

# 多技术链协同保障某超高层建筑超深大直径 灌注桩承载力

黄伟钧, 尹振礼, 林富光

(温州浙南地质工程有限公司, 浙江温州 325000)

**摘要:**以温州凯迪中心超高层建筑项目为例,论述了其超深大直径灌注桩单桩承载力取值过程;通过旋挖与冲击钻进组合成孔技术、反循环除渣及泥浆净化技术、孔底沉渣检测技术、混凝土浇筑质量保障技术、两次桩底注浆技术等多技术链协同保障桩孔垂直度、孔底沉渣厚度、桩身混凝土质量、持力层承载力发挥等,为超高层超深大直径灌注桩承载力发挥提供重要的技术保障;同时通过基桩埋管声波透射法检测技术和超大吨位静载荷试验技术,为超高层建筑超大吨位超深灌注桩桩身完整性和承载力检验提供安全技术保障。本文对超高层建筑超大吨位超深大直径灌注桩承载力设计及发挥具有借鉴作用。

**关键词:**超高层建筑;超大吨位;超深大直径灌注桩;承载力;多技术链协同

**中图分类号:**TU473.1<sup>+</sup>4 **文献标识码:**B **文章编号:**2096-9686(2026)01-0149-07

## Multi-technology chain collaboration ensures bearing capacity of ultra-deep large-diameter cast-in-place piles in a super high-rise building

HUANG Weijun, YIN Zhenli, LIN Fuguang

(Wenzhou Zhenan Geology Engineering Co., Ltd, Wenzhou Zhejiang 325000, China)

**Abstract:** Taking the Wenzhou Kaidi Center super high-rise building project as an example, this paper discusses the process of determining the bearing capacity of its ultra-deep large-diameter cast-in-place piles. Through the collaborative application of multiple technology chains—including the combined rotary drilling and percussion drilling hole-forming technique, reverse circulation slag removal and mud purification technology, hole-bottom sediment detection technology, concrete pouring quality assurance technology, and two-stage pile bottom grouting technology—the verticality of the pile holes, the thickness of sediment at the hole bottom, the quality of pile concrete, and the mobilization of bearing capacity in the load-bearing layer are effectively ensured. This provides important technical support for achieving the designed bearing capacity of ultra-deep large-diameter cast-in-place piles in super high-rise buildings. Furthermore, by employing the cross-hole sonic logging detection method with embedded pipes and ultra-high-tonnage static load testing technology, reliable safety assurance is provided for verifying the integrity and bearing capacity of ultra-high-tonnage, ultra-deep cast-in-place piles in super high-rise structures. This paper offers valuable insights for the design and performance realization of ultra-large-tonnage, ultra-deep large-diameter cast-in-place piles in super high-rise buildings.

**Key words:** super high-rise building; ultra-large-tonnage; ultra-deep large-diameter cast-in-place pile; bearing capacity; multi-technology chain collaboration

### 0 引言

近年来,随着温州地区经济和城市建设的高速

发展,超高层建筑日益增多。超高层建筑因其巨大自重与复杂外部荷载作用,对基础的承载力要求较

收稿日期:2025-08-14;修回日期:2025-12-05 DOI:10.12143/j.ztgc.2026.01.022

第一作者:黄伟钧,男,汉族,1983年生,工程师,勘查技术与工程专业,主要从事基础工程、基坑支护、地基处理方面的技术工作,浙江省温州市瓯海区站前路199号,281028196@qq.com。

引用格式:黄伟钧,尹振礼,林富光.多技术链协同保障某超高层建筑超深大直径灌注桩承载力[J].钻探工程,2026,53(1):149-155.

HUANG Weijun, YIN Zhenli, LIN Fuguang. Multi-technology chain collaboration ensures bearing capacity of ultra-deep large-diameter cast-in-place piles in a super high-rise building[J]. Drilling Engineering, 2026, 53(1): 149-155.

高,良好的地质条件往往能够提供较高的承载力。温州地区地质条件上覆数十米深厚滨海相淤(冲)积软土<sup>[1]</sup>,不能提供足够的侧摩阻,往往需选择基岩或者卵石层作为持力层。选择基岩为持力层的超高层建筑代表有:置信广场(建筑高度255 m,基岩埋深90~100 m),鹿城广场(建筑高度379 m,基岩埋深约120 m)等;选择卵石层为持力层的超高层建筑代表有:青山全球总部大楼(建筑高度419 m,持力层为⑥<sub>3</sub>卵石层),滨江万象城(建筑高度300 m,持力层为④<sub>3</sub>卵石层),民商银行总部大楼(建筑高度200 m,持力层为④<sub>3</sub>卵石层)等。上述超高层建筑选用超深大直径泥浆护壁成孔灌注桩作为基桩,桩径 $\geq 1$  m,孔深 $\geq 80$  m,承载力极限值 $\geq 20000$  kN,成孔方式有回转成孔、冲击成孔和旋挖成孔。超高层建筑采用超大吨位超深大直径灌注桩,对成桩质量和技术要求较高。

许多学者对超高层建筑超深大直径灌注桩开展了研究,如软土地区超高层灌注桩承载力计算取值研究<sup>[2-4]</sup>,超高层大直径灌注桩承载力检测技术研究<sup>[5-6]</sup>,后注浆提高超高层灌注桩承载力研究<sup>[7-10]</sup>,深厚卵石层成孔技术研究<sup>[11-13]</sup>,如何解决卵石层急性漏浆问题<sup>[14]</sup>,超深大直径桩孔内泥浆性状<sup>[15]</sup>、泥浆护壁工艺<sup>[16-17]</sup>、孔底沉渣及孔底除渣技术研究<sup>[18-20]</sup>。

笔者根据温州凯迪中心超高层项目桩基施工全过程,从基桩承载力取值、施工过程多技术协同控制技术、桩身完整性和承载力检验技术等3方面论述保障超高层建筑超大吨位超深大直径灌注桩承载力的技术质量措施,为超深大直径灌注桩在建筑领域的应用提供借鉴。

## 1 项目概况

### 1.1 工程概况

凯迪中心超高层项目位于温州龙湾区蒲州街道,主楼58层,高度248 m,核心筒结构,桩基础,下设3层地下室,开挖深度约15 m。主楼桩249根,桩径1000 mm,孔深约85 m,有效桩长约70 m,桩端全断面进入持力层⑥<sub>33</sub>卵石层 $< 3.0$  m,混凝土强度等级为C50,采用桩底注浆技术,单桩抗压承载力特征值10000 kN,地坪面静载试验加压荷载值为20600 kN。

### 1.2 地质条件情况及单桩承载力取值

#### 1.2.1 地质条件情况

地基土设计计算主要参数见表1。

表1 地基土设计计算主要参数建议采用值

Table 1 Recommended values of the main parameters for geotechnical design calculations

地层编号	地层名称	地基承载	桩侧土阻	桩端土阻
		力特征值 $f_{ak}/\text{kPa}$	力特征值 $q_{sia}/\text{kPa}$	力特征值 $q_{pa}/\text{kPa}$
① <sub>2</sub>	黏土	60	8	
② <sub>1</sub>	淤泥	50	5	
② <sub>2</sub>	淤泥	55	7	
③ <sub>1</sub>	淤泥质黏土	75	11	
③ <sub>2</sub>	黏土	90	13	
④ <sub>1</sub>	黏土	130	24	240
④ <sub>21</sub>	黏土	110	20	200
④ <sub>22</sub>	粉质黏土	140	26	280
④ <sub>31</sub>	粉砂	200	32	400
④ <sub>32</sub>	圆砾	300	37	1500
④ <sub>32a</sub>	黏土	130	24	240
④ <sub>33</sub>	卵石	400	43	2000
④ <sub>33a</sub>	粉砂	200	32	500
④ <sub>33b</sub>	粉质黏土	130	24	240
⑤ <sub>1</sub>	黏土	140	26	270
⑤ <sub>2</sub>	黏土	120	23	260
⑥ <sub>1</sub>	粉质黏土	160	28	350
⑥ <sub>2</sub>	黏土	140	25	280
⑥ <sub>31</sub>	粉砂	220	35	600
⑥ <sub>32</sub>	圆砾	350	45	2000
⑥ <sub>33</sub>	卵石	450	50	2500
⑥ <sub>33a</sub>	粉砂	220	35	500
⑥ <sub>33b</sub>	粉质黏土	130	28	350
⑥ <sub>33c</sub>	圆砾	350	45	2000
⑨	含砾粉质黏土	220	32	450
⑩ <sub>1</sub>	全风化基岩	300	35	900
⑩ <sub>2</sub>	强风化基岩	600	70	2500
⑩ <sub>3</sub>	中风化基岩	2500	110	5000

注:表中数据按钻孔灌注桩取值。

#### 1.2.2 承载力估算

本项目选择⑥<sub>33</sub>卵石层作为持力层,根据10个勘察孔成果数据,单桩竖向承载力特征值按《建筑地基基础设计规范》(DB 33/T 1136—2017)中的式(10.2.3-1)估算,后注浆灌注桩单桩极限承载力最高标准值按《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中的式(5.3.10)估算,估算结果见表2。未注浆灌注桩单桩竖向承载力特征值取值7250 kN。后注浆灌注桩

单桩极限承载力标准值估算值,均取后注浆侧阻力和端阻力增强系数最大值测算,建议取值28000 kN。

表2 单桩竖向抗压承载力估算

Table 2 Estimated vertical compressive bearing capacity of the single piles

桩径/mm	桩端位置	孔号	至地面 桩长/m	单桩竖向抗压承载力特征值 $R_a$ /kN	后注浆灌注桩单桩极限承载力标准值 $Q_{UK}$ /kN
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH1	85.0	7550	31983
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH2	85.0	7553	31794
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH3	85.0	7676	31691
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH4	85.0	7462	31106
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH5	85.0	7358	30042
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH6	85.0	7421	30242
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH7	85.0	7319	28022
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZH8	85.0	7463	29153
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZC10	85.0	7478	31839
1000	⑥ <sub>33</sub> 卵石	ZC13	85.0	7253	28744

### 1.2.3 设计试桩承载力静载试验值

本项目为超高层建筑,单桩竖向抗压承载力特征值应通过现场静载荷试验确定,才能作为设计依据。本次检测的桩长85.0 m、桩径1000 mm的S1~S6试桩的单桩竖向抗压极限承载力静载试验

成果见表3。承载力范围22500~25000 kN,平均值为24167 kN,极差为2500 kN,极差未超过平均值的30%。因此,该型试桩的单桩竖向抗压极限承载力为24167 kN。承载力特征值建议取值11250 kN。

表3 设计试桩单桩竖向抗压极限承载力

Table 3 Vertical compressive ultimate bearing capacity of the single pile in design test piles

桩号	桩长/m	桩径/mm	极限承载力 $Q_u$ /kN	极限承载力下 沉降量 $s$ /mm	安全系数	承载力特征值 $R_a$ /kN	特征值承载力下 沉降量 $s$ /mm
S1	85.0	1000	25000	39.50	2.0	12500	12.38
S2	85.0	1000	22500	38.00	2.0	11250	10.20
S3	85.0	1000	25000	40.03	2.0	12500	13.30
S4	85.0	1000	22500	49.18	2.0	11250	14.67
S5	85.0	1000	25000	36.58	2.0	12500	9.16
S6	85.0	1000	25000	48.52	2.0	12500	11.81

### 1.2.4 单桩竖向承载力值确认

经过专家论证,本项目灌注桩单桩竖向抗压承载力特征值为10300 kN(桩长至地面),单桩竖向抗

压承载力极限值为20600 kN(桩长至地面),见表4。去掉地库覆土,单桩竖向抗压承载力特征值为10000 kN,单桩竖向抗压承载力极限值为20000 kN。

表4 超高层建筑灌注桩单桩竖向抗压承载力确认

Table 4 Confirmation for vertical compressive bearing capacity of the single pile in super high-rise building cast-in-place piles

阶段	桩径/mm	到地面桩长/m	持力层	承载力特征值/kN	承载力极限值/kN
未注浆估算	1000	85.0	⑥ <sub>33</sub> 卵石	7250	14500
后注浆估算	1000	85.0	⑥ <sub>33</sub> 卵石	14000	28000
静载试验值	1000	85.0	⑥ <sub>33</sub> 卵石	11250	22500
专家论证值	1000	85.0	⑥ <sub>33</sub> 卵石	10300	20600

## 2 多技术链协同控制成桩质量

### 2.1 旋挖与冲击组合成孔技术

本超高层项目区域为拆迁场地,遗留木桩、水泥搅拌桩、预制方桩等障碍物。基桩遇障碍物的处理措施:木桩拔除,预制方桩避让,水泥搅拌桩原位成孔。

现场遗留水泥搅拌桩有2种:一种为原拆迁建筑物的水泥搅拌桩基础,桩径500 mm,桩长15 m,桩身水泥石强度2~3 MPa;另一种为超高层建筑超大吨位设计试桩静载荷试验所需水泥搅拌地基加固基础,桩径600 mm,桩长12 m,桩身水泥石强度0.8~1 MPa。

因本项目地层下埋14~18 m易漏浆、易塌孔的深厚卵石层,旋挖和回转成孔工艺易造成塌孔事故,而冲击成孔工艺却能很好地解决该技术难题,且在温州地区普遍应用,故基桩采用8台冲击钻机成孔施工。由于地面以下12~15 m水泥搅拌桩固嵌于淤泥质软土层中,形成软硬不均的地层,钻进过程中冲击锤偏斜造成桩孔偏斜事故,且钻进过程中为保证桩孔垂直度施工速度缓慢。为保证成孔质量和确保施工进度,现场配备1台旋挖钻机处理水泥搅拌桩等障碍物,在冲击钻机就位前1 h内(不影响冲击钻机施工的前提下),在基桩桩位上预先旋挖成孔(孔径1000 mm,孔深15 m),消除水泥搅拌桩等障碍物对冲击成孔质量的影响,再由冲击钻对中、就位、钻进成孔。

### 2.2 反循环除渣及泥浆净化技术

本项目采用ZX-250型泥浆净化装置配合气举反循环除渣及泥浆净化。

泥浆净化原理:反循环出来的泥浆先流经粗筛板(下层板),在高频振动作用下迫使筛网上的固相颗粒与液体分离(过滤出直径3 mm以上的固相颗粒),过筛后的泥浆进入储浆箱内,再由储浆箱内的渣浆泵泵送泥浆至旋流器中,泥浆形成旋流,固相颗粒在离心力作用下甩向细筛板(下层板),加速固液分离(过滤出直径65  $\mu\text{m}$ 以上的固相颗粒)。

第二次清孔,先采用正循环清孔,调节泥浆密度,孔口泥浆密度达到1.25  $\text{g}/\text{cm}^3$ 左右,即可进行反循环清孔。正循环清孔过程中,泥浆循环池内的泥浆泵下放至池底,利用回浆泵的泥浆冲洗循环池,确保循环池内的钻渣冲洗干净,钻渣排至排污池中,减少孔内泥浆的携渣量。反循环清孔前,导管

内、外泥浆密度应调整均匀,确保反循环正常进行。

反循环清孔时,孔内泥浆携带的大量细小钻渣及孔底沉渣经泥浆净化装置排出,反循环过程中应不断上下活动导管,使导管底部泥浆形成不稳定态流体,不断冲刷孔底沉渣,提高清渣能力。清孔过程中,边清孔边添加清水调节泥浆密度至1.18  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。以淤泥质为主的地层,自然造浆的泥浆,泥浆密度 $\geq 1.18 \text{ g}/\text{cm}^3$ ,泥浆静置时,直径65  $\mu\text{m}$ 左右的钻渣可悬浮30 min以上,具有较强的悬浮颗粒能力,控制沉渣质量。

### 2.3 孔底沉渣检测技术

本项目采用JL-DST(A)型钻孔孔底沉渣检测仪检测沉渣厚度。

电阻率法检测孔底沉渣原理:利用了不同介质(如水、泥浆和沉淀土)之间的电阻率差异。在钻孔灌注桩施工过程中,孔底的沉渣通常是由较粗颗粒组成的,其电阻率与泥浆的电阻率有所不同。通过测量孔底不同深度的电阻率变化,确定沉渣的厚度。

在第二次清孔结束,采用JL-DST(A)型钻孔孔底沉渣检测仪检测孔底沉渣厚度,沉渣厚度 $\leq 50 \text{ mm}$ ,即可进行下一道工序。

### 2.4 混凝土浇筑质量保障技术

#### 2.4.1 导管要求

超深孔在混凝土初灌过程中,导管内空气柱极易被混凝土快速压缩,形成高压气腔压爆导管,发生堵管事故。本项目采用 $\text{O}300 \text{ mm}$ 的无缝钢管导管,相较于普通 $\text{O}250 \text{ mm}$ 的焊接导管可降低瞬态压力30%~50%,确保导管不被空气柱压爆。

#### 2.4.2 浇筑混凝土要求

(1)混凝土浇筑前应用导管探测器检测导管内部是否顺畅。

(2)采用隔水球,隔绝导管内混凝土与泥浆的接触,确保混凝土质量。

(3)确保初灌混凝土快速灌入孔底,一是导管内泥浆对孔底产生极强的冲刷力,从而携带沉渣脱离孔底,达到进一步清渣的目的;二是能在极短时间内埋住底管,保证孔底混凝土浇筑质量。

(4)混凝土下料过程中,出料口应对准灌浆料斗边,混凝土通过灌浆料斗边滑入导管内,严禁混凝土直接灌入导管内,一是防止导管内形成气腔压爆导管,二是防止空气腔存在于桩身混凝土中无法

释放影响桩身质量。

(5)浇筑过程中,时时测量混凝土面距离地面的深度,保证埋管深度控制在2~6m。

### 2.5 两次桩底注浆技术

本项目采用两次桩底注浆技术,为保证注浆效果采取如下措施。

#### 2.5.1 防止浆液无效渗透措施

水泥浆液中掺入膨润土,前1~2t水泥浆液中掺入水泥质量3%~5%的膨润土。膨润土遇水膨胀,在数十分钟内膨胀至原体积的数倍,堵塞桩周地层孔隙,减少浆液向地层的无效渗透。为防止粉体膨润土加入水泥浆液时结块、不易搅拌均匀,预先采用高速搅拌机搅拌成膨润土浆体,再掺入水泥浆液中。

#### 2.5.2 两次注浆措施

第一次注浆水泥用量4t,第二次注浆水泥用量2~4t,时间间隔3~5h,在此时间内膨润土已充分膨胀,第一次注入的水泥浆也已初凝,在两者的充分作用下,封堵桩周地层缝隙,提高第二次注浆水泥浆液的抗渗透能力,提高注浆效果。

#### 2.5.3 水灰比控制

本项目综合考虑注浆固结体强度、浆液可泵性、持力层的饱和度和渗透性,注浆水灰比控制在0.55。

#### 2.5.4 注浆过程“低压慢速”法

泵量与泵送压力息息相关,在相同管路条件与浆液参数下,泵送压力与泵量呈正向变化。根据卵石层和设计试桩施工情况,选用注浆流量 $\leq 50$  L/min,第一次注浆终止压力1.5~2.0 MPa,第二次注浆终止压力 $\leq 3.0$  MPa,是较为合理的施工参数。

#### 2.5.5 注浆设备的选用

采用公司自研的BZ-250型全自动注浆系统,该设备具有注浆效率高、注浆压力值稳定、水灰比和水泥用量等注浆参数自动化控制的优点。

## 3 超大吨位桩身完整性及承载力检测

### 3.1 桩身完整性检测

每根基桩埋置3根Q235B热轧无缝钢管(规格 $\text{O}57\text{mm}\times 3.5\text{mm}$ )作为注浆管(兼作声测管),注浆管与钢筋笼加劲箍绑扎固定,并随钢筋笼一起下放,如图1所示。桩基工程完成后,先采用声波透射法进行桩身完整性检测,然后再进行桩底注浆。

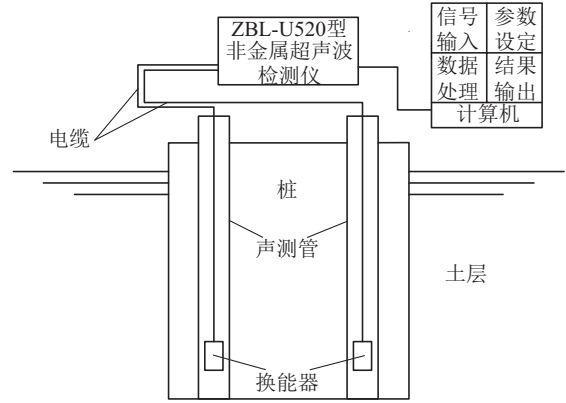


图1 桩基础超声波试验示意

Fig.1 Schematic diagram of ultrasonic testing for the pile foundation

本超高层项目灌注桩共计249根,按照设计要求共抽检50根,检测结果:波形、声学参数均无异常,均判定为I类桩。

### 3.2 承载力检测

#### 3.2.1 承载力检测方案

静载试验方案见图2,采用混凝土配重块提供反力,工程试桩极限承载力20600 kN,反力装置上所需配重不少于试验荷载1.2倍,本项目反力装置配重荷载为25000 kN。使用6只6300 kN的油压千斤顶,千斤顶的合力通过试桩中心,通过电动油泵驱动加载,由压力传感器测定油压后,根据千斤顶的率定曲线换算成荷载值。

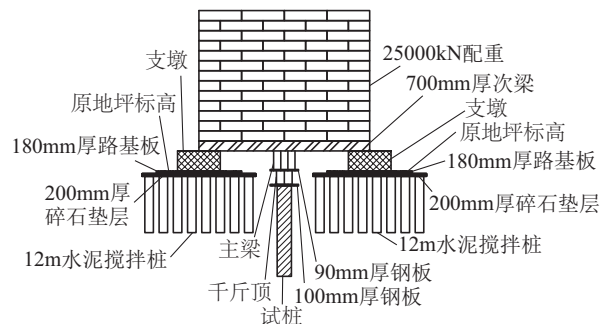


图2 静载试验示意

Fig.2 Schematic diagram of the static load testing

原地基承载力无法满足本项目超大吨位静载试验要求,需对地基进行加固处理,方案见图3:单轴水泥搅拌桩,桩径600 mm,间距1000 mm,桩长12 m,呈梅花形布置。每个配重支墩水泥搅拌桩处理范围 $8.0\text{m}\times 18.0\text{m}$ 。水泥搅拌桩上覆200 mm厚

碎石垫层,碎石垫层上铺设规格 $6000\text{ mm}\times 1000\text{ mm}\times 180\text{ mm}$ 的路基板,试桩桩顶两侧均需铺设。单边路基板铺设面积 $\leq 6.0\text{ m}\times 14.0\text{ m}$ ,单桩总铺设路基板数量不少于28块。

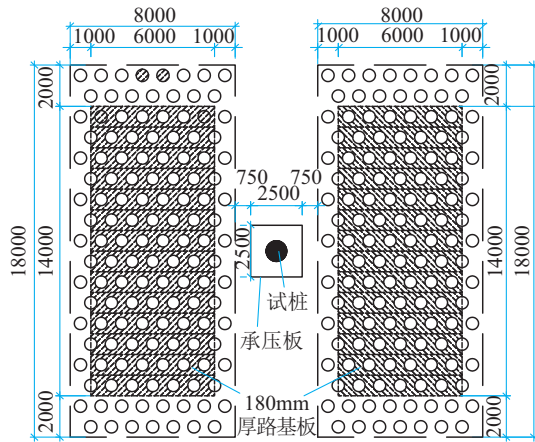


图3 地基处理平面示意

Fig.3 Schematic diagram of the foundation treatment plan

原试桩桩头抗承载能力和桩顶面积无法满足超大吨位静载试验要求,需对试桩桩头进行加大、加强处理,方案为:(1)凿除原试桩桩头松散层,长度 $\leq 1.5\text{ m}$ ,且凿至硬混凝土层为止。(2)设置辐射向锚固筋、钢筋网片、加密螺旋箍筋等加强桩头钢筋笼。(3)设置钢护筒,钢护筒比凿桩段长 $300\text{ mm}$ 且长度 $\leq 1800\text{ mm}$ ,直径 $1500\text{ mm}$ ,厚度 $8\text{ mm}$ 。钢护筒与桩头钢筋笼主筋焊接固定。(4)浇筑混凝土,桩头混凝土强度比原桩身强度高2个等级,即采用C60混凝土浇筑。浇筑过程中边浇筑边振捣,浇筑完后桩头覆水养护7天。

### 3.2.2 承载力检测结果

因本项目为超高层建筑,共抽检9根静载试桩,其中序号1~3为业主委托的检测单位检测,序号4~9根据专家论证报告委托的检测单位检测。承载力检测结果见表5,均符合规范要求,达到设计要求。

## 4 施工成果

(1)旋挖与冲击组合成孔技术,为本项目每根桩的成孔时间缩短 $2\sim 3\text{ h}$ ,同时提高了桩孔的垂直度,保障了灌注桩承载力的发挥。

(2)反循环除渣及泥浆净化技术,通过过滤桩孔泥浆中的钻屑和清除桩端沉渣,保证桩端成渣质量,为桩端承载力的发挥提供保障。

表5 单桩竖向抗压静载试验成果

Table 5 Results of vertical compressive static load testing on the single piles

序号	桩号	最大试验荷载/kN	最大沉降量/mm	最大回弹量/mm	回弹率/%
1	A104	20600	32.44	18.15	55.9
2	A132	20600	28.59	13.68	47.8
3	A247	20600	30.99	18.74	60.5
4	A21	20600	25.57	16.54	64.7
5	A99	20600	22.37	17.09	76.4
6	A102	20600	28.32	22.22	78.5
7	A121	20600	21.04	17.19	81.7
8	A199	20600	16.48	10.55	64.0
9	A246	20600	24.17	18.42	76.2

(3)两次桩底注浆技术,有效提高了灌注桩的承载力。灌注桩单桩竖向承载力特征值由注浆前的 $7250\text{ kN}$ 提高到注浆后的 $10000\text{ kN}$ ,提高约 $38\%$ 。为本项目桩基工程造价节约 $116\text{ 万元}$ 。

## 参考文献(References):

- 刘玲晶.温州瓯江北口大桥深厚淤泥层水域沉井抗台防护施工方案研究[J].工程技术研究,2023,8(3):80-82.  
LIU Lingjing. Research on anti-typhoon protection construction scheme for open caisson in water area with deep silt layer of Oujian Beikou Bridge in Wenzhou[J]. Engineering and Technological Research, 2023,8(3):80-82.
- 孙健.软土地区超高层建筑岩土工程关键问题及沉降控制研究[J].上海国土资源,2024,45(2):53-57,68.  
SUN Jian. Research on key problems of geotechnical engineering and settlement control of super-high-rise buildings in soft soil area[J]. Shanghai Land & Resources, 2024,45(2):53-57,68.
- 贺占海,张志强,王杰亭,等.软土地区后压浆灌注桩单桩承载力综合估算法研究[J].钻探工程,2025,52(4):154-160.  
HE Zhanhai, ZHANG Zhiqiang, WANG Jietao, et al. Comprehensive estimation research on the bearing capacity of post-grouting single bored pile in soft soil areas[J]. Drilling Engineering, 2025,52(4):154-160.
- 吴江斌,王阿丹,黄昱挺,等.软土地层超高层建筑超长灌注桩优化设计试验研究[J].建筑结构学报,2023,44(S2):367-374.  
WU Jiangbin, WANG Adan, HUANG Yuting, et al. Test and analysis on optimal design of super-long bored piles for super high-rise buildings in soft soils[J]. Journal of Building Structures, 2023,44(S2):367-374.
- 邹静.桩基承载力自平衡检测在大直径灌注桩中的应用[J].住宅与房地产,2021(18):229-230.  
ZOU Jing. Application of self balancing detection of pile foundation bearing capacity in large-diameter cast-in-place piles[J]. Housing and Real Estate, 2021(18):229-230.
- 贺占海.天津某项目长大桩检测实例分析与探讨[J].钻探工

- 程, 2021, 48(8):118-124.
- HE Zhanhai. Analysis and discussion on testing of large diameter and super-long piles in a project in Tianjin[J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(8):118-124.
- [7] 刘亦民, 饶少华, 万志辉, 等. 超高层建筑大直径钻孔灌注桩后压浆技术的应用与研究[J]. *建筑结构*, 2022, 52(增刊1):2793-2797.
- LIU Yimin, RAO Shaohua, WAN Zhihui, et al. Application and research of post-grouting technology in large-diameter drilled pile in super high rise buildings[J]. *Building Structure*, 2022, 52(S1):2793-2797.
- [8] 李斌, 何宝华, 李宏波, 等. 联想前海大厦超高层建筑后注浆灌注桩设计[J]. *建筑结构*, 2023, 53(3):133-137, 151.
- LI Bin, HE Baohua, LI Hongbo, et al. Design of post-grouting piles for super high-rise building of Lenovo Houhai Building[J]. *Building Structure*, 2023, 53(3):133-137, 151.
- [9] 王卫东, 吴江斌, 李耀良, 等. 软土地区超高层建筑新型桩基与深基础沉降控制关键技术及应用[J]. *建设科技*, 2022(7):75-77, 105.
- WANG Weidong, WU Jiangbin, LI Yaoliang, et al. Key technology and application for settlement controlling of new pile foundation and deep foundation of super high-rise buildings in soft soil area[J]. *Construction Science and Technology*, 2022(7):75-77, 105.
- [10] 齐建林, 江晓俊. 灌注桩后注浆技术在超高层建筑桩基设计中的应用与分析[J]. *广东土木与建筑*, 2021, 28(8):68-70.
- QI Jianlin, JIANG Xiaojun. Application and analysis of post-grouting technology of cast-in-place pile in foundation design of super high-rise building[J]. *Guangdong Architecture Civil Engineering*, 2021, 28(8):68-70.
- [11] 郝兴江. 地下深厚漂卵石层冲击钻成桩技术研究[J]. *四川水泥*, 2023(10):188-190, 193.
- HAO Xingjiang. Research on impact drilling technology for piles in thick subsurface gravel layers[J]. *Sichuan Cement*, 2023(10):188-190, 193.
- [12] 王国永. 砂卵石深厚覆盖层岩溶场区深桩成孔施工技术分析[J]. *交通世界*, 2023(16):147-149.
- WANG Guoyong. Analysis of deep pile hole formation technology in karst areas with thick gravelly covering layers[J]. *Transpo World*, 2023(16):147-149.
- [13] 邵吉成, 骆嘉成, 卢立海, 等. 龙海市鼎丰壹城大直径钻孔桩施工难点与对策[J]. *探矿工程(岩土钻掘工程)*, 2020, 47(10):77-83.
- SHAO Jicheng, LU Jiacheng, LU Lihai, et al. Construction difficulties in large diameter bored piles at Dingfeng Yicheng in Longquan City and the solutions to them[J]. *Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling)*, 2020, 47(10):77-83.
- [14] 骆嘉成, 卢立海, 强小兵. 解决温州某塔楼钻孔桩卵石层急性漏浆问题[J]. *西部探矿工程*, 2011, 23(5):3-5.
- LUO Jiacheng, LU Lihai, QIANG Xiaobing. Resolve the acute leakage of grout in the gravel layer of a drilled pile in a tower in Wenzhou[J]. *West-China Exploration Engineering*, 2011, 23(5):3-5.
- [15] 骆嘉成, 叶浩川, 白银银, 等. 含砂地层大直径旋挖钻孔桩孔内泥浆性能研究[J]. *地基处理*, 2022, 4(5):437-444.
- LUO Jiacheng, YE Haochuan, BAI Yinyin, et al. Study on the mud properties of large diameter rotary drilling bored pile in sand stratum[J]. *Journal of Ground Improvement*, 2022, 4(5):437-444.
- [16] 王晓杰. 深厚填海区复杂地质大直径超长灌注桩泥浆护壁工艺技术研究[J]. *广东建材*, 2022, 38(12):62-64.
- WANG Xiaojie. Research on mud-cutting wall technology for large-diameter and extra-long bored piles in complex geology of deep reclamation areas[J]. *Guangdong Building Materials*, 2022, 38(12):62-64.
- [17] 雷坚, 高信云, 李占杰, 等. 沿海深厚砂层地质下大直径基桩泥浆护壁及高效入岩施工技术[J]. *建筑安全*, 2023, 38(10):25-28.
- LEI Jian, GAO Xinyun, LI Zhanjie, et al. Construction technology for large-diameter pile foundations with slurry retaining walls in deep sandy strata along coasts and efficient rock penetration[J]. *Construction Safety*, 2023, 38(10):25-28.
- [18] 唐印. 含砂地质场区钻孔桩底沉渣产生原因分析及清孔方法研究[J]. *交通世界*, 2024(25):130-132.
- TANG Yin. Analysis of causes for silt accumulation at the bottom of drilled piles in sandy geological zones and research on hole cleaning methods[J]. *Transpo World*, 2024(25):130-132.
- [19] 刘祥, 兰沁, 周春华, 等. 汉源大渡河大桥巨厚砂层大直径灌注桩施工技术[J]. *钻探工程*, 2021, 48(7):104-109.
- LIU Xiang, LAN Qin, ZHOU Chunhua, et al. Construction of large diameter bored piles in massive sand formation for a Dadu River Bridge[J]. *Drilling Engineering*, 2021, 48(7):104-109.
- [20] 邹俊, 杨文杰, 高超. 超大直径灌注桩沉渣处理方式及检测手段研究[J]. *建材发展导向*, 2024, 22(16):34-36.
- ZOU Jun, YANG Wenjie, GAO Chao. Research on the treatment and detection methods of sediments in ultra large diameter cast in place piles[J]. *Development Guide to Building Materials*, 2024, 22(16):34-36.

(编辑 王文)