

高等学校试用教材

Qiaoliang Jisuan Shiliji

桥梁计算示例集

预应力混凝土刚架桥

(公路与城市道路工程、桥梁工程专业用)

徐光辉 主编
姚玲森 主审

人民交通出版社

前 言

《桥梁计算示例集》主要是配合高等院校《桥梁工程》课程的教学而编写的,也可供工程技术人员设计计算时参考。《预应力混凝土刚架桥》是桥梁计算示例集的第三本。

本书包括预应力混凝土刚架桥的两个手算的典型示例和附录。

例一为静定的预应力混凝土 T 形刚架桥计算示例。以跨径 60m 的箱形截面悬臂梁带挂梁的静定 T 形刚架桥为对象,详细介绍了悬臂箱梁(包括牛腿部分)的设计计算,并将箱形截面梁在偏载时的扭转及畸变的应力分析过程作为附录列入,以供参考。

例二为预应力混凝土斜腿刚架桥计算示例。以全长 78.80m 的箱形变截面铰支承斜腿刚架桥为对象,详细介绍了用手算方法进行设计计算的内容、步骤、方法以及二次力的分析计算。为了使读者能灵活运用示例中的计算方法,除阐述了变截面杆的两种求形常数和载常数的方法外,还将矩形变截面杆的形常数和载常数表列为附录,以便查阅。

本书着重介绍预应力混凝土主要构件的分析,对普通钢筋混凝土组成的结构如桥面系、T 形刚架桥的挂梁、斜腿刚架桥的斜腿等未进行详细计算,以避免与其他示例雷同而节省篇幅。

本书在编写过程中,参考了已成桥梁的实例,并得到设计单位的大力支持。交通部公路规划设计院郑学珍高级工程师对例一的编写给予了极大帮助,江西省交通设计研究所车宇琳高级工程师对例二的编写也全力予以支持,在此一并表示感谢。

本书例一由西安公路学院徐光辉编写,同济大学梁惠娟副教授、姚玲森教授审核;例二由武汉城市建设学院潘宗良编写,王国鼎教授审核。全书由徐光辉教授主编,姚玲森教授主审。

由于编者水平所限,缺点错误在所难免,望读者及专家学者不吝指正。

徐光辉

1990 年 10 月于西安

高等学校试用教材
桥梁计算示例集
预应力混凝土刚架桥
(公路与城市道路工程、桥梁工程专业用)

徐光辉 主编

姚玲森 主审

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

各地新华书店经销

北京顺义牛栏山印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 插页:1 字数:375千

1995年12月 第1版

1995年12月 第1版 第1次印刷

印数:0001-7300册 定价:7.30元

ISBN 7-114-02127-5

U·01449

内 容 提 要

本书为《桥梁工程》的配套教材。全书包括静定的预应力混凝土 T 形刚架桥及超静定的预应力混凝土斜腿刚架桥两个较完整的示例及其附录。全书叙述清楚,计算详尽,在某些方面补充了教材以外的内容。

本书是公路与城市道路和桥梁工程专业的教学参考书。可供公路、铁路、城建、水利等方面的工程技术人员参考使用。

目 录

例一、预应力混凝土 T 形刚架桥(静定的)悬臂箱梁计算示例	1
一、设计资料	1
(一)主要技术指标	1
(二)材料规格	1
(三)施工要点	1
(四)设计依据	1
二、悬臂箱梁截面尺寸的拟定	1
(一)桥梁结构图式	1
(二)截面尺寸拟定	1
(三)箱梁分段预制长度的确定	3
(四)箱梁分段重量计算	4
三、荷载内力计算	6
(一)恒载内力计算	6
(二)活载内力计算	8
(三)各截面荷载内力组合	13
四、截面几何性质计算及预应力筋束布置	14
(一)箱梁各截面全面积几何性质	14
(二)筋束布置	15
(三)箱梁各截面的净截面及换算截面几何性质计算	20
五、承载能力极限状态的计算	23
(一)正截面强度计算	24
(二)其他强度计算(略)	25
六、预应力值计算	25
(一)张拉控制应力	25
(二)预应力损失值的计算	25
(三)有效预应力值	33
七、正常使用阶段及施工阶段应力计算	33
(一)正常使用阶段	33
(二)施工阶段	39
八、悬臂箱梁挠度计算	41
(一)短期荷载挠度	42
(二)恒载挠度	42
(三)预应力产生的挠度	42
(四)徐变挠度	43

(五)墩柱变位引起的挠度	43
(六)挠度综合及预拱度设置	45
九、牛腿计算	46
(一)计算图式及截面尺寸	46
(二)腹板部位牛腿的计算	46
(三)非腹板部位牛腿的计算	62
(四)端横梁计算	63
十、桥面板计算(略)	67
附录:汽车偏载时箱梁扭转影响的计算	67
(一)弯曲应力的计算	67
(二)自由扭转应力的计算	72
(三)约束扭转应力的计算	73
(四)畸变应力的计算	80
例二、预应力混凝土斜腿刚架桥计算示例	91
一、说明	91
二、设计依据	91
(一)主要技术指标	91
(二)材料规格	91
(三)施工方法	92
(四)采用的技术规范	92
三、总体布置及结构尺寸	92
(一)总体布置和结构尺寸拟定的一般原则	92
(二)总体布置和结构尺寸拟定	92
(三)截面几何特征计算	93
(四)预制混凝土节段自重计算	99
(五)箱梁自重(荷载)及计算简图	99
(六)施工顺序	100
四、结构内力分析计算	100
(一)形常数	104
(二)载常数	119
(三)先期恒载作用下截面内力计算	133
(四) $P=1$ 作用下,各杆内力计算	134
(五)结构内力影响线的绘制	156
(六)结构活载内力计算	163
(七)日照温差二次力矩计算	167
(八)内力及内力组合	171
五、结构设计计算	178
(一)纵向预应力筋(钢束)估算	178
(二)纵向预应力筋的布置	185
(三)设计控制截面净截面及换算截面几何特征的计算	187

(四)预应力筋布置位置即“束界”的校核·····	187
(五)截面强度计算·····	192
(六)预应力损失估算·····	194
六、预应力筋张拉引起的二次力矩计算·····	198
七、混凝土徐变引起的二次力矩计算·····	201
(一)徐变系数的计算·····	201
(二)工况 13 的内力计算·····	202
(三)混凝土徐变引起的二次力矩·····	203
八、运营阶段截面实际内力及组合·····	203
(一)早期及后期运营恒载内力·····	203
(二)早期运营截面实际内力组合·····	203
(三)后期运营截面实际内力组合·····	203
九、施工阶段的正截面应力验算·····	210
(一)施工阶段,构件在预加应力和自重作用下的应力限值·····	210
(二)梁截面上、下缘混凝土正应力·····	210
十、使用阶段应力验算·····	212
(一)使用阶段应力限值·····	212
(二)正截面混凝土应力验算·····	212
十一、使用阶段的剪应力与主应力验算·····	214
(一)混凝土主应力的限值·····	214
(二)设计控制截面的净截面、换算截面,对 x_j-x_j 轴、 x_o-x_o 轴的面积矩计算·····	214
(三)换算截面重心轴 x_o-x_o 处的最大剪应力及主应力计算·····	215
(四)上梗肋(a-a)外主应力计算·····	217
(五)下梗肋(b-b)处主应力计算·····	217
附录 矩形变截面梁形常数及载常数表·····	219
附录图·····	230
参考文献·····	234

例一、预应力混凝土 T 形刚架桥 (静定的)悬臂箱梁计算示例

一、设计资料

(一) 主要技术指标

跨径:60m(此为桥墩中距,中间配 20m 挂梁);
荷载标准:汽车—20 级,挂车—100,人群荷载 3kN/m^2 ;
桥面净空:净—9+2×1.50m。

(二) 材料规格

箱梁混凝土:40 号;
人行道块件混凝土:20 号;
预应力筋: ϕ^s5 高强碳素钢丝, $R_y=1600\text{MPa}$;
非预应力钢筋:受力钢筋采用 II 级钢筋;非受力钢筋为 I 级钢筋。

(三) 施工要点

采用纵向分段预制拼装,暗管布筋。拼装接缝除与墩顶块件连接处用 40 号混凝土湿接缝外,其余均用胶接缝。预应力钢束由 24 ϕ^s5 高强钢丝组成,采用锥形锚后张锚固。

(四) 设计依据

公路桥涵设计通用规范(JTJ021—89)(本例中简称《通用规范》)
公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范(JTJ023—85)(本例中简称《预规》)

二、悬臂箱梁截面尺寸的拟定

(一) 桥梁结构图式如图 1-2-1

(二) 截面尺寸拟定

1. 悬臂长度及桥墩宽度

带挂梁的 T 形刚架桥,挂梁长度通常为主孔长度的 0.22~0.5 倍,而以 0.35 倍左右时较为经济。考虑到挂梁尽可能采用标准跨径,本例取挂梁跨径为 20.00m,为主孔长度的 0.33 倍。

T 形刚架桥的桥墩与悬臂箱梁固结,需承受悬臂箱梁传来的轴向力及不平衡力矩。桥墩宽

度通常约取为主孔长度的 1/20,本例取桥墩宽度为 $60 \times 1/20 = 3.0\text{m}$ 。

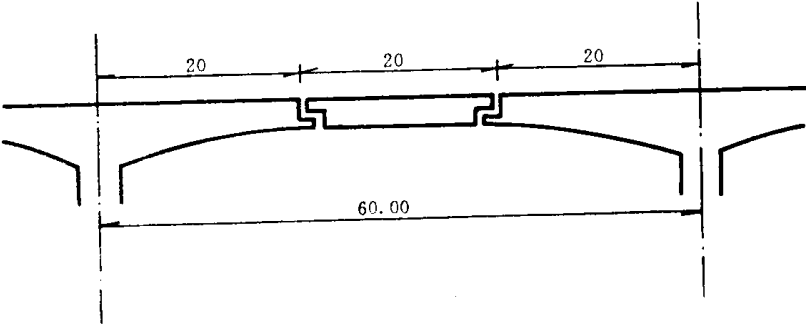


图 1-2-1 尺寸单位:m

于是 T 形刚架的悬臂长度(从悬臂根部算起的悬出长度,包括伸缩缝宽度在内,但不包括牛腿悬出部分的长度)为:

$$(60-20.00)/2-3.0/2=18.50\text{m}$$

2. 截面高度及顶、底板厚度

1)箱梁高度

T 形刚架桥悬臂箱梁支点处高度一般为跨径的 1/16~1/18,本例中取 $H=3.60\text{m}$,相当于跨径的 1/16.67。

悬臂端部梁高一般为支点梁高的 1/5~1/2。本例结合对跨径 20m 挂梁的分析,挂梁梁高以取 1.50m 较为适宜,故取悬臂端梁高亦为 1.50m,相当于支点梁高的 1/2.4。

自悬臂端至箱梁根部,箱梁底缘按 $y_1=k_1x_1^{3/2}$ 的半立方抛物线变化。

2)顶、底板厚度

箱梁顶板除作为桥面板受力外,还要考虑布置纵向预应力筋束道的需要。当在顶板内布置一层纵向预应力筋并采用暗管布筋时,顶板厚度至少需 14cm;现结合顶板跨径,确定顶板厚度为 20cm。

箱梁悬臂端底板厚度取最小厚度 12cm。箱梁根部底板厚度取为支点梁高的 1/12,即 $\delta=360/12=30\text{cm}$ 。底板的顶面曲线也按上述半立方抛物线取用。

悬臂箱梁的纵截面略如图 1-2-2。

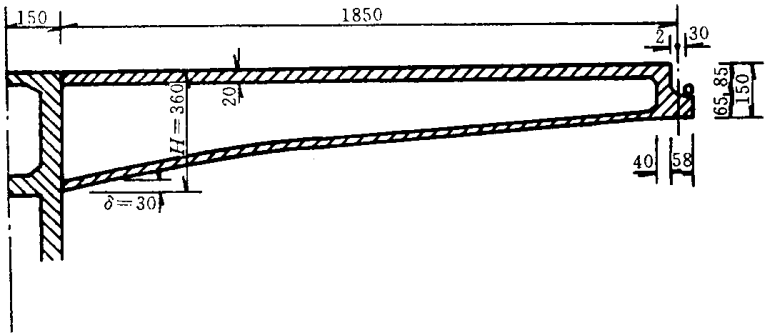


图 1-2-2 尺寸单位:cm

3. 横截面尺寸

桥面全宽(包括人行道)为 12.00m。考虑将每侧 1.50m 宽的人行道板悬出箱梁顶板以外 0.50m,则箱梁顶板全宽定为 11.00m。

桥面板(箱梁顶板)采用钢筋混凝土。为使桥面板的板厚及配筋较为适宜,箱梁腹板间距以不超过 4m 为宜。为使箱梁外侧面与挂梁梁肋的外侧面协调一致,确

定箱梁截面为单箱双室,箱梁外侧箱壁相距 8.36m,如图 1-2-3。腹板厚度为满足肋束下弯的构造需要及抗剪强度的要求,定为 0.24m,但在靠近牛腿部位的腹板厚度适当加大,以承受挂梁

的集中反力。为此,在悬臂端将两侧腹板加厚至 0.38m,中间腹板加厚至 0.42m。此项加厚的腹板长度约占悬臂总长的 1/5 左右。

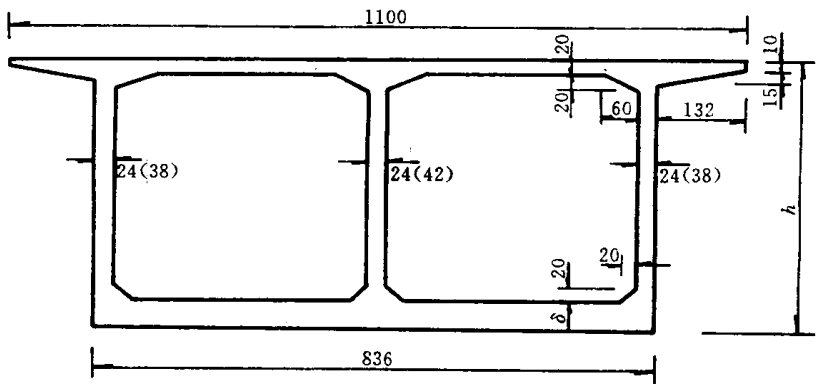


图 1-2-3 尺寸单位:cm

根据所定的腹板间距及腹板厚度,则箱梁顶板的净跨径将为 3.82m,箱梁外侧悬伸桥面板长度为 1.32m;由此确定箱梁顶板厚度为 0.20m,悬伸桥面板的根部厚度为 0.25m,端部厚度取为 0.10m。

腹板与底板相接处做成 0.20×0.20cm 的承托,腹板与顶板相接处做成 0.20×0.60cm 的承托,使箱壁剪力流能顺利传递,避免在转角处产生过大的应力集中。

(三) 箱梁分段预制长度的确定

1. 分段长度

确定箱梁分段预制长度时,主要考虑以下因素:

- 1)每段吊装重量不超过吊机的起吊能力(本例中不超过 450kN);
- 2)每段长度能满足肋束下弯时设置竖曲线的需要(本例中不少于 2.40m);
- 3)分段长度的规格应尽可能少。

通过利用重量累积曲线等进行试算(试算过程略),确定分段如下参看图 1-2-4:

$$2 \times 2.70 + 3 \times 3.10 + 2.80 + 1.00 = 18.50\text{m}$$

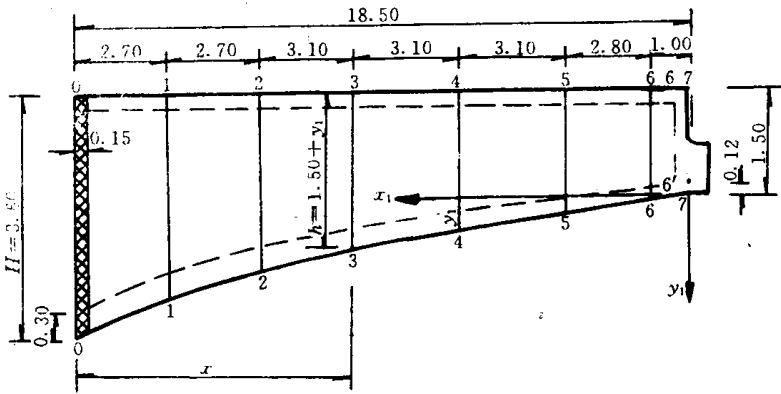


图 1-2-4 尺寸单位:m

当 $x=0$ 时, $y_2=(3.60-0.30)-(1.50-0.12)=1.92\text{m}$;当 $x=18.5\text{m}$ 时, $y_2=0$;故

2. 各分段点箱梁高度及底板厚度的计算

1)箱梁底缘曲线:

$$y_1=k_1x_1^{3/2}=k_1(18.50-x)^{3/2}$$

当 $x=0$ 时, $y_1=3.60-1.50=2.10\text{m}$;当 $x=18.5\text{m}$ 时, $y_1=0$;故

$$k_1=\frac{2.10}{18.5^{3/2}}=0.02639$$

2)底板顶面曲线:

$$y_2=k_2(18.50-x)^{3/2}$$

$$k_2 = \frac{1.92}{18.5^{3/2}} = 0.02413$$

3)箱梁高度及底板厚度计算

各分段点箱梁高度 h 及底板厚度 δ 计算如表 1-2-1。其中(参看图 1-2-4)

$$h = 1.50 + y_1$$
$$\delta = (0.12 + y_1) - y_2$$

各分段点梁高 h 及底板厚度 δ 计算表 (单位:m) 表 1-2-1

项 目 \ 截 面	0-0	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6	6'-6'	7-7
距箱梁根部距离 x	0.00	2.70	5.40	8.50	11.60	14.70	17.50	18.08	18.50
y_1	2.10	1.6 574	1.2 513	0.8 345	0.4 783	0.1 955	0.0 264	0.0 072	0
y_2	1.92	1.5 155	1.1 441	0.7 631	0.4 374	0.1 787	0.0 241	0.0 066	0
箱梁高度 h	3.60	3.16	2.75	2.33	1.98	1.70	1.53	1.51	1.50
底板厚度 δ	0.30	0.26	0.23	0.19	0.16	0.14	0.12	0.12	0.12

(四) 箱梁分段重量计算

在计算每一段箱梁重量时,近似认为箱梁截面在每一段内为直线变化,从而以平均截面积求出该小段体积,进而求得梁段重量。计算截面积时,可将箱梁划分成如图 1-2-5 的规则图形以方便计算,计算过程如表 1-2-2。计算时注意在截面 5-5 以后腹板的厚度增大。图 1-2-5 中括弧内数字即表示增厚后的腹板厚度。

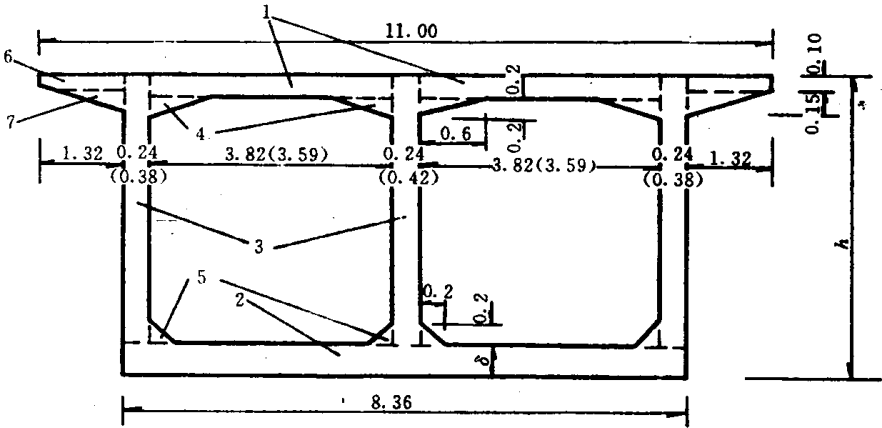


图 1-2-5 尺寸单位:m

截面面积及梁段重量计算表 表 1-2-2

项 目 \ 截 面	0-0	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5(前)	5-5(后)	6-6	6'-6'
箱梁高度 $h(m)$	3.60	3.16	2.75	2.33	1.98	1.70	1.70	1.53	1.51
底板厚度 $\delta(m)$	0.30	0.26	0.23	0.19	0.16	0.14	0.14	0.12	0.12
腹板宽度 $\Sigma b(m)$	3×0.24	3×0.24	3×0.24	3×0.24	3×0.24	3×0.24	$0.42 + 2 \times 0.38$	$0.42 + 2 \times 0.38$	$0.42 + 2 \times 0.38$

项 目 \ 截 面		续上表									
		0-0	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5(前)	5-5(后)	6-6	6'-6'	
各 分 块 面 积 (m ²)	顶板 $A_1=2 \times 0.20 \times 3.82(3.59)$	1.5280	1.5280	1.5280	1.5280	1.5280	1.5280	1.4360	1.4360	1.4360	
	底板 $A_2=8.36 \times \delta$	2.5080	2.1736	1.9228	1.5884	1.3376	1.1704	1.1704	1.0032	1.0032	
	腹板 $A_3=\Sigma b \times (h-\delta)$	2.3760	2.0880	1.8144	1.5408	1.3104	1.1232	1.8408	1.6638	1.6402	
	顶托 $A_4=4 \times \frac{1}{2} \times 0.20 \times 0.60$	0.2400	0.2400	0.2400	0.2400	0.2400	0.2400	0.2400	0.2400	0.2400	
	底托 $A_5=4 \times \frac{1}{2} \times 0.20 \times 0.20$	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	0.0800	
	翼板 $A_6=2 \times 0.10 \times 1.32$	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	0.2640	
	翼托 $A_7=2 \times \frac{1}{2} \times 0.15 \times 1.32$	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	0.1980	
截面面积 $\Sigma A(m^2)$		7.1940	6.5716	6.0472	5.4392	4.9580	4.6036	5.2292	4.8850	4.8614	
梁段平均截面积 $A_i(m^2)$		6.8828	6.3094	5.7432	5.1986	4.7808	—	5.0571			
梁段长度 $L_i(m)$		2.70	2.70	3.10	3.10	3.10	—	2.80			
梁段体积 $V_i=A_iL_i(m^3)$		18.5836	17.0354	17.8039	16.1157	14.8205	—	14.1599	11.7364		
梁段重量 $W_i=\gamma \cdot V(kN)$		464.57	425.89	445.10	402.90	370.51	—	354.00	293.41		

注:第一段长度包括 0.15m 的湿接缝在内。扣除湿接缝后,预制梁段实际吊装重量为 437.61kN

截面 6-6 以后的梁段(7 号块件)包括有端横梁及牛腿,该梁段的重量需单独计算如下,参看图 1-2-6:

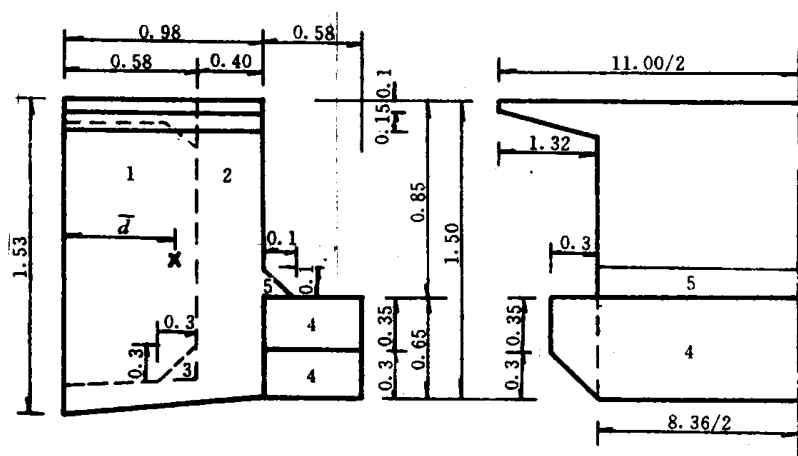


图 1-2-6 尺寸单位: m

分块 1: $\frac{4.8\ 850+4.8\ 614}{2}$

$$\times 0.58 \times 25.0 = 70.66 \text{ kN}$$

$$\text{分块 2: } \left[\frac{1.51 + 1.50}{2} \times 8.36 + 2 \times 1.32 \times (0.1 + 0.15/2) \right] \times 0.40 \times 25.0 = 130.44 \text{ kN}$$

$$\text{分块 3: } \frac{0.3 \times 0.3}{2} \times (8.36 - 2 \times 0.38 - 0.42) \times 25.0 = 8.08 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \text{分块 4: } & [0.65 \times 8.36 + 2 \times \\ & (0.3 \times 0.35 + \frac{0.3 \times 0.3}{2})] \\ & \times 0.58 \times 25.0 = 83.19 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{分块 5: } \frac{0.1 \times 0.1}{2} \times 8.36 \times 25.0 = 1.04 \text{ kN}$$

7 号块件总重: 293.41kN

块件重心距 6-6 截面的距离:

$$\bar{d} = \frac{\sum w_i d_i}{\sum w_i} = \left[70.66 \times \frac{0.58}{2} + 130.44 \times \left(0.58 + \frac{0.4}{2} \right) + 8.08 \times \left(0.28 + \frac{2}{3} \times 0.3 \right) + 83.19 \times \left(0.98 + \frac{0.58}{2} \right) \right]$$

+1.04\times\left(0.98+\frac{1}{3}\times0.10\right)\Big]/293.41=0.7934\text{m}

三、荷载内力计算

(一) 恒载内力计算

作用在悬臂箱梁上的恒载包括箱梁自重、箱梁以上部分的恒载(沥青混凝土桥面铺装、铺装垫层、人行道块件及栏杆、人行道铺装等)、挂梁自重及挂梁以上部分的恒载等。本例的桥梁构造对称于桥梁中轴线,这些恒载也对称于箱梁中轴线,对箱梁只产生弯矩和剪力,不产生扭矩。以下分别计算由这几部分恒载引起的箱梁各分段点截面上的内力。

1. 箱梁自重对各截面产生的弯矩 M_1 及剪力 Q_1

利用表 1-2-2 所求得 的箱梁各分段重量 W_i ,即可求出箱梁自重对截面 k 所产生的剪力及弯矩:

$$Q_{1k}=\sum_{i=k+1}^n W_i$$
$$M_{1k}=-\sum_{i=k+1}^n W_i \cdot d_i$$

式中 n 为悬臂箱梁块件总数,本例中 $n=7$; d_i 是第 i 号块件重心距计算截面 k 的距离。由于本例中相邻两截面变化并不剧烈,为简化计算,除 7 号块件外,其余各块件的重心近似取在块件长度的中点处。计算列表进行,如表 1-3-1。

箱梁自重内力计算表 表 1-3-1

截面	块件号 块件重 (kN)	7#(牛腿)	6#	5#	4#	3#	2#	1#	总计
	项目	293.44	354.00	370.51	402.90	445.10	425.89	464.59	
6-6	$Q_1(\text{kN})$	293.4							393.4
	$d_i(\text{m})$	0.79							
	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	-231.8							-231.8
5-5	$Q_1(\text{kN})$	293.4	354.0						647.4
	$d_i(\text{m})$	3.59	1.40						
	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	-1 053.3	-495.6						-1548.9
4-4	$Q_1(\text{kN})$	293.4	354.0	370.5					1 017.9
	$d_i(\text{m})$	6.69	4.50	1.55					
	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	-1 962.8	-1 593.0	-574.3					-4 130.1
3-3	$Q_1(\text{kN})$	293.4	354.0	370.5	402.9				1 420.8
	$d_i(\text{m})$	9.79	7.60	4.65	1.55				
	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	-2 872.4	-2 690.4	-1 722.8	-624.5				-7 910.1
2-2	$Q_1(\text{kN})$	293.4	354.0	370.5	402.9	445.1			1 865.9
	$d_i(\text{m})$	12.89	10.70	7.75	4.65	1.55			
	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	-3 781.9	-3 787.8	-2871.4	-1 873.5	-689.9			-13 004.5
	$Q_1(\text{kN})$	293.4	354.0	370.5	402.9	445.1	425.9		2 291.8

续上表

截面	块件号	7#(牛腿)	6#	5#	4#	3#	2#	1#	总计
	块件重(kN)	293.44	354.00	370.51	402.90	445.10	425.89	464.59	
1-1	项目								
	$d_i(\text{m})$	15.59	13.40	10.45	7.35	4.25	1.35		
0-0	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	-4 574.1	-4 743.6	-3 871.7	-2 961.3	-1 891.7	-575.0		-18 617.4
	$Q_1(\text{kN})$	293.4	354.0	370.5	402.9	445.1	425.9	464.6	2 756.4
0-0	$d_i(\text{m})$	18.29	16.10	13.15	10.05	6.95	4.05	1.35	
	$M_1(\text{kN}\cdot\text{m})$	-5 366.3	-5 699.4	-4 872.1	-4 049.1	-3 093.4	-1 724.9	-627.2	-25 432.4

2. 箱梁以上部分恒载对各截面产生的弯矩 M_2 及剪力 Q_2

根据对桥面铺装(包括垫层)、人行道、栏杆等构造形式的分析,求得这部分恒载沿桥长每延米的重量为:

桥面铺装	20.5kN/m
人行道、栏杆	14.2kN/m
合 计	$q_2=34.7\text{kN/m}$

这一恒载对各计算截面产生的剪力和弯矩为:

$$Q_2=q_2\cdot d_i'=34.7d_i'$$

$$M_2=-\frac{1}{2}q_2\cdot d_i'^2=-17.35d_i'^2$$

式中 d_i' 为从悬臂端点桥面接缝处起至计算截面的距离。此项内力也列表计算,如表 1-3-2。

箱梁以上部分恒载内力计算表 表 1-3-2

截面	6-6	5-5	4-4	3-3	2-2	1-1	0-0
项目							
$d_i'(\text{m})$	0.98	3.78	6.88	9.98	13.08	15.78	18.48
$Q_2(\text{kN})$	34.0	131.2	238.7	346.3	453.9	547.6	641.3
$M_2(\text{kN}\cdot\text{m})$	-16.7	-247.9	-821.3	-1 728.1	-2 968.3	-4 320.3	-5 925.2

3. 挂梁自重及挂梁以上部分恒载对各截面产生的弯矩 M_3 及剪力 Q_3

挂梁自重及挂梁以上部分恒载系通过挂梁支座以集中力形式作用在悬臂箱梁上。当这部分恒载的集中反力为 P_3 时,在箱梁各计算截面上产生的剪力及弯矩为

$$Q_3=P_3$$

$$M_3=-P_3\cdot d_i''$$

式中 d_i'' 为挂梁支座中心至计算截面的距离。根据挂梁设计,这部分恒载反力为

挂梁自重反力 $\frac{1}{2}\times 1\,605.6=802.8\text{kN}$

挂梁以上部分恒载反力 $\frac{1}{2}\times 34.7\times 20.0=347.0\text{kN}$

合 计 $P_3=1\,149.8\text{kN}$

各截面内力计算如表 1-3-3。

挂梁恒载内力计算表 表 1-3-3

项 目 \ 截 面		6-6	5-5	4-4	3-3	2-2	1-1	0-0
项 目	$d_1''(\text{m})$	1.30	4.10	7.20	10.30	13.40	16.10	18.80
	$Q_3(\text{kN})$	1149.8	1 149.8	1 149.8	1 149.8	1 149.8	1 149.8	1 149.8
	$M_3(\text{kN} \cdot \text{m})$	-1 494.7	-4 714.2	-8 278.6	-11 842.9	-15 407.3	-18 511.8	-21 616.2

4. 箱梁各截面恒载内力汇总

将以上三部分恒载在各截面产生的弯矩及剪力汇总如表 1-3-4。由于箱梁自重在施工阶段将与预加力同时作用，因此单独列出。

恒载内力汇总表 表 1-3-4

项 目 \ 截 面		0-0	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
弯 矩 (MN·m)	箱梁自重 M_1	-25.4 324	-18.6 174	-13.0 045	-7.9 101	-4.1 301	-1.5 489	-0.2 318
	箱梁以上部分 M_2	-5.9 252	-4.3 203	-2.9 683	-1.7 281	-0.8 213	-0.2 479	-0.0 167
	挂梁 M_3	-21.6 162	-18.5 118	-15.4 073	-11.8 429	-8.2 786	-4.7 142	-1.4 947
	小计 M_2+M_3	-27.5 414	-22.8 321	-18.3 756	-13.5 710	-9.0 999	-4.9 621	-1.5 114
	负弯矩合计 M_G	-52.9 738	-41.4 495	-31.3 801	-21.4 811	-13.2 300	-6.5 110	-1.7 432
剪 力 (MN)	箱梁自重 Q_1	2.7 564	2.2 918	1.8 659	1.4 208	1.0 179	0.6 474	0.2 934
	箱梁以上部分 Q_2	0.6 413	0.5 476	0.4 539	0.3 463	0.2 387	0.1 312	0.0 340
	挂梁 Q_3	1.1 498	1.1 498	1.1 498	1.1 498	1.1 498	1.1 498	1.1 498
	小计 Q_2+Q_3	1.7 911	1.6 974	1.6 037	1.4 961	1.3 885	1.2 810	1.1 838
	剪力合计 Q_G	4.5 475	3.9 892	3.4 696	2.9 169	2.4 064	1.9 284	1.4 772

(二) 活载内力计算

作用在悬臂箱梁上的活载(基本可变荷载)有汽车荷载(包括冲击力)、平板挂车荷载及人群荷载。本例桥面行车道净宽为净-9,按《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021-89)第 2.3.1 条之二的规定仍为双车道,则在两行汽车-20 级或者挂车-100 作用时,活载将偏离桥梁中轴线,如图 1-3-1。此时,箱梁除引起纵向弯曲外,还将引起扭转即箱梁中除纵向弯曲在截面上产生正应力及剪应力外,还将因扭转及截面畸变产生正应力及剪应力。后者的计算比较繁复,通常可将纵向弯曲应力乘以增大系数作为计入后者的影响来处理。因此本例即以考虑增大系数后的纵向弯曲计算为主,而将汽车荷载偏载引起的扭转应力及畸变应力的计算作为附录以供参考。

1. 汽车-20 级荷载作用下各截面的最大弯矩

1) 汽车荷载偏载时的增大系数

活载偏载时的增大系数,习惯上有两种取值方法:一是将箱梁视为开口截面,按偏心受压法(刚性横梁法)求出边肋的横向分布系数然后乘以总肋数,作为增大系数取值的依据;另一则是将活载产生的内力直接增大 15%。作为算例,本例对汽车荷载偏安全地取前一方法计算。

$$e=1.55\text{m}$$

则边肋的横向分布系数

$$k=\frac{1}{3}+\frac{1.55\times 4.06}{2\times 4.06^2}=0.5242$$

于是取增大系数为

$$\zeta=3\times 0.5242=1.57$$

2)绘制弯矩影响线

带挂梁的 T 形刚架桥是静定结构,悬臂箱梁各截面的弯矩影响线均呈三角形,可以很方便地绘出如图 1-3-2。

3)求汽车荷载冲击系数

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021-89)

第 2.3.2 条表 2.3.2-1 的规定,当荷载长度 L 在 5m

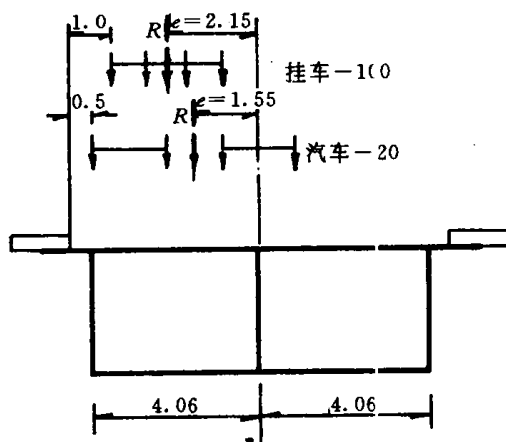


图 1-3-1 尺寸单位:m

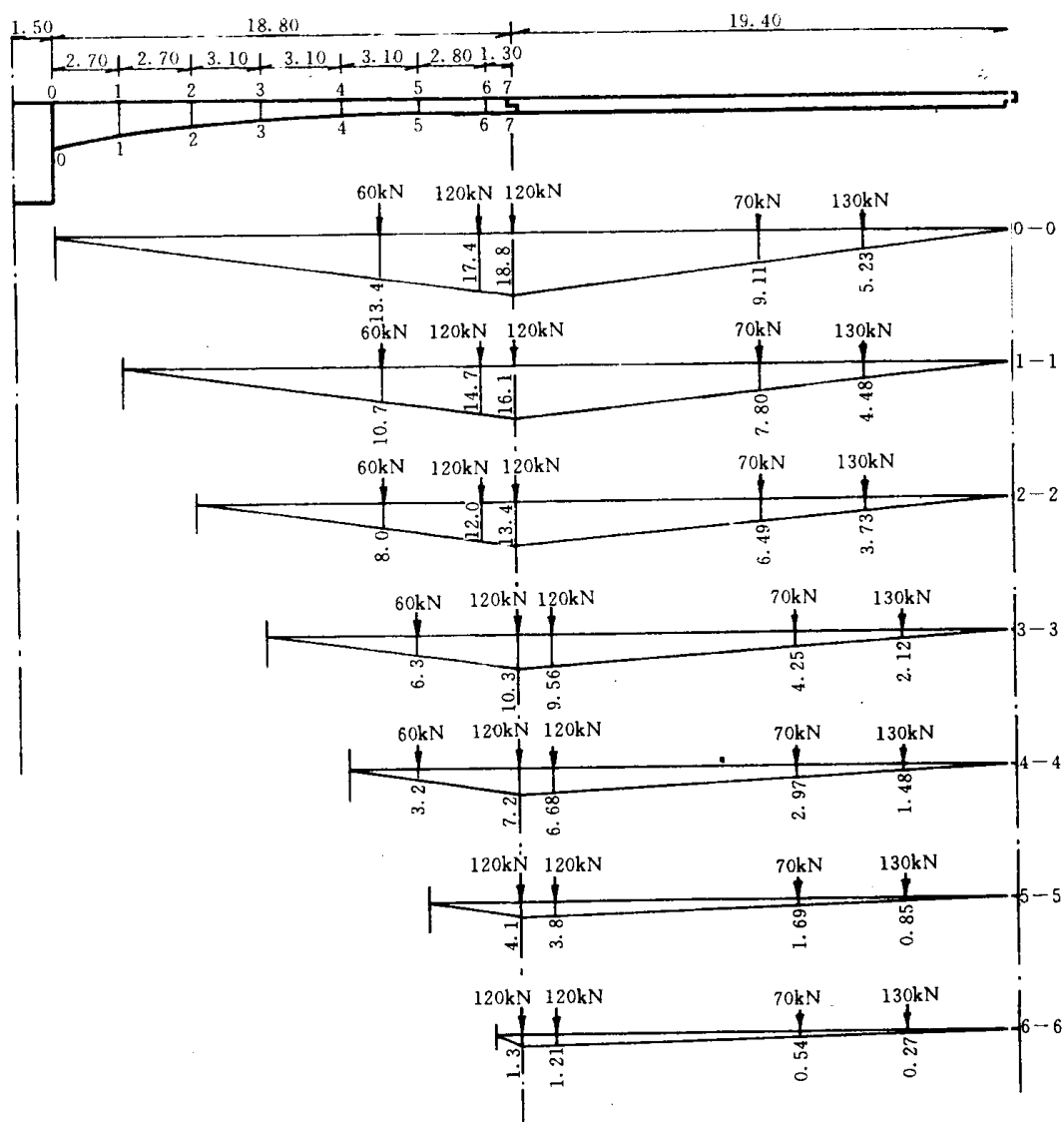


图 1-3-2 尺寸单位:m

根据《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)第 2.3.2 条表 2.3.2-1 的规定,当荷载长度 L 在 5m 与 45m 之间时,冲击系数 μ 可按下式计算:

$$\mu=\frac{45-L}{45-5}\times 0.3=0.3375-0.0075L$$

按照图 1-3-2 所示各截面的影响线荷载长度,可求出各截面的汽车荷载冲击系数(如表 1-3-5。

各截面冲击系数计算表							表 1-3-5
截 面	0-0	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
荷载长度(m)	38.2	35.5	32.8	29.7	26.6	23.5	20.7
冲击系数 μ	0.051	0.071	0.092	0.115	0.138	0.161	0.182

4)汽车—20 级荷载作用下各截面最大弯矩计算

在得出各截面内力影响线后,即可在影响线上直接布置荷载求得最大内力;也可根据影响线图形查《公路桥涵标准车辆等代荷载》一书或其他资料得出相应的等代荷载乘以影响线面积求出最大内力。本例采用直接布置荷载的方法,将汽车—20 级荷载按最不利位置布置在弯矩影响线上,求出各个荷载下的影响线坐标值 η ,从而得到各截面的最大弯矩:

$$M_{20}=2\zeta(1+\mu)\Sigma P_i\eta_i$$

图 1-3-2 中已标出了各截面汽车荷载轴重位置及相应的影响线坐标值。增大系数 ζ 及冲击系数 μ 已于上节中算得。按照上式求得的各截面最大弯矩值列于表 1-3-6 中。为以后计算挠度需要,表中将不计汽车冲击力时的最大弯矩值一并列出。

汽车—20 级荷载作用下各截面最大弯矩计算表							表 1-3-6
截 面	0-0	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
$\Sigma P_i\eta_i(\text{kN}\cdot\text{m})$	—6 465.8	—5 466.4	—4 467.2	—3 334.3	—2 257.9	—1 182.8	—374.1
汽车荷载最大弯矩 (MN·m)	—21.3 380	—18.3 832	—15.3 175	—11.5 250	—7.9 654	—4.2 570	—1.3 888
不计冲击时最大弯矩 (MN·m)	—20.3026	—17.1645	—14.0 270	—10.4 697	—7.0 898	—3.7 140	—1.1 747

2. 汽车-20 级荷载作用下各截面的最大剪力

如同求最大弯矩时一样,首先绘出各截面的剪力影响线如图 1-3-3,然后在影响线上按最不利位置直接布置荷载,求出各截面的最大剪力。在求最大剪力时,由于荷载偏载的增大系数采用与求弯矩时相同,各截面的汽车荷载冲击系数已列于表 1-3-5 中。为了求主应力的需要,还按此时的荷载位置求出相应的各截面弯矩。计算结果列于表 1-3-7。

汽车—20 级荷载作用下各截面最大剪力及其相应弯矩计算表							表 1-3-7
截 面	0-0	1-1	2-2	3-3	4-4	5-5	6-6
$\Sigma P_i\eta_{Qi}(\text{kN})$	510.1	482.1	452.7	420.7	388.7	338.0	307.5
汽车荷载最大剪力 (MN)	1.6 834	1.6 213	1.5 523	1.4 729	1.3 890	1.2 322	1.1 413
$\Sigma P_i\eta'_{Mi}(\text{kN}\cdot\text{m})$	—4 832.0	—4 006.5	—3 171.2	—2 368.4	—1 766.3	—568.8	—245.0
最大剪力时相应弯矩 (MN·m)	—15.9 463	—13.4 736	—10.8 737	—8.2 920	—6.3 116	—2.0 736	—0.9 093