

锥形短桩

国外建筑新技术译文集

〔苏〕B. И. 哈 津 等著

ZHUI

XING

DUAN

ZHUANG

中国农业机械出版社

国外建筑新技术译文集

锥形短桩

中国农业机械出版社

КОРОТКИЕ ПИРАМИДАЛЬНЫЕ СВАИ

ТРУДЫ ЦНИИС, ВЫП. 98

МОСКВА «ТРАНСПОРТ», 1976.

国外建筑新技术译文集

锥形短桩

〔苏〕В. И. 哈津 等著

徐祖元 译

*

中国农业机械出版社出版

山东新华印刷厂潍坊厂印刷

新华书店北京发行所发行

新华书店经售

*

787×1092 32开 5印张 107千字

1981年11月北京第一版·1981年11月北京第1次印刷

印数：0,001—2,500 定价 0.48元

统一书号：15216·072

译 序

近年来,我国的基本建设事业,尤其是与人民物质文化生活密切相关的住宅建设事业有了较大的发展。一九七九年、一九八〇年两年,全国城市住宅建筑竣工面积约为八千五百多万平方米。与此同时,全国各地相继大力推广应用了一批新的结构型式和施工技术,如工具式大模板结构体系,滑升模板结构体系,装配式大型壁板结构体系及框架轻板结构体系等等。这些新型结构体系的施工,都是以塔式起重机为中心,塔臂为半径,沿塔线进行连续流水作业,这不仅加快了结构施工的进度,而且提高了现场施工机械化和文明施工的程度,大大改变了我国住宅建筑的施工面貌。

但是,作为住宅建筑的基础工程,尤其是建造在软弱地基上的基础工程,多年来,则基本上仍然沿用了传统的砖砌条形基础。虽然在一部分工程中使用了钢筋混凝土预制桩基础,但是由于其高昂的施工费用而至今不能普遍推广采用。还有一部分工程,曾经采用了一些钢筋混凝土现浇桩基础,如:钻孔灌注桩、扩孔桩及爆扩桩等,但是,由于它们的成型受到工程地质和土壤条件的种种限制,施工时,难于很有把握地保证获得相当稳定的承载力,同时,也不能在软弱地基中加以应用,所以,无论是预制桩也好,还是现浇桩也好,都没有能够形成以上所说的新的结构体系的有机的组成部分而得到普遍的配套应用。

因此,住宅建筑的新的结构工程型式与基础工程在工艺、工期、劳动组织、劳动强度以及各项技术经济指标等方面都

7-7-12

存在着一定的差距，并且影响了住宅建筑新结构体系的完整性。

锥形桩是苏联七十年代出现的一种新型的预制混凝土桩基。它对传统的预制桩进行了简单而巧妙的改革，从而获得了较好的技术——经济效果。

由于锥形桩采用了锥状的合理外形，因而集中了在建筑工程中通常采用的摩擦桩和支承桩的优点。其桩身侧面在工作中同时处于摩擦力和支承力（切向力与法向力）的受力状态，所以，桩基材料（混凝土）和地基材料（土）的结构性能均得到了更加充分的发挥和利用，并因此而使桩身的长度得以大幅度地减少。

在下桩过程中，桩的锥形侧面向桩周围的土壤传递了打桩能量，实际上，下桩的整个过程就是一个对桩周围土壤进行局部而有效的地基加固处理过程，从而使土壤产生了一个压缩密实区域。这一区域的出现，不仅提高了土壤的物理——力学性能，同时，也改变了土壤的自然结构状态，有力地消除了地基土质的一部分沉陷性，提高了土壤的抗冻能力。一般说来，锥形桩和普通钢筋混凝土预制桩相比较，工程成本可降低40~60%，而单位体积承载力则能提高50~250%（提高幅度因桩的锥角角度和地基土质情况不同而变化），并且，它还可以较好地应用于Ⅰ类沉陷性黄土类土及其他软弱土地基。

由于锥形桩具有承载力高，材料消耗少，生产运输方便，施工机具简单等等优点，因此，在较短的时间里，它就在工业与民用建筑中得到了比较广泛的应用，其中包括住宅建筑，高层建筑，工业建筑，工业管道支架，仓库，火车栈桥等工程，同时，锥形桩还具有很好的抵抗水平荷载的能力，因此，

它也已经被应用于那些承受水平荷载或弯矩作用的建筑物和构筑物。

本文集对不同锥角锥形桩的静力试验，桩与土的相互作用状态，锥形桩承载力的计算方法，桩在水平荷载作用下的工作状态，锥形桩的设计及施工特点，确定桩的承载力的振动动力法和土质触探法以及锥形桩的经济效果与合理使用范围等问题，均作了较为系统的介绍，是目前对锥形桩这一新技术较全面论述的一本专题文集。

为了广泛学习国外的先进技术，以加快我国四个现代化建设，特将本文集译出，同时选译了 78 年至 80 年期间苏联有关专业著作及刊物上发表的反映了锥形桩基最新科学研究及推广应用成果的有关论文作为本文集的附录，供我国有关科研，设计，教学及施工单位的科技人员参考。由于译者水平所限，译文中有疏漏或不妥之处，欢迎读者批评指正。

译 者

一九八〇年十一月于北京

目 录

一、绪言	1
二、不同角度锥形桩的静力试验	3
三、锥形桩与土的相互作用	15
四、锥形桩承载力的计算方法	30
五、应用极限平衡理论的轴线对称原理确定 锥形桩的承载力	41
六、水平荷载作用下锥形桩的工作状态	51
七、锥形桩基的设计与施工	68
八、确定桩承载力的振动动力法	83
九、确定桩承载力的土质触探法	98
十、锥形桩的经济效果及其合理使用范围	105
附录一 锥形桩基	117
附录二 锥形桩的使用经验	119
附录三 土对锥形短桩作用的极限反力	125
附录四 在水平荷载作用下的农业建筑物 基础	131
附录五 锥形桩基的沉降及其地基 变形的发展	138
附录六 矩形截面锥形桩在白俄罗斯的推 广应用	145

一、绪 言

最近 8~10 年期间,在苏联乌克兰的许多工程项目中进行了一系列有关锥形桩的试验。这些锥形桩的截面均为正方形,长度一般为 1.5~4 米,锥角在 3° ~ 13° 之间。由于这种桩具有很好的经济效果,因此,在建筑工程中有着相当广泛的应用前景,从一九七一年开始,全苏运输建筑科学研究所(ЦНИИС)、波尔塔瓦建筑工程研究所(Полтавский ИСИ)与南方交通建筑托拉斯第 113 工程处(Су 113 Трест Южтрансстрой ГУЖДС)等施工单位共同进行了科学协作,对锥形桩的生产、设计、沉降和承载力的确定等问题进行了系统的试验研究。

这些试验研究所得到的结果证明,当锥形短桩被打入土中的时候,在桩的周围即产生了一个非常紧密的土壤区域,因此,在相同的土质条件下,锥形桩的单位承载力要比方截面摩擦桩的单位承载力高 0.5~2.5 倍。

为了对锥形桩与土的共同作用情况作进一步的研究,在试验中还使用了变形仪、深度标记、土压力传感器和静力探测及贯入法,并且根据试验结果制订了桩的承载力的计算方法。为了对用上述方法得到的结果进行复核,又采用了冲击动力法,用这种先进的试验方法可以随时确定和了解打桩过程中桩所具有的承载能力。

通过试验,证明锥角在 6° ~ 13° 之间的锥形桩的效率最高,而角度的具体选择则要根据土的不同原始密度去确定,同时,进一步规定了采用这种桩基的建筑物和构筑物的设计

方法。

在这本论文集中，收入了对锥形短桩基础的试验研究和实际使用的部分资料，同时，也汇集了有关锥形短桩的计算与设计，沉降与承载力的检验，桩的合理使用范围等方面技术问题的介绍。在这些方面，直到目前为止，还没有一份较为完整的总结资料出版，而这本论文集就是要弥补这一不足，同时，也希望有助于将这一新技术推广开来，使其更加广泛地应用于工业与民用建筑物中去。

二、不同角度锥形桩的静力试验

作者：В. И. 哈津 (В. И. Хазин)

〔内容提要〕 本文叙述了体积均为 0.366 立方米，而锥角角度则分别为 $5^{\circ} \sim 13^{\circ}$ 的一批锥形短桩的静力试验结果。试验现场的土质为砂土、亚粘土，其中包括沉陷性土。试验证明，桩的锥角越大，则桩的单位承载力越高，其增加幅度约在 30~80% 之间，同时，单位承载力还与土的原始密度有关。文章根据不同角度锥形桩的试验结果，提出了确定桩的锥角角度的正确原则。

二十世纪初期，有人曾经通过工程实践比较过圆锥形桩和圆柱形桩的承载能力。到本世纪二十年代至三十年代，苏联的 В. К. 德曼霍夫斯基 (В. К. Дмоховский) 和 В. Н. 格鲁勃柯沃依 (В. Н. Голубков) 就曾经对桩身轴线与桩面锥线之间夹角为 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ 的圆锥形桩进行了研究。而且证明了在这种桩的桩面与土之间存在的摩擦阻力要远比圆柱形桩更高。但是，当时由于圆锥形桩的施工相当复杂，所以，这种桩没有能在实际工程中得到进一步推广。

一九六五年，梁赞住宅建筑联合企业 (Рязаньжилстрой) 的 Г. М. 斯吉连斯基 (Г. М. Стиренский) 在工地进行了试验，以便能够确定桩的合理形状。他们以 В. К. 德曼霍夫斯基提出的圆锥形桩的基本结构为基础，进一步制成了方截面锥形桩，并且将其与空心的和实心的普通方桩一起进行

了对比性的试验。为了便于生产,桩的截面由圆形改为方形后,上部截面尺寸为 40×40 厘米,下部截面尺寸为 20×20 厘米,桩长 6 米,锥角大约为 $1^\circ \sim 2^\circ$ 。该联合企业采用静荷载进行了这一对比试验,结果,与普通方桩长度相同的锥形桩显示出了很大的优越性。锥形桩单位体积的承载能力大大超过了普通方桩。因此,当时就决定在梁赞地区用小角度锥形桩来代替普通方桩,从而使锥形桩得到了广泛的应用。

后来,在乌克兰敖德萨建筑工程研究所 (ОИСИ) 地基基础研究室研究的基础上,进一步确定了采用 $2^\circ \sim 5^\circ$ 角的锥形桩是更为合理的。并且首先证实,当桩的截面随其高度而改变的时候,桩与其周围土的共同工作情况就发生了根本的变化。在下桩时,锥形桩使土壤更加密实,并且在一定范围之内,提高了土的容重和强度。如果把桩打入沉陷性土壤中,那末,锥形桩就会使其周围的土壤极大程度地密实(相对而言——译者注),从而在一定程度上可以消除这一部分土壤的沉陷性^[5]。因此,锥形桩的单位承载力在一般情况下都要比普通方截面桩为高。

一九六七年,敖德萨市采用锥形桩基建成了试验性大板住宅。工程竣工时,该基础曾经受到水的严重浸泡,在此过程中,对该建筑物的沉陷情况进行了认真的观测和检查。根据检查结果,敖德萨建筑工程研究所提出了广泛采用 $2^\circ \sim 6^\circ$ 锥角的锥形桩作为修建在沉陷性地基上的房屋基础的建议。

从一九六七年开始,波尔塔瓦建筑工程研究所等科研、施工单位与敖德萨建筑工程研究所在一起进行了 $6^\circ \sim 13^\circ$ 角锥形短桩的研究和施工工作。与其他基础类型:其中包括普通方桩和小角度长锥形桩相比,1.6~4 米长的锥形短桩可以使桩身材料得到更加充分的利用,并且从而进一步降低了工

程成本。

综上所述，锥形短桩的优点，不仅在于它具有较高的承载能力，还在于它具有楔状外形和较短的桩身，因此，采用锥形短桩，可以缩短打桩时间，并且大大简化了打桩的施工工艺。

与此同时，由于对在各种不同的土质条件下使用锥形桩这个问题的研究还不充分，有关资料的积累还不丰富，这就使得锥形桩的推广暂时还不十分广泛。当然，这种状况也有助于在锥角的作用问题和对各种不同型式桩的效果进行比较等等问题上展开更加深入的探讨。

例如，哈尔科夫市工业建筑设计院对锥角为 1° ，长7.7米的八面体柱形桩和长2.5米、3米的锥形桩进行了研究。试验现场的表层土为3~4米厚的Ⅰ类沉陷性亚粘土。自此层以下至7米深处为较坚硬的亚粘土下卧层，八面体桩就位于这部分土层中。显然，在这样的土质条件下，锥形桩的承载力低于八面体柱形桩。

有些文章的作者没有经过系统和严密的试验研究，就提出了锥形桩的工作效率低于其他基础结构型式的结论。在大多数情况下，持有这种观点的人仅仅看到小角度($1^\circ \sim 2^\circ$)的长锥形桩(5~7米)。同时，他们还偏重于表层为软弱土，下卧层为比较密实的土壤这种土质情况。此时，小角度锥形桩下桩时所引起的土的密实现象并不显著。上层土的承载能力几乎没有什么增加，锥形桩基本上在没有受到土的侧向反力作用，而只是受到侧表面摩擦力作用的情况下工作。同时，锥形桩桩尖的截面面积比方桩桩头面积小，所以，锥形桩受到的端承力要小于方桩。

此外，对于锥形桩究竟采取什么形状，尺寸和锥角多大

才更为合理也有各种不同的看法。例如, В. К. 德曼霍夫斯基就作出了这样的结论: 当圆柱形桩具有 1° 锥角的时候, 其反力会得到增加, 如果锥角角度在 $1^\circ \sim 3^\circ$ 的范围内继续加大, 那末桩所受到的土的反力作用大小就不会再会发生较大的变化。在梁赞市和宾兹市 (Пенза) 对锥角角度为 $1^\circ \sim 2^\circ$ 的锥形桩进行了研究和试验^[3,6]。敖德萨、赫尔松 (Херсон) 及克里木 (Крым) 地区的许多运输、居住、民用和农业建筑则采用了 $3^\circ \sim 6^\circ$ 锥角的锥形桩。

所以, 在如何选择锥形桩的尺寸, 首先是如何选择锥形桩的锥角角度的问题上, 还没有一个统一的认识。毫无疑问, 这就要求从各种不同土质条件和各种不同的打桩方法出发对这一问题进一步加以研究, 以便搞清锥角对桩的承载力的影响, 从而确定一个锥角角度变化的大致范围, 以保证桩的承载能力的提高。

下面, 我们就来对这些问题进一步加以探讨。

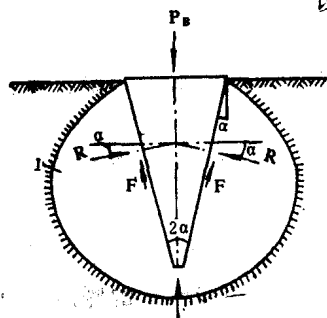


图 2-1 锥形桩与土的
相互作用简图

1—压缩区域

设 P_B —— 加在桩上的垂直荷载;

R —— 土壤作用在一面桩身侧面上的合压力;

f —— 土壤与桩的摩擦系数;

l —— 桩长;

α —— 锥角。

根据桩在土中的平衡条件 (图 2-1 所示) 可以建立以下等式:

$$P_B = 4R(\sin \alpha + f \cos \alpha)$$

(1)

公式(1)等号两边均除以 $4R$, 则有:

$$P_B/4R = \sin \alpha + f \cos \alpha \quad (2)$$

式中 等号右边部分为锥角的函数。

假设 R 与 α 无关, 则为了研究函数 $y(\alpha) = \sin \alpha + f \cos \alpha$ 的递增规律, 我们可以对其求导 $y'(\alpha) = \cos \alpha - f \sin \alpha$, 并令其趋向于零, 即 $\cos \alpha - f \sin \alpha = 0$, 由此可以得到

$$\cos \alpha = f \sin \alpha \quad \text{或者}$$

$$1 \geq f \operatorname{tg} \alpha; \operatorname{tg} \alpha \leq \frac{1}{f} \quad (3)$$

我们知道, $f = \operatorname{tg} \varphi$, 这里 φ 为土壤的内摩擦角;

$$\text{因此有:} \quad \operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{tg}(90^\circ - \varphi) \quad (4)$$

$$\text{或者} \quad \operatorname{tg} \alpha \leq \operatorname{ctg} \varphi$$

在证明过程中, 当 $\alpha \approx (90^\circ - \varphi)$ 时, 桩角函数渐增。可见, 选择大于 $1^\circ \sim 6^\circ$ 锥角的桩进行其承载力试验是比较适宜的。

1968 年至 1971 年, 上述各单位在 E. B. 波拉多诺夫教授的领导下共同在克列明秋市 (Кременчу) 和波尔塔瓦市 (Полтава) 进行了试验, 为了得出锥角对桩的承载力的影响的客观结论, 试验中选用了 $5^\circ \sim 13^\circ$ 的各种不同的锥形桩, 这些桩的桩身体积是相同的, 均为 0.366 米^3 , 试验桩数共 40 根, 作用在砂质土和粘土中。由于锥角增加会引起桩长及上部截面尺寸的变化, 因此采用了一个公差数——10 厘米, 这样, 则桩的上截面尺寸分别为 60×60 厘米, 70×70 厘米, 80×80 厘米。而桩的下截面尺寸一律为 7×7 厘米。为了弄清桩长对单位承载力的影响, 在一些试验中, 还采用了 $\alpha = 6^\circ$, $V = 0.85 \text{ 米}^3$, $l = 3.7$ 米的锥形桩。下桩采用振动打桩机, 每个桩的分布距离则保证它们在下桩过程中不会互相影响。当然, 要把 45° 锥角的桩打入土中实际上是不可能的, 所以, 后

来将试验桩的锥角限制在 13° 以内，以便满足下桩的施工工艺要求。

在对受水浸泡的软土和沉陷性土中的桩进行试验的过程中，还成功地采用了一种加荷架，由于采用了这种加荷架，因此可以使试验荷载一直增加到 100 吨。从 1967 年开始，在野外试验中，就始终采用了这种加荷架。加荷架向桩身稳定地传递着试验荷载，因此，在试验中就可以不必十分费力地进行观察，也不必经常用水泵排水，同时，提高了试验的精确程度。

但是，这种试验方法也有它的缺点。为了向加荷架上增加荷载，在整个试验期间（大约 4~10 昼夜），现场必须配备轮胎式起重机和相应的起重工作人员。

1969 年，南方交通建筑托拉斯第 113 工程处制做了另一种新式加荷架。它可以用栏板车运输，很方便。架子由一个加荷面和六个带支脚的立柱组成。试验前，将荷载（块，板，桩等）加到架子上。荷载经液压千斤顶向桩身传递，并且用压力计来测定千斤顶内的压力，而桩的沉降则由两个挠度仪表来测定。

在试验中，还规定了方桩与锥形桩进行对比试验的并符合规范基本要求的统一的方法。桩采用分级加荷法。试验开始时，加荷量为桩的预计承载力的 $1/5$ ，试验中的加荷量为 $1/10 \sim 1/15$ 。每级荷载的驻载时间不少于两小时。如果驻载期间最后两小时内的沉降值小于 0.1 毫米，那么就认为桩的沉降已经基本终止。从而即可转入下一级荷载。如果沉降值大于 0.1 毫米，则驻载时间应当继续顺延，直到最后两小时内桩的沉降值小于 0.1 毫米时为止。当然，除了首次荷载外，也可以一次加上等于两级荷载值的荷载。加荷后，还应注意

记录在 15 分钟、30 分钟、60 分钟、22 小时等各个时刻挠度仪的指针读数。当荷载达到临界值以后，再对试验资料进行分析，并将其整理成能够反映桩的沉降与荷载、时间之间关系的试验曲线。

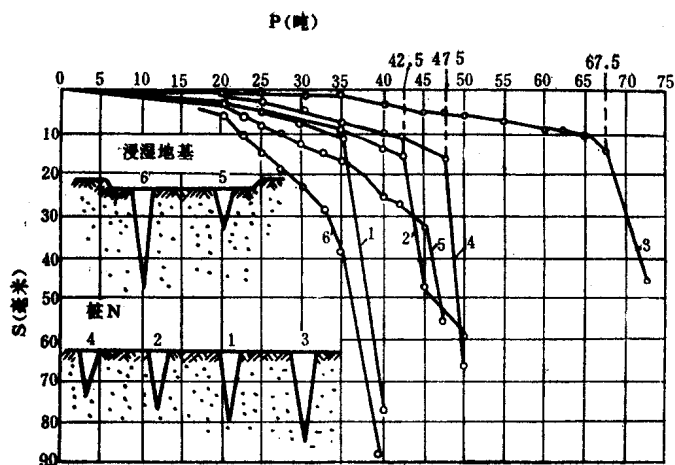
为了研究锥角对桩的承载力的影响，我们选择了两处沉陷性亚粘土的施工现场进行了试验，四根桩下桩在干燥土壤内，八根桩下桩在被水浸湿的土壤内。这些桩的静荷试验结果经过分析整理，绘成了沉降与荷载关系曲线(见图 2-2)。其试验资料见表(1-1)。

表 1—1

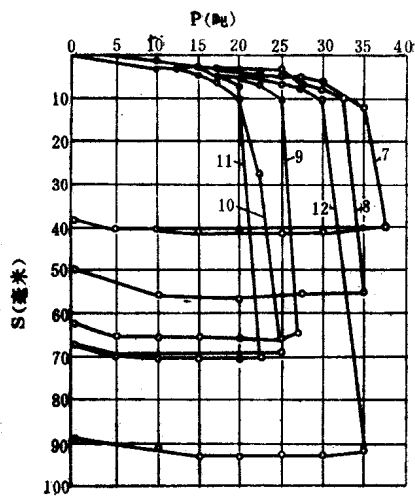
桩号	桩长 l(米)	桩头尺寸 d(厘米)	锥角 α	体 积 V(米 ³)	无浸润 承载力 P(吨)	水浸润 承载力 P(吨)	单位承载力 P/V (吨/米 ³)	P _k 极限 沉 降 S(毫米)
1	2.7	60	5°40'	0.366	28	—	76.5	11
2	2.0	70	9°	0.366	34	—	94.5	17
3	3.7	80	5°40'	0.85	54	—	63.5	14
4	1.6	80	12°50'	0.366	38	—	104	16
5	1.6	80	12°50'	0.366	—	28	76.5	32
6	3.7	80	5°40'	0.85	—	36	42.4	39
7	1.6	80	12°50'	0.366	—	28	76.5	11
8	2.0	70	9°	0.366	—	20	54.7	10
9	2.7	60	5°40'	0.366	—	16	43.8	7
10	2.0	70	9°	0.366	—	18	49.5	10
11	2.0	70	9°	0.366	—	20	54.7	10
12	2.0	70	9°	0.366	—	22	60.0	7

从试验结果可以看出，在自然含水率的亚粘土中，锥角 12°50'，长度 1.6 米的 4 号桩的承载力最大。锥角为 5°40' 的 1 号桩的承载力最小。锥角为 9° 的 2 号桩的承载力则介乎二者之间。

由此可以看出，锥形桩的承载力是随着锥角在一定范围



a)



b)

图 2-2 沉陷性亚粘土中不同角度锥形桩的静力试验曲线

a) 1~6 号桩 b) 7~12 号桩