**作者信息**

**姓名：**陈飞跃

**单位：**常熟市东南工程质量检测有限责任公司

**职务：**总经理助理

**职称：**工程师

**联系方式：**18962303105

**电子邮箱：**26453508@qq.com

**筒压法测定抹灰砂浆抗压强度测强曲线的建立**

**摘 要：**本文通过研究抹灰砂浆立方体抗压强度与砂浆碎粒筒压比之间的相关性，建立了筒压法测定抹灰砂浆抗压强度测强曲线，测强公式为指数函数Y=-0.06+1.19e4.48x，适用条件：筒压荷载25kN ~30kN；测强范围3.3MPa ~31.6MPa。

**关键词：**抹灰砂浆、筒压比、拟合曲线

**1引言**

工程上对抹灰质量的要求越来越高，抹灰砂浆抗压强度作为保证抹灰工程施工质量的一项重要指标，也逐渐受到重视[1]，为了有效解决工程上对现场抹灰砂浆抗压强度的异议，须采取准确便捷的方法对工程抹灰砂浆抗压强度进行现场取样实测。《贯入法检测砌筑砂浆抗压强度技术规程》JGJ/T 136-2017纳入了抹灰砂浆的贯入法检测[2]，是目前唯一形成的抹灰砂浆抗压强度现场实测方法，但该测试方法存在一定的局限性：测强曲线适用的测强范围仅为0.4~16MPa，不能涵盖《抹灰砂浆技术规程》JGJ/T 220-2019中M20、M25和M30等较高强度抹灰砂浆[3]的检测；同时由于抹灰砂浆厚度较砌筑砂浆薄很多，贯入检测时的贯入深度很可能会超过砂浆厚度，导致所测结果无效[4]。

基于筒压法测强原理明确（砂浆颗粒受压破损的程度与砂浆试件抗压强度存在显著的相关性），在砌筑砂浆抗压强度现场实测中应用广泛，且检测范围不受砂浆强度、厚度的限制，同时具有设备简单、操作便捷、成本低的特点[5]，本文开展将其用于M2.5-M30强度范围的抹灰砂浆强度检测的试验研究，并建立较高精度的测强曲线，以期进一步解决工程上准确检测现场抹灰砂浆抗压强度难的问题。

**2试验设计与试验准备**

**2.1 试验仪器**

（1）震击式标准振筛机：摇动次数为221/min，摆动行程25mm，震击次数147/min。

（2）方孔筛：筛孔尺寸为4.75mm，9.5mm，16mm。

（3）电子天平：称量1000g，感量0.1g。

（4）微机控制电液伺服压力试验机：准确度等级0.5。

（5）电液式水泥压力试验机：精度1级。

（6）电热鼓风恒温干燥箱：工作温度10℃~300℃。

（7）承压筒：由普通碳素钢定制而成，尺寸符合《砌体工程现场检测技术标准》（GB/T50315-2011）的要求。

* 1. **试样制备**

（1）抹灰砂浆立方体试件

按JGJ/T 70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》分批制作M2.5、M5、M7.5 、M10、M15、M20、M25和M30八个强度等级砂浆试块，其中M2.5~ M15为水泥粉煤灰抹灰砂浆，M20~ M30为水泥抹灰砂浆。每个强度等级砂浆试块成型不少30于组（每组6块），试件成型24h后拆模，送至标养室养护至28d龄期。

（2）筒压试样

将当天破型的每组砂浆立方体试件用手锤击碎，用振筛机筛120s，筛取5~15mm的砂浆颗粒约3000g，在105°C下烘干至恒重，室温下冷却待用。

**2.3 试验方法**

（1）抹灰砂浆立方体试块的抗压强度

参照JGJ/T 70-2009《建筑砂浆基本性能试验方法标准》中立方体抗压强度试验方法。

（2）筒压试验

1）称量 称取烘干的砂浆颗粒1000g，经分筛后，称量5~10mm和10~15mm粒径颗粒各250g，精确至0.1g，混合后作为一个标准试样。

2）振实 制好的标准试样分两次装入承压筒，每次约装1/2，每次装完在水泥跳桌上振动5下，第二次振动后整平试样表面。

3）筒压 采用伺服压力试验机对承压筒均匀加荷，至规定的筒压荷载值，立即卸荷，加荷速度为500N/s，荷载允许偏差为±0.5kN。

4）筛分 将加压后的试样过尺寸为9.5mm、4.75mm的方孔筛，称量筛取的粒径5~10mm和10~15mm的颗粒，记为T1、T2，底盘中的剩余量计为T3。T1、T2、T3的总和，与筛前试样质量相差≤0.5%，否则试验数据无效。

5）计算 1/3(T1+ T2+ T3)为单个砂浆试样的筒压比，每三个测值为一组，三个测值的算术平均值即为所测砂浆的筒压比。

**3试验结果与分析**

**3.1 筒压荷载对测强结果的影响**

目前已有大量关于筒压法测砌体砂浆强度的研究及应用，综观研究成果发现，《砌体工程现场检测技术标准》中规定的筛分孔径、筛分数量、筒压速度等筒压参数被一致认可和采用[5]，但筒压荷载因其对不同强度、不同品种的砂浆敏感性不同而取值不一，可见筒压荷载是影响测强结果的关键参数。本次试验对比研究了在M2.5~M30的强度范围内，不同筒压荷载（10kN、15kN、25kN、30 kN和40kN）下筒压比随砂浆强度的变化规律，试验结果如图1。



图1 不同荷载下筒压比随砂浆强度的变化

观察图1中散点分布情况，可以看出筒压荷载对砂浆颗粒筒压比的测试结果影响很大。随着筒压荷载由10kN增大至25kN，散点分布整体呈明显左移的梯度趋势，即立方体抗压强度相同时，对应的筒压比随着筒压荷载的增大而减小；当筒压荷载增大至30kN，相较25kN，散点分布趋向重合，即随着筒压荷载由25 kN增至30kN，筒压比不再有明显减小趋势；当筒压荷载进一步增大到40 kN，与30kN相比，散点分布局部重合，整体无分布规律。这是因为当施加的筒压荷载较小（10kN、15kN）时，只有少部分砂浆颗粒破碎，筒压结果反映的只是砂浆局部抗压性能[6]，随着荷载不断增大，砂浆破碎程度随之明显加深，筒压比值梯度下降；当压力增大到一定程度（25kN~30kN），承压筒内砂浆颗粒整体达到极限破坏，此时筒压比测值对应砂浆试件的极限抗压强度，筒压结果才能反映砂浆试件的实际抗压性能；筒压荷载继续增至过大（40kN），强度低的砂浆颗粒大部分已被压碎，筒压结果更多的反映砂浆颗粒压碎后的压实强度[6]，与立方体砂浆试件本身抗压强度性能的相关性减弱。

通过以上分析得出，25kN~30kN筒压荷载下的筒压结果能真实地代表抹灰砂浆立方体抗压强度大小。因此，筒压法测定抹灰砂浆抗压强度时，筒压荷载范围应为25kN~30kN。

**3.2 曲线拟合**

由3.1节可知25kN是理想的筒压荷载，且在本次研究中该荷载下的样本量最多，因此将25kN加荷下的筒压比与对应的砂浆试件强度采用一次函数、一元二次函数、幂函数和指数函数的模型进行拟合并分析拟合效果。立方体抗压强度值与相应筒压比测值见表1，散点图及拟合曲线如图2。

表1 25kN筒压荷载下的试验结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 立方体抗压强度/MPa | 筒压比 | 序号 | 立方体抗压强度/MPa | 筒压比 |
| 1 | 3.3 | 0.276 | 26 | 20.6 | 0.643 |
| 2 | 5 | 0.306 | 27 | 20.7 | 0.643 |
| 3 | 5.4 | 0.315 | 28 | 21.4 | 0.678 |
| 4 | 5.7 | 0.38 | 29 | 21.7 | 0.683 |
| 5 | 5.7 | 0.313 | 30 | 22.6 | 0.664 |
| 6 | 6.2 | 0.354 | 31 | 22.9 | 0.64 |
| 7 | 6.4 | 0.372 | 32 | 23.3 | 0.676 |
| 8 | 8.41 | 0.439 | 33 | 23.9 | 0.665 |
| 9 | 9.23 | 0.456 | 34 | 24.1 | 0.662 |
| 10 | 9.8 | 0.473 | 35 | 24.5 | 0.696 |
| 11 | 11.3 | 0.516 | 36 | 24.6 | 0.657 |
| 12 | 11.7 | 0.548 | 37 | 25 | 0.67 |
| 13 | 11.8 | 0.548 | 38 | 25.8 | 0.706 |
| 14 | 15.3 | 0.572 | 39 | 26.5 | 0.686 |
| 15 | 15.5 | 0.576 | 40 | 26.9 | 0.716 |
| 16 | 15.6 | 0.577 | 41 | 26.9 | 0.675 |
| 17 | 16.4 | 0.594 | 42 | 27.3 | 0.662 |
| 18 | 16.9 | 0.624 | 43 | 28.6 | 0.693 |
| 19 | 17.5 | 0.604 | 44 | 29.4 | 0.697 |
| 20 | 17.8 | 0.614 | 45 | 30.5 | 0.704 |
| 21 | 17.9 | 0.592 | 46 | 31.6 | 0.736 |
| 22 | 18.4 | 0.588 | 47 | 34.8 | 0.710 |
| 23 | 18.7 | 0.6 | 48 | 35.3 | 0.707 |
| 24 | 19.3 | 0.642 | 49 | 36.8 | 0.712 |
| 25 | 19.6 | 0.628 | 50 | 37.4 | 0.715 |



图2 25kN筒压荷载下的散点图与拟合曲线

**3.2.1确定测强范围**

由图2看出，无论采用哪种模型进行拟合，抹灰砂浆立方体抗压强度较高值34.8 MPa、35.3MPa、36.8MPa和37.4MPa对应的散点均明显偏离拟合曲线，且近乎竖向排列，原因是在一定的筒压荷载下，砂浆强度较高时，筒压荷载则相对越低，筒压比值越拉不开档次[7]。因此将抹灰砂浆抗压强度范围由3.3MPa~37.4 MPa缩小至3.3MPa~31.6MPa，比较拟合效果。3.3MPa~31.6MPa强度范围内的拟合曲线如图3，不同测强范围的拟合对比结果如表2。



图3 3.3MPa~31.6MPa强度范围内的拟合

表2 不同测强范围的拟合结果对比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 测强范围 | 拟合函数类型 | 拟合优度R2/% |
| 3.3MPa-37.4 MPa | 一次函数 | 83.2% |
| 一元二次函数 | 91.9% |
| 乘幂函数 | 91.0% |
| 指数函数 | 92.4% |
| 3.3MPa-31.6MPa | 一次函数 | 89.2% |
| 一元二次函数 | 95.3% |
| 乘幂函数 | 94.6% |
| 指数函数 | 95.3% |

本次拟合效果的评价指标采用软件origin8.5计算出的拟合优度R2表示，拟合优度越大，表明测点分布与拟合曲线越一致。分析图3与表2数据，发现将测强范围缩小为3.3MPa~31.6MPa，每种模型拟合曲线的拟合优度均大幅提高，而所覆盖散点与曲线的相对分布和原来几乎一致，说明强度较高的几个测点不再遵循和其他测点一样的分布规律，严重影响了拟合效果，应在拟合时舍弃。

为了使拟合曲线更优，从而更精确地检测抹灰砂浆抗压强度，限定筒压法测抹灰砂浆抗压强度的范围为3.3MPa~31.6MPa。

**3.2.2优选测强曲线**

将25kN筒压荷载下、砂浆强度为3.3MPa~31.6MPa范围内测点的拟合曲线（图3）进行回归分析，建立筒压法测抹灰砂浆抗压强度的最优测强曲线。衡量拟合精度的指标统一采用拟合优度R2、平均相对误差MRE[8]和相对标准偏差RSD[9]，拟合精度对比结果见表3。

表3 拟合精度对比结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 拟合函数类型 | 回归公式 | 拟合优度/% | 平均相对误差/% | 相对标准偏差/% |
| 一次函数 | Y=-15.94+58.7x | 89.2 | 44.1 | 19.1 |
| 一元二次函数 | Y=16.67-79.37x+134.73x2 | 95.3 | 8.0 | 12.5 |
| 乘幂函数 | Y=67.66x2.6 | 94.6 | 10.5 | 13.5 |
| 指数函数 | Y=-0.06+1.19e4.48x | 95.3 | 7.3 | 12.5 |

由表3可知，一次函数拟合曲线的拟合优度最小，不到90%，平均相对误差与相对标准偏差太大，分别高达44.1%和19.1%，拟合精度非常差；一元二次函数、乘幂函数和指数函数的拟合优度较高，为95%左右，平均相对误差与相对标准偏差也均满足工程精度要求，三种拟合曲线都可以作为测强曲线，其中指数函数Y=-0.06+1.19e4.48x的各项评价指标最优，是筒压法测抹灰砂浆抗压强度的最佳测强曲线。

**4结论**

（1）只有在一定的筒压荷载下，筒压比才能准确反映抹灰砂浆极限抗压强度，合适的

筒压荷载为25kN ~30kN。

（2）抹灰砂浆强度达到一定值时，筒压比不再随强度增大而拉开档次，相应测点严重偏离拟合曲线，限定筒压法测抹灰砂浆抗压强度的测强范围为3.3MPa~31.6MPa，该测强范围已基本能涵盖抹灰工程测强需求。

（3）指数函数拟合曲线拟合精度最高，完全满足工程精度要求，是筒压法测抹灰砂浆抗压强度的最优测强曲线，测强公式如下：

Y=-0.06+1.19e4.48x （1）

式中，X为实测的抹灰砂浆筒压比，Y为抹灰砂浆抗压强度推测值。

**参考文献：**

[1] 任超. 水泥砂浆抹灰工程质量管理改进研究[J]. 科学与财富，2018，(8):178.

[2] JGJ/T 136-2017 贯入法检测砌筑砂浆抗压强度技术规程[S].

[3] JGJ/T 220-2019 抹灰砂浆技术规程[S].

[4] 吴植安，张旭红. 筒压-贯入综合法检测砌体砂浆抗压强度技术[J]. 山西建筑，2003，(29):19-20.

[5] 刘怀斌. 筒压法检测非烧结砖砌体工程中砂浆强度的研究[D]. 西华大学，2014:1-82.

[6] 孟庆利，宋庆库，戴志宇. 筒压法间接推定砌体砂浆强度[J]. 低温建筑技术，2000，(1):14-15.

[7] 刘新光，张宏亮. 筒压法测定砌体砂浆抗压强度测强曲线的建立[J]. 山西冶金，1998，(1):45-47.

[8] 吴体. 砌体结构工程现场检测技术[M]. 北京：中国建筑工业出版社，2012.

[9] 刘数华，冷发光，罗季英. 建筑材料试验研究的数学方法[M]. 北京：中国建材工业出版社，2006.