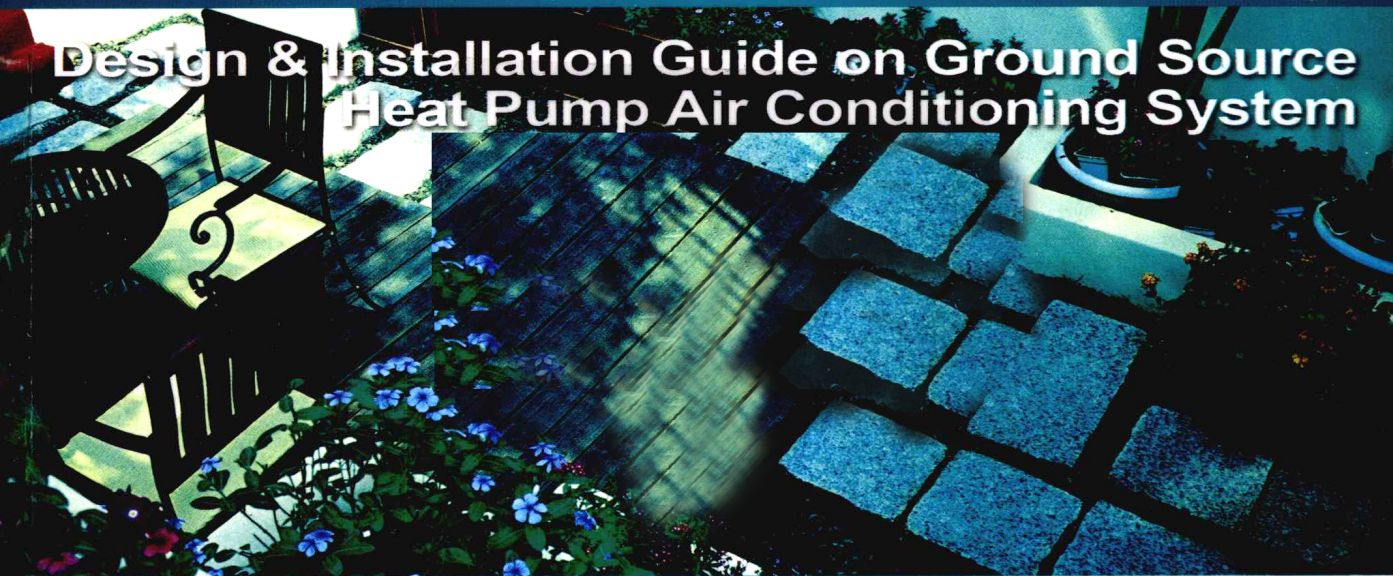


# 土壤源 热泵空调系统

## 设计及施工指南

Design & Installation Guide on Ground Source Heat Pump Air Conditioning System



区正源 主编  
刘忠诚 肖小儿 副主编

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



# 土壤源热泵空调系统 设计及施工指南

主 编 区正源  
副主编 刘忠诚 肖小儿  
主 审 尤 骏



机械工业出版社

本书从埋管热泵空调系统最基本的组成入手，阐明土壤源热泵空调制冷供热的原理，书中概括归纳了常见的土壤源热泵空调的安装方式，结合实际工程案例详实地说明其不同埋管空调的设计要点。本书全面生动地介绍了土壤源热泵空调系统的设计及施工方面的知识，相信会带给暖通专业技术人员及管理人员较强的参考与指南。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

土壤源热泵空调系统设计及施工指南/区正源主编. —北京: 机械工业出版社, 2010. 11

ISBN 978 - 7 - 111 - 31574 - 2

I. ①土… II. ①区… III. ①热泵 - 空气调节器 - 设计 - 指南  
②热泵 - 空气调节器 - 工程施工 - 指南 IV. ①TU831.3 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 157604 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 范秋涛 责任编辑: 范秋涛

版式设计: 霍永明 责任校对: 李锦莉

封面设计: 王伟光 责任印制: 杨 曦

北京京丰印刷厂印刷

2011 年 1 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 23.5 印张 · 580 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 31574 - 2

定价: 59.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

# 序 Preface

Green Building make life better.

Green Energy make life better.

**绿色建筑使生活更美好!**

**绿色能源使生命更富裕**

在绿色环保的世界需要我们共同建设的时代，区正源总工所编著的《土壤源热泵空调系统设计及施工指南》一书应运而生，占天时，依地利，赢人和，它符合了十一届全国人大常委会第十二次会议通过的《中化人民共和国可再生能源法修正案》设施的政策精神，跟上了时代的发展，可谓是绿色环保、节能减排的好书之一。

地源能作为稳定和绿色环保的可再生能源，蕴藏着丰富的开发利用潜力。大力发展绿色经济，促进社会节能环保，推动经济与环境可持续发展；实施全球化绿色战略，是我们暖通人肩上光荣的时代重担。

我查找过目前只有寥寥无几的七八本可再生能源方面的书籍。大部分是地源热泵，一本太阳能热泵的；根本没有海水源方面的资料。我萌生了请我另一位在暖通空调施工现场奋战近50年的学生肖显明总工来编写海水源热泵空调工程的案例，以弥补我国暖通界绿色建筑的缺口。为了祝贺区正源新作的出版，肖总特意用毛笔撰写了绿色环保、节能减排的贺词。

中国主要利用的可再生能源包括风能、太阳能、水能、生物质能、地热能、海洋能源等非化石能源。而当前煤炭、石油、天然气等化石能源，在燃烧利用于生活、取暖、空调、发电…等方面，要排放大量二氧化碳及二氧化硫，造成大气污染，并对人体健康有害。我国农村及边远地区还利用秸秆、薪柴、粪便等低效率炉灶直接燃烧方式，也造成大面积污染。在2010年已被国际能源环保协会国际会议上指出，并建议采用可再生能源来建造我国的绿色建筑。

中国是世界上新能源和可再生能源增长速度最快的国家，水电装机容量、太阳能热水器集热面积、光伏发电容量均居世界第一位。发展可再生能源热泵迫在眉睫。

区正源是湖南大学土木系采暖通风专业1964年毕业生。曾在1995年航天部509所卫星总装，试验厂房技术改造工程和航天部805所综合测试楼等工程中获得机械工业部优秀设计二等奖，科技进步三等奖；1998年解决了上海宝钢计量大楼改造，沈阳水泵厂大泵车间高大车间（超25m）厂房采暖难题等。目前又

与致力于暖通、空调、楼宇自动管理的美国特灵公司合作研究地源热泵项目，赶上了绿色环保、节能减排的时代。在 50 多年的风风雨雨建筑生涯中，勤学苦练，磨练出过硬的专业本领。

中国石油天然气总公司高级工程师 方琳

欣聞區正源學友出版『土壤源熱  
原空調系統設計及施工指南』一書，  
這對國家提出的節能減排綠色環保  
的建設方針提供了技术支持。這種  
高度負責的精神值得發揚光大。在  
此出版之際表示熱烈祝賀。

學友蕭顯明賀

為：

最能减排，低碳生活

给予了强有力的技术支持

賀：

土壤源热泵空调系统设计

计及施工指南 出版发行

美国友人 斯蒂文·夏恩

## 编著者的话

继《实用中央空调设计指南》出版发行后，承蒙全国各地专业人士的首肯，无比欣慰。《土壤源热泵空调系统设计及施工指南》是本人的又一专业力作。该书从地埋管热泵空调系统最基本的组成入手，阐明土壤源热泵空调制冷供热的原理，书中概括归纳了常见的土壤源热泵空调的安装方式，结合实际工程案例详实地说明其不同地埋管空调的设计要点。相信在一线专业设计的同行们会有帮助。竖直地埋管热泵空调系统在我国兴起，时至今日方兴未艾，以势不可挡之态向前发展，“土壤源热泵空调系统的设计与施工”篇章归纳总结了现场进行施工时容易发生的问题，以表格形式帮助人们进行工程施工的质量控制，也相信对专业公司有很实际的指导作用。

本书第一、二、三、六篇由区正源、刘忠诚、胡庆耀、陈观云、马维珍等编写。第四、五篇由肖小儿编写。第七篇由张毅编写。全书的工程范例插图由肖小儿完成。全书由资深暖通专家尤骏进行审校。书中序和英文目录由方琳老师百忙之中完成，深表感谢。

在本书编著过程中还得到如下主要单位的大力支持，提供了大量的素材和资料。它们是：

苏州际能环境能源技术有限公司

美国特灵空调公司

上海观云冷气安装工程有限公司

上海太行水暖设备成套有限公司

至此，并对引用的文献参考书籍的作者表示由衷的谢意。

编者



## **Editorial Note**

Thanks for all the Technicians-Specialists in China, Everybody & Everthing after publishing my first book < Designing Guide Realistic Central Air Conditioning System > so far. This < Design & Installation Guide Ground Source Heat Pump Air Conditioning System > is my second Special Handbook. Taking as the point of Hiding Ground Pipe in the Earth Heat Pump Air Conditioning System, Clarifying the Principles on Heating & Refrigerating by Ground Source Heat Pump Air Conditioning System; Summarizing & Inducting the Installation Methods for Ground Source Heat Pump Air Conditioning System; Grasping the main points on the Great Difference between Designing Ground Source Heat Pump AC System & Hiding Ground Pipe Heat Pump AC System with a couple of Real Engineering Examples on-site. Having faith in Helping All Colleagues who working Specialized Designing & Installation on-site. Spring up the Vertical Hiding Ground Pipe Heat Pump AC System is only in the ascendant in China so far; It is Inresistible Calling the Further Expansion.

Summing up the main Problems usually happening when Installation on-Site, Quality-Controling for Engineering Installation on-Site in form of List & Data in my this Writings < Design & Installation Guide Ground Source Heat Pump Air Conditioning System > for helping & directing All the Technicians & Engineers, including Special Enterprises in this area.

The Chapters I , II , III , IV of this writings have been written by Mr. Zheng-Yuan Ou; Zhong-Cheng Liu; Qing-Yao Hu; Guan-Yun Chen and Wei-Zhen Ma. The Chapters IV & V has been written by Ms. Xiao-Er Xiao; and she has drawn all the Drawings of the Engineering Examples in Books; The Chapters VII has been written by Mr. Zhang Yi. The whole Books has been Interrogated by Famous Heating Ventilation Specialist Mr. You Jun.

Thanks for the following Enterprises & Companies Supporting and Providing much Informations in Edition this Books:

Su-Zhou International Energy Environment Technology Co. , Ltd;

US Telin Air Conditioning Co. Ltd;

Shanghai Guan-Yun Cooling Engineering Installation Co. Ltd;

Shanghai Tai-Hang Water-Heating Complete Stes of Equipment Company, Ltd;

It is my pleasure to say: "Thanks for all of you!" about the Giving Information References, Supporting in Editorizing this Book,

**Chief Editor**

# 前 言

社会进步日新月异，能源枯竭、能源危机迫在眉睫。

各国政府都在采取积极措施，开发新技术、研究新能源。作为春天缔造者的暖通工程师们，如何应对既不能牺牲人们良好的生活环境、又要发挥最大能效比，最大可能地利用天然低品位能源为人类的可持续发展做出应有贡献，这是我们专业设计师们义不容辞的责任。

改革开放几十年，仅是中华民族历史发展短暂的一瞥，然而广阔的中华大地却发生着翻天覆地的变化，买房购车等已不是梦想。住在舒适优雅冬暖夏凉的环境，尽享美好生活的同时，我们又不得不忧心重重计算能源的消耗。“既要马儿跑，又要马儿少吃草”不是不能做到，而是可以做到，人类的聪明才智，同样让我们富裕起来的新一代炎黄子孙没有淡薄自己的责任，在保证舒适生活环境的同时，努力地去减少其迅猛增长的建筑能耗，人们在不断探索节能减排的种种途径。

最近二三年里，在我国蓬蓬勃勃发展起来的地源热泵方兴未艾，势不可挡。在这里特别提醒的是对土壤源热泵的利用，而垂直埋管的土壤源热泵，由于占地少而受到广泛关注与青睐。本书着重探讨的是它的设计及其施工的一般程序，仅供同仁们参考。

# 目 录

序	
贺词	
编著者的话	
前言	
<b>第一篇 绪论</b> ..... 1	
1.1 舒适性空气调节概述 ..... 1	
1.2 与舒适性空调密切相关的参数 ..... 2	
1.3 舒适性空调的若干形式 ..... 3	
附录 1-1 室内允许噪声标准 ..... 5	
附录 1-2 按舒适要求控制的 送风流速 ..... 6	
附录 1-3 舒适空调的设计参数 ..... 7	
附录 1-4 公共建筑物的空调设 计参数 ..... 7	
附录 1-5 各类建筑物冷负荷估算 ..... 8	
<b>第二篇 水环热泵空调系统设计</b> ..... 9	
2.1 概述 ..... 9	
2.2 水环热泵空调系统的基本组成 ..... 9	
2.3 水环热泵机组的工作原理 ..... 10	
2.4 负荷计算 ..... 11	
2.5 水系统的划分 ..... 18	
2.6 水系统的水力工况计算 ..... 20	
2.7 有关设备的选择 ..... 22	
2.8 定压装置 ..... 33	
2.9 辅助加热量与蓄热装置 ..... 40	
2.10 太阳能热水器 ..... 43	
2.11 用二通水阀直接向水环系统 进行辅助加热 ..... 44	
2.12 用三通水阀直接向水环系统 进行辅助加热 ..... 45	
2.13 用风冷热泵机组向水环系统 进行辅助加热 ..... 45	
2.14 水环热泵机组的选择与布置 ..... 46	
2.15 监测与控制 ..... 50	
2.16 水环热泵空调系统的适应范 围及注意事项 ..... 51	
2.17 工程范例 ..... 53	
附录 2-1 全国主要城市室外气 象参数表 ..... 83	
附录 2-2 混凝土空心砌块外墙构 造及热工指标 ..... 86	
附录 2-3 冷热负荷计算表 ..... 87	
附录 2-4 水管系统的局部阻力系数 ..... 88	
附录 2-5 管件和阀的局部阻力折 算管长 ..... 90	
附录 2-6 水管摩擦阻力计算表 ..... 90	
附录 2-7 水管管路阻力计算表 ..... 93	
附录 2-8 不同型号电加热器的参数 ..... 93	
附录 2-9 建筑给水聚乙烯类 (PE、PE-X、PE-RT) 管道 水力计算表 ..... 94	
附录 2-10 水流速与动压对照表 ..... 98	
附录 2-11 不同系列的管材壁厚 水头损失修正系数 ..... 98	
附录 2-12 不同系列的管材壁厚流 速修正系数 ..... 98	
附录 2-13 建筑给水氯化聚氯乙烯 管水力计算表 ..... 99	
<b>第三篇 土壤源热泵空调系统的   设计与施工</b> ..... 105	
3.1 概述 ..... 105	
3.2 土壤源热泵空调系统的形式 ..... 107	
3.3 土壤源热泵空调正式设计 前的准备 ..... 108	
3.4 土壤源的热响应分析 ..... 109	
3.5 空调系统的负荷计算分析 ..... 115	
3.6 土壤源热泵系统地下换热器 设计计算 ..... 117	
3.7 空调系统的布置 ..... 122	
3.8 土壤源热泵空调系统的适应 范围及对策分析 ..... 130	
3.9 工程范例 ..... 133	
3.10 土壤源热泵空调系统的施工 ..... 198	
附录 3-1 设备(主机)部分检	

查项目 .....	215	5.6 地板供暖加热管路铺设与供回水管的连接 .....	290
附录 3-2 室内部分检查项目 (一) .....	215	附录 5-1 塑料管及铝塑复合管水力计算表 .....	295
附录 3-3 室内部分检查项目 (二) .....	215	<b>第六篇 空调系统的自动控制与节能</b> .....	298
附录 3-4 室内部分检查项目 (三) .....	216	6.1 概述 .....	298
附录 3-5 室外部分检查项目 .....	216	6.2 空调系统的遥测与遥控 .....	298
附录 3-6 空调机房部分检查项目 .....	217	6.3 就地控制 .....	298
附录 3-7 系统调试部分检查项目 .....	219	6.4 系统控制 .....	299
<b>第四篇 不稳定传热冷负荷计算与供暖热负荷计算</b> .....	220	<b>第七篇 地源热泵在平面辐射空调系统中的应用</b> .....	315
4.1 不稳定传热冷负荷计算 .....	220	7.1 平面辐射空调系统简介 .....	315
4.2 供暖热负荷计算 .....	246	7.2 优化建筑外围护结构子系统 .....	315
附录 4-1 设计用室外气象参数 .....	258	7.3 毛细管平面式制冷与供热系统末端设计方法 .....	317
<b>第五篇 地源热泵低温热水地板辐射供暖管路系统</b> .....	282	7.4 地源热泵在平面辐射空调系统中的应用 .....	319
5.1 地源热泵低温热水地板辐射供暖管路系统概述 .....	282	7.5 结论 .....	322
5.2 地源地板供暖管路散热量计算 .....	282	<b>附录 企业简介</b> .....	323
5.3 地源地板供暖管路系统 .....	285	<b>后记</b> .....	358
5.4 低温热水系统的加热管水力计算 .....	287	<b>作者简介</b> .....	359
5.5 地板供暖材料 .....	288	<b>参考文献</b> .....	360

# Catalogue

## **PREFACE**

## **CONGRATULATIONS**

## **EDITORIAL NOTE**

## **FOREWORD**

### **Chapter I INTRODUCTION**

- 1.1 Outline on Suitable Air Conditioning
- 1.2 Related Parameters closed to Suitable Air Conditioning
- 1.3 Several Forms of Suitable Air Conditioning
  - Appendix 1-1 Standard Noise Permit in room
  - Appendix 1-2 Entering Current Velocity controlled by Suitable Requirement
  - Appendix 1-3 Designing Parameters on Suitable Air Conditioning
  - Appendix 1-4 Designing Parameters on Suitable Air Conditioning for Public Building
  - Appendix 1-5 Assessment Cool Load for Various Building

### **Chapter II Designing for Water Circulation Heat Pump Air Conditioning System**

- 2.1 Outline
- 2.2 Essential Composition of Water Circulating Heat Pump Air Conditioning System
- 2.3 The Working Principle of Water Circulating heat Pump Unit
- 2.4 Load Calculation
- 2.5 Differentiate Water System
- 2.6 Calculation on Water System Hydraulic Situation
- 2.7 Selection on Related Designing Equipments
- 2.8 Fixed Pressure Equipment
- 2.9 Supplementary Heating Load & Heat Storage Equipment
- 2.10 Solar Energy Heater
- 2.11 Supplementary Heating directly in progress to Water Circulating System with Double-Beat Valve
- 2.12 Supplementary Heating directly in progress to Water Circulating System with Triple Valve
- 2.13 Supplementary Heating directly in progress to Water Circulating System by Wind-Cooling Heat Pump Group
- 2.14 Selection & Arrangement on Water-Circulating Heat Pump
- 2.15 Monitoring & Controlling
- 2.16 Suitable Scope & Attention on Water Circulating Heat Pump Air Conditioning System
- 2.17 Engineering Examples
  - Appendix 2.1 Atmospheric Parameter in China Main Cities
  - Appendix 2.2 Outer Wall Construction & Heat Indicator for Concrete Hollow-Square Brick
  - Appendix 2.3 Calculating List on Cooling & Heating Load
  - Appendix 2.4 Partial Resistance Factor of Water-Pipeline System

- Appendix 2.5 Pipeline Length calculated by Pipe & Valve Partial Resistance
- Appendix 2.6 Friction Factor Calculation List for Pipeline
- Appendix 2.7 Pipeline Resistance Calculation List
- Appendix 2.8 Parameters of Various Type Electrical Heaters
- Appendix 2.9 Pipeline Hydraulic Calculation List for Water Supply Polyethylene Construction (PE, PE-X, PE-KT) in Building
- Appendix 2.10 Collating List about Water Velocity & Dynamic Pressure
- Appendix 2.11 Fluid Head Loss Correcting Factor for Pipe different Wall Thick Various Series
- Appendix 2.12 Velocity Correcting Factor for Pipe different Wall Thick Various Series
- Appendix 2.13 Hydraulic Calculation List for Water Supply Chlorination Polyethylene

### **Chapter III Design & Installation for Ground Source Heat Pump Air Conditioning System**

- 3.1 Outline
- 3.2 Form on Soil (Ground) Source Heat Pump Air Conditioning System
- 3.3 Preparing before Formal Designing on Soil (Ground) Source Heat Pump Air Conditioning
- 3.4 Analysis on Ground Source Thermal Response
- 3.5 Analysis on Load Calculation for Air Conditioning System
- 3.6 Calculating on underground Heat-Exchanger for Ground Source Heat Pump Air Conditioning System
- 3.7 Arrangement on Air Conditioning System
- 3.8 Analysis Countermeasure & Scope suitable for Ground Source Heat Pump Air Conditioning System
- 3.9 Engineering Examples
- 3.10 Installation on Ground Source Heat Pump Air Conditioning System
  - Appendix 3.1 Inspection on Master Equipment
  - Appendix 3.2 Inspection Inner-Room (part1)
  - Appendix 3.3 Inspection Inner-Room (part2)
  - Appendix 3.4 Inspection Inner-Room (part3)
  - Appendix 3.5 Inspection Outer-Room
  - Appendix 3.6 Inspection on Air Conditioning Machine Premises
  - Appendix 3.7 Inspection on System Detection Part

### **Chapter IV Cooled Load Calculation on Unstable Heat Transferring & Heat Load Calculation in Heating**

- 4.1 Unstable Heat Transferring Cooled Load Calculation
- 4.2 Heat Load Calculation in Heating
  - Appendix 4.1 Outer-Room Atmospheric Parameter for Designing

### **Chapter V Floor Radiation Heating Pipeline System on Ground Source Heat Pump with low-Temperature**

- 5.1 Outline about Floor Radiation Heating Pipeline System on Ground Source Heat Pump with low-Temperature
- 5.2 Radiation Calculation for Ground Source Floor Heating Pipeline
- 5.3 Ground Source Floor Heating Pipeline System

5.4 Hydraulic Calculating for Heating Pipeline in low-Temperature System

5.5 Material on Floor Heating System

5.6 Linking on Charged/Discharged Water Pipe & Laying Pipeline Ground Heating System

Appendix 5.1 Hydraulic Calculating List on Plastic & Aluminium-Compound Pipe

## **Chapter VI Conserving Energy & Auto-Controlling Air Conditioning System**

6.1 Outline

6.2 Remote Controlling & Remote Testing on Air Conditioning System

6.3 Controlling on-Site

6.4 System Controlling

## **Chapter VII Application of Ground-Source Heat Pumps in Plane Radiation Air-conditioning System**

7.1 Introduction Plane Radiation Air-Conditioning System

7.2 Sub-optimal Building Envelope Structure

7.3 Planar Capillary End of Cooling and Heating System Design

7.4 Ground Source Heat Pump Air-Conditioning System in the Plane of Radiation

7.5 Conclusion

## **Appendix Introduction about Su-Zhou Enterprise**

**Afterwards**

**Background on Writer**

**Referenced Literature**

# 第一篇 绪 论

“内设空调”不仅成为公共娱乐场所、餐饮，办公楼宇的一个卖点，并切实地作为评价民用建筑必需与必备的环境条件。暖通专业不仅是日臻成熟的专业，同仁们可以赖以谋生。由此专业设备厂商风起云涌，创造着不菲的国民生产产值，这一切可喜可贺。就空气调节的范畴而言，它可以解决生产过程工艺性以及人体舒适性对温湿度环境的两种截然不同要求。空气状态参数通常由两组基本指标来显示，即空气的温度与空气的湿度（或曰：空气相对湿度，绝对含湿量、湿球温度等）。对它的控制范围与控制精度的不同构成了工艺性空调与舒适性空调之别（后者主要为公共民用建筑）。据有关统计资料显示公共民用建筑中、空调的耗能占据着建筑能耗 1/3 之多，想方设法减少空调的能耗是目前国家节能减排的主要手段，其中地源热泵被公认为手段之一，它可以用少量高位能源（电能）提升低位能源为人们服务。土壤源热泵空调系统，是其中的一种普通方式，这是因为土壤源热泵空调，取材广泛，人们活动的场所必有土层，相对而言系统简单，空调产品繁多，可方便设计选用，公共民用建筑一般地说仅有控制范围的要求，无控制精度要求（或者精度不高），无需在  $h-d$  图上进行精确的理论分析计算。土壤源空调正适合它的使用，因此，改革开放后，一经国外介绍引进，国内便形成突飞猛进态势。当然重要的一点是它的节能性。

舒适性空调是一个客观感知的尺度，它反映人的机体对周围环境的适应状况，除去对空气品质要求的前提下，人体通过对流、辐射和蒸发等途径与周围环境进行热湿交换，反映了人体对冷、热的感性程度即舒适性。影响环境舒适性的条件有：室内空气的温度、湿度、空气流动速度及噪声等，组成了舒适性空气调节的基本要素。

## 1.1 舒适性空气调节概述

人体吃进了食物，产生了化学能，补偿了人体活动消耗的能量，并将多余的能量以热量的形式排至体外，人体的热平衡和舒适感可以用下面的方程式表示。

$$q_{ch} = q_M - q_d - q_z - q_r - q_w \quad (1-1)$$

式中  $q_{ch}$ ——储存于人体内的热量；

$q_M$ ——人体新陈代谢产生的热量，为正值；

$q_d$ ——人体对流散热量，可为正值或负值（当空气温度低于人体表面平均温度时为正值，反之为负值）；

$q_z$ ——人体汗液蒸发带走的热量，为正值；

$q_r$ ——人体与周围物体表面辐射换热量（当物体表面温度小于人体温度时为正值，反之为负值）；

$q_w$ ——人体做功消耗的热量。

在正常情况下  $q_{ch} = 0$ ，人体感到舒适，当环境温度高于人体表面温度时，对流换热和辐



射换热都是外界传向人体，当人体余热量难以全部散出时，热量就会在体内积蓄起来， $q_{ch}$  为正值，导致体温升高，人就会感到不舒服。汗液的蒸发可使体温下降，这是人们的共识，汗液的蒸发与周围空气温度、相对湿度及空气流动速度有关。空气温度低，相对湿度大，室内空气流动快，会加剧对人体的作用。在一定的温度与湿度情况下，空气流动是影响人体对流散热及汗液蒸发的主要因素之一。显然，冬季当室内有流动空气时，人们会感到“冷”，这是因为对流换热加强，加速了人体热量往外排散， $q_{ch} < 0$ ，人体体温下降表现为寒颤，皮肤表现起疙瘩，收缩毛孔，减少汗液往外蒸发。凡此种表现为环境的不舒适性。

## 1.2 与舒适性空调密切相关的参数

早在 20 世纪 50 年代前苏联与美国的专业工作者们对人体舒适度做了明白的论述，是与下列因素有关：室内空气温度；室内空气湿度；室内人体活动区域空气流动速度以及围护结构内表面（物体表面）温度，并提出了等效温度的概念。图 1-1 所示为美国供暖、制冷，空调工程师学会（ASHRAE）绘制的等效温度线，图中斜画的一组虚线即为有效温度线，它的数值是  $\varphi = 50\%$  的相对湿度线上所标注的对应的温度值。例如通过  $t = 25^\circ\text{C}$ 、 $\varphi = 50\%$  两线交点的虚线即为 25℃ 等效温度线。该线上各点所表示的空气状态给人的冷热感都相同，都相当于  $t = 25^\circ\text{C}$ ， $\varphi = 50\%$ ，这些等效温度是在室内空气流速为  $0.15\text{m/s}$ ，对静坐着，服装热阻为  $0.6\text{clo}$ （即轻便工装）的被试人员实测所得的。菱形区域与虚线区域共同重叠的部分，被公认为值得推荐的室内空气设计取值。得出：室内温度  $t \approx 25^\circ\text{C}$ （根据我国新的节能标准，民用空调系统夏季温度不得低于  $26^\circ\text{C}$ ），而相对湿度  $\varphi$  可以在  $30\% \sim 70\%$  之间。按照我国人民生活习惯与节能要求：

室内空气温度 夏季：24 ~ 28℃  
 冬季：18 ~ 24℃

室内空气相对湿度 夏季：40% ~ 65%  
 冬季：40% ~ 60%

室内空气流动速度，夏季  $\leq 0.3\text{m/s}$ ；冬季  $\leq 0.2\text{m/s}$ ，都能取得公认的舒适度。舒适度是一个非常主观的概念，是人们的主观感觉，往往因人而异，舒适度只能从广义上或统计学上来考虑，如对于北方人认为空气相对湿度可以偏低，但南方人则认可的是湿度要偏高，不然就感到不舒服。

下面从舒适性的角度来阐明上述有关参数的函义。

### 1.2.1 温度

工程上以摄氏度（℃）表示温度。温度是表征物质的冷热程度，湿空气由于空气与水

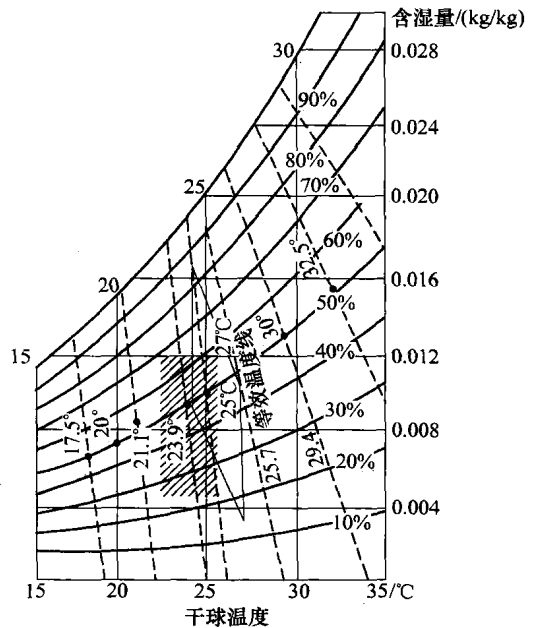


图 1-1 ASHRAE 舒适图 (ASHRAE 手册, 1972)