

谷波 著

建筑物空调负荷 计算分析



科学出版社

www.sciencep.com

建筑物空调负荷计算分析

谷 波 著

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是在作者多年科研成果和吸收国外成熟理论的基础上编写而成的,较为详细、系统地分析了建筑物空调负荷的构成和计算方法。全书共分8章:建筑物空间特性与冷负荷计算步骤、设计工况、蓄热与峰值不同步性和热分层、通过玻璃的太阳辐射得热、通过围护结构的热湿传递、渗风与通风、内热源的散热、湿度的应用。本书内容详实,既有较全面的理论分析,又有相当丰富的数据和较多的计算分析例子。

本书可供高等院校从事制冷空调研究的科研人员、设计院的设计人员阅读,亦可供大专院校建筑环境与设备、制冷与空调专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

建筑物空调负荷计算分析/谷波 著. —北京:科学出版社,2003
ISBN 7-03-011283-0

I. 建… II. 谷… III. 建筑物-空气调节系统-负荷量-计算
IV. TU831.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 020540 号

责任编辑:刘宝莉 / 责任校对:柏连海

责任印制:刘士平 / 封面设计:张 放

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2003年9月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2003年9月第一次印刷 印张:12 1/4

印数:1—3 500 字数:232 000

定价:26.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

序

随着我国经济的迅猛发展,高层建筑大量涌现,而新的高层建筑设计都会配置相应的空调系统。空调系统的能耗占整个建筑物总能耗的 60%,因此,一个优化合理的空调系统设计对降低整个大楼乃至一个城市的能耗具有明显和重要的意义。而优化合理的空调系统设计的重要基础之一便是建筑物空调负荷的准确计算分析。常用的负荷计算程序所选的空调装置的容量偏大,导致空调机房面积和配电设备相应增大,占用了过多的建筑面积和空间;另外,由于空调装置容量过大,经常处于低负荷的运行状态,空调系统的运行效率下降,能耗上升。在本书中,作者提出了导致空调负荷计算偏大的原因为:建筑围护结构的蓄热,各个负荷峰值的不同步性,在某些情况的热分层。作者还对建筑物的蓄热进行了详细的分析计算,这对于建筑物空调负荷的准确计算有着十分重要的理论意义。

本书的独到之处在于:

1) 室外气象数据方面,不但给出典型设计日逐时温湿度计算方法,还给出逐月典型设计日数据求得的方法,因此,对计算全年能耗和系统运行经济分析,提供了方便。

2) 空气渗透以及内热源的计算方面,内容全面,资料充实。

3) 空调过程设计和设备选择计算方面,引入了国外常用的“显热系数”概念及其应用方法,有助于丰富设计理念。

谷波教授长期从事制冷空调机组与系统优化匹配的研究,曾获上海市科技进步一等奖、二等奖各 1 次,他本人也是国家“973”项目的研究课题“能量利用系统中的稳态和动态特性”的成员之一。这次出版的《建筑物空调负荷计算分析》一书,既有较全面的理论分析,又有相当丰富的数据,对高等院校的科研人员、设计院的设计人员等会有所借鉴。

彦启森

前 言

空调负荷计算是确定空调系统送风量和空调设备容量的基本依据。居住环境是人们的基本生活条件,建筑工程担负着为人们提供舒适的工作、学习场所和良好生活休息环境等任务,要求建筑物能充分利用当地有利气候条件,防御反复变化的天气和气候的不利干扰。所以,建筑负荷的计算必须以室外气象参数和室内要求维持的气象条件为依据。本书第一章为建筑物空间特性与冷负荷计算步骤,从总体上介绍了空调负荷计算;第二章为设计工况,所用的数据来自于室外设计条件,而室外设计条件的建立又是选用各种应用设备所在地区和室内的设计条件;第三章为蓄热与峰值不同步性和热分层,给出了计算制冷装置瞬时的制冷负荷(实际冷负荷)的数据和计算程序,把这些数据应用到特定的单个得热量,便能得到实际制冷负荷;第四章为通过玻璃的太阳辐射得热,这在冷负荷计算中具有重要的地位;第五章为通过围护结构的热湿传递;第六章为渗风与通风,其数据是基于ASHRAE对室外空气的渗风和通风品质进行测评的基础上提出的,通常室外空气的热容量与空调区域的空气有所不同,因此也给空调设备增加了负荷;第七章为内热源的散热;第八章为湿度的应用,对湿度的应用进行了描述,以用于设备的选择。本书完整地阐述了空调负荷的计算方法。

本书资料详实,深入浅出,可供查用的表格很多,不同于目前国内一般的计算方法介绍。通过本书可以深入了解空调负荷的形成原因,对不同来源的热量转化为辐射热和对流热的比例解决较好,对国内涉及不多的冷凝现象论述较为完善,且同国内外的最新理论一致。

本书的工作得到了国家“973”重点基础研究发展规划项目(G2000026309)和上海交通大学“985”重点学科建设项目的资助。

博士研究生王志毅对本书作了大量工作,包括数据的收集整理、图形的处理、计算例题的校核,硕士研究生郑钢、裴勇华、黎远光、景步云也参与了部分工作,在此作者对他们的工作表示谢意。

由于作者水平有限,经验不足,书中缺点和错误在所难免,恳请各位专家和读者批评指正。

主要符号

变 量

A	表面面积(m^2)
adp	设备露点($^{\circ}\text{C}$)
BF	旁通因子
(BF)(OALH)	旁通室外空气的潜热(J)
(BF)(OASH)	旁通室外空气的显热(J)
(BF)(OATH)	旁通室外空气的总热量(J)
cfm	空气量(kg)
db	干球温度($^{\circ}\text{C}$)
dp	露点($^{\circ}\text{C}$)
ERLH	有效室内潜热(J)
ERSH	有效室内显热(J)
ERTH	有效室内总热量(J)
ESHF	有效显热因子
GSHF	整体显热因子
GTH	整体总热量(J)
GTHS	整体总热量的补充(J)
h	比焓(J/kg)
OALH	室外空气潜热(J)
OASH	室外空气显热(J)
OATH	室外空气总热量(J)
Q	进入室内空间的太阳热(W/m^2)
q	热流(W/m^2)
R	总太阳辐射强度(W/m^2)
rh	相对湿度
RLH	室内潜热(J)
RLHS	室内潜热补充量(J)
RSH	室内显热(J)
RSHF	室内显热因子
RSHS	室内显热补充量(J)

RTH	室内总热量(J)
Eff	喷湿饱和效率
SHF	显热因子
TLH	总潜热(J)
TSH	总显热(J)
t	温度($^{\circ}\text{C}$)
W	含湿量(g/kg)
wb	湿球温度($^{\circ}\text{C}$)
wpf	室内单位面积上的围护结构得热负荷(W/m^2)

下 角 标

adp	设备露点
ba	设备的旁通空气
da	除湿
e	当量
ea	进风
edp	进口干球
es	有效表面
ew	进水
ewb	进口湿球
g	玻璃
la	出风
ldb	出口干球
lw	出水
lwb	出口湿球
m	新风和回风混合空气
oa	室外空气
ra	回风
rm	室内空气
sa	送风
sat	饱和
sd	遮蔽物

目 录

序

前言

主要符号

第一章 建筑物空间特性与冷负荷计算步骤	1
1-1 概论	1
1-2 建筑物空调负荷计算的步骤和方法	2
1-3 建筑物空调负荷计算的意义	6
第二章 设计工况	8
2-1 室外设计工况	8
2-2 室内设计工况	16
第三章 蓄热、峰值不同步性和热分层	22
3-1 建筑结构中的蓄热	22
3-2 热负荷的差异性和热分层	42
第四章 通过玻璃的太阳辐射得热	44
4-1 原始玻璃	44
4-2 各种玻璃	60
4-3 窗侧壁、悬顶、鳍板和邻近建筑物形成的阴影	68
第五章 通过围护结构的热湿传递	75
5-1 通过围护结构的传热	75
5-2 通过围护结构的湿交换	111
第六章 渗风与通风	119
6-1 渗风	119
6-2 通风	127
第七章 内热源的散热	131
7-1 人体散热	131
7-2 照明设备散热	133

7-3 用具散热	134
7-4 其他设备和设施的散热	139
第八章 湿度的应用	149
8-1 空气处理过程和各种系数的定义	150
8-2 空调设备的湿度特性	170
8-3 部分负荷控制	178
参考文献	183

第一章 建筑物空间特性与冷负荷计算步骤

1-1 概 论

建筑物中空气调节的基本功能是在室内形成可控制的人工环境，即一定的热湿环境和空气条件，如空气的温度、湿度、清洁度、速度、压力等。而实现可控制人工环境的主要目的有两个方面：一是满足人的舒适性需要；二是满足产品生产过程或空调房间温湿度的需要。

要实现上述目的，需正确地确定空调系统的运行方案，并为建筑物配置适当容量的空调设备以及合理优化地控制空调系统的运行。空调设备容量是由实际瞬时峰值负荷确定的，而控制方案则是由在峰值和非峰值间所需维持的状态决定的，由于空调系统的能耗占整个建筑物能耗的 60%~70%，空调系统设计和配置的优化对降低整个建筑物的能耗而言显得十分重要，而其中空调负荷的准确计算则是整个空调系统优化设计的重要基础。为准确计算建筑物的空调负荷，就必须对建筑物的热过程及其影响因素有详细和深入的了解，如建筑围护结构的热工过程、室内外各种因素对空调负荷的影响等。这样才能既满足建筑物室内人工环境控制的要求，又能使建筑物空调系统的设计和配置优化合理，降低运行费用和初投资，合理使用能源。

建筑物空调负荷的形成是一个复杂的、多因素影响的过程，它既受到室内外部环境的影响(通常称为内扰和外扰因素)，又受到建筑物围护结构蓄热特性的影响。

(1) 内扰

内扰是指照明装置、仪器设备和人体的散热、散湿。

(2) 外扰

外扰是指室外空气的温度、湿度、太阳辐射强度、风速和风向等。

(3) 围护结构的蓄热

由于围护结构热容量的存在，室外空气参数的变化以及太阳辐射至墙壁的热量对室内空气参数的影响都存在滞后性。

本书所论述的内容涉及了上面提到的影响建筑物空调负荷方面的因素，包括室内外设计参数的确定、通过玻璃的太阳辐射得热、通过围护结构的热湿传递、渗风和通风带来的负荷、内热源和系统的散热量以及湿度的影响。

本书的第一章主要叙述建筑物空调负荷计算的步骤和方法。

1-2 建筑物空调负荷计算的步骤和方法

1-2-1 确定建筑物空间特征和热源

建筑物空调负荷准确计算的第一步基础工作是对需要空调的空间内的热负荷组成进行详细分类,这对空调负荷计算的准确性而言是十分重要的。通常应考虑以下方面的因素:

1) 屋的方位: 所要进行空气调节的空间位置要考虑以下三个方面:

① 方位角: 太阳和风的影响。

② 周围永久性的设备: 阴影的影响。

③ 有效的表面: 水、沙、停车点等。

2) 空间的用途: 办公室、医院、百货公司,尤其是商店、设备商店及工厂等。

3) 空间的外形尺度: 长、宽、高。

4) 天花板的高度: 两层地板之间的高度,地板到天花板的高度,以及悬吊的天花板和横梁之间的间隙。

5) 柱子和横梁: 尺寸、深度以及支撑柱。

6) 建筑物的材料: 墙、屋顶、天花板、地板和隔断的材料和厚度,它们在结构上的相对位置。

7) 周围的环境条件: 墙和屋顶的外形颜色,由相邻的建筑物或被阳光照射后的阴影。

顶层阁楼的空间: 通风或不通风,自然通风或强制通风。

空气调节或不进行空气调节的周围空间: 未进行空气调节的相邻空间温度,如锅炉房、厨房、在地面一层的地板以及地下室。

8) 窗户: 尺寸和安装位置、木制或金属的窗框、单层或双层悬挂。

玻璃的类型: 单层或多层的,遮阳装置的类型,悬挂尺寸。

9) 门: 位置、类型、大小和使用的频率。

楼梯、电梯和扶梯: 位置、暴露于被调节区的空间的温度、机器的功率、通风状况。

10) 人: 数量、占用的时间、活动的类型和集中程度。有时还须基于个人或平均交通量,计算每平方米人的数量。

11) 照明: 最大功率,照明类型: 发光或荧光,凹进安装或凸出安装。有时由于缺乏精确的资料,还须基于每平方米的功率计算。

12) 发动机: 位置、铭牌和马力,使用情况。后者是非常重要的,要仔细计算。电力发动机的输入功率和输出功率是不相同的,建议在任何可能的情况下测量输出功率,特别是在发动机的机械负荷是冷负荷的主要负荷时,这对于工业建筑安

装的负荷计算尤其重要。

13) 设施、商业机器、电子设备：位置、额定功率、蒸汽或气体消耗、有无罩盖等。

14) 避免来自各种设施和商业机器的热量。例如，烤箱或烘饼干的炉子在晚上时不会使用，水壶在早晨时不会使用，并不是所有的商业设备都是同时使用的。

15) 电子设备通常需要专门的一个空调，应该遵循厂家对温湿度变化的建议。

16) 通风：平均每人规定的通风量，见第六章。

过量烟气和气体的排气风扇：类型、大小、速度以及排气量。

17) 热储存：包括系统的运行时间（每天 12h、16h、24h），特别是在峰值负荷条件下，建筑物的设计温度范围、地板的粗糙程度、围护结构表面材料的性质（见第三章）。

18) 连续或间断的运行：系统是在冷却季节内的每天都需要运行还是偶尔运行。如果是间断运行，就需确定预冷却持续时间。

1-2-2 确定设备的位置

设备位置的确定将有助于空调负荷的计算以及空气和水系统的设计。下面是需要考虑的因素：

1) 可获得的空间：楼梯间的位置、电梯通道、废弃的烟囱、管路通道、小升降机的通道等，制冷机、冷却塔、泵以及各种设施。

2) 可能的障碍：所有电线、管线的位置，以及其他在管道系统中的障碍或干扰。

3) 所有的防火墙和隔墙的位置：防火阀需要的位置。

4) 室外空气吸入的位置：其他建筑物、风向、废物，以及不需要的污染物的进路。

5) 电力设施：位置、能量、当时的限制，电压、相位以及循环，有几个电线绕组，如果需要的话，额外的功率如何引进及其位置。

6) 水设施：位置和管路尺寸，容量、压力及最高温度。

7) 蒸汽设施：位置、大小、容量、温度、压力及管路系统的类型。

8) 制冷、盐水或冷却水（如果由用户安装）：系统类型，容量，温度，压力。

9) 空间的建筑物特征：将融入空间设计的出口选择。

10) 现存的传输空气的设备和管道：为了可能的再利用。

11) 排水系统：位置和容量，污水的处理。

12) 控制设备：压缩空气来源，电器设备。

13) 地基和支撑：必要条件和设施，房屋的强度。

14) 声音和振动控制设备：制冷和空气处理设备的连接，接近临近区域的位置。

15) 移动设备到末端位置的可能性: 电梯、楼梯和门。

16) 控制线、排水系统、水供应、制冷剂泄漏、制冷和空气处理设备的建造、管路工作、防火阀、一般建筑物和特殊设备房间的通风。

1-2-3 计算空调负荷

空调负荷的计算是选择空调设备的重要依据, 它必须考虑在设计日内从室外吸收进来的热量, 还必须考虑室内产生的热量。通常设计日定义为:

- 1) 干、湿球温度同时都在峰值 (见第二章)。
- 2) 只有很少的雾或基本上没有雾 (见第四章)。
- 3) 所有室内负荷都处于正常范围 (见第七章)。

实际上, 所有负荷在同一时间都达到峰值的情况很少发生, 为了接近实际, 通常在某些负荷组成中适当考虑各种因素 (见第三章)。

1. 确定室外负荷

来自室外的负荷包括以下几个方面:

(1) 从窗户进的太阳光

表 4-1、表 4-2 提供了如何计算从玻璃窗进来的太阳能。太阳能通常会被窗户里面或外面的遮阳装置阻挡; 表 4-1 给出了影响因素。窗户或部分窗户还会被相邻建筑物遮住。大部分太阳能都是通过辐射进来的, 并且有一部分是以第三章描述的形式储存起来的。

(2) 空气的蒸汽压

周围高的蒸汽分压力会引起水蒸气通过建筑材料进入。这种负荷仅在低露点温度应用中有很大影响。表 5-23 有计算这种负荷的数据。在舒适性的应用中这种负荷可以忽略。

(3) 建筑外的风负荷

风引起室外高温、高湿度的空气通过门或窗的缝隙渗透进入房间, 导致了局部较大的潜热负荷, 第六章就包含这些计算数据。

(4) 通风所需的室外空气

室外新鲜空气通常是必要的, 并保持一定的水平。这种室外新鲜空气增加了冷却或除湿的负荷。大多数空调设备都让某些室外空气绕过冷却表面 (见第八章)。绕过的空气会成为空调空间的负荷, 类似于渗透的水, 它不是通过门窗的缝隙进来的, 而是通过输送空气的管道进来的。绕过的空气量取决于第八章中所描述的设备类型。

2. 确定内部负荷

内部负荷或空调空间产生的热量取决于应用场合的特性, 通常内部负荷包含

以下一些内容：

(1) 人

人体本身通过新陈代谢产生的热量，并通过人体表面的辐射、对流、蒸发的形式散发出去，对流和蒸发是在呼吸的时候产生的。产生和释放的热量取决于环境的温度以及人的活动情况。

(2) 照明

发光体把电能转换为光和热（见第七章），有些热是辐射热并被部分储存（见第三章）。

(3) 装置

餐馆、医院、实验室和某些精品店（美容院）有电、气和蒸汽装置，这些装置会放热，如果装置中使用有利的排气罩盖，热量将会减少。

(4) 计算机

参照制造厂的数据来计算计算机的散热量。通常，并不是所有的机器都同时使用，因此应采用满负荷使用系数，有的可能被罩盖或部分内部冷却，以减少空调系统的负荷。

(5) 电动机

电动机在工业应用中是主要负荷，所以在计算负荷前对电动机运行时间和容量应仔细地分析，通常在现存的设施中实际测量这种负荷是可能的。

(6) 热力管道和储水池

在空调空间运行的蒸汽和热水管道或储水池都会增加热量。在许多工业应用中，储水池都是暴露在空气中的，造成水分蒸发而进入空调室内。

(7) 混合源

在空调室内有些其他的热源或湿气，例如工业净化、压缩装置中逸出的水蒸气、亲水性材料（如纸、丝织品等）吸收的水，见第七章。

除了来自室外和室内的热量外，空调设备和管路系统也会向外散发热量，同时用来输送空气和水的风机和水泵也会增加热量。

3. 高海拔建筑对负荷计算的影响

空调负荷的计算是基于需要处理的空气量，所以密度的减少意味着体积的增加，与潜热负荷相应的空气量将会减少。由于海拔越高，潜热负荷也越大，对于同样的干球温度和相对湿度，露点温度随着海平面上的高度的增加而减少（饱和时除外）。

下面是计算高海拔负荷时需要考虑的内容（见第八章）：

1) 房间空气的设计湿度必须调整到需要的水准。

2) 除了计算影响体积和空气的显热和潜热的因素必须乘以这一特定条件下的相对密度外，还必须用到标准的计算热负荷的方法和形式。

3) 由于空气含湿量的增加, 必须修正有效显热因子。

4. 选择设备

在负荷计算完成后, 必须选择能充分满足这种负荷的空调设备。室内提供的空气必须能适当地满足计算的显热和潜热。在第八章中, “焓湿图的应用” 给出了相应的程序和例子, 来决定如何选择空调设备 (空气量、机器露点等)。

1-3 建筑物空调负荷计算的意义

建筑是一个国家技术和经济水平的体现, 由于我国经济发展迅猛, 经济总量和水平呈现不断上升的趋势, 现在和今后都将会出现大量新的建筑, 所有新的建筑都会有空调系统的存在, 以创造舒适、合理的室内人工环境, 为人们的工作、生活以及产品的生产提供良好的条件。

自 20 世纪 70 年代以来, 由于能源危机, 促使世界各国逐渐重视节能问题。现代建筑由于功能日益齐全和多样化, 其能耗也十分可观, 其中空调系统的能耗占了整个建筑物能耗的 60%~70%。因此, 设计优化节能的建筑、配置优化匹配的空调系统以及对空调系统的运行进行优化控制对降低整个建筑物的能耗, 乃至降低整个城市和国家的能耗有着十分重要的意义。

就技术角度而言, 降低建筑物空调系统的能耗和运行费用应从下面三个方面来考虑。

1. 优化节能的建筑设计

采用新型的建筑围护结构材料可以十分有效地降低室外环境对室内人工环境的影响, 大大降低了冷、热负荷。同时合理的建筑结构设计可使空调系统的设计和运行达到更理想的状态。

2. 对冷、热负荷进行准确计算, 设计和配置最佳的空调系统

对结构已确定的建筑而言, 这是最根本和最重要的降低空调系统能耗的手段。由于建筑物冷、热负荷的形成和类型比较复杂, 影响因素较多, 使得大多数设计人员采取粗略估算负荷的方法, 这样会导致空调系统容量配置与建筑物的负荷相差较大。如果空调系统的容量过大, 则系统的初投资、能耗和运行费用都将上升; 而如果空调系统的容量过小, 则房间内温度和湿度的控制将无法达到设计要求, 空调系统一直处于运行状态, 能耗和维修费用也将上升。因此, 建筑物冷、热负荷的准确计算显得十分重要, 它是设计和配置与建筑物负荷相匹配的空调系统的基础。

3. 空调系统运行的优化控制

建筑物的负荷有显热负荷和潜热负荷，且不同的应用场合又有不同的温、湿度控制要求以及相应的通风要求。因此，一成不变的控制方式是无法对各种应用进行有效控制的。只有分清应用类型，采取相应的控制方法，才能使房间中空气参数的控制更精确，更好地达到设计要求和使运行能耗更低。

就以上三个方面来说，本书主要涉及第二个方面的内容，对第三个方面的内容也有涉及（空调系统运行控制更详细的介绍可见相关论著）。由于目前大部分空调系统设计中，负荷的计算比较粗略，通常配置的空调系统容量较大，导致空调机房占用了过多的建筑面积、空调系统相应的配电设备增大，以至于初投资、系统能耗、运行费用、占用建筑面积等各项指标均未达到最优控制的目标。由此可见，空调系统的优化配置将取决于基础工作——建筑物空调负荷的准确计算和分析。希望本书能对我国建筑物空调负荷计算和空调系统的优化设计提供有益的方法，使这方面的研究工作更趋深入和广泛。

第二章 设计工况

建筑空调系统的负荷受到各种扰量的影响，这些扰量可分为内扰和外扰两大类，室外空气环境的变化属于外扰，如室外空气的温度、湿度，太阳辐射强度，风速和风向等；而室内照明装置、仪器设备和人体的散热、散湿的变化属于内扰。室外空气环境和建筑物所处地理位置以及气象条件有关，而室内环境则和人类的生活工作要求有关，空调系统的负荷是在室外和室内环境的共同作用下产生的。因此，一个合理优化的空调系统设计首先要确定的是室外和室内的设计工况。

2-1 室外设计工况

室外设计工况主要是指室外空气的干、湿球温度，风速和风向，建筑物所处的地理特征：海拔高度和纬度。室外空气参数的变化是一个不可逆的随机过程，但是，这种变化又呈现出显著的周期性，它表现在两个方面：一个是气温日变化的周期性；一个是气温季节性变化的周期性。这种周期性变化的特征使我们能有效地确定出不同地区和城市在不同季节的典型设计工况，表 2-1 所列的是我国 105 个城市的室外设计气象条件，表中日较差是在设计内 24h 中高、低干球温度的平均温差，日较差随着各地气候不同而不同。

表 2-1 室外设计工况——夏季和冬季

城市	标准夏季设计工况			年平均 温度	最大设计工况——夏季 14:00			标准冬 季设计 工况	风的参数		海拔高 度/m	纬度 (北纬)
	干球 /℃	湿球 /℃	室外计 算相对 湿度/%	干球 /℃	干球 /℃	湿球 /℃	计算日 较差 /℃	干球 /℃	平均速度和 主要风向			
									夏季 /(m/s)	冬季 /(m/s)		
北京	29	26.5	77	11.4	33.8	31.1	8.8	—12	1.9	3.0	31	39°
上海	30	28.3	83	15.7	34.0	33.1	6.9	—4	3.0	3.2	4.5	31°
天津	29	27.2	78	12.2	33.2	31.9	8.1	—11	2.5	2.9	3.3	39°
海拉尔	23	19.9	72	—2.1	27.9	24.9	10.2	—38	3.0	2.4	612.8	49°
齐齐哈尔	26	23.1	74	3.2	30.7	28.8	8.7	—29	3.4	3.3	145.9	47°
哈尔滨	25	23.9	78	3.5	30.3	29.6	8.3	—29	3.3	3.4	171.7	45°