

软土地基工程实践中的新型桩

吴 景 勤

(核工业华东地勘局 南昌 330046)

软土地基的处理是现代基础工程界最感兴趣而又难以对付的问题之一。在软土地基工程的实践中,现代新理论、新技术和新材料的引进和使用,给软土地基的处理提供了许多科学的新的手段,丰富了软土地基科学的内容。下面按沉(成)桩方法、桩的端部形式、桩身材料以及桩的工作机理区分标准,分别介绍几种新型桩。

1 按沉桩的方法区分

1.1 射水桩

日本人首次把工业用的高压水切割技术用于建设工程,射水沉桩就是其中之一。利用高压水流经过依附于桩侧面或空心桩内的射水管,冲松桩尖附近土层,以利于锤击桩的沉入。据文献^[1]的介绍,用射水法沉桩是将桩端和沿桩周的水往上泛,把桩四周的土搅松,从而使桩在自重下沉入松动的土。射水法沉桩适用于以砂为主或松散砾石的土层,而对于硬粘土土层也非常有效。长15m、截面为350×350mm的钢筋混凝土方桩,在密实砂层用射水法沉桩,时间不会超过半小时。

应该指出的是:对于不同的土层,射水法沉桩的施工控制因素及其效果是不同的。当桩沉入砂层时,射水沉桩的重要因素是流量或水量;而在砾石或硬粘土层中沉桩时,射水的重要因素是流速,射水流速要足以使土体搅松变为流态。而对于粉质粘土,用射水法沉桩往往由于冲走了土中的细粒而使土的性质得到改善,增加了桩周土的摩阻力;若砂层中有厚度一定的粘土层,则射流的回水可以起到使桩周形成砂壳的作用。

在软土层中射水沉桩,须从地表倒入砂料,以充填粘土地基因射水沉桩引起的空隙,而在桩四周形成有足够厚度的砂壳,从而保证了软土贴近桩四周。

但需要指出的是,射水桩的单桩承载力较一般锤击桩、静压桩以及现场灌注桩会有所降低,这是它的不足之处。有些国家对此采取了相应的措施,例如加固桩端持力层或扩大桩端等。此外,射水沉桩用水量较大,这也是施工时要考虑的。

1.2 内击扩底沉管灌注桩

内击扩底桩是由中国岩土工程研究中心广州分部黎应因工程师研制和发展的一种锤击沉管灌注桩。这种桩是在比利时Frankinol首创的法兰基桩的启示和影响下创制出的,它在沉桩机械和工艺上具备了法兰基桩以及一般沉管灌注桩所没有的优点:

- ①能充分利用和发挥土层的承载潜力,从而提高单桩承载力;
- ②较易穿透密实的砂层或含有障碍物或卵石的土层而到达预定的持力层;
- ③便于控制和防止地下水流入桩孔,防止桩身混凝土离析,大大提高桩身质量;
- ④避免了拔管困难或拔管时导致混凝土出现空洞或夹入泥土,可防止拔管时水被混凝土挤动穿过混凝土而流到表面,引起混凝土离析;
- ⑤可加强桩身与扩大头的连接强度;
- ⑥避免桩长加大而造成假贯入度;
- ⑦可降低成本费用。

内击扩底桩正是由于具备上述优点而成功地应用于各大城市办公大楼等数十个工程

的建设中,并以良好的工程效果表明它是一种优良的桩型。

现在广东地区特别是珠江三角洲地区应用较广泛而有效的内击扩底桩是NJ-D60型内击桩,它的桩径为600mm,扩大头直径800~1000mm,桩长一般为18m,最长可达36m。以往,在工程实践中,人们一般认为,在各方面条件相同的情况下,灌注桩的桩底抗力仅为打入桩的1/2~1/3,但这个观点对于内击扩底桩来说却是不适合的。因为内击扩底桩由于它的特殊的施工工艺,使它避免了桩周土与桩间的粘着力因成桩时水分增加和迁移而变低,解决了桩身缩颈、混凝土集料离析,钢筋笼弯曲、桩底土松动,难以穿过密实砂层以及承载力偏低等问题。现在使用的NJ-D60型内击桩,其单桩容许承载力最高可达2000~2500kN。此外,内击扩底桩还以它特有的施工控制条件——“收锤”标准保证了它在软土地基情况下的适用性。

设计内击桩时,一般将桩作为端承桩或端承加摩擦桩考虑,它较适合于亚粘土或者残积亚粘土地质条件,桩底可选择在 $N_{63.5} = 30 \sim 40$ 击的土层上;当砂层很厚,难于穿透时,持力层也可选在中密以上的粗砂层上。 $\phi 600$ mm内击扩底桩的单桩容许承载力一般用1000~2000kN,适合用于10~30层的多层和高层的工业与民用建筑物的基础。由于内击扩底桩的扩大头象膨胀螺栓一样在坚硬的土层中起锚固作用,其抗拔、抗震性能良好,也可以作为桥梁、码头等基础以及地下室挡土墙或防渗墙的结构组成部分。

附带指出:由于内击扩底桩的持力层选在土层上,因此建筑物的沉降量往往比试桩的沉降量要大。

1.3 静压振动沉桩的钢筋混凝土预制桩

静压振动沉桩的钢筋混凝土预制桩在广州和珠江三角洲一带广泛应用,桩的规格一般为边长320~400mm的方桩,桩长一般不

超过20m。桩的持力层一般选在中粗砂层、残积土层或风化基岩中,单桩容许承载力800~900kN。

该种桩型除具有一般静压沉桩的预制桩的特点外,还具有能穿透厚达2~3m的砂层的优点,贯穿砂层时的激振力一般为24~30t(240~300kN)左右。该种桩型一般采用硫磺胶泥锚接法接桩,桩段数不大于3。

该种型式的桩系摩擦一端承桩,至于在承载力的组合中以哪一种为主,则决定于桩周及桩端土层的情况以及桩长。该种桩的缺点是振动沉桩时噪声大,但由于它只在穿透砂层或硬土层时才使用激振力,因此振动时间不长,影响只是短时间的。

该种桩型由于其技术经济指标比较合理,桩身质量、垂直度以及容许承载力均可靠,越来越多地为建设单位及设计单位用于多层或低层楼房的基础工程,尤其在沿海软土地基上的建设工程中。

在广州地区使用OZ30Y型振动压机进行静压振动沉桩,该类型桩机桩架高、沉桩质量好,但用电量较大,需要54kW的供电量。

1.4 多分支承载力盘混凝土承载桩

此承载桩技术是在分析研究树根的结构特点并参考已有各种桩型的特点和工艺而研制出的。由于它吸收了树根系扩展范围大和能使包围树根部分的土坚硬牢固的特点,因而具有很好的承载力、抗拔力、抗水平剪切能力,且稳性好。

多分支承载力盘混凝土承载桩(以下简称多分支桩),其下部的承力盘和侧面的分支加大了桩的扩展范围。同时,通过在主体周围和底部填加固结料挤密压实,将地基处理成复合地基,改善了原地基的性质,提高了地基强度。

据有关资料的介绍,多分支桩具有如下的技术特点:

①承载力为普通桩的几倍,具有良好的

抗水平冲剪和抗拔能力；

②桩周和底部填加的固结料，将地基处理成复合地基，消除了土质软化、湿陷、压缩变形等缺点，提高了地基强度5~10倍，因而桩底不需达到坚硬土持力层或岩基持力层；

③不必用泥浆护壁，避免了泥浆处理导致的环境污染，消除了断桩、混凝土离析及凝固不良等事故隐患；

④适应性强，可在陆地、水域、软基、砂土等不同地层中成桩，不受地区地质条件、地下水位高低限制等影响，工程实践表明，桩径 $\phi 426\text{mm}$ 、桩长6m的多分支桩，即使设置于流塑淤泥质土层中，其单桩承载力亦有1680kN，沉降量1.2cm。

从经济效益的角度来看，多分支桩桩长只相当于一般桩长20%~35%，并可酌减桩数，由此可节约原材料30%~85%，节能80%以上，工期缩短50%~85%。

由于多分支桩的技术已取得专利；其施工工艺不详，据推测，可能系先钻大口径钻孔或沉管成孔，然后放置入预制混凝土多分支桩，然后回填固结料挤密压实。由于其工艺较为复杂，因此其真正的经济效益尚有待进一步的论证。

2 按桩端状态区分

在软土地基上使用的新型桩种除了各种类型扩底桩以及上述的多分支承载力盘桩外，还可以举出如下二种：

2.1 高承载力摩擦钻孔桩^[3]

在桩基工程中，设置钻孔灌注桩或混凝土管桩时，钻具会使土层松动，因而降低了桩的承载力、降低程度将视地基土的性质而定。为此，就需要发展和完善制造承载力钻孔灌注桩的可靠技术。苏联曾研制出带有根系状桩脚的钻孔桩，其承载力与直径相同但下部无桩脚的桩提高70~130%。在罗曼诺夫的指导下，已经发展了一种简单而有效的方法用以制造该种钻孔桩。该法的工艺如下：用振动装置或打桩机将下端开口的钢管

或钢筋混凝土管打入土层，然后用钻具或喷射法将管内的土取出。若在稳定的粘性土层中钻孔，可用比钻孔直径小20~30mm的标准钢管进一步稳定孔壁。将五根钢筋混凝土短桩系在一起使成导头，探入钻孔。外围的四根小桩其下端是向外倾斜的，与中间的一根小桩的尖端是对称的。用钢绳、吊环和夹具将五根桩夹在一起，由振动装置或桩锤借助有支承平台的支柱传力，将小桩群打入土中。在竖直打入中间小桩时，周围的四根小桩的倾斜端则向外撑开，使土挤密，并影响相当大的一部分土体。设置根系状桩脚后，放入钢筋笼，用混凝土灌注桩身，最后拔出套管。

2.2 灌浆处理桩

灌浆处理可以只对桩端，也可以对桩身的薄弱部分，广义地说也可以包括整个桩基。对桩进行灌浆处理，可为增大桩的承载力和减小桩径创造有利的条件。

用于软土地基的灌浆处理桩有灌浆扩底挖孔桩、灌浆钻孔灌注桩、灌浆处理混凝土预制桩，灌浆处理可以是事先计划的措施，也可以作为对事故或缺陷的一种事后补救措施。

灌浆处理可以对桩基起如下的作用：

- ①胶结钻孔桩孔底沉渣，以消除桩身过大的沉降；
- ②实现为进一步的桩身灌浆而作的围封；
- ③修补桩身缺损部位以保证设计的桩承载力；
- ④纠正桩基上建筑物过度的不均匀沉降；
- ⑤与桩群配合使用改善桩周围的承载力；
- ⑥利用灌浆建立防渗帷幕以防扩桩基受地下冲蚀的破坏。

灌浆处理桩的施工工艺包括如下五种类型：

①借助于事先安设于桩身内的构件进行灌浆,以达到加固的目的;

②通过桩端与地基间的界面或沉渣进行灌浆以使桩身有效地将荷载传递到持力层上;

③通过对地基预灌浆或“后灌浆”以达到桩基加固的目的;

④建造作为保护桩基或桩身的防渗帷幕或帷幕箱;

⑤对桩身或连结群桩的混凝土构件的缺损部位进行修补。

灌浆处理桩所使用的浆液可以是水泥浆、水泥砂浆或水泥系化学浆液,水浆比一般采用0.4~0.5,要注意控制灌浆压力,因为它直接影响灌浆的工程效果及经济效益,建议取值 $5 \sim 12 \times 10^2 \text{kPa}^{[4]}$ 。

经灌浆处理的桩,其承载力比未处理的提高约2倍,沉降量约小10倍,虽然增加了灌浆费用,但效果是显著的。

为了加固桩端地基,文献^[5]介绍了一种直径为25mm的末端封闭的钢制冲洗管系统,它带有四个水平的喷嘴,在每个桩台钻出的直径73mm的中心孔下实施操作,并用一个压力为0.5~0.7MPa的恒压水泵供压。被挖除的沉渣的体积系用一个向下的孔洞测径器来测量,然后通过中心孔以桩顶实施压力灌浆,最大灌浆压力为3MPa。除了要控制灌浆压力和进浆速度外,还要控制浆液的固化时间,使浆液既能灌注到所处理的地层,又不至于流动范围过大而造成浆液浪费。灌浆过程中桩台会有不同程度的升高,一般认为桩的最大上升量应限制在5mm以内。

从已有的工程提供的资料来看,振冲碎石桩的造价约为混凝土灌注桩的1/2.5,经济效益较显著。

3 按桩的形状区分

适合于软土地基的新型桩,按桩的形状区分除常见的圆桩、方桩外还有竹节桩、扩底桩、异形桩(T形桩、H形桩、三角桩

等),树根桩等。

3.1 竹节桩

为了提高桩周的摩阻力,日本Takechi工程株式会社开发了一种预应力高强混凝土竹节桩,其沉桩工艺采用锤击法,并在桩位堆以碎石,在沉桩过程中通过桩身竹节将其带入土中。因桩身周围竹节之间由碎石填充,使桩周土挤密,桩身摩阻力得到提高,而在地震时可防止砂土液化。施工工艺也可预先钻孔,然后灌入水泥砂浆,再将桩插入(植入)。

由于灌注桩身时水泥浆渗入桩周土,可使桩身直径增大,从而也提高了桩身摩阻力。

3.2 异形桩

异形桩系指桩截面为圆形以外的其它形状(T形、H形、Z字形、十字形、三角形、矩形等)的桩,该种桩的桩身材料可以是钢,也可以是钢筋混凝土,这里讨论的主要是后者。

异形桩一般用挖土斗成槽,其成桩原理和桩的设计施工与钻孔灌注桩差不多,但由于其桩周面积较一般桩为大,有利于桩周摩阻力的提高。例如以三角桩为例,桩周长(截面边缘线长)相同,正三角形的面积小于正方形,故若考虑相同的摩阻力,则三角形截面桩需要的混凝土方量要小于方桩。一般地说,异形桩具有强度高、体积小、自重轻,用材省、造价低等优点,在工程实践中使用的三角桩一般是预制桩,用锤击法打入,当然,其它异形桩在一定条件下,也可以采用预制桩。

4 按桩身混凝土强度区分

在某些软土地区(例如沿海岛屿),工程地质条件比较复杂,一般下卧基岩埋藏较浅,岩石倾斜,而上覆的近代粘土沉积物压缩性大,承载力低,因此建筑物的桩基往往以端承桩为主,桩端要求嵌入岩层。这样,桩身混凝土的强度就是决定桩承载力的主要因素。

按照桩身混凝土强度来区分,工程实践中常用的桩其混凝土强度等级一般为 $C_{20} \sim C_{28}$,属于中等强度混凝土,因此,一般的混凝土桩不论是现场浇筑的或预制的,都可以划入低强度桩或中强度桩一类。

为了获得高强混凝土桩,必须采用高效减水剂,对于预制桩有条件的情况下,可以采用蒸气养护和高压釜养护。

在我国,目前高强度桩还只有预应力高强混凝土管桩,该种管桩的混凝土抗压强度大于 78.4MPa (800kg/cm^2),桩外径 $300 \sim 500\text{mm}$,内径 $160 \sim 250\text{mm}$,具有较高的承载力。

预应力高强混凝土管桩其成本只略低于钢管桩,但却远比其它桩种为高。它自1989年在珠江三角洲地区使用以来,先后在广州、澳门、深圳、珠海、中山等地的几十个工程中使用,并取得较好的效果。

参 考 文 献

- 1 孔清华等. 桩基技术新进展. 桩基技术新进展学术讨论会论文集. 1991年6月,

宁波。

- 2 徐克中. 福州市首次应用深层搅拌加固软土地基的总结与探讨. 城市改造中的岩土工程问题学术讨论会论文集. 1990年5月, 杭州
- 3 A.A.Grigoryan等. 高承载力摩擦钻孔桩. 秩伦译. 第十届国际土力学与基础工程会议论文集
- 4 熊厚金, 林天健. 现代灌浆技术与工艺评述. 桩基技术新进展学术讨论会论文集. 1991年6月, 宁波.
- 5 D.A.Bruce et al. Enhancing the performance of large diameter piles by grouting, *Ground Engineering*. July 1986
- 6 王凤魁. 旋喷桩的桩体强度. 中国建筑学会工程勘察学术委员会第三届学术交流会论文. 1987年3月
- 7 刘学军. 保定电厂振动挤密碎石桩加固地基工程实例. 城市改造中的岩土工程问题学术讨论会论文集. 1990年5月, 杭州
- 8 卞守中等. 振动碎石桩在杭州粉性砂土地基中的应用. 城市改造中的岩土工程问题学术讨论会会议论文集. 1990年5月, 杭州

(上接第30页)

界线的内插误差。总之,遥感技术对提高区域地质研究精度和缩短工程勘察工作周期具有重要的意义。

4.3 遥感技术的局限性

应该认识到,遥感技术与其它的地球物理勘探方法一样,有其独特的优越性,也有其局限性。如当岩层和构造被松散的复盖层掩盖时,或受到大规模的城市建设、大面积的耕植等人类活动影响时,只能依据透视信息进行分析,这就大大降低了解译效果;另外,对某些岩石名称、时代的判定也有困难。因此,在工作中应坚持遥感资料解译与外业验证相结合的方法,取长补短,才能充分发挥各自的优势。换言之,遥感资料的解译可以指导现场地质测绘工作的开展,提高工程

地质研究的精度和效益,但不能取代外业验证工作。这就要求解译人员除了掌握遥感技术外,还必须具备丰富的构造地质、工程地质基本知识,并注意在今后的工作中积累经验,不断进行总结推广,从定性评价发展到定量评价,以充分发挥遥感技术的巨大潜力。

参 考 文 献

- 1 姜凤琪, 范湘涛等. 遥感图象在夹沟幅和桃山集幅1:5万区域地质调查中的应用. 南京大学学报(地球科学), 1994年第6卷第1期
- 2 马荣斌, 卓宝熙等. 遥感原理和工程地质判释. 北京: 中国铁道出版社, 1982
- 3 中华人民共和国交通行业标准. 公路桥位勘测设计规范JTJ062—91. 北京: 人民交通出版社, 1992