



SARS预防中的红外体温测量法及应注意的问题

作者：张继培

单位：上海工业自动化仪表研究所

社区搜索

关键字:

类型:

专业委员会

地方学会

学会章程

一 什么是人体的真实温度

研究表明，人体不同部位的温度是不同的。代表人体真实温度的是心脏和脑部的血液温度，叫基础温度或核心温度（core temperature），记作 t_c 。这个温度无法临床测量。

最接近基础温度的是人体内的肺动脉、膀胱内、食道内和鼓膜处的温度，可近似认为与基础温度相等，这叫局域温度。除了鼓膜外，在日常测量中也是很难测量的。

在日常体温测量中，是测量人体口腔（即舌下）、直肠（肛门内）或腋下的温度，分别记作 t_o 、 t_r 和 t_a 。这些部位的温度容易测量，也相当稳定。但这些局部的温度都互不相同，而且与基础温度有较大的差别，不代表人体的真实温度。不同的人这些温度与基础温度的差别也是不同的。文献报道，口腔温度 t_o 平均比肺动脉温度低 0.4°C ，腋下温度 t_a 平均比肺动脉温度低 0.7°C 。传统上人们习惯把口腔温度 t_o 作为体温的代表，或称为体温的参照温度，以 $t_o=37.0^{\circ}\text{C}$ 作为发烧与否的参照标准。

当然也可以测量皮肤表面的温度（如额头温度）来作为体温参照温度，记作 t_s 。但这样做太粗糙了。因为 t_s 是不稳定、不确定的一个值，我们将在下面介绍皮肤表面红外温度计时再加以详细解释。

不论我们测量哪一个部位的温度（ t_o 、 t_a 、 t_r 或 t_s ），他们与核心温度 t_c 都有差别，这个温度差别是由人体生理因素形成的，叫做生理差别。

二 对测量体温仪表的要求

1. 准确 即仪表本身准确，同时真实反映体温；
2. 方便 即容易操作，并便于大量检查；
3. 快速
4. 价廉

三 红外测温法

1. 接触式测温

传统的体温测量是用医用玻璃液体温度计（俗称体温表）、医用电子接触式温度计（常用热敏电阻作为它的感温元件）等插入人体内部（舌下、直肠）或置于腋下，通过接触使温度计的温度等于被测处的温度。

接触式医用温度计的优点是它本身很准确，很稳定，仪表的误差不超过 0.1°C 。它们容易使用，便宜，可作医疗使用，也可作家用。其缺点是测量的速度慢（约2分钟以上）。玻璃液体温度计还易碎，在医院使用时容易因消毒不彻底而引起交叉感染。在SARS预防的检测中，在需测量的人很多，时间又要短时，它们就不大适用了。因此不接触式的红外温度测量法就被广泛用于SARS预防的检测工作中。

2. 红外测温法的原理

任何有一定温度的物体，都会以电磁波的形式向外界辐射出能量。所辐射能量的大小，直接与该物体的温度有关，具体地说是与该物体热力学温度的4次方成正比，用公式可表达为：

$$E = \sigma \varepsilon (T^4 - T_0^4)$$

(1)

式中：E ——辐射出射度， W/m^2 ；

σ —— 斯蒂芬—波尔兹曼常数， $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ；

ε —— 物体的辐射率；

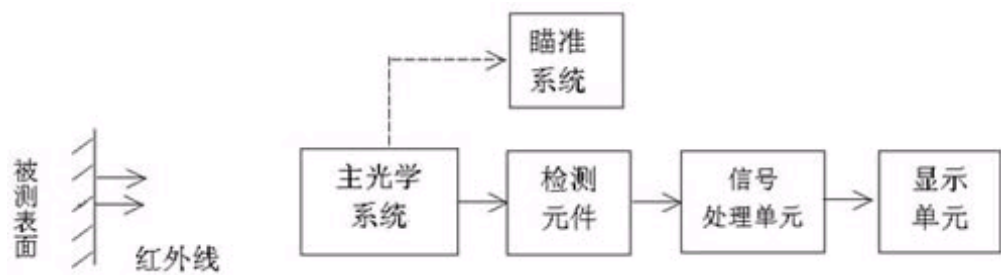
T —— 物体的温度，K；

T_0 —— 物体周围的环境温度，K。

测量出所发射的E，就可得出温度。

利用这个原理制成的温度测量仪表叫红外温度仪表。这种测量不需要与被测对象接触，因此属于非接触式测量。红外温度仪表可用于很宽温度范围的测温，从 -50°C 直至高于 3000°C 。在不同的温度范围，对象发出的电磁波能量的波长分布不同，在常温（ $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ）范围，能量主要集中在中红外和远红外波长。用于不同温度范围和用于不同测量对象的仪表，其具体的设计也不同。

红外温度计最简单的原理图如图1所示。



红外温度计原理框图

图中：主光学系统有两个作用：a) 把被测处的红外线集中到检测元件上；b) 把进入仪表的红外线发射面限制在固定范围内。检测元件把红外线能量转换为电信号。信号处理单元把检测元件输出的信号，用电子技术和计算机技术进行处理，变成人们需要的各种模拟量和数字量信息。显示单元把处理过的信号变成人们可阅读的数字或画面。瞄准系统用于瞄准（或指示）被测部位。耳温计不需要瞄准系统。

根据式（1）的原理，仪表所测得的红外辐射为：

$$E = A\sigma\varepsilon_1\varepsilon_2(T_1^4 - T_2^4)$$

(2)

式中：A ——光学常数，与仪表的具体设计结构有关；

ε_1 ——被测对象的辐射率；

ε_2 ——红外温度计的辐射率；

T_1 ——被测对象的温度，K；

T_2 ——红外温度计的温度，K，它由一个内置的温度检测元件测出。

辐射率 ε 是一个用以表达物体发射电磁波能力的系数，数值由0至1.0。最理想的辐射物体是辐射率1.0的物体，物理上叫做黑体。这是一个理论上的概念，实际上并没有一种物体的辐射率能达到1.0。但可以制造出极为接近于 $\varepsilon=1.0$ 的实际黑体，用于温度计的校准。所有真实的物体，包括人体各部位的表面，其 ε 值都是某个低于1.0的数值。由于 ε 值极难测量而又不确定，所以在仪表测出E后，按式（2）计算出的 T_1 就会有误差。在实际工作中，仪表是在 $\varepsilon=1.0$ 的黑体上校准好出厂的，只有测量 $\varepsilon=1$ 的对象，其示值才代表对象的实际温度，如果对象 ε 不等于1，则仪表读数不代表对象的实际温度，要进行修正。

3. 红外测温法的优缺点

(1) 优点：

—与被测对象不接触，在测体温时不会造成不必要的感染；

—快速。通常测量时间小于1s，一般不会超过2s。

因此十分适合于在SARS预防检测中应用。

(2) 缺点：

—仪表本身准确度不如接触式的医用温度计，通常不会优于0.2℃；

—测量结果受许多因素影响，重要的是被测对象辐射率不确定性，不容易测出被测对象实际温度；测量距离变化和环境温度变化也会带来误差；

—仪表本身比较复杂，使用也比接触式医用温度计复杂，使用者要经一定培训才能正确使用；

—价格较高。

四 几种用于体温测量的红外温度仪表

1. 测量皮肤表面温度的红外温度计

它们一般是便携式的，俗称手枪式的，通常有一个激光瞄准系统。激光束所指的地方就是测量温度的部位。这种温度计使用十分方便，只需一按开关，一秒钟内就可直接读出温度。

仪表所测的皮肤表面温度，通常是测量额头的温度（因为方便）。皮肤温度的测量结果受以下两个因素的很大影响：

a. 皮肤本身的温度取决于皮肤下面血流分布的情况，也取决于皮肤附近的传热情况（如风速大小，风温高低等），因此其温度在不同位置、不同时间、不同条件下是不同的，变化较大。

b. 皮肤的辐射率 ε 的值偏离1.0较大，而且不同的人，同一人不同部位的 ε 值不同，变化范围较大，约为0.94~0.99之间。

因此直接测出的温度并不是皮肤的实际温度。如果要通过测量皮肤的温度而知道口腔温度，则要进行两种修正：

第一种：把测得的温度修正为皮肤的实际温度。这就要知道皮肤的 ε 值，而这是做不到的（ ε 难测且每人不同），只能根据一个统计平均值来修正。这就会产生一个误差。

第二种：再把实际的皮肤温度折算到口腔温度 t_o ，这就要知道 t_o 与皮肤温度的生理差别。但这也做不到，因为这个差值随不同人、不同条件而变化，所以也只能是一个统计平均值，实际上连统计平均值也难以获得。

一部分专用于皮肤温度测量的红外温度计在设计时，根据某个统计平均值，在仪表内已自动进行上述两种修正。这时仪表虽然瞄准皮肤来测量，但读数就是口腔温度。但大部分仪表是没有自动加上这两种修正值的，需要使用者自己去修正才能得到相应的口腔温度。目前市场上大部分红外温度计，并非专门为测量人体温度而设计的，主要是为工业测量而设计的，只是它们其中一些的测量范围包含了体温的范围而已。不过这些仪表上都有“ ϵ 选择”按钮，可由使用者根据自己对被测对象 ϵ 值的了解，自行设定 ϵ 值。这样就实现了第一种修正。至于第二种修正，一般是没有的，要使用者自己去估计折算。实际上无论自动修正，还是人为去修正，或是不修正，结果的不确定性都是很大的。

表1是对10个体温正常人的腋下温度和额头温度测量数据。腋下温度与额头温度之差最小的是0.7℃，最大为3.6℃。

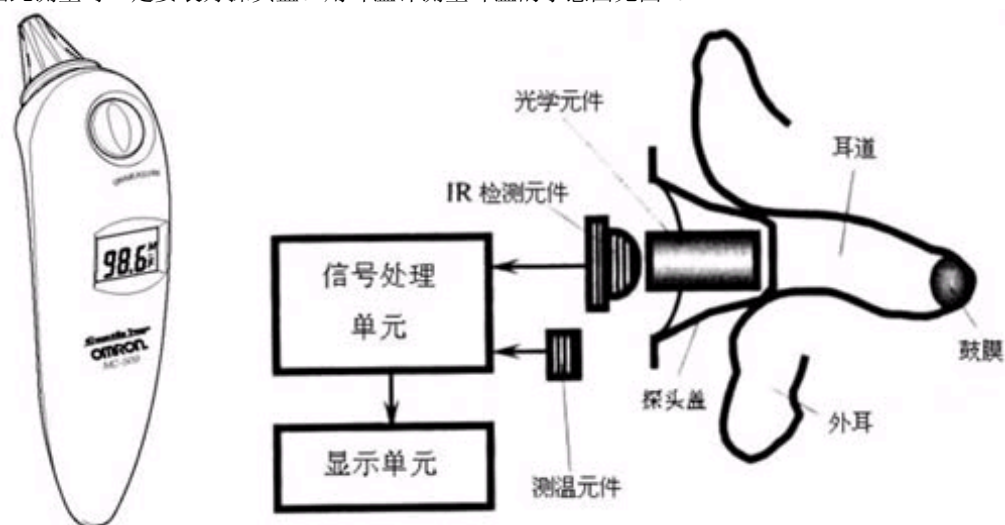
表1 10个人腋下与额头温度对比数据

| 样本 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 腋下温度, ℃ | 36.0 | 36.4 | 36.3 | 36.7 | 36.4 | 36.5 | 36.6 | 36.6 | 36.3 | 36.7 |
| 额头温度, ℃ | 35.3 | 34.8 | 34.8 | 33.7 | 34.6 | 34.2 | 34.3 | 34.7 | 34.9 | 33.1 |
| Δt , ℃ | 0.7 | 1.6 | 1.5 | 3.0 | 1.8 | 2.3 | 1.3 | 1.9 | 1.4 | 3.6 |

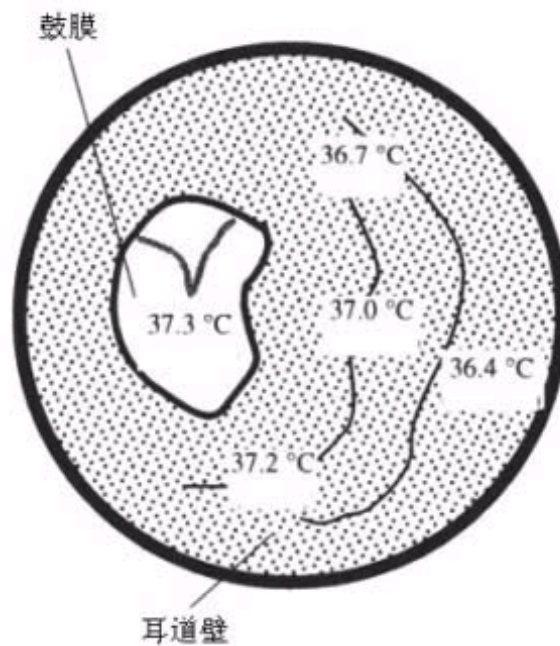
图 红外耳温计 图 用耳温计测量耳温

2. 红外耳温计

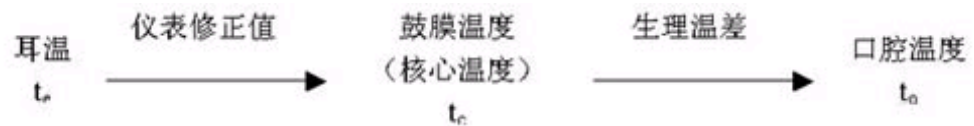
它是一种专门用于测量耳道温度的红外辐射温度计，其原理与前面所述的测量表面温度的红外温度计是一样的。由于专用，它没有瞄准系统，主光学系统也比较简单。耳温计的外形如图2所示，使用时，将耳温计插入耳道内，即可读数。耳温计都配有一次性使用的探头盖，以维持清洁，防止感染。仪表校准时是连探头盖一起进行的，因此测量时一定要装好探头盖。用耳温计测量耳温的示意图见图3。



在第一节中已介绍，鼓膜温度可近似认为是人体的基础温度，而耳道壁和鼓膜形成的腔体，十分接近黑体（即 $\epsilon=1.0$ ），因此用耳温计测量时，对象辐射率 ϵ 不确定的影响很小，测得的温度会接近耳道的实际温度。



应该注意，所测得的耳温 t_e 并不等于鼓膜温度。图4是用耳温计测量时，进入耳温计视场的图，即耳温计实际测量部位图。由图可见，耳温计测量的是包括鼓膜和部分耳道壁的一个面的综合辐射能。它的读数反映了与之对应的综合温度，与鼓膜温度是有差别的。这个差别，随仪表的设计不同而不同。即使对同一种仪表，由于不同人耳道结构大小、形状都不相同，这个差别也不同。这个差别，因主要与仪表设计有关，叫仪表温差。如果要得到鼓膜的温度（可视为核心温度），要加上一个数值等于仪表温差的修正值。按美国ASTM标准的要求，每个医用耳温计的生产厂应提供这个修正值以及如何获得这个值的说明。只有知道这个修正值，才能把耳温计测出的耳温折算到口腔温度，即



实际上，不同生产厂采用不同的办法：

第一种办法是设计中，在仪表内自动修正，耳温计读出的是口腔温度 t_o 。采用这种方法的仪表，在实验室检定或校准时，就会出现示值与标准温度不相等的现象。

第二种办法是不作修正，仪表读出的是耳温 t_e 。

第三种办法是仪表中有模式选择按钮，使用者可选用不同的模式（mode）。在不修正的模式（有时叫校准模式）下，读出的是耳温；而在修正的模式下，读数表示的是口腔温度（或其他指明的温度）。使用时和检定时要注意选择不同的模式。

因此使用前要注意仪表的使用说明。

以使用对象分，市场上的耳温计可分为家用的和医疗用，前者常常没有模式选择，后者功能多，有模式选择，而且可能不止二种模式。

耳温计本身的允许误差（检定时的误差），通常在 $36\sim 39^\circ\text{C}$ 范围内为 $\pm 0.2^\circ\text{C}$ ，高于 39°C 和低于 36°C 时为 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 。使用时，不正确的使用也会带来额外的误差。如耳道内的大量耳垢，会带来误差。测量时由于耳温计塞住耳孔，耳孔内温度场会发生变化，测量时间过长示值就会变化。重复多次测量时，如果测量间隔不合适，每次读数也会不同。测量时，使用者要拉一下耳壳，以拉直耳道，使耳温计能尽量对准耳道底部鼓膜部位。不同年龄的人（婴儿与成人）拉直的方法不一样。所以耳温计的操作者，应事前培训，尽量减少不必要的误差。

3. 红外热象仪

上述两种温度计测量的是一个狭窄视角内的小块面积的温度，可视作测量“点”的温度。热象仪是测量广大视角内的“面”的温度，即二维温度。它测量温度的原理与前述两种基本上是一样的。所不同的是，由于它是二维图象显示，因此图1中的检测元件不再是一个单一的光—电转换元件，而是一个光—电转换元件的阵列；它的信号处理单元要比上述两种温度计的复杂得多，需加入图象处理的功能；显示单元不是只显示数字和文字的简单显示屏，而是大的图象显示屏了。这方面的原理，则和数码相机或摄象机相似。热象仪显示的图象是被测对象红外辐射强弱分布的图象，温度高的地方，红外辐射强，相应位置的信号就强，在黑白屏幕中该位置就比较明亮，而在彩色屏幕中，则用不同的颜色表示不同的温度。

红外热象仪的优缺点：

红外热象仪也是一种测量表面温度的仪器，因此，本节第一点中测量表面温度的红外温度计所有优缺点它

也同样具有。但是，热象仪设计的首要目的是测量表面的温度分布，而不是温度的值。因此有一些特殊的优缺点。

优点：可以测量一个大视场中的温度分布（即温度差别），好的热象仪具有高的温差分辨率，能分辨百分之几度的温差。它更直观，更方便，视角广阔，无需逐个对对象扫描。

缺点：复杂，使用人员必须培训；昂贵；准确度不高，通常比皮肤表面红外温度计差。

热象仪首先是为了测量工业、工程中对象的漏热和温度分布而产生的。市场上大部分热象仪不是专门为测量人体温度分布而设计的，但其中有些产品的测量范围可以用于测量体温分布。有一些热象仪则是专门针对人体温度分布测量而设计、生产的，如英国Land公司的人体温度监测系统（Human Body Temperature Monitoring System），加拿大Cantronic Systems公司的FeverScan M3000型，美国Infrared Solutions公司的IR-160型等就属此类。人体温度监测系统带精密小黑体作为仪器自带的校准源，可确保仪器的温度准确性。FeverScan M3000的设计考虑了测量行人（如从机场出来）体温的要求，可在仪器中预设警戒温度，一旦有行人超过这个温度，该超温点的颜色就会闪烁，其分辨率可达0.08℃。在国内，中国科学院上海技术物理研究所、武汉高德光电公司、广州飒特电力红外公司等单位也有热象仪产品。

五、红外体温测量仪表性能要求和测试

作为一种医疗仪器，红外体温计的性能应当符合技术法规的要求。但目前我国尚未有相关的国家标准及计量检定规程。各生产厂在投产前都应参考相近的温度计和仪表的我国标准和国外标准，制订出本单位的产品企业标准，标准中应规定对红外体温计的技术要求和对这些要求的测试方法。这里只能介绍国外有关标准和中国有关仪表中对性能的规定作为参考。

1. 计量性能

计量性能主要指仪表的允许误差，即允许的仪表示值与真值的最大差别。检查这项性能的操作，叫校准。仪表出厂前要校准，使用后也要定期校准。校准方法是用红外温度仪表去测量一个温度已知的黑体的温度，观察其示值与已知值的偏差。这个已知温度是用标准温度计测出的，在黑体条件下，由于 ϵ 值不等于1而带来的红外测温的各种测量不确定性都消除了。校准时，温度计至少要在测量范围的三个温度点进行，如美国规定耳温计在35℃、37℃和41℃三个点进行，而皮肤温度计则在23℃、30℃和38℃三点进行。用校准好的红外温度计去测量 $\epsilon \neq 1$ 的人体皮肤表面，当然有误差，不能得出皮肤实际温度。这就是为什么通常红外体温计要有不同模式的选择以及要自动或人工修正的原因。

另一个重要的计量性能是重复性。

2. 其他性能

红外体温仪表还必须满足规定的一些其他条件的要求，以保证在各种使用条件下，仪表仍能正常工作，并不超过允许的误差。温度计投产前，都必须通过型式试验，证明达到了这些要求。这些要求主要有：

- (1) 环境温度影响；
- (2) 环境湿度影响；
- (3) 储存环境影响；
- (4) 振动、冲击影响；
- (5) 绝缘性能；
- (6) 抗电磁干扰性能；
- (7) 静电放电影响。

如美国ASTM标准规定，耳温计使用的环境温度范围为16~40℃。应在这个范围内的三个环境温度点（包括环境温度上下限附近）进行校准，其结果不应超过耳温计的允许误差。

六 一些评价和建议

1. 在SARS预防的体温测量中，所介绍的三类红外温度计各有优缺点，各自适合一定的使用范围（见表2）：

表2 各种仪表评价

| 性能 | 准确性 | | 方便性 | | 快速 | 价廉 | 建议使用场合 |
|-------|---------|----------|------|----------|----|----|----------------------------|
| | 仪表本身准确性 | 测量体温的准确性 | 操作容易 | 大量检查的方便性 | | | |
| 表面温度计 | B | D | A | B | A | C | 中等人流的公共场合的初步测量 |
| 耳温计 | B | B | B | C | B | B | ● 小量人流的公共场合的初步测量 ● 医用确认 |
| 热象仪 | C | D | D | A | A | D | 人流大的公共场所的初步测量 |
| 水银温度计 | A | A | A | D | D | A | 医用确认 |

(1) 红外热象仪价格昂贵，操作较复杂；测量的是面部表面温度，难以真实反映人体的实际温度。但它直观、反应快、视野广阔，能很有效地分辨温度差别，很容易在一群人中测出温度最高者。因此十分适合于在机场、车站、码头等人流量大的公共场所，由专人操作，初步检测人体温度。

(2) 测量皮肤温度的红外温度计和热象仪一样，无法真实反映人体实际温度。但它测量方便，操作简便，反应很快，价格远比热象仪低，适合于大中型企事业单位备用，在有一定人流量的场合，如单位入口处，由专人对职工进行初步检测体温。

(3) 红外耳温计远比前二者准确，价格也较低，虽然使用时比测量皮肤表面的红外温度计需要多一些使用技巧，但使用仍属比较方便。适用于医院，中小型企业事业单位用于初步检测。尤其是医院，可使用性能好、功能多的医用耳温计。

2. 三种红外测体温仪表，目前均只宜作体温初步检测。热象仪和皮肤表面温度红外温度计的什么示值可认为是发烧嫌疑，需要操作者经试探摸索后确定。对初步检测中的嫌疑者，应用传统接触式医用体温计确诊。

3. 需要从速制定体温测量用的各种红外温度仪表的标准和计量校准规范。

4. 各单位购买红外温度仪表作SARS预防检测使用时，要注意核查该产品是否有规定各种必要的性能指标要求（如本文第四节介绍），它们是否经过权威部门的性能检测，以及是否有国家计量行政部门颁发的生产许可证。

作者简介：张继培 男（1940 ~ ） 研究员级高级工程师。1967年清华大学研究生毕业，2001年退休。原上海工业自动化仪表研究所所长，现任该所技术咨询委员会主任。原中国仪器仪表学会理事，过程检测控制仪表分会副会长。全国温度计量技术委员会顾问。上海市计量测试学会常务理事，热工计量专业委员会主任委员。国际电工委员会（IEC）第65B分技术委员会第5工作组（TC65B WG5，温度工作组）成员。美国测试与材料协会（ASTM）第E20技术委员会（温度技术委员会）成员。国家有突出贡献的专家。

地址：北京市海淀区中关村东路95号 邮编：100080

电话：010-62544415 82673037 传真：010-62620908

Email:wangh@iamail.ia.ac.cn , zdhxx@hotmail.com

