

上海市重点学科建设项目
同济大学岩土工程重点实验室 资助

西部开发中的岩土工程问题

—— 岩土工程系列学术研讨会之九论文集

主 编 魏道垞
副主编 黄 强 黄茂松
费鸿庆 袁 勇

同济大学出版社

TU4-53

7

上海市重点学科建设项目
同济大学岩土工程重点实验室 资助

西部开发中的岩土工程问题

——岩土工程系列学术研讨会之九论文集

主 编 魏道垞
副主编 黄 强 黄茂松
费鸿庆 袁 勇



同济大学出版社

内 容 提 要

本论文集所收专题报告及论文主要来自西部岩土工程设计、施工与管理单位技术人员长期的实践总结,部分来自全国大专院校和科研单位最新的理论成果以及中、东部地区岩土工程实践中相关的经验教训。论文内容广泛、资料翔实,具有鲜明的西部区域特色,同时对岩土工程学科领域的一些基础与普遍问题也进行了相关讨论。可供土建、市政、水利、交通等行业和部门的研究、设计、施工、检测与监测、监理等方面的科技人员以及大专院校有关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

西部开发中的岩土工程问题:岩土工程系列学术研讨会之九论文集/魏道埭主编. —上海:同济大学出版社, 2005.5

ISBN 7-5608-2960-0

I. 西… II. 魏… III. 岩土工程—文集
IV. TU4-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 037789 号

西部开发中的岩土工程问题

——岩土工程系列学术研讨会之九论文集

主编 魏道埭 副主编 黄 强 黄茂松 费鸿庆 袁 勇

责任编辑 荆 华 江 岱 责任校对 徐 栩 封面设计 陈益平

出 版	同济大学出版社
发 行	(上海四平路 1239 号 邮编 200092 电话 021-65985622)
经 销	全国各地新华书店
印 刷	江苏句容排印厂印刷
开 本	787mm×1092mm 1/16
印 张	25.25
字 数	640 000
印 数	1—1500
版 次	2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 7-5608-2960-0/TU·594
定 价	60.00 元

本书若有印装质量问题,请向本社发行部调换

西部开发中的岩土工程问题

——岩土工程系列学术研讨会之九

主办单位 《岩土工程师》编辑部
承办单位 中国建筑技术集团有限公司
协办单位 上海市土木工程学会
宁波市机电工业研究设计院
上海城建集团
上海隧道工程股份有限公司
《岩土工程界》杂志社
浙江省工程勘察院

赞助单位 机械工业勘察设计研究院
中交第一公路勘察设计研究院

组织与筹备委员会名单

主任委员 朱合华
副主任委员 黄茂松 费鸿庆 李良杰 白云 傅德明 何国平 舒绍虎
苗国航
委员 (按姓氏汉语拼音为序)
陈云敏 陈振建 陈正汉 冯夏庭 冯玉国 邓荣贵 黄 强
黄雪峰 廖红建 林在贯 栾茂田 罗宇生 沈励操 田春显
万人选 汪国烈 王步云 王成华 谢永利 宰金珉 张建民

前 言

由《岩土工程师》编辑部主办、中国建筑技术集团有限公司协办的岩土工程系列研讨会之九——“西部开发中的岩土工程问题”学术交流会,定于2005年5月13~15日在陕西省西安市召开。

在西部开发这一国家建设发展重要战略部署的推动下,西部岩土工程领域的科学技术得以长足发展,举办与西部岩土工程专题相关的研讨和交流活动,进行一次检阅和回顾以及前瞻发展应该认为是适时的。筹办会议的通知发出后,承蒙同行特别是西部同行的关注和支持,得以迅速回应。在收集到的交流论文中,除西部专文外,也不乏中、东部同行的热情应征与参与工作。在此基础上,我们汇审了60余篇文稿组编成本论文集。

承蒙我国岩土工程界诸多知名专家、学者、教授的关爱和支持,特别是西部地区的专家学者的支持,本论文集编入了5篇专题报告和近60篇的论文报告。内容包括岩土力学基本理论原理的发展和目前岩土工程行业所关切的工程理论进展与技术工艺的创新,规范设计与施工标准以及信息化手段的引入等方面的热点与前沿问题,其中不乏近年来主要在西部也包括在中东部开发和得到发展的新理论、新工艺、新技术。知名专家包括西部专家的参与和协助以及他们提供的宝贵信息无疑为本次研讨交流会及其论文集增添了体现西部的个性和风采。我们在此特致以衷心感谢。同时,令人感到特别高兴的还有,这次提供交流论文的作者主体已经是活跃在岩土工程技术活动第一线的众多的中青年同行,展示出包括西部在内的岩土工程事业的兴旺发达和勃勃生机。

限于水平与条件,本论文集的编辑难免有不当之处,敬请同仁批评指正。我们还应特别感谢同济大学出版社的大力支持与帮助,使论文集得以在短时间出版发行。

祝愿本次研讨会的交流活动取得圆满成功。

编 者

2005年4月5日 西安

目 录

前言

第一篇 专题报告

西安地区钻孔灌注后压浆桩的工程特性·····	费鸿庆(3)
大厚度湿陷性黄土的工程处置·····	汪国烈 李新怀(12)
青藏高原多年冻土区环境工程地质稳定性评价·····	
····· 王国尚 张卫红 余凤先 闫大刚 曹卫东 魏占元 孟晓崎(16)	
高速公路隧道动态反馈设计分析·····	朱合华 丁文其 王晓彤 李志厚(30)
西部公路区域性土地基的承载力问题·····	黄茂松 黄齐武 刘怡林(43)

第二篇 交流论文

湿陷性黄土地基中钻孔灌注桩工程性状研究·····	费鸿庆 王 燕(53)
西安北郊砂土地基中钻孔灌注后压浆桩的工程性状·····	费鸿庆 王 燕 张晓延(59)
湿陷性黄土地基中的夯实水泥土桩·····	费鸿庆 张晓延 王建伟 李万军(72)
K ₀ 结构性黄土的固结特性·····	李俊连(77)
抽水引起含水层变形的渗流场与应力场耦合分析·····	张建山 李 哲 仵彦卿(83)
剪切带厚度对桩基强度参数影响研究·····	张新善 钱春宇(89)
水平井基坑降水的数学模型及其应用·····	郭增玉 李振泽(94)
连拱隧道施工超前地质预报的研究·····	刘红卫 郭一民 孙方强(101)
黄土湿陷性评价若干问题探讨·····	文 君 魏彩萍 盛云鹏 张 渭(108)
西部电力工程典型地基病害探讨·····	毛军南(114)
西安地区钻孔后压浆技术试验研究·····	彭昌强 吴军荣(120)
红层软岩破碎软弱夹层边坡稳定性的试验研究·····	牛军贤 米海珍 李如梦(124)
对兰州市高坪不利场地地震动参数调整方案的研究·····	孙崇绍(128)
坑式静压桩技术在西北湿陷性黄土地区顶升纠偏实践·····	江西林 朱 宏(135)
深基坑复合支护技术的应用研究·····	周建民(140)
加气硅化法在饱和黄土地基加固工程中的应用·····	
····· 吕永平 孙 云 张少华 刘 谦(146)	
甘肃河西走廊地质灾害类型与分布·····	贾贵义 王国尚(153)

湿陷性黄土地区送变电工程地基方案新设想	闫大刚	王国尚(157)
青藏铁路 110kV 纳赤台~沱沱河送电线路岩土工程条件	张卫红	王国尚(163)
青藏铁路 110kV 当雄~安多送电线路冻土分布及冻土基础研究		
..... 余凤先 王国尚 曹卫东 孟晓崎 刘 勇 杨昌金 郭跃明(170)		
双连拱隧道中墙施工稳定性三维优化分析	杜国平 王胜辉 袁 勇 李 丹(177)	
复杂地质条件下特长高速公路隧道信息化建设技术		
..... 杜国平 翁其能 曾德云 黄龙显 袁 勇(182)		
大同市区地裂缝的思索及 f_{t-1} 地裂缝的评价	邵 平(189)	
湖南 711 矿山体滑坡群的治理	毕忠伟 丁德馨 杜震球 张志军(200)	
建立冻土结构性模型的意义	莫 颖 张向东(204)	
巴基斯坦 NALTAR 水电站坝基砂卵石层灌浆技术及效果分析		
..... 潘湘农 佟胤铮 储思哲(208)		
大伙房水库输水工程不良地质条件分析与处理措施	关卫军 潘湘农 佟胤铮(213)	
沈阳某泵站改造工程深基坑渗漏原因分析及处理措施	关卫军 佟胤铮(217)	
某县政府办公楼预应力管桩断桩事故分析	王 华 吴取渗 王欣华 张甲恩(221)	
地质雷达技术在隧道底部质量检测中的应用	薄会申(226)	
无损测强的影响因素及主要影响因素的显著性分析	侯林峰 金昌来(230)	
新型夯扩桩沉降的计算分析与试验研究	金昌来 侯林峰(235)	
三元件粘弹性模型参数的预估与反演确定	何跃平 陈 宝 杨林德 叶为民(241)	
南京地铁奥体中心站基坑支护工程优化	斯茗勇 彭汉兴(247)	
岩体锚固机理的试验研究动态	方从严 杨洪刚(251)	
国外小桩的起源、应用与发展	史佩栋 徐 进(256)	
传统静载试桩法面临的挑战	史佩栋 徐 进(276)	
真空联合堆载顶压加固桥头软基的沉降监测分析	金志宝 朱建才(293)	
浙江文成中学地质灾害危险性评估及防治措施	崔锦梅(299)	
半刚性基层沥青路面裂缝的成因及防治	方龙飞 朱海东 孙国平(304)	
瑞雷波法在强夯地基效果评价中的分析与研究	黄真萍 许建福 罗 敏(307)	
超声回弹综合法检测公路隧道衬砌强度的适用性研究		
..... 邓 涛 杨林德 雷 刚 夏才初(314)		
上海地区人工冻土无侧限瞬时抗压强度的试验研究		
..... 唐益群 王兴汉 沈 锋 胡向东 周念清 邹长中(320)		
输水隧洞工程结构设计分析	丁文其 贾明辉 沈 杰(325)	
基桩低应变反射波法动测与静载荷试验相结合在工程实际中的应用		
..... 田 辉 王钢金 闫承煜(332)		
路堤宽度对软土地基工后沉降的影响	陈建峰 汪雪峰 石振明 胡展飞(337)	
迭代法在增量法计算基坑中的探讨	张建新 高广运 王立明(342)	

高放废物深地质处置及其研究进展.....	郁 陈 叶为民 钱丽鑫 陈 宝	(348)
利用波形探测法检测公路隧道混凝土衬砌质量		
.....	雷 刚 杨林德 邓 涛 夏才初	(353)
真空预压法加固软土地基沉降分析.....	解子君 李耀良 叶为民 史玉成 王初生	(359)
循环荷载下修正剑桥模型的扩展形式.....	刘 明 黄茂松	(366)
道路隧道防火研究.....	闫治国 朱合华 程 群	(373)
某商业中心深基坑围护设计及施工中的若干问题.....	马春燕 林建华	(376)
中国西部建筑岩土工程的节约能源和土地问题.....	翟礼生	(379)
高速移动荷载下单层弹性体的动力响应.....	周仁义 黄茂松 金 波	(382)

第 一 篇

专 题 报 告

西安地区钻孔灌注后压浆桩的工程特性

费鸿庆

(中国建筑技术集团有限公司陕西分公司, 西安 710068)

摘要: 本文论述了西安地区钻孔灌注后压浆桩的施工工艺、后压浆的加固工作机理和特点, 后压浆桩的承载力性状; 并简述了西安地区砂土地基、黄土地基、含饱和软粘土地基及湿陷性黄土地基中钻孔灌注后压浆的技术、经济效果, 评述后压浆专利技术在西安地区的应用和发展。

关键词: 钻孔灌注后压浆桩 后压浆专利技术 砂土地基 黄土地基 含饱和软粘土地基 湿陷性黄土地基 加固工作机理 承载力性状

1 西安地区钻孔灌注后压浆桩概述

1.1 钻孔灌注后压浆桩的施工工艺特点

钻孔灌注桩施工时, 在钢筋笼上预先埋设桩侧、桩端后压浆的输浆钢管及设置在管端的桩侧、桩端压浆阀; 钻孔灌注桩钻成孔后, 放置设有后压浆输浆管、压浆阀的钢筋笼入孔就位, 灌注混凝土成桩; 成桩后, 通过桩中的压浆管和压浆阀向桩侧、桩端地基中压入水泥固化剂, 加固桩侧、桩端泥皮、沉渣及地基土, 以达到提高桩的侧阻力、端阻力和桩的竖向承载力的目的。该类桩称为采用后压浆专利技术和工艺的钻孔灌注后压浆桩。

1.2 后压浆专利技术加固钻孔灌注桩的工作机理

根据地层土质条件, 钻孔灌注桩提高承载力的需要, 如果仅仅在桩端压浆, 加固桩端沉渣、桩端持力层和桩端以上有限桩长范围内的桩侧土, 以大幅度提高桩端承载力为主, 则称为桩端压浆; 对桩侧、桩端均应加固, 以期提高桩侧阻力、桩端阻力和整桩承载力, 则同时在桩侧、桩端压浆, 称为复式压浆。

后压浆的注浆类型分为: 渗入性注浆、压密注浆和劈裂注浆三种类型。对地基土的加固作用是: 充填胶结效应、压密效应、加筋效应和固化效应。

1.2.1 桩端压浆的加固效应

桩端注浆的加固效应为:

- (1) 通过渗入、压密注浆, 使桩端沉渣产生充填、压密和固化效应, 加固桩端沉渣;
- (2) 通过压密、劈裂注浆, 形成浆脉和浆泡, 使桩端主要受力的持力土层产生压密、加筋和固化效应, 提高桩端持力层的承载力;
- (3) 通过渗入、压密注浆, 使部分浆液沿桩侧上溢, 在桩侧表面和桩周土中形成水泥土

作者简介: 费鸿庆, 男, 1942年生, 高级工程师, 主要从事岩土工程、桩基、地基处理试验研究及施工工作。

结石和浆脉,产生充填胶结和压密、加筋效应,提高桩侧阻力。

单纯桩端注浆,对于长径比小于 30 倍的钻孔灌注桩提高桩的承载力有显著效果,对于桩端为砂土地基的钻孔灌注桩有奇效。

1.2.2 桩侧压浆的加固效应

根据桩侧土的岩土工程性质及灌注桩参数,提高桩承载力之需要,可在桩侧设置 1~3 层桩侧压浆管、阀,注浆加固桩侧土。桩侧加固的效应为:

(1) 通过渗入注浆,浆液沿桩侧面充填胶结附在桩侧面的泥皮,形成固化的水泥土结石,使桩土剪切变形转移到水泥土结石与桩侧土之间,从而增大了桩土抗剪强度及阻力。

(2) 通过压密注浆,在桩侧土、桩间土中形成水泥浆脉、浆泡,产生对桩侧土的压密效应、加筋效应和固化效应,增强了桩侧土的强度和密实度,从而提高了桩侧阻力。

(3) 置换及固结作用。通过向桩侧饱和土、饱和软粘土中的渗入注浆、压密注浆,使桩侧土的孔隙水压力增大,形成孔隙水压力向地面的消散,排挤出桩侧土中的泥浆水,水泥浆进入置换,而土中形成的水泥浆脉、浆泡,又加速了桩周土的固结压密,增强了桩侧阻力。

桩侧压浆对所有钻孔灌注桩提高桩侧阻力都是有益的、有效的,从桩的荷载传递机理分析,对于长径比较大的摩擦型桩,尤为重要。

1.2.3 复式压浆的加固效应

一至多层或多道的桩侧注浆、桩端注浆同时实施,称为复式压浆。它将大幅度提高桩的侧阻力、端阻力及桩的承载力。

后压浆专利技术加固的是钻孔灌注桩桩侧土层、桩端沉渣和桩端持力土层,使这些松散、低强度的土得以充填、压密、固结、胶结固化。

后压浆技术和工艺对钻孔灌注桩本身的质量状态不产生加固和改变作用。例如:桩身缩径、扩径、桩身混凝土出现的离析、断桩、夹泥,以及桩的长短、桩身强度等,钻孔灌注桩的工作性状依存。

后压浆技术和工艺也不会、不可能使钻孔灌注桩扩径或在桩端形成所谓的扩大端,桩端也不会形成连片胶结的板状持力层等。

后压浆技术和工艺,对于长径比不大,桩端持力层较好(例如:砂土),通过调整和控制注浆浆液的配合比、注浆量、注浆压力,设计预估提高桩侧、桩端阻力的增强幅度,达到使摩擦桩型向摩擦端承桩型的转变。

后压浆技术和工艺,使钻孔灌注桩的荷载传递机理有所变化,即荷载传递减缓、收敛加快、侧阻力发挥较为充分。因此,采用后压浆技术和工艺的钻孔灌注桩,长径比小的桩,较之长径比大的桩承载力效率更为明显。

后压浆技术和工艺,可采用调整桩侧、桩端注浆量和注浆压力,改善由于钻孔灌注桩施工质量或由于施工质量的不均匀性而导致桩的承载力和变形不均匀的状态。特别是在解决桩端沉渣过大或桩端持力层受到扰动、严重扰动的情况下,后压浆参数的调整,将改善桩的承载状况。

1.3 钻孔灌注后压浆桩的承载性状

钻孔灌注后压浆桩,由于桩侧阻力和桩端阻力均有较大幅度,甚至成倍增大,不仅承载力高、沉降量小,而且荷载传递的机制也发生变化,阻力发挥更为合理。

对于长径比较小,桩端持力层为砂性土的钻孔灌注后压浆桩,不仅桩侧阻力增大,更因桩端沉渣和被扰动的桩端持力层得以加固,因而桩的承载性状从摩擦型桩转变为摩擦端承型桩。桩侧阻力和桩端阻力均得以较充分的发挥。

对于长径比较大的桩,经桩侧、桩端后压浆加固处理后,桩侧、桩端阻力也大幅度提高。根据桩身轴力传递的数据和曲线形态变化分析,可以看出:桩身上部曲线斜率增大,表明桩上部桩身截面间轴力差增大,桩侧阻力增大。由于桩的承载力主要由桩上部侧阻力承担了,桩下部的变形、位移减少,故侧阻力和桩端阻力虽然也有大幅度提高,但难以发挥,仍有潜力。故减小桩长,充分发挥桩侧、桩端阻力,取得最佳的承载效率,是符合后压浆桩的工程性状和特点的。

1.4 钻孔灌注后压浆桩的技术、经济效果

钻孔灌注桩的后压浆专利技术自 1997 年引进至陕西地区以来,在各界热心朋友的支持下完成了各类岩土工程地基中高层或超高层建筑的桩基工程数十项,均取得了显著甚至于奇特的效果:承载力大幅度或成倍的提高,解决了钻孔灌注桩存在的部分施工质量问题,节约了大量工程投资,获得了广泛好评。后压浆施工技术不断发展,改进提高,施工质量更加稳定,施工方法更加科学,经验更加丰富,经济效益更加显著。

虽然钻孔灌注后压浆桩的技术、经济指标显著,但更多的工程界人士仍了解不够,因此,以工程实例展示后压浆的作用和效果是十分必要的。以下仅以各典型工程的钻孔灌注后压浆桩的承载力效率为主进行简述和评述。

2 西安北郊砂土地基中的钻孔灌注后压浆桩

2.1 西安北郊砂土地基的岩土工程特性

西安北郊,自张家堡地区向南至北二环,属渭河冲积平原的Ⅱ级阶地。地形平坦,建筑场地的地层主要由人工填土、第四纪全新世冲洪积黄土状土、晚更新世风积黄土、残积古土壤、冲洪积粉质粘土和砂类土组成。一般在地面以下 18~20m 左右埋藏着一层厚达 8~15m 的细中砂、中砂、中粗砂层,饱和、中密~密实。

西安北郊,地下水属潜水类型,一般稳定水位位于 8~12m 深度,个别场地地下水位仅在砂性土层以上 3~4m。

在西安北郊,钻孔灌注后压浆桩均选该砂土地基为桩端持力层。桩进入砂层浅者为 0.6~1.2m,深者进入砂层 5.0~6.0m。

2.2 钻孔灌注后压浆桩的施工

一般钻孔灌注桩进入砂层较浅时,采用西安地区常用的大锅锥旋挖钻机钻进取土成孔工艺,钻机三角架吊放钢筋笼,孔口对接钢筋笼,灌注混凝土成桩的“土”方法。

如果地下水位接近砂土层顶,此类钻成孔方法极宜产生砂土的塌孔或流砂现象,一般均有较大的沉渣,甚至高出砂层顶面,从而减少桩长。而桩端持力层也易受扰动,乃至掏蚀松动,出现严重质量问题。

当要求桩进入砂层较深,例如进入砂层 5.0~6.0m,后压浆可获得较高承载力,钻成孔施工一般采用了泥浆护壁正循环钻进成孔的施工工艺的方法。

西安北郊砂土地基中钻孔灌注后压浆桩经历了仅在桩端压浆,发展为桩侧、桩端均压浆的复式压浆过程,加之控制大锅锥钻进入砂层深度,限制桩端捞砂锅数,钻孔灌注后压浆桩的施工质量更加稳定,承载力又有所提高。

2.3 典型工程的承载力效率

西安北郊砂土地基中典型的钻孔灌注后压浆桩工程实例列于表 1,其中单桩极限承载力 Q_{uk} 均为承载力静载试验的结果。各工程的后压浆桩承载力效率较之岩土工程勘察报告建议的估算值或现场未压浆桩静载试验结果之比,为 2~3 倍。

表 1 西安北郊砂土地基中钻孔灌注后压浆桩承载力效率表

工程名称	层数	桩径 d (m)	桩长 L (m)	桩端 土层	桩侧 土层	后压 浆 类型	单桩极限 承载力 Q_{uk} (kN)	承载力效率		成孔 方法
	建筑面 积(m^2)							(%)	(kN/m^3)	
明珠新家园 8 号楼	12+1	0.6	14.0	细中砂	黄 土 古土壤 粉 土	复式	>3840	/	960	大锅锥 钻 孔
	10914						>3840 >3840		960 960	
明珠新家园 10 号楼	18+1	0.6	11.2	细中砂	黄 土 古土壤 粉 土	复式	3520	/	1112	大锅锥 钻 孔
	9063						4160 4160		1314 1314	
省统建办 北郊二号 小区	25+1 32+1	0.6	12.5	中粗砂	黄 土 黄 土 古土壤	桩端	3600	300	1019	大锅锥 钻 孔
	15762 27010						3900 4200	325 350	1104 1189	
延炼西安 基地 4 号 高层住宅	26+1	0.7	17	细中砂	黄 土 古土壤 粉 土	桩端	5600	207	856	泥浆护 壁正循 环钻孔
	20645						5600 7840	207 290	856 1199	
西安旺秀 小区高层 住宅	18+1	0.6	20.5	中 砂	黄 土 粉质粘土 中 砂 黄 土 古土壤 粉 土	复式	>6000	200	1036	大锅锥 钻 孔
	60000						>6000 7000 >6000 >6000 7000	200 233 200 200 233	1036 1208 1036 1036 1208	
西安赛高 大厦	28+2	0.6	15.0	中 砂	黄 土 古土壤 粉质粘土	复式	7000	/	1651	大锅锥 钻 孔
	83918		18.0				7000 7000 7000		1651 1651 1651	
							7000		1339	

注:① 承载力效率中的(%)为后压浆桩 Q_{uk} 与未压浆桩或岩土工程勘察报告提供的估算值之比;

② 承载力效率中的(kN/m^3)为后压浆桩每单方混凝土投资所获得的单桩极限承载力发挥值。

3 西安黄土地基中的钻孔灌注后压浆桩

3.1 西安黄土地基的岩土工程特性

西安南郊、西南郊地区,分布着大面积的皂河平原阶地和黄土源梁与古洼地貌,有深厚的黄土堆积。在岩土工程应用范围内的地层,又多是第四系上更新统的风积黄土、残积古土壤、冲洪积粉质粘土和中粗砂,中更新统的冲积粉质粘土和中粗砂。

黄土、粉质粘土土性均较好,孔隙比小,中等压缩性,多为超固结土;古土壤则含钙质结核、中粗砂夹层。层位较稳定,地下水为潜水类,埋藏在地表下 12~17m 深度。在黄土地基中桩的承载力一般较高,多数属于摩擦桩型。

3.2 钻孔灌注后压浆桩的施工

钻孔灌注桩的施工,有用大锅锥钻机旋挖钻进成孔,也有用筒形钻头的液压旋挖钻机成孔,对于有砂夹层或软粘土层地基的,一般用泥浆护壁正、反循环钻进成孔。由于施工机械、施工工艺之不同,桩侧、桩端阻力发挥也不尽相同。

黄土地基中的钻孔桩一般都超过 20m,多数在 30~40m 之间,少数工程桩长达 50~70m,凡利用后压浆技术的桩基,除个别工程外,多为复式压浆。一般在桩侧设置 2~3 层桩侧压浆阀,桩端由于成孔后钢筋笼接焊时间过长,而难免有超规范的松软沉渣,因此也需压浆。

3.3 典型工程的承载力效率

黄土地基中钻孔灌注压浆桩一般都较长,由于桩顶沉降所限,桩周土经后压浆加固处理后,侧阻力大幅度增加,桩的荷载难以向桩下部传递。因此,此类桩上部侧阻力发挥较充分,甚至达到极限值,而桩的下部侧阻力和桩端阻力发挥有限,甚至未得到发挥。

一般长径比在 30 左右的桩,单桩承载力压浆后较之未压浆桩提高 70%~100%,承载力绝对值提高 2000~4000kN;桩的长径比为 50~60 倍时,单桩承载力提高 33%~70%,承载力绝对值提高 4000~8000kN,均取得显著的效果。

下表列入几个典型工程的承载力效率。

表 2 西安黄土地基中钻孔灌注后压浆桩承载力效率表

工程名称	层数	桩径 d (m)	桩长 L (m)	桩端 土层	桩侧 土层	后压浆 类型	单桩极限 承载力 Q_{uk} (kN)	承载力效率		成孔 方法
	建筑面 积(m^2)							(%)	(kN/m^3)	
西安国际 商务中心 数码大厦	38+2	0.8	50.0	粉 质 粘 土	黄 土 中粗砂 黄 土 粉质粘土 中 砂 粉质粘土	复式	17950	133	718	泥浆护 壁反循 环钻孔
							19000	142	760	
	74000						17780	178	711	

续表

工程名称	层数	桩径 d (m)	桩长 L (m)	桩端 土层	桩侧 土层	后压浆 类型	单桩极限 承载力 Q_{uk} (kN)	承载力效率		成孔 方法
	建筑面 积(m^2)							(%)	(kN/m^3)	
西安 凯丽大厦	31+1	0.8	40.0	粉质 粘土	黄土 粉质粘土	复式	12000	150	615	反循环 钻孔
	62300						12600	158		
西安 汇鑫大厦	26+2	0.7	38.0	粉质 粘土	古土壤 粉质粘土 中粗砂 粉质粘土 中粗砂	复式	10800	154	739	旋挖 钻孔
							>9600	137	657	
							>9600	137	657	
明德新天地 (4幢高层)	16+1	0.6	20.0	粉质 粘土	黄土 古土壤 黄土 古土壤	桩端	5400	169	955	大锅锥 钻孔
	25+1						5400	169	955	
	92000		21.0				6600	206	1167	
							6600	206	1167	
							7200	225	1213	

4 西安含软粘土层地基中的钻孔灌注后压浆桩

4.1 含软粘土层地基的岩土工程特性

建筑场地的地貌均属黄土梁洼地貌,位于古迹岭黄土梁南侧与兴庆池洼槽相近地段,即西安市东门外柿园路以及向东的互助路。

地层结构中均含3~4层处于软塑~流塑状态,厚度深达20m左右的黄土、古土壤或饱和黄土。在本文介绍的两个工程中,软粘土在桩顶以下,有11.0~14.1m的厚度。此外在此类场地中往往埋藏有一层富集钙质结核层或钙板层,采用大锅锥无法穿越,这就在一定程度上限制了桩的长度。

场地水位埋藏较浅,一般在地表下6.1~7.5m左右,年变化幅度约为2.0m。

正因为场地地层中含饱和软粘土层,因此采用桩基时,该层侧阻力小,由于桩长有限,因此承载力也难以提高,这就为采用后压浆提高承载力提供了发挥空间。

4.2 钻孔灌注后压浆桩的施工

采用大锅锥旋挖成孔,由于桩上部土层软弱,因此,需注水增压,添加粘土增稠泥浆护壁,钻至富集钙质结核层或钙板层后,因无法穿越而停钻。

在饱和软粘土层中后压浆,均出现从饱和土中被置换或因孔隙水被压浆挤压而排出地表的泥浆水。西部电力国际商务中心场地在进行桩侧压浆时,地面排出的泥浆数量较多,

显现了被置换和固结的效果。因此,从表 3 所列数据可知,西部电力国际商务中心的后压浆桩的承载力效率高于东方星座,复式压浆的效果优于桩端压浆。

表 3 西安含软粘土地层地基中钻孔灌注后压浆桩承载力效率表

工程名称	层数	桩径 d (m)	桩长 L (m)	桩端 土层	桩侧 土层	后压浆 类型	单桩极限 承载力 Q_{uk} (kN)	承载力效率		成孔 方法
	建筑面 积(m^2)							(%)	(kN/m^3)	
东方星座 高层住宅楼 (3幢)	30+2	0.7	26.8	粉质 粘土 (钙板层)	黄土 ($I_L=0.83$) 古土壤 ($I_L=0.91$) 黄土 ($I_L=1.13$) 黄土 古土壤 粉质粘土	桩端	9600	240	941	大锅 锥钻孔
							6600	165	647	
							7200	180	705	
							7800	195	765	
							7800	195	765	
							6600	165	647	
西部电力 国际 商务中心	21+1	0.6	23.3	古土壤 ($I_L=0.47$)	古土壤 ($I_L=0.81$) 黄土 ($I_L=1.13$) 古土壤 ($I_L=0.75$) 黄土 古土壤	复式	7200	305	1093	大锅 锥钻孔
							5600	237	851	
							7200	305	1093	
	52350									

4.3 典型工程的承载力效率

在东方星座建筑以东,西部电力国际商务中心以西,柿园路、兴庆路西南角,建有兴庆花园商住楼(26+2层),采用钻孔灌注桩为桩径 $\phi 700$,桩长 35.0m,地层中也含有饱和软弱黄土层($I_L=0.78\sim 1.04$),其承载力参数如下:

- $\phi 700$ 桩长 $L=35.0m$,极限承载力 $Q_{uk}=6470kN$,承载力效率 $\eta=479kN/m^3$
桩长 $L=31.0m$,极限承载力 $Q_{uk}=5670kN$,承载力效率 $\eta=476kN/m^3$
 $\phi 600$ 桩长 $L=25.0m$,极限承载力 $Q_{uk}=3800kN$,承载力效率 $\eta=538kN/m^3$
显然,该工程的桩基承载力效率远低于表 3 所示工程采用后压浆技术后的承载力效率。

5 西安湿陷性黄土地基中的钻孔灌注后压浆桩

5.1 湿陷性黄土地基的岩土工程特性

陕西农业广厦高层住宅楼建筑场地位于西安市北郊龙首北路西段南侧,属自重湿陷性黄土场地,自重湿陷量 $\Delta_{zs}=5.8\sim 17.4cm$,总湿陷量 $\Delta_s=15.4\sim 32.4cm$,地基湿陷等级为 II