

中华人民共和国国家标准

耐火材料试样制备—使用气动喷嘴混合型  
喷枪制备耐火喷补料试块

编制说明

标准制定工作组

2021年3月

# 《耐火材料试样制备：使用气动喷嘴混合型喷枪

## 制备耐火喷补料试块》编制说明

### 一、任务来源

根据国标委[2019]29号文件“国家标准委关于下达2019年第三批国家标准制修订项目计划的通知”以及全国耐火材料标准化技术委员会[2019]32号文《关于转发第三批国家标准制修订项目计划的通知》，《耐火材料试样制备—使用气动喷嘴混合型喷枪制备耐火喷补料试块》已列入国家标准制定计划，计划编号为20193231-T-469。该标准由武汉科技大学、湖北省耐火材料产品质量监督检验站、上海宝钢工业技术服务有限公司、中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司、浙江红鹰集团股份有限公司等单位负责起草，由全国耐火材料标准化技术委员会归口。

本标准修改采用ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation—Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns。

### 二、主要工作过程

前期由尹玉成对涉及到耐火喷补料试样制备的文献、标准、试验方法等资料进行收集、汇总，邱文冬对目前国内喷补设备的使用情况、技术指标要求和检测情况进行调研，然后李亦韦对其中的英文标准进行了翻译与编辑，尹玉成、葛山对收集到的资料进行分析，商定初步实验方案，刘成焱、朱青友、刘志强与逯久昌等负责实验方案的执行，对试验结果进行汇总，并和葛山一起修改完善试验方法。尹玉成负责编写编制说明和征求意见稿，之后由彭西高与敖平根据国家标准编写要求进行编辑，对各单位反馈意见进行汇总处理，并对征求意见稿进行修改，完成送审稿，召开审定会后，根据专家意见对送审稿进行修改，并完善编制说明，最终完成标准报批稿。实验所用原料由浙江红鹰集团股份有限公司提供，并附现场施工说明供工作组参考。

#### 2.1 准备阶段

根据耐标委下达的任务文件，由武汉科技大学负责本标准的制定工作。接到任务会后成立了标准制定工作组，工作组成员单位包括湖北省耐火材料产品质量

监督检验站、宝武装备智能科技有限公司（上海宝钢工业技术服务有限公司更名后名称）、中钢集团洛阳耐火材料研究院有限公司、浙江红鹰集团股份有限公司。随后，明确了工作组成员的分工、工作内容和工作计划。工作组对涉及到耐火喷补料的文献、标准、试验方法等资料进行收集、汇总和分析。了解国内外相关检测的标准、技术指标设置和试验方法，以及耐火喷补料实际使用时的施工技术条件，包括加水量控制、喷补施工压力，是否需要预润湿等。随后，按照确定的分工安排，工作组开展本标准的制定工作，包括了通过实验室及现场试验验证 ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation —Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns 的可行性及与传统试样制备方法的差异。

## 2.2 标准的制定依据

本标准修改采用 ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation —Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns，技术内容与其保持一致，仅按照中文用词及行业内应用习惯对对应的中文稿进行必要的编辑性修改。

## 2.3 标准技术内容试验研究

本标准在制定过程中，为了验证国际标准的关键技术参数及操作步骤的可行性，并与传统实验室浇注成型法进行横向对比，工作组以钢包内衬喷补料为例，分别开展了现场喷补成型和实验室浇注成型试验。所用钢包喷补料的主要化学成分为：86.60% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>，6.64% MgO 及 1.71% 的 CaO。

喷射成型所用材料为钢包喷补料。在喷补施工之前，先加入适量的水对喷补料进行预湿润，以减少粉尘。喷补机工作压力为 0.3MPa，在喷射出口处加入水并调节至物料具有良好的施工性能，不仅要保证物料在喷补机管道内运输流畅，还要与目标喷补位置有较好的附着性能，降低物料反弹率。本试验总加水量约为 12-15%。待物料喷出状态稳定后，方可向模具内喷射。喷射方向应垂直于模具底板面，并绕环形路径自下而上进行喷射（见图 1）。喷射成型后喷补料在模具中如图 2 所示。在室温下自然养护 24h 后，方可进行脱模。

浇注成型根据 GB/T 4513.5-2017 不定形耐火材料 第 5 部分：试样制备与预处理进行。称取 3kg 干料，加水 250ml（约 8.4%），搅拌 3min 至均匀，然后振动浇注成型为（40×40×160）mm，见图 3。在室温下自然养护 24h 后，方可进

行脱模。



图 1 喷射成型示意图



图 2 钢包喷补料喷射成型（左为 1 号，右为 2 号）

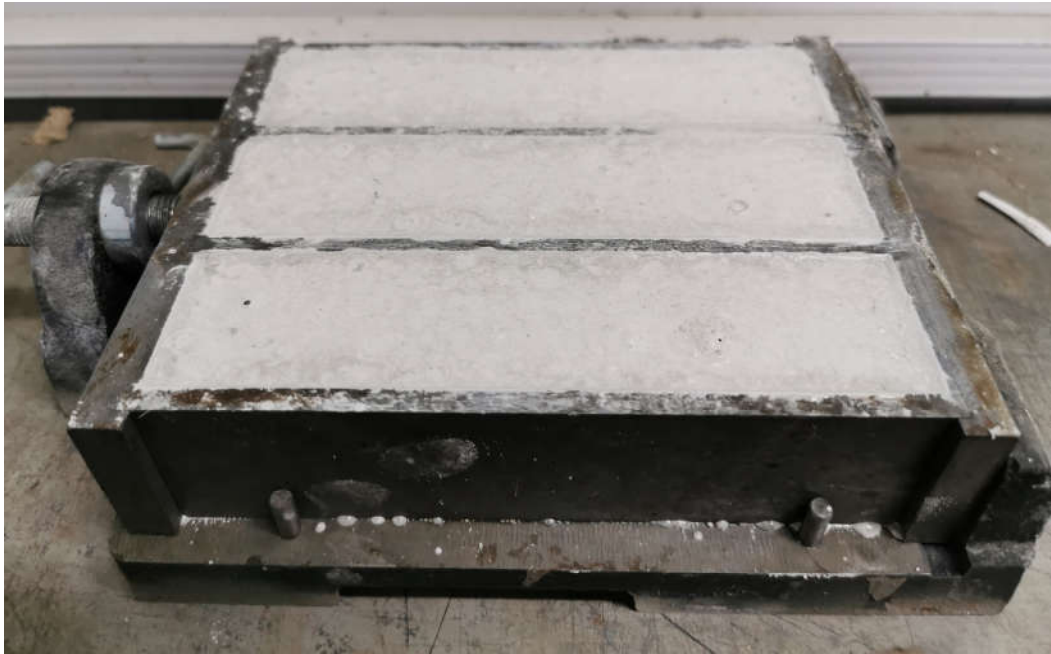


图3 钢包喷补料浇注成型

随后，按照 ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation —Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns 规定，对喷射成型得到的大试块（ $300\times 300\times 100$ ）mm 进行加工，如图 4 所示。每个上述尺寸试块可以加工成为（ $40\times 40\times 160$ ）mm 的长方体试样 9-10 个(见图 5)，取决于大试块内部结构情况，例如是否存在不可忽略的裂纹或孔洞等外部看不到的缺陷（如图 6）。



图4 喷射成型制备的钢包喷补料试块（ $300\times 300\times 100$ ）mm



图 5 大试块加工成的 (40×40×160) mm 试样



图 6 加工切面中的裂缝

表 1 钢包喷补料喷射成型试样烘干后常温性能测试结果

| 试样编号  | 处理条件      | 常温抗折强度/MPa | 常温耐压强度/MPa | 体积密度/g/cm <sup>3</sup> | 显气孔率/%      |
|-------|-----------|------------|------------|------------------------|-------------|
| 1-1-1 | 110°Cx24h | 2.8        | 6.99       | 2.61                   | 27.9        |
| 1-2-2 |           | 2.1        | 4.53       | 2.66                   | 27.3        |
| 1-3-1 |           | 2.8        | 10.3       | 2.65                   | 27.2        |
| 1-4-2 |           | 2.3        | 7.31       | 2.52                   | 30.1        |
| 1-5-1 |           | 2.9        | 9.61       | 2.57                   | 29.1        |
| 2-2-2 |           | 1.9        | 3.86       | 2.63                   | 27.8        |
| 2-3-1 |           | 3          | 7.78       | 2.60                   | 28.3        |
| 2-4-2 |           | 2.4        | 6.77       | 2.59                   | 28.6        |
| 2-5-1 |           | 2.5        | 11.4       | 2.57                   | 28.6        |
| 平均值   |           |            | <b>2.5</b> | <b>7.62</b>            | <b>2.60</b> |

表 2 钢包喷补料喷射成型试样 1550°C×3h 烧后常温性能测试结果

| 试样编号  | 常温抗折强度/MPa | 常温耐压强度/MPa  | 体积密度/g/cm <sup>3</sup> | 显气孔率/%      | 加热永久线变化/%  |
|-------|------------|-------------|------------------------|-------------|------------|
| 1-1-2 | 4.2        | 12.8        | 2.15                   | 43.2        | 4.6        |
| 1-2-1 | 5.1        | 13.1        | 2.18                   | 42.2        | 4.8        |
| 1-3-2 | 5.6        | 14.1        | 2.24                   | 40.8        | 4.8        |
| 1-4-1 | 4.5        | 14.2        | 2.13                   | 43.5        | 5.1        |
| 1-5-2 | 4.9        | 14.3        | 2.10                   | 44.2        | 5.5        |
| 2-1-2 | 4.2        | 10.7        | 2.24                   | 40.9        | 4.8        |
| 2-2-1 | 1.1        | 10.4        | 2.21                   | 41.2        | 4.7        |
| 2-3-2 | 1.1        | 14.2        | 2.29                   | 39.6        | 4.6        |
| 2-4-1 | 1.8        | 10          | 2.06                   | 45.1        | 5.0        |
| 平均值   | <b>3.6</b> | <b>12.6</b> | <b>2.18</b>            | <b>42.3</b> | <b>4.9</b> |

表 3 钢包喷补料浇注成型试样性能测试结果

| 试样编号 | 处理条件     | 常温抗折强度/MPa | 常温耐压强度/MPa   | 体积密度/g/cm <sup>3</sup> | 显气孔率/%      | 加热永久线变化/%  |
|------|----------|------------|--------------|------------------------|-------------|------------|
| 12-1 | 110℃×24h | 2.4        | 18.2         | 2.77                   | 24.4        | /          |
| 12-2 |          | 2.2        | 16.2         | 2.75                   | 24.7        | /          |
| 12-3 |          | 2.5        | 17.8         | 2.78                   | 24.1        | /          |
| 平均值  |          | <b>2.4</b> | <b>17.40</b> | <b>2.77</b>            | <b>24.4</b> | /          |
| 12-4 | 1550℃×3h | 9.5        | 25.7         | 2.29                   | 39.3        | 4.8        |
| 12-5 |          | 8          | 24.1         | 2.26                   | 40.1        | 5.0        |
| 12-6 |          | 8.5        | 26.8         | 2.29                   | 39.2        | 4.9        |
| 平均值  |          | <b>8.7</b> | <b>25.5</b>  | <b>2.28</b>            | <b>39.5</b> | <b>4.9</b> |

喷射成型制得的试样进行了烘干后体积密度、显气孔率、常温抗折强度、常温耐压强度及 1550℃×3h 烧后的体积密度、显气孔率、常温抗折强度、常温耐压强度及加热永久线变化的测试，结果见表 1、2 所示；同一批钢包喷补料，用浇注成型制备的试样进行了相同项目测试，结果见表 3 所示。对比表 1-3 可见，采用喷射成型及后续加工得到的试样测得的性能指标同比实验室传统浇注法制备的试样相比，体积密度较浇注法小约 6.5%，显气孔率大约 4%；常温抗折强度几乎与浇注法持平，而常温耐压强度则显著低于浇注法的，仅为浇注法的 50%；然而经过 1550℃×3h 热处理后的常温抗折强度和常温耐压强度指标差异显著增大，浇注法制备试样的上述指标是喷射法的近 2 倍，但是体积密度和显气孔率两项指标则差别不大，加热永久线变化也几乎相同。以上结果表明采用不同的成型方法，钢包喷补料性能指标的检测结果显示存在明显的不同，具体表现在浇注成型法制备试样检测得到的力学强度指标较喷射成型显著增大，这不利于反映喷补料现场施工所得炉衬的真实性能。因此，有必要推广应用更加接近施工现场条件的喷射成型法应用于类似喷补料的试样制备过程。

同时，在开展试验验证过程中，按照 ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation —Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns 规定的技术条件及操作步骤可以制备满足相关测试方法要求的试样，具有良好的可操作性，没有技术障碍。



## 三、标准概述及修订标准原则

### 3.1 标准的编制意义

耐火喷补料是采用在线热态修复技术对高温炉衬破损区域进行有效修复所需的一种不定形耐火材料。耐火喷补料必须满足现场施工的要求，即能够通过设备运抵损毁炉衬区域，施工时能够与炉衬基体产生良好的粘结而不脱落，形成有效喷补；同时，还需要能够适应高温窑炉工作条件的理化性能。耐火喷补料能否满足现场施工要求，很容易通过直观的观察进行判断和评判，但耐火喷补料的理化性能指标却只能通过实验室检测得出。

目前，耐火喷补料的理化性能测定均统一依据国家标准 GB/T 4513.3-2017 不定形耐火材料第 3 部分的基本特性和 GB/T 4513.6-2017 不定形耐火材料第 6 部分的物理性能的测定进行，已得到行业内的普遍认同。测定用的试样一般为 160mm×40mm×40mm 的长方体试样，目前，所述试样的制备需用上述尺寸的三联浇注模具或专用捣打模具，通过浇注或捣打的方式来成型制取。但是，到底应该采用浇注法还是捣打法却一直没有形成共识，主要是由于上述成型方法均与耐火喷补料的实际施工条件相差甚远。这也造成了不同实验室及不同试样制备方法所得到耐火喷补料性能指标之间的不可比，进而影响了耐火喷补料质量评价和性能指标的统一。

实际上，耐火喷补料性能检测用试样的制备应该尽量再现其实际应用过程中的施工条件，这样才能通过实验室检测得到能够反映现场施工得到的修复体的真实性能，从而为耐火喷补料的质量评价及使用选材提供有价值的参考数据。

为此，提出了本项目制定适用于现场施工采用喷补（射）方式的耐火材料性能检测用试样的制备。

### 3.2 标准的编制依据

本标准依据 ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation —Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns 进行编制。

### 3.3 标准编制的原则

1) 制定标准的目的是规范检验方法,耐火材料的检测标准主要服务于检测机构、耐火材料生产方和使用方,因此准确、规范、使用、发展是本标准编制的原则。

2) 测试方法尽可能采用已采标的国家、行业标准中通用的试验方法标准,以体现标准的统一性和协调性。

3) 本标准按照 GB/T 1.1-2020 《标准化工作导则 第一部分:标准化文件的结构和起草规则》和 GB/T 1.2-2020 《标准化工作指南 第2部分:采用国际标准》的规定进行编写。

4) 对标准内容进行了翻译和技术参数的试验确认,基于我国耐火材料现有标准体系现状及标准应用习惯等进行编制。

## 四、标准内容说明

### 4.1 标准的适用范围

本标准规定了使用气动喷嘴混合型喷枪制备耐火喷补料试块的术语和定义、原理、设备、取样、试验步骤、试验报告和精确度。本文件不适用于塑性喷补料,也不适用于内含易水化骨料的喷补料及喷射型水泥砂浆材料。

### 4.2 试验方法原理

采用混合型喷嘴,在空气作用下将干态或预先湿润的耐火材料传送到试验区。然后,在喷嘴处添加水,并将混合料喷射到支撑盘上,也即是采用喷射法制备试块用的模具内。

### 4.3 成型用模具(喷补料支撑盘)

ISO 20182:2008(E)中对采用本方法所需的喷补料支撑盘(模具)给出了如下要求:平整,能够制备出可用尺寸不小于 280mm×280mm×100 mm 的试块。该试块允许按规定进行切割得到测试用试样。应当优先使用具有两个侧边挡板与一个顶边挡板的支撑盘,例如图 7(a)所示的支撑盘。也可以使用一种如图 7(b)所示的替代型支撑盘。该支撑盘的长度 300~500mm,底部有宽度为 100mm 的支撑板,其长度与支撑盘相同。

单位：毫米

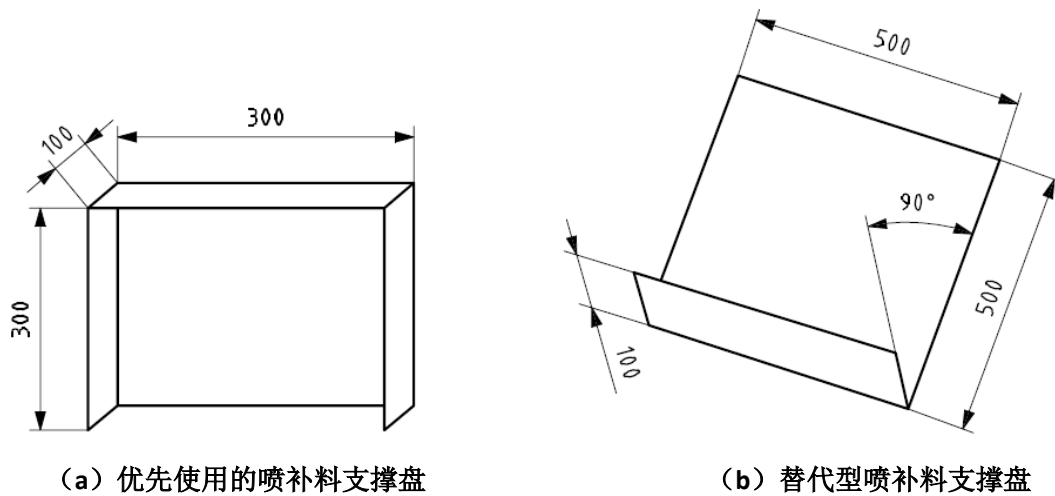


图 7 喷补料支撑盘示例

支撑盘可是木质或是钢质，在使用过程中不应弯曲。支撑盘面积可大于期望制备出的喷补料试块最小面积，以便随后将喷补料试块的边缘部分去除。例如，将弹落在底板的试料使喷涂板边缘(如底部堆积的回弹料，或者其他不规则边缘)可以方便的被修整移除。本标准在制定过程中，参考图 7 (a) 设计加工了 2 套金属材质的喷补料支撑盘，其结构示意图如图 8 所示。实际使用效果良好，满足 ISO ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation—Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns 的技术要求。

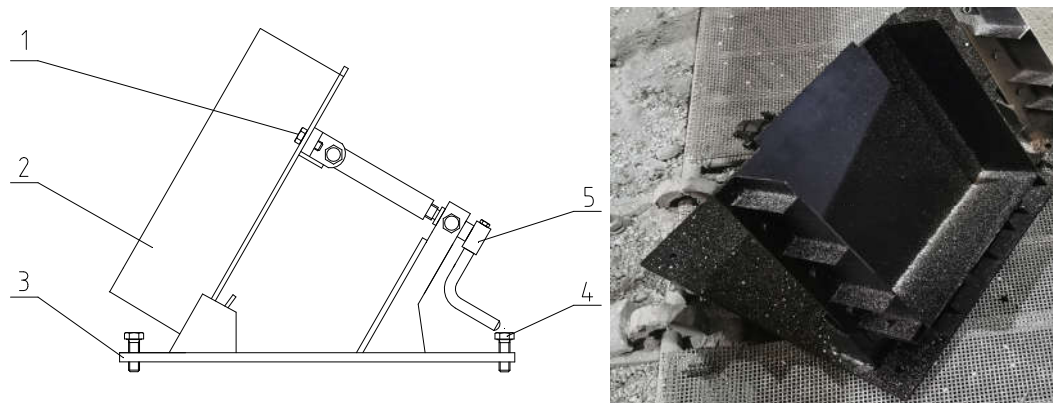


图 8 金属喷补料支撑盘实例

1 联接螺栓 2 料斗 3 底座 4 水平调节螺栓 5 料斗倾角调节机构

#### 4.4 关键技术参数

所用钢包喷补料的最大颗粒为 3mm，输送物料软管外径为 60mm，内径为 48mm，满足 ISO 20182:2008(E)的技术要求。喷补机工作压力为 0.3MPa，加水管路压力为自来水，压力约 0.2MPa。在上述条件下，钢包喷补料可以顺利通过软管喷射到支撑盘内（见图 9），能够与水充分混合均匀，物料状态良好，与支撑盘具有较好的附着性，反弹率小。



图 9 喷射成型过程中物料状态

#### 五、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准没有重大分歧意见。

#### 六、与国家和行业有关的现行的方针、政策、法律、法规和强制性标准的关系

制定的《耐火材料试样制备：使用气动喷嘴混合型喷枪制备耐火喷补料试块》

与国家和行业有关现行的方针、政策、法律、法规和强制性标准没有相冲突的地方，体现了国家标准和行业标准的一致性和符合性。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

## 七、贯彻标准的要求和措施建议

本标准为新制定的适用于现场施工采用喷补（射）方式的耐火材料性能检测用试样的制备，为同类耐火材料的性能检测提供了一种可行、可比的更加接近其实际施工条件的试样制备方法，是相关性能检测标准的有益支撑与补充，也是对现有耐火材料标准体系的进一步完善，而新标准的普及和被采用需要一个过程，建议作为国家推荐性标准，逐步推广。

## 八、标准的属性

按照我国对于标准的分类，本标准为国家推荐性标准。

## 九、采用国际标准和国外先进标准的程度以及与同类标准水平的对比

本标准修改采用 ISO 20182:2008(E) Refractory test-piece preparation—Gunning refractory panels by the pneumatic-nozzle mixing type guns，技术条件与其保持一致，试验条件更接近采用喷（补）射方法现场施工条件，所制备耐火材料性能检测试样的检测结果更能反映其实际应用性能，可操作性强，达到国际先进水平。