



T/CECS G XXXX: 2022

中国工程建设标准化协会标准

沥青路面红外温度检测技术规程

Technical specification for infrared temperature detection of
asphalt pavement
(征求意见稿)

征求意见稿

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

沥青路面红外温度检测技术规程

Technical specification for infrared temperature detection
of asphalt pavement

T/CECS21-202X

主编单位：

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年X月X日

人民交通出版社股份有限公司
北京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于开展 2021 年第一批中国工程建设 标准化协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知》（中建标公路[2021]88 号）的要求，编制组经过充分调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本标准共分 6 章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、基本规定、沥青混合料温度离析检测、沥青路面离析检测、钢桥面铺装层隐性病害检测。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准协会建筑归口管理，由华南理工大学负责具体技术内容的解释。本标准在执行过程中，如有需要修改或补充之处，请将有关资料和建议寄送华南理工大学（地址：广东省广州市天河区五山路中公教育大厦 1908 单元，邮政编码：510000），以供修订时参考。

主编单位：华南理工大学

参编单位：广州肖宁道路工程技术研究事务所有限公司

路面健康管理科技（广州）有限公司

广东省公路建设有限公司

广东交科技术研发有限公司

广东紫惠高速公路有限公司

广东省南粤交通投资建设有限公司

广中江高速公路项目管理处

广州珠江黄埔大桥建设有限公司

广东省公路建设有限公司虎门二桥分公司

保利长大工程有限公司

广东大雄经济技术咨询有限公司

珠海香海大桥有限公司

主要起草人：王端宜、李伟雄、罗传熙、黄志勇、马林、聂文、贺军、杨东来、郑建浩、罗军淇、梁勇、李立端、李善强、吴玉财、王勋、赖智钦、易小年、李彦兵、吴砥柱、周芝林、陈搏、唐嘉明、熊春龙、张温庭、李键

主要审查人：吴传海

目 录

1 总 则	1
2 术语和符号	2
2.1 术 语	2
2.2 符号	3
3 基本规定	5
3.1 适用条件	5
3.2 设备要求	5
3.3 红外温度检测设备检验项目与周期	7
4 沥青混合料温度离析检测	10
4.1 一般规定	10
4.2 数据采集	10
4.3 数据分析	14
4.4 报告	14
5 沥青路面施工离析检测	16
5.1 一般规定	16
5.2 数据采集	16
5.3 数据分析	18
5.4 报告编写	18
6 钢桥面铺装层隐性病害检测	20
6.1 一般规定	20
6.2 数据采集	20
6.3 数据分析	22
6.4 报告编写	22
附录 A：沥青路面温度离析示例	24
附录 B：沥青混合料温度检测记录表	27
附录 C：沥青路面离析示例	28
附录 D：沥青路面离析检测记录表	30
附录 E：钢桥面铺装隐性病害示例	31

附录 F: 钢桥面铺装隐性病害检测记录表.....	34
本规程用词说明	35
引用标准名录	36
条文说明	37

征求意见稿

Contents

1 General rules	1
2 Terms and symbols	2
2.1 Technical language	2
2.2 Symbol	3
3 Basic Provision	5
3.1 Application Conditions	5
3.2 Device Requirements	5
3.3 Inspection items and cycle of infrared temperature detection equipment	7
4 Temperature segregation detection of asphalt mixture	10
4.1 General Provisions	10
4.2 Data Collection	10
4.3 Data Analysis	14
4.4 Report	15
5 Asphalt pavement construction segregation detection	16
5.1 General Provisions	16
5.2 Data Collection	16
5.3 Data Analysis	18
5.4 Report	19
6 Steel bridge deck pavement hidden disease detection	20
6.1 General Provisions	20
6.2 Data Collection	20
6.3 Data Analysis	22
6.4 Report	22
Appendix A: Example of temperature segregation of asphalt pavement	24
Appendix B: Temperature test record of asphalt mixture	27
Appendix C: Examples of asphalt pavement segregation	28
Appendix D: Asphalt pavement segregation test record table	30
Appendix E: Examples of hidden diseases of steel bridge deck pavement	31

Appendix F: Steel bridge deck pavement hidden disease detection record table34
Explanation of wording in this specification35
List of reference standards36
Addition: Explanation of provisions37

征求意见稿

1 总 则

1.0.1 为规范红外温度检测技术在沥青路面建设过程中的应用，明确其检测方法和使用标准，制定本规程。

1.0.2 本规程通过红外温度检测技术采集沥青路面温度数据，适用于路面工程沥青混合料施工质量监控、密级配沥青路面施工离析检测和钢桥面铺装层隐性病害检测。

1.0.3 本规程使用的仪器设备，均应经相应的计量部门或检测机构定期检定合格，测试误差应满足本规程及其它相关规范的要求。

1.0.4 计量单位应采用国家法定计量单位。国外进口或原有仪器设备不符合国家法定计量单位者，使用时应换算成法定计量单位。

1.0.5 除应符合本规程的规定外，尚应符合国家和行业现行有关规范的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 红外温度检测设备 Infrared temperature detection equipment

通过红外光学系统、红外探测器和信号处理系统，将物体红外辐射信息转换成可见图像的设备。

2.1.2 手持红外温度检测设备 Handheld infrared temperature detection equipment

可通过手持形式进行面域温度检测的红外温度检测设备。

2.1.3 机载红外温度检测设备 Airborne infrared temperature detection equipment

可通过无人机搭载的形式进行面域温度检测的红外温度检测设备。

2.1.4 车载红外温度检测设备 Vehicle infrared temperature detection equipment

可通过机动车搭载的形式进行面域温度检测的红外温度检测设备。

2.1.5 沥青路面施工离析 Asphalt pavement construction segregation

沥青路面施工过程中，由于沥青混合料的组分（包括沥青、集料）在特定区域内未能均匀分布，或者由于混合料温度与标准施工温度存在差异，从而导致沥青路面空隙率分布出现差异。

2.1.6 隐性病害 Recessive disease

铺装层内部滞留的水分或水汽在施工或运营过程中受热膨胀所引起的铺装层隆起或脱层病害。

2.1.7 热谱图 Thermogram

热谱图是利用红外热成像技术，通过检测和记录物体表面发射的红外辐射能量，并将其转换为温度信息，最终以图像形式直观展示物体表面温度分布的一种图谱。

2.1.8 工作波段 Operating band

红外温度检测设备响应红外辐射的波长范围，本规程沥青路面红外温度检测的工作波段在7-14微米之间。

2.1.9 噪声等效温差 Noise equivalent temperature difference

红外温度检测设备观察一个低空间频率的圆形或方形靶标时，当其视频信号的信噪比（S/N）为1时，目标与背景之间的温差。它是评价红外温度检测设备探

测目标灵敏程度和噪声大小的一个客观参数。

2.1.10 连续稳定工作时间 Continuous stable working hours

红外温度检测设备在满足准确度前提下，能够连续稳定工作的时间。

2.1.11 测温一致性 Consistency of temperature measurement

在红外温度检测设备视场内不同区域温度测量结果的一致性。

2.1.12 黑体 Black body

对任意入射方向和波长的人射辐射都能全部吸收的理想热辐射体。又称普朗克辐射体或完全辐射体。其发射率等于1。

2.2 符号

L ——红外温度检测设备与被测物的拍摄距离

T_b ——该工序标准施工温度

T_1 ——离析区域中心点温度

T_{fv} ——温差特征值

T_{lf} ——离析区域周边临近温度（无突变区域）

T_{lx} ——离析区域最高温度或最低温度

T_{sc} ——标定过程中被测物实测温度

T_{sj} ——手持红外温度检测设备检测值

T_{ss} ——手持式红外温度修正值

T_{wb} ——标定过程中无人机载式红外温度设备检测值

T_{wj} ——无人机载式红外温度设备检测值

T_{ws} ——无人机载式红外温度修正值

n ——测试区域

t_h ——已知标准黑体温度

t_j ——红外温度检测设备读数

t_n ——各区域测温读数

t_5 ——中心区域测温读数

β ——无人机载式红外温度修正系数

θ ——准确度

λ ——手持式红外温度修正系数

φ_n ——测温一致性

ΔT ——温度离析差值

征求意见稿

3 基本规定

3.1 适用条件

- 3.1.1 沥青路面红外温度检测工作宜根据检测目的、检测要求，在适宜的检测条件下进行，并进行必要地记录工作。
- 3.1.2 应排除或者减少周围环境的热辐射干扰影响，如不必要的可见光、施工设备热源等。
- 3.1.3 目标物与检测设备间应处于可视状态，应考虑被测物与红外温度检测设备之间的其他物质对红外光的吸收、散射与反射作用。
- 3.1.4 机载红外温度检测设备应用时，风速应小于8m/s。
- 3.1.5 沥青路面施工离析检测与钢桥面铺装层隐性病害检测应在晴朗天气下开展，避免环境因素影响检测结果。

3.2 设备要求

- 3.2.1 红外温度检测设备应符合下列要求：
- 1 应能采集所视区域内的红外信息，并生成红外热谱图。
 - 2 应能快速准确地记录及存储图像，并可进行红外热谱图录像，且具有自动对焦功能。
 - 3 应具备红外热谱图查看或播放的功能，宜具有要查看任意位置温度的功能。
 - 4 应能承受峰值加速度300m/s、脉冲持续时间11ms，半正弦速度2.1 m/s的冲击试验，试验后各项功能应正常。
 - 5 应能承受振动频率10Hz~55Hz，峰值加速度20m/s的连续振动，试验后各项功能应正常。
 - 6 手持红外温度检测设备参数宜符合表3.2.1-1要求。

表3.2.1-1 手持红外温度检测设备参数

序号	主要项目	参数
1	测温范围	-20℃至250℃
2	温度分辨率	≤0.1℃
3	准确度	≤2%
4	热成像分辨率	≥320*240像素

序号	主要项目	参数
5	连续稳定工作时间	≥60min
6	工作温度	-10℃至+50℃
7	测温一致性	<0.5℃
8	噪声等效温差	<100mK

7 机载红外温度检测设备参数宜符合表3.2.1-2要求。

表3.2.1-2 机载红外温度检测设备参数

序号	主要项目	参数
1	测温范围	-20℃至250℃
2	准确度	±2℃
3	热成像分辨率	≥320*240像素
4	连续稳定工作时间	≥60min
5	工作温度	-20℃至+40℃
6	测温一致性	<0.5℃
7	噪声等效温差	<100mK
8	重量	≤5Kg

8 车载式红外检测设备参数宜符合表3.2.1-3要求。

表3.2.1-3 车载红外温度检测设备参数

序号	主要项目	参数
1	测温范围	-20℃至+120℃
2	温度分辨率	≤0.1℃
3	准确度	±2℃
4	热成像分辨率	≥320*240像素
5	连续稳定工作时间	≥120min
6	工作温度	-20℃至+40℃
7	测温一致性	<0.5℃
8	噪声等效温差	<100mK

3.2.2 无人机设备应符合下列要求：

1 应具有持续稳定飞行的能力，并且具有自动返航等智能辅助操作功能。

- 2 应具有携带红外温度检测设备的功能，包括云平台装置等，可实现视角转动。
- 3 应具有连通红外温度检测设备的功能，并可实时传输红外温度检测数据。
- 4 无人机设备参数宜符合表3.2.2要求。

表3.2.2 无人机设备参数

序号	主要项目	参数
1	起飞重量	≥5Kg
2	单电池续航时间	≥30min
3	抗风能力	≥8m/s
4	智能飞行模式	返航点锁定、低电量返航
5	悬停精度	垂直方向: 0.5m; 水平方向: 1.5m
6	信号有效距离	≥5Km
7	工作温度	-10°C至+50°C

3.2.3 设备运输应符合下列要求：

- 1 易损设备或系统部件，应装入专用的运输包装箱内。
- 2 运输中，设备应固定在车内，并采取减震、防冲击、防水、防尘措施。
- 3 运输包装箱顶面应贴上“小心轻放”、“防潮”、“防晒”等标签，箱体侧面应贴上箭头朝上的标志。

3.2.4 设备储放应符合下列要求：

- 1 设备储放中应注意防潮、防雨、防尘、防日晒。
- 2 易受潮湿影响的设备，其包装箱内放置防潮防霉剂。
- 3 设备长期不使用，应定期通电、驱潮、维护、保养，并检查设备工作是否正常。

3.3 红外温度检测设备检验项目与周期

3.3.1 红外温度检测设备宜定期进行检验与检查，检验项目与周期应符合表3.3.1要求。

表3.3.1 红外温度检测设备检验项目与周期

序号	检验项目	检验周期
1	外观	1) 首次使用 2) 1-2年 3) 必要时

序号	检验项目	检验周期
2	准确度	1) 首次使用 2) 1-2年 3) 必要时
3	噪声等效温差	必要时
4	连续稳定工作时间	必要时
5	测温一致性	1) 首次使用 2) 1-2年 3) 必要时

3.3.2 红外温度检测设备检验项目应符合下列要求。

- 1 外观检验。**通过目测方式检查红外温度检测设备的外壳、机械调节、各操作部件、按键、外露光学元件、触摸显示屏、电器连接件等部位是否存在明显缺陷。
- 2 准确度检验。**将黑体辐射源置于规定的工作距离，调节红外温度检测设备使其清晰成像，准确测温。黑体温度设置为红外温度检测设备温度范围每一量程的最高、最低和中点，红外温度检测设备分别测取温度值，计算各对温度的偏差。

当 $t_h < 100^\circ\text{C}$ 时，按式计算：

$$\theta = t_h - t_j \quad (3.3.2-1)$$

当 $t_h \geq 100^\circ\text{C}$ 时，按式计算：

$$\theta = \left| \frac{t_h - t_j}{t_h} \right| \quad (3.3.2-2)$$

式中：

θ 为准确度；

t_h 为已知标准黑体温度，单位为 $^\circ\text{C}$ ；

t_j 为红外温度检测设备读数，单位为 $^\circ\text{C}$ 。

- 3 噪声等效温差检验。**在观察低空间频率标准四杆靶的情况下，当红外温度检测设备视频信号的信噪比（S/N）为1时，观察人员可以分辨的最小目标即目标与背景之间的等效温差。
- 4 连续稳定工作时间检验。**将标准源黑体温度设定为 50°C ，每隔10min测量一次，不操作红外温度检测设备，只读取数据，计算温度的偏差，应满足测温准确度的要求。
- 5 测温一致性检验。**将红外温度检测设备的成像画面等分为9个区域，如图3.3.2所示。将黑体置于规定的工作距离，使红外温度检测设备清晰成像，并使黑体的图像充满视场。设置黑体温度为红外温度检测设备测温范围内任一温度，分别选

取1~9区域的中心位置为测温点，测量黑体的温度，按式计算各区温度与中心区域温度差值。

$$\varphi_n = t_5 - t_n \quad (3.3.2)$$

式中：

φ_n 为测温一致性，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

n 为测试区域，无量纲；

t_5 为中心区域测温读数，单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

t_n 为各区域测温读数，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。

1	2	3
4	5	6
7	8	9

图3.3.2 红外温度检测设备执行成像画面

4 沥青混合料温度离析检测

4.1 一般规定

4.1.1 沥青混合料温度离析检测可采用手持红外温度检测设备或机载红外温度检测设备。

4.1.2 检测前应根据委托内容制订详细检测方案。

4.1.3 沥青混合料温度离析检测应在沥青路面施工过程中开展，检测过程不可影响正常施工生产，同时应在确保自身安全的条件下开展检测工作。

4.2 数据采集

4.2.1 沥青混合料温度离析检测工作流程见图4.2.1。

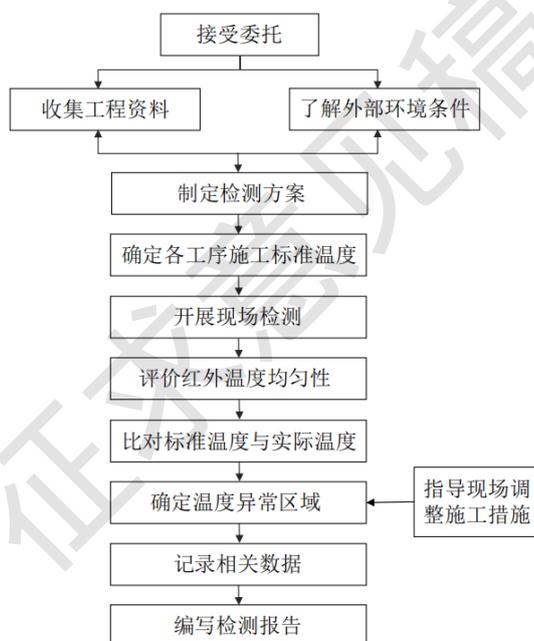


图4.2.1 沥青混合料温度离析检测工作流程

4.2.2 收集的工程资料与外部环境条件应包括下列内容。

- 1 工程概况：工程地址、气候条件等。
- 2 设计图纸：路面结构设计方案、设计要求等。
- 3 施工方案：混合料类型、各工序标准施工温度等。
- 4 施工环境：温度、湿度、风速等。

4.2.3 检测方案应包括下列内容。

- 1 检测项目名称

- 2 委托单位名称
- 3 拟检测时间
- 4 拟检测路段桩号
- 5 拟检测工序
- 6 检测仪器型号
- 7 拟检测参数

4.2.4 现场检测前，应对红外温度检测设备进行以下功能检查，确保正常使用。

- 1 自动调整焦距功能
- 2 调节亮度和对比度功能
- 3 测温功能
- 4 存储图像与录像功能

4.2.5 手持红外温度检测设备数据采集应符合下列规定。

1 数据采集应按下列步骤进行：

- 1) 调试检测设备，使其处于正常工作状态。
- 2) 记录环境条件(包括气温、日照情况、风速等)。
- 3) 应在相同部位拍摄一定数量的红外热谱图和可见光照片，缺陷部位红外热谱图数量宜适当增加。

4) 记录拍摄条件和拍摄时间等相关信息。

2 数据采集应符合下列规定：

- 1) 所选拍摄位置宜使红外温度检测设备光学系统轴线方向与被测物表面的垂直方向夹角小于45°。
- 2) 同一工序的温度离析检测宜在相同距离条件下进行。
- 3) 红外温度检测设备与被测物距离宜控制在0.5-1m，根据式4.2.5-1、4.2.5-2计算温度修正系数与检测结果。

$$\lambda = 0.1001L + 0.9474 \quad (4.2.5-1)$$

式中：

λ 为手持式红外温度修正系数，无量纲；

L 为红外温度检测设备与被测物的拍摄距离，单位m。

$$T_{ss} = \lambda T_{sj} \quad (4.2.5-2)$$

式中：

T_{ss} 为手持式红外温度修正值，单位 $^{\circ}\text{C}$ ；

T_{sj} 为手持红外温度检测设备检测值，单位 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.6 机载红外温度检测设备数据采集应符合下列规定：

1 无人机飞行前应进行常规飞行检查。

1) 飞行平台检查应符合表4.2.6-1要求。

表4.2.6-1 飞行平台检查项目

检查项目	检查内容
机体外观	应逐一检查机身、机翼等有无损伤，修复过的地方应重点检查
连接机构	机翼与机身连接件的强度、限位应正常，连接结构部分无损伤
起落架	外形应完好，与机身连接牢固
机内线路	线路应完好、无老化，各接插件连接牢固，线路布设整齐、无缠绕
机载设备	连接牢固，线路布设整齐无缠绕，减震机构完好，设备与机身无硬性接触

2) 电池检查应符合表4.2.6-2要求。

表4.2.6-2 电池检查项目

检查项目	检查内容
机载电源	机载电池装入无人机之前，应记录电池的编码、电量，确认每块电池已充满，电池与机身之间应固定连接，电源接插件连接应牢固
遥控器电源	记录电池的编号、电量，确认电池已经充满

3) 无人机设备通电检查应符合表4.2.6-3要求。

表4.2.6-3 设备通电检查项目

检查项目	检查内容
信号干扰情况	无人机及机载设备状态是否正常，有无被干扰现象
飞控系统	检查无人机定位系统工作状态；检查机体静态情况下的机翼转运状态；转动飞机（航向、横滚、俯仰），观察加速度计数据的变化；检查高度、空速传感器的工作状态
机载设备	检查机载设备工作状态

2 数据采集应按下列步骤进行：

1) 调试检测设备，使其处于正常工作状态。

2) 记录环境条件(包括气温、日照情况、风速等)。

3) 针对摊铺现场，采集全过程、全断面混合料温度离析数据。

4) 应在相同部位拍摄一定数量的红外热谱图和可见光照片,缺陷部位红外热谱图数量宜适当增加。

5) 记录拍摄条件和拍摄时间等相关信息。

6) 当机载红外温度检测设备发现混合料温度离析区域后,采用手持红外温度检测设备进行温度离析区域复测。

3 数据采集应符合下列规定:

1) 机载红外温度检测设备数据采集时高度应不小于10m, 但应不大于30m。

2) 在同一工序检测中应固定飞行高度。

3) 机载红外温度检测设备数据采集前应进行采用手持式温度检测设备进行标定工作,当机载红外温度检测设备数据采集的环境参数变化时应重新进行标定工作。标定过程按式4.2.6-1执行。

$$\beta = \frac{T_{sc}}{T_{wb}} \quad (4.2.6-1)$$

式中:

β 为无人机载式红外温度修正系数, 无量纲;

T_{sc} 为标定过程中被测物实测温度, 单位 $^{\circ}\text{C}$;

T_{wb} 为标定过程中无人机载式红外温度设备检测值, 单位 $^{\circ}\text{C}$ 。

$$T_{ws} = \beta T_{wj} \quad (4.2.6-2)$$

式中:

T_{ws} 为无人机载式红外温度修正值, 单位 $^{\circ}\text{C}$;

T_{wj} 为无人机载式红外温度设备检测值, 单位 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.2.7 沥青路面温度离析检测宜参照表4.2.7施工工序开展全过程温度检测, 具体检测示例见附录A。

表4.2.7 沥青路面温度离析检测的施工工序

施工工序检测	检测重点
出料温度	检测拌合楼出料口下料时的温度及均匀性; 检测运输车内沥青混合料的温度及均匀性
卸料表面温度	检测运输车将混合料卸入摊铺机料斗时混合料的表面温度及均匀性
卸料中心温度	检测运输车卸料过程中混合料下落而显现的内部温度
料槽温度	检测料槽温度其均匀性

施工工序检测	检测重点
摊铺温度	检测摊铺面温度及均匀性
初压前温度	检测初压前混合料温度及均匀性
初压后温度	检测初压后混合料温度及均匀性
双钢轮隔离剂降温	检测双钢轮压路机碾压轨迹的温度均匀性
胶轮碾压前温度	检测胶轮压路机碾压前混合料温度及均匀性
胶轮碾压后温度	检测胶轮压路机碾压后混合料温度及均匀性
双钢轮收光前温度	检测双钢轮压路机收光前混合料温度及均匀性
双钢轮收光后温度	检测双钢轮压路机收光后混合料温度及均匀性
摊铺机料斗余料温度	检测摊铺机料斗两侧混合料温度及均匀性

4.3 数据分析

4.3.1 温度离析存在以下两种形式。

1 整体温度离析。混合料温度均匀性较好，但整体温度偏离该工序的标准温度。

2 局部温度离析。混合料整体温度符合标准温度要求，但混合料温度均匀性不足，局部呈现块状或条带状温度偏离标准温度。

4.3.2 温度离析差值按式计算。

$$\Delta T = |T_b - T_l| \quad (4.3.2)$$

式中：

ΔT 为温度离析差值，单位 $^{\circ}\text{C}$ ；

T_b 为该工序标准施工温度，单位 $^{\circ}\text{C}$ ；

T_l 为离析区域中心点温度，单位 $^{\circ}\text{C}$ 。

4.3.3 温度离析判别标准应符合表4.3.3要求：

表4.3.3 温度离析判别标准

离析程度	无离析	轻度离析	中度离析	重度离析
$\Delta T/^{\circ}\text{C}$	<10	10-16	17-25	>25

4.4 报告

4.4.1 检测报告宜由工程委托及相关信息、检测条件、检测记录表与检测结论四部分组成。

4.4.2 工程委托及相关信息应包括以下内容：

- 1 委托单位
- 2 检测单位名称
- 3 工程名称
- 4 检测工序

4.4.3 检测条件应包括下列内容：

- 1 检测设备信息
- 2 检测工序及其标准施工温度
- 3 检测时间
- 4 天气条件

4.4.4 检测记录表见附录B，应包括下列内容：

- 1 离析中心温度
- 2 离析变异面积
- 3 判定结果
- 4 温度离析区域红外图像

4.4.5 检测结论应包括离析程度数据的统计分析内容、施工温度控制水平分析内容与改进建议内容等。

5 沥青路面施工离析检测

5.1 一般规定

- 5.1.1 沥青路面离析检测宜采用车载红外温度检测设备。
- 5.1.2 检测前应根据委托内容制订详细检测方案。
- 5.1.3 沥青路面离析检测应在沥青路面施工完成后开展，且应严格遵守施工区域内的限速要求。

5.2 数据采集

- 5.2.1 沥青路面施工离析检测工作流程见图5.2.1。



图5.2.1 沥青混合料温度离析检测工作流程

- 5.2.2 收集的工程资料与外部环境条件包括下列内容：

- 1 工程概况：工程地址、气候条件等。
- 2 设计图纸：路面结构设计方案、设计要求等。
- 3 施工方案：摊铺机组合方案、拌合设备产能等。
- 4 检测段落：具体桩号、对应结构层类型等。
- 5 近期气象条件：温度、湿度、风速等。

- 5.2.3 检测方案应包括下列内容：

- 1 检测项目名称

- 2 委托单位名称
- 3 拟检测时间
- 4 拟检测路段桩号顺序
- 5 检测仪器型号
- 6 拟检测参数

5.2.4 现场检测前，应对红外温度检测设备进行以下功能检查，并确保正常使用：

- 1 自动调整焦距功能
- 2 调节亮度和对比度功能
- 3 测温功能
- 4 存储图像与录像功能

5.2.5 数据采集应按下列步骤进行：

- 1 调试检测设备，使其处于正常工作状态。
- 2 针对车载红外温度检测设备的定位功能进行标定作业。
- 3 记录环境条件(包括气温、日照情况、风速等)。
- 4 开展路面温度录像检测。
- 5 记录拍摄条件和拍摄时间等相关信息。
- 6 记录路面异常现象及桩号位置，异常现象包括导致路面温度不均匀的外界影响因素。

5.2.6 数据采集应符合下列规定：

- 1 检测前应根据天气预报选择气温最大值高于30℃的日期作为检测时间。
- 2 检测过程中应采集检测区域代表性位置11:00-16:00太阳辐射强度，每间隔30min记录数据，当太阳辐射强度变异系数满足表5.2.6时，沥青路面离析检测结果可信。

表5.2.6 太阳辐射强度变异系数

混合料类型	太阳辐射强度变异系数
AC-25	≤60%
AC-20/ SMA-13	≤50%

- 3 检测具体时间宜为14:00-17:00。
- 4 利用车载红外温度检测设备开展检测，检测速度应与红外温度检测设备采

样帧频相匹配，且速度不宜大于40km/h。

5.2.7 沥青路面离析检测宜参照表5.2.7重点关注易出现离析现象的区域，具体检测示例见附录C。

表5.2.7 易离析区域位置

易离析区域	检测重点
摊铺机两侧位置	摊铺机两侧易出现粗离析现象
摊铺机中部位置	摊铺机中部易出现收斗粗离析
摊铺机吊臂位置	摊铺机吊臂位置易出现粗离析现象
搭接位置	摊铺机搭接处易出现粗离析现象
停机待料位置	停机待料处易出现粗离析现象
施工起止位置	施工起止位置易出现粗离析现象

5.3 数据分析

5.3.1 当红外温度设备显示检测范围存在块状区域温度离析，该突变区域疑似沥青路面离析，具体示例见附录C。

5.3.2 温差特征值 T_{fv} 计算方法见公式5.3.2。

$$T_{fv} = \frac{T_{lj} - T_{lx}}{T_{lj}} \quad (5.3.2)$$

式中：

T_{fv} 为温差特征值，无量纲；

T_{lj} 为离析区域周边临近温度（无突变区域），单位为 $^{\circ}\text{C}$ ；

T_{lx} 为离析区域最高温度或最低温度，单位为 $^{\circ}\text{C}$ 。当离析区域表现为突变低温时， T_{lx} 取离析区域最低温度；当时离析区域表现为突变高温时， T_{lx} 取离析区域最高温度。

5.3.3 当温差特征值 T_{fv} 符合表5.3.3要求时，可判断为沥青路面离析。

表5.3.3 沥青路面离析判别标准

混合料类型	细离析	粗离析
AC-25	$T_{fv} \leq -0.0182/Q$	$T_{fv} \geq 0.0118/Q$
AC-20	$T_{fv} \leq -0.0126/Q$	$T_{fv} \geq 0.0134/Q$
SMA-13	$T_{fv} \geq 0.0079/Q$	

注：Q为太阳辐射量修正参数。

5.3.4 太阳辐射量修正参数Q应符合表5.3.4要求。

表5.3.4 太阳辐射量修正参数

太阳辐射总量区间 (Wh/m ²)		2400-2800	2800-3200	3200-3600	3600-4000	>4000
比例系数	GAC-25	1.867	1	0.683	0.518	0.316
	GAC-20	2.003	1	0.666	0.500	0.260
	SMA-13	1.787	1	0.694	0.532	0.245

5.3.5 发现离析区域后，应采用无核密度仪法、渗水系数法或芯样分析法进行二次确认。

5.4 报告编写

5.4.1 检测报告宜由工程委托及相关信息、检测条件、检测记录表与检测结论四部分组成。

5.4.2 工程委托及相关信息应包括以下内容：

- 1 委托单位
- 2 检测单位名称
- 3 工程名称
- 4 检测桩号

5.4.3 检测条件应包括下列内容：

- 1 检测设备信息
- 2 检测时间
- 3 天气条件
- 4 太阳辐射强度变异系数

5.4.4 检测记录表见附录D，应包括下列内容：

- 1 离析中心温度
- 2 离析变异面积
- 3 温度离析区域红外图像

5.4.5 检测结论应包括离析程度数据的统计分析内容、施工均匀性分析内容与改进建议内容等。

6 钢桥面铺装层隐性病害检测

6.1 一般规定

6.1.1 钢桥面铺装层隐性病害检测可采用手持红外温度检测设备或车载红外温度检测设备。

6.1.2 检测前应根据委托内容制订详细检测方案。

6.1.3 钢桥面铺装层隐性病害检测应在钢桥面铺装层施工完成后开展，检测过程不可产生油、水等相关污染物。

6.2 数据采集

6.2.1 钢桥面铺装层隐性病害检测工作流程见图6.2.1。

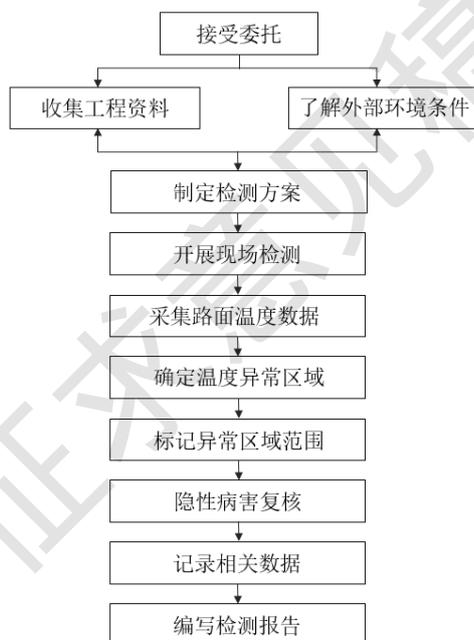


图6.2.1 钢桥面铺装层隐性病害检测工作流程

6.2.2 收集的工程资料与外部环境条件包括下列内容：

- 1 工程概况：工程地址、气候条件等。
- 2 设计图纸：铺装结构设计方案、设计要求等。
- 3 施工方案：混合料类型、摊铺机组合方案等。
- 4 检测段落：具体桩号、对应结构层类型等。
- 5 近期气象条件：温度、湿度、风速等。

6.2.3 检测方案应包括下列内容：

- 1 检测项目名称
- 2 委托单位名称
- 3 拟检测时间
- 4 拟检测路段桩号
- 5 检测仪器型号
- 6 拟检测参数

6.2.4 现场检测前，应对红外温度检测设备进行以下功能检查，并确保正常使用：

- 1 自动调整焦距功能
- 2 调节亮度和对比度功能
- 3 测温功能
- 4 存储图像与录像功能

6.2.5 手持红外温度检测设备数据采集应按下列步骤进行：

- 1 调试检测设备，使其处于正常工作状态。
- 2 记录环境条件(包括气温、日照情况、风速等)。
- 3 拍摄疑似隐性病害区域的红外热谱图和可见光照片。
- 4 根据红外热谱图标记疑似隐性病害区域范围。
- 5 记录拍摄条件和拍摄时间等相关信息。
- 6 疑似隐性病害区域复核。

6.2.6 车载红外温度检测设备数据采集应按下列步骤进行：

- 1 调试检测设备，使其处于正常工作状态。
- 2 针对车载红外温度检测设备的定位功能进行标定作业。
- 3 记录环境条件(包括气温、日照情况、风速等)。
- 4 开展路面温度录像检测。
- 5 记录拍摄条件和拍摄时间等相关信息。
- 6 根据红外热谱图标记疑似隐性病害区域范围。
- 7 疑似隐性病害区域复核。

6.2.7 数据采集应符合下列规定：

- 1 夏季检测时间宜为10:00-12:00，春、秋、冬季检测时间宜为11:00-13:00。
- 2 采用红外温度检测设备针对铺装层分区域进行全覆盖扫描检测，隐性病害

判定标准见6.3。

6.2.8 钢桥面铺装层隐性病害检测宜重点关注下列易出现隐性病害现象的区域。

- 1 运输车辆行驶轨迹区域
- 2 主塔位置区域
- 3 摊铺起止区域

6.3 数据分析

6.3.1 隐性病害判别应符合下列规定：

6.3.2 当红外温度设备显示检测范围存在块状区域温度偏高时，该突变区域疑似隐性病害，见附录E。

6.3.3 块状温度偏高区域以中心最高温度作为代表性温度。

6.3.4 单层铺装层陷性病害检测，代表性温度高于周边临近温度（无突变区域） 0.7°C 时，可判断为隐性病害。

6.3.5 双层铺装层隐性病害检测，代表性温度高于周边临近温度（无突变区域） 0.5°C 时，可判断为隐性病害。

6.3.6 发现疑似隐性病害后，进行隐性病害区域界定，采用雷达法或人工敲击法进行二次确认。

6.4 报告编写

6.4.1 检测报告宜由工程委托及相关信息、检测条件、检测记录表与检测结论四部分组成。

6.4.2 工程委托及相关信息应包括以下内容：

- 1 委托单位
- 2 检测单位名称
- 3 工程名称
- 4 检测桩号

6.4.3 检测条件应包括下列内容：

- 1 检测设备信息
- 2 检测时间
- 3 天气条件

本条规定了钢桥面铺装层隐性病害检测条件的具体内容。

6.4.4 检测记录表见附录F，应包括下列内容：

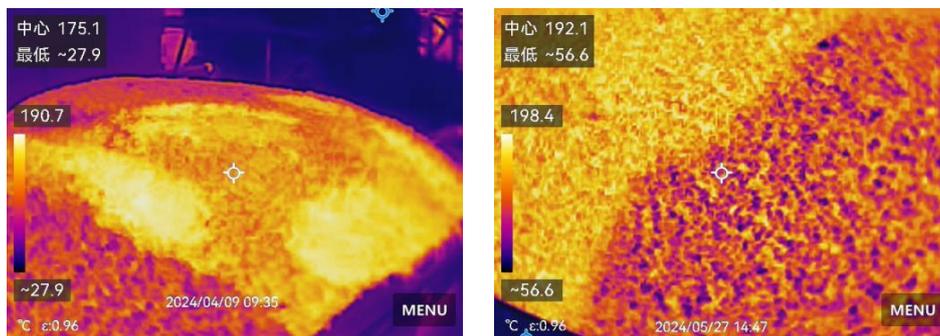
- 1** 病害中心温度
- 2** 病害面积
- 3** 病害红外图像

6.4.5 检测结论应包括隐性病害数据的统计分析内容与改进建议内容等。

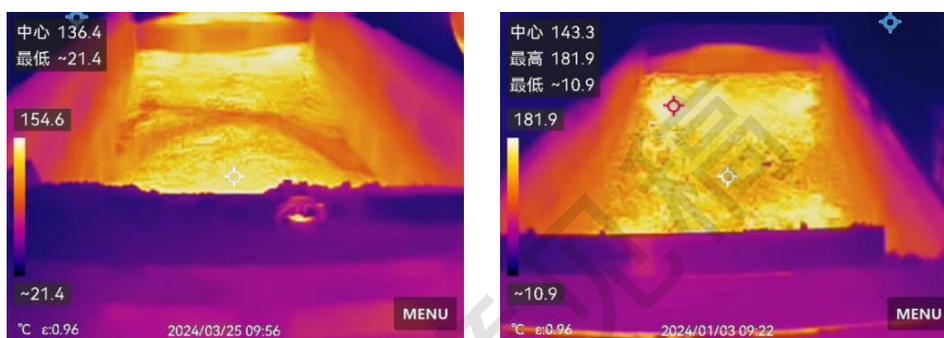
征求意见稿

附录A：沥青路面温度离析示例

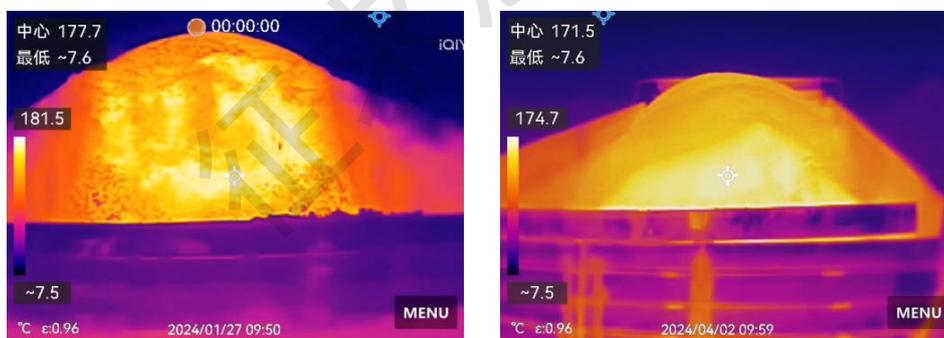
A.1 运输车内沥青混合料表面温度分布不均匀，存在明显温度离析现象



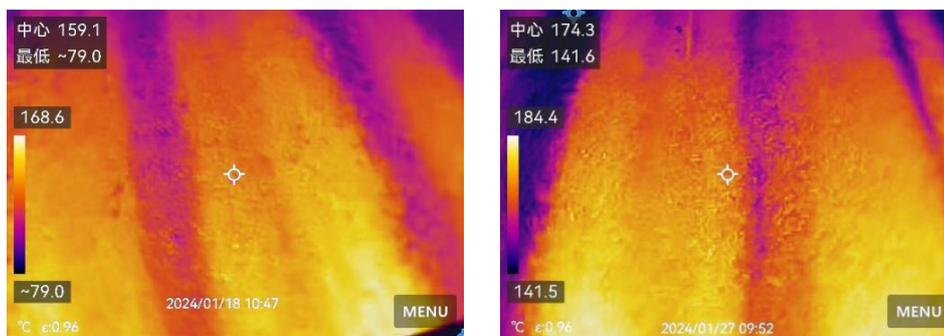
A.2 混合料卸入摊铺机料斗时，混合料的表面温度存在轻微离析现象



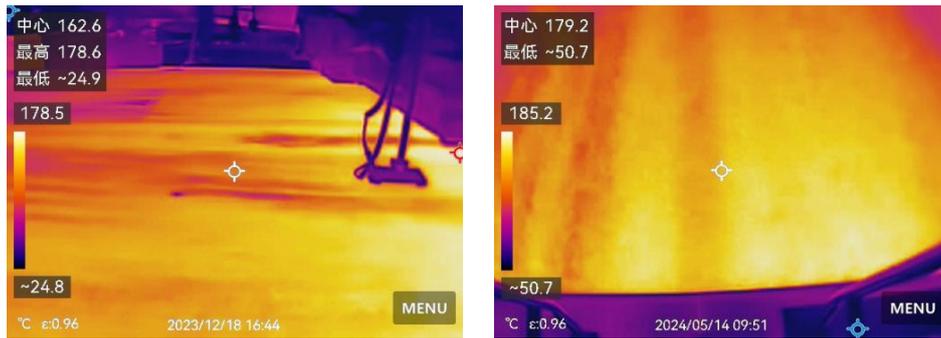
A.3 运输车卸料过程中，混合料表面温度与内部混合料温度存在轻微温度离析



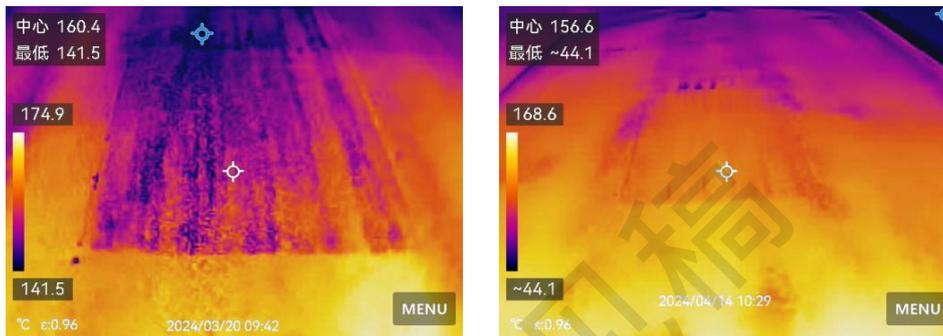
A.4 混合料摊铺表面存在明显温度离析现象。



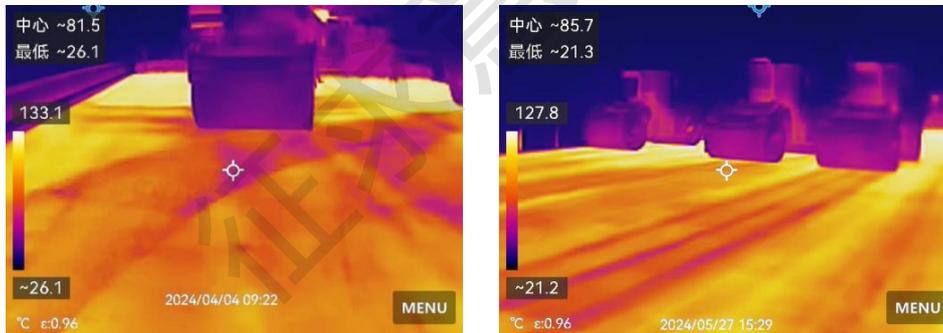
A.5 初压前混合料表面温度存在轻微离析现象。



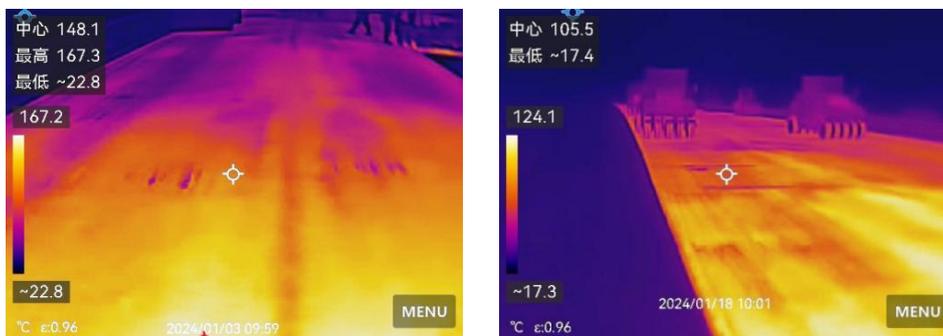
A.6 初压后混合料表面留有碾压轮迹, 与未碾压区域相比存在明显温度离析现象。



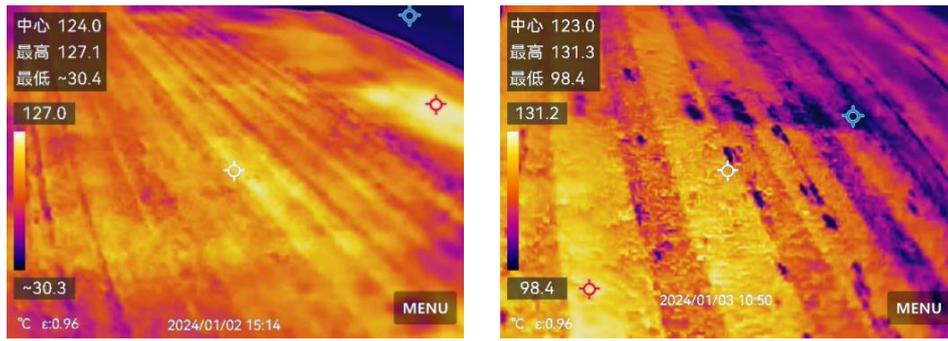
A.7 混合料表面同一碾压轨迹中存在明显温度离析现象。



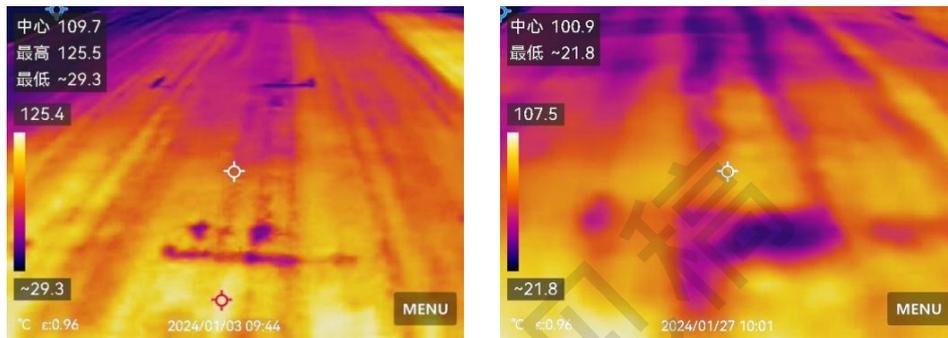
A.8 胶轮碾压前混合料表面温度存在轻微离析现象。



A.9 胶轮碾压后混合料表面有明显轮迹带，且存在温度离析现象。



A.10 双钢轮收光前混合料表面有明显轮迹带，且存在温度离析现象。



附录B：沥青混合料温度检测记录表

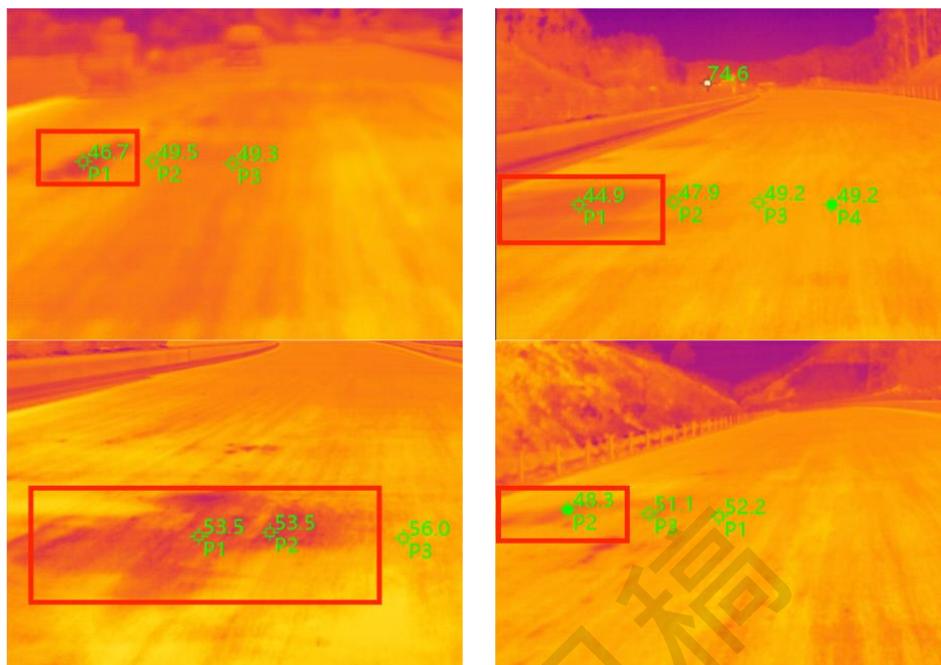
混合料类型			工序		标准温度	
检测时间			桩号范围		环境温度	
序号	桩号	车道	离析中心温度/°C	与标准温度差值/°C	离析面积/m ²	判定结果
1						
2						
3						
4						
5						
6						
红外温度图像						
序号 1 图像		序号 3 图像			序号 5 图像	
序号 2 图像		序号 4 图像			序号 6 图像	

检测人员：

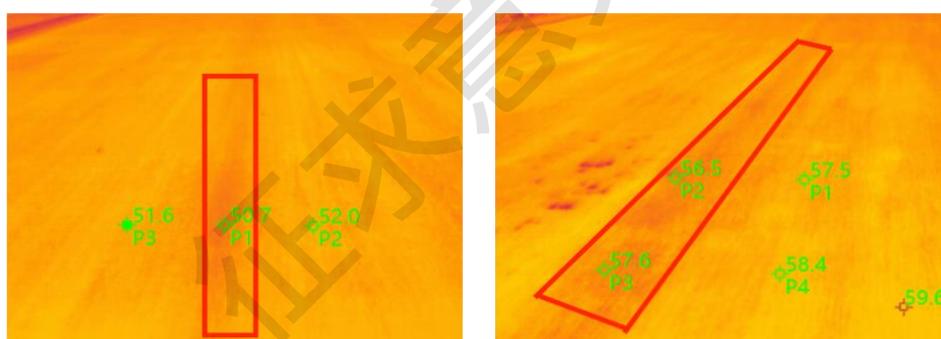
复核人员：

附录C：沥青路面离析示例

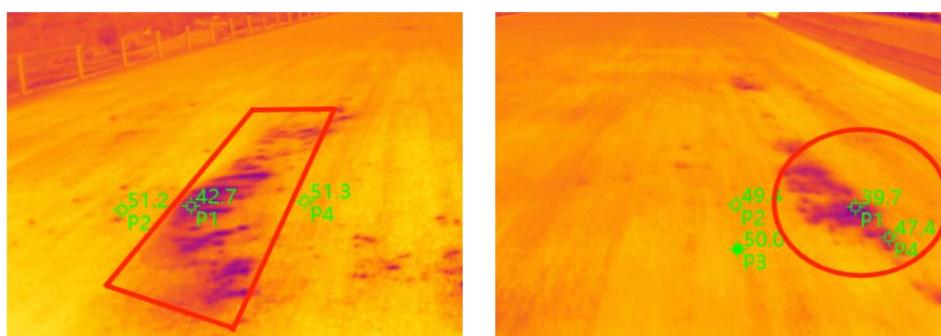
C.1 现场离析情况红外图像示例



块状粗离析红外图像示例



带状粗离析红外图像示例



粗离析位置泛碱现象红外图像示例

C.2 现场示例图片



摊铺机两侧位置出现粗离析现象



摊铺机中部出现收斗粗离析现象



摊铺面吊臂位置存在粗离析现象



摊铺面搭接缝出现明显粗状离析现象

附录D：沥青路面离析检测记录表

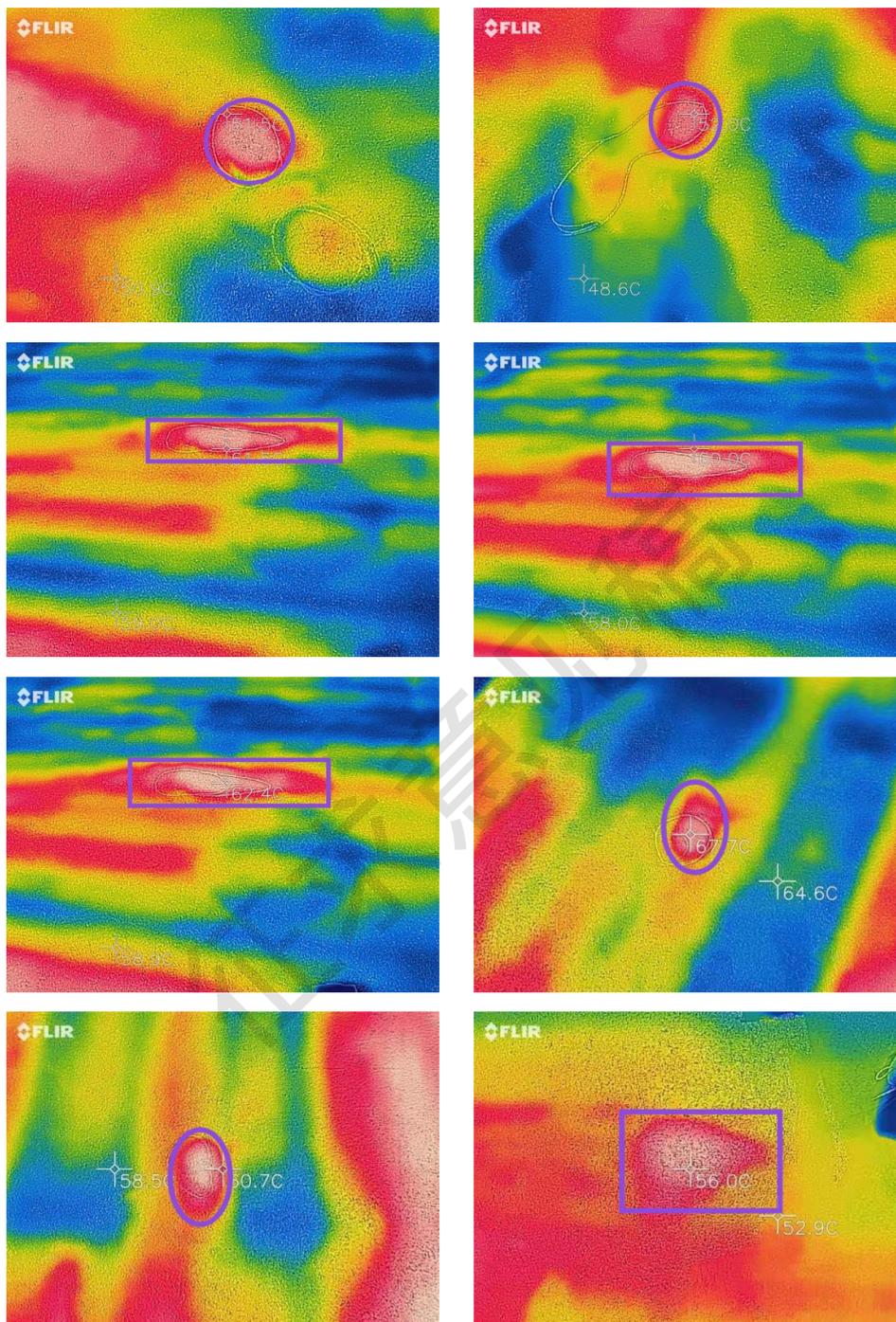
混合料类型		太阳辐射强度变异系数				
检测时间		桩号范围	最高气温			
序号	桩号	车道	离析中心温度/°C	临近温度/°C	温差特征值	离析面积 m ²
1						
2						
3						
4						
5						
6						
红外温度图像						
序号 1 图像		序号 3 图像			序号 5 图像	
序号 2 图像		序号 4 图像			序号 6 图像	

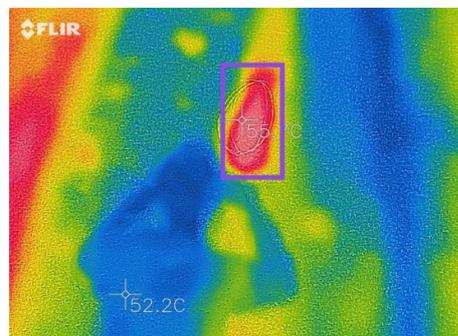
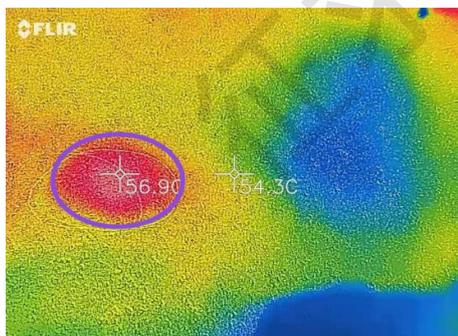
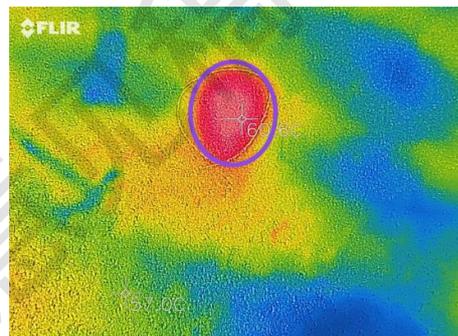
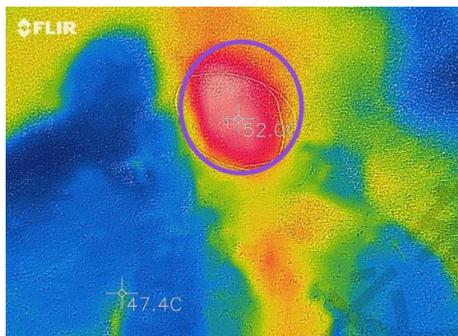
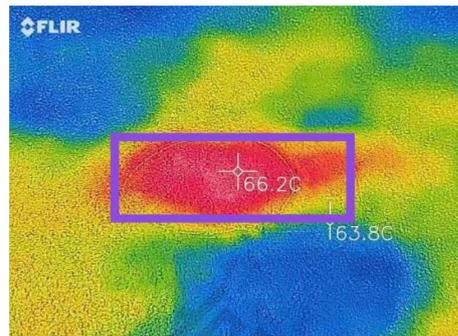
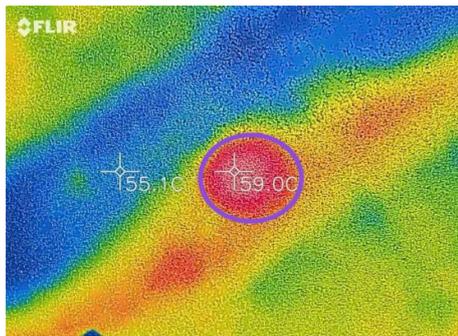
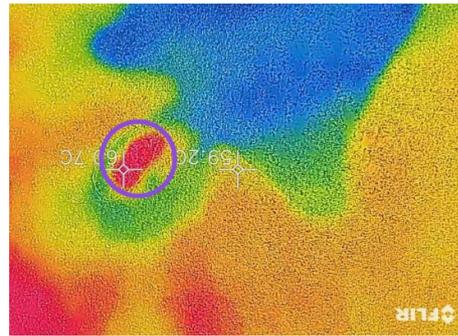
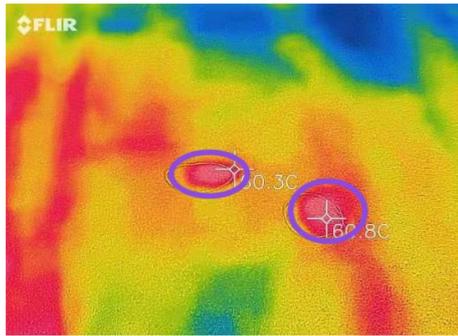
检测人员：

复核人员：

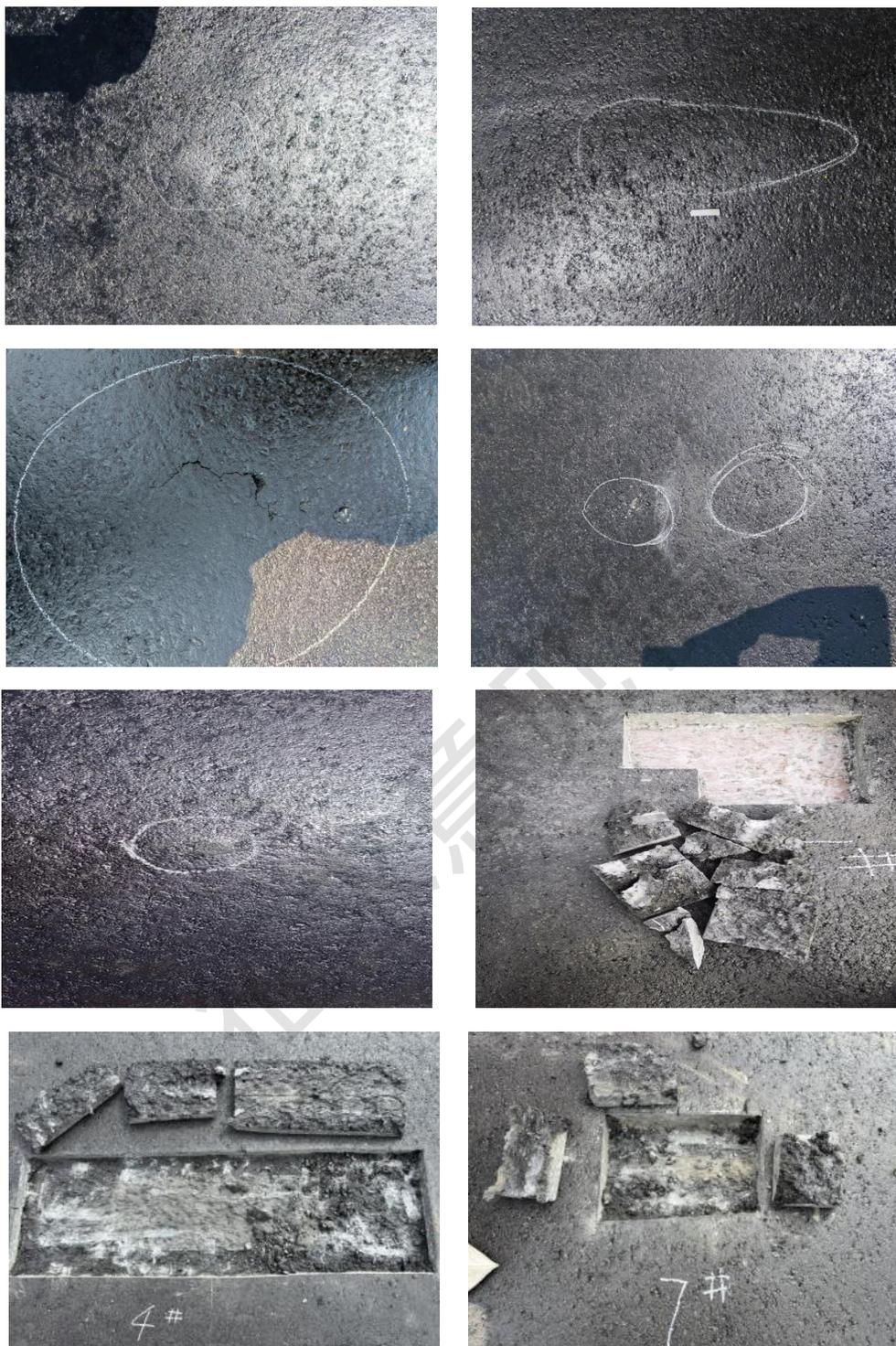
附录E：钢桥面铺装隐性病害示例

E.1 钢桥面隐性病害示例红外图像





E.2 钢桥面隐性病害示例图片



附录F：钢桥面铺装隐性病害检测记录表

混合料类型			铺装层位		铺装厚度	
检测时间			桩号范围		环境温度	
序号	桩号	车道	病害中心温度/°C	与临近温度差值/°C	病害面积 m ²	复核结果
1						
2						
3						
4						
5						
6						
红外温度图像						
序号 1 图像		序号 3 图像			序号 5 图像	
序号 2 图像		序号 4 图像			序号 6 图像	

检测人员：

复核人员：

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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

- 《无损检测仪器红外线热成像系统与设备性能描述》 GB/T 38238-2019
- 《红外热像法检测建设工程现场通用技术要求》 GB/T 29183-2012
- 《工业检测型红外热像仪标准》 GB/T 19870-2018
- 《公路沥青路面施工技术规范》 JTG/F 40-2004
- 《公路钢桥面铺装设计与施工技术规范》 JTG/T 3364-02-2019
- 《带电设备红外诊断应用规范》 DL/T 664-2016
- 《建筑红外热像检测要求》 JG/T 269-2010
- 《无人机航摄安全作业基本要求》 CH/Z 3001-2010
- 《红外热像法检测建筑外墙饰面层粘结缺陷技术规程》 CECS 204-2006

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

沥青路面红外温度检测技术规程

T/CECS21-202X

条文说明

征求意见稿

目次

1 总 则	39
2 术语和符号	41
2.1 术 语	41
3 基本规定	44
3.1 适用条件	44
3.2 设备要求	45
3.3 红外温度检测设备检验项目与周期	47
4 沥青混合料温度离析检测	48
4.1 一般规定	48
4.2 数据采集	48
4.3 数据分析	51
4.4 报告	51
5 沥青路面施工离析检测	53
5.1 一般规定	53
5.2 数据采集	53
5.3 数据分析	54
5.4 报告编写	55
6 钢桥面铺装层隐性病害检测	56
6.1 一般规定	56
6.2 数据采集	56
6.3 数据分析	56
6.4 报告编写	57

1 总 则

1.0.1 红外温度检测技术作为一种非接触式、快速响应的测温手段，能够实时、准确地监测沥青混合料在摊铺、压实等关键施工环节的温度变化，对于沥青路面施工过程中温度离析检测、沥青路面离析区域检测和钢桥面铺装层隐性病害检测具有重要意义。

从国外红外热像技术逐渐成熟的发展历程和在道路工程中的现有应用研究情况分析，近些年国外道路方面的科研机构及专家学者，致力于将红外热像技术应用在路面结构缺陷检测方面，如层间粘结失效、内部脱空缺陷检测以及施工过程中路面温度离析判别。相关研究成果为红外技术应用于道路工程领域，提供了坚实的理论依据，并且验证了红外技术在道路工程中的应用价值。我国虽然在该项技术相比其他发达国家起步较晚，但发展速度迅猛。近些年大量高校专家和学者开展了大量的系统性研究，为红外技术在道路工程中的应用研究做出巨大贡献。根据现有研究分析红外热成像检测技术凭借其检测方式的优越性，将在沥青路面检测方面有广阔的发展空间。

尽管如此，红外温度检测在我国沥青路面建设过程中仍然是一项新的检测技术，行业内暂无统一检测规程，许多工程参建单位缺少经验，导致检测方法不规范，结果处理不合理，大大制约了红外检测系统在沥青路面建设工程中的发展。本规程在全面吸收了国内外沥青路面红外温度检测的最新研究成果，在借鉴和总结国内外道路建设过程中红外温度检测实践经验基础上编制而成。

1.0.2 沥青路面施工过程中温度离析检测：在沥青混合料摊铺与压实过程中，温度离析是影响路面质量的关键因素之一。红外温度检测系统能够实时、大面积地监测路面温度分布，快速识别出温度异常区域，帮助施工人员及时调整摊铺与压实工艺，减少温度离析现象，提高路面均匀性。

沥青路面离析区域检测：沥青路面在铺筑过程中，由于材料性能差异、施工不当或环境因素等原因，可能出现离析现象，表现为路面颜色、纹理、密实度等物理特性的不一致。红外温度检测系统通过检测路面温度差异，可间接反映离析区域，为后续的沥青路面施工提供数据支持。

钢桥面铺装隐性病害检测：由于环氧沥青铺装层的致密性以及钢桥面的高温环境，铺装层在施工过程中一旦存在外界水气侵入的情况，极易出现铺装鼓包病

害。鼓包病害是铺装层的最常见病害，早期鼓包病害未及时识别与处治，极易在钢桥面高温环境以及交通荷载作用迅速发展，导致环氧铺装层出现裂缝、松散、坑槽等病害。由于鼓包区域与正常区域存在明显温差，红外温度检测系统通过检测铺装层温度差异，可反映钢桥面隐性病害区域，为后续的钢桥面铺装以及处治提供决策依据。

尽管红外温度检测系统在沥青路面温度检测中具有诸多优势，但对于沥青路面绝对温度指标的检测，应采用插入式温度计等传统方法，因为红外温度检测系统测量的是物体表面的辐射温度，而非物体内部真实温度。在沥青路面施工中，特别是在摊铺初期，沥青混合料的内部温度与表面温度可能存在较大差异。因此，为了准确获取沥青混合料的绝对温度值，必须采用能够直接测量材料内部温度的插入式温度计等传统方法。

1.0.3 红外温度检测仪器作为精密测量设备，其测量精度会随着时间的推移、使用次数的增加以及环境因素的影响而发生变化。定期检定能够及时发现并纠正仪器的偏差，确保其在规定范围内的精度和稳定性。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 红外温度检测设备，又称红外测温仪或红外测温传感器，是一种利用红外线辐射原理来测量物体表面温度的仪器。其工作原理基于黑体辐射定律，即自然界中一切高于绝对零度的物体都在不停地向外辐射能量，且辐射能量的大小与物体的表面温度密切相关。红外温度检测设备通过接收物体发出的红外辐射，并将其转换为电信号或数字信号，从而实现对物体表面温度的测量。红外温度检测设备主要有以下特点：

非接触式测温：红外温度检测设备无需与被测物体直接接触，避免了因接触热传导而导致的测量误差。

宽温度测量范围：该类设备通常具有较宽的温度测量范围，能够满足从低温到高温不同应用场景的需求。例如，某型号的红外线温度计可在-50℃至500℃之间进行测量。

快速测量：红外温度检测设备能够在极短的时间内迅速测量出物体的温度，提高了工作效率。

高精度：随着技术的不断进步，现代红外温度检测设备已经具备了较高的测量精度，能够满足各种高精度测温需求。

目前市场上红外监测设备品类繁多，用途不同，参数也不尽相同。针对沥青路面检测场景需求，调研国内外多家红外热成像设备参数状态，总结形成影响使用效果的主要设备参数：红外热分辨率、热灵敏度、测温范围、空间分辨率、波段以及帧频等。沥青路面红外温度检测设备的选用应重点关注上述参数。

2.1.2 手持红外温度检测设备是可通过手持形式进行面域温度检测的设备。目前，市场上手持红外温度检测设备品牌众多，这些品牌在产品性能、技术创新、售后服务等方面各有优势，形成了较为激烈的竞争格局。手持红外温度检测具有以下技术特点：

高精度测量：随着技术的不断进步，手持红外温度检测设备的测量精度不断提高。部分高端设备甚至能达到 $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$ 的测量精度，满足了高精度测量的需求。

多功能性：现代手持红外温度检测设备不仅具备基本的测温功能，还常常集

成了激光定位、数据记录、数据传输等附加功能，提升了设备的使用便捷性和工作效率。

2.1.3 机载红外温度检测设备是一种集成于无人机的高科技测温设备，利用红外辐射原理对路面面域温度进行检测的设备。机载红外温度检测设备主要有以下技术特点：

远距离测温：由于安装在飞行器上，该设备能够实现对远距离目标的测温，大大提高了测温的灵活性和覆盖范围。

实时数据传输：设备通常配备有先进的通信模块，能够实时将测温数据传输至地面控制站或数据中心，便于后续的数据分析和处理。

2.1.4 车载红外温度检测设备是通过机动车搭载的形式进行面域温度检测的设备。车载红外温度检测设备应安装于车辆的合适位置，确保能够准确测量目标区域的红外温度，并可实时传输到操作系统，便于后期分析与处理，车载红外温度检测设备可实现对沥青路面进行快速、准确的温度离析检测。

2.1.5 沥青路面施工离析是指在路面某一区域内，沥青混合料的主要性质（包括沥青含量、级配组成以及路面空隙率等）出现不均匀现象。这种不均匀性会加速沥青路面的病害发展，导致早期损坏如网裂、形变、坑洞、局部严重辙槽、局部泛油、横向裂缝。沥青路面离析主要分为以下两种类型：

级配离析：在生产、运输、摊铺过程中，由于操作不当造成混合料粗细集料分布不均。粗骨料集中的地方空隙率大、沥青含量低，易产生水损害及耐久性降低，导致疲劳裂缝、坑洞及剥落等病害；细集料集中的区域则空隙率小、沥青含量大，易产生车辙、泛油等病害。

温度离析：沥青混合料在运输、摊铺过程中，由于不同位置的温度下降不一致，导致温度差异，进而产生温度离析，影响路面压实密度和均匀性。

温度离析可通过施工过程中的温度监控及时发现，并根据温度情况及时调整拌合楼出料温度或对运料车采取相应的保温措施，避免温度离析。但现阶段级配离析在施工过程中缺少配套的监控系统或检测设备，当新建沥青路面发生级配离析时难以准确识别离析程度进行定量分析。

2.1.7 热谱图的产生基于红外辐射原理。任何高于绝对零度的物体都会发出红外辐射，且辐射强度与物体的温度有关。热谱图技术利用红外探测器捕捉物体表面发出的红外辐射，并将其转换为电信号。随后，通过信号处理和图像转换技术，

将这些电信号转换成可视化的温度图像。

2.1.8 工作波段通常分为以下几个类别：

近红外波段：波长较短，一般在0.76-1.4微米之间。这个波段的红外辐射能量较高，适用于高温测量或需要高灵敏度的场合。

中红外波段：波长适中，一般在1.4-3微米之间。这个波段的红外辐射能量较为均衡，适用于中温测量以及多种常规应用。

远红外波段：波长较长，一般在3-100微米之间。这个波段的红外辐射能量较低，但穿透性较强，适用于低温测量或需要长距离探测的场合。

通过调研结果来看，适用于沥青路面红外温度的工作波段在7-14微米之间。

2.1.9 噪声等效温差是衡量红外探测器系统性能的重要指标之一，它表示红外探测器能够探测到的最小温差。简而言之，NETD是系统能够识别的最小信号值，标志着热像仪可探测的最小温差。

2.1.12 在红外温度检测领域，黑体是一个特定的术语，它指的是一个能够完全吸收任何波长的入射辐射，而不发生反射与透射的理想化物体。在红外温度检测中，黑体常被用作校准或参考标准，以确保测量结果的准确性和可靠性。

3 基本规定

3.1 适用条件

3.1.2 在进行红外温度检测或热成像分析时，应确保测量结果的准确性和可靠性。周围环境中的热辐射干扰，如不必要的可见光、施工设备热源等，都可能对红外检测设备的性能产生负面影响，导致测量误差或误判。虽然可见光本身不直接产生热辐射，但其可能通过反射、散射等方式影响红外检测设备的视场，增加背景噪声，从而降低检测灵敏度。

施工现场常存在各种热源，如发动机、照明灯具、焊接设备等，这些设备在运行过程中会产生大量的热辐射，对周围环境的温度分布造成显著影响，进而干扰红外检测设备的测量结果。因此，在沥青路面红外温度检测过程中，应排除或者减少周围环境背景的热辐射干扰影响。

3.1.3 红外光在传播过程中会受到大气中气体分子、水蒸气、尘埃以及其他物质的吸收、散射和反射作用，这些作用会改变红外光的强度和方向，从而影响检测设备的测量结果。具体影响有：

吸收作用：某些物质（如水蒸气、二氧化碳等）对特定波长的红外光有较强的吸收能力，导致红外光在传播过程中能量衰减。

散射作用：空气中的尘埃、微粒等会对红外光产生散射作用，使红外光偏离原传播方向，降低检测设备的接收效率。

反射作用：光滑表面（如金属、玻璃等）会对红外光产生反射作用，导致部分红外光无法被检测设备接收。

因此，在选择检测设备和设置检测环境时，应充分考虑被测件与检测设备之间的物质组成和分布情况，避免或减少吸收、散射和反射作用对测量结果的影响。对于无法避免的吸收和散射作用，可以通过校正算法或增加测量次数等方法来提高测量结果的准确性。对于反射作用较强的被测件，可以采用特定的测量方法（如多角度测量、使用吸光材料等）来降低反射对测量结果的影响。

3.1.4 机载设备在飞行过程中需要保持一定的稳定性和平衡性。风速过大可能导致飞机或无人机等载体产生颠簸和振动，进而影响红外温度检测设备的稳定性和测量精度。基于大量调研资料、实验数据、实际应用经验，规定机载红外检测

设备应用时的风速应小于8m/s，本条文旨在平衡测量精度、设备稳定性和安全性之间的关系。

3.1.5 沥青路面红外温度离析检测依赖于红外热成像技术，该技术通过测量路面表面温度的差异来识别离析现象。检测过程极易受到环境因素的干扰，从而影响检测结果的准确性。天气晴朗时，太阳辐射相对稳定，有助于红外热成像设备捕捉到更真实的路面温度分布，从而更准确地识别沥青路面的离析现象。湿度较高的环境会影响材料的热传导性能，增加红外辐射的散射和吸收，降低红外热成像的清晰度。晴朗天气通常伴随较低的湿度，有助于减少温度的影响。

确保检测结果的准确性和可靠性是工程检测工作的核心目标。环境因素作为不可控的外部变量，其变化可能对检测结果产生显著影响。因此，在进行沥青路面红外温度离析检测与钢桥面铺装层隐性病害检测时，必须严格控制环境条件，选择晴朗天气环境进行检测，最大程度地减少环境因素的干扰。

3.2 设备要求

3.2.1 2 红外温度检测设备具备存储图像以及红外热谱图录像的功能，可在检测结束后对数据文件进行逐帧分析，保证检测结果的可靠性。

3 红外热谱图是红外温度检测的核心输出之一，直观地展示了被测物体表面的温度分布情况。因此，设备与软件系统必须具备查看或播放红外热谱图的功能，以便能够直观地观察和分析检测结果。该功能应支持多种查看模式，如静态图像显示、动态视频播放等，以满足红外检测的需求和应用场景。

除了整体查看红外热谱图外，沥青路面红外检测往往需要关注特定区域或点的温度信息，从而判断路面离析状态。因此，设备与软件系统还应具备查看任意位置温度的功能。该功能应允许用户通过鼠标点击、触摸屏操作或输入坐标等方式，在红外热谱图上选取任意位置，并即时显示该位置的温度值，从而可以更精确地获取目标区域的温度信息，为后续的沥青路面温度离析判别提供依据。

4 本条文是对红外温度检测设备或类似精密仪器在极端冲击条件下耐用性和稳定性要求的明确规定，可确保设备在实际应用中能够稳定可靠地工作。

峰值加速度：300m/s²，指冲击试验过程中加速度达到的最大值，用于模拟设备在极端冲击条件下所承受的瞬间加速度。该值的选择基于设备预期的使用环境和可能遭遇的冲击强度，确保设备在实际应用中能够承受类似程度的冲击而不受

损。

脉冲持续时间：11ms，指从加速度达到峰值开始，到加速度降至零（或接近零）所经历的时间。此时间长度反映了冲击作用的短暂性和突发性，对于评估设备在瞬间冲击下的响应和承受能力具有重要意义。

半正弦速度2.1 m/s： v 指的是速度变化量（ Δv ），即冲击过程中速度的最大变化量。在半正弦波冲击试验中，速度变化量是与加速度波形和时间长度紧密相关的参数。半正弦波形是一种常用的冲击波形，用于模拟线性系统的撞击或减速引起的冲击效应。在本条文中， $v=2.1$ m/s作为速度变化量的具体值，进一步限定了冲击试验的严酷程度。

5 本文是对红外温度检测设备或类似精密仪器在振动环境下工作稳定性和耐用性要求的明确规定，可确保设备在实际应用中能够稳定可靠地工作。

振动频率范围：10Hz~55Hz。该频率范围涵盖了多种实际振动环境，包括但不限于车辆行驶中的道路振动、机械设备运行时的振动等。设定该范围是为了确保设备能够在这些常见的振动环境中正常工作，不受影响。

峰值加速度：20m/s²，指振动过程中加速度达到的最大值，反映了振动的强度和剧烈程度。本条文中规定的20m/s²峰值加速度是一个相对较高的值，旨在模拟较为严酷的振动条件，以验证设备的抗振能力。

连续振动：要求设备在规定的振动频率和峰值加速度下连续振动一段时间，以模拟长时间处于振动环境中的工作情况。有助于评估设备在持续振动下的稳定性和耐用性。

6 热成像分辨率达到或超过320*240像素，保证了图像细节的清晰度，有助于更精确地识别和分析目标区域的温度分布；测温一致性要求不超过 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，是衡量设备在不同时间、不同条件下测量结果重复性的重要指标。高测温一致性有助于保持数据的一致性和可比性；噪声等效温差（NETD）小于100mK，该参数反映了设备对微弱温度差异的探测能力。低NETD值意味着设备能够更灵敏地捕捉到细微的温度变化。

7 机载红外温度的工作波段为7.5 μm 至13.5 μm ，这一波段通常被称为长波红外区，此波段能够有效穿透一定厚度的烟雾、尘埃等介质，能够在复杂环境下进行温度检测，适用于沥青路面红外检测。

沥青混合料在拌合、摊铺、碾压以及达到通车温度时对应不同温度，拌合时

温度高达近200℃，而达到通车条件时路面温度须降至50℃以下，红外设备测温范围设置为-20℃至250℃。

3.2.2 4 起飞重量是评估设备能否在指定飞行条件下安全起降的重要指标，过重的设备可能需要更强大的动力支持，起飞重量大于0.5Kg时，可保证机载红外在较为复杂的条件下顺利起飞。沥青混合料摊铺过程时间较长，为了减少作业中断，提高检测效率，要求单电池续航时间不小于30min。

3.3 红外温度检测设备检验项目与周期

3.3.1 红外温度检测设备通过测量物体表面的红外辐射来计算其温度，此过程涉及多个复杂的物理和光学原理。随着时间的推移，设备的内部元件可能因磨损、老化或环境因素的影响而发生微小变化，导致测量结果的偏移。因此，定期对设备进行检验是维持其测量精度和稳定性的必要手段。

检验周期的设定应基于设备的使用频率、环境条件、测量精度要求以及制造商的建议等多个因素综合考虑。一般而言，对于使用频繁、环境恶劣或测量精度要求高的红外温度检测设备，应缩短检验周期；反之，则可适当延长。具体检验周期可由设备使用单位根据实际情况自行确定，也可参考相关行业标准或规范。

3.3.2 3 噪声等效温差检验基于红外成像系统对低对比度目标的检测能力。在红外成像中，目标与背景之间的温差是成像的基础，而系统内部的噪声会干扰这种温差的准确检测。因此，当视频信号的信噪比(S/N)达到某一特定水平（通常为1），即信号强度与噪声强度相等时，系统能够分辨的最小温差即为噪声等效温差。

4 黑体作为理想的辐射源，其辐射特性仅取决于温度，不依赖于其他因素，因此被用作校准红外测温设备的标准。在本检验方法中，采用标准源黑体作为温度基准，以确保测温设备校准的准确性和一致性。

设定每隔10分钟进行一次测量，旨在模拟设备在长时间连续工作下的稳定性。这一周期的选择既考虑了实际操作中可能遇到的连续工作时间，也兼顾了数据收集的效率与准确性。每次测量后，将读取的温度数据与标准源黑体的设定温度进行比较，计算温度偏差。温度偏差是衡量测温设备准确性的重要指标之一，它反映了设备测量值与实际值之间的差异。

4 沥青混合料温度离析检测

4.1 一般规定

4.1.1 在沥青混合料的生产、运输、摊铺及碾压等过程中，温度离析是影响路面质量的重要因素之一。为了准确、高效地检测沥青混合料的温度离析情况，可采用手持红外温度检测设备或机载红外温度检测设备。手持设备适用于局部、快速检测；机载设备则适用于大面积、连续检测。本条文明确了这两种设备的适用性，可根据实际需求选择合适的设备进行检测，有助于及时发现和解决温度离析问题，提高路面施工质量。

4.1.3 本条文明确红外温度检测过程中的安全与生产保障要求，确保检测工作的顺利进行。在进行沥青混合料红外温度检测时，必须严格遵守安全操作规程，确保检测过程不会对正常施工生产造成干扰或影响，同时保障检测人员的人身安全。

4.2 数据采集

4.2.5 2 1) 红外温度检测设备是通过接收被测物体表面发射的红外辐射来测量其温度。当设备的光学系统轴线与被测件表面垂直时，光线能够以最直接的路径到达探测器，减少了因角度偏移而产生的反射、折射或散射，从而提高了测量的准确性和可靠性。随着夹角的增大，光线在到达探测器之前可能经历更多的复杂路径，包括反射、折射等，这些都会导致到达探测器的红外辐射能量减少或分布不均，进而影响测量结果的准确性。特别是在大角度下，来自被测件表面的反射光可能进入探测器，造成测量误差。

基于上述光学原理和角度影响的分析，设定夹角“宜小于45°”是一个合理的折中选择。该角度限制旨在最大限度地减少因角度偏移而引入的测量误差，同时考虑到实际操作中的灵活性和可行性。在大多数情况下，保持小于45°的夹角可以确保测量结果的准确性和可靠性。

在实际操作中，由于被测件形状、大小、位置等因素的限制，有时可能无法完全满足夹角小于45°的要求。在这种情况下，为了确保测量结果的准确性和可追溯性，应在检测结果中进行明确备注，说明夹角的具体数值以及可能由此产生的测量误差范围，有助于后续的数据分析和处理，以及必要时进行修正或重新测

量。

2 2) 红外温度检测设备的测量精度受到多种因素的影响,其中其与被测物之间的距离是一个重要参数。当距离发生变化时,设备接收到的红外辐射能量也会相应变化,从而导致测量结果的偏差。因此,固定红外温度检测与被测物之间的距离可以有效减少因距离变化而引起的测量误差。同时,在进行同一工序的温度离析检测时,如果每次测量都保持相同的距离,可以确保测量结果之间具有更好的一致性和可比性。该操作对于分析温度离析的变化趋势、沥青路面施工过程的稳定性具有重要意义。

2 3) 根据《红外温度检测设备在沥青路面施工质量控制中的应用研究》成果,应用红外温度检测设备在0.25~1.0m的拍摄范围时,拍摄的温度与实际温度较为接近,温度测量偏差在5%以内,但在使用过程中发现,当拍摄距离 $\leq 0.5\text{m}$ 时,红外温度检测设备机身温度过高,检测响应时间和拍摄速度缓慢,甚至出现死机情况,因此,建议在后期的拍摄中,测量距离应控制在0.5~1.0m之间。

表4.2.5 不同测量距离下的温度修正系数

测量距离 (m)	实际温度 (°C)	平均温度 (°C)	温度修正系数
0.25	157.0	160.8	0.976
0.50	157.0	157.2	0.999
0.75	157.0	154.4	1.017
1.00	157.0	150.4	1.044
1.25	157.0	146.4	1.072
1.50	157.0	142.5	1.102

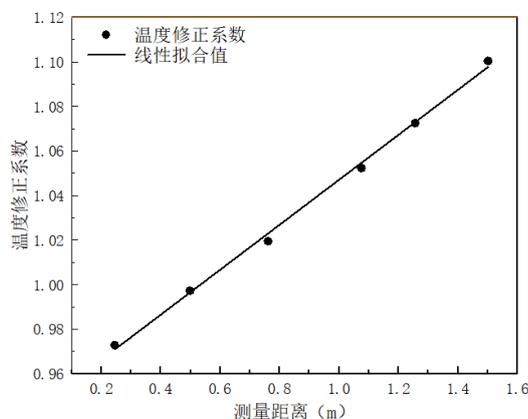


图4.2.5 不同测试距离温度修正系数

4.2.6 2 4) 在红外热谱图上,缺陷部位通常表现为温度异常区域。通过增

加红外热谱图的数量，可以更清晰地勾勒出这些温度异常区域的轮廓和范围，有助于更准确地定位缺陷位置。在后续的数据分析和缺陷评估过程中，充足的红外热谱图数据可以提供更多的信息支持。例如，可以通过对比不同时间、不同角度的红外热谱图来观察缺陷的变化情况；可以结合可见光照片来识别缺陷的具体类型和性质等。

2 6) 机载红外温度检测设备作为一种高效、非接触式的温度监测手段，能够快速覆盖大面积施工区域，初步识别出可能存在温度离析的区域。然而，由于环境因素、设备精度及操作条件等多种因素的影响，机载检测的结果可能存在一定的误差或不确定性。因此，有必要采用更为精确的手持红外温度检测设备对疑似温度离析区域进行复测，以确认温度离析现象的真实存在及其严重程度。

复测过程所采用的手持红外温度检测设备应处于良好工作状态，校准准确，电池电量充足，且操作人员熟悉设备的使用方法和注意事项。然后根据机载红外温度检测设备的初步检测结果，确定疑似温度离析的具体区域，复测区域应明确标注，以便手持设备操作人员准确找到并进行检测。操作人员手持红外温度检测设备，在疑似温度离析区域内进行多点测量。测量点应均匀分布，覆盖整个复测区域，以获取全面的温度数据。同时，应注意避免阳光直射、反射热源等外部因素对测量结果的影响。最后将复测过程、测量结果及分析结果详细记录，并编制复测报告。报告应明确指出温度离析的具体位置、范围、程度及可能的原因，为后续数据处理措施提供依据。

3 1) 机载红外温度检测设备的飞行高度对于其测量结果的准确性具有重要影响。高度过低可能影响正常施工，高度过高则可能导致测量精度下降。因此，设定合理的数据采集高度范围对于确保测量结果的准确性至关重要。高度在10~30m是基于设备性能、实际应用需求和环境因素等多方面因素考虑而设定的合理范围。在此范围内进行数据采集，可以确保测量结果的准确性和有效性。

3 2) 在同一工序检测中，保持固定的飞行高度可以确保每次测量时设备与目标物体之间的距离相同，从而消除因距离变化而引入的误差，有助于实现测量数据的一致性和可比性，为后续的数据分析和处理提供可靠的基础。

3 3) 本条文通过规定机载红外温度检测设备数据采集前的标定工作以及在环境参数变化时的重新标定工作，旨在确保设备在数据采集过程中的准确性和可靠性。对于提高沥青混合料温度离析检测数据质量具有重要意义。红外温度检测

设备的准确性直接影响到数据采集的质量和后续分析的可靠性。通过标定工作，可以校准机载红外温度检测设备的测量值，确保其与实际温度值保持一致，从而提高数据的准确性。在实际应用中，机载红外温度检测设备可能面临各种复杂的环境条件，如温度、湿度、风速等的变化。这些环境参数的变化可能会对设备的测量精度产生影响。因此，在环境参数变化时重新进行标定工作，可以确保设备在不同环境下均能保持较高的测量精度。

4.2.7 本条详细列出了沥青路面温度离析检测的施工工序及对应的检测重点：

检测拌合楼出料口下料时的温度及均匀性，以及运输车内沥青混合料的温度及均匀性。此环节是温度控制的起点，确保混合料在出厂时达到预设温度要求，并保持良好的温度均匀性。

分别检测运输车将混合料卸入摊铺机料斗时混合料的表面温度和内部温度，有助于评估运输过程中温度损失情况及混合料的温度分布状态。

料槽是混合料在摊铺前的暂存区域，其温度稳定性直接影响摊铺效果。

摊铺温度是控制混合料压实度和成型质量的关键因素之一。

初压前、初压后、胶轮碾压前、胶轮碾压后、双钢轮收光前及收光后的温度检测覆盖了压实过程的各个阶段，旨在评估不同压实阶段混合料的温度变化情况。

检测双钢轮压路机碾压轨迹的温度均匀性，评估隔离剂喷洒量对混合料温度的影响，确保压实过程中温度控制的有效性。

检测摊铺机料斗两侧混合料的温度均匀性，防止因料斗内混合料长时间滞留而导致的温度离析现象。

4.3 数据分析

4.3.3 当前，我国对于温度离析的评价标准没有明确规范说明，美国道路工作者通过对存在温差问题的路面进行钻芯检测，分析其各项指标后，形成NCHRP441报告，本规程以NCHRP441报告中提出的温度差值作为判别指标的温度离析评价标准。

4.4 报告

4.4.5 本条明确检测结论中应包含的关键内容，包括离析程度数据的统计分析、施工温度控制水平分析以及改进建议等，以便为后续施工提供科学依据和指导。为确保沥青路面施工质量，对温度离析现象进行准确评估并提出有效的改进措施，

检测结论的编制应全面、客观且具体。

征求意见稿

5 沥青路面施工离析检测

5.1 一般规定

5.1.1 手持红外温度检测设备效率过低，无法大面积应用，无人机载红外温度检测设备受影响因素较多，且定位信息应用较为复杂。而车载红外温度检测设备能够随车移动，实时采集沥青路面的温度数据，及时发现温度异常区域，为离析检测提供及时、准确的信息，并且车载红外温度检测设备能够适应不同宽度、不同路况的沥青路面检测需求，提高了检测效率和灵活性。

5.2 数据采集

5.2.6 1 在高温条件下，沥青路面内部的热量传递更为迅速，温度差异更为明显。选择气温较高的日期进行检测，有助于红外热成像设备更准确地捕捉到路面表面的细微温度差异，从而提高检测灵敏度，更易于发现潜在的离析区域或其他质量问题，在较低的气温可能导致路面温度偏低，且温度分布较为均匀，难以区分由施工质量问题引起的温度差异。此外，低温条件下还可能受到其他环境因素的干扰（如风力、湿度等），影响检测结果的准确性，而高温条件下，这些干扰因素相对较小，有利于获得更准确的检测结果，根据调研报告，当环境气温大于30℃时，离析区域温差已较为明显，宜开展检测工作。

2 根据调研报告：11:00-16:00 时段太阳辐射波动较小，温差特征值较大，表明在此时间段温差分布规律明显且较为稳定，因此选择此时间段来采集代表区域的太阳辐射强度，每隔 30min 记录一次数据，以此来计算不同混合料类型的变异系数。

根据试验结果，以太阳辐射变异系数 C_v 为输入变量，温差特征值均值为输出函数值进行拟合，AC-25的拟合公式为： $y = -0.0162x + 0.0214$, $R^2=0.964$ ；AC-20的拟合公式为： $y = -0.0144x + 0.0186$, $R^2=0.8484$ ；SMA-13的拟合公式为： $y = -0.0067x + 0.0144$, $R^2=0.6219$ ，三种沥青三种类型沥青混合料中相关性系数均可达0.62以上。综上可知，太阳辐射值变异系数 C_v 越小温差特征值越大。在保证温差特征值具有可检测意义的前提下，确定了太阳幅值变异系数的界限值：AC-25为64%，AC-53，SMA-13为51%。为了进一步保证检测数据可靠性，对变异系数的区间进行了更加严格的划分，规定了AC-25太阳辐射变异系数 $\leq 60\%$ ，而

AC-20、SMA-13太阳辐射变异系数应 $\leq 50\%$ 。

3 根据调研报告：温差特征值可较好反应出不同离析程度下沥青混合料表面温度与非离析沥青混合料表面温度差值波动情况。结合试验整体温差特征值数据可得出，温差特征值规律表现为自14:00至17:00时段呈稳定状态。据此，可通过该时段的温差特征值均值判断沥青混合料离析类型与离析程度。

4 帧频，即每秒显示的画面数量，是衡量红外温度检测设备性能的重要指标之一。帧频越高，设备每秒捕捉到的温度数据点越多，画面的动作越连贯，从而能够更准确地反映沥青路面的温度分布情况。红外温度检测设备的采样帧频决定了其捕捉温度变化的速度和精度。因此，在进行车载检测时，必须确保检测速度与采样帧频相匹配，以避免因速度过快而导致的数据丢失或失真。根据实践经验和设备性能特点，建议车载红外温度检测设备的检测速度不宜大于40km/h。该速度既保证了设备能够稳定工作并捕捉到足够的温度数据点，又兼顾了检测效率的需求。需要注意的是，这一速度上限并非绝对固定值，而是根据具体设备型号和性能参数而定的。在实际应用中，应根据设备的具体情况和检测需求进行适当调整。

5.2.7 摊铺机两侧的混合料受到边缘效应的影响，易出现粗离析现象；收斗过程中，由于粗集料的汇集，摊铺机中部易出现收斗粗离析；摊铺机吊臂下方的混合料横向运动受到阻碍，易出现粗集料集中而导致粗离析现象；摊铺机搭接处是施工难点，极易出现粗离析现象；停机待料处由于混合料长时间暴露在空气中，混合料温度迅速下降，易出现压实度不足的情况。

5.3 数据分析

5.3.2 温差特征值是用于量化评估沥青路面温度离析程度的一个重要指标。通过计算温差特征值，可以客观地反映离析现象的显著性和对路面性能可能造成的影响。温差特征值的计算结果越大，说明离析区域的温度与周边正常区域的差异越显著，进而可能意味着更严重的沥青路面离析问题。该指标不仅有助于快速评估路面质量，还能为后续的修复工作提供数据支持，指导制定针对性的修复方案，以恢复路面的均匀性和整体性能。

5.3.3 根据沥青混合料设计要求，AC-25/AC-20混合料设计空隙率为3%~6%，SMA-13混合料设计空隙率为3%~4.5%，当路面空隙率超出上述范围，可认定沥

青路面存在离析现象。假定AC-25/AC-20混合料目标空隙率为4%，考虑红外温度设备检测精度问题，将空隙率小于2%或者空隙率大于7%的区域判定为离析区域。假定SMA-13混合料目标空隙率为3.5%，考虑红外温度设备检测精度问题，将空隙率大于6.5%的区域判定为离析区域（由于SMA-13粗离析与细离析均表现出低温现象，此处仅表征离析，不区分粗、细离析）。根据调研报告，空隙率差值与温差特征值具有较好的相关性，AC-25拟合曲线公式： $y = -0.0003x^2 + 0.0063x - 0.0044$ ，相关性系数 $R^2 = 0.952$ ；AC20拟合曲线公式： $y = -0.0004x^2 + 0.0056x + 0.0002$ ，相关性系数 $R^2 = 0.9814$ ；SMA13拟合曲线公式： $y = -0.0001x^3 + 0.0015x^2 + 0.0002x - 0.0035$ ，相关性系数 $R^2 = 0.99$ ，其中y为温差特征值，x为空隙率差值。根据上述空隙率差值标准，计算离析区域的温差特征值阈值。

5.4 报告编写

5.4.5 本条文旨在明确车载红外温度检测设备在检测沥青路面温度离析后，其检测结论应包含的关键内容，包括离析程度数据的统计分析、施工均匀性分析以及针对发现问题的改进建议，以全面、科学地评估路面质量并为后续工作提供指导。

6 钢桥面铺装层隐性病害检测

6.1 一般规定

6.1.1 车载红外温度检测设备适应于大面积的钢桥面隐性病害检测，手持红外温度检测设备适应于小范围的钢桥面隐性病害检测，也可用于对车载红外设备检测的可疑点进行确认。

6.1.3 本条文旨在强调在进行钢桥面隐性病害红外检测过程中，必须严格遵守环境保护原则，确保检测活动不会对施工现场环境造成负面影响，同时保证检测过程不影响正常的施工生产进度。

6.2 数据采集

6.2.7 1 检测效果与铺装层热量吸收状态密切相关，在条件允许的情况下，应尽量在铺装层温度达到最高前1h至3h进行检测，夏季检测时间宜为10:00-12:00，春、秋、冬季检测时间宜为11:00-13:00。根据调研报告：在春季、秋季以及冬季温差最大出现的时间在12:00附近，温差分别为：2.11℃、2.07℃、1.94℃，在夏季温差出现最大的时间为11:00附近，温差为2.52℃。因此，夏季检测时间宜为10:00-12:00，春、秋、冬季检测时间宜为11:00-13:00。

6.2.8 3 钢桥面隐性病害是由于施工过程油水混入混合料与钢桥面界面，在高温作用下油水气化，但由于混合料极为密实无法排出，因此形成隐性病害。施工过程中应重点检测摊铺后的钢桥面铺装层温度均匀性，重点观测温度突变点。检测重点区域为运输车道卸料路径、桥塔前后区域以及摊铺起止区域。

6.3 数据分析

6.3.2 红外温度设备在扫描过程中，若显示检测范围内存在明显的块状区域温度偏高，这一异常现象通常被视为隐性病害的初步指征。块状温度偏高区域可能由于铺装层内部存在空洞、脱层、水分积聚或材料性能差异等原因导致，这些因素均会对铺装层的热传导性能产生影响，从而在红外图像上形成温度异常区域。

6.3.3 为了准确评估块状温度偏高区域的热学特性，以该区域的中心最高温度作为代表性温度。因为中心最高温度能够最直观地反映该区域的温度异常程度，同时也是后续与周边温度进行比较的重要基准。

6.3.5 本条提出红外温度检测系统针对钢桥面铺装层隐性病害的判别标准。根

据调研报告，隐性病害高度与其展现的温差数值关系并不明显；隐性病害面积与其展现的温度数值存在线性关系。但温度数值与铺装层吸收的热量也存在明显的关系，而铺装层吸收的热量无法控制，因而暂时无法通过温差确认隐性病害的面积。

环氧沥青铺装通常采用双层铺装，当完成单层铺装后立即开展隐性病害检测，此时检测效果较为明显，直径为5cm隐性病害的代表性温度与周边临近温度差值为0.7℃。可见当铺装层仅为单层时，可发现较小的隐性病害。当铺装层完成双层铺装后，位于层底直径为20cm隐性病害的代表性温度与周边临近温度差值为0.5℃。可见当铺装层仅为双层时，仅可发现较大的隐性病害。为了最大限度发现隐性病害，避免隐性病害的发展，将单层铺装与双层铺装隐性病害判定标准分别设定为0.7℃与0.5℃。

6.3.6 当采用红外测温仪发现钢桥面温度突变点后，为了验证隐性病害的存在并获取更准确的病害信息，通常需要进行二次确认。针对钢桥面，雷达法和人工敲击法是两种常用的确认手段。

雷达检测技术在钢桥面隐性病害检测中具有独特的优势。它能够穿透钢桥面铺装层，直接检测到钢结构内部的状况，为检测人员提供了直观、准确的病害信息。此外，雷达检测还具有非破坏性、高效性和可重复性等优点，是钢桥面隐性病害检测的重要工具。

虽然人工敲击法在钢桥面隐性病害检测中的应用相对有限，但在某些特定情况下仍具有一定的参考价值。通过专业人员使用特定工具对桥面铺装层上进行敲击，可以根据声音和振动的变化初步判断钢结构内部是否存在鼓包等病害。

6.4 报告编写

6.4.5 钢桥面铺装层的红外温度检测是评估其健康状况、识别隐性病害的重要手段之一。检测结论作为检测工作的总结与成果，应全面、系统地反映检测过程中发现的问题，特别是隐性病害的情况。本条文明确了钢桥面铺装层红外温度检测结论中应包含的隐性病害数据的统计分析内容与改进建议内容，为后续的施工、修复及预防工作提供科学依据。