

交通标志结构设计的理论与方法^{*}

刘会学

(交通部公路科学研究所 北京 100088)

摘要 介绍交通标志结构设计的原则、理论,提出结构型式选择和对同一结构型式的标志进行合理分组的方法,并对交通标志结构的优化设计提出一些建议。
关键词 交通标志 结构设计 优化设计

The Theory and Method of Traffic Sign Structure Design

Liu Huixue

(Research Institute of Highway Beijing)

Abstract The principle and theory are introduced in this paper in a relatively systematic and comprehensive way. Methods are put forward about the choice of sign structure type and the rational grouping of signs with the same type. At last, the paper offers some proposals for the optimization design of traffic sign structures.
Key words Traffic sign Structure design Optimization design

0 引言

交通标志是通过一定的结构支撑方式、用图形符号和文字向道路使用者传递特定信息、用以管理交通的安全设施。为使交通标志在各种自然环境下,都能固定不间断地发挥功能,在结构设计时,就要充分考虑到其在承受荷载时的力学强度、刚度和稳定性。同时,由于交通标志为道路的一部分,在进行结构设计时,还要兼顾其对道路美化所起的作用,在可能条件下,尽量使其结构雄伟、壮观,与道路沿线环境相协调。

交通标志,作为具有特定功能的结构物,有别于道路、桥梁和各类工业与民用建筑,在我国现有各类设计规范中没有专门提到有关交通标志的设计要求,本文通过作者几年来的摸索和实践,对这类结构物的设计理论和方法进行了总结,同时提出一些个人观点和看法。

1 交通标志结构分类

交通标志按其所处位置和标志板的支撑方式主要分为 3 类:

1. 柱式 位于道路土路肩边缘线外侧。当标志板安装在一根立柱上时,称为单柱式;安

^{*}收稿日期 1996-10-17 作者: 男, 1967年生, 助理研究员

装两根立柱上时，称为双柱式，如图 1 所示。

2 悬臂式 标志板位于道路上方，安装在悬臂上。当标志位于路侧时，仅在一侧设置标志板，称为单悬臂式；当标志位于道路分岔口或三角地带时，两侧均设置标志板，称为双悬臂式，如图 2 所示。

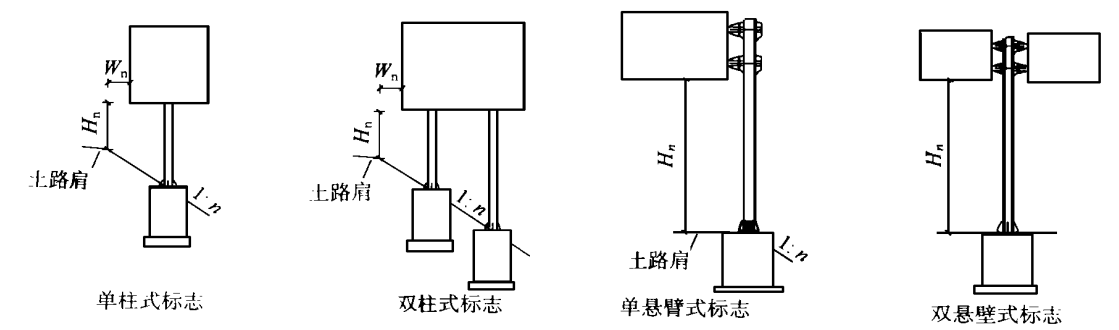


图 1 柱式标志

图中， $W_n \geq 250\text{mm}$ ； $H_n = 1800 \sim 2500\text{mm}$

图 2 悬臂式标志

图中 $H_n = 5000 (5500) \text{mm}$

3. 门架式 标志板位于道路正上方，安装在门架上，如图 3 所示

2 设计理论

2.1 基本假设

1. 风载方向 交通标志所受外荷载主要为风载，假设仅考虑风载方向与标志板平面垂直的情况。

2. 双柱式标志 假设两立柱分别承受一半的风载，据此双柱式标志的计算可简化为单柱式的型式。

3. 悬臂式标志 横梁多于一根时，假设风载由各横梁平均承担；对双悬臂标志，假设两标志板板面相同。

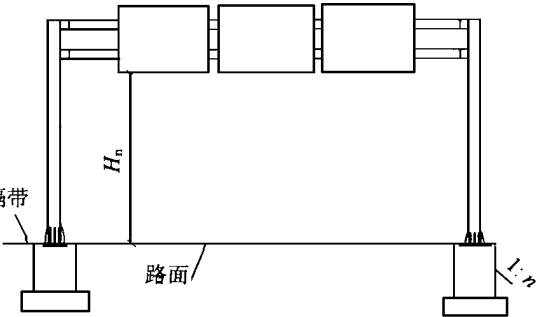


图 3 门架式标志

图中， $H_n = 5000 (5500) \text{mm}$

4. 门架式标志 假设门架式标志结构所受荷载与其中心线对称。

5. 标志基础 标志的混凝土基础埋置深度较小（一般小于 3m），假设基础四周土的摩阻力和弹性抗力忽略不计。

2.2 设计原则

交通标志的上部结构一般采用钢结构作为承载结构物，应采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，而下部结构采用混凝土基础，采用基础工程的理论设计。

1. 承载能力极限状态的计算，应使荷载效应不利组合的设计值小于或等于结构抗力效应的设计值，按荷载效应基本组合进行强度和稳定性设计时表达式为

$$V_0(e_{Gd} + e_{Qd}) \leq f_d \tag{1}$$

式中， V_0 为结构重要性系数，交通标志结构安全等级按二级考虑，该系数取为 1.0； e_{Gd} 为永

久荷载 (结构重量) 的设计值 G_d 在结构构件截面或连接中产生的应力效应, $G_d = V_G \cdot G$; V_G 为永久荷载 (结构重量) 分项系数, 当永久荷载效应对结构构件或连接的承载能力不利时, $V_G = 1.2$, 有利时, $V_G = 1.0$ (计算柱脚螺栓时, $V_G = 0.9$); G 为永久荷载的标准值; e_{Qd} 为可变荷载 (主要为风载) 的设计值 Q_d 在结构构件截面或连接中产生的应力效应, $Q_d = V_Q \cdot Q$; V_Q 为可变荷载 (主要为风载) 分项系数, 一般情况下, 采用 1.4; Q 为可变荷载的标准值; f_d 为结构构件和连接的强度设计值, 可通过查阅材料手册得到。

2. 正常使用极限状态的计算, 应考虑荷载的短期效应组合, 表达式为

$$v = v_G + v_Q \leq [v] \quad (2)$$

式中, v 为交通标志结构或构件中产生的变形值; v_G 为永久荷载 (结构重量) 标准值在交通标志结构或构件中产生的变形值; v_Q 为可变荷载 (风载) 标准值在交通标志结构或构件中产生的变形值; $[v]$ 为结构构件的容许变形值。

3. 一般情况下, 交通标志结构的基础不必作变形验算。按地基承载力确定基础底面积及埋深时, 传至基础底面上的荷载应按基本组合。土体自重分项系数为 1.0, 按实际的重力密度计算。

2.3 设计计算

2.3.1 荷载的计算与组合

1. 标志板所受的风载

$$F_{wb} = V_0 V_Q \left[\left(\frac{1}{2} \rho C V^2 \sum_{i=1}^n (W_{bi} \times H_{bi}) \right) \right] / 1000 \quad (3)$$

式中, F_{wb} 为标志板所受的风载, kN; V_0 见 2.2 节; ρ 为空气密度, 一般取 $1.225 \text{ N} \cdot \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$; C 为风力系数, 标志板 $C = 1.2$; V 为风速, m/s, 应选用当地比较空旷平坦地面上离地 10m 高统计所得的 30 年一遇 10min 平均最大风速值, V 值不得小于 20m/s; n 为标志板的数量; W_{bi} 为第 i 块标志板的宽度; H_{bi} 为第 i 块标志板的高度。

2. 立柱 (横梁) 所受的风载

$$F_{wp} = V_0 V_Q \left[\left(\frac{1}{2} \rho C V^2 \right) (W_p \times H_{pn}) \right] / 1000 \quad (4)$$

式中, F_{wp} 为单根立柱 (横梁) 所受的风载, kN; C 为风力系数, 圆管型立柱 $C = 0.8$, 薄壁矩形立柱 $C = 1.4$, 其它型钢及组合型立柱 $C = 1.3$; n 为标志板的数量; W_p 为立柱 (横梁) 的迎风面宽度; H_{pn} 为立柱 (横梁) 的迎风面高度, 注意应扣除被标志板遮挡的部分; 其它参数意义同前。

2.3.2 立柱 (横梁) 的设计与强度验算

1. 柱式 双悬臂式标志的立柱设计与验算

立柱在这类结构中承受横向力作用, 在其横截面上将产生正应力和剪应力, 应分别进行验算。另外, 还应处于复杂应力状态下的危险点进行验算, 然后根据形状改变比能理论 (第四强度理论), 建立强度条件。

2. 悬臂式标志的横梁设计与验算

与立柱相比, 横梁在设计及验算时, 还应考虑其自重 (永久荷载) 的影响, 由于重力与风力作用方向不同, 因此应对其进行组合或叠加。

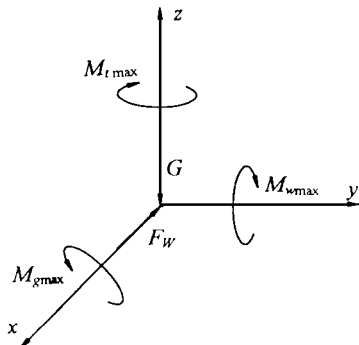


图 4

相应地, 横梁根部所承受的剪力亦有两个, 一个是由风载引起 (Q_w), 一个是由自重引起 (Q_G), 由于不同方向、不同力产生的最大剪应力值或同一位置由不同力产生的剪应力值有一定差距, 因此在进行验算时, 应取其最大值

横梁根部危险点的位置与立柱相同, 在计算危险点的正应力和剪应力时, 应注意作用力的组合或叠加, 最后根据第四强度理论建立强度条件。

3. 单悬臂式标志的立柱设计与验算

单悬臂式标志的立柱根部受到两个力和三个力矩的作用, 如图 4所示

$$\text{风力} \quad F_w = F_{wb} + F_{wp} + F_{whp} \times n_{beam} \quad (5)$$

$$\text{重力} \quad G = V_0 V_G \sum_{i=1}^{nw} (W_{bi} \times H_{bi} \times T_{bi} \times u_{bi}) + H_{hp} \times n_{beam} \times u_t + H_p \times u_p \quad (6)$$

$$\text{由风载引起的弯矩} \quad M_{wmax} = F_{wb} \times [H_p - (\sum_{i=1}^{nh} H_{bi}) / 2] + F_{wp} \times H_p / 2 \quad (7)$$

由风载引起的扭矩 (大小等于所有横梁根部承受的弯矩)

$$M_{tmax} = F_{wb} \times [H_{hp} - \sum_{i=1}^{nw} W_{bi}) / 2] + F_{whp} \times [H_{hp} - \sum_{i=1}^{nw} W_{hi}) / 2] \quad (8)$$

由横梁和标志板自重引起的弯矩为

$$M_{gmax} = V_0 V_G \sum_{i=1}^{nw} [W_{bi} \times H_{bi} \times T_{bi} \times u_{bi} \times (H_{hp} - W_{bi} / 2)] + H_{hp} \times u_t \times (H_{hp} / 2) \times n_{beam} \quad (9)$$

式 (5~9) 中, n_{beam} 为横梁的数目; n_w 为沿横梁长度方向的标志板数量; u_i 为第 i 块标志板的比重, kN / m^3 ; u_t 、 u_p 为横梁、立柱单位长度的重量, kN / m ; n_h 为沿立柱高度方向的标志板数量

一般情况下, 标志立柱属于薄壁杆件。由于单悬臂标志立柱所受外力不通过截面的剪力中心, 因此它将同时受到弯曲和扭转的共同作用, 并且, 除圆管型立柱外, 其它型式的立柱受扭后, 其横截面在纵轴方向不能自由地凸凹翘曲, 纵向纤维有轴向变形, 这种扭转称为约束扭转。此时, 薄壁截面除有弯曲应力外, 还将产生可以与基本应力达到相同数量级的扭转正应力和扭转剪应力。

因此, 单悬臂型标志结构立柱的强度验算, 分为两部分: 一部分为按横力弯曲的方法进行计算, 另一部分按约束扭转的薄壁杆件理论计算 (圆管型立柱除外), 然后将结果进行叠加。横力弯曲的方法同横梁, 这里主要介绍扭转正应力和扭转剪应力的计算。

根据薄壁杆件的约束扭转理论, 扭转正应力和扭转剪应力分别为

$$\sigma_w = \frac{B_w \bar{w}}{I_w} \quad (10)$$

$$\tau = \frac{L}{KW} - \frac{M_w \bar{S}_w}{W} \quad (11)$$

式中, σ_w 为约束扭转正应力, MPa ; B_w 为双力矩, 在截面内自相平衡, kNm^2 ; $\bar{w}$ 为广义扇性面积, $\bar{w} = w - \bar{c}_s$, w 为以扭转中心为极点的扇性面积, m^2 , $\bar{c}_s = \frac{K}{\oint \frac{ds}{W}}$, $\bar{S}_w$ 为广义

主扇性惯矩, $I_w = \oint \bar{w}^2 dF$, m^6 ; τ 为约束扭转剪应力, MPa ; L 为立柱所受扭矩, $L = M_{tmax}$; K 为立柱横截面中线所围面积的 2 倍, m^2 ; W 为立柱横截面的壁厚, m ; M_w 为弯扭力矩, M_w

$$= \frac{dB_w^-}{dz}, \text{ kNm}; \quad \bar{S}_w = S_w^- - \frac{1}{K} \oint S_w^- dw, \text{ 而 } S_w^- = \int_0^s \bar{w} dF \text{ 为广义扇性静矩}$$

当扭矩在立柱长度方向为定值时, 设沿立柱长度方向为 Z 向, 自由端 $Z=0$, 则扭转角与 Z 的关系为

$$\theta = C_1 + C_2 Z + C_3 \text{sh}(KZ) + C_4 \text{ch}(KZ) \quad (12)$$

式中, C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 均为积分常数

$$\theta' = C_2 + K [C_3 \text{ch}(KZ) + C_4 \text{sh}(KZ)] \quad (13)$$

又

$$B_w^- = - \frac{EI_w}{L} \theta'' = - G I_k [C_3 \text{sh}(KZ) + C_4 \text{ch}(KZ)] \quad (14)$$

$$L = G I_k \theta' - \frac{EI_w}{L} \theta''' = G I_k C_2 \quad (15)$$

$$\text{式 (14-15) 中, } I_k = \frac{K^2}{\oint \frac{ds}{W}}; \quad - = 1 - \frac{I_k}{\oint h^2 df} \text{ 为翘曲系数; 式 (12-15) 中 } K = \sqrt{\frac{G I_k}{EI_w}}$$

根据单悬臂梁的特点可知 $B_{w0}^- = 0$; $\theta_{Hp} = 0$; $\theta'_{Hp} = 0$; $L = L_0 (M_{\text{max}})$;

将以上关系分别代入 (12-15), 可求得各积分常数为 $C_4 = 0$; $C_2 = \frac{L_0}{G I_k}$; $C_3 =$

$$- \frac{L_0}{K G I_k \text{ch}(K H_p)}; C_1 = - C_2 H - C_3 \text{sh}(K H_p) - C_4 \text{ch}(K H_p)$$

将有关参数代入 (14) 式经整理得

$$B_w^- = \frac{L_0 \text{sh}(KZ)}{K \text{ch}(K H_p)}, \quad M_w = \frac{dB_w^-}{dz} = \frac{L_0 \text{ch}(KZ)}{\text{ch}(K H_p)}$$

将以上两式代入式 (10) 和 (11), 即可求得扭转正应力和扭转剪应力。

4. 门架式标志的立柱与横梁设计与验算

门架式标志的结构型式较多, 以图 3 所示双横梁双立柱形式的门架为例, 在恒载作用下, 门架的任一截面上只产生绕门架法线方向的弯矩和门架平面内的轴力、剪力; 在风载作用下, 门架的任一截面上只有三种内力: 绕位于门架平面内主轴的弯矩、垂直于门架平面的剪力和扭矩。根据结构的对称性, 分别选择图 5 (a)、(b) 为基本结构, 采用力法进行计算

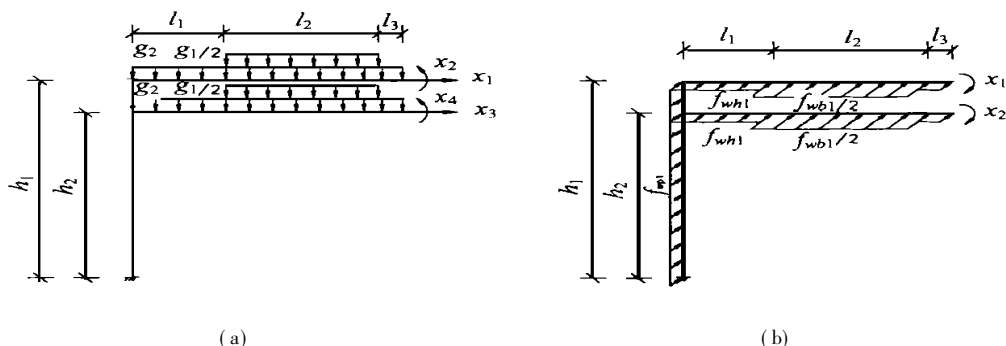


图 5

未知力求出后, 即可按叠加法求得各横梁和立柱的弯矩、扭矩和剪力等内力, 然后再根据前述方法进行横梁和立柱的设计与验算。

2.3.3 立柱 (横梁) 的变形验算

根据经验,按照强度条件设计的标志立柱或横梁往往过于单薄,此时,刚度条件可能起控制作用。因此,对于各类交通标志结构,构件的变形验算是必不可少的,这也是其有别于其它土建结构物的一个显著特点。对于悬臂式和门架式的标志,由于在自重作用下,横梁会自然下垂,因此变形的验算也可为横梁预拱度的设计提供依据。

在工程实践中,立柱或横梁的挠度容许值通常用容许的挠度与其跨长 $[\frac{v}{H_p}]$ 作为标准。土建工程方面, $[\frac{v}{H_p}]$ 的值常限制在 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$ 范围内。根据标志结构的具体特点, $[\frac{v}{H_p}]$ 的值在 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{150}$ 范围内选择,既能满足基本使用要求,又不致于过分提高造价。

立柱或横梁的变形验算,可分别求得每项荷载单独作用下梁的挠度 δ 和转角 θ ,然后按照叠加原理进行叠加。

2.3.4 立柱与横梁的连接螺栓、立柱与基础的地脚螺栓的设计与强度验算

作为连接件的普通连接螺栓和地脚螺栓均将承受拉力的作用,应使其所承受的最大拉力满足承载力设计值的要求。

1. 柱式、双悬臂式标志柱与基础的连接

立柱根部承受轴心力(自重)和力矩(由风载引起的弯矩)的作用,应使

$$N_{\max} \leq N_t^b$$

式中, $N_{\max}$ 为单个地脚螺栓所承受的最大拉力值; N_t^b 为单个地脚螺栓的承载力设计值。

2. 悬臂式标志立柱与横梁的连接

横梁根部承受由水平方向的风载引起的剪力和弯矩、由垂直方向的重力引起的剪力和弯矩,不同方向的剪力和弯矩经组合后,应满足

$$\left(\frac{N_v}{N_v^b} \right)^2 + \left(\frac{N_{\max}}{N_t^b} \right)^2 \leq 1 \quad (16)$$

$$N_v \leq N_c^b \quad (17)$$

式中, N_v 为每个普通螺栓所承受的剪力平均值; N_v^b 为每个普通螺栓按受剪计算的承载力设计值; N_c^b 为每个普通螺栓按承压计算的承载力设计值。

3. 单悬臂式标志立柱与基础、门架式标志立柱与横梁和立柱与基础的连接

单悬臂式标志立柱与基础连接处、门架式标志立柱与横梁和立柱与基础连接处将承受由水平方向的风载引起的剪力和弯矩以及扭矩、由垂直方向的重力引起的轴心力和弯矩,应满足的强度条件同式(16)、(17),但 N_v 应计及扭矩的影响。

2.3.5 基础的设计与验算

1. 基础的设置位置

交通标志的基础,一般设置在压实度良好的土路堤或三角地带位置处,当所处位置不宜更改时,也可以设置在挖方路段的碎落台或大型桥梁上。

2. 基础的设计

交通标志的基础,埋深一般在3m以下,属于浅基础,可以设计成不必配置受力钢筋的刚性基础型式;位于桥梁上的标志,应通过计算配置必要的受力钢筋;当刚性基础过于庞大或标志位置处土质不良时,可以考虑设计桩基础。

3. 基础的验算

(1) 基底应力计算 确定基础的埋置深度和构造尺寸后,应先根据最不利而且有可能情

况下的荷载组合,计算基底的应力,应尽量避免基底出现负应力(基底负应力面积不大于全部面积的 $1/4$),否则应考虑基底应力的重分布。基底发生的应力应不超过地基持力层的强度即地基容许承载力。

(2) 基底合力偏心距验算 基底合力偏心距应不超过基底的核心半径,使基底应力尽可能分布比较均匀,以免基底两侧应力相差过大,基础产生较大的不均匀沉降。

(3) 基础倾覆稳定性验算 应使抗倾覆稳定系数大于 $1.1 \sim 1.3$

(4) 基础滑动稳定性验算 应使抗滑动稳定系数大于 $1.2 \sim 1.3$

3 设计方法

在我国在建和已建的高等级公路中,交通标志设置的数量非常巨大,平均每 km 在 $8 \sim 12$ 块左右,标志结构在整个交通工程中占有较大的投资比例。在标志结构设计时,首先要选择恰当的结构型式,然后进行合理的分组,最后根据设计理论设计出安全、雄伟而又经济的标志结构。

1. 结构型式的选择

交通标志结构型式的选择,应主要考虑到标志所提供信息的重要性、标志板面的尺寸、道路的交通量和车型构成以及道路条件等因素

① 中小型尺寸的警告、禁令、指示、指路标志一般采用柱式结构(单柱型),如路侧具有安装条件,大型指路标志可采用双柱式结构;

② 当道路较宽、交通量较大、外侧车道大型车辆阻挡内侧车道小型车辆视线时,或者路侧不具有安装条件(如挖方路段、桥梁路段等)时,可采用悬臂式结构;

③ 下列几种情况可设置门架式标志:

在大型、复杂的互通式枢纽和立交附近,为防止车辆误驶,而需指示每条车道的功能或者去向时;

某些互通式立交,主线上每个方向均设有至少两个出口,需要逐一指明出口去向时;

当道路较宽、交通量较大、大型车辆混入率较高,以至阻挡内侧车道的车辆驾驶员发现路侧标志的重要信息时;

当路侧设置标志空间受限制时,也可以考虑设置门架式标志。

从造价角度讲,柱式最经济,门架式最昂贵,悬臂式介于二者之间。所以,在满足功能要求的前提下,尽可能采用造价低廉的支撑方式来设置标志。

2. 合理分组

由于标志数量繁多,同一结构类型的标志又可能包括若干板面尺寸,具有同一板面尺寸的标志数量又各不相同。理想的设计方法应是对所出现的各种板面尺寸的标志分别进行上部结构和下部结构的设计,以期达到物尽其用,但这样做不但使设计工作量大大增加,更重要的是给材料的采购、结构的施工带来很大麻烦,容易引起混乱。因此,应对同一结构类型标志进行合理分组,使种类尽量减少同时又能尽量降低总造价。一般情况下,结构的分组数以 $3 \sim 5$ 组为宜。

以单柱型为例,设某高速公路设置了 10 种单柱型板面,每种板面的尺寸和数量如表 1 所示。

如将表 1 的单柱型标志分为 3 组,可采用如下方法:

(1) 根据板面面积进行分组, 则各组的板面面积差为 $\Delta = (S_{\max} - S_{\min}) = (6.00 - 0.62) / 3 = 1.79$, 因此, 三类板面临界值分别为: 6.00, 4.21, 2.42, 采用这三个数据分别进行结构设计, 板面面积位于其间的标志采用与上界面积值同样的结构。近似认为同一组标志的立柱基础造价相同, 所不同的是标志板和反光膜的造价。据此可得到该单柱型标志结构的一个总造价 C_{ost1}

(2) 根据标志数量进行分组。表 1 中, 共有单柱型标志 $E_n = 30 + 20 + \dots + 7 = 319$, 则每一组平均为 $319 / 3 = 106$ 。于是, 编号为 1~4 的标志为一组, 数量为 104; 编号为 5~8 的为为一组, 数量为 148; 编号为 9~10 的为为一组, 数量为 67。根据同一组中板面面积最大的标志进行结构设计, 则可得到另一个总造价 C_{ost2}

(3) 分组方法还可视板面尺寸采用跳跃式面积差的方法, 如同样将上述单柱型标志分为三组, 面积差采用两个 3.00、1.50, 则分组情况为 6.00、3.00、1.50, 这样又可得到一个总造价 C_{ost3} 。最后, 选取总造价最低的方案为最佳方案

以上以单柱型标志为例说明了标志合理分组的方法, 其它类型的标志结构可参照使用。

3. 结构设计

交通标志的结构型式, 分组确定后, 即可按本文所述设计理论进行标志结构的设计、计算和验算, 由于涉及美观问题, 因此, 结构设计应与结构绘图结合起来进行优化设计。

4 结束语

交通标志的结构设计是一项繁复的工作。首先, 它必须能在各种自然环境下固定不间断地发挥信息传递、交通管理的功能; 其次, 它所在位置处的道路条件、交通条件可能千变万化, 而标志所要传递的信息也可能多种多样, 这就使得标志工程的数量非常巨大、设置条件千差万别; 第三, 交通标志作为一种路上景观, 还起着美化路容的作用, 美观是对标志结构的一个重要要求; 第四, 由于数量众多, 为便于施工, 必须对标志结构所用材料尽量合理地分组, 以避免施工中出现差错; 第五, 交通标志结构由上部结构 (包括标志板、立柱、横梁、连接件等) 和下部结构 (地基、基础等) 构成, 分别采用钢结构和混凝土或钢筋混凝土结构, 设计理论涉及材料力学、结构力学、薄壁杆件结构力学和地基与基础等在内的多门学科。

由上可见, 标志结构的设计是一项综合性的工作, 它要求设计人员具有明确的设计指导思想、丰富的理论经验和实践经验, 同时又必须借助计算机这一先进快捷的计算工具来帮助实现结构的优化设计。

参考文献

1 中华人民共和国国家标准 GB5768-86 道路交通标志和标线。
2 中华人民共和国交通部标准 JTJ021-89. 公路桥涵设计通用规范。
3 罗邦富等. 钢结构设计手册 (第二版). 中国建筑工业出版社, 1991
4 刘会学. 交通标志计算机辅助设计系统 TSCAD. 公路, 1996 (8)
5 严善宽. 薄壁杆件结构静力学. 东南大学土木系, 1986
6 [苏] П. П. 皮萨连科等著, 范软珊等译. 材料力学. 中国建筑工业出版社, 1981

某高速公路单柱 型标志工程数量表 表 1		
编号	板面面积 S (m^2)	数量 n (个)
1	6.00	30
2	5.76	20
3	3.36	30
4	2.99	24
5	2.42	5
6	2.20	30
7	1.73	30
8	1.13	83
9	0.64	60
10	0.62	7