

简述碳纳米管改性碱激发材料的研究情况

蹇晓东 白子轩 周志博 周 慧

重庆大学土木工程学院 重庆 沙坪坝区 400045

【摘 要】本文综述了碳纳米管改性碱激发材料的研究情况，重点描述了以矿渣、粉煤灰等为基体的碳纳米管改性碱激发材料的抗压强度、抗折强度、弹性模量等力学性能及电阻率、渗流阈值、力电效应等电学性能的研究进展，展现了碳纳米管改性碱激发材料研究的方向。

【关键词】碳纳米管；碱激发材料；矿渣

引言

随着建筑工程行业的蓬勃发展，各种建筑材料不断更新换代，人们对建筑材料也提出了新的要求。碳纳米管改性碱激发材料作为一种新型且性能优异的智能材料，具有绿色节能、经济有效的优点，与我国智能建设目标中的“全面感知”和“发展绿色经济，坚持可持续发展”理念相符合，可引领建筑工程行业向环境友好型、资源节约型健康发展。

碱激发材料是工业副产品被碱溶液激活活化的产物，具有与普通波特兰水泥相似的胶凝性。但碱激发材料以各种工业垃圾与副产品为原料，不仅回收了工业废料，还避免了传统水泥制备过程中消耗的热量，减少了碳排放。因此，碱激发材料作为新型非金属材料，在新时期有着较大的发展潜力。

碳纳米管是一种碳纳米晶体纤维材料，是由层状结构的石墨片卷成的无缝空心管，具有卓越的力学和电学性能。在力学方面，碳纳米管的强度和韧性极高，弹性模量在 1TPa 与 8TPa 之间，弹性应变可达 5%，远优于普通材料。将碳纳米管作为复合材料增强体，可使复合材料表现出优异的力学与电学性能，有广阔的发展前景。

1.碳纳米管改性碱激发材料力学性能的研究现状

众多学者发现，碱激发材料的抗压强度、抗折强度，因碳纳米管的加入显著提升。Rovnaník 等人^[1]将不同掺量碳纳米管加入碱激发材料中，以研究其对碱激发矿渣力学性能和水化放热的影响，结果表明碳纳米管的掺入会延缓碱激发矿渣的水化放热，碳纳米管的加入能显著地减少基体微裂缝的开展，但分散不均匀的碳纳米管会使复合材料的抗折强度及抗压强度出现劣化。Peter 等人^[2]进行了碳纳米管分散液对碱激发矿渣砂浆力学性能及开裂趋势影响的研究，发现外加的碳纳米管分散液对碱激发矿渣砂浆的抗压强度和抗折强度都有增强作用。

不同掺量的碳纳米管对碱激发材料的力学性能有不同程度的提升，且存在一个提升程度最高的最优掺量，

众多学者针对于理想经济的碳纳米管掺量进行了研究。

Rovnaník 等人通过对不同掺量碳纳米管碱激发矿渣砂浆进行断裂实验研究发现，掺入 0.5%的多壁碳纳米管可以改善材料的抗压强度和弹性模量，掺入 0.05-0.2%多壁碳纳米管，试样的断裂韧性得到显著提高，当多壁碳纳米管掺量为 0.1%时，抗压强度以及断裂韧性展现出最佳的增强效果。Khater 等人以 NaOH 作为激发剂，研究不同掺量碳纳米管对碱激发矿渣砂浆的抗压强度、水化产物及收缩的影响，发现碳纳米管的加入可以改善水化产物的微观结构，尤其是掺量为 0.1%时能显著降低碳纳米管改性碱激发矿渣砂浆的干燥收缩并同时提高其抗压强度。

2.碳纳米管改性碱激发材料电学性能的研究现状

碳纳米管作为导电材料，不仅能够提高碱激发材料的力学性能，对碱激发材料的电学性能也有一定影响。Pavel Rovnaník 等人发现干燥状态下碱激发矿渣复合材料的电阻率是传统水泥基材料的 1/10，深入研究发现，这种导电性能与碳纳米管掺量、碱激发剂成分以及电流频率有关。Mohamed Saafi 等人研究了碳纳米管对粉煤灰碱激发材料性能的影响，发现在达到渗流阈值之前，增加碱激发剂中的 NaOH 含量以及多壁碳纳米管掺量可以提高材料的导电性，且当 NaOH 含量较低时，碳纳米管的作用更为明显。Pavel Rovnaník 等人对碳纳米管与石墨混合掺料对于构件导电性能影响进行了研究，发现随着石墨-碳纳米管混合掺料的提高，试件导电性会增强，但这种加强作用在高频交流电下更弱，同时发现碳纳米管的渗流阈值为 0.1%，小于石墨 8%的渗流阈值。

碳纳米管改性碱激发材料的电学性能会随其受力状态的改变而发生变化，这种变化被发现可能与碱激发材料排布的变化以及裂缝的出现与开展有关。Chindaprasirt 等人的研究发现，碳纳米管改性碱激发材料的电阻会在构件出现裂缝的时候产生巨大的变化，这一性质对于裂缝发展状况的检测有很大的作用。Mohamed Saafi 等人]的研究也发现，粉煤灰材料制成的

受弯构件有明显的压敏性能，其复阻抗与跨中挠度呈线性关系，当跨中出现裂缝的时候，构件的电阻产生了明显的变化。

3.结论

随着时代的发展，低碳智能建筑在我国的应用需求将会愈来愈高，碳纳米管改性碱激发材料作为新型低碳智能建筑材料，对其性能的研究十分必要。碱激发材料生产过程中利用工业废料代替了传统水泥，降低了碳排放，实现工业废料的循环利用。本文重点从碳纳米管的掺入对碱激发材料的力学性能、电学性能的提升进行论述，各类研究表明，掺入碳纳米管可以提高碱激发材料

强度与导电性能，可对结构受力变形状态实现实时检测。

【参考文献】

[1]Rovnaník, Pavel, Bayer P . Effect of Water-Soluble Carbon Nanotubes on the Mechanical Properties and early Hydration of Alkali-Activated Slag[J]. Advanced Materials Research, 2014, 1000:118-121.

[2]Rypák P, Topolár L, Rovnanik P. Effect of Carbon Nanotubes and Hydroxypropyl Methylcellulose on the Mechanical Properties and Cracking Tendency of Alkali-Activated Slag[J]. Advanced Materials Research , 2015, 1100:25-29.