

第一篇 桥梁设计基本理论

第一章 桥梁的规划与设计

第一节 桥梁总体规划原则

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

与设计其他构筑物一样，在桥梁规划设计中按重要性应分别考虑以下各项要求：

一、安全性

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

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

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

二、适用性

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

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

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

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

另外，桥面的平整程度是保证行车的平稳和舒适程度的关键。

三、经济因素

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

四、先进性

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

五、施工上的要求

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

六、美观上的要求

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

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

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

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

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

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

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

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

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

第二节 桥梁设计程序

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

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

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

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

第三节 桥梁的规划设计

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

一、野外勘测与调查研究工作

对于跨越河流的桥梁，结构解析条件一般包括下面几方面的内容：

(一) 技术条件

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

(二) 自然条件及桥位选择

需要调查的自然条件包括：

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

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

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

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

(2) 测量桥位处河床断面；

(3) 调查了解洪水位的多年历史资料，通过分析推算设计洪水位；

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

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

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

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

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

当地及附近的运输条件，这些情况对施工起着重要的作用。

桥梁施工机械、动力设备与电力供应的了解，这些还影响设计与施工方案的确定。

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

1. 近期与远期

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

2. 线路与桥位

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

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

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

3. 长桥与短桥

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

4. 大跨与小跨

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

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

二、桥梁纵、横断面设计和平面布置

(一) 桥梁纵断面设计

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

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

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

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

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

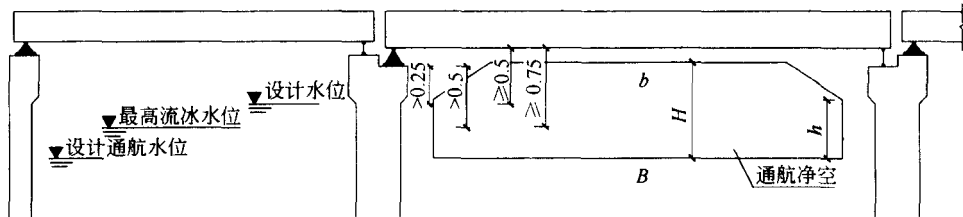


图 1-1 桥梁纵断面

尺寸单位：m

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

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

于0.5m(图1-1)。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0.1m。对于有漂流物和流冰阻塞以及易淤积的河床,桥下净空应分别情况适当加高。

在通航河流上,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(表1-1)。表中 B 、 H 是对梁式桥的要求,至于拱桥或下缘带斜撑的桥梁,还需符合 b 及 h 的要求。

天然、渠化河流及人工运河通航净空要求

表 1-1

航道等级	桥下净空尺寸(m)					
	净跨 B		顶部净宽 b		净空高度	
	天然及渠化河流	人工运河	天然及渠化河流	人工运河	H (中部)	h (边部)
一	70	50	55	35	12.5	5.0
二	70	50	55	35	11	5.0
三	60	40	45	30	10	3.0
四	44	28~30	35	23	7~8	3.0
五	32~38.5	25	30	20	4.5~5.5	2.0
六	20	13	15	10	3.5~4.5	1.5

注:1.本表是根据中华人民共和国交通部标准《公路桥位勘测设计规程》(试行)JTJ 092-82中有关规定摘录的;
2.本表不包括通海轮的航道和长江干流宜宾至海口段。

桥梁当受到两岸地形限制时,允许修建坡桥,但大、中桥桥面纵坡不宜大于4%,位于市镇混合交通繁忙处的桥面纵坡不得大于3%,保证行车的顺利和桥面排水要求。

(二) 桥梁横断面设计

桥梁的宽度决定于桥上交通需要。1989年中华人民共和国交通部部标准《公路桥涵设计通用规范》(JTJ 021-89)(以下简称《通规》)表1.4.1-1和表1.4.1-2分别规定了各级公路行车道宽度和中间带宽度,并给出了如图1-2所示的各级公路建筑限界。

汽车专用公路上的桥梁不设人行道,但应设检修道及安全护栏。

一般公路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,必要时可设适当的分隔设施。一个自行车道的宽度为1.0m。自行车道数应根据自行车交通量而定,当单独设置自行车道时,一般不应小于两个自行车道的宽度。

人行道宽度取0.75m或1.0m,当大于1.0m时按0.5m的级差增加。

以通行拖拉机或兽力车为主的慢车道,其宽度应根据当地行驶拖拉机或兽力车车型及交通量而定;当沿桥梁一侧设置时,应不小于双向行驶要求的宽度。

不设人行道和自行车道的公路桥梁,应设置栏杆和安全带。与路基同宽的小桥和明涵可仅设缘石或栏杆。

路缘石高度可采用0.25~0.35m。

(三) 平面布置

桥梁的线型及桥头的引道要保持平顺,使车辆能平稳地通过。

小桥涵的线型及其与公路的衔接,可按路线的要求布置。

大、中桥梁的线型,多为直线,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。亦允许修建斜交桥,其斜度一般不大于 45° ,通航河流宜

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）。

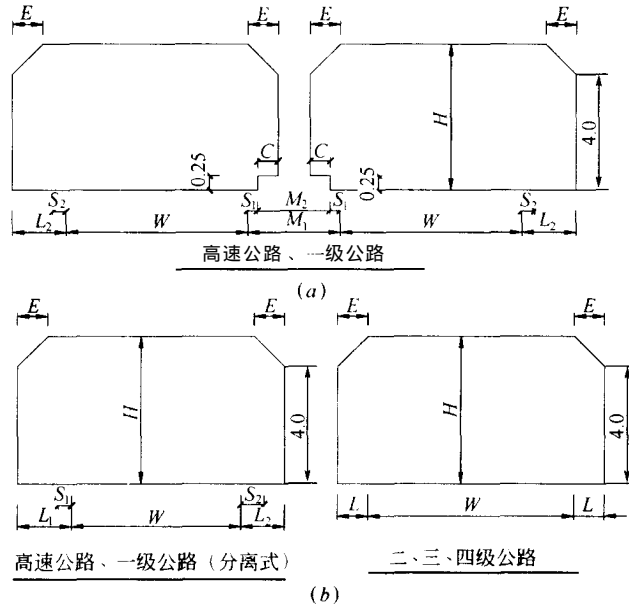


图 1-2 公路建筑限界（单位：m）

(a) 无中间带的建筑限界；(b) 有中间带的建筑限界

图中：W——行车道宽度；

C——当计算行车速度等于或大于 100km/h 时为 0.5m ，小于 100km/h 时为 0.25m ；

L——侧向宽度，高速公路、一级公路的侧向宽度为硬路肩宽度 (L_1 、 L_2)，其他各级公路的侧向宽度为路肩宽度减去 0.25m ；

L_1 ——左侧硬路肩宽度；

L_2 ——右侧硬路肩或紧急停车带宽度；

S_1 ——行车道左侧路缘带宽度；

S_2 ——行车道右侧路缘带宽度，一般为 0.5m ；

M_1 、 M_2 ——中间带宽度及中央分隔带宽度；

E——建筑限界顶角宽度。当 $W \leq 1\text{m}$ 时， $E = L$ ；当 $W > 1\text{m}$ 时， $E = 1\text{m}$ ；

H——净高。汽车专用公路和一、二级公路为 5.0m ，三、四级公路为 4.5m 。一条应采用一个净高。

第四节 桥梁的组成与分类

桥梁自上而下由三个主要部分组成：

1. 桥跨结构（或称桥孔结构、上部结构），是线路遇到障碍物（如河流、山谷或其他线路等）而中断时，跨越这类障碍的结构物。

2. 桥墩、桥台（统称下部结构），是支承桥跨结构的建筑物。桥台设在两端，桥墩则在两桥台之间（图 1-3）。桥墩的作用是支承桥跨结构；而桥台除了支承桥跨结构的作用外，还要与路堤衔接，并防止路堤滑塌。为保护桥台和路堤填土，桥台两侧常做一些防护和导流工程。

3. 墩台基础，保证桥梁墩、台安全，埋入土层之中，并使桥上全部荷载传至地基的

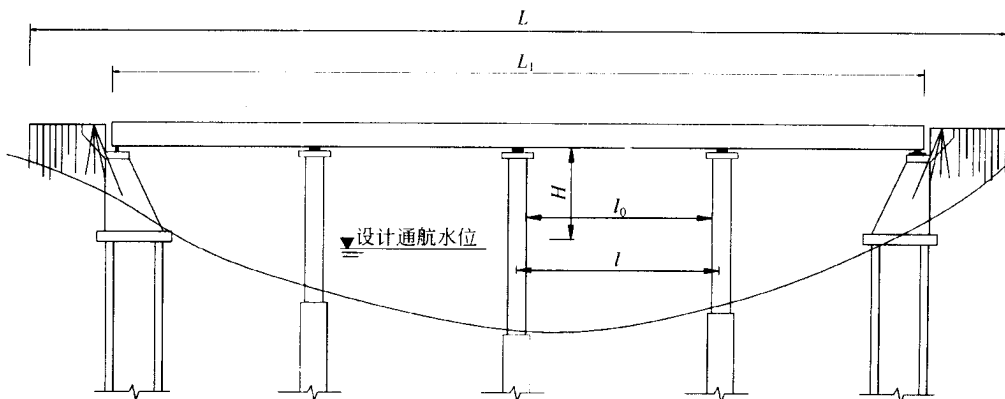


图 1-3 桥梁的基本组成

结构部分。基础工程在整个桥梁工程施工中是比较困难的部位，而且是常常需要在水中施工，因而遇到的问题也很复杂。

作用于桥梁结构的主要活载，如车辆荷载和人群荷载，是按照下面的顺序传递的：上部结构→下部结构→墩台基础→地基。实际的设计分析及计算一般也按照这个顺序进行。

对于常见的梁式桥而言，相邻的桥两支点间的距离 l ，称为计算跨径。桥跨结构的力学计算是以计算跨径为准的。对于梁式桥而言，桥梁两个桥台侧墙或八字尾端间的距离 L ，称为桥梁全长（无桥台的桥梁为桥面系行车道长度）。而通常又把两桥台台背前缘间距离 L_1 称为桥梁总长。对于桥梁总长 $8\text{m} \leq L_1 \leq 30\text{m}$ 和计算跨径 $5\text{m} \leq l \leq 20\text{m}$ 的称为小桥； $30\text{m} \leq L_1 \leq 100\text{m}$ 和 $20\text{m} \leq l < 40\text{m}$ 称为中桥； $L_1 \geq 100\text{m}$ 和 $l \geq 40\text{m}$ 称为大桥； $L_1 \geq 500\text{m}$ 和 $l \geq 100\text{m}$ 的称为特殊大桥。

对于梁式桥，设计洪水位线上相邻两桥墩（或桥台）的水平净距 l_0 称为桥梁的净跨径，各孔净跨径的总和，称为桥梁的总跨径。桥梁总跨径反映它的排、泄洪水能力。

设计洪水位或设计通航水位对桥跨结构最下缘的高差 H ，称桥下净空高度。桥下净空高度 H 不得小于因排洪所要求的，以及对该河流通航所规定的净空高度。

桥面（或轨顶）对桥跨结构最低边缘的高差 h ，称为桥梁的建筑高度。公路或铁路选线中所确定的桥面（或轨顶）标高，对桥下通航或排洪必需的净空高度之差，又称为容许的建筑高度。很明显，桥梁的建筑高度不得大于它的容许建筑高度，否则不能保证桥下的通航或排洪要求。

根据容许建筑高度的大小和实际需要，桥面可布置在桥跨结构的上面或下面。布置在桥跨结构上面的，称上承式桥；下面的称下承式桥；中间的称中承式桥。

上承式桥的主要优点是构造简单，施工方便；桥跨结构的宽度可以做得小些，因而可节省桥墩台的圬工数量；桥道布置简单，而且旅客在桥面上通过时，视野开阔。所以，对城市桥来说，一般尽可能采用上承式。

上承式桥的建筑高度 h 是包括主梁高度在内的，所以是在容许的建筑高度较大时才能采用。在容许的建筑高度很小的情况下，可将桥面降低，并设在桥跨结构的下面，即采用下承式桥；对大跨拱式结构则可将桥面布置在结构高度的中间，采用中承式桥。

在有些情况下，如果造上承式桥而必须提高路面（或轨顶）的标高，势必增加台后路

堤的填土量（甚至增加引桥），故而有时不经济。在铁路桥中，限制纵坡很小，为了避免过高的路堤和过长的引桥，下承式桥采用较多。对于城市桥梁，只有在受到周围建筑的限制，不容许过分抬高桥面标高时，才采用下承式桥。

在桥梁工程中，除了上述基本结构外，常常有路堤、护岸、导流结构物等附属工程，其建设费用有时占整个桥梁修筑费用相当的大部分。

桥梁有各种分类方式。按其用途来分，有公路桥、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）。

按主要承重结构所用的材料来划分，有木桥、钢桥、圬工桥（包括砖、石、混凝土桥）、钢筋混凝土桥和预应力钢筋混凝土桥。木材易腐而且资源有限，因此，除了少数临时性桥梁外，一般不采用。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）。

按结构体系划分，有梁式桥、拱桥、刚架桥、吊桥等四种基本体系及组合体系桥等。

桥梁除了跨越河流之外，还有跨越其他线路的跨线桥和跨越深谷桥梁等。除了固定式的桥梁以外，还有开启桥、浮桥、漫水桥等等。

在混凝土桥中，按施工的方法可分为现浇式的和装配式的混凝土桥。前者是采用支架一次现浇而成的整体式结构或在桥位上采用现代先进施工方法逐段现浇而成整体结构；后者是在工厂（或工场、桥头）预制成各种构件，然后运输、吊装就位、拼装形成的整体结构。

预制装配节段式混凝土桥可以节约模板、支架，缩短施工工期；因制作条件较好，质量可以保证，所以它的优点较突出，是目前桥梁发展的方向之一。但是它需要一定的运输条件和吊装机具，这在设计时应该考虑进去。逐段现浇节段式混凝土桥主要应用于预应力混凝土结构，如采用悬臂施工、逐跨施工法、移动模架法等预应力混凝土节段式桥梁（悬臂梁、T形刚构、连续梁、连续一刚构等各种体系）。因这种施工是逐段推进、模板、机具设备可反复利用，结构整体性好，突出表现了现代桥梁建设向大跨度、使用先进技术和工艺的特点。

第五节 公路桥面构造

一、铺装层

公路桥面在行车道上设铺装层，又称桥面保护层。它的作用是防止车辆轮胎或履带直接磨损行车道板；对主梁起到防水作用，保护主梁免受雨水侵蚀；并对车辆轮载起分布作用。设计时，行车道铺装层要有一定的强度，防止开裂，并保证耐磨。

行车道铺装层主要有两种类型：水泥混凝土和沥青混凝土。前者耐磨性能好，但养生期长，日后修补较麻烦。为了提高铺装层的耐久性，水泥混凝土强度等级宜用 C30~C40。为了提高铺装层的抗拉强度及耐磨性，有的桥还在混凝土内掺入少量的钢纤维，即钢纤维混凝土，只是由于各方面原因目前尚不普及。沥青混凝土铺装的重量较轻，维修养护也较方便，铺筑后几个小时就能通车运营，但高温稳定性差，易老化。一般装配式简支梁桥上先铺一层水泥混凝土，再铺一层沥青混凝土，水泥混凝土将参与预制板（梁）整体受力。连续梁桥上多铺沥青混凝土，铺装层厚度约为 7~13cm。

二、排水、防水系统

排水、防水系统，除设置横坡及防水层、泄水管外，还可靠设置桥面纵坡排水。

桥上纵坡一般是适应桥址地形，为了降低两岸引桥或路堤标高，同时也有利于排水。除了有纵坡的短桥，桥面一般均设横坡。曲线上桥面设单坡，直线上桥面设 1.5%~3% 的双向坡。横坡的设置形式，除在桥面板上铺设混凝土三角形垫层或桥面板做成倾斜面外，对于较宽的桥面，为了不致出现太厚的铺装层，还可将三角形垫层设在墩帽，梁略带倾斜放置。

桥面的防水层，设置在行车道铺装层下边，它将透过铺装层渗下的雨水汇集到泄水管排出。在城市桥梁中一般将泄水管，如同房屋泄水管一样，沿着墩壁一直延伸到路面，以避免水溅到构筑物上影响耐久性和美观。

三、伸缩缝

理想的公路桥梁伸缩缝应满足下列要求：

1. 满足桥梁自由伸缩要求；
2. 牢固、耐用；
3. 车辆驶过时平顺；
4. 要防止雨水和杂物渗入阻塞；
5. 养护方便。

伸缩缝是公路桥梁的薄弱环节，常常遭到损坏而需要养护、更换。这里主要介绍用得较多的几种伸缩装置。

1. 梳形板式伸缩装置

梳形板式伸缩装置是 20 世纪 70 年代前大桥上常用的一种伸缩装置。它是由分别连接在相邻两个梁端的梳形钢板交错咬合而成的，并利用梳齿的张合来满足桥面伸缩要求。它的优点是构造简单、伸缩自如、伸缩量大；缺点是不防水、梁端转角在齿端形成折角，引起路面不平及车辆跳动。

2 板式橡胶伸缩装置

橡胶板嵌在伸缩缝中，通过预埋螺栓固定在桥面铺装层内。利用橡胶板的弹性和伸缩槽来达到伸缩的目的。橡胶板中设置钢板用来加强橡胶板承载能力。

这种伸缩装置一般适用于伸缩量 30~60mm。如果在橡胶板下增设上述梳形钢板来支托橡胶板，一面用橡胶板来防水，二者同时起伸缩的作用，则伸缩量可以增加至 300mm。板式橡胶伸缩装置构造简单，价格便宜，安装较困难，伸缩时会出现高差变化，伸缩变形时阻力较大，有时橡胶板会脱落。

四、栏杆与防撞墙

凡设人行道桥梁必然要设栏杆，公路桥上栏杆千姿百态，要求造型美观，这里不作介绍。要注意一点，凡在桥面设伸缩缝处，栏杆都要断开。

防撞墙主要设于只通汽车的立交桥上。随着车速的提高，人行道高出路面 30cm 的构造已不能防止车辆冲击栏杆的事故。在重要桥梁或高等级以下公路桥上，已开始设置防撞墙，作为机动车道与人行道或非机动车道的分隔带。防撞墙高约 0.6~0.8m，为钢筋混凝土挡墙，有时为了美观，墙顶上设不锈钢管等。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国交通部部标准 . 公路桥涵设计通用规范 (JTJ 021—89) . 北京 : 人民交通出版社 , 1989
- 2 中华人民共和国行业标准 . 公路桥涵施工技术规范 (JTJ 041—2000) . 北京 : 人民交通出版社 , 2000
- 3 中华人民共和国交通部部标准 . 公路桥涵地基与基础设计规范 (JTJ 024—85) . 北京 : 人民交通出版社 , 1985
- 4 姚玲森 . 桥梁工程 . 北京 : 人民交通出版社 , 1999
- 5 范立础 . 桥梁工程 (上) . 北京 : 人民交通出版社 , 1986
- 6 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) . 北京 : 中国计划出版社 , 1999
- 7 王序森 , 唐震澄 . 桥梁工程 . 北京 : 中国铁道出版社 , 1995
- 8 罗娜 . 桥梁工程概论 . 北京 : 人民交通出版社 , 1998
- 9 叶国铮 , 姚玲森 , 李秩民 . 道路与桥梁工程概论 . 北京 : 人民交通出版社 , 1998

第二章 桥梁设计荷载

选定荷载、结构解析和绘制构造图纸是桥梁计算工作中的三个主要部分。荷载的种类、型式和大小选择是否恰当，关系到桥梁结构在它的有限寿命期限内的安全，也关系到桥梁建设费用的合理投资。从某种意义上，荷载分析是比结构解析更为重要的问题。

荷载可以根据不同的观点分类：可以分为主要荷载、次要荷载及特殊荷载，前者为结构设计中必须考虑的经常起作用的荷载；次要荷载为设计结构主要部分中，虽非经常起作用，但在荷载组合时必须考虑的荷载；特殊荷载则根据桥梁结构特性、建桥地点具体情况和施工方法等，是要特别加以考虑的荷载。在“通规”中将荷载分为永久荷载、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，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随时间变化，且其变化不可忽略的荷载。按其影响程度，又分为基本可变荷载（活载）和其他可变荷载；偶然荷载是指结构在设计使用期内不一定出现，但一出现，其值很大，且持续时间很短的荷载。

各类荷载列于表 2-1 中。

荷 载 分 类 表 表 2-1

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

注：如构件主要为承受某种其他可变荷载而设置，则计算该构件时，所承荷载作为基本可变荷载。

第一节 永久荷载（恒载）

永久荷载亦称恒载，它是在设计使用期内，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的荷载。作用在桥梁上部结构的恒载，主要是结构物的重力、预应力混凝土结构中的永存预应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通过支座传递的作用力、墩台本身重力、土压力及其引起的土侧压力或水浮力。

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及其材料的重量密度计算。常用各种材料的容重可按“通规”中的数值采用。

作用于墩台上的土压力、土侧压力可参照“通规”附录一、二和《公路桥涵地基与基础设计规范》（文献 [3]）附录二中所规定的方法计算。

第二节 可 变 荷 载

按对桥涵结构的影响程度，可变荷载又分为基本可变荷载（亦称活载）和其他可变荷载。基本可变荷载中主要部分是车辆荷载及其影响力。其他可变荷载中包括自然和人为产生的各种变化力。

一、基本可变荷载（活载）

（一）车辆荷载

桥梁上行驶的车辆荷载有许多不同的型号和载重等级，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。

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，我国交通部在公路桥梁设计规范（“通规”）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（图 2-1、图 2-2 及表 2-2）；把偶然、个别出现的平板挂车和履带车作为验算

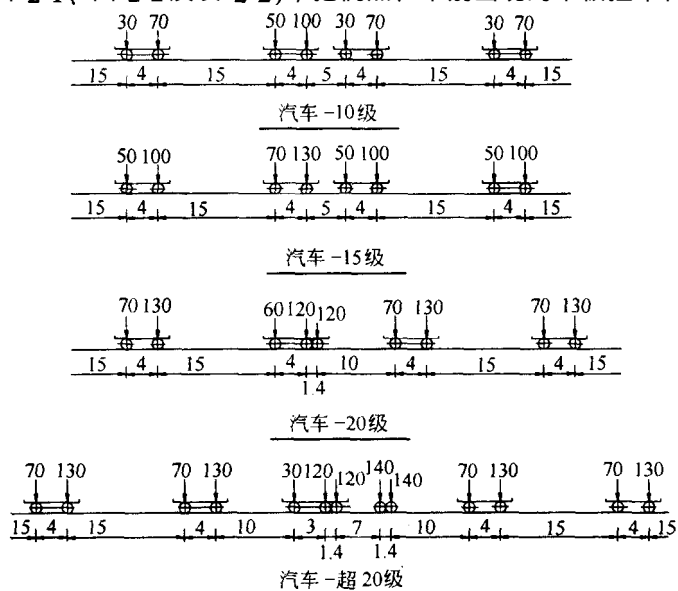


图 2-1 各级汽车车队的纵向排列

轴重力单位：kN；尺寸单位：m

荷载（图 2-3 及表 2-5）。

汽车荷载的车队分为汽车—10 级、汽车—15 级、汽车—20 级和汽车—超 20 级四个等级。

每级车队中有一辆重车，其前后都是主车，主车的辆数不限，图中所示荷载均为轴重。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的排列。桥梁的横向布置车队数及相应的横向折减系数分别见表 2-3、表 2-4。

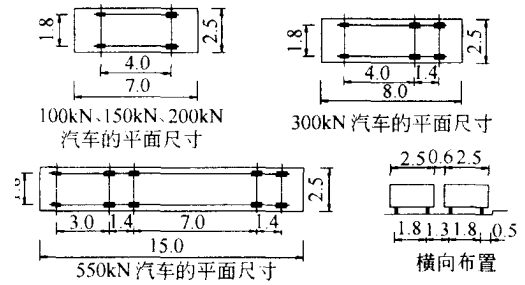


图 2-2 各级汽车的平面尺寸和横向布置
尺寸单位：m

各级汽车荷载主要技术指标

表 2-2

主要指标	单位	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> 汽车—10 级 主车 重车 </div> <div style="text-align: center;"> 汽车—15 级 主车 重车 </div> <div style="text-align: center;"> 汽车—20 级 主车 重车 </div> <div style="text-align: center;"> 汽车—超 20 主车 重车 </div> </div>				
		一辆汽车总重力	kN	100	150	200
一行汽车车队中重车辆数	辆	—	1	1	1	1
前轴重力	kN	30	50	70	60	30
中轴重力	kN	—	—	—	—	2×120
后轴重力	kN	70	100	130	2×120	2×140
轴距	m	4.0	4.0	4.0	4.0+1.4	3+1.4+7+1.4
轮距	m	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
前轮着地宽度及长度	m	0.25×0.20	0.25×0.20	0.3×0.2	0.3×0.2	0.3×0.2
中、后轮着地宽度及长度	m	0.5×0.2	0.5×0.2	0.6×0.2	0.6×0.2	0.6×0.2
车辆外形尺寸（长×宽）	m	7×2.5	7×2.5	7×2.5	8×2.5	15×2.5

注：一行汽车车队中，主车辆数不限。

桥梁横向布置车队数

表 2-3

桥面净宽 W (m)		横向布置车队数
车辆单向行驶时	车辆双向行驶时	
$W < 7.0$	$7.0 \leq W < 14.0$	1
$7.0 \leq W < 10.5$	$14.0 \leq W < 21.0$	2
$10.5 \leq W < 14.0$	$21.0 \leq W < 28.0$	3
$14.0 \leq W < 17.5$	$28.0 \leq W < 35.0$	4
$17.5 \leq W < 21.0$		5
$21.0 \leq W < 24.5$		6
$24.5 \leq W < 28.0$		7
$28.0 \leq W < 31.5$		8

横向折减系数

表 2-4

横向布置车队数	3	4	5	6	7	8
横向折减系数	0.78	0.67	0.60	0.55	0.52	0.50

平板挂车和履带车主要技术指标

表 2-5

主要技术指标	单位	履带—50	挂车—80	挂车—100	挂车—120
车辆重力	kN	500	800	1000	1200
履带数或车轴数	个	2	4	4	4
各条履带压力或每个车轴重力	kN	56kN/m	200	250	300
履带着地长度或纵向轴距	m	4.5	1.2+4.0+1.2	1.2+4.0+1.2	1.2+4.0+1.2
每个车轴的车轮组数目	组	—	4	4	4
履带或车轮横向中距	m	2.5	3×0.9	3×0.9	3×0.9
履带宽度或每对车轮的着地宽度和长度	m	0.7	0.5×0.2	0.5×0.2	0.5×0.2

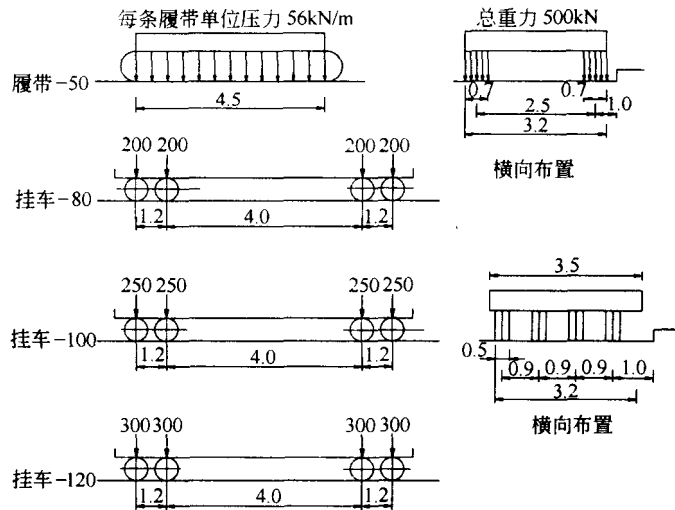


图 2-3 平板挂车和履带车荷载的纵向排列和横向布置

轴重力单位：kN；尺寸单位：m

验算荷载分为 500kN 履带车（简称履带—50），800kN、1000kN 和 1200kN 平板挂车（简称挂车—80、挂车—100 和挂车—120）等四种。用验算荷载进行验算时，对于履带车，顺桥纵向可考虑多辆行驶，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。履带车履带的中线或平板挂车外侧车轮的中线，离人行道或安全带的距离不得小于 1m。验算时，不考虑冲击力。

另据“通规”的修订说明：车辆荷载中今后新、改建工程中，不再使用汽—15 级、挂—80 这一荷载等级设计桥涵，但在形式上仍予以保留。

车辆标准荷载的等级，一般应根据桥梁所在公路的等级、使用任务、性质和将来的发展等具体情况确定。参见表 2-6。

车辆荷载等级选用表

表 2-6

公路等级	高速公路	一	二	三	四
计算荷载	汽车—超 20	汽车—超 20 汽车—20	汽车—20	汽车—20	汽车—10
验算荷载	挂车—120	挂车—120 挂车—100	挂车—100	挂车—100	履带—50

- 注：1. 一条公路上的桥涵，一般应采用同设计荷载和验算荷载；
 2. 当新建三级干线公路时，对原有桥涵达到汽车—15、挂车—80荷载标准的可适当利用；
 3. 在有集装箱运输的一级公路应采用汽车—超 20、挂车—120 的车辆荷载；
 4. 桥面行车道净宽 4.5m 的桥梁，其平板挂车不作具体规定，设计时可按实际情况，自行确定；
 5. 临时性桥涵的车辆荷载可自行确定。

(二) 人群荷载

设计公路桥涵时的人群荷载一般为 $3\text{kN}/\text{m}^2$ ，城市郊区行人密集地区一般为 $3.5\text{kN}/\text{m}^2$ ，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，而用于验算荷载时则不计入人群荷载。

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

(三) 汽车冲击力

汽车以较高的速度在桥上行驶，由于车辆驶过时路面不平、车轮不圆和发动机的抖动等原因也会使桥梁发生振动而造成内力加大的现象称为冲击作用。也就是说，桥梁不仅承受车辆各轴的重力作用，还受到一种冲击力。但是目前对于冲击作用还不能做出完全符合实际情况的理论分析和实际计算，一般就引出一个荷载冲击系数，即以系数 $(1 + \mu)$ 来考虑冲击作用的影响，在设计计算中汽车荷载的冲击力为汽车荷载乘以冲击系数。冲击系数的公式主要是根据在现代桥梁上所做振动实验结果而近似地设计出来的，冲击系数 $(1 + \mu)$ 是随着 l 的增加而减小的，它的数值在公路桥中小于等于 1.3(表 2-7)。

钢筋混凝土、预应力混凝土、混凝土和砖石桥涵的冲击系数

表 2-7

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、柱式墩台、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

- 注：1. 对于简支的主梁、主桁、拱桥的拱圈等主要构件， l 为计算跨径长度；
 2. 对于悬臂梁、连续梁、刚构、桥面系构件、仅受局部荷载的构件以及墩台等， l 为其应用内力影响线的荷载长度（即为各荷载区段加载长度之和）；
 3. 当 l 值在表 2-7 所列数值之间时，冲击系数可用直线内插法求得。

(四) 离心力

公路桥梁设计规范中规定在曲线上的桥梁，当半径等于或小于 250m 时需考虑车辆的离心力作用。离心力为车辆荷载（不计冲击力）乘以离心力系数 C ，计算公式如下：

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