

钢管混凝土桥梁

钢(管)结构

制造与安装

Gang_{guan}

Hunningtu Qiaoliang

Gangguan Jiegou Zhizao Yu Anzhuang



王庭英 金志展 编著



人民交通出版社
China Communications Press

钢管混凝土桥梁

钢(管)结构

制造与安装

Gang_{guan}

Hunningtu Qiaoliang

Gangguan Jiegou Zhizao Yu Anzhuang



王庭英 金志展 编著



人民交通出版社
China Communications Press

内 容 提 要

本书总结了我国近十年来修建的各种钢管混凝土拱桥的钢(管)结构制造工艺、安装技术与质量管理诸方面经验,包括上承式、中承式、下承式;单承截面、双承截面、三承截面;有风撑、无风撑敞口式;钢管劲性骨架外包混凝土箱形断面拱以及各种不同截面形式(桁架式、哑铃式、端圆式等)。本书阐述全面、系统、紧密结合工程实例,内容详尽丰富,书中附有大量工程实例、插图、实用表格、材料设备规格等,实用性强。

本书可供从事桥梁、工业民用建筑、高耸结构及其他钢结构设计、施工、监理、科研与教学的广大工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢管混凝土桥梁钢(管)结构制造与安装/王庭英,
金志展编著. —北京:人民交通出版社, 2003.10
ISBN 7-114-04814-9

I. 钢… II. ①王…②金… III. ①桥梁工程-钢
管结构:混凝土结构-制造②桥梁工程-钢管结构:混
凝土结构-安装 IV. U445.57

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 080792 号

钢管混凝土桥梁—钢(管)结构制造与安装

王庭英 金志展 编著

正文设计:彭小秋 责任校对:宿秀英 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:35.5 字数:891 千

2003 年 12 月 第 1 版

2003 年 12 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数:0001—3000 册 定价:80.00 元

ISBN 7-114-04814-9

前 言

早在 20 世纪 30 年代,国外一些专家学者对圆钢管混凝土构件进行了研究,前苏联著名教授并在工程实践中加以利用,别涅杰里与罗斯洛夫斯基教授率先修建了跨径为 101m、140m 和 180m 三座钢管拱肋下承式系杆拱、镰刀式桁架中承式钢管混凝土拱桥,开创了新型桥梁结构的先河。但由于理论研究、制造工艺、防锈涂装技术诸多方面影响,在一定程度上延缓了发展进程,建桥数量极为有限。前苏联一些学者曾对钢管混凝土结构进行不少开创性基础研究,斯克沃尔佐夫、斯托鲁陀柯分别于 1955 年 1978 年发表了“钢管混凝土在桥梁建筑中的运用”、“钢管混凝土结构”专著,但未见有桥梁实践的报道。

我国从 1959 年开始研究钢管混凝土的基本性能和工程应用,钟善桐教授、蔡绍怀教授和蒋家奋、汤关祚等诸位专家学者进行了大量的研究、试验,取得了一批卓有成效的成果,并先后运用于北京地铁车站工程以及冶金、电力部门的厂房、框架柱、构架等。国家相继颁布了“钢管混凝土结构设计施工规程”、“钢—混凝土组合结构设计规程”等,有力的推动了钢管混凝土结构的发展。继 1990 年四川建成了国内第一座跨度 115m 钢管混凝土拱桥之后,1991 年又依据规范设计了跨径为 84m + 120m + 84m 的浙江新安江大桥。

钢管混凝土拱桥历经半个世纪的研究,终于在 20 世纪 90 年代有了重大突破。由于它具有独特的优势而成为大跨径拱桥的一种较理想较合理的结构形式并犹如雨后春笋,发展迅猛,在短短的十年里,已相继建成逾百座钢管混凝土拱桥,显示出旺盛的生命活力。引以自豪的是,我国拱桥技术水平已跨入当今世界先进行列。

一个新生事物有其发生、发展、完善、完美的过程。钢管混凝土拱桥发展道路亦如此,它也经历过否定——怀疑——肯定——发展的过程。20 世纪 90 年初修建新安江大桥时,钢管拱设计方案险遭扼杀否定,理由是“未见过,不可靠”。并被斥之为“异想天开”。科技要发展、要创新,要有风险意识,但更需科学严谨的态度,靠脚踏实地勤奋努力。抚今追昔,我们走过不少艰难曲折的道路,依靠集体努力、有识之士协助,从而使今日钢管混凝土拱的设计、制造、施工得以日趋完善,质量日益提高。“发展是硬道理”,我们相信,通过不断实践、总结、探索、研究,钢管混凝土拱桥必将有广阔的前景。

纵观近十年来钢管混凝土拱桥建造历史,形式由单一发展到多种类形,跨度愈来愈大,460m 大跨正待实施;桥型愈益美观、新颖;钢管制造加工水平日益提高,其中不乏成功佳作、优质工程。但就钢(管)拱制造安装方面而言,也存在不少不容忽视的问题与缺憾。例如:

有的桥梁工粗糙,焊接质量不佳,经超声波检测合格率仅占 40%,不得不二次补焊,甚至补强或报废,其存在隐患不言而喻。

有的桥梁构造不尽合理,钢管内增加不合适加劲圈,甚至设置内隔板,以致造成泵送混凝

土难以保证密实和连续性,在加劲环后侧往往形成蜂窝、空隙。上述情况势必削弱截面强度。圆端形断面由于设计欠完善,对侧腹板约束不力,一旦混凝土泵送压力不当,也极易引起平直腹板外鼓变形,这种情况并不鲜见。

有的桥梁设计上存在先天不足,构造不甚合理、焊接加工要求不规范、表达欠清楚完整、施工图不够完善。钢(管)结构加工制造过程中放样、焊接质量把关不严或缺乏经验,造成质量事故。如某桥为跨径 238m 的提篮式拱桥,委托某船厂加工制造,因变形过大无法调形,以至无法拼装,近 500t 的钢桁拱成了一堆废铁,损失很大。该桥现已重新招标加工制造。

有的桥梁由于对防锈涂装重视不够,缺乏经验,操作不当,建成不久即锈迹斑斑。有的桥梁选择涂装材料不当,耐候性差,斑驳裂纹,陡增维修费用。

更有甚者,不法之徒渎职、腐败、贪污受贿、谋取暴利、偷工减料,钢管制造、焊接、施工质量低劣,以致酿成跨径 102m 大桥桥垮人亡的惨剧。

凡此种种,不胜枚举。故有些教授、专家呼吁,钢管混凝土拱桥中钢骨架必须由专业钢结构企业单位加工制作,且所委托的厂家应十分熟悉桥梁结构,特别是大跨径拱肋制作,因此力主桥梁工程技术人员参与配合。这无疑是十分正确的。桥梁结构工程师与钢结构制造工程师的结合,对于结构受力状态、构造措施以及加工要求容易达成共识,质量可以获得保证,这也是我们近十年来的深切体会。

有鉴于此,本书将针对钢(管)拱肋骨架的制作加工、安装作一详尽全面的阐述,对以往所积累的经验加以总结,以期抛砖引玉。

钢管混凝土拱桥正处在不断发展与完善的阶段,钢管混凝土拱桥的设计与施工规范尚待制订。至于涉及钢管混凝土桥一些设计理论、施工技术,诸如钢管混凝土结构本构关系;计算方法;构造细节;内力分析(温度影响、混凝土收缩徐变、稳定、动力分析);混凝土浇筑工艺;桥梁成桥技术(有支架、无支架、转体施工等);施工加载程序;施工控制等等,拟将介绍。

本书仅介绍制造加工、安装技术,涉及内容为材料、放样、画线、下料、煨弯、焊接、组装、涂装、运输、安装、质量管理、卷管技术、质保体系等十四章。这是工作需要及应业内人士的鼓励,先行出版的。

在以往工程实践和编著本书过程中,得到各方面的关注与支持,其中有哈尔滨建筑大学钟善桐教授;中国建筑科学研究院蔡绍怀博士;福州大学陈宝春教授;杭州城建设计研究院奚希堪、俞菊虎、赵林强、许荣华等高级工程师;有原浙江省交通厅王振民、胡侠总工程师;有杭州市交通局朱玉龙总工程师;有浙江天工金属结构有限公司姜方炳教授级高级工程师、赵大正、张冬根高级技师;有长安大学公路学院陈祥宝教授;有浙江省交通工程建设集团四公司李炎总工程师等;有多年合作共事的从事钢管混凝土结构设计、施工、制造、检测、监理的专家与同仁,在此表示由衷地感谢。

本书承蒙浙江耀江建筑设计研究有限公司、浙江泛华工程有限公司设计院黄茂智院长大力支持与热情帮助,在此,表示诚挚的谢意。

由于工程任务繁重,本书内容多、篇幅大、时间仓促,日以继夜,挑灯笔耕,属急就之章。加之水平的局限性,书中难免存在一些缺点和不足,恳请读者赐教。

二〇〇一年三月一稿

二〇〇二年三月二稿

杭州

目 录

第一章 钢管混凝土拱桥基本特点	1
第一节 钢管混凝土结构发展概况	1
第二节 钢管混凝土特点	4
第三节 钢管混凝土在桥梁建筑中的应用	9
第四节 钢管混凝土拱桥基本构造形式	11
第五节 钢管混凝土空间桁架组合式梁式结构	15
第六节 钢管混凝土结构在建筑中的应用	21
第二章 制造准备	22
第一节 原材料准备	22
第二节 开工前准备工作	102
第三节 焊接试验	114
第四节 焊接技术人员和焊工考核	129
第三章 放样、号料	131
第一节 放样前准备工作	131
第二节 拱肋放样计算与钢结构料计算	139
第三节 画线	156
第四章 切割	176
第一节 概述	176
第二节 气割	177
第三节 剪切	193
第四节 锯割	196
第五节 等离子切割	200
第六节 激光切割	203
第五章 钢管卷制	206
第一节 卷板机卷圆的基本原理与方法	206
第二节 卷制成型工艺	212
第三节 卷制螺旋钢管的基本原理与方法	220
第四节 卷板的常见缺陷和质量标准	223
第六章 钢管煨弯、矫形及边缘加工	227
第一节 抱箍的热煨弯	227
第二节 拱形管的冷、热煨弯	228
第三节 矫形	238
第四节 边缘加工	269

第七章 焊接	276
第一节 概述	276
第二节 焊缝坡口形式与坡口加工	281
第三节 焊接设计与计算	317
第四节 焊接方法与工艺	330
第五节 焊接设备与焊接夹具	346
第六节 钢管结构的焊接	358
第七节 焊接残余应力和残余变形	388
第八节 焊接质量检验	393
第九节 焊接安全与劳动保护	415
第十节 浙江天工金属结构有限公司工厂标准《钢结构焊接原则工艺》(试行)	418
第八章 组装	422
第一节 基本规定	422
第二节 组装方法	422
第三节 组装常见缺陷及修正	425
第四节 焊接连接组装的允许偏差	425
第九章 工厂预拼装	427
第一节 试拼装	427
第二节 制造精度	427
第三节 横联(风撑)制作与组拼	429
第四节 肋间横梁制作与试拼	429
第十章 钢管拱桥的防腐蚀技术与质量控制	430
第一节 钢结构的腐蚀	430
第二节 金属腐蚀程度表示方法及腐蚀等级标准	436
第三节 防腐处理前的钢材表面锈蚀等级和除锈等级标准	438
第四节 涂装前钢材表面预处理	442
第五节 涂料工艺技术	449
第六节 热喷涂锌、铝、锌铝合金长效防腐技术	483
第七节 高分子涂装技术	494
第十一章 钢管拱构件的运输	505
第一节 装夹	505
第二节 车辆运输	505
第三节 船舶运输	505
第十二章 工地安装	507
第一节 基本要求与准备工作	507
第二节 支座形式与定位	510
第三节 工地接头形式与构造措施	514
第四节 缆索扣挂吊装扣点构造	514
第五节 空中临时支架、作业平台	519
第六节 高空焊接安装作业	519

第十三章	海湾大桥钢桁拱制作质量保证措施与质量保证体系	521
第一节	质量保证措施	521
第二节	质量保证体系	532
第十四章	生产管理	537
第一节	工厂组织机构与岗位责任制	537
第二节	计划管理	539
第三节	技术管理	541
第四节	物资供应管理	544
第五节	安全技术与	545
第六节	机械、工器具管理	549
第七节	焊接管理	550
主要参考文献		553

第一章 钢管混凝土拱桥基本特点

第一节 钢管混凝土结构发展概况

最早在工程中应用钢管混凝土的是英国 1879 年完工的赛文(Severn)铁路桥的桥墩,当时在空钢管内灌入混凝土的目的也仅仅是为了防锈。

法国 Conidere 于 1902~1906 年探索三向应力混凝土性能时,发现套箍(约束)状态下混凝土承载能力约等于配置同样重量的纵向钢筋构件承载力的 2.4 倍,此时箍筋中的拉应力值与纵向钢筋压应力值相同。在 20 世纪初,美国就在一些单层和多层建筑中采用了称为“Lally Column”的圆形钢管混凝土柱。前苏联从 1931~1958 年在中央建筑科学研究院和全苏运输建筑科学研究院等单位,先后进行了大量的有关钢管混凝土柱的试验工作,并于 1955、1963、1974、1978 年先后出版了专著。

早在 20 世纪 30 年代末期前苏联便将钢管混凝土结构运用于桥梁建筑,有记载的有 Г. П. ПЕРЕДЕРИЯ, В. А. РОСНОВСКИЙ, А. Ф. ЛИПАТОВ 诸位著名教授和工程师设计建造跨径为 101m、140m、180m 公路或铁路桥(图 1-1、图 1-2、图 1-3),与钢拱桥相比,节约钢材 52%,降低造价 20%。

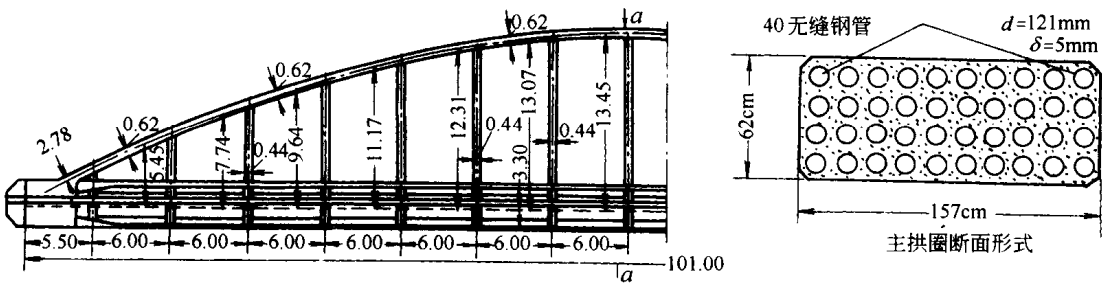


图 1-1 跨越列宁格勒涅瓦河 101.0m 钢管拱桥(单位:m)

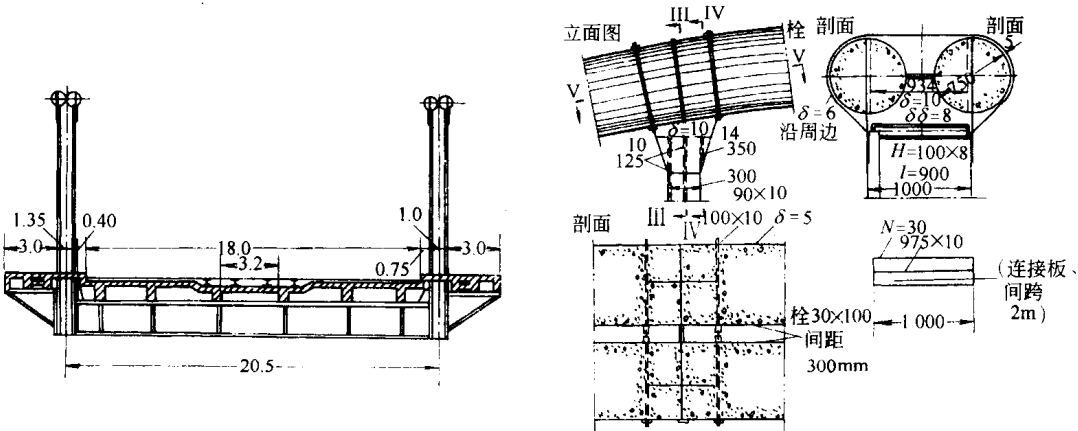


图 1-2 罗斯洛夫斯基设计的跨径 102m 双管拱肋式拱桥

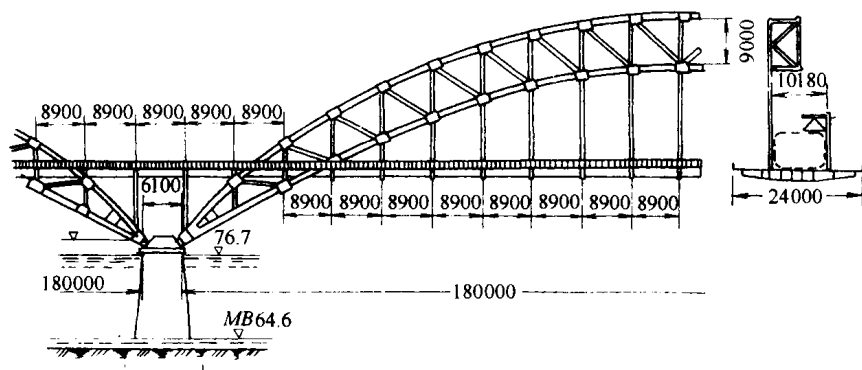


图 1-3 跨径 180m 镰刀形桁架式铁路拱桥(单位:mm)

В. А. РОСНОВСКИЙ 1963 年曾提出过一座公路悬索桥的设计方案。该桥跨度 $177.5\text{m} + 355\text{m} + 177.5\text{m}$, 矢高 $f = 42\text{m}$, 连续刚性桁架, 高度 7.1m , 高跨比 $1/50$, 桁架的上下弦杆和桥塔均采用钢管混凝土(图 1-4)。

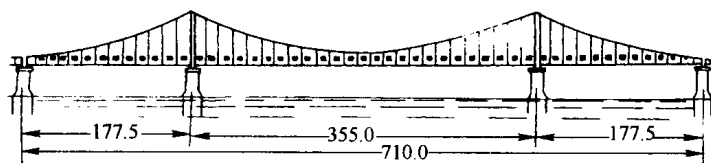


图 1-4 悬索桥

英国于 1966 年建成的四层城市立交桥(Almondsbury), 采用了钢管混凝土柱, 36 根柱, 柱长 4m 到 11.6m , 荷载 2600kN 到 32000kN 不等, 除最重的一根采用 $\phi 1037\text{mm} \times 44.5\text{mm}$ 钢管, 内灌 52MPa 强度混凝土外, 其余各柱均用 $\phi 762\text{mm} \times (9.5 \sim 38\text{mm})$, 内填 42MPa 强度的混凝土。实践表明, 它在满足承载力的前提下, 最大限度减小了桥墩和支柱的尺度, 提供了最佳视野, 增加了建筑美观。

美国于 1963 年制定的 ACI 规范中已将轴心受压钢管混凝土柱计算公式列入, 1973 年又将钢管混凝土构件作为组合构件单独分列, 并把受弯计算也一并列入修改规范中。在美国相继修建了一些钢管混凝土高层建筑的同时, 又建造了跨越超速干道的架空停车场和旅馆(共四层), 该桥跨度为 175.5m , 拱桥上弦压杆采用直径 $D = 1.83\text{m}$ 的钢管混凝土结构(图 1-5), $f/L = 1/5.75$ 。

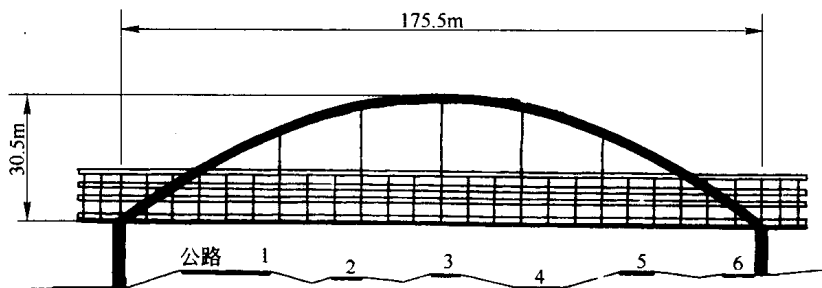


图 1-5 美国架空停车场钢管混凝土拱桥

法国 1988 年有报导,在 Maupre 修建的一座高架桥工程中,以圆形钢管混凝土作预应力组合梁的下弦杆,取得了良好的技术、经济效益。法国最近还修建了一座跨径为 56m 的钢管混凝土拱桥(Antrenas),其主拱圈为直径 $D1200\text{mm}$ 壁厚 32mm 钢管,在拱脚段内灌混凝土。

日本在 1950 年(昭和 25)就把钢管混凝土用于地下铁道车站柱和送电铁塔桁架构件,1967 年(昭和 42)颁布了以圆形钢管为对象的“コンクリート设计规律·同解说”,1980 年再次出版了修订版,1987 年又颁布了“钢管构造设计施工指针”。“铁骨铁筋コンクリート构造计算规准·同解说”(改定版),其中第六章专列钢管混凝土结构设计。钢管混凝土拱桥建造情况报导尚不多见。最近修建了主跨为 180m 钢管混凝土劲性骨架的箱形断面上承式青叶大桥(图 1-6)。

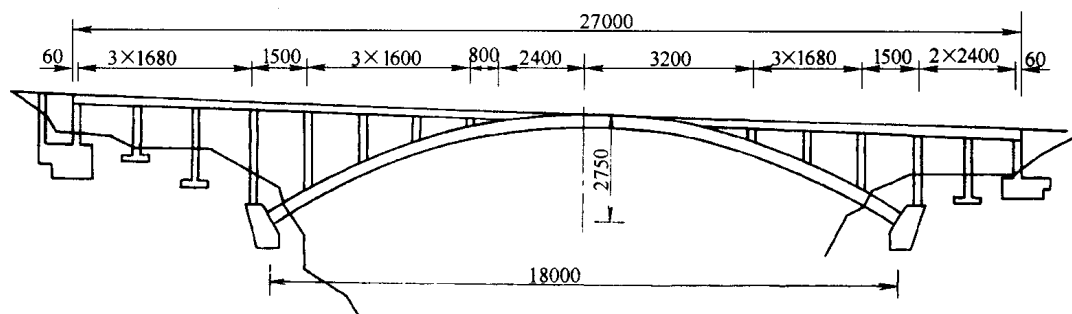


图 1-6 日本青叶大桥(单位 mm)

在西欧,如比利时、瑞士等国亦及应用于桁架、输电塔的实例,但未见应用于桥梁的报导。

在国内,从 1959 年起开始研究钢管混凝土的基本性能和应用,1963 年,国家建材工业局苏州水泥制品研究院和北京地下铁道工程局合作,对钢管混凝土短柱进行了近百组的基本力学性能试验,其中包括 1965 年在上海万吨水压机上进行的足尺实柱试验,提出了轴压短柱设计公式。1966 年该成果在北京地铁主要车站柱中得到了广泛的应用。以后相继在冶金、电力、建筑等领域得到了合理推广应用。

20 世纪 60 年代,南昌有色冶金设计研究院设计了山西省中条山铜矿尾矿输送线的 27m 跨径的桁架桥,其桁架压杆采用外径 $D=140\text{mm}$ 的钢管混凝土材料。1990 年建成的四川省旺苍东河大桥,跨径为 115m,系下承式刚架系杆拱,该桥是我国第一座钢管混凝土拱桥。与浙江新安江大桥、广东高明大桥相继建成。同时,在众多专家、教授、学者的呼吁与支持宣传下,尤其是 1990 年中国土木工程学会第五届年会暨第二次全国城市桥梁学术会议和 1993 年中国钢协钢——混凝土组合结构协会第四次年会上引起了桥梁建筑界广泛关注,为推动钢管混凝土在桥梁建筑中的应用与发展起了积极作用。

自中国钢协钢——混凝土组合结构协会和国际钢——混凝土组合结构合作研究协会(ASCCS)于 1985、1986 年相继成立以来,每两年一次的学术会议上,均有一批高质量的论文发表,其中桥梁方面论著逐年大幅度增加。进入 20 世纪 90 年代以来,钢管混凝土用于 20~88 层高层建筑,大型场馆、大型乃至特大型桥梁呈迅猛发展趋势。68 层的深圳赛格广场、88 层的地王大厦、上海金茂大厦正在建设的杭州瑞丰大厦以及跨径超过 200m 的武汉汉江三桥(主跨 280m)广西三岸邕江大桥(270m)、浙江三门湾健跳港跨海大桥(245m)、广州丫髻沙大桥(360m)、四川万县长江大桥(420m)、巫山长江大桥(400m)等均具有一定代表性。

近十多年,钢管混凝土结构取得可喜成就,是中国坚持改革开放的结果,是经济建设蓬勃

发展的必然趋势。钢管混凝土结构研究和应用,从设计、制造、施工已形成一个完整体系,但还有赖于广大科技人员不断努力,有关桥梁设计与制造、安装、施工规范(规程)以及质量验收标准尚待制订、颁布。

中国经历了漫长的历史岁月,已从钢铁工业落后的国家,一跃成为年产量超亿吨的具有现代化工业水平的钢铁大国,并拥有一些先进的制造加工设备,钢管混凝土结构大步发展所依赖的基础越来越雄厚,前途将越来越光明。

第二节 钢管混凝土特点

混凝土是一种传统的建筑材料。1824年 Aspdin 发明了波特兰水泥以后,以水泥为胶结材料的混凝土相继问世。钢筋混凝土在 19 世纪中叶开始得到应用,迄今为止已有一个半世纪的历史,是当今工程建设中应用最广泛的一种结构。

混凝土是一个多组分、多相(由固相、液相和气相所组成)的复合材料。它是以水泥石为胶结材料与粗细集料结合而组成。混凝土中存在孔隙结构(毛细管)不容忽视,混凝土无论在凝结硬化过程中以及在承受外荷载之前,其内部已经存在着微细裂缝。此外,在混凝土搅拌、成型时所带入并残存的气泡,水泥石的干燥收缩、温度变形诸种因素引起的微裂缝。这些微裂缝对混凝土的一系列物理、力学性能,特别是强度和耐久性均产生极为不利的影响,而成为混凝土破损的根源。这已成为国际上专家、学者的共识。为了提高混凝土的抗压强度等主要力学性能,世界各国都在致力于研究与实践,其技术途径大致分为三个方面:

(1)从混凝土这种多相、分散、强化型复合材料入手寻求提高其强度的方法。如采用高标号水泥、增添聚合物,掺加外加剂,如减水剂、早强剂,高活性混合材料——硅灰(尘)等等,旨在减小混凝土的孔隙率,提高混凝土密实度,增加硅酸钙水化物含量,以提高混凝土的强度。

(2)从改进和完善混凝土的生产工艺入手,对配制、搅拌、振捣、成型、养护诸环节进行研究,以求提高混凝土拌和的密实性,减少混凝土的自由水与孔隙,从而获得早强与高强的混凝土。

(3)从改变混凝土结构受力状态入手,通过实验与研究表明,混凝土在单向纵向受力破坏可以认为是由于横向变形发生拉坏肇致的。如能有效地约束其横向变形就能显著地间接提高其纵向抗压强度,配置螺旋筋、焊接环筋、预应力环形钢箍筋、钢管混凝土柱等均可使混凝土抗压强度得到大幅度提高(即三向应力混凝土)。

在提高混凝土抗压强度的研究过程中,发现混凝土材料力学性能固有的缺陷——脆性,它往往随着混凝土强度的提高而增加,而其弹性模量并不与强度同步增长,其变形性能反而有所降低,这样势必影响高强度、超高强度混凝土在工程结构中的应用。再则,一些承压柱采用了高强度混凝土,其断面尺度尚受到刚度的控制,从而也一定程度上限制了高强度、超高强度的广泛使用。

由上述可见,将原有混凝土强度提高到 50MPa、60MPa,在工程上具有实际意义。而将强度提高到 100MPa 以上时,采用有约束的三向应力混凝土可以获得令人满意的效果。实践表明,三向应力混凝土不仅具有较高的强度,而且具有较好的塑性变形性能和良好的延性,特别适用于抗震混凝土结构。

以下将针对三向应力混凝土做一简要介绍(图 1-7)。

混凝土三向受压情况,早在 20 世纪 30 年代国外就进行过圆柱体的试验,圆柱体周围加液

压,以约束混凝土,圆柱体上轴向加压直至破坏,从而得到下列关系式:

$$f_c^* = f_c + kP$$

式中: f_c^* ——等侧压力 P 作用下三向受压混凝土轴心抗压强度;
 f_c ——无侧压(非约束)时混凝土轴心抗压强度;
 P ——侧向约束压力;
 k ——由试验确定的核心混凝土抗压强度提高的侧压系数,
 过去,一般取 $k = 4.1$,后来试验给出 $k = 4.5 \sim 7.0$,其
 平均值为 5.6。

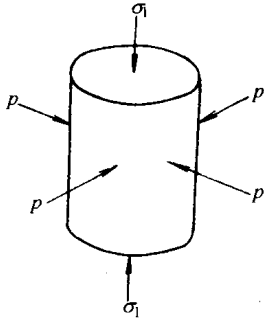


图 1-7 等侧压三向受压混凝土

$$k = 2 + 1.5/\sqrt{P/f_c}$$

侧向约束混凝土实际上可以通过设置密排螺旋筋或箍筋来实现,这是一种被动的约束方式。当混凝土轴向压力很小时,螺旋筋或箍筋几乎不受力,此时混凝土基本上处于非约束状态。当轴向压力增大,混凝土应力超过 $\frac{1}{2} R_a$ (抗压强度)时,横向变形系数 μ 不再保持常数 0.15 或 $\frac{1}{6}$,而是突然大大增加,混凝土内部出现裂缝引起体积膨胀而挤压螺旋筋或箍筋,这就使得螺旋筋或箍筋反过来约束混凝土,造成类似前述的液压约束混凝土相似的条件,从而改变了混凝土应力应变特性。

用螺旋筋约束混凝土圆柱体的 $\sigma-\epsilon$ 曲线和用箍筋约束混凝土棱柱体的应力应变 $\sigma-\epsilon$ 曲线如图 1-8、图 1-9 所示。由图可见,在接近单向混凝土抗压强度前,两者 $\sigma-\epsilon$ 曲线基本是一致的,说明箍筋不起作用,一旦螺旋筋或箍筋起到约束作用后,强度明显提高,而延性的提高尤为明显。所不同的是,密排箍筋对提高延性较好,但对提高强度效果不大。这是由于箍筋呈方形,仅能使箍筋的角上和核心的混凝土受到约束,这点对选择钢管约束的形式应有所启示(图 1-10)。

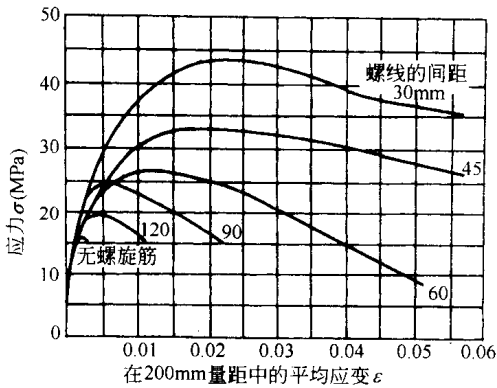


图 1-8 用螺旋筋约束混凝土圆柱体 $\sigma-\epsilon$ 曲线

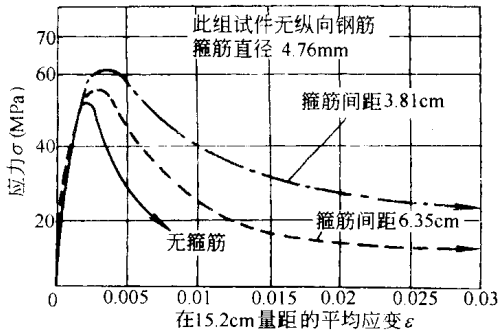


图 1-9 10.8cm 正方形棱柱体配有箍筋 $\sigma-\epsilon$ 曲线

当配有螺旋式或焊接环式间接钢筋的圆形钢筋混凝土轴心受压构件,按《公路桥涵设计规范》(JTJ 023—85 第 4.1.4 条)规定,其正截面强度按下列公式计算:

$$N_j \leq \gamma_b \left(\frac{1}{\gamma_c} R_a A_{he} + \frac{1}{\gamma_s} R_g' A_g' + \frac{2}{\gamma_s} R_g A_{jg} \right)$$

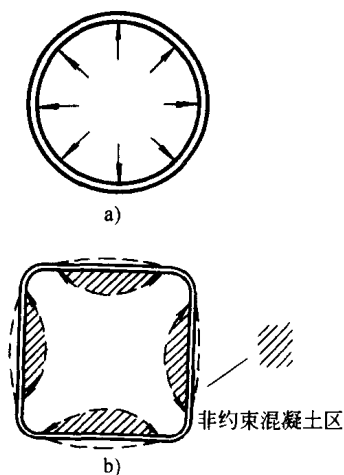


图 1-10 方形箍筋和螺旋筋的约束
a) 螺旋筋; b) 方形箍筋

式中: N_j ——计入安全系数的荷载引起的纵向力;

γ_b ——构件工作条件系数;

γ_c ——混凝土安全系数;

γ_s ——钢筋安全系数;

R_a ——混凝土轴心抗压设计强度;

R_g ——钢筋抗拉设计强度;

R'_g ——钢筋抗压设计强度;

A_{he} ——构件核心截面面积;

A_{jg} ——间接钢筋换算截面面积;

$$A_{jg} = \frac{\pi d_{he} a_j}{S}$$

d_{he} ——构件核心直径;

a_j ——单根间接钢筋截面面积;

S ——沿构件轴线方向间接钢筋间距。

由上式表明,螺旋筋间距愈小,其侧向限制变形作用相应增大,提高混凝土强度和变形能力也增大。但为了使螺旋筋(焊接环箍筋)外面的混凝土保护层对抵抗脱落有足够的安全,“规范”规定按此式算得的强度不应比一般轴心受压构件计算式 $N_j \leq \varphi \gamma_b \left(\frac{1}{\gamma_c} R_a A + \frac{1}{\gamma_s} R'_g A'_g \right)$ 大 50% (其中 φ 为构件纵向弯曲系数),规范同时规定当间接钢筋换算面积 A_{jg} 小于纵向钢筋截面面积的 25% 时,可以认为间接钢筋配置得太少,约束(套箍)作用的效果不明显,亦不能按上述公式计算。这些限制和界定是合理的。

再之,配有螺旋筋和焊接环筋柱因施工复杂,用钢量较多,造价较高,一般采用较少。(图 1-11)为通常使用的承载柱截面形状。

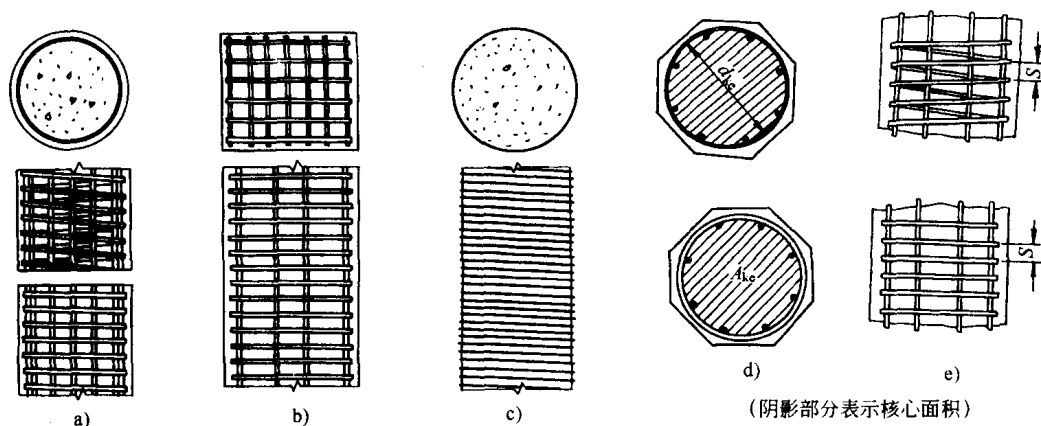


图 1-11 常用承载柱形式

a) 螺旋式和环形箍; b) 横向方格钢筋网; c) 预应力螺旋钢丝; d) 螺旋筋柱; e) 焊接环筋柱; (阴影部分表示核心面积)

综上所述,随着三向应力混凝土研究的开展和深入,钢管混凝土已愈来愈被国内外土木建筑工程界所重视,一致公认为是一种具有优异性能的结构,也自然地被广泛应用于工程实际。钢管混凝土就是由普通混凝土灌入薄壁钢管内并振捣密实,从而形成两者共同工作的一种组合结构。图 1-12 所示为几种钢管混凝土。

图 1-12a)所示为目前使用最广和最多的一种形式,图 1-12b)是在钢管内配置螺旋箍筋和少量纵向钢筋,配置纵筋的目的是结构构造或连接等方面的要求。在国外(如前苏联)还采用了钢管束配筋的钢管混凝土,如图 1-12c)所示。在我国和日本除在钢管内灌混凝土外,尚在钢管外再浇筑钢筋混凝土。在钢管外再浇筑钢筋混凝土。

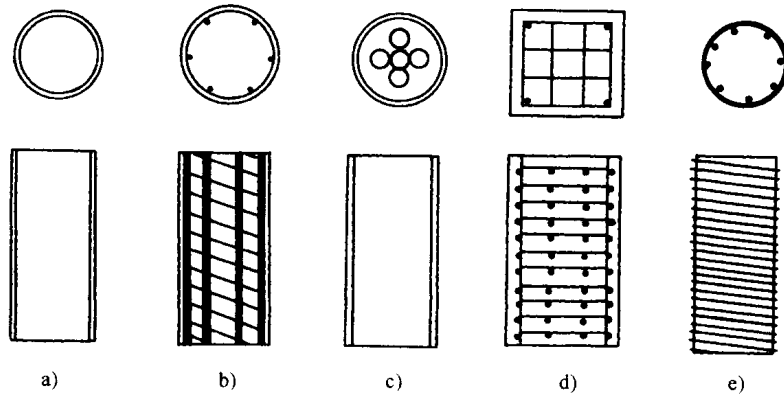


图 1-12 钢管混凝土柱与箍筋柱比较

a)、b)c)钢管混凝土;d)网片体积配筋;e)预应力螺旋配筋

钢管混凝土的基本原理是:一是借助内填普通混凝土以增强钢管的稳定性,二是钢管对核心混凝土的“约束”作用或国内称之为“套箍”作用,使核心混凝土处于三向受压状态,从而使核心混凝土具有更高的抗压强度和变形能力。故钢管混凝土本质上属于套箍混凝土。它除了具有一般套箍混凝土的强度高优点外,尚具有重量轻、塑性好、耐疲劳、耐冲击、施工简便、技术经济效益好等许多独特的优点。

(1)承载力高

当构件受压时,由于钢管和混凝土横向变形系数的不同,管内的核心混凝土受到钢管的约束(套箍)而处于三向受压状态,强度得以大幅度提高。反过来,混凝土却保证了薄壁钢管的局部稳定,相互弥补了彼此弱点,充分发挥各自的长处。因此钢管混凝土柱的轴心抗压强度要高于钢管和混凝土两者单独承载力之和,约为后者的 170% ~ 200%。

(2)具有良好的塑性和韧性,抗震性能好

正如前述,混凝土接近脆性材料,破坏时属于脆性破坏,但核心混凝土因钢管的约束,不仅使用阶段工作时更接近于弹性工作性质,而且破坏时还产生很大塑性变形。试验结果表明,钢管混凝土柱破坏时可以压缩到原长 2/3,完全没有脆性破坏特征,剖开钢管后,内部混凝土呈鼓曲状态,表皮仍光滑完整,并未粉碎松散,仍保持一定的承载力。显然,处于钢管中的核心混凝土由脆性破坏转变为塑性破坏,基本性质起了质的变化,整个构件接近弹塑性体。此外,实验证明,这种结构在承受冲击和振动荷载时,也有很好的韧性,因而抗震性能好,十分安全可靠。

(3)施工简单,大大缩短工期

钢管本身就是耐侧压的模板,因而浇灌混凝土时,可以省去支模、绑扎钢筋和拆模的工和料,并可适应先进的泵灌混凝土工艺。在北方寒冷地区尚可冬季安装空钢管组成构架,开春后再行浇灌混凝土。实践表明,钢管混凝土结构可操作性强,施工方便、缩短工期,加快建设速度,尤其高层、大跨结构更显其优越性。

(4)经济效益显著

钢管本身就是钢筋,它兼有纵向钢筋(受拉和受压)和横向箍筋的作用,制作钢管远比制作、绑扎钢筋骨架省工。钢管本身又是劲性承重骨架,在施工阶段可起劲性钢骨架的作用,从而简化施工安装工艺,节省脚手架。

钢管混凝土和钢结构柱子相比,可节约钢材 50%左右,降低造价 40%左右。和钢筋混凝土柱子相比,可节省混凝土 50%左右,减轻自重 50%,虽不需模板,节省了木材,但增加了耗钢量,造价与钢筋混凝土接近或略高,然而工期的缩短,工程早日投产或运营,又创造了价值,详见表 1-1、表 1-2、表 1-3、表 1-4。就钢管混凝土柱而言,不论单管或组合柱,与普通钢柱相比,构件少,焊缝短,而且柱脚可以直接插入混凝土基础的预留杯口中,免去了复杂的柱脚构造。

单层工业厂房柱技术经济比较 表 1-1

工程名称	厂房 跨度 (m)	柱距 (m)	吊车 起重量 (kN)	轨顶 标高 (m)	建筑 面积 (m ²)	结构形式	单柱材料消耗				单柱自重	
							钢材		混凝土			
							kg	%	m ³	%	kg	%
哈尔滨船舶 修造厂船体车间	33	6	300/50 (中级)	16		钢筋混 凝土双肢 柱	2600	100	10	100	25000	100
						钢管混 凝土四肢 柱	2600	100	2	20	7600	30.4
武昌船厂船 体车间	30	24	750 (中级)	24	10050	钢柱	45000	195	—	—	45000	44
						上部钢柱 下部钢筋混 凝土柱	23000	100	35	100	103000	100
						钢管混凝 土四肢柱	21000	91	7.6	22	40000	39 ^①
中华船厂船 体车间	30×2	12	750 (中级)	16	6000	钢柱		100				100
						钢管混 凝土柱		100		25		30
本溪钢厂	24	6	1000/200 (重级) 500/100	11.5		钢管混 凝土双肢 柱	1880	100	7.3	100	20000	100
						钢管混 凝土四肢 柱	2320	123	1.84	25.2	6800	34
太钢连铸车 间	24	8	300×2 (重级)	25	1500	钢柱	32000	100	—	—	32000	100
						钢管混 凝土三肢 柱	12000	37.5	8.7	—	33700	1.05 ^②

注:①节省钢材 576t,降低造价 75 万元。
②节省钢材 200t,降低造价 24 万元。

比利时某海港船坞桁架用料比较

表 1-2

桁架形式	钢材消耗(kg)	混凝土用量(kg)	模板(m ²)	质量(kg)
钢管混凝土	1040	500	—	1540
钢筋混凝土	700	634	34	7040
格式钢桁架	1650		—	1650
实心钢梁	1980		—	1980

钢管混凝土拱与相同跨径双曲拱、钢筋混凝土箱形拱比较

表 1-3

每延米材料	混凝土(m ³)	钢筋(t)	钢材(t)
双曲拱桥	11.8	0.456	0.062
箱形拱桥	8.1	0.80	0.044
钢管混凝土拱	3.9	0.22	1.32

金华婺江双龙大桥主拱 168m 经济比较(设计概算)

表 1-4

桥 型	每平方米造价(元)	总造价(万元)
预应力连续梁	2072	1106.67
预应力 T 形刚构	2406.4	1090.8
中承式钢管劲性 骨架钢筋混凝土箱形拱	1750.2	1058.8

(5)其他

钢管混凝土的耐火性虽不如钢筋混凝土好,但比钢结构要强。钢管混凝土耐腐蚀性能和钢结构相似。钢管混凝土耐撞击能力,比钢结构和钢筋混凝土结构都强。钢管制造加工工艺要求较高,其制造工艺与技术要求直接关系到施工质量、安全、造价和成桥后受力性能,不容丝毫懈怠与轻率。

第三节 钢管混凝土在桥梁建筑中的应用

钢管混凝土在桥梁建筑中的应用已有半个多世纪,国外起步虽早,但普及程度尚不够,主要受到理论研究、制造工艺、钢材生产水平以及防锈涂装技术等诸方面的制约。我国起步虽晚,但近十年来发展异常迅猛,跨径不断突破,形式日益创新,技术大幅提高,呈现出日新月异的可喜成果。我国的拱桥发展具有独自的特色,石拱桥(板拱、肋拱、卵石拱)、混凝土、钢筋混凝土拱(块石砌筑、现浇板拱、肋拱、双曲拱、扁壳拱、箱形拱、桁架拱、刚架拱等等)以至现在流行的各种类型钢管混凝土拱,其中不乏居世界先进水平与独创的。钢管混凝土拱桥之所以异军突起,有所突破与创新,其原因在于:

(1)钢管混凝土基础性的研究不断取得了卓有成效的成果 我国起步虽晚,但现已处于世界前列。早在 1979 年已编写了《钢管混凝土结构设计与施工》一书,1984 年又出版了“修订本”,1988 年《三向应力混凝土》专著问世。此后又颁布了一些规程,如国家建筑材料工业局标准《钢管混凝土结构设计与施工规程》(JCJ 01—89);中国工程建设标准化协会标准《钢管混凝土结构设计与施工规程》(CECS28:90);能源部《火力发电厂主厂房钢——混凝土组合结构设