

DB 37

山东省地方标准

DB XX/T XXXX—XXXX

黄泛区浆喷桩复合地基技术规范

Technical specifications of composite foundation of cement slurry deep mixing pile in the Yellow River flooding area

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

山东省市场监督管理局 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 总体要求	2
5 设计	2
5.1 通用要求	2
5.2 材料设计	3
5.3 结构设计	3
6 施工	5
6.1 通用要求	5
6.2 施工机具要求	5
6.3 成桩试验	6
6.4 施工要求	6
7 质量检测和验收	7
7.1 施工检测与监测	7
7.2 施工质量检验与验收	错误！未定义书签。

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由山东省交通运输厅提出并组织实施。

本文件由山东省交通运输标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：山东高速济南绕城西线公路有限公司、山东大学、山东高速建设管理集团有限公司、山东高速集团有限公司创新研究院、齐鲁高速公路股份有限公司、山东省交通规划设计院集团有限公司、山东省机械施工有限公司。

本文件主要起草人：岳宏智 姚占勇 周昆 路本升 王扬 赵林 姚凯 毕玉峰 辛公峰 王小华 周广泉 冯维哲 许超 刘杉 李本鹏 张钰赫 蒋红光 梁明 张吉哲 周冲 荣玉 王凯。

黄泛区浆喷桩复合地基技术规范

1 范围

本文件规定了黄泛区浆喷桩复合地基的设计、施工、质量检测和验收的基本要求，并描述了相应的证实方法。

本文件适用于黄泛区新建和改（扩）建公路地基加固工程。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 175 通用硅酸盐水泥
- GB 8076 混凝土外加剂
- GB/T 50783 复合地基技术规范
- JGJ 63 混凝土用水标准
- JGJ 79 建筑地基处理技术规范
- JGJ/T 233 水泥土配合比设计规程
- JTG C20 公路工程地质勘察规范
- JTG D30 公路路基设计规范
- JTG/T D31-02 公路软土地基路堤设计与施工技术细则
- JTG/T L11 高速公路改扩建设计细则
- JTG/T 3610 公路路基施工技术规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

浆喷桩 cement slurry deep mixing pile

以水泥作为主要固化材料，用具有钻进、回转、喷浆与搅拌功能的机械，在软弱土地基中将土与水泥浆液混合搅拌制成的、具有一定深度和强度的竖向增强桩体。

注：根据竖向桩径变化，分为等截面高压浆喷桩和变截面高压浆喷桩。

3.2

等截面高压浆喷桩 uniform section high-pressure cement slurry deep mixing pile

通过钻头喷浆口，以5 MPa~20 MPa的浆压水平向喷射水泥等胶凝材料浆液，并与地基土强制搅拌形成上下等直径的浆喷桩。

3.3

变截面高压浆喷桩 variable section high-pressure cement slurry deep mixing pile

通过调控喷浆压力、提升速度等工艺参数，以5 MPa~20 MPa的浆压水平向喷射水泥等胶凝材料浆液，形成上部桩体直径扩大的浆喷桩。

注1：变截面高压浆喷桩由上部扩大桩体和下部桩体组成。

注2：按上部桩体结构，分为变截面实体桩、变截面筒桩。

3.4

变截面高压浆喷桩上部扩大桩体 upper enlarged pile section of the variable section high-pressure cement slurry deep mixing pile

变截面浆喷桩上部扩大直径的桩段。

注：简称“上部扩大桩体”。

3.5

变截面实体桩 variable solid-section cement slurry deep mixing pile

上部扩大桩体段筒壁与筒芯均为水泥土的变截面高压浆喷桩。

3.6

变截面筒桩 variable tubular-section cement slurry deep mixing pile

上部扩大桩体段筒壁为水泥土、筒芯为土体的筒状结构变截面高压浆喷桩。

4 总体要求

4.1 浆喷桩适用于黄泛区的粉土、粉砂、粉质黏土（硬塑、可塑、软塑）、黏土（可塑、软塑），以及素填土、杂填土等土层。有机质含量大于10%，以及含较大孤石或障碍物较多且不易清除的地基，不宜采用浆喷桩复合地基处理方法。

4.2 黄泛区浆喷桩复合地基设计前，应调查收集沿线地形地貌、构造物和地下埋设物等情况。

4.3 应按照 JTG C20 的相关规定，查明沿线水文、地质情况，以及拟处理地基土层的物理力学性能。

4.4 黄泛区浆喷桩应采用高压施工工艺，施工机具应满足高压施工需求，并宜采用智慧施工与监控系统，对工艺、技术参数及施工质量等进行监控。

5 设计

5.1 通用要求

5.1.1 路基下黄泛区浆喷桩复合地基应按照变形和稳定性要求进行设计；小型构造物下的黄泛区浆喷桩复合地基应按承载力要求进行设计。

5.1.2 黄泛区浆喷桩复合地基应根据地质条件、工程类别等合理划分设计段落。

5.1.3 黄泛区浆喷桩的材料配合比设计应符合 JGJ/T 233 的有关规定。

5.1.4 黄泛区路堤的稳定性验算与沉降计算应按照分层地基进行。

5.1.5 路堤稳定性和工后沉降应满足 JTG D30 的要求，其中改扩建高速公路桥头路基工后沉降应满足 JTG/T L11 的要求。

5.1.6 变截面高压浆喷桩的设计的其他要求应符合 GB/T 50783、JTG/T D31-02 的有关规定。

5.2 材料设计

5.2.1 水泥掺量等应结合设计要求，通过配合比试验确定。

5.2.2 浆喷桩固化剂宜采用强度等级不低于 42.5 级的水泥，水泥浆液设计水灰比宜为 0.8~1.2，密度宜为 1400 kg/m³~1650 kg/m³；水泥掺入比宜为 8%~20%。

表 1 黄泛区浆喷桩的水泥掺入建议值

桩型	等截面高压浆喷桩	变截面实体桩		变截面筒桩	
		上部扩大桩体	下部桩体	上部扩大桩体	下部桩体
水泥掺入比 (%)	12~19	18~20	12~19	8~12	12~19
水泥掺入量 (kg/m)	50~75	190~200	50~75	90~120	50~75

5.2.3 当采用其他固化剂或掺加外加剂、结合料时，黄泛区浆喷桩的材料设计应通过试验确定。

5.2.4 黄泛区浆喷桩的 28 d 无侧限抗压强度应符合表 2 的要求。

表 2 黄泛区浆喷桩的 28 d 无侧限抗压强度

单位为兆帕

桩型	等截面高压浆喷桩	变截面实体桩			变截面筒桩		
		筒壁	筒芯	下部桩体	筒壁	筒芯	下部桩体
28 d 无侧限抗压强度	≥1.5	≥4.0	≥3.0	≥1.5	≥3.0	—	≥1.5

5.3 结构设计

5.3.1 黄泛区浆喷桩应在现场试验的基础上确定桩的直径、筒壁厚等。初步设计时结构参数可参照表 3 确定。

表 3 黄泛区浆喷桩结构参数

单位为厘米

桩型	等截面高压浆喷桩	变截面实体桩			变截面筒桩		
	桩径	上部扩大桩体桩径	筒壁厚	下部桩径	上部扩大桩体桩径	筒壁厚	下部桩径
黏土、粉质黏土地层	50	80	15	50	75	12.5	50
粉(砂)土地层		90	20	50	85	17.5	50

5.3.2 变截面筒桩应采取封顶、封底措施，封顶高度宜为 100 cm，封底高度宜为 50 cm，扩大桩体总长度宜为 2 m~6 m。

5.3.3 小型构造物下的黄泛区浆喷桩可在基础平面范围内布设；路堤下浆喷桩的横向布置，宜在路堤坡脚外增设 1 排桩。

5.3.4 黄泛区浆喷桩桩长、间距、直径和面积置换率应根据设计要求计算确定，并满足下列要求：

——竖向承载桩的长度应根据上部结构对承载力和变形的要求确定，并宜穿透软土层，到达承载力相对较高的土层；

——黄泛区浆喷桩的长度不宜大于 20 m；

——为提高抗滑稳定性而设置的桩体，其桩长应超过最危险滑动面以下 2 m；

——高填方路堤、斜坡上的路堤，以及软弱土横向分布不均匀的路堤，应进行路基稳定性验算。

5.3.5 对于承重要求较高的等截面高压浆喷桩，宜对桩身上部 1 m~3 m 范围内桩身进行复喷复搅。

5.3.6 浆喷桩顶部宜设置厚度 20 cm~40 cm 的褥垫层。

5.3.7 浆喷桩复合地基承载力特征值，应通过现场复合地基载荷试验确定，初步设计时可按公式 (1) 估算：

$$f_{spk} = m_1 \frac{R_a^k}{A_{p1}} + \beta(1 - m_1)f_{sk} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

f_{spk} —复合地基承载力特征值，单位为千帕 (kPa)；

R_a^k —单桩承载力特征值，单位为千牛 (kN)；

A_{p1} —等截面高压浆喷桩为桩截面积，变截面高压浆喷桩为上部扩大桩体部分截面积，单位为平方米 (m²)；

β —桩间土承载力折减系数，宜按当地经验取值，如无经验时可取 0.75~1.0；

m_1 —面积置换率，采用时按照式 (2) 计算；

f_{sk} —处理后桩间土承载力特征值，单位为千帕 (kPa)，宜按当地经验取值，如无经验时可取天然地基承载力特征值。

$$m_1 = \frac{D^2}{d_e^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

D —等截面高压浆喷桩为桩直径，变截面高压浆喷桩为上部扩大桩体直径，单位为米 (m)；

d_e —一根桩分担的处理地基面积的等效直径，单位为米 (m)，根据不同的布置形式，选择式 (3)~(5) 计算。

$$\text{等边三角形布置时： } d_e = 1.05S \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{正方形布置时： } d_e = 1.13S \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{矩形布置时： } d_e = 1.13\sqrt{S_1 * S_2} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

S—桩间距，单位为米（m）；

S_1 —纵向间距，单位为米（m）；

S_2 —横向间距，单位为米（m）。

5.3.8 路堤稳定性验算、沉降计算及竖向承载力计算应符合 JTG/T D31-02 的规定。

6 施工

6.1 通用要求

6.1.1 施工前应选择典型场地进行成桩试验，以验证地基处理效果，优化相关设计、施工技术参数和施工工艺，每种典型地层条件试验桩数不宜少于 5 根。

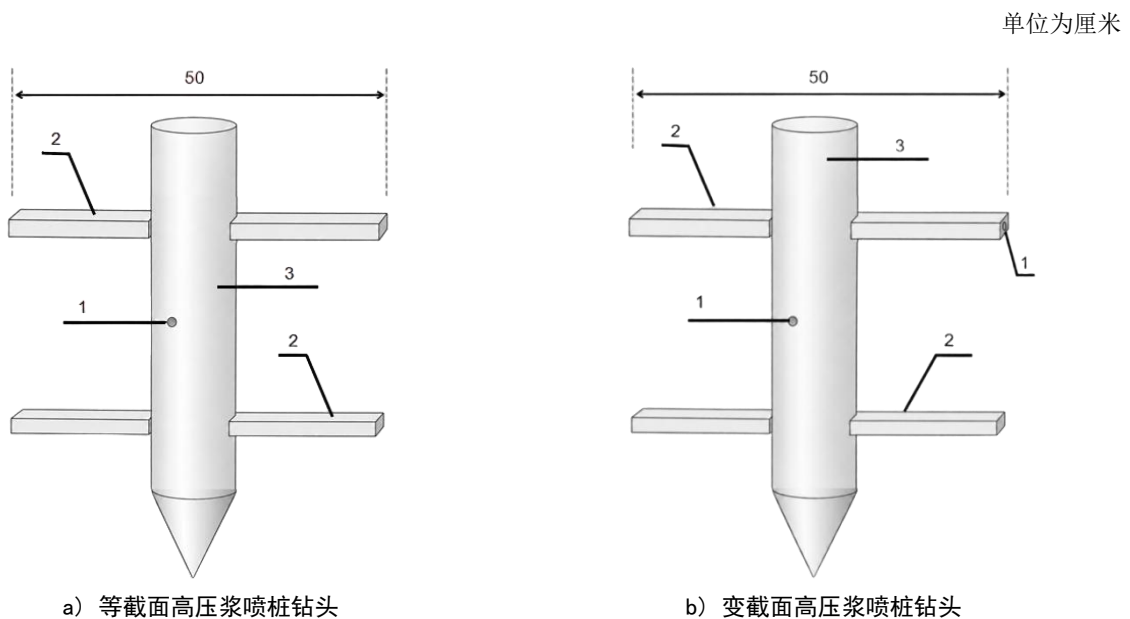
6.1.2 施工场地应平整、密实，水、电应设置专用管路和线路。

6.1.3 冬季停止施工期间，桩顶地基宜采取覆土等防冻措施。

6.1.4 施工的其他要求应符合 GB/T 50783 和 JTG/T D31-02 的相关规定。

6.2 施工机具要求

6.2.1 等截面高压浆喷桩钻头应垂直交叉设置长度与桩径配套的上、下 2 层搅拌叶片，在钻头上、下两层搅拌叶片之间的钻杆上对称设置 2 个高压喷嘴，其结构如图 1(a) 所示；变截面高压浆喷桩钻头应在等截面高压浆喷桩钻头基础上，于上层搅拌叶片端部对称增设 2 个高压喷嘴，其结构如图 1(b) 所示。高压喷嘴直径宜为 2 mm~4 mm。



标引序号说明：

1——高压喷嘴

2——搅拌叶片

3——钻杆

图 1 黄泛区浆喷桩钻头结构示意图

6.2.2 等截面高压浆喷桩施工应配备一台高压泥浆泵；变截面高压浆喷桩应配备两台高压泥浆泵，分别为钻杆喷嘴和叶片喷嘴泵送水泥浆。高压泥浆泵的额定压力不应小于 30 MPa，流量为

50 L/min~100 L/min。

6.2.3 应配置与浆液压力匹配的输送浆液管路，保证施工安全。浆液泵入管路的接口应设置 3 层以上的滤网，滤网目数宜为 15~20 目。

6.2.4 输送水泥浆液的管路长度不宜大于 50 m，并应考虑管路压力损失。

6.3 成桩试验

6.3.1 成桩试验应形成试验报告，并包含以下主要内容：

—— 水泥掺入比；

—— 施工技术参数和施工工艺，施工技术参数包括但不限于下钻速度、提钻速度、搅拌速度、浆压、单位时间喷浆量；

—— 下钻和提钻情况，以及根据地层条件优化后的技术方案；

—— 桩体的均匀性、无侧限抗压强度、单桩承载力、复合地基承载力是否满足设计要求。

6.3.2 当成桩质量不满足设计要求时，应在调整参数或工艺后，重新进行试验。

6.4 施工要求

6.4.1 水泥浆制备与存储符合以下要求：

- a) 使用高速搅拌机制备水泥浆液搅拌时间不应少于 60 s，使用普通搅拌机搅拌时间不应少于 180 s；
- b) 制备好的浆液发生离析时应补充搅拌；
- c) 水泥浆存放时浆液温度宜控制在 5 °C~40 °C 之间。气温超过 20 °C 时存放不宜超过 3 h，气温在 20 °C 以下浆液存放不宜超过 4 h；
- d) 高温季节应采取隔热和防晒措施，冬期施工应采取加热保温措施。

6.4.2 黄泛区浆喷桩施工应针对不同土层条件通过试验确定浆压，粉（砂）土、粉质黏土以及黏土地层宜分别采用 5 MPa、15 MPa 和 20 MPa 的浆压。对于素填土、杂填土等地基，应根据土质情况，通过现场试验确定相关工艺参数。

6.4.3 黄泛区浆喷桩宜采用提钻喷浆工艺进行施工。施工地层条件复杂、单桩承载力要求高时，等截面高压浆喷桩宜采用上部复喷复搅工艺。当采用下钻喷浆以及上下钻喷浆工艺时，应通过试验确定施工工艺及材料参数。

6.4.4 等截面高压浆喷桩提钻喷浆宜按“两搅一喷”的工艺要求进行施工，并符合下列规定：

- a) 驱动喷搅钻头沉入土层，启动高压泥浆泵向喷浆口供应水泥浆，维持 1 MPa~3 MPa 低浆压至设计加固深度；
- b) 在桩底调整至设计浆压，持续喷浆搅拌 30 s 后，开始边喷浆搅拌边提升；
- c) 提升至设计桩顶高程以上 50 cm，根据需要对桩身上部进行复喷复搅后，关闭泥浆泵。复喷复搅宜采用 5 MPa~10 MPa 的浆压。

6.4.5 变截面实体桩施工应符合以下工艺与要求：

- a) 驱动喷搅钻头沉入土层，启动高压泥浆泵向喷嘴供应水泥浆，4 个喷嘴均维持 1 MPa~3 MPa 低浆压至设计加固深度；
- b) 将钻杆处喷嘴调整至设计浆压，搅拌叶片末端喷嘴维持低浆压，持续喷浆搅拌 30 s 后，开始以 70 cm/min~80 cm/min 的提钻速度，边喷浆搅拌，边提升钻杆；
- c) 提升至设计上部扩大桩体底部深度以下 50 cm 时，搅拌叶片端部 2 个喷嘴调整至设计浆压，并降低提钻速度至 20 cm/min 后，继续边喷浆搅拌、边低速提升；
- d) 提升至设计桩顶高程以上 50 cm，关闭泥浆泵。

6.4.6 变截面筒桩施工应符合以下工艺与要求：

- a) 驱动喷搅钻头沉入土层，启动高压泥浆泵向喷嘴供应水泥浆，4个喷嘴均维持1 MPa~3 MPa低浆压至设计加固深度；
- b) 将钻杆处喷嘴调整至设计浆压，搅拌叶片末端喷嘴维持低浆压，持续喷浆搅拌30 s后，开始以70 cm/min~80 cm/min的提钻速度，边喷浆搅拌、边提升；
- c) 提升至设计上部扩大桩体底部深度以下50 cm时，搅拌叶片端部2个喷嘴调整至设计浆压，并降低提钻速度至20 cm/min，继续边喷浆搅拌、边低速提升，开始封底施工；
- d) 提升至设计上部扩大桩体底部深度以上50 cm时，将钻杆处喷嘴调整至1 MPa~3 MPa低浆压，提钻速度调整至40 cm/min后，继续边喷浆搅拌、边低速提升；
- e) 提升至桩顶高程以下100 cm时，将4个喷嘴均调整至设计浆压，并降低提钻速度至20 cm/min后边喷浆搅拌、边低速提升，进行封顶施工；
- f) 提升至设计桩顶高程以上50 cm，关闭泥浆泵。

6.4.7 黄泛区浆喷桩施工喷浆提钻速度与浆压应符合表4的要求。

表4 黄泛区浆喷桩喷浆提钻速度与浆压技术要求

参数	等截面高压浆喷桩	变截面实体桩		变截面筒桩		
		上部扩大桩体	下部桩体	上部扩大桩体		下部桩体
				封顶/封底	筒	
提钻速度/(cm/min)	70~80	20	70~80	20	40	70~80
搅拌叶片浆压(MPa)	/	设计值	1~3	设计值	设计值	1~3
钻杆浆压(MPa)	设计值	设计值	设计值	设计值	1~3	设计值

6.4.8 施工钻进前应进行试压，确保水泥浆喷射正常；施工中浆液泵送应连续进行，出现压力突降或骤增、孔口冒浆异常等情况时，应查明原因，排除故障或调整参数后方可继续施工。

6.4.9 喷搅过程中因故中断喷浆时，搅拌头应下沉至停浆面50 cm以下，恢复施工时复喷搭接，搭接施工间隔时间不宜超过12 h。

6.4.10 连续施工4 h或停机超过2 h，宜接入清水清洗管路后继续施工。

6.4.11 施工完成后的黄泛区浆喷桩，桩顶处于地表时，应采取保护措施防止施工设备或车辆碾压破坏。

7 质量检测和验收

7.1 施工检测与监测

7.1.1 原材料应进行检验和复测，质量合格后方可使用。水泥、外加剂、用水应符合设计要求，并分别符合GB 175、GB 8076、JGJ 63的要求。

7.1.2 应随时检测原材料用量，水泥浆材料配制称量误差应控制在1%以内。

7.1.3 应及时检测设备状况，设备检测应满足表5的要求。

表 5 设备检测要求

检测指标	允许偏差	检查频次	检测方法
搅拌叶片直径	±3%	每单元工程检测 1 次	钢尺测量
喷嘴直径	+1 mm		游标卡尺测量

7.1.4 应实时监测施工工艺参数和浆液流量，以及桩距、桩身垂直度等指标，并满足表 6 的要求。

表 6 施工监测要求

监测指标	允许偏差	检查频次	监测方法
钻杆回转	±5%	实时监测	转速表监测
提钻速度			编码器监测
浆压			压力表监测
浆液流量			流量计监测
垂直偏差	无搭接要求时±1% 有搭接要求时±0.5%		经纬仪监测
桩位偏差	无搭接要求时±50 mm 有搭接要求时±20 mm	钢尺测量	

7.2 施工质量检验与验收

7.2.1 黄泛区浆喷桩应在成桩 28 d 后钻芯取样检验芯样强度。等截面高压浆喷桩的钻芯位置宜位于桩半径的 1/2 处；变截面实体桩和变截面筒桩的钻芯位置宜位于小桩径的 1/2 处。芯样的 28 d 无侧限抗压强度应满足设计要求并符合 5.2.4 的规定。

7.2.2 黄泛区浆喷桩与复合地基质量检验与验收的其他要求应符合 JTG/T D31-02 的有关规定。

7.2.3 质量检验不合格的桩，应在其所处的加固区域进行补桩，补桩后应再次进行质量检验。