

**DB13**

**河 北 省 地 方 标 准**

DB 13/T 2699—2018

---

**水利工程液化地基处理技术规程**

2018-03-13 发布

2018-04-13 实施

河北省质量技术监督局 发布

## 目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 基本规定	2
5 换填垫层	3
6 夯实地基	4
7 压重	5
8 复合地基	6
9 围封	7

## 前 言

本标准共9章，根据河北省质量技术监督局《关于下达2016年度河北省地方标准制修订项目计划（第二批）的通知》要求编写，按照《标准化工作导则》GB/T 1.1-2009的有关规则，结合水利、建筑、市政等行业的相关标准，经大量的调查、验证，编制完成。

本标准由河北省水利厅提出。

本标准由河北省水利厅归口。

本标准起草单位：河北省水利水电第二勘测设计研究院。

本标准主要起草人：李书群、韩胜杰、姬宏奎、马述江、郭绍艾、刘树玉、鲁虎成、耿运生、杨锋、吴宏军、邱丁初、刘立雪、陈宝玉。

# 水利工程液化地基处理技术规程

## 1 范围

本标准规定了术语与定义、基本要求、换填垫层、夯实地基、压重、复合地基、围封施工与质量要求。

本标准适用于河北省水利工程液化地基处理的设计、施工和质量检验。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 18306 中国地震动参数区划图
- GB 50011 建筑抗震设计规范
- GB 50290 土工合成材料应用技术规范
- GB 50487 水利水电工程地质勘察规范
- SL 203 水工建筑物抗震设计规范
- NB 35047 水电工程水工建筑物抗震设计规范
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- JGJ 135 载体桩设计规程

## 3 术语和定义

下列术语与定义适用于本文件。

### 3.1

#### 液化地基处理 Liquefaction ground treatment

对液化地基进行处理，改善其抗地震及其它振动液化稳定性采取的技术措施。

### 3.2

#### 换填垫层 replacement layer of compacted fill

挖除一定范围内的液化土层，回填其他性能稳定、无侵蚀性、强度较高的材料，并夯压密实形成的垫层。

### 3.3

#### 夯实地基 rammed foundation

反复将夯实锤提到高处使其自由落下，给地基以冲击和振动能量，将地基土密实处理或在夯实点填料置换形成密实墩体的地基。

### 3.4

#### 复合地基 composite foundation

部分土体被增强或被置换，形成的由地基土和增强体共同承担荷载的人工地基。

3.5

**砂石桩复合地基 sand-gravel columns composite foundation**

将碎石、砂或砂石混合料挤压入钻孔中，形成密实砂石增强体的复合地基。

3.6

**柱锤冲扩桩（夯实桩）复合地基 composite foundation with impact displacement columns (ram-compaction piles)**

用柱锤冲击法或螺旋钻法成孔并分层夯实填料形成增强体的复合地基。

## 4 基本规定

### 4.1 场区地质勘察及地基土层液化判别，应满足下列要求：

- a) 查明地基土层分布及其物理力学特性；
- b) 查明地下水位，预测工程运营期最高地下水位；
- c) 进行环境水、土腐蚀性分析及评价；
- d) 进行土层地震液化判别，给出液化土层范围，分析其危害程度。

饱和（或预测饱和）砂土和少粘性土地震液化判别，应按照GB50487的规定进行，对实测标准贯入锤击数的校正可采用NB 35047中的方法。判别可能液化土层宜按照现行国家标准GB 50011计算液化指数，综合划分地基液化等级。液化指数计算公式中的标贯击数实测值应使用经地下水位、埋深校正后的数值。

### 4.2 选择地基处理方案前，应完成下列工作：

- a) 搜集详细的岩土工程勘察资料、上部结构及基础设计资料等；
- b) 结合工程情况，了解当地地基处理经验和施工条件，对有特殊要求的工程，尚应了解其他地区相似场地上同类工程的地基处理经验和使用情况等；
- c) 调查邻近建筑、地下工程和有关管线等情况，了解工程区周边环境情况；
- d) 根据工程要求和天然地基存在的主要问题，确定地基处理目的和处理后达到的各项技术经济指标等。

### 4.3 选择液化地基处理方案时，应考虑上部结构、基础和地基的共同作用，进行多种方案的技术经济比较，结合建筑物地基承载力、变形、渗透稳定性、结构稳定性等要求，选用地基处理方案或采取加强上部结构与处理地基相结合的方案。

### 4.4 地基抗液化措施宜按表 1 选用。

### 4.5 对已选定的液化地基处理方法，宜按水工建筑物抗震设防类别和场地复杂程度以及该种地基处理方法在本地区使用的成熟程度，选择有代表性的场地进行相应的现场试验或试验性施工，并进行必要的测试，以检验设计参数和处理效果。如达不到设计要求时，应查明原因，修改设计参数或调整地基处理方案。

### 4.6 地基处理所采用的材料，应根据建筑物级别，满足有关标准对耐久性设计和使用的要求。

### 4.7 地基处理施工中应进行质量控制和监测，并做好施工记录；当出现异常情况时，必须及时会同有关部门妥善解决。施工结束后应按国家有关规定进行工程质量检验和验收。

4.8 挤密地基、灌注桩、旋喷桩、预压地基等液化地基处理方法按相关规范执行。

表 1 抗液化措施

工程抗震设防类别	地基的液化等级		
	轻微	中等	严重
甲	全部消除液化沉陷	全部消除液化沉陷	全部消除液化沉陷
乙	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理	全部消除液化沉陷	全部消除液化沉陷
丙	基础和上部结构处理，或部分消除液化沉陷，或更高要求的措施	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理
丁 (壅水)	基础和上部结构处理，或更高要求的措施	基础和上部结构处理，或部分消除液化沉陷，或更高要求的措施	全部消除液化沉陷，或部分消除液化沉陷且对基础和上部结构处理
丁 (非壅水/短期壅水)	可不采取措施	基础和上部结构处理，或更高要求的措施	基础和上部结构处理或部分消除液化沉陷，或其他经济的措施

注 1：工程抗震设防类别按行业标准 SL 203 确定。  
注 2：对于较为重要的抗震设防类别为丙类、丁类的水工建筑物，经论证可提高一级选择抗液化措施。  
注 3：堤防工程应按行业标准《堤防工程设计规范》GB 50286 规定执行。  
注 4：土石坝、重力坝、拱坝抗液化措施按相关规范执行。

## 5 换填垫层

### 5.1 一般规定

5.1.1 换填垫层法适用于浅层液化土层的地基处理。

5.1.2 应根据建筑物级别及抗震设防类别、水工建筑物体型、结构特点、荷载性质、场地条件、施工机械设备及填料性质和来源等综合分析后，进行换填垫层的设计，并选择施工方法。

5.1.3 应按所选用的施工机械、换填材料及场地条件进行现场试验，确定换填垫层压实效果和施工质量控制标准。

5.1.4 换填垫层的厚度应根据置换土层的深度确定，厚度宜为 0.5m~3.0m。

### 5.2 设计

5.2.1 垫层材料的选用应符合下列要求：

- a) 砂石。宜选用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂或石屑，应级配良好，不含植物残体、垃圾等杂质。砂石的最大粒径宜通过现场碾压试验确定，但不宜大于150mm或铺土厚度的2/3，填筑时不得发生粗料集中架空现象；
- b) 壤土。土料中有机质含量不得超过5%，且不得含有冻土或膨胀土。当含有碎石时，其粒径不宜大于50mm。有防渗要求时，尚应满足相关标准规定；
- c) 灰土。体积配合比宜为2:8或3:7。宜选用新鲜的消石灰，其粒径不得大于5mm。土料宜用壤土，不宜使用块状粘土，且不得含有松软杂质，土料应过筛且最大土块粒径不得大于15mm；
- d) 水泥土。水泥宜选用强度等级P.042.5及以上的硅酸盐水泥或普通硅酸盐水泥等，质量配合比宜通过现场试验确定，初步设计时可采用3%~6%。土料宜用壤土，不宜使用块状粘土，且不得含有松软杂质，土料应过筛且最大土块粒径不得大于15mm；
- e) 碎(砾)石土。土料宜用壤土，粘粒含量宜为15%~30%，不得含有松软杂质，土料应过筛且最大土块粒径不得大于15mm；碎(砾)石含量宜为40%~60%（按质量计），碎(砾)石粒径宜为5mm~20mm；
- f) 粉煤灰、矿渣、其它工业废渣等。应经场地地下水和土壤环境的不良影响评价合格后方可使用；
- g) 土工合成材料。所选用土工合成材料的品种与性能及填料，应根据工程特性和地基土质条件，按照现行国家标准GB 50290的要求，通过设计计算并进行现场试验后确定。土工合成材料应采用抗拉强度高、耐久性好、抗腐蚀的土工带、土工格栅、土工格室、土工垫或土工织物等土工合成材料。垫层填料宜用碎石、角砾等，且不宜含氯化钙、碳酸钠、硫化物等化学物质。当工程要求垫层具有排水功能时，垫层材料应具有良好的透水性。

**5.2.2** 垫层的厚度及底面宽度应根据需置换液化土层的深度和下卧土层的承载力确定，并应符合JGJ 79的规定。

**5.2.3** 换填垫层压实效果应根据地基土质条件及选用的垫层材料等进行现场试验验证。垫层应分层压实，压实标准满足相应规范要求。

### 5.3 施工与质量检验

垫层施工方法及要求、质量检验方法及要求按JGJ 79相关规定执行。

## 6 夯实地基

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 分为强夯和强夯置换处理地基。强夯法适用于碎石类土、砂土、粉土等液化地基处理。强夯置换适用于高饱和度的粉土等可液化地基。

**6.1.2** 强夯和强夯置换施工前，应在施工现场有代表性的场地上选取一个或几个试验区，进行试夯或试验性施工。每个试验区面积不宜小于20m×20m，试验区数量应根据建筑场地复杂程度、建筑规模及建筑类型确定。

**6.1.3** 场地地下水位影响施工或夯实效果时，应采取降水或其他技术措施进行处理。

**6.1.4** 强夯置换法处理地基，必须通过现场试验确定其适用性和处理效果。

### 6.2 设计

**6.2.1** 强夯处理范围应大于建筑物基础范围,每边超出基础外缘的宽度不应小于基底以下设计处理深度的1/2,且不应小于5m。

**6.2.2** 强夯的有效加固深度和强夯置换墩的深度由液化土层的土质及分布条件决定,应根据现场试夯或地区经验确定,深度一般不宜超过10m。在缺少试验资料或经验时,可按表2进行预估。

**表2 强夯的有效加固深度** 单位为米

单击夯击能E(kN·m)	碎石土、砂土等粗颗粒土	粉土、粉质粘土等细颗粒土
1000	4.0~5.0	3.0~4.0
2000	5.0~6.0	4.0~5.0
3000	6.0~7.0	5.0~6.0
4000	7.0~8.0	6.0~7.0
5000	8.0~8.5	7.0~7.5
6000	8.5~9.0	7.5~8.0
8000	9.0~9.5	8.0~8.5
10000	9.5~10.0	8.5~9.0
12000	10.0~11.0	9.0~10.0

注:强夯法的有效加固深度应从最初起夯面算起;单击夯击能E大于12000kN·m时,强夯的有效加固深度应通过试验确定。

**6.2.3** 强夯和强夯置换的设计其他规定按JGJ 79中相关要求执行。

**6.2.4** 现场试夯结束后,对试夯场地进行消除液化判别,检验强夯效果,确定工程采用的各项强夯参数。

### 6.3 施工与质量检验

**6.3.1** 施工时应在50m范围外设置警戒标志,以防夯击时飞石伤人;强夯引起的振动对邻近建(构)筑物可能产生影响时,应进行振动监测,必要时应采取隔振或减振措施。

**6.3.2** 夯实地基施工方法及要求按JGJ 79相关规定执行。

**6.3.3** 处理后地基应按本标准第4.1条要求进行地震液化判别,评价是否消除液化,且应满足JGJ 79的相关规定。

## 7 压重

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 应根据水工建筑物级别及抗震设防类别、建筑体型、结构特点、液化土层情况、场地条件、施工机械设备及压重料性质和来源等综合分析后,进行压重层设计,并选择合适的施工方法。

**7.1.2** 对于地层复杂或者其他因素需消除地基液化时,压重可与排水桩等其它措施同时采用。

### 7.2 设计

7.2.1 压重范围、厚度应根据液化土层分布、层厚及埋深确定。压重平台坡顶宽度一般取压重体厚度的2~3倍，或超出基础边缘宽度为液化土层埋深1~2倍。压重厚度可参考类似工程经验或计算确定。

7.2.2 压重料粒径范围应通过试验或参考以往工程经验确定。

7.2.3 压重体边坡应根据计算确定。压重体填筑设计应同时满足透水性要求。

### 7.3 施工与质量检验

压重施工方法及要求、检验方法及要求按本标准第5.3节要求执行。

## 8 复合地基

### 8.1 一般规定

8.1.1 复合地基设计在满足消除地基液化的同时，应同时满足建筑物承载力和变形要求，设计时应综合考虑土体的特殊性质选用适当的增强体和施工工艺。

8.1.2 复合地基设计应在有代表性的场地上进行现场试验或试验性施工，并进行必要的检测，以确定设计参数和处理效果。

8.1.3 部分消除液化地基，处理土层应全部消除地基液化。

### 8.2 振冲碎石桩和沉管砂石桩复合地基

8.2.1 砂石桩复合地基处理应符合下列规定：

- a) 根据成孔的方式不同可分为振冲法、振动沉管法等，根据桩体材料可分为碎石桩、砂石桩和砂桩。碎石桩、砂石桩施工可采用振冲法或振动沉管法，砂桩施工可采用振动沉管法；
- b) 砂石桩复合地基适用于处理松散砂土、砂壤土等可液化土地基；
- c) 不加填料振冲挤密法适用于处理粘粒含量不大于10%的中砂、粗砂地基，在初步设计阶段宜进行现场工艺试验，确定不加填料振密的可行性，确定孔距、振密电流值、振冲水压力、振后砂层的物理力学指标等施工参数；30kW振冲器振密深度不宜超过7m，75kW振冲器振密深度不宜超过15m。

8.2.2 振冲碎石桩、沉管砂石桩复合地基设计应符合下列规定：

- a) 处理范围在基础外缘扩大宽度不应小于基底下可液化土层厚度的1/2，且不应小于5m；
- b) 桩位布置可采用梅花形、等边三角形、正方形、矩形布桩；
- c) 桩径应根据地基土质情况、成桩方式和成桩设备等因素确定，其平均直径可按每根桩所用填料量计算。对采用振冲法成孔的碎石桩，直径宜采用800~1200mm，当采用振动沉管法成桩时，直径宜采用300~600mm；
- d) 桩的间距应通过现场试验确定，并应符合下列规定：
  - 1) 振冲碎石桩的间距应根据上部结构荷载大小和场地土层情况，并结合所采用的振冲器功率大小综合考虑。30kW振冲器布桩间距可采用1.3~2.0m；55kW振冲器布桩间距可采用1.4~2.5m；75kW振冲器布桩间距可采用1.5~3.0m。荷载大或砂壤土地基宜采用较小的间距，荷载小或砂土地基可采用较大的间距；

- 2) 沉管砂石桩的间距, 对粉土和砂土地基, 不宜大于桩直径的 4.5 倍。初步设计时, 桩的间距也可按 JGJ79 的相关规定进行估算。
- e) 桩长可根据工程要求和可液化土层性质确定, 砂石桩桩长应按现行行业标准 SL 203 的有关规定采用, 桩长应按要求的抗震处理深度确定, 且桩长不宜小于 4m;
- f) 振冲桩桩体材料可用含泥量不大于 5% 的碎石、卵石、矿渣或其他性能稳定的硬质材料, 不宜使用风化易碎的石料。常用的填料粒径为: 30kW 振冲器 20~80mm; 55kW 振冲器 30~100mm; 75kW 振冲器 40~150mm。振动沉管法桩体材料可用碎石、卵石、角砾、圆砾、砾砂、粗砂、中砂或石屑等硬质材料, 含泥量不得大于 5%, 最大粒径不宜大于 50mm;
- g) 在桩顶和基础之间宜铺设一层厚度为 300~500mm 的砂石、碎石土或水泥土垫层;

#### 8.2.3 振冲碎石桩的施工方法及要求按 JGJ 79 的相关规定执行。

8.2.4 砂、碎石桩复合地基的检测与检验除应按本标准第 4.1 条的规定进行液化判别外, 尚应满足 JGJ 79 的相关规定。

### 8.3 柱锤冲扩桩(夯扩桩)复合地基

#### 8.3.1 柱锤冲扩桩(夯扩桩)复合地基设计应符合下列规定:

- a) 处理范围应大于基底面积, 在基础外缘应扩大 1~3 排桩, 并不应小于基底下处理土层厚度的 1/2, 且不应小于 5m;
- b) 桩位可采用正方形、等边三角形布置。常用桩距为 1.2~2.5m, 或取桩径的 2~3 倍;
- c) 桩径可取 500~800mm, 桩孔内填料量应通过现场试验确定;
- d) 处理深度应按现行国家标准 GB 50011 的有关规定确定。桩端深入液化深度以下稳定土层中的长度(不包括桩尖部分), 应按计算确定, 且对碎石土, 砾、粗、中砂, 坚硬粘砂壤土尚不应小于 0.8m, 对其他非岩石土尚不宜小于 1.5m;
- e) 在桩顶部应铺设 300~500mm 厚级配砂石、碎石土或水泥土垫层, 碎石土和水泥土垫层压实度不小于 93%, 级配砂石垫层相对密度不小于 0.75;
- f) 桩体材料可采用碎砖三合土、级配砂石、矿渣、水泥土、水泥混合土、干硬性混凝土等, 应经试验确定其适用性和配合比, 并应满足地基渗透稳定和承载力的要求;
- g) 复合地基承载力特征值应通过现场复合地基静载荷试验确定, 初步设计时, 可按 JGJ 79 的相关规定估算。

#### 8.3.2 柱锤冲扩桩(夯扩桩)复合地基的施工方法及要求按 JGJ 79 相关规定执行。

8.3.3 柱锤冲扩桩(夯扩桩)复合地基的质量检验除应按本标准第 4.1 条的规定进行液化判别外, 尚应满足 JGJ 79 的规定。

## 9 围封

### 9.1 一般规定

9.1.1 处理液化地基的围封墙体可选择地下连续墙、沉模板墙、水泥土搅拌桩、旋喷桩等有成熟经验的工艺。

9.1.2 应首先确定围封墙体的型式及施工工艺, 并在有代表性场地上进行现场试验或试验性施工, 确定处理方案。

## 9.2 设计

### 9.2.1 围封墙体的平面布置

- a) 宜布置在基础外围 0.5m 左右，也可结合上部荷载布置在水工建筑物基础轮廓线内。
- b) 当采用桩体成墙时，可采用双排桩交错布置、格栅式布置等，应保证墙体可靠、内部土体封闭。

9.2.2 围封墙体应当穿透液化土层，应进入相对密实的非液化土层 0.5m~1.5m。

9.2.3 围封处理后的地基承载力及变形应按现行有关标准计算确定。

9.2.4 复合地基材料围封设计应满足所选地基处理工艺设计要求，成墙厚度不宜小于 400mm，纵横墙体节点应可靠并向外延伸不小于 500mm。

9.2.5 混凝土连续墙设计墙体强度应满足地震作用下各种不利荷载组合作用，以及地震时在上部附加压力作用下土体产生的横向变形。

## 9.3 施工与质量检验

9.3.1 应根据所选成墙工艺按照相关规范执行。

9.3.2 围封质量检验应按所选工艺的有关规范进行并检查墙体的整体性情况，可采用钻孔取芯、地质雷达、超声波或开挖检查等方法。