ICS 93.080.01
CCS P 66

T/CS

团 体 标 准

T/CS XXX—2026

沥青路面养护设备协同作业技术要求

Technical requirements for collaborative operation of asphalt pavement maintenance equipment

（征求意见稿）

2026 - XX - XX 发布　　2026 - XX - XX 实施

中国商品学会　　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 缩略语 2
5 协同作业总体要求 2
6 设备状态与作业前确认 2
7 协同作业编队与时空基准 3
8 信息交互与指令协同 4
9 工艺参数协同控制 5
10 安全与环保协同要求 6
11 协同作业质量验证与可追溯性 6

前　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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。

本文件由乌审旗交通运输局提出。

本文件由中国商品学会归口。

本文件起草单位：乌审旗交通运输局、阿拉善盟伟通工程试验检测有限公司、阿拉善盟交通运输事业发展中心、奈曼旗鼎信投资集团有限公司、内蒙古永承建设工程有限公司、内蒙古健坤工程试验检测有限责任公司。

本文件主要起草人：张小军、石燕、黄学伟、刘兵、于光旭、刘卓见。

沥青路面养护设备协同作业技术要求

1 范围

本文件规定了沥青路面养护设备协同作业的总体要求、设备状态与作业前确认、协同作业编队与时空基准、信息交互与指令协同、工艺参数协同控制、安全与环保协同要求、协同作业质量验证与可追溯性。

本文件适用于公路及城市道路沥青路面养护工程中以铣刨、清扫、洒布、摊铺、压实等工序为核心的多设备协同作业。

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 12523 建筑施工噪声排放标准

GB 16297 大气污染物综合排放标准

GB/T 25640 道路施工与养护机械设备 沥青混凝土路面摊铺作业机群智能化 信息交换

GB/T 30574 机械安全 安全防护的实施准则

JB/T 11317 道路施工与养护机械设备 沥青洒布车

JTG 3450 公路路基路面现场测试规程

JTG 5142 公路沥青路面养护技术规范

JTG F40 公路沥青路面施工技术规范

JTG F90 公路工程施工安全技术规范

JTG H30 公路养护安全作业规程

JTG/T 5142-01 公路沥青路面预防养护技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

协同作业 collaborative operation

两台或两台以上养护设备按照统一的时空基准和工艺参数约束，在纵向上保持规定间距、横向上满足作业幅面重叠要求、在时间上保持规定衔接关系，共同完成同一养护施工段落的作业组织方式。

3.2

时空基准 spatiotemporal datum

为协同作业设备提供统一的位置、速度和时刻参照的坐标系统与时间同步机制，包括纵向里程基准、横向车道基准和时间同步误差限值。

3.3

作业窗口 operation window

某一养护工序从设备完成作业前准备、经主控节点确认符合启动条件开始，至该工序因温度、时间或工艺条件不再满足规定要求而应当终止的时间区间。

3.4

指令协同时延 command collaboration latency

从协同控制主节点发出作业控制指令到从节点完成指令接收与校验并反馈确认的时间间隔，不含执行机构动作调整时间。

3.5

压实温度窗口 compaction temperature window

沥青混合料从初压开始至碾压终了所允许的温度区间，由初压开始温度下限、复压最低温度和碾压终了表面温度下限共同界定。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

GNSS：全球导航卫星系统（Global Navigation Satellite System）

PDOP：位置精度因子（Position Dilution of Precision）

RTK：实时动态定位（Real-Time Kinematic）

UWB：超宽带（Ultra-Wide Band）

5 协同作业总体要求

5.1 协同作业组织应编制协同作业方案，方案编制应符合JTG 5142对养护施工组织的相关规定。方案应至少包含：设备清单及角色分配、纵向编队顺序与间距、各工序作业窗口、信息交互接口与频率、异常工况下的退出与恢复程序。

5.2 参与协同作业的各设备应具备统一的时空基准接入能力。开阔路段采用RTK-GNSS差分定位的，水平定位精度应不大于0.1 m，高程定位精度应不大于0.2 m；卫星信号遮挡区域采用UWB或局域差分定位的，水平定位精度应不大于0.05 m。

5.3 各协同设备之间的时间同步误差应不大于50 ms。

5.4 协同作业应由主控节点统一发布工序启动、暂停、终止和参数变更指令。主控节点可由摊铺机、铣刨机或独立设置的协同控制终端承担；主控节点宜由核心工序设备担任：铣刨作业阶段以铣刨机为主控节点，摊铺压实作业阶段以摊铺机为主控节点。

5.5 协同作业前应完成设备兼容性核验：各设备对外数据接口的协议版本、数据元素定义和更新频率应一致；不一致的，应通过协议转换网关进行映射，映射关系应记入协同作业记录。

6 设备状态与作业前确认

6.1 通用要求

6.1.1 各协同设备在进入编队前应完成作业适用性自检，自检结果应以结构化数据形式接入协同控制系统。自检项目至少包括：行走系统、作业装置、计量装置、温度测量装置、通信链路和定位装置。

6.1.2 自检不合格的设备不应编入协同作业序列；修复后应重新执行自检并留存记录。

6.2 计量装置确认

6.2.1 沥青洒布设备的洒布量示值误差应不大于±5%，检定或校准应在作业前30 d内完成，校准记录应随协同作业记录归档。
6.2.2 碎石撒布设备的撒布量示值误差应不大于试验段确定值的±0.5 kg/㎡。碎石撒布量应以试验段试撒结果作为基准值，撒布量检测按JTG 3450规定的方法执行。
6.2.3 摊铺机熨平板加热温度、混合料温度测量装置的示值误差应不大于±5℃，每年至少校准一次。

6.3 温度测量装置确认

6.3.1 用于协同控制的温度传感器（红外测温或接触式测温）在-20℃～250℃量程内的最大允许误差应不大于±3℃，分辨力不低于1℃。
6.3.2 每台协同设备至少配置一个环境温度测量点和一个作业面温度测量点。作业面温度测量点的采样间隔应不大于5 s。

6.4 通信与定位装置确认

6.4.1 设备间通信链路在作业段落全程的丢包率应不大于1%，端到端传输时延应不大于100 ms。
6.4.2 定位装置在作业前应完成固定解状态确认。RTK定位的固定解可用卫星数不应少于8颗，PDOP值不应大于4。

6.5 安全防护装置确认

协同设备的安全防护装置应符合GB/T 30574的规定，作业前应确认急停装置、接近感知装置、声光警示装置功能有效。

7 协同作业编队与时空基准

7.1 编队基本原则

7.1.1 纵向编队顺序应按养护工艺流向确定，前一道工序设备不得对后一道工序设备的作业面形成未完成处理的遗留区。
7.1.2 相邻工序设备之间的纵向间距应同时满足工艺衔接时间要求和安全距离要求。安全距离应符合JTG F90的规定。
7.1.3 同一工序内多台设备并行作业时，应建立横向重叠宽度控制和纵向错位控制，相邻设备纵向错位距离不应小于3 m，避免作业干扰和碰撞风险。

7.2 典型工序编队参数

7.2.1 铣刨—清扫—洒布衔接。

铣刨机与清扫设备之间的纵向间距应根据铣刨料清运节奏确定。清扫设备应在铣刨面暴露后10 min内进入作业，间隔超过10 min时应对已暴露面进行二次清扫确认。

7.2.2 洒布—摊铺衔接。

沥青洒布车与摊铺机之间的纵向间距应控制在5.0～15.0 m。间距小于5.0 m时，摊铺机履带或轮胎存在碾压未破乳粘层沥青的风险；间距大于15.0 m时，在环境温度低于25℃、采用乳化沥青粘层的条件下洒布层温度损失可超过10℃，影响层间粘结。

7.2.3 摊铺—初压衔接。

针对普通道路石油沥青混合料，初压压路机与摊铺机之间的纵向距离应控制在10～30 m，且压路机应在混合料温度降至初压开始温度下限之前进入碾压。当摊铺速度为2～3 m/min、环境温度为15～30℃时，10～30 m的间距对应的时间延迟为3.3～15.0 min，可满足初压开始温度不低于150℃的工艺窗口要求（见9.1）；改性沥青混合料的跟机间距应根据混合料温降速率适当缩小，由协同作业方案明确。

7.2.4　复压与终压衔接。

复压压路机应在初压段落完成后立即跟进，跟进延迟不应超过初压段落全部碾压完毕所需时间的1.2倍。终压设备应在复压段落表面温度降至复压最低温度之前进入。

7.3　时空基准建立与维持

7.3.1 协同作业段落应设置里程桩号基准点和车道横向基准线。各设备的定位坐标应统一转换至以段落起点里程桩号为原点、以车道中线为纵轴的局部坐标系统。

7.3.2 主控节点应以不小于1 Hz的频率广播时空基准校正信息。从节点接收校正信息后应更新本地位姿，更新时延超过200 ms的从节点应标记为“基准失联”并触发降级运行程序：降级运行模式下设备应自动降低作业速度至设定值的50%，并提示操作人员接管控制；基准失联超过10 s的，应按8.3.3的通信中断程序处置。

8　信息交互与指令协同

8.1　交互数据内容

8.1.1 协同设备之间应交换的数据元至少包括：设备标识、时间戳、平面位置、高程、纵向速度、作业装置状态（开/关/调整中）、作业参数设定值、作业参数实测值、温度实测值、报警状态。

8.1.2 数据元的定义、格式和取值范围应遵循GB/T 25640中沥青混凝土路面摊铺作业机群信息交换的规定；GB/T 25640未覆盖的养护专用数据元（如铣刨深度、洒布量设定值、压实遍数计数）应按8.1.3的规定扩展，扩展数据元的命名不应与GB/T 25640已定义数据元冲突。

8.1.3 协同作业交互数据元最低集合应符合表1的规定。

表 1　协同作业交互数据元最低集合

序号	数据元名称	数据类型	单位	说明
1	设备标识	字符串	—	唯一设备编码
2	时间戳	日期时间	ms	统一时钟基准
3	纵向里程	浮点	m	局部坐标，精度 0.01 m
4	横向偏移	浮点	m	相对车道中线
5	纵向速度	浮点	km/h	采样间隔≤1 s
6	作业装置状态	枚举	—	开/关/调整中/故障
7	工艺参数设定值	浮点	按参数	洒布量、摊铺速度、碾压速度等
8	工艺参数实测值	浮点	按参数	与设定值同维度
9	表面温度	浮点	℃	测量不确定度≤±3 ℃
10	碾压遍数计数	整数	遍	分阶段累计
11	报警状态码	枚举	—	按优先级编码
12	指令交互日志	结构化记录	—	指令内容、发出时刻、反馈时刻、执行结果

8.2 交互频率与实时

8.2.1 位置、速度和温度数据的更新频率不应低于1 Hz。作业装置状态和报警状态应在状态变化后200 ms内广播。

8.2.2 工艺参数设定值变更指令的指令协同时延应不大于500 ms，从节点应在收到指令后1 s内反馈接收确认或拒绝原因，执行机构完成参数调整后应反馈最终执行结果；其中安全急停指令的反馈时延应不大于200 ms。

8.3 指令优先级与冲突消解

8.3.1 协同控制指令按优先级从高到低分为：安全急停指令、工序终止指令、工序暂停指令、参数变更指令、状态查询指令。低优先级指令不应覆盖尚未执行的高优先级指令。

8.3.2 当主控节点与从节点对同一工艺参数给出不一致设定值时，应以主控节点最近一次有效指令为准，从节点应在反馈中声明本地原设定值。

8.3.3 通信中断超过3 s时，各从节点应自动转入“安全保持”状态：保持当前作业参数不超过5 s，同时发出声光警示；中断超过10 s的，应按预定程序退出协同编队并停靠至安全区域，停靠过程中不得干扰相邻设备作业，不得在作业面中间停车。

9 工艺参数协同控制

9.1 温度协同控制

9.1.1 热拌沥青混合料协同摊铺压实的压实温度窗口应符合下列规定：

a) 初压开始温度不应低于 150℃；

b) 复压最低温度不应低于 130℃；

c) 碾压终了表面温度不应低于 100℃。

9.1.2 协同控制系统应实时接收摊铺机后方和压路机前方的表面温度数据。当实测温度接近9.1.1中任一温度下限5℃时，应触发预警；降至下限时，应对应工序设备自动暂停或降速，并在协同记录中标记温度事件。

9.1.3 采用改性沥青或高模量沥青时，碾压温度下限应按JTG F40相应混合料类型的规定提高，协同控制阈值应相应重新设定，不得沿用普通沥青的压实温度窗口。

9.2 速度与产量协同控制

9.2.1 摊铺机摊铺速度应与拌和站或供料车的供料能力匹配。摊铺速度的波动范围不应超过设定值的±10%。速度波动超过±10%时，主控节点应调整压路机跟进节奏或供料调度。

9.2.2 压路机碾压速度应满足表2的规定：

表 2 协同碾压速度控制值

碾压阶段	压路机类型	碾压速度/（km·h⁻¹）	最大速度/（km·h⁻¹）
初压	双钢轮压路机	1.5～2.0	3.0
复压	轮胎压路机	3.5～4.5	8.0
复压	双钢轮振动压路机	2.5～3.5	5.0
终压	双钢轮压路机	2.0～3.0	5.0

9.2.3 采用同步封层等预防养护工艺时，作业要求应符合JTG/T 5142-01的规定。洒布车或同步封层车的作业速度应与摊铺机当前速度联动。联动偏差超过设定值的±15%时，洒布设备应自动调整喷洒压力或撒布辊转速，调整后30 s内偏差未恢复至±15%以内的，主控节点应暂停该工序。

9.3 空间参数协同控制

9.3.1 摊铺机摊铺宽度与洒布宽度之间的边缘覆盖偏差不应大于100 mm。
9.3.2 压路机碾压带的横向重叠宽度：双钢轮压路机不应小于200 mm，轮胎压路机不应小于150 mm。碾压带边缘超出摊铺层边缘的距离不应大于100 mm。
9.3.3 梯队摊铺时，两台摊铺机的前后间距应控制在5 m～15 m，摊铺层纵向接缝的重叠宽度应为50 mm～100 mm。前后间距和重叠宽度依据JTG F40对梯队摊铺热接缝的工艺要求确定，5 m～15 m的间距范围同时考虑了混合料在接缝处的温度保持和摊铺机操作空间。

9.4 压实遍数与遍数协同

9.4.1 协同控制系统应分别统计初压、复压、终压的作业面平均有效碾压遍数，并与设定遍数进行比对。各阶段碾压遍数偏差超过±1遍时，应发出提示；超过±2遍时，应暂停该压路机并核查原因。
9.4.2 压实度验证应按JTG 3450规定的方法进行，标准密度应按JTG F40的规定确定。协同作业记录中的碾压遍数、速度、温度数据应与压实度检测结果建立对应关系，作为过程追溯的依据。

10 安全与环保协同要求

10.1 作业区安全协同

10.1.1 协同作业控制区布置应符合JTG F90和JTG H30的规定。控制区的警告区、上游过渡区、缓冲区、作业区、下游过渡区和终止区的长度应根据作业段落限速值确定，夜间或雨雾等低能见度条件下作业时，应按规定延长警告区长度并增设警示标识；各设备在编队中的位置不得使任何设备或人员暴露于未受控制的车流中。
10.1.2 协同编队中任何设备的急停指令应同时触发编队内所有设备的声光警示。主控节点应记录急停触发设备、时刻和编队内各设备的响应状态。
10.1.3 作业过程中，作业人员与移动设备之间的安全距离不应小于2 m。

10.2 噪声协同控制

10.2.1 协同作业场界环境噪声排放应符合GB 12523的规定：昼间不得超过70 dB(A)，夜间不得超过55 dB(A)。
10.2.2 多台设备同时作业时，主控节点应依据各设备噪声声明值估算叠加声压级。当估算值超过场界限值时，应调整设备编队密度或错峰启动高噪声设备。

10.3 沥青烟与扬尘协同控制

10.3.1 沥青烟无组织排放监控应符合GB 16297的规定，生产设备不得有明显无组织排放存在。
10.3.2 铣刨设备和清扫设备应配备或连接除尘装置。铣刨—清扫衔接段落的可见扬尘不应扩散至作业控制区边界之外。
10.3.3 协同作业方案中应明确沥青烟高浓度时段的工序安排：摊铺温度处于上限区间时，应缩短混合料在摊铺机受料斗中的停留时间，压路机应保持规定的跟机距离，减少同一断面上的设备密度。

11 协同作业质量验证与可追溯性

11.1 过程验证节点

11.1.1 协同作业应在下列节点进行过程验证：

a) 编队组成完成、首台设备进入作业段落起点时；
b) 铣刨—清扫—洒布—摊铺—压实各工序衔接点；
c) 作业段落中间检查点（段落长度大于 200 m 时设置）；
d) 协同作业终止时。

11.1.2 每个验证节点应核查：设备在位姿、时空基准状态、温度数据有效性、指令响应时延、报警记录完整性。核查结果应记入协同作业记录。

11.2 协同作业记录

11.2.1 协同控制系统应自动生成协同作业记录，记录内容至少包括：作业段落桩号范围、设备清单与角色、编队参数实际值、各工序起止时刻、温度时间序列、速度时间序列、碾压遍数统计、报警与事件日志、指令交互日志。

11.2.2 记录数据的采样间隔和精度应满足第8章信息交互数据元的要求。属于高速公路、一级公路的养护工程，记录保存期限不应少于工程设计使用年限且不少于10年；其他等级公路养护工程记录保存期限不应少于5年。

11.2.3 协同作业记录应以不可篡改或可校验完整性的形式存储。每一施工班次的记录应生成校验摘要，校验摘要随交工文件归档。

11.3 可证实性要求

11.3.1 对第6章至第10章中任何一项“应”条款的符合性声明，应以协同作业记录中的相应数据字段为证据。无对应记录数据的条款，不应声称符合。

11.3.2 温度控制符合性应以初压开始时刻、复压最低温度时刻和碾压终了时刻的实测表面温度数据为依据，不得以设定值或经验值替代。

11.3.3 编队间距符合性应以不小于1 Hz的纵向位置记录为依据，计算相邻设备在工艺衔接期间的间距统计量（最小值、最大值、均值），判定是否落入规定区间。

11.3.4 信息交互实时性符合性应以指令发出时间戳与从节点反馈时间戳之差为依据，统计指令协同时延的分布，确认95%分位时延不超过规定限值。