

北方桥梁大体积混凝土冬季施工

于 茜¹, 苏 晔², 侯克君¹

(1. 沈阳市快速干道系统工程建设指挥部, 辽宁沈阳 110013; 2. 沈阳市城建房地产开发有限公司, 辽宁沈阳 110031)

摘 要:沈阳市老道口大桥为独塔单索面斜拉桥, 该文介绍了在该桥主塔基础混凝土冬季施工中如何控制混凝土的入模温度和承台周边环境温度以及如何控制混凝土养护期间的温度梯度的关键要点, 并提出了实施中的主要技术措施。

关键词:斜拉桥; 主塔墩承台; 冬季施工; 入模温度; 环境温度; 温度梯度; 技术措施; 沈阳市

中图分类号:U445.43 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2007)02-0059-04

1 工程概况

沈阳市老道口大桥为独塔单索面斜拉桥, 采用塔、梁、墩固结体系。主塔墩位于沈山铁路线和沈北联络线之间。主墩承台处地面平均标高为 46.07 m (黄海高程), 承台底面高程为 40.6 m, 高差为 5.47 m。承台尺寸为 25.5 m×16.5 m×4 m, 混凝土总量为 1 683 m³, 强度等级为 C40。承台钢筋用量为 239.48 t, 分为上、中、下三层布置。上下两层为 $\phi 32@100$ 双向布置, 中间一层采用 $\phi 20@200$ 双向布置 (分层浇注时使用) 四侧配构造钢筋, 竖向用 $\phi 20$ 钢筋做支承, 间距 1 m。承台混凝土水化热温升控制设计布置的冷却管, 采用外径为 33 mm 电焊钢管。冷却管上下分四层串联布置, 间距 100 cm, 水平间距 150 cm。冷却水采用水泵强制循环水。由于该斜拉桥受到同步施工中的哈大铁路电气化工程的制约, 为抢时间、赶工期, 主塔墩承台应在 2 月底以前完成, 以便桥梁上部工程施

收稿日期: 2006-11-29

作者简介: 于茜 (1963-), 女, 辽宁沈阳人, 高级工程师, 从事道桥施工工作。

涌水量减少, 箱底渗水经排水沟及集水井排出箱外, 箱内仅存少量渗透清水, 因此封底采用商品混凝土从未设集水井的一侧开始向集水井侧浇筑, 将积水赶至集水井后抽出, 完成全部混凝土浇筑。

6 沉箱围堰施工的特点

(1) 施工设备简单, 施工工艺简便, 防护效果好, 封水容易, 在施工中未发生涌砂、塌落、漏水等现象, 有效地解决了用卵石筑岛后, 承台开挖较深的施工困难。

(2) 施工进度快, 合理组织作业班组和人员进行四班交替作业, 每天能下沉 40 cm, 基本在 1 个月内完成全部下沉工作, 满足了全桥总体进度及安排的需要。

工, 故承台必须进行冬季施工。

2 冬季混凝土施工的关键要点

1#墩承台混凝土的冬季施工要解决以下两个问题: 一是控制混凝土的入模温度和承台周边环境温度, 满足混凝土的冬季施工要求; 二是控制混凝土养护期间的温度梯度, 确保承台混凝土不产生表面裂缝和贯穿裂缝。

2.1 控制混凝土入模温度和承台周边环境温度

混凝土拌和利用施工单位的搅拌站, 距离施工现场 10 km, 搅拌站配备两台拌合塔。90 m³/h 和 60 m³/h 各一台。90 m³/h 塔为暖棚塔, 水用高温蒸汽加温, 砂石料在暖棚内用蒸汽加热; 60 m³/h 塔为露天冷塔。搅拌以 90 m³/h 暖塔为主。60 m³/h 露天冷塔作为备用。如主塔出现故障, 启动冷塔, 其搅拌水用高温蒸汽加温, 砂石料用铲车从主塔暖棚内倒运过来。为防备浇筑过程出现故障以及考虑混凝土接茬质量, 混凝土初凝时间按 10 h 设计施工配比。混凝土运到工地需 45 min, 往返需 90 min。每台罐车运输能力每次 6 m³ 混凝土, 主塔最快每 5 min 搅拌一车, 连续作业需配备 18 台罐车,

(3) 成本低, 安全可靠, 有利于保证质量。

7 体会与建议

(1) 在地质条件为卵石、砂岩的深水河流中采用筑岛钻孔后, 用沉入式混凝土套箱围堰施工的方法有效地解决了承台施工的困难, 进度快、成本低, 证明是可行的。

(2) 采用排水封底, 操作方便, 效果明显, 避免了水下混凝土封底的困难。

(3) 建议沉箱平面形状可根据实际情况采用圆形、扁圆形或矩形, 相应增大断面, 设法用机械挖土或吸泥、空气幕下沉, 减小工人劳动强度。

(4) 在卵石中下沉沉箱摩阻力较大, 下沉系数小, 因此要适当增加壁厚。

投入运送混凝土共计 19 台罐车。为防止混凝土在运输过程中受冻,罐车覆盖保温防寒被。

承台混凝土浇筑每层厚度最大按 0.5 m 高估计,每层需混凝土 210 m³,浇筑时间需 2.5 h,浇筑周期不超过 5 h,最大间歇时间允许 5 h。混凝土运至工地后,输送混凝土配备泵车(120 m³/h)和输送泵(地泵)各一台,以泵车为主、输送泵作为备用,泵车摆放在承台北面基坑顶就近处。混凝土从两端向中间水平分层进行浇注,每层厚度按 30 cm 控制。在顶层钢筋网沿四角留四个出入口,便于捣固人员出入。上层钢筋预留缺口,待混凝土浇筑一半以上之后,再安装补齐。承台混凝土连续浇筑一次完成。由于此承台体积大,混凝土连续浇筑时间不少于 3 d。浇筑期间安排在 1 月下旬,天气较冷。为保证混凝土在浇筑过程中及之后的养生过程中不受冻,减小温度梯度,承台外围搭设防寒棚。暖棚采用 100 mm × 100 mm 木方搭设顶棚,棚顶铺盖聚乙烯棚布和棉毡棚布各一层(见图 1)。混凝土养生采用暖棚法养护。棚内安设 4 台 15 kW 热风幕机供热。按室外气温 -15℃ 估算,混凝土浇注前棚内温度可达 +10℃。

2.1.1 混凝土施工配合比

由于施工正值冬季,混凝土配比既要满足冬季施工要求,又要按大体积混凝土考虑。应选用水化热较低的矿渣硅酸盐水泥、级配良好的碎石和优质中砂(含泥量小于 3%),掺入 II 级优质磨细粉煤灰取代部分水泥,以降低水化热。水泥用本溪工源牌普通矿渣硅酸盐水泥,砂为浑河产中砂,碎

石为 5~25 mm 碎石,外加剂为 zl-118 型。延长混凝土初凝时间至 10 h,满足混凝土灌注和施工接茬要求,延缓混凝土水化热峰值出现的时间。经实验室试配,确定混凝土配比为:

水泥:中砂:碎石:粉煤灰:外加剂:水=460:804:944:72:10.62:152。

2.1.2 混凝土(拌制)热工计算

(1)混凝土拌和物的温度计算 T_0 (℃):

$$T_0 = [0.9(W_c T_c + W_s T_s + W_g T_g) + 4.2 T_w (W_w - P_s W_s - P_g W_g) + C_1 (P_s W_s T_s + P_g W_g T_g) - C_2 (P_s W_s + P_g W_g)] / [4.2 W_w + 0.9(W_c + W_s + W_g)]$$

式中: W_w 、 W_c 、 W_s 、 W_g ——水、水泥、砂、石的用量 kg;

T_w 、 T_c 、 T_s 、 T_g ——水、水泥、砂、石的温度(℃),

水加热温度不低于 30℃,

水泥冷罐储藏温度按

-15℃ 计,砂、石加热温度

平均按 +5℃ 计算

P_s 、 P_g ——砂、石的含水率,砂含水 1%,碎石含水 0.2%

C_1 、 C_2 ——水的比热(kJ/kg)及溶解热(kJ/kg),当骨料温度 > 0℃ 时, $C_1 = 4.2$, $C_2 = 0$

以上数据代入式中得混凝土拌和物的温度 $T_0 = 8.16$ (℃)。

(2)混凝土拌和物的出罐温度 T_1 ℃:

$$T_1 = T_0 - 0.16(T_0 - T_b)$$

式中: T_b ——搅拌机暖蓬内温度,取 +5℃

得:混凝土拌和物的出罐温度 $T_1 = +7.65$ ℃。

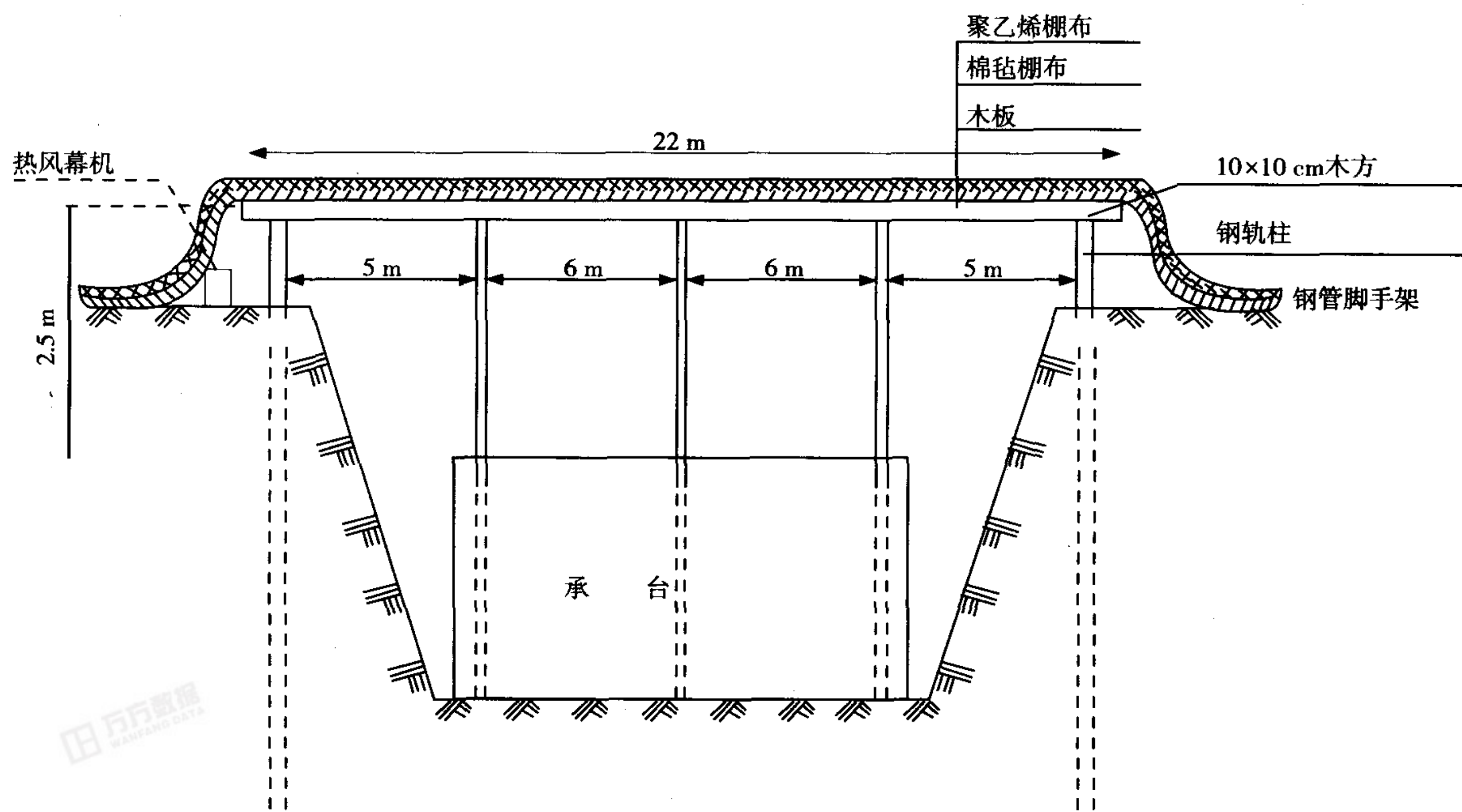


图 1 1# 墩承台防寒暖棚结构图

(3)混凝土拌和物经运输至成形完成(入模)时的温度 T_2 ($^{\circ}\text{C}$):

$$T_2 = T_1 - (at + 0.032n)(T_1 - T_a)$$

式中: t ——混凝土自运输至浇筑入模的时间,大约45 min,核0.75 h

n ——混凝土转运次数,一次到位

T_a ——运输时的环境温度,最冷按 -15°C 计

a ——温度损失系数(h^{-1})本工程混凝土运输罐车加防寒被, a 取0.01

得:混凝土入模时温度 $T_2 = +5.23^{\circ}\text{C}$ 。

(4)考虑模板和钢筋吸热影响,混凝土成形完成时的温度 T_3 ($^{\circ}\text{C}$):

$$T_3 = (C_c W_c T_2 + C_t W_t T_t + C_g W_g T_g) / (C_c W_c + C_t W_t + C_g W_g)$$

式中: C_c 、 C_t 、 C_g ——混凝土、模板、钢筋的比热容(kJ/kgK), $C_c=1.5$,模板采用钢模板取 $C_t=C_g=0.63$

W_c ——每立方米混凝土的质量,kg

W_t 、 W_g ——与每立方米混凝土相接触的模板、钢筋的质量, $W_t=6.2$ kg,
 $W_g=169$ kg

T_t 、 T_g ——模板、钢筋的温度,暖棚内在灌注之前已进行预热,温度不低于 10°C

得:混凝土成形完成时的温度 $T_3=5.42(^{\circ}\text{C})$ 。

混凝土按冬季施工技术规程施工。混凝土拌合应严格按施工配合比配料,砂、石、水加热温度应保证入模温度不低于 $+5^{\circ}\text{C}$,水加热温度不低于 $+30^{\circ}\text{C}$,砂、石料加热温度不低于 $+10^{\circ}\text{C}$,水泥及外加剂计量准确,为保证混凝土的和易性,拌合时间较常温下延长一倍。

2.2 控制混凝土养生期间的温度梯度

以下是混凝土养护期间的温度估算:

(1)混凝土最终绝热温升(最高温度) T_{\max} ($^{\circ}\text{C}$):

$$T_{\max} = T_3 + T_{zj} = T_3 + W Q_c / (C R)$$

式中: T_{zj} ——混凝土水化热最终绝热温升, $^{\circ}\text{C}$

W ——水泥用量(kg),为460 kg

Q_c ——水泥水化热(kJ/kg),取336 kJ/kg

C ——混凝土比热(kJ/kgK),为1.05 kJ/kg

R ——混凝土容重(kg/m^3),为2400 kg/m^3

T_3 ——混凝土入模温度

混凝土水化热最终绝热最高温度 $T_{zj} \approx 62^{\circ}\text{C}$,混凝土最高绝热温度 $T_{\max} = T_3 + T_{zj} = 67^{\circ}\text{C}$ 。

(2)混凝土从水化热开始至任一时刻 t (h)的绝热升温温度 T_t ($^{\circ}\text{C}$):

$$T_t = T_{\max} (1 - e^{-m t})$$

式中: t ——混凝土龄期,h

e ——自然对数之底,取2.72

m ——水泥水化热速度系数,《规范》给值0.013(h^{-1})

$$T_t(3\text{d}) = 67(1 - e^{-m t}) = 40.7^{\circ}\text{C}$$

$$T_t(7\text{d}) = 67(1 - e^{-m t}) = 59.5^{\circ}\text{C}$$

(3)混凝土保温层厚度 δ 计算:

$$\delta = 0.5 H \lambda (T_a - T_b) / \lambda_1 (T_{\max} - T_a) \times K$$

式中: δ ——养生材料所须的厚度,m

λ ——养生材料的导热系数($\text{W}/\text{m} \times \text{K}$);草袋为0.14 $\text{W}/\text{m} \times \text{K}$;

λ_1 ——混凝土的导热系数($\text{W}/\text{m} \times \text{K}$),取2.3 $\text{W}/\text{m} \times \text{K}$;

T_{\max} ——混凝土中的最高温度($^{\circ}\text{C}$),取 60°C

T_a ——混凝土与养护材料接触面的温度($^{\circ}\text{C}$),按《桥规》温差应控制在 25°C 以内时,则 $T_a = T_{\max} - 25^{\circ}\text{C}$

T_b ——环境温度($^{\circ}\text{C}$),取暖棚内的温度 15°C

H ——结构物的厚度(m),取4 m

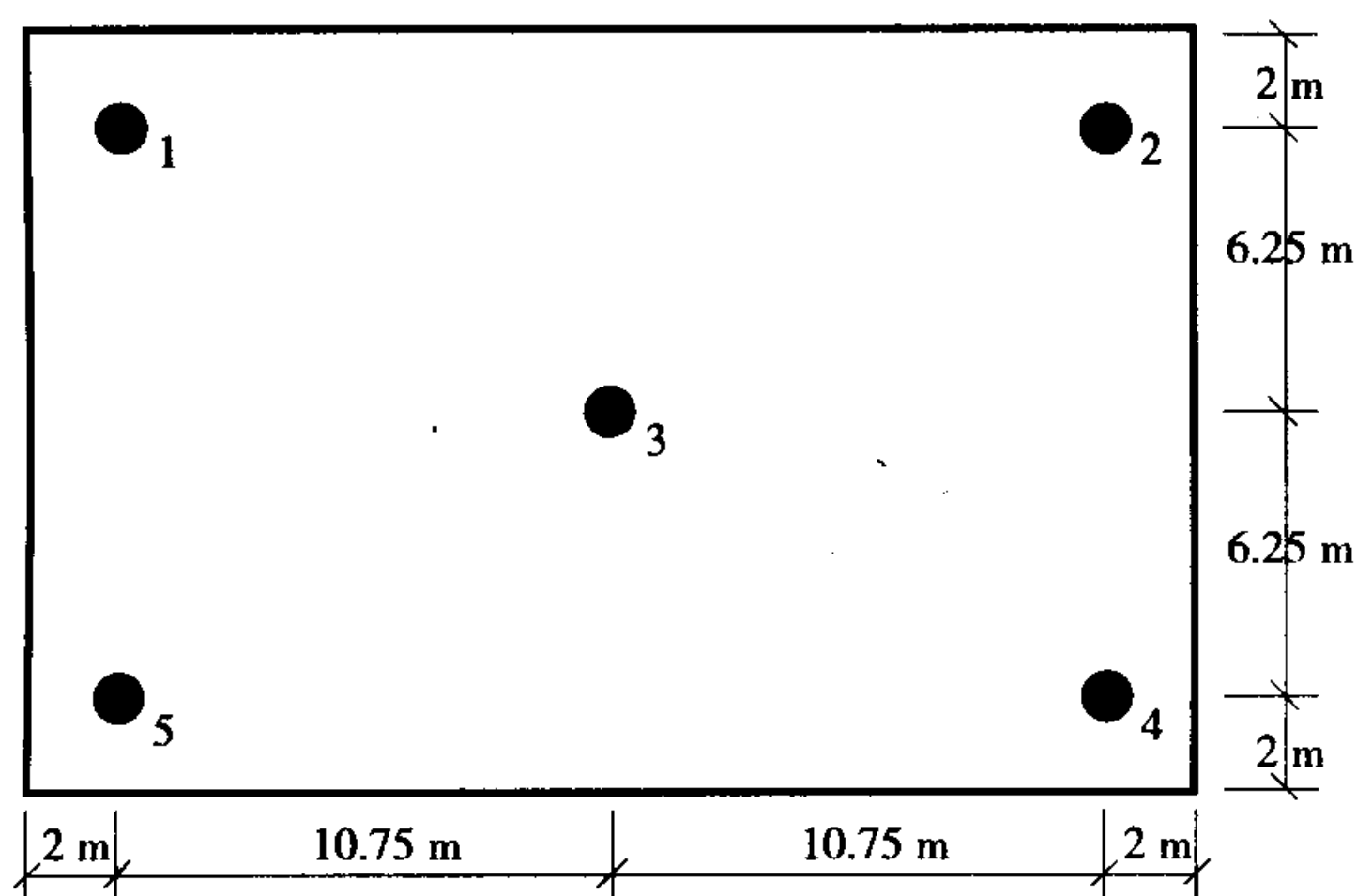
K ——传热系数的修正值,取1.3

$$\delta = 5.5 \text{ cm}$$

由于承台混凝土量达1683 m^3 ,因此混凝土水化热高。严格控制混凝土内部因水化热而引起的温差升高,预防产生裂纹。根据有关规定,大体积混凝土的中心温度与表面温度之间的差值以及混凝土表面温度与棚内空气温度之间的差值均应小于 25°C ,为此施工中采取如下措施:

混凝土养生采用暖棚法养护。棚内安设四台15 kW热风幕机供热,提高棚内温度。为减少混凝土表面热量的扩散,避免产生表面裂缝,混凝土浇筑完后,外围覆盖一层塑料布、一层草垫子。混凝土养生全过程进行温度监测及冷却管水温监控。为测量结构内部温度,在承台混凝土中埋设测温仪探头,测温仪探头埋在承台的上、中、下三个层面内,每个层面内埋设5点,位置如图2所示。承台周围外侧对称安设两个测温仪,测温仪探头埋在塑料布下面。棚内空中挂一个测温仪。用测温仪随时观测混凝土结构内外温度变化情况和棚内空气温度。

根据有关资料数据,混凝土的水化热最高温度一般出现在浇筑后的第三天左右,较大的温度梯度出现在承台四周及表面附近。通过冷却水管的冷却水,循环疏散混凝土中心水化热的热量,降低混凝土结构的内部温度,以减少混凝土内外温差。承台混凝土全部灌注完毕之后,根据承台混凝土内部温度情况加水循环。当混凝土中心温度达



说明:①每层5点,三层共计15点,层间1m。

②一层编号1、2、3、4、5;二层编号1'、2'、3'、4'、5'。

③三层以此类推。安设时逐一编号贴签。

图2 测温仪探头埋设位置图

到30℃以上,并且与表面温差达15℃以上时,开始注水降温。一般情况,冷却水的流量可控制在1.2~1.5 m³/h,并作好进出水温记录,冷却水的流量越小,进出水的温差就越大,即出口水温度越高,这将会影响冷却水和混凝土的热交换,使带出的热量减少。因此,要通过水阀,调整循环水流量,控制温差不宜过大。循环水管进出水的温度每2 h测量和记录一次,承台混凝土通水冷却时间不少于5 d,在这5 d中连续不间断地测量混凝土的温差,调整冷却水的流量和进口水温,确保混凝土温差 ≥ 25 ℃。当承台中心混凝土体温与表面温度差在20℃以内时,停止冷却水降温。为防止承台混凝土表面因温差过大而产生裂纹,棚内养生温度控制在+25℃,降温速度控制在每小时15℃以内。混凝土强度达到设计标号的50%以上时,方可停止供热养生。

暖棚拆除时间需待承台混凝土内部温度与外界气温差在10℃以下时进行。

3 实施及实施过程中的调整

12月底,进行基坑护壁和基础开挖工作,1月2日开始搭设暖棚。根据现场的实际情况,改变了承台防寒棚方案,接长部分护壁钢轨,利用接长护壁钢轨做支点,在东西两侧对应钢轨间拉以细钢丝绳(间距1.5 m)代替方木,取消中间钢支承,取消了

测桩防寒棚,用承台防寒棚代替。这样,既节约了材料,降低了成本,又加大了棚内空间。经计算分析,取消了中间一层 $\phi 20@200$ 双向布置分层钢筋。调整冷却管上下分四层串联布置,改为冷却管上下分四层单层布置,更有利于混凝土温差的调节。2月26日开始浇注混凝土,经过69 h的连续浇注,于3月1日完成。混凝土浇注时,保温棚内温度平均为15℃,混凝土入模温度平均为8.5℃。混凝土养护期间棚内最高温度25℃,最低温度12℃。3月2日开始通循环水降温,最低入口水温5℃,最高出口水温29℃,混凝土中心最高温度发生在混凝土浇注后的第六天,(浇注完的第四天)最高温度61℃,混凝土表面温度39℃,棚内温度19℃,入水口温度17℃,出水口温度30℃。从3月3日起,混凝土内部温度达到60℃,出水口温度28℃,为有效降低混凝土内部温度,必须降低循环水温度,决定向冷却水箱内加入冰块。经过10 d的精心养护,同条件养生混凝土试块7 d强度达80%。3月10日,拆除暖棚和模板,经检查混凝土表面光洁、密实,没有发现裂纹。具体测温见表1(每天24时记录)。

表1 承台混凝土测温记录

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
空气温度	-4	-4	-13	-14	-7	-12	-14	-16	-14	-13
棚内温度	12	18	17	15	19	15	11	9	5	2
进水温度	18	8	14	14	14	17	13	15		
出水温度	23	25	28	30	28	28	27	28		
混凝土表面温度	21	28	41	35	39	39	37	33	33	27
混凝土中心温度	39	52	60	61	60	58	55	52	50	44

从记录可以看出,混凝土内部的温差基本控制在25℃以内,满足《规范》要求。由于混凝土实际浇注时气温比预想的要高,混凝土的实测温度也高些。通过暖棚保温,覆盖层保温和冷却管内部降温,将混凝土内部与混凝土表面温差控制在25℃以内,保证了混凝土的养护安全。改进后的暖棚搭设方案也比较适合大跨度暖棚的搭设,为今后的北方桥梁大体积混凝土冬季施工积累了经验。

中国首座三塔单索斜拉桥通车

伴随着新年的第一声钟响,横跨福州市乌龙江的中国首座三塔单索斜拉桥——浦上大桥通车。该桥以福州最长桥梁、福州最宽桥梁、首创中国三塔单索斜拉结构等多个“之最”,被视为福州桥梁史上一座新的里程碑。