

大体积混凝土

叶利明¹ 杨超锋²

1. 新昌县交通建设有限公司 浙江 新昌 312500

2. 浙江沪杭甬养护工程有限公司 浙江 杭州 310021

【摘要】随着国民经济和建筑技术的发展,建筑规模不断扩大,大型现代化技术设施或构筑物不断增多,而混凝土结构以其材料廉价物美、施工方便、承载力大、可装饰强的特点,日益受到人们的欢迎,于是大体积混凝土逐渐成为构成大型设施或构筑物主体的重要组成部分。大体积混凝土施工技术要求比较高,特别在施工中要防止混凝土因水泥水化热引起的温度差产生温度应力裂缝。裂缝问题是在工程建设中带有一定普遍性的技术问题,裂缝一旦形成,特别是基础贯穿裂缝出现在重要的结构部位,危害极大,它会降低结构的耐久性,削弱构件的承载力,同时会可能危害到建筑物的安全使用。

【关键词】大体积混凝土;施工荷载;裂缝;承载力

0 引言

近年来,随着国民经济和建筑技术的发展,建筑规模不断扩大,大型现代化技术设施或构筑物不断增多,而混凝土结构以其材料廉价物美、施工方便、承载力大、可装饰强的特点,日益受到人们的欢迎,于是大体积混凝土逐渐成为构成大型设施或构筑物主体的重要组成部分。所谓大体积混凝土,一般理解为尺寸较大的混凝土,美国混凝土学会给出了大体积混凝土的定义:任何现浇混凝土,其尺寸达到必须解决水化热及随之引起的体积变形问题,以最大限度的减少开裂影响的,即称为大体积混凝土。大体积混凝土施工设计配合比时尽量利用混凝土 60 天或 90 天的后期强度,以满足减少水泥用量的要求。但必须征得设计单位的同意和满足施工荷载的要求。这就提出了大体积混凝土开裂的问题,开裂问题是在工程建设中带有一定普遍性的技术问题,裂缝一旦形成,特别是基础贯穿裂缝出现在重要的结构部位,危害极大,它会降低结构的耐久性,削弱构件的承载力,同时会可能危害到建筑物的安全使用。所以如何采取有效措施防止大体积混凝土的开裂,是一个值得关注的问题。

1 大体积混凝土的施工要点

大体积混凝土施工前,应对混凝土中的温度场进行分析,并根据气温、使用的材料和现场条件进行热工计算,确定浇筑顺序、浇筑方法、保温或隔热养护措施和时间、测温方法,保温或隔热养护、测温人员的安排,以及出现异常情况的预案措施等,制定有针对性的施工方案。

1.1 宜在较低温条件下进行

大体积混凝土的施工,一般,即最高气温 $\leq 30^{\circ}\text{C}$ 时为宜。气温 $> 30^{\circ}\text{C}$ 时,应周密分析和计算温度(包

括收缩)应力,并采取相应的降低温差和减少温度应力的措施。

1.2 对保温、养护措施进行适时适当的调整

对于混凝土的施工过程的控制,可依据大体积混凝土内在质量控制系统所得到的实测曲线,对保温、养护措施进行适时适当的调整,且混凝土内外的温差应小于 25°C 。

1.3 大体积混凝土的浇筑要求

应根据整体连续浇筑的要求,结合结构尺寸的大小、钢筋疏密、混凝土供应条件等具体情况,选用以下三种方法:全面分层法,即将整个结构浇筑层分为数层浇筑,当已浇筑的下层混凝土尚未凝结时,即开始浇筑第二层,如此逐层进行,直至浇筑完成。这种方法适用于结构平面尺寸不太大的工程。一般长方形底板宜从短边开始,沿长边推进浇筑,亦可从中间向两端或从两端向中间同时进行浇筑;分段(块)分层法适用于厚度较薄而面积或长度较大的工程。施工时从底层一端开始浇筑混凝土,进行到一定距离后浇筑第二层,如此依次向前浇筑其它各层;斜面分层法适用于结构的长度和厚度都较大的工程,振捣工作应从浇筑层的底层开始,逐渐上移,以保证分层混凝土之间的施工质量。

1.4 分层浇筑

当基础底板厚度超过 1.3m 时,应采取分层浇筑。分层厚度宜为 500mm 。对于大块底板,在平面上应分成若干块施工,以减少收缩和温度应力,有利于控制裂缝,一般分块最大尺寸宜为 30m 左右。为了减少大体积混凝土底板的内外约束,浇筑前宜在基层设置滑移层。为了减少分块间后浇缝处钢筋的连接约束,应将钢筋的连接设在后浇缝处。

2 大体积混凝土的沁水和表面处理

大体积混凝土有两种特别重要的处理方式,即沁水处理和表面处理。

2.1 混凝土沁水的处理

大体积混凝土施工,由于采用大流动性混凝土进行分层浇筑,上下层施工的间隔时间较长(一般为1.5~3h),经过振捣后上涌的泌水和浮浆易顺着混凝土坡面流到坑底。当采用泵送混凝土施工时,混凝土泌水现象尤为严重,解决的办法是在混凝土垫层施工时,预先在横向上做出20mm的坡度;在结构四周侧模的底部开设排水孔,使泌水及时从孔中自然流出;少量来不及排除的泌水,随着混凝土的浇筑向前推进被赶至基坑顶端,由顶端模板下部的预留孔排至坑外。当混凝土大坡面的坡脚接近顶端模板时,应改变混凝土的浇筑方向,即从顶端往回浇筑,与原斜坡相交成一个集水坑,另外有意识地加强两侧模板外的混凝土浇筑强度,这样集水坑逐步在中间缩小成小水潭,然后用软轴泵及时将泌水排除。采用这种方法适用于排除最后阶段的水分。

2.2 混凝土的表面处理

大体积混凝土(尤其采用泵送混凝土工艺),其表面水泥浆较厚,不仅会引起混凝土的表面收缩开裂,而且会影响混凝土的表面强度。因此,在混凝土浇筑结束后要认真进行表面处理。处理的基本方法是在混凝土浇筑4~5h左右,先初步按设计标高用长刮杠刮平,在初凝前用铁滚筒碾压数遍,再用木抹子压实进行二次收光处理。经12~14h后,覆盖一层塑料薄膜、二层草袋充分浇水湿润养护。

3 大体积混凝土的养护与测温

3.1 混凝土的养护

3.1.1 养护时间

大体积混凝土浇筑完毕后,应在12h内加以覆盖和浇水。普通硅酸盐水泥拌制的混凝土不得少于14天;矿渣水泥、火山灰质水泥、大坝水泥、矿渣大坝水泥拌制的混凝土不得少于21天。

3.1.2 大体积混凝土养护方法

分降温法和保温法两种。降温法,即在混凝土浇筑成型后,用蓄水、洒水或喷水养护;保温法是在混凝土成型后,使用保温材料覆盖养护(如塑料薄膜、草袋等)及薄膜养生液养护,可视具体条件选用。夏季施工时,一般可使用草袋覆盖、洒水、喷水养护或喷刷养生液养护。冬期施工时,一般可使用冬期施工时,由于环境气温较低,一般可利用保温材料以提高新浇筑的混凝土表面和四周温度,减少混凝土的内外温差。另外亦可使用薄膜养生液、塑料薄膜等封闭料,来封闭混凝土中多余拌合水,以实现混凝土的自养护。但应选用低温下成膜性能好的养生液。养生液要求涂刷均匀,最好能互相垂直地涂刷

两道,或用农用喷雾器进行喷涂。

3.2 混凝土的测温

为了掌握大体积混凝土的升温 and 降温的变化规律以及各种材料在各种条件下的温度影响,需要对混凝土进行温度监测控制。卡箍式管道连接管接头所用材料通常采用球墨铸铁件或铸钢件,特殊场合可采用耐腐蚀的不锈钢或铜。

3.2.1 测温点的布置

必须具有代表性和可比性。沿浇筑的高度,应布置在底部、中部和表面,垂直测点间距一般为500~800mm;平面则应布置在边缘与中间,平面测点间距一般为2.5~5m。当使用热电偶温度计时,其插入深度可按实际需要和具体情况而定,一般应不小于热电偶外径的6~10倍,则测温点的布置,距边角和表面应大于100mm。测温宜采用热电偶或半导体液晶温度计。

3.2.2 测温制度

在混凝土温度上升阶段每2~4h测一次,温度下降阶段每8h测一次,同时应测大气温度。

3.2.3 测温孔编号

所有测温孔均应编号进行混凝土内部不同深度和表面温度的测量。

3.2.4 专人负责

测温工作应由经过培训、责任心强的专人负责。测温记录,每天应报技术负责人查验并签字,作为对混凝土施工和质量的控制依据。

3.2.5 其他

在测温过程中,当发现混凝土内外温度差接近25℃时,应按预案措施及时增加保温层厚度或延缓拆除保温材料,以防止混凝土产生温差应力和裂缝。塑料薄膜、草袋覆盖保温、保湿养护。

4 大体积混凝土裂缝形成的原因

大体积混凝土由外荷载引起的裂缝的可能性很小,而混凝土硬化期间水化过程释放的水化热和浇筑温度所产生的温度变化和混凝土收缩的共同作用,由此产生的温度应力和收缩应力,是导致结构出现裂缝的主要因素。裂缝产生的原因可分为两类:一是结构型裂缝,是由外荷载引起的,包括常规结构计算中的主要应力以及其他的结构次应力造成的受力裂缝。二是材料型裂缝,是由非受力变形变化引起的,主要是由温度应力和混凝土的收缩引起的。

4.1 结构型裂缝

4.1.1 直接应力产生裂缝

直接应力裂缝是指外荷载引起的直接应力产生的裂缝。

4.1.2 次应力产生裂缝

次应力裂缝是指由外荷载引起的次生应力产生裂缝。

4.2 材料型裂缝

4.2.1 温度应力产生裂缝

目前温度裂缝产生主要原因是由温差造成的。温差可分为以下三种:混凝土浇注初期,产生大量的水化热,由于混凝土是热的不良导体,水化热积聚在混凝土内部不易散发,常使混凝土内部温度上升,而混凝土表面温度为室外环境温度,这就形成了内外温差,这种内外温差在混凝土凝结初期产生的拉应力当超过混凝土抗压强度时,就会导致混凝土裂缝;另外,在拆模前后,表面温度降低很快,造成了温度陡降,也会导致裂缝的产生;当混凝土内部达到最高温度后,热量逐最低温度,它们与最高温度的差值就是内部温差;这三种温差都会产生温度裂缝。在这三种温差中,较为主要是由水化热引起的内外温差。

4.2.2 收缩产生裂缝

收缩有很多种,包括干燥收缩、塑性收缩、自身收缩、碳化收缩等等。这里主要介绍干燥收缩和塑性收缩。

4.2.2.1 干燥收缩

混凝土硬化后,在干燥的环境下,混凝土内部的水分不断向外散失,引起混凝土由外向内的干缩变形裂缝。

4.2.2.2 塑性收缩

在水泥活性大、混凝土温度较高,或在水灰比较低的条件下会加剧引起开裂。因为这时混凝土的泌水明显减少,表面蒸发的水分不能及时得到补充,这时混凝土尚处于塑性状态,稍微受到一点拉力,混凝土的表面就会出现分布不均匀的裂缝,出现裂缝以后,混凝土体内的水分蒸发进一步加大,于是裂缝进一步扩展。

5 防止混凝土裂缝的措施

由以上分析,材料型裂缝主要是由温差和收缩引起,所以为了防止裂缝的产生,就要最大限度的降低温差和减小混凝土的收缩,具体措施如下。

5.1 优选原材料

5.1.1 水泥

由于温差主要是由水化热产生的,所以为了减小温差就要尽量降低水化热,为了降低水化热,要尽量采取早期水化热低的水泥,由于水泥的水化热是矿物成分与细度的函数,要降低水泥的水化热,主要是选择适宜的矿物组成和调整水泥的细度模数,硅酸盐水泥的矿物组成主要有: C3S、C2S、C3A 和 C4AF,试验表明:水泥中铝酸三钙(C3A)和硅酸三钙(C3S)含量高的,水化热较高,所以,为了减少水泥的水化热,必须降低熟料中 C3A 和 C3S 的含量。在施工中一般采用中热硅酸盐水泥和低热矿渣水泥。另外,在不影响水泥活性的情况下,要尽量使水泥的细度适当减小,因为水泥的细度会影响水化热的放热速率,试验表明比表面积每增加 100cm²/g, 1d 的

水化热增加 17J/g~21J/g, 7d 和 20d 均增加 4J/g~12J/g。

5.1.2 粉煤灰

为了减少水泥用量,降低水化热并提高和易性,我们可以把部分水泥用粉煤灰代替,掺入粉煤灰主要有以下作用:①由于粉煤灰中含有大量的硅、铝氧化物,其中二氧化硅含量 40%~60%,三氧化二铝含量 17%~35%,这些硅铝氧化物能够与水泥的水化产物进行二次反应,是其活性的来源,可以取代部分水泥,从而减少水泥用量,降低混凝土的热胀;②由于粉煤灰颗粒较细,能够参加二次反应的界面相应增加,在混凝土中分散更加均匀;③同时,粉煤灰的火山灰反应进一步改善了混凝土内部的孔结构,使混凝土中总的孔隙率降低,孔结构进一步的细化,分布更加合理,使硬化后的混凝土更加致密,相应收缩值也减少。

值得一提的是:由于粉煤灰的比重较水泥小,混凝土振捣时比重小的粉煤灰容易浮在混凝土的表面,使上部混凝土中的掺合料较多,强度较低,表面容易产生塑性收缩裂缝。因此,粉煤灰的掺量不宜过多,在工程中我们应根据具体情况确定粉煤灰的掺量。

实践证明,掺优质粉煤灰混凝土后期强度较高,在一定掺量范围内 60d 强度比 29d 约可增长 20%左右。同时按《粉煤灰混凝土应用技术规范(GBJ 146—90)》,地下室内工程宜用 60d 龄期强度的规定。为了进一步控制温升,减少温度应力,根据结构实际承受荷载情况,征得设计单位同意,将原设计混凝土 28d 龄期 C30 改为 60d 龄期 C30(即用 28d 龄期 C25 代替设计强度),这样可使每立方米混凝土的水泥用量减少 50kg,混凝土温度相应随之降低 5~6℃。

5.1.3 骨料

5.1.3.1 粗骨料

尽量扩大粗骨料的粒径,因为粗骨料粒径越大,级配越好,孔隙率越小,总表面积越小,每立方米的用水泥砂浆量和水泥用量就越小,水化热就随之降低,对防止裂缝的产生有利。

5.1.3.2 细骨料

宜采用级配良好的中砂和中粗砂,最好用中粗砂,因为其孔隙率小,总表面积小,这样混凝土的用水量和水泥用量就可以减少,水化热就低,裂缝就减少,另一方面,要控制砂子的含泥量,含泥量越大,收缩变形就越大,裂缝就越严重,因此细骨料尽量用干净的中粗沙。

5.1.4 外加剂

加入外加剂后能减小混凝土收缩开裂的机会,外加剂对混凝土收缩开裂性能有以下影响:

5.1.4.1 减水剂对混凝土开裂的影响

减水剂的主要作用改善混凝土的和易性,降低

水灰比,提高混凝土强度或在保持混凝土一定强度时减少水泥用量,而水灰比的降低,水泥用量的减少对防止开裂是十分有利的。

5.1.4.2 缓凝剂对混凝土开裂的影响

缓凝剂的作用一是延缓混凝土放热峰值出现的时间,由于混凝土的强度会随龄期的增长而增大,所以等放热峰值出现时,混凝土强度也增大了,从而减小裂缝出现的机率,二是改善和易性,减少运输过程中的塌落度损失。

5.1.4.3 引气剂对混凝土开裂的影响

引气剂在混凝土的应用对改善混凝土的和易性、可泵性、提高混凝土耐久性能十分有利。在一定程度上增大混凝土的抗裂性能。在这里值得注意的是,外加剂不能掺量过大,否则会产生负面影响,在GB8076~1977中规定,掺有外加剂的混凝土,28d的收缩比不得大于135%,即掺有外加剂的混凝土收缩比基准混凝土的收缩不得大于35%。

综合上述因素,考虑气温较高和运送距离较远造成的塌落度损失较大,取出机塌落度 $18\pm 2\text{cm}$,水泥用量控制在 $370\text{kg}/\text{m}^3$ 以下。由于降低水泥用量可降低混凝土温度 $16\sim 18^\circ\text{C}$ 。

5.2 采用合理的施工方法

5.2.1 混凝土的拌制

5.2.1.1 在混凝土拌制过程中,要严格控制原材料计量准确,同时严格控制混凝土出机塌落度。

5.2.1.2 要尽量降低混凝土拌合物出机口温度,拌合物可采取以下两种降温措施:一是送冷风对拌和物进行冷却,二是加冰拌合,一般使新拌混凝土的温度控制在 6°C 左右。

5.2.2 混凝土的浇筑、拆模

5.2.2.1 混凝土浇筑过程质量控制

浇筑过程中要进行振捣方可密实,振捣时间应均匀一致以表面泛浆为宜,间距要均匀,以振捣力波及范围重叠二分之一为宜,浇筑完毕后,表面要压实、抹平,以防止表面裂缝。另外,浇筑混凝土要求分层浇筑,分层流水振捣,同时要保证上层混凝土在下层初凝前结合紧密。避免纵向施工缝、提高结构整体性和抗剪性能。

5.2.2.2 混凝土浇筑时间控制

尽量避开在太阳辐射较高的时间浇筑,若由于工程需要在夏季施工,则尽量避开正午高温时段,浇筑尽量安排在夜间进行。

5.2.2.3 混凝土拆模时间控制

混凝土在实际温度养护的条件下,强度达到设计强度的75%以上,混凝土中心与表面最低温度控

制在 25°C 以内,预计拆模后混凝土表面温降不超过 9°C 以上允许拆模。

5.2.3 做好混凝土表面隔热保护

大体积混凝土的温度裂缝,主要是由内外温差过大引起的。混凝土浇筑后,由于内部较表面散热快,会形成内外温差,表面收缩受内部约束产生拉应力,但是这种拉应力通常很小,不至于超过混凝土的抗拉强度而产生裂缝。但是如果此时受到冷空气的袭击,或者过分通风散热,使表面温度降温过大就很容易导致裂缝的产生,所以在混凝土在拆模后,特别是低温季节,在拆模后立即采取表面保护。防止表面降温过大,引起裂缝。另外,当日平均气温在 $2\sim 3\text{d}$ 内连续下降不小于 $6\sim 8^\circ\text{C}$ 时,28d龄期内混凝土表面必须进行表面保护。

5.2.4 混凝土养护

混凝土浇筑完毕后,应及时洒水养护以保持混凝土表面经常湿润,这样既减少外界高温倒灌,又防止干缩裂缝的发生,促进混凝土强度的稳定增长。一般在浇筑完毕后 $12\sim 18\text{h}$ 内立即开始养护,连续养护时间不少于28d或设计龄期。

5.2.5 通水冷却

若是在高温季节施工,则要在初期采用通制冷水来降低混凝土最高温度峰值,但注意,通水时间不能过长,因为时间过长会造成降温幅度过大而引起较大的温度应力。为了削减内外温差,还应在夏末秋初进行中期通水冷却,中期通水一般采用河水,通水历时两个月左右。后期通水是使混凝土柱状块达到接缝灌浆的必要措施,一般采用通河水和通制冷水相结合的方案。

6 结论

大体积混凝土由外荷载引起的裂缝的可能性很小,而混凝土硬化期间水化过程释放的水化热和浇筑温度所产生的温度变化和混凝土收缩的共同作用,由此产生的温度应力和收缩应力,是导致结构出现裂缝的主要因素。因此,主要采用减少水泥用量以控制水化热,降低混凝土出机温度以控制浇筑温度,并采取保温养护等综合措施来限制混凝土内部的最高温升及其内外温差,控制裂缝并确保高温情况下顺利泵送和浇筑。大体积混凝土的开裂是目前学者和工程界关注的一个重要问题,通过以上分析可知,大体积混凝土的材料型裂缝主要是由温度应力和混凝土的收缩引起的,精心选择原材料,并在施工中采用合理的方法,能有效的防止裂缝的发生。