

# 桥梁工程设计 计算方法及应用

QIAOLIANG GONGCHENG SHEJI  
JISUAN FANGFA JI YINGYONG

贾金青 陈凤山 编著

中国建筑工程出版社

# 桥梁工程设计计算方法及应用

贾金青 陈凤山 编著

中国建筑工业出版社

**图书在版编目 (CIP) 数据**

桥梁工程设计计算方法及应用/贾金青 陈凤山编著.

北京: 中国建筑工业出版社, 2003

ISBN 7-112-05540-7

I. 桥... II. ①贾... ②陈... III. ①桥梁工程—设计②桥梁工程—计算方法 IV. U442

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 092250 号

**桥梁工程设计计算方法及应用**

贾金青 陈凤山 编著

\*

中国建筑工业出版社 出版、发行 (北京西郊百万庄)

新华书店经销

有色曙光印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 16 字数: 396 千字

2003 年 10 月第一版 2003 年 10 月第一次印刷

印数: 1—3000 册 定价: 32.00 元

ISBN 7-112-05540-7

TU·4868 (11158)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本社网址: <http://www.china-abp.com.cn>

网上书店: <http://www.china-building.com.cn>

本书基于传统桥梁计算理论的基础上，系统地介绍了钢筋混凝土和预应力混凝土梁桥设计理论，从总体规划，到详细的设计计算，融桥梁理论、力学计算、构件设计于一体，贯穿了设计的全过程。书中还有大量笔者曾经设计的典型工程实例，帮助读者加深对理论知识的理解和提高运用现行公路桥涵规范进行设计的能力。并针对桥梁工程的发展现状和方向，介绍了实际工程中应用的新材料、新技术，如目前普遍使用的 ASTM 美国标准的低松弛钢绞线和与之配套使用的 XM 锚具。

本书可供桥梁专业师生、从事桥梁设计以及施工的技术人员学习和参考。

\* \* \*

责任编辑 田启铭

## 前 言

在我国桥梁建设中,钢筋混凝土和预应力混凝土梁桥占很重要的地位。本书系统地介绍了钢筋混凝土和预应力混凝土梁桥设计计算方法,从桥梁总体规划、截面设计、内力计算到结构设计与计算,以实际设计过程为主线,将桥梁分析理论、力学计算、结构设计有机地融于一体。书中算例均为作者设计的实际工程,帮助读者加深对理论知识的理解和提高运用现行《公路桥涵设计通用规范》进行设计的能力。

本书第一篇是桥梁设计基本理论,共分为五章:第一章是桥梁的规划与设计,主要介绍根据桥梁的功能要求进行总体规划的相关知识;第二章介绍公路桥梁设计荷载的计算,它是进行桥梁设计的一项重要内容;第三章论述的是梁桥结构解析,针对公路桥的特点,其结构解析是先进行荷载横向分布,把问题简化为一维问题,然后再利用结构力学的方法计算结构内力;第四章是行车道板的内力分析;第五章是桥梁上部结构设计原理,详细地介绍桥梁组成构件的设计计算方法。第二篇包括作者设计的两个典型钢筋混凝土简支梁桥工程实例—钢筋混凝土空心简支板和钢筋混凝土 T 形简支梁,本篇详尽地介绍了钢筋混凝土梁桥计算分析和设计的步骤和方法。第三篇是作者设计的三个典型预应力混凝土简支梁桥工程实例—钢筋混凝土空心简支板、预应力混凝土箱形简支梁和预应力混凝土 T 形简支梁,详细地介绍了上述几种预应力混凝土梁桥的设计计算过程和分析方法。

本书力求突出以下几方面特点:

1. 知识的系统性。从桥梁规划、截面设计、空间分析到梁的强度计算、变形计算等,进行了详细论述,使读者全面掌握桥梁设计的基本方法和过程。
2. 很强的指导性。书中力求介绍桥梁设计中常遇到的相关知识,帮助读者加强一些难点问题的理解。书中的实例均源于作者的设计实践,其中不乏作者的设计经验,既可作为设计计算的实例,又可看做案例分析。
3. 体现以规范指导设计的设计思想。书中自始至终紧密联系现行《公路桥涵设计通用规范》及其条文说明,并对相关条款做了必要的解释说明,以期读者通过设计实例掌握现行桥梁规范。
4. 体现桥梁设计先进性的要求,力求使用新材料、新技术、新工艺。

本书可供大专院校土木工程专业的师生、从事桥梁设计及施工的技术人员学习、参考。

编 者

2002 年夏于大连

## 主 要 符 号

### 内 外 力

- $M_j$ ——计入安全系数的荷载引起的弯矩；  
 $M_{g1}$ ——一期恒载弯矩；  
 $M_{g2}$ ——二期恒载弯矩；  
 $M_{g3}$ ——三期恒载弯矩；  
 $M_y$ ——由预加力引起的弯矩；  
 $N_y$ ——扣除预应力损失后的预应力钢筋的有效预加力；  
 $N_c$ ——局部承压时的纵向力；  
 $Q_j$ ——计入安全系数的荷载引起的剪力；  
 $Q_{hk}$ ——斜截面内混凝土和箍筋共同的抗剪能力；  
 $Q_w$ ——斜截面内弯起钢筋的抗剪能力；  
 $M_T$ ——计算扭矩；

### 应 力

- $\sigma_g$ 、 $\sigma'_g$ ——受拉区钢筋及受压区钢筋的应力；  
 $\sigma_y$ 、 $\sigma'_y$ ——扣除相应阶段预应力损失后，受拉区及受压区预应力钢筋的有效预应力；  
 $\sigma_k$ ——预应力钢筋的张拉控制应力；  
 $\sigma_{ha}$ ——混凝土法向压应力（正应力）；  
 $\sigma_{hl}$ ——混凝土法向拉应力；  
 $\sigma'_{ya}$ ——混凝土达到抗压设计强度时，受压区的预应力钢筋的应力；  
 $\sigma_{zl}$ 、 $\sigma_{za}$ ——混凝土主拉应力和主压应力；  
 $\sigma$ 、 $\sigma_h$ ——使用荷载及预加应力产生的混凝土法向应力；  
 $\tau$ ——使用荷载和弯起的预应力钢筋在计算的主应力点产生的剪应力；

### 材 料 指 标

- $E_g$ 、 $E_y$ ——普通钢筋及预应力钢筋的弹性模量；  
 $E_h$ ——混凝土的弹性模量；  
 $R_g$ 、 $R_g^b$ ——钢筋抗拉设计强度及标准强度；  
 $R'_g$ ——钢筋抗压设计强度；

$R_y$ 、 $R_y^b$ ——预应力钢筋抗拉设计强度及标准强度；  
 $R'_y$ ——预应力钢筋抗压设计强度；  
 $R$ ——混凝土立方体强度；  
 $R_a$ 、 $R_a^b$ ——混凝土轴心抗压设计强度及标准强度；  
 $R_l$ 、 $R_l^b$ ——混凝土抗拉设计强度及标准强度；  
 $R_{gk}$ ——箍筋抗拉设计强度；  
 $R_{gw}$ 、 $R_{yw}$ ——弯起的非预应力钢筋及弯起的预应力钢筋的抗拉设计强度；  
 $\nu$ ——混凝土的泊松比。

## 几 何 特 性

$L$ ——梁的计算跨径；  
 $a$ 、 $a'$ ——受拉区的非预应力钢筋与预应力钢筋的合力点及受压区的非预应力钢筋与预应力钢筋合力点到截面近边的距离；  
 $a_g$ 、 $a'_g$ ——受拉区的普通钢筋合力点及受压区普通钢筋的合力点到截面近边的距离；  
 $a_y$ 、 $a'_y$ ——受拉区的预应力钢筋合力点及受压区预应力钢筋的合力点到截面近边的距离；  
 $e_y$ ——预应力钢筋合力点到截面重心轴的距离；  
 $A_g$ 、 $A'_g$ ——纵向受拉钢筋及纵向受压钢筋的截面面积；  
 $A_y$ 、 $A'_y$ ——受拉区预应力钢筋及受压区预应力钢筋的截面面积；  
 $A$ ——构件面积；  
 $A_0$ ——构件换算截面面积；  
 $A_k$ ——同一截面内箍筋总截面面积；  
 $A_w$ ——弯起钢筋的截面面积；  
 $A_{yw}$ ——弯起预应力钢筋的截面面积；  
 $A_c$ ——混凝土局部承压面积；  
 $A_d$ ——混凝土局部承压时的计算底面积；  
 $A_{he}$ ——包罗在钢筋网或螺旋形配筋范围内的混凝土核心面积；  
 $A_{jg}$ ——间接钢筋换算截面面积；  
 $a_k$ ——箍筋的单肢截面面积；  
 $a_j$ ——螺旋形配筋的截面面积；  
 $a_{j1}$ 、 $a_{j2}$ ——间接钢筋网沿  $l_1$  方向及沿  $l_2$  方向单根钢筋的截面面积；  
 $d$ ——钢筋直径；  
 $I_h$ ——构件截面惯性矩；  
 $I_0$ ——换算截面惯性矩；  
 $W_0$ ——对换算截面受拉边缘的截面抵抗矩；  
 $S_0$ ——计算主应力点以上（或以下）部分的换算截面面积对换算截面重心轴的面积矩，或混凝土有效截面面积对受拉钢筋合力点的面积矩；

$S$ ——间接钢筋层的距离、螺旋式配筋或钢筋网的间距；  
 $S_k$ ——箍筋间距；  
 $b$ ——梁的腹板宽度；  
 $b'_i$ 、 $h'_i$ ——受压翼缘计算宽度及厚度；  
 $h$ ——截面高度；  
 $h_0$ ——截面有效高度；  
 $x$ ——混凝土受压区高度；  
 $r$ ——截面最小回转半径；  
 $c$ ——承托长度；  
 $\alpha$ ——弯起钢筋与水平线的夹角。

## 计 算 系 数

$n_g$ 、 $n_y$ ——非预应力钢筋及预应力钢筋弹性模量与混凝土弹性模量的比值；  
 $\mu$ ——配筋率或摩阻系数；  
 $\mu_k$ ——箍筋配筋率；  
 $p$ ——斜截面内纵向受拉主筋的配筋率；  
 $\gamma_b$ ——构件工作条件系数；  
 $\gamma_c$ ——混凝土安全系数；  
 $\gamma_s$ ——钢筋安全系数；  
 $\xi_{jg}$ ——钢筋混凝土构件受压区高度界限系数；  
 $\xi$ ——计算的受压区高度系数；  
 $m$ ——斜截面顶端正截面处的剪跨比或荷载横向分布系数；  
 $\beta$ ——混凝土局部承压强度提高系数；  
 $\beta_{he}$ ——配置间接钢筋时局部承压提高系数；  
 $C_1$ ——考虑钢筋表面形状的系数；  
 $C_2$ ——考虑荷载作用的系数；  
 $C_3$ ——与构件形式有关的系数；  
 $\varphi(t, \tau)$ ——混凝土徐变系数；  
 $\xi$ ——多车道折减系数。

# 目 录

## 第一篇 桥梁设计基本理论

|                  |    |
|------------------|----|
| 第一章 桥梁的规划与设计     | 1  |
| 第一节 桥梁总体规划原则     | 1  |
| 一、安全性            | 1  |
| 二、适用性            | 1  |
| 三、经济因素           | 2  |
| 四、先进性            | 2  |
| 五、施工上的要求         | 2  |
| 六、美观上的要求         | 2  |
| 第二节 桥梁设计程序       | 3  |
| 第三节 桥梁的规划设计      | 4  |
| 一、野外勘测与调查研究工作    | 4  |
| 二、桥梁纵、横断面设计和平面布置 | 6  |
| 第四节 桥梁的组成与分类     | 8  |
| 第五节 公路桥面构造       | 10 |
| 一、铺装层            | 10 |
| 二、排水、防水系统        | 11 |
| 三、伸缩缝            | 11 |
| 四、栏杆与防撞墙         | 11 |
| 参考文献             | 12 |
| 第二章 桥梁设计荷载       | 13 |
| 第一节 永久荷载(恒载)     | 13 |
| 第二节 可变荷载         | 14 |
| 一、基本可变荷载(活载)     | 14 |
| 二、其他可变荷载         | 18 |
| 第三节 偶然荷载         | 18 |
| 第四节 荷载组合         | 19 |
| 参考文献             | 20 |
| 第三章 梁桥结构解析       | 21 |
| 第一节 杠杆原理法        | 22 |
| 第二节 刚性横梁法        | 24 |
| 第三节 刚接梁法及铰接梁法    | 28 |
| 一、刚接梁法适用条件       | 28 |
| 二、刚接梁法计算原理       | 28 |
| 三、铰接板(梁)法        | 30 |

|                      |    |
|----------------------|----|
| 四、刚接梁法的计算步骤          | 31 |
| 第四节 比拟正交异性板法         | 31 |
| 一、弹性板的挠曲面微分方程        | 31 |
| 二、比拟正交异性板挠曲微分方程      | 33 |
| 三、应用图表计算荷载的横向分布      | 34 |
| 第五节 荷载横向分布系数沿桥跨的变化   | 39 |
| 第六节 主梁内力计算           | 40 |
| 一、恒载内力计算             | 40 |
| 二、活载内力计算             | 41 |
| 三、荷载组合及其系数           | 43 |
| 第七节 横隔梁计算            | 43 |
| 一、刚性横梁法计算横隔梁内力       | 44 |
| 二、比拟板法计算横隔梁内力        | 45 |
| 参考文献                 | 48 |
| 第四章 行车道板内力分析         | 49 |
| 第一节 行车道板的类型          | 49 |
| 第二节 车轮荷载在板上的分布       | 50 |
| 第三节 板的有效工作宽度         | 50 |
| 一、单向板                | 51 |
| 二、悬臂板                | 52 |
| 第四节 行车道板的内力计算        | 53 |
| 一、多跨连续单向板的内力         | 53 |
| 二、铰接悬臂板的内力           | 55 |
| 三、悬臂板的内力             | 55 |
| 参考文献                 | 56 |
| 第五章 桥梁上部结构设计原理       | 57 |
| 第一节 钢筋混凝土简支梁设计计算方法   | 57 |
| 一、钢筋混凝土梁截面形式及截面尺寸的拟定 | 57 |
| 二、钢筋混凝土梁正截面强度计算      | 57 |
| 三、钢筋混凝土梁斜截面抗剪强度计算    | 62 |
| 四、钢筋混凝土梁斜截面抗弯强度验算    | 63 |
| 五、钢筋混凝土梁应力验算         | 63 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 六、裂缝最大宽度验算 .....        | 66 |
| 七、梁的变形(挠度)验算 .....      | 66 |
| 第二节 预应力混凝土简支梁设计计算       |    |
| 方法 .....                | 67 |
| 一、主梁的构造布置 .....         | 67 |
| 二、主要材料选择 .....          | 68 |
| 三、预应力钢筋的估算 .....        | 70 |
| 四、预应力钢筋的布置 .....        | 71 |
| 五、预应力钢筋的张拉控制应力确定 .....  | 72 |
| 六、预应力钢筋的预应力损失计算 .....   | 72 |
| 七、钢筋的有效预应力计算 .....      | 79 |
| 八、预应力混凝土受弯构件的应力计算 ..... | 79 |
| 九、预应力混凝土受弯构件的强度计算 ..... | 86 |
| 十、端部锚固区计算 .....         | 89 |
| 十一、变形计算 .....           | 89 |
| 参考文献 .....              | 90 |

## 第二篇 钢筋混凝土梁 桥的设计与计算

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 第六章 钢筋混凝土空心筒支板 .....   | 91  |
| 第一节 钢筋混凝土空心筒支板设计       |     |
| 计算步骤及要点 .....          | 91  |
| 一、设计资料及主要指标确定 .....    | 91  |
| 二、毛截面几何特性计算 .....      | 91  |
| 三、板梁计算 .....           | 91  |
| 四、梁的正截面设计 .....        | 91  |
| 五、板梁的斜截面设计 .....       | 91  |
| 六、板梁正常使用极限状态验算 .....   | 91  |
| 第二节 钢筋混凝土空心筒支板设计 ..... | 91  |
| 一、设计资料及主要指标确定 .....    | 91  |
| 二、板的毛横截面几何特性计算 .....   | 93  |
| 三、荷载横向分布系数计算 .....     | 94  |
| 四、板梁的内力计算 .....        | 96  |
| 五、板梁的截面设计及强度复核 .....   | 101 |
| 六、板梁的正常使用极限状态验算 .....  | 103 |
| 参考文献 .....             | 106 |
| 第七章 钢筋混凝土 T 形梁桥 .....  | 107 |
| 第一节 钢筋混凝土 T 形梁桥设计计算    |     |
| 步骤 .....               | 107 |
| 一、设计资料与结构布置 .....      | 107 |
| 二、主梁截面几何特性计算 .....     | 107 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 三、主梁计算 .....            | 107 |
| 四、行车道板计算 .....          | 109 |
| 五、横隔梁计算 .....           | 109 |
| 第二节 钢筋混凝土 T 形梁桥设计 ..... | 109 |
| 一、设计资料与结构布置 .....       | 109 |
| 二、主梁截面几何特性计算 .....      | 109 |
| 三、主梁计算 .....            | 111 |
| 四、行车道板的计算 .....         | 131 |
| 五、横隔梁计算 .....           | 139 |
| 参考文献 .....              | 139 |

## 第三篇 预应力混凝土 梁桥的设计与计算

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 第八章 预应力混凝土空心板 .....               | 140 |
| 第一节 预应力混凝土空心板设计计算                 |     |
| 步骤 .....                          | 140 |
| 一、设计资料及主要指标确定 .....               | 140 |
| 二、截面几何特性计算 .....                  | 140 |
| 三、主梁内力计算 .....                    | 140 |
| 四、预应力钢筋计算及预应力钢筋布置<br>(见箱形梁) ..... | 140 |
| 五、计算净截面、换算截面的几何特性<br>及束界校核 .....  | 140 |
| 六、预应力损失计算 .....                   | 140 |
| 七、主梁弹性阶段应力验算 .....                | 140 |
| 八、主梁强度验算 .....                    | 141 |
| 九、局部承压验算 .....                    | 141 |
| 十、主梁变形计算 .....                    | 141 |
| 第二节 预应力混凝土空心板设计 .....             | 141 |
| 一、设计资料及主要指标确定 .....               | 141 |
| 二、板的横截面几何特性计算 .....               | 142 |
| 三、板的内力计算 .....                    | 143 |
| 四、预应力钢筋面积的估算及预应力钢<br>筋布置 .....    | 156 |
| 五、主梁截面几何特性计算及束界校核<br>.....        | 160 |
| 六、主梁截面强度计算 .....                  | 162 |
| 七、预应力损失估算 .....                   | 163 |
| 八、预加应力阶段的正截面应力验算<br>.....         | 167 |
| 九、使用阶段的正应力验算 .....                | 168 |
| 十、锚固区局部承压验算 .....                 | 169 |
| 十一、主梁变形计算 .....                   | 169 |

|                        |     |                          |     |
|------------------------|-----|--------------------------|-----|
| 参考文献 .....             | 170 | 第十章 预应力混凝土 T 形梁桥 .....   | 200 |
| 第九章 预应力混凝土箱形梁桥 .....   | 171 | 第一节 预应力混凝土 T 形梁桥设计计算     |     |
| 第一节 预应力混凝土箱形梁桥设计计算     |     | 步骤 .....                 | 200 |
| 步骤 .....               | 171 | 一、设计资料及构造布置 .....        | 200 |
| 一、设计资料及主要指标确定 .....    | 171 | 二、截面几何特性计算 .....         | 200 |
| 二、截面几何特性计算 .....       | 171 | 三、主梁内力计算 .....           | 200 |
| 三、主梁内力计算 .....         | 171 | 四、横隔梁内力计算 .....          | 200 |
| 四、预应力钢筋估算及预应力钢筋布置      |     | 五、预应力钢筋估算及力筋布置 .....     | 200 |
| .....                  | 171 | 六、计算净截面、换算截面的几何特性        |     |
| 五、净截面、换算截面的几何特性计算及束    |     | .....                    | 201 |
| 界复核 .....              | 172 | 七、预应力损失计算 .....          | 201 |
| 六、预应力损失计算 .....        | 172 | 八、主梁弹性阶段应力验算 .....       | 201 |
| 七、主梁弹性阶段应力验算 .....     | 173 | 九、主梁强度验算 .....           | 201 |
| 八、主梁强度验算 .....         | 173 | 十、局部承压验算 .....           | 201 |
| 九、局部承压验算 .....         | 173 | 十一、主梁变形计算 .....          | 201 |
| 十、主梁变形计算 .....         | 173 | 十二、行车道板计算 .....          | 201 |
| 十一、行车道板计算 .....        | 173 | 第二节 预应力混凝土 T 形梁桥设计 ..... | 202 |
| 第二节 预应力混凝土箱形梁桥设计 ..... | 174 | 一、设计资料及构造布置 .....        | 202 |
| 一、设计资料及构造布置 .....      | 174 | 二、梁毛截面几何特性计算 .....       | 203 |
| 二、主梁毛截面几何特性计算 .....    | 175 | 三、主梁内力计算 .....           | 205 |
| 三、主梁内力计算 .....         | 176 | 四、横隔梁内力计算 .....          | 220 |
| 四、预应力钢筋面积的估算及其布置       |     | 五、预应力钢筋面积的估算及其布置 .....   | 225 |
| .....                  | 184 | 六、主梁截面几何特性计算 .....       | 229 |
| 五、主梁截面几何特性计算及束界校核      |     | 七、钢束布置位置(束界)的校核 .....    | 231 |
| .....                  | 186 | 八、主梁截面强度计算 .....         | 232 |
| 六、预应力损失计算 .....        | 187 | 九、预应力损失估算 .....          | 233 |
| 七、正截面应力验算 .....        | 191 | 十、预加应力阶段的正截面应力验算 .....   | 237 |
| 八、使用阶段的主应力验算 .....     | 193 | 十一、使用阶段的正截面应力验算 .....    | 237 |
| 九、强度验算 .....           | 196 | 十二、使用阶段的剪应力与主应力验算        |     |
| 十、局部承压验算 .....         | 198 | .....                    | 238 |
| 十一、主梁变形计算 .....        | 198 | 十三、锚固区局部承压验算 .....       | 240 |
| 参考文献 .....             | 199 | 十四、主梁变形计算 .....          | 242 |
|                        |     | 参考文献 .....               | 244 |

# 第一篇 桥梁设计基本理论

## 第一章 桥梁的规划与设计

### 第一节 桥梁总体规划原则

桥梁是公路、城市道路或铁路的重要组成部分，是一个国家工业和技术水平的综合体现。尤其大、中桥梁对政治、经济、国防等都具有非常重要的意义，有些甚至被视为生命线工程。而在整个桥梁建设质量保证体系中，桥梁设计又是一个极为重要的环节。因此，应根据所设计桥梁的使用任务、性质和所在线路的远景发展需要，按照安全、适用、经济、先进和适当照顾美观的原则进行多方案比较，统筹考察多方面因素后进行抉择。设计人员在工作中必须广泛吸取建桥实践中创造的先进经验，推广各种经济效益好的技术成果，积极采用新结构、新技术、新设备、新工艺、新材料。

与设计其他构筑物一样，在桥梁规划设计中按重要性应分别考虑以下各项要求：

#### 一、安全性

这里所谓的安全，有两方面的含义：保证桥梁自身在施工过程中、使用年限内的安全；保证桥上、桥下的行人和车辆在施工和运营过程中的安全。前者是桥梁规划设计的重中之重，是后者的必要条件和保障。

桥梁自身的安全是指整个结构及其各组成构件，在制造、运输、安装和运营过程中能满足强度、刚度、稳定性和耐久性的要求。桥梁结构的强度应使其所有组成构件及连接构造的材料抗力或承载能力具有足够的安全储备。对于刚度的要求，应使桥梁在荷重作用下的变形不超过规定的容许限值，因为过度的变形会导致结构连接的松弛，而且挠度过大会导致高速行驶困难，并带来超过桥梁设计的动力响应，给乘客、行人不舒适和不安全的感觉，严重者可危及桥梁结构的安全。结构的稳定性要求，就是要使桥梁结构在各种外因影响下，具有保持原有形状和位置的能力。震区内的桥梁，在计算和构造上还要满足抗震要求。总而言之，要保证桥梁结构自身的安全，就是要在设计时满足结构尺寸和构造上的要求。

当然，需要说明的是，安全不是绝对的，是指在一定保证率下的安全<sup>[6]</sup>。安全性是结构可靠性的一个重要组成部分，是结构在设计 and 施工时必须应该考虑的最主要的功能要求。

#### 二、适用性

对于公路桥而言，其适用性是指在正常使用过程中，具有良好的工作性能，这是结构的又一重要功能要求。

桥面系的行车道和人行道宽度应保证桥上车辆和人群的安全畅通,即能通行相同于线路上的运输量和承载重量,同时应考虑未来交通量增长的可能和需要。否则,就有可能成为影响交通的狭窄咽喉。

行车道的位置,即桥梁是采用上承式、中承式或下承式,以及桥梁的平面布置(曲线半径)是影响行车视野和行车速度的影响因素。目前,多采用上承式。

对于跨线桥或跨越江河湖海的桥梁,桥型、跨径、桥道标高和桥梁的建筑高度(与桥下净空有关)的选取应满足桥下泄洪、安全通航或通车等要求。桥梁建成以后要保证使用年限(设计基准期)内,构造上应具有可维修性(即便于检查、加固和维修),以保证在其功能衰减或满足未来发展需要时能够顺利加固、扩建。

另外,桥面的平整程度是保证行车的平稳和舒适程度的关键。

### 三、经济因素

在安全、适用的前提下,经济因素是衡量技术水平,做出方案选择的主要因素。在设计中,应提出几套初步设计方案,并须根据因地制宜、就地取材、方便施工的原则,考虑包括造价、工料供应来源、结构使用年限、运营费用、估计未来发展的合理储备,以及发生特殊情况时桥梁具有的适应能力,通盘进行方案比较,选择适当的桥型。要全面而精确地计算、照顾到所有的经济因素往往是很困难的,在方案比较中,应充分考虑桥梁在使用期间的运营条件以及养护、加固和维修等的费用。

### 四、先进性

桥梁设计应能体现现代桥梁建设的新技术。应尽量采用先进的施工工艺技术和施工机械、设备,以便于制造和架设,并利于减少劳动强度,加快施工进度,同时保证工程质量和施工安全。

### 五、施工上的要求

桥梁结构在施工阶段应便于制造和架设,在运营阶段应便于检查、维修和加固。采用先进的工艺技术和施工机械的同时,应考虑到施工的可行性,保证施工速度、工程质量和施工安全。

### 六、美观上的要求

近代桥梁规划设计的趋势,多将美观列为桥梁使用要求的一项内容。桥梁除具有雄伟的轮廓外,其布局、风格、色彩还应与周围的景致和谐。城市桥梁和游览地区的桥梁,可较多地考虑建筑艺术方面的要求。

世界著名的桥梁专家、德国学者莱昂哈特(F. Leonhardt)教授在他的专著《桥——美学和设计》中提出下列美学思想:

1. 在满足其他功能要求的前提下,要选用最佳的结构形式——纯正、清爽、稳定。美从属于质量,质量统一于美。

2. 美主要表现在结构选型和谐与良好的比例,并具有秩序感和韵律感,过多的重复将会导致单调。

3. 应重视与环境的协调。包括材料的选择,表面的质感,特别是色彩的运用起着重要作用。而运用模型则有助于实感判断,审视阴影效果。

此外,在战时,作为交通咽喉的桥梁,是敌人攻击的主要对象。最好的办法是桥梁在部分破坏时不致整体破坏,即保证只是局部损伤,以便于快速修复;或者尽量进行标准化

设计, 以增强结构在遭到破坏后的互换性。另外, 在不太影响经济因素的前提下, 尽量减少破坏的损失和修复的难度。

从当前国际桥梁成就水平, 回顾我国建国初期努力追求的目标, 即设计标准化、制造工厂化、施工机械化的原则, 鉴于现代社会需求和生产能力对桥梁提出了更高层次的技术发展内容, 现代人们的活动范围已经进入空间, 城市和连接城市的交通网络形成多层建筑群体。桥梁不仅仅是跨越障碍的构造, 而且常常作为多层立体交叉交通的枢纽和衔接空中(高架)、陆上、水下建筑的纽带。修建桥梁应具有工业成品的速度, 完成桥梁有艺术珍品鉴赏价值, 运行桥梁有建筑实体的使用功能; 为了达到这些要求, 原则趋势如下:

1. 桥式类型的多样化与结构单元的标准化;
2. 部件生产的工厂化及节段组拼的现场化;
3. 吊运机具的大型化和操作器械的轻型化。

## 第二节 桥梁设计程序

大型桥梁的设计, 包括桥梁规划设计(含可行性方案研究), 初步设计(又称方案设计)和编制施工图三个阶段。

公路桥梁的规划设计要服从所在线路的规划原则, 也可在线路可能走向的局部地区内进行桥梁规划设计, 尤其经过城市或市郊时, 桥梁对当地的政治、经济、国防都具有重要意义。城市桥梁的规划应根据桥梁上主要的交通性质、过境性质、市内交通或城市的对外交通, 预测不同性质交通流量和增长率, 以及国家投资的经济效益来制订。目前, 我国对重要的桥梁都要进行规划设计, 通常委托设计、科研或高等院校等单位单独或联合进行桥梁可行性方案研究。在城市中, 为了达到满足交通的目的, 有时还存在着城市隧道与桥梁方案的矛盾。

在通过调查研究、分析比较所制订的桥梁规划设计的基础上, 经过讨论、审查并根据国家和地方建设计划的安排, 即可立项并编制计划任务书。建设单位(甲方)可采用招标的方式进行初步设计。在该阶段, 应根据桥梁规划设计中所确定的桥位、荷载等级以及其他各项设计要求, 如在纵、横、平面三维上的布置要求(包括桥面宽、桥梁建筑高度、桥上和桥下的净空要求等), 根据适用、经济、安全、先进、施工、美观等的设计原则进行桥梁方案设计, 拟定结构型式(体系、分孔、桥型布置)与主要构造尺寸, 确定需要的附属结构物, 提出主要建材数量指标。选择施工方案, 并据此编制工程概预算、文字说明、图表资料等技术文件, 由建设单位聘请的评审委员会对各个投标方案进行综合评比。一般中标方案的设计单位应承担编制施工图阶段的设计任务。初步设计阶段, 如建设单位不采取招标评选, 也可进行委托设计。在此情况下, 接受委托设计的单位必须在初步设计阶段拟定 2~3 个以上的方案供建设单位选择决定, 说明推荐方案的优缺点, 经上级批准后再据此进行施工图设计。

编制施工图阶段, 主要内容为根据已批准的初步设计方案进行结构设计计算, 绘制施工详图, 编制施工组织设计和施工预算。对于修建任务急迫的桥梁建设项目, 或技术要求简单的中、小桥建设项目, 也可采用一阶段设计, 即以扩大的初步设计来包含各个阶段设计的主要内容。

### 第三节 桥梁的规划设计

桥梁规划设计涉及的因素很多,必须充分的调查研究,从客观实际出发,分析该桥的具体情况,才能得出合理的设计建议,提出正确的计划任务书。因此,桥梁的规划设计必须进行一系列的野外勘测和资料收集工作,即汇集桥梁结构解析条件。

#### 一、野外勘测与调查研究工作

对于跨越河流的桥梁,结构解析条件一般包括下面几方面的内容:

##### (一) 技术条件

即调查研究桥梁的具体任务,即桥上的交通种类、性质和要求,如车辆的荷载等级、实际交通量和增长率、需要的车道数目以及人行道的要求等。设计过程中,正是根据这些资料确定桥面宽度(包括行车道和人行道等)、设计及验算荷载等级等。这些资料提供给主管部门以权衡“需要”和“经济”之间的矛盾。

##### (二) 自然条件及桥位选择

需要调查的自然条件包括:

1. 测量桥位附近的地形,并绘制地形图,供设计和施工应用。如下部结构的位置确定、施工场地的选择和布置等,均参照桥位处的地形图进行。

2. 通过钻探调查桥位的地质情况,并将钻探资料制成地质剖面图,作为基础设计的重要依据。为使地质资料更接近实际,可以根据初步拟定的桥梁分孔方案将钻孔布置在墩台附近,以准确指导桥梁设计。

3. 调查和测量河流的水文情况,为确定桥道标高、跨径和基础埋置深度提供依据,其内容包括:

(1) 河道性质:了解河道的水流性质、季节性,有无潮水,河床及两岸的冲刷和淤积,以及河道的自然变迁历史和人工规划的情况,以选择合适的方案,减小桥梁修成以后受河道变迁影响的程度;

(2) 测量桥位处河床断面;

(3) 调查了解洪水位的多年历史资料,通过分析推算设计洪水位;

(4) 测量河床地形,调查河槽各部分的形态、标高和粗糙率等,计算流速、流量等有关资料,通过计算确定设计水位下的平均流速和流量,结合河道性质可以确定桥梁所需的最小总跨径,选择通航孔的位置和墩台基础形式及埋置深度;

(5) 向航运部门了解和协商确定设计通航水位和通航净空,根据通航要求与设计洪水位,确定桥梁的分孔跨径与桥跨底缘设计标高。

4. 调查了解其他与建桥有关的情况,例如:当地建筑材料(砂、石料等)的来源,水泥、钢材的供应情况,以便因地制宜、就地取材,降低工程造价。

调查附近桥的使用情况,有关部门和当地群众对新桥有无特殊要求,例如:桥上是否需要铺设电缆、输水、输气管道等。

施工场地的情况,是否需要占用农田,桥头有无需拆除或迁移的建筑物。这些都要尽可能注意避免或减少损失至最低限度。

当地及附近的运输条件,这些情况对施工起着重要的作用。

桥梁施工机械、动力设备与电力供应的了解,这些还影响设计与施工方案的确定。

上述各项野外勘测与调查研究工作,有的可同时进行,有的则需相互交错。根据调配勘测所得的资料,可拟定出几个不同的桥梁比较方案。方案比较可以包括不同的桥位、不同的材料、不同的结构体系和构造、不同的跨径和分孔、不同的墩台和基础形式等。从中选出最合理的方案。大、中桥一般选择2~3个桥位,进行各方面的综合比较,然后选择出最合理的桥位。选择桥位与总体规划中应注意以下几方面问题:

#### 1. 近期与远期

通常桥梁规划设计以当前需要为主,远期发展要看估算是否有足够的资料和依据。一般桥梁只准备有限度的未来发展,在极度严峻的自然条件下,桥梁以能安全保存为主,必要时得进一步加固。另外,设计中也应留有余地,重大工程常在近期布置的基础上,预先做好中期、后期适应和扩建的规划。

#### 2. 线路与桥位

经济因素的考虑对任何工程都有决定意义。在相隔距离不远的桥位,其地形、河床和地质可能由于山丘、峡谷、深沟、断层、溶洞的存在,有突然的变化,这时趋有利而避不利就十分必要。一般在大方向上,桥为服从线路,在小范围内桥位应做适当挪动的方案比较。

但当线路通过山前区冲积扇时,由于河流出山时迅速下泄,并携带泥沙,所以主河槽方向不一定固定,即具有游荡性,形成宽阔河床。这时,如果缺少河流整治措施,线路最好在冲积扇上或下游通过,否则可采取一河多桥通过。线路通过原野,跨越游荡性江河,宜选择在干流分配流量较大的区段上修建主桥。

在山区的河流,一般不会游荡,但由于选线困难,桥梁很难和河流正交,而且不宜扰动山体,以免造成日后坍塌。多数情况下山洪湍急,并有形成泥石流的可能,所以线路、桥梁必须结合水文、地形、地质具体条件,审慎定线选位,必要时可采用大跨,避免或少做中间墩。

#### 3. 长桥与短桥

在同一桥址,相同技术条件下,影响桥长的因素有:桥上设坡的可能与长度;经济填土高度;河道压缩是否可行。一般桥下通航孔必须有足够的净高,在河槽稳定时,桥上可以设坡,以减少引桥的总长度。但桥头两端如有高的填土路基,也可以考虑换用引桥,这样对陆上交通有利,占地亦少,但桥的总长度增加,这就要看具体条件,结合经济因素做出比较。涉及问题较大的是游荡性河流上,漫滩宽度广阔,如能在高水位时束水归槽,则有可能减小桥长。但是仅在桥轴线上压缩河流,不如在上、下游河道的全面整治可靠,布置的成功与否主要决定于导流建筑与河滩路堤的效果。

#### 4. 大跨与小跨

采用大跨将减少孔数、墩数,但增加了上部结构的工程量和施工难度,小跨则反之。在通航的河流上,需要的通航净空控制最小允许孔径;在不通航的河流上,则考虑泄洪时过水断面的削减、流势、流向的变化和桥头水位的壅水程度。实际采用的跨径将从上、下部结构的综合经济比较和技术合理性考虑,选择不小于通航、泄洪要求的跨径布置。

比选跨径布置时,墩位处的水深、流速、地质情况,可以从资料中得出,或借助于网络从逐步完善的地理信息系统(GIS)中查取。

## 二、桥梁纵、横断面设计和平面布置

### (一) 桥梁纵断面设计

桥梁纵断面设计包括桥梁总跨径、桥梁的分孔、桥道标高与桥下净空、桥上及桥头的纵坡布置等的确定。

桥梁的总跨径一般根据水文计算确定。由于桥梁墩台、桥头路堤和护坡压缩了河床,使桥下过水断面减少,流速加大,改变了河床冲刷条件。因此桥梁总跨径必须保证桥下有足够的泄洪面积,使河床不致产生过大的冲刷。为了使总跨径不致过大而增加桥梁的总长度,可以允许有一定的冲刷。山区河流一般河床流速很大,设计时应尽可能少压缩或不压缩河床。平面宽滩河流虽然可允许较大的压缩,但必须注意壅水对河滩路堤、附近农田和建筑物可能发生的危害。

桥梁的总跨径确定后,还需进行分孔。对于较大的桥梁,应当分成几孔,各孔的跨径分别应当多大,有几个河中桥墩,哪些是通航孔,这些问题要根据通航要求、地形和地质情况、水文情况以及技术经济和美观的条件加以确定。桥梁的分孔关系到桥梁的造价,跨径愈大,孔数愈少,上部结构的造价就愈大,而墩台的造价就愈小。所以,最为经济的跨径就是要使得上部结构、桥墩和桥台的总造价最低,因此当桥墩较高或地质不良,基础工程较复杂而造价较高时,桥梁跨径就选得大一些;反之,当桥墩较矮或地基较好时,跨径就可选得小一些。实际工作中,可对不同的跨径布置进行粗略地多方案比较,选择最为经济的跨径和孔数。

对于通航河流,当通航净宽大于按经济造价所确定的跨径时,一般将通航桥孔的跨径以通航净宽为准,其余桥孔跨径则选用经济跨径。对于变迁性河流,考虑航道可能发生变化,则需多设几个通航孔。

桥梁分孔有时还需要采用标准跨径,以便于抢修和互换;有时因工期很紧,为了减少水下工程,需要减少桥墩而加大跨径。在有些体系中,为了使结构受力合理和用材经济,分跨布置时要考虑合理的跨径比例。有些情况下,为了避免在河中搭脚手架和临时墩,可以特别加大跨径,采用悬臂施工法。在山区建桥时,往往采用大跨径桥梁跨越深谷,以免建造中间桥墩。跨径选择还与施工能力有关,应考虑现有的施工技术能力和机械设备。

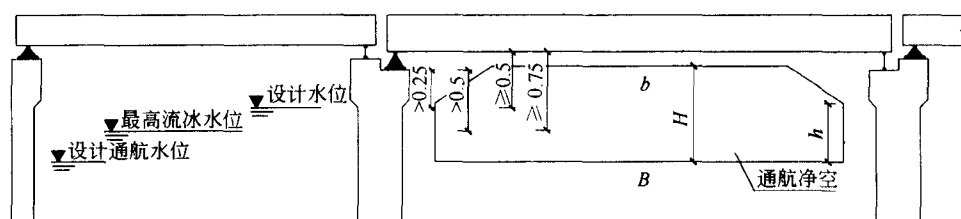


图 1-1 桥梁纵断面

尺寸单位: m

桥面的标高或在路线纵断面设计中已经规定,或根据设计洪水位、桥下通航需要的净空来确定。

对于非通航河流,一般梁底应高出设计洪水位(包括壅水和浪高)不小于 0.5m,高出最高流冰水位 0.75m,支座底面高出设计洪水位不小于 0.25m,高出最高流冰水位不小