

填海区泥浆护壁成孔灌注桩泥浆配比研究

张云轩 龙海亮 王跃 金子翔 王铭阳

中国建筑第八工程局有限公司东北公司

DOI:10.12238/jpm.v6i5.7975

[摘要] 在泥浆护壁成孔灌注桩施工中, 泥浆是不可或缺的关键要素, 其配制质量优劣对成桩质量起着决定性作用。若泥浆配制不当, 例如抗盐性不足, 在填海区海水环境中易导致泥浆失效、孔壁坍塌, 进而引发桩孔变形、缩径等问题, 严重影响桩的承载能力及结构完整性; 悬浮能力欠佳则会使钻渣沉淀, 堵塞桩孔, 造成断桩或夹渣等后果, 同时还存在孔壁坍塌引发施工安全事故、泥浆漏失污染海域环境以及设备损坏增加成本等风险。因此, 本研究从施工方案、现场施工及回访等多个方面综合研究, 以大连金州湾国际机场航站楼桩基础项目为依托, 历经半年跟踪调查。通过严格把控泥浆配制的工艺流程、工艺要点、质量要求及注意事项等环节, 经工程实践检验, 有效地控制孔壁坍塌或海水环境中泥浆失效问题发生, 为灌注桩施工质量安全提供有力保障。

[关键词] 泥浆护壁成孔灌注桩 泥浆配比 抗盐性

Research on Mud Mixing Ratio for Drilling Pile with Mud Wall Protection in Reclamation Area

Zhang Yunxuan Long HaiLiang Wang Yue Jin Zixiang Wang Mingyang

Northeast Company of China Construction Eighth Engineering Division Co., Ltd.

[Abstract] Mud is an essential key element in the construction of bored piles with mud protection walls, and its preparation quality plays a decisive role in the quality of pile formation. If the mud is not properly prepared, such as insufficient salt resistance, it is easy to cause mud failure and hole wall collapse in the seawater environment of the reclaimed area, which can lead to problems such as pile hole deformation and diameter reduction, seriously affecting the bearing capacity and structural integrity of the pile; Poor suspension capacity can cause sedimentation of drilling debris, blockage of pile holes, resulting in consequences such as pile breakage or slag inclusion. At the same time, there are also risks of construction safety accidents caused by hole wall collapse, mud leakage polluting the marine environment, and increased costs due to equipment damage. Therefore, this study comprehensively studied the construction plan, on-site construction, and follow-up visits from multiple aspects, based on the pile foundation project of Dalian Jinzhou Bay International Airport Terminal, and conducted a six-month follow-up investigation. By strictly controlling the process flow, key points, quality requirements, and precautions of mud preparation, and through engineering practice testing, the occurrence of hole wall collapse or mud failure in seawater environment has been effectively controlled, providing strong guarantees for the quality and safety of cast-in-place pile construction.

[Key words] Mud Wall Protection, Drilling, Grouting Pile, Mud Ratio, Salt Resistance

泥浆的主要作用是护壁、悬浮钻渣和稳定孔壁。填海区泥浆护壁成孔灌注桩泥浆配比尤为重要, 如果配比不当, 如抗盐性不足, 可能导致泥浆在海水环境中失效, 孔壁坍塌, 进而导致桩孔变形或缩径。这将直接影响桩的承载能力和结构完整性。此外, 悬浮能力不足会导致钻渣沉淀, 堵塞桩孔, 影响混凝土灌注, 形成断桩或夹渣。其次是安全问题, 孔壁坍塌不仅影响质量, 还可能引发施工安全事故, 比如钻机倾斜、人员伤亡。泥浆漏失到周围海域可能污染环境, 违反环保法规, 带来法律风险和经济损失。泥浆性能不稳定可能导致施工设备损

坏, 增加维护成本和延误工期。这些都困扰着参建单位。针对以上问题我们组织有关人员展开跟踪调查, 以大连金州湾国际机场航站楼桩基础项目为研究对象, 从施工方案到现场施工及回访, 进行了为时半年的跟踪调查。

1、工艺流程

1.1 泥浆护壁成孔灌注桩施工工艺流程

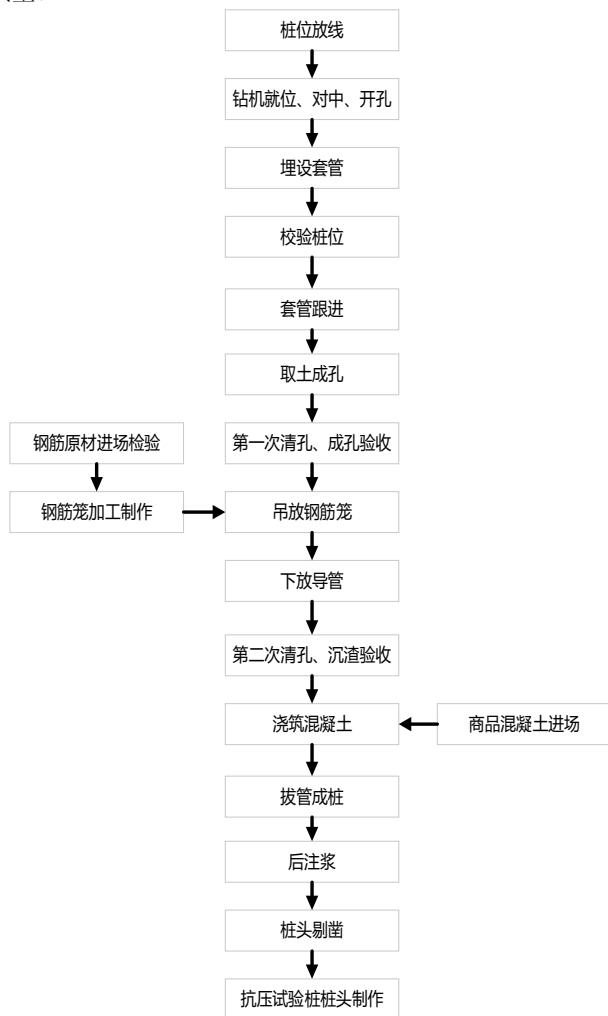
泥浆护壁成孔灌注桩施工工艺流程如下:

施工开始前, 先进行钢筋原材料进场检验、钢筋笼加工制作等操作。进入现场施工环节进行桩位放线, 随后钻机就位、

对中、开孔。在开孔后埋设护筒、校验桩位，并进行护筒跟进操作，进而取土成孔。

成孔完成后，需进行第一次清孔，清孔完毕验收成孔。验收合格后吊放钢筋笼，然后下放导管。导管放置好后，进行第二次清孔，并验收沉渣。

沉渣验收通过后，商品混凝土进场，接着开始浇筑混凝土。完成混凝土浇筑后进行拔管成桩操作，之后进行后注浆处理。最后制作抗压试验桩桩头，由此完成整个泥浆护壁成孔灌注桩施工流程。这一过程中需严格依照规范操作，确保灌注桩整体质量。



1.2 泥浆制备工艺流程

确定泥浆配合比→原材料准备→预水化处理膨润土→泥浆搅拌→泥浆性能检测→泥浆性能调整→浆储存与循环。

2、工艺要点

泥浆护壁成孔灌注桩是在地下水位较高的地区常用的桩基施工方法，泥浆的作用主要是护壁、携渣、冷却钻头和润滑钻具。所以配置泥浆的过程应该涉及到材料的选择、混合、调整性能参数等步骤。

第一步是确定泥浆的配合比，也就是各种材料的比例。泥浆主要由水、膨润土、添加剂构成，其中膨润土是关键。其可有效增加泥浆黏度，形成护壁泥皮。确定配合比时，要综合考虑工程实际情况。不同工程对泥浆性能要求各异，需根据地质条件、桩径、施工设备等因素精确确定各种材料比例，确保泥

浆发挥最佳效果。

第二步是加入一些添加剂，比如分散剂（如纯碱）来调整泥浆的 pH 值，或者增粘剂（如 CMC）来增加黏度，还有可能用到重晶石粉来调整密度，或者降失水剂来控制滤失量。这些添加剂不能随意添加，若先不调整 pH 值就加入增粘剂，可能导致增粘效果不佳，甚至影响泥浆整体性能。

第三步是原材料的准备，选择优质膨润土，优先选用钠基膨润土，因其性能优于钙基膨润土。在采购时需严格检查膨润土的纯度、细度，避免杂质混入。杂质会影响泥浆的护壁效果和稳定性。对于添加剂如纯碱，需确保其纯度符合要求；对于 CMC 等增粘剂，要检查其质量是否合格，有无受潮或结块现象。受潮或结块的添加剂会影响其在泥浆中的分散效果，进而影响泥浆性能。膨润土预水化处理不容忽视。将膨润土提前与水混合，使其充分吸水膨胀，这一过程最好能静置 4 - 8 小时，若采用机械搅拌也需 30 分钟左右。充分的预水化能保证膨润土在后续搅拌中更容易分散，显著提高泥浆性能。若预水化时间不足，膨润土不能充分吸水，在搅拌时可能形成结块，导致泥浆黏度不均匀，影响护壁效果。

第四步是搅拌，搅拌过程需使用机械搅拌器，且材料加入顺序有讲究。首先加入适量的淡水，淡水的质量也很关键，硬水可能因矿物质含量高影响泥浆性能，若使用硬水可能需增加分散剂用量来软化水质。接着缓慢加入膨润土，边加边搅拌，防止结块。然后按照先调整 pH 值（如加纯碱），再加入增粘剂（如 CMC）等顺序添加添加剂。搅拌时间要足够长，一般在加入所有添加剂后需搅拌 20 - 30 分钟，确保泥浆均匀无颗粒。若搅拌时间过短，材料无法充分混合，泥浆性能稳定性会受到一定程度的影响。

搅拌完成后，需检测泥浆的多项性能，包括黏度、密度、含砂率、pH 值和滤失量等。黏度一般用马氏漏斗测定，应在 18 - 28 秒之间；密度用泥浆比重计测量，控制在 1.10-1.25g/cm³；含砂率需≤8%（用泥浆含砂量测定仪检测）；API 滤失量<30ml/30min；pH 值应在 8 - 10 之间（可用 pH 试纸或电子 pH 计检测）。这些指标全面反映泥浆性能，缺一不可。若遗漏某项指标检测，可能无法及时发现泥浆性能问题，进而影响成孔质量。

当检测结果不达标时及时调整。若黏度过低，可补充膨润土或增粘剂；密度不足时，加入重晶石粉；pH 值异常，可通过增减纯碱用量来调节；滤失量过大，则添加降失水剂。调整后需再次搅拌并检测，直至泥浆性能符合要求。

配置好的泥浆通常储存在泥浆池中，为防止沉淀需保持低速搅拌。如果不进行搅拌，泥浆中的固体颗粒会逐渐下沉，导致泥浆上层和下层性能不一致，影响使用效果。在成孔过程中，泥浆需不断循环，携带钻渣。同时定期检测调整泥浆性能。随着循环进行，泥浆性能可能发生变化，如黏度降低、含砂率升高等，及时检测调整可保证泥浆持续发挥作用。

可能的误区：是不是所有的添加剂都是一起加入的？应该是有顺序的，比如先调整 pH 值，再加其他添加剂。还有膨润土的预水化处理时间，可能需要足够的时间让膨润土充分水化，否则会影响泥浆性能。另外，测试的指标是否全面，有没有漏掉什么？还有可能需要注意不同地质条件对泥浆的要求不同，比如在砂层较多的地层，可能需要更高的黏度和密度来防止塌孔；而在黏土层，可能需要控制滤失量，防止泥皮过厚影响桩的摩擦力。

最后是泥浆的回收和处理环节。在灌注桩施工过程中，使用过的泥浆含有大量钻渣，不能直接废弃。首先，这些使用过

的泥浆需要进行沉淀处理。通过设置专门的沉淀区域，让泥浆在其中静置一段时间，由于重力作用，泥浆中钻渣逐渐下沉至底部。

在沉淀之后，需对钻渣进行分离操作。可采用物理分离方法，例如使用滤网或离心机等设备，将钻渣从泥浆中彻底分离出来。经过沉淀、分离钻渣后的泥浆，其性能往往已经发生改变，无法满足后续施工的要求。此时，需重新调整泥浆性能。如果泥浆黏度下降，可适量添加增粘剂；若密度不符合要求，则可加入重晶石粉等调整密度的材料。经过性能调整后的泥浆可以再次投入到施工中循环使用。

虽然泥浆的回收和处理属于泥浆的循环使用范畴，并非泥浆的配置流程，但在进行泥浆配置流程设计时，须考虑后续泥浆回收和处理方法。这一举措符合环保要求，可有效避免泥浆随意排放对环境造成污染，尤其是在填海等对环境敏感的区域施工时，环保意义更为重大；另一方面，通过回收和再利用泥浆，减少原材料消耗，从而降低施工成本，提高工程经济效益。

流程：确定配合比→准备材料→预水化膨润土→搅拌混合→加入添加剂→性能检测→调整→储存备用。每个步骤中的关键点需要注意，比如搅拌顺序、检测指标、调整方法等。重点考虑水质的影响，比如使用淡水还是其他水源，水质中的杂质或矿物质是否会影响泥浆性能。例如，硬水可能需要更多的分散剂来软化。另外，不同的施工机械可能对泥浆的要求不同，比如旋转钻机和冲击钻机可能需要不同性能的泥浆，配置时是否需要调整参数？还有，泥浆的配置量需要根据工程规模和成孔体积来计算，确保供应充足，避免施工中断。总的来说，泥浆配置是一个系统的过程，需要严格按照步骤进行，同时根据实际情况调整参数，确保泥浆性能满足工程需求。

3、质量要求

经现场跟踪及实验总结出泥浆配置的质量要求有如下几点：

1. 确定泥浆配合比

依据：地质条件（如土层类型、地下水位）、桩径、施工设备及规范要求。

材料配比：

基础材料：水、膨润土（占比通常为6%~12%）、纯碱（ Na_2CO_3 ，占比0.3%~0.5%）。

添加剂：增粘剂（CMC，0.1%~0.3%）、降失水剂（如腐植酸类）、加重剂（重晶石粉）等。

示例配比：水 1000kg + 膨润土 80kg + 纯碱 4kg + CMC 1.5kg。

2. 原材料准备

膨润土：选择钠基膨润土（优于钙基），检查纯度及细度。

水：优先使用淡水，避免硬水或含杂质水源。

添加剂：按设计比例备料，确保无受潮或结块。

3. 预水化处理膨润土

步骤：将膨润土缓慢加入水中，静置4~8小时（或机械搅拌30分钟），使其充分吸水膨胀。

4. 泥浆搅拌

设备：高速搅拌机或泥浆搅拌机。

顺序：加入预水化膨润土浆液。加入纯碱调整pH值至8~10。逐步加入CMC等增粘剂，搅拌20~30分钟。按需加入加重剂或降失水剂，持续搅拌至均匀。

5. 泥浆性能检测

关键指标：

黏度：用马氏漏斗测定，一般18~28秒。

密度：用泥浆比重计，控制在 $1.10 \sim 1.25 \text{g/cm}^3$ 。

含砂率： $\leq 8\%$ （泥浆含砂量测定仪）。

滤失量：API滤失量 $< 30 \text{ml}/30 \text{min}$ 。

pH值：8~10（pH试纸或电子pH计）。

6. 泥浆性能调整

黏度过低：补充膨润土或增粘剂。

密度不足：加入重晶石粉。

pH值异常：增减纯碱用量。

滤失量过大：添加降失水剂。

7. 泥浆储存与循环

储存：置于泥浆池中，持续低速搅拌防止沉淀。

循环使用：施工中通过泥浆泵循环携带钻渣，定期检测并调整性能。

废弃处理：经沉淀、分离钻渣后，环保处理或回收利用。

4、注意事项

1、地质适应性：在砂层地质条件下，因其颗粒松散、黏聚力低，易造成孔壁失稳。需显著提高泥浆的黏度与密度。高黏度的泥浆能在孔壁形成牢固泥皮，阻挡砂粒滑落；增加密度可增强泥浆对孔壁的支撑力，防止坍塌。黏土层吸水性强，若泥浆滤失量控制不当，会形成过厚泥皮，降低桩的摩擦力。因此，在此类地层中施工，必须严格控制泥浆滤失量，添加适量降失水剂是有效措施。

2、水质影响：硬水中的钙、镁离子会干扰泥浆性能，导致黏度下降、稳定性变差。当使用硬水配制泥浆时，需适量增加纯碱用量，以中和钙、镁离子，软化水质。为保证泥浆性能稳定，优先选择淡水。

3、施工机械匹配：旋转钻机与冲击钻机对泥浆性能要求不同，需针对性调整。冲击钻机以重锤冲击成孔，对孔壁冲击力大，要求泥浆护壁性能强，即密度大且有一定韧性。施工时可适当提高膨润土含量，增强泥浆密度和护壁能力，同时注意控制流动性，防止孔壁坍塌。

4、动态维护：成孔过程中，地层变化、钻进速度等因素会改变泥浆性能。如钻进速度快可能使泥浆含砂率升高，地下水可能稀释泥浆。因此须实时监测泥浆黏度、密度、含砂率、pH值、滤失量等指标，一旦发现异常及时调整，防止塌孔或缩径。

通过严格遵循上述流程和注意事项，可确保泥浆在成孔过程中充分发挥护壁、携渣作用，有力保障灌注桩施工质量与安全。整个施工过程从配比设计到成桩，都需严格把关，依据标准施工把握工序衔接，坚持质量为本。采取上述质量措施后，有效消除塌孔、缩颈、断桩及夹渣等质量风险，赢得验收部门认可，保证工程顺利交付使用。

总之，整个施工过程应从配比设计、施工到成桩各个环节把关，严格按照标准设计施工，把握工序衔接，真正以质量为本，通过采取上述质量措施后，较好地消除了塌孔、缩颈、断桩及夹渣等质量风险，在验收中获得相关部门的一致认可。

【参考文献】

- [1]地下连续墙黏性土夹砂层槽壁稳定性分析[J]. 欧明喜；戴志峰；陈颖辉；桂跃. 防灾减灾工程学报, 2020 (04)
- [2]苏州粉土地层地连墙施工对地层扰动影响研究[J]. 朱宁；周洋；刘维；史培新；吴奔. 岩土力学, 2018 (S1)
- [3]超深地下连续墙成槽施工过程三维数值分析[J]. 李慕涵. 地下空间与工程学报, 2016 (S1)