

钢管混凝土拱桥 设计与施工

陈宝春 编著



人民交通出版社

Gangguan Hunningtu Gongqiao Sheji yu Shigong

钢管混凝土拱桥

设计与施工

陈宝春 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书主要介绍钢管混凝土结构的基本理论、在拱桥中的应用与发展情况,钢管混凝土拱桥的结构与构造、结构的受力特性、设计计算方法、施工工艺和施工技术。全书共分八章。

钢管混凝土拱桥近10年来在我国发展很快,但理论研究相对滞后,目前尚无相应的设计规范与施工规范,也无相应的专业书籍介绍。本书以作者的研究与工程实践成果为基础,收集了大量的工程实例资料,进行归纳整理,并融入了作者长期以来对拱桥设计、科研与教学的体会。全书桥例丰富、图文并茂、内容充实、条理清楚,既具有很强的实用性,又具有较高的理论性,有些研究成果属首次公开发表。

本书可供桥梁专业设计与施工人员参考,亦可作为高等院校土木工程专业、桥隧专业和结构工程专业研究生和高年级本科生的学习参考书或教材,也可供组合结构、桥梁结构研究人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢管混凝土拱桥设计与施工/陈宝春编著. - 北京:人民交通出版社,1999.9

ISBN 7-114-03474-1

I. 钢… II. 陈… III. ①钢桥:钢筋混凝土桥:拱桥-设计②钢桥:钢管混凝土桥:拱桥-工程施工 IV. U448.36

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 35009 号

钢管混凝土拱桥设计与施工

陈宝春 编著

版式设计:周 因 责任校对:尹静 责任印制:孙树田

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:18.75 字数:458千

1999年9月 第1版

1999年9月 第1版 第1次印刷 总第1次印刷

印数:0001—4000册 定价:36.00元

ISBN 7-114-03474-1

U · 02490

序

这是一本关于钢管混凝土拱桥设计与施工的专著。钢管混凝土拱桥是我国近年来桥梁建筑发展的新技术,具有自重轻、强度大、抗变形能力强的优点。它比较好地解决了修建桥梁所需求的用料省、安装重量轻、施工简便、承重能力大的诸多矛盾,是大跨度拱桥的一种比较理想的结构形式。所以自从1990年在四川旺苍建成了跨度115m的国内第一座钢管混凝土拱桥以来,发展迅猛,短短几年之间,全国各地相继建成的钢管混凝土拱桥约80座,其中广西三岸大桥跨度已达270m。

国外关于钢管混凝土结构的研究与应用已有近百年历史,而国内则是从50年代开始研究,于80年代以后取得重大成果并应用于建筑部门,同时政府各有关部门相继颁布了设计与施工规程。进入90年代以来,钢管混凝土作为一种新的组合材料,由于其力学性能非常适合拱式体系的桥梁,所以得到广泛的应用和迅猛发展。但迄今为止还没有本行业系统的钢管混凝土结构和钢管混凝土拱桥的设计与施工规范,这是一项当前十分急切要做的工作。所以,本书出版其意义是显而易见的。

本书作者从攻读硕士研究生开始,即从事拱桥结构分析的研究工作,近年来更是系统而全面地潜心研究钢管混凝土拱桥的设计理论和施工技术。这本材料翔实、桥例丰富、具有理论意义与工程实践意义的专著,是作者本人长期教学和科研的成果;当然诚如作者所说的,也体现了福州大学结构工程学科桥梁研究方向同仁们的智慧与成果。相信本书的出版,会对我国钢管混凝土拱桥技术的发展起着积极的推动作用,对全国各地正在建设的各种型式的钢管混凝土拱桥都具有借鉴和参考价值。

我国是拱桥的国度。建于公元606年彪炳史册的河北赵州桥极大地显示了中华民族的聪明才智,但此后,我国的拱桥在历史的长河中却步履蹒跚,直到建国后才又迅速发展。近20年来,我国拱桥的技术水平已跻身世界先进行列,特别是钢管混凝土拱桥技术的发展,显示出旺盛的生命活力。有关专家指出,这种桥型有可能使拱桥的最大跨度达到甚至超过斜拉桥。所以,只要我们不断地进行工程实践,不断地总结经验,不断地探索研究,钢管混凝土拱桥应当有着十分广阔的发展前景。

福州大学 郑振飞

1999年4月

前 言

钢管混凝土拱桥自1990年四川旺苍东河大桥建成以来,近几年在我国应用发展很快。福州大学从1993年开始钢管混凝土拱桥的设计、施工、监理与科研工作,先后在福建省设计了福清玉融大桥、安溪铭选大桥、福安群益大桥、闽清石潭溪大桥、仙游兰溪大桥等钢管混凝土拱桥8座,承担了其中3座的监理和成桥静载测试工作;承担了福建省自然科学基金项目《钢管混凝土拱桥结构受力特性研究》、福建省科委《国道316线石潭溪大跨度钢管混凝土拱桥试验研究》、福州市建委《福州解放大桥汽车荷载测试》、深圳市建委《深圳北站大桥拱墩固结点局部应力光弹性试验与有限元分析》等科研课题,在钢管混凝土拱桥在使用荷载作用下的结构受力性能、施工受力分析、面内极限承载力、面外稳定分析、温度应力等方面取得了可喜的成果。《钢管混凝土拱桥结构受力特性研究》获福建省1998年科技进步二等奖。这些成果都是集体智慧的结晶,倾注了福州大学结构工程学科桥梁研究方向全体教师的辛勤劳动与心血。

在上述应用与研究的基础上,本书作者收集了大量的资料,在交通土建高年级本科生和结构工程硕士研究生的有关课程中开始讲授钢管混凝土拱桥的应用与理论研究。由于目前尚无相应的介绍钢管混凝土拱桥的书籍,在多方鼓励与支持下,通过近两年多的努力,对讲稿进行了充实与系统完善,完成了本书的编写。

全书共分八章。

第一章“钢管混凝土简介”,介绍了钢管混凝土结构的发展概况,钢管混凝土的基本性能与分类以及材料。

第二章“钢管混凝土基本计算理论”,对在我国目前影响较大的三个理论体系和相应的规程进行了对比性的介绍,有助于读者对钢管混凝土构件基本理论的理解和灵活应用。

第三章“钢管混凝土在拱桥中的应用与发展”,简要介绍了拱桥的发展历史,钢管混凝土在拱桥中应用的必然性与合理性和我国钢管混凝土拱桥的应用概况,并选取了有代表性的一些桥例进行较详细的介绍。在桥例选取中,尽量考虑到桥梁结构的类型、地域分布、设计单位、施工方法等,并且均选用已建好的桥梁为桥例。

第四章“钢管混凝土拱桥结构与构造”。钢管混凝土拱桥较之传统的圬工与钢筋混凝土拱桥,因其材料强度的提高与施工的方便,使其具有很强的表现能力,几乎涵盖了圬工拱桥、钢筋混凝土拱桥和钢拱桥的所有桥型,而且还出现了像刚架系杆拱这类桥型。本章在上一章桥例介绍的基础上,试图从横向比较,从主拱圈构造、横向构造、桥面系、立柱吊杆与系杆等方面介绍钢管混凝土拱桥的构造;并且鉴于在钢管混凝土拱桥中无推力拱应用较多,所以另外开辟了一节介绍无推力拱,而无风撑拱和提篮拱则归入横向构造一节,所以这一章既介绍构造也介绍结构体系。

第五章“钢管混凝土拱桥结构受力性能分析”,集中地反映了福州大学等科研、生产单位在钢管混凝土拱桥方面的理论研究成果。有些成果还尚未在学术刊物上发表。这一章从结构的静力受力特性、面内承载力、面外承载力、温度特性、收缩、徐变问题以及结构动力特性方面介绍了钢管混凝土拱桥的受力特性。这些研究成果对于挖掘和合理利用钢管混凝土拱桥的受力

特性,推动钢管混凝土拱桥的技术进步,相信具有积极的理论意义和现实意义。这一章还简要介绍了作者的导师郑振飞教授所领导的研究小组长期以来在拱桥研究方面所取得的成果。

第六章“钢管混凝土拱桥设计计算”是在第五章的基础上,介绍了钢管混凝土拱桥设计计算方法中与其它拱桥不同的部分,并给出了一座下承式钢管混凝土刚架系杆桁肋拱的设计算例以做参考。

第七章“钢管混凝土材料的制作与施工要求”介绍了钢管的加工制作、钢管骨架的加工制作、防腐与涂装、管内混凝土的制备与浇注以及质量检验等施工问题。

第八章“钢管混凝土拱桥成桥施工技术”从介绍拱桥的施工方法入手,简要分析了各种施工方法与适用范围,并从中指出钢管混凝土应用于拱桥解决了拱桥向大跨度发展的施工问题。钢管混凝土拱桥施工方法实质上是劲性骨架方法和自架设方法。本章着重介绍了钢管骨架架设方法中的两种主要方法:缆索吊装法和转体施工法,同时还介绍了施工过程的稳定性问题和施工加载程序问题。

作者在从事钢管混凝土拱桥的研究与本书的撰写过程中得到哈尔滨建筑大学钟善桐教授、韩林海教授、黄侨教授,中国建筑科学研究院蔡绍怀教授、广州市高速公路总公司张尚杰高工、福建省建筑设计研究院龚昌基高工、清华大学聂建国教授、交通部重庆公路研究所许晓锋高工、日本九州大学刘玉擎博士等专家与同行的帮助与鼓励;同济大学金成棣教授、郑州铁路局勘测设计院的乔景川高工、四川省公路勘测设计研究院的谢邦珠高工、南昌冶金设计研究院的程懋方高工、铁道部第一勘测设计院的季坤高工、深圳市市政设计院的陈宜言高工和李勇工程师、水利水电十二局金属结构厂林书楦高工、江苏省交通工程总公司一公司瞿栋工程师等为本书提供了大量的照片与资料。作者对上述提及和未提及的在本书编写过程中给予大力支持与帮助的前辈、专家和同行表示衷心的感谢。

在本书编写的同时,作者有幸应广州市高速公路总公司的邀请参加了目前在建的跨径最大的钢管混凝土拱桥——主跨 360m 的广州市东南西环高速公路丫髻沙大桥专家组的工作;应交通部重庆公路研究所的邀请参加了交通部组织编写的《钢管混凝土拱桥施工规范》的编写工作;应深圳市市政设计院的邀请参加了深圳北站大桥的设计与科研工作。在这些工作中,各位专家与同行丰富的工程实践经验、扎实的理论基础为作者完成本书的编写提供了非常有益的帮助。

研究生孙潮、陈友杰、徐爱民、欧智菁等参加了第五章至第八章中部分有关的科研工作。林英、郑宝锦、黄国兴、彭桂翰等同学为本书的录入、绘图付出了辛勤的劳动。恩师郑振飞教授、郭金琼教授、毛承忠副教授始终关注本书的编写工作,尤其是郑振飞教授在百忙之中审阅了全书并提出了宝贵的意见;人民交通出版社蒋明耀主任、责任编辑张斌和曲乐同志为本书的出版付出了辛勤的劳动;作者的家人特别是作者的妻子陈海燕女士对作者编写此书给予了大力的支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于时间仓促,加上本人的水平有限,书中一定存在着缺点和错误,恳请专家和读者批评指正。

作 者

一九九九年三月于福州大学怡园

Preface

After Wangcang East-river Bridge was built in 1990 in Sichuan Province, the applications of concrete-filled steel tubular (CFST) arch bridges have been made more and more in recent years. The works of design, construction, supervision and scientific research of such bridges have been taken early in 1993 in Fuzhou University. We have designed eight CFST bridges in Fujian province, such as Fuqing Yurong Bridge, Anxi Mingxuan Bridge, Fuan Quanyi Bridge and Mingqing Shitanxi Bridge and Xianyou Lanxi Bridge etc, and supervised the construction of three bridges among them and made static load test after the bridges had been built. We have fulfilled the scientific research works such as《Research of the structure behavior of CFST arch bridge》—one of Fujian natural science foundation items;《Experimental study of Shitanxi CFST archbridge with great span in national highway 316》for Fujian Science Committee;《Test of Fuzhou Jiefang Bridge under truck-load》for construction committee of Fuzhou and《A photo-elastic test and the finite element analysis of local stress in concretion of arch-impot of Shenzhen Beizhan Bridge》for Shenzhen Construction committee. We have gained great achievements on aspects dealt with structure behavior, the ultimate capacity in place, stabilization out of place and stress of temperature etc.《Research of the structure behavior of CFST arch bridge》has gained the second-prize of Fujian Technology Advancement in 1998. All these are the fruits of intelligence of collection, which have cost the industrious work and painstaking effort of all the teachers in the field of structure engineering in Fuzhou University.

Based on the applications and researches listed above, the author has collected a large number of data, and began to give lessons on the applications and theoretical researches of CFST arch bridges to the undergraduates and postgraduates in this field. There is no such book on CFST arch bridges at present. Thus, with the encouragement and support from many parties, and with the effort in about two years, the author enriched the lectures and made them systemic and finally finished this very book.

The book is divided into eight chapters.

The first chapter is “brief introduction of CFST”. Summary of the developments of such structures is made, and the basic performance, classification and materials of such structure are introduced also.

The second chapter is “basic calculation theory of CFST”. Three system infos, which have more effect in our country at present, are introduced contrasting with the relative codes. It is helpful for the readers to catch on and apply neatly the basic theory of the component of CFST members.

The third chapter is “the applications and developments of CFST in arch bridges”. The development history of the arch bridges, the inevitability and rationality of the applications of the CFST

in arch bridges and the general situation of the applications of CFST arch bridges in our country are introduced briefly. Some representative examples of such bridges will be selected to make more detailed introduction. In the selection, there are the type, quarter distributing, design section, and erection method etc that should be considered, and the examples must be finished ones.

The fourth chapter is "structure and construction of CFST arch bridges". Because of the improvement of the strength of materials and convenience of erection, CFST arch bridges have strong representation ability compared with the traditional arch bridge of masonry and reinforced concrete. CFST arch bridges almost involve all the types of masonry arch bridges, reinforced concrete arch bridges and steel arch bridges, and develop into such bridges as through tied frame arch bridges. Based on the bridge examples introduced in the third chapter, in this chapter the author tries to introduce the construction of CFST arch bridges. The introduction deals with the construction of the main arch-ring, transverse structure, deck construction, spandrel column, hanger and tie bar etc. Because the no-thrust arch structures are applied in CFST arch bridges more and more, there is a section added to introduce it, in the section of transverse construction, no-lateral braces arches and X type arches are involved. So in this chapter, construction and structural system are all introduced.

The fifth chapter is "analysis of structure behavior of CFST arch bridges". It deals with the mainly theoretical research achievements in CFST arch bridges made by the science research teams such as Fuzhou University and other production companies. Not all of the fruits have been published in technical press yet, in this chapter, structure behavior of CFST arch bridges are introduced, which deals with the static structure behavior, capacity in or out of place, the performance in temperature effect, the problem of shrinking and creeping and dynamic characteristics of the structures. All these results help to utilize the CFST arch bridge structure behavior further more, and promote technical advancement of such bridges. We believe it is theoretical and realistic. In this chapter, the achievements in arch bridge researches had done for a long time by the crew led by the author's tutor, professor zheng zhengfei, are introduced chiefly.

The sixth chapter is "design calculation methods of CFST arch bridges". Based on the fifth chapter, the differences in design calculation methods between CFST arch bridges and others are described. An example in design calculation of an upper load and through tied frame CFST arch bridge with truss rib is given to the readers for reference.

The seventh chapter is "manufacture and erection requirements of CFST members". The problems in erection such as the manufacture process, preservation and painting of steel tubes and steel tube cages, preparation and placing of concrete and quality tests etc are introduced in this chapter.

The eighth chapter is "erection technique of CFST arch bridge". Started with the introduction of erection methods of arch bridges, it is analyzed chiefly how and when are all kinds of erection methods used. Accordingly, it is suggested that the applications of CFST to arch bridges can resolve the problems in erection of long span bridges that will be soon developed. The erection methods of CFST arch bridges are substantially the methods of rigid skeletons and span-self. In

this chapter, two main methods-cable suspend method and sewing method-of the span of steel tube skeleton are introduced mostly. The problems of stability and load process in erection are introduced also.

During the research of the CFST arch bridges and when composing the book, the author received help and encouragement from the experts and craft brothers as followed: Professor Zhong Shantong, Han Linhai, Huang Qiao in Harbin Architecture University; Professor Chai Shaohuai in China Academy of Building Research; Senior engineer Zhang Shangjie in Guanzhou Freeway General Company; Senior engineer Gong Changji in Fujian Architecture Design Institute; Professor Nie Jianguo in Tsinghua University; Senior engineer Xu Xiaofeng in Chongqing Highway Research Institute of Ministry of Communications; Doctor Liu Yuqing in Kyushu University in Japan. A large number of the photos and data in this book are offered by the experts and craft brothers as followed: Professor Jing Chengli in Tongji University; Senior engineer Qiao Jingchuan in Reconnaissance Design Academe of Zhenzhou railway bureau; Senior engineer Xie Bangzhu in Highway Reconnaissance Design Academe in Sichuan; Senior engineer Cheng Mao-fang in Metallurgy Design Academe in Nanchang; Senior engineer Ji Kuan in First Reconnaissance Design Academe of Railway Ministry; Senior engineer Xhen Yiyan and li Yong in Shenzhen Municipal Engineering Design Institute; Senior engineer Lin Shuxuan in Metal Configuration Factory of the Twelfth Irrigation and Water Electricity Bureau; Engineer Qu Dong in First Company of traffic engineering general company in Jiangshu. Heartfelt acknowledgement goes to all the grand old men, experts and craft brothers supported greatly in the composition of the book. As the book is being compiled, the author is invited Guangzhou freeway general company to work as a team members trooped by experts in longest span CFST arch bridge which is being built at present, -Yjisha Bridge (360m in main span)along the freeway of south-east-west loop in Guanzhou City, invited by Chongqing highway research institute of ministry of communications to take part in the compiling of "Construction Technic Code of CFST arch bridges" organized by the ministry of communications, and invited by Shenzhen Municipal Engineering Design Institute to take part in the work of design and science research of Shenzhen Beizhan Bridge. Among these works, all the experts and craft brothers impressed the author with rich practice experiences in engineering and well-knit theoretical foundation. These offer great valuable help for the author to finish this book.

Postgraduate students Shun Chao, Chen Youjie, Xu aiming, Ou Zhijing etc are involved in part of scientific research stated in chapter five to eight. Students Lin Ying, Zhen Baojing, Huan Guoxing, Pen Guihan are arduously labour in the typing and plotting for the book.

The tutors, professor Zhen Zhengfei and Guo Jing Qiong, vice professor Mao chengzhong pay more attention to the composition of this book. Especially professor Zhen read the book and put forward valuable advances although he is very busy. Director Jiang Mingyao, duty editors Zhang Bin and Qu Le in People's Communications Publishing House work industriously in publishing process. The folks of the author, especially his wife Chen Haiyan, supported him all the time. The author's devout acknowledgment goes to all of them.

目 录

第一章 钢管混凝土简介	1
第一节 钢管混凝土结构的发展概况.....	1
第二节 钢管混凝土的基本性能与分类.....	2
第三节 钢管混凝土材料.....	6
参考文献	17
第二章 钢管混凝土基本计算理论	19
第一节 概述	19
第二节 轴心受压构件的基本工作性能	19
第三节 轴心受压构件的强度计算	22
第四节 轴心受压构件的稳定计算	26
第五节 偏心受压构件承载力的计算	30
第六节 格构柱的计算	35
第七节 弹性变形模量	42
主要符号	44
参考文献	45
第三章 钢管混凝土在拱桥中的应用与发展	46
第一节 拱桥发展概述	46
第二节 钢管混凝土结构在拱桥上的应用与发展	50
第三节 钢管混凝土拱桥桥例	58
第四节 钢管混凝土劲性骨架拱桥桥例	74
参考文献	87
第四章 钢管混凝土拱桥结构与构造	91
第一节 钢管混凝土拱桥的主要类型	91
第二节 主拱圈构造	93
第三节 无推力拱	99
第四节 肋拱的横向结构与构造	104
第五节 桥面系	113
第六节 立柱、吊杆与系杆	120
参考文献	127
第五章 钢管混凝土拱桥受力性能分析	129
第一节 使用状态下静力性能分析.....	129
第二节 关于拱的极限承载能力的讨论.....	136
第三节 面内极限承载能力分析.....	148
第四节 侧向极限承载能力分析.....	158

第五节	温度问题	168
第六节	混凝土收缩、徐变问题	178
第七节	动力性能分析	182
	参考文献	193
第六章	钢管混凝土拱桥设计计算方法	196
第一节	内力计算	196
第二节	设计验算方法	201
第三节	拱肋设计验算	209
第四节	其它验算内容	213
第五节	算例	214
	参考文献	232
第七章	钢管混凝土材料的制作与施工要求	234
第一节	钢管的加工制作	234
第二节	钢管骨架加工制作	239
第三节	钢管的防腐与涂装	241
第四节	管内混凝土制备与浇筑工艺	244
第五节	管内混凝土的质量检查	247
	参考文献	249
第八章	钢管混凝土拱桥成桥施工技术	251
第一节	概述	251
第二节	缆索吊装法	255
第三节	转体施工法	260
第四节	施工稳定性分析	268
第五节	施工加载程序设计	273
	参考文献	284

CONTENTS

Chapter 1 Brief introduction of CFST	1
§ 1 General situation of developments of CFST structures	1
§ 2 Basic performance and classification of CFST	2
§ 3 Materials of CFST	6
Reference	17
Chapter 2 Basic calculation theory of CFST	19
§ 1 Summary	19
§ 2 Basic behaviors of members under axial compression	19
§ 3 Strength calculation of members under axial compression	22
§ 4 Stability calculation of members under axial compression	26
§ 5 Bearing capacity calculation of Eccentric Loading members	30
§ 6 Calculation of latticed columns	35
§ 7 Elastic deformation modulus	42
The main signs	44
Reference	45
Chapter 3 The applications and developments of CFST in arch bridges	46
§ 1 Summary of developments of arch bridges	46
§ 2 The applications and developments of CFST Structures in arch bridges	50
§ 3 Examples of CFST arch bridges	58
§ 4 Examples of rigid skeleton CFST arch bridges	74
Reference	87
Chapter 4 Structure and construction of CFST arch bridges	91
§ 1 The main type of CFST arch bridges	91
§ 2 Construction of the main arch-ring	93
§ 3 No-thrust arch	99
§ 4 Lateral structures and constructions of ribbed arches	104
§ 5 Bridge decks	113
§ 6 Spandrel columns, hangers and tie bars	120
Reference	127
Chapter 5 Analysis of structure behavior of CFST arch bridges	129
§ 1 Analysis of static load performance in use	129
§ 2 Discuss about ultimate bearing capacity of arches	136
§ 3 Analysis of ultimate bearing capacity in place	148
§ 4 Analysis of lateral ultimate bearing capacity in place	158

§ 5 Problem about temperature	168
§ 6 Problem of shrinking and creeping of concrete	178
§ 7 Analysis of dynamic characteristics	182
Reference	193
Chapter 6 Design calculation methods of CFST arch bridges	196
§ 1 Calculation of inner force	196
§ 2 Methods of design checking computation	201
§ 3 Design checking computation of arch rib	209
§ 4 Other contents of checking computation	213
§ 5 Design calculation example	214
Reference	232
Chapter 7 Manufacture and erection requirement of CFST materials	234
§ 1 Manufacture of steel tubes	234
§ 2 Manufacture of steel tube cages	239
§ 3 Preservation and painting of steel tubes	241
§ 4 Preparation and placing of concrete inside	244
§ 5 Quality test of concrete inside	247
Reference	249
Chapter 8 Erection technique of CFST arch bridges	251
§ 1 Summary	251
§ 2 Cable suspend erection method	255
§ 3 Swing erection method	260
§ 4 Analysis of stability in erection	268
§ 5 Program design of load process in erection	273
Reference	284

第一章 钢管混凝土简介

第一节 钢管混凝土结构的发展概况^{[1]~[4]}

钢管在土建工程中应用不久,钢管混凝土结构就得到应用。1879年英国赛文(severn)铁路桥桥墩采用了钢管混凝土桥墩,但当时空钢管内灌注混凝土的目的主要是为了防锈。1901年,Sewell.J.S.第一个发表文章报导了方形钢管混凝土柱的应用情况,认为钢管内填充混凝土不仅能防锈,还能提高其刚度和承载力。1907年美国的Lally公司首次给出了圆管混凝土柱的安全承载能力公式,此后这种被称为Lally Column的圆形钢管混凝土柱在一些单层和多层房屋建筑中得以应用。20世纪初,许多学者对这种结构进行了一系列研究。

前苏联在30年代建成了跨越列宁格勒涅瓦河的101m钢管混凝土拱梁组合体系桥和位于西伯利亚跨径达140m的钢管混凝土桁拱。前苏联一批学者对钢管混凝土结构进行了深入的研究,出版了一批专著,其中,Л.И.斯托鲁托科1978年著的《钢管混凝土结构》^[5]已有中译本。60年代,英国聂基(Neogi P K)等人对管内混凝土三向受力时强度的提高及考虑钢管对混凝土约束效应时钢管混凝土承载力的计算方法作了研究,是钢管混凝土理论探讨上的一大突破。美国在60和70年代对钢管混凝土组合柱的研究获得大量研究成果。这一时期,西欧、北美、日本、前苏联等工业发达国家,钢管混凝土结构在厂房建筑、多层和高层、立交桥以及特种工程结构中得到较多应用,收到了良好的效果。

在设计规范方面,美国的《ACI 318-65》中列入了轴心受压钢管混凝土柱的计算公式,《ACI 318-71》则把钢管混凝土结构作为组合构件而单独分列,包括轴心受压和受弯的计算。日本建筑学会在1967年年会上制订了“钢管混凝土构件设计规范”,并在1980年作了修订。欧共体12国制订的《EURO CODE》是欧共体国家共同采用的土建与施工标准。它由8个部分组成,其中《EURO CODE》No.4是组合结构部分,包含有钢管混凝土结构的内容。该规范于1985年颁布,最近又在修改之中。此外,欧洲《BS 5400》(1979)规范和德国《DIN 18806》等也列有钢-混凝土组合柱的设计内容。

我国于50年代末开始进行钢-混凝土组合结构的研究,1963年在北京地铁车站中采用了钢管混凝土柱。随后,在一些厂房的柱子中逐步得到推广应用。1987年华北电管局微波塔采用了钢-混凝土柱。八、九十年代,钢管混凝土结构在多高层建筑和桥梁等方面得到应用,发展迅猛。高层建筑中采用钢管混凝土柱的有28层的厦门金源大厦、28层的广州嘉骏大厦、88层的深圳地王大厦、68层的深圳赛格广场、38层的天津今晚报大厦等等^[6]。钢管混凝土拱桥更是来势迅猛,据不完全统计,至1998年底已建和在建的已达80余座(详见本书第三章)。

哈尔滨建筑大学、中国建筑科学研究院和苏州水泥制品研究所等单位在钢管混凝土结构的理论研究方面取得了重大的进展,一批有代表性的专著相继出版,如钟善桐的《钢管混凝土结构》^[1]、蔡绍怀的《钢管混凝土结构》^[7]和蒋家奋、汤关祚的《三向应力混凝土》^[2]等。

近年来,一些钢管混凝土结构的设计规程相继颁布实施,其中包括:国家建筑材料工业局

于1989年颁布的《钢管混凝土结构设计和施工规程(JCJ 01-89)》^[8];中国工程建设标准化协会于1990年颁布的《钢管混凝土结构设计和施工规程(CECS 28:90)》^[9];能源部电力规划管理局于1991年颁布的《火力发电厂厂房钢-混凝土组合结构设计暂行规定(DLGJ 99-91)》^[10];在该暂行规定的基礎上,电力部近期组织编写了《钢-混凝土组合结构设计规程(DL 5099-97)》^[11]。这些规程对于钢管混凝土结构的推广应用都有着重要的意义。

1986年在中国钢协的支持下,成立了钢-混凝土组合结构协会,从1987年开始每2年举行一次年会,为推动组合结构在我国的应用发展起了积极的作用。每次年会都有大量有关钢管混凝土结构的理论和应用成果进行交流。

1985年首次钢管混凝土国际学术讨论会在哈尔滨举行,并在会上成立了“国际钢-混凝土组合结构合作研究协会(ASCCS)”。此后,每两年举行一次。每次会议上,我国都有大批高质量的论文参加,表明我国在组合结构研究与应用方面在国际上占有重要的学术地位。

随着我国经济建设的进一步发展,在广大科研人员、设计人员等不断努力下,具有广阔发展前景的钢管混凝土结构在我国也得到蓬勃的发展。

第二节 钢管混凝土的基本性能与分类

一、基本性能

钢管混凝土结构中应用最广的当属内填型圆钢管混凝土,现简要介绍其基本性能。我们知道,钢材在弹性工作阶段时,它的泊松比 μ_s 变动很小,在0.25~0.30之间,而混凝土的泊松比 μ_c 随着纵向力的增长从低应力的0.167左右逐渐增至0.5,接近破坏时,将超出0.5。因此内填型圆钢管混凝土随着轴向力 N 的增大,混凝土的泊松比 μ_c 迅速超过钢管的泊松比 μ_s ,使得混凝土的径向变形受到钢管的约束而处于三向受力状态(见图1-1),其承载力大大提高。同时,钢管的套箍作用大大提高了混凝土的塑性性能,使得混凝土,特别是高强混凝土脆性的弱点得到克服。另一方面,混凝土内填于钢管之内,增强了钢管的管壁稳定性,刚度也远大于钢结构,使其整体稳定性也有了极大的提高。因此,钢管混凝土材料应用于以受压为主的构件中,较之钢结构和混凝土结构有着极大的优越性。

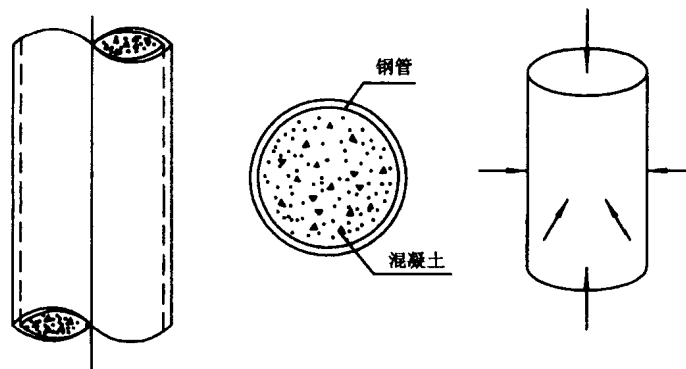


图 1-1 钢管混凝土受力示意图

在施工方面,钢管具有较大的刚度和强度,可以作为施工的劲性骨架。钢管本身又可作为耐侧压的模板,这样,施工时就基本不需要模板和支架。钢管制作工厂化,劳动效率高,比起钢

钢筋混凝土结构中的钢筋加工制作省时省工。

钢管混凝土结构耐腐蚀性能比钢筋混凝土弱,与钢结构一样需要采用有效的防腐措施,但与钢结构相比,其内壁因填充了混凝土,只有外壁需采取防腐措施,因而比表面减少一半。

钢管混凝土结构的耐火性能,有关学者正进行专题研究^[12]。定性分析认为,由于内填了混凝土,在高温情况下,与空钢管相比它的软化温度将极大地提高,而在急骤降温(消防冲水)时又不会象钢筋混凝土结构那样爆裂,因此,其防火性能应比钢结构和钢筋混凝土结构更加优越。

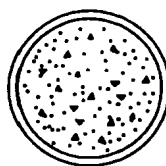
钢管混凝土结构还具有较好的耐冲击能力和动力性能。圆形钢管混凝土柱在抵抗方向不确定的地震力作用时,由于其各个方向的强度相同,显示出其有效性。

大量的工程实践表明,与钢结构相比,钢管混凝土在保持自重相近和承载力相同的条件下,可节省钢材 50%左右,并减少大量的焊接工作,提高结构的耐火性、动力性及稳定性。与普通钢筋混凝土结构相比,虽然结构用钢一般会增加,但施工用钢可相应减少,在承载力条件相同时,混凝土用量和构件自重可减少约 50%,构件的截面面积可减少约一半。在高层建筑的应用中,就目前的经济条件下,钢管混凝土结构的造价与普通钢筋混凝土结构相近,但解决了“胖柱”的问题,从而增加了建筑的有效面积,加快了施工进度,有较好的综合效益。在大跨度拱桥中,钢管混凝土解决了材料高强度和施工无支架的两大难题,因而其跨越能力较之钢筋混凝土大许多,使古老的拱桥技术重新焕发了生机。

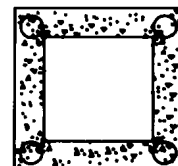
二、钢管混凝土结构的主要类型

钢管混凝土结构属于钢-混凝土组合结构中的一种。钢管混凝土结构的英文为 concrete filled steel tube(tublar),简称为 CFST。根据钢管与混凝土的组合关系,可分为内填型和内填外包型,见图 1-2。

内填型钢管管壁外露,结构含钢率较高,主要用于以受压为主的结构,如建筑物的柱子和拱桥。这种结构主要利用钢管混凝土的材料性能,如抗压强度高、抗冲击能力强等等。钢管在混凝土施工过程中又可作为支架和模板,给施工带来方便,但施工方面的优点不是设计采用这一结构的最主要的考虑。



a) 内填型



b) 内填外包型

图 1-2 内填型和内填外包型

内填外包型钢管混凝土主要用在大跨度拱桥之中,它主要解决大跨度拱桥施工的“自架设问题”。首先架设自重轻、强度、刚度均较大的钢管骨架,然后在空钢管内浇筑混凝土形成钢管混凝土,再在钢管混凝土骨架外挂模板浇筑外包混凝土,形成钢筋混凝土结构。在这种结构中,钢管和随后形成的钢管混凝土主要是作为施工的劲性骨架来考虑的。成桥后,它也可以参与受力,但其用量通常是由施工设计控制的。

内填型钢管混凝土根据钢管的形状可分为圆管、方管、多边形管和圆端形管等,见图 1-3。圆形钢管混凝土由于平面形状为轴对称,压力作用下钢管环向应力均匀,施加于内填混凝土的紧箍力也均匀,因而受力性能最好,且钢管加工容易,因而应用最广泛。本书后面所介绍的钢筋混凝土结构,除非特别指明,均指圆形钢管混凝土。

方形管在紧箍力作用下,管壁因受弯而变形,紧箍力集中在四个角点上,分布不均匀,比起圆形管来说,其效果较差,且钢管的角点存在应力集中,见图 1-4。然而这种截面若作为建筑物

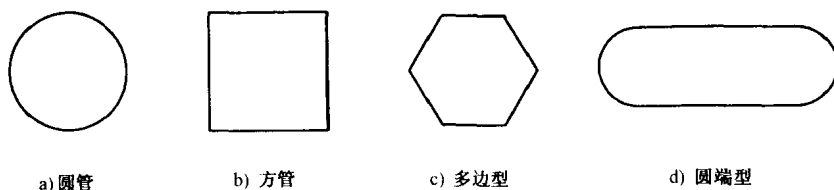


图 1-3 内填型钢管混凝土的截面形状

的柱子,与梁的联接较容易,因而也得到一些应用,国内外也有一些学者进行方形钢管混凝土的研究。

多边形管如八边形,则介于圆形和方形之间,由于交角的角度变小,其紧箍力的分布较方管均匀,接近于圆形,而几何形状上与圆形下相比更易于与梁联接。但这种结构钢管加工较复杂,应用并不多。圆端形主要用在受压弯构件中两个方向的受弯能力要求不同的情况时。对这种结构的紧箍力分布情况还缺乏研究。

内填型钢管混凝土还可分为配筋和不配筋。一般所指的钢管混凝土均指不配筋的。配筋的还可分为配纵筋和配钢管束的,见图 1-5。在钢管混凝土中配纵筋(和螺旋筋)的主要目的是为了满足不同结构构造或连接方面的要求,主要用在房屋建筑中。配钢管束是为了进一步提高承载能力。



图 1-4 方形钢管混凝土

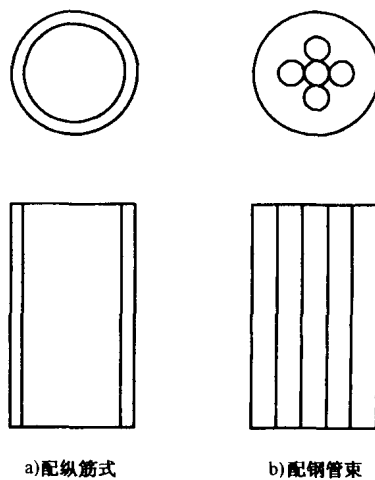


图 1-5 配筋钢管混凝土

近年来,我国还出现了一种集束型的钢管混凝土,即将数根钢管混凝土间隔一段用钢板环箍捆绑在一起,用于肋拱之中。

以上介绍的均为实心的内填型钢管混凝土。内填型钢管混凝土当刚度要求大于强度要求时,还可做成空心的。空心钢管混凝土根据内填混凝土的相对厚度又可分为重型空心钢管混凝土和轻型空心钢管混凝土两种,见图 1-6。设 ψ 为核心混凝土内外半径之比(又称为空心率),则当 $\psi \leq 0.5$ 时,称为重型空心钢管混凝土,其受力性能随着 ψ 的减小而趋于实心钢管混凝土,即混凝土受到钢管的套箍作用。当 $\psi > 0.5$ 时,称为轻型空心钢管混凝土,其受力性能随着 ψ 的增大而趋于钢结构,即内填混凝土受到钢管的套箍作用不大,内填混凝土主要起着加强钢管壁稳定性,加强整体刚度以及防锈作用,混凝土在强度方面所起的作用较小。空钢管混凝土可采用离心法生产,应用于电力部门的输变电塔之中,具有良好的经济效益。