

中华人民共和国行业标准

水运工程大体积混凝土温度裂缝控制 技术规范

JTS/T 202—1—2022

主编单位:中交武汉港湾工程设计研究院有限公司

批准部门:中华人民共和国交通运输部

施行日期:2022 年 6 月 1 日

人民交通出版社股份有限公司

2022 · 北京

交通运输部关于发布 《水运工程大体积混凝土温度裂缝 控制技术规范》的公告

2022 年第 31 号

现发布《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规范》(以下简称《规范》)。《规范》为水运工程建设推荐性行业标准,标准代码为 JTS/T 202—1—2022,自 2022 年 6 月 1 日起施行。《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规范》(JTS 202—1—2010)同时废止。

《规范》由交通运输部水运局负责管理和解释,实施过程中具体使用问题的咨询,由主编单位中交武汉港湾工程设计研究院有限公司答复。《规范》文本可在交通运输部政府网站水路运输建设综合管理信息系统“水运工程行业标准”专栏(mwtis.mot.gov.cn/syportal/sybz)查询和下载。

特此公告。

中华人民共和国交通运输部
2022 年 5 月 7 日

修 订 说 明

本规范是在《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规范》(JTS 202—1—2010)的基础上,经深入调查研究,总结大量已建水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术经验,结合我国水运工程大体积混凝土技术发展趋势,借鉴国内外相关标准并吸收新的研究成果,广泛征求意见、反复修改编制而成。

《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规范》(JTS 202—1—2010)自发布施行以来,为防止水运工程大体积混凝土裂缝产生、保证工程质量,规范水运工程大体积混凝土的原材料、配合比设计、温控措施及施工期温控监测起到了重要指导作用。随着高性能混凝土新材料、混凝土温控新技术、自动化无线监控新装备、智能养护新工艺等的应用,促进了大体积混凝土控制技术的发展,《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规范》(JTS 202—1—2010)已不能完全满足大体积混凝土施工质量控制的要求。为此,交通运输部水运局组织中交武汉港湾工程设计研究院有限公司等单位对原规程进行了修订。

本规范共分8章7个附录,并附条文说明,主要包括温控设计、原材料、配合比设计、温控措施、施工期温控监测等内容。本次修订的主要内容有:

1. 补充了大体积混凝土节能、节材、节水和环境保护相关要求;
2. 删除了大体积混凝土结构允许的最大裂缝宽度;
3. 增加了大体积混凝土温控抗裂安全系数等级的要求;
4. 补充了石灰石粉、机制砂和纤维等相关内容;
5. 增加了各种原材料温度控制要求和措施;
6. 补充了冷却水管通水流量和水温的控制要求,同时对冷却水管连接方式作出规定;
7. 补充了大体积混凝土温控监测设备的要求;
8. 补充了混凝土试件的留置要求;
9. 删除了大体积混凝土埋放块石相关要求。

本规范主编单位为中交武汉港湾工程设计研究院有限公司,参编单位为中国交通建设股份有限公司、中交第二航务工程局有限公司、中交天津港湾工程研究院有限公司、中交上海三航科学研究院有限公司和中交二航武汉港湾新材料有限公司。本规范编写人员分工如下:

- 1 总则:屠柳青
- 2 术语:张国志
- 3 基本规定:刘可心
- 4 温控设计:吴 柯 惠晓亮 张 思
- 5 原材料:查 进 李俊毅 房艳伟 朱志刚

- 6 配合比设计:王成启 焦运攀 秦明强 汪华文
- 7 温控措施:张国志 屠柳青 刘可心 李俊毅 吴 柯 张 思 惠晓亮
- 8 施工期温控监测:刘 松 焦运攀 朱志刚

附录 A:李俊毅

附录 B:屠柳青

附录 C:张国志

附录 D:刘 松

附录 E:刘可心

附录 F:房艳伟

附录 G:秦明强

本规范于2020年12月11日通过部审,2022年5月7日发布,自2022年6月1日起施行。

本规范由交通运输部水运局负责管理和解释。各单位在执行过程中发现的问题和意见,请及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规范管理组(地址:湖北省武汉市东西湖区金银湖路11号,中交武汉港湾工程设计研究院有限公司,邮政编码:430040),以便再修订时参考。

制定说明

本规程是在深入调查研究和总结我国水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术经验的基础上,结合水运工程大体积混凝土建设技术发展需要,借鉴国内外相关标准并吸收新的研究成果,经广泛征求意见编制而成。主要包括温控设计、原材料、配合比设计、温控措施、施工期温控监测等技术内容。

本规程的主编单位为中交武汉港湾工程设计研究院有限公司,参加单位为中国交通建设股份有限公司、大连理工大学、中交第一航务工程勘察设计院有限公司、中交第二航务工程局有限公司、中交天津港湾工程研究院有限公司和中交四航工程研究院有限公司。

随着我国水运工程建设技术的持续发展,水运工程建设规模不断扩大,大体积混凝土应用范围日益广泛,与此同时,混凝土结构耐久性和质量安全的要求不断提高,为控制大体积混凝土温度裂缝,提高水运工程大体积混凝土工程质量,促进我国水运工程建设事业不断发展,交通部水运局组织中交武汉港湾工程设计研究院有限公司等单位制定本规程。

本规程第5.2.4条、第7.3.4条、第7.4.4条和第7.4.6条中的黑体字部分为强制性条文,必须严格执行。

本规程共分8章14节和7个附录,并附条文说明。本规程编写人员分工如下:

- 1 总则:甘新平
- 2 术语:杨昌维 刘可心
- 3 基本规定:张国志 贡金鑫
- 4 温控设计:刘秉京 田俊峰 屠柳青
- 5 原材料:刘秉京 李俊毅
- 6 配合比设计:屠柳青 王迎飞
- 7 温控措施:甘新平 张国志 赵晓岚 屠柳青 刘可心 李俊毅 王迎飞
- 8 施工期温控监测:刘可心 贡金鑫

附录A:贡金鑫

附录B:屠柳青

附录C:张国志

附录D:甘新平

附录E:刘可心

附录F:赵晓岚

附录G:李俊毅 王迎飞

本规程2009年11月10日通过部审,2010年5月24日发布,2010年9月1日起实施。

本规程由交通运输部水运局负责管理和解释。请各有关单位在执行过程中将发现的问题和意见及时函告交通运输部水运局(地址:北京市建国门内大街11号,交通运输部水运局技术管理处,邮政编码:100736)和本规程管理组(地址:武汉市武昌区民主路553号,中交武汉港湾工程设计研究院有限公司,邮政编码:430071),以便修订时参考。

目 次

1	总则	(1)
2	术语	(2)
3	基本规定	(4)
4	温控设计	(5)
5	原材料	(7)
5.1	水泥	(7)
5.2	矿物掺合料	(7)
5.3	集料	(7)
5.4	纤维	(8)
5.5	外加剂	(8)
5.6	拌和水	(8)
6	配合比设计	(9)
7	温控措施	(10)
7.1	一般规定	(10)
7.2	原材料温度控制	(10)
7.3	混凝土搅拌和运输	(10)
7.4	混凝土浇筑和振捣	(11)
7.5	混凝土内部降温	(11)
7.6	混凝土保温和养护	(12)
7.7	其他	(12)
8	施工期温控监测	(14)
附录 A	胶凝材料水化热总量计算	(15)
A.1	水泥水化热总量	(15)
A.2	胶凝材料水化热总量	(15)
附录 B	混凝土绝热温升计算	(16)
附录 C	混凝土温度和温度应力估算	(18)
C.1	混凝土内部最高温度计算	(18)
C.2	混凝土弹性模量计算	(18)
C.3	混凝土温度应力计算	(19)
C.4	断面加权平均温度	(19)

附录 D 混凝土出机口温度、浇筑温度计算	(21)
D.1 混凝土出机口温度计算	(21)
D.2 混凝土浇筑温度计算	(21)
附录 E 混凝土保温热工计算	(23)
附录 F 温控监测记录表格	(25)
附录 G 本规范用词说明	(26)
引用标准名录	(27)
附加说明 本规范主编单位、参编单位、主要起草人、主要审查人、总校人员 和管理组人员名单	(28)
《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》(JTS 202—1—2010)	
主编单位、参编单位、主要起草人名单	(30)
条文说明	(31)

1 总 则

- 1.0.1** 为有效控制水运工程大体积混凝土结构温度裂缝,提高工程质量,做到技术先进、工艺合理、资源节约、环境友好,制定本规范。
- 1.0.2** 本规范适用于水运工程水工建筑物大体积混凝土温度裂缝控制设计与施工。
- 1.0.3** 水运工程大体积混凝土温度裂缝控制除应符合本规范规定外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 大体积混凝土 Mass Concrete

预计因胶凝材料水化热等因素引起混凝土温度变化导致有害裂缝,或结构实体断面最小尺寸不小于1m的混凝土。

2.0.2 基础约束 Basic Constraints

新浇筑混凝土收缩过程中,底部基岩或结构对其产生的变形约束。

2.0.3 有害裂缝 Harmful Crack

对混凝土结构安全、使用功能或耐久性有较大影响的裂缝。

2.0.4 绝热温升 Adiabatic Temperature Rise

混凝土处于绝热状态条件下,其内部某一时刻温升值。

2.0.5 温控抗裂安全系数 Safety Factor of Crack-Resistance

标准养护条件下的混凝土劈裂抗拉强度试验值与对应龄期混凝土温度应力计算最大值之比。

2.0.6 浇筑温度 Placement Temperature

混凝土平仓振捣后,上层混凝土未覆盖前距上表面100mm处的混凝土温度。

2.0.7 内表温差 Temperature Difference Between the Internal and Outside

混凝土内部最高温度与同一时刻距表面50mm处的混凝土最低温度之差。

2.0.8 断面降温速率 Thickness Descending Rate of Temperature

散热条件下,混凝土内部温度达到温升峰值后,单位时间内断面加权平均温度下降的幅度。

2.0.9 开裂敏感性 Cracking Sensitivity

不同配合比混凝土在相同试验条件下的开裂趋势。

2.0.10 温度匹配养护 Temperature-Matched Curing

将相同配合比的新拌混凝土成型试件放置在与结构混凝土温度发展历程相同的条件下养护。

2.0.11 出机口温度 Outlet Temperature

混凝土拌和均匀后,搅拌机出料口处的混凝土温度。

2.0.12 基础强约束区 Strong Constraint Zone of Base

浇筑块从底面算起至0.2倍长边尺寸高度范围内的混凝土区域。

2.0.13 浇筑间隔期 Concreting Intermission Duration

分层浇筑时,相邻两层混凝土浇筑的时间间隔。

2.0.14 气温骤降 Sudden Temperature Drop

日平均气温在 3d 内连续下降累计大于 6℃。

2.0.15 断面加权平均温度 Thickness Weighted Mean Temperature

根据测试断面各温度测点代表区段长度占总长度权值,对各测点温度进行加权平均得到的值。

2.0.16 准稳定温度 Quasi Stable Temperature

混凝土结构物在环境温度作用下,最终达到而又处于重复循环变化状态的温度。

3 基本规定

- 3.0.1** 大体积混凝土应在结构设计、材料选用、混凝土配制和施工的全过程采取保证结构安全、适用、耐久的温度裂缝控制措施。
- 3.0.2** 大体积混凝土应根据所处的环境选择合适的结构形式、构造措施、强度等级和温控抗裂安全系数。结构形式应简单,减少应力集中,降低基础约束,并宜考虑温度应力对结构的影响,合理分层分块,配置必要的构造钢筋。
- 3.0.3** 当不影响结构安全时,大体积混凝土宜采用混凝土 60d 的强度作为混凝土配合比设计、混凝土强度评定和工程验收的依据。
- 3.0.4** 大体积混凝土应合理安排施工时间,热天宜选择温度相对较低时段浇筑混凝土,并应避免在极端不利气象条件下施工。
- 3.0.5** 大体积混凝土结构裂缝修补应符合现行行业标准《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS 311)的有关规定。
- 3.0.6** 大体积混凝土温度裂缝控制设计和施工应采取节能、节材、节水和环境保护等措施,并应符合现行国家标准《建筑工程绿色施工规范》(GB/T 50905)的有关规定。

4 温控设计

4.0.1 大体积混凝土应根据结构使用环境、结构特点和温度开裂风险等因素进行温度裂缝控制设计。

4.0.2 温度裂缝控制设计宜包括下列内容：

- (1) 混凝土原材料选择、配合比设计和性能指标确定；
- (2) 温度及温度应力计算分析；
- (3) 温控标准；
- (4) 温控措施；
- (5) 温控监测方案。

4.0.3 大体积混凝土宜分层、分块浇筑。施工缝应根据混凝土结构特点、耐久性要求和施工方便等因素设置,并应满足设计要求。

4.0.4 底板上连续浇筑墙体结构时,水平施工缝宜设置在距墙底不小于 1m 的位置。

4.0.5 超长混凝土结构施工,分块浇筑控制应符合下列规定。

4.0.5.1 分块浇筑时,块体平面最大尺寸不宜大于 30m。

4.0.5.2 相邻块高差不宜大于 12m,相邻块浇筑时间间隔宜小于 30d。

4.0.5.3 采用跳仓法时,跳仓间隔施工时间不宜小于 7d,跳仓接缝应按施工缝的要求设置和处理。

4.0.5.4 采用后浇带时,后浇带的设置和施工应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010)的有关规定。

4.0.6 大体积混凝土温度应力分析前,宜进行胶凝材料水化热总量、混凝土绝热温升、抗压强度、劈裂抗拉强度、弹性模量和收缩等试验,确定其数值及变化规律。无试验资料时,胶凝材料水化热总量可按附录 A 计算,混凝土绝热温升可按附录 B 计算,弹性模量可按附录 C 计算。

4.0.7 大体积混凝土温度和温度应力宜采用数值仿真方法计算分析,也可按附录 C 估算。

4.0.8 大体积混凝土温控设计应进行温控抗裂安全性评定。温控抗裂安全系数宜按式(4.0.8-1)和式(4.0.8-2)进行计算。

$$K = \frac{f_{sp}(t)}{\sigma_s(t)} \quad (4.0.8-1)$$

$$K' = \frac{f'_{sp}(t)}{\sigma_{cmax}} \quad (4.0.8-2)$$

式中 K ——表层混凝土温控抗裂安全系数；

$f_{sp}(t)$ ——龄期 t 时混凝土劈裂抗拉强度试验值 (MPa)；

$\sigma_s(t)$ ——龄期 t 时混凝土表层拉应力计算值 (MPa)；

K' ——内部混凝土温控抗裂安全系数；

$f'_{sp}(t)$ ——混凝土块体达到准稳定温度时劈裂抗拉强度试验值 (MPa)；

σ_{cmax} ——混凝土内部最大拉应力计算值 (MPa)。

4.0.9 采用温控抗裂安全系数评定时结构的温控抗裂安全系数应符合表 4.0.9 规定。

表 4.0.9 大体积混凝土结构的温控抗裂安全系数

限制裂缝等级	温控抗裂安全系数	适用范围
Ⅲ类	≥ 1.2	无筋或少筋混凝土结构
Ⅱ类	≥ 1.4	普通钢筋混凝土结构
Ⅰ类	≥ 1.6	预应力混凝土结构、严酷侵蚀环境下的钢筋混凝土结构

4.0.10 大体积混凝土结构温控标准应根据温度应力仿真计算结果确定,并宜满足下列要求:

- (1) 混凝土浇筑温度不高于 30°C 且不低于 5°C ；
- (2) 混凝土内表温差不大于 25°C ；
- (3) 混凝土内部最高温度不高于 70°C ；
- (4) 混凝土断面降温速率 7d 龄期内不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{d}$, 7d 龄期后不大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

5 原 材 料

5.1 水 泥

5.1.1 大体积混凝土采用的水泥应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》(GB 175)或《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》(GB/T 200)的有关规定,且不应采用早强型水泥。

5.1.2 硅酸盐水泥 $45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余不应小于 5%,比表面积不应大于 $380\text{m}^2/\text{kg}$,水泥熟料中的铝酸三钙含量不宜大于 8%。

5.1.3 大体积混凝土选用 52.5 强度等级以下的通用硅酸盐水泥时,其 3d 水化热不宜大于 250kJ/kg ,7d 水化热不宜大于 280kJ/kg ;当选用 52.5 强度等级水泥时,7d 水化热不宜大于 300kJ/kg 。

5.1.4 与侵蚀性介质接触的大体积混凝土结构采用的水泥应符合现行行业标准《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)的有关规定。

5.2 矿物掺合料

5.2.1 大体积混凝土宜掺加粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰和石灰石粉等矿物掺合料,其质量应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596)、《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)、《砂浆和混凝土用硅灰》(GB/T 27690)和《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》(GB/T 35164)的有关规定。

5.2.2 大体积混凝土用粉煤灰应选用 I 级或 II 级粉煤灰。

5.2.3 粒化高炉矿渣粉宜采用 S75 级或 S95 级,比表面积不宜大于 $450\text{m}^2/\text{kg}$ 。

5.2.4 石灰石粉的流动度比不应小于 100%。

5.3 集 料

5.3.1 大体积混凝土采用的集料应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定。

5.3.2 大体积混凝土应采用洁净、坚固、级配良好的集料。

5.3.3 海水环境工程中不得采用碱活性集料;淡水环境工程中采用的集料具有潜在碱活性时,应采用抑制碱集料反应的相应措施。

5.3.4 大体积混凝土宜采用粒径较大的粗集料,素混凝土集料粒径不应大于构件截面最小尺寸的 $1/4$;钢筋混凝土集料最大粒径应满足下列要求:

(1) 不大于 80mm;

(2) 不大于钢筋最小净距的 $3/4$;

(3) 不大于混凝土保护层厚度的 $4/5$; 在南方地区浪溅区不大于混凝土保护层厚度的 $2/3$ 。

5.3.5 大体积混凝土宜采用线膨胀系数较小的粗集料。

5.3.6 细集料采用天然砂时, 细度模数宜控制在 $2.3 \sim 3.0$ 。

5.3.7 细集料采用机制砂时应选择质地坚固、粒形级配合理和质量稳定的机制砂, 其质量应符合现行国家标准《建设用砂》(GB/T 14684) 的有关规定, 机制砂中石粉含量应符合现行行业标准《高性能混凝土用骨料》(JG/T 568) 的有关规定。

5.4 纤维

5.4.1 大体积混凝土所用纤维宜采用钢纤维、合成纤维或玄武岩纤维等。

5.4.2 钢纤维的性能应符合现行行业标准《钢纤维混凝土》(JG/T 472) 的有关规定。

5.4.3 合成纤维的性能应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》(GB/T 21120) 的有关规定。

5.4.4 玄武岩纤维的性能应符合现行国家标准《水泥混凝土和砂浆用短切玄武岩纤维》(GB/T 23265) 的有关规定。

5.5 外加剂

5.5.1 大体积混凝土采用的外加剂品种宜包括减水剂、缓凝剂、引气剂、膨胀剂和水化热抑制剂等。

5.5.2 减水剂、缓凝剂、引气剂和膨胀剂质量应符合现行国家标准《混凝土外加剂》(GB 8076)、《混凝土膨胀剂》(GB/T 23439) 和《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119) 的有关规定。

5.5.3 水化热抑制剂质量应满足产品相关标准的要求, 掺水化热抑制剂混凝土强度应满足设计要求, $1d$ 绝热温升降低率不宜小于 15% 。

5.5.4 大体积混凝土宜选用缓凝型聚羧酸减水剂。

5.5.5 外加剂使用前应进行相容性检验, 掺量应通过试验确定。

5.6 拌和水

5.6.1 大体积混凝土拌和水应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202) 的有关规定。

5.6.2 拌和水中不应含有影响水泥正常凝结与硬化的有害物质, pH 值不应小于 5。

6 配合比设计

6.0.1 大体积混凝土配合比设计应满足设计与施工要求,并应按照绝热温升高、抗裂性能良好的原则通过优化确定。

6.0.2 有抗冻性要求的大体积混凝土宜选用引气剂或引气减水剂,含气量宜为 4% ~6%。

6.0.3 大体积混凝土宜限制早期强度的发展,标准养护条件下 12h 抗压强度不宜大于 8MPa 或 24h 不宜大于 12MPa。

6.0.4 大体积混凝土配合比设计宜进行混凝土拌合物绝热温升和混凝土静力受压弹性模量等试验,并宜开展开裂敏感性评价,试验方法应符合现行行业标准《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)的有关规定。

6.0.5 有条件时宜基于温度匹配养护试验进行混凝土配合比优化。

6.0.6 配合比设计除应按现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定执行外,尚宜满足下列要求:

- (1) 在满足施工工艺要求的条件下,选择较小的砂率和坍落度;
- (2) 采用硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥时,矿物掺合料掺量符合表 6.0.6 的规定。

表 6.0.6 大体积混凝土中矿物掺合料掺量

矿物掺合料种类	水 胶 比	掺量 (%)
粉煤灰	≤ 0.40	30 ~ 50
	> 0.40	20 ~ 40
粒化高炉矿渣粉	≤ 0.40	30 ~ 70
	> 0.40	30 ~ 60
粉煤灰与粒化高炉矿渣粉复合	≤ 0.40	≤ 70
	> 0.40	≤ 60
石灰石粉	≤ 0.40	≤ 20
	> 0.40	≤ 15

注:掺量是指掺合料占胶凝材料总量的质量比。

6.0.7 大体积混凝土掺加石灰石粉时宜与其他掺合料复合使用。

6.0.8 大体积混凝土掺加硅灰时宜与其他掺合料复合使用,且硅灰掺量不宜大于 5%。

6.0.9 纤维掺量应根据混凝土性能要求,参照现行行业标准《纤维混凝土应用技术规程》(JGJ/T 221)的有关规定,通过试验确定。

6.0.10 大体积混凝土采用常规温控措施不满足抗裂要求时,可采用纤维混凝土、补偿收缩混凝土或设置防裂钢筋网片;海洋环境下不宜采用普通钢纤维。

6.0.11 大体积混凝土可采用补偿收缩混凝土,配合比设计应按现行行业标准《补偿收缩混凝土应用技术规程》(JGJ/T 178)的有关规定执行。

7 温控措施

7.1 一般规定

- 7.1.1 温控措施应根据工程环境条件、材料特性、结构特点和施工工艺等因素,按照有效、经济、便于操作的原则制定。
- 7.1.2 大体积混凝土施工应采取减小结构所受外部约束的措施,优化施工方案。
- 7.1.3 施工设备和原材料等应满足大体积混凝土连续浇筑的要求。
- 7.1.4 大体积混凝土应具有较低坍落度,并应采取保障混凝土匀质性的措施。
- 7.1.5 内表温差和断面降温速率应根据混凝土升降温历程采取相应温控措施,将其控制在规定范围内。
- 7.1.6 大体积混凝土施工控制应符合现行行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)的有关规定。

7.2 原材料温度控制

- 7.2.1 大体积混凝土应控制混凝土的出机口温度,保证浇筑温度满足温控标准的要求,出机口温度和浇筑温度应按附录 D 计算。
- 7.2.2 大体积混凝土施工时,宜采取下列措施控制出机口温度:
- (1) 利用气温较低时段施工;
 - (2) 水泥使用温度不高于 60℃,粉煤灰使用温度不高于 40℃,矿粉、石灰石粉使用温度不高于 60℃;
 - (3) 集料堆场采用封闭料仓、遮阳或喷雾等降温措施;
 - (4) 使用地下水、制冷水或冰水等低温水拌和混凝土;
 - (5) 必要时,采用片冰拌和、风冷集料和液氮冷却混凝土拌合物等措施。
- 7.2.3 浇筑温度低于 5℃时,宜采用拌和水加热、集料升温等提高混凝土原材料温度的措施。

7.3 混凝土搅拌和运输

- 7.3.1 大体积混凝土拌合物应搅拌均匀,搅拌时间应根据试验确定,且不宜小于 90s。混凝土中加片冰、纤维时的搅拌时间应适当延长。
- 7.3.2 混凝土运输过程中,应缩短运输时间,减少转运次数;混凝土运输设备在必要时应设置遮阳、隔热和降温等设施。

7.4 混凝土浇筑和振捣

- 7.4.1 大体积混凝土浇筑前,除应进行常规施工检查验收外,尚应检查冷却水管和测温元件的位置和可靠性,并应掌握水文气象预报资料。
- 7.4.2 热天浇筑混凝土时,宜对混凝土进行仓面喷雾,降低浇筑仓面温度。
- 7.4.3 采用吊罐浇筑混凝土时,吊罐应便于卸料,不得漏浆。
- 7.4.4 大体积混凝土浇筑时,宜提高浇筑能力,缩短仓面暴露时间。
- 7.4.5 大体积混凝土应分层摊铺。泵送混凝土的摊铺厚度不宜大于 500mm,非泵送混凝土的摊铺厚度不宜大于 300mm。
- 7.4.6 上层混凝土应在下层混凝土初凝之前浇筑完毕。
- 7.4.7 混凝土布料应均匀,不得采用振捣棒赶料。
- 7.4.8 大体积混凝土振捣宜采用高频振捣棒,并应振捣密实,避免过振、欠振和漏振。
- 7.4.9 顶层混凝土浇筑完毕,初凝前宜进行二次振捣和抹面并及时覆盖、保湿养护。
- 7.4.10 浇筑过程中突遇大雨或大雪天气时,应中止混凝土浇筑,已浇筑还未硬化的混凝土应立即覆盖,严禁雨水直接冲刷新浇筑的混凝土。当终凝前无法覆盖上层混凝土时,结合面应按照施工缝处理。
- 7.4.11 大体积混凝土施工缝的处理应满足下列要求:
- (1) 凿毛,清除浇筑表面的浮浆、软弱混凝土层及松动的石子,均匀露出粗集料;
 - (2) 在上层混凝土浇筑前,清除混凝土表面污物,并充分润湿,无积水;
 - (3) 低流动度混凝土浇筑前,采用接浆措施;
 - (4) 设计对施工缝有特殊要求时,按设计要求处理。
- 7.4.12 垂直施工缝处宜采用收口网模板。
- 7.4.13 后浇带宜采用微膨胀混凝土并蓄水养护,养护时间不应少于 14d。

7.5 混凝土内部降温

- 7.5.1 大体积混凝土内部降温宜采取下列措施:
- (1) 掺入缓凝剂,延长混凝土凝结时间;
 - (2) 控制分层浇筑厚度;
 - (3) 埋设水管通水冷却。
- 7.5.2 大体积混凝土分层宜满足下列要求:
- (1) 分层厚度不大于 3.0m,其中基础强约束区不大于 1.5m;
 - (2) 浇筑间隔期不大于 7d。
- 7.5.3 冷却水管及其布置宜满足下列要求:
- (1) 采用内径 30mm~50mm 的金属水管并采用螺纹套筒连接;
 - (2) 水管间距 0.5m~1.5m;
 - (3) 水管距混凝土表面不小于 500mm;
 - (4) 单根水管长度不大于 200m;

(5)水管进出口集中布置。

7.5.4 混凝土浇筑前应对冷却水管进行压水试验,管道系统不得漏水。

7.5.5 混凝土覆盖冷却水管后应开始通水冷却,通水冷却宜满足下列要求:

- (1)冷却水流速不小于 0.6m/s;
- (2)冷却水的温度与混凝土内部温度之差不大于 25℃;
- (3)通水时间根据断面降温速率确定;
- (4)定期改变通水方向;
- (5)通水过程中,采用智能温控装置调控通水流量和水温。

7.5.6 通水结束后,冷却水管应及时进行压浆封堵,压浆材料应采用不低于混凝土强度等级的微膨胀砂浆或净浆。

7.6 混凝土保温和养护

7.6.1 大体积混凝土施工模板设计和验算应考虑保温和养护措施的要求。

7.6.2 混凝土浇筑完毕后应及时养护,养护宜采取覆盖、蓄水、喷雾或涂养护剂等措施,不得采用海水养护。

7.6.3 保湿养护时,时间不宜少于 14d,养护水温度与混凝土表面温度之差不宜大于 15℃;蓄水养护时,混凝土蓄水深度不宜小于 100mm。

7.6.4 日平均气温低于 5℃时,裸露的混凝土表面不得直接洒水养护,应采用保温材料进行保温、保湿养护。混凝土保温层厚度可按附录 E 计算。

7.6.5 低温季节拆模应选择气温较高时段并立即采取保温措施。混凝土表面温度与环境温度之差大于 15℃时应推迟拆模时间。

7.6.6 保温覆盖层拆除应分层逐步进行,混凝土表面温度与环境温度最大温差小于 20℃时,可全部拆除。

7.6.7 气温骤降时,龄期低于 28d 的混凝土应进行表面保温。

7.6.8 混凝土保温应操作简便、安全环保。保温保湿材料可采用塑料薄膜、土工布、节水保湿养护膜等,并应覆盖严密,接缝处重叠覆盖不应少于 300mm,边角处应加强保温。

7.6.9 必要时应搭设养护棚,宜采用蒸汽、喷雾调控棚内温度和湿度。

7.6.10 保温养护时,应现场监测混凝土的内表温差、断面降温速率,当实测结果不满足温控指标要求时,应及时调整保温养护措施。

7.6.11 低温季节应封堵竖井、廊道等孔洞,基础部位大体积混凝土浇筑后应及时回填。

7.6.12 大风天气浇筑混凝土时,在作业面应采取挡风措施,并应增加混凝土表面的抹压次数,应及时覆盖保温保湿材料。

7.7 其 他

7.7.1 有特殊裂缝控制要求的混凝土结构,可进一步采取配置构造钢筋、设置防裂钢筋网片,采用纤维混凝土、补偿收缩混凝土,掺加水化热抑制剂、减缩剂,增设透水模板布等措施。

7.7.2 大体积混凝土强度试件的留置,应满足下列要求。

7.7.2.1 一次连续浇筑不大于 1000m^3 同配合比的大体积混凝土时,现场取样不应少于 10 组。

7.7.2.2 一次连续浇筑 $1000\text{m}^3 \sim 5000\text{m}^3$ 同配合比的大体积混凝土时,超出 1000m^3 的混凝土,每增加 500m^3 取样不应少于一组,增加不足 500m^3 时取样一组。

7.7.2.3 一次连续浇筑大于 5000m^3 同配合比的大体积混凝土时,超出 5000m^3 的混凝土,每增加 1000m^3 取样不应少于一组,增加不足 1000m^3 时取样一组。

8 施工期温控监测

8.0.1 大体积混凝土施工过程中应监测混凝土浇筑温度、内部温度、冷却水温度、内表温差、断面降温速率、环境温湿度和风速等参数,并应根据监测结果及时调整和优化温控措施。重要的结构应进行应变监测。

8.0.2 大体积混凝土温度监测点布置,应能反映混凝土浇筑体内最高温升、内表温差、断面降温速率、温度梯度和环境温度。

8.0.3 大体积混凝土温度监测、应变监测宜采用具有自动采集、无线传输等功能的设备。

8.0.4 温度监测持续时间不宜少于 14d,应变监测不宜少于 60d。

8.0.5 温度测点的布置应符合下列规定。

8.0.5.1 温度测点的布置范围应以所选混凝土浇筑块体平面图对称轴线的一侧为测试区。

8.0.5.2 温度测点位置与数量应根据混凝土浇筑块内温度场分布和温度控制要求确定。

8.0.5.3 每条温度测试轴线上应根据结构的平面尺寸布置监测点,监测点位不宜少于 4 处。

8.0.5.4 温度测点宜沿混凝土浇筑体厚度方向按平面分层布置,应至少布置表层、底层和中心层温度测点,测点间距不宜大于 500mm。混凝土浇筑体表层测点,宜布置在混凝土浇筑体表面以内 50mm 处。混凝土浇筑体底层测点,宜布置在混凝土浇筑体底面以上 50mm 处。

8.0.5.5 环境温度监测点数量应根据设计要求确定。

8.0.6 应变测点的布置应符合下列规定。

8.0.6.1 应变测点应能测出混凝土内部最大应变。

8.0.6.2 应变测试应设置零应力测点。

8.0.6.3 应变测试宜布置表层、底层和中心层应变测点,表层应变测点宜布置在混凝土浇筑体表层钢筋以内。

8.0.7 大体积混凝土温度监测应符合现行国家标准《大体积混凝土温度测控技术规范》(GB/T 51028)的有关规定,温控监测记录表的格式可参照附录 F。

附录 A 胶凝材料水化热总量计算

A.1 水泥水化热总量

A.1.1 水泥水化热总量可通过水化热试验确定,也可参考出厂检验值确定。

A.1.2 无参考值时,水泥水化热总量可按下式计算:

$$Q_0 = \frac{4}{\frac{7}{Q_7} - \frac{3}{Q_3}} \quad (\text{A.1.2})$$

式中 Q_0 ——水泥水化热总量(kJ/kg);

Q_3 、 Q_7 ——龄期分别为 3d 和 7d 时的累积水泥水化热(kJ/kg)。

A.2 胶凝材料水化热总量

A.2.1 胶凝材料水化热总量宜在水泥和矿物掺合料用量确定后通过试验得出。

A.2.2 无试验数据时,胶凝材料水化热可按下式计算:

$$Q = k \cdot Q_0 \quad (\text{A.2.2})$$

式中 Q ——胶凝材料水化热总量(kJ/kg);

k ——不同掺量掺合料水化热调整系数;

Q_0 ——水泥水化热总量(kJ/kg)。

A.2.3 当采用粉煤灰与粒化高炉矿渣粉双掺时,不同掺量掺合料水化热调整系数可按下式计算:

$$k = k_1 \cdot k_2 \quad (\text{A.2.3})$$

式中 k ——不同掺量掺合料水化热调整系数;

k_1 ——粉煤灰掺量对应的水化热调整系数,按粉煤灰掺量参照表 A.2.3 取值;

k_2 ——粒化高炉矿渣粉掺量对应的水化热调整系数,按粒化高炉矿渣粉掺量参照表 A.2.3 取值。

表 A.2.3 矿物掺合料水化热调整系数

掺量(%)	0	10	20	30	40	50	60	70
粉煤灰	1	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	—	—
粒化高炉矿渣粉	1	0.97	0.95	0.91	0.86	0.81	0.74	0.66

注:表中掺量为单一矿物掺合料占胶凝材料总用量的百分比。

A.2.4 当采用石灰石粉或硅灰时,其对水化热的影响应根据试验确定。

附录 B 混凝土绝热温升计算

B.0.1 混凝土绝热温升宜根据实际混凝土配合比通过试验确定。

B.0.2 无试验数据时,混凝土绝热温升可按下列公式计算:

$$T_a = \frac{WQ}{\rho c} \quad (\text{B.0.2-1})$$

$$T_t = T_a (1 - e^{-mt}) \quad (\text{B.0.2-2})$$

式中 T_a ——混凝土最终绝热温升($^{\circ}\text{C}$);

W ——每立方米混凝土胶凝材料用量(kg/m^3);

Q ——胶凝材料水化热总量(kJ/kg);

ρ ——混凝土质量密度(kg/m^3),可取 $2400\text{kg}/\text{m}^3$;

c ——混凝土比热容[$\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$],可取 $1.0\text{kJ}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$;

T_t ——龄期 t 时的混凝土绝热温升($^{\circ}\text{C}$);

m ——与水泥品种、用量和入模温度等有关的单方胶凝材料对应的系数(d^{-1});

t ——混凝土龄期(d)。

B.0.3 单方胶凝材料对应的系数可按下列公式计算:

$$m = km_0 \quad (\text{B.0.3-1})$$

$$m_0 = AW + B \quad (\text{B.0.3-2})$$

$$W = \lambda W_c \quad (\text{B.0.3-3})$$

式中 m ——单方胶凝材料对应的系数(d^{-1});

k ——不同掺量掺合料水化热调整系数;

m_0 ——等效硅酸盐水泥对应的系数(d^{-1});

A 、 B ——与混凝土浇筑温度相关的系数,按表 B.0.3-1 取内插值,当浇筑温度 $\leq 10^{\circ}\text{C}$ 或 $\geq 30^{\circ}\text{C}$ 时,分别按照 10°C 或 30°C 选取;

W ——等效硅酸盐水泥用量(kg);

λ ——不同硅酸盐水泥的修正系数,按表 B.0.3-2 取值;

W_c ——单方其他硅酸盐水泥用量(kg)。

表 B.0.3-1 与混凝土浇筑温度相关的系数取值

浇筑温度($^{\circ}\text{C}$)	≤ 10	20	≥ 30
$A(\text{kg}^{-1} \cdot \text{d}^{-1})$	0.0023	0.0024	0.0026
$B(\text{d}^{-1})$	0.045	0.5159	0.9871

表 B.0.3-2 不同硅酸盐水泥的修正系数

名称	硅酸盐水泥		普通硅酸盐水泥	矿渣硅酸盐水泥		火山灰质硅酸盐水泥	粉煤灰硅酸盐水泥
代号	P · I	P · II	P · O	P · S · A	P · S · B	P · P	P · F
修正系数 λ	1	0.98	0.88	0.65	0.40	0.70	0.70

附录 C 混凝土温度和温度应力估算

C.1 混凝土内部最高温度计算

C.1.1 混凝土内部最高温度可按下式计算：

$$T_{\max} = T_p + \xi T_a - T_{co} \quad (\text{C.1.1})$$

式中 $T_{\max}$ ——混凝土内部最高温度(℃)；

T_p ——混凝土浇筑温度(℃)；

ξ ——温升折减系数；

T_a ——混凝土最终绝热温升(℃)；

T_{co} ——冷却水管降温效果值(℃),取 2℃~8℃;水管间距较小时取较大值,反之取较小值;无水管时取 0℃。

C.1.2 温升折减系数应根据浇筑层厚度按下列原则取值：

(1)一次浇筑大体积混凝土时,按表 C.1.2 取值；

(2)分层连续浇筑时,第一层按表 C.1.2 取值;第二层及以上浇筑层,当已浇筑各层总厚度小于 2m 时,以本层厚度与已浇筑各层总厚度之和作为浇筑层厚度按表 C.1.2 取值;当已浇筑各层总厚度大于或等于 2m 时,以本层厚度加 2m 作为浇筑层厚度按表 C.1.2 取值。

表 C.1.2 温升折减系数

浇筑层厚度(m)	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
温升折减系数 ξ	0.28	0.46	0.55	0.62	0.68	0.74
浇筑层厚度(m)	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
温升折减系数 ξ	0.80	0.85	0.90	0.95	0.99	1.00

C.2 混凝土弹性模量计算

C.2.1 混凝土弹性模量可按下式计算：

$$E(t) = E_0 (1 - e^{-at^b}) \quad (\text{C.2.1})$$

式中 $E(t)$ ——龄期 t 时的混凝土弹性模量(MPa)；

E_0 ——混凝土弹性模量(MPa),通过试验确定或取标准养护下 28d 的弹性模量；

a ——系数,通过试验确定;无试验数据时可取 0.40；

t ——混凝土龄期(d)；

b ——系数,通过试验确定;无试验数据时可取 0.60。

C.3 混凝土温度应力计算

C.3.1 混凝土表层拉应力可按下式计算：

$$\sigma_s(t) = \frac{\alpha}{2} \cdot E(t) \cdot \Delta T_{nb}(t) \cdot K_p \quad (\text{C.3.1})$$

式中 $\sigma_s(t)$ ——龄期 t 时混凝土表层拉应力 (MPa)；

α ——混凝土线膨胀系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)，可取 $1.0 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

$E(t)$ ——龄期 t 时混凝土弹性模量 (MPa)；

$\Delta T_{nb}(t)$ ——龄期 t 时混凝土内表温差 ($^{\circ}\text{C}$)；

K_p ——混凝土徐变引起的应力松弛系数，通过试验确定；无试验资料时可取 0.5。

C.3.2 混凝土内部最大拉应力可按下式计算：

$$\sigma_{cmax} = \frac{\alpha}{1-\mu} \cdot E'_0 \cdot K_p \cdot R \cdot (T_{max} - T_w) \quad (\text{C.3.2})$$

式中 σ_{cmax} ——混凝土内部最大拉应力 (MPa)；

α ——混凝土线膨胀系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)，可取 $1.0 \times 10^{-5} ^{\circ}\text{C}^{-1}$ ；

μ ——混凝土泊松比，可取 1/6；

E'_0 ——混凝土内部达到准稳定温度龄期时的混凝土弹性模量 (MPa)；

K_p ——混凝土徐变引起的应力松弛系数，通过试验确定；无试验资料时可取 0.5；

R ——混凝土基础约束系数；

T_{max} ——混凝土内部最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)；

T_w ——混凝土浇筑块体准稳定温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

C.3.3 混凝土基础约束系数可按下式计算：

$$R = 1 - \frac{1}{\cosh \left(\sqrt{\frac{C_s}{H \cdot E'_0}} \cdot \frac{L}{2} \right)} \quad (\text{C.3.3})$$

式中 R ——混凝土基础约束系数；

C_s ——外约束介质单位面积的水平变形刚度 ($\times 10^{-2} \text{N/mm}^3$)，可按表 C.3.3 取值；

H ——混凝土浇筑块体厚度 (mm)；

E'_0 ——混凝土内部达到准稳定温度龄期时的混凝土弹性模量 (MPa)；

L ——混凝土浇筑块体长度 (mm)。

表 C.3.3 水平变形刚度

外约束介质	软黏土	砂质黏土	硬黏土	风化岩、低等级素混凝土	配筋混凝土
$C_s (\times 10^{-2} \text{N/mm}^3)$	1 ~ 3	3 ~ 6	6 ~ 10	60 ~ 100	100 ~ 150

C.4 断面加权平均温度

C.4.1 混凝土断面加权平均温度可按下式计算：

$$\bar{T} = \frac{T_1 \times \left(L_1 + \frac{L_2}{2}\right) + T_2 \times \left(\frac{L_2 + L_3}{2}\right) + \cdots + T_{n-1} \times \left(\frac{L_{n-1} + L_n}{2}\right) + T_n \times \frac{L_n}{2}}{L_1 + L_2 + \cdots + L_{n-1} + L_n} \quad (\text{C.4.1})$$

式中 $\bar{T}$ ——混凝土断面加权平均温度(℃)；

$L_1 \sim L_n$ ——对应相连温度测点之间的距离(mm)；

$T_1 \sim T_n$ ——到混凝土表面 L_1 、 $(L_1 + L_2)$ 、 $\cdots$ 、 $(L_1 + L_2 + \cdots + L_{n-1})$ 、 $(L_1 + L_2 + \cdots + L_{n-1} + L_n)$ 距离对应的混凝土断面温度(℃)。

C.4.2 混凝土断面加权平均温度测点示意图可见图 C.4.2。

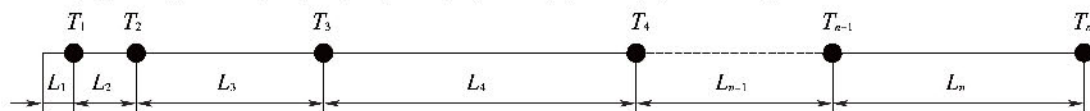


图 C.4.2 混凝土断面加权平均温度测点示意图

附录 D 混凝土出机口温度、浇筑温度计算

D.1 混凝土出机口温度计算

D.1.1 混凝土出机口温度可按下列式计算：

$$T_0 = \frac{(0.2 + Q_s) W_s T_s + (0.2 + Q_g) W_g T_g + 0.2 W_c T_c + (W_w - Q_s W_s - Q_g W_g - W_i) T_w - \xi_i (q_i W_i / C_w)}{0.2 (W_s + W_g + W_c) + W_w} \quad (\text{D.1.1})$$

式中 T_0 ——混凝土出机口温度(℃)；

Q_s ——细集料的含水率(%)；

W_s ——每立方米混凝土中细集料的质量(kg)；

T_s ——细集料的温度(℃)；

Q_g ——粗集料的含水率(%)；

W_g ——每立方米混凝土中粗集料的质量(kg)；

T_g ——粗集料的温度(℃)；

W_c ——每立方米混凝土中胶凝材料的质量(kg)；

T_c ——胶凝材料的温度,取水泥和矿物掺合料温度加权平均值(℃)；

W_w ——每立方米混凝土中水的质量(kg)；

W_i ——每立方米混凝土中片冰的质量(kg),不加片冰时取0；

T_w ——水的温度(℃)；

ξ_i ——冰的融化热利用系数,可取0.85；

q_i ——冰的融化热(kJ/kg)；

C_w ——水的比热容。

D.2 混凝土浇筑温度计算

D.2.1 混凝土浇筑温度可按下列式计算：

$$T_p = T_0 + (T_a - T_0)(\theta_1 + \theta_2 + \theta_3) + T_f \quad (\text{D.2.1})$$

式中 T_p ——混凝土浇筑温度(℃)；

T_0 ——混凝土出机口温度(℃)；

T_a ——环境温度(℃)；

θ_1 ——混凝土装、卸转运时的温度变化系数；

θ_2 ——混凝土运输时的温度变化系数；

θ_3 ——混凝土浇筑时的温度变化系数；

T_f ——泵送施工时的摩擦升温值(℃),按每百米泵送距离温度升高 0.7℃ ~0.8℃ 考虑。

D.2.2 温度变化系数可分别按下列公式计算:

$$\theta_1 = 0.032N \tag{D.2.2-1}$$

$$\theta_2 = A\tau \tag{D.2.2-2}$$

$$\theta_3 = 0.003\tau' \tag{D.2.2-3}$$

式中 θ_1 ——混凝土装、卸转运时的温度变化系数;
 N ——混凝土装、卸转运次数;
 θ_2 ——混凝土运输时的温度变化系数;
 A ——热量损失参数(min^{-1}),可按表 D.2.2 取值;
 τ ——运输时间(min);
 θ_3 ——混凝土浇筑时的温度变化系数;
 τ' ——浇筑振捣时间(min)。

表 D.2.2 混凝土运输时冷量或热量损失参数值

运 输 工 具	容 积(m^3)	热量损失参数 A (min^{-1})
混凝土搅拌车	6.0 ~12.0	0.0030 ~0.0040
吊 斗	1.6 ~6.0	0.0005 ~0.0013

注:混凝土搅拌车、吊斗容量小时取大值,反之取小值。

附录 E 混凝土保温热工计算

E.0.1 混凝土保温层厚度可按式计算:

$$\delta = \frac{0.5h\lambda\psi(T_{\max} - \Delta T_{\text{nb,co}} - T_{\text{a,min}})}{\lambda_c \Delta T_{\text{nb,co}}} \quad (\text{E.0.1})$$

式中 δ ——保温层厚度(m);

h ——混凝土浇筑层厚度(m);

λ ——保温材料导热系数[$\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$],按表 E.0.1-1 取值;

ψ ——传热修正系数,按表 E.0.1-2 取值;

$T_{\max}$ ——混凝土内部最高温度($^\circ\text{C}$);

$\Delta T_{\text{nb,co}}$ ——混凝土内表温差控制值($^\circ\text{C}$);

$T_{\text{a,min}}$ ——混凝土内部达到最高温度时的可能最低气温($^\circ\text{C}$);

λ_c ——混凝土导热系数[$\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$],取 $8.28\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

表 E.0.1-1 常用保温材料导热系数

材料名称	λ [$\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]	材料名称	λ [$\text{kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$]
木模	0.83	钢模	209.50
泡沫塑料板	0.11~0.18	泡沫混凝土	0.36
黏土	4.97~5.29	保温棉被	0.22
干砂	1.19	水	2.16
湿砂	4.07~4.72	土工织物	0.18
空气	0.11	塑料薄膜	0.72
节水保湿膜	0.50	挤塑聚苯板(XPS)	0.10~0.12

表 E.0.1-2 传热修正系数

保温层种类	ψ	
	风速不大于 4m/s	风速大于 4m/s
由易透风材料组成	2.0	2.3
在易透风保温材料上铺一层不易透风材料	1.6	1.9
在易透风保温材料上下各铺一层不易透风材料	1.3	1.5
由不易透风的材料组成	1.3	1.5

E.0.2 多种保温材料组成的保温层总热阻可按式计算:

$$R_s = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\beta_u} \quad (\text{E.0.2})$$

式中 R_s ——保温层总热阻[$(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})/\text{kJ}$];

- δ_i ——第 i 层保温材料厚度 (m) ;
 λ_i ——第 i 层保温材料的导热系数 [kJ / (m · h · °C)] ;
 β_{μ} ——固体在空气中的传热系数 [kJ / (m² · h · °C)] ,按表 E.0.2 取值。

表 E.0.2 固体在空气中的传热系数

风速 (m/s)	β_{μ}		风速 (m/s)	β_{μ}	
	光滑表面	粗糙表面		光滑表面	粗糙表面
0	66.38	75.74	5.0	324.14	347.76
0.5	103.14	112.75	6.0	371.27	399.10
1.0	128.56	138.96	7.0	417.31	449.10
2.0	177.66	190.58	8.0	462.35	497.88
3.0	226.87	243.00	9.0	506.16	545.58
4.0	275.80	295.67	10.0	549.04	593.75

E.0.3 不考虑保温层的热容量时,混凝土表面向保温介质传热的总传热系数可按下式计算:

$$\beta_s = \frac{1}{R_s} \tag{E.0.3}$$

式中 β_s ——总传热系数 [kJ / (m² · h · °C)] ;
 R_s ——保温层总热阻 [(m² · h · °C) / kJ] 。

附录 F 温控监测记录表格

表 F.0.1 温控监测记录表

工程名称: _____																					
工程部位: _____										测点层号: _____											
开盘时间: _____										收盘时间: _____											
日期	时间	测点温度 (℃)					气温 (℃)	浇筑温度 (℃)	风速 (m/s)	相对湿度 (RH%)	冷却水温度(℃)										备注 (天气和其他情况)
											进水口					出水口					
		1	2	3	...	n	1	2	3	...	n	1	2	3	...	n					
记录: _____										校核: _____											

附录 G 本规范用词说明

为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度的用词说明如下:

- (1)表示很严格,非这样做不可的,正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;
- (2)表示严格,在正常情况下均应该这样做的,正面词采用“应”,反面词采用“不应”或者“不得”;
- (3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的,正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;
- (4)表示允许选择,在一定条件下可以这样做的采用“可”。

引用标准名录

- 1.《通用硅酸盐水泥》(GB 175)
- 2.《中热硅酸盐水泥、低热硅酸盐水泥》(GB/T 200)
- 3.《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》(GB/T 1596)
- 4.《混凝土外加剂》(GB 8076)
- 5.《建设用砂》(GB/T 14684)
- 6.《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046)
- 7.《水泥混凝土和砂浆用合成纤维》(GB/T 21120)
- 8.《水泥混凝土和砂浆用短切玄武岩纤维》(GB/T 23265)
- 9.《混凝土膨胀剂》(GB/T 23439)
- 10.《砂浆和混凝土用硅灰》(GB/T 27690)
- 11.《用于水泥、砂浆和混凝土中的石灰石粉》(GB/T 35164)
- 12.《混凝土结构设计规范》(GB 50010)
- 13.《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119)
- 14.《建筑工程绿色施工规范》(GB/T 50905)
- 15.《大体积混凝土温度测控技术规范》(GB/T 51028)
- 16.《水运工程结构耐久性设计标准》(JTS 153)
- 17.《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202)
- 18.《水运工程混凝土试验检测技术规范》(JTS/T 236)
- 19.《港口水工建筑物修补加固技术规范》(JTS 311)
- 20.《补偿收缩混凝土应用技术规程》(JGJ/T 178)
- 21.《纤维混凝土应用技术规程》(JGJ/T 221)
- 22.《钢纤维混凝土》(JG/T 472)
- 23.《高性能混凝土用骨料》(JG/T 568)

附加说明

本规范主编单位、参编单位、主要起草人、 主要审查人、总校人员和管理组人员名单

主 编 单 位:中交武汉港湾工程设计研究院有限公司

参 编 单 位:中国交通建设股份有限公司

中交第二航务工程局有限公司

中交天津港湾工程研究院有限公司

中交上海三航科学研究院有限公司

中交二航武汉港湾新材料有限公司

主要起草人:屠柳青(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

张国志(中交第二航务工程局有限公司)

刘可心(中交二航武汉港湾新材料有限公司)

(以下按姓氏笔画为序)

王成启(中交上海三航科学研究院有限公司)

朱志刚(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

刘 松(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

李俊毅(中交天津港湾工程研究院有限公司)

吴 柯(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

汪华文(中交二航武汉港湾新材料有限公司)

张 思(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

房艳伟(中交二航武汉港湾新材料有限公司)

查 进(中国交通建设股份有限公司)

秦明强(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

惠晓亮(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

焦运攀(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

主要审查人:张志明

(以下按姓氏笔画为序)

刘亚平、贡金鑫、李北星、李宗平、别社安、冷发光、张际斌、

胡家顺、黄君哲、魏宏大

总 校 人 员:刘国辉、李荣庆、刘连生、董 方、檀会春、刘可心、秦明强、

吴 柯、汪华文、惠晓亮

管理组人员：屠柳青(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

刘可心(中交二航武汉港湾新材料有限公司)

李遵云(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

吴 柯(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

秦明强(中交武汉港湾工程设计研究院有限公司)

《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规范》 (JTS 202—1—2010)

主编单位、参编单位、主要起草人名单

主 编 单 位:中交武汉港湾工程设计研究院有限公司

参 编 单 位:中国交通建设股份有限公司

大连理工大学

中交第一航务工程勘察设计院有限公司

中交第二航务工程局有限公司

中交天津港湾工程研究院有限公司

中交四航工程研究院有限公司

主要起草人:甘新平、张国志、贡金鑫

(以下按姓氏笔画为序)

王迎飞、田俊峰、刘可心、刘秉京、李俊毅、杨昌维、赵晓岚、

屠柳青

中华人民共和国行业标准

水运工程大体积混凝土温度裂缝控制 技术规范

JTS/T 202—1—2022

条文说明

目 次

2	术语	(35)
3	基本规定	(36)
4	温控设计	(37)
5	原材料	(40)
5.1	水泥	(40)
5.2	矿物掺合料	(40)
5.3	集料	(41)
5.5	外加剂	(41)
5.6	拌和水	(41)
6	配合比设计	(42)
7	温控措施	(43)
7.2	原材料温度控制	(43)
7.4	混凝土浇筑和振捣	(43)
7.5	混凝土内部降温	(44)
7.6	混凝土保温和养护	(44)
7.7	其他	(45)
附录 A	胶凝材料水化热总量计算	(46)
A.2	胶凝材料水化热总量	(46)
附录 C	混凝土温度和温度应力估算	(50)
C.1	混凝土内部最高温度计算	(50)
C.2	混凝土弹性模量计算	(50)
C.3	混凝土温度应力计算	(51)
附录 D	混凝土出机口温度、浇筑温度计算	(53)
D.1	混凝土出机口温度计算	(53)
D.2	混凝土浇筑温度计算	(53)

2 术 语

2.0.1 大体积混凝土的特点主要是胶凝材料在水化反应过程中释放出大量的热量,这些热量积聚在混凝土内部不易散发,引起温度变化造成混凝土的收缩变形,混凝土收缩变形受到内部或外部约束时产生拉应力,超过混凝土的抗拉强度易导致开裂。

美国混凝土学会 ACI-207 认为,大体积混凝土是“现浇混凝土结构,尺寸大到需要采取措施降低水化热和水化热引起的体积变化,以最大限度地减少混凝土的开裂”,该学会还认为,结构最小尺寸大于 0.6m,即应考虑水化热引起混凝土体积变化与开裂问题。国际预应力混凝土协会(FIP)《海工混凝土结构设计与施工建议》中规定,“凡是混凝土一次浇筑最小尺寸大于 0.6m,特别是水泥用量大于 400kg/m^3 时,应考虑采用水化放热慢的水泥或采取其他降温散热措施”。日本建筑学会标准(JASS)认为,“结构断面最小尺寸在 0.8m 以上,水化热引起混凝土内最高温度与外界气温之差大于 25°C 的混凝土,称为大体积混凝土”。我国《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)中大体积混凝土的定义为“混凝土结构物实体最小尺寸不小于 1m 的大体量混凝土,或预计会因混凝土中胶凝材料水化的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土”。可以看出,上述标准和建议都是从定性和定量两个方面对大体积混凝土进行定义的。考虑到与国内标准的协调,本条参考《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)给出大体积混凝土的定义。

2.0.4 绝热温升一般是在试验室制造的绝热环境条件中测得的,它与每立方米混凝土的胶凝材料用量、混凝土比热容、混凝土的质量密度、龄期 and 水泥品种等有关。

2.0.5 温控抗裂安全系数用于评价混凝土产生温度裂缝的可能性。《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)中温控抗裂安全系数规定为某一龄期的混凝土轴心抗拉强度标准值与计算温度应力之比;欧洲丹麦采用开裂风险评价温控抗裂安全性,规定为计算温度应力与轴心抗拉强度之比或劈裂抗拉强度之比;日本将温控抗裂安全系数规定为某一龄期的混凝土劈裂抗拉强度标准值与计算温度应力之比。我国的工程经验表明:劈裂抗拉试验易于操作,试验结果波动较小;而轴心抗拉试验操作复杂,试验结果波动较大。所以,本规范将温控抗裂安全系数定义为标准养护条件下混凝土劈裂抗拉强度试验值与计算温度应力之比。

2.0.16 多数水运工程的大体积混凝土结构整体温度的变化受气温与水温影响,处于年复一年的重复循环变化中,不存在稳定温度,因此称为准稳定温度。

3 基本规定

3.0.2 本条规定大体积混凝土结构形式简单,是指采用平顺、少棱角和少突变等结构形式,这样一方面可减小结构自身约束,另一方面方便采取保温等温控措施。降低基础约束的措施一般包括分段浇筑、补偿收缩和设置滑动层等。

3.0.3 本条给出了大体积混凝土配合比、混凝土强度和工程验收的评定原则。大体积混凝土一般掺有大量矿物掺合料,以减少水泥用量,降低混凝土水化热;该类型混凝土早期强度发展较慢,后期强度增长幅度较大,有充分利用后期强度的条件。某军工码头工程和某大桥锚碇工程采用60d的强度评定标准,现场监测结果表明大体积混凝土没有出现温度裂缝,温控效果良好。因此建议采用60d龄期强度进行评定验收。

资料表明,许多工程已经或可以考虑利用60d混凝土强度作为评定工程交工验收与设计的依据。本条考虑到大体积混凝土项目的总施工周期一般较长的特点,在保证混凝土强度满足使用要求的前提下,规定了大体积混凝土采用60d混凝土强度作为配合比设计与评定工程交工验收的依据。

3.0.4 外界施工条件对混凝土开裂具有重要影响。热天选择天气温度较低时施工能够降低混凝土的浇筑温度,减小温度裂缝;而极端不利的气象条件,如大雨、暴晒、大风、冰冻等,会造成混凝土收缩开裂甚至影响正常凝结硬化。

3.0.6 为贯彻国家技术经济政策,保证工程质量、节能和施工安全,特增加本条规定。

4 温控设计

4.0.1 本条是对大体积混凝土温控设计的一般要求。不同设计使用年限的结构对混凝土性能要求不同,不同的使用环境适用温控措施不同,不同的结构出现温度裂缝后对适用性和耐久性的影响不同,这些均为温控设计时的考虑因素。

4.0.3 本条对大体积混凝土施工提出了分层、分块的浇筑要求以及设置施工缝时的考虑因素。设置施工缝考虑的因素较多,例如温度裂缝控制的要求、混凝土的浇筑能力、方便结构钢筋绑扎、预埋管件安装、避开结构受力较大的截面处和变截面处、海洋环境下水平施工缝的设置避开水位变动区和浪溅区等。

4.0.5 本条规定了超长大体积混凝土结构分块浇筑、跳仓施工、后浇带施工等控制有害裂缝的产生的施工措施。分块尺寸过大不利于减少基础约束,易造成应力增加。《水工混凝土结构设计规范》(SL 191—2008)中规定软基上的墙体和水闸底板最大分块尺寸为30m,岩基最大分块尺寸为20m;《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010)中规定现浇剪力墙结构最大分块尺寸为30m,挡土墙和地下墙壁结构最大分块尺寸为20m。水运工程经验表明,块体平面最大尺寸小于30m能有效减少混凝土温度裂缝的产生。相邻分块高差和浇筑时间间隔控制要求参照《混凝土拱坝设计规范》(SL 282—2018)中的相关规定。对超长(大于《混凝土结构设计规范(2015年版)》(GB 50010—2010)中伸缩缝的要求)大体积混凝土施工,留置后浇带或跳仓方法分段施工,并规定了后浇带设置的一般要求,这样能够在一定程度上减轻外部约束程度,减少每次浇筑段的蓄热量,防止水化热的积聚,减少温度应力;但需要注意的是跳仓接缝处的应力一般较大,通常采用增加配筋量和加强构造进行处理。

4.0.6 大体积混凝土分析计算过程中的参数采用试验结果有利于精确分析。

4.0.7 大体积混凝土温度和温度应力分析采用数值仿真分析,可以较好地模拟温控施工过程,因此本条推荐采用数值分析结果。

4.0.8 本条给出了大体积混凝土温控抗裂安全性的评价方法。国内外规范对温控抗裂安全系数的计算方法有不同的规定。《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)中温控抗裂安全系数表述为某一龄期的混凝土轴心抗拉强度标准值与计算温度应力之比,并规定温控抗裂安全系数不小于1.15。欧洲一般采用开裂风险的概念,即混凝土计算拉应力与对应龄期劈裂抗拉强度的比值,并对开裂风险作了规定。厄勒海峡隧道和丹麦大带桥要求计算温度应力与劈裂抗拉强度之比大于0.7,即劈裂抗拉强度与计算温度应力比不小于1.4,现场监测结果表明混凝土没有出现温度裂缝,温控效果良好。日本规范(JCI 2016)要求劈裂抗拉强度与计算温度应力比不得小于1.25~1.5,抗裂安全系数与开

裂概率的关系见图 4.1。

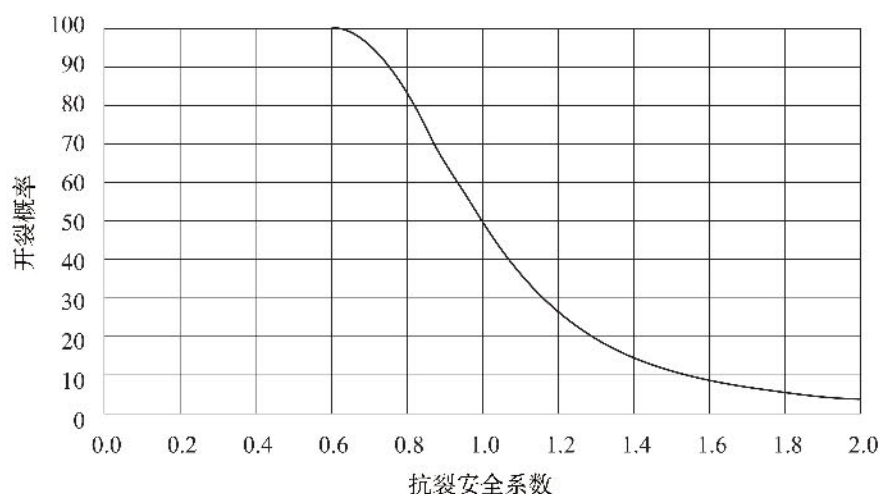


图 4.1 抗裂安全系数与开裂概率的关系

本条将温控抗裂安全系数定义为标准养护条件下混凝土劈裂抗拉强度试验值与计算温度应力之比,并给出了计算公式。

4.0.9 本条提出不同结构类型温控抗裂安全系数的要求。根据国内多个水运工程大体积混凝土温控经验并参考日本规范抗裂安全系数的取值,将裂缝等级划分为三类。严酷侵蚀环境是指《混凝土结构耐久性设计规范》(GB/T 50476—2019)规定的结构所处环境类别为Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ类环境,且作用程度为非常严重 E 级别及以上。

4.0.10 对于混凝土浇筑温度,《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)中规定热天浇筑温度不大于 30℃,冷天不小于 5℃;《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)中规定入模温度宜控制在 5℃~30℃;某军工码头控制夏季浇筑温度小于或等于 30℃、冬季不小于 5℃,现场监测结果表明大体积混凝土没有出现温度裂缝,温控效果良好。参照国内规范和水运工程施工经验,规定浇筑温度不高于 30℃且不低于 5℃。

对于内表温差,《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)中规定内表温差(不含混凝土收缩当量温度)不宜大于 25℃,《公路桥涵施工技术规范》(JTG/T 3650—2020)中规定应将内表温差控制在 25℃以内。国内多项水运工程控制内表温差小于或等于 25℃,现场监测结果表明混凝土未出现温度裂缝。因此规定内表温差不大于 25℃。

混凝土内部最高温度与浇筑温度、配合比、几何尺寸和现场条件等因素密切相关,混凝土早期温度过高一方面容易形成延迟钙矾石,另一方面容易导致水泥“假凝”。另外,混凝土内部温度过高,当降温到准稳定温度时,整个过程温度应力过大,从而增大混凝土开裂的可能性。英国建筑行业研究和情报协会(CIRIA)指南《Early-age Thermal Crack Control in Concrete》(CIRIA C660)中提出混凝土内部温度不应大于 70℃,厄勒海峡隧道与桥梁和加拿大联盟桥也要求混凝土内部温度不应大于 70℃。中国土木工程学会标准《混凝土结构耐久性设计与施工指南(2005 年修订版)》(CCES 01—2004)也规定混凝土内部温度不应高于 70℃。因此规定混凝土内部最高温度不高于 70℃。

对于断面降温速率,《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)中规定断面降温速度不宜大于 $2.0^{\circ}\text{C}/\text{d}$,中国土木工程学会标准《混凝土结构耐久性设计与施工指南(2005年修订版)》(CCES 01—2004)也规定混凝土的断面降温速率不宜大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。水运工程经验表明,早期断面降温速率不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{d}$,后期断面降温速率不大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$,未出现有害温度裂缝,控裂效果良好。因此本条将断面降温速率定为7d龄期内不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{d}$,7d龄期后不大于 $2^{\circ}\text{C}/\text{d}$ 。

5 原 材 料

5.1 水 泥

5.1.2 《通用硅酸盐水泥》(GB 175—2020)中规定水泥细度以 $45\mu\text{m}$ 方孔筛筛余表示,不小于 5%,本规范与其协调一致。

研究表明,硅酸盐水泥的比表面积显著影响其性能。随着比表面积的提高,一般情况下水泥标准稠度用水量呈线性增加、水泥颗粒堆积密度呈线性下降、强度呈对数增加、干缩率呈线性增加。比表面积小于 $380\text{m}^2/\text{kg}$ 时,各种性能变化显著;当比表面积大于此值后强度增长缓慢,且干缩增加显著。因此,条文规定硅酸盐水泥的比表面积不应大于 $380\text{m}^2/\text{kg}$ 。

有资料表明,水泥中铝酸三钙(C_3A)的 3d 水化热分别是硅酸三钙(C_3S)的 3.7 倍和硅酸二钙(C_2S)的 17.7 倍,7d 的水化热则分别约为硅酸三钙(C_3S)的 7 倍和硅酸二钙(C_2S)的 37 倍;(C_3A)的收缩率大约是硅酸三钙(C_3S)和硅酸二钙(C_2S)的 3 倍。因此,条文规定水泥熟料中的铝酸三钙含量不宜大于 8%。

5.1.3 本条根据国内水泥水化热的统计数据及多个大型重点工程经验并参照《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)的有关规定给出 3d、7d 水泥水化热限值。

5.2 矿物掺合料

5.2.1 对于大体积混凝土施工,使用矿物掺合料能够降低大体积混凝土的水化热,目前使用的矿物掺合料包括粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、硅灰和石灰石粉等。

5.2.2 粉煤灰分为 I 级、II 级和 III 级,其品质会严重影响混凝土的性能。III 级粉煤灰细度偏大、含碳量过高,容易造成混凝土需水量大、坍落度损失加快,不利于大体积混凝土施工;同时会影响混凝土抗渗、抗裂和抗冻等耐久性能。因此,本条提出配制大体积混凝土时,应选用 I 级和 II 级粉煤灰。

5.2.3 粒化高炉矿渣粉分为 S105、S95 和 S75 三个等级,国家标准《用于水泥、砂浆和混凝土中的粒化高炉矿渣粉》(GB/T 18046—2017)中粒化高炉矿渣粉的比表面积要求为: $\text{S75} \geq 300\text{m}^2/\text{kg}$ 、 $\text{S95} \geq 400\text{m}^2/\text{kg}$ 和 $\text{S105} \geq 500\text{m}^2/\text{kg}$ 。行业标准《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)中规定粒化高炉矿渣粉的比表面积均应大于 $400\text{m}^2/\text{kg}$ 。大量的研究资料表明:粒化高炉矿渣粉越细,活性越高;在一定掺量范围内,混凝土的水化热温升随粒化高炉矿渣粉掺量的增加而增大。本条文从大体积混凝土温控和减少混凝土收缩开裂的角度考虑,规定粒化高炉矿渣粉宜采用 S75 级或 S95 级,比表面积不宜大于 $450\text{m}^2/\text{kg}$ 。

5.3 集 料

5.3.3 碱性集料易发生碱集料反应而使混凝土产生开裂,破坏混凝土的整体性,对于海洋环境中的混凝土结构,增大了钢筋锈蚀的风险,所以应严格限制海水环境中的粗集料的碱活性。对于淡水环境,混凝土开裂后的风险相对较小,所以淡水环境中使用粗集料的要求稍有降低,但需采用抑制碱集料反应的措施,如使用低碱水泥、掺加粉煤灰。

5.3.5 不同集料的线膨胀系数存在较大差异,同时混凝土线膨胀系数与温度应力成正比例关系。研究表明,用石英岩配制的混凝土的线膨胀系数较高,而用石灰岩配制的混凝土线膨胀系数较低,具体研究结果见表 5.1。

表 5.1 用不同集料配制的 1:6 混凝土的线膨胀系数

集料种类	石英岩	砂岩	玄武岩	花岗岩	石灰岩
$\alpha (\times 10^{-5}/^{\circ}\text{C})$	1.22	1.01	0.86	0.85	0.61

5.5 外 加 剂

5.5.4 缓凝型聚羧酸减水剂可延长混凝土凝结时间,延缓水泥的水化放热,降低大体积混凝土构件温度峰值。因此本条规定大体积混凝土施工时宜选用缓凝型聚羧酸减水剂。

5.6 拌 和 水

5.6.2 《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)规定钢筋混凝土和预应力混凝土拌和用水的 pH 值大于 5,素混凝土拌和用水的 pH 值大于 4.5,因此本条规定水的 pH 值不应小于 5。

6 配合比设计

6.0.3 混凝土早期强度发展快,水化热温升高,导致混凝土弹性模量增长快,徐变减小,易产生温度裂缝。中国土木工程学会标准《混凝土结构耐久性设计与施工指南(2005年修订版)》(CCES 01—2004)规定:为限制混凝土的早期开裂,可通过对混凝土早期强度的控制,标准养护条件下要求 12h 抗压强度不大于 8MPa 或 24h 不大于 12MPa,当抗裂要求较高时,宜分别不高于 6MPa 或 10MPa。工程经验表明,该指标具有可操作性,能够有效防止温度裂缝的产生。

6.0.4 目前开裂敏感性评价的试验方法主要有:水化热试验、绝热温升试验、收缩试验、环约束试验、平板约束试验和轴约束试验等。前三种是间接评价方法,后三种则为直接评价方法。

温度应力试验机是轴约束试验设备之一,采用这种设备可以同时考虑温度、约束、收缩和应力等多个关键因素的影响,根据试验结果可以直观了解和比较混凝土的抗裂性能。

6.0.5 在实际工程中,实体结构内部的混凝土温度变化历程即为混凝土实际的养护温度,在此温度变化规律下的养护称为温度匹配养护。研究表明,温度匹配养护与标准养护条件下大掺量矿物掺合料混凝土性能发展规律明显不同,温度匹配养护能够提高混凝土抗压强度,采用匹配养护的混凝土试件更能准确表征实体结构的混凝土性能,以此来指导混凝土的配合比优化。

6.0.6 在满足施工要求的条件下,选择较小的砂率和坍落度时,集料中粗集料用量相应增多,从而可以降低浆集比和抑制混凝土收缩,有利于大体积混凝土的抗裂。

本条将水泥中的混合料计入掺合料,并根据一些重点水运工程中的经验数据,提出了不同水胶比的大体积混凝土中矿物掺合料的掺量。粉煤灰、粒化高炉矿渣粉、粉煤灰与粒化高炉矿渣粉复合在大体积混凝土中的掺量是参照《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ 55—2011)制定的。石灰石粉的掺量范围是参照《石灰石粉在混凝土中应用技术规程》(JGJ/T 318—2014)制定的。

6.0.7 本条参考《水工混凝土掺用石灰石粉技术规范》(DL/T 5304—2013)中规定的“石灰石粉宜与粉煤灰、磷渣粉或矿渣粉等活性掺合料复合掺用”制定。

7 温控措施

7.2 原材料温度控制

7.2.2 本条给出了大体积混凝土施工时出机口温度控制的一般措施。

利用温度较低时段施工能明显降低出机口温度。工程经验表明,热天夜间施工出机口温度普遍比白天低 $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$ 。

水泥使用温度过高一方面提高了混凝土浇筑温度控制的难度,另一方面易带来混凝土单方用水量增加、水泥假凝等问题,影响混凝土施工质量。因此规定水泥使用温度不高于 60°C 。

矿物掺合料温度过高,对混凝土出机温度影响很大,因此规定粉煤灰使用温度不高于 40°C ,矿粉、石灰石粉使用温度不高于 60°C 。

集料在混凝土中用量最大,对出机口温度影响也最大。控制集料温度一般采用封闭料仓、遮阳或喷雾等降温措施。

近10年来随着混凝土温控技术发展,提出液氮冷却、片冰拌和等措施。根据工程经验,1kg片冰融化为水,大约需要吸收335kJ热量,考虑到搅拌过程中的冷量损失,每加入10kg的片冰至少能使新拌混凝土降低 1°C 左右。

7.4 混凝土浇筑和振捣

7.4.5 本条提出了大体积混凝土浇筑时分层摊铺的要求。《水运工程混凝土施工规范》(JTS 202—2011)中规定,浇筑混凝土最大允许分层厚度采用插入式振捣器时不应大于500mm,采用附着外挂振捣器时不应大于300mm。工程经验表明:混凝土的摊铺厚度需要根据所用振动器的作用深度及混凝土和易性确定,一般情况下泵送和非泵送混凝土的摊铺厚度分别不大于500mm和300mm。因此,本条规定泵送和非泵送摊铺厚度分别为500mm和300mm。

7.4.9 大体积混凝土浇筑完后初凝前,在表面进行二次抹面并及时覆盖保湿,是为了避免早期出现塑性裂缝和防止混凝土干缩失水。

大体积混凝土采用二次振捣工艺,即在混凝土初凝前,再次进行振捣,目的是增加混凝土的密实度,减少表面微裂缝。

7.4.11 对于低流动度的混凝土,采用接浆措施可以提高新老混凝土之间的黏结强度,具体做法是:经凿毛处理的混凝土施工缝,表面排除积水后,先浇一层30mm厚水泥浆或与混凝土配比相同的水泥砂浆,然后继续浇筑混凝土。

7.5 混凝土内部降温

7.5.2 《混凝土拱坝设计规范》(SL 282—2018)中规定,基础约束区的浇筑层厚度宜采用1.5m~2.0m,采取短间歇均匀上升的分层浇筑方法,层面不应长期暴露。三峡右岸厂房三期工程温控设计,大坝基础强约束区分层厚度为1.0m~1.5m,脱离基础强约束区为2.0m;厂房大体积混凝土分层厚度一般为2.0m,上部结构混凝土则达到了3.0m。某船闸工程大体积混凝土的分层方案为:船闸底板基础强约束区的分层厚度为1.0m,其他的分层厚度最大为2.0m,现场温控效果表明混凝土未出现有害温度裂缝。本条参考以上资料并结合工程实践提出了大体积混凝土分层设计需要遵循的一般性原则。

7.5.3 本条提出了冷却水管的材质、管径、间距、长度、布置原则和连接方式。

水管连接方式采用螺纹套筒是为了保证冷却水管之间连接的可靠性。

冷却水管的间距对冷却效果的影响非常明显。因此在温控设计时为提高冷却水效率可缩小水管间距,一般水管间距为0.5m~1.5m。

冷却水管长度增加后,冷却效果有所降低,因此要选择适宜的长度,在实际工程中一般要求不大于200m。

冷却水管进出水口集中布置有利于连接水泵和施工过程监控和检修。

7.5.4 冷却水管压水试验主要是检验冷却水管的抗水压能力,避免通水过程中水管破裂或水管接头漏水而影响通水。

7.5.5 本条提出冷却水管通水冷却的要求。

冷却水流速要求不小于0.6m/s,使冷却水在管内产生紊流,确保冷却效果。

冷却水与混凝土温差越大,理论上冷却效果就越好,但过大的温差会造成混凝土的冷激,在水管周围的混凝土中引起较大的拉应力,甚至导致裂缝。条文“冷却水与混凝土内部温度之差 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ ”中的内部温度指冷却水管周边的混凝土的温度。混凝土覆盖冷却水管后即开始通水冷却并持续不断,水管周边的混凝土的温度与水温接近,温度梯度平稳。本条主要针对通水不及时或中断后再通水的情况,避免冷却水温度与水管周边的混凝土的温度之差 $> 25^{\circ}\text{C}$,对内部混凝土造成冷激。

通水时间对混凝土水化热温升影响显著,及早通水可以延缓混凝土的水化速率,推迟温峰出现的时间,有效降低最高温度。

在通水过程中需根据混凝土内部温度变化情况及时、准确调控冷却水的流量及水温,以便达到最佳的控制效果。因此,建议采用自动装置调控通水流量及水温。

7.6 混凝土保温和养护

7.6.1 目前在大体积混凝土施工中,主要采用的模板有钢模和木模或胶合板。当采用钢模时因其对保温不利,就要根据保温养护的需要再增加保温措施;当采用木模或胶合板时,一般将其直接作为保温材料考虑。

7.6.3 养护水温与混凝土表面温度之差较大时会增大内表温差,从而增加混凝土的开裂风险。

7.6.8 在大体积混凝土保温养护中,需因地制宜地采用保温性能好且经济的保温材料。条文中列举了施工中常见的保温保湿材料,并新增了节水保湿养护膜。节水保湿养护膜是一种覆盖于混凝土表面,连续不透水的密封膜层材料。

7.6.9 工程经验表明,蒸汽、喷雾养护是一种行之有效的保湿措施,在大体积混凝土初凝前养护效果明显。

7.6.10 保温养护应根据事先确定的温控指标和实时监测数据及时调整,确保混凝土不出现过大的温度应力,从而防止有害裂缝的产生。

7.7 其 他

7.7.1 常见纤维混凝土包括钢纤维混凝土和聚丙烯纤维等,掺入钢纤维能提高混凝土的抗拉强度,掺入聚丙烯纤维能提高混凝土表面抗开裂性能。减缩剂能减小混凝土收缩,降低收缩应力,水化热抑制剂能降低混凝土水化热,这两种特种外加剂一般作为温控措施采用。

7.7.2 本条是新增加内容,主要考虑到大体积混凝土单次浇筑量越来越大,已有工程实例单次浇筑混凝土超过几千万立方米。所以针对大体积混凝土施工的特点,明确了强度试件的留置要求。本条留置要求参照《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)相关规定制定。

附录 A 胶凝材料水化热总量计算

A.2 胶凝材料水化热总量

A.2.3 本条在广泛调研国内外资料的基础上,结合相关试验数据,对各因素的影响规律进行总结归纳,给出了矿物掺合料不同掺量时的水化热调整系数,便于在无试验数据的情况下进行胶凝材料水化热总量的估算。现分述如下:

(1)粉煤灰。

在三峡水利枢纽工程第二阶段曾研究过粉煤灰对水化热的影响规律,试验结果见表 A.1。研究表明,随着粉煤灰掺量的增大,浆体的水化热降低较为明显,同时水化热调整系数逐渐降低。

表 A.1 粉煤灰掺量对水泥水化热的影响

水泥品种	粉煤灰掺量 (%)	水化热(kJ/kg)			7d 水化热 降低量(%)	7d 水化热 调整系数
		1d	3d	7d		
葛洲坝 42.5 中热	0	183	242	271	—	—
	30	138	202	232	14.4	0.86
	40	123	175	203	25.1	0.75
	50	111	158	184	32.1	0.67
葛洲坝 32.5 低热	0	110	173	228	—	—
	15	95	165	214	6.1	0.94
	25	86	149	194	14.9	0.85
	35	83	142	178	21.9	0.78
	45	69	109	141	38.2	0.62

注:水胶比为 0.42,粉煤灰为重庆电厂的Ⅱ级灰。

国内相关单位研究了粉煤灰对水泥净浆水化热的影响,采用 P·Ⅱ 42.5 水泥,Ⅱ级磨细粉煤灰,试验结果见表 A.2。

表 A.2 粉煤灰对水泥水化热的影响

编号	胶凝材料(kg/m ³)	粉煤灰掺量(%)	3d 水化热(kJ/kg)	3d 水化热调整系数
1	400	0	224.34	1
2	360	10	205.22	0.92
3	320	20	187.18	0.84
4	280	30	172.76	0.77

本规范相关研究数据见表 A.3。

表 A.3 粉煤灰掺量对水泥水化热影响试验结果

编号	胶凝材料 (kg/m ³)	水 胶 比	水 泥 品 种	粉煤灰品种 及掺量(%)	7d 水化热 (kJ/kg)	7d 水化热 调整系数
1	450	0.35	P·Ⅱ 42.5	—	290.7	1
2	450	0.35	P·Ⅱ 42.5	Ⅱ级,35	233.3	0.80
3	450	0.35	P·Ⅱ 42.5	Ⅱ级,45	203.2	0.70

朱伯芳的研究给出了粉煤灰对水泥水化热及绝热温升的影响,见表 A.4。

表 A.4 掺加粉煤灰对混凝土绝热温升的影响效果

水 泥 品 种	与不掺矿物掺合料的混凝土 28d 绝热温升的比值		
普通硅酸盐水泥	粉煤灰掺量(%)		
	20	30	40
	0.90	0.86	0.82

考虑到本规范中推荐的粉煤灰掺量为 20% ~ 50%,因此综合以上的资料计算不同粉煤灰掺量时水化热调整系数的平均值,见表 A.5,并根据表 A.5 的数据拟合出不同粉煤灰掺量的水化热调整曲线,见图 A.1。

表 A.5 不同粉煤灰掺量水化热调整系数平均值

掺量(%)	0	10	20	30	40	50
粉煤灰	1	0.92	0.90	0.85	0.82	0.76

注:表中掺量为粉煤灰占胶凝材料总用量的百分比。

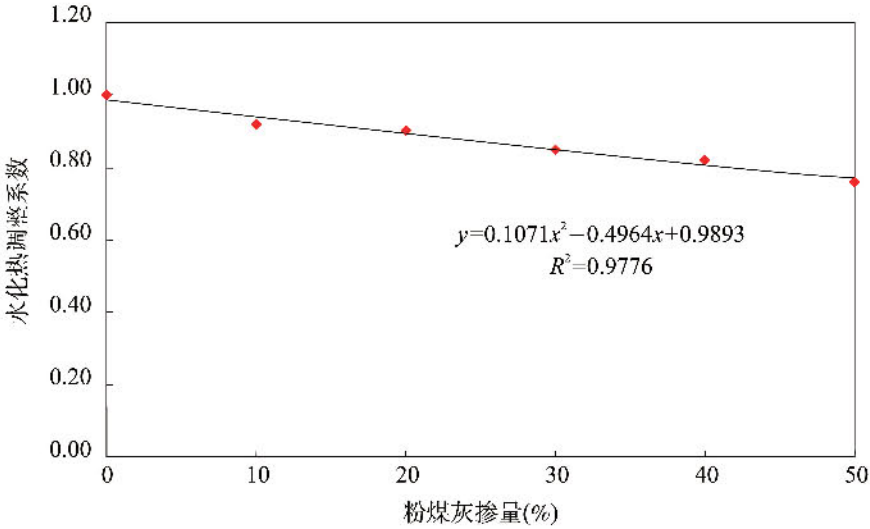


图 A.1 不同粉煤灰掺量水化热调整系数拟合曲线

因此,对于不同的水泥和粉煤灰品种,单掺粉煤灰时,其不同掺量时调整系数变化较大,为了估算方便,本附录根据图 A.1 的拟合曲线给出了不同掺量的水化热调整系数参考值。

(2) 粒化高炉矿渣粉。

单掺粒化高炉矿渣粉在水运工程中的应用并不多见,混凝土绝热温升资料也较少。相关研究数据见表 A.6。

表 A.6 单掺粒化高炉矿渣粉对浆体水化热的影响

编号	粒化高炉矿渣粉 掺量(%)	水化热(kJ/kg)			7d 水化热 降低率(%)	7d 水化热 调整系数
		1d	3d	7d		
1	—	162	228	261	—	—
2	30	143	202	235	10.0	0.90
3	40	115	190	231	11.5	0.88
4	50	112	181	220	15.7	0.84
5	60	82	148	189	27.6	0.72
6	70	70	67	134	34.5	0.66

注:采用 42.5 中热水泥,粒化高炉矿渣粉比表面积为 $500\text{m}^2/\text{kg}$ 。

某大桥混凝土抗裂性能研究提出的粒化高炉矿渣粉掺量对水泥水化热的影响,见表 A.7。

表 A.7 单掺粒化高炉矿渣粉对浆体水化热的影响

编号	粒化高炉矿渣粉 掺量(%)	水化热(kJ/kg)			7d 水化热 降低率(%)	7d 水化热 调整系数
		1d	3d	7d		
1	—	158.6	248.3	305.6	—	—
2	20	125.1	204.7	277.7	9.2	0.91
3	30	112.0	189.6	262.2	14.3	0.87

注:采用 P·O 42.5 水泥,粒化高炉矿渣粉比表面积为 $450\text{m}^2/\text{kg}$ 。

朱伯芳的研究给出了粒化高炉矿渣粉对混凝土绝热温升的影响,见表 A.8。

表 A.8 粒化高炉矿渣粉对混凝土绝热温升的影响效果

水泥品种	普通水泥		
粒化高炉矿渣粉掺量(%)	40	50	70
与不掺矿物掺合料的混凝土 28d 绝热温升的比值	0.92	0.90	0.72

考虑到本规范中推荐的粒化高炉矿渣粉掺量为 30% ~ 70%,因此综合以上的资料计算不同掺量时水化热调整系数的平均值,见表 A.9,并根据表 A.9 的数据拟合出了不同掺量的水化热调整曲线,见图 A.2。

表 A.9 不同粒化高炉矿渣粉掺量水化热调整系数平均值

粒化高炉矿渣粉掺量(%)	0	10	20	30	40	50	60	70
水化热调整系数	1.00	0.98	0.92	0.90	0.88	0.84	0.72	0.66

注:表中掺量为粒化高炉矿渣粉占胶凝材料总用量的百分比。

由调研资料可知,对于不同品种的水泥和粒化高炉矿渣粉,单掺粒化高炉矿渣粉时,不同掺量调整系数变化较大,为了估算方便,本附录根据图 A.2 的拟合曲线给出了粒化高炉矿渣粉不同掺量的水化热调整系数参考值。

(3) 粉煤灰和粒化高炉矿渣粉复合。

在水运工程中,为降低混凝土的水化热同时又能提高混凝土的密实性,多采用粉煤灰和粒化高炉矿渣粉复掺。相关试验结果见表 A.10。

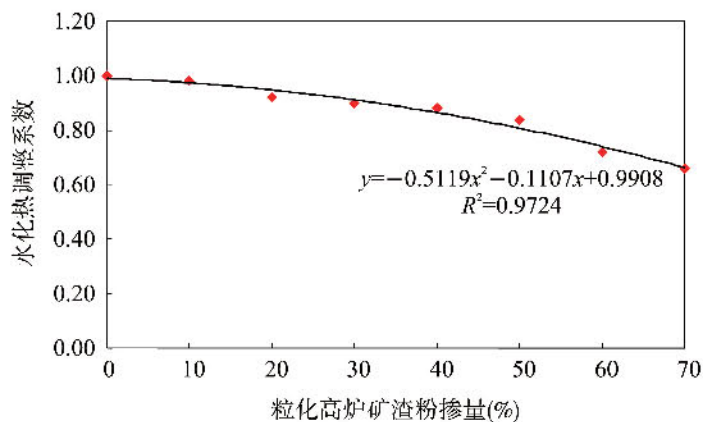


图 A.2 不同粒化高炉矿渣粉掺量水化热调整系数拟合曲线

表 A.10 粉煤灰和粒化高炉矿渣粉对浆体水化热的影响

编号	粒化高炉矿渣粉掺量(%)	粉煤灰掺量(%)	水化热(kJ/kg)			7d 水化热调整系数	$k_1 \cdot k_2$
			1d	3d	7d		
1	—	—	162	228	261	—	—
2	24	16	107	175	225	0.86	0.85
3	42	28	72	145	194	0.75	0.73

注:采用 42.5 中热水泥..

本规范相关研究数据见表 A.11。

表 A.11 粉煤灰和粒化高炉矿渣粉对浆体水化热的影响

编号	粒化高炉矿渣粉掺量(%)	粉煤灰掺量(%)	7d 水化热(kJ/kg)	7d 水化热调整系数	$k_1 \cdot k_2$
1	—	—	297.9	—	—
2	35	15	225.2	0.76	0.81
3	40	20	205.76	0.69	0.77
4	20	40	194.8	0.65	0.76

注:采用 P·II 42.5 水泥,水胶比为 0.40..

某大桥混凝土宽箱梁的抗裂性研究的试验结果见表 A.12。

表 A.12 粉煤灰和粒化高炉矿渣粉对浆体水化热的影响

编号	粒化高炉矿渣粉掺量(%)	粉煤灰掺量(%)	7d 水化热(kJ/kg)	7d 水化热调整系数	$k_1 \cdot k_2$
1	—	—	305.6	—	—
2	10	10	270.5	0.88	0.91
3	15	15	247.0	0.81	0.88

注:采用 P·O 42.5 水泥..

粉煤灰和粒化高炉矿渣粉复掺,相当于粒化高炉矿渣粉掺入到混合材中含有粉煤灰的水泥中,或者粉煤灰掺入到混合材中含有粒化高炉矿渣粉的水泥中,因此采用 $k_1 \cdot k_2$ 来计算粉煤灰和粒化高炉矿渣粉复掺时的水化热调整系数。由 $k_1 \cdot k_2$ 计算的 7d 水化热调整系数值要略大于试验实测值,这对大体积混凝土温度控制是偏安全的。石灰石粉和硅灰对水化热的影响根据具体试验值确定。

附录 C 混凝土温度和温度应力估算

C.1 混凝土内部最高温度计算

C.1.2 根据温度与温度应力的计算原理,计算给出了五种不同厚度 ($h=1\text{m}$ 、 2m 、 3m 、 4m 、 5m) 的嵌固板中心的温度变化过程线,见图 C.1。采用大体积混凝土施工期温度场和仿真应力分析程序包计算不同厚度的温升折减系数 ξ 值(环境温度 20°C ,浇筑温度 25°C ,无冷却水管),与图 C.1 的计算结果比较接近。因此,给出了表 C.1 的温升折减系数值。

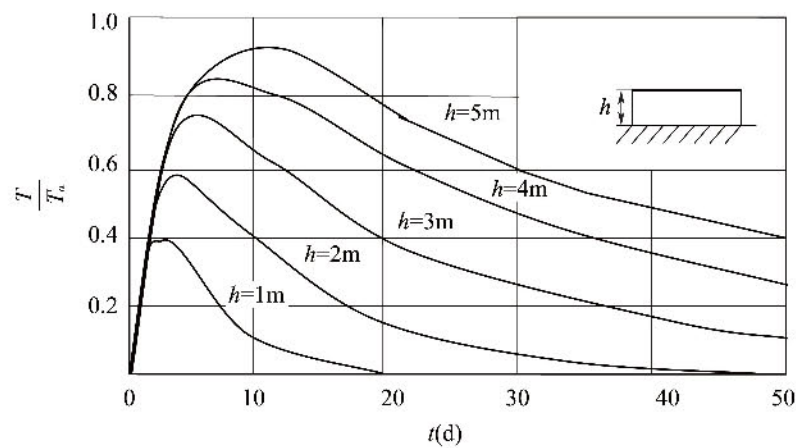


图 C.1 水化热引起的浇筑块中心温度变化过程线

注:纵坐标为混凝土浇筑块中心温度与混凝土最终绝热温升的比值;混凝土导热系数 $\alpha=0.004\text{m}^2/\text{h}$, 导热系数 $\lambda=9.04\text{kJ}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$, 表面放热系数 $\beta=83.74\text{kJ}/(\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot^{\circ}\text{C})$

浇筑层厚度指浇筑块体的最小断面尺寸。例如墙体指墙体厚度,柱体为最短边长度或圆柱直径。

C.2 混凝土弹性模量计算

C.2.1 本条给出了混凝土抗压弹性模量的估算方法。研究表明,采用复合指数式表示的弹性模量模型与试验数据符合很好,因此本规范采用了复合指数式模型。

大体积混凝土水化放热导致收缩变形,受到约束产生的拉应力值大小与混凝土的弹性模量成正比,而混凝土的弹性模量随龄期的增长呈非线性递增,混凝土的最终弹性模量的大小直接影响到温度应力估算值的大小,从而影响抗裂安全性的评价。掺粉煤灰和粒化高炉矿渣粉等矿物掺合料的大体积混凝土最终弹性模量值参见表 C.1。

表 C.1 大体积混凝土最终弹性模量参考值

混凝土强度等级	混凝土弹性模量 (MPa)	混凝土强度等级	混凝土弹性模量 (MPa)
C20	$2.8 \times 10^4 \sim 3.0 \times 10^4$	C50	$4.2 \times 10^4 \sim 4.5 \times 10^4$
C30	$3.0 \times 10^4 \sim 3.2 \times 10^4$	C60	$4.8 \times 10^4 \sim 5.0 \times 10^4$
C40	$3.2 \times 10^4 \sim 3.5 \times 10^4$		

C.3 混凝土温度应力计算

C.3.1 混凝土的表层拉应力主要是由内表温差产生的自约束引起的,表层拉应力的大小取决于混凝土的线膨胀系数、内表温差、弹性模量和应力松弛作用,参照《大体积混凝土施工标准》(GB 50496—2018)自约束应力的计算方法给出了表层拉应力的计算方法。

C.3.2 混凝土内部的拉应力主要是由混凝土内部降温受到基础约束引起的,内部最大拉应力取决于混凝土的线膨胀系数、弹性模量、内部最高温度与准稳定温度之差、基础约束强度和应力松弛作用。《混凝土重力坝设计规范》(SL 319—2018)把温差($T_{\max} - T_w$)分为两部分:①水化热温升 T_r ;②混凝土由浇筑温度 T_p 降低到最终准稳定温度 T_w ,相应的温差为($T_p - T_w$)。其中($T_p - T_w$)为均匀温差,使用约束系数法计算温度应力;水化热温升 T_r 为非均匀温差,采用影响线法计算温度应力。有关资料表明,对于最高温度降至稳定温度引起的温度应力与《混凝土重力坝设计规范》(SL 319—2018)中的方法类似,但对于水化热温升引起的温度应力计算给出了半经验公式,其中均匀温差引起的温度应力计算公式与水化热温升引起的半经验温度应力计算公式不同之处在于:水化热温升引起的温度应力计算时采用的是基础影响系数 A ,均匀温差引起的温度应力计算采用的是基础约束系数 R ,但 R 值比 A 值大。本规范为了计算简便,并考虑到 R 值比 A 值大,采用约束系数 R 进行简化计算安全系数更大,所以把($T_p - T_w$)和 T_r 综合到一起,采用温差($T_{\max} - T_w$)和约束系数 R 进行内部最大拉应力的计算。

应力松弛系数 K_p 取决于加载的龄期和荷载持续的时间,而 K_p 直接影响到温度应力估算值的大小,因此需要通过试验确定。经验表明,简化计算时参照《混凝土重力坝设计规范》(SL 319—2018)取 K_p 值为 0.5,计算结果与有限元计算结果和应力实测值较为吻合。因此无试验资料时应力松弛系数简化计算和温控设计时一般取 0.5。

C.3.3 对于基础约束系数 R ,《混凝土重力坝设计规范》(SL 319—2018)中给出了其确定方法,但考虑到基岩的弹性模量大小一般较难确定,而《块体基础大体积混凝土施工技术规范》(YBJ 224—1991)中给出的基础约束系数的计算方法使用较为方便,且该规程的简化设计计算经验表明,采用《块体基础大体积混凝土施工技术规范》(YBJ 224—1991)中提供的计算方法得出的基础约束系数与工程实际吻合较好。因此,采用该规程中提供的方法计算基础约束系数 R 。

采用本附录方法进行大体积混凝土的温控设计(图 C.2),能够提出温控指标,进行温度应力验算和抗裂安全性评价。

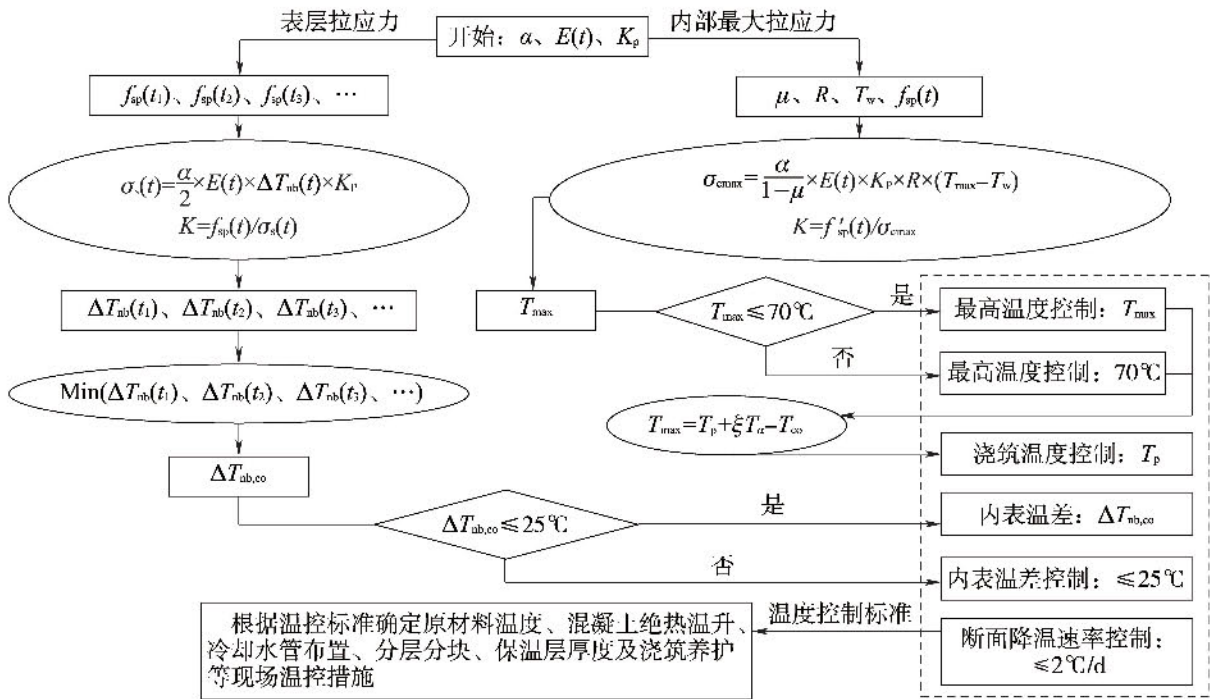


图 C.2 实用温控设计流程图

附录 D 混凝土出机口温度、浇筑温度计算

D.1 混凝土出机口温度计算

出机口温度主要取决于拌和前各原材料的温度。出机口温度与原材料的温控措施有密切的关系,考虑到原材料加片冰措施的普遍性,根据工程经验考虑了加片冰量对混凝土出机口温度的影响。

D.2 混凝土浇筑温度计算

本节给出了浇筑温度的计算方法。浇筑温度取决于混凝土的出机口温度,但考虑到混凝土出机后还受装卸和转运、运输等过程的影响,参照有关浇筑温度计算公式和热量损失系数并结合工程经验,给出了相关环节的影响系数计算方法。根据已有的实际工程经验,采用泵送时,因摩擦生热,需考虑每百米泵送距离温度升高 $0.7^{\circ}\text{C} \sim 0.8^{\circ}\text{C}$ 。