

地下水空调技术

DIXIASHUI KONGTIAO JISHU

祝耀升 张晓奋 单哲简 编著

航空工业出版社

277973

天然能源空调——
地下水空调技术

祝耀升 张晓奋 单哲简 编著

航空工业出版社

• 1993 •

(京)新登字 161 号

内容提要

地下水空调系统结构简单,使用维修方便,节省能源和投资,自它问世以来,受到了各界人士的广泛关注。本书主要介绍了地下水空调工程的设计与计算,包括地下水的汲取,回灌、应用地下水空调的特点和注意问题及作者几年来从事这一工作的经验和心得,从设计工作和需要出发,讲述了空调系统的基本概念和有关内容,并力求做到原理简明,实用方便,有利于地下水空调的推广。本书还编制了一些简明的计算图表,供读者参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下水空调技术:天然能源空调/祝耀升等编著。—北京:航空工业出版社,1994.5

ISBN 7-5006-2142-2/TU·006

I. 地… II. 祝… III. 地下水-应用-建筑物-空气调节
IV. ①TU731.5②TU831.6

航空工业出版社出版发行

(北京安定门外小关东里 14 号 100029)

杭州兴业印刷厂印刷 全国各地新华书店经销

1994年5月第1版 1994年5月第1次印刷

开本:787×1092 1/32 印张:7.5 字数:220千字

印数:0001-3000 定价:8.00元

前 言

目前在民用舒适性空调方面,以蒸汽压缩式制冷和溴化锂吸收式制冷为冷源的空气调节得到了广泛应用。前者使用电能,后者使用热能(水蒸汽或70℃以上的热水)。无论是电能或是热能都来源于燃料的燃烧(水力发电除外),不但要消费大量燃料,而且造成环境污染。当压缩制冷以氟利昂为制冷剂时,由于氟利昂对大气臭氧层有破坏作用,国际上已限期使用。

一些发达国家,消耗于空调的能源约占其总消耗能源的1/3~1/2。在我国空调应用逐年增加的情况下,空调设备所消耗的能源也颇为可观。不少工程虽然设计安装了空调系统,但由于运行费用(主要是电费)太高或电力限制而不得不降低要求,甚至停止使用。我国能源建设较快,但还远远满足不了国民经济发展的需要,供需矛盾突出。在当今相当长的时间内,能源仍将是制约我国经济发展的因素。因此,空调节能显得特别重要。

天然能源空气调节技术是直接使用天然冷源或热源的技术。天然冷源或热源有地下水,江河、湖泊、水库、海洋中的深层水,地下水库中的水,地道风,地热与太阳能的热利用等。天然能源空调不消耗矿物燃料和电力,不污染环境,被誉为清洁能源空调,日益受到人们的重视。

天然能源空调,以地下水为例,在我国使用已久。目前有些纺织厂,为了生产工艺的需要,就是利用地下水喷淋处理空气来进行空调的。用喷淋室处理空气的空调还用于集中的大面积空调,怎样使它适用于民用各个房间的小面积空调,是一个值得研究的问题。

这一问题在浙江省第四建筑公司已得到较好的解决和实施。其方法是用深井泵把地下水抽入管路,经风机盘管向空调房间放出冷量后,再用回灌泵回灌到地层深处。这种空调系统广泛地应用于宾

馆、疗养院、医院、办公楼、车间等处，并已取得了较好的空调效果。

根据使用效果，这种空调系统具有以下特点：

- (1)耗电量：为蒸汽压缩制冷空调的 20~30%。
- (2)投资：为相同用途空调的 32~47%。
- (3)不使用特殊制冷工质，不污染环境。
- (4)噪音小于 40 分贝。
- (5)结构简单，使用维修方便。

根据实例和计算结果，每 10kW 的制冷能力，不同空调机组制冷能耗折算成标准煤的公斤数见下表。

浙江省第四建筑公司地下水空调技术	FJZ-40 氟利昂 制 冷 机 组	100E 双效溴化锂 制 冷 机 组	XZ-150 单效溴化 锂 机 组
2.34	11.67	20.29	36.88

从此表可以看出，在节能方面，地下水空调居所有人工制冷空调之冠，其次是氟利昂蒸汽压缩制冷，溴化锂吸收式制冷耗能最大。吸收式制冷适用于电力紧缺而热能供应有余的场合，特别是单效吸收式制冷，应该使用余热，如果直接燃烧矿物能源，则是很不合算的。

地下水空调是一种方兴未艾的技术，它的出现受到了各界人士的关注。目前不但在杭州市和浙江省已较普遍的使用，而且已逐渐推广到全国各地，用户与日俱增。此技术获得了多次国家金奖。

作为一种新生事物，天然能源空调还存在一些问题，这就是水质和水量问题。

水质问题表现在天然冷水含有各种金属元素和其他矿物质，经过一段时间使用后可能产生积垢，阻塞管路和风机盘管。针对这一问题可采取以下措施：

- (1)采用全封闭采灌，并在管路中增设过滤器。
- (2)用自来水混以化学除污剂定期冲洗管路系统。
- (3)使用间接供冷装置，在这装置中天然冷水的冷量通过换热器传给自来水，再由自来水经风机盘管进行空调。

水量问题一方面表现在某些地方缺少地下水,单位时间不能汲取所需的水量,另一方面,所汲取的地下水不能充分放出冷量,这一问题可用下述方法在某种程度上予以弥补:

(1)设计性能优越的风机盘管,增大天然冷水与回水温差,以增大放冷量。

(2)以回水作供水用,充分发挥天然冷水冷量的潜力。

(3)采用冬灌夏用办法降低地下水温度,同时可防止过量开采。

通过不断的研究和改进,天然能源空调会日臻完善,在改善人民生活方面发挥应有的作用。

为了推广和普及天然能源空调这一技术,我们就近几年来从事这一工作的经验和心得,并参考有关资料写成这本书。作为一本正式出版的书,当然不能就事论事,要有其系统性、逻辑性和理论性,使读者读了这本书不但对天然能源空调有一个全面了解,而且对一般性空调也要有所了解。

本书在写作过程中,得到了同济大学热能工程系陈沛霖教授的指教,提出了许多宝贵意见;本书承浙江大学能源工程系屠传经教授审校指正,在此均深表感谢。

本书的读者对象为具有高中以上文化程度的人;初、中级以上工程技术人员;培训班学员。鉴于这些人员大都未系统地学习过空调方面的基础课程,所以在本书的采材方面适当地考虑到这一点。既要讲清概念,又不能使篇幅冗长。撰写这种书籍是一种新的尝试,不免挂一漏千,错误与不妥之处在所难免,敬希广大读者不吝指正。

目 录

第一章 空气调节的基本知识	(1)
第一节 空气调节的基本内容及任务	(1)
第二节 空气的组成和状态参数	(1)
第三节 湿空气的湿度、含湿量及焓	(4)
第四节 湿空气的焓湿图	(8)
第五节 焓湿图的应用	(11)
第二章 天然能源在空调方面的应用	(20)
第一节 能源有效利用的意义与途径	(20)
第二节 地下水、水库及海洋冷能的应用	(21)
第三节 地道风的利用	(26)
第四节 地热的利用	(29)
第五节 太阳能供暖与制冷	(32)
第三章 地下水空调工程中建筑物冷负荷的计算特点及估算	(40)
第一节 室内和室外空气设计参数	(40)
第二节 常规空调房间冷负荷的估算	(43)
第三节 地下水空调工程冷负荷计算特点	(46)
第四节 空调房间送风状态及送风量的确定	(54)
第五节 简单的室内降温方法	(58)
第四章 地下水空调的水资源及其特点	(60)
第一节 地下水的埋藏	(60)
第二节 地下水的类型及其空调利用的特点	(62)
第三节 地下水的寻找及开采	(67)
第四节 地下水空调系统用水的水质标准及除垢	(74)
第五节 地下水空调系统的特点	(77)
第五章 地下水空调系统	(82)
第一节 空调系统的分类	(82)

第二节	全空气调节系统	(84)
第三节	风机盘管空调系统	(94)
第六章	空气处理设备	(107)
第一节	空气加热器与空气冷却器	(107)
第二节	喷淋室	(111)
第三节	空气的加湿与除湿设备	(115)
第四节	空气过滤器	(120)
第五节	空气的灭菌、除臭与离子化	(123)
第七章	泵与风机	(127)
第一节	离心泵的工作原理	(127)
第二节	离心泵的结构	(128)
第三节	离心泵的主要工作参数	(134)
第四节	离心泵的性能曲线	(135)
第五节	离心泵的工作点及流量调节	(138)
第六节	离心泵的类型及选用	(143)
第七节	深井泵	(145)
第八节	风机	(151)
第八章	天然能源空调的水系统	(159)
第一节	流体流动的几个基本概念	(159)
第二节	流体连续性方程及能量方程	(162)
第三节	流体流动阻力与水头损失计算	(172)
第四节	串联管路 with 并联管路	(176)
第五节	管网布置及调试方法	(178)
第六节	管网水力计算	(184)
第七节	重力回水及回水管直径	(187)
第八节	回灌	(190)
第九章	地下水空调工程实例	(196)
一、	杭州市机电设备公司地下水空调	(196)
二、	杭州市新城饭店地下水空调	(198)
三、	宁波九龙山庄地下水空调	(201)
四、	杭州大学专家楼地下水空调	(203)
五、	其他各种类型地下水空调工程实例	(203)

附 录

1. 空调室外空气设计参数 (205)
2. 湿空气的密度、水蒸气压力、含湿量和焓 (210)
3. 湿空气焓湿图 (213)
4. 浙江省第四建筑工程公司利用地下水作致冷剂的空调系统技
术施工工艺标准 QJSJ 06.0316-91 (214)
5. 地下水空调系统测试报告 (219)
6. 地下水空调新技术、新产品推广评议证书 (225)

第一章 空气调节的基本知识

第一节 空气调节的基本内容及任务

所谓空气调节(简称空调),指的是使室内的温湿度、气流等因素符合一定的要求,对室内的人和物品提供最良好条件的措施。

空调根据其对象可分为舒适性和工业性空调两大类。

舒适性空调(或叫一般空调),是以室内人员为对象,创造舒适环境为目的。如住宅、办公室、百货商店等所采用的空调就属于这一类。

工业空调(或叫产业空调),是以室内生产工艺或存放着的物品,或以室内运行着的机器设备保持最适当的室内条件为主要目的,而以维持室内人员的舒适感为次要目的。如工厂、仓库、计算机房空调等均属于这一类。

综上所述,空气调节技术与工农业生产、人民的物质文化生活水平的提高是紧密相联的。可以断言,随着我国的经济发展和人民生活水平的不断提高,空调将在更大范围内发挥它的重要作用,将在更高的需求下得到发展和提高。

第二节 空气的组成和状态参数

一、空气的成分

包围在地球表面的空气层称为大气。大气是由许多种气体组成的混合气体。在通常情况下,除水蒸汽外,其余的气体基本上都有一定的比例,它们组成成分如表 1-1 所示。

表 1-1 空气的成分

组成气体名称	质量百分比, %	体积百分比, %
氮	75.55	78.13
氧	23.10	20.90
二氧化碳	0.05	0.03
稀有气体	1.30	0.94

这种具有一定比例组成,不含水蒸汽的空气称为干空气。事实上干空气在自然界中是不存在的,因为地球表面大部分是海洋、湖泊、江河等,必然有大量水分蒸发成水蒸汽进入大气层。另外还有人和动物的生理过程及工艺生产过程所散发出来的水蒸汽。这种空气称为湿空气。即:

$$\text{湿空气} = \text{干空气} + \text{水蒸汽}$$

空气中水蒸汽所占比例很小,其数值也不固定,它随季节、气候而变。如夏季常是冬季的数倍,甚至数十倍。在空调工程中,为了人的健康和生产工艺的需要,常人为地对空气进行去湿或加湿处理。

二、空气的状态参数

空气的压力、温度和比容决定了空气的状态。它们之间的关系可用下面的状态方程来表示:

$$\text{对 } 1\text{kg 气体} \quad pv = RT \quad (1-1)$$

$$\text{对 } m\text{kg 气体} \quad p \cdot mv = m \cdot RT \quad (1-2)$$

或: $P \cdot V = m \cdot RT$

式中 p ——气体的压力, Pa;

v ——气体的比容, m^3/kg ;

R ——气体常数,取决于气体的性质,对空气 $R=227\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$,

对于水蒸汽 $R=461.5\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}$;

V —— $m\text{kg}$ 气体的容积, m^3 ; $V=m \cdot v$;

T ——气体的热力学温度, K;

m ——气体的质量,kg。

由式(1-1)或(1-2)知,对于一定质量的气体,在 p 、 v 及 T 三个状态参数中,只要知道其中两个便可确定第三个,即其中任意的两个参数即决定了空气状态。

1. 压力

环绕地球的空气层对单位地球表面形成的压力称为大气压力,通常用 P 或 B 表示。

压力的单位用 Pa, kPa, 或 MPa 表示。

$1\text{Pa} = 1\text{N}/\text{m}^2$, $1\text{kPa} = 1000\text{Pa}$, $1\text{MPa} = 10^6\text{Pa}$

通常以北纬 45 度处海平面的全年平均气压作为一个标准大气压力,其数值为 101325Pa。海拔高度越高的地方大气压力越低,反之亦然。

在空调工程中是用仪表(大气压力计)来测定当地空气压力的,仪表上指示的压力称为当地大气压力。其值随季节、气候变化而变化,一般工程设计中可选用附录 1 中给出的当地大气压的数值。空调系统的压力测量一般采用压力表,压力表指示的压力称为工作压力(也称表压力),工作压力不是被测流体的绝对压力,而是与当地大气压力的差值,其相互关系为

绝对压力 = 当地大气压力 + 工作压力

只有绝对压力才是湿空气的状态参数。今后凡未标明是工作压力的,均应理解为绝对压力。

2. 温度

空气的温度表示空气的冷热程度,温度用温标来衡量。目前国际上常用的有绝对温标(又称开氏温标),符号为 T ,单位为 K;摄氏温标,符号为 t ,单位为 $^{\circ}\text{C}$;其换算关系为

$$T = t + 273 \quad (1-3)$$

式中 T ——绝对温度, K;

t ——摄氏温度, $^{\circ}\text{C}$ 。

3. 密度与比容

单位容积的湿空气所具有的质量称为密度,用 ρ 表示,即

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1-4)$$

式中 m ——湿空气的质量,kg;

V ——湿空气所占有的容积, m^3 。

单位质量的湿空气所占有的容积称比容,用 v 来表示,即

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \quad (1-5)$$

第三节 湿空气的湿度、含湿量及焓

如上所述,湿空气是由干空气和水蒸汽所组成。由于其中水蒸汽的含量很少,而且变化很大,在一般情况下,往往将水蒸汽忽略不计。但在空调工程中,为使湿空气达到一定温度、湿度与清洁度,以符合生活和生产的需要,湿空气中的水蒸汽就不能忽略,因此必须对湿空气中水蒸汽的含量、性质及有关热工计算作较为深入的分析和讨论。

一、湿空气的总压力与分压力

所谓分压力即假定湿空气中干空气与水蒸汽单独存在,并具有与湿空气相同的温度及容积时,给予容器壁的压力。按照道尔顿分压定律,湿空气的总压力 P 应等于干空气的分压力 p_a 与水蒸汽的分压力 p_v 之和,即

$$P = p_a + p_v$$

当温度为 20°C 的 1kg 干空气中含有 0.007376kg 水蒸汽时,测得湿空气的总压力为 101325Pa ,干空气和水蒸汽的组成与分压力数值表示如下:

$$\text{干空气} + \text{水蒸汽} = \text{湿空气}$$

$$\begin{aligned}
 t_a &= 20^\circ\text{C} & t_v &= 20^\circ\text{C} & t &= 20^\circ\text{C} \\
 m_a &= 1\text{kg} & m_v &= 0.007376\text{kg} & m &= m_a + m_v = 1.007376\text{kg} \\
 p_a &= 100143\text{Pa} & p_v &= 1182\text{Pa} & p &= p_a + p_v = 101325\text{Pa}
 \end{aligned}$$

在空调工程中，一般采用大气为工质，这时湿空气的压力 P 即为大气压力 B ，即

$$B = P_a + P_v \quad (1-6)$$

在一定温度下，空气中的水蒸汽含量越多，空气越潮湿，水蒸汽分压力越大，当空气中水蒸汽的数量超过一定量时，多余的水蒸汽就会凝结成水从空气中析出，这说明在一定温度下，湿空气中水蒸汽含量已达到最大限度，此时称湿空气处于饱和状态，亦称饱和空气，其相应的水蒸汽分压力称为饱和水蒸汽分压力，用 P_s 表示。 P_s 仅取决于温度。各种温度下的 P_s 值可从湿空气性质表中查出，见附录 2。由附录 2 可以看出，温度越高， P_s 越大。

二、绝对湿度与相对湿度

每 1m^3 空气中所含水蒸汽的质量称为空气的绝对湿度。因此绝对湿度即空气中水蒸汽的密度，利用式(1-1)所示的状态方程，绝对湿度可表示为

$$\rho_v = \frac{m_v}{V} = \frac{1}{v_v} = \frac{P_v}{RT} \quad (1-7)$$

式中 m_v ——空气容积 V 中所含的水蒸汽质量，kg；

P_v ——空气中水蒸汽的分压力，Pa。

绝对湿度不能代表空气的吸湿能力，即人所感觉到的潮湿与否不取决于绝对湿度，而取决于空气中的水蒸汽离饱和状态的远近。例如空气的绝对湿度 $\rho_v = 0.0048\text{kg}/\text{m}^3$ ，它等于 0°C 时的水蒸汽饱和密度 $\rho_s = \frac{P_s}{RT} = \frac{6.09 \times 10^2}{461 \times 273} = 0.0048\text{kg}/\text{m}^3$ ，也就是说，这时空气处于饱和状态，无吸湿能力，所以人感到阴冷和潮湿，衣服不易晾干。如果室内使用了供暖装置，使室温由 0°C 上升到 20°C ，则 20°C 时的水蒸汽饱和密度 $\rho_s = \frac{P_s}{RT} = \frac{23.3 \times 10^2}{461 \times 273} = 0.0185\text{kg}/\text{m}^3$ 。由于在 20°C 时

$\rho_v = 0.0048 \text{ kg/m}^3 < \rho_s = 0.0185 \text{ kg/m}^3$, 所以 20°C 时的空气处于未饱和状态, 具有相当的吸湿能力, 所以人感到干燥, 衣服也容易晾干。

为了表示空气中水蒸汽距饱和状态的远近, 即吸湿能力的大小, 应引入相对湿度的概念。所谓相对湿度, 即湿空气的绝对湿度 ρ_v 与同温度下饱和空气的绝对湿度 ρ_s 之比。利用式(1-1), 则相对湿度可表示为

$$\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_s} = \frac{\rho_v/RT}{P_s/RT} = \frac{P_v}{P_s} \quad (1-8)$$

由温度从附录 2 可查得饱和空气的水蒸汽分压力 P_s , 所以水蒸汽分压力

$$P_v = \varphi P_s$$

居室空气的适宜相对湿度 $\varphi = 60 \sim 70\%$ 。

以上例来说, 当空气的绝对湿度 $\rho_v = 0.0048 \text{ kg/m}^3$ 时, 在温度为 0°C 时, 相对湿度 $\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_s} = \frac{0.0048}{0.0048} = 100\%$, 这时的空气处于饱和状态, 无吸湿能力; 当温度为 20°C 时, 相对湿度 $\varphi = \frac{\rho_v}{\rho_s} = \frac{0.0048}{0.0185} = 25.9\%$, 这时的空气处于未饱和状态, 具有相当的吸湿能力。

三、含湿量

内含 1 kg 干空气的湿空气中所含有的水蒸汽质量(以克计), 称为湿空气的含湿量, 即

$$d = \frac{m_v}{m_a} \times 1000 \quad (1-9)$$

式中 d ——含湿量 $\text{g/kg}(A)$, $\text{kg}(A)$ 表示公斤干空气;

m_v ——水蒸汽量, kg ;

m_a ——干空气量, kg 。

由状态方程(1-2)式有

$$m_a = \frac{P_a V}{R_a T} \quad \text{及} \quad m_v = \frac{P_v V}{R_v T}$$

式中, $R_a = 287 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, $R_v = 461.5 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$, 所以(1-9)式可写成

$$d = 622 \frac{P_s}{P_s} \quad (1-10)$$

对大气而言, $B = P_s + P_s$, 再由(1-8)式所示的关系, 得

$$d = 622 \frac{P_s}{B - P_s} = 622 \frac{\varphi P_s}{B - \varphi P_s} \quad (1-11)$$

此式表示, 当大气压力 B 为定值时, 含湿量仅取决于水蒸汽分压力 P_s , 分压力 P_s 越大, 则含湿量越大。

对饱和空气, $\varphi = 100\%$, 由(1-11)式得饱和空气含湿量

$$d_s = 622 \frac{P_s}{B - P_s} \quad (1-12)$$

不同温度下的饱和空气含湿量见附表 2。

例 1-1: 房间内的空气温度为 30°C , 相对湿度为 $\varphi = 60\%$, 若大气压力 $B = 1031 \times 10^3 \text{Pa}$, 试计算房间空气的含湿量。

解: 由附录 2 查得 30°C 时 $P_s = 42.32 \times 10^3 \text{Pa}$, 由式(1-11)得

$$\begin{aligned} d &= 622 \frac{\varphi P_s}{B - \varphi P_s} = 622 \times \frac{0.6 \times 42.32}{1013 - 0.6 \times 42.32} \\ &= 16.0 \quad (\text{g/kg(A)}) \end{aligned}$$

四、湿空气的焓

空气的焓, 就是空气所含有的热量, 即 1kg 干空气所含有的热量与 1kg 干空气所含有的水蒸汽的热量之和, 以 i 表示。即

$$i = 0.24t + (595 + 0.46t) \frac{d}{1000} \quad (\text{kCal/kg}) \quad (1-13)$$

式中 0.24 ——干空气比热 ($\text{kCal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$), 即 1kg 干空气温度升高 (或降低) 1°C 所需 (或放出) 的热量;

0.46 ——水蒸汽比热 ($\text{kCal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$);

595 ——水蒸汽的汽化潜热, 即 $1\text{kg} 0^\circ\text{C}$ 的水变成 0°C 的水蒸汽所需的热量 (kCal/kg);

d ——空气含湿量 (g/kg);

t ——空气温度 ($^\circ\text{C}$)。

上式中, $0.24t + 0.46t \frac{d}{1000}$ 称为空气的显热量, 它直接由温度显示出来。在实际显热计算中, 由于 d 很小, 所以往往忽略掉后一项, 只用干空气的含热量 $0.24t$ 作为湿空气的显热量。 $595 \frac{d}{1000}$ 称为潜热量, 它是水汽化时需要的热量, 是空气中水蒸汽固有热量, 与空气温度无关, 只有水汽凝结时才放出潜热, 所以空气的焓是与其温度有关的显热量同水蒸汽固有的潜热量之和。因此空气温度高时的焓值, 不一定就比温度低时的焓值大, 这要看空气湿度(含湿量)的大小。比如, $t=25^{\circ}\text{C}$ 、 $d=5\text{g}/\text{kg}(A)$ ($\varphi=25\%$) 的空气, 与 $t=20^{\circ}\text{C}$ 、 $d=7\text{g}/\text{kg}(A)$ ($\varphi\approx 45\%$) 的空气其焓值相等, 都是 $9.05\text{kCal}/\text{kg}$ 。因而在夏季对空气进行冷却干燥处理时, 对冷冻水温度的要求, 就要根据待处理空气的温度和湿度(即焓值)来综合考虑。温度高湿度大(焓值大)需要的冷冻水温度就低, 反之(焓值小)需要的冷水温度就可以高些。

第四节 湿空气的焓湿图

上节介绍了湿空气的主要参数, 其中部分参数可以从附录 2 中查出, 也可用上节有关公式计算出来。在空调工程中为了避免繁琐的公式计算并表明过程的变化, 可以将一定大气压力 B 下的 t 、 d 、 φ 、 i 及 P 等湿空气状态参数之间关系用图线表示出来, 称 $i-d$ 图(焓湿图, 也称温湿图), 见图 1-1 及附录 3。

$i-d$ 图一般是标准大气压力 $B=101325\text{Pa}$ 下绘制的, 无特殊说明的, 均指这一压力。

一、等焓线与等含湿量线的绘制

$i-d$ 图选用 i 为纵坐标, d 为横坐标。为了使图面清晰, 两坐标之间成 135° 的夹角。在确定比例尺以后, 就可以画出一系列与纵坐标轴平行的等含湿量线及与横坐标平行的等焓线。在使用中, 为了不使图面过长, 常取一水平辅助含湿量(d)轴来代替实际 d 轴, 如图 1-1