

水泥土搅拌桩复合地基在水闸设计中运用研究

邓建波

广东粤源工程咨询有限公司

摘要：水泥土搅拌桩复合地基技术，广泛应用于软土地基处理中，其本身所具备较高的承载力以及适应变形能力强等特性，取得了良好的建设效果。本文结合某水闸工程的实际概况，对水泥土搅拌桩复合地基的基本概念及特性，进行了简要分析后，重点阐述了其在水闸设计中的应用，其中涵盖了水闸沉降、地基处理以及试桩试验，仅供业内人士参考。

关键词：水泥土搅拌桩；复合地基；水闸设计

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.11.091

引言：水泥土搅拌桩复合地基处理技术，对水闸工程的整体运行质量及效率，起着至关重要的作用，其不仅可以为水闸工程，减少大量的建设成本，还能有效提升水闸运行的安全性和可靠性。

一、工程概况

（一）总体概况

某老旧水闸共设计了6个孔，总净宽为19m。运行使用过程中，由于超重型货车长期通行该水闸交通桥，导致水闸其出现了严重变形、开裂以及沉降的情况，不仅严重影响水闸的安全运行，还是影响该区域防洪、排涝安全，给当地人民群众的生命财产安全造成严重威胁。

为提升该水闸运行的安全性，当地有关部门决定对该工程进行修复和重建。在结合各方面因素后，水闸的整体结构设计为开敞式，并设有3个孔，其中每个孔的净宽为8m，底板高程-2.30m，在考虑该底板高程与湖堤加固工程互相连接的状况后，结合沉降等各方面因素对该工程的影响，最终确定将闸顶高程为3.6m、防浪墙高程为4.6m、以及交通桥总宽度为7m。另外，在水闸左右两岸配套建设450m的连接堤，该连接堤的堤顶高程为3.40m、净宽为8m，堤顶防浪墙高程为4.4m；重建交通道路，总长度为70m，总宽度设计为5m；新建一个管理基地。

（二）地质条件

根据现场踏勘及地质勘察资料，该水闸的地貌特征属于典型的河流冲淤，其东侧、南侧以及西侧分别为河流，北侧有一处占地非常大的鱼塘。

场地主要的岩土特征为：上部土层由淤泥土和堆积土组成，下部基岩层为粉砂岩，该粉砂岩的主要成分为泥土。其地层主要是由黏土、淤泥以及粗砂组成，该新建水闸工程位于淤泥层，总厚度在15.50-16.20m之间，由于淤泥层的压缩性较强，因此其土质的敏感度极高，土质较差。开展了前后四次原位贯入试验可知：杆长修正前的锤击数为3-4击，修正后的锤击数为2-3击。

其主要的水文条件为：地下水水位较高，在1.5m左右，新建水闸工程的粉质黏土层中地表水较多，其中大部分都是滞留性质的地表水。淤泥层中的结合水较多，粗砂层作为该工程的核心含水层，其中的孔隙水非常多，一般情况下，大多数含有孔隙水的水层，其抗压性

和透水性都会明显强于其他水层。风化砂岩层中的裂隙水较多。

其主要的土壤类型以及抗震级别为：该新建水闸工程施工现场的土层大致覆盖厚度在22.60-23.60m左右，该土层土壤性质主要为软塑性黏土、可塑性粉质黏土、流塑性淤泥以及密度较高的粗砂，经过对施工现场周围建筑的抗震试验可知，该场地土壤性质为软弱土，抗震防裂度为8度。

二、水泥土搅拌桩复合地基的基本概念及特点

水泥土搅拌桩主要就是将水泥以及具有固化性质的材料，加入到搅拌机中，经过搅拌机的深层强烈搅拌后，将其灌输到软土内，再进行搅拌，其在搅拌的过程中，水泥会与软土之间出现一连串的物化反应，这不仅可以有效改善软土土质，还能够提升软土的整体性和凝固性以及水稳性，当软土的土质受到了明显的改变后，地基的整体承载力不仅会大幅度提升，沉降也会随之减少。因此在水闸工程中应用水泥土搅拌桩复合地基处理技术，可以提升地基的承载力，减少地基沉降。

水泥土搅拌桩在水闸工程中主要呈以下特点：其一为施工简单，水泥土搅拌桩能够在短时间内快速完成打孔以及成桩作业，并且是一次性的，由于其工艺较为简单，因此其施工效率十分快，这能够大大缩减工期。其二为成本低，水泥土搅拌桩的材料十分低廉，不需要昂贵的建材，只需要在土层中注入水泥或水泥浆即可。其三为应用范围广，水泥土搅拌桩广泛应用于软土地基处理，不仅广泛应用于水闸、泵站、堤防等水利工程，在道路、房建等工程也有广泛应用，积累了大量实用经验。

三、水泥土搅拌桩复合地基在水闸设计中的应用

（一）水闸复合地基设计

由于水闸工程所处土层为淤泥层，地基承载力一般情况下都难以满足要求，因此需要对水闸基底应力进行计算，复核地基承载力，复核闸室抗滑、抗倾覆稳定性。首先，结合水闸的具体运行状况，将水闸承受的荷载进行组合，分不同工况对水闸基地应力、抗滑、抗倾覆进行计算。

表1 水闸应力稳定计算图表

计算工况	基础组合：	特殊组合：核验收潮
	竣工期-试验挡潮期	期-地震7度以上
水闸外部水位	-3.2—3.15	3.34—1.96
水闸内部水位	-3.2—0.75	1.00—0.75
自重	√	√
水重	√	√
风压	√	√
静水压	√	√
扬压	√	√
地震荷载		√

经过计算,水闸的抗滑安全系数、抗倾安全系数均大于规范允许值,但其基底的最大应力在54.33kPa左右,大于现状地基承载力43kPa,现状地基承载力不满足水闸建设需求,因此应对水闸进行地基处理,提高水闸地基承载力。

(二) 闸室地基处理

结合上述计算结果,为保证水闸的安全运行,满足地基承载力要求,同时本着节约投资、施工简便的原

则,结合工程的实际情况,决定本水闸地基处理采用水泥搅拌桩复合地基技术对地基进行处理。

根据本水闸工程的整体结构及布置情况,确定水泥搅拌桩地基处理如下:水泥搅拌桩的桩径为0.5m,单桩长度为12.4m,桩顶高程为-3.20m,桩间距为1.2m,正方形布桩,地基处理总体面积为1600m²,共布设1121根搅拌桩,具体布置情况如图1。

(三) 地基承载力及沉降

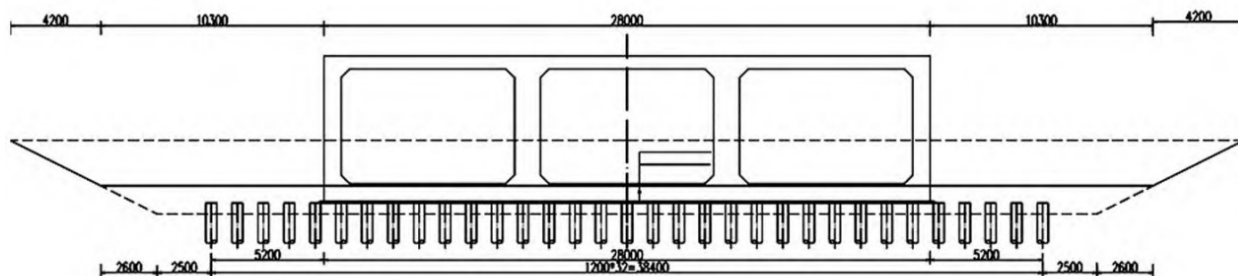


图1 水闸基础设计图

根据水泥搅拌桩设计情况,结合地质资料及以往工程经验,计算水泥搅拌桩复合地基承载力。经计算,本水闸水泥搅拌桩复合地基承载力为72kPa,大于水闸基底的平均应力最大值54.33kPa,满足地基承载力需求。

计算水闸地基的沉降时,应科学合理的选择计算点,因该水闸的总体结构为现浇混凝土整体结构,因此在计算该水闸的地基沉降时,应将水闸临江侧作为计算点。计算时加固区考虑水泥搅拌桩加固处理后,压缩模量提高,然后进行沉降计算;非加固区,采用分层总和法计算,其主要计算公式由 S 、 n 、 e_{1i} 、 e_{2i} 以及 h_i 组成,其中 S 为沉降量, n 代表的是在压缩内具体的土层数, e_{1i} 指的是当土层内部受到自重应力后的孔隙比值, e_{2i} 指的是在平均自重应力下加上一定的附加应力后的孔隙比, h_i 代表着土层的厚度^[1]。

对水闸临江侧计算点进行沉降计算可知,其沉降值为0.279m,其内涌侧沉降值为0.278m,比采用水泥搅拌桩地基处理的地基沉降值大幅减少,可见水泥搅拌桩地基处理可有效减少建筑物地基沉降,保证期正常运行。

(四) 复合地基试桩试验

水泥搅拌桩主要分为两种施工方法,一种是干喷,一种是湿喷,由于不同地区的地质环境及水文条件不同,因此实际应用过程中,需要根据实际情况采用不同的施工工艺。根据以往工程经验及实践证明,干喷法在喷粉及搅拌水泥干粉的过程中,可能出现搅拌不均、强度不稳以及断裂的情况,对施工质量的影响较大。为保障单桩以及复合地基的承载力,本水闸水泥搅拌桩施工工艺选用湿喷法。

由于每个工程实际情况都会有差别,因此水泥搅拌

桩地基处理施工前要进行试桩,确定水泥搅拌桩的施工参数,保证施工质量。结合工程情况,本工程一共安排试验3根基础桩。

试验桩主要施工流程为每搅拌4次就湿喷2次,即4搅2喷。在设计三根试验桩的桩径时,主要是结合原有桩径,进行统一设计,其桩长按照原始桩端底部的高程进行科学合理的设计。结合多方面因素后,将试验桩的桩顶高程设计为0.5m,将试验桩底部高程设计为-15.5m,其中淤泥层和粗砂层之间需要有一个分界面,该分界面高程的平均数值为-15.0m,桩底端应埋入粗砂层0.6m左右,因此试验桩的总桩长设计为16.0m。在水泥搅拌桩成桩后,需要将土表层成桩最顶部向下0.5m的桩头锯除,因此试验桩的最终桩长为15.5m。另外在进行成桩试验前,需要将这三根试验桩用水泥搅拌成不同重量的水泥搅拌桩,本水闸工程三根试验桩的水泥掺加量分别为:第一根50kg/m试验桩的水泥掺加比为14.6%-17.6%,第二根60kg/m试验桩的水泥掺加比为17.4%-18.4%,第三根70kg/m试验桩的水泥掺加比为20.3%-20.1%。

在开展本次试验前,根据该水闸工程的各项因素,一共设立三项目标:其一,精准完整的获取到水泥的实际抗压强度值;其二,对三个试验桩的单桩承载力进行严格的复核;其三,通过抽芯技术对三个试验桩进行抽芯测试,以查看其完整性。

施工单位以上述目标为基础,开展的试验桩测验主要有以下内容:第一,通过钻芯技术对试验桩开展抽芯测试;测试的主要内容有:水泥拌合的深度、桩长与实际设计之间的差值、成桩的整体性和均衡性;成桩的搭接状况以及成桩底部与土层的接底情况。第二,水泥抗

压强度值测验的主要内容为：将三根试验桩的上、中、下三个部位，分别提取三个芯样，该次试验一共应抽取9个芯样，在开展水泥抗压强度的实验工作时，应在室内进行。对每个试验桩的三个芯样进行检测，检测出最接近水泥平均抗压强度值的芯样，然后对其相对应的试验桩开展竖向抗压强度试验，根据相关技术规程的要求，在测验试验桩时，应在单桩最大承载力的基础上，提升2倍的荷载^[2]。

经过对三根试验桩的综合性试验，得出了以下结果：水泥搅拌桩的最大抗压强度在1.54-1.96MPa内，三根试验桩的9个芯样都符合工程实际建设需求，并且水泥参加比越大，试验桩的抗压强度就越高。通过对水泥搅拌桩的抗压强度实验最终得出三根试验桩的抗压承载力分别为86kN、98kN、103kN，详情请见表2。

表2 试验桩检测情况

试验桩序号	水泥参加量	水泥参加比	单桩测试抗压值/kN	单桩实际抗压值/kN
1	50kg/m	14.6%-17.6%	80	86
2	60kg/m	17.4%-18.4%	80	98
3	70kg/m	20.3%-20.1%	80	103

完成试验桩的测验后，施工单位还需对检测数值进行综合性的审核，确保检测结果无误后，才可以正式在水闸施工中应用^[3]。

四、注意事项

在水闸工程中，应用水泥搅拌桩施工技术，需要注意以下事项：

首先，施工单位应对水泥材料的质量进行严格的把控。水泥的质量直接关系到搅拌桩的在水闸工程中的应用效果，因此施工单位在选择水泥时，应优先选择质量有保证的厂家生产的水泥，当材料到达施工现场后，应对入场材料进行二次检测，防止供应商出现偷换材料的情况。

其次，注重开展配土试验及试桩。配土试验的主要目的就是为设计水泥搅拌桩中的水泥含量，为搅拌桩中水泥参加量的提供参考依据，因此配土试验尤为重要。试验桩是在工程现场进行的，地质情况、环境与后期使用桩基本一样的试验，能验证前期设计的各项参数，是最终确定水泥搅拌桩各项参数的最为重要得试验。

然后，在应用搅拌设备时，施工单位应提前对设备的运行状况进行检验，避免设备出现故障的情况，影响施工质量。在布设搅拌设备时，应合理选择布设位置，并将相应位置处理平整，周围障碍物全部清除干净，若施工现场的地势较洼，还需用黏土将洼地全部填平，严禁用杂土回填。与此同时，施工单位还应将信息化技术与搅拌设施进行有机结合，确保能够实时监控设备的运

行状态。

最后，还需严格控制施工质量及效率。在施工前，施工单位应将已经设计完成的施工方案，上交至相关部门，通过审批后才可正式施工，并且施工单位还应做好技术交底工作，要确保每位进入施工现场的人员，都具备专业的水泥搅拌桩复合地基处理技术。在施工过程中，施工人员应严格按照设计要求以及相关试验数据，对水泥浆液进行配制^[4]。与此同时，在使用搅拌机的过程中，应结合现实情况，科学调试搅拌机的运转速度，一般情况下，搅拌机的作业速度应控制在0.7m/min左右，严禁大于1m/min，并且成桩的桩身需垂直埋至土层中，允许存在垂直偏差，但严禁超过1.4%，桩位的偏差值也应控制在55mm内。除此之外，在开展水泥搅拌桩深层施工作业的过程中，成桩的桩顶若到达半米之上，会严重影响搅拌质量和效果，这时施工人员应在原有基础土的基础之上，再加半米或一米，若搅拌机还在地面进行搅拌，在进行基坑的挖掘作业时，可以将质量不好的桩锯除。为保障桩端的施工质量，当水泥浆达到浆口即将涌出后，应立即开展喷射作业，其实际喷射量应结合喷射长度和断浆量的实际情况制定^[5]。

五、结论

本文涉及的水闸工程，属于典型的软土地区工程，水泥搅拌桩复合地基处理技术十分适用。在应用水泥搅拌桩技术施工的过程中，施工单位结合水闸工程实际情况，设计出科学的施工方案，最大程度上发挥水泥搅拌桩复合地基处理技术在水闸工程中的应用优势，取得了良好的工程效果。

综上所述，水泥搅拌桩复合地基处理技术在软土地区水闸工程地基处理中，有施工简便、适应变形能力强、能有效提高地基承载力等特点，工程效果好，经济效益高。

参考文献

[1]成浩, 邓恒, 秦星, 等. 软土地区接杆水泥搅拌桩施工对邻近桥墩变形影响研究[J]. 中国水运(下半月). 2020, (12).

[2]丁京鹏. 节制闸工程水泥土搅拌桩复合地基承载特性研究[D]. 安徽建筑大学, 2022.

[3]商庆坤, 饶以苹, 张行政. 一种计算水泥土搅拌桩复合地基桩土应力比的方法[J]. 中国水运(下半月), 2022, 22(02): 143-144.

[4]陈晨. 市政道路水泥土搅拌桩复合地基的设计和计算[J]. 运输经理世界, 2022(01): 20-22.

[5]赵利平, 龙骁鹏, 黄筱云. 水泥土搅拌桩复合地基沉降分析[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版), 2020, 17(03): 30-36+70.