

机制砂+硅灰混凝土配合比 在钢筋混凝土顶管中的应用研究

倪登宇

宁夏青龙管业集团股份有限公司

摘要:为缓解建筑市场天然砂短缺,水泥价格居高不下,致使混凝土成本大幅上涨现象,在生产钢筋混凝土顶管的混凝土配合比中掺加机制砂,硅灰等新材料,经过大量的实验验证,研发出一种用于生产钢筋混凝土顶管的混凝土配合比,机制砂+硅灰混凝土配合比的成功研发大大降低了混凝土生产成本,提高了生产钢筋混凝土顶管混凝土的工作性能,真正做到了进降本增效的目的。

关键词:钢筋混凝土顶管;混凝土;机制砂;硅灰;降本增效

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.19.025

引言:钢筋混凝土顶管是指在排水管道管壁安装了单层或双层钢筋网的钢筋混凝土排水管,是市政工程常用的一种管材,其成型方式为采用干硬性混凝土芯模振动方式成型。传统的干硬性混凝土配合比中细骨料为天然砂,天然砂细度模数较小,其价格比机制砂价格高。为降低混凝土生产成本,在生产钢筋混凝土顶管的干硬性混凝土中用机制砂代替天然砂,根据机制砂细度模数大,含有石粉的性能特点,可替代部分胶凝材料,这样能有效降低混凝土生产成本。

硅灰是工业硅及硅铁在高温熔炼的过程中,在烟筒中随着废气逸出的粉尘,其主要成分是活性二氧化硅,二氧化硅含量约占90%,其中所含游离态二氧化硅约占10%。硅灰颗粒非常小,是水泥粒径的百分之几,比表面积大、活性二氧化硅纯度高,具有强火山灰活性等物理化学性能特点。把硅粉作为活性掺合料加入混凝土中,在电子显微镜下观察,掺加硅灰混凝土的水泥石空隙中有晶体产生,均匀地填充了混凝土微小孔隙,微集料填充效果明显。产生的晶体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,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。密实性的提高和二氧化硅含量增加,有效地阻止了酸离子的侵入和腐蚀作用,有效的提高了抗氯离子和硫酸根离子的渗透能力,大大增强了混凝土的抗锈蚀性能。

一、研究背景

传统生产钢筋混凝土顶管的混凝土配合应用的是天

然砂,天然砂是制备混凝土重要的原材料之一,占到原材料重量的三分之一。随着建筑行业的迅速发展,建筑施工企业对砂子的需求日益增加。但天然砂作为地方资源,短时间内不能再生。随着天然砂资源的不断开采,开采难度越来越大,质量越来越差,在我国多个地方出现天然砂短缺,甚至已开采不出天然砂的情况。同时,天然砂的价格越来越高,严重影响了工程建设的发展,尤其影响了以天然砂为主要原材料的钢筋混凝土顶管行业的发展。随着“砂荒”蔓延,全国各地乃至国家层面纷纷为填补建筑用砂缺口寻找出路,各地政府牵头、高位推动机制砂的发展,矫正市场部分违规行为。同时,在建筑市场上硅灰与水泥同价。而由于硅灰的特性,在混凝土中掺加硅灰可超量替代水泥,同时可提高混凝土各项工作性能,更为重要的是在混凝土中掺加硅灰能大大降低混凝土的生产成本。发展机制砂,推广硅灰在混凝土中的应用已渐呈燎原之势。

二、机制砂+硅灰混凝土配合比设计及实验验证

(一)混凝土原材料技术性能指标

1、水泥:生产单位为陕西声威建材集团有限公司,采用普通硅酸盐水泥,强度等级42.5。测得标准稠度用水量27.0%,初凝时间205分钟,终凝时间285分钟,雷氏法测得安定性合格。水泥砂浆强度试验,测得三天抗折强度6.1MPa,抗压强度34.1MPa;测得28天抗折强度8.0MPa,抗压强度48.9MPa;表观密度为3.0kg/cm³。以上性能指标全部符合国家强制性标准GB175-2017的技术要求。

2、粉煤灰:生产单位为华能铜川电厂粉煤灰综合利用有限公司,采用二级粉煤灰。测得其需水量比为97%,用45微米方孔筛得细度为10.5%,烧失量为2.53%,含水量为1.6%,测得表观密度为2.308kg/cm³。以上性能指标均符合国家推荐性标准GB/T1596-2005的技术要求。

3、细骨料:产地为陕西省泾阳县,由石子破碎而成,测得细度模数为2.78,石粉含量为5%,亚甲蓝值为0.3,泥块含量为0%,机制砂压碎指标为21%,属于二区中砂。测得表观密度为2.703kg/cm³。以上技术指标符合国家推荐标准GB/T 14684-2022的技术要求。

4、粗骨料:产地为陕西省泾阳县,由规格为5-10和10-20两种级配碎石按质量比,三比七的比例配合而

成，组成规格为5-20连续粒级石子。测得压碎指标值为7.8%，针、片状含量为4.9%，含泥量为0.6%，不含泥块，测得表观密度为2.778kg/cm³。以上技术指标符合国家推荐标准GB/T 14685-2022的技术要求。

5、硅灰：供货单位为宁夏奕阳有限公司，为优质硅灰，试验测得其烧失量为3.61%，七天活性强度指数为112%，需水量比为115%，含水率为0.6%，二氧化硅含量为93%。测得表观密度为2.710kg/cm³。以上技术性能指标符合国家推荐标准GB/T 21236-2007的技术要求。

6、水：水为生活用水，其氯离子含量、硫酸根离子含量、碱含量均符合混凝土用水标准JGJ 63-2006的技术要求。

(二) C50机制砂+硅灰混凝土配合比设计方案

钢筋混凝土顶管用机制砂+硅灰混凝土配合比设计应根据管道结构、制管工艺、配筋情况等条件进行，应满足混凝土拌合物工作性能、物理力学性能和耐久性要求。依据标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55规定，当混凝土强度等级为C50，标准差取5，混凝土的设计强度为： $50+1.645*5=58.225\text{MPa}$ 。最大水胶比、最小胶凝材料用量及单位用水量仍基于普通混凝土配合比设计规程选取最大水胶比和最小胶凝材料用量。在水灰比相同的条件下，机制砂混凝土维勃稠度要小于天然砂混凝土，这主要是机制砂本身具有裂隙、空隙及孔洞，有一部分颗粒为矿物颗粒集合体，这样就增大了砂子的比表面积，吸附了更多的水，导致混凝土的需水量增加，维勃稠度减小，同时，硅灰需水量大于水泥需水量。相同条件下，配置相同维勃稠度的干硬性混凝土，机制砂加硅灰混凝土比天然砂混凝土应适当增加单位用水量。干硬性混凝土维勃稠度为35-40s时，混凝土用水量为

150千克每立方米，水胶比为0.33，砂率在考虑机制砂细度模数的同时，其所含石粉会是实际砂率降低，所以机制砂的砂率应比天然砂率高，但在保证混凝土和易性良好的前提下，应尽量选取较小砂率以保证混凝土力学性能和耐久性。根据长期的生产经验确定芯模振动干硬性混凝土的砂率取40%较为合适。计算求得每方混凝土中胶凝材料用量为455千克。由于机制砂是用碎石破碎而成，其表观密度大，而天然砂的主要成分为SiO₂，表观密度小，所以在假定机制砂混凝土的容重时应考虑到这一点，适当提高其假定量，设定混凝土容重为每方2450千克，则砂石重量为每方1845千克。根据砂率求得每方混凝土含机制砂738千克，含石子1107千克。初步计算混凝土配合比如下：

胶凝材料：机制砂：碎石：水=455：738：1182：150

因以上配合比中所用石子为粒径为5-10mm和粒径10-20mm的石子按质量比，3比7组成，故每方混凝土中含粒径5-10mm的石子即小石子为355千克，粒径10-20mm的石子即大石子为827千克。矿物掺合料粉煤灰掺量25%，硅灰掺量5%，符合标准《普通混凝土配合比设计规程》JGJ55规定中推荐的混凝土掺合料推荐掺量。则求得每方混凝土中粉煤灰掺量114千克，硅灰掺量23千克，每方混凝土中水泥含量为318千克。由于机制砂中石粉含量为百分之五，即每方混凝土中有37千克石粉，可作为胶凝材料参与水化反应，并填充混凝土的空隙，使混凝土更加密实。因此，每方混凝土中最终水泥含量为281千克，机制砂含量为775千克。最终混凝土设计配合比为：水泥：粉煤灰：硅灰：机制砂：大碎石：小碎石：水=281：114：23：775：827：355：150，如表一

表一

水泥 (kg)	粉煤灰 (kg)	硅灰 (kg)	机制砂 (kg)	大碎石 (kg)	小碎石 (kg)	水 (kg)	砂率 (kg)	水胶比	容重 (kg/m ³)
281	114	23	775	827	355	150	40	0.33	2450

±1%，硅灰±1%，机制砂±2%，碎石±2%；水±1%。如表二。

试验时，现将称量好的机制砂、大碎石、小碎石放入拌合机中干拌均匀，再加入粉煤灰、硅灰、水泥，最

后加入水进行搅拌。由于配合比中所含硅灰、石粉含量的影响，会导致混凝土难以搅拌均匀，同时也会引起混凝土早期收缩大，所以机制砂混凝土应适当延长搅拌时间，机械搅拌时间不少于3分钟。搅拌完成后混凝土拌

表二

方量 (m ³)	水泥 (kg)	粉煤灰 (kg)	硅灰 (kg)	机制砂 (kg)	大碎石 (kg)	小碎石 (kg)	水 (kg)	砂率 (kg)	水胶比	容重 (kg/m ³)
1	281	114	23	775	827	355	150	40	0.33	2450
0.04	11.24	4.56	0.92	31.00	33.08	14.20	6.00			

(三) 机制砂+硅灰混凝土配合比实验室验证

将设计的机制砂加硅灰混凝土配合比在实验室进行实验验证，根据实验室拌合机容量，设定实验混凝土拌

合物为0.4方。拌料前先将拌合机计量系统进行校检，确定其计量误差符合标准要求后再进行实验。将原材料分别准确计量称重，计量误差控制：水泥±1%，粉煤灰

合物工作性能良好,测得维勃稠度时间为30S,符合标准和现场生产要求。所剩的混凝土拌合物制作立方体抗压试块和抗渗试块、抗冻试块,根据钢筋混凝土顶管生产工艺要求将混凝土试块进行蒸汽养护8小时,脱模后在标准养护室进行标准养护。三组立方体抗压试块分别测试脱模强度、7天强度和28天强度。

经校检标定的万能液压试验机测得混凝土立方体脱模强度为36.1MPa,7天强度为45.8MPa,28天强度为59.3MPa。在混凝土抗渗压力试验机上进行抗水渗透试验,用逐级加压法对六个混凝土抗渗试块进行逐级加压,试验压力达到1.3MPa时观察混凝土试块表面无渗漏水现象,停止加压,混凝土抗渗等级达到P12。采用“快冻法”在混凝土冻融试验机上测得混凝土标准试块的抗冻等级达到F300满足设计和生产现场标准要求。

三、机制砂+硅灰混凝土配合比在钢筋混凝土顶管上试制

将机制砂+硅灰混凝土配合比在钢筋混凝土顶管上试制,选用公称直径为DN3800mm,长2500mm,厚350mm的钢筋混凝土顶管作为实验对象,DRCP3800钢筋混凝土顶管工作压力为0.1MPa,裂缝荷载310MPa,破坏荷载490MPa,混凝土强度等级为C50,其生产方式为芯模振动成型,芯模高频振动使干硬性混凝土液化进而密实,要求混凝土拌合物干湿度适宜,维勃稠度控制在30-40秒最佳。

拌料前先校准计量系统精度,确保计量准确。测定机制砂、碎石含水率。特别是机制砂含水率对混凝土拌合物工作性能影响最大,应准确测量。依据砂、石含水率调整配合比中砂、石和水的实际用量。混凝土净搅拌时间不得少于3min。拌合首盘混凝土时,除按原配合比用量外,额外增加10%的水泥用量;记录拌合机湿度值和电流值,观察拌合状态,作为当班拌合操作参考依据;应进行拌合料维勃稠度试验,观察是否产生泌水,并根据试验对用水量进行小量调整,以获得满足工作性能要求的混凝土。

由于现场环境条件,温度高于实验室温度,湿度低于实验室湿度,混凝土拌合过程中有失水现象,维勃稠度时间较实验室实验时间长,所以在生产过程中要准确测量机制砂和碎石的含水率,根据含水率及时调整施工用水量,并在水的计量过程中宜取误差的上限值。若现场温度高于35℃,每方混凝土宜增加用水量5千克,并控制好混凝土拌合物的干湿度,使其维勃稠度在适宜的范围之类,且混凝土拌合物自现场存放时间不得大于20分钟,否则混凝土拌合物会造成失水过多,改变混凝土配合比。

钢筋混凝土顶管成型过程中混凝土拌合物工作性能良好,其维勃稠度测得38S,满足标准及生产技术要求。

求。钢筋混凝土成型过程中随机取混凝土拌合物进行混凝土立方体试块制、抗渗试块、抗冻试块制作,制作完成后混凝土立方体试块随同管体进行同条件养护,抗渗及抗冻试块进行标准养护。

四、钢筋混凝土顶管物理性能检验

(一) 机制砂+硅灰混凝土试块物理性能实验

在实验规定的龄期测得混凝土立方体试块脱模强度为35.5MPa,7天强度为45.0MPa,28天强度为58.3MPa,混凝土抗渗等级达到P12,反复循环冻融次数为265次。符合标准及生产技术要求。

(二) 钢筋混凝土管物理性能检验

采用机制砂+硅灰混凝土配合比生产的钢筋混凝土顶管其外观质量良好,尺寸偏差符合标准要求。将龄期达到14天的钢筋混凝土顶管进行水压检验,在设计压力条件下,管体及密封胶圈处不发生渗漏水现象,水压检验合格。用三点试验法,通过机械压力的传递,检验管子的裂缝荷载和破坏荷载,测得其裂缝荷载为345MPa,破坏荷载为540MPa,均大于设计裂缝荷载为310MPa,破坏荷载为490MPa的技术标准要求。将两根管体按要求安装,经设置在双胶圈之间的打压孔打压,压力升至设计压力后恒压5分钟,检查结果为接口无渗漏,符合设计要求。试验结果表明采用机制砂+硅灰生产的钢筋混凝土顶管其水压检验、外压荷载检验、接头水压检验均合格,外观质量良好,物理性能可靠,满足标准及生产现场技术要求。

五、结语

机制砂+硅灰干硬性混凝土在钢筋混凝土顶管生产中的应用研究具有重大的现实意义。硅灰可超量替代水泥,且硅灰颗粒较细,在混凝土中可填充水泥颗粒间的空隙,同时与水化产物生成胶凝体,可显著提高混凝土早期强度和最终强度,增加密实度,还可以提高混凝土的抗渗性、抗化学腐蚀性、耐磨和抗裂性能。机制砂含有一定量的石粉,适量的石粉可填充在水泥、细砂的空隙之间,增强机制砂混凝土的工作性。在混凝土中引用机制砂、硅灰等新材料,改善了混凝土的工作性能,降低了钢筋混凝土顶管生产成本,达到了降本增效,为社会节约资源和能源、保护生态环境的目的,具有显著的经济效益和社会效益。

参考文献

- [1]危加阳.JGJ 55-2011《普通混凝土配合比设计规程》修订意义探讨[J].新型建筑材料,2013,40(11):27-30.
- [2]混凝土和钢筋混凝土排水管钢模:JC/T 613-2005[S].2005.
- [3]王小林,倪登宇.自密实混凝土在PCCP生产中的应用研究[J].百科论坛电子杂志,2021(21):1585.