

水泥粉煤灰碎石桩的设计与施工

秦玉生¹, 苑守成², 徐国忠²

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 北京勘察技术工程公司, 北京 100083)

[摘要]在分析 CFG 桩复合地基加固机理的基础上, 结合北京通州一住宅楼工程的实践, 介绍了 CFG 桩的设计, 详细分析了长螺旋钻进泵压 CFG 料成桩法施工中影响成桩效率的因素和易发事故的原因及防治, 并证明了应用 CFG 桩复合地基取得的良好社会效益和经济效益。

[关键词]CFG 桩 复合地基 长螺旋钻进 混合料泵

[中图分类号]TU528.2; TU472.3⁺5 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2000)01-0085-04

水泥粉煤灰碎石桩, 简称 CFG 桩(C 指 Cement、F 指 Fshlya、G 指 Gravel), 由碎石、石屑、粉煤灰, 掺适量水泥加水拌合, 用各种成桩机制成的具有可变粘结强度的桩型。通过调整水泥掺量及配比, 可使桩体强度等级在 C5 ~ C20 之间变化。桩体中的粗骨料为碎石; 石屑为中等粒径, 可使级配良好; 粉煤灰具有细骨料及低标号水泥作用。

CFG 桩复合地基, 通过改变桩长、桩距、褥垫厚度和机体配比, 可使复合地基承载力提高幅度有很大的可调性。沉降变形小, 施工简单, 造价低, 具有明显的社会和经济效益。下面介绍的是中建二局通州职工培训中心及住宅楼工程 CFG 桩复合地基设计和施工工艺的实践。

1 工程概况

中建二局通州职工培训中心及住宅楼工程位于北京市通州区梨园镇北杨家洼, 建筑物长 40.80 m, 宽 37.20 m。主楼地上 18 层, 裙房 3 层, 1 至 3 层为培训中心(裙房), 框剪结构; 4 至 18 层为住宅, 剪力墙结构。地上总高度 60 m, 地下两层为活动室及设备用房。基础采用混合式基础, 即主楼部位采用筏板基础, 裙房部位采用条形基础。±0.00 绝对标高为 24.60 m, 室内外高差为 1.50 m, 基底标高为 -6.66 m(绝对标高 18.00 m)。

经勘察验算, 本场区地质情况不能满足结构设计承载力及差异沉降要求, 需进行地基处理, 处理后复合地基承载力标准值达 320 kPa 以上; 主楼绝对沉降不大于 30 mm, 差异沉降量满足现行规范要求。经方案论证, 决定主楼采用 CFG 桩复合地基加固。

2 工程地质条件

该楼建筑场地地形平坦, 地面标高 22.50 m ~

23.30 m, 地貌单元属永定河冲洪积平原。地下水属潜水类型, 静止水位埋深为 5.50 m ~ 5.90 m, 绝对标高为 16.75 m ~ 17.06 m。历年最高水位为地表下 2.0 m, 相当于绝对标高 20.50 m 左右。

场地除表层分布有人工填土之外, 主要分布有新近沉积粘质粉土和第四纪冲洪积形成的粘性土及粉细砂, 自上而下为:

杂填土: 杂色, 湿, 可塑, 稍密, 主要由砖块、灰渣及粘性土组成, 局部为粘质粉土素填土, 厚度为 0.7 m ~ 1.20 m。

新近沉积粘质粉土: 褐色, 湿, 可塑, 稍密。中密, 含少量砖屑等, 厚度 0.40 m ~ 0.80 m。

砂质粉土 ~ 粘质粉土: 黄褐色, 饱和, 可塑, 中密, 含氧化铁条纹, 夹粉质粘土₁, 厚度为 2.90 m ~ 3.10 m。

粘质粉土 ~ 砂质粉土: 黄褐色, 饱和, 可塑 ~ 硬塑, 中密, 夹粉质粘土 ~ 重粉质粘土₁, 厚度为 3.10 m ~ 4.70 m。

粉质粘土: 灰色, 饱和, 可塑, 中密, 含少量有机物质, 夹砂质粉土 ~ 粘质粉土₁、细砂₂, 厚度为 5.30 m ~ 6.00 m。

粉质粘土: 褐黄色, 饱和, 可塑 ~ 硬塑, 中密, 夹砂质粉土₁、细砂₂, 厚度为 5.6 m ~ 7 m。

细砂: 灰色, 饱和, 密实, 含少量圆砾, 夹粉质粘土₁, 厚度为 8.60 ~ 10.3 m。

细砂 ~ 中砂: 灰色, 饱和, 密实, 含少量圆砾, 夹粉质粘土₁, 厚度为 8.8 m。

以下土层略, 各土层的物理力学指标见表 1。

3 CFG 桩设计

3.1 承载力计算

CFG 桩复合地基承载力可用下面的公式进行估

算:

$$f_{sp,k} = [1 + m(n - 1)] \cdot f_k$$

式中: $f_{sp,k}$ —复合地基承载力标准值; m —面积置换率; n —桩土应力比; f_k —天然地基承载力标准值;

—桩间土强度提高系数, $= f_{sp,k}/f_k; f_{s,k}$ —加固后桩间土承载力标准值; 一桩间土强度发挥度,对一般工程取 $= 0.9 \sim 1.0$,对重要工程或对变形要求高的建筑物取 $= 0.75 \sim 1.0$ 。

表 1 土的物理力学性质指标

土层序号	含水量 W	天然容重 T	孔隙比 e	液限 W_L %	塑限 W_P %	压缩模量 MPa	内聚力 kPa	内摩擦角 °	标准贯入 N	承载力标准值 kPa										
1	24.0	1.86	0.82	33.2	16.3	6	15.0	27.0	30	160										
	21.4	1.98	0.66	28.6	17.2															
	19.9	2.06	0.58	25.0	15.0															
	22.3	1.98	0.66	26.3	16.8															
1	26.7	1.93	0.78	29.5	16.8	5	13.3	22.7	10	150										
2	23.7	2.00	0.67	29.6	15.7	10	18.8	23.5	12	200										
1											21.2	2.02	0.62	27.6	17.0	10	19.0	25.0	21	200
2											23.1	1.98	0.70	32.1	17.5	16	30.0	25.4	13	220
1																				
2						30				250										
						40				280										
						40				300										

3.2 沉降计算

采用复合模量法。假定加固区的复合土体为与天然地基分层相同的若干层均质地基,不同的是压缩模量都相应扩大一倍。这样,加固区和下卧层均按分层总和法进行沉降计算。

当荷载不大于复合地基承载力时,总沉降量 s 为:

$$S = S_1 + S_2 = \left[\sum_{i=1}^{n_1} \frac{P_{0i}}{E_{si}} h_i + \sum_{i=n_1+1}^{n_2} \frac{P_{0i}}{E_{si}} h_i \right]$$

式中: n_1 —加固区的分层数; n_2 —总的分层数; P_{0i} —荷载 P_0 在第 i 层土产生的平均附加应力; E_{si} —第 i 层土的压缩模量; h_i —第 i 层土分层厚度; —模量提高系数, $= [1 + m(n - 1)]$,其中 m 为面积置换率, n 为桩土应力比, 为桩间土强度提高系数; 沉降计算经验系数,参照《建筑地基基础设计规范》(GBJ7—89)表 5.2.5 取值。

3.3 设计参数

建筑物基底共落在第 和 1 层上,经计算,确定 CFG 桩采用桩 400 mm,桩长 12.0,桩端持力层为 1, 2 层,桩间距 1.4 m,正方形布置,桩顶铺设 200 mm 厚中粗砂褥垫层,以调整桩土应力比。桩顶进入褥垫层不超过 20 mm,桩顶设计标高 17.82m,桩体材料强度为 C15。基底共计 430 根桩。由于施工时基槽开挖较浅,实际钻孔深度为 16.0 m,但是泵压灌注桩长为 12.7 m(含 0.7 m 保护桩长)。

4 CFG 桩施工

4.1 成桩工艺的选择

目前常用的施工方法有以下几种。

4.1.1 长螺旋钻孔灌注成桩

适用于地下水埋藏较深的粘性土,成孔时不会发生坍孔现象,且对周围环境要求噪音、泥浆污染比较严格的场地。由于该地基中局部含有砂层,故在成孔提钻后灌注时易造成坍孔,影响成桩质量。

4.1.2 泥浆护壁钻孔灌注成桩

适用于分布有砂层的地质条件,以及对振动噪音要求严格的场地。该方法钻孔速度较快,但是泥浆对场地的污染严重,影响后续孔的施工,且往往孔底沉渣较大也会影响成桩质量。

4.1.3 振动沉管灌注成桩

适用于无坚硬土层和密实砂层的地质条件,以及对振动噪音限制不严格的场地。振动沉管成桩具有施工效率高、造价相对较低的优点,但是在遇到坚硬粘性土层时会发生成孔困难,降低施工效率,且由于振动沉管成桩是挤土成桩而非排土成桩,会造成一定程度的地面隆起而影响附近已成桩体的质量。

4.1.4 长螺旋钻孔泵压混合料成桩

适用于分布有砂层的地质条件,以及对噪音和泥浆污染要求严格的场地。这一工艺具有低噪音、无泥浆污染、不受地下水的影响、桩体质量容易保证等优点。

根据工程地质及施工现场条件,采用了长螺旋钻孔泵压 CFG 混合料法施工。

4.2 长螺旋钻孔泵压 CFG 料成桩施工流程

长螺旋钻孔泵压 CFG 料成桩是先用长螺旋钻机钻孔达到预定标高,然后提升钻杆,同时用高压泵将桩体混合料通过高压管路及长螺旋钻杆的内管压

到孔内成桩。

测量放线确定桩位后的施工流程为:设备进场—安装调试—钻机就位—钻孔至设计标高、同时清除孔口渣土—泵压 CFG 料—提升钻具同时泵压 CFG 料,两者密切配合—钻机提出孔口移位、成桩。

成桩后 14 天可挖土,人工凿去保护桩长,并对桩体质量进行检测,最后铺设褥垫层,形成复合地基。

4.3 影响成桩效率的因素分析

长螺旋钻进成孔速率,混合料泵压量和泵压力以及钻机移位时间是影响成柱效率的几个主要因素。

4.3.1 长螺旋钻进成孔速率

由于场地内局部工程地质条件差异,长螺旋钻孔的速率也不一样。在钻进下部地层和的粉质粘土层较薄时,钻整个孔的时间约需 15 min,而遇钻进地层和的粉质粘土层相对较厚时,钻头及部分钻杆糊钻严重,常需钻进 30 min ~ 35 min。为解决这一问题,在钻进粘土层一定深度而进尺缓慢时,采取及时提钻清钻杆和钻头一次,能够收到比较快的钻进效果。

4.3.2 混合料的泵压量和泵压力

提钻速率要和泵压量相适应,以保证螺旋钻头矛尖始终埋在混合料中,避免断桩。显然,较大的泵压量将会提高成桩效率,较大的泵压力还有助于处理轻微堵管故障。实际工程施工中,采用理论生产率为 20 m³/h 的混合料泵基本能满足需要,常常是搅拌机供料不能满足泵的需求,需要在现场施工中合理解决。

4.3.3 钻机的移、对桩位时间

钻机的移、对桩位时间是钻进成桩的辅助时间,螺旋钻进是排土钻进,相邻孔位可以连续钻孔成桩,而不像振动沉管施工需要跳打成桩,以免对邻近已成柱体的扰动。故螺旋钻机采用液压步履机构移、对桩位的效率是较高的。但是遇雨季施工,基槽积水不利于液压支腿的支撑,需要在降雨时及时排出基槽内积水。

4.4 高压管路堵塞事故原因分析

长螺旋钻孔泵压 CFG 料成桩具有成柱质量高、成桩速度快的优点,但是常因高压管路堵塞而影响施工进度,是影响正常施工的主要因素,需要在施工中引起特别的注意。以下几个因素是造成管路堵塞的主要原因。

4.4.1 长螺旋钻成孔时间

长螺旋钻进成孔遇粘性或密实等复杂地层时,常发生进尺缓慢. 钻孔时间过长的现象,有的长达约 35 min,这不仅影响了成桩效率,而且压送管路中的 CFG 混合料因静置时间过长引起较大的坍落度损失,从而发生堵管现象,需要在施工中采取有效措施提高钻进效率。

4.4.2 水泥、粉煤灰、碎石料和外加剂的质量

所有原材料必须采用国家承认的合格产品,且现场不能使用受潮结块的水泥,碎石的含泥量不能超过规定量,否则不仅影响桩身质量,而且易造成堵管事故。

4.4.3 CFG 料的配比

严格按照试验确定的配比施工,特别是控制好水量的添加,以保证混合料的坍落度在 180 mm ~ 220 mm 之间,否则易造成堵管现象。

4.4.4 搅拌时间

搅拌时间不低于 3 min,以利于缓凝剂、粉煤灰与水泥和石料的充分混合,否则因局部混合不均而导致堵管。

4.4.5 管路密封情况

管路密封不严,造成混合料失水而堵塞,严重时还会发生管路接口崩开事故。

4.4.6 管路内壁清洁状况

输送泵料斗内壁,管路内壁以及钻杆内壁在输送 CFG 混合料过程中易挂浆料凝结,积聚过多会发生堵塞,需要定期用水泥砂浆和清水冲洗。

4.4.7 气温情况

高温天气,混合料失水过快而堵管,需对管路采取一定的降温措施。

5 结语

扣除下雨而造成的延期,430 根桩的施工期为 17 天,满足了工期要求。施工结束后按规范要求进行了桩身完整性低应变检测和单桩、单桩复合地基静荷载试验,满足了桩体质量和设计承载力的要求。通过该工程实践得出如下几点结论。

1) CFG 桩复合地基能够灵活有效地提高复合地基的承载力,具有沉降变形小、施工简便、造价低等优点。

2) 长螺旋钻进泵压 CFG 料成桩方法较其它 CFG 桩成桩法具有明显的优点。

3) 长螺旋钻进泵压 CFG 料成桩法施工中的主

(下转第 95 页)

(2) 与未加表面活性剂相比,岩样的渗透率降低幅度有明显减少,岩样在加入表面活性剂后的两性离子钻井液滤液中浸泡后渗透率降低幅度为 62%;在正电胶钻井液滤液中浸泡后渗透率降低幅度为 64%,与未加表面活性剂相比,渗透率降低幅度有明显减少,分别减少了 16%和 23%。说明表面活性剂对减轻气层水锁效应有比较明显作用。实验数据也说明,两性离子表面活性剂 ABSN 在正电胶钻井液中的作用效果比在两性离子钻井液中的作用效果要稍好一些。

4 结论

(1) 通过水锁效应对岩样渗透率影响的试验研究证实了水锁效应是导致砂砾性低渗气层损害的主要因素之一;

(2) 对常用表面活性剂表面张力进行测定和优

选,从成本、热稳定性和表面张力值考虑,现场选择 ABSN 和 OP-10 作为表面活性剂较为合适;

(3) 在钻井液中加入表面活性剂后,有较明显的减轻水锁效应效果,其中在正电胶钻井液中加入表面活性剂效果更好;

(4) 从降低水锁效应来保护油气层方面考虑,两性钻井液比正电胶钻井液效果好,这是因为两性离子钻井液本身具有表面活性,相比之下,正电胶钻井液的表面活性要差一些。

[参考文献]

- [1] 何更生. 油层物理[M]. 北京:石油工业出版社,1994.
- [2] Hbditch, S. A. . Factors Affecting Water Blocking and Gas Flow from Hydraulically Fractured Gas Wells[M]. JPT, Dec, 1979: 1515 ~ 1534.
- [3] 崔迎春, 张琰. 低渗透气藏储层损害特殊性[J]. 钻井液与完井液, 1998, 15(2): 11 ~ 13.
- [4] 贺承祖, 等. 水锁效应研究[J]. 钻井液与完井液, 1996, 13(6): 13 ~ 15.
- [5] 周祖康, 等. 胶体化学基础[M]. 北京:北京大学出版社, 1996.

EXPERIMENTAL STUDY ON THE AQUEOUS PHASE TRAPPING OF LOW - PERMEABILITY GAS SANDS

Zhang Yan, Cui Ying - chun

Abstract: Using low - permeability sands core coming from Shengli oil field ,experimental study was conducted to confirm that aqueous phase trapping was one of the main causes of gas formation damage. The surface tensions of some surface active agents often used in oil field were also measured , and selected. The effects of using surface active agents to alleviate aqueous phase trapping were evaluated.

Key words: low - permeability gas sands ,aqueous phase trapping ;surface active agent ,experimental study



第一作者简介:

张 琰(1956年-),女。1982年毕业于河北地质学院,1985年获中国地质大学(北京)硕士学位,1996年在德国 Clausthal 大学获博士学位。现为石油大学(北京)石油工程系副教授,主要从事石油工程学科研究和教学工作。

通讯地址:北京昌平 中国石油大学石油工程系 邮编:102200

(上接第 87 页)

要故障是高压送料管路堵塞,分析该故障原因并寻求合理的解决措施,对顺利快速地完成该工程施工

任务具有重要的现实意义。

[参考文献]

- [1] 中华人民共和国国家标准. 建筑地基基础设计规范 (GBJ7 - 89) [Z]. 北京:中国建筑工业出版社,1989

DESIGN AND CONSTRUCTION OF CEMENT FLYASH AND GRAVEL PILE

Qin Yusheng, Yuan Shoucheng, Xu Guozhong

Abstract: In this lecture the design of CFG(Cement, Flyash, Cravel) pile will be described on the basis of analyzing the soil consolidation theory by CFG pile ,and the construction technology of long spiral drilling with pumping CFG compound will be speicifcally analysed in connection with a soil tretment engineering of high building in tongzou district of Beijing, China.

Key words: CFG pile ,long spiral drilling ,



第一作者简介:

秦玉生(1971年-),男。1996年毕业于长春科技大学(原长春地质学院)勘察工程系,分获工学学士学位。1996年至今为中国地质大学(北京)工程地质与水文地质专业博士研究生,研究方向为地基处理和勘察施工技术。

通讯地址:北京市学院路 29 号 中国地质大学 邮政编码:100083