

基于质控系统的养护工程过程预警控制与处置对策研究

刘爱华

(江苏高速公路工程养护技术有限公司, 江苏 南京 211106)

摘要: 为了切实提升道路养护施工过程中的施工质量,系统地梳理了江苏省高速公路沥青路面养护工程质控系统中各个环节的预警指标,将指标分为表征指标和关键指标,明确了不同阶段不同指标的优化需求。针对油石比、料车等待时间、停机料等表征指标、有效施工温度和碾压及时性等关键指标,创新性地提出不同指标对应的预警思路。同时,根据预警思路提出依据指标类型配置高、中、低3个预警档次的具体方案,并明确了预警档次的划分原则。

关键词: 道路工程;质控系统;养护施工;预警指标;预警分级

中图分类号: U418;TU997

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)12-0247-05

Research on Early Warning Control and Disposal Countermeasures for Maintenance Engineering Process Based on Quality Control System

LIU Aihua

(Jiangsu Expressway Engineering Maintenance Technology Co., Ltd., Nanjing 211106, China)

Abstract: In order to effectively improve the construction quality during road maintenance, the warning indicators for each link in the quality control system of asphalt pavement maintenance projects on highways in Jiangsu Province were systematically sorted out. The indicators were divided into characterization indicators and key indicators, and the optimization requirements for different indicators at different stages were clarified. Innovative warning strategies have been proposed for key indicators such as oil stone ratio, waiting time for material trucks, downtime, effective construction temperature, and timely compaction. At the same time, a specific plan for configuring high, medium, and low warning levels based on indicator types was proposed according to the warning concept, and the principles for dividing warning levels were clarified.

Keywords: road engineering; quality control system; maintenance construction; early warning indicators; warning level classification

0 引言

随着国民经济社会的不断发展,我国高速公路总里程已达17.7万km^[1],公路基础设施建设已实现全国路网互联互通,当前行业发展重心逐步从新建向养护过渡^[2-4]。在重载交通和极端气候的双重影响下,沥青路面出现车辙、裂缝等病害的周期显著缩短,随之而来的是高速公路的养护需求激增^[5-7]。高速公路养护工程中的施工质量,会显著地影响公路后期的使用性能和寿命^[8-10]。养护施工过程中的许多环节都会影响施工的质量^[11-14]。吴澄^[15]阐述了高速公路日常养护工程的施工内容,指出当前高速公

路日常养护工程施工质量控制中存在的问题主要有施工管理机制落后、施工要素质量管控不严格等。白浩^[16]研究认为,公路养护工程是确保道路持续安全、畅通的关键环节,其施工质量不仅关乎道路的使用寿命,还直接影响到道路行车的安全。每一个施工细节都可能成为影响道路质量的因素。

因此,为了提高道路施工质量,有必要对养护施工过程中的过程质量控制指标进行预警,基于指标重要程度、对象类型、预警频次等进行分级预警体系研究,明确现场预警反馈闭环机制,实现“监控—预警—处治—闭合”的闭环质量控制体系。

1 质量过程预警关键指标优化研究

通过调研分析,梳理江苏省高速公路沥青路面养护工程各环节的预警指标,删除了3项非必要基

收稿日期: 2025-05-05

作者简介: 刘爱华(1987—),女,硕士,高级工程师,从事路面养护工作。

础指标,优化了8项基础指标,新增了3项关键指标。其中,基础指标优化的目的是解决频繁预警问题,新增指标的目的是为了提升预警指标的互动性,具体预警指标优化情况如表1所示。

表 1 预警指标提升一览表			
环节	基础预警指标	预警效果分析	措施
拌和	配合比	能够较好地反映生产配比的实际情况	保留
	油石比	该指标为逐盘数据,采用单点超限预警,易造成预警条数过多,交互性差,无法反映部分拌和站油石比虽在合格范围内但油石比稳定性较差的现象	优化
	级配	单盘的级配波动无法反映整车混合料的状况,反而会造成预警频繁	保留
	拌和温度	可间接通过混合料出料温度体现,无需过度预警	删除
	出料温度	与运输温度差异不大,都是为了把控最终到场温度,可不重复预警	删除
	拌和周期	单盘的拌和波动无法反映整车混合料的状况,反而会造成预警频繁	保留
运输	运输时长	目的是为了判断料车摊铺前的等待时间,与料车等待时长指标重复预警	删除
	到场温度	能够较好地反映料车摊铺前的温度变化情况	保留
	现场料车最低数量	传统的料车预警指标与现场人员的互动性和指导性较差	新增
摊铺	料车等待时长	传统的料车预警指标与现场人员的互动性和指导性较差	新增
	停机等料时长	摊铺速度与现场人员的互动性和指导性较差	新增
	摊铺温度	数据量大,单点预警易造成高频预警,	优化
	摊铺速度	现场交互性差	优化
碾压	碾压温度	数据量大,单点预警易造成高频预警,	优化
	碾压遍数	碾压遍数预警存在滞后性,指导性差	优化
	碾压速度	数据量大,单点预警易造成高频预警,	优化
		现场交互性差	

1.1 油石比稳定性优化研究

油石比是影响混合料质量的关键因素。在实际养护项目中,存在拌和站私自将油石比控制在允许范围的下限的情况,虽然满足图纸设计的要求,但不利于成品路面质量的稳定性。因此,仅采用阈值进行过程控制,不利于提升养护工程的质量,亟须对预警逻辑进行升级,加强油石比的过程管控。对拌和站油石比调整前、后的信息化采集数据进行统计,结果如图1和图2所示。

由图1和图2可知,油石比调整前的信息化采集数据为单峰,调整后则出现双峰或多峰状态。因此,在过程控制中,可通过识别每小时的峰值数量进行阶段预警。当算法识别到峰值数量超过“1”时,即进行预警,指导现场管理人员及时调整。

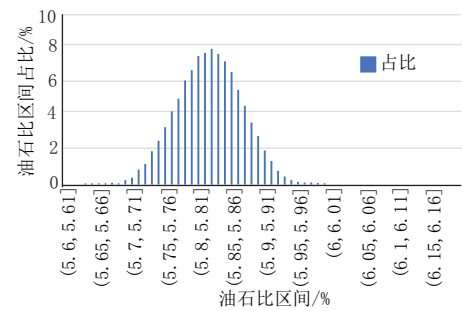


图 1 油石比调整前信息化采集数据统计

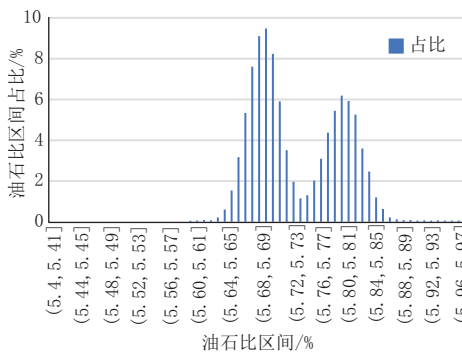


图 2 油石比调整后信息化采集数据统计

1.2 料车等待表征指标研究

分析近年来养护工程开展的情况,可以发现,部分养护工程因施工组织或拌和站距离较远,导致料车摊铺前的等待时间较长,而等待时间过长,会导致混合料老化或料温偏低。因此,需补充摊铺前料车等待时间的预警指标,主动引导现场技术人员合理进行料车调度工作。根据料车等待时间的定义,其计算公式如下:

Td = Tk - Tz (1)

式中: T_d 为料车等待时间; T_k 为开始摊铺的时间; T_z 为装料时间。

如果根据上述公式进行预警,会导致现场管理人员只有在料车摊铺时才能收到预警提示的情况,不具备指导意义。因此,料车等待时间指标应为当前时间至装料时间的时长,计算公式如下:

Nl ≥ 2 (2)

式中: N_l 为料车最低数量,辆。

当剩余料车数量少于2辆时,触发预警,告知现场管理人员及时跟进料车到场情况。

1.3 停机等料表征指标研究

在摊铺过程中,除了混合料本身的温度散失外,停机待料也易导致铺面出现温度离析现象。为了及时帮助现场管理人员管理停机等料现象,引入停机等料表征指标。当摊铺机速度为0时,可以认为摊铺机为停机等料。但短时间的停机等料,对摊铺质量的影响相对较小。因此,需进一步对停机等料过

程中温度的散失情况进行分析,从而得到停机等材料最不利时长。

1.4 有效施工温度指标研究

通过室内成型车辙板成型试验,模拟现场施工,分别按照 170、150、130、120、110、100℃成型 6 组车辙板,每组成型 2 块试件,记录成型前的温度和成型后的温度。成型试件如表 2 所示,试验过程如图 3 所示。

表 2 车辙板成型情况一览表

序号	成型温度/℃	车辙板编号	实际成型温度/℃	
			成型前温度	成型后温度
1	170	A-1	172	150
2		B-1	170	147
3	150	A-2	150	128
4		B-2	151	129
5	130	A-3	131	115
6		B-3	130	115
7	120	A-4	120	101
8		B-4	122	104
9	110	A-5	110	94
10		B-5	110	93
11	100	A-6	100	90
12		B-6	99	90



(a)车辙试验过程



(b)车辙试件

图 3 车辙成型试验

成型后,在不同成型条件下的车辙板试件上开展构造深度试验、渗水检测,以及压实度和空隙率检测试验。

1.4.1 构造深度试验

构造深度试验结果如图 4 所示。

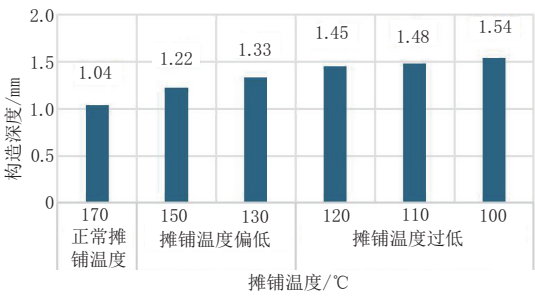


图 4 不同温度下车辙板构造深度检测结果

由图 4 可知,当摊铺温度正常时,车辙板成型的构造深度约为 1.04 mm;当温度低于 130℃时,构造深度偏大,约为 1.3 mm;当温度为 100℃时,构造深

度接近正常温度的 1.5 倍。

1.4.2 渗水检测

渗水系数检测结果如表 3 所示,试验过程如图 5 所示。

表 3 渗水试验结果统计表

序号	成型温度/℃	车辙板编号	检测结果/(mL·min ⁻¹)
1	170	A-1	10
2		B-1	15
3	150	A-2	45
4		B-2	48
5	130	A-3	200
6		B-3	180
7	120	A-4	500
8		B-4	500
9	110	A-5	500
10		B-5	500
11	100	A-6	500
12		B-6	500



图 5 渗水系数试验

由表 3 可知,当摊铺温度不低于 150℃时,渗水系数小于 50 mL/min;当摊铺温度低于 130℃时,渗水系数均不合格。为了进一步验证摊铺温度过低时是否能够通过增强碾压提高其抗渗水能力,提高车辙板成型至 36 次,开展对照试验,结果如表 4 所示。

表 4 渗水试验结果统计表

序号	成型温度/℃	车辙板编号	检测结果/(mL·min ⁻¹)	
			24 次	36 次
1	170	A-1	10	10
2		B-1	15	12
3	150	A-2	45	22
4		B-2	48	40
5	130	A-3	200	44
6		B-3	180	48
7	120	A-4	500	450
8		B-4	500	500
9	110	A-5	500	500
10		B-5	500	500
11	100	A-6	500	500
12		B-6	500	500

根据上述实验结果可知,当温度不低于 130℃时,通过增加碾压次数,能够改善路面的抗渗水能

力;当温度低于 130 ℃时,即使增加碾压遍数,仍然不能较好地提升路面的抗渗性能。

1.4.3 压实度和空隙率检测试验

通过对车辙板取芯开展空隙率检测试验(见图 6),结果如表 5 所示。

由表 5 可知,当温度不低于 130 ℃时,通过增加合理的碾压遍数,马歇尔空隙率和压实度均能够满足设计要求;当温度低于 130 ℃时,虽然压实度仍然



图6 车辙板取芯试验

能够满足设计要求,但空隙率相对偏大,不满足设计要求。

表5 空隙率实验结果统计表

序号	成型温度/℃	干重/g	水中重/g	表干重/g	毛体积密度/(g·cm ⁻³)	理论密度/(g·cm ⁻³)	空隙率	马氏压实度/%	最大理论密度压实度/%
1	170	1 053.1	631.5	1 054.6	2.489	2.596	4.1	100.2	95.9
2	150	940.5	565.4	943.8	2.485	2.596	4.3	100.0	95.7
3	130	1 011.3	607.1	1 016.1	2.473	2.596	4.7	99.5	95.3
4	120	1 036.1	618.5	1 039.4	2.462	2.596	5.2	99.1	94.8
5	110	951.2	569.1	956.4	2.456	2.596	5.4	98.8	94.6
6	100	992.8	590.0	996.0	2.445	2.596	5.8	98.4	94.2

1.5 碾压及时性指标研究

碾压质量控制在高速公路养护工程中占据着至关重要的地位,其主要与碾压温度和碾压遍数紧密相关。仅凭借某一指标来评价碾压质量往往具有局限性,因为碾压过程中的质量不仅仅取决于温度或遍数的合规性,还与两者的协同作用密切相关。因此,针对传统碾压质量控制方法的不足,本研究结合碾压温度与碾压遍数的双控策略,提出了碾压及时性预警指标,旨在通过对这 2 个指标的实时监控和对比,系统、准确地判断当前的碾压质量是否符合要求,从而为施工人员提供更为精确的指导(见图 7)。

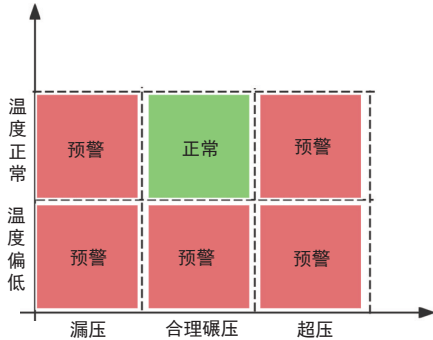


图7 碾压及时性预警原理

2 质量问题预警处置对策与机制研究

2.1 预警指标分级

基于工程经验,明确各指标的预警触发条件,具体如表 6 所示。

为了更好地适应不同项目的管理需要,本研究根据指标类型配置一级、二级、三级 3 个预警档次。

表6 预警触发条件

环节	指标类型	预警触发条件
拌和	配合比	出现 1 盘不合格
	油石比	出现 1 盘不合格
	级配	按照稳定性控制,累计出现 5 次超标
	拌和周期	超过/低于试拌周期的±10%
运输	现场料车最低数量	摊铺机前等待料车数量少于 2 辆料车等待,否则触发预警
	到场温度	出现 1 辆料车温度低于 165 ℃
摊铺	料车等待时长	出现 1 辆料车等待时间超过 4 h
	停机等料时长	停机等料的时间和次数“双控”,当停机时间超过 10 min,或停机次数达到 5 次
	摊铺温度	30 s 内摊铺温度均值超限
	摊铺速度	1 min 内摊铺速度均值超限
	碾压温度	1 min 内碾压温度均值超限
	碾压遍数	每 20 m 一个断面单元的碾压遍数不满足试铺要求
碾压	碾压速度	1 min 内碾压速度均值超限

不同档次的预警等级划分原则如表 7 和图 8 所示。

2.1.1 一级预警

一级预警接收对象为现场技术员、操作手。当所有指标首次触发预警条件时,会发送预警至现场技术员、操作手,并给予响应时间处理预警内容。

2.1.2 二级预警

二级预警接收对象为各单位现场负责人。当一级预警人员未及时响应,或响应后仍然存在该问题,且超过一定次数或时长,则对应指标升级为二级预警。

2.1.3 三级预警

三级预警接收对象为建设单位工程部经理和分管领导。当二级预警人员未及时响应,或响应后仍然无法解决该问题,超过一定频次或时长后,则对应指标升级为三级预警。

表 7 预警 4 大原则

传统预警		预警升级
预警指标选取原则	仅指标和频率	指标、频率、累计次数、响应时间
预警对象分级原则	无对象分级	对象分级:现场技术员(一级)、现场管理(二级)、项目管理(三级)
预警升级原则	指标超标程度	指标、频率、响应时间超标程度
预警响应原则	无响应标准	控制响应时长,提升响应主动性

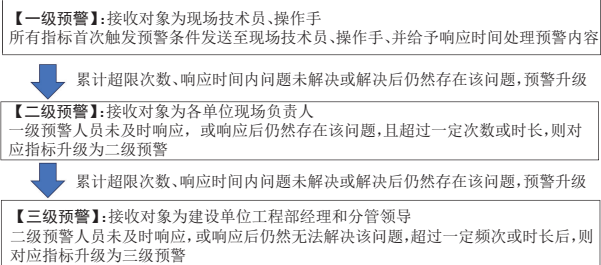


图 8 预警升级机制

2.2 预警交互机制研究

现阶段的预警交互方式主要为微信或短信推送,主动引导力度较弱。本研究重点针对现场联动管理方面进行分析,强调预警信息和一线人员的交互,采用声光、平板、手环、爆闪灯等方式,实现有效的过程控制,如前场料车调度、“压实导航”等。针对不同分工人群,研究多元化的预警推送技术,确保现场工作人员及时接收预警消息。不同人群的预警推送方式如表 8 所示。

表 8 不同人群预警等级与推送方式

预警等级	预警推送对象	推送方式
初级预警	施工单位现场操作手、监理	平板、手环、现场声光设备
中级预警	施工单位现场操作手、监理	平板、手环、现场声光设备
	现场技术人员	微信、短信及 APP
高级预警	施工单位现场操作手、监理	手环、现场声光设备
	现场技术人员	微信、短信及 APP
	道路公司分管领导	微信、短信及 APP

根据不同受众人群,优化预警推送体系,选用及时、醒目的预警通知方式,如手环(见图 9)、现场声光(见图 10)设备等,确保现场问题第一时间得到有效解决。

3 结 语

本文梳理了江苏省高速公路沥青路面养护工程



图 9 预警手环



图 10 声光预警装置

各环节的预警指标,明确过程控制指标需求,提出油石比、料车等待时间、停机等料表征指标、有效施工温度,以及碾压及时性指标预警的研究思路,实现关键指标全覆盖。

为了更好地适应不同项目的管理需要,本文提出根据指标类型配置高、中、低 3 个预警档次,并明确指标预警档次、预警对象,以及预警档次的划分原则。

参考文献:

[1] 谢庆,袁辉,计明军,等.数据驱动下高速公路应急无人机基站选址研究[J].公路,2024,69(12):271-277.

[2] 胡艳萍.高速公路路面养护工程施工质量管理研究[J].工程建设与设计,2024(10):242-244.

[3] 陶广平.公路养护工程施工技术要点及常见问题的治理[J].工程机械与维修,2024(4):50-52.

[4] 宋博.公路养护工程质量管理中存在的问题及对策分析[J].运输经理世界,2023(32):40-42.

[5] 王昆.浅谈普通干线公路日常养护工作要点[J].新疆有色金属,2025,48(2):90-91.

[6] 刘科昌.新时代养护作业控制区安全管理措施研究[J].交通运输部管理干部学院学报,2025,35(1):31-33.

[7] 郭冠卿.公路养护中路面养护及维修探究[J].工程建设与设计,2025(6):187-189.

[8] 张曙光.公路施工中填石路基施工技术的应用[J].工程技术研究,2020,5(3):95-96.

(下转第 252 页)