

一种固体废弃物铁合金炉渣在混凝土中的应用

罗玉芬 王志刚 吕元义 钱廷军 蒲秀辉

黔西南州发展资源开发有限公司 贵州省安龙县 552400

摘要: 随着近年来, 国家对于可持续发展与循环经济理念的进一步认识, 未来铁合金炉渣综合利用的方向将是向着更加节能、更加环保。通过固体废弃物铁合金炉渣替代细骨料, 研究混凝土的工作性、抗压强度, 为固体废弃物铁合金炉渣在混凝土中的合理利用提供一定的参考。结果表明, 固体废弃物铁合金炉渣不但可以改善混凝土骨料体系的级配, 提高混凝土的工作性, 而且可以一定程度上减少碳排放量, 达到绿色低碳的效果, 实现固体废弃物高质高效资源化利用技术; 替代细骨料用量为 30% 时, 工作性和抗压强度最佳。

关键词: 固体废弃物铁合金炉渣; 混凝土; 工作性; 抗压强度

前言

随着国家经济的快速发展, 铁合金产量的需求亦随之更加旺盛, 资源、能源的消耗以及废弃物排放问题越来越严重^[1], 铁合金企业的污染废物生产量也将继续增长, 对良好的生态环境造成严重影响, 所以国家对污染废物综合处理越来越重视。随着近年来, 国家对于可持续发展与循环经济理念的进一步认识, 未来铁合金炉渣综合利用的方向将是向着更加节能、更加环保^[2], 所以当前企业不仅要提高自身生产技术水平外, 还要对铁合金炉渣进行有效处理。为能够解决铁合金炉渣污染环境的问题, 现采用在混凝土中掺入铁合金炉渣^[3-8], 以达到对废弃铁合金炉渣的资源再利用, 实现绿色低碳发展和变废为宝的目的。根据目前市场调查, 市场上骨料价格大约 20 元/吨, 铁合金炉渣为 1 元/吨, 铁合金炉渣替代部分细骨料用于混凝土, 经济效益显著。

固体废弃物铁合金炉渣外观呈现坚硬的块状, 需通过破碎机破碎处理, 破碎成不同粒级的颗粒代替细骨料作为混凝土骨料。目前, 固体废弃物铁合金炉渣替代部分细骨料来配制混凝土工作性和抗压强度缺乏研究。为此, 以探究固体废弃物铁合金炉渣替代混凝土中的细骨料的可行性和不同替代率对水泥混凝土工作性和抗压强度的影响, 为有效合理解决固体废弃物铁合金炉渣在混凝土中的应用提供一定参考。

1 固体废弃物铁合金炉渣的来源

固体废弃物铁合金炉渣通过破碎口进入破碎设备进行破碎, 为使破碎的粒径满足混凝土生产质量级配需求, 采用 3mm 筛筛分后得到的品种。

2 原材料及试验方法

2.1 试验用原材料

试验采用符合 GB175-2023《通用硅酸盐水泥》的 P·O42.5 水泥, 其基本性能指标见表 1。

表 1 水泥的基本性能指标

| 厂家 | 规格 | 标准稠度用水量 (%) | 凝结时间 (min) | | 安定性 (试饼法) | 抗压强度 (MPa) | | 细度 (45 μm 筛余, %) |
|----|---------|-------------|------------|-----|-----------|------------|------|------------------|
| | | | 初凝 | 终凝 | | 3d | 28d | |
| 海螺 | P·O42.5 | 25.9 | 189 | 245 | 合格 | 29.5 | 50.7 | 9.5 |

试验采用符合 GB/T1596-2017《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》的 F 类粉煤灰, 其基本性能指标见表 2。

表 2 粉煤灰的基本性能指标

| 厂家 | 规格 | 细度 (45 μm 筛余, %) | 需水量比 (%) | 烧失量 (%) | 三氧化硫 (%) |
|--------|----|------------------|----------|---------|----------|
| 中电普安电厂 | Ⅱ级 | 11.8 | 98 | 5.9 | 0.56 |

试验使用石灰石碎石, 颗粒级配符合 5 ~ 25mm 连续粒级, 碎石的主要性能参数见表 3。

表 3 碎石的主要性能参数

| 厂家 | 表观密度 (kg/m ³) | 堆积密度 (kg/m ³) | 空隙率 (%) | 含泥量 (%) | 压碎指标 (%) |
|----------------|---------------------------|---------------------------|---------|---------|----------|
| | | | 堆积 | | |
| 黔西南州发展资源开发有限公司 | 2720 | 1560 | 43 | 0.2 | 12.0 |

试验使用细骨料是公司自产的机制砂, 细骨料的主要性能参数见表 4。

表 4 细骨料的主要性能参数

| 厂家 | 表观密度 (kg/m ³) | 堆积密度 (kg/m ³) | 空隙率 (%) | 石粉含量 (%) | 细度模数 |
|----------------|------------------------------|------------------------------|------------|-------------|------|
| | | | 堆积 | | |
| 黔西南州发展资源开发有限公司 | 2660 | 1580 | 41 | 12.5 | 3.2 |

试验采用符合 GB 8076-2008《混凝土外加剂》的聚羧酸减水剂，其性能指标见表 5。

表 5 聚羧酸减水剂的性能指标

| 厂家 | 品种 | 含固量 (%) | 密度 (g/cm ³) | 减水率 (%) | pH 值 |
|------------------|----------|------------|-------------------------|------------|------|
| 科之杰新材料集团(贵州)有限公司 | 高性能 HPWR | 21.8 | 1.060 | 25.9 | 6.0 |

试验使用的固体废弃物铁合金炉渣的物理化学性能指标见表 6。

表 6 固体废弃物铁合金炉渣的化学性能指标及主要性能参数

| Fe2O3 (%) | Al2O3 (%) | SiO2 (%) | CaO (%) | MgO (%) | SO3 (%) | 75 μm 以下 细粉含量 (%) | 细度模数 |
|--------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|-------------------------|------|
| 1.77 | 18.80 | 46.72 | 12.31 | 10.95 | 2.58 | 6.2 | 2.3 |

2.2 试验方案及方法

试验方案：本试验采用强度等级为 C20、C30 和 C40，以不掺固体废弃物铁合金炉渣为基准混凝土，同时将固体废弃物铁合金炉渣以 10%、20%、30%、40%、50% 和 60% 等质量替代细骨料，探究固体废弃物铁合金炉渣对混凝土的工作性和抗压强度的影响。其混凝土配合比及原材料用量见表 7~ 表 9。

试验方法：按照 GB/T50080-2016《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》进行混凝土工作性检测。按照 GB/T50081-2019《混凝土物理力学性能试验方法标准》进行混凝土养护和抗压强度试验。

表 7 C20 混凝土配合比

| 编号 | 水泥 | 砂 | 碎石 | 粉煤灰 | 铁合金炉渣 | 水 | 外加剂掺量 | 铁合金炉渣占骨料百分率 | 铁合金炉渣替代率 |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------|----------|
| | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | % | % | % |
| C20-1 | 185 | 1030 | 840 | 150 | 0 | 175 | 1.10 | 0 | 0 |
| C20-2 | 185 | 927 | 840 | 150 | 103 | 175 | 1.10 | 5.5 | 10 |
| C20-3 | 185 | 824 | 840 | 150 | 206 | 175 | 1.10 | 11.0 | 20 |
| C20-4 | 185 | 721 | 840 | 150 | 309 | 175 | 1.10 | 16.5 | 30 |
| C20-5 | 185 | 618 | 840 | 150 | 412 | 175 | 1.10 | 22.0 | 40 |
| C20-6 | 185 | 515 | 840 | 150 | 515 | 175 | 1.10 | 27.5 | 50 |
| C20-7 | 185 | 412 | 840 | 150 | 618 | 175 | 1.10 | 33.0 | 60 |

表 8 C30 混凝土配合比

| 编号 | 水泥 | 砂 | 碎石 | 粉煤灰 | 铁合金炉渣 | 水 | 外加剂掺量 | 铁合金炉渣占骨料百分率 | 铁合金炉渣替代率 |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------|----------|
| | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | % | % | % |
| C30-1 | 245 | 970 | 890 | 120 | 0 | 170 | 1.40 | 0 | 0 |
| C30-2 | 245 | 873 | 890 | 120 | 97 | 170 | 1.40 | 5.2 | 10 |
| C30-3 | 245 | 776 | 890 | 120 | 194 | 170 | 1.40 | 10.4 | 20 |
| C30-4 | 245 | 679 | 890 | 120 | 291 | 170 | 1.40 | 15.6 | 30 |
| C30-5 | 245 | 582 | 890 | 120 | 388 | 170 | 1.40 | 20.9 | 40 |
| C30-6 | 245 | 485 | 890 | 120 | 485 | 170 | 1.40 | 26.1 | 50 |
| C30-7 | 245 | 388 | 890 | 120 | 582 | 170 | 1.40 | 31.3 | 60 |

表 9 C40 混凝土配合比

| 编号 | 水泥 | 砂 | 碎石 | 粉煤灰 | 铁合金炉渣 | 水 | 外加剂掺量 | 铁合金炉渣占骨料百分率 | 铁合金炉渣替代率 |
|-------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------|-------------|----------|
| | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | kg/m ³ | % | % | % |
| C40-1 | 320 | 900 | 920 | 100 | 0 | 167 | 1.52 | 0 | 0 |
| C40-2 | 320 | 810 | 920 | 100 | 90 | 167 | 1.52 | 4.9 | 10 |
| C40-3 | 320 | 720 | 920 | 100 | 180 | 167 | 1.52 | 9.9 | 20 |

| | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|----|
| C40-4 | 320 | 630 | 920 | 100 | 270 | 167 | 1.52 | 14.8 | 30 |
| C40-5 | 320 | 540 | 920 | 100 | 360 | 167 | 1.52 | 19.8 | 40 |
| C40-6 | 320 | 450 | 920 | 100 | 450 | 167 | 1.52 | 24.7 | 50 |
| C40-7 | 320 | 360 | 920 | 100 | 540 | 167 | 1.52 | 29.7 | 60 |

3 试验结果与讨论

不同替代率的混凝土工作性、抗压强度的影响结果见

3.1 混凝土工作性、抗压强度

表 10~ 表 12。

表 10 C20 混凝土的工作性、抗压强度

| 编号 | 坍落度 (mm) | | 扩展度 (mm) | | 倒坍 (s) | 抗压强度 (MPa) | | | 拌合物出机状态 |
|-------|----------|-----|----------|-----|--------|------------|------|------|---------------------|
| | 初始 | 1h | 初始 | 1h | | 7d | 28d | 56d | |
| C20-1 | 230 | 220 | 640 | 600 | 3.8 | 19.0 | 24.1 | 27.0 | 和易性好, 无离析泌水现象 |
| C20-2 | 230 | 200 | 620 | 570 | 4.5 | 19.2 | 24.9 | 28.2 | 和易性好, 无离析泌水现象 |
| C20-3 | 220 | 200 | 610 | 540 | 5.3 | 19.8 | 25.9 | 29.5 | 和易性好, 无离析泌水现象 |
| C20-4 | 215 | 190 | 610 | 520 | 6.2 | 21.3 | 27.0 | 31.1 | 和易性好, 无离析泌水现象 |
| C20-5 | 195 | 170 | 540 | 330 | 9.3 | 20.5 | 25.6 | 30.4 | 和易性一般 |
| C20-6 | 175 | 135 | 460 | 300 | 10.7 | 19.3 | 24.7 | 28.1 | 和易性较差, 粘聚性较差, 流动性较差 |
| C20-7 | 160 | 100 | 430 | 270 | 12.5 | 18.9 | 23.8 | 26.8 | 和易性差, 包裹性差, 流动性差 |

表 11 C30 混凝土的工作性、抗压强度

| 编号 | 坍落度 (mm) | | 扩展度 (mm) | | 倒坍 (s) | 抗压强度 (MPa) | | | 拌合物出机状态 |
|-------|----------|-----|----------|-----|--------|------------|------|------|---------------------|
| | 初始 | 1h | 初始 | 1h | | 7d | 28d | 56d | |
| C30-1 | 235 | 220 | 650 | 620 | 4.0 | 29.5 | 37.8 | 42.6 | 和易性良好 |
| C30-2 | 230 | 210 | 640 | 610 | 4.5 | 29.9 | 38.5 | 43.7 | 和易性良好 |
| C30-3 | 225 | 210 | 620 | 570 | 5.2 | 30.3 | 39.6 | 44.9 | 和易性良好 |
| C30-4 | 220 | 200 | 610 | 550 | 6.0 | 31.9 | 42.6 | 46.3 | 和易性良好, 无离析泌水现象 |
| C30-5 | 200 | 170 | 550 | 440 | 8.3 | 30.8 | 42.1 | 45.8 | 和易性一般 |
| C30-6 | 180 | 130 | 480 | 330 | 9.5 | 29.2 | 38.9 | 43.7 | 和易性较差, 粘聚性较差, 流动性较差 |
| C30-7 | 170 | 110 | 450 | 300 | 11.7 | 28.6 | 37.5 | 41.9 | 和易性差, 包裹性差, 流动性差 |

表 12 C40 混凝土的工作性、抗压强度

| 编号 | 坍落度 (mm) | | 扩展度 (mm) | | 倒坍 (s) | 抗压强度 (MPa) | | | 拌合物出机状态 |
|-------|----------|-----|----------|-----|--------|------------|------|------|---------|
| | 初始 | 1h | 初始 | 1h | | 7d | 28d | 56d | |
| C40-1 | 240 | 235 | 630 | 600 | 5.5 | 38.5 | 48.3 | 51.6 | 和易性良好 |

| | | | | | | | | | |
|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|--------------|
| C40-2 | 235 | 225 | 610 | 570 | 6.3 | 39.1 | 49.1 | 52.9 | 和易性良好 |
| C40-3 | 220 | 210 | 600 | 530 | 7.2 | 40.3 | 50.5 | 54.7 | 粘聚性较好, 流动性较好 |
| C40-4 | 210 | 190 | 580 | 505 | 8.0 | 42.1 | 52.9 | 56.8 | 粘聚性较好, 流动性较好 |
| C40-5 | 195 | 175 | 510 | 435 | 10.0 | 40.1 | 49.9 | 54.0 | 和易性一般 |
| C40-6 | 180 | 140 | 480 | 355 | 12.3 | 38.9 | 48.7 | 52.8 | 粘聚性较差, 流动性较差 |
| C40-7 | 170 | 110 | 455 | 315 | 14.6 | 37.8 | 46.9 | 50.7 | 和易性差, 粘聚性差 |

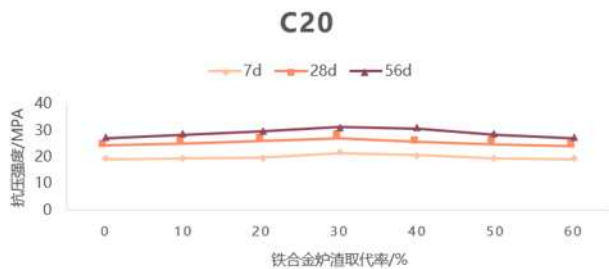


图 1 铁合金炉渣不同替代率对 C20 混凝土强度的影响

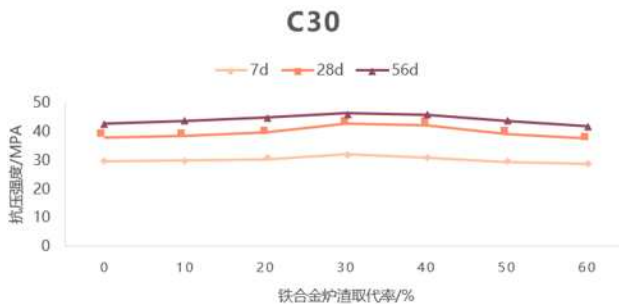


图 2 铁合金炉渣不同替代率对 C30 混凝土强度的影响

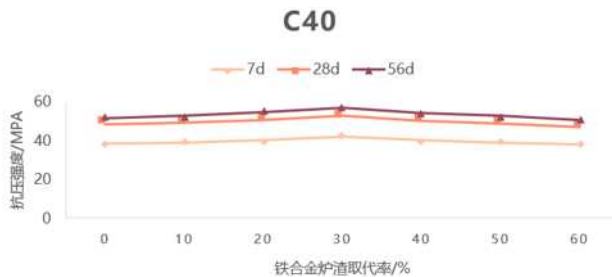


图 3 铁合金炉渣不同替代率对 C40 混凝土强度的影响

从表 9~ 表 12 的结果可以看出:

(1) 随着固体废弃物铁合金炉渣替代比例逐渐上升, 初始出机坍落度和扩展度均逐渐减小, 出机混凝土粘聚性逐渐变差, 拌合物倒坍时间逐渐延长, 替代率为 10%、20%、30%、40% 时, 其出机混凝土 1h 坍落度损失、1h 扩展度损

失与基准混凝土基本相同, 替代率在 40% 以内时的工作性相对较好; 当替代率大于 40% 时, 其出机混凝土和易性相较基准混凝土越来越差, 表现出包裹性差、粘聚性差、流动性差, 对混凝土的工作性影响非常明显。

(2) 随着固体废弃物铁合金炉渣替代比例逐渐上升, 力学抗压强度均有一个逐渐上升的过程, 达 40% 时力学抗压强度逐渐下降, 且下降速率逐步加快。

(3) 随着固体废弃物铁合金炉渣替代比例逐渐上升, 混凝土各龄期力学抗压强度的增长出现较大区别, 而且随着龄期的增长各龄期力学抗压强度差不断增大, 替代率为 30% 时力学抗压强度达到峰值, 然后开始呈现下降的趋势, 当 60% 替代率时的力学抗压强度低于基准混凝土的力学抗压强度。

(4) 固体废弃物铁合金炉渣不能全部替代细骨料, 固体废弃物铁合金炉渣替代细骨料的比例在 40% 以内时可以改善混凝土的工作性, 同时也会提升混凝土力学抗压强度, 高替代比例会影响混凝土力学强度发挥而出现下降趋势。

(5) 固体废弃物铁合金炉渣取代细骨料对混凝土耐久性影响, 需要进一步开展试验来评价和更深入的探讨研究。

4 结论

(1) 固体废弃物铁合金炉渣可以替代部分细骨料应用于混凝土, 不但可以解决固体废弃物铁合金炉渣堆存占用土地和由其带来的环境污染问题, 同时也具有良好的社会效益和经济环境。

(2) 固体废弃物铁合金炉渣替代细骨料对混凝土力学抗压强度的提高有一定的促进作用, 但其比例应控制在一定范围内。

(3) 固体废弃物铁合金炉渣取代细骨料对混凝土耐久

性影响, 需要进一步开展试验来评价和更深入的探讨研究。

参考文献:

[1] 崔振明, 吴伟宏, 姜琳, 等. 浅析我国矿产资源综合利用[J]. 中国矿业, 2013, 22(02):40-43.

[2] 唐旭, 康俊奇. 浅析铁合金炉渣的综合利用[J]. 第28届全国铁合金学术研讨会论文集, 2024:381-384.

[3] 任素梅, 丑晓东, 金铁民. 锰渣代煤渣生产空心砌块[J]. 新型建筑材料, 1998(1):39.

[4] 杨林, 张洪波, 曹建新. 硅锰渣生态渗水砖[J]. 新型建筑材料, 2007(6):27.

[5] 陈平, 姜晗, 刘荣进. 利用水淬锰渣制备加气混凝土的试验研究[J]. 2015(7):155.

[6] 于忠. 铁合金炉渣的处理和利用[J]. 铁合金, 1981(1):

50.

[7] 张星. 锰铁合金渣沥青混合料路用性能研究[J]. 公路交通科技, 2009(7):8.

[8] 苗希望, 白智韬, 卢光华, 等. 典型铁合金渣的资源化综合利用研究现状与发展趋势[J]. 工程科学学报, 2020, 42(06):663-679.

作者简介: 罗玉芬(1981.10-), 女, 汉族, 籍贯贵州省修文县, 本科, 高级工程师, 研究方向水泥、预拌混凝土技术质量管理。

通讯作者简介: 王志刚(1986.6-), 男, 汉族, 籍贯贵州省绥阳县, 本科, 助理工程师, 研究方向水泥、预拌混凝土技术。邮箱: 819171330@qq.com