

# 泵送混凝土工艺施工裂缝的成因和防治措施

龚成文

(广东省源天工程公司,广东 增城 511340)

**摘 要:**针对泵送混凝土进仓方式进行砼浇筑过程中经常出现的裂缝问题,重点分析其产生原因,并阐述了防止裂缝产生的防治措施。

**关键词:**泵送混凝土;裂缝;成因;防治

泵送混凝土是随着现代施工技术进步而发展进来的一种较为先进的混凝土进仓方式,该工艺具有工艺简单、覆盖范围广、便于现场操作等优点。但是根据笔者参建的东深供水改造工程 B - III 标段、广东省梅县丹竹水电站等多项采用泵送混凝土的工程施工过程中出现的一些情况来看,泵送混凝土因本身的工艺特点及施工工艺等因素造成裂缝普遍存在,在一定程度上影响结构的抗渗性和耐久性,值得引起足够的重视。

## 1 有关混凝土裂缝的介绍

混凝土裂缝按其产生原因可分为两类:

(1) 由变形变化引起的裂缝:这类裂缝包括结构因温度、湿度变化、收缩、膨胀、不均匀沉降等原因引起的裂缝。其特征是结构要求变形,当受到约束和限制时产生内应力,应力超过一定数值后产生裂缝,裂缝出现后变形得到满足,内应力松弛。这种裂缝宽度大、内应力小,对荷载的影响小,但对耐久性损害大。

(2) 由外荷载(静、动荷载)直接应力引起的裂缝和次应力引起的裂缝,这类裂缝属于外因引起。

据国内外调查资料表明,工程结构产生属于变形变化(温湿度、收缩与膨胀、不均匀沉降)引起的裂缝约占 80%;属于荷载引起的裂缝约占 20%。

对于处于运动和不稳定扩展状态的裂缝,应考虑加固和补救措施。而对于稳定、闭合、愈合的裂缝则可持久的应用。例如有些具有防渗要求的混凝土结构中出现 0.1~0.2mm 裂缝时,可能开始时有轻微渗漏,但经过一段时间后,裂缝处的水泥水化析出  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,逐渐弥合了裂缝,并与大气中  $\text{CO}_2$  作用,形成  $\text{CaCO}_3$  结晶,封闭和自愈合裂缝(钙化),防止了渗漏的产生。这种裂缝是稳定的,不会影响工程结构的使用和耐久性。

下面针对泵送混凝土的特点着重对变形变化引起的裂缝产生的原因、影响因素及防治措施进行分析。

## 2 泵送混凝土的特点

### 2.1 原材料和配合比

(1) 水泥用量较多。为保证混凝土具有良好的可泵性,强度等级为  $\text{C}_{20} \sim \text{C}_{60}$  的混凝土中水泥用量多为 350~550kg/m<sup>3</sup>。

(2) 常添加掺合料。为改善混凝土性能,节约水泥和降低造价,混凝土中时常添加粉煤灰、矿渣、沸石粉等掺合料。

(3) 砂率偏高、砂用量多。为保证混凝土的流动性、粘聚性和保水性,以便于运输、泵送和浇筑,泵送混凝土的砂率一般要比普

通流动性混凝土大,约为 38%~45%。

(4) 粗骨料最大粒径。为满足泵送和抗压强度要求,规范规定粗骨料最大粒径与管道直径比 1/3。

(5) 水灰比宜为 0.4~0.6。水灰比 < 0.4 时,混凝土的泵送阻力急剧增大; > 0.6 时,混凝土则易泌水、分层、离析,也影响泵送。

(6) 泵送剂。多为高效减水剂复合以缓凝剂、引气剂等,对混凝土拌合物流动性和硬化混凝土的性能有影响,因而对裂缝也有影响。

### 2.2 工艺

(1) 混凝土拌制在搅拌站进行,原材料计量准确,搅拌均匀,但也偶有失控情况,使计量与分散存在问题,影响混凝土的均匀性;

(2) 当混凝土拌合物过干、过稀,运输时间过长、停留时间过长且未进行搅拌均匀前入泵时,混凝土拌合物干稀不匀;

(3) 每个运输车中混凝土的坍落度相差过大,加入泵车内输送时,会使浇筑的混凝土均匀性变坏;

(4) 大体积混凝土施工,当技术措施不当或不完善时,易产生温度裂缝;

(5) 大面积混凝土结构,在浇筑后防风、防晒、养护不足时,易产生干缩裂缝;

(6) 混凝土拌合物过干、人工、无称量的加入高效减水剂或水时,混凝土质量不易保证。

## 3 变形裂缝产生的原因和防治措施

### 3.1 温度裂缝

#### 3.1.1 产生的原因和特征

水泥水化过程中产生大量的热量,每克水泥释放出 502J 的热量,如果以水泥用量 350~550kg/m<sup>3</sup>来计算,每立方米混凝土将放出 17500~27500kJ 的热量,从而使混凝土内部温度升高,在浇筑温度的基础上,通常升高 35℃左右。如果按着我国施工验收规范规定浇筑温度为 28℃,则可使混凝土内部温度达到 65℃左右,在没有降温措施或浇筑温度过高,混凝土内部温度有时还会更高。水泥水化热在 1~3d 可放出热量的 50%,由于热量的传递、积存,混凝土内部的最高温度大约发生在浇筑后的 3~5d,因为混凝土内部和表面的散热条件不同,所以混凝土中心温度低,形成温度梯度,造成温度变形和温度应力。温度应力和温差成正比,温差越大,温度应力也越大。当这种温度应力超过混凝土的

内外约束应力(包括混凝土抗拉强度)时,就会产生裂缝,一般认为混凝土内外温差超过 25℃,极易产生温度裂缝。这种裂缝的特点是裂缝出现在混凝土浇筑后的 3~5d,初期出现的裂缝很细,随着时间的发展而继续扩大,甚至达到贯穿的情况。

混凝土内部的温度与混凝土浇筑厚度及水泥品种、用量有关。混凝土分仓越厚,水泥用量越大,水化热越高的水泥,其内部温度越高,形成温度应力越大,产生裂缝的可能性越大。

对于大体积混凝土,其形成的温度应力与其结构尺寸相关,在一定尺寸范围内,混凝土结构尺寸越大,温度应力也越大,因而引起裂缝的危险性也越大,这就是大体积混凝土易产生温度裂缝的主要原因。

### 3.1.2 防治措施

防止大体积混凝土出现裂缝最根本的措施就是合理进行混凝土分层分块,并在混凝土原材料及配合比选用、泵送混凝土施工工艺等方面控制混凝土内部和表面的温度差。

#### 3.1.2.1 合理进行混凝土分层分块

混凝土浇筑前,应根据结构物结构尺寸、仓面大小及约束情况等合理进行混凝土浇筑的仓面划分,保证分层分块满足设计及规范要求,大体积混凝土分层分块不宜过厚过大,以避免产生温度裂缝。

#### 3.1.2.2 混凝土原材料和配合比的选用

(1) 水泥品种选择和水泥用量控制:大体积钢筋混凝土施工宜选用中热硅酸盐水泥或低热矿渣硅酸盐水泥,在掺加泵送剂或粉煤灰时,也可选用矿渣硅酸盐水泥。再有,可充分利用混凝土后期强度,以减少水泥用量。根据大量试验研究和工程实践表明,每立方混凝土的水泥用量增减 10kg,其水化热将使混凝土的温度相应升高或降低 1℃。因此,为更好的控制水化热所造成的温度升高、减少温度应力,可以根据工程结构实际承受荷载的情况,对工程结构的强度和刚度进行复核与验算,并取得设计单位的同意后,可用 60d 或 90d 抗压强度代替 28d 抗压强度作为设计强度。最后,为减少水泥水化热和降低内外温差,宜将水泥用量尽量控制在 450kg/m<sup>3</sup> 以下,如果强度允许,尽量考虑采用掺加粉煤灰来调整。

(2) 掺加掺合料:混凝土中掺入一定数量优质的粉煤灰后,不但能代替部分水泥,而且由于粉煤灰颗粒呈球状具有滚珠效应,起到润滑作用,可改善混凝土拌合物的流动性、粘聚性和保水性,并且能够补充泵送混凝土中粒径在 0.315mm 以下的细集料达到占 15% 的要求,从而改善了可泵性。同时,依照大体积混凝土所具有的强度特点,初期处于较高温度条件下,强度增长较快、较高,但是后期强度增长缓慢。掺加粉煤灰后,其中的活性 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 与水泥水化析出的 CaO 作用,形成新的水化产物,填充孔隙、增加密实度,从而改善了混凝土的后期强度。但是值得注意的是,掺加粉煤灰混凝土的早期抗拉强度和极限变形略有降低。因此,对早期抗裂要求较高的混凝土,粉煤灰掺量不宜太多,宜在 10%~15% 以内。

特别重要的效果是掺加原状或磨细粉煤灰之后,可以降低混凝土中水泥水化热,减少绝热条件下的温度升高。掺加粉煤灰的水泥混凝土的温度和水化热,在 1~28d 龄期内,大致为:掺入粉煤灰的百分数就是温度和水化热降低的百分数,即掺加 20%

粉煤灰的水泥混凝土,其温升和水化热约为未掺粉煤灰的水泥混凝土的 80%,可见掺加粉煤灰对降低混凝土的水化热和温升的效果是非常显著的。

(3) 掺加外加剂:掺加具有减水、增塑、缓凝、引气的泵送剂,可以改善混凝土拌合物的流动性、粘聚性和保水性。由于其减水作用和分散作用,在降低用水量和提高强度的同时,还可以降低水化热,推迟放热峰出现的时间,因而减少温度裂缝。

#### (4) 选用质量优良的粗细骨料:

粗骨料:根据结构最小断面尺寸和泵送管道内径,选择合适的最大粒径,尽可能选用较大的粒径。天然连续级配的粗骨料可使混凝土具有较好的可泵性,减少用水量、水泥用量,进而减少水化热。例如 5~40mm 粒径可比 5~25mm 粒径的碎石或卵石混凝土可减少用水量 6~8kg/m<sup>3</sup>,降低水泥用量 15kg/m<sup>3</sup>,因而减少泌水、收缩和水化热。

细骨料:以采用级配良好的中砂为宜。实践证明,采用细度模数 2.8 的中砂比采用细度模数 2.3 的中砂,可减少用水量 20~25kg/m<sup>3</sup>,可降低水泥用量 28~35kg/m<sup>3</sup>,因而降低了水泥水化热、混凝土温升和收缩。泵送混凝土也宜选用合理砂率,其砂率值较低流动性混凝土适当提高是必要的,但是砂率过大,不仅会影响混凝土的工作度和强度,而且能增大收缩和裂缝。

#### 3.1.2.3 泵送混凝土施工工艺改进

(1) 控制混凝土出机温度和浇筑温度:为了降低混凝土的总温升,减少大体积工程结构的内外温差,控制混凝土的出机温度和浇筑温度也是一个重要措施。

对于浇筑温度的控制,我国《水工混凝土施工规范》(SDJ 207-82) 中明确规定:高温季节施工时,混凝土最高浇筑温度应 ≤28℃。

降低混凝土的出机温度,最有效的方法是降低原材料温度,混凝土中砂石比热较小,但每立方混凝土中砂石所占重量最大,所以最有效的办法是降低砂石温度。在气温较高时,为了防止太阳直接照射,可以在砂石堆场搭设简易遮阳棚,或加大堆料高度(一般应 ≥6m,但要采取措施防止骨料破碎)并采用地泵送料,必要时可向料堆喷淋雾状水,或在使用前用冷水冲洗集料,在搅拌混凝土时加冰块冷却。除此之外,搅拌运输车罐体、泵送管道保温、冷却也是必要的措施。

#### (2) 改进工艺:

搅拌工艺:采用二次投料的净浆裹石或砂浆裹石工艺,可以有效地防止水分聚集在水泥砂浆和石子的界面上,使硬化后界面过渡层结构致密、粘结力增大,从而提高混凝土强度 10% 或节约水泥 5%,并进一步减少水化热和裂缝。

振动工艺:对已浇筑的混凝土,在终凝前进行二次振动,可排除混凝土因泌水而在石子、水平钢筋下部形成的空隙和水分,提高粘结力和抗拉强度,并减少内部裂缝与气孔,提高抗裂性。

养护工艺:为了严格控制大体积混凝土的内外温差,确保混凝土质量,减少裂缝,养护是一个十分重要和关键的工序,必须切实做好,养护要做到使混凝土表面经常保持湿润,根据新的混凝土施工规范,养护时间为 28d,必要时还需延长养护期。

混凝土养护主要是保持适当的温度和湿度条件。保温能减少混凝土表面的热扩散,降低混凝土表层的温差,防止表面裂缝。由于散热时间延长,混凝土强度和松弛作用得到充分发挥,使混

混凝土总温差产生的拉应力小于混凝土的抗拉强度,防止了贯穿裂缝的产生。

### 3.2 沉陷(塑性)收缩裂缝

#### 3.2.1 产生的原因和特征

采用泵送混凝土现浇的各种钢筋混凝土结构中(特别是板、墙等表面系数大的结构),经常出现一种早期裂缝。这种裂缝为断续的水平裂缝,裂缝中部较宽、两端较窄、呈梭状,裂缝经常发生在板结构的钢筋部位、板肋交接处、梁板交接处、梁柱交接处、结构变截面的地方。这种裂缝产生的原因主要是混凝土流动性过大或流动性不足或混凝土拌制不均匀,在凝结硬化前没有沉实或者沉实不够,当混凝土沉陷时受到钢筋、模板抑制以及模板移动、基础沉陷所致。裂缝在混凝土浇筑后 1~3h 出现,裂缝的深度通常达到钢筋上表面。

#### 3.2.2 防治措施

(1)严格控制混凝土单位用水量及水灰比,在满足泵送和浇筑要求时,尽可能减小坍落度;

(2)掺加适量、质量良好的泵送剂和掺合料,可改善工作性、减少沉陷;

(3)混凝土搅拌时间要适当,时间过短、过长都会造成拌合物均匀性变坏而增大沉陷;

(4)混凝土浇筑时,下料不宜太快,防止堆积或振捣不充分;

(5)混凝土应分层浇筑、振捣密实,振捣时间以 10~15s/次为宜,在混凝土浇筑 1~1.5h 后,混凝土尚未凝结之前,对混凝土进行二次振捣,表面要压实抹光;

(6)在炎热的夏季和大风天气,为防止水分急剧蒸发,形成内外硬化不均和异常收缩引起裂缝,应采取措施缓凝和表面覆盖措施。

### 3.3 干缩裂缝

#### 3.3.1 产生的原因和特征

干燥收缩的主要原因是水分在硬化后较长时间产生的水分蒸发引起的。混凝土的干燥收缩由于集料的干燥收缩很小,因此主要是由于水泥石干燥收缩造成的。混凝土的水分蒸发、干燥过程是由外向内、由表及里,逐渐发展的。由于混凝土蒸发干燥非常缓慢,而且裂缝发生在表层很浅的位置,裂缝细微,有时呈平行线状或网状,常常不被人们注视。但是应当特别注意,由于碳化和钢筋锈蚀的作用,干缩裂缝不仅严重损害薄壁结构的抗渗性和耐久性,也会使大体积混凝土的表面裂缝发展成为更严重的裂缝,影响结构的耐久性和承载能力。

#### 3.3.2 防治措施

(1)水泥品种:一般来说,水泥的需水量越大,混凝土的干燥收缩越大,不同水泥混凝土的干燥收缩按其大小顺序排列为:矿渣硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、中低热水泥和粉煤灰水泥。所以,从减少收缩的角度出发,宜采用中低热水泥和粉煤灰水泥。

(2)水泥用量:混凝土干燥收缩随着水泥用量的增加而增大,但是增加量不显著。尽管如此,因泵送混凝土的水泥用量偏高,在有可能减少水泥用量时,还是尽可能降低水泥用量。

(3)用水量:混凝土的干燥收缩受用水量的影响最大,在同一水泥用量条件下,混凝土的干燥收缩和用水量成正比;当水泥用量较高的条件下,混凝土的干燥收缩随着用水量的增加而急剧增大。综合水泥用量和用水量来说,水灰比越大,干燥收缩越大。

沉陷裂缝、干缩裂缝都是由于混凝土单方用水量过大、混凝土过稀、坍落度过大,水分蒸发过快、过多造成的。因此严格控制泵送混凝土的用水量是减少裂缝的根本措施,为此,在混凝土配合比设计中应尽可能将单方混凝土用水量控制在  $170\text{kg}/\text{m}^3$  以下。

(4)砂率:混凝土的干燥收缩随着砂率的增大而增大,但增加的数值不大。泵送混凝土宜加大砂率,但不是笼统的和无限的,也应在最佳砂率范围内,可以通过理论计算和工程实践确定。

(5)掺合料:质量良好、含有大量球形颗粒的一级粉煤灰,由于内比表面积小、需水量少,能降低混凝土干燥收缩值。

(6)化学外加剂:为了降低用水量,掺加适当数量减水率高、分散性能好的外加剂是非常必要的。掺加减水剂、泵送剂,特别是同时掺加粉煤灰的双掺技术不会增大干燥收缩,但是对于某些减水剂、泵送剂,尤其是具有引气作用时,有增大混凝土干燥收缩的趋势。因此在选用外加剂时,必须选用干燥收缩小的减水剂或泵送剂。

(7)养护时间和方法:混凝土浇筑面表面干燥过快,产生较大的收缩,受到内部混凝土的约束,在表面产生拉应力而开裂。如果混凝土终凝之前进行早期保温养护,对减少干燥收缩有一定作用。

### 4 结语

综上所述,泵送混凝土,特别是在高强度、大流动性条件下,由于水泥用量多,单位用水量,砂率高和掺化学外加剂,使混凝土干燥收缩,产生裂缝的潜在危险大,对此必须引起足够重视。为此要按施工要求选择较低的坍落度,在满足流动性和泵送性的条件下,使单位用水量降低到  $170\text{kg}/\text{m}^3$  以下,在满足强度条件下,尽可能降低水泥用量。同时,应选用对混凝土干燥收缩影响小的泵送剂,必要时掺加适量膨胀剂。在施工中采用二次振捣,加强抹面和养护也是必不可少的技术措施。

(上接第 144 页)

口、灌浆等工序。

### 4 效果分析

#### 4.1 取芯检查

排水底涵全涵段封堵后,分别在顶部及一侧钻孔取芯,发现浆液与原涵壁胶结良好。在设计压力下注浆不再吃浆,说明灌浆已充填密实。

#### 4.2 外观检查

在涵口作导流沟观察,经过 2 个月观察,涵洞口壁无渗漏无湿润现象,说明封堵已取得理想效果。

### 5 结语

通过采用上述施工方案,底涵成功封堵。根据效果分析,施工质量达到设计预期效果,说明方案是有效可行的,为类似工程情况提供有价值的参考,值得在工程实践中应用和推广。