

项目1 桥梁总论



学习目标

- 了解桥梁的发展概况。
- 掌握桥梁的组成和分类。
- 了解桥梁设计原则与资料收集的内容。
- 了解桥梁的设计要点和方法。
- 了解公路桥梁上的作用的分类和计算方法。

1.1 桥梁发展概况

桥梁是人类最杰出的建筑形式之一,它不仅是一种结构物,还被人们作为一种空间艺术品,横跨在江河、湖泊、海峡之上,存在于人类社会之中,成为一个国家、一个民族、一座城市的标志和骄傲。

1. 桥梁建筑的历史成就

1) 我国古代桥梁的辉煌成就

我国历史悠久,河流纵横交错,有著名的长江、黄河和珠江等流域,这里孕育了中华民族,创造了灿烂的华夏文化。在历史的长河中,中华民族曾建造了数以千万计的桥梁,几乎包含了近代桥梁中的最主要形式。中国古代桥梁的辉煌成就举世瞩目,在东西方桥梁发展史上占有崇高的地位,为世人所公认。



图文
趣味世界十大
桥梁之最

中国古代桥梁有梁桥、拱桥、悬索桥、浮桥等类型。

(1) 梁桥。在秦汉时期我国已广泛修建石梁桥。世界上尚存最大的、工程最艰巨的石梁桥就是我国于1053—1059年在福建泉州建造的万安桥,也称洛阳桥(见图1-1),是宋代泉州太守蔡襄主持修建的。该桥长达八百多米,共47孔,每孔用7根跨径11.8 m的石梁组成,宽约4.9 m。此桥基础采用蛎(蚝)种在潮水涨前的抛石基底和石砌墩身上,使胶结成整体,是近代筏形基础的开端。

(2) 拱桥。举世闻名的河北省赵县赵州桥(又称安济桥),是由隋朝石匠李春于公元605年主持建造的,是世界上最早、保存良好的石拱桥。该桥净跨37.02 m,桥面净宽9 m,拱矢高7.23 m,像这样的敞肩石拱桥,欧洲到19世纪才出现,比我国晚一千二百年。

1991年赵州桥被美国土木工程学会(ASCE)选为世界第12个土木工程里程碑(见图1-2)。



图 1-1 福建泉州万安桥



图 1-2 河北赵县赵州桥

(3)悬索桥。悬索桥也称吊桥,几乎大部分的桥梁历史书上都承认我国是最早出现吊桥的国家。据记载,在唐代中期,我国就从藤索、竹索发展到利用铁索建造吊桥,而西方在16世纪才开始建造铁索吊桥,比我国晚了近千年。我国于公元1475年建成的跨径100 m的云南永平县霁虹桥,位于通往印度和缅甸的千年古道上,横跨澜沧江,是现存最古老、最宽、铁索最多的铁索桥(见图1-3)。

我国现存的著名古代吊桥还有1706年建造的四川泸定县的大渡河铁索桥(见图1-4)和1803年建造的四川灌县(今都江堰市)的安澜竹索桥等。



图 1-3 云南永平县霁虹桥

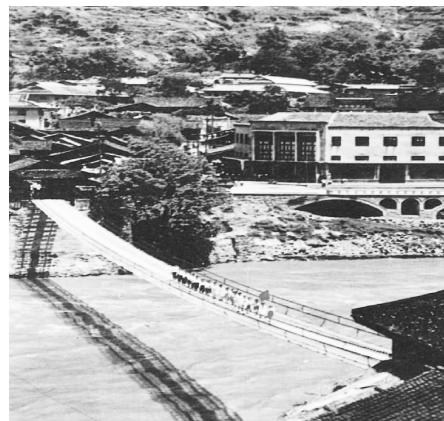


图 1-4 四川大渡河铁索桥



(4)浮桥。古代在大江大河中不可能修建桥墩,为过河需要,用舟船组合建造浮桥。我国最早的关于浮桥的记录是《诗经》中关于周文王亲自迎娶,在渭河上架起浮桥的记载,时间是公元前12世纪。另外,浮桥在军事作战中也起主要作用。

公元1170—1192年建成的广东潮州湘子桥(又称广济桥),全长517.95 m,东西浅滩部分各建一段石桥,中间浅水部分以浮桥衔接。浮桥可开可合,是世界上活动桥的先导。

我国古桥成就显著,我们应该吸取经验、推陈出新。

2)国外对桥梁发展的推动作用

钢材、钢筋混凝土、预应力钢筋混凝土的出现,对现代桥梁的发展起了巨大的推动作用。19世纪中期,钢材的出现,是土木工程史上的第一次飞跃。随后产生了高强钢材、钢丝、钢索。于是,钢结构得到了蓬勃发展。结构跨径从砖、石、木结构的几米、几十米发展到百米,直至千米以上,并开创了在大江、海峡上修建大桥的奇迹。

20世纪初,钢筋混凝土以及预应力钢筋混凝土的诞生实现了土木工程史上的第二次飞跃。钢筋混凝土的推广利用要追溯到1873年法国的约瑟夫·莫尼尔首创的一座拱式人行桥。而预应力钢筋混凝土是法国著名工程师弗莱西奈于1928年研究出来并付诸实践的。20世纪50年代,原联邦德国悬臂施工技术的发明,使大跨径刚构桥的建造成为可能。

从1883年美国建成主跨为486 m的纽约布鲁克林悬索桥开始,现代悬索桥至今已有120多年的历史。到20世纪30年代,悬索桥的跨径纪录已突破千米:美国于1931年建成的乔治·华盛顿大桥,跨径为1 067 m;1937年美国建成主跨1 280 m的旧金山金门大桥(见图1-5),其世界纪录保持28年之久,为近代大跨径桥梁的建设开创了道路。



图文
美国金门大桥

图1-5 美国金门大桥

20世纪50年代,瑞典和原联邦德国相继修建了斜拉桥,从此揭开了修建现代斜拉桥的序幕。

2. 国内外桥梁发展现状

桥梁是随着经济发展带来的交通需要和经济与科学技术的发展而发展的。它从侧面反



映了一个国家生产、经济与科学技术的发展程度。桥梁专家茅以升说：“桥梁是一个国家发展的表征。”纵观世界各国的大城市，常以工程雄伟的大桥作为城市的标志与骄傲。下面按结构体系分别讲述国内外各类桥梁的现状。

1) 梁桥

(1) 简支梁桥。跨径小于 60 m 的桥梁常套用标准跨径的简支梁桥。国内最大跨径的预应力混凝土简支梁桥是跨径为 62 m 的浙江瑞安飞云江桥，世界上最大跨径的简支梁桥是奥地利 1977 年建成的阿尔姆(ALM)桥，跨径为 76 m。

(2) 悬臂梁桥。国内最大跨径的预应力混凝土悬臂梁桥是跨径为 65 m 的成昆孙水河五号桥，世界上该桥型的最大跨径为 150 m。

(3) 连续梁桥。国内最大跨径的预应力混凝土连续梁桥为 2001 年 3 月 26 日通车的南京长江二桥北汊桥，主跨为 165 m。国外，葡萄牙已建成跨径为 250 m 的连续梁桥，巴西于 1974 年建成尼泰罗伊河桥(COSTAE SILVA)，主跨 300 m，挪威 1980 年建成的萨本约恩桥，主跨 212 m。

(4) 钢桁架桥。钢桁架桥自重较轻，施工简便，杆件直接受拉与受压，能充分发挥材料性能，常用于大跨径桥梁。

1957 年，我国第一座长江大桥——武汉长江大桥(见图 1-6)建成，主跨为 128 m 的连续钢桁架，这座桥的建成既结束了我国万里长江无桥的状况，又标志着我国修建大跨径钢桥技术的新突破。毛泽东曾这样赞道：“一桥飞架南北，天堑变通途。”1969 年，我国自行设计、制造、施工，并使用国产高强钢材建成了南京长江大桥(见图 1-7)，主跨为 160 m 的连续钢桁架。这两座桥的建成是我国桥梁史的两个重要标志。



图 1-6 武汉长江大桥



图 1-7 南京长江大桥

世界跨径最大的悬臂桁架桥是加拿大魁北克(Quebec)桥，主跨 549 m，早在 1917 年就建成，竣工时是当时世界上包括所有类型桥梁在内的最大跨径的桥梁。该桥在 1907 年和 1916 年建桥过程中发生两次垮桥事故。由于钢的强度远小于高强钢丝，受压杆件因屈曲稳定，强度折减，故钢桁架桥不能用于超大跨径桥梁。

2) 刚构桥

刚构桥分为 T 形刚构桥和连续刚构桥。

(1) T 形刚构桥。T 形刚构桥又分为跨中带剪力铰的 T 形刚构桥和跨中带挂梁的 T 形刚构桥。剪力铰和挂梁的存在，在营运上对高速行车不利，且剪力铰和牛腿易损坏。这种桥从 20 世纪 60 年代到 80 年代初修建较多，20 世纪 80 年代以后基本不再修建。



我国跨径最大的 T 形刚构桥是 1980 年建成的主跨为 174 m 的重庆长江大桥(见图 1-8)。世界跨径最大的该桥型为巴拉圭建造的主跨为 270 m 的 Paragual 桥。

(2)连续刚构桥。连续刚构桥消除了 T 形刚构桥的缺点,行车平顺,又保持了 T 形刚构桥不设支座,不需转换体系的优点,方便施工。且有很大的纵桥向抗弯刚度和横桥向抗扭刚度,满足大跨径桥的受力要求,连续刚构桥的建造从 20 世纪 80 年代至今方兴未艾。

澳大利亚修建了两座跨径为 200 m 以上的连续刚构桥,其中最著名的是 1985 年建成的盖特威(Gateway)桥,跨径为 260 m,该纪录保持世界第一长达 12 年,直到我国 1997 年建成的广东虎门大桥辅航道桥(见图 1-9),跨径为 270 m,打破了这一纪录。



图 1-8 重庆长江大桥



图 1-9 广东虎门大桥辅航道桥

1998 年挪威相继建成两座大跨径连续刚构桥,分别是主跨为 301 m 的 Stolma 桥和主跨为 298 m 的 Raft Sundet 桥。

目前,世界上跨径最大的箱梁桥是我国重庆的石板坡长江大桥复线桥(Shibanpo Bridge II)。该桥主跨径为 330 m,主跨跨中设 103 m 的钢箱梁,其余为混凝土箱梁。钢混箱梁的结合使用将使箱梁桥的跨越能力更强。

3)拱桥

我国是拱桥的发源地,既有悠久的历史,又有辉煌的现在。

(1)石拱桥。国际上石拱桥的跨径纪录在我国建成云南长虹桥之前一直为德国于 1903—1904 年建成的 Syratal Plauen 桥所保持,其跨径为 90 m。1961 年在云南省南盘江上修建的长虹桥,跨径为 112 m,第一次突破了石拱桥跨径 100 m 的大关,从此石拱桥跨径的世界纪录一直由我国所保持。近些年来,我国在石拱桥和钢筋混凝土拱桥方面创造了一个又一个的世界纪录。1990 年又建成了跨径为 120 m 的湖南鸟巢河桥,该桥已载入 1996 年《吉尼斯世界纪录大全》。目前我国已建成跨径为 100 m 以上的石拱桥共有十几座。2001 年建成的晋焦高速公路丹河大桥(见图 1-10),跨径为 146 m,是目前世界上跨径最大的石拱桥。



图 1-10 晋焦高速公路丹河大桥



(2)钢筋混凝土拱桥。1997年我国建成了当时世界上跨径最大的钢筋混凝土拱桥——重庆万州长江大桥(见图1-11),跨径为420 m。2005年1月建成的重庆巫山长江大桥(见图1-12)为中承式钢筋混凝土拱桥,主跨为460 m,再一次刷新了世界纪录。

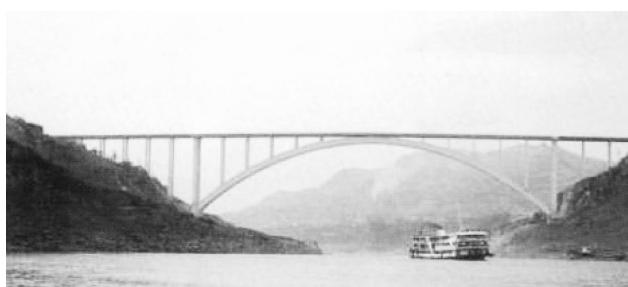


图 1-11 重庆万州长江大桥



图 1-12 重庆巫山长江大桥

(3)钢拱桥。钢拱桥自重轻,钢材有较高的抗压强度,适用于大跨径桥梁。美国于1977年建成的新河峡谷桥,跨径为518 m,是当时世界上跨径最大的钢拱桥。36年后,这一世界纪录被我国打破,2003年6月建成的上海卢浦大桥(见图1-13),跨径为550 m。目前,世界上已建成的跨径最大的钢拱桥是重庆朝天门大桥,主跨为552 m。澳大利亚于1857—1932年建成的悉尼港桥(见图1-14),主跨为503 m,该桥和悉尼歌剧院是27届奥运会上代表悉尼的两个文明标志,成为澳大利亚人民的骄傲。

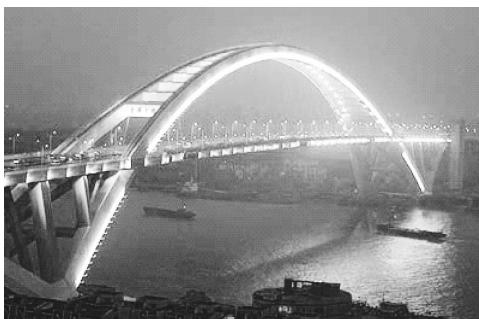


图 1-13 上海卢浦大桥



图 1-14 澳大利亚悉尼港桥

4)悬索桥

悬索桥是特大跨径桥梁的主要形式之一,其造型优美,规模宏伟,常被人们称为“桥梁皇后”。目前,世界上已建成的大跨径悬索桥有日本于1998年建成的明石海峡大桥(见图1-15),主跨为1 991 m;我国于2005年4月建成的润扬长江大桥(见图1-16),主跨为1 490 m;美国于2013年9月建成的旧金山海湾大桥东段新桥,是目前世界上最大跨径的单塔自锚抗震悬索钢桥。当跨径大于800 m时,悬索桥方案具有很大的竞争力。



图 1-15 日本明石海峡大桥



图 1-16 润扬长江大桥

5) 斜拉桥

现代斜拉桥的兴起是第二次世界大战后桥梁发展史上最伟大的成就之一。斜拉桥是继悬索桥之后的第二大跨径桥型。著名的斜拉桥有我国于2008年5月建成的苏通长江公路大桥(见图1-17),主跨为1 088 m;俄罗斯于2012年6月建成的俄罗斯岛大桥,主跨为1 104 m,总长度为3.1 km,是世界上最长的斜拉桥。

同类型桥梁较有名的还有我国于2008年底建成的香港昂船洲大桥,其主跨为1 018 m;日本于1999年建成的多多罗大桥(见图1-18),主跨为890 m,该桥保持当时的世界纪录长达9年。



图 1-17 苏通长江公路大桥



图 1-18 日本多多罗大桥

3. 桥梁发展前景展望

当今桥梁建设突飞猛进,日新月异,特别是大跨径桥梁建设数量之多,跨径之大是令人振奋的。它从一个侧面反映了一个国家生产、经济和科学技术的发展程度。我国在桥梁建设领域已接近世界先进水平,大跨径的斜拉桥和悬索桥建设成就喜人,在某些方面已走在世界桥梁工程的前列(如石拱桥、钢筋混凝土拱桥、连续刚构桥和斜拉桥等),清华大学张维院士曾这样评价:“我们正走向世界桥梁强国,可以排在世界十强里面。”我国已实践成功的斜拉-悬索协作体系桥,将为大跨径桥梁奠定基础。斜拉-悬索协作体系桥使斜拉和悬索两种结构相互协作,优势互补,具有使锚碇变小,塔高变矮,梁的悬臂长度变短等优点,适合于大跨径和特大跨径桥的新桥型。历史上最早出现这种桥型是美国于1883年建成的纽约跨越伊斯特河的布鲁克林(Brooklyn)桥,主跨为486 m,是



图片
斜拉-悬索协作体系桥



当时世界上最大跨径的桥梁,后来这种桥型发展缓慢。经过多年的论证和努力,我国于1997年建成了世界上第一座现代化的斜拉-悬索协作桥——贵州乌江大桥。21世纪在桥梁建设方面,我们将共同迎来一个更加辉煌的前景。

1.2 桥梁的组成和分类

桥梁是道路路线遇到江河湖泊、山谷深沟以及其他障碍(如公路或铁路)等时,为了保持道路的连续性,充分发挥其正常的运输能力而专门建造的人工构造物。

桥梁一方面要保证桥上的交通运行,另一方面也要保证桥下水流的宣泄、船舶的通航或车辆的通行,因此桥涵是路线的重要组成部分。一般地段每千米路线有2~3座桥涵,桥涵的造价一般占公路总造价的10%~20%,甚至更多。

1. 桥梁的组成

1) 桥梁的基本组成

桥梁由上部结构、下部结构、附属结构和支座系统四个部分组成。如图1-19所示为一座梁式桥的概貌,如图1-20所示为一座拱式桥的概貌。

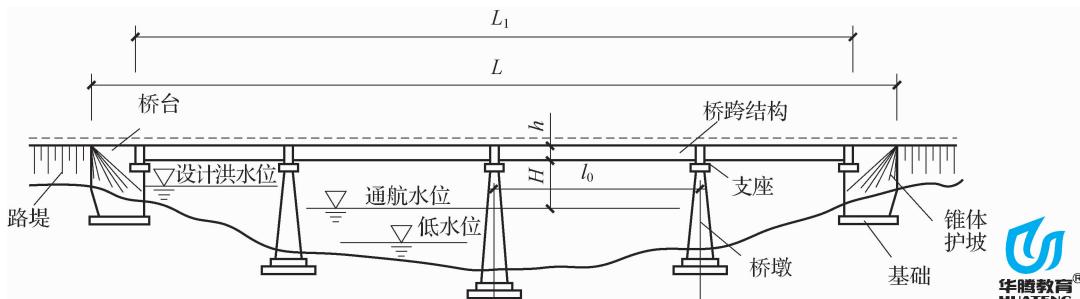


图 1-19 梁式桥概貌

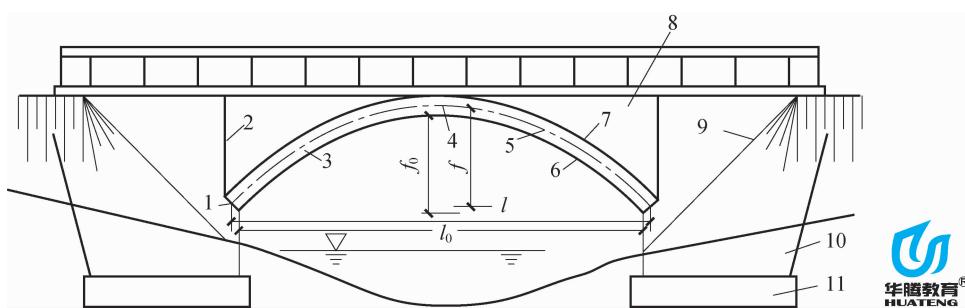


图 1-20 拱式桥概貌

1—拱脚; 2—伸缩缝; 3—主拱圈; 4—拱顶; 5—拱轴线; 6—拱腹; 7—拱背;
8—拱上建筑; 9—锥坡; 10—桥台; 11—基础; l_0 —净跨径;
 l —计算跨径; f_0 —净矢高; f —计算矢高; f/l —矢跨比

(1) 上部结构。上部结构也称桥跨结构,包括承重结构和桥面系,是在线路遇到障碍(如



河流、山谷或其他线路等)而中断时,跨越这类障碍的主要承载结构。它的作用是承受车辆(行人)荷载,并通过支座传给墩台。

(2)下部结构。下部结构包括桥墩、桥台和基础,是支承桥跨结构并将恒载和车辆(行人)活载传至地基的建筑物。桥台设在桥梁两端,桥墩则在两桥台之间。桥墩的作用是支承桥跨结构;而桥台除了起支承桥跨结构的作用外,还要与路堤衔接,并防止路堤滑塌,抵御路堤的土压力。墩台基础承受由上部结构及桥墩、桥台所传递的全部荷载,并将荷载传递至地基的结构部分。

(3)附属结构。附属结构包括桥头路堤锥形护坡、护岸以及导流结构物等。其作用是防止路堤填土向河中坍塌,保护桥头路堤填土并抵御水流的冲刷。

(4)支座系统。梁式桥(斜拉桥等)在桥跨结构与墩台之间还需设置支座。支座支承上部结构并传递荷载于桥梁墩台上,它应保证上部结构在荷载、温度变化或其他因素作用下所预计达到的变位功能。

河流中的水位是变动的。在枯水季节的最低水位称为低水位;洪峰季节河流中的最高水位称为高水位;桥梁设计中按规定的洪水频率计算所得的高水位称为设计洪水位;在各级航道中,能保证船舶正常航行的水位称为通航水位。

2)桥梁主要尺寸和名称术语

(1)计算跨径 l 。梁桥的计算跨径为桥跨结构两支承点间的距离;拱桥的计算跨径为两拱脚截面重心点间的水平距离。

(2)净跨径 l_0 。计算水位上相邻两个桥墩(台)间的净距离称为净跨径。通常把梁桥支承处内边缘间的距离、拱桥两拱脚截面最低点间的水平距离也称为净跨径。

(3)标准跨径 l_b 。梁桥的标准跨径为桥墩中线间或桥墩中线与台背前缘间的距离;拱桥的标准跨径为净跨径。《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)规定:当标准设计或新建桥涵的跨径在 50 m 以下时,宜采用标准化跨径。从 0.75 m 起至 50 m,共 21 种。新建中小桥涵应尽量采用标准化的装配式结构。

(4)桥梁全长 L 。有桥台的桥梁的全长为两岸桥台侧墙或八字墙尾端间的距离;无桥台的桥梁的全长为桥面行车道长度。

(5)多孔跨径总长 L_1 。梁桥的多孔跨径总长为多孔标准跨径的总和;拱桥的多孔跨径总长为两桥台内拱脚截面最低点(起拱线)间的距离;其他形式桥梁的多孔跨径总长为桥面行车道长度。

(6)桥梁高度 H 。桥梁高度为行车道顶面至低水位间的距离,或行车道顶面至桥下路线的路面间距离。

(7)桥梁建筑高度 h 。行车道顶面上至上部结构最低边缘间的距离称为桥梁建筑高度。

(8)桥梁容许建筑高度 $h_{容}$ 。桥面标高与桥下通航或排洪必需的净空高度之差称为桥梁容许建筑高度。

(9)桥下净空 H_0 。上部结构最低边缘至计算水位(计算水位=设计水位+壅水+浪高)或通航水位间的距离称为桥下净空。对于跨越其他路线的桥梁,桥下净空是指上部结构最低边缘至所跨越路线的路面间的距离。



(10)拱桥矢高。从拱顶截面下缘至过起拱线的水平线间的垂直距离,称为净矢高(f_0)；从拱顶截面重心至过拱脚截面重心的水平线间的垂直距离,称为计算矢高(f)。

(11)拱桥矢跨比。计算矢高与计算跨径之比(f/L),称为拱圈的矢跨比(或称拱矢度)。

(12)涵洞。用来分散路堤下水流或桥下车(人)流的构造物。管涵及箱涵不论管径或跨径大小、孔数多少,均称为涵洞。

2. 桥梁的分类

桥梁有不同的分类方式,每一种分类方式均反映出桥梁在某一方面的特征。而桥梁按结构体系的分类是基本的分类方法,不同的体系对应于不同的力学形式,表现出不同的受力特点。

1) 桥梁按基本体系分类

按照受力体系分类,桥梁有梁式桥、拱式桥、刚架桥、悬索桥四种基本体系,其中梁式桥以受弯为主,拱式桥以受压为主,悬索桥以受拉为主。另外,由上述四大基本体系的相互组合,派生出在受力上也具有组合特征的组合体系桥型,如斜拉桥等。下面分别阐述各种桥梁体系的主要特点。

(1)梁式桥。梁式桥在竖向荷载作用下,支座只产生竖向反力,桥跨承载结构由梁(板)组成,承受弯矩和剪力,以受弯为主。梁式桥又分为简支梁桥、悬臂梁桥、连续梁桥和钢桁架桥等。如图 1-21 所示为各种体系的基本图示。简支梁桥受力简单,施工方便,在小跨径桥梁中得到广泛应用。将简支梁梁体加长至支点外就成为悬臂梁桥,悬臂梁桥的跨中弯矩比简支梁桥小,但构造较复杂,行车不够平顺,目前已较少采用。连续梁桥受力较合理,行车平顺,是大跨径桥梁常采用的桥式。钢桁架桥节点构造复杂,但较省钢材。

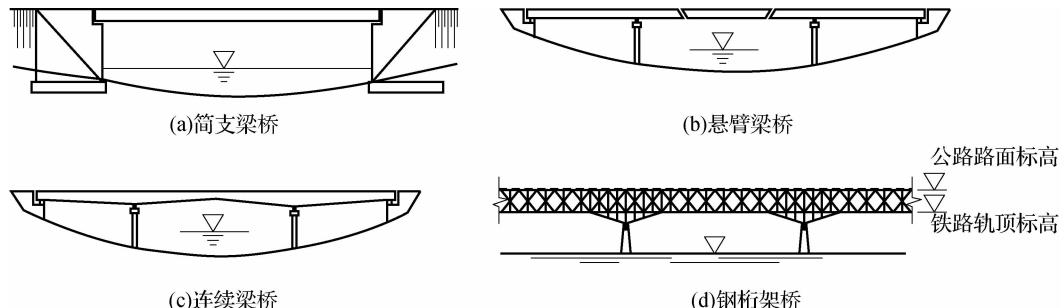


图 1-21 梁式桥

(2)拱式桥。拱桥外形美观,是一种在竖向荷载作用下,拱脚处能产生水平推力的结构(见图 1-22),正是由于这个水平推力的作用,使拱内弯矩大大减小,提高了跨越能力。若拱轴线设计合理,可使拱圈主要承受压力,而弯矩和剪力很小,因此圬工材料在拱桥中得到广泛应用。

拱式桥是推力结构,其墩台、基础必须承受强大的拱脚推力。因此,拱式桥对地基要求很高,适宜建在地质和地基条件良好的桥址上。

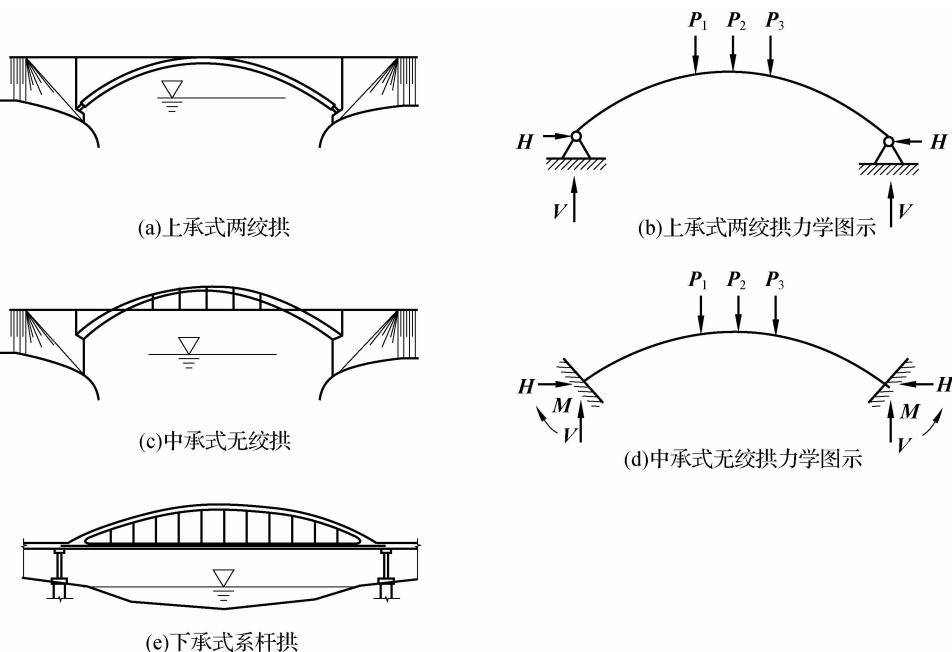


图 1-22 拱式桥

(3) 悬索桥。拱桥的主要承重结构是拱圈或拱肋，主要承受压力，与梁桥相比，受力合理，跨径大；但是因为细长杆件的受压失稳，拱桥的跨径在受力上受到了限制，于是人们用逆向的思维探讨出更大跨径的桥型——悬索桥。在竖向荷载作用下，拱的水平反力是向内的推力，而悬索的水平反力是向外的拉力；拱是向上突起的形状，而悬索是下垂的形状；拱结构受压而悬索受拉。悬索桥的受力构件钢索是柔性的，其抗弯刚度可以忽略，索内弯矩和剪力为零，只受轴向拉力作用，钢索的受拉性能较强，悬索桥在受力和材料两方面都满足要求，是目前特大跨径桥梁唯一的结构形式。

悬索桥由塔架、缆索、锚碇结构及吊杆、加劲梁组成（见图 1-23），主要承重结构是悬挂在两塔架上的强大的柔性缆索。桥跨上的荷载由加劲梁承受，并通过吊索将其传至缆索。主缆索是主要承重结构，但其仅受拉力。主缆索的拉力通过对桥塔的压力和锚碇结构的拉力传至基础和地基。这种桥型充分发挥了高强缆索的抗拉性能，使其结构自重较轻，能以较小的建筑高度跨越其他任何桥型无法比拟的特大跨径。但其在车辆动荷载和风荷载作用下，桥有较大的变形和振动。

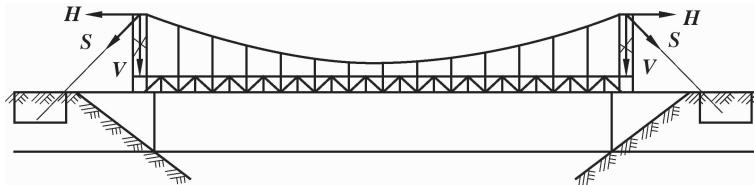


图 1-23 悬索桥

(4) 刚架桥。刚架桥的上部结构和墩台（支柱）彼此连成一个整体。刚架桥的主要承重



结构是梁与立柱(墩柱、竖墙)刚性连接的结构体系(见图 1-24)。刚架桥的特点是在竖向荷载作用下,柱脚处不仅产生竖向反力,同时产生水平反力,使其基础承受较大推力。刚架桥中梁和柱的截面均有弯矩、剪力和轴力的作用,因而其受力状态介于梁桥和拱桥之间。由于梁和柱结点为刚结点,梁端部承受负弯矩,使梁跨中弯矩减小;与一般墩台不同,刚架桥的立柱(墩台)不仅承受压力,还承受较大弯矩。由于刚架桥的上述特点,在城市中当遇到线路立体交叉或需要跨越通航江河时,常采用这种桥型以降低线路标高,减少路堤土方量。当桥面标高已确定时,能增加桥下净空。

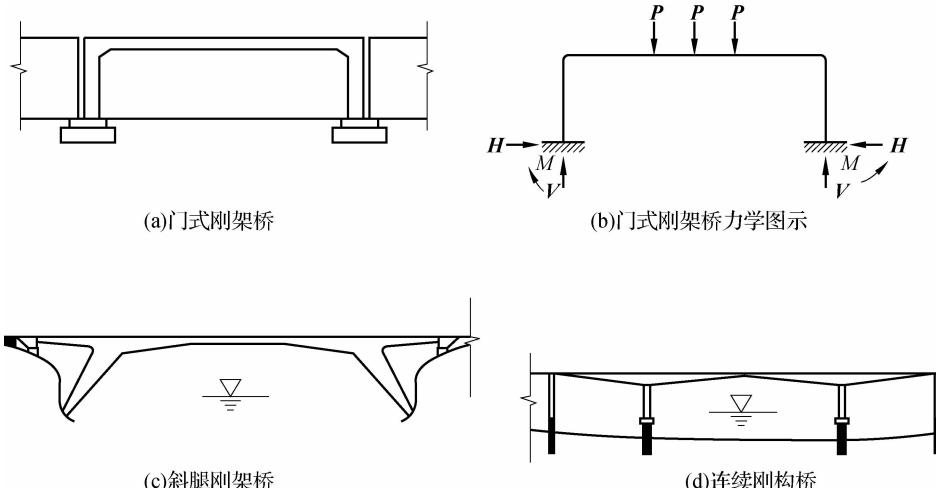


图 1-24 刚架桥

(5)组合体系桥。由拉、压、弯等几个不同受力体系的结构组合而成的桥梁称为组合体系桥梁。各种受力体系互相联系,共同受力。

梁、拱组合体系(见图 1-25)中有系杆拱、桁架拱等。它们利用梁的受弯与拱的承压、吊杆或拉杆受拉的特点组成联合结构。在预应力混凝土结构中,因梁体内可以储备巨大的压力来承受拱的水平推力,使这类结构既具有拱的特点,又没有水平推力,故对地基要求不高,但这种结构施工复杂。

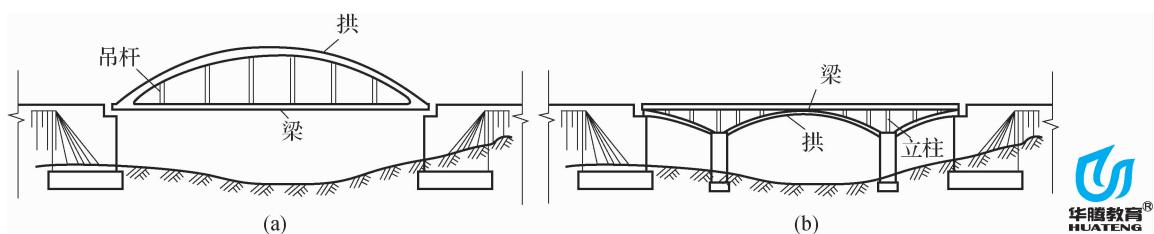


图 1-25 梁、拱组合体系桥

斜拉桥是典型的悬索结构和梁式结构的组合体系(见图 1-26)。这一结构体系由主梁、斜拉索和塔架组成,充分利用了悬索结构和梁结构的优点,其组合相当合理。在结构体系中,梁结构直接承受桥面外荷载引起的弯矩和剪力,塔架两侧的斜拉索张紧后为梁结构提供弹性支承,同时承受由荷载引起的拉力,其拉力的竖向分量通过塔架传至基础和地基;斜拉



索中荷载引起拉力的水平分量使桥结构承受轴向压力,相当于对梁结构施加预应力。此外,通过调整斜拉索间距可改变弹性支承的间距,使梁内力分布更加均匀合理,因而减小了主梁的建筑高度,提高了跨越能力。与悬索桥相比,斜拉桥的斜拉索直接作用于主梁结构,使结构体系的抗弯、抗扭的刚度大大增强,抗风稳定性也得到了明显改善。由于斜拉索拉力的水平分量由梁结构承担,因而也不再需要巨大的锚碇结构。

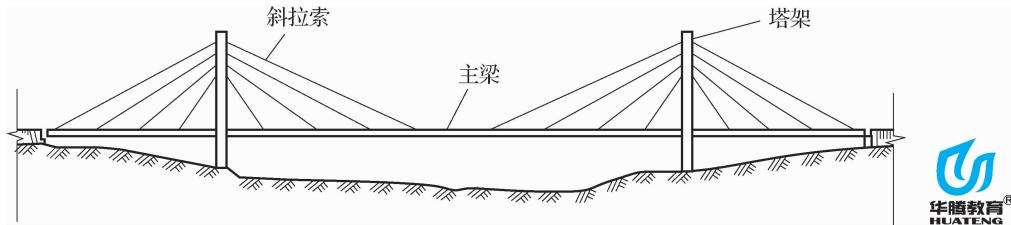


图 1-26 斜拉桥



2) 桥梁的其他分类方法

除了上述按受力特点将桥梁分成不同的结构体系外,习惯上还可将桥梁按用途、建筑材料、建筑规模等方面来进行分类。

(1)按桥梁长度和跨径大小,分为特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞,《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60—2004)给出了划分标准(见表 1-1)。

表 1-1 特大桥、大桥、中桥、小桥和涵洞划分标准



桥梁分类	多孔跨径总长 L_1/m	单孔标准跨径 l_b/m
特大桥	$L_1 > 1\,000$	$l_b > 150$
大桥	$100 \leq L_1 \leq 1\,000$	$40 \leq l_b \leq 150$
中桥	$30 < L_1 < 100$	$20 \leq l_b < 40$
小桥	$8 \leq L_1 \leq 30$	$5 \leq l_b < 20$
涵洞	—	$l_b < 5$

(2)按用途来划分,有公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农桥、人行桥、水运桥(渡槽)及其他专用桥(如通过管道、电缆等的桥梁)等。

(3)按主要承重结构所用材料划分,有圬工桥(包括石拱桥、混凝土拱桥)、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、钢桥、钢-混凝土组合桥等。

(4)按跨越障碍的性质,可分为跨河桥、跨线桥(立体交叉)、高架桥和栈桥。高架桥一般是指跨越深沟峡谷以代替高路堤的桥梁。为将车道升高至周围地面以上并使下面的空间可以通行车辆或用作其他用途(如堆栈、店铺等)而修建的桥梁,称为栈桥。

(5)按上部结构的行车位置,分为上承式桥、下承式桥和中承式桥。桥面布置在主要承重结构之上的称为上承式桥[见图 1-22(a)],桥面布置在桥跨结构高度中间的称为中承式桥[见图 1-22(c)],桥面布置在承重结构之下称为下承式桥[见图 1-22(e)]。

在上承式桥上行车时视野开阔,不足之处是桥梁的建筑高度较大,在建筑高度受严格限制的情况下应采用下承式桥或中承式桥。由于桥跨结构在桥面之上,故横向结构宽度相对较大,墩台尺寸也相应地有所增加。



(6)按桥跨结构的平面布置,可分为正交桥、斜交桥和弯桥。

除上述外,还有按桥梁使用时间长短划分为永久性桥梁和临时性桥梁;按使用条件划分为高水位桥、低水位桥、开启桥、漫水桥;按施工方法划分为整体现浇式桥和预制装配式桥。

1.3 桥梁总体规划设计

1.3.1 桥梁设计原则与资料收集

1. 桥梁设计的原则

公路桥涵应根据所在公路的使用任务、性质和将来发展的需要,按照“安全、适用、经济、美观和有利环保”的原则进行设计。

安全是设计的目的,适用是设计的功能需求,此二者必须首先满足;在满足安全和适用的前提下,应根据具体情况考虑经济和美观的要求;设计应符合环保要求,并满足可持续发展的要求,故提出了“有利环保”的原则。

1) 安全

(1)所设计的桥梁结构在强度、稳定性和耐久性方面应有足够的安全储备。

(2)防护栏应具有必要的高度和强度,人与车流之间应做好防护栏,防止车辆驶入人行道或撞坏栏杆而落到桥下。

(3)对于交通繁忙的桥梁,应设计好照明设施,并有明确的交通标志,两端引桥坡度不宜太陡,以避免发生车辆碰撞等事故。

(4)对于修建在地震区的桥梁,应按抗震要求采取必要的防震措施;对于河床易变迁的河道,应设计好导流设施,防止桥梁基础底部被过度冲刷;对于通行大吨位船舶的河道,除按规定加大桥孔跨径外,必要时应设置防撞构筑物等。

2) 适用

(1)桥面宽度应满足当前以及今后规划年限内的交通流量(包括行人通行)的要求。

(2)桥梁结构在承受不大于设计荷载的荷载时不出现过大的变形和过宽的裂缝。

(3)桥跨结构的下面有利于泄洪、通航(跨河桥)或车辆和行人的通行(旱桥)。

(4)桥梁的两端方便车辆的进入和疏散,不出现交通堵塞现象等。

(5)考虑综合利用,方便各种管线(水、电、通信等)的搭载。

3) 经济

(1)桥梁设计应遵循因地制宜、就地取材和方便施工的原则。

(2)经济的桥型应该是造价和使用年限内养护费用综合最低的桥型,设计中应充分考虑维修的方便和维修费用的节省,维修时尽可能不中断交通,或中断交通的时间最短。

(3)所选择的桥位地质、水文条件应较好,桥梁长度也较短。

(4)桥位应考虑建在能缩短河道两岸的运距,促进该地区的经济发展,产生最大经济效益的地方;对于过桥收费的桥梁应能吸引更多的车辆通过,达到尽可能快地回收投资的目的。

4) 美观

一座桥梁应具有优美的外形,而且这种外形从任何角度看都应该是优美的,结构布置必



须简洁，并在空间上具有协调的比例。桥型应与周围环境相适应，城市桥梁和旅游区的桥梁，可较多地考虑建筑艺术方面的要求。合理的结构布局和轮廓是美观的主要因素，结构细部的美学处理也十分重要，另外，施工质量对桥梁美观也有重大影响。

5)有利环保

桥梁设计必须考虑环境保护和可持续发展的要求，包括生态、水、空气、噪声等几个方面。设计时应从桥位选择、桥跨布置、基础方案、墩身外形、上部结构施工方法、施工组织设计等多方面全面考虑环境要求，采取必要的工程控制措施，并建立环境监测保护体系，将不利影响减至最小。

2. 桥位勘测与设计资料的调查

桥梁规划设计必须收集、掌握充足的资料，桥位勘测与设计资料的调查是桥梁规划设计前必不可少的工作。

1) 调查桥梁的使用要求

调查桥上的交通种类、车辆荷载等级、交通量及其增长率和行人情况，据此确定荷载设计标准、车道数目、行车道宽度及人行道宽度。调查桥上是否需要通过各种管线（如水管、煤气管，电力、通信线路等），为此可能需要在桥上预留专门的位置。

2) 选择桥位

桥梁设计首先要确定桥位，按照《公路工程技术标准》（JTGB01—2003）的规定，小桥和涵洞的位置与线形一般应符合路线的走向，为满足水文、线路弯道等要求，根据实际情况可设计斜桥和弯桥。对于公路上的特大桥、大桥、中桥桥位，原则上应服从路线走向，一般应桥、路综合考虑，尽量选择在河道顺直、水流稳定、地质良好的河段上。

大中桥一般应选择2~5个桥位进行综合比较，选择出最合理的桥位。

3) 测量桥位附近的地形图

测量桥位附近的地形、地物，并绘成平面地形图，供设计和施工使用。

4) 调查地质资料

根据桥梁分孔情况确定钻孔数量和位置。桥位处的地质情况必须仔细探明，包括土的分层高度、物理力学性能、地下水位以及有无不良地质现象（如岩石破碎带、裂隙、溶洞等）等，并将钻探所得的资料绘制成地质剖面图和柱状图，作为基础设计的依据。

5) 调查和收集水文资料

水文资料用来为确定桥面标高、跨径和基础埋深提供依据，包括以下内容。

(1)了解河道性质，包括河床及两岸的冲刷和淤积，河道的自然变迁及人工规划，是否为季节性河流等。

(2)测量桥位处河床断面、河床比降，调查河槽各部分的形态标高和粗糙率，计算流速、流量等，通过计算确定设计水位处的平均流速和流量，结合河道性质可以确定桥梁的最小总跨径，选择通航孔的位置和墩台基础形式及埋置深度。

(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)向航运管理部门了解和协商确定设计通航水位和净空等，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。

6) 调查有关气象资料和地震情况

调查气温、雨量、风速（或台风影响）以及有记载的地震资料。



7) 调查其他资料

调查建材供应情况,电力供应情况,当地运输条件,新建桥位上下游有无老桥等。

1.3.2 桥梁设计要点

1. 桥梁设计程序

我国桥梁设计的基本建设程序分为前期工作和正式设计工作两大阶段。前期工作分为预工程可行性研究(简称“预可”)阶段和工程可行性研究(简称“工可”)阶段。正式设计工作分为初步设计、技术设计和施工图设计三个阶段。

1) 前期工作

前期工作主要是预工程可行性研究报告与可行性研究报告的编制。

(1)“预可”阶段。“预可”阶段着重研究建桥的必要性以及宏观经济上的合理性。

在“预可”研究形成的“预工程可行性研究报告书”(简称“预可报告”)中,应从经济、政治、国防等方面详细阐明建桥理由和工程建设的必要性和重要性,同时初步探讨技术上的可行性。对于区域性线路上的桥梁,应以建桥地点(渡口等)的车流量调查及国民经济逐年增长为立论依据。

“预可”阶段的主要工作目标是解决建设项目的上报立项问题,因而在“预可报告”中,应编制几个可能的桥型方案,并对工程造价、资金来源、投资回报等问题也应有初步估算和设想。

设计方将“预可报告”交付业主后,由业主据此编制“项目建议书”报上级主管部门审批。

(2)“工可”阶段。在“项目建议书”被审批确认后,就可着手“工可”阶段的工作。在这一阶段,着重研究和制定桥梁的技术标准,与河道、航运、规划等部门共同研究,以协商确定相关的技术标准。

在“工可”阶段,应提出多个桥型方案,并按交通运输部《公路基本建设工程投资估算编制办法》估算造价,资金来源和投资回报等问题应基本落实。

2) 初步设计

初步设计应根据批复的可行性研究报告,测设合同和初测,初勘、定测或详勘资料等进行编制。

初步设计的目的是确定设计方案,应通过多个桥型方案中的比选,推荐最优方案,报上级审批。在编制各个桥型方案时,应提供平、纵、横布置图,标明主要尺寸,并估算工程数量和主要材料数量,提出施工方案的意见,编制设计概算,提供文字说明和图表资料。初步设计经批复后,则成为施工准备、编制施工图设计文件和控制建设项目投资等的依据。

3) 技术设计

技术设计的主要内容是对选定的桥型方案中重大、复杂的技术问题通过科学试验、专题研究、加深勘探调查及分析比较,进一步完善批复的桥型方案中的总体和细部的各种技术问题,提出详尽的设计图纸,包括结构断面、配筋、细节处理、材料清单及工程量等,并修正工程概算。

4) 施工图设计

施工图设计是在批复的技术设计(三阶段设计时)或初步设计(二阶段设计时)的所有技术文件的基础上,进一步进行具体设计。此阶段工作包括详细的结构分析计算、配筋计算,验算并确保各构件强度、刚度、稳定和裂缝等各种技术指标满足规范要求,绘制施工详图,编



制施工组织设计和施工图预算。

目前,国内一般的(常规的)桥梁设计采用二阶段设计,即初步设计和施工图设计;对于技术复杂的特大桥、互通式立交桥或新型桥梁结构,需要增加技术设计,即采用三阶段设计;对于技术简单、方案明确的小桥,也可以采用一阶段设计,即施工图设计。

2. 桥梁纵、横断面设计和平面布置

桥梁的总体设计包括桥梁纵断面设计、横断面设计和平面布置,如图 1-27 所示是一座桥梁的总体布置图。

1) 桥梁的纵断面设计

桥梁的纵断面设计包括确定桥梁的总跨径、桥梁的分孔、桥梁的高度、基础埋置深度、桥面标高和桥头引道的纵坡等内容。

对于跨河桥梁,立面总体设计中首先应考虑抗洪的要求,如果因建桥造成河道泄洪受阻,洪水可能将桥梁冲坏甚至冲毁,使两岸堤坝受到的冲刷加剧。桥位处壅水还会影响到堤坝抗洪的安全可靠性,有时不得不为此加高堤坝以防壅水漫堤。

(1) 桥梁总跨径的确定。对于一般跨河桥梁,总跨径可参照水文计算来确定。因此,桥梁总跨径必须保证桥下有足够的泄洪面积,使河床不产生过大的冲刷。

(2) 桥梁的分孔。桥梁的总跨径确定以后,还需进一步进行分孔布置。要根据通航要求,地形、地质情况以及技术经济和美观等方面综合确定。

对于一座较长的桥梁,其分成的孔数和各孔跨径的大小不仅影响到使用效果、施工难易等,并且在很大程度上关系到桥梁的总造价。跨径越大、孔数越少,上部结构的造价就越高,墩台的造价就减少;反之,则上部结构的造价降低,而墩台造价将提高。分孔与桥墩的高度以及基础工程的难易程度有密切关系,最经济的分孔方式就是使上、下部结构的总造价趋于最低。

对于通航河流,在分孔时首先应考虑桥下通航的要求。桥梁的通航孔应布置在航行最方便的河域。对于变迁性河流,鉴于航道位置可能发生变化,就需要多设几个通航孔。

在山区的深谷上,在水深流急的江河上,或需在水库上建桥时,为了减少中间桥墩,应加大跨径。条件允许时可采用特大跨径单孔跨越。在布置桥孔时,有时为了避开不利的地质段(如岩石破碎带、裂隙、溶洞等),也要将桥基位置移开,或适当加大跨径。

在有些结构体系中,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。

跨径的选择还与施工能力有关,有时选用较大跨径虽然在经济上是合理的,但限于当时的施工技术能力和设备条件,不得不将跨径减小。对于大桥施工,基础工程往往对工期起控制作用,在此情况下从缩短工期的角度考虑,就应减少基础数量而修建较大跨径的桥梁。

总之,对于大中桥梁的分孔是一个相当复杂的问题,必须根据使用任务、桥位处的地形和环境、河床地质、水文等具体情况,通过技术经济等方面的分析比较,才能做出比较完美的设计方案。

(3) 桥面标高的确定。对于跨河桥梁,桥面的标高应保证桥下泄洪和通航的需要;对于跨线桥,则应确保桥下的行车安全。在平原区建桥时,桥道标高的抬高往往伴随着桥头引道路堤土方量的显著增加。在修建城市桥梁时,桥面过高会使两端引道的延伸影响市容,或者需要设置立体交叉或高架栈桥,这将导致提高造价。因此必须根据设计洪水位、桥下通航(或通车)净空等需要,结合桥型、跨径等一起考虑,以确定合理的桥面标高。桥下净空应满足规范要求。

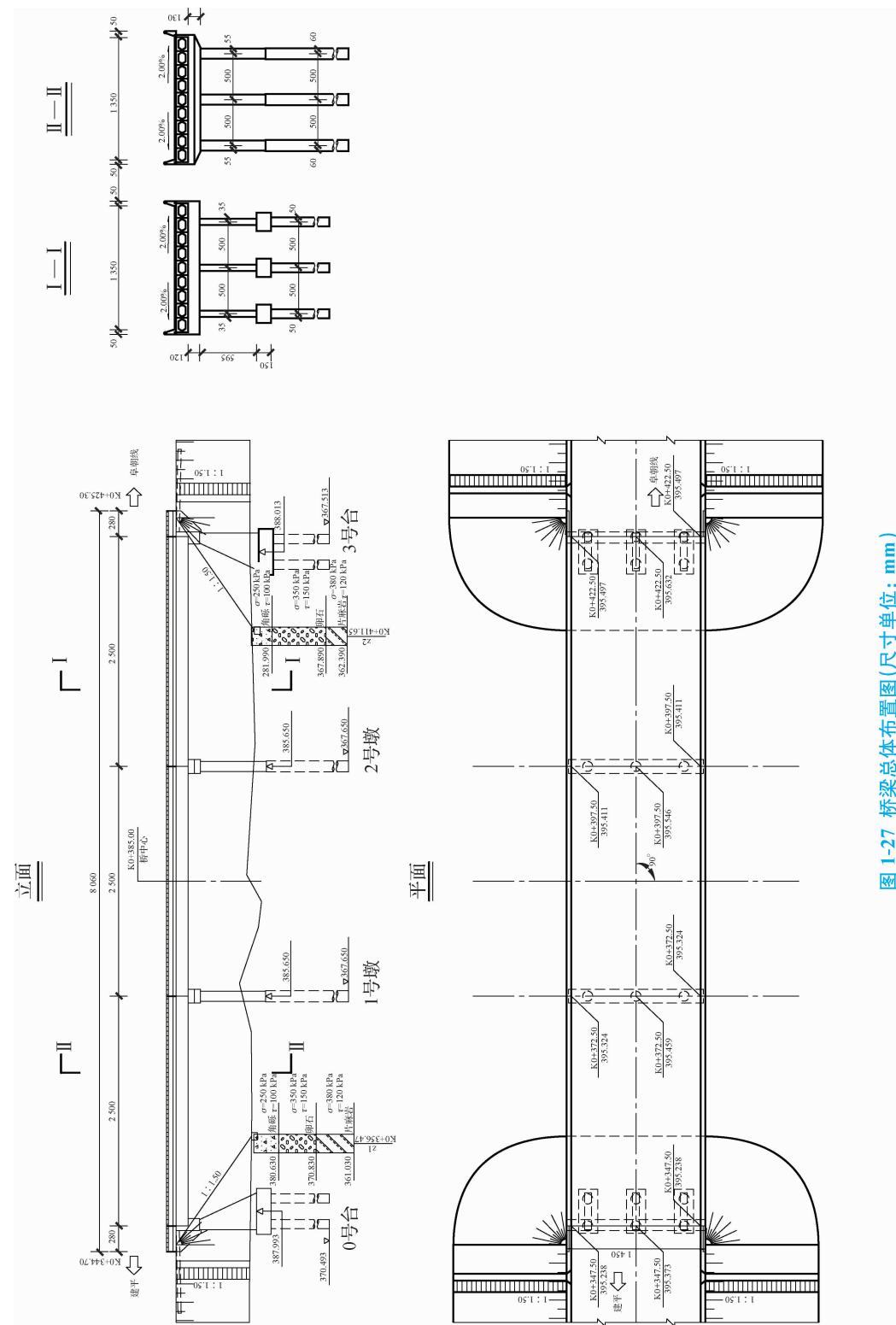


图 1-27 桥梁总体布置图(尺寸单位: mm)



《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)规定:桥下净空应根据计算水位(设计水位计入壅水、浪高等)或最高流冰水位加安全高度确定。

当河流有形成流冰阻塞的危险或有漂流物通过时,应按实际调查的数据,在计算水位的基础上结合当地具体情况酌留一定富余量,作为确定桥下净空的依据。对于有淤积的河流,桥下净空应适当增加。

在不通航的河流的桥孔内,桥下净空应不小于表 1-2 的规定;在通航河流的不通航桥孔内,桥下净空如图 1-28 所示。

表 1-2 不通航河流桥下净空

桥梁部位		高出计算水位/m	高出最高流冰面/m
梁底	洪水期无大漂流物	0.50	0.75
	洪水期有大漂流物	1.50	—
	有泥石流	1.00	—
支座垫石顶面		0.25	0.50
拱脚		0.25	0.25

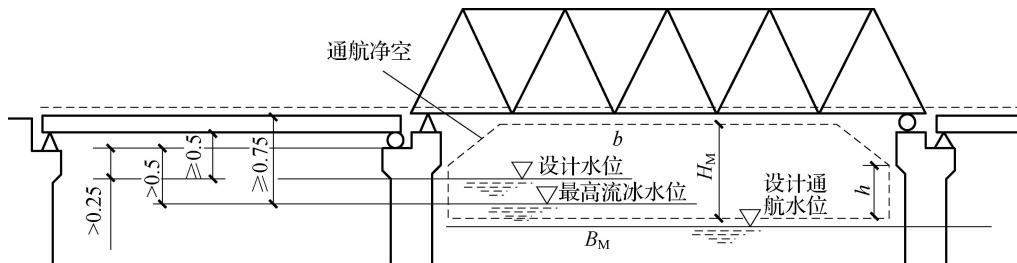


图 1-28 通航河流不通航桥孔桥下净空(尺寸单位:m)

无铰拱的拱脚允许被洪水淹没,但淹没深度不宜超过拱圈高度的 $2/3$,且拱顶底面应高出计算水位 1.0 m,拱脚的起拱线应高出最高流冰面不小于 0.25 m。

在不通航和无流筏的水库区域内,梁底面或拱顶底面离开水面的高度不应小于计算浪高的 0.75 倍加上 0.25 m。

在通航河流上,必须设置一孔或几孔能保证桥下有足够的通航净空的通航孔。通航孔的最小净空尺寸按《内河通航标准》(GB 50139—2004)确定。

对于跨越铁路或公路的桥梁,应满足相应的铁路或公路的建筑界限规定。

(4)桥头引道的纵坡。桥道标高确定后,就可根据两端桥头的地形和线路要求来设计桥梁的纵断面线形。一般小桥通常做成平坡桥。对于大中桥梁,为了利于桥面排水和降低引道的路堤高度,往往设置从中间向两端倾斜的双向纵坡。桥上纵坡不应大于 4%;桥头引道纵坡不应大于 5%;对位于市镇混合交通繁忙处的桥梁,桥上纵坡和桥头引道纵坡均不应大于 3%。桥上或引道处纵坡发生变化的地方均应按规定设置竖曲线。

桥头锥体及桥台台后 5~10 m 长度内引道可用砂性土等材料填筑。在非严寒地区无透水性土时,可就地取土经处理后填筑。桥台侧墙后端深入锥坡顶点以内的长度均不应小于 0.75 m。



二级以上公路的桥头宜设置搭板,搭板厚度不宜小于0.25 m,长度不宜小于5 m。

2) 桥梁的横断面设计

桥梁的横断面设计主要是确定桥面净空和桥跨结构横断面的布置。桥面宽度取决于行车和行人的交通需要。

为了保证车辆和行人的安全通过,应在桥面以上垂直于行车方向保留一定限界的空间,这个空间称为桥面净空。它包括净宽和净高,其尺寸应符合《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)中关于公路建筑限界的规定,铁路桥梁、城市桥梁也有相应的规定。在规定的限界内,不得有任何结构部件等侵入。横截面形式主要与上部结构的桥型方案及跨径有关。对于桥面上有结构物的桥梁,如中(下)承式拱桥、斜拉桥、吊桥等,结构物将占去部分桥面宽度,因而桥面总宽为桥面净宽加结构物所需宽度之和。

设计行车速度大于等于80 km/h时,单个行车道宽度应为3.75 m;设计行车速度大于等于40 km/h时,单个行车道宽度应为3.5 m。高速公路和一级公路行车道两侧一般设防撞护栏,宽度为0.5 m,防撞护栏与行车道之间应设0.5 m左右宽的左侧路缘带,以保证安全;高速公路和一级公路还需在行车方向的右侧设应急停车带。

在高速公路、一级公路上一般建上、下行两座独立桥梁。

高速公路上的桥梁应设检修道,不宜设人行道。一、二、三、四级公路上桥梁的人行道和自行车道的设置应根据需要而定,并应与前后路线布置协调。人行道、自行车道与行车道之间应设分隔设施。人行道的宽度为0.75 m或1.0 m,大于1 m时按0.5 m的倍数增加。一条自行车道的宽度为1.0 m,当单独设置自行车道时,一般设置不少于两条自行车道的宽度。不设人行道和自行车道的桥梁,可根据具体情况设置栏杆和安全带。与路基同宽的小桥和涵洞可仅设路缘石或栏杆。当设路缘石时,路缘石高度可取用0.25~0.35 m。

为了桥面上排水的需要,桥面应根据不同类型的桥面铺装设置从桥面中央倾向两侧的坡度为1.5%~3.0%的横坡;人行道设置向行车道倾斜1%的横坡。

3) 平面布置

桥梁的线形及桥头引道线形应与路线布设相互协调,各项技术指标应符合路线布设的规定。

桥梁应尽可能避免与河流或与桥下路线斜交。但对于一般小桥,为了改善路线线形,有时修建斜交桥,斜度通常不宜大于45°。通航河流上不宜大于5°,当交角大于5°时,宜增加通航孔净宽。

3. 桥梁设计的方案比选

为了获得经济、适用、美观和有利环保的桥梁设计方案,设计者必须根据各种自然、技术上的条件,因地制宜,在综合应用专业知识,了解掌握国内外新技术、新材料、新工艺的基础上,进行深入细致的研究分析和对比工作,才能科学、完美地得出设计方案。

1) 桥梁设计的方案比选的内容和步骤

(1)明确各种高程的要求。在桥位纵断面图上,先按比例绘出设计洪水位、通航水位、堤顶高程、桥面高程、通航净空、堤顶行车净空位置图等。

(2)桥梁分孔和初拟桥型方案草图。在上述确定了各种高程的纵断面图上,根据泄洪总跨径的要求做桥梁分孔和桥型方案草图,做草图时思路要宽阔,只要基本可行,就尽可能多绘一些草图,以免遗漏可能的桥型方案。



(3) 方案初筛。对草图方案做技术和经济上的初步分析和判断,筛去弱势方案,从中选出2~4个构思好、各具特点的方案,做进一步详细研究和比较。

(4) 详绘桥型方案图。根据不同桥型,不同跨径、宽度和施工方法,拟定主要尺寸并尽可能细致地绘制各个桥型方案的尺寸详图。对于新结构应做初步的力学分析,以准确拟定各方案的主要尺寸。

(5) 编制估算或概算。依据编制方案的详图可以计算出上、下部结构的主要工程数量,然后依据各省、市或行业的“估算定额”或“概算定额”,编制出各方案的主要材料(钢、木、混凝土等)用量、劳动力数量、工程总造价等。

(6) 方案选定和文件汇总。全面考虑建设造价、养护费用、建设工期、营运适用性、美观等因素,综合分析,阐述每个方案的优缺点,最后选定一个最佳的推荐方案。在深入比较过程中,应当及时发现并调整方案中的不合理之处,确保最后选定的方案是优中选优的方案。

上述工作全部完成之后,着手编写方案说明。说明书中应阐明方案编制的依据和标准,各方案的主要特色、施工方法、设计概算以及方案比较的综合性评述。对于推荐方案应做较详细的说明。各种测量资料、地质勘查和地震烈度复核资料、水文调查与计算资料等应按附件列入。

2) 桥型选择的影响因素

按影响桥型选择因素的特点、作用和地位的不同,可以将其分为独立因素、主要因素和限制因素。

(1) 桥梁的长度、宽度和通航孔大小等是桥型选择的独立因素。

(2) 所选桥型是否经济是桥型选择时必须考虑的主要因素。

(3) 地质、地形、水文、航运、气候等条件是桥型选择的限制因素。

1.3.3 公路桥梁上的作用

作用是施加在结构上的一组集中力或分布力,或是引起结构外加变形或约束变形的原因。前者称直接作用,亦称荷载,后者称间接作用。

公路桥涵设计采用的作用分为永久作用、可变作用和偶然作用三类,见表1-3。



测试

表1-3 公路桥梁的作用

编 号	作用分类	作用名称
1	永久作用	结构重力(包括结构附加重力)
2		预应力
3		土的重力
4		土侧压力
5		混凝土收缩及徐变作用
6		水的浮力
7		基础变位作用



续表

编 号	作用分类	作用名称
8	可变作用	汽车荷载
9		汽车冲击力
10		汽车离心力
11		汽车引起的土侧压力
12		人群荷载
13		汽车制动力
14		风荷载
15		流水压力
16		冰压力
17		温度作用
18	偶然作用	支座磨阻力
19		地震作用
20		船舶或漂流物的撞击作用
21		汽车撞击作用

桥梁设计作用(荷载)相关术语描述如下。

(1)作用代表值。作用代表值是设计结构或结构构件时,针对不同设计目的所采用的各种作用规定值,它包括作用标准值、准永久值和频遇值等。

①作用标准值。作用标准值是结构设计的主要参数。设计结构或结构构件时,采用的各种作用的基本代表值,其值可根据作用在设计基准期内最大值概率分布的某一分位值确定。

②作用准永久值。作用准永久值是按正常使用极限状态长期效应组合设计结构或构件时,采用的另一种可变作用代表值,其值可根据在足够长观测期内作用任意时点概率分布的0.5(或略高于0.5)分位值确定。

③作用频遇值。作用频遇值是按正常使用极限状态短期效应组合设计结构或构件时,采用的一种可变作用代表值,其值可根据在足够长观测期内作用任意时点概率分布的0.95分位值确定。

(2)作用效应。作用效应是指结构对所受作用的反应,如由作用产生的结构或构件的轴向力、弯矩、扭矩、位移、应力、裂缝等。

1. 永久作用

永久作用是指在结构使用期间,其量值不随时间而变化,或其变化值与平均值相比可忽略不计的作用。

结构重力(包括结构附加重力)可按结构构件的设计尺寸与材料的重力密度计算确定,表1-4列出了常用材料的重力密度。其他永久作用的计算参考《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60—2004)和《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTGD62—2004)的规定。



表 1-4 常用材料的重力密度

单位:kN/m³

材料种类	重力密度	材料种类	重力密度
钢、铸钢	78.5	浆砌片石	23.0
铸铁	72.5	干砌块石或片石	21.0
锌	70.5	沥青混凝土	23.0~24.0
铅	114.0	沥青碎石	22.0
黄铜	81.1	碎(砾)石	21.0
青铜	87.4	填土	17.0~18.0
钢筋混凝土或预应力混凝土	25.0~26.0	填石	19.0~20.0
混凝土或片石混凝土	24.0	石灰三合土、石灰土	17.5
浆砌块石或填料	24.0~25.0	—	—

2. 可变作用

可变作用是指在结构使用期间,其量值随时间变化,且其变化值与平均值相比不可忽略的作用。

1) 汽车荷载

公路桥涵设计时,汽车荷载的计算图示、荷载等级及其标准值、加载方法和纵横向折减应符合下列规定。

(1) 汽车荷载分为公路—I级和公路—II级两个等级。

(2) 汽车荷载由车道荷载和车辆荷载组成,车道荷载由均布荷载和集中荷载组成。桥梁结构的整体计算采用车道荷载;桥梁结构的局部加载,涵洞、桥台和挡土墙土压力等的计算采用车辆荷载。车辆荷载与车道荷载的作用不得叠加。

(3) 各级公路桥涵设计的汽车荷载等级应符合表 1-5 的规定。

表 1-5 各级公路桥涵的汽车荷载等级

公路等级	高速公路	一级公路	二级公路	三级公路	四级公路
汽车荷载等级	公路—I级	公路—I级	公路—II级	公路—II级	公路—II级

二级公路为干线公路且重型车辆多时,其桥涵的设计可采用公路—I级汽车荷载;四级公路上重型车辆少时,其桥涵设计所采用的公路—II级车道荷载的效应可乘以 0.8 的折减系数,车辆荷载的效应可乘以 0.7 的折减系数。

(4) 车道荷载的计算图示如图 1-29 所示。

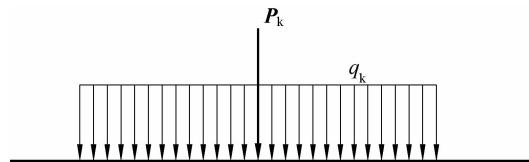


图 1-29 车道荷载



①公路—Ⅰ级车道荷载的均布荷载标准值为 $q_k=10.5\text{ kN/m}$ 。集中荷载标准值按以下规定选取：桥梁计算跨径小于或等于5m时， $P_k=180\text{ kN}$ ；桥梁计算跨径等于或大于50m时， $P_k=360\text{ kN}$ ；桥梁计算跨径为5~50m时， P_k 值采用直线内插求得。计算剪力效应时，上述集中荷载和均布荷载的标准值均应乘以1.2的系数。

②公路—Ⅱ级车道荷载的均布荷载标准值 q_k 和集中荷载标准值 P_k 按公路—Ⅰ级车道荷载的0.75倍采用。

③车道荷载的均布荷载标准值应满布于使结构产生最不利效应的同号影响线上；集中荷载标准值只作用于相应影响线中一个最大影响线峰值处。

(5)车辆荷载的立面、平面尺寸如图1-30所示，主要技术指标规定见表1-6。公路—Ⅰ级和公路—Ⅱ级汽车荷载采用相同的车辆荷载标准值。

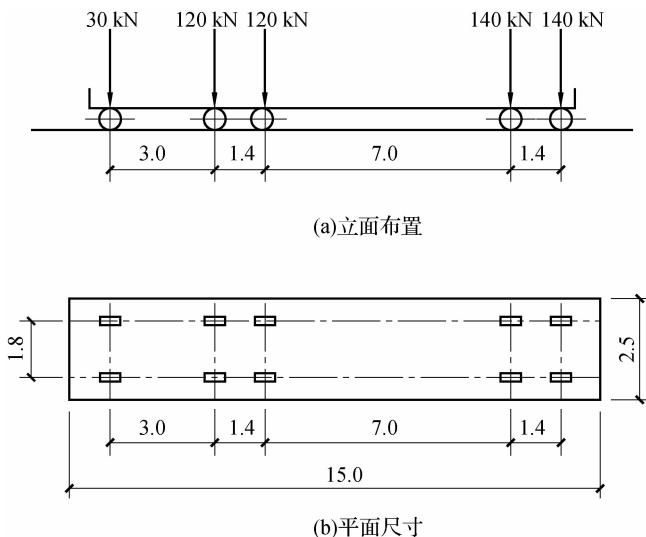


图1-30 车辆荷载的立面布置及平面尺寸(尺寸单位:m)

表1-6 车辆荷载的主要技术指标

项 目	单 位	技术指标	项 目	单 位	技术指标
车辆重力标准值	kN	550	轮 距	m	1.8
前轴重力标准值	kN	30	前轮着地宽度及长度	m	0.3×0.2
中轴重力标准值	kN	2×120	中、后轮着地宽度及长度	m	0.6×0.2
后轴重力标准值	kN	2×140	车辆外形尺寸(长×宽)	m	15×2.5
轴 距	m	$3+1.4+7+1.4$	—	—	—

(6)车道荷载横向分布系数按设计车道数(见图1-31)布置车辆荷载进行计算。

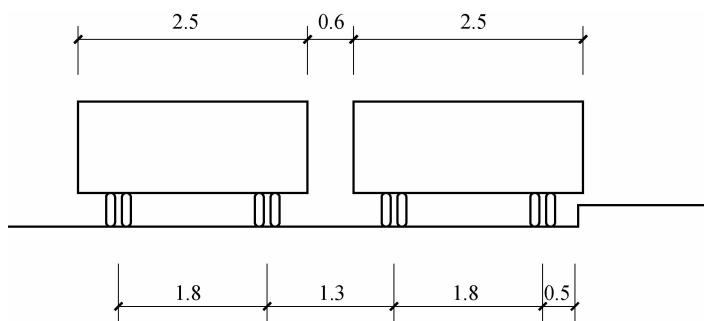


图 1-31 车辆荷载横向布置(尺寸单位:m)

(7)桥涵设计车道数应符合表 1-7 的规定。多车道桥梁的汽车荷载应考虑多车道折减。

表 1-7 桥涵设计车道数

桥面宽度 W/m		桥涵设计车道数
车辆单向行驶时	车辆双向行驶时	
$W < 7.0$	$6.0 \leq W < 14.0$	1
$7.0 \leq W < 10.5$		2
$10.5 \leq W < 14.0$	$14.0 \leq W < 21.0$	3
$14.0 \leq W < 17.5$		4
$17.5 \leq W < 21.0$	$21.0 \leq W < 28.0$	5
$21.0 \leq W < 24.5$		6
$24.5 \leq W < 28.0$	$28.0 \leq W < 35.0$	7
$28.0 \leq W < 31.5$		8

(8)随着桥梁横向布置车道数的增加,各车道内同时出现最大荷载的概率减小,由汽车荷载产生的效应应当进行折减。当桥涵设计车道数等于或大于 2 时,由汽车荷载产生的效应应按表 1-8 规定的多车道折减系数进行折减,但折减后的效应不得小于两设计车道的荷载效应。

表 1-8 横向折减系数

横向布置车道数	2	3	4	5	6	7	8
横向折减系数	1.00	0.78	0.67	0.60	0.55	0.52	0.50

(9)同样,随着桥梁跨径的增加,实际桥梁上通行的车辆达到高密度和重载的概率减小,因此,当桥梁设计跨径大于 150 m 时,汽车荷载应考虑纵向折减。当整个结构为多跨连续结构时,应按最大的计算跨径考虑汽车荷载效应的纵向折减。纵向折减系数规定见表 1-9。

表 1-9 纵向折减系数

计算跨径 l/m	$150 < l < 400$	$400 \leq l < 600$	$600 \leq l < 800$	$800 \leq l < 1 000$	$l \geq 1 000$
纵向折减系数	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93



2) 汽车荷载的冲击力

车辆以一定速度过桥时,由于桥面的不平整、车轮不圆以及发动机抖动等原因,会使桥梁结构发生振动,桥梁结构应力和变形比静荷载状态引起的大,通常把这种动力效应称为汽车荷载对桥梁结构的冲击力。现行规范用汽车荷载标准值乘以冲击系数 μ 来考虑汽车荷载的冲击力。冲击系数 μ 与桥梁结构的基频有关,按式(1-1)计算。

(1) 钢桥、钢筋混凝土及预应力混凝土桥、圬工拱桥等上部构造和钢支座、板式橡胶支座、盆式橡胶支座及钢筋混凝土柱式墩台等,应计算汽车的冲击力。

(2) 填料厚度(包括路面厚度)等于或大于0.5 m的拱桥、涵洞以及重力式墩台不计冲击力。

(3) 支座的冲击力按相应的桥梁取用。

(4) 汽车荷载的冲击力标准值为汽车荷载标准值乘以冲击系数 μ 。

(5) 冲击系数 μ 可按下列情况取用。

① 当 $f < 1.5$ Hz时, $\mu = 0.05$ 。

② 当 $1.5 \text{ Hz} \leq f \leq 14 \text{ Hz}$ 时, $\mu = 0.1767 \ln f - 0.0157$ 。

③ 当 $f > 14 \text{ Hz}$ 时, $\mu = 0.45$ 。

桥梁自振频率 f 的计算按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的相应规定来确定。

(6) 汽车荷载的局部加载及在T梁、箱梁悬臂板上的冲击系数采用1.3。

3) 汽车荷载的离心力

(1) 当弯道桥的曲线半径等于或小于250 m时,应计算汽车荷载引起的离心力。汽车荷载离心力的标准值为按车辆荷载(不计冲击力)标准值乘以离心力系数 C 计算,离心力系数按式(1-1)计算。

$$C = \frac{V^2}{127 R} \quad (1-1)$$

式中, V 为设计速度(km/h),应按桥梁所在路线设计速度采用; R 为曲线半径(m)。

(2) 计算多车道桥梁的汽车荷载离心力时,车辆荷载标准值应乘以表1-8中规定的横向折减系数。

(3) 离心力的着力点在桥面以上1.2 m处(为计算简便也可移至桥面上,不计由此引起的作用效应)。

4) 汽车荷载引起的土侧压力

汽车荷载在桥台或挡土墙后填土的破坏棱体上引起的土侧压力,可按式(1-2)换算成均布土层厚度来计算。

$$h = \frac{\sum G}{Bl_0 r} \quad (1-2)$$

式中, r 为土的容重(kN/m³); B 为桥台的计算宽度或挡土墙的计算宽度(m); l_0 为桥台或挡土墙后填土的破坏棱体长度(m); $\sum G$ 为布置在 $B \times l_0$ 面积上的车辆车轮重力(kN)。

有关桥台的计算宽度或挡土墙的计算长度可按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的相应规定来确定。



5) 人群荷载

(1) 当桥梁计算跨径小于或等于 50 m 时, 人群荷载标准值为 3.0 kN/m^2 ; 当桥梁计算跨径等于或大于 150 m 时, 人群荷载标准值为 2.5 kN/m^2 ; 当桥梁计算跨径为 50~150 m 时, 可由线性内插得到人群荷载标准值。对跨径不等的连续结构, 以最大计算跨径为准。

城镇郊区行人密集地区的桥梁, 人群荷载标准值取上述规定值的 1.15 倍; 专用人行桥梁的人群荷载标准值为 3.5 kN/m^2 。

(2) 人群荷载在横向应布置在人行道的净宽度内, 在纵向上施加于使结构产生最不利荷载效应的区段内。

(3) 人行道板(局部构件)可以一块板为单元, 按标准值 4.0 kN/m^2 的均布荷载计算。

(4) 计算人行道栏杆时, 作用在栏杆立柱顶上的水平推力标准值取 0.75 kN/m^2 ; 作用在栏杆扶手上的竖向力标准值取 1.0 kN/m^2 。

汽车荷载制动力、风荷载、流水压力、冰压力、支座磨阻力及温度影响力等其他可变作用的计算按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)的相应规定来确定。

3. 偶然荷载

偶然作用是指在结构使用期间出现的概率很小, 一旦出现, 其值很大且持续时间很短的作用。偶然荷载包括地震力、船舶或漂流物的撞击力和汽车撞击力。

偶然作用取其标准值作为代表值。偶然作用标准值应根据调查、试验资料, 结合工程经验来确定。

1) 地震作用

地震作用主要指地震时强烈的地面运动引起的结构惯性力, 它是随机变化的动力作用, 其值的大小取决于地震强烈程度和结构的动力特性以及结构或杆件的质量。

《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)规定: 地震动峰值加速度等于 0.10 g 、 0.15 g 、 0.20 g 、 0.30 g 地区的公路桥涵, 应进行抗震设计; 地震动峰值加速度大于或等于 0.40 g 地区的公路桥涵, 应进行专门的抗震研究和设计; 地震动峰值加速度小于或等于 0.05 g 地区的公路桥涵, 除有特殊要求者外, 可采用简易设防。

2) 船舶或漂流物的撞击作用

位于通航河流或有漂流物的河流中的桥梁墩台, 设计时应考虑船舶或漂流物的撞击作用, 其撞击作用标准值可根据实测资料或模拟撞击试验进行确定。无实测资料时, 可按《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2004)推荐的标准值作为设计取用值。

3) 汽车撞击作用

桥梁结构必要时可考虑汽车的撞击作用。汽车撞击力标准值在车辆行驶方向取 1000 kN , 在车辆行驶垂直方向取 500 kN , 两个方向的撞击力不同时考虑, 撞击力作用于行车道以上 1.2 m 处时, 直接分布于撞击涉及的构件上。

对于设有防撞设施的结构构件, 可视防撞设施的防撞能力对汽车撞击力标准值予以折减, 但折减后的汽车撞击力标准值不应低于上述规定值的 $1/6$ 。

4. 极限状态设计法

公路桥涵结构的设计基准期为 100 年。

极限状态是指整体结构或结构的一部分超过某一特定状态就不能够满足设计规定的某



一功能要求时,此特定状态为该功能的极限状态。

国际化组织(ISO)和我国各专业颁布的统一标准将极限状态分为承载能力极限状态和正常使用极限状态两类。这两类极限状态作为设计要求时应视结构所处状况灵活地对待。一般地说,当结构处于持久状况(使用阶段)时,由于持续时间很长,结构要承受可能同时出现的多种作用,对结构需要进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计;当结构处于短暂状况(施工阶段)时,持续时间相对于持久状况是短暂的,作用于结构的荷载也较简单,除有特别要求外,一般只做承载能力极限状态设计;当结构处于偶然状况(罕遇地震、撞击等)时,由于出现的概率较小,且持续的时间极短,结构只需要做承载能力极限状态设计。

1) 承载能力极限状态

承载能力极限状态对应于桥涵结构或其构件达到最大承载能力或出现不适于继续承载的变形或变位的状态。当结构或构件出现下列状态之一时,即认为超过了承载能力极限状态。

- (1) 结构或结构的一部分作为刚体失去平衡(如倾覆、滑移等)。
- (2) 结构构件或其连接因超过材料极限强度而破坏(包括疲劳破坏)。
- (3) 结构转变成机动体系。
- (4) 结构或构件丧失稳定性(如柱的压屈失稳等)。
- (5) 由于材料的塑性或徐变变形过大,或由于截面开裂而引起过大的几何变形等,致使结构或构件不再能继续承载和使用。例如,拱顶严重下挠,引起拱轴线偏离过大等。

在承载能力极限状态设计时,按照《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)的规定,根据结构破坏可能产生后果的严重程度的不同,桥梁划分为以下三个安全等级。

- (1) 特大桥、重要大桥的安全等级为一级,其破坏后果很严重,设计可靠度最高。
- (2) 大桥、中桥、重要小桥的安全等级为二级,其破坏后果严重,设计可靠度中等。
- (3) 小桥、涵洞的安全等级为三级,其破坏后果不严重,设计可靠度较低。

2) 正常使用极限状态

正常使用极限状态对应于桥涵结构或其构件达到正常使用或耐久性某项限值的状态结构或构件出现下列状态之一时,即认为超过了正常使用极限状态。

- (1) 影响正常使用的外观变形。
- (2) 影响正常使用或耐久性能的局部损坏(如出现过大的裂缝)。
- (3) 影响正常使用的振动。
- (4) 影响正常使用的其他特征状态。

3) 三种设计状况

公路桥涵应根据不同种类的作用及其对桥涵的影响,桥涵所处的环境条件等,考虑以下三种设计状况,并对其进行相应的极限状态设计。

- (1) 持久状况。桥涵建成后承受自重、汽车荷载等持续时间很长的状况。该状况下的桥涵应进行承载能力极限状态和正常使用极限状态设计。
- (2) 短暂状况。桥涵施工过程中承受临时性作用的状况。该状况下的桥涵仅做承载能力极限状态设计,必要时才做正常使用极限状态设计。
- (3) 偶然状况。在桥涵使用过程中可能偶然出现的状况。该状况下的桥涵仅做承载能



力极限状态设计。

5. 作用效应组合

公路桥涵结构设计应考虑结构上可能同时出现的作用,按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行作用效应组合,取其最不利效应组合进行设计。作用效应的组合原则如下。

(1) 只有在结构上可能同时出现的作用,才可进行其效应的组合;当结构或结构构件需做不同受力方向的验算时,则应以不同方向的最不利的作用效应进行组合。

(2) 当可变作用的出现对结构或结构构件产生有利影响时,该作用不应参与组合。实际不可能同时出现的作用或同时参与组合概率很小的作用,按表 1-10 规定不考虑其作用效应的组合。

表 1-10 可变作用不同时组合表

编 号	作用名称	不与该作用同时参与组合的作用编号
13	汽车制动力	15,16,18
15	流水压力	13,16
16	冰压力	13,15
18	支座摩阻力	13

(3) 施工阶段作用效应的组合,应按计算需要及结构所处条件而定,结构上的施工人员和施工机具设备均应作为临时荷载加以考虑。组合式桥梁把底梁作为施工支撑时,作用效应宜分两个阶段组合:底梁受荷为第一个阶段,组合梁受荷为第二个阶段。

(4) 多个偶然作用不同时参与组合。

1) 承载能力极限状态

公路桥梁结构按承载能力极限状态设计时,应采用以下两种作用效应组合。

(1) 基本组合。

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{Gi} S_{Gik} + \gamma_{Ql} S_{Qlk} + \Psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{Qj} S_{Qjk} \right) \quad (1-3)$$

或

$$\gamma_0 S_{ud} = \gamma_0 \left(\sum_{i=1}^m S_{Gid} + S_{Qld} + \Psi_c \sum_{j=2}^n S_{Qjd} \right) \quad (1-4)$$

式中各项具体含义如下。

S_{ud} 为承载能力极限状态下作用基本组合的效应组合设计值。

γ_0 为结构重要性系数,按结构设计安全等级采用,特大桥、重要大桥取 1.1, 大桥、中桥、重要小桥取 1.0, 小桥、涵洞取 0.9。

γ_{Gi} 为第 i 个永久作用效应的分项系数,应按表 1-11 的规定采用。

S_{Gik}, S_{Gid} 为第 i 个永久作用效应的标准值和设计值。

γ_{Ql} 为汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)的分项系数,取 $\gamma_{Ql}=1.4$ 。当某个可变作用在效应组合中其值超过汽车荷载效应时,则该作用取代汽车荷载,其分项系数应采用汽车荷载的分项系数;对专为承受某作用而设置的结构或装置,设计时该作用的分项系数应与汽车荷载同值;计算人行道板和人行道栏杆的局部荷载时,其分项系数也与汽车荷载取同值。

S_{Qlk}, S_{Qld} 为汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)的标准值和设计值。



γ_Q 为在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)、风荷载外的其他第 j 个可变作用效应的分项系数, 取 $\gamma_Q=1.4$, 但风荷载的分项系数取 $\gamma_Q=1.1$ 。

$S_{Qj,k}$ 、 $S_{Qj,d}$ 为在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他第 j 个可变作用效应的标准值和设计值。

Ψ_c 为在作用效应组合中除汽车荷载效应(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用效应的组合系数, 当永久作用与汽车荷载和人群荷载(或其他一种可变作用)组合时, 人群荷载(或其他一种可变作用)的组合系数取 $\Psi_c=0.80$; 当除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外尚有两种其他可变作用参与组合时, 其组合系数取 $\Psi_c=0.70$; 尚有三种可变作用参与组合时, 其组合系数取 $\Psi_c=0.60$; 尚有四种及多于四种的可变作用参与组合时, 取 $\Psi_c=0.50$ 。

当设计弯桥, 离心力与制动力同时参与组合时, 制动力标准值或设计值按 70% 取用。

表 1-11 永久作用效应的分项系数

编 号	作用类别	永久作用效应分项系数	
		对结构的承载能力不利时	对结构的承载能力有利时
1	混凝土和圬工结构重力 (包括结构附加重力)	1.2	1.0
	钢结构重力(包括结构附加力)	1.1 或 1.2	
2	预加力	1.2	1.0
3	土的重力	1.2	1.0
4	混凝土的收缩及徐变作用	1.0	1.0
5	土侧压力	1.4	1.0
6	水的浮力	1.0	1.0
7	基础变位 作用	0.5	0.5
		1.0	1.0

(2) 偶然组合。永久作用标准值效应与可变作用某种代表值效应、一种偶然作用标准值效应相组合。偶然作用的效应分项系数取 1.0; 与偶然作用同时出现的可变作用可根据观测资料和工程经验取用适当的代表值; 地震作用标准值及其表达式按现行《公路工程抗震设计规范》规定采用。

2) 正常使用极限状态

公路桥涵结构按正常使用极限状态设计时, 应根据不同的设计要求, 采用以下两种效应组合。

(1) 作用短期效应组合。永久作用标准值效应与可变作用频遇值效应相组合时, 其效应组合表达式为

$$S_{sd} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{1j} S_{Qjk} \quad (1-5)$$

式中, S_{sd} 为作用短期效应组合设计值; ψ_{1j} 为第 j 个可变作用效应的频遇值系数, 汽车荷载(不计冲击力) $\psi_1=0.7$, 人群荷载 $\psi_1=1.0$, 风荷载 $\psi_1=0.75$, 温度梯度作用 $\psi_1=0.8$, 其他作用 $\psi_1=1.0$; S_{Qjk} 为第 j 个可变作用效应的频遇值。





(2)作用长期效应组合。永久作用标准值效应与可变作用准永久值效应相组合时,其效应组合表达式为

$$S_{ld} = \sum_{i=1}^m S_{Gik} + \sum_{j=1}^n \psi_{2j} S_{Qjk} \quad (1-6)$$

式中, S_{ld} 为作用长期效应组合设计值; ψ_{2j} 为第 j 个可变作用效应的准永久值系数,汽车荷载(不计冲击力) $\psi_2=0.4$,人群荷载 $\psi_2=0.4$,风荷载 $\psi_2=0.75$,温度梯度作用 $\psi_2=0.8$,其他作用 $\psi_2=1.0$; S_{Qjk} 为第 j 个可变作用效应的准永久值。

注意①结构构件当需进行弹性阶段截面应力计算时,除特别指明外,各作用效应的分项系数及组合系数均取1.0,各项应力限值按相应设计规范的规定采用;

②构件在吊装、运输时,构件重力应乘以1.2或0.85,并可视构件具体情况做适当增减。



思考与练习

1. 我国古代桥梁的代表有哪些?
2. 目前世界上各种桥型的最大跨径是多少?
3. 我国在长江上架起的第一座桥是哪一座?我国在长江上自行设计、制造、施工的第一座桥是哪一座?
4. 什么叫桥梁?桥梁通常由哪几部分组成?
5. 解释以下桥梁术语:计算跨径、净跨径、标准跨径、桥梁全长、多孔跨径总长、桥梁高度、桥梁建筑高度、桥下净空、拱桥净矢高、拱桥计算矢高、拱桥矢跨比。
6. 桥梁按结构基本体系分哪几种形式?简述各种桥型的受力特点。
7. 桥梁按多孔跨径总长及单孔跨径是如何分类的?
8. 桥梁设计的基本原则是什么?
9. 桥位勘测中需要调查的设计资料包括哪些方面?
10. 桥梁设计程序有哪些?根据不同情况应采用哪些不同的设计程序?
11. 桥梁纵断面设计包括哪些内容?
12. 桥梁的分孔主要与哪些因素有关?
13. 人行道、自行车道宽度有什么规定?
14. 桥面横坡、人行道横坡分别是怎样规定的?试说明它们排水的方向。
15. 简述桥梁方案比较的内容和步骤。
16. 公路桥梁荷载有哪几种类型?试解释其每一种类型的定义和所包括的荷载。
17. 什么是冲击作用?如何计算冲击系数?
18. 半径为多少的曲线桥应考虑汽车离心力?应如何计算?着力点位置如何考虑?
19. 荷载组合时,哪些荷载不能同时相组合?

项目2 简支梁桥



学习目标

- 掌握装配式简支T梁桥的构造。
- 掌握简支梁桥行车道板的计算、荷载横向分布计算及主梁内力。
- 了解简支梁桥挠度的计算。
- 了解梁式桥支座的类型与构造。
- 了解其他体系梁桥的构造。

2.1 简支梁桥设计与构造

2.1.1 简支梁桥概述

简支体系梁式桥属静定结构,受力明确,在竖向荷载作用下,支座只产生垂直反力而无水平推力,梁体以受弯为主,同时承受剪力。钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥都是采用抗压性能好的混凝土和抗拉性能好的钢筋结合在一起组合而成的,由于钢筋和混凝土的线膨胀系数大致相等,故可以在一起很好地工作。

桥梁建设中,中小跨径的桥梁占了大多数,简支体系梁式桥是最常用的桥型。本项目将介绍目前常用的钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥的构造与设计。

1. 钢筋混凝土和预应力混凝土梁桥的特点

1) 钢筋混凝土梁桥的特点

钢筋混凝土是一种具有很多优点的建筑材料。用这种建筑材料建造的梁桥具有能就地取材、工业化施工、耐久性好、适应性强、整体性好以及美观等各种优点。

钢筋混凝土梁桥也有其不足之处,主要是结构本身的自重大,占全部作用设计值的30%~60%,跨径愈大则自重所占的比值愈显著。鉴于材料强度大部分为结构本身的重力所消耗,而且,钢筋混凝土梁在正常使用状态下是带裂缝工作,因此它的工作性能、耐久性受到的影响,这就大大限制了钢筋混凝土梁式桥的跨越能力。此外,就地浇筑的钢筋混凝土桥,施工工期长,支架和模板耗损的钢材和木材较多。在寒冷地区以及在雨季建造整体式钢筋混凝土桥梁时,施工比较困难,如采用蒸汽养生以及防雨措施等,则会显著增加造价。

显然,上述的优缺点都是与钢桥、圬工桥等其他材料种类桥梁比较而言的。目前,公路钢桥一般在大跨径桥梁中比较经济,而建造圬工拱桥费工费时,还要受到桥位处地形地质的限制。因此,在公路建设中,特别对于公路上最常遇到的跨越中小河流等障碍的情况,常常优先考虑建造中小跨径的钢筋混凝土梁桥。对装配式钢筋混凝土简支梁桥而言,在技术经





济上合理的最大跨径约为 20 m。悬臂梁桥与连续梁桥适宜的最大跨径为 60~70 m。

2) 预应力混凝土梁桥的特点

预应力混凝土可以看作是一种预先储存了压应力的新型混凝土材料。在钢筋混凝土梁桥的受拉区域虽然布置有受力钢筋,但仍不可避免地将出现一些裂缝,因此采用预加应力来改善结构的使用性能。通过张拉预应力筋,使受拉区预先储备一定数值的压应力;当外荷作用时,混凝土可不出现拉应力或不出现超过某个限值的拉应力。对混凝土施加预压力的高强钢筋(或称力筋),既是加力工具又是抵抗构件内力的受力钢筋。考虑到混凝土与时间相关的收缩和徐变作用会导致相当可观的预应力损失,故非得应用高强材料才能使预应力混凝土获得良好的使用效果。有预应力混凝土梁桥有下述重要特点。

(1)能最有效地利用现代化的高强材料(高强混凝土、高强钢材),减小构件截面,显著降低自重所占全部设计荷载的比重,增大跨越能力,并扩大混凝土结构的适用范围。

(2)与钢筋混凝土梁桥相比,一般可以节省 30%~40% 钢材,跨径愈大,节省愈多。

(3)预应力混凝土梁可显著减小建筑高度,使大跨径桥梁做得轻柔美观。由于能消除裂缝,这就扩大了对多种桥型的适应性,并提高了结构的耐久性。

(4)预应力技术的采用,为现代装配式结构提供了最有效的接头和拼装手段。根据需要,可在纵向、横向和竖向等施加预应力,使装配式结构集成理想的的整体,这就扩大了装配式桥梁的使用范围。

显然,要建造好一座预应力混凝土桥梁,首先要有作为预应力筋的优质高强钢材和高强混凝土的制备质量,同时需要有一整套专门的预应力张拉设备和材质好、制作精度高的锚具,并且要掌握较复杂的施工工艺。预应力混凝土简支梁的跨径已达 50~60 m。

2. 梁式桥的主要类型

下面从几个主要方面简述钢筋混凝土和预应力混凝土梁式桥上部结构的构造类型及其适用情况。

1) 按承重结构的截面形式划分

梁式桥按承重结构的截面形式可划分为板桥、肋板式梁桥和箱形梁桥。

(1)板桥。板桥是小跨径桥梁最常用的桥型之一。由于它在建成之后承重结构外形像一块矩形截面的薄板,故称为板桥,如图 2-1 中(a)和(b)所示。

板桥主要特点是构造简单,施工方便;建筑高度较小;预制构件时,重量不大,架设方便;跨径不大。

《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60—2004)规定:钢筋混凝土简支板桥的跨径不宜超过 13 m,预应力混凝土简支板桥的跨径不宜超过 25 m。

(2)肋板式梁桥。在横截面内形成明显肋形结构的梁桥称为肋板式梁桥,常用的横截面形式有Ⅱ形、T 形,如图 2-1 中(c)和(d)所示。

肋板式梁桥主要特点是肋和翼缘板均是承重构件;节省受拉区混凝土,减轻自重;构造与受力配合好,既充分发挥了混凝土桥面板的抗压能力,又有效地发挥了集中布置在梁肋下部的受力钢筋的抗拉作用。

钢筋混凝土简支肋梁桥的常用跨径为 8~20 m,预应力简支肋梁桥的常用跨径为 25~50 m。

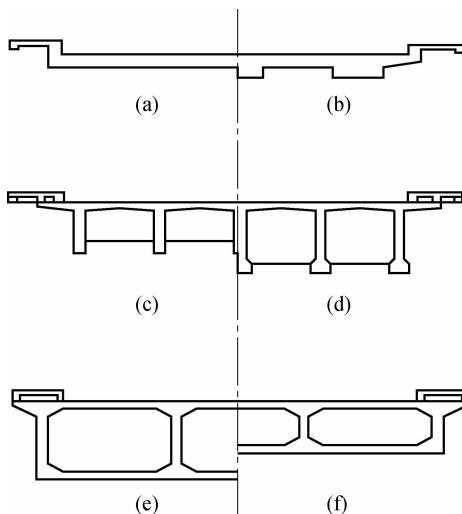


图 2-1 梁桥横截面形式

(3) 箱形梁桥。横截面呈一个或几个封闭箱形的梁桥称为箱形梁桥。它分为单室和多室的横断面,如图 2-1 中(e)和(f)所示。

这种结构除了梁肋的上部翼缘板外,在底部尚有扩展的底板,因此它提供了承受正、负弯矩的足够的混凝土受压区。箱形梁桥的另一个重要特点,是在一定的截面面积下能获得较大的抗弯惯性矩,而且抗扭刚度也特别大,在偏心的活载作用下各梁肋的受力比较均匀。因此箱形截面能适用于较大跨径的悬臂梁桥和连续梁桥,也可用来修建全截面均参与受力的预应力混凝土简支梁桥。显然,对于普通钢筋混凝土的简支梁桥来说,底板除徒然增加自重外并无其他益处,故不宜采用。

箱形梁桥适用弯桥、跨径大于 50 m 的桥梁。

2) 按承重结构的静力体系划分

梁式桥按承重结构的静力体系可划分为简支梁桥、悬臂梁桥、连续梁桥。

(1) 简支梁桥。简支梁桥是梁式桥中应用最早、使用最广泛的一种桥型。它构造简单,最易设计为各种标准跨径的装配式结构;施工工序少,架设方便;在多孔简支梁桥中,由于各跨构造和尺寸划一,简化施工管理工作,降低施工费用;因相邻桥孔各自单独受力,桥墩上需设置相邻简支梁的两个支座;简支梁桥的构造较易处理而常被选用,如图 2-2(a)所示。

(2) 悬臂梁桥。这种桥梁的主体是长度超出跨径的悬臂结构。仅一端悬出者称为单悬臂梁,两端均悬出者称为双悬臂梁。对于较长的桥,还可以借助简支的挂梁与悬臂梁一起组合成多孔桥,如图 2-2(b)所示。在力学性能上,悬臂根部产生的负弯矩减小了跨中正弯矩,可以节省材料用量。悬臂梁桥属于静定结构,墩台的不均匀沉陷不会在梁内引起附加内力。

(3) 连续梁桥。这种体系的主要特点是:承重结构(板、T 形梁或箱梁)不间断地连续跨越几个桥孔而形成一超静定的结构,如图 2-2(c)所示;连续孔数一般不宜过多;当桥梁跨径较多时,需要沿桥长分建成几组(或称几联)连续梁;连续梁由于荷载作用下支点截面产生负弯矩,从而显著减小了跨中的正弯矩,这样不但可减小跨中的建筑高度,而且能节省钢筋混凝土数量,跨径增大时,这种节省就愈益显著。连续梁通常适用于桥基良好的场合,否则,任一墩台基础发生不均匀沉陷时,桥跨结构内均产生附加内力。

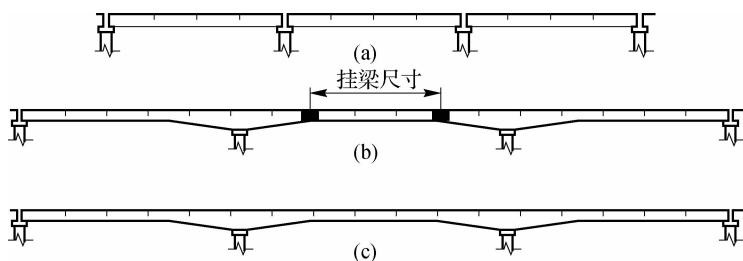


图 2-2 梁桥的基本体系

3)按施工方法划分

梁式桥按施工方法划分为整体式梁桥、装配式梁桥和组合式梁桥。

(1)整体式梁桥。整体式梁桥建桥的全部工作都在施工现场进行,由于全桥在纵向和横向都是现场整体浇筑,所以整体性好,可以按需要做成各种外形。但施工进度慢,且要耗费较多的支架和模板材料。

(2)装配式梁桥。装配式梁桥的上部构造在工地预制场分块预制,再运到现场吊装就位,然后在接头处把构件连接成整体。装配式桥的预制构件质量易于保证,而且还能与下部工程同时施工,加快了施工进度,并能节约支架和模板材料。目前工程上多数采用预制装配而成的装配式梁桥。装配式梁桥有以下优点。

- ①多采用标准跨径,有利于大规模工厂化制造。
- ②主梁在预制场内进行生产。
- ③构件的制造不受季节限制,上、下部构造可同时施工,工期短。
- ④节省大量的支架和模板。
- ⑤构件的运输和安装需要一定的运输和起吊设备。

(3)组合式梁桥。组合式梁桥承重结构的板或梁,一部分采用预制安装,另一部分采用就地浇筑。预制安装部分就作为现浇部分的模板和支架,现浇部分的混凝土则将预制部分结合成整体,共同承受结构的重力和活载。

组合式梁桥与装配式梁桥相比,预制构件的重力可以显著减小,且便于运输和安装。但是组合式梁桥施工工序较多,桥上现浇混凝土的工作量较大,而且预制部分的结构在施工过程中要单独承受桥面现浇混凝土的重力,所以总的材料用量要比装配式梁桥多一些。

4)按有无预应力划分

梁式桥按有无预应力可划分为钢筋混凝土梁桥和预应力混凝土梁桥。

2.1.2 桥面构造

桥面构造通常包括桥面铺装、防水和排水系统、伸缩缝、人行道(或安全带)、缘石、栏杆(或防撞墙)、灯柱等,如图 2-3 所示。

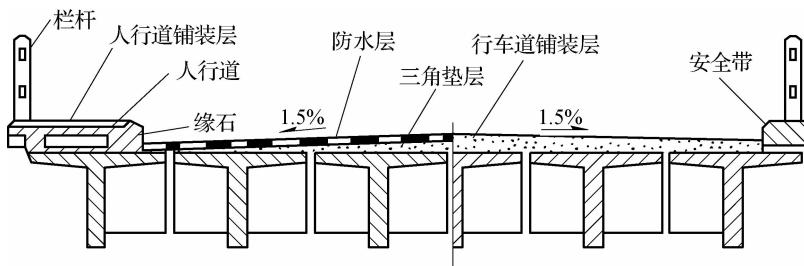


图 2-3 桥面构造横截面

1. 桥面铺装

桥面铺装即行车道铺装，亦称桥面保护层，它是车轮直接作用的部分。桥面铺装的功能是保护属于主梁整体部分的行车道板不受车辆轮胎或履带的直接磨耗，防止主梁遭受雨水的侵蚀，并能使车辆轮重的集中荷载进行分散。因此，行车道铺装要求有一定的强度，防止开裂，并保证耐磨。

如果桥面铺装采用水泥混凝土，其标号应不低于桥面板混凝土的标号，并在施工中能确保铺装层与桥面板紧密结合成整体。

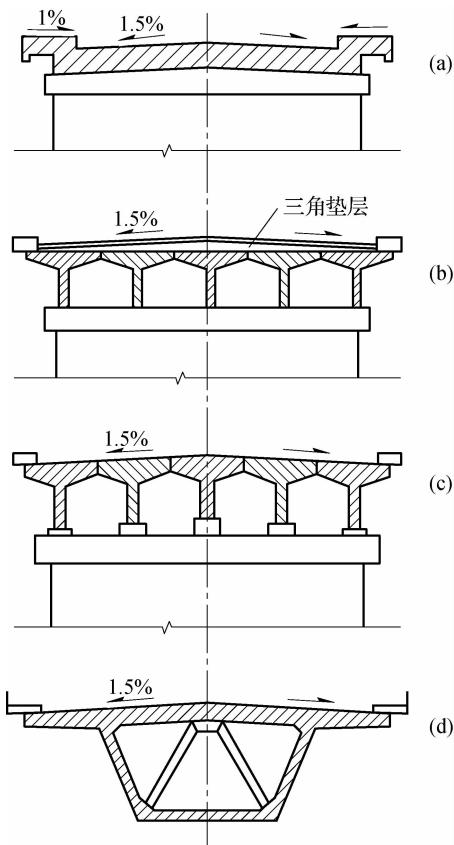


图 2-4 桥面横坡的设置

1) 桥面纵横坡的设置

(1) 设置目的。桥面设置纵横坡，以利雨水迅速排除，防止或减少雨水对桥面铺装层的渗透，从而保护行车道板，延长桥梁使用寿命。

(2) 设置方法。桥面上设置纵坡，一般做成双向纵坡，在桥中心设置竖曲线，纵坡坡度一般以不超过 3% 为宜，与路线的纵断面设计相吻合。

桥面上设置的横坡坡度一般采用 1.5%~2.0%。常用的设置形式有以下几种。

① 将横坡直接设在墩台顶部，而使桥梁上部构造做成双向倾斜，铺装层在整个桥宽上做成等厚的，如图 2-4(a)所示。

② 横坡不设在墩台顶部，而直接设在行车道板上。先铺设一层厚度变化的混凝土三角形垫层，形成双向倾斜，再铺设等厚的混凝土铺装层，如图 2-4(b)所示。

③ 在装配式肋板式梁桥中，也有通过支座垫石高度变化来形成横坡，而免去做三角垫层的工序，使得施工简便，横坡大小易控制，如图 2-4(c)所示。

④ 在比较宽的桥梁(或城市桥梁)中，可将行车道板做成倾斜面而形成横坡，如图 2-4(d)



所示。它的缺点是主梁构造复杂,施工麻烦。

2) 桥面铺装的类型

桥面铺装的结构形式宜与所在位置的公路路面相协调。目前,常采用碎(砾)石、沥青表面处理,水泥混凝土和沥青混凝土铺装等各种类型。其中,碎(砾)石和沥青表面处理桥面铺装耐久性较差,仅在中级和低级公路桥梁上使用。水泥混凝土和沥青混凝土桥面铺装能满足各项要求,应用广泛。特别是高速公路和一级公路上的特大桥、大桥的桥面铺装宜采用沥青混凝土。

沥青混凝土桥面铺装由黏结层、防水层及沥青混凝土面层组成。高速公路、一级公路上桥梁的沥青混凝土桥面铺装层厚度不应小于 70 mm,二级及二级以下公路桥梁的沥青混凝土桥面铺装层厚度不应小于 50 mm。

水泥混凝土桥面铺装面层(不含整平层和垫层)的厚度不应小于 80 mm,混凝土强度等级不应小于 C40。水泥混凝土桥面铺装层内应配置钢筋网,钢筋的直径不应小于 8 mm,间距不应大于 100 mm。

高等级公路上的桥梁,一般采用设防水层的钢筋混凝土加上沥青混凝土铺装,如图 2-5 所示。

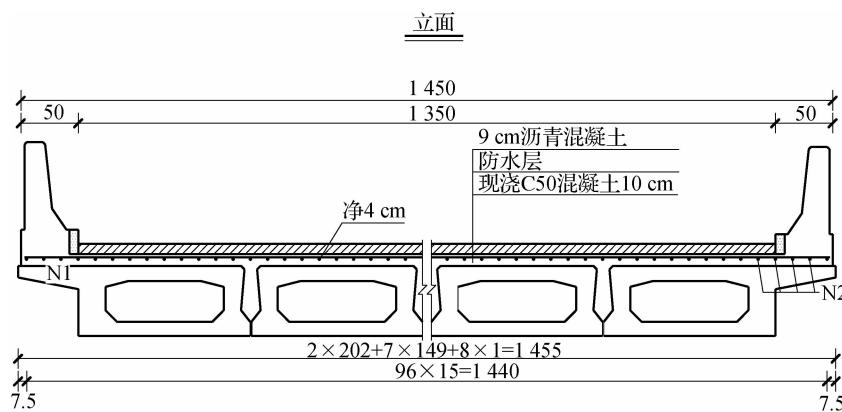


图 2-5 桥面铺装图(尺寸单位:cm)

N1—横桥向钢筋; N2—顺桥向钢筋

2. 桥面防水与排水系统

桥面铺装应有完整的桥面防水与排水系统。

1) 桥面防水层

桥面防水层设置在行车道铺装下边,它将透过铺装层渗下的雨水汇集到排水设施排出。桥面防水层主要有以下几种类型。

(1) 卷材防水层。热铺卷材防水层,应采用石油沥青油毡、沥青玻璃布油毡、再生胶油毡等。铺贴石油沥青卷材必须用石油沥青胶结材料;铺贴焦油沥青卷材必须使用焦油沥青胶结材料。这种防水层适用于防水程度高或桥面板位于结构受拉区而可能出现裂缝的桥梁上。

(2) 涂料防水层。涂料防水层是在混凝土结构表面涂刷防水涂料以形成防水层或附加



防水层。防水涂料可使用沥青胶结材料或合成树脂、合成橡胶的乳液或溶液,或者更常用的环氧沥青或聚氨酯。它们按单层或双层浇筑,最上一层撒砂,以增进其与面层的机械黏附。

(3)无防水层的防水措施。无防水层时,水泥混凝土铺装应采用防水混凝土。对于沥青混凝土铺装则应加强防水和养护。梁式桥的桥面防水,以往一般采用1~3层沥青防水卷材和2~3层防水涂料。这种体系的主体为石油沥青,其适应性和耐久性差,故逐渐不被采用而改用防水混凝土。

圬工桥台背后及拱桥拱圈与填料间应设置防水层,并设盲沟排水。桥面铺设防水层前,应将桥面灰尘、泥土和杂物清除干净,使防水层与桥面有较好的结合。

2) 桥面排水系统

(1)设置目的。为防止雨水滞积于桥面并渗入梁体而影响桥梁的耐久性,除在桥面铺装内设置防水层外,应使桥上的雨水迅速引导排出桥外。

(2) 设置情况。

①通常当桥面纵坡大于2%而桥长小于50 m时,雨水可流至桥头从引道上排除,桥上就不必设置专门的泄水孔道。为防止雨水冲刷引道路基,应在桥头引道的两侧设置流水槽。

②当纵坡大于2%,但桥长超过50 m时,宜在桥上每隔12~15 m设置一个泄水管。如桥面纵坡小于2%则宜每隔6~8 m设置一个泄水管。泄水管可以沿行车道两侧左右对称排列,也可交错排列,其离缘石的距离为20~50 cm。

③对于跨线桥和城市桥梁应像建筑物那样设置完善的落水管道,将雨水排至地面阴沟或下水道内。

④泄水管也可布置在人行道下面(见图2-6),为此需要在人行道块件(或缘石部分)上留出横向进入孔,并在泄水孔的三个周边设置相应的聚水槽,起到聚水、导流和拦截作用。

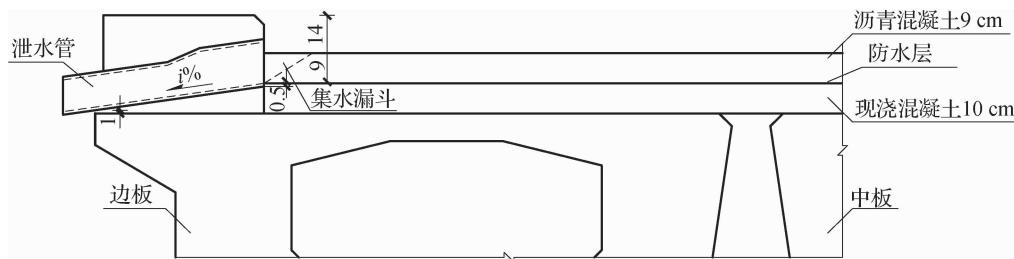


图 2-6 横向泄水管安装示意图(尺寸单位:cm)

⑤跨越公路、铁路、通航河流的桥梁,桥面排水宜通过设在桥梁墩台处的竖向排水管排入地面排水设施中。

为防止大块垃圾进入堵塞泄水管,在进水的入口处设置金属栅门。

泄水管常采用金属铸铁管和钢筋混凝土管(见图2-7和图2-8)、塑料管,最小内径为80 mm,泄水管周围的桥面板应配置补强钢筋网。排水管材料有铸铁管、塑料管(聚氯乙烯PVC或聚乙烯PE)或钢管,其内径应等于或大于泄水管的内径。排水槽宜采用铝质或钢质材料,也可采用水泥混凝土预制件,其横截面为矩形或U形,宽度和深度均宜为200 mm左右;纵向排水管或排水槽的坡度不得小于0.5%。桥梁伸缩缝处的纵向排水管或排水槽应设



置可供伸缩的柔性套筒；寒冷地区的竖向排水管，其末端宜距地面 500 mm 以上。

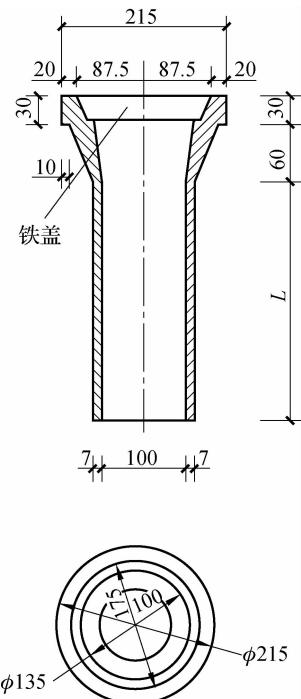


图 2-7 铸铁管构造(尺寸单位:mm)

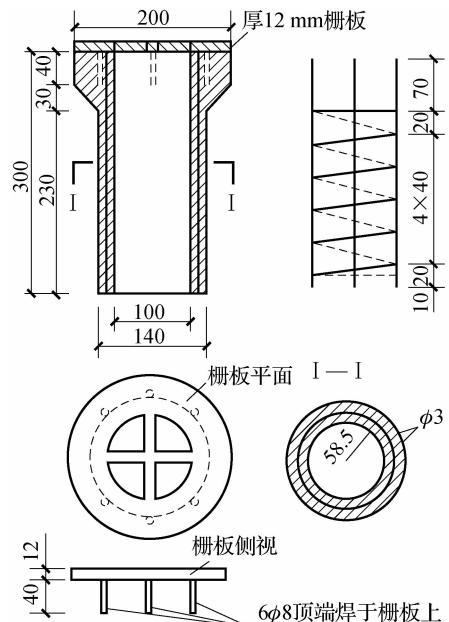


图 2-8 钢筋混凝土泄水管(尺寸单位:mm)

3. 桥面伸缩缝

1) 设置目的

为了保证桥跨结构在气温变化、活载作用、混凝土收缩与徐变等影响下按静力图示自由地变形，并保证车辆平稳地通过，就需要使桥面在两梁端之间以及在梁端与桥台背墙之间设置横向的伸缩缝。特别要注意，在伸缩缝附近的栏杆、人行道结构也应断开，以满足梁体的自由变形。

桥梁伸缩装置直接暴露在大气中，承受车辆、人群荷载的反复作用，很小的缺陷和不足，都会引起跳车等不良现象，从而使其承受很大的冲击力，甚至影响到桥梁结构本身和通行者的生命安全，是桥梁结构中最易损坏又较难修缮的部位。在设计与施工过程中，应给予足够的重视。

2) 伸缩缝的构造要求

- (1) 能够满足桥梁自由伸缩的要求，保证有足够的伸缩量。
- (2) 伸缩装置牢固可靠，与桥梁结构连为整体，抗冲击，经久耐用。
- (3) 桥面平坦，行驶性良好，车辆驶过时应平顺，无突跳和噪声。
- (4) 具有能够安全防水和排水的构造，有效防止雨水渗入。
- (5) 能有效防止垃圾渗入阻塞，便于检查和清除缝下沟槽的污物。
- (6) 构造简单，施工、安装、养护、修理与更换方便。

伸缩缝类型的选择，主要依据伸缩缝所需要的变形量 Δl 的大小来选择。计算变形量



图文
桥面伸缩缝施工工艺



时,主要考虑以安装伸缩缝时的温度为基准,将温度变化引起的伸长量 Δl_t^+ 和缩短量 Δl_t^- ,以及混凝土徐变和干燥收缩引起的收缩量 $\Delta l_e + \Delta l_s$ 作为基本的伸缩量。对于其他因素,如制造与安装误差等,一般作为安全富余量 Δl_E 考虑, Δl_E 通常可按计算变形量的 30% 估算。因而总的变形量为

$$\Delta l = \Delta l_t^+ + \Delta l_t^- + \Delta l_e + \Delta l_s + \Delta l_E$$

3) 伸缩缝的类型

如图 2-9 所示为梳齿板伸缩缝,一般适用于伸缩量不大于 300 mm 的公路桥梁。如图 2-10 所示为工程中常用的 60 型伸缩缝。常用的伸缩缝还有模数式伸缩缝(适用于伸缩量为 160~2 000 mm 的公路桥梁)、橡胶式伸缩缝(分板式橡胶伸缩缝、组合式橡胶伸缩缝,伸缩量分别适用于不大于 60 mm 和 120 mm 的公路桥梁)、异型钢单缝式伸缩缝(一般适用于伸缩量不大于 80 mm 的公路桥梁),构造如图 2-11 所示。

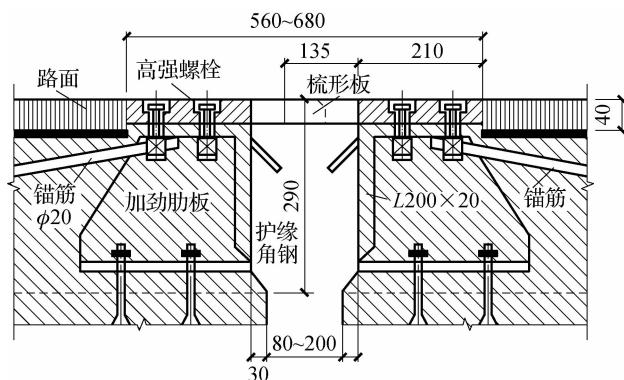


图 2-9 梳齿板伸缩缝(尺寸单位:mm)

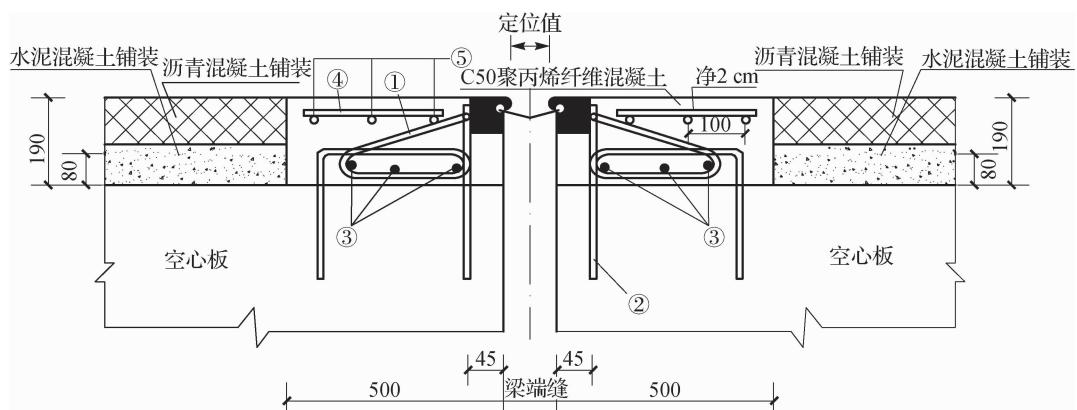


图 2-10 60 型伸缩缝(尺寸单位:mm)

①—设计钢筋; ②—预埋钢筋; ③、④、⑤—现场加工钢筋

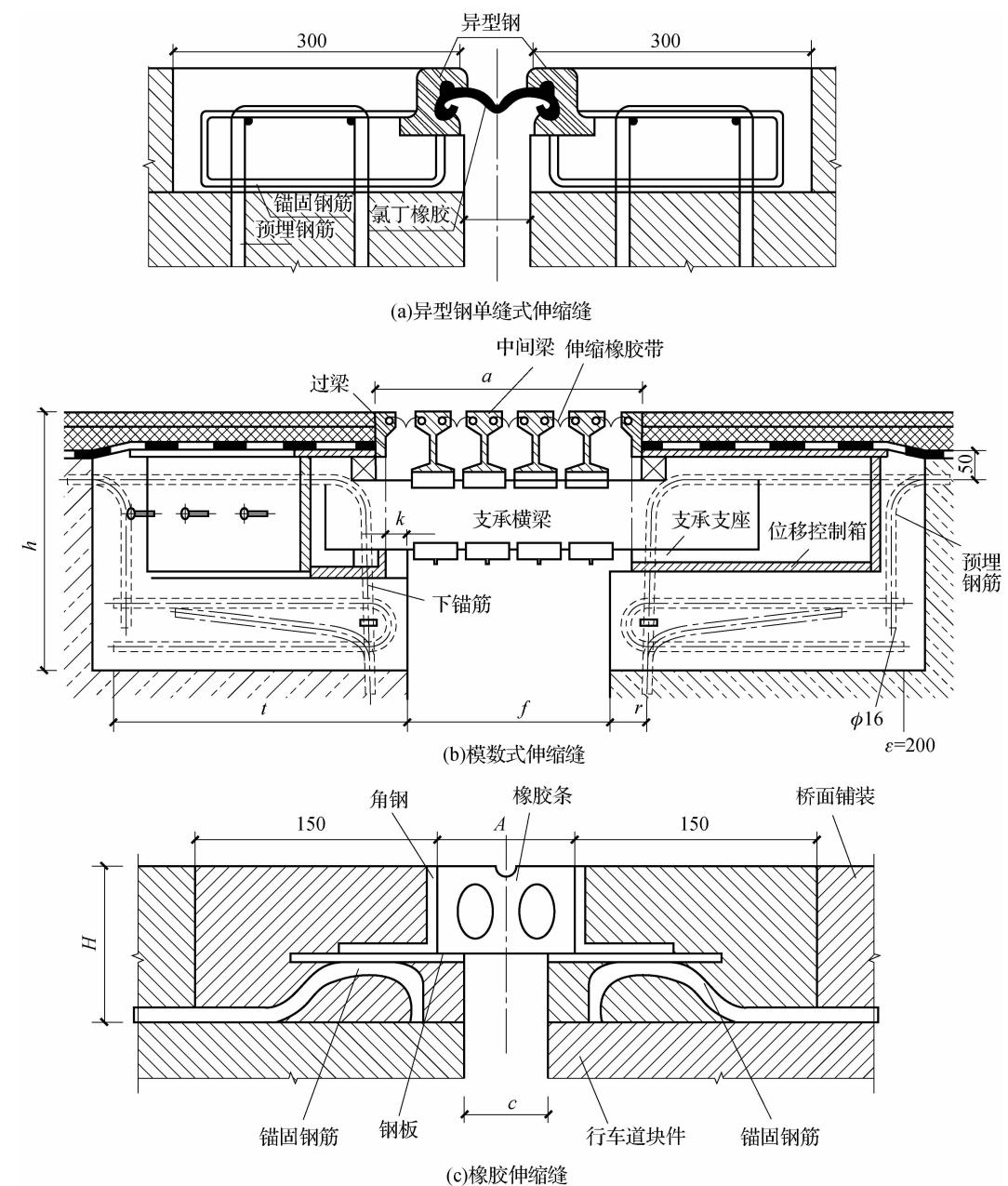


图 2-11 常用伸缩缝装置构造(尺寸单位:mm)

4) 桥面简易连续

对于多跨简支梁桥,桥面应尽量做到连续,使得多孔简支梁桥在竖直荷载作用下的变形状态基本为简支体系,而在纵向水平力作用下则属于连续体系。如图 2-12 所示为简支梁桥桥面连续示意图。钢筋 N2 和钢板 N6 需预先焊好,埋设在主梁内。预制梁时,梁端接缝处从翼板根部向上在全梁宽度按 10:1 做成斜面,在进行桥面连续前先涂黄油再填 C30 混凝土。



工程实践表明,采用桥面板连续构造,连续部分桥面易开裂,因此近年来发展了简支-连续结构,使多跨简支梁桥在一期永久荷载作用下处于简支体系受力,在二期永久荷载和可变荷载作用下处于连续体系受力。这种简支-连续结构具有施工方便、减少桥面伸缩缝、行车平顺等优点,因此得到了越来越广泛的使用。

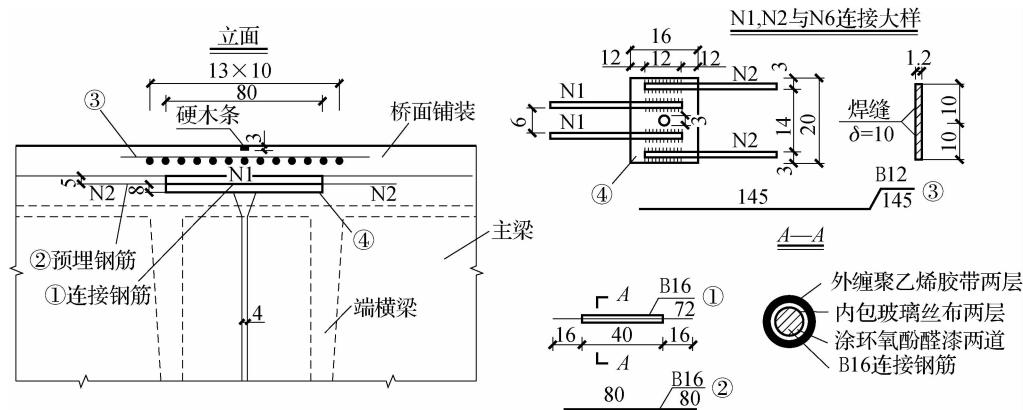


图 2-12 简支梁桥桥面连续示意图(钢筋直径单位为 mm,其余单位为 cm)

4. 安全带和人行道

当桥梁修建在偏远地区或行人比较稀少的地区时,就没必要在桥梁上设置人行道,而考虑到车辆和行人的安全,也只在桥梁两侧设置安全带或护轮带,如图 2-13 所示。不设人行道的桥上,两边应设宽度不小于 0.25 m,高为 0.25~0.35 m 的护轮安全带。安全带可以做成预制块件或与桥面铺装层一起现浇。现浇的安全带宜每隔 2.5~3 m 做一断缝,以免参与主梁受力而被损坏。

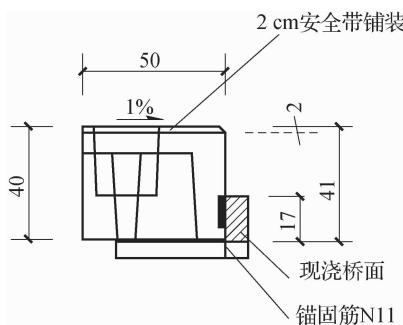


图 2-13 安全带(尺寸单位:cm)

当桥梁修建在城市郊区或行人比较密集的地区时,就需要在桥梁两侧设置人行道,专供行人使用,使人车分离以保证人身安全。人行道的宽度根据当地调查情况决定,安装在桥上的形式一般有非悬臂式和悬臂式两种(见图 2-14),其中悬臂式是借助于锚栓获得稳定的。

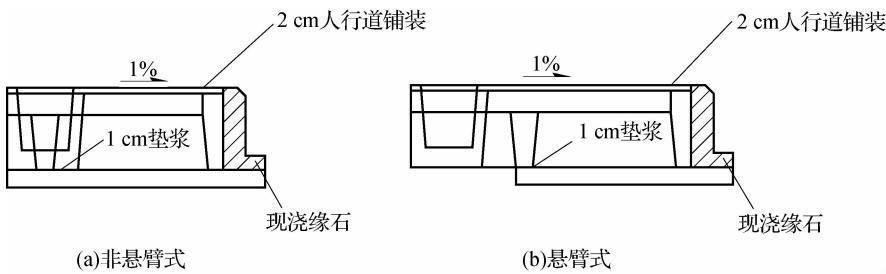


图 2-14 人行道

人行道或安全带顶面一般均铺设 2 cm 厚的水泥砂浆或沥青砂作为面层，并做成倾向桥面 1%~1.5% 的排水横坡。此外，人行道或安全带在桥面断缝处也必须做伸缩缝，一般以锌铁皮伸缩缝为最常用。

5. 栏杆、防撞墙和灯柱

公路桥梁栏杆作为一种安全防护设备,应考虑简单实用,朴素大方。栏杆高度通常为80~120 cm。栏杆柱的间距一般为1.6~2.7 m。

对于一般公路上的桥梁可采用如图 2-15(a)所示的结构简单的扶手栏杆。这种栏杆每隔 1.6~2.7 m 设置一根栏杆柱。柱的截面为 18 cm×14 cm, 内配 4 根直径为 10 mm 的 HPB235 级钢筋; 扶手的截面为 12 cm×8 cm, 内配 4 根直径为 8 mm 的 HPB235 级钢筋。扶手用水泥砂浆固定在柱的预留孔内; 栏杆柱用水泥砂浆固定在人行道梁上。应该注意, 在靠近桥面伸缩缝处的扶手应相应断开或应保证使扶手与柱之间能自由变形。这种栏杆制造、安装都较方便, 而且节约钢材, 本身重量也不大。

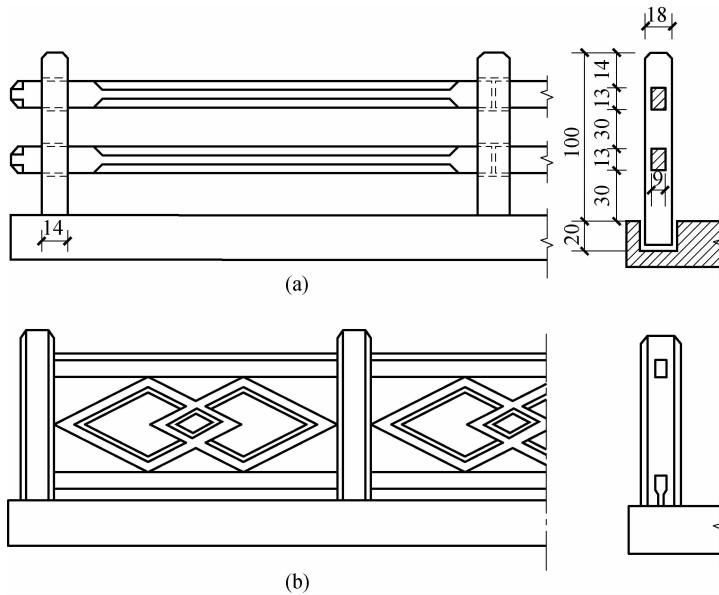


图 2-15 栏杆(尺寸单位:cm)



对于城郊公路桥或城市桥梁,为了满足美观的要求,往往使栏杆结构设计得带有一定的艺术造型,如图 2-15(b)所示的双菱形预制花板栏杆。对于重要城市桥梁,在设计栏杆时更应注意在艺术造型上使其与周围环境和桥型本身相协调。金属栏杆易于制成各种图案和铸成富于艺术性的花板。

对于不需设人行道的高速公路上的桥梁可设如图 2-16 所示的防撞墙。高等级公路上的大中桥设防撞墙,防撞墙应顺直、光洁、密实。管道和预埋件应位置正确且无遗漏。

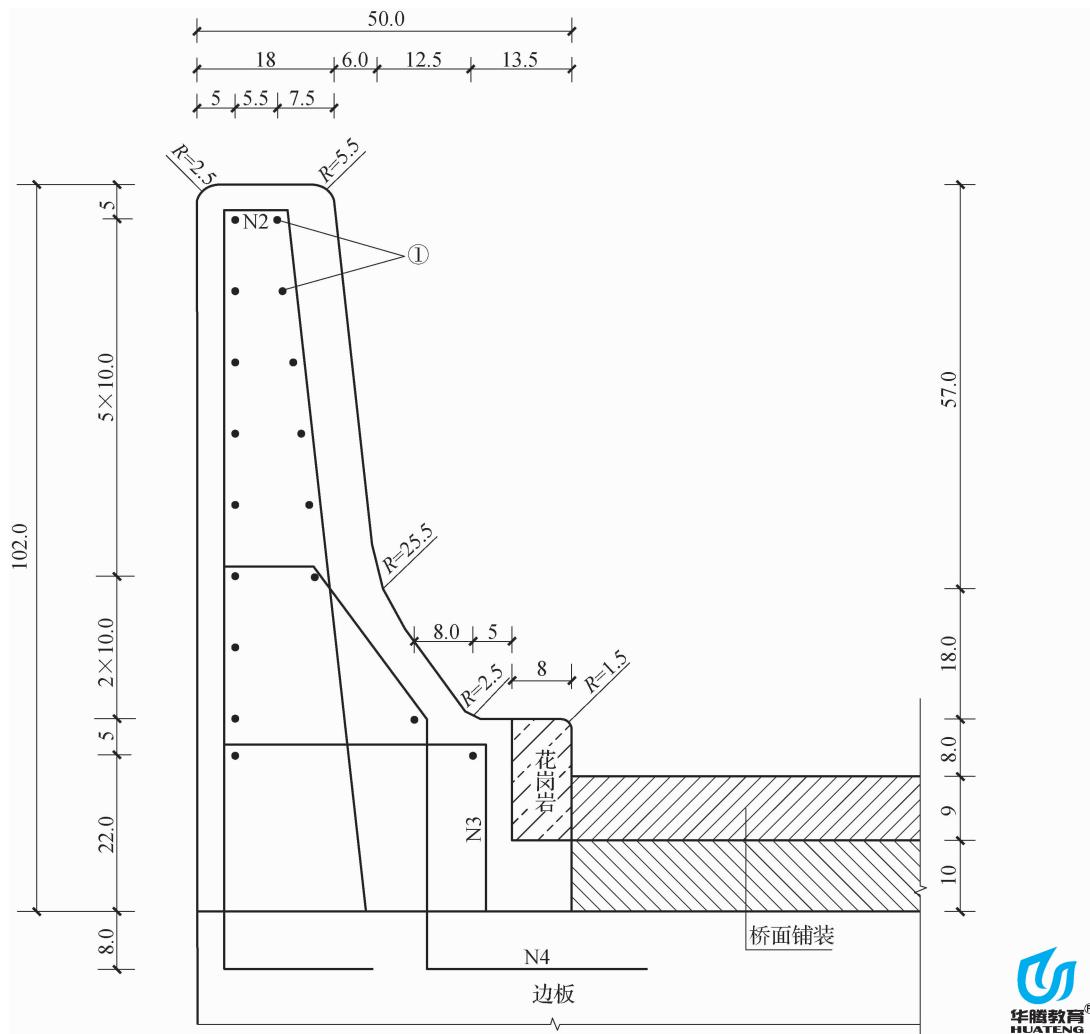


图 2-16 防撞墙构造(尺寸单位:cm)



在城市桥梁上,以及在城郊行人和车辆较多的公路桥上,还要设置照明设备,照明灯柱可以设在栏杆扶手的位置上,在较宽的人行道上也可设在靠近缘石处。照明用灯一般高出车道 5 m 左右。对于美观要求较高的桥梁,灯柱和栏杆的设计不但要从桥梁的观赏性来考虑,而且也要符合全桥在立面上统一协调的艺术造型要求。钢筋混凝土灯柱的柱脚可以就地浇筑并将钢筋锚固于桥面中。铸铁灯柱的柱脚可固定在预埋的锚固螺栓上。照明以及其他用途所需的电讯线路等通常都从人行道下的预留孔道内通过。

2.1.3 板桥的设计与构造

1. 整体式板桥的设计与构造

整体式板桥的跨径通常与板宽相差不大,故在车辆荷载作用下实际上处于双向受力状态。因此,除了配置纵向受力钢筋以外,还要在板内设置垂直于主钢筋的横向分布钢筋,一般在单位长度上不得少于单位板宽上主钢筋面积的 15%,其间距应不大于 25 cm。考虑到当车辆荷载在偏近板边行驶时,参与受力的板宽要比中间的小,除在板中间的 2/3 范围内按计算需要量进行配筋外,在两侧各 1/6 的范围内应比中间的增加 15%。整体式板的主拉应力较小,按计算可以不设弯起的斜钢筋,但习惯上仍然将一部分主筋按 30°或 45°的角度,在跨径 1/6~1/4 处弯起。

整体式简支板桥一般使用跨径在 8 m 以下,桥面净宽依路线标准而定,人行道可向外悬出。

2. 装配式板桥的设计与构造

常用的装配式板桥,按其截面形式主要有实心板和空心板两种。

1) 实心矩形板桥

这种板桥是目前广泛采用的形式,其通常跨径不超过 8 m,板宽为 99 cm,板厚为 16~36 cm。实心矩形板具有形状简单、施工方便、建筑高度小等优点,因而容易推广使用。

如图 2-17 所示一座装配式钢筋混凝土矩形板标准图中的一个设计示例。标准跨径 6 m,桥面净宽为净—7.0(无人行道),荷载等级为公路—I 级,人群荷载 3 kN/m² 设计的装配式行车道板块件构造。块件安装后在企口缝内填筑 30 号小石子混凝土,并浇筑厚 6 cm 的 30 号防水混凝土铺装层使之连成整体。为了加强预制板与铺装层的结合以及相邻预制板的连接,将板中的箍筋伸出预制板顶面,待板安装就位后将这段钢筋放平,并与相邻预制板中的箍筋相互搭接,以铁丝绑扎,然后浇筑于混凝土铺装层中。

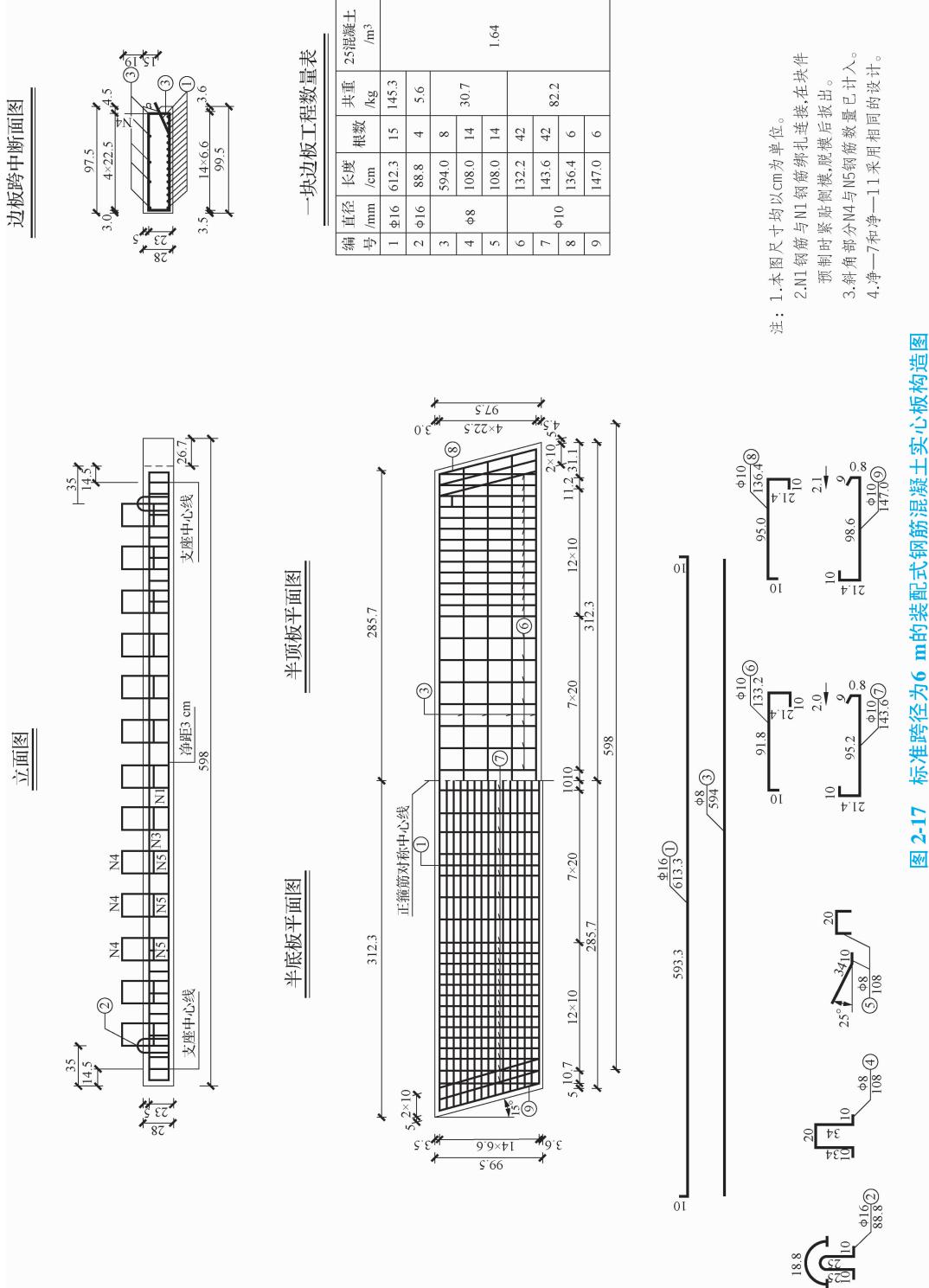


图 2-17 标准跨径为 6 m 的装配式钢筋混凝土实心板构造图



2) 空心矩形板桥

钢筋混凝土空心板桥常用跨径范围为6~13 m,板厚为0.4~0.8 m;预应力混凝土空心板桥常用跨径在8~25 m,其板厚为0.4~1.25 m。空心板较同跨径的实体板质量轻,运输安装方便,而建筑高度又较同跨径的T梁小,因而目前使用较多。空心板的开孔形式很多,如图2-18所示为几种常用的开孔形式。图2-18(a),(b)开成单孔,挖空面积最多,但顶板需配置横向受力钢筋以承担车轮荷载;图2-18(c)挖成两个圆孔,当用无缝钢管做暗月、芯模时施工较方便,但其挖空面积小;图2-18(d)的芯模由两个半圆或两块侧模板组成,当板的厚度改变时,只需更换两块侧模板。空心板横断面最薄处不得小于7 cm。

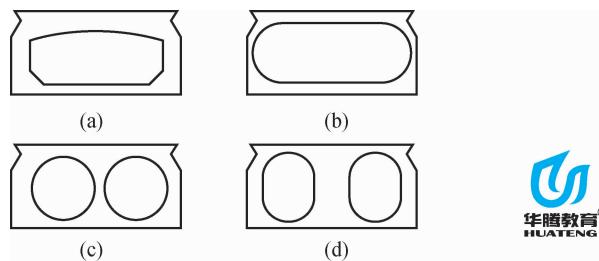


图 2-18 空心板的截面形式

图2-19是标准跨径20 m的装配式预应力混凝土空心板一般构造图,图2-20是标准跨径20 m预应力混凝土空心板钢筋构造图,荷载等级为公路—I级。



3) 装配式板的横向联结

为了使装配式板块组成整体,共同承受车辆荷载,在块件之间必须具有横向联结的构造。常用的联结方法有企口混凝土铰联结和钢板焊接联结。

(1)企口混凝土铰联结。企口混凝土铰有圆形、棱形、漏斗形三种(见图2-21)。铰缝内用30~40号以上的细骨料混凝土填实,使各块板共同受力。如果要使桥面铺装层也参与受力,也可以将预制板中的钢筋伸出与相邻板的同样钢筋互相绑扎,再浇筑在铺装层内。

(2)钢板焊接联结。由于企口混凝土铰需要现场浇筑混凝土,并需待混凝土达到设计强度后才能通车。为了加快工程进度,亦可采用钢板焊接联结(见图2-22),即用一块钢盖板N1焊在相邻两构件的预埋钢板N2上。联结构造的纵向中距通常为80~150 cm,根据受力特点,在跨中部分布置较密,向两端支点处逐渐变疏。

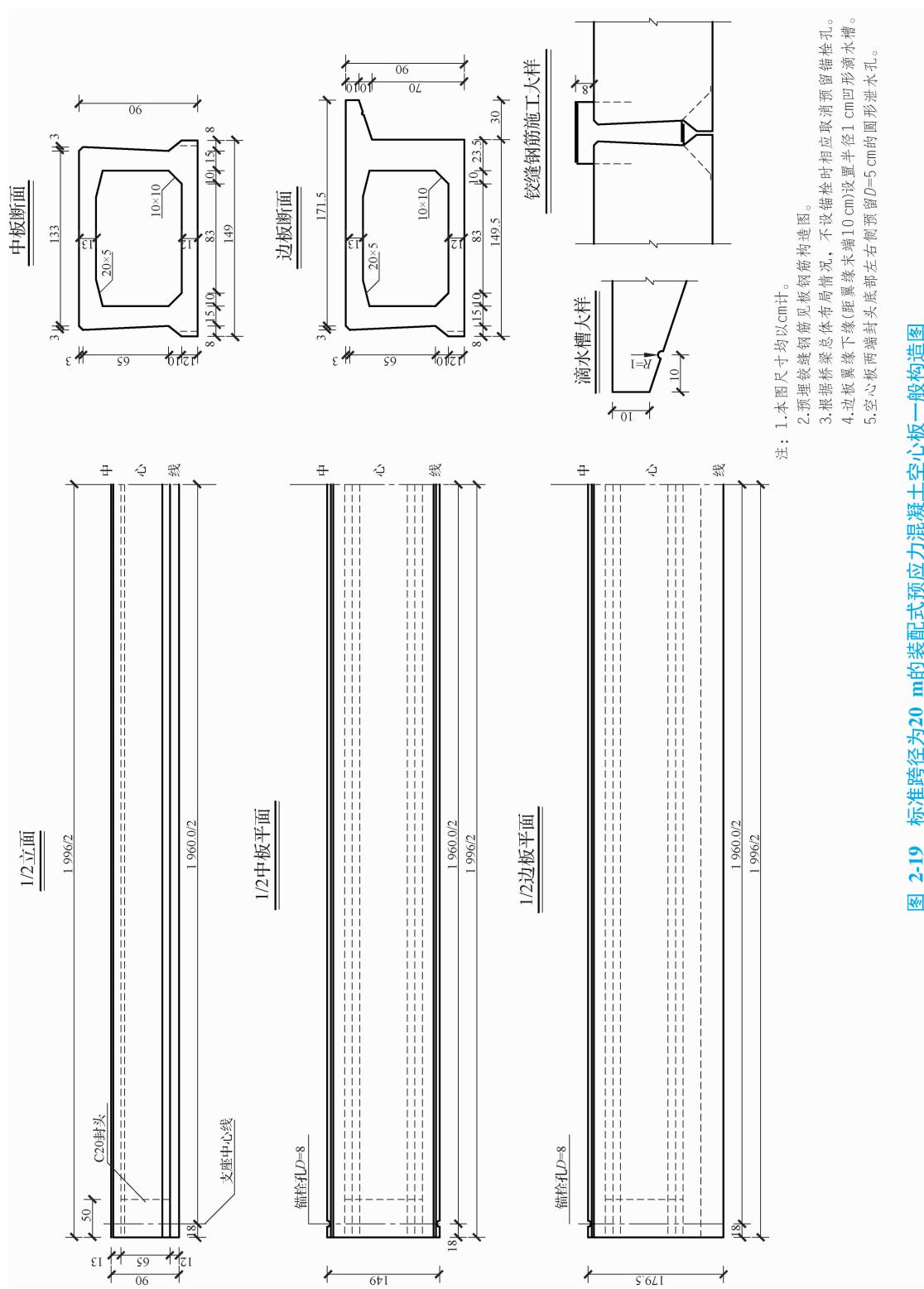
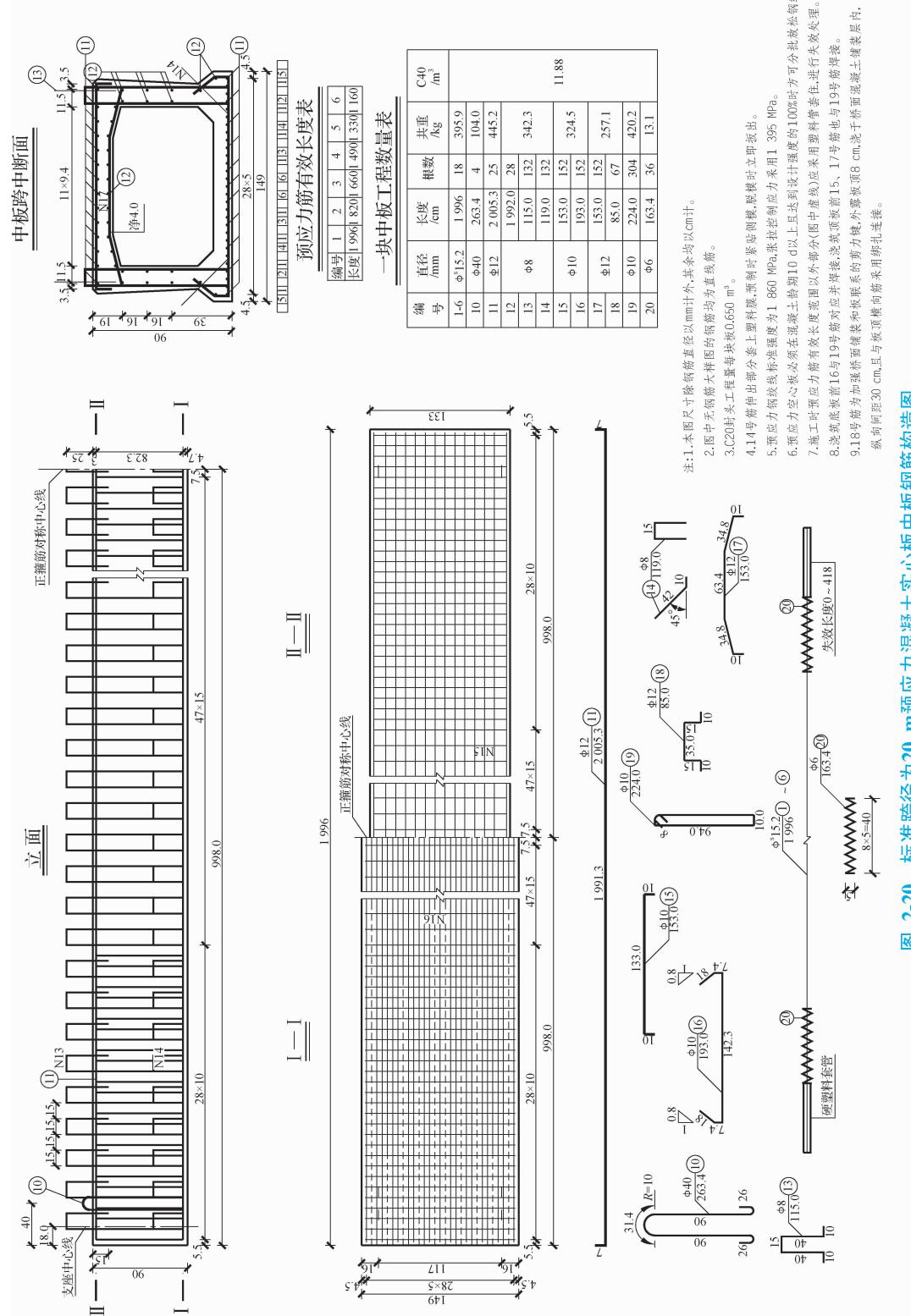


图 2-19 标准跨径为20 m的装配式预应力混凝土空心板一般构造图



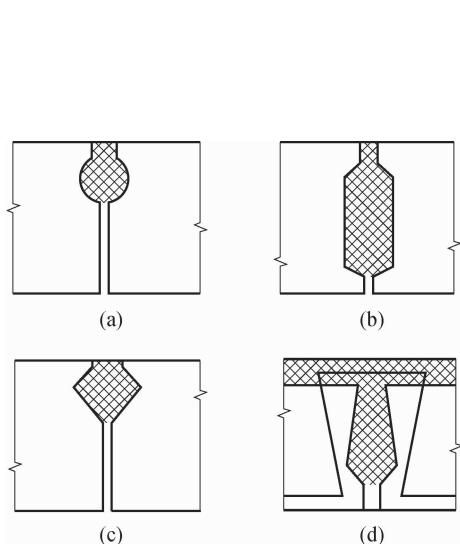


图 2-21 企口混凝土铰

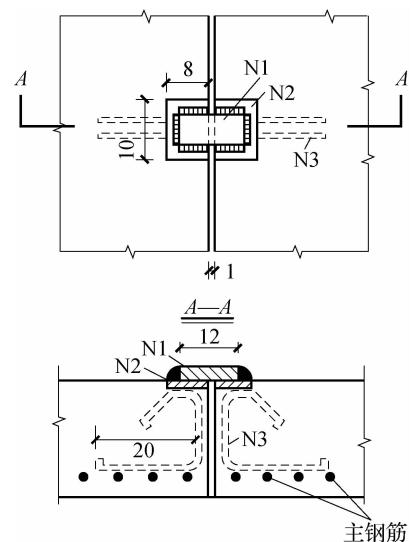


图 2-22 钢板焊接联结构造

3. 斜交板桥的构造特点

在桥梁建设中,常常由于桥所处地形的限制,或者由于高级公路对线形的要求而将桥梁做成斜交。我们将桥梁轴线与水流方向的交角不是按 90° 布置的桥梁称为斜桥。桥梁轴线与支承线的垂线之间的夹角称为斜交角(见图 2-23)。考虑到桥梁本身的经济性和施工的方便性,斜交角不宜大于 45° 。

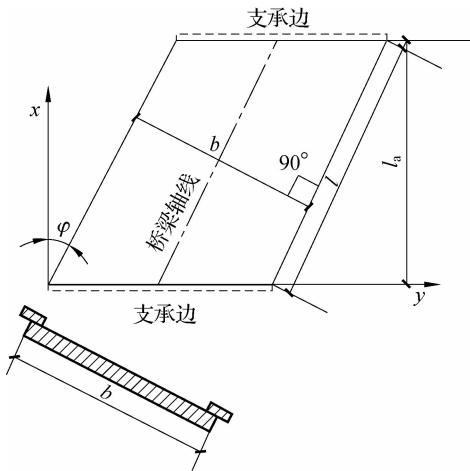


图 2-23 斜板的尺寸图

斜交板桥虽然有改善线形的优点,但它的受力状态比正交板桥要复杂得多。为了对斜交板桥的受力性能有个定性的了解,以便从构造上予以保证,这里做一些简单的阐述。

1) 斜交板桥的受力性能

理论和试验表明,简支的斜板在垂直荷载作用下一般具有下列特性。



(1)荷载有向两支承边之间最短距离方向传递的趋势。如图 2-24 所示,在较宽的斜板中部,其最大主弯矩方向(即在垂直于该方向的截面上没有扭矩)几乎接近与支承边正交。其次,无论对宽的或者窄的斜板,其两侧的主弯矩方向虽接近平行于自由边,但仍有向支承边垂线方向偏转的趋势。

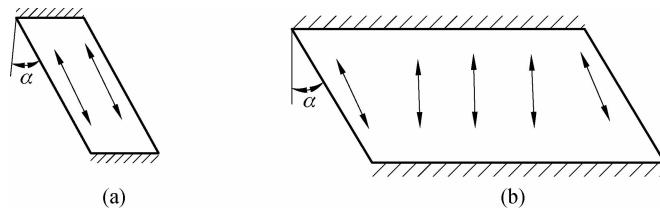


图 2-24 斜板的最大主弯矩方向

(2)各角点受力情况可以用比拟连续梁的工作情况来描述。如图 2-25 所示,在斜板的“Z”形条带 A-B-C-D 上各点的受力情况可以用三跨连续梁来比拟,在钝角 B,C 处产生较大的负弯矩,其方向垂直于钝角的平分线;同时在 B,C 点的反力也较大,锐角 A,D 点的反力较小,当斜交角度和斜跨径与板宽之比都较大时,锐角便有向上翘起的趋势。此时若固定锐角角点,势必导致板内有较大的扭矩。

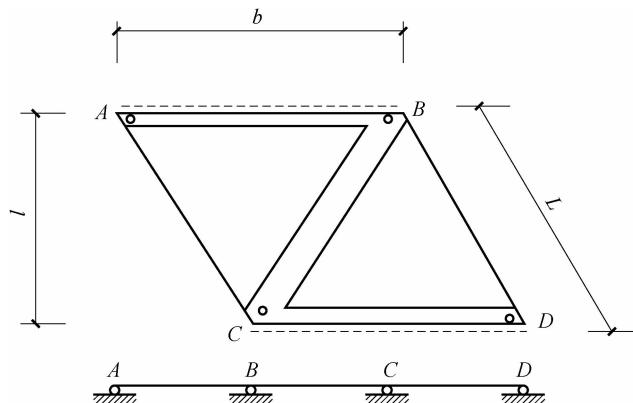


图 2-25 比拟连续梁

(3)在均布荷载作用下,当桥轴线方向的跨长相同时,斜板桥的最大跨内弯矩比正交板桥要小,跨内纵向最大弯矩或最大应力的位置随着斜度的变大而自中央向钝角方向移动。

图 2-26(a)表示斜板桥最大跨内弯矩 M_{φ} 与正板桥跨中弯矩 $M_{\varphi}=0$ 的比值随斜度改变的变化曲线;图 2-26(b)表示在满布均匀荷载时,跨内最大弯矩位置沿板宽的变化曲线。由图可知,当斜交角度在 15° 以内时,可以近似地按正交板桥计算;当斜交角度大于 15° 时,则应按斜交板桥进行计算,因此桥涵设计规范对此做了详细的规定。

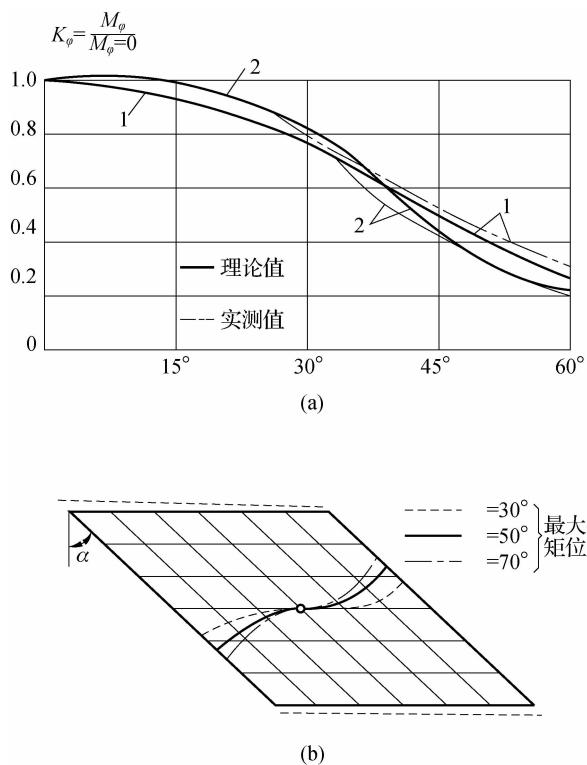


图 2-26 弯矩随斜度的变化

1—板跨中央；2—自由边中点

(4) 在上述同样情况下, 斜交板桥的跨中横向弯矩比正交板桥的要大, 可以认为横向弯矩增加的量相当于跨径方向弯矩减小的量。

熟悉了斜板的工作性能以后, 就可据此配置斜板桥的钢筋。

2) 斜交板桥的构造

(1) 整体式斜板。对整体式斜板, $l_\phi \leq 1.3 b$, 桥梁宽度较大, 若斜交角 $\varphi \leq 15^\circ$, 主钢筋可按平行于桥纵轴线方向布置, 如图 2-27(a)所示; 若斜交角 $\varphi > 15^\circ$, 主钢筋应按垂直于板的支承线方向布置, 如图 2-27(b)所示。为抵抗板内靠近自由边区段的扭矩, 还应在板的自由边上下层各设一条直径为主钢筋直径且数量不少于 3 根的平行于自由边的钢筋, 并用箍筋箍牢, 如图 2-27(c)所示。

斜板的分布钢筋应当在垂直于主钢筋的方向设置, 如图 2-27(a), (b)所示, 分布钢筋的直径、间距和数量与整体式正板桥要求相同。在斜板的支座附近应增设平行于支座轴线的分布钢筋, 或者将分布钢筋向支座方向成扇形分布, 过渡到平行于支承轴线。

当 $\varphi > 15^\circ$ 时, 由于钝角部位有较大的反力和负弯矩, 在钝角两侧 $1.0 \sim 1.5$ m 边长的扇形面积内应配置加强钢筋。在靠近板底的下层其方向与钝角的平分线平行, 如图 2-27(c)所示; 在靠近板顶的上层与钝角平分线垂直, 如图 2-27(d)所示。加强钢筋的直径不小于 12 mm, 间距为 100~150 mm。

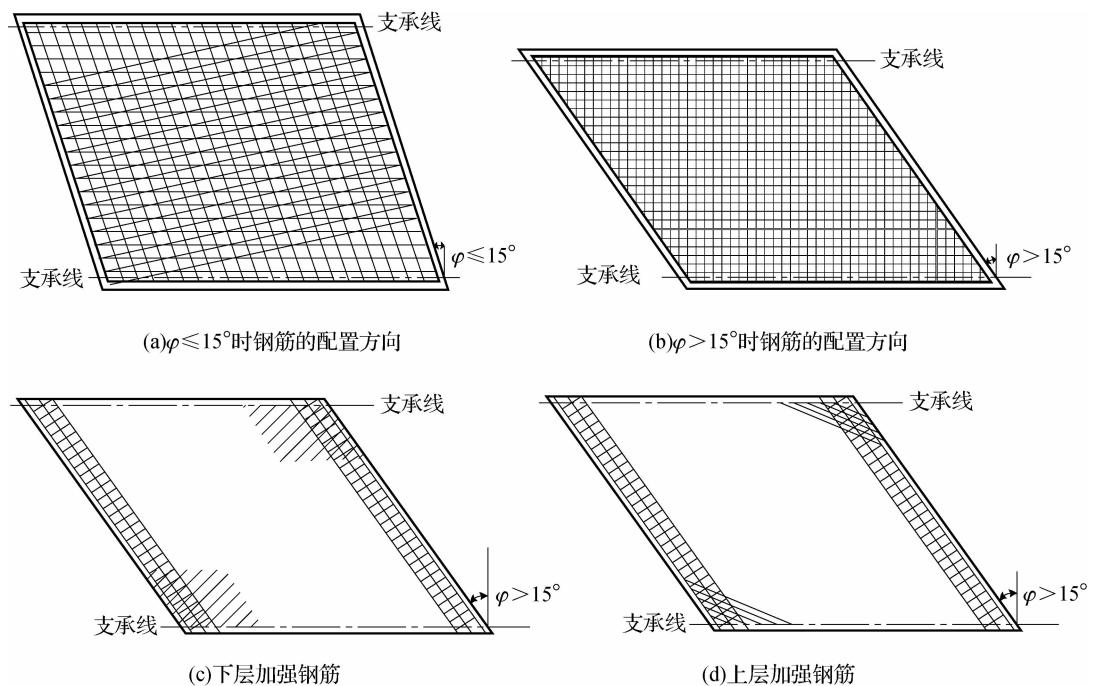


图 2-27 整体式斜板的钢筋构造

(2) 装配式斜板桥。装配式斜板桥的跨宽比一般均大于 1.3, 主钢筋沿斜跨径方向配置, 分布钢筋在两钝角角点之间的范围内与主钢筋垂直, 在靠近支承边附近, 其布置方向则与支承边平行(见图 2-28)。

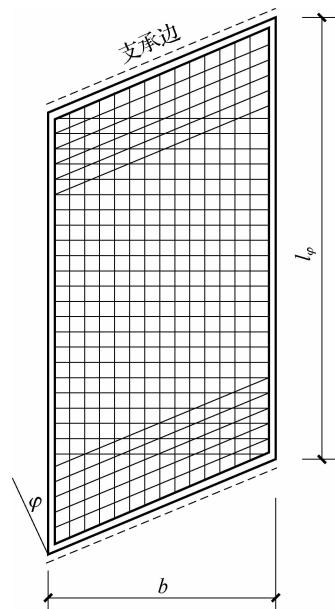


图 2-28 装配式斜板的钢筋构造



装配式斜板桥预制板钢筋布置因跨径和斜交角的不同而不同。这些板的钢筋布置方案大体分以下两种。

第一种:当斜交角 $\varphi=25^\circ \sim 35^\circ$ 时,主钢筋沿斜跨方向布置,分布钢筋按平行于支承边方向布置,如图 2-29(a)所示。

第二种:当斜交角 $\varphi=40^\circ \sim 60^\circ$ 时,主钢筋及横向分布钢筋的布置原则与上图相同,如图 2-29(b)所示。

此外,在各种块件的两端还要布置一些加强钢筋。当 $\varphi=40^\circ \sim 50^\circ$ 时,要布置底层加强钢筋,其方向则与支承边相垂直,如图 2-29(c)所示;当 $\varphi=55^\circ \sim 60^\circ$ 时,除了底层要布置垂直于支承边的加强钢筋以外,在顶层上还要布置与钝角的二等分线相垂直的加强钢筋,如图 2-29(d)所示。为了使铰接斜板支承处不翘扭以及防止发生位移,在板端部中心处预留锚栓孔,待安装完毕后,用栓钉固定。

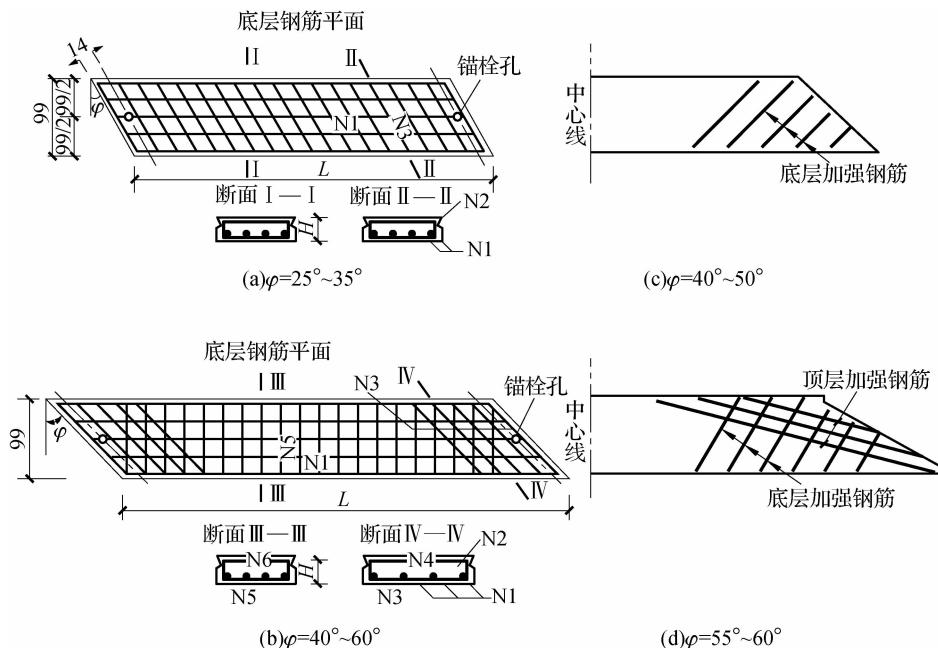


图 2-29 装配式斜板钢筋构造示例(尺寸单位:cm)

图 2-30~图 2-32 所示为标准跨径 25 m 的装配式预应力混凝土斜交空心板的构造,斜度是 23° ,荷载等级为公路—I 级。

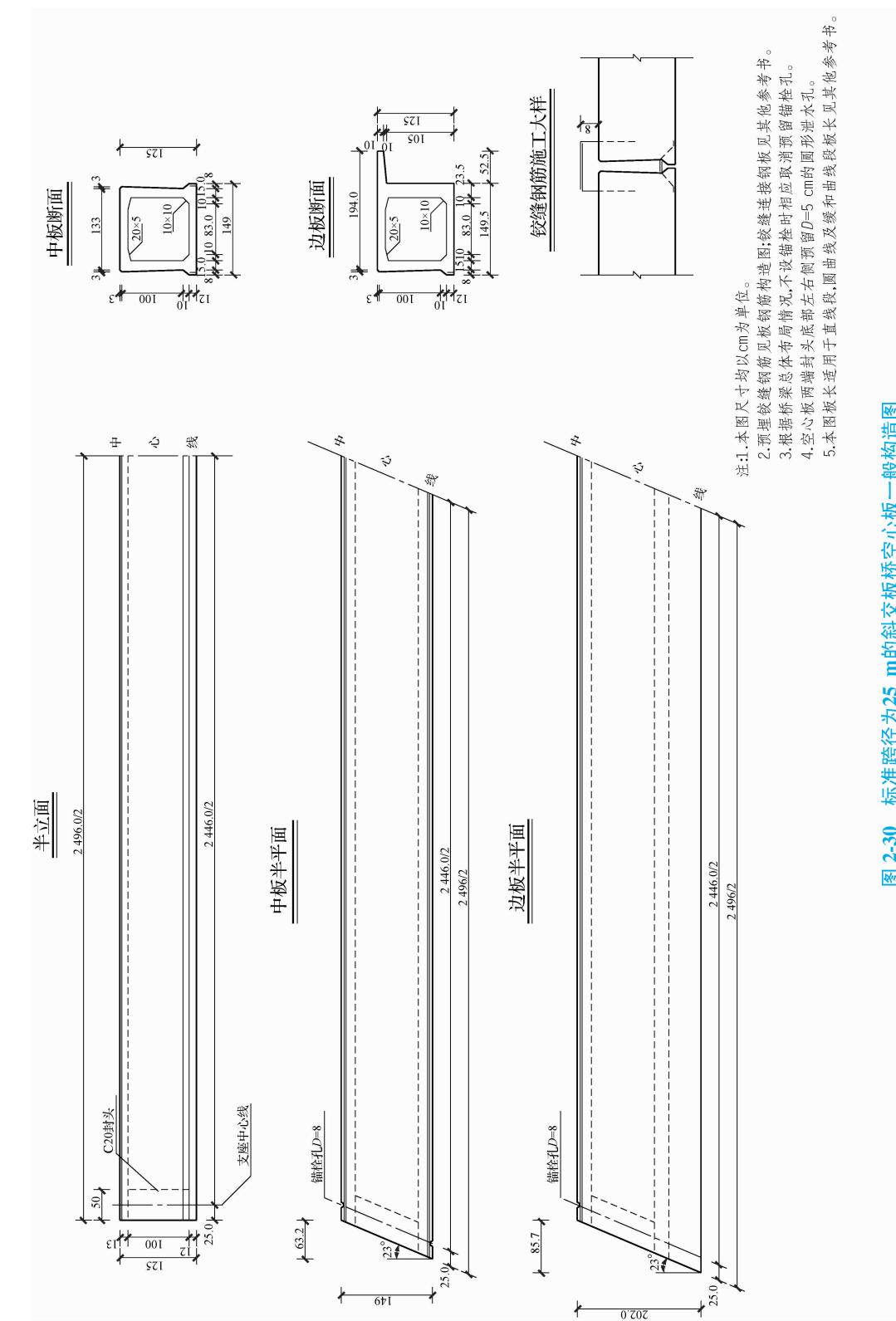
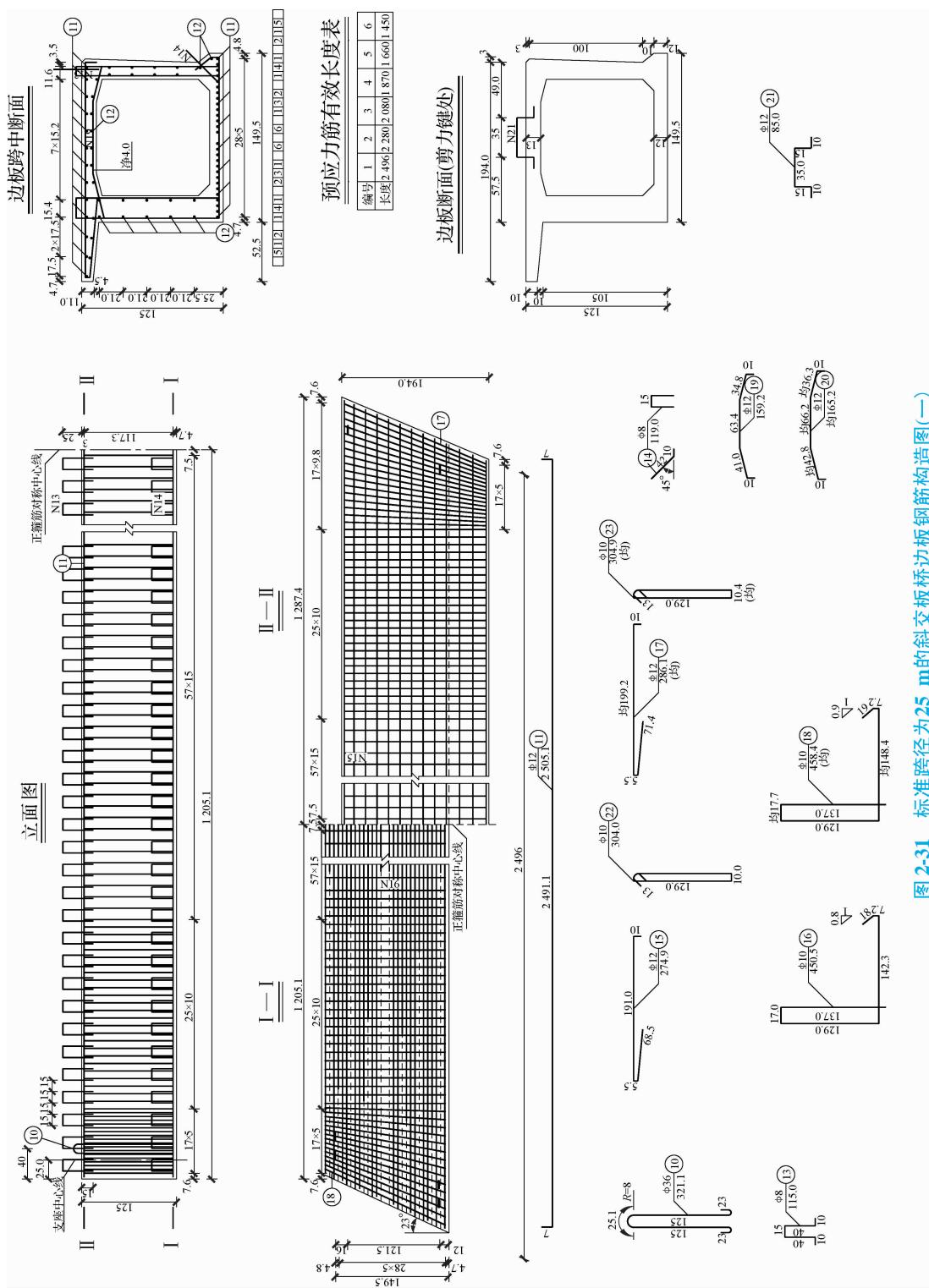
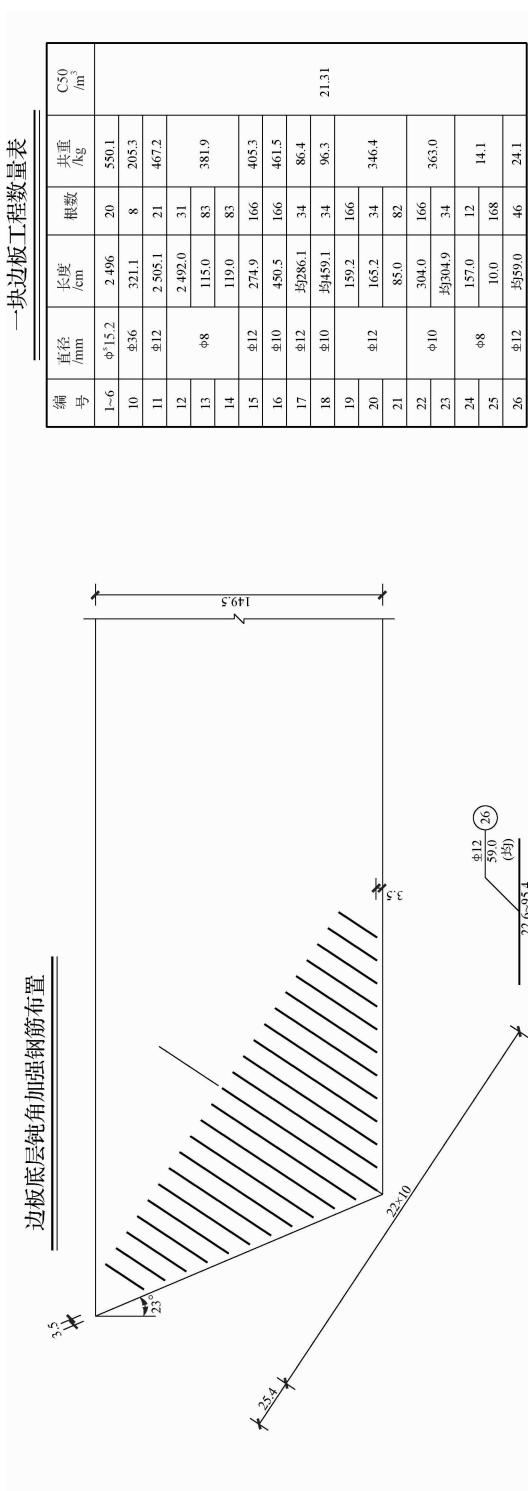


图 2-30 标准跨径为 25 m 的斜交板桥空心板一般构造图





注:1.本图尺寸除钢筋直径以mm计外,其余均以cm计。
2.图中无钢筋大样图的钢筋均为直线筋;吊筋筋为两根一组。

- 3.CC0封头工程量每块板1.010 m³。
4.14号筋伸出部分套上塑料套,预制时紧贴侧模,脱模时立即扳出。
5.预应力钢绞线标准强度为1.860 MPa,张拉控制应力采用1.395 MPa。
6.预应力力空心板必须在混凝土龄期10 d以上且达到设计强度100%时方可分批放松钢绞线。
7.施工时预应力筋有效长度范围以外部分(图中虚线)应采用塑料管套住,进行有效处理。
8.浇筑底板前22号、16号筋对应并焊接。浇筑顶板前15号、19号筋也与22号筋焊接。
9.浇筑底板前23号、18号筋对应并焊接。浇筑顶板前17号、20号筋也与23号筋焊接。
10.21号筋为加强桥面铺装和板联系的剪力键,外露板顶8 cm,浇于桥面混凝土铺装层内,纵间距30 cm,且与板顶横向筋采用绑扎连接。
11.在板端24与25号筋如图焊接成三片钢筋网,间距5 cm。
12.钝角加强筋放在1号筋之上并与之绑扎。

图 2-32 标准跨径为25 m 的斜交板桥边板钢筋构造图(二)





2.1.4 装配式钢筋混凝土简支梁桥的设计与构造

国内外所建造的装配式钢筋混凝土简支梁桥,以T形梁桥最为普遍。我国已规定了标准跨径为10 m、13 m、16 m和20 m的4种公路梁桥标准设计。钢筋混凝土T形、I形截面简支梁标准跨径不宜大于16 m;钢筋混凝土箱形截面简支梁标准跨径不宜大于25 m;钢筋混凝土箱形截面连续梁桥标准跨径不宜大于30 m。

1. 横截面设计

梁桥的横截面设计主要是确定横截面的布置形式,包括主梁截面形式、主梁间距、截面各部尺寸等,它与立面布置、建筑高度、施工方法、美观要求及经济用料等因素有关。图2-33是装配式简支梁桥的几种横截面形式。

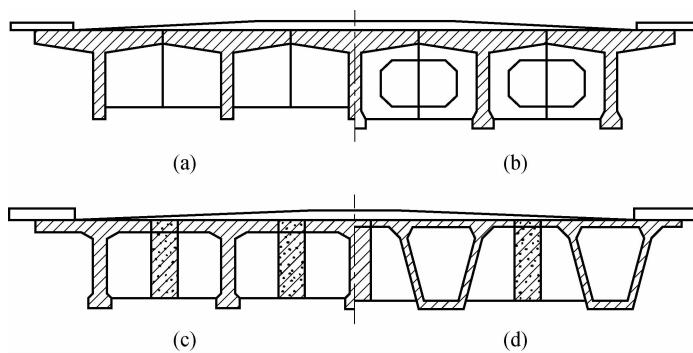


图2-33 装配式简支梁桥的横截面形式

如图2-34所示就是典型的装配式T形梁桥上部构造概貌,它由几片T形截面的主梁并列在一起装配连接而成。T形梁的顶部翼板构成行车道板,与主梁梁肋垂直相连的横隔梁的下部以及T形梁翼板的边缘均设焊接钢板联结构造,将各主梁联成整体,这样就能将作用在行车道板上的局部荷载分布给各片主梁。

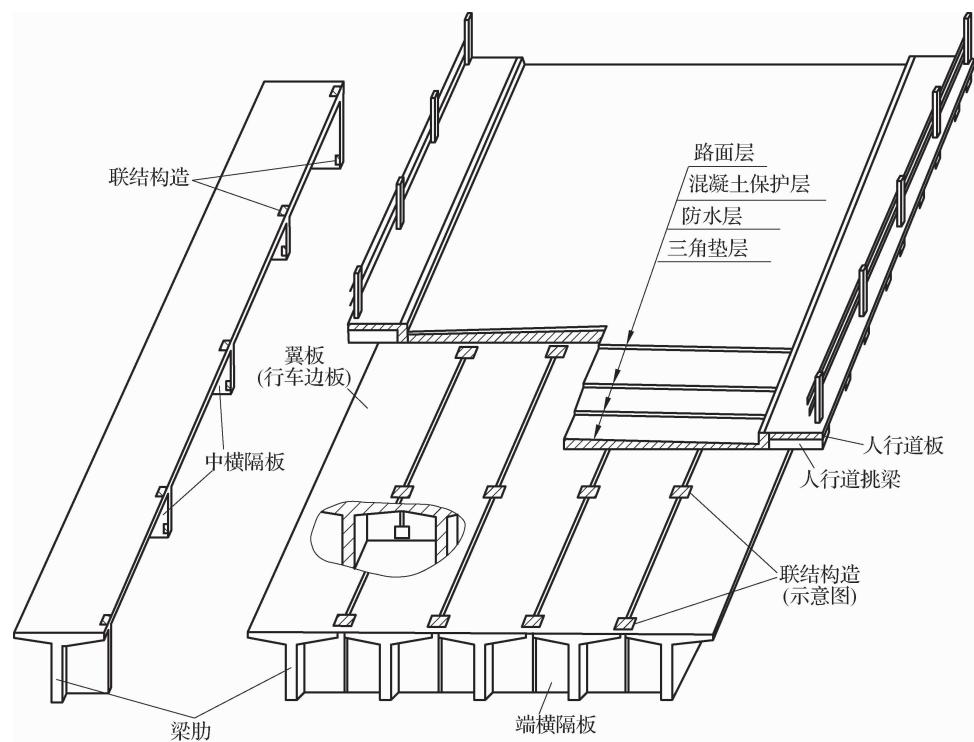
1) 主梁布置

对于设计给定的桥面宽度(包括行车道和人行道宽度),如何选定主梁的间距或片数,这是构造布局中首先要解决的问题。它不仅与钢筋和混凝土的材料用量以及构件的吊装重量有关,而且还涉及到翼板的刚度等因素。主梁间距一般均为1.6~2.2 m。

2) 横隔梁布置

横隔梁在装配式T形梁桥中起着保证各根主梁相互连接成整体的作用,它的刚度愈大,桥梁的整体性愈好,在荷载作用下各主梁就能更好地共同工作。

T形、I形截面梁应设跨端和跨间横隔梁。这不仅有利于制造、运输和安装阶段构件的稳定性,而且能显著加强全桥的整体性;有中横隔梁的梁桥,荷载横向分布比较均匀,且可以减轻翼板接缝处的纵向开裂现象。当梁横向刚性连接时,横隔梁间距不应大于10 m;当梁为铰接时,横隔梁的间距一般为4~6 m。对于钢筋混凝土简支梁桥,一般在梁端、跨中和四分点处各设一道横隔梁就可以满足要求。



华腾教育
HUATENG



图 2-34 装配式简支 T 形梁桥上部构造概貌

3) 截面尺寸

图 2-35 中标示出了墩中心距为 20 m 的装配式 T 形梁桥纵、横截面的主要尺寸。

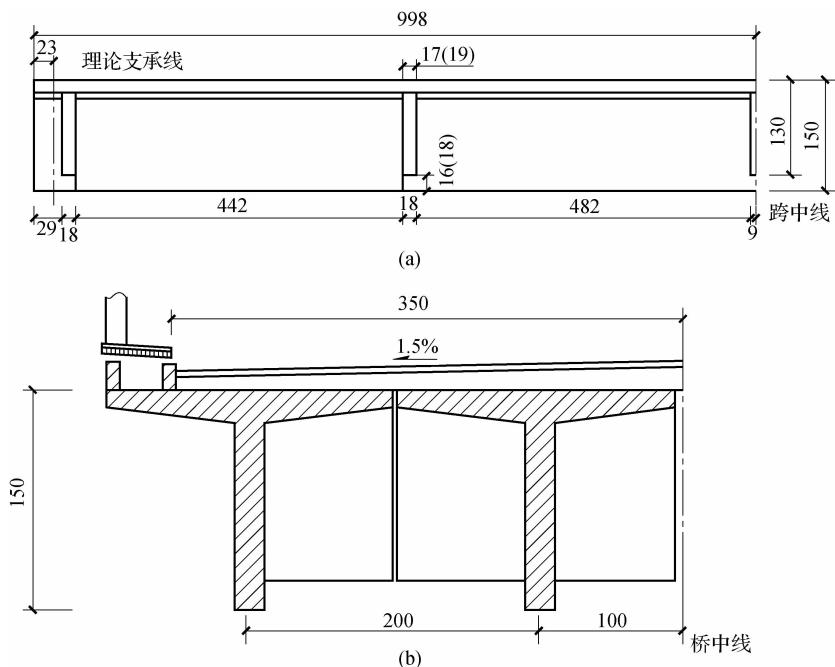


图 2-35 墩中心距为 20 m 的装配式 T 形梁桥纵、横截面(尺寸单位:cm)



(1) 主梁梁高和肋宽。主梁的合理高度与梁的间距、活载的大小等有关。对于跨径为10 m、13 m、16 m 和 20 m 的标准设计所采用的梁高相应为 0.9 m、1.1 m、1.3 m 和 1.5 m。梁高与跨径之比(俗称高跨比)的经济范围为 1/16~1/11, 跨径大的取用偏小的比值。常用的梁肋宽度为 16~24 cm, 实际选用时视梁内主筋的直径和钢筋骨架的片数而定。

钢筋混凝土简支梁一般沿跨径方向做成等截面的形式, 以便于预制施工。

(2) 主梁翼板尺寸。一般装配式主梁翼板的宽度视主梁间距而定, 在实际预制时, 翼板的宽度应比主梁中距小 2 cm, 以便在安装过程中易于调整 T 形梁的位置和制作上的误差。根据受力特点, 通常将翼板做成厚度渐变, 即端部较薄, 向根部逐渐加厚的形式。预制 T 形截面梁或箱形截面梁翼缘悬臂端的厚度不应小于 100 mm; 当预制 T 形截面梁之间采用横向整体现浇连接时, 或箱形截面梁设有桥面横向预应力钢筋时, 其悬臂端厚度不应小于 140 mm。T 形和 I 形截面梁在与腹板相连处的翼缘厚度不应小于梁高的 1/10。

(3) 横隔梁尺寸。跨中横隔梁的高度应保证具有足够的抗弯刚度, 通常可做成主梁高度的 3/4 左右。梁肋下部为马蹄形加宽时, 横隔梁延伸至马蹄的加宽处。端横隔梁宜做得与主梁同高。

横隔梁的肋宽通常采用 12~20 cm, 且宜做成上宽下窄和内宽外窄的楔形, 以便脱模工作。如图 2-35(a) 所示为横隔梁外端的尺寸, 括号内的数字表示它与主梁梁肋连接处的宽度。

2. 主梁钢筋构造

1) 梁肋钢筋构造

装配式 T 形简支梁桥用钢筋分为纵向主钢筋、斜钢筋、架立钢筋、箍筋和分布钢筋等几种。

(1) 纵向主钢筋。简支梁承受正弯矩作用, 纵向主钢筋承受弯矩、抵抗拉力, 跨中部分设

置在梁肋的下缘, 随着弯矩向支点处减少, 主钢筋可在跨间适当位置处切断或弯起。主筋直径一般为 14~32 mm。《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTGD62—2004) 规定: 至少有 2 根, 并不少于 20% 的主钢筋应伸过支点截面。两侧的受拉主钢筋应伸出支点截面以外, 并弯成直角顺梁端延伸至顶部, 与层顶纵向架立钢筋相连。两侧之间不向上弯曲的受拉主钢筋伸出支承截面的长度规定为: 对带半圆弯钩的光圆钢筋不小于 $15d$ [见图 2-36(a)], 对带直角弯钩的螺纹钢筋不小于 $10d$ [见图 2-36(b)]。

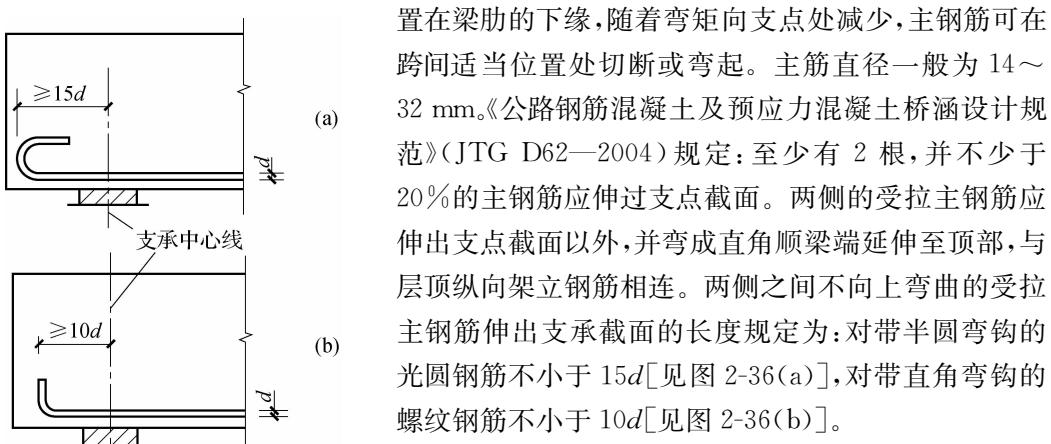


图 2-36 梁端主钢筋锚固

(2) 斜钢筋。简支梁靠近支点截面的剪力较大, 需要设置斜钢筋用来增强梁体的抗剪强度。斜钢筋可以由主钢筋弯起而成, 称弯起钢筋。当无主钢筋弯起时, 尚需配置专门的焊于主筋和架立筋上的斜钢筋。斜钢筋与梁的轴线一般布置成 45°。弯起



钢筋应按圆弧弯折,圆弧半径(以钢筋轴线计算)不小于 $10d$ 。

靠近支点的第一排弯起钢筋顶部的弯折点、简支梁或连续梁边的支点应位于支座中心截面处,悬臂梁和连续梁中间支点应位于横隔梁(板)靠跨径一侧的边缘处;以后各排(跨中方向)弯起钢筋的梁顶部弯折点,应落在前一排(支点方向)弯起钢筋的梁底部弯折点处或弯折点以内。

(3)架立钢筋。架立钢筋布置在梁肋的上缘,主要起固定箍筋和斜筋并使梁内全部钢筋形成立体或平面骨架的作用。直径一般为 $10\sim22\text{ mm}$ 。

(4)箍筋。箍筋的主要作用是组成钢筋骨架和增强主梁的抗剪强度。钢筋混凝土梁中应设置直径不小于 8 mm 且不小于 $1/4$ 主钢筋直径的箍筋,其配筋率为:HPB235钢筋不应小于 0.18% ,HRB335钢筋不应小于 0.12% 。当梁中配有按受力计算需要的纵向受压钢筋或在连续梁、悬臂梁近中间支点位于负弯矩区的梁段,应采用闭合式箍筋,同时,同排内任一纵向受压钢筋,离箍筋折角处的纵向钢筋的间距不应大于 150 mm 或 15 倍箍筋直径,否则,应设复合箍筋。相邻箍筋的弯钩接头,其位置应沿纵向交替布置。

箍筋间距不应大于梁高的 $1/2$ 且不大于 400 mm ;在支座中心向跨径方向长度相当于不小于 1 倍梁高范围内,箍筋间距不宜大于 100 mm 。近梁端第一根箍筋应设置在距端面一个混凝土保护层距离处。

(5)纵向防裂分布钢筋。当T形梁梁肋高度大于 100 cm 时,为了防止梁肋侧面因混凝土收缩等而导致裂缝,在T形、I形截面梁或箱形截面梁的腹板两侧,应设置直径不小于 8 mm 的纵向钢筋,每腹板内钢筋截面面积宜为 $(0.001\sim0.002)bh$ 。其中, b 为腹板宽度, h 为梁的高度;其间距在受拉区不应大于腹板宽度,且不应大于 200 mm ,在受压区不应大于 300 mm 。在支点附近剪力较大区段和预应力混凝土梁锚固区段,腹板两侧纵向钢筋截面面积应予增加,纵向钢筋间距宜为 $100\sim150\text{ mm}$ 。靠近梁的下缘处,混凝土拉应力较大,故应将钢筋布置得密些,而在上部则可布置得稀些。

2)钢筋的混凝土保护层

为了防止钢筋受到大气影响而锈蚀,并保证钢筋与混凝土之间的黏着力充分发挥作用,钢筋到混凝土边缘需要设置保护层。若保护层厚度太小,就不能起到这些作用;太大则混凝土表层因距离钢筋太远容易被破坏,且减小了钢筋混凝土截面的有效高度,受力情况也不好。《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)规定:普通钢筋和预应力直线形钢筋的最小混凝土保护层厚度(钢筋外缘或管道外缘至混凝土表面的距离)不应小于钢筋公称直径,后张法构件预应力直线形钢筋不应小于其管道直径的 $1/2$,且应符合表2-1的规定。

当受拉区主筋的混凝土保护层厚度大于 50 mm 时,应在保护层内设置直径不小于 6 mm 、间距不大于 100 mm 的钢筋网。

各主钢筋间横向净距和层与层之间的竖向净距,当钢筋为三层及以下时,不应小于 30 mm ,并不小于钢筋直径;当钢筋为三层以上时,不应小于 40 mm ,并不小于钢筋直径的 1.25 倍。对于束筋,此处直径采用等代直径。受弯构件的钢筋净距应考虑浇筑混凝土时振捣器可以顺利插入。



表 2-1 普通钢筋和预应力直线形钢筋的最小混凝土保护层厚度 单位:mm

序号	构件类别	环境条件		
		I	II	III、IV
1	基础、桩基承台			
	基坑底面有垫层或侧面有模板(受力主筋)	40	50	60
	基坑底面无垫层或侧面无模板(受力主筋)	60	75	85
2	墩台身、挡土结构、涵洞、梁、板、拱圈、拱上建筑(受力主筋)	30	40	45
3	人行道构件、栏杆(受力主筋)	20	25	30
4	箍筋	20	25	30
5	缘石、中央分隔带、护栏等行车道构件	30	40	45
6	收缩、温度、分布、防裂等表层钢筋	15	20	25

注: I类环境是指温暖或寒冷地区的大气环境、与无侵蚀性的水或土接触的环境; II类环境是指严寒地区的大气环境、使用除冰盐环境、滨海环境; III类环境是指海水环境; IV类环境是指受侵蚀性物质影响的环境。对于环氧树脂涂层钢筋,可按环境类别 II 取用。

3) 钢筋焊接

在焊接钢筋骨架时,为保证焊接质量,使焊缝处强度不低于钢筋本身强度,焊缝的长度必须满足下述要求。

(1)对于利用主钢筋弯起的斜筋,在起弯处应与其他主筋相焊接,可采用各边长为 $2.5d$ 的双面焊缝或一边长为 $5d$ 的单面焊缝(见图 2-37)。弯起钢筋的末端与架立钢筋(或其他主筋)相焊接时,采用长为 $5d$ 的双面焊缝或长为 $10d$ 的单面焊缝(见图 2-37,图中尺寸为双面焊缝,单面焊缝应加倍)。其中 d 为受力钢筋直径。

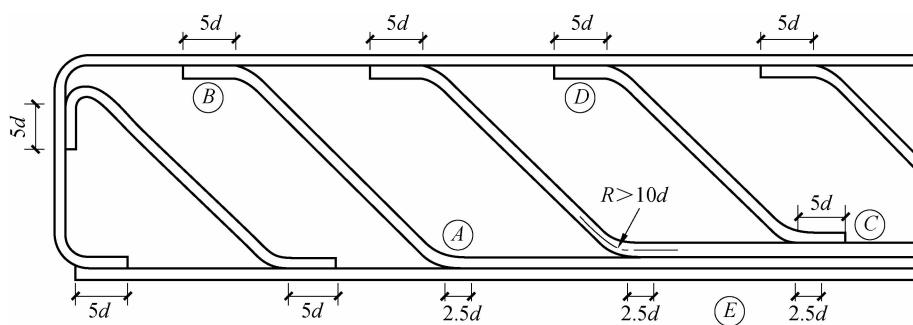


图 2-37 焊接钢筋骨架焊缝尺寸图

(2)对于附加的斜筋,其与主筋或架立筋的焊缝长度,采用每边长 $5d$ 的双面焊缝或一边长 $10d$ 的单面焊缝。

(3)各层主钢筋相互焊接固定的焊缝长度,采用 $2.5d$ 的双面焊缝或 $5d$ 的单面焊缝(见图 2-37)。

4) T 梁翼缘板内的钢筋

T 梁翼缘板内的受力钢筋沿横向布置在板的上缘,以承受悬臂的负弯矩,在顺主梁跨径



方向还应设置少量的分布钢筋(见图 2-38)。按《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)的要求,板内主筋的直径不小于 10 mm,每米板宽内不应少于 5 根。分布筋的直径不小于 8 mm,间距不大于 20 cm,在单位板宽内分布筋的截面积不小于主筋截面积的 15%;在有横隔梁的部位分布筋的截面积应增至主筋的 30%,以承受集中轮载作用下的局部负弯矩,所增加的分布筋每侧应从横隔梁轴线伸出 $L/4$ (L 为板的跨径)的长度。

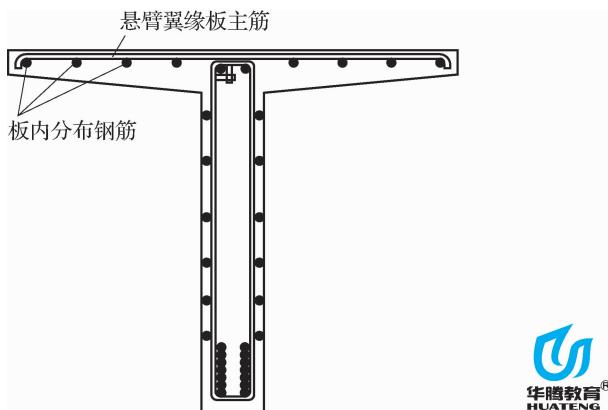


图 2-38 T 梁的钢筋布置构造



3. 横隔梁钢筋构造

在横隔梁靠近下部边缘的两侧和顶部翼板内均埋有焊接钢板 A 和 B(见图 2-39),焊接钢板则与横隔梁的受力钢筋拼在一起做成安装骨架。在 T 梁安装就位后即在横隔梁的预埋钢板上再加焊接钢板使之连成整体。横隔梁的箍筋是抗剪的。

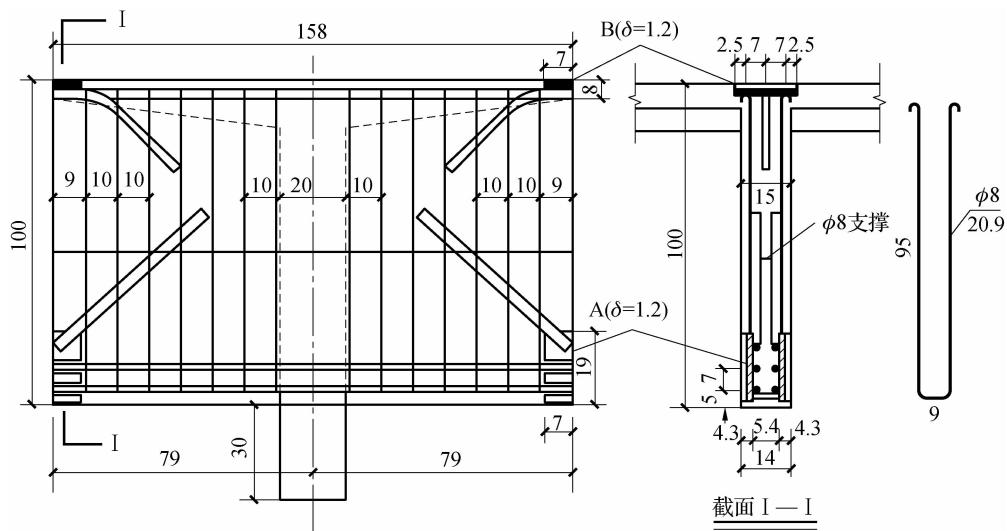


图 2-39 中主梁的横隔梁构造(尺寸单位:cm)



4. 装配式主梁的联结构造

通常,在设有端横隔梁和中横隔梁的装配式T形梁桥中,均借助横隔梁的接头使所有主梁联结成整体。接头要有足够的强度,以保证结构的整体性,并使在运营过程中不致因荷载反复作用和冲击作用而发生松动。常用的接头形式有以下几种。

1) 焊接钢板接头

在横隔梁靠近下部边缘的两侧和顶部的翼板内均埋有焊接钢板,焊接钢板预先与横隔梁的受力钢筋焊在一起做成安装骨架。当T梁安装就位后即在横隔梁的预埋钢板上再加焊盖接钢板使之连成整体(见图2-40)。

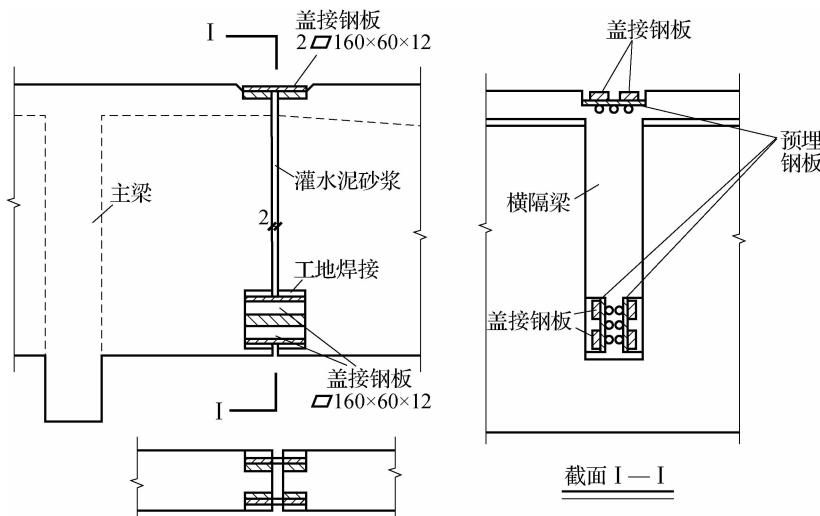


图2-40 横隔梁的接头构造(尺寸单位:mm)

端横隔梁的焊接钢板接头构造与中横隔梁相同,但由于其外侧(近墩台一侧)不好施焊,故焊接接头只设于内侧。相邻横隔梁之间的缝隙最好用水泥砂浆填满,所有外露钢板也应水泥灰浆封盖。这种接头强度可靠,焊接后立即就能承受荷载,但现场要有焊接设备,而且有时需要在桥下进行仰焊,施工较困难。

2) 扣环接头

横隔梁扣环接头形式如图2-41所示。这种接头的做法是:横隔梁在预制时在接缝处伸出钢筋扣环A,安装时在相邻构件的扣环两侧再安上腰圆形的接头扣环B,在形成的圆环内插入短分布筋后就现浇混凝土封闭接缝,接缝宽度为0.20~0.60m。这种接头在工地不需要特殊机具,但现浇混凝土量较大,接头施工后也不能立即承受荷载,施工较复杂,但强度可靠,整体性及耐久性好。

《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)规定:预制T形截面梁的桥面板横向连接,宜采用现浇混凝土整体连接,主钢筋可采用环形连接。桥面板横向扣环接头如图2-42所示。

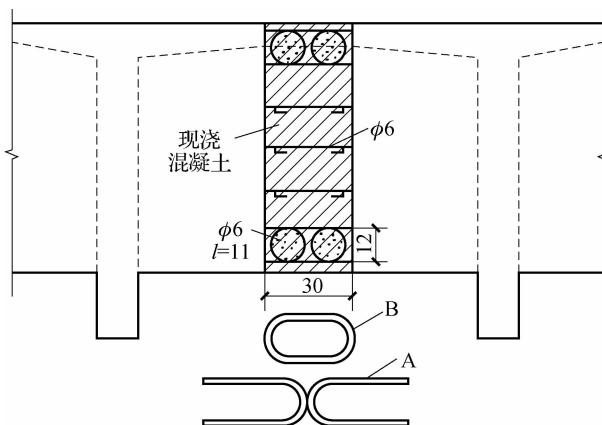


图 2-41 扣环接头

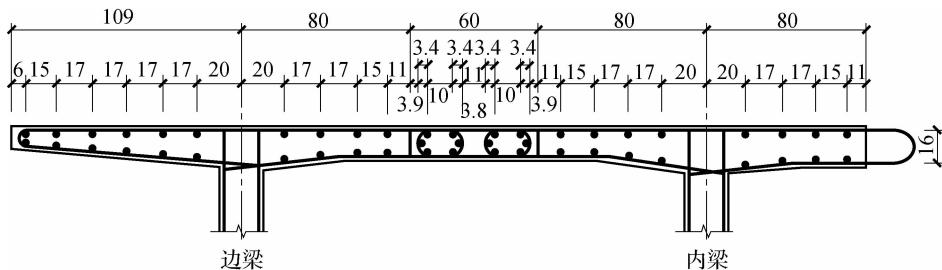


图 2-42 桥面板横向扣环接头(尺寸单位:cm)

预制 T 形截面梁的横隔梁连接，宜采用现浇混凝土整体连接。

预制梁混凝土与用于整体连接的现浇混凝土龄期之差不应超过 3 个月。

3) 桥面板的企口铰连接

对没有采用扣环连接的桥面板，为改善挑出翼板的受力状态，可以将悬臂板也连接起来，做成企口铰接的形式[图 2-43(a)所示为主梁翼板内伸出的连接钢筋]，交叉弯制后在接缝处放入局部的钢筋网，并浇筑在铺装层内。或者将顶钢筋伸出，弯转后套在一跟长的钢筋上，形成纵向铰，如图 2-43(b)所示。

图 2-44 所示是标准跨径为 20 m，汽车荷载为公路—Ⅱ级，人群荷载为 3 kN/m^2 的装配式钢筋混凝土简支 T 梁块件钢筋构造。

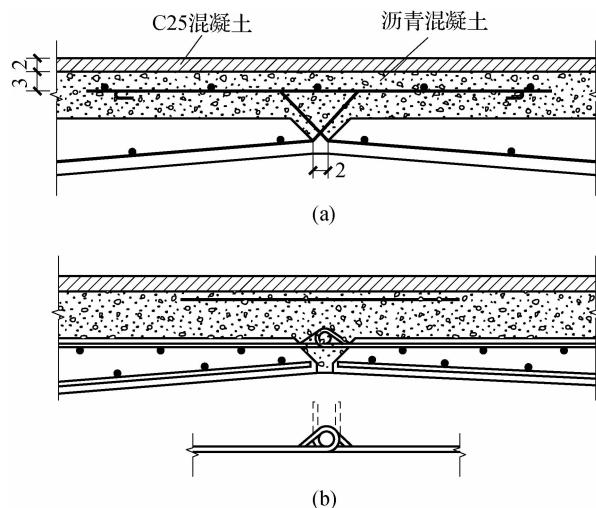


图 2-43 主梁翼板连接构造(尺寸单位:cm)

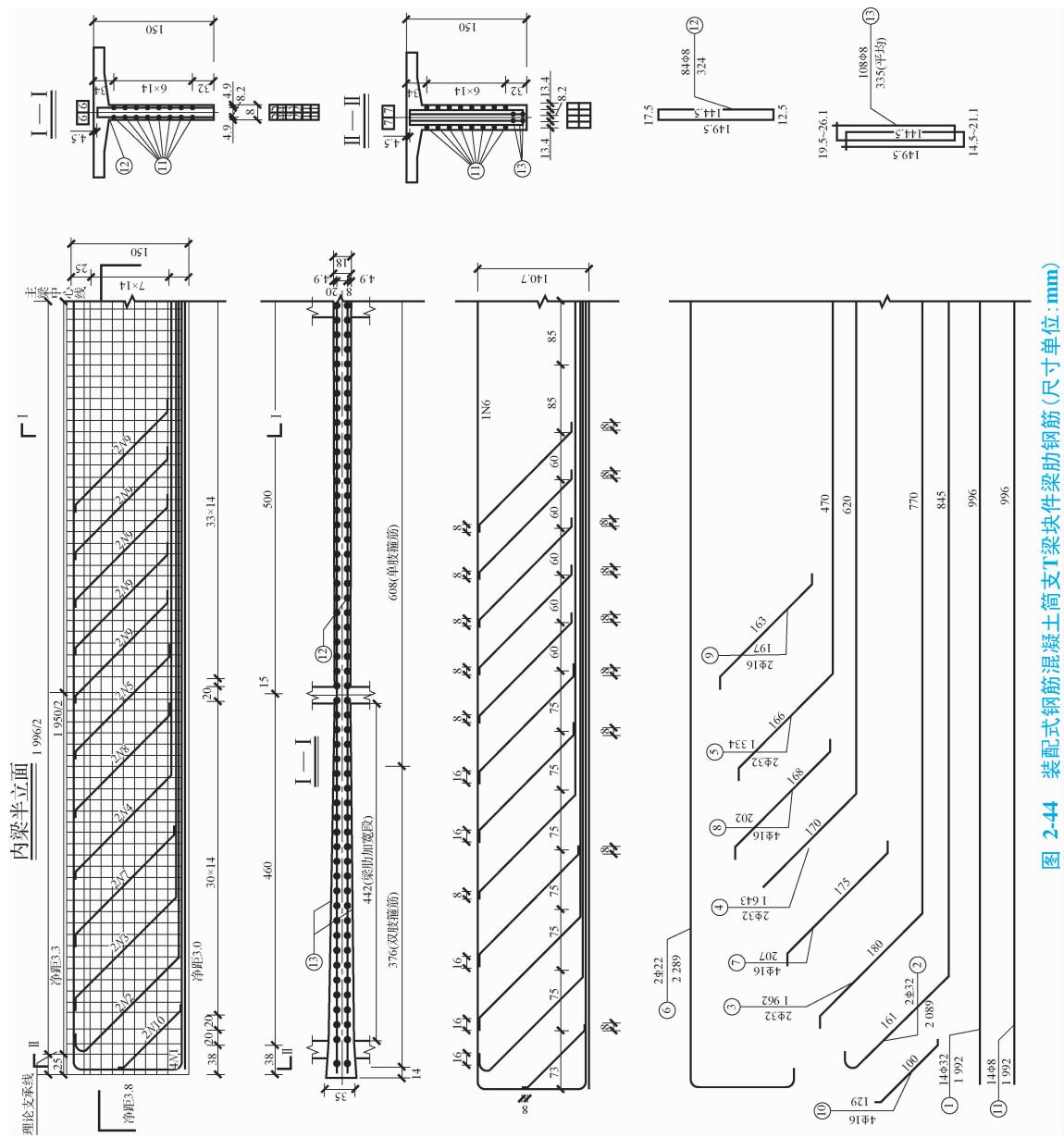


图 2-44 装配式钢筋混凝土简支 T 梁块件梁肋钢筋(尺寸单位:mm)



2.1.5 预应力混凝土简支梁桥的设计与构造

对于装配式钢筋混凝土简支梁桥,当跨径大于 20 m 左右时,不但钢材耗量大,而且混凝土开裂现象也往往比较严重,影响结构的耐久性。因此,跨径大于 20 m,特别是大于 30 m 的梁桥往往采用预应力混凝土结构。我国已为 25 m、30 m、35 m 和 40 m 跨径编制了后张法装配式预应力混凝土简支梁桥的标准设计。预应力混凝土简支梁标准跨径不宜大于 50 m。

1. 构造及尺寸布置

对于跨径较大的预应力混凝土简支梁桥,主梁间距也可以适当加大到 1.8~2.5 m,但横向应采用现浇混凝土连接。主梁的高度为跨径的 1/25~1/15。主梁梁肋的宽度,由于预应力混凝土梁内有效压应力和弯起力筋的作用,肋中的主拉应力较小,一般都由构造要求决定,即满足预应力筋的保护层要求和便于混凝土浇筑,可取 0.14~0.16 m。

预应力混凝土简支 T 梁的梁肋下部通常要加宽做成马蹄形,以便布置钢丝束和满足承受预压力的需要。为了配合钢丝束的起弯,在梁端能布置钢丝束锚头和安放张拉千斤顶,在靠近支点处腹板也要加厚至与马蹄同宽,加宽范围最好为一倍梁高(离锚固端)左右,这样就形成了沿纵向腹板厚度发生变化、马蹄部分也逐渐加高的变截面 T 梁。

沿纵向的横隔梁布置,基本上与钢筋混凝土梁桥的横隔梁布置相同。但在主梁跨径大、梁较高的情况下,为了减轻重量而往往在横隔梁的中部挖孔。

马蹄面积不宜小于全截面的 20% 以外,建议具体尺寸如下。

(1) 马蹄宽度为肋宽的 2~4 倍,并注意马蹄部分(特别是斜坡区)的管道保护层不宜小于 6 cm。

(2) 马蹄全宽部分高度加 1/2 斜坡区高度为 (0.15~0.20)h,斜坡宜陡于 45°。

同时也应注意,马蹄部分不宜过高、过大,否则会降低截面形心,减小偏距,并导致降低抵消自重的能力。

2. 预应力混凝土梁的配筋特点

装配式预应力混凝土简支梁内配筋除了主要的纵向预应力筋外,还有一些非预应力筋,如都用架立钢筋、箍筋、水平分布钢筋、承受局部压力的钢筋骨架。

1) 纵向预应力筋布置

预应力混凝土简支梁中所采用的预应力主筋布置图示如图 2-45 所示。所有图示的共同特点是:主筋在跨中均靠近梁的下缘布置,以对混凝土施加的压力来抵消荷载引起的拉应力。

全部主筋都用直线形布置[见图 2-45(a)],构造最简单,它仅适合于先张法施工的小跨径梁。其重要缺点是支点附近无法平衡的张拉负弯矩会在梁顶出现过高的拉应力,甚至招致严重开裂。在先张法预应力混凝土构件中,先张法预应力混凝土构件宜采用钢绞线、螺旋肋钢丝或刻痕钢丝作为预应力钢筋。当采用光面钢丝做预应力钢筋时,应采取适当措施保证钢丝在混凝土中可靠地锚固。预应力钢绞线之间的净距不应小于其直径的 1.5 倍,且对二股、三股钢绞线不应小于 20 mm,对七股钢绞线不应小于 25 mm。预应力钢丝间净距不应小于 15 mm。对于单根预应力钢筋,其端部应设置长度不小于 150 mm 的螺旋筋;对于多根



预应力钢筋，在构件端部 10 倍预应力钢筋直径范围内，应设置 3~5 片钢筋网。

对于长度较大的后张法梁，如采用直线形预应力筋时，为了减小梁端附近的负弯矩并节省钢材，亦可像普通钢筋混凝土梁内一样，将主筋在梁的中间截面处截断，如图 2-45(b) 所示，此时，应将预应力筋在横隔梁处平缓地弯出梁体，以便进行张拉和锚固。这种布置的主要优点是最省主筋，张拉磨阻力也小，但预应力筋没有充分发挥抗剪作用，且梁体在锚固处的受力和构造也较复杂。

目前预应力混凝土简支梁桥上采用最广的布筋方式是图 2-45(c) 和(d) 所示两种。当预应力筋数量不太多，能全部在梁端锚固时，为使张拉工序简便，通常都将预应力筋全部弯至梁端锚固[见图 2-45(c)]。这种布置的预应力筋弯起角不大（一般在 20° 以下），这对减小磨阻损失有利。然而，对于钢束根数较多的情况，或者当预应力混凝土梁的梁高受到限制以致不能全部在梁端锚固时，就必须将一部分预应力筋弯出梁顶[见图 2-45(d)]。这样的布置方式使张拉作业的操作稍趋繁复，使预应力筋的弯起角口较大（25°~30°），增大了磨阻引起的预应力损失，但能缩短预应力筋长度，节约钢材，对于提高梁的抗剪能力也更有利。

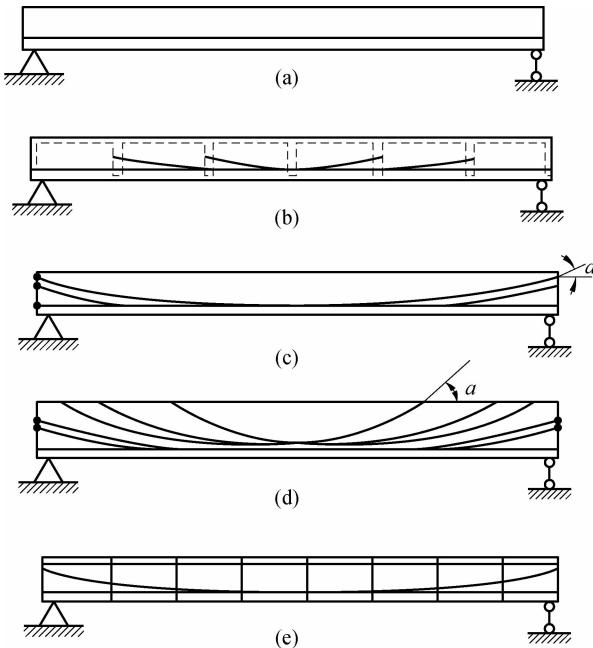


图 2-45 纵向预应力筋布置图示

在实际设计中，鉴于梁在跨中区段弯矩变化平缓以及荷载剪力也不大，故通常在三分点到四分点之间开始将预应力筋弯起。当然，预应力筋弯起后，截面亦必须满足破坏阶段的强度要求。

预应力筋起弯的曲线形状可以采用圆弧形、抛物线或悬链线三种，通常在曲线的矢跨比较小时，三者的各点坐标很接近。圆弧线施工放样简便，弯起角度较大，可得到较大的预剪力，故通常都在梁中部保持一段水平直线后并按圆弧弯起。悬链线的预应力筋或制孔器可利用其自重下垂达到规定线形，定位方便，但它在端部的起弯角度较小。当采用钢丝束、钢绞线配筋时，预应力筋弯起的曲率半径一般不小于 4 m。



预应力筋在跨中横截面内的布置,应在保证梁底保护层和位于索界内的前提下,尽量使其重心靠下,以增大预加力的偏心距,节省高强钢材。同时应使预应力筋在满足构造要求的同时尽量相互靠拢,以减小下马蹄的尺寸。此外还应将适当数量的预应力筋布置在腹板中线处,以便于起弯。

在装配式预应力混凝土简支T形梁中,力筋在一定区段内逐渐弯起,其目的如下。

(1)简支梁的弯矩从跨中向支点逐渐减小,故预应力筋的偏心距也应逐渐减小,否则上缘的拉应力过大。必须将部分力筋弯起,以减小支点的负弯矩。

(2)临近支点的区段剪力很大,可用弯起力筋所产生的竖向分力来抵消它。

(3)分散梁端预压应力和便于布置锚具。

2)纵向预应力筋的锚固

预应力筋的锚固分两种情形:在先张法梁中,钢丝或钢筋主要靠混凝土的握裹力锚固在梁体内,在后张法梁中则通过各类锚具锚固在梁端或梁顶,锚具分布均匀、分散、对称集中,过大的锚具不如分散、小型的锚具有利。此外,锚具应在梁端对称于竖轴布置,锚具之间应留有足够的净距,能安装张拉设备,方便施工作业。

3)其他钢筋的布置

预应力混凝土梁与钢筋混凝土梁一样,要按规定的构造要求布置箍筋、架立筋和纵向水平分布钢筋等。由于预应力混凝土梁肋承受的主拉应力较小,一般可不设斜筋。

(1)马蹄中的闭合箍筋。在T形、I形截面梁下部的马蹄内,在马蹄中需设置直径不小于8 mm的闭合式箍筋(见图 2-46),间距不应大于200 mm。此外,马蹄内尚应设直径不小于12 mm的定位钢筋。在梁端附近(自锚固端算起,约为一倍梁高长度内)间距应为60~80 mm,用来加强梁端承受局部应力。当马蹄宽度大于500 mm时,箍筋应不少于4肢。图 2-46 中 d 为制孔管的直径,应比预应力筋直径大10 mm,采用铁皮套管时应大20 mm,管道间的最小净距主要由灌注混凝土的要求所确定,在有良好振捣工艺时(例如同时采用底振和侧振),最小净距不小于4 cm。

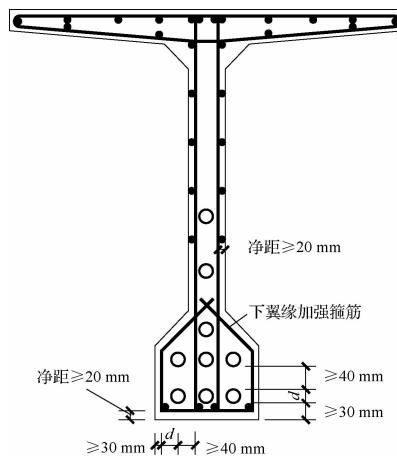


图 2-46 横截面内钢筋布置



(2) 非预应力纵向受力钢筋。在预应力混凝土简支梁中,有时为了补充局部梁段内强度的不足,有时为了满足极限强度的要求,有时为了更好地分布裂缝和提高梁的韧性等,可以将无预应力的钢筋与预应力筋协同配置,这样往往能达到经济合理的效果。

图 2-47(a)表示当梁中预应力筋在两端不便弯起时,为了防止张拉阶段在梁端顶部可能开裂而布置的受拉钢筋。对于自重比恒载与活载小得多的梁,在预加力阶段跨中部分的上翼缘可能会开裂而坏损,因而也可在跨中部分的顶部加设无预应力的纵向受力钢筋[见图 2-47(b)]。这种钢筋在运营阶段还能加强混凝土的抗压能力,在破坏阶段则可提高梁的安全度。

如图 2-47(c)所示在跨中部分下翼缘内设置的钢筋,多半是为了在全预应力梁中加强混凝土承受预加压力的能力。

对于部分预应力梁也往往利用布置在下翼缘的纵向钢筋来补足极限强度的需要[见图 2-47(d)]。并且这种钢筋对于配置不黏结预应力筋的梁能起分布裂缝的作用。

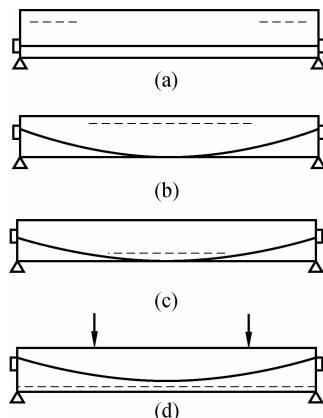


图 2-47 非预应力纵向受力钢筋

(3) 锚固区的加强钢筋。后张法预应力混凝土构件的端部锚固区,应力非常集中,在锚具附近不仅有很大的压应力,还有很大的拉应力。因此,为防止锚具附近混凝土裂缝,必须配置足够的钢筋予以加强。在锚具下面应设置厚度不小于 16 mm 的垫板或采用具有喇叭管的锚具垫板。锚具垫板下应设间接钢筋,如图 2-48 所示为梁端锚固区的配筋构造。加强钢筋网的网格约为 100 mm×100 mm。锚下设置不小于 16 mm 的钢垫板与 $\varphi 9$ 的螺旋筋,以提高混凝土的抗裂性能。配置加密钢筋网的范围一般是一倍于梁高的区域。

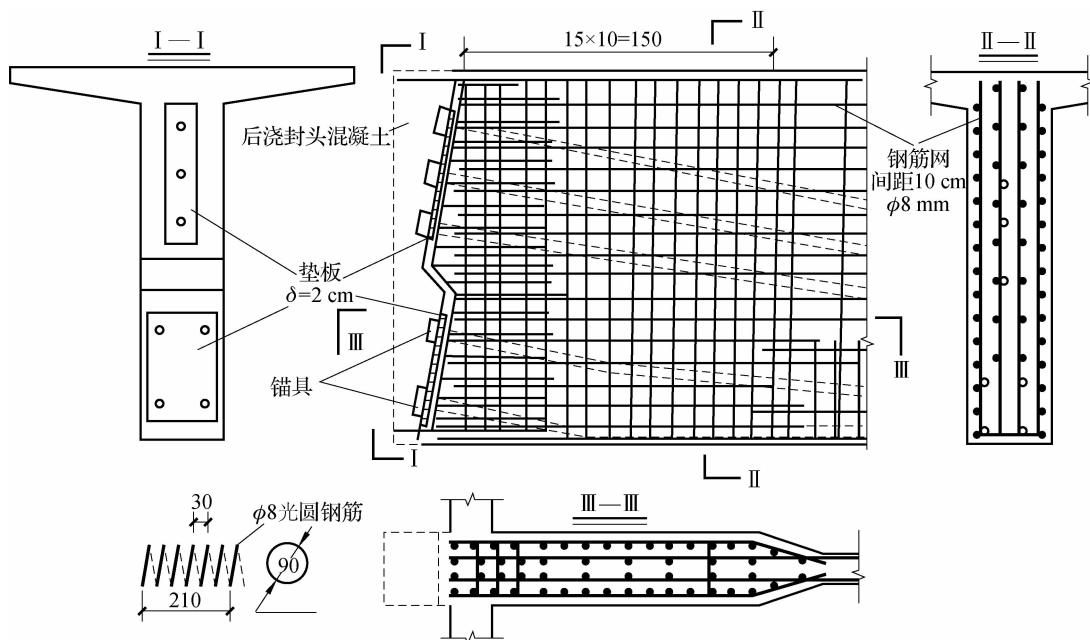


图 2-48 梁端的垫板和加强钢筋网(尺寸单位:mm)

也可采用带有预埋锚具的预制钢筋混凝土端板来锚固预应力筋,如图 2-49 所示。此时除了加强钢筋骨架外,锚具下设置两层叉形钢筋网,施工起来也较方便。

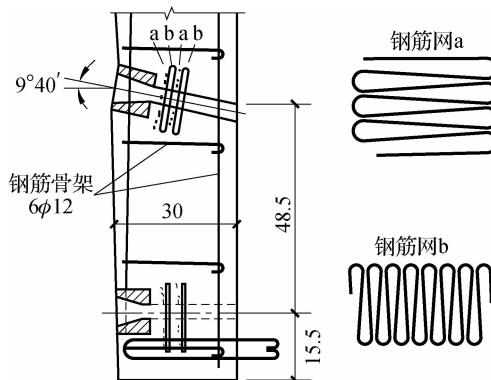


图 2-49 预应力梁端板和叉形钢筋网(尺寸单位:mm)

预应力混凝土梁腹板内应分别设置直径不小于 10 mm 和 12 mm 的箍筋,且应采用带肋钢筋,间距不应大于 250 mm;自支座中心起长度不小于一倍梁高的范围内,应采用闭合式箍筋,间距不应大于 100 mm。

装配式预应力混凝土梁桥的横向联结构一般与钢筋混凝土梁桥一样。但也可在横隔梁内预留孔道,采用横向预应力筋张拉集整。如图 2-50 所示为标准跨径 30 m 的装配式预应力混凝土简支 T 梁的构造图。

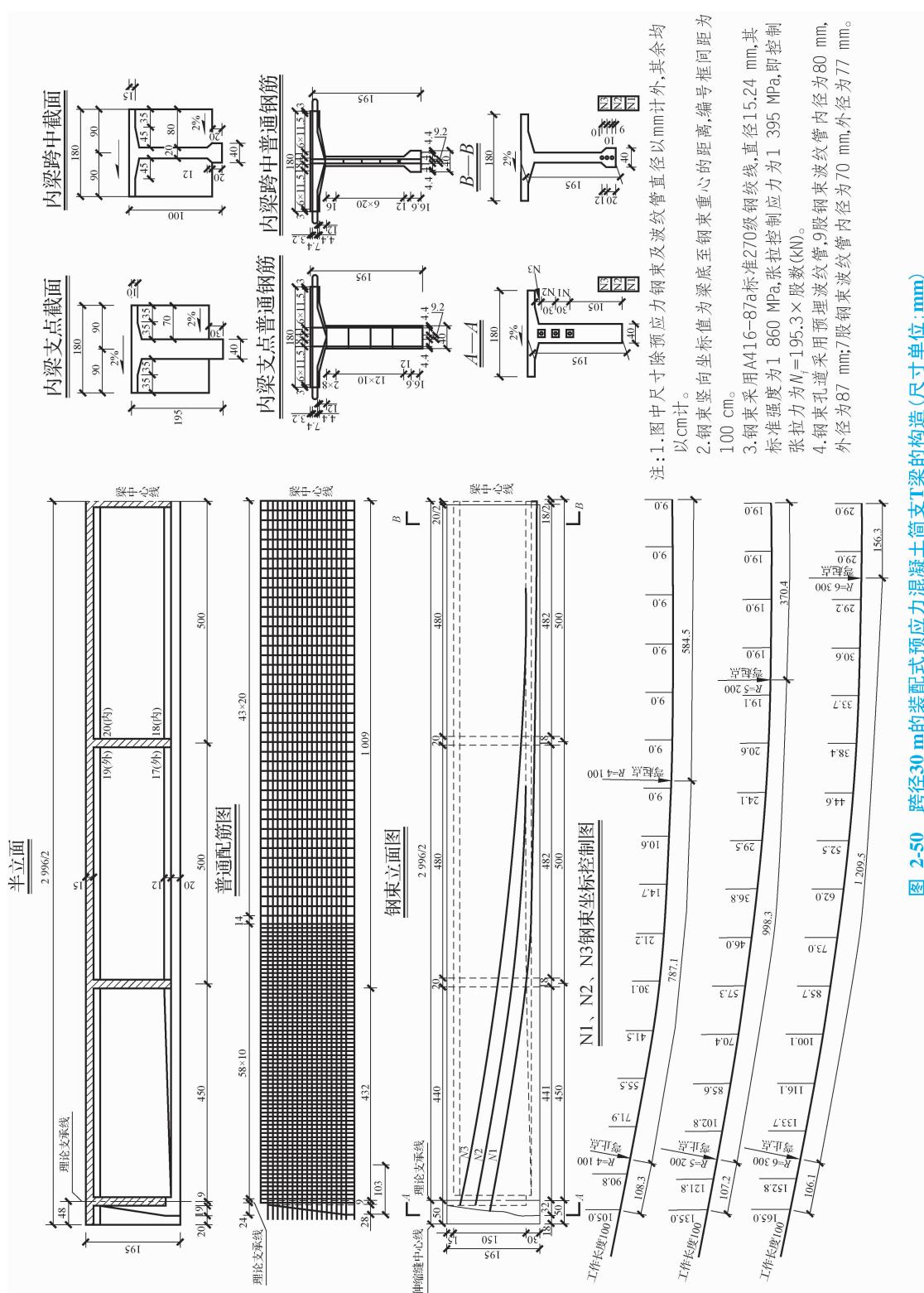


图 2-50 跨径30 m的装配式预应力混凝土简支T梁的构造(尺寸单位：mm)



2.2 简支梁桥的计算

设计桥梁时,通常先根据使用要求、跨径大小、桥面净宽、荷载等级和施工条件等情况,并参考已建桥梁的经验来拟定截面形式和尺寸,估算结构的自重,根据作用在结构上的荷载,用力学方法计算出结构各部分可能产生最不利的内力,再由已求得的内力进行强度、刚度和稳定性验算。如果验算结果不能满足要求,则需要修正原来所拟定的尺寸再进行验算,直至满意为止。

钢筋混凝土构件的截面设计和验算问题属于“结构设计原理”课程的内容,这里着重阐明行车道板、主梁的受力特点和最不利内力的计算方法。

2.2.1 行车道板的计算

1. 行车道板的类型

在具有主梁和横隔梁的简单梁格[见图 2-51(a)]以及具有主梁和横隔梁、内纵梁(或称副纵梁)的复杂梁格[见图 2-51(b)]体系中,行车道板实际上都是周边支承的板。

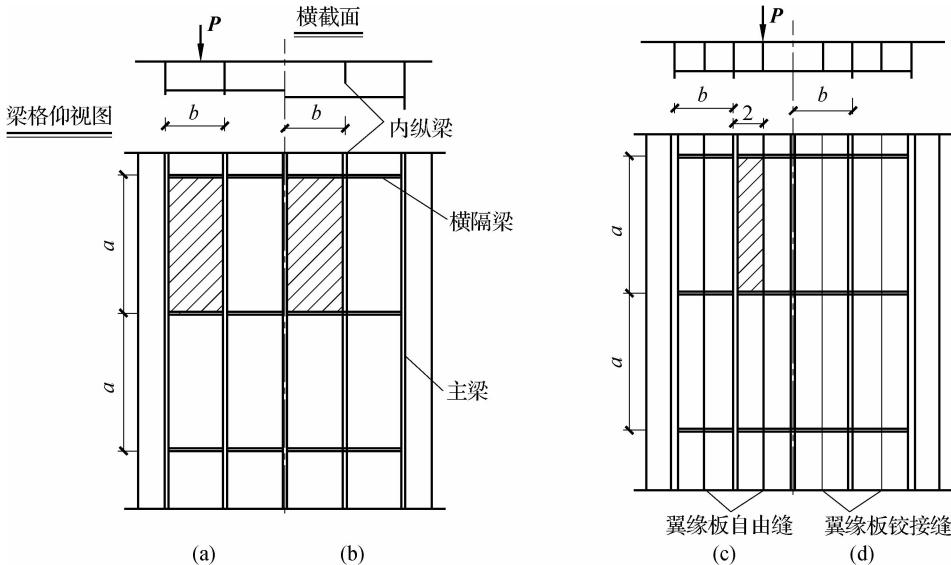


图 2-51 梁格构造和行车道板支承方式

根据理论研究可知,当板跨中央有荷载时,如果板的长边与短边之比 $a/b \geq 2$,则沿长边跨径方向所传布的荷载不足 6%,而荷载绝大部分沿短边跨径方向传布。因此,可以把 $a/b \geq 2$ 的周边支承板看作是短边受荷的单向受力板(简称“单向板”)来设计,而在长跨方向只要适当配置一些分布钢筋即可。对于长宽比小于 2 的板,则称双向板,需按两个方向的内力分别配置受力钢筋。

对于常见的 $a/b \geq 2$ 的装配式 T 形梁桥,也可遇到两种情况。一种是翼缘板端边为自由边[见图 2-51(c)],实际是三边支承的板,可作为沿短跨一端嵌固而另一端为自由的悬臂板来设计;另一种是相邻翼缘板端部互相做成铰接接缝的形式[见图 2-51(d)],则行车道板应



按一端嵌固一端铰接的铰接悬臂板来设计。

综上所述,在实践中最常遇到的行车道板的受力图示为单向板、悬臂板和铰接悬臂板三种。至于双向行车道板,由于用钢量大,构造复杂,目前很少使用,这里不做介绍。

2. 车轮荷载在板上的分布

富于弹性的充气车轮与桥面的接触面实际上接近椭圆,而且荷载又要通过铺装层扩散分布,故车轮压力在桥面板上的实际分布形式是很复杂的。为了计算方便,通常可近似地把车轮与桥面的接触面看作是 $a_2 \times b_2$ 的矩形面积,此处 a_2 是车轮沿行车方向的着地长度, $a_2=0.2\text{ m}$; b_2 为车轮的着地宽度, $b_2=0.60\text{ m}$,如图 2-52 所示。

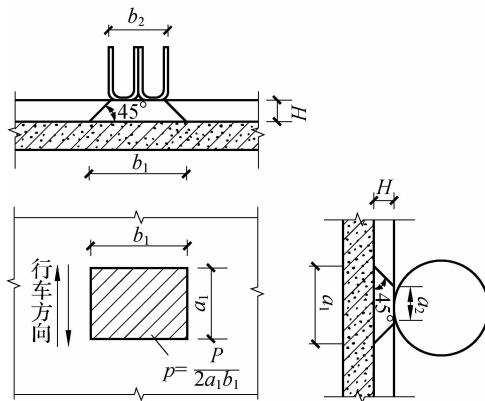


图 2-52 车轮荷载在板面上的分布

根据试验研究,对于混凝土或沥青面层,荷载在铺装层内可以偏安全地假定以 45° 角扩散。

因此,最后作用于钢筋混凝土承重板顶面的矩形荷载压力面的边长有以下两种情况。

(1) 沿纵向。 $a_1=a_2+2H$ 。

(2) 沿横向。 $b_1=b_2+2H$ 。

式中, H 为铺装层的厚度。

据此,当汽车后轮作用于桥面板上时,作用于桥面板上的局部分布荷载为 $P=\frac{P}{2a_1b_1}$ 。

式中, P 为汽车后轴的轴重。

3. 板的有效工作宽度

板在局部分布荷载 P 的作用下,由于变形协调条件的原因,不仅直接承压部分(如宽度为 a_1)的板带参与工作,与其相邻的部分板带也会分担一部分荷载共同参与工作。因此,在桥面板的计算中,就有一个如何确定板的有效工作宽度或称荷载有效分布宽度的问题。

如图 2-53 所示为单向板沿行车方向的实际受力分布图形。当荷载以 $a_1 \times b_1$ 的分布面积作用在板上时,沿 x 和 y 方向均产生挠曲变形,这说明荷载作用下不仅直接承压的宽度为 a_1 的板条受力,其相邻的板也参与工作,共同承受车轮荷载所产生的弯矩。那么在计算中究竟以多大的板宽来承受车轮荷载产生的总弯矩呢?从图中可见,弯矩 M_x 的实际图形是以线形分布的,在荷载处弯矩最大,离荷载愈远板条所承受的弯矩愈小。如果设想以 $a \times m_{x,\max}$ 的矩形来替代此曲线图形,则有



$$a \times m_{x\max} = \int m_x dy = M$$

得到弯矩图形的换算宽度为

$$a = \frac{M}{m_{x\max}}$$

式中, M 为车轮荷载产生的总弯矩; $m_{x\max}$ 为荷载处的最大单宽弯矩值, 可按弹性的理论算得。

上式中的 a 我们就定义为板的有效工作宽度, 也就是将荷载作用下沿行车方向板上产生的不均匀的弯矩按中间最大弯矩值折合成分布在一定宽度范围内的均匀最大弯矩, 以此宽度承受车轮荷载的总弯矩, 此宽度即为板的有效工作宽度。

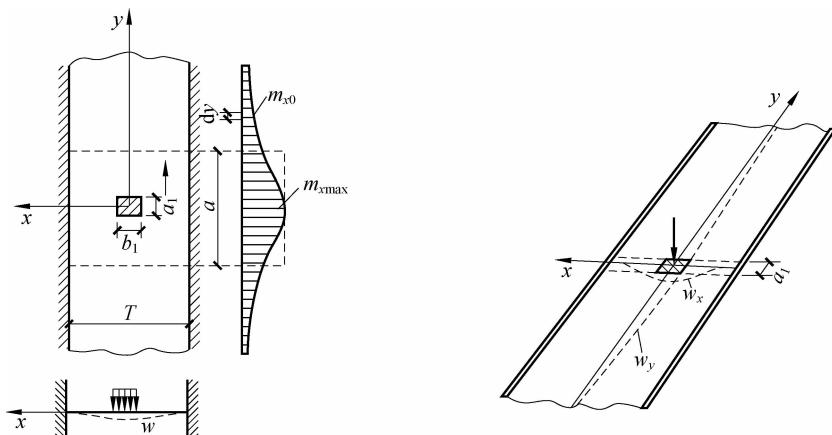


图 2-53 行车道板的受力状态

为了计算方便,《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》(JTG D62—2004)中对于单向板和悬臂板的荷载有效分布宽度做了如下规定。

1) 单向板

(1) 荷载在跨径中间。对于单独一个荷载[见图 2-54(a)]:

$$a = a_1 + \frac{l}{3} = a_2 + 2H + \frac{l}{3} \geq \frac{2}{3}l$$

式中, l 为板的计算跨径。

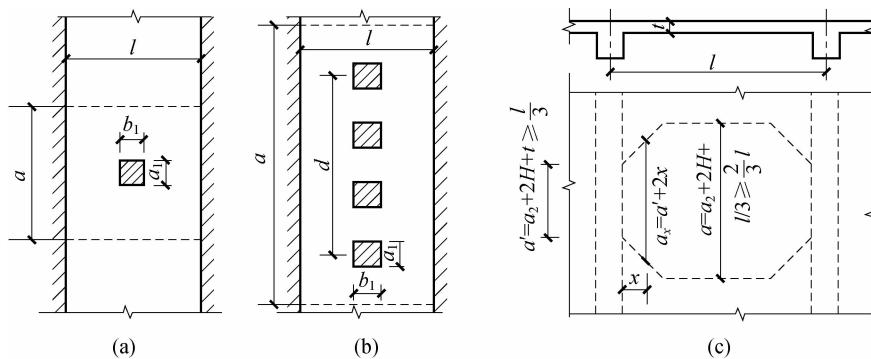


图 2-54 荷载有效分布宽度



对于几个靠近的相同荷载,如按上式计算所得各相邻荷载的有效分布宽度发生重叠时,应按相邻靠近的荷载一起计算其有效分布宽度[见图 2-54(b)]。即

$$a = a_1 + d + \frac{l}{3} = a_2 + 2H + d + \frac{l}{3}$$

式中, d 为最外两个荷载的中心距离。

(2)荷载在板的支承处。

$$a' = a_1 + t = a_2 + 2H + t \geq \frac{l}{3}$$

式中, t 为板的厚度。

(3)荷载靠近板的支承处。

$$a_x = a' + 2x$$

式中, x 为荷载离支承边缘的距离。

这就是说,荷载由支点处向跨中移动时,相应的有效分布宽度可近似地按 45°线过渡。

根据上述分析,对于不同车轮荷载位置时单向板的有效分布宽度如图 2-54(c)所示。

2)悬臂板

《公路桥涵设计通用规范》(JTGD60—2004)规定悬臂板的荷载有效分布宽度(见图 2-55)为

$$a = a_2 + 2H + 2b' = a_1 + 2b'$$

式中, b' 为承重板上荷载压力面外侧边缘至悬臂板根部的距离。

对于分布荷载靠近板边的最不利情况, b' 就等于悬臂板的跨径 l_0 ,则

$$a = a_1 + 2l_0$$

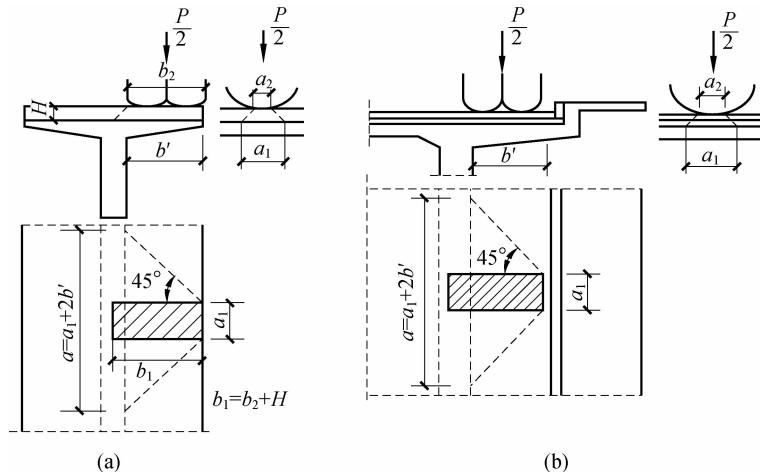


图 2-55 悬臂板的有效分布宽度

4. 行车道板的内力计算

对于实体的矩形行车道板通常由弯矩控制设计。设计时,习惯以每米宽板条来进行计算,借助板的有效工作宽度,就不难得到作用在每米宽板条上的荷载和其引起的弯矩。下面应用几种行车道板的图示来说明其内力的计算方法。

1)多跨连续单向板的内力

常见的行车道板与梁肋系是整体相连的。因此,各根主梁的不均匀弹性下沉和梁肋本



身的扭转刚度必然会影响到行车道板的内力,实际上,行车道板与主梁梁肋的支承条件既不是固结,也不是铰支,而应该考虑按弹性固结,所以行车道板的实际受力情况是相当复杂的。目前,通常采用较简便的近似方法进行计算。对于弯矩,先算出一个跨径相同的简支板在恒载和活载作用下的跨中弯矩 M_0 ,再乘以偏安全的经验系数加以修正,以求得支点处和跨中截面的设计弯矩,弯矩修正系数可视板厚 t 与梁肋高度 h 的比值来选用。

当 $t/h < 1/4$ (主梁抗扭能力较大)时,有

$$\text{跨中弯矩 } M_{\text{中}} = +0.5M_0$$

$$\text{支点弯矩 } M_{\text{支}} = -0.7M_0$$

当 $t/h \geq 1/4$ (主梁抗扭能力较小)时,有

$$\text{跨中弯矩 } M_{\text{中}} = +0.7M_0$$

$$\text{支点弯矩 } M_{\text{支}} = -0.7M_0$$

式中, $M_0 = M_{0P} + M_{0g}$, M_{0P} 为 1 m 宽简支板条的跨中活载弯矩[见图 2-56(a)],对于汽车荷载,有

$$M_{0P} = (1+\mu) \cdot \frac{P}{8a} \left(l - \frac{b_1}{2} \right)$$

式中, P 为加重车后轴的轴重; a 为板的有效工作宽度; l 为板的计算跨径,当梁肋不宽时(如窄肋 T 形梁)就取梁肋中距,当主梁肋部宽度较大时(如箱形梁肋),可取梁肋间的净距和板厚,即 $l=l_0+t$,但不大于 l_0+b (l_0 为板的净跨径, b 为梁肋宽度); $(1+\mu)$ 为冲击系数,对于行车道板通常取 1.3。

如遇板的跨径较大,可能还有第二个车轮进入跨径内时,可按工程力学方法将荷载布置得使跨中弯矩为最大。

M_{0g} 为每米板宽的跨中恒载弯矩,其计算公式为

$$M_{0g} = \frac{1}{8} gl^2$$

式中, g 为 1 m 宽板条每延米的恒载重量。

计算单向板的支点剪力时,可不考虑板和主梁的弹性固结作用,此时荷载必须尽量靠近梁肋边缘布置。考虑了相应的有效工作宽度后,每米板宽承受的分布荷载如图 2-56(b)所示。对于跨径内只有一个车轮荷载的情况,支点剪力 $Q_{\text{支}}$ 的计算公式为

$$Q_{\text{支}} = gl_0/2 + (1+\mu)(A_1 y_1 + A_2 y_2)$$

其中,矩形部分荷载的合力为(以 $p=P/(2ab_1)$ 代入)

$$A_1 = pb_1 = P/2a$$

三角形部分荷载的合力为(以 $p'=P/(2a'b_1)$ 代入)

$$A_2 = [(p'-p)/2][(a-a')/2] = P(a-a')^2/(8aa'b_1)$$

式中, p 和 p' 为对应于有效工作宽度 a 和 a' 处的荷载强度; y_1 和 y_2 为对应于荷载合力 A_1 和 A_2 的支点剪力影响线竖标值; l_0 为板的净跨径。

如跨径内不止一个车轮进入时,尚应考虑其他车轮的影响。

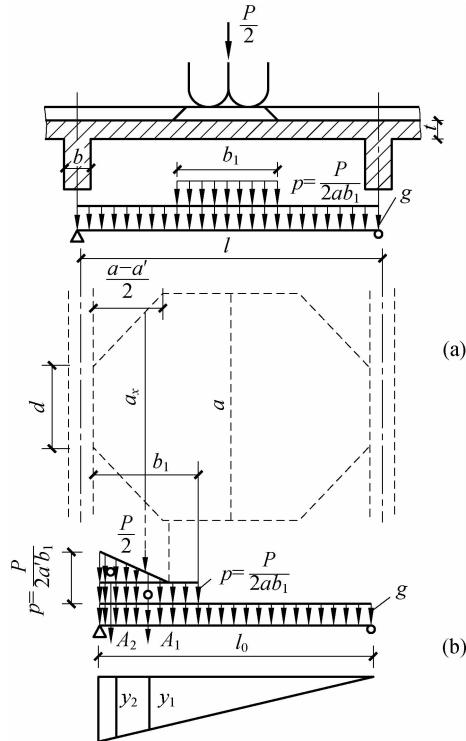


图 2-56 单向板内力计算

2) 铰接悬臂板的内力

T 梁翼缘板作为行车道板往往用铰接连接,最大弯矩在悬臂根部。

根据计算分析可知,计算活载弯矩 M_{AP} 时,最不利的荷载位置是把车轮荷载对中布置在铰接处,这时铰内的剪力为零,两相邻悬臂板各承受半个车轮荷载,即 $P/4$,如图 2-57(a) 所示。因此,每米宽悬臂板在根部的活载弯矩为

$$M_{AP} = -(1+\mu)P/4a(l_0 - b_1/4)$$

每米板宽的恒载弯矩为

$$M_{Ag} = -gl_0^2/2$$

此处, l_0 为铰接双悬臂板的净跨径。悬臂根部 1 m 板宽的最大弯矩为 $M_A = M_{AP} + M_{Ag}$, 悬臂根部的剪力可以偏安全地按一般悬臂板的图示来计算。

3) 悬臂板的内力

对于沿纵缝不相连接的悬臂板,在计算根部最大弯矩时,应将车轮荷载靠板的边缘布置,此时 $b_1 = b_2 + H$,如图 2-57(b)所示。则恒载和活载弯矩值可由一般公式求得。

(1) 活载弯矩。

$$M_{AP} = -(1+\mu)\frac{1}{2}pl_0^2 = -(1+\mu)\frac{P}{4ab_1}l_0^2 \quad (b_1 \geq L_0)$$

$$\text{或 } M_{AP} = -(1+\mu)p b_1 (l_0 - \frac{b_1}{2}) = -(1+\mu)\frac{P}{2a}(l_0 - \frac{b_1}{2}) \quad (b_1 < L_0)$$

式中, $p = \frac{P}{2ab_1}$ 为作用在每米宽板条上的每延米荷载强度; l_0 为悬臂板的长度。



(2) 恒载弯矩。

$$M_{Ag} = -\frac{1}{2} gl_0^2$$

同理, 最后可得 1 m 宽板条的最大设计弯矩为 $M_A = M_{AP} + M_{Ag}$ 。

剪力为 $Q = gl_0 + (1+\mu)p l_0 \quad (b_1 \geq L_0)$

或 $Q = gl_0 + (1+\mu)P/2a \quad (b_1 < L_0)$

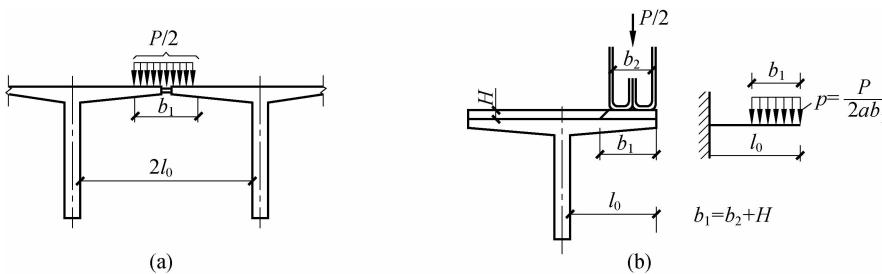


图 2-57 悬臂板计算图

5. 行车道板的计算实例

【例 2-1】 计算如图 2-58 所示 T 梁翼板所构成铰接悬臂板的设计内力。荷载公路—I 级。桥面铺装 2 cm 的沥青混凝土面层的容重为 23.0 kN/m^3 和平均 9 cm 厚 C25 钢筋混凝土垫层的容重为 25.0 kN/m^3 。T 梁翼板的容重为 25.0 kN/m^3 。

【解】 (1) 恒载及其内力(以纵向 1 m 宽板条计算)。

① 每延米板上的恒载 g 。

沥青混凝土面层 $g_1 : 0.02 \times 1.0 \times 23.0 = 0.46 \text{ kN/m}$

C25 混凝土垫层 $g_2 : 0.09 \times 1.0 \times 25.0 = 2.25 \text{ kN/m}$

T 梁翼板自重 $g_3 : [(0.08+0.14)/2] \times 1.0 \times 25.0 = 2.75 \text{ kN/m}$

合力 $g = \sum g_i = 5.46 \text{ kN/m}$

② 每米宽板条的恒载内力。

弯矩 $M_{Ag} = -gl_0^2/2 = -5.46 \times 0.71^2/2 = -1.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$

剪力 $Q_{Ag} = gl_0 = 5.46 \times 0.71 = 3.88 \text{ kN}$

(2) 公路—I 级产生的内力。将加重车后轮作用于铰缝轴线上, 后轴作用力为 $P=140 \text{ kN}$, 轮压分布宽度如图 2-59 所示。加重车后轮的着地长度为 $a_2=0.20 \text{ m}$, 宽度为 $b_2=0.60 \text{ m}$, 则

$$a_1 = a_2 + 2H = 0.20 + 2 \times 0.11 = 0.42 \text{ m}$$

$$b_1 = b_2 + 2H = 0.60 + 2 \times 0.11 = 0.82 \text{ m}$$

荷载对于悬臂根部的有效分布宽度为

$$a = a_1 + 2l_0 = 0.42 + 2 \times 0.71 = 1.84 \text{ m}$$

冲击系数为

$$1+\mu=1.3$$

作用于每米宽板条上的弯矩为

$$M_{AP} = -(1+\mu)P/4a(l_0 - b_1/4) = -1.3 \times 140/(4 \times 1.84) \times (0.71 - 0.82/4) = -12.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

作用于每米宽板条上的剪力为

$$Q_{AP} = (1+\mu)P/4a = 1.3 \times 140/(4 \times 1.84) = 24.7 \text{ kN}$$