

基 础 工 程

汤康民 主编

西南交通大学出版社

出版说明

本书是根据1987年10月召开的“铁道工程、桥梁、隧道专业教学指导委员会，土地基及路基教学指导小组会议纪要”，按所订教学大纲编写的。目的在于克服大专层次使用本科教材的缺点，提高该层次的教学质量。

本书系统地阐述了桥梁基础工程设计与施工的基本理论、原则和方法。具有下列几个显著特点：（一）内容尽量符合最新设计和施工等规范的精神及条文规定，使学用紧密结合；

（二）与一般教材相比较，本书加强了施工机械、施工技术、施工原则和施工方法方面的内容，以满足实际工作的需要；（三）为满足我国现场实际工程的需要，增加了地基加固一章；（四）根据编者长期的教学经验，在编写次序上进行了合理的安排：先讲某种基础的类型和结构构造，再讲设计计算，最后讲施工；按“m”法的有关原理，先讲桩基础，再讲沉井基础，这样，既可避免重复性，又可突出地基和基础的共同作用；（五）语言通俗易懂，叙述简明扼要；（六）尽管篇幅有限，本书仍能结合国内外情况，介绍了有关基础施工的新技术和新工艺。

本书教学时数约51学时。第七章涉及较深的数学知识和力学原理，供对墩台基础抗震设计要求较高的专业选用。使用本教材时，学生除应完成各章习题外，尚应做一个基础工程的课程设计，借以加强基本功训练和培养学生分析和解决问题的能力。

本书第一、二章由华东交通大学王乃珍编写，第三、四章由西南交通大学汤康民编写，第五章由兰州铁道学院刘华杰编写，第六章由兰州铁道学院周传圣编写，第七、八章由长沙铁道学院刘启凤编写。全书由西南交通大学汤康民主编，西南交通大学赵善锐教授主审。

赵善锐教授认真地审阅了原稿，并提出了不少改进意见，对此编者表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中错误或不当之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1989年4月11日

内 容 简 介

本书为高等学校大学专科专业教材。系统地阐述了桥梁基础工程的设计原理和施工原则，主要内容包天然地基上明挖基础、桩和桩基础、沉井基础的设计和施工，墩台基础的抗震设计和地基加固等。

本书内容重点突出、安排合理，并使之尽量符合最新规范的各项规定，做到学用结合紧密。叙述考虑了学生的接受能力，在保证科学性的基础上，力求简明扼要、通俗易懂。书中各章均有例题或设计举例，便于学生加深理解和灵活运用。

本书可作为铁道工程、桥梁、隧道和现有的土建结构等专业的大学专科专业教材，亦可供现场工程技术人员和本科师生参考。


JICHU GONGCHENG
汤康民

西南交通大学出版社出版发行
(四川·峨眉山市)
四川省新华书店经销
西南交通大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 16.25
字数 396 千字 印数: 1—7000
1990 年 6 月第 1 版 1990 年 6 月第 1 次印刷
ISBN 7—81022—167—1/T 061
定价: 3.60 元

目 录

第一章 天然地基上明挖基础的设计与计算	1
§ 1—1 明挖基础的类型和构造	1
§ 1—2 明挖基础的设计原则	2
§ 1—3 明挖基础的砌体材料	3
§ 1—4 明挖基础的埋置深度及尺寸拟定	4
§ 1—5 桥涵基础设计荷载	6
§ 1—6 明挖基础的检算	19
§ 1—7 矩形桥墩下明挖基础设计算例	28
第二章 天然地基上明挖基础的施工	40
§ 2—1 基坑开挖与基坑护壁	40
§ 2—2 基坑排水和降低水位	44
§ 2—3 水中围堰和水下挖土	46
§ 2—4 基底处理、基础圬工与灌注水下混凝土	48
§ 2—5 基坑支撑的计算	55
第三章 桩和桩基础的设计计算	62
§ 3—1 桩和桩基础的类型与构造	62
§ 3—2 地基土的弹性抗力	66
§ 3—3 桩和桩基础的设计原则	71
§ 3—4 单桩变位及内力的计算	72
§ 3—5 高承台桩基础承台变位及桩顶内力的计算	100
§ 3—6 低承台桩基础承台变位及桩顶内力的计算	118
§ 3—7 双向受力桩基础	123
§ 3—8 单桩轴向承载力的检算及轴向容许承载力的确定	123
§ 3—9 桩基础按实体基础的检算	135
§ 3—10 墩台顶水平位移的检算	137
§ 3—11 其他检算	137
§ 3—12 算 例	139
第四章 桩基础施工	145
§ 4—1 沉桩设备	145
§ 4—2 沉桩施工	149

§ 4—3 钻（挖）孔灌注桩施工及钻孔机具·····	152
§ 4—4 桩尖爆扩桩·····	160
§ 4—5 水中修筑桩基础·····	160
第五章 沉井基础的设计计算 ·····	164
§ 5—1 沉井的类型和构造·····	165
§ 5—2 沉井按刚性基础设计计算·····	168
§ 5—3 钢筋混凝土沉井结构设计计算·····	174
§ 5—4 沉箱基础概述·····	183
§ 5—5 算 例·····	184
第六章 沉井施工 ·····	194
§ 6—1 一般沉井的施工方法·····	194
§ 6—2 泥浆润滑套沉井和空气幕沉井简介·····	200
§ 6—3 沉井施工中常出现的问题及其解决办法·····	204
§ 6—4 浮运沉井·····	206
第七章 桥梁墩台基础的抗震设计 ·····	210
§ 7—1 地震、震害和抗震的基本知识·····	210
§ 7—2 计算地震荷载的静力理论·····	212
§ 7—3 地震土压力的计算·····	213
§ 7—4 按反应谱设计理论计算地震荷载的基本原理·····	215
§ 7—5 墩台基础的抗震设计方法·····	221
§ 7—6 饱和砂层的地震液化·····	228
§ 7—7 设计算例·····	230
第八章 地基加固 ·····	235
§ 8—1 换土法的原理与计算·····	235
§ 8—2 沙桩法的原理与计算·····	237
§ 8—3 灌浆法·····	240
§ 8—4 电动法·····	241
§ 8—5 设计算例·····	242
参考资料 ·····	245

第一章 天然地基上明挖基础 的设计与计算

凡是直接在未加固过的地基土上修筑基础，该地基土能保持其自然形成的土质结构和特性，不需要进行人工加固，就具有良好的稳定性的，称为天然地基。当地基土的土质很差，不经过人工加固处理，就不能达到设计要求的，称为人工地基。也有局部地区遇到的地基土土质特殊，如湿陷性黄土、多年冻土、压缩性强的软土等，这些地基均需做特殊的设计和施工，称为特殊地基。

基础可分为两大类：平基和桩基。平基的基底一般为一平面，即使有些基础建筑在倾斜的岩面上，需将基底做成台阶状，也属平基之例。工程界常把平基按其基底埋置深度，大致分为浅平基和深平基两类。由于浅平基一般是在露天开挖的基坑内直接修筑基础，人们通常对用此种方法施工的基础，称为明挖基础。如用沉井和沉箱等特殊施工方法修筑的基础，则称为深平基。

铁路新建土建工程中，大量的建筑物基础，几乎均建筑在天然地基上，而且多数都采用明挖基础。这种方法既能保证质量，又简便易行，经济效益也较好。

支承在地基上的所有建筑物，如桥梁、房屋等，都是由暴露在地面上的上部结构和埋在地下的下部结构，即基础组成。基础的作用，就是要承受由上部结构传来的全部重量与其他各种外力，并将它们可靠地传递到地基中去。本章将介绍明挖基础的设计与计算。

§ 1—1 明挖基础的类型和构造

按基础的受力性能分，明挖基础可分为刚性基础和柔性基础。

明挖基础多用砖、石、混凝土或钢筋混凝土等材料做成。除钢筋混凝土外，上述其他材料所砌筑的基础，虽都有一定的抗压强度，但抗拉、抗剪强度都不高。设计时必须保证发生在基础内的拉应力、剪应力不超过材料的容许抗拉和抗剪强度。这一规定是通过构造上的限制来实现的，即基础每个台阶的宽度（外伸部分的宽度）与其高度之比不超过某一数值。在这样的限制下，基础的相对高度都比较大。几乎不会发生弯曲变形。所以这类基础，习惯上称为刚性基础。外伸部分的宽高比可用 $\tan \beta$ 表示， β 称为容许刚性角。如基础用钢筋混凝土做成，因材料的抗压、抗拉和抗剪性能都好，使基础在受力时允许有一定的变形，因此就可根据需要做成各种形状的截面。这类基础称为柔性基础。

按其构造形式分，明挖基础可分为扩大基础、条形基础、筏片基础和箱形基础等。

一、扩大基础

如桥梁墩台的大块实体基础（图 1—1）、房屋建筑的柱基（图 1—2）等属于此类。

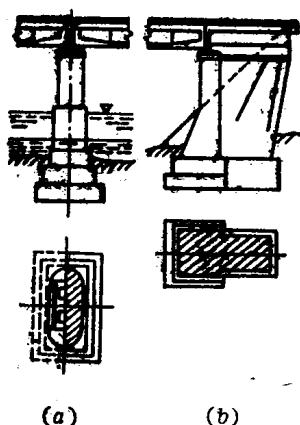


图 1—1 桥梁墩台大块实体基础

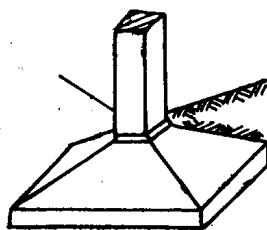


图 1—2 柱基

二、条形基础

挡土墙基础、房屋墙下基础，通常是连续设置成长条形，属于条形基础。相邻很近的柱基也可连接成条形的联合基础（图 1—3）。

三、筏片基础和箱形基础

如基础上面是一系列的墙或柱支承的结构，且传来的荷载很大，地基土较软弱，可采用做成一片连续的钢筋混凝土板作为全部墙或柱的基础，简称为筏片基础（图 1—4 a）。

在软弱地基上建筑高层房屋和某些地下工程，为加强基础和在使用上的需要，可采用由钢筋混凝土底板、顶板和纵横墙组成的整体结构，称为箱形基础（图 1—4 b）。箱形基础不仅具有相当大的抗弯刚度，而且由于基础深埋、空腹，减少了基础底面的压力，可以增加承受上部结构荷载的能力。

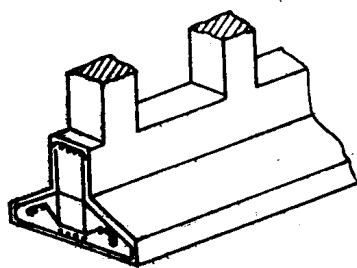
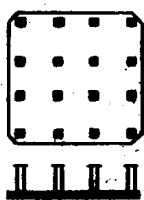
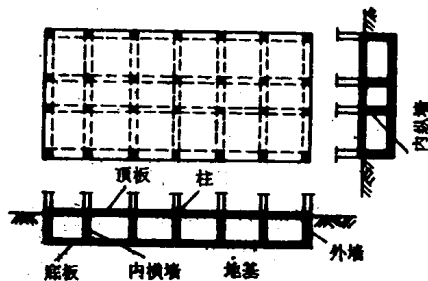


图 1—3 条形联合基础



(a) 平板式筏片基础



(b) 箱形基础

图 1—4 筏片基础与箱形基础

§ 1—2 明挖基础的设计原则

基础设计前必须收集有关资料。例如：

地形地质——桥址平面图，桥位纵断面图，桥墩（台）处横断面图。除地形、地貌外，这些图上应详细绘出地质分界线，标明钻孔或其他勘探点位置，注明岩层产状，不同层次的

标高或层厚等。另外还应说明各土层的物理力学性质、颗粒大小、地下水活动及渗透情况等资料。

水文、气象——设计水位、常水位、施工水位、低水位的标高；设计和施工水位的流量和流速；流冰和流水情况；洪水季节和施工季节；当地最大风速、气温及冻结线深度等。注意根据水文、河床情况及桥梁孔径，正确地确定一般冲刷和局部冲刷深度。

线路 线路等级、股道数目、线路平面及纵断面设计、轨底标高等。

桥跨和墩台的构造形式 跨长、全长、梁高、支座型式、墩台截面尺寸等。

当地的施工力量情况 技术水平、机具配备等。

当地情况 可供使用的建筑材料及工程用水、地方交通、电力供应等。

根据上述资料，通过计算以保证基础的安全使用。基础设计应满足下列要求：

(1) 拟定基础的埋置深度；选择基础类型；拟定有关尺寸。

(2) 地基的强度。为了保证地基具有足够的强度，应验算基底压应力；当基底以下有软弱土层时，还应检算该软弱土层面的压应力。

(3) 基础本身的强度。桥梁墩台下的基础，特别是明挖基础多为刚性基础，只要满足刚性角的要求，基础本身的强度即可得到保证。

(4) 基底偏心距的检算。为了使基底应力分布较为均匀，避免出现基底两侧过大的不均匀下沉而使墩台倾斜，应检算基底合力对基底重心的偏心距。

(5) 基础的倾覆、滑动稳定性。为保证基础具有足够的稳定性，应检算基底的倾覆稳定性和滑动稳定性。

(6) 地基稳定性。当墩台是修筑在较陡的土坡上，或桥台筑于软土上且台后填土较高时，还应检算墩台连同土坡或路基沿滑动弧面的滑动稳定性。

(7) 沉降。过大的沉降或沉降差会影响结构物的正常使用，甚至会破坏上部结构，要特别注意那些对沉降差特别敏感的超静定结构，如连续梁、拱桥等。

(8) 水平位移。当墩台很高时，需要检算墩台顶的水平位移。

当然满足上述要求的基础方案一般都不止一个，这就需要从技术、经济和施工方案等方面作综合比较，择优选用。

§ 1—3 明挖基础的砌体材料

基础埋在土中，经常受潮，容易受侵蚀，而且它是建筑物的隐蔽部分，破坏了不容易发现，也不容易修复，所以必须保证基础的材料有足够的强度和耐久性。因此，对于基础的材料要有一定的要求。

1. 石料，指未经加工整平的毛石和加工整平的块石。它具有相当高的强度和抗冻性，是基础的良好材料。特别是山区，石料可以就地取材，应该充分利用。做基础的石料要选用质地坚硬，不易风化的岩石，石块的厚度不宜小于 15 cm。石料和砂浆的标号要求见表 1—1。

基础用石料及砂浆最低标号 表 1—1

地基的潮湿程度	石料	白灰、水泥混合砂浆	水泥砂浆
稍潮湿的	200	25	25
很潮湿的	200	50	50
含水饱和的	300	—	50

2. 素混凝土。这是建筑基础最常用的一种材料，其抗压强度、耐久性比块石砌体为高。在修筑桥梁墩台之类大体积基础时，还可以掺入 15~20% 砌体体积的片石，既不影响强度，又可节省水泥。

3. 钢筋混凝土。是质量很好的基础材料。用于荷载大、土质软弱或地下水位以下的基础。

此外，砖也可用作基础材料，但因其强度较低，多用于修筑轻型工业与民用建筑中的砖柱或砖墙基础。

§ 1—4 明挖基础的埋置深度及尺寸拟定

基础的埋置深度指的是基础底面的埋置深度，其确定原则是在保证安全可靠的前提下，尽量浅埋，但也要有一定的埋置深度。因为表土一般都松软，由于被植物根系所削弱，不宜作为基础的持力层。

一、基础的埋置深度

影响基础最小埋置深度的因素，主要有下列几方面：

(一) 保证持力层稳定的最小埋深

地表土易受气候与湿度的影响，或使体积胀缩，或受雨水冲蚀，另外有些地下动物也多在此表层土内活动。因此，为了保证持力层的稳定和不受扰动，基底应在地面以下不小于 2 m，困难情况下不小于 1 m。

(二) 严寒地区的冻结深度

由于冬季气温反复多次降温 and 回升，使地面下一定深度内土中的水分随之多次冻结与融化。每一次冻结，使土体有一定的膨胀，形成松散和隆起现象。再由于土中毛细管的作用，引起水分从土的未冻结部分移向冻结部分，增加了土的湿度，这样，由于冻结形成的薄冰夹层不断增加。经历多次反复过程，土结构的变形会达到相当大的程度。当地基土为非均质时，由于冻结的时间和程度的不一致，建筑物各部分的上升和下降很不均匀，从而会给建筑物带来断裂或倾斜等后果。当冻土融化时，土层将发生局部过分潮湿，致使土的承载力降低。

地基土的冻胀与地基土的种类、天然含水量以及冻结期间地下水位低于天然冻结线的最小距离等因素有关。为保证建筑物不受冻胀，基底应埋在冻结线以下一定深度。《桥规》规定：墩台明挖基础埋置深度，对于冻胀、强冻胀土应在冻结线以下不小于 0.25 m。

土的标准冻结深度，系指地表无积雪和草皮覆盖时，多年实测最大冻深的平均值。在无实测资料时，可参考《建筑地基基础设计规范》中中国季节冻土标准冻深线图，并结合调查情况确定。

(三) 河流的冲刷深度

在有水流的河床上修建墩台基础时，必须审慎地考虑洪水的冲刷作用。整个河床断面被洪水冲刷后要下降，这叫一般冲刷。被冲刷下去的深度叫一般冲刷后的深度。同时在墩台四周还冲出一个深坑，如图 1—5 所示，叫局部冲刷坑，该坑的深度叫局部冲刷深度。我国某些暴涨暴落的大河，冲刷时可达 1~20 m。所以若基础的埋深小于冲刷深度时，则一次洪水

就可能把基底下的土全给淘光冲走，使墩台因失去支承而倒塌。因此要求基底一定要埋置在最大可能冲刷线以下，不小于下列安全值：对于一般桥梁安全值为 2 m 加冲刷总深度 10%；对于特大桥（或大桥）属于技术复杂、修复困难或重要者，安全值为 3 m 加冲刷总深度的 10%，如表 1—2 所示。

建于抗冲性能强的岩石上的基础，可不考虑上列规定，对于抗冲性能较差的岩石，应根据具体情况确定基底埋置深度。

以上三点说明，确定基底埋置深度，必须使地基土不受外界因素的影响，这是保证基础安全的先决条件和最低要求，这样确定的埋深称为最小埋深。设计时，除了必须满足最小埋深外，持力层的地基承载力则是确定基底埋深的重要因素。因此，设计步骤应该首先根据《桥规》要求得出的最小埋置深度，初步拟定几种可行方案，然后进行有关检算，再从技术、经济和施工条件上进行比较，最后确定基础的埋置深度。

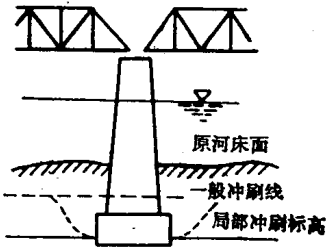


图 1—5 河水的冲刷作用

基 底 埋 深 安 全 值 表 1—2

冲刷总深度, (m)			0	5	10	15	20
安全值 (m)	一般桥梁		2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
	特大桥（或大桥）属于技术复杂、修复困难或重要者	设计频率流量	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
		检算频率流量	1.5	1.8	2.0	2.3	2.5

注 冲刷总深度为自河床面算起的一般冲刷深度与局部冲刷深度之和。

二、基础的尺寸拟定

基础顶面一般应低于设计地面 10 cm 以上，以免基础外露，遭受外界影响而破坏。

基底形状一般应大致和墩台形状相符，例如墙下基础可用条形基础，圆墩下用圆形或八角形基础；矩形墩下用矩形基础。为便于施工，圆形墩和圆端形墩以及形状较为复杂的墩台，也多采用矩形。

由于地基土的强度比墩台圬工的强度低，上述各种形状基底的平面尺寸都需要稍大于墩台底平面尺寸。要扩大多少，则决定于上部荷载和地基土的强度。

如图 1—6，基础顶面的台阶宽度 C ，称为襟边。对刚性基础，单从本身强度考虑，如前所述，只要襟边宽度使该处的刚性角 β 不大于容许值 $[\beta]$ ，基底就不会在该处因受拉而断裂。通常规定：石砌圬工的容许刚性角 $[\beta]$ 为 35° ；混凝土圬工的 $[\beta]$ 为 45° 。

如满足不了刚性角的要求时，则可考虑改用钢筋混凝土基础。改用钢筋混凝土后，两边的伸出量可以不受刚性角的限制，受力后容许有变形，这在工业与民用建筑中常被采用。

从基础本身的受力分析看，由襟边 A_0D_0 ，高 A_0A 所组成的倒三角形 AA_0D_0 这块圬工不起什么作用（图 1—6），但为施工方便，并考虑到基础位置因测量、立模等工作可能造成的偏差，也为了保护基础顶面因断面变化而产生应力局部集中所造成的破坏。通常规定：房建的最小襟边为 5~15 cm；墩台为 20~25 cm。

桥梁工程，因埋深大，常采用刚性基础。当基础的厚度较大时，在保证刚性角 β 和最小襟边的原则下，可将基础作成阶梯形以节省圬工如图 1—7 所示。台阶的每一层厚度应不小于 1 m。

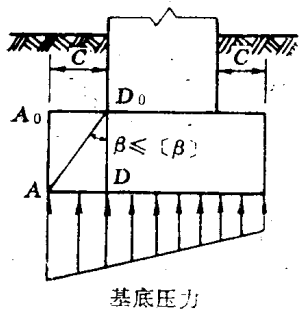


图 1—6 明挖基础

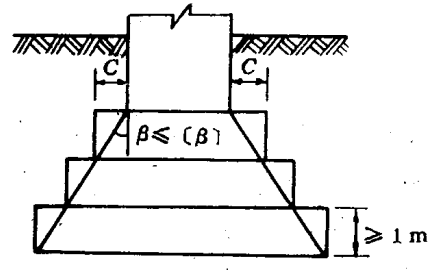


图 1—7 台阶形明挖基础

基础的厚度，根据外荷载和持力层的容许承载力 $[\sigma]$ 大小而定。根据设计经验：筑在基岩上的基础，1 m 厚是足够的；筑在土质地基上者，视跨度和墩高而定：跨度 $l_0 \leq 8$ m，墩高在 4~12 m 者用 1~2 m 厚；跨度在 8~20 m 之间，墩高在 6~23 m 者用 1~3 m 厚；跨度大于 20 m，墩高在 9~30 m 者用 2~5 m 厚。

§ 1—5 桥涵基础设计荷载

设计基础时，必须先计算出作用于基底形心处的合力，此合力是由作用于基底以上结构的各种荷载所组成。根据我国铁路桥涵设计规范所规定的计算荷载，以及各种荷载的取舍和具体算法，可参考《桥规》中有关条例。现以桥墩和基础为例，分述荷载的计算方法。

一、主要荷载

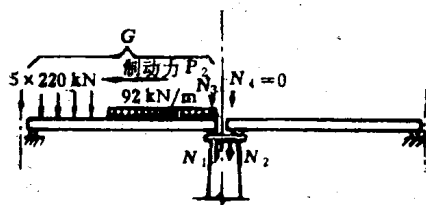
主要荷载包括恒载、活载。恒载指结构自重、土压力、静水压力及浮力、预应力混凝土结构的预加力、混凝土收缩及徐变的影响等。这些荷载是对桥梁经常起作用的，其作用点一般也是不变的，故称恒载。

铁路活载是列车及由列车引起的荷载，包括列车（机车及车辆）重量、离心力、冲击力、列车活载引起的土压力等。此外还有人行道活载，遇到公路铁路两用桥时还要考虑公路活载。

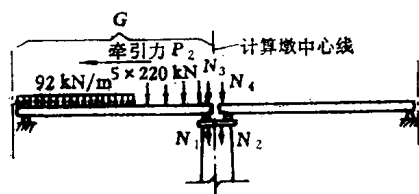
列车活载因机车车辆类型不同，其轴距、轴重各异，因而对桥梁的影响各不相同。各国就所用的机车车辆对桥梁的影响进行分析研究后，制订出标准活载来表示不同机车车辆荷载，使计算工作简化。我国现行铁路标准活载称“中华人民共和国铁路标准活载”，简称“中—活载”。它分普通活载和特种活载。普通活载前面 37.5 m 长的一段大致相当于两台连同煤水车的蒸汽机车，其后的分布荷载代表车辆荷载。特种活载是用以反映某些轴重很大的特殊车辆（如架桥机、救援列车等），这些特殊车辆将对小跨度桥梁引起极为不利的影响。下面分别介绍：

(一) 恒 载

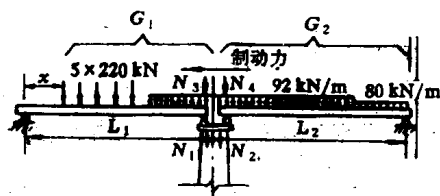
它是无时无刻不在作用着的荷载，在任何情况下都得考虑。它包括（见图 1—8）：



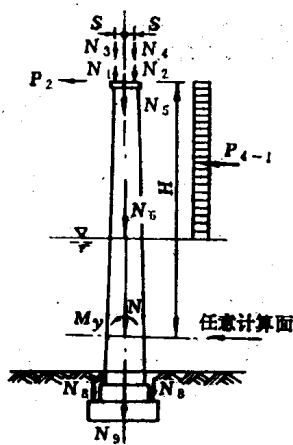
(a) 单孔轻载



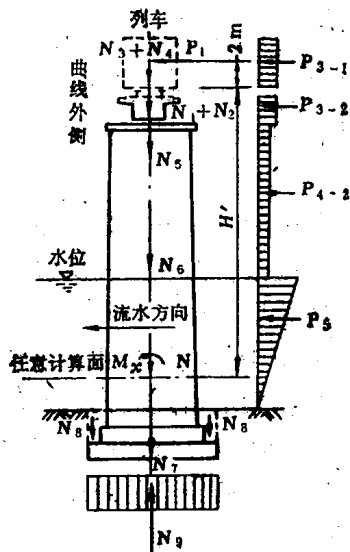
(b) 单孔重载



(c) 双孔重载



(d) 纵向受力



(e) 横向受力

图 1—8 桥墩的常用设计荷载

注 图 (a)、图(b)和图(c)为桥墩基础纵向检算时活载布置图式

1. 结构自重：

桥跨自重 (N_1 、 N_2) 指梁部结构、线路材料、人行道等的重量。

墩台自重 指顶帽重 (N_5)、墩或台身重 (N_6)、基础重 (N_7)。

土重 (N_s) 指基础襟边以上回填土的重量。

2. 土压力。指桥台背面所受的土压力, 路堤填方作用于涵洞上的竖向和水平向土压力等;

3. 静水压力及浮力 (N_s)。如涵洞是为泄水而修筑的, 其内侧作用有静水压力。

位于碎石类土、砂类土、粘砂土等透水地基上的墩台, 当检算稳定性时应考虑设计频率水位的水浮力; 计算基底应力或基底偏心时仅考虑常水位 (包括地表水或地下水) 的水浮力。

检算墩台身截面或检算位于粘土上的基础, 以及检算岩石 (破碎、裂隙严重者除外) 上的基础, 如基础混凝土与岩石接触良好时, 均不考虑水浮力。

位于砂粘土和其他地基上的墩台, 不肯定是否透水时, 应分别按透水与不透水两种情况检算基底而取其不利者。

4. 预加应力, 指预应力结构而言;

5. 混凝土收缩和徐变的影响。对于刚架、拱等超静定结构、预应力混凝土结构应考虑, 而涵洞可不考虑;

(二) 活 载

列车活载虽然不是像恒载那样无时无刻都在作用着, 但桥涵是为通过列车而修筑的, 所以将它和恒载一样并列为主要荷载。它包括:

1. 列车活载。铁路列车竖向活载必须采用中华人民共和国铁路标准活载, 即“中—活载”。标准活载的计算图式见图 1—9 所示。

设计中采用“中—活载”加载时, 标准活载计算图式可任意截取或采用特种荷载, 均以产生最不利情况为准。

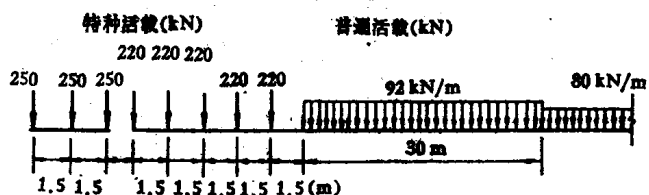


图 1—9 中—活载图式

当列车荷载采用“中—活载”图式计算时, 是以通过桥跨以支座反力方式传递至桥墩。由于列车在桥墩上位置是移动时, 为了使列车荷载对桥墩产生控制设计的最不利影响, 纵向主力加附加力检算桥墩基础最常用的活载布置图式如图 1—8 所示。图 1—8(a) 单孔轻载和图 1—8(b) 单孔重载, 均为整孔满布最大活载, 以求得梁上出现最大的列车制动力或牵引力, 并使支座反力对桥墩产生最大的偏心弯矩。图 1—8(c) 双孔重载使列车重量对中间墩的支座反力之和为最大值。根据结构力学原理得知, 如果相邻两跨梁的跨度分别为 L_1 和 L_2 , 两孔梁上的列车重量分别为 G_1 和 G_2 , 当 $G_1/L_1 = G_2/L_2$ 时, 中间墩所承受的支座反力即为最大值, 从而可以计算出图中“ x ”值。

2. 公路活载。铁路公路两用的桥梁, 考虑同时承受铁路和公路活载时, 铁路活载应按上述规定计算, 公路活载应按交通部现行的《公路工程技术标准》规定的全部活载的 75% 计算, 但对仅受公路活载的构件, 应按公路全部活载计算。

3. 离心力 (图 1—8(e) 中 P_1)。列车在曲线桥上行驶时将产生离心力。离心力为横向水平力, 其作用方向指向曲线外侧。《桥规》规定: 离心力作用于轨顶以上 2m 处。离心力的大小等于竖向静活载乘以离心力率 C , C 值按下式计算, 但不大于 15%。

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

式中 V ——设计行车速度 (km/h);
 R ——曲线半径 (m)。

因为离心力等于列车重量与离心力率的乘积, 故作用于桥墩上的离心力与桥跨上的活载位置有关; 其数值应等于相应活载布置的支座反力乘以离心力率。图 1—8 (a) (b) (c) 的三种活载布置图式中, 以双孔重载对设计墩的反力最大。因此, 双孔重载作用于设计墩时的离心力也必然是最大的。它对桥墩任意计算截面上的离心力弯矩 M 应为 (图 1—8 e)

$$M = (N_3 + N_4) \cdot C \cdot (2 + H') \quad (1-2)$$

式中 $N_3 + N_4$ ——作用于桥墩上的活载支座反力;
 C ——离心力率;
 H' ——轨顶至计算截面的高度。

4. 冲击力。竖向活载包括冲击力时, 应将静活载所产生的力乘以冲击系数 $(1 + \mu)$ 。设计基础时, 不考虑活载的冲击力。若欲了解冲击系数的计算, 参考《桥规》有关条例。

5. 列车活载所产生的土压力。活载在桥台后破坏棱体上引起的侧向土压力, 按活载换算为当量均布土层厚度计算。计算活载对涵洞的竖向压力和水平压力时, 假定活载在轨底平面上的横向分布宽度为 2.5 m, 其在路基内与竖直线成一角度 (正切为 0.5) 向外扩散, 其水平土压力, 按下式计算:

$$\text{水平 (土) 压力} \quad e = \xi q_h \quad (\text{kPa}) \quad (1-3)$$

式中 q_h ——在轨底以下深度 h 米处, 活载的竖向压力强度 (kPa);

$$q_h = \frac{165}{2.5 + h} \quad (1-4)$$

ξ ——系数。填土采用 0.25 或 0.35, 视设计的控制情况采用, 经久压实的路堤采用 0.25。

6. 人行道荷载。设计人行道时, 竖向静活载应采用的数值, 可查阅《桥规》有关规定。

二、附加荷载

附加荷载包括制动力或牵引力、风力、列车摇摆力、水流压力、冰压力、温度变化影响、冻胀力等。由于附加荷载的最大值并不经常出现, 而各种附加荷载同时出现最大值的机会更少, 因此《桥规》规定, 计入附加荷载时, 材料容许应力数值可以提高 20~30%。现分别介绍如下:

(一) 制动力或牵引力 (图 1—8 中 P_2)

当列车在桥上制动减速或停车时, 由于被闸瓦抱住的车轮不能再转动, 列车向前的惯性水平力使车轮及钢轨之间产生滑动摩擦阻力, 这种阻力叫制动力。它的作用方向与列车前进方向相同, 属于纵向水平力。试验资料表明, 在列车紧急制动停车前的瞬间所产生的制动力数值最大。机车启动或增加速度时则产生牵引力, 也是纵向水平力, 其方向与列车前进方向相反。它的数值与机车主动轮轴重和轮与轨接触面的摩擦系数成正比。《桥规》规定: 按竖

向静活载的 10% 计算纵向水平力。但当与离心力或冲击力同时计算时,制动力或牵引力应按竖向静活载的 7% 计算。桥头填方破坏棱体范围内的活载所产生的制动力或牵引力不予计算。

制动力或牵引力作用在轨顶以上 2 m 处,但计算桥墩台时移至支座中心处,计算台顶活载的制动力或牵引力时移至轨底,均不计移动作用点所产生的竖向力或力矩。

采用特种活载时,不计算制动力或牵引力。

简支梁传到墩台上的纵向水平力数值应按下列规定计算:

1. 固定支座为全孔制动力或牵引力的 100%;
2. 滑动支座为全孔制动力或牵引力的 50%;
3. 滚动支座为全孔制动力或牵引力的 25%;
4. 不设支座为全孔制动力或牵引力的 50%;
5. 当采用板式橡胶支座而不分固定与活动支座时,各为全孔制动力或牵引力的 50%;当分设固定与活动支座时,则固定支座为全孔制动力或牵引力的 100%,活动支座当两支座为等厚时为全孔制动力或牵引力的 50%;当两支座为不等厚时,按支座纵向抗剪刚度分配计算。

在一个桥墩上安设固定支座及活动支座时,应按上述数值相加。但对不等跨梁,此相加值不得大于其中较大跨的固定支座的纵向水平力;对于等跨梁,不得大于其中一跨的固定支座的纵向水平力。

(二) 风力 (图 1—8 中 P_3 、 P_4)

1. 风力为水平力,其方向可以垂直于线路(称横向),也可以平行于线路(称纵向)。作用于桥梁上的风荷载强度与风速的大小,受风建筑物的高度和形状及当地的地形地貌有关。《桥规》规定:作用于桥梁上的风荷载强度 W 按下式计算:

$$W = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 W_0 \quad (1-5)$$

式中 W ——风荷载强度 (Pa);

W_0 ——基本风压值 (以 Pa 计), $W_0 = V^2/1.6$, 系按平坦空旷地面,离地面 20 m 高,频率为 1/100 的 10 分钟平均最大风速 V (以 m/s 计) 计算确定。一般情况 W_0 可按《桥规》附录四“全国基本风压分布图”,并通过实地调查核实后采用;

K_1 ——风载体型系数,桥墩见表 1—3,其它构件为 1.3;

K_2 ——风压高度变化系数,见表 1—4。

K_3 ——地形、地理条件系数见表 1—5。

2. 作用在桥梁上的风力等于风荷载强度 W 乘以受风面积。横向风力的受风面积按桥跨结构理论轮廓面积乘以表 1—6 中的系数。

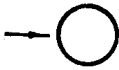
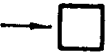
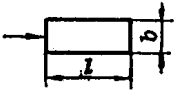
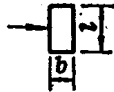
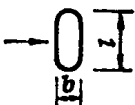
列车横向受风面积按 3 m 高的长方带计算,其作用点在轨顶以上 2 m 高处。

3. 桥上有车时,风荷载强度采用公式 (1—5) W 的 80% 计算,并不得大于 1250 Pa (125 kgf/m²);桥上无车时按 W 计算。

4. 纵向风力与横向风力计算方法相同。对于列车、桥面系和各类上承梁所受的纵向风力不予计算;对于下承横梁和搭架为其所受横向风力的 40%。

桥墩风载体型系数 K_1

表 1—3

序 号	截 面 形 状	长 宽 比 值	体型系数 K_1
1		圆 形 截 面	0.8
2		与风向平行的正方形截面	1.4
3		$l/b \leq 1.5$	1.2
		$l/b > 1.5$	0.9
4		$l/b \leq 1.5$	1.4
		$l/b > 1.5$	1.3
5		$l/b \geq 1.5$	0.3
6		$l/b \leq 1.5$	0.8
		$l/b > 1.5$	1.1

风压高度变化系数 K_2

表 1—4

离地面或常水位高度(m)	≤ 20	30	40	50	60	70	80	90	100
K_2	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_3

表 1—5

地 形、地 理 情 况	K_3
一 般 平 坦 空 旷 地 区	1.0
城市、林区盆地和有障碍物挡风时	0.85~0.90
山岭、峡谷、垭口、风口区、湖面和水库	1.15~1.30
特 殊 风 口 区	按实际调查或观测资料计算

(三) 列车横向摇摆力

列车高速行驶时，可产生横向摇摆力。《桥规》规定按 5.5 kN/m 计算，作用在轨顶面处，但不与风力同时计算。因风力往往比横向摇摆力更控制结构设计。

(四) 流水压力 (图 1—8 中 P_s)

作用于桥墩上的流水压力 (kN) 与水流速度和桥墩的形状关系很大, 可按式计算:

$$P = K \cdot A \cdot \frac{\gamma v^2}{2g}$$

(1—6)

- 式中
- P ——流水压力 (kN);

A ——桥墩阻力面积 (m^2), 通常计算至一般冲刷线处;

γ ——水的容重, 一般采用 $10 (kN/m^3)$;

g ——重力加速度 (m/s^2);

v ——计算时采用的流速 (m/s)。检算稳定性时采用设计频率水位的流速, 计算基底应力或基底偏心时, 采用常水位的流速。

K ——桥墩形状系数, 其值见表 1—7。

受风面积系数 表 1—6

钢桁架及钢塔架	0.4
钢拱两弦间的面积	0.5
桁拱下弦与系杆间的面积或上弦与桥系间的面积	0.2
整片的桥跨结构	1.0

桥墩形状系数 表 1—7

截 面 形 状	K
方 形 桥 墩	1.47
矩形桥墩 (长边与水流平行)	1.33
圆 形 桥 墩	0.73
尖 端 形 桥 墩	0.67
圆 端 形 桥 墩	0.60

流水压力的分布假定为倒三角形, 其合力的着力点位于水位线以下 $1/3$ 水深处。

(五) 冰压力

流水压力、冰压力不同时计算, 两者也不与制动力或牵引力同时计算。

(六) 温度变化的影响

指桥涵各部构件受温度变化引起的变形或由此引起的影响力。对于刚架、拱桥等超静定结构, 应考虑温度变化的影响。

(七) 冻胀力

只有在冻结深度范围内才有冻胀力。

三、特殊荷载

(一) 船只或排筏撞击力

只与主力同时计算。墩台承受船只或排筏的撞击力, 可按式计算:

$$F = \gamma \cdot v \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{W}{c_1 + c_2}}$$

(1—7)

- 式中
- F ——撞击力 (kN);

γ ——动能折减系数 ($m/m^{1/2}$)。当船只或排筏斜向撞向墩台时可采用 0.2; 正向撞击 (指船只或排筏驶近方向与撞击点处墩台面法线方向一致) 时可采用 0.3;

v ——船只或排筏撞击墩台时的速度 (m/s)。此项速度对于船只采用航运部门提供