

Analysis of the Lateral Displacement of Track Caused by the Difference of the Support of the Switch Bridge

Zhijiang Shang

The 3rd Engineering Co., Ltd. of China Rail 12th Bureau Group, Taiyuan, Shanxi, 030000, China

Abstract

Combining with the actual construction process of high-speed railway bridge, the pier body is analyzed according to the difference calculation of the support in the bridge position of turnout bridge. The changes of the lateral displacement of the upper track structure caused by the temperature difference of the beam body under the condition of different supports are discussed in the light of the standard of the lateral displacement of the track in the construction of the high-speed railway in China, in order to better carry out construction quality control in the process of high-speed railway construction.

Keywords

high-speed rail; temperature difference; support; deformation; lateral displacement of track

道岔桥梁支座安放差异引起的轨道横向位移分析

商志江

中铁十二局集团第三工程有限公司, 中国·山西太原 030024

摘要

结合高铁桥梁实际建设过程中道岔桥梁部位支座的安放差异计算分析墩身, 梁体在支座不同放置情况下因温差引起的上部轨道结构横向位移的变化并结合中国高速铁路建设中轨道横向位移的标准进行探讨, 以便在高铁建设过程中更好的进行施工质量控制。

关键词

高铁; 温差; 支座; 变形; 轨道横向位移

1 梁部支座安放差异说明

五通车站四线特大桥位于中国贵广铁路贺州段 DK1394+316 处, 其中桥跨组成为 $4 \times 32\text{m}$ 简支梁 + $(6 \times 32)\text{m}$ 连续梁 + $1 \times 32\text{m}$ 简支梁 + $(5 \times 32)\text{m}$ 变宽连续梁 + $3 \times 24\text{m}$ 简支梁。

桥梁的 I、II 线设计行车速度 250 km/h (预留进一步提速条件)、III、IV 线为进站道岔, 设计行车速度 80 km/h , 桥面铺设双块式无砟轨道。设计活载采用 ZK 标准活载。

梁部孔径采用 24m 、 32m 简支箱梁与现浇连续梁, $(5 \times 32)\text{m}$ 为变宽现浇连续箱梁, 对应墩身编号从 11# ~ 16#。变宽现浇连续箱梁左右两幅以中心线对称。与 $(5 \times 32)\text{m}$ 在 11# 墩交界的为 32m 的简支梁, 在 16# 墩交界的为三片 24m 的简支箱梁。墩身的形状以及高度见表 1。

表 1 连续梁对应的墩身规格统计

序号	位置	墩号	墩高 (单位: m)	备注
1	简支梁、连续梁	11#	15	圆端形单墩
2	连续梁墩	12#	17.5	圆端形双墩
3	连续梁墩	13#	16.5	圆端形双墩
4	连续梁墩	14#	16.5	圆端形双墩
5	连续梁墩	15#	16.5	圆端形双墩
6	简支梁、连续梁	16#	14	双柱墩

32m 或者 24m 简支梁各设置四个支座, 分别为固定支座 (GD)、横向活动支座 (HX)、纵向活动支座 (ZX)、多向活动支座 (DX)。

$(5 \times 32)\text{m}$ 变宽连续梁拿其中一幅说明: 原设计图靠左右幅中心线一侧 14# 墩顶设置固定支座 (GD), 同侧的 11# ~ 16# (14# 除外) 墩顶设置纵向活动支座 (ZX); 另

侧的11#~16#(14#除外)墩顶设置多向活动支座(DX),14#墩顶为横向活动支座(HX)。现场支座的实际布置与上述设计图中的布置以梁截面中线正好反向,参见表2,表3。

表2 梁底安放的支座情况统计表(按设计图)

支座约束	线路					
	4线	2线	1线	3线		
11#- 简支梁		HX	GD			
11#- 连续梁	DX	ZX	ZX	DX		
12#	DX	ZX	ZX	DX		
13#	DX	ZX	ZX	DX		
14#	HX	GD	GD	HX		
15#	DX	ZX	ZX	DX		
16#- 连续梁	DX	ZX	ZX	DX		
16#- 简支梁	DX	ZX	DX	ZX	DX	ZX

说明: GD: 固定支座; HX: 横向活动支座; ZX: 纵向活动支座; DX: 多向活动支座

表3 梁底安放的支座情况统计表(按现场实际布置)

支座约束	线路					
	4线	2线	1线	3线		
11#- 简支梁		HX	GD			
11#- 连续梁	ZX	DX	DX	ZX		
12#	ZX	DX	DX	ZX		
13#	ZX	DX	DX	ZX		
14#	GD	HX	HX	GD		
15#	ZX	DX	DX	ZX		
16#- 连续梁	ZX	DX	DX	ZX		
16#- 简支梁	DX	ZX	DX	ZX	DX	ZX

说明: GD: 固定支座; HX: 横向活动支座; ZX: 纵向活动支座; DX: 多向活动支座

2 结构分析

如果横向固定的支座对应一侧在连续梁和邻近的简支梁底部的安装一致的,那么,由于梁上固定轨道的轨道板的横向变形趋于同一方向(升温时自由端同时伸长,降温时自由端同时缩短),连续梁和邻近的简支梁轨道位置的横向偏差较小,是设计提供的布置方式。一旦支座按照上图的布置形式安装后,当体系的温度发生很大的变化时,轨道位置的横向偏差值有可能超过规范规定的限制,在高速行驶的情况下,对轨道的安全产生不利的影响。鉴于此,对温差引起的轨道位置变化进行细致的分析以及判断是否超限非常必要。

由于梁体横截面是箱梁截面,支座安放在梁底。这种构造形式从纵截面来看是发生改变的,很难简化成为一根普通的简支梁对结构的温差效应进行计算。另外,选用板单元的计算模式也势必会降低结构的真实特性。加上温度效应涉及到从墩身、简支箱梁、连续箱梁、简支T梁四种结构^[1]形式中的各个部分,要求的精度高。因此,本例中力求少做假定,力求采用更为细密的实体单元对温度效应进行分析计算,以便比较三者之间的变化趋势和求解轨道面的横向偏差。

3 计算参数拟定

(1) 根据现场的实际情况,设定钢轨锁定^[2]时的环境温度度为30℃。

(2) 根据设计图纸和相关规定,结构温度变化:长时段(按年计)范围内,体系温度根据当地气候升温采用15℃,降温采用30℃。考虑极端天气,相对于钢轨锁定时梁部和墩体系温度的降温假定采用最大幅度的30℃。

(3) 根据设计,预应力混凝土简支梁和预应力混凝土连续梁都采用C55高性能混凝土, $f_c = 33.5\text{MPa}$, $E_c = 3.55 \times 10^4\text{MPa}$,墩身采用C30混凝土。混凝土材料的线膨胀系数取 $\alpha = 1.0 \times 10^{-5}$ 。

4 墩身由于温差引起的变形计算

墩身建模完全采用实际墩身的轮廓尺寸,单元选用块体单元。墩身的底部固结,顶部的支座处与梁底对应,通过支座装置与梁底连接。本例按体系温度升温或者降温30℃进行计算。从横向来看,支座横向位移固定的一侧,墩身和梁体是共同变形的;而支座横向位移可以活动的一侧,墩身和梁体都将发生变形,横向活动支座的顶、底面会发生位错,当升温或者降温绝对值减小直至零时,温差效应引起的这种位错也会减小直至为零。

4.1 11# 圆端形单墩(简支梁-连续梁交界墩)由于温差引起的变形计算

图2以11#为例给出墩身在降温30℃时,整个墩身的横向变形趋势图,横向变形远离墩身的中心轴面压缩。升温30℃时,墩身的横向变形与升温正好反向。横向变形朝墩身的中心轴面拉伸。表4列出了两种温差效应下各墩身的支座处的变形值,以图1的坐标体系为准。

表 4 圆端形单墩四种温差效应工况下的支座中心处的横向变形值 (单位: mm)

桥墩编号	温度改变	位置 3	位置 1	墩身的中心轴面位置	位置 2	位置 4
11#-连续梁	升温 30℃	-1.41	-0.62	0	0.62	1.41
	降温 30℃	1.41	0.62	0	-0.62	-1.41
	升温 15℃	-0.705	-0.31	0	0.31	0.705
11#-简支梁	升温 30℃		-0.82	0	0.82	
	降温 30℃		0.82	0	-0.82	
	升温 15℃		-0.41	0	0.41	

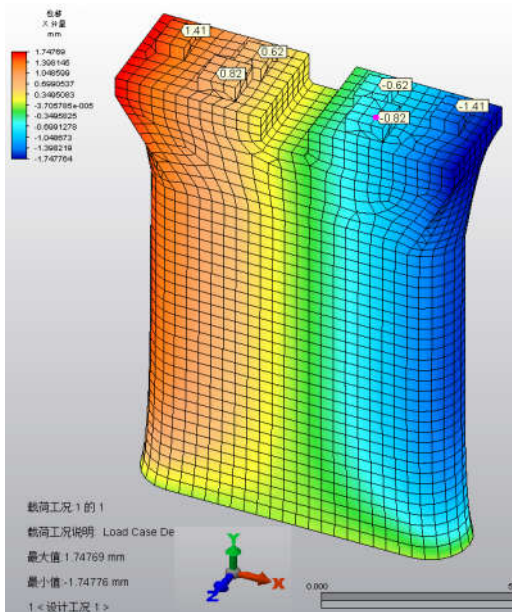


图 1 11# 墩身的横向变形趋势图 (降温 30℃时)

结论:

(1) 墩身的整体升温或者降温在支座中心处的横向变形值具有对称特性。

(2) 墩身的中心轴面位置基本不动, 这一特性可以作为轨道位置横向变化的比对基准面, 以此为基准可进一步判别各种工况下轨道的横向变位差。

4.2 圆端形双墩 (连续梁中间墩) 由于温差引起的变形计算

仿第 4.1 节, 墩身建模完全采用实际墩身的轮廓尺寸, 单元选用块体单元。墩身的底部固结, 顶部的支座处与梁底对应, 通过支座装置与梁底连接。本例按体系温度整体降温 30℃进行计算, 同时列出其它升温或者降温时的计算值。从横向来看, 支座横向位移固定的一侧, 墩身和梁体是共同变形的; 而支座横向位移可以活动的一侧, 墩身和梁体都将发

生变形, 横向活动支座的顶、底面会发生位错, 当升温或者降温绝对值减小直至零时, 温差效应引起的这种位错也会减小直至为零。

图 2, 图 3 分别以 12# 和 15# 墩为例给出墩身在降温 30℃时, 整个墩身的横向变形趋势图, 横向变形靠近墩身的中心轴面。升温 30℃时, 墩身的横向变形与升温正好反向。横向变形朝墩身的中心轴面远离。表 5 是四种温差效应下的支座处的变形值, 以图 2, 图 3 的坐标体系为准。

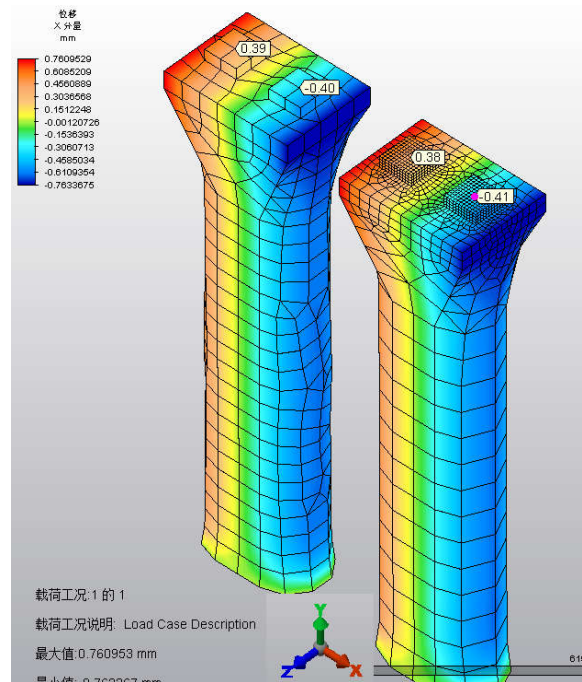


图 2 12# 墩身的横向变形趋势图 (降温 30℃时)

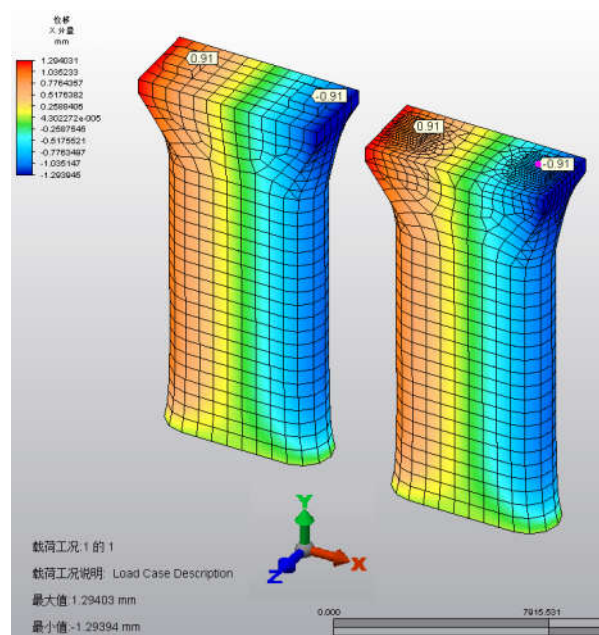


图 3 15# 墩身的横向变形趋势图 (降温 30℃时)

表 5 几种工况下 12#, 15# 墩身墩顶支座中心处的横向变形值 (单位: mm)

桥墩编号	温度改变	位置 3	位置 1	墩身的中心轴面位置	位置 2	位置 4
12#-连续梁	升温 30℃	-0.39	0.40	0	-0.38	0.41
	降温 30℃	0.39	-0.40	0	0.38	-0.41
	升温 15℃	-0.195	0.20	0	-0.19	0.205
15#-连续梁	升温 30℃	-0.91	0.91	0	-0.91	0.91
	降温 30℃	0.91	-0.91	0	0.91	-0.91
	升温 15℃	-0.45	0.45	0	-0.45	0.45

结论:

- (1) 墩身的整体升温或者降温在支座中心处的横向变形值具有对称特性。
- (2) 墩身的中心轴面位置基本不动, 这一特性可以作为轨道位置横向变化的比对基准面, 以此为基准可进一步判别各种工况下轨道的横向变位差。
- (3) 纵截面的横向变形在跨度范围内基本一致, 因此用某一个横截面上定位点的对应变形就能够反映沿跨度方向上的横向变形。
- (4) -30℃温差效应: 12# 到 15# 中间墩支座中心处对应的横向变形绝对最大值为随着墩顶宽度的渐变逐渐有所变化, 最大为 0.91mm。

4.3 16# 双柱墩 (连续梁 - 简支梁交界墩) 由于温差引起的变形计算

同第 4.1 节, 墩身建模完全采用实际墩身的轮廓尺寸, 单元选用块体单元。墩身考虑 $\pm 30^\circ\text{C}$, $+15^\circ\text{C}$ 温差效应。四种温差效应下的支座处的变形值如表 4 所列, 以图 4 的坐标系为准。

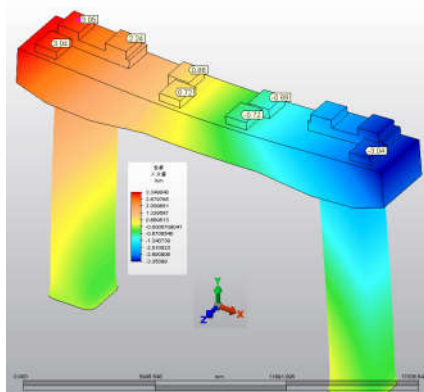


图 4 16# 墩身的横向变形趋势图 (降温 30℃时)

表 4 几种工况下 16# 墩身墩顶支座中心处的横向变形值 (单位: mm)

桥墩编号	温度改变	位置 3	位置 1	墩身的中心轴面位置	位置 2	位置 4
16#-连续梁	升温 30℃	-3.04	-0.72	0	0.72	3.04
	降温 30℃	3.04	0.72	0	-0.72	-3.04
	升温 15℃	-1.52	-0.36	0	0.36	1.52
16#-简支梁	升温 30℃		-0.88	0	0.88	
	降温 30℃		0.88	0	-0.88	
	升温 15℃		-0.44	0	0.44	

结论:

- (1) 墩身的整体升温或者降温在支座中心处的横向变形值具有对称特性。
- (2) 墩身的中心轴面位置基本不动, 这一特性可以作为轨道位置横向变化的比对基准面, 以此为基准可进一步判别各种工况下轨道的横向变位差。

5 32m 简支梁由于温差引起的变形计算

由设计图纸可知, 简支箱梁支座中心线与轨道板中心线重合, 横向位移相等, 轨道板中轴线的横向移动量的大小直接用来计算简支梁和连续梁在不同支座安装情况下温度引起的轨道横向位错的大小。

如图 5 所示, 以 32m 梁宽 12.2m 简支梁为例在降温 30℃时, 整个简支梁的横向变形趋势图。升温 30℃时, 横向自由一侧的横向变形与升温正好反向。表 5 是几种工况下的特定位置横向变形计算值, 以图 5 的坐标系为准。

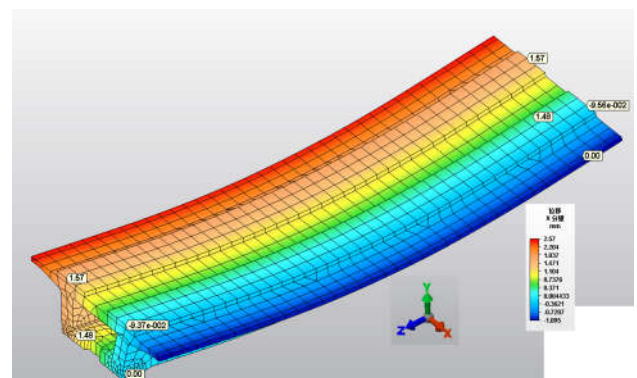


图 5 32.0m 双线简支梁的横向变形计算 (降温 30℃时)

表 5 32m 简支梁几种工况下的特定位置横向变形计算值 (单位: mm)

温度改变	位置 3	位置 1	位置 2	位置 4
	轨道板中线	支座 (GD)	支座 (HX)	轨道板中线
升温 30℃	0.0	0.0	-1.48	-1.57
降温 30℃	0.0	0.0	1.48	1.57
升温 15℃	0.0	0.0	-0.74	-0.785

结论:

(1) 简支箱梁横向约束边横向位移基本为零, 横向活动支座以及轨道板活动一边的横向变形与截面宽度相关。

(2) 横向活动支座升降温所产生的横向位移大小与对应的轨道板中心线一侧横向变形值基本相等, 因横向位置变化不完全相等。

(3) 简支梁在温度荷载下横向变形与箱梁跨度关系不大。

6 24m 简支梁由于温差引起的变形计算

24m 的简支双线箱梁宽 9.5m, 由总体布置图可知, I、II 线简支箱梁与单幅连续箱梁轨道板中心线重合, 基于此, 可直接用简支梁和连续梁在不同支座安装情况下温度引起的轨道横向变形来计算横向差异值。

如图 6 所示, 以 24m 简支梁在降温 30℃ 时, 整个简支梁的横向变形趋势图。升温 30℃ 时, 横向自由一侧的横向变形与升温正好反向。表 6 是两种温度效应下的支座处的变形值, 以图 6 的坐标体系为准。

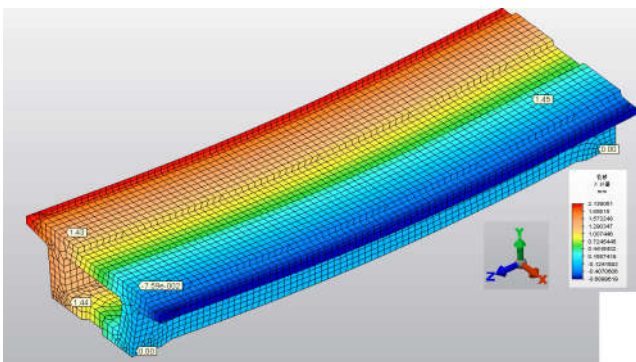


图 6 24.0m 双线简支梁的横向变形计算 (降温 30℃ 时)

表 6 24m 简支梁几种工况下的特定位置横向变形计算值 (单位: mm)

温度改变	位置 3	位置 1	位置 2	位置 4
	轨道板中线	支座 (HX)	支座 (DX)	轨道板中线
升温 30℃	0.0	0.0	-1.48	-1.57
降温 30℃	0.0	0.0	1.48	1.57
升温 15℃	0.0	0.0	-0.74	-0.785

升温 30℃	0.0	0.0	-1.44	-1.43
降温 30℃	0.0	0.0	1.44	1.43
升温 15℃	0.0	0.0	-0.72	-0.715

结论:

(1) 简支箱梁横向约束边横向位移基本为零, 横向活动支座以及轨道板活动一边的横向变形与截面宽度相关。

(2) 横向活动支座升降温所产生的横向位移大小与对应的轨道板中心线一侧横向变形值基本相等, 因横向位置变化不完全相等。

(3) 简支梁在温度荷载下横向变形与箱梁跨度关系不大。

7 连续梁桥由于温差引起的横向变形计算

图 7 是梁体截面上几个关键几何轴线的的位置示意, 当温度引起梁体横向变形时, 这些关键的中轴线有的会发生横向移动。轨道板中轴线的横向移动量的大小直接用来计算简支梁和连续梁在不同支座安装情况下温度引起的轨道横向位错的大小。

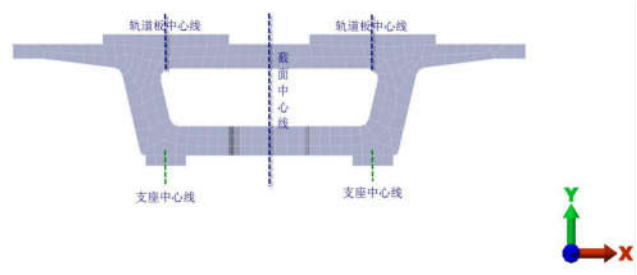


图 7 梁体截面上几个关键几何轴线的的位置示意

如图 8 所示是整个连续梁的横向变形趋势图 (降温 30℃), 升温时横向自由一侧的横向变形与降温正好反向。表 7 是温度效应下支座处的变形值, 以图 8 的坐标体系为准。

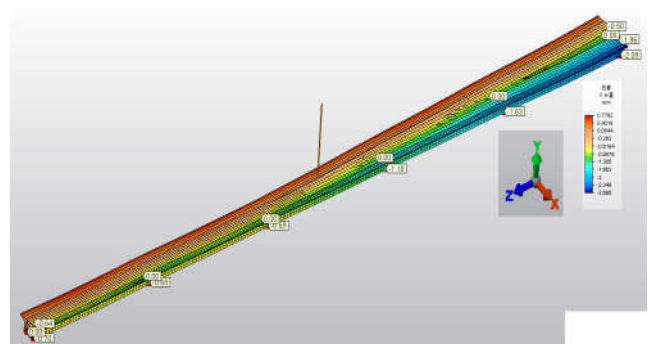


图 8 (5-32) m 连续梁 (左幅) 横向变形趋势图 (降温 30℃)

表7 (5-32) 连续梁在几种工况下 11#, 16# 墩墩顶支座及轨道板中轴线处的横向变形 (单位: mm)

端部	温度改变	位置 3	位置 1	位置 2	位置 4
		轨道板中 线	支座 (HX)	支座 (DX)	轨道板中 线
11# 墩处	升温 30°C	0.55	0.0	0.70	0.64
	降温 30°C	-0.55	0.0	-0.70	-0.64
	升温 15°C	0.275	0.0	0.35	0.32
16# 墩处	升温 30°C	0.50	0.0	2.09	1.96
	降温 30°C	-0.50	0.0	-2.09	-1.96
	升温 15°C	0.25	0.0	1.045	0.98

8 轨道位置横向变形的综合计算

轨道位置的改变涉及到升温或者降温时墩身支座处位置的横向位移、梁体支座的横向位移以及梁体顶板对应的轨道位置处的横向位移^[3]。三者之间的变形因为支座的安放可能会发生改变, 因此必须协同计算。从墩身的计算可以发现, 整体升温还是降温, 因墩身的底部固结, 墩身顶部支座平面横向位移以中轴面为基准面对称, 也就是中轴面基本不动。计算过程中可以以中轴面(通过左右幅对称中心线)为固定面, 再进一步推算梁体顶面的关键位置的中轴线相对于固定面的距离, 即可得出简支梁桥或者是连续梁桥轨道平面的横向偏差值^[3]。

由于各简支梁在相同升降温荷载作用下横向变形基本相同, 即梁跨度对箱梁横向变形几乎无影响。计算时可分别考虑各自桥墩变形的影响。以 11# 墩两相邻梁为例, 计算截面如图 9 所示, 假设以墩身的中轴面为基准面, 即 YOX 平面为基准面, L (D') 点固定, R (E') 一侧为横向移动支座。

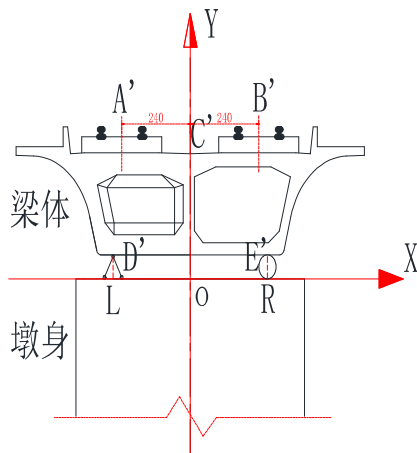


图9 箱梁轨道板上横向变形计算示意

表 8 是相邻箱梁轨道板中心线由温差引起的轨道横向位移偏差计算总结。利用表 8 数据可计算考虑墩身变形后的简支梁 - 连续梁之间轨道横向变形位差值。

表 8 相邻简支箱梁温差引起的轨道横向位移偏差计算清单 (单位: mm)

墩号 状态	位置	11#		16#	
		简支梁	连续梁	连续梁	简支梁
升温 15°C	线路 I	0.0	+0.275	+0.250	-0.715
	支座 1	0.0	0.0	0.0	-0.72
	对称面				
	支座 2	+0.74	+0.35	+1.045	0.0
	线路 II	+0.785	+0.32	+0.98	0.0
降温 30°C	线路 I	0.0	-0.55	-0.50	1.43
	支座 1	0.0	0.0	0.0	1.44
	对称面				
	支座 2	-1.48	-0.70	-2.09	0.0
	线路 II	-1.57	-0.64	-1.96	0.0

方向约定: 线路方向 (贵阳—广州方向) 右手为横向 +X 方向。

以降温 30°C 为例:

11# 墩身上 32m 简支箱梁线路 I、II 轨道板中心线的变形:

线路 I: A' 横向变形 = 0.82mm + 0.0mm = 0.82mm, 方向: +X

线路 II: B' 轴横向变形 = 0.82mm - 1.57mm = -0.75mm, 方向: -X

11# 墩身上 32m 连续箱梁线路 I、II 轨道板中心线的变形:

线路 I: A' 横向变形 = 1.41mm + 0.0mm = 1.41mm, 方向: +X

线路 II: 在右幅桥上, 仅考虑线路 I 即可。

因此, 简支梁, 连续梁在线路 I (A' 处) 的横向位错为:

$\Delta A' = 0.82\text{mm} - 1.41\text{mm} = -0.59\text{mm}$, 方向: -X

16# 墩身上 24m 简支箱梁线路 I 轨道板中心线的变形:

线路 I: A' 横向变形 = -0.88mm + 1.43mm = 0.55mm, 方向: +X

16# 墩身上 24m 连续箱梁线路 I 轨道板中心线的变形:

线路 I: A' 横向变形 = 3.04mm - 1.96mm = 1.08mm, 方向: +X

线路 II: 在右幅桥上, 仅考虑线路 I 即可。

因此, 简支梁, 连续梁在线路 I (A' 处) 的横向位错为:

$\Delta A' = 0.55\text{mm} - 1.08\text{mm} = -0.53\text{mm}$, 方向: -X

9 结语

(1) 11# 交界墩上简支梁与连续梁轨道板横向位移的计算结果: 分别位于两片箱梁上的轨道板的中轴线, 其横向位错最大值为 0.59mm, 小于 1mm。

(2) 16# 交界墩上连续梁与简支梁轨道板横向位移的计算结果: 分别位于连续箱梁与简支箱梁上轨道板的中轴线, 横向的位错最大值为 0.53mm, 小于 1mm。

(3) 依据中国《高速铁路设计规范(试行)》(TB10621-2009)第 7.3.3 款第 2 条的规定: 无砟轨道桥梁

相邻端两侧的钢轨支点横向相对位移^[1]不应大于 1mm。从结论(1)(2)可以得出支座按实际施工布置的情况下横向位移依旧满足规范的允许值。

参考文献

- [1] 《铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范》(TB10002.3-2005)
- [2] 《铁路桥涵设计基本规范》(TB10002.1-2005)
- [3] 《高速铁路设计规范(试行)》(TB10621-2009)