

DOI:10.19322/j.cnki.issn.1006-4710.2019.02.017

低强度钢渣混凝土抗压及抗渗性能试验研究

朱训国^{1,2}, 王兆毅¹, 何传琪¹, 王利芬¹, 赵双¹, 刘星池¹

(1. 大连大学 建筑工程学院, 辽宁 大连 116622; 2. 大连大学 复杂结构系统灾害预测防治重点实验室, 辽宁 大连 116622)

摘要: 为了研究低强度钢渣混凝土的抗压及抗渗性能, 本文通过试验, 研究了不同磨细钢渣掺量对混凝土抗压强度和抗渗性能的影响。试验结果表明: 钢渣代替细骨料配制胶砂试件和低强度混凝土试块, 通过胶砂试件强度和流动度的测定得出, 不同钢渣掺量对胶砂试件强度和流动度的影响是非常敏感的, 其强度随着掺量的增加整体呈降低的趋势; 流动度亦呈现类似的变化特征, 但钢渣掺量的比例易控制在 20%~30% 之间。本次试验所用钢渣宜制备低强度混凝土, 各龄期的抗压强度随着钢渣掺量的增大而减小, 同时, 其抗渗性能也随着钢渣掺量的增加而降低, 主要原因是其内部结构增加了更多的孔隙水通道, 导致其抗压强度也随之降低。本实验研究结果可为研究低强度钢渣混凝土力学性能和抗渗性能提供一定的参考。

关键词: 钢渣混凝土; 力学性能; 强度指标; 水胶比

中图分类号: TU45 **文献标志码:** A **文章编号:** 1006-4710(2019)02-0256-08

Experimental study on compressive strength and impermeability of low strength slag concrete

ZHU Xunguo^{1,2}, WANG Zhaoyi¹, HE Chuanqi¹, WANG Lifen¹, ZHAO Shuang¹, LIU Xingchi¹

(1. College of Architectural Engineering, Dalian University, Dalian 116622, China; 2. Key Laboratory of Disaster Prediction and Control of Complex Structure System, Dalian University, Dalian 116622, China)

Abstract: In order to study the compressive strength and impermeability of low strength steel slag concrete, this paper studies the influence of different contents of ground steel slag on the compressive strength and impermeability of concrete through experiments. The test results show that steel slag is used to prepare mortar bar and low strength concrete block instead of fine aggregate. Through the determination of strength and fluidity of mortar bar, it is concluded that the influence of different steel slag content on the strength and fluidity of mortar bar is of sensitivity, with its strength decreasing with the increase of the content of steel slag. This is similar to the change characteristics, but the proportion of steel slag content is easy to control between 20%~30%. The steel slag used in this test is suitable for preparing low-strength concrete. The compressive strength of each age decreases with the increase of steel slag content. Meanwhile, the impermeability of steel slag decreases with the increase of steel slag content. The main reason is that using the internal structure of steel slag increases more pore water channels, leading to the decrease of its compressive strength. The experimental results can provide some reference for the study of mechanical properties and impermeability of low strength steel slag concrete.

Key words: steel slag concrete; mechanical properties; strength index; water-cement ratio

混凝土主要由胶凝材料、粗细骨料与水拌合而成, 其中骨料占据了混凝土绝大部分体积, 骨料性能的优劣对混凝土的各项性能有着直接和显著的影

响^[1]。钢渣是钢铁厂在冶炼钢铁时产生的废渣, 它主要是由钙、硅、铁、镁和少量的锰、铝等元素的氧化物组成, 其内部还含有少量的游离态氧化钙及金属

收稿日期: 2018-07-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51374045); 辽宁省重点研发计划指导资助项目(2017229007); 辽宁省大学生创新资助项目(2018058); 金普新区科技计划资助项目(0103009)

作者简介: 朱训国, 男, 博士, 副教授, 研究方向为建筑材料耐久性研究及地下工程岩体稳定性分析与支护。E-mail: zhu_xunguo@hotmail.com

铁等^[2]。我国年产钢渣约为 1.5 亿吨。环境的污染势必会制约经济的发展,解决钢渣的污染问题将有利于经济的发展^[3]。目前我国钢渣的综合利用率仅为 10%^[4],大量钢渣只能堆积地面,并且钢渣中所含有的重金属离子、碱金属离子渗入土壤中,极易造成地下水污染^[5]。近年来,中国每年消耗的天然砂石骨料高达数十亿吨,部分地区供求关系的不平衡也导致砂石骨料的价格不断提升^[6]。此外,对砂石的过量开采与长途运输已经对环境造成了严重的影响^[7]。据调查显示,美国、日本、德国等发达国家,钢渣的利用率已经高达 90% 以上,有相当一部分钢渣被用作冶金回炉烧结料,其余被用在土木工程和道路工程中^[8]。当然还有些被用在农业领域,作为一种肥料来改善土壤的性质^[9-11]。希腊运用钢渣配制了再生混凝土,为绿色混凝土提供新的思路^[12]。当前,国内外对钢渣的研究主要集中在将钢渣作为掺合料、细骨料和粗骨料制备混凝土,研究其工作性能、早期抗裂性能、混凝土耐磨性能、混凝土的耐久性和体积安定性上^[13]。钢渣本身具有很高的抗压强度和很好的耐久性,这就使得其可以作为混凝土的掺和料^[14]。

钢渣的应用起于上世纪初,欧美国家在上世纪 70 年代已经基本实现了钢渣的全利用,而我国不论是理论研究还是实际应用都要远远的低于或落后于欧美发达国家。纵观钢渣的利用情况,主要集中于道路工程、建筑砂浆以及水泥混凝土制备三个建筑材料领域。

为了解决钢渣应用中存在的问题,目前各国都在积极改进炼钢和钢渣处理工艺,各学者正在积极探索钢渣混凝土的微观结构形成的机理。随着钢渣作为混凝土集料和掺合料的研究不断深入,钢渣在混凝土中应用所具有的巨大潜在经济效益不断体现,这会促使钢铁企业对钢渣的排放及处理工艺进

行改进,提高钢渣的品质,从而可以解决钢渣资源化利用的问题,同时也解决了由钢渣带来的巨大环境问题^[15]。

本文则是在上述研究的基础上,通过试验,选择粒径小于 5mm 部分的砂状钢渣,按照一定比例代替细骨料配制混凝土,研究其掺量对低强度混凝土抗压性能及抗渗性能的影响。

1 试验原材料及试验方案

1.1 原材料

1) 水泥:选用大连锦达水泥 P.O 42.5、大连天瑞水泥 P.O 32.5。

2) 粉煤灰:大连升华粉煤灰制品有限公司生产的 II 级粉煤灰。

3) 砂、石:大连建材质检站用的砂、石(粗骨料为机制碎石, $D_{\max}=20\text{mm}$;细骨料为河砂,细度模数 $M_f=2.5$,均产于大连本地)。

4) 钢渣:从大连钢渣厂抽取,5mm 过筛,细度模数 $M_f=2.7$ 。

5) 外加剂:大连市铭源科技开发有限公司生产的 MZ-10C 聚羧酸高性能减水剂、MZ-7 引气剂。

1.2 试验标准

GB/T 17671-1999 水泥胶砂强度检验方法, GB/T 2419-94 水泥胶砂流动度测定方法, GB / T 50081-2002 普通混凝土力学性能试验方法标准, GB 175-2007 通用硅酸盐水泥, GB/T 1346-2011 水泥标准稠度用水量、凝结时间、安定性检验方法, YB/T 140-2009(2015) 钢渣化学分析方法。

1.3 钢渣成分测定及其安定性试验

钢渣成分对混凝土性能影响较大,为了测定钢渣的主要成分,对其进行化学测定,通过测定,其主要成分见表 1。

表 1 钢渣成分的化学分析结果

Tab. 1 Chemical analysis results of steel slag composition

化学分析	烧失量	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	SiO ₂	S ₂ O ₃
成分含量/%	11.22	33.49	7.57	5.06	20.37	0.35	0.13	18.28	1.38

从化学分析的结果看,Fe₂O₃ 的含量过高,达到了 20.37%。由于 Fe₂O₃ 在有水的碱性环境下易生成 Fe(OH)₂ 或 Fe(OH)₃,同时伴随体积膨胀;同时,Fe₂O₃ 和 MgO 以及烧失量的值都偏, MgO 生成 Mg(OH)₂ 也伴有体积的膨胀。作为细骨料其 SiO₂ 的含量过低。从这个角度看,该钢渣不论是作为掺和料还是用于代替水泥,从混凝土的耐久性考虑,该钢渣不宜用在

承重的混凝土结构中。因此,本次试验测定的混凝土强度定为 C30 及其以下混凝土进行试验。

为了验证钢渣对水泥的安定性是否有所影响,首先对钢渣进行了安定性试验,通过雷氏夹试验得到了不同钢渣掺量下的试饼的变形增加量最大为 2 mm,见表 2,符合国家规定的最大不超过 5 mm 的标准,说明钢渣对水泥安定性几乎没有影响。

表 2 钢渣安定性分析结果
Tab. 2 Soundness analysis results of steel slag

钢渣掺量 (内掺)/%	钢渣质量/g	水泥质量/g	水用量/g	初值/mm	终值/mm	差值/mm	判定
0	0	500	140	11.0	13.0	2	合格
				11.0	13.0		
20	100	400	136	9.0	10.0	1	合格
				12.0	13.0		
30	150	350	131	8.0	9.0	1	合格
				9.5	10.5		
40	200	300	128	11.0	12.0	1	合格
				10.0	11.0		

1.4 钢渣级配、细度模数等技术指标的测定

通过筛分析试验和钢渣主要组成成分的物理量测定,得到了本次试验钢渣的上述主要物理指标,具体见表 3 和表 4。

表 3 钢渣的物理性能试验结果

Tab. 3 Experiment results of physical properties of slag

表观密度/ (kg/m ³)	堆积密度/ (kg/m ³)	细度 模数	渣粉含 量/%	压碎 指标/%
2 940	1 360	2.7	6.4	20

表 4 钢渣级配

Tab. 4 Results by the slag gradation test

4.75 mm	2.36 mm	1.18 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm
14	31	45	60	76	91

从试验的结果看,其密度、细度模数、压碎指标以及级配均可代替建筑用砂使用,但其渣粉含量过高达到了 6.4%,将极大影响混凝土的用水量,降低混凝土的强度。在此情况下,作为细骨料使用,最好用于 C30 以下的混凝土中。

1.5 强度试验方案

a) 水泥胶砂(钢渣)试件强度试验

试验前对所使用钢渣进行预吸水,使其达到饱和面干状态。试验采用 0.5 和 0.7 两种水胶比,在不同水胶比中,将饱和面干状态钢渣按照质量百分比分别等量代替胶砂中的标准砂。该试验以 0%, 20%、30%、40% 四个砂状钢渣掺量进行试验,试件尺寸为 40 mm×40 mm×160 mm,按照标准养护进行养护后对其进行强度测定,3 个试件为 1 组,按照标准养护进行水养护后对其进行强度测定。

b) 钢渣混凝土强度试验

试验中,测定拌和物的坍落度后,将拌和物置于

150 mm×150 mm×150 mm 试模内振动成型,3 个试件为 1 组,在恒温恒湿的环境下(温度为 25 ℃、湿度为 96%) 养护 24 h 后脱模,然后置入恒温恒湿条件下养护 7d、28d 龄期,达到龄期后进行抗压强度试验。

测量单轴抗压强度采用 YES-300 单轴压力机进行测试,试验时连续均匀加荷,加荷速率为 0.4 MPa·s⁻¹,当试件接近破坏开始急剧变形时,停止调整试验机油门,直到破坏,记录破坏荷载。立方体抗压强度试验结果取三个试件测值的算术平均值作为该组试件的强度值。

2 试验结果及分析

2.1 钢渣胶砂强度及流动度测定试验

为了统一试验标准,采用水泥胶砂试验测定不同钢渣替代标准砂下的水泥胶砂试件的技术参数,研究其对试件的性能影响。水泥分别使用 P.O 42.5 和 P.O 32.5。胶砂试件在标准水养护箱中分别对其进行 7d 和 28d 的养护后,对完成抗折强度试验后的试件进行抗压强度试验。两组养护时间对应的试件都为 3 条,则抗压强度试验的试验试块则为 6 块,其抗压强度取其算术平均值即可。

试验的基本流程按照胶砂试验的试验流程进行,制作标准试件,第二天脱模并编号,放入标准水养护箱中进行养护,分别在 7d 和 28d 取出进行相应的抗折强度和抗压强度试验。

钢渣胶砂流动度的测定,严格按照 GB/T 2419—2005《水泥胶砂流动度测定方法》进行,采用的仪器为 NLD-3 型胶砂流动度测定仪,精度为 0.1 mm。通过试验,得到钢渣胶砂相应的强度和流动度测试结果见表 5~6。

表5 钢渣胶砂强度及流动度测定结果(P. O42.5,水胶比=0.5)

Tab.5 Determination of strength and fluidity of steel slag cement mortar (P. O42.5, w/c=0.5)

钢渣掺量/%	标准砂/g	钢渣/g	水泥/g	水/g	流动度/mm	抗压强度/MPa	
						7d	28d
0	1 350	0	450	225	127	39.8	53.8
20	1 080	270	450	225	102	41.7	54.4
30	945	405	450	225	91	41.0	49.8
40	810	540	450	225	78	36.4	44.2

表6 钢渣胶砂强度及流动度测定结果(P. O 42.5,水胶比=0.7)

Tab.6 Determination of strength and fluidity of steel slag cement mortar (P. O42.5, w/c=0.7)

钢渣掺量/%	标准砂/g	钢渣/g	水泥/g	水/g	流动度/mm	抗压强度/MPa	
						7d	28d
0	1 350	0	450	315	130	23.5	37.1
20	1 080	270	450	315	105	23.1	36.5
30	945	405	450	315	95	24.9	36.6
40	810	540	450	315	80	26.6	36.1

从表5和表6可以看出,不论水胶比是0.5还是0.7,水泥胶砂的流动度都随着钢渣掺量的增加而降低;同时,随着水胶比的增大,相同掺量下的水泥胶砂其流动度也随之降低。

图1和图2分别为不同水胶比下,水泥胶砂试件抗压强度和流动度变化趋势,由图1~2可以看出如下结果。

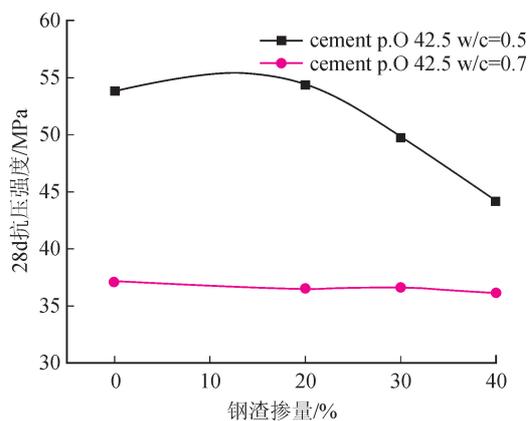


图1 不同水胶比钢渣胶砂的强度

Fig.1 Strength of slag concrete at different water cement ratios

1) 当钢渣胶砂水胶比为0.5时,随着钢渣替代量的增加,钢渣胶砂的强度先增大后逐渐减小,具体为当取代比例为20%时钢渣胶砂强度达到了最大值54.4 MPa,从20%起,钢渣取代比例增加会引起钢渣胶砂强度的降低,到取代比例为40%时钢渣胶砂抗压强度达到了最低值44.2 MPa。

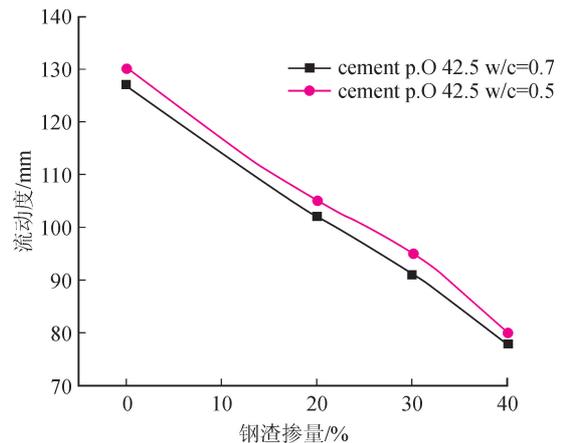


图2 不同水胶比钢渣胶砂的流动度

Fig.2 Fluidity of slag concrete at different water cement ratios

2) 当钢渣胶砂水胶比为0.7时,钢渣胶砂的强度会逐渐降低,但钢渣取代比例在20%~30%内,钢渣胶砂强度会有小幅度增大,在取代比例为30%时,强度达到36.6 MPa。虽然钢渣胶砂的强度较低,但从试验结果看钢渣掺量的变化对强度影响不大,可能此时水胶比的增大部分掩盖了钢渣对强度的影响。

3) 从两条曲线对比来看,钢渣代替标准砂的量在20%左右最为合适,不宜超过30%。同时,根据图2所示,其流动度随着钢渣替代量的增加而基本呈线性递减,且水胶比的增大导致其粘聚性、保水性也随之劣化。

表7为采用P. O 32.5,水胶比为0.7钢渣胶砂试验结果。图3为其图形结果,从表7和图3可以看出如下结果。

表 7 钢渣胶砂强度试验 (P.O 32.5, 水胶比=0.7)
Tab. 7 Strength test of steel slag concrete(P.O32.5, w/c=0.7)

钢渣掺量/%	标准砂/g	钢渣/g	水泥/g	水/g	流动度/mm	抗压强度/MPa	
						7d	28d
0	1 350	0	450	315	192	19.4	28.0
20	1 080	270	450	315	168	18.0	27.2
30	945	405	450	315	141	20.0	27.1
40	810	540	450	315	110	20.9	27.9

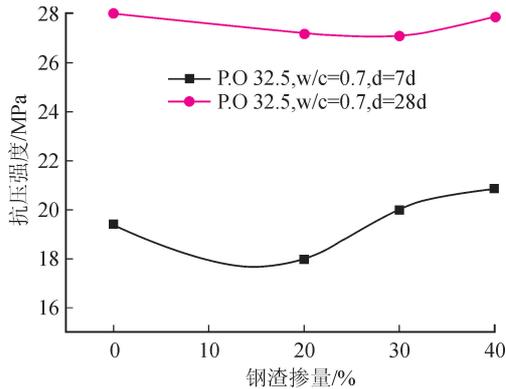


图 3 w/c=0.7 时不同龄期钢渣胶砂试件抗压强度变化
Fig. 3 Change of compressive strength for slag colloid sand test strip at different ages on w/c=0.7

1) 从表 7 可以看出,随着钢渣替代量的增加,胶砂流动度随之降低,基本呈线性递减关系。与前述的试验结果基本一致,其主要原因为钢渣掺量的增加,增加了颗粒之间的摩擦力,并改变了胶砂的内部结构,增大了颗粒之间的运动阻力,体现为流动度的降低。

2) 从图 3 可以看出,不同龄期的钢渣胶砂抗压强度变化有所不同,抗压强度是随着钢渣掺量的增加而先减后增,但不同龄期强度最低值对应的钢渣掺量有所差异,7d 最低强度值对应的钢渣掺量为 20%,28d 最低强度对应的钢渣掺量为 30%左右。

为进一步研究相同水胶比,相同龄期,不同水泥强度等级下的胶砂试件强度的变化趋势,抽取表 6 和表 7 中的相关数据,绘制相应的强度结果图,见图 4。

图 4 为水胶比(w/c=0.7)与龄期相同,水泥强度等级不同下的胶砂试件强度的变化趋势,由图 4 可以看出如下结果。

1) 当采用 P.O 42.5 的水泥,用比例为 0、20%、30%、40%钢渣取代标准砂,随着钢渣取代比例的增大,钢渣胶砂抗压强度逐渐减小,但总体胶砂强度变化不大。

2) 当采用 P.O 32.5 的水泥,逐渐提高钢渣取代标准砂的比例,钢渣胶砂强度从 28MPa 逐渐降低为 27.1MPa,但在钢渣取代比例为 30%到 40%时,水泥强度逐渐增大到 27.9MPa,但其总体强度变化不大。

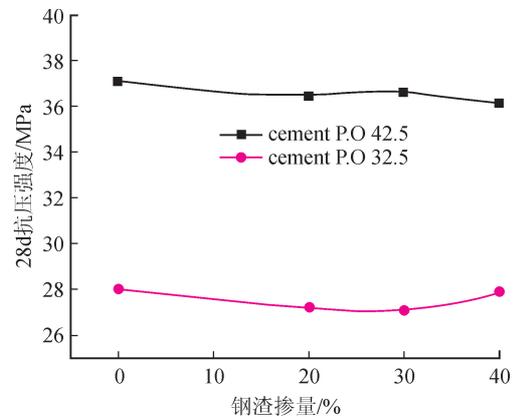


图 4 相同水胶比时两种不同钢渣胶砂试件 28d 抗压强度变化
Fig. 4 Strength of two different steel slag concretes at the same water cement ratio

2.2 钢渣混凝土抗压强度及抗渗压力试验

通过对钢渣物理技术性质的分析,本次试验所用钢渣宜用于 C30 及 C30 以下混凝土中,进而制备不同水胶比下的 C20 和 C30 混凝土,研究不同钢渣掺量对其技术性能的影响。

表 8 为相同用水量下,不同钢渣掺量对新拌混凝土及不同龄期硬化混凝土物理技术参数的影响。从表中可以看出,不同钢渣掺量下,新拌混凝土的坍落度逐渐减小,但减小量不大。因此,表 8 可以将单方用水量作为统一标准,分析不同钢渣掺量下混凝土强度、抗渗压力、收缩率以及含气量的变化趋势。

图 5 为相同用水量下,不同钢渣掺量混凝土不同龄期的强度变化趋势。从图 5 中可以得出,随着钢渣掺量的增加,混凝土不同龄期的强度也随之降低,且基本呈线性递减。

表 8 相同用水量下掺钢渣对混凝土含气量和高效减水剂适应性的影响

Tab. 8 Influence of steel slag on water content of concrete under the same water consumption and adaptability to superplasticizer

钢渣掺量/%	水/kg	坍落度/cm	抗压强度/MPa		抗渗压力/ MPa	收缩率/(mm·m ⁻¹)	含气量/%	高效减水剂 用量/%
			7d	28d				
0	178	23.0	26.0	33.3	0.7	2.7	4.0	0.26
10	178	22.0	24.7	30.1	0.8	2.8	3.8	0.26
20	178	21.4	22.5	27.6	0.9	3.2	4.2	0.26
30	178	20.5	19.2	25.7	1.2	3.5	4.7	0.26

(注:单方用量,P.O 42.5:300 kg、粉煤灰:100 kg、石:1 209 kg、砂:651 kg、水:178 kg)

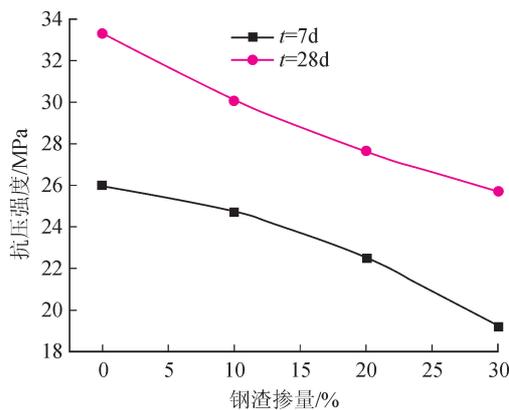


图 5 不同钢渣掺量混凝土抗压强度变化趋势
Fig. 5 Change trend of the compressive strength under the different steel slag admixtures

图 6 为不同钢渣掺量下混凝土抗渗压力和收缩率变化趋势。

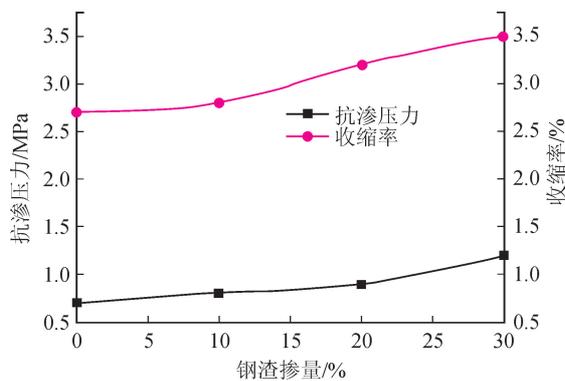


图 6 不同钢渣掺量下混凝土抗渗压力和收缩率变化趋势
Fig. 6 Change trend of impermeable pressure and shrinkage rate under the different steel slag admixture

从图 6 看出,随着钢渣掺量的增加,混凝土的抗渗压力也随之增大,其收缩率也随着增加。综合而言,在水胶比和坍落度基本一致的情况下,为了保证新拌混凝土和硬化混凝土的技术性质,高效减水剂的用量必须增加,掺量随钢渣量的增大而增加明显,主要是因为钢渣胶砂的需水量大所致。但随着钢渣掺量的增加,混凝土含气量有所增加,含气量的增加使得混凝土的抗渗有了明显提高,但同时混凝土的

强度在不同龄期随钢渣的增加也都有较明显的下降,收缩率也在变大,因此钢渣替代细骨料过大时不宜配制高强度等级的混凝土。

为进一步验证钢渣掺量对 C30 强度以下混凝土强度性能的影响,分别制备不同钢渣掺量的 C20 混凝土和 C30 混凝土,并通过测试其抗压强度,分析不同钢渣掺量下其强度变化的趋势。表 9~10 分别为 C20、C30 钢渣混凝土的强度测试结果。

图 7 和图 8 分别为根据表 9 和表 10 绘制的钢渣替代细骨料不同时,C20 和 C30 混凝土不同养护龄期时的强度变化趋势图。

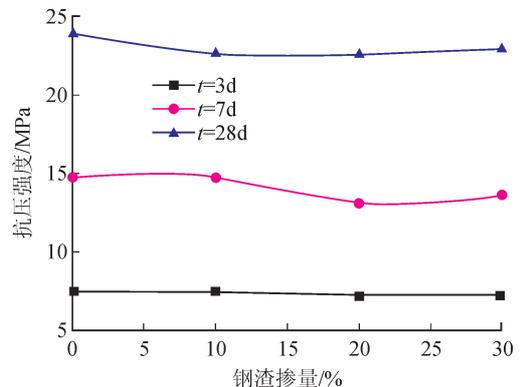


图 7 不同钢渣掺量下 C20 混凝土不同龄期强度变化趋势
Fig. 7 Strength change trend of the C20 concrete in different ages to different admixture contents of steel slag

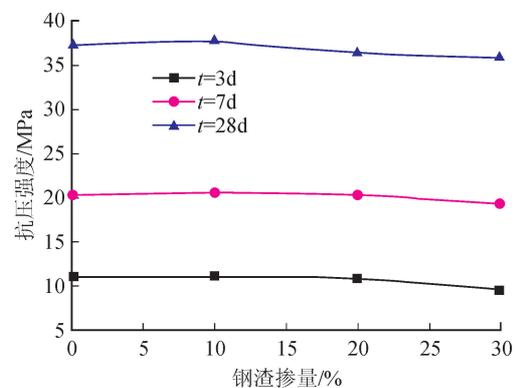


图 8 不同钢渣掺量下 C30 混凝土不同龄期强度变化趋势
Fig. 8 Strength change trend of the C30 concrete in different ages to different admixture content of steel slag

从图 7~8 可以看出,钢渣掺量的变化对混凝土强度的影响并不明显,不论是 C20 还是 C30,不同龄期的混凝土强度并没有随着钢渣掺量的增加而有明显的增加或降低,说明钢渣掺量对混凝土强度的敏感度不高。也进一步说明,钢渣完全可以替代细骨料的使用,能够有效的降低钢渣对环境的污染。

尽管钢渣掺量的变化对混凝土的强度影响并不大,但可以有效的增加混凝土的抗渗性能,图 9 为根据表 9 和表 10 绘制的混凝土的抗渗压力的变化趋势图。

从表 9~10,以及图 9 可以看出,当水胶比相同情况下,随着钢渣掺量的增加,不论是 C20 混凝土还是 C30 混凝土其抗渗压力也随之增加,基本呈线性增加趋势,其原因主要有以下几点。

表 9 C20 钢渣混凝土强度及抗渗试验

Tab. 9 Strength and impermeability test of C20 steel slag concrete

钢渣掺量/%	水泥/kg	粉煤灰/kg	石/kg	砂/kg	高效减水剂/%	水/kg	坍落度/cm	抗压强度/MPa			抗渗压力/MPa
								3d	7d	28d	
0	3.75	1.5	13.09	15.56	0.04	2.6	22.6	7.5	14.7	23.9	0.4
10	3.75	1.5	12.83	14.00	0.04	2.6	22.0	7.4	14.7	22.6	0.4
20	3.75	1.5	13.01	12.45	0.04	2.6	19.0	7.2	13.1	22.5	0.6
30	3.75	1.5	13.19	10.90	0.04	2.6	18.6	7.24	13.6	22.9	0.7

表 10 C30 钢渣混凝土强度及抗渗试验

Tab. 10 Strength and impermeability test of C30 steel slag concrete

钢渣掺量/%	水泥/kg	粉煤灰/kg	石/kg	砂/kg	高效减水剂/%	水/kg	坍落度/cm	抗压强度/MPa			抗渗压力/MPa
								3d	7d	28d	
0	4.5	1.5	13.54	14.36	0.042	2.7	21.0	11.0	20.3	37.2	0.5
10	4.5	1.5	14.50	12.92	0.042	2.7	21.5	11.0	20.5	37.6	0.7
20	4.5	1.5	14.10	11.48	0.042	2.7	21.3	10.8	20.3	36.3	0.9
30	4.5	1.5	14.09	10.05	0.042	2.7	17.6	9.5	19.2	35.8	1.2

1) 使用了小粒径的钢渣,此粒径的细粉料可以有效的封堵混凝土中的空隙,减少混凝土水的通过。

2) 使用了一定比例的高效减水剂,减水剂的使用可以有效降低混凝土的实际水胶比,减少混凝土中毛细孔的体积、细化混凝土中毛细孔的结构,提高混凝土的密实性。

3 结论

本文通过试验,研究了不同钢渣掺量替代细骨料,对钢渣胶砂试件、钢渣混凝土强度、抗渗性等技术性能的影响,从试验结果得出以下结论。

1) 通过对本次试验中所用钢渣的成分分析,得到了各组分比例,由于其渣粉含量较高,所以本钢渣仅可用于 C30 及以下混凝土制品中提到细骨料

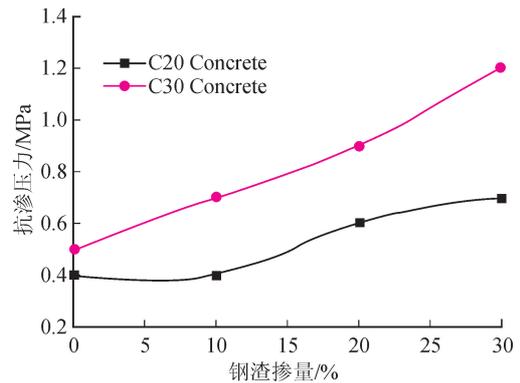


图 9 不同强度等级混凝土抗渗压力变化趋势

Fig. 9 Change trend of impermeability pressure of concrete with different strength grades

使用;通过胶砂试件强度和混凝土试块强度以及抗渗压力测定结果的分析,得到了本钢渣在使用中其替代量不易超过 30%,合理的使用范围为 20%~30%,且水胶比不易过大。

2) 当采用高强度等级水泥制备混凝土时,随着钢渣掺量的增加,混凝土的强度也随之降低;同时,混凝土的流动性也随之劣化,不能有效的满足其技术性能,因此,钢渣混凝土不易采用高强度等级水泥制备高强度等级的混凝土。

3) 从试验结果看,高效减水剂的使用可以有效的改善混凝土的内部空隙结构,提高其密实度,进而提高混凝土的抗渗性能。

4) 水胶比是影响钢渣混凝土抗压强度的主要因素,一般而言,钢渣混凝土的强度随着水胶比的增

大而减小。相同水胶比钢渣等量代替细骨料配制C30混凝土,各龄期抗压强度整体上随着掺量的增大先增大而后减小,呈现出良好的规律性。

5) C30以下的低强度混凝土的制备,完全可以考虑采用大掺量的钢渣替代砂细骨料,这不但可以有效的降低混凝土的成本,还可以降低钢渣对环境的污染和破坏,这是今后生产绿色混凝土的一条有效的途径。

参考文献:

- [1] 张浩博,任慧超,寇佳亮. 粉煤灰对再生混凝土抗压及耐久性能试验研究[J]. 西安理工大学学报,2016,32(4):410-415.
ZHANG Haobo, REN Huichao, KOU Jialiang. Experimental study of the effect of fly ash on compressive performance and durability of the recycled aggregate concrete[J]. Journal of Xi'an University of Technology, 2016, 32(4): 410-415.
- [2] 韩艳丽,冯勇,肖磊. 粗细钢渣替代天然骨料对混凝土力学性能的影响[J]. 混凝土与水泥制品,2015,(2):96-98.
- [3] 何锦云,贾青,李清扬. 钢渣矿渣代替细骨料配制混凝土的试验研究[J]. 河北工程大学学报(自然科版),2008,25(2):6-8.
HE Jinyun, JIA Qing, LI Qingyang. Experimental research on steel slag and gangue replaces thin aggregate in preparing the concrete[J]. Journal of Hebei University of Engineering (Natural Science Edition), 2008, 25(2):6-8.
- [4] 王强,曹丰泽,于超,等. 钢渣骨料对混凝土性能的影响[J]. 硅酸盐通报,2015,34(4):1004-1010.
WANG Qiang, CAO Fengze, YU Chao, et al. Influence of steel slag aggregate on the properties of concrete[J]. Bulletin of the Chinese Ceramic Society, 2015, 34(4): 1004-1010.
- [5] 袁振,李中,孙英俊,等. 不同水胶比钢渣泡沫混凝土物理力学性能的研究[J]. 粉煤灰综合利用,2018,5:44-50.
YUAN Zhen, LI Zhong, SUN Yingjun et al. Study on physical and mechanical properties of steel slag foam concrete with different water-binder ratio[J]. Fly Ash Comprehensive Utilization, 2018, 5:44-50.
- [6] 於林锋,徐兵,王琼,等. 钢渣混凝土性能的试验研究及应用前景分析[J]. 混凝土,2014,(1):79-81.
YU Linfeng, XU bing, WANG Qiong, et al. Experimental study and application-benefit analysis of steel slag concrete[J]. Concrete, 2014, (1):79-81.
- [7] 杨建伟. 钢渣和含钢渣的复合矿物掺合料对混凝土性能的影响[D]. 北京:清华大学,2013.
YANG Jianwei. Effect of composite mineral admixture of steel slag and steel slag on concrete performance[D]. Beijing: Tsinghua University, 2013.
- [8] 刁子坤,潘志宏,马剑,等. 掺钢渣再生骨料自密实混凝土的工作性能和抗压强度试验研究[J]. 建筑结构,2016,46(15):52-55.
DIAO Zikun, PAN Zhihong, MA Jian, et al. Experimental study on workability and compressive strength of self-compacting concrete with recycled aggregate of steel slag[J]. Building Structure, 2016, 46(15):52-55.
- [9] 张朝晖,廖杰龙,巨建涛,等. 钢渣处理工艺与国内外钢渣利用技术[J]. 钢铁研究学报,2013,25(7):1-4.
ZHANG Zhaohui, LIAO Jielong, JU Jiantao, et al. Treatment process and utilization technology of steel slag in china and abroad[J]. Journal of Iron and Steel Research, 2013, 25(7):1-4.
- [10] 吴中伟. 高性能混凝土-绿色混凝土[J]. 混凝土与水泥制品,2000,111(1):3-6.
WU Zhongwei. High performance concrete-green concrete [J]. China Concrete and Cement Products, 2000, 111(1):3-6.
- [11] 彭春元,彭忠,邓福添,等. 钢渣微粉对混凝土性能的影响初探[J]. 混凝土,2005,(9):42-45.
PENG Chunyuan, PENG Zhong, DENG Futian, et al. Initial research for the influence of steel slag micropowder on concrete performance [J]. Concrete, 2005, (9):42-45.
- [12] 邹启贤,喻世涛. 钢渣微粉对高强混凝土性能的影响[J]混凝土与水泥制品,2009,(4):12-15.
ZOU Qixian, YU Shitao. Effect of steel slag powder on properties of high strength concrete[J]. China Concrete and Cement Products, 2009, (4):12-15.
- [13] 赵计辉,阎培渝. 钢渣的体积安定性问题及稳定化处理的国内研究进展[J]. 硅酸盐通报,2017,36(2):477-484.
ZHAO Jihui, YAN Peiyu. Volume stability and stabilization treatment of steel slag in china [J]. Bulletin of The Chinese Ceramic Society, 2017, 36(2):477-484.
- [14] 张忠哲,冯勇,晋强,等. 钢渣替换骨料对混凝土的力学性能及耐水性影响[J]. 混凝土,2017,(5):75-79.
ZHANG Zhongzhe, FENG Yong, JIN Qiang, et al. Steel slag to replace aggregate effect on the mechanical properties and water resistance of concrete [J]. Concrete, 2017, (5):75-79.
- [15] 于峰,张扬,王旭良,等. 全集料钢渣混凝土抗压强度试验研究[J]. 应用基础与工程科学学报,2018,4(26):854-863.
YU Feng, ZHANG Yang, WANG Xuliang, et al. Experimental study on compressive strength of full steel slag aggregate concrete[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 2018, 4(26):854-863.