DOI: 10.12164/j.issn.1003-8965.2022.04.002

混凝土刻蚀深度的影响因素研究

Study on influencing factors of etching depth for concrete

王阳，王亮亮，周建，吴文军，王文卓，蒋玉川
（中国国检测试控股集团股份有限公司，北京 100024）
WANG Yang, WANG Liangliang, ZHOU Jian, WU Wenjun, WANG Wenzhuo, JIANG Yuchuan
(China Testing & Certification International Group Co., Ltd., Beijing 100024)

摘要：通过测试不同配合比混凝土的刻蚀深度，研究抗压强度、砂率、水灰比、坍落度、单方水泥用量、单方砂用量、单方石子用量、单方水用量等因素对混凝土刻蚀深度的影响规律，并得出抗压强度越大则混凝土刻蚀深度越小的结论。

关键词：刻蚀深度；影响规律；抗压强度

Abstract: By testing the etching depth of concrete with different mix proportion, this paper studies the influence of compressive strength, sand rate, water cement ratio, slump, cement dosage per cubic meter, amount of sand per cubic meter, amount of stone per cubic meter and water consumption per cubic meter on the etching depth. Finally, it is concluded that the greater the compressive strength, the smaller the etching depth.

Key words: etching depth; influence law; compressive strength
中图分类号：TU528.1 **文献标志码：**A **文章编号：**1003-8965(2022)04-0004-04

0 引言

我国大力倡导装配式建筑的结构形式，使预制构件大量应用于实际工程中，而新旧混凝土结合的问题愈发凸显。结合面的粗糙程度被用于表征混凝土的结合程度，其测试方法至关重要。深度尺法是利用深度尺配合透明基准板测量混凝土结合面粗糙程度的一种简便易行的试验方法[1]。36测点是能真实反映结合面粗糙度的最小测点数量[2]。本文采用36测点深度尺法，选取不同的混凝土配比，按照JC/T 2624-2021《混凝土表面缓凝剂》标准中的6.7.1进行测试[3]。

1 试验

1.1 试验原材料及配合比

试验所用水泥采用GB 8076-2008《混凝土外加剂》中附录A规定的P.I42.5基准水泥，其性能指标如表1和表2所示。

细骨料采用连续粒级的天然II区中砂，其性能指标如表3所示。

粗骨料采用5~20mm连续级配的碎石，其性能指标如表4所示。

试验用混凝土按照JGJ 55-2011《普通混凝土配合比设计规程》设计，水泥用量按照50kg/m^{3}的幅度从230kg/m^{3}增加到430kg/m^3，砂率按照2%的幅度从44%减小到36%，水灰比按照0.79、0.67、0.60、0.56、0.48逐渐减小。混凝土配合比及其性能如表5所示。

表1 水泥的化学性能(%)

Tab.1 Chemical properties of cement (%)

SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O eq	f-CaO	Loss	CL-
22.01	4.47	3.45	64.31	2.45	2.45	0.51	0.90	1.27	0.01

表2 水泥的物理性能

Tab.2 Physical properties of cement

细度 0.08mm 筛余 /%	密度 /g/cm^3	比表面积 /m^2/kg	标准稠度用水量 /%	安定性雷氏夹 /mm	凝结时间 /min		抗折强度 /MPa		抗压强度 /MPa	
					初凝	终凝	3d	28d	3d	28d
0.8	3.15	343	25.80	0.4	142	202	5.40	8.30	27.7	51.8

基金项目：工信部2018年第二批行业标准制修订和外文版项目计划“《混凝土表面缓凝剂》行业标准制定”(2018-0410T-JC)
第一作者：王阳(1983.6-)，高级工程师，现从事水泥基材料的检验检测工作。

表3 细骨料性质

Tab.3 Properties of fine aggregate

细度模数	含泥量 /%	泥块含量 /%
2.7	0.3	0.1

表4 粗骨料性质

Tab.4 Properties of coarse aggregate

颗粒级配	含泥量 /%	泥块含量 /%	针片状颗粒含量 /%	坚固性 /%	压碎指标值 /%	松散堆积密度 /kg/m^3
5~20mm连续级配	0.6	0.1	2	3	6	1520

表5 混凝土配合比及基本性能

Tab.5 Concrete mix proportion and basic performance

配合比编号	水泥 /kg/m^3	砂 /kg/m^3	石子 /kg/m^3	水 /kg/m^3	坍落度 /mm	水灰比	砂率	28d 抗压强度 /MPa
C1	230	869	1105	181	40	0.79	44%	27.6
C2	280	807	1114	188	90	0.67	42%	30.7
C3	330	746	1126	198	80	0.60	40%	44.3
C4	380	690	1127	213	210	0.56	38%	36.0
C5	430	636	1130	206	180	0.48	36%	44.5

1.2 刻蚀深度试验

采用边长为100mm的立方体钢制试模，将其中一个竖向侧面作为测试面，测试面上不能涂脱模剂，钢制试模应符合JG/T 237–2008《混凝土试块》的规定。试验时采用环砼(河北)新型建筑材料有限公司生产的S–1溶剂型混凝土表面缓凝剂，按照450g/m^{2}的涂刷量将混凝土表面缓凝剂均匀地涂刷在测试面上，然后灌入混凝土，将混凝土拌合物一次装入试模，混凝土拌合物高于试模口，用振动台振动15~20s，刮除试模上口多余的混凝土，用塑料薄膜覆盖混凝土表面。试块制备在温度(20±5)℃、相对湿度不低于50%的环境下完成。

在实验室环境下预养(6±0.5)h，置于符合JG/T 3027–1995《混凝土加速养护箱》规定的混凝土加速养护箱中，以(20±5)℃/h速度升温至(70±5)℃，养护(12±0.5)h，再以不超过20℃/h的速度降温至实验室环境温度。按照蒸汽养护制度进行养护，养护完成后用高压水枪冲刷混凝土试块的测试面，高压水枪压力为0.6~0.8MPa，出水流量为(4±0.2)kg/min，高压水枪出水口到混凝土测试面的垂直距离为(1±0.1)m，水流与混凝土测试面冲刷角度范围为±45°，反复冲刷至不再有混凝土颗粒脱落为止。

将孔直径为3mm、间距为18mm的亚克力多孔板水平置于混凝土试块测试面上，确保多孔板完全覆盖测试面，用精度为0.01mm的深度尺分别测量36个测点的深度值，结果精确至0.1mm。多孔板示意图见图1。

单个试块的刻蚀深度按式(1)计算，结果精确至0.1mm。

$$e_i = \frac{\sum_{i=1}^{36} A_i}{36} - h \tag{1}$$

式中：

e_i—第i个试块的刻蚀深度，mm；

A_i—第i个试块上每个测点的深度值，mm；

h—多孔板厚，mm，精确至0.1mm。

刻蚀深度以三个试块刻蚀深度的算术平均值表示，按式(2)计算，结果精确至0.1mm。

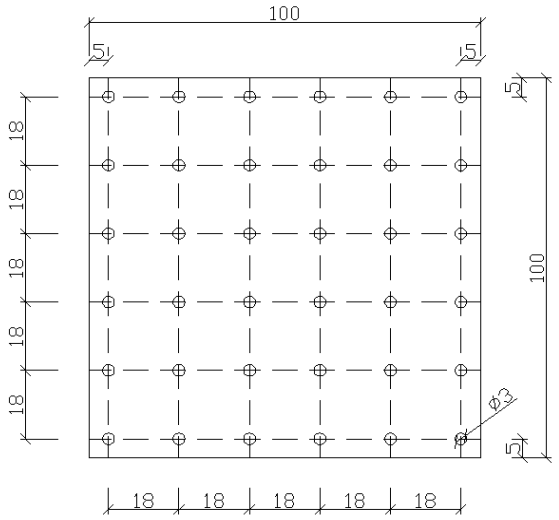

图1 多孔板示意图(mm)

Fig.1 Schematic diagram of perforated plate (mm)

$$e = \frac{\sum_{i=1}^{3} e_i}{3} \tag{2}$$

式中：e—刻蚀深度，mm。

2 结果和分析

2.1 过程及结果

按1.1步骤进行刻蚀深度的测试，结果如表6所示。

2.2 结果分析

对表6的数据汇总分析，将抗压强度、砂率、水灰比、坍落度、单方水泥用量、单方砂用量、单方石子用量、单方水用量分别对应刻蚀深度制作成曲线图，如图2~图9所示，以分析各个因素对刻蚀深度的影响规律。

从图2可以看出，刻蚀深度与抗压强度具有直接的线性关系，强度越大，刻蚀深度越小。混凝土表面缓凝剂的作用原理是通过振捣使表面缓凝剂分散到与其接触的混凝

表6　刻蚀深度结果汇总

Tab.6　Summary of etching depth results

配合比编号	水泥 /kg/m^3	砂 /kg/m^3	石子 /kg/m^3	水 /kg/m^3	坍落度 /mm	水灰比	砂率	28d 抗压强度 /MPa	刻蚀深度 /mm
C1	230	869	1105	181	40	0.79	44%	27.6	3.49
C2	280	807	1114	188	90	0.67	42%	30.7	3.80
C3	330	746	1126	198	80	0.60	40%	44.3	2.80
C4	380	690	1127	213	210	0.56	38%	36.0	3.29
C5	430	636	1130	206	180	0.48	36%	44.5	2.61

土中，通过缓凝组分使接触的混凝土胶凝材料不硬化或推迟硬化。混凝土强度越高，胶凝材料量越大，达到同样的缓凝效果需要的缓凝剂的量就越多。本文的刻蚀深度试验中，不同配比使用了相同的表面缓凝剂涂刷量，由此，强度高、胶凝材料多的混凝土达到的刻蚀深度就小。图3中单方石子用量与刻蚀深度的关系曲线与图2相似，单方石子用量越大，刻蚀深度越小。与表6的数据对比可以发现，单方石子用量越大，对应的抗压强度就越大，根据图2中的规律，对应的刻蚀深度就越小。

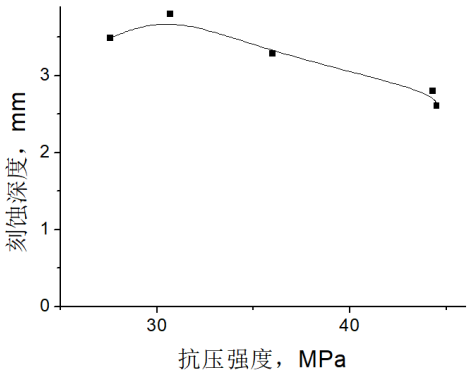

图2　刻蚀深度与抗压强度关系

Fig.2　Relationship between etching depth and compressive strength

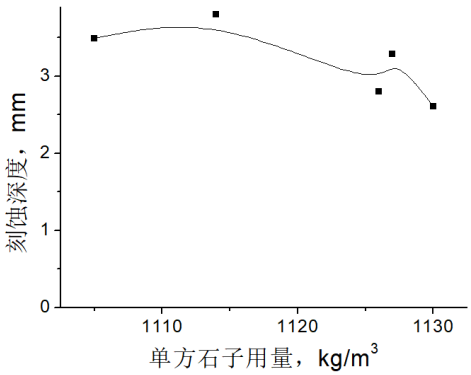

图3　刻蚀深度与单方石子用量关系

Fig.3　Relationship between etching depth and stone amount per cubic meter

从图4、图5和图6可以看出，砂率、水灰比和单方砂用量与刻蚀深度的关系曲线形状相同，总体上砂率越大，刻蚀深度越大；水灰比越大，刻蚀深度越大；单方砂用量越大，刻蚀深度越大。砂率、水灰比和单方砂用量这三个因素增大，会带来强度的降低，这与图2表现出来的规律吻合。图7中单方水泥用量与刻蚀深度的关系曲线形状与图4~图6对称，单方水泥用量越大，刻蚀深度越小。但是在水灰比0.6、砂率40%、单方砂用量746kg/m^3、单方水泥用量330kg/m^{3}时，刻蚀深度出现了波动，同样，该配比的强度也出现了波动——抗压强度变大，这也反映出了强度越大，刻蚀深度越小的规律。

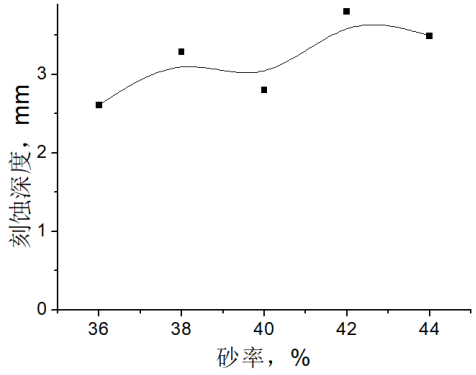

图4　刻蚀深度与砂率关系

Fig.4　Relationship between etching depth and sand ratio

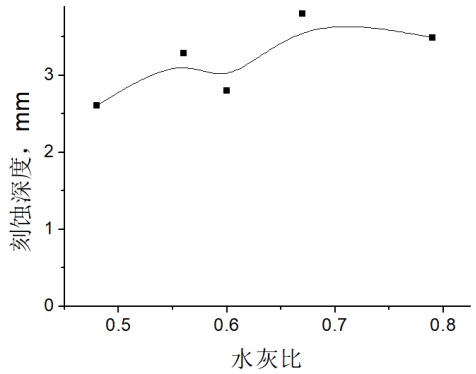

图5　刻蚀深度与水灰比关系

Fig.5　Relationship between etching depth and water cement ratio

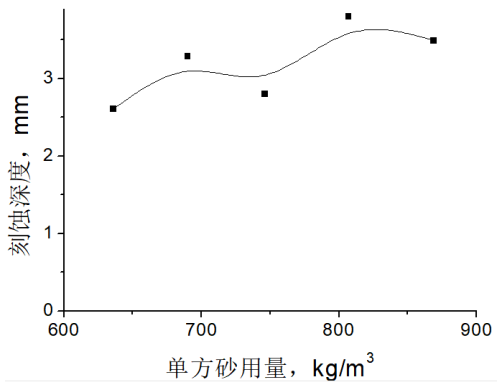

图6 刻蚀深度与单方砂用量关系

Fig.6 Relationship between etching depth and sand amount per cubic meter

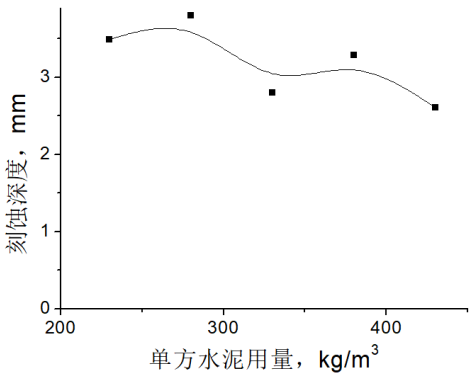

图7 刻蚀深度与单方水泥用量关系

Fig.7 Relationship between etching depth and cement dosage per cubic meter

从图9和图10可以看出，坍落度和单方水用量对刻蚀深度的影响不具有明显的规律性。

综上，抗压强度对刻蚀深度的影响最直接、最明显、最具有规律性，其他因素最终归结于对抗压强度的影响后，再分析其对刻蚀深度的影响。本文没有研究石子的粒型、粒径对刻蚀深度的影响规律，这是下一步的研究方向。

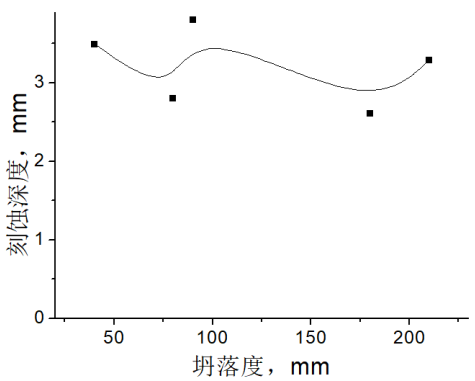

图8 刻蚀深度与坍落度关系

Fig.8 Relationship between etching depth and slump

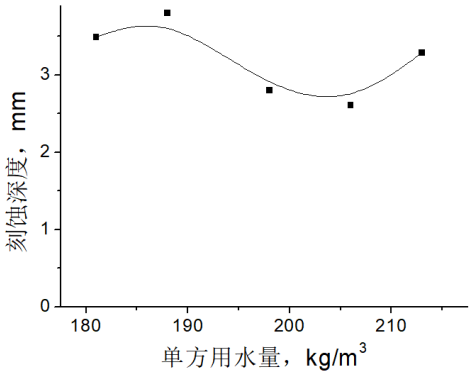

图9 刻蚀深度与单方水用量关系

Fig.9 Relationship between etching depth and water consumption per cubic meter

3 结语

抗压强度对刻蚀深度具有直接的线性影响，而砂率、水灰比、单方水泥用量、单方砂用量、单方石子用量对刻蚀深度的影响是通过对抗压强度的影响进而表现出与抗压强度一致的规律。坍落度、单方水用量对刻蚀深度的影响不具有明显的规律性。石子的粒型、粒径对刻蚀深度的影响规律是下一步的研究方向。

参考文献

[1]王阳,蒋玉川,王文卓,等. 测量混凝土表面粗糙程度的方法及比较[J]. 中国建材科技,2020,29(5):21–23.

[2]王阳,蒋玉川,王文卓,等. 深度尺法测量混凝土表面粗糙程度的研究[J]. 中国建材科技,2020,29(6):11–12.

[3]JC/T 2624–2021,混凝土表面缓凝剂[S].