

微型桩基础 在输电线路工程中的应用

程永锋 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

中国电力科学研究院专著出版基金资助

微型桩基础 在输电线路工程中的应用

程永锋 主 编
鲁先龙 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

随着微型桩技术的不断发展,微型桩开始被应用到软土地基输电线路工程中。本书基于多个地区真型试验和室内试验,对微型桩杆塔基础的施工工艺和设计方法进行详细地分析和梳理。

本书内容共分为六章,即微型桩基础的概论、微型桩基础施工工艺、微型桩基础承载机理、微型桩基础承载力影响因素分析与设计计算方法、微型桩基础经济技术分析和输电线路杆塔微型桩基础应用展望。同时,书后还附有微型桩施工记录表和微型桩基础试验简介等3个附录,以帮助读者深层次了解相关内容。

本书可供从事输电线路工程施工、监理、设计工作的技术人员使用,也可供其他相关行业工程的专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

微型桩基础在输电线路工程中的应用 / 程永锋主编. —北京:中国电力出版社,2012.6

ISBN 978-7-5123-3250-8

I. ①微… II. ①程… III. ①微型桩-桩基础-应用-输电线路-工程施工 IV. ①TM726

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第146831号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2012年10月第一版 2012年10月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 8印张 110千字

印数0001—3000册 定价25.00元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前

言

微型桩基础是一种能满足软土地基输电线路荷载要求的新型杆塔基础，近年来在输电线路工程领域有不少研究与应用成果，本书基于多个地区真型试验和室内试验，对微型桩杆塔基础的施工工艺和设计方法进行了详细地分析和梳理，可为后续微型桩杆塔基础研究与应用提供参考借鉴，以促进微型桩杆塔基础在国内的研究与应用。

微型桩基础的提出为软土地基输电线路杆塔基础的选型提供了更为丰富的选择，设计人员可以根据施工场地地理环境及地质条件，并综合考虑其他因素，因地制宜地选用微型桩基础。

本书由中国电力科学研究院程永锋担任主编，并编写了第一章和第六章；中国电力科学研究院鲁先龙担任副主编，编写了第二章和第三章；中国电力科学研究院苏荣臻编写了第四章；中国电力科学研究院杨文智和郑卫锋共同编写了第五章。

在本书的编写过程中，收集、整理并引用了国内外其他科技工作者的相关研究成果，在此，对他们一并表示感谢。

对于一个新型基础施工方法和设计方法的形成来说，本书所选用的试验数量有限，还需在后期大量工程中加以验证并不断地完善。

限于编者水平，书中难免存有不妥之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

2012 年 6 月



目

录

前言

第一章 概论	1
第一节 微型桩的发展	1
第二节 微型桩在软土地基输电线路中的应用	2
第二章 微型桩基础施工工艺	5
第一节 施工基本要求	5
第二节 施工机械及材料	6
第三节 投石注浆成桩	9
第四节 灌注细石混凝土成桩	15
第五节 微型桩成桩方法应用研究	18
第六节 材料用量分析	19
第七节 微型桩成桩质量试验及检测	23
第三章 微型桩基础承载机理	26
第一节 微型桩单桩承载机理	26
第二节 微型桩群桩基础承台、桩、土三者相互作用规律	32
第四章 微型桩基础承载力影响因素分析与设计计算方法	39
第一节 微型桩基础承载力影响因素分析	39
第二节 微型桩基础设计计算方法	74

第五章 微型桩基础经济技术分析89

第六章 输电线路杆塔微型桩基础应用展望94

附录 A 微型桩施工记录表96

附录 B 微型桩基础试验简介99

附录 C 微型桩试验基础混凝土检验报告 119

参考文献 121

第一章

概 论

第一节 微型桩的发展

微型桩是在树根桩基础上发展起来的一种新型小直径钻孔灌注桩，直径通常小于 0.40m，但长细比较大（一般大于 30）。通过小型的钻孔灌注设备在地基中成孔，然后在孔中下入设计所要求的钢筋笼和注浆管，采用压力注浆成桩或者灌注细石混凝土成桩。

20 世纪 50 年代，意大利人 Dr. Fernando Lizzi 最先提出钢筋+水泥砂浆灌注的小型桩体系，由 Fondedile 公司首先开发利用，最初是用于加固“二战”中受到破坏的历史建筑和纪念碑。第一个工程应用实例是 A.Angiulli 学校建筑的加固，当时 Lizzi 采用的微型桩桩径 0.1m、桩长 13m，钻孔注浆成桩，采用水泥砂浆。随后微型桩技术逐渐被接受，相关技术在全世界范围内的应用得到迅速发展。1962 年，Fondedile 公司将微型桩技术带入英国，将其应用于历史建筑物的加固。1965 年，德国采用类似的技术应用于地下交通建设。同一时期，微型桩还被应用于米兰地铁的部分建设。1983 年，德国还为微型桩制订了独立的技术规范——DIN 4128—1983: *small diameter injection piles (cast-in-place concrete piles and composite piles); construction procedure, design and permissible loading* (现场浇灌小直径的混凝土桩制造、测量和允许负荷)。1993 年法国土木工程应用研究和试验所 (IREX) 在国家土木工程学院的 Francois Schlosser 教授和岩土力学教育研究中心 Roger Frank 博士的技术指导下，开展了一项由国家公共劳动联盟 (FNTP) 支持

的“FOREVER”的五年国家计划研究，这项针对微型桩的研究包括理论研究、数值模拟、室内试验（离心机试验）、现场试验等，主要目的是促进微型桩在建（构）筑物深基础、边坡稳定、堤岸加固、现有构筑物的加固、挡土墙以及浅基础中的应用。从 1993 年开始，Bruce D.A. 等人在美国联邦高速公路管理委员会（FHWA）的资助下，于西北大学国家岩土试验基地（NGES）用不同的注浆压力施工了 11 根桩长 13~16 英尺不等的微型桩单桩，对其中的 7 根单桩进行了抗压载荷试验，3 根单桩进行了抗拔载荷试验，研究了单桩的承载能力，与传统的计算理论进行了比较，并进一步提出了微型桩涉及的群桩效应问题。1997 年，Ho C.L. 等人对不同倾角和不同排数的微型桩加强砂性土质边坡稳定性的问题进行了模型试验，认为当小桩垂直于滑裂剪切面时能够提供边坡最大的稳定性。2001 年，Thompson R.P. 等人对压力注浆下 3 根不同桩长的微型桩单桩进行了现场抗压和抗拔载荷试验，对微型桩承载力特性进行了研究。

1982 年，法国 Soletanche 公司将微型桩技术引入中国，同济大学和上海市特种基础功能工程研究所等单位在我国首次采用微型桩对苏州虎丘塔地基进行加固开发研究，之后微型桩技术在工程实践中逐步得到应用，微型桩在上海、北京、陕西、山西、河北等地迅速得到推广，成为基础托换加固的重要手段。国内微型桩目前主要用在地基托换、支护结构、水池抗浮、旧房改造、房屋加层、古建筑加固纠偏、建（构）筑物加固防震、基坑开挖等工程中。在一定数量工程实践的基础上，1994 年编制的上海市标准 DBJ08-40-94《地基处理技术规范》将微型桩基础纳入了规范中，2000 年编制的 JGJ 123—2000《既有建筑地基基础加固技术规范》也将微型桩基础作为基础加固的措施之一纳入规范中。

第二节 微型桩在软土地基输电线路中的应用

一、微型桩在软土地基输电线路中应用的优越性

国内电力行业软土地基输电线路基础按 DL/T 5219—2005《架空送电线

路基础设计技术规定》主要有以下几种型式：扩展式基础、灌注桩基础、大板式基础等。扩展式基础设计计算简单，但其配筋量和开挖量大、占地面积大、施工机具笨重、搬运困难；灌注桩基础造价高、质量不易控制，对于交通不便利处，灌注桩成孔机械难以进入施工场地，施工困难；大板式基础的缺点是成本较高、开挖量大、施工复杂，特别是在淤泥土质中底板施工工艺方面存在较大难度，不易保证工程质量，有时在铁塔安装前，基础就已经发生了不均匀沉降。

微型桩杆塔基础就是在该背景下提出的能够在软土地基输电线路工程中采用的一种新型环保基础。与其他基础相比，具有如下优越性：

（1）压力注浆可明显改善桩周土体的工程力学特性、提高地基基础承载力。微型桩经常采用压力注浆成桩，在实际施工中往往采用二次注浆工艺。压力注浆工艺：一方面使桩周与土体接触更为紧密，提高桩周的侧摩阻力，从而提高微型桩的承载力；另一方面在压力作用下，浆液被挤入桩周土体缝隙中，使桩周土体进一步压密和固结，桩周土体强度得到提高，提升微型桩基础的抗倾覆能力。

（2）同样承载力要求下，微型桩基础材料用量较小。在深厚软土地基中，桩基础经常为摩擦型桩，摩擦型桩的主要承载力来源于桩侧的摩擦阻力，由于微型桩桩径较小，相比于大直径灌注桩，在相同混凝土量的情况下，微型桩具有较大的桩周侧面积，这样微型桩基础就具有更大承载力。反之来说，在同样承载力要求下，微型桩基础的混凝土用量就小。

（3）微型桩施工机具简单，对环境和场地适应性强。微型桩的主要施工设备是钻机和注浆泵。钻机可分为干钻和湿钻两种，钻孔机械千变万化，这些机械设备一般较为轻便，便于运输，大部分稍经拆卸即可实现人工搬运。小型施工机械体积小，所需施工场地和空间较小，适应性强，进出施工场地方便。这一特点尤其适合输电线路工程地理条件复杂多变、交通条件不便利的特点。

（4）微型桩基础泥浆排放量较小，施工振动和噪声较小，有利于保护环境。由于微型桩基础本身桩身体积较小，且一般无需外造泥浆，钻进过

程中水和土体搅拌混合成泥浆，起到护壁作用。因此其产生的泥浆量要小于普通灌注桩基础，同时微型桩成孔机械施工振动和噪声较小，有利于保护环境。

二、微型桩在软土地基输电线路中的应用现状

随着微型桩技术的不断发展，近些年微型桩开始被应用到软土地基输电线路工程中。2001 年，勒彩等人通过在输电线路中的现场真型试验证明：采用复合斜桩基础能够很好地适合杆塔基础的受力特点，特别是在抵抗上拔—水平力联合作用时具有明显的优越性。2003 年，浙江省电力设计院和浙江大学合作进行了微型桩杆塔基础试验研究，在 500kV 嘉王线 ZMVIA36 首次试验应用，在 500kV 北天 II 回输电线路进行了推广应用。由于国内外还没有微型桩基础的相关设计公式和方法，同时施工过程的参数也无相关规范加以界定，现场施工随机性大，因此在应用中遇到了很大的困难。

针对微型桩基础在输电线路工程应用存在的问题，近些年中国电力科学研究院在国家电网公司的组织下，先后在上海、浙江、安徽和佛山等地选择典型的软土地基进行了现场真型试验，对微型桩杆塔基础的设计计算方法、施工工艺、成桩质量与检测方法等方面进行了较为全面的研究。根据目前的研究成果，微型桩杆塔基础已经在 500kV 宁海—苍岩双回线路、500kV 安庆—庐桐变电站线路中进行试点应用，取得了良好的经济效益和社会效益。

微型桩基础施工工艺

第一节 施工基本要求

一、微型桩施工前应具备的资料

(1) 微型桩施工前应具备下列资料。

1) 场地工程地质资料和必要的水文地质资料。

2) 场地和邻近区域内的地下管线、地下构筑物、危房、精密仪器车间等的调查资料。

3) 桩基工程的施工组织设计或施工方案。

4) 水泥、砂、石、钢筋等原材料及其制品的质检报告。

(2) 施工组织设计应结合工程特点，有针对性地制订相应的质量管理措施，主要包括以下内容。

1) 施工平面图：标明桩位、编号、施工顺序、水电线路和临时设施的位置。

2) 确定成孔机械、配套设备以及合理施工工艺的有关资料，以及相应的泥浆处理措施。

3) 施工作业计划和劳动力组织计划。

4) 机械设备、备件、工具、材料供应计划。

5) 桩基施工时，对安全、劳动保护、防火、防雨、防台风、爆破作业、文物和环境保护等方面应按有关规定执行。

6) 保证工程质量、安全生产和季节性（冬、雨季）施工的技术措施。

二、一般规定

(1) 定位误差：定位平面误差 $\leq 10\text{mm}$ 。

(2) 施工误差：① 垂直度 $\leq 1\%$ ；② 桩顶水平位移偏差 $\leq 50\text{mm}$ ；③ 标高偏差 $\leq 50\text{mm}$ 。

(3) 成孔桩长：设计桩长+超灌 50cm+超钻 20cm，基坑开挖后，把超灌部分凿去。

(4) 钢筋笼保护层厚度不应小于 3cm。

(5) 钢筋笼制作应满足相关规程要求。

(6) 微型桩与承台连接需满足如下要求：

1) 桩顶嵌入承台的长度，不宜小于 100mm。

2) 微型桩桩顶主筋锚入承台的长度不应小于 40 倍主筋直径，且应满足 GB 50010《混凝土结构设计规范》的要求。

3) 桩顶主筋应外倾成喇叭形（大约与竖直线夹角为 15° ），并应设置箍筋或螺旋筋，其直径与桩身箍筋直径相同，间距为 100~200mm。

4) 当承台高度不满足锚固要求时，竖向锚固长度不应小于 20 倍纵向主筋直径，并向柱轴线方向呈 90° 弯折。

第二节 施工机械及材料

一、钻孔机械

1. 工程勘察钻机

目前国内主要有无履带工程勘察钻机和履带式工程勘察钻机，履带式工程勘察钻机是为了解决工程勘察场地条件复杂多变、移动困难的问题而发展起来的钻机，但缺点是整机重量较大且钻机价格较高。具体图片分别见图 2-1 和图 2-2。

2. 锚固钻机

锚固钻机同样分为无履带和有履带两种，见图 2-3 和图 2-4。

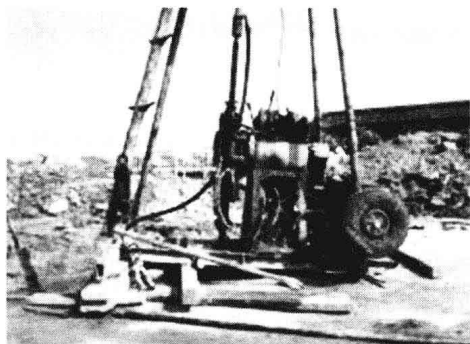


图 2-1 无履带式工程勘查钻机

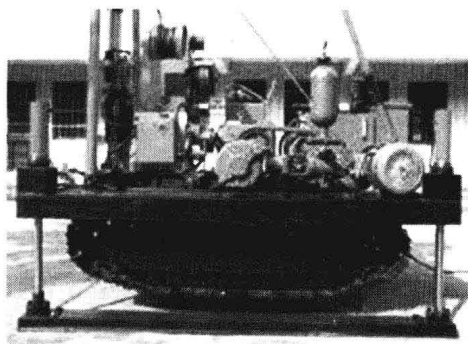


图 2-2 履带式工程勘查钻机

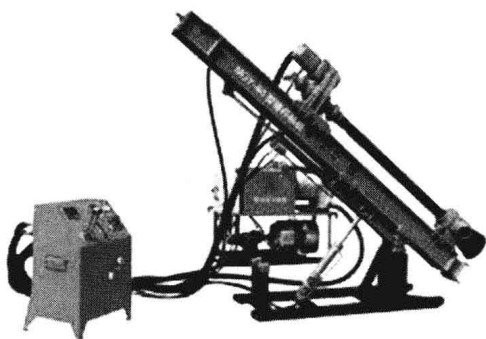


图 2-3 无履带式锚固钻机

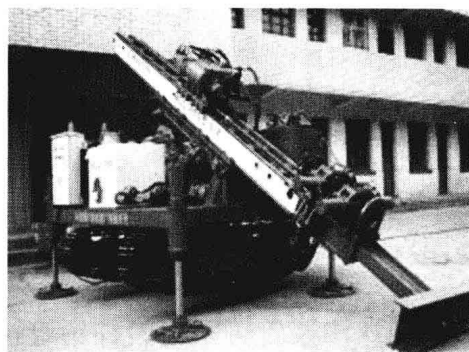


图 2-4 履带式锚固钻机

3. 其他

采用灌注细石混凝土成桩时也可采用便携式的灌注桩钻机，例如山东滨州 BZYT 型系列工程钻机。

在地质条件很好的情况下，且设计桩长较短时，可采用洛阳铲（见图 2-5）等工具进行成孔。



图 2-5 洛阳铲

二、灌浆机械

灌浆机械可采用液压式注浆泵或机械式注浆泵，要求灌浆压力最大可达

2.0MPa 以上。常用的注浆泵见图 2-6 和图 2-7。

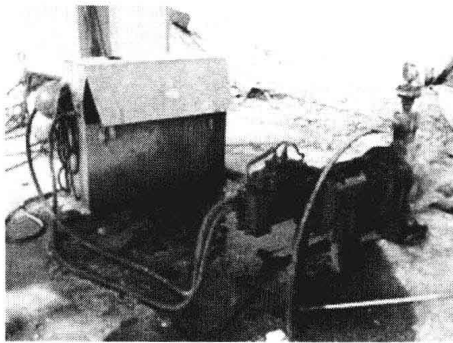


图 2-6 液压式注浆泵

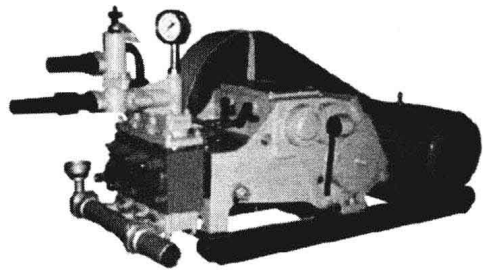


图 2-7 机械式注浆泵

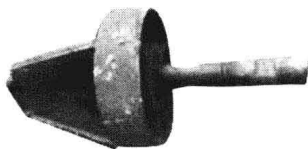


图 2-8 合金肋骨式钻头

三、钻头

钻头可选用合金肋骨式钻头、合金钻头或钢粒钻头。常用的合金肋骨式钻头见图 2-8。

四、注浆管材料

一次注浆管可采用镀锌钢管（见图 2-9），二次注浆管可采用 PVC 高抗压劈裂注浆管（见图 2-10）。

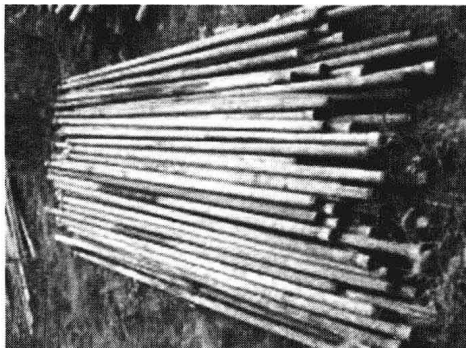


图 2-9 一次注浆管

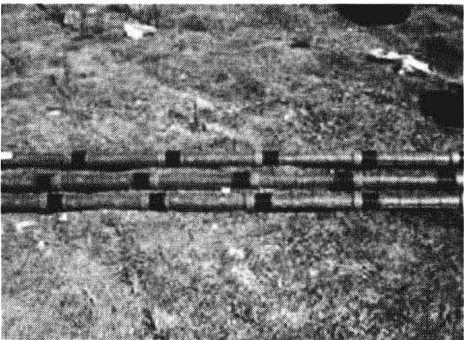


图 2-10 二次注浆管（PVC）

第三节 投石注浆成桩

一、成桩步骤及工序

1. 成孔

钻机在工作平台上就位后，直桩应保持钻机底盘水平，斜桩应用罗盘检查钻杆的倾斜度（见图 2-11）。

钻进过程中孔口采用护孔套管，套管顶部应高出地面 100mm。钻进过程中用水作为循环冷却钻头和除渣方法，配套的供水压力为 0.1~0.3MPa，在钻进过程中水和泥土搅拌混合在一起变成泥浆状起到护壁的作用。当穿过杂填土层、砂层或其他易坍塌土层时，可向中空钻杆内注入泥浆水，浆液从钻头排出并实施桩孔护壁，也可向孔中投入泥块，减慢钻进速度，使泥块、水和孔周围土（砂）粒混合，形成泥浆护壁，此时应采用较大功率的泥浆泵供水。当桩长较短且土层易成孔时，可以采用螺旋钻头干钻成孔。

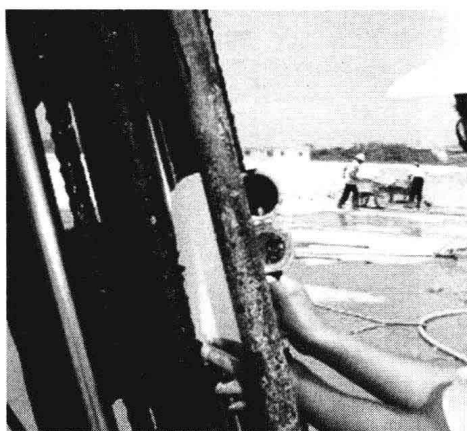


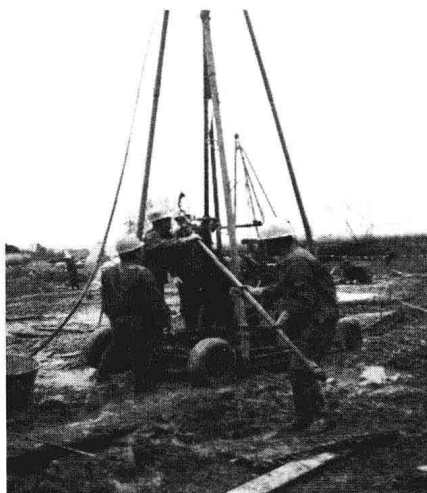
图 2-11 罗盘检查钻杆倾斜度

钻进达到设计深度后，再钻进 10~20cm，利用钻杆进行一次清孔，一次清孔后的泥浆比重控制在 1.20~1.25（无易坍塌土层时取低值），且沉渣厚度小于 200mm，清孔完成后，应迅速上提钻杆，以尽快进行下一步工序，避免钻孔坍塌。如果沉渣厚度始终不能满足要求，应调整钻进深度，以保证净桩长（钻孔长度 - 沉渣厚度）不小于设计桩长，特别是当桩长范围内有较厚易坍塌土层时，应以净桩长作为控制标准。

图 2-12 所示为现场工程勘察钻机成孔操作图。



(a)



(b)

图 2-12 工程勘察钻机成孔

(a) 浙江(斜桩)工程; (b) 安徽工程

2. 钢筋笼、注浆管制作及安装

钢筋笼按设计和施工规程要求施工,加劲箍筋设在主筋外侧,主筋不设弯钩,用圆形可转动的砂浆块作为保护层,保护层厚度不少于 3cm。当施工的空间较小时,可以把钢筋笼分段制作,在沉放时进行焊接,分段接头纵筋错开,主筋接头焊接环向并列,焊接质量要求达到相关规范要求。

一次注浆管采用镀锌钢管,每节长度宜为 2m,注浆管底部 1m 范围、间隔 20cm 对称布置两个孔径为 $\phi 5\text{mm}$ 的注浆孔,注浆管底部开口密封。一次注浆管在钢筋笼下放到设计位置后,居中放入钻孔中,要求注浆管下放到钻孔底部。

二次注浆管可采用 PVC 高抗压劈裂注浆管,二次注浆管间隔 30cm 布置几个孔径为 $\phi 5\text{mm}$ 的注浆孔,注浆孔以橡皮套封闭,注浆管底部开口密封。二次注浆管绑扎在钢筋笼内,与钢筋笼一起沉放到钻孔内。

下放钢筋笼前应检查孔深,保证实测净孔深不小于设计孔深。

埋设钢筋笼时,要对准孔位吊直扶稳,顺其缓缓下沉,避免碰孔壁,若发生钢筋笼沉不下去时,必须将钢筋笼吊出孔位,进行扫孔,严禁用桩机吊起钢筋笼重落或人力扭动等方法将钢筋笼强制下沉。

钢筋笼下到设计位置后,立即在上面焊一提钩提起钢筋笼固定在机架

或搁置在地面的钢管上，防止由于不断清孔而使钢筋刺入更深。钢筋笼吊放完毕，向孔内放下一次注浆管。

图 2-13 和图 2-14 所示为两种现场下钢筋笼操作图。

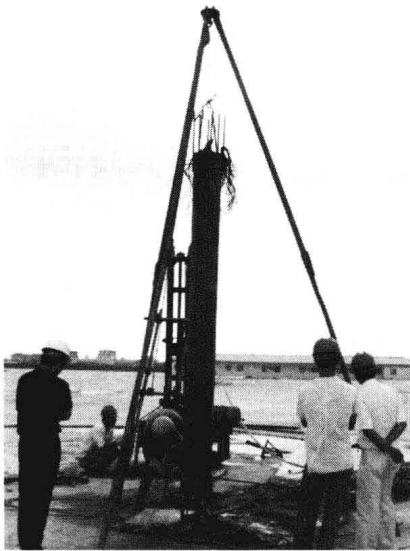


图 2-13 三脚架配合下钢筋笼

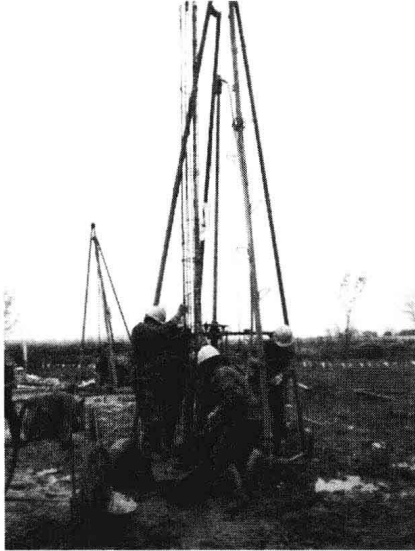


图 2-14 钻机配合下钢筋笼

3. 填注碎石骨料

钢筋笼、注浆管沉放结束后向一次注浆管注水对孔底进行二次清孔，使泥浆比重为 1.10~1.20（无易坍塌土层时取低值）。填碎石料之前应检查孔深，保证实测净孔深不小于设计孔深。符合要求后填注碎石骨料至钻孔顶部，骨料采用粒径 10~25mm 的碎石料，碎石应坚硬、洁净，含泥量应小于 2%，碎石填入的同时，通过一次注浆管持续进行清孔，防止泥土随着碎石的填入而混入钻孔内，持续填注碎石骨料直至碎石骨料高出钻孔口不再下沉。碎石骨料填筑完毕后，仍然继续往一次注浆管中注入清水进行二次清孔。应准确记录石料的投放方量，当石料投放量少于理论方量时，应及时分析原因，调整成孔工艺。

图 2-15 所示为填注碎石骨料操作图。

4. 水泥浆制备

注浆水泥采用 32.5 级或 42.5 级硅酸盐水泥。使用前先对其进行质量检