

含粉煤灰等工业废料在建筑工程中的应用研究*

胡永祥¹ 李 飞²

(1. 江苏建兴建工集团有限公司, 江苏 盐城 224001 2. 盐城工学院 建筑工程系, 江苏 盐城 224003)

摘 要 :以粉煤灰、石灰及硅酸盐水泥为主要原料 ,经配料、混合、发气、常温养护等工艺过程研制粉煤灰水泥多孔材料 ,其特点是密度小(500 ~ 800kg/m³) ,强度高(0.6 ~ 4.0MPa) ,保温性能好 ,耐热性强 ,可用于生产保温制品、填充墙、砌块、轻质墙板等 .配料中大量利用粉煤灰(掺量达 50% 左右) ,故成本低廉 .在建筑桩基工程中 ,掺加 35% 以下的粉煤灰 ,磷石膏掺量为 2% ~ 6% ,可以减少水泥用量 ,明显降低混凝土成本 ,既节约能源又避免环境污染 ,又能改善混凝土的性能 ,具有良好的经济效益和社会效益 .

关键词 :粉煤灰 ;磷石膏 ;多孔材料 ;桩基础

中图分类号 :X781 文献标识码 :A 文章编号 :1671 - 532X(2004)01 - 0058 - 04

1 问题的提出

盐城电厂是一个火力发电厂 ,它的废弃物粉煤灰是一个污染源。随着七号机组的建设 ,粉煤灰的排量会成倍增加 ,既污染环境又占用大量的耕地 ,粉煤灰是一个令政府和企业及当地居民都头疼的重大污染。如何合理地利用粉煤灰 ,变废为宝是一个值得研究的重大问题 ,等待各行各业开发利用。蒸压加气混凝土生产需要蒸压养护 ,设备投资大 ,生产能耗高 ,且配筋时钢筋易生锈。以粉煤灰、磷石膏、石灰、硅酸盐水泥为主要原料 ,研制一种无须蒸压养护的粉煤灰水泥多孔材料 ,并对其主要性能进行测试研究。

盐城市地下地质条件较差 ,属于滨海相软土地区 ,一般 5 层以上建筑都采用桩基础 ,应用较多的是灌注桩。实验证明粉煤灰混凝土具有较好的物理力学性能 ,粉煤灰掺量为 20% ~ 35% 的混凝土的抗压强度均符合要求且混凝土后期强度增长相当可观。掺加粉煤灰可以提高桩基的后期强度 ,避免碱集料反应 ,具有良好的抗碳化性能和抗渗性能。

2 粉煤灰及磷石膏的基本性能

2.1 粉煤灰

盐城热电厂排灰 ,经测试为 II 级灰 ,其化学成分见表 1 ,粉煤灰作为活性填充料加入配料中 ,其玻璃体中的活性 SiO₂ 和活性 Al₂O₃ 可与料浆中的 Ca(OH)₂ 发生反应 ,生成水硬性的水化硅酸钙和水化铝酸钙 ,水化铝酸钙还与料浆中的石膏反应生成水化硫铝酸钙 ,赋予多孔材料一定的强度 ,尤其对材料的后期强度有较大贡献 ,粉煤灰掺入量为 40% ~ 60% 。

表 1 粉煤灰化学成分(w%)
Table 1 Chemical compositions of fly ash

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	烧失量
50.66	25.5	6.6	4.8	1.2	10.2

2.2 磷石膏

采用市售二水磷石膏。磷石膏可使水泥凝结正常并能抑制石灰消解过程 ,从而延缓料浆的稠化速度 ,使之与铝粉发气速度相适应 ,磷石膏又是硫酸盐激发剂 ,在料浆中可与铝酸钙反应生成水化硫铝酸钙 ,促进坯体硬化 ,提高强度。磷石膏掺量为 2% ~ 6% 。

* 收稿日期 :2003 - 05 - 10
作者简介 :胡永祥(1966 -) ,男 ,江苏建湖人 ,本科、工程师。

3 在建筑桩基工程中的应用

3.1 掺加粉煤灰后砼强度提高机理

在混凝土中掺入一定量的粉煤灰 ,混凝土的早期强度较低 ,但后期强度较高 ,甚至超过不掺粉煤灰的混凝土。这是因为粉煤灰中含有大量的火山灰质活性物质。粉煤灰的化学成分主要是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 FeO_3 、 CaO 、 MgO 、 SO_3 等。其中 SiO_2 和 Al_2O_3 的含量高达 75% , SiO_2 、 Al_2O_3 在液相中可与 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生二次反应。

$$\text{XC}a(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + \text{nH}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{XC}a\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$$
$$\text{YC}a(\text{OH})_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{nH}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{YC}a \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{nH}_2\text{O}$$
这样就减少或清除了混凝土薄弱的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 结晶 ,形成更有强度的结晶结构体。

同时 ,上述的二次反应几乎都是在水泥混凝土孔隙中进行的 ,由于在孔隙中形成结晶结构网 ,大大降低了混凝土的孔隙率 ,改善了混凝土微观结构 ,因而提高了混凝土的强度。这一反应是在 14 天后进行较快 ,因而早期强度偏低 ,后期强度增长迅速。

表 2 试验结果
Table 2 Results of experiments

试验 编号	配合比					粉煤灰	水	坍落度	抗压强度			
	水泥	粉煤灰	砂	石子	水	水泥 + 粉煤灰	水泥 + 粉煤灰		3d	7d	28d	91d
1	338	0	672	1200	175	0	0.52	160 ~ 180	37.4	45.6	53.3	56.7
2	325	82	645	1200	175	20	0.43	160 ~ 180	30.1	43.2	49.7	63
3	309	103	638	1200	175	25	0.42	160 ~ 180	29.5	42.1	47.9	63.7
4	292	125	631	1200	175	30	0.42	160 ~ 180	26.8	39.8	45	61.9
5	274	148	625	1200	175	35	0.41	160 ~ 180	20.1	33.2	43.3	60.8
6	219	219	605	1200	175	50	0.4	160 ~ 180	13.9	24.4	35.5	50.3
7	180	270	592	1200	175	60	0.39	160 ~ 180		17.2	19.4	31.5

3.2 试验结果及分析

从表中可以看出 ,混凝土的后期强度增长率在掺粉煤灰 20% ~ 60% 时 ,超过基准混凝土后期强度增长率。但当粉煤灰的掺量超过 50% 时 ,掺粉煤灰的混凝土后期强度与不掺粉煤灰的混凝土后期强度相比有所降低 ,当粉煤灰掺量大于 60% 时 ,后期强度只相当不掺粉煤灰后期强度的 50% 左右 ,说明粉煤灰的掺量对混凝土的后期强度有较大的影响。其掺量有一个最大的掺量。当粉煤灰掺量在 20% ~ 35% 混凝土的后期强度比相对应的基准混凝土高 10% ~ 15%。其中以粉煤灰掺量 30% 左右较好。

3.3 粉煤灰对桩基长期强度的影响

由于水泥中 C_2S 、 MgO 等活性较差 ,以及部分低活性 CaO 在桩基周围水环境的作用下 ,不断形成碱性物质 ,这些碱性物质极易发生碱集料反应 ,造成混凝土开裂 ,形成微裂纹 ,导致钢筋锈蚀 ,降低桩基的强度。在混凝土中掺入一定的粉煤灰后 ,由于粉煤灰的活性相对较强 ,粉煤灰中的 SiO_2 、 Al_2O_3 在水环境中优先与混凝土中的碱性物质发生化学反应 ,形成新的结晶结构网 ,填补原来

的混凝土中的孔隙 ,增强原来的网状结构 ,从而使桩基的强度不断增长。

4 在建筑墙体材料中的应用

4.1 其它原材料及作用

4.1.1 磨细生石灰

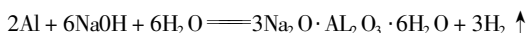
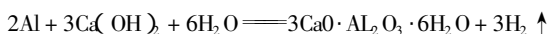
镇江石灰厂生产的生石灰有效 CaO 含量 70% 以上 ,作为碱性激发剂加入料浆中 ,也是铝粉发气促进剂 ,石灰有利于铝粉发气 ,还可与粉煤灰中的活性成分反应生成水化硅酸盐和水化铝酸盐 ,成为多孔材料中的强度组分。另外磨细生石灰水化产生的热量可提高料浆温度 ,促进化学反应进行 ,加速坯体硬化。磨细生石灰的掺量为 10% ~ 20%。

4.1.2 水泥

采用 425 # 硅酸盐水泥。水泥的稠化较石灰慢 ,硬化较石灰快 ,有利于坯体硬化 ,水化生成的水化硅酸钙 ,水泥铝酸钙等水化物对多孔材料的早期强度有较大贡献 ,生成的 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 是碱性激发剂 ,增加料浆的碱度 ,有利于铝粉发气 ,水泥掺量为 20% ~ 40%。

4.1.3 铝粉

铝粉为发气剂,可在碱性溶液中发生反应放出气体,使材料产生气孔。



铝粉的掺量视多孔材料的密度要求而定。

4.1.4 脱脂剂

铝粉表面有一层憎水性的硬脂酸膜,必须脱除才能使铝粉参加反应,本试验采用十二烷基苯磺酸钠。

4.1.5 稳泡剂

为一种表面活性剂,掺入料浆中可吸附于气-液界面上,极性基指向水,非极性基指向气体,降低了气-液界面的表面张力,使气泡稳定。

4.1.6 碱度调节剂

适量加入碱度调节剂,可调节料浆的 pH 值,以保证按要求正常发气。

4.2 试验结果及分析

4.2.1 试验过程及分析

粉煤灰水泥多孔材料的制作流程为:按配比将干粉煤灰、水泥、磨细生石灰、磷石膏及铝粉混合均匀得到干混合料;再将碱度调节剂、脱脂剂、稳泡剂按配比溶入适量的水中,混合均匀得到液体料(若不加碱度调节剂则应将铝粉也先加入水中);将干混合料加液体料中混合均匀,经发气、静停、切面包头、脱模、常温养护,便可得到气孔均匀的粉煤灰水泥多孔材料。

对于粉煤灰水泥多孔材料的制作来说,发气是决定其质量好坏的重要因素。关键要使发气速度与稠化速度相适应,也就是说,在大量发气阶段料浆要缓慢稠化,料浆应具有较好的流动性,使之发气顺畅和顺利膨胀;同时料浆应具有较好的保气能力。使气泡不能逸出而悬浮于其间,要达到这个目的,从力学观点看,料浆稳定的基本条件是:大量发气阶段料浆的极限剪切应力值或塑性强度值应小,但又不能过小,确能阻止气泡上浮为最佳。发气结束后,料浆的极限剪切应力与塑性强度应迅速增长,使之能承受自重,加强已形成的气孔结构。在工艺控制上,除合理选择原材料外,水料比、浇注温度、磨细生石灰用量等均影响料浆膨胀的稳定性,并最终影响材料的密度(与保温性能密切相关)及力学性能。

从原料选择搭配看,粉煤灰、水泥与磨细生石灰可谓以铝粉作发气剂的多孔材料的最佳搭配。

水泥稠化较石灰慢硬化较石灰快,有利于发气及坯体硬化,兼有保证强度,保证浇注稳定,促进坯体硬化三方面的作用。石灰可提高料浆的碱度有利于发气,又能和粉煤灰中的活性物质反应生成强度较高的水硬性产物,同时其水化热还能将料浆保持一定的温度,有利于料浆发气和水化反应的继续。粉煤灰是极好的活性材料,既可作填料填充,又可与水泥和生石灰的水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 发生反应生成提高强度的成份。

试验过程中发现:温度过低发气速度慢,甚至发不起来,温度过高又会引起气孔破裂,甚至引起坯体破坏,水料比的大小,对正常发气的影响也很大,水料比过小发气困难,水料比过大,发气过快,只有适当的水料比,才能使发气速度与稠化速度相适应,碱度增加,发气效果好,故试验中掺入少量的碱度调节剂。掺量过多会影响多孔材料的其他性质。经过反复试配调整,将料浆温度控制在 $35 \sim 40^\circ\text{C}$,水料比 $0.6 \sim 0.7$,少量掺入碱度调节剂,可解决发气速度与稠化速度的矛盾,使其在不定期条件下达到统一,获得比较理想的试样。

4.2.2 性能测试

通过试验,选择较好的几组配方,制成 $7.07\text{cm} \times 7.07\text{cm} \times 7.07\text{cm}$ 的立方体试件,自然养护 28d,烘干。先测其密度,然后在压力机上以 0.5MPa/s 的速度加荷,测其抗压强度,结果见表 3。

表 3 粉煤灰水泥多孔材料的性能指标

Table 3 Performances of the fly ash porous cement materials

项 目	a	b	c	d	e
制品密度/ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	775	740	724	684	560
抗压强度/MPa	4	3.48	2.92	1.95	0.61

将试样放入电炉中,加热至 800°C 保温 2h,除表面有少量裂纹外,整体性能很好,说明耐热性较好。由于原材料与同类加气砼基本相同,可以推断,粉煤灰水泥多孔材料的导热性与同密度的加气砼相当。

5 结论与展望

在建筑桩基工程中,掺加 35% 以下的粉煤灰,磷石膏掺量为 2% ~ 6%,可以减少水泥用量,明显降低混凝土成本,既节约能源又避免环境污染,又能改善混凝土的性能,具有良好的经济效益和社会效益。

粉煤灰水泥多孔材料密度小 ,强度高保温及耐热性能较好 ,是一种很有发展前途的节能利废型多孔材料。通过调整配比及发气剂 掺量 ,可以用来生产保温制品 ,填充砌块或轻质墙板。轻质、高强 ,节能、利废是建筑材料发展的大趋势 ,符合我

国有关墙体改革政策 ,应用发展潜力很大。另外若采用常压蒸气养护 ,强度还可获得提高。水泥掺量应加以控制 ,否则增加成本且增加多孔材料的密度。

The Application Research of Industrial Waste Containing Fly Ash in the Architectural Engineering

HU Yong - xiang¹ , LI Fei²

(1. Jiangsu Jianxin Construction Engineering Co. , Ltd , Jiangsu Yancheng 224001 , China

2. Department of Construction Engineering , Yancheng Institute of Technology , Jiangsu Yancheng 224001 , China)

Abstract :The fly ash porous cement material is made with the raw material of fly ash , lime and silicate cement after mixing , blending , aerating and curing in the normal temperature. This kind of porous material is low in density (between 500 – 800 kg/m³) , with high strength (in the range of 0.6 – 4.0 MPa) , good heat preservation and better enduring heat. It can be used in the manufacture of heat preservation ware , filling walls , concrete block and lightweight wallboard. The cost is low because there is 50% fly ash in the mixture. In the pile foundation of architecture , adding less than 35% fly ash and 2% – 6% phosphogypsum can reduce the dosage of cement and decrease the cost of concrete in evidence. It can both save energy and avoid environment pollution and improve the performance of concrete. Thus the economy benefit and social benefit are good.

Keywords :fly ash ; phosphogypsum ; porous material ; pile foundation.