

大体积混凝土施工

叶琳昌 沈 义 编著

中国建筑工业出版社

大体积混凝土施工

叶琳昌 沈 义 编著

中国建筑工业出版社

本书根据建筑工程的特点,就大体积混凝土的一般概念,混凝土材料的有关性能、温度与温度应力的组成和计算,温度控制方法,测温技术,防止裂缝的技术措施以及混凝土的施工工艺等,作了较全面的介绍;还结合工程实例,对裂缝产生的原因,模板的构造、钢筋支架与脚手平台、地脚螺栓的锚固、裂缝与缺陷的处理等进行了具体分析。书中还整理和编制了有关计算图表,便于实际工作中应用,书末还列了主要参考文献。

* * *

责任编辑 陈淑英

大体积混凝土施工
叶琳昌 沈 义 编著

*
中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*
开本: 787×1092毫米 1/32 印张: 10 字数: 225 千字

1987年4月第一版 1987年4月第一次印刷

印数: 1—13,890册 定价: 1.85 元

统一书号: 15040·5164

前 言

钢筋混凝土是建筑工程中广泛采用的主要材料。由于现代科学技术的发展，工业与民用建筑中的大型设备基础、大型料坑、地下室、框架和筏式基础、水池、水泵房、沉箱、沉井等，往往都采用大体积混凝土（含钢筋）建造。随着四化建设的需要，这类工程日趋增多，愈显重要。

与一般钢筋混凝土相比，大体积混凝土具有形体庞大、混凝土数量较多、工程条件复杂、施工技术和质量要求较高等特点。因此除了必须具有足够的强度、刚度和稳定性以外，还应满足结构物的整体性和耐久性等方面的特殊要求。而与水利水电建筑的大体积混凝土（如混凝土水坝、水闸、船坞、港工构筑物等）相比，在施工阶段，都存在一个温度应力及温度控制的问题；如何防止大体积混凝土因水泥水化热引起的温度裂缝，一直是工程技术界长期关心和共同研究的重要课题。

但是，它们之间也还有一些不同的特点：建筑工程的大体积混凝土一般块体较薄，体积较小；混凝土设计标号较高，单方水泥用量较多；结构断面内配筋较密，整体性要求较高等。此外，建筑工程的大体积混凝土结构物大多置于室内或埋入土中，受外界温度变化的影响较小。由于以上原因，在混凝土温度及温度应力的计算方法和采取的技术措施上，两者之间就有所差异。

迄今为止，对于大体积混凝土的温度场变化和温度裂缝产生的规律性，还缺乏系统的研究，对于混凝土温度及温度应力还不能精确计算；在防止大体积混凝土温度裂缝问题上，一

目 录

前 言

第一章 一般概念	1
1-1 大体积混凝土的定义	1
1-2 混凝土裂缝的基本概念	3
1-3 温度裂缝的性质与原因分析	7
第二章 大体积混凝土的有关性能	13
2-1 热学性能	13
2-2 抗压与抗拉强度	19
2-3 徐变与应力松弛	24
2-4 弹性模量	25
2-5 极限拉伸	25
第三章 混凝土的温度组成与计算	27
3-1 混凝土的温度组成	27
3-2 混凝土的拌和温度和浇筑温度	28
3-3 混凝土的绝热温升	34
3-4 混凝土的温度计算	37
第四章 混凝土温度应力计算	57
4-1 概述	57
4-2 计算方法	58
4-3 计算举例	69
第五章 混凝土原材料的预冷却	76
5-1 概述	76
5-2 冷却方法	79
第六章 混凝土养护时的温度控制	85
6-1 概述	85
6-2 温度控制的原则	86

6-3	降温法	88
6-4	保温法	101
6-5	蓄水法	107
6-6	水浴法	115
6-7	技术经济比较	123
第七章	测温技术	126
7-1	温度计的种类与选择	127
7-2	热电偶温度计	129
7-3	玻璃温度计	139
7-4	测温记录的整理与分析	141
第八章	防止裂缝的技术措施	148
8-1	设计措施	148
8-2	模板与钢筋	159
8-3	对原材料的要求	162
8-4	混凝土配合比	164
8-5	混凝土成型工艺	176
8-6	温度控制要求	197
8-7	夏季、冬季施工技术措施	198
第九章	工程实例与分析（一）	200
9-1	外约束条件的影响	200
9-2	温度控制失慎	204
9-3	浇筑方法不当	206
9-4	模板的设计与构造	213
第十章	工程实例与分析（二）	228
10-1	钢筋支架与脚手平台	228
10-2	地脚螺栓的锚固	232
10-3	裂缝与缺陷的处理	251
10-4	混凝土温度应力的计算	268
第十一章	结束语	283

附录一	温度、龄期对混凝土强度影响参考表	290
附录二	不同龄期混凝土强度经验式的推荐	291
附录三	软练标号水泥混凝土施工参考配合比	293
附录四	泵送混凝土阻力计算公式	301
附录五	双曲函数表	302
附录六	反双曲函数表	306
附录七	WRCK型热电偶分度特性表	309
主要参考文献		310

第一章 一般概念

1-1 大体积混凝土的定义

混凝土、钢筋混凝土是建筑结构中广泛使用的主要材料，在现代工程建设中占有重要的地位。随着大规模经济建设的发展，工业建筑中的大型设备基础（如钢铁厂的转炉、焦炉基础，铸锻厂的大吨位锻锤基础，火力发电厂的汽机基础等），高层民用建筑的框架基础等重要的、承受荷载大的结构，往往都是采用大体积混凝土（含钢筋）建造的。

关于大体积混凝土的定义，美国混凝土学会有过规定：“任何就地浇筑的大体积混凝土，其尺寸之大，必须要求采取措施解决水化热及随之引起的体积变形问题，以最大的限度减少开裂”。日本建筑学会标准（JASS5）的定义是“结构断面最小尺寸在80cm以上；水化热引起混凝土内的最高温度与外界气温之差，预计超过 25°C 的混凝土，称为大体积混凝土”^[27]。

到底混凝土有多大数量，才能称为大体积混凝土呢？对于大体积混凝土很难下一个确切的定义，但凡属建筑工程大体积混凝土都有一些共同的特征：结构厚实，混凝土量大，工程条件复杂（一般都是现浇钢筋混凝土超静定结构，多为地下或半地下建筑），施工技术要求高；水泥水化热使结构产生温度和收缩变形；应采取相应的措施，尽可能减少温度

变形引起的开裂。

因此，大体积混凝土经常出现的问题，不是力学上的结构强度，而是以控制混凝土温度变形裂缝，从而提高混凝土的抗渗、抗裂、抗侵蚀性能，以提高建筑结构的耐久年限而为突出任务。

大体积混凝土除了结构最小断面和内外温差有一定的规定外，对于平面尺寸也有一些限制。因为结构物的平面尺寸过大，基础约束作用而产生的温度应力也愈大。如采取控制温度的措施不当，更易产生裂缝。所以世界各国在设计规范中，对于伸缩缝的许可间距都有不同的规定。例如：我国的《钢筋混凝土结构设计规范》TJ10—74（试行），对于混凝土结构伸缩缝的距离曾有以下规定：当现浇式结构置于室内或土中时为30m，在露天条件下则为20m，以上均按配有构造钢筋的情况。

在大体积混凝土工程中常有这样的实例，结构物的平面尺寸、断面和施工时控制的混凝土内外温差都是相似的，但在混凝土浇筑后，有的工程开裂，有的却没有开裂。这是因为约束条件的差异，两者的温度应力并不相同而造成的。所以在大量混凝土工程的施工中，不能仅凭经验用温差控制裂缝，而应该通过科学的计算，采取“温差——温度应力”双控制的方法，避免结构物出现温度裂缝。

如上所述，建筑工程的大体积混凝土与水利水电工程（如混凝土水坝、水闸、船坞、港工构筑物等）一样，在施工阶段都存在着一个温度应力及温度控制的问题。它们之间也有一些差别和不同点（见表1-1），这就决定了在一些技术措施和施工方法上有所差异。

另外，我国有关设计规范中曾规定，当基础混凝土28d

龄期的极限拉伸值不低于 0.85×10^{-4} 时, 施工质量均匀、良好, 基础与混凝土的弹性模量相近, 短间歇均匀上升的浇筑块, 基础的容许温差一般按表1-2采用^[32];

建筑工程和水利水电工程大体积混凝土的比较表 表 1-1

项 目	水利水电工程	建 筑 工 程
结构断面	块体厚、体积大、混凝土总量大	块体薄、体积小、混凝土总量较小
配 筋	无筋或构造配筋	按受力情况配筋
混凝土标号	设计标号低, 单方水泥用量较小	设计标号高, 单方水泥用量较多
浇筑方法	可以合理分缝分块, 减少一次混凝土的浇筑量	整体性要求高, 结构物的混凝土要求一次连续浇筑
使用阶段的影响	外界气温和水温的变化对结构物有较大的影响	大多数结构物都置于室内或埋入土中, 受外界条件变化影响较小

基础容许温差 ΔT ($^{\circ}\text{C}$)

表 1-2

浇筑块长边 离基 础面 高度 h	16m 以下	17~20 m	21~30 m	31~40 m	通仓 长块
0~0.2 l	26~25	24~22	22~19	19~16	16~14
0.2~0.4 l	28~27	26~25	25~22	22~19	19~17

1-2 混凝土裂缝的基本概念

混凝土是一种由多种材料所组成的人造石材。它虽具有抗压强度高与耐久性良好等特性, 但也存在着抗拉强度很低,

受拉时变形能力小，容易开裂等缺点。

对于混凝土的裂缝问题，长期以来存在着不同的认识。一种观点认为混凝土工程是不应该有裂缝的；另一种观点则认为，混凝土的裂缝是不可避免的。

关于混凝土的裂缝理论研究，目前主要有唯象理论、统计理论、构造理论、分子理论等，最近又发展有断裂理论^[3]。

经典材料力学的强度理论，是把混凝土材料看作是均匀连续及各向同性的匀质弹性体，并从一些基本试验出发，得出控制材料强度的各种计算公式，由于属于唯象理论范畴，所以不能回答工程中发生的有关问题。

近代混凝土的研究，从宏观逐渐向亚微观和微观过渡，对混凝土的内部结构进行探索，考虑了混凝土是一种由多种材料组成的复合体，各种组分具有不同的物理力学参数，在温度及湿度的变化和水泥硬化过程中，材料内部产生初始变形、初始应力、水分转移和扩散现象。六十年代在混凝土内部构造研究中，借助于25~240倍的显微镜和超声仪等现代化试验设备，证实在尚未承受荷载的混凝土中存在着“微观裂缝”，其宽度约为千分之几毫米^①。因此得出结论，就严格的意义来说，混凝土发生裂缝是不可避免的。

混凝土的微观裂缝也可称为“肉眼不可见裂缝”。一般肉眼可见裂缝的宽度约在0.02~0.05mm之内，所以取0.05

① 微观裂缝一般分为三种：

- (1) 骨料与水泥石粘着面上的裂缝，主要在粗骨料的周围，称之为粘着裂缝；
- (2) 水泥石裂缝；
- (3) 骨料裂缝。

以上三种裂缝中，以粘着裂缝较多，水泥石裂缝次之，骨料裂缝较少。

mm为可见的“宏观裂缝”的起始宽度。过去所谓“无裂缝的混凝土”就是指没有大于或等于0.05mm的裂缝，即没有肉眼可见裂缝。混凝土有无裂缝这是一种相对的概念，也可以认为0.05mm以下的微观裂缝并不算作裂缝，所以就存在着有裂缝和无裂缝的混凝土之划分。

大量研究证明：结构物产生的肉眼可见裂缝或导致严重的破坏，都可以看作是微观裂缝扩展和增加的结果。

致于结构物裂缝的起因，大致可作以下分类：

(1) 由外荷载（静、动荷载）的直接应力（即按常规计算的主要应力）引起的裂缝；

(2) 由结构的次应力引起的裂缝；

(3) 由变形变化引起的裂缝，即主要由温度、收缩、不均匀沉降或膨胀等变形变化产生应力而引起的裂缝。

以上划分并没有严格的界限，因为许多工程裂缝的起因往往是综合性的。重要的是必须区别和判断裂缝是由于外荷载引起的，还是由于结构变形变化引起的。外荷载引起的裂缝宽度虽然较小，但钢筋应力可能很高。如某些受弯构件，当裂缝宽度约为0.2mm时，钢筋中应力已达180~250 MPa左右；而由变形变化引起的裂缝虽然较宽，但钢筋的应力却很低。这在作为处理工程质量事故中，应加以区别对待。

大体积混凝土内出现的裂缝，按其深度不同，一般可分为贯穿裂缝，深层裂缝及表面裂缝三种（图1-1）。贯穿裂缝切断了结构断面，可能破坏结构的整体性和稳定性，其危害性是较严重的；深层裂缝部分地切断了结构断面，也有一定危害性；表面裂缝一般危害性较小。但处于基础或老混凝土约束范围以内的表面裂缝，在内部混凝土降温过程中，可能发展为贯穿裂缝。

按其形状又可分为表面的、贯穿的、纵向的、横向的、斜向的；上宽下窄，或上窄下宽的，以及梭形的。裂缝宽度则是指一条裂缝中较宽区段的平均值。

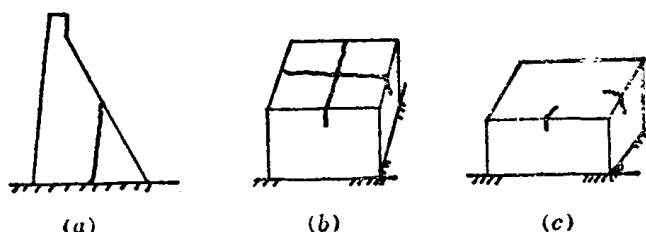


图 1-1 裂缝种类示意图
(a)贯穿裂缝；(b)深层裂缝；(c)表面裂缝

宏观裂缝可以避免，但不是所有的宏观裂缝都是有害的。从国内外试验资料分析，结构物裂缝宽度一般控制在如下范围：

(1) 无侵蚀介质，无抗渗要求	0.3mm
(2) 轻微侵蚀，无抗渗要求	0.2mm
(3) 严重侵蚀，有抗渗要求	0.1mm

另外，国内外有关规范对裂缝宽度都有相应的规定，详见表 1-3 和表 1-4（引自《钢筋混凝土结构设计规范》TJ 10—74）。这些规定是有害和无害裂缝的界限，并且这些裂缝不允许是贯穿全断面的。

带有不同程度初始裂缝的钢筋混凝土结构物，其承载能力是否受影响，这主要是依据结构的配筋受力情况，以及所处的环境侵蚀条件来判断。一般来说，由于温度收缩应力引起的初始裂缝，不影响结构物的承载能力（瞬时强度），而仅对耐久年限有所影响。对不影响结构物承载力的裂缝，为防止

钢筋锈蚀、混凝土碳化、酥松剥落，导致防水、防渗、抗冻融、抗疲劳等性能降低而影响结构的耐久年限时，应对裂缝加以封闭或补强加固处理。

钢筋混凝土结构构件最大裂缝宽度允许值(毫米) 表 1-3

项次	结 构 所 处 条 件	δ_{lmax}
1	屋架、托架的受拉构件 烟囱、用以贮存松散体的筒仓 处于液体压力下而无专门保护措施的构件	0.2
2	处于正常条件下的构件	0.3

美国混凝土学会224委员会对裂缝宽度的限值 表 1-4

环 境	最大裂缝宽度允许值(mm)
干燥环境，有保护层	0.4
潮湿空气，土壤中	0.3
冻结环境(加防冻剂)	0.18
海水环境	0.15
贮水构筑物	0.1

对于地下或半地下结构来说，混凝土的裂缝主要影响其防水性能。一般当裂缝宽度在0.1~0.2mm时，虽然早期有轻微渗水，但经过一段时间后，裂缝可以自愈。如超过0.2~0.3mm，则渗漏水量与裂缝宽度的三次方按比例增加，所以在地下工程中，应尽量避免超过0.3mm贯穿全断面的裂缝。如果出现这种裂缝，必须进行化学灌浆处理。

1-3 温度裂缝的性质与原因分析

了解了混凝土裂缝的一些基本概念后，现进一步研究温

度裂缝的有关性质。

混凝土随着温度的变化而发生膨胀或收缩，称为温度变形。对于大体积混凝土施工阶段来说，裂缝由于温度变形而引起的，可称为“初始裂缝”或“早期裂缝”。如何减少温度变形，是当前国内外很关注的课题。

大体积混凝土施工阶段所产生的温度裂缝，是其内部矛盾发展的结果。一方面是混凝土由于内外温差而产生应力和应变，另一方面是结构物的外部约束和混凝土各质点间的约束，应阻止这种应变。一旦温度应力超过混凝土能承受的抗拉强度时，即会出现裂缝。这种裂缝一般虽不会影响结构的强度（裂缝宽度应在允许范围内），但却对结构的耐久性有所影响，因此必须予以重视和加以控制。现将产生裂缝的主要原因分述如下：

1. 水泥水化热是大体积混凝土中的主要温度因素

水泥在水化过程中要发出一定的热量。而大体积混凝土结构物一般断面较厚，水泥发出的热量聚集在结构物内部不易散失。通过实测，水泥水化热引起的温升，在水利工程中一般为 $15\sim 25^{\circ}\text{C}$ ^[1]，而在建筑工程中一般为 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，甚至更高。水泥水化热引起的绝热温升，是与混凝土单位体积中水泥用量和水泥品种（主要是水化热值）有关，并随混凝土的龄期（时间）按指数关系增长，一般在 $10\sim 12\text{d}$ 接近于最终绝热温升（视气温变化而异）。但由于结构物有一个自然散热条件，实际上混凝土内部的最高温度，多数发生在混凝土浇筑后的最初 $3\sim 5\text{d}$ 。

由于混凝土的导热性能较差，浇筑初期混凝土的强度和弹性模量都很低，对水化热引起的急剧温升约束不大，相应的温度应力也较小。随着混凝土龄期的增长，弹性模量的增

高，对混凝土内部降温收缩的约束也就愈来愈大，以致产生很大的拉应力。当混凝土的抗拉强度不足以抵抗这种拉应力时，便开始出现温度裂缝。

2. 外界气温变化的影响

大体积混凝土在施工阶段，外界气温的变化影响是显而易见的。因为外界气温愈高，混凝土的浇筑温度也愈高；而如外界温度下降，又增加混凝土的降温幅度，特别是气温骤降，会大大增加外层混凝土与内部混凝土的温度梯度，这对大体积混凝土是极为不利的。

混凝土内部的温度是水化热的绝热温度、浇筑温度和结构物的散热温降等各种温度的叠加，而温度应力则是由温差所引起的温度变形造成的；温差愈大，温度应力也愈大。同时，在高温条件下，大体积混凝土不易散热，混凝土内部的最高温度一般可达 $60\sim 65^{\circ}\text{C}$ ，并且有较大的延续时间（与结构尺寸和浇筑的块体厚度有关）。在这种情况下，研究合理的温度控制措施，防止混凝土内外温差引起的过大温度应力，就显得更为重要。

3. 约束条件与温度裂缝的关系

各种结构物在变形变化中，必然会受到一定的“约束”或“抑制”而阻碍变形，这就是指的约束条件。

约束种类一般可概括为两类：即外约束和内约束（亦称自约束）。外约束指结构物的边界条件，一般指支座或其他外界因素对结构物变形的约束。内约束指较大断面的结构，由于内部非均匀的温度及收缩分布，各质点变形不均匀而产生的相互约束。具有大断面之结构，其变形还可能受到其他物体的宏观约束。大体积混凝土由于温度变化会产生变形，而这种变形又受到约束，便产生了应力，这就是温度变化引

起的应力状态。而当应力超过某一数值，便引起裂缝。如在完全约束条件下混凝土结构物的温度变形，是温差与温度膨胀系数的乘积。即 $\epsilon = \Delta T \cdot \alpha$ ，当 ϵ 超过混凝土的极限拉伸值 ϵ_p 时，便出现裂缝。

式中 ϵ 为混凝土的收缩时的相对变形， ΔT 为温差， α 为混凝土的温度膨胀系数。

混凝土的温度膨胀系数 α 一般为 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，极限拉伸值 ϵ_p 一般在 $50 \sim 100 \times 10^{-6}$ 之间，此时容许混凝土的内外温差值应为 $5 \sim 10^{\circ}\text{C}$ 。而实践证明，多数工程混凝土的温差一般在 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ 之间尚未开裂。这主要因为结构物不可能受到绝对约束，混凝土也不可能完全没有徐变和塑性变形的缘故。

另外，美国垦务局曾测得在全约束条件下，由于温度变形而引起的温度应力值（即轴间拉应力）可达 $1.9 \sim 2.1 \text{ Mpa}$ 。这足以说明，改善约束条件（特别是基础的嵌固状况）对防止混凝土的开裂有很大的影响。

这里有必要指出，许多工程的实践证明，某些结构物的长度，已经超过了设计规范的伸缩缝间距而没有发生裂缝。如宝钢的 90.8m 长的转炉和 76.6m 长的焦炉基础；但也有不少工程的长度小于设计规定，却发生了温度裂缝。出现这些现象，主要涉及约束条件，材料自身强度等多种因素。如果结构因变形产生的最大应力小于材料的抗拉或抗压强度时，结构的伸缩缝间距为无穷大，不设伸缩缝也不会裂；相反，当其最大应力超过材料的抗拉或抗压强度时，无论结构尺寸多短，混凝土也会产生裂缝。这不仅说明约束的重要性，也说明伸缩缝间距不是控制裂缝的唯一条件。

4. 混凝土的收缩变形

混凝土中80%的水分要蒸发，约20%的水分是水泥硬化