

DB**

安徽省地方标准

DB**/*****-2018

桥梁塔柱大体积混凝土温度控制指南

Technical Guide for the Temperature Control of Bridge Tower

and Pier Mass Concrete

(征求意见稿)

2018-**-**发布

2018-**-**实施

安徽省质量技术监督局发布

前言

本标准按 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准提出单位：安徽省交通控股集团有限公司。

本标准归口单位：安徽省交通运输厅。

本标准起草单位：安徽省交通控股集团有限公司、同济大学、安徽省交通基本建设工程质量监督局。

本标准主要起草人：

桥梁塔柱大体积混凝土温度控制指南

1 范围

本标准规定了桥梁塔柱大体积混凝土温度控制的术语和定义、符号、温控设计、原材料、配合比、温度控制与应力控制措施及温度检测等要求。其他大体积混凝土结构温度裂缝控制设计与施工，可参照执行。

大体积混凝土桥塔及墩柱温度裂缝控制设计和施工除符合本指南规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB50496-2009 《大体积混凝土施工规范》

JTS202-1-2010 《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》

JTG T F50-2011 《公路桥涵施工技术规范》

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件

3.1

大体积混凝土 mass concrete

混凝土结构物实体最小几何尺寸不小于 1m 的大体量混凝土，或预计会因混凝土中胶凝材料水化引起的温度变化和收缩而导致有害裂缝产生的混凝土。

3.2

绝热温升 adiabatic temperature rise

混凝土浇筑体处于绝热状态，内部某时刻温升值。

3.3

入模温度 the temperature of mixture placing to mold

混凝土拌合物浇筑入模瞬时的温度。

3.4

温升速率 the rising speed of temperature

温峰前，混凝土内部温度单位时间内上升的值。

3.5

温升峰值 the peak value of rising temperature

混凝土浇筑水化温升所能达到的最高温度值。

3.6

内表温差 temperature difference of center and surface

混凝土浇筑体相近层或域内部最高温与表层最低温之差值。

3.7

表环温差 temperature difference of surface and ambient

混凝土表层最高温与接触介质（大气或保温层小环境）的温度差值。

3.8

降温速率 the descending speed of temperature

散热条件下，单位时间内混凝土（表面或内部）温度下降的数值。

3.9

抗裂安全系数 safety factor of crack-resistance

瞬时劈裂抗拉强度与混凝土拉应力的比值。

3.10

浇筑间歇期 pouring interval

分层浇筑时，相邻两层混凝土浇筑的时间间隔。

3.11

气温骤降 suddenly drop in air temperature

日平均气温在 3d 内连续下降累计 6℃ 以上。

3.12

稳定温度 stable temperature

混凝土结构在环境温度作用下，最终达到而又处于长期不变状态的温度。

3.13

准稳定温度 quasi-stationary temperature

混凝土结构在环境温度作用下，最终达到而又处于重复循环变化状态的温度。

3.14

施工缝 construction seam

混凝土不能连续浇筑时，进行横向或者竖向的预留缝。

3.15

温度应力 thermal stress

混凝土的温度变形受到约束时，混凝土内部所产生的应力。

3.16

收缩应力 shrinkage stress

混凝土的收缩变形受到约束时，混凝土内部所产生的应力。

3.17

贯穿裂缝 through crack

贯穿混凝土全截面的裂缝。

3.18

表面裂缝 mass concrete

表面 5cm 以内的浅层裂缝。

4 符号

下列符号适用于本文件：

4.1 温度参数

T —— 温度；

τ —— 龄期；

m —— 水化速率；

Q —— 热量；

T_i —— 入模温度；

T_{abs} —— 绝热温升；

ΔT_p —— 管冷降温量；

T_{max} —— 温升温峰；

ΔT 、 $[\Delta T]$ —— 温升温峰降温至准稳定温度状态的温差值与允许温差值；

T_a —— 环境温度；

T_{pi} —— 管冷入口水温；

- T_{po} —— 管冷出口水温；
 λ —— 导热系数；
 β —— 对流系数；
 C —— 比热容。

4.2 数量几何参数

- ρ —— 密度；
 L —— 混凝土搅拌车运输距离；
 W —— 材料用量；
 δ —— 保温层厚度；
 d_p —— 管冷直径；
 L_p —— 管冷间距；

4.3 力学参数

- α —— 线膨胀系数；
 E —— 弹性模量；
 g —— 重力加速度；
 σ —— 应力；
 ε —— 应变；
 f_{tk} —— 抗拉强度标准值；
 K —— 抗裂安全系数。

5 温控设计

5.1 一般规定

5.1.1 大体积混凝土桥塔及墩柱应根据结构安全、适用、耐久的性能目标采用对应的裂缝控制标准。

5.1.2 大体积混凝土桥塔及墩柱应根据结构形式、构造、强度、温度等具体情况，选取适当的温度控制以及应力控制措施，减少应力集中，降低基础约束，配置必要的钢筋。

5.1.3 大体积混凝土桥塔与墩柱温度应力宜按照表 1 控制。

表 1 大体积混凝土桥塔与墩柱温度应力控制标准

控制等级	适用情况	裂缝宽度	裂缝数量	抗裂安全系数
一	不允许开裂	0	0	≥1.4 (内部) ≥1.4 (表面)
二	允许表面轻微开裂	≤0.15mm	≤2 条/10m ²	≥1.4 (内部) ≥1.15 (表面)

5.1.4 大体积混凝土桥塔及墩柱强度评定一般采用 28d 强度，当不影响结构安全时，也可采用 60d 或 90d 强度。

5.1.5 温控设计应包含但不限于如下内容：

- 1) 配合比及材料性能指标；
- 2) 结构施工缝设置方法；
- 3) 温度与应力的分析计算；
- 4) 温控标准；
- 5) 温控措施；
- 6) 监测方案。

5.2 温控标准

5.2.1 由于表面裂缝、深层裂缝及贯穿裂缝与结构构造密切相关，应针对结构形式及环境特点进行专项温控计算，以确定各项温控标准。

5.2.2 内部裂缝或贯穿裂缝与整体温升、外约束相关，控制外约束应力，应控制从温峰降温至准稳定温度状态的温差值 ΔT ，可按式 (1) 进行。

$$T_{\max} - T_a \leq [\Delta T] \quad (1)$$

将上式进行变换，得到温升温峰的控制值，即式 (2)。

$$T_{\max} \leq [\Delta T] + T_a \quad (2)$$

式中：

T_{\max} ——温升温峰；

T_a ——环境温度；

ΔT 、 $[\Delta T]$ ——温峰降温至准稳定温度状态的温差值与允许温差值。

允许温差值应根据应力计算结果进行确定。

5.2.3 入模温度控制应按照温升温峰进行反向计算得到，可按式 (3) 及式 (4)

进行。

$$T_{\max} = T_i + T_{\text{abs}} - \Delta T_p \leq [\Delta T] + T_a \quad (3)$$

$$T_i \leq [\Delta T] + T_a + \Delta T_p - T_{\text{abs}} \quad (4)$$

除此之外，入模温度应符合现行国家规范要求，可按式（5）进行。

$$5^\circ\text{C} \leq T_i \leq 28^\circ\text{C} \quad (5)$$

式中：

T_{\max} ——温升温峰；

T_i ——入模温度；

T_{abs} ——绝热温升；

ΔT_p ——管冷降温量；

ΔT 、 $[\Delta T]$ ——温升温峰降温至准稳定温度状态的温差值与允许温差值；

T_a ——环境温度。

5.2.4 若温升速率偏高，则散热时长不足，容易产生温峰失控的情况，温控设计应根据计算给出升温速率限值，用于现场温升控制。

5.2.5 若降温速率过快，内部拉应力增长过快将超过结构抗拉容许强度，温控设计应根据计算给出降温速率限值，用于现场降温控制。

5.2.6 桥塔及墩柱的表面应力受外约束和自约束共同作用产生，内部与表面温度控制密切关联，应根据计算给出内表温差限值，用于现场表面保温控制。

5.2.7 在龄期大于 4 天后，表环温差可按照不大于 15°C 进行控制（无风条件）。

5.2.8 管冷应采用稳定温度水源，在浇筑时即通水循环，全程保持水温恒定（变化 $\pm 2^\circ\text{C}/\text{d}$ ）。若突发停水，且停水时间超过 2h，则复通水管冷与混凝土内部温差应不大于 25°C 。

5.2.9 应合理设置单根管冷长度，以出水口与进水口温差不超过 10°C 进行控制。

5.2.10 由于构件体量不同，停水时机应根据计算确定，确保停水后，内部温度能够及时散出，可参考表 2 进行停水控制。

表 2 停水时机

结构厚度	停水内部最高温与平均环境温度的温差
1m~4m	$\leq 35^\circ\text{C}$
$\geq 4\text{m}$	$\leq 20^\circ\text{C}$

5.2.11 拆模以强度和温度指标进行控制，应根据拆模后表面降温应力计算确定，在龄期超过 7d 时，以拆模时表环温差不大于 15℃进行控制。

5.3 温控计算

5.3.1 温控计算参数中的绝热温升、管冷对流系数、覆盖条件下的大气对流系数、线膨胀系数、时变抗压强度、时变劈裂抗拉强度、时变弹性模量等宜根据试验结果取用，也可根据现场实测温度进行反分析获得。

5.3.2 由于桥塔及墩柱分节实施，应根据结构类型不同以及环境条件不同分别进行计算。对于外约束与自约束规律相同，但尺寸存在差异的构件，可选取最大尺寸、最小尺寸与中间尺寸的典型结构进行计算分析。

5.3.3 大体积混凝土桥塔及墩柱温度及应力宜采用三维有限元方法分析计算。

6 材料

6.1 一般规定

6.1.1 原材料控制标准针对水泥、矿物掺合料、粗骨料、细骨料、外加剂、拌合水分别进行规定。

6.1.2 现场原材性能控制除满足本指南要求外，还需要满足国家现行相关规范及标准的要求。

6.2 水泥

6.2.1 水泥选用以强度指标为主要原则，以水化热量指标为次要原则，不宜选用早强水泥，水泥的铝酸三钙含量不宜大于 8%。

6.2.2 与侵蚀性介质接触的混凝土结构所用水泥应符合国家现行标准《混凝土结构耐久性设计规范》（GB/T 50476）的有关规定，水泥相关参数参见《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》（JTS 202-1-2010）。

6.2.3 水泥出厂温度通常较高，宜充分搁置降温后采用。

6.3 矿物掺合料

6.3.1 大体积混凝土桥塔及墩柱宜采用粉煤灰与矿粉双掺，不应单独使用硅粉。

6.3.2 大体积混凝土桥塔及墩柱掺加的矿物掺合料，其质量应符合国家现行有关标准的规定。

6.4 粗骨料

6.4.1 粗骨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；

6.4.2 粗骨料应洁净、坚固、级配良好，其具体要求可参见《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》(JTS 202-1-2010)第 5.3 条的相关规定。

6.5 细骨料

6.5.1 细骨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；

6.5.2 细骨料具体要求可参见《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》(JTS 202-1-2010)第 5.4 条的相关规定。

6.6 外加剂

6.6.1 大体积混凝土桥塔及墩柱宜选用缓凝减水剂，减水率不宜小于 18%，其中缓凝成分不应为糖类。

6.6.2 掺外加剂混凝土的 28d 收缩率比不应大于 125%。

6.6.3 外加剂使用前应进行胶凝材料相容性以及强度检验，通过试验确定掺合量。

6.7 拌合水

6.7.1 拌合水不应含有影响和水泥正常凝结与硬化的有害物质。

6.7.2 拌合水的 PH 值不宜小于 5。

6.8 其他原材料

6.8.1 其他如钢纤维、聚丙烯纤维等提升混凝土性能的原材料，应严格遵照国家规范选用原材料。

6.8.2 其他原材料的添加应通过试块试验，对强度与耐久性进行验证后予以采用。

7 配合比

7.1 一般规定

7.1.1 大体积混凝土桥塔及墩柱配比设计，除满足设计图纸中强度要求、施工客观条件要求、材料耐久性要求外，还需要满足绝热温升相对较低以及抗裂性能好的要求。

7.1.2 混凝土配合比设计尚需要下列条件要求：

- a) 满足施工工艺条件下，选择较小的坍落度；
- b) 满足施工工艺条件下，选择较小的砂率。

7.2 配合比设计

7.2.1 水胶比及水泥用量应符合表 3 的要求。

表 3 水胶比及水泥用量

环境类别	环境条件	最大水胶比	最小水泥用量 (kg/m ³)
I	温暖或寒冷地区的大气环境与无侵蚀的水或土接触的环境	0.55	275
II	严寒地区的大气环境、使用除冰盐环境、滨海地区	0.50	300
III	海水环境	0.45	300
IV	受侵蚀性物质影响环境	0.40	325

7.2.2 矿物掺合料比例影响混凝土的强度发展及最终强度，在保证强度的前提下，掺合料比例可按照表 4 的值进行选用。

表 4 矿物掺合料比例

矿物掺合料	水胶比	掺量范围 (%)
粉煤灰	≤0.40	30~40

	>0.4	20~30
粉煤灰与粒化高炉矿渣粉复合	≤0.40	30~40
	>0.4	20~30

7.2.3 配合比设计应进行强度试验、缓凝试验，宜进行开裂敏感性试验，以优化配比。

7.2.4 大体积混凝土桥塔及墩柱宜限制早期强度的发展，12h 抗压强度不宜大于 8MPa 或 24h 不宜大于 12MPa。

8 温度控制与应力控制措施

8.1 一般规定

8.1.1 温控措施由温控设计根据工程环境条件、结构特点及温控标准进行制定，各项措施组合时宜按照经济、有效、便于操作的原则制定。

8.1.2 温控措施应包含降温措施及保温措施，保障物质充足以及对应设备的正常运转。

8.1.3 应力控制成效取决于温度与强度发展，施工应加强混凝土的振捣与养护，提高混凝土的品质。

8.1.4 应做好应急预案，应对突发降温情况。

8.2 入模温度控制

8.2.1 大体积混凝土桥塔与墩柱通过控制出机口温度，保证入模温度满足温控标准的要求，入模温度可按照《水运工程大体积混凝土温度裂缝控制技术规程》(JTS 202-1-2010) 附录 C 进行计算。

8.2.2 为尽量降低混凝土温升峰值，宜采用预冷措施，降低入模温度，措施如下：

- a) 降低原材料温度，可采用遮阳或风冷骨料的方式；
- b) 水泥温度宜控制在 60℃ 以下；
- c) 可采用制冰机将部分拌合水制成冰屑掺入；
- d) 对混凝土运输设备进行遮阳、隔热或洒水降温。

8.2.3 合理安排浇筑方量与浇筑时机，避开高温时段进行浇筑作业。

8.3 混凝土浇筑

8.3.1 混凝土浇筑前，应对管冷和测温元件进行检查，确保各项措施的可靠性。

8.3.2 混凝土应由搅拌站集中拌制，按照规范要求保障混凝土品质均匀、性能稳定。

8.3.3 混凝土摊铺厚度不宜大于 500mm，非泵送混凝土的摊铺厚度不宜大于 300mm。

8.3.4 混凝土应连续浇筑，上层混凝土必须在下层混凝土初凝前浇筑完毕。

8.3.5 混凝土应布料均匀，不得用振捣棒赶料。

8.3.6 初凝前宜进行二次振捣，在抹面后进行覆盖保湿养护。

8.4 内部最高温控制

8.4.1 大体积混凝土桥塔及墩柱内部最高温度控制，宜采取如下措施进行组合：

- a) 降低入模温度；
- b) 在不影响强度的情况下，掺入缓凝剂，降低水化反应速率；
- c) 在必要的情况下，控制较小的分层厚度；
- d) 埋设水管，通水冷却。

8.4.2 冷却水管宜按照如下要求控制：

a) 采用内经 25~50mm 的金属水管，水管中心距 0.5~1.5m，内径与管冷间距宜按照表 5 进行初步选用，且应尽量选用小管径密集布置方式，布置均匀，管冷经计算确定最终布置方式；

表 5 冷却水管布置参数

管径 (mm)	管冷中心距 (m)
25	0.5~1.2
30	0.8~1.2
35	0.9~1.3
40	1.0~1.4
50	1.0~1.5

- b) 以管冷温差进行控制单根水管长度，且不宜超过 120m；
- c) 管冷宜采用梅花形布置，或上下层“井”字形布置；
- d) 管冷流速宜大于 0.65m/s；

e) 尽量保持管冷长度相同，采用分水器控制流量；

f) 根据流量控制要求，保障供水设备运转正常。

8.4.3 冷却水管安装完毕、混凝土浇筑前，应进行压水试验，管道系统不得漏水。

8.4.4 混凝土覆盖冷却水管后开始通水冷却。

8.4.5 停水后，应及时进行压浆封堵，压浆材料应选用不低于混凝土设计强度等级的微膨胀砂浆。

8.5 内部降温控制

8.5.1 降温速率控制原则为逐渐增长的拉应力不得超过实时抗拉强度与安全系数的比值，可按式（6）进行

$$\sigma(\tau) \leq \frac{f_{tk}(\tau)}{K} \quad (6)$$

式中：

σ ——实时拉应力值；

f_{tk} ——抗拉强度标准值；

K ——抗裂安全系数，见表 1。

8.5.2 随着龄期的增加，徐变效应逐渐减小，后期降温过大对于结构不利，应合理分配各龄期段的降温速率。

8.5.3 降温速率可通过调控管冷流量或水温加以控制。

8.6 表面保温及养护

8.6.1 应按照制定的温差及降温速率指标制定表面保温措施，应加强表面的养护，避免干缩裂缝。

8.6.2 表面保温可采用措施或措施组合如下：

a) 在采用木模板时，应充分考虑模板的保温效果；

b) 对于裸露表面，可采用覆盖一层薄膜后，再采用棉被（或土工布）覆盖的方式进行保温；

c) 对于顶面，也可采用蓄水方式进行保温，蓄水深度不宜小于 200mm。

d) 进行适当的防风处理，密闭后形成隔风小环境。

8.6.3 边角为降温加速区，应加强保温措施。

8.6.4 低温季节注意封堵竖向空洞，避免灌风。

8.6.5 在表面模板层较厚，降温速率较小影响工期时，可以采用模板松开、保留防风，表面温水养护的方式，通过控制水温及流量控制降温速率。

8.7 冬期温控

8.7.1 进入冬期施工后，应按照现行规范加强混凝土品质控制。

8.7.2 入模温度应按照不小于 5℃ 进行控制，必要时可以加热拌合水。

8.7.3 应严格控制管冷水温，采用深层江水进行通水，或采用加热水箱进行加温。

8.7.4 应建立严格的表面保温措施，除覆盖、遮风外，可以采用暖风机进行主动加温，暖风机应与混凝土壁面保持距离，并沿外表平行方向吹风。

8.8 高温期温控

8.8.1 高温期混凝土入模温度宜按照不大于 28℃ 进行控制，应考虑多项预冷措施组合应用。

8.8.2 高温期也应加强表面保温控制，可采取蓄水、防风、遮风等措施。

8.8.3 高温期温升温峰应按照不大于 75℃ 进行控制。

8.8.4 高温期昼夜温差较大，拆模时机表环温差计算宜以夜间最低气温计入。

8.9 应力控制措施

8.9.1 针对约束较强区域，在温度控制不经济的情况下，可以采用改变约束体系的应力控制措施：

- a) 减小分层高度；
- b) 横向多次浇筑；
- c) 垂直于拉应力方向设置施工缝；
- d) 采用预制现场拼装的施工方法。

8.9.2 改变约束体系需经计算验证后选用。

9 温度监测

9.1 一般规定

9.1.1 大体积混凝土桥塔与墩柱施工过程中应对混凝土入模温度、内部温度、表面温度、环境温度、管冷温度等进行监测，以温度计算温差和速率，调控温控措施。

9.1.2 大体积混凝土桥塔与墩柱可对关键部位的应变进行监测，在分析中应修正温度影响以及收缩影响。

9.2 测点布置

9.2.1 测温元件宜按照如下参数控制：

- a) 温度测试精度为 0.1℃；
- b) 测试范围为-30℃~150℃；
- c) 绝缘电阻大于 500MΩ；
- d) 测温元件的寿命不得短于 30d；
- e) 测温元件具有防水功能。

9.2.2 测温元件的布置：

- a) 结构内部应布置足够数量的温度传感器，监测典型区域的内、表温度，根据温度分布、应力分布以及温控设计确定，且考虑可能的施工过程损耗；
- b) 测试元件缆线应集中布置，采用角钢或沿钢筋下方行走予以保护；
- c) 应设置管冷出、入水口以及环境大气温度的测试元件；
- d) 测温元件与钢筋等金属体之间应绝缘；
- e) 测温元件安装位置应精确，内部应能捕捉到最高温，安装误差不得大于 5cm，表面测点埋设在距离表面 5cm 位置，误差不得大于 1cm。

9.2.3 现场应加强对测温元件、缆线的保护工作。

9.3 温度测试与控制

9.3.1 宜采用无线传输设备，对温度进行全天候监测，数据采集频率宜为 1h/次，在工艺稳定的情况下，可以适当放宽要求至 4h/次。

9.3.2 在冬季应适当加密测试频率，并对大气降温进行预测，及时采取措施保障温控指标。

9.3.3 数据采集后及时对温度、温差、速率等指标进行计算，设置预警值，对异常温度变化进行预警，由现场进行措施调控。

9.3.4 温度监测应在浇筑前开始，在停水且拆模停止养护后可停止。