



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101289300 B

(45) 授权公告日 2012. 03. 21

(21) 申请号 200810067314. 8

究. 2005, 13, 16, 25-27, 38.

(22) 申请日 2008. 05. 20

审查员 焦磊

(73) 专利权人 深圳大学

地址 518055 广东省深圳市南山区南海大道
3688 号

专利权人 邢锋
倪卓

(72) 发明人 邢锋 倪卓

(74) 专利代理机构 深圳市科吉华烽知识产权事
务所 44248

代理人 胡吉科

(51) Int. Cl.

C04B 28/00 (2006. 01)

(56) 对比文件

田薇. 基于微胶囊技术的自修复材料的研究

权利要求书 1 页 说明书 6 页

(54) 发明名称

使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土及其制造方法

(57) 摘要

一种使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土,在混凝土中掺入具有修复微裂缝功能的聚氨酯高分子微胶囊,其质量配合比为:混凝土/微胶囊/水=100:1-15:15-50。其制造方法为:称量足量的水,加入聚氨酯高分子微胶囊,搅拌,直到微胶囊充分分散;把水倒入搅拌容器中,加入相应质量的水泥;搅拌;加入沙石等填充料,进行现场浇灌,每次1/3量,进行振动,排气;直到浆体加满模具。微胶囊材料在损坏过程中释放出环氧树脂,与固化剂在微裂纹中发生化学反应,修复破坏结构,达到自行诊断和修复混凝土中微裂痕,防止其扩张,维持建筑物的力学结构,具有极大的经济价值和环保价值。

1. 一种使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土,其特征在于:

在混凝土中掺入具有修复微裂缝功能的聚氨酯高分子微胶囊,其混凝土质量配合比为:混凝土/微胶囊/水=100:1-15:15-50;所述微胶囊内含粘合剂,其包裹所述粘合剂的囊壁是聚氨酯高分子材料制成;所述微胶囊的囊壁高分子材料与囊芯粘合剂质量比为100:40-80,微胶囊为椭球形,粒径为10-500微米,壁厚为1-10微米;所述粘合剂是单组分粘合剂,包括:单组分聚氨酯胶粘剂,有机硅厌氧胶,丙烯酸酯胶粘剂和氯丁胶粘剂,或者是多组分环氧类粘合剂;所述粘合剂具有良好的流动性和粘结强度;双酚A型环氧树脂,双酚F型环氧树脂,双酚S型环氧树脂,间苯二酚型环氧树脂,有机硅改性双酚A型环氧树脂或有机钛改性双酚A型环氧树脂的一种或多种;所述微胶囊预混有0.1-5%亲水表面活性剂,在混凝土结构中分布均匀;所述亲水表面活性剂包括:烷基苯磺酸钠,聚氧乙烯,聚缩水甘油或多羟基化合物的一种或多种。

2. 根据权利要求1所述的自修复混凝土,其特征在于:所述微胶囊含有8-25%稀释剂,所述稀释剂化学结构中含有能够改进环氧树脂的流动性并与环氧树脂一起和固化剂反应的环氧基。

3. 根据权利要求2所述的自修复混凝土,其特征在于:与所述环氧树脂反应的固化剂,系中低温反应型,其包括:直链脂肪族多胺,聚酰胺,芳香胺,改性多胺,聚硫醇,咪唑类衍生物中的一种或多种;该固化剂与所述环氧树脂的质量比为12-35%。

4. 一种如权利要求1至3任一项所述使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土的制造方法,其特征在于:包括以下步骤:

(1) 称量足量的水,加入适当比例聚氨酯高分子微胶囊,轻微搅拌,直到微胶囊充分分散;

(2) 把水倒入水泥搅拌容器中,加入相应质量的水泥;

(3) 对水泥浆先慢速搅拌,后转为快速搅拌;

(4) 加入所需沙石填充料后,进行现场浇灌,即分三步加入混凝土浆体,每次1/3量为准,进行振动,排除气泡;直到三次混凝土浆体加满模具。

5. 一种如权利要求1至3任一项使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土样品的制造方法,其特征在于包括以下步骤:

(1) 称量足量的水,加入适当比例聚氨酯高分子微胶囊,搅拌直到微胶囊充分分散;

(2) 把水倒入水泥搅拌容器中,加入相应质量的水泥;

(3) 对水泥浆进行先快后慢搅拌;

(4) 振捣混凝土后,逐步或分步浇灌工件;

(5) 静置1至2小时后起模,刮除模具上溢出的混凝土浆体,放置21至26小时;

(6) 拆模后将样品转入混凝土标准养护箱,养护25至31天。

使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土及其制造方法

【技术领域】

[0001] 本发明涉及自修复混凝土及类似建筑材料,尤其是涉及具有自修复功能的混凝土与类似建筑材料及其制造方法。

【背景技术】

[0002] 作为传统建筑材料的代表,混凝土其固有的优点是抗压强度高,耐久性好,成本低,广泛应用于工业与民用建筑、桥梁、道路工程、地下工程、水利水电工程、核电站、港口和海洋工程等结构物,目前又向着大跨结构、高耸结构、巨型结构和特种结构渗透,是应用得最为广泛的建筑材料,诞生至今,已有 100 多年的历史。可以预见,将来混凝土依然是国家现代化建设不可缺少的建筑材料。在役混凝土结构由于在长期的使用过程中以及周围复杂环境的影响下,会不可避免地产生微小开裂和局部损伤,轻者会降低结构的使用寿命,重者则危及结构的安全。因此,对于使用在结构中的混凝土裂缝的修复是一个长期困扰着土木工程人员的技术难题。对原材料、配合比、外加剂、制造工序、浇捣方法和养护工艺等方面加以研究和改进,这些方法并未从根本上改变混凝土的性能弱点。因此,对在役结构出现的裂纹和损伤进行及时有效的修复成为科学研究和工程应用中关心的重要问题。由于地震、风荷载、冲击波等其它原因所造成的宏观破坏,可以通过肉眼发现并用传统的手工修复方式(计划修复和事后修复)对裂纹进行修复。在实际的混凝土工程结构中,存在许多微小裂纹,比如基体的微开裂等,这些微观范围的损伤由于探测技术的局限性有可能探测不到。因此,要对这些探测不到的裂纹和损伤进行修复,就变得非常困难,甚至不可能。如果这些裂纹或损伤不能得到及时有效的修复,不但会影响结构的正常使用性能和缩短使用寿命,而且还有可能由此引发宏观裂缝并导致结构脆性断裂,产生严重的灾难性事故。因此迫切需要采用某种技术或方式,能主动、自动地对裂纹和损伤部位进行修复,恢复甚至提高混凝土材料的强度以达到延长混凝土结构使用寿命的目的。现有技术无法完善解决混凝土微裂纹的自诊断和自修复问题。

[0003] 混凝土裂缝的自修复是在混凝土传统组份中附和特殊组份(如形状记忆合金,含胶粘剂的液芯纤维或胶囊等),在其内部形成智能型自修复系统,当混凝土材料中出现裂纹或损伤时,自动触发修复反应,使其愈合。

[0004] 目前自修复混凝土结构研究集中在空心纤维修复技术,虽然在实验室技术中,空心纤维胶囊证明了自修复混凝土的功能,但是混凝土振捣等施工工艺会扰动空心纤维胶囊的设计排列,甚至会导致玻璃壁材的破裂,即修复剂的过早流失,达不到修复混凝土的目的,影响自修复混凝土的工艺可行性和自修复能力的可重复性。在养化和使用过程中,微裂纹和裂纹在混凝土结构中大量出现,随机性很大,自修复技术要求修复胶囊均匀地分布在混凝土结构。由于空心纤维材料脆性的限制,空心纤维胶囊不能够使用目前的工艺技术保证微胶囊材料在混凝土中的均匀分布,从而使纤维胶囊在混凝土结构的微裂纹自修复过程中只能采用特殊混凝土材料和特殊工艺,如自密实高性能混凝土和无捣工艺等。这些困难从技术上限制了空心纤维胶囊在混凝土结构裂纹自修复工程的有效应用。空心纤维胶囊

的表面性质,壁材强度,几何参数和掺量对混凝土的修复效果有重要影响。胶囊纤维壁材光滑,不易于混凝土形成有效的相界面,导致混凝土的粘结强度降低。空心纤维胶囊尺寸较大,直径有时高达毫米级,可以认为在混凝土结构中引入修复剂的同时,也不可避免地引入了缺陷,降低了混凝土自身强度和自修复效率。空心纤维胶囊壁材玻璃强度较大,混凝土微裂纹所产生的应力,可能难以提供足够的能量使空心纤维胶囊破裂,因此使用该技术有可能只能修复较大裂纹,而对于混凝土结构的损坏/断裂至关重要的微裂纹的修复可能作用不大。这就说明该方法在工程应用中尚有许多问题需要解决,包括纤维胶囊耐久性、修复时效性,界面相容性,修复可靠性和工程应用可行性等问题。微裂纹早期修复对于混凝土结构的耐久性至关重要的,所以使用空心纤维胶囊技术不适用微裂纹的工程修复,具有较大的局限性。

【发明内容】

[0005] 为了解决现有空心纤维胶囊技术无法完善解决混凝土微裂纹的自诊断和自修复的技术问题,本发明提出了一种使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土。通过合适的组分配比和工艺条件等,形成高分子微胶囊混凝土自修复结构。

[0006] 本发明的技术方案是一种使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土,在混凝土中掺入具有修复微裂缝功能的聚氨酯高分子微胶囊,其混凝土质量配合比为:混凝土/微胶囊/水=100:1-15:15-20。

[0007] 根据本发明的一个优选实施例,所述微胶囊内含粘合剂,其包裹所述粘合剂的囊壁是聚氨酯高分子材料制成。

[0008] 根据本发明的一个优选实施例,所述微胶囊的囊壁高分子材料与囊芯粘合剂质量比为100:40-80,微胶囊为椭球形,粒径为10-500微米,壁厚为1-10微米。

[0009] 根据本发明的一个优选实施例,所述粘合剂具有良好的流动性和粘结强度,可以是单组分粘合剂,包括:单组分聚氨酯胶粘剂,有机硅厌氧胶,丙烯酸酯胶粘剂和氯丁胶粘剂等,也可以是多组分环氧类粘合剂。

[0010] 根据本发明的一个优选实施例,所述多组分环氧类粘合剂,包括:双酚A型环氧树脂,双酚F型环氧树脂,双酚S型环氧树脂,间苯二酚型环氧树脂,有机硅改性双酚A型环氧树脂或有机钛改性双酚A型环氧树脂。

[0011] 根据本发明的一个优选实施例,所述微胶囊混有0.1-5%的亲水表面活性剂,在混凝土结构中分布均匀;所述亲水表面活性剂包括:烷基苯磺酸钠,聚氧乙烯,聚缩水甘油或多羟基化合物等的一种或多种。

[0012] 根据本发明的一个优选实施例,所述微胶囊含有8-30%稀释剂,所述稀释剂化学结构中含有能够改进环氧树脂的流动性并与环氧树脂一起和固化剂反应的环氧基。所述稀释剂包括:环氧丙烷、环氧丙烷甲基醚、环氧丙烷乙基醚、环氧氯丙烷、环氧丙烷、环氧丙醇、环氧辛烯-1、苯乙烯氧化物、烯丙基缩水甘油醚、丁基缩水甘油醚、苯基缩水甘油醚、甲酚缩水甘油醚、二溴苯基缩水甘油醚、溴代甲酚缩水甘油醚、乙烯基环己烯单环氧化物、甲基丙烯酸缩水甘油醚、2-乙基己基缩水甘油醚和对叔丁基苯基缩水甘油醚等

[0013] 加入稀释剂增加流动性,加入固化剂可以达到与混凝土良好的粘结强度。

[0014] 根据本发明的一个优选实施例,与所述环氧树脂反应的固化剂,系中低温反应型,

其包括：直链脂肪族多胺，聚酰胺，脂肪族多胺，芳香胺，改性多胺，聚硫醇，尿类衍生物，咪唑类衍生物中的一种或多种；该固化剂与所述环氧树脂的质量比为 12-35%。

[0015] 本发明解决现有技术无法完善解决混凝土微裂纹的自诊断和自修复技术问题所采用的另一技术方案是提供一种使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土的制造方法。通过微胶囊表面性质的控制，使得微胶囊与混凝土形成良好界面。

[0016] 本发明进一步的技术方案是一种所述使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土的制造方法，包括以下步骤：

[0017] (1) 称量足量的水，加入适当比例聚氨酯高分子微胶囊，轻微搅拌，直到微胶囊充分分散；

[0018] (2) 把水倒入水泥搅拌容器中，加入相应质量的水泥；

[0019] (3) 对水泥浆先慢速搅拌，后转为快速搅拌；

[0020] (4) 加入所需沙石等填充料后，进行现场浇灌，即分三步加入混凝土浆体，每次 1/3 量为准，进行振动，排除气泡；直到三次混凝土浆体加满模具。

[0021] 本发明解决现有技术无法完善解决混凝土微裂纹的自诊断和自修复的技术问题所采用的进一步的技术方案是提供一种使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土样品的制造方法。通过合适的组分配比，和工艺条件等，制备精确控制的高分子微胶囊混凝土自修复结构及其表面和内部的特性，保证样品的代表性，以便更好地整体性的评价自修复结构的混凝土。

[0022] 本发明进一步的技术方案是一种所述使用聚氨酯高分子微胶囊的自修复混凝土样品的制造方法，包括以下步骤：

[0023] (1) 称量足量的水，加入适当比例聚氨酯高分子微胶囊，搅拌直到微胶囊充分分散；

[0024] (2) 把水倒入水泥搅拌容器中，加入相应质量的水泥；

[0025] (3) 对水泥浆进行先快后慢搅拌；

[0026] (4) 振捣混凝土后，逐步或分步浇灌工件；

[0027] (5) 静置 1 至 2 小时后起模，刮除模具上溢出的混凝土浆体，放置 21 至 26 小时；

[0028] (6) 拆模后将样品转入混凝土标准养护箱，养护 25 至 31 天。

[0029] 本发明目的是提供具有自修复功能的混凝土及其制造方法。通过微胶囊表面性质的控制，使得微胶囊与混凝土形成良好的界面。通过合适的组分配比，和工艺条件等，制备高分子微胶囊混凝土自修复结构。

[0030] 本发明使用稀释剂和固化剂与环氧树脂作用，形成流动性好，固化强度高的高聚物，在裂纹表面进行有效粘结，达到恢复材料的力学性质和使用目的。

[0031] 本发明使用具有良好分散性和稳定性的微胶囊材料，经过混凝土典型生产工艺，微胶囊均匀地分散于混凝土基体中，在混合和养护过程中微胶囊材料不会发生破碎。在裂纹过程中，微胶囊在应力作用下释放出粘合剂，对混凝土进行修复。

[0032] 在一个方面，本发明提供了一类环氧树脂粘合剂应用于混凝土材料的自修复，其组分为：环氧树脂：100，稀释剂：10-30，固化剂：15-35。

[0033] 其中稀释剂加入环氧树脂，可以降低材料的粘度，增加流动性。改性后的环氧树脂采用高分子材料进行包裹。固化剂可以直接使用或者微胶囊化后使用。

[0034] 在另一个方面,本发明提供了用于自修复混凝土材料的修复剂微胶囊制备方法。通过化学法制备用于自修复混凝土复合材料的微胶囊技术,将修复剂环氧树脂等囊芯物质包裹起来,形成密封性囊膜。优势在于形成微胶囊后,囊芯被包裹与外界环境隔离,可使它免受外界的温度、氧气和紫外线等因素的影响,在适当条件下,破壁又能将囊芯释放出来。用于自修复的微胶囊必须具有适当的力学强度和耐热性,活性囊芯物质应具备粘度较低,反应后膨胀系数小、粘合强度高、性能,这样既可保证其在复合材料成型过程中保持完整,又能在微裂纹前端应力或热作用下破裂释放出囊芯。这些方法分别是:

[0035] 采用聚氨酯包裹环氧树脂:在恒温水浴中,将 20.0g 环氧树脂加入含有 4.35g 甲苯-2,4-二异氰酸酯(TDI)的 18.0g 环己烷(有机相)中,混合均匀后,将上述有机溶液加到 100ml 含有 0.5g 乳化剂海藻酸钠(SA)的水相中,进行充分乳化,搅拌速度为 500r/min 下,乳化 5min,形成 O/W 乳液。向乳液中缓慢滴加 100ml 含有醇类物质的水溶液,将水浴升温到 70℃,并继续搅拌,反应 2-3h。形成的浆液用 30%的乙醇冲洗以去除未反应的 TDI 和壁材表面的硬脂酸丁酯等残留物,在室温下干燥 24h 即可得到微胶囊。

[0036] 在另一个方面,本发明提供了具有良好分散性的聚氨酯高分子微胶囊材料,可以用于自修复混凝土材料的制造,主要组分是:

[0037] 聚氨酯微胶囊:100,表面活性剂:0.5-5。

[0038] 将表面活性剂加入聚氨酯微胶囊材料中,采用混合设备进行搅拌。在自修复混凝土材料的制备过程中,这种微胶囊材料不发生团聚并在混凝土结构中分布均匀。另外,这种微胶囊材料可以改进混凝土浆料的流动性。

[0039] 在另一个方面,本发明提供了制备具有自修复功能的混凝土材料技术,主要组分是:混凝土:100,聚氨酯微胶囊:1-15,水:15-50。

[0040] 经过典型的混凝土工艺和裂纹产生实验后,制得自修复混凝土材料。在自修复混凝土材料中,裂纹应力使得微胶囊破裂,被释放出的囊芯能通过微裂纹的毛细管虹吸作用流至裂纹面,与基体中的固化剂接触发生聚合反应,形成足够强度的高聚物愈合裂纹面,从而达到修复材料的目的。与该材料起始状态和破坏状态相比,力学性能有明显恢复,尤其是抗弯强度。

[0041] 在另一个方面,本发明提供了具有自修复功能的混凝土材料的制造方法。对于含有有机微胶囊的混凝土配比,采用如下工艺可以制造微胶囊分散均匀和稳定性良好的自修复混凝土材料,在混合和养护过程中材料没有发生破碎。

[0042] (1) 称量足量的水,加入适当聚氨酯微胶囊,搅拌直到微胶囊充分分散;

[0043] (2) 把水倒入水泥搅拌容器中,加入相应质量的水泥;

[0044] (3) 对水泥浆进行搅拌;

[0045] (4) 加入所需沙石等填充料后振捣混凝土,浇灌工件;

[0046] (5) 静置 1 个小时后起模,刮除模具上溢出的混凝土浆体,放置 24 小时;

[0047] (6) 拆模后将样品转入混凝土标准养护箱,养护 28 天。

[0048] 本发明所述使用有机微胶囊修复混凝土结构材料的制造方法步骤(3)中的搅拌,是先慢速搅拌(100-300rpm),后转为快速搅拌(700-1000rpm)。

[0049] 本发明所述使用有机微胶囊修复混凝土结构材料的制造方法步骤(4)中的浇灌,是逐步加入混凝土浆体,进行振动,排除气泡,直到混凝土浆体加满模具。

[0050] 本发明所述使用有机微胶囊修复混凝土结构材料的制造方法步骤(4)中的浇灌分三步加入混凝土浆体,每次 1/3 量为准,直到三次混凝土浆体加满模具。

[0051] 本发明的有益效果是含有微胶囊的混凝土材料在经历了 8MPa 的预破坏和固化处理后,与对应的混凝土材料相比,其抗折强度有所增加。经过相同条件的混凝土材料,其抗折强度明显下降。这些数据说明微胶囊材料在损坏过程中释放出环氧树脂,与固化剂在微裂纹中发生化学反应,修复了破坏的结构,实现了混凝土材料的自修复功能。所以,使用微胶囊可以制造自修复混凝土材料,达到自行诊断和修复混凝土中微裂痕,防止所述微裂痕的扩张,维持建筑物的力学结构,具有极大的经济价值和环保价值。

【具体实施方式】

[0052] 以下详述本发明的具体实施例。

[0053] 实施例 1. 使用稀释剂改进环氧树脂的流动性和粘接性能,提高自修复混凝土复合材料的修复效率。在环氧胶粘剂 E-51 中加入 20% 固化剂十七烷基咪唑后,再加入 20% 正丁基缩水甘油醚,粘度从 8200mpa·s 降低到 200mpa·s,增加了环氧胶粘剂流动性,有利于毛细管虹吸作用发生;拉伸强度变化从 14.0MPa 到 17.6MPa,模量从 223.3MPa 增加 334.0MPa,证明正丁基缩水甘油醚的加入改善了环氧树脂力学性能。FTIR 分析证明该稀释剂参与了环氧胶粘剂与固化剂交联反应。

[0054] 实施例 2. 以聚氨酯为囊壁,将修复剂环氧树脂等囊芯物质包裹起来,形成密封性囊膜,制备用于自修复混凝土复合材料的微胶囊。

[0055] 采用聚氨酯包裹环氧树脂:在恒温水浴中,将 20.0g 环氧树脂酯加入含有 4.35g 甲苯-2,4-二异氰酸酯(TDI)的 18.0g 环己烷(有机相)中,混合均匀后,将上述有机溶液加到 100ml 含有 0.5g 乳化剂海藻酸钠(SA)的水相中,进行充分乳化,搅拌速度为 500r/min 下,乳化 5min,形成 O/W 乳液。向乳液中缓慢滴加 100ml 含有醇类物质的水溶液,将水浴升温到 70℃,并继续搅拌,反应 2-3h。形成的浆液用 30% 的乙醇冲洗以去除未反应的 TDI 和壁材表面的硬脂酸丁酯等残留物,在室温下干燥 24h 即可得到微胶囊。

[0056] 实施例 3. 使用表面活性剂改进用于制造自修复混凝土的高分子材料微胶囊流动性和分散性。将 1.5 克十二烷基苯磺酸钠加入本专利所述的 100 克高分子微胶囊化环氧树脂材料中,经过搅拌 30 分钟,得到流动性和分散性良好的粉末状物质。

[0057] 实施例 4. 使用聚氨酯高分子微胶囊材料制备具有自修复功能混凝土样品。称量 38.0 克水,加入 2.0 克聚氨酯微胶囊,搅拌直到微胶囊充分分散;把水倒入混凝土搅拌容器中,加入 100.0 克水泥材料;进行搅拌,振捣和浇灌工件等工艺;静置 1 个小时后起模,刮除模具上溢出的混凝土浆体,放置 24 小时;拆模后将样品转入混凝土标准养护箱,养护 28 天。

[0058] 对自修复水泥材料进行抗弯强度测试和断裂形貌分析。在断裂过程中,有机微胶囊大部分被应力破坏,也有小部分在有机微胶囊/混凝土界面分离。有机微胶囊与混凝土可以形成了良好的界面。使用有机微胶囊的水泥复合材料,与该材料起始状态和破坏状态相比,抗折强度变化不大或者有所增加,力学性能有明显恢复,证明有机微胶囊对于水泥结构中的微裂纹具有修复效果。在自修复混凝土材料中,裂纹应力使得微胶囊破裂,被释放出的囊芯能通过微裂纹的毛细管虹吸作用流至裂纹面,与基体中的固化剂接触发生聚合反应,形成足够强度的高聚物愈合裂纹面,从而达到修复材料的目的。

[0059] 实施例 5. 使用聚氨酯高分子微胶囊材料制备具有自修复功能混凝土材料的技术。称量 38.0 克水, 加入 5.0 克微胶囊, 搅拌直到微胶囊充分分散; 把水倒入混凝土搅拌容器中, 加入 60.0 克水泥, 20.0 克砂岩, 10 克磷渣粉和 10 克粉煤灰等材料; 进行搅拌, 振捣和浇灌工件等工艺; 静置 1 个小时后起模, 刮除模具上溢出的混凝土浆体, 放置 24 小时; 拆模后将样品转入混凝土标准养护箱养护 28 天。

[0060] 实施例 6. 使用聚氨酯高分子微胶囊材料制备具有自修复功能混凝土的方法, 可以制造微胶囊分散均匀和稳定性良好的自修复混凝土材料。

[0061] (1) 称量足量的水, 加入适当比例聚氨酯高分子微胶囊, 搅拌直到微胶囊充分分散;

[0062] (2) 把水倒入混凝土搅拌容器中, 加入相应质量的混凝土;

[0063] (3) 对混凝土浆进行慢速搅拌 (300rpm), 然后转为快速搅拌 (800rpm) 搅拌;

[0064] (4) 逐步加入混凝土浆体, 每次 1/3 量为准, 进行振动, 排除气泡, 直到三次混凝土浆体加满模具。

[0065] (5) 静置 1 个小时后起模, 刮除模具上溢出的混凝土浆体, 放置 24 小时;

[0066] (6) 拆模后将样品转入混凝土标准养护箱, 养护 28 天。

[0067] 在混凝土材料混合制备, 固化和养护过程中, 使用的微胶囊材料没有发生破碎。采用高分子微胶囊技术制备自修复混凝土材料具有良好的工艺可操作性, 自修复性能的可重复性和工业应用的可能性。

[0068] 上述的详细描述仅是示范性描述, 本领域技术人员在不脱离本发明所保护的范

围和精神的情况下, 可根据不同的实际需要设计出各种实施方式。例如, 根据实际需要设计略有不同的配比或具体步骤, 均属本发明的保护范围。