

①

190-195

稻壳、稻壳灰在建筑上的应用 Application of Rice Hull and Rice Hull Ash in Architecture

蔡希高

Cai Xigao

TU528.04

(广西建筑科学研究设计院 南宁 530011)

(Guangxi Architectural Sci. Research Institute, Nanning, 530011)

摘要 阐述稻壳、稻壳灰的组成及其在建筑材料上的应用。稻壳不经预处理可制轻混凝土;稻壳经过焙烧得到的稻壳灰,含 SiO_2 95%左右,与硅灰的化学成分、物化性能、结构相近,适合作高性能混凝土(HPC)的细掺合料。在建筑上用作稻壳灰水泥及稻壳灰水泥混凝土,认为稻壳灰是一种节能、高效、可持续发展的、有潜在经济效益、社会效益、环保效益的建筑材料。开展以稻壳灰为主的多种超细材料的复合规律研究,具有重要的现实意义。

关键词 稻壳 稻壳灰 细掺合料 稻壳灰水泥混凝土 绿色高性能混凝土

中图法分类号 TU 522.09; X 71

建筑材料: HPC

Abstract This paper deals with the composition of rice hull and rice hull ash and their utilization in architectural material. Rice hull can be made of light concrete without pretreatment. The ash of burned rice hull (i. e. rice hull ash) containing about 95% of SiO_2 , which is similarly to silicon ash by its chemical component, physicochemical property and structure, is a fine admixture of high performance concrete (HPC), and to be used as rice hull ash cement and rice hull ash cement concrete in engineering. The rice hull ash is recognized to be an architectural material with energy saving, high efficiency, sustainable developmental use and the potential economic benefits, social and environmental protection. It is real important to study the complex rule of several superparticle material made by rice hull ash.

Key words rice hull, rice hull ash, fine admixture, rice hull ash cement concrete, green high performance concrete

90年代初,国内一些学者指出,在波特兰水泥以外,再加入活性细掺合料,配以高性能减水剂,就可以生产高强度、高耐久性或超高强混凝土。高性能是国内混凝土今后发展的方向。活性细掺合料以硅粉、磨细粉煤灰、磨细矿渣等最为常用^[1~3,13]。至今,不到10年的时间,国内高性能混凝土(HPC)的研究、应用得到了极其迅速的发展,资料很多^[4~20];近2年,超高性能混凝土(UHPC)的研究报道不少^[21~25],在水工^[26~29]、特种模型^[30]、抑制碱—集料反应

等方面都有应用^[31~32]。为促进高性能混凝土技术的国际交流, 推动我国高性能混凝土的研究开发利用, 1998年5月20日至21日在济南还专门召开第一届东亚高性能混凝土学术讨论会, 对高性能混凝土及掺合料等方面问题进行交流^[33]。

活性细掺合料是组成高强、高性能混凝土不可缺少的组分, 效果最好的首推硅灰^[25]。硅灰是铁合金厂生产硅铁合金时排放出的粉尘, 由于数量少, 收集困难、资源短缺、价格昂贵, 使用上受到了限制^[25, 34~36]。因此人们不得不考虑应用复合技术以减少单独使用硅灰的用量的同时, 提高它的性能, 来满足建筑业的需要; 解决硅灰必不可少和供应紧张的另一条出路是: 寻找与硅灰有相同化学成分、物理化学性能、结构相似的材料作硅灰的替代品, 可幸的是, 人们发现稻壳经过焙烧烧去有机物后残留下的稻壳灰的化学成分、物化性能、结构都与硅灰极为相似, 它具有来源广, 价廉、易加工的特点, 同时它又是绿色、可持续发展的材料, 完全可以作硅灰的替代品。

1 稻壳、稻壳灰的组成和应用

1.1 稻壳、稻壳灰的组成

1.1.1 稻壳 稻壳约占稻谷重量的20%, 颗粒大小均匀, 粒度适中, 内含可分解养分很少, 主要成分为: 二氧化硅18.8%~22.3%; 纤维素28.0%~38.0%; 木质素9.0%~20.0%; 脂肪0.3%~0.8%; 蛋白质1.9%~3.0%; 可吸收养分9.3%~9.5%^[37]。稻壳用处不大, 农村作燃料或饲料。

1.1.2 稻壳灰 焙烧稻壳约得到20%的稻壳灰, 内含80%~95%SiO₂, 1%~2%K₂O, 余为未燃碳等, SiO₂以非晶态存在, 比表面积高达50 m²/g~60 m²/g^[41]。稻壳灰与硅灰的化学组成、性能有许多相似之处, 见表1。

表1 稻壳灰、硅灰化学成分及性能对比

物料名称	化学成分 (%)							比重 (g/cm ³)	比表面积 (m ² /g)
	灼失	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	K ₂ O		
山川硅灰 ^[4]	3.15	89.47	0.68	0.37	0.13	3.15		2.20	
唐山硅灰 ^[25]	2.88	91.27	0.45	0.77	0.92	0.45			约20
清镇硅灰 ^[29]	1.90	94.90	1.07	0.49	0.70	0.56			约20
稻壳灰 ^[34]	2.2	96.7	0.8					2.09	60~150
稻壳灰 ^[39]	5.32	88.05	0.69	1.23	0.50	1.60	2.28	2.08	67.2
稻壳灰 ^[41]		80~95					1~2		50~60

* R₂O₃ (三氧化二物)。

从表1看出, 稻壳灰的化学成分与硅灰极为相近, 稻壳灰的比表面积比硅灰的还要大一些, 表明其活性比硅灰要高, 稻壳灰和硅灰都应该是活性二氧化硅质细掺合料, 基于这种化学成分和物理化学性能相近差异不大的客观事实, 两者的性能功效自然会相当接近。

1.2 稻壳、稻壳灰在建筑材料上的应用

1.2.1 轻混凝土 以往, 将植物纤维破碎, 与适量水泥拌合加工成型制成各种板材, 如水泥刨花板、稻草板, 作为隔热、吸音板得以应用。根据稻壳的材性, 以稻壳为骨料, 加入107胶、水泥和水拌合制成稻壳水泥混凝土, 按质量用料比例: 稻壳:水泥=(27-18):100, 水:水泥=49:100; 107胶:稻壳=30:100, 该混凝土容重0.8 kg/m³~1.3 kg/m³, 抗压强度8 MPa~15 MPa, 抗折强度2 MPa~6 MPa, 导热系数0.23 W/mK左右, 在-20℃经过25次冻融后, 试

样无变化,具有良好的保温隔热性能和耐久性。

本混凝土的骨料不需要进行任何预处理,它与用砂石作骨料的混凝土具有完全相同的施工工艺,因此,便于现场拌和施工。

稻壳含 SiO_2 高,润湿后易于压实,干燥后体积不膨胀,也耐腐蚀,这种混凝土与金属有较强的粘接力,可以用钢丝网或钢筋作骨架。由于以韧性很好的稻壳作骨料,因此,混凝土的材性与木材相近,有可锯、可钉、防腐蚀、不易燃烧等特点,拼板可用水泥砂浆粘接,是一种比较理想的轻混凝土^[40]。

1.2.2 稻壳灰水泥及稻壳灰水泥混凝土 稻壳经过专用的烧灰炉烧去有机物,残留下无机物 SiO_2 灰烬等,再经过磨机磨细,即可得到稻壳灰。就目前来说,稻壳灰在建筑上的应用主要在水泥、高性能混凝土方面。

1.2.2.1 稻壳灰-水泥

用稻壳灰与不同比例的波特兰水泥(普通硅酸盐水泥)按0:100; 30:70; 50:50; 70:30的比例混合,发现含70%的稻壳灰的混合料在所有3、7、28、90天龄期均具有最高强度,抗压强度值分别为:3 d, 31.9/22.4; 7 d, 45.7/32.5; 28 d, 58.7/42.4; 90 d, 63.9/47.7(分母代表0:100时的水泥强度,单位MPa)。“稻壳灰砂浆及混凝土的一个重要性质是它的抗酸侵蚀耐久性特别好”。“稻壳灰作为一种高活性火山灰能减少含活性集料砂浆的碱-集料膨胀”。在高强度大体积混凝土中,用稻壳灰可得到高强度而内部温升不大,典型地稻壳灰混凝土28 d 强度比普通波特兰水泥混凝土高8%,而在7 d~28 d 内部温升却低于 21°C ^[41]。

1.2.2.2 石灰-稻壳灰水泥

用消石灰与稻壳灰或生石灰与稻壳灰混合制成消石灰-稻壳灰水泥及生石灰-稻壳灰水泥。两种石灰稻壳灰-水泥的安定性均合格。消石灰-稻壳灰水泥的凝结时间比普通水泥略长,而生石灰-稻壳灰水泥的凝结时间较快。两种石灰-稻壳灰水泥的标准稠度,较硅酸盐水泥标准稠度(24%左右)大得多,这是稻壳灰有特大的比表面积,而引起标准稠度的增加。不掺减水剂用生石灰配制的配合比为0.76:1:1.53:2.70的生石灰-稻壳灰混凝土28 d 物理力学性能是:塌落度2.5 cm~4.0 cm,抗压强度14.81 MPa,劈拉强度1.54 MPa,静压弹模 2.01×10^4 MPa^[39]。如适当掺加一些减水剂强度会有所提高。(注:原文献资料未具体列出石灰-稻壳灰两者的混合比例)。

1.2.2.3 稻壳灰水泥混凝土

稻壳灰有以外掺或内掺形式掺入混凝土,在等量取代20%水泥的情况下掺稻壳灰试件,3 d、7 d 抗压强度均小于未掺稻壳灰的空白组,但28 d 抗压强度较空白组增加20%,说明稻壳灰具有较高的火山灰活性,在超量取代水泥的情况下,稻壳灰的增强效果更显著。稻壳灰以外掺形式掺入混凝土的技术条件及结果,力学性能见表2。从表2看出,掺稻壳灰的试验组抗压强度提高的幅度较大,且早期比后期强度高,表明稻壳灰有强烈的增强作用,与硅灰相似。掺入具有分散作用的减水剂,使稻壳灰增强作用得到充分发挥。这是由于稻壳灰掺入混凝土后,高活性的 SiO_2 能较快地与水泥水化生成的氢氧化钙起强烈的火山灰反应形成低钙水化硅酸钙凝胶,起到增加强度,改善骨料-水泥石界面结构和填充毛细孔的作用,使混凝土密实性增加,强度大为提高,劈裂抗拉强度、粘结强度、轴心抗压强度、静压弹模、抗氯离子渗透、防锈等性能都得到明显提高和改善。试验结果还表明,使用“双掺”技术效果更佳。南京水利科学研究所作的该系统研究得出的结论是:掺稻壳灰能制造高强、密实、耐钢锈混凝

土, 可用来建造大型现代建筑物和高速公路^[39]。

表2 稻壳灰混凝土力学性能^[39]

项目	配合比	稻壳灰 外掺量 (%)	减水 剂 (%)	细磨 度 (μm)	拌合物 容重 (g/cm^3)	抗压强度(MPa)		劈裂抗拉强度(MPa)		粘结强度 (MPa)	轴心抗 压强度 (MPa)	静压弹 性模量 ($\times 10^4 \text{MPa}$)	损 伤	
						3 d	28 d	3 d	28 d				失重率 (%)	锈积率 (%)
编号1	0.56:1:2.40:3.99	0	0	3.4	2.44	9.47/100	33.47/100	0.82/100	2.84/100	2.15/100	25.31/100	3.68/100	2.18/100	74.4/100
编号5	0.475:1:2.46:4.06	20	A	5.6	2.46	25.47/269	66.26/198	2.05/250	4.30/151	3.05/142	54.90/217	4.18/114	0.17/8	18.1/24

1.2.2.4 稻壳灰与绿色高性能混凝土(GHPC)

绿色高性能混凝土的提出, 是基于世界人口膨胀、生产发达、地球承受的负担剧增, 环境破坏, 资源枯竭, 物种灭绝, 极大地威胁着人类的生存与发展。在我国加速发展高性能混凝土(HPC)时, 使大量的水泥成为可持续发展的绿色结构材料, 具有十分重大的意义。作为GHPC绿色材料应具有这几个特征: (1)更多地节约熟料水泥, 减少环境污染。在GHPC中以磨细水淬矿渣等活性细掺料成为胶凝材料中的主要成分, 使生产水泥时 CO_2 排放量大大减少。(2)更多地掺加以工业废渣为主的细掺料。掺加以工业废渣为主的细掺料既可节代熟料, 改善环境, 减免二次污染, 又可节省土地和石灰石等资源。过去使用的工业废渣由于加工细度不足, 潜在活性远未发挥出来, 实属资源浪费。随着技术发展和深入研究, 适用GHPC的优质价廉的细掺料被认识和大量生产, 硅灰、稻壳灰等应用量逐渐增加。两种以上细掺料的复合材料, 及细掺料与高效减水剂的复合使用, 将在GHPC中发挥更大作用。(3)更大地发挥高性能优势, 从根本上节减水泥与混凝土的用量。稻壳灰的组成、细度、活性、资源和研究报道说明, 大量使用稻壳灰作混凝土的活性细掺料, 从技术上看是可行的, 是完全符合绿色高性能, 可持续发展材料的要求的^[42-44]。

2 稻壳灰的应用价值和意义

南京水利科学研究院针对稻壳灰混凝土进行的系统研究和报道, 其结论是肯定的^[39,43]。一些学者也明确指出, 稻壳灰氧化硅含量高, 易磨细, 适于作HPC细掺料。国外现在只用来作低标号水泥, 我国目前虽尚无工厂生产, 但很有发展前途^[42]。尽管稻壳灰来源广, 是绿色可持续发展的建筑材料, 还应当有一个客观的估价。

1 t 稻谷的得壳率约为20%, 稻壳灰约为稻壳的20%, 稻壳目前售价约0.10元/千克, 1 t 稻谷得灰40 kg。硅灰单价按3 000元/吨^[45]来测算稻壳灰经济价值, 1 t 稻谷折算成40 kg 稻壳灰, 价值120元, 而出售1 t 稻谷的稻壳200 kg, 价值仅为20元, 两者相差100元左右。

参照硅灰的有关数据^[46], 以等量的稻壳灰取代水泥, 在低水胶比并使用双掺技术(掺高效减水剂和稻壳灰)配制混凝土, 掺5%的稻壳灰, 此时水泥等效系数在2以上。我国年产稻谷约2亿吨, 折算成稻壳为4 000万吨计, 相当于800万吨稻壳灰, 如以等效系数2计, 800万吨稻壳灰与1 600万吨水泥等效, 其价值在512 000万元(按水泥单价320元/吨计)。稻壳灰生产仅耗小量能源粉磨, 无污染, 又节约了大量的土地和矿产资源, 环保效益不可低估, 从替代水泥这一大宗建筑材料来看, 是相当可观的。

3 研究发展方向和应用前景

稻壳及稻壳灰是具有开发价值的绿色可持续发展的建筑材料, 为使其性能得到更充分的发挥, 作面广、层次更深的研究是必需的。

如前述,稻壳灰水泥和混凝土的研究结果,已得出“掺稻壳灰能制造高强、密实、耐钢锈混凝土,可用来制造大型现代化建筑物、高速公路”的结论^[39]。从理论上说,稻壳灰的比表面积要比硅灰的比表面积大得多,活性自然要比硅灰大,用稻壳灰完全可以替代供应紧张的硅灰配制混凝土。

稻壳灰、硅灰和其它超细材料的物理性能和比表面积是不同的,见表3^[47]。众所周知,比表面积越大,材料活性越好,活性大小及粒度大小不同的不同品种的超细材料,可组成复合活性材料使用,通常是在硅灰(稻壳灰)基础上加入其它超细粉如超细粉煤灰、超细矿渣粉等。复合的意义在于,一是使用这种经过特殊处理的复合活性超细材料要比使用单一超细材料将会更能改善、提高混凝土的物理力学性能和有更大的节省材料的可能,有事半功倍的效果;二是节省硅灰(稻壳灰)。因此,以超前的意识,开展以稻壳灰为主的多种超细材料的复合规律研究是有重要现实意义的。

配制高性能混凝土,需大量的超细材料,我国硅灰年产量在3 000 t~4 000 t,只能满足约万分之一混凝土量的要求,因此,除了个别重点工程外,大多数混凝土必须通过其它方法提高强度^[48]。我国是一个农业大国,稻谷产量占世界总产量30%以上,年产稻谷2亿吨,折算成稻壳年产4 000万吨,稻壳灰800万吨。稻壳灰与硅灰成分,性能相当,事实已证明可以在建筑上替代硅灰,充分利用稻壳灰,不但可以缓解建筑业对硅灰的要求,满足建筑业配制各种混凝土的需要。稻壳灰是低能耗、可持续发展的绿色建筑材料,可降低混凝土生产成本,利于混凝土向高强、绿色高性能方向发展。总的说来,稻壳灰是一种节能、高效、绿色、可持续发展的、有潜在经济效益、社会效益、环保效益的建筑材料,在建筑上有远大的发展前景,应当引起有关方面的高度重视,作全面的开发利用。

参考文献

- 1 冯乃谦,李永德. 混凝土技术的新成就与新进展. 混凝土与水泥制品, 1993, (5): 4.
- 2 吴中伟. 水泥基材料的新发展. 混凝土, 1990, (6): 2.
- 3 冯乃谦,丁建彤. 关于高性能混凝土若干问题. 混凝土, 1994, (4): 5.
- 4 冯乃谦,罗焕章. 强度92 MPa、塌落度20 cm、2 h内无塌落度损失的高强高流态混凝土的研制及应用. 混凝土, 1995, (4): 3.
- 5 赵若鹏,成先红,汪靖等. 掺Li渣的C80高强混凝土试验研究. 混凝土, 1996, (1): 25.
- 6 徐浩. 混凝土骨料应用技术. 混凝土, 1995, (2): 45.
- 7 吴兴祖,邓学勤. 高性能混凝土与超塑化剂. 施工技术, 1999, 28 (5): 19.
- 8 陈剑雄. 不振捣混凝土的外加剂及掺合料化学建材. 1994, 10 (5): 204.
- 9 陈剑雄,蒲心诚,兰海等. 论高效减水剂在混凝土中的主导作用. 混凝土, 1998, (3): 13.
- 10 Moncef Nehdi, Sidney Mindess, Pierre-claude Aitcin et al. Optimization of triple-blended composite cements for making high-strength concrete. World Cement Research and Development, 1996, 27 (6): 69.
- 11 高育海. C70、C80高性能混凝土的研究. 施工技术, 1999, 28 (5): 6.
- 12 罗见平. C80高性能泵送混凝土的研制. 施工技术, 1999, 28 (5): 11.

表3 水泥稻壳灰与其它超细材料物理性质

材 料	比重	比表面积 (cm ² /g)	μ^*
硅酸盐水泥	3.17	3 400	19.57
水泥粗粉	3.17	600	90.74
重质碳酸钙	2.71	18 000	6.04
硅灰	2.26	200 000	0.16
粉煤灰	2.18	4 320	17.38
高炉矿渣	2.92	6 260	7.86
稻壳灰	2.08	672 000	
特殊处理稻壳灰	2.09	1 500 000	

* 体积加权平均粒径。

- 13 周士琼,刘宝举,谢友均等.高性能混凝土专用粉煤灰复合超细粉.施工技术,1999,28(5):13.
- 14 叶枝荣,冯圣清.90-100 MPa高性能混凝土配制技术研究.混凝土与水泥制品,1998,(1):13.
- 15 张东,刘娟娟,吴科如.高强混凝土断裂特性的试验研究与分析.混凝土与水泥制品,1998,(5):5.
- 16 吴中伟.高性能混凝土及其矿物细掺料.建筑技术,1999,30(3):160.
- 17 吴芳,陈剑雄,张亚东.粉煤灰不振捣高性能混凝土.混凝土与水泥制品,1998,(6):8.
- 18 成国强.高性能混凝土配合比设计与配制的研究.混凝土,1998,(3):29.
- 19 蒲心诚.高强与高性能混凝土火山灰效应的数值分析.混凝土,1998,(6):13.
- 20 廉慧珍,阮庆革,李玉琳.FK系列高性能水泥的性能及其检测.混凝土,1999,(1):20.
- 21 严吴南,蒲心诚,王冲.超高强混凝土的化学收缩及干缩研究.施工技术,1999,28(5):17.
- 22 蒲心诚,严吴南,王冲等.100-150 MPa超高强高性能混凝土的强度与流动性影响因素研究.混凝土,1999,(1):8.
- 23 蒲心诚,严吴南,王冲等.150 MPa超高强高性能混凝土研究与应用前景.混凝土,1999,(3):13.
- 24 蒲心诚.超高强高性能混凝土的强度构成分析.混凝土与水泥制品,1999,(1):7.
- 25 蒲心诚,严吴南,王冲等.100-150 MPa超高强高性能混凝土的配制技术.混凝土与水泥制品,1998,(6):3.
- 26 林宝玉,单国良,蔡跃波.高性能混凝土在海港工程中的研究应用.施工技术,1999,28(5):15.
- 27 曾令永,何真,李亚杰.水工高性能耐磨蚀修补材料的试验研究.混凝土,1998,(6):31.
- 28 尹延国,胡献国,崔德密等.含沙高速水流状态下水工混凝土的磨损问题探讨.混凝土与水泥制品,1999,(3):14.
- 29 孙家瑛,陈志源,孙剑.排水管用高性能混凝土渗透性的研究.混凝土与水泥制品,1999,(3):23.
- 30 于伟忠.模型用特种高强混凝土的研制.混凝土与水泥制品,1998,(3):8.
- 31 卢都有,许仲梓,吕忆农等.碱硅酸反应(ASR)抑制措施研究评述.混凝土与水泥制品,1999,(2):14.
- 32 张燕坤,宋玉普,衣伟.掺硅灰的陶粒混凝土强度和抗冻性试验.混凝土与水泥制品,1998,(5):23.
- 33 张德成,丁铸.第一届东亚高性能混凝土学术讨论会简介.混凝土与水泥制品,1998,(4):21.
- 34 李晓.增强水泥混凝土水泥石——集料界面粘结的研究.全国混凝土行业科技论文集(1987~1997).中国建筑业协会混凝土分会,1997,10:224~227.
- 35 谭克锋,蒲心诚.矿物外加剂对高强混凝土增强机理的研究.混凝土与水泥制品,1998,(1):11.
- 36 吴村,李生庆,郭庆.泵送混凝土若干技术问题求索.混凝土,1998,(2):35.
- 37 杨先和.稻壳内高纯度SiO₂的提取及其应用前景.无机材料学报,1992,7(3):379.
- 38 中国科技大学.中国专利,86107192.
- 39 王昌义,赵翠华,王家顺.稻壳灰水泥和混凝土的研究.混凝土,1991,(2):27.
- 40 高汉忠,叶慧海,杨满宏.稻壳水泥混凝土.混凝土,1996,(3):41.
- 41 Ramachanran V S, Feldman R F, Beaudoin J J.混凝土科学.黄士元,孙复强,王善拔等译.北京:中国建筑工业出版社,1986,311~312.
- 42 吴中伟.高性能混凝土(HPC)的发展趋势与问题.建筑技术,1998,29(1):8.
- 43 林宝玉.高性能混凝土的研究和应用.全国混凝土行业科技论文集(1987~1997).中国建筑业协会混凝土分会,1997,10:66~71.
- 44 吴中伟.绿色高性能混凝土——混凝土的发展方向.混凝土与水泥制品,1998,(1):3.
- 45 蒲心诚.高强混凝土与高强碱矿渣混凝土.混凝土,1994,(3):9.
- 46 尹志府.硅粉在高强混凝土中最佳活性利用条件研讨.全国混凝土行业科技论文集(1987~1997).中国建筑业协会混凝土分会,1997,10:76~80.
- 47 蔡希高.高性能胶凝材料与高性能混凝土.广西土木建筑,1998,23(1):19.
- 48 杜庆檐.掺超细矿渣高强混凝土的配制研究.混凝土,1998,(3):40. (责任编辑:邓大玉)