

红外图像处理技术

之红外成像技术的应用

陆哲明/郑阳明
航空航天学院/浙江大学

主要内容

- 13.1 红外成像技术在煤矿中的应用
- 13.2 红外成像技术在安防中的应用
- 13.3 红外成像技术在军事领域中的应用
- 13.4 红外成像技术在设备故障诊断中的应用
- 13.5 红外成像技术在医学诊断中的应用

13.1 红外成像技术在煤矿中的应用

- 红外探测技术在我国起步较晚，应用于煤炭行业则更晚，并且只限于点测温的红外测温仪。红外成像技术在煤矿中的应用可以说处于起步阶段。



- 由于红外技术应用的日趨成熟和红外成像仪的不断发展，且红外成像仪拥有高灵敏度、面测温等优点会使应用红外成像仪进行井下温度异常区域探测成为一种新趋势。

- 红外测温：探火、探水
- 红外气体分析器：关注甲烷

13.1.1 红外成像检测的基本理论

- 在自然界中，任何温度高于0K的物体都是红外辐射源，具有辐射现象。通过红外探测器将物体辐射的功率信号转换成电信号后，成像装置的输出信号就可以完全一一对应地模拟扫描物体表面温度的空间分布，经过电子系统处理传至显示屏，得到与物体表面热分布相应的热象图。运用这一方法，便能实现对目标进行远距离热状态成像和测温，并对被测物体的状态进行分析判断。

- 红外检测的基本理论是基于热辐射的普朗克定律和斯特潘-玻尔兹曼定律，即利用物体的辐射能与温度的关系进行检测的一种方法。其通过扫描、记录被测零件表面上由于缺陷和材料不同的热特性而引起的温度变化来进行红外检测。

- 由斯特潘-玻尔兹曼定律可知，当一个物体表面的发射率不变时，该物体的辐射功率与其温度的四次方成正比。因此，对物体辐射功率的探测，实际上就形成了对物体表面温度的探测。

13.1.2 矿用红外成像仪及实际应用

• 1. 矿用红外成像仪的选择

➢ 1) 波段选择

- 被测物体的辐射能量必须经过大气才能到达仪器，因此正确选择仪器工作波段至关重要。地面大气中有三个红外透过的窗口，即 $1\text{--}2.5\mu\text{m}$ 、 $3\text{--}5\mu\text{m}$ 和 $8\text{--}14\mu\text{m}$ 。
- 但煤矿井下红外辐射受到不同气体、煤尘颗粒等影响而产生散射、吸收与辐射率起伏，使发光强度严重衰减和不稳定，对准确测量温度产生直接的影响。波长在 $2.7\text{--}3.2\mu\text{m}$ 波段是最不适宜使用的。此外井下空气中还有水蒸气、二氧化碳、甲烷等气体，这些气体都有一个或几个吸收峰。权衡后如果在掘进和回采工作面条件下，若测量距离超过8m，宜采用 $3.5\text{--}6.0\mu\text{m}$ 波段，若测量距离小于5m，可选用 $8\text{--}14\mu\text{m}$ 波段。

➢ 2) 煤体辐射率的确定

- 严格讲辐射率不是一个常数，其与物体表面性质、温度、辐射波长，以及观察条件有关。
- 要对煤炭的辐射率进行测定，比较简单和准确的方法是用点测仪或热电偶测定煤炭的表面温度。用红外热像仪再测时，不断调节辐射率 ϵ 的值，使其显示温度为点测值，此时的 ϵ 就是该被测物体的辐射率。
- 前人经过大量的工作取得了各种常见材料的辐射率，如煤矿井下煤壁的辐射率为0.95，大巷喷浆壁和岩巷的辐射率为0.92~0.94，顶板的辐射率为0.93~0.95。

➢ 3) 误差分析和真实温度的计算

- 考虑到环境和仪器自身误差的影响，需要对仪器显示温度进行计算。
- 在 $2\text{--}5\mu\text{m}$ 波段，当大气吸收率达到20%时，测温误差为5.3%左右；在 $8\text{--}13\mu\text{m}$ 波段，当大气吸收率达到20%时，测温误差为4.5%左右。
- 当辐射率测量误差为20%时，短波热像仪的测温误差为6.5%左右，而长波热像仪的测温误差达到9.5%。因此，对 $8\text{--}13\mu\text{m}$ 工作波段的热像仪辐射率的测定要尽可能准确。

• 2. 井下实际应用

- 红外探测法主要是探测红外能量场，通过能量场可综合判断煤的自燃区域。红外探测技术简单、迅速、精确，是当前探测领域常用手段。
- 采用红外探测仪在煤矿火灾位置的判断方面的应用，取得了良好的效果。
- 采用红外成像仪实现红外能量场的二维监测，探测火区的位置、范围和煤柱自然温度。例如，对某工作面进风巷进行观测时，该巷道壁面媒体破碎严重，且大部分未进行喷浆处理，漏风比较严重，致使壁面顶部或肩窝部多处出现温度异常情况。

第 22 卷 第 4 期

2000 年 7 月

红外技术

Infrared Technology

Vol. 22 No. 4

July 2000

红外技术在煤矿井下测温和测气中的应用*

刘永平

(煤炭科学研究总院 合肥研究院 安徽 合肥 230001)

摘要：针对煤矿井下粉尘、水汽等的影响，指出了现有红外测温仪和气体分析器用于煤矿井下存在的问题和应采取的措施，提出了适合煤矿井下使用的红外测温仪和气体分析器的性能指标。阐述了红外测温仪在矿井探火、探水等方面的应用，以及红外气体分析器在测量矿井甲烷浓度中的应用，展示了红外技术在煤矿中的应用前景。

关键词：煤矿；红外技术；温度测量；气体分析

中国分类号：TN219 文献标识码：A 文章编号：1001-8891(2000)04-0059-04

I 引言

随着红外技术的不断发展，红外技术应用在煤矿井下越来越成熟，也为解决一些长期困扰煤矿安全的问题提供了更为先进的技术装备。红外技术早期在煤矿中应用是红外光开关，主要用于风门的开关、自动洒水等。其后是红外测温技术在矿井中的应用，用于查找电气故障、深火、深水等，对煤矿安全起重大作用的气体分析器将会有越来越多的重视和推广应用。

2 井下测温

2.1 不被测物和大气的特性

煤矿井下的环境温度为常温，电气设备热故障和煤自然等产生的热量，传递到被测物表面，温度大多在 100°C 以下，可以以煤矿井下绝大多数被测物温度为 $10\text{--}100^\circ\text{C}$ 。煤矿井下被测物基本上是液体，发射率大多在0.95左右，由维恩位移定律可计算出被测物峰值温度约为 $7\text{--}10\mu\text{m}$ 之间。

井下大气中除含有地面大气的成份外，还有水蒸气、甲烷、煤尘和粉尘等，且其含量随时、地点而变化。对红外辐射的吸收和散射产生

I.1 影响因素及采取的措施

井下影响红外测温仪温度较低，温度变化范围不大，产生的红外辐射较弱，因此，所选红外探测器除了有较好的稳定性外，还应有较高的灵敏度。井下大气影响红外探测器对被测物红外辐射能量的接收，因此，应选用合适的红外辐射波段，在检测中提高灵敏度。根据被测物的峰值亮度，采用大气窗口 $8\text{--}14\mu\text{m}$ 较为合适，也可选用特定的波段。

粉尘和水汽是影响红外测温仪在井下正常使用的最大因素，它不仅对红外辐射能量产生散射和吸收，而且会在光学系统的小口堆积和结露，严重影响红外测温仪的正常使用。粉尘和水汽还可侵入测温仪内部，对电子线路产生危害。因此，测温仪的整体结构要采取防尘、防水措施。红外辐射窗口应使用抗粉尘堆积和防凝露材料制作。至少也要使窗口的结构不易积聚灰尘，便于清洁。内部的线板及元器件要涂覆绝缘漆。

2.2 矿用红外测温仪性能

矿用红外测温仪安全性能要符合煤矿井下

的防爆要求。利用单片机技术，采用大规模集成电路，大大地降低了耗机功耗，可使红外测温

仪容易设计成满足本质安全型电路的要求。

为满足煤矿测温要求和达到较佳的性能价格比 矿用红外测温仪技术指标建议如下：

1) 测温范围为 0~150 °C，此温度范围已涵盖井下被测物的温度。

2) 测温精度为 ±5% 读数。此测温精度基本上满足井下测温的要求。

3) 分辨力为 1 °C。此分辨率能满足检测电气设备故障和探火的要求。

4) 前应波段优选 8~14 μm。此波段有利于被测物红外辐射在井下的传输，也有助于提高测温分辨率。

5) 光学系统采用固定距离系数，不用可动部件，使测温仪结构紧凑，便于携带和操作。距离系数为 50 就可满足井下测温需要。

6) 发射率固定为 0.95。井下各种被测物发射率变化很小，固定发射率也便于测温仪的操作。

7) 喷应时间为 0.5 s。这能满足井下在线检测的需要。

8) 电源必须采用本质安全电源。防爆类型采用本质安全型。

9) 测温仪要加装激光指示器，用于指明被测物的具体位置。

10) 显示器能发光，便于井下阴暗环境下读数。采用液晶显示器带背光。

11) 测温仪应具有最高温度记忆和超温报警功能，并下使用测温仪多数用于查找高温点和检测某点温度是否超过了限值。

12) 窗口应有防护罩，不使用时应戴上防护罩，有利于防尘、防水。应配备清洁纸。

13) 售价应低于 5 000 元。

2.4 红外测温仪的应用

2.4.1 检查电缆

红外测温仪最直接的应用是在正常供电和设备运行情况下，检测电缆温度，根据温度的变化判断电气故障。

在井下用于检查电缆效果明显，井下电缆由于受潮和受损伤，常发生“放炮”而损坏。使用测温仪沿着电缆扫描，根据温度变化的大小可判断电缆受潮或受损伤的程度。

2.4.2 监测胶带输送机

在大中型矿井胶带输送机已成为原煤运输的主要工具，由于托辊的运动不灵，皮带与矿物（如石块）的磨擦，皮带和皮带机头的温度不断升高，发现不及早往往酿成火灾，造成重大损失。使用红外测温仪，对井下胶带机的轴温及托辊温度进行定时检测，可防止胶带机的着火事故。使用红外测温传感器对皮带机头和关键点进行实时的监测，通过执行机构进行超温报警或关闭胶带输送机。

2.4.3 观察顶板与围岩

顶板松动和破碎是危害煤矿安全的五大灾害之一，至今还没有直接观察顶板是否松动的仪器。对顶板的管理大多采用埋应力直接触顶板，费时费力，常常伴随着危险。根据松动、破碎的岩石与岩石母体的存在温度差的原理，利用测温仪对采掘工作面的顶板进行非接触的检测，通过检测到的温度判断顶板的离层和破碎的情况。也可对巷道中的围岩进行观察，发现事故隐患，通过现场实测，工作面顶板发生松动和离层后，松动和离层的岩块与顶板母体之间的温度差在 0.2~0.6 °C 之间，在通风良好的巷道中，松动、离层后的围岩逐渐与巷道中空气温度相同时，而牢固的围岩母体与空气温度相差 2~5 °C，使用测温仪为观察顶板与围岩提供了一种新的手段和方法。与传统的办法相比有其独特的优越性，但要真正成为一种行之有效的方法，还要进行大量的井下实测，积累数据和经验。

2.4.4 探火

并下采空区由于漏氧，煤开始氧化，释放有害气体一氧化碳和热量，而且煤逐渐氧化达到自燃，便造成并下火灾。在煤从氧化到自燃的过程中，温度从 30 °C 渐渐变化到 300 °C，经热传导，离顶板的温度也随之升高。为监测火灾的发生，最常用的方法是检测一氧化碳浓度，通过检测到的一氧化碳浓度值，判断煤氧化和自燃的程度。还可采用在火灾多发区增设温度传感器，通过监测各个温度传感器的温度，判断火灾发生的地点。使用红外测温仪观察火灾周围巷道壁上温度的变化，就可预测可能产生的火灾，特别是对高温度的寻找，可判断火灾的方位，为防火灭火提供依据。

对采空区工作面和巷道用红外测温仪进行定期的观察，记录各处的温度，进行分析，可预报火灾的发生。

对已发生的火灾，使用测温仪探测火灾的方位。假定火灾周围的介质是均匀介质，则离火区最近点的温度最高。从火区周围的几条巷道中测得高温度点，根据计算高温度点的分布情况和高温度点周围温度的分布情况，找到离火区的最近路径，确定火区位置。

对火区进行钻探时，由测温仪检测出高温点，从高温点处向前打钻，通过向钻孔中注水，检测钻孔中回水的温度，判断钻探方向是否正确。

对火区进行注浆灭火或注液灭火时，通过对注浆前后所测火区周围巷道温度数据的分析进行比较分析，判断注浆灭火的效果。

矿井隐蔽性火灾对矿井的安全生产造成了极大的危害，探测火源点的位置至今没有很好的方法。利用红外测温及红外成像技术都有可能解决长期困扰煤矿安全的火灾问题提供新的检测手段。

2.4.5 探水

水灾也严重地威胁矿井的安全生产，甚至造成整个矿井被淹，对水的探测还没有一些较好的方法。与探火相似，对红外测温和红外热成像技术进行一些开发性研究，对有透水区域进行定期测量，记录数据，分析比较，可预测采掘前方有无透水的可能。

3 红外气体分析器

3.1 红外气体分析器用于井下存在的问题

红外气体分析器用于煤矿井下主要存在以下几个问题：

1) 井下环境比较恶劣，水汽、粉尘等严重影响红外气体分析器在井下的使用。因此，仪器必须在结构上有特殊的考虑，应有防尘、防潮的装置。如果采用开放式气室，还要考虑到高湿度下锁片的防腐问题。

2) 红外气体分析器必须考虑到防爆问题。封闭的气室，用气泵和管道抽气的传统方法，使整机的电功率和体积都比较大，再加上防爆外壳，会更加笨重，不便于井下使用。因此，除了要满足防爆性能外，整体结构要精巧，不能采用传统的设计。

3) 红外气体分析器要作为矿井环境监测系统中的传感器，必须具有这类传感器应有的一系列指标和装置功能，应能输出适当的信号形式与目前煤矿所用的监测系统相兼容。

3.2 矿用红外瓦斯传感器

红外气体分析器在煤矿中的最大应用是检测矿井大气中甲烷的浓度，这也是煤矿安全生产迫切需要。

矿井的瓦斯主要成分是甲烷，爆炸事故占矿井事故发生的一半以上，已严重影响着煤矿的安全生产和工人的生命安全。长期以来，检测瓦斯的传感器 90% 以上是采用铂丝制成，瓦斯在铂丝上燃烧产生热量，使铂丝阻值上升，此传感器的优点是：输出的电信号与瓦斯浓度成正比，灵敏度高，受温度和湿度影响小，价格低。其缺点是：只能测量低浓度瓦斯，易受高浓度瓦斯和硫化物的中毒，使用一段时间后，零点会产生漂移和灵敏度下降，每隔一定时间要调整零点和用标准气体进行灵敏度校正。此类瓦斯传感器的稳定性和可靠性还有待于进一步的提高。

利用红外技术进行矿井气体分析本身就具有优良的特性，它能测量多种气体，测量范围宽，灵敏度高，检测精度高，响应速度快，有良好的选择性，能进行连续分析和自动控制，不会中毒，便于操作维护，使用寿命长。

4 红外技术在煤矿中的应用前景

以上所涉及到的顶板、水、火、瓦斯是煤炭生产中的重大灾害，红外技术为煤矿的安全生产提供了先进的检测手段。随着红外技术的进一步发展，长期困扰煤炭生产的一些问题将得到解决。

随着煤矿的现代化、自动化水平的不断提高，机电设备越来越多，利用测温技术对设备进行日常检测是一种很好的维护设备的方法，这对测温仪是一个很大的需求。

矿用红外甲烷传感器是目前煤矿使用的瓦斯传感器的更新换代产品，具有巨大的市场潜力。随着矿井开采深度的加深，对矿井环境气体的检测很多需要使用红外气体检测技术。随着矿井环境监测系统的推广和完善，对各种气体传感器的需求也越来越多。使用红外技术开发各种类型气体传感器前景广阔。

13.2 红外成像技术在安防中的应用

- 大气、烟云等吸收可见光和近红外线，但是对 3~5 μm 和 8~14 μm 的红外线却是透明的。因此，这两波段被称为红外的“大气窗口”。利用这个窗口，可以在完全无光的夜晚，或是在烟云密布的恶劣环境，能够清晰地观察到前方的情况。正是由于这个特点，红外成像技术在安全防范领域将大有作为。

• 1. 可实现夜间及恶劣气候条件下目标的监控

- 夜晚，可将光仪器已经不能正常工作，如果采用人工照明手段，则容易暴露目标。若采用微光夜视设备，同样也工作在可见光波段，依然需要外界光照明。而红外成像仪是被动接收目标自身的红外辐射，无论白天黑夜均可正常工作，并且不会暴露目标。
- 同样在雨、雾等恶劣气象条件下，由于可见光的波长短，克服障碍的能力差，因而观测效果差，但红外线的波长较长，特别是工作在 $8\text{~}14\mu\text{m}$ 的热像仪，穿透雨、雾的能力较高，因而仍可以正常观测目标。因此在夜间及恶劣气候条件下，采用红外成像监控设备可以对各种目标，如人员、车辆等进行监控。

• 2. 能对伪装及隐蔽的目标进行智能视频监控与识别

- 一般伪装主要是防可见光观测。比如，犯罪分子作案通常隐蔽在草丛及树林中，因为野外环境的恶劣及人的视觉错觉，容易产生错误判断而识别不出来。
- 而红外热像仪是被动接收目标自身的热辐射，当人体和车辆隐蔽在草丛及树林中时，它的温度及红外辐射一般都远大于草木的温度及红外辐射，因此很容易被自动识别出来。

- 此外，普通监视摄像头是无法看到发光物体表面掩盖下所隐藏的物体的，如对被埋藏的盗窃物品就不能有效地检测识别出来。而利用红外成像仪可以检测识别，因为当某处的表面被弄乱时，该表面的热轮廓也会被破坏，如翻过的土壤热辐射和压实的土壤热辐射是不同的，因此，通过红外热像仪的这种功能可以找到被埋藏的物品等。

• 3. 防火监控

- 由于红外热像仪是反映物体表面温度而成像的设备，因此除了可以作为夜间现场监控使用外，还可以作为有效的防火报警设备，如在大面积的深林中，火灾往往是由不明显的隐火引发的，这时火灾的根源。用现有的普通监视系统，很难发现这种隐性的火灾苗头。然而，用飞机巡逻，采用红外热像仪，则可准确判定火灾的地点和范围，即可通过烟雾发现火点、把火灾消灭在萌芽阶段。
- 谷物粮仓往往会发生自燃现象，过去一般采用温度计测量其温度。而采用红外成像仪可以准确判定这些火灾的地点和范围，从而做到早知道、早预防、早扑灭。

• 4. 能对被遗弃的行李包裹等遗留物体进行有效的检测与识别

- 由于物体产生的热量在发出红外辐射的同时，还在物体周围形成了一定的表面温度分布场，由于物体的发热率不尽相同，因而不同的物体内部所发出的热扩散和物体表面温度是不同的。因此，利用红外成像技术，可以轻而易举地对行李包裹的内部物体进行透视和分析。
- 可用于检测分析行李包裹内部的可燃物与爆炸物。

• 5. 红外成像设备可作为生命探测仪

- 利用红外成像原理，通过侦测受伤者或遇难者与周围温度及热量的差异，形成人体红外图像，帮助救援人员在废墟中或其周围定位遇难者的位置。红外成像探测仪能够探测并且显示出遇难者身体的热量，从而帮助救援人员快速确定被埋在废墟底下或隐藏在尘雾后的遇难者位置。

13.3 红外成像技术在军事领域中的应用

• 1. 制导用红外成像系统

- 红外成像导引头主要是有红外成像系统、信号处理器和跟踪伺服系统组成。红外成像系统用来获取目标与背景的红外图像信息并以视频信号输出。信号处理部分对视频信号进行处理，完成对目标的识别和定位，将目标位置信息输送到位置处理器，求解出弹体的导航和寻的矢量，并向红外成像器反馈信息，以控制它的增益和偏置。跟踪伺服系统隔离弹体的角运动，稳定光学轴，为提取目标视线角提供参考系，对锁定后的目标进行自动跟踪并实时输出弹轴与光轴的框架角信号。

➢ 红外成像系统是红外成像导引头的核心，直接决定了整个导引头的作用距离、制导精度、体积、重量和成本。近年来，凝视焦平面器件实用化水平不断提高，以其为核心的凝视红外成像技术不断完善，将其应用于高精度制导系统已成为国内外研究重点。

➢ 凝视工作方式不需要光机扫面装置，整个红外成像系统结构更加简单、体积更小、耗电更少、重量更轻。凝视工作方式可增大积分时间，有利于探测器在远距离观测目标和消除图像的运动模糊，反应速度更快，对探测高速、高机动目标有利。

- 它具有很高的空间分辨率和热灵敏度，动态范围大、信息采集率高，对目标识别能力强，更适用于探测弱信号目标和跟踪复杂背景中的目标。
- 凝视红外成像系统本身由光学系统、红外探测器、制冷器以及成像处理电路等组成。光学系统接收目标及背景红外辐射并成像于红外探测器上，凝视焦平面器件光学信号转变为电信号，经过成像电路处理，输出标准视频信号，制冷器为探测器提供低温工作环境。

• 2. 实战对军用红外成像装置的需求

- (1) 在各种实战距离下的侦察、探测能力。
 - 航天遥感器能在100km以上空间高度上观察地面目标，预警探测系统的工作距离在数千米至数十千米之间；
 - 导弹制导距离为20km至数千千米之间等。
 - 因此军用红外成像系统应有相应的大视场（如 $\pm 30^\circ$ ~近半球的观察空间）、高灵敏度（如NETD值为 $0.05\text{--}0.10 \times 10^{-3}\text{K}$ ）、高空间分辨率（如 $0.1\text{--}0.5\text{mrad}$ ）及高帧频（如100~200帧/s）。
- (2) 自动识别、跟踪及抗干扰能力。
 - 空中及空间目标、地面目标、海上目标有各自独特的辐射特性（光谱特征和辐射强度及形状特征）；
 - 背景及干扰物的辐射特征（光谱和辐射强度及形状）又会有所差异；

- 各类目标在作战状态下的运动姿态有一定规律性，而干扰物则很难呈现完全相同的相对运动规律。
- 双色及多色监测及融合、高清晰度及高空间分辨率以获取物体辐射及形状特性，并实时检测物体的运动姿态，是目标自动识别、跟踪及抗干扰能力的必要保证。
- (3) 在各种气象即复杂环境条件下的工作能力。红外成像系统应具备多波段切换及自适应滤波的功能。
- (4) 高可靠性和低成本。凝视式面阵器件的灵敏度非一致性及盲元率较高是大问题，当然可以研究采用非均匀性校正的办法作适当解决，但总有一定的局限性。近年来研究的量子阱探测器灵敏度一致性较高，盲元率较低，因而可提高系统工作的可靠性，且探测器的成本较低。

• 3. 军用红外目标任务

- (1) 目标（景物）检测。
 - 红外弱小目标检测识别难点是：对比度较低、边缘模糊、信号强度弱，缺乏纹理、形状、大小等结构信息，目标极易被噪声淹没，单帧检测虚警概率高，多帧处理增加了数据的存储量和计算量，固定的模板和算子很难有效检测弱小目标。
 - 实战状况下的目标检测算法大致有形态学法、噪声过滤算法、多帧累积统计算法、自适应背景预测算法等。算法的有效性往往只适用于特定的应用场景。

- (2) 目标自动识别。首先应能检测出各类目标及干扰物的形状特征和辐射特征，并能判定各自的运动轨迹，然后再经过识别运算方法进行目标的自动识别判定。
- (3) 目标精确跟踪。首先必须确定目标所处的方位及其运动状态。对成像目标而言，则需要确定根据目标的形心、质心或目标的要害部位（如驾驶舱、油箱、战斗部）去估计目标方位。

13.4 红外成像技术在设备故障诊断中的应用

- 电力系统中存在大量具有电流、电压致热效应或其他致热效应的设备，如变压器、断路器、负荷闸刀、互感器、电容器、母线、二次回路及电气连接点等。通过采用红外成像技术，能够及时发现电气设备的发热缺陷，并及时进行合理的处理，确保电气设备的安全稳定运行。

• 1. 诊断方法

- (1) 表面温度判断法。对照有关规定，温度（或温升）超过标准的可根据设备温度超标的程度、设备负荷率的大小，设备的重要性及设备承受机械应力的大小来确定设备缺陷的性质。对在小负荷率下温升超标或承受机械应力较大的设备要从严定性。
- (2) 相对温差判断法。对电流致热型设备，如果发现设备的导流部分热态异常。首先要计算处相对温差 Δt 。

$$\Delta t = \frac{(\tau_1 - \tau_2) \times 100\%}{\tau_1} = \frac{(T_1 - T_2) \times 100\%}{T_1 - T_2}$$

式中， τ_1 和 T_1 分别为发热点的温升和温度； τ_2 和 T_2 分别为正常对应点的温升和温度； T_2 为环境温度参照体的温度。然后根据相对温差 Δt 来判断缺陷性质。

□ 环境温度参照体是指采集环境温度的物体，它可能不具有当时的真实环境温度，但具有与被测物体相似的物理属性，并与被测物体在相似的环境中。

- (3) 同类比较法。在同一电气回路中，当三相电流对称和三相设备相同时，要比较三相电流致热型设备对应部位得温升值。判断设备是否正常，若三相设备同时出现异常，可与同回路的同类设备进行比较，当三相负荷电流不对称时，需考虑负荷电流的影响。

• 3. 注意事项

- (1) 对检测环境的要求。温度低于5°C，不宜检测；空气湿度不宜大于85%，被测物避免灯光直射。
- (2) 检测诊断周期。一般每年检测一次；新建、扩建或大修设备再带负荷后一个月内，应进行一次检测诊断。

13.5 红外成像技术在医学诊断中的应用

| 适用范围 | 诊断原理 |
|---------|--|
| 肿瘤 | (1) 根据代谢率异常进行鉴别诊断 (2) 有动静脉吻合所造成的高温皮肤区 |
| 血行障碍 | (1) 组织血流量估计 (2) 血流分布异常 (3) 由异常血管所造成的温度分布异常 |
| 代谢异常 | 发现组织代谢异常部位 |
| 慢性疼痛 | 发现来自侵害性感受器的慢性疼痛与血管性疼痛及肌肉缺血性疼痛的存在部位的温度异常分布 |
| 自律性神经障碍 | (1) 根据自律性神经系统特别是交感神经系统的活动度的神经节温度分布进行分析 (2) 负荷反应分析 |
| 炎症 | (1) 发现炎症引起的高温 (2) 基于指标定量的炎症判定 |
| 体温异常 | 体温异常以体温与末梢温度差异的监视 |

- 红外成像技术在医学临床上的应用始于20世纪50年代后期的乳腺肿瘤诊断。医用红外成像技术的医学技术、红外摄像技术和计算机多媒体技术相结合的产物，是一种记录人体热场的影响装置。该技术开辟了一种以检查功能为主、但不属于放射核素示踪检查的新的医学影像系统，是现代医学映像的一个崭新分支。

• 医用红外成像技术利用红外扫描采集系统接收人体辐射的红外能量，经过计算机只能分析和图像处理形成红外热图像，以不同的色彩显示人体表面的温度分布，定量地分析温度变化，判断出某些病灶的性质、位置，达到诊断疾病的目的。该技术实现了人体机能与结构多元信息的转换和表达，为人们探索人体机能信息和结构信息的内在联系开辟了新的途径。

- 人体细胞的新陈代谢活动不断将化学能转换成热能。通过组织传导和血液对流换热，热能从体内传向体表，并通过导热、对流、辐射、蒸发等方式与环境进行热交换，即“人体体内的热一定会传到体表”。当体表温度变化达到热像仪的分辨率时，医用红外成像技术就可以检测和记录到这种变化，显示出异常高温和低温的部位，而磁共振（MRI）、X射线断层扫描（CT）等则只有在病灶发展至一定体积、一定密度时才能显示这种异常结构的变化。

• 从疾病发生、发展的一般进程来看，组织性状和器官功能的改变往往先于其结构、形态的变异，因此，医用红外成像技术能够实现人体疾病的早期诊断，与以检查组织形态结构为主的医学影响技术相比，具有不可替代的互补作用。由于红外技术及现代高科技的发展和计算机二次处理软件的加强，红外成像技术在医学领域得到了迅速、深入的发展，其新的医学应用领域也随之不断涌现。

- 医用红外成像技术是通过红外成像仪被动接收人体发出的红外辐射信息的，因此凡能引起人体组织热变化的疾病都可以用它来进行检查，如癌症前期预示、肿瘤的鉴别诊断及普查、心脑血管疾病、外科、皮肤科、妇科、五官科、人体健康状态的综合检查和评估以及对各类疾病的治疗和药物疗效过程及结果的观察、分析等。
- 此外，医用红外成像技术在中医辩证、针灸原理、经络穴位温度特性和气功测试等方面的应用也受到国内外的关注，取得一些研究成果。

• 1. 肿瘤鉴别诊断

- 及早发现使肿瘤治疗的关键，对此医用红外成像技术具有明显的优势。肿瘤分恶性肿瘤和良性肿瘤两类。恶性肿瘤又分为癌瘤和肉瘤，有时人们把所有的恶性肿瘤统称为“癌症”。良性肿瘤由成熟细胞组成，生长缓慢，与周围皮肤的温差小，大多在 1°C 以内；
- 恶性肿瘤由不成熟的细胞组成，血管丰富，代谢旺盛，生长迅速，特别是病变位于浅层者与近周皮肤温差较大，可达 $2\sim3^{\circ}\text{C}$ 。

- 当体表温度变化达到热像仪的分辨率时，热像仪就能够监测和记录到这种温度变化，显示出异常高温或低温的部位，肿瘤细胞的温度变化是由早期的代谢加速和血液循环增加而引起的，从最初的出现到CT、MRI足以分辨，这里有一个时间差，一般来说起码需要两三个月。
- 根据多数研究者报告，乳腺癌热象图的显示效果最好，诊断准确率较高，根据Gershon-Cohen的资料，诊断率达到94%，Williamans报导的诊断率为95%，Notter报导的诊断率为90%，Hoffman报导的诊断率为91.6%，而日本川崎报导的局限性乳腺癌诊断率则达到100%。

• 2. 炎症判定

- 炎症是一种常见的病理现象，红肿热痛是炎症的最常见表现。急性炎症局部充血，代谢旺盛，其病灶处温度一定是高温；慢性炎症病灶处，由于机化粘连，局部血液循环下降，其温度就会下降；
- 若慢性炎症病灶急性发作，则会出现高低温交错的情况等，采用红外成像技术对炎症进行临床诊断可带来很多方便。
- 由于急性炎症也会使皮肤温度显著升高，在热象图诊断上要与肿瘤皮肤温度的升高加以鉴别。专家评估了用红外成像诊断增生、炎症和癌症的临床价值，结果表明增生性疾病、炎症和癌症的体表热辐射温度和热区均有独特的规律性变化。

- 专家对1194例炎症病例进行对照、分析，其中胸部炎症261例、腹部851例、头部51例、四肢7例、其他24例，体表温差为1.5~3.4°C，胸部温差为0.5~0.8°C，腹部温差为0.5~0.9°C，骨骼温差为0.8~2.8°C。
- 目前有不少国家已将红外成像技术作为妇女普查乳腺癌的第一轮筛选手段。据Hoffman等报告，在用热象图普查1924人中有24例乳腺癌患者，检出22例，检出率达91.6%。
- 胸部和骨骼用X射线进行附属检查，腹部则用胃镜进行辅助检查。对于局部组织发炎，其热辐射温度大面积提高，较健康者增高1~2.5°C，热区明显增多，面积增大，周围无冷热交叉。乳腺癌、静脉炎、关节炎、肌纤维质炎等的热成像图面积较大，但与周围组织的温差均不超过3.5°C。

• 3. 血管疾病诊治

- 红外成像技术在检测血管性病变，特别是肌体血管的供血和功能方面具有一定优势。机体温度由血液循环状态决定，当血管发生病变时，血运有障碍，皮肤温度降低，热像图能清楚地显示出病变部位及其波及范围，特别是对闭塞性脉管炎、Barger氏病、Raynaud氏病、和硬皮病等具有重要的诊断价值。
- 由于动、静脉血管瘤局部血流量的增加，皮肤温度会升高，小腿静脉曲张病人的热象图会呈现特有的索条，对于血栓性静脉炎、血管狭窄以及各种因素引起的机械压迫性血液循环障碍病变，热像图诊断都有一定的意义。

- Raynaud氏病的热象图显示，指、趾的末梢温度明显比正常肢端的皮肤低，热像图对判断病情及治疗进展情况有帮助。虽然硬皮病的温差会变化但界限不清，呈逐渐移行像，此点可作为Raynaud氏病诊断的鉴别点。国外机构已经采用

- 红外成像技术开展有关雷诺现象和硬皮病的临床诊断研究，并取得了一些成果。
- 医用红外成像技术是一种新型医用技术，属于功能影像学范围，该技术与CT、MRI、B超等结构影像学结合，既能了解患者的组织结构情况，又能了解该组织的功能状态，是结构影像和功能影响的结合体，是理想的现代影像学。它使许多病变得到早期发展，疾病规律得到更全面的认识，疾病性质得到更准确的诊断，现有的医用红外成像技术通过人体表面温度分布的红外成像可以定性地对人体内部病变进行诊断，但不能判断人体内部病灶的部位和大小，无法对病灶进行准确的定位。

➤ 另外，由于人体的复杂性以及目前在红外成像认知方面的局限性等，给诊断带来了一定的难度。人们可以通过研究生物传热及其医学应用，建立新型准确的人体热传模型来评价人体处于不同热环境下的红外图像，实现早期病变细胞和人体内部异常温度的定量诊断。

