



岩土工程丛书

SERIES BOOK

—4—

周申一
杨仁杰

张立荣
杨永灏

编著

Construction Technology of Open
Caisson and Pneumatic Caisson

沉井沉箱 施工技术



人民交通出版社

China Communications Press



岩土工程丛书

4

沉井沉箱 施工技术

Chenjing Chenxiang Shigong Jishu

周申一 张立荣
杨仁杰 杨永灏 编著



人民交通出版社

China Communications Press

内 容 提 要

本书共上下两篇,上篇介绍沉井沉箱施工的基本原理及设计与施工,共4章,分别为:概述、沉井结构设计计算、沉井的制作、下沉与封底、沉井施工中常见问题与对策。下篇为工程实例,选取了有代表性的5个沉井5个沉箱实例供读者参考。

本书是上海市基础工程公司多年施工经验的总结,可供建筑、桥梁、市政、港工等领域从事沉井沉箱施工、科研、设计、检测、监理等工作的工程技术人员,以及高校有关师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

沉井沉箱施工技术/周申一等编著. —北京:人民交通出版社, 2005.7
(岩土工程丛书)4
ISBN 7-114-05634-6

I.沉... II.周... III.①沉井施工②沉箱-工程施工 IV.TU473.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第071098号

岩土工程丛书

-4-

书 名: 沉井沉箱施工技术

著 作 者: 周申一 张立荣 杨仁杰 杨永瀚

责任编辑: 曲 乐

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285656, 85285838, 85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×980 1/16

印 张: 22

字 数: 344 千

版 次: 2005年10月第1版

印 次: 2005年10月第1次印刷

书 号: ISBN 7-114-05634-6

印 数: 0001—3500 册

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

序

甲申岁末,老友周申一教授离沪赴美之前,嘱笔者为《沉井沉箱施工技术》作序,此幸事也,自必欣然从命。

记得在酝酿出版《岩土工程丛书》时,周教授即参与策划,并率先承诺组织撰写《沉井沉箱施工技术》,两年来,他在工作之余积极组织上海市基础工程公司的老同事们撰写,几经反复讨论,多次修改,终将书稿放在我的案头,捧读之余,百感交集。

沉箱乃是古老、经典的深基础技术,有着辉煌的历史。约110年前,亦即1894年竣工的由詹天佑先生主持设计建造的天津滦河大桥,采用了气压沉箱法建成大桥基础。詹天佑先生是我国第一批留美幼童,专习土木工程,他将气压沉箱这种近代基础工程技术首次应用于我国的工程实践。40余年之后亦即1937年,茅以升先生采用沉箱基础在潮汐河流上建成了钱塘江大桥,但不久抗日战争爆发,为了抗击日寇的需要,茅先生又挥泪炸毁了这座自己建造的大桥。20年之后亦即1957年,我国第一个五年计划期间,在富拉尔基重型机器厂所采用的沉箱基础,则是20世纪后半叶我国基础工程中具有标志性意义的建设项目。

记得38年前,我国第一座地铁试验车站——04工程也采用了气压沉箱,当时我带着同济大学地基基

础专业本科毕业班的学生在上海衡山公园 04 沉箱工程做毕业科研,谁知“史无前例”猛然爆发,这项工程也和整个学校一样陷入了瘫痪。

以上概述足以说明,沉箱不仅是一种深基础技术,而且与民族兴衰、国家安危有着不解之缘,我们回顾这段历史时,怎不令人百思交集,感慨万分呢?因此本书中所记述的沉箱技术,具有“化石”和“标本”的意义,理应得到传承,希望它的基因能在新的历史条件下得到进一步的发展。

沉井有其完全不同于其他深基础技术的特色,堪称是一个永不会过时的话题,它大可以成为 1300 多米长的悬索桥锚墩,成为世界第一大沉井,它小可以成为建筑物纠倾扶正的施工通道。在这大小之间,沉井技术已为我国的矿山、电厂、水厂等等建设项目解决了各种各样的工程难题,每年建造的大大小的沉井难以计数,它虽为配套工程,但却是工程建设所不可或缺。它体现了一种精神,锲而不舍,永远埋在地下,却托起美好的上部世界。窃以为沉井正体现了我们岩土工程人所应必备的甘当配解、甘当无名英雄,默默奉献的敬业精神。故我常对学生说,岩土工程就是配套工程,它是为主体工程服务的,它没有自己的纪念碑,我们要永远承认这一点,为上部结构做好服务。

周申一教授在前言中写了这么一段深情的话:“当年初出校门参加工作的学生,后来大都转战南北,成为我国基本建设战线上的技术骨干和领导力量。”是的,本书的作者群体也都是当年初出校门的这些学生,他们把青春年华奉献给了祖国的建设事业,而今虽已年长退休,但犹伏案写作,旁征博引,老骥伏枥以

传人为己任,这正是这一代人承上启下、甘为人梯的精神。在这本书中,我们见不到华丽的辞藻,没有深邃的理论,但在字里行间却洋溢着对事业的执着、对科学的追求,不放过技术细节,讲究周全的工程措施。这种态度,这种作风,正是他们毕生从事基础工程事业的常年实践中形成的,这也正是我们年轻的一代岩土工程师所需要的。

我想,这本书带给读者的将不仅是感受沉井沉箱工程技术的熏陶,对我辈同时代的人可以引起共鸣,萌发对以往岁月的追忆;对年轻人可能有助于了解历史,继承老一代的传统,更脚踏实地工作。在技术和人文两方面都有所裨益,这既是《岩土工程丛书》的宗旨,也是本书必将发挥的作用。

笔者有幸在付梓之前阅读了这本书,感触良深,草成此序,是否有当,敬请读者、作者不吝指教。

高大钊
甲申岁末

前言

2002年4月21日,《海峡两岸岩土工程地工技术交流研讨会》召开的前一天,会议的组织者之一史佩栋教授通知我晚上九点去参加一个小会(区别于技术交流研讨会的“大”会),却没有说明关于什么内容。等会议开始,主持人史教授方提出他与另两位教授高大钊,朱合华于一个月前萌发的组织出版一套《岩土工程丛书》的构想,因工程浩大,希望吸收两岸三地尽可能多的同行专家参加,所以利用这次交流研讨会的良机,在大会之外专门开个小会,希望大家献计献策。又因大会日程安排太紧,只能挤到晚上九点以后。虽然与会者事先都没有准备,可是这个构想确实富有创意,对于多年乃至毕生从事地基基础地下工程设计与施工的工程技术人员很有吸引力。会议开到深夜发言不断,因第二天早上有大会,主持人不得不强行刹车。会后三位倡议人又做了不少组织与沟通,正式组成了《岩土工程丛书》编审出版委员会。关于组织编写《丛书》的宗旨,书稿的内容与形式,编审出版的程序都作了进一步明确,并很快付诸实施。两年来《丛书》已出版了《工程降水设计施工与基坑渗流理论》和《深基础工程特殊技术问题》两本专著,深受业内新老专业工作者欢迎。

受到当晚热烈气氛的感染,本人也想为《丛书》奉献一束花草。在选题时,想到我原来工作单位(上海

基础工程公司)半个多世纪专门从事基础与地下工程施工,除了最古老的打桩和近 20 年开发的地下连续墙及长距离顶管,做得最多的便是沉井与沉箱。沉井和沉箱作为一种基础工程的特殊施工方法,大学里学《土力学与地基基础》及《建筑施工》两门专业课时几乎都是一带而过,工作中遇到问题时发现这方面的专著很少。而上海基础公司施工过的沉井超过 300 个,沉箱不下十余座,遍及除台湾西藏外的全国各省,施工中遇到的问题也五花八门层出不穷,将这方面的经验加以收集整理分析提炼,相信会对专业同行有所裨益。

在酝酿过程中也有专家认为,自地下连续墙施工技术问世与广泛应用以来,沉井技术似乎日趋式微。至于沉箱,因其工作条件于人健康有害,近几十年更少应用。其实,岩土工程面临的对象是千变万化的大自然,建筑的功能要求也各不相同,任何一种形式的结构或工艺,若能在特定的时间、地点、环境条件下发挥其技术特长,安全可靠,经济合理地解决了工程建设问题,就是一项成功的选择。没有一种基础形式或施工工艺是“包治百病”、“包打天下”的。地下连续墙当然有其密集建筑群中施工地下深基坑对周围环境影响小的优点,近年来在城市建设中发展很快,但它也并不是在任何情况下都是优越的。江阴大桥北锚墩基础形式选择中,对比地下连续墙和沉井两种方案,最后还是选用了后者(详见书中下篇工程实例)。至于沉箱这种古老的特种基础施工技术,它能在别的施工方法不能做的情况下进行施工,自有其独到之处。它的工作条件对人健康不利的方面正在克服,现在有人在研究无人操作沉箱,远程遥控自动化操作来加

以克服。随着建设生态城市提到日程,城市地下空间开发利用越来越引起人们重视,地下工程向更大深度发展,沉箱施工技术又重新受到关注。退一步讲,即使应用的机会不多,我们也应该选取一些典型的工程实例加以记录和介绍,以免参与过或了解这门施工技术的人越来越少而“失传”。

以上想法得到史佩栋教授的赞同,《丛书》的编委热情支持编写本书。

本书总体构架分为上、下两篇。上篇介绍沉井沉箱施工的基本原理及设计与施工,分为四章:第一章概述(由周申一撰写),第二章沉井结构设计计算(由杨仁杰撰写),第三章沉井的制作、下沉与封底(由杨永灏撰写),第四章沉井施工中常见的问题与对策(由张立荣撰写)。

通过上篇,给读者一个关于沉井沉箱这种基础形式和施工方法的完整概念,从它的特点和适用条件到一旦选用沉井方案以后的工作步骤,实施沉井施工中,关于制作下沉和封底又有不同的技术途径可供选择,遇到施工过程中经常发生的问题如何采用正确的对策。

由于沉井(沉箱)是一项应用技术,参加编写的作者都是长期从事这方面施工,并具有丰富经验的专家,因此行文的思路和取材的重点都围绕施工考虑,凸显了文章的实用性。同时又力求做到在实践经验的基础上有所提高,上升到具有普遍意义、能反映一般规律的有指导施工价值的理论。例如,关于沉井的结构设计与计算,现在应用电子计算机对各种复杂结构的分析计算已经可以做到快速方便又准确,但是为什么在沉井中还时有出现结构裂缝呢?关键在于计

目 录

上篇 基本原理及设计与施工	1
第一章 概述	1
1.1 沉井(箱)施工方法的由来、定义及应用和分类	1
1.2 沉井施工的工序流程、技术特点及注意的问题	5
1.3 沉箱	7
1.4 沉井(箱)施工的历史追溯及发展展望	9
参考文献	14
第二章 沉井结构设计和计算	15
2.1 沉井设计的规划	15
2.2 沉井设计的依据和条件	19
2.3 沉井设计计算的内容和步骤	20
2.4 沉井设计的外力计算	22
2.5 各种工况下的竖向问题	27
2.6 土中构筑物的平面问题	36
2.7 沉井结构的构造处理和局部设计	39
2.8 使用阶段沉井设计计算的内容和方法	60
参考文献	64
第三章 沉井(箱)制作、下沉和封底	65
3.1 沉井(箱)施工的准备工作的	65
3.2 沉井刃脚下垫层及承垫木的铺设与计算	69
3.3 沉井制作	71
3.4 沉井下沉	76
3.5 沉井封底	89

3.6 沉井施工机具	92
参考文献	96
第四章 沉井施工中常见的问题与对策	97
4.1 砂垫层的稳定	97
4.2 下沉过程中的偏斜、位移与纠偏	101
4.3 沉井的突然下沉及其预防措施	108
4.4 沉井终沉时的超沉	112
4.5 沉井下沉对周围环境的影响	116
4.6 其他常见问题及其原因和对策	119
参考文献	123
[附录] 利用动力学理论研究沉井的“突沉”现象	124
 下篇 沉井和沉箱工程实例	 143
第五章 沉井工程	143
5.1 综述	143
5.2 利港电厂取水泵房沉井工程	147
5.3 世界第一大沉井——江阴长江大桥北锚墩 基础沉井	175
5.4 触变泥浆助沉深沉井技术应用于大屯煤 矿主井工程	190
5.5 15 万 m ³ 煤气柜基础——双壁沉井工程	200
5.6 浮运沉井实例——上海宝钢长江取水工程泵站沉井	213
参考文献	229
第六章 沉箱工程	230
6.1 综述	230
6.2 富拉尔基重型机器厂沉箱工程	231
6.3 淮南化肥厂水源沉箱工程	284
6.4 南昌七里街电厂水泵房沉箱	299
6.5 上海地铁车站 04 沉箱工程	307
6.6 上海打浦路越江隧道浦西通风井沉箱工程	320

|| 上篇 基本原理及设计与施工

第一章 概 述

1.1 沉井(箱)施工方法的由来、 定义及应用和分类

1.1.1 沉井(箱)施工方法的由来

人类自远古以来,为了生存和繁衍后代,无时无刻不在与地球打交道。除了渔猎农牧活动直接从大自然采集生活资料,大量的活动是为了改善生活条件或提高生产效率而建造各种建筑物。而建筑活动有的直接置身于地下(如开挖洞穴、建造地下宫殿等),有的为了支承地上的建筑首先要建造基础(如打桩、夯实地基、建造扩大的平台等)。按现代的专业划分,这些都属于岩土工程师面临的课题。

一直延续到今天,直接与地层地质发生关系的建筑活动仍可归纳为两种目的:

(1) 直接开发利用地下空间或用以开采储存的各种天然资源(水、油、气、各种矿产);

(2) 作为地上建筑物、构筑物的基础(房屋基础、桥梁基础、道路、码头、堤坝等设施的基础)。

建成以后隐藏在地面以下的建筑物、构筑物(或建筑物、构筑物的一部分)的施工方法,也可以归纳为两类:

(1)在地下挖出一定空间,然后再进行砌筑、填实成为地下建(构)筑物,或将地面挖开,建好建(构)筑物以后再回填,掩埋,使之藏于地下;

(2)在地上做成建(构)筑物(或解体成建(构)筑物单元),然后边挖土或挤土,将建筑物埋置于地下。

仔细体会上述两类施工方法的区别:前者在施工建造过程中,建筑或构筑物本身一直处于静止不动状态,直至建成固定埋置于地下;后者是边建造边埋设,建筑物或构筑物在施工过程中一直处于运动状态,直至最后达到预定位置,将它一次固定。同是桩基工程,钻孔灌注桩和挖孔桩属于前者,各种打入桩属于后者。各种地下管道施工中,大开挖埋管、盾构法施工隧道属于前者,顶管法施工地下管道、沉管法施工水下隧道属于后者。

1.1.2 沉井(箱)施工方法的定义

由此,我们便可对沉井(箱)施工技术作如下定义:

在垂直方向上,将各种形状的井筒(沉井)或箱体(沉箱)边排土边沉入地下,最后固定在地层中,形成地下建筑物或构筑物的施工技术。

显而易见,沉井(箱)属于第二类施工方法。

人类的生产实践活动和认识自然的过程总是由简到繁,由易到难。两类地下工程的施工方法中首先使用和大量采用的必然是第一类方法,而且至今在许多地方和许多领域中仍在应用。例如,农村开凿水井,总是先挖出井筒,边挖边砌或是挖到出水层以后由下而上用砖石砌成井壁。煤矿中的竖井,传统的施工方法也是用“短段掘砌”方法,即一边向下挖掘,一边用井圈背板临时支护,以到达一定高度,然后扎筋立模浇筑钢筋混凝土永久井壁,一段一段由上而下倒挂施工而成。

但是,这类方法遇到体积大,埋置深,特别是复杂地质条件(软弱地层,富含水层,承压水地层等)时就有困难,因此人们不得不寻找另外的途径。第二类施工方法将地面上制作的结构体,通过施工作业放置到地层中,可以说是与传统的第一类施工方法有完全不同的思路。对于垂直放置的地下建(构)筑物,应用沉井(箱)施工技术有以下显著的优点:

(1)沉井(箱)本身在地面上制作,施工条件比地下好,可以做成体积

大,刚性好,结构强的构件,适合各种使用要求;

(2)制作好的沉井(箱)通过下沉穿越地层到预定位置,因此能适应各种复杂的地质条件,如淤泥、流沙、坚硬土层等,甚至能在水中作业,在河床中建造桥梁,堤坝基础;

(3)沉井(箱)结构本身兼作下沉中的围护掩体,安全、经济,开挖毋需放坡,不需专门的基坑围护结构,挖土量少,对周围环境的影响少。

1.1.3 沉井(箱)施工方法的应用

沉井(箱)施工方法的应用范围十分广泛,可有以下几个主要用途:

(1)作为直接开发利用地下空间的地下储气罐、储油罐、地下仓库、地下蓄水池、水处理池、地下泵房、地下停车场、地铁车站、地下防空洞、地下商场、地下变电站等。

(2)作为建筑物构筑物基础的高层建筑基础、高耸塔式建筑物基础、城市高架道路基础、钢厂高炉基础、重型设备基础、各种桥梁、港口码头、堤坝水闸等水中构筑物基础。

(3)作为近水、临水构筑物的江中取水头、水泵房。

(4)作为各种地下生产、运输服务系统的辅助设施,如采矿竖井、通风井、排水井、顶管和盾构隧道施工中的始发井、接收井等等。

1.1.4 沉井(箱)施工方法的分类

沉井(箱)的分类方法很多,对施工有关键意义的有以下几种:

1. 按平面形状和剖面形状分类(图 1-1 和图 1-2)

(1)平面形状:单孔——圆形、方形、矩形、椭圆形、多边形;

单排孔——有内隔墙的矩形、长圆形;

多排孔——有纵横隔墙的多仓结构;

特殊异形平面——例如内外两环圈井壁相联系的环状异形沉井。

(2)竖向剖面形状:直壁柱形沉井;内、外台阶形井壁沉井。

2. 按井体材料分类

分为浆砌块石井壁;混凝土与钢筋混凝土井壁;钢板拼接内部充填式井壁。

3. 按沉井制作条件与制作方式分类

(1)制作条件:陆上就地制作;水中围堰筑岛制作;陆上制作浮运就位。

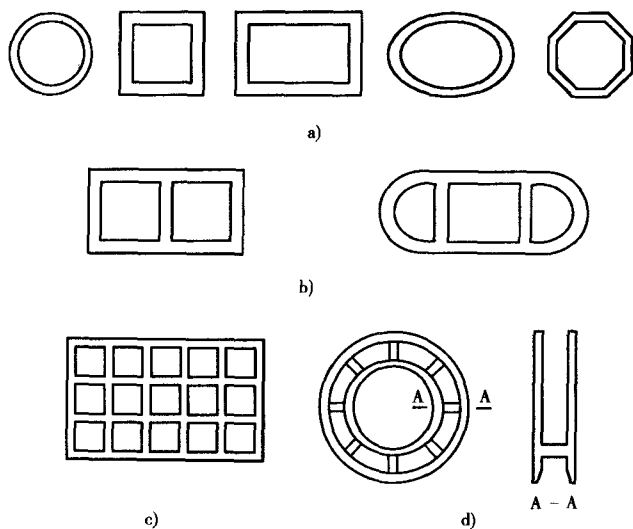


图 1-1 沉井平面形状图

a) 单孔; b) 单排孔; c) 多排孔; d) 双环异形沉井

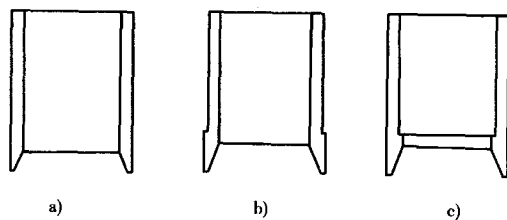


图 1-2 沉井剖面形状图

a) 柱形井壁; b) 外台阶井壁; c) 内台阶井壁

(2) 制作方式: 整体现浇制作; 竖向分段接高; 竖向分段、水平分块预制拼装。

4. 按挖土下沉与封底方式分类

(1) 挖土下沉方式: 排水下沉——干挖土, 水力机械挖土;

不排水下沉——水下抓土, 空气吸泥挖土。

(2) 封底方式: 干封底;

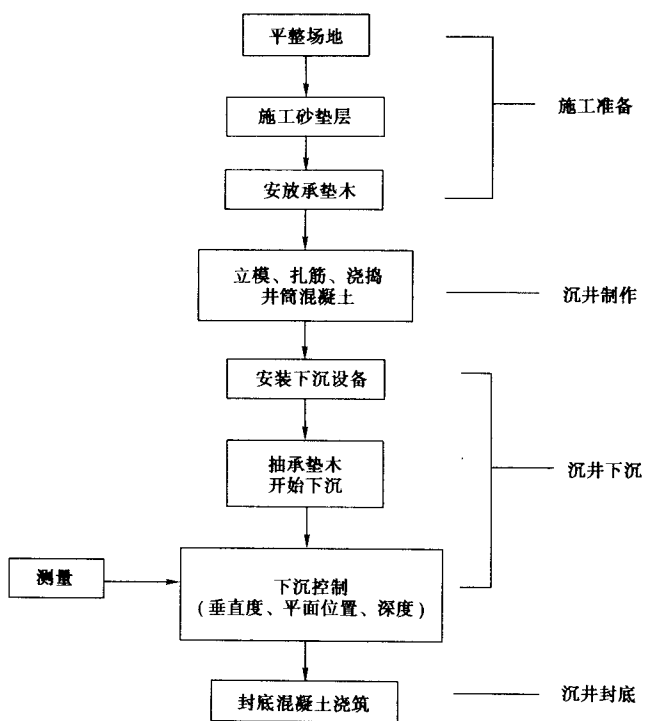
水下混凝土封底;

水下混凝土封底及浇筑钢筋混凝土底板。

1.2 沉井施工的工序流程、技术特点及注意的问题

1.2.1 沉井施工的工序流程

一般沉井施工经过制作、下沉和封底三个阶段。现将最常见的陆上施工钢筋混凝土沉井列出主要工序流程如下：



1.2.2 沉井施工的技术特点

不管为何种功用服务,按不同的分类方法设计的不同类型的沉井,其共同的技术特点如下:

(1) 沉井在结构制作阶段只是施工过程的中间阶段,不是最后的稳定状态,这是与任何其他类型的工程结构和建筑不同的。有的沉井面积达到

数千平方米,数十米高,上千立方米混凝土,重量上万吨,其尺寸及体量使任何工程技术人员不得不把它当成永久性的建筑结构来考虑,但其基础稳定,施工方法又必须考虑制作完成以后还要下沉的特点,有时候下沉和制作还要交替进行。

(2)沉井从开始下沉直到封底完成之前,整个施工过程都处于运动的不稳定状态之中,而影响运动的因素又十分复杂,既有结构本身的体型尺寸、重量、构造特征因素,又有外部环境的地形地貌、工程地质、水文地质条件因素,还有施工作业的方法措施、施工程序、控制手段等,这些因素综合影响的结果,决定了沉井能否顺利下沉到预定的位置,进行封底。

因此,由上述两个技术特点引出了沉井施工区别于其他工程施工的几个必须注意的问题。

1.2.3 沉井施工中几个必须注意的问题

(1)设计必须考虑施工,成了更加突出的原则

因为沉井建成以后埋置于地下,建筑物的美观功能几乎可以不用考虑,除了满足使用功能要求以外,沉井设计的许多方面如三维尺寸的确定、结构布置形式、各种工况条件下的受力荷载和结构计算、局部构造处理等都是由施工决定的。

(2)施工过程的复杂性,决定了施工手段的多样性

沉井制作过程是过渡的,下沉过程是动态的,这造成了沉井施工比其他地面和地下工程施工更为复杂,因此必须在多种施工手段中进行合理选择和优化,才能少走弯路和更加经济。例如,是原位制作还是异地制作(水中沉井基础的围堰筑岛法和浮运法),是一次制作还是分节制作,是排水下沉还是不排水下沉,是干封底还是水下封底等等。

(3)施工外部条件的不确定性,使施工过程的监测和控制及应变对策成为成功实施的关键。

由于勘测报告提供的工程地质和水文地质条件不够精确、详尽,导致施工中常常出现偏离预计目标的情况,应该下沉时阻滞不动,应该稳定时突然下沉,下沉过程中的偏斜,反复纠偏造成平面位移,下沉不到或超过设计深度等等。

上述问题实际上是沉井(箱)施工在结构设计阶段、施工组织设计阶段和实际施工阶段要解决的问题,我们将在本书上篇的二、三、四章中详细展