

文章编号: 0451—0712(2005)01—0179—04

中图分类号: U414. 18

文献标识码: B

# 无水泥钢渣重载路面混凝土

周 佳, 倪 文

(北京科技大学土木与环境工程学院 北京市 100083)

摘 要: 以钢渣为粗细骨料代替传统天然砂石,碱溶液废渣粉制备胶凝材料代替水泥,配置路面混凝土。系统研究了碱掺量对强度和其工作流动性的影响,配置出28 d 抗压强度达44 MPa,抗折强度达8. 3 MPa,同时具有良好工作性能的钢渣路面混凝土。进行重载路面工程试验的效果良好。

关键词: 路面混凝土; 钢渣; 矿渣; 粉煤灰; 碱激发

传统混凝土作为最大宗人造材料以天然砂石和水泥为原料,由于水泥生产和砂石过度开采造成的资源、能源与环境问题十分突出,必须及早解决,否则将成为可持续发展的材料。虽然目前钢渣、矿渣以及粉煤灰等具有水硬活性的工业废渣已广泛用于建材和公路铁路建设,但也仅仅是作为少部分代替水泥的填料来制备混凝土,未能全部取代水泥和天然砂石,同时也不能成为大批消耗钢渣等工业废渣的有效方法<sup>[1~8]</sup>。

如果能将生产原料全部采用工业废渣,它的意义将不仅在于解决大量工业废渣所造成的固体废弃物污染,更是实现能源的循环利用;同时由于使用废渣而不是水泥,避免由于生产水泥而引发的能源耗费以及二氧化碳排放造成的大气环境问题。本论文使用以钢渣碎石和钢渣砂代替传统混凝土所使用的天然砂石为混凝土骨料,并以由粉煤灰等工业废渣制备胶凝材料代替传统水泥,生产标号为C30 的建筑路面混凝土。

1 原材料

在钢渣混凝土的研制过程中,应用到的原料有钢渣磨细粉、钢渣碎石(粗骨料)、钢渣细砂、矿渣磨细粉、粉煤灰和不同浓度的碱溶液,以及少量外加剂。

(1)钢渣磨细粉。

来自北京首钢资源综合利用开发公司钢渣磨细粉生产线,勃氏比表面积约350 m<sup>2</sup>/kg,密度

3. 22 g/cm<sup>3</sup>。经XRD 检测分析,主要矿物成份为 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S、 $\beta$ -C<sub>2</sub>S、RO 相、方镁石、镁蔷薇辉石等矿物,其化学分析结果见表1。从表1 看,钢渣磨细粉中CaO、SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量较高,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量低,仅为1. 93%;此外其MgO 含量也相对较高,以方镁石及镁蔷薇辉石等物相存在。将钢渣磨细粉制成试饼,经蒸煮试验确定无f-CaO 引起的安定性不良问题。

表1 各原料化学成分分析

名称	SiO <sub>2</sub> /%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> /%	MgO/%	CaO/%
钢渣磨细粉	16. 06	1. 93	15. 47	8. 27	48. 01
矿渣磨细粉	32. 62	9. 92	4. 21	8. 89	41. 53
粉煤灰	50. 60	31. 34	7. 22	—	5. 35

(2)矿渣磨细粉。

来自北京首钢,为符合国家标准的磨细高炉水淬渣,密度为2. 97 g/cm<sup>3</sup>,勃氏比表面积为400 m<sup>2</sup>/kg,其化学分析结果见表1。其主要矿物成分为玻璃相,化学活性较高,是研制钢渣路面混凝土不可缺少的重要组分。

(3)粉煤灰。

来自北京某热电厂二级粉煤灰,勃氏比表面积约为200 m<sup>2</sup>/kg,某化学分析结果见表1。

(4)钢渣碎石骨科。

取自北京首钢资源综合利用开发公司,为钢渣慢冷的结晶产物,质硬、多孔。本次试验所用骨料粒径为10~20 mm 的钢渣碎石。

(5)钢渣砂。

取自北京首钢资源综合利用开发公司,总体粒度小于10 mm。用10 mm、5.0 mm、2.5 mm、1.25 mm、0.63 mm、0.315 mm 及 0.160 mm 的标准砂石筛过

筛,测定钢渣砂粒级分布和细度模数,其结果见表2。用作钢渣混凝土细骨料的钢渣砂为过 10 mm 筛孔的部分,以下无特殊指明,钢渣砂指小于 10 mm 的砂。

表 2 钢渣砂筛分结果

筛孔尺寸/mm	10	5.0	2.5	1.25	0.63	0.315	0.160	<0.160	累计
存留质量/g	240.0	574.0	350.0	182.5	177.0	157.6	206.5	95.4	1 893
分计筛余/%	12.10	28.95	17.65	9.20	8.93	7.95	10.41	4.81	100
累计筛余/%	12.10	41.05	58.70	67.90	76.83	84.78	95.19	100	
细度模数	4.07								

- (6)外加剂:自制碱溶液。
- (7)缓凝剂:自制缓凝型减水剂。

度。表3~表5 中各配比试验将研究各原料不同添加量对混凝土的强度和坍落度的影响。本次试验所用粗、细骨料质量比为 3 : 2。

2 结果与讨论

本次试验所用仪器设备、制备方法和测试方法完全符合GB85—86 的要求,制备150 mm×150 mm×150 mm 标准试块测试 3 d、7 d 和 28 d 的抗压强度,100 mm×100 mm×400 mm 试块测试抗折强

2.1 碱溶液和水的掺入量对混凝土抗压强度的影响

为了尽可能多的使用钢渣,同时由于钢渣本身所能产生的强度较低,因而掺入了较多的矿渣磨细粉提高强度,结果如表 3 所示。

表 3 混凝土试验结果

编号	钢渣粗细骨料总量 kg/m <sup>3</sup>	钢渣磨细粉 kg/m <sup>3</sup>	矿渣磨细粉 kg/m <sup>3</sup>	碱溶液掺量 %	补水量 kg/m <sup>3</sup>	7 d 抗压强度 MPa	28 抗压强度 MPa	28 d 抗折强度 MPa	坍落度 cm
A1	2 083.3	241.7	241.7	1.75	254.2	9.3	—	—	20
A2	2 083.3	241.7	241.7	1.75	242.1	11.1	14.1	4.8	8
A3	2 083.3	241.7	241.7	1.75	232.7	12.1	15.7	—	8
A4	2 083.3	241.7	241.7	1.75	201.7	12.7	16.1	—	5
A5	2 083.3	241.7	241.7	1.89	181.9	12.9	16.2	—	5

表 3 配方 A2~A5 使用同一浓度的碱溶液(11%)。在现场拌制混凝土时,投入各个配方所设计量的碱溶液后,混凝土基本没有流动性,因此需要继续加入适量的水以保证混凝土的工作流动性。同时发现如果提高碱溶液掺量,混凝土的强度也逐渐提

高。总体来看,A2~A5 的 7 d 强度基本在28 d强度的 60%以上,相比传统混凝土具有早强的优点。

2.2 集灰比对混凝土早期强度的影响

混凝土试验结果见表 4。

表 4 混凝土试验结果

编号	钢渣粗细骨料总量 kg/m <sup>3</sup>	集灰比	钢渣磨细粉 kg/m <sup>3</sup>	矿渣磨细粉 kg/m <sup>3</sup>	碱溶液掺量 %	加水量 kg/m <sup>3</sup>	3 d 抗压强度 MPa	7 d 抗压强度 MPa	坍落度
B1	2 083.3	5.2	200	200	3.3	232.7	12.3	15.0	5
B2	2 083.3	4.78	217.5	217.5	3.3	232.7	13.4	15.4	10
B3	2 083.3	4.3	241.7	241.7	3.3	232.7	14.4	16.4	12
B4	2 083.3	4.3	224.9	258.5	3.3	232.7	14.9	16.5	5
B5	2 083.3	4.3	161.1	322.3	3.3	232.7	15.6	17.5	5

注:表 4 中配方 B1~B5 所用碱溶液浓度为 21.7%。

表 4 中配方 B1~B3 的集灰比下降即提高胶凝粉的用量,不仅提高强度值,同时提高了坍落度。配

方 B4、B5 是在配方 B3 基础上提高了矿渣粉的用量,抗压强度虽有所提高,但是坍落度下降,说明矿渣粉

用量的加大对强度提高有意义,但不利于保证混凝土的工作流动性。所以,将集灰比降低,即提高胶凝粉用量可适当提高混凝土强度,同时有利坍落度。

2.3 粉煤灰对混凝土性能的影响

表3和表4的测试结果显示,钢渣混凝土凝结时间较短,工作流动性差,必然影响到这种混凝土的现场操作,通过补水提高流动性则会降低强度。为了达到所要求一定的强度并保证一定的工作流动性,可以在混凝土中使用缓凝剂或减水剂等外加剂来实现,但使用这些外加剂都会大幅增加混凝土的成本。

粉煤灰的颗粒形态效应可以改善混凝土的和易性。粉煤灰的颗粒呈球形,表面光滑,质地细密。因此在混凝土受震动后易产生滚动、液化作用,可以显

著改善混凝土拌和物的和易性,增加流动性和粘聚性;粉煤灰还可以降低混凝土的水化热,提高混凝土的后期强度。此外,在混凝土中掺入适量的粉煤灰可以提高混凝土的抗渗性和耐久性<sup>[5~9]</sup>。

表5的试验为添加了粉煤灰后的试验记录,在现场试验中,粉煤灰加入后减少用水量仍然有利于强度的提高,但不利于保持工作流动性。配方C4加入缓凝剂,减少补水量,最终大幅提高坍落度,极大改善了混凝土的工作流动性。配方C5缓凝剂加入量提高至1%,虽然可在补水量很低的情况下,接近配方C4的坍落度,但是从强度测试结果看,缓凝剂掺入过高不利强度增长,甚至低于不加缓凝剂时的情况如配方C3。

表 5 混凝土试验结果

编号	钢渣粗细骨料总量 kg/m <sup>3</sup>	钢渣磨细粉 kg/m <sup>3</sup>	矿渣磨细粉 kg/m <sup>3</sup>	粉煤灰 kg/m <sup>3</sup>	碱溶液掺量 %	缓凝剂 %	加水量 kg/m <sup>3</sup>	7 d 抗压强度 MPa	28 d 抗压强度 MPa	28 d 抗折强度 MPa	坍落度
C1	2 083.3	120	160	120	5.2	0	205.83	24.6	—	—	15
C2	2 083.3	120	160	120	5.2	0	199.75	24.8	—	—	15
C3	2 083.3	120	160	120	5.2	0	187.75	29.8	38	—	15
C4	2 083.3	120	160	120	5.2	0.3	178.9	32.4	44.0	8.3	20
C5	3 083.3	120	160	120	5.2	1	156.7	27.2	35	—	22

注:表5中配方C5所用碱溶液浓度为30%,其余为21.7%。

表5中配方C3、C4和C5的28d强度都达到了路面混凝土30MPa的要求(图1),其中以配方C4的效果最好,28d强度达到了C40要求,而且配方C4的成本核算低于同等标号的水泥混凝土的成本。

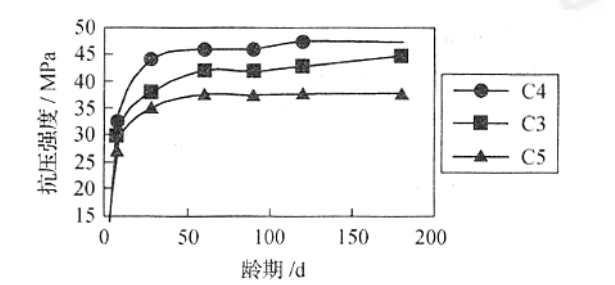


图 1 缓凝剂对钢渣混凝土强度的作用

在本次试验的钢渣混凝土中,粉煤灰的作用主要体现在以下两个方面。首先,对流动性的贡献:由于矿渣和钢渣与水玻璃溶液生成的胶凝体系属于快凝型胶凝体系,粉煤灰的加入大大提高了混凝土的工作流动性,这可归结于粉煤灰所具有的颗粒形态。

微观粉煤灰为玻璃微球,表面光滑、质地致密。而在本次试验的胶凝粉中,加入粉煤灰后,可能是粉煤灰这种玻璃结构使得粉煤灰能够均匀分布于矿渣磨细粉和钢渣磨细粉中,这些玻璃微球在新拌钢渣混凝土中起着一种类似滚珠轴承的润滑作用,减小了材料间摩擦阻力,降低了矿渣在整个胶凝粉体中的分布比例,减缓了矿渣在水玻璃溶液作用下的快硬作用。同时由于这种玻璃微球所具有的致密光滑结构,使得粉煤灰吸水率较低,所以降低了胶凝体系的用水量和溶液量,因而改善了混凝土拌和物的和易性,提高了路面混凝土振动液化、成型密实效果。所以可以延长混凝土运输的距离和时间,有利于路面混凝土上的泵送与浇筑。其次,在硬化的钢渣混凝土中,即当粉煤灰活化作用开始后,粉煤灰的微细颗粒均匀分布于水泥浆体中,对骨料界面的包裹比单纯水泥浆体更好,结合强度更高,因此,抗折强度更高,提高了混凝土的后期强度。再有就是本次试验还避免了普通水泥混凝土在掺有粉煤灰之后往往具有早强较低、后期强度较高的缺点。

### 3 经济效益分析

钢渣混凝土的价格为 117.0 元/ $\text{m}^3$ , 商用传统 C40 混凝土的价格约 200 元/ $\text{m}^3$ 。因此钢渣混凝土的优点不仅在于节能环保, 其经济效益更加突出。

### 4 工程应用

首钢资源综合利用公司新的钢渣加工生产线位于北京近郊某处, 因生产和运输需要, 在生产线附近修建一条大型重载车路面, 表 5 配方 C4 应用于这段路面的起始路段, 图 2 为施工半年后的路面情况。使用至今路段路面状况良好, 无开裂现象。

### 5 结论

(1) 钢渣混凝土使用碱溶液可使早期强度提高, 达到 28 d 强度的 60% 以上。提高碱溶液浓度及适当提高用量可以提高强度, 但是不利于保持工作流动性。

(2) 降低集灰比可以提高强度和改善工作流动性。提高矿渣粉用量对提高强度有意义, 但对工作流动性有不利影响。

(3) 粉煤灰在钢渣混凝土中的掺量与水玻璃溶液、缓凝剂用量相适应时, 钢渣混凝土表现出良好的工作流动性并具备 C40 混凝土的强度。

### 参考文献:

- [1] 冯乃廉. 实用混凝土大全, 科学出版社, 2001.
- [2] Pala S C, Mukherjeeb A, Pathakc S R. Investigation of hydraulic activity of ground granulated blast furnace slag in concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33.
- [3] Wainwright P J, Rey N. The influence of ground granulated blast furnace slag (GGBS) additions and time delay on the bleeding of concrete [J]. Cement & Concrete Composites, 2000, 22.
- [4] Collins F, Sanjayan J G. Strength and shrinkage properties of alkali-activated slag concrete placed into a large column [J]. Cement and Concrete Research, 1999, 29.



图 2 现场路面

- [5] Pala S C, Mukherjeeb A, Pathakc S R. Investigation of hydraulic activity of ground granulated blast furnace slag in concrete [J]. Cement and Concrete Research, 2003, 33.
- [6] 陈友治, 丁庆军, 徐瑛, 等. 粉煤灰的改性及应用研究 [J]. 武汉理工大学学报, 23(11).
- [7] 季收, 王保君. 粉煤灰在混凝土中的效应及应用 [J]. 铁道建筑, 2004, (3).
- [8] Atis C D, Sevim U K, Zcan F O, Bilim C, Karahan O, Tanrikulu A H, Eks A. Strength properties of roller compacted concrete containing a non-standard high calcium fly ash [J]. Materials Letters, 2004, 58.
- [9] 李继明, 何浏. 粉煤灰混凝土技术的研究与应用 [J]. 建筑技术开发, 2003, (7).

## Alkali-Activated Slag Pavement Concrete Without Portland Cement

ZHOU Jia, NI Wen

(College of Building Construction and Environmental Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Alkali activated slag Pavement concrete (AASPC) is made from activating industrial slag (fly) ash, mineral slag and ground granulated blast-furnace slag (GGBS) without the use of any Portland



文章编号: 0451-0712(2005)01-0183-07

中图分类号: U414.75

文献标识码: B

# 关于南方湿热地区沥青性能 综合技术评价方法的探讨

张起森, 邵腊根

(长沙理工大学公路学院 长沙市 410076)

**摘 要:** 以沥青及沥青混合料、改性沥青及改性沥青混合料实测数据为基础,提出了基于所建公路气候特点和沥青、改性沥青与矿料相容性的沥青及改性沥青的综合技术评价方法。对了解我国沥青目前的现状,如何进一步提高我国沥青和沥青混合料的路用性能,以及对业主及施工单位沥青及改性沥青的选择有一定的指导意义。

**关键词:** 沥青; 改性沥青; 相容性; 综合评价

沥青及沥青混合料室内试验结果如何能较好地反映实际沥青路用性能效果一直是道路研究者探求解决的问题。美国SHRP计划对沥青的抗车辙、抗低温开裂、抗疲劳开裂必须满足所需的性能等级提出了要求。它是根据所建公路气候特点和交通特征来选择沥青等级,试验采用的试验条件(试验温度)是根据选择的沥青等级确定。它的规范指标,如复数剪切模量、相位角、蠕变劲度、蠕变速度、破坏应变和断裂温度均是沥青材料的基本粘弹性性质参数,通过所建立的模型将材料参数和路用性能联系起来,对沥青的抗车辙、抗低温开裂和抗疲劳开裂必须满足所需的性能等级提出了要求。虽然其规范指标的要求值还有待进一步验证,但沥青技术指标的要求是基于其使用性能的考虑本身就是一个很大的进步,我国“八五、七五”期间对沥青用改性沥青的研究成果为我国沥青路面的发展起了极其重要的作用,但我国现行规范对沥青用改性沥青的评价存在的主要问题是条件统一、指标不同,与实际使用性能相关性不足。因此如何利用SHRP的思想,结合我国现行规范要求来完善其不足就显得尤其重要。考虑选择适

宜沥青的主要目的是为了保证沥青混合料的性能,因此从保证沥青混合料性能来考虑,不仅要求合格的沥青,同时沥青还应与矿料有较好的相容性,因此在沥青选择时宜结合沥青试验结果与沥青混合料的试验结果综合考虑;同时根据所建公路特点,对各项试验结果有所侧重;为反映沥青与矿料的相容性,在沥青的选择性评价中将沥青混合料的性能也反应进来。

本文以京珠高速公路耒宜段沥青选择为实例,在对国内常用的7种重交沥青及7种改性沥青及其沥青混合料进行试验的基础上,针对耒宜段地区南方湿热区的特点,说明了沥青及改性沥青综合评价方法。从近三年实际使用效果来看,效果良好。

## 1 常规试验结果

### 1.1 沥青及改性沥青试验结果

对7种改性沥青及重交沥青性能按现行规范进行测试,测试结果分别汇总于表1和表2。表中单项测试是在相同试验条件下进行的,因此试验结果有较好的可比性。

考虑沥青选择的目的是为了

收稿日期: 2004-08-18

cement as binder and GGBS gravels and GGBS sands are used as fine and coarse aggregates to take the place of natural gravels and sand. The effects of proportion of alkali solution on the strength and workability of AASPC are investigated. The results show that with proper workability, the 28 day compressive strength of 44 MPa at flexural strength of 8.3 MPa are obtained at the age of 28 days.

**Key words:** pavement concrete; GGBS; mineral slag; fly ash; alkali