

CUSUM 与休哈特控制图在路面施工 质量控制中的应用

徐志勇, 张宗兵, 陈 刚, 王 云, 杨雄伟

(云南建投路面工程有限公司, 昆明 650000)

摘要: 沥青路面施工中广泛使用休哈特控制图来进行生产质量控制, 结合实际生产过程的样本检测数据, 将累积和 (CUSUM) 控制图与休哈特控制图中的均值控制图及方差控制图进行对比分析。结果表明: 休哈特控制图对异常波动引起的瞬时的较大均值变异效果显著, 但在持续性的小偏移检出上效果较差; 而累积和控制图对于持续性的小偏移检出力更强, 但无法有效检测非持续性偏移。基于以上结论, 考虑在沥青路面施工质量控制过程中联合应用这两种控制图进行监控分析, 将两种控制图的优势进行融合, 检出效果明显优于其中的一种, 可以尽快发现沥青路面生产过程中的异常波动。

关键词: 道路工程; CUSUM; 休哈特; 统计过程控制 (SPC); 施工质量控制

中图分类号: U414 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-1807(2022)06-0355-06

质量控制是高速公路施工建设目标控制中最重要的组成部分之一。因此如何提高高速公路的工程建设水平, 管控路面施工质量从而防止发生早期破坏已成为当前高速公路建设的重中之重。在高速公路沥青路面施工中, 传统意义上的质量控制是一种事后检验, 即只能对施工完成后的沥青路面进行检测评价, 严重增加了施工生产数据反馈的时间, 大大降低了施工质量管控的及时性和有效性, 造成人力、物力的资源极大浪费。这也促使公路建设行业人员不断地研究施工过程的控制方法, 寻找及时控制和事先预防的措施。

2003 年开始, 国内外研究者开始将施工过程质量控制研究的关键点聚焦在“体系”“过程”与“动态”等方面, 这对应着管理模式的探索、数学知识的运用、数据信息的传递与反馈等实质性研究内。在数学方法上, 除少量应用模糊理论、灰色理论以及可靠度理论等, 应用最多的是基于统计过程控制 (SPC) 的控制图数理统计方法。控制图是对生产过程中产品质量状态进行控制的工具, 是统计过程控制 (SPC) 中最重要的方法^[1-3]。由于它把产品质量控制从事后检验改变为事前预防, 对于保证产品质量、降低生产成本、提高生产效率开辟了广阔的前

景, 因此它在世界各国得到了广泛的应用。

对于路面施工过程控制来说, 有相关学者将改进的 EWMA 控制图用于沥青混合料生产控制^[4], 但研究发现最常见的是利用常规控制图 (休哈特控制图) 对施工过程进行控制^[5]。休哈特控制图主要是利用了最后一个点所包含的过程信息而忽略了整个点子序列的信息, 控制图没有记忆力。休哈特控制图对过程的小偏移不灵敏这一缺点, 在质量要求越来越高的今天逐渐暴露出来: 当样本均值对其目标值偏移大于 1.5 倍标准差时, 休哈特控制图的检出效果很好; 当样本均值对其目标值偏移小于 1.5 倍标准差时, 则检出效果较差^[6-7]。

为此, Page 利用序贯分析的原理提出累积和控制图, 简称 CUSUM 图^[8]。累积和控制图对过程的判断是以历次观测结果的总和为依据, 因此它对信息的利用更充分, 在同样抽样数量下, 对异常求和的反应更灵敏; CUSUM 图对发现过程平均值的微小的、持续的变化特别有用, 但 CUSUM 图对非持续性的异常波动的效果并不好^[9-10]。因而, 累积和控制图也不是十全十美的控制图。近 30 年以来, 许多学者在 CUSUM 图的改进完善与应用方面作了大量的研究^[11-13], 累积和控制图目前已成为国际

收稿日期: 2022-01-25

基金项目: 国家自然科学基金 (51778621)。

作者简介: 徐志勇 (1972—), 男, 云南昆明人, 云南建投路面工程有限公司, 董事长, 高级工程师, 研究方向为项目施工管理、施工技术。

上大力推广的控制生产过程的工具。为了实现对均值“预控”的目的,仅仅只应用休哈特控制图或仅仅只应用累积和控制图,有可能都与实际的过程质量有较大的偏差,如果把两个控制图结合起来考虑却有较好的效果。目前,国内外已有学者研究两种控制图在机械加工生产过程控制中的联合应用效果,通过考虑样本检测分组的一致性,结合合理的参数设置,将两种控制图在同一个图表中绘制出来,其控制效果更加清晰直观,检测效率也更高^[14-18]。

因此,本研究依托云南省元蔓高速玉溪段的高速公路在建项目,根据质量统计控制理论研究沥青路面施工过程的控制图联合应用,分别应用休哈特控制图和累积和控制图研究各自的优势和不足,提出一种联合应用休哈特与累积和控制图的方法,最后在实践中分析施工过程关键指标的动态控制效果,从而检验此控制图在工程实践中的实际应用效果。

1 累积和控制图参数的计算与选取

累积和控制图在使用过程中分列表法和 V 型模板法两类,其结果是一致的,考虑到列表法有利于计算机辅助计算,故本文采用此方法进行计算。

假设沥青混合料生产过程控制指标的质量特征值服从正态分布,则

$$H_0: X_i \sim N(\mu_0, \sigma_0^2), i \geq 1 \leftrightarrow H_1,$$
$$X_i \sim \begin{cases} N(\mu_0, \sigma_0^2), 1 \leq i \leq \tau \\ N(\mu_1, \sigma_1^2), i > \tau \end{cases} \quad (1)$$

式中: $X_1, X_2, \dots, X_i$ (检测指标的每批次检测值) 为独立同分布变量,对应的分布函数为 $F_1(x)$; $X_{\tau+1}, X_{\tau+2} \dots$ 是分布函数为 $F_2(x)$ 的独立同分布变量, $\mu_0 \neq \mu_1$ 且 $\sigma_0 \neq \sigma_1, \tau$ 为正整数(值未定)。若待验假设 H_0 成立,表示混合料生产正常,此种情况下目标是尽可能降低控制图发生错误警报的可能性;若其对立假设 H_1 成立,则表示混合料生产过程失控,此种情况下的目标是控制图能够尽快地检测出偏移,以便尽快发出预警,调整生产。

结合上述采用的 V-mark 决策区间形式,其 CUSUM 控制图通过构建公式来检测第 i 个样本 X_i 是否发生偏移,即

$$C_i^+ = \max\{0, X_i - (\mu_0 + K) + C_{i-1}^+\} \quad (2)$$

$$C_i^- = \max\{0, (\mu_0 - K) - X_i + C_{i-1}^-\} \quad (3)$$

式中: C_i^+ 为第 i 个样本的上单边累积和; C_i^- 为第 i 个样本的下单边累积和,设定初始值为 $C_0^+ = C_0^- = 0$; K 为统计过程中的允许偏差量,用于样本累计和

的计算,也是 V-mark 模板中一侧边界的斜率。若均值由 μ_0 漂移到 $\mu_1 = \mu_0 + t\sigma$,此时希望控制图能及时发生警报,一般取 $K = \frac{t\sigma}{2}$, H 为判定值(判定距)。对于 H 和 K 两个关键参数,计算公式为

$$H = -\frac{\Delta}{\delta^2} \ln \alpha, K = \frac{\Delta}{2} \quad (4)$$

式中: $\delta = \Delta/\sigma_X, \Delta$ 为均值允许偏移值; σ_X 为均值的标准差; α 记为第一类错误的概率。假设 $\alpha = 0.005, \delta = 1$, 则

$$H = 5.3\sigma_X, K = 0.5\sigma_X \quad (5)$$

当 C_i^+ 或者 C_i^- 值超出范围 H 时, CUSUM 控制图就判定混合料生产过程中出现异常,即可判断该施工过程无效。

2 累积和控制图与休哈特控制图的对比

在云南省某高速公路沥青路面施工生产过程中,针对油石比和拌和温度两项指标,检测人员每 2 h 抽取一个样本,每个工作日 10 h 抽取 5 次样本,随机在施工过程中抽取 20 个工作日共 80 批次的样本,分别用休哈特控制图和累积和控制图判断施工过程质量是否受控。

2.1 针对拌和温度的两种控制图对比

表 1 列出了 20 个工作日(每日 5 个检测样本)的沥青混合料生产过程中拌和温度的样本检测数据。

表 1 沥青混合料拌和温度样本采集数据
单位:℃

批次	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	177.5	177.8	178.3	178.5	177.8
2	177.4	178.2	177.6	177.8	177.7
3	177.3	178.2	179.0	178.2	177.1
4	178.2	179.1	177.1	177.4	177.2
5	178.2	178.6	177.1	177.4	177.2
6	177.5	177.8	178.3	178.5	177.8
7	178.2	177.4	177.1	177.4	177.2
8	177.4	178.2	178.6	177.8	176.7
9	177.4	178.2	178.6	177.8	178.7
10	178.2	178.4	177.1	177.4	177.2
11	177.4	178.2	177.6	177.8	177.7
12	177.3	178.5	178.3	177.4	177.2
13	177.5	177.8	178.3	178.5	177.8
14	177.7	177.5	177.4	178.1	177.8
15	177.2	177.0	177.4	177.6	178.0
16	177.5	177.8	178.3	178.5	177.8
17	177.8	177.3	177.1	177.3	177.2
18	177.4	178.2	177.6	177.8	177.7
19	177.5	177.8	178.3	178.5	177.8
20	178.2	177.4	177.7	177.8	177.7

对于沥青混合料拌和温度检测数据,可以看出每个工作日的 5 组样本之间存在细微差别。若采用 5 组样本检测均值作为一个新的样本值,那么 CUSUM 控制图的应用效果会变差。因此,本文研究的 CUSUM 控制图对样本不再进行分组。结合式(4)和式(5)给出的参数计算公式,参考《累积和图——运用累积和技术进行质量控制和数据分析指南》(GB/Z 4887—2006),同时为了与休哈特控制图形成对比,本文选用受控平均链长为 740,参考值系数 k 取值为 0.5,据此得到控制限值系数 $h = 4.77$,则 $K = ke$ (e 为样本数据方差),判定值 $H = 13.72$ 。则由式(2)和式(3)可分别计算出 C_i^+ 和 C_i^- 。同时表 1 的样本数据计算可得: $\bar{X}_{\text{拌和温度}} = 177.78\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\bar{s}_{\text{拌和温度}} = 0.239\text{ }^{\circ}\text{C}$,则休哈特控制图的上限值 $UCL = \bar{X} + 3\bar{s} = 178.445$,下限值 $LCL = \bar{X} - 3\bar{s} = 177.111$,以此绘制出相应的累积和控制图和休哈特控制图,如图 1、图 2 所示。

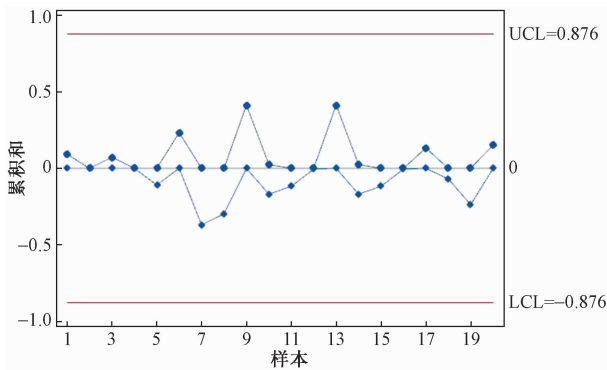


图 1 拌和温度样本检测数据的累积和控制图

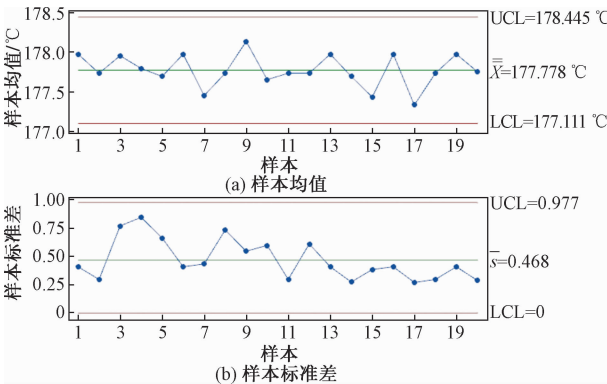


图 2 拌和温度样本检测数据的休哈特控制图

图 1 中第 9、13 个样本的累积和上侧限值偏大,第 7、19 个样本的累积和下侧限值偏大,可以判定施工生产过程中的均值水平发生了异常的增大或减小,但由图 2 可知总体沥青混合料温度的生产过程

属于受控状态,这说明了累积控制图对于样本检测值持续小偏移的检出具有优势。

2.2 针对油石比的两种控制图对比

表 2 列出了 20 个工作日(每日 5 个检测样本)的沥青混合料生产过程中油石比的样本检测数据。

表 2 沥青混合料油石比样本采集数据					%
批次	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
1	4.83	4.90	4.90	4.90	4.83
2	4.90	4.90	4.90	4.90	4.90
3	4.95	4.90	4.88	4.90	4.96
4	4.84	4.89	4.90	4.89	4.88
5	4.96	4.90	4.90	4.83	4.90
6	4.88	4.89	4.90	4.96	4.83
7	4.90	4.90	4.90	4.89	4.90
8	4.8	4.90	4.90	4.82	4.89
9	4.97	4.98	4.90	4.96	4.94
10	4.83	4.90	4.89	4.90	4.89
11	4.89	4.90	4.91	4.89	4.96
12	4.83	4.89	4.95	4.90	4.84
13	4.92	4.84	4.89	4.89	4.90
14	4.86	4.96	4.83	4.89	4.89
15	4.88	4.83	4.89	4.89	4.89
16	4.94	4.83	4.89	4.89	4.89
17	4.86	4.91	4.89	4.89	4.90
18	4.98	4.89	4.90	4.89	4.88
19	4.84	4.83	4.89	4.96	4.90
20	4.95	4.89	4.89	4.83	4.89

同上沥青混合料样本检测数据的处理方法,对于表 2 油石比的样本数据计算可得: $\bar{X}_{\text{油石比}} = 4.893$, $\bar{s}_{\text{油石比}} = 0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$,则休哈特控制图的上限值 $UCL = \bar{X} + 3\bar{s} = 4.941\text{ }^{\circ}\text{C}$,下限值 $LCL = \bar{X} - 3\bar{s} = 4.844\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。同理绘制出相应的累积和控制图和休哈特控制图,如图 3、图 4 所示。

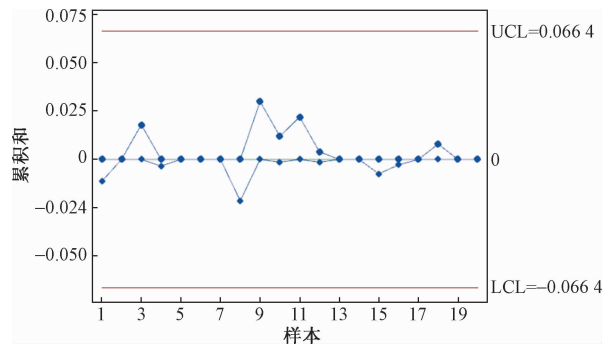


图 3 油石比样本检测数据的累积和控制图

同样图 1 中第 9 个样本的累积和上侧限值偏大,但在休哈特控制图中该样本数据直接被判定为不合格状态,需要采取控制措施。这说明累积和控制图对于非持续性偏移(瞬时偏移)的检测效

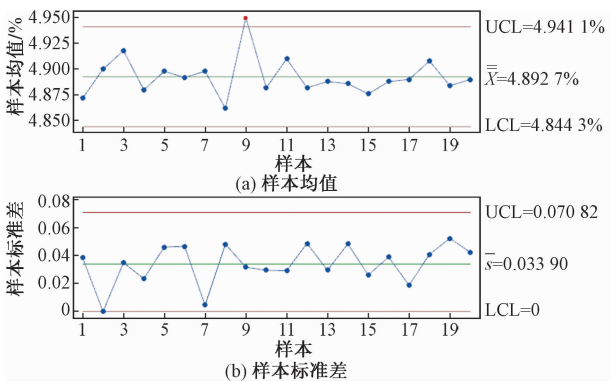


图 4 油石比样本检测数据的休哈特控制图

果并不是很明显,灵敏程度弱于休哈特控制图,这是累积和控制图最典型的局限性。因此同时采用两种控制图来对路面施工生产过程进行质量控制,利用各自的优点进行补足,进一步提高检出效率。

2.3 休哈特-累积和联合控制图应用

联合应用累积和控制图和休哈特控制图的一个重要前提就是确保二者检测样本的分组情况相同。通常分为两种情况:第一种是调整累积和控制图的样本分组使其与休哈特控制图一致;第二种情况则是或者保持休哈特控制图样本为 1(不分组)。由于累积和控制图和休哈特控制图的中心线不同(前者为 0,后者为样本均值),需首先对累积和控制图进行上下平移 $\bar{X}$ 个单位长度,然后则是针对两种控制图分别进行绘制。

本文针对试验路段沥青上、中、下面层 4.75 mm 筛孔通过率指标,采用上文相同的取样方式,联合应用休哈特控制图和累积和控制图两判断施工过程关键质量指标是够受控。表 3~表 5 列出了 20 个工作日(每日 5 个检测样本)的沥青混合料生产过程中、中、下面层 4.75 mm 筛孔通过率的样本检测数据。

表 3 沥青上面层 4.75 mm 筛孔通过率

样本采集数据						%
批次	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
1	17.5	18.1	17.4	17.8	17.3	
2	17.5	17.2	17.7	18.0	18.2	
3	17.5	17.8	17.4	17.6	18.0	
4	17.7	16.3	17.3	17.7	17.9	
5	18.3	17.5	17.6	17.4	17.6	
6	20.1	17.3	16.7	16.2	17.3	
7	17.5	17.4	17.6	17.6	17.5	
8	17.8	17.8	17.9	17.8	17.6	
9	17.8	17.6	17.3	17.4	17.6	
10	17.5	17.6	17.5	17.7	17.5	
11	17.6	17.6	17.7	17.6	17.6	

续表 3

批次	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅
12	17.6	17.6	17.5	18.2	17
13	18.0	17.9	17.4	17.4	17.6
14	18.2	17.7	17.6	18.0	17.2
15	17.3	17.7	18.0	17.1	17.3
16	17.4	17.5	17.6	17.2	17.9
17	18.5	17.4	16.9	18.1	17.2
18	17.8	17.4	17.5	17.2	18.1
19	17.7	17.9	17.8	16.3	17.4
20	16.7	18.7	17.1	17.6	17.2

表 4 沥青中面层 4.75 mm 筛孔通过率

样本采集数据						%
批次	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
1	20.4	19.9	20.2	20.0	20.4	
2	20.3	19.8	20.5	20.1	20.2	
3	19.7	20.4	20.1	20.4	20.5	
4	20.3	19.9	20.4	19.5	20.0	
5	20.4	20.1	19.6	20.5	20.1	
6	20.3	20.1	19.9	20.7	20.1	
7	20.2	21.1	20.7	20.6	20.0	
8	20.8	19.3	19.3	20.7	20.5	
9	19.7	20.5	20.1	18.7	20.5	
10	19.9	19.4	20.9	20.8	20.5	
11	19.8	19.1	20.0	20.9	21.0	
12	20.9	20.2	19.1	21.4	19.6	
13	19.0	19.4	20.4	19.6	20.5	
14	19.9	19.5	18.5	21.4	19.6	
15	20.6	19.3	18.9	20.2	20.6	
16	21.7	21.1	21.6	20.7	20.2	
17	21.1	20.5	20.6	20.2	20.8	
18	20.2	20.6	20.6	20.3	20.1	
19	19.5	20.5	20.7	20.6	20.6	
20	20.8	20.3	20.4	20.7	20.9	

表 5 沥青下面层 4.75 mm 筛孔通过率

样本采集数据						%
批次	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	
1	27.1	28.7	28.8	28.7	28.8	
2	28.4	28.6	27.3	28.9	27.1	
3	28.5	28.4	29.5	28.4	28.5	
4	28.4	28.5	28.4	29.3	28.8	
5	28.2	29.2	28.7	28.3	28.6	
6	28.2	28.5	28.4	28.3	29.0	
7	28.1	28.7	28.1	28.3	28.4	
8	28.1	28.9	28.9	28.4	28.3	
9	28.7	28.3	28.5	29.1	28.3	
10	28.3	28.5	27.7	29.3	27.8	
11	28.4	29.1	28.2	28.4	28.2	
12	28.3	28.2	28.2	28.6	29.6	
13	26.8	28.3	29.3	28.1	28.6	
14	28.6	28.5	28.6	28.0	29.1	
15	29.2	28.4	28.5	28.5	28.4	
16	27.6	27.8	28.8	28.5	28.5	
17	28.1	28.8	29.2	28.1	29.4	
18	28.4	28.2	28.8	28.4	28.1	
19	28.6	28.9	28.5	28.3	28.8	
20	27.9	27.9	27.5	28.6	28.0	

根据以上样本检测分组数据,结合休哈特和累积和控制图的绘制方法,分别绘制出上、中、下面层的 4.75 mm 筛孔通过率的休哈特-累积和联合控制图,如图 5 所示。

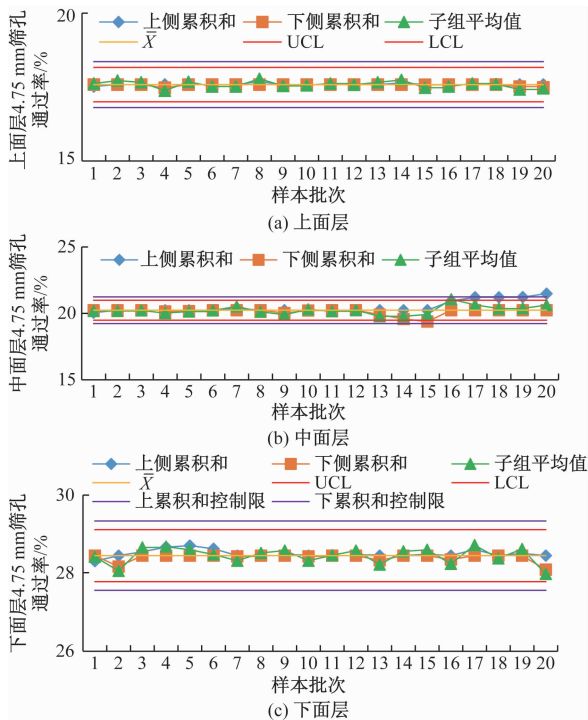


图 5 上、中、下面层 4.75 mm 筛孔样本检测数据联合控制图

在图 5 所示的联合控制图中,黄色线表示的是两类控制图的中心线(样本均值线),紫色线表示累积和控制图的上下侧累积和控制限,红色线表示休哈特控制图上线控制限(UCL 与 LCL),白色线表示的是下偏累积和曲线。从混合控制图中可以看出:用休哈特控制图来检验,过程是受控的;然而由累积和的上偏曲线可以看出,过程从第 15 个样本起,有一个向上的持续的小偏移,直到第 17 个样本,向上的累积和值超过上控制界限,过程处于失控状态。

图 5(a)中上面层 4.75 mm 筛孔通过率的累积和控制图虽然显示基本受控,但结合通过 $\bar{X}$ -s 图,第 6 个样本标准差 s 超出控制图超限,综合判断需要调整施工生产相应方案。

图 5(b)中中下面层 4.75 mm 筛孔通过率的累积和控制图从第 15 个样本开始,上侧限累积和不断增大,在第 17 个样本时超过上侧界限,结合 $\bar{X}$ -s 图第 16 个样本均值即超过控制图上限,可以判定施工生产处于失控状态。

图 5(c)中下面层 4.75 mm 筛孔通过率的累积和控制图基本受控,结合休哈特控制图综合分析其

施工生产过程属于受控状态。

3 结论

1)路面施工过程质量控制常用的休哈特控制图没有记忆力,存在对于过程持续性的小偏移检出不灵敏这一缺点;与此同时累积和控制图对检测持续性的小偏移效果良好,尤其在施工生产过程检测样本均值变化的检出方面,通过快速分析均值变化的起始点从而实现及时地调整施工质量控制参数。

2)累积和控制图对于瞬时性(非持续性)的样本均值便宜检出力较弱,同时对于质量特性服从正太分布的样本检测数据无法分析得到其离散程度。通过联合应用休哈特控制图和累积和控制图,可以提高样本均值异常波动的检出能力(持续性和非持续性的),同时结合休哈特控制图的极差或方差控制图,可辅助判断样本数据的离散程度。

3)各类控制图都存在各自的优缺点,在施工生产过程的质量控制环节,应根据实际质量控制需求,结合各类控制图的优势,灵活选取控制图的方式,综合考虑几种控制图的联合使用,以实现优势互补,及时发现生产过程的异常波动情况,增强检出水平,最终提高施工质量。

参考文献

- [1] 朱云升,杨柳,王开凤,等.用分形几何理论评价旧路面沥青混合料级配变异性[J].公路交通科技,2017,34(7):14-19.
- [2] 黄立葵,江帆,杜攀峰.路基路面结构参数的变异性分析[J].公路交通科技,2007,24(12):29-33,28.
- [3] 邹波,胡家波,孙承吉,等.信息化动态质量控制技术在高速公路改扩建工程中的应用[J].公路交通科技(应用技术版),2018,14(5):27-28.
- [4] LIU Z, WANG S, GU X Y, et al. Application of a novel EWMA- ϕ chart for quality control in asphalt mixtures production[J]. Construction and Building Materials, 2022, 323:126264.
- [5] WANG Q, HAN D J, RAO J C. Application of statistical control method in quality control of asphalt pavement construction[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009(2):51-55.
- [6] 明磊.基于单值移动平均控制图的沥青拌和机油石比动态质量控制[J].公路交通科技(应用技术版),2015,11(8):99-101.
- [7] 张公绪,孙静.统计过程控制与诊断 第七讲 两种质量诊断理论与选控图[J].质量与可靠性,2003(1):42-48.
- [8] ZHANG G, SUN J. Statistical diagnosis (SPD) for control of SARS epidemic situation of Beijing[J]. Asian Journal on Quality, 2013, 4(1):46-53.
- [9] NGUYEN H D, TRAN K P, HEUCHENNE H L. CU-

SUMcontrol charts with variable sampling interval for monitoring the ratio of two normal variables[J]. Quality and Reliability Engineering International, 2020, 36 (2): 474-497.

[10] 何桢,刘豹. 累计和控制图在测量系统稳定性中的应用研究[J]. 系统工程学报,2002(6):547-550.

[11] 项冬冬,濮晓龙. 联合监控位置和尺度参数控制图综述[J]. 数理统计与管理,2020,39(2):274-288.

[12] 濮晓龙. 关于累积和(CUSUM)检验的改进[J]. 应用数学学报,2003(2):225-241.

[13] LUCAS J M, CROSIER R B. Fast Initial response for CUSUM quality-control schemes; give Your CUSUM a head start[J]. Technometrics,2000,24(3):199-205.

[14] 王殊轶. CUSUM 控制图的一种优化设计方法研究[J]. 工业工程与管理,2004(2):44-46.

[15] 王敏华,周娟,沈丹. 累积和控制图与休哈特控制图联合应用方法[J]. 湖北工业大学学报,2008(5):59-61.

[16] 王前洪,张宇. 累积和控制图与传统控制图同时监控过程均值[J]. 机械工程与自动化,2006(2):4-6,10.

[17] OTTENSTREUER S, WEIB C H, KNOTH S, et al. A combined Shewhart-CUSUM chart with switching limit [J]. Quality Engineering,2019,31(2):255-268.

[18] SANIGA E M, DAVIS D J, LUCAS J M. Using Shewhart and CUSUM charts for diagnosis with count data in a vendor certification study [J]. Journal of Quality Technology,2009,41(3):217-227.

Application of CUSUM and Shewhart Control Chart in the Quality Control of Pavement Construction

XU Zhiyong, ZHANG Zongbing, CHEN Gang, WANG Yun, YANG Xiongwei
(Yunnan Construction and Investment of Pavement Engineering Co. ,Ltd. ,Kunming 650000,China)

Abstract: Shewhart control chart is widely used in asphalt pavement construction for production quality control. Combined with the sample test data of the actual production process, the cumulative sum (CUSUM) control chart and the mean control chart and variance control chart in the Shewhart control chart are carried out comparative analysis shows that the Shewhart control chart has a significant effect on the instantaneous large mean value caused by abnormal fluctuations, but it is less effective in detecting continuous small deviations;while the cumulative sum control chart is effective for continuous small deviations. The shift detection power is stronger, but it cannot effectively detect the non-persistent shift. Based on the above conclusions, considering the joint application of these two control charts for monitoring and analysis in the process of asphalt pavement construction quality control, combining the advantages of the two control charts, the detection effect is significantly better than one of them, and the asphalt pavement can find abnormal fluctuations in the production process as soon as possible.

Keywords: road engineering;CUSUM;Shewhart;statistical process control(SPC);construction quality control