

煤中碳元素自动采制检测系统 校准规范

编 制 说 明

标准编制工作组

二〇二五年七月

1 工作简况

1.1 任务来源

根据国家市场监督管理总局《市场监管总局办公厅关于印发 2024 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知》（市监计量发〔2024〕40 号）。由全国碳达峰碳中和计量技术委员会电力计量分技术委员会归口，华电电力科学研究院有限公司等单位组成规范编制工作组，经过广泛调查研究，认真总结经验，并在广泛征求意见的基础上，编制本文件。规范名称《煤中碳元素自动采制检测系统校准规范》，项目编号：MTC26/SC2-2024-01。

1.2 标准起草单位及协作单位

起草单位：华电电力科学研究院有限公司、中国合格评定国家认可中心、国电南京煤炭质量监督检验有限公司、西安热工研究院有限公司、湖南三德科技股份有限公司等。

起草人：

任务下达后，起草单位按计划要求成立规范编制工作组，组织人员对该规范进行制定工作。规范编制工作组主要依据 JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语定义》等要求而制定。

1.3 主要工作过程

a) 2023 年 11 月参加国碳达峰碳中和计量技术委员会电力计量分技术委员会规范立项评审。

b) 2024 年 5 月市场监管总局办公厅关于印发 2024 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划的通知，下达规范编制计划。

c) 2024 年 6 月《煤中碳元素自动采制检测系统校准规范》等 3 项国家计量技术规范编制启动会。

d) 2024 年 6 月成立工作组，并召开工作组首次会议。确定规范的主要技术内容、研究方案，制定工作计划。

e) 2024 年 12 月，工作组召开现场会议，各研究小组分别汇报了子课题研究进展。工作组对规范初稿进行了审查确定了煤炭机械采制样过程样品水分损失试验的两种方法：方法 A 和方法 B，以及水分损失的校正方法，并制定了两种方法的验证试验内容。

f) 2025 年 4 月，工作组编制规范征求意见稿（初稿）。召开讨论会，根据专家审查意见，修改形成征求意见稿。

g) 对委员和专家的意见进行回复，并修改征求意见稿，形成送审稿；

- h) 进行审查和投票；
- i) 根据审查意见修改送审稿，最终形成报批稿。

1.4 开展的主要工作

规范起草的主要工作有：

- a) 确定工作组及成员。
- b) 查阅不同国家和地区有关规范资料。
- c) 进行研究分析，确定规范的主要技术内容及任务分工。
- d) 制定试验方案及其实施细则。
- e) 对各发电集团采制检测系统碳元素检测历史资料进行收集和分析。
- f) 依据试验方案组织现场试验并分析结果。
- g) 规范征求意见稿的编写。
- h) 工作组会议讨论确定征求意见稿的基本内容。
- i) 征求意见，并根据专家所提意见修改形成送审稿。
- j) 规范审查会上汇报送审稿，回答专家提问。
- k) 根据审查意见最终形成报批稿及编制说明。

2 规范制定的必要性和意义

2.1 规范制定的必要性

碳排放权交易是碳达峰和碳中和的重要金融手段，根据《碳排放权交易管理规则（试行）》第二章第九条规定：“碳排放配额交易以“每吨二氧化碳当量价格”为计价单位，买卖申报量的最小变动计量为1吨二氧化碳当量”，意味着每1吨二氧化碳是交易的基数，折算到碳元素的绝对量就是272kg，这对碳排放计量的准确度提出了极高的要求。按照目前针对锅炉燃烧指导的采制样和检测方案所配置的设备要求，只能达到3%左右的精密度，这对于按照以月度核算的燃煤电站入炉煤量来计算，只能精确到500t，远远达不到以1t的计量精度要求。

使用GB/T32150-2015中的物料平衡法核算碳排放量时，作为碳输入量的入炉煤碳含量的准确度是碳排放核算的关键参数，由于获取碳含量要通过抽样、制样和检测主要环节，涉及流程复杂、周期长、仪器设备多，同时还受到入炉煤采制样方案的影响，因此造成各燃煤电站的碳含量检测数据的精密度和正确度差异较大。不利于公平公正的碳排放权交易，并影响碳减排技术进步和双碳目标的实现。

目前国内外尚无针对碳交易的碳元素计量仪器设备的校准规范。为提高碳交易量的准确性，本规范对燃煤电站碳计量从抽样到检测过程的相关仪器设备的准确度提出技术要求和校

准方法，为双碳目标奠定计量基础。

2.2 规范制定的意义

本规范完成后将对燃煤碳元素采制及检测仪器设备的质量提升，碳排放量的准确度提升提供有效的推动力，为碳交易的公平公正奠定基础，为推动碳减排技术进步发挥关键作用，具有极大的社会效益和环保效益。同时可以推动仪器设备生产制造高质量发展和转型升级，为检验检测机构业务水平和盈利能力提供有力保障，具有较明显的经济效益。

3 规范编制原则和主要内容

3.1 规范编制原则

a) 本规范依据 JJF1071《国家计量校准规范编写规则》、JJF1001《通用计量术语定义》等要求而制定。

b) 该规范规定的技术内容及要求应科学、合理、具有适用性和可操作性。

c) 该规范的水平达到国内领先水平。

3.2 编写依据

使用 GB/T32150-2015 中的物料平衡法核算碳排放量时，作为输入碳量的入炉煤碳含量的准确度是碳排放核算的关键参数，由于获取碳含量要通过抽样、制样和检测主要环节，涉及流程复杂、周期长、仪器设备多，同时还受到采制样方案的影响，因此造成各燃煤电站的碳含量检测数据的精密度和正确度差异较大，这不利于公平公正的碳排放权交易，并影响碳减排技术进步和双碳目标的实现。

3.3 标准的主要内容

本规范根据我国煤炭碳含量检测的需要，结合自动采制检测系统水平及行业现状制定。本规范给出了煤中碳元素自动采制检测系统的技术要求、校准条件、校准方法。

本规范适用于煤中碳元素自动采制检测系统的校准。

4 规范主要章节内容说明

4.1 “1 范围”

本章节阐述规范适用范围。

4.2 “2 规范性引用文件”

本章节对规范正文中涉及的规范进行引用说明。

4.3 “3 术语和计量单位”

本章节引入了碳元素自动采制检测系统相关名词术语定义。

4.4 “4 概述”

本章节概括了碳元素自动采制检测系统组成、工作原理等。

在所有的采样、制样和化验方法中，误差总是存在的，同时用这样的方法得到的任一指定参数的试验结果也将偏离该参数的真值。单个结果对“真值”的绝对偏倚是不可能确定的，只能对该试验结果的精密度做一估算。对同一个煤进行一系列测定所得结果间的彼此符合程度就是精密度。

综合运用计算机控制技术和煤炭机械采制检测技术，将发电用煤采样、制样、检测过程中所有相关智能设备（装置）有机连接，自动完成采样、制样及其样品收集、包装、标识、转运、存取以及检测等得到碳元素含量，实现采制检测设备远端集中监视与控制，数据采集与管理的一体化系统。

4.5 “5 计量特性指标”

本章节提出碳元素含量的计量特性指标包括抽样的代表性和检测的准确性，由于煤炭不均匀性的自然属性及其对样品代表性的巨大影响，自动采制检测系统对抽样代表性的精密度计量特性指标；自动采制检测系统应为无偏倚或无实质性偏倚。

4.5.1 随机误差（精密度）目标值

（1）碳元素自动采制检测系统总精密度目标值用方差 V_{SPT} 表征， $V_{SPT} \leq 0.64\%$ 。

标准19494.1中列出采样精密度的要求如下表所示。

用不同的煤质特性指标来表示不均匀度，会得到不同的结果。通常用煤中分布最不均匀的两项指标灰分和全硫来表征煤质的不均匀度，实际使用最多的是灰分。碳元素精密度又与灰分精密度呈线性关系，且相关系数很高，具有相关一致性，故碳元素自动采制检测系统总精密参考标准19494.1执行。

表 1 煤炭采制化总精密度

| 原煤、筛选煤 | | 其他洗煤 (包括中煤) | 精煤 | 标准 |
|-------------------------------|--------------|----------------|-----------|--------------------|
| $A_d \leq 20\%$ | $A_d > 20\%$ | | | |
| $\pm 0.1A_d$, 但不小于 $\pm 1\%$ | $\pm 2\%$ | $\pm 1.5\%$ | $\pm 1\%$ | GB/T 475 商品煤样人工采取法 |

| | | |
|-------------------------------------|-------------|-----------------------------|
| $\pm 0.1A_d$, 但 $\leq 1.6\%$ (绝对值) | $\pm 0.8\%$ | GB/T 19494.1 煤炭机械化 采样-采样 |
|-------------------------------------|-------------|-----------------------------|

(2) 自动制样检测系统精密度目标值用方差 V_{PT} 表征, $V_{PT} \leq 0.13$ 。

DL/T 1339 中规定制样和化验方差 $V_{PT} \leq 0.13$, 通过统计 26 台全自动制样系统精密度试验验证, 方差满足标准要求, 碳元素自动采制检测系统制样和化验方差满足标准 DL/T 1339 规定, 参照执行。

表 2 全自动制样系统精密度结果统计与分析

| 序号 | 电厂名称 | 灰分平均值/% | 灰分差值/% | 精密度/% | 方差 V/% |
|-----|------|---------|---------|--------|--------|
| 1 | WH | 11.26 | 0.0585 | 0.1986 | 0.0099 |
| 2 | QR | 11.59 | 0.0755 | 0.2490 | 0.0155 |
| 3 | YH | 28.05 | 0.0535 | 0.2544 | 0.0162 |
| 4 | LH | 32.78 | 0.372 | 0.3643 | 0.0332 |
| 5 | YA | 14.86 | 0.0476 | 0.0511 | 0.0007 |
| 6 | SW | 7.39 | 0.25 | 0.1451 | 0.0053 |
| 7 | NG | 27.11 | 0.1108 | 0.1991 | 0.0099 |
| 8 | SZ | 38.02 | 0.2444 | 0.2612 | 0.0171 |
| 9 | FJ | 26.93 | -0.196 | 0.2190 | 0.0120 |
| 10 | XSS | 17.30 | 0.2088 | 0.2751 | 0.0189 |
| 11 | JL | 11.54 | -0.0744 | 0.1313 | 0.0043 |
| 12 | ZX | 15.6 | 0.1485 | 0.1733 | 0.0075 |
| 13 | TY1 | 22.35 | 0.0295 | 0.1574 | 0.0062 |
| 14 | TY2 | 15.29 | 0.014 | 0.0707 | 0.0012 |
| 15 | SJT | 55.79 | -0.1192 | 0.1184 | 0.0035 |
| 16 | LZ | 22.14 | -0.1895 | 0.2983 | 0.0222 |
| 17 | HR | 16.58 | -0.022 | 0.0760 | 0.0014 |
| 18 | HYC | 45.46 | 0.156 | 0.1394 | 0.0049 |
| 19 | TT | 31.1 | 0.1085 | 0.3716 | 0.0345 |
| 20 | GA | 29.84 | 0.2397 | 0.1301 | 0.0042 |
| 21 | YH | 19.58 | 0.0632 | 0.0424 | 0.0004 |
| 22 | JR | 30.88 | -0.0284 | 0.1314 | 0.0043 |
| 23 | GC | 7.93 | 0.1095 | 0.5576 | 0.0777 |
| 24 | GX | 22.15 | 0.1268 | 0.5642 | 0.0796 |
| 25 | GA2 | 42.87 | 0.138 | 0.2268 | 0.0129 |
| 26 | KM | 33.82 | 0.2336 | 0.2208 | 0.0122 |
| 最大 | | 55.79 | 0.372 | 0.5642 | 0.0796 |
| 最小 | | 7.39 | -0.196 | 0.0424 | 0.0004 |
| 平均值 | | 24.5465 | 0.0830 | 0.2164 | 0.0160 |

(3) 碳元素自动检测设备精密度目标值用 V_T 表征, $V_T \leq 0.03\%$ 。

GB/T 18510 中规定了准确度估计, 标准 GB/T30733 中规定了煤中碳元素的重复性限为 0.5%。V_T均小于 0.03%, 满足要求, 数据分析见下表。

现场对 4 个电厂的自动检测系统开展了 3 种标煤、每种标煤检测 10 次, 分析结果表明精密度、正确度均符合标准要求。试验及数据统计分析见下表。从表中可以看出, 自动检测系统的标准偏差远远小于标准煤样的扩展不确定度, 自动检测系统检测稳定性、准确性较好。

$$S_{GB} = \frac{r}{2\sqrt{2}} = \frac{0.5}{2\sqrt{2}} = 0.18$$

$$V_T = S_{GB}^2 = 0.18^2 = 0.03$$

式中:

S_{GB}— 国家标准方法在重复性条件下的标准差;

r— 国家标准方法中规定的重复性限;

V_T— 碳元素自动检测系统方差。

表 3 自动检测系统碳元素检测结果统计与分析

| 测量次数 | CD 电厂 C/% | | | JL 电厂 C/% | | | BT 电厂 C/% | | | ZX 电厂 C/% | | |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|-------------------|-------------------|--------------|
| | 标煤 ① | 标煤 ② | 标煤 ③ | 标煤 ① | 标煤 ② | 标煤 ③ | 标煤 ① | 标煤 ② | 标煤 ③ | 标煤 ① | 标煤 ② | 标煤 ③ |
| 1 | 70.67 | 48.80 | 71.73 | 64.98 | 67.20 | 77.33 | 64.78 | 81.67 | 61.82 | 58.16 | 78.45 | 70.84 |
| 2 | 70.71 | 48.84 | 71.63 | 64.52 | 66.97 | 77.54 | 64.79 | 82.06 | 61.51 | 58.42 | 78.32 | 70.74 |
| 3 | 70.63 | 48.96 | 71.65 | 64.80 | 67.43 | 77.61 | 64.83 | 82.07 | 61.48 | 58.32 | 78.28 | 70.82 |
| 4 | 70.75 | 48.99 | 71.52 | 64.81 | 67.23 | 77.56 | 64.95 | 81.79 | 61.76 | 58.58 | 78.61 | 70.78 |
| 5 | 70.86 | 49.02 | 71.64 | 64.80 | 67.17 | 77.58 | 64.88 | 81.84 | 61.60 | 58.35 | 78.37 | 70.67 |
| 6 | 70.89 | 48.85 | 71.72 | 64.48 | 67.21 | 77.48 | 64.96 | 81.96 | 61.43 | 58.61 | 78.56 | 70.75 |
| 7 | 70.75 | 48.71 | 71.72 | 64.80 | 67.20 | 77.60 | 64.66 | 81.89 | 61.77 | 58.34 | 78.18 | 70.89 |
| 8 | 70.92 | 49.01 | 71.74 | 64.80 | 67.07 | 77.54 | 64.79 | 81.80 | 61.71 | 58.43 | 78.15 | 70.86 |
| 9 | 70.73 | 48.85 | 71.78 | 64.82 | 67.07 | 77.69 | 64.87 | 81.99 | 61.38 | 58.18 | 78.30 | 70.68 |
| 10 | 70.64 | 49.11 | 71.56 | 64.59 | 67.18 | 77.59 | 64.79 | 81.70 | 61.78 | 58.21 | 78.16 | 70.64 |
| X(平均值) | 70.76 | 48.91 | 71.67 | 64.74 | 67.14 | 77.55 | 64.83 | 81.88 | 61.60 | 58.36 | 78.34 | 70.77 |
| 标煤 编号 | GBW 1110 2h | GB W11 110y | GBW 1112 6h | GBW 11108 x | GBW 11113 o | GBW 1110 1u | GBW 11108 x | GBW 1110 3p | GB 110x | GBW 11109 X | GBW 11101 Q | GBW 11101 |
| R(标准值) | 70.67 | 48.95 | 71.65 | 64.8 | 67.2 | 77.57 | 64.8 | 81.95 | 61.59 | 58.2 | 78.32 | 70.67 |
| UCR M | 0.39 | 0.51 | 0.33 | 0.5 | 0.55 | 0.48 | 0.5 | 0.63 | 0.61 | 0.54 | 0.54 | 0.39 |
| Sr,G B | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 |
| Srep | 0.10 | 0.12 | 0.08 | 0.16 | 0.12 | 0.10 | 0.09 | 0.14 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.09 |

| | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| V_T | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.01 |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|

4.5.2 偏倚目标值

碳元素自动采制检测设备的正确度目标值为在 95%置信概率下无偏倚或无实质性偏倚。

4.6 “6 校准条件”

本章节规定了自动采制检测系统的校准条件。

自动采制检测系统技术参数满足 DL/T 747、DL/T 1339、JJF1321 中规定的技术要求，能按照标准 GB/T 19494.1 中规定的采样方案完成采样工作，能按照标准 GB/T 19494.2 中规定的制样程序完成制样工作，无交叉污染，能在规定的煤质条件下保持连续工作能力。

检测环境条件的计量参数（如测温单元、流量计、温度场、升温速度等）应经校准达到所依据的检测方法的要求。环境温度、湿度、振动、粉尘等环境条件均满足自动采制检测系统说明书和检测方法的要求。

4.7 “7 设备校准方法”

本章节给出了自动采样检测系统的校准方法。

4.7.1 10组试验样品灰分、碳元素精密度分析

(1) 试验方案

选取江陵、六安、邹县等 10 个具备自动采制检测系统的电厂。根据 GB/T 19494.1-2023 的推荐，采用双倍子样数双份采样法，对自动采制检测系统检测的干燥基灰分、干基碳元素精密度进行统计分析。试验煤种为电厂常用煤种，批煤量约 1000t 为一个试验单元。试验过程如下：

a) 取同一批或同一种煤的若干批煤的至少 10 个采样单元，从每一采样单元采取正常子样数 (n_0) 双倍 ($2n_0$) 的子样，并将之交叉合并成 2 份试样，每份由 n_0 个子样构成。共得至少 10 对双份试样。

b) 通过自动采制检测系统得到干燥基灰分 A_d 、干基碳元素 C_d 。

c) 对试样进行统计学分析，依据自由度为 10 时上、下限因数来计算整机精密度的范围。

总体标准差试样估计值：

$$V = \frac{\sum d^2}{2n_p}$$

$$S = \sqrt{V}$$

批煤精密度最佳估算值：

$$P_z = \frac{2s_i}{\sqrt{m}}$$

由 GB/T 19494.3-2023 中表 1 得，当自由度为 10 时，精密度范围计算下限因素 $a_{L10}=0.70$ ，上限因素 $a_{u10}=1.75$ ，则

$$\text{精密度上限 } P_{zu} = a_{u10} \times P_z$$

$$\text{精密度下限 } P_{zL} = a_{L10} \times P_z$$

表 4 灰分精密度统计

| 序号 | 电厂 | 灰分含量/% | 标准偏差 S/% | 方差 V/% | 精密度 P/% | 精密度上限/% | 精密度下限/% |
|----|-----|--------|----------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | JL | 20.84 | 0.6528 | 0.4262 | 0.41 | 0.72 | 0.29 |
| 2 | LA | 16.27 | 0.7106 | 0.5050 | 0.45 | 0.79 | 0.31 |
| 3 | ZX | 22.59 | 0.6101 | 0.3722 | 0.39 | 0.68 | 0.27 |
| 4 | PJ | 27.64 | 0.4574 | 0.2092 | 0.29 | 0.51 | 0.20 |
| 5 | HTB | 8.97 | 0.3212 | 0.1032 | 0.20 | 0.36 | 0.14 |
| 6 | QR | 32.37 | 0.9805 | 0.9614 | 0.62 | 1.09 | 0.43 |
| 7 | CD | 14.46 | 0.6796 | 0.4618 | 0.43 | 0.75 | 0.30 |
| 8 | BT | 28.12 | 0.5772 | 0.3332 | 0.37 | 0.64 | 0.26 |
| 9 | LH | 32.61 | 0.7496 | 0.5619 | 0.47 | 0.83 | 0.33 |
| 10 | SLQ | 11.52 | 0.2413 | 0.0582 | 0.15 | 0.27 | 0.11 |

表 5 碳元素精密度统计

| 序号 | 电厂 | 碳元素含量 /% | 标准偏差 S/% | 方差 V/% | 精密度 P/% | 精密度上限/% | 精密度下限/% |
|----|-----|----------|----------|--------|---------|---------|---------|
| 1 | JL | 63.98 | 0.67 | 0.44 | 0.42 | 0.74 | 0.29 |
| 2 | LA | 66.73 | 0.61 | 0.38 | 0.39 | 0.68 | 0.27 |
| 3 | ZX | 67.03 | 0.63 | 0.40 | 0.40 | 0.70 | 0.28 |
| 4 | PJ | 58.92 | 0.36 | 0.13 | 0.23 | 0.40 | 0.16 |
| 5 | HTB | 51.52 | 0.38 | 0.15 | 0.24 | 0.42 | 0.17 |
| 6 | QR | 54.11 | 0.87 | 0.75 | 0.55 | 0.96 | 0.38 |
| 7 | CD | 63.44 | 0.54 | 0.30 | 0.34 | 0.60 | 0.24 |
| 8 | BT | 58.04 | 0.57 | 0.32 | 0.36 | 0.63 | 0.25 |
| 9 | LH | 66.68 | 0.65 | 0.42 | 0.41 | 0.72 | 0.29 |
| 10 | SLQ | 64.57 | 0.25 | 0.06 | 0.16 | 0.28 | 0.11 |

以灰分方差为横坐标 x，碳元素方差为纵坐标 y。线性关系式见下图。可以看出，碳元素方差与灰分方差呈线性关系，具有极高的相关系数。

$$Y=0.7320x+0.0424 \quad R^2=0.9135$$

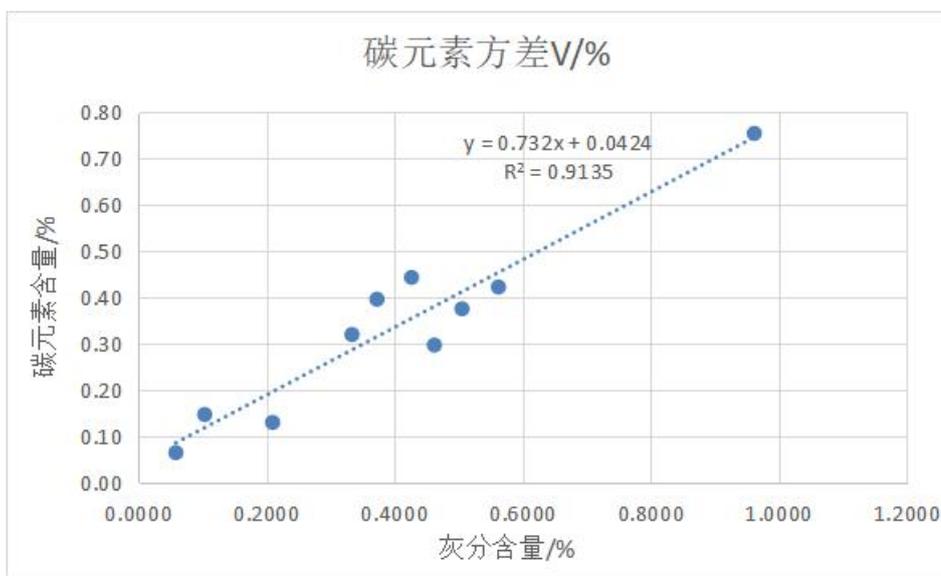


图 1 碳元素方差与灰分方差关系图

4.7.2 10组试验样品灰分、碳元素偏倚分析

(1) 试验方案。自动采制检测系统检测按照正常采样方案开展自动采样，每采集一个子样，自动投递到自动制样系统完成制样，将制备好的 0.2mm 样品通过传输系统送至检测系统，完成碳元素检测工作。试样对最小数目为 40 组，为保证样品一致性，试样对须一次采足。试验煤种为电厂常用煤种，批煤量 1000t 为一个试验单元。

(2) 参比样采集及检测。全系统偏倚校准试验要求使用本质上无系统偏差的参比方法，皮带采样采用停皮带采样法、静止煤采样采用人工钻取采样法采取人工参比样品。人工参比样品按照 B19494.2、GB/T474 制备出 0.2mm 一般分析试验煤样，由检定/校准合格的仪器完成碳元素检测。参比试样制备应最大限度地避免产生偏倚，所使用的缩分、破碎设备应无偏倚，缩分过程全部用二分器。

(3) 统计分析和结果评定

- a) 计算碳元素参数的所有试样对的差值。
- b) 用 Cochran 法检查试样对的差值是否有离群值，如发现离群值，进行离群值的处理。
- c) 计算碳元素差值均值 \bar{d}_c 、碳元素方差 V_{cc} 。

$$\bar{d}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=q}^n d_{ci}$$

$$V_{cc} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=q}^n (d_{ci} - \bar{d}_c)^2$$

式中：

n: 试验对的数目;

d_{ci} : 在试样对系列中的第 i 对碳元素结果差值;

d) 计算 Hotelling T^2 值。对于单参数 ($p=1$), 按照下式计算:

$$T^2 = \frac{n(\bar{d}_c)^2}{V_{cc}}$$

e) 偏倚评估判断。将 T^2 值与检验对数 n 和参数个数 p 的值相对应的 $T_0^2 (T_{p,n-1}^2)$ 进行比较。如果计算值 T^2 大于查表值 $T_{p,n-1}^2$, 则系统检测出偏倚; 如果计算值 T^2 小于或等于查表值 $T_{p,n-1}^2$ ($T_{p,39}^2 = 4.019$), 则系统未检测出偏倚。

按照上述方案, 对 10 个电厂的自动采制检测系统开展了偏倚试验, 分别以灰分、碳元素为参数, 试验结果分析如下表所示。10 个厂的自动采制检测系统为无偏倚系统。

表 6 碳元素偏倚数据统计分析

| 序号 | 电厂名称 | 碳元素含量/% | 差值平均值/% | 样本方差 $V_{aa}/\%$ | 霍特林 $T^2/\%$ | 区间值/% | 偏倚区间下限/% | 偏倚区间上限/% |
|----|------|---------|---------|------------------|--------------|--------|----------|----------|
| 1 | JL | 66.96 | -0.1053 | 0.1652 | 2.6816 | 0.1288 | -0.2341 | 0.0236 |
| 2 | LA | 66.57 | 0.1295 | 0.4620 | 1.4522 | 0.2174 | -0.0879 | 0.3469 |
| 3 | ZX | 67.05 | 0.1048 | 0.4570 | 0.9595 | 0.2163 | -0.1115 | 0.3210 |
| 4 | PJ | 51.43 | -0.1443 | 0.7770 | 1.0714 | 0.2819 | -0.4261 | 0.1376 |
| 5 | SLQ | 64.90 | 0.2070 | 0.5790 | 2.9620 | 0.2433 | -0.0363 | 0.4503 |
| 6 | HTB | 63.72 | -0.0615 | 2.4370 | 0.0621 | 0.4992 | -0.5607 | 0.4377 |
| 7 | CD | 58.67 | 0.1535 | 2.0760 | 0.4541 | 0.4607 | -0.3072 | 0.6142 |
| 8 | BT | 63.61 | 0.2430 | 1.2000 | 1.9690 | 0.3503 | -0.1073 | 0.5933 |
| 9 | QR | 52.80 | 0.2198 | 1.4930 | 1.2934 | 0.3908 | -0.1711 | 0.6106 |
| 10 | LH | 65.76 | 0.1388 | 1.4720 | 0.5231 | 0.3880 | -0.2493 | 0.5268 |

表 7 灰分偏倚数据统计分析

| 序号 | 电厂名称 | 灰分含量/% | 差值平均值/% | 样本方差 $V_{aa}/\%$ | 霍特林 $T^2/\%$ | 区间值/% | 偏倚区间下限/% | 偏倚区间上限/% |
|----|------|--------|---------|------------------|--------------|--------|----------|----------|
| 1 | JL | 27.47 | 0.2683 | 2.8596 | 1.0320 | 0.3206 | -0.0524 | 0.5889 |
| 2 | LA | 17.10 | -0.1973 | 1.8320 | 0.8496 | 0.4328 | -0.6301 | 0.4328 |
| 3 | ZX | 22.58 | -0.1145 | 0.5510 | 0.9522 | 0.2373 | -0.3518 | 0.1228 |
| 4 | HTB | 8.99 | -0.1983 | 0.4300 | 3.6569 | 0.2097 | -0.4079 | 0.0114 |
| 5 | SLQ | 11.40 | 0.0988 | 0.1480 | 2.6443 | 0.1228 | -0.0241 | 0.2116 |
| 6 | CD | 21.20 | 0.0530 | 2.8360 | 0.0406 | 0.5316 | -0.4786 | 0.5846 |
| 7 | PJ | 32.89 | -0.0945 | 1.7670 | 0.2022 | 0.4251 | -0.5196 | 0.3306 |
| 8 | BT | 33.94 | -0.1178 | 3.4260 | 0.1619 | 0.5919 | -0.7097 | 0.4742 |
| 9 | QR | 14.87 | 0.1498 | 0.5190 | 1.7289 | 0.2304 | -0.0806 | 0.3801 |

| | | | | | | | | |
|----|----|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|
| 10 | LH | 31.47 | 0.2488 | 2.6100 | 0.9482 | 0.5167 | -0.2679 | 0.7654 |
|----|----|-------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|

4.7.3 249台采样设备性能试验方差数据统计分析

对249台采制样设备性能试验精密度结果进行分析。249台采制样设备方差 V_{SPR} 范围（0.08%，1.44%）。

（1）试验方案

整机采制样精密度试验是为了验证机械采制样设备从初级采样开始到最终留样的过程中，经过既定的采样方案采集的子样以干基灰分为指标是否能够达到标准规定的精密度要求。

根据GB/T 19494.1-2023的推荐，机械采样精密度预期为 $\pm 0.1A_d$ ，但不大于1.6%。本次精密度试验针对已有的采样系统，试验目的是检查采样方案实际上能否达到所期望的精密度，采用双倍子样数双份采样法。对机械采制样设备收集到的留样进行制样和化验，得到留样的干燥基灰分。试验过程如下：

a) 取同一批或同一种煤的若干批煤的至少10个采样单元，从每一采样单元采取正常子样数（ n_0 ）双倍（ $2n_0$ ）的子样，并将之交叉合并成2份试样，每份由 n_0 个子样构成。共得至少10对双份试样。

b) 将所收取的试样制成一般分析试验煤样，测定空气干燥基水分和空气干燥基灰分，并计算其干燥基灰分 A_d 。

c) 对试样进行统计学分析，计算总体方差。

总体方差试样估计值：

$$V = \frac{\sum d^2}{2n_p}$$

统计2024年-2025年249台采样设备灰分精密度结果见下表。灰分方差小于等于0.1%的设备共92台，方差在0.1%-0.2%之间的设备共75台，方差在0.2%-1.0%之间的设备72台，方差大于等于1.0%的设备10台。碳元素方差小于等于0.1%的设备共76台，方差在0.1%-0.2%之间的设备共68台，方差在0.2%-0.64%之间的设备91台，方差大于等于0.64%的设备14台，碳元素方差大于等于0.64%的占比5.6%。

表8 采样设备灰分精密度统计分析

| 序号 | 灰分 | | 碳元素 | |
|----|-----------|-------|-----------|-------|
| | 方差 V/% | 台套数/台 | 方差 V/% | 台套数/台 |
| 1 | ≤0.1 | 92 | ≤0.1 | 76 |
| 2 | (0.1,0.2) | 75 | (0.1,0.2) | 68 |

| | | | | |
|----|-----------|-----|------------|----|
| 3 | (0.5,1.0) | 72 | (0.2,0.64) | 91 |
| 4 | ≥1.0 | 10 | ≥0.64 | 14 |
| 合计 | | 249 | | |

4.8 “8 校准结果”

本章节规定了校准证书包含的内容和条款。

4.9 “9 复校时间间隔”

本章节规定了复核时间检测及需及时复校的条件。

5 与国际、国外同类规范水平的对比情况

该规范为首次制定，目前国内外尚无相关煤中碳元素自动采制检测系统校准规范。

6 与现行法律、法规和强制性规范的关系

该规范不违背现行相关法律、法规和强制性规范。

7 重大分歧意见的处理过程和依据

根据规范征求意见稿的征求意见，对该规范与编制说明进行修改。

8 贯彻标准的措施建议

为了贯彻好该规范，使其有效发挥作用，建议在规范发布后，在全国特别是针对煤炭机械采制检测设备生产厂家和煤炭机械采制样检测设备用户进行宣传与贯彻。

10 废止现行有关标准的建议

该规范为首次制定，与其他国家标准或行业标准没有相互取代的关系，故不须废止现行有关国家计量规范、国家标准或行业标准。

11 其他应予以说明的事项

无。