

预应力混凝土 管桩基础设计与施工

徐至钧 李智宇 编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



预应力混凝土管桩基础 设计与施工

徐至钧 李智宇 编著



机械工业出版社

本书主要介绍预应力混凝土管桩标准、深圳宝安预应力混凝土管桩的应用与极限承载力的试验研究成果、原材料、基础的岩土勘察、管桩基础设计、桩的承载力问题探讨、沉桩方法及设备、管桩基础施工、工程质量检验、常见质量弊病分析与防治、管桩的应用领域和工程应用实例等内容。

本书可供设计施工工程技术人员在推广、应用预应力管桩技术中参考,也可供高等院校教师和研究生在工作中参考。

图书在版编目(CIP)数据

预应力混凝土管桩基础设计与施工/徐至钧,李智宇
编著. —北京:机械工业出版社,2005.5

ISBN 7-111-16252-8

I. 预… II. ①徐…②李… III. ①预应力桩:混凝土桩—建筑设计②预应力桩:混凝土桩—建筑工程—
工程施工 IV. TU473.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 018153 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:何文军 版式设计:冉晓华 责任校对:吴美英

封面设计:王伟光 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

890mm×1240mm A5·17.125 印张·506 千字

0 001—4 000 册

定价:39.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话 (010) 68326294

封面无防伪标均为盗版

前 言

改革开放以来，我国经济建设带动了土木建筑工程的迅速发展，大量的高层建筑、民用住宅、公用工程、大跨度桥梁、高速公路、港口、码头等工程均需要优质的桩基础。预制混凝土管桩是重要的桩基材料，它是体现了当代混凝土技术进步与混凝土制品高新技术水平的一种预制混凝土桩，与其他桩基础相比较，它具有制作工艺简单，质量容易保证，植桩方便，耐打性好，造价便宜，检测方便，施工速度快和桩基抗震性好等优点。因此，近十多年来，预应力混凝土管桩在我国的生产与应用以惊人的速度迅猛发展，生产管桩的企业在 10 年内增加了近 10 倍。从地区分布看，已由该产品生产与应用最多的广东省逐步推向长江三角洲与我国沿海、沿江、沿湖地区。现在，年生产各类管桩达 6000 多万米，年产值达 90 多亿元人民币，一些企业的产品还出口东南亚国家和地区，应用领域不断扩大，形成了一个很大的新兴行业，为我国的经济建设和国民经济的发展作出了重大贡献。

管桩按混凝土强度等级分为预应力混凝土管桩（代号 PC 桩）和预应力高强混凝土管桩（代号 PHC 桩）。预应力混凝土管桩的离心混凝土强度等级不得低于 C50 级；预应力高强混凝土管桩的离心混凝土强度等级不得低于 C80 级。因此，区分 PC 桩与 PHC 桩仅仅是桩的离心混凝土强度。对于几何尺寸、抗弯等级相同时，PC 和 PHC 仅反映承载能力的大小。

1999 年发布了由浙江省宁波市城乡建设委员会组织设计、施工并与管桩厂编制的标准图（DBJ02-10-99）《先张

法预应力混凝土管桩》设计图集。对应地将宁波地区推广已久的代号为 PTC（先张法薄壁预应力混凝土管桩）给出的技术指标重新加以明确，使管桩设计、生产、施工有章可循。由此看来，PTC 管桩是 PC 管桩的一种，只是技术指标低一点，唯管桩壁厚、主筋保护层厚度和管桩抗弯指标不同，但将它用于某些特定条件，在经济上会比用 PC 管桩便宜，因此仍得到推广。

国家标准预应力混凝土管桩（03SG409）已由中国建筑标准设计研究所 2003 年 10 月正式发行，相信不久的将来我国管桩行业将会更加健康发展，达到先进国家水平。

本书主要介绍预应力混凝土管桩标准、深圳宝安预应力混凝土管桩的应用与极限承载力的试验研究成果、原材料、基础的岩土勘察、管桩基础设计、桩的承载力问题探讨、沉桩方法及设备、管桩基础施工，工程质量检验，常见质量弊病分析与防治、管桩的应用领域和工程应用实例等内容。

本书可供设计施工工程技术人员在推广、应用预应力管桩技术中参考，也可供高等院校教师和研究生在工作中参考。

本书由徐至钧（深圳市通力建设工程有限公司董事长、教授级高级工程师）和李智宇（深圳宝安工程质量监督检验站高级工程师）编著，深圳市通力建设工程有限公司总经理张亦农和总工程师李伟文、深圳市粤地建设工程有限公司董事长王曙光和总工程师全科政为本书的编写提供了大量的资料，并参加了部分编写工作。另外，杨瑞清、李景博士、吕会云、付细泉、张勇、陈月妮、宋宏伟、张典福、赵尧钟、郭晰娥、徐斐、李如月、陈静、林婷等也参加了部分编写工作，在此一并表示谢意。

在编写过程中，本书引用了许多科研、教学和工程单位

的一些科研成果和技术总结，还引用了一些工程实例，一般都尽量注明在参考文献中，但难免有遗漏之处，在此谨向所有原作者表示深切的谢意。

衷心希望本书所介绍的内容能够推进预应力管桩的技术进步，并对改善工程质量起到一定的作用。如其若此，便是我们最大的荣幸了。书中不妥之处，尚祈各界读者朋友不吝指正。

编著者
于深圳

目 录

前言

第一章 总论	1
一、我国管桩行业的发展及现状	1
二、预应力高强混凝土管桩极限承载力的试验研究	4
第二章 预应力混凝土管桩标准、原材料与制造工艺	39
一、概况	39
二、标准的主要内容	40
三、预应力混凝土管桩的分类	46
四、预应力混凝土薄壁管桩	52
五、原材料	53
六、管桩桩身竖向承载力设计值	75
七、抗裂弯矩验算与极限弯矩验算	76
八、螺旋钢筋设计	79
九、抗剪强度计算和轴力作用下抗裂弯矩计算	81
十、预应力混凝土管桩制造工艺	82
十一、混凝土混合料制备与混凝土抗压强度评定	86
十二、钢筋加工、钢筋骨架制作及预应力张拉	111
十三、离心成形	116
十四、管桩的养护方式与胶凝材料的水化硬化机理	145
第三章 管桩基础的岩土勘察	187
一、岩土勘察的有关规定	188
二、标准贯入试验	204

三、标准贯入试验的设备和技术要求	205
四、室内试验	207
五、土的压缩-固结试验	209
六、土的抗剪强度试验	211
七、岩石试验	212
八、地下水的监测	213
九、成果报告的基本要求	214
十、岩土分类和鉴定	215
第四章 管桩基础承载性状的分析	220
一、软土地基上静压桩承载力的工后增大效应	220
二、按土性参数确定单桩竖向承载力时应注意的问题	226
三、两类土层中复打桩承载力的剖析	233
四、预应力薄壁管桩承载力问题的探讨	242
五、预应力混凝土管桩的承载力计算	244
六、预应力混凝土大直径管桩轴向极限承载力计算	251
七、预应力开口管桩的极限承载力取值问题的探讨	254
八、预应力混凝土管桩在竖向荷载作用下的沉降 特性分析	257
九、带桩大头预应力管桩的设计与施工	263
第五章 预应力管桩基础设计	270
一、管桩基础设计（广东 DBJ/T15—22—98 规程）	270
二、预应力高强混凝土管桩的承载性状分析	281
三、静压桩承载性能的分析研究	286
四、管桩注浆增强承载力的试验研究	291
五、双股钢绞线大管桩的力学性能及承载力试验	296
六、软土地基锤击预应力管桩承载特性的试验研究	305
七、静压预应力高强混凝土管桩竖向承载力的分析	312
八、预应力混凝土管桩承载力分析	316
九、预应力管桩单桩竖向极限承载力分析	320

十、静压预制空心桩桩底注浆在复杂地基中的应用	325
第六章 管桩的沉桩方法及设备	329
一、概述	329
二、沉桩方法及设备	334
第七章 预应力混凝土管桩施工	351
一、预应力管桩的制作	351
二、管桩构造及常用规格	353
三、预应力管桩的特点及适用范围	355
四、管桩基础施工	355
五、管桩基础工程质量检查与验收	370
六、某工程打桩挤土效应分析	377
七、管桩（机械）快速接头在工程中的应用	385
第八章 管桩基础工程质量检验	391
一、管桩竖向荷载传递规律的原型测试	391
二、工程预应力管桩的质量检测	397
三、锤击预应力管桩单桩竖向承载力	401
四、预应力混凝土管桩检测方法	409
五、持力层软化对预应力管桩承载力的影响	412
六、预应力管桩的质量检测	416
七、预应力混凝土管桩静载检测质量	422
八、高应变测桩中的歇后效应	426
九、PHC 管桩锤击施工监理中的桩尖烂桩问题	430
十、自平衡试桩法在管桩承载力测试中的应用	433
十一、静力压桩机作为基桩静载试验反力装置的应用	439
十二、基桩堆载测试用的 1200t 伞形反力架	443
第九章 常见质量弊病分析与防治	447
一、软土地基中预应力高强管桩的应用探讨	447

二、预应力混凝土管桩设计与施工的局限性·····	453
三、浅谈高强预应力管桩存在的问题·····	458
四、预应力管桩施工质量问题·····	463
五、管桩质量检验要点及常见质量弊病分析与防治·····	465
第十章 管桩的应用领域·····	480
一、石灰岩地层不宜应用·····	480
二、地下水位较高地区和管桩持力层在软岩地层上 的要慎用·····	482
三、孤石和障碍物多的地层不宜应用·····	498
四、有坚硬隔层时不宜应用或慎用·····	498
五、从松软突变到特别坚硬的地层不宜应用·····	501
第十一章 工程应用实例·····	504
工程实例一 锤击预应力管桩在复杂岩土地基中的应用·····	504
工程实例二 澳门某花园大厦 21 层塔楼采用管桩基础·····	514
工程实例三 硬土层中的静压管桩实例分析·····	515
工程实例四 银通大厦 38 层塔楼采用管桩基础·····	520
工程实例五 顺景台工程 24 层塔楼采用管桩基础·····	520
工程实例六 中山市某商住楼 28 层采用管桩基础·····	521
工程实例七 深圳宝安全泓雅园 32 层高层商住楼采用 管桩基础·····	522
工程实例八 深圳宝安鸿景园 29 层住宅楼采用管桩 基础·····	527
参考文献·····	535

第一章 总 论

一、我国管桩行业的发展及现状^{[2][3]}

20 世纪 40 年代,铁道部北京丰台桥梁厂曾少量生产过直径 $D = 400\text{mm}$ 的钢筋混凝土离心管桩。并在 60 年代末,开始研制先张法预应力混凝土管桩(简称 PC 管桩)直径 $D = 550\text{mm}$,用 $\phi 7\text{mm}$ 高强钢丝为主筋,获得成功并生产至今,60 年代末为建设南京长江大桥需要管桩基础,所以大桥工程局三处也开始生产预应力管桩至今。

20 世纪 80 年代以来,特别是在上海宝山钢铁公司建设中,由于引进日本技术,在工程建设中大量采用了钢管桩,这不但使工程造价提高,使用寿命降低,钢管的耐久性也差,形势迫切需要基础采用预应力管桩。

1984 年广东省构件公司与广东省基础公司和广东省建筑科学研究所合作,首先研制成功新型接桩形式的预应力混凝土管桩,将以往法兰接口桩接头连接,改为现在使用的焊接连接,并于 1987 年通过广东省建委组织的技术鉴定。

为了适应港口建设发展的需要,1987 年交通部第三航务工程局从日本全套引进预应力高强混凝土管桩(简称 PHC 管桩)生产线,PHC 管桩的主要规格为 $D = 600 \sim 1000\text{mm}$ 。1987 ~ 1994 年,国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院和广东番禺市桥丰水泥制品有限公司在有关科研院所的合作下,根据我国的实际情况,通过对引进管桩生产线的消化吸收,自主开发了国产化的预应力高强混凝土管桩生产线,1993 年该项成果被建设部列入全国重点推广项目。接着中山鸿运、宏基、鸿业等一批管桩厂建成,当时全国已有 70 余家管桩生产厂,年生产能力达 2000 余万米。

20 世纪 80 年代后期,宁波浙东水泥制品有限公司在有关科研院所的合作下,针对我国沿海地区淤泥软弱土层较多的特点,通过对

PC 管桩的改造,开发了先张法预应力混凝土薄壁管桩(简称 PTC 管桩),PTC 管桩的主要规格有 $D=300\sim 600\text{mm}$ 。

改革开放以来,我国经济建设带动了土木建筑工程的迅速发展,大量的高层建筑、民用住宅、公用工程及大跨度桥梁、高速公路、港口、码头等工程均需要优质的桩基础。预制混凝土管桩是重要的桩基材料,它是体现了当代混凝土技术进步与混凝土制品高新技术水平的一种预制混凝土桩,与其他桩基础相比较,它具有制作工艺简单、质量容易保证、植桩方便、耐打性好、造价便宜、检测方便、施工速度快、桩基抗震性好等优点。因此,近十多年来,预应力混凝土管桩在我国的生产与应用以惊人的速度迅猛发展,生产管桩企业在 10 年内增加了近 10 倍,据不完全统计,到 2003 年底,全国已有 180 多家管桩生产厂家,其中广东省约 55 家,深圳 3 家,江苏省约 24 家,浙江省约 56 家,上海市约 15 家,福建省约 6 家,湖北省约 5 家,云南省 3 家,天津市 4 家,其他地区约 10 余家。

1992 年中国制定《先张法预应力管桩》(GB13476—1992)国家标准。随着我国管桩生产技术的不断提高,为了适应管桩行业的发展需要,保证产品质量,促进管桩技术的进步,以国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院为主,组织国内 15 家管桩生产、设计、施工等单位对 1992 年版的标准进行了修订,将修订后的《先张法预应力混凝土管桩》(GB13476—1999),作为国家强制性执行标准已于 2002 年 12 月 1 日开始实施。

针对江、浙、沪地区近年来迅速发展应用先张法预应力混凝土薄壁管桩的情况,1999~2000 年由国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院组织了国内 20 个设计、生产等单位,制定了建材行业标准《先张法预应力混凝土薄壁管桩》(JC888—2001),此标准也作为强制性执行标准已于 2002 年 6 月 1 日开始实施。

由苏州中材建筑建材设计研究院会同宁波市建筑设计研究院、中山建华管桩有限公司等 6 家参编单位和 15 家协编单位,编制出版了国标《预应力混凝土管桩》(03SG409),由中国建筑标准设计研究所建质[2003]143 号文公布,于 2003 年 9 月 1 日起正式执行。

上述几项标准的制定,使管桩的设计、生产、施工有章可循。对

预应力混凝土管桩的生产与应用可起到十分重要的技术指导作用。

1993年成立中国水泥制品工业协会, 预制混凝土桩专业委员会共有会员单位 100 多个, 并办有会刊《预制混凝土桩》(正式出版物), 并在 1993~1999 年间多次召开了年会, 其中 1993 年 10 月在广东佛山市召开成立大会, 到会代表 154 人; 1994 年 11 月在广东番禺市召开第二次年会, 到会代表 185 人; 1996 年 10 月在上海浦东召开 1995~1996 年会, 到会代表 200 多人; 1999 年 6 月在广东中山市召开, 到会代表 177 人。

1993 年由国家建材局苏州混凝土水泥制品研究院完成的“预应力高强混凝土管桩的生产及应用开发”项目, 先后成为国家建材局“九·五”建材工业重点推广的科技成果。该项成果于 1998 年度获“建材行业部级科技进步二等奖”、1999 年度“国家科技进步三等奖”。

1995 年广东省建委组织广东省建筑设计研究院、广东省建筑科学研究院等 16 个有关单位, 制定了《预应力混凝土管桩基础技术规程》(DBJ/T15—22—1998), 在 1998 年 10 月开始实施。

迄今广东省已累计使用预应力混凝土管桩达 4000 万 m, 以一个工程用管桩 5000 多米计算, 全省已成功地应用于 8000 多个工程, 未有一个工程是失误的。因此, 先进的管桩设计和施工经验值得推广到全国, 供全国各有关部门学习和借鉴。推广应用新技术关键在设计部门, 但当前设计水平发展很不平衡, 不少甲、乙级建筑设计院的结构总工程师, 对这项新技术的推广应用还了解不多, 有的还受传统思想的束缚, 又不愿意去接受管桩这项新的技术, 因而也阻碍了管桩的推广和应用。

当前, 我国预应力混凝土管桩的制造技术和产品质量在国际上已达到先进水平, 许多生产预应力管桩及设备配套的企业已得到 ISO9002 质量管理体系认证证书, 不少产品已打入港、澳、台地区, 许多工艺生产主机, 如墩头机、滚焊机、离心机、模具、蒸压釜、大型强制式混凝土搅拌机的生产已经过关, 而且部分设备已出口到第三世界国家, 生产预应力混凝土管桩所必须的高强度预应力凹螺纹钢、高效减水剂等的生产企业已经配套发展, 这也为今后预应力管桩

的继续发展打下了良好的基础。

二、预应力高强混凝土管桩极限承载力的试验研究

目前广泛使用的预应力高强混凝土管桩,因缺乏深入的试验研究,承载能力未能得到充分利用。深圳宝安质检站成立了课题组采用静载+高应变(PDA)方法,对管桩极限承载力进行了大量的检测试验,并经综合理论分析,提出了相应的勘察设计参数和施工控制参数,使管桩可利用的承载力比目前提高了20%以上,可普遍降低工程的综合造价,现将试验研究成果介绍如下。

1. 概述

深圳宝安自1996年在建设工程中引入预应力高强混凝土管桩后,目前该桩型已成为最主要的建筑桩型,占桩基工程总数的80%以上。

预应力高强混凝土管桩作为一种较为新型的建筑桩基,因试验研究相对不足,勘察设计和施工控制尚不完善。一方面,存在勘察设计参数取值普遍偏低的问题,致使预应力高强混凝土管桩的承载力不能得到充分利用,造成建设投资不应有的浪费;另一方面,个别项目勘察设计参数取值不当和施工控制不严格,容易造成工程质量问题。

针对上述情况,结合深圳宝安预应力高强混凝土管桩使用的实际,质检站确定了“预应力高强混凝土管桩极限承载力的试验研究”科研课题,并在深圳市宝安科技局立项。课题组采用“静载+高应变(PDA)动态检测”的试验研究方法,对深圳宝安目前广泛使用的预应力高强混凝土管桩桩型(主要为 $\phi 500\text{mm}$ 、 $\phi 400\text{mm}$ 管桩),进行了极限承载力的试验研究。在一年多的时间里,进行了十多个工程近50根桩的检测试验,取得了33根桩的有效数据,并对检测数据应用概率统计的方法进行了综合理论分析,提出了适合深圳宝安的预应力高强混凝土管桩勘察设计参数和施工控制参数。研究成果推广应用后,能使预应力高强混凝土管桩可利用的承载力比过去提高20%以上,能大大降低桩基工程造价,提高施工效率。同时,研究成果可供深圳及周边地区参考,并能为本地区“预应力高强混凝土管桩技术规程”的制定或修编提供大量的数据资料。

2. 预应力高强混凝土管桩在深圳宝安的应用

(1) 管桩类型

1) 根据国家标准《先张法预应力混凝土管桩》(GB13476—1999)的分类,管桩按混凝土强度等级分为预应力混凝土管桩和预应力高强混凝土管桩。预应力混凝土管桩代号为 PC,混凝土强度等级一般为 C60 或 C70;预应力高强混凝土管桩代号为 PHC,混凝土强度等级一般为 C80。目前深圳宝安主要使用的为预应力高强混凝土管桩 PHC。

2) 按产品规格、型号,管桩外径分为 300mm、400mm、450mm、500mm、550mm、600mm、800mm 和 1000mm 等规格,管桩按受力性能分为 A 型、AB 型、B 型和 C 型,各型的有效预应力值分别为 $4.0\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $6.0\text{N}/\text{mm}^2$ 、 $8.0\text{N}/\text{mm}^2$ 和 $10.0\text{N}/\text{mm}^2$,其抗弯性能应符合 GB13476—1999 的要求。目前深圳宝安主要使用外径为 400mm 和 500mm 的 A 型或 AB 型管桩。

3) 预应力混凝土管桩按其成桩工艺,分为锤击预应力混凝土管桩和静压预应力混凝土管桩。静压预应力混凝土管桩施工见图 1-1 所示。目前,深圳宝安预应力高强混凝土管桩主要使用锤击成桩工艺施工,一般使用 4.5t、5.0t 和 6.2t 柴油打桩机作为施工机具,见图 1-2。



图 1-1 静压预应力混凝土管桩施工

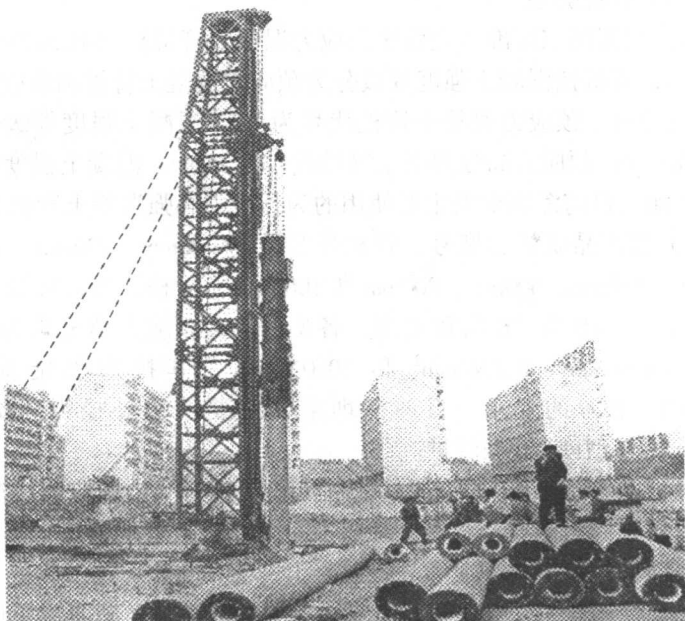


图 1-2 锤击预应力混凝土管桩施工

(2) 管桩在深圳宝安的应用 在深圳宝安报建管理的工程项目中, 2000 年有 47% 的项目采用桩基础, 采用预应力管桩的项目占桩基项目的 39%, 其工程造价为 8700 万元; 2001 年有 40% 的项目采用桩基础, 采用预应力管桩的项目占桩基项目的 80%, 其工程造价达到 12700 万元。预应力高强混凝土管桩应用情况见表 1-1; 桩基项目与管桩项目数量的增长情况见图 1-3; 管桩项目占桩基项目比例的增长情况见图 1-4; 管桩项目造价的增长情况见图 1-5; 预应力管桩应用后, 桩基工程占总工程造价的比例见图 1-6。

表 1-1 预应力管桩应用情况统计表

统计年度	1999 年	2000 年	2001 年
总工程造价/亿元	21.05	30.53	42.8
总项目个数/个	439	470	643

(续)

统计年度	1999 年	2000 年	2001 年
桩基项目数/个	217	220	262
管桩项目数/个	85	87	208
管桩占桩基项目的比例(%)	39	40	80
桩基造价/亿元	1.1	1.61	1.7
桩基占总造价的比例(%)	5.2	5.3	4.0
管桩造价/亿元	0.55	0.87	1.27

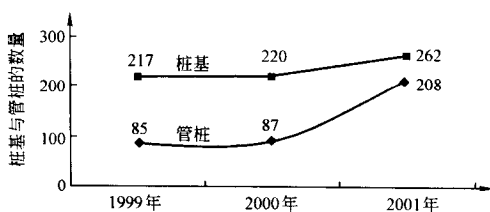


图 1-3 桩基与管桩的增长趋势

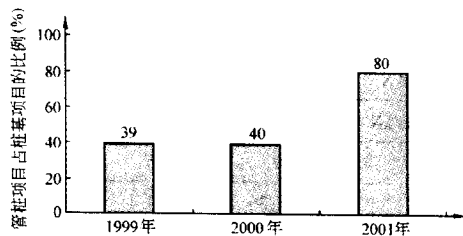


图 1-4 管桩与桩基的比例

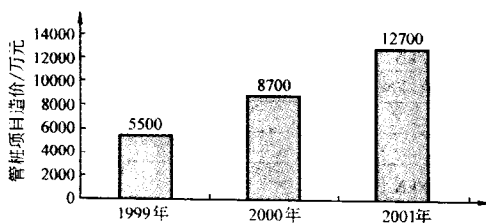


图 1-5 管桩造价的增长