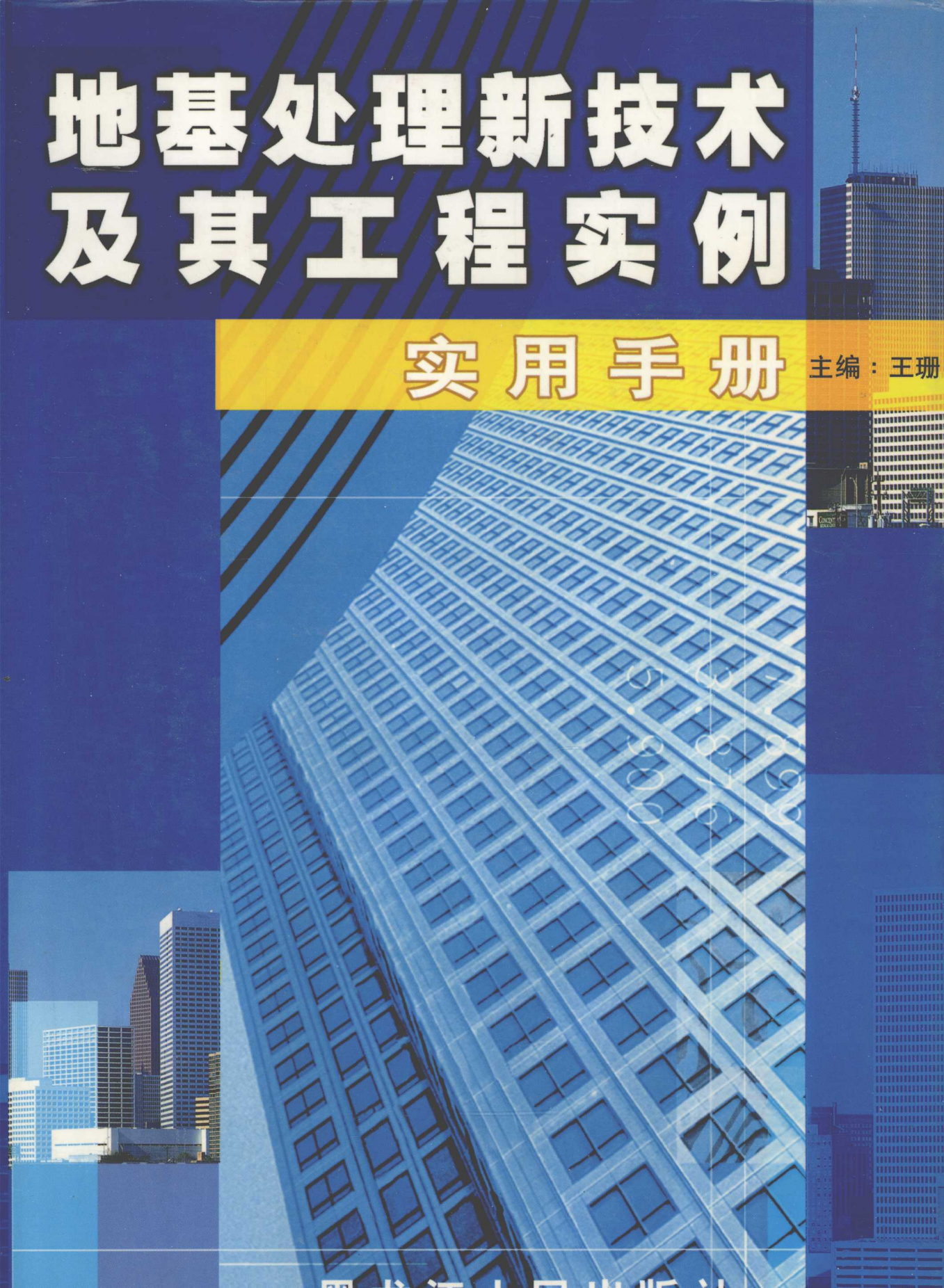


# 地基处理新技术 及其工程实例

## 实用手册

主编：王珊



TV 47-62

# 地基处理新技术 及其工程实例实用手册

主编 王 珊

(第三卷)

# 分 目 录

## (第三卷)

|                                  |        |
|----------------------------------|--------|
| 三、压密灌浆处理公路松软路基·····              | (1367) |
| 四、静压注浆加固地基·····                  | (1370) |
| 五、碱液法加固湿陷性黄土·····                | (1375) |
| 六、用灌浆法提高钻孔桩承载力·····              | (1377) |
| 七、应用注浆方法防止因拔除钢板桩对邻近建筑物产生的影响····· | (1379) |
| 八、劈裂注浆加固膨胀土填土地基·····             | (1383) |
| 九、压密注浆法纠偏多层民居·····               | (1385) |
| 第十四章 高压喷射注浆·····                 | (1390) |
| 第一节 分类及形式·····                   | (1390) |
| 第二节 特征及适用范围·····                 | (1390) |
| 第三节 加固原理·····                    | (1392) |
| 一、高压喷射·····                      | (1392) |
| 二、高压喷射的构造·····                   | (1395) |
| 三、加固机理·····                      | (1399) |
| 四、加固土的基本性状·····                  | (1401) |
| 第四节 对勘察要求·····                   | (1402) |
| 第五节 设计高压喷射注浆·····                | (1404) |
| 第六节 高压喷射注浆施工·····                | (1407) |
| 一、机械及材料要求·····                   | (1407) |
| 二、施工程序·····                      | (1408) |
| 三、工艺及要求·····                     | (1411) |
| 四、施工要点及质量控制·····                 | (1413) |
| 五、施工安全管理·····                    | (1417) |
| 第七节 效果检验·····                    | (1418) |
| 一、质量检查的内容·····                   | (1418) |

|                       |        |
|-----------------------|--------|
| 二、质量检查方法              | (1418) |
| 工程实例                  | (1421) |
| 一、旋喷复合地基              | (1422) |
| 二、旋喷加固不均匀地基           | (1425) |
| 三、砂砾、块石有孤石地层围堰定喷防渗墙   | (1427) |
| 四、井筒支护                | (1429) |
| 五、深基坑防水帷幕墙            | (1433) |
| 六、既有建筑物地基加固与纠偏        | (1436) |
| 七、浙江大学第六教学大楼地基加固      | (1440) |
| 八、军都山隧道坍方的整治          | (1444) |
| 九、旋喷加固用于防治砂土液化(日本)    | (1447) |
| 十、宝钢初轧一号铁皮坑开挖的稳定      | (1452) |
| 第十五章 加筋土              | (1459) |
| 第一节 概述                | (1459) |
| 一、加筋土加固机理             | (1460) |
| 二、特点及适用范围             | (1462) |
| 三、加筋土材料和一般构造要求        | (1463) |
| 第二节 加筋土的设计            | (1464) |
| 一、加筋土的稳定性计算           | (1464) |
| 二、加筋土挡墙型式             | (1466) |
| 三、加筋土挡墙的荷载与材料         | (1466) |
| 四、加筋土挡墙填料与构件          | (1470) |
| 五、加筋土结构构造设计           | (1475) |
| 第三节 施工技术              | (1478) |
| 一、施工工艺流程              | (1478) |
| 二、基础施工                | (1479) |
| 三、面板安装                | (1479) |
| 四、铺设筋带                | (1480) |
| 五、填料的采集、摊铺和压实         | (1481) |
| 六、防水和排水               | (1483) |
| 第四节 质量检验              | (1483) |
| 工程实例                  | (1484) |
| 一、沪青平公路拦路港桥高路堤加筋土挡墙   | (1484) |
| 二、沪嘉高速公路延伸段古宗路汽孔加筋土桥台 | (1495) |
| 三、亭大公路光钱路通道加筋土桥台设计    | (1499) |
| 第十六章 土工合成材料           | (1505) |

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 第一节 概述 .....                 | (1505) |
| 第二节 土工合成材料产品类型 .....         | (1506) |
| 第三节 土工合成材料特性 .....           | (1507) |
| 第四节 土工合成材料的作用 .....          | (1510) |
| 第五节 设计方法和施工要点 .....          | (1513) |
| 第六节 经济分析 .....               | (1522) |
| 工程实例 .....                   | (1523) |
| 一、土工织物在海堤加固中的应用 .....        | (1523) |
| 二、土工织物加固气柜工程软土地基 .....       | (1529) |
| 三、土工织物在沪嘉高速公路软基加固中的应用 .....  | (1533) |
| 四、用土工织物防治铁路路基翻浆冒泥 .....      | (1537) |
| 五、土工织物加固深圳赤湾港西防波堤软基 .....    | (1541) |
| 六、土工织物作为滤层在麦子河水库土坝中的应用 ..... | (1548) |
| 七、土工织物加固油罐地基 .....           | (1553) |
| 八、土工织物加固工业生产线软弱地基 .....      | (1563) |
| 九、采用土工织物垫层处理多层建筑下杂填土地基 ..... | (1567) |
| 十、土工织物加筋垫层加固多层建筑软土地基 .....   | (1569) |
| 十一、土工织物用作尾矿坝反滤层 .....        | (1571) |
| 第十七章 树根桩 .....               | (1575) |
| 第一节 概述 .....                 | (1575) |
| 第二节 按规范设计树根桩及试验 .....        | (1575) |
| 第三节 施工 .....                 | (1585) |
| 第四节 质量检验 .....               | (1588) |
| 第五节 树根桩处理建筑物沉降 .....         | (1588) |
| 工程实例 .....                   | (1590) |
| 一、树根桩在民用建筑增层中的应用 .....       | (1590) |
| 二、树根桩控制建筑物不均匀沉降 .....        | (1592) |
| 三、树根桩加固黄土地区厂房地基 .....        | (1595) |
| 四、树根桩加固污水处理池 .....           | (1597) |
| 五、树根桩加固土坡挡土墙 .....           | (1599) |
| 六、平江路电话局大楼基坑工程 .....         | (1602) |
| 七、上海锦江城搅拌站综合楼纠偏 .....        | (1606) |
| 八、上海王开照相馆过街楼基础托换 .....       | (1608) |
| 第十八章 土层锚杆技术 .....            | (1611) |
| 第一节 土层锚杆技术特点及应用 .....        | (1611) |
| 第二节 种类 .....                 | (1612) |

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| 第三节 设计 .....                       | (1612) |
| 第四节 施工 .....                       | (1619) |
| 一、施工准备 .....                       | (1619) |
| 二、施工程序 .....                       | (1619) |
| 三、机具 .....                         | (1620) |
| 四、拉杆安装 .....                       | (1621) |
| 五、灌浆 .....                         | (1622) |
| 六、张拉 .....                         | (1625) |
| 第五节 试验和检验 .....                    | (1626) |
| 一、基本试验 .....                       | (1626) |
| 二、性能试验 .....                       | (1627) |
| 三、验收试验 .....                       | (1627) |
| 工程实例 .....                         | (1628) |
| 一、美国西雅图 Columbia 大厦基坑锚杆护壁工程 .....  | (1628) |
| 二、工程实例四——江阴二线船闸闸室地下连续墙岸壁锚固工程 ..... | (1630) |
| 三、北京西直门地铁基坑锚杆护壁工程 .....            | (1634) |
| 四、上海龙华污水处理厂地下水池抗浮锚杆 .....          | (1635) |
| 五、上海太平洋大饭店深基坑支护工程 .....            | (1643) |
| 六、福州屏山综合楼基坑围护工程 .....              | (1648) |
| 七、竹园宾馆酒店式公寓深基坑锚杆围护 .....           | (1651) |
| 八、西安钟鼓楼广场深基坑支护 .....               | (1657) |
| 第十九章 土钉墙 .....                     | (1664) |
| 第一节 概述 .....                       | (1664) |
| 第二节 土钉与锚杆区别 .....                  | (1665) |
| 第三节 加固机理 .....                     | (1665) |
| 第四节 设计 .....                       | (1666) |
| 一、确定土钉墙结构尺寸 .....                  | (1666) |
| 二、参数的设计 .....                      | (1667) |
| 三、稳定性分析 .....                      | (1668) |
| 第五节 施工技术 .....                     | (1673) |
| 第六节 质量检验与监测 .....                  | (1676) |
| 一、抗技术力试验 .....                     | (1676) |
| 二、监测 .....                         | (1677) |
| 工程实例 .....                         | (1677) |
| 一、深圳民航大厦基坑部分土钉墙支护 .....            | (1677) |
| 二、工程实例七——深圳罗坊山庄边坡加固 .....          | (1680) |

|                              |        |
|------------------------------|--------|
| 三、北京金运大厦基坑土钉墙支护·····         | (1682) |
| 四、北京市芳城园 1 号住宅楼深基坑土钉墙支护····· | (1686) |
| 五、广洲荔湾商业大厦深基坑土钉墙支护·····      | (1689) |
| <b>第二十章 锚定板结构</b> ·····      | (1696) |
| 第一节 概述·····                  | (1696) |
| 第二节 对勘察测试要求·····             | (1696) |
| 第三节 设计·····                  | (1698) |
| 一、土压力·····                   | (1698) |
| 二、锚定板容许抗拔力·····              | (1700) |
| 三、稳定性·····                   | (1700) |
| 四、筋柱设计·····                  | (1706) |
| 五、拉杆设计·····                  | (1709) |
| 六、锚定板设计·····                 | (1710) |
| 七、挡土板设计·····                 | (1711) |
| 八、肋柱基础设计·····                | (1711) |
| 第四节 施工·····                  | (1712) |
| 一、构件预制·····                  | (1712) |
| 二、基础施工和筋柱安装·····             | (1714) |
| 三、填土·····                    | (1714) |
| 四、构件安装·····                  | (1715) |
| 第五节 质量检验·····                | (1716) |
| 工程实例·····                    | (1717) |
| 一、天湖山铁路支线洋坑锚定板桥台·····        | (1717) |
| 二、营口新港鲅鱼圈锚定板挡墙·····          | (1724) |
| 三、武豹公路结合式锚定板桥台·····          | (1733) |
| <b>第二十一章 振冲法</b> ·····       | (1745) |
| 第一节 概述·····                  | (1745) |
| 第二节 加固机理·····                | (1747) |
| 一、振冲加密(对无粘性土)·····           | (1747) |
| 二、振冲置换(对粘性土)·····            | (1748) |
| 第三节 设计计算·····                | (1750) |
| 一、一般原则·····                  | (1750) |
| 二、振冲挤密·····                  | (1750) |
| 三、振冲置换·····                  | (1751) |
| 第四节 施工工艺·····                | (1753) |
| 一、振冲法施工工艺·····               | (1753) |

|                                         |        |
|-----------------------------------------|--------|
| 二、干振法施工工艺·····                          | (1759) |
| 三、振冲挤密质检验·····                          | (1760) |
| 工程实例·····                               | (1761) |
| 一、振冲法加固粘性土、砂土互层地基·····                  | (1761) |
| 二、振冲法加固粉细砂层地基·····                      | (1765) |
| 三、龙口电厂场地抗液化处理·····                      | (1768) |
| 四、高层建筑松砂地基处理·····                       | (1770) |
| 五、振冲碎石桩加固浙江岱山电厂饱和软粘土·····               | (1771) |
| 六、南通天生港电厂扩建工程地基处理·····                  | (1777) |
| 七、美国新奥尔良 Jourdan Road 港区四泊位码头区软基处理····· | (1781) |
| 第二十二章 特殊加固法·····                        | (1784) |
| 第一节 冻结法·····                            | (1784) |
| 第二节 冻结加固法实例·····                        | (1786) |
| 第三节 热加固法·····                           | (1790) |
| 工程实例·····                               | (1791) |
| 一、热加固法多层住宅下非自重湿陷地基·····                 | (1791) |
| 二、热加固法加固既有建筑下湿陷地基·····                  | (1793) |
| 第四节 爆炸施工法·····                          | (1794) |
| 第二十三章 托换技术·····                         | (1797) |
| 第一节 建筑物损坏程度的判别·····                     | (1800) |
| 第二节 托换分类·····                           | (1802) |
| 第三节 坑式托换·····                           | (1803) |
| 第四节 桩式托换·····                           | (1805) |
| 一、静压桩检验·····                            | (1805) |
| 二、锚杆静压桩托换·····                          | (1806) |
| 三、预试桩托换·····                            | (1807) |
| 四、打桩灌注桩托换·····                          | (1807) |
| 五、树根桩托换·····                            | (1809) |
| 工程实例·····                               | (1811) |
| 一、呼和浩特市职业学校锅炉房基础加固托换·····               | (1811) |
| 二、某化肥车间基础托换工程·····                      | (1814) |
| 三、芜湖市少年宫地基处理·····                       | (1815) |
| 四、湖北工业建筑设计院宿舍楼加层地基处理·····               | (1817) |
| 第五节 灌浆托换·····                           | (1820) |
| 第六节 支承式托换·····                          | (1821) |
| 第七节 特殊托换·····                           | (1822) |

|                                   |        |
|-----------------------------------|--------|
| 一、灌浆法·····                        | (1822) |
| 二、基础加压纠偏法·····                    | (1824) |
| 工程实例·····                         | (1825) |
| 一、上海电化厂 2 号盐仓基础托换加固·····          | (1825) |
| 二、联邦德国 Dresdner Bank 建筑的托换工程····· | (1829) |
| 三、武钢碎铁厂第一料场露天栈桥基础加压纠偏·····        | (1830) |
| <b>第二十四章 建筑物纠偏技术</b> ·····        | (1833) |
| 第一节 建筑物(基础)偏斜原因·····              | (1833) |
| 第二节 减少建筑物不均匀沉降之托换措施·····          | (1834) |
| 第三节 纠偏方案·····                     | (1837) |
| 一、纠偏方案的选择·····                    | (1838) |
| 二、建(构)物允许倾斜偏差及纠偏控制值·····          | (1839) |
| 三、纠偏方案的制定·····                    | (1840) |
| 第四节 常用纠偏方法介绍·····                 | (1840) |
| 一、浸水纠偏法·····                      | (1840) |
| 二、掏土纠偏法·····                      | (1841) |
| 三、压桩(顶桩)纠偏法·····                  | (1844) |
| 四、钻孔掏土(排泥)纠偏法·····                | (1846) |
| 五、沉井射水掏土纠偏法·····                  | (1846) |
| 六、掏砂纠偏法·····                      | (1847) |
| 七、降水纠偏法·····                      | (1848) |
| 八、降水掏土纠偏法·····                    | (1849) |
| 九、堆载加压纠偏法·····                    | (1849) |
| 十、锚桩加压纠偏法·····                    | (1849) |
| 十一、静力压桩纠偏法·····                   | (1851) |
| 十二、压力灌浆法纠偏法·····                  | (1851) |
| 十三、顶升纠偏法·····                     | (1851) |
| 十四、基础位移纠偏法·····                   | (1854) |
| 工程实例·····                         | (1856) |
| 一、旋喷桩用于既有建筑物地基加固与纠偏·····          | (1856) |
| 二、福州市状元新村 4 号楼可控纠偏加固工程·····       | (1860) |
| 三、工程实例八——上海某小区 3 号和 5 号·····      | (1862) |
| 四、上海某厂新建 35m 锅炉房烟囱的纠偏加固工程·····    | (1863) |
| 五、上海锦江城搅拌站综合楼纠偏·····              | (1865) |
| 六、沉井注浆加固纠偏的观测与分析·····             | (1867) |
| 七、振密碎石桩失败的工程实例·····               | (1873) |

|                                    |        |
|------------------------------------|--------|
| <b>第二十五章 特殊土地基处理</b> .....         | (1883) |
| 第一节 概述 .....                       | (1883) |
| 第二节 软土 .....                       | (1883) |
| 第三节 填土 .....                       | (1888) |
| 第四节 冲填土 .....                      | (1902) |
| 第五节 松散砂土 .....                     | (1904) |
| 第六节 岩溶与土洞 .....                    | (1905) |
| 第七节 湿陷性黄土 .....                    | (1908) |
| 一、概述 .....                         | (1908) |
| 二、黄土湿陷性的评价 .....                   | (1908) |
| 第八节 冻土 .....                       | (1910) |
| 一、概况 .....                         | (1910) |
| 二、设计计算 .....                       | (1914) |
| 三、施工及冻害处理 .....                    | (1920) |
| 第九节 山区地基 .....                     | (1921) |
| 工程实例 .....                         | (1922) |
| 一、采用砂垫层置换暗浜内部分冲填土 .....            | (1922) |
| 二、哈尔滨化工热电厂 6kV 配电装置室 .....         | (1925) |
| <b>第二十六章 地基基础施工质量通病及防治措施</b> ..... | (1928) |
| 第一节 土方开挖、回填 .....                  | (1928) |
| 第二节 土石方爆破 .....                    | (1930) |
| 第三节 基坑井点降水 .....                   | (1932) |
| 第四节 深基坑支护 .....                    | (1934) |
| 第五节 地基加固 .....                     | (1936) |
| 一、灰土、砂、砂石和三合土垫层 .....              | (1936) |
| 二、重锤夯实 .....                       | (1937) |
| 三、强夯 .....                         | (1938) |
| 四、振冲桩 .....                        | (1938) |
| 五、深层搅拌桩 .....                      | (1939) |
| 六、高压喷射注浆 .....                     | (1940) |
| 七、喷粉桩 .....                        | (1941) |
| 八、灰土挤密桩 .....                      | (1942) |
| 九、水泥压力灌浆 .....                     | (1943) |
| 十、塑料排水板堆载预压 .....                  | (1944) |
| 第六节 混凝土预制桩 .....                   | (1944) |
| 第七节 泥浆护壁成孔灌注桩 .....                | (1947) |

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 第八节 干作业钻孔灌注桩 .....      | (1950) |
| 第九节 套管(打拔管)成孔灌注桩 .....  | (1952) |
| 第十节 爆扩灌注桩 .....         | (1955) |
| 第十一节 挖孔桩 .....          | (1957) |
| 第十二节 钢管桩 .....          | (1958) |
| 第十三节 钢板桩 .....          | (1959) |
| 第二十七章 冻结方法 .....        | (1960) |
| 第一节 绪论 .....            | (1960) |
| 一、冻结方法的用途 .....         | (1960) |
| 二、适用于冻结方法的地基 .....      | (1960) |
| 三、冻结方法的要点 .....         | (1961) |
| 第二节 冻结方法的原理和有问题之处 ..... | (1962) |
| 一、地基的冰点 .....           | (1962) |
| 二、冻结速度 .....            | (1962) |
| 三、冷却温度和冷却用的机器 .....     | (1964) |
| 四、解冻速度 .....            | (1964) |
| 五、冻土的强度 .....           | (1965) |
| 六、地下水流 .....            | (1966) |
| 七、由于从地表面加热对冻结面的影响 ..... | (1967) |
| 八、连接冻土浇灌混凝土的养护问题 .....  | (1967) |
| 九、冻结膨胀和解冻后的收缩 .....     | (1968) |
| 十、冻结膨胀对周围地基的影响 .....    | (1969) |
| 十一、减轻冻结膨胀影响的措施 .....    | (1970) |
| 第三节 计划、设计与施工 .....      | (1971) |
| 一、事前调查 .....            | (1971) |
| 二、掌握有问题的地方和筹划基本计划 ..... | (1972) |
| 三、设计和计划 .....           | (1973) |
| 四、现场管理的量测计划 .....       | (1976) |
| 五、计划的禁忌事项 .....         | (1977) |
| 六、施工 .....              | (1977) |
| 第四节 施工实例 .....          | (1978) |
| 第五节 失败的例子和容易失败之处 .....  | (1981) |
| 第二十八章 地基工程事故实例 .....    | (1983) |
| 第一节 膨胀土地基工程质量事故实例 ..... | (1983) |
| 第二节 山区工程滑坡事故实例 .....    | (1985) |
| 第三节 地基工程受冻胀事故实例 .....   | (1993) |

---

|      |                         |        |
|------|-------------------------|--------|
| 第四节  | 灰土桩质量事故实例 .....         | (1994) |
| 第五节  | 填土地基工程质量事故实例 .....      | (1998) |
| 第六节  | 杂填土地基工程质量事故实例 .....     | (1999) |
| 第七节  | 软土地基工程质量事故实例 .....      | (2000) |
| 第八节  | 软硬地基工程质量事故实例 .....      | (2002) |
| 第九节  | 岩石地基工程质量事故实例 .....      | (2003) |
| 第十节  | 大型设备基础裂缝事故实例 .....      | (2006) |
| 第十一节 | 打(沉)桩、灌注桩工程质量事故实例 ..... | (2009) |

### 三、压密灌浆处理公路松软路基

#### 1. 工程地质概况

江苏省启东市南环路一段长 160m 的公路路基, 自上而下为可塑状的粉质粘土、淤泥质粉质粘土和低压缩性的粉土或粉砂, 表层土的主要物理力学性能指标见表 3-13-33。

表 3-13-33 主要压缩层物理力学性能指标

| 名          | 厚度<br>(m) | 天然含水量<br>$w$<br>(%) | 塑 限<br>$w_p$<br>(%) | 液 限<br>$w_L$<br>(%) | 孔隙率<br>$e$ | 孔隙尺寸<br>(mm) | 竖向渗透<br>系 数<br>(cm/s)  | 无侧限抗<br>压强度<br>(kPa) | 弹性模量<br>(MPa) | 地基表面<br>弯沉值<br>(mm) |
|------------|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|------------|--------------|------------------------|----------------------|---------------|---------------------|
| 质粘土        | 1.1       | 26.8                | 20.7                | 32.1                | 0.46       | < 0.003      | $1.249 \times 10^{-4}$ | 127.79               | 6.61          | 7.24                |
| 泥质粉<br>质粘土 | 0.8       | 37.0                | 21.3                | 35.9                | 0.51       | < 0.003      |                        |                      |               |                     |

按 JTJ014-86 规范对 IV<sub>1</sub> 自然区相应粘性土基的回弹模量建议值为 17.0MPa, 显然各段应作必要的处治地基才能满足规范要求, 经多方研究和经济比较后, 决定采用压力浆法处理该段地基。

#### 2. 灌浆方案和施工参数

##### (1) 灌浆方案

鉴于地基灌浆处理范围大, 且主要目的是使松软土层得到挤密, 减小孔隙率。增大弹性模量, 而对结石体强度要求并不高的特点, 为了降低地基处理费用, 本工程采用了水泥粉煤灰作为浆材。水泥为普通 425 号硅酸盐水泥; 粉煤灰为南通华能电厂的粉煤灰, 其化学含量及颗粒组成见表 3-13-34。

表 3-13-34 南通华能电厂粉煤灰

| 颗粒（mm）组成百分含量（%） |                  |                                |                                |      |      |
|-----------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|
| 0.005～0.05      | 0.05～0.1         | 0.1～0.25                       | 0.25～0.5                       |      |      |
| 28.3            | 46.5             | 20.1                           | 5.0                            |      |      |
| 化学成分（%）         |                  |                                |                                |      |      |
| 烧失量             | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | HgO  |
| 8.26            | 50.1             | 24.6                           | 7.7                            | 3.06 | 1.50 |

由于本场地土基的孔隙一般均小于 0.003mm，而使用的粉煤灰等浆材的粒度又大于此值，即净空比小于 1，因此采用压密注浆，通过钻孔向土层中压入浆液，让浆液的结石体占有一定的软土空间而达到挤压上抬的目的。

### (2) 浆液的配比

粉煤灰水泥浆材的突出优点还在于粉煤灰能使浆液中的酸性氧化物 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{SiO}_2$  等) 含量增加，它们能与水泥水化析出的部分氢氧化钙发生二次反应而生成水化硅酸钙和水化铝酸钙等较稳定的低钙水化物。从而达到节约水泥，消化三废的作用。灌浆后结石体的强度，随粉煤灰掺量的增加将大大降低，因此，灌浆前应选择合适的配比，满足强度和挤密要求。本工程主要藉结石体占据软土空间，达到挤密软土的作用，对结石体强度要求，所以，经比较，选择了水泥:粉煤灰为 0.25:0.75 的配比。

为了选择较好的水灰比，在现场进行了注浆试验，以每孔单次序吃浆量的多少（同样至地面冒浆为止）来评判不同档次水灰比的优劣，试验结果见下表 3-13-35。

表 3-13-35 场地土在不同水灰比下的吃浆量

| 水灰比    | 每孔单次序注浆的吃浆量 (L) |
|--------|-----------------|
| 0.55:1 | 26.18           |
| 0.8:1  | 6.35            |
| 1.0:1  | 4.17            |

表 3-13-36 不同深度注浆点的吃浆量

| 注浆点深度 (m) | 每孔单序注浆的吃浆量 (L) |
|-----------|----------------|
| -0.9      | 24.8           |
| -1.3      | 61.7           |
| -1.8      | 86.2           |

经试注后本工程选用 0.55:1 的水灰比。

### (3) 注浆点深度

在相同的泵压及注浆速率的条件下，对三个不同深度的注浆点的每孔单序吃浆量（至地面冒浆为止）进行统计，见表 3-13-36。不同深度注浆点。压浆量不同表明，上覆土压力及上覆土体强度是压密注浆提高注浆量的关键，由表 3-13-35 可见注浆点深 -1.3m 孔比 -0.9m 孔仅深 0.4m，吃浆量就提高了 148.8%，表明，-1.3m 深注浆具有较好的挤密效果。故本工程采用了 -1.3m 深的注浆孔。

### (4) 注浆孔距

在浅层注浆中，由于上覆压力及注浆管管壁阻力小，注浆压力一般只能控制在 200kPa 左右，压力过大可能引起管壁冒浆造成地基过多隆起而影响注浆挤密效果。在一定的压力下，对三个不同孔距（等边三角形布置、同深度）注浆点进行试验，取得如下结果，见表 3-13-37。经开挖检查，1.5m 注浆孔距的结石体的水平向半径一般为 0.43m 左右，相邻结石体并未相接且不发生劈裂网状贯通，只有结石体向上有少量劈裂性网状结石直至地表。本工程采用 1.5m 及 1.0m 二种孔距，单位路面吃浆量大孔距稍大一些。

表 3-13-37 不同孔距时吃浆量及力学指标

| 注浆孔距<br>(m) | 第一次序注浆吃浆量<br>(L) | 28 天后, 注浆孔间土基有关力学指标 |                 |
|-------------|------------------|---------------------|-----------------|
|             |                  | 回弹模量<br>(MPa)       | 土基表面弯沉值<br>(mm) |
| 1.0         | 61.9             | 16.93               | 4.07            |
| 1.5         | 77.8             | 21.08               | 4.29            |
| 2.0         | 86.4             | 16.58               | 4.72            |

## (5) 注浆压力与速率

容许注浆压力与许多因素有关, 如土体强度, 钻孔深度, 注浆次序, 浆液浓度等, 但均以不使地层结构产生严重破坏为限。本工程的初始注浆压力控制在 200kPa 以内, 注浆速率也不能大于 20L/min。

## 3. 处理效果评价

注浆 28 天后, 经压路机碾压, 场地土与未注浆前经压路机碾压的场地土的物理力学性能指标, 见表 3-13-38。

表 3-13-38 注浆前后场地土的物理力学性能指标

| 试样名称              | 厚度<br>(m) | 天然含水量<br>$w$<br>(%) | 塑限<br>$w_p$<br>(%) | 液限<br>$w_L$<br>(%) | 孔隙率<br>$e$ | 垂向渗透系数<br>$k_z$<br>(cm/s) | 无侧限抗压强度<br>$q_u$<br>(kPa) | 回弹模量<br>(MPa) |        | 土基表面弯沉值<br>(mm) |
|-------------------|-----------|---------------------|--------------------|--------------------|------------|---------------------------|---------------------------|---------------|--------|-----------------|
|                   |           |                     |                    |                    |            |                           |                           | 室内试件          | 现场     |                 |
| 首次碾压后粉质粘土         | 1.07      | 24.8                | 22.0               | 33.7               | 0.42       | $3.784 \times 10^{-6}$    |                           |               |        |                 |
| 注浆 28 天后粉质粘土      | 1.05      |                     |                    |                    |            |                           | 215.55                    | 44.77         |        |                 |
| 注浆 28 天后再次碾压的粉质粘土 | 1.00      | 20.3                | 19.1               | 30.7               | 0.39       | $2.155 \times 10^{-7}$    |                           |               | 19.19* | 4.62*           |
| 注浆 28 天后的现场结石体    |           |                     |                    |                    |            |                           | 1736.06                   | 640.66        |        |                 |

\* 大雨后第二天测得值。

从上表不难看出, 尽管未达到最佳含水量, 碾压也能取得一定效果, 只是影响深度一般在 -0.6m 以内, 不能从根本上解决问题, 通过注浆, -1.1m 以深的淤质土得到了有效处治, 部分空间已被结石体所占, -1.1m 以浅的表层粉质粘土下注上压得到挤

密,从现场取样分析结果看,其无侧限抗压强度提高了1.7倍,回弹模量提高了6.8倍,现场实测(刚下过大雨)尚提高了2倍,弯沉值减少了1.6倍,说明该工艺在浅层粉质粘土中的使用已取得较好效果,满足了规范JTJ014-86对二级公路的模量要求。

## 四、静压注浆加固地基

### 1. 工程概况

本工程位于广州市三元里广佛高速公路入口处,拟建设计楼高9层,设置地下室一层,框架结构,采用天然地基,条形基础,地下室开挖深度为4.2m(从地面 $\pm 0.00$ 起算)。由于拟建建筑物场地地基土层分布不均匀,其东北角地段分布的土层主要为淤泥质土和含粘土粉细砂等软弱土层,该土层承载力不能满足设计(地基土承载力设计值 $f = 450\text{kPa}$ )要求。因此,需进行地基加固处理。

### 2. 工程地质条件

据场地工程地质勘察情况分析情况如下:

(1) 杂填土( $Q^{ml}$ ): 杂色,由粉质粘土、粉砂组成,含碎石和砖。结构松散,标贯试验 $N = 4 \sim 6$ 击, $f_k = 140\text{kPa}$ ,层厚1.5~2.8m。

(2) 淤泥质土( $Q^{al}$ ): 灰黑色,上部含粉细砂,局部含腐殖质,流塑,标贯试验 $N = 3 \sim 5$ 击, $f_k \leq 105\text{kPa}$ ,层厚1.2~2.8m。

(3) 砂土层( $Q^{sl}$ ): 灰白~黄色,主要由粉细砂和中砂组成,含较多粘性土和碎石、卵石。稍密,标贯试验平均值 $N_{(中砂)} = 11.5$ 击, $f_k = 180\text{kPa}$ , $N_{(粉细砂)} = 13.8$ 击, $f_k = 170\text{kPa}$ ,层厚变化较大,中砂最大厚度约4.6m,粉细砂最大厚度约3.2m。

(4) 粘性土( $Q^{cl}$ ): 灰白~花色,由粉质粘土和含砂粘土组成,夹少量粉土,可塑状态为主,局部软塑状态,标贯试验平均值 $N = 7.5$ 击, $f_k = 200\text{kPa}$ 。分布极不均匀。

(5) 碎石土层( $Q^{pl+dl}$ ): 灰白色,含大量碎石,直径大者达8~10cm,呈亚圆状~次棱角状,其成分为次生石英岩(95%为石英质),碎石之间填充白色高岭石粘土,稍密~中密。该层在场区内均有分布,层面平均埋深6.3m,层厚1.2~13m不等,根据土工试验及标贯试验,其承载力标准值 $f_k$ 取400kPa。

综合以上工程地质情况,第(3)、(4)层为本次地基加固的主要土层。

### 3. 方案设计

#### (1) 加固方案选择

广州地区常用的地基加固方法为注浆法、深层搅拌法和旋喷法。由于拟建场地土层不均匀性,上部旧基础及杂填土多,使深层搅拌机无法施工。旋喷法加固软弱土,其效果也能使所形成的复合地基承载力达到设计要求,但旋喷法施工工期长,费用高,且现场环境也有所限制,所以,该法也不能满足实际要求。

鉴于以上情况,对该场地所要加固的土层进行了详细分析,提出静压注浆形成树根状微型注浆加固方案。该加固方法方便简捷,工效高,成本低。但要达到复合地基(水

泥~土)承载力  $f_k \geq 450 \text{ kPa}$ , 技术难度较高, 根据多年的施工经验及浆液充填率粗算, 理论上该加固方案可满足设计要求, 但安全度不高。为此, 在原静压注浆加固基础上增加了树根状微型桩基的设计思想, 以增加该加固工程的安全可靠度。

静压注浆形成树根状微型桩基加固软弱土层机理是: 采用水泥~水玻璃浆材, 利用压送设备, 通过压力注浆胶管, 在压力驱动下, 将浆液充分注入所要加固的土体中, 通过浆液在土体中劈裂、挤压和渗透等作用机理, 使高浓度的水泥浆与土体有足够时间充分结合, 形成具有较高强度的水泥土固结体和树枝状水泥网脉体。与一般静压注浆法相区别, 其特点是将每个孔加固段的注浆花管 ( $\phi 1.5 \text{ in}$  镀锌管) 预留在土体中, 水泥浆液通过花管扩散, 使注浆花管与水泥土体及树根状水泥网脉紧密联结成一体。这种注浆管类似于微型桩基。由这种树根状微型桩基与水泥土固结体共同作用, 以达到加固软弱地基的目的。

## (2) 加固方案设计

### 1) 地基加固部位

根据场地的工程地质条件及地下室底面标高  $-4.2 \text{ m}$ , 要求注浆加固土体段埋深为  $5.0 \sim 10.0 \text{ m}$  段 (从原地面起算), 土层主要为砂土及粘性土, 注浆孔深  $10.0 \text{ m}$  (图 3-13-62)。

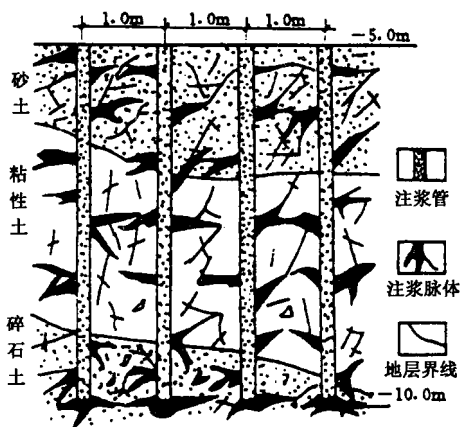


图 3-13-62 注浆效果综合剖面图

该建筑采用条形基础, 基础需加固范围: C 轴  $11.0 \text{ m} \times 3.3 \text{ m}$ , D 轴  $19.0 \text{ m} \times 5.0 \text{ m}$ , E 轴  $25.4 \text{ m} \times 4.4 \text{ m}$ , F 轴  $70.0 \text{ m} \times 1.2 \text{ m}$ , 即加固总面积为  $325.3 \text{ m}^2$ 。

### 2) 注浆参数的确定

#### ① 注浆半径的确定

注浆扩散半径  $R$  是一个非常重要的参数, 它对注浆工程质量及工程造价有着非常重要的影响, 若选用的  $R$  值不符合工程实际情况, 必然影响注浆效果, 达不到设计的