

# 高性能水泥混凝土收缩开裂影响因素浅析

周建强<sup>1</sup> 陈生客<sup>2</sup> 李壮壮<sup>2</sup>

(1. 浙江省交通工程管理中心 浙江 杭州 310000;

2. 长安大学公路学院 陕西 西安 710064)

**[摘要]**随着路桥建设行业的不断发展,对混凝土的要求也在不断地提高。从组成混凝土原材料的角度探讨混凝土收缩开裂的原因,有助于制定合理的混凝土收缩开裂的预防和控制措施。

**[关键词]**混凝土;干燥收缩;开裂

**[DOI]** 10.12252/j.issn.2096-6261.2020.02.181

## 1. 前言

收缩开裂一直都是影响混凝土构造物质量和寿命的重要因素。特别是非受力状态下的收缩开裂,一直是函待解决的难题。技术人员将其归结于脆性材料的物理特性。但是这种非受力开裂的现象在某些特定条件下也可以避免。因此,找出使混凝土收缩开裂的原因并给予有效控制,是解决这项难题的根本办法。

## 2. 混凝土构造物的收缩类型及机理

根据产生收缩的机理,混凝土收缩可分为不同的形式。包括塑性收缩、化学收缩、干燥收缩和自生收缩。此外,可以考虑早期和后期的收缩,这两个阶段共同导致总收缩。早期收缩通常定义为配料后24小时内发生的收缩,而长期收缩是指24小时及以上发生的收缩。

### 2.1 塑性收缩

塑性收缩发生在硬化前的塑性阶段,是指塑性阶段混凝土由于表面失水速率大于泌水速率而产生的收缩,多见于大面积工程,在夏季有风情况下最为普遍。

### 2.2 化学收缩

化学收缩是一种早期行为,尤其是在发生在混合后的第一小时。在低水灰比情况下这种情况会加剧,因为孔隙干燥后会导致体积显著减少<sup>[1]</sup>。

### 2.3 干燥收缩

干燥收缩是混凝土停止养护后,因在空气中失去内部毛细孔和凝胶孔的吸附水而发生的不可逆收缩。随着环境中相对湿度的降低,水泥浆体的干缩增大。在大多数混凝土工程中,混凝土不会连续暴露在使水泥浆体中C-S-H失去结构水的相对湿度下,故引起收缩的主要原因是失去毛细孔和凝胶孔的吸附水。

### 2.4 自生收缩

自生收缩是由于混凝土内部相对湿度随水泥水化的进展而降低而造成毛细孔中水分不饱和并由此产生的负压引起的混凝土收缩<sup>[2]</sup>。混凝土自生收缩是在混凝土与外界无水分交换的条件下发生的。

## 3. 水泥混凝土收缩开裂的影响因素

以下因素会影响混凝土的收缩程度,根据浆体的用量和质量对这些因素进行了分类。

### 3.1 浆体数量

在给定的水灰比条件下,随着混凝土混合物中水泥浆体含量与体积比值的增加,干燥收缩几乎呈线性增加。

### 3.2 浆体质量

浆料质量可考虑包括基于成分组成和数量的参数,包括水泥基材料、水灰比和外加剂。

### 3.3 水泥成分

水泥成分在一定程度上会影响干缩。已有研究证明较高的C<sub>3</sub>A和碱含量会增加收缩。澳大利亚的一些规范对水泥化学

成分进行了限制,以控制现场施工中混凝土的收缩。这些规范规定C<sub>3</sub>A的最大含量为7%,SO<sub>3</sub>的最小含量为1.8%。

### 3.4 水泥细度

硅酸盐水泥的水化速率取决于熟料颗粒的表面积,随着细度的增加,强度增加越快。另一方面,孔隙结构越细,早期收缩率越高。一些研究表明,对于给定的水灰比和集料水胶比,水泥越细,需水量越高,干缩越大。

### 3.5 辅助胶凝材料类型

在现代混凝土中,常采用不同的辅助胶凝材料来改善混凝土性能。如下文所述,研究的结果各有差异。

#### 3.5.1 粉煤灰

ACI委员会232(2005)报告说,添加具有固定含水量的粉煤灰可能会略微增加收缩。这主要归因于混凝土中浆体体积的增加。同时,如果降低粉煤灰含水量,收缩率应与不掺粉煤灰的混凝土相当。据研究,在大多数情况下,C级粉煤灰比对照混凝土混合物产生的收缩更大,这很可能是由于其低碱含量和较高的Ca/Si比<sup>[3]</sup>。Gesoğlu等人(2009年)<sup>[4]</sup>用F级粉煤灰替代波特兰水泥,用量分别为20%、40%和60%。结果表明,使用F级粉煤灰可降低干燥收缩率,且随着替代含量的增加,效果更为显著。

#### 3.5.2 矿渣水泥

矿渣性质的不同对混凝土的收缩影响也不同。Gesoğlu等人(2009)<sup>[4]</sup>得出结论,随矿渣水泥用量的增加,收缩率降低。Collins和Sanjayan(2000)<sup>[5]</sup>指出,碱激发矿渣混凝土的干燥收缩率比普通混凝土高1.6至2.1倍。

#### 3.5.3 硅灰

一般含硅灰混凝土的早期收缩较大,长期收缩较小。Alsayed(1998)<sup>[6]</sup>在实验室条件下监测了硅灰混凝土三年的干燥收缩。硅灰掺量为10%时,混凝土的三年干缩率、收缩应变应力和第一个月干缩率均显著降低。另外,在混凝土混合料中加入10%水泥重量的硅灰,可大大降低养护条件对干缩的影响。

然而,Rao(2000)<sup>[7]</sup>开展了一个关于硅灰替代率为0%至30%(按重量计)的收缩行为的实验。水灰比为0.5,胶凝材料与砂的质量比为1:3。结果表明,硅灰的加入使收缩率显著增大,且随着硅灰的掺量增加,收缩率进一步增大。

#### 3.6 水灰比

关于水灰比对混凝土收缩率的影响,学者们表达了不同的观点。

Hindy等人(1994)<sup>[8]</sup>研究了水灰比、养护时间和硅灰含量对混凝土收缩的影响。根据作者的观点,“水灰比的增加导致了水泥浆体的总收缩率增加,为自由水扩散提供了更多的空间。”

Bissonnette等人(1999)发现,水灰比对收缩率的影响相对较小。对于给定浆料含量,水灰比从0.35到0.50以上的

收缩率平均降低仅为7%到10%。

Bloom和Bentur (1995) [9] 研究中未观察到水灰比对收缩率影响的明显趋势。

### 3.7 减水剂

减水剂的性质不同以及用量不同,对混凝土的收缩也会产生不同的影响。

Phelan (1995) [10] 指出,一种好的减水剂可以将混凝土的含水量降低10%~18%,这种含水量的降低将导致收缩率的降低。

Johnston等人(1979) [11] 研究了四种类型的减水剂对新拌和硬化混凝土性能的影响。在保持水灰比为0.5,和易性不变的情况下,三聚氰胺甲醛缩合物和分子量磺酸基亚烷基基对干燥收缩影响不大,而磺化聚合物和聚合萘缩合物对干燥收缩影响较大。

## 4. 其他因素

### 4.1 骨料

骨料的体积、类型和级配也是影响混凝土收缩的因素。由于骨料的体积不会随着水泥浆体的反应产生体积变化,所以骨料体积的增加和浆料体积的相应减少一般会导致收缩率的降低。

骨料的结构也是影响干燥收缩的关键因素,通常天然砂和砾石比破碎骨料具有更高的收缩率,并且含有高吸水率骨料的混凝土收缩率较高。

### 4.2 级配

骨料的级配、最大尺寸、形状和质地似乎间接影响收缩。在实践中,这些特性的任何变化都可能导致需水量和浆料含量的变化,这两者都会直接影响干燥收缩。增加骨料尺寸,同时降低浆料含量,将降低干燥收缩率。

### 4.3 养护

Powers (1959) 指出,延长养护期可减少未水化水泥的量,这应增加水泥浆体的收缩量。但是,通过延长湿养护时间,可能会减少总收缩量。

Alsayed和Amjad (1994) [12] 研究了四种养护方法对混凝土干燥收缩的影响:每天洒水两次,用粗麻布覆盖和每天洒水两次,用不透水的聚乙烯板覆盖,暴露在空气中不养护。间歇式湿养护降低了混凝土的极限收缩率,增加了产生收缩的暴露时间,但这些方法均不能有效降低早期(小于30天)的收缩率。

## 5. 混凝土收缩开裂的预防和控制

如前所述,引起混凝土收缩开裂的原因多种多样,我们应当结合工程特点采取控制和预防措施,一般包括如下几点:

5.1 控制骨料质量,选择合适的浆骨比。在满足要求的前提下,选用级配、品质较好的骨料可以降低水泥浆体的用量,提高混凝土的抗裂性和耐久性。

5.2 在保证混凝土质量的前提下,减少水泥用量,掺加必要的辅助胶凝材料,同时控制混凝土的最大水胶比,保证其致密性。

5.3 注意养护,保持其湿润状态,可有效防止出现干缩裂缝;混凝土终凝前二次抹面,尽量减小早期塑性裂缝对混凝土后期的影响。

5.4 对于大体积混凝土,要控制混凝土水热化和外部的温度差,应采用低热水泥和大掺量矿物掺和料共同优化配合比,降低水热化。

## 结论

收缩开裂问题是影响混凝土耐久性的障碍之一。我们结合混凝土的特点,具体分析了混凝土的收缩开裂产生的原因,提出了一般性的控制和预防原则。然而,在操作中我们仍必须考虑实际情况,分析引起混凝土开裂的具体原因并加以预防,从而保证混凝土工程的质量。

## 参考文献

[1] Boivin, S., P. Acker, and B. Clavaud. 1999. Experimental assessment of chemical shrinkage of hydrating cement pastes. In *Autogenous Shrinkage of Concrete*. New York: Routledge. Boivin, S. P. Acker and B. Clavaud.

[2] 王雪芳, 郑建岚. 矿物掺合料对高性能混凝土自收缩影响及计算模型研究[J]. 建筑结构学报, 2010(2).

[3] Deshpande, S., D. Darwin, and J. Browning. 2007. Evaluating free shrinkage of concrete for control of cracking in bridge decks. *Structural Engineering and Engineering Materials SM Report No. 89. TPF-5 (051)*. The University of Kansas Center for Research, Inc.

[4] Gesoğlu, M., E. Güneş, and E. Özbay. 2009. Properties of self-compacting concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of fly ash, blast furnace slag cement, and silica fume. *Construction and Building Materials*. 23, 1847-1854.

[5] Collins, F., and J. G. Sanjayan. 2000. Cracking tendency of alkali-activated slag concrete subjected to restrained shrinkage. *Cement and Concrete Research*, 30, 791-798.

[6] Alsayed, S. H. 1998. Influence of superplasticizer, pasticizer, and silica fume on the drying shrinkage of high-strength concrete subjected to hot-dry field conditions. *Cement and Concrete Research*, 28(10), 1405 - 1415.

[7] Rao, G. A. 2000. Long-term drying shrinkage of mortar - influence of silica fume and size of fine aggregate. *Cement Concrete Research*, 31, 1711-175.

[8] Hindy, E., B. Miao, O. Chaallal, and P. Aitcin. 1994. Drying Shrinkage of Ready Mixed High-Performance Concrete. *ACI Structural Journal*, 91(3), 300-305.

[9] Bloom, R. and A. Bentur. 1995. Free and Restrained Shrinkage of Normal and High-Strength Concretes. *ACI Materials Journal*, 92(2), 211-217.

[10] Phelan, W. and R. Martin. 1995. How Do Admixtures Influence Shrinkage? *Concrete Construction*, 40(7), 611-617.

[11] Johnston, C., B. Gamble, and V. Malhotra. 1979. Effects of Superplasticizers on Properties of Fresh and Hardened Concrete. *Transportation Research Record*, 720, 1-7.

[12] Alsayed, S. and M. Amjad. 1994. Effect of curing conditions on strength, porosity, absorptivity and shrinkage of concrete in hot and dry climate. *Cement and Concrete Research*, 24(7), 1390-1398.