**《固废制备的活性粉末混凝土抗冲击性能试验方法》**

(征求意见稿)

编制说明

《固废制备的活性粉末混凝土抗冲击性能试验方法》编制组

二零一三年一月

1. 1 任务来源
2. 任务来源于国家科技支撑计划项目《重点工业领域资源高效利用共性技术标准研究》,其中课题五《工业固废综合利用检测标准体系及检测标准研究》(2011BAB02B05)的研究成果之一是标准《活性粉末混凝土力学性能试验方法》，该标准（计划编号20120298-T-469）已列为2012年第一批推荐性国家标准计划项目，由北京建筑材料科学研究总院有限公司负责标准编制工作，全国产品回收利用基础与管理标准化技术委员会（SAC/TC415）进行归口管理。
3. 2工作过程

通过对国内外活性粉末混凝土的研究现状，应用领域的文献调研和国内外生产活性粉末混凝土制品企业的技术交流，国内外混凝土相关力学性能试验方法标准的学习总结，以及抗冲击性能试验原理学习，试验装置的调研、改进和试验实施的设计、改进，在一定的试验基础上，起草了《固废制备的活性粉末混凝土抗冲击性能试验方法》的草案稿，并于2012年10月有中国标准化研究院主持召开了《固废制备活性粉末混凝土抗冲击性能试验方法》国家标准的专家讨论会。参会专家领域涉及高校、科研院所、检测单位和产品生产企业。参会专家就草案稿进行了认真地、详细的研讨，认为原理正确、方法可行、使用范围符合当前国内外活性粉末混凝土主要利用领域。

对各专家提出的意见，有负责起草单位进行认真研究和处理，在此基础上提出了征求意见稿。

1. 3制定标准的必要性

活性粉末混凝土是一种高强度、高韧性、低孔隙率和极低渗透性的超高性能混凝土，同时考虑经济性，活性粉末混凝土将适用于传统混凝土结构和钢结构之间的领域，甚至用于钢结构占统治地位的领域。活性粉末混凝土有较高的抗拉强度，同时具备由抗拉强度决定的高抗剪强度，这就使得由材料本身在结构中直接承受剪力，取消构件中的附加抗剪钢筋成为可能，从而在设计中能够采用更薄以及更加新颖合理的截面形式；另外活性粉末混凝土具有极好的延性，因此可以生产出各种成本低且服务寿命高的预制结构产品，如桥梁预制构件、预制管桩、电杆、管道、轨枕、路面板、护壁、人行横道盖板，整体式声屏障等；活性粉末混凝土断裂能可达15000～20000J/m2，超过了铸铁的断裂能。因此，完全可以代替铸铁制备建筑制品，如井盖、地下管道、模具等，可以大幅度降低制品的自重，而不影响使用效果。

目前国内活性粉末混凝土主要应用于制备铁路客运专线、城际铁路桥梁电缆槽盖板，各类铁路线路路基电缆槽盖板，普通铁路桥梁人行道板，活性粉末混凝土制品的使用，从根本上解决了铁路维修难等实际问题。2010年活性粉末混凝土材料在高铁上使用量达20万立方米，用量居世界首位。根据实际荷载、使用要求及现有成熟技术，设计的活性粉末混凝土制品均为薄板型构件，无配筋情况下厚度不超过50mm,在实际工程中发现，虽然活性粉末混凝土构件达到了强度和承载能力的设计要求，但是在搬运过程中和铺设后的使用过程中，经常出现重物掉落造成活性粉末混凝土板的开裂甚至断裂。目前国内活性粉末混凝土生产中广泛使用的是《客运专线活性粉末混凝土（RPC）材料人行道挡板盖板暂行技术条件》，此技术条件中列出了活性粉末混凝土的力学性能指标包括抗压强度、抗折强度、弹性模量和承载能力试验，前三个项目均按照GB/T 50081试验方法试验，承载能力试验是在薄板上缓慢施加集中荷载，用开裂荷载和极限荷载评价。规定中尚未列入抗冲击性能试验及试验方法。因此，针对活性粉末混凝土的特殊应用领域，制定活性粉末混凝土抗冲击性能试验方法对其材料本身和制品的评价、质量控制和工程安全必不可少。

1. 4现有检测方法

目前国内外比较常见的抗冲击试验方法主要有爆炸试验（explosive test）、射弹试验（projectile impact test）、夏比摆锤冲击试验（Charpy pendulum test）和落锤冲击试验（drop-weight test ）。但是前三种方法都存在各自的问题。针对目前活性粉末混凝土的应用领域大多用于路桥、民用和工业薄壳结构，爆炸试验和射弹试验的试验原理并不适合。分析试验原理，摆锤冲击试验可用于活性粉末混凝土的抗冲击试验，然而调研国内的摆锤冲击装置，试件的尺寸均为细长条，放置试件的空间小，改造难度大，操作性差，给试验方法的推广带来困难。落锤冲击试验是最简单易操作的冲击试验，落球冲击试验原理是指试件达到规定破坏程度的冲击次数，可定性估计引起上述破坏时试件吸收的能量。落锤冲击试验可用于评价不同纤维混凝土的相对优劣，证明相比传统混凝土，纤维混凝土的性能优势，还适用于不同厚度材料的抗冲击。

1. 5标准内容说明

5.1关于适用范围

基于活性粉末混凝土的高强、高韧的力学能特点，能够采用更薄以及更加新颖合理的截面形式，目前国内应用最多的是铁路客运专线、城际铁路桥梁电缆槽盖板，各类铁路线路路基电缆槽盖板，普通铁路桥梁人行道板，无配筋情况下厚度均不超过50mm。此外冲击对薄型构件的影响更大，不可忽视。因此本标准中的试验方法适用范围因此而定。

5.2规范性引用文件

针对活性粉末混凝土的抗压强度、抗折强度和弹性模量，目前美国和中国均按照普通混凝土力学试验方法进行试验，因此这三项按照GB/T 50081《普通混凝土力学性能试验方法标准》，活性粉末混凝土试件外观质量测试方法参照JC/T 446-2000《混凝土路面砖》。

5.3试件

试件的大小主要选用目前国内铁路用盖板的最小尺寸，有代表性、生产人员会操作、模具容易获得。

5.4仪器和设备

5.4.1搅拌机

由于活性粉末混凝土为低水灰比，且体系加水后比较粘稠，所以采用强制式搅拌机，主轴转速不低于45r/min。

5.4.2落球冲击装置

目前市场上落锤冲击试验机适用于塑料、玻璃、陶瓷等进行冲击试验，共同的特点是只能容纳较小的试件，因此根据本标准试验方法要求，对常规落球冲击试验装置进行了以下改进：装置的冲击架必须有足够的刚度和调节地脚螺钉，都是保证冲击点的重复性；落距选择0.5~1.0m,探索试验结果表明，对抗压强度130MPa,抗折强度19.8MPa,25mm厚的试件选用1.5kg落锤、落距2m，冲击8次可破坏，选用3.0kg落锤，落距1m,冲击7次也可破坏，但是考虑试验的稳定性和对装置的要求上，尽量选用大质量，小落距进行试验；选用压板并与试件呈微接触，主要是避免冲击过程中试件发生纵向和横向位移；选用垫板主要是避免落锤直接冲击造成击穿；落锤质量最大到5kg，主要是结合现有活性粉末混凝土的常用强度等级和构件厚度能承受的最大冲击耗能进行设计。

5.5试件制作及养护

活性粉末混凝土的配制参考《客运专线活性粉末混凝土（RPC）材料人行道挡板盖板暂行技术条件》中4.5主要工艺技术要求章节来完成的。

5.6试验方法

5.6.1支撑方式的选择

ACI 544.2R‘measurement of properties of fiber reinforced concrete’和CECS 13：2009《纤维混凝土试验方法标准》中试件的支承方式均为全支承，如图1所示。采用ACI544推荐试验方法，肖霞等对钢纤维混凝土进行了大量试验，我们对活性粉末混凝土R130进行了探索性试验，从表1结果看出ACI方法冲击次数普通混凝土初裂冲击次数201次，纤维增强混凝土少则也要471次，活性粉末混凝土做到1000次仍未初裂，可见ACI方法在试验操作性方面不可行。而结合活性粉末混凝土目前在国内应用较多的领域的支撑方式大多为简支，因此选择图2支撑方式进行试验，同样用活性粉末混凝土R130制备500mm×300mm×2.5mm试件，选用落锤1.5kg，落距1.0mm,冲击7次，初裂，继续冲击10次，裂纹变化较小，换用3kg落锤，冲击14次，试件破坏。因此对于活性粉末混凝土构件，简支方式更贴合实际，试验效率也高。

图1 全支撑 图2 简支

表1 ACI方法冲击试验结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **试件编号** | **初裂冲击次数** | **破坏冲击次数** | **冲击耗能（J）** | **初裂后继续吸收能量（J）** |
| 普通混凝土 | 201 | 210 | 4233．03 | 181．38 |
| FRC-1 | 690 | 1205 | 24285.21 | 10379.16 |
| FRC-2 | 471 | 1113 | 22431.07 | 12938.68 |
| R130 | ＞1000 | - | - | - |

5.6.2冲击方式的选择

GB/T 14153-93《硬质塑料落锤冲击试验方法通则》中提到的A法和B法，A法是一定质量落锤规定高度冲击试样，B法是梯度法，采用变换落锤质量和落距冲击试样而获得冲击破坏能，因此为了满足不同类型、不同公称厚度、不同生产工艺制备的活性粉末混凝土，本试验方法选用B法。

5.6.3试件厚度选择

针对目前国内活性粉末混凝土使用量最大的高铁领域，适用于铁路客运专线、城际铁路桥梁电缆槽盖板，依据荷载及使用要求，厚度分为20mm、25mm、30mm、50mm。适用于各类铁路线路路基电缆槽，路基电缆槽板厚为25mm，路基电缆井板厚为50mm。适用于普通铁路桥梁人行道，铺设于角钢支架之上，板厚为35mm和50mm。还有一些用于非承重和装饰性超薄型构件，厚度要求更薄。考虑上述实际应用情况，设定试件厚度选取10mm、30mm和50mm。试件厚度-抗冲击性能关系如图3所示，不同厚度冲击耗能相差较大，需选用不同的落锤和落距。



图3 试件厚度和抗冲击能力

5.6.4重锤质量选择

落锤质量包含0.5kg、1.0kg、1.5kg、3.0kg、5.0kg,主要基于在落距可调范围内，选择合适的落锤质量，保证冲击次数在大于4次，小于15次的范围内，对试件裂缝有影响。用1.5kg落锤冲击R130的2.5mm厚的试件，冲击7次，初裂，继续冲击10次，裂纹变化较小，须换用3kg落锤，冲击14次，试件破坏；用3.0kg冲击R130、纤维体积含量0.5%的试件，1次即破坏。因此根据抗压强度、纤维体积含量和厚度，选择合适的落锤质量非常重要。

5.6.5抗冲击性能影响因素

为了帮助抗冲击试验时落锤质量和落距的选择提供参考，希望试验找到纤维体积含量-抗冲击性能、抗压强度-抗冲击性能、厚度-抗冲击性能之间的关系，就可按照按照纤维体积含量、抗压强度和厚度进行分级推荐选用落锤和落距。

纤维的掺加显著改善活性粉末混凝土的弯拉性能，纤维体积含量-抗冲击性能关系如图3所示。



图4 纤维体积含量对冲击耗能的影响

参考文献:

[1] An Ming-zhe，Zhang Lijun，Yi Quan xin. Size effect on compressive strength of RPC［J］. Journal of China University of Mining ＆ Technology，2008，( 2) : 279-282.

[2] ACI 544.2R.measurement of properties of fiber reinforced concrete. Reported by ACI committee 544. [3] 肖霞，刘问.混凝土与钢纤维混凝土冲击性能的对比试验研究.城市建设理论研究（电子版），2012（11）.

[4] 陈 健. 钢纤维掺量对活性粉末混凝土初裂性能影响研究［J］. China Academic Journal Electronic Publishing House，2007，( 3) : 46-48.

[5] 安明喆，张立军. RPC 材料的抗折强度尺寸效应研究［J］. 中国矿业大学学报，2007，36( 1) : 38-41.

[6] 叶光莉. RPC200 弯曲断裂性能的尺寸效应研究［D］. 北京: 中国矿业大学，2007.

[7] Material Property Characterization of Ultra-High Performance Concrete.PUBLICATION NO. FHWA-HRT-06-103.AUGUST 2006:44-45.