

EPS 内模预应力混凝土小箱梁温度特性分析

刘佳桐¹, 朱伟庆^{1*}, 丁雪英², 张俊光³

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 内蒙古伟通工程监理咨询有限公司;

3. 内蒙古自治区交通建设工程质量监督局)

摘要:在预应力混凝土箱梁浇筑时,采用 EPS 永久性内模具有诸多优势。为研究 EPS 内模对预应力混凝土小箱梁在施工阶段、运营阶段可能带来的不利温度效应,对比采用木内模的普通预应力混凝土小箱梁,运用 Midas FEA 和 Abaqus 有限元分析软件分别分析 EPS 内模对预应力混凝土小箱梁施工阶段水化热效应和运营阶段温度特性的影响。研究表明:在施工阶段, EPS 内模小箱梁的水化热升温 and 里表温差相比普通混凝土小箱梁有所升高但仍在规范限值之内,且温度应力未超过混凝土容许拉应力。在运营阶段强烈日照、大幅度降温等作用下, EPS 内模小箱梁在沿梁高方向存在非线性温度梯度,但温度场分布模式相较普通小箱梁并无明显改变。因此, EPS 内模的设置并不会给预应力混凝土小箱梁带来不利的温度效应。

关键词:预应力混凝土小箱梁; EPS 永久性模板; 水化热; 温度场; 温度效应

1 引言

随着中国桥梁建设事业的蓬勃发展,截至 2019 年底中国公路桥梁 87.83 万座/6 063.46 万 m,其中中小跨径桥梁 76.4 余万座,占总数的 87% 以上。在中小跨径桥梁建设中,装配式预应力混凝土小箱梁以结构合理、造价经济、质量可靠等优点得到广泛应用。为保证预应力混凝土小箱梁预制质量,施工模板需有足够的强度和刚度。小箱梁的预制外模一般为钢模板,内模多为钢模板或木模板。但是钢、木内模板周转过程需水清洗、并会发生模板变形和损耗,内模支拆需消耗大量人工,这些问题不仅增加了工程费用,也不符合绿色施工理念。此外,内模在拆卸时也可能造成小箱梁内部混凝土损伤,由此造成的混凝土龟裂、麻面,顶板局部塌陷等小箱梁早期病害会严重影响结构质量。

为了解决传统内模板带来的问题,塑料内模、钢丝网混凝土内模等永久性内模相继出现,但都不同程度存在预制复杂、施工不便等问题。近年来,聚苯乙烯泡沫(EPS)永久性内模成为一种新的选择。EPS 材料在微观上呈现出多空腔均匀排布、紧密挤压的形态,具有

质轻、高强等优良工程性能。EPS 内模预制简单、造价低廉,且在混凝土结构浇筑后无需拆除,能够大大简化施工工序、改善劳动条件,节约模板支拆用工量和加快施工进度,在中国北方(如内蒙古等)环境恶劣、自然生态脆弱的地区极具工程应用价值。

但是,由于 EPS 材料的隔热特性, EPS 内模的加入可能改变小箱梁混凝土水化热的耗散模式,并引起不利的水化热效应;也可能会改变运营过程中小箱梁的温度梯度分布,进而影响梁体的温度效应等。该文依托内蒙古阿拉善地区实际工程,采用有限元数值分析方法对 EPS 内模预应力混凝土小箱梁在浇筑过程中的水化热效应和运营过程中梁体的温度场分布两个关键问题展开研究,明确设置 EPS 内模的预应力混凝土小箱梁的温度特性,以期为进一步推广 EPS 内模预应力混凝土小箱梁在工程中的应用奠定基础。

2 依托工程

依托内蒙古阿拉善 G307 线雅布赖至山丹(蒙甘界)段一级公路项目。阿拉善地区属典型大陆性气候,月均温差最大可达 50℃,全年干旱少雨,且当地水资

收稿日期:2019-11-07(修改稿)

基金项目:内蒙古自治区交通运输厅建设科技项目(编号:NJ-2015-39)

作者简介:刘佳桐,男,硕士研究生。E-mail:LiujtCHD@qq.com

* 通信作者:朱伟庆,男,博士,副教授。E-mail:zhuweiqing87@126.com

源匮乏、木材紧缺,若采用钢内模会浪费宝贵的水资源,采用木内模则浪费大量木材。因此,该项目中,20 m 跨径的预应力混凝土小箱梁(跨中截面如图 1 所示)拟改为采用 EPS 内模。小箱梁采用 C50 混凝土,水泥含量为 478 kg/m^3 ,重度为 25 kN/m^3 ,弹性模量为 $3.45 \times 10^4 \text{ MPa}$,泊松比为 0.2。EPS 材料弹性模

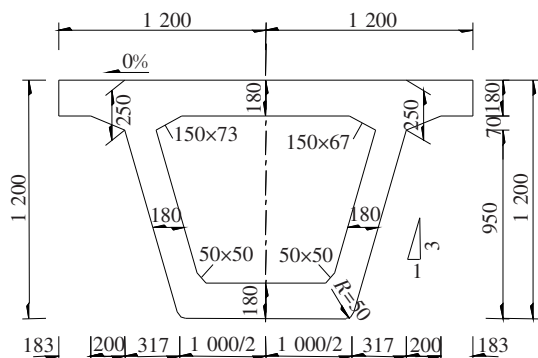


图 1 混凝土小箱梁跨中截面(单位:cm)

量为 5 MPa,泊松比为 0.09。各材料的参数如表 1 所示。

表 1 小箱梁主要材料参数

材料	密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	比热容/ [$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$]	导热系数/[$\text{W} \cdot$ ($\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$]
C50	2 500	880	2.500
沥青混凝土	2 100	1 680	1.050
EPS	20	1 380	0.042

受当地气候条件限制, EPS 内模预应力混凝土小箱梁预制施工在 5—10 月进行。混凝土的收缩、徐变按照 JTG D62—2004《公路桥涵设计通用规范》考虑。按照施工实际情况, 混凝土入模温度约为 20 ℃, 待浇筑完毕约 24 h 后拆除外模。而普通小箱梁在混凝土浇筑 6~8 h 后拆除内木模, 24 h 后拆除外钢模。小箱梁施工工艺如表 2 所示。

表 2 小箱梁预制阶段工况定义

普通小箱梁				EPS 内模小箱梁			
施工阶段	激活单元	激活时间/h	对流边界	施工阶段	激活单元	激活时间/h	对流边界
浇筑	底板	0	外侧钢模	浇筑	底板	0	外侧钢模
	腹板	1			EPS 内模	1	
	顶板	3	内侧木模		腹板	1	内侧 EPS 模板
					顶板	3	
拆除内模	全部	11	外侧钢模 内侧空气对流	拆除外模	全部	29	外侧空气对流 内侧 EPS 模板
拆除外模	全部	29	外侧空气对流 内侧空气对流	降温	全部		外侧空气对流 内侧 EPS 模板
降温	全部	—	空气对流				

3 施工阶段温度场及温度效应

依托工程中的预应力混凝土小箱梁预制施工阶段的温度效应主要取决于水化热。在浇筑初期水泥的水化反应会产生大量水化热,使小箱梁温度骤然升高。由于结构表面和内部热量散失的速率不同,会形成内部温度较高而外部温度较低的不均匀温度场,由此产生的温度变形在受到结构自身约束和外部约束时,可能会产生较大的温度应力并导致梁体开裂。EPS 内模的置入可能会进一步加剧这种不均匀的温度场及温度效应。因此有必要对 EPS 内模预应力混凝土小箱

梁浇筑养护过程中由于水化热引起的温度场和温度效应进行研究。

3.1 模拟分析方法

混凝土的水化热效应主要受混凝土配比、水泥含量、模板保温能力、养护条件等因素影响,而 EPS 内模板改变了箱梁内部的热传递形式和效率,因此 EPS 内模是造成箱梁温度效应改变的关键。与普通小箱梁相比, EPS 材料的平均导热系数低于木模板 $[0.837 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})]$ 和钢模板 $[163.29 \text{ kJ}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})]$,其隔热、保温性能更好。在分析 EPS 内模小箱梁与普通小箱梁施工阶段温度效应差异的计算时进行如下简化和规定:

(1) 除混凝土材料外,忽略其他材料力学、热工参数的时变效应,即认为其密度、比热容、导热系数、对流系数在整个施工阶段分析中都为常数。

(2) 忽略钢筋对混凝土结构热传导和热对流的影响,忽略后期养生过程覆盖保温材料、浇水保湿等对温度场的影响。

利用有限元软件 Midas FEA 分别建立普通小箱梁和 EPS 内模小箱梁实体模型。EPS 模板与箱梁之间实际接触关系满足第四类热传导边界条件,建模过程中将两者设置为面面完全接触以保证接触界面热量连续。

通过定义对流系数控制实体对流边界和大气接触面各时刻的热量流动,钢、木模板的对流系数通过保温层等效放热系数进行计算,钢模板、木模板及混凝土大气接触面对流系数分别为 14、7.7、15 W/(m²·℃)。硅酸盐水泥水化升温曲线如图 2 所示。

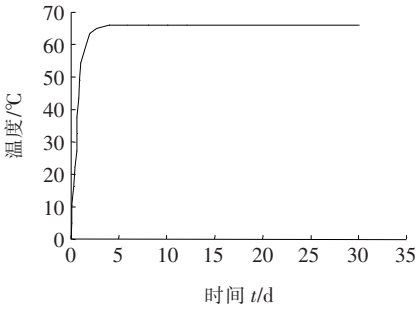


图 2 水泥水化放热曲线

有限元分析完全依照现场实际浇筑顺序进行。对普通小箱梁和 EPS 内模小箱梁建立多步分析工况,先模拟整个浇筑过程,再通过改变对流边界模拟模板拆除过程,最后为模板拆除后的降温过程。

3.2 结果与分析

分别计算两种小箱梁预制过程中水化热引起的截面温度最高点达到温度峰值时的温度场云图。图 3 为普通小箱梁混凝土浇筑完成后 8 h 的温度场云图(此时木内模已拆除、钢外模未拆除);图 4 为 EPS 内模小箱梁混凝土浇筑完成后 11 h 的云图(此时钢外模未拆除)。

由图 3、4 可知:EPS 内模的置入改变了梁体的温度场分布,EPS 内模小箱梁的截面温度整体较普通小箱梁高。由于小箱梁的构造特点,腹板一顶板相交处的水化热效应最明显,截面的温度最高点(测点①)也出现在该处;对于 EPS 内模小箱梁,由于 EPS 内模的隔热性能好,截面的温度最高点(测点③)相较于普通小箱梁更靠近 EPS 内模的方向;而普通小箱梁的截面

温度最低点(测点②)与 EPS 内模小箱梁的截面温度最低点(测点④)的位置基本一致(不包括翼缘端部位置),均位于腹板中部外侧表面。

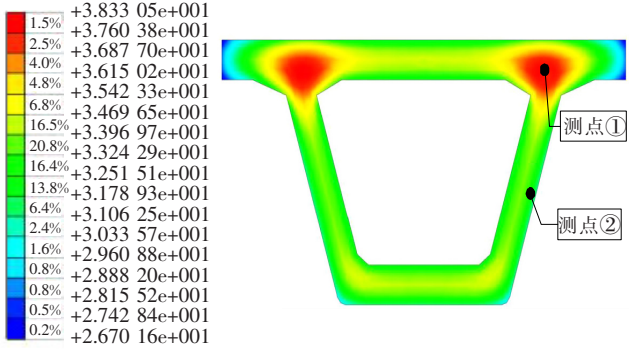


图 3 普通小箱梁截面温度分布云图(单位:℃)

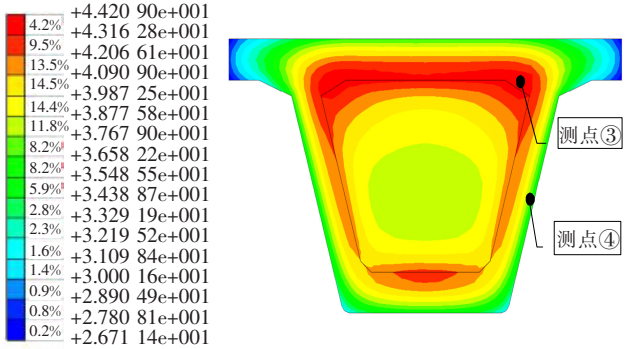


图 4 EPS 内模小箱梁截面温度分布云图(单位:℃)

3.2.1 水化热升温

图 5、6 为两种小箱梁截面中的温度最高点与最低点的温度时程曲线。

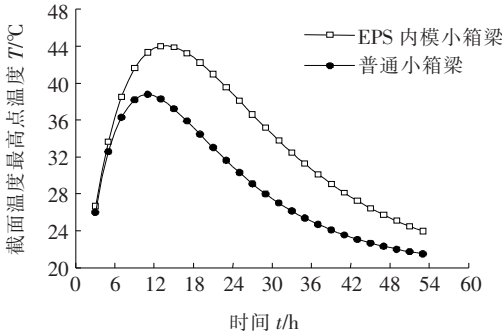


图 5 截面温度最高点温度时程曲线

由图 5、6 可知:普通混凝土小箱梁截面温度最高点(测点①)升温曲线的峰值出现在 11 h,为 38.8℃,截面温度最低点(测点②)升温曲线的极值出现在 9 h,为 31.7℃。EPS 内模小箱梁测点③、④温度峰值分别为 44.0、35.2℃,在浇筑施工过程中 EPS 内模小箱梁的截面温度峰值比普通小箱梁高 7.1℃,但温度

峰值都要滞后 2~3 h 才会出现,在降温阶段,EPS 内模小箱梁温度变化速率稳定,两条升温曲线对应点间的温差随时间越来越小。同时,EPS 内模小箱梁水化热升温值未超过在入模温度基础上升温 50 ℃ 的规范限值,满足安全和质量要求。

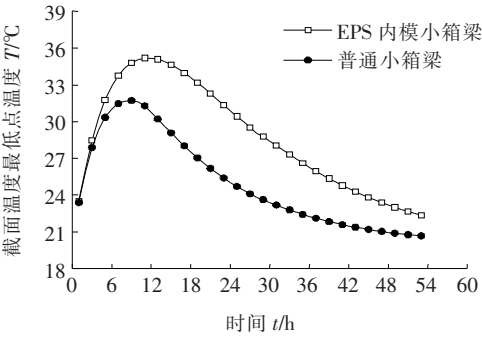


图 6 截面温度最低点温度历程曲线

由于预制过程中普通小箱梁木内模的拆除,改变了其内部的热传导条件,在 11 h 内模拆除后箱梁内部失去了保温材料,温度场边界条件的变化使水化热温度峰值提前出现,而 EPS 内模无需拆除,混凝土内部热传导条件保持稳定。在 29 h 外表面钢模板拆除并未导致温度下降速率的明显改变,说明钢模板并不具备保温性,决定小箱梁预制阶段温度变化的主要因素是混凝土和保温材料。

3.2.2 里表温差

里表温差是衡量小箱梁内部与外表面混凝土预制过程中温度分布差异的指标。通过提取测点①和②、测点③和④的温度差值,分别得到普通小箱梁与 EPS 内模小箱梁里表温差的时程曲线如图 7 所示。

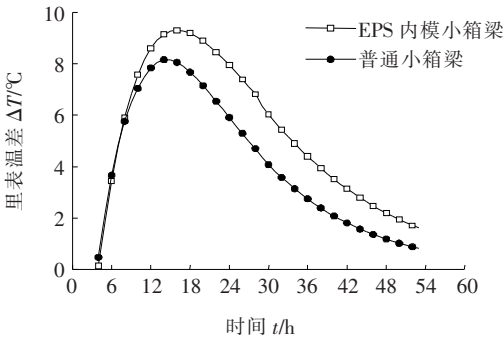


图 7 小箱梁施工阶段里表温差曲线

由图 7 可知:EPS 内模小箱梁预制过程中混凝土的里表温差大于普通箱梁。普通小箱梁的最大温差出现在 14 h,为 8.2 ℃,EPS 内模小箱梁最大温差出现稍稍滞后(16 h),最大里表温差为 9.1 ℃,但依然远低于规范中的 25 ℃ 里表温差限值。两种内模箱梁各自

的里表温差在达到最大温差值后均逐渐减小,两者差值也不断减小。

同时结合 3.2.1 节可知,设置 EPS 内模后,小箱梁的最大升温与里表温差均有所提高,但均满足规范要求。且 EPS 内模较好的保温性能可以起到延缓箱梁内部温度下降的作用,因此 EPS 内模的设置对于混凝土浇筑后的养护是有利的。

3.2.3 温度应力

考虑到设置 EPS 内模后箱梁混凝土浇筑过程中的里表温差有所提高,因此,计算了 EPS 内模小箱梁中由于水化热产生的最大拉应力随时间的变化如表 3 所示。

表 3 顶板位置应力值和允许拉应力

时间/h	应力值/MPa	允许拉应力/MPa
6	0.16	0.30
12	0.24	0.77
18	0.26	1.03
24	0.43	1.40
30	0.73	1.55
36	0.84	1.61
42	0.95	1.74
48	1.06	1.81

由表 3 可知:梁体内最大拉应力均没有超过允许拉应力,梁体在施工阶段不会因水化热而出现混凝土开裂。

4 运营阶段温度场

4.1 模拟分析方法

在日照辐射、气温变化等环境因素作用下,运营期间混凝土箱梁内部温度会呈现非线性分布并引起较大的温度效应。阿拉善地区日照强温差大,太阳辐射和寒潮降温会极大改变梁体竖向温度场分布模式,而设置 EPS 内模后可能会改变沿梁体截面的温度梯度分布。因此,针对 EPS 内模预应力混凝土小箱梁竖向温度场进行了研究。

基于傅里叶热传导微分方程,可忽略运营阶段沿梁体纵向的热传导,将小箱梁分析简化为平面热传导问题,同时视 EPS 内模与箱梁梁体界面热流量连续满足第四类边界条件,即温度、热流量均连续。

为研究太阳辐射和寒潮降温引起的 EPS 内模小

箱梁温度场变化,需对研究地区近年的气象数据进行统计并计算太阳辐射、结构对流换热、热流密度、温度荷载等热力参数。通过分析历史气象数据,选取 2017 年 1 月 18 日和 2017 年 7 月 30 日进行了分析,分别代表典型寒潮降温 and 强烈日照两种不利工况。该两天的气温数据如图 8 所示。由于无法得到该两天的太阳辐射实测数据,因此,太阳辐射 q_s 根据经典理论依照当地太阳常数、经纬度、太阳时、赤纬角计算得到。依托工程当地纬度为 39.2° ,经度为 101.68° ,海拔高度为 $1\,300\text{ m}$ 。1 月 18 日的初照时间为当地 07:00,末照时间为 16:50,修正太阳常数为 $1\,410$,赤尾角为 -0.36 rad ;7 月 30 日的初照时间为 05:00,末照时间为 19:00,修正太阳常数为 $1\,327$,赤尾角为 0.32 rad 。计算得两日太阳辐射值如表 4 所示。

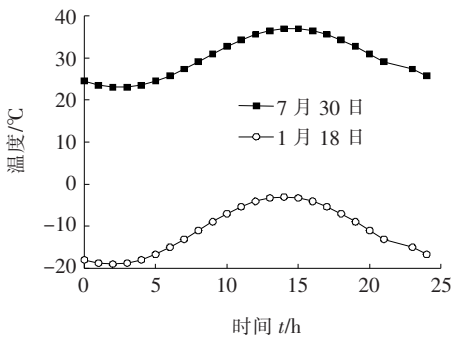


图 8 气温变化

表 4 太阳辐射值计算结果

1 月 18 日			7 月 30 日		
当地太阳时/h	法向太阳辐射值	水平面太阳辐射值	当地太阳时/h	法向太阳辐射值	水平面太阳辐射值
6.2	0	0	5.2	313.3	27.2
7.2	351.9	0.1	6.2	556.6	179.3
8.2	518.2	127.9	7.2	741.8	377.1
9.2	720.4	280.5	8.2	839.8	571.7
10.2	820.5	405.7	9.2	894.7	739.7
11.2	865.6	481.9	10.2	925.7	866.1
12.2	875.0	500.0	11.2	941.1	941.0
13.2	852.4	458.1	12.2	944.4	958.7
14.2	788.9	360.7	13.2	936.5	917.7
15.2	655.4	220.7	14.2	915.5	821.3
16.2	0.0	0.0	15.2	876.3	676.7
17.2	0.0	0.0	16.2	807.4	496.0
			17.2	681.9	296.6
			18.2	445.1	108.7
			19.2	0.0	0.0

太阳辐射下桥梁结构表面法向热传导微分方程可表示为:

$$k \frac{\partial T}{\partial n} + q = 0 \tag{1}$$

$$q = q_s + q_c + q_r \tag{2}$$

式中: k 为结构表面导热系数; q 为热流荷载,主要包括小箱梁表面所吸收的太阳辐射 q_s 、小箱梁表面与环境之间的对流换热 q_c 以及小箱梁与周围环境的辐射换热 q_r 。

小箱梁表面与周围环境的对流换热热流密度 q_c 由牛顿冷却公式计算:

$$q_c = h_c \cdot (T - T_a) \tag{3}$$

式中: T 、 T_a 分别为结构表面温度和环境温度; h_c 为对流系数,与风速有关。

小箱梁表面辐射换热热流密度 q_r 可按式(4)计算:

$$q_r = e C_s \cdot [(T_a + 273)^4 - (T + 273)^4] \tag{4}$$

式中: e 为小箱梁表面辐射率; C_s 为斯特藩-玻尔兹曼常数。

在得到变温幅值和太阳辐射量之后,利用有限元软件 Abaqus 建立两种内模箱梁在运营阶段的三维实体模型。小箱梁和 EPS 内模选取四节点线性传热单元 DC2D4,两者之间为面面刚性连接。有限元建模时考虑小箱梁顶部 10 cm 沥青混凝土铺装层的影响。将计算结果作为场变量输入模型,就夏季强烈日照及冬季寒潮降温两个工况下小箱梁沿梁高方向的最不利温度梯度展开分析。

4.2 结果与分析

图 9、10 分别为夏季强烈日照及冬季寒潮降温两种工况下两种内模小箱梁的最不利竖向温度梯度分布情况。

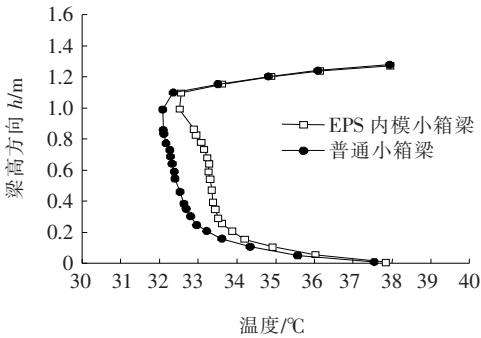


图 9 强烈日照下箱梁温度梯度

由图 9、10 可知:

(1) 强烈日照作用下,两种箱梁的梁顶温度基本

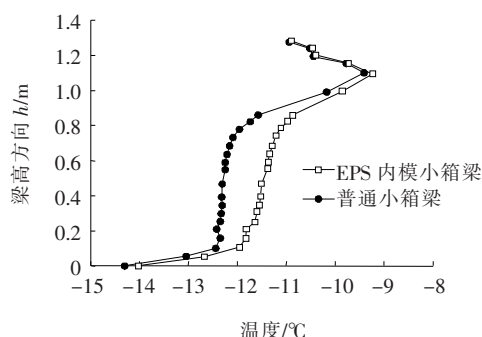


图10 寒潮降温下箱梁温度梯度

一致;EPS内模小箱梁腹板区域的最高温度为 33.8°C ,普通小箱梁腹板位置的最高温度为 32.9°C ,在同一高度位置,两种箱梁的最大温差为 1.5°C 。两者沿梁高方向存在温度场分布差异的主要原因是EPS内模板导热系数小,热量传递速度慢,减小了箱室内部的热量流动,而普通小箱梁内部为空腔结构,温度散失较快,故腹板和底板位置的温度略低于EPS内模小箱梁。

(2) 寒潮降温作用下,两种箱梁的梁顶温度也基本一致;EPS内模小箱梁腹板和底板区温度高于普通小箱梁,最大温差约为 1°C 。原因在于EPS材料的比热容高于空气,当外界温度骤降,EPS内模能起到维持腹板温度、补偿内部热量的作用。

(3) 对比两种工况下小箱梁的温度梯度模式与JTG D60—2015《公路桥涵设计通用规范》中正、负温度梯度模式可知:虽然两种小箱梁在沿梁高方向均存在明显的非线性温度梯度,但两种小箱梁整个梁高范围内的正、负温度梯度均小于规范规定。同时,由于EPS内模材料的隔热作用,两种工况下EPS内模小箱梁在腹板和底板高度范围内的温度均略高于普通小箱梁,该差异可以减缓梁体温度梯度的发展,相对来说对结构有利。

综上,EPS内模对小箱梁运营阶段的温度场分布模式并无实质上的明显改变,即使在强日照大温差地区仍可正常使用,且其温度梯度满足规范的规定,无需因温度作用而对小箱梁进行特殊设计。

5 结论

为了研究EPS内模对预应力混凝土小箱梁温度特性的影响,该文采用有限元数值分析的方法对比分析了施工和运营阶段普通小箱梁和EPS内模小箱梁的温度特性差异,得到以下主要结论:

(1) 小箱梁预制施工阶段,EPS内模的设置使得预应力混凝土小箱梁的截面温度高于普通混凝土小箱梁,但EPS内模小箱梁的水化热升温值、最大里表温差等指标均低于规范限值,温差造成的内部最大拉应力也始终小于容许拉应力,不会造成施工阶段混凝土开裂。在浇筑后期降温的阶段,EPS内模较好的保温性能起到了延缓箱梁内部温度下降的作用,对于混凝土的养护有利。

(2) 运营阶段在强烈日照、大幅度降温等环境作用下,小箱梁沿梁高方向会存在明显的非线性温度梯度,但其梁高范围内的正、负温度梯度均小于规范规定;EPS内模小箱梁腹板和底板高度范围内温度略高于普通小箱梁,而顶板位置则相差不大。EPS内模对小箱梁运营阶段的温度场分布模式并无实质性的明显改变,即使在强日照大温差地区仍可正常使用,无需因温度作用而对小箱梁进行特殊设计。

参考文献:

- [1] 交通运输部. 2017年交通运输行业发展统计公报[J]. 中国物流与采购, 2018(11).
- [2] 杨嗣信. 建筑工程模板施工手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015.
- [3] 姜波, 程志军. 模板工程与绿色施工[J]. 施工技术, 2008(6).
- [4] 李宏涛, 郭豫江, 赵学涛. 预应力混凝土预制箱梁裂缝成因分析及处治[J]. 中外公路, 2005(3).
- [5] 刘永军, 丁文艺, 刘畅. 永久性模板的技术发展[J]. 水利与建筑工程学报, 2010(6).
- [6] 吴厚增. 聚丙烯塑料模板在建筑工程的应用研究[D]. 兰州大学硕士学位论文, 2012.
- [7] 叶见曙, 吴文清, 蒋正国, 等. 永久性箱梁内芯模板的试验研究[J]. 公路交通科技, 2000(4).
- [8] 张巨松, 曾龙, 王振兴. FRP作为混凝土工程永久性模板的试验研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2000(5).
- [9] 张卫兵. 聚苯乙烯泡沫(EPS)的特性及其在道路工程中的应用[J]. 公路, 2004(5).
- [10] 乔燕, 孙传智, 张卫华. 预应力混凝土箱梁水化热温度测试和温度应力分析[J]. 中外公路, 2009(5).
- [11] 刘继, 周勇军, 杨勃, 等. 连续刚构桥承台水化热有限元分析与控制[J]. 中外公路, 2017(4).
- [12] 袁军峰, 张建东, 刘朵, 等. 大跨连续箱梁桥0#块高强混凝土水化热及温控措施分析[J]. 中外公路, 2019(5).
- [13] 朱伯芳. 大体积混凝土温度应力与温度控制[M]. 2版. 北京: 中国水利水电出版社, 2012.
- [14] 姚刚, 余志给, 杨阳, 等. 单室箱梁电热器养护温度场及

虎跳峡金沙江大桥桥型方案比选分析

刘春¹, 余化彪², 李德宏²

(1. 中建四局第五建筑工程有限公司云南分公司, 云南 昆明 650200; 2. 云南省建设投资控股集团有限公司路桥总承包部)

摘要: 香丽高速公路虎跳峡金沙江大桥位于云南省丽江市和迪庆州交界处金沙江虎跳峡附近, 桥区两岸地质条件差异较大。香格里拉岸地形陡峭、浅部坡强卸荷带发育; 丽江岸地形较缓, 覆盖土层差异大。根据制约因素, 因地制宜采用 766 m 跨径的独塔单跨地锚式悬索桥, 不设香格里拉岸陡峭岸坡上的索塔及引桥, 将主缆通过集主索鞍和散索鞍于一体的滚轴式复合索鞍锚于隧道锚中, 而桥另一端为重力锚。因减少了一岸索塔和引桥墩开挖, 在安全、环保和经济上均有很大优势。

关键词: 独塔; 悬索桥; 隧道锚; 重力锚; 复合索鞍

随着经济发展, 国家高速公路迅猛发展, 为适应山区山谷、河流海域等地形特征, 大跨度的拱桥、悬索桥及斜拉桥等大桥应运而生。云南香丽高速公路虎跳峡金沙江大桥在桥型比选设计中依据地形地质条件、施工条件、交通旅游情况设计成独塔单跨地锚式悬索桥。因香格里拉岸为陡峭岸坡, 且下方为当地东环线旅游公路, 在地形上和施工安全上均不允许设置主塔, 桥型方案有大跨度拱形桥、双塔斜拉桥、缆洞悬索桥、常规悬索桥及独塔单跨悬索桥等。最终选择独塔单跨地锚式悬索桥, 因独塔特点则采用新发明滚轴式复合索鞍, 此类索鞍在国内外大跨悬索桥中是第一次应用。

1 工程概况

该桥属于香格里拉至丽江高速公路第九合同段, 近垂直跨越虎跳峡上游的金沙江河谷。丽江岸有那田增断层、滑坡体区、蠕变坡、莫谷喜滑坡、土冰碛土、中落鱼段层、岩堆等; 此桥桥址往下游方向 500 m 处地形地质较理想, 此处已为丽香高速铁路的桥址。桥区

海拔为 1 800~3 500 m, 最大高差为 1 700 m, 属深切割、构造剥蚀—侵蚀中山区。地震基本烈度为Ⅷ度, 地震动峰值水平加速度为 0.3g, 场地类别为Ⅱ类。大桥设计全长 1 017 m, 主跨为 766 m 悬索桥, 引桥为 6×41 m 钢混叠合梁, 设计为双向四车道。

2 桥位选择

下游丽香高速铁路的桥址因其先设计选址而动工; 往上游处方向则河谷太宽广, 地势较低, 且居民住户较多, 当拟设计在此处的水库蓄水后将淹没上游段海拔低的宽广区域。

丽江岸地势相对平缓, 岸坡稳定性较差, 并有不良地质发育, 桥位受限。重力锚及索塔布置为避开严重地质灾害区, 在毗邻灾害地质区采用抗滑桩、锚索框格梁或锚索混凝土板等进行处治加固。

香格里拉岸地势高、岩质较坚硬, 工程地质条件较好, 但该岸边坡均较为陡峻, 无法设置塔柱, 且山坡底为旅游公路, 车流量大, 施工安全隐患极大。若设置引

温度应力分析[J]. 土木工程学报, 2018(3).

[15] GB 50204—2015 混凝土结构工程施工质量验收规范[S].

[16] 刘广龙, 刘江, 刘永健, 等. 西北极寒地区混凝土箱梁温度场实测与仿真分析[J]. 公路交通科技, 2018(3).

[17] B K J. Soliman M H. Temperature Distribution in Com-

posite Bridges[J]. Journal of Structural Engineering, 1987, 113(3): 475—482.

[18] 凯尔别克. 太阳辐射对桥梁结构的影响[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1981.

[19] 杨世铭, 陶文铨. 传热学[M]. 3 版. 北京: 高等教育出版社, 1998.

收稿日期: 2020—03—13(修改稿)

作者简介: 刘春, 男, 硕士, 工程师. E-mail: 961768026@qq.com