

DOI: 10.11779/CJGE202201019

卵石层钢板桩插打的引孔回填料设计与成桩试验研究

蔺鹏臻，马俊军

(兰州交通大学土木工程学院，甘肃 兰州 730070)

摘要：为解决河道卵石层地质钢板桩插打施工的难题，结合工程现场实际开发了一种以粉质黏土、膨润土、锯末、水泥等材料组成的新型引孔回填料。通过多因素正交试验研究了新型回填料的材料组分对凝固体抗压、抗剪和抗渗性能的影响规律，给出了满足设计要求的施工配合比。通过现场钢板桩的对比试验，分析了新型引孔回填料的嵌固效果。研究结果表明：粉质黏土掺量对回填料凝结体黏聚力和抗压强度的影响最为显著，锯末掺量对回填料凝结体内摩擦角和抗渗性能的影响最为显著；在最大水平荷载作用下，采用新型引孔回填料后钢板桩的桩顶平均水平加、卸位移、压应力和地基水平反力系数的比例系数分别是采用现场渣土回填后钢板桩的46%，28%，1.39%，2.8%，证明采用新型回填料后的土体刚度更大，抵抗变形的能力更强，对钢板桩的嵌固效果更好。该新型引孔回填料具有取材方便、施工便捷和材料性能好的综合优点，可在同类型工程施工中推广应用。

关键词：钢板桩；卵石层；引孔回填料；正交试验；桩基试验

中图分类号：TU470；U445 文献标识码：A 文章编号：1000-4548(2022)01-0187-07

作者简介：蔺鹏臻(1977—)，男，博士，教授，主要从事桥梁工程设计理论与应用等方面的教学和科研工作。E-mail: pzhlin@mail.lzjtu.cn。

Design of backfill materials for driving steel sheet piles and pile forming tests in gravel layer

LIN Peng-zhen, MA Jun-jun

(School of Civil Engineering, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to solve the construction problem of inserting and driving steel sheet piles in pebble layer of rivers, a new type of lead-through backfill made of clay, bentonite, sawdust, cement and other materials is developed. Using the multi-factor orthogonal test method, the influence law and mechanism of the components of the new backfill materials on the compression, shear and impermeability properties of the backfill-solidified body are studied, and the construction mix proportion meeting the design requirements is given. The actual embedding effect of steel sheet piles is verified through the field comparative tests. The research results show that the content of silty clay has the most significant effect on the cohesion and compressive strength of the backfill aggregate, while the sawdust content has the most significant effect on the friction angle and impermeability of backfill aggregate. Under the maximum horizontal load, the average horizontal loading displacement, unloading displacement, compressive stress and proportional coefficient of horizontal reaction coefficient of foundation at the steel sheet pile top after using the new type lead hole backfill are 46%, 28%, 1.39%, and 2.8%, respectively, of the steel sheet pile after backfilling with on-site muck, which proves that the new type of backfill has greater soil stiffness and stronger resistance to deformation. The actual embedding effect of the piles is better. The new type of lead backfill has the comprehensive advantages of convenient material acquisition, convenient construction and good material performance, and can be popularized and applied in the construction of the same type of projects.

Key words: steel sheet pile; pebble bed; guide hole backfill; orthogonal test; pile foundation test

0 引言

钢板桩围堰作为一种常见的封水、挡土结构，因其施工工艺简单，施工效率高，可重复使用，投入资金少等特点^[1-3]，已在国内外桥梁桩基和基坑工程中得到了广泛应用^[4-7]。应用结果表明，钢板桩围堰一般适

用于地基土为软土、砂土、较软的全风化岩层等基础工程，而对于坚硬的粗圆砾土、砂岩以及强、中风化

基金项目：国家自然科学基金重大项目（11790281）；甘肃省建设科技项目（JK2021-03）
收稿日期：2021-01-23

岩地层, 如果直接插打钢板桩, 会造成钢板桩打入困难, 变形较大, 影响工程施工质量^[8-10]。目前, 针对常规打桩设备无法插打至较硬岩层的特点, 工程界开发了先采用钻机引孔再灌入回填料, 然后插打钢板桩的施工工艺, 有效解决了在较硬的风化岩地层^[11-12]、软硬相间的复杂地层^[8]、河道基坑和河岸码头等复杂条件下的钢板桩插打难题^[13]。由于钢板桩施工的引孔回填料属于施工的临时性措施, 既有工程往往采用就地取材配置回填料, 相关规范也没有回填料的性能指标要求, 这对工程中引孔回填料的施工质量带来不利影响。

本文根据现场实际情况开发了新型引孔回填料, 通过多因素正交试验, 研究了新型回填料的材料组分对回填料凝固体抗压、抗剪和抗渗性能的影响规律与机理, 给出了满足现场施工条件和工艺要求的回填料配合比, 通过钢板桩力学性能的现场对比试验, 对钢板桩的实际嵌固效果进行了验证。

1 新型引孔回填料研制

1.1 原材料的选择

回填料的各组成原料对回填料的固结过程与力学性能存在影响。以往的引孔回填试验中多采用原土为回填料, 没有考虑回填料凝结体的物理、力学性能, 也没有给出统一的组成成分和配比, 很难被其它工程所借鉴。

为弥补引孔回填料配合比设计中的材料标准的不足, 本新型引孔回填料的组成设计依据为: ①选用水泥作为固化剂, 保证成型速度和强度。②选用膨润土作为胶结剂, 保证吸水性、膨胀性及流变性, 同时兼顾防渗透性^[14]。③就地取材选用当地粉质黏土作为细骨料, 节约水泥用量, 保证回填后与周围土体的协同变形能力^[15]。④选用锯末作为添加剂, 利用其比表面积大、吸附性强、化学性能稳定且有较高的化学活性^[16], 提高回填料对地下水位较高工程的适应性; 此外锯末的体积较大, 能够与水泥、膨润土相结合, 在内部形成骨架, 起到一定的填充作用。

1.2 新型引孔回填料配比

为获得新型引孔回填料各组分对整体性能的影响, 采用正交试验设计方法^[17], 以水胶比、粉质黏土掺量、膨润土掺量、锯末掺量为正交设计的 4 个因素 (A , B , C , D), 每个因素选取 3 个水平, 开展试验研究。在前期的探索试验的基础上, 设定水胶比水平为 0.58, 0.62, 0.66; 粉质黏土掺量水平为 60%, 65%, 70%; 膨润土掺量为 3.5%, 4%, 4.5%; 锯末掺量为 0%, 3%, 5%, 其中百分比为各种材料占胶凝材料总

量的质量分数。配合比影响因素及水平如表 1 所示。回填料在 3 因素 4 水平下的标准正交表 L₉ (3⁴) 共计 9 组配合, 见表 2。

表 1 新型回填料配合比因素水平

Table 1 Factor levels of mixing ratio of the new backfill

水平	A	$B/\%$	$C/\%$	$D/\%$
1	0.58	60	3.5	0
2	0.62	65	4.0	3
3	0.66	70	4.5	5

1.3 新型引孔回填料制备与养护

制备新型引孔回填料时, 采用“三步法”进行拌合^[15]: 第一步, 将膨润土和水按一定的比例制成膨润土泥浆, 放入膨化池膨化 24 h 后备用; 第二步, 在拌合槽内加入粉质黏土、锯末和水泥, 均匀拌合; 第三步, 拌合槽内加入膨润土泥浆, 加入剩余的拌合水充分搅拌。将搅拌好后的回填料浆体装入 70.7 mm × 70.7 mm × 70.7 mm 的标准立方体试模, 自然养护 24 h 后可以脱模。为了模拟水下环境, 将试块脱模后在水中养护至一定时间后进行物理力学性能试验。

2 新型引孔回填料凝结体物理、力学性能试验研究

2.1 新型引孔回填料抗压强度试验研究

参照《水泥土配合比设计规程》^[18], 对 9 组不同配比的回填料凝结体进行 3, 5, 28 d 抗压强度测试, 结果如表 2 所示。

由表 2 可知, 3 d 时回填料凝结体抗压强度可达 0.248~0.948 MPa, 5 d 后强度在 0.310~1.332 MPa。工程实际中, 可根据钢板桩插打时的强度要求范围调整材料配比, 配制出满足要求的回填材料。为便于分析各影响因素对回填料凝结体 3, 5, 28 d 抗压强度的影响, 对上述试验结果进行极差分析, 结果见表 3。

从表 3 可知, 粉质黏土对回填料凝结体抗压强度的极差值最大, 其次为水胶比、锯末和膨润土, 因此粉质黏土对回填料强度起主要调节作用。

2.2 新型引孔回填料抗剪强度试验研究

新型引孔回填料凝结体黏聚力 c 和内摩擦角 φ 是反映回填料凝结体抗剪强度的重要指标, 回填料凝结体的 c 和 φ 根据直剪仪进行测定, 试验结果如前表 2 所示。对回填料凝结体养护 5 d 时黏聚力和内摩擦角进行极差分析, 结果见表 4, 5。

由表 4 可知, 影响黏聚力 c 最重要的因素是粉质黏土掺量, 其次是水胶比, 锯末掺量, 膨润土掺量。

由表 5 可知, 影响内摩擦角 φ 最重要的因素锯末掺量, 其次是水胶比、粉质黏土、膨润土掺量。

表2 回填料正交试验结果
Table 2 Orthogonal experimental results of backfill materials

试验 编号	因素				抗压强度 f_{uk} /MPa			抗剪强度		渗透系数 $(10^{-6} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1})$
	A	B/%	C/%	D/%	3 d	5 d	28 d	黏聚力 c/kPa	内摩擦角 φ /(°)	
1	0.58	60	3.5	0	0.948	1.332	3.414	62.98	14.47	0.032
2	0.58	65	4.0	3	0.582	0.744	1.901	54.07	11.73	0.117
3	0.58	70	4.5	5	0.296	0.460	1.156	37.48	10.00	1.380
4	0.62	60	4.0	5	0.605	0.907	2.179	60.52	10.55	9.810
5	0.62	65	4.5	0	0.439	0.674	1.875	46.08	12.57	0.061
6	0.62	70	3.5	3	0.281	0.400	1.132	37.79	9.15	0.451
7	0.66	60	4.5	3	0.532	0.705	1.781	51.32	10.58	0.152
8	0.66	65	3.5	5	0.327	0.448	1.100	39.32	8.46	60.800
9	0.66	70	4.0	0	0.248	0.310	1.091	26.11	9.87	0.122

表3 抗压强度极差分析
Table 3 Analysis of extreme difference of compressive strength
(MPa)

水平组数	3 d				5 d				28 d			
	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D
1	0.609	0.695	0.519	0.545	0.845	0.982	0.728	0.772	2.157	2.458	1.883	2.127
2	0.442	0.449	0.478	0.465	0.662	0.622	0.654	0.618	1.729	1.625	1.724	1.605
3	0.369	0.275	0.422	0.410	0.488	0.392	0.613	0.605	1.324	1.127	1.604	1.478
极差	0.239	0.420	0.096	0.135	0.358	0.590	0.115	0.167	0.833	1.331	0.279	0.649

表4 黏聚力 c 极差分析
Table 4 Analysis of extreme difference of cohesion c (kPa)

水平组数	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D
1	51.506	58.269	46.694	45.055
2	48.127	46.489	46.898	47.722
3	38.916	33.792	44.958	45.772
极差	12.590	24.477	1.940	2.667

表5 内摩擦角 φ 极差分析
Table 5 Range analysis of internal friction angle φ (°)

水平组数	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D
1	12.067	11865	10.690	12.301
2	10.755	10.921	10.716	10.487
3	9.635	9.670	11.050	9.668
极差	2.432	2.195	0.360	2.633

2.3 新型引孔回填料渗透性试验研究

为了验证新型引孔回填料的防渗效果, 依据规程^[18]进行渗透系数试验, 试验结果如前表2所示。各试件相对渗透系数的极差分析结果见表6。

由表6可知, 锯末掺量的极差值最大, 其次是膨润土掺量和水胶比, 最小为粉质黏土掺量, 所以影响回填料凝结体28 d渗透系数最主要的因素是锯末掺量。对于抗渗要求较高的工程, 应将锯末掺量控制在3%以内。

表6 回填料凝结体28 d渗透系数极差分析

Table 6 Analysis of 28-day permeability coefficient of backfill aggregate
($10^{-6} \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$)

水平组数	因素 A	因素 B	因素 C	因素 D
1	0.519	3.341	20.437	0.081
2	3.441	20.326	3.350	0.240
3	20.358	0.651	0.531	23.997
极差	19.839	19.675	19.906	23.916

3 新型引孔回填料的工程应用

3.1 工程概况

某高速铁路特大桥采用(70 m+104 m+128 m+104 m+70 m)连续梁跨越黄河, 桥梁桩基础采用钻孔浇筑施工, 承台采用模板现浇施工, 承台基坑开挖采用钢板桩围堰方法进行防护。根据现场工程地质勘查报告显示, 桥墩处地质主要由较为坚硬的粗圆砾土、砂岩等构成。针对常规打桩设备无法插打至泥质砂岩层的特点, 采取先用旋挖钻机进行引孔、回填混合料, 再插打钢板桩的施工工艺。为了使钢板桩能够顺利插打到一定深度, 要求回填材料凝结后的强度在150~300 kPa范围内, 渗透系数小于 $1 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{s}$, 此外还需要保证一定的抗剪强度要求。

3.2 配合比确定

结合前述所得的回填料凝结体各指标的变化规

表 7 满足设计要求的配比表
Table 7 Proportions meeting design requirements

水胶比	膨润土掺量 /%	锯末掺量 /%	抗压强度/MPa		c/kPa	$\varphi/(^\circ)$	渗透系数 /($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)
			3 d	5 d			
0.64~0.66	4	3	0.16~0.22	0.22~0.30	27.72~35.76	8.33~9.38	$<1 \times 10^{-5}$

律,为了使回填料凝结体渗透系数满足抗渗性能的要求,取锯末掺量为3%。为了使回填料凝结体抗剪性能达到最优,取膨润土掺量为4%。为了使得回填料凝结体凝结后强度在150~300 kPa内。经筛选后获得的推荐配合比如表7所示。

为确保在一定人为误差范围内所配回填料能满足各项性能指标,推荐采用的施工配合比为水胶比0.66,粉质黏土掺量68%,膨润土掺量4%,锯末掺量3%,其中百分比为各种材料占胶凝材料总量的质量分数。

3.3 钢板桩嵌固效果试验研究

按照《建筑桩基检测技术规范》的相关规定,结合现场实际情况,试验设计了8根试验桩,其中,4根是现场渣土回填料,记为S;4根是新型引孔回填料,记为T。试验采用拉森IV型钢板桩,材质为SY295,单根长度为9 m,截面长度为400 mm,截面宽度为170 mm。桩基试验模型参数及布置如图1所示。

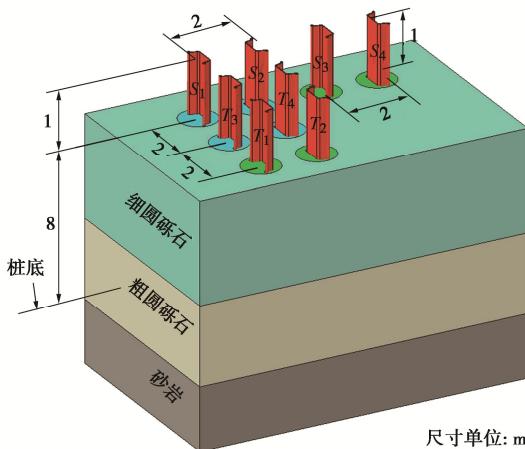


图1 试验模型参数及布置示意

Fig. 1 Schematic diagram and layout of model parameters

水平加载采用额定功率10 t的液压千斤顶,施加自平衡的对顶力进行加载,施力点均放在桩顶且与地面平行,采用百分表测量水平位移,振弦式应变计测量桩顶截面应力。试验过程如图2所示。



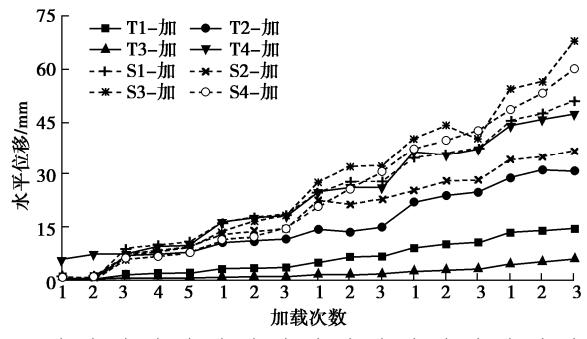
图2 实际加载过程示意图

Fig. 2 Diagram of actual loading process

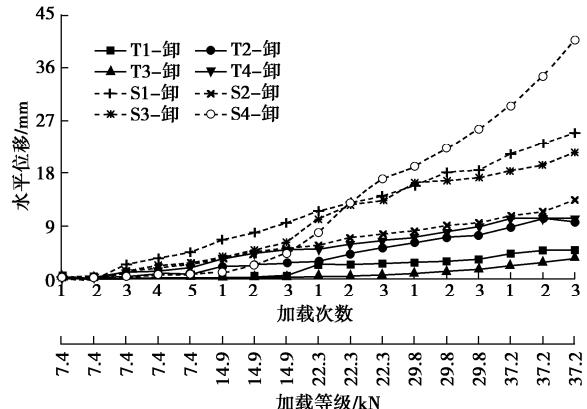
3.4 试验结果

(1) 桩顶水平位移

各桩的桩顶水平加载位移和卸载位移随加载次数和荷载等级的变化如图3所示。



(a) 加载位移与加载次数和加载等级的关系



(b) 卸载位移与加载次数和加载等级的关系

图3 桩顶水平位移与加载次数和等级之间的关系

Fig. 3 Relationship among horizontal displacement of pile top, loading times and grades

由图3可知,采用新型引孔回填料后钢板桩的水平加、卸载位移均小于采用渣土回填料后钢板桩的加、卸载水平位移。在最大加载等级作用下,采用新型引

孔回填料后钢板桩的水平加、卸载位移是采用现场渣土回填后钢板桩的 46%, 28%。

(2) 桩顶应力

各钢板桩桩顶截面应力实测值如图 4 所示。

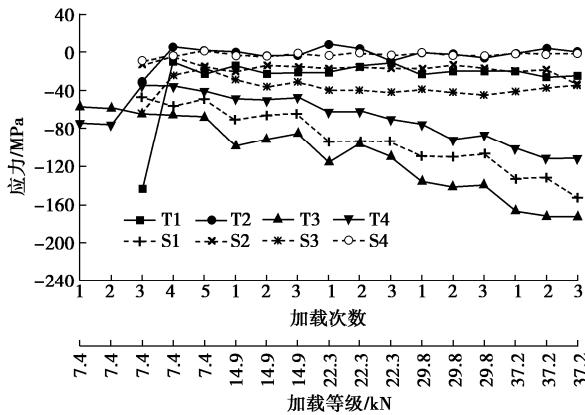


图 4 桩基应力与加载次数和加载等级的关系

Fig. 4 Relationship among pile top stress of each pile foundation, loading times and loading levels

由图 4 可知, 新型引孔回填料由于嵌固效果好, 同级荷载下的应力更大。对比 4 根新型引孔回填料桩基和 4 根现场渣土回填料桩基的应力算数平均值表明, 在最大等级水平荷载作用下, 采用新型引孔回填料后钢板桩的平均应力是采用现场渣土回填后钢板桩的 1.39 倍。

(3) 地基水平反力系数的比例系数

各试验桩在不同水平荷载作用下地基水平反力系数的比例系数 m 随加载次数和加载等级之间的变化关系如图 5 所示。

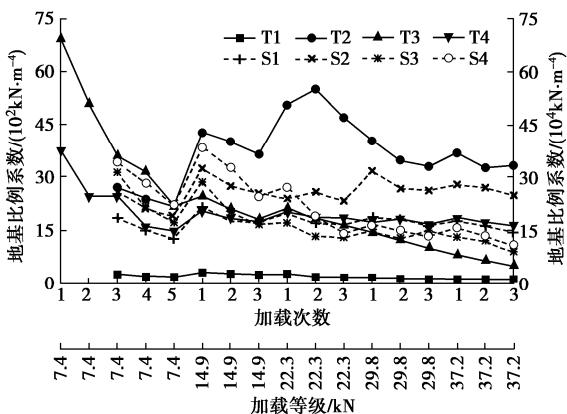


图 5 比例系数 m 与加载次数和等级的关系

Fig. 5 Relationship among proportional coefficient, loading times and levels

从图 5 可知, 比例系数随加载等级和加载次数的增加基本上呈现逐渐减小的趋势。在最大加载等级下, 采用新型回填料后四根桩基的比例系数算术平均值是采用现场渣土回填料后的 2.8 倍, 采用新型回填料换

填后的地基土抵抗变形的能力远高于采用渣土换填后的地基土。

(4) 桩身水平位移

结合初参数方程^[19], 可得到各试验桩在最大水平荷载作用下各桩身水平位移随桩身的变化, 结果如图 5 所示。

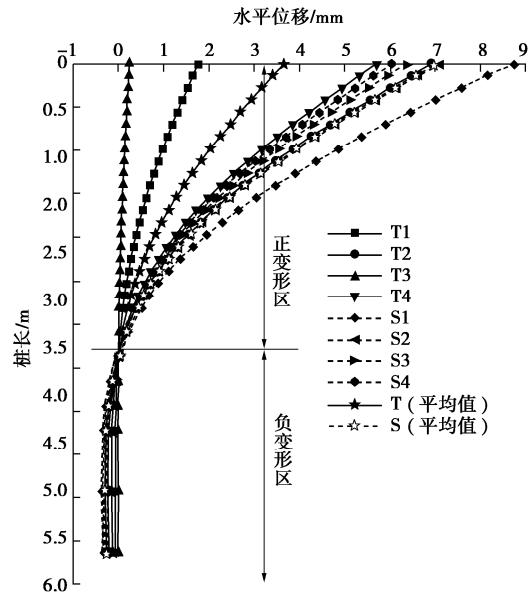


图 5 各桩基桩身水平位移随深度的变化

Fig. 5 Relationship between horizontal displacement of each pile foundation and depth

从图 5 可知, 在最大水平荷载作用下, 各桩基变形转换点(反弯点)基本保持不变, 与地面之间的距离约为 3.4 m。根据反弯点的位置, 桩身水平位移随深度的变化可以划分为距表面 0~3.4 m 正变形区和 3.4 m 以下的负变形区。在正变形区, 各桩基桩身水平位移变化比较明显, 总体上采用新型引孔回填料后钢板桩的平均水平位移小于采用渣土回填后钢板桩的平均水平位移, 表明新型引孔回填料对钢板桩的嵌固效果更好, 在水平荷载作用下, 抵抗变形的能力更强。

4 结 论

本文结合高速铁路桥梁工程钢板桩围堰施工, 研制了一种新型引孔回填料, 结合室内和现场试验, 得到以下 4 点结论。

(1) 新型回填料的组分中, 粉质黏土对回填料凝结体抗压强度起主要调节作用, 掺量越大, 抗压强度越低。锯末掺量对回填料凝结体渗透性能的影响最为显著, 对于抗渗要求较高的工程, 锯末掺量应控制在 3% 以内。粉质黏土掺量和锯末掺量对回填料凝结体抗剪强度影响较大, 其中, 粉质黏土掺量对黏聚力起主要调节作用, 而锯末掺量对内摩擦角起主要调节作用,

因此，在回填料凝结体抗剪强度设计时应综合考虑二者的影响。

(2) 根据各原料对凝结体物理、力学性能的影响，同时考虑工程实际应用环境，提出了用于实际桥梁围堰引孔回填的回填料组成成分，并给出了满足设计指标要求的新型引孔回填料的配合比。

(3) 通过 4 组 8 根试验桩现场水平静载试验研究表明，在最大水平荷载作用下，采用新型引孔回填料后钢板桩桩顶平均水平加、卸载位移、压应力和地基水平反力系数的比例系数 m 分别是采用现场渣土回填后钢板桩的 46%，28%，1.39 倍和 2.8 倍，且不同深度各桩基桩身平均水平位移明显大于使用新型引孔回填后钢板桩的平均水平位移，证明采用新型回填料后的土体刚度更大，抵抗变形的能力更强，对钢板桩的实际嵌固效果更好。

(4) 新型引孔回填料的实际桥梁使用效果表明，回填料总体性能满足了围堰钢板桩插打、围堰底防渗、钢板桩拔除等工程需求，本文提出的新型引孔回填料配合比设计及实验方法对同类工程具有理论指导意义。

参考文献：

- [1] 贺振中. 龙台温客运专线灵江特大桥深水桥墩基础的施工[J]. 铁道建筑, 2007, 47(7): 9–10. (HE Zhen-zhong. Construction of deep water pier foundation of Lingjiang Bridge on Yongtaiwen passenger dedicated line[J]. Railway Engineering, 2007, 47(7): 9–10. (in Chinese))
- [2] 谢海斌, 高敬. 钢板桩围堰技术在桥梁施工中的应用[J]. 交通世界, 2019(30): 110–111. (XIE Hai-bing, GAO Jing. Application of steel sheet pile cofferdam technology in bridge construction[J]. Transport World, 2019(30): 110–111. (in Chinese))
- [3] 陈永勇, 亢士杰. 钢板桩围堰在高桩承台施工中的应用[J]. 铁道标准设计, 2007, 51(12): 48–50. (CHEN Yong-yong, KANG Shi-jie. Application of steel sheet pile cofferdam in construction of high pile cap[J]. Railway Standard Design, 2007, 51(12): 48–50. (in Chinese))
- [4] 张骏. 桥梁深水基础钢板桩围堰受力分析与应用[J]. 桥梁建设, 2012, 42(5): 74–81. (ZHANG Jun. Force condition analysis and application of steel sheet pile cofferdam for bridge deepwater foundation[J]. Bridge Construction, 2012, 42(5): 74–81. (in Chinese))
- [5] 何永昶. 深水基础桥梁承台施工超长钢板桩围堰内支撑最优布置研究[J]. 铁道建筑, 2015, 55(3): 43–46. (HE Yong-chang. Research on the optimal layout of the internal support of the super-long steel sheet pile cofferdam for the construction of the deep water foundation bridge platform[J]. Railway Engineering, 2015, 55(3): 43–46. (in Chinese))
- [6] 倪波文. 复杂环境下桥梁承台钢板桩围堰的设计与施工[C]// 全国第二届品质工程论坛暨惠清高速公路绿色科技示范工程现场观摩会, 2019, 广州. (NI Bo-wen. Design and Construction of Steel Sheet Pile Cofferdam for Bridge Caps in Complicated Environment[C]// China Highway and Transportation Society. The Second National Quality Engineering Forum and Huiqing Expressway Green Technology Demonstration Project Field Observation Conference Proceedings, 2019, Guangzhou.
- [7] 骆冠勇, 曹洪, 潘泓, 等. 新光大桥桥墩钢板桩围堰的优化设计与监测[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2006, 34(2): 124–129. (LUO Guan-yong, CAO Hong, PAN Hong, et al. Optimal design and monitoring of steel sheet pile cofferdams of Xinguang bridge[J]. Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition), 2006, 34(2): 124–129. (in Chinese))
- [8] 李成伟. 拉森钢板桩围堰施工中引孔技术的应用[J]. 铁道建筑技术, 2014(增刊 1): 35–37. (LI Cheng-wei. The application of lead hole technology in the construction of Larsen steel sheet pile cofferdam[J]. Railway Construction Technology, 2014(S1): 35–37. (in Chinese))
- [9] 刘云林, 蔡亚春. 浅谈冲击钻围堰引孔施工[J]. 价值工程, 2018, 37(26): 157–158. (LIU Yun-lin, CAI Ya-chun. Construction of drilling holes for impact drilling cofferdam[J]. Value Engineering, 2018, 37(26): 157–158. (in Chinese))
- [10] 姚志安, 陈炳耀. 深中通道伶仃洋大桥东锚碇基坑支护施工关键技术[J]. 桥梁建设, 2020, 50(3): 105–110. (YAO Zhi-an, CHEN Bing-yao. Key construction techniques for foundation pit supporting structure of east anchor block of Lingdingyang Bridge[J]. Bridge Construction, 2020, 50(3): 105–110. (in Chinese))
- [11] 张春林. 钢板桩引孔围堰工艺在较硬岩地层中的应用[J]. 中国水运(下半月), 2018, 18(1): 234–236. (ZHANG Chun-lin. Application of steel sheet pile guide hole cofferdam technology in hard rock stratum[J]. China Water Transport, 2018, 18(1): 234–236. (in Chinese))
- [12] 黄松雄. 深基坑水中承台引孔钢板桩围堰的设计与施工[J]. 广东公路交通, 2020, 46(5): 37–42. (HUANG Song-xiong. Design and construction technology of steel plate pile cofferdam for bearing platform in deep foundation

- pit[J]. Guangdong Highway Communications, 2020, **46**(5): 37 - 42. (in Chinese))
- [13] 孔 巍, 付晓超, 周冀伟, 等. 双层拉森钢板桩围堰在河道基坑施工中的应用技术[J]. 施工技术, 2018, **47**(4): 56 - 60. (KONG Wei, FU Xiao-chao, ZHOU Ji-wei, et al. Application technology of double-layer larsen steel sheet pile cofferdam in river foundation excavation construction[J]. Construction Technology, 2018, **47**(4): 56 - 60. (in Chinese))
- [14] 徐 超, 黄 亮, 邢皓枫. 水泥-膨润土泥浆配比对防渗墙渗透性能的影响[J]. 岩土力学, 2010, **31**(2): 422 - 426. (XU Chao, HUANG Liang, XING Hao-feng. Influence of cement-bentonite slurry mixing ratio on permeability of cutoff wall[J]. Rock and Soil Mechanics, 2010, **31**(2): 422 - 426. (in Chinese))
- [15] 周 瑶. 自凝灰浆防渗性能提高的试验研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2017. (ZHOU Yao. Experimental Research on Improving Impermeability of Self-Curing Mortar[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2017. (in Chinese))
- [16] 陈红娟, 李小军, 闫维明, 等. 锯末混合土场地模型振动台试验研究[J]. 岩土工程学报, 2017, **39**(11): 2068 - 2077. (CHEN Hong-juan, LI Xiao-jun, YAN Wei-ming, et al. Shaking table tests on sawdust-mixed clay site[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2017, **39**(11): 2068 - 2077. (in Chinese))
- [17] 代树红, 王浩然, 韩荣军, 等. 流-固耦合模型试验相似材料研究[J/OL]. 岩土力学, 2020, **41**(增刊2): 1-8[2020-11-13]. <https://doi.org/10.16285/j.rsm.2019.1933>. (DAI Shuhong, WANG Hao-ran, HAN Rong-jun, et al. Properties of similar materials used in fluid-solid coupling model test[J/OL]. Rock and Soil Mechanics, 2020, **41**(S2): 1-8[2020-11-13].<https://doi.org/10.16285/j.rsm.2019.1933>. (in Chinese))
- [18] 水泥土配合比设计规程: JGJ/T 233—2011[S]. 2011. Specification for Mix Proportion Test of Cement-mixed Soil: JGJ/T 233—2011[S]. 2011. (in Chinese))
- [19] 铁路桥涵地基和基础设计规范: TB 10093—2017[S]. 2017. (Code for Design on Subsoil and Foundation of Railway Bridge and Culvert: TB 10093—2017[S]. 2017. (in Chinese))

《岩土工程学报》征订启事

《岩土工程学报》创办于 1979 年, 是我国水利、土木、力学、建筑、水电、振动等六个全国性学会联合主办的学术性科技期刊。由南京水利科学研究院承办, 国内外公开发行。主要刊登土力学、岩石力学领域中能代表当今先进理论和实践水平的科学的研究和工程实践成果等。报道新理论、新技术、新仪器、新材料的研究和应用。欢迎国家自然科学基金项目及其他重要项目的研究成果向本刊投稿, 倡导和鼓励有实践经验的作者撰稿, 并优先刊用这些稿件。主要栏目有黄文熙讲座、综述、论文、短文、工程实录、焦点论坛、讨论和简讯等。

本刊被《中文核心期刊要目总览》连续多年确认为核心期刊, 并在建筑类核心期刊中位于前列; 本刊被科技部“中国科技论文统计源期刊”(中国科技核心期刊)及“中国科技论文与引文数据库”收录; 本刊被中国科学院“中国科学引文数据库”收录; 本刊被“中国知网”全文收录及“中国学术期刊综合评价数据库”收录; 本刊被“工程索引 Ei Compendex 数据

库”和“日本科学技术振兴机构数据库 JST”等国际数据库收录。本刊网址 (www.cgejournal.com) 全文发布本刊所有刊载文章。

本刊读者对象为土木建筑、水利电力、交通运输、矿山冶金、工程地质等领域中从事岩土工程及相关专业的科研人员、设计人员、施工人员、监理人员和大专院校师生。

本刊为月刊, A4 开, 双栏排版, 192 页, 每月中旬出版, 每期定价 40 元, 全年定价 480 元。

本刊国际标准刊号 ISSN 1000 - 4548, 国内统一刊号 CN 32 - 1124/TU, 国内发行代号 28 - 62, 国外发行代号 MO 0520。欢迎广大读者在全国各地邮局订购, 也可在编辑部订购(不另收邮费)。编辑部订购地址: 南京虎踞关 34 号《岩土工程学报》编辑部; 邮编: 210024; 联系电话: 025-85829534, 85829543, 85829553, 85829556; 传真: 025-85829555; E-mail: ge@nhr.ac.cn。

(本刊编辑部)