

# 硅灰喷射混凝土

□ 许贤敏

硅灰是一种火山灰质的高性能矿物外加剂，主要用于提高混凝土的强度和耐久性，并可取代硅酸盐水泥。过去硅灰的使用主要是在美国、加拿大和挪威的纳维亚国家，现在世界各地都已获得了广泛的应用。通过使用硅灰可大大提高干拌和湿拌喷射混凝土的性能，例如在岩体稳定、隧道里衬和地下结构的修复中的应用，均可获得优良的性能。

20世纪70年代挪威首先把硅灰用于喷射混凝土中，挪威的地层促进了喷射混凝土隧道里衬的发展。在20世纪80年代的初期，硅灰在喷射混凝土中的应用是在西半球发展起来的，首先是在加拿大的西部，然后是在美

国，硅灰喷射混凝土已用于各种工程项目中，例如岩坡稳定，公路和铁路的隧道里衬，桥梁下部结构的梁、柱和桥台的修复，海上结构如桩、防波堤和码头支承结构的修复，化工厂结构的修复，以及为动物园和海上水族馆制造人工的岩石柱身。

通过使用硅灰，可使喷射混凝土的性能和生产技术获得以下提高：

### 1. 在干拌的喷射

混凝土中减少了回弹量，从而提高了材料的经济效益。

2. 不用促凝剂即可提高顶面和垂直面的单层喷射厚度，从而提高了生产效率。

3. 在潮汐区修补桩和防波堤时，能提高桩、堤的粘聚力和抗冲刷强度。

4. 由于降低了渗透率而提高了抗冻融耐久性。

5. 喷射混凝土的早期和后期的抗弯和抗压强度均有所提



高。

6. 对氯化物、硝酸盐、硫酸盐、酸和碱-骨料反应的化学侵蚀均增强了抵抗能力。

7. 在氯化物环境中的混凝土修复工程, 硅灰喷射混凝土的高电阻率和低渗透性减轻了钢筋和钢丝网的锈蚀。

### 一、硅灰喷射混凝土施工方法

喷射混凝土是一种水泥与骨料的砂浆或混凝土拌合物, 用压缩空气高速喷射在某一表面上。喷射混凝土有两种基本的施工方法, 即湿拌法和干拌法。在这两种施工方法中, 硅灰外加剂都是很容易加入的。干拌施工方法如下:

1. 有水泥、骨料、硅灰和纤维预先混合好的超大袋拌合物, 一般的重量为 1 000 千克。

2. 同水泥和骨料在工厂中干拌成运送拌合物, 并在工地把硅灰和纤维投入运送拌和机中。

3. 在工地用重量标准的体积比, 加入袋装的硅灰或混合水泥。

4. 把硅灰稀浆加入喷嘴中。

在湿拌施工方法中, 硅灰的加入方法如下:

1. 运送拌合物, 就和预拌混凝土一样, 同水泥、外加剂和骨料一起, 在中心搅拌厂或干拌厂中按体积比加入硅灰。

2. 从预拌厂运送混凝土, 硅灰是在工地按袋配料的。

3. 在分批投料设备中加入稀浆。

在下列情况下最好使用干拌的喷射混凝土:

1. 工地较远或难于接近, 提供湿拌喷射混凝土有困难的地方, 例如在某些矿山中的应用和海上结构中的修补。

2. 需要周期性地提供少量喷射混凝土的地方, 例如在交通繁忙的公路或铁路隧道中进行修补。

近年来湿拌喷射混凝土获得了广泛的应用, 与干拌法喷射混凝土相比, 其优点如下:

1. 通过工厂配料能较好地控制水灰比, 在干拌法施工中, 水灰比是由掌握喷嘴的工人控制的。

2. 回弹量较少, 喷射率和生产率均较



高，因而降低了成本。

3. 拌合时粉尘较少，均匀性更大。

在湿拌和干拌的喷射混凝土中采用了三种不同的硅灰产品：1. 非压实的硅灰；2. 压实的低密度硅灰；3. 压实的高密度硅灰。

硅灰喷射混凝土配合比设计中，硅灰的平均剂量为13%（以水泥的质量计）。用一种磺化萘基的超塑化剂来控制湿拌喷射混凝土的水灰比。干拌的喷射混凝土不需要超塑化剂，因其拌合物中的水大多是在喷射嘴中加进去的，水同水泥和硅灰起反应的接触时间太短了，以致于

在拌合物喷射到表面上实际固结之前，来不及有效地发生减水作用。

用一台喷射混凝土的活塞泵来喷射湿拌的喷射混凝土，干拌的混合料在装进旋转筒喂入喷枪之前，要预先加水润湿到含水量为3%~4%。

## 二、硅灰喷射混凝土性能

### 1. 粘结破坏的厚度和回弹损失

在喷射混凝土中掺入硅灰可提高对粘结表面的粘着力和喷射混凝土内部的粘聚力；因而在顶面和垂直面上的喷射混凝土厚度可大为增加。

在湿拌喷射混凝土的研究中，如果不掺硅灰，其顶面的粘

结破坏厚度为90毫米；如果掺入压实的低密度硅灰，其最大值可达280毫米。顶面的粘结破坏厚度一般是干拌的喷射混凝土较大，如果掺入非压实的硅灰，干拌喷射混凝土的最大值可达380毫米，而不掺硅灰的干拌喷射混凝土之顶面粘结破坏厚度只有65毫米。

干拌喷射混凝土的顶面回弹量，无硅灰的喷射混凝土为42.7%，掺入硅灰后可减少到21.4%。垂直面的回弹量：无硅灰喷射混凝土为45.5%，掺入硅灰后可降低到22.8%。在所有的喷射混凝土中，湿拌的回弹百分率均较低。

### 2. 抗压和抗弯强度

湿拌喷射混凝土采用硅灰后，其抗压强度有着明显的提高。在63天时，无硅灰喷射混凝土的抗压强度为44兆帕，而有硅灰的喷射混凝土的平均抗压强度为66.1兆帕，提高了50%左右。



干拌喷射混凝土的情况也与此相同，即掺硅灰的抗压强度高于无硅灰的喷射混凝土，尽管高出的比例没有湿拌喷射混凝土那么大。

湿拌和干拌喷射混凝土的抗弯强度也是这样，湿拌的硅灰喷射混凝土所提高的抗弯强度是最大的。干拌的硅灰喷射混凝土的抗弯强度也大于无硅灰的喷射混凝土，只是提高的幅度较小。

3. 煮沸吸水率和可渗性孔隙率

硅灰的掺入大大地降低了干拌喷射混凝土煮沸吸水率和可渗性孔隙率，但是对湿拌喷射混凝土不能降低。全部湿拌喷射混凝土的吸水率的试验结果，均可列为“良好”和“优良”之间；全部干拌喷射混凝土的试验数据都是很低的，属于“优良”的范围。

4. 快速氯离子渗透率

氯离子的渗透率和电阻率是评价用于修复工程的喷射混凝土能力的十分重要的特征，以便延缓或防止钢筋的锈蚀。

无硅灰的喷射混凝土尽管有相当好的强度、吸水率和可渗性孔隙率数据，但是湿拌喷射混凝土的快速氯离子渗透率为6800库，而干拌喷射混凝土为2573库。这些数值分别属于氯离子渗透率“高的”和“中等的”范围。根据历史上的资料，这种质量的混凝土在氯化物的侵蚀性环境中的耐久性是很差的。

与此相反，掺有硅灰的湿拌和干拌喷射混凝土的氯离子渗透率的平均值，分别下降到371和192库仑。

5. 电阻率

电阻率的实测值表明，掺有硅灰的喷射混凝土比无硅灰的喷射混凝土有着相当大的改善。以干拌的

喷射混凝土为例，有硅灰的喷射混凝土的平均电阻率为55290欧姆-厘米，而无硅灰的喷射混凝土只有5490欧姆-厘米。

湿拌和干拌的硅灰喷射混凝土的氯离子渗透率，都比无硅灰的相应喷射混凝土减少10~20倍。这种观察结果，再加上电阻率的数据，很好地证明了在用喷射混凝土修复钢筋混凝土结构中，采用硅灰是十分有利的。

6. 干缩率

在56天时的数据表明，掺有硅灰的喷射混凝土的干缩率是最小的。干拌喷射混凝土的干缩率低于湿拌喷射混凝土的相应值，这可用干拌喷射混凝土的需水量较少来解释。

## 更 正

本刊第8期第20页《限位器简易安装支架》作者应为高建周 朱建政。