

# 福建沿海地区大直径超长嵌岩冲(钻)孔 灌注桩施工质量控制

陈雄生

(福建地矿建设集团公司,福建福州 350002)

**摘要:**福建沿海地区地质条件复杂,施工难度大,大直径嵌岩冲(钻)孔灌注桩得到了普遍采用。通过施工中桩孔形态、嵌岩深度、孔底沉渣、桩身砼灌注等环节的质量控制,能够使大直径嵌岩冲(钻)孔灌注桩满足高层、超高层建(构)筑物基础需要。

**关键词:**桩孔形态;嵌岩深度;孔底沉渣;桩身砼灌注;质量控制

**中图分类号:**TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:**B **文章编号:**1672-7428(2006)09-0019-03

## 1 概述

近年来,随着福建沿海一带经济的蓬勃发展和可供建设用地的日益减少,高层、超高层建(构)筑物越来越多。为满足大荷载的要求,大直径嵌岩冲(钻)孔灌注桩因具有承载力高的特性,已成为高层、超高层建(构)筑物理想的基础形式,被设计部门普遍采用。

由于福建沿海地区属花岗岩分布区,受地质构造作用,地层演变极为复杂,岩面埋藏较深,桩孔分布地层中,上部淤泥层、砂层较厚,孔壁稳定性差,下部碎块状强风化岩硬度大,钻进效率低,且在土层中普遍存在花岗岩球状风化包裹体(孤石)和岩浆后期侵入岩脉,施工难度相对较大。

目前,冲(钻)孔灌注桩施工设备一般选用 GPS-15 型工程钻机配硬质合金球齿牙轮钻头和 ZJK5 型冲击钻机等常规设备,通过不断改进施工工艺技术,以提高钻进效率,并在施工中严把桩孔形态、嵌岩深度、孔底沉渣、桩身砼灌注等施工质量关,来确保桩基高承载力目标的实现。本文根据我单位多年来的施工实践,谈谈大直径冲(钻)孔超长嵌岩桩几个施工环节的质量控制。

## 2 桩孔形态质量控制措施

桩孔形态是指桩孔的垂直度、弯曲度、桩身的任一截面直径应符合桩基在受力状态下,其水平推力、承载力、抗拔力符合安全使用要求。其控制措施就是在施工中通过确保桩孔垂直,防止孔壁坍塌、超

径、缩径,以保持孔壁稳定,实现桩孔形态控制。

### 2.1 桩孔垂直度控制

在桩孔深、岩面陡(基岩面、中风化包裹体面)条件下钻进成孔,保证钻孔垂直度是一个难题。在施工过程中,需认真、细致地按操作规程操作,并对设备、器具进行改进,主要对如下几个方面进行控制。

(1)保证机械器具的完好性,发现有松懈部件,立即进行更换,同时对一些易损耗、不稳定部件进行改进。

(2)Ø168 mm 钻杆使用牙嵌法兰式连接,提高钻具的刚性和导正效果,增强钻具的抗扭能力。

(3)改进钻头结构和钻头形式,在陡峭地层中使用特制的防斜筒式钻头,控制孔斜。

(4)在软硬交替地层施工时,及时调整钻进技术参数。回转钻进宜轻压慢转;冲击钻进则低锤勤击。

(5)施工中随时监测桩孔垂直度:回转钻进在每次加杆时就注意观察钻孔垂直度,钻进中用线锤或经纬仪检查主动钻杆垂直度(每班不少于 2 次),发现孔斜及时将主动钻杆提高 2~3 m,用“吊磨法”纠斜;冲击钻进则随时检查钢丝绳是否与护筒中心保持一致,发现偏离,应将钻头提离孔底 1~2 m,低锤慢击纠斜,孔斜较严重时,应立即回填片石(片石厚 30~50 cm),重新击进。

### 2.2 孔壁坍塌、超径控制

(1)采用泥浆护壁,选用适合该土层的高质量泥浆。

收稿日期:2006-07-20

作者简介:陈雄生(1968-),男(汉族),福建上杭人,福建地矿建设集团公司地灾评估中心主任、工程师,土木工程专业,从事地基与基础工程设计、施工工作,福建省福州市杨桥西路 145 号,(0591)87643173、13706961922,mikc23@263.net。

(2) 孔内保持足够的水头高度。

(3) 按照要求埋设护筒, 一般情况下护筒埋设深度为 1.5 ~ 2.5 m, 在松散杂填土层应将该层隔离, 必要时采用人工护壁处理。

(4) 在松散的粉砂土层中钻进时, 应控制进尺速度, 防止孔壁失去平衡而造成坍塌。

(5) 终孔后, 砼灌注前, 仍需保持有足够的水位, 并尽可能缩短准备工作的时间。

### 2.3 防止缩径措施

(1) 采用优质泥浆, 合理控制泥浆密度和粘度, 严格控制失水量。

(2) 当设计桩距小于  $(2.5 \sim 3)D$  ( $D$  为桩孔直径) 时, 应采取跳隔 1 ~ 2 根桩施工, 新桩孔应尽可能在邻桩成桩 2 ~ 3 天后再钻进。

(3) 改进钻头结构, 采用高度  $> 2.5$  m、有双导正环保径的笼式钻头钻进。

## 3 岩面及嵌岩深度控制

大直径超长嵌岩桩桩端完全嵌入设计要求的持力层(岩层)是确保其高承载力的关键。施工中需准确判定岩面, 并保证嵌岩深度达到设计要求。

### 3.1 持力层岩面判定

(1) 根据工程地质勘察资料提供的岩面等高线图初步判定每根桩的岩面深度。

(2) 根据冲(钻)进速度的变化和返浆携带的渣样, 参照工程地质勘察资料中对持力层特性的描述进行判定。

(3) 必要时进行小径取心判定。

### 3.2 嵌岩深度控制

由于福建沿海地层普遍分布有中~微风化包裹体、孤石等夹层, 为保证桩尖进入设计岩层, 必须先穿越此坚硬的夹层, 施工中应采用多种手段, 以提高生产效率。

#### 3.2.1 夹层(中~微风化包裹体、孤石)冲(钻)进技术

(1) 改进钻头结构和形式, 提高钻进效率。特别是回转钻进的刀具分布数量、出刃角度和冲击钻头的刀具的机械物理性能及数量分布的优化。

(2) 采用牙轮钻头钻进技术, 达到嵌岩的目的。

(3) 选用适宜的施工设备, 如调用冲击钻机施工。

(4) 采用水下微差控爆技术, 以提高在特别坚硬的微风化孤石中的成孔效率。

(5) 采用分级破碎技术。先采用小径钻头引

孔, 再用大一级口径钻头扩孔, 进行逐级破碎。

#### 3.2.2 嵌岩冲(钻)进技术

(1) 采用牙轮钻头钻进。通过牙轮掌在孔底绕钻杆公转和牙掌心轴自转产生的滑动、滚动和冲击振动的破碎岩石机理, 实现钻头对岩石既有冲击、压碎作用, 又有滑动产生剪切和刮挤的作用, 来达到碎岩效果。同时, 要达到较好的碎岩效率, 必须要有足够大的冲击滚动作用和剪切、刮挤作用, 也就是要有足够的压力做保证, 钻压可根据不同工况, 按下式计算确定:

$$P_{\min} = 1.18(n_1P_1 + n_2P_2 + n_3P_3)$$

式中:  $P_{\min}$ ——最低钻压值, kN;  $n_1, n_2, n_3$ ——钻头上  $\varnothing 21.6, 24.1, 31.1$  cm 牙掌的数量;  $P_1, P_2, P_3$ ——每个  $\varnothing 21.6, 24.1, 31.1$  cm 牙掌所需最低钻压值, kN/个。

(2) 冲击钻机击进嵌岩。使用 3.5 t 冲锤, 初击岩面时, 低锤勤击, 以免偏斜, 在全断面嵌入岩层后, 选用高冲程冲击, 加大冲击能量, 并调制合理泥浆性能, 勤掏渣, 提高钻进效率。

#### 3.2.3 嵌岩深度控制

嵌入岩层深度应根据持力层岩面的产状, 确保桩端完整断面嵌入岩层满足设计要求, 一般要求嵌入岩层  $(0.5 \sim 1.0)D$ 。在实际施工过程中, 应根据岩面的倾斜情况, 保证嵌入深度, 防止桩端在上部荷载作用下的滑移。

## 4 孔底沉渣控制

孔底沉渣是冲(钻)孔灌注桩一项极为重要的质量控制指标, 尤其是嵌岩桩, 它直接影响到建筑物的安全, 沉渣未控制好, 直接影响基础承载力, 可能造成建筑物不均匀沉降、开裂、倾斜、甚至倒塌等严重后果。孔底沉渣必须得到有效控制, 才能确保建筑物的安全。

大直径超长嵌岩桩, 桩孔深、桩径大, 沉渣厚度  $\geq 10$  cm, 一般清渣方法难以达到这一要求。采用先进的清渣工艺技术, 孔底沉渣可以得到良好的控制, 且优于设计要求:

(1) 使用优质泥浆技术。在清孔前, 先将泥浆池清理干净, 在清孔过程中逐步调制泥浆, 使其粘度、切力、密度具有最优值, 并具有良好的流变特性, 在循环时能有效地将粒渣携带到地面清除, 当停泵时泥浆内部形成网状结构, 阻止或减缓桩孔内泥浆中的砂粒下沉。

(2) 采用桩端高速喷射清渣 - 不间断连续清孔技术。

目前,普遍采用的清渣工艺是在利用导管清渣干净后,装上漏斗,并贮备足量的初灌量砵,再剪球灌注砵。按这种常规工艺,从清孔干净后停泵至剪球时间间隔至少需 30 min,则在该段时间内,由于循环液停止循环,使循环液中的颗粒再次沉淀,形成二次沉渣,根据泥浆性能差异,二次沉渣厚度亦不相同,若泥浆技术指标不理想,间隔时间又太长,二次沉渣厚度必然超标,由此留下严重的工程质量隐患。因此,如何确保桩底沉渣厚度能得到良好的控制,是长期困扰着施工界的一个技术难题。在本工程中采用我公司研制的桩端高速喷射清渣-不间断连续清孔技术,解决了二次沉渣难题。其工艺是利用导管在砵灌注前进行桩底高速喷射二次清孔,孔底流速  $< 2$  m/s,桩底周边均得到强力清洗直到沉渣厚度基本为零,不留死角。然后利用我公司研制的特殊装置,实现在清孔与砵灌注初灌剪球的工序转换间时间  $\geq 2$  s,泥浆对孔底的动态冲洗几乎没有间断,从而使二次沉渣无形成的时间条件。

(3) 采用大初灌量(一般初灌量为  $3 \sim 4$  m<sup>3</sup>),使大初灌量形成的势能在剪球后转化为快速水流动能,冲开可能残留在孔底的少许沉渣,使沉渣清洗进一步加强。

上述方法的综合应用,有效地控制了桩底沉渣优于规范和设计要求。

## 5 砵灌注质量控制

砵灌注是桩基施工中的最后一道工序,也是确保成桩质量的关键工序,必须高度重视,施工中采取如下几个控制措施。

(1) 超长桩灌注水下砵,选用内径较大的  $\varnothing 250$  mm 导管,标准节长度 2.5 m。导管连接应平直可靠,密封性好。新导管经 0.6 MPa 压力检验无漏气现象才使用。导管密封性、壁厚、焊接处及连接部位丝扣、内壁光洁度定期检查,发现问题及时处理。

(2) 认真做好砵灌注计划,使用吊车等机械设备协助灌注,缩短灌注时间,确保灌注顺利完成。

(3) 砵灌注必需连续作业,参与砵作业的机械设备性能良好,并应有足够的应急措施。

(4) 严格按配合比下料,保证搅拌时间,控制好砵制作质量,使其具有良好的和易性及流动性。

(5) 砵初灌量应能保证砵灌入后导管理入砵面深度 0.8 ~ 1.30 m,导管内砵柱和管外泥浆柱压力平衡。计算公式如下:

$$V \geq \pi d^2 h_1 / 4 + \pi D^2 K h_2 / 4$$

式中:  $V$ ——砵初灌量, m<sup>3</sup>;  $h_1$ ——管内砵柱与管外泥浆柱压力平衡所必需高度,  $h_1 = (h - h_2) \gamma_w / \gamma_c$ ,  $h$ ——桩孔深度, m;  $h_2$ ——初灌砵下灌后,导管外砵面高度,取 1.3 ~ 1.8 m;  $\gamma_w$ ——泥浆密度,取 1.15 ~ 1.30 t/m<sup>3</sup>;  $\gamma_c$ ——砵密度,取 2.3 ~ 2.4 t/m<sup>3</sup>;  $d$ ——导管内径, m;  $D$ ——桩孔直径, m;  $K$ ——砵充盈系数,取 1.1 ~ 1.3。

计算超长桩砵初灌量时,  $h_2$ 、 $\gamma_w$ 、 $K$  应取大值,  $\gamma_c$  应取小值,以提高砵灌注安全系数,保证灌注质量。

对于大直径超长嵌岩桩初灌量一般为  $3 \sim 4$  m<sup>3</sup>。

(6) 导管理入砵面的深度。水下砵灌注过程中,导管应始终埋在砵中,严禁将导管提出砵面。埋入深度除按规范执行外,还应观察孔口返浆情况,如果孔内不能自动返浆,说明导管已埋入太深,应适当拔除导管。

(7) 灌注过程中随时测定砵面高度,认真做好记录,绘制砵灌注剖面图。

(8) 卸导管前应用重锤测绳测量砵面位置,并根据砵灌注量计算复核无误后,方可卸管。砵面深度  $> 40$  m 时,每次宜卸一节(2.5 m)。

(9) 导管捣插方法。拔管时,应缓缓起拔,适量反插逐渐提升导管,使桩身砵密实和桩周砵饱满。

(10) 桩顶处理。当砵灌注达到设计桩顶标高时,应继续灌注一定的超灌高度,以免桩顶浮浆影响,保证设计桩顶标高以下的砵质量符合设计要求。

## 6 工程实例

近年来,我单位在福建沿海地区施工大直径超长嵌岩桩累计砵量约 6 万 m<sup>3</sup>,工程质量均为优良。如某建筑物 42 层,楼高 168 m,加附属物总高为 186 m。该场地地质条件复杂,基岩面陡峭,场地内岩面高差达 30 多米,局部呈陡崖状,岩面深达 80 m,在强风化层地层中分布有大量的无规律、球状中~微风化包裹体,选用冲(钻)孔灌注桩,桩径 1200 mm,桩数 203 根,砵强度 C35,持力层为中风化层,要求嵌岩 0.6 m,设计单桩承载力为 9200 kN,累计施工砵灌注量 13807.49 m<sup>3</sup>;其中最大桩深 80.10 m,平均桩深 70 余米。我单位使用常规冲孔桩施工设备,通过改进施工工艺技术,做好桩孔形态、嵌岩深度、沉渣、砵灌注等各工艺环节的质量控制,优质、高效完成了施工任务。通过静载荷试验,单桩极限承载力  $> 19500$  kN,小应变、超声波、抽心检测表明,桩身砵完整、密实,沉渣控制良好。(下转第 25 页)

达 36 mm, 位移速率一般 0.5 ~ 1.0 mm/d; S4 点变形较大, 累计水平位移 62 mm, 位移速率一般 0.5 ~ 1.0 mm/d。详见图 2。

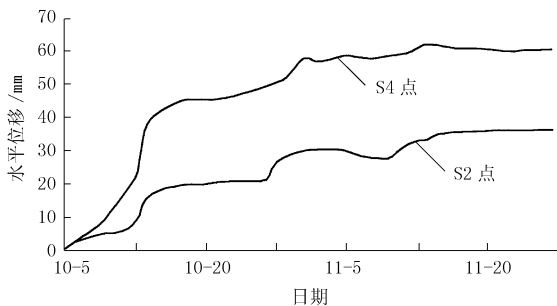


图 2 水平位移-时间关系曲线

由图 2 并结合基坑开挖、施工具体情况得出如下几点看法:

(1) S4 点变形较大, 累计水平位移达 62 mm, 已超过规范规定及设计要求。主要原因是该处有一根搅拌桩搅拌不匀, 开挖至 -3.5 m 发生涌砂现象, S4 点水平位移在短短 3 天内由 12 mm 增至 39 mm, 占整个施工期间位移量的近 50%; 而邻近的 S1 ~ S3 点在此期间位移量仅增加 7 ~ 11 mm。显然, 基坑涌砂对支护体变形影响较大, 搅拌桩止水帷幕施工质量直接关系到支护的成败。

(2) S2 点累计水平位移在 36 mm, 位移速率一般 0.5 ~ 1.0 mm/d, 个别时段位移速率 3 ~ 5 mm/d, 小于但接近规范规定及设计要求, 运行平稳。

(3) 2005 年 10 月 10 日前基坑开挖至 -2.5 m 时, S4 点变形达 12 mm, 而 S1 ~ S3 点水平位移仅 4 ~ 5 mm。这是因为 S4 点距西侧基坑阳角仅 10 m, 显然, 基坑阳角处位移要大一些, 因此对基坑阳角应慎重处理。

(4) 虽然 S4 点累计水平位移达 62 mm, 已超过规范规定及设计要求并超出警戒值, 但搅拌桩止水帷幕并未发生剪断或失效现象, 说明搅拌桩止水帷幕在与刚性桩结合起支护作用时, 尚有一定的抗剪断能力。

(5) 实践证明, 对办公楼基础进行超前补强加固, 较好地控制了办公楼不均匀沉降, 沿基础短边方

向最大沉降量 19 mm, 最小沉降量 8 mm, 最大倾斜 0.9‰, 远小于设计和规范要求。虽然 S4 点支护体变形较大, 但该处办公楼沉降监测点沉降仅 19 mm。

## 5 结论与建议

(1) 监测结果表明, 在整个基坑开挖期间, 除异常点外大部分监测点水平位移在 24 ~ 36 mm, 小于或接近国家规范及设计要求, 因此, 在郑州东区 5 ~ 6 m 深软土基坑中采用预应力管桩作为支护体是可行的, 与以往钻孔灌注桩支护体比较, 具有节省工期、成本明显较低、不污染环境的优点。就本工程而言, 其部分地段若采用钻孔灌注桩作支护体, 约需 30 万元, 而采用预应力管桩作支护体, 仅需 14 万元, 仅支护费用就可节省 50%, 其经济优势显而易见。因此在郑州东区对 5 ~ 6 m 深的软土基坑且邻近建筑物较近时采用预应力管桩作支护体比采用传统的桩锚支护体具有明显的经济优势, 对郑州东区类似基坑的设计与施工有明显的借鉴作用。

(2) 预应力管桩支护体水平位移的变形与基坑深度、地质、地下水条件、支护体刚度等密切相关, 也与止水帷幕施工质量、止水效果好坏密切相关。现场实践表明, 一旦止水帷幕搭接不好, 极易出现涌砂事故, 即使时间较短, 也将导致支护体水平位移有较大突变, 一般数小时内可增加 10 ~ 20 mm; 而过大的支护体位移有可能导致止水帷幕剪断、失效, 又进一步加剧支护体水平位移, 如此形成恶性循环。建议今后应加强对预应力管桩支护体应力、变形及影响因素的研究工作。

(3) 预应力管桩支护体属高强度刚性桩, 但配筋较少, 可否用于 8 ~ 10 m 及以深基坑有待进一步探索。

## 参考文献:

- [1] GB 50202 - 2002, 建筑地基基础工程施工质量验收规范[S].
- [2] JGJ 120 - 99, 建筑基坑支护技术规程[S].
- [3] GB 50007 - 2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [4] 龚晓南. 第七届地基处理学术讨论会论文集[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 知识产权出版社, 2002.

(上接第 21 页)

## 7 结语

随着我国国民经济的发展, 城市高层建筑和重型建(构)筑物的日益增多, 桩基荷载加大、桩孔加深, 大直径超长钻孔灌注桩得到了广泛地应用。本

工程实践在于使用常规设备, 通过改进工艺, 做好各工序间的质量控制, 使大直径超长灌注桩能够满足在复杂地质条件下建造大型建筑物的基础需要, 其所表现出的单桩承载力高、稳定性好、适应性强、施工方便、无噪声等优点, 必将在我国地基基础技术进步和建设事业发展中起到积极的作用。