

文章编号:0451-0712(2006)05-0039-04

中图分类号:U445.43

文献标识码:B

五河口斜拉桥主梁冬季施工的技术创新

丁如珍¹, 唐道伦²

(1. 淮安市高速公路建设指挥部 淮安市 223001; 2. 淮安市交通局 淮安市 223001)

摘 要: 介绍五河口斜拉桥主梁采用宽为 41.5 m 的牵索式挂篮悬浇的一种简易、经济、有效的冬季施工技术。

关键词: 斜拉桥; 主梁; 冬季施工

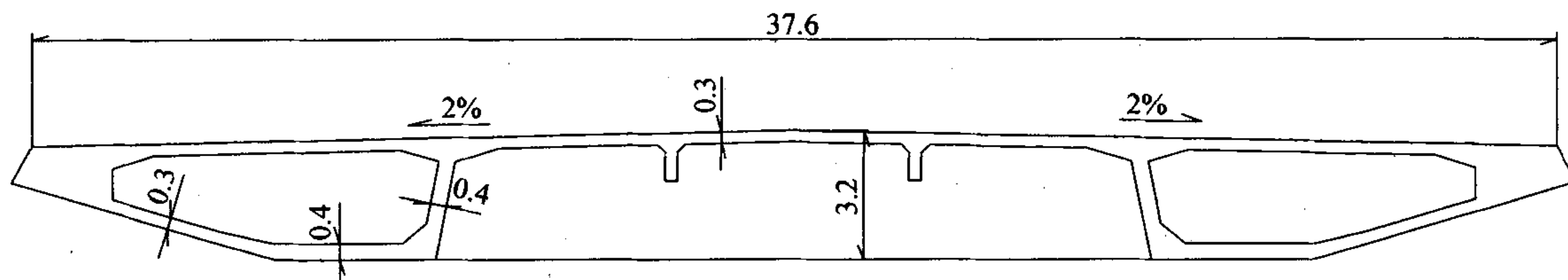
1 工程概况及气候条件

五河口斜拉桥是宿淮高速公路的重点工程,桥梁全长为 2 062 m,分为主桥与引桥两个部分,主桥桥型布置为 152 m+370 m+152 m,为预应力混凝土双塔双索面全漂浮体系斜拉桥,桥梁全宽 38.6 m,双向六车道,H 形索塔,索塔基础采用群桩基础,每塔布置 46 根直径为 250 cm 的钻孔灌注桩,桩长为 95 m,承台平面尺寸为 49.5 m(横桥向)×33.1 m(纵桥向)×6.0 m(厚),主梁宽 38.6 m,其宽度在目

前国内同类型已建成的桥梁中位居第一。

1.1 主梁断面设计

主梁采用双边箱断面,中心梁高 3.2 m,厚 0.3 m,桥面设 2% 的横坡,边箱箱底板宽 4.0 m,三角部分宽 6.5 m,标准段底板、腹板厚为 0.4 m,三角部分底板、顶板厚为 0.3 m,索塔区梁段桥面板及箱梁顶板、腹板加厚至 0.6 m,三角部分底板厚为 0.45 m,标准节段断面如图 1 所示。



单位:m

图 1 主梁标准节段

每对斜拉索与主梁相交处均设置横梁,拉索处横梁厚度有 0.6 m、0.55 m 和 0.35 m 三种,端部无索区 3.4 m 范围设置端横梁,全桥横梁均采用预应力混凝土结构。

主梁采用 C60 预应力混凝土结构,每个索塔区 44 m 范围梁段以及边跨 31.6 m 密索区梁段为支架现浇,3 个合拢段采用吊架悬浇,其余均采用牵索式挂篮悬浇,其中 5~10 号块悬浇块件于 2004 年 12 月下旬至 2005 年 2 月底冬季期间施工。

1.2 环境气候条件及工期要求

五河口大桥位于淮安市区以西约 10 km,按气候区划,该地区属于北亚热带和南暖温带的过渡气

候带,本地地势低平,距海较远,受近海季风环流的影响,具有较明显的季风性、过渡性和不稳定性的气候特征。气温气象特征如下:年平均气温 14.0℃,平均最高气温 19.2℃,平均最低气温 9.9℃,极端最高气温 39.5℃,极端最低气温 -21.5℃,最热月为 7 月、8 月(月平均气温 31.0℃),最冷月月平均气温 -3.6℃,基本上每年约有 3 个月(12 月份至下一年 3 月份)气温较低,即常出现连续 5 d 月平均气温低于 5℃ 的低温天气。

五河口斜拉桥是整个宿淮高速公路的控制性工程,如果近 3 个月时间冬季不施工,那么该条长约 110 km 的高速公路将不能按时建成通车,因此,主

梁必须进行冬季施工。在月平均气温为 -3.6°C 环境中,在不采取蒸汽与暖棚养护的条件下,如何解决国内最宽的混凝土斜拉桥主梁的冬季施工问题是非常值得思考与研究的。

2 冬季施工规范主要要求及热工计算

2.1 冬季施工规范中的主要规定

规范中关于冬季施工的定义:根据当地多年气温资料,室外日平均气温连续5 d 稳定低于 5°C 时,应属于工程的冬季施工。其主要要求:用普通硅酸盐水泥配制的混凝土,在抗压强度达到设计强度的40%及5 MPa前,不得受冻。对于混凝土原材料的要求是:骨料不得带有冰雪和冻结团块,对于强度等级大于52.5(R)的普通硅酸盐水泥,其搅拌用的水和骨料最高温度分别不得超过 60°C 、 40°C ;投料顺序为骨料、水、搅拌、再加水泥搅拌,其时间应较常温时延长50%;混凝土拌和物的出机温度不宜低于 10°C ,入模温度不得低于 5°C ,施工接缝混凝土时,应在新浇混凝土前加热使之结合面的温度高于 5°C ;预应力管道压浆过程中及压浆后48 h内,结构混凝土的温度不得低于 5°C ;当混凝土与外界气温相差大于 20°C 时,拆除后的混凝土表面应加以覆盖,使其缓慢冷却,避免产生温度裂缝;焊接钢筋宜在室内进行,当必须在室外进行时,最低温度不宜低于 -20°C ,并应采取挡风等措施;张拉预应力钢束时的温度不宜低于 -15°C ;

2.2 冬季施工热工计算

(1) 混凝土拌和物温度计算。

公式采用《公路桥涵施工技术规范》(JTJ 041—2000)附录J中式(J-1)。但该式中第一个中括号内的第二项小括号内的 W_g 是错误的,理论上是 W_w ,计算参数见表1。

表1 计算参数

材料名称	用量/kg	计算温度/ $^{\circ}\text{C}$	含水率/%	比热/ $\text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	溶解热/ kJ/kg
水	172	60(电热管加热)		2.1	335
水泥	544	20			
砂	660	-4	0.03		
石	1032	-4	0.004		

计算结果:混凝土拌和物温度 $T_0=12^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 混凝土拌和物出机温度计算。

计算公式采用(JTJ041—2000)附录J中 $T_1=T_0$

$-0.16(T_0-T_b)$ 计算,其中,需采用油布对搅拌机围挡,可在其内安放加热器升温,使棚内温度不低于 0°C ,即 $T_b\geq 0^{\circ}\text{C}$ 。

计算结果:混凝土拌和物出机温度 $T_1=10.1^{\circ}\text{C}$,符合规范规定的“混凝土拌和物出机温度不宜低于 10°C ”的要求。

(3) 混凝土浇注成型的温度计算。

计算公式采用(JTJ041—2000)附录J中 $T_2=T_1-(\alpha t+0.032n)\times(T_1-T_a)$ 。

计算参数取值:取温度损失系数 $\alpha=0.05$,泵送混凝土的输送管用草绳包裹,输送过程中混凝土温度基本不损失;取混凝土自运输至 $t=0.25\text{ h}$,混凝土出机到入仓至混凝土浇注完成取15 min;平均气温低于 -8°C ,则不能浇混凝土,取 $T_a=-8^{\circ}\text{C}$ 。

计算结果:混凝土拌和物经运输至成型完成的温度 $T_2=9.3^{\circ}\text{C}$,满足“入模温度不得低于 5°C ”规范规定的要求。

(4) 考虑模板和钢筋的吸热影响,混凝土成型完成时的温度 T_3 。

计算公式采用 $T_3=(c_c W_c T_2 + c_t W_t T_f + c_g W_g T_g)/(c_c W_c + c_t W_t + c_g W_g)$,其中,计算参数取值: $C_c=1.05$ 、 $C_t=C_g=0.63$ 、 $W_c=2\ 400$ 、 $W_t=85$ 、 $W_g=245$ 、 $T_t=T_g=-4$ 。

计算结果: $T_3=8.3^{\circ}\text{C}$,满足“入模温度不得低于 5°C ”规范规定的要求。

(5) 若考虑混凝土进行蓄热养护。

蓄热保温采用在钢模区格间填以5 cm厚的塑料泡沫保温彩钢板,顶面采用5层覆盖并含有电热毯加热的方法蓄热。蓄热计算;采用汪正荣主编的《建筑施工计算手册》中的吴式蓄热法计算公式

$$T=\eta e^{-\theta \cdot v_{ce} \cdot t}-\varphi e^{-v_{ce} \cdot t}+T_{ma}=1.3^{\circ}\text{C}$$

$$T_m=\frac{1}{v_{ce} \cdot t}(\varphi e^{-v_{ce} \cdot t}-\frac{\eta}{\theta} \cdot e^{\theta v_{ce} \cdot t}+\frac{\eta}{\theta}-\varphi)+T_{ma}$$

式中: T 为混凝土蓄热养护开始到任一时刻 t 的温度, $^{\circ}\text{C}$; T_m 为混凝土蓄热养护开始到任一时刻 t 的平均温度, $^{\circ}\text{C}$; η 、 φ 、 θ 分别为综合系数,由下列公式计算。

$$\eta=T_3-T_{ma}+\varphi$$

$$\varphi=\frac{v_{ce} \cdot Q_{ce} \cdot m_{ce}}{v_{ce} \cdot c_c \cdot \rho_c - \omega \cdot k \cdot M}$$

$$\theta=\frac{\omega \cdot k \cdot M}{v_{ce} \cdot c_c \cdot \rho_c}$$

其中: e 为自然对数底; v_{ce} 为水泥水化速度系数,52.5(R)普通硅酸盐水泥 $v_{ce}=0.013/\text{h}$; t 为凝

土蓄热养护开始至任一时刻的时间, h ; T_{ma} 为混凝土蓄热养护开始到任一时刻 t 的平均气温, 以日平均气温计, 取 $T_{ma} = -4^{\circ}\text{C}$; T_3 为混凝土入模成型温度, 由上述计算 $T_3 = 8.3^{\circ}\text{C}$; Q_{ce} 为水泥水化累计放热量 (kJ/kg), 查表 $Q_{ce} = 400 \text{ kJ/kg}$; m_{ce} 为水泥用量, $M_{ce} = 490 \text{ kg/m}^3$; c_c 为混凝土比热 ($\text{kJ/kg} \cdot \text{k}$), $c_c = 1.05$; ρ_c 为混凝土质量密度, $\rho_c = 2400$; ω 为透风系数, 取 $\omega = 2.0$; K 为围护层的传热系数 ($\text{kJ/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{k}$), 钢模格内嵌泡沫时, $K = 3.6$, 薄膜外盖棉絮时 $K = 1.1$, 为安全计, 均取 $K = 3.6$; M 为结构表面系数, $M = \text{混凝土结构表面积}/\text{混凝土结构总体积} = 874/186 = 4.7$ 。

根据上述参数计算得到如下综合系数:

$$\theta = \frac{\omega \cdot k \cdot M}{v_{ce} \cdot c_c \cdot \rho_c} = 1.03$$

$$\varphi = \frac{v_{ce} \cdot Q_{ce} \cdot m_{ce}}{v_{ce} \cdot c_c \cdot \rho_c - \omega \cdot k \cdot M} = -2359.0$$

$$\eta = T_3 - T_{ma} + \varphi = -2347$$

试算养护至 48 h 混凝土的温度:

$$T_{48} = \eta e^{-\theta \cdot v_{ce} \cdot t} - \varphi e^{-v_{ce} \cdot t} + T_{ma} = 1.3^{\circ}\text{C}$$

养护至 48 h 时混凝土的温度只有 1.3°C , 如果养护的平均气温低于 0°C , 则混凝土温度为负温度, 因此需要采取措施增温。

3 现场冬季施工主要控制指标的确定

根据现场实际情况, 经专家研究和审查, 为了保证混凝土的浇注质量, 制定了五河口斜拉桥主梁冬季施工 6 个主要控制指标为:

(1) 周围环境温度低于 -5°C 时, 必须停止混凝土的施工;

(2) 混凝土拌和物出机温度、入模温度应分别高于规范 2°C , 即 12°C 、 7°C ;

(3) 混凝土强度未达到设计强度的 40% 及 5 MPa 前的养生期间, 不得受冻, 其表面温度至少在 0°C 以上, 在混凝土未达到设计或规范要求的强度之前, 不得进行预应力束的张拉, 即使达到张拉强度要求, 还必须满足养生至少 3 d 以上才可以张拉;

(4) 骨料含水量应控制在无雨雪天气时的范围内, 不得有任何结冰团块;

(5) 混凝土搅拌用水不得超过 60°C ;

(6) 考虑到目前市场上防冻剂的实际效果很不理想及可能对混凝土特性的影响, 五河口斜拉桥主梁冬季施工中不掺防冻剂。

4 现场冬季施工的技术控制措施及创新

(1) 钢筋。

应尽可能在气温比较高的期间完成钢筋的弯制、焊接等工作, 气温较低时仅对其进行现场绑扎。无法避免时, 少量的焊接工艺应安排在棚内进行, 避免风、雨、雪等因素的影响, 防止焊接接头因冷却过快产生淬硬现象。对于必须在负温下进行钢筋闪光对焊时, 如果钢筋断面比较平整, 采用预热闪光焊, 否则, 采用闪光—预热—闪光焊。与常温焊接相比, 调伸长度增加 10%~20%, 变压器级数降低 1~2 级。在闪光过程开始前, 先将钢筋接触几次, 使钢筋温度上升, 适当提高预热时接触压力和延长预热间隙时间, 适当减慢烧化过程中的速度。如果采用的是搭接电弧焊时, 第一层焊缝先从中间引弧, 再向两端运弧, 多层施焊时, 应控制焊接速度, 使层间温度控制在 $150 \sim 350^{\circ}\text{C}$ 之间, 以利于焊缝的缓冷。

(2) 混凝土原材料。

为了保证骨料不结冰成团, 就必须严格控制砂、石料的含水量和含泥量, 进场骨料必须是干净的。骨料进场前不得采用水洗, 否则, 含水量过大, 在低温下, 骨料易结冰成团。同时为了尽可能提高砂、石料的温度, 白天对其翻晒, 夜间采用油布进行覆盖, 并要有防雪、防雨、防冻措施, 确保其不会受冻结块; 水泥及粉煤灰采用罐装存储; 搅拌用水采用电热管加热进行升温。经上述热工计算, 在日均气温不低于 -5°C 时, 将搅拌用水的温度升至接近 60°C , 即可保证混凝土拌和物的出机温度高于 12°C 。冬季施工的主梁是标准节段, 每对称浇注一次混凝土 (方量为 372 m^3) 约需用水 64 m^3 , 拟采用 $(30+25) \text{ m}^3$ 的水箱预储备热水, 并在浇注过程中补充加热以满足用水要求。在每个水箱内安装 8 只 18 kW 电热管即可满足加热要求, 同时, 在水箱外表贴一层 10 cm 厚泡沫板, 再用薄铁皮包紧, 防止水箱散热, 并设电子温度监控箱, 控制水温在 $60 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 范围内。

(3) 高强度混凝土配制和搅拌。

为保证主梁高性能混凝土的特性稳定, 尽可能避免外界温度对施工特性的影响, 先后对混凝土的配比进行多次优化, 更换了水泥和外掺剂, 并开展了大量的外掺剂选择及其掺和方式的试验工作。特别是外掺剂与水、骨料的拌和方式对高强度混凝土施工特性影响非常大。最终选择了意大利的 MAPEI 牌 SX 型外掺剂, 将水泥: 粉煤灰: 砂: 碎石: 水: 外加剂的配合比由原来的 490: 54: 660: 1032: 172: 6.8 优化调整为: 464: 52: 672: 1051: 163: 6.966。在混凝土的配合比不变的情况下, 无论在夏

季或在冬季,其特性都非常稳定。

搅拌机在投料前,先用热水冲洗预热。投料顺序为:骨料→水→搅拌→水泥→搅拌。控制搅拌时间比常温搅拌要延长 50%。搅拌时用油布对搅拌站进行部分围挡,以阻挡寒风提高搅拌棚内的温度。

(4) 混凝土泵送中的保温技术措施。

泵送混凝土的泵管采用 2 层草绳缠绕严密包裹,再在外面包裹一层塑料薄膜,除起保温作用外,还可以避免雨水浸入草绳中,使混凝土在泵送过程中温度损失较小,采取这种措施,每泵送 100 m,混凝土温度损失 2~3℃。

(5) 混凝土浇注的保温技术措施及创新。

热的散失主要有三种途径:对流、传导、辐射。针对这三种途径,五河口斜拉桥主梁混凝土冬季施工主要采取了以下保温对策。

为了解决热的对流问题,现场将挂篮底部采用钢板封闭,并与已浇好的梁之间也进行密闭,使其内部不会形成风的对流,该措施对保温很有作用;另外,在挂篮的前端、两侧均采用先焊接立柱,再在其上焊接钢板用于挡风,其高度为 2 m。

为了解决热的传导问题,在钢模外侧嵌入 5 cm 厚内含塑料泡沫保温彩钢板,部分模板外嵌入 5 cm 厚的石棉。在实施过程中,由于现场在模板拼装及钢筋施工过程中,需要焊接,焊接火花易使内含塑料泡沫的保温彩钢板着火,所以,采用这种保温措施时,要特别注意防火灾问题。解决的方法是采用防火型的塑料泡沫保温彩钢板,或将保温彩钢板端部密封,不让火花进入其中。

为了解决热的辐射问题,将暴露在外面的主梁顶面进行保温覆盖,共覆盖 5 层,从下至上分别为:塑料薄膜、土工布、电热毯、麻袋、油布。由于气温较低,所以主梁顶面混凝土浇注后立即采用塑料薄膜进行覆盖,否则,混凝土表面温度极易散失而被冻坏。5 层覆盖完成后,电热毯立即通电加热。电热毯加热时间根据外界气温条件决定,一般通电 24 h 即可。这主要由于 C60 混凝土的水化热比较大,后期其自身发出的水化热量已经能够满足混凝土冬季施工的保温要求。但应注意混凝土表面温度不宜太高,尤其是拆模时一定要注意混凝土的内外温差问题,否则,极易产生温度裂纹。

另外,混凝土浇注时间的选择也很重要,它可以通过适当的施工组织,尽可能地根据气温变化规律

选择浇注时间。当地的气温变化规律基本上是:冷—暖—冷—暖等过程。可以选择温度较高的天气进行混凝土的浇注,入模温度尽可能提高,一般控制在 12~16℃ 之间,至于选择夜间还是选择在白天浇注,各有利弊,都是可行的,可根据结构特点及现场组织而定。

(6) 混凝土养生期间。

混凝土养生期,如何保证新浇混凝土不被冻坏,起始的保温工作非常重要。现场主要采取在底板浇注完成后就开始在底板与挂篮底板(采用钢板封闭)之间形成的封闭空间以及箱室内用电暖器及碘钨灯进行加热,并用特大号电饭煲烧水保湿。主梁顶面主要依靠电热毯加热和 5 层覆盖保温。拆模后混凝土采用温水(25~30℃)浓雾状喷洒养生。

(7) 预应力筋施工。

预应力筋的张拉一般选择在气温较高时进行,这里要特别注意防止油泵被冻问题,可搭设一个简易可移动的小棚,把油泵放入其中,并对棚中进行加热,避免油泵被冻堵。压浆要求按规范进行。

除上述措施外,另外一个不可忽视的问题就是在混凝土浇注后 1~2 d 中,要有专人 24 h 进行温度监控,并配备足够数量的温度计,随时检查覆盖情况以及重点区域的温度及环境温度。当外界气温低于 0℃ 时,两次检查间隔不大于 2 h,外界气温高于 0℃ 时,两次检查间隔可稍长一些,并作好相关检查记录,同时还应注意冬季施工中的火灾及安全工作。

5 结语

对于宽混凝土主梁,在月平均气温为 -3.6℃ 环境中,在不采取蒸汽与暖棚养护的条件下,采用了非常简易、经济而又有效的冬季施工技术措施,工程进度与质量均得到了保障,它的成功为同类型桥梁建设提供了宝贵经验。

参考文献:

- [1] 刘士林,等. 斜拉桥[M]. 北京:人民交通出版社, 2002.
- [2] 丁如珍. 宿淮高速公路五河口斜拉桥设计及主要施工难点[J]. 公路, 2003, (11).
- [3] 丁如珍. 五河口斜拉桥特大型承台施工技术[J]. 桥梁建设, 2005, (1).
- [4] JTJ 027-96, 公路斜拉桥设计规范(试行)[S].