T

中 国 建 筑 学 会 标 准

T/ASC XX -202X

红外热像法检测古代建筑壁画

内部病害技术标准

Technical standards for IR Thermography diagnostic method for wall fresco in hollow detection

（征求意见稿）

**202**X**－XX－XX 发布 202**X**－XX－XX 实施**

**中 国 建 筑 学 会 发布**

中国建筑学会标准

红外热像法检测古代建筑壁画

内部病害技术标准

Technical standards for IR Thermography diagnostic method for wall fresco in hollow detection

**T/ASC XX-20**XX

主编单位：中国建筑技术集团有限公司

批准单位：中国建筑学会

施行日期：202X年X月X日

XXX出版社

**202**X **北 京**

**前 言**

本标准根据中国建筑学会《关于发布<2023年中国建筑学会标准编制计划（第二批）>的通知》（建会标〔2023〕17号）的要求，由中国建筑技术集团有限公司会同有关单位编制完成。

在本标准编制过程中，编制组开展了广泛的调查研究，总结了红外热像法检测技术经验，参考了国内外有关标准，并在广泛征求意见基础上，编制本标准。

本标准共分6章和2个附录，主要内容包括：总则，术语，基本技术条件，现场检测，数据处理及结果表达，检测报告等。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国建筑学会标准工作委员会负责管理，由中国建筑技术集团有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有修改意见或建议，请寄送中国建筑技术集团有限公司（地址：北京市北三环东路30号；邮政编码：100013；电子邮箱：lhch.2008@163.com）。

本标准主编单位：中国建筑技术集团有限公司

本标准参编单位：

本标准主要起草人员：

本标准主要审查人员：

**目 次**

[1 总则 1](#_Toc456705031)

[2 术语 2](#_Toc456705032)

[3 基本技术条件 3](#_Toc456705036)

[3.1 人员 3](#_Toc456705036)

3.2 检测装置 3

[4 现场检测 4](#_Toc456705037)

[5 数据处理及结果表达 6](#_Toc456705041)

[6 检测报告 7](#_Toc456705045)

[附录A 壁画病害表达图例 8](#_Toc456705046)

[附录B 热像图温度数据处理方法 9](#_Toc456705051)

[本标准用词说明 11](#_Toc456705052)

引用标准名录 12

条文说明 13

**Contents**

[1 General provisions 1](#_Toc435778383)

[2 Terms 2](#_Toc435778384)

[3 Basic technical requirements 3](#_Toc435778388)

[3.1 Personnel 3](#_Toc435778385)

[3.2 Inspection devices 3](#_Toc435778386)

[4 Field inspection 4](#_Toc435778389)

[5 Data processing and result presentation 6](#_Toc435778393)

[6 Inspection report 7](#_Toc435778397)

[Appendix A Disease representation legends for murals 8](#_Toc435778403)

[Appendix B Thermographic temperature data processing methods 9](#_Toc435778403)

[Explanation for wording in thisstandard 11](#_Toc435778404)

List of quoted standards 12

Explanation of provisions 13

# 1 总 则

**1.0.1** 为规范红外热像法在古代建筑壁画内部病害检测中的应用，制订本标准。

**1.0.2** 本标准适用于采用红外热像法对古代建筑壁画内部空鼓病害的检测。

**1.0.3** 古代建筑壁画内部病害检测除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

**2 术 语**

**2.0.1** 红外热像法 infrared thermography

采用红外热成像方法，显示被测物体表面辐射亮度变化（实际温度或发射率引起的变化，或两者共同引起的变化）的方法。

**2.0.2** 红外热像仪 infrared thermographic camera

通过红外光学系统、红外探测器及信号处理系统，将物体红外辐射转换成可见图像的设备。

**2.0.3** 热激励装置 thermal exciting device

在红外检测中，用于对被测物加热以激发被测物内部缺陷的热激励系统，一般由加热装置和能源提供装置构成。

**2.0.4** 图像处理 image processing

进行除噪声、图像彩色调整、消除背景、病害面积计算等处理。

**2.0.5** 壁画病害 mural deterioration

壁画至墙壁支撑体各层之间存在的脱空现象。

**3 基本技术条件**

**3.1 人 员**

**3.1.1** 检测人员应具有壁画相关的基础知识。

**3.1.2** 检测人员应熟练掌握红外热像法的基本原理和检测仪器的使用及维护。

**3.1.3** 检测人员应通过技术培训，持证上岗。

**3.2 检测装置**

**3.2.1** 检测装置应包括红外热像仪和热激励装置。

**3.2.2** 红外热像仪应符合下列性能指标：

**1** 工作波长：8μm～13μm；

**2** 最小温差分辨力值在0.1℃以内；

**3** 检测范围：-20℃～50℃；

**4** 像素值不应少于300mm×200mm。

**3.2.3** 红外热像仪必须由具有资质的机构进行定期校准，校准工作应符合现行行业规范《热像仪校准规范》JJF 1187的规定，校准周期宜为1年。

**3.2.4** 在室内或温度变化较小的环境中检测时，应对被测壁画表面进行热激励后方可进行检测。热激励在壁画表面检测范围应均匀分布。

**4 现场检测**

**4.0.1** 壁画内部病害检测工作程序，宜按图4.0.1的框图进行。

接受委托

拍摄和保存壁画热像图

（必要时，设置参考点）

编写检测方案

现场调查和资料收集

分析处理热像图

编写检测报告

复检、补充检测

数据不充分或疑义

现场准备工作确认

图4.0.1壁画内部病害检测工作程序框图

**4.0.2** 接受委托后在实施检测前应进行现场调查和资料收集。现场调查和资料收集过程中需确认和掌握的信息宜包括下列主要内容：

**1** 古代建筑概况（结构形式、规模、使用时间等）；

**2** 壁画类型、尺寸、方位、周边环境等；

**3** 壁画维护记录（检查或维修过的记录等）；

**4** 古代建筑所在区域气象条件；

**5** 壁画绘制时间或朝代，以及现状等。

**4.0.3** 检测前应制定检测方案。检测方案应根据检测前的调查结果制定，并做好现场确认及与委托方的协调。检测方案宜包括下列主要内容：

**1** 检测时间、检测人员；

**2** 需要检测壁画的位置及利用自然界热激励时的最佳检测时段；

**3** 检测仪器在现场的工作位置；

**4** 仪器与壁画之间的检测距离及检测次数；

**5** 检测中的壁画保护措施；

**6** 检测中的安全与环保措施。

**4.0.4** 当壁画处于露天环境下，红外热像法检测工作宜在晴天、低风速的环境条件下进行。当处于室内环境下，则不受天气情况限制。

**4.0.5** 现场拍摄热像图应按下列程序进行：

**1** 安放仪器，通过主机的控制面板调整仪器，使其处于工作状态；

**2** 记录天气、气温、壁画周围温度、日照情况等气象条件；

**3** 根据实际检测环境情况对被测壁画施加热激励；

**4** 对于施加热激励的，应在热激励结束后，再拍摄壁画红外热像（大的立面应分块拍摄，同时进行同角度可见光照片拍摄）；

**5** 设置后期数据处理时需要的热像图与可见光照片叠加参考点；

**6** 记录拍摄条件等信息。

**4.0.6** 开展现场检测工作时，应遵守国家有关安全、环境保护和文物保护的规定。

**5 数据处理及结果表达**

**5.0.1** 热像图的分析和处理可分为两个阶段。第一阶段对分块拍摄的热像图进行正确拼接合成，对合成后的图像进行几何修正。第二阶段除去背景，正确选用2～3色显示图像，突出图像的异常区域，输出经过第二阶段红外热像与所测壁画可见光照片正确叠加后的病害推定图。必要时，可计算推定空鼓面积。

**5.0.2** 壁画病害的表达图例，宜符合本标准附录A的规定。

**5.0.3** 热像图温度数据处理，宜符合本标准附录B的规定。

**6 检测报告**

**6.0.1** 项目委托及有关信息宜包括下列内容：

**1** 委托单位；

**2** 检测单位资质；

**3** 检测单位名称及人员；

**4** 项目名称及项目概况。

**6.0.2** 检测条件宜包括下列内容：

**1** 检测设备信息；

**2** 被测壁画名称；

**3** 检测时间、天气条件；

**4** 检测范围及用于对检测结果进行确认的其他检测方法。

**6.0.3** 检测结果及附件宜包括下列内容：

**1** 图示的检测结果及必要的照片；

**2** 对检测结果的评价；

**3** 其他相关且必要的附件。

**附录A 壁画病害表达图例**

**A.0.1** 壁画病害检测完毕后，检测报告中应给出委托方容易识别和理解的病害分布图，分布图宜为可见光照片与病害的叠加图，表达图例如图A.0.1。



1

图A.0.1 壁画病害的表达图例

1-待处理的病害范围

**A.0.2**  病害分布图中可给出从轻微到严重各个不同程度级别病害的图示颜色。

**附录B 热像图温度数据处理方法**

**B.0.1** 红外热像图中特定区域的表面温度特征可通过温度数据进行计算与统计。

**B.0.2** 区域图像P中所有像素对应的红外温度值的平均温度应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （B.0.2） |

式中：P——区域图像P；

——区域图像P中的像素点位置；

——区域图像P中包含的图像像素的总和；



——区域图像P中第i行，第j列像素对应的红外温度数值；



——区域图像P中所有像素对应的红外温度值的平均温度；

——区域图像P中，按温度T变化的像素点个数。

**B.0.3** 区域图像P中所有像素对应的红外温度值的最大值应按下式计算：



|  |  |
| --- | --- |
|  | （B.0.3） |

式中：——区域图像P中所有像素对应的红外温度值的最大值。



**B.0.4** 区域图像P中所有像素对应的红外温度值的最小值应按下式计算：



|  |  |
| --- | --- |
|  | （B.0.4） |

式中：——区域图像P中所有像素对应的红外温度值的最小值。



**B.0.5** 区域图像P中，所有像素对应的红外温度值的方差应按下式计算：



|  |  |
| --- | --- |
|  | （B.0.5） |

式中：——区域图像P中所有像素对应的红外温度值的方差。



**B.0.6** 区域图像P中，所有像素对应的红外温度高于T温度的像素点数总和应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （B.0.6） |

式中：——区域图像P中所有像素对应的红外温度高于T温度的像素点数总和；

Count(p(c)) ——区域图像P中，满足条件C的像素点p的个数总和；

——图像P中每个像素点；

——表示某温度数值。

**B.0.7**  区域图像P中，所有像素对应的红外温度低于T温度的像素点数总和应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （B.0.7） |

式中：——区域图像P中所有像素对应的红外温度低于T温度的像素点数总和。

**B.0.8** 区域图像P中，介于温度到之间的像素点总和应按下式计算：

|  |  |
| --- | --- |
|  | （B.0.8） |

式中：——区域图像P中，介于温度到之间的像素点总和。

**本标准用词说明**

**1**　　为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

**1)**　表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

**2)**　表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

**3)**　表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

**4)**　表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

**2**　　条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**引用标准名录**

**1** 《热像仪校准规范》JJF 1187

中国建筑学会标准

红外热像法检测古代建筑壁画

内部病害技术标准

T/ASC X-202 X

条 文 说 明

**制订说明**

《红外热像法检测古代建筑壁画内部病害技术标准》T/ ASC XXX-20XX，经中国建筑学会202 X年XX月XX日以XX号函文批准发布。

本标准制订过程中，编制组进行了大量的调查和试验研究，总结了我国红外检测领域的实践经验，同时参考了《红外热像法检测 建设工程现场通用技术要求》GB/T 29183-2012等，通过西藏布达拉宫壁画、大昭寺壁画和扎塘寺壁画检测试验，以及浙江省金华市的太平天国侍王府壁画检测试验，取得了重要技术参数。

为便于广大检测、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本标准时能正确理解和执行条文规定，本标准编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。需要注意的是，本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

**目 次**

[1 总则 16](#_Toc456970966)

[3 基本技术条件 17](#_Toc456970967)

[3.1 人员 17](#_Toc456970969)

[3.2 检测装置 17](#_Toc456970970)

[4 现场检测 19](#_Toc456970968)

[5 数据处理及结果表达 21](#_Toc456970969)

**1 总 则**

**1.0.2** 本标准是对采用红外热像法检测古代建筑壁画内部病害技术应用的规定。红外热像法检测就是采用红外热像仪检查壁画内部各层材料脱空（病害）部分与正常部分的热传导差异引起的温度差，从而判断壁画内各层墙体材料“脱空”的有无及程度的一种方法。本标准的目的是为修复壁画病害提供技术依据。

**3 基本技术条件**

**3.1 人员**

**3.1.1~3.1.3** 壁画红外热像法检测，应由对红外热像仪、红外热像法及古代建筑壁画都具有知识和经验的、经过培训的技术人员进行。

**3.2 检测装置**

**3.2.1~3.2.4** 为了使正常部位与病害部位产生温度差，则需要壁画表面温度有足够的变化量。对于处于室外或半室外环境的大尺寸壁画，使其产生人为的温度变化是比较困难的，因此主要依赖于太阳能和自然界的气温变化。由于壁画表面温度分布随着天气、时间、方位的不同，其变化是相当复杂的，所以，对每一张壁画都需要确定好合适的检测时段。也就是说本方法在用于室外壁画检测时，在最适宜的环境条件下检测是非常重要的。对于室内环境的壁画病害检测，我们可以采用人为热激励的办法，使存在病害的壁画各点相对正常部位产生对应的温度差，进而判断病害的位置、形状和大小。

红外热像仪不仅接收到被测壁画的放射，而且，也有来自周围环境的反射光及其他干扰光，被测壁画放射率低的情况下，容易受到这些影响。所以，在检测放射率低的壁画时，需要正确选择检测环境和测试波长。

物体对于红外线的吸收率、反射率及穿透率之间的关系如下。

反射率（ρ）+吸收率（t）+穿透率（τ）=1

放射率（ε）=吸收率（t）

壁画所在墙面材料的穿透率几乎等于0，所以，放射率（ε）=1-反射率（ρ）

由此可以看出，对于放射率高的被测壁画，其自身的放射起主要作用，利用红外热像法可以得到很好的温度场分布图。但是，在对红外线反射率高的被测壁画温度场分布图中，多数情况是对面反射。所以，恰当选择检测时段及热像仪工作位置、角度等是很重要的。

红外热像仪是将其“视野”内物体放射的红外线以平面的形式摄取、并根据其强弱转换成图像的设备总称。当装置具有基准温度源时则其具有红外线温度计的功能，但是壁画病害的检测则使用其相对温度的检测功能，一般检测用热像仪有波长3～5μm和8～13μm两种型号。应根据检测对象、环境的特点来选择合适的型号。

红外热像仪应由检测物体发出红外线放射能的红外线传感器和将测得的信号图像化的装置构成。外围设备包括图像处理、分析、存储、输出装置等。标准的红外热像仪构成如下：

检测部分

（红外热像仪）

控制面板部分

显示器部分

图像处理装置

图像存储装置

输出装置

**4 现场检测**

**4.0.2** 现场调查和资料收集是在正式检测之前的准备调查，该调查很重要。通过确认红外热像法的适用性及从古代建筑物管理人员处得到的信息，搞清楚该壁画有无修补和壁画所处环境特征等，这对后续的检测方案制订、现场检测都是有益的。

在调查过程中应确认如下项目。

①建筑物的历史：竣工时间和维修等情况；

②建筑物的外观情况：观察壁画表面及其老化情况；

③热环境：建筑物内有无正在使用的热源及其位置；

④建筑物方位：对于室外或半室外的壁画，搞清楚壁画朝向及方位等；

⑤检测概要：正式检测时间、检测时应采取的安全措施和注意事项。

**4.0.3** 为了更高效地进行检测，根据现场调查和资料收集的结果，应事先做好检测方案。检测方案需要研究被测壁画现场的准备条件、环境、气象条件后再决定检测时间，确定红外热像仪的工作位置、检测距离、检测次数等。

**4.0.4** 当被测壁画处在室外时，红外热像法检测易受太阳辐射量变化的影响，所以在雨天时是不能进行检测的，在多云的天气下，如果壁画正常部位和病害部位温度差大于0.2℃，虽然可以进行检测，但是容易出现误判现象，所以应尽量在晴天时检测。降雨过后，外墙处于不均匀含水或表面湿润状态，另外，还有雨水从裂缝等处浸入病害部分，所以在雨水干燥、蒸发过程中实施检测也会增加误判的可能性。因此，应等到壁画完全干燥后再进行检测。从这个意义上讲，检测工作应在时间方面要给出相当大的余量。如果被测壁画在室内，其为封闭环境，所以，可以人为地对壁画给予设定好的热激励，避免外界影响。

一般来说，红外热像法对被测壁画的规模基本没有限制，但是，对于壁画的高度和平面尺寸过大，会使检测距离加大。如果红外热像仪仰角和水平角过大，会使检测精度降低，也会导致误判。所以，检测工作要在充分理解红外热像仪性能的基础上进行。从实际壁画检测经验来讲，检测壁画病害所需要的红外热像仪最小分辨温差应在0.1℃以内，在所测墙面上能分辨的最小测点直径宜为50mm左右。当要检测壁画裂缝病害时，要求测出较小缺陷的尺寸，此时需要更近距离的热像拍摄。在条件允许的情况下，将红外热像仪置于被测壁画前1m，将得到较为理想的检测结果。

太阳光在6000Ｋ时的峰值波长为0.5μm，波长3～5μm时的光辐射强度约是波长8～13μm光辐射强度的100倍，所以，室外的壁画病害检测受太阳光的影响很大，即使是相同的材料波长在6μm以下时，除黑色颜料放射率大以外，白色颜料等放射率会降低，因此，需要在检测时恰当地选择红外热像仪的波长。

**4.0.5** 室外的壁画红外热像法检测工作容易受天气影响，面积大的墙面多数需要分块拍摄。所以，在检测时必须进行高效地检测，原因是即使同一片墙面也会由于天气的变化、时间的变化、使墙面的外界条件发生差异。此外，应根据实际情况，设置参考点，这主要是考虑到后续处理热像图后，应该有一个委托方易于读懂的表达方式，目前最佳的表达方法是将病害热像图与可见光照片叠加。因此，需要事先将热像和照片上的叠加点做好标识记录。

**5 数据处理及结果表达**

**5.0.1**  进行红外热像处理时，每张热像图都应根据其热像图具有的温度信息进行图像处理。在图像处理和分析中，单纯依靠机械的图像处理有可能出现判断失误，所以需要在充分理解热传导理论知识和材料特性的基础上，掌握基本数据和热像图特征，方可进行图像处理。

对于室外或半室外拍摄热像图数据分析的注意事项如下：

① 日照

i太阳辐射量和日照时间；

ii阳光照不到的墙面所引起的温度差异；

iii污点和表面温度差异。

② 与风相关的事项

i风对壁画表面温度的影响。

③ 检测角度和放射率的关系

**5.0.2** 本标准附录A给出了一种壁画病害的表达方式。当有其他能够使委托方易懂的表达方法时，亦可采用。

**5.0.3** 本标准附录B给出了热像图温度数据处理方法。