

## 墙体混凝土裂缝的分析与控制

何希铨

(福建省建筑科学研究院, 福建 福州 350002)



何希铨

**[摘 要]** 墙体混凝土裂缝长期以来一直都是工程技术人员研究和关注的难题,而且随着预拌混凝土的普及有愈演愈烈的趋势。本文对住宅墙体混凝土的早期与长期裂缝的出现原因进行了分析,着重论述了墙体混凝土硬化前后的裂缝发展的机理及特征。针对不同情况、不同状态、不同程度的裂缝做了深入而确凿的研究和探讨。详细地提出了实用而可行的解决和控制方案。希望本文的结论对裂缝防治的理论研究及实际工程应用带来一定的借鉴意义。

**[关键词]** 墙体混凝土; 裂缝; 原因分析; 裂缝控制

**[中图分类号]** TU528.01

**[文献标识码]** A

**[文章编号]** 1002-3550(2005)03-0072-05

## The analysis and control for concrete cracks of inhabitant building walls

HE Xi-quan

(Fujian Academy of Building Research, Fuzhou 350002, Fujian, China)

**Abstract:** The question of cracks of concrete of inhabitant building walls has always been focused and studied by technicians. The passage analyzes the reasons of concrete cracks emerged early or late in inhabitant building walls. It emphasizes the reasons and features of cracks development of wall concrete before and after hardening. During this progress, deep and objective study and discussion are carried out according to the different status and extent. Practical and feasible settlements and means are put forward extensively. The conclusion is meaningful to theory study and practical implementation.

**Key words:** walls concrete; cracks of concrete; analysis of reason; control of cracks

## 0 前言

住宅墙体混凝土裂缝是房屋结构最常见的缺陷,也是住宅工程质量控制的一个技术难题。首先,裂缝的产生影响建筑物的外观质量,给业主的心理带来不安全感;其次,从承载力角度而言,由早期裂缝发展而成的贯穿裂缝和深层裂缝改变混凝土的受力条件,降低结构的承载能力,影响建筑物的质量和运行安全性;第三,从耐久性角度出发,混凝土结构体表面或内部发生的裂缝将对建筑物防水性、抗渗性、钢筋锈蚀性、化学侵蚀性等耐久性产生严重的危害,缩短建筑物的使用寿命。

导致墙体混凝土裂缝的原因很多,一般成因是由于墙体混凝土发生体积变化时受到约束,或是由于荷载作用,因而在混凝土内引起过大的拉应力或受拉应变,墙体混凝土裂缝的出现不仅仅有损其结构的外观,而且往往反应了墙体在设计、施工及用料上的不当,还反应了墙体结构存在严重缺陷,或者混凝土材料已受腐蚀或重大损伤,致使结构面临破坏。导致住宅墙体混凝土裂缝的具体原因有塑性收缩、塑性沉降、结构荷载、热收缩、干缩、冻融侵蚀、钢筋锈蚀、硫酸盐侵蚀、碱集料反应和延缓钙矾石生成等等。

对住宅墙体混凝土产生的裂缝可分为混凝土硬化前和硬化后两个阶段加以分析。

## 1 墙体混凝土硬化前的裂缝

## 1.1 墙体塑性干缩裂缝(塑性收缩裂缝)

## 1.1.1 成因

新拌混凝土在凝结过程中因表面水分蒸发而引起的干缩裂缝常见于浇筑后混凝土墙体构件的外露表面。当新浇墙体混凝土表面水分蒸发速度高于混凝土内部从里到外的泌水速度,表面就会干缩,这种收缩受到表面以下的混凝土约束,于是在表面形成塑性开裂。这种裂缝在混凝土浇筑后的几个小时内不断引发和扩展,裂缝数目增多,宽度、长度增大,一般持续至混凝土终凝时停止。常常发生在钢筋、预埋件周围及截面厚度突变处(如板肋交接处、梁板交接处),裂缝形状宽且浅呈梭形,宽度约在 1mm~4mm 之间,深度通常达到钢筋的上表面。

## 1.1.2 影响因素

a. 环境的干燥程度:环境的相对湿度越低,混凝土固体质点间的毛细孔隙水形成的弯液面的曲率半径减小,形成的拉力增大,塑性收缩程度增加。

b. 水泥用量和水泥细度:增加水泥用量和细度,

则毛细孔隙的平均直径变小,弯液面的最小曲率半径也随之减小,导致最大拉力增加,于是塑性收缩增大。

c. 矿物掺合料:在浆体中加入矿物掺合料,使粉体总量增加,也会加大塑性收缩。

d. 用水量:一般来说,增加用水量,使稠度降低,浆体较软,其抵抗收缩能力变弱,最终的塑性收缩量增加。但用水量太小,随着水化的进行,混凝土内部会出现自真空现象,增加混凝土的自收缩,对抗裂性能不利。

e. 外加剂:不同的外加剂对降低混凝土的收缩所起作用是不同的,加入减水剂,使用水量减少,可减少塑性收缩。加入缓凝剂,增加终凝过程,可增加塑性收缩。

f. 外部环境的风速:风速越大,塑性收缩越大。

g. 环境的相对温度及温差:施工现场的温度越高,收缩越大。温差越大,越容易产生裂缝。

h. 混凝土的振捣:混凝土应振捣密实,一次振捣时间为15s~30s,在柱、梁、墙和板的变截面处宜分层浇筑、振捣,在混凝土浇筑1h~1.5h后,混凝土尚未凝结之前,对混凝土进行两次复振,以排除混凝土因泌水在粗骨料水平钢筋下部产生的水分和空隙,改善混凝土和钢筋的握裹力,消除混凝土沉降裂缝。

### 1.1.3 防止塑性干缩裂缝的方法

a. 预防混凝土入模后的外表面失水,用塑料膜覆盖或及时喷水雾养护。

b. 通过预冷,降低混凝土的入模温度,设置风障,减小现场风速。

c. 设置遮阴棚,防止阳光直射。

d. 不过分搅拌,将搅拌时间限制在最低所需搅拌时间。

e. 尽量缩短从搅拌到浇筑的时间,以及从浇筑到抹面、养护的时间。

f. 浇筑前湿润模板和底板,将钢筋加湿降温。

h. 准确掌握振捣时间,避免漏振和过振。

如果塑性裂缝出现在墙体混凝土施工的最终抹面以前,可以通过抹面和压光消除这些裂缝。此外,外加引气剂使混凝土含气量保持在1.5%~4.5%之间也可有效地减少塑性收缩裂缝。而外掺氯化钙做为早强剂则会加剧墙体混凝土的塑性开裂。

在实际工程中,墙体的塑性干缩裂缝又往往与塑性沉降裂缝相互影响,有时还相互交织在一起。在通常的环境气候下,出现塑性裂缝主要是混凝土材料或施工质量不良的结果。

## 1.2 墙体塑性沉降裂缝

### 1.2.1 成因

在混凝土拌合物中,粗细骨料颗粒、水泥浆体、水泥颗粒、水等各组分比重不同,会发生重组分沉降、轻

组分上浮现象,即“沉降”与“泌水”现象。新拌墙体混凝土的内部沉降会造成塑性沉降裂缝。沉降裂缝可发生在初始振捣一直到表面抹光之后,此时的混凝土仍处于硬化前的可塑状态。当垂直下沉的固体颗粒遇到水平设置的钢筋或螺栓等预埋件,或受到侧模的摩擦阻力时,就会受到阻拦并与周围的混凝土形成沉降差,结果在墙体混凝土顶部表面处造成塑性沉降裂缝。此外,如果墙体与梁、板、柱同时浇筑,由于这些构件的深度不同,有着不同的沉降,从而在这些构件交界面处形成沉降差并产生沉降裂缝。墙体混凝土的坍落度越大,沉降开裂的可能性也越大。在接近表面的水平钢筋上方最容易形成沉降裂缝,并随钢筋直径加粗和保护层减薄而愈发严重。当保护层薄时,塑性沉降裂缝甚至会伸入钢筋表面并沿着钢筋通长发展。

### 1.2.2 防止塑性沉降开裂的主要措施

a. 在满足工作度的前提下,混凝土坍落度应尽可能的低,混凝土的配合比应保证其良好的稠度和保水性。

b. 在浇筑墙体与梁、板、柱等相互连接的不同深度的构件时,如果不能在高度差处设置施工缝,则宜分层浇筑,待每层沉降稍稳定后再往上浇筑,每层的浇筑时间间隔一般不少于2h(天热则应适当缩短),防止在构件的连接部位出现裂缝。

c. 增加表面钢筋的保护层厚度。

d. 合理的振捣,如果振捣时间过长也会加剧沉降开裂。

e. 外掺引气剂也有利于防止沉降裂缝。

## 1.3 墙体其它塑性裂缝

墙体其它塑性开裂包括:模板松动、模板支架下沉、钢筋和预埋件移动以及斜面上的混凝土滑动所造成的裂缝,这些均属施工原因。在支模前未能夯实地基或者未能察觉地基土有遇水膨胀倾向往往会造成模板移动并引起早期的塑性开裂,振捣不充分或振捣时移动振捣棒的位置采用拖动(而不是从混凝土中拔出后再插入)的方法,也会造成塑性裂缝。

## 2 墙体混凝土硬化后的裂缝

### 2.1 墙体自生收缩裂缝

#### 2.1.1 成因

水泥水化失水引起的收缩。水泥水化后固相体积增加,但水泥-水体系的绝对体积减少,在已硬化的水泥浆体中,未水化的水泥继续水化是产生自生收缩的主要原因。水化使空隙尺寸减少并消耗水分,如无外界水分补给,就会引起毛细水负压使硬化水化产物受压产生体积变化,即自生收缩。

墙体混凝土的自生收缩是与湿度交换、温度变化

无关的一种宏观收缩,由于墙体养护较困难,有的在拆模后就会发生裂缝,有的在拆模后几天或几周出现裂缝,随后发展为纵向贯穿裂缝,这与墙体混凝土的自生收缩有关。对低水灰比混凝土,如目前较流行的高性能混凝土(HPC),自生收缩比普通混凝土大。

### 2.1.2 控制墙体自生收缩的措施

a. 必须重视早期养护,初凝后立即供水,采用内衬塑料钢模或透水模板。

b. 用饱水轻质多孔集料或多活性细掺料进行“自养护”。

c. 掺加粉煤灰,最好选用Ⅱ级或Ⅱ级以上的粉煤灰,掺量宜为10%~30%。

d. 掺入膨胀剂,尤其是选用可控制膨胀速度的膨胀剂,用以补偿混凝土的自收缩,减免早期内部裂缝。

e. 增加构造筋,配筋率不低于0.5%,同时采用直径较小,间距不大于150mm的配筋,以提高墙体混凝土的极限拉伸变形值和分散收缩应力。

f. 掺入保水外加剂。

## 2.2 墙体混凝土的温度收缩裂缝

### 2.2.1 成因

墙体混凝土结构的早期温度变化主要是由水化热和环境条件引起的。温度的变化造成墙体结构内应力过大而引起裂缝。一般发生在混凝土变硬的最初阶段,这时的混凝土水化热处于高温或较高温度下。对于厚度较大(超过30cm~40cm)的墙板构件,应该视为大体积混凝土,在施工过程中进行混凝土温度控制,当混凝土内外温差超过25℃时,就很有可能开裂。

### 2.2.2 控制墙体混凝土温度收缩的主要途径

a. 尽可能减少墙体混凝土因水化热和环境温度引起的温度变化幅度,尤其要降低混凝土的最高温度,以减少外部约束下的温度应力。

b. 尽可能减少墙体混凝土的内外温差,以减少内部约束下温度应力。水化热引起的温差通常发生在大体积墙体混凝土内,而环境温度引起的温差则对所有结构都有影响。

c. 控制混凝土温度变化(冷却)的速度,尤其要防止温度的骤然变化。

d. 在墙体的用料上,选择热膨胀系数较低和抗拉变形能力较高的混凝土。

### 2.2.3 防止墙体混凝土温度收缩裂缝的主要措施

防止早期墙体混凝土温度收缩裂缝的根本办法是进行温度应力分析和现场温度监控并采取相应防裂措施。

a. 降低水化热及其释放速度:减少水泥用量,选用低水化热的水泥,掺加粉煤灰等矿物掺合料都能降低水化热。

b. 降低混凝土的入模温度和浇筑温度:控制投料

时的原材料温度,减少混凝土在输送过程中的温升,浇筑时保持混凝土的温度均匀,天然施工浇筑速度放慢,墙体浇筑完毕后要尽快覆盖以利于保温保湿等。

c. 控制散热过程并防止墙体混凝土表面温度的骤然变化:混凝土表面设置隔热层,大体积墙体采用分层浇筑,使用缓凝剂、延缓施工速度以利于散热等。

d. 改善墙体混凝土的强度和热学性能。

e. 设置伸缩缝,配置构造钢筋,采用膨胀混凝土或后浇带施工。

f. 墙体最易开裂,拆模时间应不少于7d,以减少温度收缩。为及早养护,在硬化1d后即可松动模板螺丝2mm~3mm,并在墙体顶端架设淋水花管,不断地淋水养护,7d后拆模,然后用麻袋片紧贴墙体表面,继续养护7d。

## 2.3 墙体混凝土的干燥收缩裂缝(干缩裂缝)

### 2.3.1 成因

由于墙体混凝土内固相水泥浆体体积会随含水量而改变,导致混凝土干燥时收缩(而产生裂缝),受湿时膨胀。墙体混凝土干燥时首先失去的是较大孔径的毛细孔隙中的自由水分,但这几乎不会引起固相浆体体积的变化,只有很小孔径毛细孔隙水和凝胶体内的吸附水与胶体的层间孔隙水减少时才会引起明显的收缩。

### 2.3.2 影响因素

a. 水泥组分:现代水泥过分追求早期强度,导致水泥的碱含量越来越高,细度越来越大,C<sub>3</sub>S的含量越来越高,这些原因使水泥的抗裂性能越来越差。

b. 骨料类型和用量:骨料的弹性模量越高,减少收缩作用越明显;吸水率较大的骨料所配制的墙体混凝土有较大的干缩值;骨料颗粒大能减少需水量,也能有效地降低水泥浆体的收缩;骨料含量越高,干燥收缩就越小。

c. 用水量、水泥用量和水灰比:用水量大会使骨料体积减少而加大混凝土干缩,水泥用量大的墙体混凝土有较大的干缩值。

d. 化学外加剂:氯化钙作为速凝剂的使用会增大混凝土的收缩量。

e. 环境条件:风速越大、环境越干燥,墙体混凝土干缩越大。

### 2.3.3 墙体混凝土干缩裂缝的控制

a. 配制低收缩量的混凝土:减少水的用量、加大粗骨料的粒径和骨料含量,减少水泥用量。

b. 降低混凝土的干燥速率,延缓表层水分损失,养护时保持湿润。

c. 设置构造钢筋,可将收缩变形分布在钢筋上,即使开裂也能使裂缝较细较密。

d. 采用补偿收缩混凝土和后浇带施工,设置伸缩

缝。

e. 提高墙体混凝土的抗裂能力。

## 2.4 墙体混凝土的腐蚀裂缝与钢筋锈蚀裂缝

### 2.4.1 成因

墙体混凝土的腐蚀裂缝是由于墙体混凝土受碱骨料反应或受硫酸盐、镁盐等化学物质侵蚀造成体积膨胀而引起的裂缝。这类裂缝多呈龟裂状,深而密,甚至出现块状崩裂。另外,对于早期热养护的预制墙板,或高水泥含量( $500\text{kg}/\text{m}^3$ )的现浇墙体,在一年或几年以后,水泥水化的钙矾石才有可能生成,这种延缓的钙矾石也会使墙体开裂。墙体混凝土的腐蚀也可能出于物理原因,例如墙体在潮湿情况下反复遭受冻融循环的侵害,逐渐形成密排的细裂缝。含游离氧化钙太多的劣质水泥在硬化后的混凝土遇水发生体积膨胀也容易使混凝土崩裂。

钢筋锈蚀裂缝是钢筋锈蚀后膨胀引起的,裂缝的方向与钢筋平行并沿钢筋长度发展,严重时造成混凝土保护层剥落。另一种情况是混凝土内含有两种不同金属时,就如同形成一个电池,可使其中一种金属快速腐蚀,发生膨胀,导致墙体开裂剥落。

通常混凝土显碱性,在高碱性环境中的金属表面会形成一层氧化保护膜(钝化膜),如墙体混凝土发生碳化,则混凝土中碱性降低,钢筋表面的钝化膜会被破坏,钢筋就有可能遭到锈蚀。

因收缩、荷载的原因发生在钢筋横截面上的混凝土横向裂缝,通常不会导致钢筋连续锈蚀,这是由于横向裂缝处的钢筋暴露表面非常有限,因锈蚀或某种原因在钢筋与混凝土之间形成的纵向裂缝则危害较大,纵向裂缝可为氧气、水分或氯离子提供长驱直入的通道,锈蚀和裂缝会连续长期发展下去。

### 2.4.2 控制墙体混凝土的腐蚀裂缝与钢筋锈蚀裂缝的方法

对墙体混凝土结构来说,防止混凝土腐蚀和钢筋锈蚀的最好保护手段是采用增加混凝土的密实性、提高混凝土的抗渗性、适当加大保护层厚度。抗渗性好的混凝土不但能阻止水分和侵蚀介质的侵入,减少混凝土的腐蚀程度,而且碳化速度也非常缓慢。保护层较厚时,虽然墙体混凝土表面裂缝宽度会增大,但却能很好的防止钢筋锈蚀。

## 2.5 荷载引起的墙体结构裂缝

由外加荷载引起的结构裂缝。这种裂缝比较容易辨认,比如弯曲受拉裂缝发生在墙体受弯构件的最大弯矩截面附近,弯曲受拉裂缝是横向裂缝,一般不需做任何处理;如果裂缝宽度较大,就要找出合理解释,确认是否存在强度不足等重要问题(如设计有误,或实际钢筋配置不足等),需做处理。当裂缝宽度超过 $0.4\text{mm}\sim 0.5\text{mm}$ 以上时,横跨裂缝的钢筋很可能

已经屈服。

与横向的弯曲受拉裂缝相比,墙体出现的斜裂缝则需要更加警惕。墙体出现剪力或扭转引起的斜裂缝一般是不允许的,出现后要具体分析原因并采取适当的结构补救措施。

由荷载引起的结构裂缝有时发生在墙体局部应力集中处,如墙板洞口边角处的斜裂缝、墙体截面突变处的裂缝等,这些裂缝的发生还往往与混凝土的收缩和塑性沉降有关。

墙体如果出现平行于压力方向的裂缝,有时并伴随局部的表皮剥落,往往表示墙体混凝土已临近受压破坏,必须迅速采取应急加固措施,这种情况有时也发生在墙体端部的不均匀局部承压处。

## 2.6 由不均匀沉降造成的墙体裂缝

因地基沉降或支座沉降不均匀造成的墙体裂缝。这类裂缝在施工时往往不被注意,而一旦发生则后果严重。有些商品住宅地基建在砂砾层、回填土层上,墙体结构难免出现不均匀沉降,不过在实际施工中,只要严格控制,这类裂缝出现的几率较小。

## 3 裂缝处理

在事后裂缝的诊断工作中,应结合具体的施工工艺、地理环境、材料条件寻求引发裂缝的主次原因,从而便于采取合理的补救措施。

(1)表面较浅裂缝,可将裂缝附近的混凝土表面凿毛,或沿裂缝方向凿成深为 $15\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 、宽为 $100\text{mm}\sim 200\text{mm}$ 的V形凹槽,清理干净并洒水湿润,先刷水泥净浆一遍,然后用水泥砂浆分层涂抹,并压实抹光。为使砂浆与混凝土表面结合良好,抹光后的砂浆面应覆盖塑料薄膜,并用支撑板顶紧压实。

(2)当裂缝宽度在 $0.1\text{mm}$ 以上时,可用环氧树脂压力灌浆嵌补。

(3)当裂缝宽度大于 $0.5\text{mm}$ 时,可采用水泥压力灌浆补缝。对结构强度产生严重影响的裂缝应经过设计采取结构加固、补强的办法。

## 4 结论

(1)住宅墙体混凝土的开裂往往是混凝土原材料选择不当、混凝土配合比不当、施工质量低劣的综合反应,裂缝的出现表示墙体混凝土在强度、渗透性等方面存在更大问题。

为了提高墙体混凝土防裂性能而防止开裂,在确定混凝土的配比时应减少水泥用量、外掺粉煤灰,并使用适当的引气剂、缓凝剂、膨胀剂、纤维等,同时选择中水灰比( $0.45$ 左右),选用温度膨胀系数低的粗骨料和含泥量低的细骨料;在施工过程中应搅拌均匀、合理振捣并及时养护。

·下转第81页·

出现裂缝。

### c. 蓄水法

它的具体做法是:先在混凝土表面覆盖双层麻袋,浇水湿润。待混凝土初凝后,在基础周围砌挡水,蓄水深 10cm,养护 28 天。为及时掌握混凝土内部温度与表面温度的变化值,在基础内埋设测温点 20 个,深度分别设在板中及距表面 10cm 处,分别测量中心最高温度和表面温度,测温管均露出混凝土表面 12cm。

另外,根据实践经验和理论分析,大体积混凝土要取得理想的温差控制效果,还需注意混凝土的入模温度。大体积混凝土的入模温度不低于  $+10^{\circ}\text{C}$ 。因为混凝土入模温度过低,就无法控制混凝土内外温差在  $20^{\circ}\text{C} \sim 25^{\circ}\text{C}$  之间的要求。夏季施工应尽量降低混凝土入模温度,如对骨料加设遮阳棚、喷洒冷水降温,采用冰水拌制混凝土等。

## 3.3 合理选择浇筑工艺流程,尽量改善约束条件

### a. 改善外约束力

通常是改善边界和约束条件,当外约束力小于混凝土通龄期的抗拉强度时(即当混凝土的自身强度足以抵抗外约束力时),混凝土就不会发生裂缝。如果结构设计在松软地基上,那么对基础的约束力就不大,此时发生的裂缝可能性也不大;如果设置在基岩上,对结构就有很大的约束力,这时就应很好考虑地

基的约束影响。如在基础下面设置缓冲的滑动垫层,其效果就比较好。

### b. 改善内约束力

通常是设置后浇带,既减少了前期混凝土自身的约束,又有利于混凝土温差应力和早期收缩应力的有效释放。实践表明,后浇带的间距不宜超过 30m,填充时间不宜少于 45 天,90 天~180 天后填充后浇带的效果最为明显。

## 4 结束语

大体积混凝土结构施工中常见和较难解决的问题之一是如何防止、控制温度裂缝的产生。实践证明:加强对混凝土组分材料、温度的控制和约束条件的改善等措施,对于提高大体积混凝土本身强度及抗裂性能效果显著,能有效地减少和防止裂缝的出现。

### 【参考文献】

- [1]王铁梦.工程结构裂缝控制[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [2]汪正荣.简明施工计算手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1999.

【作者简介】 李林,1972 年生,男,毕业于华中理工大学,工业与民用建筑专业,高级工程师。

【单位地址】 沈阳市铁西区凌空二街 4 号甲,东北金城建设股份有限公司(110022)

【联系电话】 13358869466;13898120078

·上接第 75 页·

(2)防止墙体混凝土硬化前的塑性开裂,关键在于控制混凝土表面水分的蒸发速度,并采取相应措施。

(3)住宅墙体混凝土的早期硬化过程中的开裂,主要是温度应力引起的,而干燥收缩可以加剧温度裂缝的发展,所以对早期墙体混凝土的温度养护与湿度养护具有同样的重要性。

防止墙体混凝土早期硬化开裂,关键在于降低温度应力。墙体混凝土浇筑后的初期,表面在升温过程中保持冷却散热状态,但一旦温度下降,应立即采取覆盖保温措施。重要墙体工程施工前应进行温度和温度应力分析,同时在施工时实测监控实际温度,并采取相应防裂措施。

(4)墙体混凝土出现裂缝受多种因素影响,裂缝的出现往往不是单一的和有序的,应根据具体情况进

行分析,总结裂缝出现原因并加以控制。

### 【参考文献】

- [1]王铁梦.工程结构裂缝控制[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2]杨文科.水泥混凝土裂缝产生的原由分析[J].混凝土,2004,(5).
- [3]赵国藩,等.钢筋混凝土结构的裂缝控制[M].北京:海洋出版社,1991.
- [4]路新瀛,刘倩,等.住宅地下室混凝土早期裂缝原因浅析[J].混凝土,2001,(2).
- [5]黄士元,蒋家奇,杨南如.近代混凝土技术[M].西安:陕西科学技术出版社,1997.
- [6]钟进章.混凝土裂缝成因及控制措施[J].混凝土,2004,(10).

【作者简介】 何希铨,1964 年生,男,高级工程师,福建省建筑科学研究院副总工程师,建材所所长,福建省建筑业协会混凝土分会秘书长。

【单位地址】 福建省福州市杨桥中路 162 号,福建省建筑科学研究院(350002)

【联系电话】 0591-3770633;13705088819