

⑧ 22-25

混凝土、外加剂、硅灰

□许贤敏
●建筑知识

TU328.042

硅灰

混凝土外加剂

的新家族

硅灰是在制造硅金属和硅铁合金的电弧炉中，用木炭还原高纯度石英时所得的副产品。它是一种崭新的火山灰材料，近年来已在世界各国受到人们的极大关注。

在斯堪的纳维亚国家，特别是在冰岛、挪威和瑞典，对硅灰在混凝土中的性能进行了研究。在北美洲，关于使用硅灰的某些资料也已有所报道。

硅灰中含有大量的二氧化硅，是由很细的球状颗粒所组成。硅灰是从电弧炉中逸出的气体中收集起来的，也有作为生产其它硅合金的副产品收集的，例如铁铬合金、铁锰合金、铁镁合金和钙硅合金。除了铁铬合金的硅灰性能与硅铁合金的硅灰大致相同以外，可供利用的其它资料为数甚少。

额定硅的含量为 50%、75% 和 90% 的，叫做硅铁合金。当硅的含量达到

98% 时，此产品就叫做硅金属而不叫硅铁合金了。随着合金中硅含量的提高，硅灰中 SiO_2 的含量也提高了。等级为 75% 以上的硅灰，在国外就出售用于混凝土生产中了。

世界上硅灰年产量的准确数据尚不得而知。硅灰可供利用的程度，取决于各国的钢铁工业对硅铁合金的使用。所以说，硅灰将来的可供利用性，将取决于经济和钢铁工业的发展趋势。

一、物理性能

硅灰的颜色从浅灰到深灰不等。典型的硅灰密度为 2.2 克/厘米³。而普通硅酸盐水泥的密度为 3.1 克/厘米³。可是，在某些情况下，硅灰的密度可高达 2.5 克/厘米³。硅灰密度的较小值与硅酸盐水泥相比较，其含意是当根据质量进行取代时，掺入硅灰的体积比取代的水泥要大。因此，素浆的体积增大了，实际上降低了水胶结料比（以体积计）。这就说明了，为什么用同等质量的硅灰取代水泥，会改变硅灰混凝土的流变特征。

硅灰的容重为 250~300 千克/米³，这是指未经压实的单位质量，而普通硅酸盐水泥的容重为 1200 千克/米³。这就是说，能容纳一定质量硅酸盐水泥的贮罐，只能存放 25% 左右的散装硅灰。

硅灰是由极细的玻璃状颗粒所组成的，用氮吸收技术测定的表面积为 20000 米²/千克左右。用下列与其它细粒材料的比较，就能最好地说明硅灰的极细度：

1. 硅灰的比表面积 $a = 20000$ 米²/千克。
2. 粉煤灰 $a = 400 \sim 700$ 米²/千克。
3. 磨细的高炉矿渣 $a = 350 \sim 600$ 米²/千克。

●建筑知识

4. 普通硅酸盐水泥 $a=300\sim400$ 米²/千克。

粉煤灰、磨细的高炉矿渣和普通硅酸盐水泥的表面积是用白莱因比面法测定的。典型的硅灰之粒径分布表明,大多数颗粒小于1微米;平均粒径为0.1微米,比水泥的平均粒径小100倍。

二、化学组分

挪威和北美洲的炼硅炉中生产的硅灰,其二氧化硅的含量大于90%,大多是无定形的。硅灰的化学组分是根据所生产的是一种合金还是硅金属而变化的。例如硅铁合金炉中的硅灰同生产硅金属的炉子中收集的硅灰相比,前者的氧化铁和氧化镁的含量一般都较多。

在硅酸盐水泥素浆中掺入硅灰,由于为氢氧化钙提供了核晶场,并同碱金属和钙离子起反应而促进了水化反应。由硅灰的反应生成的硅酸钙水化物,同硅酸盐水泥中硅酸钙素浆的水化作用形成的产物略有不同。这种水化物的密度略低于硅酸盐水泥水化时通常生成的水化物,尽管新的水化物的密度较低,但其可渗性却是很小的。

硅灰由于颗粒是极细的,而且,二氧化硅的含量很高,所以是一种高效的火山灰材料。在水泥的水化期间,硅灰以火山灰的方式同石灰起反应,产生了稳定的胶结化合物——硅酸钙水化物(CSH)。

三、硅灰用途

一般的用法是把部分水泥被数量少得多的硅灰来取代,而其强度不受损失。例如1千克硅灰可取代3~4千克水泥。由于硅灰的掺入,需水量就会增加。如果需保持同样的水胶结料比(以质量计),必须采用减水剂或高效减水剂(即超塑化剂),以便保持需要的坍落度而不改变其水胶结料比。一般的水泥取代量为5%~10%。

硅灰已被成功地用于生产强度很高(大于70兆帕)、渗透性很低和抗化学腐蚀性很强的混凝土。这种混凝土中硅灰的含量可高达25%(以水泥的质量计)。由于硅灰引起的坍落度损失,是用高效减水剂来补偿的。

实验室和现场的经验业已表明,为使硅灰能在混凝土中达到充分的分散性,增加拌合时间是必要的。增加拌合时间的准确数量取决于所用硅灰的百分率和拌合条件。高效减水剂的使用在这方面有很大帮助。

掺硅灰的砂浆和混凝土的需水量,是随硅灰数量的增多而增大的。例如水泥的取代量为30%时,水灰比为0.64的混凝土的需水量几乎要增加30%。为使硅灰在混凝土中能产生最大的强度作用,必须总是和减水剂一起使用的,最好是用高效减水剂。其用量取决于硅灰取代的百分率,和所用高效减水剂的种类。

四、硅灰混凝土性能

掺硅灰的新拌混凝土和硬化混凝土,其灰色比普通混凝土更深。硅灰掺入百分率较高的混凝土尤其如此,因其含碳百分率较高的缘故。

硅灰由于其表面积很大,以及有硅灰时碱的影响,为在混凝土中产生需要的空气体积,引气剂的用量就随硅灰含量的增大而应有明显的增加。

●建筑知识



掺硅灰的新拌混凝土显得比较粘稠,而且,更不容易离析。硅灰的掺入量大于10% (以质量计) 的混凝土变得相当干硬;为在一定的长度内保持同样的稠度,必须把混凝土的初始坍落度提高50毫米左右。

掺硅灰的混凝土由于其流变性能的变化,其泌水量减少了,这种变化主要是由于硅灰同水具有较高的亲和力,从而使拌合物中的游离水极少,泌水量也就减少了。当硅灰混凝土表面水的蒸发率大于表面泌水的速率时,一般都会发生塑性收缩裂缝。所以,由于硅灰混凝土中泌水量的减少,必须对新浇混凝土采取防止早期水分损失的措施,以避免

混凝土的塑性收缩裂缝。

硅灰对混凝土强度发展的主要作用,在正常的养护温度下发生在3~28天期间。无论硅灰是直接取代的还是用作外加剂的,硅灰混凝土一天的抗压强度通常都等于或高于普通混凝土的强度。可是硅灰混凝土28天的抗压强度总是较高的,在某些情况下甚至高出很多。

硅灰混凝土的劈裂抗拉和抗弯强度发展的形式与抗压强度相类似。硅灰混凝土的强度增长情况,同含有粉煤灰或矿渣的混凝土十分相似。其重要的例外情况是,硅灰显然是一种比粉煤灰更加有效的火山灰,而早期的火山灰反应比粉煤灰混凝土更加明显。掺硅灰的砂浆和混凝土的可渗性是较小的,这是由于水泥硅灰浆体系中大孔隙的数量较少,尽管其总的孔隙率几乎与纯水泥浆是一样的。硅灰混凝土的其它力学性能的提高,也可归因于硬化浆体的显微结构和孔隙率性质的这种变化。

无论水胶结料比的情况怎样,28天湿养护后的硅灰混凝土的干燥率,一般与未掺硅灰的普通混凝土不相上下。

掺有20%硅灰的引气混凝土,其性能是令人满意的。可是在某些情况下,用水胶结料比为0.40、掺入20%和40%硅灰的引气混凝土浇筑的棱柱体试件,其性能却较差。这种混凝土的耐久性不良的原因,可能是由于硅灰的含量较高,造成了一种非常稠密的水泥砂浆体系,从而对水的运动产生了不良影响的缘故。可是业已有人证明,水胶结料比小于0.30的、引气的硅灰混凝土,其反复冻融循环下的耐久性是令人满意的。

另据国外资料报道:用硅灰取代30%水泥所得的混凝土,其抗硫酸盐性能是最好的。

五、硅灰作用

由于硅灰的效率很高,可用来节省水泥的用量,特别是在高水灰比的混凝土中。在加拿大魁北克省的几家预拌混凝土生产厂家,已经为此目的而采用硅灰了。

含有高效减水剂的硅灰,已被用于生产非常高强的混凝土了。抗压强度的数量级

● 建筑知识

为 100 兆帕,甚至更高强度的混凝土也有所报道。

在某些专利的配方中,已经生产出了水胶比小于 0.25 的混凝土。这种混凝土中含有大量的硅灰和剂量很大的高效减水剂,所得的混凝土具有非常低的可渗性,其抗压强度达到 150 兆帕左右。

密实填充是这种混凝土优越性的基础。极细的硅灰颗粒填充在密实的水泥颗粒与一般充填的粗、细骨料之间。这种混凝土可用于桥面施工和修补领域,以及很低的渗透性是主要条件的地方。

同粉煤灰和天然火山灰一样,硅灰也可用来防止由于混凝土中的碱硅反应而引起的有害膨胀。其附加的优点是同其它的火山灰材料相比,硅灰只需要较少的用量。

近年来,许多国家的混凝土桥面和停车库结构都由于化学防冻剂的影响而龟裂和损坏。由于硅灰混凝土的可渗性较低,所以在减少氯离子的渗透率方面是有好处的。对于其它侵蚀性化学物品的侵蚀,也有较好的抗蚀性。

国外资料还报道:采用硅灰可提高粉煤灰混凝土和矿渣混凝土的早期强度。

六、硅灰细度

硅灰的细度是极大的,而且松散时的密度又很低,这就造成了装卸问题。适当地设计装料、运输、贮存和分批投料系统是可以解决的。在挪威、美国、加拿大已经发展了材料的装卸方法,以 3 种方式进行使用:(1)以硅灰未经压实的原始方式;(2)制粒、压实或增密的方式;(3)兑水和稀浆方式。所有这些产品的方式都有其积极的和消极的方面,从而影响着技术性能、材料的装卸方法、使用效率和产品的杂质比率。

硅灰由于粒径较小,而且是非晶体结构,所以吸入无定形硅灰对健康的危害是很少的。挪威硅铁合金制造厂的经验表明,暴露在这种无定形硅石中的工人,得硅肺病的危险性是很微小的。可是对于装卸硅灰的工人,推荐采用保护装置和安全系统,以便把产生粉尘的可能性减少到最低限度。

国外的研究表明,在水泥用量较多和掺有 20%~30% 硅灰的混凝土中,要加入 5%~7% 的含气量是有某些困难的。在硅灰的掺入量较少时,这种问题是不存在的,可是同不掺硅灰的普通混凝土相比较,要加入一定百分率的含气量所需要的加气剂用量必须有明显的提高。

实验室和现场的经验都表明,掺有硅灰的混凝土在发展塑性收缩裂缝方面有一种增加的趋势。因为泌水现象实际上已经消失了,所以混凝土表面没有多余的水来减缓由于高温、低湿和最重要的大风等一种或几种因素造成表面的迅速干燥。因此,新浇的硅灰混凝土的表面必须覆盖,以防止水分的迅速蒸发。

由于材料的细度和硅灰产品方式的变化,所以质量控制对于把产品的误差减少到最低限度是极其重要的。

硅灰的细度和二氧化硅 (SiO_2) 的含量,必须在每天至每周的基础上用试样进行检验,取决于制造厂家的控制和粉末的收集系统。用于混凝土的某些硅灰,可能由于共用一个集尘设备而被在不同炉中制造的其它材料之烟灰所污染。这种污染可造成硅石含量的降低,含碳量较高,以及铬、镁和锰的大量存在。对于硅灰中所含的二氧化硅和碳的最大和最小的合格值,目前世界各国尚无数据可供利用。