

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: $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ 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) 平联结计算	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_1, 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。

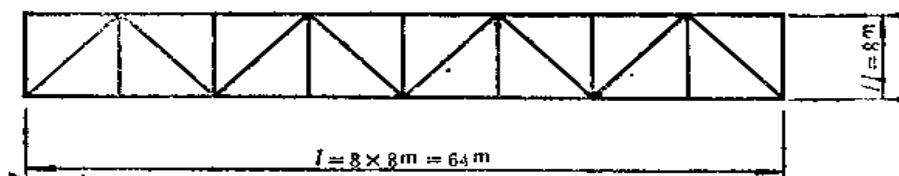


图1 桥梁立面图

(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。

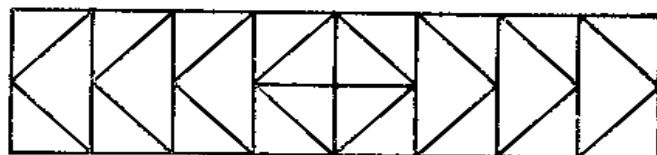


图2 桥梁平面图

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 $\angle 125 \times 80 \times 8$ ，

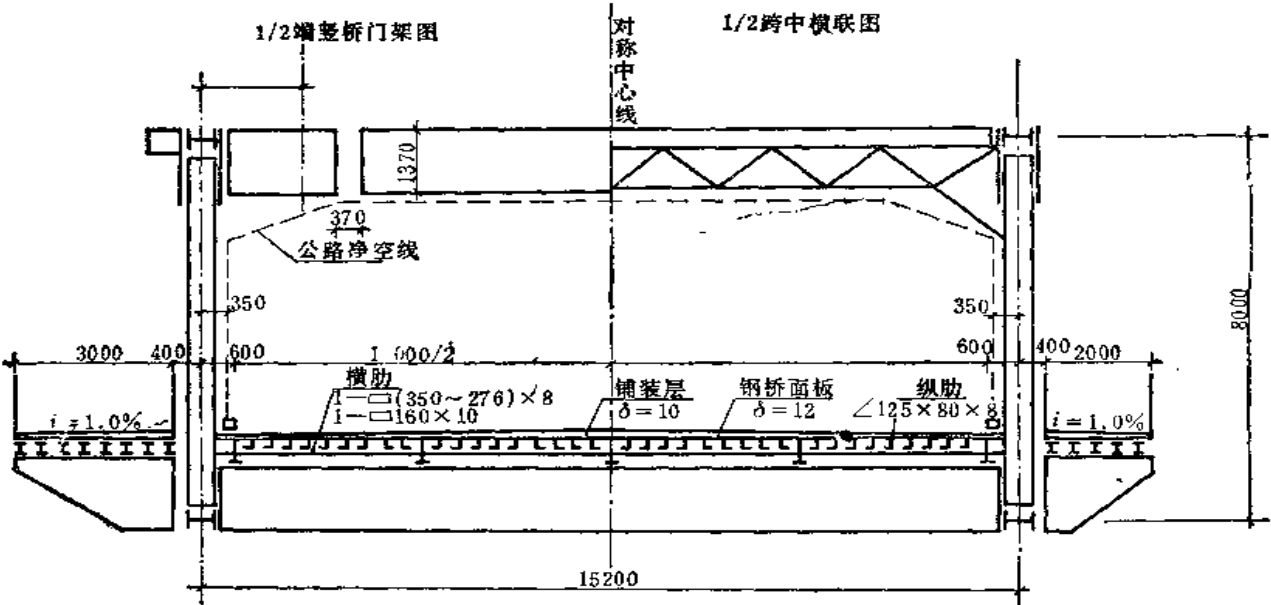


图3 桥梁横断面图 尺寸单位: mm

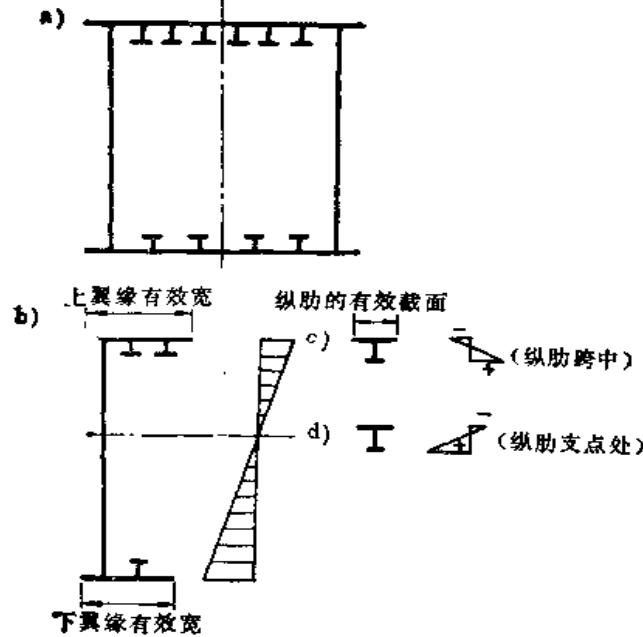


图4 正交异性板桥面受力体系

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。

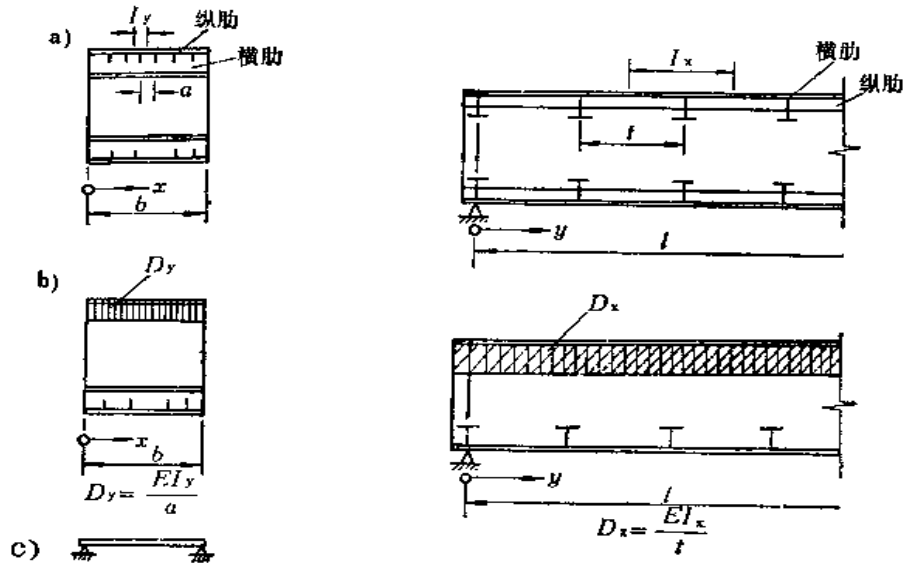


图5 桥面体系受力示意

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。

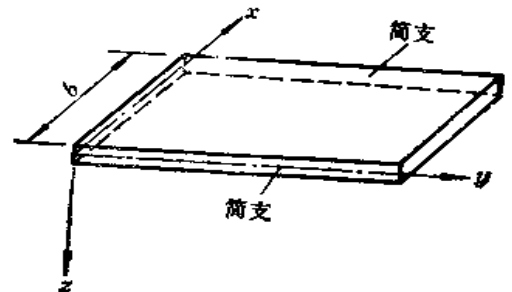


图6 板计算的力学图式

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

$$w_n(x, y) = [c_1 \sin \alpha_n y + c_2 \cosh \alpha_n y + c_3 \sinh \alpha_n y + c_4 \cosh \alpha_n y + c_5 \sin \beta_n y + c_6 \cosh \beta_n y + c_7 \sinh \beta_n y + c_8 \cosh \beta_n y] \cdot \sin \frac{n\pi x}{b}, \quad (4)$$

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

$$w_n(x, y) = [c_1 \sinh \alpha_n y + c_2 \cosh \alpha_n y + c_3 \sin \alpha_n y + c_4 \cos \alpha_n y + c_5 \sinh \alpha_n y + c_6 \cosh \alpha_n y + c_7 \sin \alpha_n y + c_8 \cos \alpha_n y] \sin \frac{n\pi x}{b} \quad (6)$$

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

(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

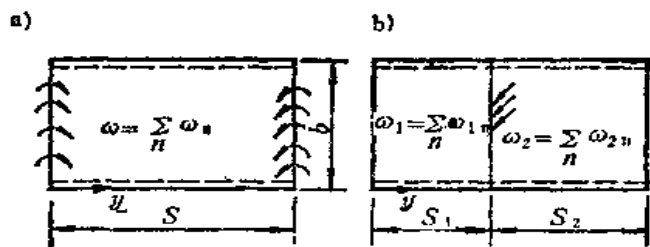


图7 板计算的荷载图式

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

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

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,

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

式中 m_x ——与 x 方向垂直的单位宽度截面上的弯矩 ($N \cdot mm/mm$);

m_y ——与 y 方向垂直的单位宽度截面上的弯矩 ($N \cdot mm/mm$);

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

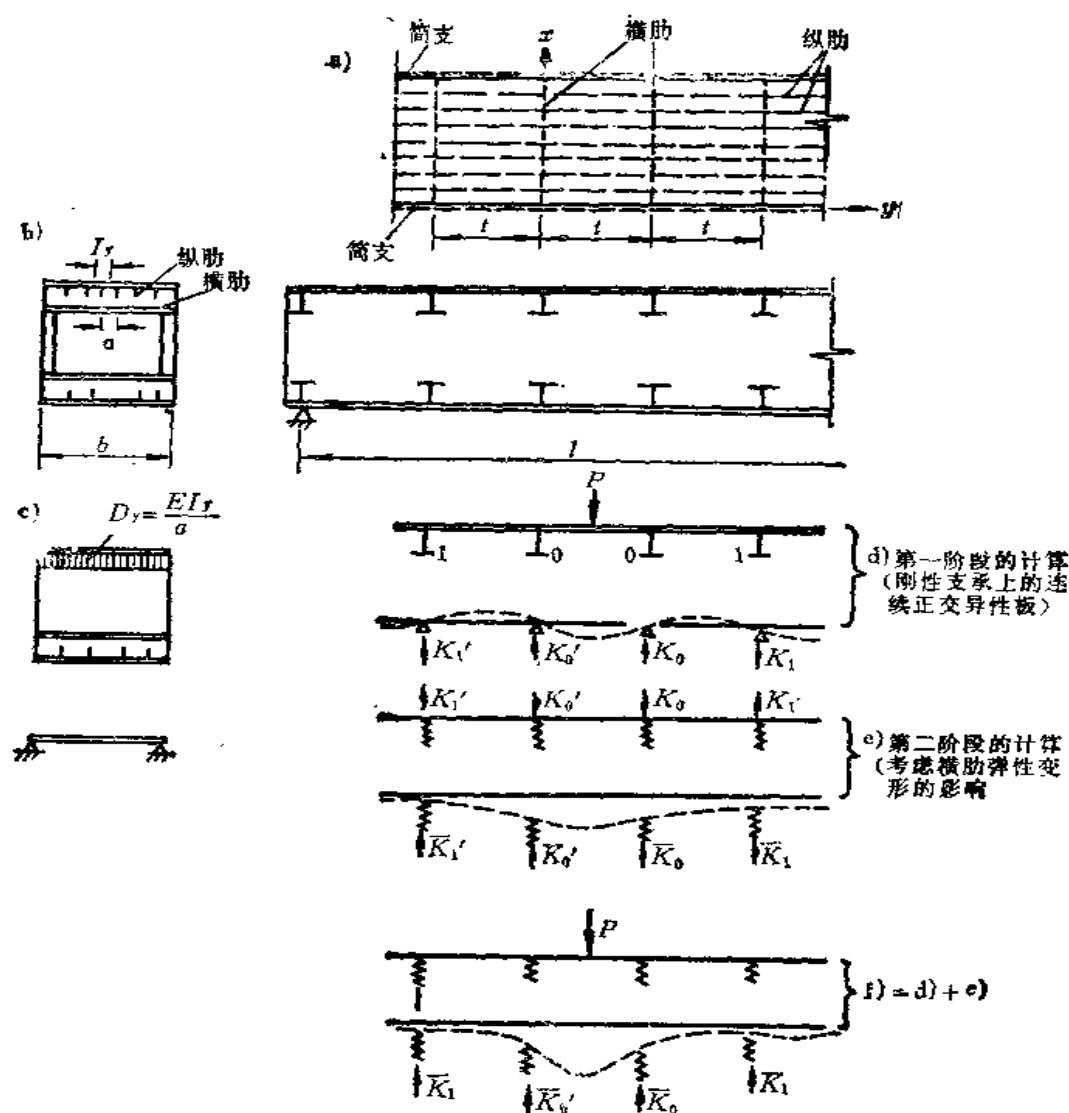


图 8

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: $\delta = 12\text{mm}$ 。路面磨损层: 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

$$a_2 = 2c_s = 20\text{cm}, \quad b_2 = 2g_s = 60 \text{ cm}$$

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

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

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。

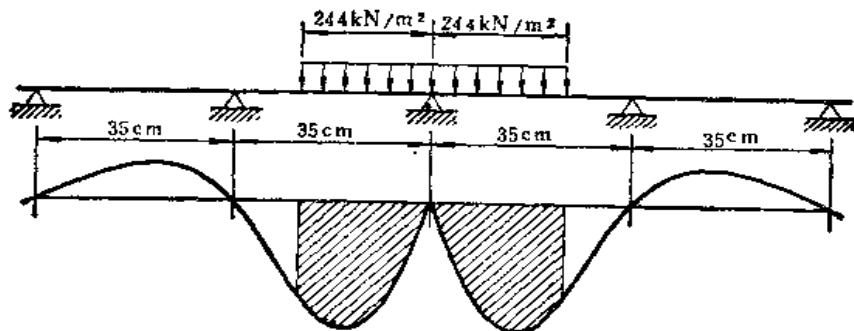


图10 连续板上的局部荷载

由公路设计手册《桥涵基本资料》下册查得影响线的面积:

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

因此在支点处引起的弯矩为:

$$\begin{aligned} M_s &= 2 \times A \times p \times L \\ &= 2 \times (-6.566 \times 10^{-5}) \times 244 \times 0.35 \\ &= -1.12 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

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:

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

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

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

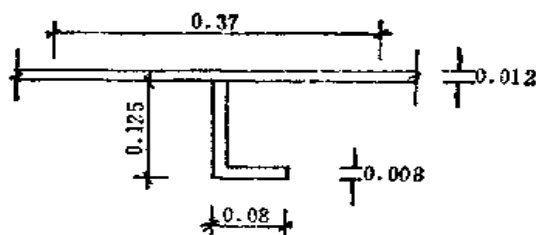


图11 纵肋的几何尺寸 尺寸单位: m

由附图2查得:

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

∴ 纵肋有效宽度

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

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

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

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

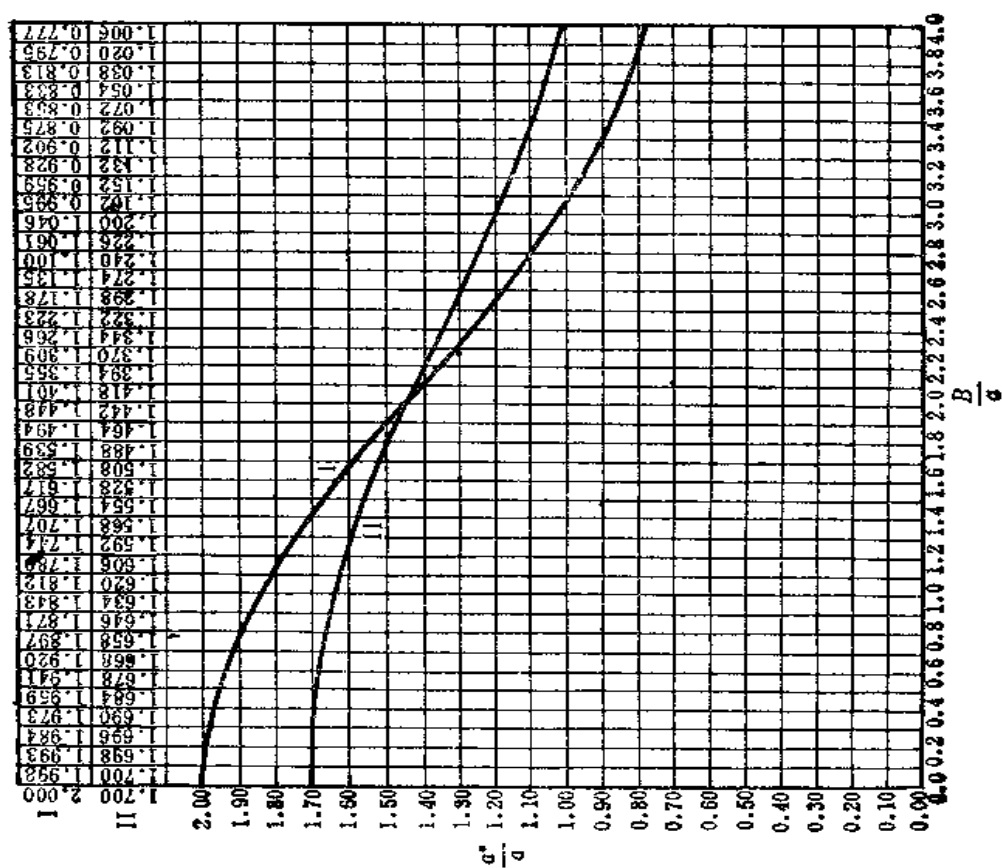
$$A_{\text{总}} = A_{\text{板}} + A_{\text{腹板}} + A_{\text{翼板}}$$

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

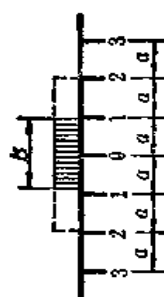
中性轴的位置:

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

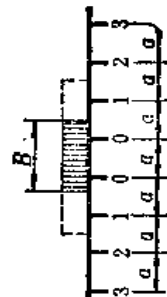
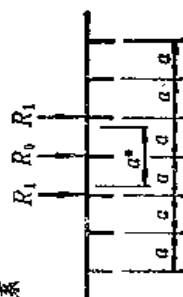
$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{12} \times 0.008 \times (0.125 - 0.008)^3 + 0.936 \times 10^{-3} \times (0.0665 - 0.107)^2 + 4.44 \times 10^{-3} \\ &\quad \times (0.125 + 0.006 - 0.107)^2 + 0.64 \times 10^{-3} \times (0.004 - 0.107)^2 \\ &= 1.20 \times 10^{-5} \text{ m}^4 \end{aligned}$$



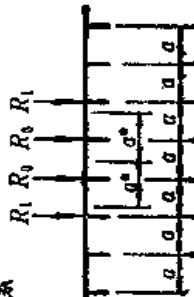
附图1 柔性肋的理想间距

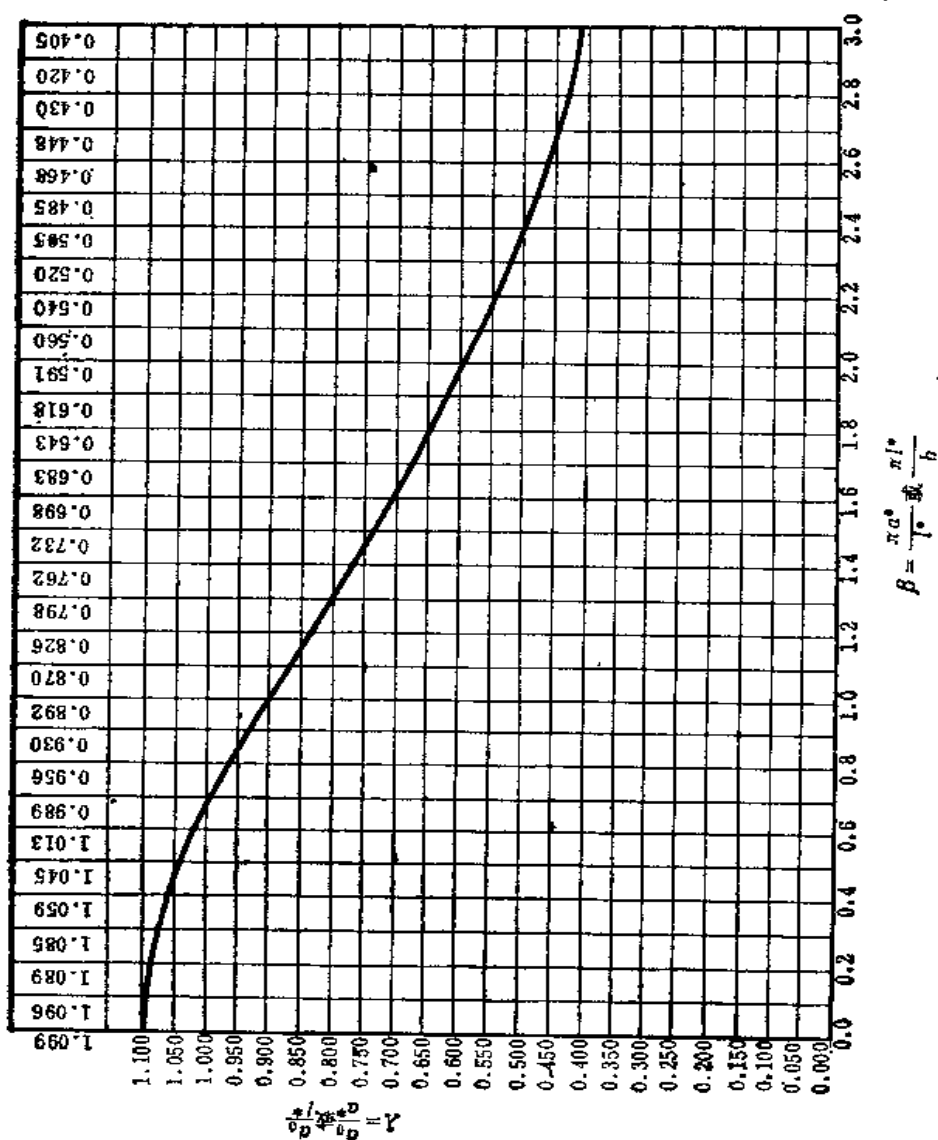


第I体系



第II体系





附图2 正交异性桥面板的有效宽度
 a 和 l 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

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

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

(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:

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

$$= 0.108 \text{m}$$

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

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

$$= 1.21 \times 10^{-5} \text{m}^4$$

$$W_u = \frac{1.21 \times 10^{-5}}{0.108} = 1.12 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$W_o = \frac{1.21 \times 10^{-5}}{(0.125 + 0.012 - 0.108)} = 4.17 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

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

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

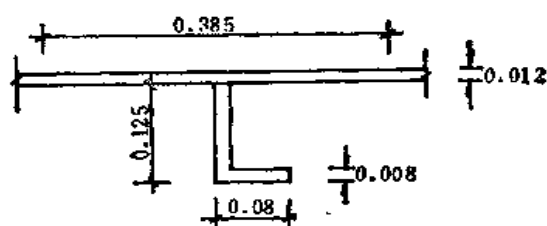


图12 柔性支承纵肋截面 尺寸单位: m

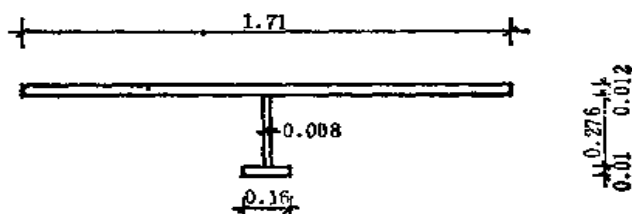


图13 柔性支承横肋截面 尺寸单位: m

$$A_{腹} = 0.276 \times 0.008 = 2.21 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

$$A_{翼} = 0.16 \times 0.01 = 1.6 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

截面积总计为: $A_{总} = A_{板} + A_{腹} + A_{翼} = (20.5 + 2.21 + 1.6) \times 10^{-3} = 24.31 \times 10^{-3} \text{m}^2$
中性轴位置:

$$\bar{y} = \frac{20.5 \times 10^{-3} \times \left(0.01 + 0.276 + \frac{0.012}{2}\right) + 2.21 \times 10^{-3} \times \left(\frac{0.276}{2} + 0.01\right) + 1.6 \times 10^{-3} \times \frac{1}{2} \times 0.01}{24.31 \times 10^{-3}} = 0.26 \text{m}$$

$$I_x = \frac{1}{12} \times 0.008 \times 0.276^3 + 2.21 \times 10^{-3} \times \left(0.26 - \frac{0.276}{2} - 0.01\right)^2 + 20.5 \times 10^{-3} \times (0.01 + 0.276 + 0.06 - 0.26)^2 + 1.6 \times 10^{-3} \times \left(0.26 - \frac{1}{2} \times 0.01\right)^2 = 1.67 \times 10^{-4} \text{m}^4$$

$$W_x = \frac{1.67 \times 10^{-4}}{0.260} = 6.42 \times 10^{-4} \text{m}^3$$

$$W_y = \frac{1.67 \times 10^{-4}}{0.012 + 0.276 + 0.01 - 0.26} = 4.39 \times 10^{-3} \text{m}^3$$

I_x 如前所算, $I_x = 1.21 \times 10^{-5} \text{m}^4$

∴ 抗弯刚度系数:

$$\gamma = \frac{I_x \times b^4}{I_x \times l^3 \times a \times \pi^4} = \frac{1.21 \times 10^{-5} \times 15.2^4}{1.67 \times 10^{-4} \times 1.6^3 \times 0.35 \times 3.14^4} = 27.7$$

2. 横肋刚度为无穷大时的计算

算

(i) 纵肋弯矩计算

$$\text{后轮: } \frac{B}{a} = 2.29$$

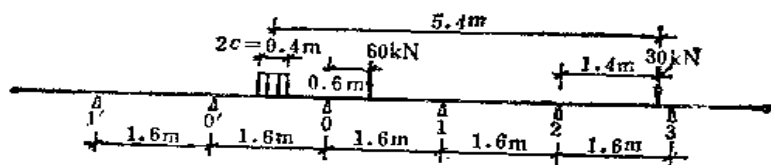


图14 求纵肋跨中M时的汽车荷载

(如图14所示)

由附图3查得: $R_0/P_1 = 0.44$

$$\therefore R_0 = \frac{R_0}{P_1} \times P_1 \times (1 + \mu) = 0.44 \times 60 \times 1.3 = 34.3 \text{kN} \quad (\text{考虑30\%的冲击})$$

前轮的轮胎宽度 $B = 0.3 + 2H = 0.3 + 2 \times 0.1 = 0.5 \text{m}$

$$\therefore \frac{B}{a} = \frac{0.5}{0.35} = 1.43$$

由附图3查得: $\frac{R_0}{P_1} = 0.53$

$$\therefore R_0 = \frac{R_0}{P_1} \times P_1 = 0.53 \times 30 \times 1.3 = 20.7 \text{kN} \quad (\text{考虑30\%的冲击})$$

跨中弯矩M。根据参考书目^[63]中的式(1.39a)计算

由宽度为2c的后轮荷载所产生的弯矩为:

$$\left[\frac{M_{c,2k}}{Pl} \right]_{0-0} = \left[0.1708 - 0.250 \left(\frac{c}{l} \right) + 0.1057 \left(\frac{c}{l} \right)^2 \right]$$

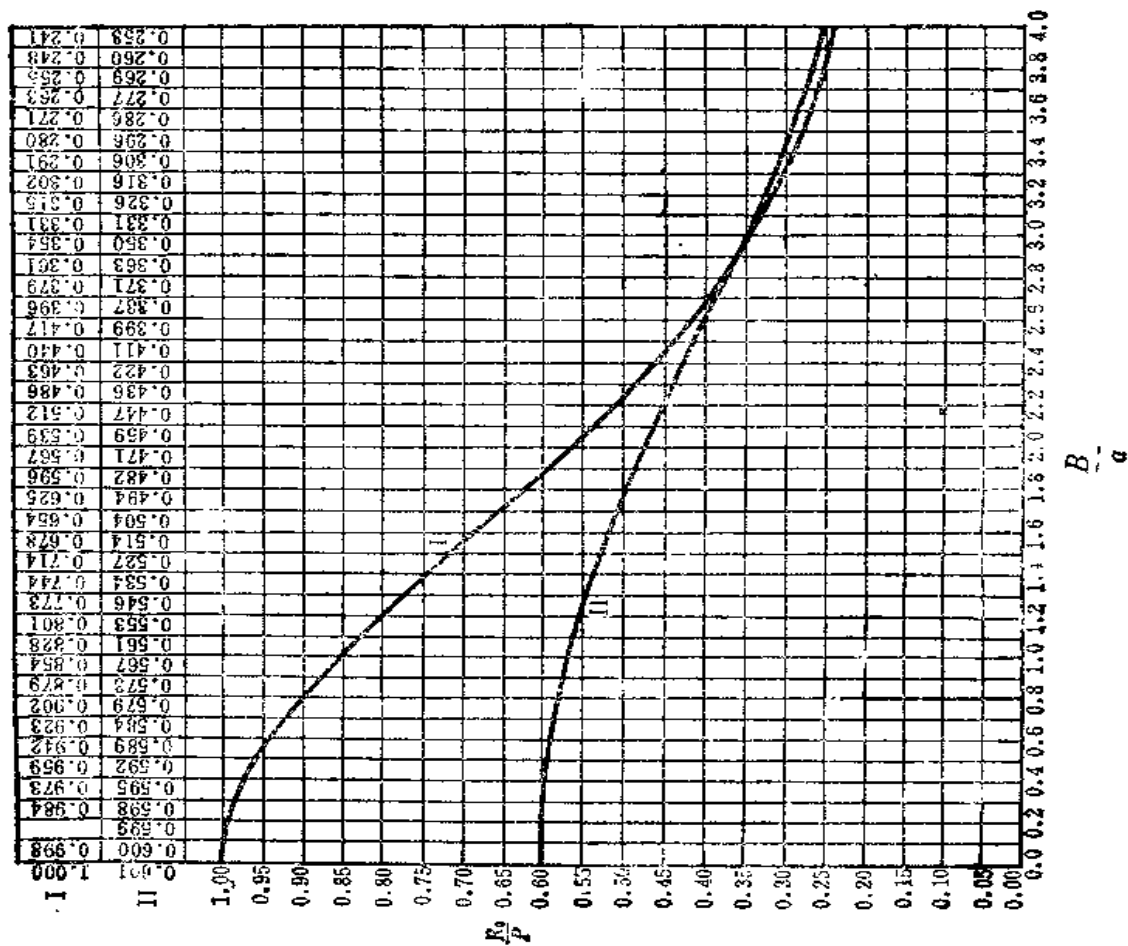
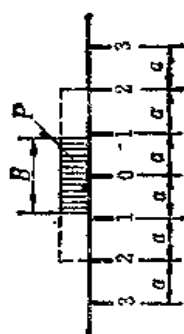
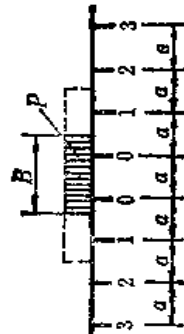
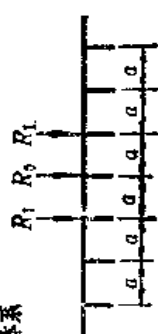


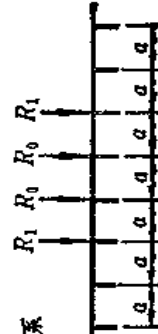
图3 开口肋荷载分布



第I体系



第II体系



$$M_{c,1} = 34.3 \times 1.6 \times \left[0.1708 - 0.250 \left(\frac{0.2}{1.6} \right) + 0.1057 \left(\frac{0.2}{1.6} \right)^2 \right]$$

$$= 7.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

前轮集中荷载所产生的弯矩 $M_{c,v}$ 由参考书目^[6]中的公式(1.39c)计算:

$$\left[\frac{M_{c,v}}{P \times l} \right] = (-0.2679)^2 \left[-0.1830 \left(\frac{y}{l} \right) + 0.3170 \left(\frac{y}{l} \right)^2 - 0.1340 \left(\frac{y}{l} \right)^3 \right]$$

$$M_{c,v} = (-0.2679)^2 \times 20.7 \times 1.6 \times \left[-0.183 \left(\frac{1.4}{1.6} \right) + 0.317 \left(\frac{1.4}{1.6} \right)^2 - 0.134 \left(\frac{1.4}{1.6} \right)^3 \right]$$

$$= -0.02 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

因为前轮和后轮之一对0'-0跨中的弯矩影响很小, 而且引起的都是负的弯矩, 所以只考虑宽度为2c的重车的后轮之一对纵肋跨中所产生的弯矩。

$$M_s = M_{c,1} = 7.75 \text{ kN} \cdot \text{m/肋}$$

纵肋的活载支点弯矩 M_s 计算

计算作用于宽度2c的后轮荷载所产生的弯矩根据参考书目^[6]中的公式(1.38e)有:

$$\left(\frac{M_{s,1}}{l \times P} \right)_{\max} = -0.0850 + 0.1494 \left(\frac{c}{l} \right)^2$$

$$M_{s,1} = \left[-0.0850 + 0.1494 \times \left(\frac{0.2}{1.6} \right)^2 \right] \times 1.6 \times 34.3 = -4.54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

前轮作用引起的弯矩:

$$\left(\frac{M_{s,v}}{l \times P} \right) = \left[-0.5 \left(\frac{y}{l} \right) + 0.866 \times \left(\frac{y}{l} \right)^2 - 0.366 \times \left(\frac{y}{l} \right)^3 \right] \times (-0.268)^3$$

$$M_{s,v} = 20.7 \times 1.6 \times \left[-0.5 \times \left(\frac{1.208}{1.6} \right) + 0.866 \times \left(\frac{1.208}{1.6} \right)^2 - 0.366 \times \left(\frac{1.208}{1.6} \right)^3 \right]$$

$$\times (-0.268)^3 = 0.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

因为前轮和后轮的集中荷载对0点弯矩影响很小, 故近似取(如图15所示):

$$M_s = M_{s,1} = -4.54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

恒载弯矩计算

已知: 钢桥面板厚 $\delta = 12 \text{ mm}$,

钢板重量: $Q = 0.012 \times 15.2 \times 64$

$$\times 7.8 = 910.5 \text{ kN}$$

公路路面铺装(氯丁橡胶)重1200kN

$$\therefore \text{恒载 } g = \frac{910.5 + 1200}{15.2} = 138.8 \text{ kN/m}$$

恒载的跨中弯矩(41根纵肋):

$$M_{g,1} = \frac{g l^2}{24 \times 41} = \frac{138.8 \times 1.6^2}{24 \times 41} = 0.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{恒载支点弯矩: } M_{g,2} = -\frac{g l^2}{12 \times 41} = -\frac{138.8 \times 1.6^2}{12 \times 41} = -0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

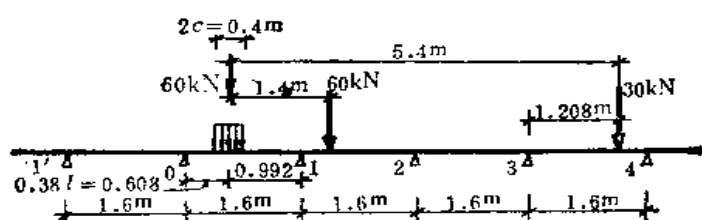


图15 求纵肋支点m时的汽车荷载

一根横肋所受的恒载 (41根横肋):

$$g = \frac{910.5 + 1200}{64 \times 41} = 0.8 \text{ kN/m}$$

恒载在横肋中产生的弯矩 M_g :

$$M_g = \frac{1}{8} g b^2 = \frac{1}{8} \times 0.8 \times 15.2^2 = 23.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(ii) 横梁活载弯矩 (图19)

横梁按二跨弹性支承连续梁计算, 不考虑另 4 根纵肋的弹性支承作用。横梁横向宽度上的汽车荷载 (图16), 大纵肋的几何尺寸如图17所示。

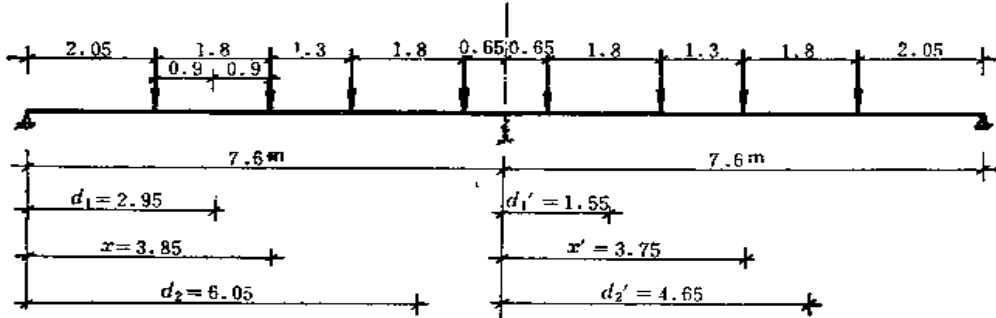


图16 桥梁横向宽度上的汽车荷载 尺寸单位: m

求大纵肋作为弹性支承的刚度系数 K :

(如图18所示)

$$\delta = \frac{1 \times l^3}{48EI}$$

$$K = \frac{1}{\delta} = \frac{48EI}{l^3} = \frac{48EI}{8^3} = \frac{3EI}{32}$$

$$A_{\text{板}} = 0.35 \times 0.012 = 4.2 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{翼}} = 0.32 \times 0.016 = 5.12 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{腹}} = 0.5 \times 0.008 = 4.0 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{\text{总}} = A_{\text{板}} + A_{\text{翼}} + A_{\text{腹}} = 13.32 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

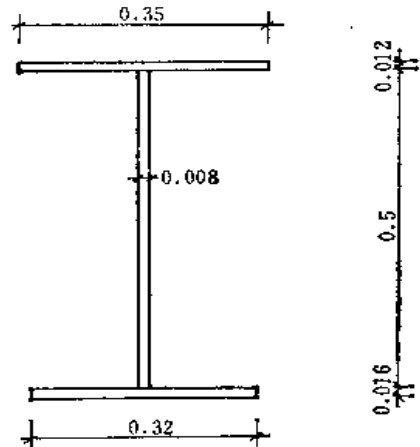


图17 大纵肋的几何尺寸 尺寸单位: m

$$\bar{y} = \frac{4.2 \times 10^{-3} \times (0.006 + 0.5 + 0.016) + 4 \times 10^{-3} \times (0.25 + 0.016) + 5.12 \times 10^{-3} \times 0.008}{13.32 \times 10^{-3}} = 0.2475 \text{ m}$$

$$I = \frac{1}{12} \times 0.008 \times 0.5^3 + 4 \times 10^{-3} \times (0.25 + 0.016 - 0.2475)^2 + 4.2 \times 10^{-3} \times (0.522 - 0.2475)^2 + 5.12 \times 10^{-3} \times (0.2475 - 0.008)^2 = 6.949 \times 10^{-4} \text{ m}^4$$

弹性支承下二跨连续梁的解:

横肋间距为1.6m, 由此可算出 $I_f = 1.916 \times 10^{-3} \text{ m}^4$

$$X = \frac{-\Delta_{11}}{(\Delta_{11} + 1/K)} = \frac{-\left(-\frac{432.2}{EI_f}\right)}{\left(\frac{73.13}{EI_f} + \frac{32}{3EI}\right)} = \frac{432.2F_0}{73.13 + \frac{32}{3} \times \frac{1.916 \times 10^{-3}}{6.949 \times 10^{-4}}}$$

$$= 4.214F_0$$

$$\therefore M = [13.6F_0 - 4.214F_0 \times 1.925] \times 70\%$$

$$= 5.48 \times 106.2 \times 0.7$$

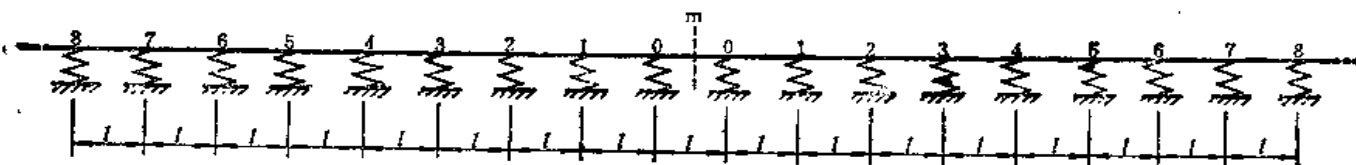
$$= 407.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

3. 考虑横肋弹性变形时的计算

以前面求得的相关刚度系数 $\gamma = 27.7$ 为前提进行本阶段的有关计算。等跨弹性支承上的无限长连续梁的跨中弯矩、支点弯矩和支点反力影响线纵距 $\bar{\eta}_m$ 、 $\bar{\eta}_s$ 、 $\bar{\eta}_0$ 等均根据 $\gamma = 27.7 > 10$ ，取 $\gamma = 10$ ，查表1-1、表1-2、表1-3中求出。计算结果见表2。

在无数弹性支承上的连续梁的跨间弯矩影响线

表1-1

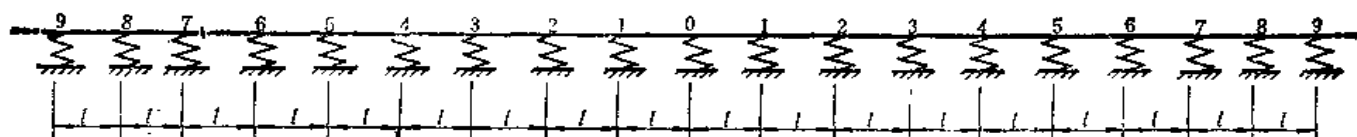


由于荷载 $P=1$ 在任一支点而产生的在截面 $m-m$ 处的弯矩 M/l 纵距

γ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0.02	+0.01321	-0.01465	+0.00125	+0.00024	-0.00006	0			
0.04	+0.02313	-0.02333	-0.00087	+0.00102	+0.00004	-0.00004	0		
0.06	+0.03130	-0.02917	-0.00383	+0.00150	+0.00029	-0.00010	+0.00001	0	
0.08	+0.03839	-0.03344	-0.00700	+0.00149	+0.00068	-0.00002	-0.00005	-0.00001	0
0.1	+0.04468	-0.03674	-0.01015	+0.00122	+0.00155	+0.00009	-0.00007	-0.00002	0
0.2	+0.06902	-0.04538	-0.01628	+0.00495	+0.00198	+0.00100	+0.00010	-0.00009	-0.00004
0.3	+0.08713	-0.04835	-0.03450	-0.00216	+0.00148	+0.00187	+0.00062	0	-0.00010
0.4	+0.10188	-0.04903	-0.04288	-0.01384	+0.00005	+0.00237	+0.00122	+0.00023	-0.00010
0.5	+0.11450	-0.04858	-0.04932	-0.01935	-0.00196	+0.00248	+0.00180	+0.00057	-0.00002
0.6	+0.12559	-0.04743	-0.05473	-0.02454	-0.00428	+0.00226	+0.00227	+0.00096	+0.00023
0.7	+0.13555	-0.04591	-0.05593	-0.02941	-0.00681	+0.00178	+0.00262	+0.00136	+0.00034
0.8	+0.14459	-0.04417	-0.06311	-0.03395	-0.00943	+0.00107	+0.00286	+0.00175	+0.00052
0.9	+0.15297	-0.04198	-0.06640	-0.03819	-0.01210	+0.00019	+0.00297	+0.00211	+0.00077
1.0	+0.16073	-0.04018	-0.06923	-0.04216	-0.01478	-0.00080	+0.00297	+0.00242	+0.00110
1.5	+0.19322	-0.02944	-0.07881	-0.05860	-0.02771	-0.00715	+0.00166	+0.00340	+0.00243
2.0	+0.21895	-0.01876	-0.08383	-0.07094	-0.03933	-0.01436	-0.00115	+0.00333	+0.00340
3.0	+0.23930	+0.00107	-0.08748	-0.08821	-0.05869	-0.02881	-0.00889	+0.00092	+0.00396
4.0	+0.29104	+0.01881	-0.08705	-0.09957	-0.07298	-0.04215	-0.01764	-0.00328	+0.00360
5.0	+0.31756	+0.03484	-0.08469	-0.10751	-0.08641	-0.05413	-0.02651	-0.00830	+0.00099
6.0	+0.34052	+0.04947	-0.08130	-0.11315	-0.09665	-0.06485	-0.03512	-0.01395	-0.00174
7.0	+0.36139	+0.06347	-0.07733	-0.11722	-0.10526	-0.07448	-0.04335	-0.01970	-0.00497
8.0	+0.37926	+0.07552	-0.07302	-0.12014	-0.11257	-0.08317	-0.05117	-0.02549	-0.00849
9.0	+0.39604	+0.08728	-0.06855	-0.12221	-0.11855	-0.09103	-0.05856	-0.03123	-0.01223
10.0	+0.41154	+0.09835	-0.06394	-0.12362	-0.12430	-0.09820	-0.06555	-0.03688	-0.01610

在无数弹性支承上的连续梁的支点弯矩影响线

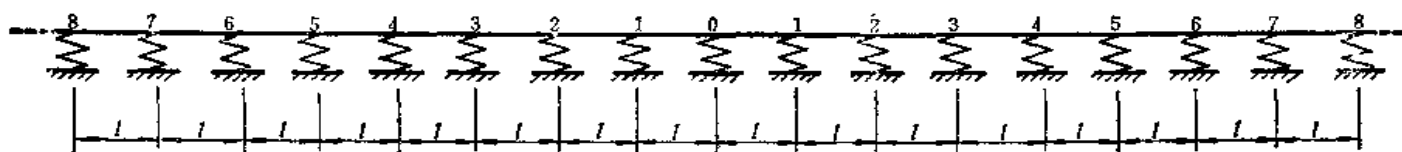
表 1-2

由于荷载 $P=1$ 在任一支点而产生的在支点0处的弯矩 M/l 纵矩

γ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.02	+0.05763	-0.03121	+0.00191	+0.00060	-0.00011	0				
0.04	+0.08919	-0.04294	-0.00361	+0.00187	+0.00017	-0.00009	0			
0.06	+0.11111	-0.04850	-0.00985	+0.00219	+0.00080	-0.00023	+0.00003	0		
0.08	+0.12800	-0.05128	-0.01566	+0.00166	+0.00133	+0.00004	-0.00009	-0.00002	0	0
0.1	+0.14183	-0.05257	-0.02091	+0.00061	+0.00182	+0.00027	-0.00010	-0.00004	0	0
0.2	+0.18353	-0.05056	-0.04019	-0.00764	+0.00226	+0.00170	-0.00031	-0.00010	-0.00007	-0.00001
0.3	+0.21870	-0.04445	-0.05224	-0.01665	+0.00034	+0.00262	+0.00112	+0.00011	-0.00012	-0.00008
0.4	+0.24142	-0.03766	-0.06040	-0.02496	-0.00272	+0.00281	+0.00192	+0.00052	-0.00006	-0.00013
0.5	+0.25989	-0.03090	-0.06625	-0.03238	-0.00631	+0.00240	+0.00256	+0.00103	+0.00011	-0.00014
0.6	+0.27556	-0.02438	-0.07049	-0.03897	-0.01010	+0.00154	+0.00238	+0.00155	+0.00037	-0.00008
0.7	+0.28924	-0.01814	-0.07368	-0.04486	-0.01395	+0.00034	+0.00321	+0.00203	+0.00068	
0.8	+0.30143	-0.01225	-0.07609	-0.05013	-0.01776	-0.00109	+0.00323	+0.00249	+0.00100	+0.00014
0.9	+0.31245	-0.00651	-0.07791	-0.05489	-0.02149	-0.00271	+0.00309	+0.00285	+0.00135	+0.00031
1.0	+0.32251	-0.00108	-0.07927	-0.05919	-0.02512	-0.00444	+0.00280	+0.00314	+0.00169	+0.00050
1.5	+0.36346	+0.02297	-0.08184	-0.07577	-0.04142	-0.01399	-0.01031	+0.00363	+0.00317	+0.00168
2.0	+0.39470	+0.04319	-0.08071	-0.08695	-0.05492	-0.02373	-0.00498	+0.00268	+0.00397	+0.00283
3.0	+0.44218	+0.07641	-0.07428	-0.10068	-0.07573	-0.04165	-0.01596	-0.00181	+0.00364	+0.00428
4.0	+0.47857	+0.10351	-0.06588	-0.10822	-0.09092	-0.05704	-0.02726	-0.00803	+0.00148	+0.00453
5.0	+0.50847	+0.12664	-0.05697	-0.11241	-0.10261	-0.07021	-0.03805	-0.01496	-0.00182	+0.00379
6.0	+0.53406	+0.14698	-0.04804	-0.11456	-0.11174	-0.08156	-0.04814	-0.02209	-0.00580	+0.00231
7.0	+0.55656	+0.16522	-0.03927	-0.11538	-0.11905	-0.09146	-0.05751	-0.02920	-0.01019	+0.00025
8.0	+0.57672	+0.18180	-0.03075	-0.11529	-0.12499	-0.10015	-0.06618	-0.03616	-0.01482	-0.00217
9.0	+0.59502	+0.19706	-0.02250	-0.11456	-0.12986	-0.10785	-0.07422	-0.04291	-0.01956	-0.00490
10.0	+0.61185	+0.21122	-0.01452	-0.11335	-0.13389	-0.11471	-0.08168	-0.04941	-0.02434	-0.00785

在无数弹性支承上的连续梁的反力影响线

表 1-3

由于荷载 $P=1$ 在任一支点而产生的在支点0处的反力纵矩

γ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0.02	+0.82232	+0.12196	-0.03443	+0.00060	+0.00082	-0.00011	0		
0.04	+0.73574	+0.17146	-0.03385	-0.00718	+0.00144	+0.00035	-0.00009	0	0
0.06	+0.68078	+0.19826	-0.02661	-0.01343	+0.00036	+0.00129	-0.00029	+0.00003	0
0.08	+0.64144	+0.21490	-0.01830	-0.01765	-0.00096	+0.00116	+0.00020	-0.00005	-0.00002
0.1	+0.61120	+0.22606	-0.01013	-0.02032	-0.00276	+0.00118	+0.00043	-0.00002	-0.00004
0.2	+0.52170	+0.24951	+0.02219	-0.02266	-0.01046	-0.00083	+0.00098	+0.00044	+0.00003
0.3	+0.47368	+0.25537	+0.04337	-0.01853	-0.01471	-0.00370	+0.00050	+0.00078	+0.00027

由于荷载 $P=1$ 在任一支点而产生的在支点0处的反力纵距

γ	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0.4	+0.44183	+0.25634	+0.05819	-0.01321	-0.01670	-0.00642	-0.00050	+0.00082	+0.00051
0.5	+0.41842	+0.02555	+0.06916	-0.00777	-0.01735	-0.00855	-0.00189	+0.00060	+0.00067
0.6	+0.40013	+0.25382	+0.07763	-0.00265	-0.01723	-0.01019	-0.00288	+0.00025	+0.00074
0.7	+0.38524	+0.25184	+0.08436	+0.02030	-0.01662	-0.01108	-0.00405	-0.00017	+0.00067
0.8	+0.37264	+0.24938	+0.08980	+0.00641	-0.01571	-0.01235	-0.00508	-0.00075	+0.00062
0.9	+0.36208	+0.24756	+0.09443	+0.01038	-0.01462	-0.01298	-0.00602	-0.00129	+0.00047
1.0	+0.35276	+0.24543	+0.09827	+0.01400	-0.01340	-0.01344	-0.00690	-0.00178	+0.00028
1.5	+0.31901	+0.23569	+0.11087	+0.02829	-0.00692	-0.01375	-0.00973	-0.00441	-0.00103
2.0	+0.29700	+0.22760	+0.11766	+0.03826	-0.00084	-0.01243	-0.01110	-0.00637	-0.00243
3.0	+0.26847	+0.21507	+0.12430	+0.05135	-0.00912	-0.00838	-0.01153	-0.00871	-0.00481
4.0	+0.24988	+0.20568	+0.12705	+0.05964	+0.01657	-0.00409	-0.01056	-0.00972	-0.00646
5.0	+0.23633	+0.19833	+0.12817	+0.06523	+0.02261	-0.00025	-0.00906	-0.00996	-0.00753
6.0	+0.22584	+0.19206	+0.12849	+0.06935	+0.02736	+0.00324	-0.00737	-0.00976	-0.00819
7.0	+0.21730	+0.18686	+0.12831	+0.07244	+0.03127	+0.00636	-0.00555	-0.00929	-0.00857
8.0	+0.21016	+0.18236	+0.12802	+0.07485	+0.03454	+0.00913	-0.00395	-0.00868	-0.00870
9.0	+0.20408	+0.17840	+0.12750	+0.07676	+0.03732	+0.01161	-0.00232	-0.00796	-0.00869
10.0	+0.19875	+0.17488	+0.12691	+0.07830	+0.03971	+0.01385	-0.00076	+0.00720	-0.00858

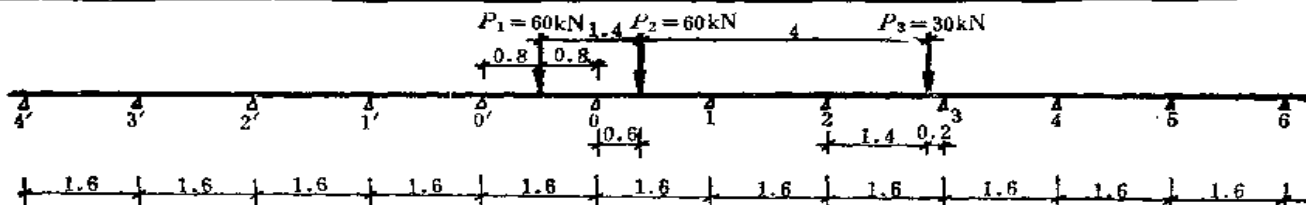


图20 尺寸单位: m

 $\Sigma \frac{F_m}{P} \cdot \frac{\eta_m}{l}$ 的计算

表2

支 点 m		0	1	2	3	4	5	6	7
F_m	后 轮	0.6005	-0.1274	0.0341	-0.0091	0.0025	-0.0007	0.0002	0
		0.7542	0.4342	-0.1022	0.0274	-0.0073	0.0020	-0.0005	0
	前 轮*	-0.1015	-0.0158	0.0600	0.4840	-0.0400	0.0107	-0.0029	0.0008
	小 计	1.2532	0.2910	-0.0081	0.5023	-0.0448	0.0120	-0.0032	0.0008
η_m/l		0.41154	0.09835	-0.06394	-0.12362	-0.12430	-0.09820	-0.06555	-0.03688
$\frac{F_m}{P} \cdot \frac{\eta_m}{l}$		0.51574	0.02862	0.00052	-0.06209	0.00557	-0.00118	0.00021	-0.00003
支 点 m		0'	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'
$\frac{F_m}{P}$	后 轮	0.6005	-0.1274	0.0341	-0.0091	0.0025	-0.0007	0.0002	0
		-0.1367	0.0388	-0.0098	0.0026	-0.0007	0.0002	0	0
	前 轮*	-0.0011	0.0003	-0.0001	0	0	0	0	0
	小 计	0.4627	-0.0985	0.0242	-0.0065	0.0018	-0.0005	0.0002	0
η_m/l		0.41154	0.09835	-0.06394	-0.12362	-0.12430	-0.09820	-0.06555	-0.03688
$\frac{F_m}{P} \cdot \frac{\eta_m}{l}$		0.19042	-0.00890	-0.00155	0.00080	-0.00022	0.00005	-0.00001	0

$$\Sigma \frac{F_m}{P} \times \frac{\eta_m}{l} = 0.66795$$

(i) 纵肋弯矩计算

首先, 假定横肋为刚性支承。从图20所示之加载情况中, 按下式求支点反力 F_m 。

$$\left(\frac{A_0}{P}\right)_{0-1} = (\vartheta_0)_{0-1} = 1 - 2.1962\left(\frac{y}{l}\right)^2 + 1.1962\left(\frac{y}{l}\right)^3$$

在运用上式计算时, 应以集中轮重 P_0 代替 A_0 。

在节间 $m - (m+1)$ 内, ϑ_0 的计算公式为:

$$\begin{aligned}\left(\frac{A_0}{P}\right)_{m-(m+1)} &= (\vartheta_0)_{m-(m+1)} \\ &= (-0.2679)^{m-1} \left[-0.8038\left(\frac{y}{l}\right) + 1.3923\left(\frac{y}{l}\right)^2 - 0.5885\left(\frac{y}{l}\right)^3 \right]\end{aligned}$$

上式中的 m , 是加载节间支点编号中数值较小的号数。

根据图20之加载情况, 计算支点反力的影响线纵距 (重车加载) 如下 (考虑到 $P_3 = \frac{1}{2}P_2 = \frac{1}{2}P_1$):

(1) 0点纵距

$$\begin{aligned}\frac{F_0}{P_1} &= 1 - 2.1961 \times \left(\frac{y}{l}\right)^2 + 1.1961 \times \left(\frac{y}{l}\right)^3 \\ &= 1 - 2.1961 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right)^2 + 1.1961 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right)^3 = 0.6005 \\ \frac{F_0}{P_2} &= 1 - 2.1961 \times \left(\frac{0.6}{1.6}\right)^2 + 1.1961 \times \left(\frac{0.6}{1.6}\right)^3 = 0.7542 \\ -\frac{F_0}{P_3} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{y}{l}\right) + 1.3923 \times \left(\frac{y}{l}\right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{y}{l}\right)^3 \right] \times (-0.268)^{m-1} \\ &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{1.4}{1.6}\right) + 1.3923 \times \left(\frac{1.4}{1.6}\right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{1.4}{1.6}\right)^3 \right] \times (-0.268)^1 \\ &= -0.2029\end{aligned}$$

(2) 1点纵距

$$\begin{aligned}\frac{F_1}{P_1} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right)^3 \right] \times (-0.268)^0 \\ &= -0.1274 \\ \frac{F_1}{P_2} &= 1 - 2.1961 \times \left(\frac{1.0}{1.6}\right)^2 + 1.1961 \times \left(\frac{1.0}{1.6}\right)^3 = 0.4342 \\ \frac{F_1}{P_3} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{1.4}{1.6}\right) + 1.3923 \times \left(\frac{1.4}{1.6}\right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{1.4}{1.6}\right)^3 \right] \times (0.268)^0 \\ &= -0.0316\end{aligned}$$

(3) 2点纵距

$$\begin{aligned}\frac{F_2}{P_1} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.8}{1.6}\right)^3 \right] \times (-0.268)^1 \\ &= 0.0341 \\ \frac{F_2}{P_2} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{1.0}{1.6}\right) + 1.3923 \times \left(\frac{1.0}{1.6}\right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{1.0}{1.6}\right)^3 \right] \times (-0.268)^0 \\ &= -0.1022\end{aligned}$$

$$\frac{F_2}{P_3} = \left[1 - 2.1961 \times \left(\frac{1.4}{1.6} \right)^2 + 1.1962 \times \left(\frac{1.4}{1.6} \right)^3 \right] = 0.1199$$

(4) 3 点纵距

$$\begin{aligned} \frac{F_3}{P_1} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.8}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.8}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.8}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^2 \\ &= -0.0091 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{F_3}{P_2} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{1.0}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{1.0}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{1.0}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^1 \\ &= 0.0274 \end{aligned}$$

$$\frac{F_3}{P_3} = 1 - 2.1961 \times \left(\frac{0.2}{1.6} \right)^2 + 1.1961 \times \left(\frac{0.2}{1.6} \right)^3 = 0.9680$$

(5) 4 点纵距

$$\frac{F_4}{P_1} = \frac{F_1}{P_1} \times (-0.268)^3 = -0.1274 \times (-0.268)^3 = 0.0025$$

$$\frac{F_4}{P_2} = \frac{F_2}{P_2} \times (-0.268)^2 = -0.1022 \times (-0.268)^2 = -0.0073$$

$$\begin{aligned} \frac{F_4}{P_3} &= \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.2}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.2}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.2}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^0 \\ &= -0.0800 \end{aligned}$$

(6) 5 点纵距

$$\frac{F_5}{P_1} = \frac{F_1}{P_1} \times (-0.268)^4 = -0.1274 \times (-0.268)^4 = -0.0007$$

$$\frac{F_5}{P_2} = \frac{F_2}{P_2} \times (-0.268)^3 = -0.1022 \times (-0.268)^3 = 0.0020$$

$$\frac{F_5}{P_3} = \frac{F_4}{P_3} \times (-0.268)^1 = -0.0800 \times (-0.268) = 0.0214$$

(7) 6 点纵距

$$\frac{F_6}{P_1} = \frac{F_1}{P_1} \times (-0.268)^5 = -0.1274 \times (-0.268)^5 = 0.0002$$

$$\frac{F_6}{P_2} = \frac{F_2}{P_2} \times (-0.268)^4 = -0.1022 \times (-0.268)^4 = -0.0005$$

$$\frac{F_6}{P_3} = \frac{F_4}{P_3} \times (-0.268)^2 = -0.0800 \times (-0.268)^2 = -0.0057$$

(8) 7 点纵距

$$\frac{F_7}{P_1} = \frac{F_1}{P_1} \times (-0.268)^6 = 0.1274 \times (-0.268)^6 = 0$$

$$\frac{F_7}{P_2} = 0$$

$$\frac{F_7}{P_3} = \frac{F_4}{P_3} \times (-0.268)^3 = -0.08 \times (-0.268)^3 = 0.0015$$

(9) 1' 点纵距

$$\frac{F'_1}{P_2} = \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^4$$

$$= 0.0366$$

$$\frac{F'_1}{P_3} = \frac{F_1}{P_3} \times (-0.268)^3 = 0.0316 \times (-0.268)^3 = 0.0006$$

(10) 2' 点纵距

$$\frac{F'_2}{P_2} = \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^3$$

$$= -0.0098$$

$$\frac{F'_2}{P_3} = \frac{F_2}{P_3} \times (-0.268)^4 = -0.0316 \times (-0.268)^4 = -0.0002$$

(11) 3' 点纵距

$$\frac{F'_3}{P_2} = \frac{F'_2}{P_2} \times (-0.268) = -0.0098 \times (-0.268) = 0.0026$$

$$\frac{F'_3}{P_3} = 0$$

(12) 4' 点纵距

$$\frac{F'_4}{P_2} = \frac{F'_3}{P_2} \times (-0.268) = -0.0007$$

$$\frac{F'_4}{P_3} = 0$$

(13) 5' 点纵距

$$\frac{F'_5}{P_2} = \frac{F'_4}{P_2} \times (-0.268)$$

$$= -0.0007 \times (-0.268) = 0.0002$$

(14) 6'、7' 点纵距

$$\frac{F'_6}{P_2} = \frac{F'_7}{P_2} = \frac{F'_8}{P} = \frac{F'_7}{P_3} = 0$$

(15) 0' 点纵距

$$\frac{F'_0}{P_2} = \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.6}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^3$$

$$= -0.1367$$

$$\frac{F'_0}{P_3} = \frac{F_1}{P_3} \times (-0.268)^2 = -0.0316 \times (-0.268)^2 = -0.0023$$

∵ $\gamma = 27.7 \gg 10$

故 查表 1 得 $\gamma = 10$ 时的 $\frac{\eta_m}{l}$ 数据

由表 2 即可算出 $\sum \frac{F_m}{P} \times \frac{\eta_m}{l}$ 的数值。采用前面所算出众多的 $\frac{F_m}{P_3}$ 的二分之一，是因为前轮重 30kN 而不是 60kN。

考虑横肋挠度后的改正弯矩

在单一荷载（群） P 的作用下，弹性支承连续梁上任意一点 i 因支点垂直变位而产生的附加弯矩 ΔM 为：

$$\Delta M = \sum_{m=0}^n K_m \bar{\eta}_{im}$$

式中 K_m ——单一荷载(群) P 作用时, 刚性支承连续梁在支点 m 处的反力;

$\bar{\eta}_{im}$ ——弹性支承连续梁上 i 点的弯矩影响线在支点 m 处的纵距。

上式化成无量纲形式为:

$$\Delta M = Pt \cdot \frac{\eta^0}{t} = Pt \sum \frac{K_m}{P} \cdot \frac{\bar{\eta}_{im}}{t}$$

则比值 $\frac{K_m}{P}$ 就和荷载 P 的大小无关, 它所表示的是刚性支承连续梁在支点 m 处的反力影响线纵距 η_m^0 ; 在作用荷载是荷载群的情况下, 则是在荷载群中每个荷载位置上经过适当改正后的影响线纵距之和。

计算横肋挠曲影响时, 要把在桥面板上的实际作用荷载 P 转化成正弦分布荷载的第一项分量 Q_{1x} 。因此, 在计算纵肋附加弯矩 ΔM_t 时, 计算点 x 处的肋上荷载是这个位置的第一项正弦荷载分量 Q_{1x} 与纵肋的有效宽度 a 之积, 即 $Q_{1x}a$ 。引入这些荷载和无量纲系数 Q_{1x}/Q_0 后, ΔM 式可改写如下:

$$\Delta M_t = Q_0 t a \frac{Q_{1x}}{Q_0} \sum \frac{K_m}{P} \frac{\bar{\eta}_{im}}{t}$$

式中 ΔM_t ——由于横梁的挠曲在每根纵肋上引起的附加弯矩;

$Q_0 = \frac{P}{2g}$ ——桥面板沿 x 方向单位宽度的平均轮压。

必须指出, 在普通钢桥面板中, 附加弯矩 ΔM_t 是正值, 它使节间中部的弯矩增大, 并使支承点上的弯矩减少。

在用上式计算 ΔM_t 时必须先算出 Q_{1x}/Q_0 。

按图21所示的荷载, 在多荷载作用下, x 点的 Q_{1x}/Q_0 为:

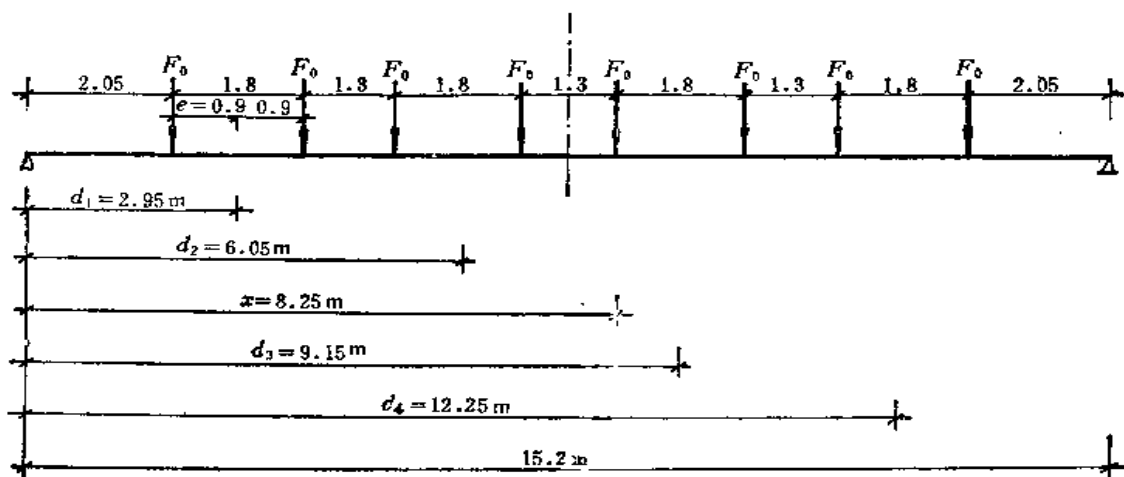


图21 求 Q_{1x}/Q_0 时的荷载位置

$$\frac{Q_{1x}}{Q_0} = \frac{8}{\pi} \cos \frac{\pi z}{b} \sin \frac{\pi g}{b} \left(\sin \frac{\pi d_1}{b} + \sin \frac{\pi d_2}{b} + \dots + \sin \frac{\pi d_n}{b} \right) \sin \frac{\pi x}{b}$$

$$Q_0 = \frac{P}{2g} = \frac{1.3 \times 60}{0.80} = 97.5 \text{ kN/m} \quad (\text{包括 } 30\% \text{ 冲击})$$

$$2g = 0.8\text{m}, \quad g = 0.40\text{m}, \quad e = 0.9\text{m}, \quad x = 8.25\text{m}, \quad b = 15.2\text{m}$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{Q_{1x}}{Q_0} &= \frac{8}{\pi} \times \sin \frac{\pi g}{b} \times \cos \frac{\pi e}{b} \times \left(\sin \frac{\pi d_1}{b} + \sin \frac{\pi d_2}{b} + \sin \frac{\pi d_3}{b} + \sin \frac{\pi d_4}{b} \right) \\ &\quad \times \sin \frac{\pi x}{b} \\ &= \frac{8}{\pi} \sin \frac{\pi \times 0.4}{15.2} \times \cos \frac{\pi \times 0.9}{15.2} \times \left(\sin \frac{\pi \times 2.95}{15.2} + \sin \frac{\pi \times 6.05}{15.2} \right. \\ &\quad \left. + \sin \frac{\pi \times 9.15}{15.2} + \sin \frac{\pi \times 12.25}{15.2} \right) \times \sin \frac{\pi \times 8.25}{15.2} \\ &= 0.623 \end{aligned}$$

纵肋跨间的弯矩修正值 ΔM_c 为:

$$\begin{aligned} \Delta M_c &= Q_{1x} \times l \times a \times \frac{Q_{1x}}{Q_0} \times \sum \frac{F_m}{P} \times \frac{\eta_m}{l} \\ &= 97.5 \times 1.6 \times 0.35 \times 0.623 \times 0.66795 \times 0.70 \\ &= 15.90 \text{kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

(四车道折减30%)

在肋的支点处的弯矩修正值 ΔM_s ,

因横梁的变形所引起的支点弯矩修正值 ΔM_s , 一般是减小支点弯矩, 所以, 横梁变形的影响通常是略去不计。

(ii) 横肋弯矩的计算

对于图22所示轮位的支点反力, 与前述计算纵肋的情况一样, 把纵肋看作刚性支承连续梁求其各支点反力, 表2。

列出图22所示轮位的支点反力, 在表中用1'、2'……表示 $m=0$ 左边的各支点编号。

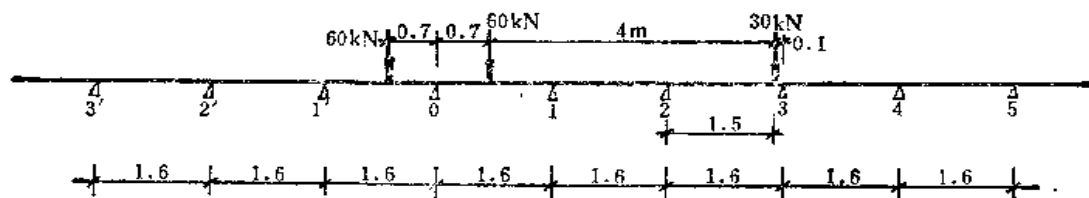


图22 尺寸单位: m

然后用下式计算弯矩减少量

$$\Delta M_r = Q_0 \left(\frac{b}{\pi} \right)^2 \frac{Q_{1x}}{Q_0} \left[\frac{F_0}{P} - \sum \frac{F_m}{P} \gamma_m \right]$$

将车轮放置在同图22所示的位置上, 按《现代公路钢桥》一书中的式(6-18a)、(6-18b)来计算。

由于作用在跨度0-1和其他跨度内的一个荷载而引起的支点0下面的反力计算如下:

$$\text{对于跨度0-1: } \left[\frac{F_0}{P} \right] = \left[1 - 2.1962 \left(\frac{y}{l} \right)^2 + 1.1962 \left(\frac{y}{l} \right)^3 \right]$$

$$\text{对于其他跨度: } \left[-0.804 \left(\frac{y}{l} \right) + 1.3923 \left(\frac{y}{l} \right)^2 - 0.5885 \left(\frac{y}{l} \right)^3 \right] (-0.268)^{n-1}$$

$$R_0 = 2 \times \left[1 - 2.1962 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^2 + 1.1962 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^3 \right] + \frac{1}{2} \left[-0.8038 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right) + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + 1.3923 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^3 \Big] \times (-0.268)^1 \\
& = 1.362 \\
R_1 &= \left[1 - 2.1962 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^2 + 1.1962 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^3 \right] \\
& + \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^3 \right] \\
& \times (-0.268)^2 + \frac{1}{2} \times \left[-0.8038 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^2 \right. \\
& \left. - 0.5885 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^3 \\
& = 0.376 \\
R_2 &= \frac{1}{2} \times \left[1 - 2.1962 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^2 + 1.1962 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^3 \right] + \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right) + 1.3923 \right. \\
& \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^3 \Big] \times (-0.268)^1 + \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right) + 1.3923 \times \right. \\
& \left. \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^2 \\
& = 0.028 + 0.031 - 0.010 = 0.049 \\
R_3 &= \frac{1}{2} \times \left[1 - 2.1962 \times \left(\frac{0.1}{1.6} \right)^2 + 1.1962 \times \left(\frac{0.1}{1.6} \right)^3 \right] + 0.031 \times (-0.268) \\
& + (-0.01) \times (-0.268) \\
& = 0.490 \\
R_4 &= \frac{1}{2} \times \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.1}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.1}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.1}{1.6} \right)^3 \right] \\
& + 0.031 \times (-0.268)^2 + (-0.01) \times (-0.268)^3 \\
& = -0.022 + 0.002 - 0.001 = -0.021 \\
R_5 &= -0.022 \times (-0.268) + 0.031 \times (-0.268)^3 + (-0.01) \times (-0.268)^3 \\
& = 0.006 \\
R_6 &= -0.022 \times (-0.268)^2 + 0.031 \times (-0.268)^4 + (-0.01) \times (-0.268)^4 \\
& = 0.002 \\
R_7 &= -0.022 \times (-0.268)^3 + 0.031 \times (-0.268)^5 + (-0.01) \times (-0.268)^5 \\
& = 0 \\
R'_1 &= \left[1 - 2.1962 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^2 + 1.1962 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^3 \right] + \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right) + 1.3923 \right. \\
& \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.7}{1.6} \right)^3 \Big] + \frac{1}{2} \times \left[-0.8038 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^2 \right. \\
& \left. - 0.5885 \times \left(\frac{1.5}{1.6} \right)^3 \right] \times (-0.268)^2 \\
& = 0.518 + (-0.134) + (-0.001) = 0.383
\end{aligned}$$

$$R'_2 = \left[-0.8038 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right) + 1.3923 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^2 - 0.5885 \times \left(\frac{0.9}{1.6} \right)^3 \right] + (-0.134) \times (-0.268) + 0$$

$$= -0.116 + 0.036 = -0.08$$

$$R'_3 = -0.116 \times (-0.268) + (-0.134) \times (-0.268)^2 + 0 = 0.021$$

$$R'_4 = -0.116 \times (-0.268)^2 + (-0.134) \times (-0.268)^3 = -0.006$$

$$R'_5 = -0.116 \times (-0.268)^3 + (-0.134) \times (-0.268)^4 = 0.002$$

$$R'_6 = R'_7 = 0$$

$$\gamma = 27.7 > 10$$

查表 3, $\gamma = 10$ 的数值。

$\sum \frac{F_m}{P} \gamma_m$ 的计算

表 3

支 点 m	0	1	2	3	4	5	6	7
$\frac{F_m}{P}$	1.362	0.376	0.049	0.490	-0.021	0.006	0.002	0
γ_m	0.19875	0.17488	0.12691	0.07830	0.03971	0.01385	-0.0076	-0.0072
$\frac{F_m}{P} \cdot \gamma_m$	0.2707	0.0658	0.0062	0.0384	-0.0008	0	0	0
支 点 m	1'	2'	3'	4'	5'	6'	7'	—
$\frac{F_m}{P}$	0.383	-0.080	0.021	-0.006	0.002	0	0	—
γ_m	0.17488	0.12691	0.07830	0.03971	0.01385	-0.0076	-0.0072	—
$\frac{F_m}{P} \cdot \gamma_m$	0.0670	0.0010	0.0016	-0.0002	0	0	0	—

$$\sum \frac{F_m}{P} \times \gamma_m = 0.4497$$

按图23所示的荷载位置, 求算横肋最大弯矩的所在位置。据参考文献^[6]中的计算公式有:

$$d = \frac{b}{2} \times \frac{b + f - e - 5c}{b - 4c}$$

式中 $b = 15.2\text{m}$, $f = 3.10\text{m}$,
 $c = 0.40\text{m}$, $e = 1.55\text{m}$,

故有:

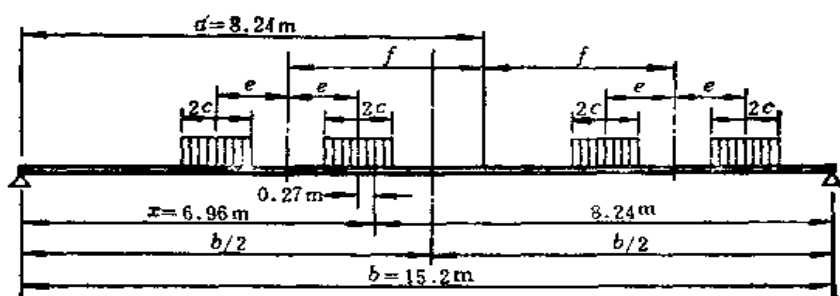


图23 求横肋的绝对最大弯矩时的计算荷载

$$d = \frac{15.2}{2} \times \frac{15.2 + 3.10 - 1.55 - 5 \times 0.4}{15.2 - 4 \times 0.4} = 8.24\text{m}$$

∴ 最大弯矩距左端的距离为: $x = b - d = 15.2\text{m} - 8.24\text{m} = 6.96\text{m}$

$$\therefore \frac{Q_{1z}}{Q_0} = \frac{8}{\pi} \sin \frac{\pi g}{b} \cos \frac{\pi e}{b} \left(\sin \frac{\pi d_1}{b} + \sin \frac{\pi d_2}{b} + \sin \frac{\pi d_3}{b} + \sin \frac{\pi d_4}{b} \right) \sin \frac{\pi x}{b}$$

式中 $g = 0.40\text{m}$, $e = 0.90\text{m}$, $b = 15.2\text{m}$, $d_1 = 3.59\text{m}$, $d_2 = 6.69\text{m}$,

$$d_3 = 9.79\text{m}, d_4 = 12.89\text{m}$$

$$\therefore \frac{Q_{1z}}{Q_0} = \frac{8}{3.14} \times \sin \frac{3.14 \times 0.4}{15.2} \times \cos \frac{3.14 \times 0.9}{15.2} \left(\sin \frac{3.14 \times 3.59}{15.2} + \sin \frac{3.14 \times 6.69}{15.2} \right. \\ \left. + \sin \frac{3.14 \times 9.79}{15.2} + \sin \frac{3.14 \times 12.89}{15.2} \right) \times \sin \frac{3.14 \times 6.96}{15.2} \\ = 2.55 \times 0.083 \times 0.983 (0.676 + 0.982 + 0.899 + 0.460) \times 0.982 = 0.616$$

$Q_0 = 97.5 \text{ kN/m}$, $b = 7.6 \text{ m}$ (考虑中间大纵梁的弹性支承作用);

$\therefore$ 横肋弹性变形的附加弯矩为

$$\Delta M_F = Q_0 \left(\frac{b}{\pi} \right)^2 \times \frac{Q_{1z}}{Q_0} \left[\frac{F_0}{P} - \sum \frac{F_m}{P} \times \gamma_m \right]$$

从表 3 有: $\frac{F_0}{P} = 1.362$, $\sum \frac{F_m}{P} \times \gamma_m = 0.4497$

$$\therefore \Delta M_F = 97.5 \times \left(\frac{7.6}{3.14} \right)^2 \times 0.616 \times (1.362 - 0.4497) \\ = 97.5 \times 5.86 \times 0.616 \times 0.9123 \\ = 321.1 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

纵横肋的弯矩汇总见表 4。

表 4

部 位	恒 载 弯 矩 (kN·m)	活 载 弯 矩 (包括冲击力) (kN·m)	横肋弹性变形的 附加弯矩 (kN·m)	合 计 (kN·m)
(I) 纵肋跨中	0.36	7.75	15.90	24.01
(II) 纵肋支点	-0.7	-4.5	0	-5.2
(III) 横肋	23.1	407.4	-321.1	109.4

4. 纵、横肋截面的弯曲应力计算

在计算纵肋截面应力时, 对横肋刚度为无穷大情况下的弯矩, 截面几何特征值应采用图 11 的数据; 对于考虑横肋弹性变形情况下的弯矩, 截面几何特征值应采用图 12 的数值。

横肋截面的弯曲应力计算如下:

$$\sigma_{\text{上}} = \frac{M}{W_{\text{上}}} = -\frac{109.4}{4.39 \times 10^{-3}} \\ = -24.9 \text{ MPa} < 210 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{下}} = \frac{M}{W_{\text{下}}} = \frac{109.4}{6.42 \times 10^{-4}} \\ = 170.4 \text{ MPa} < 210 \text{ MPa}$$

纵肋截面的弯曲应力计算如下:

(i) 跨中截面的弯曲应力:

$$\sigma_{\text{上}} = -\frac{0.36 + 7.75}{4.0 \times 10^{-3}} - \frac{15.9}{4.17 \times 10^{-4}} \\ = -58.40 \text{ MPa} < [\sigma_w] = 210 \text{ MPa}$$

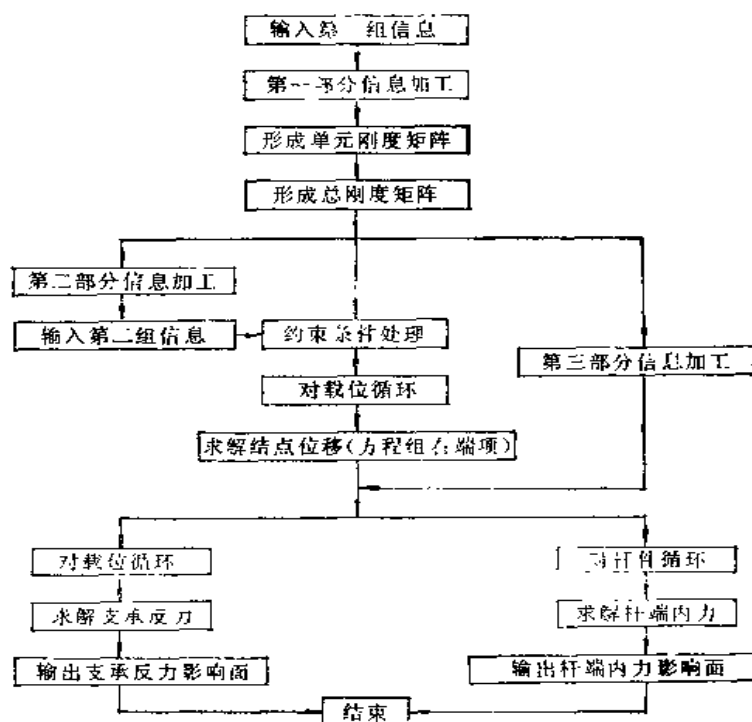


图 24 源程序框图

$$\sigma_{\text{下}} = \frac{0.36 + 7.75}{1.12 \times 10^{-4}} + \frac{15.90}{1.12 \times 10^{-4}} = 214 \text{MPa} \approx [\sigma_w] = 210 \text{MPa}$$

在前面计算中，把桥的横断面上的大纵肋当作小纵肋，这是为了计算方便而作的假设，实际上桥在受力时，大纵肋、小纵肋都起作用的，因此应力实际上是不会超过的。

(ii) 支点截面的弯曲应力

$$\sigma_{\text{上}} = -\frac{(-5.2)}{4.00 \times 10^{-4}} + 0 = 13 \text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{下}} = \frac{(-5.2)}{1.12 \times 10^{-4}} + 0 = -46.43 \text{MPa}$$

(三) 正交异性钢桥面板的计算机分析

该法是利用平面网格系程序，直接检算在柔性支承上的正交异性板。这个直接解法必须使用电子计算机，利用平面网格系程序计算。

1. 计算假定和程序框图

杆系网格程序用于桥梁空间结构的网格分析计算时，根据梁（板）桥的受力特点以及桥梁纵横截面的构造特点，选取下述的简化物理模型、运用有限元法解析。

为了形成网格体系，把上图的整个抗弯惯矩、抗扭惯矩都分摊到大、小纵肋上去，对横肋也采用分摊的方法。

本例着重对横肋活载弯矩分析，使用电算在单位力作用下的影响面上进行加载（汽车-20）。见图24，图25所示

加载计算的结果：

横肋活载弯矩：\$M_{\text{活}} = 54.7 \text{kN}\cdot\text{m}\$；横肋恒载弯矩：\$M_{\text{恒}} = 23.1 \text{kN}\cdot\text{m}\$

1) 按电算结果，横肋总弯矩为：

\$M = 54.7 + 23.1 = 77.8 \text{kN}\cdot\text{m}\$

2) 采用弹性支承下的连续梁的方法算出的横肋总弯矩为：

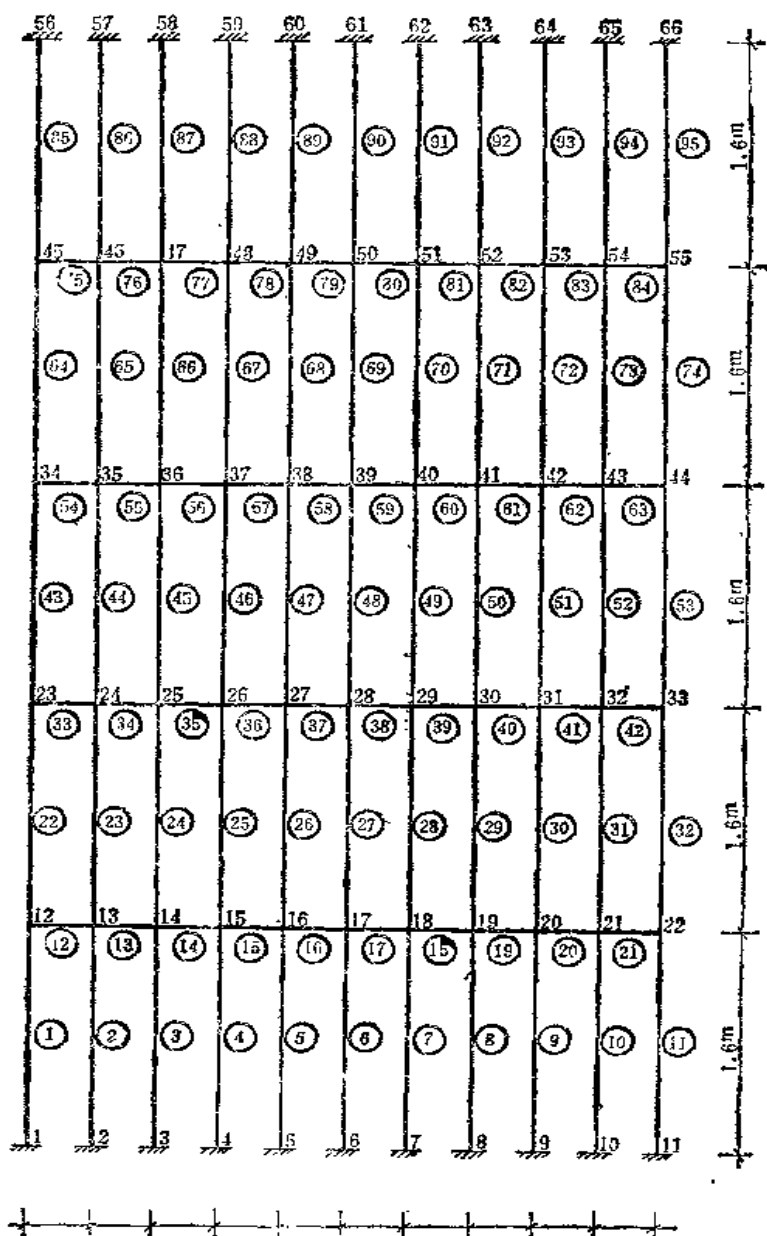


图25 杆件编号

$$M = 114.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2. 计算结果对比

按本算例法来计算横肋的活载弯矩，得出的结果与电算得出的结果比较接近。
几种方法计算出横肋的最后弯矩的比较见表 5。

横肋活载弯矩计算结果对比

表 5

计算横肋弯矩所用方法	横肋总弯矩 $\text{kN} \cdot \text{m}$	与精确法相差率 (%)
纵肋为弹性支承法	114.2 (1根弹性支承梁)	47%
	95.9 (3根弹性支承梁)	23.3%
铰链法 (电算)	77.8	/

在用精确法 (电算计算) 中对纵肋的支点弯矩影响面上加载 (汽车-20)，加载结果为：
纵肋支点：

$$M_{\text{活}} = -4.23 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{恒}} = -0.7 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_{\text{总}} = -4.93 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

纵肋最后弯矩的比较见表 6。

表 6

计算纵肋弯矩所用方法	纵肋支点弯矩 $\text{kN} \cdot \text{m}$	与精确法相差率 (%)
Pelikan-Esslinger 法	5.2	5%
精确法 (电算)	4.93	

由此可见，在计算纵肋弯矩时，用 Pelikan-Esslinger 法算出的结果与电算结果相近。

三、主桁杆件的内力计算

主桁架结构图式，如图 26 所示。

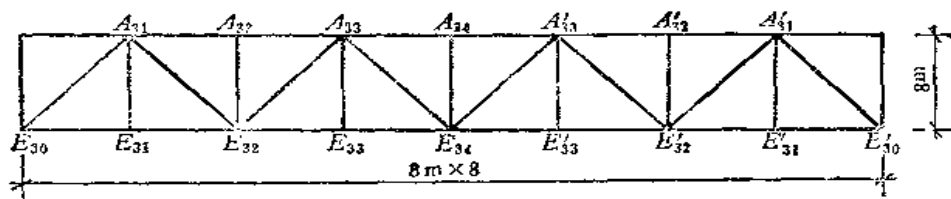


图 26 桁架结构图式

主桁架采用平行弦带竖杆的三角形腹杆体系。它的优点是结构简单，有利于现代化工厂机械化制造和工地架设。而与常见的斜竖式腹杆体系相比较，则有大节点较少，杆件也较少等优点。

上平纵联 (上风架) 的结构图式，如图 2 所示。

上平纵联采用“K”式腹杆体系。这种腹杆体系在竖向荷载作用下，弦杆变形引起的附加应力很小。同时，它使弦杆的变形比较均匀，腹杆的自由长度也较小，故适用宽度较宽的桥梁。

下平纵联采用交叉腹杆体系,如图36示。这种腹杆体系比较简单而且对称,使弦杆变形比较均匀,因杆件主要受拉,适宜用作下平纵联。该体系的缺点是主桁弦杆变形所引起的腹杆内力较大,使杆件的断面尺寸增大。

(一) 桁架桥杆件内力分析的基本原理

桥跨结构本来是一个空间结构,各杆件之间的相互连接也是刚性连接,在荷载作用下,杆件的内力计算目前常用的是一种简化的计算方法:即将桥跨结构分成若干个平面结构来处理,如:主桁,纵梁,横梁,平纵联,横向联结系,桥门架等。然后按承受各自平面上的荷载来计算杆件的内力,同时将平面内各杆件轴线所形成的几何图形作为该桁架的计算图式,并假定桁架各节点均为铰接。

当同一杆件是两个平面结构所共用时,如弦杆,它既是主桁平面内的弦杆,又是平纵联桁架平面内的弦杆,对这类杆件,计算时应先将它在各平面桁架内的内力求出,然后相加,以其代数和作为它的计算内力值。

因简化计算所用结构与实际结构有差异而引起的误差,一般情况下是允许的,当然,在误差影响较大时,应该进行必要的校正。

(二) 主力作用下的主桁杆件内力计算

1. 主桁各杆的影响线及影响线面积计算。

(1) 支反力 R 的影响线:

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times 1 = \frac{1}{2} \times 64 \times 1 = 32\text{m}$$

(2) 端斜杆 $E_{30}A_{31}$ 影响线 (见图28):

$$y = -\frac{l_2}{l} \times \frac{1}{\sin\theta} = -\frac{56}{64} \times \frac{1}{\sin 45^\circ} = -1.237$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times y = \frac{1}{2} \times 64 \times (-1.237) = -39.584\text{m}$$

(3) 弦杆 $E_{30}E_{31}$ 影响线:

$$y = \frac{l_2}{l} \times \frac{1}{\text{ctg}\theta} = \frac{56}{64} \times \frac{1}{\text{ctg} 45^\circ} = 0.875$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times y = \frac{1}{2} \times 64 \times 0.875 = 28\text{m}$$

(4) 弦杆 $A_{31}A_{33}$ 影响线 (见图29):

$$l_1 = 16\text{m}, l_2 = 48\text{m}, l = 64\text{m}, H = 8\text{m}$$

$$y = -\frac{l_1 l_2}{l \cdot H} = -\frac{16 \times 48}{64 \times 8} = -1.5$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times y = \frac{1}{2} \times 64 \times (-1.5) = -48\text{m}$$

(5) 弦杆 $A_{33}A_{33'}$ 的影响线 (见图30):

$$l_1 = l_2 = 32\text{m}, l = 64\text{m}, H = 8\text{m}$$

$$y = -\frac{l_1 l_2}{l H} = -\frac{32 \times 32}{64 \times 8} = -2$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times y = \frac{1}{2} \times 64 \times (-2) = -64\text{m}$$

(6) 弦杆 $E_{32}E_{34}$ 的影响线 (见图31):

$$l_1 = 24\text{m}, l_2 = 40\text{m}, l = 64\text{m}, H = 8\text{m},$$

$$y = \frac{l_1 l_2}{lH} = \frac{24 \times 40}{64 \times 8} = 1.875$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times y = \frac{1}{2} \times 64 \times 1.875 = 60\text{m}$$

(7) 斜杆 $E_{32}A_{33}$ 的影响线 (见图32):

$$l_1 = 16\text{m}, l_2 = 40\text{m}, l = 64\text{m}, H = 8\text{m}$$

$$y = -\frac{l_2}{l} \times \frac{1}{\sin\theta} = -\frac{40}{64} \times \frac{1}{\sin 45^\circ} = -0.884$$

$$y' = \frac{l_1}{l} \times \frac{1}{\sin\theta} = \frac{16}{64} \times \frac{1}{\sin 45^\circ} = 0.354$$

$$\text{由} \begin{cases} l'_1 + l'_2 = 8 \\ \frac{l'_1}{l'_2} = \frac{|y|}{|y'|} \end{cases} \Rightarrow l'_2 = \frac{8|y|}{|y| + |y'|}, l'_1 = 8 - l'_2$$

$$\therefore l'_2 = \frac{8 \times 0.884}{0.884 + 0.354} = 5.712\text{m}$$

$$l'_1 = 8 - l'_2 = 2.288\text{m}$$

$$\Omega = \frac{1}{2}(l_2 + l'_2) \times y = \frac{1}{2}(40 + 5.712) \times (-0.884) = -20.205\text{m}$$

$$\Omega' = \frac{1}{2}(l_1 + l'_1) \times y' = \frac{1}{2}(16 + 2.288) \times 0.354 = 3.237\text{m}$$

$$\Sigma\Omega = \Omega + \Omega' = -20.205 + 3.237 = -16.968\text{m}$$

(8) 斜杆 $A_{33}E_{34}$ 的影响线 (见图33):

$$l_1 = 24\text{m}, l_2 = 32\text{m}, l = 64\text{m}, H = 8\text{m},$$

$$y = \frac{l_2}{l} \times \frac{1}{\sin\theta} = \frac{32}{64} \times \frac{1}{\sin 45^\circ} = 0.707$$

$$y' = -\frac{l_1}{l} \times \frac{1}{\sin\theta} = -\frac{24}{64} \times \frac{1}{\sin 45^\circ} = -0.530$$

$$l'_2 = \frac{8|y|}{|y| + |y'|} = \frac{8 \times 0.707}{0.707 + 0.530} = 4.572\text{m}$$

$$l'_1 = 8 - l'_2 = 3.428\text{m}$$

$$\Omega = \frac{1}{2}(l_2 + l'_2) \times y = \frac{1}{2}(32 + 4.572) \times 0.707 = 12.928\text{m}$$

$$\Omega' = \frac{1}{2}(l_1 + l'_1) \times y' = \frac{1}{2}(24 + 3.428) \times (-0.530) = -7.268\text{m}$$

$$\Sigma\Omega = \Omega + \Omega' = 12.928 - 7.268 = 5.660\text{m}$$

(9) 斜杆 $E_{32}A_{31}$ 的影响线 (见图35):

$$l_1 = 8\text{m}, l_2 = 48\text{m}, l = 64\text{m}, H = 8\text{m}$$

$$y = \frac{l_2}{l} \times \frac{1}{\sin\theta} = \frac{48}{64} \times \frac{1}{\sin 45^\circ} = 1.0607$$

$$y' = -\frac{l_1}{l} \times \frac{1}{\sin\theta} = -\frac{8}{64} \times \frac{1}{\sin 45^\circ} = -0.1768$$

$$l_2' = \frac{8 \cdot |y|}{|y| + |y'|} = \frac{8 \times 1.0607}{1.0607 + 0.1768} = 6.857\text{m}$$

$$l_1' = 8 - l_2' = 1.143\text{m}$$

$$\Omega = \frac{1}{2}(l_2 + l_2') \times y = \frac{1}{2}(48 + 6.857) \times 1.0607 = 29.093\text{m}$$

$$\Omega' = \frac{1}{2}(l_1 + l_1') \times y' = \frac{1}{2}(8 + 1.143) \times (-0.1768) = -0.808\text{m}$$

$$\Sigma\Omega = \Omega + \Omega' = 29.093 - 0.808 = 28.285\text{m}$$

(10) 竖杆 $A_{33}E_{33}$ 的影响线 (见图34):

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times y = \frac{1}{2} \times 16 \times 1 = 8\text{m}$$

2. 冲击系数 $1 + \mu$ 以及横向分布系数 m 、 m_{λ} 的计算。

(1) 冲击系数 $1 + \mu$ 的计算:

$$1 + \mu = 1 + \frac{15}{37.5 + L}$$

对于弦杆、斜杆、支反力汽车的影响是全桥性的

$$L = 64\text{m}$$

$$\therefore 1 + \mu = 1 + \frac{15}{37.5 + 64} = 1.148$$

对于竖杆汽车的影响是局部的

$$L = 16\text{m}$$

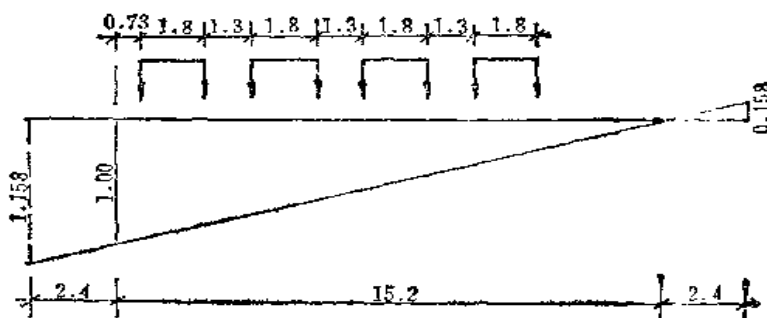


图27 横向分布系数 m 的计算 尺寸单位: m

$$\therefore 1 + \mu = 1 + \frac{15}{37.5 + 16} = 1.280$$

(2) 横向分布系数 m 的计算 (用杠杆法计算见图27)

(i) 当以两行车计算, 重心到主桁距离 $a = 3.18\text{m}$

$$\therefore m = 2 \times \frac{B - a}{B} = 2 \times \frac{15.2 - 3.18}{15.2} = 1.582$$

(ii) 当以三行车计算 (折减20%), $a = 4.73\text{m}$

$$m = 3 \times \frac{B - a}{B} \times 0.8 = 1.653$$

(iii) 当以四车道计算 (折减30%), $a = 6.28\text{m}$

$$m = 4 \times \frac{B - a}{B} \times 0.7 = 4 \times \frac{15.2 - 6.28}{15.2} \times 0.7 = 1.643$$

取最大的 $m = 1.653$

(3) 横向分布系数 m_{λ} 的计算:

据图27所示横向分布影响线, 人群荷载下的影响线坐标为:

$$m_{\lambda} = \frac{a}{B} = \frac{16.6}{15.2} = 1.092$$

3. 用影响线加载求恒载杆力 S_1 :

永久荷载中的自重(包括恒载)所产生的杆件内力计算,在桁架设计之初有一定困难。通常,可以先采用一些近似方法计算,当计算出杆件自重和活载内力后进行截面设计,然后计算桁架实际自重。实际自重应与近似计算二者比较接近,否则须按实际自重计算杆件内力,并重新进行设计。详细做法,可参阅教科书《钢桥》^[4]。

本算例,已知桥孔结构的组成,估算如下:

桥面(包括铺装)自重: $g_1 = \text{铺装} + \text{钢桥面板} + \text{纵横肋} + \text{横梁} = 43.4 \text{ kN/m}$

钢结构自重,据参考书^[4],单位面积用钢量为 250 kg/m^2 ,故有:

$$g_2 = 250 \text{ kg/m}^2 \times 18.8 \text{ m} = 4.7 \text{ t/m} = 47 \text{ kN/m}$$

$$\therefore \text{全桥有: } q = \frac{1}{2}(g_1 + g_2) = \frac{1}{2}(43.4 + 47) = 45.2 \text{ kN/m}$$

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega$$

(1) 对杆件 $E_{30}A_{31}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times (-39.584) = -1790 \text{ kN}$$

(2) 对杆件 $E_{30}E_{31}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times (28) = 1266 \text{ kN};$$

(3) 对杆件 $A_{31}A_{33}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times (-48) = -2171 \text{ kN}$$

(4) 对杆件 $A_{33}A_{33'}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times (-64) = -2894 \text{ kN}$$

(5) 对杆件 $E_{32}E_{34}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times 60 = 2713 \text{ kN}$$

(6) 对杆件 $E_{32}A_{33}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times (-16.97) = -767 \text{ kN}$$

(7) 对杆件 $A_{33}E_{34}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times 5.66 = 256 \text{ kN}$$

(8) 对杆件 $A_{31}E_{32}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times 28.29 = 1279 \text{ kN}$$

(9) 杆件 $A_{33}E_{33}$:

$$S_1 = q \cdot \Sigma \Omega = 45.2 \times 8 = 361.6 \text{ kN}$$

4. 用影响线加载求活载杆力 S_2

(1) 杆件 $E_{30}A_{31}$ (端斜杆):

影响线见图28。查《公路桥涵标准车辆、等代荷载表》^[7]、杆件 $E_{30}A_{31}$ 内力,汽车-20的等代荷载 $k = 16 \text{ kN/m}$ ($l = 64 \text{ m}$)

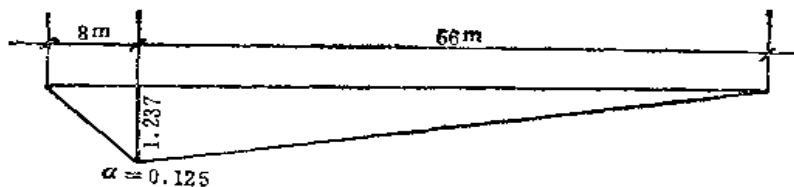


图28 端斜杆 $E_{30}A_{31}$ 内力影响线

则杆力为: $S_2 = m(1 + \mu) \cdot k \cdot \Omega = 1.653 \times 1.148 \times 16 \times 39.584 = 1202 \text{ kN}$

(2) 杆件 $E_{30}E_{31}$:

$$S_2 = -S_2^{E_{30}A_{31}} \cdot \cos \theta = 1202 \times \cos 45^\circ = 850 \text{ kN}$$

(3) 杆件 $A_{31}A_{33}$

内力影响线见图29。等代荷载

$$k = 15.26 \text{ kN/m } (l = 64 \text{ m})$$

$$S_2 = m(1 + \mu)k\Omega$$

$$= 1.653 \times 1.148 \times 15.26 \times 48$$

$$= 1390 \text{ kN}$$

(1) 杆件 $A_{32}A_{33}$ 。

内力影响线见图30。等代荷载

$$k = 14.92 \text{ kN/m } (l = 64 \text{ m})$$

$$S_2 = m(1 + \mu) \cdot k\Omega = 1.653 \times 1.148 \times 14.92 \times 64 = 1812 \text{ kN}$$

(5) 弦杆 $E_{32}E_{34}$ 。

内力影响线见图31。等代荷载 $k = 15.10 \text{ kN/m } (l = 64 \text{ m})$

$$S_2 = m(1 + \mu)k\Omega = 1.653 \times 1.148 \times 15.1 \times 60 = 1719 \text{ kN}$$

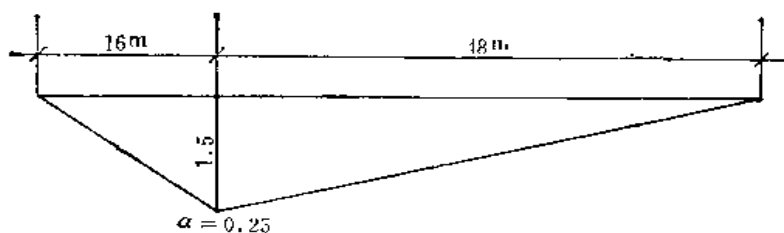


图29 杆件 $A_{31}A_{33}$ 内力影响线

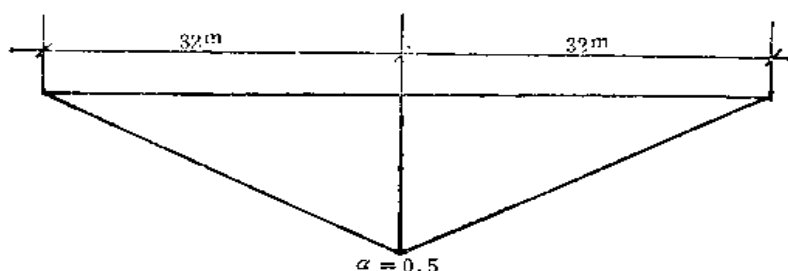


图30 杆件 $A_{32}A_{33}$ 内力影响线

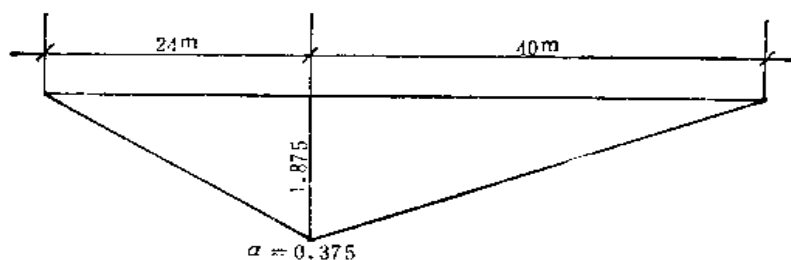


图31 杆件 $E_{32}E_{34}$ 内力影响线

(6) 斜杆 $E_{32}A_{33}$ 。

内力影响线见图32。等代荷载

$$k_1 = 29.5 \text{ kN/m } (l_1 = 18.288 \text{ m})$$

$$k_2 = 18.3 \text{ kN/m } (l_2 = 45.712 \text{ m})$$

$$\begin{aligned} \therefore S_2^1 &= m(1 + \mu)k_1\Omega = 1.653 \\ &\times 1.148 \times 29.5 \times 3.237 \\ &= 182 \text{ kN}(+) \end{aligned}$$

$$S_2^2 = m(1 + \mu)k_2\Omega = 1.653 \times 1.148 \times 18.3 \times 20.205 = 702 \text{ kN}(-)$$

(7) 杆件 $A_{33}E_{34}$ 。

内力影响线见图33。等代荷载 $k_1 = 19.59 \text{ kN/m } (l_1 = 36.572 \text{ m})$

$$\begin{aligned} S_2^1 &= m(1 + \mu)k_1\Omega = 1.653 \times 1.148 \times 19.59 \\ &\times 12.928 = 481 \text{ kN}(+) \end{aligned}$$

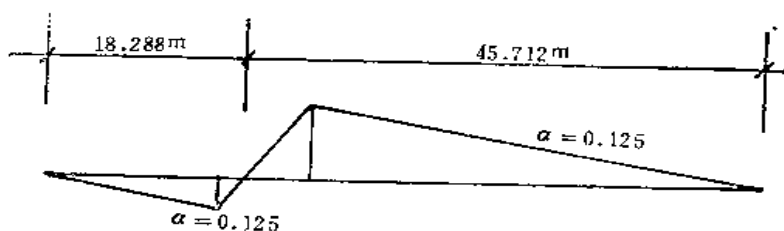


图32 杆件 $E_{32}A_{33}$ 内力影响线

$$k_2 = 23.0 \text{ kN/m} \quad (l_2 = 27.428\text{m})$$

$$S_2^2 = m(1+\mu)k_2\Omega = 1.653 \times 1.148 \times 23 \times 7.268 = 318\text{kN}(-)$$

(8) 竖杆 $E_{33}A_{33}$:

内力影响线见图34。等代荷载 $k = 31.1\text{kN/m}$ ($l = 16\text{m}$)

$$S_2 = m(1+\mu)k_2\Omega = 1.653 \times 1.280 \times 31.1 \times 8 = 526.4\text{kN}$$

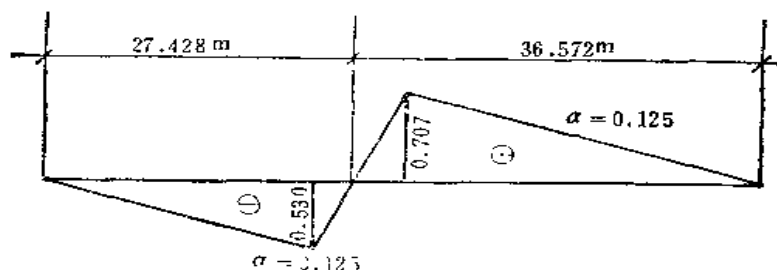


图33 杆件 $A_{33}E_{33}$ 内力影响线

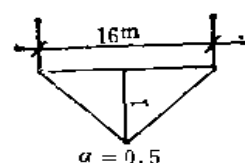


图34 杆件 $E_{33}A_{33}$ 内力影响线

(9) 斜杆 $E_{33}A_{31}$

内力影响线见图35。等代荷载, $k_1 = 17.02$ ($l_1 = 54.857\text{m}$)

$$\therefore S_2^1 = m(1+\mu)k_1\Omega = 1.653 \times 1.148 \times 17.02 \times 29.093 = 940\text{kN}(+)$$

$$k_2 = 52.34\text{kN/m} \quad (l_2 = 9.143\text{m})$$

$$\begin{aligned} \therefore S_2^2 &= m(1+\mu)k_2\Omega \\ &= 1.653 \times 1.148 \times 52.34 \times 0.808 \\ &= 80.3\text{kN}(-) \end{aligned}$$

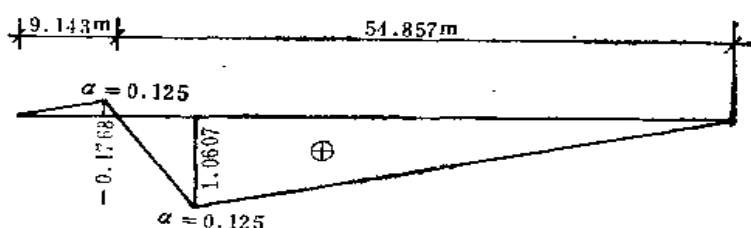


图35 杆件 $E_{33}A_{31}$ 内力影响线

5. 用影响线加载 求人群荷载

杆力 S_3

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega$$

$$m_A = 1.092, \quad q_A = 5\text{kN/m}^2$$

(1) 杆件 $E_{30}A_{31}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times (-39.584) = -216.1\text{kN}$$

(2) 杆件 $E_{30}E_{31}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times 28 = 152.9\text{kN}$$

(3) 杆件 $A_{31}A_{33}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times (-48) = -262.1\text{kN}$$

(4) 杆件 $A_{33}A_{33}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times (-64) = -394.4\text{kN}$$

(5) 杆件 $E_{32}E_{34}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times 60 = 327.6\text{kN}$$

(6) 杆件 $E_{32}A_{33}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times \begin{cases} -20.205 \\ 3.237 \end{cases} = \begin{cases} -110.3\text{kN} \\ 17.7\text{kN} \end{cases}$$

(7) 杆件 $A_{33}E_{34}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times \begin{cases} 12.928 \\ -7.268 \end{cases} = \begin{cases} 70.6 \text{ kN} \\ -39.7 \text{ kN} \end{cases}$$

(8) 杆件 $A_{33}E_{33}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 7 \times 8 = 61.2 \text{ kN}$$

(9) 杆件 $E_{32}A_{31}$:

$$S_3 = m_A \times q_A \times \Omega = 1.092 \times 5 \times \begin{cases} 29.093 \\ -0.808 \end{cases} = \begin{cases} 158.8 \text{ kN} \\ -4.41 \text{ kN} \end{cases}$$

6. 桁架主力 S_I 的计算

$$S_I = S_1 + S_2 + S_3$$

(1) 杆件 $E_{30}A_{31}$:

$$S_I = -1790 - 1202 - 216.1 = -3208.1 \text{ kN}$$

(2) 杆件 $E_{30}E_{31}$:

$$S_I = 1266 + 850 + 152.9 = 2269 \text{ kN}$$

(3) 杆件 $A_{31}A_{32}$:

$$S_I = -2171 - 1390 - 262.1 = -3823.1 \text{ kN}$$

(4) 杆件 $A_{33}A_{33'}$:

$$S_I = -2891 - 1812 - 394.4 = -5101 \text{ kN}$$

(5) 杆件 $E_{32}E_{34}$:

$$S_I = 2713 + 1719 + 327.6 = 4760 \text{ kN}$$

(6) 杆件 $E_{32}A_{33}$:

$$S_I = -767 + \begin{cases} -702 - 110.3 \\ 182 + 17.7 \end{cases} = \begin{cases} -1579.3 \text{ kN} \\ -567.3 \text{ kN} \end{cases}$$

(7) 杆件 $A_{33}E_{34}$:

$$S_I = 256 + \begin{cases} 481 + 70.6 \\ -318 - 39.7 \end{cases} = \begin{cases} 807.6 \text{ kN} \\ -101.7 \text{ kN} \end{cases}$$

(8) 杆件 $A_{33}E_{33}$:

$$S_I = 361.6 + 526.4 + 61.2 = 949.2 \text{ kN}$$

(9) 杆件 $E_{32}A_{31}$:

$$S_I' = 1279 + 940 + 158.8 = 2378 \text{ kN}$$

$$S_I'' = 1279 + (-60.3) + (-4.41) = 1194 \text{ kN}$$

杆力汇总见表 7。

(三) 横向附加力作用下的主桁杆件内力计算

据《桥规》，需计算横向附加力中的风力，而横桥向风力为横向风力乘以迎风面积。横向风压按《桥规》。本例计算如下：

$$W = K_1 K_2 K_3 K_4 W_0 \text{ (Pa)}$$

式中 W ——风压力计算强度；

W_0 ——基本风压值， $W_0 = 600 \text{ Pa}$ ；

K_1 ——设计风速频率换算系数， $K_1 = 1$ ；

杆件内力汇总表

表 7

序号	荷载类别	主 桁 杆 件								
		$E_{11}A_{11}$	$E_{22}A_{22}$	$A_{31}A_{13}$	$A_{32}A_{23}$	$E_{33}E_{33}$	$E_{32}A_{23}$	$A_{33}E_{33}$	$E_{32}A_{23}$	$A_{33}E_{33}$
1	恒载 (kN)	-1790	1266	-2171	-2894	2713	-767	256	1279	361.6
2	汽车荷载 (kN)	-1202	859	-1390	-1807	1719	-702	481	940	526.4
							18.2	-318	-80.3	
3	人群荷载 (kN)	-216.1	152.9	-262.1	-395	327.6	-110.8	70.6	159	61.2
							17.7	-39.7	-4.4	
4	汽+人+恒 (kN)	-32	2268.9	-3823.1	-5096	4759.6	-1579.3	807.6	2378	945.2
							-567.3	-101.7	1194.3	
5	汽+人+恒+风 (kN)	-32	2296	-3848	-5014	4791	/	/	/	/
6	折合主力 = $\frac{5}{1.25}$ (kN)	-25	1890	-3078	-4079	3833	/	/	/	/
7	挂车荷载 (kN)	-973	688	-1170	-1536	1456	-675	529	828	561
							235	-382	-88	
8	挂+恒 1.20 (kN)	-2303	1628	-2784	-3692	3474	-1203	654	1756	769
							443	-105	596	
9	控制内力值 (kN)	-320	2269	-3823	-5096	4760	-1579	808	2378	949
							-102	-102	1194	

K_2 ——风载体型系数, $K_2 = 1.3$;

K_3 ——风压高度变化系数, $K_3 = 1.0$;

K_4 ——地形, 地理条件系数, $K_4 = 1.0$ 。

$$\therefore W = K_1 K_2 K_3 K_4 W_0 = 1 \times 1.3 \times 1.0 \times 1.0 \times 600 = 780 \text{ Pa}$$

据《桥规》, 横向风力可按下列各式计算:

$$\text{栏杆上每米风压力} \quad W_1 = k_1 h_1 W$$

$$\text{桥面系上每米风压力} \quad W_2 = h_2 W$$

$$\text{主桁架每米风压力} \quad W_3 = k_3 h_3 W$$

式中 W ——风压力计算强度, $W = 780 \text{ Pa}$;

h_1 ——栏杆高度, $h_1 = 1.50 \text{ m}$;

h_2 ——高出桁架部分的桥面系高度, $h_2 = 1.0 \text{ m}$;

h_3 ——主桁架高度, $h_3 = 8 \text{ m}$;

k_1 ——栏杆迎风面积系数, $k_1 = 0.20$;

k_3 ——主桁架迎风面积系数, $k_3 = 0.40$;

$$\therefore W_1 = k_1 h_1 W = 0.20 \times 1.50 \times 780 = 0.234 \text{ kN/m}$$

$$W_2 = h_2 W = 1.0 \times 780 = 0.780 \text{ kN/m}$$

$$W_3 = k_3 h_3 W = 0.40 \times 8 \times 780 = 2.50 \text{ kN/m}$$

$\therefore$ 上纵联上的风力强度为:

$$W_{\text{上}} = -\frac{1}{2} W_s = 1.25 \text{ kN/m}$$

下纵联上的风力强度为:

$$\begin{aligned} W_{\text{下}} &= W_1 + W_2 + \frac{1}{2} W_s \\ &= 0.234 + 0.780 + 1.250 \\ &= 2.264 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

1. 上平纵联弦杆内力 (附加力-风力作用下), 见图36。

(1) 弦杆 $A_{32}A_{33}$ 对0点的力矩影响线:

$$y = \frac{l_1 l_2}{l} = \frac{16 \times 48}{64} = 12 \text{ m}$$

$$\therefore \Omega_M = \frac{1}{2} y \times l = \frac{1}{2} \times 12 \times 64 = 384 \text{ m}^2$$

$$N'_w = \pm \frac{M_0}{B} = \pm \frac{1.25 \times 384}{15.2} = \pm 31.6 \text{ kN}$$

(2) 弦杆 $A_{33}A_{34}$ 对0点的力矩影响线:

$$y = \frac{l_1 l_2}{l} = \frac{24 \times 40}{64} = 15 \text{ m}$$

$$\Omega_M = \frac{1}{2} y \times l = \frac{1}{2} \times 15 \times 64 = 480 \text{ m}^2$$

$$\begin{aligned} N'_{w'} &= \pm \frac{M_0}{B} = \pm \frac{1.25 \times 480}{15.2} \\ &= \pm 39.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

2. 下平纵联弦杆附加内力 (见图37)

(1) 弦杆 $E_{31}E_{32}$ 对0点力矩影响线:

$$y = \frac{l_1 l_2}{l} = \frac{12 \times 52}{64} = 9.75 \text{ m}$$

$$\Omega_M = \frac{1}{2} y \times l = \frac{1}{2} \times 9.75 \times 64 = 312 \text{ m}^2$$

$$N'_{w'} = \pm \frac{M_0}{B} = \pm \frac{2.29 \times 312}{15.2} = \pm 47 \text{ kN}$$

(2) 杆件 $E_{33}E_{34}$ 对0点力矩影响线:

$$y = \frac{l_1 l_2}{l} = \frac{28 \times 36}{64} = 15.75 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \Omega_M &= \frac{1}{2} y \times l = \frac{1}{2} \times 15.75 \times 64 \\ &= 504 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} N'_{w'} &= \pm \frac{M_0}{B} = \pm \frac{2.29 \times 504}{15.2} \\ &= \pm 76 \text{ kN} \end{aligned}$$

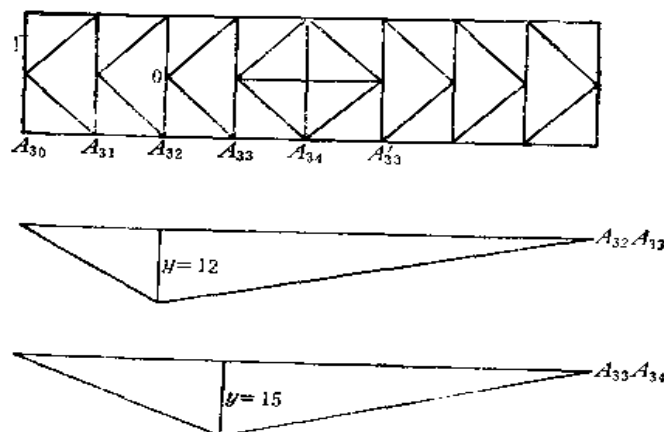


图36 上平纵联弦杆内力影响线 尺寸单位: m

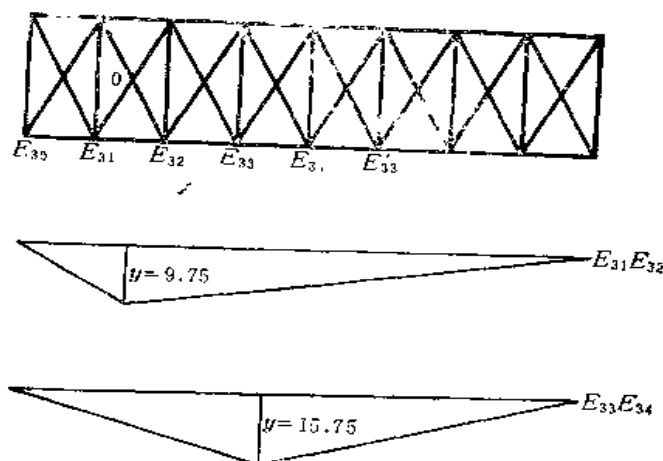


图37 下平纵联弦杆内力影响线 尺寸单位: m

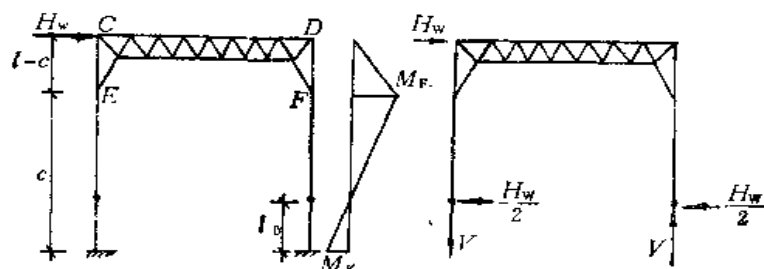


图38 桥门架内力计算图

3. 桥门架计算(见图38)

$$H_W = \frac{1}{2}l \times W_{\text{上}} = \frac{1}{2} \times 64 \times 1.25 = 40\text{kN}$$

$$l_0 = \frac{c}{2} \times \frac{c+2l}{2c+l}, \text{ 其中 } c=8.06\text{m}, l=11.31\text{m}$$

$$\therefore l_0 = \frac{8.06}{2} \times \frac{8.06+2 \times 11.31}{2 \times 8.06+11.31} = 4.51\text{m}$$

$$V = \frac{H_W(l-l_0)}{B} = \frac{40 \times (11.31-4.51)}{15.2} = 18\text{kN}$$

桥门架效应一项: $N_W'' = V \cos \alpha = 18 \times 0.707 = 13\text{kN}$!

甚小, 予以忽略。

端斜杆 $E_{30}A_{31}$ 内力:

$$V = \pm 13\text{kN}$$

$$M_P = \frac{H_W}{2} (c - l_0) = \frac{40}{2} (8.06 - 4.51) = 71\text{kN}\cdot\text{m}$$

$$M_K = -\frac{40}{2} \left(l_0 - \frac{h}{2} \right) = -\frac{40}{2} \left(4.51 - \frac{1.2}{2} \right) = 78.2\text{kN}\cdot\text{m}$$

4. 主力+附加力组合(折合主力) S_{II}

$$S_{II} = \frac{S_I + S_4}{1.25}$$

(1) 对杆件 $E_{30}A_{31}$:

$$S_{II} = \frac{-3208.1 - 18}{1.25} = -2581\text{kN}$$

(2) 对杆件 $E_{30}E_{32}$:

$$S_{II} = \frac{2268.9 + 13 + 47}{1.25} = 1863\text{kN}$$

(3) 对杆件 $A_{31}A_{33}$:

$$S_{II} = \frac{-3823.1 - 31.6}{1.25} = -3084\text{kN}$$

(4) 对杆件 $A_{33}A_{35}$:

$$S_{II} = \frac{-5096 - 39.5}{1.25} = -4108\text{kN}$$

(5) 对杆件 $E_{32}E_{34}$:

$$S_{II} = \frac{4759.6 + 76}{1.25} = 3869\text{kN}$$

其余杆件不存在附加力组合。

(四) 验算荷载作用下的主桁杆件内力

1. 荷载横向分布系数 m_c 的计算: (见图39)

$$a = 1.23 + 0.9 + 0.45 = 2.58\text{m}$$

$$\therefore m_c = \frac{B-a}{B} = \frac{15.2-2.58}{15.2}$$

$$= 0.8303$$

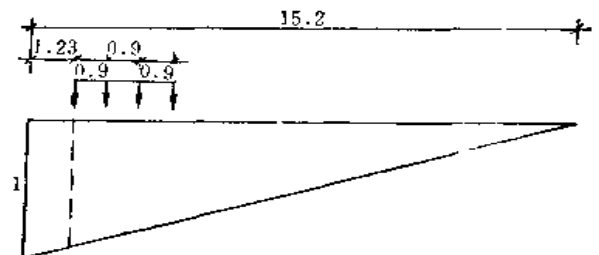


图39 验算荷载作用的横向分布系数计算

2. 影响线加载求 S_5 .

(1) 杆件 $E_{30}A_{31}$:

内力影响线见图40。挂车-100的等代荷载由表C7.1求得: $l = 64\text{m}$, $k = 23.68\text{kN/m} \times 1.25 = 29.6\text{kN/m}$, 顶点位置 $\alpha = 0.125$ 。

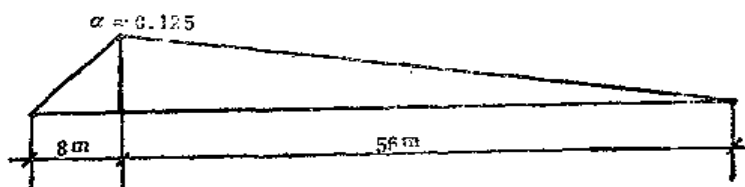


图40 杆件 $E_{30}A_{31}$ 的内力影响线

$$\therefore S_5 = M \cdot k \cdot \Omega = 0.8303 \times 29.6 \times 39.584 = 973\text{kN}$$

(2) 杆件 $E_{30}E_{31}$:

$$S_5 = -S_{E_{30}A_{31}} \times \cos\theta \\ = 973 \times \cos 45^\circ = 688\text{kN}$$

(3) 对杆件 $A_{31}A_{33}$:

内力影响线见图41。等代荷载为: $k = 29.35\text{kN/m}$, $l = 64\text{m}$, 顶点位置为 $0.25l$,

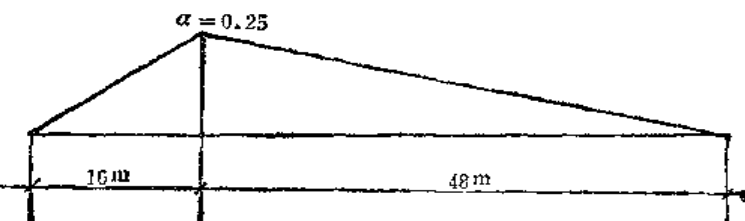


图41 杆件 $A_{31}A_{33}$ 的内力影响线

$$S_5 = mk\Omega \\ = 0.8303 \times 29.35 \times 48 \\ = 1170\text{kN}$$

(4) 杆件 $A_{33}A_{33}'$:

内力影响线见图42。等代荷载为: $k = 28.90\text{kN/m}$, $l = 64\text{m}$, 顶点位置在 $0.5l$,

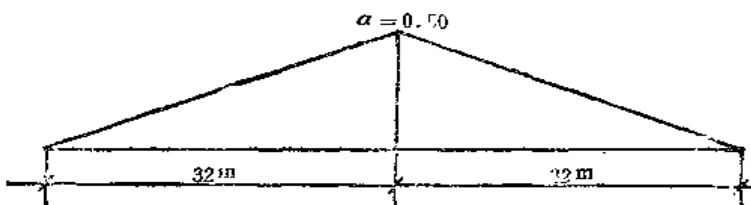


图42 杆件 $A_{33}A_{33}'$ 的内力影响线

$$S_5 = m \cdot k \cdot \Omega = 0.8303 \times 28.90 \times 64 \\ = 1536\text{kN}$$

(5) 杆件 $E_{32}E_{34}$:

内力影响线见图43。等代荷载 $k = 29.23\text{kN/m}$, $l = 64\text{m}$, 顶点位置 $\alpha = 0.375$

$$S_5 = mk\Omega = 0.8303 \times 29.23 \times 60 \\ = 1456\text{kN}$$

(6) 杆件 $E_{32}A_{33}$:

内力影响线见图44。等代荷载 $k_1 = 87.5\text{kN/m}$, $l_1 = 18.288\text{m}$, 影响线顶点位置 $\alpha = 0.125$, $k_2 = 40.34\text{kN/m}$, $l_2 = 45.712\text{m}$, 影响线顶点位置 $\alpha = 0.125$ 。

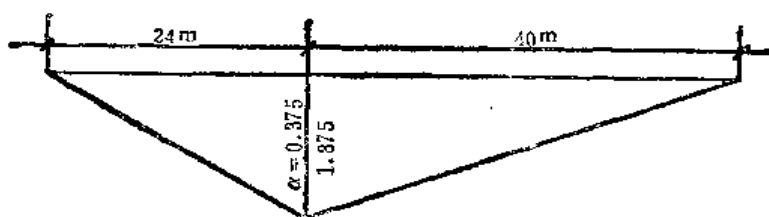


图43 杆件 $E_{32}E_{34}$ 的内力影响线

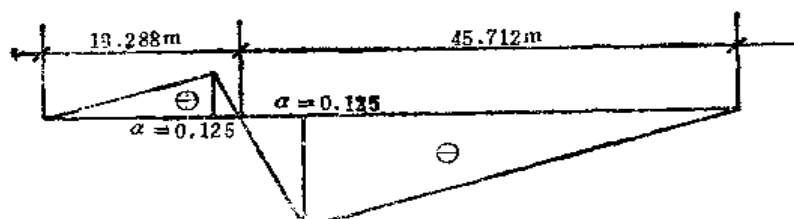


图44 杆件 $E_{32}A_{33}$ 的内力影响线

$$\therefore S_5^1 = mk_1\Omega_1 = 0.8303 \times 87.5 \times 3.237 = 235.2\text{kN},$$

$$S_5^2 = mk_2\Omega_2 = -0.8303 \times 40.34 \times 20.205 = -676.7\text{kN}$$

(7) 杆件 $A_{33}E_{34}$:

内力影响线见图45。等代荷载 $k_1 = 49.26\text{kN/m}$, $l_1 = 36.572\text{m}$, 影响线顶点位置 $\alpha = 0.125$; $k_2 = 63.27\text{kN/m}$, $l_2 = 27.428\text{m}$, 影响线顶点位置 $\alpha = 0.125$ 。

$$\therefore S_5^1 = mk_1 \Omega_1 = 0.8303 \times 49.26 \times 12.928 = 529 \text{ kN}$$

$$S_5^2 = mk_2 \Omega_2 = -0.8303 \times 63.27 \times 7.268 = -382 \text{ kN}$$

(8) 竖杆 $E_{33}A_{33}$:

内力影响线见图46。等代荷载 $k = 84.375 \text{ kN/m}$, $l = 16\text{m}$, 影响线顶点位置 $\alpha = 0.5$ 。

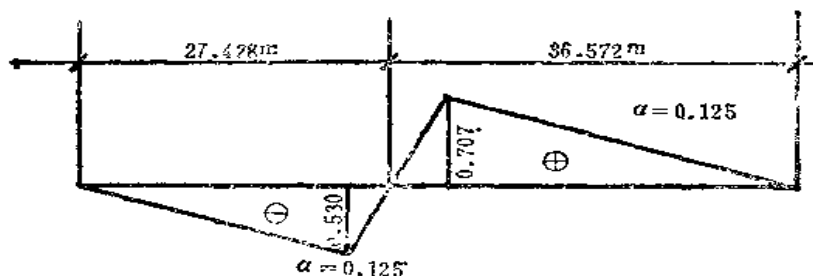


图45 杆件 $A_{33}E_{33}$ 的内力影响线

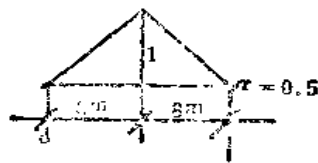


图46 竖杆 $E_{33}A_{33}$ 的内力影响线

$$\therefore S_5 = mk\Omega = 0.8303 \times 84.375 \times 8 = 561 \text{ kN}$$

(9) 斜杆 $E_{32}A_{31}$:

内力影响线见图35。等代荷载 $k_1 = 131.16 \text{ kN/m}$, $l_1 = 9.143\text{m}$, 影响线顶点位置为 $\alpha = 0.125$, $S_1^1 = mk_1 \Omega_1 = -0.8303 \times 131.16 \times 0.208 = -88 \text{ kN}$, 等代荷载 $k_2 = 34.28 \text{ kN/m}$, $l_2 = 54.875\text{m}$, 影响线顶点位置为 $\alpha = 0.125$, $S_1^2 = mk_2 \Omega_2 = 0.8303 \times 34.28 \times 29.093 = 828 \text{ kN}$ 。

3. 验算荷载作用下的内力确定 (折合成主力)

$$S_{III} = \frac{S_1 + S_5}{1.2}$$

(1) 杆件 $E_{30}A_{31}$:

$$S_{III} = \frac{-1790 - 973}{1.2} = -2303 \text{ kN}$$

(2) 杆件 $E_{30}E_{31}$:

$$S_{III} = \frac{1266 + 688}{1.2} = 1628 \text{ kN}$$

(3) 杆件 $A_{31}A_{33}$:

$$S_{III} = \frac{-2171 - 1170}{1.2} = -2784 \text{ kN}$$

(4) 杆件 $A_{33}A_{33}'$:

$$S_{III} = \frac{-2894 - 1536}{1.2} = -3692 \text{ kN}$$

(5) 杆件 $E_{32}E_{34}$:

$$S_{III} = \frac{2713 + 1456}{1.2} = 3474 \text{ kN}$$

(6) 杆件 $E_{32}A_{33}$:

$$S_{III} = \begin{cases} (-767 - 676.7)/1.2 \\ (-767 + 235.2)/1.2 \end{cases} = \begin{cases} -1203 \text{ kN} \\ -443 \text{ kN} \end{cases}$$

(7) 杆件 $A_{33}E_{34}$:

$$S_{III} = \begin{cases} (256.0 + 529)/1.2 \\ (256.0 - 382)/1.2 \end{cases} = \begin{cases} 654 \text{ kN} \\ -105 \text{ kN} \end{cases}$$

(8) 杆件 $E_{33}A_{33}$:

$$S_{III} = \frac{(361.6 + 561)}{1.2} = 769\text{kN}$$

(五) 控制内力值确定

(1) 杆件 $E_{30}A_{31}$:

$$S = S_1 = -3208\text{kN}$$

(2) 杆件 $E_{30}E_{31}$:

$$S = S_1 = 2269\text{kN}$$

(3) 杆件 $A_{31}A_{33}$:

$$S = S_1 = -3823\text{kN}$$

(4) 杆件 $A_{33}A_{33}'$:

$$S = S_1 = -5096\text{kN}$$

(5) 杆件 $E_{32}E_{34}$:

$$S = S_1 = 4760\text{kN}$$

(6) 杆件 $E_{32}A_{33}$:

$$S = S_1 = -1579\text{kN}$$

(7) 杆件 $A_{33}E_{34}$:

$$S = S_1 = \begin{cases} 808\text{kN} \\ -102\text{kN} \end{cases}$$

(8) 杆件 $A_{33}E_{33}$:

$$S = S_1 = 949\text{kN}$$

(9) 杆件 $E_{32}A_{31}$:

$$S = S_1 = 1194\text{kN}$$

主桁杆件内力汇总见表7。

四、主桁杆件的截面选择

(一) 主桁杆件的截面型式

主桁杆件的截面型式主要分成二类: H型(如图47)和箱型截面。通常采用前者, 只有当外力特别大时, 才采用箱型截面。因它在工厂制作时较费工, 焊接变形也较难控制和修整。因此, 本桥主桁杆件全部采用 $b = 460\text{mm}$ 的H型截面, 它的优点是构造简单, 易于自动电焊机施焊, 焊接变形较易控制和修整, 工地安装方便。缺点是对 x 轴, y 轴的回转半径相差较大, 当用于压杆时, 基本允许应力折减相当大, 但本桥的内力和长度都不很大, 故仍可采用。

(二) 主桁杆件的外轮廓尺寸

$$b = 460\text{mm}$$

$$\text{弦杆 } h = 460\text{mm}, \text{斜杆 } h = 440 \sim 600\text{mm}$$

$$\text{竖杆 } h = 260\text{mm}.$$

(三) 下弦杆设计计算

1. 杆件 $E_{30}E_{32}$ 的设计:

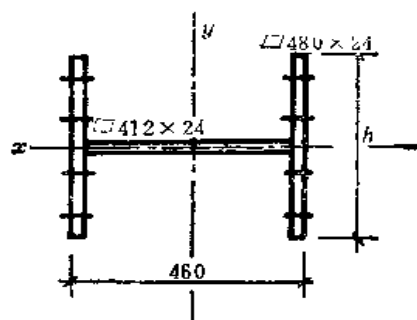


图48 下弦杆截面尺寸 尺寸单位: mm

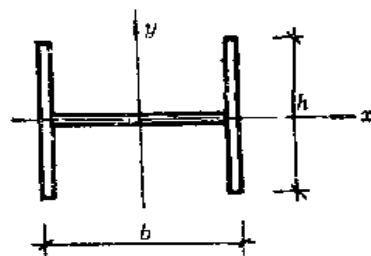


图47 主桁杆件的截面尺寸

$$\begin{cases} S = 2269\text{kN} \\ S_1 = 1266\text{kN} \end{cases}$$

(1) 求 $[\sigma_s]$

$$\therefore \rho = \frac{N_{\min}}{N_{\max}} = \frac{1266}{2272} = 0.5575$$

$$\therefore [\sigma_s] = \frac{165}{1 - 0.69} = \frac{165}{1 - 0.6 \times 0.5575} = 247.9\text{MPa}$$

$> [\sigma_s]$ 不控制!

(2) 求所需净截面积:

$$A_f = \frac{S}{[\sigma]} = \frac{2269 \times 10^3}{200 \times 10^6} = 0.011345 \text{m}^2 = 1.1345 \times 10^4 \text{mm}^2$$

(3) 选截面(见图48):

$$2-\square 480 \times 24, \quad 1-\square 412 \times 24$$

$$A = 0.032928 \text{m}^2 = 3.2928 \times 10^4 \text{mm}^2$$

每侧有 4 排栓孔 $d = 23 \text{mm}$

$$\Delta A = 2 \times 4 \times 24 \times 23 = 4416 \text{mm}^2$$

$\therefore$

$$A_f = A - \Delta A$$

$$= 0.032928 - 0.004416 = 0.028512 \text{m}^2 > 0.011357 \text{m}^2$$

可以满足强度要求。

(4) 刚度验算:

$$I_s < I_y, \quad l_s = 8 \text{m} = 8000 \text{mm}$$

$$\begin{aligned} I_s &= 2 \times \frac{1}{12} \times 24 \times 480^3 + \frac{1}{12} \times 412 \times 24^3 \\ &= 4.4284 \times 10^8 \text{mm}^4 \end{aligned}$$

$\therefore$

$$r_s = \sqrt{\frac{I_s}{A}} = \sqrt{\frac{4.4284 \times 10^8}{3.2928 \times 10^4}} = 115.97 \text{mm}$$

$\therefore$

$$\lambda_s = \frac{l_s}{r_s} = \frac{8000}{115.97} = 69 < [\lambda] = 100$$

2. 杆件 $E_{s2}E_{s4}$ 的设计(如图49):

$$\begin{cases} S = 4760 \text{kN} \\ S_1 = 2713 \text{kN} \end{cases}$$

(1) 求 $[\sigma_s]$

$$[\sigma_s] = \frac{165}{1 - 0.69} = \frac{165}{1 - 0.6 \times \frac{2713}{4760}} = 251.0 \text{MPa}$$

$\therefore$ 疲劳不控制!

(2) 求所需净截面积:

$$A_f = \frac{S}{[\sigma]} = \frac{4760 \times 10^3}{200} = 2.380 \times 10^4 \text{mm}^2$$

(3) 选截面(见图49):

$$2-\square 460 \times 24, \quad 1-\square 412 \times 20$$

$$A = 3.0320 \times 10^4 \text{mm}^2$$

每侧有 4 排栓孔 $d = 23 \text{mm}$

$$\Delta A = 2 \times 4 \times 24 \times 23 = 4416 \text{mm}^2$$

$\therefore$

$$\begin{aligned} A_f &= A - \Delta A = 3.0320 \times 10^4 - 4416 = 2.5904 \times 10^4 \text{mm}^2 \\ &> 2.380 \times 10^4 \text{mm}^2 \quad (\text{满足强度要求}) \end{aligned}$$

(4) 刚度验算:

$$I_s < I_y, \quad l_s = 8000 \text{mm}$$

$$I_s = 2 \times \frac{1}{12} \times 24 \times 460^3 + \frac{1}{12} \times 412 \times 20^3 = 3.89619 \times 10^8 \text{mm}^4$$

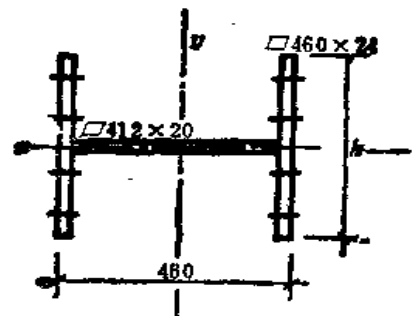


图49 杆件 $E_{s2}E_{s4}$ 的截面尺寸
尺寸单位: mm

$$\therefore r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{3.89619 \times 10^8}{3.0320 \times 10^4}} = 113 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{8000}{113} = 71 < [\lambda] = 100$$

(四) 上弦杆设计计算

1. 杆件 $A_{31}A_{33}$ 的设计

$$S = -3823 \text{ kN}$$

(1) 假设 $\lambda = 60$ 查表得 $\varphi_1 = 0.705$

$$\therefore A_m = \frac{N}{\varphi_1 [\sigma]} = \frac{3823 \times 10^3}{0.705 \times 200} = 2.711 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(2) 选截面(见图50):

$$2 - \square 600 \times 20, \quad 1 - \square 420 \times 20$$

$$A = 3.2100 \times 10^4 \text{ mm}^2 > 2.711 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(3) 总体稳定验算:

$$l_x = 8000 \text{ mm}$$

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 20 \times 600^3 = 7.2000 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\therefore r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{7.2 \times 10^8}{3.24 \times 10^4}} = 149 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{8000}{149} = 53.7$$

查表得: $\varphi = 0.752$

$$\therefore \sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{3823 \times 10^3}{0.752 \times 3.24 \times 10^4} = 156.9 \text{ MPa} < [\sigma] = 200 \text{ MPa}$$

(4) 局部稳定验算:

$$(i) \text{ 竖板: 由 } \lambda = 53.7 < 60 \quad \therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] \leq 12$$

$$\frac{b}{\delta} = \frac{300}{20} = 15 > \left[\frac{b}{\delta} \right] \quad \text{不满足要求。}$$

$$\text{但} \quad \sigma = \frac{N}{A} = \frac{3823 \times 10^3}{3.24 \times 10^4} = 118 \text{ MPa}$$

$$\therefore [\varphi] = \frac{\sigma}{[\sigma]} = \frac{118}{200} = 0.589 \implies \lambda = 76 > 60$$

$$\therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.2\lambda = 15.2 > \frac{b}{\delta} = 15 \quad (\text{满足要求})$$

$$(ii) \text{ 腹板: 由 } \lambda = 53.7 > 50 \quad \therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.5\lambda + 5 = 32$$

$$\frac{b}{\delta} = \frac{420}{20} = 21 < 32 \quad (\text{满足要求})$$

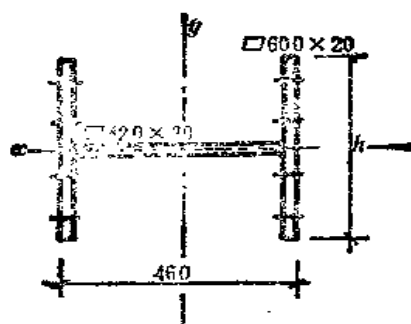


图50 杆件 $A_{31}A_{33}$ 的截面尺寸
尺寸单位: mm

(5) 刚度验算:

$$\lambda = 53.7 < [\lambda] = 100 \quad (\text{满足要求})$$

2. 杆件 A_{33}, A_{33}' 的设计

$$S = -5096.0 \text{ kN}$$

(1) 假设 $\lambda = 60$, $\varphi = 0.705$

$$\therefore A_m = \frac{N}{\varphi[\sigma]} = \frac{5096.0 \times 10^3}{0.705 \times 200} = 3.6142 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(2) 选截面(见图51):

$$2-\square 600 \times 24, \quad 1-\square 412 \times 20$$

$$A = 3.7040 \times 10^4 \text{ mm}^2 > 3.6142 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(3) 总体稳定验算:

$$l_x = 8000 \text{ mm}$$

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 24 \times 600^3 = 8.64 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{8.64 \times 10^8}{3.704 \times 10^4}} = 153 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{8000}{153} = 52.3$$

$$\text{查表得: } \varphi = 0.762$$

$$\therefore \sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{5096.0 \times 10^3}{0.762 \times 3.704 \times 10^4} = 180.6 \text{ MPa} < [\sigma] = 200 \text{ MPa}$$

(4) 局部稳定验算:

$$(i) \text{ 竖板: 由 } \lambda = 52.3 < 60 \quad \therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] \leq 12$$

$$\frac{b}{\delta} = \frac{300}{24} = 12.5 \approx 12$$

$$(ii) \text{ 腹板: 由 } \lambda = 52.3 > 50 \quad \therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.5\lambda + 5 = 31$$

$$\frac{b}{\delta} = \frac{412}{20} = 20.6 < 31 \quad (\text{满足要求})$$

(5) 刚度验算:

$$\lambda = 52.3 < [\lambda] = 100 \quad (\text{满足要求})$$

(五) 端斜杆设计计算

$$E_{30} A_{31}: S = -3208 \text{ kN}$$

$$\text{附加力: } N_w = \pm 29.9 \text{ kN}$$

$$M_F = 118.7 \text{ kN} \cdot \text{m}, \quad M_K = 130.8 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

1. 先用主力作用下进行中心压杆设计:

(1) 设 $\lambda = 60$, 则 $\varphi_1 = 0.705$

$$A_m = \frac{N}{\varphi[\sigma]} = \frac{3208 \times 10^3}{0.705 \times 200} = 2.275 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(2) 选截面(见图52):

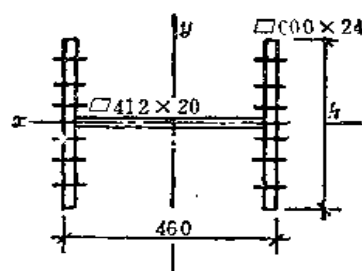


图51 杆件的 A_{33}, A_{33}' 截面尺寸
尺寸单位: mm

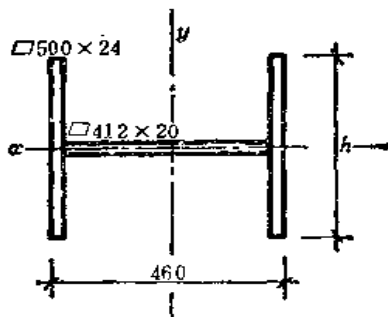


图52 端斜杆 E_{30}, A_{31} 的截面尺寸
尺寸单位: mm

$$2-\square 500 \times 24, 1-\square 412 \times 20$$

$$A = 3.224 \times 10^4 \text{ mm}^2 > 2.275 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(3) 总体稳定验算:

$$I_x = 0.9I = 0.9 \times 11313 = 10182 \text{ mm}^4$$

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 24 \times 500^3 = 5.00 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$\therefore r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{5.0 \times 10^8}{3.224 \times 10^4}} = 124.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{10182}{124.5} = 81.8$$

查表得 $\varphi = 0.539$

$$\sigma = \frac{N}{\varphi A} = \frac{3208 \times 10^3}{0.539 \times 3.224 \times 10^4} = 184.6 \text{ MPa} < [\sigma] = 200 \text{ MPa}$$

(4) 局部稳定验算:

$$(i) \text{ 竖板: 由 } \lambda = 81.8 > 60, \therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.2\lambda = 16.4 < 20$$

$$\frac{b}{\delta} = \frac{250}{24} = 10.4 < 16.4 \text{ (满足要求)}$$

$$(ii) \text{ 腹板: 由 } \lambda = 81.8 > 50, \therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.5\lambda + 5 = 46 > 45$$

$$\frac{b}{\delta} = \frac{412}{20} = 20.6 < 45 \text{ (满足要求)}$$

(5) 刚度验算:

$$\lambda = 81.8 < [\lambda] = 100 \text{ (满足要求)}$$

2. (主力+附加力) 作用下的压-弯杆验算

总体稳定验算:

$$A_m = 3.224 \times 10^4 \text{ mm}^2,$$

$$I_x = 5.00 \times 10^8 \text{ mm}^4,$$

$$r_x = 124.5 \text{ mm}, \lambda_x = 81.8$$

$$I_y = \frac{1}{12} \times 412^3 \times 20 + 20 \times 500 \times 24 \times (230 - 12)^2 \\ = 12.5713 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{12.5713 \times 10^8}{3.224 \times 10^4}} = 197.5 \text{ mm}$$

$$\lambda_y = \frac{l_y}{r_y} = \sqrt{\frac{11313}{197.5}} = 57.3$$

$$\lambda_x > \lambda_y$$

总体稳定验算公式:

$$\sigma = \frac{N}{\varphi_1 A} + \frac{M}{\varphi_2 W} \cdot \frac{1}{\mu} \leq [\sigma]$$

(i) 求 φ_1 :

$$\therefore \frac{b}{\delta} = \frac{428}{10} = 42.8 < 45 \quad (\text{满足要求})$$

e. 刚度验算:

$$\lambda = 85.7 < [\lambda] = 100 \quad (\text{满足要求})$$

(2) $A_{33}E_{34}$: (以拉为主的斜杆 见图54)

$$S = \begin{cases} 808 \text{ kN} \\ -102 \text{ kN} \end{cases}$$

a. 求疲劳容许应力 $[\sigma_m]$:

$$\rho = \frac{-102}{80.8} = -0.126$$

$$[\sigma_s] = \frac{165}{1 - 0.6\rho} = \frac{165}{1 - 0.6(-0.126)} = 151 \text{ MPa}$$

b. 求 A_j :

$$A_j = \frac{N}{[\sigma_s]} = \frac{808 \times 10^3}{151} = 0.5351 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

c. 选截面:

$$2-\square 420 \times 12, \quad 1-\square 436 \times 10$$

每侧有4排栓孔 $d = 23 \text{ mm}$

$$A = 1.444 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\Delta A = 2 \times 4 \times 23 \times 12 = 0.2208 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_j = A - \Delta A = 1.2232 \times 10^4 \text{ mm}^2 > 0.5351 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

d. 刚度验算: $l_x = 9050 \text{ mm}$

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 12 \times 420^3 = 1.48176 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{1.48176 \times 10^8}{1.444 \times 10^4}} = 101.3 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{9050}{101.3} = 89.3 < [\lambda] = 100 \quad (\text{满足要求})$$

查表得 $\varphi_1 = 0.480$

$$\therefore \sigma = \frac{N}{\varphi_1 A} = \frac{102 \times 10^3}{0.480 \times 1444 \times 10^2} = 14.70 \text{ MPa} < [\sigma]$$

满足压杆稳定要求。

2. 竖杆的计算:

(1) 吊杆 $E_{33}A_{33}$ 等的设计计算(见图55)

$$\begin{cases} S = 949 \text{ kN} \\ S_1 = 362 \text{ kN} \end{cases} \quad (\text{属于拉杆设计})$$

a. 求 $[\sigma_s]$:

$$[\sigma_s] = \frac{165}{1 - 0.6\rho} = \frac{164}{1 - 0.6 \times \left(\frac{362}{949}\right)} = 213.9 \text{ MPa} > [\sigma] = 200 \text{ MPa}$$

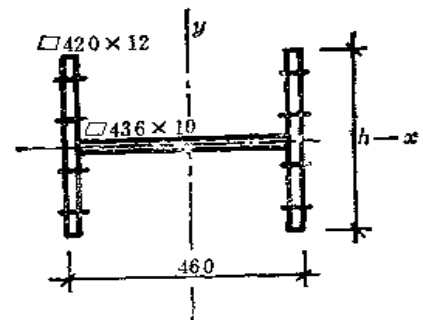


图54 杆件 A_{33}, E_{34} 的截面尺寸
尺寸单位: mm

b. 求所需净截面 A_j

$$A_j = \frac{N}{[\sigma]} = \frac{949 \times 10^3}{200} = 0.4745 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

c. 选截面:

2—□260×10, 1—□440×10

每侧有两排栓孔 $d = 23\text{mm}$

$$A = 0.96 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\Delta A = 2 \times 2 \times 10 \times 23 = 0.0920 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\therefore A_j = A - \Delta A = 0.8680 \times 10^4 \text{ mm}^2 > 0.4749 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

满足强度要求。

d. 刚度验算:

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 10 \times 260^3 = 0.29293 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{0.29293 \times 10^8}{0.96 \times 10^4}} = 55.24 \text{ mm}$$

$$l_x = 0.8l = 0.8 \times 8000 = 6400 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{6400}{55.24} = 115.9 < [\lambda] = 180 \quad (\text{满足要求})$$

(2) 竖杆由于 $S = 0$ 所以只需满足刚度要求即可, 现选用与吊杆相同截面, 故可得到满足。

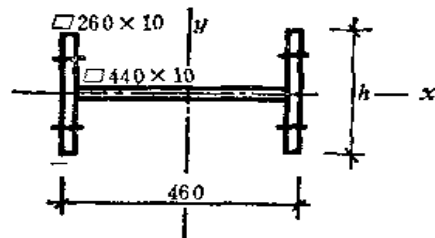


图55 竖杆 E_{33}, A_{33} 的截面尺寸
尺寸单位: mm

五、主桁节点及弦杆拼接计算

(一) 节点设计的原则及步骤

1. 节点设计的原则:

(1) 在设计节点构造时, 应尽可能使同一节点的各杆截面的重心轴交汇于一点, 以避免由于偏心的影响而增加杆件的次应力。

(2) 为了使杆件端头的连接螺栓受力均匀, 应当使螺栓群的重心布置在杆件截面的重心轴上。第一排栓孔使杆件截面的削弱对杆件强度影响最大, 一般可在第一排少布置几个栓孔。

(3) 为了使节点构造刚劲些, 同时还使节点板的用料较少, 应将各杆件端头布置得尽量靠拢。

(4) 杆件及节点板工地连接的螺栓孔眼都是用机器样板钻制成的, 这些栓孔位置应尽量与工厂已有的机器样板的栓孔位置相符, 以利加工和安装。

(5) 节点板外形力求设计得紧凑、简单, 不要有凹角, 以免受力不良, 加工不便。设计时, 为了使节点板外形比较方正, 可以增加一些螺栓。

(6) 杆件端部离最近一排栓孔中心的距离不宜小于 $1.5d$, 以免杆件端头被拉裂。

(7) 为了使同类型的杆件可以互换, 除让这些杆件的实际长度一致外, 还应使杆件端部的工地栓孔布置一致。

(8) 所有节点板, 拼接板及杆件的连接螺栓均应满足强度要求。

2. 节点设计步骤:

(1) 按照结构计算图式画出交汇于节点的各杆件截面重心轴线。这些轴线交汇于一点,拱度要求除外。

(2) 先画出弦杆的外轮廓,其次画出竖杆的外轮廓,然后再画出斜杆的外轮廓。

(3) 布置两斜杆上的栓孔,定出斜杆的端线。

(4) 根据斜杆栓孔的布置,画出节点板的外轮廓线。

(5) 布置竖杆及下弦杆的连接螺栓及边缘轮廓线。

(6) 通过计算、验算弦杆拼接板及拼接用的螺栓数。

(二) 主桁节点 A_{33} 的拼接计算

1. 腹杆杆端连接计算

(1) 斜杆 $E_{32}A_{33}$ 及 $E_{34}A_{33}$ 的杆端连接

(i) $E_{32}A_{33}$ (压杆)

$$S = -1579 \text{ kN}$$

高强螺栓用 $\phi 22$, $d = 23 \text{ mm}$, $P = 200 \text{ kN}$

一个高强螺栓的容许承载力 T :

$$T = \frac{P \cdot f \cdot m}{1.7}$$

式中 f ——摩擦系数取 0.45;

m ——摩擦面数,

P ——高强螺栓设计预拉力。

$$\therefore T = \frac{200 \times 0.45 \times 1}{1.7} = 52.94 \text{ kN}$$

(单面单栓允许承载力)

杆件截面: 2— $\square 420 \times 16$, 1— $\square 428 \times 10$

$$A = 1.772 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_x = 9050 \text{ mm}^4$$

$$\lambda_x = 85.7, \varphi_1 = 0.509$$

$$\begin{aligned} \text{杆件的承载能力: } N &= \varphi_1 \cdot [\sigma] \cdot A = 0.509 \times 200 \times 1.772 \times 10^4 \\ &= 1803.9 \times 10^3 \text{ N} = 1803.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

所需螺栓数:

$$n = \frac{\varphi_1 \cdot [\sigma] \cdot A}{T} = \frac{1803.9}{52.94} = 34.1 \text{ (个)}$$

实际用 36 个, 即每侧 18 个。

(ii) $E_{34}A_{33}$ (拉杆):

$$S = \begin{cases} 808 \text{ kN} \\ -102 \text{ kN} \end{cases} \quad (\text{以拉为主的拉压杆})$$

$$[\sigma_s] = \frac{165}{1 - 0.6\rho} = 151 \text{ MPa}$$

杆件截面: 2— $\square 420 \times 12$

1— $\square 436 \times 10$

$$A = 1.444 \times 10^4 \text{mm}^2$$

$$\Delta A = 0.2208 \times 10^4 \text{mm}^2$$

$$A_j = A - \Delta A = 1.2232 \times 10^4 \text{mm}^2$$

∴ 杆件的承载能力

$$N = [\sigma_s] A_j = 151 \times 1.2232 \times 10^4 = 1847.03 \times 10^3 \text{N} = 1847.03 \text{kN}$$

所需的螺栓数:

$$n = \frac{[\sigma_s] \cdot A_j}{T} = \frac{1887.4}{52.94} = 35.7 \text{ (个)}$$

实际用36个, 即每侧18个。

(2) 竖杆 $E_{33}A_{33}$ 的杆端连接

$$\begin{cases} S = 949 \text{kN} \\ S_1 = 362 \text{kN} \end{cases}$$

$$[\sigma_s] = \frac{165}{1 - 0.6\rho} = 213.9 \text{MPa}$$

杆件截面: 2—□260×10

1—□440×10

$$A = 0.96 \times 10^4 \text{mm}^2$$

$$\Delta A = 0.092 \times 10^4 \text{mm}^2$$

∴

$$A_j = A - \Delta A = 0.868 \times 10^4 \text{mm}^2$$

杆的承载能力:

$$N = [\sigma] \cdot A_j = 200 \times 0.868 \times 10^4 = 1736 \times 10^3 \text{N} = 1736 \text{kN}$$

所需螺栓数:

$$n = \frac{[\sigma] \cdot A_j}{T} = \frac{1736}{52.94} = 32.8 \text{ (个)}$$

接受力要求:

$$n = \frac{S}{T} = \frac{949}{52.94} = 17.9 \text{ (个)}$$

由于竖杆是次要杆件,

故取 $n = 24$ 个, 即每侧12个, 可以满足通常的使用要求。

2. 弦杆拼接计算

上弦杆为压杆

(i) $A_{31}A_{33}$ 截面为: 2—□600×20 1—□420×20(见图56)

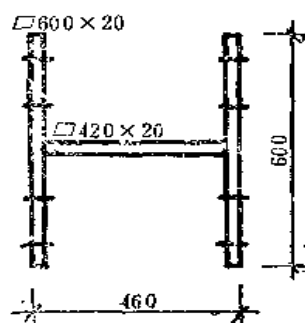


图56 杆件 $A_{31}A_{33}$ 的截面尺寸 尺寸单位: mm

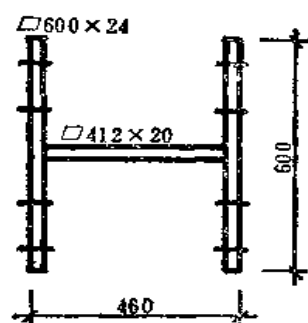


图57 杆件 $A_{33}A_{34}$ 的截面尺寸 尺寸单位: mm

(ii) $A_{33}A_{34}$ 截面为: 2— $\square 600 \times 24$ 1— $\square 412 \times 20$ (见图57)

(1) 节点所用材料确定:

节点板: 2— $\square 1160 \times 12 \times 1768$

拼接板: 4— $\square 250 \times 12 \times 1448$

拼接板: 4— $\square 250 \times 16 \times 968$

垫板: 4— $\square 250 \times 4 \times 920$

(2) 验算拼接板:

对于压杆

$A_m' \geq 1.1\varphi_1 A_m$; A_m' 以 $A_{33}A_{34}$ 为计算杆件。 φ_1 由局部稳定控制。

$$\therefore \sigma = \frac{N}{A} = \frac{5096.0 \times 10^3}{3.704 \times 10^4} = 137.58 \text{ MPa}$$

$$\therefore [\varphi] = \frac{\sigma}{[\sigma]} = \frac{137.58}{200} = 0.688$$

$$\lambda = 62.3$$

$$\therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.2\lambda = 12.5, \text{ 而 } \frac{b}{\delta} = 12.5 \leq \left[\frac{b}{\delta} \right]$$

即 $\varphi_1 = 0.688$, $A_m = 3.704 \times 10^4 \text{ mm}^2$

$$1.1 \times \varphi_1 \times A_m = 1.1 \times 0.688 \times 3.704 \times 10^4 \div 2 = 1.4016 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{实有 } A_m' &= 600 \times 12 + 2 \times 250 \times 12 + 2 \times 250 \times 16 \\ &= 2.120 \times 10^4 \text{ mm}^2 > 1.1\varphi_1 \times A_m \end{aligned}$$

(3) 计算拼接所需螺栓数:

一个螺栓的承载力(一个摩擦面) $T = 52.9 \text{ kN}$

(i) 按总拼接板所需螺栓数:

由于内拼接板与外拼接板重合部分 $m = 2$, $T = 105.8 \text{ kN}$

$$\therefore n = \frac{A_m' [\sigma]}{T} = \frac{2.120 \times 10^4 \times 200}{105.8 \times 10^3} = 40.1 \text{ (个)}$$

实际用48个, 满足要求。

(ii) 对节点板:

$$A_m = 600 \times 12 = 0.7200 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

所需螺栓数:

$$n_1 = \frac{A_m [\sigma]}{T} = \frac{0.720 \times 10^4 \times 200}{52.9 \times 10^3} = 27.2 \text{ (个)}$$

根据构造需要, 布置56个。

(iii) 两块内拼接板 N_2 :

$$A_m' = 2 \times 250 \times 12 = 0.6000 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

所需螺栓数:

$$n_2 = \frac{A_m' [\sigma]}{T} = \frac{0.6 \times 10^4 \times 200}{52.9 \times 10^3} = 22.7 \text{ (个)}$$

实际用48个, 满足要求。

(iv) 另外两块内拼接板 N_3 :

$$A_m' = 2 \times 250 \times 16 = 0.8 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

所需螺栓数:

$$n_{\text{螺栓}} = \frac{A_m [\sigma]}{T} = \frac{0.8 \times 10^4 \times 200}{52.9 \times 10^3} = 30 (\text{个})$$

实际用30个, 满足要求。

3. 节点板计算(见图58)

(1) 法向应力验算:

a. 求截面中和轴 y_0 :

$$y_1 = \frac{250}{2} = 125 \text{ mm}$$

$$y_2 = 600 - y_1 = 475 \text{ mm}$$

$$y_3 = \frac{1160}{2} = 580 \text{ mm}$$

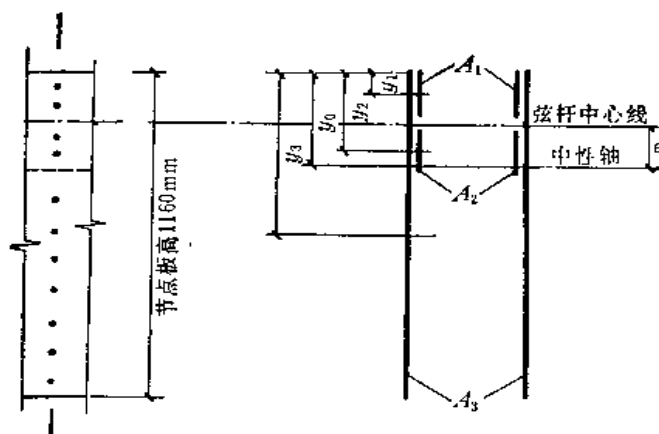


图58 节点板强度验算

$$A_1 + A_2 = 2 \times 250 \times 12 + 2 \times 250 \times 16 = 1.4000 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 2 \times 1160 \times 12 = 2.7840 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma A = A_1 + A_2 + A_3 = 5.5840 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$y_0 = \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{\Sigma A} = \frac{0.6 \times 10^4 \times 125 + 0.8 \times 10^4 \times 475 + 2.784 \times 10^4 \times 580}{5.584 \times 10^4} = 439.6 \text{ mm}$$

b. 验算法向应力 σ :

$$\sigma = \frac{N}{A_j} \pm \frac{N \cdot e \cdot y}{I_j}$$

(i) $A_j = \Sigma A - \Delta A$

$$= 5.584 \times 10^4 - [12 \times 23 \times (12 + 16) + 24 \times 23 \times 12]$$

$$= 4.1488 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

(ii) 求 I_j :

$$\begin{aligned} I_m &= 2 \times \left[\frac{1}{12} \times 1160^3 \times 12 + 1160 \times 12 \times (580 - 300)^2 \right] + 4 \times \left[\frac{1}{12} \times (12 + 16) \times 250^3 \right. \\ &\quad \left. + (12 + 16) \times 250 \times (300 - 125)^2 \right] \\ &= 53.04448 \times 10^8 + 10.03333 \times 10^8 \\ &= 63.0778 \times 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta I' &= 2 \times [12 \times 23 \times (2 \times 90^2 + 2 \times 170^2 + 2 \times 260^2 + 420^2 + 500^2 + 580^2 + 660^2 \\ &\quad + 740^2 + 820^2)] + 2 \times [(12 + 16) \times 23 \times (2 \times 90^2 + 2 \times 170^2 + 2 \times 260^2)] \\ &= 14.504352 \times 10^8 + 2.694496 \times 10^8 \\ &= 17.1988 \times 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\therefore I'_j = I_m - \Delta I' = 45.8790 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$e = y_0 - 300 = 139.6 \text{ mm}$$

$$\therefore I_j = I'_j - A_j \times e^2$$

$$= 45.8790 \times 10^8 - 4.1488 \times 10^4 \times 139.6^2$$

$$= 37.7938 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

(iii) 求上下边缘至中性轴距离 y :

$$y_k = y_0 = 439.6\text{mm}, y_r = 1160 - y_0 = 720.4\text{mm}$$

(iv) 作用力 $N = S_{E_{32}E_{34}} = 4760\text{kN}$

∴ 上缘法向应力:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{N}{A_j} + \frac{N \times e \times y_k}{I_j} \\ &= \frac{-4760 \times 10^3}{4.1488 \times 10^4} - \frac{139.6 \times 4760 \times 10^3 \times 439.6}{37.7938 \times 10^8} = -114.8 - 77.3 \\ &= -192\text{MPa} < [\sigma] = 200\text{MPa}\end{aligned}$$

下缘法向应力:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{N}{A_j} + \frac{N \times e \times y_r}{I_j} \\ &= \frac{-4760 \times 10^3}{4.1488 \times 10^4} + \frac{139.6 \times 4760 \times 10^3 \times 720.4}{37.7938 \times 10^8} = -114.8 - 12.7 \\ &= -102.1\text{MPa} < [\sigma] = 200\text{MPa}\end{aligned}$$

(2) 剪应力验算:

$$\begin{aligned}\tau &= \frac{T}{A_j} \\ T &= (S_{E_{32}A_{33}} + S_{E_{34}A_{33}}) \times \cos\theta \\ &= (-1579 - 102) \cos 45^\circ = -1189\text{kN} \\ A_j' &= 12 \times 1768 \times 2 - 20 \times 12 \times 23 \times 2 = 3.1392 \times 10^4 \text{mm}^2\end{aligned}$$

$$\therefore \tau = T/A_j' = \frac{1189 \times 10^3}{3.1392 \times 10^4} = 37.8\text{MPa} \leq [\tau] = 0.75[\sigma] = 150\text{MPa}$$

(3) 撕裂应力验算

当斜杆受力, 有可能将节点板撕裂。图 59 所示之节点板撕裂面可取为: “1—2—3—4” “1—2—3—7—8”, “2—3—5—6”, 因此须对这些截面进行撕裂强度验算。

斜杆 $E_{34}A_{33}$ 的内力为

$$S = \begin{cases} 808\text{kN} \\ -102\text{kN} \end{cases} \quad [\sigma_s] = 151 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}\text{故承载力为: } N &= A_j [\sigma_s] \\ &= 1887.4\text{kN} \cdot 1.1N \\ &= 1.1 \times 1887.4\text{kN} \\ &= 2076.14\text{kN}\end{aligned}$$

可能撕裂面的长度为:

$$\text{“1—2”, } l_{1-2} = 250\text{mm},$$

$$\text{“5—6” } l_{5-6} = 340\text{mm},$$

$$\text{“2—3”, } l_{2-3} = 340\text{mm},$$

$$\text{“2—5” } l_{2-5} = 370\text{mm},$$

$$\text{“3—4”, } l_{3-4} = 360\text{mm}, \text{ “3—6” } l_{3-6} = 370\text{mm},$$

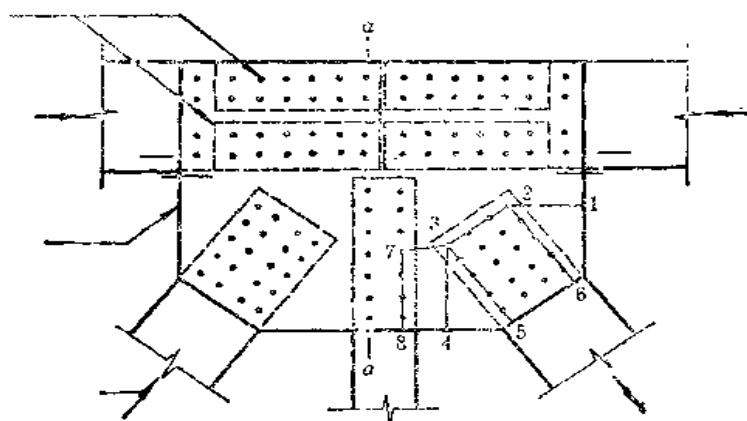


图 59 A_{33} 节点板撕裂计算图

各截面抗裂强度计算:

由于节点板的应力状态复杂, 因此, 要求节点板的抗撕裂强度至少大10%, 节点板撕裂时的容许应力是这样计算的: 当撕裂截面垂直于斜杆内力方向时, 其撕裂容许应力按 $[\sigma]$ 计; 当截面与斜杆内力方向斜交或平行时, 则其撕裂容许应力按 $0.75[\sigma]$ 计。故截面抗撕裂强度的验算公式为:

$$\sum A_{j1} \times 0.75[\sigma] + A_{j2}[\sigma] + \dots + A_{jn} \times 0.75[\sigma] \geq \text{杆件强度的} 1.1 \text{倍}(1.1N)$$

故有

$$1 \sim 2 \text{ 截面: } 2 \times \left(250 - \frac{1}{2} \times 23\right) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 858.6 \text{ kN}$$

$$2 \sim 3 \text{ 截面: } 2 \times (340 - 4 \times 23) \times 12 \times [\sigma] = 1190.4 \text{ kN}$$

$$3 \sim 4 \text{ 截面: } 2 \times \left(360 - \frac{23}{2}\right) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 627.3 \text{ kN}$$

$$2 \sim 5 \text{ 截面: } 2 \times (370 - 5 \times 23) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 918 \text{ kN}$$

$$3 \sim 6 \text{ 截面: } 2 \times (370 - 5 \times 23) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 918 \text{ kN}$$

$$1.1N = 1.1 \times 1887.4 = 2076.1 \text{ kN}$$

∴ “1-2-3-4”截面的抗撕裂强度为

$$N_{1-2-3-4} = 858.6 + 1190.4 + 627.3 = 2676.3 \text{ kN} > 1.1N = 2076.4 \text{ kN}$$

“5-2-3-6”截面的抗撕裂强度为:

$$N_{5-2-3-6} = 918 + 1190.4 + 918 = 3026.4 \text{ kN} > 1.1N$$

“1-2-3-6”截面的抗撕裂强度为

$$N_{1-2-3-6} = 858.6 + 1190.4 + 918 = 2907.6 \text{ kN} > 1.1N$$

∴ 上述三截面的抗撕裂强度均已足够。

(三) 主桁节点 E_{34} 的拼接计算

1. 腹杆杆端连接

(i) 斜杆 $E_{34}A_{33}$ 及 $E_{34}A_{33}'$ 的连接

由于这两根杆是对称杆件, 受力与连接都相同, 在 A_{33} 节点中已计算过, 所用螺栓36只, 每侧18只。

(ii) 竖杆连接

由于竖杆是次要杆件, 故根据构造要求设置螺栓, 现用28只, 每侧14只。

2. 弦杆拼接计算

下弦杆 $E_{32}E_{34}$ 及 $E_{34}E_{32}'$ 为拉杆, 两杆为对称杆件, 受力与截面都相同, 连接也应该相同。(见图60);

截面为2—— $\square 460 \times 24$

1—— $\square 412 \times 20$

(1) 所用节点拼接材料确定:

节点板: 2—— $\square 1105 \times 12 \times 1560$

拼接板: 4—— $\square 180 \times 20 \times 2040$

拼接板: 4—— $\square 180 \times 24 \times 1240$

垫板: 1—— $\square 260 \times 12 \times 310$

隔板: 1—— $\square 180 \times 10 \times 260$

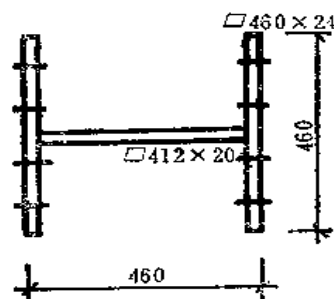


图60 下弦杆 $E_{32}E_{34}$ 的截面组成
尺寸单位: mm

隔板: 1——□180×16×147

隔板: 2——□180×10×170

隔板: 2——□160×10×360

隔板: 4——□125×80×8×160

(2) 验算拼接板:

要求 $A_j' \geq 1.1A_j$

$$A_j'_{节} = 2 \times [460 \times 12 - 4 \times 23 \times 12] = 8832 \text{ mm}^2$$

$$A_j'_{拼} = 4 \times [(180 \times 20 - 2 \times 23 \times 20) + (180 \times 24 - 2 \times 23 \times 24)] \\ = 23584 \text{ mm}^2$$

$$A_j' = A_j'_{节} + A_j'_{拼} = 8832 + 23584 = 3.2416 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$1.1A_j = 1.1 \times (2 \times 460 \times 24 + 412 \times 20 - 8 \times 23 \times 24) \\ = 2.8494 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

故 $A_j' > 1.1A_j$ (满足要求)。

(3) 计算拼接所需螺栓数:

一个螺栓的承载力 ($m=1$), $T=52.9 \text{ kN}$

(i) 按总拼接板来确定所需的螺栓数:

内拼接板与节点板重合部分 $m=2$, $T=105.8 \text{ kN}$

$$A_j' = \frac{3.2416 \times 10^4}{2} = 1.6208 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\therefore n = \frac{A_j' [\sigma]}{T} = \frac{1.6208 \times 10^4 \times 200}{105.8 \times 10^3} = 30.6 \text{ (个)}$$

现用36个, 每侧18个, 满足要求。

(ii) 对节点板 (一块)

$$A_i' = 4416 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_i' \times [\sigma]}{T} = \frac{4416 \times 200}{52.9 \times 10^3} = 16.7 \text{ (个)}$$

根据构造需要, 布置36个。

(iii) 两块内拼接板 N_2

$$A_i' = 2 \times (180 \times 20 - 2 \times 23 \times 20) \\ = 5360 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_i' \times [\sigma]}{T} = \frac{5360 \times 200}{52.9 \times 10^3} = 20.3 \text{ (个)}$$

实用48个, 满足要求。

(iv) 两块内拼接板 N_3

$$A_i' = 2 \times (180 \times 24 - 2 \times 23 \times 24) \\ = 6432 \text{ mm}^2$$

$$n = \frac{A_i' \times [\sigma]}{T} = \frac{6432 \times 200}{52.9 \times 10^3} = 24.3 \text{ (个)}$$

实用28个, 满足要求。

(4) 节点板计算: (见图61)

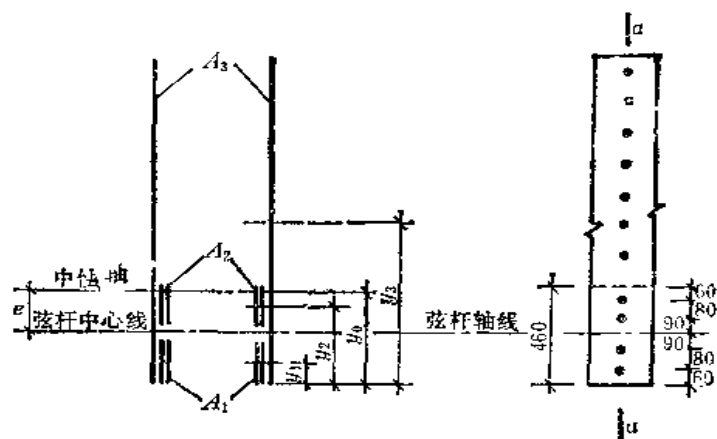


图61 节点板强度验算 尺寸单位: mm

(i) 法向应力验算:

a. 求截面中和轴 y_0 。

$$y_1 = 120 \text{ mm}$$

$$y_2 = 380 \text{ mm}$$

$$y_3 = 552.5 \text{ mm}$$

$$A_1 + A_2 = 2 \times 180 \times 20 + 2 \times 180 \times 24 = 1.5840 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$A_3 = 2 \times 1105 \times 12 = 2.652 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\Sigma A = A_1 + A_2 + A_3 = 5.82 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} y_0 &= \frac{A_1 y_1 + A_2 y_2 + A_3 y_3}{\Sigma A} \\ &= \frac{2 \times 180 \times 20 \times 120 + 2 \times 180 \times 24 \times 380 + 2.652 \times 10^4 \times 552.5}{5.82 \times 10^4} \\ &= 323 \text{ mm} \end{aligned}$$

b. 验算法向应力 σ

$$\sigma = \frac{N}{A_j} \pm \frac{N \times e \times y}{I_j}$$

求 A_j

$$A_j = \Sigma A - [8 \times 23 \times (20 + 24) + 22 \times 23 \times 12] = 4.4032 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

求 I_j :

$$I_j = I_j' - A_j \times e^2$$

$$\begin{aligned} I_j' &= 2 \times \left[\frac{1}{12} \times 1105^3 \times 12 + 1105 \times 12 \times (552.5 - 260)^2 \right] \\ &\quad + 4 \times \left[\frac{1}{12} \times (20 + 24) \times 180^3 + (20 + 24) \times 180 \times (260 - 120)^2 \right] \\ &= 49.67417 \times 10^8 + 7.06464 \times 10^8 = 56.7388 \times 10^8 \text{ mm}^4 \\ \Delta I' &= 2 \times [12 \times 23 \times (2 \times 90^2 + 2 \times 170^2 + 340^2 + 420^2 + 500^2 + 580^2 \\ &\quad + 660^2 + 740^2 + 880^2)] + 2 \times (20 + 24) \times 23 \times (2 \times 90^2 + 2 \times 170^2) \\ &= 14.3962 \times 10^8 + 1.49776 \times 10^8 = 15.8940 \times 10^8 \text{ mm}^4 \end{aligned}$$

$$\therefore I_j' = I_j' - \Delta I'$$

$$= 40.8448 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$e = y_0 - 260 = 323 - 260 = 63 \text{ mm}$$

$$I_j = I_j' - A_j \times e^2$$

$$= 40.8448 \times 10^8 - 4.4032 \times 10^4 \times 63^2$$

$$= 39.10 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

求上、下边缘至中和轴距离 y :

$$y_L = 1105 - 323 = 782 \text{ mm}$$

$$y_R = 323 \text{ mm}$$

作用力 $N = S_{A_{33}A_{34}} = 5096.0 \text{ kN}$

$\therefore$ 上缘法向应力:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{N}{A_j} - \frac{N \times e \times y_{\text{上}}}{I_j} \\ &= \frac{5096.0 \times 10^3}{4.4032 \times 10^4} - \frac{63 \times 5096.0 \times 10^3 \times 782}{39.10 \times 10^8} \\ &= 115.7 - 64.2 = 51.5 \text{MPa}\end{aligned}$$

下缘法向应力:

$$\begin{aligned}\sigma &= \frac{N}{A_j} + \frac{N \times e \times y_{\text{下}}}{I_j} \\ &= \frac{5096.0 \times 10^3}{4.4032 \times 10^4} + \frac{63 \times 5096.0 \times 10^3 \times 323}{39.10 \times 10^8} \\ &= 115.7 + 26.5 \\ &= 142.2 \text{MPa}\end{aligned}$$

上、下缘法向应力 σ 均小于 $[\sigma] = 200 \text{MPa}$

(ii) 剪应力验算:

$$\tau = \frac{T}{A_j'}$$

$$\begin{aligned}T &= (S_{E34A33} + S_{E34A33}) \cos \theta \\ &= (808 + 808) \cos 45^\circ \\ &= 1143 \text{kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A_j &= 12 \times 1560 \times 2 - 18 \times 12 \times 23 \\ &\quad \times 2 = 2.75 \times 10^4 \text{mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore \tau &= \frac{T}{A_j'} = \frac{1143 \times 10^3}{2.75 \times 10^4} \\ &= 41.6 \text{MPa} < 0.75[\sigma] \\ &= 150 \text{MPa}\end{aligned}$$

(iii) 节点板撕裂强度验算

当斜杆受力, 节点板可能的撕裂面为“1-2-3-4”, “5-2-3-6”及“1-2-3-6”三个截面(见图62)。这些可能的撕裂面长度为: $l_{1-2} = 240 \text{mm}$, $l_{2-3} = 340 \text{mm}$, $l_{2-5} = l_{3-6} = 370 \text{mm}$, $l_{3-4} = 360 \text{mm}$, 栓孔直径 $\phi 23$, 节点板厚 12mm 。

验算节点板截面, 1~2~3~4, 5~2~3~6及1~2~3~6三个截面的抗撕裂强度。各截面抗撕裂强度如下:

$$1 \sim 2 \text{ 截面为: } 2(240 - \frac{1}{2} \times 23) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 4113[\sigma],$$

$$2 \sim 3 \text{ 截面为: } 2(340 - 3 \times 23) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 4878[\sigma],$$

$$3 \sim 4 \text{ 截面为: } 2(360 - \frac{1}{2} \times 23) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 6273[\sigma],$$

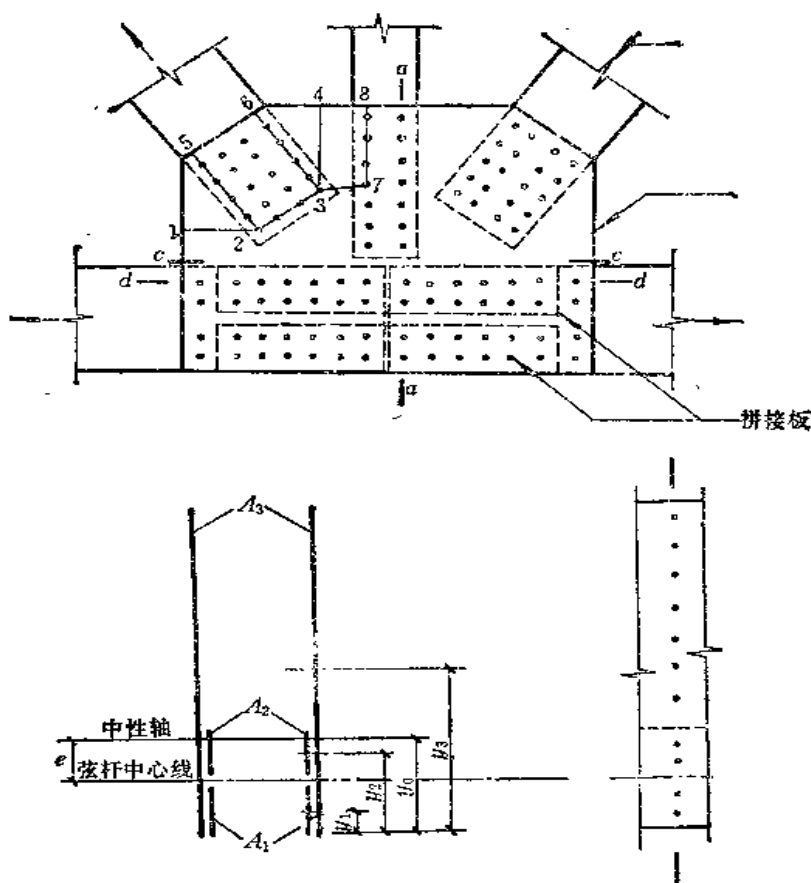


图62 E34节点板撕裂强度计算

2~5截面为: $2(370 - 4.5 \times 23) \times 12 \times 0.75[\sigma] = 4797[\sigma]$,

3~6截面同2~5截面。

1~2~3~4截面抗撕裂强度 $= 4113[\sigma] + 4878[\sigma] + 6273[\sigma] = 15264[\sigma]$,

5~2~3~6截面抗撕裂强度 $= 4797[\sigma] + 4878[\sigma] + 4797[\sigma] = 14472[\sigma]$,

1~2~3~6截面抗撕裂强度 $= 4113[\sigma] + 4878[\sigma] + 4797[\sigma] = 13788[\sigma]$,

而 $1.1A_j[\sigma_s] = 2076\text{kN} = 10380[\sigma]$

上述三个截面的抗撕裂强度均足够。

六、联结系计算

联结系通常按承受横向水平风力设计并考虑附加力。

(一) 平纵联计算

上平纵联设计

上平纵联所受的横向风力强度可见前节《横向附加力作用下的主桁杆件内力计算》。其风力强度为:

$$W_{\perp} = \frac{1}{2}W_s$$

$$W_s = k_s h_s W = 0.4 \times 8 \times 780 = 2.50\text{kN/m}$$

$$\therefore W_{\perp} = \frac{1}{2}W_s = 1.25\text{kN/m}$$

1. 风力所引起的内力计算

(i) 对 $K_0 A A_{31}$ 与 $K_0 A_{31}$:

$$y = \frac{l_2}{l} \times \frac{1}{2 \times \sin \alpha}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{B}{2} \times \frac{1}{l} = \frac{15.2}{2} \times \frac{1}{8} = 0.95$$

$$\sin \alpha = 0.6887, \quad \cos \alpha = 0.7250$$

$$\sin^3 \alpha = 0.3267, \quad \cos^2 \alpha = 0.5256$$

$$\therefore y = \frac{7}{8} \times \frac{1}{2 \times 0.6887} = 0.6353$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times l \times y = \frac{1}{2} \times 64 \times 0.6353 = 20.33\text{m}$$

$$\therefore N_{W\perp} = \pm 1.25 \times 20.33 = \pm 25.41\text{kN}$$

(ii) 对 $K_1 A A_{32}$ 与 $K_1 A_{32}$:

$$y_1 = \frac{l_1}{l} \times \frac{1}{2 \times \sin \alpha} = \frac{1}{8} \times \frac{1}{2 \times 0.6887} = 0.0908$$

$$y_2 = \frac{l_2}{l} \times \frac{1}{2 \times \sin \alpha} = \frac{6}{8} \times \frac{1}{2 \times 0.6887} = 0.5445$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times \left(6 + \frac{6}{7}\right) \times 8 \times 0.5445 - \frac{1}{2} \times \left(1 + \frac{1}{7}\right) \times 8 \times 0.0908 \\ = 14.52\text{m}$$

$$\therefore N_{W上} = \pm 1.25 \times 14.5 = \pm 18.13\text{kN}$$

(iii) 对 $K_2 A_{33}$ 与 $K_2 A A_{33}$

$$y_1 = \frac{l_1}{l} \times \frac{1}{2 \sin \alpha} = \frac{2}{8} \times \frac{1}{2 \times 0.6887} = 0.1815$$

$$y_2 = \frac{l_2}{l} \times \frac{1}{2 \sin \alpha} = \frac{5}{8} \times \frac{1}{2 \times 0.6887} = 0.4538$$

$$\Omega = \frac{1}{2} \times \left(5 + \frac{5}{7}\right) \times 8 \times 0.4538 - \frac{1}{2} \times \left(2 + \frac{2}{7}\right) \times 8 \times 0.1815 \\ = 8.71\text{m}$$

$$\therefore N_{W上} = \pm 0.127 \times 8.71 = \pm 1.11\text{kN}$$

(iv) 对 $K_3 A A_{34}$ 与 $K_3 A_{34}$

$$y_1 = \frac{l_1}{l} \times \frac{1}{2 \sin \alpha} = \frac{3}{8} \times \frac{1}{2 \times 0.6887} = 0.2723$$

$$y_2 = \frac{l_2}{l} \times \frac{1}{2 \sin \alpha} = \frac{4}{8} \times \frac{1}{2 \times 0.6887} = 0.3630$$

$$\therefore \Omega = \frac{1}{2} \times \left(4 + \frac{4}{7}\right) \times 8 \times 0.3630 - \frac{1}{2} \times \left(3 + \frac{3}{7}\right) \times 8 \times 0.2723 \\ = 2.90\text{m}$$

$$\therefore N_{W上} = \pm 1.25 \times 2.90 = \pm 3.63\text{kN}$$

以上计算可知, 风力所产生的内力很小, 一般不控制纵联设计, 故纵联所用的斜杆截面尺寸一般相同。

2. 弦杆变形引起的附加力计算

弦杆在竖向荷载作用下的变形, 使纵向联结系腹杆相应地产生较大的内力, 对于图63所示斜杆因弦杆变形所产生的附加内力有:

$$N_d = \frac{N_s}{A_s} \cdot \frac{A_d \times \cos^2 \alpha}{1 + 2 \times \frac{A_d}{A_s} \sin^2 \alpha} \approx N_s \cdot \frac{A_d}{A_s} \cdot \cos^2 \alpha$$

斜杆截面:

翼板: 2—□320×12

腹板: 1—□386×10

横撑截面:

翼板: 2—□320×12

腹板: 1—□386×10

$$A_d = A_s = 2 \times 320 \times 12 + 386 \times 10 = 1.154 \times 10^4 \text{mm}^2$$

$$A_s = 3.704 \times 10^4 \text{mm}^2$$

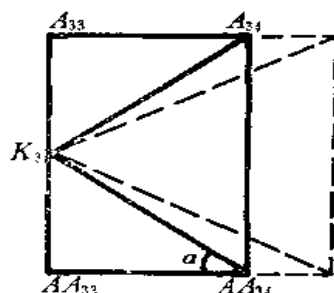


图63 弦杆变形引起的附加力

$$N_s = -5096.0 \text{ kN}$$

$$\therefore N_s = \frac{N_s}{A_s} \times \frac{A_s \times \cos^2 \alpha}{1 + 2 \times \frac{A_s}{A_p} \times \sin^2 \alpha} = \frac{-5096.0}{3.704 \times 10^4} \times \frac{1.154 \times 10^4 \times 0.5256}{1 + 2 \times 1 \times 0.3267}$$

$$= -504.7 \text{ kN}$$

$$N_p = N_s \times \sin \alpha = -347.6 \text{ kN (不控制)}$$

3. 计算内力的确定:

(i) 主力: $N_1 = -504.7 \text{ kN}$

(ii) 以两弦杆内力之和的3%作为节间剪力计算斜杆内力:

$$N_2 = \pm \frac{2 \times 5096.0 \times 3\%}{2 \times \sin \alpha} = \pm 221.98 \text{ kN}$$

(iii) 主力 + 附加力: $N_3 = \frac{N_1 + N_2}{1.25} < N_1$

由主力 N_1 控制上平纵联斜杆设计。

4. 验算所选的杆件截面 (如图64所示)

翼板: 2— $\square 320 \times 12$

腹板: 1— $\square 386 \times 10$

(i) 总体稳定验算:

$$I_s < I_y$$

$$I_s = 2 \times \frac{1}{12} \times 10 \times 320^3 = 5.4613 \times 10^7 \text{ mm}^4$$

$$r_s = \sqrt{\frac{I_s}{A}} = \sqrt{\frac{5.4613 \times 10^7}{1.154 \times 10^4}} = 68.8 \text{ mm}$$

$$l_s = 0.5l = 0.5 \times \frac{8000}{\cos \alpha} = 5517 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_s = \frac{l_s}{r_s} = \frac{5517}{68.8} = 80.2$$

查表得 $\varphi = 0.553$

$$\therefore \sigma = \frac{N}{\varphi A_s} = \frac{504.7 \times 10^3}{0.553 \times 1.154 \times 10^4} = 79.1 \text{ MPa} < [\sigma]$$

(ii) 局部稳定验算:

$$\text{翼板: } \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.2\lambda = 16, \text{ 现在 } \frac{b}{\delta} = \frac{160}{12} = 13.3 < 16$$

$$\text{腹板: } \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.5\lambda + 5 = 45, \text{ 现在 } \frac{b}{\delta} = \frac{386}{10} = 38.6 < 45$$

(满足要求)

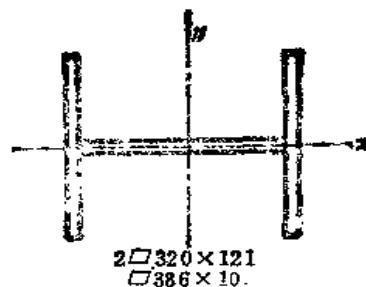


图64 斜杆及横撑截面尺寸
尺寸单位: mm

(二) 横向联结系及桥门架计算

1. 图式及布置方法 (如图65所示)

2. 桥门架横杆的计算:

$$H_H = 40 \text{ kN}; \quad e = 1.625 \text{ m}; \quad l - l_0 = 6.80 \text{ m}$$

$$l = 11.31\text{m}, l - c = 3.25\text{m},$$

$$B = 15.2\text{m}$$

$$l_0 = 4.51\text{m}, c = 8.06\text{m}.$$

取a—a截面

由 $\Sigma M_{I_1} = 0$ 得

$$S_{G_1G_2} \times e + \frac{H_w \times (l - l_0)}{B} \times \frac{B}{7}$$

$$- \frac{H_w}{2} \times (l - l_0) = 0$$

$$\therefore S_{G_1G_2} = \frac{5H_w \times (l - l_0)}{14 \times e}$$

$$= \frac{5 \times 40 \times 6.8}{14 \times 1.625} = 60\text{kN}$$

由 $\Sigma M_{G_1} = 0$ 得:

$$S_{A_3I_1} \times e + H_w \times e + \frac{H_w}{2} \times (l - l_0 - e) - \frac{H_w \times (l - l_0)}{B} \times \frac{B}{14} = 0$$

$$\therefore S_{A_3I_1} = - \left[\frac{6H_w \times (l - l_0)}{14 \times e} + \frac{H_w}{2} \right] = - \left[\frac{6 \times 40 \times 6.8}{14 \times 1.625} + \frac{40}{2} \right] = -84\text{kN}$$

由 $\Sigma X = 0$ 得:

$$S_{I_1G_1} \times \cos\theta = V = \frac{H_w}{B} \times (l - l_0)$$

$$\therefore S_{I_1G_1} = \frac{H_w \times (l - l_0)}{B \times \cos\theta}$$

$$(\text{注: } \operatorname{tg}\theta = \frac{B}{14} \times \frac{1}{e} = \frac{B}{7} \times \frac{1}{(l - c)} = 0.6681, \sin\theta = 0.5555, \cos\theta = 0.8315)$$

$$\therefore S_{I_1G_1} = \frac{40 \times 6.8}{15.2 \times 0.8315} = 22\text{kN}$$

同理可分别求出:

$$\begin{aligned} 1 & \begin{cases} S_{G_2G_3} = \frac{3 \times H_w \times (l - l_0)}{14 \times e} = 36\text{kN} \\ S_{I_1I_2} = - \left[\frac{4 \times H_w \times (l - l_0)}{14 \times e} + \frac{H_w}{2} \right] = -68\text{kN} \\ S_{G_2I_2} = 22\text{kN} \end{cases} \\ 2 & \begin{cases} S_{G_3G_4} = 12\text{kN} \\ S_{I_2I_3} = -44\text{kN} \\ S_{G_3I_3} = 22\text{kN} \end{cases} \\ 3 & \begin{cases} S_{G_4G_5} = -12\text{kN} \\ S_{I_3I_4} = -32\text{kN} \\ S_{G_4I_4} = 22\text{kN} \end{cases} \end{aligned}$$

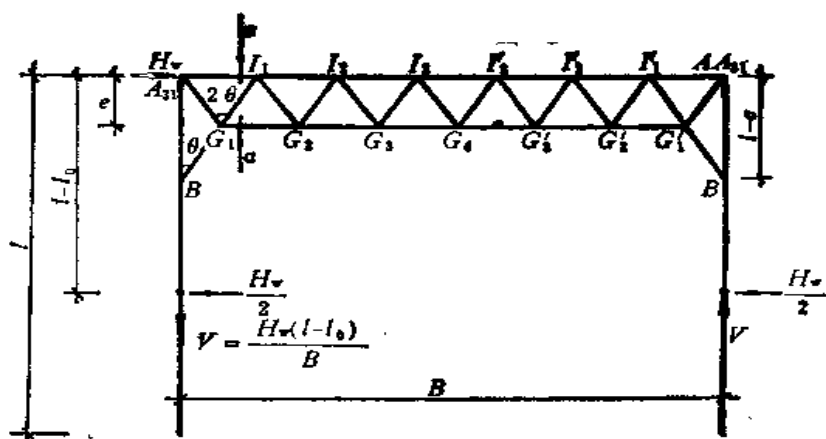


图65 桥门架布置图式

取节点 G_1 可得:

$$S_{G_1 A_{31}} = \frac{S_{G_1 G_2}}{2 \times \sin \theta} = \frac{60}{2 \times 0.5555} = 54 \text{ kN}$$

$$S_{8G_1} = S_{G_1 A_{31}} \cos 2\theta + S_{G_1 I_1} = 54 \times 0.3827 + 22 = 43 \text{ kN}$$

取 G_2 , G_3 等节点可得:

$$S_{G_1 I_1} = S_{G_2 I_1} = \dots = 22 \text{ kN}$$

由于风力是随机的, 故这些杆的内力可正可负, 而一般是以压杆控制。

3. 楣杆的截面选择

BI_1 : 2— $\square 180 \times 10$, $A = 6200 \text{ mm}^2$

1— $\square 260 \times 10$ (见图66)

$G_2 G_3$ 与 $G_3 G_4$: 2— $\square 180 \times 10$, $A = 5400 \text{ mm}^2$

1— $\square 180 \times 10$ (见图67)

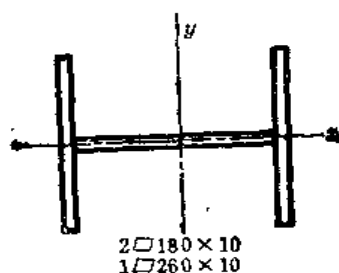


图66 尺寸单位: mm

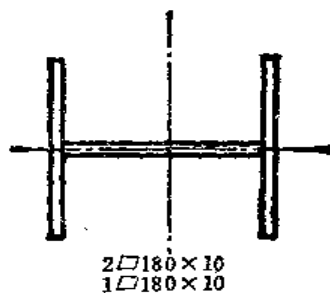


图67 尺寸单位: mm

$G_1 A_{31}$, GI_1 , $G_2 I_1$ 等: 2— $\square 120 \times 10$, $A = 5000 \text{ mm}^2$

1— $\square 260 \times 10$ (见图68)

另一半对称。

$A_{31} A A_{31}$: 2— $\square 320 \times 12$, $A = 11540 \text{ mm}^2$

1— $\square 386 \times 10$ (见图69)

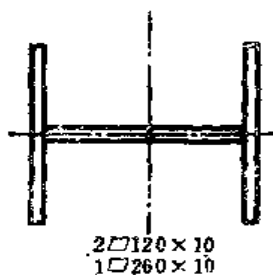


图68 尺寸单位: mm

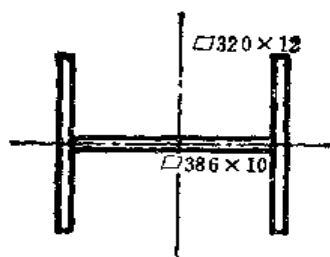


图69 杆 $A_{31} A A_{31}$ 截面组成 尺寸单位: mm

4. 强度验算:

(1) BI_1 :

$$S = \pm 126.0 \text{ kN}$$

总体稳定:

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 10 \times 180^3 = 9.72 \times 10^8 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{9.72 \times 10^6}{6200}} = 39.6 \text{ cm}$$

$$l_x = 1954 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{1954}{39.6} = 49.4 < [\lambda] = 130$$

查表得: $\varphi = 0.780$

$$\therefore \sigma = \frac{S}{\varphi A} = \frac{126.0 \times 10^3}{0.780 \times 6200} = 26.1 \text{ MPa} < [\sigma] = 200 \text{ MPa}$$

局部稳定:

$$\text{竖板: } \frac{b}{\delta} = \frac{90}{10} = 9 < 12$$

$$\text{腹板: } \frac{b}{\delta} = \frac{260}{10} = 26 < 0.5\lambda + 5 = 30$$

(2) G_1G_2 与 G_1B 相同截面:

$$S = \pm 100 \text{ kN}, l = 2171 \text{ mm}$$

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 180^3 \times 10 = 9.72 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\therefore r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 39.6 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{2171}{39.6} = 54.8 < [\lambda] = 130$$

查表得: $\varphi = 0.713$

$$\therefore \sigma = \frac{S}{\varphi A} = \frac{100.0 \times 10^3}{0.713 \times 6200} = 21.7 \text{ MPa} < [\sigma]$$

局部稳定:

$$\text{竖板: } \frac{b}{\delta} = \frac{90}{10} = 9 < 12$$

$$\text{腹板: } \frac{b}{\delta} = \frac{260}{10} = 26 < 0.5\lambda + 5 = 32$$

(3) G_2G_3 :

$$S = \pm 60.0 \text{ kN}, l_x = 2171 \text{ mm}$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 10 \times 180^3 = 9.72 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$\therefore r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{9.72 \times 10^6}{5400}} = 42.4 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{2171}{42.4} = 51.2 < [\lambda] = 130$$

查表得: $\varphi = 0.770$

$$\therefore \sigma = \frac{S}{\varphi A} = \frac{60 \times 10^3}{0.770 \times 5400} = 14.4 \text{ MPa} < [\sigma]$$

局部稳定:

$$\text{竖板: } \frac{b}{\delta} = \frac{90}{10} = 9 < 12$$

$$\text{腹板: } \frac{b}{\delta} = \frac{180}{10} = 18 < 0.5\lambda + 5 = 31$$

(4) G, A_{st} 等:

$$\therefore S = -153.4 - 347.6 = -501 \text{ kN}$$

总体稳定:

$$I_x = 2171 \text{ mm}^4$$

$$I_x < I_y$$

$$I_x = 2 \times \frac{1}{12} \times 12 \times 320^3 = 65.536 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$A = 11540 \text{ mm}^2$$

$$\therefore r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = 75.4 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{2171}{75.4} = 28.8 < [\lambda] = 130$$

查表得: $\varphi = 0.900$

$$\therefore \sigma = \frac{S}{\varphi A} = \frac{501 \times 10^3}{0.900 \times 11540} = 48.2 \text{ MPa} < [\sigma]$$

局部稳定:

$$\text{竖板: } \frac{b}{\delta} = \frac{160}{12} = 13.3 > 12$$

$$\text{腹板: } \frac{b}{\delta} = \frac{386}{10} = 38.6 > 30 \text{ (均不满足要求)}$$

但

$$\sigma = \frac{S}{A} = \frac{501 \times 10^3}{11540} = 43.4 \text{ MPa}$$

$$\therefore [\varphi] = \frac{\sigma}{[\sigma]} = \frac{43.4}{200} = 0.217$$

相应的 $\lambda = 150$

$$\therefore \left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.2\lambda = 30 > \frac{b}{\delta} \text{ (竖板)}$$

$$\left[\frac{b}{\delta} \right] = 0.5\lambda + 5 > 45 > \frac{b}{\delta} \text{ (腹板) (均满足要求)}$$

$$S = \pm 90.0 \text{ kN}, \quad l_x = 1954 \text{ mm}$$

$$I_x = \frac{1}{12} \times 10 \times 120^3 = 1440000 \text{ mm}^4 = 1.44 \times 10^6 \text{ mm}^4$$

$$r_x = \sqrt{\frac{I_x}{A}} = \sqrt{\frac{1440000}{5000}} = 16.97 \text{ mm}$$

$$\therefore \lambda_x = \frac{l_x}{r_x} = \frac{1954}{16.97} = 115 < [\lambda] = 130$$

查表得: $\varphi_1 = 0.353$

$$\therefore \sigma = \frac{S}{\varphi A} = \frac{90.0 \times 10^5}{0.353 \times 5000} = 51 \text{MPa} < [\sigma] = 200 \text{MPa}$$

(总体稳定满足要求)

局部稳定:

$$\text{竖板: } \frac{b}{\delta} = \frac{120}{10} = 12 < 12$$

$$\text{腹板: } \frac{b}{\delta} = \frac{26}{10} = 2.6 < 32$$

(5) $A_{31}I_1$ 等, 由于它作为上平纵联撑杆, 内力相叠加。

$$\begin{aligned} \text{故 } S &= S_{A_{31}I_1} + S_P \\ S_P &= N_Q \times \sin \alpha = -347.6 \text{kN} \end{aligned}$$

七、桁架挠度计算

作为简支桁架, 挠度的计算可用下式确定:

$$f = \sum \frac{N_1 \times N \times f}{E \times A}$$

式中 N_1 ——单位荷载作用在跨中时各杆产生的内力;

N ——静活载作用下各杆产生的内力;

l ——杆件长度;

A ——杆件毛截面积;

E ——杆件材料弹性模量。

(一) 求各杆的 N_1 , l , A

1. $E_{30}A_{31}$:

$$N_1 = -\frac{1}{2\sin\alpha} = -0.7071 \quad l = \frac{H}{\sin\alpha} = \frac{8000}{\sin 45^\circ} = 11314 \text{mm} \quad A = 32240 \text{mm}^2,$$

2. $E_{30}E_{32}$:

$$N_1 = \frac{1}{2\cot\alpha} = 0.5000, \quad l = 2a = 16000 \text{mm} \quad A = 32928 \text{mm}^2,$$

3. $E_{32}A_{31}$ 杆:

$$N_1 = \frac{1}{2\sin\alpha} = 0.7071, \quad l = 11314 \text{mm}, \quad A = 15400 \text{mm}^2,$$

4. $A_{31}E_{31}$ 和 $A_{33}E_{33}$ 杆:

$$N_1 = 0$$

5. $A_{31}A_{33}$ 杆:

$$N_1 = -\frac{al}{2H} = -\frac{\frac{2}{8} \times 64}{2 \times 8} = -1, \quad l = 16000 \text{mm}, \quad A = 32400 \text{mm}^2$$

6. $E_{32}E_{34}$ 杆

$$N_1 = \frac{\alpha l}{2H} = \frac{\frac{3}{8} \times 64}{2 \times 8} = 1.5, \quad l = 16000\text{mm}, \quad A = 30320\text{mm}^2;$$

7. $E_{32}A_{33}$ 杆:

$$N_1 = -\frac{1}{2\sin\alpha} = -0.7071, \quad l = 11314\text{mm}, \quad A = 17720\text{mm}^2;$$

8. $A_{33}E_{34}$ 杆

$$N_1 = 0.7071, \quad l = 11314\text{mm}, \quad A = 14440\text{mm}^2;$$

(二) 求人群荷载挠度:

$$f_k = \frac{mq_k}{q} \times f_q = \frac{1.092 \times 5}{45.22} \times 60.7 = 7.3\text{mm}$$

(三) 求静活载作用下各杆内力 N^* (汽车-20)

静活载挠度计算图 (如图70所示)

1. $E_{30}A_{31}$:

$$y = 1.237$$

$$\begin{aligned} N^* &= -(1.175 \times 70 + 1.157 \times 130 + 0.826 \times 60 + 0.738 \times 120 \\ &\quad + 0.707 \times 120 + 0.486 \times 70 + 0.398 \times 130 + 0.066 \times 70) \\ &= -546.0\text{kN} \end{aligned}$$

2. $E_{30}E_{32}$:

$$y = 0.875$$

$$N^* = -N^*_{E_{30}A_{31}} \times \cos\alpha = 386.1\text{kN}$$

3. $E_{32}A_{31}$:

$$y = 1.0607$$

$$y' = -0.1768$$

$$\begin{aligned} N^* &= -0.168 \times 70 + 0.380 \times 130 + 0.826 \times 60 + 0.738 \times 120 \\ &\quad + 0.707 \times 120 + 0.486 \times 70 + 0.398 \times 130 + 0.066 \times 70 \\ &= 351.0\text{kN} \end{aligned}$$

4. $A_{31}E_{31}$ 及 $A_{33}E_{33}$: (可不计算)

5. $A_{31}A_{33}$:

$$y = -1.5$$

$$\begin{aligned} N^* &= -(0.713 \times 70 + 1.087 \times 130 + 1.169 \times 60 + 1.044 \times 120 \\ &\quad + 1.0 \times 120 + 0.687 \times 70 + 0.563 \times 130 + 0.094 \times 70) \\ &= -634.5\text{kN} \end{aligned}$$

6. $E_{32}E_{34}$:

$$y = 1.875$$

$$\begin{aligned} N^* &= 0.594 \times 70 + 0.906 \times 130 + 1.753 \times 60 + 1.566 \times 120 + 1.5 \times 120 \\ &\quad + 1.031 \times 70 + 0.844 \times 130 + 0.141 \times 70 \\ &= 824.2\text{kN} \end{aligned}$$

7. $E_{32}A_{33}$:

$$y = -0.884$$

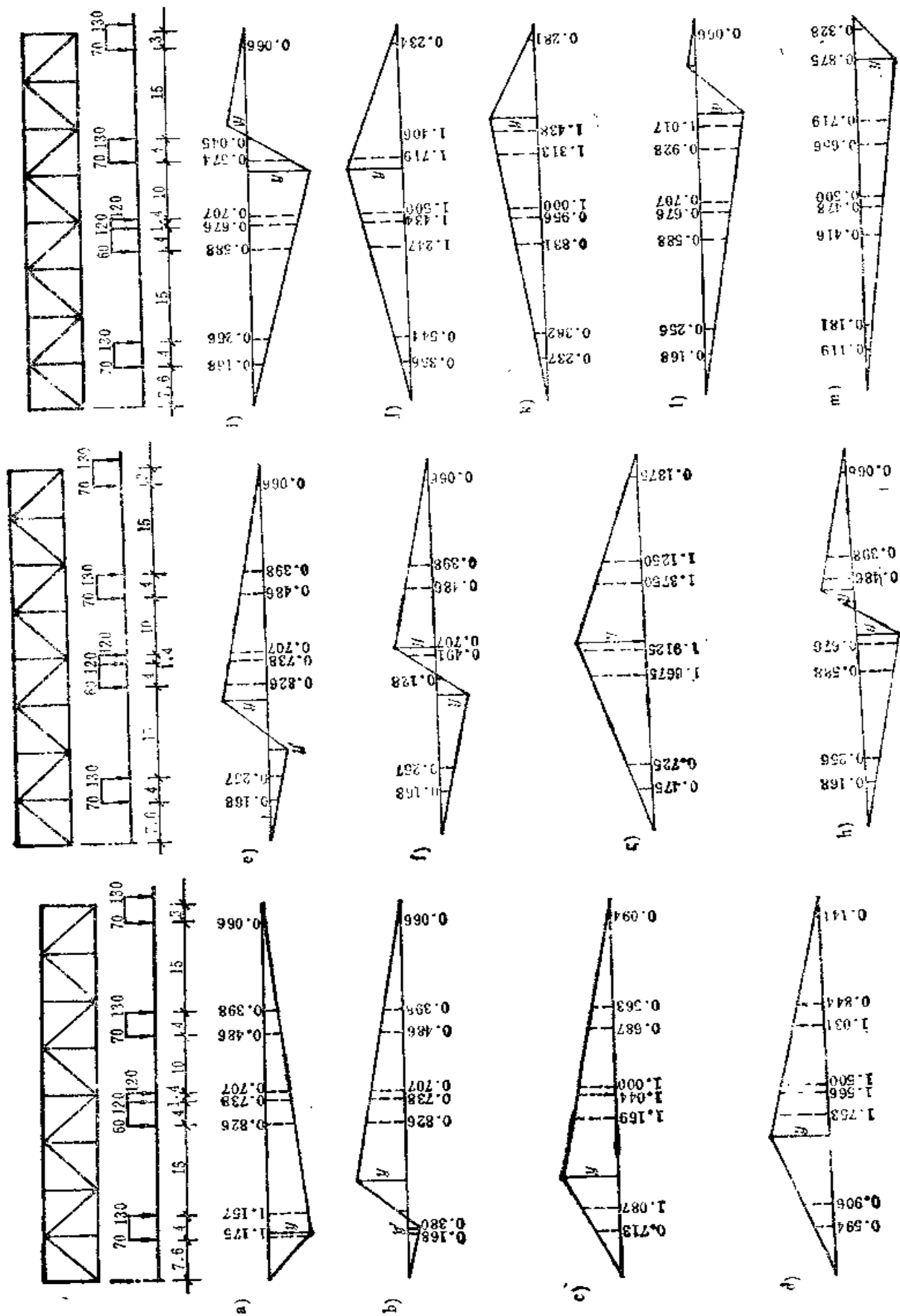


图70 静荷载弯矩计算图 尺寸单位: m

$$y' = 0.354$$

$$\begin{aligned} N^* &= 0.168 \times 70 + 0.257 \times 130 - (0.826 \times 60 + 0.738 \times 120 \\ &\quad + 0.707 \times 120 + 0.486 \times 70 + 0.398 \times 130 + 0.066 \times 70) \\ &= -268.2 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$8. A_{33}E_{34}:$$

$$y = 0.707$$

$$y' = -0.530$$

$$\begin{aligned} N^* &= -(0.168 \times 70 + 0.257 \times 130 + 0.128 \times 60) + (0.491 \times 120 \\ &\quad + 0.707 \times 120 + 0.486 \times 70 + 0.398 \times 130 + 0.066 \times 70) \\ &= 181.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$9. A_{33}A_{34}:$$

$$y = -2.0$$

$$\begin{aligned} N^* &= -(0.475 \times 70 + 0.725 \times 130 + 1.6625 \times 60 + 1.9125 \times 120 \\ &\quad + 2.0 \times 120 + 1.375 \times 70 + 1.125 \times 130 + 0.1875 \times 70) \\ &= -952.4 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$10. A_{34}A_{33}:$$

$$N^* = -952.4 \text{ kN}$$

$$11. E_{34}A_{33'}:$$

$$y = 0.707$$

$$y' = -0.530$$

$$\begin{aligned} N^* &= 0.168 \times 70 + 0.256 \times 130 + 0.588 \times 60 + 0.676 \times 120 \\ &\quad + 0.707 \times 120 - (0.486 \times 70 + 0.398 \times 130 + 0.066 \times 70) \\ &= 155.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$12. E_{32'}A_{33'}:$$

$$y = -0.884$$

$$y' = 0.354$$

$$\begin{aligned} N^* &= -(0.168 \times 70 + 0.256 \times 130 + 0.588 \times 60 + 0.676 \times 120 \\ &\quad + 0.707 \times 120 + 0.574 \times 70 + 0.045 \times 130) + 0.066 \times 70 \\ &= -287.7 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$13. E_{34}E_{32'}:$$

$$y = 1.875$$

$$\begin{aligned} N^* &= 0.356 \times 70 + 0.544 \times 130 + 1.247 \times 60 + 1.434 \times 120 \\ &\quad + 1.5 \times 120 + 1.719 \times 70 + 1.406 \times 130 + 0.234 \times 70 \\ &= 812.0 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$14. A_{33'}A_{31'}:$$

$$y = -1.5$$

$$\begin{aligned} N^* &= -(0.237 \times 70 + 0.362 \times 130 + 0.831 \times 60 + 0.956 \times 120 \\ &\quad + 1.0 \times 120 + 1.313 \times 70 + 1.438 \times 130 + 0.281 \times 70) \\ &= -646.8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$15. E_{32'}A_{31'}:$$

$$y = 1.0607$$

$$y' = -0.1758$$

$$\begin{aligned} N^* &= 0.168 \times 70 + 0.256 \times 130 + 0.588 \times 60 + 0.676 \times 120 \\ &\quad + 0.707 \times 120 + 0.928 \times 70 + 1.017 \times 130 - 0.066 \times 70 \\ &= 438.8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$16. E_{32}, E_{30}:$$

$$y = 0.875$$

$$\begin{aligned} N^* &= 0.119 \times 70 + 0.181 \times 130 + 0.416 \times 60 + 0.478 \times 120 \\ &\quad + 0.5 \times 120 + 0.656 \times 70 + 0.719 \times 130 + 0.328 \times 70 \\ &= 336.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$17. E_{30}, A_{31}:$$

$$N^* = -N_{E_{30}, E_{32}} + \cos \alpha = -475.9 \text{ kN}$$

(四) 求静活载 (汽车-20) 挠度 f_P :

$$N = mN^*, \quad m = 1.653$$

$$f_P = \sum \frac{N_i N l}{EA} = \frac{m}{E} \times \sum \frac{N_i N^* l}{A}$$

$$\begin{aligned} \therefore f_P &= \frac{1.653}{2.1 \times 10^5} \times \left[\frac{-0.7071 \times (-546.0 \times 10^3) \times 11314}{32240} + \frac{0.5 \times 386.1 \times 10^3 \times 1600}{32928} \right. \\ &\quad + \frac{0.7071 \times 351.0 \times 10^3 \times 11314}{15400} + \frac{-1.0 \times (-634.5 \times 10^3) \times 16000}{32400} \\ &\quad + \frac{1.5 \times 824.2 \times 10^3 \times 16000}{30320} + \frac{-0.7071 \times (-268.2 \times 10^3) \times 11314}{17720} \\ &\quad + \frac{0.7071 \times 181.4 \times 10^3 \times 11314}{14440} + \frac{-2.0 \times (-952.4 \times 10^3) \times 16000}{37040} \\ &\quad + \frac{0.7071 \times 155.9 \times 10^3 \times 11314}{14440} + \frac{-0.7071 \times (-287.7 \times 10^3) \times 11314}{17720} \\ &\quad + \frac{1.5 \times 842.0 \times 10^3 \times 16000}{30320} + \frac{-1.0 \times (-646.8 \times 10^3) \times 16000}{32400} \\ &\quad + \frac{0.7071 \times 438.8 \times 10^3 \times 11314}{15400} + \frac{0.5 \times 336.5 \times 10^3 \times 16000}{32928} \\ &\quad \left. + \frac{-0.7071 \times (-475.9 \times 10^3) \times 11314}{15400} \right] \\ &= 31.9 \text{ mm} \end{aligned}$$

(五) 求跨中静活载 (汽车-20 + 人群) 总挠度

$$f = f_P + f_R$$

$$= 31.9 + 7.3 = 39.2 \text{ mm}$$

$$[f] = \frac{L}{600} = \frac{64 \times 10^3}{600} = 106.7 \text{ mm} > f$$

满足刚度要求。

八、支座的设计和计算

（一） 支座上的荷载组合

1. 恒载: $S_1 = 1575 \text{ kN}$

2. 活载: 汽车荷载的纵向布置见图71。

$$\begin{aligned}\sum \eta_i \cdot p_i &= 120 \times 1 + 120 \times 0.978 + 60 \times 0.916 + 130 \times 0.681 + 70 \times 0.619 \\ &\quad + 130 \times 0.384 + 70 \times 0.322 + 130 \times 0.0875 + 70 \times 0.025 \\ &= 509.84 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_2 &= \sum \eta_i \cdot p_i \cdot (1 + \mu) \cdot m \\ &= 509.84 \times 1.148 \times 1.653 \\ &= 967.5 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}S_3 &= \frac{1}{2} q_{\text{人}} \cdot l \cdot m_{\text{人}} \\ &= \frac{1}{2} \times 5.0 \times 64 \times 1.092 \\ &= 174.7 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\therefore S_1 &= S_1 + S_2 + S_3 \\ &= 1575 + 967.5 + 174.7 \\ &= 2717.2 \text{ kN}\end{aligned}$$

3. 制动力

$$T = 180 \text{ kN} \quad (\text{重车的30\%控制})$$

4. 风力 (横向风力引起的支反力)

$$N_w' = \frac{H_w^s \times 4.0}{15.2}$$

$$= \pm \frac{(2.09 + 2.47) \times 64 \times \frac{1}{2} \times 4.0}{15.2}$$

$$= \pm 38.4 \text{ kN}$$

荷载组合

$$N = S_1 + N_w' = 2717.2 + 38.4 = 2755.6 \text{ kN}$$

（二） 支座尺寸的确定 (选用盆式橡胶支座)

支座尺寸根据上海工程橡胶厂产品型号选用 (如图72所示)

GPZ—F—GD—3000

GPZ—F—ZX—3000

其中 GPZ——表示公路盆式橡胶支座;

F——表示负温 (低温);

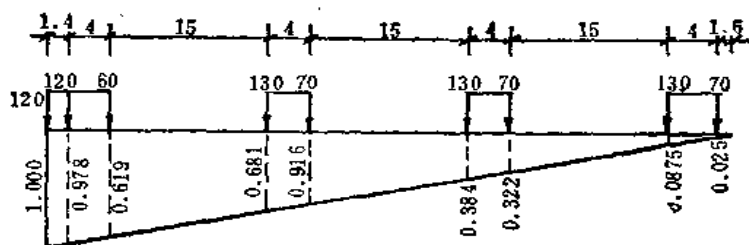


图71 尺寸单位: m

GD ——表示固定支座；
 ZX ——表示纵向活动支座；
 3000 ——表示支座反力 (kN)。

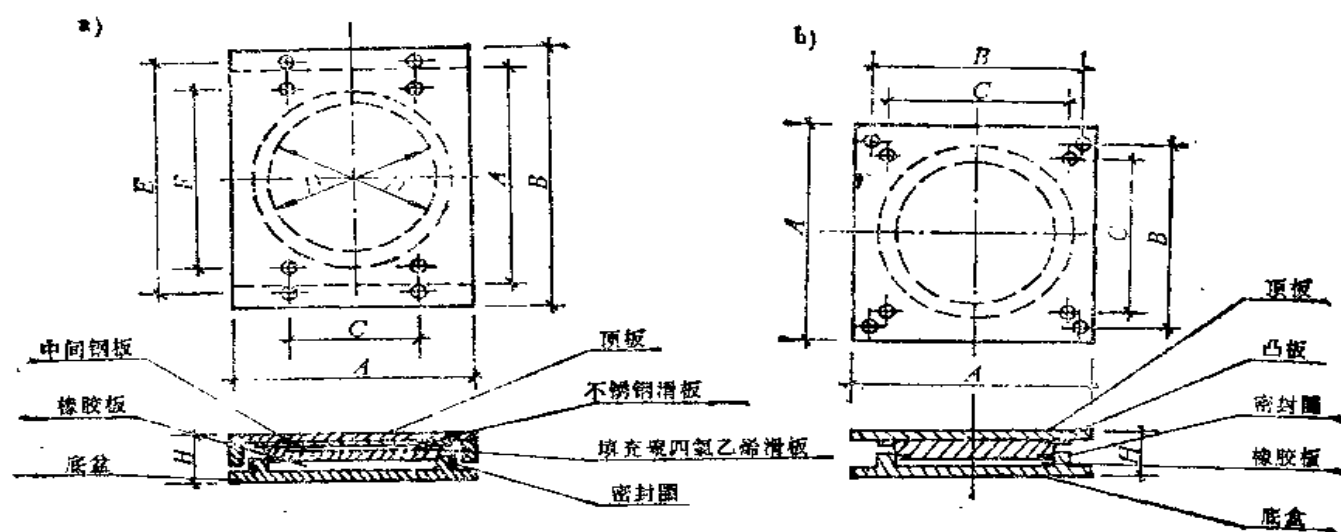


图72 GPZ系列盆式橡胶支座构造图
 a)-ZX类型 (纵向活动支座) b)-GD类型 (固定支座)

GPZ—F—GD—3000的主要尺寸：

$A = 590\text{mm}$, $B = 513\text{mm}$, $C = 440\text{mm}$, $H = 112\text{mm}$

GPZ—F—ZX—3000的主要尺寸：

$A = 590\text{mm}$, $A_1 = 720\text{mm}$, $B = 325\text{mm}$, $B_1 = 650\text{mm}$, $F = 490\text{mm}$, $H = 112\text{mm}$ 。

附录

(摘自交通部标准JTJ025—86公路桥涵钢结构及木结构设计规范)

钢材的容许应力 (MPa)

附录表 1

应 力 种 类	钢 号						
	A3	16Mn	ZG25 I	ZG35 I	ZG45 I	45号钢	35号铸钢
轴向应力(σ)	140	200	130	150	170	210	—
弯曲应力(σ_w)	145	210	135	155	180	220	220
剪应力(τ)	85	120	80	90	100	125	110
端部承压应力(磨光顶紧)	210	300	—	—	—	—	—
紧密接触的承压应力(接触圆弧中心角为 $2 \times 45^\circ$)	70	100	65	75	85	105	105
自由接触的承压应力	5.5	8.0	5.0	6.0	7.0	8.5	8.5
节点销子的孔壁承压应力	210	300	135	225	265	—	180
节点销子的弯应力	240	340	—	—	—	360	—

注: ①表列16Mn钢的容许应力与屈服点340MPa对应; 如按国标(GB) 1591—79的规定, 由于厚度影响, 屈服点有变动时, 各类容许应力可按屈服点的比例予以调整。
 ②验算紧密接触和自由接触的承压应力时, 其面积取枢轴或辊轴的直径及其长度的乘积。其容许承压应力取两接触钢材中强度较低者。
 ③节点销子的孔壁容许承压应力系指被连接件钢材的孔壁承压应力; 节点销子的容许弯应力仅适用于被连接构件之间只有极小缝隙的情况。

竖向挠度容许值

附录表 2

桥 梁 结 构 型 式	容 许 挠 度 值
简支或连续桁架	$\frac{1}{800} L$
简支或连续板梁	$\frac{1}{600} L$
梁的悬臂端部	$\frac{1}{300} L_1$
悬 索 桥	$\frac{1}{400} L$

表中: L ——计算跨径; L_1 ——悬臂长度。

轴心受压构件的纵向弯曲系数

附录表 8

焊接H形 (验算翼板平面内总稳定性) 及焊接T形构件			焊接H形 (验算腹板平面内总稳定性)、焊接箱形及铆接构件		
λ	ϕ_1		λ	ϕ_1	
	A3	16 Mn		A3	16 Mn
0~30	0.900	0.897	0~30	0.900	0.900
40	0.877	0.841	40	0.900	0.877
50	0.828	0.775	50	0.867	0.826
60	0.772	0.705	60	0.824	0.768
70	0.713	0.630	70	0.773	0.695
80	0.651	0.547	80	0.715	0.616
90	0.588	0.483	90	0.651	0.529
100	0.521	0.426	100	0.581	0.450
110	0.469	0.376	110	0.510	0.391
120	0.422	0.330	120	0.446	0.333
130	0.380	0.288	130	0.396	0.291
140	0.341	0.248	140	0.347	0.258
150	0.305	0.222	150	0.308	0.227

注: λ ——构件长细比各种构件或连接的疲劳容许应力 $[\sigma_s]$

附录表 4

容许应力类别	疲 劳 容 许 应 力 MPa		连 接 类 别 从 略
	最大应力(绝对值)为拉应力	最大应力(绝对值)为压应力	
A	$\frac{245}{1-0.6\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	$\frac{245}{0.6-\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	...
B	$\frac{190}{1-0.6\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	$\frac{190}{0.6-\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	...
C	$\frac{165}{1-0.6\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	$\frac{165}{0.6-\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	...
D	$\frac{145}{1-0.6\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	$\frac{145}{0.6-\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	...
E	$\frac{110}{1-0.6\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	$\frac{110}{0.6-\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	...
F	$\frac{70}{1-0.6\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	$\frac{70}{0.6-\rho}$ 但 $\leq [\sigma]$	...

注: $[\sigma]$ ——钢材的基本容许应力, 见表1.2.5;

$$\rho = \frac{|\sigma|_{\min}}{|\sigma|_{\max}} \quad (\text{同号应力为正, 反号应力为负}).$$

杆件的自由长度

附录表 5

杆 件		弯曲平面		附 注
		平面内	平面外	
主 桁	弦 杆	l_0	l_0	l ——主桁各杆件的几何长度(即杆端节点中距),如杆件全长被横向结构分割时,则为其较长的一段长度。 l_1 ——从相交点至杆端节点中较长的一段长度。 l_2 ——纵向(横向)联结系杆件轴线与节点板连在主桁杆件的固着线交点之间的距离。
	端斜杆、端立杆、连续梁中间支点处立柱或斜杆做为桥门架时	$0.9l_0$	l_0	
	无交叉和无交叉	$0.8l_0$	l_0	
	与杆件相交或相交叉(不包括与拉杆相交叉)	l_1	l_1	
桁架的腹杆	与拉杆相交叉	l_1	$0.7l_0$	
	无 交 叉	l_2	l_2	
	与拉杆相交叉	l_2	$0.7l_2$	
	与杆件相交或相交叉(不包括与拉杆相交叉)	l_1	l_1	
纵向及横向联结系				

杆件容许最大长细比

杆 件		长 细 比
主 桁 杆 件	受压弦杆	100
	受压或受压—拉腹杆	
	仅受拉力的弦杆	130
	仅受拉力的腹杆	180
联结系杆件	纵向联结系、支点处横向联结系和制动联结系的受压或受压—拉杆件	130
	中间横向联结系的受压或受压—拉杆件	150
	各种联结系的受拉杆件	200

高强度螺栓的预拉力(kN)

附录表 6

直 径	M20	M22	M24
预 拉 力	155	190	225

摩 擦 系 数 μ 值

附录表 7

在连接处杆件接触面的处理方法	杆 件 的 钢 号	
	A3钢	16Mn钢
喷 砂	0.45	0.55
喷砂后涂无机富锌漆	0.35	0.40
轧制表面、钢丝刷清理浮锈(或未经处理,但轧制表面干净)	0.30	0.35

组合压杆单板（或板束）的宽度 b 与厚度 δ 之比

附录表 8

序 号	杆件类型及板束位置		杆件长细比	b/δ	
				A3	16Mn
1	箱形杆	桁梁平面内	≤ 60 > 60	≤ 35 0.6λ , 但不大于50	≤ 30 0.5λ , 但不大于45
2	箱形杆 H形杆	垂直于桁梁平面	≤ 50 > 50	≤ 35 $0.6\lambda + 5$, 但不大于50	≤ 30 $0.5\lambda + 5$, 但不大于45
3	H形或T形 (伸出肢无镶边)	铆接杆		≤ 12	≤ 10
		焊接杆	≤ 60	≤ 14 $0.15\lambda + 5$	≤ 12 0.2λ
			> 60	主要杆件不大于18 次要杆件不大于20	
4	铆接杆角钢 伸出肢	受轴向力的主要杆件		≤ 12	
		支撑及次要杆件		≤ 16	

注：当压杆平均应力 σ 小于容许应力 $\phi(\sigma)$ 时，表中 b/δ 值除铆接杆无镶边的伸出肢及角钢的伸出肢外，可按规范放宽。其规定为：根据该杆件计算压应力与基本容许应力之比 ϕ 在附录表3中查出相应的 λ 值，再根据此 λ 值按本表算出该杆件容许的 b/δ 值。

钢桥的冲击系数

附录表 9

结 构 种 类	冲 击 系 数 μ
主桁（梁、拱）、联合梁、桥面系、钢墩台等	$\frac{15}{37.5 + L}$
吊桥的主桁、主索或主链、塔架	$\frac{50}{70 + L}$

注：①对于简支的主梁、主桁，拱桥的拱圈等主要构件， L 为计算跨径长度。

②对于悬臂梁、连续梁、刚构、桥面系构件、仅受局部荷载的构件以及墩台等， L 为其相应内力影响线的荷载长度（即为各荷载区段长度之和）。

③当 L 值在附录表9所列数值之间时，冲击系数可用直线内插法求得。

参 考 文 献

- (1) 中华人民共和国交通部标准, 公路桥涵设计通用规范(JTJ021—89), 北京: 人民交通出版社, 1989.
- (2) 中华人民共和国交通部标准, 公路桥涵钢结构及木结构设计规范(JTJ025—86), 北京: 人民交通出版社, 1985.
- (3) 中华人民共和国铁道部标准, 铁路桥涵设计规范(TBJ2—85), 北京: 人民铁道出版社, 1986.
- (4) 周远棣、徐君兰, 钢桥, 北京: 人民交通出版社, 1991.
- (5) [美]C. P. 汉斯, D. A. 富尔梅治合著, 现代公路钢桥设计, 北京: 人民交通出版社.
- (6) [日]小西一郎, 钢桥, 第一分册, 北京: 人民铁道出版社, 1980.
- (7) 交通部第二公路勘察设计院, 公路桥涵标准车辆等代荷载, 北京: 人民交通出版社, 1974.