

桥梁计算示例集

Qiaoliang Jisuan Shiliji

——下承式简支栓焊桁架桥

陈忠延 编

徐君兰 审

人民交通出版社

前 言

《桥梁计算示例集》主要是为配合《桥梁工程》课程的教学而编写的，本书是该示例的第五本，它包括钢桥方面的二个算例和若干附录。

随着国内桥梁工程建设的进展，各类大跨度公路钢桥的兴建已呈日新月异之势。因此，桥梁工程专业的学生掌握各类钢桥设计的基本理论已是十分必要的。

按照目前的教学大纲和规定的教学时数，实腹板梁桥和桁架桥的设计计算是掌握钢桥设计计算理论的重要环节。因此，算例着重介绍跨度为64m的栓焊桁架桥设计计算，以配合钢桥课程讲授的需要。

考虑到在大跨度公路钢桥中，正交异性钢桥面板结构已得到广泛的应用，因此，在算例中，也比较系统地介绍了这种结构设计计算的基本原理、步骤和方法，以供学习者参考。

为便于读者掌握《示例》中的各种计算公式、图表的使用和查阅，在算例之后还以附录形式列入各种必需的资料和图表。

本书由同济大学桥梁教研室陈忠延编写，凌建中同志负责了部分数据的收集整理以及插图的描绘，全书由重庆交通学院徐君兰教授审核。

由于编者水平有限，错漏之处在所难免，热忱欢迎读者和同行专家批评指正。

编 者
1993. 2 · 上海

(京)新登字091号

内 容 提 要

本示例集为《钢桥》教材的配套教学参考书，内容包括：正交异性钢桥面板设计计算和下承式公路简支栓焊桁架桥设计计算两部分，均按交通部部标准JTJ025-86《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》编写。书末还附有各种必需的资料和数据，以便查阅。

本书可供高等学校公路与城市道路工程专业、桥梁工程专业的师生和从事桥梁工程的有关技术人员使用参考。

桥梁计算示例集
——下承式简支栓焊桁架桥

陈忠延 编
徐君兰 审

插图设计：王惠茹 正文设计：刘晓方 责任校对：杨 杰
人民交通出版社出版

(100013 北京和平里东街10号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京市平谷县大华山印刷厂印刷

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：5.25 字数：125千

1994年12月 第1版

1994年12月 第1版 第1次印刷

印数：0001—7200册 定价：2.60元

ISBN 7-114-01899-1
U·01259

目 录

一、设计资料	1
(一) 设计标准	1
(二) 结构材料及数据	1
(三) 设计依据	1
二、正交异性钢桥面板计算	1
(一) 计算基本原理	1
(二) 算例要点	7
(三) 正交异性钢桥面板的计算机分析	28
三、主桁杆件的内力计算	29
(一) 桁架桥杆件内力分析的基本原理	30
(二) 主力作用下的主桁杆件内力计算	30
(三) 横向附加力作用下的主桁杆件内力计算	36
(四) 验算荷载作用下的主桁杆件内力	39
(五) 控制内力值确定	42
四、主桁杆件的截面选择	42
(一) 主桁杆件的截面型式	42
(二) 主桁杆件的外轮廓尺寸	42
(三) 下弦杆设计计算	42
(四) 上弦杆设计计算	44
(五) 端斜杆设计计算	45
(六) 腹杆设计计算	47
五、主桁节点及弦杆拼接计算	49
(一) 节点设计的原则及步骤	49
(二) 主桁节点 A_{33} 的拼接计算	50
(三) 主桁节点 B_{34} 的拼接计算	55
六、联结系计算	59
(一) 平纵联计算	59
(二) 横向联结系及桥门架计算	61
七、桁架挠度计算	66
(一) 求各杆的 N, l, A	66
(二) 求人群荷载挠度	67
(三) 求静活载作用下各杆内力 N^* (汽车-20)	67
(四) 求静活载 (汽车-20) 挠度 f_s	70
(五) 求跨中静活载 (汽车-20+人群) 总挠度	70

八、支座的设计和计算.....71

 (一) 支座上的荷载组合.....71

 (二) 支座尺寸的确定 (选用盆式橡胶支座).....71

附 录.....73

参考文献.....77

一、设计资料

本示例为跨度64m的下承式公路简支栓焊桁架桥。计算介绍以上部结构为主，下部结构从略。

该桥钢梁采用下承式三角形栓焊钢桁架结构，桁高8m，节间亦为8m；两片主桁间距为15.20m，人行道宽为2m，设于主桁外侧。钢梁结构由工厂焊接，工地高强螺栓拼装。为减轻桥梁自重和改善行车条件，桥面板采用正交异性结构和氯丁橡胶沥青路面。

桥梁的立面图及平面图见图1、图2所示。

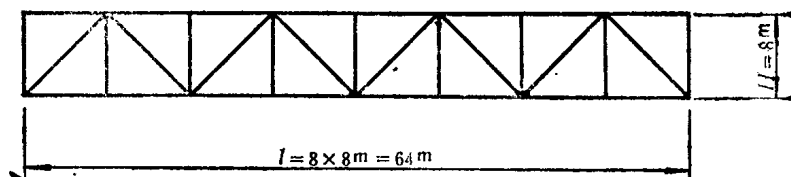


图1 桥梁立面图

(一) 设计标准

1. 设计荷载

机动车道 按一级公路考虑，汽车-20设计，挂车-100验算。

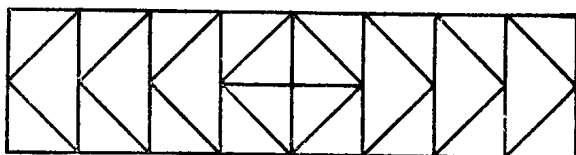


图2 桥梁平面图

人行道 人群荷载按整体 2.5kN/m^2 设计，局部 3.5kN/m^2 设计。

2. 跨径及桥宽

计算跨径 $l_0 = 64\text{m}$ ，桁高 $h = 8\text{m}$ ，节间 $a = 8\text{m}$ 。

桥面行车道宽度为4车道 $2 \times \text{净} - 7.0\text{m}$ ，主桁中心距15.20m，双侧人行道各宽2m。

(二) 结构材料及数据

1. 主桁：板材采用16Mng钢，型钢采用16Mn钢。

2. 高强度螺栓：直径为 $\phi 22\text{mm}$ ，材质为20MnTiB。

(三) 设计依据

1. 交通部标准(JTJ021—89)，《公路桥涵设计通用规范》简称《桥规021》。

2. 铁道部标准(JBJ2—85)，《铁路桥涵设计规范》，简称《铁规》。

3. 交通部标准(JTJ025—86)，《公路桥涵钢结构及木结构设计规范》简称《桥规025》。

二、正交异性钢桥面板计算

(一) 计算基本原理

1. 方法概要

构造正交异性钢桥面板，即通过密布的纵肋和垂直于纵肋的、分布较疏的横肋来加劲钢桥面板。由于纵肋的刚度与横肋的刚度不同，所以在这两个主方向上的弹性性能也不相同，故有各向异性(anisotropy)或正交异性板(orthogonal-anisotropic plate)之称。

采用正交异性结构的钢桥面板，其厚度一般不小于10mm。加劲肋特别是纵肋的形状，常采用中空 的闭口截面肋和开口截面肋两种。前者的壁厚一般为5~6mm，间距为30cm，横肋的间距为2.0~4.0m。后者纵肋的间距也为30cm，横肋的间距相应为1.2~2.5m。

开口纵肋的断面多为T型或L型，闭口纵肋为梯形。横肋断面通常采用倒T型的组合截面，因上盖板兼作为横肋的上翼缘，故具有工字型截面的功能。

本算例的桥面构造见图3。其中钢桥面板厚 $\delta=12\text{mm}$ ，纵肋为L型角钢 $\angle 125\times 80\times 8$ ，

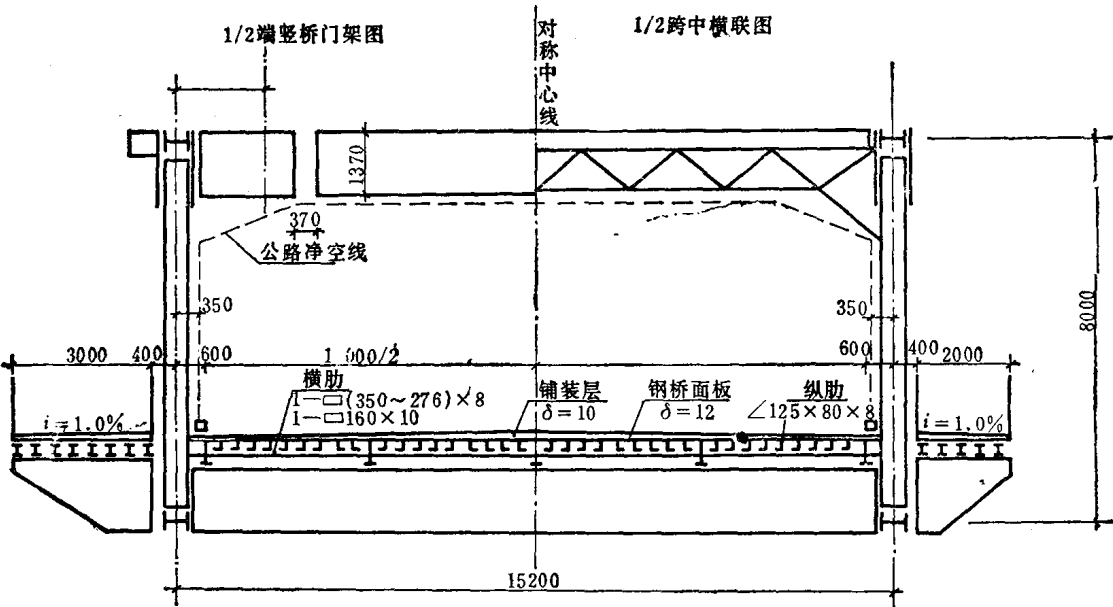


图3 桥梁横断面图 尺寸单位:mm

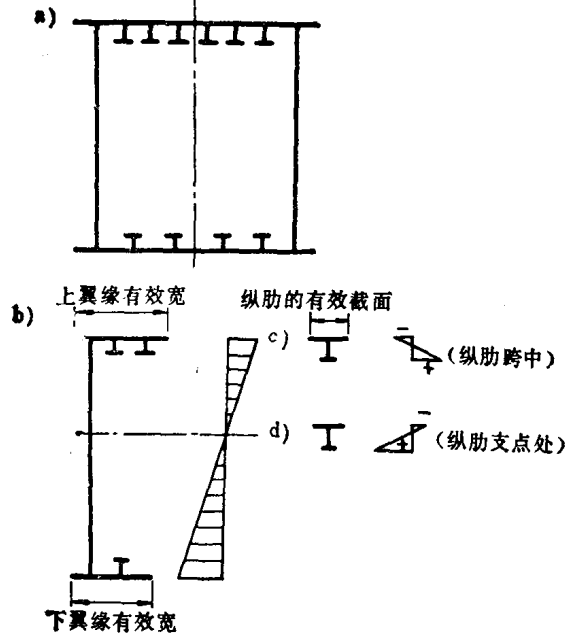


图4 正交异性板桥面受力体系

间距30cm，横肋为倒T型组合截面，间距为2m。另沿桥纵向设置五根大纵梁，将车轮荷载传至下横梁，见图3。

正交异性钢桥面板除了具有桥面板和桥面系的作用之外，还作为主梁的一部分发挥作用。它的盖板，既形成纵肋、横肋的翼缘部分，同时又作为主梁的上翼缘部分共同受力。在分析钢桥面板在荷载作用下的应力状态时，可以将上盖板按下列三种结构体系分开研究。

第I结构体系 即将纵肋和上盖板作为主梁的上翼缘的所谓“主梁体系”。在计算主梁的抗弯刚度时，应考虑上、下翼缘的有效宽度，见图4。

第II结构体系 它是由纵肋、横肋和上

盖板共同组成的所谓“桥面体系”，承受作用在桥面上的荷载。第II体系的应力按正交异性板的理论来计算。研究证明，正交异性钢桥面板的实际承载能力远大于按小挠度的弹性理论所求得的承载力。

第III结构体系 它是支承在加劲肋上的连续各向同性板，即在所有的方向上具有同样的弹性性质的连续板，作用在肋间的局部荷载，经由板传给各加劲肋。板的实际承载力也比按小挠度的弹性薄板理论计算所得的结果大得多。在设计钢桥面板时，第III体系的应力通常可略去不计。

2. 正交异性板理论简述

当按第II结构体系作应力分析时，通常设桥面板简支在腹板上，见图5-c)，并假定纵肋和横肋的刚度沿板的截面均匀分布。经这样简化后，可将桥面板视作在板的横向和纵向具有不同抗弯刚度：横向抗弯刚度 $D_x = EI_x/t$ 和纵向抗弯刚度 $D_y = EI_y/a$ ，而跨度等于 b 的正交异性钢桥面板（符号见图5）。在计算 I_x 及 I_y 时，应考虑和加劲肋共同工作的上盖板的有效宽度。

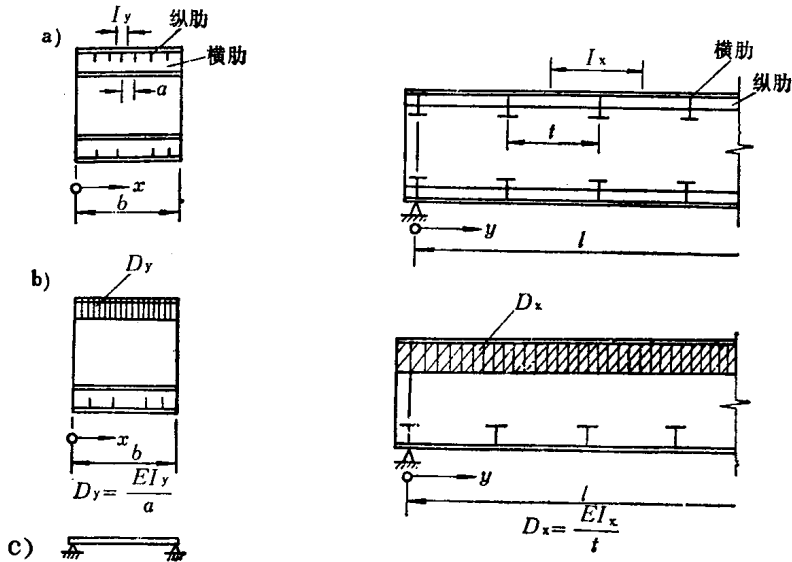


图5 桥面体系受力示意

当按正交异性板分析第II结构体系的应力时，板弯曲面的微分方程为：

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y) \quad (1)$$

式中 $w(x, y)$ ——正交异性板的中间面内各点在 z 方向的挠度(mm)，见图6；

$p(x, y)$ ——垂直板面的分布荷载(MPa)；

$D_x = \frac{EI_x}{t}$ ——板在 x 方向的抗弯刚度 (Nmm²/mm)；

$D_y = \frac{EI_y}{a}$ ——板在 y 方向的抗弯刚度(Nmm²/mm)；

H ——正交异性板的有效抗扭刚度 (Nmm²/mm)；

E ——钢材的弹性模量(N/mm²)；

t, a ——横肋的间距及纵肋的间距(mm)，见图5。

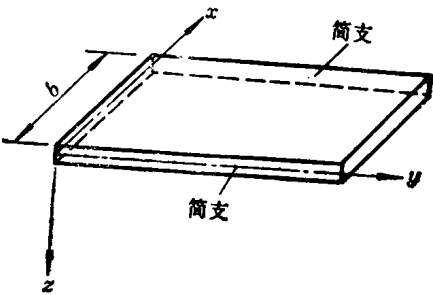


图6 板计算的力学图式

式 (1) 的解由它的特解 w_p 和齐次微分方程

$$D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0 \quad (2)$$

的一般解 w_h 相加求得, 即

$$w = w_p + w_h$$

如图 6 所示, 若设桥面板刚性支承于两腹板上, 且 $x = 0$ 及 $x = b$ 的两对边为简支(绕 y 轴可自由转动), 根据不同的 H 及 D_x 、 D_y 值, 式 (2) 的解可求得如下:

(1) $H > \sqrt{D_x D_y}$ 时:

$$w(x, y) = [c_1 \sinh \alpha_n y + c_2 \cosh \alpha_n y + c_3 \sinh \beta_n y + c_4 \cosh \beta_n y] \sin \frac{n\pi x}{b} \quad (3)$$

式中

$$\alpha_n = \left(\frac{n\pi}{b} \right) \sqrt{\frac{1}{D_y} (H + \sqrt{H^2 - D_x D_y})}$$

$$\beta_n = \left(\frac{n\pi}{b} \right) \sqrt{\frac{1}{D_y} (H - \sqrt{H^2 - D_x D_y})}$$

(2) $H < \sqrt{D_x D_y}$ 时

$$w_n(x, y) = [c_1 \sin \alpha_n y \cdot \sin \beta_n y + c_2 \cosh \alpha_n y \cdot \cos \beta_n y + c_3 \sinh \alpha_n y \cdot \cos \beta_n y + c_4 \cosh \alpha_n y \cdot \sin \beta_n y] \cdot \sin \frac{n\pi x}{b}, \quad (4)$$

式中

$$\alpha_n = \left(\frac{n\pi}{b} \right) \sqrt{\frac{1}{2D_y} (\sqrt{D_x D_y} + H)}$$

$$\beta_n = \left(\frac{n\pi}{b} \right) \sqrt{\frac{1}{2D_y} (\sqrt{D_x D_y} - H)}$$

(3) $H = \sqrt{D_x D_y}$ 时

$$w_n(x, y) = [c_1 \sinh \alpha_n y + c_2 \cosh \alpha_n y + c_3 \alpha_n y \cdot \sinh \alpha_n y + c_4 \alpha_n y \cdot \cosh \alpha_n y] \cdot \sin \frac{n\pi x}{b} \quad (5)$$

式中

$$\alpha_n = \left(\frac{n\pi}{b} \right) \sqrt[4]{\frac{D_x}{D_y}}$$

(4) $H = 0$, 即 $D_x \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = 0$ 时

$$w_n(x, y) = [c_1 \sinh \alpha_n y \cdot \sin \alpha_n y + c_2 \cosh \alpha_n y \cdot \cos \alpha_n y + c_3 \sinh \alpha_n y \cdot \cosh \alpha_n y + c_4 \cosh \alpha_n y \cdot \sin \alpha_n y] \sin \frac{n\pi x}{b} \quad (6)$$

式中

$$\alpha_n = \left(\frac{n\pi}{b} \right) \sqrt[4]{\frac{D_x}{4D_y}}$$

(5) $D_x = 0$, 即 $D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} + 2H \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} = 0$ 时

$$w_n(x, y) = [c_1 \sinh \alpha_n y + c_2 \cosh \alpha_n y + c_3 \alpha_n y + c_4] \sin \frac{n\pi x}{b} \quad (7)$$

式中 $\alpha_n = \left(\frac{n\pi}{b}\right) \sqrt{\frac{2H}{D_y}}$

上述的解 w_n 为 $n = n$ 时的挠曲面，积分常数 $c_1、c_2、c_3、c_4$ 根据简支边（ $x = 0, x = b$ ）以外的其余两对边（ $y = 0, y = S$ ）的边界条件来确定。

满足式（2）的荷载条件是：如图7

a)，弯矩作用在 $y = 0$ 及 $y = S$ 的板边；或如图7 b)，竖向荷载作用在 $y = S_1$ 处。将荷载按富利叶级数展开，求相应于该荷载的挠度曲线，然后按

$$w(x, y) = \sum_{n=1}^{\infty} w_n(x, y) \tag{8}$$

求其和，即将板中面的挠曲面 $w(x, y)$ 。

求出 $w(x, y)$ 后，即可按下式求出作用在板截面上的弯矩值：

$$\left. \begin{aligned} m_x &= -D_x \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \\ m_y &= -D_y \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu_x \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \end{aligned} \right\} \tag{9}$$

式中 m_x ——与 x 方向垂直的单位宽度截面上的弯矩（N·mm/mm），
 m_y ——与 y 方向垂直的单位宽度截面上的弯矩（N·mm/mm），
 μ_x ——轴向力作用在 x 方向时，板材的泊松比，
 μ_y ——轴向力作用在 y 方向时，板材的泊松比。

3. 按弹性支承的连续正交异性板理论计算钢桥面板

钢桥面板的计算，已有多种方法，而发展较早又较为常用的是由W. Pelikan-M. Esslinger提出的方法，简称P-E法。下面介绍该法的基本概念。

如图8a)所示，设桥面板的两对边简支在腹板上，并设腹板的抗弯刚度为无限大；同时认为，纵肋的刚度沿板的截面均匀分布，即由上盖板和纵肋组成的纵向抗弯刚度为 $D_y = EJ_y/a$ 图8 b)，c)，而横向抗弯刚度 D_x 等于盖板的抗弯刚度，并且板是弹性支承在横肋上。这样，我们就将桥面板视作刚性支承于腹板，而弹性支承于横肋上的连续正交异性板。

P-E法的思路是，将上述的桥面体系的计算分两个阶段进行。在第一阶段的计算中，设横肋的抗弯刚度为无限大，即桥面板刚性支承于横肋上，如图8d)求纵肋和横肋。（均计及盖板的有效宽度）的最大弯矩值。在计算的第二阶段图8e)，求由于横肋的弹性变形的影响所产生的弯矩，将第一阶段中求得的弯矩值加以修正，即得符合于板的实际工作状态的弯矩值，参考图8f)。

钢桥面板的弯矩值和下列因素有关：

- （1）横肋的间距 t ；
- （2）腹板的中距 b ；
- （3）正交异性板的三个刚度（抗弯刚度 $D_x、D_y$ ，有效抗扭刚度 H ）和它们的比值；
- （4）荷载形式等。

不过，这些因素对计算结果的影响程度不同，有的可以略去，从而使计算得以简化。

图8所示的桥面体系，其横向抗弯刚度 D_x 等于盖板的抗弯刚度 D_y 。因纵向抗弯刚度远

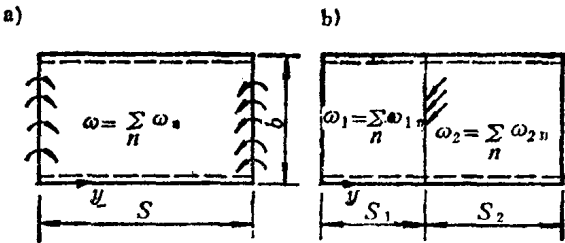


图7 板计算的荷载图式

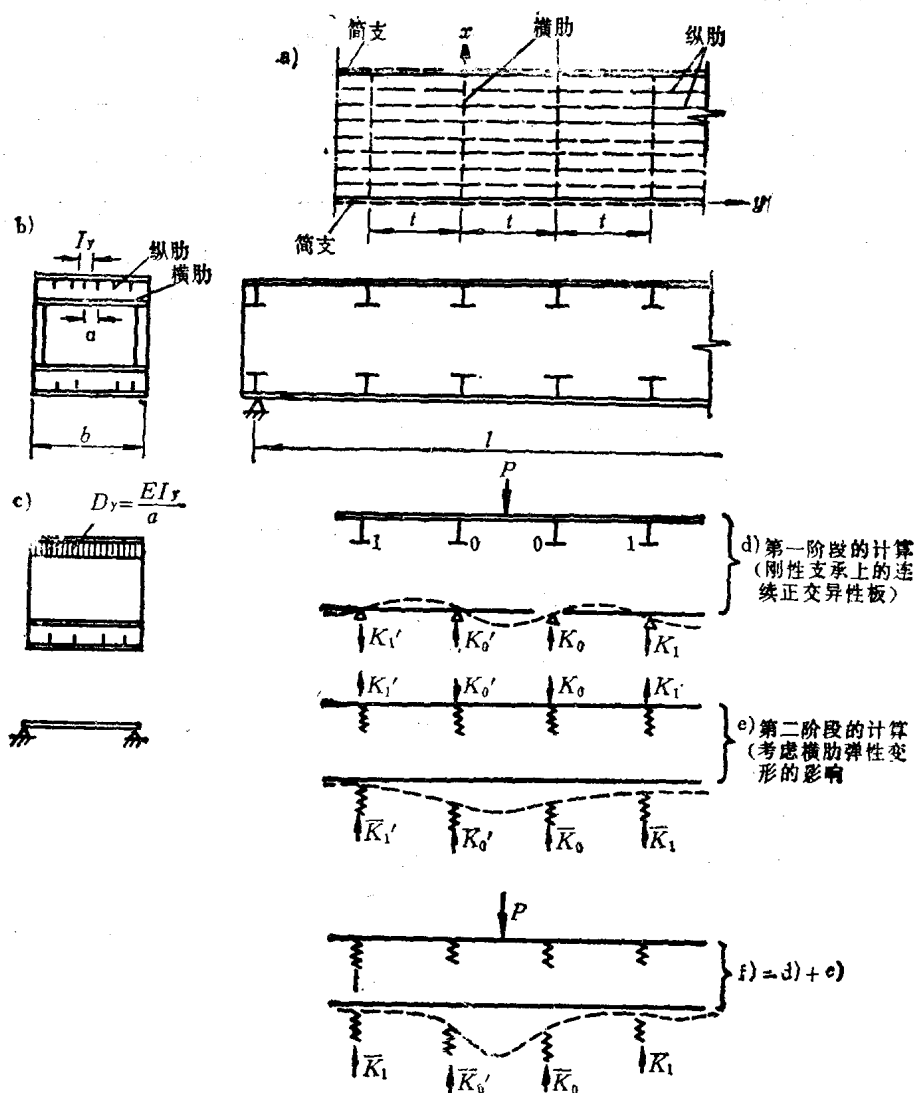


图 8

大于 $D_x (=D_y)$ ，对一般的钢桥面板，其 D_y/D_x 之值约为 500~2000。而且，采用开口纵肋的正交异性钢桥面板，其有效抗扭刚度 H 之值也是很小的，故可假定 $H \approx 0$ 。

根据上述的刚度关系，在计算的第一阶段（刚性支承的正交异性板），可作如下假定：

- (1) 对闭口纵肋的桥面板，令 $D_x = 0$ ；
- (2) 对开口纵肋的桥面板，令 $D_x = 0$ ，且 $H = 0$ 。

因此，对闭口纵肋的桥面板，若 $D_x = 0$ ，则可引用上述式(7)的微分方程的解。式(7)较式(3)~(6)的解要简单得多，数值计算也就容易得多。按 $D_x = 0$ 的假定算得的纵肋弯矩的误差一般只达 1%~3%。

对开口纵肋的桥面板，若 $D_x = 0$ ， $H = 0$ ，由式(1)得

$$D_y \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = p(x, y) \quad (10)$$

若设 $p = p(y)$ ，即 p 值在 x 方向不变，而仅在 y 方向为变值，则式(10)表示梁的挠度曲线。因此，根据该式求出的弯矩，与连续梁的弯矩值相同。用式(10)计算所得的结果较用式

(4)求得者, 相差在3%以下, 故对开口纵肋的桥面板, 一般可采用连续梁的公式。

以上所述, 主要是对第一阶段的计算而言。对第二阶段的计算(考虑横肋弹性变形的影响), 则不论是采用开口纵肋或闭口纵肋的桥面板, 其横向抗弯刚度 D_x 和有效抗扭刚度 H 均可略去不计。

对于有效抗扭刚度 H 的计算, 详见参考文献^[6]。

(二) 算例要点

本算例按《现代公路钢桥设计》^[5]一书中的Pelikan-Esslinger法计算。

已知: 钢桥面中, 主梁间距: $b = 15.2\text{m}$; 横肋间距: $l = 1.6\text{m}$; 横梁间距: 8m ; 纵肋间距: $a = 35\text{cm}$ 。材料: 板材采用16Mn钢, 型钢采用16Mn钢。钢桥面板厚度: $\delta = 12\text{mm}$ 。路面磨耗层: 采用10cm厚的氯丁橡胶。

桥面板的局部应力计算。

由《桥规》可查得车轮的荷载分布宽度(见图9)



图9 板上的轮重分布

$$a_2 = 2c_0 = 20\text{cm}, b_2 = 2g_0 = 60\text{ cm}$$

$$b_1 = 2g = 2g_0 + 2H = 60 + 2 \times 10 = 80\text{ cm}$$

$$a_1 = 2c = 2c_0 + 2H = 20 + 2 \times 10 = 40\text{ cm}$$

车轮与桥面板的接触面积:

$$F = b_1 \times a_1 = 80 \times 40 = 0.32\text{m}^2$$

汽车-20中, 重车的轴重为120kN, 轮重为60kN。

轮压:
$$p = \frac{1.3 \times 60}{F} = \frac{1.3 \times 60}{0.32} = 244\text{kN/m}^2 \text{ (包括30\%的冲击)}$$

板的局部应力可以将板看作支承在一系列刚性支点上的弹性板进行分析确定, 如图10所示。

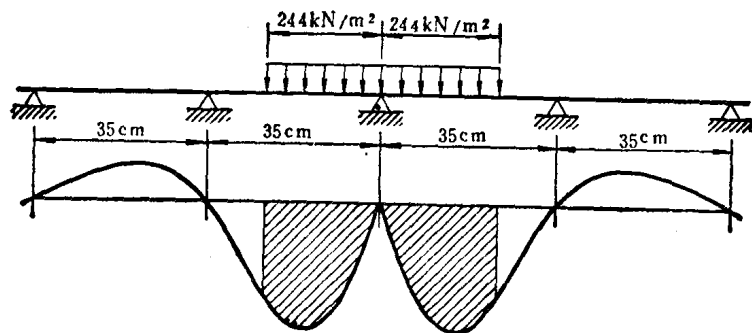


图10 连续板上的局部荷载

由公路设计手册《桥涵基本资料》下册查得影响线的面积:

$$F = -0.0536L_1^2 = -0.0536 \times 0.35^2 = -6.566 \times 10^{-3}\text{ m}^2$$

因此在支点处引起的弯矩为:

$$\begin{aligned} M_s &= 2 \times A \times p \times L \\ &= 2 \times (-6.566 \times 10^{-3}) \times 244 \times 0.35 \\ &= -1.12 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

横向应力:

$$\sigma = \frac{M}{W} = \frac{1.12}{\frac{1}{6} \times 0.012^2 \times 1} = \frac{1.12}{2.4 \times 10^{-6}} = 46666.67 \text{ kN/m}^2 = 46.667 \text{ MPa}$$

纵向应力:

$$\sigma = \mu \times \sigma = 0.3 \times 46666.67 = 14000 \text{ kN/m}^2 = 14 \text{ MPa}$$

1. 截面几何特征值的计算(如图11, 图12, 图13所示)

(i) 第一阶段计算时的纵肋有效宽度

纵肋长度计算:

$$l_1 = 0.7l = 0.7 \times 1.6 = 1.12 \text{ m}$$

$$\frac{B}{a} = \frac{\text{轮胎宽度}}{0.35} = \frac{0.8}{0.35} = 2.29$$

由附图1查得:

$$\frac{a^*}{a} = 1.38$$

$$a^* = 1.38 \times 0.35 = 0.483 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{\pi \cdot a^*}{l_1} = \frac{3.14 \times 0.483}{1.12} = 1.35$$

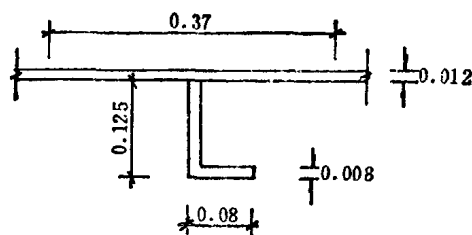


图11 纵肋的几何尺寸 尺寸单位: m

由附图2查得:

$$\frac{a_0}{a^*} = 0.78$$

∴ 纵肋有效宽度

$$a_0 = 0.78a^* = 0.78 \times 0.483 = 0.377 \text{ m}$$

$$A_{\text{板}} = 0.37 \times 0.012 = 4.44 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{腹板}} = (0.125 - 0.008) \times 0.008 = 0.936 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{翼板}} = 0.08 \times 0.008 = 0.64 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

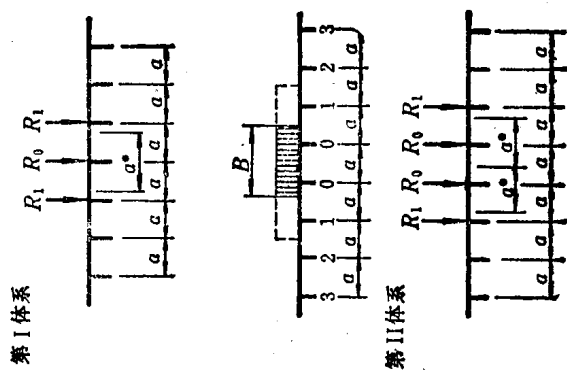
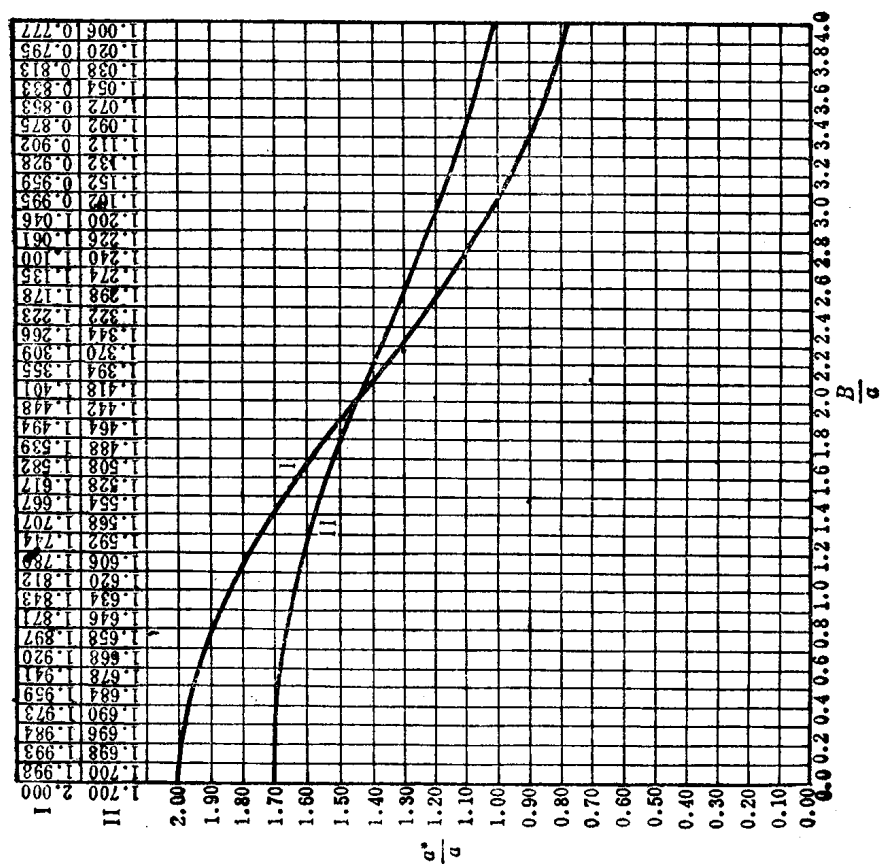
$$A_{\text{总}} = A_{\text{板}} + A_{\text{腹板}} + A_{\text{翼板}}$$

$$= (4.44 + 0.936 + 0.64) \times 10^{-3} = 6.02 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

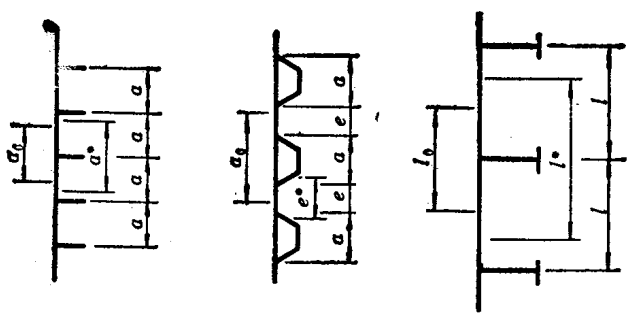
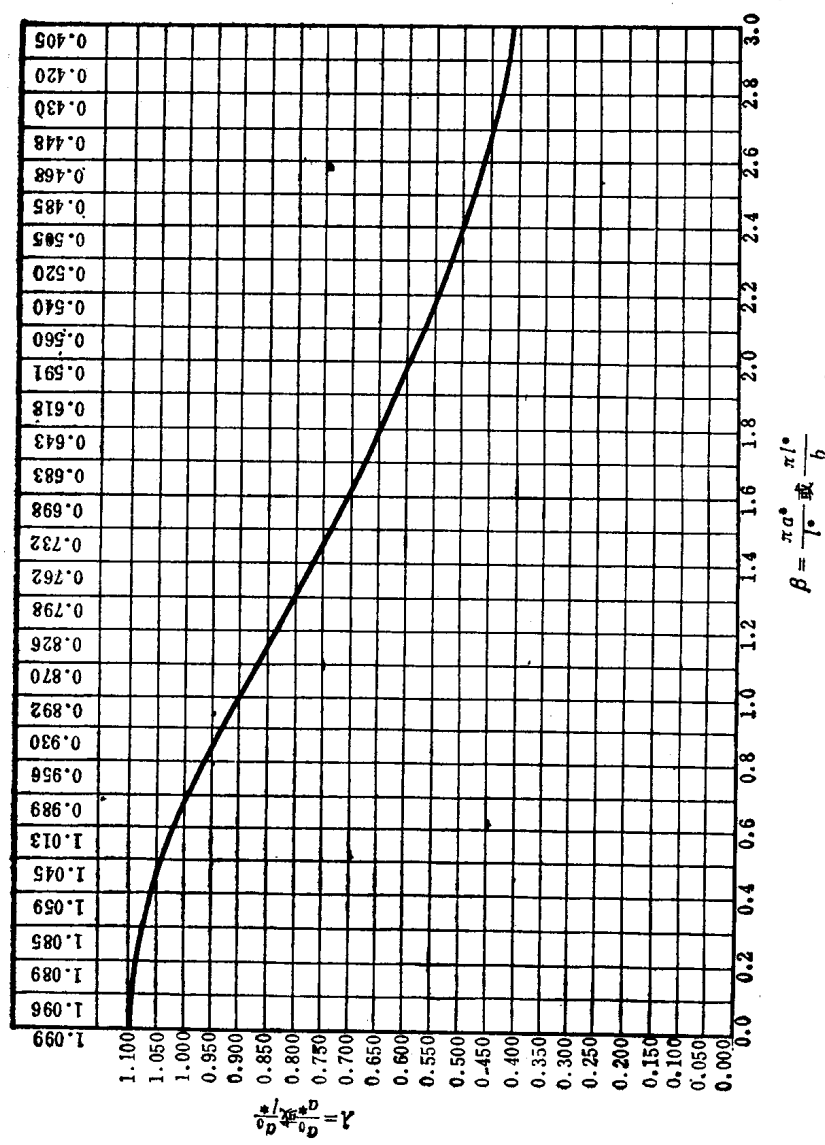
中性轴的位置:

$$\begin{aligned} \frac{y}{y} &= \frac{4.44 \times \left(0.125 \times \frac{0.012}{2}\right) + 0.936 \times \left(\frac{0.125 - 0.008}{2} + 0.008\right) + 0.64 \times \frac{0.008}{2}}{6.02} \\ &= 0.107 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \times 0.008 \times (0.125 - 0.008)^3 + 0.936 \times 10^{-3} \times (0.0665 - 0.107)^2 + 4.44 \times 10^{-3} \\ &\quad \times (0.125 + 0.006 - 0.107)^2 + 0.64 \times 10^{-3} \times (0.004 - 0.107)^2 \\ &= 1.20 \times 10^{-6} \text{ m}^4 \end{aligned}$$



附图1 柔性肋的理想间距



附图2 正交异性桥面板的有效宽度
 a_0 和 l_0 为桥面板的有效宽度
 a^* 和 l^* 为T形肋、箱形肋或横梁的理想跨度

$$W_s = \frac{1.20 \times 10^{-5}}{0.107} = 1.12 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$W_0 = \frac{1.20 \times 10^{-5}}{0.125 + 0.012 - 0.107} = 4.00 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

(ii) 第二阶段计算时的纵肋有效宽度:

因为纵肋有效跨度往往很大, 故近似地采用 $l_1 = \infty$,

$$\therefore a^* = a = 0.35 \text{m}$$

$$\beta = \frac{\pi \times a^*}{l_1} = \frac{3.14 \times 0.35}{\infty} = 0$$

由附图 2 中查得:

$$\beta = 0 \text{ 时, } \frac{a_0}{a^*} = 1.10$$

$$\therefore \text{有效宽度: } a_0 = \left(\frac{a_0}{a^*}\right) \times a^*$$

$$= 1.10 \times 0.35 = 0.385 \text{m}$$

$$A_{\text{板}} = 0.385 \times 0.012 = 4.62 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{腹}} = (0.125 - 0.008) \times 0.008 = 0.936 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{翼}} = 0.08 \times 0.008 = 0.64 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{\text{总}} = A_{\text{板}} + A_{\text{腹}} + A_{\text{翼}}$$

$$= (4.62 + 0.936 + 0.64) \times 10^{-3} = 6.20 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

中性轴位置:

$$\bar{y} = \frac{4.62 \times 10^{-3} \times (0.125 + 0.006) + 0.936 \times 10^{-3} \times 0.0665 + 0.64 \times 10^{-3} \times 0.004}{6.20 \times 10^{-3}}$$

$$= 0.108 \text{m}$$

$$I_r = \frac{1}{12} \times 0.008 \times (0.125 - 0.008)^3 + 4.62 \times 10^{-3} \times (0.125 + 0.006 - 0.108)^2$$

$$+ 0.936 \times 10^{-3} \times (0.0665 - 0.108)^2 + 0.64 \times 10^{-3} \times (0.004 - 0.108)^2$$

$$= 1.21 \times 10^{-6} \text{m}^4$$

$$W_s = \frac{1.21 \times 10^{-6}}{0.108} = 1.12 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$W_0 = \frac{1.21 \times 10^{-6}}{(0.125 + 0.012 - 0.108)} = 4.17 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

弹性支承影响下横肋的有效宽度:

有效宽度 $b^* = b = 15.2 \text{m}$, $l^* = l = 1.6 \text{m}$

$$\beta = \frac{\pi l^*}{b^*} = \frac{3.14 \times 1.6}{15.2} = 0.331$$

由附图 2 查得 $\beta = 0.331$ 时, $l_0/l^* = 1.07$

$$\therefore l_0 = 1.07 \times l^* = 1.07 \times 1.6 = 1.71 \text{m}$$

横肋截面的几何特性有

$$A_{\text{板}} = 1.71 \times 0.012 = 20.5 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

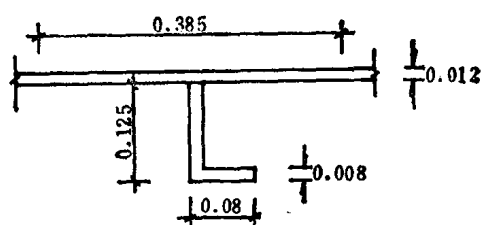


图12 柔性支承纵肋截面 尺寸单位: m

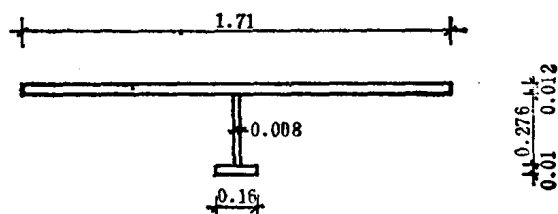


图13 柔性支承横肋截面 尺寸单位: m