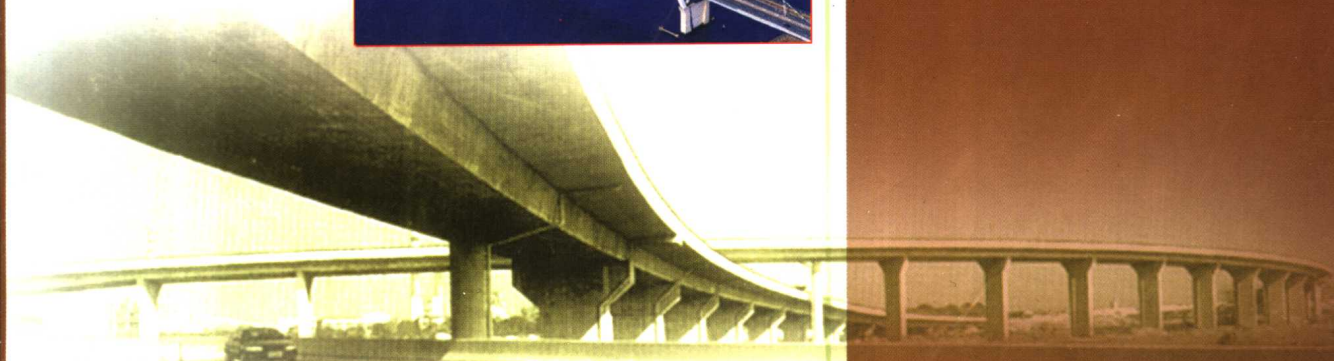




高等学校试用教材

桥梁钢—混凝土 组合结构设计原理

黄 侨 主编
周志祥 主审



人民交通出版社

China Communications Press

高等学校试用教材

Qiaoliang Gang—Hunningtu Zuhe Jiegou Sheji Yuanli

桥梁钢—混凝土组合结构设计原理

黄 侨 主编
周志祥 主审

人民交通出版社

内容提要

本书为面向 21 世纪交通版高等学校教材之一,共三部分十一章,主要介绍近年来在桥梁工程中应用的钢—混凝土组合结构,其中包括钢—混凝土组合梁结构、预弯组合梁结构和钢管混凝土结构。书中主要讲解上述三种组合结构的基本概念、设计原理和方法、构造特性和施工要点,可作为大专院校土木工程专业桥梁工程方向本科生和桥梁与隧道工程专业研究生的教材或参考书,亦可作为从事桥梁工程研究、设计、施工和管理的工程技术人员的技术参考书。

图书在版编目(CIP)数据

桥梁钢—混凝土组合结构设计原理/黄侨主编. —北京:人民交通出版社, 2003. 12

ISBN 7-114-04901-3

I. 桥… II. 黄… III. 钢结构:混凝土结构-复合材料桥-结构设计, IV. U448. 38

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 114362 号

高等学校试用教材

桥梁钢—混凝土组合结构设计原理

黄 侨 主编

周志祥 主审

正文设计:姚亚妮 责任校对:刘 芹 责任印制:杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010-64216602)

各地新华书店经销

北京牛山世兴印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:330 千

2004 年 1 月 第 1 版

2004 年 1 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001~4000 册 定价:26.00 元

ISBN 7-114-04901-3

面向 21 世纪交通版

高等学校教材(公路与交通工程)编审委员会

主任委员:王秉纲(长安大学)

副主任委员:胡长顺(长安大学)

陈艾荣(同济大学)

王 炜(东南大学)

杜 颖(人民交通出版社)

委 员:周 伟(交通部交通科学研究院)

郑健龙(长沙交通学院)

张建仁(长沙交通学院)

刘小明(北京工业大学)

梁乃兴(重庆交通学院)

周志祥(重庆交通学院)

裴玉龙(哈尔滨工业大学)

黄 侨(哈尔滨工业大学)

钟 阳(哈尔滨工业大学)

黄晓明(东南大学)

叶见曙(东南大学)

赵明华(湖南大学)

郭忠印(同济大学)

杨晓光(同济大学)

王殿海(吉林大学)

徐 岳(长安大学)

符铎砂(华南理工大学)

秘 书 长:韩 敏(人民交通出版社)

总 序

当今世界,科学技术突飞猛进,全球经济一体化趋势进一步加强,科技对于经济增长的作用日益显著,教育在国家经济与社会发展中的地位日益重要。进入新世纪,面对国际国内经济与社会发展所出现的新特点,我国的高等教育迎来了良好的发展机遇,同时也面临着巨大的挑战,高等教育的发展处在一个前所未有的重要时期。其一,加入 WTO,中国经济已融入到世界经济的发展的进程之中,国家间的竞争更趋激烈,竞争的焦点已更多地体现在高素质人才的竞争上,因此,高等教育所面临的是全球化条件下的综合竞争。其二,我国正处在由计划经济向社会主义市场经济过渡的重要历史时期,这一时期,我国经济结构调整将进一步深化,对外开放将进一步扩大,改革与实践必将提出许多过去不曾遇到的新问题,高等教育面临加速改革以适应国民经济进一步发展的需要。面对这样的形势与要求,党中央国务院提出扩大高等教育规模,着力提高高等教育的水平与质量。这是为中华民族自立于世界民族之林而采取的极其重大的战略步骤,同时,也是为国家未来的发展提供基础性的保证。

为适应高等教育改革与发展的需要,早在 1998 年 7 月,教育部就对高等学校本科专业目录进行了第四次全面修订。在新的专业目录中,土木工程专业扩大了涵盖面,原先的公路与城市道路工程,桥梁工程,隧道与地下工程等专业均纳入土木工程专业。本科专业目录的调整是为满足培养“宽口径”复合型人才的要求,对原有相关专业本科教学产生了积极的影响。这一调整是着眼于培养 21 世纪社会主义现代化建设人才的需要而进行的,面对新的变化,要求我们对人才的培养规格、培养模式、课程体系和内容都应作出适时调整,以适应要求。

根据形势的变化与高等教育所提出的新的要求,同时,也考虑到近些年来公路交通大发展所引发的需求,人民交通出版社通过对“八五”、“九五”期间的路桥及交通工程专业高校教材体系的分析,提出了组织编写一套面向 21 世纪的具有鲜明交通特色的高等学校教材的设想。这一设想,得到了原路桥教学指导委员会几乎所有成员学校的广泛响应与支持。2000 年 6 月,由人民交通出版社发起组织全国面向交通办学的 12 所高校的专家学者组成面向 21 世纪交通版高等学校教材(公路类)编审委员会,并召开第一次会议,会议决定着手组织编写土木工程专业具有交通特色的道路专业方向、桥梁专业方向以及交通工程专业教材。会议经过充分研讨,确定了包括基本知识技能培养层次、知识技能拓宽与提高层次以及教学辅助层次在内的约 130 种教材,范围涵盖本科与研究生用教材。会后,人民交通出版社开始了细致的教材编写组织工作,经过自由申报及专家推荐的方式,近 20 所高校的百余名教授承担约 130 种教材的主编工作。2001 年 6 月,教材编委会召开第二次会议,全面审定了各门教材主编院校提交的教学大纲,之后,编写工作全面展开。

面向 21 世纪交通版高等学校教材编写工作是在本科专业目录调整及交通大发展的背景下展开的。教材编写的基本思路是:(1)顺应高等教育改革的形势,专业基础课教学内容实现与土木工程专业打通,同时保留原专业的主干课程,既顺应向土木工程专业过渡的需要,又保持服务公路交通的特色,适应宽口径复合型人才培养的需要。(2)注重学生基本素质、基本能

力的培养,将教材区分为二个主层次与一个辅助层次,即基本知识技能培养层次与知识技能拓宽与提高层次,辅助层次为教学参考用书。工作的着力点放在基本知识技能培养层次教材的编写上。(3)目前,中国的经济发展存在地区间的不平衡,各高校之间的发展也不平衡,因此,教材的编写要充分考虑各校人才培养规格及教学需求多样性的要求,尽可能为各校教学的发展提供一个多层次、系统而全面的教材供给平台。(4)教材的编写在总结“八五”、“九五”工作经验的基础上,注意体现原创性内容,把握好技术与教学需要的关系,努力体现教育面向现代化、面向世界、面向未来的要求,着力提高学生的创新思维能力,使所编教材达到先进性与实用性兼备。(5)配合现代化教学手段的发展,积极配套相应的教学辅件,便利教学。

教材建设是教学改革的重要环节之一,全面做好教材建设工作,是提高教学质量的重要保证。本套教材是由人民交通出版社组织,由原全国高等学校路桥与交通工程教学指导委员会成员学校相互协作编写的一套具有交通出版社品牌的教材,教材力求反映交通科技发展的先进水平,力求符合高等教育的基本规律。各门教材的主编均通过自由申报与专家推荐相结合的方式确定,他们都是各校相关学科的骨干,在长期的教学与科研实践中积累了丰富的经验。由他们担纲主编,能够充分体现教材的先进性与实用性。本套教材预计在二年内完全出齐,随后,将根据情况的变化而适时更新。相信这批教材的出版,对于土木工程框架下道路工程、桥梁工程专业方向与交通工程专业教材的建设将起到有力的促进作用,同时,也使各校在教材选用方面具有更大的空间。需要指出的是,该批教材中研究生教材占有较大比例,研究生教材多具有较高的理论水平,因此,该套教材不仅对在校学生,同时对于在职学习人员及工程技术人员也具有很好的参考价值。

21世纪初叶,是我国社会经济发展的重要时期,同时也是我国公路交通从紧张和制约状况实现全面改善的关键时期,公路基础设施的建设仍是今后一项重要而艰巨的任务,希望通过各相关院校及所有参编人员的共同努力,尽快使全套面向21世纪交通版高等学校教材(公路类)尽早面世,为我国交通事业的发展做出贡献。

面向21世纪交通版
高等学校教材(公路类)编审委员会
人民交通出版社
2001年12月

前 言

在现代桥梁工程中,继钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢结构以及砖石混凝土结构之后,钢—混凝土组合结构已成为第五大类结构。尽管公路桥梁设计规范中尚未给出这些结构的设计条款,但由于它们在桥梁工程中有许多明显的优点,已得到了较为广泛的应用。近年来,在桥梁结构中应用较多的组合结构主要有三种,即钢—混凝土组合梁、预弯组合梁和钢管混凝土结构。本书就这三种组合结构的基本概念、构造形式、设计原理和施工要点进行较为系统性的介绍。全书分为三部分,共计11章,用于课堂教学大约需要40学时。

第一部分为钢—混凝土组合梁结构,主要介绍钢—混凝土组合梁历史由来,力学特性,基本概念,构造特点。并对简支钢—混凝土组合梁桥截面设计的基本方法,即弹性方法和塑性方法,温度和徐变、收缩的计算方法进行了较详细的介绍。在钢—混凝土组合梁中抗剪器是一重要的连接部件,书中单列一章,对剪力键的实验研究,弹性和塑性设计方法及构造形式做了较详细的论述。除此之外,针对近年来出现的钢—混凝土组合连续梁桥的受力特性,计算要点以及相关的施工技术措施进行了简要的介绍。同时也给出了主要验算内容的计算示例。

第二部分为预弯组合梁结构,主要介绍了预弯组合梁的发展历史,力学特性,基本概念及构造特点。对于预弯组合梁桥的各种设计方法做了初步的介绍,对以日本《预弯组合梁桥设计与施工指南》为基础的传统的预弯组合梁的弹性应力和挠度的分析方法做了较为详尽的介绍。此外根据作者多年的研究结果给出了预弯组合梁的极限强度设计方法以及剪力键的计算要点,并对施工控制方法及要点进行了较详尽的论述。同时还给出了预弯组合梁桥的一片主梁的计算示例。

第三部分为钢管混凝土结构,首先介绍了钢管混凝土结构的发展及其在桥梁工程中的应用,结构的基本概念和复杂受力条件下钢管和混凝土的力学特性。其次介绍了试验中发现的一些钢管混凝土的受力特征及其强度设计准则。介绍了合成法确定钢管混凝土强度指标的原理和方法,并指出了影响强度指标的主要因素。按照建筑结构规范、现行及即将颁布的桥梁结构规范的强度指标给出了钢管混凝土结构的部分组合强度指标,可供教学及工程设计参考。最终以合成法为基础介绍了钢管混凝土基本构件的计算方法,其中包括压、拉、弯以及偏心受压构件的强度和稳定性的计算方法,并给出了相关的计算示例。

通过上述三部分的介绍使学生对桥梁工程中遇到的常用组合结构的设计原理、构造形式以及施工要点有一个较全面的理解和掌握,能够从事这类结构的设计和施工工作,并为从事进一步的研究工作奠定理论基础。

本课程的学习应以《材料力学》、《结构力学》、《建筑材料》、《结构设计原理》和《桥梁工程》等课程为基础。教材中原理部分主要参考建筑结构设计规范和现行及即将颁布的公路桥梁结构设计规范的相关材料强度指标和设计要求,并结合桥梁结构的构造和受力特点进行讲解。该书可以作为桥梁工程专业(方向)的本科生和研究生的教材或参考教材,亦可以作为桥梁工程师进行桥梁组合结构设计、计算的参考书。

本教材由哈尔滨工业大学黄侨教授编写,杨明为教材编制了全部计算示例。在教材编写过程中参加工作的还有吴红林、杨大伟、张连振、张海龙和鞠秀颖等同事。本教材由重庆交通学院周志祥教授主审。哈尔滨工业大学张树仁教授和钟善桐教授对教材的编写提出了宝贵的意见,在此一并致谢。

由于作者编写水平有限,教材中难免会有错误存在,敬请读者批评指正,并将意见寄哈尔滨工业大学交通科学与工程学院桥梁工程系。

编者
2003年7月

目 录

概论	1
----	---

第一部分 钢—混凝土组合梁结构

第一章 钢—混凝土组合梁的一般概念	7
第一节 发展概况	7
第二节 组合梁的基本概念	9
第三节 组合梁桥的构造特点	10
第四节 钢—混凝土组合梁所用的材料	13
第二章 钢—混凝土组合梁的设计与计算	15
第一节 组合梁截面弹性设计的基本原理	15
第二节 截面弹性设计与计算	20
第三节 组合梁的温度应力分析方法	30
第四节 组合梁的收缩、徐变分析方法	32
第五节 组合梁的截面塑性分析方法	34
第六节 组合梁的截面设计	41
第三章 钢—混凝土组合梁的抗剪器设计方法	44
第一节 剪力键的形式及分类	44
第二节 剪力键的试验及承载力	45
第三节 剪力键的设计承载力	47
第四节 剪力键的设计方法	49
第五节 剪力键的构造要求	52
第四章 钢—混凝土组合连续梁桥的计算与分析	54
第一节 组合连续梁桥的受力特点	54
第二节 中支座负弯矩截面的设计与计算	56
第三节 组合连续梁桥的挠度和裂缝问题	62
第四节 组合梁的整体稳定问题	64
第五节 组合梁的局部稳定问题	66
第六节 改进钢—混凝土组合连续梁桥设计的技术措施	70

第二部分 预弯组合梁结构

第五章 预弯组合梁结构及其力学性能	77
第一节 发展历史的简要回顾	77
第二节 基本原理与结构特性	80
第三节 构造特点与预弯力	83
第四节 预弯组合梁桥的经济性	86

第六章 预弯组合梁桥的设计方法	91
第一节 预弯组合梁桥的设计要点	91
第二节 极限强度的实用计算方法	93
第三节 预弯组合梁的剪力键(栓钉)设计方法	98
第四节 预弯钢梁的稳定性计算方法	100
第七章 预弯组合梁的应力及挠度计算方法	104
第一节 计算方法概述	104
第二节 钢梁及预弯梁的应力验算	105
第三节 预弯组合梁的应力验算	108
第四节 挠度与裂缝验算	115
第五节 应力和挠度的叠加规律	120
第六节 预弯组合简支梁计算示例	122

第三部分 钢管混凝土结构

第八章 钢管混凝土结构及材料	139
第一节 钢管混凝土结构的发展概况及其在桥梁工程中的应用	139
第二节 钢管混凝土结构的基本概念	143
第三节 钢材性能	146
第四节 混凝土性能	150
第九章 钢管混凝土轴心受力构件的基本工作性能	154
第一节 钢管混凝土一次受压的工作性能	154
第二节 钢管混凝土轴心受拉及反复受压的工作性能	156
第三节 钢管混凝土轴心受力构件的强度设计准则	157
第四节 合成法确定钢管混凝土的基本性能	159
第十章 钢管混凝土组合性能指标及各种因素的影响	165
第一节 钢管混凝土组合性能指标	165
第二节 关于公路钢管混凝土桥梁安全度的考虑	169
第三节 混凝土徐变、收缩的影响	175
第四节 温度及焊接的影响	179
第十一章 钢管混凝土构件计算	184
第一节 轴心受力构件的强度计算	184
第二节 轴心受压构件的稳定计算	185
第三节 偏心受力构件的强度和稳定计算	194
第四节 受弯构件的强度计算	198
第五节 钢管混凝土构件的刚度取值	201
参考文献	204

概 论

《桥梁钢—混凝土组合结构设计原理》是桥梁工程专业的一门技术基础课,其先修课程包括《材料力学》、《建筑材料》、《结构力学》、《结构设计原理》及《桥梁工程》等。此种结构是继钢筋混凝土结构、预应力混凝土结构、钢结构以及砖石混凝土结构之后的第五大类结构形式。从某种意义上讲,钢—混凝土组合结构是在钢筋混凝土结构和钢结构的基础上发展起来的新型结构,但与前两者相比,它有其自己独特的力学性能和计算方法。

随着我国桥梁工程事业的发展,尤其在 20 世纪 80 年代之后,钢管混凝土拱桥、钢—混凝土组合梁桥以及预弯组合梁桥等新型结构的桥梁不断出现,而且发展很快。对于这些新型桥梁结构的设计,除了需要数学、力学和计算机知识之外,更需要相关的结构知识。本课程的目的主要是为这些新型的组合结构桥梁的设计奠定基本的结构理论知识,使桥梁工程专业(方向)的本科生或研究生能够拓宽视野,增加创新意识和能力,更好地适应未来的工作岗位。

钢—混凝土组合结构的定义:用型钢或钢板焊接(或冷压)钢截面,在其上面、四周或内部浇筑混凝土,使混凝土与型钢形成整体,并且共同受力的结构,统称为钢—混凝土组合结构,或简称组合结构^[1]。

目前国内外常用的钢—混凝土组合结构有以下六种类型:

1. 压型钢板与混凝土组合楼板

利用锻压成形的钢板铺设在钢梁上(或次梁上),通过连接件(或称剪力键)和钢(次)梁的上翼缘焊牢,然后在压型钢板上浇筑混凝土形成组合结构,见图 0-1。压型钢板可以当作模板并承担施工荷载;混凝土硬化后钢板兼作钢筋承担截面上的拉应力。

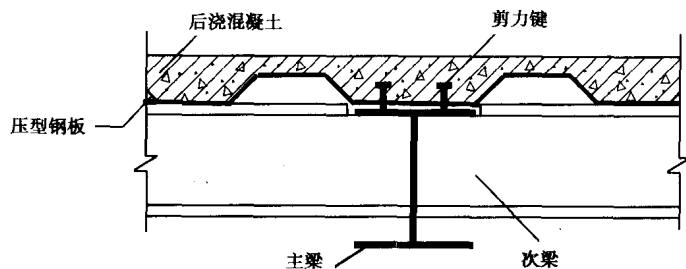


图 0-1 压型钢板与混凝土组合楼板

20 世纪 60 年代之后,这种结构在欧美、日本等国的高层建筑中开始出现。我国在 20 世纪 80 年代后由(原)冶金工业部冶金建筑研究总院开始对这种结构进行研究,主要用于高层建筑结构的楼板。这种结构可有效压低各层楼板厚度、节约层高、增加建筑面积,进而带来经济效益。

2. 钢—混凝土组合梁

由外露的钢梁与混凝土桥面板形成的组合结构,即钢—混凝土组合梁。在混凝土板和钢梁之间设置剪力键,以保证在使用荷载作用下混凝土板与钢梁共同受力,共同变形,见图 0-2。

钢—混凝土组合梁最早出现于美国,并于 1944 年引入美国州际公路协会(ASSHTO)的《公

路桥梁设计规范》。德国在 1945 年也制定了《桥梁组合梁》(DIN1078) 规范,并逐步引入房屋建筑结构。我国由于受钢产量的限制,在钢—混凝土组合梁领域发展较慢。但在 1957 年建成的武汉长江大桥的上层公路桥就已采用了这种结构。我国钢—混凝土组合梁的研究工作起步于 20 世纪 80 年代,最初用于房屋及厂房结构。进入 90 年代后,开始用于城市立交桥的主体结构^{[2],[3]}。

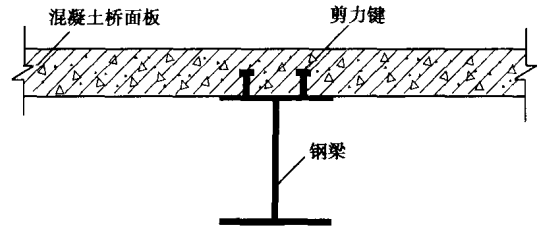


图 0-2 钢—混凝土组合梁断面

3. 型钢混凝土结构

由混凝土包裹型钢做成的组合结构叫作型钢混凝土结构,英、美等欧洲国家称之为混凝土包钢结构;日本称之为钢骨钢筋混凝土结构;俄罗斯和我国称之为劲性钢筋混凝土结构,见图 0-3。其特征是钢完全由混凝土包裹,防腐性能良好。

型钢混凝土中的型钢可以采用轧制型钢,也可采用焊接型钢,同时还可以配合使用钢筋和钢箍,主要用于工业厂房及房屋结构。

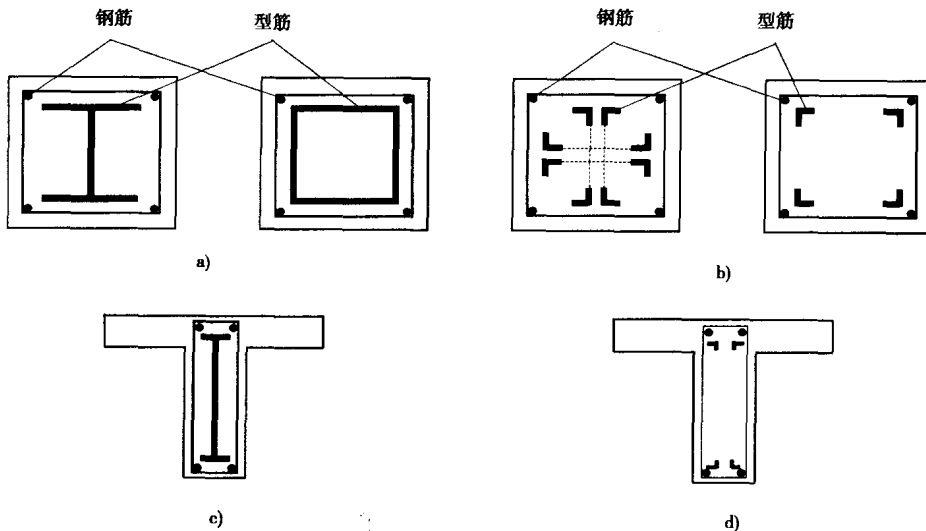


图 0-3 型钢混凝土构件截面形式

a)实腹式型钢混凝土柱;b)空腹式型钢混凝土柱;c)实腹式型钢混凝土梁;d)空腹式型钢混凝土梁

4. 钢管混凝土结构

钢管混凝土结构是由普通混凝土填入薄壁圆形钢管内而形成的组合结构。这种结构借助内填混凝土增强钢管壁的稳定性,借助钢管对核心混凝土的约束作用,使核心混凝土处于三向受压状态,从而使得核心混凝土具有更高的抗压强度和变形能力,见图 0-4。

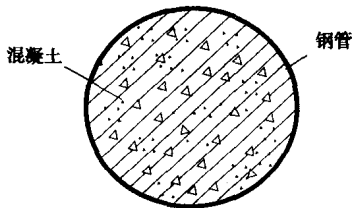


图 0-4 钢管混凝土柱截面

在钢管混凝土结构中,钢管具有如下功能:

- (1)钢管本身是耐侧压的模板。
- (2)钢管本身可代替钢筋承担拉力或压力。
- (3)钢管本身是劲性承重骨架。
- (4)钢管可以提高核心混凝土的抗压强度。

钢管混凝土柱已有 90 多年的历史,最初用于房屋建筑结构。20 世纪 30 年代末期在前苏联开始用于公路及铁路拱桥的

主体结构中。60年代前后在西欧、北美和日本等发达国家开始广泛应用。我国在20世纪60年代初期才开始研究钢管混凝土结构,20世纪80年代开始用于建筑、冶金、电力和桥梁工程中。进入20世纪90年代后,钢管混凝土在拱桥结构中开始大量应用,不仅收到了良好的美学效果,还有较好的经济效益。

5. 外包钢混凝土结构

外包钢混凝土结构是外部配置型钢的混凝土结构。它是在克服装配式钢筋混凝土结构某些缺点的基础上发展起来的新型结构,见图0-5。

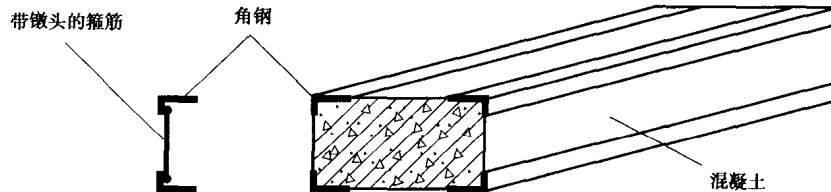


图0-5 外包钢混凝土梁

这种结构的受力主筋由角钢代替,并设置于杆件截面的四个角上,横向箍筋与角钢焊接成骨架。为满足对箍筋的保护要求,可将箍筋两端墩成球状再与角钢内侧焊接。

前苏联在20世纪60~70年代对外包钢混凝土结构进行了系统性的研究。我国从70年代后期开始研究外包钢混凝土结构,目前这种结构主要用于水利、电力系统的结构工程中。

6. 预弯组合梁结构

预弯组合梁是利用配置在混凝土里的钢梁的自身变形,对混凝土施加预应力的型钢混凝土结构。预弯组合梁由预弯曲的工字形钢梁,一、二期混凝土组成的组合结构,亦简称为预弯梁。它具有钢结构、钢筋混凝土结构以及预应力混凝土结构的特点,其截面组成见图0-6。

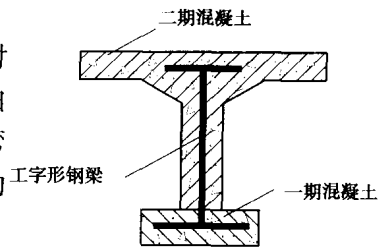


图0-6 预弯组合梁截面形式

预弯组合梁的概念早在20世纪40年代就已出现,最早是在比利时。20世纪60年代日本开始研究预弯组合梁,80年代大量用于桥梁结构,并申请了专利保护。目前在欧、美及日本等国均有专门从事预弯梁生产的公司。我国从20世纪80年代开始研究预弯组合梁,并且已经建成了12座公路桥梁和1座铁路桥梁,但均为简支结构,其最大简支跨径已达到38m。预弯组合梁目前我国尚未建立规范体系,仍处于研究、开发阶段。

本课程结合桥梁工程的特点,主要介绍桥梁工程中常用的钢—混凝土组合梁,预弯组合梁以及钢管混凝土这三种组合结构的构造特点、计算理论、设计原理和方法以及相关的施工技术要点。

第一部分

钢—混凝土组合梁结构

第一章 钢—混凝土组合梁的一般概念

第一节 发展概况

钢—混凝土组合结构大约出现在 20 世纪 20 年代,但是作为钢—混凝土组合结构最基本形式的组合梁在工程上的大量应用,还是 70 年代以后的事情。钢—混凝土组合梁的发展历史大致可划分为三个阶段。

一、创始阶段

最早出现的钢—混凝土组合结构主要是出于防火的要求。当时的做法是在钢梁外面包裹混凝土,而且并没有考虑两者之间的组合作用。在 20 世纪 20~30 年代,出现了钢梁与支承其上的混凝土板之间设置抗剪连接件的构造方法。1926 年 J. Kahn 获得组合梁的专利权。这段时间可以认为是组合梁发展的创始阶段。

二、发展阶段

20 世纪 40~60 年代可以认为是组合梁的发展阶段。在这期间世界各国相继开展了试验研究,特别是针对组合梁的关键技术——抗剪连接件开展了系统的研究。

1933 年瑞士的 Voellmy 为研究连接件的工作性质,提出了压、拉实验方法,并针对他们采用的螺旋形连接件进行了强度计算。当时欧洲各国习惯于采用钩状或块状的具有较大刚性的连接件,而美国使用的是槽钢或螺栓(销钉)等柔性连接件。对此他们也进行了深入、系统的研究。

从 1954 年开始,美国的伊里诺斯大学和里海大学等高校对当时应用最多的销钉连接件进行了静态试验和疲劳试验研究。有关连接件的研究成果促进了钢—混凝土组合梁的应用和发展。

为适应实际工程的需要,相当一部分国家都相继制定了有关组合梁的设计规范或规程:

(1)美国是最早制定组合梁设计规范的国家。1944 年美国州际公路协会(ASSHTO)制定的《公路桥涵设计规范》已纳入了有关组合梁的规定,但到 1957 年修订之前,实际使用的并不多。

(2)前联邦德国在 1954 年以后,急需重建战争中毁坏的大量房屋和桥梁。由于钢材短缺迫使工程师们采用最经济的设计,因而大量采用了组合梁结构。在实践的基础上,于 1954 年制定了《桥梁组合梁标准》(DIN1078),1956 年制定了《房屋建筑组合梁标准》(DIN4239)。

(3)前苏联第一座公路组合梁桥建于 1944 年。1962 年颁布的《苏联铁路、公路、城市道路桥涵设计技术规范》(CH 200-62)中,专门列出一章系统地介绍了“钢—混凝土结合的结构”(习惯上称结合梁)的设计和有关构造。

(4)日本建设省土木研究所于 1952 年开始进行组合梁的研究,1953 年建成了第一座组合梁桥(大阪市神户桥),1959 年制定了《道路钢桥组合梁设计施工指南》,此后日本修建了大量