

钢管混凝土拱桥温度效应研究

Research on Temperature Effect on Steel Tube Concrete Arch Bridge

林春姣¹, 郑皆连², 秦 荣¹

LIN Chun-jiao¹, ZHENG Jie-lian², QIN Rong¹

(1. 广西大学土木建筑工程学院, 广西南宁 530004; 2. 广西交通厅, 广西南宁 530012)

(1. College of Civil and Architecture Engineering, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Communications Department, Nanning, Guangxi, 530012, China)

摘要: 总结分析当前钢管混凝土拱桥温度效应的研究意义及主要研究成果, 对于钢管混凝土拱桥温度效应进一步的研究, 建议应注意基准温度的简单定量、复杂条件下的拱肋截面温度场、各种截面形式的拱肋温度和体系非线性温差等几个方面的问题。

关键词: 拱桥 温度效应 钢管混凝土

中图分类号: U448.22; U441.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2007)03-0172-03

Abstract: Summarizing and analyzing the key achievement and the significance of the current research on temperature effect on steel tube concrete arch bridge, the paper points out that a further relevant study should be undertaken, and attention should be paid to the respects such as simple quantum of base temperature, arch rib temperature field under complicated conditions, arch rib temperature of various styles for truss members and the nonlinearity temperature difference of the system etc.

Key words: arch bridge, temperature effect, steel tube concrete

温度作用使得桥梁结构产生温度应力, 对于超静定结构, 温度作用还将使桥梁产生温度内力。因此, 超静定结构的钢管混凝土拱桥受温度的影响很大。自 20 世纪 50 年代起, 国内外学者就已经认识到温度应力对桥梁结构的重要性。在国外, 最早研究温度应力问题的是德国的 Fritz Leonhardt, 他在其论著《太阳辐射对桥梁结构的影响》中系统地分析了各种气象因素对混凝土桥梁结构各部分表面温度的影响。我国 1985 年颁布的《铁路桥涵设计规范》TBJ2-85 和 1989 年颁布的《公路桥涵设计规范》JTJ-89 对桥梁结构的温度影响都作了具体规定。2004 年 10 月, 我国交通部颁布新的公路桥涵设计规范, 对桥梁受温度作用的规定进行了进一步完善; 对计算桥梁结构因均匀温度作用引起外加变形或约束变形时, 应从受到约束时的结构温度开始, 考虑最高和最低有效温度的作用效应; 对计算由于梯度温度引起

的效应时, 规定了桥梁的竖向温度梯度曲线^[1,2]。

近年来我国的钢管混凝土拱桥建设发展迅速, 发展在国际上处于领先地位, 相应的理论研究也取得了不少成果。相比之下, 国外修建的钢管混凝土拱桥数量很少, 相关的理论研究报道也不多。温度问题作为钢管混凝土拱桥的一个重要内容已经受到重视, 但是关于钢管混凝土温度效应方面的研究才刚刚起步, 大量对桥梁结构的温度特性和温度场研究的各种国内外文献中, 其研究对象基本上都是钢筋混凝土、预应力混凝土和钢结构箱形截面桥梁, 对钢管混凝土拱桥温度效应进行的研究少之又少。在国内, 有学者分别对钢管混凝土构件进行过温度问题的试验和理论研究^[3~9]。其中, 陈宝春等^[3~6]进行了一组 3 根直径 $\phi 550\text{mm}$, 长 1.5m 的圆钢管混凝土构件温度场实测研究, 试验进行了从空钢管、浇筑混凝土、混凝土中水化热放热到形成钢管混凝土构件的整个过程共 44d, 测试了环境温度和水泥水化热共同影响下的截面温度场变化情况。冯斌^[7]进行 4 根不同直径和边长圆形及方钢管混凝土构件的水化热温度场试验, 研究管内混凝土水化热计算模型; 范丙

收稿日期: 2007-03-05

作者简介: 林春姣(1971-), 女, 讲师, 博士研究生, 主要从事桥梁结构研究。

臣^[8]对依兰牡丹江大桥进行了模型试验及2根足尺寸构件的温度场观测,研究在环境温度、太阳辐射等作用下的钢管混凝土构件截面温度场分布规律。在国外报道中,至今尚未见有关于钢管混凝土温度效应方面的文献。本文综述目前钢管混凝土拱桥温度效应的研究进展,并对进一步的研究提出一些建议。

1 钢管混凝土拱桥温度效应的研究意义

钢管混凝土结构在我国首先应用在工业与民用建筑上,1990年之后才在桥梁方面得到应用并快速发展起来。目前关于钢管混凝土结构温度效应的研究大多是针对建筑上受火灾高温作用的情况进行的,对钢管混凝土拱桥温度效应进行的研究则相对要少,桥梁规范中有关温度作用的规定也是针对钢结构、钢筋混凝土和预应力混凝土桥梁的,并没有关于钢管混凝土拱桥温度方面的条文。国内已经建成的部分钢管混凝土拱桥在考虑温度效应时,有以下处理方法^[3,4]:一是以空钢管合龙温度作为钢管混凝土拱桥的基准温度;或者是在寒冷的地区按照温升 20°C ,温降 20°C 的温度作用进行取值计算,在南方气候温和地区,则按照温升 $15\sim 18^{\circ}\text{C}$,温降 $12\sim 15^{\circ}\text{C}$ 的温度作用计算。这些方法大多参照钢结构或者普通混凝土桥梁进行,用于钢管混凝土拱桥还需要更充分的理论支持。

温度对混凝土的性能有着一定的影响:在早期,温度加速水泥颗粒的水化过程,排除水泥石中的多余水分,使水泥颗粒紧密粘结,从而提高混凝土的强度;另一方面,由于温度升高,使骨料和水泥石间产生内应力,发生和发展了微裂缝,由此降低混凝土的强度。对普通混凝土而言,不利影响超过了有利影响。对于钢管混凝土来说,由于钢管约束着混凝土,能起到阻碍微裂缝的产生和发展的作用。因此从材料性能方面,钢管混凝土材料的温度效应与普通钢筋混凝土有所不同。

成桥后的钢管混凝土拱桥,由于结构整体升降温而产生的温度内力,可以采用结构力学的方法进行计算求解,但如何确定温度变化值则需要进行相关的试验和理论分析。在施工阶段,钢管混凝土拱桥一般采用自架设方法施工,施工过程中最主要的两个问题——线形和应力的控制受温度的影响很大,而且钢管混凝土拱肋存在两次合龙(分别是空钢管的合龙和混凝土的合龙),管内混凝土水泥热等因素都将影响钢管混凝土拱肋的温度特性。此外,由于组成钢管混凝土的两种材料的热工性能如比热、线胀

系数和热传递系数都不同,当周围环境温度或构件自身热量发生变化时,结构内部产生的效应也不同于一种材料组成的结构。因此,在目前大量修建钢管混凝土拱桥的情况下,研究钢管混凝土拱桥的温度效应,对于完善桥梁的设计、施工理论、以及将来的维护加固都有很重要的意义。

2 钢管混凝土拱桥温度效应的研究成果

2.1 钢管混凝土拱桥基准温度(计算合龙温度)的确定

超静定结构桥梁的温度内力是结构内力的一个重要部分,确定桥梁结构的基准温度是温度内力计算的关键问题。对于钢筋混凝土桥梁和预应力混凝土桥梁,可以直接以主梁或主拱圈合龙时的大气温度作为基准温度(即合龙温度)。钢管混凝土拱桥大多为超静定结构,其温度内力的计算大体上与普通混凝土结构是相同的。但是钢管混凝土拱桥一般采用自架设方法施工,其拱肋的成型与其它桥型不同,需要经过空钢管的合龙、混凝土的合龙、混凝土硬化等阶段。当混凝土与钢管形成钢管混凝土结构时,在钢管混凝土拱肋中已经累积了温度应力,而成型后的钢管混凝土结构才是承担温度内力的结构。因而钢管混凝土拱桥结构基准温度的确定,是进行温度效应分析需要解决的问题。

陈宝春教授^[3,4]认为,钢管混凝土拱桥不存在实际合龙温度。为了与普通混凝土桥梁合龙温度相对应,他提出了计算合龙温度的定义,并指出进行温度内力计算时的基准温度应采用计算合龙温度。所谓计算合龙温度,是指以管内混凝土形成强度时截面的平均温度和此时对应的截面温度内力,反算截面内力为零时所得到的温度值。计算合龙温度的主要影响因素包括钢管管径大小、管内混凝土浇筑后一个月内的平均气温、混凝土中水泥用量、空钢管合龙温度及混凝土入仓温度等。陈宝春教授建议,在考虑温降计算时,取月平均温度加上 $4\sim 5^{\circ}\text{C}$ 作为计算合龙温度;在计算温升时则以月平均温度作为计算合龙温度。

范丙臣^[8]对钢管混凝土拱桥的基准温度取值也提出了建议(作者将钢管混凝土拱桥的基准温度也称为合龙温度,未采用计算合龙温度的定义);进行升温计算时,采用浇筑混凝土时10d内的平均日气温减去 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$,进行降温计算时采用浇筑混凝土时10d内平均日气温加上 $3\sim 5^{\circ}\text{C}$,如期间日气温变化不大,可以取浇筑混凝土时10d内的平均日气温值。

上述对钢管混凝土拱桥温度特性的研究取得了一定的成果,其中钢管混凝土拱桥计算合龙温度这一概念的提出,对以后的同类研究具有实际意义。然而由于条件所限,上述二者关于如何确定钢管混凝土拱桥基准温度的论述仅局限于定性范围,要得到定量的取值,还需要更多的试验数据才能确定。

2.2 钢管混凝土拱肋的截面温差及温差应力

桥梁结构一般存在两种温差,一是上述的桥梁整体受外界影响的整体性温差,另一种则是桥梁主要承重构件如主梁或主拱圈(拱肋)截面上的温差。钢管混凝土拱肋截面的温差及温差应力是钢管混凝土拱桥温度效应的另一个关键内容。

钢管混凝土拱肋成型期间与成型后的截面温差有所不同。一般钢管混凝土拱桥的拱肋截面尺寸较大,在拱肋成型期间,由于混凝土的水泥水化作用将释放热量,同时由于组成钢管混凝土的两种材料的热工性能如比热、线胀系数和热传导系数不同,因此,拱肋截面的温度场与大气温度会有一定的差距;在拱肋成型之后,日照作用下拱肋截面可能产生不均匀的温度分布,因而导致产生不均匀的温度应力。

陈宝春等^[3-6]经试验得出:浇筑混凝土之前的空钢管温度与大气温度基本同步变化,但在有日照时钢管温度略高于大气温度;浇筑混凝土后,构件截面温度场受水泥水化热影响,呈现出内高外低的规律,且整体高于大气温度;混凝土浇筑20d以后,水泥水化热的影响已经基本消失,钢管混凝土的温度场只与大气的温度变化有关,钢管混凝土构件温度场相对于大气温度明显滞后,大气温度的变化幅度远大于钢管混凝土构件温度场的变化幅度。范丙臣^[8]认为:成型后的钢管混凝土构件中,核心混凝土的温度变化规律明显滞后于钢管表面温度的变化,钢管表面温度则与环境温度的变化规律基本相同;在太阳辐射下,构件截面温度场分布相对几何中心不对称,向阳一面温度较高,向阳面与背阴面最大温差可达11℃;钢管向阳面温度变化较大,背阴面与核心混凝土的温度变化较小;并通过回归分析得到钢管混凝土构件向阳面温度值的简化经验公式。

冯斌^[7]通过试验得出:钢管混凝土构件浇筑管内混凝土之后的水泥水化阶段,试件截面各点的温度都是先下降然后持续上升达到峰值,接着急剧下跌直至趋近于室内大气温度;在浇筑完混凝土的初期,钢管混凝土试件截面温度场分布呈现出内高外低的规律,截面中心和外缘的温差随截面尺寸的增大而增大,构件截面温度明显高于大气温度,两者的

温差随截面的增大而增大;钢管混凝土试件截面温度的峰值及峰值区宽度随截面尺寸的增大而增大;水泥水化阶段,钢管混凝土构件的温度场分布实测值与双曲线式模型计算值最为吻合。

关于钢管混凝土构件的截面温度场的研究成果,为分析钢管混凝土拱肋实际工作提供了理论依据。但是钢管混凝土拱肋截面温差和温差应力仍有很多问题需要进一步研究,如钢管管径对截面温差影响,环境温度和太阳辐射共同作用下的钢管混凝土拱肋水化热温度场和温度应力等等问题的定量描述,尚未有研究成果。此外,其它截面形式钢管混凝土拱肋(如哑铃形截面)的温度场分布和温度应力方面也未见研究成果。

2.3 钢管混凝土拱桥体系非线性温差

体系非线性温差是指环境温度和太阳辐射等因素的影响下,桥梁各结构部分之间存在的温度差异,也称为瞬时结构空间温度场。钢管混凝土拱桥大多为中下承式拱桥,在环境温度和太阳辐射的共同影响下,其各个部分将存在较大的时刻温差。这种体系温差对钢管混凝土拱桥的内力、挠度有较大影响,针对具体情况应进行考虑。但是目前关于这方面的研究很少,只有文献^[8]对此进行过一定的分析。

3 钢管混凝土拱桥温度效应进一步研究的建议

钢管混凝土拱桥在我国虽然得到了很大的发展,但毕竟是一种新型桥梁,尚有许多相关问题仍在研究之中。目前,我国桥梁规范中还没有关于钢管混凝土拱桥温度效应方面的规范条文,设计计算中大多参照钢筋混凝土拱桥和钢结构桥梁进行,钢管混凝土拱桥的温度问题急需进一步研究。

3.1 基准温度的简单定量研究

普通混凝土桥梁和钢结构桥梁直接以主梁或主拱圈合龙时的大气温度作为基准温度(即合龙温度),因此使用十分方便。钢管混凝土拱桥以空钢管合龙温度作为拱肋基准温度并不适合,而上述的所谓计算合龙温度的确定方法,在施工过程中无法提出具体的、定量的要求,因而不便操作。因此在工程上,如何通过简单实用的方法来定量确定钢管混凝土拱桥的基准温度还需进一步研究。

3.2 复杂条件下的拱肋截面温度场

现有的钢管混凝土截面温度场研究,大多假设在水化热阶段截面温度场为轴对称分布,成型后则

(下转第183页)

Trans Graph, 2003, 22(3): 641-650.

- [4] WEYRICH. Post-processing of scanned 3D surface data. [2007-06-10]. <http://graphics.ethz.ch/Downloads/Publications/Papers/2004/wey04a/pWey04a.pdf>
- [5] MATTHIAS ZWICKER. An Interactive system for point-based surface editing [J]. ACM Trans Graph, 2002, 21(3): 322-329.

(责任编辑:韦廷宗)

(上接第 174 页)

经受环境温度和日照的共同作用。在实际工程中,拱肋从混凝土浇筑后就处于环境温度、日照和水化热的共同作用下。因此,有必要进一步研究上述复杂条件下因素的钢管混凝土拱肋截面温度场。

3.3 各种截面形式的拱肋温度问题

目前的钢管混凝土拱肋温度效应研究中,主要对象基本上是单圆管截面形式。实际钢管混凝土拱桥结构中,拱肋常用截面形式有单圆管、哑铃形和桁架式拱桥。对于后两种截面形式的拱桥,其温度效应如何有待进一步研究。

3.4 体系非线性温差问题

钢管混凝土拱桥体系非线性温差尚未引起人们的重视,对于中下承式的钢管混凝土拱桥,在日照、寒潮、大气温度、地表环境等因素的影响下,各结构部分的温度可能相差较大,形成较大体系非线性温差,从而产生复杂的温度内力。因此,对于钢管混凝土桥梁结构受体系非线性温差影响产生的温度内力还需进行研究。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部. 公路桥涵设计通用规范 JTG

D60—2004[S]. 北京:人民交通出版社,2004.

- [2] 中华人民共和国交通部. 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 JTG D62—2004[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [3] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥设计与施工[M]. 北京:人民交通出版社,1999.
- [4] 陈宝春. 钢管混凝土拱桥实例集[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [5] 徐爱民,陈宝春. 钢管混凝土拱桥温度应力数值分析[J]. 福州大学学报:自然科学版,1999,27(3):15-18.
- [6] 陈宝春,徐爱民,孙潮. 钢管混凝土拱桥温度内力计算时温差取值分析[J]. 中国公路学报,2000,13(2):52-56.
- [7] 冯斌. 钢管混凝土中核心混凝土的水化热、收缩与徐变计算模型研究[D]. 福州:福州大学,2004.
- [8] 范丙臣. 中承式钢管混凝土拱桥的温度评价及试验研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2001.
- [9] 何雄君,文武松,胡志坚. 钢管混凝土拱桥温度荷载分析[J]. 桥梁建设,2000(1):17-19.

(责任编辑:韦廷宗)