

# 成型方法和配合比对透水混凝土性能的影响研究

潘立

广西永正工程质量检测有限公司

**摘要:** 针对当前透水混凝土成型方法较为复杂的现状, 本试验拟采用4种成型方法对透水混凝土的抗压强度、渗透系数进行研究, 以期获得适用于透水混凝土的成型方法。研究发现, 手工插捣法虽能提高水泥石的渗透率, 但其抗压强度偏低; 采用机械振捣的方法虽然使混凝土的抗压强度增加, 但使渗透性下降; 采用机械振捣+静压模制的方法, 也可增加混凝土的抗压强度, 但大大减少了其内部的孔隙结构, 使其渗透性下降; 采用机械振捣+手工插捣的方法, 其成型效果最佳, 可有效地提高混凝土的透水性, 同时保证了其抗压强度, 值得大力推广。

**关键词:** 透水混凝土; 成型方法; 抗压强度; 透水性

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.23.018

## 引言

随着“低开发、低影响”的城市发展理念的普及, “海绵城市”的提出和实施旨在缓解由于道路硬化所带来的洪峰流量、径流系数和面源污染的严重性, 让它们重新融入自然的水循环, 从而达到“自然蓄积、自然渗透、自然净化”的生态保护目标。透水混凝土是一种复杂的多孔结构, 由优质的骨料、高品质的水泥、特殊的添加剂等组成。与一般的路面不同, 透水混凝土可以将雨水排入地下, 避免“城市内涝”, 还能补充地下水, 防止地表塌陷, 降低道路噪音, 保证车辆行驶的安全, 从而降低城市内部温度, 营造出一座绿色的城市。

### 一、透水混凝土的概念及特性

透水混凝土属于生态混凝土的一种, 它是通过特定的工艺, 将骨料、胶凝材料、水、外加剂和矿物掺和料等按照一定的比例拌和在一起, 形成一种具有透水功能的混凝土。从生态效益的角度来看, 透水混凝土作为一种生态混凝土, 主要有如下五个特征:

#### (1) 有利于城市道路排水

作为一种多孔混凝土, 可有效引导雨水进入地下。在降雨非常多的地区, 要防止路面积水过多而造成的“城市内涝”, 确保人民群众的生命和财产的安全。

#### (2) 缓解城市“热岛效应”

因为透水混凝土具有较多的孔隙, 可以增加其与外

界的有效接触面积, 其水汽在孔隙中不易蒸发, 由此其表面的相对湿度较高, 从而大大降低了地表面的温度, 缓解了“热岛效应”。另外, 高湿、低温的地面, 对于植被的生长也是非常有利的。

#### (3) 保护地下水资源

在降雨发生之后, 雨水能够透过透水混凝土路面快速渗透到地下, 并能及时补充地下水, 从而实现对地下水资源的有效循环。

#### (4) 提高路面行车安全

第一, 透水混凝土路面可以有效地排除路面上的水分, 增强轮胎与路面之间的摩擦力, 从而大大提升驾驶者的安全性; 第二, 由于路面没有积水, 可以大大减少车辆后方的溅水和喷雾, 从而降低对后方车辆的影响, 提升雨天行驶的视野, 从而有效保障行车安全; 第三, 透水混凝土路面的表面凹凸不平, 容易产生漫反射, 因此在白天, 它能够有效阻挡太阳光的照射, 而在夜晚, 它又能够减少对向来车的眩目, 从而提升行人的安全性。

#### (5) 有利于降噪

轮胎-道面之间的吸气压缩和轮胎在道面上的振动是车辆行驶噪声的主要来源, 而透水混凝土路面中的许多孔隙对这种吸气压缩作用有较大的消减作用, 因而对其降噪作用显著。经过统计, 透水混凝土路面的噪声比普通混凝土路面的要低3dB~6dB, 这意味着路面的隔音效果比普通混凝土路面更好, 可以说是将路面的隔音性能提升一倍, 从而使得路面的噪音水平得到有效的控制。

## 二、原材料

### (一) 试验原材料

选取28d的广西云燕牌水泥作为试验的原材料, 其抗压强度为52MPa; 使用的骨料是石灰岩碎石, 它的颗粒大小介于5-10mm之间, 表观密度达到了2930kg/m<sup>3</sup>, 密实堆积密度达到了1700kg/m<sup>3</sup>, 孔隙率达到了42%; 添加了多羧酸型高效减水剂, 并使用试验室的自来水。

## 三、透水混凝土成型与测试

### (一) 成型方法

#### 1. 手工插捣

将拌合物倒入100毫米×100毫米×100毫米的试

验模具中，使用专门设计的透水混凝土捣固机，分别在1/3、2/3、3/3的区域，分别对四个角落、侧面、平面内部进行8次捣固，第一层的捣棒要插入底层，第二层和第三层的捣棒要穿过表层，深度大概在10~15mm之间，最终，使用抹刀将整个成型表面均匀地涂抹。

### 2. 机械振捣

将拌合物倒入100mm×100mm×100mm的模具内，并精确地安装在指定的位置，以便于振捣，最终使其形成光滑的表面，并使用抹刀将其均匀地涂抹。

### 3. 机械振捣+手工插捣

将拌合物倒入100mm×100mm×100mm的模具中，然后把它们放在振动台上，经过3~4s的振荡，以确保混凝土的均匀性，接着，使用专业的捣固机来捣实，以达到试验的要求，最后，用抹刀把成型的表面完美地抹平。

### 4. 机械振捣+静压

将拌合物倒入100mm×100mm×100mm的试样中，放置于振动台上，经过3~4s的振动，再利用静压设备施加垂直压力，以确保满足试验要求，继续维持4s，最终取出，用抹刀将混凝土表面均匀地涂抹。

## (二) 测试

### 1. 孔隙率的测定

将配制好的样品放在水溶液中浸泡，当它被完全饱和后，在水里测量它的质量为 $m_1$ ，再将样品拿出来并进

行风干，测量它的质量为 $m_2$ ，并根据下面的公式来计算样品的孔隙度：

$$P = \left[ 1 - \frac{(m_2 - m_1)}{v \cdot P_w} \right] \times 100\% \quad (1)$$

其中 $v$ 表示样品的容积， $P_w$ 表示水的浓度。

### 2. 抗压强度的测定

通过无侧限单轴抗压强度试验，对28d龄期的混凝土试件进行测试，并取其平均值作为混凝土的最终强度，以此来评估其抗压性能。

### 3. 透水系数的测定

透水系数方法测定参照JC/T 2558-2020，通过水位差、流量测定试件28d的透水系数。试验结果以3块试件的平均值表示。

## 四、透水混凝土成型方法的研究

### (一) 配合比

在本章试验中，所用的透水混凝土，如表4-1所示，透水混凝土设计目标孔隙率为15%。

表4-1 透水混凝土试块配合比 (kg/m<sup>3</sup>)

水	水泥	石子粒径	石子	减水剂	硅灰
108	400	5-10mm	1576	0.75%	16

### (二) 成型方法对透水混凝土的影响

#### 1. 成型压力对透水混凝土性能的影响

在本试验中，配合如表4-1，采用静压成型法，通过改变成型压力的大小，对透水混凝土抗压强度、孔隙率以及透水系数展开研究，结果如表4-2所示。

表4-2 压力大小对其性能的影响

成型压力/kN	孔隙率/%	孔隙率方差	28d 抗压强度/MPa	抗压强度方差	透水系数/(mm/s)	透水系数方差
60	16.0	0.19	26.4	0.24	4.76	0.07
80	15.2	0.14	27.1	0.56	3.27	0.13
100	13.5	0.09	25.3	0.03	3.01	0.20

根据表4-2的数据，当压力低于80kN时，28d的抗压强度显著增加，而孔隙率和渗透系数则随着压力的升高而显著降低；当超过80kN时，这一现象却恰恰相反。成型压力为80kN时，抗压强度达到最高值27.1MPa，在此成型压力下，透水系数为3.27mm/s，实测孔隙率为15.2%，最接近目标孔隙率。究其原因：在透水混凝土试件成型过程中，在压力的作用下，新拌透水混凝土骨料之间发生移动。随着在压力逐渐增大，骨料间的移动方式也存在差异，可以将其划分为三个阶段。第一阶段是骨料的滑移阶段，由于受压，骨料受力而产生位移，使大孔隙充填，使粗骨料之间的距离变短，形成更多的接触点，从而提高了透水性混凝土的密实度；第二个阶段是骨料压缩期，在此期间，新拌透水混凝土受力持续

增加，骨料形成密实化，强度提高，但孔隙逐渐被填满，导致孔隙率降低，透水性下降。第三阶段，随着压力的不断增大，骨料变得极其紧密，以至于水泥浆无法将其完全覆盖，这就导致了骨料的断裂，最终导致了透水混凝土的严重损坏。除了破碎的骨料颗粒，这些物质也可以阻碍透水混凝土的流动，导致其孔隙率大幅下降，进而影响其抗压及透水性能。为了获得具有良好力学及渗透性的透水性混凝土，应将模塑压力控制在约80kN。

#### 2. 振动时间对透水混凝土性能的影响

在本试验中，配合如表4-1，采用振动成型的方法，通过改变振动时间，对抗压强度、孔隙率、透水性进行研究，结果如表4-3所示。

表4-3 振动时间对其性能的影响

成型压力/kN	孔隙率/%	孔隙率方差	28d 抗压强度/MPa	抗压强度方差	透水系数/(MM/S)	透水系数方差
4	18.7	1.01	22.1	2.73	5.41	0.16
8	16.1	0.33	25.2	0.89	4.89	0.26
12	15.2	0.93	23.8	1.33	4.37	0.09

根据表4-3的数据，当振动时间增加时，透水混凝土的孔隙率和透水系数均呈现出明显的下降趋势，28d时，其抗压强度达到最高，达到25.2MPa，此时的孔隙率为16.1%，透水系数为4.89mm/s，然而，随着时间的流逝，这种抗压能力也会不断衰退。究其原因：由于剧烈的振动，骨料粒子之间的摩擦力和骨料与模具之间的摩擦力都大幅度降低，导致透水混凝土的流动性受到影响，从而导致其透水性的下降；当振动持续时间增加，水泥浆体的流动性会发生改变。如果骨料与水泥浆体之间的粘结力不足以限制水泥浆体的流动，它将在重力的作用下不断下沉，并填补混凝土内部的空隙，导致孔隙率和透水系数降低。结果表明，当振动持续的时间越长，浆液就越向下，并在试样的底部形成了大量的淤泥，导致了试样的底部出现了严重的淤堵。在压力的作用下，由于水泥浆的稀薄，透水混凝土的上半部分极易被破坏，导致透水混凝土的整体强度下降。

五、试验结果分析

(一) 不同成型方式对透水混凝土性能的影响

在同一配合比条件下，用以上四种方法制备了透水混凝土，其透水性、强度及孔隙率测试结果见表5-1。

表5-1 试验数据汇总

成型方式	透水系数/(mm·s <sup>-1</sup> )	强度/MPa	孔隙率
手工插捣	8.5	16.4	32.3
机械振捣	6.2	20.4	28.5
机械 + 手工	7.3	21.3	30.5
机械 + 压力	3.4	24.1	26.2

通过试验发现，采用人工插捣成型方法生产的混凝土虽然抗压强度较低，但它的透水性却很好。这是因为，由于混凝土的结构缺乏紧密程度，并且混凝土内部存在许多空隙，这些空隙都可以作为渗漏的渠道，从而降低了混凝土的抗压能力。其次，在机械振动条件下，混凝土材料的抗压强度明显提高，且提高的幅度很大，但渗透率却明显下降。采用机械振捣方法，可以显著降低骨料之间的摩擦力，从而让它们能够利用自身的重量牢固地粘接在一起。经过振动的作用，这些骨料之间会产生良好的机械连接，从而极大地增加材料的抗压性。然而，随着振捣时间的延长，水泥浆在自重的影响下，可能会脱落并充填到空洞，导致空洞闭合，从而影响混凝土的透水性。再次，采用机械振捣+人工插捣成型方

法，所制备的透水混凝土的性能大大提升，抗压强度和透水系数都大大提高，甚至比传统的机械振捣成型法还要出色。通过多次的分层、插捣和振动，使骨料的组成更加紧密、有条理，使其之间的粘接力增强，使混凝土的覆盖面积更大，从而有效防止浆体的下沉现象。同时，使用人工插捣技术能够有效地减少骨料的破坏，同时提高材料的强度和透水性。最后，采用机械振捣+静压成型法，振动可以帮助骨料被精确地推向预定的位置，这样就可以保证水泥浆体的均一性，同时也防止了滴浆的发生。当压力增加时，颗粒之间的间距会变得更小，接触点也会增多，这样混凝土就能更均匀地拌合在一起，从而提高混凝土的抗压能力，其透水性能不高。

(二) 实验室成型方法选择

经过系统的研究发现，机械振捣+人工插捣的组合是提高透水混凝土的透水性和强度的有效选择，其优势显而易见。通过对破碎混凝土样本的分析发现，相比之下，透水混凝土上层的孔隙率更大。这可能是由于重力作用，导致水泥浆、砂砾以及其他微小颗粒在未完全固化前形成的。因此，为了确保混凝土结构的均匀性，在施工过程中，应当采取有效的措施，以减少振动，同时也要注意保持混凝土的透水性，以达到最佳的效果。

结语

从试验结果来看，不同的成型方法对透水混凝土的透水性及强度有很大的影响。采用机械振捣+人工插捣的方法进行成型效果最好，利用自制的透水混凝土试件捣固仪进行插捣，其强度和透水两项指标的综合性能最佳。

参考文献

[1] 马旺坤. 成型方法和配合比对透水混凝土性能的影响研究[D]. 黑龙江: 哈尔滨工业大学, 2020.  
 [2] 丰瑛. 不同成型方法对透水混凝土性能的影响研究[J]. 四川水泥, 2020(9): 24, 29.  
 [3] 刘贞鹏, 王晶. 透水混凝土成型方法试验研究[J]. 新材料新装饰, 2019, 1(2): 10, 13.  
 [4] 陆斌斌. 不同成型方法对透水混凝土性能的影响研究[J]. 建材发展导向(下), 2018, 16(3): 33.  
 [5] 中华人民共和国工业和信息化部. JC/T2558-2020. 透水混凝土[S]. 北京: 中国建材工业出版社, 2020.