

ICS 93.080.01

CCS P 66

团 体 标 准

T/JSJTQX 64—2024

公路路基智能施工 路基整平 技术规程

Technical specification for intelligent construction and leveling of
highway subgrade

2024-12-31 发布

2025-01-01 实施

江苏省交通企业协会 发布

目 次

前 言	II
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语和定义.....	1
4 符号.....	2
5 基本规定.....	2
6 系统组成.....	3
6.1 车载控制系统.....	3
6.2 三维位置定位系统.....	3
6.3 3D平地机辅助软件.....	4
7 设备安装、校准.....	4
7.1 设备安装.....	4
7.2 设备校准.....	4
8 施工流程.....	5
8.1 一般要求.....	5
8.2 整平.....	5
8.3 碾压.....	6
9 质量检验.....	6
9.1 质量要求.....	6
9.2 质量检验.....	7
附 录 A（资料性） 3D平地施工稳定性分析	8
A.1 纵断高程稳定性分析（理论值和检测数据验证）	8
A.2 厚度稳定性分析.....	8
A.3 横坡度稳定性分析.....	9
A.4 平整度稳定性分析.....	10
附 录 B（资料性附录） 3D平地质量报告	11

前 言

本文件按照《标准化工作导则第1部分：标准化文件的结构和起草规则》GB/T 1.1-2020给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由江苏省交通企业协会提出并归口。

本文件起草单位：江苏森淼工程质量检测有限公司、镇江市公路事业发展中心、中交一公局第五工程有限公司、四川公路桥梁建设集团有限公司、中交第一航务工程局有限公司、江苏华通工程技术有限公司、江苏省建筑垃圾循环利用工程研究中心、江苏路通装配科技有限公司、中交一公局第二工程有限公司、中铁二十四局集团有限公司、江苏镇江路桥工程有限公司、江苏科技大学、北京中元浩业科技有限公司、溧阳市交通工程建设事业发展中心、常州市交通运输综合行政执法支队、常州交通建设管理有限公司、华设设计集团股份有限公司。

本文件主要起草人：张世强、陈燕飞、申振森、张贻能、吕泰达、吉祥、杜志、毛安静、张磊、包旭、徐德民、崔振华、刘云峰、李小民、程学文、倪刚刚、施亮、冯育恺、韦立、魏昌伟、卢嘉豪、苏雷成、朱志光、贾世虎、祁敏、王媛婕、张惠闵、梁心普、陈光林、俞科峰、陈云平、韩辉、杨铁民、朱乾震、路星、范远程、潘永贵、夏婧、徐正、王晖、詹其伟、吕凡任、王芮文。

本文件由江苏省交通技师学院副教授陈燕飞、常州市交通运输综合行政执法支队高级工程师徐德民、包旭、江苏大学、南京工业大学研究生校外导师、研究员级高级工程师王芮文、江苏省建筑垃圾循环利用工程研究中心、扬州市职业大学教授吕凡任主审。

公路路基智能施工 路基整平技术规程

1 范围

本文件规定了高等级公路路基智能施工-路基整平技术的基本规定、系统组成、设备安装与校准、施工流程、质量检验等内容。

本文件适用于高等级公路路基智能施工和过程控制，其它等级的公路工程可参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB / T 18316 数字测绘产品检查验收规定和质量评定

GB 50026-2020 工程测量标准

GB 50606-2010 智能建筑工程施工标准

JTG 3450 公路路基路面现场测试规程

JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

JTG F80/1 公路工程质量检验评定标准 第一册 土建工程

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能施工 Intelligent construction

指利用先进的信息技术、通信技术、自动化技术和智能化设备，对施工过程进行全面的监控、管理和优化，以提高施工效率、保障施工安全和质量的施工方式。

3.2

铲刀传感器 Blade sensor

安装在 3D 平地机上，测量桅杆/铲斗的倾斜，结合车身数据补偿桅杆倾斜造成的作业误差，以提高作业精度的传感器。

3.3

360° 棱镜 360 ° Prism

是一种基于棱镜的光学设计方法。它通过将光线反射和折射的特性应用于 360 度全方位的视觉显示，从而实现无死角的图像展示。

3.4

测量机器人 Measurement robot

架设在施工路基段落附近，捕获 360° 棱镜三维坐标，用于引导 3D 平地机自动控制系统现场施工的设备。

3.5

旋转传感器 Rotation sensor

安装在 3D 平地机上，通过内部电位计跟踪平地机铲刀的旋转角度，然后通过数据链路将数据转发到接线盒、支架和控制面板，补偿铲刀旋转角度对横坡的影响，保证了对切削刀的精确测量角度的传感器。

4 符号

下列符号适用于本文件。

$\sigma_{\Delta g}$: 纵断高程差值标准差；

Δg_i : 每一检测断面的实测纵断高程与设计纵断高程差值，单位 mm；

$\overline{\Delta g}$: 检测断面的实测纵断高程与设计纵断高程差值的平均值，单位 mm；

$[\sigma_{\Delta g}]$: 纵断高程差值标准差允许值；

$\sigma_{\Delta h}$: 厚度差值标准差；

Δh_i : 每一检测点的实测厚度与设计厚度差值，单位 mm；

$\overline{\Delta h}$: 检测点的实测厚度与设计厚度差值的平均值，单位 mm；

$[\sigma_{\Delta h}]$: 厚度标准差允许值；

$\sigma_{\Delta p}$: 路拱横坡度差值标准差；

Δp_i : 每一检测断面的实测路拱横坡度与设计路拱横坡度差值，单位 mm；

$\overline{\Delta p}$: 检测断面的实测路拱横坡度与设计路拱横坡度差值的平均值，单位 mm；

$[\sigma_{\Delta p}]$: 路拱横坡度标准差允许值；

\bar{r} : 检测单元平整度均值，单位 mm；

$[\bar{r}]$: 平整度均值允许值。

5 基本规定

5.1 使用 3D 平地机施工应结合项目所在区域地形地貌、公路等级、施工方案、施工机械组合等具体情况，选择代表性路段，通过试验段工程，对使用自动平地机的检测值与常规质量验收指标进行相关性校

验，确定 3D 平地过程质量控制参数。

5.2 3D 平地工艺按 JTG/T 3610 执行，平地、碾压质量检测按 JTG F80/1 执行。

5.3 3D 平地施工技术人员应经过专业培训，做到规范操作。

5.4 3D 平地机的具体安装位置与连接方式宜根据不同平地机类型做合理调整。

5.5 3D 平地机不宜在雾天、雨天使用。

5.6 3D 平地机不宜在旁边有高压线、变电站等强电磁场环境下使用。

5.7 3D 平地系统的量测及控制器件在使用前应进行检查并校准。

5.8 应根据平地工况配套足够的 3D 平地系统，对重要的、易损坏的 3D 平地器件应配备一定量的备件，器件应方便安装、更换。

6 系统组成

6.1 车载控制系统

6.1.1 3D 平地机车载控制系统由主控制箱、旋转传感器、倾斜传感器、铲刀传感器等组成。

6.1.2 本技术规定的主施工设备为自动平地机。

6.1.3 用于 3D 平地机的主控制器应满足以下要求：

- a) 防护等级 IP66 以上；
- b) 具有高亮度、高分辨率显示功能，能在背光及强光条件下清晰显示，实时多任务处理操作系统；
- c) 允许电压波动在 $\pm 10\%$ 以内；
- d) 串口应能适应不同平地机串口接入标准，并具有可写入功能。

6.1.4 用于 3D 平地机的旋转传感器、倾斜传感器、铲刀传感器应满足如下要求：

- a) 防护等级 IP65 以上；
- b) 量程范围不小于 $\pm 10^\circ$ ，分辨率不低于 0.02%，零点稳定性不低于 0.2%，线性度幅度在 $\pm 0.2\%$ 以内；
- c) 防震级别应满足平地机振动状态下的测量精度要求。

6.2 三维位置定位系统

6.2.1 测量机器人应满足如下要求：

- a) 使用 3D 平地机施工时，测量机器人不应少于 1 台；
- b) 测量机器人应内置马达，并具有抗高温和耐磨损要求，换面速度快而稳定；
- c) 测量机器人测角精度不低于 $2''$ ，测距范围不小于 1500m，测距精度 $2\text{mm}+2\text{ppm}$ 以内，导向光工作范围 150m 以上；
- d) 测量机器人具有 RS232、蓝牙和 USB 等多种接口。

6.2.2 360° 棱镜应安装在平地机最高处桅杆上，且应满足如下要求：

- a) 棱镜保证不变形，能正确反射不同方向入射的光信号，满足动态测量要求；

- b) 水平方向可反射入射角范围 $0\sim 360^\circ$ ，垂直方向可反射入射角范围 $-50^\circ \sim +50^\circ$ ；
- c) 纵横方向的定位精度在 5mm 以内；
- d) 自动识别和锁定状态的测程不小于 600m。

6.3 3D平地机辅助软件

- 6.3.1 具有录入设计数据、里程桩坐标、CAD 制图数据的功能，应能进行 3D 建模，并输出里程桩坐标文件、施工线形文件、施工模型文件及检测模型文件。
- 6.3.2 应能够对量测信息实时采集、处理、分析，将实测高程与设计高程比对，生成高程修正信息并传输至平地机主控系统。
- 6.3.3 软件系统应能进行现场施工管理、现场测量放样工作、现场检测及其工程机械施工引导和控制；软件系统应包含测量、放样、草图、体积计算、机械控制校准等实用工具。
- 6.3.4 应能够记录、储存施工参数信息，生成平地质量报告。

7 设备安装、校准

7.1 设备安装

- 7.1.1 3D 平地自动控制系统车载设备至少配置主控制器、控制手柄、 360° 棱镜、横坡传感器、旋转传感器、桅杆坡度传感器、车载电台、接线盒以及连接线缆。



图 1 3D 平地自动控制系统车载设备组成示意图

- 7.1.2 主控制器固定在驾驶室内安装的基座上。
- 7.1.3 360° 棱镜应具有坚固的设计，并可在恶劣的工况下正常使用； 360° 设计确保正确追踪任意水平方向；可用螺丝孔和螺丝两种方式安装在桅杆上。
- 7.1.4 旋转传感器、倾斜传感器、铲刀传感器安装在平地机铲刀上，方便安装和拆卸。

7.2 设备校准

- 7.2.1 设备安装完成后，应进行现场校准。
- 7.2.2 对安装的传感器精度进行校准。
- 7.2.3 对主控制器、软件功能进行测试。

- 7.2.4 对通信设备进行发射和接受测试。
- 7.2.5 对量测系统进行测试。
- 7.2.6 对设备整体灵敏度、系统响应速度、软硬件兼容等进行测试。

8 施工流程

8.1 一般要求

- 8.1.1 路基施工工艺流程：下承层准备、打格、推土机粗平、稳压、平地机精平、碾压。
- 8.1.2 路床摊铺厚度应根据路基每层压实厚度（根据压实试验数据）进行确定。
- 8.1.3 试验路段应选择地质条件、路基断面型式等具有代表性的地段，长度宜不小于 200m；纵断高程、厚度、横坡、平整度标准差允许值可采用试验段数据。
- 8.1.4 推土机摊铺完成后，应按每 20 米划分 1 个断面，每个断面应取不少于 3 个点进行路基底部的标高数据采集。
- 8.1.5 对曲线和超高路段，推土机摊铺完成后，段落应根据实际情况进行加密划分，宜每 5 米划分 1 个断面，每个断面应取不少于 3 个点进行路基底部的标高数据采集。

8.2 整平

- 8.2.1 利用专用制作软件，将工程设计数据转换成三维数字电子图文件，将文件分别导入安装在平地机上的主控制器和测量机器人。
- 8.2.2 根据路基底部的测量数据及设计数据，利用 3D 平地辅助软件进行三维建模，生成里程桩坐标文件、施工线形文件、施工模型文件和检测模型文件。
- 8.2.3 3D 平地机进行校准后，将获取的平地机标识性部位数据输入主控制器，作为平地机几何尺寸保存在主控制器中。
- 8.2.4 将里程桩坐标文件、施工线形文件、施工模型文件导入测量机器人和主控制器，将检测模型文件导入检测机器人。
- 8.2.5 检查测量机器人与 360° 棱镜间的通视性，为避免施工干扰和减少换站次数，检测机器人与 360° 棱镜间的距离宜控制在 350m 以内。
- 8.2.6 开始平地作业前进行 3D 平地系统核查，设备参数应符合 6.1~6.3 条规定要求。
- 8.2.7 开启主控制器，打开模型数据文件，将测量机器人切换至机械控制模式，自动跟踪棱镜。
- 8.2.8 平地机行进 1~2 次平地后，进行平地数据校验，轮胎压路机快速全宽静压一遍稳压，当平地精度达到规定要求后进入自动平地控制。
- 8.2.9 进行下一层平地施工前，应检查并确认路床、路基本层的碾压质量，在碾压质量符合要求时方可进行 3D 平地施工。

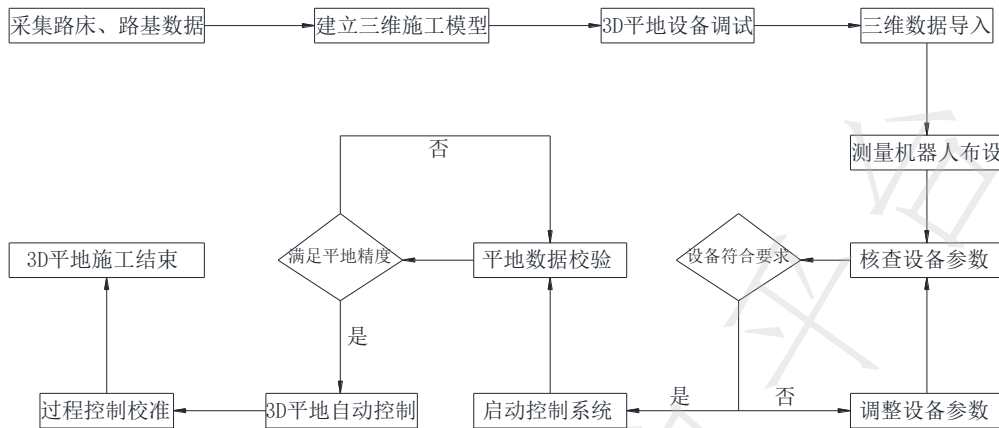


图2 高等级公路路基3D平地施工控制示意图

8.2.10 3D平地机自动整平作业时应注意以下要求：

a) 3D平地机及控制参数应与试验段所确定的参数保持一致；

b) 平地机操作员将根据设计填筑面的顶部高程，选择垂直偏移量；在设置垂直偏移量时，为确保完工后路面（经平地机精平、振动碾压后的填筑层）顶部高程满足设计标高，操作员要根据填筑料的松铺系数，适当将垂直偏移量进行调整（一般以减小2cm~5cm为宜），对填筑料的压实沉降值进行补偿；

c) 垂直偏移量设置完成后，由操作员驾驶平地机平行于道路轴线方向向前行走，平地机控制系统根据铲刀传感器接收到的信息以及车身传感器等计算出铲刀的实际位置，与设计值进行比较，然后根据校正信息控制平地机铲刀的液压装置，对铲刀进行调节，进而对道路填筑面进行自动精平；

d) 当平地机在填筑表面左右高程满足设计要求并稳定后需要对系统的高程和横坡传感器进行校准，校准完成后系统开始在自动模式的状态下进行平地作业。

8.3 碾压

8.3.1 路床填筑，每层最大压实厚度宜不大于300mm，顶面最后一层压实厚度应不小于100mm。

8.3.2 路基压实应先选取段落进行试验，确定压实工艺主要参数：机械组合、压实机械规格、松铺厚度、碾压遍数、碾压速度最佳含水率及碾压时含水率范围等。确定碾压施工工艺、质量控制标准等。

8.3.3 碾压施工过程参照JTG/T 3610进行。

9 质量检验

9.1 质量要求

9.1.1 整平作业完成后应及时采集已平地路段数据，进行平地质量检测与验证。

9.1.2 整平质量检验评定除应符合本文件的规定外，尚应符合JTG F80/1-2017的规定。

9.1.3 整平、碾压质量检测方法及具体操作按JTG/T 3610执行。

9.1.4 分段整平施工时，每段平地路基均需进行整平质量检测，最终整平质量检测数据应为施工路段范围内的全部检测数据。

9.1.5 检测过程中发现质量缺陷时，应加大检测频率，必要时采取适当处理措施进行补救。

9.1.6 所有检测数据、汇总表格、质量报告应如实记录并保存。

9.1.7 对采取过补救措施的部位要在检测报告中标明，不应隐匿。

9.2 质量检验

9.2.1 整平、碾压质量检测完成后对其质量进行稳定性分析，采用检测数据进行平地、碾压稳定性分析，绘制质量差值分布图，参见附录 A。

9.2.2 绘制纵断高程、厚度及横坡度与设计值之间的差值分布图，并计算标准差，进行纵断高程、厚度、横坡度稳定性分析。

9.2.3 绘制平整度分布图，并计算平均值，进行平整度稳定性分析。

9.2.4 整平、碾压质量报告应全面反映各种质量信息，包括工程信息、平地信息、质量检测信息及稳定性分析信息，见附录 B。

附录 A
(资料性)
3D 平地施工稳定性分析

A.1 纵断高程稳定性分析（理论值和检测数据验证）

纵断高程稳定性应根据整平、碾压后路面纵断高程与设计高程之间的差值进行判定，绘制纵断高程差值分布图，按公式（A.1）计算出的标准差应小于规定允许值。

$$\sigma_{\Delta g} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta g_i - \overline{\Delta g})^2} \leq [\sigma_{\Delta g}] \dots\dots\dots (A.1)$$

其中：

$\sigma_{\Delta g}$ ：纵断高程差值标准差；

Δg_i ：每一检测断面的实测纵断高程与设计纵断高程差值，单位 mm；

$\overline{\Delta g}$ ：检测断面的实测纵断高程与设计纵断高程差值的平均值，单位 mm；

$[\sigma_{\Delta g}]$ ：纵断高程差值标准差允许值；

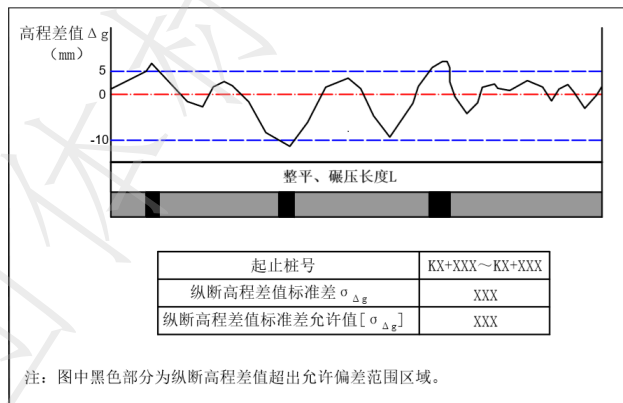


图 A.1 纵断高程稳定性分析示意图

A.2 厚度稳定性分析

经平地施工并碾压后厚度稳定性应将实测厚度与设计厚度比较后进行判定，绘制厚度差值分布图，按公式（A.2）计算出的标准差应小于规定允许值。

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta h_i - \overline{\Delta h})^2} \leq [\sigma_{\Delta h}] \dots\dots\dots (A.2)$$

其中：

$\sigma_{\Delta h}$ ：厚度差值标准差；

Δh_i : 每一检测点的实测厚度与设计厚度差值, 单位 mm;

$\overline{\Delta h}$: 检测点的实测厚度与设计厚度差值的平均值, 单位 mm;

$[\sigma_{\Delta h}]$: 厚度标准差允许值;

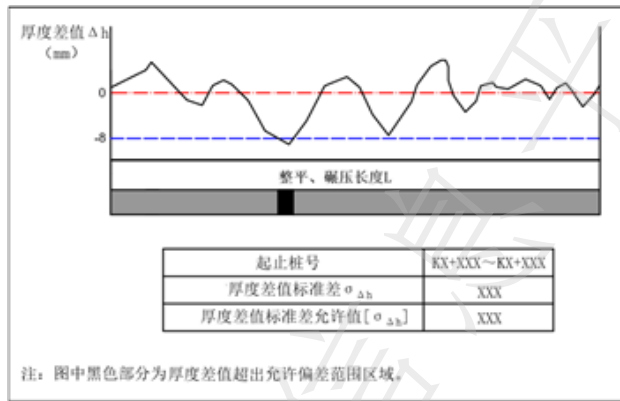


图 A.2 厚度稳定性分析示意图

A.3 横坡度稳定性分析

横坡度稳定性应将实测横坡度与设计横坡度比较后进行判定, 绘制横坡度差值分布图, 按公式 (A.3) 计算出的标准差应小于规定允许值。

$$\sigma_{\Delta p} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\Delta p_i - \overline{\Delta p})^2} \leq [\sigma_{\Delta p}] \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

其中:

$\sigma_{\Delta p}$: 路拱横坡度差值标准差;

Δp_i : 每一检测断面的实测路拱横坡度与设计路拱横坡度差值, 单位 mm;

$\overline{\Delta p}$: 检测断面的实测路拱横坡度与设计路拱横坡度差值的平均值, 单位 mm;

$[\sigma_{\Delta p}]$: 路拱横坡度标准差允许值;

$[\bar{r}]$: 平整度均值允许值。

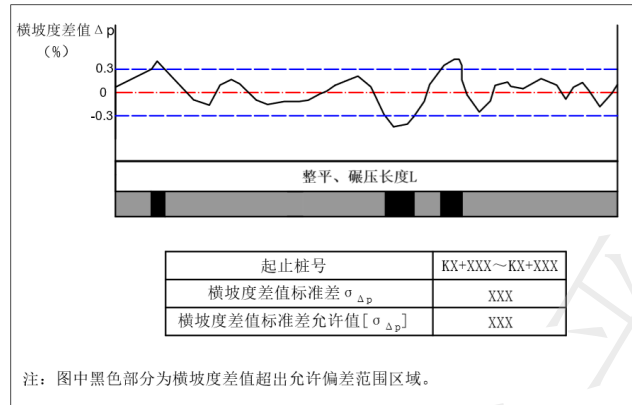


图 A.3 横坡度稳定性分析示意图

A.4 平整度稳定性分析

平整度稳定性分析应根据检测断面平整度均值判定，绘制平整度分布图，检测单元的平整度均值应小于规定允许值。

$$\bar{r} \leq [\bar{r}] \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

其中： \bar{r} ：检测单元平整度均值，单位 mm；

$[\bar{r}]$ ：检测单元平整度允许值，单位 mm；

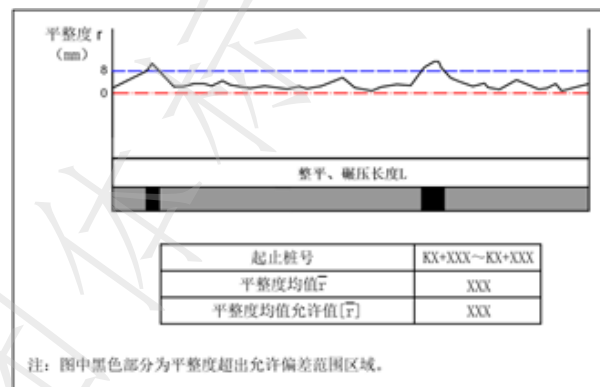


图 A.4 平整度稳定性分析示意图

附 录 B
(资料性附录)
3D 平地质量报告

表 B.1 平地质量报告

单位名称:

文件编号:

平地质量报告					
工程 信息	项目名称				
	施工日期 (X年X月X日)		天气 (℃)		
	起始桩号 (KX+XXX)		终止桩号 (KX+XXX)		
	平地层位		平地长度 (mm)		
	平地宽度 (mm)		碾压厚度 (mm)		
平地 信息	平地机台数 (X台)		平地时间 (s)		
	平地次数 (次)				
平地、碾压 质量 检测 信息	检测项目		检测数量 (个)	允许偏差 (mm)	合格率 (%)
	(1)	纵断高程			
	(2)	碾压厚度			
	(3)	横坡度			
	(4)	平整度			
平地、碾压 稳定 性分 析信 息	检测项目		检测数量 (个)	规定允许 (mm)	标准差 (mm)
	(1)	纵断高程稳定性			
	(2)	碾压厚度稳定性			
	(3)	横坡度稳定性			
	(4)	平整度稳定性			
备注					
填表:		复核:	日期:		