的一种, 是用于制冷的热泵。相对而言, 这是一种广义的热泵概念。为还热泵的

本来面目，应该在暖通空调领域内确定这种广义的概念，并且在该概念的指导下，进行热泵理论的诠释与著述。因为那种历史形成的、狭义概念之下的制冷机与热泵分割开的论述方式，难免出现重复、衔接不顺，以及含混之弊病。

鉴于上述，作者意在广义热泵概念的指导下，将通常的制冷技术理论和相关的热泵论述，有机地揉合在一起，统而论之，名曰《广义热泵论》。

本书内容主要在于：一是构建起广义热泵的框架体系，拟定章节，编排内容；二是选择、斟酌、推敲定义及用语，以适应广义热泵概念的要求。十分幸运，国内外的业界学者已在其空调制冷技术以及热泵的理论著述中，从理论基础、设备构造、系统组成以及实际应用等各方面，均做出了较为充足的储备。作者则需按照广义热泵的概念，借助前人的理论基础，完成著述编写的任务。全书共 15 章，内容包括了热泵理论基础、热泵分类、热泵功能、热泵冷热量输出调节及功能转换以及水源热泵系统等。

按照工作原理，热泵可以分为蒸气压缩式、蒸汽喷射式及吸收式等。蒸气压缩式热泵还有电力驱动、内燃机驱动等。限于篇幅，本书仅以暖通空调领域内的、应用最为广泛的、电力驱动的蒸气压缩式热泵作为基本内容。

限于作者水平，且因在广义热泵的概念及其学术用语等方面无先例可循，疏漏之处在所难免，欢迎批评指正。对为本书提供宝贵理论支持的各位学者，对参与本书文稿打字、插图绘制及编排做出贡献的同志们，对协助完成电子稿件编排和调整的我的女儿肖隽一并表示感谢！

肖兰生 张瑞芝
2016 年 5 月 27 日

目 录

第1章 概论	1
1.1 热泵定义	1
1.2 热泵的热源	1
1.2.1 热泵热源的一般要求	1
1.2.2 常用热源	5
1.3 热泵工质及冷热媒介	5
1.3.1 热泵工质	5
1.3.2 冷热媒介	6
1.4 热泵机组的分类	7
1.4.1 按工作原理分类	7
1.4.2 按配置的蒸汽压缩机形式分类	7
1.4.3 按动力分类	7
1.4.4 按功能分类	8
1.4.5 按热源或热源端媒介以及负荷端媒介的组合分类	8
第2章 蒸汽压缩式热泵机组的热力学基础	10
2.1 蒸汽压缩式热泵机组的典型流程	10
2.2 逆卡诺循环	10
2.3 蒸汽压缩式热泵的理论循环	11
2.4 双级压缩模式	12
2.5 准双级压缩模式	14
2.6 三级压缩模式	17
2.7 热回收模式	18
2.8 冰蓄冷模式	19
2.8.1 全量蓄冷与非全量蓄冷	20
2.8.2 间接式冰蓄冷的系统形式	21
2.8.3 冰蓄冷系统的主要设备	21
2.9 “自由冷却”模式	23
2.10 热泵的能效指标	24
2.10.1 热泵的性能系数 COP (Coefficient of Performance)	24
2.10.2 热泵机组的能效比 EER (Energy Efficiency Ratio)	27
2.10.3 热泵 (冷水机组) 的综合部分负荷性能系数 $IPLV$ (Integrated Part Load	

Value)	27
2.10.4 冷水机组的季节部分负荷性能系数 <i>SPLV</i> (Seasonal Part Load Value)	30
2.10.5 房间空调器的能效评价标准 <i>SEER</i> 、 <i>HSPF</i> 及 <i>APF</i>	33
2.10.6 多联式空调机的能效评价标准	35
第3章 蒸气压缩式热泵机组的主要器件	37
3.1 热泵的压缩机	37
3.1.1 压缩机的分类	37
3.1.2 各种压缩机的结构特征	37
3.2 冷凝器	39
3.3 蒸发器	40
3.4 冷凝/蒸发器	40
3.5 节流机构	41
第4章 大气/空气源热泵机组	43
4.1 大气源的特点	43
4.2 大气源热泵的补充加热	44
4.3 关于“风冷北扩”	44
4.4 大气—空气热泵机组	45
4.4.1 整体式空调机组	45
4.4.2 分体式机组	46
4.5 空气—空气热泵机组	58
4.6 大气—水热泵机组	60
4.6.1 整体式大气—水热泵机组示例	60
4.6.2 模块式大气—水热泵机组	61
4.6.3 热回收机组示例	63
4.6.4 低环境温度机组示例	68
第5章 水源热泵机组	71
5.1 水—空气热泵机组	71
5.1.1 水冷单元式空调机	71
5.1.2 水源热泵空调机	72
5.1.3 水源多联式空调机	74
5.2 水—水热泵机组	76
5.2.1 整体式水—水热泵机组示例	77
5.2.2 模块式水—水热泵机组示例	79
5.2.3 热回收式水冷冷水机组	82

第 6 章 直接式地埋管地源热泵机组	86
6.1 概述	86
6.2 直接式地埋管地源热泵机组的发展现状	86
6.3 直接式地埋管地源热泵机组的构成	87
6.3.1 地—水热泵机组	87
6.3.2 地—空气热泵机组	87
第 7 章 热泵的输出调节及功能转换	88
7.1 热泵的冷热量输出调节	88
7.1.1 改变电动机转速的调节方式	88
7.1.2 压缩机内设调节装置的方式	89
7.2 热泵的冷热功能转换	89
7.2.1 利用四通换向阀的转换方式	89
7.2.2 利用外接水管阀门的转换方式	92
7.2.3 多联式空调机室内机的功能转换	93
第 8 章 水源热泵系统	95
8.1 水源热泵系统的定义	95
8.2 水源热泵系统的分类	95
8.3 水源热泵系统的构成	95
8.4 直接式与间接式系统	97
第 9 章 地埋管热泵系统	99
9.1 地埋管热泵系统的特点	99
9.2 地埋管热泵系统的发展	99
9.3 地埋换热管的形式	100
9.4 地埋换热管的连接	100
9.5 地埋换热管的管材选用	101
9.6 地埋换热管的换热面积计算	102
9.7 释热与吸热的平衡	104
9.8 复合系统	105
第 10 章 地下水源热泵系统	107
10.1 概述	107
10.1.1 地下水源热泵系统的特点	107
10.1.2 地下水源热泵系统的应用	108
10.2 抽水井	108
10.2.1 井室	109

10.2.2	井管	109
10.2.3	滤水管及其附加滤层	110
10.2.4	洗井与水量的确定	113
10.2.5	井泵的选型	114
10.3	回灌井	114
10.4	回扬以及抽灌两用井	115
10.5	井位布置及供回水管道	116
10.5.1	井位布置原则	116
10.5.2	供回水管道	117
10.6	直接式与间接式系统的选用	117
10.7	同井抽灌	117
第 11 章 地表水源热泵系统		119
11.1	地表水源热泵系统的分类	119
11.1.1	水下盘管换热式地表水源热泵系统	119
11.1.2	水泵取送式地表水水源热泵系统	119
11.2	地表水源热泵系统的特点	119
11.3	地表水源热泵系统的应用现状及前景	120
11.3.1	应用现状	120
11.3.2	应用前景	121
11.4	水下换热盘管	121
11.4.1	水下换热盘管的形式	121
11.4.2	水下换热盘管的管材	122
11.4.3	水下换热盘管的设计计算	122
11.5	地表水取水设施	123
11.5.1	地表水取水设施的构成	123
11.5.2	地表水取水设施的选址	125
11.6	地表水的回水设施	125
第 12 章 城市污水源热泵系统		127
12.1	城市污水源热泵系统的开发	127
12.2	城市污水源热泵系统的技术要点	128
12.2.1	污水过滤装置	128
12.2.2	污水换热器(冷凝/蒸发器)	129
12.2.3	关于直接式与间接式系统	129
12.2.4	应用前景展望	130
第 13 章 城镇污水处理厂再生水源热泵系统		131
13.1	再生水水质标准	131

13.2	再生水的温度状况	133
13.3	再生水的水量	133
13.4	再生水源热泵应用于供暖及空调	133
13.5	再生水源热泵应用于污泥厌氧处理	136
13.6	再生水源热泵应用于曝气池水加热	137
第14章 火电厂冷却水源热泵系统		139
14.1	应用	139
14.2	系统图式	139
14.2.1	单纯供热系统图式	139
14.2.2	供热供冷系统图式	140
14.2.3	使用吸收式热泵的系统图式	141
14.2.4	对锅炉给水实施反馈加热的热泵系统图式	141
14.2.5	供暖兼对锅炉给水加热的热泵系统图式	141
第15章 水环热泵系统		143
15.1	水环热泵系统的构成及运行方式	143
15.2	水环热泵系统的特点	143
15.3	水环热泵系统的应用	144
15.4	水环热泵系统的主要设备选型	145
15.4.1	水—空气热泵机组	145
15.4.2	排热装置	145
15.4.3	加热装置	146
15.4.4	蓄热水箱	146
15.4.5	循环水泵	146
15.4.6	定压补水装置	146
15.4.7	自动控制	147
参考文献		148

第1章 概论

1.1 热泵定义

众所周知，人往高处走，水往低处流。人往高处走是一句励志的格言，而水往低处流则是一种自然现象。如欲将水提升或传输时，则必须依靠某种动力驱动的水泵。同样道理，热可以从高温物体自发地传向低温物体。而欲使热从低温物体传向高温物体，也必须依靠某种动力驱动的特定装置——热泵。这也就是按克劳修斯（Clousuis）所阐述的热力学第二定律：热不可能从低温物体传递到高温物体而不引起其他变化，即热不可能自发地、不付代价地从低温物体传递到高温物体。

热泵在将热由低温物体传向高温物体的过程中，在低温物体的一端，由于热的失去而产生制冷效应；而在高温物体一端则由于热的获得而产生制热效应。因此，在热泵的工作过程中，制冷与制热两种效应并存。概括地说，就是一个循环，两种效应。但在实际应用中，或用其制冷，或用其制热，或用其按季节（或按需求）轮换制冷和制热，或用其同时制冷和制热。

鉴于上述，可以得出热泵的定义是：在某种动力的驱动下，可连续地使热由低温物体（或媒介）传给高温物体（或媒介），并用以制冷或制热的装置。热泵一般由多个器件组成。以蒸汽压缩式热泵为例，其组成部件包括了压缩机、冷凝器、节流装置及蒸发器等。因此，热泵也称为热泵机组。

1.2 热泵的热源

热泵的理想循环——逆卡诺循环，明确说明是在高温热源及低温热源之间发生的。可见，热源在热泵的热力循环中是不可或缺的。

然而，逆卡诺循环中的热源是抽象的。在实际的运行中，制冷兼制热者除外，根据空气调节系统的需求为之供热或供冷的一端称为负荷端，另一端吸收或放出热量称为热源端。负荷端依据空气调节系统的需求进行制热时，热源端则要从热源——逆卡诺循环中的低温热源吸收热；而负荷端依据空气调节系统的需求进行制冷时，热源端要将负荷端所传输过来的热排至热源——逆卡诺循环中的高温热源。

由此可见，热泵的热源根据其功能的不同具备两个作用：其一，在热泵制热时向热泵供给热量；其二，在热泵制冷时则需吸纳热泵的排热。在向热泵供给热量时，称为热源理所当然。而在吸纳热泵的排热时，则应称其为热汇。但考虑到对于冷热双功能热泵而言，热源与热汇一体，难以区分。因此有时将二者统称为热源，权当热源所供热量为代数值。即，热源的作用在于提供正值热量或负值热量。

1.2.1 热泵热源的一般要求

1. 热泵热源的低品位、可再生属性

我国的很多城市,雾霾天气的日数不减,PM2.5的浓度居高不下,大气污染相当严重。据全球数据库 NUMBEO 网站 2015 年 2 月 2 日披露,在参与调查的 135 个国家与地区空气质量的排名中,中国位居第 126 位,足见节能减排之任重道远。暖通空调专业作为用能大户,节省能源,减少温室气体以及粉尘的排放,保护环境,应该是责无旁贷。而使用热泵供热,被学者和有识之士认为是重要举措之一。

热泵的制热原理,是在某种动力驱动下,利用热源端的蒸发器从低品位的热源中提取热量,传输至负荷端加热空气或水,得到较高温度的供暖空调使用的热媒。热泵所供给的热量为从低温热源提取的热量与热泵驱动的能耗之和。因此其制热系数要永远大于 1。但所用热泵欲达到节能的目的,必须做到:第一,热泵制热系数须大于某一临界值。若用电力驱动的热泵供热与效率为 0.7 的燃煤锅炉相比,假设为燃煤火力发电,发电与输电的总效率为 0.31,热泵制热系数的节能临界值应为 2.25;第二,热泵的热源应该是低品位的、可再生的。

(1) 热泵热源的低品位属性

热媒,是供暖及通风空调加热所不可或缺的。根据供暖及通风空调加热的末端装置的不同,对于热媒温度有着不同的需求。一般为:散热器供暖,水温 $\geq 80^{\circ}\text{C}$;地面辐射供暖,水温 $\geq 50^{\circ}\text{C}$;地面辐射供暖(使用毛细管为加热管),水温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$;通风空调加热,水温 $\geq 50^{\circ}\text{C}$ 。由此可见,在水的温度低于 35°C 时,已不能直接用于供暖或空调加热。

对于地下水、地表水以及大气等,其温度远低于 35°C 。虽已不能直接作为供暖及通风空调加热的热源,但其中仍含有大量的、数量不等的热能。只是长期以来,这些低温热能被弃置不用,白白浪费掉了。自从热泵发明之后,人们才有可能以这种低温的水、大气等作为热泵热源——一般称之为低品位热源、或低位热源、或低温热源。也正因为这一热源的低温属性,在使用制热与制冷双功能热泵时,还有可能在夏季热泵制冷运行时作为热汇,同化热泵热源端释放出的冷凝热。

(2) 热泵热源的可再生能源属性

为推动可再生能源的广泛应用,减少石化能源的消耗以及温室气体、粉尘等的排放,我国早在 2006 年就颁发了《中华人民共和国可再生能源法》。对于可再生能源,该法做了如下界定:“可再生能源,是指风能、太阳能、水能、生物质能、地热能等非石化能源”。这些非石化能源,除其在利用上是非一次性的、可再生的之外,无排放也是其优点之一。因此,可再生能源也被誉为清洁能源。

在热泵的常用热源中,其所含热量有的来自太阳能,例如:大气、地表水、地下水、浅层地壳岩土等;有的来自地热能,例如地热尾水;而生产废水或生活污水所含热量,则主要来源于在工业和生活的使用过程中所加热量的残留。这些热源,不消耗石化能源,或虽可能消耗石化能源,但系在其排放之前的使用过程之中。而且,其温度状态的呈现或热源本身的供给可每年周而复始,从无间断。因此,可以称为另一种形式的清洁的、可再生能源。

2. 热源的温度要求

作为热泵的热源和热汇,其温度应能满足以下条件:①应能适合于热泵的制冷工况或制热工况的需求;②应能使热泵运行有尽可能高的性能系数;③应能保证热泵正常、安全的运行。

(1) 仅在夏季运行的单冷式热泵

单冷式热泵，即水冷、风冷冷水机组以及各种水冷、风冷空调器，一般只在夏季运行。在以大气为热源（汇）时，在全国各地的大气温度之下均可正常运行；在以水为热汇时，多采用配备有冷却塔的冷却水系统为热泵热源端的冷凝器供应冷却水。冷凝器的进出口水温据当地气候条件的不同，一般为 $30\sim 35^{\circ}\text{C}$ 或 $32\sim 37^{\circ}\text{C}$ 。单冷式水源热泵机组采用配备冷却塔的冷却水系统，经济适用，技术合理，一般不会另寻热汇。少数场合因不适宜于设置冷却塔，或使用其他热源水有方便条件时，也有使用地表水（海水或江河湖水）作为热泵热汇的实例。地表水的温度，在夏季一般不会高于 30°C 。在直接使用时要优于配备冷却塔的冷却水系统。

(2) 仅在冬季运行的单热式热泵

仅在冬季运行的、单纯供热的热泵，以大气作为热源时，使用正常的单级压缩的压缩机，温度一般不宜低于 -10°C 。使用喷气增焓压缩机或双级压缩的压缩机时，可低至 -20°C 。在以水作为热源时，应以热泵热源端蒸发器的出口水温不低于其冰点——淡水为 0°C ，海水约为 -2.8°C 为原则。在地理管热泵系统中，热源为岩土，其媒介水应视具体的温度需求确定是否加入以及加入多大比例的乙二醇等防冻剂。

(3) 冬夏季分别运行的冷热双功能热泵

对于冬季制热、夏季制冷的双功能大气源热泵，在夏季以大气作为热汇，在全国各地的大气温度之下都可以正常运行。在冬季以大气作为热源时，单级压缩时大气温度不宜低于 -10°C 。使用喷气增焓压缩机或双级压缩的压缩机时，可低至 -20°C 。在以夏季制冷负荷选定机型，冬季热负荷不能满足需求时可视具体情况考虑辅助加热措施。

对于冬季制热、夏季制冷的双功能水源热泵，热源水的温度应既能满足冬季制热的需求，又能满足夏季制冷的需求；在夏季以水作为热源时，其温度一般应在 32°C 以下；在冬季以水作为热源时，应以热泵热源端蒸发器的出口水温不低于其冰点——淡水为 0°C ，海水约为 -2.8°C 为原则。在地理管热泵系统中，热源为岩土，其媒介水应视具体的温度需求确定是否加入以及加入多大比例的乙二醇等防冻剂。

作为热泵的热源，应该取用方便，低花费或无花费。有可以连续供给的、足够的数量。

各种水类热源，通过管道引入热泵机组热源端的蒸发/冷凝器，与其中的热泵工质进行热交换，然后排出。为保证输送管道的畅通，特别是换热面的清洁，使热交换正常、高效地进行，希望热源水有尽量好的水质。不含或少含杂质及污染物质，不含对金属的腐蚀性物质。但实际选用的各种热源水的水质往往与期待值有较大差距。因此，必须做到以下各点：

(1) 视热源水的不同水质，在蒸发/冷凝器进水管道上设旋流除砂、除藻、过滤等装置。热源水与暖通空调的各种循环水相比，水质较差且为直流式，过滤装置的负担较大，Y形过滤器已不适用。应使用有较大面积的滤网，容污量较大的过滤器，且在必要时配置有自动清洁机构。

(2) 在热泵机组热源端配备常规的蒸发/冷凝器，而水质明显较差时，如热源水为城市污水或海水等，往往采用间接式系统——设有由换热器及循环泵等组成的中间环节。以避免热泵机组热源端的蒸发/冷凝器被热源水污染或腐蚀。如使用城市污水时，中间换

热泵常用热源(汇)有关特点表

表 1-1

热源名称	大气	地下水	地表水	土壤	太阳能热水	工业废水	城市污水	城市污水的再生水	冷却塔冷却水	水环热泵系统的循环水
热能来源	来自太阳能	来自太阳能	来自太阳能	来自太阳能	来自太阳能	来自余热	来自余热	来自余热	散至大气	来自相邻房间及辅助加(散)热装置
作为热源(汇)的适用性	良好	良好	良好	一般	良好	良好	一般	良好	良好	良好
温度变化	激烈	稳定	波动较小,但冬夏差别较大	稳定	波动较大	基本稳定	波动较小,冬夏差别较大	波动较小,冬夏差别较大	随气温变化	按需控制
适用场所	unlimited	有地下水蕴藏的地方	沿河、沿海	基本 unlimited	unlimited	邻近工业废水产生地	邻近城市污水干道	邻近城市污水干道	unlimited	有内外区的建筑物
作为热源的适用地区	夏热冬冷地区	严寒、寒冷、夏热冬冷地区	寒冷(海水)、夏热冬冷地区	严寒、寒冷、夏热冬冷地区	严寒、寒冷、夏热冬冷地区	严寒、寒冷、夏热冬冷地区	严寒、寒冷、夏热冬冷地区	严寒、寒冷、夏热冬冷地区	—	寒冷、夏热冬冷地区
作为热汇的适用地区	unlimited	做热源兼做热汇	unlimited	做热源兼做热汇	—	做热源兼做热汇	做热源兼做热汇	做热源兼做热汇	unlimited	做热源兼做热汇
应用规模	小—中	中—大	中—大	小—中	小	中—大	小—中	中—大	小—大	中
特有问题	制热时蒸发器会结霜,气温低时性能系数降低,甚至无法启动,制热制冷均存在“逆反效应”	地下水应确保全部回灌到同一含水层,且不得受到污染	使用海水时应采取措施防止腐蚀	冬夏季、冬吸热量应平衡	由于太阳能辐射强度昼夜变化,应设有蓄热水箱	—	水质恶劣,应对进入污水进行初级净化,蒸发/冷凝器或换热器应能可靠清洁	为保证再生水水质,污水处理厂应始终正常运行	适用于单冷式水—水热泵及水—空气热泵	建筑物应有内、外区,以体现其热回收的功能

热器应能从外部人工清理，或在其内部设自动清洁装置；如使用海水时，换热器应采用耐受海水腐蚀的金属材料制作。

(3) 水源热泵系统的直接式系统与间接式系统相比，节省了一套中间换热系统，且其热泵的性能系数也较高，理应优先采用。在热源水质较差的情况下，热泵机组应量体裁衣，针对不同热源水的水质，配备不同材质及构造的热源端蒸发器/冷凝器。如同上述的间接式系统的中间换热器，在使用海水作为热源时采用耐受海水腐蚀的金属材料制作；在使用城市污水作为热源时，其蒸发/冷凝器应设自动清洁装置。

1.2.2 常用热源

1. 热源分类

凡符合上述要求的气态、液态或固态物体均可作为热泵热源，常用的热泵热源分类如下：

按热源所含热能的来源（或散出）分：①热能来自太阳能，如地下水源、地表水源、土壤源及太阳能热水。地下水源、地表水源及土壤属于地球的组成部分，也统称为地源；②热能来自地热能，如地热尾水；③热能来自工业及生活排水中的余热，如工业废水源、城市污水源及城市污水的再生水（中水）源；④热能来自相邻房间、辅助加（散）热装置，如水环热泵系统中的循环水；⑤热能用冷却塔散至大气的冷却水，应用于单冷式水—水、水—空气热泵机组。

2. 热泵常用热源（汇）特征

表 1-1 扼要地载入了热泵各种常用热源的特征。关于各种常用热源的详细论述，见本书第 4 章及第 9~15 章有关部分。

1.3 热泵工质及冷热媒介

1.3.1 热泵工质

若将压缩机比作蒸气压缩式热泵的心脏，那么工质就是热泵的血液。所谓的蒸气压缩式热泵，其中的蒸气即蒸气状态的工质。气态工质经压缩后进入冷凝器向高温物体（或媒介）放热凝结成液态，经节流减压进入蒸发器由低温物体（或媒介）吸收热气化为低压蒸气并再次进入压缩机。依靠工质的这一循环，完成热由低温物体（或媒介）向高温物体（或媒介）的传输。

工质也被称为制冷剂，特别是在制冷技术中。但对于热泵而言，制冷及制热功能兼备，称为制冷剂不如工质确切。

自 20 世纪 30 年代始，空调用热泵所使用的工质为氟利昂 R11、R12 及 R22 等。与第一代的 NH_3 等工质相比，被认为是稳定、安全且热工性能良好的工质。广泛应用在离心式、活塞式及螺杆式热泵中。但在 20 世纪 70 年代，有学者发现氟利昂中的氯原子对臭氧层有巨大消耗，并称在南极上空的臭氧层已因此出现空洞。对臭氧层的耗损，以臭氧耗损潜值 ODP 来表示。该值以 R11 为基准，设定 R11 的 ODP 值为 1。上述工质中，属于氯氟烃（CFC）的 R11、R12 的 ODP 值分别为 1.0 和 0.82。而属于氢氯氟烃（HCFC）的 R22 的 ODP 值则为 0.034。在《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》（1987 年）以及该议定书的伦敦修正案（1989 年）中，将属于氯氟烃（CFC）的 R11、R12 列为受控物质，并限期淘汰。而属于氢氯氟烃（HCFC）的 R22、R123 等则列为过渡性工质。在议

定书的北京修正案（1999年）中，决定发达国家将本国 HCFC 类物质生产冻结在 1989 年生产和消费的水平上，并在此后可以生产不超过其冻结水平的 15% 来满足国内基本需求；决定发展中国家于 2016 年将本国 HCFC 物质生产冻结在 2015 年生产和消费水平上，并在此后可以生产不超过其冻结水平的 15% 来满足国内基本需求。与此同时，国际上相继研发出氢氟烃（HFC）物质，如 R134a、R32、R125 以及混合工质 R407c、R410a 等所谓的第三代工质。这些工质的臭氧耗损潜值 ODP 均为零。按照议定书及其诸修正案属非受控物质，成为 CFC 及 HCFC 等的替代工质。常用的 HCFC 及 HFC 工质如表 1-2 所列。

然而，1997 年 12 月《联合国气候变化框架公约》第五次缔约国会议上签署的《京都议定书》中，将 CFC、HCFC，包括 HFC 在内的热泵工质均列为温室气体，并给出了这些工质的温室效应潜值（见表 1-2，CO₂ 气体的潜值定为 1）。2016 年 10 月 15 日，在卢旺达首都基加利举行的《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》第 28 次缔约方大会上，来自近 200 个国家的代表签署了该协议书的基加利修正案，确定在全球范围内减少 HFC 物质的产量：发达国家将在 2019 年以前把 HFC 物质的产量削减 10%，并在 2036 年以前大幅削减 85%。发展中国家冻结 HFC 物质产量的期限分别为 2024 年（中国等发展中国家），与 2028 年（印度等发展中国家）。众多业者为避免臭氧层消耗而苦心研制的所谓的替代物质 HFC，将因其温室效应而被淘汰。基加利修正案已签署，但 HFC 的替代物质尚无着落，起码对于空调热泵而言是如此。为人们寄予希望的是第一代工质的回归。NH₃ 是第一代工质中最为常用的，其主要缺点是毒性和潜在的爆炸可能。CO₂ 与 NH₃ 同为第一代工质，其临界温度低，热力循环处于跨临界或超临界状态。而且，高低压侧均有较高的压力（见表 1-3），由此以及热力性能的不够理想，同样在氟利昂面世后被取代。但在保护臭氧层，特别是在防止全球变暖的新形势下显现的优势，重新为人们所关注。NH₃ 与 CO₂ 的臭氧耗损潜值 ODP 均为零，而温室效应潜值 GWP 分别为 0 与 1。但是，其当初之所以被淘汰的原因，仍是今后要逐一解决的。

常用热泵工质一览表

表 1-2

代号	化学式	大气寿命	消耗臭氧潜数值	温室效应潜数值	安全级别	被替代工质
		(a)	ODP	GWP(100年)		
氢氯氟烃类 HCFC						
R22	CHClF ₂	12	0.050	1810	A ₁	R11、R12
R123	CHCl ₂ CF ₃	1.3	0.020	77	B ₁	R11
氢氟烃 HFC						
R134a	CF ₃ CH ₂ F	14	0	1430	A ₁	R12
R410A	R32/R125 (50/50)	4.9/29	0	2100	A ₁ /A ₁	R22
R407C	R32/R125/R134a (23/25/52)	4.9/29/14	0	1800	A ₁ /A ₁ /A ₁	R22
R245a	C ₃ H ₃ F ₅		0	190		R123
R152a	C ₂ H ₄ F ₂		0	44		R134a

1.3.2 冷热媒介

热泵的热源端从热源中吸收热量或向热源放出热量，其负荷端向空调设备或房间供冷