



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

# 铁路路基工程

## 铁路路基地基处理技术

### 桩体复合地基

主讲：舒玉



# 目录

---

- 复合地基处理概述
- 挤密砂石桩复合地基
- 柱锤冲扩桩
- 水泥粉煤灰碎石桩及素混凝土桩
- 灰土（水泥石）挤密桩
- 水泥石搅拌桩
- 旋喷桩

# 复合地基处理概述

---

- 复合地基类型及范围
- 复合地基型式选用
- 复合地基设计

# 复合地基类型及范围

- 复合地基
  - 地基部分土体被增强或置换成增强体（桩体）
  - 桩体和周围天然地基土共同承担上部荷载
- 类型
  - 散体材料桩复合地基
    - 砂桩、砂石桩或碎石桩
  - 柔性桩复合地基
    - 水泥土桩、灰土桩和石灰桩
  - 刚性桩复合地基
    - 混凝土桩、钢筋混凝土桩和预应力管桩

# 复合地基型式选用

- 复合地基方案选用步骤
  - 除拟几种复合地基方案
    - 铁路等级、轨道类型、荷载大小、使用要求，工程地质和水文地质、施工以及环境条件进行综合分析
  - 选择合理方案
    - 对初选方案，从加固原理、适用范围、预期效果、材料、机械、工期和环境影响等进行技术经济分析
  - 现场试验或试验性施工
    - 检验设计参数和处理效果，选择和优化设计方案
  - 加强施工监测
    - 修改完善设计参数或其他技术措施

# 复合地基型式选用

- 复合地基方案选用原则
  - 因地制宜
  - 散体材料桩应用
  - 深厚软土地基处理设计
    - 采用较长的桩体，尽量减小加固区下卧层的压缩量

# 复合地基设计—一般规定

- 应进行承载力、沉降和稳定分析
  - 工后沉降控制较严：按沉降控制进行设计
- 保证桩体和桩间土共同承载
- 垫层设置
  - 刚性基础：宜设置褥垫层
  - 路堤和堆场等柔性基础：应设加筋碎石垫层
- 复合地基施工应重视环境效应

# 复合地基设计-置换率、桩土应力比

- 置换率

- 复合土体单元：一根桩和它所承担的桩间土体
- 桩面积和复合土体单元面积之比

$$m = \frac{A_p}{A} = \frac{d^2}{d_e^2}$$

- 桩土应力比

- 桩顶应力和桩间土表面应力之比

$$n = \frac{\sigma_p}{\sigma_s}$$



# 复合地基设计-承载力确定

- 复合地基容许承载力
  - 应通过现场复合地基载荷试验确定
  - 初步设计估算

$$\sigma_{sp} = m\sigma_p + \alpha(1 - m)\sigma_s$$

- 基础宽度承载力修正系数应取零
  - 基础埋深的承载力修正系数应取1.0
- 软弱下卧层容许承载力
  - 按第三章知识进行验算

# 复合地基设计-桩间土承载力调整系数

复合地基型式	调整系数 $\alpha$	备注
碎石桩	1.0	
挤密砂石桩	1.0	
灰土（水泥石） 挤密桩	排土成孔:1.05~1.15 挤土成孔:黏性土1.1~1.2, 其他测试确定	提高
柱锤冲扩桩	排土成孔:1.1~1.2; 挤土成孔:黏性土1.15~1.3, 其他测试确定	提高
水泥石搅拌桩	桩底为软弱土: 0.5~1.0, 硬土: 0.1~0.4	折减
旋喷桩	0~0.5	折减
CFG桩 素混凝土桩	无经验时取0.75~0.95 天然地基承载力较高时取大值	折减

# 复合地基设计-复合地基稳定分析

- 圆弧滑动总应法力法

$$K = \frac{T_s}{T_t}$$

- 桩长：设计危险滑动面下2.0m
- 总剪切力计算：传至复合地基面上的荷载效应
- 加固区总抗剪切力计算
  - 散体材料桩复合地基：合算或分算
  - 刚性桩复合地基：不考虑桩身抗剪
  - 柔性桩复合地基：按散体材料桩进行适当折减

# 挤密砂石桩复合地基

- 作用机理
- 挤密砂石桩处理设计要点
- 施工要点



# 作用机理

---

- 砂石桩与挤密桩间土组成的复合地基
  - 砂石桩：振冲法或振动沉管法等设置
  - 桩间土：成桩过程中被挤密或振密
- 处理松散砂土、粉土、素填土及杂填土地基

# 挤密砂石桩处理设计要点

- 桩位布置：正三角形或正方形
- 桩径设计：300~500mm
- 桩间距设计

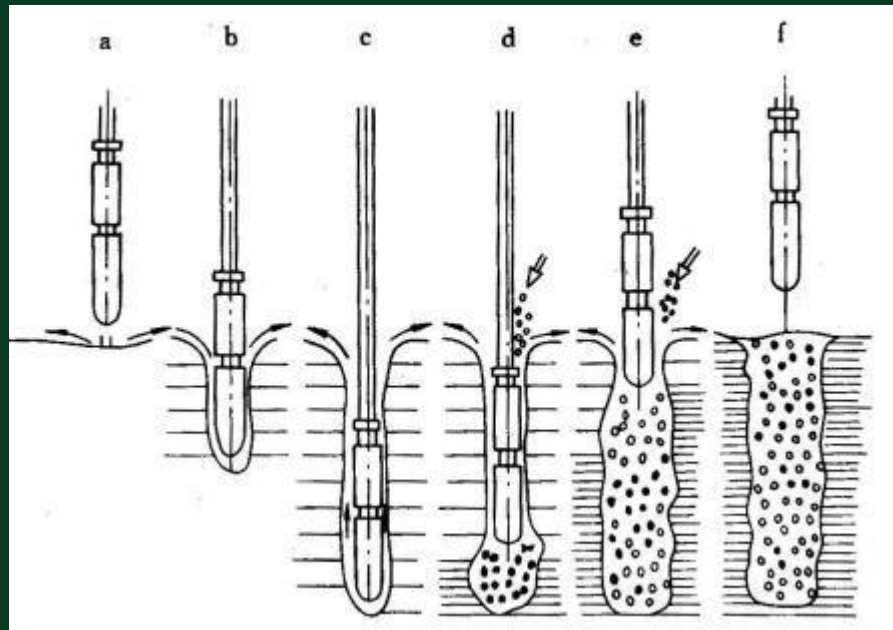
$$S = 0.95\xi d \sqrt{\frac{1 + e_0}{e_0 - e_1}}$$

$$e_1 = e_{max} - D_{r1}(e_{max} - e_{min})$$

- 桩长设计
- 垫层：300~600mm砂砾石或碎石加筋垫层
- 桩身材料：

# 施工要点

- 设计验证施工
- 施工工艺



- 桩体施工顺序

# 本讲小结

---

- 熟悉复合地基基本概念、桩体复合地基类型
- 熟悉复合地基处理方案比选
- 掌握复合地基设计分析计算
- 掌握挤密砂石桩复合地基



# 柱锤冲扩桩

- 加固机理
- 现场试验
- 设计要点
- 施工要点



# 加固机理

- 将柱状重锤提到高处使其自由落下冲击成孔，然后分层填料夯实形成扩大桩体，并与桩周土组成复合地基
- 加固机理
  - 成孔及成桩过程中对原土的动力挤密作用
  - 对原土的动力固结作用
  - 冲扩桩充填置换作用
  - 生石灰、水泥粉与桩间土的物理—化学作用

# 现场试验

- 必要性
  - 半理论半经验状态
  - 铁路路基地基处理中的工程实践不多
- 试验内容
  - 确定设计目标
    - 夯击能、单位面积夯击能、夯击遍数（包括夯击次数）及夯点间距，垫层设置
    - 试夯：确定工程采用的各项加固参数

# 设计要点

- 处理范围：大于路基基底面积
  - 一般地基：外缘扩大1~2排桩，并不应小于2m
  - 自重湿陷性黄土地基：坡脚或基础外不小于3m
- 桩体设计
  - 平面布置：正三角形、正方形、矩形
  - 桩间距：1.0~2.0m
  - 桩径：600~800mm
  - 处理深度：不大于25m
  - 桩体材料：水泥石、灰土、砂石
- 碎石、砂砾石、灰土或水泥石加筋垫层

# 施工要点

---

- 成孔方式
- 施工步骤及技术要求



# 水泥粉煤灰碎石桩及素混凝土桩

- CFG桩加固机理
- CFG桩复合地基设计要点
- CFG桩施工要点



# CFG桩加固机理

- 水泥粉煤灰碎石桩复合地基
  - 水泥、粉煤灰、碎石、石屑、砂等成桩
- 素混凝土桩复合地基
- 加固机理
  - 桩体作用
  - 挤密作用
  - 垫层作用

# CFG桩复合地基设计要点

- 桩长：承载力和变形要求
- 桩径：（300）400~600mm
- 桩间距：3~5倍桩径
- 桩体材料及强度

$$P_f \geq 3 \frac{[P]}{A_p}$$

- 加筋垫层，可设扩大桩头（或桩帽）
  - 垫层厚度取300~600mm，材料为砂砾石、碎石



# CFG桩施工要点

- 试桩，确定钻进速度、提钻速度等施工参数
  - 严格控制钻机钻进速度，
    - 地质较硬地段，低挡慢速
    - 软弱地层，快速钻进，以降低扩孔系数
  - 严禁先提钻杆，再泵送混合料
  - 严禁出现钻机灌桩过程中断料
  - 软弱层窜孔时，应跳孔作业
  - 混合料泵送时温度不低于 $10^{\circ}\text{C}$
- 

# 灰土（水泥石土）挤密桩

- 概述
- 设计要点
- 施工要点



# 灰土（水泥石）挤密桩概述

- 机理
  - 成孔挤密桩间土，灰土或水泥石分层夯实成桩
    - 灰土挤密桩：灰土分层夯实
    - 水泥石挤密桩：水泥石分层夯实
  - 适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、素填土和杂填土等地基，处理深度为3~15m
- 灰土挤密桩：消除地基土湿陷性为主要目的
- 水泥石挤密桩：提高地基承载力、增强其水稳性和控制地基沉降变形为主要目的

# 灰土（水泥石）挤密桩设计要点

- 桩径
  - 挤密处理深度小于12m: 成桩直径350~450mm
  - 处理深度超过12m: 成桩直径500~600mm
- 桩间距: 桩孔直径2.0~2.5倍

$$S = \alpha \sqrt{\frac{\overline{\eta_c} \rho_{dmax} D^2 - \rho_{d0} d^2}{\overline{\eta_c} \rho_{dmax} - \rho_{d0}}}$$

- 桩间土平均挤密系数

$$\overline{\eta_c} = \frac{\overline{\rho_{d1}}}{\rho_{dmax}}$$

# 灰土（水泥石）挤密桩设计要点

- 桩体填料

- 用量

$$G = n \frac{\pi d^2}{4} \bar{h} \gamma'_{max} (1 + w_y)$$

- 桩体平均压实系数：不小于0.97

- 加筋垫层

- 桩顶高程以上厚：500~1000mm

- 垫层压实系数：不应小于0.95

# 灰土（水泥石）挤密桩施工要点

- 成孔工艺选择
  - 按设计要求、成孔设备、土质和周围环境等，选用沉管（振动、锤击）、冲击或夯扩等方法
- 垫层施工
  - 截桩头、挖除桩顶以上超出部分
- 季节性施工
  - 雨季或冬季，应采取防雨或防冻措施
  - 夏季施工应防止桩体填充料暴晒过干

# 水泥土搅拌桩

- 搅拌桩地基处理机理
- 水泥土搅拌桩设计
- 施工要点



# 搅拌桩地基处理机理

- 水泥土搅拌桩：
  - 将水泥与地基土强制搅拌成具有整体性、水稳性和一定强度桩的复合地基
    - 湿法：水泥浆搅拌桩和水泥砂浆搅拌桩
    - 干法：粉体搅拌桩
- 适用范围
  - 正常固结淤泥质土、粉土、饱和黄土、素填土、黏性土以及无流动地下水饱和砂土等地基



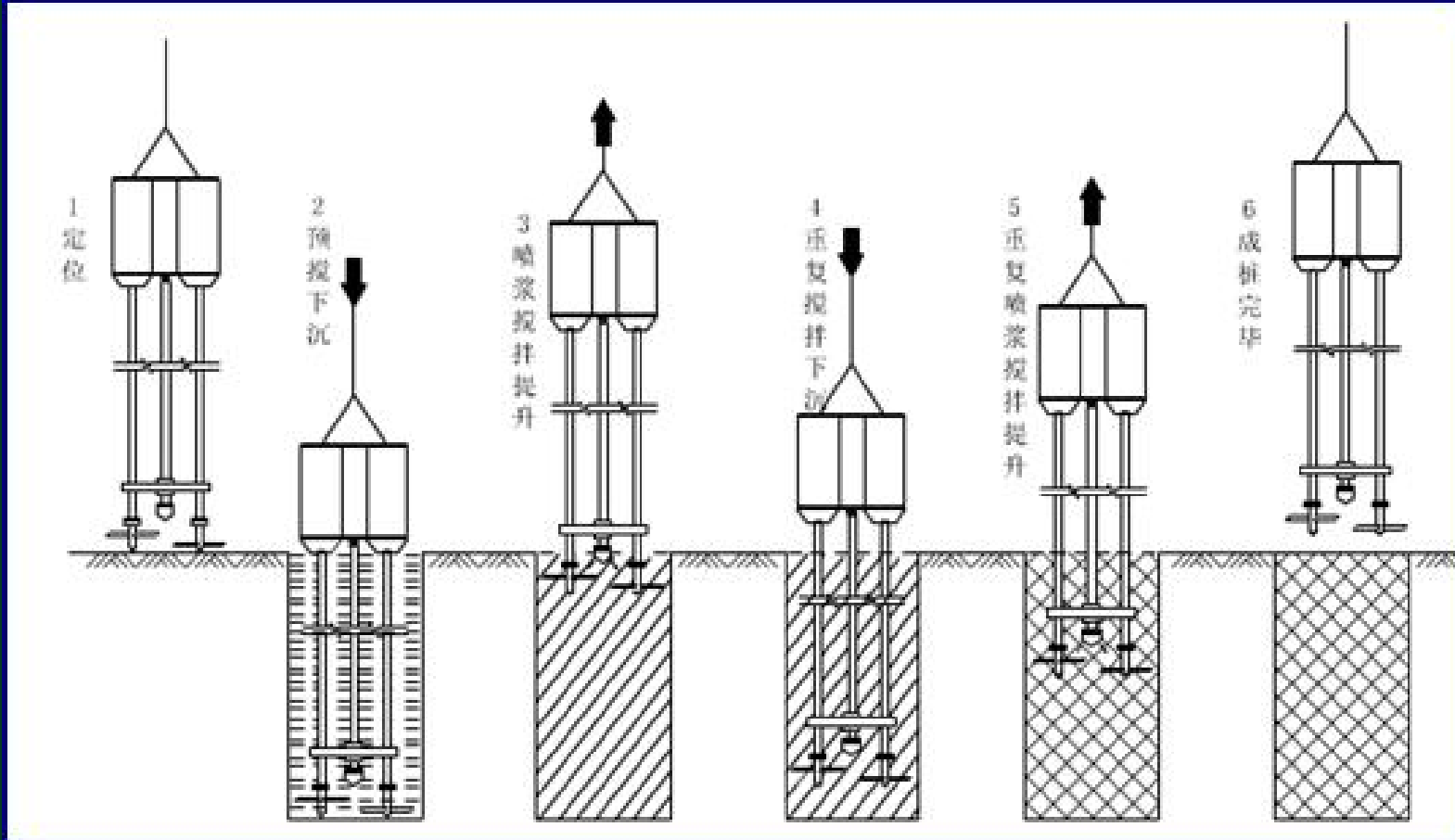
# 水泥土搅拌桩设计

- 桩位布置及桩径
- 桩长设计
- 桩体材料配比及垫层设计
- 单桩容许承载力估算

$$[P] = \eta P_f A_p$$

$$[P] = u_p \sum_{i=1}^n q_i l_i + \alpha A_p q_p$$

# 施工要点



# 旋喷桩

- 旋喷桩地基处理机理
- 旋喷桩地基处理技术要求
- 旋喷桩地基处理施工



# 旋喷桩地基处理机理

- 旋喷桩
  - 高压水泥浆切割土体，与土体成桩
  - 适用于处理淤泥、淤泥质土、黏性土、粉土、砂土、碎石土、黄土及人工填土等地基
- 机理
  - 高压喷射流切割破坏土体
  - 混合搅拌作用
  - 升扬置换作用（三重管法）
  - 充填、渗透固结作用
  - 压密作用

# 旋喷桩地基处理技术要求

- 旋喷桩工艺和成桩效果试验
- 水泥
  - 水泥宜选用42.5及以上的普通硅酸盐水泥
  - 水泥掺量应通过室内配方试验确定
  - 高压水泥浆压力一般应大于20MPa
- 桩身强度
  - 满足设计要求，桩身无侧限抗压强度8~10MPa
- 复合地基承载力
  - 满足设计要求，并应大于150kPa

# 旋喷桩地基处理施工



# 本节小结

---

- 熟悉复合地基基本概念、桩体复合地基类型及方案比选
- 掌握复合地基设计分析计算
- 掌握挤密砂石桩复合地基、水泥粉煤灰碎石状及素混凝土桩复合地基的设计技术
- 熟悉柱锤冲扩桩复合地基、灰土（水泥石）挤密桩复合地基、水泥石搅拌桩复合地基、搅拌桩复合地基设计