

桥梁护栏与基础桥面板的匹配性防撞设计

杨志杰

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘要: 桥梁防撞护栏是交通事故中保证桥上与桥外人员安全生命防线,设计中需同时保证护栏本身和支撑护栏的基础桥面板的安全性,以及两者的可靠连接,但相关内容在一般设计中常不被充分考虑。以往该类防撞设计多采用基于弹性理论的悬臂算法,新设计规范实施后,基于塑性屈服线理论的设计方法被采用,但当前研究与设计的关注点偏重于防撞护栏本身,对该方法成立的前置条件,尤其是如何实现基础桥面板与护栏相匹配的防撞性能关注有限。以城市桥梁所常采用的混凝土防撞护栏与基础桥面板为背景,从两者性能相匹配的角度,通过防撞计算与分析,揭示新规范屈服线理论设计方法在应用中的技术要点,探讨新规范实施后防撞设计方法的选用原则,为同类工程提供参考。

关键词: 桥梁护栏;桥面板;屈服线理论;防撞设计;匹配性

中图分类号: U443.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2022)06-0093-07

0 引言

桥梁防撞护栏是交通事故中保证桥上与桥外人员安全生命防线。对于城市桥梁,设计时需根据桥梁使用条件,参照《城市道路交通设施设计规范》(GB 50688—2011)确定防护等级,根据《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81—2017)具体规定,对护栏与支撑护栏的基础桥面板进行设计。对两者进行承载能力极限状态设计时,除需采用作用基本组合外,尚需采用汽车撞击工况下的作用偶然组合进行验算^[1-2]。但以上内容,尤其是对基础桥面板的偶然作用工况验算,设计中易被遗漏或不充分考虑,出现护栏防护能力不足、护栏与桥面板连接强度不足或桥面板先于护栏破坏等各类安全隐患。

对桥梁防撞护栏与基础桥面板的防撞设计,以往应用较普遍的是基于弹性理论的悬臂算法,但该方法偏于保守,对桥面板的受力要求较高,易出现桥面板强度难以满足要求的问题。2017年底,《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81—2017)颁布实施。该规范参照最新研究成果和国外相关标准,对防撞设计的方法进行了修改,采用了基于塑性屈服线理论的设计方法^[1]。屈服线理论方法实际应用涉及诸多技术要点,且有自身的适用条件^[1-3],并要求桥面板按照既定理论,达到与护栏匹配的受力性能。但目

前研究与设计的关注点多限于防撞护栏本身,对桥面板的防撞设计要点关注有限^[4-6]。本文以城市桥梁所常采用的混凝土防撞护栏与基础桥面板为背景,从两者性能相匹配的角度,通过防撞计算与分析,揭示屈服线理论算法在应用中的技术要点,探讨新规范实施后防撞设计方法的选用原则,为同类工程提供参考。

1 防撞设计方法应用分析

防撞护栏在车辆撞击时发挥阻挡、缓冲和导向功能,设计时以规范^[1]规定的撞击车辆接触护栏时的撞击力峰值为设计碰撞荷载,并在一定长度范围分布的方式进行简化。

1.1 悬臂法防撞设计

悬臂法基于弹性理论,护栏和基础桥面板控制为弹性受力构件,车辆横向撞击荷载自撞击位置,沿护栏、桥面向桥面板根部沿45°方向扩散,具体化表达护栏与基础桥面板受力图式和内力见表1。验算中,材料强度取设计值。

由表1可知,在实际工程设计中,若三处位置护栏和桥面板构造、配筋一致,则受力最不利为伸缩缝位置,可仅选取该位置进行受力验算;若有不同,则应各自进行验算。

1.2 新规范屈服线法防撞设计

屈服线法是一种极限荷载分析方法,按照该方法,车辆撞击下允许护栏受力进入至塑性状态,并对其破坏模式进行控制,从而降低对护栏和基础桥面板防撞能力的需求。具体化表达护栏与基础桥面板受

收稿日期: 2021-08-09

作者简介: 杨志杰(1989—),男,硕士,工程师,从事桥梁设计工作。

表 1 悬臂算法车辆横向撞击荷载下护栏及桥面板内力

计算位置	标准位置	跨内护栏断缝位置	桥面伸缩缝位置
计算图式			
护栏内力	$M_{\text{护栏撞}} = \frac{F_t x}{L_t + 2x}$ $V_{\text{护栏撞}} = \frac{F_t}{L_t + 2x}$	$M_{\text{护栏撞}} = \frac{F_t x}{L_t + x}$ $V_{\text{护栏撞}} = \frac{F_t}{L_t + x}$	$M_{\text{护栏撞}} = \frac{F_t x}{L_t + x}$ $V_{\text{护栏撞}} = \frac{F_t}{L_t + x}$
桥面板内力	$M_{\text{桥面板撞}} = \frac{F_t H}{L_t + 2H + 2y}$ $T_{\text{桥面板撞}} = \frac{F_t}{L_t + 2H + 2y}$	$M_{\text{桥面板撞}} = \frac{F_t H}{L_t + H + 2y}$ $T_{\text{桥面板撞}} = \frac{F_t}{L_t + H + 2y}$	$M_{\text{桥面板撞}} = \frac{F_t H}{L_t + H + y}$ $T_{\text{桥面板撞}} = \frac{F_t}{L_t + H + y}$

注: F_t 为作用于护栏的车辆横向撞击荷载; H 为护栏的有效高度; L_t 为撞击荷载的纵向分布长度; x 为护栏验算截面到撞击位置的竖直距离; y 为基础桥面板验算截面到护栏内侧面的水平距离; $M_{\text{护栏撞}}$ 、 $V_{\text{护栏撞}}$ 为车辆撞击荷载引起的单位宽度护栏的截面弯矩、剪力; $M_{\text{桥面板撞}}$ 、 $T_{\text{桥面板撞}}$ 为车辆撞击荷载引起单位宽度桥面板的截面弯矩、拉力。

表 2 屈服线算法车辆横向撞击荷载下护栏及桥面板内力

计算位置	标准位置	跨内护栏断缝位置	桥面伸缩缝位置
护栏计算图式			
护栏临界长度、横向抗力	$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2}\right)^2 + \frac{8H(M_b + M_w)}{M_c}}$ $R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t}\right) \left(8M_b + 8M_w + \frac{M_c L_c^2}{H}\right)$	$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2}\right)^2 + \frac{H(M_b + M_w)}{M_c}}$ $R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t}\right) (M_b + M_w + \frac{M_c L_c^2}{H})$	$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2}\right)^2 + \frac{H(M_b + M_w)}{M_c}}$ $R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t}\right) (M_b + M_w + \frac{M_c L_c^2}{H})$
桥面板计算图式			
桥面板内力	$M_{\text{桥面板撞}} = \frac{M_c L_c}{L_c + 1.155y}$ $T_{\text{桥面板撞}} = \frac{R_w}{L_c + 2H + 1.155y}$	$M_{\text{桥面板撞}} = \frac{M_c L_c}{L_c + 1.155y}$ $T_{\text{桥面板撞}} = \frac{R_w}{L_c + H + 1.155y}$	$M_{\text{桥面板撞}} = \frac{M_c L_c}{L_c + 0.577y}$ $T_{\text{桥面板撞}} = \frac{R_w}{L_c + H + 0.577y}$

注: L_c 为屈服线破坏模式的临界长度; M_w 为护栏关于其竖轴的弯曲承载力矩; M_b 为护栏顶部除 M_w 之外的横梁附加弯曲承载力矩; M_c 为悬臂型护栏关于桥梁纵轴的弯曲承载力矩; R_w 为护栏总的横向承载能力。护栏抗力 R_w 和 M_c 为作用荷载, 作用于基础桥面板, 桥面板强度需与之匹配。

力图式和内力见表 2^[7]。验算中,材料强度取标准值。
由表 2 可知,在实际工程设计中,若三处位置护栏和桥面板构造、配筋一致,则受力最不利为伸缩缝位置,可仅选取该位置进行受力验算;若有不同,则应各自进行验算。
同时屈服线算法成立,有以下条件为前提,需在

设计中予以甄别及重视:(1)护栏需配置一定箍筋来抵抗剪力或斜向拉力。(2) M_c 、 M_b 不应在高度范围发生很大变化,即设计中护栏厚度、面层横向钢筋直径、纵向通长钢筋间距等,应避免过大变化。(3)护栏需有足够的长度保证屈服线的破坏模式,如市政高架所常采用的倒 T 盖梁处,护栏断缝间距极短(见图 1)。

该位置屈服线理论算法无法适用,仍需采用基于弹性理论的悬臂算法。(4)护栏、横梁的抵抗正、负弯矩数值相等,决定护栏迎面面和背面受力钢筋应采用等直径设计。



图1 市政倒T盖梁处防撞护栏

2 基于新规范屈服线算法的防撞设计实例与分析

2.1 防撞护栏与桥面板构造配筋

某市政桥梁上部结构采用钢筋混凝土箱梁,边护栏采用SS级混凝土护栏,具体设计见图2、图3。标准位置、跨内护栏断缝位置、桥面伸缩缝位置的护栏与桥面板构造、配筋情况一致。据前分析,仅选择受力最不利的桥面伸缩缝位置进行验算即可。

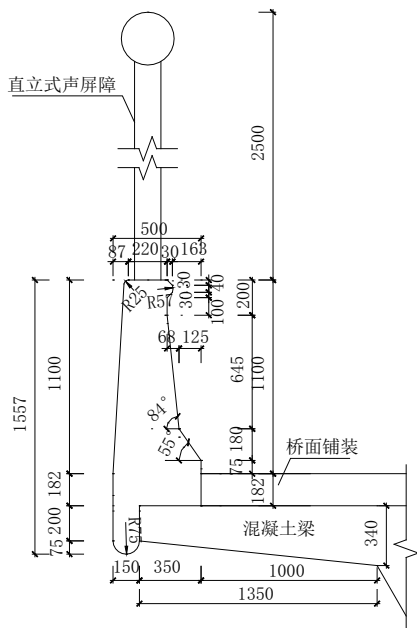


图2 防撞护栏与基础桥面板构造图(单位:mm)

2.2 荷载及荷载组合

2.2.1 永久作用

主梁和护栏混凝土标号均为C40,护栏、铺装、桥面板容重 25 kN/m^3 ;声屏障重量 5 kN/m 。

2.2.2 可变作用

汽车荷载:《城市桥梁设计规范(2019年版)》

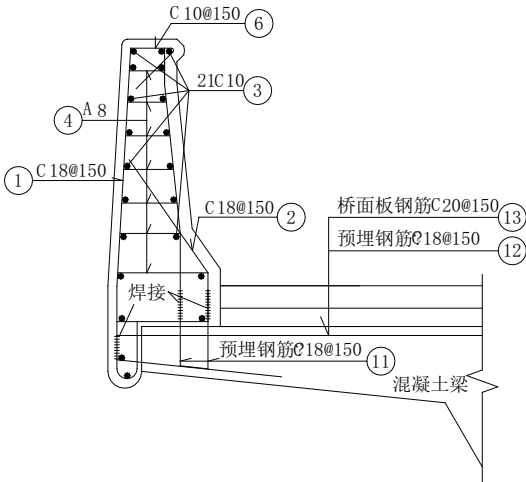


图3 防撞护栏与基础桥面板构造钢筋图(单位:mm)

(CJJ 11—2011)第10.0.2条城-A级。

风荷载:《声屏障结构技术标准》(GB/T 51335—2018)第5.2.7条计算,结合该桥梁情况,其中地面粗糙度类别C,距离地面高度 15 m ,阵风系数 2.05 ,风荷载局部体型系数 1.65 ,风压高度变化系数 0.65 ,基本风压取 100 a 重现期取值为 0.4 kPa ,计算得风压 0.88 kPa 。

2.2.3 偶然作用

六级(SS级)横向碰撞荷载:据《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81—2017)表3.5.4,汽车横向碰撞荷载标准值 $F_t=520\text{ kN}$,分布长度 $L_t=2.4\text{ m}$ 。

六级(SS级)竖向碰撞荷载:据《公路护栏安全性能评价标准》(JTG B05-01—2013)表5.3.3和表5.5.1-2,竖向碰撞荷载取 33 t 大型货车,车重 $F_v=330\text{ kN}$,车长 $L_v=11.9\text{ m}$ 。

2.2.4 荷载组合

参照《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)和《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81—2017)对作用偶然组合的相关规定,本算例荷载组合情况见表3。结构重要性系数取 1.0 。

表3 偶然组合荷载组合系数

作用类别	组合系数
自重	1
风荷载	0.75
车辆荷载	0.7
汽车碰撞荷载	1

2.3 防撞计算

2.3.1 护栏防撞计算

2.3.1.1 计算与破坏模式

护栏关于桥梁纵轴、竖轴的弯曲承载力矩 M_c 、 M_w 按照单筋矩形截面进行计算,如式(1)。

$$M_u = A_s f_{sk} (h - a_s - \frac{A_s f_{sk}}{2 f_{ck} b}) \quad (1)$$

式中: M_u 、 A_s 、 h 、 a_s 、 b 依次为护栏对应某一截面的弯曲承载力矩、受拉侧钢筋面积、高度、受拉侧钢筋到受拉边缘的距离、宽度; f_{sk} 为普通钢筋的抗拉强度设计标准值; f_{ck} 为混凝土轴心抗压强度标准值。

护栏可能屈服线破坏模式见图 4。

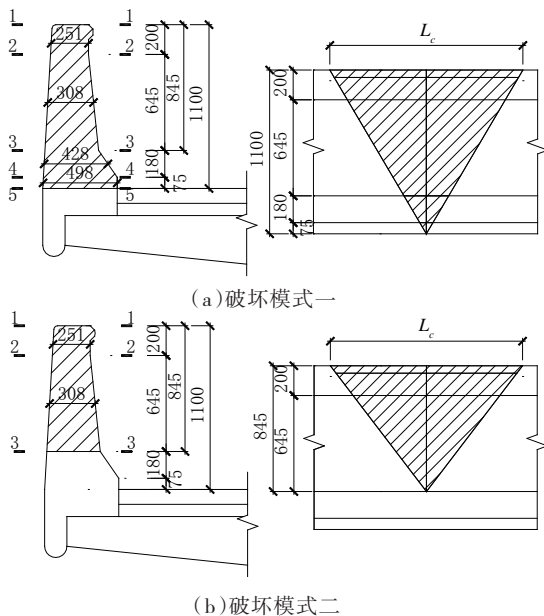


图 4 护栏破坏模式示意图(单位:mm)

表 4 护栏关于桥梁纵轴的弯曲承载力矩 M_c

区段	宽度 b_i /mm	厚度 h_i /mm	$M_{ci}/$ ($N \cdot mm \cdot mm^{-1}$)	区段高度 D_i /mm		$D_i / \sum D_i$		$M_{ci}(D_i / \sum D_i) / (N \cdot mm \cdot mm^{-1})$		$M_c / (N \cdot mm \cdot mm^{-1})$	
				模式一	模式二	模式一	模式二	模式一	模式二	模式一	模式二
1-2	150	251	124 751	200	200	0.18	0.24	22 682	29 527		
2-3	150	308	163 430	645	645	0.59	0.76	95 829	124 748		
3-4	150	428	245 199	180	—	0.16	—	40 124	—	178 592	154 275
4-5	150	498	292 700	75	—	0.07	—	19 957	—		

$$he_q = S/H \quad (2)$$

据此进行 M_c 、 M_w 的计算,具体计算见表 6。由表 4、表 5 与表 6 计算结果对比可见,方法一、二结果相当,在工程设计中可采用后者,以简化计算。本文采用按有效截面高度法的计算结果进行后续计算。由图 2 可知,护栏未设置横梁,故 $M_b=0$ 。

表 6 护栏关于桥梁纵、竖轴的弯曲承载力矩 M_c 、 M_w

破坏模式	模式一	模式二
S/mm^2	364 780	250 418
H/mm	1 100	845
he_q/mm	332	296
$M_c / (N \cdot mm \cdot mm^{-1})$	179 796	155 865
$M_w / (N \cdot mm)$	65 183 104	42 258 934

2.3.1.3 临界长度 L_c 、护栏总的横向承载能力 R_w

根据表 2 中相关公式及以上相关参数的计算结

2.3.1.2 护栏关于桥梁纵轴、竖轴的弯曲承载力矩

$$M_c、M_w$$

由式(1)可知,对确定配筋的护栏,某一截面的弯曲承载力矩 M_u 与截面高度 h (即护栏厚度)呈线性关系。基于此,可采用如下两种方法计算 M_c 、 M_w 。

方法一:分段求解法。

如图 4 所示,将护栏划分为不同区段,求解各区段 M_{wi} ,再根据各区段高度在总高度中占比进行加权平均后求和得 M_c ,具体计算见表 4。 M_w 可进行直接求和计算,具体计算见表 5。

表 5 护栏关于桥梁竖轴的弯曲承载力矩 M_w

区段	宽度 b_i /mm	厚度 h_i /mm	$M_{wi} / (N \cdot mm)$	
			模式一	模式二
1-2	200	251	11 129 960	11 129 960
2-3	645	308	29 702 522	29 702 522
3-4	180	428	11 207 437	—
4-5	75	498	13 263 336	—
合计 $M_w / (N \cdot mm)$			65 303 255	18 572 562

方法二:有效截面高度法。

如图 4 所示,在保证截面面积 S 和竖向高度 H 一致的情况下,定义护栏验算截面有效高度(厚度) he_q ,且

果,计算屈服线破坏模式的临界长度 L_c 、护栏总的横向承载能力 R_w (见表 7)。

表 7 临界长度 L_c 、护栏总的横向承载能力 R_w

参数	模式一	模式二
L_c/mm	2 400	2 400
H/mm	1 100	845
$M_c / (N \cdot mm \cdot mm^{-1})$	179 796	155 865
$M_b / (N \cdot mm)$	0	0
$M_w / (N \cdot mm)$	65 183 104	42 258 934
桥面伸缩缝位置	L_c/mm	R_w/N
	2 556	2 492
	835 569	919 306

表 7 中, R_w 值为 835 569 N, 即 836 kN; 临界长度范围 SS 级护栏水平桩基荷载为 520 kN, 水平风力为 $2.556 \times (1.1+2.5) \times 0.88=8.1$ kN, 偶然组合水平力设计值为 $(0.75 \times 8.1+1.0 \times 520)$ kN=526 kN, 小于

836 kN,故护栏防撞能力满足规范要求。

2.3.2 桥面板防撞计算

2.3.2.1 计算与破坏模式

根据《公路交通安全设施设计细则》(JTG/T D81—2017)D.4.1 基础桥面板需进行状态 I、II 和 III 的设计(见图 5)。其中,状态 I、II 针对偶然荷载发生时的状态,状态 III 为常规荷载作用的状态。状态 I、II 设计时,材料强度取标准值;状态 III 设计时,材料强度取设计值。验算中对桥面板悬臂进行截面划分,见图 6。桥面板承载能力极限状态截面受力见图 7。 ΣT 、 ΣM 为验算截面水平拉力、弯矩的合力,计算如式(3)、式(4)。

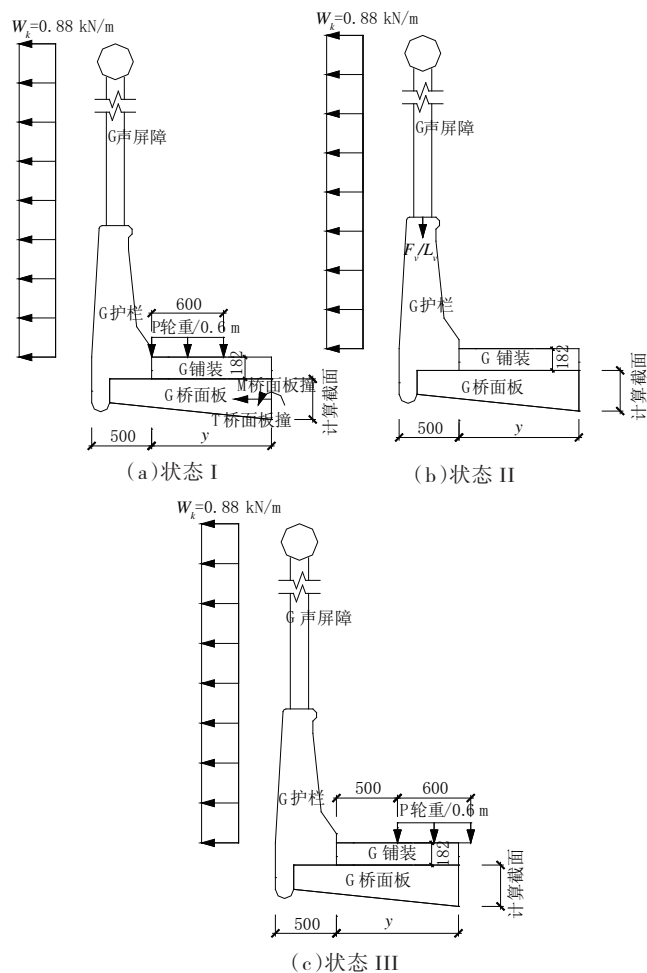


图 5 每延米悬臂板计算图式示意(单位:mm)

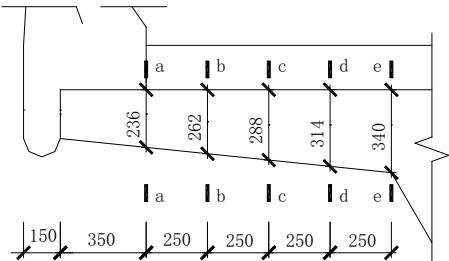


图 6 桥面板悬臂截面划分示意(单位:mm)

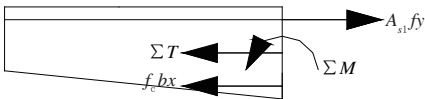


图 7 桥面板悬臂截面验算示意

$$A_{s1}f_y = \Sigma T + f_c b x \cdots \cdots (3)$$

$$\Sigma M \leq A_{s1}f_y(h-a_s-x/2) - \Sigma T(h-a_s-x)/2 \quad (4)$$

式中: A_{s1} 为桥面板受拉侧钢筋面积; f_y 为普通钢筋的抗拉强度; f_c 为混凝土的抗压强度; h 、 b 、 a_s 、 x 依次为桥面板对应某一验算截面的高度、宽度、受拉侧钢筋到截面受拉边缘的距离、混凝土受压区高度。

2.3.2.2 实例验算与分析

为探究桥面板受力起控制作用的状态,除承载能力极限状态外,增加桥面板正常使用极限状态下裂缝的验算,相关验算情况见表 8。由于本算例中桥面板受力钢筋纵桥向间距为 150 mm,为便于钢筋数量计入,验算中桥面板的计算宽度 b 取 1.5 m。

表 8 各设计状态下桥面板内力与抗力

设计极限状态	承载能力 弯矩 /(kN·m)			正常使用 裂缝 /mm	
	偶然组合		基本组合	频遇组合	
	状态 I	状态 II	状态 III		
验算工况	状态 I	状态 II	状态 III	状态 III	
a-a	内力	309	37	26	0.02
	抗力	383	374	298	0.20
	抗力 / 内力	1.2	10.2	11.3	10.1
b-b	内力	324	74	38	0.03
	抗力	442	433	346	0.20
	抗力 / 内力	1.4	5.9	9.0	7.3
c-c	内力	361	131	115	0.05
	抗力	501	492	395	0.20
	抗力 / 内力	1.4	3.8	3.5	3.6
d-d	内力	394	182	241	0.09
	抗力	560	551	444	0.20
	抗力 / 内力	1.4	3.0	1.8	2.2
e-e	内力	410	217	328	0.11
	抗力	619	610	493	0.20
	抗力 / 内力	1.5	2.8	1.5	1.7

由表 8 可知:(1)偶然组合状态 I 为桥面板受力最不利状态;(2)偶然组合状态 I 下,护栏内侧 a-a 截面为桥面板受力最不利截面。原因为作用于桥面板的车辆撞击效应在该位置尚未扩散,但桥面板高度较小、抗力较低。桥面板需重视状态 I 下的设计且需注意:(1)在实际工程设计中,需认识到桥面板悬臂作为局部车辆撞击荷载的重要传力区域,应特殊设计,其厚度尤其如 a-a 区域桥面板悬臂端的厚度不宜过小。(2)桥面板横向受力钢筋在超出受力区后避免过早截断,以保证足够锚固长度,使传力区域桥面板横向钢筋有效参与受力。如图 8 所示,对横向受

力钢筋需保证 $(x+y+z)>30$ 倍钢筋直径, $m>30$ 倍钢筋直径^[3]。

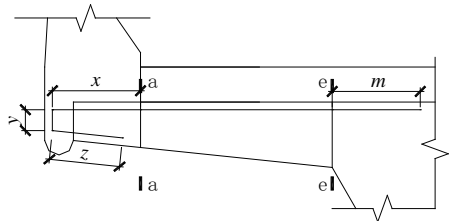


图8 横向受力钢筋锚固要求示意

2.3.2.3 特殊状况下的桥面板匹配性防撞设计

以图2所示护栏为基础,由于桥梁需设置全封闭声屏障,为保证全封闭声屏障立柱预埋宽度,对护栏进行了通长加厚,同时横向12、13号受力钢筋直径加粗采用20 mm。调整后设计见图9。对加厚后护栏防撞能力计算见表9。

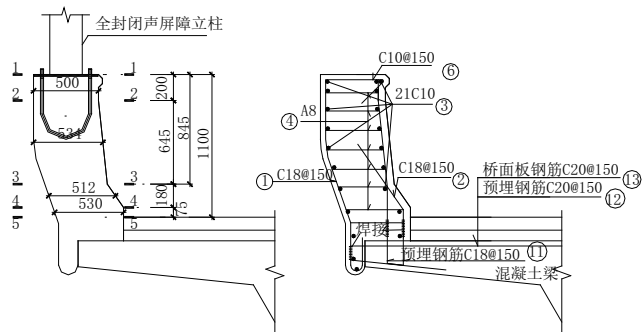


图9 桥面板受力钢筋锚固要求示意

表9 加厚后护栏横向防撞能力 R_w

参数	模式一	模式二
L_t /mm	2 400	2 400
H /mm	1 100	845
M_c /($N \cdot mm \cdot mm^{-1}$)	304 829	304 467
M_b /($N \cdot mm$)	0	0
M_w /($N \cdot mm$)	111 491 451	83 537 043
桥面伸缩缝位置		
L_c /mm	2 557	2 493
R_w /N	1 417 355	1 796 532

表9中, R_w 值为1 417 355 N,即1 417 kN,加厚后护栏防撞能力大大增强,远超SS级护栏偶然组合下的横向撞击荷载。对于该种情况,当采用屈服线设计理论进行防撞设计时,护栏极强的防撞能力 R_w 、 M_c 将作为荷载作用于桥面板,桥面板或难以满足受力要求,或需要保证足够的构造厚度或配筋强度才能满足。此时,宜考虑采用基于弹性理论的悬臂算法进行桥面板设计,以避免桥面板悬臂的过度设计。对图9案例桥面板,分别采用屈服线理论算法和悬臂算法,计算对比见表10。

由表10可知,采用屈服线理论算法,桥面板无法满足受力要求;而采用悬臂算法,桥面板可满足受

表10 加宽护栏后桥面板设计对比

单位:kN·m

计算方法	屈服线理论算法(弯矩)	悬臂算法(弯矩)
内力	501	324
a-a 抗力	421	328
抗力/内力	0.84	1.01
内力	512	359
b-b 抗力	486	382
抗力/内力	0.95	1.07
内力	544	413
c-c 抗力	551	436
抗力/内力	1.01	1.06
内力	573	461
d-d 抗力	615	490
抗力/内力	1.07	1.06
内力	586	493
e-e 抗力	680	544
抗力/内力	1.16	1.10

力要求。

屈服线理论算法允许护栏受力进入塑性范围,但需以桥面板护栏强度匹配为前提,才能保证塑性受力状态是可控且安全的。悬臂算法是控制护栏和桥面板受力均处于弹性受力状态,从而保证结构安全。无论是屈服线理论算法,还是悬臂算法,都需要护栏与桥面板的强度相匹配。当护栏防撞能力富余适当时,宜采用屈服线理论算法进行防撞设计。当护栏防撞能力因无法避免的非防撞需求因素而富余较大时,宜对比采用悬臂算法进行防撞设计的可能性。设计时需恰当把握防撞护栏的防撞能力,选择适宜的设计方法,避免护栏与桥面板的过度设计。

3 防撞护栏与桥面板的连接要点

无论采用何种设计方法,护栏和基础桥面板之间连接措施的可靠性是保证撞击荷载能有效传递的前提,实际设计与施工中均需充分重视,否则车辆撞击时,因两者连接强度不足(见图10),易出现护栏整体被冲击脱离护栏的状况(见图11)。

此外,在部分新建或老桥改造工程中,存在将防撞护栏钢筋埋置于混凝土找平层中的做法(见图12)混凝土找平层虽然对护栏能起到一定的锚固作用,但仍无法完全实现护栏与主梁桥面板连接时一致的锚固效果,从而使车辆撞击受力不可控,设计中需尽可能予以避免。

混凝土护栏若采用预制拼装工艺时(见图13),对护栏与主体结构连接措施的可靠性需严格考证^[8],谨



图 10 护栏迎撞面钢筋与桥面板预埋筋未按要求焊接连接



图 11 护栏与桥面板连接不足

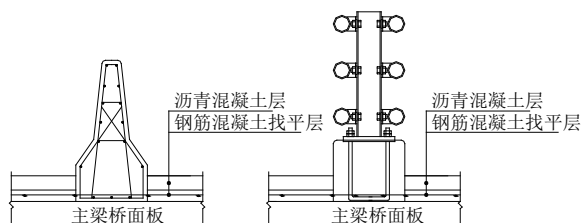


图 12 护栏锚固于混凝土找平层的情况

慎采用,保证车辆撞击时的安全。

4 结 语

(1)考虑车辆撞击的荷载偶然组合是桥梁防撞护栏与其基础桥面板设计的控制工况,在设计中不可忽略。

(2)新规范中屈服线理论方法在应用中需保证其



图 13 预制拼装护栏

适用条件,桥面板需按照既定理论,达到与护栏匹配的防撞性能。

(3)新规范屈服线理论算法的采用实施,并不意味着传统悬臂算法失去适用性,设计时需恰当把握防撞护栏的防撞能力,选择适宜的设计方法,既要保证护栏与基础桥面板的受力安全,又要避免其的过度设计。

(4)当护栏防撞能力富余适当时,宜采用屈服线理论算法进行防撞设计。当护栏防撞能力因无法避免的非防撞需求因素而富余较大时,宜对比采用悬臂算法进行防撞设计的可能性。

(5)工程建设中应重视护栏与桥面板的可靠连接,避免不规范焊接、不可控连接等不安全因素。

参考文献:

- [1] JTG/T D81—2017,公路交通安全设施设计细则[S].
- [2] JTG D60—2015,公路桥涵设计通用规范[S].
- [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] 李勤策,亢寒晶,卢旭伟,等.特高等级混凝土桥梁护栏设计研究[J].城市道桥与防洪,2018,1(1):50-54.
- [5] 胡全章,杜艳爽,王世芳,等.基于屈服线理论的新型桥梁中央分隔带护栏开发研究[J].公路,2020,10(10):266-268.
- [6] 宗志荣.基于新规范的桥梁防撞护栏设计[J].城市道桥与防洪,2020,6(6):50-54.
- [7] 交通运输部公路科学研究院.提升公路桥梁安全防护能力专项行动技术指南[M].北京:人民交通出版社,2019.
- [8] 宋琢.预制装配式桥梁防撞栏施工技术研究[J].广州建筑,2020,48(1):40-43.

《城市道桥与防洪》杂志

是您合作的伙伴,为您提供平台,携手共同发展!

欢迎新老读者订阅期刊 欢迎新老客户刊登广告

投稿网站: <http://www.csdqyfh.com> 电话:021-55008850 联系邮箱: cdq@smedi.com