

宁波岩土工程技术新进展(二)

沈昌鲁

(宁波大学地基处理中心 宁波市 315211)

孔清华 桂淞莉

(宁波市地基基础研究所 宁波市 315211)

(续上期)

2 桩基工程

2.1 沉管灌注桩的大面积推广应用

自80年代初静压沉管灌注桩及震动沉管灌注桩逐步发展为静压振拔沉管灌注桩,推广应用至今,已成为多层建筑基础工程主要采用的桩型。通过大量的工程应用总结了极为丰富的经验,从设计、施工、质检各方面都形成了一套行之有效的质量保证措施。在总结这些经验的基础上并发展了多种桩型,如超长型灌注桩、静压扩底灌注桩、组合桩、预制大头型灌注桩、十字平底灌注桩等,并编制了宁波市沉管灌注桩技术规程。

2.2 干取土灌注桩的开发(专利号

92104699.5, 92206682.5, 9220681.7)

为保留钻孔灌注桩施工成桩土体不受扰动的优点,清除泥浆污染环境和解决孔底沉渣,水下浇灌砼的质量不稳定的缺点,采用全套管护壁,管内取土的新工艺。成桩工艺程序是:①挖除桩孔处地表杂填土及地表硬壳层;②模管就位、校正垂直度;③沉入模管,用专用取土器分段将模管内土体取出;④接长模管、复校垂直;⑤沉入模管分段将土体取出;⑥检测桩孔;⑦放入钢筋骨架、灌入砼,振动拔出模管成桩。

取土装置:根据不同土性,有流动土取土器、一般土取土器和特殊土取土器三种及相应取土接长杆。均由翻扣联接,联接时间一般5~10s。取土器从模管内提出时设有空气进入底部的装置,避免抽拔真空现象发生。为达到连续取土,每台桩机配两只取土

器,卸土和取土可同时进行,提高工效。

模管视桩长确定,当桩长在30m以内,可采用单节模管,当桩长在30m以上采用二节或多节模管。在桩机高度和拔模管能力满足的前提下,尽可能采用单节或最少节数的模管,以减少接管时间,提高工效。采用多节模管时,设有垂直搭接的位移装置,当拔动上模管位移100~200mm时,才带动下节模管的上拔位移,使上节模管由拔出的静摩阻力转为动摩阻力,然后再带动下节模管,使总的上拔力大大减小。

此种方法已在几个工程中应用,取土深度最深达46.5m。在几项基坑支护工程中作为支护桩使用,桩长20~26m,桩径650~800mm。开挖后可以看出桩身质量良好,砼密实,桩径无变化,表面光滑平整。施工速度快, $\Phi 650$ 长22m的桩,每台桩机日最高成桩9根(作业时间14h), $\Phi 800$ 长26m的桩,每台桩机每日最高成桩7根(作业时间19h)。工程造价与钻孔灌注桩相比,泥浆外运费,变成干土外运费,可节省造价约7%。

干取土灌注桩具有桩身质量可靠的优点,因桩径均匀,表面光滑,对桩与桩周土的结合不如钻孔灌注桩。以侧摩阻力为主的工程桩其承载力须考虑此因素,采取有效措施进行弥补。从桩端阻力分析,取土器取出持力层的土体断面呈折断状,桩端无沉渣和虚土,桩的端阻力高于钻孔灌注桩,因而按钻孔灌注桩设计参数计算的承载力,仍偏于安全。

干取土灌注桩可利用干作业成桩工艺的有利条件采取下述措施，提高桩的承载力。途径1是增大桩周与土体接触面积，增大侧摩阻力，可将模管底部加工成凸四齿形，成桩后呈凸四齿形截面，

见图1；途径2是加固桩端土，增设管内夯锤，使持力层土体强夯加固，提高桩端土承载力。

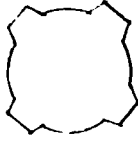


图1 凸四齿形截面

2.3 干取土大直径夯扩灌注桩

(专利号92104699.5、92206682.5)

干取土灌注桩与法兰克桩这两个成熟工艺的桩嫁接成为干取土夯扩灌注桩，此工艺已在某工程中首次试用，基本参数为：桩身直径0.8m，桩端扩底直径1.4m，桩长26m，工艺性试成桩已获得成功。

施工成桩程序：①开挖杂填土及硬壳层；②沉入 $\Phi 800$ 模管进入桩端持力层0.5m；③分段取出模管内土体，并超深取土1.5m；④检测桩孔深度，即观察持力层折断面和土性，测量持力层实际深度；⑤灌入干硬性砼进行重锤夯扩施工；⑥分多次灌入与重夯扩底，直至达到设计要求的直径；⑦放入钢筋笼灌入砼，振动拔出模管即成桩。

扩底直径根据扩底头的高度和灌入模管内扩底砼累计高度设为圆鼓形（实际呈梨形或蘑菇形，按圆鼓形计算偏于安全），设计计算扩底直径以下式表示：

$$D = d \cdot \sqrt{\sum h_i / L}$$

式中： D ——计算扩底直径（m）；

d ——模管内径（m）；

h_i ——扩底施工时灌入模管内干硬性砼的高度（m）；

L ——设计扩大头的高度（m）。

扩底直径的实测结果要比设计计算直径大10%~20%，证实扩底直径计算偏于安全。适用于无承压水地质条件的砂性土持力层。

如为硬塑粘性土持力层，宜在持力层与

上层软土层交界面夯扩，使桩底土经过夯扩过程具有强夯加固地基的作用。采用 $\Phi 600$ 夯锤，夯锤高4.5m，底面积 0.828m^2 ，重30kN，平均落锤高度20m，锤底静压力 106kN/m^2 ，夯击能量 $E = Q \cdot g \cdot h = 3 \times 10 \times 20 = 600$ 千焦耳，桩底土加固深度 $H = \sqrt{E/g} \times \alpha = \sqrt{600/10} \times 0.5 = 3.87\text{m}$ ， α 为修正系数，一般粘土、粉土取0.5。说明夯扩过程不仅提供满足设计桩端土承载力要求的扩底直径，并对桩底土层起到强夯加固作用。

2.4 钻孔扩底灌注桩（专利号92229575.X）

钻孔扩底灌注桩的成桩工艺程序为：在钻孔灌注桩成孔后，换上扩底装置，加压旋转切土扩底，图2为扩底轨迹。扩底装置分

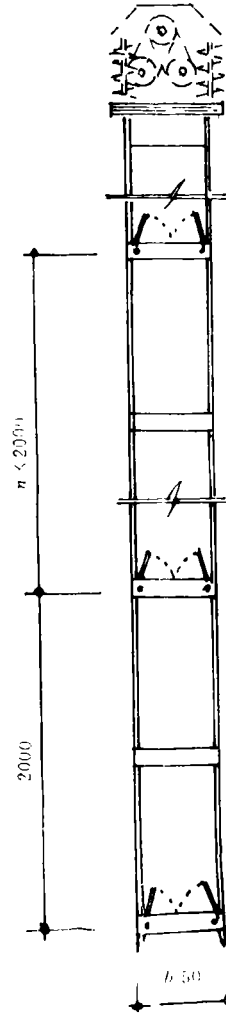


图2 钻孔扩底轨迹

二个部分：即扩底刀具及底座，通过活动连接为扩底装置。扩底刀具设有旋转力矩传递装置，而铰不受旋转力，提高旋转切土能力，而底座固定在孔底土层，用球铰与扩底刀具相连，其扩底直径视钻杆压旋下落位移量即可知道底部扩底直径。扩底完成后按钻孔灌注桩施工要求进行清孔，置入钢筋笼，下导管进行水下砼浇筑成桩。

宁波广济街3号楼建筑面积18000m²，地上15层，地下1层，采用Φ700扩底灌注桩，桩端扩底直径Φ1200，桩基持力层为7-1粘质粉土层（经多方案比较，采用钻孔扩底灌注桩见表1），从表1可知：采用钻孔灌注桩Φ700、Φ800，桩数为336桩、276枚，而采用Φ700扩底直径Φ1200钻孔灌注桩，仅须200枚。从桩体砼体积及造价均可节省30%以上，钻孔扩底桩充分发挥桩端持力层的作用，取得了显著的效益。

表1 广济街3号楼桩型经济分析表

桩型	单桩承载力标准值/kN	桩数/根	砼总量/m ³	百分比×100
Φ700钻孔桩	1400	336	5174.8	100
Φ800钻孔桩	1700	276	5520.0	106.67
Φ700钻孔桩扩底Φ1200	2300	200	3281.0	63.35

试桩结果单桩极限承载力 ≥ 5000kN，略大于计算值。

2.5 预承力钻孔灌注桩

(专利号92202624.6)

(1) 桩受力机理分析

预承力钻孔灌注桩即在工程桩底作用向上的预承力，使桩体向上微抬，来改变桩的受力状态，见图3桩的受力机理。普通桩当外荷载 G 作用时，桩与土产生 f_1 的侧摩阻力，随着 G 的增加 f_1 向下延伸直至传到桩底，桩身产生一定位移，桩身位移5~8mm， f_1 值为最大，而超过位移范围 f_1 逐渐变小，须待桩土重新固结 f_1 逐渐提高，桩端土 q_p 逐渐增大，土层压缩30~40mm时 q_p 值达到最大值，

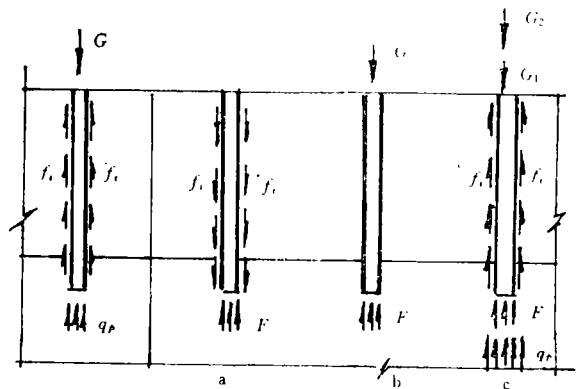


图3 桩受力机理

当 q_p 超出一定值桩端土产生破坏，桩即刺入破坏。从分析可知，桩的极限承载力因桩的侧摩阻力和端阻力的变形不协调所以不可能达到侧摩阻力和端阻力同时达到最大值。如何挖掘桩承载力的潜力，新加坡理工大学勃朗姆斯教授曾设想用金属球形式作用在桩底，使桩向上微抬来改变桩的受力状态，到目前尚未见到有关工程试验资料。

(2) 预承力桩的受力机理

a. 在工程桩底作用向上的预承力 F ，桩周产生平衡预承力 F 的侧摩阻力，同时桩向上微抬。b. 当上部建筑物荷载 G_1 作用在桩顶， f_1 变小逐渐趋向零， G_1 与 F 平衡。c. 在 G_2 作用下才开始与普通桩受力机理相同，产生桩侧 f_1 值和桩底 q_p 值。

(3) 预承力钻孔灌注桩的施工

通过预留注浆管高压注入混合水泥浆液，当注浆压力达到3MPa时，浆液进入预承包，此时开塞压力是最大的，一旦浆液进入预承包，压力迅速下降至0.3MPa，随着注入浆液量的增加，预承包的扩大，注入压力逐渐增大，当90%预承包体积注满浆液压力为2~2.5MPa，桩体向上抬起，测得数值为1~3mm。作了一根预承包破裂试验，当注入浆液量达到1.2倍预承包体积，注入压力为4MPa，出现突发性破裂，浆液柱穿越10m厚软土层喷射出地面约1m高度，离桩边0.8m处。钻孔桩孔底无须清孔，预承包随

浆液充入逐渐扩大，排挤孔底沉渣。桩底扩大过程对桩底土起挤密作用消除压缩沉降。预承包浆液注入后直径为900~1000mm，扩大了端部支承面积，符合预承力桩受力机理分析，因而承载力提高1倍，这对钻孔灌注桩解决孔底沉渣问题也提供了解决的途径。

2.6 取土植桩工艺的工程应用

(专利号93241249.1)

宁波华宁大厦由二幢28层主楼与5层裙房组成，地下室1层，建筑面积70000m²。工程桩采用450×450截面预制桩，桩长46m。邻周环境：西临南大路并埋设上、下水管，其他三面均毗邻小巷和居民住房，小巷地下埋有Φ300上、下水管。宁波华丰纺织大厦主楼为25层，地下1层，建筑面积40000m²，南临中山西路，东靠北大路，地下均埋有Φ600上水管，西邻小学，北接小巷，设计采用450×450截面预制桩，桩长47m。上述二工程均在市中心繁华地段，沉桩施工须控制挤土对邻周环境的影响。工程桩呈方格网排列，桩距为4d（d为桩截面边长），布桩密度大于5%，按经验公式估算场地土中心最大隆起量为460mm，平均隆起量185mm，邻周46m范围构筑物 and 地下管线均受沉桩挤土的影响，须采取综合措施有效降低挤土对邻周影响。除了在邻周构筑物附近挖深沟，泄压井之外，最有效的措施是取土植桩。

对于植桩工艺，宁波采用过的一种方法是钻孔植桩法，即在桩位处先打一个直径小于桩径的钻孔，孔深约为桩长的1/3，然后将预制桩插入孔内打下以减少排土量。

取土植桩与钻孔植桩不同，取土植桩是由同一台桩机完成，取土器是专用提土器（见图4），是由两侧封闭，前后贯通的钢制格构式架，分段设置单向进土翻板及提出时空气进入底部的装置组成。在桩位校正垂直沉入取土深度后，振动拔出，进入构架的

土体出地面即向后倾倒。上例工程取土深度为20m，取土器截面尺寸比工程预制桩小5cm，取土时间平均10~12min即可完成。须在10min之内将预制桩植入，延长植入时间取土孔会逐渐封闭，影响植桩的效果。

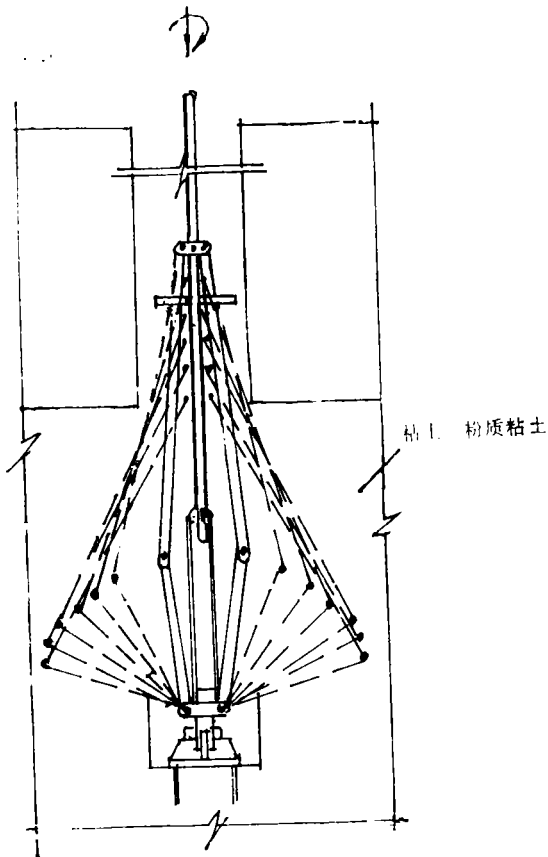


图4 专用提土器图

取土植桩的条件见表2，取土深度为桩长的1/2~1/3L（L为桩长），当桩截面为b×b时，取土器截面为（b-50）×（b-50）（b为桩边长，mm）。

表2 取土植桩条件

布桩密度 × 100	取土植桩条件
< 2	不取土
2~5	部分取土植桩
> 5	全部取土植桩

另外,取土植桩须在场地上未严重扰动条件下采用才有效。

往往开始未考虑沉桩挤土影响,而施工部分桩后出现对邻周环境的影响,有的严重,才考虑取土植桩,效果就差了,因场地土已严重扰动,即使取完土后10min内将桩沉入,但取土桩孔很快被流动土充填,增加了土体重复扰动。

取土与植桩应连续进行,间隔时间不宜长。

宁波北仑某大楼采用分机取土植桩施工,取土机每天取4~6根,而沉桩机不能及时跟上,间隔时间过长,有的时隔1~2天,取土桩孔已被流动土充填。结果日沉桩数控制在1根时对邻周仍然产生严重影响,而场地下沉,挤土影响加剧,比不取土更严重。

2.7 大截面预制空心方桩的发展前景

(1) 钢筋砼预制空心方桩不是专利技

术而是成熟技术,浙江省建筑设计院已编制浙江省通用图集,而温州建筑设计院钱振荣高级工程师,将空心方桩截面扩大至 500×500 ,成为高层建筑的桩基础,采用胶囊抽芯现场预制,静压沉桩已在温州大面积组织推广,这是一个进步。此后温州建筑设计院管自立高级工程师又将空心方桩由空心中心分开浇筑为X型桩来消除土塞影响,对邻周环境影响有了改善,取得了良好的社会效益。但目前突出的问题是沉桩困难和沉桩挤土对邻周环境影响尚未根本解决,须在桩心取土沉桩方可有效解决沉桩挤土对邻周环境的影响。

(2) 沉桩程序

沉桩工艺程序:见图5。

a. 桩孔处挖掉杂填土。

b. 沉入方桩,桩心分段取土到桩底。

c. 钢板焊接接桩,沉桩后在桩心分段取

土。

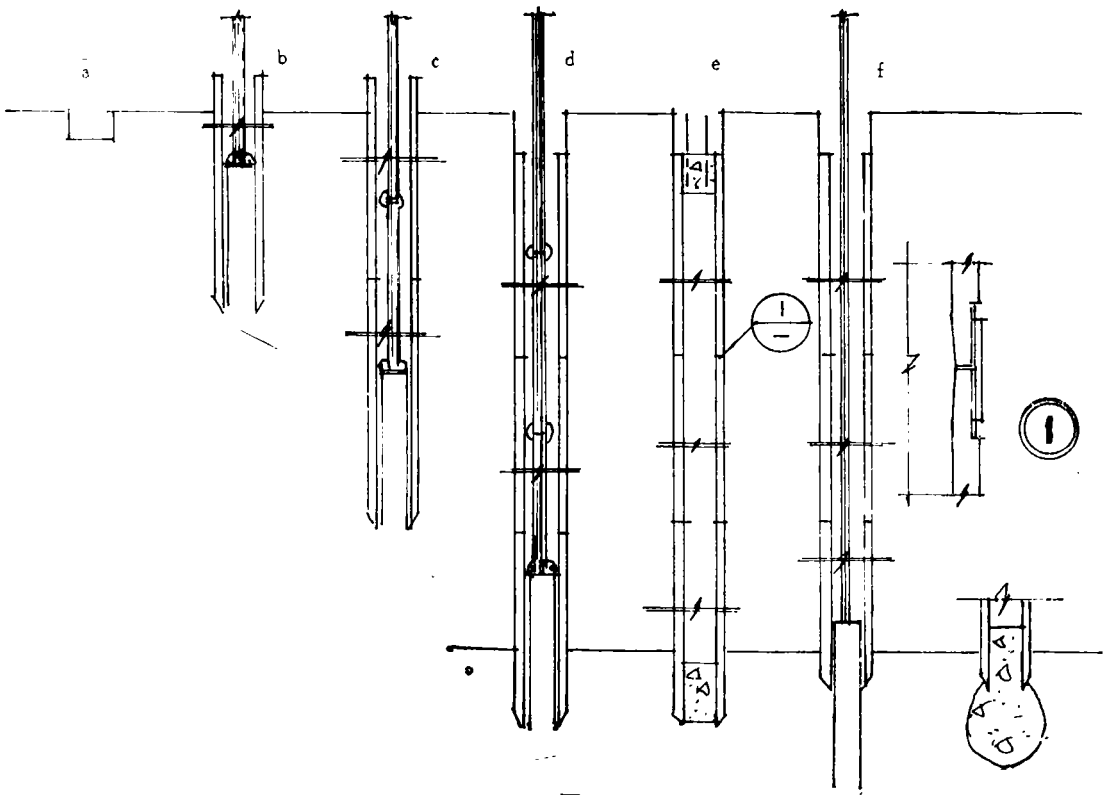


图5

d.同c, 桩端进入持力层, 分段取土至持力层。

e. 桩底灌入1000mm高砼封底, 桩顶吊模施工桩顶砼和插筋, 完成沉桩施工工序。

如须提高桩端土承载力, 采用桩端土夯击密实(用强夯原理加固土), 也可进行扩底施工, 见图5程序; e. 超深取土1000~1500mm。f. 用干硬性砼进行夯扩施工, 按设计承载力要求确定扩底直径, 最大不超过截面边长的1倍。如桩的承载力很高而空心方桩截面强度满足不了, 则空心方桩空心内灌砼为实心桩。

一个地区不宜截面变化很多, 确定一种至二种截面, 其承载力视地质条件和夯扩来调整, 参考表3截面选用表, 最小截面为

600×600, 对桩体制作精度较严, 须工厂生产, 保证质量, 缩短工期。

表3 截面尺寸

截面/mm ²	尺寸		
	b/mm	d/mm	t/mm
600×600	600	460	70
700×700	700	540	80
800×800	800	620	90
900×900	900	700	100
1000×1000	1000	760	120

大截面空心方桩具有明显的经济性:

根据地质勘察报告在相同地质条件下提供的计算参数, 选择四种桩型进行对比分析列于表4。

表4 不同桩型的性能比较

	桩长/m	砼体积/m ³	单桩承载力 标准值/kN	每m ³ 砼承载 力/kN·m ⁻³	经济分析		
					综合单价 /元·m ⁻³	每kN承载力 /元·kN ⁻¹	对比×100
空心方桩600×600	47	9.11	2598	285.2	1050	3.8	100
预制方桩450×450	47	9.52	1814	190.5	1200	6.3	165
Φ800钻孔灌注桩	47	23.62	2130	90.6	800	10.2	268
Φ800钻孔灌注桩	52	26.14	2400	91.8	800	10.07	265

用钢筋砼预制空心方桩作基坑支护的围护桩比目前常用的钻孔灌注桩可以节省大量费用。

3 桩基工程检测技术

3.1 沉管灌注桩综合质量检验的“跑桩法”

沉管灌注桩是宁波大量采用的一种桩型。这种桩型自80年代初引进宁波以来一直被广泛应用, 这与设计、施工形成的质量保证体系是分不开的。作为桩的综合质量检验的一种方法, 即“跑桩法”, 起了重要作用。所谓“跑桩法”即利用配重为单桩设计承载力1.5倍的桩架, 逐一将桩架荷载通过传力杆压在桩顶上, 停留3min然后观测桩顶的下沉量, 规定了允许的下沉量作为桩合格的标准。当桩身有明显缺陷时, 桩会产生

剧烈下沉。尽管现在已经有了用仪器进行桩身完整性检验的方法, 但这种更为直观的检验方法仍为多数建设、施工单位所接受, 并已纳入宁波市沉管灌注桩规范, 成为检验桩基质量的一项重要手段。

3.2 气压反力桩基静载试验装置

这是一项专利技术, 其原理是利用真空泵对埋设于地下的钢筒抽吸空气, 使其内部形成真空, 从而在筒顶形成指向地面的大气压力。根据目前的使用和试验研究情况, 该装置可以胜任加荷量1200kN以下的桩基、复合地基及天然地基的静载荷试验。试验时不需打锚桩, 也不需以堆载作为反力, 设备结构简单, 安装操作方便, 一般四名工人可

(下转第36页)

土鉴别上的错误，主要表现为新近沉积土与一般第四纪沉积土混淆及新近沉积土与素填土混淆。分析原因主要是地质勘察人员没有完全掌握新近沉积土的特征及鉴别方法。由前所述，新近沉积土具有多种特征，就野外特征而言，有的明显，有的不明显，因此对其鉴别往往不能单凭某个特征，一般应根据各种特征综合分析。以南苑北小区为例，该场地位于永定河洪冲积扇下部，分布有大面积新近沉积土，表层普遍有一层粉土，厚度一般小于1m，呈褐黄色，具水平层理，密实度较好。如果单独观察该层，无论从颜色、结构及包含物上几乎见不到新近沉积土的特征。但从地层垂直剖面看，其下伏的粘土呈灰褐~灰黑色，结构疏松，具大孔，土中密布网状植物残体，厚度数米，具有明显的新近沉积土野外特征，显然，从沉积层序上分析，其上覆的粉土是新近沉积土。

在工程勘察中，要注意新近沉积土与素填土的区别。这两者虽然有时不易区分，但如果掌握特征，认真观察，还是不难区分的。它们有以下区别：

(1) 颜色：新近沉积土（粘性土、粉土）一般颜色较深，并且常常是均匀的或深浅呈层状变化；素填土由于成分混杂，填积方式也不尽一致，颜色常呈花斑状，可深可浅，一般没有规律。

(2) 结构构造及包含物：新近沉积土一般结构疏松，而素填土由于填积时间长短

不同、填积方式不同，结构有的疏松，有的密实度较好。河流洪冲积和湖泊静水沉积的新近沉积土常具沉积层理，而素填土一般见不到层理。

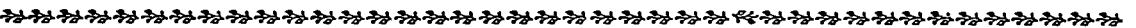
4 结束语

(1) 认识新近沉积土的特征及分布规律，对工程建设选址及总平面布置具有指导意义。地质勘察部门应根据是否是新近沉积土地确定相应的勘察方案和勘察方法。

(2) 新近沉积土分布在地表，在平原区当其大面积分布时，选择建筑场地从平面上和竖向上一般不容易避开。在城市中，建设用地日益紧张，摆在人们面前的主要不是选择建筑场地，而是如何对现有的建筑场地整治、改造和利用。根据北京地区新近沉积土的特征及建筑经验，采用灰土桩、水泥土桩、CFG桩等复合地基是改善新近沉积土的压缩性，提高其承载力的经济有效的方法，并已在工程中广泛应用。

(3) 对新近沉积土的鉴别划分关系到工程建筑的造价与安全。如把新近沉积土作为一般第四纪沉积土对待，就会造成设计上的错误，甚至造成工程事故；反之，如把一般第四纪沉积土错误地判断为新近沉积土，采用不合理的设计，将造成浪费。因此在工程实践中，要全面掌握新近沉积土的特征，综合分析鉴别，从而达到合理地利用新近沉积土的目的。

收稿日期：1996-12-12



(上接第11页)

以胜任。全套设备重量仅为所能产生的反力的1/20~1/25，试验成本大大降低。采用这种装置在宁波、舟山、象山已完成了百余根单桩及复合地基的载荷试验。

结 束 语

由于历史的原因，宁波在建筑科技的研究力量方面相对薄弱，岩土工程技术起步较晚。在此期间内由宁波的某些单位发起成立

了沿海地区岩土工程专家组，出版了“岩土工程师”杂志。这对引进外地的先进技术，推动宁波岩土工程技术的发展起了重要作用。宁波已取得的一些经验，是根据地区特点总结而成的，因此带有一定的地区性。随着宁波各方面建设的高速发展，我们将更多地引进国内外先进经验，结合我市的具体情况加以运用，为不断提高岩土工程技术水平作出贡献。

收稿日期：1996-06-08