

第一节 概述

- 主要内容
- √内力
主梁 横梁 桥面板 支座 墩台等重要构件
- √变形
- 强度验算
- 刚度验算
- 配筋验算
- 施工验算

第二节 主梁结构内力计算

- 设计内力
强度验算和配筋的依据
- 施工内力
各施工控制环节和措施产生的内力分布进行内力叠加
- 组合结构考虑应力叠加

设计内力：

计算荷载的组成

通常情况下，恒载及活载占设计内力的主要比重

一 恒载内力计算

必须考虑施工过程中的体系转换，不同的荷载作用在不同的体系上；不同的施工方法带来不同的结构体系，产生不同的结构内力分布。

1、施工过程中无体系转换

静定结构浇注施工

满堂支架现浇施工

所有恒载直接作用在超静定结构（连续梁）上

- 根据自重集度沿跨长进行积分求解

2.施工过程发生体系转换

- 1) 逐跨架设

a 简支变连续施工

一期恒载作用在简支梁上，二期恒载作用在连续梁上，

分段逐跨施工桥面铺装

b 逐跨施工--悬臂梁转换为连续梁

主梁自重内力图，应由各施工阶段时的自重内力图迭加而成

- 2) 平衡悬臂施工

分清荷载作用的结构

体现约束条件的转换

主梁自重内力图，应由各施工阶段时的自重内力图迭加而成

注意多跨连续梁悬臂施工过程的内力图

- 3) 顶推法

顶推过程中，梁体内力不断发生改变，梁段各截面在经过支点时要承受负弯矩，在经过跨中区段时产生正弯矩

施工阶段的内力状态与使用阶段的内力状态不一致

施工过程内力成动态 影响参数有哪些
配筋必须满足施工阶段内力包络图
最大控制内力出现的时间节点
最大控制内力的计算

二 活载内力计算

活载内力由基本可变荷载中的车辆荷载(包括汽车、人群)产生。
在使用阶段，结构已成为最终体系，其纵向的力学计算图式是明确的。

$$S = (1 + \mu) \cdot \xi \cdot (m_c \cdot q_k \Omega + m_i \cdot P_k \cdot y_i)$$

直接在内力影响线上布载
各类结构影响线的求解

三 内力组合

基本组合

- 1.2*恒荷载+1.4*汽车荷载
- 1.2*恒荷载+1.4*汽车荷载+0.8*1.4*人群荷载
- 1.2*恒荷载+1.4*汽车荷载+
0.7*（1.4*人群荷载+1.1*风荷载）
- 1.2*恒荷载+1.4*汽车荷载
+0.6*（1.4*人群荷载+1.1*风荷载+1.4*土压力）
- 1.2*恒荷载+1.4*汽车荷载+0.5*（1.4*人群荷载
+1.1*风荷载+1.4*土压力+1.4*汽车制动力）

应注意的是，在荷载组合中，必须针对结构所处的实际情况作分析，要对结构受力特性有清晰的了解。例如对超静定预应力混凝土梁桥，在极限状态设计中，上述荷载组合中可以不考虑预加应力引起的结构次内力，也可不考虑混凝土徐变引起的结构次内力。因为，当结构受力进入塑性阶段，结构在受拉部分已开裂，预应力或其他原因引起的弹性变形所受到的约束作用减弱，由此而产生的结构次内力也就大大减小。又如在何时应考虑离心力，或船只、漂流物的撞击力都应根据结构的实际工作状态作出抉择。

四 内力包络图

沿梁轴的各个截面处、将所采用的控制设计内力值按照适当的比例尺绘成纵坐标，连接这些坐标点而结成的曲线称为内力包络图。

第三节 预应力束计算

- 参考结构设计原理
- 束界 的概念
- 截面效率指标
- 按简支梁在预加力阶段和运营阶段上、下缘拉应力为零（或者不超限）的前提来分析其截面的受力特点

第四节 桥面板计算

一、行车道板的类型

- 行车道板的作用——直接承受车轮荷载、
把荷载传递给主梁

有横隔梁时 与横梁，主梁整体相连传递荷载

无横隔梁时 各梁肋之间结合整体，传递荷载的作用主要由其来承担
常规梁桥的行车道板在构造上与主梁和横隔梁联结在一起，形成复杂的梁格体系，按其支情况可分为：

- （一）单边支承
- （二）两边支承
- （三）三边支承
- （四）四边支承
- 受力分类
 - 单向板
 - 双向板
 - 铰接板
 - 悬臂板

二、车轮荷载的分布

公路汽车车轮压力通过桥面铺装层扩散到钢筋混凝土路桥面板，由于板的计算跨径相对于轮压分布宽度不是很大，故在计算中将轮压作为分布荷载来处理。

- 轮压一般作为分布荷载处理，以力求精确
- 车轮与桥面的接触面看作是矩形面积
- 车轮着地面积： $a_2 \times b_2$
- 桥面板荷载压力面： $a_1 \times b_1$
- 荷载在铺装层内按 45° 扩散。
- 沿纵向： $a_1 = a_2 + 2H$ 沿横向： $b_1 = b_2 + 2H$

三、有效工作宽度

- 板有效工作宽度（荷载有效分布宽度）：除轮压局部分布荷载直接作用板带外，其邻近板也参与共同分担荷载。

1、 计算原理

总值不变，峰值相等

有效工作宽度假设保证了两点：

- 1) 总体荷载与外荷载相同
- 2) 局部最大弯矩与实际分布相同

对板来讲：以宽度为 a 的板来承受车轮荷载产生的总弯矩，既可满足弯矩最大值的要求，计算也方便。

对荷载而言：荷载只在 a 范围内有效，且均匀分布。一旦确定了 a 的值就可以确定作用在 $a \times b_1$ 范围内的荷载集度 p 了。

需要解决的问题： m_{xmax} 的计算

影响 m_{xmax} 的因素：

- 1) 支承条件：双向板、单向板、悬臂板
- 2) 荷载长度：单个车轮、多个车轮作用
- 3) 荷载到支承边的距离

两端嵌固单向板

- 1) 荷载位于板的中央地带

单个荷载作用

$$a = a_1 + \frac{l}{3} = a_2 + 2H + \frac{l}{3} \geq \frac{2l}{3}$$

多个荷载作用 各有效分布宽度发生重叠时, 应按相邻靠近的荷载一起计算其共有的有效分布宽度。

$$a = a_1 + d + \frac{l}{3} = a_2 + 2H + d + \frac{l}{3} \geq \frac{2l}{3}$$

2) 荷载位于支承边处

$$a' = a_1 + t = a_2 + 2H + t \geq \frac{l}{3}$$

3) 荷载靠近支承边处

$$a_x = a' + 2x$$

当荷载由支承处向跨中移动时, 相应的有效分布宽度是近似按 45° 线过度的。

(二) 悬臂板

悬臂板在荷载作用下除了直接受载的板条外, 相邻板条也发生挠曲变形而承受部分弯矩荷载作用在板边时(弹性板理论)

$$m_{x\min} \cong -0.465P$$

$$a = \frac{M_0}{M_{x\min}} = \frac{-Pl_0}{-0.465P} = 2.15l_0$$

取 $a=2l_0$

通过与上述单向板的类似分析可知, 悬臂板的有效工作宽度接近于两倍悬臂长度, 也就是说, 荷载可接近按 45° 角向悬臂板支承分布。

规范规定

$$a = a_1 + 2b' = a_2 + 2H + 2b'$$

四、桥面板内力计算

1、多跨连续单向板的内力

1) 弯矩计算模式假定

①若主梁的抗扭刚度很大, 板的行为就接近于固端梁。

②若主梁的抗扭刚度极小, 板与梁肋的连接就接近于自由转动的铰接, 板的受力就类似多跨连续梁体系

若实际上, 行车道板和主梁梁肋的连接情况既不是固接, 也不是铰接, 而应是考虑为弹性固接

实际受力状态: 弹性支承连续梁

先计算同跨简支板跨中弯矩, 再修正。

简化计算公式:

当 $t/h < 1/4$ 时 :

$$\text{跨中弯矩 } M_c = +0.5M_0$$

$$\text{支点弯矩 } M_s = -0.7M_0$$

当 $t/h \geq 1/4$ 时 :

$$\text{跨中弯矩 } M_c = +0.7M_0$$

$$\text{支点弯矩 } M_s = -0.7M_0$$

M_0 ——按简支梁计算的跨中弯矩

2) 考虑有效工作宽度后的跨中弯矩

1m 宽简支板

$$\text{活载弯矩 } M_{0p} = \frac{1}{8}gl^2 + (1+\mu)\frac{P}{8a}(l - \frac{b_1}{2})$$

$$\text{恒载弯矩 } M_{0g} = \frac{1}{8}gl^2$$

- 3) 考虑有效工作宽度后的支点剪力
车轮布置在支承附近

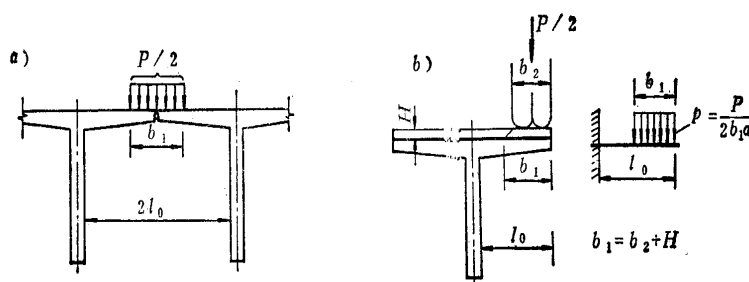
$$Q_s = \frac{gl_0}{2} + (1+\mu)(A_1 \cdot y_1 + A_2 \cdot y_2)$$

2、悬臂板的内力

1) 计算模式假定

铰接悬臂板——车轮作用在铰缝上

悬臂板——车轮作用在悬臂端



- 2) 铰接悬臂板最不利荷载位置是把车轮荷载对中布置在铰接处，这时铰内的剪力为零，铰接悬臂板可简化为悬臂板，两相邻悬臂板个承受半个车轮荷载

$$\text{活载 } M_{sp} = -(1+\mu)\frac{P}{4a}(l_0 - \frac{b_1}{4})$$

$$\text{恒载 } M_{sg} = -\frac{1}{2}gl_0^2$$

3) 自由悬臂板

活载

$$\left. \begin{aligned} M_{sp} &= -(1+\mu) \cdot \frac{1}{2}pl_0^2 = -(1+\mu)\frac{P}{4ab_1} \cdot l_0^2, (b_1 \geq l_0 \text{ 时}) \\ M_{sp} &= -(1+\mu) \cdot pb_1(l_0 - \frac{b_1}{2}) = -(1+\mu)\frac{P}{2a}(l_0 - \frac{b_1}{2}), (b_1 < l_0 \text{ 时}) \end{aligned} \right\}$$

恒载

$$M_{sg} = -\frac{1}{2}gl_0^2$$

对于悬臂板，计算梁肋处最大弯矩时，应将汽车车轮靠板的边缘布置，此时

$b_1 = b_2 + h$ (无人行道一侧) 或 $b_1 = b_2 + 2h$ (有人行道一侧)

第五节 结构挠度与预拱度计算

必须考虑施工过程中的体系转换，不同的荷载作用在不同的体系上

根据恒载及活载变形设置预拱度——大跨径时必须专门研究——大跨径桥梁施

工控制

预拱度设置原则:

某节点预拱度 = — (所有在该节点出现后的荷载或体系转换产生的位移)

■ 短期挠度 短期效应组合下 产生挠度

■ 长期挠度 计算受弯构件挠度时, 要考虑荷载长期效应的影响, 并以计算的弹性挠度值乘以挠度长期增长系数

由于随着使用时间的增长, 压区混凝土发生徐变; 拉区裂缝间混凝土与钢筋之间的粘结减退, 钢筋平均应变增大, 压区与拉区混凝土收缩不一致, 构件曲率增大以及混凝土弹模降低等, 致使构件刚度降低, 挠度增大。

受弯构件的刚度可按下式计算:

1 钢筋混凝土构件

$$B = \frac{B_0}{\left(\frac{M_{cr}}{M_s}\right)^2 + \left[1 - \frac{M_{cr}}{M_s}\right]^2 \frac{B_0}{B_{cr}}} \quad (6.5.2-1)$$

$$M_{cr} = \gamma f_{tk} W_0 \quad (6.5.2-2)$$

式中 B ——开裂构件等效截面的抗弯刚度;

B_0 ——全截面的抗弯刚度, $B_0 = 0.95 E_c I_0$;

B_{cr} ——开裂截面的抗弯刚度, $B_{cr} = E_c I_{cr}$;

M_{cr} ——开裂弯矩;

γ ——构件受拉区混凝土塑性影响系数, 按公式(6.5.2-7)计算;

I_0 ——全截面换算截面惯性矩;

I_{cr} ——开裂截面换算截面惯性矩;

f_{tk} ——混凝土轴心抗拉强度标准值。

2 预应力混凝土构件

1) 全预应力混凝土和 A 类预应力混凝土构件

$$B_0 = 0.95 E_c I_0 \quad (6.5.2-3)$$

2) 允许开裂的 B 类预应力混凝土构件

在开裂弯矩 M_{cr} 作用下 $B_0 = 0.95 E_c I_0 \quad (6.5.2-4)$

在 $(M_s - M_{cr})$ 作用下 $B_{cr} = E_c I_{cr} \quad (6.5.2-5)$

开裂弯矩 M_{cr} 按下式计算:

$$M_{cr} = (\sigma_{pc} + \gamma f_{tk}) W_0 \quad (6.5.2-6)$$

$$\gamma = \frac{2S_0}{W_0} \quad (6.5.2-7)$$

式中 S_0 ——全截面换算截面重心轴以上(或以下)部分面积对重心轴的面积矩;

σ_{pc} ——扣除全部预应力损失预应力钢筋和普通钢筋合力 N_{p0} 在构件抗裂边缘产生的混凝土预压应力,先张法构件和后张法构件均按本规范公式(6.1.5-1)计算,但后张法构件采用净截面;该式中的 N_{p0} 与本规范第 6.4.4 条同样办理;

W_0 ——换算截面抗裂边缘的弹性抵抗矩。

注:对变截面连续梁,当支座截面刚度不大于跨中截面刚度的两倍时,构件刚度仍可采用跨中截面刚度。

■ 长期挠度增大系数:

当采用 C40 以下混凝土时, $\eta_\theta = 1.60$;

当采用 C40 ~ C80 混凝土时, $\eta_\theta = 1.45 \sim 1.35$, 中间强度等级可按直线内插入取用。

钢筋混凝土和预应力混凝土受弯构件按上述计算的长期挠度值,在消除结构自重产生的长期挠度后梁式桥主梁的最大挠度处不应超过计算跨径的 $1/600$;梁式桥主梁的悬臂端不应超过悬臂长度的 $1/300$ 。

预应力混凝土受弯构件由预加力引起的反拱值,可用结构力学方法按刚度 $E_c I_0$ 进行计算,并乘以长期增长系数。计算使用阶段预加力反拱值时,预应力钢筋的预加力应扣除全部预应力损失,长期增长系数取用 2.0。

■ 预拱度的设置

受弯构件的预拱度设置对保证平顺行车至关重要,对全预应力混凝土构件,因为该类构件预应力度较大,预加应力引起的上拱度始终大于结构自重引起的下挠度,此时倒要考虑预加应力反拱值过大对桥梁造成不利影响。但对部分预应力混凝土桥梁,尤其是允许开裂的预应力混凝土桥梁,梁的上拱度大为减小,随时间增长梁将逐渐向下挠曲,必要时需设预拱度。

一. 钢筋混凝土梁桥变形计算

简支梁跨中挠度

预拱度

$$\Delta = -(f_g + \frac{1}{2} f)$$

二 预应力混凝土梁桥变形计算

■ 与钢筋混凝土梁的情况相反,对于那些按全预应力而不是按部分预应力设计的构件,荷载(广义的)往往引起向上的挠度,或称上挠度。这种挠度甚至会由于混凝土徐变作用和弹性模量 E 的变化而与时俱增。由此而造成不平顺的道路纵断面,将产生不舒适或者不安全的行车特征。因此,须慎重确定梁的反挠度和张拉龄期,设计应结合荷载产生的向下挠度和合理控制预加应力来避免产生过大的上挠度。

- 1) 考虑到在正常条件下构件的自重直接与初始预张拉相迭合,故构件在预张拉作用下的实际挠度
- 2) 长期挠度
- 3) 在应力损失和徐变发生后,当有效预张拉力和自重作用时,构件的总挠度
- 4) 再加上由于二期恒载 g_2 产生挠度(忽略加载龄期的差异)以及活载引起的瞬时挠度
- 5) 徐变是由于在收缩、松弛和徐变本身的组合作用而逐渐减小的预张拉力作用下发生的

需要用时段递增法来进行计算:

三 节段法施工时结构挠度计算

■ 施工过程中所产生的挠度,将涉及梁体自重、预应力、混凝土徐变、施工荷载等的作用。

■ 施工挠度和许多不定因素有关

施工龄期

温度

湿度

养护

材料

故精确计算比较困难

■ 虚梁法计算(共轭梁)

■ 引起某梁段平均挠曲角的弯矩也是由该段本身以及其后逐段施工加载(包括预加应力)所产生弯矩的总和

四 节段法施工预拱度设置

参考课本四个节段悬臂施工为例

第六节 牛腿计算

■ 对设计好的牛腿进行配筋,应力和强度验算

■ 牛腿部位应力复杂的原因

■ 计算

非腹板部位牛腿 腹板部位牛腿 牛腿横梁

■ 非腹板部位牛腿计算

近似按悬臂板计算 有效工作宽度 $b+2e$

悬臂梁牛腿计算

端横梁与端横隔板一起作为一根 L 形截面的横向连续梁进行设计

■ 腹板部位牛腿计算

计算截面的选取

第四章 梁桥实用空间理论分析

一. 空间分析理论

桥梁结构一般由多片主梁组成,并通过一定的横向联结连成一个整体。当一片主梁受到荷载作用后,除了这片主梁承担一部分荷载外,还通过主梁间的横向联结把另一部分荷载传到其他各片主梁上去,因此对每个荷载而言,梁是空间受力结构,对其求解需要建立空间的内力影响面来进行分析。

结构自重:按每片梁各自计算

二期恒载:均摊各梁计算

- 活载:常用的空间结构分析方法
- 梁格理论——主梁、横梁为系杆相连(早期用)
- 各向异性板理论——用于密排式主梁结构
- 有限元理论——较精确
- 实用空间理论——近似理论

对于桥梁空间结构;

板、横梁传力;

各梁均参与工作。受力特征属空间结构的范畴,应采用空间计算理论进行受力分析。

在简化分析中,需要将空间受力问题转化为平面受力问题,空间荷载效应转化为平面荷载效应。公路桥梁设计中,常用荷载横向分布程度的系数 m 与车辆轴重的乘积来表征平面荷载效应, m 表达了某单梁横桥向所等够承担的车辆荷载的最大比例系数,并以车辆轴重的形式表达,称之为荷载横向分布系数,也就是说 m 代表了横桥向某片梁最不利情况下分配到的 m 个车轴的荷载作用。

精确地空间影响面上加载

装配式 T 梁每片主梁: 内力 $S=P \cdot \eta(x,y)$

$$S(x,y) = \sum_{x,y} p(x,y)\eta(x,y) = \sum_{x,y} \alpha(y)P(x)\eta_1(x)\eta_2(y)$$

- 近似的原因——纵向各截面取相同的横向分配比例关系
- 荷载横向分布等代内力横向分布的荷载条件

$$\frac{w_1(x)}{w_2(x)} = \frac{M_1(x)}{M_2(x)} = \frac{Q_1(x)}{Q_2(x)} = \frac{p_1}{p_2}$$

半波正弦荷载可满足上述条件

$$p(x) = P_0 \sin \frac{\pi x}{l}$$

- 近似程度
 - 对于弯矩计算一般取跨中的横向分配比例关系
 - 跨中车轮占加载总和的 75%以上
 - 活载只占总荷载的 30%左右

当 $P=1$ 在空间结构上沿某横向位置移动时,某主梁截面内力值,即某截面内力在 y 方向的分配比例关系,称为“荷载横向分布影响线”。

当沿桥宽作用的车轮荷载不止一个时，在荷载横向分布影响线 $\eta_2(y)$ 上按横向最不利位置排列荷载，可求得其分配到的荷载最大值。

二. 横向分布系数——

一) 杠杆原理法

基本定义：

假定横向结构（桥面板和横梁）为在主梁上断开而两端简支搁置在主梁上的简支梁或悬臂梁。

当桥上有车辆荷载作用时，各轮重按简支梁反力的方式（杠杆原理）分配给左右两根主梁。

2. 适用条件：

主梁的刚度（或支承刚度）远大于主梁间横向联系的刚度

双主梁桥

横向联系横弱的无中间横隔梁的桥梁

二) 荷载横向分布计算—偏心压力法

1. 基本定义：

假定横隔梁刚性无穷大，且忽略主梁的抗扭刚度。

桥梁的挠曲变形完全类似于杆件偏心受压的情况。

2. 适用条件：

主梁的刚度小于主梁间横向联系的刚度

有可靠横向联结的窄桥 ($B/L \leq 0.5$)

各主梁间有较多的横隔梁相联

3. 偏心压力法的计算原理：

假定：横隔梁 $EI = \infty$ （刚性横梁） 刚性横梁法

偏心压力法求解荷载横向分布影响线的公式推导

(1)：假设的已知条件：

各片主梁的抗弯刚度 I_i

各片主梁到截面扭转中心的距离 a_i

单位竖向集中荷载 $P=1$ 距扭心的距离 e

4. 求解的目标：

桥面在单位竖向偏心荷载作用下，各片梁的反力 R_i 。

某片梁某截面的反力影响线=某片梁某截面的

荷载横向分布影响线偏心压力法求解荷载横向分布影响线的公式推导

5. 分析方法总述：

1) 偏心竖向力的荷载分解

一个作用在扭心的竖向力 P （也称中心荷载 P ）

一个作用在扭心的偏心力矩 $M = P \times e = e$

2) 各分解荷载在各主梁上产生的反力

R' (中心荷载 P 产生)

R'' (力矩 M 产生)

3) 偏心力矩为 e 的单位荷载 $P=1$ 对各主梁的总作用

6. 变形的分解

1) 纯竖向位移

由于中心荷载作用下，刚性中横梁整体向下平移则各主梁的跨中挠度相等，即：

$$w_1' = w_2' = \dots = w_n'$$

2) 纯转动

在偏心力矩 $M=P \cdot e$ 作用下, 桥的横截面产生绕中心点 O 的转角, 因此各主梁的跨中挠度为

$$w_i'' = a_i \cdot \theta$$

7. 力与变形的关系

1) 与竖向位移的关系根据材料力学, 作用于简支梁跨中的荷载(即梁所分担的荷载)与挠度的关系推导

2) 与转角的关系

8. 建立内外力平衡推导反力分布图与横向分布影响线

偏心力矩为 e 的单位荷载 $P=1$ 对各主梁的总作用为

$$R_{ie} = \frac{I_i}{\sum_{i=1}^n I_i} + \frac{ea_i I_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2 I_i}$$

当 $P=1$ 位于 i 号梁轴上时 $e=a_i$ 对 k 号主梁的总作用为:

$$\eta_{ki} = R_{ki} = \frac{I_k}{\sum_{i=1}^n I_i} + \frac{a_i a_k I_i}{\sum_{i=1}^n a_i^2 I_i}$$

9. 横向分布系数

令 $P=1$ 依次变化 e , 则可求出第 i 根主梁荷载横向分布影响线纵标 η 。

在横向分布影响线上用规范规定的车轮横向间距按最不利位置加载

本方法的精度

边梁偏大, 中梁偏小

注意

- ①当横截面沿桥纵轴线对称时, 只需取一半主梁(包括位于桥纵轴线上的主梁)作为分析对象;
- ②荷载沿横向的布置(车轮至路缘石的距离, 各车横向间距等)应满足有关规定(见第三章);
- ③各类荷载沿横向的布置及取舍按最不利原则进行, 即所求出的值应为最大值;
- ④对双车道或多车道桥梁, 汽车加载时应以轴重(而不是轮重)为单位, 即一辆汽车横向的两个轮重应同时加载或同时不加载。

考虑主梁抗扭刚度的修正刚性横梁法

■ 竖向反力与扭矩的关系

简支梁

自由扭转跨中截面扭矩与扭角关系

竖向力与挠度关系

进行推导

然后 建立转动时的扭矩平衡

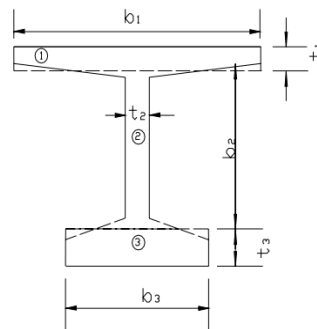
推导得到

$$R_i = \frac{I_i}{\sum I_i} \pm \beta \frac{e a_i I_i}{\sum a_i^2 I_i} \quad \beta = \frac{1}{1 + \frac{G l^2 \sum I_{Ti}}{12 E \sum a_i^2 I_i}} < 1$$

■ T梁、工字梁的抗扭惯矩

$$I_T = \sum_{i=1}^m c_i b_i t_i^3$$

b_i 、 t_i ——单个矩形截面的宽度和厚度
 c_i ——矩形截面抗扭刚度系数
 m ——矩形截面块数



闭口薄壁构件抗扭惯矩计算：

纯扭矩作用下，每一横截面种上将产生剪应力，薄壁构件忽略壁厚差异，认为厚度方向剪应力均匀分布。建立周边分布的剪力流，建立平衡关系

纵向力为零得到：

单位体积的应变能=单位长度上扭矩所作的功 可以推导出

$$I_T = \frac{4 \Omega^2}{\oint \frac{ds}{t}}$$

得到修正后的影响线竖标计算：

$$\eta_{kj} = \frac{I_k}{\sum_n I_i} \pm \beta \cdot \frac{e_j a_k I_k}{\sum_n a_i^2 I_i}$$

第三节铰（刚）接板（梁）法

主梁之间连接采用铰铰式键连接

1. 基本假定

将多梁式桥梁简化为数根并列而相互间横向铰接的狭长板（梁）各主梁接缝间传递剪力、弯矩、水平压力、水平剪力用半波正弦荷载 作用在某一板上，计算各板（梁）间的力分配关系，即可求出横向分布影响线

2. 铰接板法

$$\left. \begin{array}{l} \text{1号板} \quad p_{11} = 1 - g_1 \\ \text{2号板} \quad p_{21} = g_1 - g_2 \\ \text{3号板} \quad p_{31} = g_2 - g_3 \\ \text{4号板} \quad p_{41} = g_3 - g_4 \\ \text{5号板} \quad p_{51} = g_4 \end{array} \right\}$$

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{11}g_1 + \delta_{12}g_2 + \delta_{13}g_3 + \delta_{14}g_4 + \delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}g_1 + \delta_{22}g_2 + \delta_{23}g_3 + \delta_{24}g_4 + \delta_{2p} = 0 \\ \delta_{31}g_1 + \delta_{32}g_2 + \delta_{33}g_3 + \delta_{34}g_4 + \delta_{3p} = 0 \\ \delta_{41}g_1 + \delta_{42}g_2 + \delta_{43}g_3 + \delta_{44}g_4 + \delta_{4p} = 0 \end{array} \right\}$$

传递剪力根据板缝间的变形协调计算

$$\delta_{11} = \delta_{22} = \delta_{33} = \delta_{44} = 2 \left(w + \frac{b}{2} \phi \right)$$

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{12} = \delta_{23} = \delta_{34} = \delta_{21} = \delta_{32} = \delta_{43} = - \left(w - \frac{b}{2} \phi \right) \\ \delta_{13} = \delta_{14} = \delta_{24} = \delta_{31} = \delta_{41} = \delta_{42} = 0 \\ \delta_{1p} = -w \\ \delta_{2p} = \delta_{3p} = \delta_{4p} = 0 \end{array} \right\} \quad \begin{array}{l} \delta_{11}g_1 + \delta_{12}g_2 + \delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}g_1 + \delta_{22}g_2 + \delta_{23}g_3 = 0 \\ \delta_{32}g_2 + \delta_{33}g_3 + \delta_{34}g_4 = 0 \\ \delta_{43}g_3 + \delta_{44}g_4 = 0 \end{array}$$

推出

▪ 引入刚度参数 悬臂板扭转挠度与主梁挠度之比

$$\left. \begin{array}{l} \delta_{11}g_1 + \delta_{12}g_2 + \delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}g_1 + \delta_{22}g_2 + \delta_{23}g_3 = 0 \\ \delta_{32}g_2 + \delta_{33}g_3 + \delta_{34}g_4 = 0 \\ \delta_{43}g_3 + \delta_{44}g_4 = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} 2(1+\gamma)g_1 - (1-\gamma)g_2 = 1 \\ -(1-\gamma)g_1 + 2(1+\gamma)g_2 - (1-\gamma)g_3 = 0 \\ -(1-\gamma)g_2 + 2(1+\gamma)g_3 - (1-\gamma)g_4 = 0 \\ -(1-\gamma)g_3 + 2(1+\gamma)g_4 = 0 \end{array}$$

得到

刚度系数和板块数量以及荷载作用位置确定后求解方程得到各铰缝铰接力 g
各板块相同时, 根据位移互等定理, 荷载作用在某一板条时的内力与该板条的横向分布影响线相同

查表法计算横向分布系数

列表计算、刚度参数计算

为计算方便, 对于 不同梁数、不同几何尺寸的铰接板桥的计算结果可以列为表格, 供设计时查用

3. 铰接梁法

假定各主梁除刚体位移外, 还存在截面本身的变形, 即力法方程中的主系数需要考虑悬臂板端弹性挠度的影响

与铰接板法的区别:

变位系数中增加桥面板变形项

$$\delta_{11} = 2 \left(w + \varphi \cdot \frac{b_1}{2} + f \right)$$

$$\begin{cases} 2(1+\gamma+\beta)g_1 - (1-\gamma)g_2 = 1 \\ -(1-\gamma)g_1 + 2(1+\gamma+\beta)g_2 - (1-\gamma)g_3 = 0 \\ -(1-\gamma)g_2 + 2(1+\gamma+\beta)g_3 - (1-\gamma)g_4 = 0 \\ -(1-\gamma)g_3 + 2(1+\gamma+\beta)g_4 = 0 \end{cases}$$

4. 刚接梁法

假定各主梁间除传递剪力外，还传递弯矩

与铰接板、梁的区别

未知数增加一倍，力法方程数增加一倍。

$$\begin{cases} \delta_{11}g_1 + \delta_{12}g_2 & +\delta_{15}M_5 + \delta_{16}M_6 & +\delta_{1p} = 0 \\ \delta_{21}g_1 + \delta_{22}g_2 + \delta_{23}g_3 & +\delta_{25}M_5 + \delta_{26}M_6 + \delta_{27}M_7 & = 0 \\ & \delta_{32}g_2 + \delta_{33}g_3 + \delta_{34}g_4 & +\delta_{36}M_6 + \delta_{37}M_7 + \delta_{38}M_8 = 0 \\ & & \delta_{43}g_3 + \delta_{44}g_4 & +\delta_{47}M_7 + \delta_{48}M_8 = 0 \\ \delta_{51}g_1 + \delta_{52}g_2 & +\delta_{55}M_5 + \delta_{56}M_6 & = 0 \\ \delta_{61}g_1 + \delta_{62}g_2 + \delta_{63}g_3 & +\delta_{65}M_5 + \delta_{66}M_6 + \delta_{67}M_7 & = 0 \\ & \delta_{72}g_2 + \delta_{73}g_3 + \delta_{74}g_4 & +\delta_{76}M_6 + \delta_{77}M_7 + \delta_{78}M_8 = 0 \\ & & \delta_{83}g_3 + \delta_{84}g_4 & +\delta_{87}M_7 + \delta_{88}M_8 = 0 \end{cases}$$

四) 比拟正交异性板法:

将结构简化为一块矩形的平板，作为弹性薄板按古典弹性理论进行分析，该平板纵横向具有不同的抗弯及抗扭刚度。

➤将主梁和横隔梁的刚度换算成双向刚度不同的比拟弹性平板，按古典弹性理论来分析求解其各点的内力值，并由实用的曲线图表进行荷载横向分布计算。

➤G-M法适用范围进一步拓宽（适用于桥梁宽/跨比较大的梁桥），尤其适用于多主梁多横梁的结构。

➤计算较繁琐，通常采用查表方法辅助计算。

第四节 剪力荷载横向分布系数计算

对于剪力

从影响线看跨中与支点均占较大比例

从影响面看近似影响面与实际情况相差较大

由前面的推导和分析可知，当荷载位于跨中时，由于桥面板和横隔梁的传力作用，所有主梁均参与受力，但当荷载在梁端支点处作用在某主梁上时，如果不考虑支座弹性变形的影响，荷载就直接由该主梁传至支座，其它主梁基本上不参与受力。因此，荷载在桥跨纵向作用位置不同，对某一主梁产生的横向分布系数也不同。

影响面纵横向完全异形，无法作变量分离，不能得出一个简化的在全跨单一的荷载横向分布系数

采用近似计算方法：

计算支点 $V_{\max}$ 时 m 的取值

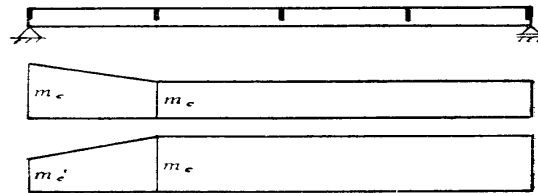
支点截面剪力分布与杠杆法相似 $m=m_0$

第一片横梁以后，其影响面纵、横各自相似 $m=m_c$

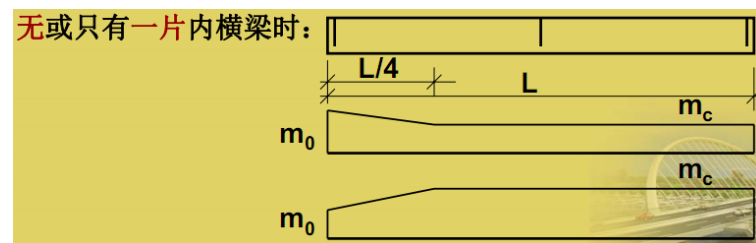
对于弯矩

由于跨中截面车轮加载值占总荷载的决大多数，近似认为其它截面的横向分布系数与跨中相同

有多片内横梁时：



无或只有一片内横梁时



■ 第五节 边梁和内梁刚度不等的荷载横向分布（自学）

提示 边梁多余刚度视为弹性支撑力（反力）考虑

■ 第六节 各种体系变截面梁桥的荷载横向分布

提示 按照等刚度原则换算为同跨径等截面简支梁进行计算

第七节 横梁计算

横梁作用：

加强结构的横向联系

保证全结构的整体性

受力特点：

受力接近与弹性地基梁

影响面的正负纵向位置基本一致

影响面值从跨中向端部逐渐减小

因此

可以偏安全的认为 用中横梁的设计来代表其他横梁的设计进行计算 M 和 Q ，完成配筋和验算

二、刚性横梁法计算横梁

计算思路：先利用前述荷载横向分布的方法求出各主梁分配到的荷载，这就是主梁对隔板的支承反力，根据支承反力和直接作用在隔板上的荷载，可按一般方法求出最大内力。

为了求得横隔板的最大内力，可先绘横隔板内力影响线，然后按照这些影响线加载，求出内力最大值。

2、横梁内力影响线

荷载 $P=1$ 作用于截面 r 的左侧时：

$$\left. \begin{aligned} M_r &= R_1 \cdot b_1 + R_2 \cdot b_2 - 1 \cdot e = \sum_{\text{左}} R_i b_i - e \\ Q_r &= R_1 + R_2 - 1 = \sum_{\text{左}} R_i - 1 \end{aligned} \right\}$$

荷载 $p=1$ 作用于截面 r 的右侧时:

$$\left. \begin{aligned} M_r &= R_1 \cdot b_1 + R_2 \cdot b_2 = \sum_{\text{左}} R_i \cdot b_i \\ Q_r &= R_1 + R_2 = \sum_{\text{左}} R_i \end{aligned} \right\}$$

以上公式中对于确定的计算截面来说,所有的 b 是已知的,而 R 则随荷载 $P=1$ 位置 e 而变化。因此就可以直接利用已经求得的 R 的横向影响线来绘制横隔梁的内力影响线。

3、作用在横梁上的计算荷载

按杠杆原理在两根横梁间分布

三、刚接梁法计算横梁

1、横梁内力影响线

刚接梁法计算出的梁接缝中的弯矩及为横梁弯矩

2、作用在横梁上的计算荷载

先将实际荷载展开成正弦级数

再在两根横梁间积分

主梁内力计算

对于一片主梁(对于多片主梁桥,往往取其中受力最大的主梁—**横向分布最大**来进行设计、以便简化设计、制造和施工),根据作用在其上的恒载和通过荷载横向分布系数求得的计算活载,可以按一般结构力学的方法计算各主梁的截面内力—**主要包括弯矩和剪力**。然后,就可采用钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计原理进行主梁各截面的配筋设计,以及结构强度、刚度、稳定性和抗裂性的验算。

■ 对小跨径简支梁:

■ 一般只需计算跨中截面最大弯矩和支点截面以及跨中截面最大剪力;

■ 对于较大跨径的简支梁:

■ 通常还计算跨径的 $1/4$ 、 $1/8$ 和 $3/8$ 截面的内力;如果主梁顺桥跨方向截面形状和尺寸有变化,如腹板厚度或梁高变化,还要计算变截面处的弯矩和剪力。