

高等学校教材
土木工程专业用

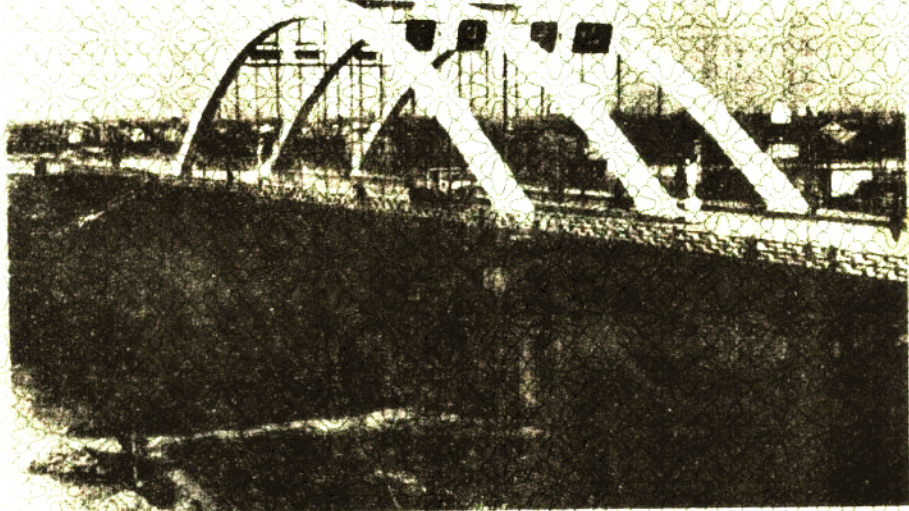
桥梁工程

第二分册

混凝土桥

李乔 主编

李乔 周厚斌 赵人达 蒲黔辉 钱永久 刘元久 编



西南交通大学

前 言

本教材是针对国家教育部新专业目录中土木工程专业本科生编写的。适用于土木工程专业本科生的必修或选修课程，也可作为其它类型桥梁专业的教材。

本教材共五个分册，第一分册为《桥梁工程概论》，第二分册为《混凝土桥》，第三分册为《钢桥》，第四分册为《缆索承重桥梁和立交桥》，第五分册为《桥梁结构的振动与抗风抗震设计》。本书为第二分册《混凝土桥》。因为混凝土桥的构造与施工在第一分册《桥梁工程概论》已经述及，所以本分册主要讲述设计与计算。

本分册共分六章。第一章为绪论，主要介绍一下混凝土桥的发展概况；第二章介绍混凝土简支梁桥的设计计算方法；第三章介绍混凝土连续梁桥和连续刚构桥的设计计算。因为连续刚构桥在计算方法上与连续梁桥大体相同，所以本章重点讲解连续梁桥，然后介绍一下连续刚构桥的不同之处；第四章介绍拱桥的设计计算；第五章介绍桥梁支座和墩台的计算；第六章介绍梁桥的空间分析方法，本章内容较深，属于拓展知识面的内容，可根据学时多少决定是否讲解。对于少学时的选修课（如32学时），可不讲本章，留给学生业余时间或毕业后阅读参考。该部分内容中有些尚属研究中的问题，因此本书只作一般性介绍，目的是给读者建立一个概念，为今后深入学习打下基础。书后的附录列有四个墩台设计计算的工程实例，供读者参考。

本书第一章和第六章由李乔编写，第二章由周厚斌编写，第三章由赵人达编写，第四章由钱永久和蒲黔辉编写，第五章和附录由刘元久编写。全书由李乔主编。

由于时间仓促，又是第一次编写面向土木工程大类培养的教材，书中定存在不少错误和缺点，望广大读者批评指正，以便下次修订改正。

目 录

前 言	
第一章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 混凝土桥的分类	2
第二章参考文献	9
第二章 简支梁桥的设计与计算	10
2.1 概 述	10
2.2 立面布置与构造设计	11
2.2.1 立面布置	11
2.2.2 横截面设计	12
2.3 主梁结构内力计算	15
2.3.1 恒载内力计算	16
2.3.2 活载内力计算	17
2.3.3 内力组合及内力包络图	18
2.4 桥梁实用空间分析—荷载横向分布	26
2.4.1 基本原理	26
2.4.2 荷载横向分布系数沿桥跨的变化	31
2.4.3 刚性横梁法	32
2.4.4 刚接梁(板)法和铰接梁(板)法	39
2.4.5 比拟正交异性板法(G-M法)	48
2.5 横隔梁的计算	60
2.5.1 按刚性横梁法计算横梁内力	60
2.5.2 按刚接梁法计算横隔梁内力	63
2.6 桥面板的计算	66
2.6.1 混凝土桥面板的分类	66
2.6.2 桥面板的设计荷载	67
2.6.3 桥面板的有效工作宽度	69
2.7 主梁挠度计算与预拱度设置	74
2.7.1 挠度计算及要求	74
2.7.2 预拱度的设置	75
第二章参考文献	76
第三章 连续梁桥及刚构桥	77
3.1 概述	77
3.1.1 桥孔分跨	79
3.1.2 截面形式	79
3.1.3 预应力钢筋的形式	80
3.1.4 预应力混凝土连续梁构造示例	83

3.2 连续梁桥在恒载和活载作用下的内力计算	84
3.2.1 恒载作用下的内力计算	84
3.2.2 活载作用下的内力计算	92
3.3 混凝土连续梁桥次内力的计算	94
3.3.1 温度变化引起的次内力的计算	94
3.3.2 预加力引起的次内力的计算	102
3.3.3 混凝土的徐变和收缩引起的次内力的计算	114
3.3.4 基础不均匀沉降引起的次内力的计算	121
3.4 混凝土刚构桥的构造与计算特点	122
3.4.1 概述	122
3.4.2 刚构桥的类型	122
3.4.3 刚构桥的构造特点	124
3.4.4 刚构桥构造示例	128
3.4.5 刚构桥的内力计算特点	131
第三章参考文献	142
第四章 拱桥的设计与计算	140
4.1 概述	140
4.2 拱轴线的选择与计算	141
4.2.1 拱轴线型	141
4.2.2 悬链线拱轴方程	142
4.2.3 拱轴系数 m 的确定	145
4.3 拱桥的内力计算	147
4.3.1 悬链线无铰拱的弹性中心	147
4.3.2 恒载作用下拱的内力计算	148
4.3.3 活载作用下拱的内力计算	151
4.3.4 温度变化和混凝土收缩所产生的内力	157
4.3.5 裸拱内力计算	159
4.3.6 拱脚变位引起的内力计算	160
4.4 主拱的强度及稳定性验算	162
4.4.1 内力组合	162
4.4.2 主拱强度验算	162
4.4.3 拱的稳定性验算	166
4.5 主拱内力调整	170
4.5.1 假载法调整悬链线拱的内力	171
4.5.2 临时铰法	172
4.5.3 用千斤顶调整内力	173
4.6 拱上建筑的计算	176
4.6.1 拱上建筑与拱分开各自单独计算的情况	177
4.6.2 拱上建筑与主拱联合作用的情况	179

4.7 连拱计算	182
4.7.1 连拱作用的受力特点	182
4.7.2 第一种连拱简化算法	184
4.7.3 第二种连拱简化算法— Σ 法	192
第五章 桥梁支座与墩台计算	197
5.1 支座的计算	197
5.1.1 支座的计算荷载与反力	197
5.1.2 钢支座的设计计算*	198
5.1.3 板式橡胶支座的设计计算	201
5.2 墩台的计算	210
5.2.1 重力式墩台的计算	210
5.2.2 桩柱式墩台的计算	234
第六章 梁桥的空间分析方法	240
6.1 平面分析与空间分析	240
6.2 梁格法	241
6.2.1 梁格法的力学模式	241
6.2.2 梁格法的特例	246
6.2.3 主梁荷载横向分布系数的计算	247
6.3 有限元法	247
6.3.1 采用空间梁单元的格梁模型	248
6.3.2 采用空间梁单元和平壳单元的混合模型	250
6.3.3 其它有限元空间分析模型	251
6.4 箱形梁分析方法	253
6.4.1 箱形梁的受力特点及分析方法	253
6.4.2 箱形梁的弯曲分析	257
6.4.3 箱形梁的扭转与畸变分析	260
第六章参考文献	265
附录: 墩台设计计算工程实例	265

第一章 绪论

1.1 概述

混凝土桥是应用最为广泛的桥梁，在现有的桥梁中，绝大部分属于混凝土桥。所谓混凝土桥，是指主要结构由混凝土材料构成的桥梁。它包括混凝土圬工桥、钢筋混凝土桥和预应力混凝土桥。广义地说，还应包括钢管混凝土桥和劲性骨架混凝土桥。

钢管混凝土是在钢管内浇筑混凝土形成受力构件，适用于受压构件，多用于拱桥的拱肋和桥墩的墩柱。其优点一是钢管代替施工支架和模板，二是钢管对受压的混凝土提供“套箍作用”，提高了混凝土的抗压强度。

劲性骨架混凝土是用钢管或型钢作成骨架，再在其外面浇筑混凝土。劲性骨架既起到施工支架的作用，又起到钢筋的作用。这种结构多用于大跨度拱桥的拱肋及斜拉桥和悬索桥的桥塔。

混凝土圬工拱桥现在已较少采用。钢筋混凝土大量用于中小跨度的简支梁桥、连续梁桥以及各种跨度的拱桥。近二十年来，由于预应力混凝土材料和施工技术的快速发展，中等跨度以上的混凝土梁桥几乎全部为预应力混凝土材料。而钢管混凝土和劲性骨架混凝土技术的发展又使得大跨度拱桥越来越多地采用这两种材料。

混凝土桥在我国快速发展还是新中国成立以后的事。在五、六十年代，以钢筋混凝土桥为主流。虽然我国在五十年代以劳延昌教授为代表的一批科技工作者已经开展预应力混凝土的研究，并在1955年建成第一座预应力混凝土简支梁桥。但是直到七十年代，才由于悬臂施工方法和大吨位预应力张拉锚固体系技术的成熟，使得大跨度预应力混凝土连续梁桥在国内开始兴建。

进入八十年代，尤其是九十年代，由于国民经济的迅猛发展，大跨度预应力混凝土连续梁桥、连续刚构桥、斜拉桥、拱桥等如雨后春笋般地在全国各地修建。与此同时，国内各大中城市也大量修建各种立交桥和高架桥，且大部分为混凝土结构。可以说，我国的桥梁设计、施工和科学研究水平已经进入世界先进行列。

1.2 混凝土桥的分类

按结构形式划分,混凝土桥有简支梁桥、连续梁桥、连续刚构桥、T 型刚构桥、拱桥、斜拉桥。按材料划分,有混凝土圬工桥、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、钢管混凝土桥以及劲性骨架混凝土桥。按施工方法划分,有装配式(预制)和现浇式桥梁。

钢筋混凝土和预应力混凝土简支梁桥是最常见的桥梁形式,公路和铁路部门均有标准设计(标准图)。因此在设计这种桥梁时,如无特殊要求,则其上部结构(主梁)可以直接套用标准图。目前铁路标准设计混凝土简支梁由工厂预制,然后运至工地安装。因此其生产标准化、程式化程度高,质量也更易于控制。

图 1-2-1 为青海省黄河沿桥,是一座跨越黄河上游的 6 孔跨径 12.5 米的钢筋混凝土 T 字形梁微弯板桥,钻孔桩基础,建于 1966 年。

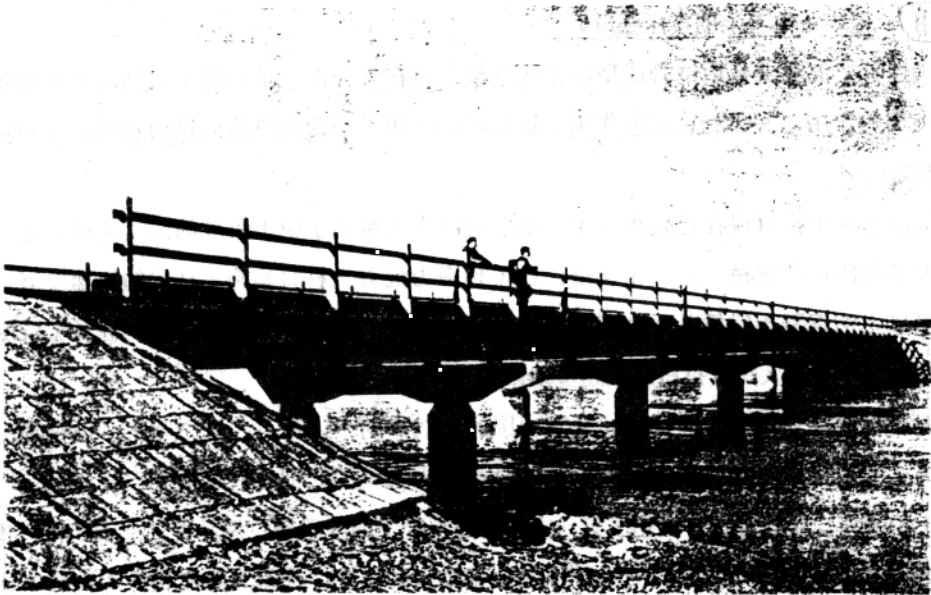


图 1-2-1 青海省黄河沿桥

图 1-2-2 为河南省淮河大桥,钢筋混凝土 T 形梁简支结构,跨径有 15 米和 20 米两种,共 30 孔,双柱式桥墩,钻孔桩基础。图 1-2-3 为浙江省临海桥,主河道桥为 9 孔跨径 30 米的预应力混凝土 T 形梁简支梁桥,双柱式桥墩。图 1-2-4 为正在用架桥机架设的铁路预应力混凝土简支梁桥。

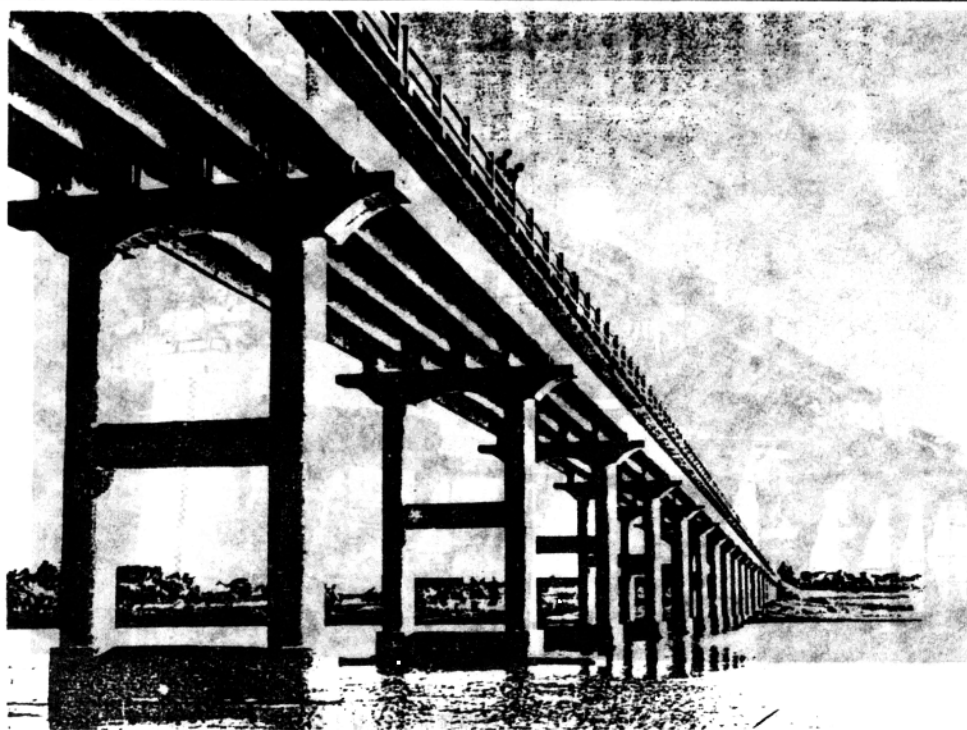


图 1-2-2 河南省淮河大桥

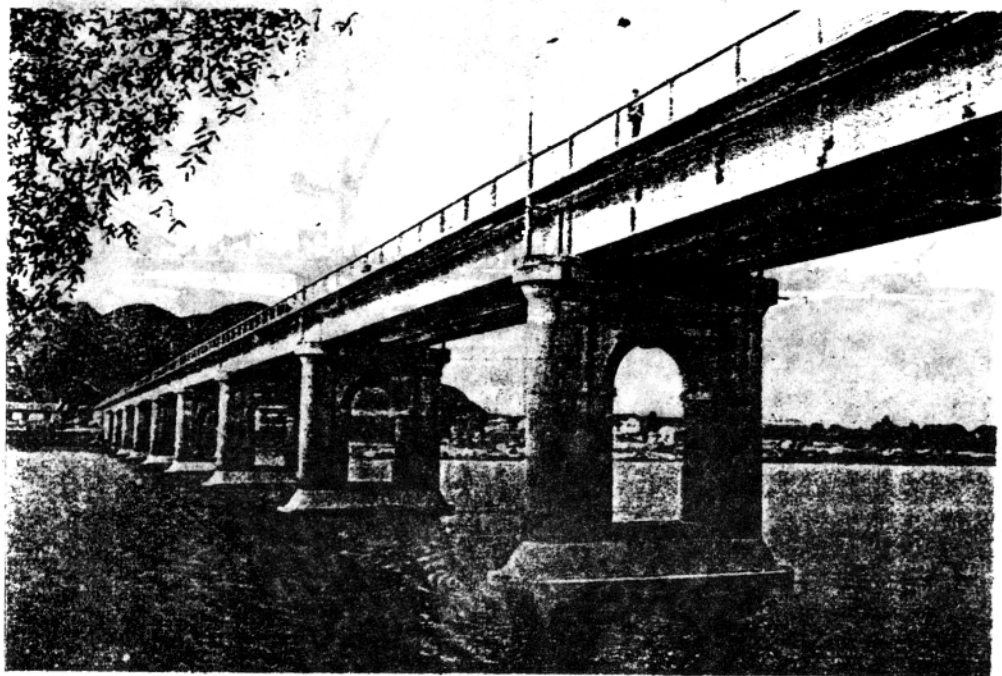


图 1-2-3 浙江省临海桥

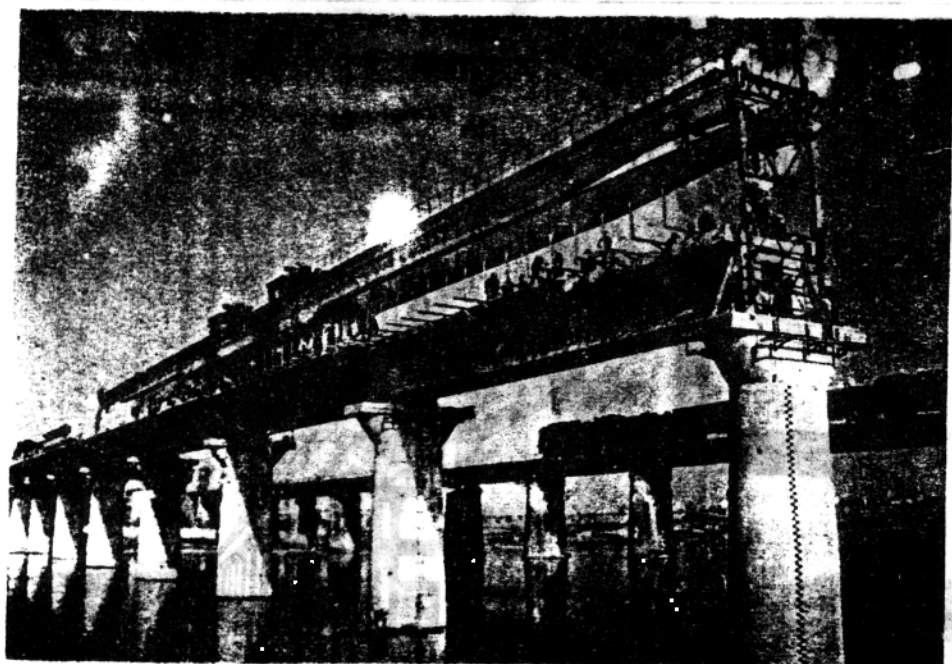


图 1-2-4 正在架设的铁路预应力混凝土简支梁桥

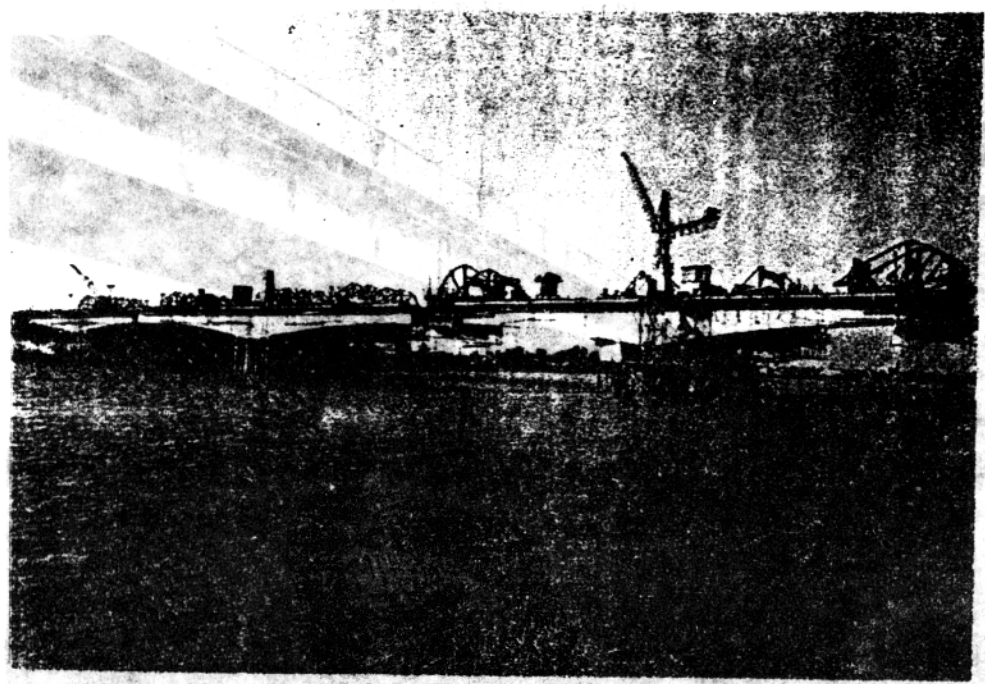


图 1-2-5 正在施工的钱塘江二桥

预应力混凝土连续梁桥和连续刚构架桥是大中跨度混凝土桥的主要桥型，其中的人跨度桥多数采用悬臂浇筑或悬臂拼装施工法。图 1-2-5 为正在进行平衡悬臂浇筑法施工的钱塘江二桥的预应力混凝土连续梁。

图 1-2-6 为广东省虎门珠江辅航道桥，是一座 $150\text{m}+270\text{m}+150\text{m}$ 的三跨预应力混凝土连续刚构桥，是世界上同类桥型中跨度最大者。图中远处即为著名的虎门主航道悬索桥，主跨 888 米。图 1-2-7 为南昆铁路清水河大桥，主桥为 $72.8\text{m}+128\text{m}+72.85\text{m}$ 预应力混凝土连续刚构桥，桥墩高达 100 米，谷深近 200 米。

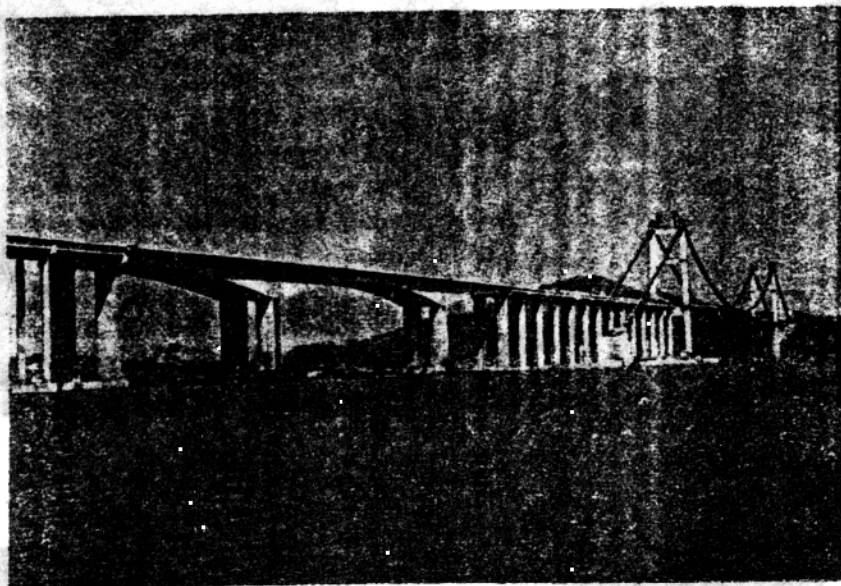


图 1-2-6 虎门珠江辅航道连续刚构桥

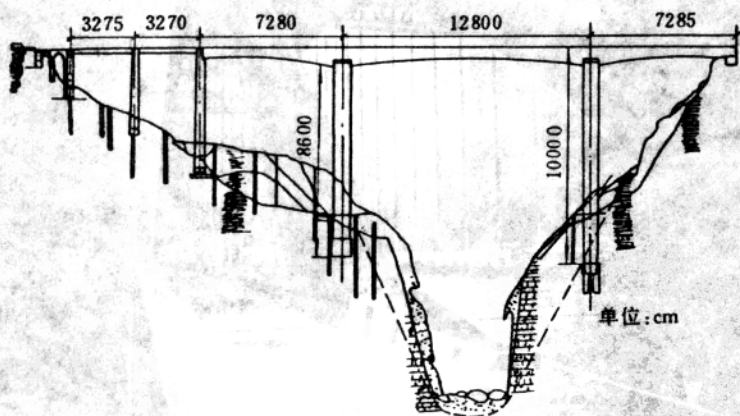


图 1-2-7 南昆铁路清水河大桥

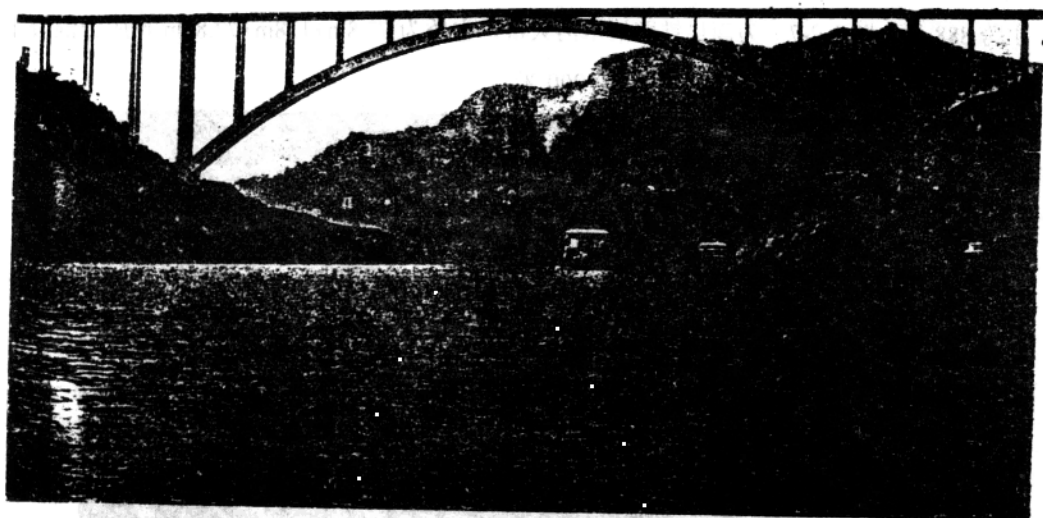


图 1-2-8 万县长江大桥

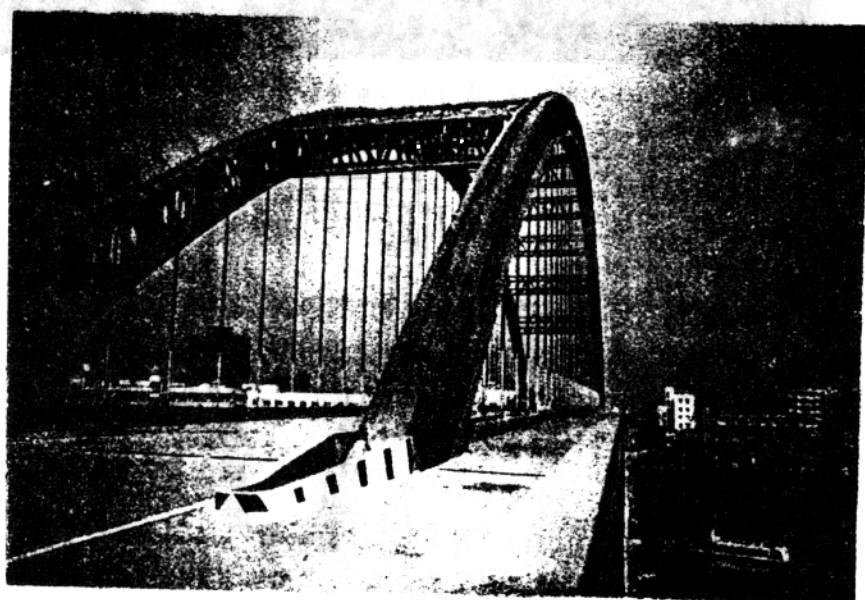


图 1-2-9 广东三山西人桥

拱桥是适应跨度范围最大的一种桥型,从几米跨度的拱涵到几百米跨度大桥,它都能适用。目前世界上最大跨度的混凝土拱桥是我国重庆市的万县长江大桥(见图 1-2-8)。该桥采用钢管混凝土作劲性骨架,然后外包混凝土形成箱形截面拱肋,跨度 420 米。图 1-2-9 为广东三山西大桥,是一座 200 米跨度的钢管混凝土拱桥。其每片拱肋由四根钢管组成,内灌混凝土。图 1-2-10 为四川省川西 6 号桥,主孔为跨度 146 米的钢筋混凝土箱形拱桥,矢跨比 1:4,箱高 2.5 米,桥面高出水平 60 余米。建于 1972 年。图 1-2-11 为德国 ENZ 河人行拱桥,跨度 46 米,矢高仅 3 米,建于 1961 年。图 1-2-12 为浙江安城桥,是一座跨径 65 米的预应力混凝土桁架拱桥,建于 1982 年。图 1-2-13 为长岩桥,该桥是跨度为 75 米的桁架和板拱的组合体系,即拱肋为板拱,而桥面系则由桁架支承在拱肋上。该桥跨度为 75 米,跨越一近乎于直立的陡峭河谷,桥面至水面高度 75 米。

由于本册书不涉及斜拉桥和曲线桥,所以此处也不对其进行介绍。该部分内容将在本系列教材的第四分册中讲述。

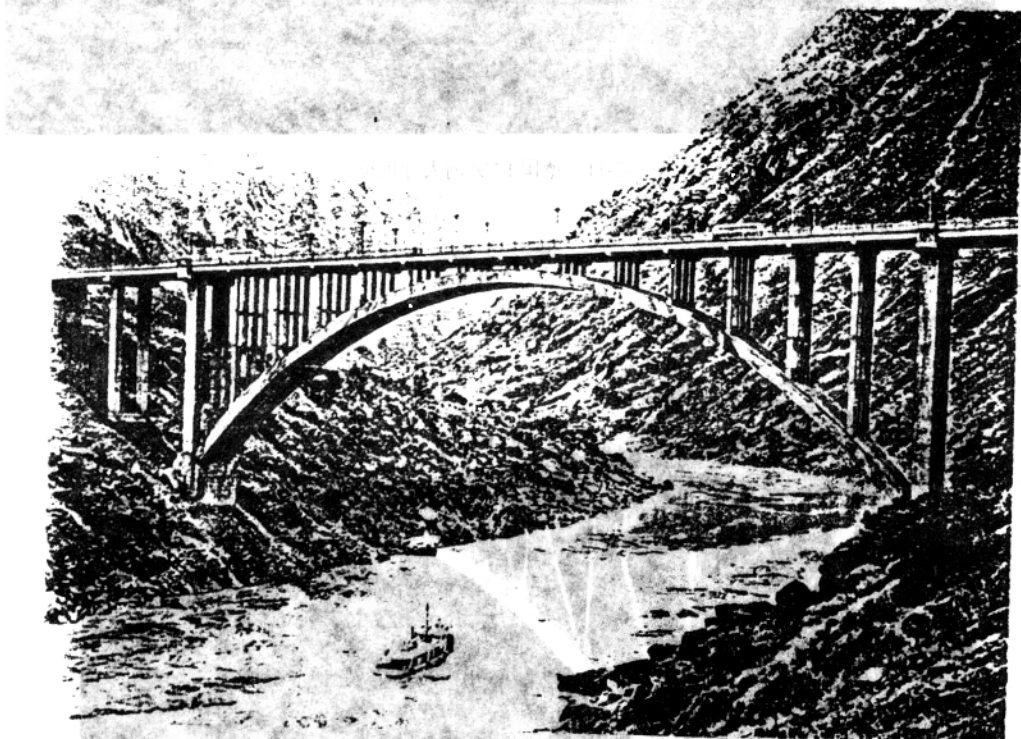


图 1-2-10 川西 6 号桥

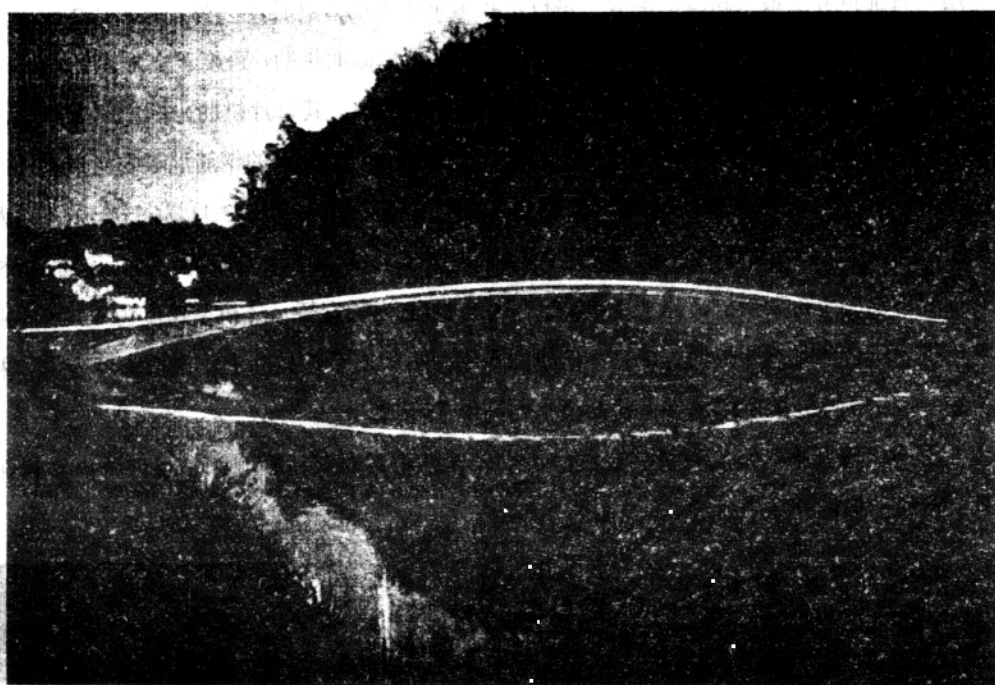


图 1-2-11 德国 ENZ 河人行拱桥

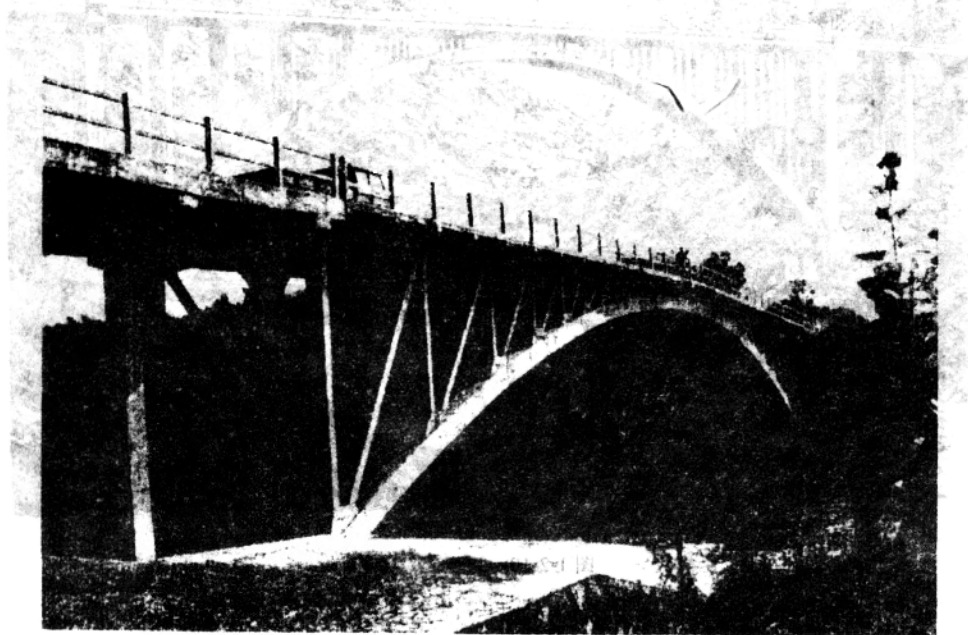


图 1-2-12 安城桥

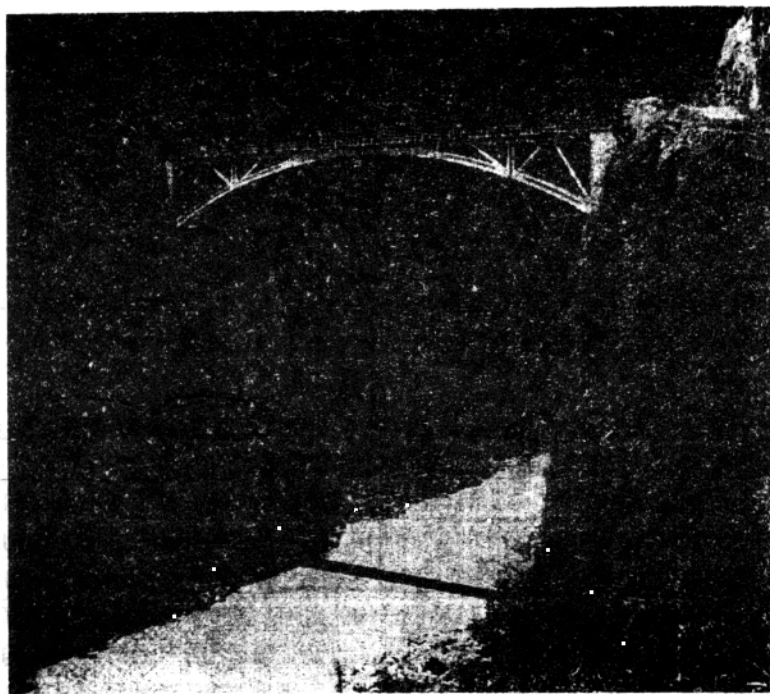


图 1-2-13 长岩桥

第一章参考文献

- [1] 交通部公路局, 中华人民共和国公路桥梁画册, 人民交通出版社, 1978, 北京
- [2] 万明坤, 程庆国, 项海帆, 陈新, 桥梁漫笔, 中国铁道出版社, 1997 第 1 版
- [3] 范立础, 桥梁工程, 人民交通出版社, 1993.7 第 2 版
- [4] 何广汉、车惠民, 谢幼藩, 铁路钢筋混凝土桥, 中国铁道出版社, 1986, 北京, 第 1 版
- [5] 李亚东, 桥梁工程概论, 西南交通大学教材, 1999.2, 成都
- [6] 胡匡璋, 桥梁, 中国铁道出版社, 1994, 北京
- [7] 王承礼, 徐名枢, 铁路桥梁, 中国铁道出版社, 1997, 北京, 第 1 版
- [8] 范立础, 预应力混凝土连续梁桥, 人民交通出版社, 1988.8 第 1 版

第二章 简支梁桥的设计与计算

2.1 概 述

混凝土简支梁桥是中、小跨径桥梁中应用最早、使用最广泛的一种桥型。在前面课程学习了混凝土简支梁桥的初步知识的基础上,本章着重阐述混凝土简支梁桥设计与计算的原理和方法。

简支梁上部结构的设计与计算工作,总的可归结为构造设计和结构计算两部分。构造设计主要是确定上部结构的各部构造和组合细节,它要考虑的因素包括自然条件,使用要求,荷载等级,车道数目,跨径大小,建筑材料、施工条件以及构造要求等,既有的桥梁设计经验也很重要。配筋设计也是构造设计的重要内容,这包括按照构造要求布置的构造钢筋和按照受力要求设置的受力钢筋(普通钢筋或预应力筋)。结构计算主要是求算结构的力学特性和验算结构的使用性能及承载能力,以确保结构的适用、安全和耐久。结构计算工作要求对结构合理建立计算模型,恰当选用力学分析方法以及正确运用结构设计理论。构造设计和结构计算工作往往是一个反复的过程,一旦结构计算不满足要求,则应反过来变更构造设计,再进行结构计算。因此,这是一个把结构调整和修改得更经济合理的过程。

简支梁上部结构是由主梁、横隔梁、桥面板(铁路桥也称道碴槽板)等构成的复杂空间体,要按照空间结构的计算图式进行精确的力学分析,显然是十分繁复的,目前情况下,难于为实际设计工作接受。作为一个工程问题,对原结构作适当的计算简化是在容许安全范围内的,也更为实际工作采用。目前,简支梁上部结构一般简化为主梁、横隔梁、桥面板自成单独作用的系统,分别进行计算和验算,主梁是主要的承重构件,横隔梁起横向传递荷载至各主梁的作用,桥面板传布局部车辆荷载。为此而引入了实用空间理论的计算原理及各种计算荷载横向分布的方法。

简支梁上部结构设计与计算的具体项目包括主梁、横隔梁、桥面板以及其它细部构造,同时还要考虑结构变形,运输架梁或其它特殊项目的验算,本章主要介绍简支梁桥的立面布置、构造设计以及主梁、横隔梁、桥面板和结构变形(挠度)计算,鉴于钢筋混凝土和预应力混凝土构件截面设计和验算问题已在结构设计原理中介绍,这里不再重复。

学习本章,要着重理解计算原理,掌握如何应用数学,力学方法求解具体答案。实际结构是复杂的,总要把原结构抽象成简化的计算图式。这种抽象和简化必须符合结构受力特性,要抓住主要的影响因素,忽略次要因素,为此,常引入若干简化假定。这些假定是否合理是简化计算的核心问题,具体的简化假定的方法,宜在下述各节中逐步体会掌握。

结构设计与计算是一项繁琐细致的工作,容不得半点马虎,设计工作的失误往往会导致具体工程的重大事故,通过本章的学习和练习,还要逐步培养严谨的工作习惯,较强的计算能力。

2.2 立面布置与构造设计

本节从设计角度叙述混凝土简支梁桥的立面布置与构造设计内容。鉴于梁的配筋(束)要求及构造,在《结构设计原理》和《桥梁工程概论》课程中已有介绍,这里不再说明。

2.2.1 立面布置

桥梁立面布置的内容,通常指的是桥梁体系的选择,桥长及分跨布置、桥面标高、梁高选择,桥梁下部结构和基础型式等。在此着重叙述混凝土简支梁桥跨径、梁高及其关系的选用。

一、跨径的选用

混凝土简支梁桥跨径的选用,可考虑如下一些因素:

(1) 通常采用标准跨径,以利于梁的批量制造、运输架设和更换。铁路简支梁常用的有16m, 20m, 24m, 32m等(指计算跨径);公路简支梁常用的有13m, 16m, 20m, 25m, 30m, 35m, 40m等(指相邻墩中心距)。对于同一桥位和相近桥位中的简支梁跨,还宜尽量减少跨径种类,便于制造架设。

(2) 跨径大小要与下部结构相配合。若桥墩较高,基础工程量较大,则宜采用较大跨径,反之则不应盲目追求大跨径。若遇特殊不良地质情况,有时也需加大跨径。

(3) 要满足容许建筑高度要求。跨径越大,则建筑高度越大,这在一些跨线立交桥上可能会受到制约。此时可考虑减少跨度或换用低高度部分预应力梁等。另外,板梁的建筑高度通常较同跨径T形梁要低。

(4) 吊装重量的限制,简支梁跨径越大,其单片吊装重量越大,40m以上的公路简支梁,吊重一般在100t以上,需用大型起吊设备或架桥机架梁,对施工队伍的要求较高。

(5) 经济适用跨径的要求。简支梁桥的经济适用跨径与横截面型式、建筑材料(钢筋混凝土或预应力混凝土)有关,钢筋混凝土板桥的适用跨径一般在13m以下(铁路桥8m以下),预应力混凝土板桥适用跨径为8~16m,钢筋混凝土T形梁适用跨径8~20m,预应力混凝土T形梁适用跨径16~50m。注意上述跨径范围不是绝对的,如公路城市桥较常采用空心板梁,跨径有达25m的,因其施工较T形梁方便,而铁路桥较常用T形梁,架桥机架梁,施工问题不突出。

二、梁高的选用

混凝土简支梁高度的选用,主要考虑下列因素:

(1) 主梁高度要与活载标准、横截面型式、主梁片数相配合。对于同跨径简支梁桥,通常铁路梁较公路梁为高,T梁较板梁为高,而主梁片数增加则梁高可降低。

(2) 要与主梁混凝土标号、配筋种类和配筋量相配合。钢筋混凝土梁的混凝土标号一般为25~35号,预应力混凝土梁在40号以上。如采用较高标号的混凝土,则宜选择强度较高的钢筋,以充分发挥两者的强度,获得比较合理的梁高。对同跨径梁,一般梁高越小则配筋量越大;反之,梁高越大,则配筋量越小,但混凝土用量却会增加。

(3) 满足线路标高和桥下净空的要求。山区桥梁的梁高一般不受限制,但在平原地区和城市内的桥梁,梁高往往受限,不能过高,这就需要尽量压低梁高。

(4) 满足运梁和架梁的要求。铁路简支梁一般为工厂制造,需要考虑运输装载限界和架桥机对梁高的限制。

(5) 考虑同一截面型式的各种跨度的梁高变化规律,应尽量做到模数化、标准化,以利模板的互用。

(6) 满足桥规所规定的挠度要求。预应力混凝土梁的高跨比往往小于钢筋混凝土梁,其跨中挠度有可能控制梁高。

(7) 后张预应力混凝土梁的梁端锚具布置的需要。

三、梁高与跨径的关系及其选用

混凝土简支梁的高度与其跨度的关系较密切,一般可用主梁高度与跨度的比值来衡量。

经分析比较,经济合理的高跨比取值的大致范围,公路与钢筋混凝土板为 $\frac{1}{12} \sim \frac{1}{18}$, 公路预

应力混凝土板为 $\frac{1}{16} \sim \frac{1}{23}$; 公路钢筋混凝土 T 形梁为 $\frac{1}{11} \sim \frac{1}{16}$, 公路预应力混凝土梁为 $\frac{1}{14} \sim \frac{1}{25}$;

铁路钢筋混凝土 T 形梁为 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{9}$ (高度受限时 $\frac{1}{11} \sim \frac{1}{15}$), 铁路预应力混凝土 T 形梁为 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{11}$

(高度受限时 $\frac{1}{16} \sim \frac{1}{17}$, 均指后张梁)。以上各值跨径大时取偏小的值,主梁片数少时取较大

值。

目前国内所采用的混凝土简支梁桥,绝大部分为预制装配式结构。装配式简支梁桥通常采用标准设计,尤其对铁路简支梁桥,其标准设计图已成系列,一般直接套用。对公路简支梁桥,由于桥面宽度、车道布置等的变化较多,则除套用标准图外,有时还需针对所建整条路线设计一套参考图,供实际桥位套用。这些标准图、参考图的梁高、跨径关系取值,反映了实际设计经验,有很大参考价值。铁路标准设计,对钢筋混凝土 T 形梁跨径 10m, 12m, 16m, 20m, 其梁高分别为 1.4 (0.7) m, 1.55 (0.85) m, 1.9 (1.1) m, 2.2 (1.35) m; 对后张预应力混凝土 T 形梁跨径 16m, 20m, 24m, 32m, 其梁高分别为 1.6 (1.0m), 1.9 (1.25)m, 2.1 (1.45)m, 2.5 (1.95)m (括号内数值为低高度梁的梁高)。公路标准设计 (新版), 对钢筋混凝土 T 形梁跨径 10m, 13m, 16m, 20m, 其梁高分别为 0.9m, 1.1m, 1.3m, 1.5m; 预应力混凝土 T 形梁跨径 25m, 30m, 35m, 40m, 其梁高分别为 1.6~1.75m, 1.9~2.0m, 2.25m, 2.5m。

2.2.2 横截面设计

混凝土简支梁横截面设计主要是确定横截面布置型式,包括主梁截面型式、主梁间距、主梁各部尺寸等。

一、截面型式的选择

选择梁的截面型式,主要取决于其受力特性,同时要考虑建筑高度、施工方法、经济用料、养护维修及美观等要求。