

文章编号: 0451-0712(2006)05-0052-05

中图分类号: TU476.3

文献标识码: B

井筒式地下连续墙基础设计及应用

刘明虎¹, 付宇文²

(1. 中交公路规划设计院 北京市 100010; 2. 广西运航公路桥梁工程有限公司 南宁市 530001)

摘 要: 概述了井筒式地下连续墙基础的概念、构造、受力特点、设计内容和方法, 介绍了该型式基础的设计实例。

关键词: 井筒式; 地下连续墙; 基础; 设计; 展望

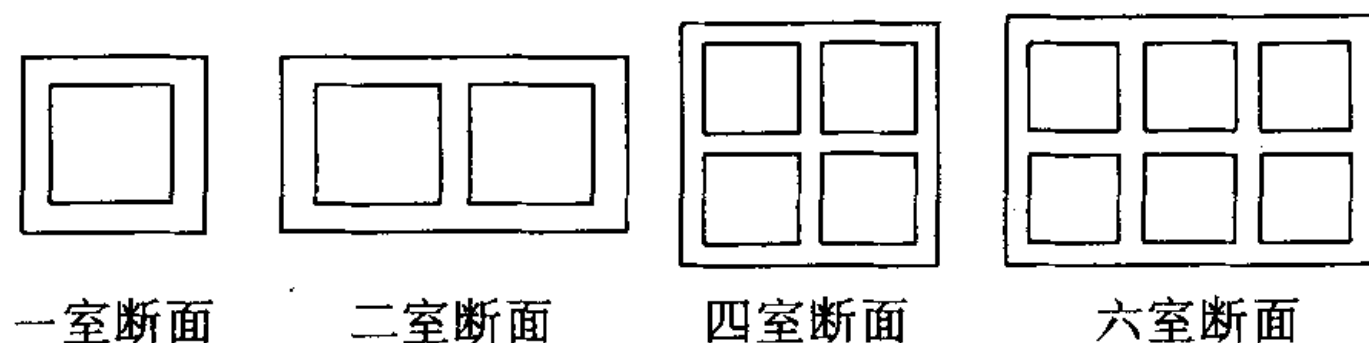
1 井筒式地下连续墙概况

随着施工技术的成熟和进步, 地下连续墙(以下简称地连墙)在大型桥梁基础中的应用日益增多, 在超深超大基础中大有取代沉井基础、桩基础的趋势。近几年在一些特大型悬索桥锚碇基础的设计方案比选及应用实践中就说明了这一点。如润扬大桥北锚碇基础就是在对沉井、冻结排桩基础、圆形和矩形地连墙基础进行综合经济技术比较后, 选用了矩形地连墙基础; 其南锚碇由于开挖深度较浅, 尝试性地采用了冻结排桩基础, 本质上也是地连墙基础; 武汉阳逻大桥南锚碇基础也是在沉井、群桩基础和地连墙基础进行全面深入的综合比较后, 最终选定圆形地连墙基础, 取得了非常满意的效果; 相继的广州外环线珠江黄埔大桥悬索桥锚碇也采用了圆形地连墙基础。

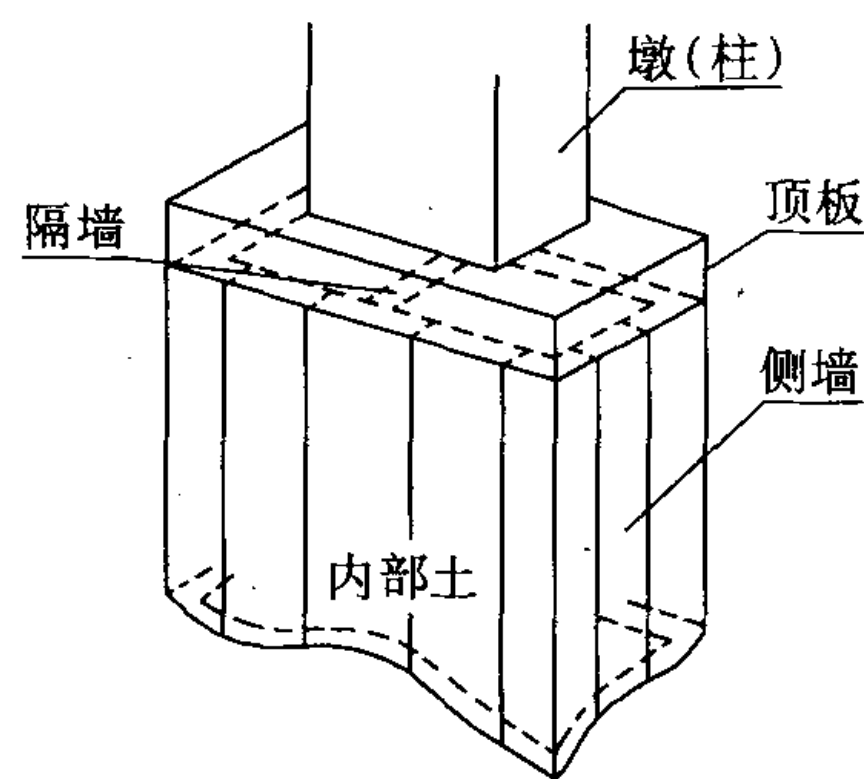
然而, 上述基础并不是完全意义上的地连墙基础, 因为在这些基础中, 地连墙的作用主要是作为基坑施工期间的支护结构。在基坑内部建筑真正的基础结构后, 尽管地连墙会参与基础共同受力, 但其作用相对于庞大的基础结构而言很小, 因此设计一般不考虑其承载作用。

井筒式地连墙基础, 就是采用地连墙工法建造墙体, 利用构造接头把墙段连接成一个平面为矩形、多边形或圆形, 且其内部可分为一个或多个空格的整体结构, 不用开挖内部土体, 直接在其顶部设置封口顶板与上部结构相连, 地连墙与顶板共同组成井筒状构造的基础结构形式, 它完全以地连墙来承受和传递上部荷载, 因此是完全意义上的地连墙基础,

其典型布置和构造见图 1 所示。相对于其他基础而言优点如下:



(1) 井筒式地连墙基础平面布置



(2) 透视图

图 1 井筒式地连墙

(1) 能与地基牢固地连接在一起, 基础的侧面摩阻力大;

(2) 由于形成了矩形或多边形的闭合的断面结构, 因而刚性很大;

(3) 几乎可以在任何地基中施工, 也可以在水中施工;

(4) 深度可以从较浅到超深、平面布置规模从较小到超大;

(5) 在地表进行机械化施工, 比沉井法安全得多, 风险小, 而且低噪音、低振动;

(6)施工中不会破坏周围地基和建筑物,可以实施贴近施工;

(7)可大大缩短工期,并可缩小基础规模,整体上经济效益显著。

井筒式地连墙基础承受竖向力时,除了考虑墙底竖向地基反力外,还需考虑基础井筒内外侧壁摩阻力及井筒内地基土的底部竖向反力;承受水平力时,除了考虑墙底水平剪切力外,还需考虑基础井筒内外地基土的正面水平抗力、侧面剪切力、井筒内地基土的底部水平剪切力等,其受力机理与有底板的刚性基础存在很大区别。

2 设计内容和方法概要

2.1 设计条件

通过土工试验,获取设计计算需采用的有关参数(容重、粘聚力、内摩擦角、变形模量、 N 值等)。根据物理力学参数,选择基础持力层。一般来说,地连墙基础宜设置在优良支承层中。按日本经验,优良的持力层标准为:砂土层、砾石层的 N 值应大于30,粘土层的 N 值应大于20或单轴压缩强度 q_u 大于400 kPa。

根据相关参数可以计算基础的正面水平地基反力系数 K_H 、侧面水平地基剪切反力系数 K_F 、底面垂直地基反力系数 K_V 、底面水平地基剪切反力系数 K_S 。相应地,计算容许地基应力、不同深度基础正面水平地基反力的屈服值、不同深度基础侧面水平方向地基剪切反力的屈服值、持力层容许垂直承载力、持力层容许抗拔力、基底容许抗剪断力等。

据日本统计分析,90%地连墙基础混凝土设计强度大于30 MPa,个别达50 MPa。应对使用流动剂的高强混凝土的配合比进行充分研究。钢筋一般采用直径35 mm以下,对于接头处钢筋,一般将容许应力降低到80%使用。

荷载按相关规范采用。

2.2 设计流程和内容

根据荷载条件和成槽设备条件,设定概略的平面形状,然后根据地质条件验算地基的各项承载力和变位、及基础构件的应力,并进行稳定验算。设计流程见图2所示。

设计内容如下。

(1)构造:平面形状及尺寸、槽段划分、接头形式、构造细节。

(2)地基承载力及稳定验算:包括基底垂直地基应力、基础垂直地基承载力、底面抗剪承载力、正面

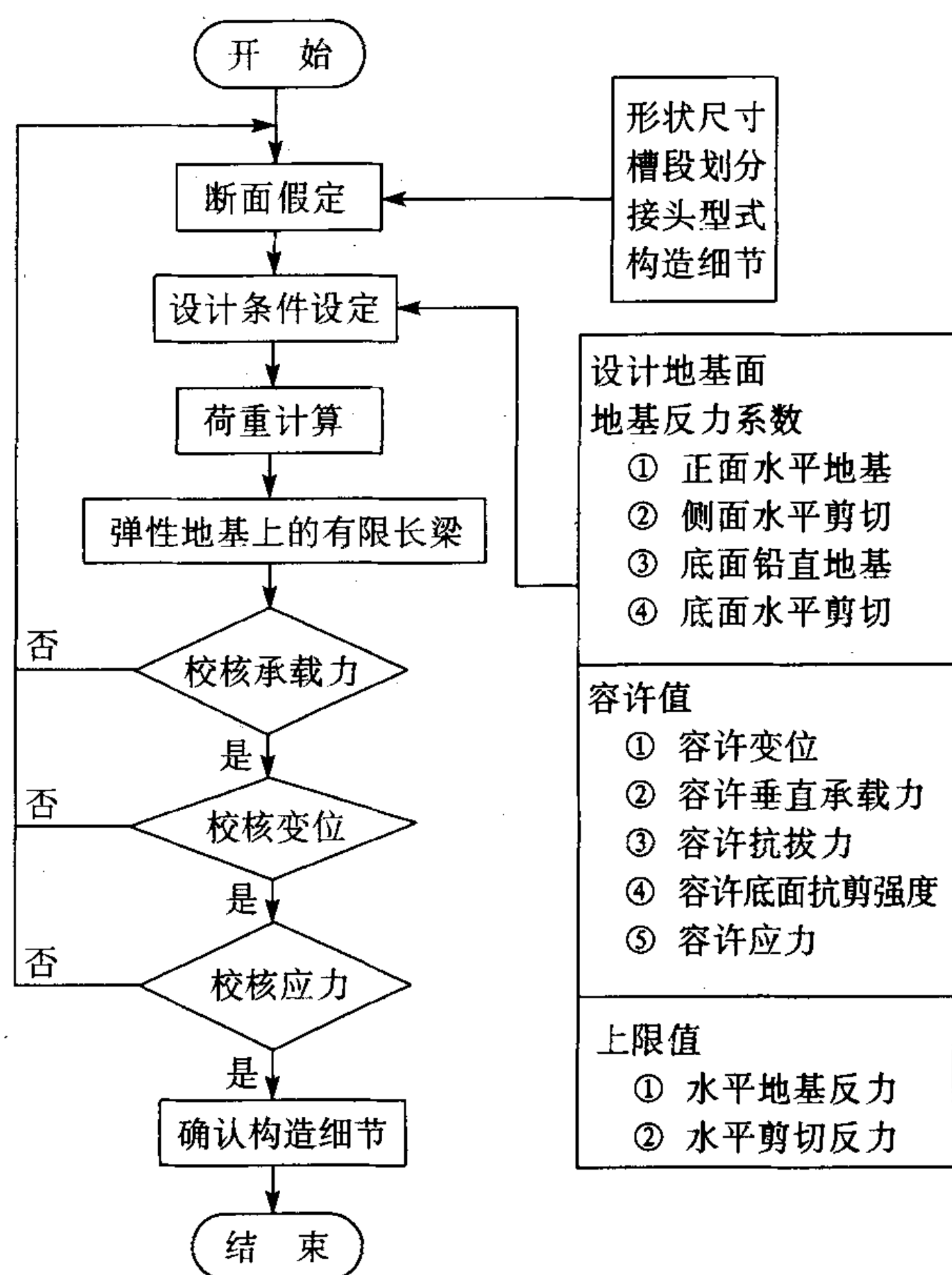


图2 井筒式地连墙基础设计流程

水平地基应力、侧面水平抗剪地基应力、基础变位。在验算基底地基应力时,简化计算时往往不考虑基础侧面摩阻力;但在验算垂直地基承载力时则应考虑。容许变位量取决于上部结构不会造成有害影响的变位量和确保基础稳定的最大允许量。

(3)基础结构强度验算:包括竖向构件和水平构件的验算。

2.3 构造设计

2.3.1 墙厚

最小墙厚一般为0.8 m;最大厚度受成槽机械的限制,目前日本达3.2 m,我国目前最大壁厚仅达1.5 m。考虑施工过程及泥浆影响,墙厚分成槽厚度、设计厚度和有效厚度。成槽厚度指挖掘机或铣槽机成槽实际尺寸,往往大于设计厚度;有效厚度是设计厚度减去泥膜厚度,据日本经验一般每侧2 cm,两侧共4 cm。在进行稳定性计算时应使用设计墙厚,在计算钢筋混凝土截面时应使用有效墙厚。

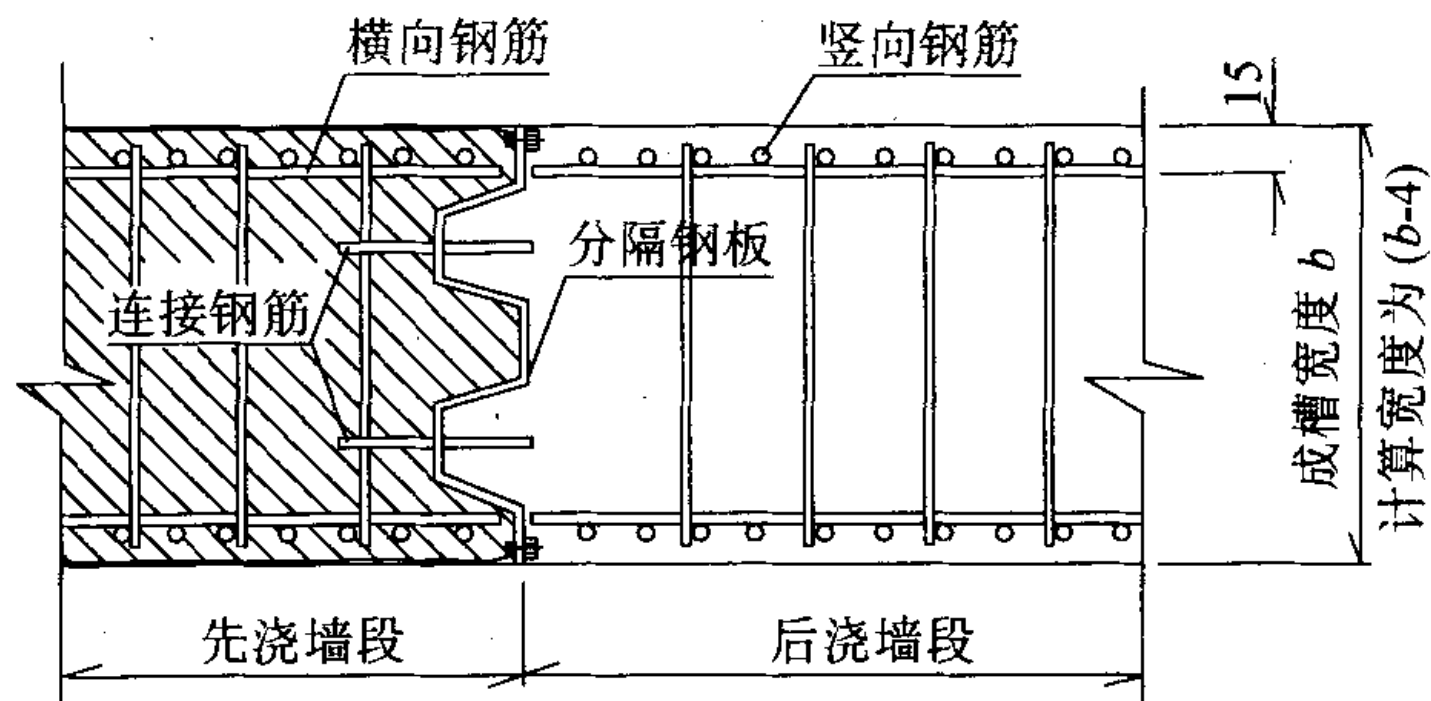
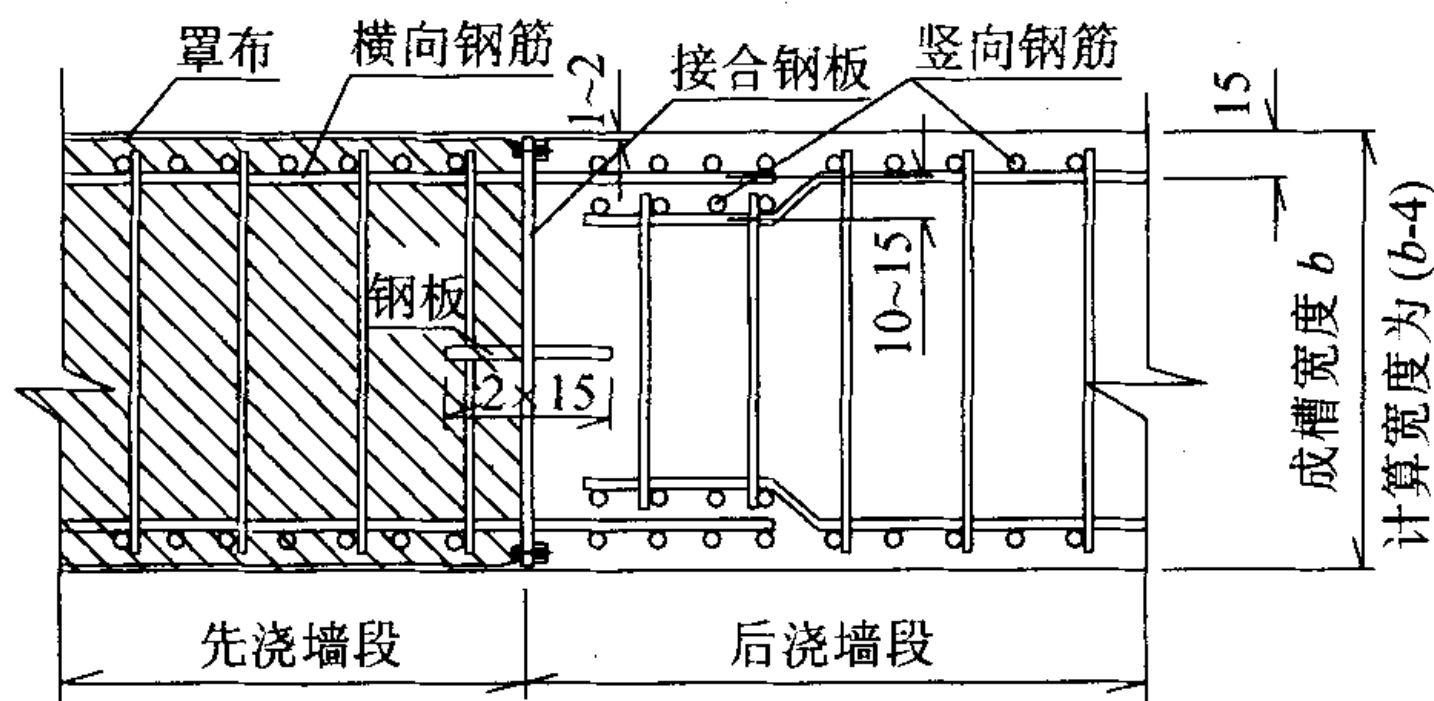
2.3.2 接头

槽段接头是地连墙施工的关键技术。接头类型很多,从使用材料上有:钢管、钢板、钢筋、型钢和铸钢;预制混凝土;人造纤维布和橡胶等。从构造型式和施工方法上可分为钻凿式、接头管、接头箱、隔板

式、软接头、预制混凝土构件等。从受力上可区分为：仅起止水防渗不能受力的接头、能承受剪力的铰结接头、能承受弯矩和剪力的刚性接头。

井筒式地连墙基础槽段之间必须采用刚性接

头。无论施工工艺如何，在构造上必须保证地连墙内外侧竖向主筋和水平筋连接起来，结合施工缝必须有良好的连接强度，而且能够承受水平横向剪力。典型刚性接头见图 3 所示。



单位: cm

图 3 地连墙刚性接头型式

2.3.3 平面布置

地连墙槽段平面布置灵活多样，可做成一室断面、二室断面、多室断面。平面布置与墙厚、接头布置、基础规模、成槽单元长度等密切相关。一般而言，单室最小宽度为 5 m 左右，有利于内部土体稳定；单室最大宽度为 10 m 左右，因为随着跨度的增大，配筋将不经济。

2.3.4 顶板

顶板相当于桩基础的承台，一般将其刚度设计得较大，加强基础的整体性，按照以地连墙为支承的梁式混凝土板设计，不考虑内部土承受其荷载。根据上部墩身或锚体是否浇筑分两种工况进行计算。当顶板厚度大大超过计算跨度的一半时，可将其作为深梁进行计算。

地连墙必须与顶板形成一个整体，否则上部荷载就不能有效地传给地连墙，因此必须将地连墙的垂直钢筋充分嵌入顶板内，嵌入长度必须超过钢筋锚固长度。

2.4 计算模式和方法

基础计算有以下 3 种方法：

(1) 视基础为刚体，周边地基模拟为 8 种弹簧支承，计算基础内力和变位，计算模式见图 4 所示；

(2) 视基础为弹性体，周边地基模拟为 4 种弹簧支承，计算基础内力和变位，计算模式见图 5 所示；

(3) 采用桩基础的计算方法，视基础为弹性体，考虑正面的被动土压力和侧面的摩阻力，计算基础内力和变位。适合于平面单室且刚度较小的情况。

以计算模式(2)为基础，建立地基反力、变位及荷载之间的方程式：

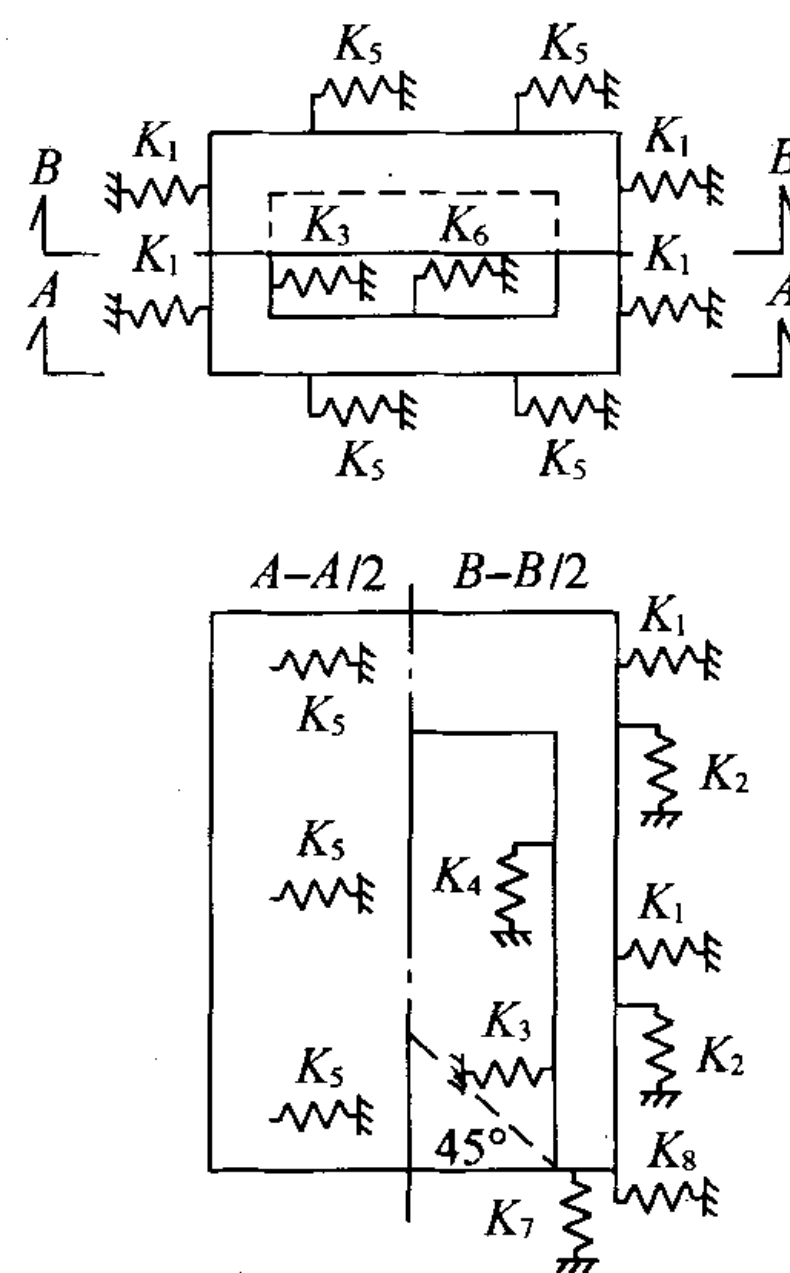


图 4 基础为刚体的计算模式

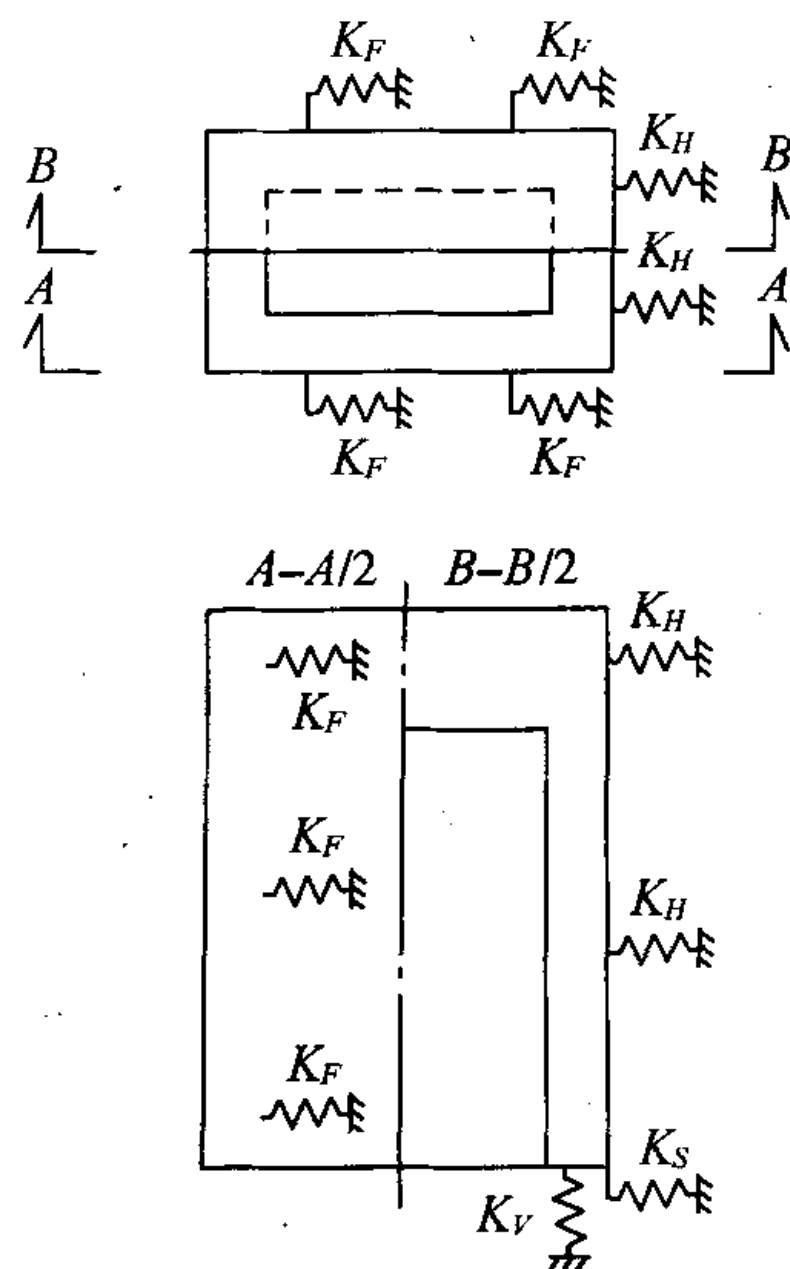


图 5 基础为弹性体的计算模式

$$EI \frac{d^4 u}{dy^4} + (K_H B + 2K_F D)u - p = 0$$

式中: EI 为基础的抗弯刚度; u 为水平变位量; y 为设计地面以下的深度; K_H 为基础的正向水平地基反力系数; K_F 为基础侧面水平地基剪切反力系数; B 为基础正面宽度; D 为基础侧面宽度; p 为水平方向分布荷载。

3 应用尝试——某桥桥台基础设计

该桥为某科研项目的依托工程。上部采用钢筋混凝土刚架拱,净跨 50 m,净矢跨为比 1/8。下部采

用重力式 U 型桥台、钢筋混凝土承台、井筒式地连墙基础。桥址区地貌单元属峨嵋台塬风积黄土地貌,地形平坦;地层为第四系上更新统风积黄土,以亚粘土为主,黄灰~黄红~红黄色,稍湿,稍密~中密状态,侧面摩阻力为 30~65 kPa,容许承载力为 120~280 kPa。在钻孔揭露的 50 m 范围内未见地下水。

3.1 结构设计

基础平面外轮廓尺寸为 8 m×8 m,墙厚 0.8 m,深 20 m(注:实施方案构造尺寸略有调整)。地连墙槽段采用刚性接头。承台(顶板)厚 2.5 m。地连墙及顶板采用 C25 混凝土。基础构造见图 6 所示。

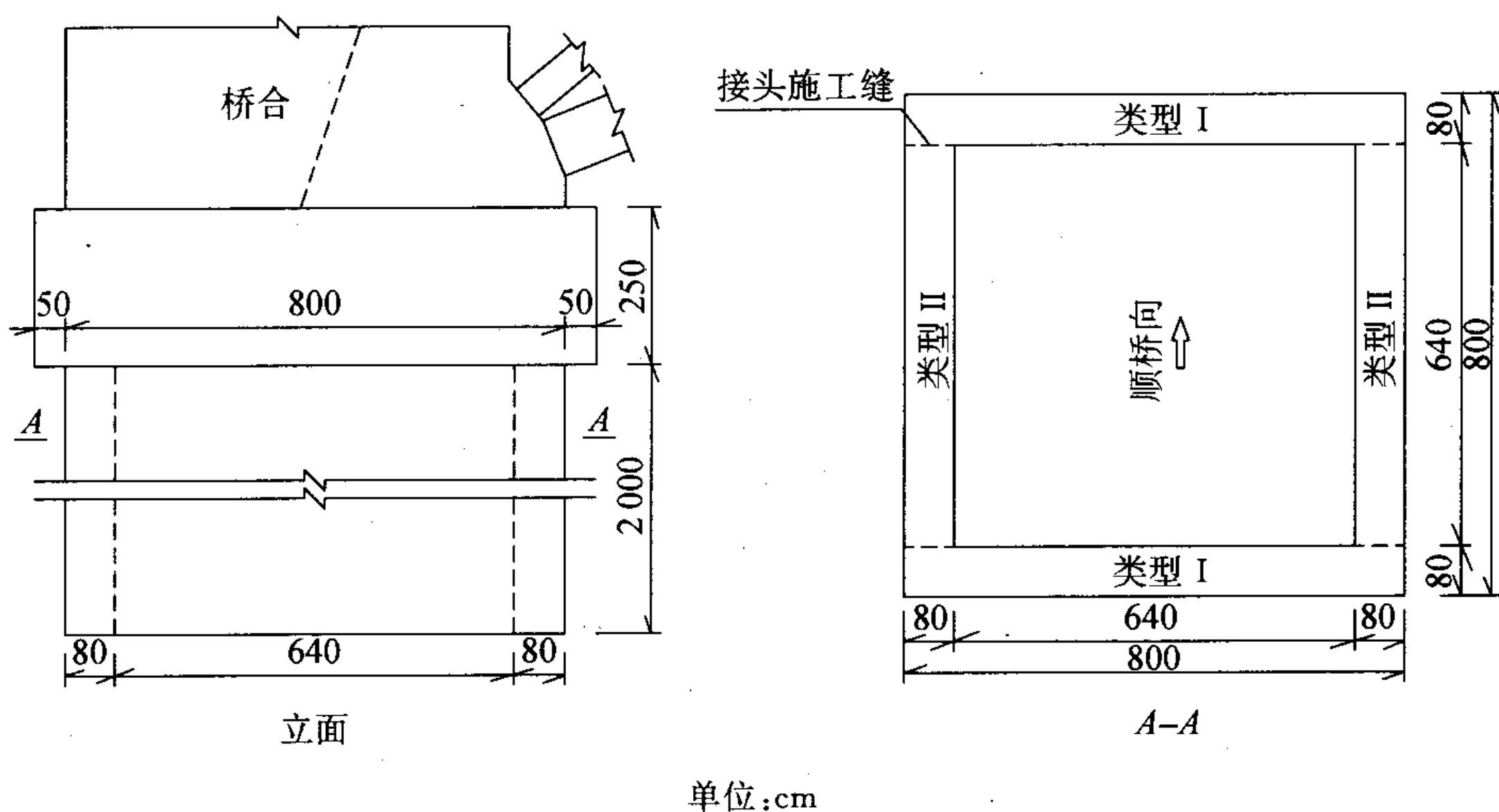


图 6 地连墙基础构造

由于上述地连墙基础计算模型考虑了地基弹塑性弹簧的作用,手工计算地基反力和基础内力及变位很困难,因此,通常使用电算程序进行计算。在此之前,采用多种近似方法进行分析。本项目为研究项目,一些参数及计算模式尚有待于试验成果进行验证或修正。

3.2 施工方案

总体施工流程为:施工准备→类型 I 地连墙成槽→类型 I 地连墙钢筋笼制作与吊安→浇筑类型 I 槽段混凝土→类型 II 地连墙成槽→接头施工缝混凝土全断面凿毛,并露出钢筋连接器端部→类型 II 地连墙钢筋笼制作与吊安→连接接头施工缝钢筋→浇筑类型 II 槽段混凝土→地连墙顶面凿毛,施工顶板。

成槽:考虑地质条件及工程规模,结合当地的成熟经验,采用人工挖掘成槽,干施工,要求槽孔垂直度不大于 1/400,槽壁平整度及孔底渣土厚度应满足规范要求。施工期间应采取必要的支挡措施,严格保证施工安全。

4 应用前景展望

井筒式地连墙在国外特别是在日本已普遍应用,在我国尚未见应用。沉井、桩基础与井筒式地连墙基础比较见表 1。

江阴大桥技术设计阶段北锚碇基础曾做过矩形地连墙方案,见图 7 所示,外轮廓尺寸为 78.5 m×61.5 m,中间分 35 个隔仓,隔仓亦为地连墙,墙厚 1.0 m,外墙总深 40 m,开挖深 21 m,墙段间采用刚性接头。为增大外墙体刚度,在外墙体内侧用逆作法制作 0.5 m 厚的内衬。该方案不是完全意义上的井筒式地连墙基础。该方案未予实施。

在上述科研项目之前,笔者曾在苏通大桥悬索桥方案锚碇设计中提出了井筒式地连墙基础形式,见图 8 所示。外轮廓尺寸为 72 m×59.6 m,深 86 m,墙厚 2.0 m,墙段间采用刚性接头。该桥悬索桥方案未予实施。

由于井筒式地连墙具有的独特优越性,可以预测,随着我国地连墙施工技术的日益成熟和进步,在不久的将来,它必将会被实桥采用并被得到推广应用。

表 1 沉井、桩基础与井筒式地连墙基础比较

项 目	沉 井	桩基础	井筒式地连墙基础
受力机理	竖向荷载以基底竖向承载力为主, 外侧面摩阻力为辅; 水平荷载靠基底摩阻力和前侧地基土抗力	竖向荷载摩擦桩以侧壁摩阻力为主, 支承桩以端部承载力为主; 水平荷载靠桩前地基土抗力	竖向荷载以墙底和内部土体底竖向承载力以及内、外侧面摩阻力为主, 能与地基牢固连接, 基础的侧面摩阻力大; 水平荷载靠基底摩阻力和前侧地基土抗力
整体刚度	相对很大	相对很小	相对很大
结构布置	平面矩形或圆形, 规模有限, 深度相对较浅	平面可灵活布置, 但形不成整体, 深度可达 130 m	平面为矩形或多边形闭合断面, 可灵活布置, 规模从较小到超大; 墙厚可达 3.2 m, 深度可达 170 m
环保	需开挖下沉, 引起地面沉陷, 危及周边建筑物	冲击钻高噪音、高振动	施工过程中不会破坏周围地基和建筑物, 可以实施贴近施工; 而且低噪音、低振动
风险性	易偏歪、搁浅、下沉困难, 引起地面沉陷, 对防洪要求高, 风险大	风险小	在地表进行机械化施工, 比沉井法安全得多, 风险小
对地基的适应性	不适宜岩层和含孤石土层	几乎可以在任何地基中施工, 也可以在水中施工	几乎可以在任何地基中施工, 也可以在水中施工
对施工的适应性	开挖下沉、纠偏、钢壳段安装等要求较高	成熟	国外技术成熟, 国内技术日趋成熟
经济性	工期长, 造价相对较高	造价相对较低	可大大缩短工期, 缩小基础规模, 整体上经济效益显著
发展趋势	常规情况采用	刚性基础不采用	在国外超深基础中大有取代沉井基础、桩基础的趋势; 随着我国地连墙施工技术的日益成熟和进步, 预期将获得广泛地应用

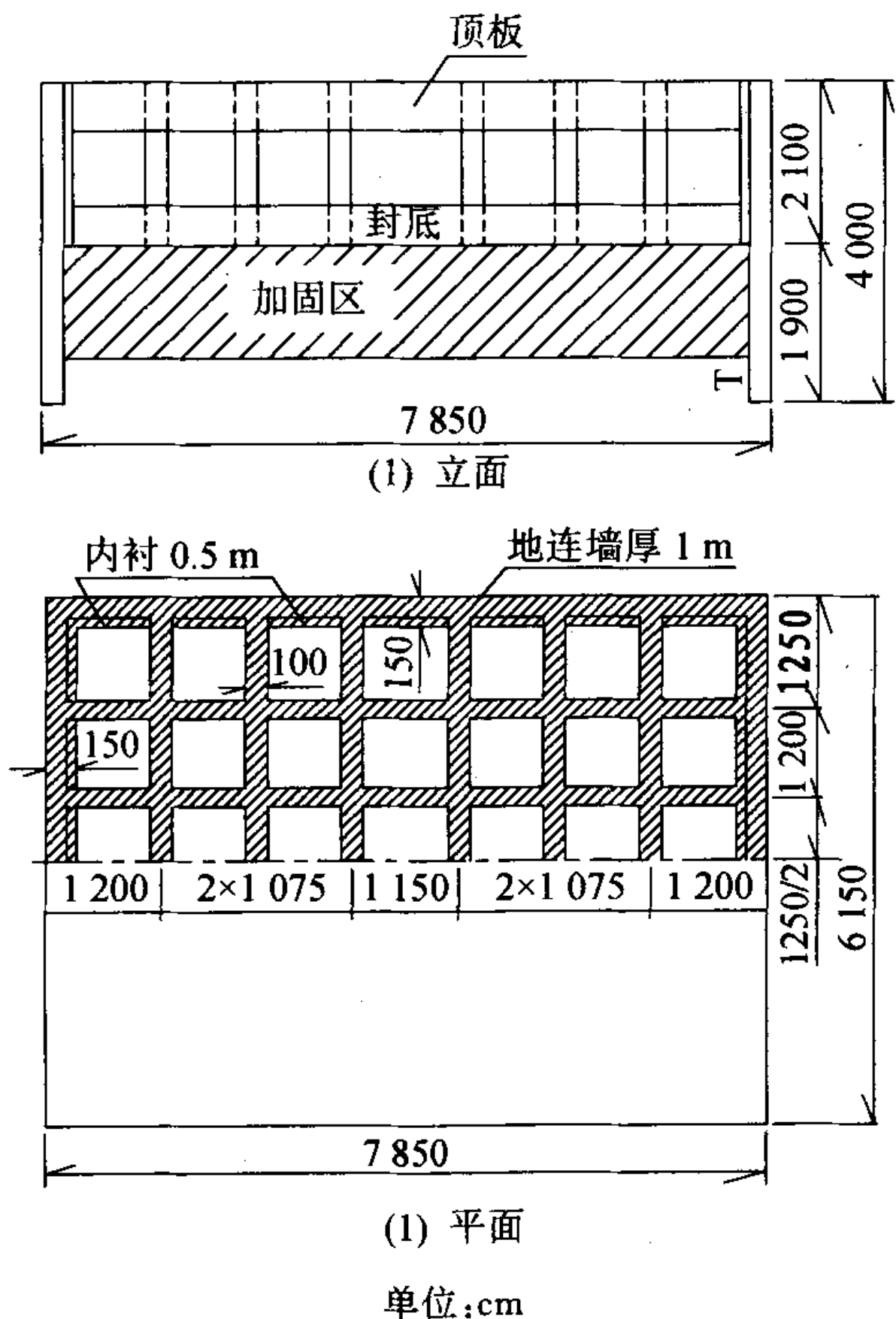


图 7 江阴大桥北锚碇基础方案

参考文献:

- [1] 丛蓓森. 地下连续墙的设计施工与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2001.
- [2] 日本综合土木研究所. 地中连续壁基础工法ハンドブック设计篇.
- [3] 中交公路规划设计院. 国道 209 河津~临猗一级公路工程 K23+385 天桥施工图设计[Z].

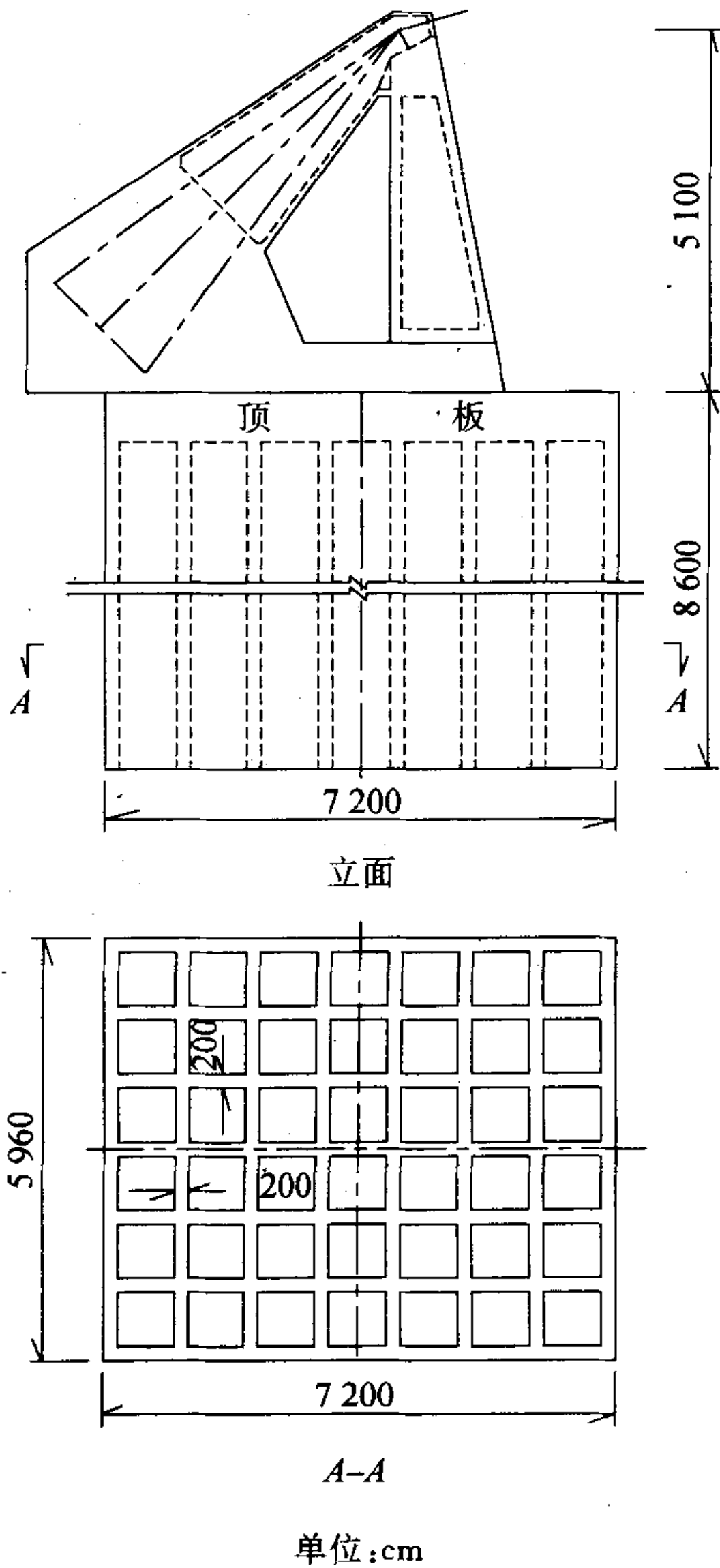


图 8 苏通大桥悬索桥锚碇井筒式地连墙基础方案