

1

第 1 部分

基础知识篇

本部分主要介绍桥梁的基础知识，包括桥梁的发展概况、基本组成与分类、总体规划与设计、通用构造及设计作用等。

总 论

应用能力目标要点

- (1) 了解国内外桥梁的发展概况。
- (2) 能够描述桥梁的基本组成与分类。
- (3) 掌握桥梁的总体规划方法与设计程序,能进行桥梁的总体设计。

1.1 概述

桥梁工程在学科上属于土木工程的分支,在功能上是交通工程中的咽喉。

随着我国国民经济的迅速发展和经济的全球化,大力发展交通运输事业,建立四通八达的现代交通网络,对发展国民经济、促进文化交流、加强民族团结、缩小地区差别、巩固国防等方面都有着非常重要的作用。

我国自改革开放以来,路(特别是高等级公路和城市道路)、桥建设得到了飞速的发展,这对改善人民的生活环境、改善投资环境、促进经济的腾飞起到了关键性的作用。

桥梁工程的造价在工程规模上占道路总造价的 10%~20%,同时它是保证全线通车的咽喉,特别是在战时,桥梁工程具有非常重要的地位。

桥梁虽是一种功能性的结构物,但自古以来,人类从未停止过对桥梁美学的追求,很多桥梁被建成令人赏心悦目的艺术品,具有鲜明的时代特征,至今仍然为人们所赞叹。

随着科学技术的进步和经济、社会、文化水平的提高,人们对桥梁建筑提出了更高的要求。经过几十年的努力,我国的桥梁工程无论是在建设规模上还是在科技水平上,均已跻身于世界先进行列。各种功能齐全、造型美观的立交桥和高架桥,横跨荆江、黄河等大江大河的特大跨度桥梁,如雨后春笋般频频建成。目前,随着国家公路国道主干线规划的编制完成,几十千米长的跨海湾、海峡特大桥梁的宏伟建设工程已经摆在我们面前,并已逐渐开始建设,广大桥梁工程技术人员将不断面临建设新颖和复杂桥梁结构的挑战,肩负着光荣而艰巨的使命。

1.2 国内外桥梁发展概况

1.2.1 我国桥梁发展概况

1. 我国的古代石桥

中国是一个文明古国,有着悠久的历史 and 灿烂的文化,我们的祖先在世界桥梁史上也写下了许多不朽的篇章。

天然石料是大自然赋予人类最早的、强度高又经久耐用的建筑材料,几千年来修建的古代桥梁以石桥居多。下面介绍几座闻名中外的古代石桥。

福建泉州的万安桥(见图 1-1),又称洛阳桥,建于 1053—1059 年,该桥全长 1 106 m,共 47 孔,跨径 11~17 m,桥宽 3.7 m,是世界上尚存的最长和工程最艰巨的石拱桥。万安桥位于洛阳江的入海口处,桥下江底以磐石铺遍,并且独具匠心地用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基形成整体,这种方法不仅世界上绝无仅有,而且千年风雨也证明了此法的奇妙和可靠。



图 1-1 万安桥

河北赵县的赵州桥(见图 1-2),又称安济桥,为隋大业初年(约公元 605 年)李春所建。赵州桥是一座空腹式圆弧形石拱桥,净跨 37.02 m,宽 9 m,矢高 7.23 m,在拱背上设有 4 个跨度不等的腹拱,这样做既减轻了桥身自重,又便于排洪,并且增加了美感。赵州桥因其构思和工艺的精巧而举世闻名。



图 1-2 赵州桥

著名的古代石桥还有福建漳州的虎渡桥、北京永定河上的卢沟桥、颐和园内的玉带桥和十七拱桥(见图 1-3),以及苏州的枫桥等。

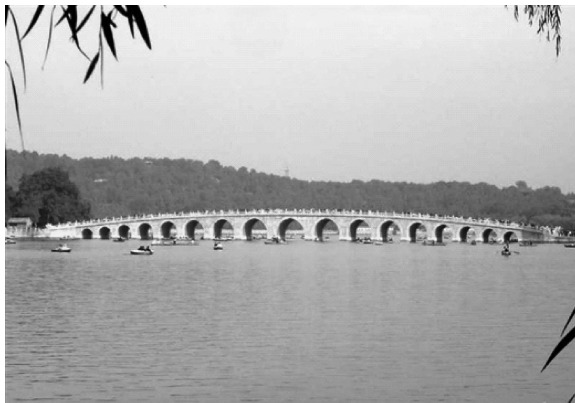


图 1-3 十七拱桥

但是,封建制度的长期存在严重束缚了生产力的发展。进入 19 世纪以后,我国在综合国力、科学技术等方面已经远远落后于西方列强,至中华人民共和国成立前,公路桥梁绝大多数为木桥,且年久失修、破烂不堪。

2. 我国桥梁建设成就

中华人民共和国成立以后,特别是改革开放以来,随着我国国力的迅速增强和交通事业的快速发展,尤其是 20 世纪 90 年代以来国家对高等级公路的大力投入,我国的桥梁事业得到了空前的大发展,取得了举世瞩目的成就,目前我国在大跨径桥梁方面已经跻身于世界先进行列。

(1)混凝土梁桥。我国跨径最大的简支梁桥是 1997 年建成的昆明南过境干道高架桥,跨径 63 m。

进入 20 世纪 80 年代,对称平衡悬臂法施工的大跨度预应力混凝土箱形截面连续梁得到了迅速的发展,1991 年建成的云南六库怒江大桥是预应力混凝土连续梁桥,其主桥跨径组合为 85 m+154 m+85 m;2001 年 7 月建成通车的南京长江二桥北汊桥(见图 1-4)是我国目前跨度最大的预应力混凝土连续梁桥,其主桥跨径组合为 90 m+3×165 m+90 m。

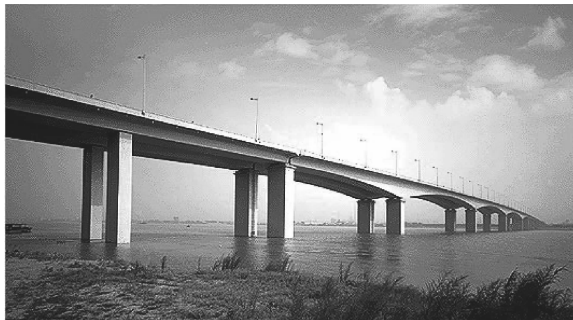


图 1-4 南京长江二桥北汊桥

连续刚构的特点是梁连续,墩梁固结。这样既保持了连续梁无伸缩缝、行车平顺的优点,又保持了 T 型刚构不设支座的优点,同时避免了连续梁和 T 型刚构的缺点,因而连续刚构桥在我国发展很快。

1988 年建成的广东番禺洛溪大桥是我国第一座跨径连续刚构桥,跨径组合为 125 m+180 m+110 m,采用双肢箱形薄壁墩,箱梁高在墩顶处为 10 m,在跨中处为 3 m。1996 年建成的湖北黄石长江大桥,主跨为 245 m,主桥连续长达 1 060 m。特别是 1997 年建成的广东虎门大桥辅航道桥(见图 1-5),跨径组合为 150 m+270 m+150 m,主桥位于半径为 7 000 m 的平曲线上,建成时跨径居世界同类桥首位。

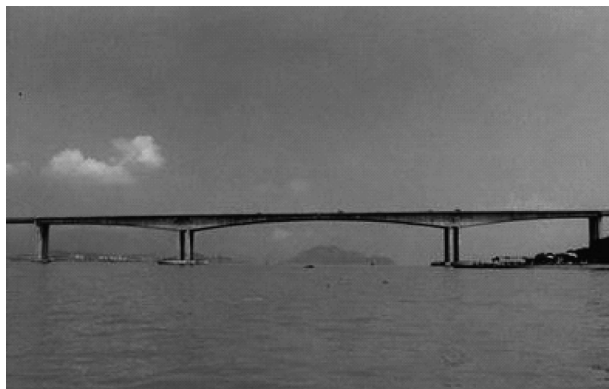


图 1-5 广东虎门大桥辅航道桥

(2)拱桥。拱桥在我国有着悠久的历史。由于拱桥造型优美,跨越能力大,因此其长期以来一直是跨径桥梁的主要形式之一。20 世纪 60 年代,拱桥无支架施工方法的应用与发展使混凝土拱桥的竞争力大大提高。

著名的石拱桥有 1991 年建成的湖南凤凰县鸟巢河桥,其跨径为 120 m,其拱圈由两条宽 2.5 m 的石拱组成,板间用钢筋混凝土横梁连接。

1999 年建成的山西晋城—河南焦作高速公路上的新丹河大桥保持着石拱桥跨径世界纪录,该桥跨径 146 m,拱圈高在拱顶处为 2.5 m,在拱脚处为 3.5 m,桥面宽 24.2 m,拱圈用 80 号大料石砌成。

20 世纪 90 年代兴起的钢管混凝土拱桥使得大跨径拱桥的建造能力得到进一步提高。先合龙自重轻、强度高的钢管拱圈,并将其用作施工拱架,再往管内压注高强度等级的混凝土,使之进一步硬化形成主拱圈。我国用此法分别于 1995 年建成了广东南海三山西大桥,其跨径为 200 m;1998 年建成了广西三岸邕江大桥,其主跨为 270 m。2005 年建成的巫山长江大桥(见图 1-6)的跨径为 460 m,是目前世界上跨径最大的钢管拱桥。

以钢管混凝土作为劲性骨架,再外包混凝土形成箱形拱,是修建大跨径拱桥十分巧妙的方法,它除利于施工外,还解决了钢管的防护问题。另外,这种分期形成的截面由于钢管混凝土最先受力,因而充分利用了钢管混凝土承载潜力大的优势。从理论上说,在荷载作用下,这种结构的后期徐变变形相对也是比较小的。



图 1-6 巫山长江大桥

我国用此方法分别于 1996 年建成了计算跨径为 312 m 的广西邕宁邕江大桥(见图 1-7),该桥是目前世界上跨径最大的钢筋混凝土肋拱桥;1997 年建成了计算跨径为 420 m 的重庆万县长江大桥(见图 1-8),其跨径达到了钢筋混凝土拱桥的世界之最。

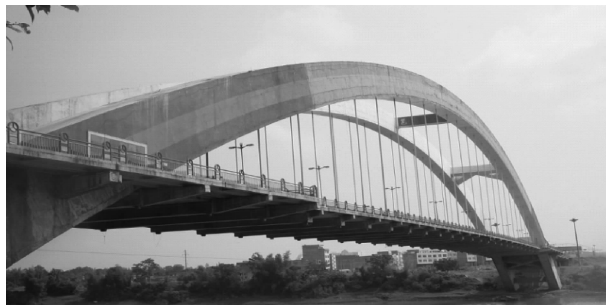


图 1-7 广西邕宁邕江大桥

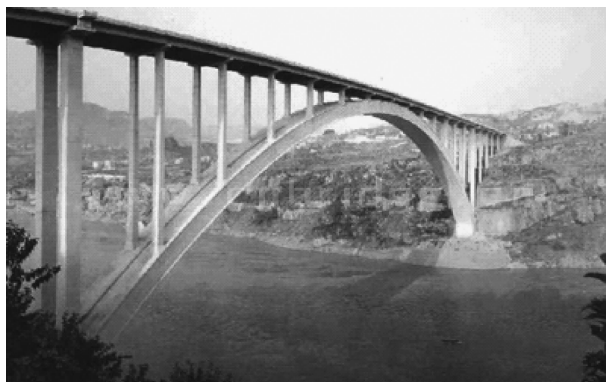


图 1-8 重庆万县长江大桥

2003 年建成的上海卢浦大桥(见图 1-9)是世界上跨度最大的系杆拱桥,该桥为中承式拱梁组合体系钢拱桥,主跨为 550 m,矢跨比为 1/5.5,拱肋为全焊钢结构。2009 年建成通车的重庆朝天门大桥(见图 1-10),主跨达 552 m,矢跨比为 1/4.31,为“世界第一拱

桥”。可以说,我国的拱桥建设技术已跃居世界先进行列。



图 1-9 上海卢浦大桥



图 1-10 重庆朝天门大桥

(3)斜拉桥。自从 1955 年瑞典建成第一座现代化斜拉桥以来,斜拉桥因为具有造型美观、结构合理、跨越能力大的特点,所以得到了迅速的发展。我国的斜拉桥起步稍晚,1975 年建成的跨径为 76 m 的四川云阳桥是国内第一座斜拉桥。20 世纪 90 年代以后,因跨越大江、大河的需要,斜拉桥得到了快速的发展,我国修建了一系列特大跨度的斜拉桥。据不完全统计,我国建成的斜拉桥已超过 100 座,其中跨度超过 400 m 的斜拉桥已达 39 座,居世界首位。

1991 年建成的上海南浦大桥(跨径为 423 m),1993 年建成的上海杨浦大桥(跨径为 602 m),2001 年建成的福建青州闽江桥(跨径为 605 m),均为钢-混凝土结合梁斜拉桥。其中,青州闽江桥保持着结合梁斜拉桥跨径的世界纪录。1993 年建成的郟阳汉江大桥(跨径为 414 m),1995 年建成的安徽铜陵长江大桥(跨径为 432 m),1996 年建成的重庆长江二桥(跨径为 444 m),2001 年建成的重庆大佛寺长江大桥(跨径为 450 m),均为混凝土主梁斜拉桥。2001 年建成的跨径为 628 m 的南京长江二桥和跨径为 460 m 的武汉军山长江大桥,均为钢主梁斜拉桥。

我国已建成两座跨度超千米的斜拉桥。2008 年建成的江苏苏通长江公路大桥(见图 1-11),主跨为 1 088 m,是世界跨径第二大的斜拉桥。2009 年建成的香港昂船洲大桥,主跨为 1 018 m。



图 1-11 江苏苏通长江公路大桥

2010年3月开工建设的郴州赤石大桥(见图1-12)为四塔预应力混凝土双索面斜拉桥,跨径组合为 $165\text{ m}+3\times 380\text{ m}+165\text{ m}$,索塔高 307 m ,桥面高 189 m ,该桥是世界上桥墩最高的混凝土斜拉桥。



图 1-12 郴州赤石大桥

(4)悬索桥。我国的悬索桥起步较晚,特别是在特大跨度悬索桥方面,但是在20世纪90年代中期以后,这一局面得到了彻底的改变。1995年建成的广东汕头海湾大桥开创了我国现代公路悬索桥的先河。紧接着我国又分别于1996年建成了西陵长江大桥(计算跨径为 900 m)、1997年建成了虎门大桥(计算跨径为 888 m)和香港青马大桥(计算跨径为 $1\,377\text{ m}$)、1999年建成了江阴长江大桥(计算跨径为 $1\,385\text{ m}$)、2005年建成了江苏润扬长江大桥(计算跨径为 $1\,490\text{ m}$)。2009年建成的西堠门大桥(见图1-13),跨径为 $1\,650\text{ m}$,居世界悬索桥第二。2012年建成的湖南吉首矮寨大桥(见图1-14)为钢桁加劲梁单跨悬索桥,塔梁分离,主跨跨越矮寨大峡谷,跨径为 $1\,176\text{ m}$,是世界上跨峡谷跨径最大的钢桁梁悬索桥。



图 1-13 西埃门大桥



图 1-14 湖南吉首矮寨大桥

1.2.2 国外桥梁发展概况

19 世纪中叶,钢材和高强度钢材的出现使桥梁工程的发展得到了第一次飞跃,桥梁的跨度不断加大。20 世纪初钢筋混凝土的应用及 20 世纪 30 年代兴起的预应力混凝土技术,使桥梁建设获得了廉价、耐久且刚度和承载力均很大的建筑材料,从而使桥梁的发展得到了第二次飞跃。20 世纪 50 年代以后,计算机和有限元技术的迅速发展使得人们能够方便地完成过去不可能完成的大规模结构计算,这使桥梁工程的发展得到了第三次飞跃。

1883 年建成的跨径达 483 m 的纽约布鲁克林悬索桥(见图 1-15),开创了现代悬索桥的先河。

1937 年建成的主跨达 1 280.16 m 的旧金山金门大桥(见图 1-16),保持了 27 年的世界纪录,至今仍是举世闻名的桥梁经典之作。



图 1-15 纽约布鲁克林悬索桥



图 1-16 旧金山金门大桥

目前,世界上跨度最大的悬索桥是日本明石海峡公、铁两用桥(见图 1-17),其跨径达 1 991 m(设计跨径为 1 990 m,后因阪神地震,地壳移位,才变成目前的跨径)。



图 1-17 日本明石海峡公、铁两用桥

世界上第一座现代化斜拉桥是 1955 年瑞典建成的斯特罗姆海峡桥,其主跨为 182.6 m。从此,该桥型发展十分迅速。截至目前,跨径最大的斜拉桥要数日本多多罗大桥(见图 1-18),其主跨为 890 m,建成于 1999 年。就跨径而言,后者约是前者的 5 倍,但建成时

间相差不到 50 年。



图 1-18 日本多多罗大桥

2004 年建成通车的法国米约高架桥(见图 1-19)全长 2 460 m,宽度达 32 m,桥塔总高达 343 m,是连接巴黎和地中海地区的重要纽带。2012 年完工的俄罗斯岛跨海大桥全长 3 150 m,跨径组合为 $60\text{ m}+72\text{ m}+3\times 84\text{ m}+1\ 104\text{ m}+3\times 84\text{ m}+72\text{ m}+60\text{ m}$,超过主跨达 1 088 m 的江苏苏通长江公路大桥,成为世界上跨径最大的斜拉桥。



图 1-19 法国米约高架桥

2011 年开工建设的英国福斯新桥(见图 1-20)为双索面中央布置的三塔斜拉桥,采用 $650\text{ m}+650\text{ m}$ 的主跨,跨越两个航道。该桥设计的独特之处在于主跨跨中将部分斜拉索交错锚固,以此方式约束中塔。

圬工拱桥在国外已有 100 多年的历史,1946 年在瑞典建成的绥依纳松特桥是一座混凝土圬工拱桥,跨度达 155 m。由于石料开采和加工砌筑的费用巨大,因此国外已很少修建大跨度石拱桥。

钢筋混凝土拱桥从 20 世纪初到 20 世纪 50 年代得到了很大的发展,后因支架问题而使其应用受到了一定的限制,直到 1979 年,南斯拉夫用无支架悬臂施工法建成了跨度达 390 m 的克尔克大桥(见图 1-21)。该桥的跨径保持了 18 年的世界纪录。



图 1-20 英国福斯新桥



图 1-21 南斯拉夫克尔克大桥

目前,世界上最高的钢拱桥是建于 1977 年的美国弗吉尼亚州的新河峡桥(见图 1-22),其主跨为 518 m,在水面之上的高度为 268 m。



图 1-22 美国新河峡桥

预应力技术的成熟促进了预应力混凝土梁桥的迅速发展。1977 年,奥地利建成了跨径达 76 m 的阿尔姆桥,该桥通过在梁的下缘张拉和在上缘顶压预应力(双预应力)将梁高降至 2.5 m,高跨比仅为 1/30。

目前,世界上跨度最大的预应力混凝土连续梁桥是 1994 年建成的挪威伐罗德桥(计算跨径为 260 m),跨度最大的连续刚构桥是 1998 年建成的挪威斯脱麦桥(计算跨径为 201 m),跨度最大的斜腿刚架桥是 1974 年建成的法国博诺姆桥(计算跨径为 186.3 m)。

1.3 桥梁的基本组成与分类

1.3.1 桥梁的基本组成

概括地说,桥梁由四个基本部分组成,即上部结构、下部结构、支座和附属设施。图 1-23 所示为一座梁桥的概貌。

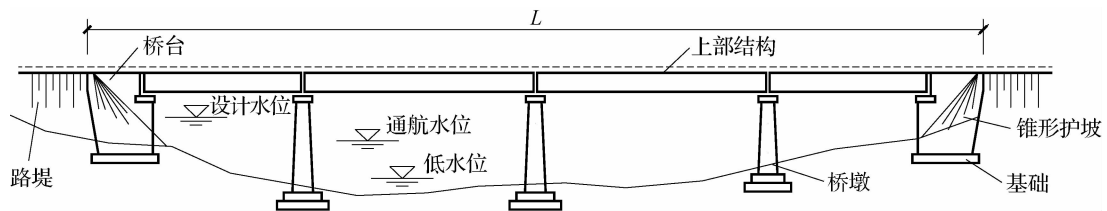


图 1-23 梁桥的概貌

1. 上部结构

上部结构是在线路中断时跨越障碍的主要承重结构,是桥梁支座以上(无铰拱起拱线或刚架主梁底线以上)跨越桥孔的总称。跨越幅度越大,上部结构的构造也就越复杂,施工难度也会相应增加。

2. 下部结构

下部结构包括桥墩、桥台和基础。

桥墩和桥台是支承上部结构并将其传来的恒载和车辆等活载传至基础的结构物。通常,设置在桥两端的称为桥台,设置在桥中间部分的称为桥墩。桥台除具有上述作用外,还与路堤相衔接,并抵御路堤土压力,防止路堤填土的坍落。单孔桥只有两端的桥台,而没有中间的桥墩。

桥墩和桥台底部的奠基部分,称为基础。基础承担了从桥墩和桥台传来的全部荷载,这些荷载包括竖向荷载及地震力、船舶撞击墩身等引起的水平荷载。由于基础往往深埋于水下地基中,因此在桥梁施工中是难度较大的一个部分,也是确保桥梁安全的关键之一。

3. 支座

支座是设在墩(台)顶,用于支承上部结构的传力装置。它不仅要传递很大的荷载,

而且要保证上部结构按设计要求产生一定的变位。

4. 附属设施

附属设施包括桥面系、伸缩缝、桥梁与路堤衔接处的桥头搭板和锥形护坡等。

1.3.2 与桥梁有关的名词术语

河流中的水位是变动的,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设计洪水频率计算所得的高水位(很多情况下是推算水位),称为设计洪水位。在各级航道中,能保持船舶正常航行时的水位,称为通航水位。

(1)净跨径。对于设支座的桥梁,净跨径为相邻两墩、台身顶内缘之间的水平净距;对于不设支座的桥梁,净跨径为上、下部结构相交处内缘间的水平净距,用 l_0 表示。

(2)总跨径。总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径的总和 $\sum l_0$,它反映了桥下宣泄洪水的能力。

(3)计算跨径。对于设支座的桥梁,计算跨径为相邻支座中心的水平距离;对于不设支座的桥梁(如拱桥、刚构桥等),计算跨径为上、下部结构的相交面中心间的水平距离,用 l 表示。梁结构的力学计算是以 l 为准的。

(4)桥梁全长。桥梁全长简称桥长。对于有桥台的桥梁,桥长为两岸桥台翼墙尾端间的距离;对于无桥台的桥梁,桥长为桥面系行车道长度,用 L 表示(见图 1-23)。

(5)桥下净空。桥下净空是为满足通航(或行车、行人)的需要和保证桥梁安全而对上部结构底缘以下规定的空间界限。

(6)桥梁建筑高度和容许建筑高度。桥梁建筑高度是上部结构底缘至桥面顶面的垂直距离,用 h 表示。线路定线中所确定的桥面标高与通航(或桥下通车、人)净空界限顶部标高之差,称为容许建筑高度。显然,桥梁建筑高度不得大于容许建筑高度。为控制桥梁建筑高度,可以通过在桥面以上布置结构(如斜拉桥、悬索桥、中承式拱桥、下承式拱桥等)的方式加以解决。

(7)桥面净空。桥面净空是桥梁行车道、人行道上应保持的空间界限。公路、铁路和城市桥梁对桥面净空都有相应的规定。

1.3.3 桥梁的分类

1. 桥梁的基本体系分类

桥梁构件的受力无非是拉、压和弯三种主要方式,因而桥梁的基本体系可以分为梁、拱和吊等体系及它们之间的组合。

(1)梁式桥梁。梁式体系是一种古老的结构体系。梁在竖向荷载作用下无水平反力,作为承重结构是以它的抗弯能力来承受荷载的,如图 1-24 所示。梁可分为简支梁、悬臂梁和连续梁等。其中,悬臂梁和连续梁都是利用支座上的卸载弯矩来减少跨中弯矩的,可使梁跨内的内力分配更加合理,以同等抗弯能力的构件断面就可建成更大跨径的

桥梁。预应力混凝土梁式体系的桥梁应用甚广,简支梁的最大跨径已达 76 m,连续梁的最大跨径已近 260 m。

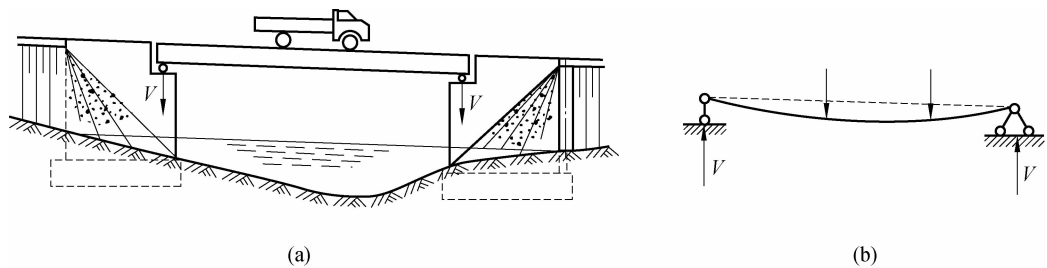


图 1-24 梁式桥梁

(2)拱式体系桥梁。拱式体系的主要承重结构是拱肋(或拱圈),以承压为主,在竖向荷载作用下,桥墩或桥台有水平推力。由于这种水平推力可以显著抵消荷载在拱圈中产生的弯矩效应,因此拱式体系桥梁的跨径相对梁式桥梁来说可以增大很多。由于拱桥以承压为主,因此通常可以采用抗压能力强的圬工材料(石、混凝土与钢筋混凝土)来修建,如图 1-25 所示。

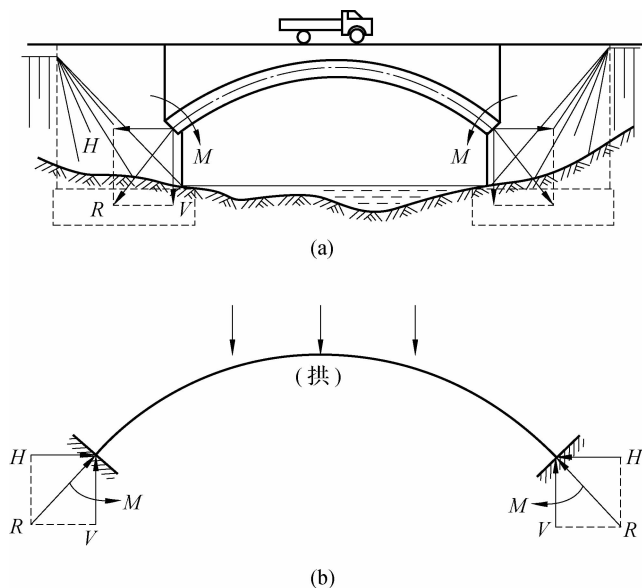


图 1-25 拱式体系桥梁

H —水平推力; M —弯矩; V —竖向反力; R —拱脚推力

20 世纪 50 年代以后,预应力混凝土桥梁的发展使得拱桥因施工费工、费料、费时而失去竞争能力。20 世纪 60 年代以后,拱桥因采用了悬臂施工法而获得了新的发展,最大跨径已达 420 m。

(3)刚架桥。刚架桥是介于梁与拱之间的一种结构体系。它是由受弯的上部梁(或板)结构与承压的下部柱(或墩)整体结合在一起的结构,如图 1-26 所示。由于梁与柱的

刚性连接,梁因柱的抗弯刚度而受到卸载作用,因而整个体系既是压弯结构,也是有推力的结构。刚架分直腿刚架和斜腿刚架。刚架桥的桥下净空比拱桥大,在同样净空要求下可修建较小的跨径。刚架桥的施工较复杂,一般用于跨径不大的城市或公路的高架桥和立交桥。近年来,随着预应力混凝土结构和悬臂施工法的采用,使得刚架桥也成为城市跨河桥的一种选择,刚架桥的最大跨径已近 300 m。

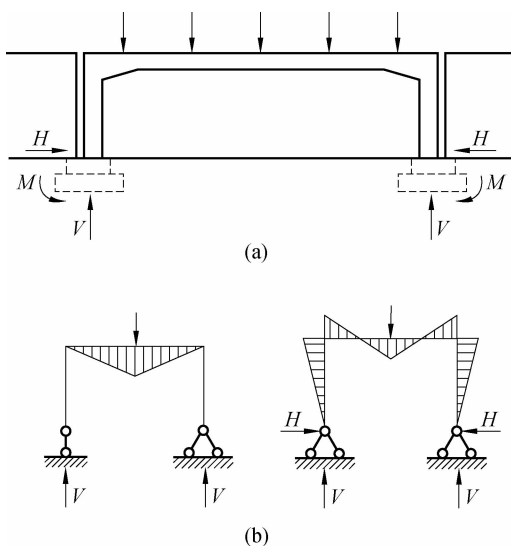


图 1-26 刚架桥

(4) 缆索承重体系。

①斜拉桥。斜拉桥由塔柱、主梁和斜拉索组成,如图 1-27 所示。斜拉桥的基本受力特点是:受拉的斜拉索将主梁多点吊起,同时将恒活载传给塔柱,再通过塔柱基础传给地基。由于主梁近似为多跨弹性支承连续梁,因此其内弯矩大大减小;同时斜拉索水平分力的作用使得主梁截面偏心受压。塔柱基本上以受压为主,斜拉索以受拉为主。20 世纪 50 年代初,联邦德国首先修建了钢斜拉桥。这种体系发展很快,最大跨径已达 1 088 m。预应力混凝土斜拉桥是近几十年里发展起来的,其最大跨径已达 530 m。

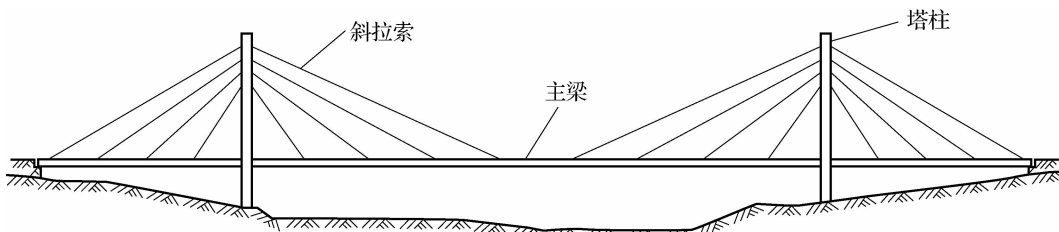


图 1-27 斜拉桥

②悬索桥。悬索桥(或吊桥)用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构,在竖向荷载的作用下通过吊杆使缆索承受很大的拉力,因此通常需要在两岸桥台的后方修筑巨大的锚碇结构,如图 1-28 所示。悬索桥也是具有水平反力的结构。现代悬索桥充分

发挥了高强钢缆的抗拉性能,其承重结构自重较轻,能以较小的建筑高度跨越其他桥型无法跨越的特大跨度,目前最大跨径已大 1 991 m。

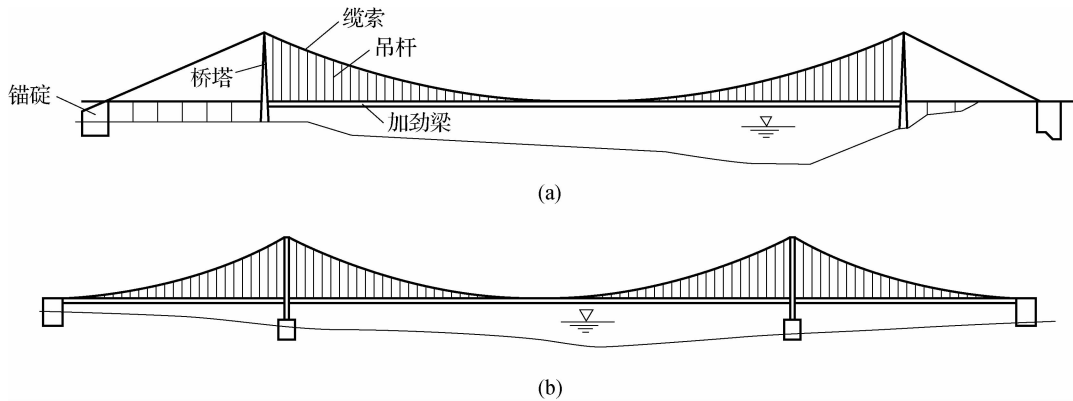


图 1-28 悬索桥

(a)单跨式悬索桥 (b)三跨式悬索桥

2. 桥梁的其他分类

(1)按桥梁的用途划分。桥梁按用途可分为公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农桥、人行桥、运水桥(渡槽)及其他专用桥梁(如通过管路、电缆等)。

(2)按桥梁总长和跨径划分。我国《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)规定了特大、大、中、小桥按总长和跨径划分的标准,如下表所示。

表 桥梁按总长和跨径分类

桥梁分类	多孔跨径总长 L/m	单孔跨径 L_k/m
特大桥	$L \geq 1\ 000$	$L_k > 150$
大桥	$100 \leq L < 1\ 000$	$40 \leq L_k \leq 150$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq L_k < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq L_k < 20$

注 1:单孔跨径系指标准跨径。

注 2:梁桥、板式桥的多孔跨径总长为多孔标准跨径的总长,拱式桥为两端桥台内起拱线间的距离,其他形式桥梁为桥面系车道长度。

注 3:标准跨径,梁桥、板式桥以两桥墩中线间距离或桥墩中线与台背前缘间距为准,拱式桥以净跨径为准。

注意:上述分类在一定程度上反映了桥梁的建设规模,但不反映桥梁的复杂性。国际上一般认为单孔跨径小于 150 m 的属于中、小桥,大于 150 m 的即为大桥。而特大桥的起点跨径与桥型有关,悬索桥为 1 000 m,斜拉桥和钢拱桥为 500 m,其他桥型为 300 m。

(3)按主要承重结构所用的材料划分。桥梁按主要承重结构所用的材料可分为木桥、钢桥、圬工桥(包括砖、石、混凝土桥)、钢筋混凝土桥和预应力混凝土桥。木材易腐而且资源有限,除少数临时性桥梁采用木桥外,一般不采用木桥。在工程建设中,采用最广

泛的是混凝土桥(包括钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥和圬工拱桥)。

(4)按跨越障碍物的性质划分。桥梁按跨越障碍物的性质可分为跨河桥、跨线桥、高架桥、栈桥等。

(5)按平面位置划分。桥梁按平面位置可分为正交桥、斜交桥和弯桥。

(6)按上部结构行车道的位置划分。桥梁按上部结构行车道的位置可分为上承式桥、中承式桥和下承式桥,如图 1-29 所示。

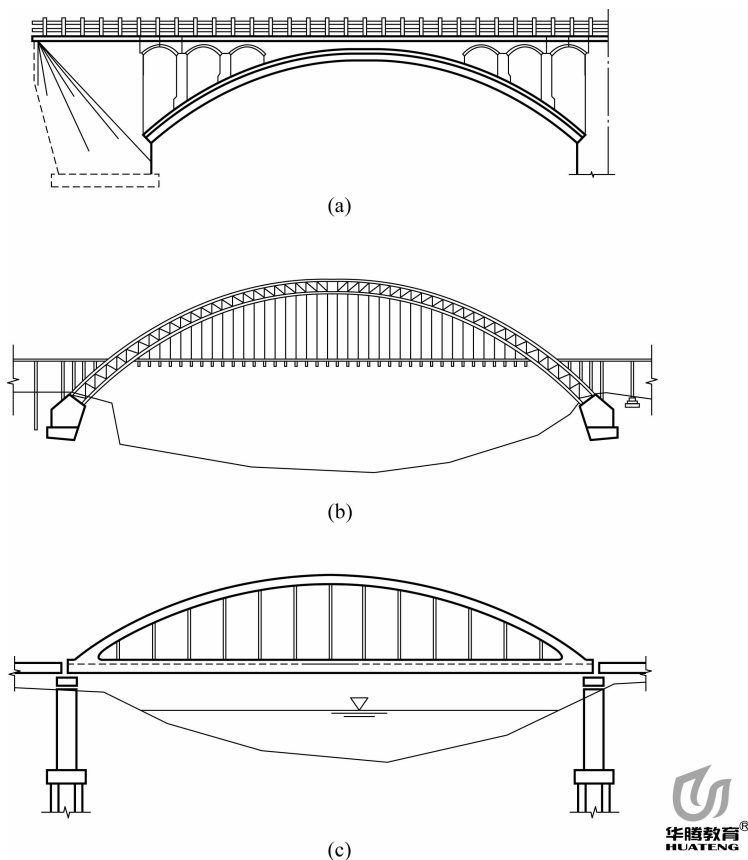


图 1-29 桥梁按上部结构行车道的位置分类
(a)上承式桥 (b)中承式桥 (c)下承式桥

(7)按桥梁的可移动性划分。桥梁按其可移动性可分为固定桥和活动桥(开启桥、浮桥、旋转桥等)。

(8)按施工方法划分。桥梁按施工方法可分为整体式桥梁和预制装配式桥梁。前者是先在桥位上搭脚手架、立模板,然后现浇成整体式的桥梁结构;后者是先在工厂预制各种构件,然后运输、吊装就位、拼装成整体桥梁结构,或在桥位上采用现代先进施工方法逐段现浇成整体桥梁结构。

1.4 桥梁的总体规划与设计程序

1.4.1 桥梁的总体规划

桥梁设计应遵循安全、耐久、适用、环保、经济和美观的原则。

由于桥梁是道路工程的一个组成部分,因而桥梁设计一般应符合路线布设的规定,桥梁在功能上的各项技术指标也应符合路线的要求。

1. 桥梁设计的基本要求

(1)结构尺寸和构造上的要求。桥梁作为一个永久性的工程结构物,它的整体及内部的各个构件在施工和使用过程中都应具有足够的强度、刚度、稳定性和耐久性。桥梁各项结构的技术指标必须满足相应规范的规定。强度要求就是指桥梁的所有构件及连接构造的承载力要具有足够的安全储备。刚度要求就是指桥梁在荷载作用下的变形应控制在允许范围之内。稳定性要求就是指桥梁结构在各种外力作用下具有能保持原来形状和位置的能力,如桥梁的墩台或挡土墙等整体不致倾覆或滑移,受压杆件不致引起压杆失稳等。耐久性要求就是确保桥梁结构在100年设计寿命期内其各项技术指标(如钢材的腐蚀,构件材料的疲劳、老化等)能长期符合设计的要求。公路桥涵主体结构和可更换部件的设计使用年限不应低于《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)的规定。

(2)使用上的要求。桥上的行车道与人行道的宽度应保证车辆和人群的安全通行,并应满足交通量增长的需要;桥上纵坡不宜过大;弯桥应按规范设置超高;桥面排水设施应完善;桥下净空应满足泄洪、通航或通车等的要求,并便于桥梁在建成后的检查和维修,按照可到达、可检查、可维修和可更换的要求进行设计。

(3)施工上的要求。桥型方案的设计应同时考虑施工的方便和经济,应尽可能采用先进的工艺、技术和施工机械,以利于加快施工速度,保证工程质量和施工安全。

(4)环境保护和可持续发展的要求。公路建设离不开环境和资源的支撑,桥梁设计应考虑环境保护和可持续发展的要求,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,并建立环境检测保护体系,将不利影响减至最小。桥梁施工完成后,对两头植被进行恢复或进一步美化桥梁周边的景观,也属于环境保护的内容。

(5)经济上的要求。桥梁设计应体现出经济特性,在设计阶段必须进行详细周密的技术经济比较,最经济的方案应该是总造价及今后可预期的维护费用之和为最少的方案。

要体现经济上的合理性,桥梁设计必须遵循因地制宜、就地取材、施工方便的原则,选用适当的桥型和施工方法。此外,对于通车要求紧迫的情况,采用施工工期短的桥梁方案,提早通车,这将给经济和社会影响带来很大的效益。

(6)美学和外观上的要求。对美的追求是人类的共性,因此每一座桥梁都应具有优美的外形。为达到这一目的,结构布置必须精练,并在空间上有和谐的比例。桥型应与

周围环境相协调,对于城市桥梁和游览地区的桥梁,可较多地考虑建筑艺术上的要求。对于特别重要的桥梁,还应做景观设计,即仔细推敲桥梁的色彩和灯饰,对重要构造做艺术造型设计,并对桥梁周边环境进行美学创造和景观资源开发。

除满足上述基本要求外,因桥梁建设与当地的社会、经济、文化和人民生活密切相关,故进行桥梁设计时应适当考虑当地的需要,如考虑农田排灌的需要;对靠近村镇、城市、铁路及水利设施的桥梁,应结合各有关方面的要求,适当考虑综合利用。

2. 野外勘测与调查研究工作

桥梁的规划设计涉及的因素很多,必须充分地进行调查研究,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方案,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与调查研究工作。

跨越河流的桥梁的野外勘测与调查研究工作一般包括以下几方面的内容:

(1)调查研究桥梁的具体任务。桥上的交通种类及要求,如车辆的荷载等级、实际交通量和增长率、需要的车道数目或行车道的宽度及人行道的要求等。

(2)选择桥位。一般来说,大、中桥桥位的选择,原则上应服从路线的总方向,并与路桥综合考虑,一般应选择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。一方面,从整个路线或路线网来看,既要力求降低桥梁的建筑和养护费用,又要避免或减少因车辆绕道而增加的运输费用。另一方面,从桥梁本身的经济性和稳定性出发,应尽量选择建在河道顺直、水流稳定、河面较窄、地质良好、冲刷较少的河段上,以降低造价和养护费用,并防止因冲刷过大而发生桥梁倒塌的危险。此外,一般应尽量避免桥梁与河流斜交,以免增加桥梁的长度而提高造价。

小桥涵的位置应服从路线走向,当遇到不利的地形、地质和水文条件时,应采取适当的技术措施加以改善。

(3)测量桥位附近的地形,并绘制地形图,以供设计和施工时使用。

(4)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,以作为基础设计的重要依据。为使地质资料更加接近实际情况,可以根据初步拟订的桥梁分孔方案将钻孔布置在墩台附近。

(5)调查和测量河流的水文情况,为确定桥梁的桥面标高、跨径和基础埋置深度提供依据,其内容如下:

①调查了解河道性质。了解河道是静水河还是流水河,有无潮水,河床及两岸的冲刷和淤积情况,以及河道的自然变迁和人工规划的情况。北方地区还要了解季节河的具体性质。

②测量桥位处的河床断面。

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测量河床比降,调查河槽各部分的形态标高和粗糙率等;计算流速、流量等有关数据,通过计算确定设计水位下的平均流速和流量;结合河道性质确定桥梁所需要的最小总跨径;选择通航孔的位置和墩台基础形式及埋置深度。

⑤向航运部门了解及协商确定设计通航水位和通航净空,根据通航要求和设计洪水

位确定桥梁的分孔跨径及桥跨底缘设计标高。

(6)调查了解其他与建桥有关的情况,如当地建筑材料(砂、石料等)的来源,水泥、钢材的供应情况。

①调查附近旧桥的使用情况,有关部门和当地群众对新桥有无特殊要求,如桥上是否需要铺设电缆或输水、输气管道等。

②施工场地的情况,是否需要占用农田,桥头是否有需要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。

③当时及附近的运输条件,这些对施工的顺利进行影响很大。

④桥梁施工机械、动力设备与电力供应的情况,这些会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,有的需要交错进行。例如,为进行桥位地形测量、地质钻探和水文调查,需要先有桥位或比较桥位,为选择桥位又需要有一定的地形、地质和水文资料等。

根据调查、勘测所得的资料拟订出几个不同的桥梁方案。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,然后从中选出最合理的桥梁方案。

3. 桥梁纵断面设计

桥梁纵断面设计包括桥梁总跨径的确定、桥梁的分孔布置、桥面标高和桥下净空的确定、桥面纵坡的确定等。

(1)桥梁总跨径的确定。桥梁的总跨径一般根据水文计算来确定。由于桥梁墩台和桥头路堤压缩了河床,使桥下过水断面减小,流速加大,引起河床冲刷,因此桥梁的总跨径必须保证桥下有足够的排洪面积,使河床不产生过大的冲刷,但为了使总跨径不致过大而增加桥梁的总长度,同时又要允许有一定的冲刷。因此,桥梁的总跨径不能机械地根据计算和规定冲刷系数来确定,而必须按具体情况分别对待。例如,当桥梁墩台基础埋置较浅时,桥梁的总跨径应大一些,可接近于洪水泛滥宽度,以避免河床过多冲刷所引起的桥梁破坏;对于深基础,由于其允许较大冲刷,因此可适当缩小桥下排洪面积,以减小桥梁总跨径。对于山区河流,因为其河床流速很大,所以应尽可能少压缩或不压缩河床,因为当桥头路堤和锥体护坡伸入河床时,将难以承受高流速引起的冲刷。平原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及附近农田和建筑物可能产生的危害。

(2)桥梁的分孔布置。桥梁的总跨径确定后,还需进一步进行分孔布置。对于一座较大的桥梁,应当分成几孔、各孔的跨径应当多大、有几个河中桥墩、哪些是通航孔、哪些不是通航孔,这些问题都要根据通航要求、地形和地质情况、水文情况及技术经济和美观的要求来解决。

桥梁的分孔关系到桥梁的造价。当跨径和孔数不同时,上部结构和墩台的总造价是不同的。跨径越大,孔数越少,上部结构的造价就越高,而墩台的造价就越低。最经济的跨径就是要使上部结构和墩台的总造价最低。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,桥梁的跨径就要选得大一些;反之,当桥墩较矮或地质较好时,桥梁的跨径可选得小一些。在实际工作中可对不同的跨径布置方案进行比较,以选择出最

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按通航净宽来确定,其余的桥孔跨径选用经济跨径。但对于变迁性河流,考虑到航道可能发生变化,因此可多设几个通航孔。

实际上,桥梁分孔是一个非常复杂的问题,各种各样的条件和要求往往互相制约。例如,对于跨径在 100 m 以下的公路桥梁,为了尽可能使其符合标准跨径,不得不放弃采用按经济要求确定的孔径;从备战要求出发,需要将全桥各孔的跨径做成一样的,并且跨径不能太大,以便于抢修和互换;有时因为工期很紧,需要减少水下工程,故而要减少桥墩数量、加大跨径。

为了保证结构受力合理和用材经济,对有些桥梁体系进行分跨布置时要考虑合理的跨径比例,如边跨与中跨的比例。

在有些情况下,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。

跨径的选择还与施工能力有关,有时选用较大的跨径虽然在技术上和经济上是合理的,但由于缺乏足够的施工技术能力和机械设备,也不得不放弃而改用较小跨径。

总之,对于大、中桥来说,分孔问题是设计中最基本、最复杂的问题,只有对其进行深入、全面的分析,才能拟订出比较完美的桥梁方案。

(3) 桥面标高和桥下净空的确定。桥面的标高或在路线纵断面设计中已经规定,或需要根据设计洪水位和桥下通航需要的净空来确定。

对于非通航河流,梁底一般应高出设计洪水位(包括壅水和浪高)不小于 0.5 m,高出最高流冰水位不小于 0.75 m;支座底面应高出设计洪水位不小于 0.25 m,高出最高流冰水位不小于 0.5 m,如图 1-30 所示。对于无铰拱桥,拱脚允许被设计洪水位淹没,但一般不超过拱圈矢高的 2/3;拱顶底面至设计洪水位的净高不小于 1.0 m。对于有漂流物和流冰阻塞及易淤积的河床,桥下净空应按不同情况适当加高。

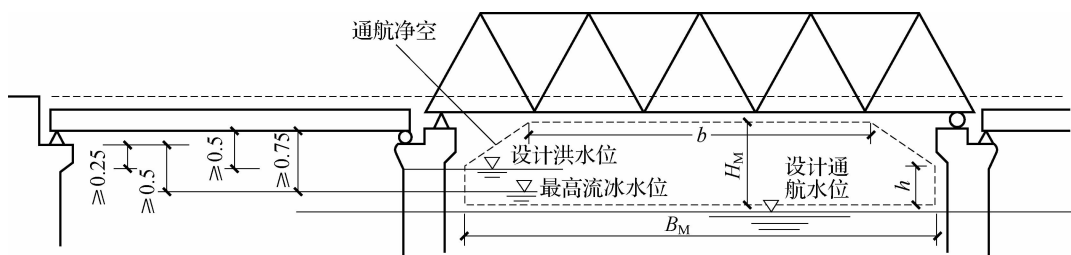


图 1-30 桥梁的纵断面(尺寸单位:m)

b —上底宽; B_M —净宽; h —侧高; H_M —净高

在通航及通行木筏的河流上、桥跨结构之下,自设计通航水位算起,应能满足通航净空的要求,具体参见《内河通航标准》(GB 50139—2014)。

(4) 桥面纵坡的确定。当桥梁受到两岸地形限制时,允许修建坡桥,但大、中桥的桥面纵坡不宜大于 4%,位于市镇混合交通繁忙处的桥梁的桥面纵坡不得大于 3%。

4. 桥梁横断面设计

桥梁的宽度取决于桥上交通的需要。具体来说,桥梁上的桥面净空限界、车道数量、单车道宽度、桥面的组成宽度在一般情况下应按照《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)的规定进行设计。

在高速公路、一级公路上,一般以建上、下行两座独立桥梁为宜。各级公路上的涵洞和二、三、四级公路上跨径小于8 m的单孔小桥的桥面宽度,应与路基同宽。城市桥梁或城市交通的公路桥,其桥面宽度应考虑到城市交通工程的规划要求予以适当加宽。

弯道上的桥梁,应接路线要求予以加宽和设置超高。

桥上人行道和自行车道的设置应根据需要而定,并与前、后路线布置配合。自行车道与行车道之间,必要时应设适当的分隔设施。人行道的宽度取0.75 m或1.0 m,大于1.0 m的可按0.5 m的倍数增加。不设人行道的桥梁,可设置栏杆和安全带。与路基同宽的小桥和涵洞可仅设缘石或栏杆。

5. 桥梁平面布置

桥梁的线形及桥头的引道要保持平顺,使车辆能平稳地通过。

小桥涵的线形及其与公路的衔接,可按路线的要求布置。大、中桥梁的线形一般为直线;当桥面受到两岸地形限制时,允许修建曲线桥,曲线的各项指标应符合路线的要求;也允许修建斜桥,其斜度一般不大于 45° ,对于通航河流不宜大于 5° (桥墩沿水流方向的轴线与通航水位的主流方向交角)。

1.4.2 桥梁的设计程序

设计工作是桥梁建设的灵魂。对于小桥的设计,除应满足线路走向的要求外,还应充分考虑桥下泄洪、通航或通车的要求。小桥应尽可能采用标准设计,以提高效率和规避风险。

对于大、中桥的设计,特别是跨度大或技术复杂的桥梁设计,为了能在错综复杂的客观条件基础上遴选出经济、适用、美观的设计方案,就需要按照国家基本建设程序的要求循序渐进,逐步深入地开展工作。一座大型桥梁的完整设计工作分为前期工作阶段和设计工作阶段。前者又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。后者则分为初步设计、技术设计和施工图设计三个阶段。各个阶段所包含的内容、深度、目的和解决的问题是不同的。由于桥梁在其全寿命周期内将面临诸多风险源,因此在设计阶段还应按照相关规定进行风险评估。

1. 前期工作阶段

(1)“预可”阶段。“预可”阶段着重研究建桥的必要性及宏观经济上的合理性。

在“预可”阶段研究形成的《预工程可行性研究报告》(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及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)的车流量调查报告(计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,对工程造价、资金来源、投资回报等问题进行初步的估算和设想。

设计方将《预可报告》交给业主后,由业主据此编制《项目建议书》,并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,可着手开展“工可”阶段的工作,这一阶段应着重研究和制定桥梁的技术标准,包括设计荷载标准,桥面宽度,通航标准,设计车速,桥面纵坡及桥面平、纵曲线半径等。在这一阶段应与河道、航运、规划等部门共同研究、协商确定相关的技术标准,并进行环境和地震评价。

在“工可”阶段应提出多个桥型方案,并按《公路工程基本建设项目投资估算编制办法》(JTJ M20—2011)的规定估算造价,对资金来源和投资回报等问题进行初步的落实。

2. 设计工作阶段

(1)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、初勘或定测、详勘资料进行编制。

初步设计的目的是确定设计方案,并通过多个桥型方案的比较选出最优方案,报上级主管部门审批。在编制桥型方案时,应提供平、纵、横布置图,标明主要尺寸和计算结果(内力、应力)并估算工程数量和主要材料数量,提出对施工方案的意见,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,将成为施工准备、编制施工图设计文件和控制建设项目投资等的依据。

(2)技术设计。对于技术复杂的特大桥、互通式立交或新型桥梁结构,应根据初步设计的批复意见和测设合同的要求,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的总体和细部各种技术问题及施工方案,并修正工程概算。

(3)施工图设计。两阶段(或三阶段)施工图设计应根据初步设计(或技术设计)的批复意见和测设合同,进一步对所审定的修建原则、设计方案、技术决定加以具体和深化。在此阶段,必须对桥梁的各种构件进行详细的结构计算,确保强度、稳定性、刚度、裂缝、构造等各种技术指标满足规范的要求,并绘制出施工详图,列出文字说明及施工组织计划,编制施工图预算。

国内一般的(常规的)桥梁采用两阶段设计,即初步设计和施工图设计;对于技术简单、方案明确的小桥,可采用一阶段设计,即施工图设计。

1.4.3 桥梁设计方案的筛选

俗话说,设计是工程的灵魂,方案是设计的灵魂。为了获得经济、适用和美观的桥梁设计方案,设计者必须根据自然、技术上的各种条件因地制宜,在综合应用专业知识及了解并掌握国内外新技术、新材料、新工艺的基础上,进行深入、细致的研究分析和对比,科学地得出完美的设计方案。

桥梁设计方案的比选和确定可按下列步骤进行:

(1)明确各种标高的要求。在桥位纵断面图上,先按比例测绘出设计通航水位、堤顶



标高、桥面标高、通航净空、堤顶行车净空。

(2)桥梁分孔和初拟桥型方案草图。在确定了的各种标高的纵断面图上,根据泄洪总跨径的要求作桥梁分孔和桥型方案草图。作草图时思路要宽广,只要基本可行,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。对方案草图做技术和经济上的初步分析、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的详细研究和比较。

(4)详绘桥型方案。根据不同的桥型、跨度、宽度和施工方法,确定桥梁的主要尺寸并尽可能细致地绘制出各个桥型方案的尺寸详图。对于新型桥梁结构,应做初步的力学分析,以准确拟订各种桥型方案的主要尺寸。

(5)编制估算或概算。依据桥型方案的详图可以计算出上、下部结构的主要工程量,然后依据各省、市或行业的估算定额或概算定额编制出各桥型方案的主要材料(钢、木、混凝土等)用量、劳动力数量和全桥总造价。

(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,最后推荐一个最优的方案。在深入比较的过程中,应当及时发现并调整方案中的不尽合理之处,以确保最后选定的方案是强中选强的方案。

上述工作全部完成之后应着手编写方案说明,在方案说明中应阐明方案编制的依据和标准,各方案的主要特点、施工方法、设计概算及方案比较的综合性评述;对于推荐方案应做详细的说明;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作为附件载入。

思考与练习

1. 简答题

- (1)简述桥梁的基本组成。
- (2)简述桥梁的基本分类。
- (3)简述桥梁的总体规划方法。
- (4)简述桥梁的设计程序。

2. 能力拓展题

构建桥梁总体设计方案。

桥梁通用构造

应用能力目标要点

- (1) 能够描述桥面的主要构造特点。
- (2) 能够进行梁桥的桥面构造设计。

2.1 桥面构造

桥面构造包括桥面(行车道、人行道)铺装、排水防水系统、人行道(或安全带)、缘石、栏杆等。图 2-1 为桥面的一般构造。

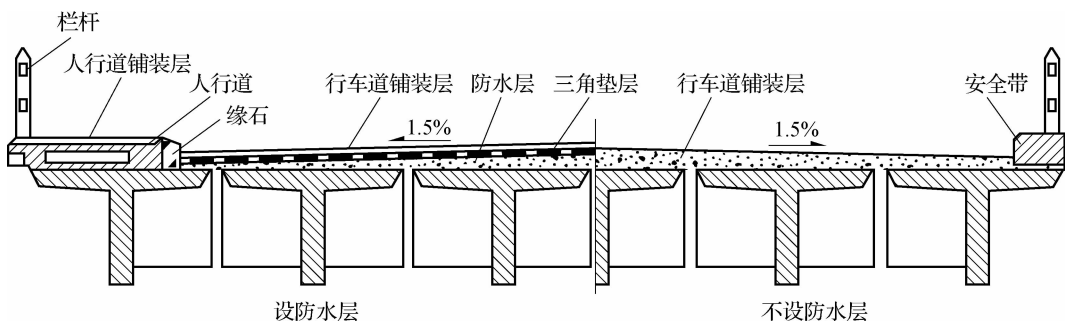


图 2-1 桥面的一般构造

桥面构造直接与车辆、行人接触,它对桥梁的主要结构起到保护作用,使桥梁能正常使用。同时,桥面构造多属外露部位,其选择是否合理、布置是否恰当,将直接影响桥梁的使用功能、布局 and 美观。由于桥面构造的工程量小,项目繁杂,在施工中又多在主体工程结束之后进行,因此往往在设计和施工中得不到应有的重视,从而造成桥梁使用中的弊病或过早地进行维修、养护,甚至会中断交通。因此,必须了解桥面构造各部件的工作性能,合理选择,认真设计,精心施工。

2.1.1 桥面布置

桥面布置应在桥梁的总体设计中考虑,应根据道路的等级、桥梁的宽度、行车的要求等条件确定。混凝土梁桥的桥面布置有双向车道布置、分车道布置和双层桥面布置等。

1. 双向车道布置

双向车道布置是指行车道的上下行交通布置在同一桥面上。在桥面上,上下行交通由画线分隔,没有明显的界线。桥梁上允许机动车与非机动车同时通过,同样用画线分隔。由于在桥梁上同时存在上下行车辆和机动车与非机动车,因此,车辆在桥梁上行驶的速度只能是中速或低速,对交通量较大的道路,桥梁往往会形成交通滞流状态。

2. 分车道布置

行车道的上下行交通在桥梁上按分隔设置式进行桥面布置,因而上下行交通互不干扰,可提高行车速度,便于交通管理。但是在桥面布置上要增加一些附属设施,桥面的宽度要相应地加宽。

分车道布置通常有以下几种情况:

- (1)在桥面上设置分隔带,用以分隔上下行车辆,如图 2-2(a)所示。
- (2)采用主梁分离式布置,在主梁中间设置分隔带,如图 2-2(b)所示。
- (3)采用分离式主梁,在两主梁之间的桥面上不加联系,各自实行单向交通,如图 2-2(c)所示。
- (4)通常也将机动车道与非机动车道分隔、行车道与人行道分隔。

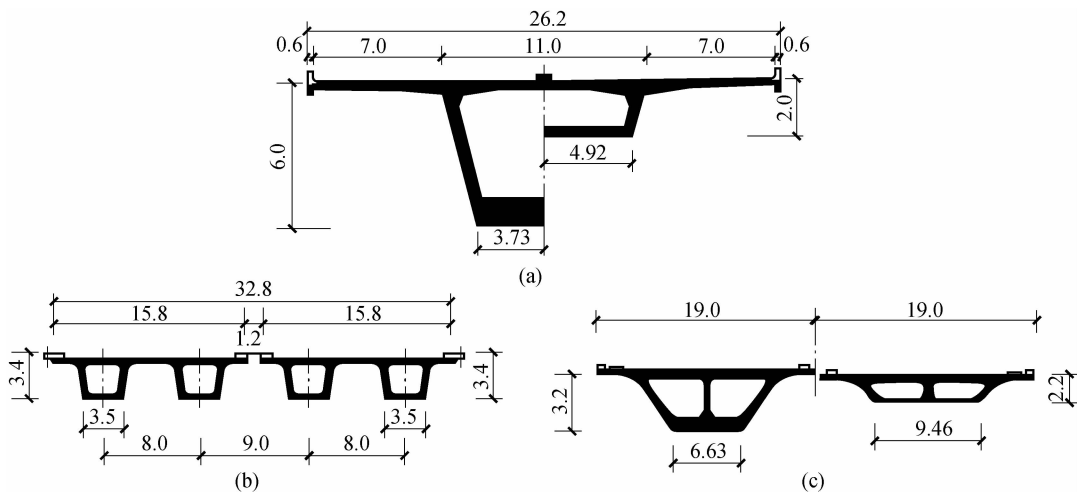


图 2-2 分车道的桥面布置(尺寸单位:m)

分隔带可以采用混凝土制作的护栏,也可采用缘石、钢杆或钢束(链)。图 2-3 为采用缘石将行车道与人行道分隔的构造。缘石与人行道板共同预制,每一块件的长 2.7 m,宽 3.2 m。缘石部分的宽 0.52 m,高 0.6 m。缘石能可靠地防止车辆冲越人行道。

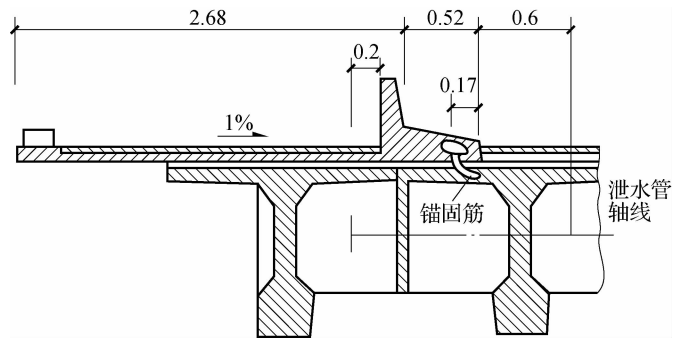


图 2-3 采用缘石将行车道与人行道分隔的构造(尺寸单位:m)

对于高速公路,分隔设施除起到分道行驶的作用外,还能有效地保护高速车辆在意外事故中不致损坏桥梁,避免车辆和人员发生安全事故。美国新泽西州公路局推广使用一种用混凝土制作的新泽西式护栏,其外形如图 2-4(a)所示。在一般情况下,当护栏受到车辆碰撞时,只有轮胎会与其接触,而车身不会接触到护栏,可以降低车辆的损坏程度。护栏可以预制或现浇制作。预制的护栏由钢链相连放在桥面上,并不需要特殊的基础或锚固。

钢制护栏的构造如图 2-4(b)所示。钢制护栏的立柱用盘状锚筋、垫板和螺栓锚固在梁的翼缘板上,以防止上拔。立柱的下方设有预定的断裂部位,这样,桥梁和翼板就不会在意外事故中被损坏。钢制护栏可设置在人行道或分隔带上,采用间隔布置,从而起到保护作用。

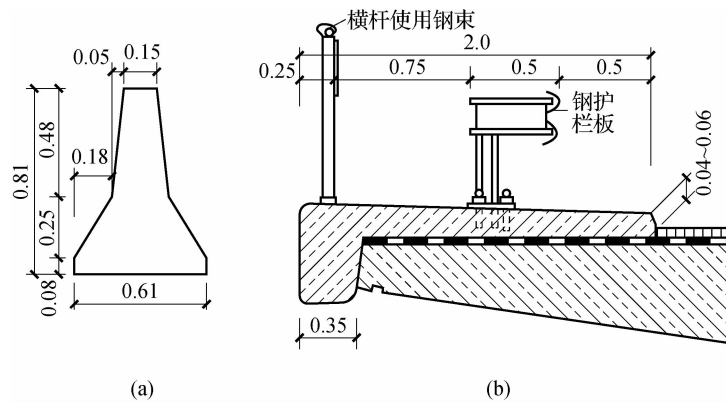


图 2-4 护栏(尺寸单位:m)

(a)新泽西式护栏的外形 (b)钢制护栏的构造

3. 双层桥面布置

双层桥面布置是桥梁结构在空间上可以提供两个不在同一平面上的桥面构造。钢桥采用双层桥面布置已很普遍,因为钢桥受力明确,在构造上也较易处理。混凝土梁桥采用双层桥面布置始于 20 世纪 60 年代,1965 年建造的委内瑞拉卡罗尼河桥是一座跨径

组合为 $4 \times 96 \text{ m} + 2 \times 48 \text{ m}$ 的预应力混凝土连续梁桥,它的上层为 10.3 m 宽的公路行车道,下层的人行道宽为 3.0 m ,设在箱梁底板挑出的悬臂板上,如图 2-5(a)所示。1980 年建成的奥地利维也纳帝国桥是一座多功能的预应力混凝土双层梁桥,如图 2-5(b)所示。该桥全长 864.5 m ,为 10 孔连续梁桥,梁高为 $5.5 \sim 8.8 \text{ m}$ 。它的上层桥面为公路六车道,箱梁内通行地下铁路,箱梁外悬臂板设有 $2 \times 3.5 \text{ m}$ 的人行道;并在位于新运河上的三孔设有地铁车站,在箱梁的腹板上开有 5 个椭圆空洞,人行道悬臂拓宽到 8 m 多。奥地利维也纳帝国桥的建成为混凝土箱梁桥的桥面布置开拓了新的前景。

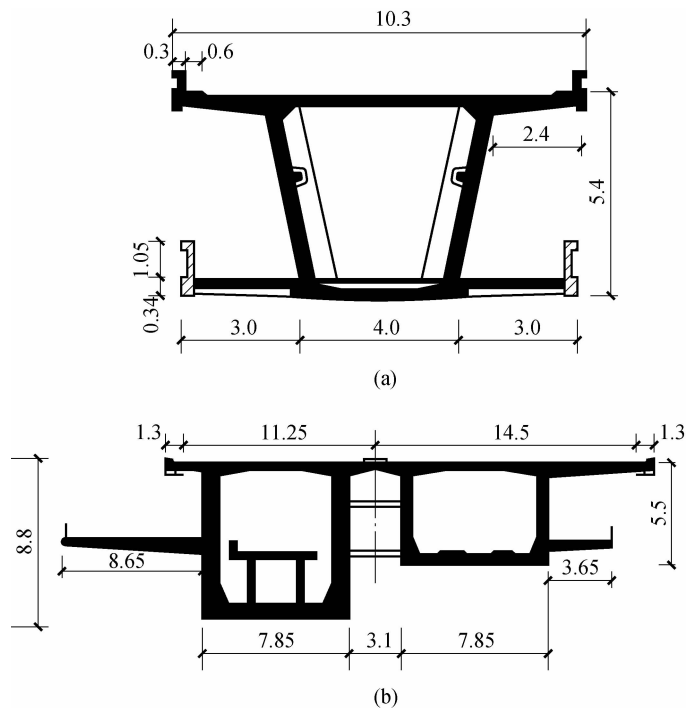


图 2-5 双层桥面布置实例(尺寸单位:m)

(a)委内瑞拉卡罗尼河桥的桥面布置 (b)奥地利维也纳帝国桥的桥面布置

双层桥面布置可以使不同的交通严格分道行驶,提高了车辆和行人的通行能力,便于交通管理;同时,可以充分利用桥梁净空,在满足同样交通要求的前提下,减小桥梁宽度,缩短引桥长度,达到较好的经济效益。

2.1.2 桥面铺装

1. 桥面铺装的作用

桥面铺装的作用是保护桥面板不受车辆轮胎(或履带)的直接磨耗,防止主梁遭受雨水的侵蚀,并能对车辆轮重的集中荷载起到一定的分布作用。

2. 桥面铺装的要求

桥面铺装要求具有抗车辙、行车舒适、抗滑、不透水和刚度好(与桥面板一起作用时)等特点。

3. 桥面铺装的类型

桥面铺装可采用沥青表面处治、水泥混凝土和沥青混凝土等类型。沥青表面处治桥面铺装的耐久性较差,仅在中级或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,应用较广。桥面铺装宜与公路路面相协调,并应与桥梁上部结构综合考虑、协调设计。

4. 桥面铺装的构造要求

(1)水泥混凝土桥面铺装。水泥混凝土桥面铺装直接铺设在防水层或桥面板上,铺装面层(不含整平层和垫层)的厚度不宜小于 80 mm,混凝土强度等级不应低于 C40,铺设时应避免二次成型。水泥混凝土桥面铺装层内应配置钢筋网,钢筋直径不应小于 8 mm,间距不宜大于 100 mm。

考虑到大桥和特大桥因结构体系的原因,其桥面板常受到拉、压应力的交替作用,所以为防止桥面铺装因参与受力而开裂,《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)推荐在高速公路和一、二级公路上的特大桥、大桥宜采用沥青混凝土桥面铺装。

(2)沥青混凝土桥面铺装。沥青混凝土桥面铺装宜由黏层、防水层、保护层及沥青面层组成,其总厚度宜为 60~100 mm,铺设方式分为单层式和双层式两种。高速公路、一级公路上桥梁的沥青混凝土桥面铺装为双层式,下层为 30~40 mm 的中粒式沥青混凝土整平层,表面层的厚度与级配类型可与相邻桥头引线相同,桥面铺装层的总厚度不宜小于 70 mm。多雨潮湿地区、纵坡大于 5%或设计车速大于 50 km/h 的大中型高架桥、立交桥的桥面应铺设抗滑表层。

沥青材料应采用重交通沥青或改性沥青。改性沥青混凝土是近年来国内开展研究和铺筑的高性能沥青混凝土材料,其具有抗滑、泌水、抗车辙、减少开裂等优点。

2.1.3 桥面纵、横坡的设置

桥面设置纵、横坡有利于雨水迅速排除,防止或减少雨水对铺装层的渗透,从而保护行车道板,延长桥梁的使用寿命。

1. 桥面纵坡的设置

桥面设置纵坡有利于排水,同时在平原地区还可以在满足桥下通航净空要求的前提下,降低墩台标高,减少桥头引道土方量,从而节省工程费用。桥面纵坡一般都做成双向纵坡,在桥中心设置曲线,纵坡一般以不超过 3%为宜。

2. 桥面横坡的设置

桥面横坡一般采用 1.5%~3%,通常有以下三种设置方法:

(1)对于板桥(矩形板或空心板)或就地浇筑的肋板式梁桥,为节省铺装材料并减轻恒载重量,可以将横坡直接设在墩台顶部,使桥梁上部构造呈双向倾斜,此时铺装层在整个桥宽上是等厚的,如图 2-6(a)所示。

(2)在装配式肋板式梁桥中,为使主梁构造简单、架设和拼装方便,通常横坡不再设在墩台顶部,而直接设在行车道板上。具体做法是: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 2-6(b)所示。

(3)在比较宽的桥梁(或城市桥梁)中用三角形垫层设置横坡,将使混凝土用量或恒载重量增加太多,为此,可将行车道板做成倾斜面而形成横坡,如图 2-6(c)所示。这种设置方法的缺点是主梁构造复杂,制作麻烦。

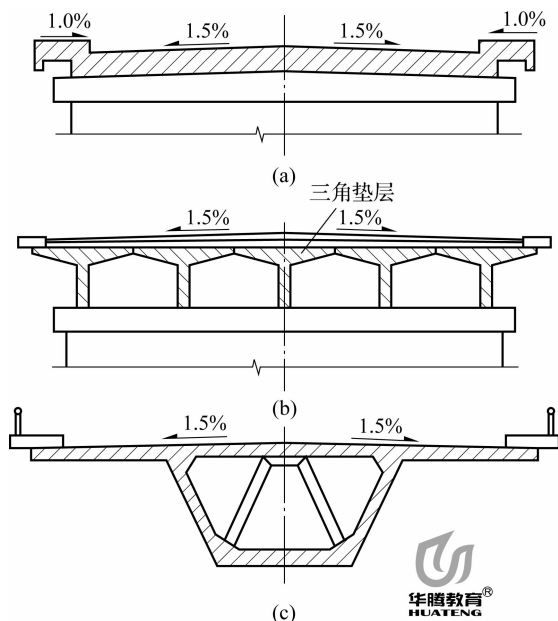


图 2-6 桥面横坡的设置方法

2.1.4 桥面防排水

为了保障桥面行车通畅、安全,防止桥面结构受降水侵蚀,应设置完善的桥面防水和排水设施。

1. 桥面防水

《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015)要求:对于防水程度要求高,或桥面板位于结构受拉区而可能出现裂纹的混凝土梁桥,应在铺装层内设置防水层,如图 2-7 所示。

防水层有以下三种类型:

- (1)沥青涂胶下封层,即洒布薄层沥青或改性沥青,其上布一层砂,经碾压形成。
- (2)高分子聚合物涂胶,如聚氨酯胶泥、环氧树脂、阳离子乳化沥青、氯丁胶乳等。

(3) 沥青或改性沥青防水卷材,以及浸透沥青的无纺土工布等。设计时应选用便于施工、坚固耐久、质量稳定的防水材料。为避免防水层在施工过程中被损坏,其上宜铺设厚度为 1 cm 的 AC-10 或 AC-5 沥青混凝土或单层表面处治。

当采用柔性防水层(卷材)时,为了增强桥面铺装的抗裂性,应在其上的混凝土铺装层或垫层中铺设 $\phi 3 \sim \phi 6$ 的钢筋网,网格尺寸为 $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm} \sim 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ 。无专门防水层时,应采用防水混凝土铺装或加强排水和养护。

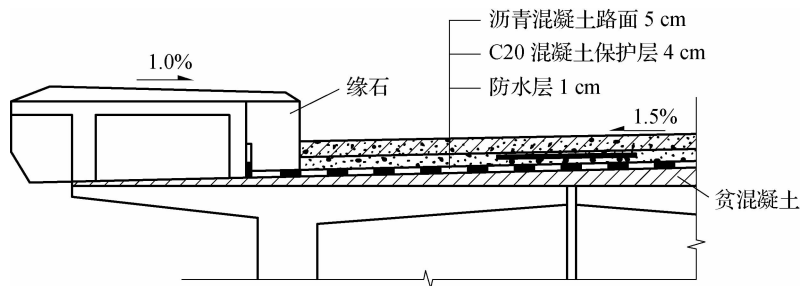


图 2-7 防水层的设置

2. 桥面排水

为了迅速排除桥面积水,防止雨水积滞于桥面并渗入梁体而影响桥梁的耐久性,在桥梁设计时要有一个完整的排水系统。在桥面上除设置纵、横坡排水外,常常需要设置一定数量的泄水管。

梁桥上常用的泄水管宜设置在桥面行车道边缘处,距离缘石 $10 \sim 50 \text{ cm}$,可以沿行车道两侧对称排列,也可交错排列,如图 2-8 所示。泄水管的间距应依据设计径流量计算确定,但最大间距不宜超过 20 m 。在桥梁伸缩缝的上游方向应增设泄水管,在凹形竖曲线的最低点及其前后 $3 \sim 5 \text{ m}$ 处也应各设置一根泄水管。桥面上泄水管的过水面积按每平方米桥面不少于 $2 \sim 3 \text{ cm}^2$ 布置。

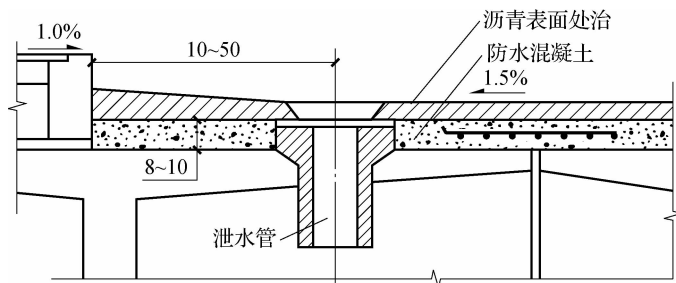


图 2-8 竖向泄水管的设置(尺寸单位:cm)

泄水管口可采用圆形或矩形。圆形泄水管口的直径宜为 $15 \sim 20 \text{ cm}$;矩形泄水管口的宽度宜为 $20 \sim 30 \text{ cm}$,长度为 $30 \sim 40 \text{ cm}$ 。泄水管口顶部采用铸铁格栅盖板,其顶面应比周围路面低 $5 \sim 10 \text{ mm}$ 。

泄水管常采用铸铁管,最小内径为 15 cm 。泄水管周围的桥面板应配置补强钢筋网。

对于跨越公路、铁路、通航河流的桥梁及城市桥梁,流入泄水管中的雨水应汇集在纵向排水管(或排水槽)内,并通过设在墩台处的竖向排水管(落水管)流入地面排水设施或河流中。对于跨越一般河流、水沟的桥梁,桥面水流入泄水管后可以直接向下排放。

排水管道的材料有铸铁管、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 20 cm 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 50 cm 以上。

2.2 伸缩缝

伸缩缝是指为适应材料胀缩变形对结构的影响,而在结构两端设置的间隙。桥梁伸缩装置是为使车辆平稳通过桥面并满足桥面变形的需要,而在桥面伸缩缝处设置的各种装置的总称。

桥梁伸缩装置的主要作用是满足桥梁上部结构在气温变化、活载作用、混凝土收缩与徐变等因素的影响下变形的需要,并保证车辆平稳地通过桥面。伸缩装置一般设在两梁端之间及梁端与桥台背墙之间。特别要注意的是,伸缩缝附近的栏杆、人行道结构也应断开,以满足梁体自由变形的需要。

桥梁伸缩装置的类型有 U 形镀锌铁皮伸缩装置、梳齿板式伸缩装置、橡胶伸缩装置等,目前多用橡胶伸缩装置。按照伸缩体结构的不同,伸缩量为 20~2 000 mm 的公路桥梁伸缩装置可分为异型钢单缝式、梳齿板式、橡胶式和模数式四种类型,其选型主要视桥梁变形量的大小和活载轮重而定。

图 2-9 为几种常用的桥梁伸缩装置的构造。图 2-9(a)为 U 形镀锌铁皮伸缩装置,一般多用于中、小跨径桥梁;图 2-9(b)为钢梳齿板形伸缩装置,其以钢板作为跨缝材料,其变形量可达 40 mm 以上,一般用于伸缩量不大于 300 mm 的公路桥梁;图 2-9(c)为矩形橡胶条形伸缩装置,当梁架好后,在端部焊好角钢,涂上胶后,再将橡胶嵌条强行嵌入,伸缩量为 20~50 mm;图 2-9(d)为德国毛勒伸缩装置的一种(模数式橡胶伸缩装置),密封橡胶条为鸟形构造,伸缩量为 80~1 040 mm。

桥梁伸缩装置暴露在大气中,直接经受车辆、人群荷载的反复摩擦和冲击作用,稍有缺陷或不足就会引起跳车等不良现象,严重时还会影响到桥梁结构本身和通行者的生命安全,是桥梁中最易损坏而又较难修缮的部位,需经常进行养护,并及时更换。

《公路桥涵设计通用规范》(JTJG D60—2015)规定,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为简支或部分连续体系,而在纵向水平力作用下属于连续体系。图 2-10 为简支梁桥四跨一联时的桥面连续构造。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上按 10 : 1 做成斜面,在进行桥面连续前先涂黄油再填 C30 混凝土。

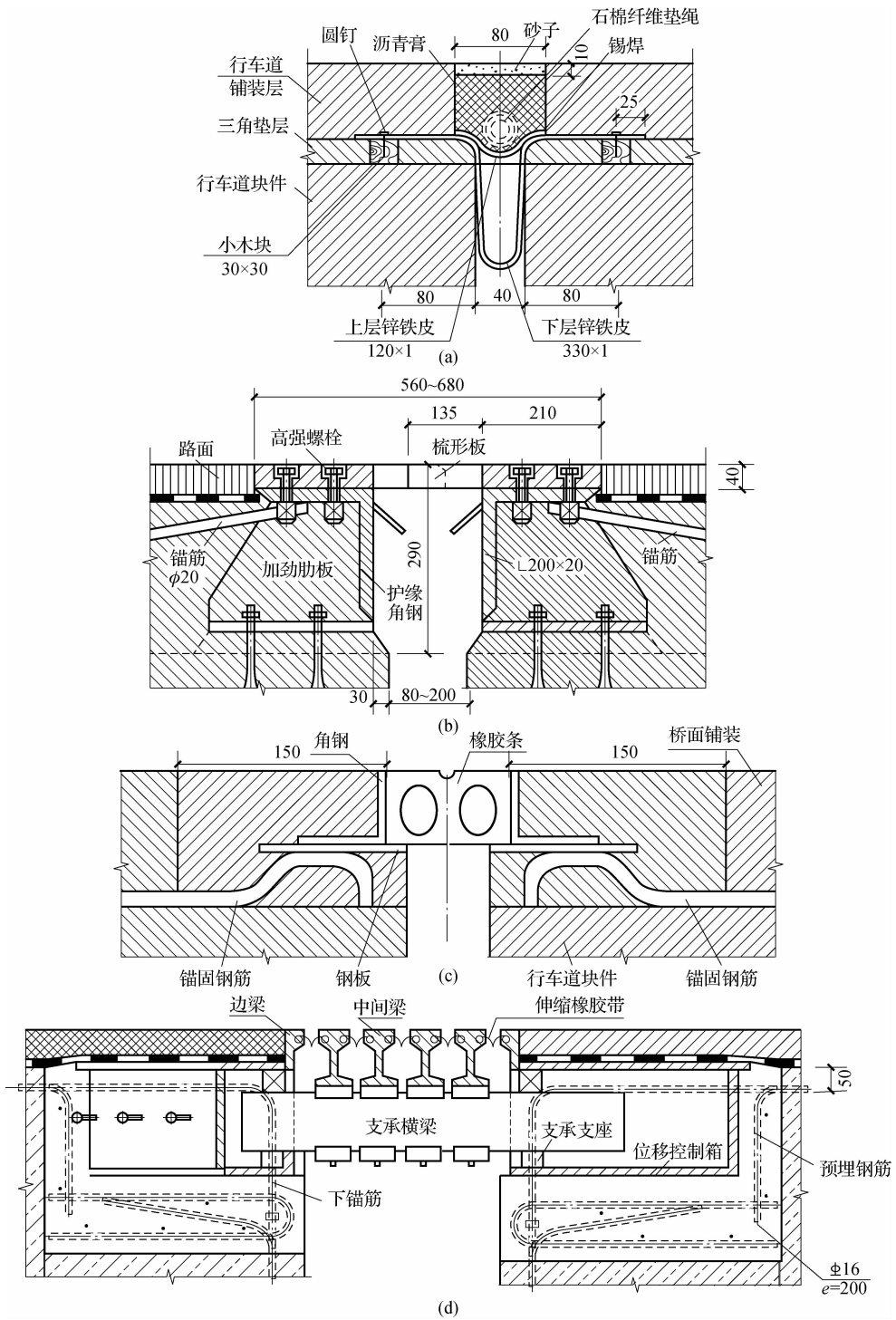


图 2-9 几种常用的桥梁伸缩装置的构造(尺寸单位:mm)

(a)U 形镀锌铁皮伸缩装置 (b)钢梳形板形伸缩装置 (c)矩形橡胶条形伸缩装置 (d)模数式橡胶伸缩装置

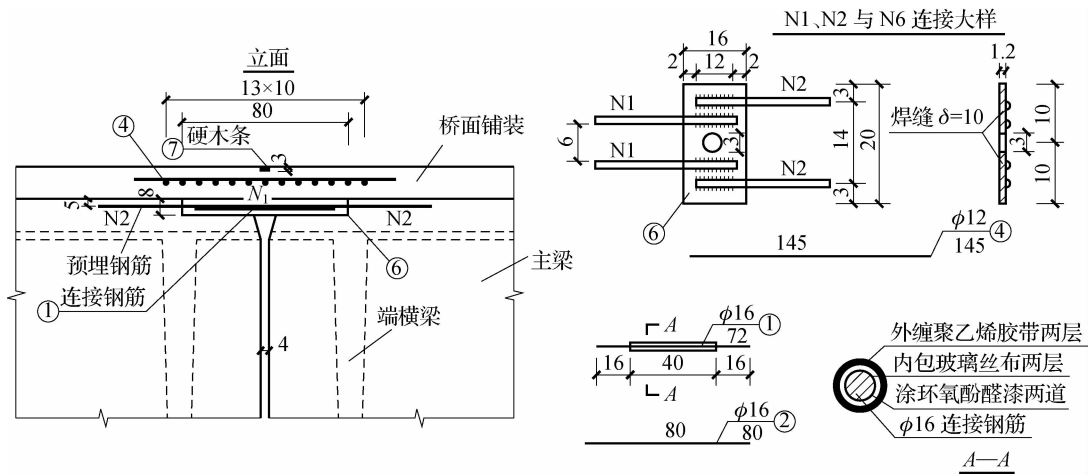


图 2-10 简支梁桥四跨一联时的桥面连续构造(尺寸单位:cm,钢筋直径:mm)

有经验表明,采用桥面板连续构造时,连续部分的桥面易开裂,因此近年来出现了简支-连续结构(见图 2-11),该结构使多跨简支梁桥在二期恒载作用下处于简支体系受力,在二期恒载和活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。

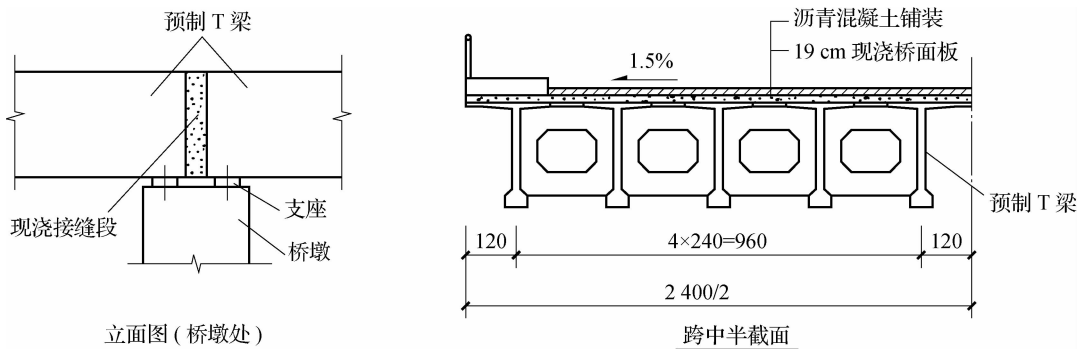


图 2-11 简支-连续构造(尺寸单位:cm)

伸缩缝的衡量指标是伸缩量 C , C 包括开口量 C^- 和闭口量 C^+ 。开口量是当桥梁受到温度降低、混凝土收缩与徐变、汽车制动力等作用时产生的;闭口量是当桥梁受到温度上升、汽车制动力等作用时产生的。设计要求 $C \geq C^- + C^+$ 。

伸缩缝的安装宽度 B (安装时桥面所留的间隙) 要求为:

(1) 防止伸缩缝装置被拉伸, $B \geq [B_{\min} + (C - C^-)]$ 。

(2) 防止伸缩缝装置被压鼓, $B \leq [B_{\min} + (C - C^+)]$, 其中 B_{\min} 为伸缩缝的最小工作宽度。

2.3 其他构造

2.3.1 人行道

位于城镇和近郊的桥梁均应设置人行道,其宽度和高度应根据行人的交通流量和周围环境来确定。人行道的宽度宜为1 m,当宽度要求大于1 m时,按0.5 m的倍数增加。城市桥梁桥面人行道参考宽度见下表。

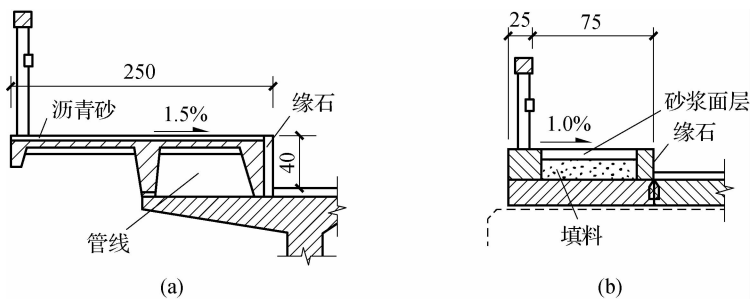
表 城市桥梁桥面人行道参考宽度

桥梁等级及地段	人行道宽度(单侧)/m
火车站、码头、长途汽车站附近和其他行人聚集地段	3~5
大型商店和大型公共文化机关附近、商业闹市区	2.4~4.5
一般街道地段	1.5~3
大桥、特大桥	2~3

当设置缘石时,缘石的高度可取0.25~0.35 m。在快速路、主干路、次干路桥或行人稀少的地区,若两侧无人行道,则应设安全带,安全带的宽度为0.50~0.75 m,高度不小于0.25 m。近年来,在不少桥梁设计中为了保证行车的安全,安全带的高度已经采用等于或大于0.4 m。

人行道顶面应做成倾向桥面1.0%~1.5%的排水横坡,城市桥梁人行道顶面可铺彩砖,以增加美观。此外,人行道在桥面断缝处必须做伸缩缝。

图2-12为一般人行道的构造。图2-12(a)为肋板式人行道(Ⅱ形人行道),它搁置在主梁上,采用整体式预制装配施工,人行道的下方可以放置过桥的管线;图2-12(b)为在人行道附设在板上,人行道部分用填料填高,上面敷设2~3 cm厚的砂浆面层或沥青砂,人行道内缘设置缘石;图2-12(c)为在小跨径宽桥上将人行道部分的墩台加高,在其上搁置人行道承重板;图2-12(d)适用于整体浇筑的钢筋混凝土梁桥,将人行道设在挑出的悬臂上,这样可以减小墩台宽度,但施工不太方便。



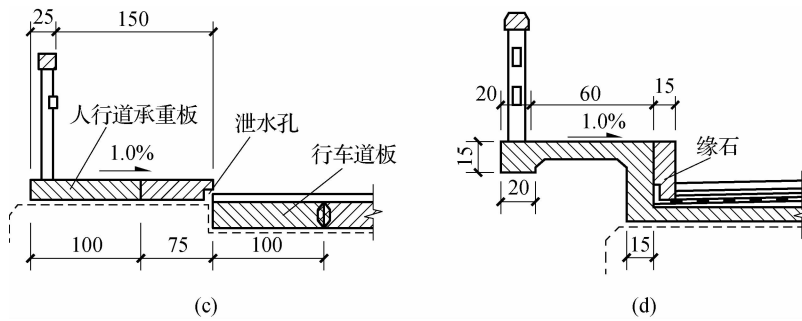


图 2-12 一般人行道的构造(尺寸单位:cm)

图 2-13 为悬出的装配式人行道构造,其由人行道板、人行道梁、支撑梁及缘石组成。安装时,人行道梁根部的预埋钢板应与从桥面板内伸出的锚固钢筋焊接,并应保证有足够的强度。支撑梁用来固定人行道的位置。

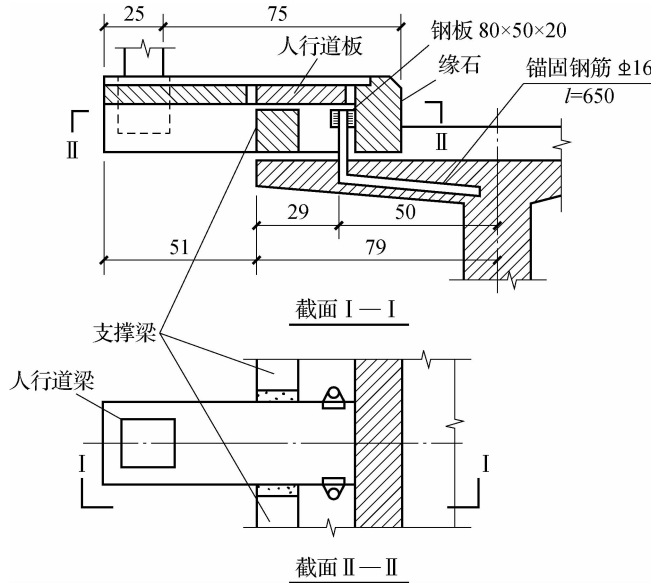


图 2-13 悬出的装配式人行道构造(尺寸单位:cm,钢筋/钢板单位:mm)

2.3.2 栏杆、护栏和灯柱

1. 栏杆

桥梁栏杆作为一种安全防护设备,其设计应符合受力要求并兼顾美观,栏杆的高度通常为 0.8~1.20 m。应注意,靠近桥面伸缩缝处的所有栏杆均应断开,以保证扶手与柱之间能自由变形。

2. 护栏

在高速公路桥梁的外侧和中央分隔带处必须设置桥梁护栏。作为干线公路的一级、

二级公路桥梁必须设置路侧护栏,作为干线公路的一级公路桥梁必须设置中央分隔带护栏。桥梁护栏包括金属(钢、铝合金)制护栏和钢筋混凝土护栏。

3. 灯柱

在城市桥上及在城郊人和车辆较多的公路桥上,都要设置照明设备。桥梁照明应防止眩光,必要时应采用严格的控光灯具,而不宜采用栏杆照明方式。照明用灯一般应高出车道 8~12 m。对于大型桥梁及具有艺术和历史价值的中、小型桥梁的照明应进行专门设计,使其既满足功能要求,又顾及艺术效果,并与桥梁的风格相统一。

照明灯柱可以设在栏杆扶手的位置处,在较宽的人行道上也可设在靠近缘石处。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。照明及其他用途所需的电信线路等通常都从人行道下的预留孔道中穿过。

思考与练习

1. 简答题

- (1) 桥面铺装的作用是什么?
- (2) 简述桥面防排水的种类和特点。
- (3) 伸缩装置的功能要求和类型分别是什么?
- (4) 人行道的构造特点是什么?

2. 能力拓展题

构建梁桥的桥面细部设计方案。

桥梁设计作用

应用能力目标要点

- (1) 掌握桥梁设计作用的基本分类。
- (2) 能够进行桥梁主要设计作用的计算与分析。
- (3) 能够进行桥梁主要设计作用的组合。

3.1 桥梁设计作用分类

根据使用任务,桥梁结构除承受本身自重和各种附加恒载外,还承受桥上各种交通荷载,如各种汽车、平板挂车、履带车及各种非机动车和人群荷载。而且,由于桥梁结构还处于自然环境中,因此还要受到气候、水文等各种复杂因素(外力)的影响。

通常可以将作用在公路桥梁上的各种荷载和外力归纳成三类:永久作用、可变作用和偶然作用。

3.1.1 永久作用

永久作用亦称恒载,在设计使用期内,其作用位置和大小、方向不随时间变化,或其变化与平均值相比可忽略不计。永久作用包括结构物自重、桥面铺装及附属设备的重量、作用于结构上的土重及土侧压力、基础变位作用、水浮力、长期作用于结构上的人工预施力及混凝土收缩和徐变作用。

结构物自重、桥面铺装及附属设备的重量等附加重力均属结构重力,结构重力标准值可按常用材料的重度计算。

对于公路桥梁,结构自重往往占全部设计荷载的很大部分。例如,当桥梁跨径为20~150 m时,结构自重占30%~60%(跨径越大,该比例越高)。对于特大跨度的圬工桥、钢筋混凝土桥或预应力混凝土桥,活载的影响往往降至次要地位。在此种情况下,宜采用轻质、高强材料来减小桥梁结构的自重。

3.1.2 可变作用

在设计使用期内,可变作用的作用位置和大小、方向随时间变化,且其变化与平均值相比不可忽略。

桥梁设计中所考虑的可变作用有汽车荷载和人群荷载。同时,对于汽车荷载应计及其冲击力、制动力和离心力。对于所有车辆荷载尚应计算其所引起的土侧压力。

此外,可变作用还包括支座摩阻力、温度(均匀温度和梯度温度)作用、风荷载、流水压力和冰压力等。

众所周知,每一种车辆都有许多不同的型号和载重等级,而且随着交通运输事业的发展,车辆的载重量也将不断增大,因此就需要制定一个既满足目前车辆情况和将来发展需要,又便于在设计中应用的简明统一的荷载标准。我国在对现有车型、行车规律等进行大量的观测和调查研究的基础上,根据汽车工业发展和国防建设的需要,制定了设计公路桥涵或其他受车辆影响的构造物所用的荷载标准。

1. 汽车荷载

公路桥涵设计时,汽车荷载的计算图式、荷载等级及其标准值、加载方式和纵横向折减等应符合下列规定:

(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 3-1 的规定。

表 3-1 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—Ⅰ级	公路—Ⅱ级	公路—Ⅱ级

①二级公路作为集散公路且交通量小、重型车辆少时,其桥涵的设计可采用公路—Ⅱ级汽车荷载。

②对交通组成中重载交通比重较大的公路桥涵,宜采用与该公路交通组成相适应的汽车荷载模式进行结构整体和局部验算。

(4)车道荷载的计算图式如图 3-1 所示。

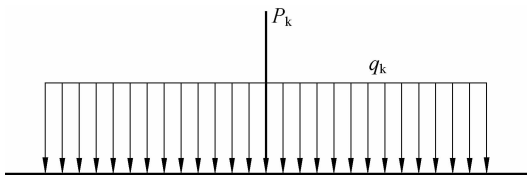


图 3-1 车道荷载的计算图式

①公路—Ⅰ级车道荷载均布荷载标准值为 $q_k = 10.5 \text{ kN/m}$, 集中荷载标准值 P_k 取值如表 3-2 所示。计算剪力效应时, 上述集中荷载标准值应乘以系数 1.2。

表 3-2 集中荷载标准值 P_k 取值

计算跨径 L_0/m	$L_0 \leq 5$	$5 < L_0 < 50$	$L_0 \geq 50$
P_k/kN	270	$2(L_0 + 130)$	360

注: 计算跨径 L_0 , 设支座的为相邻两支座中心间的水平距离, 不设支座的为上、下部结构相交面中心间的水平距离。

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 3-2 所示, 主要技术指标规定如表 3-3 所示。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。

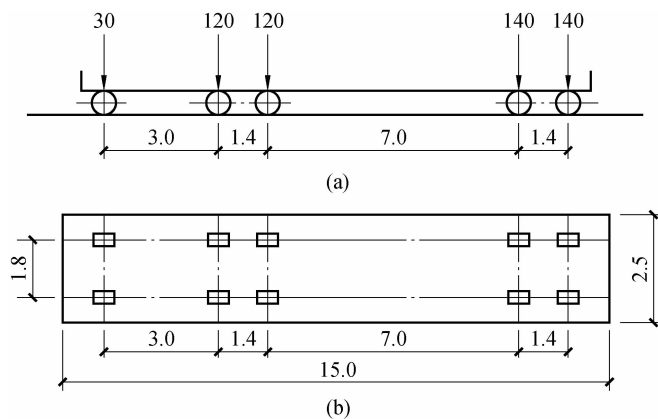


图 3-2 车辆荷载的立面、平面尺寸(尺寸单位:m, 荷载单位:kN)

(a) 立面布置 (b) 平面尺寸

表 3-3 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 \times 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应按图 3-3 所示布置车道荷载进行计算。

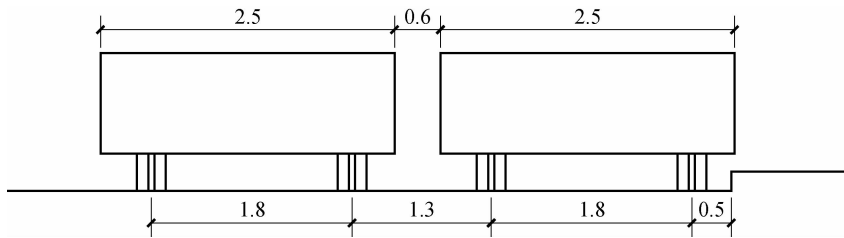


图 3-3 车辆荷载横向布置(尺寸单位:m)

(7)桥涵设计车道数应符合表 3-4 的规定。横桥向布置多车道汽车荷载时,应考虑汽车荷载的折减;布置一条车道汽车荷载时,应考虑汽车荷载的提高。横向车道布载系数应符合表 3-5 的规定。多车道布载的荷载效应不得小于两条车道布载的荷载效应。

表 3-4 桥涵设计车道数

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

表 3-5 横向车道布载系数

横向布载车道数/条	1	2	3	4	5	6	7	8
横向车道布载系数	1.20	1.00	0.78	0.67	0.60	0.55	0.52	0.50

(8)大跨径桥梁上的汽车荷载应考虑纵向折减。当桥梁计算跨径大于 150 m 时,应按表 3-6 规定的纵向折减系数进行折减。当为多跨连续结构时,整个结构应按最大的计算跨径考虑汽车荷载效应的纵向折减。

表 3-6 纵向折减系数

计算跨径 L_0/m	纵向折减系数	计算跨径 L_0/m	纵向折减系数
$150 < L_0 < 400$	0.97	$800 \leq L_0 < 1\ 000$	0.94
$400 \leq L_0 < 600$	0.96	$L_0 \geq 1\ 000$	0.93
$600 \leq L_0 < 800$	0.95		

2. 汽车荷载冲击力

汽车荷载冲击力应按下列规定计算:

(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,应计算汽车的冲击作用。

(2) 填料厚度(包括路面厚度)大于或等于 0.5 m 的拱桥、涵洞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 可按式(3-1)计算。

$$\left. \begin{aligned} \mu &= 0.05 && (f < 1.5 \text{ Hz}) \\ \mu &= 0.176 7 \ln f - 0.015 7 && (1.5 \text{ Hz} \leq f \leq 14 \text{ Hz}) \\ \mu &= 0.45 && (f > 14 \text{ Hz}) \end{aligned} \right\} \quad (3-1)$$

式中, f 为结构基频(Hz)。

(6) 汽车荷载的局部加载及在 T 形梁、箱梁悬臂板上的冲击系数采用 0.3。

3. 汽车荷载离心力

汽车荷载离心力可按下列规定计算:

(1) 曲线桥应计算汽车荷载引起的离心力。汽车荷载离心力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(3-2)计算。

$$C = \frac{v^2}{127R} \quad (3-2)$$

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 3-5 规定的横向车道布载系数。

(3) 离心力着力点应在桥面以上 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. 汽车荷载引起的土压力

汽车荷载引起的土压力采用车辆荷载加载,具体计算参见《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60—2015),简称《桥通规》。

5. 人群荷载

人群荷载标准值应按下列规定采用:

(1) 当桥梁计算跨径 $L_0 \leq 50$ m 时,人群荷载标准值为 3.0 kN/m²;当桥梁计算跨径 $L_0 \geq 150$ m 时,人群荷载标准值为 2.5 kN/m²;当桥梁计算跨径 $50 \text{ m} < L_0 < 150$ m 时,人群荷载标准值为 $(3.25 - 0.005L_0)$ kN/m²。对跨径不等的连续结构,以最大计算跨径为准。

非机动车、行人密集的公路桥梁,人群荷载标准值取上述标准值的 1.15 倍。专用人行桥梁,人群荷载标准值为 3.5 kN/m²。

(2) 人群荷载在横向应布置在人行道的净宽度内,在纵向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/m² 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,作用

在栏杆扶手上的竖向力标准值取 1.0 kN/m。

6. 汽车荷载制动力

汽车荷载制动力应按下列规定计算和分配：

(1) 汽车荷载制动力按同向行驶的汽车荷载(不计冲击力)计算, 并按表 3-6 的规定, 以使桥梁墩台产生最不利纵向力的加载长度进行纵向折减。

一个设计车道上由汽车荷载产生的制动力标准值按规定的车道荷载标准值在加载长度上计算的总重力的 10% 计算, 但公路—I 级汽车荷载的制动力标准值不得小于 165 kN; 公路—II 级汽车荷载的制动力标准值不得小于 90 kN。同向行驶双车道的汽车荷载制动力标准值应为一个设计车道制动力标准值的 2 倍, 同向行驶三车道应为一个设计车道的 2.34 倍, 同向行驶四车道应为一个设计车道的 2.68 倍。

(2) 制动力的着力点在桥面以上 1.2 m 处, 计算墩台时, 可移至支座铰中心或支座底座面上。计算刚构桥、拱桥时, 制动力的着力点可移至桥面上, 但不应计因此而产生的竖向力和力矩。

(3) 设有板式橡胶支座的简支梁、连续桥曲简支梁或连续梁排架式柔性墩台, 应根据支座与墩台的抗推刚度的刚度集成情况分配和传递制动力。设有板式橡胶支座的简支梁刚性墩台, 应按单跨两端的板式橡胶支座的抗推刚度分配制动力。

(4) 设有固定支座、活动支座(滚动或摆动支座、聚四氟乙烯板支座)的刚性墩台传递的制动力, 按表 3-7 的规定采用。每个活动支座传递的制动力, 其值不应大于其摩阻力; 当大于摩阻力时, 按摩阻力计算。

表 3-7 刚性墩台各种支座传递的制动力

桥梁墩台及支座类型		应计的制动力	符号说明
简支梁桥台	固定支座	T_1	T_1 ——加载长度为计算跨径时的制动力; T_2 ——加载长度为相邻两跨计算跨径之和时的制动力; T_3 ——加载长度为一联长度的制动力
	聚四氟乙烯板支座	$0.30T_1$	
	滚动(或摆动)支座	$0.25T_1$	
简支梁桥墩	两个固定支座	T_2	
	一个固定支座, 一个活动支座	见注	
	两个四氟乙烯板支座	$0.30T_2$	
	两个滚动(或摆动)支座	$0.25T_2$	
连续梁桥墩	固定支座	T_3	
	聚四氟乙烯板支座	$0.30T_3$	
	滚动(或摆动)支座	$0.25T_3$	

注: 固定支座按 T_4 计算, 活动支座按 $0.30T_5$ (聚四氟乙烯板支座) 或 $0.25T_5$ (滚动或摆动支座) 计算。 T_4 和 T_5 分别为与固定支座或活动支座相应的单跨跨径的制动力, 桥墩承受的制动力为上述固定支座与活动支座传递的制动力之和。

3.1.3 偶然作用

偶然作用包括地震力作用和船舶或漂流物的撞击作用。这种荷载在设计使用期内

不一定出现,但一旦出现,其持续时间较短而数值很大。

地震动峰值加速度等于 0.1g、0.15g、0.20g、0.30g 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 0.40g 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 0.05g 地区的公路桥涵,除有特殊要求者外,可采用简易设防。做过地震小区划的地区,应按主管部门审批后的地震动参数进行抗震设计。

公路桥梁地震作用的计算及结构的设计,应符合《公路工程抗震规范》(JTG B02—2013)的规定。

通航水域中的桥梁墩台,设计时应考虑船舶的撞击作用,其撞击作用设计值可按规定采用;船舶的撞击作用设计值宜按专题研究确定;四至七级内河航道当缺乏实际调查资料时,船舶撞击作用设计值可参照《桥通规》中的有关规定确定。

桥梁结构必要时可考虑汽车的撞击作用。汽车撞击力设计值在车辆行驶方向应取 1 000 kN,在车辆行驶垂直方向应取 500 kN,两个方向的撞击力不同时考虑。撞击力应作用于行车道以上 1.2 m 处,直接分布于撞击涉及的构件上。

对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设计值予以折减,但折减后的汽车撞击力设计值不应低于规定值的 1/6。

3.2 作用组合

3.1 节中简述了各种可能出现的荷载和外力,显然这些荷载并非同时作用于桥梁上。因此,在设计中应分清哪些荷载和外力是恒久存在、经常出现的,哪些是偶尔出现或者只在特殊情况下才发生的。根据各种荷载重要性的不同和同时作用的可能性,《桥通规》还根据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。此外,《桥通规》中还规定了可变作用中不同时参与组合的各种作用。

3.2.1 按承载能力极限状态设计时的作用效应组合

1. 基本组合

永久作用设计值与可变作用设计值相组合,称为基本组合。

(1)作用基本组合的效应设计值可按式(3-3)或式(3-4)计算。

$$S_{ud} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m \gamma_{G_i} G_{ik}, \gamma_{Q_1} \gamma_L Q_{1k}, \psi_c \sum_{j=2}^n \gamma_{L_j} \gamma_{Q_j} Q_{jk} \right) \quad (3-3)$$

或

$$S_{ud} = \gamma_0 S \left(\sum_{i=1}^m G_{id}, Q_{1d}, \sum_{j=2}^n Q_{jd} \right) \quad (3-4)$$

式中, S_{ud} 为承载能力极限状态下作用基本组合的效应设计值; $S()$ 为作用组合的效应函数; γ_0 为结构重要性系数,按《桥通规》表 4.1.5-1 规定的结构设计安全等级采用,按持久状况和短暂状况承载能力极限状态设计时,公路桥涵结构设计安全等级应不低于

表 4.1.5-1 的规定,对应于设计安全等级一级、二级和三级分别取 1.1, 1.0 和 0.9; γ_{G_i} 为第 i 个永久作用的分项系数,应按《桥通规》表 4.1.5-2 的规定采用; G_{ik} 、 G_{id} 为第 i 个永久作用的标准值和设计值; γ_{Q_1} 为汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的分项系数,采用车道荷载计算时取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$,采用车辆荷载计算时,其分项系数取 $\gamma_{Q_1} = 1.8$,当某个可变作用在组合中其效应值超过汽车荷载效应时,该作用将取代汽车荷载,其分项系数取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$,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取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$,计算人行道板和人行道栏杆的局部荷载,其分项系数也取 $\gamma_{Q_1} = 1.4$; Q_{1k} 、 Q_{1d} 为汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的标准值和设计值; γ_{Q_j} 为在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)、风荷载外的其他第 j 个可变作用的分项系数,取 $\gamma_{Q_j} = 1.4$,但风荷载的分项系数取 $\gamma_{Q_j} = 1.1$; Q_{jk} 、 Q_{jd} 为作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的其他第 j 个可变作用的标准值和设计值; ψ_c 为在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的其他可变作用的组合系数,取 $\psi_c = 0.75$; $\psi_c Q_{jk}$ 为在作用组合中除汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)外的第 j 个可变作用的组合值; γ_{L_j} 为第 j 个可变作用的结构设计使用年限荷载调整系数。公路桥涵结构的设计使用年限按《公路工程技术标准》(JTG B01—2014)取值时,可变作用的设计使用年限荷载调整系数取 $\gamma_{L_j} = 1.0$,否则, γ_{L_j} 取值应按专题研究确定。

(2)当作用与作用效应可按线性关系考虑时,作用基本组合的效应设计值 S_{id} 可通过作用效应代数相加计算。

(3)设计弯桥时,当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。

2. 偶然组合

永久作用标准值与可变作用某种代表值、一种偶然作用设计值相组合;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频遇值或准永久值。作用地震组合的效应设计值应按现行《公路工程抗震规范》(JTG B02—2013)的有关规定计算。

3.2.2 按正常使用极限状态设计时的作用效应组合

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,采用作用的频遇组合或准永久组合,并应符合下列规定:

1. 频遇组合

永久作用标准值与汽车荷载频遇值、其他可变作用准永久值相组合,称为频遇组合。

(1)作用频遇组合的效应设计值可按式(3-5)计算。

$$S_{fd} = S\left(\sum_{i=1}^m G_{ik}, \psi_{f1} Q_{1k}, \sum_{j=2}^n \psi_{Q_j} Q_{jk}\right) \quad (3-5)$$

式中, S_{fd} 为作用频遇组合的效应设计值; ψ_{f1} 为汽车荷载(不计汽车冲击力)频遇值系数,取 0.7。

(2)当作用与作用效应可按线性关系考虑时,作用频遇组合的效应设计值 S_{fd} 可通过作用效应代数相加计算。

2. 准永久组合

永久作用标准值与可变作用准永久值相组合,称为准永久组合。作用准永久组合的效应设计值可按式(3-6)计算。

$$S_{qd} = S \left(\sum_{i=1}^m G_{ik}, \sum_{j=1}^n \psi_{qj} Q_{jk} \right) \quad (3-6)$$

式中, S_{qd} 为作用准永久组合的效应设计值; ψ_{qj} 为汽车荷载(不计汽车冲击力)准永久值系数,取 0.4。

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,各作用应采用标准值,作用分项系数应取为 1.0,各项应力限值应按各设计规范规定采用。

验算结构的抗倾覆、滑动稳定时,稳定系数、各作用的分项系数及摩擦系数,应根据不同结构按各有关桥涵设计规范的规定确定。支座的摩擦系数可按《桥通规》表 4.3.13 规定采用。

构件在吊装、运输时,构件重力应乘以动力系数 1.2(对结构不利时)或 0.85(对结构有利时),并可视构件具体情况做适当增减。

必须指出,如按以上两种极限状态的效应设计值表达式进行详细、全面的组合比较,会使设计工作显得非常烦冗、复杂,通常有经验的设计者可选择几种重要的、其控制作用的效应组合进行设计。表 3-8 中给出了桥梁结构在自重、汽车和人群的作用下几种组合计算式,供参考使用。

表 3-8 作用组合计算式

作用组合		计算式
承载能力极限状态的基本组合	结构重力对结构承载能力不利时	$S_{ud} = 1.2G_{自重} + 1.8Q_{汽} + 0.75 \times 1.4Q_{人}$
	结构重力对结构承载能力有利时	$S_{ud} = G_{自重} + 1.8Q_{汽} + 0.75 \times 1.4Q_{人}$
正常使用极限状态的基本组合	频遇组合	$S_{fd} = G_{自重} + 0.7Q_{汽(不计冲击力)} + 1.0Q_{人}$
	偶然组合	$S_{qd} = G_{自重} + 0.4Q_{汽(不计冲击力)} + 0.4Q_{人}$

注: $G_{自重}$ 为永久作用中结构重力的标准值(弯矩或剪力); $Q_{汽}$ 为可变作用中汽车荷载(含汽车冲击力、离心力)的标准值(弯矩或剪力); $Q_{人}$ 为可变作用中人群荷载的标准值(弯矩或剪力)。

思考与练习

1. 简答题

- (1) 简述桥梁设计作用的基本分类。
- (2) 简述桥梁主要设计作用的计算。
- (3) 简述桥梁主要设计作用的组合。

2. 能力拓展题

构建不同工况下桥梁设计作用的组合方案。