

深基坑地下水对钻孔灌注桩施工的影响及对策

王文明¹, 丁力生², 梁旭黎³, 王自强¹

(1. 上海广联建设发展有限公司, 上海 200438; 2. 中建三局第一建设工程有限责任公司, 湖北 武汉 430040; 3. 石家庄经济学院, 河北 石家庄 050031)

摘要:在城市高层及超高层建筑中,先开挖基坑后施工钻孔灌注桩的方案已被广泛应用。当原地下水位高于基坑开挖面或桩长范围内有承压水层时,就会对钻孔灌注桩施工产生不利的影响甚至造成不良后果。在分析深基坑地下水对钻孔灌注桩的不利影响的基础上,提出了相应的预防及解决措施,总结得出的经验可供类似工程参考。

关键词:深基坑;地下水;钻孔灌注桩;孔壁坍塌;混凝土缺陷

中图分类号:TU473.2 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2013)04-0051-04

The Influence of Deep Foundation Pit Groundwater to Bored Grouting Pile Construction and the Countermeasures/WANG Wen-ming¹, DING Li-sheng², LIANG Xu-li³, WANG Zi-qiang¹ (1. Shanghai Guanglian Construction and Development Co., Ltd., Shanghai 200438, China; 2. First Construction Engineering Co., Ltd., China Construction Third Bureau, Wuhan Hubei 430040, China; 3. Shijiazhuang University of Economics, Shijiazhuang Hebei 050031, China)

Abstract: In the construction of high-rise and super high-rise buildings in urban, the bored grouting pile construction scheme of "excavation before construction" is widely used. When the groundwater level is higher than the excavation face or there is confined water in the effective length of the pile, it would even cause harmful consequence to the bored grouting pile construction. Based on the analysis on the unfavorable influence of the groundwater to the bored grouting pile, the paper puts forward the corresponding prevention and treatment measures, the summarized experience could be available for reference to the similar engineering.

Key words: deep foundation pit; groundwater; bored grouting pile; hole wall collapse; concrete defect

为了更好地利用地下空间,城市高层及超高层建筑通常设计多层地下室,而基础普遍采用桩基。在一些工程建设中,为了减少钻孔工程量、降低工程造价,准确控制桩顶标高及平面位置,通常会选择在基坑开挖后再进行钻孔灌注桩的施工。但对于原地下水位高于基坑底面或桩长范围内遇有承压水层时,将对钻孔灌注桩的施工产生极为不利的影响,甚至将严重影响桩基质量和施工安全,应引起高度重视。

1 深基坑地下水对钻孔灌注桩施工的不利影响

在深基坑内进行钻孔灌注桩施工,不仅施工场地受到限制,而且由于地下水的影响导致施工环境恶化、钻孔易于坍塌、桩身混凝土质量缺陷、桩侧摩阻力降低等。

1.1 施工场地局限性大、积水和污泥较多,施工环境恶劣

深基坑开挖后进行钻孔灌注桩施工时,由于基坑周边不允许大量堆载,因此基坑内不仅要布置钢筋笼

加工场、泥浆循环系统、渣土堆场、施工道路等,而且钻孔、起重、运输设备等绝大多数作业均需基坑内进行。如果基坑面积较小时,基坑内的平面布置将相当困难,且交叉作业频繁,施工条件严格受限。

同时,基坑内排水需铺设专门管道,利用水泵排至基坑外。由于深基坑内水源较为丰富,如不能及时疏导排除,不仅导致场地泥泞,施工条件恶化,影响安全和文明生产,而且长时间积水将导致基坑表面土体软化,强度降低,钻孔孔壁易于坍塌,同时也危及基坑安全。

基坑内的水流主要来源于以下方面:

- (1) 原地下水位高于基坑开挖面时,基坑外地下水在压差作用下从支护体系底端渗透或从坑侧渗漏涌入基坑;
- (2) 短时的强降雨导致基坑内迅速积水;
- (3) 钻孔施工过程中泥浆池、泥浆循环管道及钻孔内的泥浆外溢;
- (4) 地层中承压水通过钻孔、勘探孔、桩身抽心

收稿日期:2012-11-27

基金项目:河北省科学技术研究与发展计划项目(11276733)

作者简介:王文明(1977-),男(汉族),湖北通城人,上海广联建设发展有限公司基础公司总经理、工程师,岩土工程专业,从事岩土工程工作,上海市中原路60弄4号。

孔等渠道涌出;

(5) 基坑降水排出的地下水流入基坑或通过基坑内废弃井管涌出的承压水;

(6) 钻孔施工过程中形成的钻渣在堆放过程中泥浆中水的渗流。

1.2 土体的原有结构和应力状态受到破坏,孔壁易于失稳

由于基坑支护体系施工、土方开挖、地下水的渗流及突涌等对基坑内土体的原有结构造成破坏,土体内的应力重新分布,钻孔灌注桩施工时,孔壁易于失稳坍塌。

1.2.1 支护结构施工的影响

深基坑支护体系施工时可能对周边土体产生一定的影响。如支护体系设计为灌注桩或地下连续

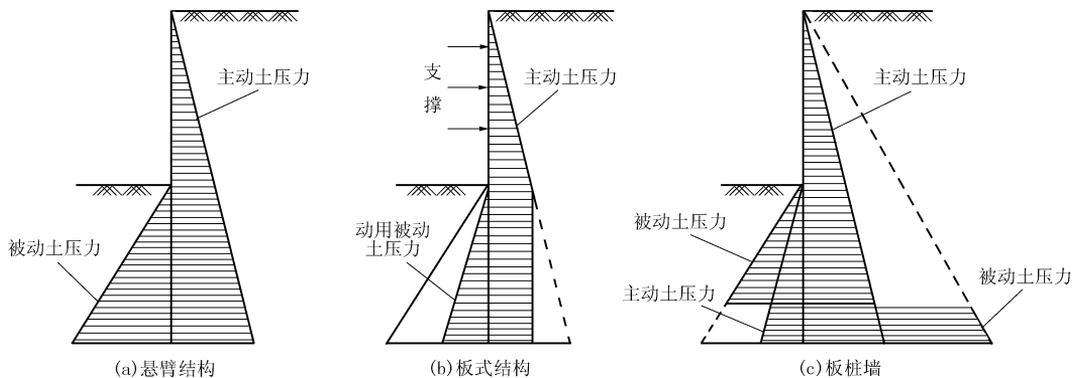


图1 不同支护结构的土压力分布

如基坑底表面以粘性土为主时,随着基坑暴露时间的延长,由于粘性土的流变性将增大基坑内被动压力区的土体位移和基坑外土体向坑内的位移,而且距离坑边越近,位移和变形就越明显。基坑越深、暴露时间越长,变形速率就越大。

在临近支护体系的塑性影响区内进行钻孔灌注桩施工时孔壁将极易失稳坍塌。

1.2.3 土方开挖的影响

基坑开挖时,随着基坑内土重的卸除,作用在基坑底面的竖直应力变为零,基坑坑底浅部土体由于上部卸荷而产生应力释放。同时,由于土体具有一定的渗透性,如排水不畅时,水会渗入土体内部。随着土中含水量的增加,土的粘聚力将逐渐减小,而水产生的浮托力又降低了土的有效强度,土的内摩擦角也随着降低,导致土体的强度指标明显降低。此时的孔壁稳定性明显降低,桩基施工时易于坍塌。

1.2.4 地下水渗流的影响

原地下水位高于基坑底面时,在基坑内外水头差作用下地下水形成渗流。如果基坑支护体系止水

墙,且在施工过程中基坑开挖面以下发生孔壁坍塌,则坍塌范围内土体结构被破坏,回填后的土体松散,在此范围内进行工程桩施工钻孔极易坍塌。

1.2.2 支护结构变形及位移的影响

无论基坑采取何种支护结构,土方开挖在基坑内侧卸去原有的土压力时,在支护结构外侧则受到主动土压力,而在坑底的支护内侧则受到全部或部分的被动土压力(如图1)。由于支护体系的变形使基坑外侧主动压力区的土体向坑内水平位移,使背后土体水平应力减小,以致剪力增大,出现塑性区。而在基坑开挖面以下的基坑内侧被动压力区的土体向坑内水平位移,使坑底土体水平向应力加大,以致坑底土体剪应力增大而发生水平向挤压和向上隆起的位移,在坑底处形成局部塑性区。

效果良好,渗流将由基坑外侧穿过支护体系底部进入基坑内侧,渗流方向向上,渗流对土体产生向上的浮托力(如图2),渗流的作用增加了基坑外侧的竖向有效应力,减小了基坑内侧的竖向有效应力^[1]。而且渗流将土体中的微小颗粒携带流失,降低了土体的重度,长时间的渗流作用将导致土体粘聚力和强度降低、结构破坏。同时渗流使基坑内部和外部的水平位移都有所增大,和渗流方向相同,水平位移也由基坑外部指向基坑内部,离支护结构越近,水平

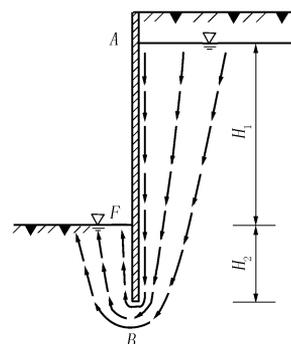


图2 地下水渗流示意图

位移值越大。

暴雨、长时间的降雨、地下水管的渗漏等是造成渗流的主要条件^[3]。渗流导致的基坑内土体应力集中、土体结构破坏和水平位移的增加都将导致孔壁稳定性下降,钻孔易于坍塌。研究表明,在距离支护结构 $H_2/2$ 范围内(H_2 为支护体系插入土体的深度)渗流的影响最为显著^[4]。

1.2.5 突涌的影响

突涌的形成有2种情况,一种是潜水形成的突涌,另一种是承压水形成的突涌。

1.2.5.1 潜水突涌

由于支护结构质量缺陷,基坑止水帷幕出现裂缝。如果缺陷部位位于基坑开挖面以下,且上覆土体的自重大于支护外侧的水压,则不会发生突涌,土体处于稳定状态。如果在临近区域进行桩基施工,随着钻孔深度的增加,上覆土体的自重将逐渐减小,当小于基坑外侧水压时,潜水渗流形成“短路”,从基坑支护侧突然涌入钻孔,导致孔壁坍塌。

1.2.5.2 承压水突涌

如果地层中承压水头高于基坑底面,在桩孔位置,随着钻孔深度的增加,承压水层上覆土体的压力将逐渐减小,当减小到临界值时,承压水的水头压力冲毁钻孔底部土层,在钻孔底部形成突涌,通过钻孔涌出(如水量较小时,表现为孔内泥浆面缓慢上升),导致钻孔内软弱层坍塌。

由于突涌具有突发性和不可预见性,因此对钻孔的危害极大,甚至将导致钻孔的大面积坍塌,严重威胁到机械和施工人员的安全,也会对基坑支护安全产生重大影响。

1.3 桩身混凝土缺陷

在深基坑内施工钻孔灌注桩,不仅钻孔难度大,而且对桩身混凝土质量也会产生较大影响,甚至发生断桩等严重事故。

1.3.1 地下水渗流的影响

地下水不仅影响到钻孔施工,而且对桩身质量也将产生不利影响。

在灌注混凝土时,当混凝土面高于承压水层后,承压水在混凝土未凝固前,在桩身或桩周形成渗流通道。承压水上升时,不断将渗流通道周围混凝土中的水泥砂浆冲刷,最后导致桩身周围或桩心处出现混凝土严重离析、蜂窝等严重缺陷,并存在着往外返水等现象。此渗流通道通常为桩周混凝土与地层的接触面、或导管直径影响范围内、或钢筋笼主筋周围等。

如在承压水头高度范围内存在着强透水层,在灌注混凝土过程中,承压水冲刷混凝土中的水泥砂浆渗透入强透水层中,在桩身或桩心形成混凝土离析、蜂窝、甚至断桩等严重缺陷,但在桩顶部位桩身混凝土依然完整,对整个建(构)筑物安全形成极大的隐患^[5]。

潜水渗流同样对桩身混凝土质量存在着影响,但其影响主要是临近基坑支护体系的桩基上段。

1.3.2 孔壁坍塌的影响

如果在混凝土灌注过程中发生孔壁坍塌,坍塌程度较小时将形成桩身局部夹泥,严重时将形成断桩。

1.3.3 混凝土灌注压力不足的影响

当混凝土灌注至接近桩顶标高时,由于减少了空孔段长度,导管内外混凝土的高差变小,且孔内泥浆密度较大,因此混凝土灌注压力不足,导致灌注困难。这时,往往需要采取措施提高导管内混凝土高度,利用混凝土的自重将其压入孔内,不仅增大了施工难度,而且桩顶混凝土密实度较差,形成气孔、蜂窝状缺陷。

1.4 桩侧摩阻力降低,单桩承载力下降

在深基坑内进行钻孔灌注桩施工时,由于支护体系施工、土方开挖、地下水渗流、突涌、钻孔的坍塌等,都将导致桩周土体的松弛、土体粘聚力和强度降低、土体结构破坏,成桩后使桩侧摩阻力降低,单桩承载力下降。

2 深基坑内钻孔灌注桩施工需采取的措施

2.1 基坑开挖时预留一定深度

基坑在桩基施工前不宜一次开挖到底,而应预留3~4 m,待桩基施工完成后开挖,其目的主要有以下几点:

(1)避免泥浆池等开挖时对地下室底板以下土层的扰动;

(2)增加钻孔内液柱高度和压力,有利于孔壁稳定;

(3)增加空孔段长度,灌注桩顶混凝土时导管内外压差增大,混凝土易于灌注,桩顶混凝土密实度较好。

2.2 合理布置场地

(1)基坑顶部地面应进行硬化处理,并在四周设置排水沟,合理组织地表水的疏导和排放,防止地表水渗入或涌入基坑。

(2)基坑开挖后沿基坑开挖面周边砌筑排水沟

和集水井,基坑底部应及时铺筑砖渣、碎石等,并碾压密实,形成滤水层,条件许可时应对场地进行整体硬化处理,避免基坑底表土体长期浸水软化。

(3)泥浆池应远离支护体系布置,且必须砌筑后用水泥砂浆抹面,防止泥浆中的水分渗入地层导致土体软化,影响基坑的稳定性。

(4)基坑内施工道路应远离施工桩位,避免施工设备行走时产生的振动及附加应力对孔壁稳定的不利影响。

(5)大型钻孔设备就位时,其底部应铺设钢板、型钢或方木等,以减小设备的接地比压。

2.3 采取有效措施维持孔壁稳定

2.3.1 采取降水措施

如果条件许可,可通过基坑降水使基坑内的地下水位低于基坑底面2 m以深,以保证钻探时孔内泥浆桩的压力大于地下水压力20 kPa以上,维持孔壁稳定。同时通过降水可降低土体中的含水量,使周围土体中的孔隙水压力降低,有效应力增大,提高土体强度,维持孔壁稳定。

基坑降水分为基坑外降水、基坑内降水、坑内-坑外联合降水3种方式。考虑到基坑内桩基施工的方便性,应优先考虑基坑外降水。如基坑外降水受到限制,不得不采取基坑内降水时,应充分考虑到桩基施工的影响,降水井应避免桩位,并尽量靠近基坑周边布置,做好保护措施,避免桩基施工时对降水井造成破坏。

2.3.2 增加孔口护筒长度

深基坑开挖后,由于基坑外地下水位高于基坑底面,因此基坑外地下水绕过止水帷幕底部进入基坑形成渗流,同时支护桩深度范围内土应力发生了变化,形成了局部塑性区。为了避免渗流及土应力变化对孔壁产生的不利影响,钢护筒的埋设深度应超过基坑支护桩底1 m以上。钢护筒应采取振动或锤击方法沉入,不得采用挖埋方法。

2.3.3 优化钻探工艺

一方面缩短成孔时间,避免土体蠕变坍塌;另一方面对孔壁土体进行挤密,以稳固孔壁。可采取多种工艺相结合的施工方法,如在上部易坍塌段采取冲击挤密孔壁,对于稳定性较好的粘性土或粉质粘土采用旋挖钻进以缩短成孔时间等。

2.3.4 选用优质泥浆护壁

配备优质泥浆,在孔壁形成薄而坚韧的泥皮,阻止泥浆中的水分向孔壁中渗透,避免风化地层膨胀崩解。同时适当增加泥浆的密度和粘度,以提高孔

内液柱的压力。采用正循环钻探作业时,泥浆的密度为 $1.25 \sim 1.40 \text{ g/cm}^3$,粘度 $<25 \text{ s}$ 。采用反循环钻探作业时,泥浆的密度控制在 $1.20 \sim 1.30 \text{ g/cm}^3$,粘度 $<20 \text{ s}$ 。

2.4 优化灌注工艺,提高混凝土的密实度

(1)混凝土灌注前,必须进行二次清孔,以将孔底沉渣清除干净,避免灌注过程中沉渣与混凝土混合形成桩身缺陷。

(2)确保混凝土的搅拌质量,不得灌注离析或和易性较差的混凝土。

(3)混凝土的初灌量应保证导管底口在混凝土中的埋深 $<1 \text{ m}$,以保证桩端混凝土密实。

(4)混凝土的灌注必须连续进行,尽可能加快混凝土的灌注速度,避免混凝土灌注过程时间过长。

(5)导管提拔速度不宜太快,拔导管过程中应进行多次反插,以将导管部位混凝土插捣密实。

2.5 提高桩基检测比例,对严重缺陷桩进行处理

桩基完工后,应通过低应变、超声波、抽心等方法对桩身混凝土完整性进行检测。当地下水位高、承压水压力较大、水量丰富时,建议对所有桩基进行桩身完整性检测,并对Ⅲ、Ⅳ类桩采取桩身补强、补桩等针对性措施进行处理。

2.6 通过试验核定单桩承载力

基坑底部土层以粘性土为主时,对于摩擦桩或端承摩擦桩,在桩基设计时应充分考虑基坑开挖后由于土体松弛、地下水的渗透和浸泡导致土体强度降低,桩周摩阻力下降对单桩承载力的影响。基坑裸露及被水浸泡时间越长,桩越短,桩周摩阻力下降越明显,在设计中应引起高度重视。

对于长时间裸露及被水浸泡的基坑,如果是摩擦为主的钻孔桩,应优先选用冲击钻进方式,以挤密桩周土体,提高桩周摩阻力。并通过静载试验等方法进行单桩承载力检验,以核定其实际承载力。

3 结语

(1)在地下水位较高或地层中含有承压水层时,应优先选择先施工桩基后开挖基坑的方案。

(2)在深基坑内进行钻孔灌注桩施工时,应探明地下水的赋存条件及水量。当地下水位高于基坑开挖面或地层中含有承压水层时,应采取有效措施降低地下水位,避免地下水对钻孔灌注桩施工的不利影响。

(3)可通过加长孔口护筒、缩短成孔时间、挤密

(下转第59页)

较大,最大达到29.8 mm,西侧的沉降也达到最大的21.4 mm,分析原因是由于坑外道路作为周边工地施工道路,往来机械车辆超载所致,但整体位移仍在报警值范围内,满足预期变形控制目标。

基坑开挖至坑底后,支护结构位移及沉降观测曲线逐渐趋于平稳。周边建筑最大沉降为1.8 mm,位于基坑南侧高层住宅小区处,分析原因是由于止水帷幕渗漏较大,及时封堵后,沉降趋于平稳。周边主干道路及管线没有出现沉降、裂缝、断裂等问题,证明支护结构稳定,止水帷幕闭合,基坑支护效果良好。基坑开挖现场情况见图12。



图12 基坑开挖现场图

6 结语

悬臂式双排桩在珠海地区的基坑支护应用中尚属首例,本工程在保证质量和工期的同时,减少了对周边环境的影响,取得了良好的支护效果,对该工法在周边地区的推广应用具有较好的借鉴作用。

(1)悬臂式双排桩基坑支护形式施工方便、快速,不需设置支撑,既能节省场地内空间,也可以减少对周边环境的影响,适用于施工范围狭窄的场地条件,结合合理的止水方案,对饱水砂层深基坑的支护效果十分理想。

(2)在双排桩支护结构中,前排桩主要承担土压力;后排桩兼起支挡和拉锚的双重作用;二者通过刚性连梁连接形成一个空间超静定结构,并形成交变内力,能自动调整内力来适应开挖过程的荷载变化;实践中应根据前后排桩的受力特点,合理调整桩径、桩距及配筋。

(3)旋喷桩在饱和砂土环境中的止水效果良好,但成桩质量受施工水平和地质条件影响较大,在开挖过程中常出现局部的漏水漏沙现象,要结合实际,做到有漏必堵、疏堵结合,确保止水帷幕的完整闭合。

参考文献:

- [1] 刘建航,侯学渊. 基坑工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997.
- [2] 陈冲. 大型基坑内支撑体系爆破拆除技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2012,39(2).
- [3] 刘永红,姚爱军,周龙翔. 地基处理[M]. 北京:科学出版社,2005.
- [4] 林鹏,王艳峰,范志雄,等. 双排桩支护结构在软土基坑工程中的应用分析[J]. 岩土工程学报,2010,32(S1):331-333.
- [5] 蔡文盛. 基坑围护结构渗漏的堵漏技术[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1).

(上接第54页)

孔壁、优化泥浆指标等措施防止孔壁坍塌,保证钻孔灌注桩施工的顺利进行。

(4)灌注混凝土时应谨慎操作,提高桩身密实度。成桩后应提高桩基检测比例,判断桩身混凝土完整性,对于严重缺陷桩进行处理。

(5)对于基坑裸露时间长、以摩擦为主的钻孔灌注桩,应优先考虑冲击等方法施工,成桩后通过静载等方法确定单桩承载力。

参考文献:

- [1] 张飞,李镜培. 考虑流-固耦合效应的基坑水土压力计算[J].

工程勘察,2011,(2):1-6.

- [2] 许兰兰,周深鑫. 南京悦庆大厦深基坑支护设计与施工[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(1):55-58.
- [3] 王洋,汤连生,杜赢中. 地下水渗流对基坑支护结构上水土压力的影响分析[J]. 中山大学学报(自然科学版),2003,42(2):107-110.
- [4] 龚晓南,高有潮. 深基坑工程设计施工手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1998.
- [5] 宁晋生,郭建国,习胜强. 承压水地层钻孔灌注桩施工工艺浅析[J]. 探矿工程,2003,(6):8-12.
- [6] 刘国彬,王卫东,等. 基坑工程手册(第二版)[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [7] 周红军. 旋挖钻进技术适用性的初步研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2009,36(8):39-45.