

统计过程控制在沥青拌合站生产中的应用分析

夏雨¹, 冀国光², 郭岳², 季正军¹

(1.山东省交通科学研究院, 山东 济南 250001; 2.天津滨海新区高速公路投资发展有限公司, 天津 300450)

摘要: 通过对沥青拌合站生产中沥青用量、关键筛孔通过率、成品料温度等关键参数进行统计过程控制(SPC), 分析 SPC 应用于沥青拌合站生产的可操作性, 建立以拌合站操作人员为核心的缓冲预警系统, 预警生产过程中的异常波动, 实现质量风险的预防和控制。结果表明, SPC 对沥青用量的质量预防和控制效果最佳; 对关键筛孔通过率的过程控制建立在原材料不产生变异的基础上, 仅表明生产过程处于稳态; 对温度的过程控制效果不佳, 因温度变化波动极大, 需实时进行监控调整, 通过建立单点—移动平均值控制图方法进行控制更实用。

关键词: 工程管理; 统计过程控制(SPC); 沥青拌合站; 关键参数; 质量预防

中图分类号: U415.2

文献标志码: A

文章编号: 1671-2668(2021)04-0183-06

随着科技的发展和技术的革新, 基于互联网的沥青拌合站监控系统应运而生。这类系统大多以管理者为核心, 通过对超出技术要求的技术指标进行预警, 对沥青拌合站进行监控管理。拌合站生产的核心是操作人员及生产设备, 通过建立早期预警系统及时发现生产过程中的异常现象和缓慢变异, 可实现有效的现场质量预防和控制。统计过程控制(Statistical Process Control, SPC)强调全过程监控、全系统参与, 并强调用科学方法来保证全过程预防, 在制造业得到非常广泛的应用, 但在公路行业的应用尚未成熟。该文通过对沥青拌合站生产过程关键控制点和关键控制参数进行统计过程控制, 对其失控表现进行判断, 做到事前预防和控制, 使生产过程处于仅受随机性因素影响的受控状态, 达到控制质量、降低产能的目的。

1 SPC 基本原理

SPC 借助数理统计方法直接分析数据随时间变化的规律, 判断工序是否处于稳定状态。任何生产的产品质量总会存在一定程度波动, 当其仅受偶然因素影响时, 根据中心极限定理, 其服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$, 在正态分布 $\mu \pm 3\sigma$ 范围产生的概率为 99.73%, 一般认为不会超出该界限, 若超出该界限, 则生产过程可能失控或不稳定。通过区分质量波动是由偶然因素还是系统因素所引起, 及时从“人、机、料、法、环”查找原因, 判断产品是否处于可控状态, 及时消除异常因素引起的质量异常, 从而提高质量, 降低成本。

实施 SPC 的主要工具为控制图, 通过对选定因素加以测定、记录并按时间顺序抽取样本进行描点, 绘制成图。其形成原理是将正态分布图转个方向, 使自变量增加的方向垂直向下, 并将 μ 、 $\mu + 3\sigma$ 、 $\mu - 3\sigma$ 分别标记为中心线 CL 值、上控制线 UCL 值、下控制线 LCL 值(见图 1)。根据统计数据类型的不同, 控制图可分为计量型、计数型控制图, 沥青拌合站最常用的控制图为计量型 $\bar{X}-R$ 控制图。 \bar{X} 控制图主要用于观察产品较均值的变化; R 控制图用于观察产品的分散与变异情况; $\bar{X}-R$ 控制图将两者联合运用, 观察产品的波动变化。

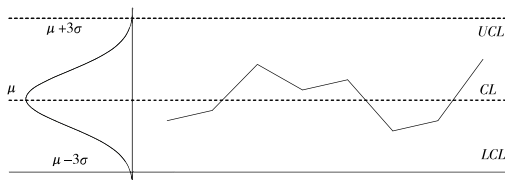


图 1 控制图示例

SPC 应用分为分析阶段和监控阶段, 这两个阶段的控制图分别称为分析用控制图和控制用控制图。分析阶段通过对一段时间生产数据的分析, 判断生产中是否有异常情况, 检验生产过程是否处于统计稳定状态及过程能力是否足够。如果存在控制点超出 UCL 或 LCL 界限, 则分析原因进行改进, 并重新准备生产及分析, 直至满足要求后方可进入 SPC 监控阶段。监控阶段主要采用分析阶段控制图进行监控, 将生产过程数据及时绘制到控制图中, 并密切关注控制图中点的波动情况, 通过分析数据异常情况或缓慢变异及时消除其影响。

2 沥青拌合站关键指标判异准则及过程能力分析

沥青拌合站是生产沥青混合料的生产线,将沥青拌合站每一盘混合料作为一个产品,以拌合站各传感器采集的重量、温度等数据作为 SPC 数据源,筛选影响混合料质量的关键因素,主要包括沥青用量、关键筛孔(0.075、2.36、4.75 mm 等)通过率、集料加热温度、混合料出厂温度等,将这些参数绘制控制图进行分析,满足要求后进行 SPC 监控阶段,发现异常及时进行消除。

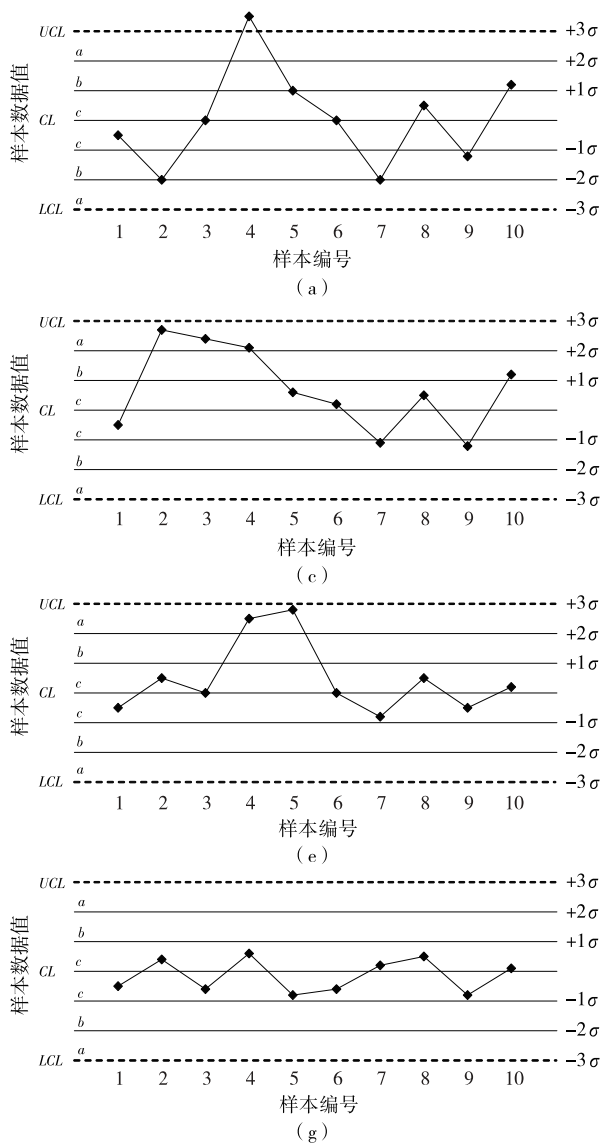
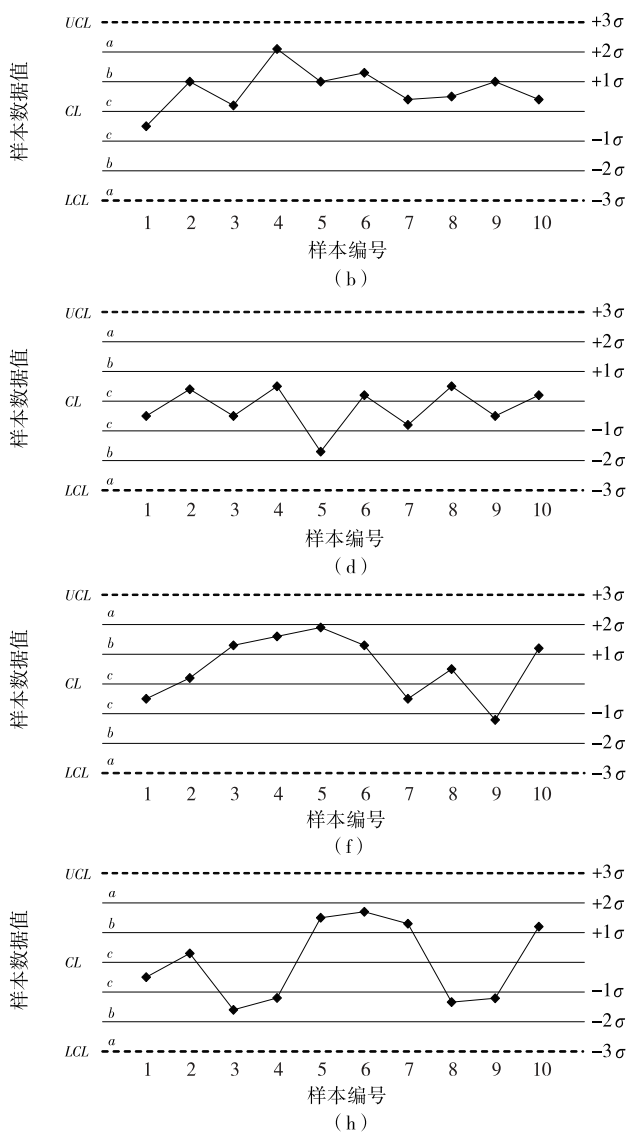


图2 判异准则示意图

沥青拌合站关键指标过程能力是指工序在一定时间里处于控制状态下的实际加工能力。通常用 C_p 表示过程加工的一致性即质量能力,常用客户满

意 SPC 分析阶段主要判断生产过程是否处于统计控制状态或存在缓慢变异情况,基本判异准则为:

- 1) 有 1 点落在控制线之外[见图 2(a)];
 - 2) 连续 9 点在中心线同一侧[见图 2(b)];
 - 3) 连续 6 点呈上升或下降趋势[见图 2(c)];
 - 4) 连续 14 个相邻点上下交替[见图 2(d)];
 - 5) 连续 3 点中有 2 点落在中心线同一侧的 B 区以外[见图 2(e)];
 - 6) 连接 5 个点中有 4 点落在中心线同一侧的 C 区以外[见图 2(f)];
 - 7) 连续 15 点在 C 区中心线上下[见图 2(g)];
 - 8) 连续 8 点在中心线两侧且无一在 C 区内[见图 2(h)]。
- 若发生判异情况,及时进行原因分析并予以消除。



意的偏差范围除以 6 倍西格玛的结果来表示, C_p 越大则质量能力越强;用 C_{pk} 反映过程中心与公差中心的偏移情况,常用客户满意的上限偏差值减去平

均值和平均值减去下限偏差值中数值小的一个再除以3倍西格玛的结果来表示, C_{pk} 越大则两者的偏离越小,是过程的质量能力与管理能力的综合结果。 C_{pk} 的评级标准:1) $C_{pk} \geq 1.67$ 时,表明能力过高,允许较大的外来波动,以提高效率,降低成本;2) $1.67 > C_{pk} \geq 1.33$ 时,表明能力充分,允许一定程度的外来波动,应继续保持;3) $1.33 > C_{pk} \geq 1.0$ 时,表明能力尚可,应防止外来波动,注意产品检验;4) $1.0 > C_{pk} \geq 0.67$ 时,表明能力不足,应分析极差过大的原因并采取措施;5) $C_{pk} < 0.67$ 时,表明能力严重不足,应追查各方面原因并对工艺进行改革。

3 沥青用量过程控制分析

3.1 数据采集

沥青用量是沥青混合料的最关键技术指标,在拌合站生产时,根据设定的沥青用量,通过计量系统进行称重。以沥青拌合站采集125盘AC-25逐盘打印记录为数据源,设计沥青用量为4.1%,样本大小 n 为5,共收集25组数据,计算每组数据的均值和极差。

3.2 SPC控制图绘制

根据 $\bar{X}-R$ 控制图要求,分别计算 \bar{X} 图与 R 图的 CL 、 UCL 、 LCL 值,并根据样本组平均值 \bar{X}_i 与

极差 R 分别绘制 \bar{X} 控制图、 R 控制图(见图3)。

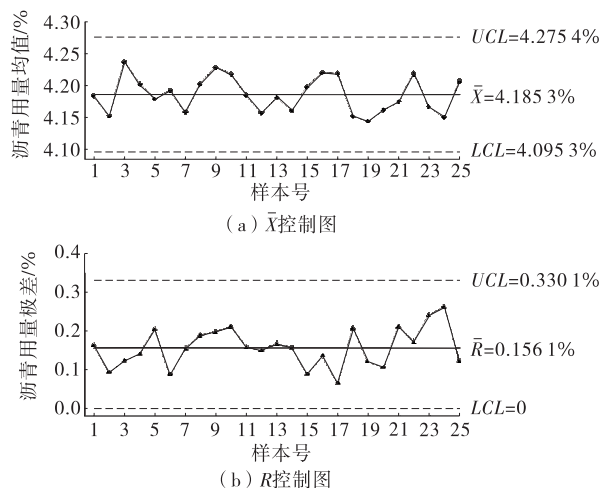


图3 沥青用量 $\bar{X}-R$ 控制图

3.3 数据分析

根据 $\bar{X}-R$ 控制图,沥青用量在 \bar{X} 图中递增或递减趋势最大长度为4点,各点围绕均值分布,在 R 图中各值离散性和变异性较小,波动处于统计控制状态,无判异情况,生产过程处于稳态。

根据过程能力分析图(见图4),生产配合比设计沥青用量为4.1%,过程能力指数 C_p 与 C_{pk} 分别为1.47、1.05,参照 C_{pk} 评级标准,能力尚可,均值与目标值仍存在差异。其原因是沥青拌合站生产过程处于

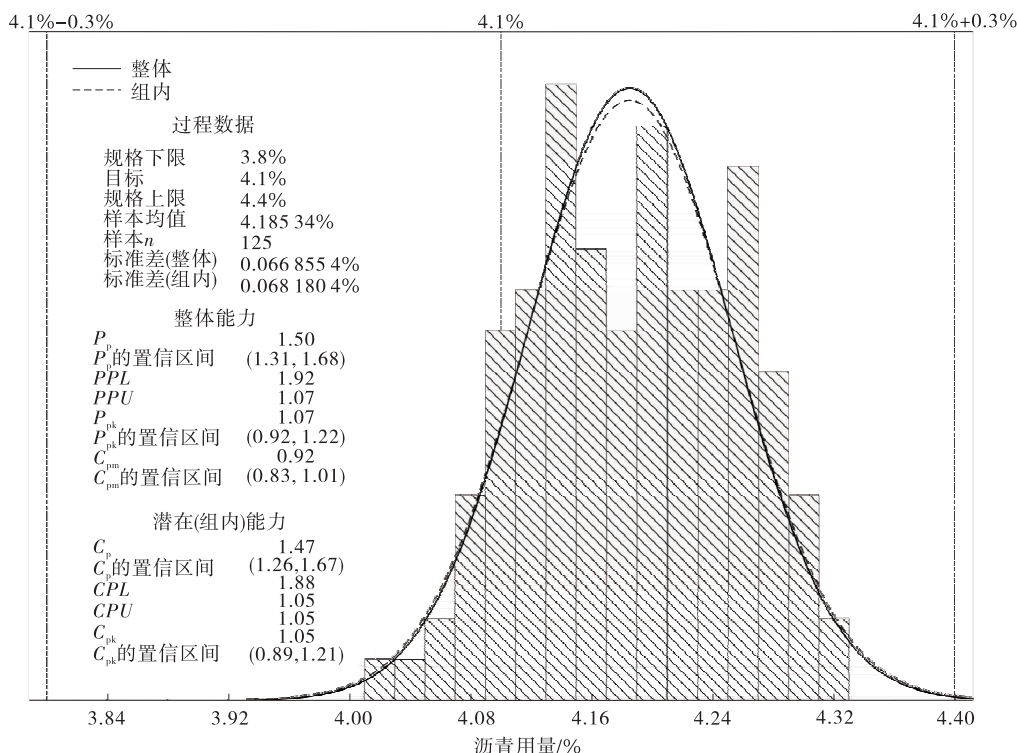


图4 沥青用量过程能力分析图

稳态,但计量系统存在偏差尚未修正,应将设计值与平均值之差的 0.09% 作为偏差对计量系统进行修正。

《公路沥青路面施工技术规范》要求逐盘在线检测沥青用量控制在 $\pm 0.3\%$ 范围内。通过拌合站数据分析,发现沥青用量极差为 0.27%、上下限控制线之差为 0.18%,按逐盘在线检测范围差 0.6% 进行控制显得太过宽泛,试验过程中也发现沥青用量的波动对混合料空隙率、矿料间隙率、饱和度等影响极其敏感,故建立更严苛的控制标准可行。在进行 SPC 质量控制时,沥青用量技术指标可按 $\pm 0.15\%$ 进行控制,并将该图转换为控制用控制图,将生产过程沥青用量及时绘制到控制图中,发现异常波动及时进行消除。

4 关键筛孔过程控制分析

4.1 数据采集

骨料级配是影响沥青混合料质量的主要因素之一,沥青拌合站生产时,骨料经热料仓筛分后按设定生产比例进行称重,与沥青拌合后生产出成品混合料。主要监控 0.075、2.36、4.75 mm 及公称最大粒径、中间粒径 5 个筛孔通过率。以沥青拌合站采集 125 盘 AC-25 逐盘打印记录为数据源,以 2.36 mm 通过率为例,生产配合比设计 2.36 mm 通过率为 23.2%,样本大小 n 为 5,共收集 25 组,计算每组数据的均值、极差。

4.2 SPC 控制图绘制

根据 $\bar{X}-R$ 控制图要求,分别计算 \bar{X} 图与 R 图的 CL 、 UCL 、 LCL 值,并根据样本组平均值 \bar{X}_i 与极差 R 分别绘制 \bar{X} 控制图和 R 控制图(见图 5)。

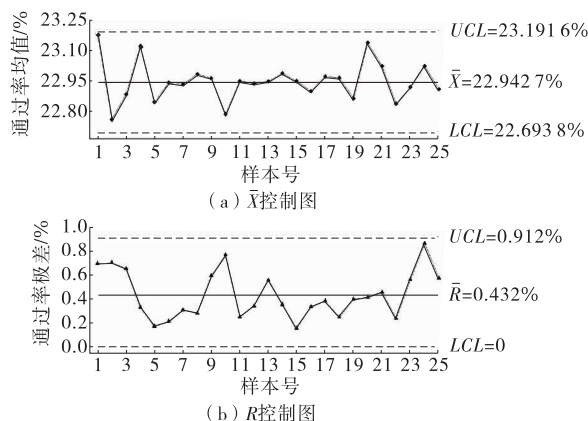


图 5 2.36 mm 通过率 $\bar{X}-R$ 控制图

4.3 数据分析

通过 $\bar{X}-R$ 控制图分析,发现 2.36 mm 通过率在 \bar{X} 图中递增或递减趋势最大长度为 3 点,各点围绕均值分布,在 R 图中各值离散性和变异性较小,波动处于统计控制状态,无判异情况,生产过程处于稳态。

根据过程能力分析图(见图 6), C_p 与 C_{pk} 分别为

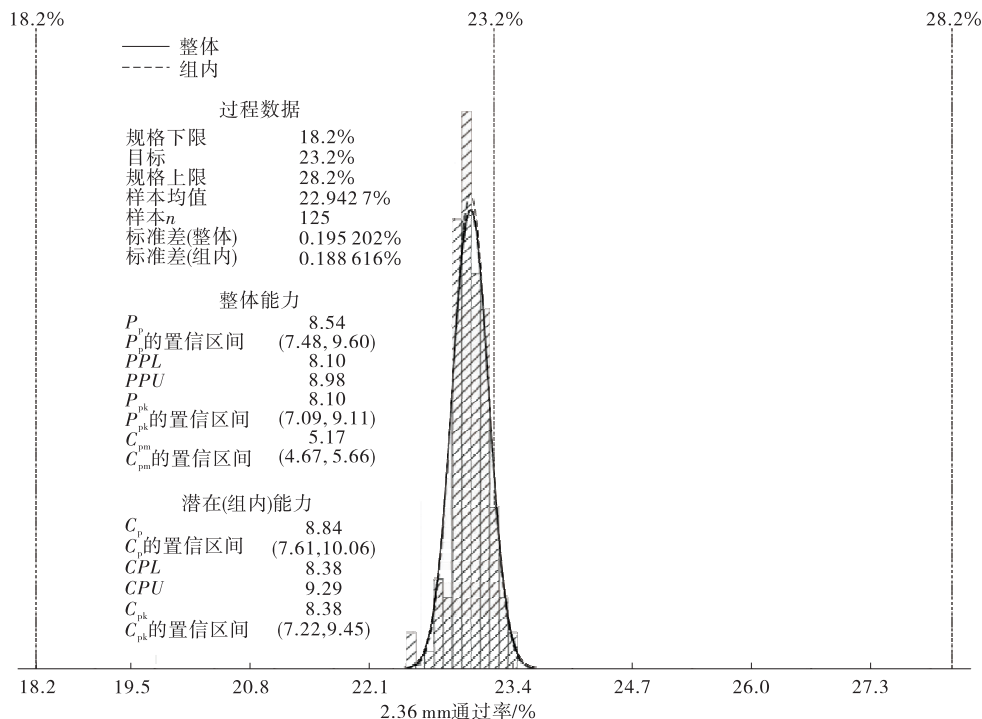


图 6 2.36 mm 通过率过程能力分析图

8.84、8.38,参照 C_{pk} 评级标准,能力过于充足,但拌合站生产中冷料的变异及除尘过程中变异极大,该指标仅能说明在原材料无变异状态下生产的沥青混合料是稳定的。

规范要求逐盘在线检测 2.36 mm 通过率为 $\pm 5\%$,通过拌合站数据分析,发现 2.36 mm 通过率极差为 1.15%,上下控制线之差为 0.5%,在热料仓稳定的情况下,规范指标显得太过宽泛。因此,在进行 SPC 质量控制时,2.36 mm 通过率的技术指标可按 $\pm 2\%$ 进行控制,并将该图转为控制用控制图,将生产过程通过率数据及时绘制到控制图中,发现异常波动及时进行消除。

5 成品混合料温度过程控制分析

5.1 数据采集

温度是沥青混合料成品生产过程中关键一环,温度过高将导致拌合站产能浪费,混合料过度老化;温度过低将影响混合料摊铺质量,降低路面品质。而温度指标受人为因素干扰最大。以沥青拌合站采集 125 盘 AC-25 逐盘打印记录为数据源,以成品料温度检测为例,沥青混合料成品温度宜控制在 150~160 °C,样本大小 n 为 5,共收集 25 组,计算每组数据的均值、极差。

5.2 控制图绘制

根据 $\bar{X}-R$ 控制图要求,分别计算 \bar{X} 图与 R

图的 CL 、 UCL 、 LCL ,并根据样本组平均值 \bar{X}_i 与极差 R 分别绘制 \bar{X} 控制图和 R 控制图(见图 7)。

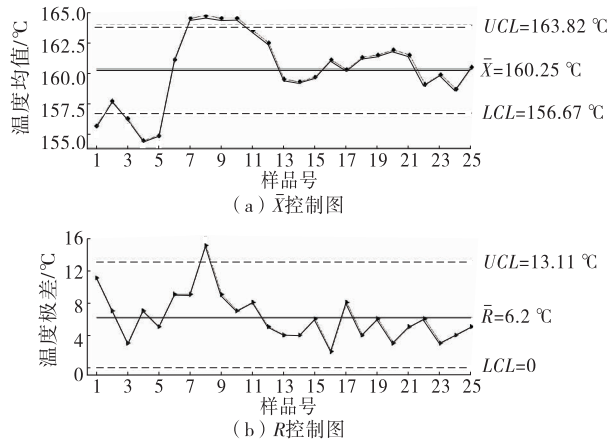


图 7 成品混合料温度 $\bar{X}-R$ 控制图

5.3 数据分析

通过 $\bar{X}-R$ 控制图分析,发现温度在 \bar{X} 图中前期差异变化极大,初期温度偏低,有 4 点超出控制下限,其后温度急剧上升,有 4 点超出控制上限,在 13 组样本后温度的变异慢慢稳定下来; R 图中也有 1 点超出控制上限,离散性在前期波动较大,统计过程控制处于失控状态。

根据过程能力分析图(见图 8), C_p 与 C_{pk} 分别为 0.59、-0.03,参照过 C_{pk} 评级标准,能力严重不足。其原因主要为拌合站开机后,前期生产阶段温度尚

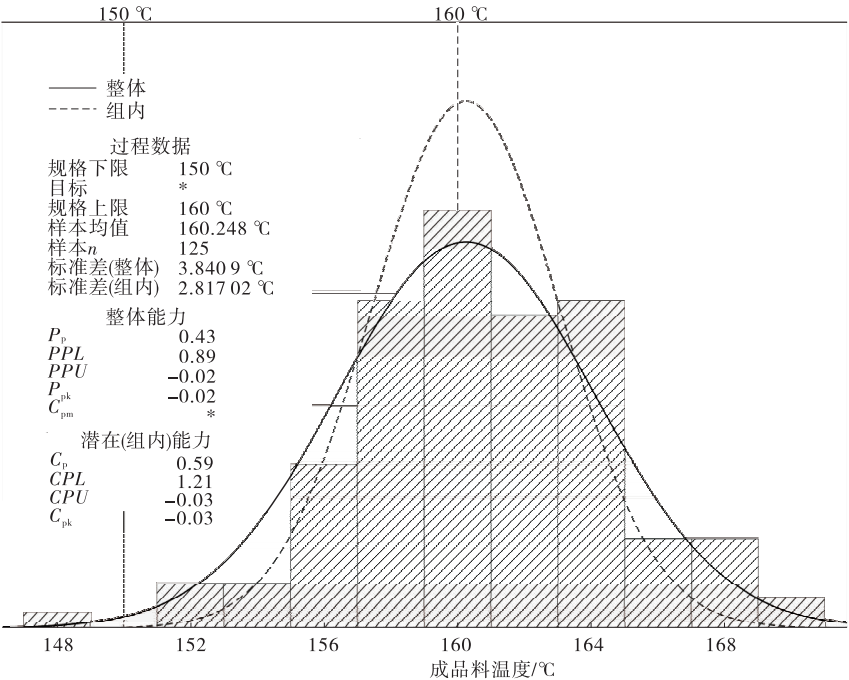


图 8 成品混合料温度过程能力分析图

未稳定,拌合站操作人员仍处于对设备的磨合阶段,对拌合站温度变化不能作出预判。后期温度慢慢稳定,变化趋势并不明显。

采用 SPC 对温度的过程质量控制往往需要拌合站稳定后的 25 组以上样本数据,温度变化受集料含水量、粉尘含量等不确定因素影响较大,往往需多次调整,该方法对拌合站指导性不强,需采用一种即时反馈温度变化的控制图表。将拌合站监控的料温与溜槽温度按时间进度绘制单点值及 5 点移动平均值曲线(见图 9),发现单值的变化呈锯齿状,表现温度即时波动变化,而移动平均值曲线总体变化平缓,可通过其判断偏离目标程度及时预测温度变化趋势;溜槽温度与料温总体走势相同,拌合站操作人员可通过其共同走势预测温度变化趋势及时进行修正。采用单点—移动平均值控制图对温度进行过程控制方便、简洁,更实用。

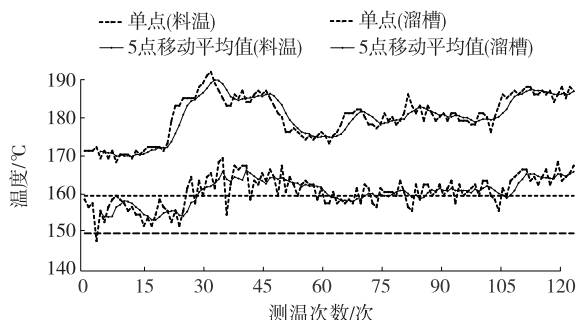


图9 单点—移动平均值温度控制图

6 结论

(1) SPC 过程控制对沥青用量指标的过程控制效果最佳;对于筛孔通过率,因原材料存在变异,仅能表明生产过程是否处于稳态;对于温度,则因变化趋势浮动较大,采用 SPC 方法指导意义不大,采用单点—移动平均值控制图方法更实用。

(2) 对于拌合站的沥青用量和关键筛孔通过率,规范给出的逐盘在线检测技术指标太过宽泛。伴随新技术的革新,拌合站越来越稳定,在进行 SPC 过程控制时,沥青用量可按 $\pm 0.15\%$ 进行控制,关键筛孔通过率可按 $\pm 2\%$ 进行控制。

(3) 沥青拌合站温度指标的波动大,需要较长的周期才能稳定,采用 SPC 方法指导意义不大,建议采用单点—移动平均值方法按时间进度绘制成图,对温度偏离目标范围程度进行分析,并及时预测温度变化趋势,实现对温度的过程质量控制。

(4) 沥青混合料拌合站生产过程中集料变异一直存在,很难从单一途径解决,在对筛孔通过率进行在线 SPC 过程控制的基础上,还需加强对热料仓变异情况的监测,确保沥青混合料成品质量。

参考文献:

- [1] 杨舒豪.宝汉高速公路沥青路面施工质量控制动态技术研究[D].西安:长安大学,2011.
- [2] 钱夕元,荆建芬,侯旭暹.统计过程控制(SPC)及其应用研究[J].计算机工程,2004,30(19):144—145+154.
- [3] 田学森.SPC 统计过程控制在铸造过程质量管理中的应用[J].铸造设备与工艺,2020(3):53—57+64.
- [4] 张晓轶.SPC 与动态质量控制图相关问题的研究[D].秦皇岛:燕山大学,2013.
- [5] 交通部公路科学研究所.公路沥青路面施工技术规范:JTG F40—2004[S].北京:人民交通出版社,2004.
- [6] 陈维,潘新,刘哨巡,等.基于 SPC 的螺栓加工过程控制[J].科技创新与应用,2020(33):11—15.
- [7] 张生延,常林波,刘刚.浅谈 SPC 在生产过程中的应用[J].衡器,2020,49(9):8—11.
- [8] 李大勇.沥青混合料变异性与拌合楼生产过程控制[J].公路工程,2013,38(6):245—249.
- [9] 陈斌.基于 $\bar{X}-R$ 控制图的沥青拌合站油石比动态质量控制[J].湖南交通科技,2011,37(3):50—53.
- [10] 明磊.基于单值移动平均值控制图的沥青拌合机油石比动态质量控制[J].公路交通科技(应用技术版),2015(8):99—101.
- [11] 张佳鹏,何宪宏.浅谈间歇式沥青拌合站混合料生产过程的质量控制[J].黑龙江交通科技,2020(2):80—81.
- [12] 董刚,刘义彬,郑南翔.沥青路面施工过程质量信息实时监控研究[J].公路交通科技,2015,32(11):27—32+40.
- [13] 张学森,魏连雨,曹东伟,等.沥青拌合站监控系统在高速公路项目中的应用[J].路基工程,2016(3):181—185.
- [14] 赵天伟,田红旗,李猛,等.基于信息化管控的沥青混合料拌和质量评价体系[J].公路与汽运,2021(1):144—147.
- [15] 麦华轩,张京锋.沥青混合料生产施工信息化技术探析[J].中国市政工程,2021(1):46—48+87.
- [16] 侯媛婷.公路质量检测管理信息系统设计与研究[D].天津:天津理工大学,2020.
- [17] 王浩臣.蓬莱至栖霞高速公路工程沥青路面施工质量控制研究[D].兰州:兰州交通大学,2019.