



T / CECS XXX—2024

中国工程建设标准化协会标准

激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度技术规程

Technical specification for laser scanning method to detect the roughness
of concrete joint surface

(征求意见稿)

中国××出版社

中国工程建设标准化协会标准

激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度技术规程

Technical specification for laser scanning method to detect the roughness
of concrete joint surface

T/CECS xxx—20XX

主编单位：建研院检测中心有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20xx 年 xx 月 x 日

中国××出版社

20xx 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2022 年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2022〕13 号）的要求，编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，在参考国内外成熟科研成果的基础上，制定本规程。

本规程共分 6 章和 2 个附录，主要内容包括：总则、术语、检测仪器、检测技术、数据处理、报告编制等。

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

本规程由中国工程建设标准化协会检测与试验专业委员会归口管理，由建研院检测中心有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给建研院检测中心有限公司（地址：北京市朝阳区北三环东路 30 号，邮编 100013，邮箱 zhangxinjiang@cabr.com.cn）。

主 编 单 位： 建研院检测中心有限公司

参 编 单 位：

主 要 起 草 人：

主 要 审 查 人：

目 次

1 总 则	1
2 术 语	2
3 检测仪器	4
3.1 仪器要求	4
3.2 仪器校准	4
4 检测技术	5
4.1 一般规定	5
4.2 技术要求	5
5 数据处理	7
5.1 一般规定	7
5.2 粗糙度参数计算	7
6 报告编制	9
附录 A 中位基准面坐标变换规则	10
附录 B 记录表	11
用词说明	12
引用标准名录	13
附：条文说明	14

Contents

1	General provisions	1
2	Terms.....	2
3	Inspection instrument.....	4
	3.1 Instrument requirements	4
	3.2 Instrument calibration.....	4
4	Inspection technology	5
	4.1 General requirements.....	5
	4.2 Technical requirements	5
5	Data processing	7
	5.1 General requirements.....	7
	5.2 Roughness parameter calculation	7
6	Report of inspection.....	9
	Appendix A Rule of median datum coordinate transformation	10
	Appendix B Record table	11
	Explanation of wording	12
	List of quoted standards.....	13
	Addition: Explanation of provisions	14

1 总 则

1.0.1 为规范激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度的技术要求，提高检测效率，做到技术先进、数据可靠、经济合理，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于混凝土结合面粗糙度检测。

1.0.3 混凝土结合面粗糙度检测除应符合本规程规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 激光扫描法 **laser scanning method**

激光扫描法测量技术，使用激光光束快速捕捉物体或环境的三维形貌信息。这项技术能够生成被扫描物体或场景的高精度、高分辨率的三维点云数据，从而详细地记录其形状和表面特征。

2.0.2 混凝土结合面 **concrete joint surface**

第二次浇筑混凝土不早于第一次浇筑混凝土的终凝时间，两次浇筑混凝土形成的混凝土内部交接面。参考 T/CECS 1056-2022 P2。

2.0.3 粗糙度 **roughness**

描述混凝土结合面表面凸起或凹陷相对于基准面的起伏程度，包括二维粗糙度和三维粗糙度。

2.0.4 点云 **point cloud**

点云是空间中点的数据集，可以表示三维形状或对象，通常由三维扫描仪获取，点云中每个点的位置都由一组笛卡尔坐标（X，Y，Z）描述。

2.0.5 采集幅面 **smpling window**

混凝土结合面粗糙度检测过程中测量设备单次测量的范围。

2.0.6 分析面 **analysis surface**

对采集幅面进行点云数据重构、数据提取、坐标变换、裁切为特定尺寸，用于粗糙度参数分析的标准面。

2.0.7 基准面 **reference plane**

包括中位基准面和计算基准面，中位基准面由分析面按最优拟合算法得到的，使得所有点云数据到此平面的垂直距离之和最小的平面；计算基准面由中位基准面沿 Z 轴平移至分析面最高点处确定。

2.0.8 轮廓线 **profile**

分析方向所在平面与混凝土结合面基准面垂直相交的交线。

2.0.9 基准线 **reference line**

包括中位基准线和计算基准线，中位基准线根据混凝土轮廓线点云数据采用最优拟合算法得到的，使得所有点云数据到此直线的垂直距离之和最小的直线；计算基准线由中位基准线沿 Z 轴平移至分析面最高点处确定。

3 检测仪器

3.1 仪器要求

3.1.1 激光扫描设备应根据测量目的、测量场景、场地环境、精度要求选取。

3.1.2 混凝土结合面粗糙度检测可选用无标志点的测量方式和有标志点的测量方式，标志规格和布置应满足测量设备要求及测量精度。

3.1.3 激光扫描设备测量精度宜不小于 0.1mm，分辨率不小于 0.01mm。

3.2 仪器校准

3.2.1 每次使用激光扫描设备前应使用标准件对仪器扫描精度进行检验，精度达到本规程第 3.1.3 条的要求方可用于混凝土结合面粗糙度检测。

3.2.2 当遇到下列情况之一时，激光扫描设备应委托计量机构进行校准：

- 1 新仪器启用前；
- 2 超出校准有效期；
- 3 更换主要零件或对仪器进行过调整；
- 4 检测数据异常；
- 5 其他需要校准的情况。

3.2.3 激光扫描设备的校准应符合现行行业标准《基于结构光扫描的光学三维测量系统校准规范》JJF 1951 的有关规定。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 检测前应结合工程现场实际情况制定检测方案，包括工程名称、工程概况、测量范围、测点位置、测量方法、测量设备和预期成果。

4.1.2 检测设备应确保设备在校准有效期内，并处于正常状态。

4.1.3 现场检测时温度、湿度应满足设备要求，应避免外界环境对测量设备的干扰。

4.1.4 激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度的测区应具有代表性，数量和规格应满足工程需求或测试目的。

4.1.5 仪器操作应规范、科学，数据记录应真实、准确，数据应按标准数据格式存档管理。

4.1.6 激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度时，宜提供结合面的三维粗糙度参数或二维粗糙度参数。

4.2 技术要求

4.2.1 激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度可按照下列步骤进行：

- 1 采用设置标志点的方式检测混凝土结合面粗糙度时，首先在待测面粘贴标记点；
- 2 使用标准件标定测量设备；
- 3 设置点云密度等设备参数；
- 4 获取测量范围内混凝土结合面的形貌特征信息。

4.2.2 开始检测前应排查测量工作区安全隐患，确保检测过程中人员、设备安全。

4.2.3 混凝土结合面粗糙度检测前应进行清洁处理，表面不应有遮挡或异物。

4.2.4 开始扫描前应记录混凝土结合面粗糙成型工艺、外观缺陷情况，对结合面状况进行定性评价。

4.2.5 采用设置标志点的方式检测混凝土结合面粗糙度时，测量开始前应在混凝土结合面表面或周围粘贴标志点，标志点间距根据采集幅面及设备性能确定，单幅采集范围内不宜少于 4 个可识别的标志点。

4.2.6 结合面表面如存在镜面反射或反射光偏弱时应采用辅助手段改善其表面反射特性。

4.2.7 现场宜分区域进行采集，单次采集幅面不应小于 100mm×100mm，点密度不宜大于 0.5mm；

4.2.8 当采用标记点进行拼接时，应确保连续两次采集幅面内至少有 3 个可识别的共同标志点。

5 数据处理

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土结合面粗糙度数据处理内容包括数据分析范围选取、点云数据重构、数据提取与处理、结合面粗糙度统计分析四个方面。

5.1.2 混凝土结合面的点云数据重构应根据结合面的形貌特征、分析目的确定分析区域，并利用计算机处理软件对数据进行范围选取、异常点排除、数据去噪、中位基准面变换处理。

5.1.3 混凝土结合面的数据提取与处理、结合面粗糙度统计可从三维数据和二维数据两个方面开展。

5.1.4 混凝土结合面的二维轮廓线宜从重构后的三维点云数据中提取。

5.1.5 混凝土结合面测量得到的点云数据应采用三维笛卡尔坐标系，并使得 X-O-Y 面与中位基准面重合、Z 轴垂直中性基准面。

5.1.6 混凝土结合面数据分析的采样精度应满足混凝土结合面粗糙度计算要求，结合面粗糙度计算的采样间距宜不大于 0.5mm。

5.1.7 不同混凝土结合面的粗糙度对比分析宜采用相同尺寸和相同采样间距。

5.2 粗糙度参数计算

5.2.1 激光扫描法所获取的结合面点云数据可采用中位基准面变换技术将点云数据的中位基准面转换到本规程第 5.1.5 条规定的坐标系，变换技术应按本规程附录 A 的规定执行。

5.2.2 混凝土结合面点云数据宜进行等间距插值。等间距的点云数据可利用剖分算法重构结合面的数字化网格模型并存储。

5.2.3 结合面三维粗糙度统计分析宜选用算数平均深度，即分析面上各点至计算基准面距离的平均值，按下式计算：

$$S_a = \frac{\iint_A |Z(x,y)| dx dy}{A} \quad (5.2.3)$$

式中： S_a ——分析面算数平均深（mm）；

A ——分析面在计算基准面上的投影面积 (mm^2);

x, y ——分析面上各点坐标值。

5.2.4 结合面的二维轮廓线数据处理包括结合面轮廓线的提取、等间距插值和粗糙度参数统计分析。

5.2.5 每个分析面二维轮廓线的数量按下式计算:

$$n = \frac{L}{s} + 1 \quad (5.2.6)$$

式中: L ——垂直于轮廓线方向分析面宽度 (mm);

s ——二维轮廓线的取样间距 (mm);

n ——分析面提取二维轮廓线的数量。

5.2.6 分析面二维轮廓线的取样间距 s 宜不大于垂直于轮廓线方向分析面宽度的 4%。

5.2.7 二维粗糙度的统计分析宜选用轮廓算术平均偏差, 即被测轮廓曲线上所有的点至轮廓计算基准线距离绝对值的平均值。

混凝土结合面的二维粗糙度可采用所有轮廓线粗糙度参数的平均值来表征, 按下列公式确定:

$$R_{ai} = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \quad (5.2.7-1)$$

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{ai} \quad (5.2.7-2)$$

式中: R_{ai} ——每条轮廓线的算术平均偏差 (mm);

R_a ——表示横坐标为 x 时的纵坐标 (mm);

x ——表示轮廓线上任一点的横坐标 (mm);

$y(x)$ ——表示横坐标为 x 时的纵坐标 (mm);

L ——表示轮廓线长度 (mm)。

5.2.8 当混凝土结合面粗糙处理明显不均匀时, 宜划分不同区域分别给出粗糙度结果。当需要给出不同方向粗糙度时, 宜在分析面上提取不同方向的轮廓线, 给出不同方向的粗糙度结果。

6 报告编制

6.0.1 混凝土结合面粗糙度测量完成后应进行成果整理，数据记录宜按本规程附录 B 的规定执行。

6.0.2 检测报告应包括以下内容：

- 1 工程概况；
- 2 检测目的、范围、内容及依据；
- 3 待检构件环境检测条件；
- 4 检测仪器型号、编号；
- 5 混凝土结合面粗糙成型工艺、表观质量记录；
- 6 粗糙度分析及结论；
- 7 归档资料，宜包括现场检测照片、原始点云数据、重构点云数据及相关图表。

附录A 中位基准面坐标变换规则

A.0.1 将点云坐标存入点云数据矩阵，中位基准面变换按下列公式计算，输出矩阵的前三列即为以全局坐标系平面为中位基准面的坐标数据。

$$M = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -a & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.0.1})$$

$$R = \begin{bmatrix} \frac{\sqrt{c^2+1}}{\sqrt{b^2+c^2+1}} & 0 & \frac{b}{\sqrt{b^2+c^2+1}} & 0 \\ -\frac{bc}{\sqrt{(c^2+1)(b^2+c^2+1)}} & \frac{1}{\sqrt{c^2+1}} & \frac{c}{\sqrt{b^2+c^2+1}} & 0 \\ \frac{b}{\sqrt{(c^2+1)(b^2+c^2+1)}} & \frac{1}{\sqrt{c^2+1}} & -\frac{c}{\sqrt{b^2+c^2+1}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.0.2})$$

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_N & y_N & z_N & 1 \end{bmatrix} \quad (\text{A.0.3})$$

$$B = A \times M \times R \quad (\text{A.0.4})$$

式中： M ——平移矩阵；

R ——旋转矩阵；

a, b, c ——中位基准面所在平面方程待定系数；

x, y, z ——分析面点云坐标；

N ——分析面采样点数；

A ——分析面点云数据矩阵；

B ——输出矩阵。

附录B 记录表

表 B 激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度记录表

工程名称		地址		
设备编号		环境温湿度		
检测依据				
成型工艺	<input type="checkbox"/> 冲毛 <input type="checkbox"/> 拉毛 <input type="checkbox"/> 凿毛 <input type="checkbox"/> 自然振捣 <input type="checkbox"/> 其他_____			
外观描述				
构件编号	测区编号	测量方向	粗糙度	
			二维粗糙度	三维

审核人：

记录人：

检测日期： 年 月 日

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”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 规程中指定应按其他有关标准、规范执行时，其写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

本规程引用下列标准。其中，注日期的，仅对该日期对应的版本适用于本规程；不注日期的，其最新版适用于本规程。

《基于结构光扫描的光学三维测量系统校准规范》JJF 1951

中国工程建设标准化协会标准

激光扫描法检测混凝土结合面 粗糙度技术规程

T/CECS ×××—20xx

条 文 说 明

制定说明

本规程制定过程中，编制组广泛的调查研究，总结了我国工程建设领域的实践经验，同时参考了国内外先进技术法规、技术标准等。通过试验取得了关于检测仪器、检测方法及数据处理的支撑成果。

为便于广大技术和管理人员在使用本规程时能正确理解和执行条款规定，《激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条款规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项等进行了说明。本条文说明不具备与标准正文及附录同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1 总 则	17
3 检测仪器	18
3.1 仪器要求.....	18
3.2 仪器校准.....	18
4 检测技术	19
4.1 一般规定.....	19
4.2 技术要求.....	19
5 数据处理	20
5.1 一般规定.....	20
5.2 粗糙度参数计算.....	21
6 报告编制	23

1 总 则

1.0.1 在国家政策的指导下建筑工业化进入新阶段，国内各省装配式混凝土结构得到迅速发展，大量应用叠合构件，而混凝土结合面往往是叠合构件的薄弱面，结合面粗糙处理良好，其力学性能近似整体浇筑，结合面粗糙处理不佳，则等同冷缝。我国装配式混凝土结构发展时间较短，各方面基础研究尚不完善。在蓬勃发展的背景下，预制构件生产和建造过程中蕴含潜在的安全隐患，结合面可能出现的浮浆、油污、渣土、积水等缺陷，这些因素均会直接影响结构构件的可靠性、整体性。此外，检测结果与验收标准不一致也是较为突出的问题。本技术规程的编制目的是提供一种现场检测混凝土结合面粗糙度的非接触式检测方法，填补相关技术领域空白。灌砂法、测深尺法等接触式检测方法，其结合面粗糙度检测主要依赖人工手段，可操作性差、测量精度低、识别结果具有一定主观性，并要求待检面必须保持水平。而激光扫描法作为近年来新兴的检测方法，以其非接触、高精度、高效率、方便快捷、数字化程度高等优势，在工程结构检测领域呈现出越来越广泛的应用前景。因此，为规范激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度的技术要求，提高检测效率，做到技术先进、数据可靠、经济合理，本规程围绕总则、术语和符号、基本规定、检测仪器、检测技术、粗糙度参数计算、检测报告进行描述，以结合面粗糙处理、粗糙度检测、量化评价等方面为规程特点。

1.0.2 本规程适用于新建或既有建筑的混凝土结合面粗糙度检测，包括预制装配领域构件质量的出厂与进场检验、改造加固领域构件质量的检测与评价、道路桥梁领域路面桥面质量控制。

3 检测仪器

3.1 仪器要求

3.1.1 随着 3D 激光扫描法的推广应用，市场上激光扫描设备种类较多，在进行激光扫描时，要根据工程实际需求选择合适的激光扫描设备。

3.2 仪器校准

3.2.1 每次使用激光扫描设备前对仪器扫描精度进行检验是必要的，避免激光扫描设备在存放和运输过程中产生偏差，保证扫描结果的准确性。同时，标准件随着使用次数增多亦会产生误差，建议标准件定期检定或校准。

4 检测技术

4.1 一般规定

4.1.1 检测方案是检测工作的指导性文件，且常常作为检测合同的附件，需与委托方沟通，明确测量范围、测点位置、测量方法、测量设备和预期成果等，避免可能产生的纠纷。检测方案应结合工程现场实际情况，保证检测工作的现场可实施性。

4.1.2 激光扫描设备需要定期送至第三方计量机构进行检定、校准，以保证设备的正常使用状态及检测精度。

4.1.3 激光扫描设备主要为电子设备，通常对环境具有一定要求。应在现场环境满足设备要求时进行检测，以保证检测数据的准确性。外界环境主要包括天气、粉尘、强光、振动、腐蚀性气体或液体等。

4.1.6 粗糙度参数的选择考虑与现行标准的衔接，给出的三维和二维粗糙度参数参考了灌砂法得到的深度参数。

4.2 技术要求

4.2.1 激光扫描标记点是三维扫描过程中的重要标记物，可以反射设备发出的光线，反射的数据被传感器接收后，扫描软件对接收的数据再进行处理。激光扫描法检测混凝土结合面粗糙度时，激光扫描设备的操作应首先按照使用手册进行，并结合检测要求进行现场扫描测试。

4.2.4 在混凝土结合面处产生的孔洞、疏松、缝隙、夹杂、脱空等缺陷，可定性描述缺陷类型、位置、面积等信息。

4.2.7 点云密度设置较小时，扫描效率高，但采集到的数据较为稀疏，无法准确反映被扫描结合面的形貌特征；当点云密度设置较大时，得到的数据密集，能够准确地反映物体的细部特征，但扫描速度慢、花费时间多、后续数据处理工作难度大。因此，测区的选择及点云密度的设置应在满足检测目的和工程需求的情况下，合理选择及设置。

4.2.8 由于激光扫描设备图像质量、扫描角度等多方面原因，有些标志点不能正确识别，因而建议现场扫描时采用尽可能多的标志点。

5 数据处理

5.1 一般规定

5.1.1 混凝土结合面粗糙度数据处理内容包括确定数据分析范围：点云数据重构、数据提取与处理、结合面粗糙度统计分析四个方面。本条规定了混凝土结合面粗糙度数据处理的四个方面：首先，确定数据分析范围，明确研究目标和数据集，确保所收集和分析的数据对于评估混凝土结合面粗糙度来说是相关和充分的；其次，进行点云数据重构，将收集到的原始数据处理和转换成可分析的信息，并对数据进行预处理，包括数据异常点排除、去噪和坐标变换等操作，使其能够有效地用于后续的数据提取和分析；再次，进行数据提取与处理，按规则从重构数据中提取关键信息，确保最终用于分析的数据尽可能地反映实际的物理特征，减少误差和偏差；最后，进行结合面粗糙度的统计分析，量化计算混凝土结合面的粗糙度，定性描述其分布特征等，从而对结合面的质量进行评估。

5.1.2 本条规定了混凝土结合面点云数据重构的处理要点，旨在将原始的点云数据转化为具有分析价值的信息。它要求先根据结合面的特征和分析目标确定分析区域，然后使用计算机软件进行数据处理，包括选择合适的数据范围以确保分析的相关性，排除数据中的异常点以提高数据质量，通过去噪处理减少噪声数据对分析结果的影响，进行中位基准面变换来统一比对规则。

5.1.3 本条规定了混凝土结合面数据提取与处理、结合面粗糙度统计分析的两个维度，这种双维度的分析方法允许从不同的角度和层次对粗糙度进行评估。在三维分析中，可以利用点云数据来构建结合面的完整几何模型，能够直观地观察并测量其表面的不规则性和规律；而在二维分析中，通常选取特定剖面或平面上的轮廓线来分析。两种方法各有优势，三维分析提供了空间上的详尽信息，而二维分析则在某些情况下可以更简便、快速地进行。结合这两种分析手段，可以更精确、全面地评价混凝土结合面的粗糙度，进而对混凝土结合面的性能进行准确评估。

5.1.4 本条规定了混凝土结合面二维轮廓线的提取来源，从重构后的三维点云数据中精准地识别并获取二维轮廓线，对于进行有效的二维粗糙度分析至关重要。通过准确地提取二维轮廓线，分析人员能够详细审视结合面的局部特征，进而对混凝土结

合面的整体质量进行更准确的判断。

5.1.5 本条规定了混凝土结合面点云数据应采用笛卡尔坐标系，并要求 X-O-Y 面与中位基准面重合，且 Z 轴垂直于中性基准面。中位基准面作为测量和评估过程中的关键参考面，对于准确重构结合面的三维形态至关重要，中位基准面的设定确保了分析框架的一致性和标准化，使点云数据能够被高效、准确地处理。

5.1.6 本条规定了混凝土结合面数据分析的采样精度应保证满足粗糙度计算的要求，明确指出结合面粗糙度计算的采样间距应不大于 0.5mm，以确保能够捕获到结合面上的细节变化。较高的采样精度要求，为结合面粗糙度评估提供了可靠的数据支持，有助于提高粗糙度评估的准确性。

5.1.7 本条规定了不同混凝土结合面粗糙度对比分析的原则，采用相同尺寸、采样间距，旨在确保对比分析的一致性。采用统一的取样标准和条件可以避免引入偏差，从而提高不同样本间比较结果的准确性和可靠性。

5.2 粗糙度参数计算

5.2.1 本条规定了将激光扫描法获取的结合面点云数据转换到笛卡尔坐标系所采用的变换方法。遵循附录 A 的具体规定执行，以确保数据转换的准确性和一致性。该技术的应用是为了标准化点云数据处理流程，使得不同的数据集可以在统一的参照框架下进行比较和分析，从而提高混凝土结合面粗糙度评估的准确度和效率。

5.2.2 本条规定了混凝土结合面点云数据宜进行等间距插值，旨在优化数据结构，创建更加均匀和详细的点云布局，提升模型的准确性和真实性。利用剖分算法重构出细致且连续的数字网格模型，可以有效地提高模型的质量，确保后续的粗糙度分析的准确性和可靠性。

5.2.3 本条规定了在进行混凝土结合面三维粗糙度统计分析时，宜选用算数平均深度 Sa 作为衡量标准。基于灌砂法的原理，该参数通过计算分析面上各点到计算基准面的平均距离来评估粗糙度，计算过程见公式（5.2.3）。

5.2.4 本条规定了在处理混凝土结合面的二维轮廓线数据时，必须经过结合面轮廓线提取、等间距插值以及粗糙度参数统计分析等步骤，以确保数据处理的一致性和准确性。提供了一种从二维视角深入理解和评估混凝土结合面粗糙度的科学手段。

5.2.5 本条规定了每个分析面二维轮廓线的数量要求，通过考虑垂直于轮廓线方向分

析面宽度和二维轮廓线的取样间距这两个因素，确保了每个分析面二维轮廓线数量的一致性。

5.2.6 本条规定了分析面二维轮廓线的取样间距与垂直于轮廓线方向分析面宽度的关系。通过对取样间距和分析面宽度之间关系的严格控制，能够有效保证数据的饱和度，避免分析面二维轮廓线过于稀薄。

5.2.7 本条规定了在进行混凝土结合面二维粗糙度统计分析时，宜选用轮廓算术平均偏差 R_a 作为衡量标准。基于灌砂法的思想，该参数通过计算被测轮廓曲线上所有的点至轮廓计算基准线距离绝对值的平均值来评估粗糙度，首先得到每条轮廓线的算术平均偏差 R_{ai} ，计算过程见公式（5.2.7-1），再采用所有轮廓线粗糙度参数的平均值来表征混凝土结合面的二维粗糙度 R_a ，见公式（5.2.7-2）。

5.2.8 本条规定了在某些特殊情况下宜采取的措施，以保证更准确地反映结合面的真实状况。当混凝土结合面粗糙处理明显不均匀时，宜划分不同区域，分别评估各区域的粗糙度；当有必要分析不同方向粗糙度时，宜在分析面上提取不同方向的轮廓线，给出各个方向的粗糙度结果。

6 报告编制

6.0.1 本条规定强调，在完成混凝土结合面粗糙度的测量后，必须对数据进行系统化的整理，并严格按照附录 C 的规定格式记录，以确保数据的标准化管理，有助于提升数据处理的效率和准确性。

6.0.2 本条规定了检测报告应当详细包含工程概况、检测目的与范围、检测内容与依据、环境与天气条件、检测仪器、混凝土结合面成型工艺、粗糙度分析及结论，并要求归档资料完整。这种全面而详细的报告格式有助于确保信息的准确传达。