《混凝土用氧化镁膨胀剂》协会标准

编 制 说 明

**《混凝土用氧化镁膨胀剂》**

**标准编制组**

**2017年3月**

# 1 工作概况

## 1.1 任务来源

《混凝土用氧化镁膨胀剂》协会标准计划项目是中国建筑材料联合会下达的2016年第一批协会标准制定计划项目（中建材联发[2016]81号），该标准的归口单位为中国建筑材料联合会，项目编号为：2016-24-xbjh。该标准由中国混凝土与水泥制品协会、清华大学负责起草，并牵头组织相关单位共同完成。

## 1.2 制定目的

轻烧氧化镁国内外已经应用到需要保持长期体积稳定性的水泥基材料的制备：如水利工程，油井固井水泥浆等。轻烧氧化镁特有的长期膨胀性能在解决混凝土的温度收缩裂缝问题上有较好的效果。大量的实验研究和工程应用表明：掺有氧化镁的混凝土的体积稳定性主要取决于轻烧氧化镁的膨胀性能。混凝土用氧化镁材料的质量影响着氧化镁混凝土技术的发展和推广应用。

贵州省地方标准《全坝外掺氧化镁混凝土拱坝技术规范》（DB52/T 720-2010）、广东省地方标准《外掺氧化镁混凝土不分横缝技术导则》（DB44/T703-2010）和水利部行业标准《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》（DL/T 5296-2013）中有针对性的对水工大坝混凝土用氧化镁进行了部分性能约束，并提出了相关的试验方法，但是目前没有工民建领域用氧化镁膨胀剂的相关标准。

而现行国家标准GB23439-2009《混凝土膨胀剂》中对氧化镁的含量进行了约束，规定其含量不应超过5%。这是基于传统的水泥熟料生产工艺，认为经过高温煅烧的氧化镁晶体结构完整，活性低，反应速度慢，在硬化的混凝土中缓慢水化，产生后期膨胀，有可能导致结构开裂。

近年来，随着氧化镁低温煅烧技术的发展，氧化镁在混凝土中的应用越来越广泛，除了传统的水工构筑物外，在工民建领域开始尝试使用氧化镁类膨胀剂来控制解构开裂。为了规范混凝土用氧化镁的品质，避免该类产品质量性能参差不齐的现象，确保工程质量，特制定本团体标准。

本标准制定目标：基于国内氧化镁膨胀剂生产技术现状，规范氧化镁膨胀剂性能，指导氧化镁膨胀剂的生产，为用户提供产品质量检测依据。

## 1.3 主要工作过程

为顺利完成标准制定任务，由中国混凝土与水泥制品协会牵头成立了《混凝土用氧化镁膨胀剂》协会标准编制组。标准编制组由清华大学、武汉三源特种建材有限责任公司、江苏苏博特新材料有限责任公司、南京工业大学、长江水利委员会长江科学院、中国建筑第八工程局有限公司、中建西部建设股份有限公司、广东省水利水电科学研究院、山东农业大学、北京建研建材有限公司、东方建宇混凝土科学技术研究院等11个生产企业、科研单位、施工企业组成，由清华大学阎培渝教授担任主编。标准编制组涵盖了国内主要的混凝土用氧化镁膨胀剂的科研单位、混凝土用氧化镁膨胀剂生产厂家和部分应用单位，具有广泛的代表性。

1. 2016年6月对国内仅有的批量化生产氧化镁膨胀剂的武汉三源特种建材有限责任公司和江苏苏博特新材料有限责任公司进行调研。调研内容包括氧化镁膨胀剂生产中的原材料技术要求、产品性能检验与试验方法、氧化镁膨胀剂生产工艺等。在此基础上，编制起草小组完成了《混凝土用氧化镁膨胀剂》（讨论稿）；
2. 2016年10月在清华大学召开了《混凝土用氧化镁膨胀剂》标准编制组第一次工作会议，11个参编单位的17名代表到会。编制组就《混凝土用氧化镁膨胀剂》（草稿）进行了认真讨论；并就氧化镁膨胀剂性能试验验证工作做了部署。要求由武汉三源特种建材有限责任公司和江苏苏博特新材料有限责任公司提供三种氧化镁膨胀剂样品，各参编单位进行不同养护温度、不同氧化镁膨胀剂掺量的补偿收缩砂浆的限制膨胀率、强度和凝结时间的平行试验，为确定标准中的各项技术指标提供依据。
3. 到2017年1月，大部分参编单位的验证试验已经完成，编制组对试验结果进行了汇总和分析。2017年1月12日在武汉，部分标准编制组成员对汇总的试验结果进行了讨论，在此基础上提出了标准中的技术指标的建议值，并将修改后的《混凝土用氧化镁膨胀剂》（草稿）发给所有参编单位，进行讨论。
4. 2017年3月，在充分研究各参编单位的意见后，再次对《混凝土用氧化镁膨胀剂》（草稿）进行修订，形成《混凝土用氧化镁膨胀剂》（征求意见稿草稿）。标准编制组于3月7日在武汉三源特种建材有限责任公司花山总部召开了《混凝土用氧化镁膨胀剂》标准编制组第二次工作会议，除广东省水利水电科学研究院和东方建宇混凝土科学技术研究院因故请假外，其余参编单位都派人出席会议，武汉三源特种建材有限责任公司部分生产和研究人员列席了会议。会议逐条讨论了标准条文。根据会议上所提出的意见以及会后补充的意见，经过多次修改完善，形成了《混凝土用氧化镁膨胀剂》（征求意见稿）。

# 2 标准编制原则和主要内容

## 2.1 标准编制原则：

根据我国现行的有关规范和标准，结合我国混凝土用氧化镁膨胀剂的生产和使用现状，考虑到行业的发展趋势，参照已编制的贵州省地方标准《全坝外掺氧化镁混凝土拱坝技术规范》（DB52/T 720-2010）、广东省地方标准《外掺氧化镁混凝土不分横缝技术导则》（DB44/T703-2010）、水利部行业标准《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》（DL/T 5296-2013）和国家标准《混凝土膨胀剂》（GB23439-2009）等标准，力求达到：

* + 1. 满足目前国内混凝土用氧化镁膨胀剂生产工艺、设备、技术的共性要求，并引领技术发展；
    2. 标准主要技术指标先进、合理；
    3. 标准可操作性强；检验试验方法适用、可靠；
    4. 与已经颁布施行的《全坝外掺氧化镁混凝土拱坝技术规范》、《外掺氧化镁混凝土不分横缝技术导则》、《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》、《混凝土膨胀剂》的部分基本技术参数一致。

## 2.2 标准主要内容说明

本标准共分七章：1 范围；2 规范性引用文件；3 术语与定义；4性能；5试验方法；6检验规则；7 包装、标志、贮存与运输。现将标准有关条文说明如下：

1 范围

本标准规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的术语和定义、性能等级、试验方法、检验规则、包装、标志、运输与贮存。

本标准适用于混凝土用氧化镁膨胀剂。

2 规范性引用文件

本标准引用了混凝土用氧化镁膨胀剂所涉及到的全部技术标准及规范。标准编号中明确了年代号的，其后所做的修订版本不适用本标准，没有明确年代号的标准，可采用新的版本。

3 术语与定义

本标准从混凝土用氧化镁膨胀剂标准中部分术语进行了如下规定：

3.1混凝土用氧化镁膨胀剂 magnesium oxide expansive agent for concrete

一种在混凝土制备过程中加入的，以氢氧化镁为主要水化产物，使混凝土产生体积膨胀的外加剂。需要特别指出的是，区别于混凝土膨胀剂标准，该类膨胀剂是以氧化镁作为主要膨胀源。

3.2反应时间 reaction time

一定量氧化镁与规定浓度的柠檬酸溶液反应，溶液达到中性所需的时间。需要特别指出的是，区别于DL/T 5296-2013《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》中活性度表征描述，采用实际氧化镁活性试验测试中氧化镁膨胀剂反应时间的长短来表征不同氧化镁膨胀剂类型。

3.3 28d与7d限制膨胀值差 difference of restrained expansive rate at 28d and 7d

水泥胶砂试件在指定条件下养护28d的限制膨胀率与养护7d的限制膨胀率的差值，用Δξ表示。混凝土用氧化镁膨胀剂具备延迟膨胀性能。区别于普通的氧化钙类、钙矾石类、氧化钙-钙矾石类混凝土膨胀剂，其7d到28d膨胀增长值明显。其中指定条件是指常温20℃和高温40℃水养护条件。

4 性能

4.1 混凝土用氧化镁品质指标

混凝土用氧化镁膨胀剂的品质指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 品质指标 | | |
| R型 | M型 | S型 |
| 含水率/（%） | ≤0.5 | | |
| MgO含量/（%） | ≥80.0 | | |
| 烧失量/（/%） | ≤4.0 | | |
| 80µm方孔筛筛余/（%） | ≤5.0 | | |
| 1.18mm方孔筛筛余/（%） | ≤0.5 | | |
| 反应时间/（s） | ＜100 | ≥100且＜200 | ≥200且＜300 |

4.1.1 含水率

标准中对含水率/（%）要求应不大于0.5%（质量比）。实际材料应为粉状，不结块。混凝土用氧化镁膨胀剂材料主要成份为活性氧化镁，尤其是R型氧化镁膨胀剂产品，活性高，极易水化生成氢氧化镁。为确保氧化镁膨胀剂贮存运输和使用效果，必须排除水分的干扰。

4.1.2 氧化镁含量

本标准中对MgO含量/（%）要求不小于80.0%（质量比）。贵州省地方标准DB52/T 720-2010 《全坝外掺氧化镁混凝土拱坝技术规范》和广东省地方标准DB44/T703-2010《外掺氧化镁混凝土不分横缝技术导则》要求MgO含量/（%）不小于90.0%（质量比），DL/T 5296-2013 《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》中氧化镁含量要求MgO含量/（%）不小于85.0%（质量比）。根据实际调研得知，氧化镁含量在85.0%以上时，必须使用1级矿源以上的菱镁矿，对于产品的推广应用和资源合理利用具有一定的限制。若MgO含量≥80%，则可利用品位较低的菱镁矿尾矿制备氧化镁膨胀剂，对解决废弃尾矿所造成的矿产资源浪费及环境压力等问题有一定的积极意义。另外通过实验研究得出，氧化镁含量降低带来的膨胀效果降低亦可以通过调整掺量，来达到预期的效果。

4.1.3 烧失量

本标准中对烧失量/（%）要求不大于4.0%（质量比），与既往地方标准和水工标准中氧化镁质量要求保持一致。混凝土用氧化镁膨胀剂采用低温煅烧菱镁矿而来，其中烧失量/（%）的高低不仅代表了混凝土用氧化镁膨胀剂的生产质量水平，也实际表征了混凝土用氧化镁膨胀剂中有效氧化镁含量。烧失量大，则未分解的菱镁矿成份就大，质量就不均匀，有效的膨胀能就越低。

4.1.4 细度

本标准中细度要求包含2个方面的内容：a、80µm方孔筛筛余/（%）要求不大于5.0%；b、1.18mm方孔筛筛余/（%）不大于0.5%。MgO细度大小与其水化膨胀速率有着直接的关系。MgO具备延迟性膨胀特性，其颗粒变细有利于MgO早期水化，有利于水泥石早期膨胀性能发挥， 80～120μm粒度范围内的MgO产生的膨胀相对较小，＜45μm、45～63μm和63～80μm粒度范围内的MgO的膨胀性能相差不显著，宜用0.08mm筛余控制细度。1.18mm以上粒度MgO颗粒的存在，在水泥混凝土中会存在后期局部膨胀和应力集中、导致混凝土剥落和体积稳定性不好，所以需要控制粗颗粒的含量。

4.1.5 反应时间

本标准中以反应时间替代DL/T 5296-2013《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》中活性度的表述，依据反应时间的长短，将混凝土用氧化镁膨胀剂细分为3个类型，即快速（代号为R）型，反应时间＜100秒；中速（代号为M）型，反应时间≥100且＜200秒和慢速（代号为S）型，反应时间≥200且＜300秒。其中R、M型主要应用于尺寸较小的混凝土结构中，S型主要用于大体积混凝土。

4.2 碱含量

标准中对碱含量的要求与DL/T 5296-2013 《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》和GB23439《混凝土膨胀剂》一致，即碱含量以钠当量（Na2O+0.658K2O）计算值表示，若使用活性骨料，用户要求提供低碱含量的混凝土用氧化镁膨胀剂时，混凝土用氧化镁膨胀剂中的碱含量应不大于0.75%，或由供需双方协商决定。

4.3 混凝土用氧化镁膨胀剂的物理性能

混凝土用氧化镁膨胀剂的物理性能指标

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | | | 性能指标 | | |
| 胶砂限制膨胀  率/（%） | 养护条件 | 龄期（d） | R型 | M型 | S型 |
| 20℃水中 | 7 | ≥0.020 | ≥0.015 | ≥0.010 |
| Δξ | ≥0.020 | ≥0.015 | ≥0.010 |
| 40℃水中 | 7 | ≥0.040 | ≥0.030 | ≥0.020 |
| Δξ | ≥0.020 | ≥0.030 | ≥0.040 |
| 凝结时间/（min） | | 初凝 | ≥45 | | |
| 终凝 | ≤600 | | |
| 胶砂抗压强度/（MPa） | | 7d | ≥22.5 | | |
| 28d | ≥42.5 | | |

4.3.1 胶砂限制膨胀率

区别于GB23439《混凝土膨胀剂》的限制膨胀率表征方法。结合实际混凝土施工工艺和混凝土温升情况，为突显混凝土用氧化镁膨胀剂特有的延迟膨胀特性，本标准采用20℃和40℃水养护2种养护方式表征氧化镁膨胀剂的膨胀特性。其中在20℃水养护条件下：7天限制膨胀率R型≥0.020%；M型≥0.015%；S型≥0.010%；7天到28天的限制膨胀率增量（Δξ）值R型≥0.020%；M型≥0.015%；S型≥0.010%。40℃水养护条件下：7天限制膨胀率R型≥0.040%；M型≥0.030%；S型≥0.020%；7天到28天的限制膨胀率增量（Δξ）值R型≥0.020%；M型≥0.030%；S型≥0.040%。

4.3.2 凝结时间

本标准中凝结时间与GB23439《混凝土膨胀剂》保持一致，即要求凝结时间/（min）：初凝≥45；终凝≤600。其中氧化镁膨胀剂掺量为内掺10%。

4.3.3 抗压强度

区别于GB23439《混凝土膨胀剂》中抗压强度要求，本标准中胶砂抗压强度/（MPa）：7d≥22.5；28d≥42.5。其中氧化镁膨胀剂掺量为内掺6%。

4.4 混凝土用氧化镁膨胀剂的匀质性指标

混凝土用氧化镁膨胀剂的匀质性指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 匀质性指标 | | |
| R型 | M型 | S型 |
| MgO含量/（%） | 控制值±2.0%之内 | | |
| 反应时间/（s） | 控制值±20s之内 | | |

本标准中匀质性要求MgO含量/（%）控制值±2.0%之内；反应时间/（s）控制值±20s之内。匀质性要求是混凝土用氧化镁膨胀剂的一项重要指标，表征着产品生产的稳定性。氧化镁膨胀剂的质量稳定与否直接关系到氧化镁膨胀剂在混凝土应用过程中的膨胀补偿收缩效果与安全性。本标准中匀质性要求严于DL/T 5296-2013 《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》产品行业标准标准。

5 试验方法

本章根据《混凝土用氧化镁膨胀剂》产品协会标准要求，规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的检验项目，其中各项检验规则阐述如下：

5.1 品质指标

5.1.1 MgO含量、碱含量、烧失量

本条规定了MgO含量、碱含量、烧失量按GB/T 176《水泥化学分析方法》的相关规定进行。

5.1.2 含水率

本条规定了含水率按GB 8076《混凝土外加剂》中的相关规定进行。

5.1.3 细度

本条规定了细度分别采用GB/T 6003.1《金属丝编织网试验筛》规定的80µm方孔筛和1.18mm方孔筛，参照GB/T 1345《水泥细度检验方法 筛析法》规定的手工干筛法进行。

5.1.4 反应时间

本条规定了反应时间按DL/T 5296《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》中附录A的规定进行。

5.2 匀质性

本条规定了匀质性测试的样品为每一编号所取得的10个分割样分别通过1.18mm方孔筛，不得混杂。每个分割样进行MgO含量和反应时间检测，控制值为同编号产品出厂检验报告中给出的MgO含量和反应时间值。

5.3 物理性能指标

5.3.1 本条规定了物理性能指标测试的试验材料采用GB 8076《混凝土外加剂》规定的基准水泥，GB/T 17671《水泥胶砂强度检测方法》规定的标准砂和洁净的淡水。

5.3.2 胶砂限制膨胀率

本条规定了胶砂限制膨胀率参照GB23439《混凝土膨胀剂》限制膨胀率的成型和测试试验方法进行，其中不同点在于多了40℃水养护条件。氧化镁膨胀剂掺量为内掺10%

5.3.3 凝结时间

本条规定了凝结时间按GB/T 1346《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》中的规定进行。

5.3.4 胶砂抗压强度

本条规定了胶砂抗压强度按GB/T 17671《水泥胶砂强度检测方法》的相关规定进行，氧化镁膨胀剂掺量为内掺6%。

胶砂抗压强度检测的材料用量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 基准水泥（g） | 混凝土用氧化镁膨胀剂（g） | 标准砂 | 水（g） |
| 423±2.0 | 27±0.5 | 1350±5.0 | 225±1.0 |

6　检验规则

6.1 检验分类

6.1.1 出厂检验

本条规定了出厂检验的项目性能指标。

6.1.2 型式检验

本条规定了型式检验的条件和检验项目

6.2 编号和取样

本条规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的产品编号和取样规则。

6.3 判定规则

本条规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的产品合格判断规则。

6.4 出厂检验报告

本条规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的出厂检验报告内容。

6.5 仲裁检验试样及留样

本条规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的仲裁检验试样及留样规则。

7　包装,标志,运输与贮存

7.1 包装

本条规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的包装重量和包装形式。

7.2 标志

本条规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的标识，明确了所有包装袋上均应在明显位置清楚标明：执行标准、产品名称、型号、净含量、生产厂名、厂址、出厂编号、包装日期。

7.3 运输与贮存

本条规定了混凝土用氧化镁膨胀剂的运输和贮存要求，明确产品应存放在专用仓库或固定的场所，以易于识别、检查和提货为原则。搬运时应轻拿轻放，以免破损，运输与贮存时应避免受潮。

产品以包装日期起计算，在符合标准规定的包装、运输和贮存条件下贮存期为180d。过期应重新进行物理性能检验。

# 三、主要试验（或验证）情况

2016年10月，标准编制起草小组在《混凝土用氧化镁膨胀剂》第一次工作会议上就混凝土用氧化镁膨胀剂的试验验证工作进行了部署安排，并同步下发了《混凝土用氧化镁膨胀剂》标准验证试验试验方案，就试验材料，试验方法，试验项目及试验掺量等做出了详细的要求，

本轮试验单位参与有10家，分别为清华大学、武汉三源特种建材有限责任公司、江苏苏博特新材料有限责任公司、南京工业大学、长江水利委员会长江科学院、中国建筑第八工程局有限公司、中建西部建设股份有限公司、广东省水利水电科学研究院、建研建材有限公司、山东农业大学。

其中具备试验检测条件并实际参与氧化镁试验验证的单位有8家单位，分别为武汉三源特种建材有限责任公司、江苏苏博特新材料有限责任公司、长江水利委员会长江科学院、中建西部建设股份有限公司、广东省水利水电科学研究院、建研建材有限公司、山东农业大学。

## 3.1 各项性能指标检测验证结果

本轮试验由武汉三源和江苏博特分别提供三种类型氧化镁进行测试，其中武汉三源特种建材有限责任公司样品化学成份信息如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **样品** | **水化活性值（活性反应时间）** | **化学成分/wt.%** | | | | | |
| **MgO** | **SiO2** | **Fe2O3** | **Al2O3** | **CaO** | **Loss** |
| R型MgO | 65s | 90.69 | 2.34 | 0.47 | 0.76 | 2.17 | 2.00 |
| M型MgO | 120s | 93.50 | 1.51 | 0.48 | 0.68 | 2.18 | 0.40 |
| S型MgO | 220s | 90.70 | 1.73 | 0.48 | 0.76 | 1.51 | 3.13 |

江苏苏博特新材料有限责任公司化学成份信息如下：

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **样品** | **水化活性值（活性反应时间）** | **化学成分/wt.%** | | | | | |
| **MgO** | **SiO2** | **Fe2O3** | **Al2O3** | **CaO** | **Loss** |
| R型MgO | 70s | 90.08 | 2.64 | 1.08 | 0.79 | 1.99 | 2.82 |
| M型MgO | 110s | 90.02 | 2.46 | 0.5 | 0.43 | 2.35 | 3.44 |
| S型MgO | 210s | 92.19 | 1.16 | 0.65 | 0.16 | 1.9 | 3.02 |

2家单位化学分析数据显示，氧化镁性能差距不大，满足试验需求。

## 3.2 试验对比内容

本轮试验内容对比要求除开化学分析指标后的物理性能测试，检测掺量为6%、8%、10%掺量。主要包含以下检测内容：

|  |  |
| --- | --- |
| 检测内容 | 检测项目 |
| 胶砂限制膨胀率 | 水中7d/28d/空气中21d，其中R、M型为20℃1种养护环境，S型包含20℃和40℃2种养护环境。 |
| 凝结时间 | 初凝（min）、终凝（min） |
| 强度 | 抗压/抗折强度 |

### 3.2.1凝结时间与安定性

按GB/T1346《水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法》中的相关规定进行。其中氧化镁掺量为胶凝材料总量的6%、8%、10%。其中胶凝材料总量为500g，各材料用量详见表3.2.1。

表3.2.1 标准稠度用水量测定、凝结时间测定、安定性检测材料用量

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 氧化镁掺量 | 基准水泥（g） | 氧化镁（g） | 用水量（g） |
| 6% | 470 | 30 | 标准稠度用水量 |
| 8% | 460 | 40 | 标准稠度用水量 |
| 10% | 450 | 50 | 标准稠度用水量 |

**3.2.1.1标准稠度用水量**

本次试验涉及8家试验单位，因各地实验室条件差异，标准稠度用水量有所不同，详细数值如下：

表3.2.1.1 标准稠度用水量检测数据汇总

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 标准稠度用水量/g | **种类** | **编号** | **掺量** | **武汉**  **三源** | **江苏博特** | **长科委** | **中建西部** | **广东**  **水利** | **建研**  **建材** | **山东**  **农大** | **最小**  **值** | **最大**  **值** | **均值** |
| 武汉三源 | R | 6% | 143.9 | 145.0 | 133.0 | 135.0 | 147.0 | 143.9 | 143.9 | 133.0 | 147.0 | 141.7 |
| 8% | 148.6 | 148.0 | 139.0 | 138.0 | 153.0 | 152.1 | 152.1 | 138.0 | 153.0 | 147.2 |
| 10% | 152.4 | 151.0 | 147.0 | 143.0 | 154.0 | 156.2 | 156.2 | 143.0 | 156.2 | 151.4 |
| M | 6% | 140.3 | 141.0 | 132.0 | 134.0 | 139.0 | 145.1 | 145.1 | 132.0 | 145.1 | 139.5 |
| 8% | 145.1 | 144.0 | 137.0 | 138.0 | 145.0 | 149.3 | 149.3 | 137.0 | 149.3 | 143.9 |
| 10% | 149.4 | 146.0 | 145.0 | 142.0 | 148.0 | 151.0 | 151.0 | 142.0 | 151.0 | 147.5 |
| S | 6% | 139.8 | 140.0 | 131.0 | 132.0 | 142.0 | 139.8 | 139.8 | 131.0 | 142.0 | 137.8 |
| 8% | 144.0 | 142.0 | 134.5 | 135.0 | 146.0 | 144.0 | 144.0 | 134.5 | 146.0 | 141.4 |
| 10% | 150.3 | 145.0 | 137.0 | 139.0 | 153.0 | 146.9 | 146.9 | 137.0 | 153.0 | 145.4 |
| 江苏博特 | R | 6% | 143.9 | 140.0 | 132.0 | 150.0 | 138.0 | × | × | 132.0 | 150.0 | 140.8 |
| 8% | 152.0 | 145.0 | 139.0 | 154.0 | 142.0 | × | × | 139.0 | 154.0 | 146.4 |
| 10% | 156.0 | 150.0 | 147.0 | 158.0 | 145.0 | × | × | 145.0 | 158.0 | 151.2 |
| M | 6% | 144.3 | 137.0 | 130.0 | 137.0 | 133.0 | × | × | 130.0 | 144.3 | 136.3 |
| 8% | 145.7 | 142.0 | 133.0 | 140.0 | 138.0 | × | × | 133.0 | 145.7 | 139.7 |
| 10% | 146.5 | 147.0 | 135.5 | 153.0 | 140.0 | × | × | 135.5 | 153.0 | 144.4 |
| S | 6% | 143.7 | 137.0 | 130.0 | 141.0 | 135.0 | × | × | 130.0 | 143.7 | 137.3 |
| 8% | 144.6 | 144.0 | 132.5 | 141.0 | 138.0 | × | × | 132.5 | 144.6 | 140.0 |
| 10% | 145.4 | 147.0 | 135.0 | 143.0 | 140.0 | × | × | 135.0 | 147.0 | 142.1 |

从上表可以看出，各单位标稠用水量规律相同，即：

1. 相同型号的Mg0样品，用水量随掺量的增大而增大。
2. 不同型号的Mg0样品，相同掺量下，用水量R型＞M型＞S型。

其规律与相关文献结论一致。

**3.2.1.2初凝时间（min）**

表3.2.1.2 初凝时间检测数据汇总

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 初凝  时间（min） | 种类 | 编号 | 掺量 | 武汉  三源 | 江苏博特 | 长科委 | 中建西部 | 广东水利 | 建研建材 | 山东农大 | 最小值 | 最大值 | 均值 |
| 武汉三源 | R | 6% | 176 | 250 | 199 | 240 | 260 | 216 | 181 | 176 | 260 | 217 |
| 8% | 174 | 250 | 211 | 245 | 284 | 214 | 198 | 174 | 284 | 225 |
| 10% | 186 | 246 | 272 | 260 | 323 | 210 | 216 | 186 | 323 | 245 |
| M | 6% | 158 | 243 | 195 | 220 | 211 | 206 | 214 | 158 | 243 | 207 |
| 8% | 158 | 239 | 172 | 235 | 252 | 237 | 204 | 158 | 252 | 214 |
| 10% | 159 | 235 | 228 | 250 | 273 | 230 | 216 | 159 | 273 | 227 |
| S | 6% | 160 | 244 | 233 | 250 | 228 | 230 | 209 | 160 | 250 | 222 |
| 8% | 192 | 303 | 287 | 260 | 271 | 248 | 238 | 192 | 303 | 257 |
| 10% | 256 | 311 | 297 | 275 | 320 | 269 | 255 | 255 | 320 | 283 |
| 江苏博特 | R | 6% | 228 | 260 | 211 | 255 | 243 | × | × | 211 | 260 | 239 |
| 8% | 204 | 256 | 231 | 270 | 248 | × | × | 204 | 270 | 242 |
| 10% | 237 | 302 | 257 | 280 | 273 | × | × | 237 | 302 | 270 |
| M | 6% | 185 | 186 | 205 | 195 | 168 | × | × | 168 | 205 | 188 |
| 8% | 182 | 182 | 232 | 210 | 235 | × | × | 182 | 235 | 208 |
| 10% | 173 | 178 | 242 | 205 | 240 | × | × | 173 | 242 | 208 |
| S | 6% | 182 | 224 | 192 | 225 | 202 | × | × | 182 | 225 | 205 |
| 8% | 183 | 245 | 202 | 230 | 209 | × | × | 183 | 245 | 214 |
| 10% | 189 | 254 | 225 | 235 | 214 | × | × | 189 | 254 | 223 |

相同型号的Mg0样品的初凝时间随掺量的增大而增大，所有检测单位初凝时间均≥45min。满足标准初稿要求。

**3.2.1.3终凝时间（min）**

表3.2.1.3 终凝时间检测数据汇总

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 终凝时间（min） | 种类 | 编号 | 掺量 | 武汉三源 | 江苏博特 | 长科委 | 中建西部 | 广东水利 | 建研建材 | 山东农大 | 最小值 | 最大值 | 均值 |
| 武汉三源 | R | 6% | 204 | 349 | 260 | 265 | 354 | 293 | 211 | 204 | 354 | 277 |
| 8% | 212 | 347 | 273 | 270 | 362 | 307 | 236 | 212 | 362 | 287 |
| 10% | 248 | 343 | 322 | 310 | 411 | 327 | 259 | 248 | 411 | 317 |
| M | 6% | 210 | 265 | 250 | 240 | 279 | 271 | 254 | 210 | 279 | 253 |
| 8% | 218 | 334 | 245 | 265 | 306 | 297 | 259 | 218 | 334 | 275 |
| 10% | 232 | 341 | 280 | 265 | 343 | 303 | 276 | 232 | 343 | 291 |
| S | 6% | 220 | 337 | 293 | 300 | 350 | 320 | 257 | 220 | 350 | 297 |
| 8% | 246 | 402 | 297 | 330 | 347 | 333 | 289 | 246 | 402 | 321 |
| 10% | 302 | 420 | 342 | 375 | 372 | 337 | 301 | 301 | 420 | 350 |
| 江苏博特 | R | 6% | 316 | 340 | 271 | 350 | 318 | × | × | 271 | 350 | 319 |
| 8% | 259 | 335 | 306 | 360 | 330 | × | × | 259 | 360 | 318 |
| 10% | 286 | 360 | 267 | 350 | 364 | × | × | 267 | 364 | 325 |
| M | 6% | 231 | 265 | 280 | 270 | 277 | × | × | 231 | 280 | 265 |
| 8% | 238 | 261 | 307 | 280 | 302 | × | × | 238 | 307 | 278 |
| 10% | 234 | 290 | 317 | 270 | 336 | × | × | 234 | 336 | 289 |
| S | 6% | 239 | 300 | 225 | 305 | 278 | × | × | 225 | 305 | 269 |
| 8% | 241 | 325 | 232 | 280 | 287 | × | × | 232 | 325 | 273 |
| 10% | 243 | 360 | 255 | 300 | 294 | × | × | 243 | 360 | 290 |

相同型号的Mg0样品的终凝时间规律也是随掺量的增大而增大，所有检测单位初凝时间均≤品的终凝时间。满足标准初稿要求。

### 3.2.2抗压抗折强度

按GB/T17671《水泥胶砂强度检测方法》的相关规定进行，其中混凝土用氧化镁膨胀剂掺量为胶凝材料总量的6%、8%、10%。养护温度为20℃。测试龄期为7d、28d。

表3.2.2.1 7d抗折强度

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品分类** | **型号** | **掺量** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值** | **最大值** | **平均值** | **标准差偏差** | **变异系数（%）** |
| **三源** | **R型** | **6%** | 7.8 | 8.7 | 8.3 | 7.2 | × | 5.8 | 7.0 | 8.4 | 5.8 | 8.7 | 6.7 | 0.9 | 14.0 |
| **8%** | 7.7 | 7.6 | 8.1 | 7.1 | × | 6.1 | 7.3 | 7.5 | 6.1 | 8.1 | 6.4 | 0.6 | 9.1 |
| **10%** | 8.0 | 7.5 | 8.1 | 7.3 | × | 5.6 | 7.4 | 8.2 | 5.6 | 8.2 | 6.5 | 0.8 | 12.8 |
| **M型** | **6%** | 8.5 | 9.1 | 9.0 | 7.4 | × | 6.0 | 7.7 | 8.4 | 6.0 | 9.1 | 7.0 | 1.0 | 14.5 |
| **8%** | 8.0 | 8.6 | 9.0 | 7.5 | × | 5.9 | 7.1 | 7.9 | 5.9 | 9.0 | 6.7 | 0.9 | 14.0 |
| **10%** | 7.8 | 8.4 | 8.3 | 7.1 | × | 5.6 | 6.6 | 7.6 | 5.6 | 8.4 | 6.4 | 0.9 | 14.4 |
| **S型** | **6%** | 8.2 | 8.6 | 8.2 | 7.2 | × | 5.7 | 6.9 | 8.2 | 5.7 | 8.6 | 6.6 | 1.0 | 14.4 |
| **8%** | 8.0 | 8.3 | 8.5 | 7.2 | × | 5.3 | 6.8 | 8.1 | 5.3 | 8.5 | 6.5 | 1.1 | 16.3 |
| **10%** | 7.9 | 8.4 | 7.9 | 7.3 | × | 5.3 | 6.7 | 7.0 | 5.3 | 8.4 | 6.3 | 0.9 | 14.8 |
| **苏博特** | **R型** | **6%** | 7.7 | 8.2 | 8.4 | 7.3 | × | 6.2 | 6.8 | × | 6.2 | 8.4 | 5.6 | 0.8 | 13.5 |
| **8%** | 7.5 | 7.9 | 7.8 | 6.9 | × | 6.4 | 7.2 | × | 6.4 | 7.9 | 5.5 | 0.5 | 9.7 |
| **10%** | 7.6 | 7.8 | 7.8 | 6.5 | × | 6.5 | 7.1 | × | 6.5 | 7.8 | 5.4 | 0.6 | 10.2 |
| **M型** | **6%** | 8.1 | 8.4 | 8.6 | 7.3 | × | 6.1 | 6.7 | × | 6.1 | 8.6 | 5.6 | 0.9 | 16.1 |
| **8%** | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 7.1 | × | 6.5 | 6.2 | × | 6.2 | 8.0 | 5.5 | 0.7 | 13.7 |
| **10%** | 7.6 | 7.9 | 8.0 | 7.2 | × | 6.7 | 6.3 | × | 6.3 | 8.0 | 5.5 | 0.6 | 11.2 |
| **S型** | **6%** | 7.9 | 8.2 | 8.4 | 7.4 | × | 6.0 | 7.0 | × | 6.0 | 8.4 | 5.6 | 0.8 | 14.4 |
| **8%** | 7.6 | 8.6 | 8.2 | 7.0 | × | 6.6 | 7.4 | × | 6.6 | 8.6 | 5.7 | 0.7 | 12.2 |
| **10%** | 7.9 | 8.3 | 7.9 | 7.0 | × | 6.6 | 6.8 | × | 6.6 | 8.3 | 5.6 | 0.6 | 11.4 |

表3.2.2.2 28d抗折强度

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品分类** | **型号** | **掺量** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值** | **最大值** | **平均值** | **标准差偏差** | **变异**  **系数（%）** |
| **三源** | **R型** | **6%** | 8.0 | 8.6 | 13.2 | 7.6 | × | 6.5 | 7.9 | 8.6 | 6.5 | 13.2 | 7.6 | 2.0 | 26.3 |
| **8%** | 8.2 | 8.6 | 12.8 | 7.2 | × | 6.2 | 7.8 | 8.0 | 6.2 | 12.8 | 7.4 | 1.9 | 26.4 |
| **10%** | 8.4 | 8.4 | 12.5 | 7.4 | × | 6.0 | 7.7 | 8.4 | 6.0 | 12.5 | 7.3 | 1.9 | 25.2 |
| **M型** | **6%** | 8.7 | 9.4 | 14.0 | 7.7 | × | 5.8 | 7.7 | 8.6 | 5.8 | 14.0 | 7.7 | 2.4 | 30.5 |
| **8%** | 8.7 | 9.2 | 13.4 | 7.6 | × | 6.2 | 7.3 | 8.2 | 6.2 | 13.4 | 7.6 | 2.1 | 28.3 |
| **10%** | 8.5 | 8.8 | 12.0 | 7.4 | × | 5.8 | 7.2 | 8.0 | 5.8 | 12.0 | 7.2 | 1.8 | 24.7 |
| **S型** | **6%** | 8.5 | 9.5 | 13.7 | 7.2 | × | 6.6 | 7.8 | 8.5 | 6.6 | 13.7 | 7.7 | 2.2 | 28.2 |
| **8%** | 8.5 | 8.7 | 13.3 | 7.6 | × | 5.8 | 7.4 | 8.3 | 5.8 | 13.3 | 7.5 | 2.1 | 28.8 |
| **10%** | 8.3 | 8.4 | 12.6 | 7.4 | × | 5.7 | 7.3 | 7.8 | 5.7 | 12.6 | 7.2 | 2.0 | 27.4 |
| **苏博特** | **R型** | **6%** | 8.3 | 9.2 | 8.7 | 7.7 | × | 6.7 | 7.6 | × | 6.7 | 9.2 | 6.0 | 0.8 | 13.3 |
| **8%** | 8.4 | 8.2 | 8.1 | 7.3 | × | 5.8 | 7.4 | × | 5.8 | 8.4 | 5.7 | 0.9 | 15.6 |
| **10%** | 8.3 | 8.5 | 8.0 | 7.4 | × | 6.3 | 7.5 | × | 6.3 | 8.5 | 5.7 | 0.7 | 12.4 |
| **M型** | **6%** | 8.7 | 8.2 | 8.9 | 7.8 | × | 6.4 | 7.9 | × | 6.4 | 8.9 | 6.0 | 0.8 | 13.7 |
| **8%** | 8.4 | 8.6 | 8.3 | 7.6 | × | 6.0 | 7.3 | × | 6.0 | 8.6 | 5.8 | 0.9 | 15.6 |
| **10%** | 8.1 | 8.6 | 8.2 | 7.4 | × | 6.0 | 6.9 | × | 6.0 | 8.6 | 5.7 | 0.9 | 15.3 |
| **S型** | **6%** | 8.5 | 9.0 | 8.5 | 8.0 | × | 6.5 | 7.9 | × | 6.5 | 9.0 | 6.1 | 0.8 | 13.0 |
| **8%** | 8.3 | 8.4 | 8.4 | 7.8 | × | 7.0 | 7.6 | × | 7.0 | 8.4 | 5.9 | 0.5 | 8.4 |
| **10%** | 8.5 | 8.5 | 8.2 | 7.4 | × | 6.4 | 7.3 | × | 6.4 | 8.5 | 5.8 | 0.8 | 13.4 |

掺加氧化镁的胶砂抗折强度，7d与28天数值差别不大，约0.5 MPa左右，检测结果显示以中建西部检测数值最大，清华大学单位检测数据最小，但整体氧化镁（不同型号和掺量）均满足标准初稿要求：即7d（不同型号和掺量）均满＞5.5 MPa。

表3.2.2.3 7d抗压强度

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品分类** | **型号** | **掺量** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值** | **最大值** | **平均值** | **标准差偏差** | **变异系数（%）** |
| **三源** | **R型** | **6%** | 35.8 | 41.7 | 37.3 | 37.3 | 40.8 | 36.3 | 36.1 | 43.5 | 35.8 | 43.5 | 38.6 | 2.8 | 7.2 |
| **8%** | 37.6 | 39.6 | 41.2 | 34.7 | 37.7 | 36.8 | 38.1 | 44.6 | 34.73 | 44.6 | 38.8 | 2.8 | 7.3 |
| **10%** | 35.9 | 39.3 | 40.2 | 36.7 | 37.0 | 36.7 | 35.2 | 41.9 | 35.2 | 41.9 | 37.9 | 2.2 | 5.8 |
| **M型** | **6%** | 38.0 | 41.2 | 43.8 | 37.0 | 38.8 | 36.7 | 35.0 | 45.9 | 35 | 45.9 | 39.5 | 3.5 | 8.9 |
| **8%** | 37.0 | 40.9 | 45.1 | 36.9 | 38.3 | 38.3 | 28.7 | 45.7 | 28.7 | 45.7 | 38.9 | 5.0 | 12.9 |
| **10%** | 34.9 | 39.6 | 42.6 | 35.9 | 36.6 | 35.3 | 29.3 | 44.9 | 29.3 | 44.9 | 37.4 | 4.6 | 12.2 |
| **S型** | **6%** | 38.0 | 44.3 | 44.4 | 35.6 | 39.8 | 35.9 | 34.4 | 46.1 | 34.4 | 46.1 | 39.8 | 4.3 | 10.7 |
| **8%** | 36.5 | 42.6 | 42.7 | 37.4 | 38.1 | 35.1 | 34.0 | 42.4 | 34 | 42.7 | 38.6 | 3.3 | 8.5 |
| **10%** | 35.6 | 41.3 | 41.9 | 33.0 | 36.2 | 33.6 | 32.5 | 41.6 | 32.5 | 41.9 | 37.0 | 3.8 | 10.2 |
| **苏博特** | **R型** | **6%** | 35.8 | 42.6 | 46.3 | 37.4 | × | 42.6 | 33.4 | × | 33.4 | 46.3 | 39.7 | 4.5 | 11.3 |
| **8%** | 37.6 | 40.6 | 43.8 | 36.1 | × | 41.4 | 29.7 | × | 29.7 | 43.8 | 38.2 | 4.5 | 11.9 |
| **10%** | 37.5 | 39.6 | 40.5 | 34.9 | × | 37.7 | 32.5 | × | 32.5 | 40.5 | 37.1 | 2.7 | 7.3 |
| **M型** | **6%** | 39.2 | 41.4 | 46.9 | 40.5 | × | 40.4 | 33.6 | × | 33.6 | 46.9 | 40.3 | 3.9 | 9.7 |
| **8%** | 39.1 | 41.0 | 44.9 | 39.3 | × | 39.2 | 31.7 | × | 31.7 | 44.9 | 39.2 | 3.9 | 10.0 |
| **10%** | 36.0 | 40.2 | 43.4 | 38.4 | × | 38.2 | 32.7 | × | 32.7 | 43.4 | 38.2 | 3.3 | 8.7 |
| **S型** | **6%** | 39.0 | 44.5 | 46.4 | 38.9 | × | 40.8 | 31.4 | × | 31.4 | 46.4 | 40.2 | 4.8 | 11.9 |
| **8%** | 38.6 | 43.3 | 45.2 | 36.3 | × | 44.0 | 32.4 | × | 32.4 | 45.2 | 40.0 | 4.6 | 11.5 |
| **10%** | 38.0 | 41.5 | 45.4 | 39.4 | × | 38.5 | 32.8 | × | 32.8 | 45.4 | 39.3 | 3.8 | 9.7 |

掺加氧化镁的7d胶砂抗压强度，检测结果显示以中建西部检测数值最大，广东水利单位检测数据最小，但整体氧化镁（不同型号和掺量）均满足标准初稿要求。

表3.2.2.4 28d抗压强度

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品分类** | **型号** | **掺量** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值** | **最大值** | **平均值** | **标准差偏差** | **变异系数（%）** |
| **三源** | **R型** | **6%** | 49.5 | 48.4 | 47.2 | 43.3 | 47.3 | 48.6 | 43.3 | 56.9 | 43.28 | 56.9 | 48.1 | 4.0 | 8.3 |
| **8%** | 49.8 | 47.0 | 49.6 | 42.2 | 43.5 | 46.6 | 43.5 | 53.6 | 42.16 | 53.6 | 47.0 | 3.6 | 7.8 |
| **10%** | 45.7 | 44.7 | 48.6 | 40.4 | 40.2 | 44.8 | 41.2 | 50.1 | 40.2 | 50.1 | 44.5 | 3.5 | 7.8 |
| **M型** | **6%** | 49.6 | 49.4 | 55.6 | 43.1 | 46.2 | 47.5 | 42.8 | 55.2 | 42.8 | 55.6 | 48.7 | 4.5 | 9.3 |
| **8%** | 47.8 | 49.7 | 50.6 | 41.5 | 42.3 | 47.9 | 40.8 | 54.5 | 40.8 | 54.5 | 46.9 | 4.6 | 9.8 |
| **10%** | 45.6 | 46.7 | 50.2 | 39.3 | 41.8 | 45.3 | 40.2 | 51.4 | 39.33 | 51.4 | 45.1 | 4.1 | 9.2 |
| **S型** | **6%** | 51.4 | 51.0 | 56.3 | 44.2 | 48.9 | 48.6 | 42.1 | 54.6 | 42.1 | 56.3 | 49.6 | 4.5 | 9.1 |
| **8%** | 48.5 | 47.7 | 49.7 | 44.8 | 43.1 | 49.0 | 39.6 | 52.0 | 39.6 | 52 | 46.8 | 3.8 | 8.0 |
| **10%** | 48.1 | 46.3 | 44.7 | 35.9 | 42.5 | 44.7 | 38.9 | 54.9 | 35.91 | 54.9 | 44.5 | 5.4 | 12.1 |
| **苏博特** | **R型** | **6%** | 46.8 | 49.0 | 55.2 | 44.1 | × | 50.1 | 42.1 | × | 42.1 | 55.2 | 47.9 | 4.3 | 8.9 |
| **8%** | 48.9 | 46.7 | 50.5 | 41.2 | × | 42.5 | 41.0 | × | 41 | 50.5 | 45.1 | 3.8 | 8.4 |
| **10%** | 46.2 | 46.7 | 48.7 | 40.0 | × | 42.6 | 38.4 | × | 38.4 | 48.7 | 43.8 | 3.7 | 8.5 |
| **M型** | **6%** | 50.3 | 47.9 | 54.8 | 44.2 | × | 46.8 | 42.4 | × | 42.4 | 54.8 | 47.7 | 4.1 | 8.5 |
| **8%** | 49.0 | 48.4 | 53.4 | 43.2 | × | 47.2 | 41.0 | × | 41 | 53.4 | 47.0 | 4.0 | 8.6 |
| **10%** | 46.4 | 47.9 | 45.8 | 39.2 | × | 42.8 | 40.7 | × | 39.21 | 47.9 | 43.8 | 3.1 | 7.2 |
| **S型** | **6%** | 51.0 | 49.4 | 54.0 | 45.0 | × | 46.2 | 44.5 | × | 44.5 | 54 | 48.3 | 3.4 | 7.1 |
| **8%** | 48.0 | 48.4 | 52.7 | 43.8 | × | 49.0 | 43.7 | × | 43.7 | 52.7 | 47.6 | 3.1 | 6.6 |
| **10%** | 46.8 | 47.9 | 52.5 | 41.3 | × | 42.3 | 40.5 | × | 40.5 | 52.5 | 45.2 | 4.3 | 9.4 |

掺加氧化镁的28d胶砂抗压强度，检测结果显示以中建西部检测数值最大，广东水利与江苏博特单位检测数据最小，个别数据反馈28d强度＜40 MPa，（三源S型10%掺量），其他数值满足标准初稿28d，其他数值满足的既定要求。

### 3.3.3 限制膨胀率

参照GB23439-2009中胶砂限制膨胀率试验方法。

（1）试验条件：

1. 成型试验室的温度应保持在20℃±2℃，相对湿度应不低于50%；
2. 试体带模养护的雾室温度应保持在20℃±1℃，相对湿度≥相90%(试块冷却时应>95%）；
3. 养护水温度应在20℃±1℃（S型有40℃试验组）范围内；
4. 标准干养室温度20℃±1℃，相对湿度60±5%。

（2）试体制备：

表3.3.3 每组胶砂限制膨胀率检测材料用量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 氧化镁掺量 | 基准水泥（g） | 氧化镁（g） | 标准ISO砂（g） | 水（g） |
| 6% | 634.5 | 40.5 | 1350 | 270 |
| 8% | 621 | 54 | 1350 | 270 |
| 10% | 607.5 | 67.5 | 1350 | 270 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 氧化镁掺量 | R型 | M型 | S型 |
| 6% | 2组（20℃水养、干养） | 2组（20℃水养、干养） | 4组（20℃和40℃下水养、干养） |
| 8% | 2组（20℃水养、干养） | 2组（20℃水养、干养） | 4组（20℃和40℃下水养、干养） |
| 10% | 2组（20℃水养、干养） | 2组（20℃水养、干养） | 4组（20℃和40℃下水养、干养） |

（3）试体养护：

测量完初始长度的试体立即放入20℃（其中S型40℃的试验组置于40℃的恒温水槽）的水中进行恒温水养护。20℃试验组到测试龄期后，取出试块在标准干养室中测量长度，S型40℃的试块到测试龄期后取出放入标准湿养室（温度：20±1℃，相对湿度：>95%）中自然冷却至室温(要求冷却时间6h,试块冷却不可浇水急冷，不可堆垛)后在标准干养室中进行测量。试块测量完立即放回原养护环境中养护至测试龄期。主要测试7d、28d长度，干养试体为7天水养后转干空养护，其28d膨胀率为20℃（40℃）水中养护7d后置于标准干养室氧化21d的长度变化率。

（4）结果计算：

各龄期限制膨胀率按下式计算：



式中：

*ε*——所测龄期的限制膨胀率，%；

*L1*——所测龄期的试体长度测量值，单位为毫米（mm）；

*L*——试体的初始长度测量值，单位为毫米（mm）；

*L0*——试体的基准长度，140mm。

取相近的2个试件测定值的平均值作为限制膨胀率的测量结果，计算值精确至0.001%。

**3.3.3.1 20℃7d水养限制膨胀率**

表3.3.3.1 20℃7d水养限制膨胀率

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品分类** | **型号** | **掺量** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值（min）** | **最大值（max）** | **平均值（avg）** | **标准差偏差（sd）** | **变异系数（C.V）** |
| **三源** | **R型** | **6%** | **0.019** | 0.022 | 0.026 | **0.017** | 0.020 | 0.008 | 0.016 | **0.016** | 0.017 | 0.026 | 0.021 | 0.003 | 15.94% |
| **8%** | **0.024** | 0.025 | 0.016 | **0.024** | 0.029 | 0.014 | 0.011 | **0.022** | 0.016 | 0.025 | 0.022 | 0.004 | 16.25% |
| **10%** | **0.027** | 0.046 | 0.040 | **0.029** | 0.037 | 0.013 | -0.011 | **0.029** | 0.027 | 0.046 | 0.036 | 0.008 | 21.84% |
| **M型** | **6%** | **0.016** | 0.017 | 0.012 | **0.010** | 0.020 | 0.004 | -0.008 | **0.014** | 0.010 | 0.017 | 0.014 | 0.003 | 19.83% |
| **8%** | **0.019** | 0.019 | 0.002 | **0.017** | 0.068 | 0.005 | -0.003 | **0.018** | 0.002 | 0.019 | 0.014 | 0.007 | 49.94% |
| **10%** | **0.020** | 0.030 | 0.033 | **0.018** | 0.078 | 0.022 | -0.003 | **0.020** | 0.018 | 0.033 | 0.025 | 0.006 | 25.41% |
| **S型** | **6%** | **0.013** | 0.012 | 0.021 | **0.012** | 0.065 | 0.000 | -0.009 | **0.012** | 0.012 | 0.021 | 0.015 | 0.004 | 25.60% |
| **8%** | **0.015** | 0.006 | 0.023 | **0.013** | 0.102 | 0.002 | -0.021 | **0.011** | 0.006 | 0.023 | 0.014 | 0.006 | 41.27% |
| **10%** | **0.016** | 0.003 | 0.028 | **0.014** | 0.132 | 0.008 | -0.008 | **0.020** | 0.003 | 0.028 | 0.015 | 0.009 | 56.56% |
| **苏博特** | **R型** | **6%** | **0.019** | 0.013 | 0.018 | **0.023** | × | 0.003 | 0.005 | × | 0.013 | 0.019 | 0.016 | 0.003 | 16.41% |
| **8%** | **0.023** | 0.024 | 0.025 | **0.032** | × | 0.009 | -0.021 | × | 0.023 | 0.025 | 0.024 | 0.001 | 3.70% |
| **10%** | **0.026** | 0.032 | 0.025 | **0.036** | × | 0.010 | 0.070 | × | 0.025 | 0.032 | 0.028 | 0.003 | 10.34% |
| **M型** | **6%** | **0.016** | 0.008 | 0.018 | **0.014** | × | 0.008 | -0.002 | × | 0.008 | 0.018 | 0.014 | 0.005 | 32.67% |
| **8%** | **0.019** | 0.008 | 0.025 | **0.018** | × | 0.002 | 0.012 | × | 0.008 | 0.025 | 0.017 | 0.007 | 39.86% |
| **10%** | **0.021** | 0.019 | 0.035 | **0.021** | × | 0.010 | -0.004 | × | 0.019 | 0.035 | 0.025 | 0.007 | 28.15% |
| **S型** | **6%** | **0.012** | 0.010 | 0.013 | **0.013** | × | -0.002 | 0.032 | × | 0.010 | 0.013 | 0.012 | 0.001 | 9.06% |
| **8%** | **0.015** | 0.011 | 0.010 | **0.016** | × | 0.010 | 0.025 | × | 0.010 | 0.015 | 0.012 | 0.002 | 18.58% |
| **10%** | **0.016** | 0.011 | 0.016 | **0.018** | × | -0.005 | 0.013 | × | 0.011 | 0.016 | 0.014 | 0.002 | 14.64% |

注：“×”表示未进行该单位样品测试。

20℃7d水养限制膨胀率数据波动比较大，总体数据显示，武汉三源、江苏博特，山东农大数据规律较好，主要体现在：

1. 相同型号的Mg0样品，限制膨胀率随掺量的增大而增大。
2. 不同型号的Mg0样品，相同掺量下，限制膨胀率R型＞M型＞S型。 长科委和中建西部数据偏大。

**3.3.3.2 20℃28d水养限制膨胀率**

表3.3.3.2 20℃28d水养限制膨胀率

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品分类** | **型号** | **掺量** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值（min）** | **最大值（max）** | **平均值（avg）** | **标准差偏差（sd）** | **变异系数（C.V）** |
| **三源** | **R型** | **6%** | **0.038** | 0.033 | 0.041 | **0.031** | 0.036 | 0.018 | 0.038 | **0.036** | 0.031 | 0.041 | 0.036 | 0.004 | 11.04% |
| **8%** | **0.045** | 0.050 | 0.023 | **0.044** | 0.040 | 0.024 | 0.027 | **0.044** | 0.023 | 0.050 | 0.040 | 0.010 | 25.42% |
| **10%** | **0.051** | 0.075 | 0.066 | **0.056** | 0.052 | 0.040 | -0.017 | **0.055** | 0.051 | 0.075 | 0.062 | 0.009 | 14.66% |
| **M型** | **6%** | **0.030** | 0.031 | 0.026 | **0.021** | 0.058 | 0.012 | -0.030 | **0.028** | 0.021 | 0.031 | 0.027 | 0.004 | 14.58% |
| **8%** | **0.033** | 0.036 | 0.040 | **0.031** | 0.079 | 0.020 | -0.030 | **0.037** | 0.031 | 0.040 | 0.035 | 0.003 | 9.75% |
| **10%** | **0.039** | 0.056 | 0.058 | **0.039** | 0.102 | 0.028 | -0.006 | **0.040** | 0.039 | 0.058 | 0.048 | 0.009 | 19.04% |
| **S型** | **6%** | **0.026** | 0.016 | 0.029 | **0.020** | 0.072 | 0.006 | 0.021 | **0.027** | 0.016 | 0.029 | 0.023 | 0.005 | 23.02% |
| **8%** | **0.030** | 0.020 | 0.028 | **0.021** | 0.116 | 0.016 | 0.004 | **0.028** | 0.020 | 0.030 | 0.025 | 0.004 | 17.10% |
| **10%** | **0.030** | 0.027 | 0.029 | **0.030** | 0.169 | 0.019 | 0.027 | **0.039** | 0.027 | 0.030 | 0.029 | 0.001 | 4.66% |
| **苏博特** | **R型** | **6%** | **0.030** | 0.027 | 0.024 | **0.044** | × | 0.019 | -0.025 | × | 0.024 | 0.030 | 0.027 | 0.002 | 8.57% |
| **8%** | **0.037** | 0.058 | 0.045 | **0.057** | × | 0.027 | 0.023 | × | 0.037 | 0.058 | 0.047 | 0.009 | 18.57% |
| **10%** | **0.050** | 0.064 | 0.101 | **0.066** | × | 0.039 | 0.095 | × | 0.050 | 0.101 | 0.072 | 0.021 | 29.93% |
| **M型** | **6%** | **0.024** | 0.026 | 0.028 | **0.030** | × | 0.019 | 0.023 | × | 0.024 | 0.028 | 0.026 | 0.002 | 7.02% |
| **8%** | **0.033** | 0.031 | 0.043 | **0.040** | × | 0.016 | 0.018 | × | 0.031 | 0.043 | 0.036 | 0.005 | 15.10% |
| **10%** | **0.039** | 0.044 | 0.061 | **0.042** | × | 0.027 | 0.038 | × | 0.039 | 0.061 | 0.048 | 0.009 | 19.57% |
| **S型** | **6%** | **0.021** | 0.026 | 0.021 | **0.024** | × | 0.013 | 0.020 | × | 0.021 | 0.026 | 0.023 | 0.003 | 11.52% |
| **8%** | **0.021** | 0.034 | 0.050 | **0.031** | × | 0.016 | 0.011 | × | 0.021 | 0.050 | 0.035 | 0.012 | 33.44% |
| **10%** | **0.029** | 0.058 | 0.043 | **0.034** | × | 0.010 | 0.028 | × | 0.029 | 0.058 | 0.043 | 0.012 | 26.93% |

**3.3.3.3 20℃水养限制膨胀率增长值（7到28d）**

表3.3.3.3 20℃水养限制膨胀率增长值(Δξ)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **产品分类** | **型号** | **掺量** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值（min）** | **最大值（max）** | **平均值（avg）** | **标准差偏差（sd）** | **变异系数（C.V）** |
| **三源** | **R型** | **6%** | **0.019** | 0.011 | 0.015 | **0.014** | 0.016 | 0.010 | 0.022 | **0.020** | 0.011 | 0.019 | 0.015 | 0.003 | 19.40% |
| **8%** | **0.021** | 0.025 | 0.007 | **0.020** | 0.011 | 0.010 | 0.016 | **0.022** | 0.007 | 0.025 | 0.018 | 0.007 | 36.87% |
| **10%** | **0.024** | 0.029 | 0.026 | **0.027** | 0.015 | 0.027 | -0.006 | **0.026** | 0.024 | 0.029 | 0.026 | 0.002 | 6.32% |
| **M型** | **6%** | **0.014** | 0.014 | 0.014 | **0.011** | 0.038 | 0.008 | -0.022 | **0.014** | 0.011 | 0.014 | 0.013 | 0.001 | 10.24% |
| **8%** | **0.014** | 0.017 | 0.038 | **0.014** | 0.011 | 0.015 | -0.027 | **0.019** | 0.014 | 0.038 | 0.021 | 0.010 | 47.95% |
| **10%** | **0.019** | 0.026 | 0.025 | **0.021** | 0.024 | 0.006 | -0.003 | **0.020** | 0.019 | 0.026 | 0.023 | 0.003 | 12.15% |
| **S型** | **6%** | **0.013** | 0.003 | 0.008 | **0.008** | 0.007 | 0.006 | 0.030 | **0.015** | 0.003 | 0.013 | 0.008 | 0.004 | 43.62% |
| **8%** | **0.015** | 0.014 | 0.005 | **0.008** | 0.014 | 0.014 | 0.025 | **0.017** | 0.005 | 0.015 | 0.010 | 0.004 | 39.15% |
| **10%** | **0.014** | 0.023 | 0.001 | **0.016** | 0.037 | 0.011 | 0.035 | **0.019** | 0.001 | 0.023 | 0.014 | 0.008 | 59.25% |
| **苏博特** | **R型** | **6%** | **0.011** | 0.015 | 0.006 | **0.021** | × | 0.016 | -0.030 | × | 0.006 | 0.015 | 0.011 | 0.003 | 33.18% |
| **8%** | **0.014** | 0.035 | 0.020 | **0.025** | × | 0.018 | 0.044 | × | 0.014 | 0.035 | 0.023 | 0.009 | 37.11% |
| **10%** | **0.024** | 0.033 | 0.076 | **0.030** | × | 0.029 | 0.025 | × | 0.024 | 0.076 | 0.044 | 0.023 | 51.41% |
| **M型** | **6%** | **0.007** | 0.018 | 0.010 | **0.016** | × | 0.011 | 0.025 | × | 0.007 | 0.018 | 0.012 | 0.005 | 39.50% |
| **8%** | **0.014** | 0.023 | 0.019 | **0.023** | × | 0.014 | 0.006 | × | 0.014 | 0.023 | 0.018 | 0.004 | 20.01% |
| **10%** | **0.018** | 0.025 | 0.026 | **0.021** | × | 0.017 | 0.042 | × | 0.018 | 0.026 | 0.023 | 0.004 | 15.63% |
| **S型** | **6%** | **0.009** | 0.016 | 0.009 | **0.011** | × | 0.015 | -0.012 | × | 0.009 | 0.016 | 0.011 | 0.003 | 29.33% |
| **8%** | **0.006** | 0.023 | 0.040 | **0.016** | × | 0.006 | -0.014 | × | 0.006 | 0.040 | 0.023 | 0.014 | 59.31% |
| **10%** | **0.014** | 0.047 | 0.026 | **0.016** | × | 0.016 | 0.015 | × | 0.014 | 0.047 | 0.029 | 0.014 | 47.32% |

**3.3.3.4 S型产品40℃限制膨胀率**

表3.3.3.4 S型产品40℃限制膨胀率

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **分类** | **掺量** | **养护天数** | **养护制度** | **武汉三源** | **长科委** | **中建西部** | **江苏博特** | **建研建材** | **清华大学** | **广东水利** | **山东农大** | **最小值（min）** | **最大值（max）** | **平均值（avg）** | **标准差偏差（sd）** | **变异系数（C.V）** |
| **三源** | **6%** | **7d** | **水中** | **0.030** | 0.024 | 0.044 | **0.025** | 0.174 | 0.021 | 0.042 | **0.027** | 0.024 | 0.044 | 0.032 | 0.009 | 26.39% |
| **8%** | **7d** | **水中** | **0.036** | 0.028 | 0.072 | **0.036** | 0.169 | 0.024 | 0.035 | **0.034** | 0.028 | 0.072 | 0.045 | 0.019 | 42.12% |
| **10%** | **7d** | **水中** | **0.044** | 0.054 | 0.070 | **0.042** | 0.189 | 0.026 | 0.019 | **0.047** | 0.044 | 0.070 | 0.056 | 0.011 | 19.27% |
| **6%** | **28d** | **水中** | **0.073** | 0.079 | 0.118 | **0.076** | 0.188 | 0.050 | × | **0.076** | 0.073 | 0.118 | 0.090 | 0.020 | 22.28% |
| **8%** | **28d** | **水中** | **0.100** | 0.125 | 0.163 | **0.116** | 0.200 | 0.073 | × | **0.100** | 0.100 | 0.163 | 0.129 | 0.026 | 20.03% |
| **10%** | **28d** | **水中** | **0.131** | 0.173 | 0.207 | **0.131** | 0.270 | 0.117 | × | **0.138** | 0.131 | 0.207 | 0.170 | 0.031 | 18.13% |
| **6%** | **7-28d增长值** | **水中** | **0.043** | 0.056 | 0.074 | **0.051** | 0.014 | 0.029 | 0.014 | **0.049** | 0.043 | 0.074 | 0.058 | 0.013 | 22.22% |
| **8%** | **7-28d增长值** | **水中** | **0.064** | 0.097 | 0.091 | **0.080** | 0.031 | 0.049 | -0.021 | **0.066** | 0.064 | 0.097 | 0.084 | 0.014 | 16.82% |
| **10%** | **7-28d增长值** | **水中** | **0.088** | 0.119 | 0.136 | **0.089** | 0.081 | 0.091 | -0.025 | **0.091** | 0.088 | 0.136 | 0.114 | 0.020 | 17.61% |
| **苏博特** | **6%** | **7d** | **水中** | **0.014** | 0.020 | 0.021 | **0.021** | × | 0.003 | 0.039 | × | 0.014 | 0.021 | 0.018 | 0.003 | 17.68% |
| **8%** | **7d** | **水中** | **0.016** | 0.032 | 0.024 | **0.028** | × | 0.009 | 0.030 | × | 0.016 | 0.032 | 0.024 | 0.006 | 26.47% |
| **10%** | **7d** | **水中** | **0.024** | 0.053 | 0.032 | **0.038** | × | 0.007 | 0.027 | × | 0.024 | 0.053 | 0.036 | 0.012 | 33.56% |
| **6%** | **28d** | **水中** | **0.044** | 0.071 | 0.070 | **0.085** | × | 0.026 | × | × | 0.044 | 0.071 | 0.062 | 0.012 | 20.14% |
| **8%** | **28d** | **水中** | **0.060** | 0.118 | 0.096 | **0.099** | × | 0.040 | × | × | 0.060 | 0.118 | 0.091 | 0.024 | 26.14% |
| **10%** | **28d** | **水中** | **0.072** | 0.127 | 0.107 | **0.115** | × | 0.054 | × | × | 0.072 | 0.127 | 0.102 | 0.023 | 22.24% |
| **6%** | **7-28d增长值** | **水中** | **0.031** | 0.051 | 0.049 | **0.064** | × | 0.023 | 0.022 | × | 0.031 | 0.051 | 0.044 | 0.009 | 21.31% |
| **8%** | **7-28d增长值** | **水中** | **0.044** | 0.086 | 0.072 | **0.071** | × | 0.031 | 0.026 | × | 0.044 | 0.086 | 0.067 | 0.018 | 26.19% |
| **10%** | **7-28d增长值** | **水中** | **0.048** | 0.074 | 0.075 | **0.077** | × | 0.047 | -0.104 | × | 0.048 | 0.075 | 0.066 | 0.012 | 18.97% |

2017年1月，根据编制组主编阎培渝教授意见，武汉三源和江苏苏博特公司进行了第二轮膨胀率测试，掺量8%，分别对各自生产的三种氧化镁膨胀剂产品进行了10次平行验证，试验结果如下：

1. 武汉三源公司产品，水养条件下，8%掺量氧化镁限制膨胀率数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **分类** | **活性** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **最小值** | **最大值** | **均值** | **标准偏差** | **变异系数** |
| 20℃水养7d | 65s | 0.023 | 0.022 | 0.021 | 0.022 | 0.020 | 0.025 | 0.022 | 0.024 | 0.024 | 0.024 | 0.020 | 0.025 | 0.023 | 0.001 | 6.63% |
| 120s | 0.016 | 0.019 | 0.017 | 0.018 | 0.016 | 0.018 | 0.016 | 0.016 | 0.019 | 0.018 | 0.016 | 0.019 | 0.017 | 0.001 | 6.36% |
| 220s | 0.016 | 0.013 | 0.014 | 0.014 | 0.015 | 0.014 | 0.015 | 0.016 | 0.017 | 0.017 | 0.013 | 0.017 | 0.015 | 0.001 | 8.77% |
| 20℃水养28d | 65s | 0.039 | 0.040 | 0.041 | 0.043 | 0.038 | 0.042 | 0.041 | 0.042 | 0.040 | 0.040 | 0.038 | 0.043 | 0.041 | 0.001 | 3.69% |
| 120s | 0.030 | 0.034 | 0.033 | 0.037 | 0.031 | 0.035 | 0.030 | 0.034 | 0.034 | 0.036 | 0.030 | 0.037 | 0.033 | 0.002 | 7.04% |
| 220s | 0.026 | 0.024 | 0.024 | 0.026 | 0.024 | 0.030 | 0.025 | 0.030 | 0.028 | 0.028 | 0.024 | 0.030 | 0.026 | 0.002 | 8.66% |
| 20℃水养7-28d增长值 | 65s | 0.016 | 0.018 | 0.020 | 0.021 | 0.018 | 0.017 | 0.019 | 0.018 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.021 | 0.018 | 0.002 | 9.22% |
| 120s | 0.014 | 0.015 | 0.016 | 0.019 | 0.015 | 0.017 | 0.014 | 0.018 | 0.015 | 0.018 | 0.014 | 0.019 | 0.016 | 0.002 | 10.71% |
| 220s | 0.010 | 0.011 | 0.010 | 0.012 | 0.009 | 0.016 | 0.010 | 0.014 | 0.011 | 0.011 | 0.009 | 0.016 | 0.011 | 0.002 | 17.54% |
| 40℃水养7d | 65s | 0.046 | 0.050 | 0.046 | 0.051 | 0.050 | 0.046 | 0.050 | 0.049 | 0.045 | 0.050 | 0.045 | 0.051 | 0.048 | 0.002 | 4.35% |
| 120s | 0.041 | 0.045 | 0.043 | 0.044 | 0.042 | 0.040 | 0.043 | 0.041 | 0.043 | 0.046 | 0.040 | 0.046 | 0.043 | 0.002 | 3.95% |
| 220s | 0.033 | 0.032 | 0.031 | 0.030 | 0.031 | 0.034 | 0.031 | 0.032 | 0.033 | 0.037 | 0.030 | 0.037 | 0.032 | 0.002 | 5.83% |
| 40℃水养28d | 65s | 0.077 | 0.078 | 0.082 | 0.078 | 0.084 | 0.080 | 0.075 | 0.079 | 0.080 | 0.079 | 0.075 | 0.084 | 0.079 | 0.002 | 2.95% |
| 120s | 0.078 | 0.084 | 0.091 | 0.087 | 0.084 | 0.086 | 0.083 | 0.085 | 0.085 | 0.087 | 0.078 | 0.091 | 0.085 | 0.003 | 3.67% |
| 220s | 0.072 | 0.077 | 0.081 | 0.079 | 0.075 | 0.079 | 0.078 | 0.081 | 0.072 | 0.078 | 0.072 | 0.081 | 0.077 | 0.003 | 3.97% |
| 40℃水养7-28d增长值 | 65s | 0.031 | 0.028 | 0.036 | 0.027 | 0.034 | 0.034 | 0.026 | 0.030 | 0.035 | 0.029 | 0.026 | 0.036 | 0.031 | 0.003 | 10.98% |
| 120s | 0.037 | 0.039 | 0.048 | 0.043 | 0.042 | 0.046 | 0.041 | 0.044 | 0.042 | 0.041 | 0.037 | 0.048 | 0.042 | 0.003 | 7.31% |
| 220s | 0.039 | 0.045 | 0.050 | 0.049 | 0.044 | 0.045 | 0.046 | 0.049 | 0.039 | 0.041 | 0.039 | 0.050 | 0.045 | 0.004 | 8.66% |

1. 武汉三源公司产品，水养7d转干空条件下，8%掺量氧化镁限制膨胀率数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **分类** | **活性** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **最小值** | **最大值** | **均值** | **标准偏差** | **变异系数** |
| 20℃水养7d转干空 | 65s | -0.024 | -0.025 | -0.023 | -0.013 | -0.021 | -0.014 | -0.023 | -0.012 | -0.013 | -0.016 | -0.025 | -0.012 | -0.018 | 0.005 | -26.77% |
| 120s | -0.018 | -0.027 | -0.029 | -0.012 | -0.024 | -0.022 | -0.031 | -0.019 | -0.016 | -0.020 | -0.031 | -0.012 | -0.022 | 0.006 | -26.30% |
| 220s | -0.032 | -0.012 | -0.029 | 0.010 | -0.030 | -0.026 | -0.031 | -0.026 | -0.023 | -0.023 | -0.032 | 0.010 | -0.022 | 0.012 | -53.98% |
| 40℃水养7d转干空 | 65s | -0.003 | -0.001 | 0.000 | 0.000 | 0.002 | -0.001 | 0.000 | 0.003 | 0.003 | 0.003 | -0.003 | 0.003 | 0.001 | 0.002 | 398.21% |
| 120s | -0.010 | -0.004 | -0.011 | -0.011 | -0.011 | -0.008 | -0.007 | -0.001 | -0.004 | -0.007 | -0.011 | -0.001 | -0.007 | 0.003 | -42.74% |
| 220s | -0.019 | -0.017 | -0.023 | -0.007 | -0.010 | -0.014 | -0.019 | -0.007 | -0.013 | -0.018 | -0.023 | -0.007 | -0.015 | 0.005 | -35.34% |

根据数据显示，10次平行水养膨胀率规律与第一次数据一致，且吻合度较高，试验测试结果正常。空气中养护数据有波动，显示出21d干空膨胀率测试受环境影响较大。

江苏苏博特2次平行试验数据汇总

1） 水养条件下，8%掺量氧化镁限制膨胀率数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **分类** | **活性** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **最小值** | **最大值** | **均值** | **标准偏差** | **变异系数** |
| 20℃水养7d | 70s | 0.030 | 0.031 | 0.033 | 0.031 | 0.030 | 0.028 | 0.031 | 0.031 | 0.029 | 0.030 | 0.028 | 0.033 | 0.030 | 0.001 | 4.21% |
| 110s | 0.018 | 0.018 | 0.017 | 0.019 | 0.016 | 0.016 | 0.019 | 0.018 | 0.018 | 0.019 | 0.016 | 0.019 | 0.018 | 0.001 | 5.89% |
| 210s | 0.015 | 0.013 | 0.014 | 0.016 | 0.016 | 0.016 | 0.014 | 0.015 | 0.014 | 0.015 | 0.013 | 0.016 | 0.015 | 0.001 | 6.48% |
| 20℃水养28d | 70s | 0.056 | 0.055 | 0.053 | 0.059 | 0.057 | 0.059 | 0.056 | 0.059 | 0.057 | 0.058 | 0.053 | 0.059 | 0.057 | 0.002 | 3.33% |
| 110s | 0.041 | 0.040 | 0.038 | 0.036 | 0.037 | 0.040 | 0.042 | 0.038 | 0.040 | 0.041 | 0.036 | 0.042 | 0.039 | 0.002 | 4.74% |
| 210s | 0.029 | 0.029 | 0.031 | 0.032 | 0.029 | 0.032 | 0.033 | 0.031 | 0.029 | 0.027 | 0.027 | 0.033 | 0.030 | 0.002 | 5.75% |
| 20℃水养7-28d增长值 | 70s | 0.026 | 0.025 | 0.021 | 0.028 | 0.027 | 0.031 | 0.025 | 0.029 | 0.028 | 0.028 | 0.021 | 0.031 | 0.018 | 0.003 | 15.23% |
| 110s | 0.023 | 0.022 | 0.021 | 0.017 | 0.021 | 0.024 | 0.024 | 0.020 | 0.022 | 0.022 | 0.017 | 0.024 | 0.016 | 0.002 | 12.12% |
| 210s | 0.014 | 0.016 | 0.017 | 0.016 | 0.013 | 0.016 | 0.019 | 0.016 | 0.015 | 0.012 | 0.012 | 0.019 | 0.011 | 0.002 | 16.46% |
| 40℃水养7d | 70s | 0.049 | 0.049 | 0.054 | 0.051 | 0.054 | 0.050 | 0.054 | 0.053 | 0.055 | 0.053 | 0.049 | 0.055 | 0.052 | 0.002 | 3.70% |
| 110s | 0.036 | 0.036 | 0.040 | 0.041 | 0.039 | 0.037 | 0.040 | 0.038 | 0.039 | 0.039 | 0.036 | 0.041 | 0.038 | 0.002 | 4.38% |
| 210s | 0.029 | 0.025 | 0.028 | 0.029 | 0.029 | 0.027 | 0.028 | 0.029 | 0.028 | 0.027 | 0.025 | 0.029 | 0.028 | 0.001 | 4.63% |
| 40℃水养28d | 70s | 0.087 | 0.088 | 0.090 | 0.086 | 0.086 | 0.088 | 0.090 | 0.089 | 0.091 | 0.087 | 0.086 | 0.091 | 0.088 | 0.002 | 1.77% |
| 110s | 0.084 | 0.085 | 0.086 | 0.080 | 0.084 | 0.080 | 0.086 | 0.084 | 0.083 | 0.082 | 0.080 | 0.086 | 0.083 | 0.002 | 2.56% |
| 210s | 0.097 | 0.097 | 0.099 | 0.096 | 0.103 | 0.098 | 0.099 | 0.096 | 0.103 | 0.102 | 0.096 | 0.103 | 0.099 | 0.003 | 2.77% |
| 40℃水养7-28d增长值 | 70s | 0.037 | 0.038 | 0.036 | 0.035 | 0.033 | 0.038 | 0.036 | 0.036 | 0.036 | 0.034 | 0.033 | 0.038 | 0.031 | 0.002 | 5.30% |
| 110s | 0.048 | 0.049 | 0.046 | 0.039 | 0.045 | 0.043 | 0.046 | 0.046 | 0.044 | 0.043 | 0.039 | 0.049 | 0.042 | 0.003 | 6.49% |
| 210s | 0.068 | 0.072 | 0.071 | 0.067 | 0.074 | 0.071 | 0.072 | 0.068 | 0.076 | 0.075 | 0.067 | 0.076 | 0.045 | 0.003 | 6.70% |

2） 水养7d转干空条件下，8%掺量氧化镁限制膨胀率数据

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **分类** | **活性** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **最小值** | **最大值** | **均值** | **标准偏差** | **变异系数** |
| 20℃水养7d转干空 | 65s | -0.014 | -0.014 | -0.016 | -0.017 | -0.016 | -0.015 | -0.015 | -0.012 | -0.017 | -0.016 | -0.017 | -0.012 | -0.015 | 0.002 | -10.56% |
| 120s | -0.016 | -0.017 | -0.019 | -0.017 | -0.020 | -0.022 | -0.016 | -0.012 | -0.017 | -0.012 | -0.022 | -0.012 | -0.017 | 0.003 | -18.06% |
| 220s | -0.029 | -0.024 | -0.020 | -0.021 | -0.021 | -0.019 | -0.024 | -0.022 | -0.020 | -0.019 | -0.029 | -0.019 | -0.022 | 0.003 | -13.32% |
| 40℃水养7d转干空 | 65s | 0.011 | 0.007 | 0.009 | 0.007 | 0.014 | 0.013 | 0.010 | 0.008 | 0.012 | 0.014 | 0.007 | 0.014 | 0.011 | 0.003 | 24.64% |
| 120s | 0.010 | 0.004 | 0.005 | 0.004 | 0.010 | 0.010 | 0.002 | 0.009 | 0.006 | 0.007 | 0.002 | 0.010 | 0.007 | 0.003 | 42.97% |
| 220s | -0.005 | -0.002 | -0.003 | 0.001 | 0.000 | -0.004 | -0.004 | -0.005 | -0.006 | -0.004 | -0.006 | 0.001 | -0.003 | 0.002 | -63.52% |

根据数据显示，10次平行水养膨胀率规律与第一次数据一致，且吻合度较高，试验测试结果正常，与武汉三源的二次平行数据规律吻合，可以作为数值取舍的参考依据。

# 四、标准中所涉及的专利

本标准中未涉及专利与相关的知识产权。

# 五、产业化、推广应用论证和预期达到的经济效果等情况

混凝土用氧化镁膨胀剂以低温煅烧的轻烧氧化镁为膨胀源，具有可控延迟微膨胀变形特性，补偿混凝土的化学收缩、干燥收缩和温度收缩，使膨胀发挥时间与混凝土收缩速率相匹配，有效防止混凝土开裂渗水，提高混凝土耐久性。

通过在混凝土中添加氧化镁膨胀剂来同步补偿混凝土早期自收缩、温降收缩及中后期干燥收缩，达到混凝土防裂抗渗的效果，实现结构自防水技术，可为业主单位带来显著经济效益。该技术对于水利工程大坝混凝土，可补偿混凝土温降收缩，简化温控措施，降低温控费用，实现坝体不分横缝，分层、通仓、连续浇筑，缩短大坝工程工期，可带来可观的经济效益和社会效益。本标准制定以氧化镁产品行业标准为依据，结合国内氧化镁膨胀剂生产技术现状，在工艺方案、技术参数、管理控制等方面取得和谐一致。标准发布实施后，必将对提高混凝土用氧化镁膨胀剂的产品质量和使用性能、拓宽市场空间和应用领域、实现氧化镁膨胀剂生产企业的持续和健康发展、促进氧化镁膨胀剂行业的技术进步等起到积极的作用。

# 六、采用国际标准和国外同类先进标准情况

经检索，暂未找到《混凝土用氧化镁》国际标准和国外同类先进标准。

# 七、本标准与现行的相关法律、法规、规章及相关标准（包括强制性标准）是否具有一致性

经广泛调研和多方面征求意见，本标准符合现行的相关法律、法规、规章及相关标准的要求。

**本标准与国内、国外（境外）相关标准部分技术指标对比指标（竖列）对比，体现先进性**

| 标准名称 | 反应时间 | 氧化镁含量 | 胶砂限制膨胀率 | 匀质性 |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 本标准  《混凝土用氧化镁膨胀剂》 | 按照反应时间长短分为快速（代号为R）型，反应时间＜100秒；中速（代号为M）型，反应时间≥100且＜200秒和慢速（代号为S）型，反应时间≥200且＜300秒。 | ≥80.0% | 标准采用20℃和40℃水养护2种养护方式表征氧化镁膨胀剂膨胀特性。其中在20℃水养护条件下：7天限制膨胀率R型≥0.020%；M型≥0.015%；S型≥0.010%；7天到28天的限制膨胀率增量（Δξ）值R型≥0.020%；M型≥0.015%；S型≥0.010%。40℃水养护条件下：7天限制膨胀率R型≥0.040%；M型≥0.030%；S型≥0.020%；7天到28天的限制膨胀率增量（Δξ）值R型≥0.020%；M型≥0.030%；S型≥0.040%。 | 本标准中匀质性要求MgO含量/（%）控制值±2.0%之内；反应时间/（s）控制值±20s之内。 |
| GB23439-2009  《混凝土膨胀剂》 | 无规定 | ≤5.0% | 采用20℃水养护：Ⅰ型7d≥0.025%；Ⅱ型7d≥0.050% | 无规定 |
| DL/T 5296-2013 《水工混凝土掺用氧化镁技术规范》 | 分为2级：Ⅰ型＜50且＜200秒。Ⅱ型≥200且＜300 | ≥85.0% | 无规定 | 无规定 |
| DB52/T 720-2010 《全坝外掺氧化镁混凝土拱坝技术规范》 | 240±40秒 | ≥90.0% | 无规定 | 无规定 |
| DB44/T703-2010《外掺氧化镁混凝土不分横缝技术导则》 | 无规定 | ≥90.0% | 无规定 | 无规定 |

# 八、重大分歧意见的处理经过和依据

本标准在编制制定过程中，没有产生任何重大分歧意见。

# 九、标准性质的建议说明

本标准建议为协会标准。

# 十、贯彻标准的要求和措施建议

尽快做好标准发布实施工作，标准颁布实施后，相关部门应做好标准宣贯培训工作，制定相应的实施方法，使本标准得以认真执行，在企业生产和产品应用中真正起到指导生产、保证质量、促进工艺技术水平提高的作用。

# 十一、废止现行相关标准的建议

无。

# 十二、其它予以说明的事项

无。

标准编制组

2017年3月