

文章编号: 1005-0523(2006)02-0027-04

# 桥梁基础理论与施工技术新发展

瞿振华, 孙建渊

(同济大学 桥梁工程系, 上海 200092)

**摘要:** 对桥梁基础理论研究及施工中出现的新技术、新理论进行了介绍. 通过工程实例对海上和在软土地基这些特殊的适用条件下的大型基础设计与施工中应用到的关键技术进行说明, 以加强桥梁设计与施工人员对桥梁基础的理论及施工技术的当前水平和发展方向的认知和了解.

**关键词:** 桥梁基础; 新理论; 新技术; 软土地基; 海上桥梁

**中图分类号:** TU311

**文献标识码:** A

## 1 引言

近年来, 我国公路桥梁建设取得了巨大成就, 大跨径桥梁的设计和施工水平已达到国际先进水平, 桥梁基础工程也在理论和施工技术上有了新的发展.

本文从桥梁工程的角度对基础的理论新发展和出现的新技术进行介绍, 着重强调了这些理论和施工技术对于基础设计的实际意义及应用范围.

由于我国桥梁事业逐步向海上与深厚软土地区这些过去较少触及的建设地点发展, 所以对这方面应用的新工艺、新技术特点是做了总结, 对今后在此类地区建设桥梁有借鉴作用.

只有解决好在实际工程中遇到的难题, 才能密切配合桥梁上部结构的发展, 推动我国桥梁建设事业. 希望本文对桥梁设计与施工人员在拓宽桥梁新理论、新技术的知识方面有所帮助.

## 2 桥梁基础理论的新发展

### 2.1 摩擦型桩沉降理论的新发展

在计算桩基础沉降的理论中, 目前采用的传递函数法及弹性理论法都有其缺陷. 文[1]中对上述理论作了改进, 主要特点有: 考虑了桩—土滑移的影响, 引入了在桩侧的非线性弹簧模拟侧阻和端阻的桩—土相对滑移量的关系; 利用“线性变形层模型”计算层地基中桩侧及桩端阻力引起空间某点处的土位移; 将桩离散成多个杆单元, 采用虚功原理求出杆单元上与桩的侧摩阻力等效的节点荷载.

这种方法的优点在于: 可以求解非均质土中分段长度不等的桩; 适用于复杂介质中的单桩承载力的分析计算, 而且提高了计算结果的精度; 可以根据静载试验得到的荷载—沉降曲线, 反推桩侧土和桩端土的力学参数值, 为桩基础设计计算提供非常有价值的理论依据.

在目前使用的各种不同类型的桩基础中, 钢管桩主要是靠摩擦力承受上部荷载, 而钻孔灌注桩在深径比很大的情况下, 也可看成摩擦型桩, 由此可见对于摩擦型桩的作用机理和设计理论进行深入的研究有很大的现实意义.

### 2.2 刚性承台的群桩设计理论

文[3]中将杆系结构有限元法与荷载传递迭代法相结合, 形成桩基沉降分析计算的混合法. 其特

收稿日期: 2006-01-14

作者简介: 瞿振华(1981-), 男, 上海人, 硕士, 主要研究方向为桥梁基础方面的设计施工技术.

点是:采用一维杆单元模拟单桩的结构特性;节点处的边界条件根据荷载传递迭代法的基本原理引入土弹簧来模拟,形成单桩计算简化模型;根据弹性理论 Mindlin 方程解答,计算群桩间相互作用的竖向位移影响系数.

采用刚性承台的假设条件分析群桩的沉降,适合桥梁工程中承台的刚度较大的特点.利用此模型进行群桩分析,得出桩身模量与桩周介质的剪切模量之比对群桩基础沉降有影响.而且其比值在相对较低时,增加对群桩沉降减小十分有效;当比值较高时,这一作用相对明显降低.因此,只有当桩周土层的剪切模量较高时,提高桩身刚度,才能更有效地达到提高群桩基础承载力,改善其变形稳定性之目的.

### 2.3 解析法计算矩形地下连续墙

目前,虽然有各种有限元工具,但是工程实践中仍需要一种基于理论的,能够比较直观的反映设计参数对地下连续墙设计性能的影响的方法,以便于指导设计与工程实践.

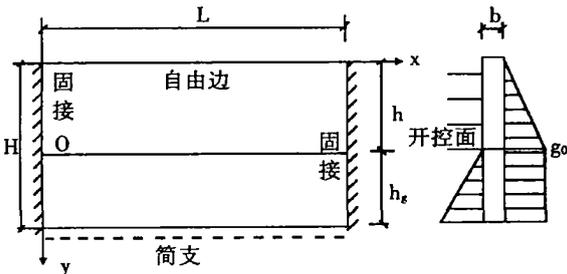


图1 解析法计算地下连续墙计算图示

文献[4]提出的解析法计算地下连续墙理论是建立在弹性力学基础上的,其假设条件为:地下连续墙墙底变形很小,近似认为只发生转动,故可简化其边界条件为墙侧边为两端固支,墙底简支,墙顶面自由;由于墙厚与墙体跨度、高度相比小得多,可视地下连续墙为弹性平面薄板;主动土压力按朗肯土压力理论计算,被动土压力按线弹性“m”法计算;内支撑视为弹性杆件.

先从弹性力学能量法角度建立基本方程,带入边界条件,采用半逆解法,最后可得到墙面上任一点的变形,计算简图如图1所示,经推导得出的公式如下:

$$w(x, y) = \frac{a_1 e_0}{2(a_2 D + a_3 m + a_4)} \frac{H-h}{H} \times (1 - \cos \frac{2\pi x}{L} (\sin \frac{\pi y}{H} + \sin \frac{\pi x}{L})) \quad (1)$$

其中,  $e_0$  为主动土压力,  $H$  为连续墙高度,  $h$  为

基坑深度,  $D$  为地下连续墙抗弯刚度,  $a_1 \sim a_4$  为与  $H$  和  $h$  有关的函数.

## 3 桥梁基础施工技术新发展

### 3.1 双壁钢围堰无封底砼施工技术

双壁钢围堰的无封底砼施工工艺适合于河床基岩裸露的情况下.在双壁钢围堰的施工中,封底的作用是使施工平台增加接触面积,降低围堰和地基的接触应力,增加围堰的下部重量,降低重心,保证在急流中的稳定性,并创造一个干燥的施工环境.当不存在这方面的因素时,可以考虑省略这些步骤.

其施工工艺仍然是利用双壁钢围堰搭设一个水上施工平台,但是在围堰内没有浇注封底混凝土.它在两层围堰之间的隔仓内浇注混凝土,以达到封水的目的,然后抽水以创造一个无水的施工环境.

其技术特点是:注意在平台搭设时,需要做好钢围堰的精确定位下放工作;做好水下地形的测量,以便能够加工的钢围堰的底面和地形紧密贴合.

### 3.2 基坑围护中的排桩冻结法

冻结排桩法施工方案基本思路是以人工制冷冻结含水地层,形成冻结帷幕墙体作为基坑的封水结构,以排桩及内支撑系统抵抗水土压力.

冻结法的技术特点有:适应性强,该技术可用于地下水流速小于  $40 \text{ m/d}$  的任何含水地层;施工结束后,  $50 \text{ m}$  内的冻结管可以回收,比较环保;地下水的流速不能过快;对供电要求较高,不仅用电负荷大,而且要保证能够持续供电.

此外,在对土层后进行冻结施工后,会由于冻胀力对基坑产生挤压,应该在冻结帷幕外侧设置泄压孔,孔内填泥浆,使冻胀力对基坑的压力减轻.

应用冻结法的关键之一在于冻土墙厚度设计.冻土墙厚度是评定应用冻结法经济合理性的基本参数,是冻结设计的关键,若设计合理可减少工程造价,缩短工期,否则将导致冻土体积大幅度加大从而造成成本增加,或者造成危险事故.

### 3.3 沉井施工中的活节混凝土褥垫技术

当沉井基础在水中下沉工作时,若在墩位周围加打定位桩及挡水墙,可以方便定位和改善下沉时的水文条件,但是会对河床造成冲刷.采用活节混凝土褥垫进行河床防护,可以很好地起到稳定

河床和防止冲刷的作用。

在沉井下放的施工过程中,首先由挡水墙和导管桩形成一个防护体系,以阻止水流对沉井下放过程中的冲击,然后进行活节混凝土褥垫下放,以稳定河床,防止河床发生过大的局部冲刷。

过去利用柴排进行河床防护,但是此工作所需时间长,而采用混凝土褥垫可以避免这一缺陷,其铺设需要特殊的装备—混凝土褥垫铺设船,它主要是由两艘船并排排列,中间由一个钢横梁连接,横梁下面悬挂已经连接好的混凝土褥垫节段,褥垫节段由钢丝连接,可以如卷帘一样下放到河床。

在美国新格林维尔桥工程中,每块混凝土活节节段长 7.6 m,宽 1.2 m,厚 10.2 cm,在每个墩位处铺设褥垫的河床面积超过 16 000 m<sup>2</sup>。

### 3.4 旋挖钻机施工钻孔灌注桩技术

近年来,旋挖钻机被越来越多地应用于钻孔灌注桩施工,其优点在于:

适应地层能力强,施工中可根据地层地质构造的不同选用适宜的钻头,钻机钻杆直径大,刚性好,导向性可靠,同时配有微机电脑控制系统,保证了钻杆的垂直度和钻孔深度符合要求,深度可达 80 m,直径 2.5 m 以上。

污染小,占地少,旋挖钻机施工时噪音小、低震动、泥浆用量少,约为正反循环钻进施工工艺的 1/20~1/10,一般只有在遇到松散砂层或水下成孔时才需要配制泥浆,以提高水头压力稳定井壁。

孔壁泥皮薄,有利于增加侧摩阻力,保证桩基设计承载力,孔底沉渣少,易于清孔,沉桩质量好。

在旋挖钻机施工中,钻进速度快,需要在泥浆中掺入膨润土等外掺剂,其钻进速度可根据地质情况进行调整,在粘土层内钻机的进尺可快些;在砂土层中,钻机的进尺要减慢,以防坍孔,旋挖钻机结构紧凑、操作灵活方便,自动化程度高,采用伸缩式钻杆,节省了人力和加接钻杆的时间,施工只需要一人操作,劳动强度低。

### 3.5 大型预制基础的应用

大型预制基础可以是沉箱,或者被称为设置基础,是建造长距离、大跨度海上桥梁常用的基础形式,其主要施工工序为:①基础预制;②海底挖掘;③浮运送到预定桥位后再精确下沉到设计位置。

其主要目的是在施工条件恶劣的桥址处尽可能地减少水上施工工作量和作业时间,提高工程质量并缩短工期,当深水的覆盖层内无法选择适当的地基时,可先在深水中打入桩基,然后再在桩基上

进行设置基础的施工,而桩基与设置基础之间是不连接的,设置基础仅仅是“放”上去,桩基础起只是到了地基加固的作用,其设计的主要原则是:

在各种不同的外力组合条件下,基底的合力在基底的截面核心范围之内,并满足地基承载能力及水平剪力的要求。

工程完成后地基的总下沉量及可能产生的不均匀下沉量在预计的允许范围之内。

## 4 工程实例

### 4.1 冻结排桩围护在软土地基上的应用

润扬大桥南锚锭深基坑采用冻结圈设计,基坑位于江苏省镇江市世业洲尾部下新滩,周围为居民区和耕地,该基坑初步设计直径 65 m,深 48.4 m。

沿基坑四周布置 140 根 150 cm@170 cm(172.5 cm)钻孔灌注桩,桩长 35 m,嵌岩 6 m,基坑内设 7 道钢筋混凝土水平支撑,并由 29 根钢格构柱作为水平支撑的支承压柱(见图 2)。

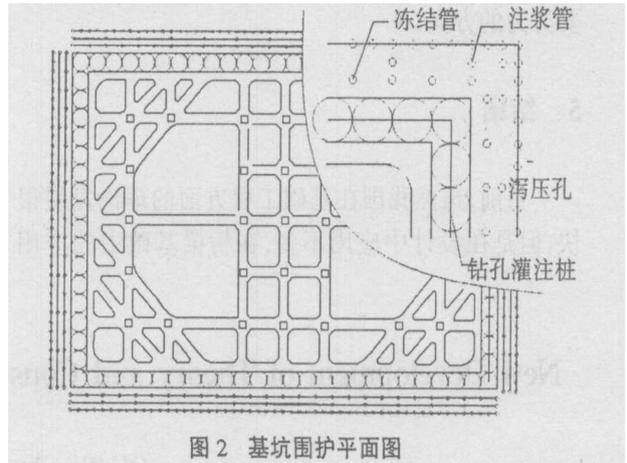


图 2 基坑围护平面图

冻结帷幕布置在排桩外侧,采用单排冻结孔冻结封水,与排桩插花布置,间距 1.70 m(1.725 m),距排桩中心线 1.4 m,冻结孔数量为 144 个,孔深 40 m,冻结帷幕入岩 1 m。

为了保护冻结帷幕不会因地下水绕流冲刷融化,同时增加封水深度减少基底的涌水量和扬压力(扬压力—建筑物及其地基内的渗水,对某一水平计算截面的浮托力与渗透压力之和)沿基坑 1 周共设置 74 个注浆孔,冻结前,对 37~45 m 深的基岩裂隙进行地面预注浆封堵。

含水地层经冻结后产生冻胀,当冻胀受到约束时会产生冻胀力,为了降低冻胀力对排桩结构不利影响,在冻结帷幕外侧覆盖层土体内设置 288 个 φ(25 cm 卸压孔,孔内注满优质泥浆,防止孔壁坍塌。

## 4.2 大型预制基础在跨海大桥中的应用

日本明石海峡大桥主塔的钢制圆形基础是在工厂内分段制造,沿高度方向分6~7层,平面上分16段,然后在船坞中拼成整体.两个基础直径分别为80 m和78 m,高70 m和67 m.其基础底面的挖掘精度很高,能够控制在50 cm以内.如有突出的不平岩面则在水中以定高程的方式爆破后再挖掘.挖掘到设置基础可以支承的地基,未全部清基到未风化的岩面,使节省了不少挖掘工作量.

当基础浮运到位后,在全球卫星定位系统(GPS)的配合下,用锚碇系统进行精确定位下沉,其平面位置精度达到5 cm以内.基础就位后即可在基础底部进行灌浆,在隔仓内灌注水下混凝土,保证基础稳定地固着于深水下的地基上.然后进行基础外的回填防护及基础内空间的填充灌筑工作.

丹麦建造的big belt桥和厄勒海峡大桥等许多知名的跨海大桥都采用设置基础.采用这种基础形式可以明显减少海上作业的工作量,符合今后的发展方向,但是需要专业的设备,这是我国目前还需要努力的方向.

## 5 结语

目前,虽然我国在基础工程方面的理论发展很快,但是在设计中应用不多,在桥梁基础中的应用

就更少.要改变这一情况,一方面要使理论研究的结果贴近工程实践;另一方面要在桥梁基础设计规范的修订中引用新的理论,这样才能从根本上推广新理论的应用,提高基础的设计水平.

在桥梁基础的施工方面,由于新机械设备、新的施工工艺的不断出现,大大的推进了桥梁建设的发展,但是新技术的运用往往缺乏理论上的研究和系统的总结,对新技术的推广造成了困难.

我国目前许多工程开始在深厚软土地区和海上建造大型桥梁,针对这种新的趋势,需要对可能涉及的有关新技术进行全面的、系统的理论研究.

## 参考文献:

- [1] 李素华,等.摩擦型单桩承载性能设计理论研究[J].岩石力学与工程学报,2004,(15).
- [2] 吴广志.桩基础设计与应用[J].工程设计与应用研究,2004,(3).
- [3] 朱宜生,等.桥梁工程中LDBPs的群桩工作特性[J].南京师范大学学报,2002,(4).
- [4] 徐伟,等.地下连续墙泥浆护壁稳定分析理论探讨[J].建筑施工,2003,(5).
- [5] Poulos H D et al. Pile Foundation Analysis and Design. New York, John Wiley, 1980
- [6] Meyerhof G G. Scale effect of ultimate pile capacity [J]. Geotech Engng, 1983, 109(9): 797-806

# New Development of Theory and Construction Technology in Bridge Foundation

QU Zhen-hua, SUN Jian-yuan

(Department of Bridge engineering, Tongji University, Shanghai 200092)

**Abstract:** This paper introduce the new theory and construction technology recently appeared in bridge foundation, and describe the key technology used in the special use condition such as on the sea and weak soil conditions in order to emphasize the technician and designer the knowledge and understand of the new theory and construction technology's developing direction and current level.

**Key words:** bridge foundation; new theory; new construction technology; soft soil foundation; sea bridge