

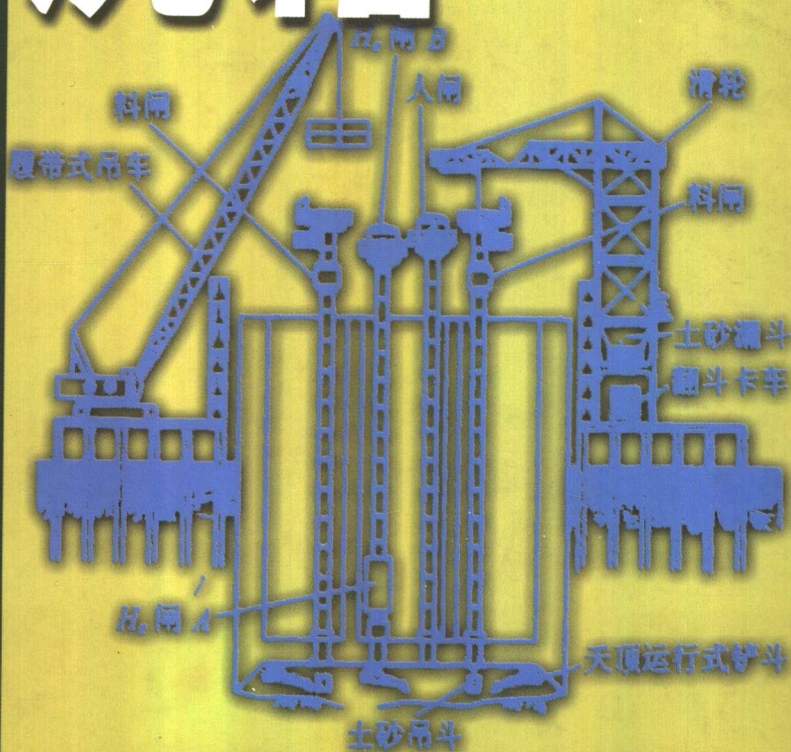
张凤祥 傅德明 张冠军 编著

沉井

与

沉箱

CHENJING YU CHENXIANG



中国铁道出版社

沉井与沉箱

张凤祥 傅德明 张冠军 编著

中 国 铁 道 出 版 社

2 0 0 2 年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书是作者对于各种深基础建筑工程所采用的沉井与沉箱工法的系统论述和对于这两项工法在国内外最新进展所做的精辟独到的研究成果。

本书详细论述了取代沉井老工法的压沉法、SS 工法和 SOCS 工法,详细论述了取代沉箱老工法而由遥控机械完成的无人入箱作业工法(如箱内大气吊仓遥控无人工法、地表遥控无人工法、自动回收挖掘机遥控无人工法、多功能挖掘机无人工法),论述了临时入箱作业人员吸入无损健康混合气体的工法。这些工法均填补了目前国内的空白。所选工程实例均可借鉴。

本书可供从事各类土木建筑工程科研、设计、施工、监理的技术人员、管理人员及相关专业大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

沉井与沉箱/张凤祥,傅德明,张冠军编著. —北京:中国铁道出版社,2001.10

ISBN 7-113-04347-X

I. 沉… II. ①张…②傅…③张… III. ①沉井-研究
②沉箱-研究 IV. TU473.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 073361 号

书 名:沉井与沉箱

作 者:张凤祥 傅德明 张冠军 编著

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市宣武区右安门西街8号)

策划编辑:刘启山

责任编辑:刘启山

封面设计:李艳阳

印 刷:北京市燕山印刷厂

开 本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:360 千

版 本:2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷

印 数:1~2000 册

书 号:ISBN 7-113-04347-X/TU·672

定 价:69.00 元

版权所有 盗印必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社发行部调换。



作者简介

张凤祥,1940年1月出生于辽宁锦州。1965年7月毕业于北京邮电学院无线电通信工程系,同年8月被分配到中国科学院武汉物理研究所从事原子频标等研究工作22年,1986年6月晋升为高级工程师。1989年调上海隧道股份有限公司研究所,从事地基注浆加固、盾构隧道等研究工作至今。工作以来先后发表过中英文版研究论文70篇(均为第一作者),编书二本(约160万字),译书二本(约50万字)。业绩分别列入《世界名人录》中文版第六卷,《中外名人辞典》21世纪卷,《中国人才世纪献辞》第二卷。联系电话:021—65648760。



作者简介

傅德明,现任上海隧道工程股份有限公司施工技术研究所所长,上海市土木工程学会委员和地下工程专业委员会副主任委员。1980年起从事软土隧道及地下工程的施工和试验研究,在盾构隧道技术、地下连续墙深基坑围护技术、沉井技术方面取得多项研究成果并获得建设部和上海市科技进步奖,发表论文和参加编写专著达四十余篇。



作者简介

张冠军,1961年4月生于上海,1983年毕业于同济大学工民建系,现任上海市隧道研究所主任工程师兼施工工艺室主任。从事隧道施工技术研究、施工监测、结构试验、地下工程施工等工作近二十年。

主要科技成果曾获国家建设部科技进步奖和上海市科技进步奖,其中“甬江沉管隧道基础处理技术”和主持开发的“型钢水泥土复合挡土墙研究”项目获上海市科技进步二等奖,并在全国各大科技刊物上发表论文二十多篇。

序

由张凤祥、傅德明、张冠军编著的《沉井与沉箱》一书行将出版,责任编辑刘启山及第一作者张凤祥两位同仁约我为该书的出版写几句话。我认为这是一本很有价值的书,故而欣然命笔。

由于沉井、沉箱可靠性好,对周围地层扰动小,故很适于在邻近建筑群的地点施工。沉井、沉箱施工对于地层变化、流砂、淤泥等不良地层的适应性很强,还具有工艺相对简单、造价比较经济等优点,所以沉井、沉箱在大型地下构造物和深基础工程领域中被广泛应用并有很大发展。

20世纪90年代是沉井、沉箱技术飞跃发展的阶段。先后推出了压沉法、SS沉井工法、SOCS沉井工法,特别是自动遥控挖掘机无人开挖等多种沉箱工法的开发成功,使沉箱施工彻底摆脱了有人作业,实现了完全无人化。这是一个极大的技术突变。这些高度自动化、机械化、图像化、信息化的新技术、新设备、新工艺的推出,大大发展并巩固了沉井、沉箱在上述大型地下构造物和深基础工程中的统治地位。

然而,上述新技术目前还被个别发达国家所垄断。因此,今后该课题极需组织研究开发。

鉴于目前国内外尚无一本全面、系统地介绍上述新技术的专著,作者结合自己多年工程实践的经验,总结并系统地介绍沉井、沉箱的原理、设计原则、施工方法、事故预测手段及应急措施、信息化的监测控制方法,所编著出版的《沉井与沉箱》一书恰好填补了我国这一空白。这本书的出版,可以看成是我国在2000年以前沉井、沉箱新技术设计、施工的一个总结。相信这本书对21世纪土木基础工程的开发应用具有同样的指导意义和较大的促进作用。

21世纪是地下空间做为资源开发的世纪。面对我国人口、资源、环境的可持续发展,需要修建许多城市地铁、高架铁路、轻轨、隧道、各种用途的地下设施。那末,在繁华的城区,各种各样的基础都会出现。很希望在修建各类工程中去开发一些新的、快速施工又不扰民、不破坏环境的各种沉井、沉箱工法,来充实、完善、丰富这本专著,为后代服务。

中国工程院院士 王梦恕

2001年3月于 北京

BE 132/03

992446

前 言

采用边排土边下沉的方式,把井筒或箱体沉入地下,即沉井或沉箱。相应的施工方法为沉井、沉箱工法。沉井、沉箱的优点是躯体刚度大、断面可大可小、承载力大、抗渗能力强、耐久性好、施工占地面积小、出土量少、成本低、可靠性好、适用的土质范围广、施工深度深(可达 100 m),特别是沉箱工法对大深度施工有着得天独厚的优势。理论实践都证明,起码目前沉箱是所有基础工法对周围地层影响最小的一种方法;此外,其抗震性也属最佳(见第八章)。

由于沉井、沉箱具有上述优点,故沉井、沉箱在大型地下构造物和深基础方面应用极为广泛。如作地下储油罐、地下气罐、地下泵房、地下沉淀池、地下水池、地下防空洞、地下车库、地下变电站、地下料坑、矿井、盾构隧道、顶管隧道的临时工作井(接收井、始发井),永久性的通风井、排水井等多种地下设施。就深基础而言,可作大型超高层建筑物的基础、各种桥梁基础、都市高架路基础、轻轨铁路的基础、水闸基础、港口基础、护堤基础、冶金高炉基础及各种重型设备基础等。

就沉井工法而言,以往以纯自沉工法为多,这种方法的优点是施工设备简单易行。其缺点是:

1. 只适用于一些软地层及沉设深度不深的情形。

2. 由于下沉过程中没有有效地控制竖直精度的措施,所以下沉的竖直精度不易控制。对硬粘土层或砂卵层等大深度沉井而言,易发生倾斜,致使下沉摩阻力过大,最后导致沉井沉不下去(无法下沉到位)。

3. 为了避免沉不下去的现象发生,有人采用增加井筒厚度(增加井筒自重)的方法。这样造成了成本大增。

由于上述原因,该工法自 20 世纪 90 年代以来,在国外一些发达国家已被弃之不用。取而代之的是压沉法、SS(Space System Caisson)工法、SOCS(Super Open Caisson System)工法。这些工法都是近年来针对克服纯自沉工法的弊病所提出的新工法。有关这些工法的详细论述请见本书 4.2 节、4.3 节、4.4 节。

目前的沉箱工法系指压气沉箱工法,该工法 1839 年问世于法国,其基本原理是向沉箱下部的作业室内压送与地下水压相当的压缩空气,抑制地下水,使挖掘作业在干涸状态下进行。在确保气压 ≤ 0.2 MPa(无损人体健康)的条件下,如再辅以排水或防渗措施,选择有人挖掘作业工法,不仅成本低、作业效率高,而且安全可靠,是一种行之有效的工法。时至今日,气压 ≤ 0.2 MPa 条件下的挖掘作业仍以有人挖掘为主。这种方法的缺点是适用深度不够深。

随着挖掘深度的增加,当作业气压 ≥ 0.2 MPa 时,对箱内作业人员(有人工法)

的身体健康有影响,易患所谓的沉箱病。这也是沉箱工法的一个致命弊病(见 4.5 节),所以以往不被人们看好,甚至一提到该工法有的人就有一种恐惧感,故多年来一直被许多人弃之不用。久而久之,沉箱工法的独有的优点也被遗忘。实际上,若能将挖掘、出土等作业改由遥控机械完成的无人入箱作业(无人工法),就从根本上铲除了弊病的根源,使其独特的优点得以发挥。那么这种无人沉箱工法将是一种其它基础工法不可比拟的极佳的工法。

进入 20 世纪 90 年代以来,由于计算机技术、自动控制技术、机电一体化技术的长足进步,使上述无人沉箱工法得以实现。国际上先后推出了箱内大气吊仓遥控无人工法、地表遥控无人工法、自动回收挖掘机遥控无人工法、多功能挖掘机无人工法等多种无人沉箱工法。不仅如此,即使对于应急作业人员必须暂短入箱作业的情形而言,也作了妥善的考虑。即让作业人员呼吸配带在胸前的气囊中的按一定比例配制的($\text{He} + \text{N}_2 + \text{O}_2$)的混合气体,以便确保作业人员的身体不受任何损伤,详见 4.8 节、4.9 节。

由于上述新技术、新措施、新工法的采用给沉箱工法带来了极大的转机。近年来国际上自动化遥控无人大深度沉箱工法的施工实例猛增。深信随着自动无人沉箱工法的推广、普及,沉箱工法的优点必然得以充分的体现,不久的将来沉箱工法在大深度基础中必然独占鳌头。

然而,压沉沉井工法、SS 工法、SOCS 工法等沉井新技术;箱内大气吊仓遥控无人工法、地表遥控无人工法、自动回收挖掘机遥控无人工法、多功能挖掘机无人工法等沉箱新技术,在我国均属空白。随着我国地下建设工程的迅速发展,开展上述课题,添补空白已成为当务之急。

但是,目前关于阐述上述新技术的原理、优点、用途、系统构成、设计方法、施工方法、信息化施工监测系统与方法、事故的应急措施、工程实例等等全面的系统的专著,无论是国外还是国内,均未见报导。鉴于上述状况,我们编著了本书。

本书选材立足于一个新字。书中全面系统地阐述了沉井工法、沉箱工法的原理;抗震设计方法;施工前的勘察;施工方法;施工事故及应急措施;施工设备;抑制施工对周围环境影响的措施;沉箱基础极佳的抗震性;施工实例等内容。第三章的抗震设计计算;第四章的压沉沉井工法,SS 沉井工法,SOCS 自动化工法,充 He 混合气体遥控无人挖掘沉箱工法,自动回收挖掘机工法及多功能挖掘机工法,混合沉箱工法;第五章给出的施工事故及应急措施;第六章的单挖型遥控挖掘机,自动回收型遥控挖掘机,多功能遥控挖掘机;第七章的降低施工对周围环境影响的措施;第八章的沉箱基础的极佳抗震性的论述;第九章给出的 16 例沉井、沉箱的施工实例等内容均系国内空白。

书中给出的这些实例均系近年现场施工成功的经验总结。条理清楚,数据齐全,结果可信度高,对实际的工程设计、施工、测量等均有较大的借鉴价值,有的实例完全可以套用。

总之,本书内容新颖、资料丰富。本书的出版,对我国的土建深基础工程、高架道桥、轻轨、隧道、矿井、水利工程、港口码头、岸线护堤、冶金建筑、人防以及其它地下空间大型构筑物等行业的技术开发均有一定的现实的参考价值。

由于编著者水平有限,书中难免存在错误和不足,恳请读者批评指正。

顾德焜、吴绍宇、郑斌分别审阅过书稿的部分章节,这里一并致以深切的谢意。

作 者

2001年2月25日

目 录

第一章 概 述	1
1.1 沉井与沉箱的定义、特点及用途	1
1.1.1 定 义	1
1.1.2 特 点	1
1.1.3 用 途	1
1.2 沉井与沉箱概述	2
1.2.1 分 类	2
1.2.2 构 造	3
1.2.3 设计计算原则	4
1.2.4 施工简介	5
1.2.5 沉井与沉箱工法的优缺点比较	7
1.3 沉井与沉箱工法进展概况	7
第二章 施工前的勘察工作	9
2.1 土质勘察	9
2.1.1 目 的	9
2.1.2 勘察程序	10
2.1.3 开发土质勘察新方法的必要性	12
2.2 环境勘察	12
2.2.1 探测地下管道及埋设物体的必要性	12
2.2.2 无损探测法	13
2.3 标准贯入试验	17
2.3.1 N 值的定义	17
2.3.2 试验设备	18
2.3.3 方 法	18
2.3.4 影响 N 值的因素	18
2.3.5 砂土的 N 值与 ϕ 的关系	18
2.3.6 粘性土中 N 值与 c 的关系	20
2.3.7 粉土中的 N 值与 c 、 ϕ 的关系	21
2.3.8 N 值与重度(γ_t)的关系	25
2.3.9 N 值与相对密实度(D_r)的关系	25
2.3.10 N 值与变形模量(E)的关系	26
2.3.11 N 值与 S 波速度(v_s)的关系	28
第三章 抗震设计计算	30
3.1 地震及抗震设计的技术用语	30

3.1.1	地震基本知识介绍	30
3.1.2	技术用语	34
3.1.3	惯性力	36
3.2	设计计算的基本要求和程序	37
3.2.1	基本要求	37
3.2.2	设计程序	37
3.2.3	设计条件的确认	37
3.3	震度法设计	41
3.3.1	稳定计算	41
3.3.2	设计程序	41
3.3.3	震度法设计水平震度的设定	41
3.3.4	地层的允许承载力强度	42
3.3.5	地层反力系数	43
3.3.6	地层反力强度上限值	46
3.3.7	变位、断面力及地层反力强度的计算	48
3.3.8	构件设计	49
3.3.9	下沉计算	50
3.4	确保地震水平最大承载力法的抗震设计	51
3.4.1	引入确保地震水平最大承载力法的必要性	51
3.4.2	根据能量守恒定律推估非线性地震的响应	51
3.4.3	设计方针及内容	51
3.4.4	地层反力强度上限值	52
3.4.5	确保地震水平最大承载力法抗震设计的荷载计算	54
3.4.6	断面力、地层反力强度和变位的计算	54
3.4.7	水平震度	54
3.4.8	屈服判定	56
3.4.9	沉箱水平最大承载力的核对	56
3.4.10	沉箱塑性响应系数	57
3.4.11	沉箱的水平变位及旋转角	58
3.4.12	构件计算	58
3.5	沉井桥基设计计算实例	60
3.5.1	设计条件确认	60
3.5.2	震度法设计	61
3.5.3	确保地震水平最大承载力的抗震设计	67
3.6	沉箱桥基设计计算实例	70
3.6.1	设计条件确认	70
3.6.2	震度法设计	70
3.6.3	确保地震水平最大承载力法设计	74
第四章	施工方法	79
4.1	现浇混凝土筑井自沉工法	79

4.1.1	施工工序	79
4.1.2	井筒制作	80
4.1.3	抽 垫	82
4.1.4	水 挖 法	82
4.1.5	干 挖 法	83
4.1.6	中心岛法	86
4.1.7	封 底	86
4.1.8	监测系统	86
4.2	SS 沉井工法	89
4.2.1	SS 沉井工法的原理及构成	90
4.2.2	施工顺序及适用范围	92
4.2.3	施工实例	93
4.3	压沉沉井工法	94
4.3.1	压沉工法的优点及适用条件	94
4.3.2	地锚反力压入装置	95
4.3.3	自动压沉施工管理系统	95
4.3.4	钢环拼接压入工法	96
4.4	自动化沉井工法	96
4.4.1	SOCS 工法的特点	97
4.4.2	系统构成	97
4.4.3	施工及验证试验	101
4.4.4	今后的研究课题	105
4.5	压气沉箱工法概述	105
4.5.1	优 点	106
4.5.2	分 类	106
4.5.3	有人工法	106
4.5.4	无人工法	107
4.5.5	有人工法与无人工法的对比	107
4.6	排水沉箱工法	108
4.6.1	集水井排水工法	108
4.6.2	外围排水法	108
4.7	防渗沉箱工法	108
4.7.1	注浆工法	109
4.7.2	冻结工法	109
4.8	充 He 混合气体无人遥控挖掘沉箱工法	109
4.8.1	无人遥控挖掘沉箱工法的优点及基本构成	109
4.8.2	箱内大气吊仓遥控无人挖掘工法	111
4.8.3	地表遥控无人挖掘工法	112
4.8.4	充 He 混合气体无人遥控挖掘沉箱工法	113
4.9	沉箱自动回收挖掘机工法及多功能挖掘机工法	114

4.10	水中沉箱工法	115
4.10.1	概 述	115
4.10.2	施工设备	115
4.10.3	施工步骤	116
4.10.4	两项最新的施工技术	116
4.11	混合沉箱工法	116
4.11.1	混合沉箱的构造及特点	116
4.11.2	混合沉箱工法的施工步骤及注意事项	117
4.11.3	HB 沉箱与 RC 沉箱的比较	117
第五章	施工事故及应急措施	119
5.1	事故分类及应急措施总汇	119
5.2	沉井事故应急事例	120
5.2.1	推托式倾斜修正法	120
5.2.2	沉井工法改为沉箱工法的应急事例	121
5.2.3	沉井外围钻孔减小摩阻力的应急事例	121
5.2.4	沉井工法变为开挖工法的应急事例	122
5.3	沉箱事故应急事例	122
5.3.1	供气软管管理失误造成的沉箱下沉异常	122
5.3.2	射水过量造成的过沉	123
5.3.3	沉箱超沉	123
5.3.4	防止刃脚损伤的事例	124
5.4	隆起及其压气应急措施	124
5.4.1	挖掘粘性土时的压气效应	124
5.4.2	隆起现象的试验观察	125
5.4.3	膨胀量的评估及基底隆起的判定	125
5.4.4	压气法防止隆起的优点	125
5.4.5	作业气压的适用范围	126
5.4.6	防止挖掘面隆起的压气应急事例	126
5.4.7	竖井开挖隆起喷水压气工法的应急事例	127
第六章	施工设备	128
6.1	单挖型遥控挖掘机	128
6.1.1	构 成	128
6.1.2	操作系统	128
6.1.3	控制系统	129
6.1.4	信号传输	129
6.1.5	目视信息系统	130
6.2	自动回收型挖掘机	130
6.2.1	自动挖掘系统	130
6.2.2	摄像、显像系统	130
6.2.3	测量系统	130

6.2.4 信息传输系统	131
6.2.5 回收型挖掘机	131
6.2.6 自动回收系统	131
6.2.7 回收作业	132
6.3 多功能沉箱挖掘机	134
6.3.1 构造	134
6.3.2 控制系统	135
6.3.3 钻孔管理系统	137
6.3.4 负荷试验	137
6.3.5 多功能挖掘机的特点	138
第七章 沉井、沉箱施工对周围环境的影响	139
7.1 地层变形的防止及预测	139
7.1.1 概 述	139
7.1.2 地层变形因素及防止措施	139
7.1.3 周围地层变形的观测事例	141
7.1.4 隔墙效果	142
7.1.5 有限元法地层变形的预测	143
7.1.6 数值解析地表沉降估算公式的导出	149
7.2 防振的措施	152
7.2.1 振动的基本定义、预测及控制目标	152
7.2.2 防振措施	153
7.2.3 气垫防振工法施工实例	154
第八章 沉箱基础极佳的抗震性	159
8.1 概 述	159
8.2 空气从箱底的漏出	159
8.3 微小气泡的表面张力	160
8.4 土颗粒孔隙与气泡的上升运动	161
8.5 地下水饱和度的下降	161
8.6 地层液化的防止	162
第九章 沉井与沉箱施工实例	163
9.1 压入钢管片拼装井筒的沉井构筑施工实例	163
9.1.1 工程概况	163
9.1.2 施工方法	163
9.1.3 施工结果	166
9.2 压沉沉井施工实例	167
9.3 压沉沉箱的施工实例	168
9.4 盾构直接进发掘削圆柱形压入沉井施工实例	169
9.4.1 概 况	169
9.4.2 监测管理系统	169
9.4.3 施工结果	170

9.5 自动化沉井工法实例	174
9.5.1 工程概况	174
9.5.2 系统概况	174
9.5.3 系统功能检证	175
9.6 自动沉井工法大深度竖井施工实例	177
9.6.1 沉井概况	177
9.6.2 系统概况	178
9.6.3 施工程序	178
9.6.4 施工状况	178
9.7 狭窄地域沉箱施工要领及实例	179
9.7.1 狭窄地域沉箱施工要领	179
9.7.2 沉箱施工的主要内容	180
9.7.3 施工实例	180
9.8 桥梁正下方沉箱基础施工实例	183
9.8.1 引 言	183
9.8.2 桥基工程概况	184
9.8.3 施工难点	185
9.8.4 施 工	187
9.9 充氮混合气体无人挖掘工法大深度沉箱近接施工	188
9.9.1 引 言	188
9.9.2 近接施工中应预考虑的问题及其相应的措施	189
9.9.3 深井排水对 1 线原有沉箱的影响	190
9.9.4 充氮混合气体无人挖掘工法的确认	191
9.9.5 挖土工序	191
9.9.6 设 备	192
9.9.7 施工实际	193
9.9.8 1 线沉箱的动态观测	195
9.10 0.42 MPa 压气沉箱施工实例	197
9.10.1 三种混合气体的使用和无人系统的引入	197
9.10.2 工程临时用桥	198
9.10.3 沉箱钢壳	198
9.10.4 挖掘下沉	200
9.10.5 充 He 混合气体系统	201
9.10.6 沉箱构筑	202
9.10.7 承载力试验和填充混凝土工作	202
9.11 自动化沉箱施工实例	203
9.11.1 沉箱的形状及土质概况	203
9.11.2 自动化系统	203
9.11.3 施 工	204
9.11.4 施工结果	206

9.12 自动回收挖掘机型沉箱施工实例..... 207

9.12.1 工程概况..... 207

9.12.2 选择施工方法的考虑..... 207

9.12.3 施 工..... 207

9.13 多功能无人遥控挖掘机高压岩层沉箱施工实例..... 210

9.13.1 工程概况..... 210

9.13.2 高压下的岩层挖掘..... 210

9.13.3 气闸室设置方式的改进..... 211

9.14 大水深集装箱码头混合沉箱岸墙工程实例..... 212

9.14.1 设 计..... 212

9.14.2 HB 沉箱的施工 213

9.15 遥控无人自动挖掘沉箱基础桥基构筑施工实例..... 216

9.15.1 工程概况..... 216

9.15.2 桥基系统构造特点..... 216

9.15.3 沉箱施工设备..... 217

9.15.4 遥控无人挖掘施工..... 219

9.16 日本東灘芦屋線海中沉箱基础无人工法的确定..... 219

参考文献..... 223