

大体积混凝土连续梁施工温度分析与控制措施

申家国, 张传安

(中铁十六局一处, 北京 103000)

摘 要: 主要介绍北京城市轻轨铁路工程, 北三环西路桥长 99.25m 的连续混凝土梁, 设计 C40 混凝土 808.1m, 七月初现场一次浇注完成, 为防止混凝土结构因温度影响而开裂, 对产生影响砼结构的温度原因进行分析制定混凝土施工温度的控制措施。

关键词: 大体积混凝土; 防开裂; 温度控制措施

1 工程概况

北三环西路桥位于北京市北三环环路交通要道上, 它是北京城市轻轨铁路一期工程之一, 该桥设计为 6 跨连续钢筋混凝土板梁, 板面宽 10.6m, 梁板底宽 6.2m, 梁高 1.17m, 梁面两侧悬臂长 2.2m, 线路为平坡。根据梁体断面尺寸和桥梁施工方案, 其施工有以下特点: 一是梁的砼体积较大; 二是施工时室外温度较高估计达 36℃; 三是 C40 砼水泥用量较大; 四是梁体结构钢筋用量多, 每立方砼达 200kg, 砼集料和塌落度受到控制; 五是其桥梁地处交通要道, 是窗口工程, 混凝土质量要求高, 清水混凝土内实外美, 一次成优。

从上述特点分析可看出, 梁体施工质量的好坏, 混凝土的养护是关键, 养护的关键是如何控制混凝土温度, 防止温度过高而引起混凝土开裂, 针对这一问题进行分析研究, 确定出梁体混凝土施工温度的控制措施。

2 温度对混凝土结构的影响分析

2.1 混凝土温度的组成

混凝土的温度取决于它本身所储备的热能。在绝热条件下, 混凝土内部最高温度是浇筑温度与水泥水化热温度的总和。但在实际情况下, 由于混凝土的温度与外界环境有温差存在, 而结构物四周又不可能做到完全绝热, 故在新浇筑的混凝土与其周围环境之间, 就会发生热能的交换。结构物的模板、外界气候(包括温度、湿度和风速)和养护条件等因素, 都会不断改变混凝土贮备的内能, 并促使混凝土的温度逐渐发生变动。因此, 混凝土内部最高温度, 实际上是浇筑温度、水泥水化热引起的绝热温升和混凝土浇筑后的散热温度三部分组成。详见图 1。

2.2 产生混凝土温度升高的原因

2.2.1 水泥水化热

水泥在水化过程中要发出一定热量, 尤其是大体积混凝土、水泥发出的热量聚集在结构物内部不易散失。水泥水化热引起的温升, 在建筑工程中一般为 20℃~30℃, 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, 但由于结构物有一个自然散热条件, 混凝土内部最高温

度是发生在混凝土浇筑后的最初 3~5d。

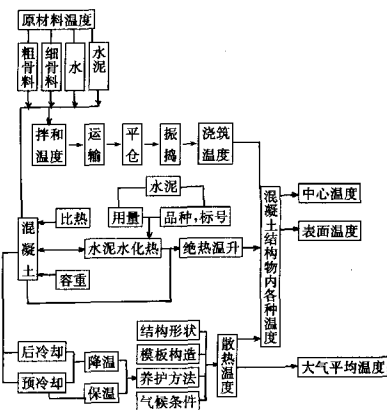


图1 混凝土的温度组成及影响因素

2.2.2 外界气温变化的影响

混凝土在施工阶段, 因为外界气温愈高, 混凝土的浇筑温度也愈高, 在高温条件下, 混凝土本身的温度不易散热, 这样可使混凝土内部最高温度可升达 60℃~70℃。

2.3 温度过高对混凝土的影响

由于混凝土的导热性能较差, 浇注初期强度和弹性模量都很低, 对温度变化引起的变形约束不明显, 但随着温度龄期的增长, 对混凝土强度也有影响, 见图 2。混凝土的强度和弹性模量都得以提高, 对混凝土变形的约束则越来越大, 以至产生很大的拉应力, 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。

气温的昼夜变化对混凝土的影响也很大, 白天气温高, 混凝土内部的热量不易散出, 造成其本身的温度很高; 夜间气温降低, 与混凝土之间形成很大的温差; 特别是温度突降时, 混凝土在硬化期间, 水泥会放出大量的水化热, 内部温度不断上升; 由于混凝

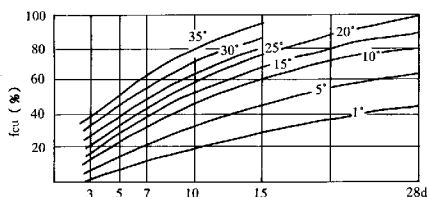


图2 温度、龄期对混凝土强度影响曲线

土内部最高温度与外界气温相差大,温度梯度很陡,因温度变化引起的体积膨胀,在结构物表面产生巨大的压应力。另一方面,在后期降温过程中,体积随之收缩,由于受到外界约束,在混凝土内部引起拉应力,当这些拉应力超过混凝土抗拉能力时,混凝土开始出现裂缝。

混凝土中80%的水分要蒸发,水分的蒸发则引起混凝土的收缩;在高温下,水分蒸发很快,更容易引起干缩变形,加之拌和不匀和捣固不良,混凝土中粗细骨料、水泥分布不均,密实度不等,因而其收缩系数也不相同,这样在脆弱部分便可能产生开裂。

2.4 梁体混凝土温度的计算

选用C40混凝土,每立方混凝土材料用料为:42.5矿渣水泥400kg,中砂780kg,20~40mm卵石1030kg,泵送剂13kg,粉煤灰60kg,水180kg。室外气温36℃。

水泥水化热引起的绝热温升后,浇筑T为在绝热状态下的混凝土内部温度 $T_{内max}$

$$T_{内} = T_{绝} + T_{\tau} \times \xi$$

式中: $T_{内}$ —混凝土拌和温度。

由公式 $T_{内} = \sum T \times W \times C_1 / (\sum W \times C_1)$ 计算结果见表1。

表1 混凝土的入模温度

序号	材料名称	重量 W(kg) (1)	比热 c_1 (kJ/kg·°C) (2)	热当量 (kJ/°C) (1)×(2)=(3)	温度 T(°C) (4)	热量 (kJ) (3)×(4)=(5)
1	水泥	400	0.84	336	32	10752
2	碎石	1030	0.84	865.2	39	33735
3	砂子	780	0.84	655.2	41	26855
4	泵送剂	13	0.84	11	32	352
5	粉煤灰	60	0.84	50	32	1600
6	拌和水	167	4.2	701	28	19628
Σ				2613		92922

注:入模温度 $=\Sigma$ 热量 $/\Sigma$ 热当量 $=92922/26.8=35.5^\circ\text{C}$

式中: T —各种材料的初始温度,℃;

C_1 —各种材料的比热,kJ/kg·°C;

$$T_{内} = T_{绝} + (WQ/C_1) \times (1 - e^{-m}) \times \xi$$

式中: $T_{绝}$ —混凝土浇筑温度,由公式 $T_{绝} = T_{内} + (T_{外} - T_{内}) \times (A_1 + A_2 + \dots + A_n)$ 计算得35.9℃;

T_{τ} —在 τ 龄期时混凝土的绝热温升,℃,由公式 $T_{\tau} = WQ/C_1(1 - e^{-m})$ 计算;

式中: W —每立方混凝土水泥材料用量,kJ/m³;

Q —每公斤水泥水化热量,kJ/kg,42.5矿渣水泥为335;

C —混凝土得比热,在计算时可取0.97kJ/kg·°C;

γ —混凝土容重,取2400kg/m³;

ξ —不同浇筑混凝土厚度得降温系数下,查资料得3d龄期为0.36;

$1 - e^{-m}$ —查资料得3d龄期为0.726。

经计算得梁体混凝土浇筑3d后,内部的中心温度为最大。

$$\text{即 } T_{内max} = T_{绝} + T_{\tau} \times \xi = 35.9^\circ\text{C} + 15.1^\circ\text{C} = 51^\circ\text{C}$$

砼表面温度:

$$T_{表} = T_{\tau} + 4/H^2 \times h'(H-h') \Delta T_{绝}, \text{计算得 } 38.5^\circ\text{C}。$$

式中: T_{τ} —大气平均温度,℃;

H —砼计算厚度,m,计算得2.2414m;

h' —砼虚厚度,m,查表计算得0.6207m;

$\Delta T_{绝}$ —砼中心温度与外界温度之差。

$$T_{绝} = 3.24 \times 10^{-4} (1 - e^{-0.01 \times 3}) \times M_1 \times M_2 \times \dots \times M_n/a$$

式中: $T_{绝}$ —砼收缩当量温差,3d龄期计算得3.51℃;

a —取 10×10^{-6} ;

$$\Sigma M = 1.118。$$

3 梁体混凝土温度的控制措施

3.1 混凝土温度控制的原则

根据大体积混凝土内的实际温度变化是一个由低至高(特别是浇筑后第3~5d),又由高变低逐渐趋于稳定温度的变化曲线。如图3所示。即混凝土从浇筑完后,就有一个初始温度—浇筑温度。以后由于水泥水化热的影响,混凝土内部温度不断上升,然后通过天然散热或人工冷却温度逐渐下降。待水泥水化热散发完后,混凝土的温度才与大气温度相接近,成为稳定温度。

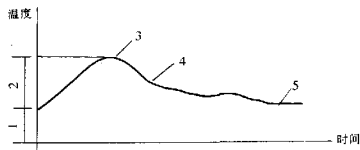


图3 混凝土温度变化曲线

1—浇筑温度;2—最大温升;3—最高温度;

4—冷却过程;5—稳定温度

温度控制的目的是要对混凝土的初始温度(浇筑温度)和混凝土内部的最高温度进行人为控制,解决因温度变形而引起的混凝土开裂问题。为此,温度控制原则要遵循以下几点:

(1) 混凝土的中心温度与表面温度之间的差值($T_{max} - T_{表}$)以及混凝土表面温度与室外空气中最低温度之间差值($T_{表} - T_{外}$)均应 $<20^\circ\text{C}$ 。

(2) 合理选择用材降低材料和混凝土浇筑温度,混凝土原材料的预冷却,不仅可以降低混凝土的浇筑温度,而且还可以削减混凝土内部的最高温度,并减少最高温度与稳定温度之间的差值,从而控制混凝土内部温度,以防产生开裂。

(3) 混凝土的拆模时要考虑气温环境等情况,必须有利于强度的正常增长,即拆模时混凝土的内外温差 ΔT_C 不能太大,表

文章编号:1004—5716(2002)增刊(001)—387—02

中图分类号:U445.7+1 文献标识码:B

铁河特大桥大体积混凝土的温度裂缝控制

苏红岭, 陈向军

(中铁第二十局三处, 陕西 咸阳 712000)

摘要:介绍了大体积混凝土产生裂缝的原因,结合寺底铺铁河特大桥9#墩混凝土产生的裂缝及所采取的主要措施,总结了大体积混凝土的裂缝控制综合措施。

关键词:大体积混凝土;温度;裂缝;控制

寺底铺铁河特大桥是西南铁路重点桥梁之一,全长673.56m,共21跨。9#墩为圆端形实体墩,高度30m,其底部切线方向尺寸3.48m,法线方向尺寸为5.58m,具有大体积混凝土特性。

对于大体积混凝土,分析其温度应力、控制温度,是防止其温度变形裂缝,从而提高混凝土结构的整体性和耐久性。因此,采取各种措施控制大体积混凝土水化热升温 and 混凝土结构内外温差成了大体积混凝土温度裂缝控制的关键。

1 大体积混凝土的裂缝及起因

裂缝是混凝土本身所具有的一种材料特性。混凝土内部的

微观裂缝是无害的,也是无法避免的。微观裂缝在结构温差、湿差或外荷载的作用下,会扩展并逐渐相互串通形成可见的微观裂缝。因此,裂缝按照产生的原因可分为两种形式,一种是外部因素作用引发的,如外荷载、基础不均匀沉降等,属于结构性裂缝;另一种是由结构内部因素引起的,如内外温差、混凝土收缩、徐变等,属于变形裂缝。大体积混凝土产生裂缝的关键是后者。

1.1 水泥水化热的影响

水泥在水化过程中要释放大量的水化热,而大体积混凝土结构断面较厚,热量聚集在结构内部不易散发,由于混凝土的导热性能较差,浇注初期混凝土强度和弹性模量都很低,对水化热

面温度 $T_{\text{表}}$ 、拆模时室外最低温度 $T_{\text{气}}$ 、砼中心温度 T_{max} 和砼降温的稳定温度,以及收缩当量温差 $T_{\text{收}}$ 三者总和要 $\leq 20^{\circ}\text{C}$ 。

即: $\Delta T_{\text{C}} = (T_{\text{表}} - T_{\text{气}}) + 2/3(T_{\text{max}} - T_{\text{表}}) + T_{\text{收}} \leq 20^{\circ}\text{C}$

(4) 为了保证新浇筑的混凝土有适宜的硬化条件,防止在早期由于干缩而产生裂缝,混凝土要在浇筑完毕后12h洒水和表面围盖养护,以保持混凝土表面湿润为原则,养护时间根据水泥品种(矿渣水泥)要保证21d。

根据混凝土梁产生的温度计算结果,温差值也超过混凝土温度控制原则中的规定。混凝土梁施工必须采取温度控制措施。

3.2 温度控制的内容

温度控制的内容包括材料的选择、混凝土的配合比成分(特别是水泥)、原材料的预冷却、浇筑层的厚度与方法、混凝土内部散热措施以及采取的养护和后期保持,尤其是养护阶段的温度控制更为重要。

3.3 温度控制措施

(1) 原材料要求:水泥采用42.5矿渣水泥,掺15%粉煤灰,骨料要求清洁而不含杂质,砂子为天然中砂,石子采用20~40mm碎石,用饮用水拌和。

(2) 配合比满足设计要求,并保证混凝土具有良好的和易性和塌落度。

(3) 预冷原材料,降低混凝土浇筑使温度。骨料在使用前2d用高压冷水喷淋使之降温,砂子存放阴凉处,防止日晒升温,水泥防热,水泥棚要四周通风,保持阴凉,用出厂10d后的水泥,用低温凉水拌和混凝土;混凝土运输车使用前用冷水冲洗降温;浇筑

前用冷水冲洗灌注面、模板、钢筋,使其降温,综合保证入模温度 $\leq 25^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 散发混凝土内部热量。为了考虑不可估量的外界气温变化引起混凝土内部升温,除采取外部降温措施外,还采取梁体混凝土结构内埋5根 $\phi 50$ 钢管散热的措施。用冷水循环散发混凝土内的水泥水化热,灌完混凝土后24h通水,测试混凝土温度和水温,调节控制好混凝土和水温温差 $\leq 15^{\circ}\text{C}$ 。混凝土养护到期后用膨胀水泥浆将钢管压住满,保证梁体密实。

(5) 混凝土的浇筑和养护。一是浇筑混凝土,层厚 $\leq 30\text{cm}$,浇筑速度不能过快,以利其热量的散发,保证温度均匀。二是要埋设测温孔加强混凝土浇筑后的测温工作。三是要覆盖浇水,要用纤维使吸水保湿材料,混凝土成型后3h开始覆盖浇水养护,每日浇水5~6次。在梁顶面采用蓄水法进行温度控制养护。四是注意调整白天和晚上温差。

(6) 拆模保护。混凝土达到时间拆模后要用塑料膜周围覆盖,防止风干散失温度和日光照射,影响养护。

4 结论

在施工中只要严格按照实施方案实施,加强温度检测,包括对原材料、混凝土拌和、入模和浇筑温度进行系统测试监控,有针对性进行调整养护温度,达到梁体无温差裂缝是一定能实现的,并能保证梁体质量的预期效果。该桥采用这一方法技术措施进行施工控制,建成后受到业主的好评,并于2001年11月通过竣工验收,质量被评为优良。