

上海地区 $\text{O}550\text{ mm}$ 以下小直径钻孔灌注桩施工探索

黄建生¹, 赖都成¹, 王忠平²

(1. 中国地质工程公司上海公司, 上海 200063; 2. 同济大学建筑设计研究院(集团)有限公司, 上海 200092)

摘要:理论分析、探讨了上海地区钻孔灌注桩的最小极限施工直径。通过 $\text{O}400\text{ mm}$ 钻孔灌注桩施工实例, 探讨直径 $<550\text{ mm}$ 的钻孔灌注桩的施工技术措施和质量保证措施, 并探讨更小直径钻孔灌注桩设计施工的可能性。

关键词:小直径钻孔灌注桩; 极限施工直径; 灌注强度; 上海地区

中图分类号: P634, TU473.1⁺4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2013)12-0074-04

Discussion on Construction of Bored Grouting Pile with Diameter Less than 500mm in Shanghai Area/HUANG Jian-sheng¹, LAI Du-cheng¹, WANG Zhong-ping² (1. China Geo-engineering Corporation Shanghai, Shanghai 200063, China; 2. Tongji Architectural Design (Group) Co., Ltd., Shanghai 200092, China)

Abstract: The smallest diameter limit for bored grouting pile construction in Shanghai area is analyzed theoretically and discussed. By a construction case of a bore grouting pile with the diameter of 400 mm, the discussion is made on the measures of construction technologies and quality assurance for the bore grouting pile with the diameter less than 550 mm, and the possibility of the design and construction for bore grouting pile with even smaller diameter is also explored.

Key words: bored grouting pile with small diameter; limited construction diameter; grouting volume per hour; Shanghai area

1 问题的提出

1.1 设计规范对钻孔灌注桩的直径规定

上海市工程建设规范《地基基础设计规范》(DGJ 08-11-2010)(以下简称“2010 设计规范”)第 7.1.11 条“灌注桩的基本尺寸及构造要求如下:”第 1 款是这么规定的“设计桩径宜大于等于 550 mm……”。在其他现行的规程、规范中,几乎找不到对最小可施工桩径的界定和描述。

囿于设计规范,此前我们施工的灌注桩最小桩径都在 550 mm 以上。湿法(即水下自流状态下混凝土灌注)施工的钻孔灌注桩(以下简称“灌注桩”),最小直径究竟能做到多少,与之配套的深度施工多深比较合适,一直困扰着设计和施工单位。

1.2 探索直径 $<550\text{ mm}$ 钻孔灌注桩的意义

1.2.1 小直径灌注桩的优势

尽管直径 $<550\text{ mm}$ 的钻孔灌注桩,通常情况下可以被预制桩、沉管灌注桩、钢管桩、树根桩等所替代。在环境复杂,特别是建、构筑物 and 地下管线相对密集的城市;或者遇到表层厚度较大的密实砂层时,预制桩、沉管灌注桩、钢管桩等就会显得无能为力。也尽管这种条件下还能被树根桩所替代,但是,树根桩施工受深度限制。通常认为树根桩深度 $>30\text{ m}$

以后,注浆压力很大,对管路的耐压性能要求很高,而且施工质量将很难保证。而这时,恰恰是灌注桩的无挤土效应和低噪声的特点和优势,能够解决问题。

1.2.2 降低成本,节约投资

实际工程施工中,有时并不需要使用直径达到 550 mm 的钻孔灌注桩,通过设计计算,可能只要直径 350 mm 或 400 mm 的钻孔灌注桩就能达到设计要求,但是限于规范规定,设计单位为了满足规范要求,不得不使用直径 550 mm 的灌注桩,造成一定的浪费。

因此,在保证施工质量的前提下,研究施工直径 $<550\text{ mm}$ 的钻孔灌注桩,就显得更加经济,能够有效地降低成本,节约投资。

2 突破桩径设计规范

2.1 突破设计规范的理论依据

虽然 2010 设计规范对灌注桩直径作了界定,但在该规范的条文说明里,却并非“铁板”一块。该规范的条文说明解释说:“上海地区灌注桩多采用泥浆护壁、水下浇筑混凝土的施工工艺。桩径小于 550 mm 时,施工难度较大。”这种表述,可以理解

收稿日期: 2013-06-06

作者简介:黄建生(1972-),男(汉族),福建邵武人,中国地质工程公司上海公司项目经理、注册二级建造师,探矿工程专业,上海市曹杨路 1040 弄 2 号 17 楼;赖都成(1973-),男(汉族),福建泉州人,中国地质工程公司上海公司工程处副主任、国家注册一级建造师,土木工程专业,从事桩基、地基基础、地质灾害和总承包管理工作, ducheng_lai@126.com。

为:设计规范对最小可施工灌注桩直径并没有限制,只是对设计和施工单位作了提醒,为直径 $<550\text{ mm}$ 灌注桩的设计与施工留下了突破口。

2.2 施工的可能性分析

钻孔灌注桩直径 $<550\text{ mm}$ 能不能施工?究竟能够做到多小呢?我们通过“反推法”分析计算,论证钻孔灌注桩能够施工的最小极限直径。

“反推法”计算的前提,必须遵照有关设计规范和施工规程相关规定。“反推法”的原则是:依次确定导管的最小内径 d_1 ,导管壁厚以及接头厚度 h_1 ,导管外径与钢筋笼内径间的环状间隙 h_2 ,钢筋笼的主筋直径 d_2 ,主筋保护层厚度 h_3 ,最终计算得出可施工的最小灌注桩桩径 D 。

2.2.1 混凝土骨料粒径与导管内径匹配分析和确定

按照设计混凝土强度等级,选择小粒径的粗骨料拌制混凝土。上海市工程建设规范《钻孔灌注桩施工规程》(DG/TJ 08-202-2007, J 11042-2007)(以下简称“07施工规程”)规定,骨料最大粒径不应大于钢筋笼主筋最小净距的 $1/3$,宜优先采用 $5\sim 25\text{ mm}$ 的碎石。从“骨料最大粒径不应大于钢筋笼主筋最小净距的 $1/3$ ”中,我们不难读出水下混凝土灌注导管内径必须大于骨料最大粒径的3倍,即不小于 75 mm 。

通过初步分析,我们认为混凝土能在水下自流灌注条件下,顺利通过导管的内径不应小于 75 mm 。为了保证灌注的顺利进行,在这个内径的基础上,我们预留 25% 的安全系数,所以导管内径初步确定为 100 mm 。

2.2.2 导管制作和现场灌注强度模拟测试

规范规定水下灌注混凝土的塌落度一般为 $16\sim 22\text{ cm}$,初凝时间一般在 8 h 左右。现场实测,灌注过程混凝土塌落度损失在 $2\sim 3\text{ cm/h}$ 。根据灌方量计算,小直径钻孔灌注桩灌注施工中,水下灌注强度(水下灌注强度:在水下自流灌注状态下,每小时通过导管混凝土体积)达到 1 m^3 以上,就完全能够满足 8 h 以内完成水下灌注的施工要求。

制作内径 100 mm 的导管,外径 152 mm 。使用粒径 $5\sim 25\text{ mm}$ 碎石混凝土,在钻孔内泥浆密度达到 1.3 g/cm^3 ,以及钻孔长径比 ≥ 100 ,灌方量 $\geq 5.3\text{ m}^3$,导管外径与钻孔直径环状间隙 $\geq 75\text{ mm}$,等较为极端的条件下,测试导管的灌注强度。实践证明,使用该直径的导管,灌注强度能够达到 $1\sim 3\text{ m}^3/\text{h}$,完全满足上述条件。

2.2.3 极端最小灌注桩直径计算

通过和导管制造商探讨,选用无缝钢管制造导管,导管接头使用材料强度较高的钢材制作,可以确定导管以及接头厚度 h_1 为 26 mm 。根据已有的施工经验,我们认为,导管最大外径与钢筋笼内径之间可施工操作的环状间隙 h_2 为 35 mm 。小直径灌注桩钢筋笼的主筋直径,通常设计为 $12\sim 16\text{ mm}$ 。“07施工规程”规定,钢筋笼主筋保护层厚度 $\leq 50\text{ mm}$,且主筋保护层厚度允许偏差 $\pm 20\text{ mm}$,经与相关设计院探讨,可以把钢筋笼主筋保护层厚度 h_3 设计为 30 mm ,用足了允许偏差。

根据上述条件,可以计算出最小桩径:

$$\begin{aligned} D &= d_1 + 2 \times (h_1 + h_2 + d_2 + h_3) \\ &= 100 + 2 \times [26 + 35 + (12 \sim 16) + 30] \\ &= 306 \sim 314\text{ mm} \end{aligned}$$

把上海市“2010设计规范”灌注桩最小桩径 550 mm ,缩小了 $236\sim 244\text{ mm}$,缩小比例达到 $42.91\%\sim 44.36\%$,对“2010设计规范”形成了较大的突破。从而,我们把小直径灌注桩的直径初步定义为“ $306(314)\sim 549\text{ mm}$ ”。详见图1。

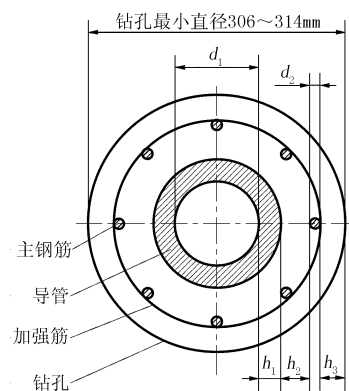


图1 最小桩径计算图

与之配套的合适深度,应由设计人员根据桩的受力条件以及材料强度计算,初步确定长径比。

3 工程设计施工应用实例

我们承接施工的“上海政德东路103号115号地块企业总部大楼”桩基工程,设计单位受设计规范限制,将该项目裙房桩基和部分地下室抗拔桩,设计为桩径 400 mm 、桩深达到 41.5 m 的树根桩。

经过讨论研究,我们认为, 41.5 m 深的树根桩,施工难度大,而且施工成本高。在掌握了相应的数据和经验之后,我们建议采用钻孔灌注桩替代,意见得到了设计单位的采纳。

3.1 工程概况

政德东路103号115号地块新建企业自用办公用房,拟建建筑面积9.4777万 m^2 ,地上由21、19层商业办公楼组成,地下室3层,基坑开挖深度裙房14 m,主楼区挖深按15~18 m。

除塔楼外,其余均采用 $\text{Ø}400$ mm树根桩。树根桩设计有效桩长27 m,桩身混凝土强度等级为C25,全桩长配筋,主钢筋规格为12 $\text{Ø}12/14/16/20$,空桩段长14.5 m,设计桩数766根,要求抗压强度标准值820 kN,抗拔承载力极限值1050 kN。

设计要求:树根桩施工时采用机械钻机在土层中钻孔时宜采用清水或天然泥浆护壁,也可用套管;填料可采用粒径5~25 mm的碎石。填料应经清洗,投入量不应小于计算桩孔体积的0.9倍,填灌时应同时用注浆管注水清孔;注浆材料可采用水泥砂浆、水泥浆液或细石混凝土。当采用碎石填灌时,注浆材料应优先采用水泥砂浆(砂粒粒径不宜大于0.5 mm),若桩身质量有保证则也可采用水泥浆。注浆材料的配比应符合桩身混凝土设计强度等级的要求。

3.2 地层情况

①杂填土,松散,含碎石、建筑垃圾,以粘性土为主,厚度0.8~3.2 m,平均厚度1.71 m,层底标高3.73~1.31 m;

②灰色粘质粉土,很湿,稍密,压缩性中等,厚度0.7~2.2 m,平均厚度1.34 m,层底标高1.94~1.11 m;

③灰色砂质粉土,湿,中密,压缩性中等,厚度6.5~9.0 m,平均厚度7.53 m,层底标高-5.01~-7.59 m;

④灰色砂质粉土,土质不均匀,潮湿,中密,压缩性中等,厚度3.5~8.45 m,平均厚度6.52 m,层底标高-10.12~-14.59 m;

⑤灰色粉质粘土,软塑,压缩性中等~高等,厚度3.0~7.8 m,平均厚度5.31 m,层底标高-16.98~-18.24 m;

⑥暗绿~灰绿色粉质粘土(俗称“硬土层”),可塑~硬塑,土质较好,厚度6.8~8.3 m,平均厚度7.66 m,层底标高-24.72~-26.24 m;

⑦草黄~灰色砂质粉土,湿,中密,压缩性中等,土质不均匀,厚度7.6~10.8 m,平均厚度9.06 m,层底标高-33.37~-36.36 m;

⑧灰色粘土,软塑,土质较均匀,厚度7.3~10.0 m,平均厚度8.76 m,层底标高-42.37~-44.15 m;

⑨灰色粘土,软~可塑,土质较均匀,厚度7.4~10.5 m,平均厚度8.85 m,层底标高-51.26~-53.47 m。

3.3 现场实况及应对措施

(1)鉴于现场平面面积小、桩数多、桩型多的特点,不利于施工布场,要求在施工布场、施工流程流向等方面都要有一个科学合理的安排。

(2)基坑开挖深度14~18 m,对桩孔垂直度要求精度高,设计桩顶部位的钢筋和混凝土控制难度大。

(3)工程地质条件差,地层砂性较重,容易造成塌孔,对施工工艺的有效控制要求较高。

(4)766根 $\text{Ø}400$ mm树根桩,孔径小、孔深约42 m,长细比100倍,且存在空孔14 m,施工难度较大。

上述工程特点也是施工和管理的难点。除树根桩外,其他的难点,通过周密安排、精心组织和以往工程的施工经验,都得到有效控制。为此,对施工难度较大的树根桩,工程处成立了以项目为主的技术攻关小组,对树根桩的施工工艺进行改进,现场的树根桩全部按照灌注桩的工艺方法进行施工,开创了微型灌注桩施工的先例,改良后树根桩的施工方法主要有如下几个特点:

(1)采用外径168 mm(最大外径210 mm)、内径158 mm的小型导管代替常规的 $\text{Ø}258$ mm导管,解决了钢筋笼与导管的间距和混凝土灌注2个问题。

(2)采用7.5KWA型泥浆泵替代3PNL泵进行泥浆循环,解决了泵量问题。

(3)采用5~25 mm细石混凝土替代常规的水下混凝土,解决小导管灌注问题。

3.4 取得成效

通过上述3个方面的改进后,克服了树根桩自身工艺的缺点,主要表现在以下几个方面:

(1)常规树根桩的施工工艺是先成孔后下笼投石洗石注浆成桩。按照这种工艺,首先面临着工作面问题,即:在狭小的施工区内,要安排碎石、水泥堆场及注浆工场,影响文明施工,工期也会受到影响。而新工艺施工可以同步开工7台套桩机,达到日成桩在25根左右,不受施工顺序的限制。

(2)常规树根桩施工洗石、替浆和注浆耗用自来水是灌注法树根桩的3~5倍,同时产生大量的稀泥浆,而新工艺施工恰好避免了这个弊病,特别是在本工程用水量严重不足的情况下更解决了一大难题,达到节能减排的效果。

(3)常规树根桩施工对15 m空孔段的水泥浆液面控制没有衡量的标准,只有水泥浆返回地面时才能停止注浆,在非结构部位增加了水泥用量是一种浪费,而新工艺施工通过一定、可测量的超灌长度来保证桩顶混凝土强度的要求。

(4)从施工角度看,新工艺施工采用提升法进行水下混凝土灌注可以使得桩身混凝土更加密实,更有效地保证了施工质量。而传统的树根桩在小应变测试时常会出现较大比例的Ⅲ类桩。

(5)常规树根桩非我单位的施工强项,只有通过转包或清包的方式来协助完成,费用控制的受制因素较多,而新工艺施工已经将其转变成常规的灌注桩施工,可以与其他类型的灌注桩一并施工,有效地降低了施工成本。

(6)新工艺施工过程中未发生过各类成桩事故,桩体灌注均一次成型,实践证明,灌注法施工工艺在本工程的施工是成功的。

(7)基坑开挖后,对树根桩进行桩顶标高和桩位置偏差最终验收,全部偏差均在允许偏差范围之内。

(8)试成孔和孔径、孔斜垂直度测试250根,各项指标均达到设计和规范要求;静荷载测试桩S472、S558、S432、S242、S671、S138、S45、S439全部

抗压承载力 ≥ 1050 kN;高应变测试5根桩全部为Ⅰ类桩;低应变测试Ⅰ类桩比例占总数96.7%,Ⅱ类桩比例占总数3.3%,无Ⅲ类桩或低于Ⅲ类桩出现,符合设计及规范要求,所有桩均作为正常工程桩使用。

4 结论

上海地区钻孔灌注桩最小施工直径,根据我们目前的施工实践,可以做到 $\varnothing 400$ mm。在加强现场施工管理,以及施工措施得当的情况下,施工质量完全可以保证,甚至可以把钻孔灌注桩的直径做得更小。

参考文献:

- [1] 陈礼忠,吴秋林.海上超长超大直径钻孔灌注桩新工艺施工探索[J].建筑施工,2005,(9).
- [2] DGJ 08-11-2010,地基基础设计规范[S].
- [3] 赖都成.上海政德东路103号115号地块企业总部大楼桩基工程施工组织设计[Z].上海:中国地质工程公司上海公司,2010.
- [4] 沈康源.小直径钻孔灌注桩的质量控制[J].建筑技术,1994,(12).
- [5] 李宗泉.小直径冲孔灌注桩施工常见质量问题[J].城市建设理论研究,2012,(8).

(上接第73页)

停止水泵运转,观察水位上升情况,水位上升较快,打开预先留置的阀门,让水滴出到木盒子形成的混凝土坑内,用提出来的水泵将混凝土坑内的水抽净,控制井管内的水位上涨。同时对管井法兰顶端进行封堵,加设垫子后扣上盲板,拧紧螺丝螺母,关掉阀门,观察水位是否上升有溢出现象。在井管法兰盘位置因为单面焊接,局部出现漏焊点,水呈现喷射状喷出,打开阀门降低水位,用电焊焊接加固处理。再无水渗出,关掉阀门抽净残留水,观察约2 h,井管周边不再出现渗漏现象时,浇筑C35的微膨胀早强混凝土,在混凝土初凝期对减压井周边进行观测,未出现裂缝渗水现象,减压井封堵效果良好,满足了现场施工要求。

4 结语

深入承压水层的降水井对于降低承压水头有良

好的作用,但后期控制水位和封井较为复杂,要求技术成熟,操作正确,方能进行控制。实践表明,采用加长成品铁质井管可控水位措施封堵减压井是安全有效的,且技术成熟,操作高效简单,值得在类似工程中推广运用。

参考文献:

- [1] 刘国彬,王卫东.基坑工程手册(第二册)[M].北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [2] 姚天强,石振华.基坑降水手册[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [3] 李长捷.深基坑降水设计方案研究[J].山西建筑,2008,34(11):136-137.
- [4] 王健.对深基坑井点降水理论与其在实际应用中某些问题之浅见[J].北京建筑工程学院学报,1997,13(4):92-97.
- [5] 章昕.深基坑降水技术浅析[J].岩土工程学报,2010,32(S2):443-446.