

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2020.11.037

# 从原材料控制等谈如何防止混凝土裂缝的产生

张文清

(上海住陆建设集团有限公司,上海市 201204)

**摘要:**通过回顾总结、分析对比上世纪八十年代前和八十年代,建设工程地下室外墙建设情况,以及九十年代以来地下室外墙裂缝产生情况,从原材料控制及施工工艺方面,提出如何避免或减少地下室混凝土外墙无害裂缝和有害裂缝的措施建议。其成果可供施工、原材料和混凝土供应单位借鉴。

**关键词:**混凝土;原材料;配合比;地下室外墙;裂缝;建议

**中图分类号:** TU528

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2020)11-0134-04

## 0 引言

有关研究证明,建设工程中造成地下室外墙钢筋混凝土裂缝的原因主要有:(1)混凝土干燥收缩、温降收缩及碳化收缩的变形变化;(2)混凝土脆性增加、抗拉强度降低;(3)水、土水平压力、不均匀沉降等动、静外荷载作用;(4)结构次应力的影响。有时还会是几种因素叠加造成,但产生裂缝的绝大多数地下室外墙主要是由混凝土的干燥收缩和温降收缩变形变化及混凝土脆性增加、抗拉强度降低造成的。尤其是上世纪九十年代以来泵送混凝土施工工艺的发展,使得混凝土裂缝控制的技术难度大为增加,如过去干硬性及预制混凝土的收缩变形约为  $2.5 \times 10^{-4} \sim 3.5 \times 10^{-4}$ ,而现在泵送流态混凝土的收缩变形约为  $6 \times 10^{-4} \sim 8 \times 10^{-4}$ ,水化热也大幅度增高<sup>[1]</sup>。造成混凝土变形而引起裂缝的因素涉及到结构设计、地基基础、施工技术、材料质量、环境状态等多种方面。现就原材料控制方面提出一些如何控制地下室外墙裂缝的建议<sup>[1-7]</sup>。

人们知道,钢筋混凝土是由水泥、石子、黄砂、水、外加剂和钢筋等材料组合而成的,它们的物理力学性能是各不相同的。而混凝土是具有湿胀干缩、热胀冷缩特性的。当它受到干湿变化、温度变化和水泥硬化时,是会产生水分蒸发、体积变形的。这时,各种材料的体积变形值是互不相同的。当这些变形受到约束时,混凝土内部就会产生应力。收缩时,会产生拉应力,当这些收缩拉应力超过地下室外墙钢筋混凝土的极限抗拉强度时,就会产生裂缝。如:当水泥面和骨料产生不同变形

时,产生的不同拉应力,会造成水泥面与骨料粘结面间裂缝;或骨料之间的水泥面裂缝;或骨料自身的裂缝。因此,从绝对意义上讲,建设工程地下室外墙钢筋混凝土产生宽度小于 0.05 mm,且非贯穿的微观裂缝是不可避免的。但是,通过采取各种科学的措施后,对于宽度不小于 0.05 mm 的裂缝,是可以预防或避免的。

## 1 现场机拌混凝土原材料等控制

上世纪八十年代前,上海市的建筑工地一般采用现场自拌混凝土,当时大体积混凝土的强度等级,一般不超过 300 号(C28),其原材料及配合比如下:

(1)矿渣硅酸盐水泥标号一般为 500 号(42.5),安定性好,用量  $335 \sim 365 \text{ kg/m}^3$ ;(2)石子一般采用玄武岩和花岗岩,质地坚硬,颗粒饱满,粒径为 5~40 mm,连续级配,针片状石粒不大于 10%,含泥量不大于 1%,杂物清除或冲洗干净;(3)黄砂为中粗砂,质地坚硬,颗粒粗糙,细度模数一般为 2.4~3.5,平均粒径一般为 0.36~0.5 mm,含泥量不大于 3%,垃圾、草根、泥块等杂物清除或筛除;(4)水灰比一般为 0.45~0.54,水胶比一般为 0.340~0.355,雨天施工时,扣除砂石中含水量,并适当调低水胶比,坍落度一般为 3~5 cm,砂率为 35%左右;(5)外加剂主要是在冬季施工时,采用很少量的三乙醇胺、或元明粉、或糖蜜、或 VC 或木质素磺酸钙等,木质素磺酸钙掺量为水泥量的 0.25%。

施工工艺一般为:(1)外墙施工缝一般设在底板面以上 200 mm 左右高度,外低内高;(2)外墙混凝土与底板及“反口”混凝土浇筑时间相隔一般不超过三周;(3)底板混凝土浇筑至外墙施工缝“反口”下时,停歇半小时左右,然后再浇筑“反口”混凝

收稿日期:2020-04-07

作者简介:张文清(1966—),男,工程师,从事工程项目施工管理工作。

土,“反口”内混凝土初步震捣后,停歇1 h左右,再对“反口”混凝土进行“回震”密实和补充混凝土,并用铁抹子刮去表面浮浆,拍平拍实混凝土;(4)外墙施工缝以下混凝土浇筑完成后2~3 d内,由专人凿毛“反口”表面“油面层”,凿除疏松石粒,以利该施工缝处新老混凝土能牢固连接;(5)浇筑外墙混凝土时,采用人工斜锹布料,分层厚度30 cm左右;分层采用插入式震动棒震捣密实;浇筑高度超过2 m时,设串筒、溜管、或溜槽布料,或在墙体侧模板上设置“门子板”,进行布料和震捣;(6)墙体混凝土浇筑至梁板下5~10 cm时,停歇1~2 h,使混凝土有充分“沉实”,然后对墙体上端20~30 cm厚混凝土进行“回震”一次;(7)外墙和楼顶板混凝土浇筑完后12 h时,及时挂双层草袋,并由专人持续浇水养护14 d以上,28 d后开始分段拆除墙体侧模板;紧接着在几天内完成已拆模段回填土。

当时的建设工程地下室外墙基本没有发现过宽度不小于0.05 mm,不大于0.3 mm,非贯穿的宏观、无害裂缝,以及宽度大于0.3 mm,或贯穿的有害裂缝。

## 2 早期泵送混凝土原材料等控制

上世纪八十年代,宝钢工程和上海建工局(建工集团)承建的数十项大型高层建筑,其地下室外墙钢筋混凝土是采用集中搅拌、泵送施工的。当时从原材料质量、级配比设计及施工工艺等方面都实施了严格的质量控制措施,具体如下:

(1)原材料质量方面,采用500号或425号或525号低水化热矿渣硅酸盐水泥,安定性良好,用量一般为 $320\sim 380\text{ kg/m}^3$ ;石子采用5~40 mm粒径的玄武岩和花岗石,质地坚硬,颗粒饱满,连续级配,针片状石粒很少,含泥量不大于1%,杂物清除;黄砂为中粗砂,细度模数一般为2.4~3.2,平均粒径一般为0.35 mm~0.5 mm,含泥量不大于2%,垃圾、草根等杂质清除;外加剂木质素磺酸钙,掺量为水泥量的0.25%,有的工程采用I级磨细粉煤灰,一般掺量为水泥量的5~15%。

(2)级配比设计方面,水灰比一般为0.47~0.55,水胶比一般为0.35~0.38;砂率38~42%;坍落度 $10\text{ cm}\pm 2\text{ cm}$ 。

(3)施工方面,外墙两侧模板为九夹板模板或钢模板;浇筑外墙混凝土与底板混凝土间隔时间不超过14 d;为确保混凝土密实度和匀质性,混凝土浇筑程序从拉应力最大的外墙中部向两端方向进行;按60 cm左右厚度分层布料和震捣;采用“一铺二震三深捣”方法振捣密实混凝土;混凝土

浇筑至梁板底下5~10 cm处,停歇1~2 h,回震墙上端20~30 cm处混凝土后,再浇筑梁板混凝土;外墙和楼顶板混凝土浇筑完12 h后,及时对外墙两侧模板和顶面挂两层草袋,专人持续浇水养护28 d,侧模拆除后,继续对外墙和顶面混凝土挂两层草袋,浇水养护至回填土完成;外墙外模在混凝土浇筑完后28 d,达到设计强度后分段拆除;边拆模边从速回填土等等。

这些建设工程的地下室外墙钢筋混凝土也没有产生宽度不小于0.05 mm,不大于0.3 mm、非贯穿的宏观、无害裂缝,以及贯穿的、或宽度大于0.3 mm的有害裂缝。

## 3 90年代以来混凝土裂缝控制情况

20世纪90年代初开始,上海乃至沿海地区,凡采用混凝土集中搅拌,泵送施工的建设工程的地下室钢筋混凝土外墙,包括“两墙合一”、“两墙叠合”等工程,都不同程度地存在着宏观、无害裂缝和贯穿或非贯穿的有害裂缝(见图1、图2所示)。裂缝一般位于墙中部,或离壁柱0.8~1 m处,间距一般为2.2~3.2 m,或预留洞四角处等,中间宽些两端细些。大多为上下垂直裂缝、少量稍呈斜状,也有不规则表面裂缝。缝深有10~40 mm的,也有50~150 mm的,较多为贯穿墙体的。从裂缝出现时间看,有的工程在外墙混凝土浇筑后7~14 d拆模时,就出现表面不规则或有规则裂缝,一般工程都从结构封顶后会明显出现裂缝,并逐步发展。



图1 地下室外墙表面裂缝情况之实景



图2 地下室外墙贯穿裂缝情况之实景

从原材料及级配比方面分析,随着泵送混凝土的迅速发展,由于流动性与和易性的要求,坍落度增加、水灰比增加、水泥标号提高,水泥用量、用水量、砂率均增加,骨料粒径减小、减水剂及其他

外加剂的增加等诸多因素的变化,导致混凝土的收缩及水化热作用都比以往预制装配工程结构和中低强度等级混凝土大量增加,而收缩时间却不断延长。这些都已为大量试验所证实。同时,虽然水泥用量的增加及标号的提高,可明显提高抗压强度,但对抗拉强度的提高是有限的。这些因素,在客观上造成了泵送混凝土比其他混凝土更容易产生裂缝,但从早期泵送混凝土的原材料控制经验上看,如果能从原材料质量、级配比设计及施工工艺等方面实施严格的质量控制措施,也能很好地解决大部分混凝土裂缝的产生。

## 4 从现行泵送混凝土原材料、配合比控制分析裂缝产生原因

### 4.1 原材料质量方面

(1)石子粒径小,质地松,质量差。目前泵送的地下室外墙混凝土中石子一般都采用粒径5~25 mm的,石粒也不饱满,且有微风化的,质地松,自身体积变形量较大,易拉裂。还有连续级配差,针片状石粒明显超10%,这对于防止地下室外墙裂缝十分不利。因为石子良好的颗粒形状和连续级配的混凝土具有较好的和易性、较少的用水量和水泥用量及较高的抗压强度。同时,混凝土中的粗骨料有一个最佳的粒径,方能发挥水泥最有效的作用,在施工条件许可情况下,应尽量选用粒径较大的石子。对于向下泵送混凝土的石子完全可采用粒径5~40 mm的,这可比5~25 mm石子,每立方米混凝土减少水泥量20 kg左右,可降低水化热温度2℃左右,还可减水15 kg左右,十分有利于减少混凝土的干缩和温缩裂缝。

(2)黄砂粒径太细,质量差。目前地下室外墙混凝土中使用的黄砂大多为细砂,质地松,表面光滑,不利于防止外墙产生裂缝。因为采用细度模数2.12、平均粒径0.336 mm细砂,比采用细度模数2.79、平均粒径0.38 mm中粗砂,每立方米混凝土要增加用水量20~25 kg,增加水泥用量28~35 kg,升高水化热温度2.8℃~3.5℃,这就会明显增加混凝土的干缩和冷缩裂缝产生机率。

(3)砂石含泥量太多。砂石的含泥量对于混凝土的抗拉强度与收缩影响很大,我国对含泥量的规定比较宽(含泥量:黄砂不大于3%,石子不大于1%,日本标准不大于0.25%),但实际施工中还是经常超标,或者虽然检验资料是合格,但在运输或装卸过程中会掺杂大量泥块或杂质,使混凝土明显增加了收缩变形量,降低了抗拉强度和抗裂性能。

(4)水泥的安定性、细度、抗拉强度、化学成

份,以及矿粉掺量正确性与外墙混凝土抗拉强度密切相关。但目前不少地下室外墙混凝土中所使用的水泥来源广、生产企业杂,质量控制较差,使水泥的安定性、抗拉强度等性能,以及矿粉掺量计量等方面也存在着一定不足,对地下室外墙裂缝产生也有一定影响。

### 4.2 配合比控制方面

(1)水灰比和水胶比太大,坍落度太大。目前地下室外墙泵送混凝土实际的水灰比远超0.55,有的工程达到0.65~0.78,个别工程达到0.8以上;水胶比高达0.43~0.46;坍落度为18 cm±2 cm,个别工程达22 cm。混凝土中水分太多,大大增加了混凝土的水分蒸发量和干缩裂缝。因为混凝土中80%左右的水分,在混凝土硬化过程中会蒸发掉。这些多余水分的蒸发会引起混凝土由表到内的体积干缩变形,并逐步发展。由于混凝土内部湿度不均匀,产生的干缩变形量也不均匀,这样,就会在混凝土内产生收缩拉应力,从而导致混凝土产生收缩裂缝。混凝土中水分越多,多余水分蒸发量越多,引起混凝土体积干缩变形量越大,干缩裂缝会越严重。在国外泵送混凝土的坍落度曾经采用过20 cm左右,使混凝土产生了很多裂缝。在马钢“一米七”工程施工时,曾学习国外经验,也采用了20 cm左右的混凝土坍落度,结果也产生了裂缝,效果很不好。尤其对于向下泵送混凝土,为防止混凝土因自重下滑而引起堵管,所以坍落度应适当减小,一般采用10 cm±2 cm就行了。

(2)砂率过大。目前地下室外墙混凝土中实际砂率往往超过42%,甚至达到44%~46%。适当的砂率,能有足够砂浆包裹粗骨料,有利于提高混凝土可泵性。但若太大,意味着粗骨料就相对较少,易使混凝土产生干缩裂缝和降低混凝土强度。而为了不降低混凝土强度,势必要增加水泥量,进而增加产生混凝土温降收缩裂缝。因此在满足混凝土可泵性情况下,应尽量降低砂率,同时砂石的吸水率应尽可能小一些,以利于降低收缩。

(3)粉煤灰等外掺剂量太多。目前市场片面追求经济效益,只注意混凝土强度,不重视混凝土抗裂性能。在地下室外墙每立方米混凝土中粉煤灰剂量高达水泥用量的30%~35%,甚至有的工程达到40%左右。还有减水剂、缓凝剂等多种外加剂,总掺入量超过水泥用量的2%,使混凝土的粘胶体大大减少,脆性大大增加,体积干缩变形量大大增加,干缩应力增加,早期抗拉强度和极限拉伸值降低,导致混凝土极易产生裂缝。所以对于抗裂、抗渗要求高的地下室外墙混凝土,在满足可泵

性情况下,应少掺粉煤灰和其他外掺剂。

## 5 从原材料、配合比控制方面预防混凝土裂缝的建议

### 5.1 原材料质量

(1)水泥:水泥品种的选择应根据大体积混凝土特点,视其结构特征,采用水化热控制或收缩控制。如以水化热控制,可选用粉煤灰水泥、矿渣水泥或中热硅酸盐水泥;如以收缩控制,可选用普通硅酸盐水泥或粉煤灰水泥等,不要轻易采用早强水泥。一般大体积混凝土宜优先采用低水化热的PO42.5矿渣硅酸盐水泥,或普通硅酸盐水泥加矿粉,其化学成分、细度、凝结时间、抗拉和抗压强度合格;安定性良好;每立方米混凝土中水泥掺量不能过多或过少,对C30混凝土,一般宜320~375 kg/m<sup>3</sup>。

(2)粗骨料的选择一般为:粒径5~40 mm的花岗岩、玄武岩等石子,无风化,质地坚硬,颗粒饱满,连续级配,针片状石子应不大于10%,草根、泥块和垃圾等应清除或冲洗干净。细骨料的选择一般为:中粗砂,细度模数一般为2.4~3.2,平均粒径一般为0.35~0.50 mm,质地坚硬,颗粒粗糙,草根、泥块和垃圾应清除。

(3)严格控制砂石含泥量,黄砂不大于2%,石子不大于1%。

(4)准确计算含水率:目前国内搅拌站对砂石骨料的含水率控制波动很大,影响了混凝土的水灰比,可以利用精确的含水率测定仪或传感器测出配料过程中的含水率,通过计算机自动调整配料的水灰比,严格扣除砂石中实际含水量。

(5)粉煤灰:粉煤灰是泵送混凝土的重要组成部分。由于粉煤灰的火山灰活性效应及微珠效应,具有优良性质的粉煤灰(不低于Ⅱ级),在一定掺量下(水泥重量15%~20%),其强度还有所增加(包括早期强度)、密实度增加,收缩变形有所减少、泌水量下降、坍落度损失减少。因此,选用优质的粉煤灰(I级磨细粉煤灰)能很好地改善混凝土性能<sup>[1]</sup>。

### 5.2 配合比控制

(1)严格控制水灰比,由于泵送混凝土的流动性要求与抗裂要求是互相矛盾的,故应当选取在满足泵送的坍落度下限条件下,尽可能降低水灰比。水灰比一般为:0.45~0.52。水胶比一般为:0.35~0.38。

当水灰比不变时,水和水泥的用量,即水泥浆量对于泵送状态及收缩都有显著影响,如水灰比

不变,水泥浆量由20%增加到25%(水泥浆量占混凝土总重量比),混凝土的收缩量增大20%,如果水泥浆量增加到30%,则收缩增加45%。因此,在保证可泵性和水灰比一定的条件下,应尽可能降低水泥浆量。

(2)严格控制砂率,砂率过高意味着细骨料多,粗骨料少,会起到增加收缩的作用,对抗裂不利。砂石的吸水率应尽可能小一些,以利于降低收缩。砂率一般为38%~40%。

(3)要严格控制坍落度,搅拌站及施工单位应根据结构强度需要和流动性的要求,确定较低的坍落度,根据施工季节及运输距离选择适宜的出厂坍落度和送到浇筑地点的坍落度,并根据现场坍落度信息随时调整搅拌站水灰比。坍落度一般为10 cm±2 cm。

(4)要严格控制粉煤灰掺量,一般为5%~15%,替代水泥不大于10%。

(5)为了降低用水量,保证泵送流动性,应选择对收缩变形有利的减水剂。相对中低强度等级的混凝土可选用普通减水剂,夏季宜选用缓凝剂,而冬季可选用普通型。其它减水剂、缓凝剂、泵送剂等总掺量应不大于1.0%。

(6)粉煤灰与减水剂掺入混凝土称为“双掺技术”,通过预配试验会取得降低水灰比、减少水泥浆量、提高混凝土可泵性的良好效果,特别是可明显地延缓水化热峰值的出现,降低温度峰值,有的国外试验资料说明收缩变形也有所降低。

## 6 结 语

混凝土裂缝的产生虽然是技术上的原因,但其背后也有经济、社会等其他因素的影响,这些都导致了目前混凝土裂缝,特别是有害裂缝屡禁不止。笔者初步整理了一下,主要有以下原因:

(1)由于目前的验收规范往往只注重混凝土的强度等级要求,而忽略了对裂缝控制的要求,使得包括设计单位、施工单位、监理单位和混凝土搅拌站对混凝土的抗裂要求不够重视,从而使混凝土尤其是地下室外墙的裂缝有增多的趋势。

(2)建设单位过于强调施工进度,造成混凝土的养护不到位、过早承受荷载,从而引起早期裂缝的产生。

(3)施工单位片面追求施工方便,对坍落度控制不严格、过度增加坍落度,造成干缩裂缝愈发严重。

(4)受经济因素的影响,使很多搅拌站对原材料的质量控制不严,或使用过多的外加剂,减少水

粒径的集料颗粒含量减小。破碎后的RAP可用以配制不同级配类型的再生混合料,有利于提高RAP的再生利用率。

由图5可见,破碎后9.5~16mm档RAP在4.75mm筛孔通过百分率、4.75~9.5mm档RAP在2.36mm及0.075mm筛孔通过百分率的变异性较为显著。

### 3 结 语

(1)整体铣刨回收RAP的组成及性能存在较大变异性。对于整体铣刨回收RAP,旧沥青各性能指标中延度指标的变异性最大,其变异系数约为87%;旧集料各筛孔通过百分率中2.36mm筛孔的通过百分率的变异性最大,其变异系数约为14.4%。

(2)与整体铣刨回收相比,分层铣刨回收显著降低了RAP组成及性能变异性。旧沥青的延度指

标变异系数降至61%,降幅约为30%;旧集料2.36mm筛孔通过百分率变异系数降至9.1%,降幅约为37%。

(3)破碎后的RAP可用以配制不同级配类型的再生混合料,有利于提高RAP的再生利用率。

(4)随着铣刨速度的降低,RAP中粗料含量减小,细料含量增加,其级配越来越细。铣刨速度宜控制在6~8m/min。

#### 参考文献:

[1] 刘立志.RAP材料厂拌热再生混合料质量控制研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.

[2] 毕文节.沥青混凝土路面大修中的铣刨技术[J].公路,2009(8):130-132.

[3] 许慧.基于RAP材料变异性的厂拌再生过程质量管理研究[D].重庆:重庆交通大学,2013.

[4] JTG E20—2011,公路工程沥青及沥青混合料试验规程[S].

[5] JTG E42—2005,公路工程集料试验规程[S].

(上接第137页)

泥用量,使混凝土的早期抗拉强度降低,导致混凝土的裂缝产生。

虽然混凝土的裂缝是不可避免的,但其有害程度却是可以控制的,随着人们对房屋建筑的质量要求不断提高,社会各方应更加重视对混凝土有害裂缝的控制。

#### 参考文献:

[1] 王铁梦.工程结构裂缝控制的综合方法[J].施工技术,2000(05):5-9.

[2] 游宝坤,李光明,韩立林.21世纪高层建筑基础工程[M].北京:中

国建筑工业出版社,2000.

[3] 赵志缙.高层建筑施工中的商品混凝土技术 高层建筑施工手册(第二版)[M].上海:同济大学出版社,1997.

[4] 高堃华.高层建筑基础工程大体积钢筋混凝土施工技术 高层建筑施工手册(第二版)[M].上海:同济大学出版社,1997.

[5] 王铁梦.工程结构裂缝控制[M].北京:中国建筑工业出版社,1997.

[6] 秦惠民,叶政青.深基础施工实例[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.

[7] 施国璋.宝钢泵送砼配合比试验大型钢筋砼设备基础的裂缝控制超长矩形钢筋砼水池浇灌裂缝控制试验[A].宝钢施工科技成果选编(1979-1985)[C].上海:宝钢工程指挥部,1987.