

紅 外 綫 輻 射

〔法〕M. A. 安戈 原著

中 国 科 学 院

上海無線电技术研究所資料图书室譯

內 容 提 要

本书叙述了紅外綫的产生和傳播的方法,紅外綫的接收,以及紅外綫的应用范围。

本书系根据苏联譯本翻譯,可供与紅外綫应用有关的工程师、技术人员和工作者参考。

紅 外 綫 輻 射

ИНФРАКРАСНЫЕ ИЗЛУЧЕНИЯ

原 著 者 (法) M. A. Angot

俄 譯 本 者 Гостинеропадат · 1957 年版
出 版 者

譯 者 中国科学院上海无綫电
技术研究所資料图书室

*

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可証出 033 号

新华书店上海发行所发行 各地新华书店經售

上海市印刷六厂印刷

■

开本 787×1092 1/32 印張 2 16/32 插頁 1 字數 49,000

1959 年 12 月第 1 版 1959 年 12 月第 1 次印刷

印數 1—5,000

統一書号 513119·317

定 价 (十二) 0.30 元

目 录

俄譯本前言	1
一、緒論	1
二、紅外線的发生	4
三、紅外綫的探測	11
1. 无選擇性接收器	12
2. 測輻射热器	12
3. 电流計	22
4. 热电堆輸出端上电压的放大	23
5. 微輻射計	25
6. 輻射計	26
7. 气体溫度計	26
8. 戈列管	26
9. 利用蒸发发现紅外綫的方法	28
10. 選擇性接收器	29
11. 照相感光板	30
12. 反演效应或侯舍勒效应	32
13. 具有外光电效应的光电管	33
14. 关于固体电导的概念	35
15. 半导体	38
16. 磷光現象	39
17. 光导性	42
18. 有內光电效应的光电管	46
四、紅外綫在介質中的傳播	50

1. 分子的吸收.....	54
2. 大气的吸收.....	57
五、紅外綫的应用.....	60
1. 近紅外綫的应用.....	60
2. 中紅外綫的应用.....	69
3. 远紅外綫的应用.....	70
4. 观察长波紅外綫的仪器.....	71
5. 大波长輻射的照象望远镜.....	72
六、結束語.....	74

一、緒 論

1800年发现天王星的威廉·侯舍勒作了下面的一个实验：他把温度计放在用棱镜得到的太阳光谱中，发现放在红色光线范围外边的温度计的温度升高较多。温度的最大值约位于0.8微米的区域中。

这个实验证明了在太阳光的成分中有一种不可见的辐射存在，按照它在光谱中的位置称之为红外线。

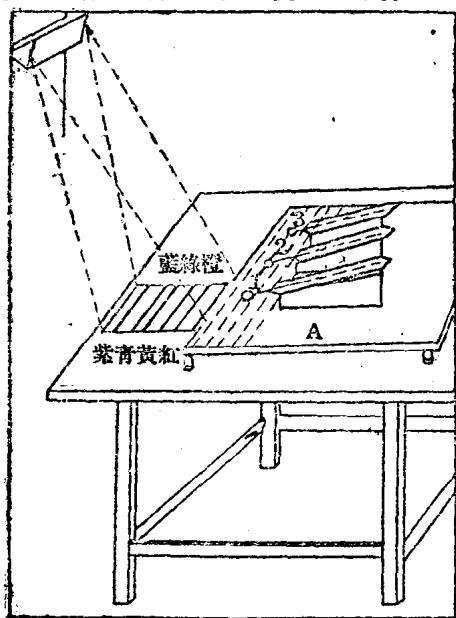


图1 侯舍勒发现红外线的实验
(图中虽有透视上的错误，但仍保留其原来的式样)

图 1 介绍了这个实验的情形,引自 1900 年 Philosophical Transactions (哲学汇报)杂志上刊登的“太阳的不可见辐射的折射实验”一文。

这种辐射的能力似乎比可见的辐射大。其实,这是错误的,因为温度增高较多是由于在红外区内色散较小的缘故。看来,这个实验正好成为红外线具有某些特殊热学性质的那种见解得以流行的原因。

不能不认为鲁克来茨比侯舍勒早得多就发现了红外线,他在 *Natura Rerum* 中曾经写下了如下的几句:“还可能,那个以它的红光照亮了天空高处的太阳是被看不见的火焰所包围的,这种火焰不能根据它们的亮度来发现,只放出热,用以增大其射线的热度。”

因而使人产生一种印象,认为鲁克来茨是赞成红外线具有特殊热作用这一见解的。

1884 年梅隆尼指出,红外线在反射和折射方面是和可见光完全相同的。

1846 年克努布劳赫根据衍射实验和偏振实验指出,这种辐射之不同于可见光,只是波长较大而已。

1853 年安培也证实了这些辐射的本质是相同的。

用上述方法发现的红外线的下限位于光谱上眼睛已经不能看见的那个区域中,即靠近 0.86 微米处(往后我们还可看到这个界限尚待商榷)。其上限当时还不知道。其后,在研究更长的波上开始了现代的竞逐;这一过程有几个阶段。

斐索和傅科在 1847 年发现了太阳光谱的上限,其波长为 1.4 微米。穆同于 1879 年发现的波长达 2.14 微米。吉森和

居里用岩盐棱鏡发现了波长为 7 微米的輻射。帕邢借助于螢石棱鏡和电阻測輻射热器发现了 9.8 微米长的波。魯濱司在 1895 年利用鉀盐棱鏡可达 18 微米。魯濱司和尼科耳在 1897 年又利用剩余射綫法发现波长为 60 微米的輻射。魯濱司和布得一起在奥爱洛夫斯基灯罩的輻射中发现 110 微米的波长,又和馮·拜耳一起在水銀电弧的輻射中发现长达 313 微米的波。

1938 年科赫利用水銀电弧的石英外壳,使紅外綫的上限移至 540 微米。

在列別捷夫繼續进行赫芝的实驗而找到产生 1 厘米长的电磁波的方法以后,从 1920 年起,对于紅外綫邻近的、越来越短的赫芝波的发生又开始被发现了。

1920 年梅皮留斯达到 7 毫米。1923 年尼科耳和契尔达到 1.8 毫米,然后又达到 220 微米。1924 年格拉柯列娃-阿尔加捷叶娃达到 92 微米,1927 年 M. 列維茨卡婭发现了波长为 30 微米的諧波。

这样,就构成了赫芝波区域和紅外区域的統一,很难說出这一区是从哪里开始,而另一区又是到哪里为止的。

但是應該指出,所构成的这两个輻射区域的統一是絕對不完备的。問題在于还得不到連續輻射的无綫电波,而只能得到一些个别的、一个接着一个的、仅能測出其中最短波段的波列。其中包括阿尔加捷叶娃-格拉柯列娃在悬浮于油中的金属屑构成的介質中,利用所生的火花而得到的波。所得光譜两端的功率都极小。

虽然这两个区域的統一是已經建立起来了,但毕竟要承

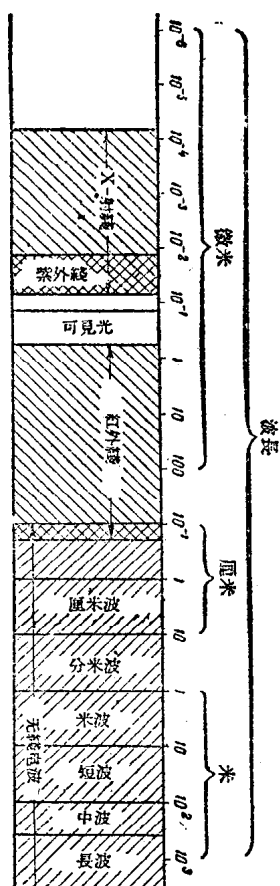


图2 紅外光譜在一般电磁波譜中的位置

訊,这种功率极为微小、只能由摄譜仪来发觉的、輻射的性质,实际上是不知道的。这个沒有研究过的区域(如果不考虑摄譜仪的研究的話)从 250 微米延伸到連續无綫电波的最短波长处(大約 2 毫米),即几乎占据了三个数量級。

我們只限于研究能得到足够的功率以便付諸实际应用的紅外線,即波长为 0.76~10 微米的紅外線。

这种紅外光譜在一般电磁波譜中的位置,如图 2 所示。

二、紅外綫的发生

发生紅外綫的方法之一,是单纯地提高輻射体的温度。事实上,每一个物体都随其温度和表面状况而有某种輻射。

在我們所能造成的溫度下，這種輻射的大部分都位於紅外區域內。

首先，可以回憶一下關於絕對黑體輻射的一些定律，它們確立了輻射與物體絕對溫度之間的依從關係。根據絕對黑體的定義，它可吸收落在它上面的一切輻射，既不使它們反射，也不使它們散射。實際上，這種物體是以物質腔體中的小孔形式出現的。如果腔體的內表面不具有很大的反射能力，則落入小孔中的光就要在腔體內部發生多次的反射，也就是實際上完全被吸收掉。如果把體內全是腔孔的物體加熱到絕對溫度 T ，則小孔將根據已知的定律，象絕對黑體似的進行輻射。

輻射的能亮度 $E(\lambda, T)$ ，即在波長間隔 $\lambda + d\lambda$ 中的能量，與波長 λ 和絕對溫度 T 的關係如下式^①所示：

$$E_{(\lambda, T)} = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}} - 1}$$

普朗克確定了這種關係，並由此在物理學中建立了作用量子的概念，這是大家都知道的。

對應於各種不同 T 值的曲線族表示在圖 3 上。在按重對數比例尺

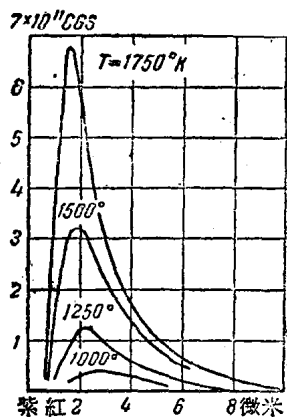


圖 3 在不同溫度下黑體輻射的能亮度對波長的關係

① 在此式中 $h = 6.62 \times 10^{-27}$ 爾格·秒——普朗克常數；

$c = 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒——光在真空中的速度；

$k = 1.38 \times 10^{-16}$ 爾格/度·克分子——玻爾茲曼常數。

繪制这曲綫族时，每一根曲綫是前一根曲綫沿着連接各曲綫的最大值的直綫作平行移动而得到的。图 4 介紹了用这种方法所构成的曲綫族，并采用斜角坐标以保証曲綫在較小的图上能有合适的分布。縱坐标是每单位立体角中，从絕对黑体每一平方厘米表面上可以发射出来的輻射功率的瓦数。从这一个图中可直接引出一系列的定律，这些定律在普朗克公式确定以前就已經知道了。

1. 封閉在曲綫和橫坐标軸間的面积等于絕对黑体輻射的总功率，并与 T^4 成比例 (斯忒藩定律)。比例系数等于 5.677×10^{-12} 瓦/厘米²·度。

2. 极大值的縱坐标比例于 T^5 (維恩定律)。

3. 用微米表示的极大值的橫坐标，由下式决定：

$$\lambda_m = \frac{2884}{T}$$

由此可知絕对黑体輻射的总能量，常随温度而迅速地减少，在通常可达到的温度下，輻射的极大值的位置在 10 微米到 1 微米之間移动。在下表中，这些数据是很准确地介紹出来的。表中列出了不同温度值 ($^{\circ}\text{C}$) ($t = T - 273$) 下的波长的极大值 (λ_m) 和絕对黑体 1 平方厘米表面上的輻射功率。

$t, ^{\circ}\text{C}$	λ_m , 微米	$W, \frac{\text{瓦}}{\text{厘米}^2}$
4000	0.67	1914
3500	0.76	1161
3000	0.88	655
2500	1.04	339
2000	1.30	153
1500	1.62	56
1000	2.39	15
500	3.73	2
0	10.5	0.3

絕對黑体按其質來說是抽象的。但是有些實在的物体却和絕對黑体相似。純碳間的电弧是其中最主要的一种，它的輻射光譜分布曲綫相当于絕對黑体在純碳升華溫度（即 3500°C ）下的同類曲綫。这个曲綫的极大值在 0.77 微米附近，即恰好在光譜的可見区与紅外区交界之处。

如果一个物体的輻射光譜分布曲綫可由絕對黑体的輻射分布曲綫在縱坐标上乘以一个小于 1 的常因数而得，那就称該物体是一个灰体。

这样就建立了灰体的色温这一概念。这就是使絕對黑体加热，以便两个輻射曲綫达到一致时所應該达到的那个溫度。色温的概念只适用于灰体，而在一般情况下，只适用于依靠提高溫度而获得輻射的那种物体。值得遺憾的是術語的濫用，例如，竟賦予藍天以色温 $T=25000^{\circ}\text{C}$ ，而其实它的輻射絕對不是由灼热，而是由分子的散射引起的。

許多物体很象灰体，鎢是其中最重要的一种。图 5 介紹的就是色温为 2990°K 的鎢絲白熾灯的輻射光譜分布曲綫。

这里就每一个波长，列出了 λ 到 $\lambda+50\text{\AA}$ 波长区間內，輻射到相距 1 米处而与輻射方向成正交的 1 平方厘米面积上的能量

值（以微瓦計）。如把这曲綫与图 6 上的那条以同样单位表示的太阳光譜分布曲綫比較一下，那是很有意思的。

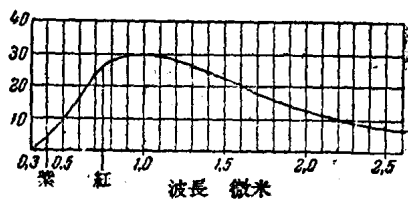


图 5 在色温为 2990°K 时 1000 瓦功率的白熾灯的輻射光譜分布曲綫（間隔为 $50\text{\AA}$ 时距离 1 米处 1 平方厘米上的微瓦数）

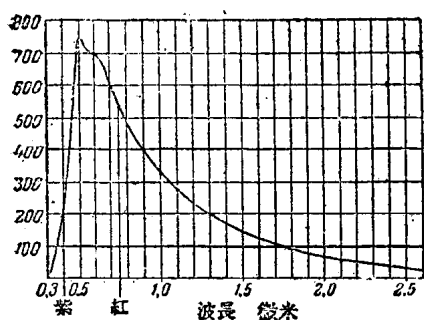


图6 从天頂处的太阳到达海平面上1平方厘米水平表面上的功率的微瓦数对每一間隔为50埃的波长的关系

乙炔火焰的色温为 2415°K 、煤油火焰的色温为 2045°K 。

被称作“戈路棒”的光源，即一加热到温度 1400°K 的金剛砂細絲，是最常用的紅外線源。

在照相术中应用的、由薄鋁片在氧氣中燃燒而成的閃光灯，也能产生非常强烈的紅外線。图7表示的是照相閃光灯

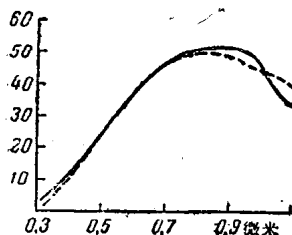


图7 照相閃光灯的輻射能量的光譜分布曲綫

在距离1米处从1平方厘米上輻射出的功率的微瓦数对50Å波长区間中波长的关系。虚綫是按同一比例尺繪成的絕對黑体在 3500°K 时的輻射。

除灰体外，还有很多物体，它們一点也不遵守絕對黑体輻射定律。首先應該提到的是具有选择輻射的固体，其中最突出的是奥爱洛夫斯基灯罩和能斯脫灯絲。

奥爱洛夫斯基灯罩是用氧化鈦(99%)和氧化鋇(1%)做

如果把鎢質螺綫燈在一中空的物体上，那就可以在某些已知方向內得到絕對黑体輻射。例如，把鎢絲卷到圓筒上，就可在軸的方向上发现它。

許多光源的火焰也属于灰体一类。蜡烛火焰的色温等于 1930°K 、

成的一种易碎网，它是在絹絲灯罩上涂以鈷和鈾的硝酸盐經燃燒而成。大家都知道奧愛洛夫斯基灯罩在可見区域内可产生强大的輻射，但是如果取下防护玻璃，則也可以发现主要由8微米开始的强大輻射，它的极大值靠近18微米。在这种輻射上，通常又加上燒热灯罩用气体火焰的輻射。关于这种火焰的輻射光譜，在下面将再予叙述。

能斯脫灯是由氧化鈾、氧化鈷和微量氧化鈾的混合物制成的細棒組成的，这个細棒在加热时就成为导电体。灯的点，燃是借助于一輔助的、在棒内电流一經达到必要量值就可断开的加热电阻来实现的。而电流則可用鉄氫电阻（鎮流电阻器）来稳定，因为細棒的温度系数是負的原故。在正常燃燒条件下，能斯脫灯的輻射的极大值近于1.5微米。

上述两种为了获得可見輻射而設計出来的光源，也可用来作为紅外線源。氧化物的比例原是为了能在可見区域内获得輻射的极大值而选定的，但是为了在紅外区域内获得最好的条件，也可以另寻一个适合的比例。不久以前在法国曾經进行过这一工作，并且业已确定，由氧化鈾和氧化鈷或单纯用氧化鉄制成的細棒可以在温度 $1400 \sim 1700^{\circ}\text{K}$ 时发生主要在紅外区域内的輻射，輻射的极大值在2.5微米附近。

气体火焰的輻射基本上是热性的。发光的現象在其中显得极其微弱。这种輻射以在燃燒生成物的吸收帶内具有选择性为其特征。例如，本生灯的火焰在二氧化碳和水蒸汽的吸收帶内具有选择性輻射。这种輻射有一特別明显的极大值，出現在波长为2.8(H_2O)和4.4(CO_2)微米的地方，这些极大值是也可以加到奧愛洛夫斯基灯罩的輻射上的。

这种火焰的选择辐射由于在大气的光谱内存在着相当于火焰辐射光谱的吸收带而为大气所减弱。某些研究者因此想制造一种燃烧生成物既非 CO_2 , 又非 H_2O 的火焰。

不久以前, 曾经作过一种尝试, 想揭露那种在氢分子 H_2 离解为 2 个原子 (2H) 时应该辐射出来的连续的红外光谱。这种离解可完成于钨电极间的强大电弧(几百安培)中(图 8)。

由放电而引起的气体或金属蒸气的辐射光谱, 和上述各种光谱大不相同。如果在金属电极间点燃电弧, 则可产生标志金属特性和电弧所在的介质的特性的线光谱以及连续光谱。

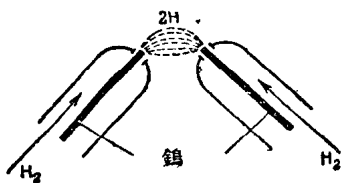


图 8 原子态氢中的电弧

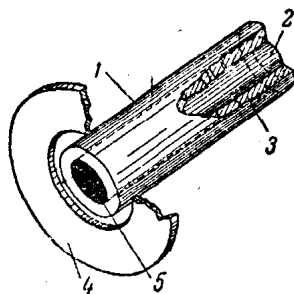


图 9 铅电弧

1—阴极; 2—氧化铅; 3—铅管;
4—阳极; 5—铅。

在二次世界大战期间曾经利用过铅电弧, 这种电弧发生在一个填满氧化铅的铅管组成的电极和一个环状的石墨电极之间的常压氢气中(图 9)。电弧在熔融氧化物还原出来的铅上形成一个很明亮的斑点。在阴极附近形成了铅气和氢离子的云。阴极亮斑的辐射相当于灰体辐射, 并产生 $0.25 \sim 5$ 微米的连续光谱, 其极大值在 1 微米附近。氢离子云也能在上述范围, 即透过玻璃壳的限界内产生连续光谱。它在这一范围内也发射铅和离子化铅的线状光谱, 以及离子化氢和非

离子化氩的光譜。

螢光灯应用很广。其輻射是由电流通过气体或金属蒸气而形成的。这种灯管与上述光源在特性上并无不同。它的輻射光譜和上述情况一样，由气体或金属蒸气的綫状光譜重迭在連續光譜上而成。

鈹蒸气灯是最方便的光源。它主要是由两只螺旋状鎢电极組成，这两只电极放在盛有 10 克鈹的充氩管内，管内氩气的压力約为 20 厘米汞柱，两极彼此相距約 10 毫米。灯管的內表面涂有特种漆，以防止玻璃由于鈹蒸气作用的结果而生成灰硅。其輻射的主要部分出現在 0.8521 和 0.8944 微米之間。除了用以增加灯的使用期限(200 小时)的微量氫以外，任何微量的杂质都会引起不良的后果。在 50 伏电压和 10 安电流下工作的鈹蒸气灯，在光譜紅外区的輻射功率为 121 瓦。

水銀灯是一种重要的光源，一般用来作为紫外綫光源，但在紅外区域内也有相当大的輻射。气体放电的氖气灯也富有紅外綫。在电压 40,000 伏、功率 500 瓦下工作的氖气灯管可輻射出几組紅外綫，其中主要的有位于 1.152~1.139、1.126~1.114 微米等区間中以及与波长 1.084、1.080 和 1.056 微米相应的各种。

三、紅外綫的探測

紅外綫接收器可分为两大类。无选择性接收器是根据輻射变热的原理制成的。如果吸收是非选择性的，則接收器对任何电磁振荡，如無線电波、可見光、X 射綫等就都是敏感的，

而与它们的频率无关。在我们所注意的领域内，很容易找到在全部红外光谱范围中能无选择地吸收的接收器。

选择性接收器(第二类)的灵敏度随着所选范围内的辐射的波长而有显著的变化。这些接收器的灵敏域之一，一般是在光谱的可见区域内，而我们所唯一地关心、并竭力使之扩大的第二个灵敏域是在红外区域内。

由于接收器有不同的灵敏度，也就有必要把我们所关心的由 0.76 到 15 微米的红外光谱区划分为三个区域：近红外区域——由 0.76 至 1.4 微米，中红外区域——由 1.4 至 4 微米，远红外区域——由 4 至 15 微米。

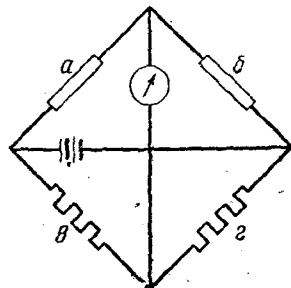
1. 无选择性接收器 在即将叙述到的大多数仪器中，都要利用一涂黑的表面，让辐射投到它的上面。涂黑的质量具有头等重要的意义，因为它与仪器的完善有关。用烟炱涂黑，这是大家都了解的方法，不需多作说明。发烟的火焰一般由乙炔或松节油燃烧而成。由化学沉淀法得到的铂黑，效果很好。利用由 4 份锡和 1 份铋制成的合金在真空中蒸发而沉淀的方法可得到好的结果。选择性复盖层的涂复也可以这样做。

涂黑一语不应按字面意义理解，它意味着在我们所讨论的区域内，被涂黑表面对辐射的吸收作用是很大的。吸收面在可见区域内可以根本不是黑色的。例如，把玻璃敲碎成细粉就能很好地吸收远红外线，可是也能很好地反射近红外线，尤其是反射可见光。

2. 测辐射热器 测辐射热器是由热容量很小的金属丝做成的，金属丝的电阻随温度变化而剧烈地改变。把这种测

輻射熱器放在惠斯登電橋的一臂中，被這種金屬絲表面所吸收的輻射就很容易由電橋平衡的遭受破壞而被發現。

在實用上，用兩只特性尽可能接近的測輻射熱器，裝在電橋 a 和 b 臂上，使輻射只投在一只測輻射熱器上（圖 10）。這樣的裝置可在周圍溫度改變時避免破壞電橋的平衡。電阻 σ 和 τ 也應該處於同一溫度下。最好是應用溫度系數最小的康銅電阻。電流計的偏轉在第一級近似的情況下，是與落在一只測輻射熱器上的輻射的功率成比例的。



任何金屬都可以取來作為制 圖 10 測輻射熱器的電橋
造測輻射熱器的材料，並且細絲的式樣也可以各不相同。金屬的溫度系數是正的，並且不大（加熱則電阻增加），所以經

過測輻射熱器的電流隨溫度的增高而減少，這就使焦耳熱的產生減少，而造成一種與應該觀察到的現象相反的效應。

這個缺點可使用熱變電阻來除去。這就是由一些具有極大負溫度系數的金屬（Ni, Mg, Co）氧化物的組合制成的電阻測輻射熱器。圖 11 是用對數比例尺繪成的電阻隨溫度變化的曲線；曲線 1 是德國銀（白銅）

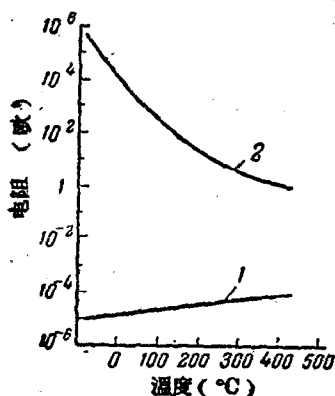


圖 11 熱變電阻及德國銀線的電阻隨溫度變化的關係