

槽形梁竖荷载作用分析及常规计算原则

上海铁道学院 江新元 胡匡璋

预应力混凝土槽形梁是一种梁板组合的下承式结构。图 1 为槽形梁截面的示意图及各部名称, 其中道床板的计算跨度 B 取两侧主梁腹板中线与板中线交点间的距离。

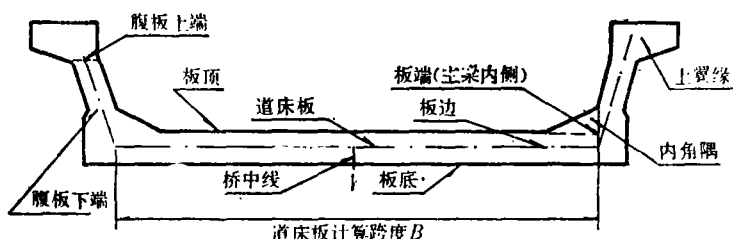


图 1 槽形梁示意图及各部名称

在竖向荷载作用下, 位于梁体下翼缘的道床板, 除产生双向弯曲和扭转外, 还作为主梁截面的一部分而引起拉伸; 梁体的空间变形及主梁的受力状态; 端横梁的作用及其影响等, 都比一般上承式桥梁要复杂得多。槽形梁这种空间整体作用的强弱, 主要取决于各部尺寸的相互比例与支承条件。本文试通过我国已建成的20m双线和24m单线两座试验桥(四点支承)的影响线分析及静动载试验, 并对不同跨度单、双线槽形梁进行系列化的理论分析, 从中得出若干分析意见及结论。在此基础上, 归纳提出槽形梁常规设计计算原则建议。

我们采用的影响线荷载图式如图 2 所示,

横向为单位线荷载, 分布宽度 a 按常规计算方法(分布主板中面)确定, 纵向则为 $P = a$ 的集中荷载。

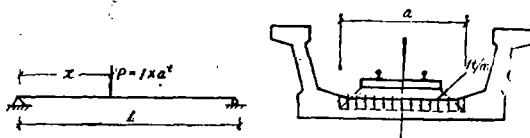


图 2 影响线荷载图式

一、道床板的剪力滞现象

在竖荷载作用下, 道床板作为梁体的一部分参与主梁共同工作而承受纵向拉应力。其沿板厚的平均值称为板的中面纵向正应力 σ_x 。在桥跨方向, σ_x 自跨中间梁端随弯矩的减小而逐渐降低。在板宽方向, σ_x 自板边向桥中线逐渐降低。后者就是所谓剪力滞现象, 它是由于道床板沿板宽方向的相对剪切变形而引起的。

剪力滞现象主要与道床板的长宽比 c 有关:

$$C = L/B \quad (1)$$

式中 L —— 桥跨;

B —— 道床板的计算跨度。

图3表示两座试验桥(双线 $C=2.17$, 单线 $C=4.27$) σ_x 沿板宽的分布, 以各截面板边的应力为100, 由图中可见, 越接近梁端剪力滞现象越显著。控制设计的主要是跨中, 其剪力滞系数 ξ 分别达到0.75与0.94。

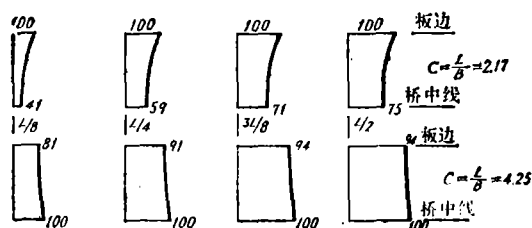


图3 道床板的剪力滞现象

由系列化分析得出 ξ 与 C 的关系基本上为一直线, 可近似表示为:

$$\xi = 0.5 + 0.12C \leq 1.0 \quad (2)$$

式中剪力滞系数:

$$\xi = \sigma_{xc} / \sigma_{xb} \quad (3)$$

式中 σ_{xc} —— 桥中线处道床板中平面上由于全部竖荷载引起的纵向正应力;

σ_{xb} —— 主梁在道床板中平面水平处由于全部竖荷载引起的纵向正应力。

支承条件对跨中截面的剪力滞系数基本上不发生影响; 板厚减小, ξ 略有降低, 但影响不大, 可略而不计。

剪力滞现象直接影响到道床板作为主梁翼缘的有效宽度问题。这个问题无论在T形截面的上承式桥或像槽形梁这样的下承式桥都同样存在。为了简化计算, 通常是取一定宽度的道床板作为主梁翼缘, 这个宽度称为“计算宽度”。假定在此计算宽度范围内的道床板中, 应力分布完全相同。计算宽度的确定须使简化计算得到的主梁中的应力分布与理论计算值基本吻合。我国铁路《桥规》第2—160条根据国内外资料规定: 当梁梗两边伸出的板为对称时, 板的计算宽度采用下列三项中的最小值:

- (1) 梁计算跨度的 $1/3$;
- (2) 两相邻梁轴线间的距离;
- (3) 自梗肋以外每侧再加6倍板厚。

根据我们对两座试验桥及系列化的研究, 这个规定对槽形梁也基本适用。按这个规定计算得到的主梁上、下边缘弯曲的纵向正应力与理论计算值相比, 偏差约为5%。根据这个规定, 单线桥跨度20m以上、双线桥跨度32m以上皆受上述第(2)款限制, 即道床板全宽均可作为主梁翼缘参与工作。单线桥跨度16m及双线桥跨度24m以下则受上述第(1)款限制, 只能取道床板的一部分作为主梁翼缘。

必须指出: 当取部分道床板作为主梁翼缘时, 其桥中线附近未作为主梁翼缘的一段, 并非完全不受主梁弯曲的影响, 仍须按(3)式计算桥中线处道床板中平面上的纵向正应力 σ_{xc} 。此外, 在预加力作用下无例外地可以取道床板全宽作为主梁翼缘计算, 不受上述三项规定的限制。

二、板的横向弯矩及横向正应力

槽形梁与一般上承式梁相比, 不仅道床板的计算跨度 B 要大得多, 而且主梁对板的箝制作用也显得微弱。道床板的厚度还直接影响到槽形梁的建筑高度和结构自重, 故道床板的设

计往往成为整个槽形梁的关键问题。为正确掌握道床板作用的规律, 首先研究其横向弯矩影响线。

1. 横向弯矩 M_y 的影响线分析

图4及图5分别表示24m单线及20m双线试验桥桥中线及板端的横向弯矩影响线, 单、双线桥的荷载横向分布宽度 a 为3.52m与7.64m。影响线竖坐标的定义为所求影响线处单位(1m)板宽所承受的横向弯矩值, 以t—m计。由于是四点支承, 支点截面($X=0$ 及 $X=L$)的影响线竖坐标不等于零。

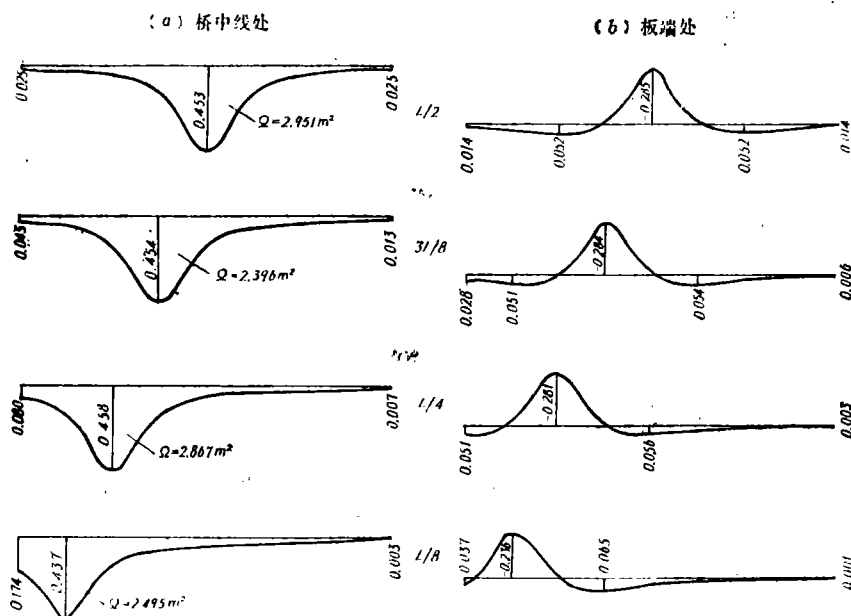


图4 24m单线桥的 M_y 影响线

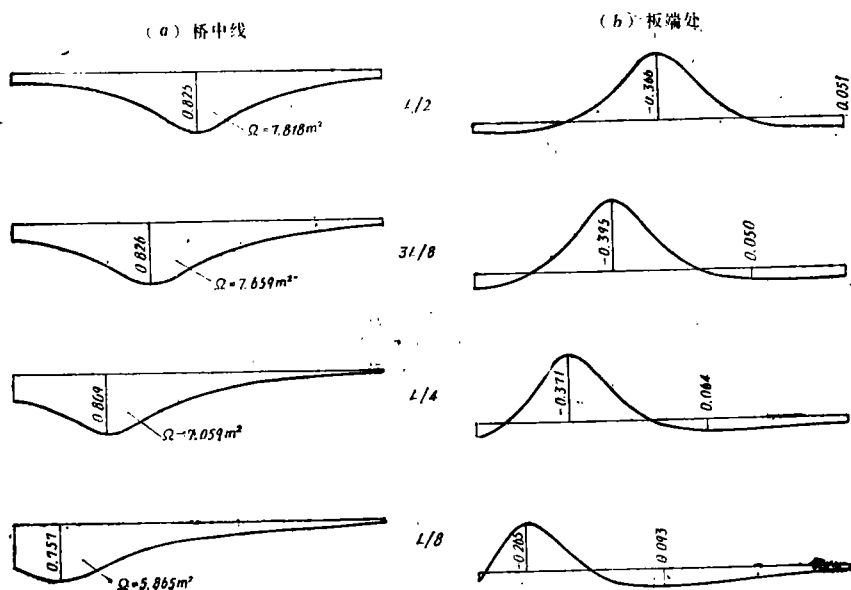


图5 20m双线桥的 M_y 影响线

根据影响线的形态分析道床板上横向弯矩作用的特征,可以得到以下几点结论:

(1) 冲击系数的取值问题:由于空间整体作用,桥上任意一点活载的影响范围扩及全桥,所以按《桥规》第2—66条钢筋混凝土桥 $1 + \mu = 1 + \frac{12}{30 + L}$ 公式来计算道床板的冲击系数, L 值取用桥跨长度为宜。经两座试验桥动载试验的测定,当车速达到 85 km/h,道床板及端横梁的冲击系数最大值均小于按主梁跨度 L 计算出来的冲击系数。

(2) 桥中线处 M_y 影响线的形状都是具有明显顶点的凹曲线, M_y 以全桥满载所控制。而以往习惯上对道床板活荷载的计算都是取用轴重为 25t 的特种荷载,顺桥方向分布在 1.2m 长度上,则 1m 长板段承受均布荷载 $25/1.2 = 20.83\text{t/m}$ (每线)。如果取三角形影响线顶点在中点的换算均布荷载,当跨长为 20m 时 $K = 11.02\text{t/m}$ (每线)。跨度越大, K 值越小,就是计入歪曲系数:双线桥一般小于 1.1、单线桥也不过在 1.2 上下的影响予以加大,显然按习惯上的取值 (20.83t/m) 是太大了。

我们建议取中-活载的五大轮轴重 22 吨顺桥方向分布在轴距 1.5m 长度上,得到每米板段承受的荷布荷载为 $22/1.5 = 14.67\text{t/m}$ (每线),不考虑特种荷载。这样就有效地考虑了槽形梁的整体作用而仍然偏于安全。跨度越大,偏安全越多;双线桥比单线桥潜在的安全度更大。

(3) 自 $L/2$ 至 $L/8$ 各截面的桥中线 M_y 影响线顶点坐标都很接近,影响线面积也相差不多,可以认为道床板横向弯矩在桥梁中段大部分长度上几乎不变。接近梁端的道床板横向弯矩则由于端横梁的存在而略有减小。

(4) 板端 M_y 影响线存在多符号区段。在活载作用点道床板横向挠曲,力图将主梁向同一方向扭转,而主梁因受活载作用点两侧稍远处道床板的抵抗,使之力求保持原来位置,于是在活载作用点附近的板端出现负弯矩,而在稍远处出现正弯矩。在全桥满布活载作用下,影响线正负面积部分抵消,板端负弯矩不是最不利情况,但从影响线正负面积之差可以断定板端仍为负弯矩,这对道床板桥中线处的正弯矩区是有利的。

(5) 自 $L/2$ 至 $L/4$ 各截面板端 M_y 影响线的负弯矩区段长度大致相等与道床板的计算跨度 B ,其峰值也十分接近,对该区段单独加载可得到板端的最大负弯矩值。

(6) 当在板端横向弯矩影响线的正弯矩区段加载时,活载会使板端产生正弯矩。越靠近梁端的道床板,此项正弯矩越大,此外自重和恒载的作用对该处的板端也引起正弯矩。因此对板端须考虑正负弯矩的最不利作用

2. 横向弯矩及常规计算建议

道床板最大横向弯矩值,应考虑空间的整体作用根据槽形梁恒载及活载(影响线最不利加载)的组合来确定,简称理论分析值,见表 1 顺序①。该表顺序②是根据恒载及轴压 22t 分布在 1.5m 板段上的活载共同作用,以计算跨度为 B 的简支梁或固端梁计算而得,表中简称简支梁或固端梁计算值。活载均计入主梁的冲击系数。

由表中可以看出,在桥中线处单、双线桥这两种方法算出的横向弯矩比值 M_{y0}/M_0 ,即横向弯矩系数 α 为 0.74 和 0.65。它是一个综合系数,既包含主梁对道床板箱制的影响,又包含活载取值不同的影响。由系列化分析得出不同跨度单、双线槽形梁的这个比值主要与道床板的长宽比 C 值有关。建议常规计算时可偏安全地取用下式 α 系数,

$$\alpha = 0.6 + 0.05C \leq 0.85 \quad (4)$$

两座试验桥道床板的横向弯矩 (单位: t-m)

表 1

顺 序	荷载情况及计算方法	24 米 单 线 桥		20 米 双 线 桥	
		桥 中 线	板 端	桥 中 线	板 端
①	理论分析值	$M_{y0} = 17.28$	$M_{y1} = -5.73$	$M_{y0} = 43.59$	$M_{y1} = -11.47$
②	简支梁计算值	$M_0 = 23.34$		$M_0 = 67.13$	
	固端梁计算值		$M_1 = -14.96$		$M_1 = -44.37$
	①/②	$\alpha = 0.74$	0.38	$\alpha = 0.65$	0.26

$$\text{桥中线正弯矩} \quad M_{y0} = \alpha M_0 \quad (5)$$

板端正负弯矩值一般并不很大, 况且板端已借助内角隅而加高, 一般不会控制设计, 但为配筋参考起见, 可建议常规计算时取:

$$\text{板端负弯矩} \quad M_{y1} = 0.5 M_1 \quad (6)$$

$$\text{板端正弯矩} \quad M_{y2} = 0.3 M_{y0} \quad (7)$$

3. 板的横向正应力 σ_v

板的横向正应力是由沿板厚平均的横向正应力 σ_{vc} 与横向弯矩 M_v 所引起的应力 σ_{vm} 叠加而成。 σ_{vc} 是由主梁的水平横向弯曲与扭转所产生的, 在道床板的纵向截面上, 位于梁体中段大部分的长度上是拉应力, 而在梁端附近及端横梁中则为压应力, 它们沿跨长方向自相平衡。在沿桥中线的纵向截面上 σ_{vc} 的值最大。

由系列化分析得知 σ_{vc} 随板的长宽比 C 值的减小而加大, 但 σ_{vc} 与 σ_v 之比最大也不过在10%左右。在常规计算中为简便起见宁可将 M_v 估计得大一些而略去 σ_{vc} 的影响不计。计算表明: 按(4)式 α 系数所得 M_{y0} 值计算出来的板底拉应力(不考虑 σ_{vc})与理论计算值 σ_v 相当接近。

三、板的纵向弯矩及纵向正应力

作用在道床板上的竖荷载通过槽形梁的整体作用而分布在桥跨方向相当大的范围内, 主要是依靠道床板纵向受弯。保持道床板在纵向为一整体, 是降低其横向弯矩的必要条件。纵向弯矩使板底受拉, 与道床板的平均(中面)拉应力叠加, 使桥中线处板底纵向拉应力恒大于主梁下边缘的纵向拉应力, 是配置纵向预应力筋的控制条件之一。

图六及图七绘出两座试验桥道床板桥中线处的纵向弯矩 M_z 的影响线。根据影响线的形态特征的分析, 可得以下几点结论:

(1) 影响线具有明显的峰值, 在距离峰值稍远处迅速消失, 这表明在一定范围以外的板段对所求影响线点的纵向弯矩影响极微。

(2) 自 $L/2$ 至 $L/4$ 各截面的影响线面积大致相等, 即沿跨长中段大部分道床板皆处于大致相同的 M_z 作用下。

(3) 若以影响线主要正面积区段化作峰值不变的三角形, 则其底宽大约相当于板计算跨度 B 的0.7(双线)至0.9(单线)倍, 这表明活载沿纵向传布的范围与道床板宽度有关。

(4) 对照图 4 及图 5 板的横向弯矩 M_y 影响线, 在跨中桥中线处纵横向弯矩影响线面积之比, 在单线桥为 $\beta_1 = 0.964/2.951 = 0.327$, 在双线桥为 $\beta_1 = 3.089/7.818 = 0.395$ 。但是该比值不能代表道床板的纵横向弯矩之比, 因为主梁自重会在道床板上产生纵向弯矩, 而对道床板的横向弯矩基本不发生影响。

(5) 尽管 M_x 影响线的歪曲系数很大, 其荷载最不利位置对板底纵向正应力 σ_x 并不是最不利情况。计算表明, 若用三角形影响线的换算均匀荷载计算 σ_x , 则最大误差仅达 10% 左右。故应按板底纵向正应力的控制条件来确定相应的纵向弯矩 M_x 计算值。

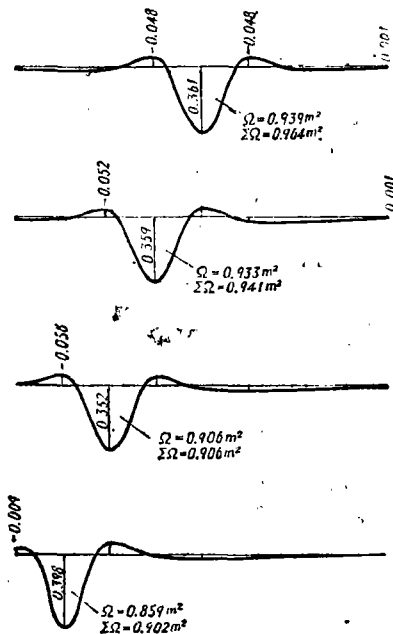


图 6 24m 单线桥的 M_x 影响线

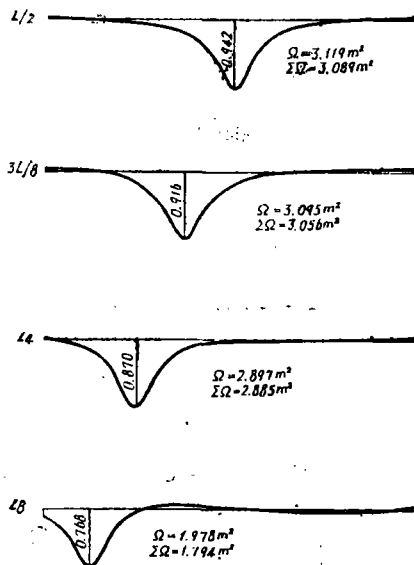


图 7 20m 双线桥的 M_x 影响线

根据理论计算, 在恒载及活载共同作用下, 其中活载取用三角形影响线顶点在中点的换算均匀荷载并计入冲击系数, 所得两座试验桥跨中桥中线处的 M_x 单、双线桥分别为 6.59 及 19.63 t-m。该值与表 1 所列的 M_0 相比为 0.282 及 0.292。经系列化分析得出道床板纵向弯矩 M_x 在各种跨度的槽形梁中均变化甚微。建议在常规计算时偏安全地取下式来确定 M_x :

$$M_x = 0.35 M_0 \quad (8)$$

板的纵向正应力 σ_x 由板厚平均纵向正应力 σ_{xc} 与纵向弯矩 M_x 引起的应力 σ_{xm} 叠加而成:

$$\sigma_x = \sigma_{xc} + \sigma_{xm} \quad (9)$$

σ_{xc} 可按 (3) 式计算; σ_{xm} 可按 (8) 式的 M_x 计算。 σ_x 由桥中线向两侧逐渐降低, 至内角隅范围内即基本扯平。

四、板的扭矩及纵向水平剪应力

道床板的纵向水平剪应力 τ_{xv} 系由两部分组成: 一是道床板参与主梁下翼缘工作而产生的中面剪应力 τ_v , 它是沿板厚均匀分布的; 另一是由于单位板宽上的扭矩 M_{xv} 引起的扭剪应

力 $\tau_m = M_{xy}/W$, W 是单位板宽的截面模量。 τ_c 与 τ_m 均自桥中线向两侧逐渐增大, 主扳边达到最大值。内角隅部分虽然扭矩和水平剪力都要更大些, 但由于板厚增加, 一般不控制设计。以下仅分析道床板板边的扭矩与纵向水平剪应力。

作为简支体系的槽形梁, 在竖荷载作用下道床板所受的拉力自梁端向跨中随弯矩的增大而逐渐增加。因此在板边的纵截面上必作用有沿板厚均匀分布的中面剪应力 τ_c , 以平衡其横截面上的拉力之差。对道床板而言该剪应力 τ_c 的方向均自跨中指向梁端, 当 τ_c 为最大的位置大致位于板与端横梁交界的变截面处。经理论计算分析, 在近似计算中可引用《桥规》第2—156条第四款来计算 τ_c , 即:

$$\tau_c = \tau \cdot \frac{t}{\delta} \cdot \frac{s_1}{s} \quad (10)$$

式中 τ ——主梁常规计算的中和轴处的竖向剪应力;

t ——主梁中和轴处(即腹板)厚度;

δ ——板边处道床板厚度;

s ——主梁常规计算的中和轴以下部分面积对中和轴的静矩;

s_1 ——有效宽度范围内道床板面积对中和轴的静矩。

道床板的扭矩 M_{xy} 是由板的相对扭转而引起的。板一方面参与主梁下缘共同作用与主梁一同挠曲, 另一方面受板上荷载的直接作用而产生局部挠曲, 这两项挠曲合并形成道床板的挠曲面。在前一项挠曲中, 主梁与板并不产生相对扭转, 在板的同一横截面上, 各点的挠度与转角是相同的, 即 $\frac{\partial w}{\partial x}$ 沿 y 向的变化等于零($\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} = 0$); 而后一项挠曲所产生的挠度, 非但在各个横截面上不同, 而且沿 y 方向也不同, 即 $\frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \neq 0$, 于是出现相对扭转及扭矩。影响扭矩 M_{xy} 大小及方向的因素甚多, 主要与板的长宽比、厚度、支承条件及端横梁的尺寸有关。

图8绘出两座试验桥板边扭矩影响线。扭矩以绕截面外法线顺时针为正。由图中可以看到自 $L/8$ 至 $L/2$ 截面的板边扭矩影响线是以负面积占主要地位, 其负扭矩区段的影响线面积相当接近, 按影响线最不利位置加载所得的活载最大扭矩也大致相等。

在 $x = 0 \sim L/2$ 的左半跨上的负扭矩及在 $x = L/2 \sim L$ 的右半跨上的正扭矩均使板厚上半部的扭剪应力 τ_m 指向梁端, 与 τ_c 方向一致, 使板顶的纵向水平剪应力 τ_{xy} 控制设计。从两座试验桥的 τ_{xy} 与 M_{xy} 影响线形状比较来看, 两者非常相似, 因而可以通过 M_{xy} 影响线最不利位置加载所得的活载最大扭矩来确定板顶最大的纵向水平剪应力。

综合考虑恒载及活载的共同作用, 由系列化分析得出板边扭矩可按式(11)进行常规计算:

$$M_{xy} = \lambda(q_D + q_L)b^2 \quad (11)$$

式中 b ——道床板板边之间的距离, m;

q_D ——作用在板边之间单位面积上的恒载, t/m^2 ;

q_L ——作用在板边之间单位面积上的活载, 取三角形影响线长度为跨长, 顶点在端点的换算均匀活载, 按图2所示的横向分布宽度 a 计算, 并计入冲击系数, t/m^2 ;

λ ——扭矩系数, $L/8$ 截面处取 $\lambda = 0.0225$, 跨中截面处取 $\lambda = 0.006$ 。

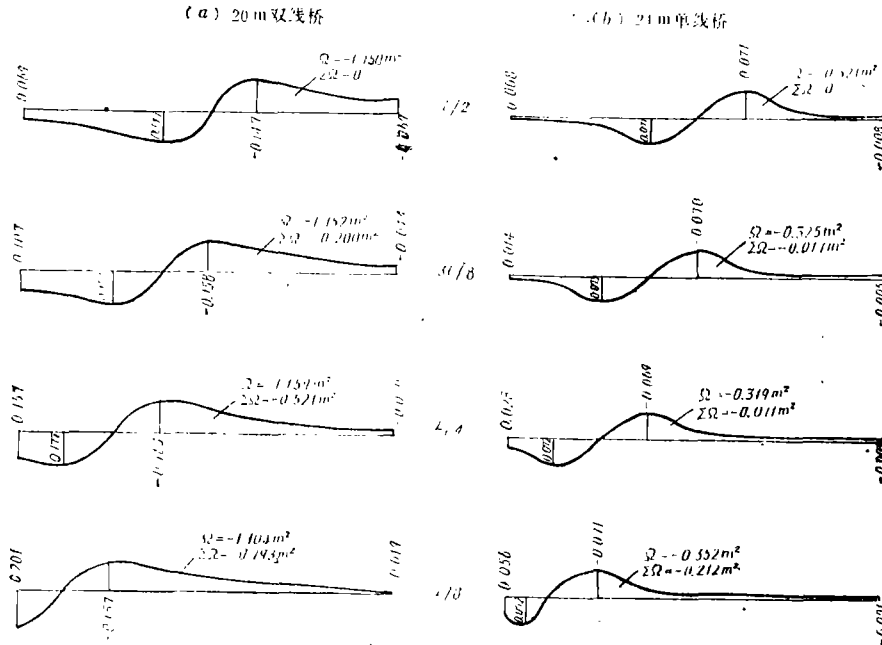


图8 两座试验桥板边扭矩影响线

五、主梁的受力状态

槽形梁受竖向荷载的作用,其主梁的纵向正应力 σ_x 沿跨长方向呈抛物线变化,以跨中截面所控制, σ_x 沿梁高基本上呈直线变化,上缘受压、下缘受拉。由于受主梁倾斜引起的水平挠曲及板端负弯矩引起较薄的腹板向内突起等影响,使主梁翼缘与腹板内外侧的纵向正应力呈不均匀分布。在跨中上下缘最大应力处,两侧 σ_x 仅相差 $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$,因此在常规计算时可不必考虑此项差异。主梁 σ_x 影响线形状与三角形十分相近,歪曲系数很小,活载可取用三角形影响线的换算均匀荷载, σ_x 以全桥满载控制设计。考虑到道床板的剪力滞作用,按《桥规》第2—160条规定取一定宽度的道床板作为下翼缘,其 σ_x 的计算结果与理论计算值可以吻合得相当好。

主梁腹板在双向弯曲、剪切和扭转共同作用下,所引起的纵横向正应力及剪应力不仅沿腹板高度,而且沿腹板厚度呈不均匀分布。由这种双向应力状态按平面问题计算得出的主应力的分布就相当复杂。现根据两座试验桥主应力影响线分析,围绕出现最大主应力的 $L/4 \sim 3L/4$ 截面的桥梁中段、最大主拉与主压应力位于腹板下端与上端的内侧处,来确定最不利荷载情况。由于该控制区段上下端内侧的主应力影响线形状与三角形影响线相当接近,因此可按恒载与三角形影响线换算均布活载共同作用的全桥满载(即简称设计荷载)来予以分析。兹分述如下:

(1) 腹板纵向正应力 σ_x :

表2列出了两座试验桥在设计荷载作用下,跨中截面腹板上、下端的 σ_x 理论计算值。腹板上端受压,内侧压应力与中面压应力相比仅差 $1\% \sim 5\%$ 。而下端内侧的拉应力也仅比中面

应力大 $1 \sim 3 \text{ kg/cm}^2$, 与该点主拉应力值相比, 尚不足构成较大的威胁。近似计算可取中面 σ_x 来代替。

两座试验桥跨中截面腹板、 σ_x 、 σ_y 值 t/m^2 表 2

项 目	位 置	20m 双 线 桥			24m 单 线 桥		
		外 侧	中 面	内 侧	外 侧	中 面	内 侧
纵 向 正 应 力 σ_x	腹板上端	-517.21	-543.31	-569.42	-539.29	-531.88	-524.47
	腹板下端	24.99	41.44	57.89	-9.46	15.62	40.70
横 向 正 应 力 σ_y	腹板上端	-60.65	-3.77	53.11	-61.32	-13.56	34.20
	腹板下端	-240.52	65.56	371.63	-107.63	41.91	191.44

(2) 横向正应力 σ_y

腹板横向正应力系指沿腹板中心线方向, 见图 9 所示。荷载通过道床板作用在主梁上, 一方面使腹板产生均匀分布的横向正应力 σ_{y1} ; 另一方面引起垂直腹板本身平面的弯矩 M_{y3} , 从而产生沿腹板厚度不均匀分布的 σ_{y2} 。腹板的横向正应力 σ_y 就是由这两项应力叠加而成。两座试验桥的跨中截面腹板 σ_y 值列于表 2。

在腹板下端的中面上 σ_{y1} 为拉应力, 其沿桥跨方向在桥梁中段变化很小尚不到 1 kg/cm^2 , 近似计算可以看作道床板上的全部荷载 (包括自重) 悬挂在主梁腹板上使主梁腹板均匀受拉。

腹板横向弯矩 M_{y3} 沿腹板高度自下向上递减, 对控制主拉应力设计的腹板下端, 沿桥跨方向 M_{y3} 的变化见表 3。由表中可见, M_{y3} 在跨中附近出现最大的使腹板内侧受拉的负弯矩, 其绝对值自跨中向桥端逐渐减小, 至支 endpoint 横梁附近变为正弯矩, 这就显示出末端半框架对道床板承受横向弯矩所起的支撑作用。

设计荷载作用下腹板下端横向弯矩 M_{y3} 值 t/m 表 3

	$L/2$	$3L/8$	$L/4$	$L/8$	$L/16$	0
20m 双 线 桥	-6.98	-6.64	-5.13	-0.28	9.37	11.12
24m 单 线 桥	-2.24	-2.21	-1.94	-0.56	1.42	8.66

腹板下端横向弯矩 M_{y3} 的大小主要与腹板厚度 t 对道床板厚度 δ 之比及腹板下端的位置有关, 该最大的 M_{y3} 与常规计算的板端负弯矩 M_1 之比, 在单线桥为 $-2.24/-14.96=0.150$ 、在双线桥为 $-6.98/-44.37=0.157$ (其中 M_1 见表 1)。参照系列化分析, 并考虑到 M_{y3} 影响线的歪曲情况, 建议常规计算采用下式来确定 M_{y3} 是偏于安全的。

$$\text{腹板下端横向负弯矩} \quad M_{y3}=0.2M_1 \quad (12)$$

表 2 所列腹板上端横向正应力 σ_y 与该处纵向正应力 σ_x 相比较小, 对主压应力影响较弱, 建议近似计算时可以略而不计 σ_y 。而单、双线桥在腹板下端内侧出现高达 19.14 及 37.16 kg/cm^2 的 σ_y 拉应力, 对这样大的横向拉应力必须设置足够的竖向预应力筋来克服。

(3) 腹板剪应力 τ_{xy}

τ_{xy} 由腹板中面 (平均) 剪应力 τ_1 与扭矩引起的 τ_2 叠加而成。当全桥受对称均匀满载作

用时, 跨中截面腹板上 $\tau_{xy} = 0$; 靠近支点的 $L/16$ 截面处的 τ_{xy} 接近于最大值。表4给出两座试验桥 $L/16$ 截面在设计荷载作用下产生的剪应力值。

两座试验桥 $L/16$ 截面腹板剪应力 \bar{C}_{xy} 值 t/m^2

表4

	20m 双 线 桥			24m 单 线 桥		
位 置	外 侧	中 面	内 侧	外 侧	中 面	内 侧
腹 板 上 端	-212.22	-163.06	-114.00	-229.10	-198.95	-168.80
腹 板 下 端	-213.98	-204.15	-194.32	-236.22	-218.69	-201.16

表4所列的平均剪应力 τ_1 , 因腹板下端比上端离主梁截面形心轴较近, 故前者略高于后者。经比较, 在常规计算时可近似用普通材料力学的方法来求得 τ_1 值。

由扭矩引起的扭剪应力 τ_2 沿腹板高度不是一个常数, 说明主梁截面各部扭转不同, 因此不能将主梁当作轮廓形状不变的开口截面看待。在控制主拉应力设计的腹板下端, τ_2 仅占中面剪应力 τ_1 的5%~9%, 常规设计时可略而不计扭矩的影响。在主压应力控制设计的腹板上端内侧, 扭剪应力反而使该点 τ_{xy} 比中面剪应力有所减小, 常规计算时不计扭矩的影响, 不仅简化了计算而且也偏于安全。两座试验桥测试的结果表明了 τ_2 值确实很小。

(4) 主拉应力 σ_{x1} 及主压应力 σ_{x2} :

图9绘出两座试验桥在设计荷载作用下腹板上下端内侧主应力的分布情况。最大主压应力 σ_{x2} 位于跨中截面的腹板上端内侧, 其数值与该点的平均纵向正应力 $-543.31t/m^2$ (双线) 及 $-531.88t/m^2$ (单线) 相当接近, 并不控制设计。

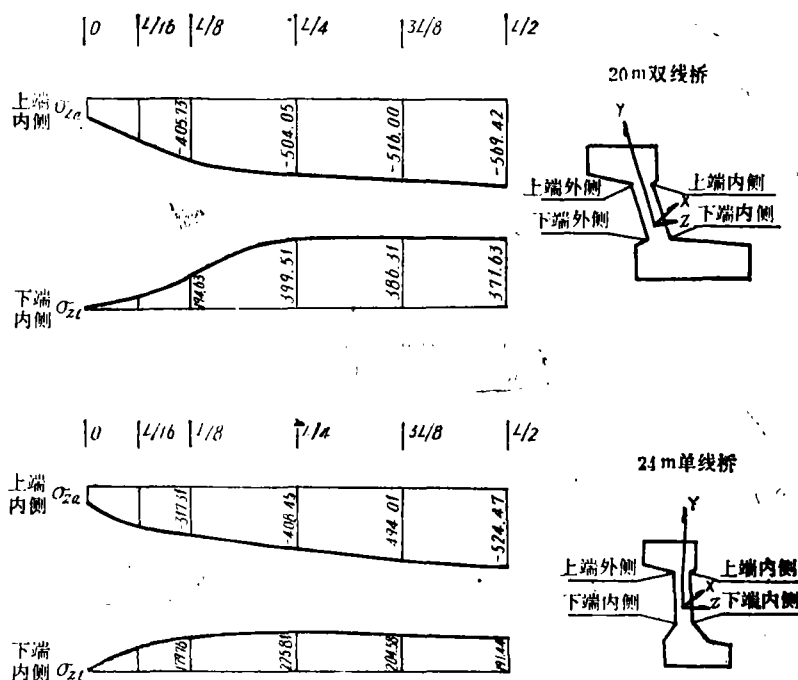


图9 两座试验桥腹板主应力分布图

腹板下端内侧主拉应力 σ_{x1} , 在桥梁中段变化幅度很小, 其中起主要作用的是腹板均匀受拉及横向负弯矩引起的横向拉应力 σ_v 。由于剪应力 τ_1 自跨中向梁端逐渐增大, 至 $L/4$ 截面处出现主拉应力最大值, 单、双线桥分别达到 22.58kg/cm^2 与 39.95kg/cm^2 , 故应对该处的 σ_{x1} 进行插算。至于在靠近梁端腹板变厚度处, 由于腹板下端横向弯矩 M_{v3} 变号成为正弯矩以及平均剪应力 τ_1 较大, 使之下端外侧主拉应力在单、双线桥中出现高达 33.54kg/cm^2 与 37.47kg/cm^2 , 只要采取一些构造措施是可以克服的, 即在该处加密箍筋和在端部腹板加厚段增设成对的竖向预应力筋等。

六、端横梁的作用及计算方法

设置端横梁不仅是为了满足施工维修的需要, 而且对槽形梁空间整体作用具有一定的影响。通过变换端横梁刚度的系列化分析, 从中得出当端横梁厚度增大即刚度增大时, 对槽形梁内力与变形的影响是:

(1) 减小了端横梁的竖向挠度, 对列车平顺过桥及减小冲击作用非常有利。

(2) 增加了桥梁末端半框架的横向刚度, 可提高主梁的抗扭作用, 即增强主梁对道床板横向抗弯的箝制作用, 可大为减小道床板的横向正弯矩及板底的横向拉应力, 从而能减薄道床板的板厚及降低槽形梁的建筑高度。但与此同时增加了板端的横向负弯矩及腹板下端内侧的横向拉应力 σ_v 和主拉应力 σ_{x1} 有所增大, 须配置更多的竖向予应力筋或加厚腹板。

(3) 道床板板边负扭矩 M_{xv} 急剧增大, 使板边板顶处的纵向水平剪应力随之增大。通过理论计算还发现, 当采用四点支承不设端横梁时, 桥梁支点的板边上显示出正扭矩。因此适当选择端横梁刚度可使板边扭矩达到最小值, 现有两座试验桥的端横梁尺寸较为适宜, 可供参考。

(4) 对梁体的纵向受力状态, 即对主梁纵向正应力、道床板中面纵向正应力包括板的剪力滞现象、板的纵向弯矩等影响极微。

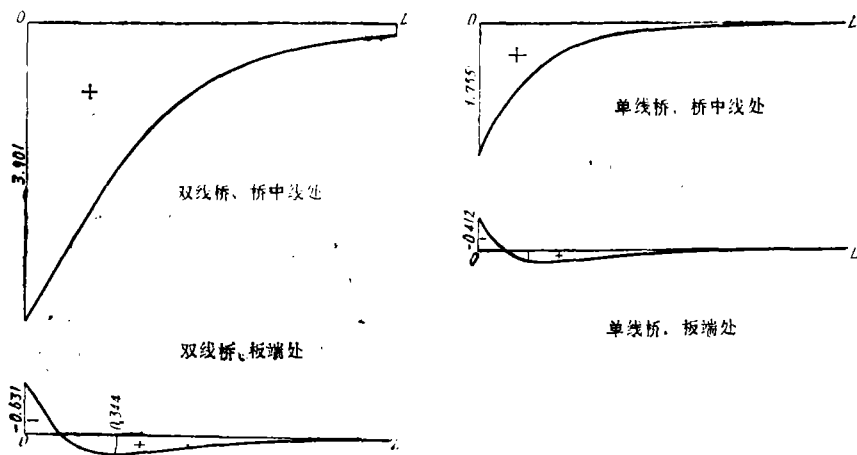


图10 两座试验桥端横梁 M_v 影响线

端横梁的设计计算主要取决于其所承担的荷载范围。作用在端横梁本身上的恒、活载当然由端横梁承担,作用在端横梁附近道床板上的荷载也必然有一部分传到端横梁上。图10给出了两座试验桥端横梁桥中线处及板端处横向弯矩 M_x 的影响线。从中可见:桥中线处 M_x 影响范围扩及全桥,以全桥满载所控制。板端处 M_x 影响线有两个符号区段,在端横梁本身上作用荷载时,板端出现负弯矩;离端横梁稍远处以至梁的另一端作用荷载时,板端处出现正弯矩,正弯矩区的面积则大于负弯矩区的面积。

根据理论分析及两座试验桥端横梁实测结果,与近似计算对比,建议端横梁所承受的荷载范围如图11所示,由端横梁本身的平面面积与一个三角形面积组成。三角形底宽为主梁内侧的净距 e ,顶高为 $0.5e$ 。活载应通过特种荷载与中-荷载的五大轮荷载的比较来确定,其纵横向分布宽度与道床板计算相同。端横梁计算截面只计矩形部分(宽度为 b_2),不考虑倾斜过渡段。端横梁桥中线处的横向正弯矩按计算跨度为 B 的简支梁图式求得,末端处正负弯矩均取桥中线正弯矩的0.2倍来确定。

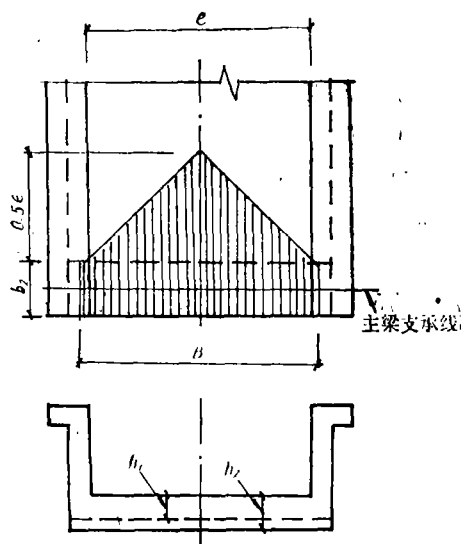


图11 建议端横梁所承受的荷载范围