

# 粉煤灰对水泥、混凝土性能的影响

王一帆

北京市政路桥锐诚科技有限公司 北京 100000

**摘要：**粉煤灰作为工业废弃物，在水泥和混凝土领域展现出显著价值。它能增强水泥的强度与耐久性，同时改善其工作性能。对于混凝土，粉煤灰可优化物理力学性能，提升耐久性，并改善施工性能，还能调整颜色与外观。然而粉煤灰中的放射性元素含量需引起关注。合理利用粉煤灰，既能有效减少环境污染，又能推动水泥和混凝土工业的绿色发展，实现资源循环与可持续发展。这一废弃物资源化利用途径，具有深远的环境与经济效益。

**关键词：**粉煤灰；水泥；混凝土性能

引言：粉煤灰，作为燃煤电厂的主要废弃物，其大量堆积不仅造成土地资源的浪费，还可能对周边环境构成潜在威胁。随着科技的进步与环保意识的增强，粉煤灰在水泥和混凝土领域的应用逐渐展现出其独特的价值。本文深入剖析粉煤灰对水泥和混凝土性能的具体影响，旨在揭示其作为高性能掺合料的潜力。通过本研究，我们期望为粉煤灰的合理利用提供坚实的理论依据，推动其在建材领域的广泛应用，实现废物资源化与环境友好的双赢。

## 1 粉煤灰对水泥性能的影响

### 1.1 强度

粉煤灰作为一种重要的矿物掺合料，在水泥中的应用日益广泛，其对水泥性能的影响，特别是在强度方面，呈现出一种双重性，既有短期的负面影响，也有长期的正面效应<sup>[1]</sup>。在混凝土的早期硬化阶段，粉煤灰的加入往往会导致混凝土强度的降低。这是因为粉煤灰的水化活性相较于水泥而言较低，其参与水化反应的速度较慢。混凝土初凝和终凝的过程中，粉煤灰未能充分与水反应，导致混凝土内部的胶凝材料数量减少，进而影响了混凝土的早期强度。然而，这种影响是暂时的，并且随着水化反应的持续进行，粉煤灰的积极作用逐渐显现。长期来看，粉煤灰的加入对水泥强度的提升具有显著效果。随着水化反应的深入，粉煤灰逐渐与水泥水化产物结合，形成新的、更为致密的胶凝材料。这些新的胶凝材料不仅填充了混凝土内部的微小孔隙，还增强了混凝土的整体结构强度。混凝土的后期硬化阶段，粉煤灰的掺入可以显著提高混凝土的抗压强度和抗折强度。粉煤灰与水泥水化产物形成的化合物具有更高的强度特性。这些化合物在混凝土内部形成了更为稳定的结构，使得混凝土在承受外力作用时能够更好地抵抗变形和破坏。从长期来看，粉煤灰的加入不仅不会降低混凝土的

强度，反而能够显著提高其整体性能。

### 1.2 耐久性

粉煤灰，作为一种优质的矿物掺合料，在水泥混凝土中的应用有助于降低生产成本，更能在很大程度上提升混凝土的耐久性，从而延长建筑物的使用寿命。粉煤灰中的硅酸盐和铝酸盐成分具有极高的活性，它们能够与水泥水化过程中产生的钙氢石灰发生化学反应，生成新的、更加稳定的水泥石。这些新生成的水泥石具有更高的密实度和更低的孔隙率，能够有效填充混凝土内部的微小孔隙，从而大大减少了水分和氧气进入混凝土内部的可能性。这一特性使得粉煤灰混凝土在抗渗性方面表现出色。由于孔隙的减少，水分和有害物质的渗透路径被有效阻断，混凝土的抗渗性能得到显著提升。这有助于防止水分对混凝土内部的侵蚀，还能有效减缓混凝土的碳化过程，延长其使用寿命。粉煤灰的掺入还能显著降低碱骨料反应的发生。碱骨料反应是一种严重的混凝土耐久性问题，它会导致混凝土膨胀、开裂甚至破坏。而粉煤灰中的活性成分能够与混凝土中的碱离子结合，形成稳定的化合物，从而有效抑制碱骨料反应的发生。在抗化学侵蚀性、抗冻融性和抗硫酸盐侵蚀性方面，粉煤灰混凝土同样表现出色。其密实的结构使得混凝土能够更好地抵抗化学物质的侵蚀，同时在冻融循环作用下也能保持较好的稳定性。粉煤灰还能与硫酸盐反应生成难溶的化合物，从而有效防止硫酸盐对混凝土的侵蚀。

### 1.3 工作性

在水泥混凝土中适量掺入粉煤灰，可以显著改善其工作性，使得混凝土在施工过程中更加易于操作和控制。这一改善主要得益于粉煤灰的物理和化学特性。

(1) 粉煤灰颗粒细小且表面光滑，这使得它们能够有效地填充水泥颗粒间的空隙，从而降低混凝土的黏稠度和

内摩擦阻力。这一变化使得混凝土在搅拌过程中更加易于均匀混合,减少了搅拌时间和能源消耗。在运输过程中,粉煤灰混凝土的流动性更好,不易出现分层和离析现象,保证了混凝土质量的稳定性。(2)在浇筑过程中,粉煤灰混凝土的流动性和易浇性得到了显著提升,这使得施工人员能够更加方便地将混凝土浇筑到模板中,减少了振捣时间和劳动强度<sup>[2]</sup>。特别是在大型工程和复杂结构的施工中,粉煤灰混凝土的这一特性尤为重要。它能够使得混凝土更加均匀地分布在模板内,提高了施工效率和工程质量。(3)粉煤灰还能延长混凝土的凝结时间。这一特性为施工方提供了更多的调整和施工时间。在浇筑过程中,如果出现任何问题或需要调整,施工人员可以利用这段时间进行相应的处理,从而保证了混凝土的最终质量。在复杂结构的施工中,延长凝结时间也使得施工人员有更多的时间来精确地定位和固定钢筋等构件,提高了结构的整体稳定性和安全性。

## 2 粉煤灰对混凝土性能的影响

### 2.1 物理力学性能

粉煤灰作为一种常用的矿物掺合料,对混凝土的物理力学性能有着复杂而深远的影响。首先,从强度的角度来看,粉煤灰的特性呈现出一种双刃剑效应。一方面,由于其自身的强度相对较低,当掺入量过多时,会直接导致混凝土中水泥的替代比例增加,从而在一定程度上降低混凝土的整体强度。然而,另一方面,当粉煤灰的掺入量适中时,其长期强度提升效果却十分显著。这是因为粉煤灰能够与混凝土中的氢氧化钙发生火山灰反应,生成新的、具有更高强度的胶凝材料,从而增强混凝土的力学性能。此外,粉煤灰的细颗粒特性也使其能够填充混凝土中的微小空隙,增加混凝土的致密性,进一步提升其强度。在弹性模量方面,粉煤灰的掺入同样会产生一定影响。虽然掺入过多可能会导致混凝土的弹性模量发生变化,进而影响其变形能力和刚度,但通常情况下,只要掺入量适中,并通过合理的配合比设计进行控制,这种影响是可以被限制在较小范围内的。

### 2.2 耐久性

粉煤灰的掺入对混凝土的耐久性具有显著影响,这主要体现在抗渗性、抗冻融性和抗碳化性能等方面。在抗渗性方面,粉煤灰的掺入量需严格控制。过量掺入可能会增加混凝土的孔隙率,导致抗渗性能下降。当掺入量适中时,粉煤灰的细颗粒能够填充混凝土中的微小空隙,形成更为致密的结构。粉煤灰的火山灰反应生成的胶凝材料也能进一步增强混凝土的密实性和抗渗性。这种致密的混凝土结构有助于减少水分和有害物质的侵

入,从而延长混凝土的使用寿命。对于抗冻融性而言,粉煤灰的加入在寒冷地区或需要承受冻融循环作用的工程中尤为重要。适量掺入粉煤灰可以减少水泥水化过程中产生的钙矾石,降低混凝土内部应力的集中,从而提高其抗冻融破坏的能力。这使得粉煤灰混凝土在经受多次冻融循环后,仍能保持较好的整体性和稳定性。在抗碳化性能方面,粉煤灰混凝土的表现相对复杂。虽然粉煤灰中的某些化学成分可能加速混凝土的碳化过程,但适量掺入时,其火山灰反应生成的胶凝材料可以部分抵消这种不利影响。具体的配合比、养护条件等因素也会影响粉煤灰混凝土的抗碳化能力。

### 2.3 施工性能

粉煤灰作为一种重要的混凝土掺合料,其对施工性能的影响不容忽视。在流动性和可塑性方面,粉煤灰的掺入量需谨慎控制。过量的粉煤灰可能导致混凝土变得黏稠,流动性和可塑性下降,给施工带来不便。这是因为粉煤灰的颗粒较小,当掺入量过多时,会吸收大量水分,使得混凝土变得难以搅拌和浇筑。当掺入量适中时,粉煤灰的润滑作用能够显著改善混凝土的流动性和易浇性,使施工操作更为顺畅。这种润滑作用源于粉煤灰颗粒的微小和表面光滑,它们能够在混凝土中起到类似润滑剂的作用,减少颗粒间的摩擦和阻力。在凝结时间方面,粉煤灰的火山灰反应相对较慢,这会对混凝土的凝结时间产生影响。如果掺入量过多,可能会显著延长混凝土的凝结时间,从而影响施工进度和后续施工安排。对于需要快速硬化的工程来说,这无疑是一个不利因素。然而,在某些特定情况下,延长凝结时间反而有利于施工。在大型或复杂结构的施工中,施工人员可能需要更多的时间来调整和定位钢筋、模板等构件。适量掺入粉煤灰可以给予他们更多的施工时间,有利于保证工程质量和安全性。

### 2.4 颜色与外观

粉煤灰作为一种常用的混凝土掺合料,其掺入会显著改变混凝土的颜色,使其呈现出较为灰暗的外观。这一变化对于一些对混凝土颜色有特定要求的工程来说,可能会带来不利影响。在建筑外墙等需要保持颜色一致性的工程中,粉煤灰的掺入可能会破坏整体的美观效果。这是因为粉煤灰本身颜色偏暗,当它与水泥等原材料混合后,会使得混凝土整体颜色变深。为了应对这一问题,在设计混凝土的配合比时,需要充分考虑粉煤灰对颜色的影响<sup>[3]</sup>。一方面,可以通过调整粉煤灰的掺入量来控制颜色的变化程度;另一方面,也可以尝试使用其他颜色调节剂或掺合料来中和粉煤灰带来的灰暗效果。

施工过程中的养护条件也会对混凝土的颜色产生一定影响。在养护阶段也需要采取相应的措施,以确保混凝土的颜色和外观符合设计要求。

### 2.5 放射性元素含量

粉煤灰作为一种常见的混凝土掺合料,其放射性元素含量是一个需要特别关注的问题。由于粉煤灰的来源多样,不同来源的粉煤灰中放射性元素的含量可能存在较大差异。当掺入过多含有放射性元素的粉煤灰时,混凝土中的放射性元素含量可能会超标,这会对混凝土本身的质量产生影响,还可能对周围环境造成潜在的危害。放射性元素的超标排放可能引发一系列环境问题,如土壤污染、水源污染等,对人类健康和生态环境构成威胁。在使用粉煤灰作为掺合料时,必须对其进行严格的监测和控制。这包括检测粉煤灰中放射性元素的含量,确保其符合相关标准和规定。在采购和使用粉煤灰时,应选择来源可靠、质量有保障的产品,以减少放射性元素超标的风险。

### 3 粉煤灰在混凝土中的应用注意事项

在混凝土中应用粉煤灰时,需细致考虑多个关键环节,以确保其改善效果得以最大化,同时避免潜在的性能下降。首要的是,粉煤灰的掺入比例需精心调配,这需依据具体工程需求和条件,进行科学的配比与设计。过犹不及,掺入量过多可能削弱混凝土性能,而不足则难以彰显其改善优势。精准的掺入量是平衡成本与性能的关键。质量监控同样至关重要。粉煤灰的细度、需水量比、活性指数等关键指标,均需严格检测,确保其满足相关标准和规定。这不仅关乎混凝土当下性能,更影响长期耐久性。在配合比设计阶段,应全面考量粉煤灰对混凝土性能的复杂影响。通过精细的配合比设计,旨在最大化粉煤灰的积极作用,同时有效规避其可能带来的不利影响。这需要深厚的专业知识和丰富的实践经验,以实现性能与成本的双重优化<sup>[4]</sup>。施工环节同样不容忽视。搅拌、运输、浇筑等每一步操作,均需严格遵循规范,确保粉煤灰混凝土的质量稳定。而养护阶段,更是决定混凝土最终性能的关键。采取恰当的养护措施,如适宜的温度、湿度控制,以及足够的养护时间,对于

混凝土性能的充分发挥至关重要。

### 4 粉煤灰在水泥和混凝土工业中的应用前景

粉煤灰作为燃煤电厂等工业生产过程中产生的废弃物,其资源化利用在水泥和混凝土工业中展现出广阔的应用前景。随着全球对环保和可持续发展的日益重视,粉煤灰的应用价值逐渐得到认可。在水泥生产中,粉煤灰可以作为重要的辅料,替代部分水泥,从而降低生产成本和能源消耗,同时减少碳排放。这种替代不仅有助于减轻对自然资源的开采压力,还促进了资源的循环利用。在混凝土领域,粉煤灰的掺入能够显著改善混凝土的工作性能,如流动性和易浇性,使得施工操作更为顺畅。粉煤灰还能提高混凝土的耐久性和抗渗性,延长混凝土的使用寿命。这对于需要承受恶劣环境条件的工程来说尤为重要。展望未来,粉煤灰在水泥和混凝土工业中的应用前景将更加广阔。一方面,随着技术的进步和创新,粉煤灰的处理和利用将更加高效和环保。另一方面,随着社会对可持续发展和资源循环利用的认可度不断提高,粉煤灰的需求量也将持续增长。

结束语:综上,粉煤灰在水泥和混凝土领域的应用展现出巨大潜力与广阔前景。深入研究其性能影响,有助于我们更高效地利用这一资源,不仅促进了水泥和混凝土工业的创新发展,还实现了经济效益与环境效益的双重提升。展望未来,随着科技的持续进步,粉煤灰的应用领域必将进一步拓宽,其在建材、环保乃至更多领域的贡献将更加显著,为可持续发展注入新的活力与可能。

### 参考文献

- [1]代伟红.粉煤灰对水泥混凝土性能的影响[J].建材与装饰,2022,18(25):33-35.
- [2]张守治,田倩,陆安群.粉煤灰、矿粉对掺硫铝酸盐膨胀剂水泥基材料膨胀性能的影响[J].混凝土与水泥制品,2023(3):29-32,37.
- [3]范梦甜,王迎斌,苏英,等.超细粉煤灰对水泥性能的影响及在混凝土中的应用研究[J].新型建筑材料,2021,48(8):16-20,37.
- [4]陈红星,戴惠兰,贾志强,等.粉煤灰、矿粉对水泥浆体变形性能的影响[J].混凝土与水泥制品,2021(3):28-31.