

微硅粉综合利用分析

青海蓝天环保科技有限公司 冯智祥

一、微硅粉简介

微硅粉又称二氧化硅微粉或硅灰，是生产硅铁或工业硅时矿热炉产生大量挥发性很强的 SiO_2 气体与空气迅速氧化并冷凝而成的烟尘，经环保设施回收回来的一种微粉产品。它的特点是，颗粒极其细微、比表面积大、活性好。生产一吨硅铁可产生50~300 kg的硅粉，颜色为白色。生产一吨工业硅可产生300~600 kg的硅粉，颜色为黑色。之所以有颜色的差别，主要是因生产硅铁和工业硅时因还原剂品种不同而有差异。

由于回收的微硅粉密度小($120\text{kg}/\text{m}^3$)，给包装和运输带来了困难。在不改变微硅粉的化学性质和使用性能的前提下，对微硅粉进行加密处理，其密度可以达到 $300\sim 700\text{kg}/\text{m}^3$ 。

微硅粉中主要成份是 SiO_2 ，同时夹带有少量的C、 Fe_2O_3 、 K_2O 、 CaO 、 Na_2O 等杂质。因其本身固有的特征，平均粒径 $0.23\mu\text{m}$ ，比表面积 $20\text{m}^2/\text{g}$ ， $45\mu\text{m}$ 筛余量小于3%，近几年来国内许多行业得到了广泛应用。在混凝土中掺入微硅粉可使混凝土的密实性、抗渗性、耐腐蚀性、抗冻性等性能都有很大提高。一般来讲，在混凝土行业，其加入量为水泥用量的5~10%；在耐火材料中掺入微硅粉，可使其使用寿命提高3~5倍，其加入量为5%左右。随着科学技术的不断发展进步，二氧化硅微粉在越来越多的行业中将会得到更为广泛的应用。

二、微硅粉的特性

微硅粉是一种灰白色或黑色超细粉末，一般情况下，硅铁矿热炉生产的微硅粉要白于工业硅矿热炉生产的微硅粉。同品种矿热炉功率越大、炉温越高生产的微硅粉质量越好、颜色越白，同品种同功率矿热炉用电等级、操作工艺不同微硅粉质量、颜色也不一样。微硅粉与水拌合后呈浅灰到深灰，泥浆状时为黑色。

微硅粉的主要性能，其密度、细度、及火山灰活性指标。

1. 密度

微硅粉的相对密度为 $120\text{kg}/\text{m}^3$ ，堆积密度约为 $200\text{kg}/\text{m}^3$ ，是非常松散的细粉末，因而给运输带来很大困难。为此多采用增密法制成增密微粒，由于增密方法不同，增密后的微硅粉分为全增密微硅粉和半增密微硅粉。全增密微硅粉是在不加任何添加剂的情况下将微硅粉团化成球形颗粒，堆积密度达到 $500\sim 600\text{kg}/\text{m}^3$ ，半增密微硅粉是在不加任何添加剂的情况下增加微硅粉的密实度，堆积密度达到 $200\sim 300\text{kg}/\text{m}^3$ 。目前国内耐火材料、陶瓷、橡胶、塑料等行业要求用不增密和半增密微硅粉，建材、水利工程等行业可以用增密微硅粉。

2. 细度

微硅粉颗粒极细，其粒径多数小于 $0.5\mu\text{m}$ ，最细的仅有 $0.01\mu\text{m}$ ，其比表面积为 $13\sim 30\text{m}^2/\text{g}$ ，是

水泥比表面积 ($0.3\text{m}^2/\text{g}$) 的50~100倍。

表1 微硅粉比表面积及粒径分布

编号	比表面积 (m^2/g)	45 μm 筛余 量(%)	粒径 (μm) 分布 (%)			
			0 ~ 0.3	0.3 ~ 1.0	1.0 ~ 15	15 ~ 45
四川	19.8	0.77	6	30	34	30
内蒙	23.1	0.72	55	15	27	3
银川	16.8	1.62	8	37	40	15

表2 金属硅微硅粉比表面积及粒径分布

编号	比表面积 m^2/g	45 μm 筛余 量 (%)	粒径 (μm) 分布 (%)				
			0 ~ 0.3	0.3 ~ 0.5	0.5 ~ 0.7	0.7 ~ 1.0	1.0 ~ 5.0
9819	22.54	0.93	65.8	23.6	4.4	3.7	2.5

注：洛阳耐火材料研究院粒度测试分析报告

3. 火山灰活性

微硅粉的火山灰活性指标高达110%，需水量比约为111%，均高于美国材料实验协会标准 (C618) 中规定的火山灰掺合料极限指标 (见表3)

三、微硅粉的理化指标

目前国内将微硅粉按 SiO_2 含量高低分为96、94、92、90、88、85六种类型，见表4。

表4 微硅粉的理化指标

注：此表主要适用于耐火材料行业物理指标：

- ①平均粒径 $0.21\sim 0.26\mu\text{m}$;
- ②需水量比小于120%;
- ③28d火性指数大于90%。

3.密度：200~700 kg/m^3 ，供货时，单独约定。

4.包装：25~600 $\text{kg}/$ 袋之间由用户选择，塑料编织袋或由用户指定包装袋。

我公司生产的二氧化硅微粉在耐火材料行业中得到了大量的应用，在混凝土行业也被广泛应用，如青海龙羊峡水电站、李家峡水电站、公伯峡水电站、拉西瓦水电站、青海特大昆仑桥、宁夏吴忠黄河大桥、上海东海大桥、青岛黄岛码头及青藏铁路等工程都大量使用了我公司生产的加密微硅粉。

四、微硅粉在混凝土中的应用

1. 掺用方法及适宜掺量

微硅粉掺入混凝土可取代部分水泥，也可不取代水泥。多数情况下微硅粉是为了配制高强混凝土而掺入的，此时为减少用水量的增加，必须同时掺入高效减水剂。因此，从经济效益出发，微硅粉掺量不宜超过10%，一般应控制在5~10%，过大的掺量将导致高效减水剂用量的增大，提高混凝土的成本。微硅粉的有效取代系数可达3~4，即1 Kg 微硅粉可取代3~4 Kg 水泥。到目前为止国内外均无可遵循的微硅粉使用标准，因而其最佳掺量及取代水泥率，应依所要达到的目的，通过试验确定。

2. 对混凝土性能的影响

(1)能防止混凝土拌合物的离析，提高其可泵性

由于微硅粉为极细的球形颗粒，因而掺入混凝土后能明显增加拌合物的粘稠度，防止其离析，改善其可泵性。但如前所述，在掺入微硅粉的同时必须掺入高效减水剂，才能保证混凝土拌合物具有所需的和易性，否则将导致用水量的增大，影响混凝土的物理性能。

(2)提高混凝土的抗压强度

在混凝土中掺入5~10%的微硅粉可明显提高混凝土的抗压强度，尤其是同时掺入高效减水剂时，强度提高更多。因此，常用微硅粉配制抗压强度高于100 Mpa 的高强混凝土。挪威、加拿大、美国都在这方面取得了较成熟的经验，见表5。

表3 微硅粉及其他掺合料极限指标

火山灰活性指标	硅灰	美国材料实验协会标准		
		火山灰	粉煤灰	
			F级	C级
与硅酸盐水泥拌合的活性28d强度与原始拌合物(%)	110	≥75	≥75	≥75
需水量为原始拌合物(%)	134	≤115	≤105	≤105
与石灰拌合的活性7d强度(Mpa)	9.0	≥5.5	≥5.5	≥5.5

表4 微硅粉的理化指标

项目		指标					
		1	2	3	4	5	6
化学成分 (%)	SiO ₂ 不小于	96.0	94.0	92.0	90.0	88.0	85.0
	不大于	1.0	1.0	1.0	1.5	-----	-----
	不大于	1.0	1.0	1.5	2.0	-----	-----
	不大于	1.0	1.0	2.0	2.5	-----	-----
	不大于	1.0	1.0	1.5	1.5	-----	-----
	不大于	1.0	1.5	2.5	3.0	3.5	4.0
	不大于	1.0	1.5	3.0	4.0	4.5	5.0
物理指标	45μm 筛余(%) 不大于	3.0	3.5	4.0	5.0	8.0	8.0
	比表面积 m ² /g 不小于	20.0	20.0	18.0	18.0	15.0	15.0
	PH 不大于	6.5	7.0	7.5	7.5	8.5	8.5

(3)提高混凝土的密实性、抗渗性、抗冻性、及耐久性

掺微硅粉能使水泥浆体中的毛细孔小，在28d龄期时，直径大于0.1μm的大孔体积接近于零，而不掺微硅粉的硅酸盐水泥浆体的大孔体积相应为0.225m³/g。因此掺微硅粉的混凝土的密实性高，抗渗标号可达S₂0以上，抗冻性也大为提高。试验证明单位水泥用量的混凝土，掺入10%的微硅粉和1%的高效减水剂后，其耐久性系

数，比同样水泥用量未掺微硅粉的混凝土高十几倍。

(4) 碱—集料反应

微硅粉可以抑制碱—集料反应，防止因碱—集料反应引起的混凝土裂缝。因为微硅粉具有极高的火山灰活性，可与混凝土中的游离Ca(OH)₂及其他碱性物质发生反应。

五、微硅粉在水利水电工程上的应用

表5 掺微硅粉混凝土的抗压强度

微硅粉掺量水泥质量(%)	减水剂用量水泥质量(%)	水泥用量 (kg/m ²)	水/胶	坍落度 (cm)	抗压强度 (Mpa)		
					1d	7d	28d
0	0	470	0.42	4.7	18.7	43.3	51.8
5	1.5	455	0.33	4.7	43.6	71.6	82.1
10	2.0	464	0.30	4.0	47.2	78.7	98.4

1. 微硅粉混凝土用在水利水电工程上可以提高工程的抗磨蚀能力

国内外传统的抗磨蚀材料多用环氧砂浆等高分子材料。这类材料抗磨蚀能力虽好,但由于它本身线膨胀系数数倍于基底普通混凝土,又与基底混凝土温度适应不好,在自然气候条件下容易开裂脱落,且施工复杂,有毒性,成本昂贵,不能大面积推广应用。据资料统计,我国已建的32座大型水电站中,有22座遭受磨蚀破坏,尤其是黄河干流上几座水电站和西南地区的水利水电工程,因泥沙和推移质含量大、流速高、磨蚀问题更为突出,已危机工程安全。

微硅粉作为抗磨材料的研究,在我国开始于1985年~1986年起,南京水科院在兄弟单位的协作下,将其成果用在葛洲坝、大火房水库、映秀湾水电站、龙羊峡水电站等修补和护面工程中实地推广应用。经过几个汛期的过水考验,效果很好。其抗冲磨能力提高一倍左右,抗48m/s流速级的抗磨蚀能力提高3倍以上。小浪底水电建设工程中微硅粉也大显身手。

2. 微硅粉混凝土用在水利工程上可以提高工程的抗裂性能

水工混凝土裂缝,已成为人们普遍关注的大问题。裂缝的原因是材料本身水化热升温。如在混凝土中掺入粉煤灰,虽可以降低水化热升温,但早期强度比较低,使粉煤灰掺量受到限制。在十五届国际大坝会议上,挪威介绍了在

Forrevass坝掺用微硅粉而产生良好效果的情况,引起了与会者的重视,会后,南京水科院承担了“七五”攻关课题中用微硅粉改性以提高混凝土抗裂性的研究任务。1987年经在福建范屠水电站水轮机蜗壳试验证明,掺入适量微硅粉与不掺的对比中,节约水泥38%,降低水化热30%,现场强度保证率达98%以上,单方材料费未增加,比原设计用钢纤维混凝土节约材料费14万元。

3. 微硅粉混凝土可以提高抗渗透性能、抗盐蚀性能、保护钢筋

据调查资料表明,水下工程,由于氯离子混入混凝土中,引起钢筋快速锈蚀,混凝土脱层,寿命短,破坏性严重。挪威在1971年将微硅粉用在混凝土中,一方面填充在水泥颗粒的周围,使浆体更为致密;另一方面,它与水泥水化生成的氢氧化钙结合生成水化硅酸钙凝胶(又称CSH凝胶),这些凝胶堵塞在毛细管中,使毛细孔变小而且不连续,大大提高了混凝土的密实性,有效地提高了抗氯离子渗入引起电化学破坏的能力,大大增强其抗锈蚀性能。南京水科院经3年研究,在江苏连云港木材码头上进行试用,每方混凝土节约水泥80~110kg,而且施工方便,使用年限延长1.2倍。

水下混凝土浇注一般采用导管法,由于水中水泥浆的散失,它存在与基层粘结不好,与水接触部分强度降低等问题。在水下混凝土中掺入微

硅粉后，能得到明显的改善。

六、微硅粉用在耐火材料行业

低水泥浇注料是七十年代发展起来的一种新型高性能的耐火浇注料，首先由法国研制成功。它广泛用于各种工业高温炉窑，有很好的技术经济效益。1983年美国匹兹堡市通用耐火材料公司将低水泥浇注料用于高炉主出铁沟盖内衬，使用寿命是原普通浇注料的三倍，由75~100炉提高到300~400炉。

冶金部建筑研究总院自1985年开始进行低水泥浇注料研究，1988年通过部级鉴定。它已在宝钢、首钢热工设备上使用，有的已由国产材料代替了日本进口材料。洛阳耐火材料研究院在耐火浇注料研制开发方面也取得了很大进展，极大地推广了微硅粉在耐火材料行业中的应用。

低水泥浇注料和普通浇注料都使用铝酸钙水泥。但前者配入微硅粉和高效减水剂后，其水泥用量仅4~8%、加水量仅5~8%，比后者水泥用量15~20%、加水量10~15%有大幅度减少。低水泥浇注料不仅能节约昂贵的铝酸钙水泥50~70%，而且性能还得到提高。

根据资料报导，低水泥浇注料在国内外应用甚为广泛，已应用在焦炉、烧结、炼铁、炼钢、轧钢、有色冶金、石油和化工、水泥、玻璃、陶瓷及发电等工业中。

七、其它用途

1. 生产水玻璃

用微硅粉可在简化工艺的情况下，生产出模数大于4的水玻璃。模数在4以上的水玻璃为中性的，可广泛用于高温喷涂、铸钢等方面。

用作有机化合物的填充料

微硅粉含有与白炭黑相近的 SiO_2 含量，二者并有相近似的其它物理性能，因而微硅粉可以用作橡胶、树脂和其它有机化合物的填充料。

2、作硅酸盐砖的原料

苏联利用微硅粉提高硅酸盐砖的质量，在哈里科夫试制了配入5%微硅粉的硅酸盐砖。按砖的强度、抗冻性和吸水指标可制得相当于M200号的砖。如将微硅粉配入量增至7%时，砖的标号可增至M250~M300。

3、用于农肥和改良土壤

微硅粉与氢氧化钾或碳酸钾混合加热可制成缓效农肥硅酸钾，它不易挥发流失，能保护土壤，促进作物根部发育，抑制病虫害。

