

midas Civil 技术资料

----横坡截面-梁截面温度设置

目录

midas Civil 技术资料	1
----横坡截面-梁截面温度设置	1
1 概述	2
2 带横坡截面-梁截面温度设置理论依据	2
3 带横坡截面-梁截面温度设置方法	4
3.1 截面单元面积 A_v 的划分	4
3.2 等效代换梁截面温度参数计算	6
3.3 梁截面温度设置	8
4 结果对比及验证	9
5 总结	11
参考文献	11

北京迈达斯技术有限公司 桥梁部

2013/07/29

1 概述

根据规范 JTG D60-2004(4.3.10-3)条目中规定，需要计算折线温差作用效应。在 JTG D62-2004 附录 B 中给出的温差作用效应计算的模型是平坡截面，然而，在实际设计工程中截面往往是带有横坡或顶面非水平，如图 1，这就给在 Civil 中输入参数，准确计算带横坡截面的温差作用效应带来了一定的困难。本文结合规范，给出带横坡截面温差作用效应计算时，Civil 中梁截面温度参数设置的输入方法。

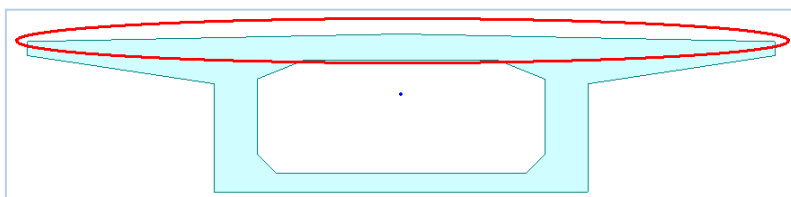
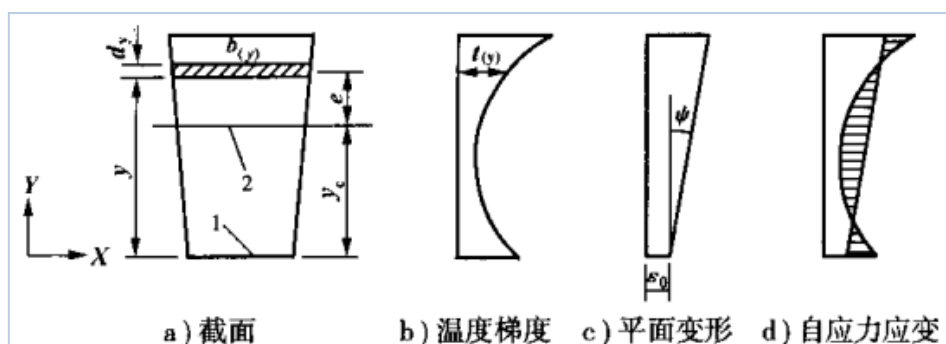


图 1 带横坡截面

2 带横坡截面-梁截面温度设置理论依据



自公式(附 B-4)可求得任意点应力 $\sigma_{s(y)}$:

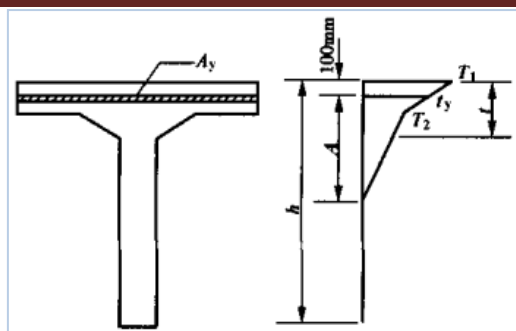
$$\sigma_{s(y)} = E_c [\alpha_c t(y) - (\epsilon_0 + \psi_y)] = E_c \alpha_c t_y - \frac{E_c \alpha_c t_y A_y}{A} + \frac{E_c \alpha_c t_y A_y e_y y_c}{I_g} - \frac{E_c \alpha_c t_y A_y e_y y}{I_g} \quad (\text{附 B-18})$$

如令: $N_{ti} = A_y t_y \alpha_c E_c$, $M_{ti} = -N_{ti} e_y = -A_y t_y \alpha_c E_c e_y$

$$\sigma_{s(y)} = -\frac{N_{ti}}{A} + \frac{M_{ti}}{I_g} (y - y_c) + t_y \alpha_c E_c \quad (\text{附 B-19})$$

图 2 温度梯度计算模式及任意单元面积 A_y 内的温差效应公式

首先，JTG D62-2004 附录 B 条文说明中关于温差作用效应的计算公式如图 2 所示，由公式附 B-18、B-19 可知，在计算温差作用效应时，定义了多层纤维面积 dy ，根据该单元面积所处的位置不同 (y 值) 来计算任意点应力。由其详细的推导过程可知，其实就是把截面划分成一个个单元面积，然后按类似积分的方式求算。



1 简支梁温差应力

$$N_t = \sum A_y t_y \alpha_c E_c \quad (B-1)$$

$$M_t^0 = - \sum A_y t_y \alpha_c E_c e_y \quad (B-2)$$

1) 正温差应力

$$\sigma_t = \frac{-N_t}{A_0} + \frac{M_t^0}{I_0} y + t_y \alpha_c E_c \quad (B-3)$$

2) 反温差应力, (B-1)、(B-2)、(B-3)内 t_y 取负值, 按(B-3)式计算。

式中 A_y ——截面内的单元面积;

t_y ——单元面积 A_y 内温差梯度平均值, 均以正值代入;

α_c ——混凝土线膨胀系数, 按《公路桥涵设计通用规范》JTG D60—2004 的规定采用;

E_c ——混凝土弹性模量;

y ——计算应力点至换算截面重心轴的距离, 重心轴以上取正值, 以下取负值;

e_y ——单元面积 A_y 重心至换算截面重心轴的距离, 重心轴以上取正值, 以下取负值;

A_0 、 I_0 ——换算截面面积和惯性矩。

图 3 附录 B 温差作用效应计算公式

其次, 规范在附录 B 中, 根据其条文说明的详细推导过程, 给出了具体的温差作用效应的计算公式。但是, 规范示意的似乎是平坡截面的计算公式, 并未给出带横坡截面等顶面非水平截面的温差作用效应计算公式, 是不是这类截面就不能准确计算了呢?

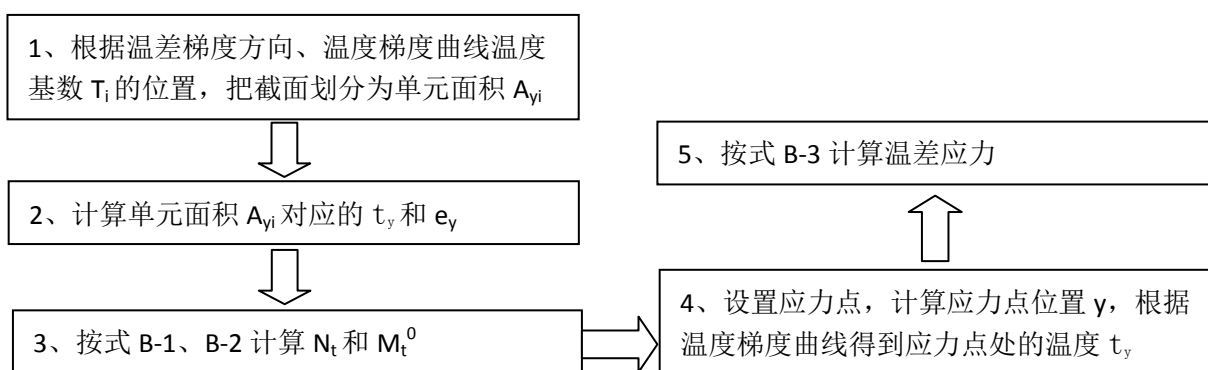


图 4 温差作用效应计算流程和要点

当然不是, 由附录 B 条文说明的推导过程, 可以清晰的了解到, 其实, 不管是平坡截面还是带横坡的截面, 亦或是顶面非水平的其他截面, 正确的计算方法都是相同的, 都是按照图 4 所示的流程和要点进行计算的。

3 带横坡截面-梁截面温度设置方法

由如上阐述，我们在理论层面上基本清楚带横坡截面如何计算温差应力，与平坡截面没有本质区别。现在的问题是，Civil 目前梁截面温度参数设置是在平坡截面的框架下给出的，这就需要在设置梁截面温度时进行一些等效代换。本文主要目的就是告知大家如何做等效代换，最终实现此类截面温差应力的准确计算。

为阐述该方法，现选取一个横坡为 2% 的单箱单室对称截面举例说明，如图 5 所示，蓝色线是截面轮廓线，下面将按图 4 所示的计算流程，阐述“带横坡截面-梁截面温度设置方法”。

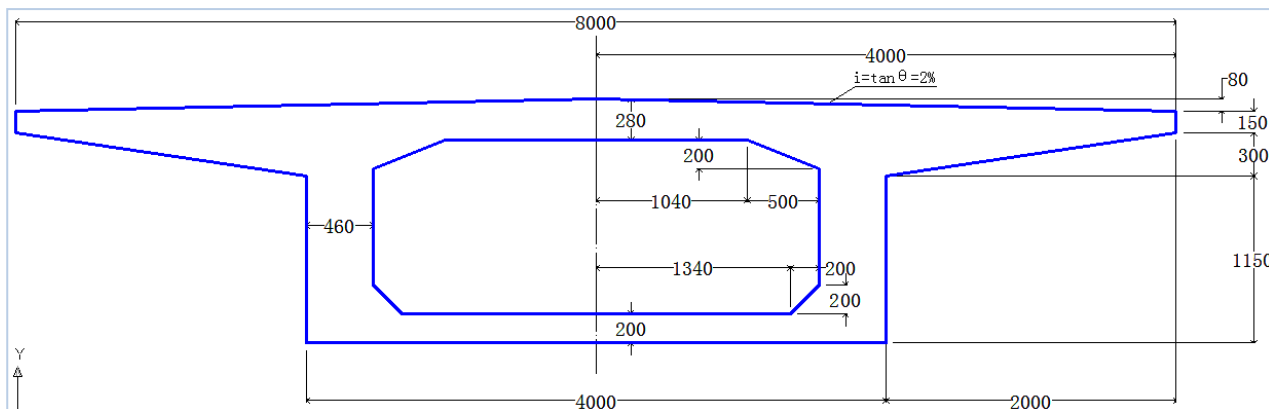


图 5 带横坡截面-梁截面温度计算示意图

3.1 截面单元面积 A_y 的划分

3 计算桥梁结构由于梯度温度引起的效应时，可采用图 4.3.10 所示的竖向温度梯度曲线，其桥面板表面的最高温度 T_1 规定见表 4.3.10-3。对混凝土结构，当梁高 H 小于 400mm 时，图中 $A = H - 100$ (mm)；梁高 H 等于或大于 400mm 时， $A = 300$ mm。对带混凝土桥面板的钢结构， $A = 300$ mm，图 4.3.10 中的 t 为混凝土桥面板的厚度 (mm)。

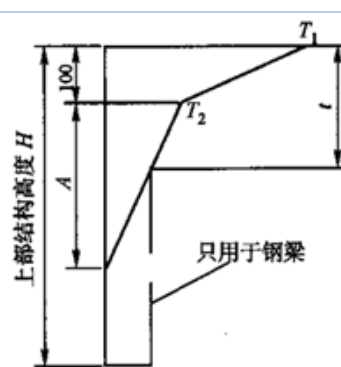


图 6 竖向温度梯度

根据 JTG D 60-2004 (4.3.10-3) 规定，如图 6，一般混凝土桥面板计算采用两折线温度，单元面积 A_1 厚度取 100mm， A_2 取 300mm 即可（因温差变化在折线范围内是线性的），本文为阐述方法的通用性及不规则单元面积如何处理等情况，对截面划分了单元面积 A_1 - A_4 ，如图 7 所示。

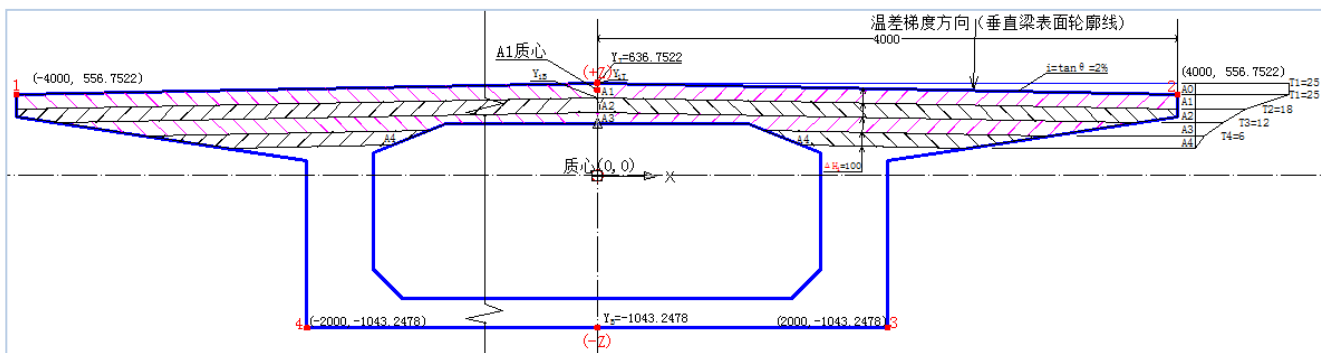


图7 正确的单元面积划分 A₁-A₄

单元面积划分的注意事项:

1) 关于温差梯度方向,如图7所示,横坡截面温差梯度的方向是垂直于横坡线的方向,所以,每个单元面积都是平行截面横坡线向截面内进行偏移划分的。沿Y轴负方向水平向下偏移划分单元面积是不正确的,如图8,因为温差梯度方向一定是沿着表面向截面内渐变的。另外,本例每个单元面积的 ΔH 取值为100mm,温度基数为25℃、18℃、12℃、6℃。如果是按规范要求定义两个单元面积,则 $\Delta H_1=100\text{mm}$, $\Delta H_2=300\text{mm}$ 即可。

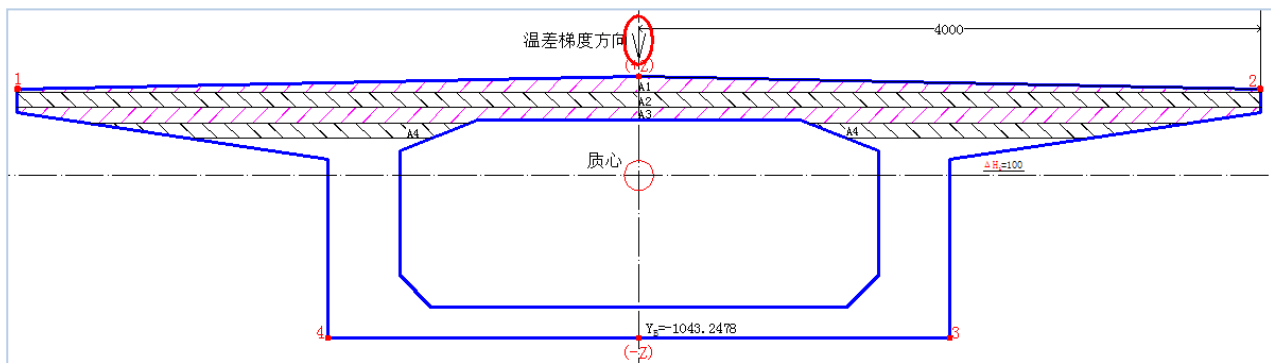


图8 沿Y轴负方向水平向下偏移划分单元面积

2) 由图7, A₂-A₄单元面积是非规则图形,在温差作用效应计算时,需准确知道该单元面积质心到全截面质心的距离(e_y),所以,推荐用CAD中的reg命令对单元面积定义面域,然后用massprop命令查询该面域的面积和质心坐标等数据,以便后续计算等效代换参数。

3) 此时划分的单元面积 A_i,就是根据截面的实际形状和真正的温差梯度方向得到的,所以,此时 ΔH 值的选取一定要结合规范来定义,也就是每个 A_i 对应的 ΔH_i 都是温度梯度曲线折点处温度基数 T_i 对应的位置确定的。图9中,根据规范,则 A₁ 对应的 $\Delta H_1=100\text{mm}$, A₂ 对应的 $\Delta H_2=A$ (300mm)。本例,为阐述等效方法,把单元面积按 T₁-T₄ 为温度基点的位置划分了4个单元面积,并假定了 $\Delta H_i=100\text{mm}$ 。

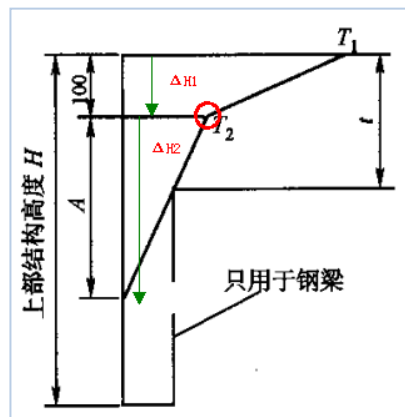


图9 ΔH 取值示意图

3.2 等效代换梁截面温度参数计算

3.1 节中根据温度梯度曲线的温度基数确定单元面积 A_i 的高度 ΔH , 然后划分好了单元面积 A_i , 同时, 使用 CAD 中的 reg、massprop 命令得到单元面积 A_i 的面积、坐标等参数, 如图 10 所示。在表 1 中, 根据这些已知的截面数据计算在 Civil 定义梁截面温度时需要填入的参数, 这时的思路是等效代换, 即把实际截面划分的单元面积 A_i 等效代换成便于在 Civil 中输入参数的矩形单元面积, 代换的原则是:

1) 单元面积 A_i 的质心位置不变, 以保证图 3 中式 B-1、B-2、B-3 中的 y 、 e_y 是实际截面中划分的单元面积对应的位置。

2) 保证单元面积 A_i 值、每个单元面积 A_i 内温差梯度平均值 t_y 、线膨胀系数 α_c 、混凝土弹性模量 E_c 这些参数未发生改变。其中, t_y 、 α_c 、 E_c 在该等效代换的方法中, 没有做任何改变, 是自然满足的, 无需考虑。

3) 计算应力点位置 y 的准确计算; 应力点对应温度梯度曲线处温度值 t_y 的准确调取。注意, B-3 式中的第三项中的 t_y 不是某一个划分的单元面积对应的温差梯度平均值, 而是计算应力点处对应的温度值。

原则 1、2 是为了保证等效代换时 B-3 式中前两项计算准确; 原则 3 是为了保证 B-3 式中第三项计算准确。

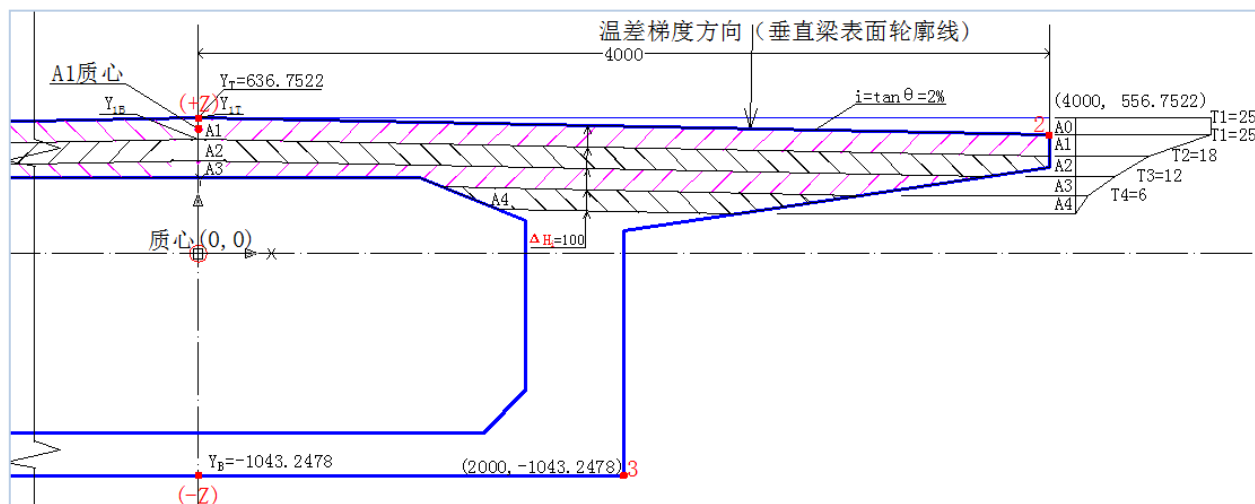


图 10 等效代换示意图

表 1 Civil 梁截面温度输入参数换算

截面固有参数				等效代换方法需计算的数据				Civil 中梁截面温度设置输入参数计算					
项目	面积 A/mm ²	质心坐标		原 Δ H	等效矩 形条高 度Δ H'	等效单元面积 A _i 为矩形条的顶底 坐标		等效矩形条尺寸及对应的温度曲线					
		X	Y (e _y)			B' =A/Δ H'	H1=Y _T -Y _{iT}	H2=Y _T -Y _{iB}	T ₁	T ₂			
全截面	4364000	0	0			Y _{iT} =Y+Δ H' /2	Y _{iB} =Y-Δ H' /2	计算得到等 效矩形条的 宽度。	单元面积 A ₀ 是为了满足代换原 则 3 中, 准确调取计算应力点对 应的温度值而设, 将 B' 设置为很 小的值, 使 A _y ≈0, 排除对 B-3 式中前两项计算结果的影响。A ₀ 的 H2 令其等于 A ₁ 的 H1 即可。	计算某一个应力点的温度 t _y 值 时, 是根据该应力点对应的已经 设置的温度曲线处的值, 故为保 证本例截面顶点 (+Z) 的温度值, 虚设了 A ₀ 段, 并使 T ₁ =T ₂ =25℃			
顶点 (+Z) Y _T	/	0	636.7522										
应力点 1	/	-4000	556.7522										
应力点 2	/	4000	556.7522										
应力点 3	/	-2000	-1043.2478										
应力点 4	/	2000	-1043.2478										
A ₀	0	/	/	/	80	/	/	0.0001	0	80	25	25	
A ₁	800159.984	0	546.7422	100	20.02	556.7522	536.7322	39968.03117	80	100.02	25	18	
A ₂	785430.5652	0	448.0606	100	100	498.0606	398.0606	7854.305652	138.6916	238.6916	18	12	
A ₃	614680.2572	0	355.4611	100	100	405.4611	305.4611	6146.802572	231.2911	331.2911	12	6	
A ₄	308858.9788	0	250.1073	100	100	300.1073	200.1073	3088.589788	336.6449	436.6449	6	0	

表 1 内容是等效代换方法参数计算的核心, 看似繁杂, 其实, 只需注意几个关键点即可很容易的完成设置参数的计算。截面固有参数可在 CAD 中用 reg 定义面域后, massprop 命令得到全截面、各单元面积的质心和面积等数据。为了让读者很好的理解表 1 的数据关系, 在表 2 中, 做了更详细的解释。同时, 在图 11 中, 示意了等效单元面积 (或矩形条) 与温差梯度曲线的关系。

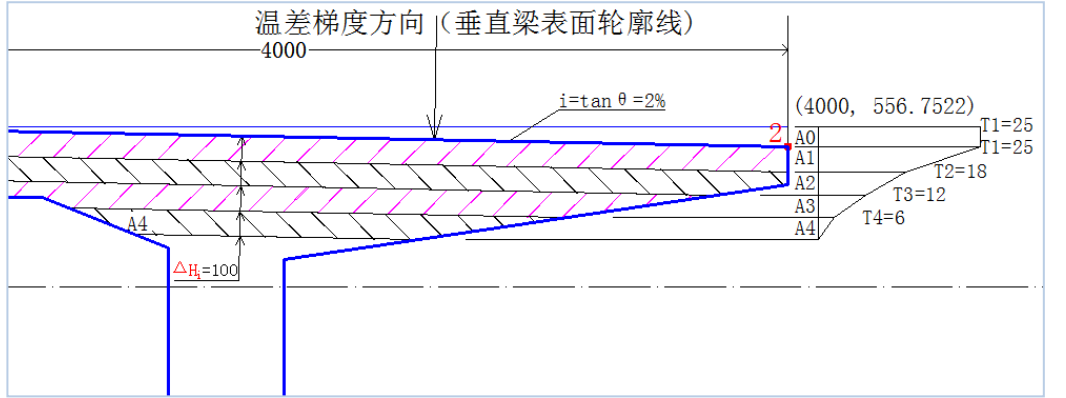


图 11 等效单元面积 (或矩形条) 与温差梯度曲线的关系

表 2 等效代换原则详解

项目	针对于等效原则的处理方式		总结
	等效代换原则 1、2	等效代换原则 3	
A_0	A_0 是虚设单元面积,其 B' 、 $\Delta H'$ 等参数无需特别考虑。将 B' 设为极小值,这是为了保证 A_0 的面积约为 0,这样 B-3 式中的前两项结果为 0,而不影响温差应力的计算结果。当然,为保证温度曲线的连续,令 A_0 段的 H_2 等于 A_1 段的 H_1 即可。	由于 B-3 的第 3 项是需要计算应力点的温度值,然后根据应力点位置 y 对应温度曲线的温度值,故令 A_0 段温度基数 $T_1=T_2=25^\circ\text{C}$,这时,整个横坡线上的温度值才都是 25°C 。	可见,如此处理,既保证了虚设的 A_0 不会产生面积,进而影响温差应力计算公式前两项的结果,同时也保证了截面顶点(+Z)及横坡线上的应力点温度值的准确调取。
A_1	A_1 - A_4 单元面积等效的原则是质心位置不变,所以,等效的矩形条顶底坐标只能是其质心坐标 Y 加减	但是,由于应力点调取温度值的原因, $\Delta H'$ 需要根据等效代换原则 3 中所述计算,以保证计算应力点刚好对应的温度值。	A_1 等效矩形条是需要特殊关注的,因为 A_1 所处的温度基数 T_1 刚好是要计算的应力点位置,在保证了原则 1、2 的同时,还要让应力点的 y 值刚好在 T_1 的位置上,故如此处理。
A_2 - A_4	$1/2\Delta H'$ 得到。	$\Delta H'$ 没有特别要求,等于 ΔH 即可。	直接等效成矩形条即可。
温度曲线未包括的范围,比如梁底(-Z)、3、4 应力点,计算该应力点应力时,B-3 式中第 3 项的 t_y 自然就是 0 了。			

3.3 梁截面温度设置

带横坡截面或者不规则截面通常是要用“设计用数值截面”类型,故输入梁截面温度用“一般截面”类型,按表 1 中“Civil 中梁截面温度设置输入参数计算”粉色区域的数据输入,见图 12。等效输入的 B' 、 H_1 、 H_2 等非实际截面尺寸,是等效成矩形条后的尺寸而已。

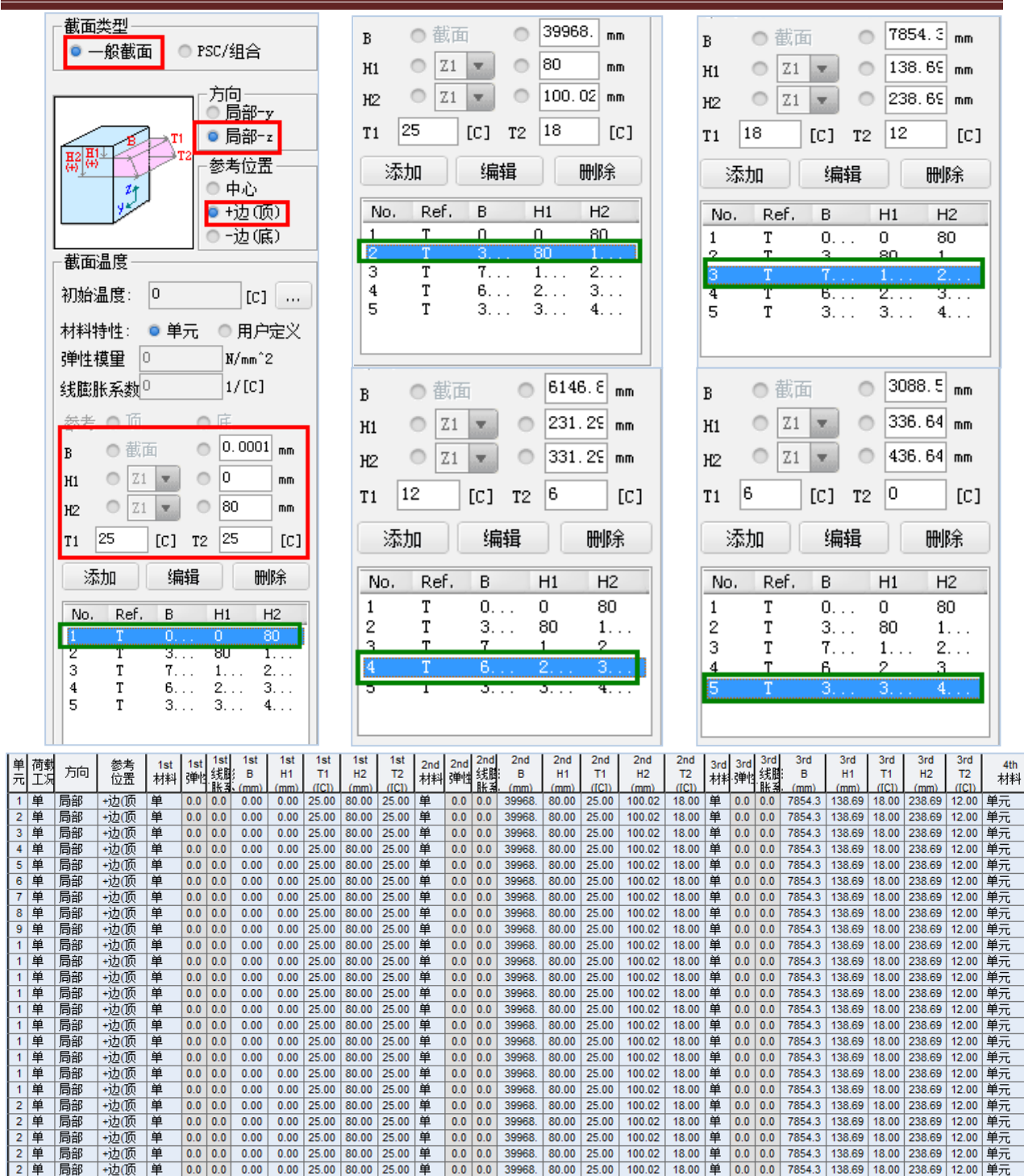


图 12 Civil 中梁截面温度输入

4 结果对比及验证

等效代换的思路、原则、具体方法（表 1、表 2）等都阐述完了，本节对等效代换的计算结果进行验证。图 13 中是 Civil 中截面计算应力点与手算计算应力点的位置对应关系，其中应力点（+Z）对应 Civil 截面的顶点。

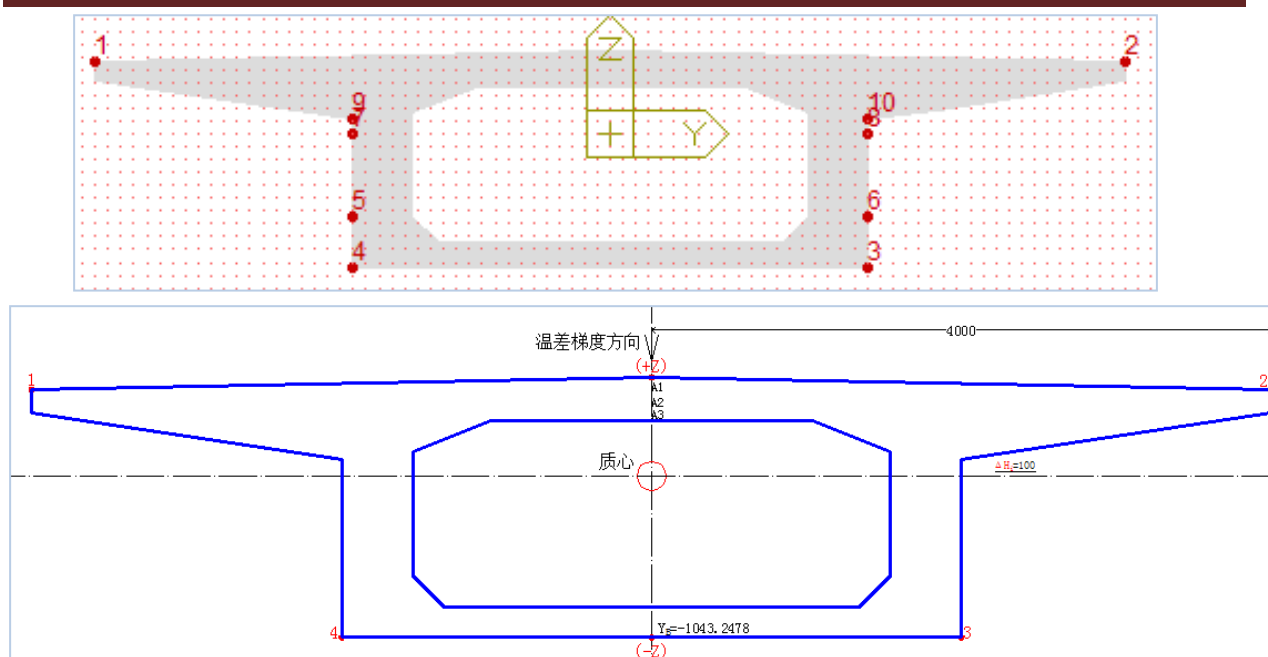


图 13 温差应力计算点示意图

表 3 中是根据公式 B-1、B-2、B-3 手算的计算结果，图 14 为 Civil 计算结果，对比可知，手算结果和 Civil 计算结果一致，验证了等效代换方法的正确性。

表 3 温差效应手算计算过程

按 B-1、B-2 计算 N_t 、 M_t^0		A_0	A_1	A_2	A_3	A_4
顶板升温面积	A_y	0	800159.984	785430.5652	614680.2572	308858.9788
顶板升温温度	t_y	25	21.5	15	9	3
线膨胀系数	α_c	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001	0.00001
弹性模量	E_c	3.45E+04	3.45E+04	3.45E+04	3.45E+04	3.45E+04
A_y 质心至全截面质心的距离	e_y	0	546.7422	448.0606	355.4611	250.1073
温度轴向力	N_t	0.0000E+00	5.9352E+06	4.0646E+06	1.9086E+06	3.1967E+05
温度弯矩	M_t^0	0.0000E+00	-3.2450E+09	-1.8212E+09	-6.7843E+08	-7.9952E+07
按 B-3 计算应力 σ_t						
全截面面积	A_0	4364000	ΣN_t	1.2228E+07	应力点对应关系	
全截面惯性矩	I_0	1.42353E+12	ΣM_t^0	-5.8246E+09	1、2	Cb1、Cb2
		应力点位置 y	应力点温度 t_y	σ_t	3、4	Cb3、Cb4
应力点	1、2	556.7522	25	3.5449E+00	(-z)	弯矩 (-z)
	3、4	-1043.2478	0	1.4666E+00	(+z)	弯矩 (+z)
	(+z)	636.7522	25	3.2176E+00		

$$B-1式 \quad N_t = \sum_0^4 A_y t_y \alpha_c E_c \qquad B-2式 \quad M_t^0 = \sum_0^4 A_y \alpha_c E_c$$

$$B-3式 \quad \sigma_t = -\frac{N_t}{A_0} + \frac{M_t^0}{I_0} y + t_y \alpha_c E_c$$

单元	荷载	位置	轴向 (N/mm ²)	剪力-y (N/mm ²)	剪力-z (N/mm ²)	弯矩(+y) (N/mm ²)	弯矩(-y) (N/mm ²)	弯矩(+z) (N/mm ²)	弯矩(-z) (N/mm ²)	Cb(min/m ax)	Cb1(-y+z) (N/mm ²)	Cb2(+y+z) (N/mm ²)	Cb3(+y-z) (N/mm ²)	Cb4(-y-z) (N/mm ²)
1	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
2	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
3	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
4	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
5	单元	应力 σ 计算结果对比					0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
6	单元						0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
7	单元	①、②=3.55	Cb1、Cb2=3.53			0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
8	单元						0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
9	单元	③、④=1.47	Cb3、Cb4=1.49			0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
10	单元						0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
11	单元	③、④=1.47	弯矩(-z)=1.49			0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
12	单元						0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
13	单元	⑤=3.22	弯矩(+z)=3.20			0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
14	单元						0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
15	单元	可见,手算与 Civil 计算结果一致。					0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
16	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
17	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
18	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
19	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
20	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
21	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
22	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
23	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00
24	单元条	2/4	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	0.00e+00	-3.20e+00	-1.49e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-3.53e+00	-1.49e+00	-1.49e+00

图 14 Civil 中梁截面温度应力计算结果及对比

5 总结

综上所述,带横坡截面的梁截面温度计算在 Civil 中是完全可以精确计算的,只需要做一下简单的等效代换即可。本文中虽然是双向横坡对称截面,但是,只要掌握了等代原则,理解了规范计算公式的要旨,无论是双向横坡,还是单向横坡,亦或是其他截面形状都是可以做等效代换并准确计算梁截面温差作用效应的。需注意的是,这种等效代换,只能保证计算的应力点处的计算结果是准确的,截面其他部分的温度应力不一定是准确的,这是由于实际的温差梯度方向(垂直横坡线向截面内偏移)与程序识别的方向不一致(默认是沿 Z 轴负向)。但这并不影响设计结果,因为设计时验算的位置恰恰是我们精确计算的应力点位置。

可能遇到的问题:假如我们要计算的应力点不是上述的情况,而是在截面内部或者在设定好的温度曲线范围内,这时为了准确调取该点温度值,就需要类似本文中 A_0 的设置,在所取应力点的位置虚设一个单元面积 A_1 ,同样,要保证该虚设单元面积的 $A_y=0$,然后令该虚拟单元面积的温度曲线刚好是这个应力点所需温度值即可。

参考文献

- 1.公路桥涵设计通用规范 JTG D60-2004,北京:人民交通出版社,2004;
- 2.公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 JTG D62-2004,北京:人民交通出版社,2004;
3. midas Civil 技术资料:温度荷载-梁截面温度设置;