

# 影响水泥胶砂强度检测的各种原因分析及处理方法

文 / 刘运兴 深圳市港嘉工程检测有限公司

**摘要：**水泥在建筑工程中起着至关重要的作用，而水泥的强度等级是衡量其赋予最终结构强度能力的关键指标。笔者从水泥样品本身因素、试验环境及养护条件、仪器设备、试验操作过程几个方面来研究分析影响水泥胶砂强度的原因，给广大水泥材料检测员提供宝贵的实战经验。

**关键词：**水泥胶砂强度；养护条件；仪器设备

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.20.043

## 引言

水泥是一种水硬性无机胶凝材料，主要成分为硅酸钙（通常由石灰质原料和粘土质原料提供）。与水混合后，发生复杂的水化反应。反应产物（主要是水化硅酸钙C-S-H凝胶、氢氧化钙等）赋予其胶凝性能。水泥水化反应生成的硬化产物（水泥石）本身具有强度，并且它将骨料等材料牢固胶结后，使得最终形成的混凝土、砂浆或构件具有承受压力、拉力、弯曲力等各种荷载的能力。

通用硅酸盐水泥按组分要求可分为以下几个品种水泥（依据中国国家标准 GB175-2023<sup>[1]</sup>）硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥。

水泥的强度等级（如32.5、42.5、52.5、62.5等）是衡量其赋予最终结构强度能力的关键指标。水泥强度检测结果的准确性受多种因素影响，这些因素贯穿于从取样、制样、试验室环境、试块养护、检测设备到测试的整个流程。下面笔者从规范 GB/T17671-2021 水泥胶砂强度检验方法（ISO 法）<sup>[2]</sup> 和从业多年水泥检测累计经验来归纳总结和分析影响水泥胶砂强度检测的各种因素：

## 一、水泥样品本身的因素

1. 有些项目在管理上出现麻痹大意情况，水泥储存不当，导致送检的样品受潮、结块，后期在检测样品时检测员即使筛除结块部分，因为其部分组分可能已发生预水化或碳化，所以成型的胶砂强度还是会显著下降。水泥样品储存时间过长也会导致强度降低。

2. 依据规范 GB/T 12573-2008<sup>[3]</sup> 水泥取样方法要求，待检样品应按如下两个取样方法来取样：

（1）混合样：每一编号所取水水泥单样通过0.9mm方孔筛后充分混匀，一次或多次将样品缩分到相关标准要求的定量，均分为试验样和封存样。样品不得混入杂物和结块。

（2）分割样：每一编号所取10个分割样应分别通过0.9mm方孔筛，不得混杂，样品不得混入杂物和结块。

3. 大部分送检单位取样员怕麻烦，未严格按照取样方法来混合均匀取样，这样检测出来的强度极容易出现不合格情况。

## 二、试验室环境及养护条件因素

1. 试验时温度：这是最关键的因素之一。水泥水化是化学反应，温度直接影响反应速率。温度高，水化快，早期强度高，但可能导致后期强度增长潜力降低或结构不良（温度过高时）；温度低，水化慢，早期和后期强度发展都迟缓。标准要求试验室温度控制在 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ （养护前）。

2. 实验室湿度：湿度不足会导致试体失水，水化反应不充分或不完全，显著降低强度。标准要求试验室相对湿度不低于50%（养护前）。

3. 带模养护试体养护箱的温度应保持在 $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度不低于90%。

4. 养护水温：对强度发展影响极其显著。标准要求养护水温度严格控制在 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。水温偏差会直接影响试体的实际养护温度和水化速率。过去试验室普遍都是用砖砌起来一格一格的水泥池来养护胶砂试块（如图一），主要靠养护室的空调来控制水温，受养护室空间大小的影响，还有空调出风口的问题，导致水泥池水温不均匀，同一个水泥池有可能左边的水温在标准范围内，而右边的水温超出标准要求。虽然说各个水泥池也放有温度感应器，但是由于上述原因，空调未能有效的保持水温均衡在 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 内，而水温又是水泥试块养护的最主要因素之一。现阶段针对这种水温不均匀的情况，很多试验室都采用水泥恒温水养护箱（如图二），根据箱体的大小，可摆放组数60组、90组不等，每组试块采用单独卧式抽屉养护，这种设计极好的改善了水温不均匀的问题。

5. 试体在水中放置方式：将做好标记的试体立即水平或竖直放在 $20^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$ 水中养护，水平放置时刮平面应朝上。并彼此间保持一定间距，让水与试体的六个面接触。试体之间间隔或试体上表面的水深不应小于5mm，确保养护均匀。叠放或接触容器壁会影响局部温度和湿度。



图一



图二

### 三、仪器设备因素

1. 压力试验机：试验机必须定期检定 / 校准，确保其精度和加载能力符合要求（通常要求  $\pm 1\%$  精度）。

2. 抗折、抗压夹具：用于固定和施加载荷的夹具，其设计、精度、状态和使用方法对测试结果的准确性、重复性和可比性有着极其重大甚至决定性的影响。所以下面重点分析对整个检测工程中起着很大作用而又最能让忽视的夹具问题。

(1) 首先来分析抗折夹具对强度的影响和检测时需注意的问题，依据标准 JC/T 724<sup>[4]</sup> 的要求，抗折夹具两个下支撑圆柱辊的中心距（跨距）必须精确等于标准规定值（如  $100\text{mm} \pm 1\text{mm}$ ）。上加载圆柱辊应位于两个下辊的正中。

三个圆柱辊应能自由转动（至少加载辊必须能自由转动），表面光滑、清洁、无锈蚀、无磨损变形，直径符合标准。辊子表面有缺陷（磨损、变形、锈蚀、有污垢）：改变接触点，增大摩擦，同样导致测得的破坏载荷偏高，强度结果偏高。接触点变化还可能影响跨距的有效性。辊子直径偏差：虽然影响相对较小，但过大或过小也可能略微影响接触应力和试块弯曲状态。三个圆辊的轴线应严格平行，且加载方向垂直于支撑平面和试块轴线。辊轴不平行或加载方向不垂直会导致试块承受扭矩或非对称弯曲，引起应力集中或局部挤压，使结果偏低且离散性增大。

(2) 接下来继续分析抗压夹具：规范要求夹具的上下压板应绝对平行、光滑且具有足够的硬度（如图三）。这样压力机能将载荷均匀、垂直地传递到水泥试块（通常是立方体或棱柱体）的整个承压面上。当压板不平时，会导致试块承受偏心载荷或弯矩，局部应力集中，使测得的强度值显著偏低，这是最常见也最严重的问题之一。当压板表面不平整（凹坑、划痕、锈蚀，如图四）：会阻碍载荷的均匀传递，导致局部应力集中，同样使测得强度偏低且离散性增大。当压板硬度不足：在高压下压板自身可能产生塑性变形或压痕，改变了接触状态，影响载荷传递的均匀性，导致结果失真。

夹具应确保试块的几何中心与压力机活塞的中心线严格重合。如果夹具设计不合理或磨损导致试块放置不正（偏心），例如两端定位销由于长时间跟试块接触，就会出现磨损，这样会引起偏心加载，造成应力分布不均，测得强度偏低且不稳定。

夹具的尺寸（如球座活动范围）必须符合标准 JC/T 683<sup>[5]</sup> 要求，确保与标准试块尺寸匹配。尺寸不符（如活动球座卡死、行程不足）会直接影响载荷的传递方式和试块的受力状态，导致结果不准确且不可比。



图三



图四

### 四、试验操作过程因素

#### (一) 胶砂组成与制备

标准砂：必须使用符合标准规定的基准砂。砂的颗粒级配、粒形、洁净度、含水量等都会影响胶砂的和易性和密实度，进而影响强度。

配合比：胶砂的质量配合比为一份水泥、三份中国 ISO 标准砂和半份水（水灰比  $w/c$  为 0.50）。每锅材料需  $450 \text{ g} \pm 2 \text{ g}$  水泥、 $1350 \text{ g} \pm 5 \text{ g}$  砂子和  $225 \text{ mL} \pm 1\text{mL}$  或  $225 \text{ g} \pm 1\text{g}$  水。一锅胶砂成型三条试体。水量过多会降低密实度和强度；水量过少则难以充分搅拌和振实。

搅拌：搅拌不均匀会导致试体局部强度差异大。在这里需要注意的问题就是依据规范 JC/T 681-2022 行星式水泥胶砂搅拌机的要求，搅拌叶片与锅底、锅壁的工

作间隙均为  $(3 \pm 1)$  mm, 所以检测员在试验前都应该用  $\phi 2$  mm 和  $\phi 4$  mm 钢丝 (直径偏差小于 0.02mm) 去检验搅拌机是否符合标准要求。如设备不符合标准, 应及时调整或更换, 确保搅拌效果符合规范, 从而保证试验结果的准确性和可靠性。

**成型 (振实):** 振实台 (或搅拌机) 的振幅、频率、振实时间必须符合标准。振实不足会导致试体内部孔隙多, 强度低; 过度振实可能导致离析。试模必须洁净、涂油适当、装配紧密不漏浆。装料和刮平需严格按照规范要求步骤进行。着重提一下刮片这个环节, 规范要求是用一金属直边尺以近似  $90^\circ$  的角度 (但向刮平方向稍斜) 架在试模模顶的一端, 然后沿试模长度力向以横向锯割动作慢慢向另一端移动, 将超过试模部分的胶砂刮去。锯割动作的多少和直尺角度的大小取决于胶砂的稀稠程度, 较稠的胶砂需要多次锯割、锯割动作要慢以防止拉动已振实的胶砂。用拧干的湿毛巾将试模端板顶部的胶砂擦拭干净, 再用同一直边尺以近乎水平的角度将试体表面抹平。抹平的次数要尽量少, 总次数不应超过 3 次。检测员每个人的力度和手法都有差别, 有些力度大, 抹平的次数过多, 也会扰动成型面端的胶砂结构, 还有刚抹平的胶砂试模往水泥养护箱放的时候, 尽量不要推进去, 应双手端放进去, 因为刚成型好的胶砂试块具有可塑性, 尤其是稀一点的胶砂试块, 往里头推的时候, 会把靠近外头一端的胶砂涌到里头那一端, 造成成型面不平, 结果就会造成同一块试块强度差异大, 一端强度高, 一端强度低。

**试体脱模与搬运:** 脱模时可以用橡皮锤或脱模器。不宜使用铁锤, 铁锤除了可能会损伤试块外还会把试模敲坏变形。必须在试体具有足够强度 (通常成型后 20-24 小时) 时脱模, 过早脱模易损伤试体, 过晚脱模可能因试模约束导致开裂或影响早期强度发展。脱模和搬运试体时要非常小心, 避免受到冲击、震动或弯折, 任何微小的损伤都会显著降低测得的胶砂强度。

## (二) 胶砂强度测试

**试体龄期:** 试体龄期是从水泥加水搅拌开始试验时算起。试体必须在精确的规定龄期 ( $\pm$  几小时内) 进行测试。提前或滞后都会导致结果偏差。

**试体状态:** 除 24h 龄期或延迟至 48h 脱模的试体外, 任何到龄期的试体应在试验 (破型) 前提前从水中取出。揩去试体表面沉积物, 并用湿布覆盖至试验为止。试体表面必须清洁、无损伤、无油污。

**加载速率:** 这是最关键的操作因素之一。必须严格按照标准规定的恒定加载速率 (抗折速度:  $50$  N/s  $\pm$   $10$  N/s 的速率均匀地将荷载垂直地加在棱柱体相对侧面上,

直至折断。抗压速度:  $2400$  N/s  $\pm$   $200$  N/s 的速率均匀地加荷直至试块破坏)。加载速度过快, 测得的强度偏高; 加载速度过慢, 测得的强度偏低。

## 五、检测人员与标准理解因素

1. 操作人员技能与规范性: 检测人员必须经过严格培训, 熟练掌握标准方法 (如 GB/T 17671-2021 ISO 法), 避免人为误差和习惯性操作偏差。

2. 标准方法的遵循: 必须严格遵循现行有效的国家标准或国际标准。写到这里, 需要特别注意到的一个问题是 GB 175 规范提到检测胶砂强度过程中的一个前提条件: 火山灰质硅酸盐水泥、粉煤灰硅酸盐水泥、复合硅酸盐水泥和掺加火山灰质混合材料的普通硅酸盐水泥在进行胶砂强度检验时, 其用水量在 0.50 水灰比的基础上以胶砂流动度不小于 180 mm 来确定。当水灰比为 0.50 且胶砂流动度小于 180mm 时, 应以 0.01 的整数倍递增的方法将水灰比调整至胶砂流动度不小于 180mm。有些检测员在未搞清楚普通硅酸盐水泥是否有掺加火山灰质材料就盲目的去调整水灰比, 水灰比大了, 那强度会明显的下降, 这些标准的理解错误, 都会导致结果不可比。

## 结语

要获得准确可靠的水泥强度检测结果, 必须对上述所有环节进行严格控制。其中, 温度 (尤其是养护水温)、湿度、水灰比、胶砂搅拌与振实质量、试验夹具、加载速率以及试体对中是最为核心和关键的影响因素。任何一个环节的疏忽都可能导致检测结果偏离水泥的真实胶砂强度, 影响对水泥质量的判断、工程应用的决策以及质量纠纷的仲裁。因此, 实验室建立完善的质量管理体系 (如 ISO/IEC 17025), 进行严格的内部质量控制 (如使用标准样品、定期参加能力验证) 和加大人员培训和监督。

## 参考文献

- [1] 中华人民共和国国家标准. 通用硅酸盐水泥: GB 175-2023. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [2] 中华人民共和国国家标准. 水泥取样方法: GB/T 12573-2008. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3] 中华人民共和国国家标准. 水泥胶砂强度检验方法 (ISO 法): GB/T 17671-2021. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [4] 中华人民共和国建材行业标准. 水泥胶砂电动抗折试验机: JC/T 724-2005. 北京: 中国建材工业出版社, 2005.
- [5] 中华人民共和国建材行业标准.  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$  水泥抗压夹具: JC/T 683-2005. 北京: 中国建材工业出版社, 2005.