

微观世界的奥秘 | 水泥水化后的另一个世界

发布者：飞纳电镜

水泥是无机非金属材料中用量最大的建筑材料之一，已成为当今世界第二大制品。自 1985 年起，中国水泥产量 21 年来一直雄居世界第一，到 2005 年，中国的水泥年产量已达 1.064 亿吨，占世界水泥产量的 48% 左右。世界上水泥品种已达上百种，但硅酸盐类水泥仍占主导地位。

水化反应

水泥的水化反应是一个极其复杂的过程，不仅包括熟料矿物的水化反应，还包括各种混合材的反应，此外，还涉及到微观孔结构的形成以及水分传输的过程。

硅酸盐水泥的水化产物特性在水泥的水化反应研究中具有重要的意义。水化产物的成分性质对水泥后期强度的发展以及混凝土结构的强度发展具有决定性的影响。

硅酸盐水泥与水作用后，生成的主要水化产物为水化硅酸钙和水化铁酸钙凝胶，氢氧化钙、水化铝酸钙和水化硫铝酸钙晶体。在完全水化的水泥石中，水化硅酸钙约占 70%，氢氧化钙约占 20%，钙矾石和单硫型硫铝酸钙约占 7%。下面对主要水化产物（水化硅酸钙和氢氧化钙）作一些介绍。

水化硅酸钙

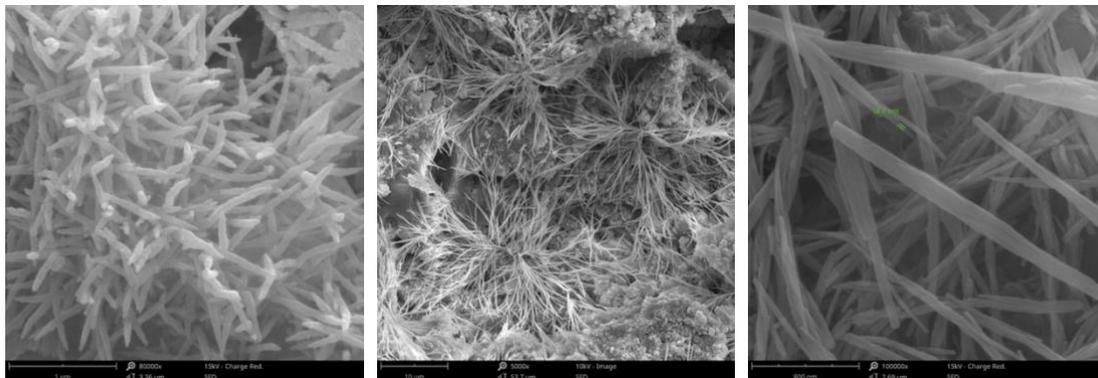


图 1 飞纳电镜下的水化硅酸钙

水泥水化产物，从占有的比例和体积看，首推水化硅酸钙（C-S-H 凝胶）。在水泥水化的后期，水泥水化反应渐趋减慢，各种水化产物逐渐填满原来由水所占据的空间。

通过扫描电镜图像观察，由于大量锚片状、纤维状 C-S-H 凝胶的交叉攀附，从而使原先分散的水泥颗粒及其水化产物连结起来，构成一个三维空间牢固结合较密实的整体，最终在水泥石硬化后构成水泥石强度。因此，水化硅酸钙凝胶对水泥石的强度及其他主要性质起支配作用。

氢氧化钙

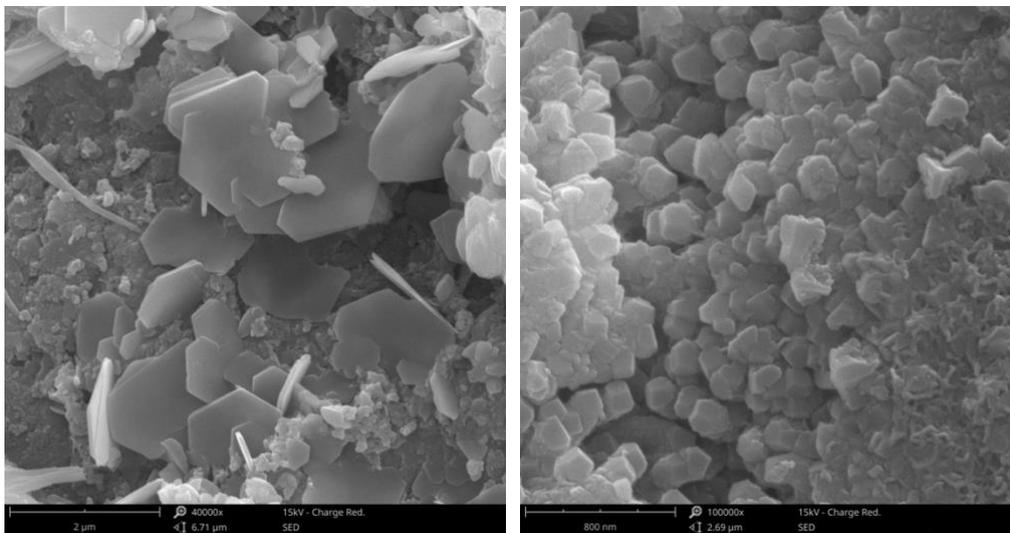


图 2 水泥水化产生的氢氧化钙

水泥水化反应的过程中，除了生成水化硅酸钙凝胶外，还会生成大量的氢氧化钙（CH）。

CH 微溶于水，在溶液中的浓度很快达到过饱和，并立即以六方板状或者方形晶体析出。

扫描电镜拍摄到的水泥石图像中的 CH 为层状结构、方形、片状形态，这使它对水泥石的强度贡献极少，而其层间较弱的连接，也可能是水泥石受力时裂缝的发源地。

CH 的强度很低，稳定性极差，在侵蚀条件下是首先遭到侵蚀的组分，而且它们多在水泥石和集料的界面处富集并结晶成粗大晶粒，因而界面的黏结被削弱，成为水泥基材料中最薄弱环节。

水泥是工业生产中最重要原材料之一。水泥的水化反应过程是水泥发挥其各项性能的基础，正确地理解水泥的水化反应对于充分发挥水泥效能，选择合适的水泥使用条件，解决其生产使用中各种问题具有重要意义。

参考文献

陈永霞. 混凝土中水泥的水化过程及主要水化产物特性 [J]. 青海交通科技, 2013(3):5-6.