

工程中掺粉煤灰在混凝土中的应用（二）岩土工程师考试

PDF转换可能丢失图片或格式，建议阅读原文

https://www.100test.com/kao_ti2020/549/2021_2022__E5_B7_A5_E7_A8_8B_E4_B8_AD_E6_c63_549749.htm

三、粉煤灰在混凝土中的作用 了解混凝土的微结构的特性及其对性能的影响后，就可以更好地认识粉煤灰在混凝土中的作用。粉煤灰的主要作用可以包括以下几方面：1) 填充骨料颗粒的空隙并包裹它们形成润滑层，由于粉煤灰的容重（表观密度）只有水泥的2/3左右，而且粒形好（质量好的粉煤灰含大量玻璃微珠），因此能填充得更密实，在水泥用量较少的混凝土里尤其显著。2) 对水泥颗粒起物理分散作用，使其分布得更均匀。当混凝土水胶比较低时，水化缓慢的粉煤灰可以提供水分，使水泥水化得更充分。3) 粉煤灰和富集在骨料颗粒周围的氢氧化钙结晶发生火山灰反应，不仅生成具有胶凝性质的产物（与水泥中硅酸盐的水化产物相同），而且加强了薄弱的过渡区，对改善混凝土的各项性能有显著作用。4) 粉煤灰延缓了水化速度，减小混凝土因水化热引起的温升，对防止混凝土产生温度裂缝十分有利。下面对粉煤灰在混凝土中的作用及其机理做一些具体地分析。长期以来，国内外在混凝土中常掺有一定量粉煤灰，但作为水泥的替代材料，绝大多数情况下是以如下三种方式应用的：在早期强度要求很低，长期强度大约在25~35MPa的大体积水工混凝土中，大掺量地替代水泥使用；在结构混凝土里较少量地替代水泥（10~25%）；在强度要求很低的回填或道路基层里大量掺用。对于粉煤灰的作用机理和应用技术，多年来进行了大量的研究工作，取得了不少进展，这些进展对粉煤灰在混凝土中

的应用起了一定的推动作用。如掺用的方法从等量替代水泥，发展到超掺法、代砂法以及与化学外加剂同时使用的双掺法。对于粉煤灰的作用机理，从主要是火山灰质材料特性的作用（消耗了水泥水化时生成薄弱的，而且往往富集在过渡区的氢氧化钙片状结晶，由于水化缓慢，只在后期才生成少量C-S-H凝胶，填充于水泥水化生成物的间隙，使其更加密实），逐步发展到分析它还具有形态效应、填充效应和微集料效应等。但无论哪一方面的研究成果，似乎都改变不了这样一个事实：在混凝土中掺粉煤灰要降低混凝土的强度，包括28天龄期以后一段时间里的强度，其他性能当然也相应受到不同程度的影响，而且这些影响要随着掺量的增大而加剧。这个事实始终禁锢着粉煤灰在混凝土中，尤其是结构混凝土中的掺量，而且似乎形成了这样一种成见：掺用粉煤灰是以牺牲结构混凝土的品质为代价的。事实上，如前所述，由于高效减水剂的应用，使混凝土的水胶比可以大幅度降低，从而使掺用粉煤灰的效果大为改善，使大掺量粉煤灰混凝土的性能能够大幅度地提高。

1) 水胶比的影响 水胶比的上述变化为什么影响这么大呢？在高水胶比的水泥浆里，水泥颗粒被水分隔开（水所占体积约为水泥的两倍），水化环境优异，可以迅速地生成表面积增大1000倍的水化物，有良好地填充浆体内空隙的能力。粉煤灰虽然从颗粒形状来说，易于堆积得较为密实，但是它水化缓慢，生成的凝胶量少，难以填充密实颗粒周围的空隙，所以掺粉煤灰水泥浆的强度和其他性能总是随掺量增大（水泥用量减少）呈下降趋势（当然在早龄期就更加显著）。在低水胶比的水泥浆里情况就不一样了。不掺粉煤灰时，高活性的水泥因水化环境较差，即缺

水而不能充分水化，所以随水灰比下降，未水化水泥的内芯增大，生成产物量下降，但由于颗粒间的距离减小，要填充的空隙也同时减小，因此混凝土强度得到迅速提高。这种情况下用粉煤灰代替部分水泥，在低水胶比条件下（例如0.3左右），水泥的水化条件相对改善，因为粉煤灰水化缓慢，使混凝土实际的“水灰比”增大，水泥的水化因而加快，这种作用机理随着粉煤灰的掺量增大愈加明显（例如掺量为50%左右，初期实际水灰比则接近0.6），水泥水化程度的改善，则有利于粉煤灰作用的发挥，然而与此同时，需要粉煤灰水化产物填充的空隙已经大大减小，所以其水化能力差的弱点在低水胶比条件下被掩盖，而它降低温升等其它优点则依然起着有利于混凝土性能的作用。以上所述低水胶比下粉煤灰作用的变化，我们可以用一个“动态堆积”的概念来认识，这是相对于长期以来沿用的静态堆积而言的。即通常在选择原材料和配合比时，是以各种原材料在加水之前的堆积尽量密实为依据的，但是当加水搅拌后，特别是在低水胶比条件下，如何通过粉状颗粒水化的交叉进行，使初始水胶比尽量降低，混凝土单位用水量尽量减少，配制出的混凝土在密实成型的前提下，经过水化硬化过程，形成的微结构应该是更为密实的。上述大掺量粉煤灰混凝土的例子中，每方混凝土的用水量仅100kg左右，要比目前配制普通混凝土少几十公斤，就是明显的证据。有人曾进行过低水灰比（水胶比）掺/不掺粉煤灰净浆的结合水测定试验[6]：掺有30%粉煤灰，水胶比为0.24的净浆，要比水灰比为0.24的纯水泥浆在28d时的结合水还多，证实上述掺粉煤灰后改善了水泥在低水灰比条件下水化程度的说法。因此低水胶比条件下，大掺量粉煤灰混

凝土的强度发展与空白混凝土接近，而后期仍有一定幅度的增长，在一定范围内随掺量变化的影响不大。当然，粉煤灰代替水泥用量大了，由于起激发作用的氢氧化钙含量减少，使粉煤灰的水化条件劣化，所以在不同条件下存在一最佳粉煤灰掺量，并不是越大越好。

2) 温度的影响 众所周知，温度升高时水泥水化的速率会显著加快。研究表明：与20℃相比，30℃时硅酸盐水泥的水化速率要加快一倍。由于近些年来大型、超大型混凝土结构物的建造，构件断面尺寸相应增大；混凝土设计强度等级的提高，使所用水泥标号提高、单位用量增大；又由于水泥生产技术的进展，使其所含水化迅速的早强矿物硅酸三钙含量提高、粉磨细度加大，这些因素的叠加，导致混凝土硬化时产生的温升明显加剧，温峰升高。举一个典型的例子：97年北京一栋建筑物底层断面为1.6m × 1.6m的柱子，模板采用9层胶合板材料，施工季节为夏季，混凝土浇筑后柱芯的温峰达到110℃。在达到温峰后的降温期间，混凝土产生温度收缩（也称热收缩）引起弹性拉应力；另一方面，混凝土水胶比的降低，又会使因水泥水化产生的自身收缩增大，同样产生弹性拉应力；而混凝土的水灰比（水胶比）降低，早期水化加快，混凝土的弹性模量随强度的提高而增大，进一步加剧了弹性拉应力增长；与此同时，混凝土的粘弹性，即对于弹性拉应力的松弛作用却显著地减小，这一切，都导致近些年来许多结构物在施工期间，模板刚拆除或以后不久就发现表面大量裂缝。除了凝固前的塑性裂缝以外，硬化混凝土早期出现的裂缝往往深而长（实际上不可见裂缝的长度和深度，要远比可见裂缝大得多）。为了防止可见裂缝的出现，目前常采取外包保温措施，以减小内外

温差，这种做法被认为是有效措施而迅速地得到推广。但是没有注意到：由于外保温阻碍了混凝土水化热的散发，加剧了体内的温升，混凝土体温度升高，使水泥水化加速，早期强度发展更加迅速，因此也更容易出现裂缝，只是由于钢筋的约束和对应力的分散作用，使少量宽而长的可见裂缝转变为大量分散的不可见裂缝，它们将为侵蚀性介质提供通道，影响结构混凝土的耐久性。同时较大的弹性拉应力还可能引起钢筋达到屈服点而滑移，从而可能影响结构的使用功能。与水泥相比，粉煤灰受温度影响更为显著，即温度升高时它的水化明显加快。所以当混凝土浇注时环境温度与混凝土体温度较高时，对纯水泥混凝土来说，由于温升带来不利的影响，而对掺粉煤灰混凝土来说，则不仅温升下降，减小了混凝土因温度开裂的危险，同时由于加快火山灰反应，还提高了28天强度。举一个很有意思的例子：德国在修建一条新铁路时，其隧道衬砌曾严重地开裂，当时要求混凝土10h强度不低于12MPa；后来修改了规定：以隔热的立方模型浇注的试件12h最高强度为6MPa；如果超过了，就要增加粉煤灰的掺量来更多地代替水泥。以上说明：由于混凝土技术的进展，使混凝土可以在比较低的水胶比条件下制备，这就使粉煤灰在混凝土中的作用出现显著地变化。而近些年来水泥活性增大、混凝土设计等级提高促使水泥用量增大，以及构件断面尺寸加大，在混凝土体温度上升的前提下，进一步促进了粉煤灰在混凝土中作用的发挥，以至可以说：粉煤灰在许多情况下可以起到水泥所起不到的作用，成为优质混凝土必不可少的组分之一。

3) 室内试验与现场浇注 长期以来，人们对于混凝土强度其质量控制主要指标（通常也就是唯一指标）

的评价，一直是根据在实验室里制备的小试件（由于骨料最大粒径的减小，试件尺寸从 $200 \times 200 \times 200\text{mm}$ 减小到现在的 $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ ），经规定龄期的标准养护（ 20 ± 3 ；RH 90%），然后在试验机上破型得到的数据进行。Idorn[7]在91年曾撰文指出：在特定实验室条件下取样制备试件进行试验作为控制质量的方法，而不去开发以物理化学为科学依据的控制方法，是不合乎当今时代的错误。100Test 下载频道开通，各类考试题目直接下载。详细请访问 www.100test.com