

# 第一篇 总论

## 第一章 概论

### 第一节 桥梁建筑概况

桥梁不仅是一个国家文化的象征，更是生产发展和科学进步的写照。改革开放以来，我国公路建设进入了以高速公路为标志的快速发展阶段。随着国家实施积极的财政政策，公路投资力度不断加大，公路建设更是以前所未有的速度向前发展，这对于加强全国各族人民的团结，促进文化交流，巩固国防等都有非常重要的作用。

在公路建筑中，桥涵是路线的重要组成部分。就其数量来说，即使地形不复杂的地段，每公里路线上一般也有 2~3 座桥涵。到 1998 年底，全国公路桥梁的数量已达 22 万座，总长度 745.35 万延米。就其造价来说，桥梁一般要占公路全部造价的 10%~20%。同时，桥涵施工也比较复杂。因此，正确地、合理地进行桥涵设计和施工，对于节约材料、加快施工进度、降低工程费用，保证工程质量和公路的正常营运，都有着极其重要的意义。

#### 一、我国桥梁建筑概况

我国的桥梁建筑在历史上是辉煌的，古代的桥梁不但数量惊人，类型也丰富多彩，几乎包括了所有近代桥梁中的最主要形式。所用的材料多是一些天然材料，例如土、石、木、砖等。

根据史料考证，在三千年前的周文王朝代，就有在渭河上架设浮桥和建造石桥的文字记载。隋唐时期，是我国古代桥梁的兴盛年代，其间在桥梁形式、结构构造方面有着很多创新。宋代之后，建桥数量大增，桥梁的跨越能力、造型和功能又有所提高，充分表现了我国古代工匠的智慧和艺术水平。举世闻名的河北省赵县的赵州桥（又称安济桥），就是我国古代石拱桥的杰出代表。该桥在隋大业初年（公元 605 年左右）为李春所创建，是一座空腹式的圆弧形石拱桥，净跨 37.02m，宽 9m，拱矢高度 7.23m。在拱圈两肩各设有二个跨度不等的腹拱，这样既能减轻桥身自重、节省材料，又便于排洪、增加美观。赵州桥采用纵向并列砌筑，将主拱圈分为 28 圈，每圈由 43 块拱石组成，每块拱石重 1t 左右，用石灰浆砌筑。赵州桥至今仍完好保存。

我国是最早有吊桥的国家，至少迄今有三千年左右的历史。据记载，至迟在唐朝中期，我国就从藤索、竹索发展到用铁链建造吊桥，而西方在 16 世纪才开始建造铁链吊桥，比我国晚了近千年。至今尚保留下来的古代吊桥有四川泸定县的大渡河铁索桥（1706 年）以及灌县的安澜竹索桥（1803 年）等。泸定铁桥索桥跨长约 100m，宽约 2.8m，由 13 条锚固于两岸的铁链组成，1935 年中国工农红军长征途中曾强渡此桥，由此更加闻名。

在秦汉时期我国已广泛修建石梁桥。世界上现在尚存最长、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。此桥长达 800 多米 共 47 孔 位于“波涛汹涌，水深不可测”的海口江面上。此桥以磐石遍铺桥位江底，是近代筏形基础的开端，并且独具匠心地用养殖海生牡蛎的方法胶固桥基使成整体。万安桥的石梁共 300 余根 每根重 20~30t 这样重的梁在当时采用‘激浪以涨舟 悬机以弦牵’的方法架设。据分析就是利用潮汐的涨落控制船只的高低位置，这也是现代浮运架桥的原始雏型。

我国古代桥梁建筑的历史是辉煌的。可是自 1840 年鸦片战争以后 我国逐步沦为半殖民地半封建社会 由于腐朽的社会制度 桥梁的发展也停滞不前。解放前 我国的交通落后 可供通车的公路里程很少 质量低劣 公路桥梁绝大多数为木桥 年久失修 到解放时已经破烂不堪。

解放后，我国的公路建设事业突飞猛进，桥梁建设取得了很大的成就。

1957 年 第一座长江大桥——武汉长江大桥的胜利建成，既结束了我国万里长江无桥的状况，又标志我国建造大跨度钢桥的现代化桥梁技术水平提高到新的起点。大桥的正桥为三联  $3 \times 128\text{m}$  的连续钢桁梁，下层双线铁路 上层公路桥面宽 18m 两侧各设 2.25m 人行道 包括引桥全桥总长 1670.4m。1969 年又胜利建成了举世瞩目的南京长江大桥，这是我国自行设计、制造、施工 并使用国产高强钢材的现代化大型桥梁。上层为公路桥，下层为双线铁路 包括引桥在内 铁路桥梁全长 6772m 公路桥梁全长为 4589m。桥址处水深流急，河床地质极为复杂，大桥桥墩基础的施工非常困难。南京长江大桥的建成，显示出我国的钢桥建设已接近了世界先进水平，也是我国桥梁史上又一个重要标志。

从拱桥的发展进程来看 在 20 世纪 50 年代左右，进入了全盛时期。1958~1960 年期间，我国因地制宜，就地取材，修建了大量经济美观的石拱桥。目前已建成的世界跨度最大的石拱桥是于 1999 年底建成的跨度为 146m 的山西丹河新桥。世界最大跨度的混凝土拱桥当属 1997 年建成的重庆万县长江大桥，为 420m，其主拱圈是采用劲性骨架法进行施工的。我国最大跨径的钢拱桥是四川攀枝花 3002 桥 主跨为 180m；上海最近动工建设的芦浦大桥主跨 550m 为中承式钢箱拱桥，建成后比世界第一的美国新河桥还长 31.8m 将夺冠世界第一钢拱桥。

钢管混凝土拱桥是一种钢—混凝土复合材料的拱桥，该桥型在我国近年来发展很快。自 20 世纪 90 年代以来 我国建成跨径大于 120m 的钢管混凝土拱桥 40 多座。最大跨径为 2000 年建成的广州丫髻沙珠江大桥，为主跨 360m 的中承式钢管混凝土拱桥，是世界第一钢管混凝土拱桥。目前正在建设的巫山长江大桥，主跨为 460m，将又是一座创世界记录的特大跨径钢管混凝土拱桥。

钢筋混凝土与预应力混凝土的梁式桥，在我国也获得了很大的发展。对于中小跨径的梁桥（跨径在 6~25m 左右）已广泛采用配置低合金钢筋的装配式钢筋混凝土板式或 T 形梁式的定型设计，它不但经济适用，并且施工方便，能加快建桥速度。我国装配式预应力混凝土简支梁桥的标准设计 跨径达 40m。1976 年建成了洛阳黄河公路大桥，跨径为 50m 全长达 3.4km。1997 年建成的主跨为 270m 的虎门大桥辅航道桥是中国跨度最大的预应力混凝土梁桥，跨度排名世界第三位。

预应力混凝土斜拉桥 由于结构合理 跨度能力大 用材指标低和外形美观而迅速发展 目前我国主跨超过 600m 的钢梁斜拉桥有 4 座。正在兴建的南京长江二桥，主跨 628m 武汉白沙洲长江大桥 主跨 618m 福建青洲闽江大桥 其主跨为 605m，1993 年建成的上海杨浦大桥，主跨为 602m 这四座斜拉桥的跨度目前在世界上分别列在第三、四、五和第六位。

悬索桥的跨越能力在各类桥型中是最大的。我国于 1999 年 9 月建成通车的江阴长江大

桥主跨 1385m 是中国第一座跨度超过千米的钢箱梁悬索桥 世界排名第四。该桥在沉井、地下联结墙、锚锭、挂索等工程施工中创造的经验,将会推动我国悬索桥施工技术的进一步发展。我国香港的青马大桥 全长 2.16km 主跨 1377m 为公铁两用双层悬索桥 是香港 21 世纪标志性建筑。它把传统的造桥技术升华至极高的水平,宏伟的结构令世人赞叹,在世界 171 项工程大赛中荣获“建筑业奥斯卡奖”。

20 世纪 90 年代,我国的交通事业和桥梁建设出现了一个全新的时期,突出体现在高速公路建设和国道系统的畅通以及桥梁技术、桥型、跨越能力和施工管理水平的升华。截止到 1999 年底,我国公路总里程已达 133.6 万公里 高速公路通车里程达 1100 多公里 每百平方公里密度达到 13.9km。到如今,一个干支衔接、布局合理、四通八达的公路网已初步形成 公路交通对国民经济发展的“瓶颈”制约状况得到有效缓解。所以 我们应不断努力 不断吸取国内外桥梁建筑的先进技术和有益经验,为我国的桥梁建设作出更大的贡献。

## 二、国外桥梁建筑概况

纵观世界桥梁建筑发展的历史 与社会生产力的发展 工业水平的提高 施工技术的进步、数学、力学理论的进展、计算技术的改革等方面都有关系。其中与建筑材料的改革最为密切。

17 世纪中期以前 建筑材料基本上只限于土、石、砖、木等材料 采用的结构也较简单。

17 世纪 70 年代开始使用生铁 19 世纪初开始使用熟铁建造桥梁与房屋,由于这些材料的本身缺陷,使土木工程的发展仍然受到限制。

19 世纪中期 钢材的出现 钢结构得到了蓬勃发展 开始了土木工程的第一次飞跃。

20 世纪初,钢筋混凝土的广泛应用,以及随后预应力混凝土的诞生,实现了土木工程的第二次飞跃。

从以上可看出资本主义时代,工业革命促使生产力大幅度增长,从而促进了桥梁建筑技术方面空前的发展。

下面是世界各国的典型桥例,可看出其现状和发展概况。

1998 年四月竣工的日本明石海峡大桥是日本神户和濑户内海中大岛淡路岛之间的明石海峡上的一座大跨径悬索桥,主跨径为 1990m 为当前世界同类桥梁之首 其桥塔高度也为世界之冠。两桥塔矗立于海面以上约 300m。桥塔下基岩为花岗岩,但埋置很深,均距海平面 150m 以下。

加拿大的安纳西斯桥,是世界上较大的斜拉桥,1986 年建成 主跨 465m 桥宽 32m。桥塔采用钢筋混凝土结构 塔高 154.3m,主梁采用混凝土桥面板与钢梁组合结构。日本多多罗桥于 1998 年竣工 是目前跨径最大的斜拉桥 为 890m。

1977 年建成的奥地利的阿尔姆桥 主跨为 76m,是世界上最大的预应力混凝土筒支梁桥。加拿大的魁北克桥属于世界著名的跨度最长的悬臂桁架梁桥,桥的主跨为 548.6m 桥全长为 853.6m。

世界上最长的拱、梁组合钢桥首推美国的弗莱蒙特 Fremont 桥。这是三跨连续加劲拱桥 主跨 382.6m 双层桥面。该桥主跨中央 275.2m 的结构部分重约 6000t 采用一次提升架设。

南斯拉夫克罗地亚地区的克拉克 I 号桥 桥跨 390m,是世界上除万县长江大桥外的跨度第二大的钢筋混凝土拱桥 拱肋为单箱三室断面 采用悬臂拼装法施工 中室先行拼装合龙 再拼装两侧边室 1980 年建成。

纵观大跨度桥梁的发展趋势,可以看到世界桥梁建设必将迎来更大规模的建设高潮,同时

对桥梁技术的发展方向提出了新的要求：

### 1. 大跨度桥梁向更长、更大、更柔的方向发展

研究大跨度桥梁在气动、地震和行车动力作用下结构的安全性和稳定性，将截面做成适应气动要求的各种流线形加劲梁，增大特大跨度桥梁的刚度；采用以斜缆为主的空间网状承重体系 采用悬索加斜拉的混合体系 采用轻型而刚度大的复合材料做加劲梁 采用自重轻、强度高的碳纤维做主缆。

### 2. 新材料的开发和应用

新材料应具有高强、高弹模、轻质的特点 用以取代目前桥梁用的钢和混凝土。

3. 在设计阶段采用高度发展的计算机辅助手段，进行有效的快速优化和仿真分析，运用智能化制造系统在工厂生产部件，利用 GPS 和遥控技术控制桥梁施工。

### 4. 大型深水基础工程

目前世界桥梁基础尚无超过 100m 深海基础工程，下一步需进行 100~300m 深海基础的实践。

5. 桥梁建成交付使用后，将通过自动监测和管理系统保证桥梁的安全和正常运行，一旦发生故障或损伤，将自动报告损伤部位和养护对策。

6. 对桥梁造型的艺术要求越来越高，重视桥梁美学和环境保护，达到人文景观同环境景观的完美结合。

在 20 世纪桥梁工程大发展的基础上，描绘 21 世纪的宏伟蓝图，桥梁建设技术将有更大、更新的发展。

## 第二节 桥梁的组成和分类

### 一、桥梁的组成

图 1-1 和图 1-2 分别表示公路上所用的梁桥及拱桥的结构图式。从图中可见，一般桥梁通常是由下述各部分组成的。

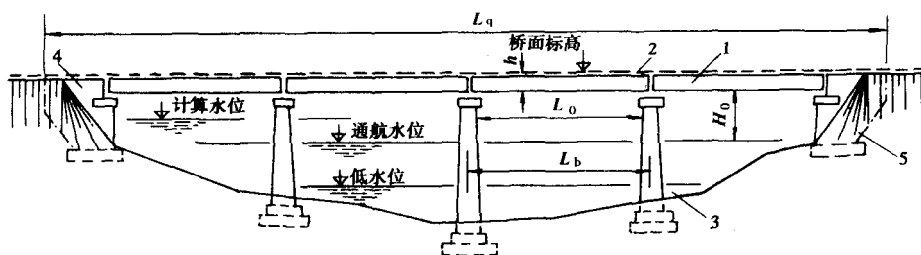


图 1-1 桥梁的基本组成部分

1-主梁 2-桥面 ;3-桥墩 4-桥台 ;5-锥形护坡

上部结构 又称为桥跨结构 包括承重结构和桥面系 是路线遇到障碍 如河流、山谷等 而中断时跨越障碍的建筑物。它的作用是承受车辆荷载，并通过支座传给墩台。

桥墩和桥台是支承桥跨结构并将恒载和车辆等活载传至地基的建筑物。通常设置在桥两端的称为桥台 它除了上述作用外 还与路堤相衔接 以抵御路堤土压力 防止路堤填土的滑坡

和坍塌。桥墩和桥台又称为下部结构。桥墩和桥台中使全部荷载传至地基的底部奠基部分，通常称为基础，它是确保桥梁能安全使用的关键。由于基础往往深埋于土层之中，并且需在水下施工，故也是桥梁建筑中施工比较困难的一部分。

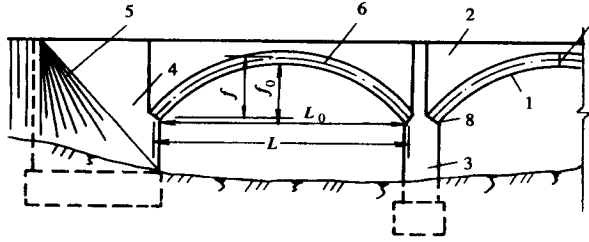


图 1-2 拱桥的基本组成部分

1拱圈 ;2拱上建筑 ;3桥墩 ;4桥台 5-锥形护坡 ;6-拱轴线 ;7拱顶 ;8-拱脚

一座桥梁中在桥跨结构与桥墩或桥台的支承处所设置的传力装置，称为支座，它不仅要传递很大的荷载，并且要保证桥跨结构能产生一定的变位。

在路堤与桥台衔接处，一般还在桥台两侧设置石砌的锥形护坡，以保证路堤迎水部分边坡的稳定。

在桥梁建筑工程中，除了上述基本结构外，根据需要还常常修筑护岸、导流结构物等附属工程。

## 二、桥梁的主要尺寸和术语名称

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。桥梁设计中按设计洪水频率计算所得的高水位，称为设计洪水位。

通航水位：包括设计最高通航水位和设计最低通航水位，是各级航道代表性船舶队正常运行的航道维护管理和有关工程建筑物的水位设计依据。

净跨径对于梁式桥是设计洪水位上相邻两个桥墩（或桥台）之间的净距，用  $L_0$  表示（图 1-1）对于拱式桥是每孔拱跨两个拱脚截面最低点之间的水平距离（图 1-2）。

计算跨径对于具有支座的桥梁，是指桥跨结构相邻两个支座中心之间的距离，用  $L$  表示。对于图 1-2 所示的拱式桥，是两相邻拱脚截面形心点之间的水平距离。因为拱圈（或拱肋）各截面形心点的连线称为拱轴线，故也就是拱轴线两端点之间的水平距离。桥跨结构的力学计算是以  $L$  为基准的。

标准跨径  $L_b$  为梁桥桥墩中线间或桥墩中线与台背前缘间的距离；拱桥为净跨径。根据《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—89)规定，我国公路桥涵标准跨径为 0.75、1.0、1.25、1.5、2.0、2.5、3.0、4.0、5.0、6.0、8.0、10、13、16、20、25、30、35、40、45、50、60m。

总跨径是多孔桥梁中各孔净跨径的总和，也称桥梁孔径 ( $\sum L_0$ ) 它反映了桥下宣泄洪水的的能力。

桥梁全长简称桥长，是桥梁两端两个桥台的侧墙或八字墙后端点之间的距离，以  $L_q$  表示。对于无桥台的桥梁为桥面系行车道的全长（见图 1-1）。在一条线路中，桥梁和涵洞总长的比重反映它们在整段线路建设中的重要程度。

桥梁高度简称桥高，是指桥面与低水位之间的高差，或为桥面与桥下线路路面之间的距离（见图 1-1）。桥高在某种程度上反映了桥梁施工的难易性。

桥下净空高度是设计洪水位或计算通航水位至桥跨结构最下缘之间的距离，以  $H_0$  表示，它应保证能安全排洪，并不得小于对该河流通航所规定的净空高度。

建筑高度是桥上行车路面（或轨顶）标高至桥跨结构最下缘之间的距离。容许建筑高度指公路或铁路定线中所确定的桥面（或轨顶）标高对通航净空顶部标高之差。

拱桥矢高和矢跨比——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 ( $f$ )，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）。

### 三、桥梁的分类

#### （一）桥梁的基本体系

桥梁结构的体系包括梁式、拱式、悬吊式、刚架与组合体系。

##### 1. 梁式体系

是一种在竖向荷载作用下无水平反力的结构，梁作为承重结构是以它的抗弯能力来承受荷载的。梁分简支梁、悬臂梁、固端梁和连续梁等，见图 1-3。

##### 2. 拱式体系

拱式体系的主要承重结构是拱肋（或拱圈），在竖向荷载作用下，拱圈即要承受压力，但也承受弯矩，可采用抗压能力强的圬土材料来修建。墩台除受竖向压力和弯矩外，还承受水平推力，见图 1-4。

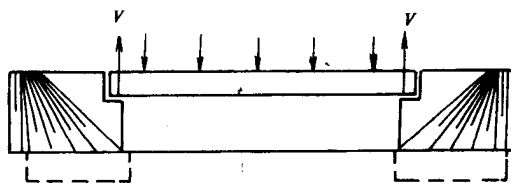


图 1-3 梁桥简图

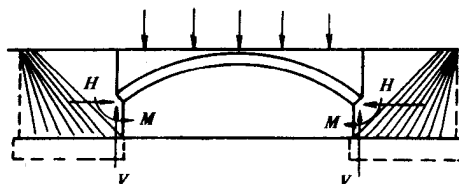


图 1-4 拱桥简图

##### 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）结构与承压的下部桩柱（或墩）整体结合在一起的结构。由于梁与柱的刚性连续，梁因柱的抗弯刚度而得到卸载作用，整个体系是压弯结构，也是推力结构。刚架分直腿刚架与斜腿刚架。

刚架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，见图 1-5。

##### 4. 悬索桥

传统的悬索桥均用悬挂在两边塔架上的强大缆索作为主要承重结构。在竖向荷载作用下，通过吊杆使缆索承受很大的拉力，通常都需要在两岸桥台的后方修筑非常巨大的锚碇结构（图 1-6）。悬索桥也是具有水平反力（拉力）的结构。悬索桥的跨越能力在各类桥型中是最大的，但结构的刚度差，整个悬索桥的发展历史也是争取刚度的历史。

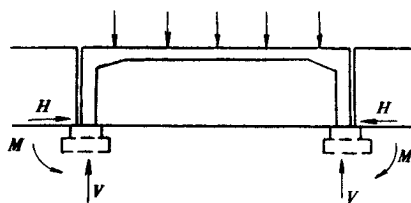


图 1-5 刚架桥简图

##### 5. 组合体系

###### （1）梁、拱组合体系

这类体系有系杆拱、木桁架拱、多跨拱梁结构等，它们是利用梁的受弯与拱的承压特点组成联合结构。其中梁和拱都是主要承重物，两者相互配合共同受力，见图 1-7。

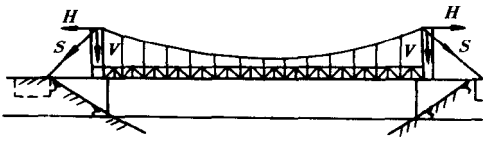


图 1-6 悬索桥简图

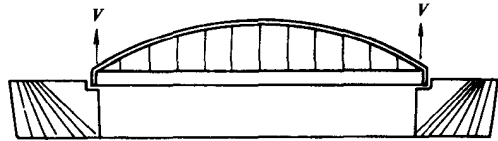


图 1-7 系杆拱桥简图

(2)斜拉桥

斜拉桥也是一种主梁与斜缆相结合的组合体系（图 1-8）。悬挂在塔柱上的被张紧的斜缆将主梁吊住，使主梁像多点弹性支承的连续梁一样工作，这样既发挥了高强材料的作用，又显著减小了主梁截面，使结构减轻而能跨越很大的跨径。



图 1-8 组合体系桥

(二 桥梁的其它分类简介

1.按用途分公路桥、铁路桥、公路铁路两用桥、农桥、人行桥、运水桥（渡槽）及其它专用桥梁（如通过管路、电缆等）

2.按桥梁全长和跨径不同分为特大桥、大桥、中桥和小桥。《公路工程技术标准》（JTJ 001—97规定的大、中、小桥划分标准如下表 1-1。

3.按上部结构所用的材料可分为木桥、钢筋混凝土桥、预应力混凝土桥、圪工桥（包括砖、石、混凝土桥）和钢桥。

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。

5.按上部结构的行车道位置分为上承式桥、下承式桥和中承式桥。桥面布置在主要承重结构之上者称为上承式桥，桥面布置在主要承重结构之下为下承式桥，桥面布置在主要承重结构中间的为中承式桥。

6.按特殊使用条件分为开启桥、浮桥、漫水桥等。

表 1-1

桥梁分类	多孔桥全长 $L(m)$	单孔跨径 $l(m)$
特大桥	$L \geq 500$	$l \geq 100$
大桥	$L \geq 100$	$l \geq 40$
中桥	$30 < L < 100$	$20 \leq l < 40$
小桥	$8 \leq L \leq 30$	$5 \leq l < 20$

## 第二章 桥梁总体设计

### 第一节 桥梁总体规划原则及其基本设计资料

当前 我国的桥梁设计必须遵照适用、经济、安全和美观的基本原则。

桥梁设计必须积极采用新结构、新设备、新材料、新工艺 认真学习国外的先进技术 充分利用国际最新科学技术成就，把学习外国和自己独创结合起来。只有这样才能提高我国的桥梁建设水平，赶上和超过世界先进水平。

#### 一、设计基本要求

##### 1. 使用上的要求

桥梁设计要求能保证行车的畅通、舒适和安全；既满足当前的需要，又照顾今后的发展；既满足交通运输本身的需要，也要考虑到支援农业，满足农田排灌的需要；通航河流上的桥梁，应满足航运的要求；靠近城市、村镇、铁路及水利设施的桥梁还应结合各有关方面的要求，考虑综合利用。桥梁还应考虑战备，适应国防的要求。

##### 2. 经济上的要求

桥梁设计方案必须进行技术经济比较，一般地说，应使桥梁的造价最低，材料消耗最少。然而，也不能只按建筑造价作为全面衡量桥梁经济性的指标，还要考虑到桥梁的使用年限、养护和维修费用等因素。

##### 3. 设计上的要求

整个结构及各部分构件在制造、运输安装和使用过程中应具有足够强度、刚度、稳定性和耐久性 应积极采用新结构、新技术、新材料、新工艺。

##### 4. 施工上的要求

桥梁结构应便于制造和架设。应尽量采用先进的工艺技术和施工机械，以利于加快施工进度，保证工程质量和施工安全。

##### 5. 美观上的要求

一座桥梁应具有优美的外形，应与周围的景观相协调。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。合理的结构布局和轮廓是美观的主要因素，决不应把美观片面地理解为豪华的细部装饰。

#### 二、野外勘测与调查

1. 桥梁调查的具体任务：调查桥上的交通种类和行车、行人的来往密度等，实际交通量和增长率，从而确定桥梁的荷载等级和行车道及人行道的宽度等等。

2. 选择桥位：一般地说 大、中桥桥位的选择原则上应服从路线的总方向 路桥综合考虑。一方面从整个路线网的观点上来看，既要力求降低桥梁的建筑和养护费用，也要避免或减少因

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。

3. 测量桥位附近的地形，并绘制地形图，供设计和施工应用。

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

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。其内容包括：了解河道性质，如河道的自然变迁和人工规划的情况，河床及两岸的冲刷和淤积，测量桥位处河床断面，调查了解洪水位的多年历史资料，推算设计洪水位，测量河床比降，调查河槽各部分的形态标志和粗糙率等，计算流速、流量等有关的资料，向航运部门了解和协商确定设计通航水位和通航净空。

6. 调查当地建筑材料（砂、石料等）的来源，水泥、钢材的供应情况以及水陆交通的运输情况。

7. 调查了解施工单位的技术水平、施工机械等装备情况，以及施工现场的动力设计和电力供应情况。

8. 调查和收集有关气象资料，包括气温、雨量及风速，或台风影响等情况。

9. 调查新建桥位上、下游有无老桥，其桥型布置和使用情况等。

### 三、桥梁设计程序

我国桥梁的设计程序一般采用两阶段设计，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，即一阶段施工图设计。以扩大的初步设计来包含两阶段设计的主要内容。对于技术复杂、而又缺乏经验的建设项目或特大桥、互通式立体交叉、隧道等，必要时采用三阶段设计，即初步设计、技术设计和施工图设计。

两阶段设计时桥梁设计的第一阶段是编制设计文件。在这一阶段设计中，主要是选择桥位，拟定桥梁结构形式和初步尺寸，进行方案比较，编制最佳方案的材料用量和造价，然后报请上级单位审批。在初步设计的技术文件中，应提供必要的文字说明、图表资料、设计和施工方案、工程数量、主要建筑材料指标以及设计概算。这些资料作为控制建设项目投资和以后编制施工预算的依据。

桥梁设计的第二阶段是编制施工图。主要是根据已批准的初步设计中所规定的修建原则、技术方案、总投资额等进一步进行具体的技术设计。在施工图设计中应提出必要的说明和适应施工需要的图表，并编制施工组织设计文件和施工预算。在施工图的设计中，必须对桥梁各部分构件进行强度、刚度和稳定性等方面的必要计算，并绘出详细的结构构造图纸。

三阶段设计时，技术设计应根据批准的初步设计和补充初测资料（或定测资料）编制；施工图设计应根据批准的技术设计和定测（或补充定测）资料编制。

采用三阶段设计的，初步设计编制设计概算；技术设计编制修正概算；施工图设计编制施工图概算。

## 第二节 桥梁纵、横断面设计和平面布置

### 一、桥梁纵断面设计

桥梁纵断面设计包括总跨径的确定、桥梁的分孔、桥面标高、桥上和桥头引道的纵坡以及

基础的埋置深度。

### (一) 桥梁总跨径的确定

桥梁的总跨径一般根据水文计算确定。由于桥梁墩台和桥头路堤压缩了河床，使桥下水断面减小，流速加大，引起河床冲刷，因此桥梁总跨径必须保证桥下有足够的排洪面积，使河床不致产生过大的冲刷。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。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，以避免河床过多的冲刷而引起桥梁破坏；对于深基础，允许较大冲刷，可适当压缩河床。

### (二) 桥梁的分孔

桥梁的分孔关系到桥梁的造价。跨径和孔数不同时，上部结构和墩台的总造价是不同的。跨径愈大，孔数愈少，上部结构的造价就愈大，而墩台的造价就愈小。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，桥梁跨径就选得大一些，反之，当桥墩较矮或地基较好时，跨径就可选得小一些。

在通航的河流上，首先应以考虑桥下通航的要求来确定孔径，当通航跨径大于经济跨径时，通航孔按通航要求确定孔径，其余的桥孔应根据上下部结构总造价最低的经济原则来决定跨径。当通航的跨径小于经济跨径时，按经济跨径布置桥孔。

在布置桥孔时，遇到不利的地质段，如岩石破碎带、裂隙、溶洞等，应将桥基位置移开，或适当加大跨径。在山区河谷，水深流急的江河上，宜减少中间桥墩，应加大跨径或采用特大跨径单孔跨越。

在有些体系中，为了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。例如三跨连续梁中跨与边跨的比例为 1.00:0.80。

跨径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。

### (三) 桥面标高的确定

桥面的标高根据路线的纵断面设计，或根据设计洪水位、桥下通航需要的净空来确定。

对于非通航河流，梁底一般应高出设计洪水位，包括壅水和浪高，不小于 0.5m，高出最高流冰水位 0.75m，支座底面高出设计洪水位不小于 0.25m，高出最高流冰水位不小于 0.5m (图 1-9)。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 1.0m。为了防止冰害，拱脚的起拱线尚应高出最高流冰水位不小于 0.25m。

在通航和流放木筏的河流上，必须设置一孔或几孔能保证桥下有足够通航净空的通航孔。通航孔的最小净高应根据不同航道等级所规定的桥下净空尺寸确定 (图 1-9)。

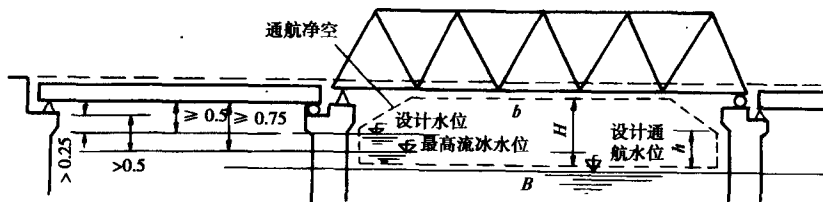


图 1-9 桥梁纵断面 (尺寸单位 :m)

在设计跨越路线(铁路或公路)的立体交叉桥时,应保证桥下通行车辆的净空高度。

#### (四)纵坡

对于大、中桥梁,为了利用桥面排水,常把桥面做成从桥的中央向桥头两端纵坡为 1%~2% 的双面坡。特别是当桥面标高由于通航要求而建得比较高时,为了缩短引桥和降低桥头引道路堤的高度,更需要采用双向倾斜的纵向坡度。对大、中桥桥上的纵坡不宜大于 4% 桥头引道的纵坡不宜大于 5%。位于市镇混合交通繁忙处,桥上纵坡和桥头引道纵坡均不宜大于 3%。

#### (五)基础埋置深度

基础的埋置深度在《基础工程》课程中介绍,这里将不再重复。

### 二、桥梁横断面设计

桥梁的横断面设计,主要是确定桥面的宽度和桥跨结构横断面的布置。

桥面行车道宽度决定于桥梁所在的公路等级,各级公路桥面行车道净宽标准见表 1-2。

各级公路桥面行车道净宽标准(m) 表 1-2

公路等级 公路性质	高速公路	一级	二级	三级	四级
	汽车专用公路	2×7.5 或 2×7.0	2×7.5 或 2×7.0	8.0 或 7.5	
一般公路			9.0 或 7.0	7.0 或 6.0	4.5

当高速公路的交通量超过四个车道的容量时,其车道数可按双数增加。

高速公路和一级公路应设置中间带,中间带由两条左侧路缘带及中间分隔带组成。

桥上人行道和自行车道的设置,应根据需要而定,并与路线前后布置配合。必要时自行车道和行车道宜设置适当的分隔设施。一个自行车道的宽度为 1.0m。自行车道数应根据自行车的交通量而定,当单独设置自行车道时,一般不应小于双车道的宽度。人行道的宽度为 0.75m 或 1.0m,大于 1.0m 时按 0.5m 的倍数增加。不设置自行车道和人行道时,可根据具体情况,设置栏杆和安全带。安全带的宽度通常每侧设 0.25m。人行道和安全带应高出行车道面至少 0.25~0.35m,以保证行人和行车本身的安全。与路基同宽的小桥和涵洞可仅设缘石和栏杆。漫水桥不设人行道,但应设护柱。

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 1.5%~3.0% 的横坡。人行道宜设置向行车道倾斜 1% 的横坡。

### 三、平面布置

特大、大、中桥桥位应尽量选择河道顺直稳定、河床地质良好、河滩较窄较高且河槽能通过大部分设计流量的地段。桥梁纵轴线应尽量与洪水主流流向正交。对通航河流上的桥梁,桥墩、台沿水流方向的轴线应与通航水位的主流方向一致,必须斜交时,交角不宜大于 5°。对于一般小桥,为了改善路线线形或城市桥梁受原有街道的制约时,也允许修建斜交桥,斜度通常不宜大于 45°。

一般公路上的特大、大、中桥桥位原则上应服从路线走向,路桥综合考虑。当桥上线形为曲线时,各项技术指标应符合路线布设的规定。

### 第三章 公路桥梁荷载

1999年6月10日建设部以建标[1999]151号文件发布的中华人民共和国国家标准《公路工程结构可靠度设计统一标准》(GB/T 50283—1999)中指出:长期以来,把所有引起结构反应的原因习惯统称为“荷载”,这种叫法并不科学和确切。众所周知,引起结构反应的原因有两种截然不同的性质,一种是施加于结构上的外力,如车辆、人群、结构自重等,它们是直接施与结构上的,可用“荷载”这一术语来概括;另一种不是以外力形式施加于结构,它们产生的效应常与结构本身特性、结构所处环境有关,如地震、结构不均匀沉降、混凝土收缩徐变、温度变化等,这些都是间接作用于结构的,如果也称“荷载”,就会引起人们的误解。如应用“地震荷载”一词,就容易被误解为地震是对结构直接施加的、与地基和结构无关的外力。因此,国际上普遍地把所有引起结构反应的原因统称为“作用”,而“荷载”仅限于表达施加于结构上的直接作用。

上述国标中对作用(荷载)组合也做了相应规定。

据此,本书所提到的“荷载”凡不是直接施加于结构上的,均应改称为“作用”。但是,行业规范《公路桥梁通用设计规范》(JTJ 021—89)尚未修订,还无法执行国家标准,所以本书仍沿用行业规范,把所有引起结构反应的原因统称为“荷载”。

在我国现行的公路桥梁设计规范中,荷载分为永久荷载、可变荷载和偶然荷载。永久荷载(恒载)是指结构在设计使用期内其值不随时间变化,或其变化与平均值相比可忽略不计的荷载;可变荷载是指结构在设计使用期内其值随时间变化,且变化与平均值相比不可忽略的荷载。按其对于桥涵结构的影响程度,又分为基本可变荷载(活载)和其它可变荷载。偶然荷载是指结构在设计使用期内不一定出现,但一旦出现,其值很大,且持续时间很短的荷载。

各类荷载列于表 1-3。

荷载分类表

表 1-3

编号	荷载分类		荷载名称	编号	荷载分类		荷载名称
1	永久荷载 (恒载)		结构重力	12	可变荷载	其它可变荷载	平板挂车或履带车
2			预加应力	13			平板挂车或履带车引起的土侧压力
3			土的重力及土侧压力				风力
4			混凝土收缩及徐变影响力	14			汽车制动力
5			基础变位影响力	15			流水压力
6			水的浮力	16			冰压力
7	可变荷载	基本可变荷载 (活载)	汽车	17	偶然荷载		温度影响力
8			汽车冲击力	18			支座摩阻力
9			离心力	19			地震力
10			汽车引起的土侧压力	20			船只或漂流物撞击力
11			人群	21			

## 第一节 永久荷载

永久荷载亦称恒载。作用在桥梁上部结构的恒载，主要是结构物的重力及附属设备等外加重力。作用在墩台的恒载，主要是上部结构的恒载支座作用力、墩台本身重力、土压力及其引起的土侧压力和水浮力（水中墩台）。

结构物的重力可按照结构物的实际体积或设计时所假设的体积与材料的容重之乘积计算之。

作用于墩台的土压力、土侧压力可参照《路基路面》课程中挡土墙的计算方法。

水的浮力对桥梁墩台的影响，当墩台位于透水性地基上时，验算墩台稳定性应考虑水的浮力，验算基底应力仅考虑低水位的浮力或不考虑水的浮力；当墩台位于不透水性地基上时，可不考虑水的浮力；当不能肯定地基是否透水时，应以透水和不透水两种情况分别计算，与其它荷载组合，取其最不利者。

预应力系指预先施加在结构上的力。

## 第二节 可变荷载

### （一）车辆荷载

桥梁上行驶的车辆荷载种类繁多，有汽车、平板挂车、履带车、压路机等同一类车辆，例如汽车，也有许多不同的型号和载重等级，而且随着交通运输和高速公路的发展，出现了集装箱运输车等载重量越来越大的车辆。因此，对于桥梁设计，载重标准的确定是关系到贯彻适用、经济、安全原则的一个重要问题。

通过对实际车辆的轮轴数目、前后轴间距、轴重力等情况的分析、综合和概括，我国交通部在《公路工程技术标准》中规定了桥涵设计的标准化荷载。由于各种车辆在桥梁上出现的机遇是不同的，因此标准化荷载把经常地、大量地出现的汽车排列成车队，作为计算荷载。把偶然地、个别地出现的平板挂车和履带车作为验算荷载。

#### 1. 汽车荷载

汽车车队分为汽车 - 10 级、汽车 - 15 级、汽车 - 20 级和汽车 - 超 20 级四个等级。荷载级别的数字表示一辆主车的重力，以 kN 计。汽车 - 15 级这种等级，目前设计时已不采用了。每级车队中有一辆是重车，其前后都是主车，主车的辆数不限（图 1-10）。当使用汽车荷载布置最不利位置时，其轴重力的顺序应按车队规定排列。对于两行车队布载，汽车荷载不予折减；当桥涵面行车宽度大于 9m 且小于 12m 有硬路肩时（包括相应的硬路肩宽度）时按三行车队布载，汽车荷载可折减 20%。对于四车道的桥涵，按四行车队设计时，汽车荷载可折减 30% 但折减后不得小于用两行车队计算的结果。高速公路和一级公路硬路肩（停车带）宽度部分应布载，但不另增加一行车队。各级汽车的平面尺寸和横向布置见图 1-11 车轮着地宽度和长度见表 1-4。

汽车车轮着地宽度和长度

表 1-4

一辆汽车总重力(kN)	100	150	200	300	550
前轮着地宽度和长度(m)	0.25×0.2	0.25×0.2	0.3×0.2	0.3×0.2	0.3×0.2
中后轮着地宽度和长度(m)	0.5×0.2	0.5×0.2	0.6×0.2	0.6×0.2	0.6×0.2

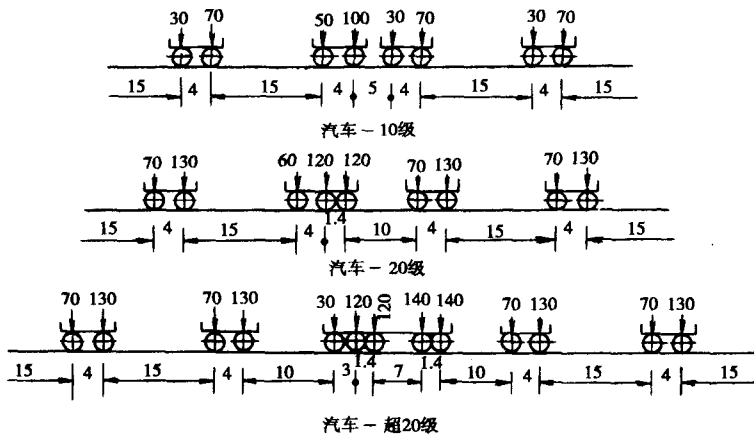


图 1-10 各级汽车车队的纵向排列 (轴力单位 :kN 尺寸单位 :m)

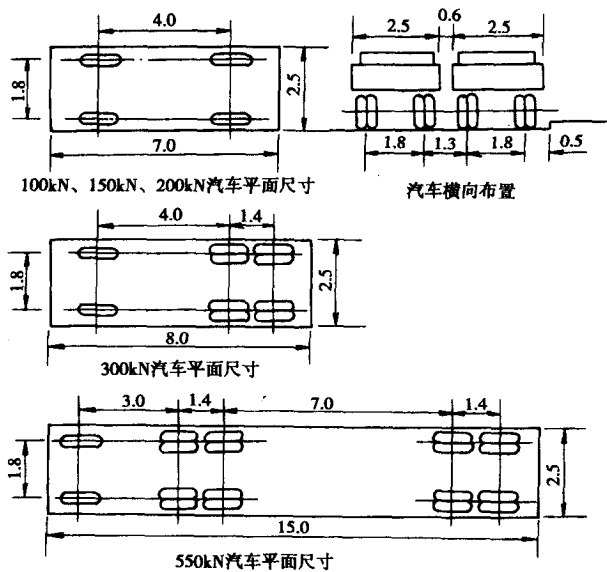


图 1-11 各级汽车的平面尺寸和横向布置 (尺寸单位 : m)

## 2. 平板挂车和履带车

平板挂车可分为挂车 - 100 和挂车 - 120 二种 (挂车 - 80 已取消)。履带车只有履带 - 50 一种。

平板挂车和履带车的纵向排列和横向布置如图 1-12 所示。履带宽度、车轮着地宽度和长度见表 1-5。

对于履带车 顺桥方向可考虑多辆行驶 但两车间净距不得小于 50m 对于平板挂车 全桥均以通过一辆计算。履带车或平板挂车通过桥涵时, 应靠中以慢速行驶。

履带车外侧履带的中线或平板挂车车轮的中线离人行道或安全带边缘的距离不得小于 1m。另外, 验算时不考虑冲击力、人群和其它经常作用在桥涵上的各种外力。

### (二 车辆荷载的影响)

履带宽度、车轮着地宽度和长度 表 1-5

主要指标	履带-50	挂车-100	挂车-120
履带宽度或每对车轮着地宽度和长度	0.7	0.5×0.2	0.5×0.2

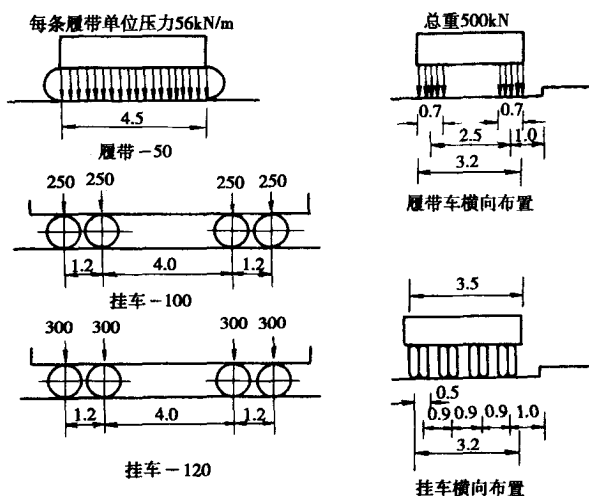


图 1-12 各级验算车的纵向排列和横向布置 轴重力单位 kN 尺寸单位 :m)

### 1. 冲击力

车辆以较高速度驶过桥梁时，由于桥面的不平整、车轮不圆以及发动机抖动等原因，会使桥梁结构引起振动 这种动力效应通常称为冲击作用。在此情况下 汽车荷载 动荷载 对桥梁结构所引起的压力和变形，要比同样大小的静荷载所引起的大。鉴于目前对冲击作用还不能从理论上作出符合实际的精确计算，一般就引用一个荷载增大系数，即冲击系数  $(1 + \mu)$  来计及荷载的冲击作用。冲击作用是根据在现成桥梁上所作的振动试验结果分析整理出来的，在设计中可按不同结构种类选用相应的冲击系数。表 1-6 中列出了钢筋混凝土、混凝土和石砌桥涵等的冲击系数值。

钢筋混凝土、混凝土和石砌桥涵等的冲击系数

表 1-6

结构种类	跨径或荷载长度(m)	冲击系数 $(1 + \mu)$
梁、刚构、拱上构造、桩式或桩式墩台、涵洞盖板	$l \leq 5$	1.30
	$l \geq 45$	1.00
拱桥的主拱圈或拱肋	$l \leq 20$	1.20
	$l \geq 70$	1.00

冲击系数  $1 + \mu$  是随跨径或荷载长度  $l$  的增大而减小的。当  $l$  在表列数值之间时 可用直线内插法求得。

鉴于结构物上的填料能起缓冲和扩散荷载的作用，故对于拱桥、涵洞以及重力式墩台，当填料厚度 包括路面厚度 等于或大于 50cm 时，可以不计冲击作用。

### 2. 汽车的制动力

制动力是汽车在桥上制动时为克服其惯性力而在车轮与路面之间发生的滑动摩擦力（摩擦系数可达 0.5 以上）。鉴于一行汽车不可能全部同时制动，制动力就并不等于摩擦系数乘桥上全部车辆荷载。《桥规》规定 对于 1~2 车道，制动力按布置在荷载长度内的一行汽车车队总重力的 10% 计算，但不得小于一辆重车重力的 30% 对于 4 车道的桥梁，制动力按上述规定数值增加一倍。各种支座传递的制动力可按《桥规》中有关规定采用。履带车和平板车不计制

动力。

制动力的方向就是行车方向，其着力点在桥面以上 1.2m 处。在计算墩台时，可移至支座中心（铰或滚轴中心）或滑动、橡胶、摆动支座的底板上。计算刚架桥、拱桥和木桥时，可移至桥面上，但不计因此而产生的力矩及竖向力。

### 3. 离心力

位于曲线上的桥梁，当曲率半径等于或小于 250m 时，须考虑车辆离心力的作用。离心力等于车辆荷载（不计冲击力）乘以离心力系数  $C$ ，即：

$$H = CP$$

此处

$$C = \frac{v^2}{127R}$$

式中： $v$ ——计算车速 (km/h)；

$R$ ——弯道半径 (m)。

为了计算方便，车辆荷载  $P$  通常就采用均匀分布的等代荷载。多车道桥的等代荷载亦按规定折减。离心力的着力点在桥面以上 1.2m（为计算简便也可移至桥面上，但不计由此引起的力矩）。

### 4. 车辆荷载引起的土侧压力

车辆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，可按换算的等代均布土层厚度来计算。

#### (三) 人群荷载

设计公路桥涵时的人群荷载一般为  $3\text{kN/m}^2$ ，城市郊区行人密集地区一般为  $3.5\text{kN/m}^2$ 。城市桥梁应根据具体情况另行规定。在有人行道的桥梁上，人群荷载与汽车荷载同时考虑，而用验算荷载时则不计人群荷载。

当人行道板为钢筋混凝土板时，还应以  $1.2\text{kN}$  集中竖向力作用在一块板上进行计算。计算栏杆时，人群作用于栏杆上的水平推力规定为  $0.75\text{kN/m}$ ，施力点在栏杆柱顶；人群作用于扶手的竖向力规定为  $1\text{kN/m}$ ，施力点在上部扶手。

#### (四) 其它可变荷载

##### 1. 支座摩阻力，流水压力及冰压力

摩阻力可按下式计算：

$$F = \mu V$$

式中： $V$ ——作用于活动支座的竖向反力；

$\mu$ ——支座的摩擦系数 见《公路桥涵设计通用规范》。

作用在桥墩上的流水压力可按下式计算：

$$P = kA \frac{\gamma v^2}{2g}$$

式中： $\gamma$ ——水的容重 ( $\text{kN/m}^3$ )；

$v$ ——设计流速 (m/s)；

$A$ ——桥墩阻水面积 ( $\text{m}^2$ )，一般算至一般冲刷线处；

$g$ ——重力加速度 ( $9.8\text{m/s}^2$ )；

$k$ ——桥墩形状系数 见表 1-7。

桥墩形状系数

表 1-7

桥墩形状	$k$	桥墩形状	$k$
方形桥墩	1.5	尖端形桥墩	0.7
矩形桥墩(长边与水流平行)	1.3	圆端形桥墩	0.6
圆形桥墩	0.8		

冰压力可参见《公路桥涵设计通用规范》。

## 2. 温度影响力

对于超静定结构，必须考虑温度变化影响产生的变形和由此引起的影响力。温度变化范围应根据建桥地区的气温条件而定。

## 3. 风力(即风荷载)

1) 横向风力为横向风压乘以迎风面积。横向风压是每平方米迎风面积上所受横向风力的大小，它与设计风速、地形地理条件、风压高度、风速频率和载体体形有关，其值按下式计算：

$$W = K_1 K_2 K_3 K_4 W_0 \quad (\text{Pa})$$

式中： $K_1$ ——设计风速频率换算系数，对特殊大桥及在高速公路、一、二级公路上的大、中桥梁采用 1.0；其它桥梁采用 0.85；

$K_2$ ——风载体形系数，桥墩见表 1-8 其它构件为 1.3；

$K_3$ ——风压高度变化系数，见表 1-9；

$K_4$ ——地形、地理条件系数，见表 1-10；

$W_0$ ——基本风压值 (Pa) 当有可靠风速记录时按  $W_0 = v^2/1.6$  计算；若无风速记录时，可参照《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021—85) 所规定的“全国基本风压分布图”，并通过实地调查核实后采用；

其中： $v$ ——设计风速 (m/s) 按平坦空旷地面，离地面 20m 高，频率 1/100 的 10min 平均最大风速确定。

风载桥墩体形系数 ( $K_2$ )

表 1-8

截面形状	圆形截面	短边迎风的圆端形截面	短边迎风的矩形截面	
长宽比值	$l/b$	$\geq 1.5$	$\leq 1.5$	$> 1.5$
体形系数 $K_2$	0.8	0.3	1.4	0.9

风压高度变化系数 ( $K_3$ )

表 1-9

离地面或常水位高度(m)	$\leq 20$	30	40	50	60	70	80	90	100
高度变化系数 $K_3$	1.00	1.13	1.22	1.30	1.37	1.42	1.47	1.52	1.56

地形、地理条件系数 ( $K_4$ )

表 1-10

地形、地理条件	一般地区	山间盆地、谷地	峡谷口、山口	位于避风地点或城市市区内	沿海海面及海岛
地形、地理条件系数 $K_4$	1.00	0.75~0.85	1.20~1.40	0.8	1.30~1.50

2) 纵向风力因受上部构造和桥台、路堤的阻挡，较横向风力为小，常按折减后的横向风压乘以迎风面积来计算。例如桥墩上的纵向风力，可按横向风压的 70% 乘以桥墩迎风面积计算。