

DOI:10.16799/j.cnki.esdqyfh.2024.03.019

# 倒T形盖梁牛腿抗剪承载能力及配筋方案研究

王林

(中铁工程设计咨询集团有限公司郑州设计院, 河南郑州 450001)

**摘要:** 针对城市高架桥项目中的大悬臂倒T形预应力盖梁,以实际工程为研究对象,分析中、美、欧三种规范的抗剪承载力公式,以不同标准的计算公式为基础,对工程实际预应力盖梁尺寸进行研究,验证倒T形盖梁牛腿部位的配筋形式,为大悬臂倒T形预应力盖梁的设计与应用提供借鉴。

**关键词:** 倒T形盖梁;牛腿;抗剪承载力

**中图分类号:** U441

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2024)03-0076-04

## 0 引言

随着城市的不断发展,城市空间愈发紧张,城市交通不断地立体化发展,道路交叉不仅要解决交通的立体化需求,同时还要满足净空需求和越来越高的城市景观要求,因此盖梁悬臂越来越大,但是随着悬臂的增加,盖梁高度也随之增高。根据城市桥梁最大纵坡4%计算,盖梁增高1m,将会使桥梁长度增加至少25m,这将会增大工程投资,为了减少梁体与盖梁的建筑总高度,大悬臂倒T形预应力盖梁(见图1)更多应用在城市高架快速路的桥梁设计方案中。

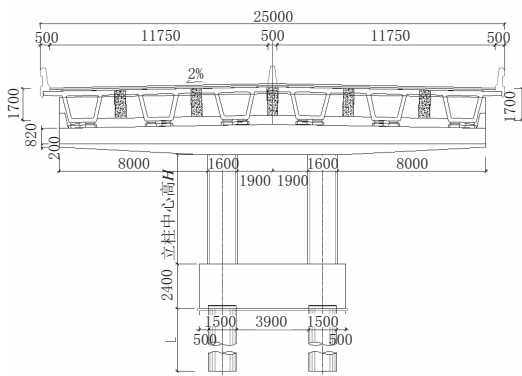


图1 倒T形盖梁立面图(单位:mm)

从中国、美国、欧洲三种规范中的抗剪承载能力计算公式入手,对比不同规范中抗剪承载能力的计算原理,结合工程实例,讨论倒T形盖梁钢筋设计要点(见图2),为类似工程提供借鉴与参考。

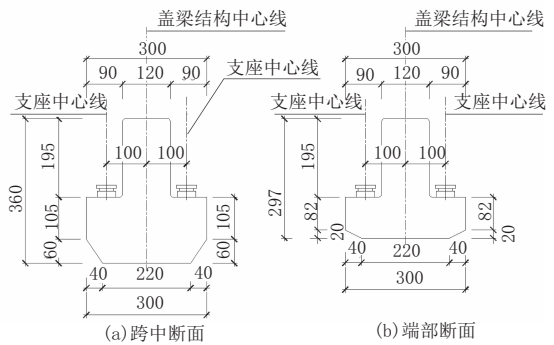


图2 倒T形盖梁断面图(单位:mm)

## 1 倒T形盖梁的受力机理<sup>[1-2]</sup>

倒T形盖梁实际属于短悬臂模型,盖梁牛腿破坏机理主要有4种,一是沿盖梁及牛腿边缘破坏,此类破坏主要是由于尺寸不满足构造要求导致;二是由于受拉钢筋屈服导致破坏,此类破坏为防止的主要破坏机理;三是受压混凝土压裂或劈裂导致拉压杆模型失稳而破坏;四是局部承压及剪切破坏,此种较为少见。倒T形盖梁牛腿破坏示意图见图3。

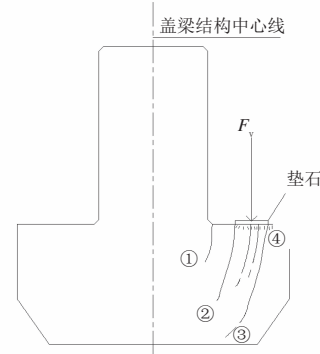


图3 倒T形盖梁牛腿破坏示意图

## 2 中国规范关于倒T形盖梁的规定<sup>[3]</sup>

目前《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计

收稿日期: 2023-03-08

作者简介: 王林(1990—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

规范》(JTG 3326—2018)(以下简称“桥规”)中关于倒T形盖梁牛腿部位抗剪承载能力计算主要参照8.4.6条款,按以下两种情况执行,一是当竖向力作用点至柱边缘的水平距离大于盖梁截面高度时,按照钢筋混凝土一般构件计算;二是当竖向力作用点至柱边缘的水平距离小于或等于盖梁截面高度时,可采用拉压杆截面进行计算(见图4)。

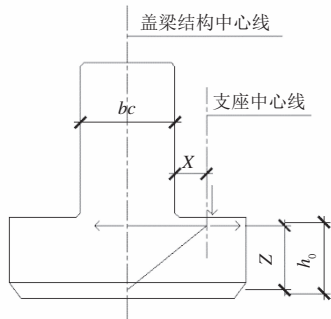


图4 中国规范拉压杆计算图示

$$\gamma_0 T_{1,d} \leq f_{sd} A_s + f_{pd} A_p \quad (1)$$

$$T_{1,d} = \frac{x + b_c / 2}{z} F_d \quad (2)$$

式中: $T_{1,d}$ 为盖梁悬臂上缘拉杆的内力设计值; $f_{sd}$ 、 $f_{pd}$ 为普通钢筋和预应力钢筋的抗拉强度设计值; $A_s$ 、 $A_p$ 为拉杆中的普通钢筋、预应力钢筋面积; $F_d$ 为盖梁悬臂部分的竖向力设计值,按基本组合取用; $b_c$ 为柱的支撑宽度方形截面柱取截面边长,圆形截面柱取0.8倍直径; $x$ 为竖向力作用点至柱边缘的水平距离; $z$ 为盖梁的内力臂,可取 $z=0.9h_0$ ; $h_0$ 为盖梁的有效高度。同时还需要进行局部承压验算。

### 3 美国规范关于倒T形盖梁的规定<sup>[4]</sup>

美国规范中对于倒T形盖梁的计算,是在支座中心距离盖梁腹板的距离与牛腿高度比值 $a/d > 1$ 时,按照悬臂梁受弯构件计算,这类情况在倒T形盖梁设计中较罕见;在 $a/d \leq 1$ 的时候,其抗剪承载力分为有无水平力两种情况。

(1)有水平力,其计算公式如下:

$$v_n = \left( 6.5 - 5.1 \sqrt{\frac{N_{uc}}{V_u}} \right) \left( 1 - 0.5 \frac{a}{d} \right) \left\{ 1 + \left[ 64 + 160 \sqrt{\left( \frac{N_{uc}}{V_u} \right)^3} \right] \rho \right\} \sqrt{f'_c} \quad (3)$$

式中: $d$ 为支撑面的有效高度,不超过承压面外缘牛腿 $d_1$ 或牛腿高度的2倍。

$$\rho_v = \frac{A_s}{bd} \quad (4)$$

式中: $A_s$ 为拉杆中的普通钢筋面积; $V_u$ 为竖向力; $N_{uc}$

为水平力; $a$ 为竖向力作用中心至腹板净距; $d$ 为牛腿部位高度; $d_1$ 为承压板外边缘处牛腿高度; $A_h$ 为牛腿箍筋面积。如图5所示。

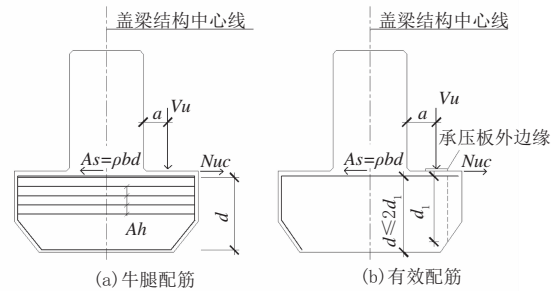


图5 美国规范有水平力时抗剪计算图示

(2)在无水平力时,其计算公式如下:

$$v_n = 6.5 \left( 1 - 0.5 \frac{a}{d} \right) (1 + 64 \rho_v) \sqrt{f'_c} \quad (5)$$

式中: $\rho_v = \frac{A_s + A_h}{bd}$ ; $A_h$ 为抗剪箍筋面积, $A_s$ 为拉杆中的普通钢筋面积; $V_u$ 为竖向力; $N_{uc}$ 为水平力; $a$ 为竖向力作用中心至腹板净距; $d$ 为牛腿部位高度; $A_h$ 为牛腿箍筋面积。计算图如图6所示。

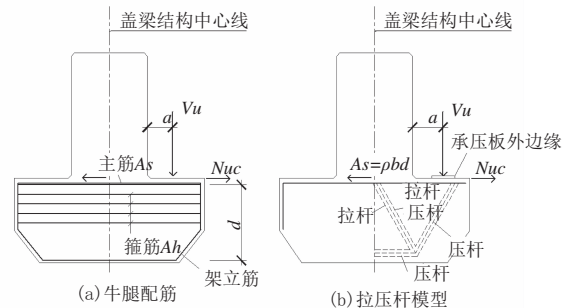


图6 美国规范无水平力时抗剪计算图示

本公式的使用条件为

$$0.04 \frac{f'_c}{f_y} \leq \rho_v \leq 0.2 \frac{f'_c}{f_y} \quad (6)$$

$$0.5 A_s \leq A_h \leq A_s$$

美国规范中有关倒T形盖梁的抗剪承载力计算是多位学者通过200多个牛腿相关试验的结果总结归纳而得。

同时研究学者得出如下结论,不管牛腿处是否存在水平拉力,均需配置箍筋,但是在有水平拉力作用时,箍筋 $A_h$ 的贡献抗力作用较小,通常不考虑。

按照规范中关于抗剪能力是基于剪切摩擦原理进行计算的,剪切面抗剪承载力公式如下:

$$V_n = A_{vf} f_y \mu \leq 0.2 f'_c A_c \quad (7)$$

式中: $V_n$ 为剪切面的名义抗剪能力且不大于 $800A_c$ , $N$ ; $A_c$ 为抵抗剪力传递的混凝土截面积, $\text{mm}^2$ ; $A_{vf}$ 为剪切摩擦的钢筋面积, $\text{mm}^2$ ; $f_y$ 为抗剪钢筋的屈服强度 $\text{MPa}$ ; $f'_c$ 为混凝土的抗压强度, $\text{MPa}$ ; $\mu$ 为摩擦系数,

按照不同材料进行取值。

在倒 T 形盖梁牛腿部位,能够抵抗剪力和拉力的钢筋面积综合为

$$A_s = \frac{2}{3}A_{vf} + A_n$$

式中: $A_n = \frac{N_{uc}}{\varphi f_y}$ 。

规范规定作为安全储备,抗剪箍筋面积  $A_{vf}$  仅计列 2/3,其余的 1/3 即为下方的箍筋面积总和,即  $1/3A_{vf} = A_h$ ,同时处于最小配筋率及构造要需保证  $A_h \geq 0.5A_f$  且  $A_h \geq 1/3 A_{vf}$ 。

设计计算时,还需要验算牛腿抵抗弯矩以及拉力所需的钢筋面积  $A_s = A_f + A_n$ 。

最终的配筋选取抗弯抗拉钢筋面积和抗剪抗拉钢筋面积的较大值。

### 3 欧洲规范<sup>[5]</sup>

欧洲规范采用两种计算方法计算牛腿的抗剪承载力,一种简化计算方法,一种是欧版的拉-压杆模型方法。

#### (1) 简化方法

竖向力  $F_{Ed}$  和水平力  $H_{Ed}$  使受拉钢筋产生的共同拉力按下式计算:

$$F_{ld} = \frac{F_{Ed} a_c}{z} + H_{Ed} + 0.5F_{Ed}$$

式中: $F_{ld}$  为受拉钢筋产生的拉力; $F_{Ed}$  为竖向力; $H_{Ed}$  为水平力; $a_c$  为竖向力作用中心至腹板净距; $z$  为截面有效高度修正系数,通常为  $0.9d$ , $d$  为截面有效高度。

需要的受拉钢筋面积  $A_s = \frac{F_{ld}}{f_{yd}}$ 。

对于无腹筋的受弯构件,其斜截面抗剪承载力按如下计算:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (9)$$

式中:规范限制抗剪承载力的最小值  $V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d$ ;  $b_w$  为受拉区界面最小宽度; $\sigma_{cp}$  为混凝土主压应力,MPa; $f_{ck}$  为混凝土抗压强度特征值,MPa; $K$  为截面有效高度修正系数, $k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0$ , $d$  为截面有效高度,单位 mm; $\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0.02$ ,为受拉钢筋配筋率; $A_{sl}$  为延伸超出所考虑截面  $\geq (l_{bd} + d)$  的受拉钢筋的截面面积(见图 7), $d$  为截面的有效高度,mm。

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 f_{cd} \quad (11)$$

式中: $N_{Ed}$  为由荷载或预应力产生的轴力,N,可忽略

强加变形对  $N_{Ed}$  的影响; $A_c$  为混凝土截面面积,mm<sup>2</sup>; $C_{Rd,c}$ 、 $v_{min}$ 、 $k_1$  为参数,需根据欧洲规范附录,按照参数查表计算。

#### (2) 拉压杆模型方法

牛腿  $a_c < z_0$  时,压杆倾角的规定为  $1.0 \leq \tan\theta \leq 2.5$ ,欧洲规范中规定的拉-压杆模型计算图示如图 7。

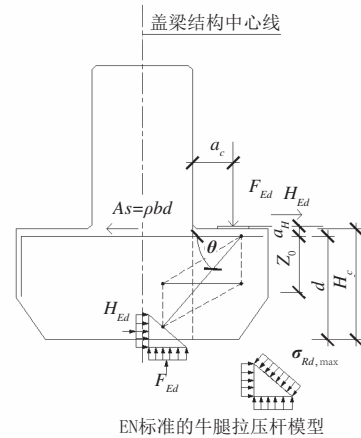


图 7 欧洲规范拉压杆计算图示

#### (3) 构造要求

当  $a_c < 0.5 h_c$  时,还需布置面积  $A_{s,lnk} \geq k_1 A_{s,main}$  的闭合水平或斜向箍筋, $A_{s,main}$  为受拉主筋的面积, $k_1$  查表可得,通常取 0.25。

当  $a_c > 0.5 h_c$ ,且  $F_{Ed} > V_{Rd,c}$  时,除受拉主筋外,还应布置面积  $A_{s,lnk} \geq k_2 \frac{F_{Ed}}{f_{yd}}$  的竖向闭合箍筋, $k_2$  查表可得,通常取 0.5。

受拉主筋应在端部锚固,锚固位置应位于远离牛腿的支撑构件表面,锚固长度从近牛腿部位的支撑构件竖向主筋算起,其余钢筋锚固在牛腿部位,锚固长度从竖向力作用的承压板内侧算起,对混凝土裂缝宽度有特殊限制的构件,可在凹角处设置斜向加强箍筋(见图 8)。

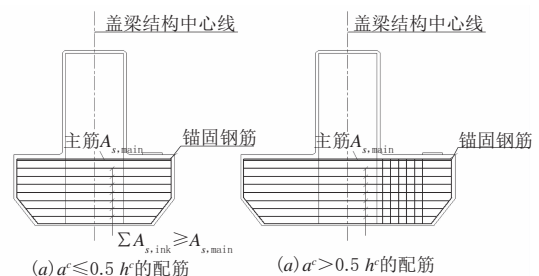


图 8 欧洲规范有关抗剪钢筋的配筋图示

## 4 工程实例配筋

通过对中国、美国、欧洲三种规范分析,结合某

项目工程实例,本项目倒T形盖梁的基本尺寸如图1、图2,其牛腿部位几何构造及受力有如下特征:

(1)支座中心距离盖梁腹板的距离与牛腿厚度相比,关系为0.4:1,对应三种规范为:

- 根据中国规范需按照拉压杆模型进行计算。
- 根据美国规范,需要配置水平箍筋。
- 根据欧标无需设置竖向箍筋,但需要配置水平箍筋。

(2)牛腿所受水平力与竖向力相比较小,关系为1:0.1,基本可以忽略。

对应美国规范采用无水平力的公式进行计算。

(3)牛腿部位上层钢筋兼具抗弯、抗拉及抗剪的复合受力。

- 中国规范除了拉压杆计算还需要进行冲切计算。
- 美国规范需要计算抗弯拉及抗剪,抗弯拉及抗剪均需考虑水平箍筋,并根据计算结果取值相对较大的配筋。
- 欧洲规范除了按照拉压杆模型计算配筋外,还给出了具体的构造要求。

(4)根据拉压杆院里,倒T形盖梁下部可以设置倒角,牛腿部位无需设置为矩形。

通过分析牛腿下部对于截面抗弯、抗剪的贡献作用较小,所以倒T形盖梁下部可以设置倒角或圆弧,以提高盖梁的整体景观效果。

(5)牛腿部位盖梁截面突变,应进行加强配筋防止倒角部位劈裂破坏。

- 国内相关研究及实体分析表明,截面突变处应力集中现象较为明显,该区域容易出现受拉损伤<sup>[9]</sup>。
- 欧洲规范规定对混凝土裂缝宽度有特殊限制的构件,可在凹角处设置斜向加强箍筋。

结合三种规范的相关规定,最终确定本项目倒T形盖梁的配筋如图9所示,经验算(见表1),盖梁牛腿部位的拉压杆模型及冲切均满足要求。

## 5 结论

本文从中、美、欧三种规范的相关规定入手,讨论了倒T形盖梁牛腿部位受力特性及计算方法,通过工程实例的验证,得出如下结论:

(1)要严格控制倒T形盖梁竖向力与牛腿厚度的关系,这相当于规范通过构造尺寸关系确保盖梁牛

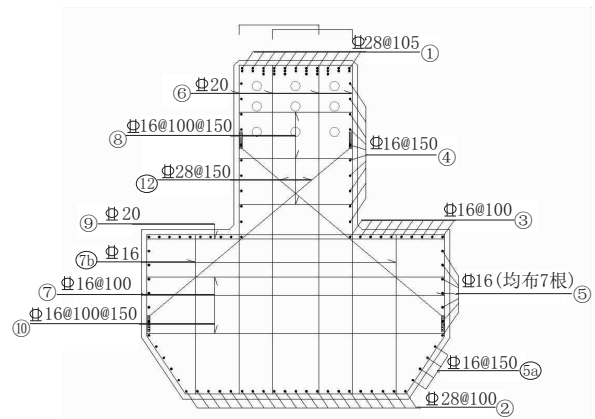


图9 最终工程配筋图

表1 验算结果对比表

类别	中标	美标	欧标
竖向力标准值/kN		2 225	
竖向力设计值/kN		2 840	
水平力标准值/kN		165	
水平力设计值/kN		231	
抗力/kN	13 892.8	6 867.8	12 593.3
受拉配筋 $A_s$ (供/需)	1.30	1.1	1.35
抗剪安全系数	6.24	2.42	5.66

腿受力安全。

(2)盖梁顶层钢筋受力主要以抗弯拉、抗剪切的复合作用,配筋需要加强。

(3)截面突变处需要配置斜向加强钢筋,减小应力突变,控制裂缝宽度。

(4)牛腿部位可以根据盖梁尺寸设置倒角或圆弧,提高盖梁的景观效果。

### 参考文献:

- [1] 赵筠.倒T形盖梁在莘庄立交桥工程中的应用与计算[J].天津建设科技,2002(增刊):55-57.
- [2] 贡金鑫,魏巍巍,胡家顺.中美欧混凝土结构设计[M].北京:中国建筑工业出版社,2020,1(1):155-158.
- [3] JTG 3362—2018,公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S].
- [4] ACI 318-08,A Building code requirements for structural concrete and commentary[S].
- [5] BSEN 1992-2-2005, Eurocode 2-Design of concrete structures-PART 2:concrete bridges -Design and detailing rules[S].
- [6] 梁俊松,蒋长江,丁兆东.混凝土倒T形盖梁疲劳过程模拟[J].城市道桥与防洪,2020,1(1):155-158.