

QUANGUO GONGLU JIANSHE YU YANGHU YOUXIU LUNWENJI 2010NIAN

全国公路建设与养护

《《《 优秀论文集 (2010年)》》》

中国公路建设行业协会



人民交通出版社
China Communications Press

Quanguo Gonglu Jianshe yu Yanghu Youxiu Lunwenji(2010Nian)

全国公路建设与养护优秀论文集(2010 年)

中国公路建设行业协会

人民交通出版社

内 容 提 要

本论文集收录了2010年全国公路建设与养护领域75篇优秀论文,分公路施工、公路养护和公路管理三个方面,详细介绍了公路桥梁设计、施工、管理、养护的新技术和新工艺,反映了当前我国公路建设行业的最新技术和水平。

本书可供从事公路工程施工、管理、检测、养护等技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

全国公路建设与养护优秀论文集. 2010年/中国公路建设行业协会编. —北京:人民交通出版社, 2010. 10
ISBN 978-7-114-08709-7

I. ①全… II. ①中… III. ①道路工程—建设—中国—文集②公路养护—中国—文集 IV. ①
F542.3-53②U418.2-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第190636号
京朝工商广字第8042号(1-1)

书 名: 全国公路建设与养护优秀论文集(2010年)

著 作 者: 中国公路建设行业协会

责任编辑: 沈鸿雁 岑 瑜

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店、交通书店

印 刷: 北京市密东印刷有限公司

开 本: 889×1194 1/16

印 张: 22

字 数: 697 千

插 页: 4

版 次: 2010年10月 第1版

印 次: 2010年10月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-08709-7

定 价: 50.00 元

(如有印刷、装订质量问题,由本社负责调换)

前 言

在交通运输部领导下,全国公路建设行业深入贯彻落实科学发展观,紧紧围绕转变交通发展方式,坚持技术创新,实施标准化管理,不断提高公路建设与养护工程质量和安全水平,为促进公路建设与养护行业快速发展、高效发展、安全发展、绿色发展做出了新贡献。为了进一步促进公路建设与养护行业的技术创新,提高公路建设与养护行业的整体素质和创新能力,协会在全国公路建设与养护行业开展了论文征集活动。该项活动得到了公路建设与养护行业内主管部门、从业单位的大力支持和热烈响应,广大工程技术人员踊跃投稿。经协会组织专家对论文进行评审,评选出了一批优秀论文。这些优秀论文一并收录至本论文集,其体现了公路建设与养护行业坚持科学发展的坚定信念,展现了公路建设与养护行业技术创新的优秀成果,反映了公路建设与养护行业积极向上的精神风貌。

本论文集旨在为公路建设与养护单位和广大工程技术人员搭建一个平台,促进其技术交流和先进经验学习。与此同时,鼓励公路建设与养护行业的从业单位和工程技术人员继续贯彻落实科学发展观,坚持技术创新,提高自主创新能力。同时,协会希望公路建设与养护行业的从业单位和工程技术人员,继续在工程建设实践中总结先进的施工技术经验,加强科技创新和研发,不断提高公路工程质量。

本论文集有较强的创新性和实用性,对公路建设与养护具有很好的指导作用。本书可供从事公路建设与养护的工程技术人员和管理人员学习。在此,协会向优秀论文作者表示致谢!

中国公路建设行业协会
二〇一〇年九月二十六日

目 录

施 工 类

大跨径预应力混凝土连续梁桥合龙施工研究·····	刘方华 陆海军 刘美茂(3)
桥梁大体积混凝土温度场及温度应力的预测与裂缝控制·····	黄树榕 杨小波(7)
曲线斜拉桥异形塔优化施工技术 ·····	陈海龙(13)
高速铁路桥梁遮板预制工艺 ·····	王付芳(25)
城市老式拱桥加固方案的应用 ·····	刘征海(31)
桥梁加固的方法探讨 ·····	丁 涛(35)
高速公路跨水域桥梁排水收集系统方案设计 ·····	孙海滨(39)
悬臂现浇预应力混凝土箱梁连续刚构桥的施工监控方法 ·····	吕于平 娄晟嘉(42)
高寒地区斜拉桥上塔柱 160m 高空冬季施工技术 ·····	王海波 关荣才 陈彦君 姜英民(48)
漠北公路多年冻土钻孔桩施工技术 ·····	肖作明 马 勇 任建章(54)
唐山市古冶城区外环路石榴河 1 号桥空心板梁吊装施工 ·····	周 锦(56)
唐山市古冶城区外环路石榴河 1 号中桥嵌岩桩基础施工技术 ·····	方 麒(60)
大体积混凝土承台温度裂缝控制技术 ·····	王庆钢(63)
斜拉桥施工监控实施方案浅析 ·····	任 杰(66)
桥梁裂缝产生原因浅析 ·····	李方亮(70)
钢管混凝土拱桥线形控制技术 ·····	王海涛(75)
大跨径连续刚构桥高墩日照温差分析 ·····	宁 卉(79)
海上斜拉桥前支点挂篮快速整体吊装施工技术 ·····	尚力强(85)
冬季混凝土施工技术 ·····	郝亮亮(90)
预应力孔道摩阻检测试验与应用 ·····	张翠芹(93)
浅谈预应力钢丝在桥梁加固中的应用·····	卢国庆(101)
高压深孔原位固结灌浆技术在桩基溶洞处理中的应用·····	蔡高尚(105)
贵都高速芭茅冲特大桥主墩 0 号块托架设计与施工·····	张 何 万德林 侯兆隆(109)
贵都高速芭茅冲特大桥主墩关键施工技术简介·····	张 何 万德林 侯兆隆(112)
墩顶现浇段附着式悬臂支架设计及施工控制要点·····	吴瑞君(115)
人工挖孔灌注桩施工·····	张俊峰(120)
任家沟 1 号大跨度千枚岩隧道塌方处理技术·····	李长林 赵志华(125)
高寒地区山岭隧道防排水及保温施工·····	张 鹏 王 栋 史新春 吴 岩(129)
隧道卵石层塌方处理方案·····	肖雄杰(132)
RPD-150C 多功能快速钻机在鸡公岭隧道超前预报中的应用 ·····	黄 庆 谢海川 王永亮(135)

超前地质预报技术在复杂地质隧道施工中的应用	宋宏涛(139)
隧道内天然溶洞风源通风技术应用	揭庆芳 麦才飞(146)
鸡冠岭隧道施工工艺控制	张 何 万德林 宋晓磊(150)
长大隧道涌突水发生机理研究	谢正理 祁 鹏(153)
皖南山区红砂岩施工控制技术	钱叶琳 殷 铭(162)
论高速公路改扩建工程中的测量工作	张 虎 卜瑞娜 牛大勇(169)
浅谈以粉砂土为填筑材料的路基填筑施工工艺	李洪林 赵 兢 张学艳(173)
浅谈关于膨胀土路基施工	赵 兢 李洪林 任建章(175)
浅谈 GPS 在公路测量方面的应用	邓贵奇(178)
高原冻土区路基施工技术初探	朱江帆(182)
强夯法处理软土路基施工及试验检测分析	刘明攀(186)
探讨公路桥头跳车问题及其对策	施耀华(191)
浅谈柔性挡土墙在公路建设中的应用	叶明超 吴育田(196)
运用流态粉煤灰水泥混合料工艺解决高填方路基沉降	李 康(198)
2.36~4.75mm 材料对沥青混合料性能指标影响分析	王玉果 李 斌(202)
连续配筋混凝土路面在旧路改建工程中的应用	吴 豪 刘 华(212)
聚酯长丝烧毛土工布在高速公路复合式路面中的应用	陈 斌 张启斌 刘取纲 雷 荣 刘安刚 张咏梅(216)
公路桥头跳车的原因与防治	张 新(219)
大厚度($\geq 30\text{cm}$)水泥稳定土基层整体摊铺施工工艺简述	赵 兢 李洪林 任建章(224)
高等级路面超厚基层全幅一次性摊铺施工工艺	官福军 刘文彦(230)
高速公路沥青混凝土路面平整度施工控制	李卫华(234)
水泥混凝土路面滑模摊铺施工	张格利(237)
黄土地区水泥稳定细粒土底基层施工质量控制	库崇锋(246)
农村公路水泥混凝土路面的质量通病及防治	于 伟(249)
浅谈公路水泥稳定碎石基层裂缝成因及防治	张继锁 向 洁(252)
高寒地区聚酯纤维加强改性沥青混凝土桥面铺装施工工艺简述	李洪林 赵 兢 马 勇(255)
关于山区基层施工技术的探讨	杨 猛(261)

养 护 类

降低异型钢伸缩缝快速水泥修复的裂缝出现率	邓 锋(267)
高寒地区旧桥加固技术	陈 亮 朱晓明 赫荣久(274)
籽播草花管理	杨东旭(280)
微表处在甬金高速公路养护工程中的应用研究	马羽中(285)
公路养护工程中振捣式贫水泥混凝土基层施工探讨	张 健(290)
多项新技术新设备在京沈高速公路路面大修工程中的运用	朱从伟 潘玉红 王建丰(293)
沥青路面预防性养护技术的效益与成果探讨	俞立新(300)
浅谈山区公路养护	金 锋(303)
基于国内高速公路发展现状及形势,探索和构建新型的现代化综合养护体系	刘 棠(307)
浅谈加强道路养护作业队伍的管理	董晓稳(311)
北京市非公路标志设置管理研究	奚 静 范红霞(314)

管 理 类

施工企业应加快安全诚信文化建设	何金标(321)
-----------------	----------

公路设计新理念有关应用探讨.....	董春平(323)
运行速度在公路项目安全性评价中的应用.....	张建军(326)
天津高速公路建设发展方向研究.....	尚全利 宋晓磊(330)
GPS 控制网的平差计算	胡吉春 贾先通(334)
浅谈公路工程建设过程中的可预见性分析.....	王长盈 吴育田(339)
如何做好公路工程施工企业投标工作.....	吴育田(341)

施 工 类

大跨径预应力混凝土连续梁桥合龙施工研究

刘方华 陆海军 刘美茂

(中交集团第一公路工程局有限公司 北京 100024)

摘要:本文主要分析了大跨径预应力混凝土连续梁桥底板开裂的原因,同时以秦淮河特大桥为依托,对大跨径预应力混凝土连续梁桥合龙施工进行了研究,提出了一些保证桥梁预应力度和避免箱梁底板开裂的方法和措施。

关键词:预应力混凝土 底板开裂 中跨合龙

连续梁桥结构体系具有变形小,结构刚度好,伸缩缝少,行车平顺舒适,养护简单,抗震能力强等优点。悬臂浇筑预应力混凝土连续梁桥采用无支架施工方法,有利于在通航河流、深山峡谷和城市立交等地方建桥。目前,悬臂浇筑预应力混凝土连续梁桥得到迅速发展,并成为当代桥梁建筑中最基本的桥型之一。

预应力混凝土梁桥通过纵向预应力筋来提供混凝土主梁各截面的预压应力,以保证各个截面的强度储备。一方面,为保证桥梁结构强度和耐久性,避免因预应力度不足而导致桥梁跨中下挠现象的发生,设计方一般需按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)(以下简称《桥规》)进行预应力筋配置,另一方面,由于预应力度偏大,加之设计构造及施工方面的缺陷,合龙束张拉后,箱梁底板即出现开裂;或者施工时无明显开裂现象,但底板内部已出现细微裂缝,待桥梁运营一段时间,底板开裂便表现出来。底板开裂现象随时间发展愈加严重,底板开裂越严重,桥梁预应力损失越大,如不采取有效措施,跨中下挠便随之发展,轻则影响桥梁的耐久性,重则导致桥梁承载能力下降,甚至危及桥梁的安全。本文以秦淮河特大桥施工为依托,对大跨径预应力混凝土连续梁桥合龙施工进行了研究,提出了一些保证桥梁预应力度和避免箱梁底板开裂的方法和措施。

1 工程概况

秦淮河特大桥是南京绕城高速公路东南段的一座特大型桥梁,桥梁全长 1 765.315m。主桥上部结构为三跨变截面预应力混凝土连续箱梁,主跨 112m,两边跨均为 64m,采用挂篮悬臂浇筑法施工(图 1 为秦淮河特大桥主桥立面图)。主桥箱梁采用单箱单室断面,主墩顶梁高 6.384m,跨中截面梁高 2.584m,梁高沿跨径方向按 1.5 次抛物线变化。箱梁顶板宽 16.75m,底板宽 8.35m,翼缘板悬臂长 4.2m。箱梁半主跨共分 17 个块段,边跨共分 18 个块段(其中 0~16 号块与主跨划分一致)。主墩顶 6m 为 0 号块,1 号块长 3m,0 号、1 号块共长 12m,采用支架现浇;2~8 号块长 3m,9~15 号块长 4m,为悬浇块段;16 号块为合龙段,长 2m;边跨 17 号块为支架现浇段,长 6.9m。

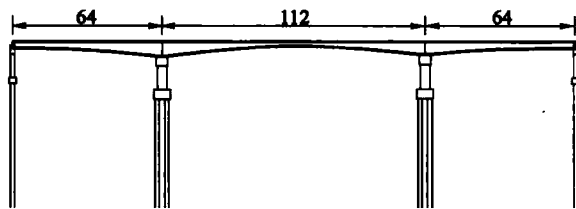


图1 秦淮河特大桥主桥立面图(尺寸单位:m)

2 中跨合龙底板开裂的原因分析

近年来,宁淮高速公路马叉河桥、沪宁扩建京杭运河桥等桥梁,中跨合龙过程中或合龙后出现了底板开裂事故。不少桥梁界专家对此进行了分析,提出了相应的观点。

2.1 设计成桥状态下应力与施工状态下应力的差异

中跨合龙预应力束张拉后,底板出现开裂,说明底板合龙束预应力度“偏大”。但从设计的角度讲,设计

方必须按设计规范足额进行预应力筋配置。根据《桥规》6.1.2条款之规定,大跨径(跨径大于100m)预应力混凝土梁桥一般按全预应力混凝土构件设计,此类构件在荷载短期效应组合下控制的正截面的受拉边缘不允许出现拉应力。在成桥状态下,在持久状况正常使用极限状态下,要求桥梁仍有一定的压应力储备,则在施工状态下,在二期恒载和车辆荷载未施加的情况下,中跨合龙预应力束张拉后,底板的压应力更大。

2.2 混凝土泊松比影响

混凝土泊松比 ν 为0.15左右。对混凝土施加预应力时,在其内部必然会产生0.15倍左右的拉力,但混凝土的轴心抗拉强度远低于其轴心抗压强度(以C55混凝土为例,轴心抗压强度设计值为24.4MPa、轴心抗拉强度设计值仅为1.89MPa),一旦预应力引起的混凝土内部拉应力超过一定极限,必然导致其开裂。某事故桥梁应力监控得到的压应力值为15.8MPa,按0.15倍的比例关系推算,底板拉应力已达到2.37MPa。另外在混凝土施工过程中,不可避免会产生离析和梁体材质不均(底板合龙预应力束孔道之间间距较小,加之钢筋密集,混凝土粗集料不易进入)等问题,势必会进一步削弱混凝土的抗拉能力。

2.3 底板线形影响

实际施工时,由于施工工艺的限制,梁底不再是理论上的“曲面”,而是“连续折面”。以本桥为例,中跨合龙预应力束达18束,每束25根钢绞线,经计算单个折点处的径向分力达50.3kN。这对于横向跨径达8.35m、最小厚度仅为32cm的底板来讲,是一个很大的负担。

2.4 波纹管挖空影响

以本桥为例,中跨合龙预应力束孔道间距为25cm,波纹管管径12cm,预应力孔道密集区波纹管挖空率达14%,势必会削弱混凝土的整体受力。

2.5 底板受力分析

箱梁底板可以看成是无数的“横梁组合”,以承担中跨合龙预应力束的径向分力。结构形式是两端固结的超静定梁,波纹管大部分处于梁端的负弯矩区,单侧可视为悬臂结构,顶层钢筋受拉,但预应力束径向分力的作用点在顶层钢筋之下,若钢筋与混凝土缺乏牢靠的约束,也是底板开裂的一个原因。

2.6 底板构造措施不完善

设计单位理论功底一般比较深厚,但施工经验相对缺乏,没有综合考虑施工误差和工艺水平,以及运营和养护的实际情况。另外,他们从施工单位得到的反馈信息可能是片面的(对于已施工的桥梁,有些可能有问题,但设计单位往往得不到这些信息)。设计方按《桥规》进行预应力筋配置没有错,但他们往往对桥梁建造实施过程的重视程度不够,具体表现在很多桥梁施工图中底板构造措施不完善。事实上,在桥梁施工中,只有每个部位构造措施恰当,才能保证成桥状态满足最终的设计要求。

以本桥为例,图纸中对底板架立钢筋没有作具体的要求。为防止底板开裂,底板上下两层横向钢筋必须有可靠的联系,形成整体,这可以通过对架立钢筋进行有效的处理来实现。此外,在跨中附近,相邻块段之间折点处径向分力较大,但施工图中对此没有特别的构造措施进行规避。

2.7 施工步骤、方法欠妥

以本桥为例,中跨合龙预应力束达18束,每束25根钢绞线,单束张拉吨位近500t。在施工之前如不经过仔细分析研究,选用合适的张拉顺序,一气呵成地进行张拉,则很容易出现事故。

3 中跨合龙施工措施和方法

基于上述中跨合龙底板开裂的原因分析,本项目部提早准备,提前谋划,为防止中跨合龙底板开裂采取了一系列措施和方法。

3.1 细化底板构造措施

为了减小中跨合龙预应力束张拉后底板开裂的风险,本项目部多次组织召开专家会议,寻求合理的解决办法。专家们提出了宝贵的意见,建议设计院在中跨12号块与13号块,13号块与14号块,14号块与15号

块相接的地方设置防崩肋梁。设计院按此要求进行了设计变更。

除此之外,设计院根据本项目部的建议,对部分设计作了如下修改:

(1)中跨底板从6号块以后的架力筋由原设计的 $\Phi 12$ 钢筋变更为 $\Phi 16$ 钢筋,架力筋设置 45° 弯钩,钩住最上层和最下层的横向钢筋,架立钢筋不仅起到支撑作用,还将抵抗泊松比带来的混凝土内部拉应力,增强钢筋与混凝土之间的约束,增强了底板整体抗开裂性能。

(2)中跨合龙段横隔板1号钢筋调整其位置,使其布置在预应力束周围,而不是按照原设计均匀布置,并且在1号筋底部增加两根通长的 $\Phi 28$ 钢筋,增加了底部钢筋的受力性能。

(3)细化防崩钢筋的布置,增加防崩钢筋的数量。

3.2 优化预应力束张拉顺序

合龙段、防崩肋梁混凝土强度达到设计强度100%后,进行中跨合龙预应力束张拉。张拉分三批进行(图2为中跨合龙张拉顺序图):第一批为Z9、Z3、D3、Z2;第二批为Z8、Z5、D2、Z1;第三批为Z7、Z6、D1、Z4。为减小波纹管挖空对底板混凝土承压能力的影响,中跨合龙束压浆也分三批进行,每批预应力束张拉完毕及时进行压浆,间隔时间超过7d后,方可进行下一批预应力束张拉。最后一批预应力束张拉时适当延长每束张拉的持续时间,且非对称的束与束之间的时间间隔不少于12h。每束预应力张拉到50%、100%时,均会同监控单位进行一次混凝土应力测读,对照比较实测值与理论值。如发现混凝土应力读数接近临界值,则立即停止张拉,分析原因,及时向业内专家咨询,以便及时进行有效的处理。

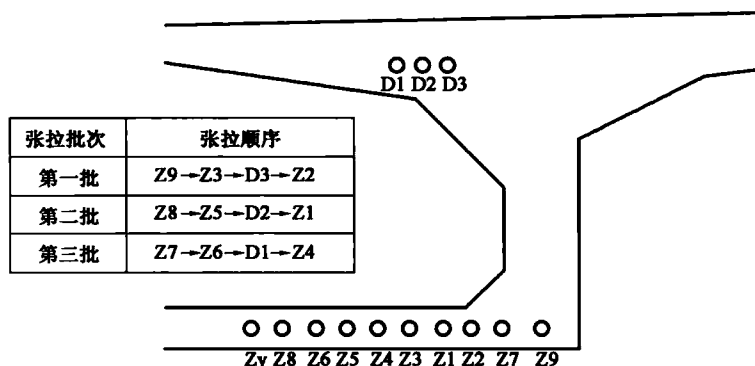


图2 中跨合龙张拉顺序图

4 中跨合龙施工过程简述

为防范主桥中跨底板开裂风险,2009年4月27日,业主、监理、监控、设计和施工各方一起召开了秦淮河特大桥中跨合龙预应力束张拉会,会上设计方同意并优化了上述中跨底板合龙预应力束分批张拉、分批压浆的施工工序。

2009年5月15日,完成了左幅第二批张拉压浆工作后,监控单位一直进行应力监控测读。由于底板局部拉应力一直维持在2.5MPa左右,如直接进行第三批张拉,则底板局部拉应力极容易超限,导致底板开裂。相关各方于6月12日开会研究,一致决定待混凝土桥面铺装、护栏等二期恒载施工结束再进行第三批合龙束张拉。主桥二期恒载施工于10月结束,监控方测得底板局部拉应力为0.3MPa左右,应力很小,可以进行第三批张拉。第三批合龙束张拉、压浆结束,通过对底板应力监控和桥面高程测量分析,该桥各项性能指标满足设计和规范要求,中跨合龙施工控制取得了圆满成功。

5 结语

近年来,大跨径预应力混凝土连续梁桥跨中下挠和底板开裂的现象相当多,严重威胁着桥梁结构的安全运营。为了从根本上杜绝上述问题,从设计角度讲,必须保证桥梁有足够的预应力度,同时要提出实现足够

预应力度度的构造措施。由于连续的混凝土结构存在次内力的再分配问题,施工过程中影响因素又非常多,在裂缝出现后要准确找出原因很困难,所以,在设计时首先应该合理地确定中、边跨比,注重主拉应力在正确的施工工序状态下的验算,适当增加箍筋配置等。从施工角度讲,要严格按图施工,做好各种构造措施,防止底板开裂,同时要狠抓预应力施工的质量控制。

参 考 文 献

- [1] 张开银,殷亮,惠国旺. 大跨径预应力混凝土连续梁桥纵向预应力筋优化布置研究. 公路,2009 年. 第 2 期.
- [2] 张继尧,王昌将. 悬臂浇筑预应力混凝土连续梁桥. 北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 中华人民共和国行业标准. JTG D62—2004 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范. 北京:人民交通出版社,2004.

桥梁大体积混凝土温度场及温度应力的预测与裂缝控制

黄树榕 杨小波

(中交集团第一公路工程局厦门工程处 厦门 361000)

摘 要: 本文通过对承台大体积混凝土在施工前期的温度场与温度应力进行仿真分析, 计算了大体积混凝土内部温度场及仿真应力场, 从而在施工过程中采取了相应的温控措施, 并对实测结果与分析计算结果进行了对比分析, 表明该温控措施有效地控制了混凝土的最高温升和内外温差, 取得了预防及控制温度裂缝的成功经验, 对类似工程具有一定的借鉴作用。

关键词: 大体积混凝土 温度场 温度应力 仿真分析 预测及控制

1 工程概况

甬江特大桥是浙江省宁波市在建的国道主干线——宁波绕城公路东段的一座特大型桥梁, 桥梁全长 1.478km。全桥设双塔, 塔高 141.5m, 主桥为钢—混凝土叠合梁双菱形联塔四索面半漂浮体系斜拉桥, 主跨 468m, 索塔基础为 66 根直径 2.2m 的大直径钻孔灌注桩, 钻孔深度约 130m, 入岩深度约 15m, 实体钢筋混凝土承台, 索塔承台尺寸为 62m×33.0m×5.5m(厚), C35 海工耐久性混凝土, 单个承台混凝土工程量为 11 253m³ 属大体积混凝土。

2 温度场的理论模型

2.1 温度应力计算^[1]

$$\sigma = -\frac{E_{(\tau)} \cdot \alpha \cdot \Delta T}{1 - \mu} S_{h(\tau)} \cdot R_K$$

式中: σ ——混凝土的温度(包括收缩)应力(MPa), 当为负值时, 混凝土受压;

$E_{(\tau)}$ ——混凝土 τ 时的弹性模量(MPa);

α ——混凝土的线膨胀系数, 取为 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$;

ΔT ——混凝土的最大综合温差;

$S_{h(\tau)}$ ——考虑徐变影响的松弛系数;

R_K ——混凝土的外约束系数;

μ ——混凝土的泊松比, 取为 0.15。

根据上式可算出混凝土浇注物体内的平均温度应力。将其与混凝土各年期的抗压与抗拉强度进行比较可判断混凝土内是否会产生贯穿性裂纹, 并据此进行温度控制。

2.2 热传导方程^[2]

根据热传导理论, 三维非稳态导热微分方程为:

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (1)$$

式中: a ——导温系数, 按 $a = \lambda / c\rho$ 计算;

T ——温度;

θ ——绝热温升;

λ ——导热系数;

τ ——时间;

c, ρ ——分别为混凝土比热、重度。

热传导方程建立了问题的温度与时间、空间的关系,但满足热传导方程的解有无限多,为了确定需要的温度场,还必须知道初始条件和边界条件。由此,可计算出混凝土内部瞬态温度场 $T(x, y, z, t)$ 。

2.3 初始条件和边界条件^[2]

初始条件为在初始瞬时物体内部的温度分布规律,边界条件为混凝土表面与周围介质(如空气或水)之间温度相互作用的规律,初始条件和边界条件合称边值条件。在混凝土浇筑温度计算过程中,初始温度即为浇筑时的混凝土温度。

在混凝土建筑物中,广泛适用的是第三类边界条件,即当混凝土与空气接触时,表面热流量与混凝土表面温度 T 与气温 T_a 之差成正比,即:

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = \beta(T_a - T) \quad (2)$$

式中: β ——表面放热系数。

3 温度控制的关键点

- (1)浇筑温度的控制;
- (2)冷却水管通水的及时、稳定和持续;
- (3)早龄期内表温差的控制;
- (4)混凝土的持续养护。

4 混凝土的温度特性及温控措施

4.1 配合比优化设计

本工程采用 42.5 级普通硅酸盐水泥配置 C35 泵送混凝土,为提高混凝土的抗裂性,对 C35 承台已确定的混凝土配合比参数,进行粉煤灰、矿渣粉不同掺量的混凝土配合比的优化及 7d 的水化热试验,确定基准配合比及其水化热值见表 1。测得该混凝土的物理、热性能参数见表 2。

C35 承台混凝土配合比

表 1

组成材料(kg/m ³)							水化热值(J/g)			抗压强度(MPa)		
水泥	粉煤灰	矿渣粉	砂	碎石	水	KDSP(%)	1d	3d	7d	7d	28d	56d
166	166	83	693	1 083	145	1.1	60	209	268	33.7	44.6	50.8

注:绝热温升根据水化热试验估算。

C35 混凝土物理、热性能参数

表 2

物理特征	材料参数取值	物理特征	材料参数取值
弹模增长指数	0.17	比热(kJ/kg·℃)	1.1
最终弹模(MPa)	3.8×10^4	混凝土绝热温升(℃)	36.4
热胀系数(1/℃)	8.1×10^{-6}		

4.2 温控措施

4.2.1 混凝土外部保水保温养护

混凝土入模温度控制小于 15℃;混凝土初凝后,在其顶面覆盖土工布和塑料薄膜保水养生,并在塑料薄膜上覆盖两层土工布及一层彩条布保温;施工时在承台与围堰之间覆盖土工布,形成临时保温棚保温;同时,将冷却水管排出的温水灌入其间,保温效果良好;当其内部断面均温与环境温度之差小于 20℃方可拆模,拆除模板后,及时用海沙回填间隙,进行自然保温。

4.2.2 混凝土的内部降温

混凝土内部降温主要采取冷却水管通水的方式进行,承台埋设六层冷却水管,水管水平和垂直间距为 0.8m,冷却水管内径 40mm。通水时间从冷却水管被混凝土覆盖后逐层开始,冷却水温不宜高于 30℃。升温时段通水流量应使流速达到 0.65m/s 以上,流量应大于 45L/min,形成紊流;降温时段,可通过水阀控制减缓通水,流速减半,使水流以层流状态冷却混凝土;至 3d 左右混凝土内部温度达到峰值,出水口水温可达 18℃~20℃,通水流量应逐渐降低,直至出水口水温与进水口水温基本一致为止。

5 温控的仿真分析

5.1 模型及边界处理

(1)根据甬江特大桥承台的结构对称性,取 1/4 模型进行有限元剖分计算。承台计算网格剖分图见图 1。

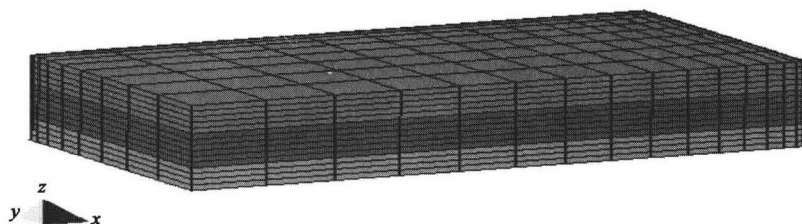


图 1 承台 1/4 网格剖分图(附带等效约束基础)

(2)混凝土物理热学参数取值见表 2,绝热温升值 36.4℃,浇筑温度 27℃,混凝土导热系数估算为 206.35kJ/(m·d·℃)。

(3)承台混凝土受 66 根 $\Phi 2.2$ m 的钻孔灌注桩和封底混凝土约束,估算基础弹性模量为 3.0×10^4 MPa。

(4)计算时考虑混凝土施工边界条件,承台侧面处于地面线以下,风速较小,参考气候资料,平均风速按 5m/s 考虑。顶面考虑覆盖塑料薄膜加土工布保温保湿。经热工计算侧面等效散热系数为 1268kJ/(m²·d·℃),顶面等效散热系数 985kJ/(m²·d·℃)。

(5)计算时考虑冷却水管降温效果。承台共布设六层冷却水管,冷却水管水平和垂直间距按 0.8m 考虑。

(6)计算时考虑徐变对混凝土应力的影响,混凝土的徐变取值按经验数值模型^[3]:

$$C(t, \tau) = \left(C_0 + \frac{A_1}{\tau} \right) [1 - e^{-k(1-\tau)}] = C(\tau) [1 - e^{-k(1-\tau)}] \quad (3)$$

式中: $C(t, \tau)$ ——徐变度(1/MPa);

t ——混凝土龄期(d);

τ ——徐变加荷龄期(d)。

5.2 仿真计算

按施工顺序,大桥承台分两次浇筑,通过计算可得出每一时刻各部位的温度和各方向上的应力。根据计算所得,第 1 层混凝土浇筑后温升峰值时刻的温度分布包络图见图 2,承台第一层内部最高温度为 61.1℃,第二层内部最高温度为 61.0℃,温峰出现时间为 2~3d 龄期。承台温度应力计算结果见表 3。

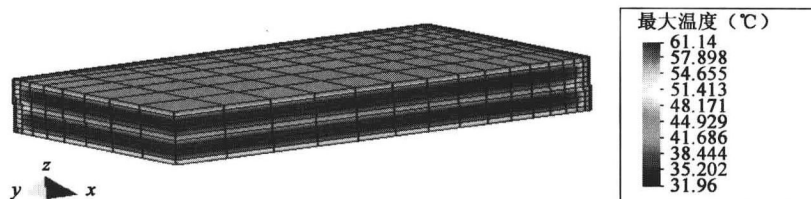


图 2 承台最高温度包络图

结合表 3 温度应力结果、表 1 中 C35 混凝土抗拉强度可知,承台温度应力危险点主要是在早期,早期安全系数相对较小。同时通过理论计算分析表明,在承台施工及养护期间,混凝土内部及表面的拉应力均未超过相应龄期混凝土的抗拉强度,承台不会产生裂缝。

承台温度应力场结果

表 3

龄 期	3d	7d	28d	1 年
承台第一层	1.19	1.13	2.10	2.18
承台第二层	1.12	1.06	1.45	1.36
最小安全系数	1.18	1.86	1.52	1.48

5.3 温控指标

- (1)混凝土内外温差控制在 25°C 之内;
- (2)混凝土表面与外界空气最低温度之差小于 20°C ;
- (3)控制其温度梯度(即混凝土降温速率)不宜大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{d}$;
- (4)承台混凝土内部最高温度控制不超过 62°C 。

6 承台监测成果及分析

为了解承台混凝土内部温度分布规律,同时给温控施工提供可靠的数据,根据承台的结构特点,在承台共布设 4 层测温点共计 60 个。承台测温点布置示意图见下图 3。

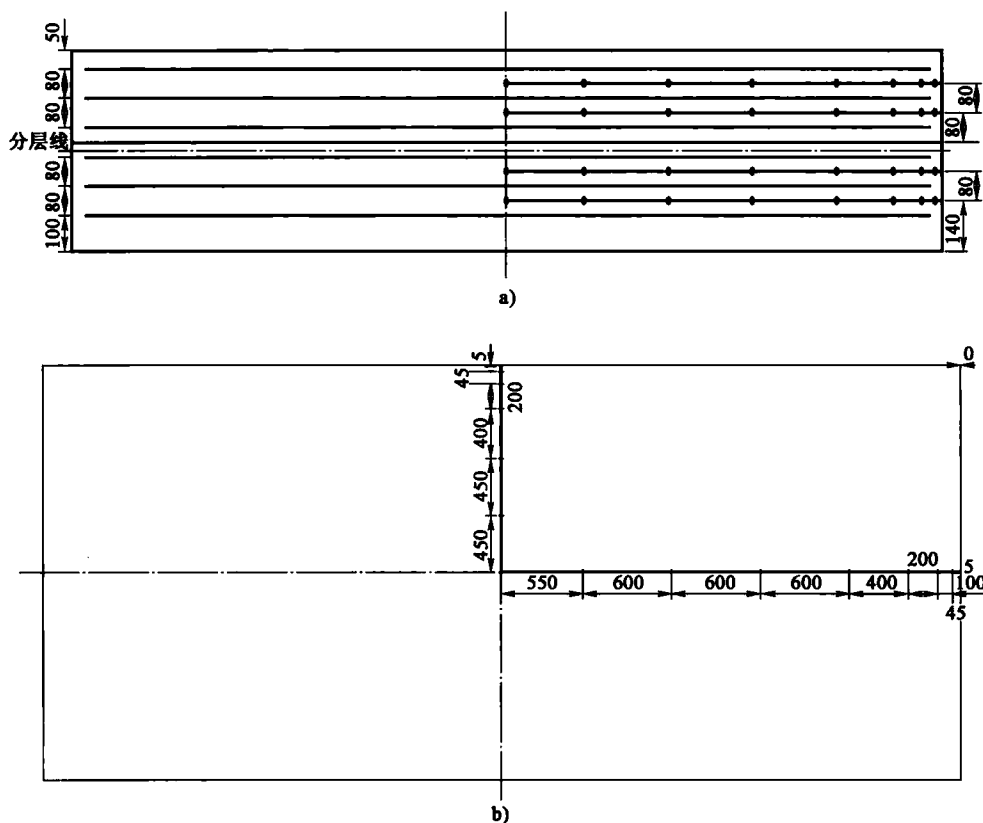


图 3 承台测温点布置示意图(单位:cm)

a)承台测温点立面布置示意图;b)承台测温点平面布置示意图

6.1 承台监测成果

承台各层温度变化趋势曲线大致相同,见图 4(仅示出第二层的温度变化趋势曲线)。承台大体积混凝土温控测试结果汇总见表 4。