

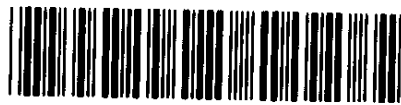
520

707

2

建筑工程质量检测新技术

张仁瑜 主编



A0943093

中国计划出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

建筑工程质量检测新技术/张仁瑜主编. —北京: 中国计划出版社, 2001.1

ISBN 7-80058-895-5

I. 建... II. 张... III. 建筑工程-工程质量-质量检验 IV. TU712

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 53398 号

建筑工程质量检测新技术

张仁瑜 主编

☆

中国计划出版社出版

(地址: 北京市西城区木樨地北里甲 11 号国宏大厦 C 座 4 层)

(邮政编码: 100038 电话: 63906413 63906416)

新华书店北京发行所发行

三河富华印刷包装有限公司印刷

850 × 1168 毫米 1/32 7.5 印张 187 千字

2001 年 1 月第一版 2001 年 1 月第一次印刷

印数 1—5000 册

☆

ISBN 7-80058-895-5/TU·207

定价: 15.00 元

前 言

近年来，建筑工程质量现场检测技术在我国发展非常迅速，已经成为检验工程质量的重要手段。经过近二十年的努力，我国已经编制了回弹法、超声法、超声回弹综合法、钻心法和拔出法等的技术规程，在工程质量检测、鉴定和仲裁中发挥了重要作用。

随着建筑技术的发展和工程质量检测的需要，我国引进了许多新的检测技术，如红外成像检测技术、雷达波检测技术等，同时国内也积极吸收消化国外的先进检测技术，发展了冲击反射法检测技术、砌筑砂浆贯入法检测技术、建筑锚栓检测技术等。本书均由我国工程质量检测界的著名专家撰写，系统论述了各项检测技术的原理、检测方法、评判方法和工程应用等。

在本书的出版过程中，中国建筑科学研究院周永厚同志给予了大力帮助，特此鸣谢。

编 者

2000年5月

目 录

- 1 无损检测技术在建筑工程中的应用与发展
..... 中国建筑科学研究院 吴新璇 张仁瑜 (1)
- 2 红外成像无损检测技术
..... 同济大学 李为杜 (7)
- 3 探测混凝土内部缺陷及厚度的冲击反射法及
测试系统 南京水利科学研究院
罗骥先 傅翔 宋人心 朱大铮 (44)
- 4 雷达波检测技术
..... 福建省建筑科学研究院 叶 健 (71)
- 5 墙体材料种类的现场检测
..... 同济大学 林维正 (115)
- 6 贯入法检测砌筑砂浆抗压强度技术
..... 中国建筑科学研究院 张仁瑜 (167)
- 7 混凝土用锚栓检测技术
..... 中国建筑科学研究院 杨 志 (198)

无损检测技术在建筑工程中的应用与发展

(中国建筑科学研究院 吴新璇 张仁瑜)

建筑工程无损检测技术经过了几十年的发展,已日臻成熟,应用也越来越广泛。尤其在我国健全各级监督检测机构之后,已成为工程质量现场检测的主要手段。为提高建筑工程质量,推动建筑技术的发展作出了很大的贡献。

国内常用检测方法按检测内容可分为如下几种:①用于混凝土强度检测的方法有回弹法、超声回弹综合法、拔出法、钻芯法等;②用于混凝土缺陷检测的方法有超声法、雷达波反射法、冲击反射法等;③用于钢筋直径和位置检测的方法有电磁感应法、雷达波反射法;④用于砌筑砂浆和砌体质量检测的方法有贯入法、轴压法、扁顶法等;⑤用于钢结构质量检测的方法有超声波探伤、磁粉探伤、X射线探伤等;⑥用于装饰质量检测的有饰面砖粘结力试验、房屋渗漏检测、建筑连接锚栓的检测等。

一、应用状况

钢结构施工中的无损检测技术应用较为普遍,其检测结果已成为工程验收必不可少的依据。砌体质量的检测方法很多,但无一种方法有国家正式颁布的规范,往往给检测工作带来困难。应用最多的是混凝土质量的检测。我国最为常用的混凝土强度检测方法是回弹法、超声回弹综合法、拔出法和钻芯法,混凝土缺陷检测方法是超声法。这五种方法分别编制了行业标准或协会标

准，用于指导和规范检测工作。下面主要论述混凝土质量检测技术在我国的应用状况。

（一）回弹法

回弹法检测混凝土强度技术在我国的使用最广泛。虽然检测精度往往不高，但因操作简单、检测费用低廉而深受欢迎。在《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》JGJ/T 23—92 中规定，回弹法检测混凝土的龄期为 7~1 000 天，以及不适用于表层及内部质量有明显差异或内部存在缺陷的混凝土构件以及特种成型工艺制作的混凝土的检测。这大大限制了回弹法的检测范围，例如，不适用于既有建筑中混凝土龄期超过 3 年，以及遭受火灾、冻害、化学腐蚀等混凝土的强度检测。但在工程检测中是经常碰到这类问题的。解决这些问题的方法主要是采用钻芯法和回弹法相结合，对这两种方法的检测数据进行适当处理，基本上可以满足上述混凝土的强度检测，也能取得较为满意的检测结果。这种做法依然不适用于内部存在缺陷的混凝土强度检测。

（二）拔出法

拔出法作为一种新的混凝土强度检测技术，在我国一直没有得到广泛的应用。事实上，拔出法检测混凝土强度的精度是比较高的。发达国家基本上都有正式的标准，有些国家甚至将拔出法的检测结果作为混凝土强度的验收依据。这是其他混凝土强度检测方法所达不到的。

在国外，使用较多的是预埋拔出法，而国内是后装拔出法。后装拔出法检测的缺点是检测比较麻烦，需要钻孔、磨槽、安装锚固件等。试验的成本要大一些，这些都影响了后装拔出法的应用。

拔出法的优点除了检测精度高外，还可以进行高强混凝土的强度检测。随着混凝土强度的提高，石子与水泥胶结料的强度相近，材料趋向匀质，石子在检测中的影响减少，可以提高拔出法

检测的精度。据资料报道，现有拔出仪所能检测的混凝土强度最高可达85.0 MPa,且拔出法的测强曲线为直线方程，只要检测设备许可，是可以检测更高强度的混凝土。现有的拔出仪完全可以满足我国现阶段的高强混凝土强度检测。

(三) 钻芯法

钻芯法检测混凝土强度以其直观准确而成为其他检测方法的校验依据。但钻芯法对构件的损伤较大，检测成本高，因而难以大量使用。为了克服这些缺点，采用小直径芯样进行检测成为发展方向。目前最小的芯样直径可以达到25 mm。但小直径芯样的强度试验数据离散较大，需要通过增加检测数量才能达到标准芯样的检验效果。目前常用的小直径芯样一般为 50 ~ 75 mm。

钻芯法也是可以进行高强混凝土强度检测的方法之一。同时可以采用钻芯法对所有混凝土缺陷检测项目进行定性检测。

(四) 超声法及冲击反射法

超声法主要是用于混凝土内部缺陷的检测。虽然超声法的准确性较差，但其穿透能力仍然是各种测缺方法中最强的，最大可达15 000 mm。超声法要求检测人员有较高的专业水平，才能取得较为准确的检测结果。

冲击反射法是最近发展起来的一项混凝土缺陷检测先进技术，穿透能力一般为2 000 ~ 3 000 mm，其检测的准确性有所提高，且在检测时只需一个测试面，不用去除装饰层，还可以用于构件厚度的检测。国内已有单位研究成功冲击反射法检测仪器，但实际应用的例子不多。其检测设备的价格比较贵。

二、国外无损检测新技术及其应用

国外在无损检测技术方面一直比我国先进。大致领先 5 ~ 10 年。近年来，国外在无损检测领域又取得了许多新成果，进行了许多新的应用，大胆采用高新技术进行工程质量的检测，有许多

成功的实例。

(一) 雷达技术的应用

雷达技术可以非接触进行检测，检测速度快，接收信号经处理后可以直观的图像在屏幕上直接显示。雷达波技术可用于混凝土缺陷的检测、定量分析桥梁腐蚀、管道无损检测、探测砌体结构的完整性及雷达波层析摄影术，用微波技术来检测建筑构件的含水量。雷达波的穿透能力较差，一般在300 mm左右。

(二) 电磁与电测法

用核磁共振法检测混凝土成熟过程各阶段的特性，测定建材孔隙的含水分布。用涡流法测定混凝土盖板厚度及钢筋混凝土中的钢筋直径。用剩磁法测定预应力混凝土中张拉钢筋的断裂。用超高频电磁诊断材料的涂层质量。用交流阻抗法监测混凝土中钢筋的锈蚀等。

(三) 红外成像技术

红外成像技术是把连续热流注入试件，热流在试件中的扩散情况与试件内部结构有关，并随时间推移使试件表面产生温差，利用红外成像技术来获得试件近表面的缺陷情况。它具有非接触、远距离、大面积扫查、结果直观等优点。主要用于建筑物的保温节能性能普查，方便实用。也可用于木材断裂过程的检测，分析古建筑砖的色彩变化，外粘结碳纤维塑料板和多层建筑材料的检测等。

(四) 超声波方法

超声波方法除了传统的声速、频率、波幅三个参数检测混凝土缺陷外，还逐步发展到混凝土构件的超声成像检测技术。除了缺陷检测外，还有超声脉冲反射技术测定钢筋位置和钢筋直径，石膏、水泥和混凝土材料试验的超声频谱分析，砌体结构的超声试验，高衰减材料的超声检测，超声脉冲速度法检测沥青混凝土的某些特性，超声法评估高温处理的钢筋混凝土构件，以及超声

信号叠加技术检测钢筋混凝土构件厚度等。

概括起来讲，国外使用的检测方法有十几种之多，如回弹法、超声脉冲速度法、超声反射法、钻芯法、拔出法、声发射法、电测法、激光干涉法、冲击反射法、雷达扫描技术、红外成像技术、磁测法、射线成像与辐射测量、核磁共振法、光测法以及高速无损检测技术等。这些技术的最大特点就是更多的应用了计算机技术、仿真技术、神经网络技术等，具有很高的技术水平。

三、发展趋势

1. 随着计算机技术的发展，检测仪器逐步向高、精、尖方向发展。例如超声仪的智能化、超声成像技术、雷达波反射成像技术及冲击反射等方法的发展与应用均依赖于计算机技术的进步。在采用了计算机技术之后，才可能从单一的参数检测到多参数综合分析，从简单的检测数据到直观的检测结果表达。计算机技术还为一机多用开辟了途径，例如将超声仪和冲击反射仪合二为一，增加了仪器的使用价值。今后，计算机技术必将越来越多地用于工程质量的检测和鉴定。

2. 随着我国工程界对新技术、新材料的应用，对检测技术也提出了新的要求，如高强、高性能混凝土的应用，便要求能够准确检测 C60 以上的混凝土强度，以及混凝土的稳定性和耐久性等指标，许多性能是目前无法检测的。有待我们今后去开发研究。

3. 从单一质量指标检测向综合鉴定发展。这是工程鉴定的需要。随着新的结构形式及混合结构的不断出现，如劲性混凝土结构、钢管混凝土结构等，在进行鉴定时不仅仅要检测混凝土的施工质量，也涉及到钢筋施工质量，钢结构施工质量，砌体施工质量等。

在进行既有建筑物的质量检测，以及遭受化学腐蚀、火灾等建筑物的质量检测时，还要对建筑的损伤程度及剩余使用寿命和结构安全性进行评估。目前已从工程质量检测向结构评估方向发展。

除此之外，还要对非结构质量进行鉴定，如装修工程中的外墙饰面砖施工质量、玻璃幕墙施工质量和防水工程质量等。为此，国家编制了行业标准《建筑工程饰面砖粘结强度检验标准》JGJ 110—97，以及正在编制的行业标准《玻璃幕墙安装质量检验方法标准》、《建筑锚栓技术规程》和《房屋渗漏检测方法标准》等。

4. 从取样检验向现场检验发展。将无损检测结果作为工程质量的验收依据，是有效地控制工程质量的重要手段，可以杜绝取样试验的弄虚作假现象，大大改善我国的工程质量状况。目前已有一些地方和单位对施工的工程采用无损检测结果作为验收的参考依据，不致于使工程的质量失控。

红外成像无损检测技术

(同济大学 李为杜)

一、概述

依据被测物连续辐射红外线的物理现象,采用红外摄像电子分析仪器与计算机处理器摄取红外线辐射的强弱程度,并转换为被测范围内的温度场分布的图像,借以直观地识别和判定物体存在的缺陷和损伤、管线路运输失常和房屋使用的漏泄及保温隔热性能的质量评估等,称为红外成像检测技术。由于它是非接触式不破坏被测物体,所以已经成为国内外无损检测技术的重要分支,特别是它具有对不同温度场、广视域的快速扫测和遥感检测的功能,因而,对已有的无损检测技术功能和效果具有很好的互补性。

红外成像仪的工作原理如图 2-1 框图所示:

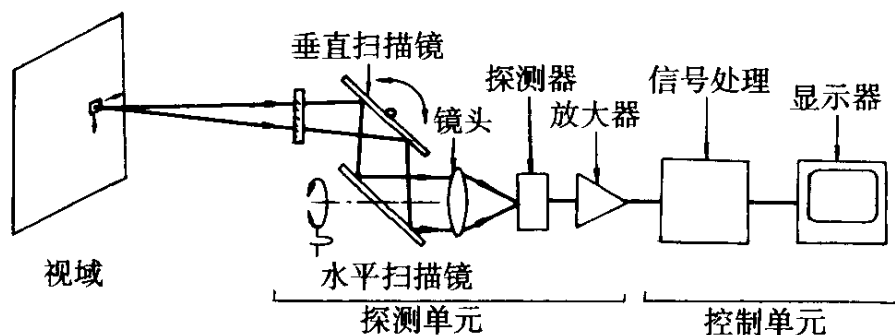


图 2-1 红外成像仪工作原理框图

上图表示从被测物上某一点辐射的红外线能量入射到垂直和水平的光学扫描镜上,通过目镜聚集到红外线探测器上,把红外线能量信号转换成温度信号,经放大器和信号处理器,输出反映

物体表面温度场热像的电子视频信号，在终端显示器上直接显示出来。

用垂直和水平扫描镜在被测物上的某一点进行扫描，使采样与扫描同步，可以得到该点或视域范围的图像数据。

红外线成像检测技术的特点：红外线的探测器焦距在理论上为20 cm至无穷远，因而适用于作非接触、广视域的大面积的遥感探测；探测器只响应红外线，只要被测物处于绝对零度以上，红外成像仪就不仅在白天能进行工作，而且在黑夜中也可以正常地进行探测工作；现代的红外热像仪的温度分辨率高达 $0.1 \sim 0.02^{\circ}\text{C}$ ，所探测的温度变化的精确度很高；红外热像仪测量温度的范围在 $-50 \sim 2\,000^{\circ}\text{C}$ ，其应用的探测领域十分广阔；摄像速度 $1 \sim 30$ 帧/s，故很适用静、动态目标温度变化的常规检测和跟踪探测，因而，也有把它称为温度跟踪仪的说法。

红外成像检测技术已广泛用于电力设备、电路安全运转的检查，石化管道泄漏，冶金炉衬损伤，航空胶结材料质量的检查，大地气象检测预报，山体滑坡的预报，医疗诊断。总之，红外热像技术的应用，已有文献报导，大至进行太阳光谱分析、火星表层温度场探测，小至人体癌症病变诊断的检查研究等。

红外检测技术用于房屋质量和功能的诊断，在我国尚处于试验或是刚刚起步的阶段，但是其用武之地将是十分广阔的。随着房屋建筑老龄化和旧建筑工程事故不断增多，经济发达的国家均很重视危旧房屋的维修改造，危旧房的改造是世界性、全国性的大问题。据报导，我国在房屋改造上的资金投入占同期建设总投资的百分比很大，在今后若干年中，作为房屋改造的第一步，发展检测诊断技术将是非常迫切的任务，因为有效的检测技术是科学诊断评估的前提，引入当代科技发展的新成果——红外无损检测技术也将是十分必要的。

二、红外检测技术基本原理

红外线是介乎于可见光和微波之间的电磁波，它的波长范围为 $0.76 \sim 1\,000\ \mu\text{m}$ ，频率为 $4 \times 10^{14} \sim 3 \times 10^{11}\ \text{Hz}$ ，图 2-2 表示整个电磁辐射光谱。

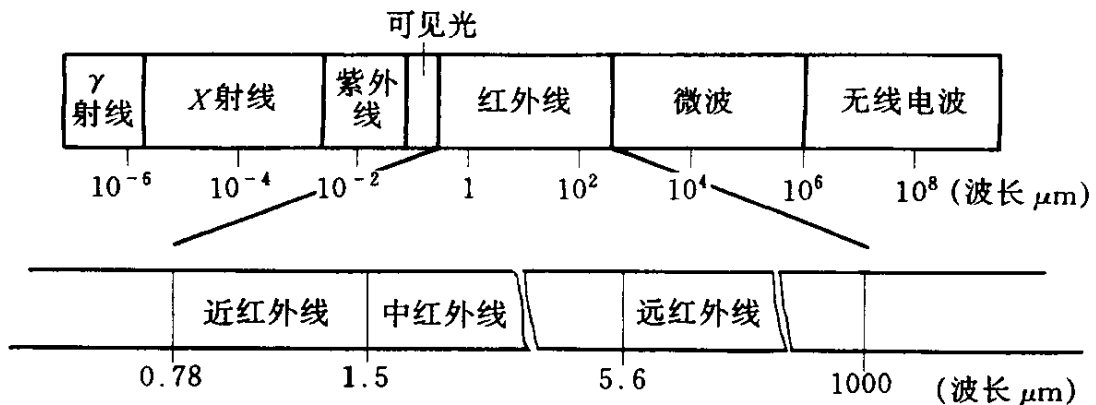


图 2-2 电磁辐射光谱

从电磁辐射光谱看出，可见光仅占很小的一部分，而红外线则占很大一部分，科学研究通常把 $0.76 \sim 2\ \mu\text{m}$ 的波段称为近红外区； $2 \sim 20\ \mu\text{m}$ 的波段称为中红外区； $20\ \mu\text{m}$ 以上的称为远红外区。实际应用中，人们已把 $3 \sim 5\ \mu\text{m}$ 波段称为中红外区， $8 \sim 14\ \mu\text{m}$ 的称为远红外区。

在自然界中，任何高于绝对温度零度（ -273℃ ）的物体都是红外辐射源，由于红外线是辐射波，被测物具有辐射的现象，所以，红外无损检测是测量物体热传导的热量和热流来鉴定该物体质量的一种方法，当物体内部存在裂缝和缺陷时，它将改变物体的热传导，使物体表面温度分布产生差别。利用遥感技术的检测仪测量它的不同热辐射，形成对应于表面温度场分布的热图像，可以查出物体的缺陷位置。

从图 2-3、图 2-4 可以看出，光照或热流注入是均匀的，对无缺陷的物体，经反射或物体热传导后，正面和背面的表层温度

场分布基本上是均匀的，在显示的热图像上温度高低差异不大，可以认为被测的物体是均质的，没有缺陷或损伤的特征；如果物体内部存在缺陷，将使缺陷处的温度分布与周边区域的温度分布产生明显的差异，即对于隔热性的缺陷，从正面辐射检测的结果，在缺陷处因热量堆积，在显示的热图像上则呈现温度偏高的现象，即所谓“热点”。如在背面检测热传导结果的温度场分布，而缺陷处将呈现低温度区，即所谓“冷点”；而对于导热性的缺陷，正面检测方式，缺陷处的温度将呈现低温点，背面检测方式，缺陷处的温度将呈现“热点”，因此，采用热红外检测技术，可较形象地检测出材料的内部缺陷和均匀性。前一种检测方式，常用于检查壁板、夹层结构的胶结质量，检测复合材料脱粘缺陷和建筑饰面砖粘贴的质量等；而后一种检测方式可用于房屋门窗、冷库、管道保温隔热性质的检查等。

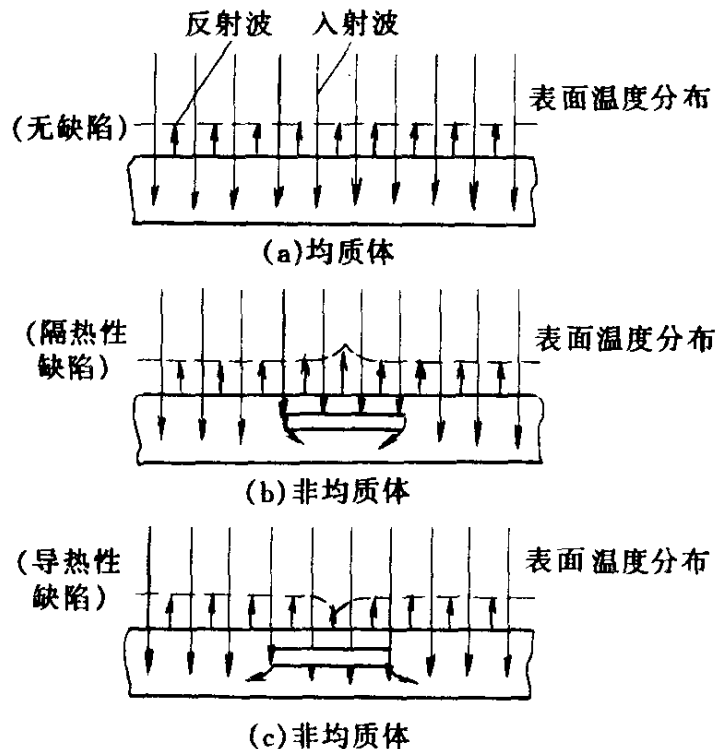


图 2-3 表示向物体注入热量，从物体表面辐射状况来测量温度分布的方式

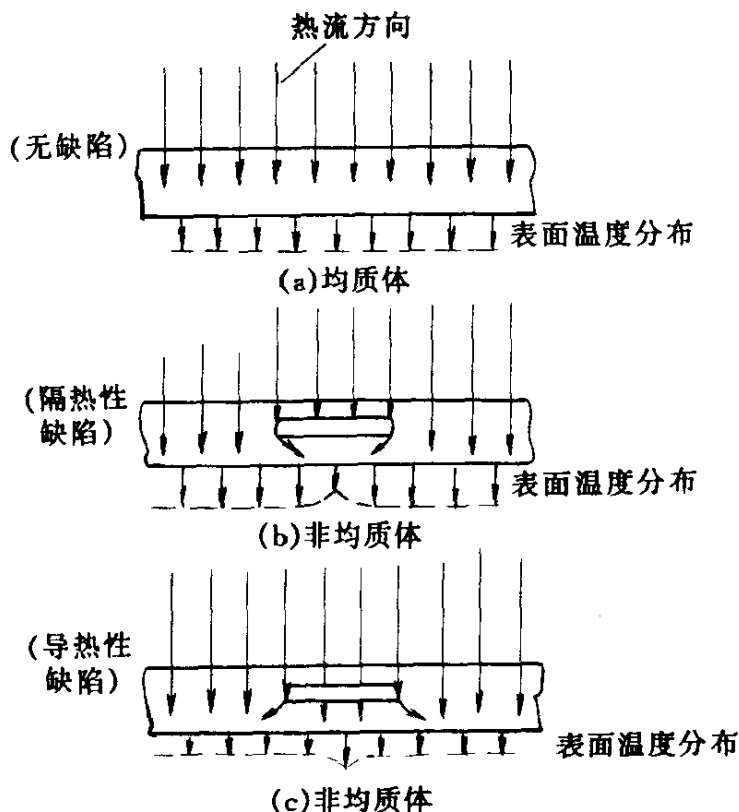


图 2-4 表示热流通过物体内部的传导，
从背面测量温度分布的方式

红外线的辐射特性是红外成像的理论依据和检测技术的重要物理基础。

(一) 辐射率

物体的热辐射总是从面上而不是从点上发出来的，其辐射将向平面之上的半球体各个方向发射出去，辐射的功率指的是所有各方向的辐射功率的总和，而一个物体的法向辐射功率与同样温度的黑体的法向辐射功率之比为“比辐射率”，简称为辐射率。所谓黑体是对于所有波长的入射光（从 γ 射线到无线电波）能全部吸收而没有任何反射，即吸收系数为 1，反射系数为 0。

热像仪光学系统的参考黑体是不可缺少的部件，它提供一个基准辐射能量，使热像仪据此能够进行温度的绝对测量。根据普

朗克辐射定律：一个绝对温度为 T (K) 的黑体，在波长为 λ 的单位波长内所辐射的能量功率密度为：

$$W(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} (e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1)^{-1} [\text{W/cm}^2 \cdot \mu\text{m}] \quad (2-1)$$

式中 λ ——波长 (μm)；

T ——黑体绝对温度 (K)；

C_1 ——第一辐射常数 [$2\pi hc^2 = 3.740 2 \times 10^{-12}$ ($\text{W} \cdot \text{cm}^2$)]；

C_2 ——第二辐射常数 [$ch/k = 1.438 8$ ($\text{cm} \cdot \text{K}$)]；

h ——普朗克常数；

k ——玻尔茨曼常数；

c ——光的速度。

根据普朗克辐射定律可知，一个物体的绝对温度只要不为 0，它就有能量辐射。

光谱辐射强度与温度的关系如图 2-5 所示。

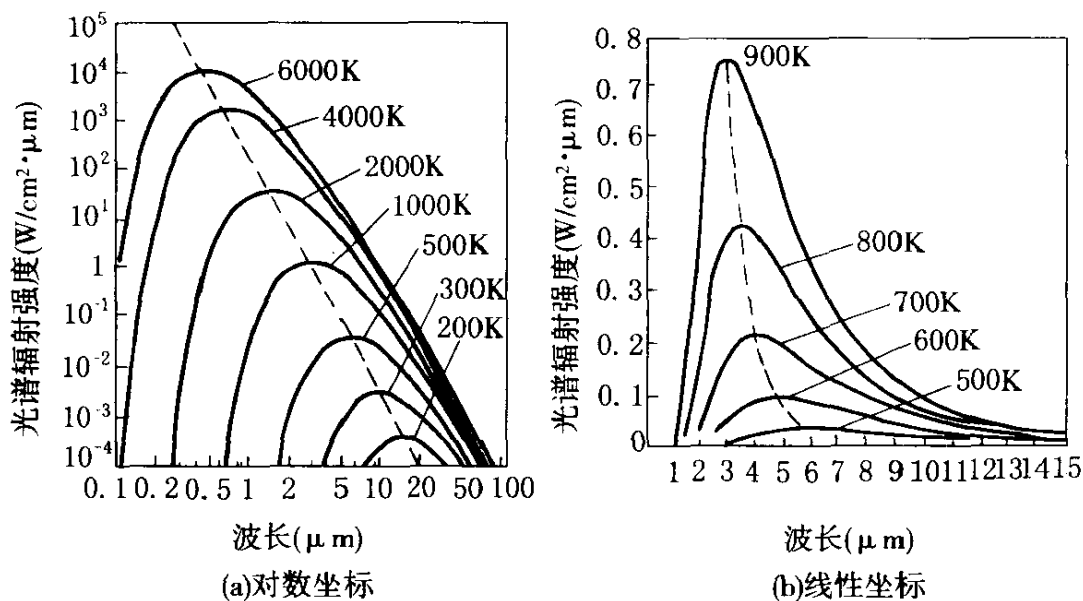


图 2-5 光谱辐射与温度的关系

图 2-5 (a、b) 表明黑体波长辐射能量与温度的关系，辐射能量对于波长的分布有一个峰值，随着温度的升高，峰值所对应的波长越来越短，峰值波长的位置按 $\lambda_p = 2890/T$ 方向移动。处于室温的物体 ($T \approx 300$ K 左右)，由上式可以估算其辐射能量的峰值波长 $\lambda_p \approx 10 \mu\text{m}$ 。从图中可见，温度较高的分布曲线总是处于温度较低的曲线之上，即随着温度升高，物体辐射的能量在任何波长位置总是增加的。

为了解释温度和辐射能量之间的关系，斯蒂芬·玻尔茨曼对波长从 0 到无穷大，对式 2-1 进行积分，得出黑体在某一温度 T 时所辐射的总能量，表明前面曲线包络下单位面积的红外线能量。

$$W = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} W_{\lambda} d\lambda = 2\pi^5 k^4 T^4 / 15 C^3 h^3 = \sigma T^4 [\text{W}/\text{cm}^2] \quad (2-2)$$

式中 σ ——斯蒂芬·玻尔茨曼常数 $5.673 \times 10^{-12} [\text{W}/\text{cm}^2 \cdot \text{K}^4]$ ；

λ ——波长 (μm)；

k ——玻尔茨曼常数；

T ——黑体的绝对温度 (K)。

(2-2) 式可阐述红外线能量和黑体温度之间的关系，物体辐射的总能量随着温度的 4 次幂非线性关系而迅速增加，对辐射信号进行线性化，则所测得的能量就能计算出温度值。

物体的温度越高，发射的辐射功率就越大，在绝对黑体中，任何物体在 520 ~ 540 K 的辐射波长达到暗红色的可见光，温度再高，电阻由暗红变亮，6 000 K 的太阳辐射波长为 $0.55 \mu\text{m}$ ，便呈白色的。

(二) 红外线辐射的传递

当红外线到达一个物体时，将有一部分红外线从物体表面反射，一部分波被物体吸收，一部分透过物体，三者之间关系为：

$$\alpha + \beta + T = 1$$