

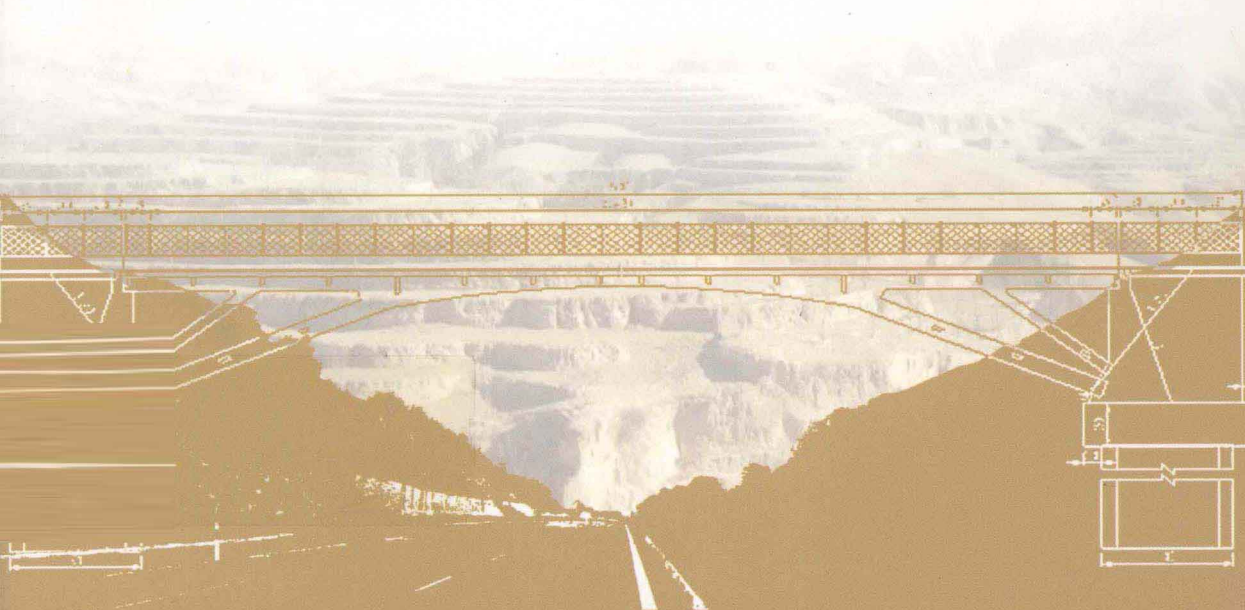


交通运输部西部交通建设科技项目管理中心资助出版
西部交通建设科技项目研究成果

HUANGTU DIQU DI XIA LIANXUQIANG
QIAOLIANG JICHU SHIYAN YANJIU

黄土地区地下连续墙 桥梁基础试验研究

孟凡超 陈晓东 程谦恭 龚维明 柴建峰 等著



人民交通出版社
China Communications Press

交通科技丛书

交通运输部西部交通建设科技项目管理中心资助出版
西部交通建设科技项目(200331849457)研究成果

Huangtu Diqu Dixia Lianxuqiang
黄土地区地下连续墙

Qiaoliang Jichu Shiyan Yanjiu
桥梁基础试验研究

孟凡超 陈晓东 程谦恭 龚维明 柴建峰 等著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书为交通运输部西部交通建设科技项目“黄土地区大跨度桥梁地下连续墙和箱形基础的应用研究”的研究成果,依托工程实践,对地下连续墙现场载荷试验、室内物理模型试验进行了系统研究,深入分析了黄土地区地下连续墙受力变形特征。

本书可供从事桥梁基础设计和研究工作的工程技术人员使用,也可供相关专业研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

黄土地区地下连续墙桥梁基础试验研究/孟凡超等著.

—北京:人民交通出版社,2010.6

(交通科技丛书)

ISBN 978-7-114-08226-9

I. 黄… II. 孟… III. 黄土区—地下连续墙—桥梁试验—
研究 IV. TU476

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 022076 号

书 名:黄土地区地下连续墙桥梁基础试验研究

著 作 者:孟凡超 等

责任编辑:丁润铎 郭红蕊

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.ccpress.com.cn>

销售电话:(010)59757969,59757973

总 经 销:人民交通出版社发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:廊坊市长虹印刷有限公司

开 本:787×960 1/16

印 张:9.25

字 数:170千

版 次:2010 年 6 月第 1 版

印 次:2010 年 6 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-08226-9

印 数:1—2000 册

定 价:28.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)



前 言

光阴荏苒,如白驹过隙。转瞬间又是一个寒冬,京城内外,朔风呼啸,裹素银装,雪兆丰年。

当敲下最后一个字符时,窗外已是寒天日短,乱云薄暮;数枝梅花,凌寒独开。六年的求索和此时伏案的喜悦让我们无法自抑,思绪万千。望着即将付梓的书稿,无法用言语形容的是心中的欣喜与释然。

本书是交通运输部西部交通建设科技项目(200331849457)“黄土地区大跨度桥梁地下连续墙和箱形基础的应用研究”的研究成果。该项目由中交公路规划设计院有限公司主持,有山西省公路局、西南交通大学、东南大学参加。

项目从2003年12月立项、2007年6月提交报告、2008年6月鉴定、2009年11月获奖至今书稿付梓,已历时整六载。掩卷而思,六年的艰难探索仿佛历历在目。在山西万荣,项目组成员在工程现场,遭遇当地20年不遇的大雪严寒,坚守现场大型载荷试验历时近半年之久。在成都,室内模型试验从方案设计到试验结束整整历时两年。在北京、在南京,项目组成员废寝忘食,刻苦钻研,为项目的顺利完成夜以继日,奋发图强。

本书内容的撰写,是在上述科研项目研究报告的基础上完成的,前后修改达半年之久,七易其稿。孟凡超负责全书内容的总体策划和总纂,陈晓东、程谦恭、龚维明负责具体章节内容的编写,柴建峰等负责图件的清绘和整饰。

在本书出版之际,眼前的喜悦和收获使我们油然而生的感谢,澎湃在胸膛。

作者不会忘记交通运输部西部中心的领导对该项目研究提出的殷切期望和精心指导,在此感谢刘家镇(主任)、陈国靖(原主任)、王迪荣(原总工)等领导亲切的指导;感谢山西省公路局和运城市公路局的领导



同志所给予的鼎力支持,感谢范景相(总工)、姚政法(总工)的指导;同时,也要感谢项目主持单位中交公路规划设计院有限公司周海涛(原院长)、张喜刚(总经理)、徐国平(副总经理)、鲍卫刚(原副总工程师)、刘仁生(主任)等领导的大力支持与鼓励。

路漫漫其修远兮,吾将上下而求索。

作者

2009年12月28日

目 录

1 绪论	1
1.1 研究背景及问题的提出	1
1.2 地下连续墙的发展历史及其工程应用现状	3
1.3 地下连续墙承载机理与设计理论国内外研究现状分析	9
1.4 试验研究主要内容与技术路线	11
1.5 工程实践	13
参考文献	14
2 地下连续墙的现场载荷试验研究	15
2.1 试验目的与意义	15
2.2 试验方法	16
2.3 试验方案与试验内容	24
2.4 竖向载荷试验	28
2.5 水平载荷试验	34
2.6 试验成果分析	37
2.7 小结	48
参考文献	49
3 地下连续墙的室内物理模型试验研究	50
3.1 桩基与地下连续墙的室内物理模型试验研究现状	50
3.2 模型试验目的与内容	53
3.3 模型试验原理与试验设计	53
3.4 试验实施及测试元件布设	67
3.5 试验数据采集与处理	75
3.6 无负摩阻力作用的模型试验结果分析	78
3.7 土体浸水的负摩阻力模型试验结果分析	99
3.8 小结	106
参考文献	109
4 黄土地基地下连续墙基础实例分析	112
4.1 工程概述	112



4.2	工程地下连续墙基础设计要点	116
4.3	工程地下连续墙基础数值分析	116
4.4	工程地下连续墙基础承载力测试研究	123
4.5	工程地下连续墙基础变形监测	129
4.6	工程地下连续墙基础的合理性分析	133
5	结论与展望	135
5.1	结论	135
5.2	展望	136
5.3	小结	138
	参考文献	138
	附录	139

1 绪 论

20 世纪的最后几年,特别是最近十年来,为了满足经济发展的需要,我国展开了全球最大规模的交通基础设施的建设,引起了全世界的热切关注。这些设施中的重大桥梁工程主要包括:我国东部沿海跨越多个海峡的大陆连岛工程、连接半岛的跨海峡桥梁工程以及我国中部跨越长江、黄河的大跨径桥梁,也包括我国西部特殊自然环境与复杂地质条件下跨越深大峡谷的高墩大跨桥梁^[1]。

桥梁类型多,跨径大,技术进步快,成为近年来我国桥梁建设的显著特点。

目前,桥梁上部结构形式、技术水平正处于飞速发展的时代,而桥梁下部结构基础形式相对单一。在一般的特大桥建设中考虑比较多的基础方案有钻孔灌注桩、钢管桩、预应力大管桩、沉井以及可能的扩大基础方案。地下连续墙作为悬索桥锚碇基坑的支护结构成为新秀,在我国逐渐被接受并加以应用。

因此,针对这种情况,作者提出采用闭合型地下连续墙作为大跨径桥梁的基础,同时承受竖向荷载与水平荷载,这在我国公路桥梁中尚属首次应用。笔者撰写本书目的在于加深对地下连续墙基础工程实践与理论分析两方面的认识与探讨,促进公路桥梁建设基础工程技术的发展与进步。

1.1 研究背景及问题的提出

1.1.1 黄土地基桥梁基础现状

我国幅员辽阔的版图上广泛分布着黄土的沉积,其平面分布面积,不同学者所估计的数字有很大的出入。依据刘东生院士等 1965 年出版的《中国黄土分布图》测量结果,中国黄土面积为 440 000km²,黄土状土面积为 191 840km²,约占中国国土面积的 6.6%^[2]。黄土高原是中国黄土的主要分布区。

我国黄土地区除跨越黄河的大桥以外,一般高速公路建设的特大桥其单孔跨度多在 200m 以内(西北地区最大单孔跨径 200m 连续刚构的徐水沟特大桥,位于陕西渭北合阳的禹门口至阎良高速公路段),桥梁基础多以钻孔灌注桩的形式出现。



黄土地区地表水较少,地下水位埋藏较深,目前桥梁基础在沟谷和基岩埋藏较浅的地区采用端承桩,在桥台和引桥部分采用扩大基础的形式,大量的桩基础采用摩擦桩。由于在巨厚层的黄土层中没有良好的桩尖持力层,为提高基础竖向承载力只能依靠增加基桩数量或增加基桩的桩长,因此一般的高速公路上的钻孔桩,入土桩长多在 40~70m,甚至有些达到 90~100m;桩径一般在 1.2~1.6m。

1.1.2 地下连续墙作为黄土地基桥梁基础形式的提出

由于黄土地区巨厚层的黄土地层中没有良好的桩端持力层,只能作摩擦桩设计,因此摩擦桩的桩长往往会很长。当桩长在 70~80m 甚至 100m 左右时,将其理解成“超深基础”。由于黄土具有很好的平面均质性,土体在垂向上物理力学性质相差较小,且地下水埋藏深度均较深,因此作者认为可以采用地下连续墙基础等相对埋深较浅(20~30m 以内)的基础形式代替现有的超深基础。随着基础底板高程的抬升以及采用集挡土、承重和防水于一身的“三合一”地下连续墙的基础形式,将会对桥梁的安全、经济、施工等带来明显的效益。

由于地下连续墙具有:①刚度大、整体性好;②与地基密贴性好,能得到周围地基的摩擦力支持;③对地基的适用范围广;④施工采用稳定液护壁开挖,现场浇筑混凝土,工效高,成本低等特点,因此地下连续墙基础近 20 年来在日本得到迅速的发展。据日本东北新干线饭坂街高架桥水平荷载试验结果,在 7 号、8 号墩基础的规模和其他各项条件均相差无几的情况下,采用地下连续墙基础的 8 号墩在水平荷载 12 000kN 的作用下,其最大水平位移为 3.6mm,残余位移为 0.3mm;而在采用气压沉箱基础的 7 号墩,在同一荷载时,其最大水平位移为 17.9mm,残余位移为 9.6mm。可见,二者水平承载能力存在较大的差异。

目前,闭合型地下连续墙用作承受竖向荷载和水平荷载的桥梁基础,在我国国内公路工程领域尚无工程实例报道;条形桩(单一槽段地下连续墙)在北京、上海等地有几个工程应用实例,其受力与桩基础基本相同。地下连续墙基础应用在我国公路行业主要体现在横向支护的特大型悬索桥的锚碇基坑开挖施工中,用作临时或永久的支护结构。借鉴日本桥梁地下连续墙基础的设计、施工经验,利用黄土特有的工程地质条件,作者提出适宜在黄土地基“干法”施工的闭合型地下连续墙基础,以满足适宜的水文地质条件、黄土物理力学性质参数。相对于桩基础而言,其基础埋置深度可以较大程度地减小。

1.2 地下连续墙的发展历史及其工程应用现状

1.2.1 发展历史

(1) 国外

地下连续墙技术起源于欧洲,是近几十年内发展起来的一种基础工程新技术,20 世纪 20 年代初见于德国,50~60 年代先后在意大利、法国、日本等国得到了迅速发展,50 年代末期传入我国。在各国均是首先应用在水利水电基础工程中,目前逐渐推广到建筑、市政、交通、矿山、铁道等部门。

地下连续墙的发展演变历史主要基于施工开挖技术的不断进步。1920 年德国提出的在两侧打入一种圆管,在中间再打入一个鼓型套管,并充填混凝土,借助压缩空气拔出套管并振捣混凝土,是世界上首次出现的地下连续墙专利技术;1921 年发表了泥浆开挖技术报告。1932 年美国取得了使用泥浆护壁的、用可横向移动的螺旋钻及特殊的斗式挖槽机施工的地下连续墙施工方法及其配套技术的专利权。1938 年意大利成立了著名的 ICOS 公司^[3],对地下连续墙施工技术的发展起到了巨大的推动作用。

地下连续墙技术在二战结束后经济大发展期间取得了惊人的成绩。据不完全统计,意大利在 1954~1963 年共修建完成了 250 万 m^2 的地下连续墙,同时在世界范围内得到了推广,1957 年传到加拿大,1958 年传到中国,1959 年传到日本^[3]。

近 20 年来,地下连续墙最发达的国家当属日本,已经累计建成了地下连续墙 1 500 万 m^2 以上,每年平均建成 60 万~80 万 m^2 。其他如意大利、法国、德国、加拿大、英国和墨西哥等国家,都位于地下连续墙技术发展的前列。最初的地下连续墙厚度不过 60cm,深度不过 20m。1980 年以后,墙厚超过 1.2m、深度超过 100m 的地下连续墙不断涌现出来。到了 20 世纪 90 年代,进行了超厚(3.2m)和超深(170m)的试验性施工。已经建成了像日本东京湾跨海大桥的川崎人工岛(墙厚 2.8m,直径 108m)的大型地下连续墙,以及最大深度达 140m 的地下连续墙。目前最薄的地下连续墙厚度为 20cm。

地下连续墙的应用,发展初期是仅作为施工时承受水平荷载的挡土墙或防渗墙来使用的,现在工程界已经将地下连续墙作为主体结构或至少作为主体结构的一部分来使用,使其直接承受上部结构荷载,形成集挡土、承重和防水于一身的“三合一”地下连续墙。地下连续墙作为各种建(构)筑物的基础,初期多用于高层建筑



的地下室、地下停车场以及地铁等建筑的外墙结构。

1979年,日本在东北新干线高架桥工程中采用了地下连续墙闭合式刚性基础,开创了地下连续墙技术应用到桥梁基础工程上的先河。日本把地下连续墙基础应用于长跨、深基、软土、水流湍急、施工条件十分困难的桥梁,并取得了较好的经济效益;同时在结构形式、施工方法和管理方面也得到了迅速发展,计算理论也日趋完善。

1986年,日本成立了“地下连续墙基础协会”,协会由35家拥有能够与该基础工法相适应技术的大公司构成,各大公司独立开发技术,并积累了很多技术窍门,将这些技术集中起来施工地下连续墙刚性基础。协会组织积极开展的各项活动促进了技术发展,并将各大公司的各种技术在一定程度上得以汇集,由协会出版了相关施工指南(草案)、工程概算标准(草案)、地下连续墙基础施工工法袖珍手册(施工篇、设计篇)等。

日本现有以下3个有关地下连续墙的协会组织:

1986年7月成立的“地下连续墙基础协会”,拥有会员公司35家;

1987年4月成立的“地下连续墙施工协会”,拥有会员公司25家;

1992年11月成立的“钢制地下连续墙协会”,拥有会员公司32家。

(2) 国内

我国近年来在基础工程中对地下连续墙的使用也日益广泛,且多用于沿海软土地区高层建筑的深基础、地下室外墙、防渗墙及深基础防护。1995年广东省出版了由华南理工大学主编的专门地下连续墙建筑设计规范《地下连续墙结构设计规范》(DB J/T 15-13-95),2003年交通部^①颁布了由中交第一航务工程勘察设计院主编的《港口工程地下连续墙结构设计与施工规程》(JTJ 303-2003),2005年建设部^②也开始组织编写地下连续墙的设计规范。同时,地下连续墙作为一种施工工法已经出现在不同的施工手册中。

随着地下连续墙技术不断地应用到国内的重大工程中,其在国内工程界逐渐得到了认可。实际上地下连续墙已经是一种成熟的施工技术,但在设计上仍处于初步阶段。

地下连续墙具有多种平面布置形式,作为线形布置的地下连续墙一般也称为条形桩(墙桩),作为城市高架桥的基础已经有多处报道,其设计计算等基本上是参照桩基础进行的。而单室闭合型地下连续墙(井筒式)无论是矩形还是圆形,用作公路桥梁的基础目前在国内没有报道。

① 交通部现为交通运输部。

② 建设部现为住房和城乡建设部。



1.2.2 工程应用现状

(1) 日本主要工程现状

[案例一]

日本明石海峡大桥位于本四联络线上,桥梁全长 3 910m(960m+1 990m+960m),为三跨钢桁架悬索桥,是目前世界跨度最大的悬索桥。

明石海峡大桥神户侧锚碇基础采用地下连续墙围护施工,墙脚高程为-73m。墙呈圆环形,外直径 85m,墙厚 2.2m。在地下连续墙完成后,在墙内用深井降水,进行开挖;并用逆作法施工 2m 厚衬砌,以抵抗水土压力。开挖进行到-61m处,浇筑 4.0m 厚的垫层混凝土和 2.5m 厚底板,再用碾压混凝土填充基坑形成实体。

[案例二]

日本青森大桥横跨青森车站,沟通东西港区,是青森车站和青函港的联络通道,桥梁全长 498m(129m+240m+129m),为双塔预应力钢筋混凝土斜拉桥。主墩采用地下连续墙基础,平面采用 30m×20.5m 六室格仓,墙深 37m,上盖 5m 承台顶板,是经过沉箱、钢管板桩并筒基础以及大直径桩基础的多方案比较而最终选定地下连续墙基础。

[案例三]

日本室兰港白鸟大桥为桥长 1 380m 的三跨吊悬索桥,主孔跨径 720m,3 号主墩基础地面高程-73m、海底高程-14m,4 号主墩基础地面高程-57m、海底高程-17m,且均采用地下连续墙基础,用地下连续墙构筑直径 37m 的井筒,墙厚 1.5m,3 号墩墙底高程-103m,4 号墩墙底高程-67m。

(2) 我国的工程现状

在我国桥梁设计上,地下连续墙技术,主要是应用在大跨径悬索桥的锚碇基坑支护结构。

[案例一]

广东虎门大桥位于广东省东莞市虎门镇威远炮台和番禺市南沙区南北台之间,为广深珠高速公路连接深圳和珠海近东西向横跨珠江伶仃洋的特大型桥梁。该桥主桥长 4 580m,宽 31.50m,桥面设双向六车道,其中主航道为单跨 888m、通航净高 60m 的钢箱悬索桥。在虎门大桥西锚碇基础设计中采用地下连续墙支护结构,直径 61m,墙厚 80cm,平均深度 14m,嵌入风化岩 1.95~3.50m,如图 1-1 所示。

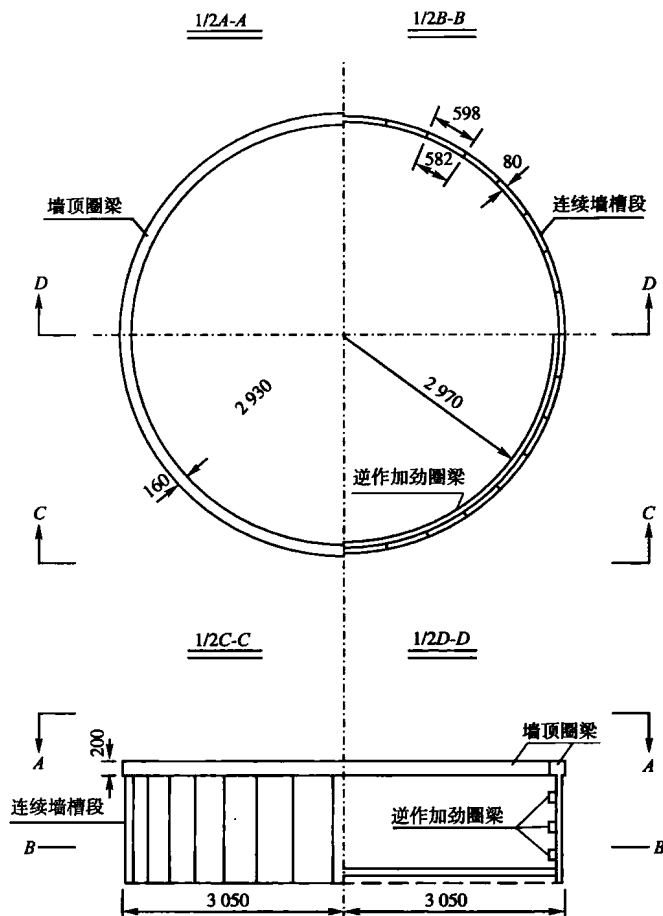


图 1-1 广东虎门大桥西锚碇基础(尺寸单位:cm)

[案例二]

江苏润扬长江公路大桥北起扬州,横跨江心世业洲,南达镇江,全长 35.66km。其中南汊主桥为 1490m 跨的单孔双铰钢箱梁悬索桥,主缆承受 680MN 的拉力作用。桥跨布置为 470m+1490m+470m,桥面宽 32.5m。

北锚碇采用的是 69m×50m 的矩形基础,其基坑支护结构采用地下连续墙,最大深度 56m,平均深度 53.2m,墙厚 1.2m,如图 1-2 所示。

[案例三]

武汉阳逻长江大桥是京珠、沪蓉国道主干线武汉绕城公路东北段的跨江工程,是国家“十五”重点建设项目。主桥采用布跨为 250m+1280m+440m 悬索桥。南锚碇采用重力式深埋圆形扩大基础、空腹框架式锚体,基坑工程采用外径 73m、壁厚 1.5m、深 61.5m、最大挖深 45m 的圆形地下连续墙加内衬的支护结构形式,如

图 1-3 所示。地下连续墙嵌入弱风化砾岩 1~2.5m,至高程-33~-40m,地下连续墙总深度 54.5~61.5m,采用 C35 水下混凝土。地下连续墙施工完成后,采用逆作法,分层开挖土体,分层施工内衬。各层施工工期由内衬浇注控制,内衬及土体分层厚度为 3m。

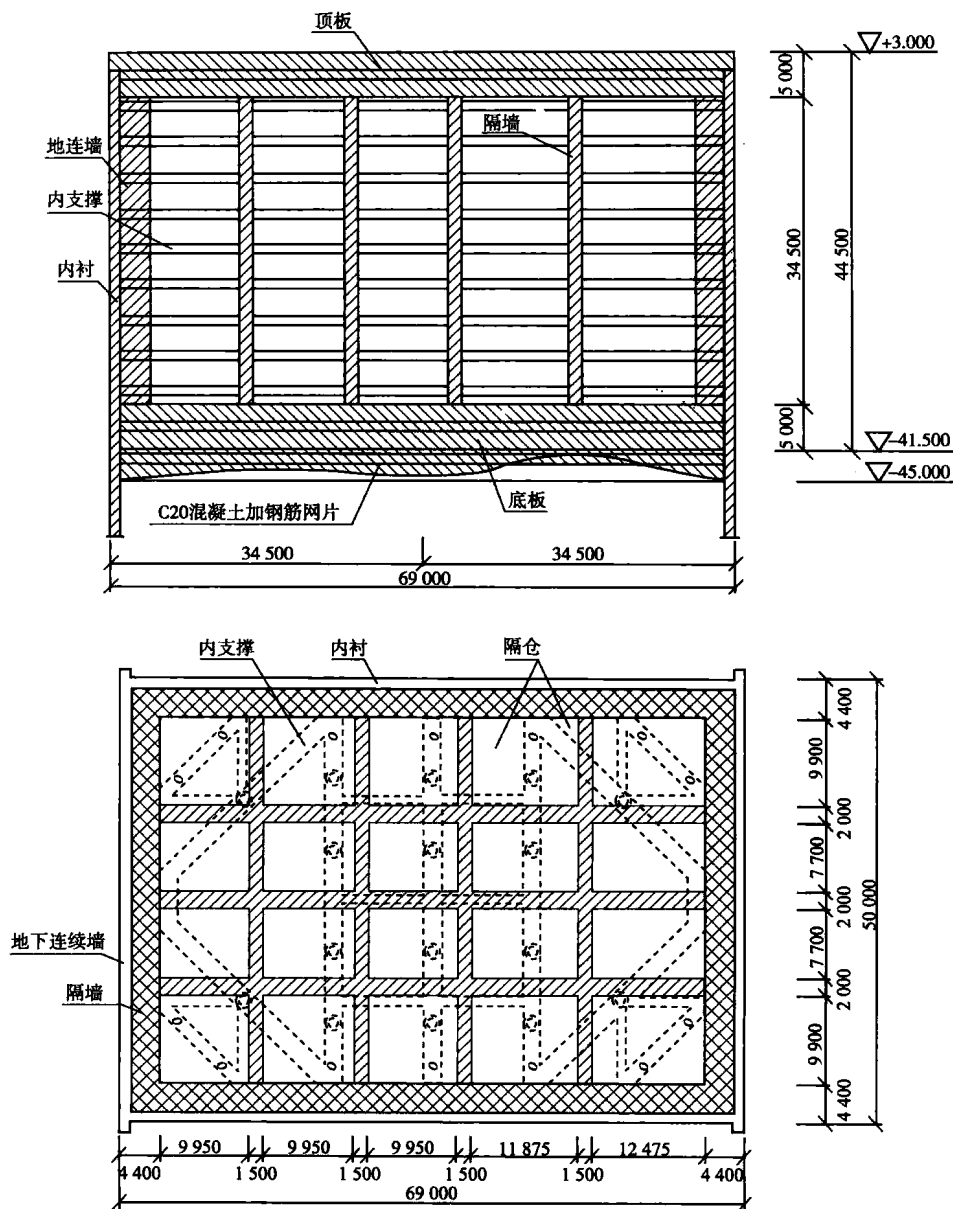


图 1-2 江苏润扬大桥北锚碇基础(尺寸单位:mm;高程单位:m)

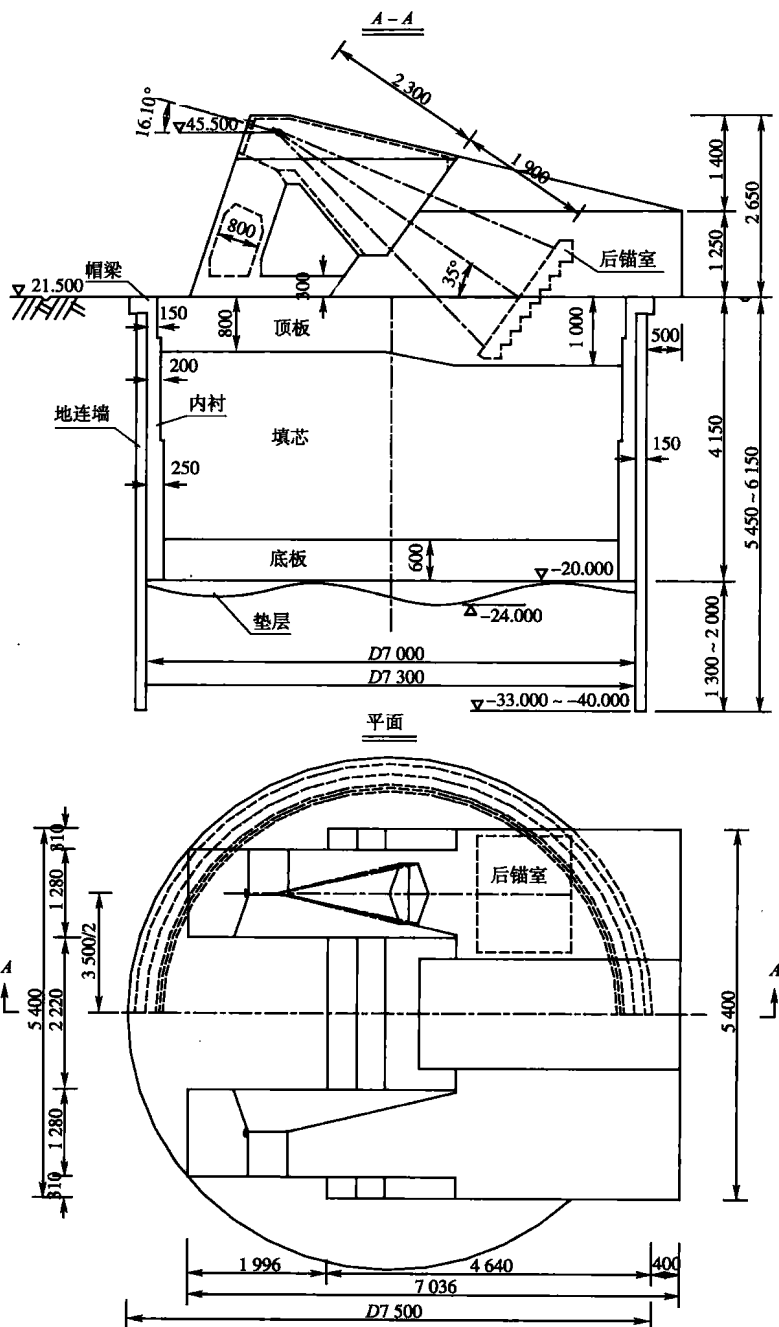


图 1-3 武汉阳逻长江大桥南锚碇基础(尺寸单位:cm;高程单位:m)



[案例四]

广州珠江黄埔大桥为主跨 1 108m 悬索桥,两个锚碇基础均采用圆形地下连续墙基础。其结构形式与武汉阳逻长江大桥南锚碇基础基本相同,仅规模略小。

此外,在我国多座悬索桥锚碇基础方案的设计过程中,多次进行了地下连续墙方案的设计。目前,南京长江四桥南、北锚碇均进行了地下连续墙基础方案比较,并拟对井筒式地下连续墙基础方案进行同等深度的技术经济比较。可见,地下连续墙有其很大的发展潜力。

1.3 地下连续墙承载机理与设计理论国内外研究现状分析

随着现代化的高大构筑物的不断涌现,基础工程的重要性日益引起人们的高度重视。地下连续墙作为一种新型的基础形式在日本得到了飞速的发展,从设计理论、成孔机械到施工技术等均达到了世界先进行列,也是日本首先提出了地下连续墙基础这个概念,并且付诸实践。如前所述,1979 年的日本东北新干线高架桥工程采用了闭合型地下连续墙刚性基础,代替了惯用的沉井基础,开创了地下连续墙基础工程的先河。在此后的 20 年,随着大型多轴水平铣槽机的研制成功,到 1993 年 7 月,日本已在 220 项工程中使用地下连续墙基础^[3],日本的地下连续墙技术在世界上已经遥遥领先。

1.3.1 地下连续墙分类

地下连续墙的发展历史已近 50 年,但将其严格分类是十分困难的事,一般可大致分为以下几种。

(1)按照成墙方式可分为:①排桩式;②槽板式;③组合式。

(2)按墙的用途可分为:①防渗墙;②临时挡土墙;③永久挡墙;④作为基础用的地下连续墙。

(3)按墙体材料可分为:①钢筋混凝土墙;②素性混凝土墙;③固化灰浆墙;④自硬泥浆墙;⑤预制墙;⑥泥浆槽墙;⑦后张预应力地下连续墙;⑧钢制地下连续墙。

(4)按开挖情况可分为:①地下连续墙(开挖);②地下防渗墙(不开挖)。

(5)作为基础的地下连续墙按结构形式可分为:①条壁式地下连续墙;②闭合型地下连续墙(可分为单室地下连续墙即井筒式地下连续墙,多室格栅式地下连续墙)。

基础的作用是把上部结构的荷载安全地传递到地基中去,因此作者认为不仅可以用地下连续墙代替桩基础,而且可以用来代替沉井^[3],做成刚性基础。



本项目研究的是闭合型地下连续墙的单室形式,即井筒式地下连续墙刚性基础。该类基础适宜作为公路桥梁的基础形式,且结构形式相对简单。多室地下连续墙是单室形式的有机叠加,整体刚度更强。

1.3.2 承载机理与设计理论国外现状分析

在日本,井筒式地下连续墙基础的设计理论主要有以下几种^[3]。

(1)日本旧国铁提出的方法,把基础看成是一个刚体,周边地基用 8 种不同弹簧代换,按照静力学方法计算。

(2)采用《道路桥梁设计指示书》中沉井计算方法,把基础看成是一个弹性体,基础周边地基用 4 种弹簧加以代换,由此计算出内力和变位。

(3)采用桩基础的计算方法,把基础看作是弹性体,考虑基础正面的被动土压力和侧面的摩阻力,进行内力和变位计算。

日本道路协会于 1992 年 7 月出版了《地下连续墙基础设计施工指针》,1996 年又进行了修订,并确定了地下连续墙基础的标准设计方法。

1.3.3 承载机理与设计理论国内现状分析

我国的地下连续墙技术最初起源于水利部门,主要用于水库大坝的防渗墙,后逐渐被城建部门运用在地铁、高层建筑的地下室等方面。在公路行业,其仅应用在大跨径悬索桥的锚碇基坑开挖支护结构中,且起步较晚。铁路系统曾于 20 世纪 90 年代初建设宝鸡—中卫铁路时,立项开展了试验研究工作,但主要试验结论与日本的试验结果相矛盾,当时仅作为一个疑问提出,并没有进一步开展研究工作。

(1)铁路系统的研究

20 世纪 90 年代初,铁道部建设司立项,铁道部第一勘测设计院主持了地下连续墙 1:2 比例尺的试验研究。根据现场的加载设备能力,采用了 2 个直径为 2.5m、深 5m 的圆形基础模型开展试验工作,其中一个模型为实体基础,另一个为顶板与壁厚均为 0.5m 的地下连续墙基础。试验结果表明,地下连续墙基础内侧土芯不能提供侧摩阻力。

该试验关于连续墙基础的承载力认为:根据试验中基础底面压应力在弹性阶段呈斜直线的工作表现,按照目前我国铁路“桥规”所假定的弹性土—刚性基础的相互作用理论,对地下连续墙基础进行基底和外侧壁土的应力计算是合理的、可行的。

日本学者认为:内侧土柱能提供足够大的承载力,而且日本的地下连续墙基础都是基于这种理论设计的。遗憾的是,这些理论还缺乏系统的试验验证^[4]。

(2)城建系统的研究

我国建设部的地下连续墙设计规范正在编制过程中,在其主要编著者的论文