

Advanced Pneumatic Caisson Construction Method

现代气压沉箱工法

编著 彭芳乐 孙德新

编审 白云 [日] 大内正敏

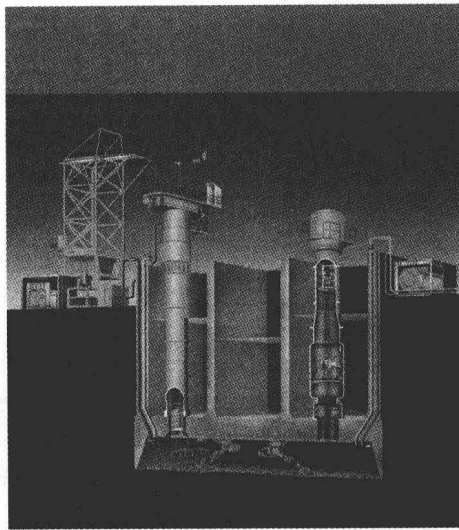
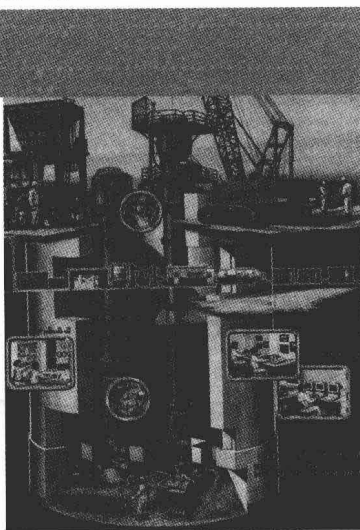


Advanced Pneumatic Caisson Construction Method

现代气压沉箱工法

编著 彭芳乐 孙德新

编审 白云 [日] 大内正敏



同济大学出版社
TONGJI UNIVERSITY PRESS

内 容 提 要

本书对现代气压沉箱工法进行了全面系统的阐述,共8章,分别为沉箱工法概述、气压沉箱工法的发展历史、气压沉箱的特点及设计、气压沉箱施工用机械设备、气压沉箱挖排土用机械设备、气压沉箱施工方法、气压沉箱施工调查与规划管理以及工程实例,旨在为我国现代气压沉箱工法的推广及应用提供一定的参考。

本书包含大量有关气压沉箱设计施工等方面的经验及说明,可供建筑、桥梁、市政、港工等领域从事沉箱或沉井设计、施工、监测、管理等方面的工程技术人员,以及高校有关师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

现代气压沉箱工法/彭芳乐,孙德新编著.--上海:同济大学出版社,2011.10

ISBN 978-7-5608-4001-7

I. 现… II. ①彭…②孙… III. 气压沉箱 IV. TU473.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 034940 号

现代气压沉箱工法

彭芳乐 孙德新 编著 白云 [日]大内正敏 编审
责任编辑 高晓辉 责任校对 张德胜 封面设计 陈益平

出版发行 同济大学出版社 www.tongjipress.com.cn
(地址:上海市四平路1239号 邮编:200092 电话:021-65985622)
经 销 全国各地新华书店
印 刷 同济大学印刷厂
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 10.75
字 数 268 000
版 次 2011年10月第1版 2011年10月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5608-4001-7

定 价 39.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换 版权所有 侵权必究

前 言

随着城市社会经济的不断发展以及地下空间的开发利用,我国地下工程施工技术在近几十年来取得了前所未有的进步,许多重大工程,例如长江隧道、东海大桥等都是依靠高效先进的施工技术建造起来的,但与一些发达国家相比,施工技术中现代高科技含量依然较少,信息化、智能化以及远程遥控等现代技术的利用仍然不多。因此,我们仍需不断技术革新,在引进国外先进施工技术的基础上,加以吸收利用,进行二次开发,转化为生产力。本书所介绍的现代气压沉箱工法,目的正在于此。

现代气压沉箱施工中,工作人员在地面遥控操作沉箱挖掘机,在沉箱底部工作室内进行挖排土,其施工设备主要由挖排土系统、远程操控系统以及施工信息辅助系统组成,它是高科技与传统施工技术相结合的产物,极大地提高了工作效率,实现了无人化、信息化施工,它代表了未来先进土木工程施工技术的一个重要发展方向。日本自引进气压沉箱工法以来历经 80 余年,经过不断的技术革新,该工法由人力作业发展到机械化施工,再到远程遥控施工,在传统气压沉箱工法的基础上,形成了具有高科技含量的现代气压沉箱工法。现代气压沉箱工法之所以能在日本得到相当大的发展,并在建筑市场占有相当大的份额,是因为与其他工法相比,它在大深度施工、周边环境保护等方面具有许多独特的优势。

当前我国正处在大规模城市基础设施建设时期,由于现代气压沉箱工法具有适合于软土地区近距离以及大深度施工的特点,可以设想拥有我国自主知识产权的现代气压沉箱技术一旦成熟,该工法必定在大型土木建筑基础以及地下空间建设领域占有相当的份额,在我国土木工程领域具有广阔的产业前景。参照日本的发展经验,可以预计现代气压沉箱将在以下建设领域发挥重要作用:①跨海跨江大型桥梁的基础建设;②大深度盾构隧道的工作竖井施工;③城市中心部大深度的地铁车站建设;④城市中心部大型地下停车库以及地下室的建设;⑤超近距离的地铁隧道以及道路隧道的建设(连续气压沉箱技术);⑥地下泵站以及处理设施的建设。

本书前三章全面系统地介绍现代气压沉箱工法的起源及发展历史,特别是该工法在日本的技术创新历程,详细阐述了现代气压沉箱的设计要点与流程,为该先进工法在我国的推广应用提供创新思路和理论支持;第 4 章、第 5 章详细介绍了现代气压沉箱施工机械设备,特别是其专用的挖排土设备;第 6 章介绍了现代气压沉箱的施工工艺,包括陆上施工和水上施工两种施工方式,其中一些施工经验总结对于实际施工具有指导意义;第 7 章介绍气压沉箱施工调查与规划管理,其中高压作业的安全卫生管理是确保现代气压沉箱施工顺利实施的关键;第 8 章详细介绍了日本近现代的一些气压沉箱工程实例,这些实例条理清楚,数据齐全,结果可信度高,对今后的工程设计、施工、监测、管理均有较大的借鉴价值。

需要说明的是,为方便起见,本书在介绍一些工程实例时未将其中的计量单位换算为国际单位制,具体换算关系及书中一些英文缩写的含义如下。

单位换算:

$$1 \text{ kgf} = 9.807 \text{ N}$$

$$1 \text{ tf} = 9.807 \times 10^3 \text{ N}$$

$$1 \text{ kgf/cm}^2 = 98.07 \text{ kPa} = 98070 \times 10^3 \text{ N/m}^2$$

英文缩写:

G. L—地面

T. P. —平均海湾平面

AP—日本荒川工程标高基准面

$$1 \text{ tf/m}^2 = 9807 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ tf/m}^3 = 9807 \text{ N/m}^3$$

OP—低潮位

M. S. L. —平均海平面

W. L. —下水位

NHHWL—最高高潮位

本书内容新颖,图文并茂,资料丰富,填补了我国现代气压沉箱工法方面系统化技术说明的空白,将有效地促进该先进技术在我国的推广应用和技术革新。本书的出版,对我国的桥梁基础工程、港口码头、城市地铁、市政工程、人防工程以及其他一些地下空间构筑物的建设均具有一定的参考价值。本书是在科技部“十一五”国家科技支撑计划重点项目“城市地下空间建造技术研究”(编号:2006BAJ27B02-02)、上海市科委重大科技攻关项目“城市地下空间开发应用核心技术和关键问题研究”(编号:04dzt2007)以及教育部“长江学者和创新团队发展计划”(编号:IRT1029)等课题的资助下完成的。在本书编写过程中,王海林、郭建刚、任宇、余勇等研究生为本书的插图、整理做了大量工作,同济大学出版社的高晓辉等编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此向他们表示诚挚的谢意!

由于编著者水平有限,书中难免存在错误和不足,热诚希望广大读者和工程技术人员批评指正。

编 者

2011年7月31日

目 录

前言

1 沉箱工法概述	(1)
1.1 沉箱定义与分类	(1)
1.2 开口沉箱工法	(1)
1.2.1 工法概述	(1)
1.2.2 开口沉箱中的挖排土	(2)
1.3 气压沉箱工法	(2)
1.3.1 工法概述	(2)
1.3.2 气压沉箱工法与开口沉箱工法的比较	(4)
2 气压沉箱工法的发展历程	(7)
2.1 气压沉箱的雏形——潜水钟	(7)
2.2 工法的诞生	(7)
2.2.1 气压挖掘工法的起源	(7)
2.2.2 19 世纪美国的大型桥梁基础	(8)
2.2.3 19 世纪欧洲的沉箱工程	(9)
2.2.4 摩天大楼的建设热潮	(10)
2.3 欧美气压沉箱工法的衰退	(10)
2.3.1 长大型钢材的批量生产	(10)
2.3.2 金门大桥沉箱基础施工的失败	(11)
2.3.3 德国的气压沉箱工程	(11)
2.4 日本气压沉箱工法的早期应用	(11)
2.5 气压沉箱技术在日本的改良历程	(14)
3 气压沉箱的特点及设计	(18)
3.1 气压沉箱的特点	(18)
3.1.1 沉箱箱体构造	(18)
3.1.2 气压调节与换气	(18)
3.1.3 气压与水压单位	(19)
3.1.4 气压沉箱的下沉原理	(19)
3.1.5 挖排土下沉过程中气压沉箱的不稳定性	(21)
3.2 气压沉箱箱体	(22)
3.2.1 箱体构成	(22)
3.2.2 刃脚与工作室顶板	(23)
3.2.3 顶板	(24)

3.3 气压沉箱的设计	(26)
3.3.1 设计与施工的关系	(26)
3.3.2 沉箱设计步骤	(26)
4 气压沉箱施工用机械设备	(29)
4.1 概述	(29)
4.2 送气设备	(30)
4.2.1 空气压缩机	(30)
4.2.2 空气压缩机附属设备	(33)
4.2.3 送气系统	(35)
4.2.4 气闸室与出入竖井	(36)
4.3 电气及通信设备	(41)
4.3.1 供电设备	(41)
4.3.2 气压沉箱内部电路布置	(42)
4.3.3 通信设备	(43)
4.4 沉箱水上施工设备	(44)
4.4.1 筑岛或围堰内填土的就位方式	(44)
4.4.2 沉箱漂浮拖曳施工方法	(44)
4.4.3 起重船吊运方式	(45)
4.4.4 栈桥和栈台	(45)
5 气压沉箱挖排土用机械设备	(47)
5.1 概述	(47)
5.1.1 挖排土作业的重要性	(47)
5.1.2 工作室开挖机械化及经济效果	(47)
5.1.3 工作室履带式挖掘机	(47)
5.1.4 沉箱挖掘机	(48)
5.2 远程操作无人挖掘系统	(51)
5.2.1 大气压环境密封舱内远程操控沉箱挖掘机	(51)
5.2.2 地面远程操作沉箱挖掘机	(52)
5.3 排土系统	(54)
5.3.1 概述	(54)
5.3.2 连续排土方法	(55)
5.3.3 土桶和材料气闸室	(55)
5.3.4 土砂自动装入装置	(56)
5.3.5 土桶吊出装置	(58)
5.3.6 排土作业自动化	(59)
5.4 施工监测管理	(62)
5.4.1 监测装置	(62)
5.4.2 自动监测管理系统	(62)

6 气压沉箱施工方法	(63)
6.1 陆上气压沉箱施工工艺	(63)
6.1.1 总体施工流程	(63)
6.1.2 就位地基处理	(63)
6.1.3 沉箱就位	(64)
6.1.4 沉箱结构浇筑	(68)
6.1.5 沉箱设备安装的顺序和方法	(70)
6.2 水中沉箱施工工艺	(72)
6.2.1 人工筑岛就位	(72)
6.2.2 人工围堰地基内就位	(74)
6.2.3 单排钢板桩圆形围护	(75)
6.2.4 沉箱水底就位	(76)
6.2.5 栈桥和栈台	(77)
6.2.6 沉箱钢壳水上搬运	(78)
6.2.7 沉箱设备安装与水中下沉	(78)
6.3 下沉挖掘施工	(79)
6.3.1 沉箱下沉的不稳定性	(79)
6.3.2 沉箱下沉的姿态控制	(80)
6.3.3 黏性土层开挖	(83)
6.3.4 砂质土层开挖	(83)
6.3.5 含砾石、石块地层开挖	(84)
6.3.6 岩石地层开挖	(85)
6.3.7 沉箱助沉	(86)
6.3.8 减压下沉中的土体隆起	(87)
6.3.9 减压下沉产生的流砂现象	(89)
6.3.10 沉箱漏气的防止	(90)
6.3.11 下沉挖掘中不利影响的防护及处理	(90)
6.3.12 排土作业	(91)
6.3.13 下沉挖掘的最后阶段	(92)
6.4 下沉挖掘结束后的作业	(92)
6.4.1 平板载荷试验	(92)
6.4.2 沉箱工作室内机械设备的拆除	(94)
6.4.3 工作室内混凝土充填	(94)
6.4.4 沉箱施工设备的拆除	(95)
6.4.5 上部施工临时用挡墙施工	(95)
6.4.6 顶板施工	(96)
7 气压沉箱施工调查与规划管理	(97)
7.1 施工前调查	(97)
7.1.1 调查目的	(97)

7.1.2	地质调查	(98)
7.1.3	气象、水文及水利状况调查	(100)
7.1.4	周边环境调查	(100)
7.1.5	作业环境调查	(100)
7.2	施工计划	(101)
7.2.1	设备安装计划	(101)
7.2.2	工程计划	(101)
7.2.3	机械设备计划	(103)
7.2.4	材料和劳务计划	(107)
7.3	高气压作业的安全卫生	(107)
7.3.1	减压病发生原因及其症状	(107)
7.3.2	高气压作业安全卫生规则	(108)
7.3.3	高气压作业安全卫生规则的主要规定	(109)
7.3.4	高气压作业必要的总时间	(109)
7.3.5	减压病治疗	(110)
7.3.6	缺氧空气产生机理	(110)
7.3.7	缺氧病及其预防措施	(111)
7.3.8	其他各类灾害的预防措施	(113)
7.4	施工管理	(114)
7.4.1	安全卫生管理	(114)
7.4.2	机械设备和气压调节管理	(114)
7.4.3	量测管理	(115)
7.4.4	自动监测管理	(115)
8	工程实例	(117)
8.1	日本最早的气压沉箱工程——隅田川永代桥基础	(117)
8.1.1	工程概述	(117)
8.1.2	工程施工	(117)
8.2	万代桥气压沉箱基础	(122)
8.2.1	工程概述	(122)
8.2.2	沉箱基础施工	(122)
8.2.3	新潟地震与万代桥基础	(123)
8.3	经受住阪神淡路大地震考验的气压沉箱基础	(123)
8.3.1	山阳新干线神崎川桥梁基础	(123)
8.3.2	沉箱基础的设计与施工	(123)
8.3.3	抗震性良好的沉箱基础	(127)
8.4	大阪港大桥南港气压沉箱基础	(127)
8.4.1	工程概述	(127)
8.4.2	地基改良及施工临时设备	(128)
8.4.3	沉箱施工	(133)

8.5 世界上最大的气压沉箱——东京港联络桥基础	(140)
8.5.1 工程概述	(140)
8.5.2 沉箱锚锭基础	(140)
8.5.3 海底地基	(141)
8.5.4 海底地基改良	(142)
8.5.5 栈桥及栈台的架设	(142)
8.5.6 沉箱工程施工用设备及再压室	(144)
8.5.7 沉箱钢壳制作	(145)
8.5.8 沉箱钢壳沉设	(146)
8.5.9 沉箱下沉作业控制	(146)
8.5.10 下沉挖掘	(148)
8.5.11 无人挖掘系统的首次使用	(150)
8.5.12 降水工法的并用	(150)
8.5.13 泥岩层的开挖	(150)
8.5.14 下沉挖掘结束	(151)
8.5.15 下沉精度及沉箱病发生率	(152)
8.5.16 工作室内混凝土充填及沉箱顶板的浇筑	(153)
8.6 千叶盾构隧道工作竖井气压沉箱	(153)
8.6.1 地面远程操控工作室内挖掘	(153)
8.6.2 圆环形土砂自动装入装置	(154)
8.6.3 千叶竖井沉箱下沉挖掘	(154)
8.7 其他工程实例	(156)
参考文献	(158)

1 沉箱工法概述

1.1 沉箱定义与分类

根据施工方法的不同,沉箱(caisson)大致可分为设置沉箱(installed caisson)、开口沉箱(open caisson,沉井)和气压沉箱(pneumatic caisson)三种类型。设置沉箱主要用于海上结构物的基础,施工时首先进行海底清淤,露出可以作为基础持力层的良好地层,必要时还可以采用换土垫层、砂桩挤密法等地基改良方法进行处理。同时,在陆地上制造钢结构箱体或者钢筋混凝土箱体(box caisson),然后将箱体水上搬运或拖曳到指定地点,沉放并固定在持力层上,接着在箱体内部填筑混凝土,基础施工结束。开口沉箱、气压沉箱是在地面或施工栈台上分段浇筑钢筋混凝土箱体,在沉箱内底部挖掘地层,破坏刃脚处土体的平衡,在沉箱自重等荷载作用下下沉到指定的持力层。因此,从下沉的方式来看,开口沉箱、气压沉箱与设置沉箱有着本质的区别,设置沉箱基础施工不需要在箱体内部挖排土,而开口沉箱、气压沉箱是要求箱体浇筑、挖排土下沉交替进行的沉箱基础工法。

1.2 开口沉箱工法

1.2.1 工法概述

开口沉箱工法是在地面浇筑上、下端均不封闭的中空井筒状构筑物,然后在其内部开挖土体,使其在重力作用下下沉的施工方法,如图 1-1 所示。井筒状结构称为开口沉箱,过去主要是采用石砌或砖砌结构,现在几乎全部采用钢筋混凝土结构。

钢筋混凝土沉箱通常划分为若干个浇筑标准段,在每一个浇筑段依次进行钢筋绑扎、模板安装和混凝土浇筑工作。为了减小下沉时的端部阻力,一般将沉箱下端部分做成刀刃形状,称为刃脚,如图 1-1(a)所示。在某些情况下,刃脚踏面下方的土体被掏空时,沉箱下沉抵抗力仍然大于下沉力,仅在沉箱自重作用下下沉困难,这时可以在沉箱顶部堆载重物,或者采取其他措施减小结构外侧面与周围地层间的摩擦力,促使沉箱下沉。

当开口沉箱下沉到作为持力层的基岩层(图 1-1(d)),沉箱全部浇筑完成,这时清除残留在持力层表面的土砂或石块后,采用导管水下浇筑混凝土底板,完成封底(图 1-1(e));接着在沉箱内部混凝土底板上充填土砂或素混凝土等(图 1-1(f)),在开口沉箱顶部设计位置处浇筑沉箱顶板,在顶板上浇筑桥墩主体结构。

开口沉箱工法历史悠久,其起源可以追溯到 4000 多年前。公元前 2000 年,古埃及一世王在金字塔下面挖掘某王的墓室时采用石灰岩砌成的圆桶状构筑物,为了减少下沉过程中的摩擦阻力,挖掘过程时采取了一些有效的措施。通常认为该圆形石砌构筑物为开口沉箱的雏形。由于过去主要采用这种方法挖井,所以这种结构也称为井(well)。井的平面形状虽然也有椭圆形或矩形,但以直径为 2~4m 的圆形居多。

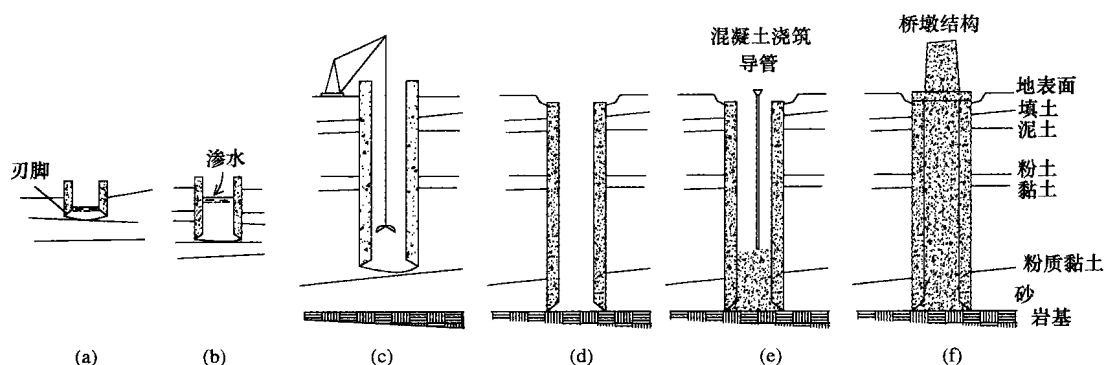


图 1-1 开口沉箱的施工顺序

1.2.2 开口沉箱中的挖排土

开口沉箱中的挖排土通常是采用抓斗挖土机(clam shell bucket)等挖土机械进行(图 1-2)。对于软弱容易坍塌的土层,当挖掘深度超过刃脚下方的某个深度,则刃脚正下方的土层向内部坍塌,随着土层的坍塌沉箱下沉;但对于含有砂砾、超固结土、软岩或是含有较多卵石的土层,挖掘这样坚硬不容易坍塌的土层非常困难甚至不能挖掘,因为这种竖向悬吊的抓斗挖土不能挖掘沉箱刃脚下方的土层,沉箱也就无法下沉。

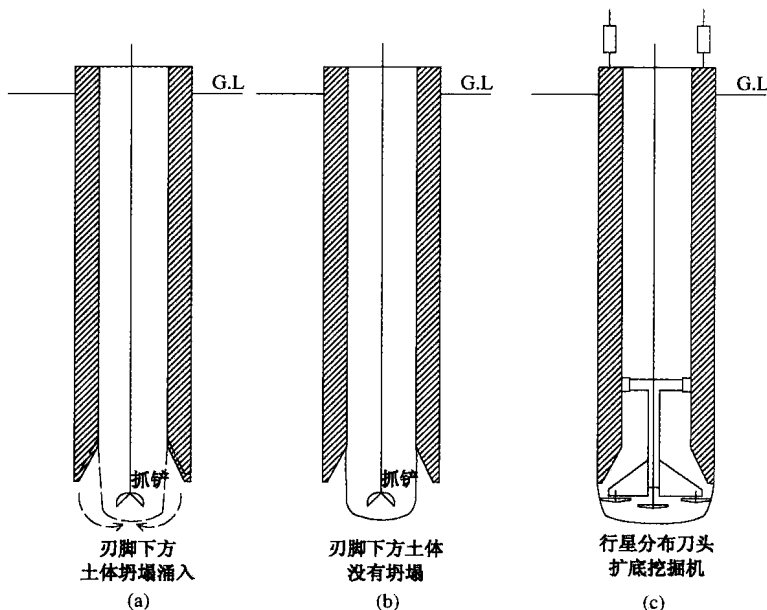


图 1-2 开口沉箱正下方土体的挖掘

1.3 气压沉箱工法

1.3.1 工法概述

采用了压缩空气的沉箱工法称为气压沉箱工法。如图 1-3 所示,在气压沉箱底部设有一个密闭空间,这个空间称为工作室(working chamber)。工作室室内净高一般在 2m 左右,周边由倒梯形或倒三角形断面的刃脚(cutting edge)构成。气压沉箱工作室称为箱内,进入气

压沉箱工作室称为入箱,从气压沉箱工作室出来称为出箱。气压沉箱结构过去采用木结构或者砖砌结构、石砌结构,现在几乎全部采用钢筋混凝土结构,也有在钢筋混凝土结构外包有钢壳的沉箱,这种气压沉箱仅应用于水中下沉的情况。

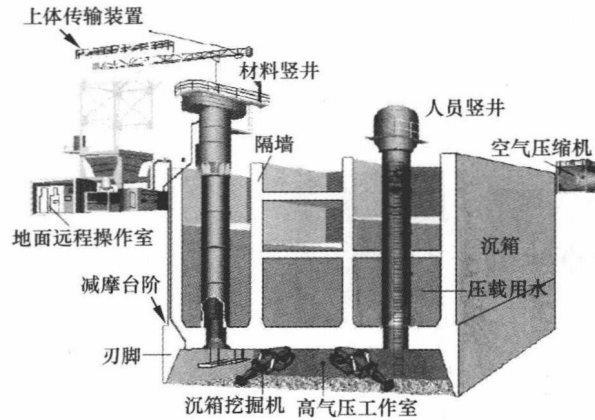


图 1-3 气压沉箱工法示意图

如图 1-4 所示为气压沉箱结构分段浇筑及下沉的施工顺序,从图中可以看出,当刃脚踏面下沉到地下水位以下时,向气压沉箱工作室充入高压空气,保持箱内气压和刃脚踏面处地下水压平衡,地下水就不会从周围土体涌入到气压沉箱工作室,从而在无水压状态高压环境中挖掘地层,开挖的土体通过材料竖井运至地面储土设备。该工法施工顺序与开口沉箱工法相同,需要反复交替进行箱内挖排土、沉箱下沉和沉箱结构接高施工,不同点在于气压沉箱工法特有的气闸室及竖井等施工设备也必须随着沉箱结构的接高而接高,称为设备安装,也是气压沉箱施工中一个很重要的工序。

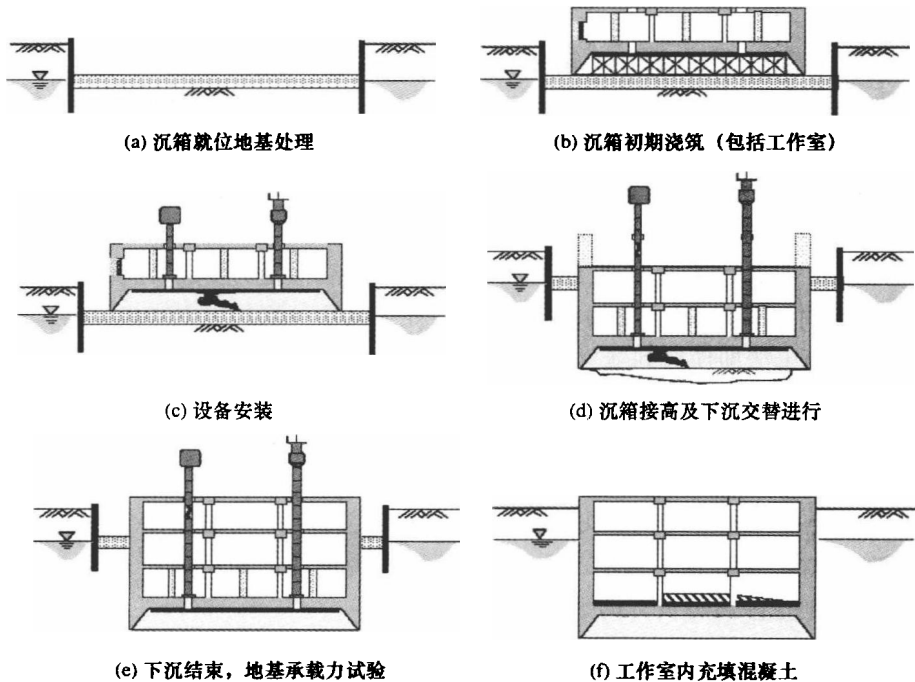


图 1-4 气压沉箱施工顺序

目前在日本广泛应用的现代气压沉箱工法以自动化开挖、地面远程操作等特点区别于传统的气压沉箱工法,避免了工作人员在高气压、高湿度的环境下进行开挖作业,从而使得该工法获得新生。该工法中沉箱挖掘机吊装在工作室顶板上,可沿轨道移动,工作人员在地面远程操作挖掘机在无水环境下进行挖排土,此外,沉箱出土作业也已完全实现了自动化。作为一种深基础工法,现代气压沉箱工法可以用于施工中对周边环境要求较高的情况,可以实现无人化、自动化施工,从而节省劳动力、提高工作效率、缩短工期,在国外尤其是日本被广泛用于桥梁基础、城市隧道、竖井以及其他地下设施的建设(图 1-5)。

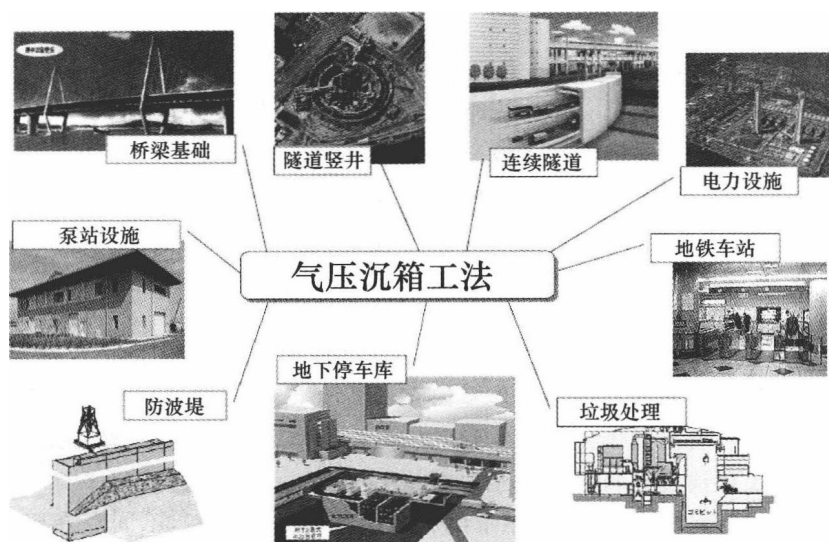


图 1-5 气压沉箱应用领域

1.3.2 气压沉箱工法与开口沉箱工法比较

与开口沉箱工法相比,气压沉箱工法在以下几个方面具有明显的优势:

(1) 气压沉箱工法不是在泥水中盲目挖掘,而是在无水状态、高气压环境中挖掘土体,同时可直接观察挖掘位置状况,因此可以准确地确定挖掘的位置及深度等,可以完全按照计划挖掘地层,并且可以直接在工作室内进行平板载荷试验确认实际的地基承载力(图 1-6)。而开口沉箱工法由于通常是水下挖掘,泥水混浊,不能观察地层挖掘的情况,因此属于盲目挖掘,挖掘位置不容易准确把握,容易产生偏差,从而可能导致沉箱下沉过程中产生倾斜。

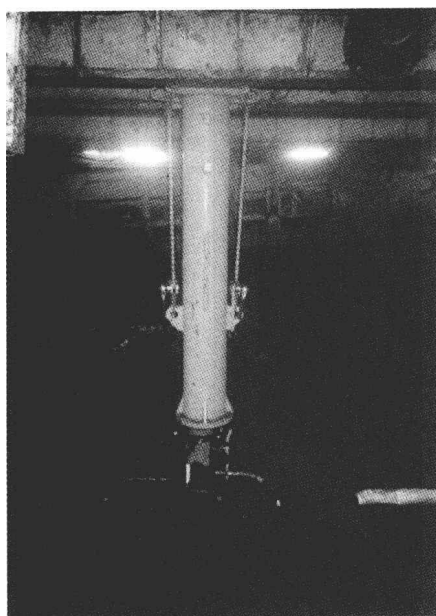
(2) 气压沉箱工法即使遇到非常坚硬的地层也很容易挖除。施工中如果遇到孤石,可根据它们的强度更换适当的挖掘机头部,甚至可以采用间装药爆破。由于爆破在工作室内进行,碎石不可能飞出。对于开口沉箱,则很难处理。图 1-7 所示为某气压沉箱桥梁基础施工时工作室内清除原有桥梁基础的情景。

(3) 气压沉箱工法很容易挖除刃脚下方的土体,即使地层中存在砂砾、硬土、软岩,或是含有较多卵石的非常坚硬不容易坍塌的土层,如果换用掏土的沉箱铲(caisson shovel),在内侧也可以非常方便地挖除刃脚下方的土体。

(4) 与开口沉箱施工相比,气压沉箱工法比较容易进行挖掘下沉管理,因此在施工计划上容易把握。在日本,通常情况下气压沉箱的挖掘作业一般是平均出土 $2\text{m}^3/\text{h}$ 。但是,如果规定



(a) 有人操作



(b) 无人化操作

图 1-6 工作室内地基承载力试验

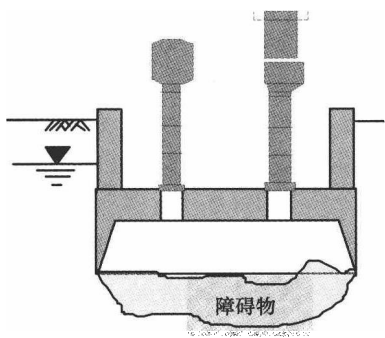


图 1-7 气压沉箱工作室内清除原有桥梁基础

平均出土 $3\text{m}^3/\text{h}$, 并且上部浇筑作业与挖掘作业同时进行, 则可以缩短施工工期。当在河流中进行气压沉箱桥梁基础施工, 同时要求必须在河流枯水季节完成施工时, 就可以采取以上措施。因此说气压沉箱工法在施工工期计划方面具有较大的灵活性。

(5) 对于气压沉箱工法, 无论平面形状是采用矩形、圆形、椭圆形, 还是其他形状, 沉箱内土体挖掘都比较方便。但是对于开口沉箱工法, 平面形状为矩形时挖掘将非常困难, 坚硬土层几乎不可能挖掘, 因此, 开口沉箱大多是采用圆形或是圆端形(两端为半圆形中间为矩形)断面形状。

(6) 对于气压沉箱工法, 挖掘地下水位以下的砂土地层时, 通过控制气压不会出现砂涌(boiling)或土体隆起(heaving)现象(图 1-8)。但是, 对于开口沉箱, 如果沉箱内的水位低于周围砂层中的地下水位, 则周围砂层中的地下水将从刃脚下方向沉箱内涌入, 容易引起沉箱坑底砂涌或土体隆起。

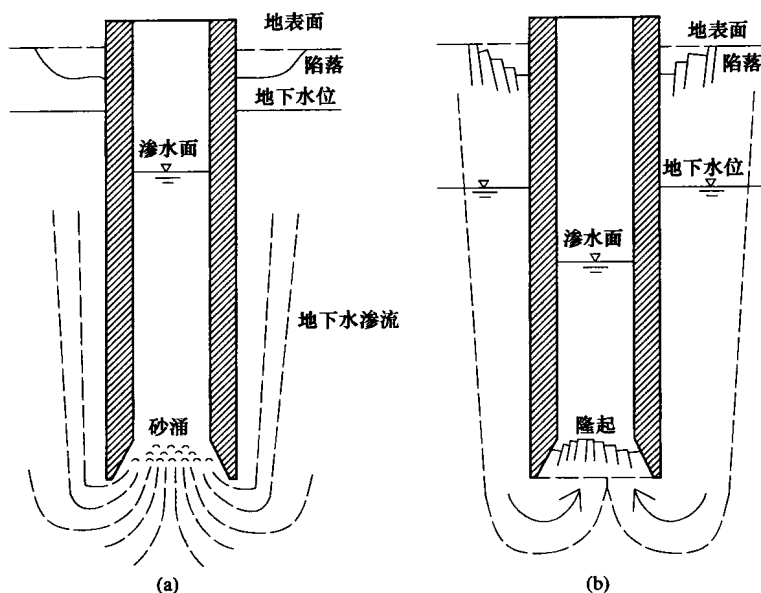


图 1-8 箱底砂涌与土体隆起现象

(7) 对于开口沉箱工法,为了促使沉箱下沉采用较多的一种方法就是在沉箱上堆放重物,在堆载助沉期间不仅妨碍了沉箱内挖排土,而且沉箱结构的接高浇筑工作也必须中断。另外,每进行一节段的浇筑与挖排土工作就必须进行一次堆载与卸载。开口沉箱的堆载与卸载费时费力,而且在此期间还必须中断下沉挖掘,因此开口沉箱的下沉挖掘需要工期较长,堆载卸载费用也较贵。但是对于气压沉箱,可以通过向沉箱内注入荷载用水来实现沉箱下沉,加载及卸载简单易行。如果采用降低工作室内气压的方法促使沉箱下沉,则更简单更快速,仅需几分钟沉箱就会开始下沉。但是采用减压下沉可能会伴有砂涌(boiling)或是土体隆起(heaving)等不利情况发生,所以在使用这种方法时一定要慎重。

(8) 施工安全有保障。现代气压沉箱使用无人化自动挖掘技术,大部分的土方挖掘尤其是大深度的土方挖掘完全可以利用远程控制的沉箱挖掘机完成。遇到特殊情况,或者机械需要维修保养拆除时,少数作业人员必须进入下部工作室进行作业,但只要严格按照高气压环境施工的有关安全管理规定以及应用先进的高气压作业技术,从科学的角度上来看,施工人员的人身安全完全能得到保障。

综上所述,与开口沉箱(沉井)相比,气压沉箱在很多方面具有优势。但是气压沉箱需要空气压缩机、气闸室等气压工法所特有的施工设备,因此对于小型工程,如果仅从经济方面比较,采用气压沉箱工法时费用可能偏高(与开口沉箱相比),这也是气压沉箱工法的一个缺点。

本书仅在第1章对开口沉箱进行简单介绍,从第2章开始介绍气压沉箱,为方便起见,以后各章节中提到的沉箱即气压沉箱。

2 气压沉箱工法的发展历程

2.1 气压沉箱的雏形——潜水钟

人类在数百年前的潜水作业中就开始利用压气原理。将杯状容器开口朝下按入水中(图 2-1),容器进入水中越深,进入容器内的水位就越高,被封堵在容器内的空气受到压缩,体积减小,气压增高。人们戴着这种锅形铁制容器潜水,由于这种潜水容器形状像寺院或教堂内的大钟(bell),因此被称为潜水钟(diving bell)。

过去在海底进行简单作业时,主要是采用铸铁结构的小型潜水钟,仅能容纳 1~2 人。到 1770 年开始用空气泵向潜水钟内注入新鲜的压缩空气,为了便于人员的出入,开始使用配备气闸室(air lock)、竖井(shaft)、升降用梯子的大型潜水钟。

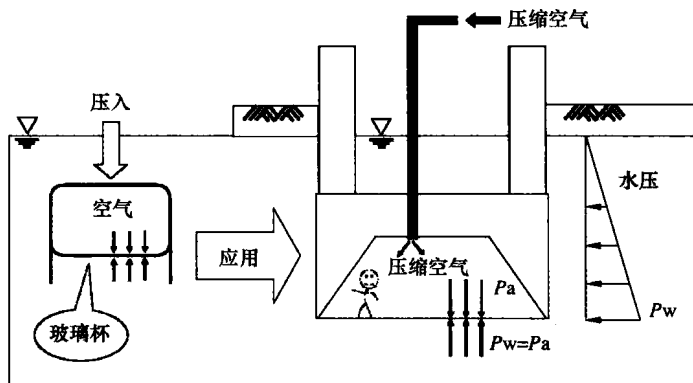


图 2-1 气压沉箱工作原理

2.2 工法的诞生

2.2.1 气压挖掘工法的起源

法国的气闸发明家塔利哥(M. Triger)于 1841 年首次应用压缩空气挖掘地层,他所用的设备被认为是气压沉箱的原型。他在法国中东部平原 Loire 河的沙洲上用重锤将直径约 1m 的圆形铁筒打入地中,准备建造一个河底下 18m 深的煤矿竖井。

最初他采用的是开口沉箱工法,用铲斗(scoop bucket)挖掘铁筒内的细砂。但是当铁筒下沉到粗颗粒砾层时就再也沉不下去了,塔利哥在铁筒内装上一个盖子进行密闭,并安装上了气闸室,向铁筒内充入压缩空气。用插入到铁筒内的细管将铁筒内的水排除,然后让工人进入铁筒挖掘粗颗粒砾层,就这样成功地把这个竖井下沉到了预定的深度,当时,铁筒内的最大气压不超过 2kgf/cm^2 。^①

^① $1\text{kgf/cm}^2 = 98.07\text{kPa} = 98070 \times 10^3\text{N/m}^2$ 。