

十字形沉管灌注桩的成桩工艺技术

邹正盛^{1,2}, 孔清华^{1,3}, 莫云波^{1,2}, 孔红斌⁴

(1. 河南理工大学土木工程学院, 焦作 454003; 2. 河南理工大学深部矿井建设开放实验室, 焦作 454003;
3. 浙江华展工程研究设计院, 宁波 315012; 4. 浙江岩土基础公司, 宁波 315011)

摘要: 改变桩截面形状, 增加桩周面积, 可提高桩承载力, 因此导致了异形截面桩的诞生。目前我国研究较多的多种异形截面桩如 X 桩、Y 桩等, 均是采用全长等截面的异形截面模管沉管成桩。由于这些异形截面模管抗变形能力相对较弱, 在应用到长桩或超长桩的施工上可能会受到一定的限制。十字形桩成桩模管为底部加翼的圆形截面钢模管, 抗变形能力强, 能成大桩长桩或超长桩、混凝土素桩或钢筋混凝土桩、挤土桩或非挤土桩, 既可用于地基处理, 也可作为基桩施工。非挤土桩成桩时, 采用专用管内取土装置, 施工快捷, 成桩效率高, 成本低。

关键词: 十字形灌注桩; 加翼模管; 沉管法; 挤土桩; 非挤土桩

中图分类号: TU472

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2012)06-0067-05

众所周知, 桩的竖向承载力一般由侧摩阻力和端承载力组成。为了提高桩的竖向承载能力, 往往需要最大程度地发挥地基土(岩)和桩本身的潜在能力^[1]。异形桩就是这一思想的具体体现。异形桩或改变桩身横截面形状(几何特征), 提高桩身的承载能力; 或充分发挥桩身材料的潜力, 改变桩身纵向截面的形状, 增加桩土界面的不平直度和粗糙度, 以取得较大的侧阻力和端阻力^[1]。

在软土地层中, 桩端承载力有限, 因此提高桩侧摩阻力成为关注的一个重点。由于桩侧摩阻力与桩截面周长有关, 所以各种异形截面桩应运而生。近年来, 我国开发了预制 X 型钢筋混凝土桩^[2]、Y 形沉管灌注桩^[3]、Y-H 沉管灌注桩^[4]、T 形沉管灌注桩^[5]、企口混凝土 T 形预制桩^[6]、现浇 X 桩^[7]等异形截面桩。由于大量软基处理的需要, 当前更侧重于现浇混凝土桩的研究。目前, 国内对 Y 形沉管灌注桩和现浇 X 形桩的试验研究或应用研究较多, 并主要集中在成桩工艺^[8-9]、承载性状^[10-13]方面。这两种异形桩均是采用模管振压现浇成桩方法, 多为挤土施工。但是, 由于 Y 形桩和 X 形桩的钢模管为全长等截面的异形截面, 和圆形钢模管比较, 其抗变形能力较弱, 沉管中易于出现不同程度的瘪管与胀管现象^[8,10], 在模管上拔时易带出桩周土^[14]。Y 形桩模通过增加中隔板, 已在目前桩

长范围内的施工中取得了较好的效果^[8]。

圆形结构具有很好的抗变形能力。基于此, 开发了圆形钢管加翼模管沉管成十字形桩的专利技术^[15], 可用于地基处理。这种十字形桩若配筋, 则可作基桩使用。由于模管底端不足 1m 为带翼的圆形截面, 其余均为圆形截面, 故可适于长桩甚至超长桩的施工。本文主要介绍基于圆形钢管底部加翼的模管沉管成十字形桩的成桩工艺技术。

1 十字形灌注桩构造

十字形灌注桩是由圆形柱与 4 个侧翼构成, 其横截面似十字形, 如图 1 所示。十字形桩即由此而得名。图 1(a) 为不配筋的十字形混凝土灌注桩, 用于地基处理; 图 1(b) 为十字形钢筋混凝土灌注桩, 当作基桩使用。

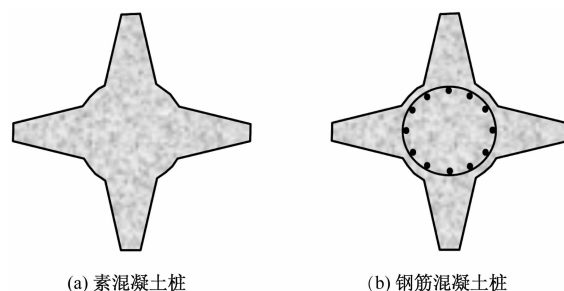


图 1 十字形灌注桩

Fig. 1 Cross cast-in-place pile

2 成桩装置

X 形桩和 Y 形桩分别采用全长 X 形或 Y 形截面

收稿日期: 2012-07-06; 修订日期: 2012-08-20

作者简介: 邹正盛(1963-), 男, 博士, 教授, 主要从事岩土工程的教学与研究工作。

E-mail: zouzs@hpu.edu.cn

的模管,通过振压沉管成桩。在成桩中,它们存在不同程度的瘪管(模管压入期间)和胀管(浇注混凝土期间)现象。这主要是由于这种截面形状的模管抗变形能力弱所致。圆形截面模管抗变形能力强,数十年来在超大超长灌注桩施工中已显现出强大的优势。基于此,十字形灌注桩采用圆形钢管加侧翼构成模管,通过振压或静压沉管、挤土或干取土工艺成桩。

2.1 钢模管

十字形灌注桩采用圆形钢管加侧翼构成模管,即在圆形钢管底端焊接封闭圆凸边(图2)。模管在其底端不足1m的长度段上为带翼的圆形截面(图2(b)中1-1截面),其余段均为圆形截面(图2(b)中2-2截面)。试验表明,钢模管凸边长度以0.8m为宜。这个长度可确保模管在上拔滑移过程中起良好护壁作用。当管内灌入砼的液面提高至管内砼自重压力足以超出土体恢复回弹力时,管内砼可完全充填凸边随模管上拔滑移瞬间产生的空间。为了减少沉管阻力,可在模管底部外周加钢箍。

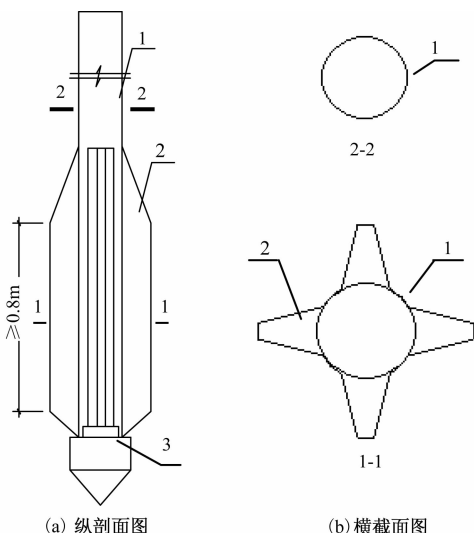


图2 钢模管结构图

Fig. 2 Steel casing structure

1—圆形钢管;2—钢凸边,即侧翼;3—桩靴,也可换成活瓣桩尖

2.2 其它装置

除模管外,十字形灌注桩的施工设备同常规沉管灌注桩。但是,若采用专用的取土设备^[15-19],则除了振压沉管挤土法外,还有振压沉管干取土法、静压沉管干取土法等系列成桩工艺。实践表明,这些新工法施工效率会更高。

3 成桩工艺

十字形灌注桩施工方法较多,按沉管方法分有振

动沉管法和静压沉管法,按挤土与否分有挤土法和取土法(非挤土法),按管内取土方式分有提土器取土法和高频振动排土法。其主要施工工序如图3所示。下面仅对其中关键环节的工艺要点进行阐述。

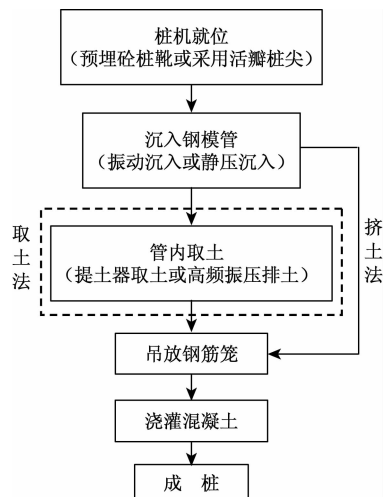


图3 十字形灌注桩施工流程

Fig. 3 Construction program of cross cast-in-place pile

(1)预埋砼桩靴。如存在表层硬层或碎石,应人工挖除。采用挤土法施工时应预埋砼桩靴,如采用活瓣桩尖或采用取土法施工,则不需要预埋桩靴。

(2)桩机就位。采用挤土法施工时,待桩机就位后,模管应套入砼桩靴。如采用活瓣桩尖,则需将活瓣收拢包扎好。

(3)沉管。通过振压或静压将模管沉入土层中,直至设计的深度。当桩长超过单节模管长度时,需进行接管。为了减少沉管阻力,对于多节组合模管,可在接头处加箍。加箍的目的既可以减少沉管阻力,又能加固接头部位,减小接头处的薄弱环节。对于挤土法,当桩较长时,可在模管内注入砼,利用砼自重增加沉管动力荷载,但此时需合理控制好砼的初凝。若采用取土法施工时,则需选用底端开口的模管,将开口模管直接对准桩位沉入,软土进入到模管内。

(4)管内取土。对于长6~12m以内的土体,采用专用提土器(取土长度为6~12m)一次就可取净管内土体;对于长6~12m以外的土体,需采用特制的接杆器与提土器相连^[16-19],同样取土迅速快捷,干净彻底。

(5)吊放钢筋笼。对于基桩,应往模管内吊放钢筋笼。由于模管内截面为圆形,抗变形能力强,而十字形是通过在模管下部0.8m范围内外壁焊接的封闭凸边而成,这意味着模管中的圆形钢管是全长的,因此下放钢筋笼无任何障碍。

(6)浇灌混凝土。从模管上口灌入砼,振动拔管即成图 1 所示异形截面桩。因砼重度远超出软土的重度,当管内灌入砼的液面提高至管内砼自重压力足以超出土体恢复回弹力时,管内砼可完全充填凸边随模管上拔滑移瞬间产生的空间。

4 十字形沉管灌注桩成桩技术的优点

(1)可成大桩长桩超长桩。十字形灌注桩模管为底部 0.8m 加翼的圆形截面钢模管,全长仍主要保持圆形截面,抗变形能力强,加上圆形钢模管接管容易,基本上不存在薄弱环节。因此,可应用于大直径桩和长桩超长桩的施工。圆形钢模管大量应用于长桩超长桩施工的事实也证明了这一点。

(2)既可用于成混凝土桩,又可用于成钢筋混凝土桩。由于钢筋笼易变形,所以 X 形、Y 形截面模管内下放钢筋笼时易出现卡笼问题,即使采用后插筋技术也难解决此问题,这也可能是 X 形桩、Y 形桩目前只应用于地基处理的重要原因。十字形灌注桩模管内截面为圆形,有利于钢筋笼的下放。

(3)模管压入阻力增加很小。十字形灌注桩模管仅在底部 0.8m 加翼,其它部位均为圆形截面,在模管压入过程中阻力不会有明显的增加。

(4)模管适用于多种施工方法。十字形灌注桩采用圆形钢管加侧翼构成模管,通过振压或静压沉管、挤土或干取土或干排土工艺成桩。显然,已经可以形成多系列的十字形桩成桩工艺技术。

(5)效率高。专用的取土设备和工艺可使十字形灌注桩成桩效率很高。专用提土器和专用高频振压排土装置已被证明取土迅速快捷。

(6)成本低。由于桩侧面积增加约 1 倍,桩侧摩阻力将提高 1 倍左右。对于摩擦型桩,竖向承载力可大幅提高,相应地可节省大量的混凝土。

5 工程实例

饱和软土地层上大面积工业厂房和公共建筑、室外大面积堆场地坪,随着填土荷载和使用荷载增加,饱和软土地基的持续固结沉降量大,而且随着时间增长始终不能稳定,并伴有大面积的不均匀沉降,致使地坪高低起伏不平,甚至开裂,影响了正常物流与车辆通行,给正常生产和使用带来困难。宁波软土的厂房与地坪经常就是这种情况。

宁波北仑某厂场地由软土组成,工程地质特征参数如表 1 所示。设计要求厂房地坪复合地基承载力特

征值 $f_a \geq 70\text{kPa}$,场地物流堆场要求复合地基承载力特征值 $f_a \geq 80\text{kPa}$ 。

选择十字形沉管灌注桩复合地基方案,单桩截面参数如图 4 所示,桩砼为 C20。设计桩长 10.5m,桩端进入第 3 层 2.6m(下同)。参照建筑地基处理技术规范^[20],取 $\beta = 0.75$,计算得单桩竖向承载力为 333.04kN。堆场地坪按 2.5m × 2.5m 方形布桩,复合桩基承载力特征值可达 89.9kPa,满足 80kPa 的要求。厂房地坪按 3m × 3m 方形布桩,复合桩基承载力特征值达 73.9kPa,满足 70kPa 的要求。

表 1 地基处理设计计算参数
Table 1 The parameters for design of foundation treatment

层号	土名称	厚度(m)	f_a (kPa)	q_s (kPa)	q_p (kPa)
2a	粘土	0.9	70	14	
2b	淤泥质粘土	7.0	50	9	
3	粘土	6.0	180	20	400

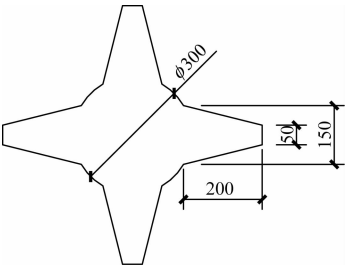


图 4 加翼十字形桩模管参数
Fig. 4 Casing parameters for cross pile with wing

按通常做法,本工程需采用 $\Phi 426$ 沉管灌注桩复合地基(桩砼 C20),桩长 10.5m(单桩竖向承载力为 227.5kN),堆场地坪采用 2m × 2m 方形布桩(复合地基承载力特征值可达 93.0kPa),厂房地坪按 2.5m × 2.5m 方形布桩(复合地基承载力特征值可达 73.0kPa)。

对于此工程,按当年物价,十字沉管灌注桩砼为 450 元/ m^3 , $\Phi 426$ 沉管灌注桩砼为 420 元/ m^3 。此价格中均包括沉桩、特殊钢模管加工,充盈系数按 1.1 考虑。桩长为 10.5m,计入 0.5m 浮浆则均为 11m。则两方案的地基处理成本对比如下:

厂房:十字沉管桩 78.39 元/ m^2 , $\Phi 426$ 沉管桩为 105.36 元/ m^2 。采用前者可节省 25.6%。

堆场:十字沉管桩 112.89 元/ m^2 , $\Phi 426$ 沉管桩 164.62 元/ m^2 。采用前者可节省 31.4%。

由此可见,十字形桩的经济效益十分显著。

6 结论及建议

(1)底部 0.8m 加翼的圆形截面钢模管,抗变形能力强,可用于成大桩长桩或超长桩、混凝土素桩和钢筋混凝土桩,既可用于软弱地基处理,也可作为基础桩的施工。

(2)采用专用取土装置可使十字形桩成桩效率大大提高。专用提土器或专用高频振压排土装置,已被证明取土迅速快捷,从而使十字形桩的成桩效率大增。

(3)十字形桩的承载性状,尤其是十字形工程桩的承载性状研究程度很弱,在十字形桩的设计依据上尚存欠缺,影响其推广。建议在今后大力加强十字形桩的承载性状的试验研究,为十字形桩的可靠设计提供科学依据。

致谢:本文部分工作得到了河南理工大学博士基金项目(648198)的资助,在此谨表谢意!

参考文献:

- [1] 林天键. 现代异形桩及其力学特点的理论评述[J]. 力学与实践, 1998, 20(5): 1-11. [LIN T J. Theoretical discussion on modern special-form piles and their mechanical characteristics [J]. Mechanics in Engineering, 1998, 20(5): 1-11. (in Chinese)]
- [2] 周玉明. 预制 X 型钢筋混凝土桩: 中国, ZL01218447.0 [P], 2002. 3. 13. [ZHOU Y M. a precast X-shaped reinforced concrete pile: China, ZL01218447.0 [P], 2002. 3. 13. (in Chinese)]
- [3] 陆见华, 程林, 赵刚. Y 型沉管灌注桩初探[J]. 岩土工程界, 2001, 4(10): 33-34. [LU J H, CHENG L, ZHAO G. Preliminary study on Y-shaped tube-sinking cast-in-place pile [J]. Geotechnical Engineering World, 2001, 4(10): 33-34. (in Chinese)]
- [4] 陆见华. 一种 Y-H 复合沉管灌注桩: 中国, ZL200420037147. X [P], 2005. 8. 17. [LU J H. a Y-H-shaped tube-sinking cast-in-place pile: China, ZL200420037147. X [P], 2005. 8. 17. (in Chinese)]
- [5] 陆见华. 上塘河整治工程采用 T 形灌注桩护岸[J]. 上海建设科技, 2008(1): 54-56. [LU J H. Application of T shaped pile on the revetment of Shangtang river [J]. Shanghai Construction Science & Technology, 2008(1): 54-56. (in Chinese)]
- [6] 陆见华. 企口混凝土 T 形桩: 中国, ZL200720302293. 4 [P], 2008. 10. 22. [LU J H. a rabbit type T-shaped concrete pile: China, ZL200720302293. 4 [P], 2008. 10. 22. (in Chinese)]
- [7] 刘汉龙. 现浇 X 形钢筋混凝土桩施工方法: 中国, ZL200710020306. 3 [P], 2007. 8. 22. [LIU H L. a construction method for X cast-in-place pile: China, ZL200710020306. 3 [P], 2007. 8. 22. (in Chinese)]
- [8] 陆见华, 凌兰芳, 张广兵. Y 形沉管灌注桩现场工艺试验报告[J]. 浙江建筑, 2004, 21(1): 19-21. [LU J H, LING L F, ZHANG G B. Report of in-situ technology test of Y-shaped tube-sinking cast-in-place pile [J]. Zhejiang Architecture, 2004, 21(1): 19-21. (in Chinese)]
- [9] 陆耀忠, 刘景柱, 曹德洪, 等. Y 形灌注桩在申嘉湖高速公路中的理论与实践[J]. 浙江交通科技, 2006(4): 35-39. [LU Y Z, LIU J Z, CAO D H, et al. Theory and Application of Y-shaped cast-in-place pile on SHENJIAHU highway [J]. Zhejiang Transportation Science and Technology, 2006(4): 35-39. (in Chinese)]
- [10] 刘芝平, 陈育民. 现浇 X 形混凝土桩模型试验[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2009, 37(2): 206-210. [LIU Z P, CHEN Y M. Model tests of behaviors of X-shaped cast-in-place piles [J]. Journal of Hohai University: Natural Sciences, 2009, 37(2): 206-210. (in Chinese)]
- [11] 陈永辉, 王新泉. 公路软土地基处理中 Y 型沉管灌注桩异形特性研究[J]. 中国公路学报, 2008, 21(5): 19-25. [CHEN Y H, WANG X Q. Research on abnormality characteristic of y-shaped tube-sinking cast-in-situ pile in highway soft ground [J]. China Journal of Highway and Transport, 2008, 21(5): 19-25. (in Chinese)]
- [12] 张敏霞, 刘汉龙, 丁选明, 等. 现浇 X 形混凝土桩竖向承载性状模型试验研究[J]. 岩土力学, 2012, 33(2): 389-394. [ZHANG M X, LIU H L, DING X M, et al. Model test of vertical bearing capacity of cast-in-situ X-shaped concrete piles [J]. Rock and Soil Mechanics, 2012, 33(2): 389-394. (in Chinese)]
- [13] 张敏霞, 刘汉龙, 丁选明, 等. 现浇 X 形混凝土桩与圆形桩承载性状对比试验研究[J]. 岩土工程学报, 2011, 33(9): 1469-1476. [ZHANG M X, LIU H L, DING X M, et al. Comparative tests on bearing capacity of cast-in-situ X-shaped concrete piles and circular pile [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2011, 33(9): 1469-1476. (in Chinese)]

- Chinese)]
- [14] 丁选明,孔纲强,刘汉龙,等.一种防止现浇X形混凝土桩拔模时带出桩周土的装置;中国,201010215957. X[P], 2011.8.10. [DING X M, KONG G Q, LIU H L, *et al.* A device for preventing soil arouding pile to be draft out of ground during pulling the casing of X-shaped cast-in-place concrete pile; China, 201010215957. X [P], 2011.8.10. (in Chinese)]
- [15] 孔红斌.一种带凸边形沉管砼灌注桩的成桩装置:中国,200920201192.7[P]. 2010.11.10. [KONG H B. A Pile forming device for tube-sinking cast-in-place pile with wing; China, 200920201192.7 [P], 2010.11.10. (in Chinese)]
- [16] ZOU Z S, KONG Q H, ZHANG W Q. Occlusal cast-in-place piles of whole casing soil grab [J]. *Advanced Materials Research*, 2012, 446-449: 917-921.
- [17] 邹正盛,孔清华,孔红斌,等.矩形钢模管加翼干提土咬合灌注桩研究[J]. *岩土工程学报*, 2011, 33(增2): 304-307. [ZOU Z S, KONG Q H, KONG H B, *et al.* Secant winged case-in-place piles with rectangular case and soil dragline [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2011, 33 (s2): 304-307. (in Chinese)]
- [18] 张文清,邹正盛,孔清华.双矩形钢模管互导干作业地下连续墙[J]. *水文地质工程地质*, 2012, 39(2): 51-55. [ZHANG W Q, ZOU Z S, KONG Q H *et al.* Research on dry diaphragm trenching with self-guided double-rectangular-casing [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2012, 39(2): 51-55. (in Chinese)]
- [19] 李禄荣,孔清华,许光泉.沉入钢管干取土灌注桩[J]. *岩土工程学报*, 1999, 21(1): 94-97. [LI L R, KONG Q H, XU G Q. Driven cast in place pile with soil drawn out dirly (DCPSD) [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1999, 21(1): 94-97. (in Chinese)]
- [20] 中国建筑科学研究院. JGJ79-2002/J220-2002 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002. [China Academy of Building Research. JGJ79-2002/J220-2002 Technical code for ground treatment of buildings[S]. Beijing, China Architecture & Building Press, 2002. (in Chinese)]

Pile-formed technology for cross tube-sinking cast-in-place pile

ZOU Zheng-sheng^{1,2}, KONG Qing-hua^{1,3}, MO Yun-bo^{1,2}, KONG Hong-bin⁴

(1. College of Civil Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

2. Open Laboratory of Deep Mine Construction, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China;

3. Zhejiang Huazhen Engineering Design and Research Institute, Ningbo 315012, China;

4. Zhejiang Geotechnical Foundation Company, Ningbo 315011, China)

Abstract: The change of pile cross section can increase the lateral area of pile, and pile bearing capacity can be improved. Based on this, the piles with abnormal section were developed. At present, a variety of special-shaped section piles on which research or application is more, such as X and Y pile, are formed by the casing with uniform section and tube-sinking method in China. Because the deformation resistance capability of these casings is weak, application of these casings on construction of long piles or super-long piles is limited. The casing for the cross shaped pile is the circular steel casing with bottom wings, and has strong resistance to deformation. So, it can be used in construction of big piles, long piles or super-long piles, concrete or reinforced concrete piles, soil-squeezing piles and soil-borrowing piles, which can be used for foundation treatment, and also for construction of the foundation piles. When the special soil-borrowing devices are used for non soil-squeezing piles, quick construction, high efficient pile-forming and low cost can be able to realize.

Key words: cross cast-in place pile; casing with wings; tube-sinking method; soil-squeezing pile; non soil-squeezing pile

责任编辑:张明霞