

山东省工程建设标准



DB37/T 5124 — 2018

J 14359 — 2018

透水混凝土桩复合地基技术规范

Technical code for composite foundation
of pervious concrete pile

2018 - 08 - 23 发布

2019 - 01 - 01 实施

山东省住房和城乡建设厅
山东省质量技术监督局

联合发布

山东省工程建设标准

透水混凝土桩复合地基技术规范

Technical code for composite foundation
of pervious concrete pile

DB37/T 5124 — 2018

住房和城乡建设部备案号：J 14359 — 2018

主编单位：山 东 大 学

山东省交通规划设计院

批准部门：山东省住房和城乡建设厅

山东省质量技术监督局

实施日期：2 0 1 9 年 1 月 1 日

2018 济南

山东省工程建设标准
透水混凝土桩复合地基技术规范
DB37/T 5124—2018

*

出版：**中国建材工业出版社**

地址：北京市海淀区三里河路1号

邮政编码：100044

印刷：北京雁林吉兆印刷有限公司

开本：850×1168mm 1/32 印张： 字数： 千字

2018年11月第1版 2018年11月第1次印刷

印数：1~1000册 定价：**0.00**元

*

统一书号：155160·1425

版权所有 翻印必究

山东省住房和城乡建设厅 山东省质量技术监督局

鲁建标字〔2018〕30号

山东省住房和城乡建设厅 山东省质量技术监督局 关于发布山东省工程建设标准《透水混凝土桩 复合地基技术规范》的通知

各市住房城乡建设局（城乡建委）、质监局，各有关单位：

由山东大学和山东省交通规划设计院主编的《透水混凝土桩复合地基技术规范》业经审定通过，批准为山东省工程建设标准，编号为 DB37/T 5124—2018，现予以发布，自 2019 年 1 月 1 日起施行。

本标准由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东大学负责具体技术内容的解释。

山东省住房和城乡建设厅
山东省质量技术监督局

2018 年 8 月 23 日

前 言

透水混凝土桩复合地基技术是近年来兴起的一种地基处理新技术，具有桩体强度高、排水性能佳等特点，可加速土体固结、快速提高桩侧摩阻力和桩间土承载力、减少工后沉降。本技术已在山东省内许多地区得到广泛应用，效果显著。为了积极稳妥地推广透水混凝土桩复合地基技术，根据国家有关标准，结合我省实际，并在广泛征求意见的基础上，编制本规范。

本规范共分 6 章和 6 个附录，主要技术内容是：1. 总则；2. 术语、符号；3. 基本规定；4. 设计；5. 施工；6. 质量检验与工程验收。

本规范由山东省住房和城乡建设厅负责管理，由山东大学负责具体技术内容的解释。

在执行过程中，请将意见和建议寄送至山东大学千佛山校区土建与水利学院（地址：山东省济南市经十路 17922 号；邮编：250061），以供今后修订时参考。

本 规 范 主 编 单 位：山东大学

山东省交通规划设计院

本 规 范 参 编 单 位：山东省公路设计咨询有限公司

山东省建筑科学研究院

济南城建集团有限公司

山东交通学院

临沂市政集团有限公司

山东宇通路桥集团有限公司

济南市勘测测绘研究院

山东省标准化研究院

济南轨道交通集团有限公司

山东高速潍日公路有限公司

青岛市地铁一号线有限公司

山东瑞恩生态环境科技有限公司

本规范主要起草人员：崔新壮 张 炯 连 峰 刘正银

孙 杰 李 晋 王成军 王忠啸

曹卫东 孙连勇 孟 磊 曲 磊

庞玉坤 孙 凯 陈圣仟 亓秀菊

魏金光 贾瑞强 商汝平 安 洁

王慧涛 万雨帆 邹宗民 张 珂

张明晶 崔社强 王艺霖 张 磊

苏俊伟 卢 途 李 俊 李文伟

刘泽群 余 蕊 代朝霞 明瑞平

马国栋

本规范主要审查人员：马士杰 邱立平 张 新 亓兴军

辛公锋 王晓媚 李 丁 巩文信

崔忠英

目 次

1	总则	1
2	术语、符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	设计	6
4.1	一般规定	6
4.2	选型与布置	7
4.3	荷载计算	8
4.4	承载力计算	9
4.5	变形计算	11
4.6	稳定分析	12
5	施工	14
5.1	一般规定	14
5.2	材料选用	16
5.3	施工工艺	17
5.4	施工管理	18
5.5	安全措施	18
6	质量检验与工程验收	22
6.1	一般规定	22
6.2	施工前检验	22
6.3	施工中检验	23
6.4	施工后检验	23
6.5	工程验收	24
附录 A	渗透系数的测试方法	26

附录 B	施工记录表	28
附录 C	施工前质量检验标准	29
附录 D	施工中质量检验标准	30
附录 E	施工后质量检验标准	31
附录 F	施工质量验收记录表	32
本规范用词说明		33
引用标准名录		34
条文说明		35

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
4	Design	6
4.1	General Requirements	6
4.2	Selection and Layout of Piles	7
4.3	Load Calculation	8
4.4	Bearing Capacity Calculation	9
4.5	Deformation Calculation	11
4.6	Stability Analysis	12
5	Construction	14
5.1	General Requirements	14
5.2	Material Selection	16
5.3	Construction Technology	17
5.4	Construction Management	18
5.5	Safety Measures	18
6	Inspection and Acceptance of Quality	22
6.1	General Requirements	22
6.2	Inspection before Construction	22
6.3	Inspection during Construction	23
6.4	Inspection after Construction	23
6.5	Acceptance of Construction Quality	24
Appendix A The Test Method of Permeability		

	Coefficient	26
Appendix B	Construction Records	28
Appendix C	Standards for Quality Inspection before Construction	29
Appendix D	Standards for Quality Inspection during Construction	30
Appendix E	Standards for Quality Inspection after Construction	31
Appendix F	Construction Quality Acceptance Records	32
Explanation of Wording in this Code		33
List of Quoted Standards		34
Explanation of Provisions		35

1 总 则

1.0.1 为了贯彻执行国家、行业和地方技术经济政策，规范透水混凝土桩复合地基技术在工程中的应用，做到安全适用、经济合理、确保质量、技术先进、保护环境，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于山东省内透水混凝土桩复合地基的设计、施工、质量检验与工程验收。

1.0.3 透水混凝土桩复合地基的设计、施工及质量检验，应综合分析场地工程地质和水文地质条件、上部结构类型、使用功能、荷载特征、施工工艺、检验方法和环境条件等影响因素，坚持绿色施工，强化施工质量控制管理，应遵循因地制宜、就地取材、保护和节约资源的原则。

1.0.4 透水混凝土桩复合地基的设计、施工、质量检验与验收除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 透水混凝土桩 pervious concrete pile

本规范所称的透水混凝土桩，是由水泥、碎石、外加剂等混合料加水拌和形成，具有透水性、抗震减压性的刚性桩。

2.1.2 透水混凝土桩复合地基 composite foundation of pervious concrete pile

以透水混凝土桩作为竖向增强体的复合地基。

2.1.3 串联桩 series pile

由上、下两部分材料各异的桩体组合而成的单桩，如透水混凝土-碎石串联桩，桩体上部分为透水混凝土桩，下部分为碎石桩。

2.1.4 并联桩 parallel pile

由不同桩体材料的单桩复合而成的群桩，如透水混凝土-碎石并联桩、透水混凝土-水泥土并联桩。

2.1.5 褥垫层 cushion layer

铺设于基础之下、透水混凝土桩顶及桩间土之上的散体垫层，起着调节桩土协同沉降，调整桩土竖向、水平荷载分担比，减小基础底面应力集中的作用。

2.1.6 成桩工艺性试验 pile-making process test

为验证地层条件的适应性、确定相关施工工艺及参数和施工措施而进行的成桩施工。

2.1.7 工期沉降 the settlement during construction

在施工期间所产生的沉降，如填筑路基和施工路面期间路基所产生的沉降量。

2.1.8 工后沉降 the settlement after construction

工程竣工之后产生的残余沉降，包括复合层和下卧层工后沉降。桩间土复合层工后沉降取最终残余沉降量，下卧层工后沉降取使用年限内残余沉降量。

2.2 符 号

2.2.1 几何参数

- A_p ——单桩截面积 (m^2);
 u_p ——桩的截面周长 (m);
 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);
 l ——桩长 (mm);
 m ——复合地基置换率;
 n ——桩长范围内所划分的土层数;
 l_i ——桩长范围内第 i 层土的厚度 (m);
 D ——基础埋置深度 (m)。

2.2.2 作用和作用效应

- p_k ——相应于荷载效应标准组合时作用在复合地基上的平均压力值 (kPa);
 $p_{k\max}$ ——相应于荷载效应标准组合时作用在基础底面边缘处复合地基上的最大压力值 (kPa);
 p_z ——荷载效应标准组合时，软弱下卧层顶面处的附加压力值 (kPa);
 p_{cz} ——软弱下卧层顶面处土的自重压力值 (kPa);
 Q ——桩顶附加荷载 (kN);
 γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度 (kN/m^3)，地下水位以下取浮重度;
 s_1 ——复合地基加固区复合土层压缩变形量 (mm);
 s_2 ——加固区下卧土层压缩变形量 (mm);
 T_t ——荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪切力 (kN);

T_s ——最危险滑动面上的总抗剪切力 (kN)。

2.2.3 抗力和材料性能

E_p ——桩体压缩模量 (kPa);

E_{si} ——基础底面下第 i 层土的压缩模量 (kPa);

R_a ——单桩竖向抗压承载力特征值 (kN);

q_p ——桩端土地基承载力特征值 (kPa);

f_{spk} ——复合地基承载力特征值 (kPa);

f_{sk} ——桩间土地基承载力特征值 (kPa);

f_a ——复合地基经深度修正后的承载力特征值 (kPa);

f_{cu} ——桩体抗压强度平均值 (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);

q_{si} ——第 i 层土的桩侧摩阻力特征值 (kPa)。

2.2.4 计算系数

K ——安全系数;

η ——桩体强度折减系数;

ψ_p ——桩体压缩经验系数;

ψ_{qi} ——可变荷载的准永久组合值系数;

ψ_{ci} ——其他可变荷载的标准组合值系数;

β_p ——桩体竖向抗压承载力修正系数;

β_s ——桩间土地基承载力修正系数;

α ——桩端土地基承载力折减系数;

ψ_{s2} ——复合地基加固区下卧土层压缩变形量计算经验系数。

3 基本规定

3.0.1 透水混凝土桩复合地基适用于素黏土、粉土、黏性土、砂土等场地的地基。遇有下列情况时，应通过现场和室内试验确定其适用性：

- 1 淤泥、淤泥质土、含有大量植物根茎土；
- 2 地下水具有中—强腐蚀性、地下水流速较大的场地；
- 3 含有较多块石、漂石或其他障碍物；
- 4 含有不宜作为持力层的坚硬夹层。

3.0.2 透水混凝土桩复合地基设计与施工前应按照国家现行有关标准进行岩土工程勘察，重点查明各土层的厚度和组成、含水率、密实度、颗粒组成及含量、塑性指数、渗透系数、有机质含量、地下水位、pH 值、腐蚀性等。

3.0.3 透水混凝土桩宜选择承载力相对较高的土层作为桩端持力层。

3.0.4 透水混凝土桩复合地基在设计阶段前宜按场地复杂程度，选择有代表性的部位进行成桩工艺性试验，类似条件下试验数量不宜少于 3 根，并根据试验结果确定试验参数和提出施工技术要求。

3.0.5 对于采用透水混凝土桩复合地基的建（构）筑物，在其主体结构施工及使用期间，应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定进行沉降观测直至沉降稳定。

3.0.6 透水混凝土桩的岩土工程勘探点的平面布置以及勘探深度范围内每一主要土层的取样和测试，应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定执行。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

- 4.1.1 透水混凝土桩宜采用摩擦型桩。
- 4.1.2 透水混凝土桩桩体混凝土强度等级范围宜为 C15~C35。
- 4.1.3 荷载分布显著不均匀时，应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定进行变形验算。
- 4.1.4 对于具有挤密效果的土层，采用透水混凝土桩复合地基时，宜检测桩间土处理前后的承载力，以动态调整、确定合理的计算参数。
- 4.1.5 抗震设防区透水混凝土桩复合地基的设计原则应符合下列规定：

1 桩进入液化土层以下稳定土层的长度（不包括桩尖部分）应按计算确定；对于碎石土，砾、粗、中砂，密实粉土，坚硬黏性土不应小于 2~3 倍桩身直径，对其他非岩石土尚不宜小于 4~5 倍桩身直径；

2 对建于可能因地震引起上部土层滑移地段的透水混凝土桩，应考虑滑移体对桩产生的附加应力；

3 当基础周围为可液化土或地基承载力特征值小于 40kPa（或不排水抗剪强度小于 15kPa）的软土，且桩体水平承载力不满足计算要求时，可将基础外 500mm 范围内的土体进行加固。

- 4.1.6 特殊条件下的透水混凝土桩的设计原则应符合下列规定：

1 软土中透水混凝土桩设计时，应采取技术措施，减小挤土效应对成桩质量、邻近建筑物、道路、地下管线和基坑边坡等产生的不利影响；

2 对建于坡地岸边的透水混凝土桩复合地基，不得将透水混凝土桩支承于边坡潜在的滑动体上；桩端进入潜在滑裂面以下

稳定土层内的深度应能保证桩体的稳定；

3 透水混凝土桩复合地基与边坡应保持一定的水平距离；新建坡地、岸边建筑透水混凝土桩复合地基工程应与建筑边坡工程统一规划、同步设计，合理确定施工顺序；建筑场地内的边坡必须是完整的边坡，当有崩塌、滑坡等不良地质现象存在时，应按现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定进行整治，确保其稳定性；

4 对建于坡地岸边的透水混凝土桩复合地基，应验算其在全不利荷载效应组合下的整体稳定性和水平承载力。

4.1.7 透水混凝土桩复合地基设计应收集岩土工程勘察资料、建筑场地与环境条件资料、建（构）筑物资料、施工条件的有关资料、供设计比较用的有关透水混凝土桩型及实施可行性的资料。

4.2 选型与布置

4.2.1 透水混凝土桩的选型应符合下列规定：

1 应根据工程地质情况、建（构）筑物结构类型、荷载性质、沉管设备（静压、锤击）、施工条件、施工经验等经综合分析后选用；

2 根据施工工艺和现场评价，可考虑选用单桩、并联桩（复合桩）、串联桩（组合桩）等多元复合地基形式。

4.2.2 透水混凝土桩的布置应符合下列要求：

1 一般在基础范围内布桩，特殊情况下可考虑在基础外增加护桩。

2 桩长宜按实际岩土工程条件、工程设计要求等因素综合确定。桩端全断面进入持力层的深度应大于 1 倍桩身直径；当硬层埋藏较深时，桩端可不达到硬层，但应满足承载力及沉降的要求。

3 排列桩体时，一般可按均布考虑，当上部荷载分布相差较大时，亦可按非均匀布桩。

4 对于软弱黏性土层地基上大面积布桩时,为加快消减孔隙水压力和增强挤土效应,应合理控制布桩密度。

4.2.3 桩径、桩间距应根据处理后复合地基承载力、单桩承载力、施工工艺、土层情况综合考虑。方案设计时,桩径宜取 300mm~500mm,桩间距宜为 3~6 倍桩径。

4.2.4 桩顶和桩间土上部必须设褥垫层,并符合以下规定:

1 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、碎石或级配良好的砂石等,不宜选用卵石,最大粒径不宜大于 30mm、不应大于 50mm;

2 褥垫层的厚度应根据复合地基置换率及桩间土的性质进行具体设计确定,一般宜取 150mm~300mm;

3 褥垫层铺设范围宜超出基础边缘 500mm,虚铺厚度按压实系数计算确定;

4 褥垫层填筑完成后宜由地基中心线向外侧设置横向排水坡,坡度不宜小于 4%,并应在四周设置排水沟。

4.3 荷 载 计 算

4.3.1 复合地基设计时,所采用的荷载效应最不利组合与相应的抗力限值应符合下列规定:

1 按复合地基承载力确定基础底面积及埋深,传至复合地基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,相应的抗力应采用复合地基承载力特征值;

2 计算复合地基变形时,传至复合地基面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,相应的限值应为复合地基变形允许值;

3 复合地基稳定分析中,传至复合地基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,相应的抗力应用复合地基中增强体和地基土体抗剪强度标准值进行计算。

4.3.2 正常使用极限状态下,荷载效应组合的设计值应按下列规定采用:

1 对于标准组合,荷载效应组合的设计值 (S_{kl}) 应按下式

计算：

$$S_{k1} = S_{Gk} + S_{Q1k} + \sum_{i=2}^n \psi_{ci} S_{Qi k} \quad (4.3.2-1)$$

式中： S_{Gk} ——按永久荷载标准值计算的荷载效应值；

S_{Q1k} ——按起控制性作用的可变荷载标准值计算的荷载效应值；

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

$S_{Qi k}$ ——按其他可变荷载标准值计算的荷载效应值。

2 对于准永久组合，荷载效应组合的设计值 (S_{k2}) 应按下列式计算：

$$S_{k2} = S_{Gk} + \sum_{i=1}^n \psi_{qi} S_{Qi k} \quad (4.3.2-2)$$

式中： $S_{Qi k}$ ——按可变荷载标准值计算的荷载效应值；

ψ_{qi} ——可变荷载的准永久组合值系数，按现行相关荷载规范取值。

4.3.3 作用在复合地基上的压力应符合下列规定：

1 轴心荷载作用时：

$$p_k \leq f_a \quad (4.3.3-1)$$

式中： p_k ——相应于荷载效应标准组合时作用在复合地基上的平均压力值 (kPa)；

f_a ——复合地基经深度修正后的承载力特征值 (kPa)。

2 偏心荷载作用时，作用在复合地基上的压力除应符合公式 (4.3.3-1) 的要求外，尚应符合下列式要求：

$$p_{kmax} \leq 1.2 f_a \quad (4.3.3-2)$$

式中： p_{kmax} ——相应于荷载效应标准组合时作用在基础底面边缘的最大压力值 (kPa)。

4.4 承载力计算

4.4.1 复合地基承载力特征值应通过复合地基载荷试验，或采

用增强体载荷试验结果和其周边土的承载力特征值结合经验综合确定。初步设计时，复合地基承载力特征值 (f_{spk}) 也可按下列公式估算：

$$f_{\text{spk}} = \beta_p m R_a / A_p + \beta_s (1 - m) f_{\text{sk}} \quad (4.4.1-1)$$

$$m = d^2 / d_e^2 \quad (4.4.1-2)$$

式中： β_p —— 桩体竖向抗压承载力修正系数，宜综合复合地基中桩体实际竖向抗压承载力和复合地基破坏时桩体的竖向抗压承载力发挥度，建议取值为 1.0；

R_a —— 单桩竖向抗压承载力特征值 (kN)；

A_p —— 单桩截面积 (m^2)；

β_s —— 桩间土地基承载力修正系数，宜综合复合地基中桩间土地基实际承载力和复合地基破坏时桩间土地基承载力发挥度，建议取值为 0.5~0.9；

f_{sk} —— 桩间土地基承载力特征值 (kPa)；

m —— 复合地基置换率；

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)。

4.4.2 透水混凝土桩复合地基竖向增强体为刚性桩，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。初步设计时，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应按公式 (4.4.2-1) 计算；由桩体材料强度可能提供的单桩竖向抗压承载力特征值应按公式 (4.4.2-2) 计算：

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha q_p A_p \quad (4.4.2-1)$$

$$R_a = \eta f_{\text{cu}} A_p \quad (4.4.2-2)$$

式中： R_a —— 单桩竖向抗压承载力特征值 (kN)；

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)；

α —— 桩端土地基承载力折减系数, 建议取值为 1.0;

q_p —— 桩端土地基承载力特征值 (kPa);

A_p —— 单桩截面积 (m^2);

η —— 桩体强度折减系数, 建议取值为 0.33;

f_{cu} —— 桩体抗压强度平均值 (kPa)。

4.4.3 复合地基处理范围以下存在软弱下卧层时, 下卧层承载力应按下式验算:

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (4.4.3)$$

式中: p_z —— 荷载效应标准组合时, 软弱下卧层顶面处的附加压力值 (kPa);

p_{cz} —— 软弱下卧层顶面处土的自重压力值 (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)。

4.4.4 复合地基承载力的基础宽度承载力修正系数应取 0; 基础埋深的承载力修正系数应取 1.0。修正后的复合地基承载力特征值 (f_a) 应按下式计算:

$$f_a = f_{spk} + \gamma_m (D - 0.5) \quad (4.4.4)$$

式中: f_{spk} —— 复合地基承载力特征值 (kPa);

γ_m —— 基础底面以上土的加权平均重度 (kN/m^3), 地下水位以下取浮重度;

D —— 基础埋置深度 (m), 在填方整平地区, 可自填土地面标高算起, 但填土在上部结构施工完成后进行时, 应从天然地面标高算起。

4.5 变形计算

4.5.1 复合地基的沉降由垫层压缩变形量、加固土层压缩变形量 (s_1) 和加固区下卧土层压缩变形量 (s_2) 组成。当垫层压缩变形量小, 且在施工期已基本完成时, 可忽略不计。复合地基沉降 (s) 可按下式计算:

$$s = s_1 + s_2 \quad (4.5.1)$$

式中： s_1 ——复合地基加固区复合土层压缩变形量（mm）；

s_2 ——加固区下卧土层压缩变形量（mm）。

4.5.2 复合地基加固区复合土层压缩变形量（ s_1 ）可按下列式计算：

$$s_1 = \phi_p \frac{Ql}{E_p A_p} \quad (4.5.2)$$

式中： ϕ_p ——桩体压缩经验系数，宜综合考虑刚性桩长细比、桩端刺入量，根据地区实测资料及经验确定；

Q ——桩顶附加荷载（kN）；

l ——桩长（mm）；

E_p ——桩体压缩模量（kPa）；

A_p ——单桩截面积（ m^2 ）。

4.5.3 复合地基加固区下卧土层压缩变形量（ s_2 ），可按下列式计算：

$$s_2 = \phi_{s2} \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} l_i \quad (4.5.3)$$

式中： ϕ_{s2} ——复合地基加固区下卧土层压缩变形量计算经验系数，根据复合地基类型地区实测资料及经验确定；

Δp_i ——第 i 层土的平均附加应力增量（kPa）；

E_{si} ——基础底面下第 i 层土的压缩模量（kPa）；

l_i ——第 i 层土的厚度（mm）。

4.5.4 作用在复合地基加固区下卧层顶部的附加压力宜采用等效实体法计算。

4.5.5 透水混凝土桩复合地基工后沉降 s_r 可按总沉降计算值减去工期沉降实测值作为工后沉降预测值。

4.5.6 当桩端持力层之下没有软弱下卧层时，桩端下卧层压缩量绝大部分将在工期内完成，在计算工后沉降时可不考虑桩端持力层的工后沉降。

4.6 稳定分析

4.6.1 在复合地基稳定分析中，所采用的稳定分析方法、计算

参数、计算参数的测定方法和稳定安全系数取值应相互匹配。

4.6.2 复合地基稳定分析可采用圆弧滑动总应力法进行。稳定安全系数应按式计算：

$$K = \frac{T_s}{T_t} \quad (4.6.2)$$

式中： K ——安全系数；

T_s ——最危险滑动面上的总抗剪力（kN）；

T_t ——荷载效应标准组合时最危险滑动面上的总剪力（kN）。

4.6.3 复合地基竖向增强体长度应大于设计要求安全度对应的危险滑动面下 2m。

4.6.4 复合地基稳定分析方法宜根据复合地基类型合理选用。

5 施 工

5.1 一 般 规 定

5.1.1 透水混凝土桩复合地基施工前应具备下列资料：

- 1 建筑场地岩土工程勘察报告，当场地较复杂时应做必要的补充勘察；
- 2 建（构）筑物基础、路基设计图及透水混凝土桩复合地基设计图；
- 3 施工影响范围内的地下管线、地下构筑物、危房、精密仪器车间等的调查资料；
- 4 水泥、砂、石等原材料及其制品的质检报告和混凝土配合比试验报告；
- 5 主要施工机械及其配套设备的技术性能资料；
- 6 抗震设防烈度和场地类别；
- 7 有关施工工艺参数的试验参考资料。

5.1.2 施工前应具备下列条件：

- 1 影响施工的管线及障碍物已清除；
- 2 施工用水、用电有保障，施工场地平整，保证施工机械正常作业；
- 3 成桩机械必须经鉴定合格，不得使用不合格机械；
- 4 用于施工质量检验的仪表、器具的性能指标，应符合现行国家相关标准的规定；
- 5 地下水位埋藏情况、类型和水位变化幅度及抗浮设计水位；
- 6 抗震设防区按设防烈度提供的液化土层资料及液化评价；
- 7 有关地基土湿陷性、膨胀性评价；
- 8 关于成桩可能性、桩体施工对环境的影响评价与对策及

其他应注意事项的建议。

5.1.3 施工前应结合工程特点编制简明的施工方案，主要内容应包括：

- 1 施工平面图及桩位布置图：应标明桩位、编号、施工顺序、水电线路和临时设施的位置；
- 2 施工机械、人员配置；
- 3 施工进度计划和劳动力组织计划；
- 4 材料、工具、备品、机械设备供应计划；
- 5 保证工程质量、安全生产和季节性施工的技术措施。

5.1.4 施工组织设计应结合工程特点，有针对性地制定相应质量管理措施，特别对挤土效应要求高的场地，无法回避采用挤土效应明显的机械施工时，应对周边构筑物进行调查，分析评估施工可能造成的影响，提出可行的防范措施，周边构筑物强度较差时，宜对结构采取防护措施，避免发生意外，确保周边环境安全。

5.1.5 施工前应按设计要求由实验室通过试配确定混凝土配合比，并提交配合比设计报告。

5.1.6 桩在正式施工前应进行设计技术参数工艺试成孔，试成孔数量应不少于 3 个，试成孔时应通知建设、勘察、设计、监理等有关人员参加，核对场地地质情况及机械设备、施工工艺等是否符合设计图纸要求，确认施工工艺。

5.1.7 桩位轴线的控制点和水准点应设在不受施工影响的地方；开工前控制点和水准点经复核后应妥善保管，施工中应经常复核控制点和水准点。

5.1.8 成桩工艺性试验应符合下列规定：

- 1 应根据场地地层分布情况及设计资料确定成桩工艺性试验位置与数量；
- 2 透水混凝土桩工艺性试验可采用振动沉管法；
- 3 成桩工艺性试验时应按本规范附录 A 的要求做好记录；
- 4 选择施工机械，初步确定成桩施工工艺参数。

5.1.9 在检查成孔质量合格后应尽早灌注混凝土。灌注混凝土过程中,抽样做混凝土试块,每台机械一天应做一组(3块)试块(边长为150mm的立方体),标准养护,按照规定测定其立方体抗压强度。

5.1.10 当周边环境对变形有严格要求时,成桩过程中应减少对周边环境影响的措施。

5.2 材料选用

5.2.1 进场的水泥、粗集料、外加剂等材料应根据有关规范进行质量检验,合格后方可使用,且须注意:

1 水泥宜采用强度等级不低于42.5级的硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥、矿渣硅酸盐水泥,其质量应符合《通用硅酸盐水泥》GB 175的规定。

2 粗集料可选用碎石,含泥量应不大于1%;一般选择单一级配的粗集料制备透水混凝土,粗集料粒径宜在5mm~10mm范围内选取,且最大粒径不宜超过25mm。

3 根据混凝土性能要求、施工及气候条件等因素必须经试验来确定掺加符合国家现行标准的混合材料或外加剂的品种及掺量。

4 混凝土拌和用水须符合国家现行标准《混凝土用水标准》JGJ 63的规定。

5.2.2 透水混凝土桩的配合比设计宜通过现场试验确定,应同时满足桩身混凝土设计强度等级和目标孔隙率的要求,目标孔隙率宜取10%~20%,所需粗集料的质量应由紧密堆积密度确定,考虑实际情况应乘以折减系数0.98。

5.2.3 使用体积法进行透水混凝土配合比设计以目标孔隙率为控制参数,通过堆积密实的集料空隙率与最优水灰比,按下列公式推导出水泥和水的用量:

$$V = \frac{m_c}{\rho_c} + \frac{m_w}{\rho_w} + P \quad (5.2.3-1)$$

$$m_c = (V - P) \frac{\rho_c \rho_w}{\rho_w + \rho_c R_{wc}} \quad (5.2.3-2)$$

$$m_w = m_c R_{wc} \quad (5.2.3-3)$$

式中： m_c ——每立方米透水混凝土所需水泥的质量（kg）；

ρ_c ——水泥的密度（kg/m³）；

m_w ——每立方米透水混凝土所需水的质量（kg）；

ρ_w ——水的密度（kg/m³）；

P ——目标孔隙率；

R_{wc} ——初始水灰比。

5.2.4 透水混凝土材料宜在初步设计配合比的基础上掺入化学添加剂与早强剂，经过试验对掺量的调整，设计出适用于现场施工的配合比。

5.2.5 透水混凝土孔隙率的测试宜采用体积法，并按照下式计算：

$$n_e = \left(1 - \frac{m_2 - m_1}{v \rho_w}\right) \times 100 \quad (5.2.5)$$

式中： n_e ——试件孔隙率（%）；

m_1 ——试件浸水 24h 后在水中测得的质量（g）；

m_2 ——试件从水中取出后在 60℃ 的烘箱内烘 24h 后的质量（g）；

v ——体积法测出的试件体积（cm³）；

ρ_w ——水的密度（g/cm³）。

5.2.6 透水混凝土渗透系数的测试方法应符合本规范附录 A 的规定。

5.3 施 工 工 艺

5.3.1 施工单位应按透水混凝土桩复合地基施工图进行桩位放样并填写放线记录，经监理单位或建设单位复核签证后方可开工。

5.3.2 透水混凝土桩的施工宜采用振动沉管法进行。

5.3.3 成孔设备就位后，必须平整、稳固，确保在成孔过程中不发生倾斜和偏移。应在成孔钻具上设置控制深度和沉管垂直度的标尺，或者用专业测量仪器进行测量，并应在施工过程中进行观测记录。

5.3.4 应根据土质情况和荷载要求，分别选用单打法、反插法和复打法等。

5.3.5 振动沉管法施工工艺应符合下列规定：

1 透水混凝土桩施工现场，应清除地上、地下的障碍物。遇有明浜、池塘及洼地时，应抽水和清淤，应回填黏性土料并压实，不得回填杂填土及生活垃圾。

2 桩机进入现场，应根据设计桩长、沉管入土深度确定机架高度和沉管长度，并进行组装。

3 桩机就位：按设计桩位放置桩尖，桩尖为混凝土预制（也可用钢材预制）并与沉管契合良好，使装置具有良好的密封性，以防止水进入沉管中。桩机应保持水平、稳固，调整沉管与地面垂直，垂直度偏差应不大于1%。

4 将沉管沉入设计标高。

5 按调整好的配合比配制混合料，混合料应由拌和站集中拌和。搅拌时首先加入集料和20%左右的水，搅拌30s，然后将剩余的水、外加剂等混合一起加入搅拌机，搅拌1min。

6 待沉管打入地下至桩体设计长度后须尽快用料斗进行空中投料，直到管内混合料满足桩体设计用量。如上料量不够，须在拔管过程中进行补充投料，以保证成桩后桩顶标高满足设计要求。充盈系数根据试桩结果确定。

7 投料完毕后，启动马达，沉管原地留振10s，然后边振动边拔管，拔管速度控制在2.2m/min~2.5m/min（拔管速度为线速，透水混凝土流动性能越好，拔管速度应越快）；如遇淤泥或淤泥质土，拔管速度可适当放慢；在拔管过程中遇到管内材料黏滞不出，可捶击管壁，并进行反插，每次反插留振10s。

8 成桩后桩顶标高应考虑计入保护桩。成桩桩顶标高宜高

出设计桩顶不少于 50cm；成桩过程中应注意做好混合料试块，每台机械每天应做一组（3 块）试块（边长为 150mm×150mm×150mm 立方体），标准养护，测定立方体抗压强度、孔隙率。

9 当桩管拔出地面后，若发现桩顶有浮浆，应将浮浆段去除，然后用透水混凝土封顶。根据隔桩跳打法移机继续施工，施工过程中按本规范附录 B 做好施工记录。

5.3.6 混凝土的充盈系数不得小于 1.0；对于充盈系数小于 1.0 的桩，应全长复打，对可能出现的断桩和缩颈桩，应采用局部复打，局部复打应超过断桩或颈缩区 1m 以上。成桩后的桩身设计标高应不低于设计标高。

5.3.7 全长复打桩施工应符合下列规定：

1 全长复打时，沉管入土深度宜接近原桩长，第一次灌注混凝土应达到自然地面。

2 拔管过程中应及时清除粘在管壁上和散落在地面上的混凝土。

3 初打和复打的桩轴线应重合。

4 复打施工必须在第一次灌注的混凝土初凝之前完成。

5.3.8 透水混凝土桩强度达到设计要求后，方可进行桩头处理。

5.3.9 桩顶超灌高度或多余浆液凿除处理时不得造成桩顶设计标高以下桩身断裂和扰动桩间土，出现桩身断裂和扰动桩间土时，应报告设计单位处理。

5.3.10 桩头处理完毕后，应尽快进行褥垫层铺设，以防止桩间土被扰动。

5.3.11 褥垫层底面宜设在同一标高上，如深度不同，基坑底土面应挖成阶梯或斜坡搭接，并按先深后浅的顺序进行垫层施工，搭接处应夯压密实。

5.3.12 褥垫层的施工方法、分层铺填厚度、每层压实遍数等宜通过试验确定。褥垫层应铺设均匀，允许偏差±10mm。除接下卧软土层的垫层应根据施工机械设备及下卧层土质条件确定厚度外，一般情况下，垫层的分层铺填厚度可取 100mm～150mm，

宜采用静力压实法。

5.3.13 当垫层底部存在软硬不均的部位时，应根据建筑对不均匀沉降的要求予以处理，并经检验合格后，方可铺填垫层。

5.3.14 当地下水位较高影响褥垫层铺设或者基础底面下桩间土的含水量较高影响褥垫层夯实时，应进行降水处理。夯实方法宜根据基础底面下桩间土含水量的情况，分别采用静力压实法或动力压实法；对于较干的砂石材料，可适当洒水后再进行振动夯实。

5.3.15 褥垫层铺设夯实后，若粗颗粒的碎石沉陷明显而导致面层级配不均时，可在面层增补适量的粗颗粒碎石后，继续振压或夯实。

5.4 施 工 管 理

5.4.1 严格按照桩位布置图放线布点。

5.4.2 施工时设置专人检测成孔、成桩质量，并逐根做好施工记录，发现问题及时处理。

5.4.3 施工成孔时发现地层与勘察资料不符时，应查明原因，会同勘察、设计单位采取有效处理措施，保证工程质量。

5.5 安 全 措 施

5.5.1 机电设备必须有专人操作，特殊工种必须持证上岗，应杜绝人身、机械、电器等安全事故发生。

5.5.2 桩机班长应定期检查桩机工作状况，包括转动、升降、钢丝绳以及机具的安全性，发生故障应及时修理，严禁超负荷运行。

5.5.3 施工现场电缆应规范布设，电控箱等必须安装二级漏电保护装置，设警示牌，由电工定期检查电气和电路的运行情况。

5.5.4 成桩机移动时，应设置防止桩架倒塌的保护措施，确保设备移动平稳安全。

5.5.5 成桩施工时，若有高处作业的应采取配戴使用安全带等

防止高处坠落的有效措施。

5.5.6 现场须设有安全防护措施，包括灭火器、警示牌等。

5.5.7 易引起粉尘的细料或松散材料应采用帆布等覆盖，水泥、碎石或砂等混合料拌和机站应有防尘设备，作业人员配备必要的劳保防护用品。

5.5.8 工地临时用电线路架设及用电设施，应按现行行业标准《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 46 的有关规定执行。

5.5.9 环境保护应符合下列规定：

- 1 应采用加防护罩等措施对施工机械进行降噪处理；
- 2 水泥运输、混凝土搅拌应采取覆盖、封闭等防尘措施；
- 3 废弃水泥浆应处理后排放，不得污染环境。

6 质量检验与工程验收

6.1 一般规定

6.1.1 透水混凝土桩质量检验按时间顺序可分为三个阶段：施工前检验、施工中检验、施工后检验。

6.1.2 透水混凝土桩复合地基验收应符合下列规定：

1 按照透水混凝土桩、褥垫层项目依次进行；

2 当施工标段范围较小时，宜一次性验收；当施工标段范围较大时，可分片区验收；

3 透水混凝土桩工程完工后，检验不合格且未经设计处理的工程，不得进入下一道工序的施工。

6.1.3 透水混凝土桩质量检验主控项目应包括水泥及外掺剂质量、桩数、桩位偏差、桩身混凝土强度、桩身完整性、单桩承载力和复合地基承载力。

6.1.4 透水混凝土桩复合地基承载力检验应在桩身强度满足试验荷载条件，且宜在施工结束 28d 后进行单桩竖向抗压载荷试验、单桩与多桩复合地基载荷试验。

6.1.5 要求主控项目合格率为 100%，一般项目合格率达 80% 以上。

6.2 施工前检验

6.2.1 施工前应对水泥、外掺剂、沉管、接桩用材料等产品的质量进行检验。

6.2.2 施工前应对施工机械设备及性能进行检验。

6.2.3 施工前应对桩位放样偏差进行检验。

6.2.4 在桩顶以及现场的标高经复核并且满足设计要求后才能进行褥垫层的施工，不满足时要对桩顶进行处理。

6.2.5 对褥垫层的填料等材料的检验项目、方法和质量应符合国家及山东省现行有关标准的规定。

6.2.6 施工前的质量检验应符合本规范附录 C 的规定。

6.3 施工中检验

6.3.1 混凝土拌制应对原材料质量与计量、混凝土配合比、坍落度、混凝土强度等级进行检测并做好记录。

6.3.2 透水混凝土桩施工时应检查桩位放样偏差、单桩灌注量、灌注时长、沉管提升速度、桩顶标高、垂直度。

6.3.3 褥垫层的填料每层厚度以及质量必须进行检查，应在每层的压实系数符合设计要求后铺填上层土。

6.3.4 检验褥垫层的施工质量时，取样点应位于每层厚度的 $2/3$ 深度处。检验点数量，每 $50\text{m}^2 \sim 100\text{m}^2$ 不应少于1个检验点。

6.3.5 透水混凝土桩复合地基施工质量检验应符合本规范附录 D 的规定。

6.3.6 在施工过程中施工单位应按本规范第 6.3.6 条的规定对每根桩进行质量检验，对不符合预定质量参数的桩经监理单位确认后报设计单位进行处理。

6.4 施工后检验

6.4.1 透水混凝土桩成桩后、复合地基竣工验收前，应进行桩身完整性检验、单桩竖向承载力检验和复合地基承载力检验。

6.4.2 桩身完整性宜根据实际情况采用钻芯法验证检测。

6.4.3 单孔钻芯检测发现混凝土桩身质量问题时，应在同一桩体增加钻孔验证，并根据前、后钻芯结果对受检桩重新评价。

6.4.4 单桩竖向承载力检验应采用单桩竖向抗压静载试验，检测桩数不应少于同条件下总桩数的 1% ，且不应少于3根；当总桩数少于50根时，不应少于2根。

6.4.5 单桩竖向抗压载荷试验除应符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 检测时宜在桩顶铺设粗砂或中砂找平层，厚度不宜大于20mm；

2 找平层上的刚性承压板直径应与透水混凝土桩的设计直径一致。

6.4.6 复合地基承载力检验应按现行行业标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79 中的有关规定执行。

6.4.7 符合下列条件的透水混凝土桩，应由勘察、设计单位确定适当增加复合地基承载力检验数量：

1 桩端持力层为遇水易软化的土层；

2 石灰岩岩溶地区的风化土层场地。

6.4.8 透水混凝土桩桩身质量完整性检测或复合地基承载力检验后出现不合格桩（点）时，应由建设、设计、施工、监理、检测部门共同分析原因，并确定处理方法。

6.4.9 透水混凝土桩复合地基施工后的质量检验应符合本规范附录 E 的规定。

6.5 工程验收

6.5.1 透水混凝土桩验收程序应符合下列规定：

1 全部透水混凝土桩施工完毕，检测合格，并开挖到设计标高和轴线复核后进行验收；检验批的验收应按本规范附录 F 的要求进行；

2 当施工段范围较小时，宜一次性验收；当施工标段范围较大时，可分片区验收；

3 透水混凝土桩工程完工后，检验不合格且未经处理的工程，不得进入下一道工序的施工。

6.5.2 褥垫层工程验收程序应符合下列规定：

1 褥垫层全部施工完毕，经检查合格后，方可进行验收；

2 褥垫层可全部一次性验收，也可按实际需要分片区验收；

3 未经检查合格的褥垫层，不得进行隐蔽验收和进行下一道工序的施工。

6.5.3 透水性混凝土桩复合地基验收应在施工单位自检合格的基础上进行，并应具备下列资料：

1 岩土工程勘察报告、透水混凝土桩复合地基施工图、图纸会审纪要、设计变更单及材料代用通知单等；

2 经审批的施工组织设计、施工方案、技术交底及执行中的变更单；

3 水泥等原材料合格证、见证取样文件及复验报告；

4 混凝土质量检验报告；

5 桩位测量放线图，包括工程桩位线复核签证单；

6 施工记录及隐蔽工程验收文件、桩位编号图；

7 成桩质量检查报告，包括桩顶标高、桩顶平面位置、垂直度偏差检测结果、桩径检查资料、低应变动力检测报告等；

8 褥垫层施工与质量检查记录及汇总，包括褥垫层集料配合比、厚度与顶层标高、夯实施工及夯填度检查记录等；

9 单桩及多桩复合地基承载力和单桩竖向承载力检验报告；

10 工程质量事故及事故调查处理资料；

11 复合地基变形监测点预埋平面布置图，包括监测点保护措施。

附录 A 渗透系数的测试方法

A.0.1 透水混凝土渗透系数的试验装置宜按图 A.0.1 设置。

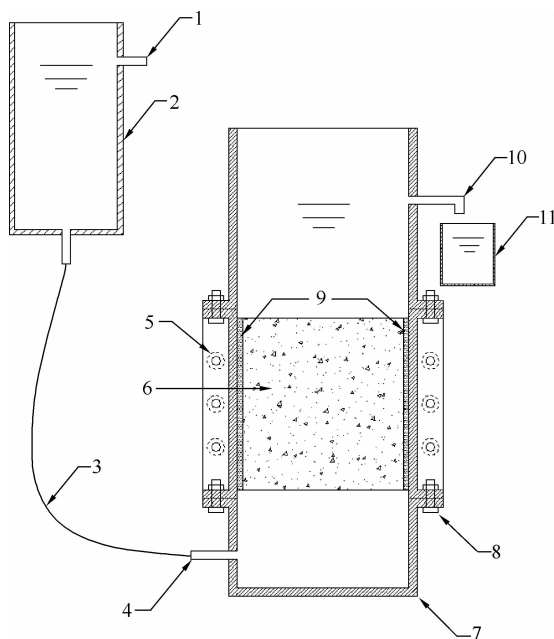


图 A.0.1 渗透系数测试装置

- 1—溢水口；2—储水套筒；3—进水软管；4—进水口；
5—固定件及螺栓；6—透水混凝土试件；7—有机玻璃套筒；
8—法兰连接；9—橡胶垫层；10—溢水口；11—烧杯

A.0.2 试验装备与装置应符合下列要求：

1 有机玻璃套筒：分为上、中、下三节，由法兰螺栓连接；上、下两节分别设置出水口、进水口；中间一节由两个半套筒经固定件及螺栓连接而成。

2 橡胶垫层：设置在试件与套筒之间，防止侧壁渗漏。

A. 0. 3 试验前用黄油或凡士林涂抹试件侧面，以封堵试件表面开口空隙。

A. 0. 4 试验用水应使用无气水，可采用新制备的蒸馏水进行排气处理，试验时水温宜为 $(20 \pm 3)^{\circ}\text{C}$ 。

A. 0. 5 试验宜按下列步骤进行：

1 将一定龄期的试件取出，擦干表面并在侧面涂抹凡士林或黄油，然后敷以柔性橡胶垫层；将试件安装在有机玻璃套筒的中间段，并将固定螺栓拧紧；最后将套筒三部分连接，并用软管与储水套筒连接。

2 将水龙头放在储水套筒上方，打开后先将储水套筒注满，然后让水自下而上灌满试件套筒，同时保持储水套筒和试件套筒都开始溢流；调节储水套筒高度使水位差保持在尽量小的水平，以保证水流处于层流状态；静置数分钟，待水流稳定且气泡排净后开始测试。

3 开启秒表，同时用烧杯接取一定时间 t 的渗流水量 V ，计算单位时间内水的体积流量 Q ；重复试验 3 次，取其平均值；用直尺测定水头损失 Δh 。

A. 0. 6 渗透系数应按下式计算：

$$k = \frac{QL}{A\Delta h} \quad (\text{A. 0. 6})$$

式中： k ——试样的渗透系数 (mm/s)；

Q ——单位试件内水的体积流量 (mm^3)；

L ——试样的长度 (mm)；

A ——试样的断面积 (mm^2)；

Δh ——两个溢水口水平管的水位差 (mm)。

附录 B 施工记录表

工程名称：_____ 施工日期：____年____月____日
设计桩长/桩径：_____m 地坪/桩顶标高：_____m
桩体类型：_____ 桩尖类型：_____ 混合料坍落度：_____mm

施工 序号	桩位 编号	桩入 土深 度 (m)	有效 桩长 (m)	沉管 时间		拔管 时间		投料 量 (m³)	浮浆 高度 (mm)	激振电流 (A/m)					备注
				起	止	起	止			1	2	3	4	5	

施工单位：_____ 施工员：_____ 机长：_____
监理单位：_____ 监理员：_____
第____页 共____页

附录 C 施工前质量检验标准

项目	序号	检查项目	允许偏差或允许值	检验方法
主控项目	1	水泥及外掺剂质量	符合出厂和设计要求	查产品合格证和抽样送检
	2	粗集料含泥量	$\leq 1\%$	现场取样送检
	3	粗集料压碎值	$\leq 16\%$	现场取样送检
一般项目	1	施工机械设备及性能	符合出厂和设计要求	查设备标定记录
	2	桩位放样 (mm)	10	查放线记录
	3	沉管管径 (mm)	± 5	用钢尺量
	4	沉管长度	按设计要求	用钢尺量
	5	桩尖中心线 (mm)	2	用钢尺量
	6	端部倾斜 (mm)	$0.5\%D$	用水平尺量
	7	沉管弯曲 (mm)	$1/1000l$	用钢尺量
	8	褥垫层材料最大粒径 (mm)	≤ 30	现场取样送检

注：1. D 为沉管外径；

2. l 为沉管长度。

附录 D 施工中质量检验标准

项目	序号	检查项目	允许偏差或允许值	检验方法
主控项目	1	水泥用量	按设计要求	查施工记录
	2	混凝土配合比	按施工组织设计要求	查施工记录
	3	混凝土坍落度	按施工组织设计要求	查施工记录
	4	沉管提升速度	按施工组织设计要求	查施工记录
一般项目	1	桩位放样偏差 (mm)	10	用全站仪及钢尺量
	2	单桩灌注量	按施工组织设计要求	查施工记录
	3	单桩灌注时长	按施工组织设计要求	查施工记录
	4	透水混凝土桩垂直度 (%)	1	经纬仪
	5	桩顶标高 (mm)	±50	水准仪
	6	褥垫层每层填料厚度	按施工组织设计要求	查施工记录
	7	褥垫层每层填料压实系数	按施工组织设计要求	查施工记录

附录 E 施工后质量检验标准

项目	序号	检查项目	允许偏差或允许值	检验方法
主控项目	1	桩身混凝土强度	按设计要求	混凝土试块评定法
	2	单桩承载力和复合地基承载力	按设计要求	现场载荷试验
	3	桩位偏差 (mm)	$100+0.005H$	用全站仪及钢尺量
	4	桩身完整性	按设计要求	按本规范
	5	桩数	按设计要求	现场清点
一般项目	1	透水混凝土桩桩径	按设计要求	用钢尺量
	2	桩顶标高 (mm)	± 50	水准仪

注：H 为施工现场地面标高与桩顶设计标高的距离。

附录 F 施工质量验收记录表

工程名称				验收部位	
施工单位				项目经理	
分包单位				分包项目经理	
施工执行标准名称及编号					
施工质量验收的规定				施工单位检查 评定记录	监理（建设） 单位验收记录
主控项目	1	原材料	设计要求		
	2	桩径（mm）	—20		
	3	桩身强度	设计要求		
	4	单桩承载力和复合地基承载力	设计要求		
一般项目	1	桩身完整性	设计与规范要求		
	2	桩位偏差	满堂布桩 $\leq 0.40d$ 条基布桩 $\leq 0.25d$ 单排 $\leq 60\text{mm}$		
	3	桩垂直度（%）	≤ 1		
	4	桩长（mm）	+100		
	5	褥垫层夯填度	0.87~0.9 或设计要求		
施工单位 检查评定 结果		专业工长（施工员）		施工班组长	
		项目专业质量检查员： 年 月 日			
监理（建设） 单位验收 结论		专业监理工程师： （建设单位项目专业技术负责人） 年 月 日			

注：d 为桩体直径（mm）。

本规范用词说明

1 为了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，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应该这样做的用词：

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该这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件可以这样做的用词：

正面词采用“可”；反面词采用“不可”。

2 本规范中指明应按其他有关标准、规范执行的写法为“应按……执行（或采用）”或“应符合……的规定（或要求）”。非必须按指定的标准、规范执行的写法为“可参照……”。

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《复合地基技术规范》GB/T 50783
- 3 《岩土工程勘察设计规范》GB 50021
- 4 《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046
- 5 《建筑施工组织设计规范》GB/T 50502
- 6 《混凝土结构设计规范》GB 50010
- 7 《建筑桩基技术规范》JGJ 94
- 8 《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106
- 9 《建筑地基处理技术规范》JGJ 79
- 10 《建筑变形测量规范》JGJ 8

山东省工程建设标准

透水混凝土桩复合地基技术规范

DB37/T 5124—2018

条文说明

目 次

1	总则	37
2	术语、符号	38
2.1	术语	38
3	基本规定	39
4	设计	42
4.1	一般规定	42
4.2	选型与布置	44
4.4	承载力计算	47
4.5	变形计算	47
4.6	稳定分析	48
5	施工	50
5.1	一般规定	50
5.2	材料选用	51
5.3	施工工艺	54
5.4	施工管理	55
5.5	安全措施	55
6	质量检验与工程验收	56
6.1	一般规定	56
6.2	施工前检验	56
6.3	施工中检验	57
6.4	施工后检验	57
6.5	工程验收	58

1 总 则

1.0.1 近年来,地基处理技术发展很快,特别是复合地基技术,在工程中得到了越来越广泛的应用。其中透水混凝土桩复合地基技术,近年来在山东、河南等黄泛地区得到了广泛应用,但目前尚没有相应的专门规范来指导该种复合地基的设计、施工、检验及验收,故特编制本规范。

1.0.2 透水混凝土桩是由特定级配的集料、水泥、外加剂、增强剂和水按特定比例和工艺制成的多孔混凝土,与普通混凝土不同,透水混凝土主要组成材料仅有少量的细集料或者不含细集料。透水混凝土桩桩体强度高、透水性强,兼具散体桩和刚性桩的优点,一方面在地基一定深度范围内,利用其自身强度提高浅层地基的承载力,减小软土地基的总沉降量;另一方面,形成竖向排水通道,缩短排水路径,有利于压缩层在施工期的排水固结,尽可能多地消除工后沉降;此外透水混凝土桩具有良好的抗震性能,在工业和民用建筑、道路工程、市政工程及园林工程中得到推广应用,并取得了较好的效果。

1.0.3 透水混凝土桩复合地基设计应在充分了解功能要求和掌握必要资料的基础上,通过设计条件的概化,先定性分析,再定量分析,从技术方法的适宜性和有效性、施工的可操控性、质量的可控制性、环境限制和可能产生的负面影响,以及经济性等多方面进行论证,然后选择一个或几个方案,进行必要的设计和验算,通过比较分析,逐步完善设计。

1.0.4 在透水混凝土桩复合地基设计、施工、监理及质量检验与验收中执行本规范的同时,尚应执行《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《复合地基技术规范》GB/T 50783、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等现行规范标准。

2 术语、符号

2.1 术 语

本规范采用的术语、符号以《复合地基技术规范》GB/T 50783—2012、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79—2012 为基础，略做补充和修订。

2.1.1 透水混凝土桩是一种地基排水增强体，在加固地基的同时，可以快速消散超静空隙水压力。由于它兼顾快速排水性和较高强度，用透水混凝土桩取代其他桩体，可以保证在透水性能的前提下，提高桩体的动态抗压和抗拉强度，从而加快由于地震引发的地基内超静空隙水压力的消散，提高地基的整体抗震能力。

2.1.5 本规范中的褥垫层是由级配砂石、粗砂、碎石等散体材料组成的散体垫层，具有保证桩土共同承担荷载、调整桩土荷载分担比、减小基础底面积的应力集中、调整桩土水平荷载分担的作用。

3 基本规定

3.0.1 本条对透水混凝土桩复合地基适用的地基土范围做了明确的规定：

1 适用于地下水位高、地质条件差、建设工期短、质量要求高的高液化土场地路基工程。透水混凝土是由特定级配的集料、水泥及外加剂等原料经特殊成型工艺制成，具有大量贯通性空隙（通常在 5%~30% 并多为直径超过 1mm 的大孔），其渗透系数一般介于 2.0mm/s~5.4mm/s 之间，有的甚至达到 1.2cm/s，因此具有优良的排水特性，对于地下水位高、地质条件差、建设工期短、质量要求高的高液化土场地路基工程，可在施工过程中迅速排出地基内的水，减小工后沉降。

2 处治路基填高的小桥涵及桥头地基。近几年我国大力进行高速公路建设，高速公路路堤一般较高，且桥涵较多，而且常常需要穿越具有不利地基的地段。从已建软土路基上高速公路运行情况看，工后沉降较大，造成比较严重的“桥头跳车”现象。桥涵一般采用桩基础，工后沉降很小，而路堤工后沉降较大，不均匀沉降造成“桥头跳车”。而用透水混凝土桩处治路基填高的小桥涵及桥头地基，可加速土体在施工过程中的排水固结，有效减小工后不均匀沉降。

3 抗震设防区的中等及以上液化土场地。地震过程中，地基内产生的超静孔隙水压力不能及时消散，会造成地基喷砂冒水或沙土流动，导致地基液化。对于抗震设防区的中等及以上液化土场地，采用透水混凝土桩复合地基技术，不仅能够有效抑制地震期间地基内超静孔隙水压力的产生，提高地基土的强度，防止地基发生液化，而且能有效协调地震期间土体的变形，抑制上部建筑共振的发生。

4 较厚的淤泥土层及高灵敏度的淤泥质土层等软土地，标准贯入度试验锤击数 $N \leq 10$ 、密实度为松散的砂性土地，未经处理的欠固结土，有效桩身长范围内有较厚的中等液化、严重液化土层的场地。较厚的淤泥土层及高灵敏度的淤泥质土层等软土地，标准贯入度试验锤击数 $N \leq 10$ 、密实度为松散的砂性土地，未经处理的欠固结土，有效桩身长范围内有较厚的中等液化、严重液化土层的场地，采用透水混凝土桩复合地基，一方面，施工期间可以使地基土快速排水固结，减小工后沉降；另一方面，透水混凝土桩的高承载性能可有效地提高地基的承载能力。

5 无腐蚀性、轻腐蚀性、弱腐蚀场地。特殊情况下，具有中等腐蚀的场地若采用透水混凝土桩复合地基，应进行专门防腐设计，对场地土和地下水含有硫酸盐的腐蚀环境下应用透水混凝土桩，桩身混凝土应优先采用抗硫酸盐硅酸盐水泥，或掺入抗硫酸盐外加剂，或掺加矿物掺合料。对透水混凝土桩中的混凝土有腐蚀作用时所采取的防腐蚀措施，主要是根据《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 的有关规定，并结合透水混凝土桩桩体多孔性的结构特点提出来的。在微腐蚀环境下可不采取防护措施，在弱腐蚀环境下宜采取有效的防护措施，在中腐蚀环境下应根据《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 和本规范的有关规定采取切实有效的防护措施。所采取的抗腐蚀措施应在设计文件中详细说明。

3.0.2 透水混凝土桩桩端承载力不是主要的控制指标，但桩端土层具有较高的承载力既有利于提供较高的桩端阻力，根据桩端硬化效应，又有利于提高透水混凝土桩的侧阻力，有助于减小透水混凝土桩复合地基的变形沉降；需要强调的是，设计选择桩端持力层时，并非要求选择承载力最大土层作为桩端持力层，而需要综合考虑桩长、桩间距、桩数设置与持力层间的相互协作关系，选择场地内承载力相对较高的土层作为持力层即可。

3.0.4 由于复合地基中的底层情况和施工效果等本身存在着差

异性和复杂性的特点，所以对透水混凝土桩复合地基设计技术参数与施工工艺质量控制的要求较高。成桩工艺性试验的目的是：验证地层条件的适应性；确定实际成桩步骤、水灰比、混凝土配合比、混凝土坍落度、沉管提升速度等工艺参数。若没有邻近同类场地的设计与施工经验作参照，在设计阶段进行现场试验或试验性施工，才能使得设计达到科学合理。

3.0.5 为了积累资料，本条规定对所有应用透水混凝土桩复合地基的建（构）筑物均应进行沉降观测，沉降观测应符合现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的有关规定。

3.0.7 透水混凝土桩的耐久性应根据设计使用年限、《混凝土结构设计规范》GB 50010、《建筑桩基设计规范》JGJ 94 的规定执行，也可根据其他相关规范采取更严格的措施。

4 设 计

4.1 一 般 规 定

4.1.1 若基础底面不设置褥垫层，基础直接与桩间土接触，在垂直和水平荷载作用下承载特性与桩基差不多。在给定荷载作用下，桩承受较多荷载，随着时间的增加，桩发生一定的沉降，荷载逐步向土体转移。若桩端落在坚硬土层或岩石上，桩的沉降很小，桩上的荷载转移数量很小，桩间土承载力很少发挥。而在基础下设置一定厚度的褥垫层，由于褥垫层为透水混凝土桩复合地基在受荷载后提供了桩上下刺入的条件，即使桩端落在好的土层上，也可以保证桩间土始终参与工作。

其中，在摩擦型的透水混凝土桩复合地基中，基础底面与透水混凝土桩桩顶之间设置褥垫层，通过桩顶“刺入”褥垫层和褥垫层本身变形调节，以及桩端“刺入”桩端土和桩端以下土层的压缩变形，这些共同协调来达到桩土共同沉降、协同工作；由此充分发挥和利用桩间土的地基承载力，并满足变形需要。

4.1.3 经透水混凝土桩加固处理后，地基承载力和压缩模量将大幅度提高，地基变形也比未处理的地基小，但是，在地基处理的基础设计中，仍应进行地基基础变形验算。

4.1.4 采用透水混凝土桩复合地基的目的就是要尽最大限度发挥桩间土的有效承载力，当采用具有挤密效应的透水混凝土桩施工成桩后，土层的承载能力将有一定程度的提高，为了使得经挤密后的桩间土承载能力能够得到最大限度的合理充分发挥，需要通过检测和进行动态设计调整，以便做到技术可靠、经济合理。

4.1.5 大量的现场试验证明，透水混凝土桩不仅能够显著减小地基的加速度响应，快速消散地震期间地基内产生的超静孔隙水压力，抑制地基液化，而且其桩体强度高，能够有效协调上、下

部土体的变形。可见，透水混凝土桩较其他基础形式具有较好的抗震性能，但设计中应把握三点：一是桩体进入液化土层以下稳定土层的长度不应小于本条规定的最小值；二是建于可能因地震引起上部土层滑动地段的透水混凝土桩，应考虑滑动体对桩产生的附加应力的影响；三是当基础周围为软土和可液化土，且混凝土桩水平承载力不满足要求时，可对外侧土体进行适当加固以提高水平抗力。

4.1.6 坡地、岸边复合地基、基岩面倾斜的复合地基、高路堤等特殊情况下的透水混凝土复合地基应进行整体稳定性验算，验算方法可按照现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 关于稳定性计算的有关规定。

4.1.7 为满足透水混凝土桩复合地基设计的需要，应收集建筑场地与环境条件资料、拟建工程的平面布置、结构类型、荷载分布、使用功能上的特殊要求、结构安全等级、场地类别、桩的施工条件、类似地质条件的试桩资料。

1 岩土工程勘察资料包括：

- 1) 场地桩位布置图、地质剖面图；若有填土，应明确填土材料的成分、粒径组成、有机质含量、厚度及填筑时间；
- 2) 各层土物理力学指标、承载力特征值和孔隙比-压力($e-p$)曲线；
- 3) 标准贯入试验、静力或动力触探试验等原位测试资料；
- 4) 拟建场地的抗震设计条件，应包括建筑场地类别、地基土有无液化的判定；
- 5) 提出选择桩端持力层、沉管可行性及方案建议等。

2 建筑场地与环境条件资料包括：

- 1) 建筑场地现状，包括交通设施、高压架空线、地下管线和地下构筑物的分布；
- 2) 相邻建筑物安全等级、基础形式及埋置深度；
- 3) 附近类似工程地质条件场地的试桩资料和单桩承载力

设计参数；

- 4) 建（构）筑物所在地区的抗震设防烈度和建筑场地类别；
- 5) 周围建（构）筑物的防振、防噪声的要求。

3 建（构）筑物资料包括：

- 1) 建（构）筑物的总平面布置图；
- 2) 建（构）筑物的结构类型、荷载、使用条件和设备对基础竖向及水平位移的要求；
- 3) 建（构）筑结构的安全等级。

4 施工条件的有关资料包括：

- 1) 施工机械设备条件、制桩条件、动力条件、施工工艺对地质条件的适应性；
- 2) 水、电及有关建筑材料的供应条件；
- 3) 施工机械的进出场及现场运行条件。

4.2 选型与布置

4.2.1 本条各款说明如下：

1 近年来，在透水混凝土桩的设计、制作和沉管方面积累了很多宝贵经验，但使用中也出现了一些问题。首先，透水混凝土的坍落度非常小，甚至为零，采用振动沉管法成桩时会遇到投料困难的问题，并容易形成颈缩。其次，施工时的振动会导致水泥浆下沉并堵塞内部空隙，同时在水下环境中水泥浆体因水的浸泡产生离析，从而进一步堵塞空隙，并降低混凝土的强度。鉴于透水混凝土桩在使用中存在的这些问题，本规范建议设计人员选用透水混凝土桩时，应结合工程地质情况、建（构）筑物结构类型、荷载性质、桩的使用功能、沉管设备（静压、锤击）、施工条件、施工经验等经综合分析后选用。

2 复合地基中的竖向增强体一般可分为散体材料桩、柔性桩（或称半刚性桩）和刚性桩，如砂桩和碎石桩为散体桩，水泥土桩为柔性桩，而 CFG 桩和素混凝土桩等都属于刚性桩。碎石

桩等散体桩是透水的，可以加快地基的固结速度，也可以减小砂土或粉土地基的液化势，但作为一种散体材料桩，其刚度和强度低，而且与桩周土的围压有很大关系，浅层桩体易发生膨胀破坏，当应用于软黏土及有机土和泥炭土等地基时，地基承载力提高不大，而且工后沉降大。相反，CFG 桩等刚性桩复合地基，虽然可以满足强度和变形的要求，但因透水性差，地基固结速度慢，不能有效消除液化层的可液化性。透水混凝土桩集快速排水与高承载性的优点。因此，可根据施工工艺和现场性能评价，考虑选用单桩（透水混凝土桩）、并联桩（指透水混凝土桩-碎石桩、透水混凝土桩-水泥土桩等复合桩）、串联桩（指透水混凝土桩-碎石桩等组合桩）等多元复合地基形式。并联桩和串联桩可以充分发挥不同材料桩体的优点，既可以提高复合地基的承载能力，又具备较强的透水性，不仅可以有效减小工后沉降，还能提高地基的抗液化能力。同时通过排水固结作用，可以消除碎石桩、水泥土桩施工引起的工程病害。

4.2.2 本条各款说明如下：

1 对透水混凝土桩布置的规定，目的在于避免不均匀沉降或倾斜。

2 透水混凝土复合地基的单桩进入持力层的深度可以较桩基础中的单桩进入持力层的深度浅一些。但透水混凝土桩复合地基的设计应遵从一般设计原则，进行承载能力极限状态和正常使用极限状态两方面的验算，即满足承载力及沉降要求。

3 考虑透水混凝土桩复合地基受力体系的最优平衡状态，群桩承载力合力点宜与竖向永久荷载合力作用点重合，以减少荷载偏心的不利影响。当桩体受水平力作用时，应使桩体受水平力和力矩较大方向有较大的抗弯截面模量，以增强桩体的水平承载力，减小桩体的倾斜变形。

4 考虑到透水混凝土桩的良好排水性及其易堵塞桩体空隙的特点，在软弱黏性土层场地上大面积布桩时，应合理控制布桩密度，达到最佳的排水效果。

4.2.3 工程实践证明，透水混凝土桩的桩径过小，施工质量不易控制；桩径过大，需加大褥垫层厚度，才能保证桩土共同作用。透水混凝土桩间距的设置与土的挤密性有着直接的关系，在饱和黏性土、砂土、粉土和人工填土等挤密效果好的地基土中采用振动沉管成桩，桩间距取值大于4倍的桩径，则能大幅度提高桩间土的承载力。而在较厚的淤泥土层及高灵敏度的淤泥质土层如饱和软黏土、较密实的砂土和黏土等不可挤（振）密的地基土中不宜采用振动沉管，以防扰动这些地基土，进而产生松弛降低桩间土的承载力。因此，透水混凝土桩的桩径应根据地质条件、土层性质和复合地基承载力的设计需要，综合考虑后确定。

4.2.4 本条各款说明如下：

1 褥垫层材料宜采用中砂、粗砂、碎石或级配良好的砂石等，最大粒径不宜大于30mm、不应大于50mm。不宜选用卵石，由于卵石咬合力差，施工时扰动较大，褥垫层厚度不易保证均匀。

2 大量的现场试验测试结果表明，褥垫层主要起到保证桩、土共同承担荷载，调整桩、土荷载分担比，减小桩顶水平应力集中的作用。要求褥垫层的密实度不宜太高，厚度宜采用150mm～300mm，较有利于桩、土应力分配和应变协调。

3 饱和粉土或砂土地基中设置的透水混凝土桩，在土体内部空隙水压力的作用下，桩体本身就是一个良好的竖向排水通道，将土体内部的水排到褥垫层，经褥垫层将水横向排出。因此，在地基的中心线向两侧设置一定坡度的横向排水坡，有利于排水固结。

4 根据现场工程经验，褥垫层虚铺结束后，要结合其厚度及其分布的面积采取静力压实直到设计所需的厚度，当基础地面桩间土含水量较小时，也可采用动力夯实法。施工机械进行碾压施工时，要避免“橡皮土”以及“翻浆”现象的出现，一旦有出现必须挖掉褥垫层和受扰动的土层，并采取有效措施重新进行处理。

4.4 承载力计算

4.4.1 本规范公式(4.4.1-1)中 β_p 综合反映了复合地基中桩体实际竖向抗压承载力与自由单桩竖向抗压承载力之间的差异,以及复合地基破坏时桩体竖向抗压承载力发挥程度; β_s 综合反映了复合地基中桩间土地基实际承载力与天然地基承载力之间的差异,以及复合地基破坏时桩间土地基承载力发挥程度。

单根桩分担的地基处理面积的等效圆直径 d_e 的具体计算方法如下:对等边三角形布桩, $d_e = 1.05s$;正方形布桩, $d_e = 1.13s$;矩形布桩 $d_e = 1.13\sqrt{s_1 s_2}$,其中 s 、 s_1 、 s_2 分别为桩间距、纵向间距和横向间距。

4.5 变形计算

4.5.1 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_2)计算中,作用在复合地基加固区下卧层顶部的附加压力较难计算。作用在透水混凝土桩复合地基加固区下卧层顶部的附加压力宜采用等效实体法按下列公式计算:

$$p_z = \frac{LBp_0 - (2a_0 + 2b_0)hf}{LB} \quad (1)$$

式中: p_z ——荷载效应标准组合时,软弱下卧层顶面处的附加压力值(kPa);

L ——矩形基础底边的长度(m);

B ——矩形基础或条形基础底边的宽度(m);

p_0 ——复合地基加固区顶部的附加压力(kPa);

a_0 ——基础长度方向桩的外包尺寸(m);

b_0 ——基础宽度方向桩的外包尺寸(m);

h ——复合地基加固区的深度(m);

f ——复合地基加固区桩侧摩阻力(kPa)。

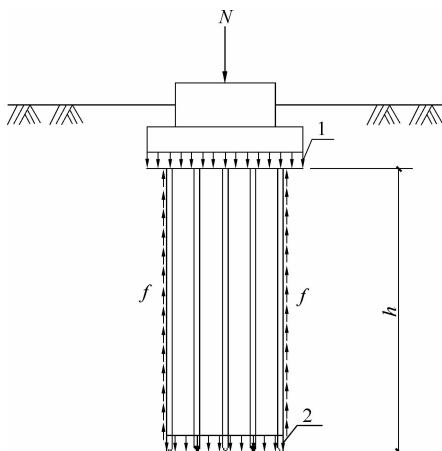


图 1 等效实体法计算

注：1— p_0 ；2— p_z

4.6 稳 定 分 析

4.6.1 复合地基稳定分析中强调采用的稳定分析方法、分析中的计算参数、计算参数的测定方法、稳定性安全系数取值四者应相互匹配非常重要。岩土工程中稳定分析方法很多，所用计算参数也多。以饱和黏性土为例，抗剪强度指标有有效应力指标和总应力指标两类，也可直接测定土的不排水抗剪强度。采用不同试验方法测得的抗剪强度指标值，或不排水抗剪强度值是有差异的。甚至取土器不同也可造成较大差异。对灵敏度较大的软黏土，采用薄壁取土器取样试验得到的抗剪强度指标值比一般取土器取的大 30% 左右。在岩土工程稳定分析中取的安全系数值一般是特定条件下的经验总结。目前不少规程规范，特别是商用岩土工程稳定分析软件中不重视上述四者相匹配的原则，采用再好的岩土工程稳定分析方法也难以取得客观的分析结果，失去进行稳定分析的意义，有时会酿成工程事故，应予以充分重视。

4.6.4 对透水混凝土桩复合地基，最危险滑动面上的总剪切力

可只考虑传至复合地基桩间土地基面上的荷载，最危险滑动面上的总抗剪切力计算中，可只考虑复合地基加固区桩间土和未加固区天然地基土体对抗力的贡献，稳定安全系数可通过综合考虑桩体类型、复合地基置换率、工程地质条件、桩持力层情况等因素确定。稳定分析中没有考虑由透水混凝土桩承担的荷载产生的滑动力和透水混凝土桩抵抗滑动的贡献。由于没有考虑由透水混凝土桩承担的荷载产生的滑动力的效应可能比透水混凝土桩抵抗滑动的贡献要大，稳定分析安全系数应适当提高。

5 施 工

5.1 一 般 规 定

5.1.1 为保证透水混凝土桩复合地基正常施工，施工用的供水、供电、道路、排水、临时房屋等临时设施，必须在开工前准备就绪。建筑场地应平整、密实，无地下和空中障碍物，地基承载力应满足施工机械接地压力的要求。

5.1.4 1. 当周边有浅基构筑物、道路、地下管线时，周边可挖隔振防挤沟，沟深应大于浅基或地下管线埋深，隔振防挤沟与周边构筑物净距不得小于 2.5m；当与煤气管线距离小于 3m 时，宜挖开并架空煤气管道；2. 当周边有深基或桩基构筑物时，宜根据周边构筑物变形监测情况，必要时，在场地与邻近构筑物之间（或桩位上）预钻取土，一般深度为 $1/3$ 桩长，以减小挤土效应；3. 在淤泥土层中施工时，不仅应注意施工桩的质量，也要同时观察邻近桩的桩顶变化，可采取隔桩跳打的措施，以消除超静孔隙水压力。

5.1.6 施工前“试成孔数量不少于 3 个”是考虑到透水混凝土桩复合地基的场地岩土条件差异性、设计计算复杂性和施工质量不确定性等因素，若试成孔数量太少则可能影响代表性。

5.1.7 透水混凝土桩轴线的控制点和水准点应设置在位置稳定、易于长期保存的地方。当有工作基点时，应定期将其与基准点进行联测。

5.1.8 应综合考虑场地地层分布情况、上部结构荷载、拟采用桩参数等，按本规范第 3.0.4 条的要求确定成桩工艺性试验的位置与数量。成桩工艺性试验应详细记录不同时间或深度处对应的施工参数值，并采用开挖、取芯等方法检验成桩质量，为确定相关施工工艺及参数和施工措施提供详尽的资料。

5.1.10 在成桩过程中，加强对邻近构筑物的变形监测，加强对邻近构筑物的直接观察，根据监测结果，在必要时采取其他措施，以确保邻近构筑物的安全。

5.2 材 料 选 用

5.2.1 本条各款说明如下：

1 水泥进场应有产品合格证和出厂检验报告，进场时应对其品种、级别、包裹或散装仓号、出厂日期等进行检查。水泥施工前，对所用的水泥应检验其初凝时间、强度和安定性，不合格的不得使用。当储备不当引起质量明显下降或水泥出厂超过三个月时，应在使用前对其质量进行复检，复检合格方可使用。为了实现透水性与强度的平衡，水泥的用量在刚好包裹住粗集料表面时最佳，一般为 $250\text{kg}/\text{m}^3 \sim 350\text{kg}/\text{m}^3$ 。

2 用于透水混凝土的集料主要是粗集料，有时也会掺入极少量的细集料。粗集料的颗粒级配、比表面积、表面形态等直接决定了透水混凝土的强度、孔隙率、孔隙尺寸、渗透系数等设计参数，从而影响到透水混凝土的物理力学性能。粗集料的颗粒级配是决定透水混凝土强度和透水性的重要因素之一。为保证透水混凝土达到要求的贯通孔隙率，又不会造成孔隙的孔径过大，粗集料最好为单一粒级或间断级配，且最大粒径一般不会超过 25mm。

3 通常会在透水混凝土中掺加一定量的外加剂来改善其性能或达到一定的实际工程工艺要求。比如掺入一定量的减水剂，可以改善新拌透水混凝土的流变性能，不增加用水量而提高和易性；通过加入不同的着色剂，可制备出具有稳定色彩的透水混凝土；冬季施工时还可添加一定量的防冻剂，使透水混凝土能在规定时间内防冻，可在负温条件下凝结硬化达到规定强度。

4 透水混凝土拌和用水所含物质不应影响混凝土的和易性及凝结、不应有损混凝土强度的发展、不应降低混凝土的耐久性。

5.2.2 透水性混凝土配合比设计需要首先确定几个关键参数：粗集料在紧密堆积状态下的空隙率、目标孔隙率及水灰比。

1 粗集料紧密堆积状态下的孔隙率：分别采用容量筒法和吊篮法测得自然状态下粗集料紧密堆积密度 ρ'_0 、集料表观密度 ρ_0 ，继而求得粗集料的空隙率 P 。

2 目标孔隙率：透水混凝土内部孔隙包括闭口孔隙、开口但不连续的“布袋”型孔隙、连续贯通孔隙三种，其中贯通孔隙直接决定了透水混凝土的透水性能，为了提高透水性能应尽量增大贯通孔隙，但孔隙率过大势必会减小透水混凝土的强度。因此，在兼顾强度和透水性的前提下应选取合适的目标孔隙率，考虑到应用中的需要，建议目标孔隙率取 10%~20%。

3 水灰比：大量的现场试验表明，水灰比对透水性混凝土的强度和透水性均有影响，水灰比过大水泥净浆流动度增大，容易从集料表面滑落积聚在试件底部，既不利于贯通孔隙的形成，又降低了强度；水灰比过小净浆流动度降低，不能均匀包裹在集料表面进而影响透水混凝土的强度。为此我们定义了透水混凝土的最佳拌和状态：搅拌完成后呈金属光泽，手攥成团并有少量的水泥浆析出。以最佳拌和状态时水泥净浆的流动度为基准，通过添加外加剂调节不同水灰比下水泥净浆的流动度，使其达到基准流动度。另外，拌和过程中实际需水量会受到集料含水量的影响：若集料处于过干状态，拌和时它本身将额外吸收一部分水，导致实际水灰比的下降及拌和和易性不良。因此，现场必须根据集料自然状态下含水量的情况，调整配料过程中的加水量。考虑到应用中的需要，建议水灰比取值为 0.36~0.40。

5.2.3 本规范所采用的配合比设计方法类似于碾压混凝土的填充包裹理论：一方面，砂的空隙恰好被水泥浆所填充；另一方面，石子的空隙又恰好被砂浆所填充，凝固后形成坚固的密实整体。在透水混凝土设计中，可将这一理论理解为：水泥等胶结材料均匀地包裹在处于紧密堆积条件下的粗集料表面，彼此接触、黏结、凝固，形成有效的黏结作用，结构中的空隙不会被完全填

充，继而形成具有贯通性空隙的结构。

透水混凝土配合比的设计宜按下列流程进行：

- 1 以目标孔隙率、堆积密度、初选水灰比（W/C）为参数，拌制透水混凝土；
- 2 选择透水混凝土最佳的拌和状态，确定最佳拌和状态时的水灰比（W/C）；
- 3 以最佳水灰比（W/C）拌制的水泥净浆，确定标准流动度；
- 4 对不同水灰比（W/C）的水泥净浆，添加减水剂使其达到标准流动度，以确定不同水灰比（W/C）时的减水剂用量；
- 5 以既有配合比和达到标准流动度的减水剂掺量配制透水混凝土，成型混凝土试件并养护；
- 6 测试试件的抗压强度、抗折强度、孔隙率以及渗透系数，确定最佳配合比。

5.2.4 透水混凝土初步设计配合比进行现场施工时，若发现材料的和易性较差，则会影响施工效率与工程质量。为使透水混凝土具有更好的和易性，结合大量的现场施工经验，建议在不同水泥的情况下单位体积的透水混凝土配合比指标，如表 1、表 2 所示。

1 对于矿渣水泥，建议配比如下表：

表 1

水泥 (kg/m³)	水 (kg/m³)	集料 (kg/m³)	萘系高效减水剂 (kg/m³)	三乙醇胺早强剂 (kg/m³)	聚丙烯酰胺 (kg/m³)
325	123	1585	3.9	0.2	3.9(调)

2 对于普通水泥，建议配比如下表：

表 2

水泥 (kg/m³)	水 (kg/m³)	集料 (kg/m³)	萘系高效减水剂 (kg/m³)	三乙醇胺早强剂 (kg/m³)	聚丙烯酰胺 (kg/m³)	微硅灰 (kg/m³)
325	123	1585	3.9	0.2	3.9(调)	16.3(调)

5.2.5 孔隙率是表征透水混凝土材料排水性能的重要指标，其性能直接关系到透水混凝土的排水能力和材料的强度模量等力学性能，在采用量体积法测试透水混凝土试样的孔隙率时，应用游标卡尺量取试样的直径和高度，每个数据各量 3 次以上取均值。

5.3 施工工艺

5.3.2 振动沉管灌注桩施工过程中，振动产生的振动波以弹性波方式在周围土体内传播，振动力和侧向挤土作用易把初凝的邻桩振断或拉断，且在软硬交界的土层最易发生。为了避免施工对相邻已成桩质量产生不利影响而采用间隔一根或多根桩施工的方式，即隔桩跳打法。

5.3.3 在机台上设置沉管垂直度的标尺是为了让沉管操作人员能够及时了解沉管的垂直度，并且要求有能够呈现相互垂直的两个方向的垂直度的标尺，以便及时掌握、调整垂直度。

5.3.4 单打法（又称一次拔管法）：一次将沉管沉入设计标高，进行灌注混凝土，拔管时每提升 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ ，振动 $5\text{s}\sim 10\text{s}$ ，然后再拔管 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ ，如此反复至全部拔出。在一般土层内拔管速度应控制在 $1.2\text{m}/\text{min}\sim 1.5\text{m}/\text{min}$ 。在较软弱土层中，不得大于 $0.6\text{m}/\text{min}\sim 0.8\text{m}/\text{min}$ 。

复打法：一次将沉管沉入到设计标高，进行灌注混凝土，将沉管上拔至地面后，二次将沉管下沉到设计标高，或局部进行二次下沉，然后进行补灌混凝土，后提升，振动，反复至全部拔出。当采用复打法施工时，应保证前后两次沉管轴线重合。

反插法：一次将沉管沉入到设计标高，在沉管内灌满混凝土，先振动再开始拔管，沉管每提升 $0.5\text{m}\sim 1.0\text{m}$ ，再向下反插 $0.3\text{m}\sim 0.5\text{m}$ ，反复进行，直至沉管拔出。在拔管过程中应分段添加混凝土，保持管内混凝土面始终不低于地表面，或高于地下水位 $1.0\text{m}\sim 1.5\text{m}$ ，并应控制拔管速度不得大于 $0.5\text{m}/\text{min}$ 。反插法能使桩的截面增大，从而提高桩的承载能力，宜在较差的软土地基上应用。

5.3.11 褥垫层施工前，桩间的浮（松）土必须清理干净。褥垫层应设在同一标高上，如深度不同，可挖成退台状或斜坡搭接，搭接处应充分夯实，并按先深后浅，依次进行。分段施工时，接头处应做成斜坡，每层错开 0.5m~1m。除此，褥垫层的铺设应按本规范第 5.3.3 条的规定执行。

5.4 施 工 管 理

5.4.1 成孔前应按透水混凝土桩平面布置图，采用经纬仪和钢尺测放桩位，严格按照设计布桩图放线布点，并及时校核孔位。

5.4.2 施工时应设置专门的生产指挥人员、质量检验人员，确保挖孔、成桩、检验依次进行而不互相干扰，使其有序流畅，并根据工作面及时增减人员和设备。

5.5 安 全 措 施

5.5.8 加强用电安全管理，电工必须持证上岗，现场设备必须具有接地装置，做到一机一闸一保险和三级漏电保护，严禁私自拉接照明线路，现场实行轮流值班制，便于及时处理突发事件。

5.5.9 应根据施工现场的设备噪声等常见环境因素，制定现场环境保护的控制措施。做好水泥运输过程中的防散落与沿途污染措施；施工场地和运输道路要定期清扫，保持整洁卫生，防治扬尘；采取措施降低施工噪声，尽量减轻噪声扰民。

6 质量检验与工程验收

6.1 一般规定

6.1.1 影响透水混凝土桩单桩承载力和桩身完整性的因素存在于施工的全过程中，仅有施工后的检验和验收是不全面、不完整的。如施工过程中出现的局部地质条件与岩土工程勘察报告不符、工程桩施工参数与成桩工艺性试验确定的参数不同、原材料发生变化、设计变更、施工单位变更等情况，都可能产生质量隐患，因此，加强施工过程中的检验是有必要的，应按不同施工阶段对透水混凝土桩进行检验。

6.1.3 参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定，本条给出了透水混凝土桩质量检验的主控项目，如水泥及外掺剂质量、水泥用量、桩数、桩位偏差、桩身混凝土强度、桩身完整性和单桩承载力。

6.1.5 不同的检验批，主控项目和一般项目不同。主控项目是指建筑工程中对安全、节能、环境保护和主要使用功能起决定性作用的检验项目；一般项目是指除主控项目以外的检验项目。主控项目是对检验批的基本质量起决定性影响的检验项目，要求全部合格；一般项目要求合格率达到 80% 以上。

6.2 施工前检验

6.2.3 参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 94 的相关规定执行。

桩位放样指的是施工前按照本规范第 5.3.1 条的要求根据透水混凝土桩复合地基桩位平面布置图在施工现场进行的桩位放样。

6.3 施工中检验

6.3.1 采用慢速维持荷载法对复合地基承载力进行检验时,除了符合本规范的要求外,还应按国家现行标准《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 中附录 A 处理后地基静载荷试验要点的有关规定执行。

6.3.2 参照国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 中施工质量检验项目及检验标准,便于在施工期间查明施工参数、工艺方法等是否满足设计要求而开展自检工作。当发现某些指标达不到设计要求时,需要及时采取相应措施,使透水混凝土桩施工质量达到设计要求。

6.3.7 施工过程中要求按单桩进行检验有助于问题得到及时的处理。经监理单位确认后报设计单位进行处理的方法有多种,可通过桩身完整性或单桩竖向承载力的验证检测;也可以通过有效手段证明确实需要调整施工工艺参数来解决;或通过设计复核计算;对于不合格的桩采取补桩等措施。

6.4 施工后检验

6.4.1 按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》GB 50202、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定,应对施工完成后的工程桩进行桩身完整性和竖向承载力检验。桩身完整性与桩体承载力密切相关,桩身完整性有时会严重影响桩体承载力,桩身完整性检测的抽样率较高,费用较低,通过检测可减少桩身安全隐患,并可为判定桩体承载力提供参考。

6.4.2 桩身完整性检验应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 中的有关规定执行。对不做静载试验的桩体进行钻芯检测,钻芯应在成桩 28d 后进行,观察成桩质量,并可同时进行混凝土强度及透水性的测定。

6.4.5 单桩竖向抗压静载试验方法应按现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 的有关规定执行，其中桩头处理方法、刚性承压板尺寸大小及单桩竖向承载力取值方法是已有透水混凝土桩工程检测经验的总结。

6.5 工 程 验 收

6.5.1~6.5.3 透水混凝土桩复合地基施工完毕后，应根据施工单位提供的、经现场监理签认的全部竣工资料和现场检查情况，由甲方组织有关单位对工程进行验收，验收合格后，签署工程验收报告。工程验收除应符合本规范的有关规定外，尚应符合当地主管部门关于工程验收及国家现行标准《建筑地基基础工程质量验收规范》GB 50202、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的有关规定。