

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710304855.3

[51] Int. Cl.

C04B 28/04 (2006.01)

C04B 14/48 (2006.01)

C04B 18/08 (2006.01)

[43] 公开日 2008年7月9日

[11] 公开号 CN 101215136A

[22] 申请日 2007.12.29

[21] 申请号 200710304855.3

[71] 申请人 中铁隧道集团有限公司

地址 471009 河南省洛阳市西工区陵园路3号

[72] 发明人 冯健 杨卓 金强国 李治国  
张继奎 罗琼 陈洪光 陈智

[74] 专利代理机构 郑州中民专利代理有限公司  
代理人 郭中民

权利要求书1页 说明书6页

[54] 发明名称

隧道衬砌 C40 超密集型钢混凝土中的混凝土材料及施工方法

[57] 摘要

本发明涉及一种混凝土技术。提出的隧道衬砌 C40 超密集型钢混凝土中的混凝土材料的配合比为 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ): 水泥 52.5 级 410 ~ 450, 河砂(中砂) 720 ~ 740, 碎石(5 ~ 31.5mm) 950 ~ 1060, 粉煤灰 80, 水 185 ~ 190, RB 高效减水剂用量为水泥用量的 0.8%, 钢纤维 50。本发明所提出的型钢混凝土中的混凝土材料及配比, 经过试验, 和易性指标和强度指标及水泥用量均满足要求, 进行混凝土抗渗性验证试验, 结果大于 P15 (抗渗试验做至水压 1.5MPa 时, 6 个试件均未渗水)。混凝土施工的振捣工序中采用插入式捣棒和附着式振捣器结合的工作方式。本发明混凝土在怀渝铁路圆梁山特长隧道施工中采用在实际施工中获得了满意的质量, 混凝土各项指标均达到设计要求。

1、一种隧道衬砌 C40 超密集型钢混凝土中的混凝土材料，其特征是：混凝土材料的配合比为 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )：水泥 52.5 级 410~450，河砂（中砂）720~740，碎石（5~31.5mm）950~1060，粉煤灰 80，水 185~190，RB 高效减水剂用量为水泥用量的 0.8%，钢纤维 50。

2、权利 1 所述的隧道衬砌 C40 超密集型钢混凝土中的混凝土施工方法，其特征是：振捣工序中采用插入式捣棒和附着式振捣器结合的工作方式，安装附着式振捣器的间距沿模板台车长度方向的最大间距 $<1.5\text{m}$ ，上下方向的最大间距 $<2\text{m}$ 。

## 隧道衬砌 C40 超密集型钢混凝土中的混凝土材料及施工方法

### 技术领域

本发明涉及一种混凝土技术，主要涉及一种隧道衬砌 C40 超密集型钢混凝土中的混凝土材料及施工方法。

### 背景技术

型钢混凝土是指在混凝土结构中不仅设置钢筋，还额外设置钢轨的承载能力很强的混凝土结构形式，这种结构形式应用相对较少，主要只是在受力条件比较复杂的情况下使用。在隧道及地下工程中，有时局部地段围岩的变形和地应力情况十分复杂，这时隧道的衬砌就需要采用型钢混凝土结构。这种混凝土结构中，钢筋和钢轨的分布一般都非常密集，以充分发挥钢筋和钢轨强度高，特别是抵抗拉、弯、扭能力超强的特点，以满足结构在复杂地质情况下的受力要求。但也正是由于型钢混凝土中钢筋和钢轨的分布非常密集，间距很小，净间距通常只有 5~6 cm，而且在三维方向上间距都很小，而混凝土的粗骨料最大粒径一般多为 3~4 cm，这样混凝土浇筑就会比较困难，另外，由于要求结构的承载能力超强，则要求混凝土材料必须是较高的强度等级，这样使得混凝土满足各方面技术要求的难度相应增大。由于这种特殊要求混凝土在配制和施工质量保证方面难度较大，因此隧道衬砌采用型钢混凝土结构形式目前国内尚无先例，也没有形成隧道衬砌超密集型钢混凝土的配制及施工方法的技术方案。

从专业技术角度分析，要成功地配制出适应这种特殊要求的混凝土，并解决混凝土浇筑困难、保证施工质量，关键有三点，第一是选材（指每一种原材料），包括其种类和规格都要十分合理；第二是科学合理的设计、选定混凝土配合比，使配制出的混凝土不但满足较高的强度要求，更重要的是具有优异的和易性，以保证混凝土易于流动、易于通过密集的钢筋和钢轨最终能达到均匀密实的浇筑效果，且能避免不密实和空洞的产生；第三是采取有效的施工措施，确保混凝土浇筑振捣达到高效率和质量。

### 发明内容

本发明的目的即是提出一种隧道衬砌 C40 超密集型钢混凝土中的混凝土材料及施工方法。

本发明的技术方案是在对型钢混凝土的特点、对混凝土材料的要求、各种混凝土材料的特性进行大量分析并经多次试验的基础上提出。

#### 隧道衬砌型钢混凝土结构对混凝土材料的要求

1、强度指标：由于要承受较大的荷载，因此型钢混凝土需要较高的强度等级，本发明选择强度等级为 C40。

2、施工性能：要求混凝土流动性大、粘聚性好、和易性优异，不离析、不泌水，以保证在钢筋和钢轨的分布非常密集的不利条件下得到密实性良好的混凝土。

3、耐久性：任何混凝土结构都必须考虑耐久性问题，以期通过混凝土材料耐久性能的提高，以达到延长正常使用寿命、减少维修费用的目的。隧道衬砌用型钢混凝土由于所处环境的特殊性，环境作用影响大，内部结构异常复杂，维修难度大、成本高，因此更需要提高混凝土的耐久性能，包括抗渗性、抗裂性、抗钢筋锈蚀和化学腐蚀等。

#### C40 型钢混凝土中混凝土的原材料选择与配制

从混凝土技术的发展现状来看，配制 C40 强度等级的混凝土并不难，但要同时达到优异的和易性及耐久性，就必须对混凝土所用原材料进行精细挑选、科学配置，在配合比设计时要进行合理地组合，须兼顾各项性能指标，最后才能配制出综合性能优异、满足型钢混凝土性能要求的混凝土产品。原材料的合理配置和配合比的优化设计都十分关键，原材料的选择是配合比设计的前提。水泥是混凝土中的主要胶凝材料，对混凝土的各项性能起主导作用，其选择十分关键。鉴于普通硅酸盐水泥其各方面综合性能较好，本发明选择普通硅酸盐水泥；在选择水泥等级时发明人充分考虑 C40 型钢混凝土强度等级较高，加之钢筋密集，施工灌注难度较大，必须采用大流动度混凝土，较大的坍落度必然需要较大的水泥用量，而过高的水泥用量将带来过大的水化热和收缩，使混凝土产生开裂。本发明采用 52.5 级普通硅酸盐水泥，在达到相同混凝土强度和坍落度的前提下，可以降低单方水泥用量。

水泥的性能对混凝土的耐久性产生至关重要的影响，水泥的化学成分及其含量是重要的影响因素。水泥的每一强度等级分为早强型和非早强型两种，早强型水泥干缩较大，不利于抗裂，故应选择非早强型水泥。另外，水泥的化学组分及其含量对混凝土的耐久性也会产生至关重要的影响。水泥熟料中主要有

四种矿物成分，分别是  $C_3S$ 、 $C_2S$ 、 $C_3A$  和  $C_4AF$ ，在普通硅酸盐水泥中， $C_3A$  含量的一般范围为 7%~15%。 $C_3A$  这种矿物成分的水化速度最快，但其缺点是水化物的干缩最大，当该矿物在水泥中所占比例较大时，会导致混凝土的抗裂性下降，混凝土的微观结构缺陷增多，抗腐蚀性较差，特别是环境中的化学腐蚀介质对混凝土的侵蚀对象主要就是  $C_3A$ ，因此本发明将所用水泥的  $C_3A$  含量限制在 10% 以内。

细骨料选择河砂，主要是从混凝土的和易性要求考虑。河砂以中砂为宜，对于配比大流动性的 C40 混凝土来说优先选择细度模数 2.6~3.0 的中砂，可以得到较好的和易性，并可减少水泥用量，有利于混凝土的耐久性。河砂的质量指标，除细度模数之外，要严格控制含泥量、泥块含量以及有害物质含量，符合 GB/T14684 的各项要求。此外，还必须严格进行碱活性检验，确认属于非碱活性骨料方可使用，以避免混凝土结构发生碱骨料反应破坏。

粗骨料选择碎石，主要考虑骨料与水泥之间的粘结性，和混凝土的强度。必须严格控制其含泥量，以真正达到与水泥石之间良好的粘结效果。骨料的粒径对于混凝土能否顺利浇筑至关重要。考虑到型钢混凝土结构在三维方向上钢筋及型钢均密集分布，为确保混凝土能够浇筑顺利，且便于通过各种间隙，避免形成粗骨料的堆积和离析现象，本发明将粗骨料的粒径确定为 31.5 mm。粒径若过小，则粗骨料总的表面积增大，将会使混凝土每方用水量和水泥用量增加，对于 C40 混凝土而言，增大了开裂的可能性。

为避免混凝土结构发生碱骨料反应破坏，必须对粗骨料严格进行碱活性检验，确认属于非碱活性骨料方可使用。

掺入粉煤灰用于提高混凝土的和易性，合理降低水泥用量。选择优质粉煤灰，以利于降低混凝土的配制难度和有利于施工质量控制。可优先选用一级粉煤灰，最低使用二级粉煤灰。第二，粉煤灰的掺量应合理选定。掺入适量的粉煤灰既可以提高混凝土的和易性，又可减少部分水泥用量，降低混凝土的水化热，但掺量过大时，不仅影响混凝土强度，对耐久性也有不利影响，特别是影响抗碳化和抗钢筋锈蚀能力。

C40 型钢混凝土属于大流动度混凝土，高效减水剂是配制大流动度混凝土必不可少的材料，按照现行国标 GB8076（《混凝土外加剂》），为了更好地达到增大坍落度且合理控制水泥用量的目的，C40 型钢混凝土所使用的高效减水剂，

其减水率必须不低于 15%。经多次试验，采用 RB 高效减水剂，减水率 17.8%，能在保证混凝土强度、和易性的前提下大幅度地降低水泥用量。

型钢混凝土的混凝土材料掺入有钢纤维，主要作用是防止微裂缝的产生和扩展。从理论上分析，掺入钢纤维可以提高混凝土的抗拉强度和抗弯强度，但对混凝土的抗压强度影响较小，须认真考虑钢纤维在混凝土中均匀分散的问题。钢纤维产品有联体型和非联体型之分，前者采用普通的搅拌工艺即可达到均匀分散的目的，而后者必须在搅拌机的入料口安装一专用振动播料器方可达到均匀分散的目的。为简化施工工艺，保证钢纤维的分散效果，采用联体型钢纤维产品。

### C40 型钢混凝土理论配合比确定

混凝土技术指标的确定：

#### (1)、试配强度

按照《铁路混凝土与砌体工程施工规范》，C40 混凝土取强度标准差 4.5MPa，按 95%强度保证率，则试配强度确定为：

$$f_{cu,0} = f_{cu,k} + 1.645 \sigma = 40 + 1.645 \times 4.5 = 47.4 \text{Mpa}$$

#### (2)、耐久性指标

抗渗等级确定为 P12，试配阶段抗渗性应达到 P14 以上；

为避免混凝土水化热及温度应力过大造成混凝土开裂，水泥用量不超过  $450 \text{kg/m}^3$ 。

#### (3)、和易性指标

根据衬砌施工条件和型钢混凝土结构特点，为保证混凝土的和易性和可泵性，考虑到运输过程中的坍落度损失较小，新拌混凝土的坍落度确定为 180~200mm，重点保证混凝土不离析、不泌水。

混凝土配合比设计

#### (1)、水灰比

水灰比以及水泥的强度等级是影响混凝土强度的决定性因素，同时水灰比又是影响混凝土耐久性最主要的因素。先根据混凝土配制强度，用鲍罗米公式计算求得一个大致的水灰比，公式如下：

$$f_{cu,0} = 0.46 f_{ce} (C/W - 0.07)$$

式中  $f_{ce}$  和  $f_{cu,0}$  分别表示 28 天龄期水泥实际强度和混凝土配制强度，C/W 为

灰水比，即水灰比的倒数。

按以上公式计算分析，采用 52.5 级水泥，则水灰比应为 0.42~0.46 之间。

#### (2)、用水量

混凝土中单位用水量是影响其坍落度值的主要因素，单位用水量还要取决于原材料种类和规格，在保证混凝土和易性达到施工需要（即坍落度 180~200mm）的前提下，使用级配较好的河砂（中砂），则用水量约为 185~200kg。另外，外加剂品种对用水量也有较大影响。在满足一定的强度要求，即水灰比基本确定的情况下，用水量的大小直接关系到水泥用量的多少。

#### (3)、水泥用量

为保证混凝土的耐久性，防止混凝土开裂，配制 C40 混凝土的关键之一是必须防止单位水泥用量过高，不得超过  $450\text{kg}/\text{m}^3$ 。

#### (4)、粉煤灰掺量

掺入适量的粉煤灰有利于提高混凝土的可泵性和抗离析性能，使混凝土和易性更佳，但掺量过大对混凝土耐久性有一定的不利影响。

#### (5)、砂率

应结合胶凝材料总量以及砂子的级配、形态等进行综合考虑，以保证混凝土具有适度的粘聚性、保水性并有利于降低水泥用量为宜。配制这种大流动度泵送混凝土，砂率宜为 40~44%。

#### (6)、钢纤维掺量

型钢混凝土中掺入钢纤维，本发明将钢纤维的掺量确定为  $50\text{kg}/\text{m}^3$ 。其主要作用是防止微裂缝的产生和扩展，从而大大提高混凝土的抗裂性。

在此基础上，提出本发明混凝土材料的配合比为 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ )：水泥 52.5 级 410~450，河砂（中砂）720~740，碎石（5~31.5mm）950~1060，粉煤灰 80，水 185~190，RB 高效减水剂用量为水泥用量的 0.8%，钢纤维 50。

本发明施工方法不涉及钢筋及型钢的加工和安装。

关于混凝土的施工工艺，在称量、搅拌、运输、泵送、浇筑等环节，本发明与普通混凝土结构的工艺措施均大致相同，但在振捣环节有较大区别。一般在进行隧道衬砌混凝土振捣时，均采用插入式捣棒从模板预留的窗口插入混凝土中进行振捣，重点控制捣棒的移动间距、插入下层混凝土中的深度以及每个振点的振捣持续时间。这样的操作基本能保证混凝土达到密实状态。但对于型钢混凝土衬砌结构，一些地方插入式振捣棒无法插入，本发明采用附着式振捣

器与插入式捣棒共同工作的方案进行振捣。附着式振捣器可选择功率 1.5kW、振频 100~150Hz、振幅 0.8~1.0 mm。安装附着式振捣器的间距，沿模板台车长度方向的最大间距不得超过 1.5m，即<1.5m 上下方向的最大间距不得超过 2m，即<2m。在插入式捣棒无法插入的地方，开动附着式振捣器，开启的持续时间操作人员要注意加强观察，防止过振（以混凝土表面泛浆、不再明显下沉为度）。本发明能保证混凝土全部受到振捣作用不留死角。

本发明所提出的型钢混凝土中的混凝土材料及配比，经过试验，和易性指标和强度指标及水泥用量均满足要求，进行混凝土抗渗性验证试验，结果大于 P15（抗渗试验做至水压 1.5MPa 时，6 个试件均未渗水）。

本发明和施工工艺方法混凝土在怀渝铁路圆梁山特长隧道施工中采用在实际施工中获得了满意的质量，混凝土各项指标均达到设计要求，证明了这种以综合控制为特点的型钢混凝土及施工方法是可行的，工程质量是完全有保证的（该工程已通过铁道部工程质量验收）。

### 具体实施方式

#### 实施例 1:

本发明混凝土配合比为 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ): 水泥 52.5 级 411, 河砂 (中砂) 740, 碎石 1060, 粉煤灰 80, 水 185, RB 高效减水剂用量为水泥用量的 0.8%, 钢纤维 50, 水灰比为 0.45。其混凝土实测性能坍落度为 190mm,  $R_{28}48.4\text{Mpa}$ 。

#### 实施例 2:

本发明混凝土配合比为 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ): 水泥 52.5 级 450, 河砂 (中砂) 734, 碎石 974, 粉煤灰 80, 水 190, RB 高效减水剂用量为水泥用量的 0.8%, 钢纤维 50, 水灰比为 0.45。其混凝土实测性能坍落度为 195mm,  $R_{28}47.5\text{Mpa}$ 。

#### 实施例 3:

本发明混凝土配合比为 ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ): 水泥 52.5 级 450, 河砂 (中砂) 722, 碎石 956, 粉煤灰 80, 水 190, RB 高效减水剂用量为水泥用量的 0.8%, 钢纤维 50, 水灰比为 0.42。其混凝土实测性能坍落度为 190mm,  $R_{28}52.0\text{Mpa}$ 。