



T/CECS ××××-202×

中国工程建设标准化协会标准

渣土挤压预制桩复合地基技术规程

Technical Standard for Composite Foundation of Spoil Extruded Precast Pile

（征求意见稿）

XXXXXXXXXX 出版社

中国工程建设标准化协会标准

渣土挤压预制桩复合地基技术规程

Technical Standard for Composite Foundation of Spoil Extruded Precast Pile

T/CECS XXX-202X

主编单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

中国科学院武汉岩土力学研究所

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：202X年X月X日

XXX 出版社

202X 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会文件《关于印发《2024 年第一批协会标准制订、修订计划》的通知》（建标协字〔2024〕15 号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国内外标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程的主要技术内容是：总则，术语，基本规定，工程勘察要点，渣土挤压预制桩生产，渣土挤压预制桩复合地基设计与计算，渣土挤压预制桩复合地基施工，检验与监测，资料整编与归档。

本规程由中国工程建设标准化协会工业固废资源化与生态修复专业委员会负责归口管理，由中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司（地址：浙江省杭州市西湖区三墩镇灯彩街321号，邮编：310030）。

主编单位：中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司

中国科学院武汉岩土力学研究所

参编单位：

主要起草人员：

主要审查人员：

目 次

1	总 则	1
2	术 语	2
3	基 本 规 定	4
4	工程勘察要点	6
5	渣土挤压预制桩生产	8
5.1	一般规定	8
5.2	材料	8
5.3	生产	9
5.4	养护与运输	11
6	渣土挤压预制桩复合地基设计	12
6.1	一般规定	12
6.2	荷载计算	12
6.3	地基承载力计算	13
6.4	地基变形计算	15
6.5	地基稳定性分析	16
6.6	复合地基结构设计	17
7	渣土挤压预制桩复合地基施工	18
7.1	一般规定	18
7.2	施工准备	18
7.3	施工	19
8	检验与监测	21
8.1	一般规定	21
8.2	原材料检验	21
8.3	单桩检验	23
8.4	复合地基检验	25
8.5	监测	25
8.6	工程验收	26
9	资料整编与归档	28
9.1	资料整编	28
9.2	资料归档	30
	本规范用词说明	31
	引用标准名录	32
	条文说明	31

Contents

1	General provisions	1
2	Terms.....	2
3	Basic requirements	4
4	Geological exploration of engineering	6
5	Production of spoil extruded precast pile	8
4.1	General requirements	8
4.2	Materials	8
4.3	Production	9
4.4	Storage and transportation	11
6	Design of composite foundation of spoil extruded precast pile	12
6.1	General requirements	12
6.2	Load	12
6.3	Bearing capacity.....	13
6.4	Deformation	15
6.5	Stability analysis	16
6.6	Design	17
7	Construction of composite foundation of spoil extruded precast pile.....	18
6.1	General requirements	18
6.2	Construction preparation	18
6.3	Construction	19
8	Inspection and monitoring	21
8.1	General requirements	21
8.2	Materials Inspection	21
8.3	Inspection of spoil extruded precast pile	22
8.4	Inspection of composite foundation of spoil extruded precast pile	24
8.5	Monitoring	24
8.6	Work acceptance	25
9	Data compilation and archiving	26
9.1	Data compilation	26
9.1	Data archiving	28
	Words Explanation	29
	List of Quoted Standards	30
	Clause interpretation	31

1 总 则

1.0.1 为统一渣土挤压预制桩的生产和渣土挤压预制桩复合地基的设计、施工、检验与监测，做到技术先进、经济合理、安全适用、保证质量，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于渣土挤压预制桩的生产和渣土挤压预制桩复合地基的设计、施工、检验与监测。

1.0.3 渣土挤压预制桩的生产和渣土挤压预制桩复合地基的设计、施工、检验与监测，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准和中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

2 术 语

2.0.1 渣土 Spoil

工程建设中产生的不宜直接利用的废弃土。

2.0.2 渣土挤压预制桩 Spoil extruded precast pile

掺加固化剂固化的渣土经机械挤压成形并养护形成的具有一定长度的预制桩。

2.0.3 渣土挤压预制桩复合地基 Composite foundation of spoil extruded precast pile

开设于地基土层中的渣土挤压预制桩和桩周土以及桩顶垫层组成的共同承受竖向荷载的人工地基。

2.0.4 水稳系数 Water stability coefficient

渣土挤压预制桩桩身钻芯取样试块在浸水条件下的抗压强度与常规存放条件下的抗压强度之比。

2.0.5 极限状态 Limit state

工程结构或地基在荷载作用下达到的某种临界状态，超出此状态可能会导致破坏或功能失效。

2.0.6 可变荷载 Variable load

随时间变化的荷载，其大小、方向或作用位置可能发生变化。

2.0.7 标准组合 Standard combination

根据设计规范确定的荷载组合方式，通常用于正常使用状态分析。

2.0.8 荷载效应最不利组合 Most unfavorable combination of load effects

在结构设计或地基承载能力计算中，将不同荷载按照一定的组合方式叠加，得出对结构或地基最不利的荷载效应组合。

2.0.9 准永久组合 Quasi-permanent combination

在较长时间内对结构或地基影响较大的荷载组合。

2.0.10 基本组合 Fundamental combination

用于极限状态设计，由永久荷载和可变荷载组成，按照规范中的组合系数进行叠加计算。

2.0.11 特征值 Characteristic value

材料强度、地基土力学参数或荷载作用的代表性数值。

2.0.12 地基承载力特征值 Characteristic value of subsoil bearing capacity

由载荷试验测定的地基土压力变形曲线线性变形段内规定的变形所对应的压力值，其最大值为比例界限值。

2.0.13 抗剪强度标准值 Standard value of shear strength

由三轴剪切试验、直剪试验或经验公式计算获得的土体或结构材料的抗剪强度取值标准。

2.0.14 永久荷载标准值 Standard value of permanent load

结构或地基中长期持续存在的荷载，其标准值可取为其特征值。

2.0.15 需水量比 Water demand ratio

在渣土固化配合比设计中，为达到与基准土壤相同压实干密度所需的水量与基准土壤所需水量的比值。

2.0.16 结构系数 Structural coefficient

在地基或结构设计计算中，为考虑材料或地基条件对承载能力影响而引入的修正系数。

2.0.17 挤土效应 Soil compaction effect

在渣土挤压预制桩施工过程中，沉桩作业对土体产生结构性扰动和应力场重构作用，导致桩周土体发生分层变形的现象。

3 基本规定

3.0.1 渣土挤压预制桩批量生产前应进行下列工作：

- 1 开展渣土固化配合比室内试验，选择合适的固化剂品种及其掺量，确定满足设计要求的配比方案与参数。
- 2 开展预制桩生产试验并进行检测，获得满足设计要求的生产工艺与参数。
- 3 通过养护试验，获得养护方法和养护条件。

3.0.2 渣土挤压预制桩的应用应符合下列要求：

- 1 渣土挤压预制桩宜用于承受竖向荷载的地基，用于承受水平荷载的地基时应事先进行论证和试验。
- 2 渣土挤压预制桩可用于处理正常固结的淤泥或淤泥质土、软塑或流塑黏性土、松散的粉土与砂土、冲填土、素填土地基。
- 3 含大孤石或障碍物较多时应事先采取清除措施。
- 4 遇杂填土、未经处理的填土、湿陷性黄土地基，或持力层埋深超过 20m 的地基时，应通过现场沉桩试验和载荷试验确定其适用性。
- 5 渣土挤压预制桩满足水稳定性要求。

3.0.3 渣土挤压预制桩复合地基设计和施工前，应进行下列工作：

- 1 按国家现行有关标准进行岩土工程勘察，重点查明地层结构、地层状态与埋深，地层的含水率、密度、颗粒组成及含量、塑性指数、有机质含量，承压水水头和地下水位，水土的 pH 值和腐蚀性，岩土物理力学参数，邻近建筑、地下工程、道路、管线等周边环境。
- 2 搜集详细的上部结构和基础设计资料；了解当地施工条件；根据工程需求确定地基处理的目的和技术指标要求。
- 3 进行施工工艺试验，确定其适用性和处理效果，根据检测数据确定设计和施工参数。施工工艺试验的数量应根据建筑场地复杂程度、建筑规模、类型和工程经验确定，试桩数量不应少于 3 根。

3.0.4 渣土挤压预制桩复合地基设计应符合下列要求：

- 1 渣土挤压预制桩复合地基应进行地基承载力和稳定性验算。
- 2 渣土挤压预制桩复合地基应进行变形验算。
- 3 渣土挤压预制桩复合地基的耐久性应满足设计使用年限的要求。

3.0.5 渣土挤压预制桩复合地基的设计、施工、检验与监测，应综合分析地基的工程地质与水文地质条件、施工技术及环境条件因素，并结合地方经验，因地制宜。

4 工程勘察要点

4.0.1 工程勘察前应取得拟建工程设计资料，搜集与工程建设相关的地质资料和环境资料，编制勘察大纲；勘察作业应进行危险源识别，采取安全措施降低作业风险，采取生态环境保护措施防止污染。

4.0.2 工程勘察应包括下列内容：

- 1 查明建设场地的地形地貌特征及地基土层的类型、厚度和工程特性，为后续设计提供依据。
- 2 采集典型土样，测试物理力学性质，为渣土固化后的工程性能、渣土挤压预制桩的承载力和沉降特性评估提供基础。
- 3 查明地下水埋深、水位变幅及化学成分，分析其对渣土挤压预制桩复合地基的影响。
- 4 查明软土、滑坡、泥石流、溶洞等不良地质现象，评估其对地基稳定性的影响，并提出防治措施。
- 5 评价地基承载与变形特性，预测沉降量及其对上部结构的影响。
- 6 评价渣土的工程特性，分析其适用性，为渣土固化参数提供基础。
- 7 评价渣土挤压预制桩施工对环境的影响，提出相应的环保措施建议。

4.0.3 工程勘察应符合下列要求：

- 1 工程勘察方法、手段和具体布置应根据拟建工程的荷载特性、地基变形控制要求、基础型式、地基和场地复杂程度等因素确定。
- 2 控制性勘探孔深度应满足场地和地基稳定性评价、地基变形计算的要求，一般性勘探孔深度应满足地基承载力评价的要求。
- 3 勘探和取样方法应根据岩土样等级要求和地层性质确定，应确保试验数据的准确性和代表性。

4.0.4 渣土挤压预制桩复合地基的岩土指标体系宜符合表4.0.4 的要求。

表 4.0.4 渣土挤压预制桩复合地基的岩土指标体系

指标类别	指标	获取方法	应用
物理性质指标	天然含水率(ω)	直接测定	固化效果
	密度(ρ)	室内试验	复合地基承载力

	孔隙比 (e)	计算	地基渗透性和固化反应
强度指标	无侧限抗压强度 (q_u)	室内试验	固化渣土预制桩的强度
	抗剪强度参数 (c, φ)	三轴试验	地基土和桩体的强度
	复合地基承载力特征值 (f_a)	现场载荷试验	复合地基的承载性能
变形指标	压缩模量 (E_s)	室内试验	复合地基和土体的变形
	沉降量 (S)	现场监测/分析计算	复合地基的沉降
渗透特性指标	渗透系数 (k)	渗透试验	复合地基水稳性
	冻融循环强度损失	冻融试验	寒冷地区的适应性

5 渣土挤压预制桩生产

5.1 一般规定

5.1.1 渣土挤压预制桩桩体原材料宜包括渣土、砾石骨料、固化剂和水，其配比应通过试配后确定。

5.1.2 渣土料应开展颗粒级配、液限、塑限、有机质含量、pH 值等试验，渣土料的分类宜符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定，对细粒土也可按土的塑性图进行细分。

5.1.3 渣土挤压预制桩宜采用工厂化生产，可在现场车间生产。

5.2 材料

5.2.1 渣土料应符合下列要求：

- 1 渣土可采用一般黏性土、素填土、砂土、淤泥质土。
- 2 土料可采用破碎后的建筑垃圾和矿渣作为辅助材料，建筑垃圾的含量不宜大于 10%。
- 3 土料不应选用膨胀性土、生活垃圾土、有机质土、泥炭土，对塑性指数大于 25 的黏性土应进行试验和论证。
- 4 渣土最大粒径应小于 5mm，有机质含量不应大于 5%，应避免使用含放射性物质、强酸强碱、受重金属或有机质污染、含氯盐等腐蚀性物质的渣土。

5.2.2 渣土料不应含有粒径大于 20mm 的碎石、卵石和混凝土块，超径大颗粒应遴选剔出或破碎至规定粒径以下，土料破碎应符合下列规定：

- 1 土料宜采取机械破碎，破碎前应调整和控制含水率，将液性指数控制在 0~0.5 的范围内。
- 2 土料破碎后的粒径宜小于 5mm，当粒径大于 10mm 的颗粒占比超过 5%时，应进行二次破碎。
- 3 破碎后土料应采用机械拌合均匀，方可作为渣土预制桩的生产备用料。

5.2.3 砾石骨料粒径宜控制在 5mm~10mm，最大粒径不宜大于 20mm，含泥量不宜大于 5%，原岩饱和单轴抗压强度不宜小于 15MPa。

5.2.4 生产备用料应符合下列规定：

- 1 生产备用料应进行重型击实试验，选用湿法击实确定最优含水率和最大干密度。
- 2 生产备用料不宜露天堆放，宜选择通风良好、阴凉场所进行摊铺存放，并应采取温度和湿度控制措施，保持土料含水率在最优含水率 $\pm 5\%$ 内。

5.2.5 固化剂应根据设计要求和渣土料的类型选用，并应符合下列规定：

- 1 固化剂可采用水泥、石灰等材料，可掺加矿渣、粉煤灰等粒状材料，可采用石灰和粉煤灰的复合胶结料，采用矿渣、电石渣或其他固废材料时应先开展适用性试验。
- 2 当渣土料的含水率较高时，宜选择水泥加石灰作为固化剂；黏粒含量较低时，宜选择水泥作为固化剂。
- 3 水泥宜为普通硅酸盐水泥或硅酸盐水泥，强度等级不宜低于 42.5，并应符合现行国家标准《通用硅酸盐水泥》GB 175 的有关规定。
- 4 生石灰应符合现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479 的有关规定；消石灰应符合现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481 的有关规定。
- 5 粉煤灰应在Ⅱ级及以上，需水量比不宜大于 105%，应符合现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的有关规定。
- 6 外加剂可采用絮凝剂、减水剂、早强剂，可根据工程需求选用，其性能应符合现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定。

5.2.6 拌合用水应符合现行行业标准《混凝土用水标准》JGJ 63 的有关规定，主要控制指标应符合 $\text{pH} \geq 5.0$ ，不溶物 $\leq 2\text{g/L}$ ，可溶物 $\leq 2\text{g/L}$ ，氯化物 $\leq 0.5\text{g/L}$ ，硫酸盐 $\leq 0.6\text{g/L}$ ，碱含量 $\leq 1.5\text{g/L}$ 的规定。

5.3 生产

5.3.1 渣土挤压预制桩生产前应对生产备用料进行含水率测试，含水率应在最优含水率 $\pm 5\%$ 内，否则应对土料进行风干晾晒或喷水增湿预处理。

5.3.2 拌合料配合比应符合下列规定：

- 1 采用水泥作为固化剂时，水泥用量不宜超过渣土干质量的 20%；根据工程需求的桩体强度，应通过室内试验初步确定水泥用量，可按初选用量 $\pm 2\%$ 进行 3 组试验对比后确认。
- 2 采用石灰作为固化剂时，石灰用量不宜超过渣土干质量的7%，可选 3 种用量进行对比。
- 3 采用石灰-水泥混合固化剂时，石灰用量不宜超过渣土干质量的 $2\% \pm 0.5\%$ ，水泥

用量不宜超过渣土干质量的 20%。

4 粉煤灰用量不宜超过水泥质量的 30%。

5 水灰比宜采用 0.40~0.50，可根据环境温度和施工要求适当调整。

6 采用外加剂时，宜在产品说明书推荐掺量的基础上，上下浮动选择 3 个掺量进行对比，经试验验证后确定用量。

7 实验室获得的土料、固化剂、外加剂配比，在预制桩生产前应通过生产性试验进行修正。

5.3.3 预处理的土料应按确定的配合比加入固化剂和外加剂，宜在搅拌机内搅拌2~3min，搅拌后的拌合料应均匀、分散，无团聚、成块现象。

5.3.4 搅拌均匀的拌合料搁置时间不宜超过 2h，应采用预制桩设备进行一次性挤压成桩，桩身表面应光滑，无明显裂纹、蜂窝、麻面、掉块。挤压成型后桩体参数应符合下列规定：

1 生产的渣土挤压预制桩桩长不宜大于5m，或不宜大于 8 倍直径。

2 桩体形状宜为圆柱体，圆形桩直径范围宜为 300mm~600mm。

3 桩体密实度不宜小于 95%。

5.3.5 挤压成型的固化渣土预制桩可采用钻芯法取样进行参数测试，28d 龄期性能应符合下列规定：

1 桩体密度不宜小于 1.9g/cm^3 。

2 桩体的单轴抗压强度取值可根据工程需求确定，且不宜小于 5MPa。抗压强度试验应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 的规定。

3 桩体的黏聚力不宜低于 1200kPa，内摩擦角不宜低于 29° 。抗剪强度试验应符合现行国家标准《工程岩体试验方法》GB/T 50266 的有关规定。

4 桩体的模量不宜低于 200MPa；泊松比宜在 0.25~0.27 之间。模量试验应符合现行国家标准《工程岩体试验方法》GB/T 50266 中单轴抗压试验或三轴试验的规定。

5 桩体的抗硫酸盐侵蚀等级不宜低于 KS100，抗冻融循环不宜低于 F50。耐久性试验应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 的规定。

6 桩体的 28d 龄期和7d 龄期的水稳系数均不应低于 0.95。水稳系数的测试应符合现行行业标准《土壤固化外加剂》CJ/T 486 的规定。

5.4 养护与运输

5.4.1 生产设备出桩后应迅速对预制桩桩身进行喷雾保湿，可采用塑料膜进行封裹，转运至固定点进行养护存放，不应发生碰撞、暴晒、浸水浸泡。

5.4.2 渣土挤压预制桩应妥善存放，做好保湿、保温防护措施，可采用土工布进行覆盖。

5.4.3 渣土挤压预制桩出厂前的养护时间不宜少于 21d，总养护时间不宜少于28d。

5.4.4 桩体强度应达到设计强度 100%以上，方可进行搬运和运输。转运过程中应采取措施确保桩身完整无损。

6 渣土挤压预制桩复合地基设计

6.1 一般规定

6.1.1 复合地基设计宜根据上部结构类型、荷载特性和沉降控制要求，结合工程地质和水文地质条件、基础型式及刚度、施工工期和环境条件进行综合分析。

6.1.2 复合地基设计应考虑基础的不同刚度对复合地基荷载传递机理和变形特性的影响，合理评估桩体和桩间土分担的荷载，保证基础、桩体和桩间土协同工作。

6.1.3 对工后沉降控制要求较高的工程应按变形控制的原则进行设计。

6.2 荷载计算

6.2.1 地基设计所采用的荷载效应最不利组合应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定，且应符合下列规定：

1 按地基承载力确定浅基础底面积及埋深或按单桩承载力确定桩数时，荷载效应应按正常使用极限状态下荷载的标准组合；地基承载力及单桩承载力应采用特征值。

2 验算地基变形时，传至基底上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的准永久组合，不应计入风荷载和地震作用，相应的变形限值应为地基变形允许值。

3 复合地基稳定分析中，传至复合地基顶面上的荷载效应应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合，相应的抗力应为复合地基中增强体和地基土体抗剪强度的标准值。

6.2.2 正常使用极限状态下，荷载效应标准组合的设计值 S_{kl} 宜按下式计算：

$$S_{kl} = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i2} \psi_{ci} S_{Qik} \quad (6.2.2)$$

式中：

S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值(kPa)；

S_{Q1k} ——诸可变荷载效应中起控制性作用者；当 S_{Q1k} 无法明显判断时，轮次以各可变荷载效应为 S_{Q1k} ，选其中最不利的荷载效应组合(kPa)；

S_{Qik} ——按其他可变荷载标准值计算的荷载效应值(kPa)；

ψ_{ci} ——其他可变荷载的标准组合值系数，取值应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的有关规定执行。

6.3 地基承载力计算

6.3.1 地基承载力计算应符合国家现行有关标准的规定，并应符合下列规定：

1 承受轴心荷载时，应满足下式要求：

$$p_k \leq f_a \quad (6.3.1-1)$$

式中：

p_k ——荷载效应的标准组合下，作用于基础底面处的平均压力值(kPa)；

f_a ——考虑基础埋深修正后的地基承载力特征值(kPa)。

2 当作用于地基上的压力为偏心荷载时，除应符合式 6.3.1-1 要求外，尚应符合下式要求：

$$p_{k\max} \leq 1.2f_a \quad (6.3.1-2)$$

式中：

$p_{k\max}$ ——荷载效应的标准组合下，作用于基础底面边缘的最大压力值(kPa)。

6.3.2 地基承载力特征值取值应符合下列要求：

1 地基承载力特征值可根据载荷试验、其他原位测试、理论公式计算，并结合工程经验综合确定。

2 地基承载力特征值的修正应符合现行国家标准《复合地基技术规范》GB/T 50783 的相关规定。

6.3.3 复合地基承载力特征值应通过复合地基静载荷试验，或综合桩体竖向抗压载荷试验和桩间土地基静载荷试验，并结合工程经验综合确定。可行性研究和初步设计阶段，渣土挤压预制桩复合地基承载力特征值可按下列公式估算：

$$f_{spk} = \lambda m R_a / A_p + \beta (1-m) f_{sk} \quad (6.3.3-1)$$

$$m = d^2 / d_e^2 \quad (6.3.3-2)$$

$$d_e = s / \eta_0 \quad (6.3.3-3)$$

式中：

f_{spk} ——复合地基承载力特征值(kPa)；

A_p ——单桩截面积(m²)；

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值(kN)；

f_{sk} ——桩间土地基承载力特征值(kPa)；

m ——面积置换率;

d ——桩体直径(m);

d_e ——单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径(m);

η_0 ——形状系数, 正三角形布桩为 0.952, 正方形布桩为 0.886;

s ——桩间距(m);

λ ——单桩抗压承载力发挥系数, 可按照地区经验取值;

β ——桩间土承载力发挥系数, 可按地区经验取值。

6.3.4 复合地基竖向增强体采用渣土挤压预制桩时, 其竖向抗压承载力特征值应通过单桩竖向抗压载荷试验确定。可行性研究和初步设计阶段, 由桩周土和桩端土的抗力可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值可按本规范公式(6.3.4-1)计算; 由桩体材料强度提供的单桩竖向抗压承载力特征值可按本规范公式(6.3.4-2)计算; 两者应取小值。

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (6.3.4-1)$$

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \quad (6.3.4-2)$$

式中:

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值(kN);

A_p ——单桩截面积(m²);

u_p ——桩的截面周长(m);

n ——桩长范围内所划分的土层数;

q_{si} ——第 i 层土的桩侧摩阻力特征值(kPa);

l_i ——桩长范围内第 i 层土的厚度(m);

q_p ——桩端土地基承载力特征值(kPa);

α ——桩端土地基承载力折减系数;

f_{cu} ——桩体抗压强度平均值(kPa);

η ——桩体强度折减系数。

6.3.5 当渣土挤压预制桩处理深度以下存在软弱下卧层时, 应按下式进行下卧层承载力验算:

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (6.3.5)$$

式中:

p_z ——荷载效应标准组合时, 软弱下卧层顶面处的附加应力值(kPa);

p_{cz} ——软弱下卧层顶面处地基土的自重应力值(kPa);

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后的地基承载力特征值(kPa)。

6.4 地基变形计算

6.4.1 地基变形计算应主要包括沉降量、沉降差、倾斜、局部倾斜, 其计算值不应大于建(构)筑物的地基变形允许值。

6.4.2 地基沉降由垫层压缩变形量、加固区地层沉降量和下卧地层沉降量组成, 地基沉降量可按式计算:

$$s = s_1 + s_2 + s_3 \quad (6.4.2)$$

式中:

s ——地基沉降量(mm);

s_1 ——垫层压缩变形量(mm);

s_2 ——加固区地层沉降量(mm);

s_3 ——下卧地层沉降量(mm)。

6.4.3 垫层的压缩变形量 s_1 , 可按式计算:

$$s_1 = p_c \frac{h_c}{E_c} \quad (6.4.3)$$

式中:

p_c ——垫层内的平均压应力(MPa), 即基底平均压应力与垫层底平均压应力的平均值;

h_c ——垫层厚度(mm);

E_c ——垫层的压缩模量(MPa);

6.4.4 渣土挤压预制桩加固区土层在计算荷载下的沉降量 s_2 , 可分别按本规范公式(6.4.4-1)与(6.4.4-3)计算, 两者取大值:

$$s_2 = \psi_{s2} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i l_i}{E_{spi}} \quad (6.4.4-1)$$

$$E_{spi} = mE_{pi} + (1 - m)E_{si} \quad (6.4.4-2)$$

$$s_2 = \psi_p \frac{QL}{E_p A_p} \quad (6.4.4-3)$$

式中:

Δp_i ——第 i 层土的平均附加应力增量(kPa);

l_i ——第 i 层土的厚度(mm);

ψ_{s2} ——加固区复合土层压缩变形量计算经验系数, 结合地区实测资料及经验确定;

E_{spi} ——第 i 层复合土体的压缩模量(kPa);

Q ——渣土挤压预制桩顶部的附加荷载(kN);

L ——桩长(mm);

ψ_p ——桩体的压缩系数, 根据桩长径比、桩端土层情况结合地区经验取值;

E_p ——渣土挤压预制桩的模量(kPa);

A_p ——单桩截面积(m²)。

6.4.5 渣土挤压预制桩加固区下卧土层的沉降量 s_3 , 可按下式计算:

$$s_3 = \psi_{s3} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} l_i \quad (6.4.5)$$

式中:

E_{si} ——第 i 层土的压缩模量(kPa);

ψ_{s3} ——下卧层沉降计算经验系数。

6.5 地基稳定性分析

6.5.1 复合地基的稳定性分析可采用圆弧滑动总应力法进行分析。地基稳定性分析方法、计算参数取值、参数的试验方法、安全系数取值应匹配。

6.5.2 渣土挤压预制桩复合地基稳定性应考虑不同基础刚度下复合地基的受荷特点和破坏模式进行分析计算。

6.5.3 地基稳定性可按下式验算:

$$K = \frac{T_s}{T_t} \quad (6.5.3)$$

式中:

T_s ——最危险滑动面上的总抗剪切力(kN);

T_t ——荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力(kN);

K ——安全系数。

6.6 复合地基结构设计

6.6.1 复合地基设计计算应符合下列规定:

- 1 复合地基应进行承载力和沉降验算。
- 2 复合地基承载力特征值可按本标准 6.3.3 条确定;单桩竖向抗压承载力可按本标准 6.3.4 条确定,其中桩体强度折减系数 η 可取 0.33~0.50。
- 3 复合地基沉降可按本标准 6.4.2 条计算;复合土层的压缩模量可按本标准 6.4.4 条计算,其中桩体模量宜根据单桩竖向抗压试验或三轴试验确定,可行性研究和初步设计阶段可取桩体抗压强度的 100~200 倍,桩较短或桩体强度较低时可取低值。
- 4 填土路堤和柔性面层堆场,以及位于坡地、岸边等承受水平荷载的复合地基应进行整体稳定性分析。

6.6.2 复合地基中渣土挤压预制桩的布置应符合下列规定:

- 1 桩间距应根据复合地基承载力、地基土层性质、桩径、桩长和布桩方式等因素综合确定,宜为 3~5 倍桩身直径,对于高压缩性地层可取低值。
- 2 桩的平面布置可根据上部结构的特点、基础特点、地基承载力和沉降要求确定,可采用正方形或等边三角形等布桩形式。
- 3 对独立基础,基础下的桩数不宜少于 3 根。

6.6.3 复合地基宜在基础下设置褥垫层,褥垫层应符合下列规定:

- 1 材料可选用中砂、粗砂、级配碎石等,最大粒径不宜大于 20mm。
- 2 褥垫层厚度可取 150~300mm。
- 3 填土路堤和柔性面层堆场下,褥垫层中宜设置一层或多层水平加筋体,其材料可选用土工格栅或土工格室。

6.6.4 渣土挤压预制桩的埋深应符合下列规定:

- 1 桩的埋深应根据承载力和沉降的要求确定。
- 2 桩体并宜穿透软弱土层达到承载力相对较高的地层。
- 3 为提高抗滑稳定性而设置的预制桩,桩长深入最危险滑弧以下不应少于 2m。

7 渣土挤压预制桩复合地基施工

7.1 一般规定

7.1.1 根据地基状态，渣土挤压预制桩可采用静压或预成孔静压沉桩，应通过现场试桩确定施工参数。

7.1.2 渣土挤压预制桩可采用粘接法进行接桩，单根桩的接头数量不宜大于 6 个。

7.1.3 渣土挤压预制桩静载荷试验前应做好桩头预加固。

7.2 施工准备

7.2.1 施工前应具备如下资料：

- 1 岩土工程勘察报告、桩位平面布置图及技术要求。
- 2 邻近建（构）筑物和地下设施类型及分布调查资料。
- 3 渣土挤压预制桩的产品合格证书及抽样送检报告。
- 4 接头粘结试验报告。
- 5 施工机械设备及工器具检验情况等资料。
- 6 渣土挤压预制桩复合地基专项施工方案。

7.2.2 渣土挤压预制桩专项施工方案应包括下列内容：

- 1 工程概况与工程特点。
- 2 施工部署。
- 3 施工准备。
- 4 施工方法。
- 5 施工进度、质量、安全、文明施工保证措施。
- 6 施工应急预案。
- 7 计算书及相关施工图纸附件。

7.2.3 渣土挤压预制桩施工前应完成下列工作：

- 1 施工前应平整场地并清除地上和地下障碍物。
- 2 定位放线和高程引测。
- 3 设置渣土挤压预制桩的堆放场地。
- 4 施工前应检查施工机械设备的工作性能及各种计量装置的完好程度。

- 5 组织实施施工技术交底。

7.3 施工

7.3.1 渣土挤压预制桩应采用下列施工顺序：

- 1 渣土挤压预制桩进场，根据施工方案合理堆放。
- 2 按照施工顺序将施工设备移动至桩位，做好施工准备。
- 3 采用预成孔静压桩沉桩方法施工时，应先引孔施工，再将渣土挤压预制桩压入孔内。
- 4 采用静压方法施工时，宜采用静力压桩机直接压入。
- 5 根据施工方案进行接桩。

7.3.2 渣土挤压预制桩施工应符合下列要求：

- 1 桩身整体垂直度允许偏差 $\pm 1.0\%$ 。
- 2 桩位施工允许偏差为 1 倍桩径。
- 3 沉桩施工应以设计桩长与压桩力双控。

7.3.3 当存在地下障碍物、填石、孤石、坚硬土层等沉桩困难的地层，或需控制静力压桩的挤土效应时，可采用预成孔沉桩，预成孔施工应符合下列要求：

- 1 预成孔宜采用工程地质钻机、履带式振动沉管桩机施工，沉管桩机套管底部宜设置活瓣桩尖，预成孔深度应满足预制桩顺利进入持力层的设计深度要求。
- 2 预成孔直径应根据试桩施工确定，宜为预制桩径的0.8~1.0 倍。
- 3 预成孔施工应评估对预制桩承载力的影响程度，并反馈至设计人员。

7.3.4 深厚软土地基可采用静力压桩机直接压入，压入施工应采取下列施工措施控制挤土效应：

- 1 控制静压沉桩速率，每天不宜超过 20 根。
- 2 预制桩间距 ≤ 4 倍桩径时，应采用跳打施工。
- 3 预制桩静压施工宜按照先中间后两边、先长桩后短桩、先大桩后小桩的顺序施工。
- 4 上述措施不足以控制挤土效应时，宜采取预成孔措施。

7.3.5 渣土挤压预制桩吊桩宜采用安全简便高效的专用吊装设备，吊装应符合下列要求：

- 1 吊桩施工宜配置专用的吊桩夹具，吊桩过程中应轻吊轻放，保持平稳，不应应对桩身产生强烈冲击作用。

2 上、下节预制桩应良好对接，桩心偏差不宜大于 1cm，对接过程中应防止杂物进入孔内。

7.3.6 渣土挤压预制桩连接采用粘接法接桩时，粘结剂性能指标宜符合下列规定：

- 1 初凝时间不宜小于 30min，终凝时间不宜大于 60min；
- 2 抗折强度不宜小于桩身强度且不宜小于 2MPa；
- 3 抗压强度不宜小于桩身强度且不宜小于 20MPa；
- 4 拉伸粘结强度不宜小于 1MPa。

8 检验与监测

8.1 一般规定

8.1.1 渣土挤压预制桩应进行检验，检验内容应包括原材料、单桩和复合地基。

8.1.2 渣土挤压预制桩施工期和运行期应进行监测，监测项目和频率应根据工程需要确定。

8.2 原材料检验

8.2.1 渣土料应按不同来源、每批次（宜不超过 500m³ 或一个料场）取样进行检验，检验项目及要求应符合下列规定：

1 颗粒级配、液限、塑限、塑性指数的测定应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 的有关规定执行。颗粒最大粒径应小于 5mm，级配应满足本标准第 5.2.1 条第 4 款要求。

2 最优含水率和最大干密度的测定应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 中重型击实试验方法执行。

3 有机质含量的测定应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 中重铬酸钾容量法执行，有机质含量应≤5%。

4 pH 值的测定应按现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 中电位法执行。

5 氯盐和硫酸盐含量的测定应按现行行业标准《公路土工试验规程》JTG 3430 的有关规定执行。氯盐含量（以 Cl⁻ 计）不应大于 0.5%，以 SO₄²⁻ 标识的硫酸盐含量不应大于 0.6%。

6 重金属含量应符合相应用地类型的风险筛选值要求，重金属检测应符合现行国家标准《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600 的规定。

7 生产前应通过筛分剔除粒径大于 20mm 的碎石或混凝土块。破碎后应再次检测土料粒径，粒径大于 5mm 的颗粒含量不应大于 10%。

8.2.2 固化剂应按不同厂家、不同品种、不同批次取样进行检验，批次可按出厂编号或每 200 吨为一批，检验项目及要求应符合下列规定：

1 水泥强度等级、凝结时间及安定性等的检验应按现行国家标准《通用硅酸盐水

泥》GB 175 的有关规定执行，强度等级不应小于 42.5 的要求。同一生产厂家、同一等级、同一品种、同一批号且连续进场的水泥，袋装每批不宜超过 200t，散装每批不宜超过 500t，每批抽样不宜少于一次。

2 生石灰有效钙镁含量的测定应按现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479 的有关规定执行，有效钙镁含量不应小于 75%。未消化残渣含量的测定应按现行行业标准《建筑生石灰》JC/T 479 的规定执行，未消化残渣含量不应大于 7%。每批不宜超过 100t，每批抽样不宜少于一次。

3 消石灰有效钙镁含量的测定应按现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481 的有关规定执行，有效钙镁含量不应小于 55%。游离水含量的测定应按现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481 的有关规定执行。细度测定应按现行行业标准《建筑消石灰》JC/T 481 的有关规定执行。每批不宜超过 100t，抽样不宜少于一次。

4 粉煤灰细度、需水量比、烧失量、含水量、三氧化硫含量等的检验应按现行国家标准《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596 的有关规定执行，应符合Ⅱ级或以上粉煤灰技术要求，其中需水量比不应大于 105%。对同一厂家、相同等级、连续供应的粉煤灰，宜按每 200t 为一批，不足 200t 按一批计，每批抽样不宜少于一次。

8.2.3 外加剂应按不同厂家、不同品种、不同批次取样进行检验， 批次可按出厂编号或每 50 吨为一批，检验应符合下列规定：

1 核查厂家提供的产品合格证及性能检测报告等文件是否齐全有效。

2 密度或细度、pH 值、氯离子含量、碱含量等指标的检验应按现行国家标准《混凝土外加剂》GB 8076 的有关规定执行，并应符合产品说明书的要求。

3 掺外加剂拌合体性能应符合本标准第 5.3.2 条第 6 款的要求，宜在推荐掺量 $\pm 20\%$ 的范围内选择 3 个掺量进行试配，拌合体初凝和终凝时间的测定应符合现行行业标准《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51 的有关规定。初凝时间不应小于 30min，终凝时间不应大于 60min。掺外加剂拌合体在规定龄期的抗压强度测定应符合《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTGE51 中无机结合料稳定材料无侧限抗压强度的试验方法，规定龄期宜选为 7d 和 28d，其强度不应低于相同配比不掺外加剂的拌合体强度，且应满足桩体设计强度要求。

4 对于具有抗硫酸盐侵蚀外加剂的拌合体性能检验应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 中抗硫酸盐侵蚀试验方法的规定，其耐蚀系数（或强度损失率）应满足设计要求或产品承诺的性能指标。对具有抗硫酸盐

侵蚀、抗冻融性能外加剂的拌合体性能检验应符合现行国家标准《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082 中快冻法的规定，其质量损失率和强度损失率应满足设计要求或产品承诺的性能指标。

8.2.4 拌合料在搅拌完成后、挤压成型前应进行下列检验：

- 1 外观均匀性可采用目测，目测检查应无显著团聚、结块现象，固化剂分布基本均匀。
- 2 含水率测定应符合现行国家标准《土工试验方法标准》GB/T 50123 中烘干法或经校准的微波炉法或红外线法等快速测定的规定。实测含水率与最优含水率的允许偏差应为 $\pm 2\%$ 。
- 3 取样检验应符合《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTGE51 中击实试验和无侧限抗压强度试验的要求，应验证其最大干密度、最优含水率和强度是否与室内配比试验结果一致。

8.3 单桩检验

8.3.1 渣土挤压预制桩桩体质量可按单位工程进行检验，也可根据工程具体情况按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的有关规定划分为若干分项工程或检验批分别确定检验数量，并应符合下列规定：

- 1 同一单位工程，采用不同工艺的渣土挤压预制桩时，宜按不同工艺划分为若干检验批。
- 2 同一单位工程，采用不同厂家生产的渣土挤压预制桩时，宜按不同厂家划分为若干检验批。

8.3.2 渣土挤压预制桩进场前质量检验宜包含下列内容：

- 1 规格、型号、龄期。
- 2 尺寸偏差、外观质量。
- 3 桩身单轴抗压强度和模量。
- 4 桩身抗剪强度指标。

8.3.3 渣土挤压预制桩进场后，应对桩的尺寸偏差和外观质量进行抽检，每批次抽检应符合下列规定：

- 1 抽检数量不应少于 2%的桩节数且不应少于 2 节。
- 2 渣土挤压预制桩的外观质量应符合表 8.3.3-1 的要求。

3 渣土挤压预制桩的尺寸偏差和检查方法应符合表 8.3.3-2 的要求。

4 出现一根桩节不符合质量要求时，应加倍抽检；若仍有不合格的桩节，该批渣土挤压预制桩不应使用。

表 8.3.3-1 渣土挤压预制桩的外观质量要求

序号	项目	外观质量要求
1	空洞和蜂窝	严禁出现
2	局部磕损	局部磕损深度不应大于 5mm，每处面积不得大于 50cm ² ，且应修补。
3	表面裂缝	不应出现环向和纵向裂缝。

表 8.3.3-2 渣土挤压预制桩的尺寸允许偏差和检查方法

序号	项目	允许偏差值 (mm)	检查工具与检查方法	测量工具 分度值 (mm)
1	长度 L	$\pm 0.5\%L$	可用钢卷尺测量，宜精确至 1mm。	1
2	端部倾斜	$\leq 0.5\%d$	可将直角靠尺的一边紧靠桩身，另一边与端板紧靠，测其最大间隙处，宜精确至 1mm。	0.5
3	直径 d	± 10	可用卡尺或钢直尺在同一断面测定相互垂直的两直径（或边长），取其平均值，宜精确至 1mm。	1
4	桩身弯曲度	$\leq L/1000$	将拉线紧靠桩的两端部，可用钢直尺测量其弯曲处的最大距离，宜精确至 1mm。	0.5

注：表内尺寸以设计图纸为基准。

8.3.4 桩身强度等级可对照产品合格证书检查。存在疑问时，应对桩身强度进行抽检，检测方法宜采用钻芯法或桩身全断面抗压试验，并应符合下列规定：

1 钻芯法检测及结果评价应符合现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的有关规定，芯样直径宜为 70mm~100mm，且不应小于 70mm。

2 钻芯法的检测结果有疑问时，应采用桩全截面抗压试验进行检验。

3 抽检出现一根桩节不符合质量要求时，应加倍抽检；若仍有不合格的桩节，该批渣土挤压预制桩不应使用。

8.3.5 渣土挤压预制桩施工质量检验应包括下列内容：

1 桩身垂直度。

- 2 截桩后的桩顶标高。
- 3 桩顶平面位置。
- 4 桩身完整性。
- 5 单桩竖向抗压承载力。

8.3.6 渣土挤压预制桩施工质量检验应符合下列规定：

- 1 桩身垂直度应逐根进行检查，桩身垂直度或倾斜角度可用吊线锤法测量，桩身垂直度允许偏差应为 $\pm 1\%$ 。
- 2 截桩后桩顶标高可用水准仪进行检测，实际标高与设计标高的允许偏差不应大于 $\pm 10\text{mm}$ 。
- 3 桩顶平面位置可用全站仪进行检测，允许偏差不应大于 $\pm 100\text{mm}$ 。
- 4 桩身完整性可采用钻芯法检测，抽检数量不应少于总桩数的 0.5% ，且不应少于10根。
- 5 单桩竖向抗压承载力应采用现场载荷试验检测，抽检数量不应少于总桩数的 0.5% ，且不应少于3根。

8.3.7 渣土挤压预制桩桩身完整性、单桩竖向抗压承载力检测方法应符合现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的规定。

8.4 复合地基检验

8.4.1 渣土挤压预制桩复合地基检测点数量宜为总桩数的 0.5% ，且不应少于2点。

8.4.2 渣土挤压预制桩复合地基的承载力应采用载荷试验检测，复合地基承载力载荷试验方法应符合现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的规定。

8.4.3 当设计有要求时，应对复合地基桩间土进行检测，并应符合下列规定：

- 1 桩间土宜进行平板载荷试验，平板载荷试验方法应符合现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的规定。
- 2 桩间土宜根据地基土性状，选择标准贯入试验、圆锥动力触探试验、静力触探试验、十字板剪切试验得一种或多种方法检测，试验并应符合现行行业标准《建筑地基检测技术规范》JGJ 340 的规定。

8.5 监测

8.5.1 渣土挤压预制桩施工监测前应制定监测方案，监测方案应包括下列内容：

- 1 监测目的及依据。
- 2 沉降、位移、桩身应力等监测项目。
- 3 监测点位布置图及频率。
- 4 监测方法及设备精度要求。
- 5 预警值及应急措施。
- 6 数据记录、处理与反馈机制。
- 7 监测人员资质及责任分工。

8.5.2 渣土挤压预制桩施工应进行动态监测，施工动态监测应符合现行行业标准《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31-02 的规定，并应符合下列规定：

- 1 地表沉降可采用水准仪监测，每 100m² 宜布设 1 个测点，施工期间宜每日监测 1 次。
- 2 地表水平位移可采用全站仪监测，宜在桩外围布设测点，测点间距不宜大于20m。
- 3 深层水平位移可采用测斜仪监测，宜在桩周土体内钻孔，钻孔深度不宜小于 1.5 倍桩长。
- 4 对邻近建筑物和管线宜监测其位移及裂缝发展。
- 5 成桩后 24h 内应测量桩顶标高，偏差宜控制在±50mm 内。

8.6 工程验收

8.6.1 渣土挤压预制桩工程验收应符合现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202 的规定。

8.6.2 渣土挤压预制桩工程验收时应具备下列资料：

- 1 渣土挤压预制桩出厂合格证、产品说明书、拌合体试块强度报告、进场检验相关资料等。
- 2 设计文件，应包括施工图，施工图纸会审记录、设计变更通知书。
- 3 桩位测量放线图，应包括工程轴线复核签证单。
- 4 岩土工程勘察报告。
- 5 经批准的施工组织设计或专项施工方案。
- 6 施工记录汇总，应包括桩位编号图。
- 7 工地用桩检查资料。
- 8 竣工图。

- 9 成桩质量检查报告，应包括桩顶标高、桩顶平面位置、偏差检测结果。
- 10 单桩和复合地基承载力检验报告。
- 11 监测资料。
- 12 质量事故处理记录。
- 13 施工技术措施记录等。
- 14 分项工程和分部工程验收报告。

9 资料整编与归档

9.1 资料整编

9.1.1 渣土挤压固化预制桩复合地基工程应包括下列报告：

- 1 渣土挤压固化预制桩生产报告。
- 2 工程勘察报告。
- 3 工程设计报告。
- 4 工程施工报告。
- 5 质量检测报告。
- 6 工程验收报告。
- 7 工程运行监测报告。

9.1.2 渣土挤压预制桩生产报告应包括下列内容：

- 1 原材料质量证明文件及检测报告。
- 2 渣土挤压预制桩生产记录。
- 3 渣土挤压预制桩单节桩质量检验报告。
- 4 渣土挤压预制桩生产相关试验数据。
- 5 其他技术文件，宜包括生产过程中的会议纪要、专家评审意见。

9.1.3 工程勘察报告应包括下列内容：

- 1 勘察目的、任务要求和依据的技术标准。
- 2 拟建工程概况。
- 3 勘察方法和勘察工作布置。
- 4 场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质及其均匀性。
- 5 各项岩土性质指标，岩土的强度参数、变形参数、地基承载力的建议值。
- 6 地下水埋藏情况、类型、水位及其变化。
- 7 水和土对建筑材料的腐蚀性。
- 8 可能影响工程稳定的不良地质作用的描述和对工程危害程度的评价。
- 9 场地稳定性和适宜性的评价。

9.1.4 工程设计报告应包括下列内容：

- 1 工程概况：包括项目背景、工程地质条件、设计要求及技术难点。

- 2 设计与施工方案：包括桩型选择、布置形式、施工工艺及质量控制措施。
- 3 复合地基施工图、图纸会审纪要、设计变更单及材料代用通知单等。
- 4 复合地基设计计算书。

9.1.5 工程施工报告应包括下列内容：

- 1 经审定的施工组织设计、施工方案及执行中的变更单。
- 2 施工过程记录，含桩位布置图、施工参数、接桩隐蔽验收记录。
- 3 桩顶标高及平面位置检验结果。
- 4 施工期监测数据。

9.1.6 质量检测报告应包括下列内容：

- 1 原材料的质量合格和质量鉴定书。
- 2 渣土挤压预制桩单节桩质量检验报告。
- 3 成桩质量检查报告。
- 4 单桩承载力检验报告。
- 5 复合地基承载力检验报告。
- 6 质量检验结果：应包括桩身完整性、承载力、地基变形等检测数据及分析。

9.1.7 工程验收报告应包括下列内容：

- 1 验收记录及签证单，设计、施工、监理三方签字。
- 2 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单。
- 3 施工记录、桩位编号图、接桩隐蔽验收记录。
- 4 桩顶标高、桩顶平面位置检验结果。
- 5 发生质量事故时的处理记录。
- 6 其他应提供的文件和记录。

9.1.8 工程运行监测报告应包括下列内容：

- 1 监测成果，应包括施工期及使用期的地基稳定性监测数据。
- 2 环境影响评估数据。
- 3 监测异常预警及处理记录。
- 4 结论与建议，应包括技术效果评价、问题总结及后续使用建议。

9.1.9 渣土挤压预制桩复合地基工程报告应符合下列要求：

- 1 报告应采用统一模板，封面应标明工程名称、编制单位、日期及版本号。
- 2 正文内容应逻辑清晰。

- 3 桩位平面图、检测曲线、数据对比表等图表应规范。
- 4 术语、定义和符号应符合规定。
- 5 附上必要的照片或影像资料。
- 6 报告应签字盖章完整。

9.2 资料归档

9.2.1 资料和报告应分类整编，并应标注清晰的目录和索引编码。

9.2.2 报告应由建设单位、生产单位、勘察单位、设计单位、施工单位和档案管理部门存档，并保留电子副本。

9.2.3 电子文档与纸质文档应同步归档，电子文件应备份并应分类采用 PDF、DOC、DWG 等通用格式。

9.2.4 归档资料应确保真实、完整、可追溯，严禁涂改或伪造。

9.2.5 工程资料保存期限应满足国家及地方相关法规要求，且不应少于工程结构设计使用年限。

9.2.6 涉及重大工程或争议性问题的资料应永久保存。

本规程用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《通用硅酸盐水泥》GB 175
- 《用于水泥和混凝土中的粉煤灰》GB/T 1596
- 《混凝土外加剂》GB 8076
- 《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准（试行）》GB 36600
- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《建筑结构荷载规范》GB 50009
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《普通混凝土长期性能和耐久性能试验方法标准》GB/T 50082
- 《土工试验方法标准》GB/T 50123
- 《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202
- 《工程岩体试验方法》GB/T 50266
- 《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300
- 《复合地基技术规范》GB/T 50783
- 《混凝土用水标准》JGJ 63
- 《建筑地基检测技术规范》JGJ 340
- 《公路土工试验规程》JTG 3430
- 《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》JTG/T D31-02
- 《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》JTG E51
- 《建筑生石灰》JC/T 479
- 《建筑消石灰》JC/T 481
- 《土壤固化外加剂》CJ/T 486

中国工程建设标准化协会标准

渣土挤压预制桩复合地基技术规程

T/CECS xxxxx-202x

条文说明

制 订 说 明

《渣土挤压预制桩复合地基技术规程》T/CECS xxx-202x，经中国工程建设标准化协会 xxxx 年 xx 月 xx 日以第 xx 号公告批准发布。

本规程制订过程中，编制组进行了广泛的调查研究，总结了我国渣土挤压预制桩的实践经验，同时参考了国外先进技术法规、技术标准，通过试验和工程经验给出了设计和施工重要技术参数。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规范时能正确理解和执行条文规定，《渣土挤压预制桩复合地基技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规范的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与标准正文同等的效力，仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

2	术 语	34
3	基 本 规 定	35
5	渣土挤压预制桩生产	36
5.1	一般规定	36
5.2	材料	36
5.3	生产	36
5.4	养护与运输	36
6	渣土挤压预制桩复合地基设计	37
6.1	一般规定	37
6.3	地基承载力计算	37
6.4	地基变形计算	37
6.5	地基稳定性分析	38
6.6	复合地基设计	38
7	渣土挤压预制桩复合地基施工	39
7.1	一般规定	39
7.2	施工准备	39
7.3	施工	39

3 基本规定

3.0.2 渣土复合桩的施工方式主要分为两种，直接压入和预成孔。直接压入对桩身强度要求较高，适用于淤泥等地基土强度较低的地层，而预成孔方式多采用沉管贯入，地层中不能含有大尺寸块石、漂石或其他障碍物。

5 渣土挤压预制桩生产

5.1 一般规定

5.1.1 渣土挤压预制桩桩体原材料包括渣土、砾石骨料、固化剂和水，其中砾石粒径较大，属于粗骨料，起到支撑结构，减少桩体收缩的作用，而渣土中的细颗粒主要起到填充砾石孔隙，增加密实度的效果。固化剂与骨料、渣土等发生反应，形成胶凝结构，把骨料和细颗粒粘结在一起。

5.1.2 《土的工程分类标准》GB/T 50145 是工程用土的分类标准，从应用的工程属性来说，选择《岩土工程勘察规范》GB 50021 的分类方法更具针对性和适用性。

5.2 材料

5.2.3 目前渣土桩常用直径为 300mm~600mm，砾石骨料的粒径取为桩径的 1/15~1/20 比较合适。

5.2.4 对于素黏性土，压实最优含水率一般在偏湿侧 3%以内，考虑到水泥和石灰等固化剂会消耗掉一部分水，故适当提高土料含水率的控制范围。

5.3 生产

5.3.4 为防止固化剂在桩体未成形之前发生大规模固化反应，影响挤压成形工艺，失去对土料的固化作用，需要对搁置时间作出规定。

5.3.5 密度、无侧限抗压强度、抗剪强度、压缩模量等指标的参数取值，是根据现有经验确定。

5.4 养护与运输

5.4.1 防止渣土桩长时间暴露于空气中，表面产生失水开裂，降低桩身强度。

6 渣土挤压预制桩复合地基设计

6.1 一般规定

6.1.2 基础刚度对复合地基的破坏模式、承载力和沉降有重大影响。在相同条件下，通常建筑工程等混凝土刚性基础下桩体复合地基的承载力和桩体荷载分担比大于填土路堤、堆场等柔性基础下复合地基，而刚性基础下复合地基沉降量则小于柔性基础下复合地基。当处于极限状态时，刚性基础下复合地基中桩体先发生破坏，而柔性基础下复合地基则往往是桩间土先发生破坏。为了提高柔性基础下复合地基的桩体荷载分担比，提高复合地基承载力，可在复合地基上设置刚度较大的垫层。

6.3 地基承载力计算

6.3.3 公式(6.3.3-1)中 λ 反映复合地基破坏时桩土竖向抗压承载力发挥程度，对于刚性基础下复合地基一般取1.0，而柔性基础下复合地基中一般小于1.0。 β 反映复合地基破坏时桩间土承载力发挥程度，对于刚性基础下复合地基一般小于1.0，柔性基础下复合地基中一般取为1.0。

6.3.4 桩端土地基承载力折减系数 α 与增强体的荷载传递性质、增强体长度以及桩土相对刚度密切相关。桩长过长影响桩端承载力发挥时需要取较低值；水泥土搅拌桩其荷载传递受搅拌土的性质影响一般取为0.4~0.6；其他情况可以取为1.0。

桩身强度折减系数 η ，是一个与工程经验以及拟建工程的性质密切相关的参数。工程经验包括对施工队伍素质、施工质量、室内强度试验与实际加固强度比值以及对实际工程加固效果等情况的掌握。拟建工程性质包括工程地质条件、上部结构对地基的要求以及工程的重要性等。

在复合地基设计中，当按公式(6.3.4-1)和(6.3.4-2)计算的单桩竖向抗压承载力特征值接近，这样可以取得最佳的经济效益。

渣土挤压预制桩的单桩抗压承载力特征值一般能达到下表的数值要求。目前一般不采用方形桩，其中数值属经验估值。

渣土挤压预制桩的单桩抗压承载力特征值经验

桩型	桩径 D/mm	单桩抗压承载力特
----	---------	----------

		征值/kN
圆形	$400 > D \geq 300$	≥ 100
	$500\text{mm} > D \geq 400\text{mm}$	≥ 320
	$600\text{mm} > D \geq 500\text{mm}$	≥ 440
	$D \geq 600\text{mm}$	≥ 630

6.4 地基变形计算

6.4.4 渣土挤压预制桩介于水泥土桩和水泥粉煤灰碎石桩(CFG 桩)之间, 本规范公式(6.4.4-1)为按水泥土桩加固时加固区土层的沉降量, 本规范公式(6.4.4-3)为按刚性桩加固时加固区土层的沉降量, 两者计算结果需取较大值。

6.4.5 当复合地基加固区下卧土层压缩性较大时, 复合地基沉降主要来自加固区下卧土层的压缩。复合地基加固区下卧土层压缩变形量 s_3 计算中, 作用在复合地基加固区下卧层顶部的附加压力可视桩土模量比采用压力扩散法或等效实体法计算。可以采用上述两种方法进行计算, 然后通过比较分析, 并结合工程经验作出判断。

6.5 地基稳定性分析

6.5.3 最危险滑动面上的总剪切力可由传至复合地基面上的总荷载确定, 最危险滑动面上的总抗剪切力计算中, 复合地基加固区强度指标可以采用复合土体综合抗剪强度指标, 也可以分别采用桩体和桩间土的抗剪强度指标; 未加固区可以采用天然地基土体抗剪强度指标。在分析时, 需要视桩土模量比对抗力的贡献进行折减。

6.6 复合地基结构设计

6.6.1 考虑到渣土挤压预制桩通常采用工厂化生产, 桩体质量和强度相对有保障, 因此其桩体强度折减系数可比常规水泥土搅拌桩适当提高。

6.6.4 从承载力角度来说, 提高置换率比增加桩长的效果更好, 但增加桩长有利于减少沉降。当桩端穿透软弱土层达到承载力相对较高的土层时, 有利于控制沉降。

7 渣土挤压预制桩复合地基施工

7.1 一般规定

7.1.1 渣土挤压预制桩沉桩工艺的选择，应结合地质条件、施工环境等综合考虑。静力压桩噪声小、适用于软土地基沉桩。预成孔施工是静压法施工遇到难以穿越的土层，或克服群桩挤土效应时采取的辅助施工工艺。施工前需要先进行工艺性试桩，确定施工参数。

7.2 施工准备

7.2.1~7.2.3 施工准备是渣土挤压预制桩施工的必要环节。施工准备工作是否充分，直接影响现场施工效果。施工准备包括施工前相关资料准备、技术方案、场地条件、施工设备机械和器具的进场检验等。

7.3 施工

7.3.1 渣土挤压预制桩施工流程包括吊运和堆放、桩机就位、沉桩施工、和接桩。场地表层如存在硬壳层或地下存在块石等障碍物时，应采取先钢制送桩器开孔，后沉桩的流程施工。沉桩方法应根据设计要求、场地地质条件、周边环境等因素确定选用静力压桩法或者预成孔施工方法。

7.3.2 施工应该保证桩身垂直度、桩径、桩长满足设计要求。当复合地基承受水平荷载，桩身需要承受较大剪力时，可以通过改造桩身结构，形成中心孔，通过在桩中心孔内插入钢花管，并注入水泥砂浆或者水泥浆提高其抗剪强度。

7.3.3 预成孔的目的是穿过覆盖层中的孤石、障碍物及管桩难以贯穿的坚硬夹层，减少挤土效应，有时也为了增加桩的入土深度。预成孔辅助沉桩一般是采用振动沉管桩机进行沉管施工，然后再进行沉管施工。

7.3.4 合理安排施工顺序和施工速度，防止施工过程中对已施工的渣土挤压预制桩产生侧向挤压作用，导致渣土挤压预制桩出现弯曲或断裂等现象。

7.3.5 渣土挤压预制桩吊桩宜采用安全简便高效的专用吊装设备，有利于保障施工质量和施工安全。

7.3.6 根据工程经验，粘接法接桩施工效果更好一些，因此推荐粘接法接桩。