

高等学校教材



兰州铁道学院 王华廉 主编

桥梁施工



中国铁道出版社

高等学校教材

桥梁施工

兰州铁道学院 王华廉 主编
西南交通大学 谢幼藩 主审

2003年03月21日

中国铁道出版社

1997年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书较全面地介绍了桥梁墩台、钢筋混凝土与预应力混凝土梁式桥跨、圬工拱桥、钢桥、斜拉桥、悬索桥的施工方法,对基本建设程序、招标投标的有关规定及施工组织设计也有较详细的介绍。

本书为高等院校桥梁和铁道工程专业教学用书,也可供施工技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁施工/王华廉主编. —北京:中国铁道出版社, 1997
高等学校教材
ISBN 7-113-02600-1

I. 桥… II. 王… III. 桥梁工程-工程施工-高等学校-教材 IV. U445

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 08382 号

高 等 学 校 教 材

桥 梁 施 工

兰州铁道学院 王华廉 主编

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区南菜园街甲 72 号)

责任编辑 李丽娟 封面设计 马 利

北京市燕山联营印刷厂印

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.25 插页: 1 字数: 319 千

1997 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—3000 册

ISBN7-113-02600-1/TU • 538 定价: 11.30 元

前 言

为满足高等学校桥梁专业和铁道工程专业的学生毕业后适应基层和施工现场工作的需要,使学生初步掌握较为系统的桥梁施工知识,经铁道部铁道工程、桥梁、隧道专业教学指导委员会研究,铁道部教卫司决定在铁道工程、桥梁专业教学计划中恢复开设桥梁施工课程,并作为两专业必修课。

随着桥梁施工技术的不断发展,新的施工方法不断出现,施工设备也不断更新。根据教学计划,在编写过程中,本着“少而精”的原则,选择最主要、最基本的内容进行编写,并力求介绍清楚,考虑到地基及基础课程中对桥梁基础施工已有较详细的介绍,为避免重复,本教材仅限于桥梁上部结构及墩台的施工内容。

本教材的特点之一是以各种类型桥梁为对象分别编写,且基本上是自成体系,便于根据教学需要选择讲授,并可供学生结合生产实习的内容进行现场自学。在教材内容上,特别增加了“施工准备、竣工验收及施工组织设计”一章,对基本建设程序和施工招标与投标方面的内容也作了较为详细的介绍。对于本教材未涉及到的其它类型桥梁的施工方法,在掌握了本教材基本内容的基础上,本着举一反三的原则,也是不难掌握的,故未一一列入。

在编写中,注意到尽量吸取和结合国内外桥梁施工的实际经验、最新成就和资料,因而本教材基本上反映了我国桥梁施工的现有水平。但是,作为教材,本书还是以桥梁施工的基本原理、基本方法为主,在教学中还应结合具体施工实例予以补充。

本书由兰州铁道学院王华廉主编,西南交通大学谢幼藩主审。参加编写工作的有:兰州铁道学院王华廉(第二、三、四章),欧阳永金(第一、五、六章),王俊榕(第七章);王欣负责主要章节的绘图工作。

编 者

1996.11

目 录

绪 论	1
第一章 桥梁墩台	3
第一节 墩台施工的基本要求	3
第二节 混凝土墩台模板及设计	4
第三节 混凝土工程	12
第四节 高桥墩施工特点	22
第五节 石砌与拼装式墩台	32
第二章 钢筋混凝土梁桥	35
第一节 脚手架	35
第二节 模 板	39
第三节 钢筋加工	43
第四节 混凝土工程	47
第五节 施加预应力	50
第六节 悬臂施工	51
第七节 钢筋混凝土桥跨的整孔架设	66
第三章 拱 桥	76
第一节 拱架构造和计算	76
第二节 拱架制造与安装	85
第三节 拱圈及拱上建筑施工	86
第四节 拱架卸落	88
第五节 拱桥的无支架施工	90
第六节 转体法施工	99
第四章 钢梁制造及架设	104
第一节 钢构件的制作	104
第二节 钢梁架设准备工作	108
第三节 在脚手架上拼装钢梁	110
第四节 钢梁的半悬臂及悬臂拼装	113
第五节 钢梁的拖拉架设	122
第六节 钢梁的浮运架设	129
第五章 斜 拉 桥	134
第一节 斜拉桥构造	134
第二节 主梁和索塔施工	136
第三节 拉索施工	140

第四节	斜拉桥施工验算	150
第五节	板拉桥的施工特点	153
第六节	施工实例	155
第六章	悬索桥	161
第一节	悬索桥构造	161
第二节	锚固系统施工	163
第三节	索塔和悬索施工	164
第四节	加劲梁及其它构件的安装	168
第五节	其它形式悬索桥的施工简介	170
第六节	施工实例	171
第七章	施工准备、竣工验收及施工组织设计	177
第一节	基本建设程序	177
第二节	施工招标与投标	179
第三节	施工准备	180
第四节	竣工验收	181
第五节	施工组织设计	182
第六节	施工场地布置	188
第七节	施工运输	202
参考文献		204

绪 论

大力发展交通运输事业,对于发展国民经济、促进文化交流和巩固国防等,都具有非常重要的作用。在铁路、公路、城市和农村道路交通的建设中,为了跨越各种障碍(如河流、沟谷或其它线路等),必须修建各种类型的桥梁和涵洞,因此,桥涵又成了陆路交通中的重要组成部分。桥梁工程不仅造价昂贵,而且工程规模十分巨大,某些复杂水文、地质条件下的大跨度桥梁,往往是全线的控制工程。保证按期建成重点桥梁工程,常常是保证全线早日通车的关键。建设一座现代化、高水平的桥梁,除了依靠先进的设计计算理论、计算手段(如电子计算机的应用)和高强优质的建筑材料之外,还必须依靠先进的施工技术和施工设备,否则,再好的设计也难以付之实施,而且先进的施工技术还能够影响和促进桥梁设计水平的提高和发展。大跨度桥梁如斜拉桥、预应力混凝土T型刚构桥、连续梁桥,以及一些深水基础桥梁,在近几十年内能够得到很快的发展,其原因之一也是得力于桥梁施工技术的发展。所以对于桥梁建设,设计和施工是相互关联的两个方面,都具有同等重要的作用。

我国文化历史悠久,是世界文明发达最早的国家之一。作为技术和文化艺术象征之一的桥梁,我们的祖先也在世界桥梁建筑史上创造了不少光辉灿烂的篇章。我国的古代桥梁不仅数量多,而且类型也多种多样,几乎包含所有近代桥梁中的最主要形式。古人在桥梁方面遗留给我们的最宝贵财富,恐怕还是在桥梁的建筑技艺方面。如举世闻名的赵州桥可称是我国古代桥梁建筑的杰出代表,该桥采用纵向并列方法砌筑拱圈,拱石表面凿有斜纹,并安放腰铁(铁箍),拱背设置铁拉杆,拱顶石采用刹尖方法等,这些措施完全符合拱桥受力特性,是其能完好保存至今的重要原因。

福建泉州洛阳桥(万安桥),采用筏形基础,并用牡蛎将基础加固成整体,从而解决了在海湾上建桥的最大难题——桥梁基础,这是我国古代劳动人民在桥梁建筑历史上的又一创举。此外还有像大渡河铁索桥等,都是我国古代桥梁建筑技术成就的典型实例。

我国桥梁施工技术的高速发展,则是在解放以后。中华人民共和国成立后,我国建成了很多工程艰巨、技术复杂的桥梁,如在长江上先后建成了武汉、南京、枝城、九江等大跨度钢桁架桥。这些桥梁不仅在大跨度钢桁架桥的设计、制造、安装技术方面达到了世界先进水平,而且在深水管柱基础的施工方面开创了桥梁建设历史新的一页。

在钢筋混凝土与预应力钢筋混凝土梁式桥方面,我国从50年代起就已广泛采用装配式工厂化生产的标准设计,用架桥机架设。它不但经济、适用,并且施工方便,能加快建桥速度。特别需要指出的是我国自行研制成功的新型架桥机(胜利型架桥机和红旗型架桥机),既可架桥又能铺轨,一机两用,安全可靠,可称一大创举。

在建造现代化大跨度预应力混凝土刚构桥、连续梁桥和悬臂梁桥方面,无论是设计和施工,我国都已达到世界先进水平(虎门大桥270m连续刚构为世界之最)。悬臂灌注、悬臂拼装和顶推法架桥等先进工艺和施工技术,已在各类桥梁施工中得到普遍应用。

在斜拉桥方面,我国自1975年开始建造以来,全国已建成斜拉桥数十座,成为目前世界

上建造这种桥梁座数最多的国家。在跨度方面也已达到世界先进水平,如已建成的南浦大桥(主跨 423m)、杨浦大桥(主跨 602m)、武汉长江二桥(主跨 404m)、铜陵长江大桥(432m)。珠海淇澳海湾大桥,其主跨 320m,为双塔单索面预应力混凝土斜拉桥,在同类型桥梁中为国内最大、世界第二。

在拱桥建筑方面,我国不仅历史悠久,而且成就非凡。特别是近十多年来,各种新型拱桥更是层出不穷。在石拱桥方面,我国建成了跨度 54m 的铁路石拱桥和跨度 116m 的公路石拱桥。钢筋混凝土拱桥则有跨度 150m 的铁路中承式拱桥和跨度 240m 的公路中承式桥梁。组合桁架拱的跨度最大已达 330m。钢管混凝土拱具有强度高(套箍作用)、跨度大、安装重量轻、施工方便等优点,因此成为近年来拱桥建设的一种热门形式。我国已建成的跨度超过 100m 的钢管混凝土拱桥已有十几座,正在建设中的还有跨度 200m 的广东南海三山西桥和跨度 420m 的万县长江大桥等。

桥梁施工是一项技术复杂而涉及面很广的工作,需要有周密的计划,完善合理的施工方法和精心的组织。桥梁施工与设计有着十分密切的关系,特别对于体系复杂的桥梁,往往不能一次按图完成结构施工,而需经历若干次结构体系的转换。因此,设计方面要考虑施工的可能性、经济性与合理性,要同时满足施工阶段与运营阶段的各项要求。施工方面应按设计要求进行施工。设计与施工有着不可分割的关系,因此,在当前的工程招标中,很多部门已实行设计单位与施工单位相结合,组成投标实体进行投标。合理组织施工往往是节约投资、缩短工期、提高综合效益的关键。根据统计,近年来在桥梁建设中,材料费用在工程造价中仅约占 30%~40%,而施工费用(制造费、运输费、安装架设费等)则占 60%~70%。因此,认真研究施工问题就显得特别重要。结合我国当前的施工水平,在桥梁施工中应做好以下几方面的工作:

- (1) 提高施工队伍的素质,培养一批技术熟练、应变能力强的施工技术专业人员;
- (2) 提高施工机械化的程度,做到机具设备配套;
- (3) 组织专业化施工,使技术力量、机具设备得到充分的利用;
- (4) 加强施工的科学管理,使工程质量、施工期限、工程造价处于最优状态。

在桥梁施工技术方面,我国已达到了很高的水平。我国有一支人数众多、技术过硬的桥梁专业施工队伍,具有桥梁施工所需要的各种机械和辅助设备,有专业的钢梁和钢筋混凝土桥梁制造厂。在桥梁建造技术方面,我国不仅具有能够在任何环境条件下建造桥梁的能力,而且能以更高的速度和质量建成任何形式的桥梁。

第一章 桥梁墩台

第一节 墩台施工的基本要求

墩台施工是桥梁建造中的一个重要部分，尤其在采用标准设计的中、小跨度铁路桥梁中，桥跨结构都由工厂预制，工地架设，因此，桥梁施工的主要工作是墩台施工。桥梁墩台施工的方法可分两种：一种是就地灌（砌）筑；另一种是预制、拼装装配式块件。目前，第一种方法是墩台施工中的主要方法。

墩台施工的基本要求是保证其位置、高程、各部分尺寸与强度均符合设计的规定。墩台位置与尺寸如有误差，容易使墩台产生超应力，甚至使桥跨结构安装不上。因此，墩台定位时要求各墩台中心距相对误差小于 $1/5000$ 。墩台中心定出后，应即确定墩台的纵、横十字线方向，并根据设计的结构尺寸进行放样施工。在施工过程中随着墩台身的不断起高，应经常进行墩台中心及桥跨尺寸的测量。墩台施工误差，除设计有特殊规定外，不得超过表 1—1 所列规定。

表 1—1 墩台施工容许误差

项	目	容许误差
	墩台前后、左右边缘距设计中心线尺寸	$\pm 20\text{mm}$
	采用滑模施工的墩身部分	
	1. 桥墩前后、左右边缘距设计中心线尺寸	$\pm 30\text{mm}$
	2. 桥墩平面扭角	2°
	墩台支承垫石顶面高程	0 -15mm
简支钢筋混凝土梁	1. 每片钢筋混凝土梁一端两支承垫石顶面高差	3mm
	2. 每孔钢筋混凝土梁一端两支承垫石顶面高差	5mm
	3. 无支座梁垫石顶面高差	5mm
简支钢梁	1. 钢梁一端两支承垫石顶面高差	钢梁宽度的 $1/1500$
	2. 每一主梁两端支承垫石顶面高差	5mm
	跨度 $\leq 56\text{m}$ 跨度 $> 56\text{m}$	计算跨度的 $1/10\ 000$ 并 $\geq 10\text{mm}$
	3. 前后两孔钢梁在同一墩顶支承垫石顶面高差	$\geq 5\text{mm}$

注：连续钢梁、整孔钢筋混凝土梁或采用橡胶支座的垫石顶面高差，另按各有关规定办理。

墩台的强度要靠所采用材料（如混凝土、砂浆、石料等）的质量和施工质量予以保证，因此，工程上所采用的材料一定要符合规定的要求并经检验合格才能采用。施工质量尤应保证，混凝土要密实均匀，圬工表面整洁，并不得有露筋、蜂窝、麻面、裂缝等疵病。

墩台施工，还需结合具体条件，尽量采用机械化的运输和施工设备，采用先进的施工方法和常备式辅助结构，以节约材料，减轻劳动强度。

第二节 混凝土墩台模板及设计

一、模板的构造要求

墩台轮廓尺寸和表面的光洁通过模板来保证,因此,模板的构造必须具备以下条件:

- (1) 尺寸准确,构造简单,便于制作、安装和拆卸;
- (2) 具有足够的强度和刚度,能够承受混凝土的重量和侧压力,以及在施工过程中可能出现的荷载和震动作用;

(3) 结构紧密不漏浆,靠结构外露表面的模板,应平整、光滑。

模板的结构还要便于钢筋的布置和混凝土灌筑,必要时应在适当位置安设活动挡板或窗口,因此,对于重要结构的模板均应进行模板设计。支撑模板的支柱和其它构件,也应便于安装和拆卸,并能多次重复使用。

二、模板的类型

桥梁墩台的模板类型有固定式模板、拼装式模板、组合钢模板、滑动模板及整体吊装模板等。

(一) 固定式模板

固定式模板也称零拼模板,它是采用预先在木工场制备好的模板构件,到工地就地安装的。模板由紧贴混凝土的面板(壳板)、支承面板的肋木、立柱、拉条(或钢箍)、铁件等组成,如图 1—1 所示。固定式模板安装时,先拼骨架(图 1—2),后钉壳板。具体做法是先将立柱安装在承台顶部的枕梁(底肋木)上,肋木固定在立柱上,在立柱两端用钢拉条拉紧并加强连结(可临时加横撑和斜撑),形成骨架。若桥墩较高时,要加设斜撑、横撑和抗风拉索等(图 1—3)。

模板骨架拼成后,即可将面板钉在肋木上。为防止面板翘曲,每块面板宽度最好不超过 200mm,厚度为 30~50mm。在桥墩曲面处,应根据曲度采用较窄木板。圆锥形模板的面板则应做成梯形。与混凝土接触的面板,一般应刨光,拼缝应严密不漏浆,以前常用油灰、木条等嵌塞缝隙,或用搭口缝、企口缝等。现在则多在模板表面铺塑料薄膜、钉胶合板或薄铁皮等。

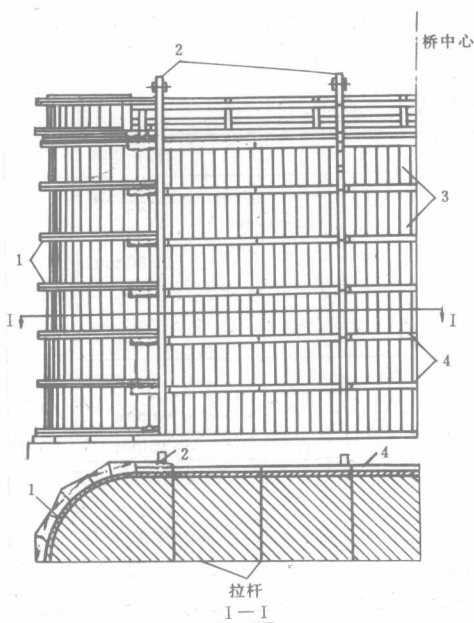


图 1—1

1—拱肋木; 2—立柱; 3—壳板; 4—水平肋木。

肋木与面板垂直,其作用是把面板连成整体,并承受面板传来的荷载。肋木可为方木或两面削平的圆木。曲面面板的肋木做成弧形,它由 2~3 层交错重叠的弧形板用钉或螺栓连接而成(图 1—4)。弧形肋木应根据准确的样板或在样台上按 1:1 放线加工制做,形状复杂的

模板更宜先制成模型套制。

拉杆采用 $\phi 12\text{mm} \sim \phi 20\text{mm}$ 钢筋制成。在混凝土外露的表面,宜使用可拆卸的连接螺栓紧固拉杆(图 1—5),拆模后将表面上的孔穴用砂浆填实。

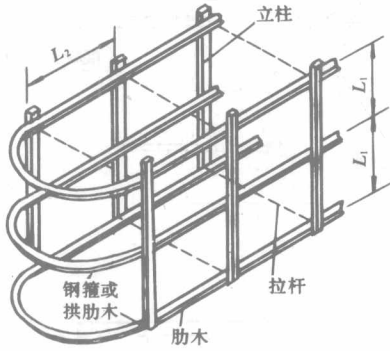


图 1—2

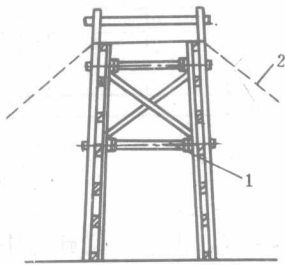


图 1—3

1—撑杆; 2—拉索。

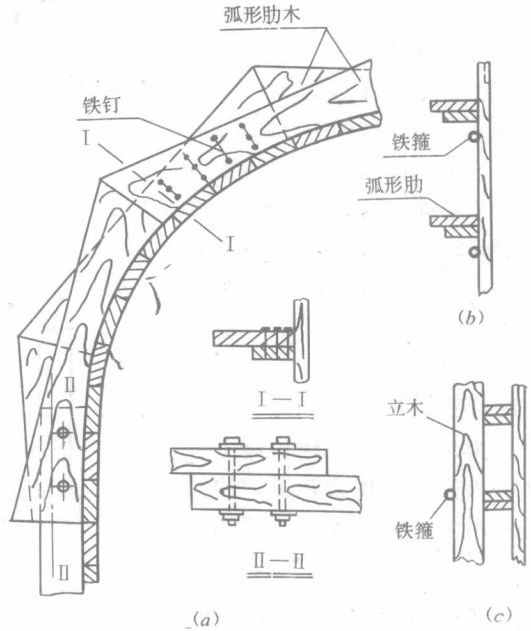


图 1—4

(a) 弧形肋木; (b) 面板外加铁箍;
(c) 肋木外另设立柱。

弧形肋木与水平肋木间除用铁钉或螺栓连接外,还应加设立柱和辐向拉条。圆形桥墩可在立柱外侧安装钢箍,以保证模板的形状和尺寸正确,钢箍常用 $\phi 12 \sim \phi 22\text{mm}$ 钢筋制作。

固定式模板每平方米约用木料 $0.05 \sim 0.10\text{m}^3$,钉、拉条等铁件 $4 \sim 10\text{kg}$ 。这种模板使用一次后,即被拆散或改制,只有一部分能够重复使用,很不经济,故仅适用于个体工程如墩台基础、拱座、帽石、翼墙及涵洞等。

(二) 拼装式模板

拼装式模板又称盾状模板,它是将墩台表面划分成若干尺寸相同的板块,按板块尺寸先将模板制成板扇,然后用板扇拼成所要求的模板。拼装模板适用于高大桥墩或同类型墩台较多时使用,其特点是当混凝土达到拆模强度后,可整块拆下,直接或略加修整后重复周转使用。

在划分板块时,应尽量使板扇尺寸相同,以减少板扇类型(图 1—6)。板扇高度可与墩台分节灌注的高度相同,约 $3 \sim 6\text{m}$,宽可为 $1 \sim 2\text{m}$,可依墩台尺寸与起吊条件而定,务使立模方便、施工安全。

单块板扇可用木材、钢材或钢木结合加工制作。木质板扇加工制作简便,制作方法基本

与固定式模板相同。图 1—7 (a) 为有代表性的一种木质拼装板扇。模板组装时可用连接螺栓连接, 如图 1—7 (b) 所示, 两侧两相对应的立柱间, 用穿过模板的拉条拉紧, 圆端部分则常要配置固定式模板的弧形模板。

钢模是用钢材加工制作的。需用 3~4mm 厚钢板及型钢骨架, 不仅浪费钢材, 且成本较高。加工制作困难, 因此, 只有在组合钢模、滑模、爬模等类模板中采用。

(三) 组合钢模板

组合钢模板是一种标准式常备拼装模板, 在民用建筑施工中早已广为使用。桥梁施工中的模板是使用多、耗资大的一项临时设施, 它的设计制作不仅要花费较多的人力物力, 有时还会因不能及时提供模板而延误工期。因此, 设计、制造常备式组合钢模, 也是桥梁施工中应提倡的措施。铁道部于 1986 年颁布了《铁路组合钢模板技术规则》(TBJ211-86), 为铁路桥梁施工中应用组合钢模提供了技术依据。铁道部大桥工程局还设计制造过一套组合钢模, 采用的模数为: 模板长 $A=c_1m_1$, 宽 $B=c_2m_2$, 其中 $m_1=500\text{mm}$, $m_2=100\text{mm}$, 对平面模板取 $c_1=1、2、3、4$, $c_2=1、2、5、15、20$, 这样可组合出 16 种规格的平面模板。

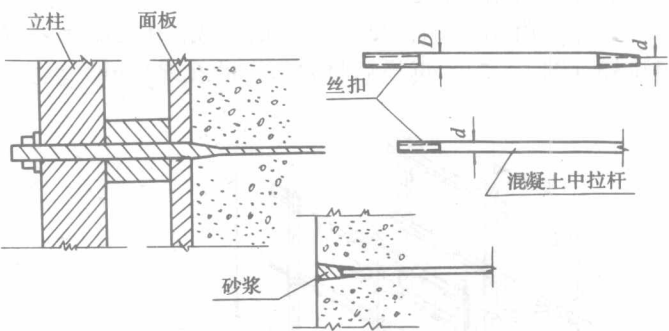


图 1—5

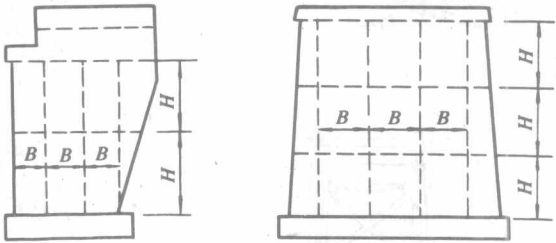


图 1—6

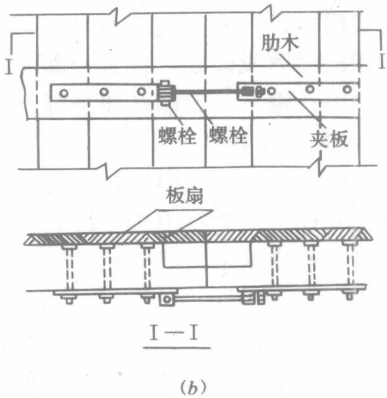
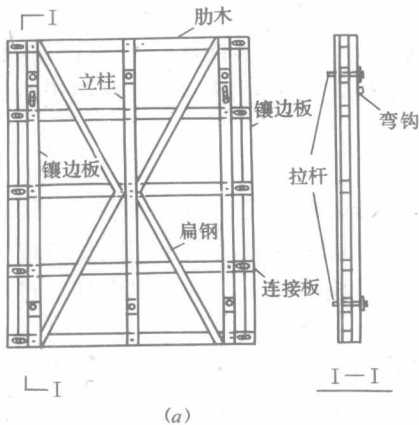


图 1-7

组合模板由面板及支承面板的加劲肋组成, 在四周边的加劲肋上设有连接螺栓孔, 以便

于板的连接。为防止漏浆，模板接缝处应夹橡胶条或塑料条。

组合钢模具有强度高、刚度大、拆装方便、通用性强、周转次数多、能大量节约材料等优点。在实际使用中，组合钢模可预拼成大的安装板块后安装使用，这样可提高安装模板的速度。

(四) 整体吊装模板

整体吊装模板是将墩台模板沿高度水平分成若干节，每一节的模板预先组装成一个整体，在地面拼装后吊装就位。节段高度可视起吊能力决定，一般为2~4m。使用这种模板可大大缩短工期，灌注完下节混凝土后，即可将已拼装好的上节模板整体吊装就位，继续灌注而不留工作缝。整体吊装模板的其它方面优点还有：模板拼装可在地面进行，有利于施工安全；利用模板外框架作简易脚手，不需另搭施工脚手架；模板刚性大，可少设或不设拉条；结构简单、装拆方便。缺点是起吊重量较大。

图1—8为整体吊装模板示例，图(a)的钢框架由型钢或万能杆件组成，间距0.8~1.0m，上下节模板可利用型钢上的孔眼用螺栓连接。圆形模板在外侧用铁箍扣牢，内部则应增加临时撑杆加固，以防变形。

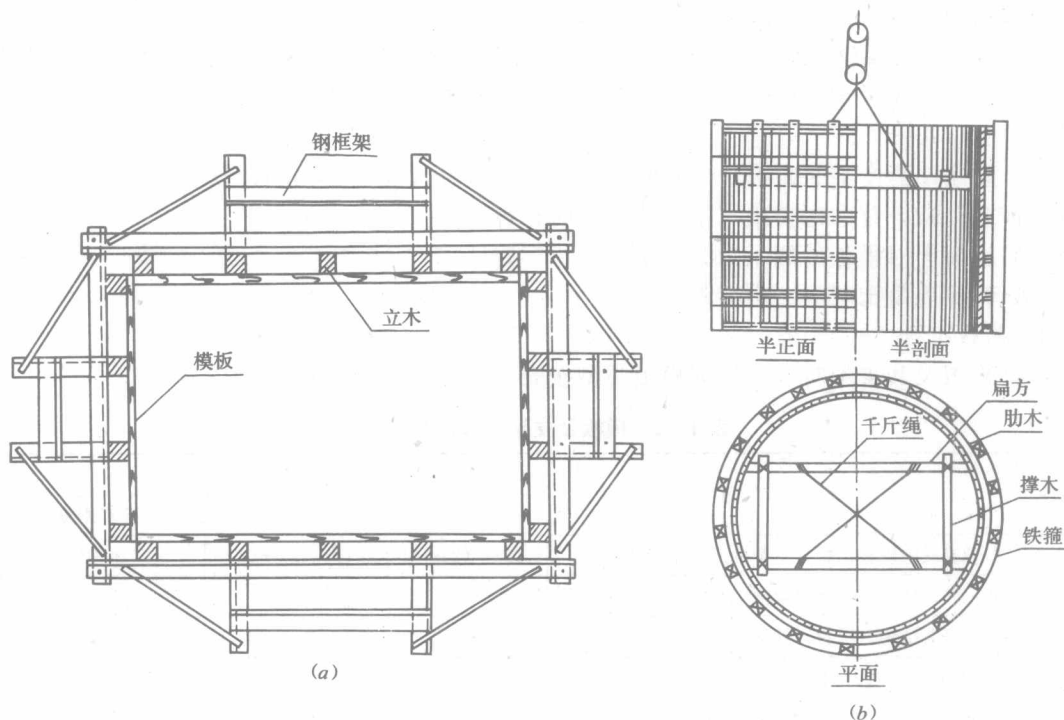


图 1—8

(五) 滑动模板

滑动模板是模板工程中适宜于机械化施工的较为先进的一种形式，它是利用一套滑动提升装置，将已在桥墩承台位置处安装好的整体模板连同工作平台、脚手架等，随着混凝土的灌注，沿着已灌注好的墩身慢慢向上提升，这样就可连续不断地灌注混凝土直至墩顶。用滑动模板施工，速度快、结构整体性好，适用于竖立式而断面变化较小的高耸结构，如桥墩、电

视塔、水塔、立柱、墙壁等。滑动模板都用钢材制作，其构造依据桥墩类型、提升工具的不同而稍有不同，但其主要组成部分和作用则大致相同，一般有以下三部分组成（参见图 1—23）：

- （1）模板系统，包括模板、围圈、提升架以及加固、连结配件等；
- （2）提升系统，包括支承顶杆（爬杆）、提升千斤顶，提升操纵及测量控制装置等；
- （3）操作平台系统，包括工作平台及内外吊篮等。

各类模板在工程上的应用，可根据墩台高度、墩台形式、机具设备、施工期限等因地制宜，合理选用。

三、模板设计

（一）模板的设计荷载

1. 荷载

（1）模板及支架自重，可根据其体积及材料容重计算。

（2）新浇筑混凝土重量，按 γH 计算，其中 H 为混凝土浇筑高度（m）， γ 为混凝土容重，素混凝土可取 2.5t/m^3 ，钢筋混凝土为 2.6t/m^3 。

（3）施工人员及设备重量，在计算模板及支架荷载时，按 2.5kN/m^2 计，另外还要以集中荷载 1.3kN （人挑）或 2.5kN （双轮手推车）进行验算，比较两者所求弯矩值，取其大的采用。

（4）震动器所产生的荷载，对水平放置模板按 2.0kN/m^2 计，垂直模板按 4.0kN/m^2 计，震动所产生荷载不与人群荷载（第 3 项）同时计算。

（5）混凝土对模板的侧压力。

（6）倾倒混凝土时的冲击荷载。

2. 荷载组合

设计模板及其支架时，应根据模板类型按表 1—2 进行荷载组合。

表 1—2 模板及支架计算荷载组合

顺序	项 目	荷 载 组 合	
		计算强度	验算刚度
1	水平放置的模板（梁、拱等的底板）及支架	(1)+(2)+(3)或(1)+(2)+(4)	(1)+(2)
2	梁、拱、柱、墙的侧面模板	(4)+(5)	(5)
3	尺寸较大结构（墩台）的侧面模板	(5)+(6)	(5)

注：表中数字代表荷载项次。

3. 新灌混凝土的侧压力计算

（1）混凝土对模板所产生的侧压力，可按表 1—3 计算。

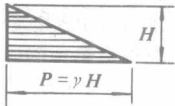
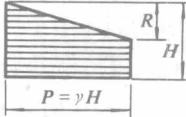
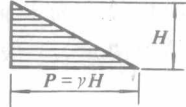
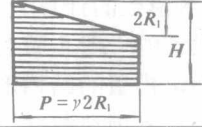
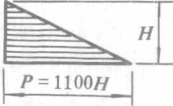
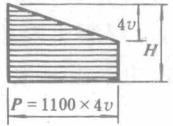
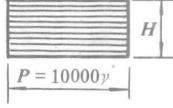
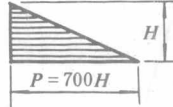
表列公式为经验公式，并不十分准确，它没有考虑温度、坍落度等因素的影响。《铁路混凝土及砌石工程施工规范》（TBJ210-86）规定的混凝土侧压力计算公式为

$$P = \frac{6.1v}{v+0.4} \quad (v < 1.8\text{m/h}) \tag{1-1}$$

或
$$P = \frac{7.2v}{v+1.6} \quad (v \geq 1.8\text{m/h}) \tag{1-2}$$

式中 v 为混凝土的灌注速度。当混凝土的侧压力达到 50kPa 左右时，侧压力便增长缓慢，因此最大值可取为 50kPa。

表 1—3 混凝土侧压力分布及计算公式

项次	捣实混凝土方法	最大侧压力 P 的计算公式 (MPa)	公式适用范围	压力分布图形
1	使用内部震动器	$P=\gamma H$	$H<R$	
2	使用内部震动器	$P=\gamma H$	$H\geq R$	
3	使用外部震动器	$P=\gamma H$	$H<2R_1$	
4	使用外部震动器	$P=\gamma 2R_1$	$H\geq 2R_1$	
5	不用震动器	$P=1\ 100H$	$H/r<9.1$ 及 $H<4v$	
6	不用震动器	$P=1\ 100H\times 4v$	$H/r<9.1$ 及 $H\geq 4v$	
7	不用震动器	$P=10\ 000r$	$H/r>9.1$	
8	不用震动器	$P=700H$	灌注水中混凝土	

表中 P ——混凝土的最大侧压力 (MPa);
 γ ——混凝土的容重 (t/m³);
 H ——混凝土灌注高度 (m), 一般可按 4h 内所灌注的高度计;
 R ——内部震动器的作用半径 (m), 大致可取为 0.75m;
 R_1 ——外部震动器的作用半径 (m), 大致可取为 1.0m;
 v ——向模板内灌注混凝土的速度 (m/h);
 r ——构件截面的水压半径,
对于墙壁: $r=\frac{b}{2}$, b 为墙的厚度 (m),
对于柱: $r=\frac{F}{A}$, F 为横截面积 (m²), A 为周长 (m)。

(2) 向模板中倾倒混凝土时, 对竖直模板所产生的水平冲击荷载, 可按表 1—4 取用。

当模板为倾斜放置时,混凝土的侧压力可按以下方法计算:模板向外倾斜〔图 1—9 (a)〕, $\alpha \geq 55^\circ$ 时,可视为竖直面,按表 1—5 中公式计算; $\alpha < 55^\circ$ 时,可将 ABC 块的混凝土重量作为竖直荷载,与 (1) 项中的其它荷载组合计算。

表 1—4 倾倒混凝土时的侧压力

向模板中倾倒混凝土的方法	作用于侧模上的水平压力 (kN/m ²)
用溜槽、串筒或自导管中直接流出	2.0
用容量 $\leq 0.2\text{m}^3$ 的吊斗或小车直接倾倒	2.0
用容量 $0.2 \sim 0.8\text{m}^3$ 的吊斗或小车直接倾倒	4.0
用容量 $\geq 0.8\text{m}^3$ 的吊斗或小车直接倾倒	6.0

模板向内倾斜〔图 1—9 (b)〕,当 $\alpha < 40^\circ$,侧压力可开始酌减,当 $\alpha \leq 20^\circ$ 时。侧压力为零。在具体计算时,可按减小计算厚度 H 的方法估算:当 $\alpha = 40^\circ \sim 30^\circ$ 时, H 取 3h 内混凝土灌筑厚度;当 $\alpha = 30^\circ \sim 20^\circ$ 时, H 取 2h 内混凝土灌筑厚度。

模板还应检算在尚未灌筑混凝土时的抗倾倒稳定性。检算稳定性时,模板侧面所受风力应根据具体情况决定,一般为当地当时最大风力,无资料时可取 1kN/m^2 ,稳定安全系数不得小于 1.3。

(二) 木模板的计算

模板设计的一般步骤为:

- (1) 确定模板的结构形式;
- (2) 计算各项荷载并进行荷载组合;
- (3) 确定模板各组成构件的计算图式;
- (4) 进行构件的设计计算。

模板应结构简单、拆装方便,构件应按强度与刚度两方面要求设计。由于混凝土的灌筑高度逐渐增加,混凝土对模板的侧压力具有移动性,故计算时应以压力在最不利位置为准,显然,侧面模板的木板竖放与横放 (图 1—10),面板所受的荷载是不相同的。

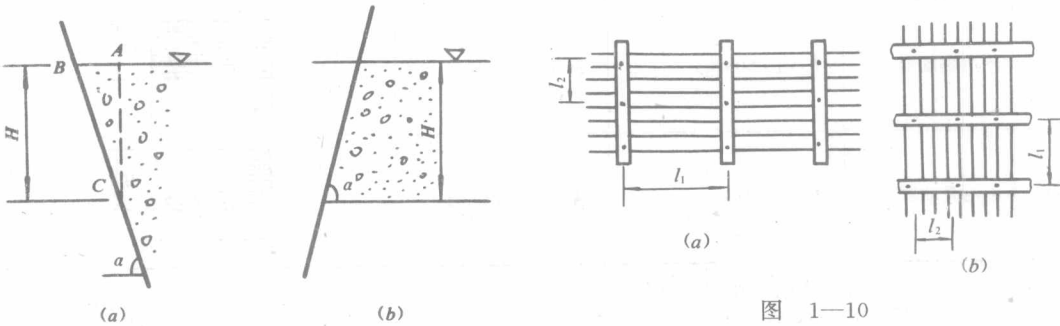


图 1—9 (a) 木板横放; (b) 木板竖放。

在所有情况下,作用在构件上的压力图应以能产生最大弯矩为准。验算模板刚度时,其挠度不得超过下列数值:

- (1) 结构表面外露的模板,为模板构件跨度的 1/400;
- (2) 结构表面隐蔽的模板,为模板构件跨度的 1/250;
- (3) 模板支架的弹性挠度或下沉,不超过相应结构自由跨度的 1/1 000。

模板各构件 (面板、肋木、立柱) 在计算弯矩和挠度时,应考虑其连续梁性质,用近似

公式计算。

$$\text{均布荷载: } M \approx \frac{pl^2}{10}, \quad f \approx \frac{pl^4}{128EI}$$

$$\text{集中荷载: } M \approx \frac{pl^2}{6}, \quad f \approx \frac{pl^3}{77EI}$$

圆形或圆端形截面的侧面模板，其水平荷载由弧形肋木的拉力平衡（图 1—11），拉力值为： $T=pa/2$ ，其中 a 为桥墩宽度。弧形肋木与水平肋木连接处的拉力，亦按 T 计算，而拉杆 AB 则为 $S_1=pc/2$ 。水平肋木上的其它拉杆则为 $S_2=pc$ ，其中 c 为拉杆的间距。

（三）钢模板计算

钢模板计算应分别对面板、肋条、拉条等进行强度和刚度两个方面验算。钢模板通常采用厚 2~4mm 的钢板，面板上焊有纵横加劲肋，形成四边嵌固的板。

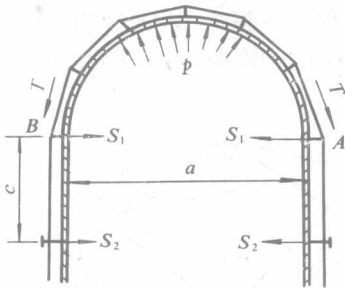


图 1—11

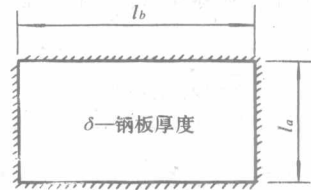


图 1—12

1. 面板计算

（1）强度验算。取模板中纵横加劲肋最长的一块面板作为计算单元（图 1—12）。四边嵌固板承受均布荷载时，长边跨中支承处的负弯矩为最大，可按下式计算：

$$M = -Aql_a^2l_b \quad (1-3)$$

式中 A ——计算系数，与 l_b/l_a 有关，可从有关设计手册中查用；

l_a 、 l_b ——板的短边与长边；

q ——作用在模板上的侧压力。

强度验算

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma] \quad (1-4)$$

$$W = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}l_b\delta^2$$

（2）挠度计算。四边嵌固板中心点的挠度为

$$f = B \frac{ql_{ao}}{E\delta^3} \leq \frac{1}{400}l_a \quad (1-5)$$

式中 B ——挠度计算系数，可查表求得；

l_{ao} ——短边板的净跨度；

δ ——钢板厚度。

2. 加劲肋计算

水平加劲肋和竖向加劲肋也应进行强度和刚度两个方面验算。作用在水平加劲肋上的荷载取上下板块各半跨上的侧压力（图 1—13），按简支梁进行强度和

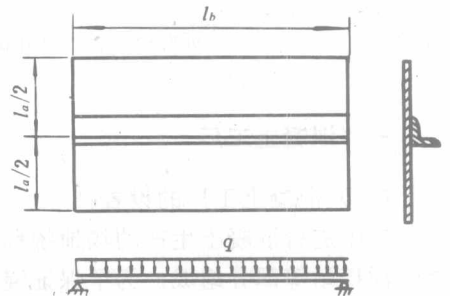


图 1—13