

# 混凝土配料秤静态物料计量分析研究

张军 茹强 肖佩  
铜川市计量测试所

DOI: 10.12238/jpm.v6i8.8302

**[摘要]** 混凝土配料秤的物料计量精度直接影响混凝土质量和建筑工程安全。本文通过深入剖析配料秤的工作原理及结构组成，并全面分析了静态物料计量误差的来源和优化措施。通过具体校准实例，开展静态误差计算与不确定度分析，从而准确判定测量结果，为提升配料秤计量性能提供了理论依据和实践指导。

**[关键词]** 混凝土配料秤；静态物料计量；误差分析；不确定度评定

## Research on Static Material Measurement Analysis of Concrete Batching Scale

Zhang Jun Ru Qiang Xiao Pei

Tongchuan Metrology and Testing Institute

**[Abstract]** The material measurement accuracy of concrete batching scales directly affects the quality of concrete and the safety of construction projects. This article deeply analyzes the working principle and structural composition of the batching scale, and comprehensively analyzes the sources and optimization measures of static material measurement errors. Through specific calibration examples, static error calculation and uncertainty analysis were carried out to accurately determine measurement results, providing theoretical basis and practical guidance for improving the metrological performance of batching scales.

**[Key words]** concrete batching scale; Static material measurement; Error analysis; Uncertainty assessment

### 引言

本文研究聚焦于混凝土配料秤的静态物料计量特性，通过理论分析与实际案例相结合的方法，深入探讨影响计量精度的关键因素。研究内容包括：静态计量误差的来源分析、解决措

施，误差补偿、定期校准、不确定度评定、测量结果的判定等内容。通过本研究，期望为配料秤的计量性能分析和实际应用提供科学依据，同时为相关领域的研究和科技发展提供参考，为建筑行业的高质量发展提供技术支撑。

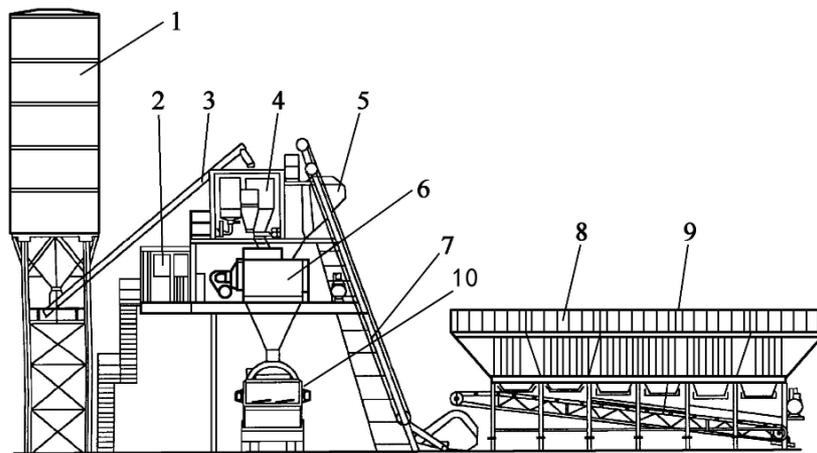


图1 混凝土配料秤工作原理与结构组成图

1—水泥仓；2—控制室；3—螺旋运送管；4—称量料斗；  
5—骨料中转仓；6—搅拌机；7—皮带运输机；8—骨料秤；9—骨料仓；10—运输车

## 1、混凝土配料秤工作原理与结构组成

混凝土配料秤包含骨料斗秤、水泥秤、水秤、粉料秤、外加剂秤等多个称量料斗，在料斗下方或周围斗鱼各自的称重传感器连接，料斗和称重传感器构成配料秤，用于对物料的计量。在每个料斗下方有气动蝶阀控制开关，当混凝土配料机工作时，骨料物料按预设程序进入称重料斗进行计量，然后通过皮带输送机将称量好的骨料运送到骨料中转仓，当各个称重料斗的物料达到预设配料值时，全部物料进入搅拌机进行搅拌，完成搅拌后物料通过卸料口进入运输车运走，此时完成混凝土配料，如此循环往复实施生成。混凝土配料秤工作原理与结构组成如图1所示。

在混凝土配料秤中，称重传感器是整个系统的计量核心元件。它负责将物料的重量精确转换为电信号，其性能的优劣直接影响到计量精度。因此，称重传感器需要具备高灵敏度、良好的线性度以及长期的稳定性，以确保数据的准确性和可靠性。

控制器则是配料秤的“大脑”，承担着数据处理、运算、控制信号生成以及输出等关键功能。它根据预设的配方参数和称重传感器反馈的实时信号，精确控制给料装置的启动、停止以及给料速度的调节，从而实现物料重量的精准控制。

给料装置作为执行部件，负责将物料按照设定的流量输送至料斗中。它与称重传感器和控制器紧密配合，共同完成混凝土生产过程中物料的精准计量与配送任务。整个系统通过各部分的协同工作，确保混凝土配料物料计量的高效性和精确性。

## 2、物料计量误差来源分析

### 2.1 传感器误差

传感器是混凝土配料秤核心计量部件，其性能与工作状态显著影响计量准确性。长期使用中，它受多种因素干扰，环境上有温度、湿度、机械振动等，工作条件方面还存在物料冲击、过载等因素。这些易使传感器出现零点漂移、灵敏度变化、线性度变差等问题。比如温度变化影响弹性元件力学性能，物料冲击损伤内部结构。另外，制造工艺差异使不同批次产品性能有离散性，使用性能不一致的传感器会加大计量误差，部分情况下，传感器问题导致的误差可达总误差的30% - 40%。

### 2.2 落料误差

在混凝土配料过程中，落料误差是一种常见现象。当给料装置停止供料后，由于物料含水，粘稠度不一样，物料的惯性以及给料口与承载器之间的落差，都会使部分物料继续落入承载器，这部分额外重量即为落料误差。落料误差的大小受多种因素影响，包括物料特性（如颗粒大小、形状、流动性）、给料速度、给料口结构及落差高度等。流动性好的物料（如水泥、粉煤灰）通常落料误差较大；给料速度越快，物料惯性越大，误差也越显著。例如，在某混凝土搅拌站的实际生产中，若砂石骨料的给料速度控制不当，单次配料的落料误差可达5kg-10kg，严重影响配料精度。

### 2.3 物料特性变化影响

混凝土生产中，物料对配料秤精度影响显著。物料特性如含水量、颗粒度、流动性等会干扰称量。含水量高易使物料黏附秤斗（如细砂），造成残留影响下次称量；粒度不均可能导致下料不畅（如碎石），会使称量失准；流动性差的物料下料不顺畅（大石子），易出现卡料现象，导致配料量与设定值有偏差。此外，物料含杂质也会破坏秤体平衡。因此，要严格把

控物料特性，定期维护设备，以保障配料秤精度，确保混凝土配料的质量稳定。

## 3、提升物料计量精度的措施

### 3.1 传感器选型与维护

在混凝土配料秤的设计与应用中，传感器的科学选型与全生命周期管理是保障计量精度的核心要素。选型需重点考量环境适应性，优先选用具备-30℃~85℃宽温域补偿功能（如IP67防护等级的S型传感器），其抗偏载能力（允许150%-200%过载）和0.02%-0.05%综合误差特性，可应对砂石冲击（5g重力加速度）及粉尘腐蚀环境。维护方面需建立定期校准制度，每1个月或3个月使用M1级砝码检测零点漂移和常用测量点误差，日常需每周清除传感器表面及周围的粉尘，防止水汽侵蚀导致桥压异常，通过上述措施可使传感器满足计量精度要求。

### 3.2 落料误差补偿策略

为减小落料误差对物料计量精度的影响，可采取多种补偿策略。一是用提前量控制技术，分析确定合适提前量值，给料接近预设值时提前发出信号，使物料惯性下落总重达预设值。二是优化给料装置结构与控制方式，如采用变频调速控制给料电机，接近目标降速减少惯性；粉料给料用螺旋输送机与气动阀相结合，精确控制实现精准给料。此外，利用先进传感器技术和网络摄像头实时监测落料过程，也可以加装激光测距传感器监测高度变化，结合算法动态补偿落料误差。

### 3.3 物料特性监测与调整

物料特性变化会影响计量精度，建立完善的监测与调整机制很必要。如物料进场前，要严格检测骨料的颗粒大小、颗粒均为程度、含水量、杂质，以及粉料的质量等关键特性，据此调整配料秤参数。比如骨料含水量增加，配料秤系统自动调整水灰比例。生产中，用在线水分仪实时监测，含水量超范围就报警并自动调整配料比例。此外，要加强供应商管理，建立长期合作，确保原材料质量稳定，减少计量误差。

### 3.4 定期校准并评定不确定度

定期对混凝土配料秤进行校准，校准过程可以实时根据标准砝码的重量对配料秤进行标定，可确保配料秤测量准确，减少因设备偏差导致的配料失误。一般按内部规定的自校周期，选用M1级及以上标准砝码，参照JJG 1171-2019《混凝土配料秤检定规程》中的方法进行，选择常用物料重量值作为测量点对各配料秤进行标定，微调参数使其测量值符合标准规程要求。

自校时可根据日常使用情况对某个测量点进行重复性测量，并对测量结果做数据分析和不确定度评定，用不确定度评定结果量化测量结果的可疑程度。保障生产中物料配比精准，提升产品质量。

## 4、测量结果的不确定度评定

### 4.1 测量依据和方法

依据JJG1171-2019《混凝土配料秤检定规程》条款7.1.3物料检定条件中的c条款，物料检定通常进行三组，分别是接近最大称量Max、接近最小称量Min和常用称量，每组至少进行三次，分离载荷（装料）称量。在实际工作中自校，因为一条配方记录中，各物料不可能都同时使用最小称量和最大称量的配方值，所有我们选择接近常用称量值的测量点用标准砝码采用集成法进行校准，测量次数可以根据实际情况，多进行几次，比如10次。

## 4.2 集成法测量结果不确定度的评定

目前混凝土配料秤的准确等级划分为  $X(1)$  和  $X(2)$  两个等级。我们以  $X(1)$  级, 接近常用称量值的测量点为 400kg 的混凝土配料秤为例, 讨论不确定度的评定问题。

## (1) 数学模型

物料试验示值误差的数学模型(参照规程 7.1.4 要求)确定化整误差

$$\Delta E = I - L \text{ 或 } \Delta E = P - L \quad \text{公式 (1)}$$

式中:  $\Delta E$ —示值误差;  $I$ —被测配料秤示值;  $L$ —砝码值;  $P$ —化整前的示值;  $d$ —为分度值;  $\Delta L$ —加到承载器上的附加砝码的质量,  $P = I + 0.5d - \Delta L$ , 或  $\Delta E = I - L + 0.5d - \Delta L$ 。

## (2) 静态误差计算

例如: 一台分度值  $d=1\text{kg}$  的混凝土配料秤, 加载 400kg 砝码, 示值为 400kg。然后依次加 0.1kg 的闪变小砝码, 当附加载荷为 0.8kg 时, 示值由 400kg 变化到 401kg。代入上述公式

(1), 得到:  $P = (400 + 0.5 - 0.8) \text{kg} = 399.7\text{kg}$  这样, 化整前的实际示值是 399.7kg, 且化整前的误差为  $\Delta E = (399.7 - 400) \text{kg} = -0.3\text{kg}$ , 或者  $\Delta E = I - L + 0.5d - \Delta L = (400 - 400 + 0.5 - 0.8) \text{kg} = -0.3\text{kg}$ 。

## (3) 输入量的不确定度分量

用集成检定法对 400kg 的测量点重复测量 10 次, 计算误差的平均值  $\Delta E = -0.3\text{kg}$ , 用贝塞尔公式计算单次测量的实验标准差  $s = 0.98\text{kg}$ ,  $s(\bar{x}) = s/\sqrt{10} = 0.31\text{kg}$ , 即  $u_1 = 0.31\text{kg}$ 。

混凝土配料秤分度值  $d=1\text{kg}$ , 采用“闪变点”法确定化整前的示值, 配料秤控制衡器显示分辨率  $\delta_x = 0.1\text{d}$ ,  $\delta_x$  分布可作为均匀分布处理, 其分布区半宽应为  $\delta_x/2$ , 按均匀分布, 则由控制衡器示值分辨率引入的不确定度  $u_2 = 0.29 \delta_x = 0.29 \times 0.1\text{d} = 0.029\text{kg}$ 。

采用闪变点法确定化整前的示值误差  $\Delta E$  时, 由控制衡器示值分辨率引入的标准不确定度  $u_2 < u_1$ , 所以舍去由控制衡器示值误差引入的不确定度分量  $u_2$ 。

对 400kg 的测量点, 通常由 20 个 20kg 的砝码组成, 20 个 20kg 的砝码可能相关, 20kg 的 M1 等级砝码允差为 1g, 则由 M1 级砝码质量不准导致的测量不确定度分量  $u_3 = 1\text{g} \times 100/\sqrt{3} = 57.7\text{g} = 0.06\text{kg}$ , 标准不确定度引入的分量见表 1。

表 1 标准不确定度一览表

不确定度来源	不确定度符号 $u_i$	不确定度值
配料秤的测量重复性引入	$u_1$	0.31kg
配料秤显示分辨率引入	$u_2$	0.029kg (舍去)
砝码的质量值误差引入	$u_3$	0.06kg

(4) 合成不确定度  $u_c$ 

由于配料秤的测量重复性和砝码质量相互独立, 输入量  $I$  和  $L$  独立不相关, 各个标准不确定度如表 1 标准不确定度一览表所示, 因此合成标准不确定度  $u_c$  可按下式得到:

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_3^2} = \sqrt{0.31^2 + 0.06^2} = 0.32\text{kg}$$

(5) 扩展不确定度  $U$ 

取包含因子  $k=2$ , 则 400kg 称量点, 采用集成检定法静态

称量称量误差的扩展不确定度为  $U = k u_c = 0.32 \times 2\text{kg} = 0.64 \text{kg}$ , 则相对不确定度  $U_{\text{rel}} = 0.64\text{kg}/400\text{kg} = 0.16\%$ ,  $k=2$ 。

## 4.3 测量结果的判定

对照 JJG1171-2019《混凝土配料秤检定规程》要求, 查看表 2, 观测  $\Delta E$  是否超过静态称量的最大允许误差 MPE 值, 来评判静态误差  $\Delta E$  是否合格。本案例静态误差  $\Delta E = -0.3\text{kg}$ ,  $\text{MPE} = \pm 0.5\text{kg}$ , 因为,  $\Delta E < \text{MPE}$ , 所以静态误差符合要求。

表 2 静态称量的最大允许误差 MPE

用分度值 $d$ 表示的载荷 $L$	最大允许误差 MPE	
	首次检定和后续检定	使用中检查
$\text{Min} \leq L \leq 500d$	$\pm 0.5d$	$\pm 1.0d$
$500d < L \leq 2000d$	$\pm 1.0d$	$\pm 2.0d$
$2000d < L \leq \text{Max}$	$\pm 1.5d$	$\pm 3.0d$

对照 JJG1171-2019《混凝土配料秤检定规程》要求, 查看表 3, 观测  $U_{\text{rel}}$  是否超过自动称量的最大允许预设值误差 MPSE 值, 来评判混凝土配料秤准确度等级是否合格。本案例静态物料称量相对误差  $U_{\text{rel}} = 0.16\%$ ,  $\text{MPSE} = \pm 0.8\%$ ,  $U_{\text{rel}} < \text{MPSE}$ , 所以准确度等级符合要求。

表 3 自动称量的最大允许预设误差 MPSE

准确度等级	分离载荷的最大允许预设误差 MPSE	
	首次检定和后续检定	使用中检查
$X(1)$	$\pm 0.8\%$	1.0%
$X(2)$	$\pm 1.6\%$	$\pm 2.0\%$

## 5、结论

混凝土配料秤的物料计量精度直接影响混凝土质量和建筑工程安全。文章通过具体校准实例展开, 从测量原理与方法入手, 构建测量模型, 进行静态误差计算与不确定度分析, 并最终判定测量结果。这一过程系统地揭示了混凝土配料秤静态物料计量的性能特征。研究旨在精准把控混凝土配料秤得计量准确性, 为混凝土质量提供了可靠的技术支持, 同时推动混凝土配料秤在建筑领域的高效应用与发展。

## 【参考文献】

- [1] JJG 1171-2019, 混凝土配料秤检定规程. 中国计量出版社
  - [2] JJF 1059.1-2012, 测量不确定度评定与表示[S]. 北京: 中国质检出版社, 2012.
  - [3] 张东. 混凝土搅拌站常见机械故障及解决方法分析[J]. 中国机械, 2023, (14): 96-99.
  - [4] 杨帆. 混凝土搅拌站计量误差影响因素及控制[J]. 设备管理与维修, 2020, (12): 136-137.
  - [5] 刘涓兵. 如何提高混凝土搅拌站中电子秤配料计量精度[J]. 科技资讯, 2019, 17(12): 181-182.
- 第一作者简介: 张军, 1983年12月, 男, 汉族, 陕西省洋县人, 工程师, 本科, 研究方向为质量衡器计量技术;
- 第二作者简介: 茹强, 1969年3月, 男, 汉族, 陕西铜川人, 高级工程师, 本科, 研究方向为压力仪表计量技术。