

文章编号:1001-4179(2013)09-0044-03

# 无填料振冲挤密法在粉砂土地基处理中的应用

——以钱江闸站枢纽工程为例

余锦地, 吴文峰, 朱亚磊

(浙江省水利水电勘测设计院, 浙江 杭州 310002)

**摘要:**为消除粉砂土地基液化、减小建筑物地基不均匀沉降、提高地基承载力,可采用无填料振冲挤密法对基础范围内的粉砂土进行加密,使振冲后的地基达到中密至密实状态。结合钱江闸站枢纽工程实例,介绍无填料振冲挤密法在粉砂土地基处理中的应用情况,从设计、施工、质量控制和检测4个方面分析了该地基的处理效果。工程实践表明,只要采用正确的施工工艺和技术参数,用此种方法加固粉砂土地基效果明显,能满足工程质量和施工进度控制要求。

**关键词:**无填料;振冲挤密法;粉砂土;地基处理

**中图分类号:**P642      **文献标志码:**A

近年来,加固粉砂土地基一般采用强夯、注浆、振冲和水泥土搅拌等方法,其中振冲法又分为振冲碎石桩法和无填料振冲挤密法。强夯法适用于堆场、港区陆域等大面积填土加固;注浆法适用于局部加固地基、抗震、防渗,但处理深度均有限;水泥土搅拌法常用于粉性土地基加固,但不能起到防止粉土地基震动液化的作用;振冲碎石桩法一般在加固中粗砂地基中应用,利用碎石、矿渣等填料形成桩体,但不适用于地下水位较高、松散易塌方的土质。无填料振冲挤密法加固粉砂土地基具有工艺简单、经济实用和效果显著等优点,具有广阔的应用前景。

无填料振冲挤密法是在振冲器水平振动和高压水的共同作用下,使松散碎石土、砂土、粉土、人工填土等土体振密,以达到消除地基液化、减小建筑物地基不均匀沉降、提高地基承载力的目的。本文以杭州市萧山区钱江闸站枢纽工程为例,介绍无填料振冲挤密法在粉砂土地基处理中的应用情况<sup>[1-4]</sup>,从设计、施工、质量控制和检测4个方面分析了该地基处理的效果,提出评价与建议,为今后此类型地基处理提供技术支持。

## 1 工程概况

钱江闸站枢纽为Ⅱ等工程,位于杭州市萧山区钱

江世纪城内,工程任务以防洪、排涝及灌溉为主,兼顾改善水环境等综合利用。工程包括泵站与节制闸,并排对称布置,泵站位于闸站中间,同时兼有排涝和引水功能,设计排涝流量为 $50\text{ m}^3/\text{s}$ ,引水流量为 $20\text{ m}^3/\text{s}$ ,分别设置2台双向泵站和3台单向泵站,节制闸位于泵站两侧,闸孔总数为4孔,每孔净宽6 m,总净宽24 m。

工程区地处萧绍平原,地貌属钱塘江冲海积平原,地形平坦开阔,原始地面高程为5 m左右,区内出露的地层主要为冲海积、冲洪积的粉土、粉质黏土、粉细砂以及海积、湖沼积的淤泥质黏土、淤泥、粉质黏土。该工程中闸站建筑抗震设防等级为乙类,对建基面以下的Ⅱ3层粉土夹粉砂、Ⅲ1层粉砂夹粉土及Ⅲ2层粉细砂,按设防烈度7度进行地震液化判别,根据黏粒含量、上覆非液化土初判及标准贯入锤击数法复判,在设防烈度7度均为液化土的条件下,需采取适当的工程措施部分消除液化沉陷或对基础和上部结构进行适当处理。工程区地层条件见表1。

## 2 地基处理方案

为提高地基土的承载力,防止运行期间闸站基础与混凝土底板间形成空隙,结合消除地震液化考虑,在闸

站基础采用直径为80 cm的C25钢筋混凝土灌注桩进行处理前,需先对闸室和其上、下游连接段以及闸室两侧岸墙基础采取无填料振冲挤密处理,基础外缘扩大处理宽度不小于基础底面下处理深度的1/2。振冲孔间距2 m,等边三角形布置,振冲处理深度为液化深度的下限,即V层淤泥质黏土底部-14.90 m高程,平均深度约12.5 m。振冲挤密处理效果采用标准贯入试验进行检测,要求表层5 m深度土层的标贯不小于12击,5 m以下的标贯为12~18击。鉴于目前振冲法处理设计还处于半理论半经验状态,一些计算方法还不够成熟,某些设计参数也只能凭工程经验选定。因此,正式施工采用的参数,如造孔水压、加密电流、造孔速度、留振时间等,需根据施工现场试验最终确定。

表1 工程区地层条件

层号及名称	平均埋深/m	层厚/m	标准贯入击数/击	黏粒含量/%	承载力标准值/kPa
Ⅱ1 黏质、砂质粉土	1.2	2.5~5.8	4	6.51	140~150
Ⅱ2 砂质粉土	5.4	1.2~5.4	6	5.94	150~160
Ⅱ3 粉土夹粉砂	8.7	1.2~3.8	10	3.43	145~155
Ⅲ1 粉砂夹粉土	11.2	2.2~5.9	12	4.54	160
Ⅲ2 粉细砂	15.3	2.7~5.0	14	3.99	180
V 淤泥质黏土	19.9	1.8~5.1	-	-	-

### 3 振冲施工

#### 3.1 现场试验

振冲器是无填料振冲挤密法中最关键的技术设备,试验选取的振冲器技术参数和外形尺寸见表2。

表2 振冲器技术参数和外形尺寸

电动机额定功率/kW	额定电流/A	转速/(r·min <sup>-1</sup> )	振幅/mm	振动力/kN	质量/t	振冲器外径/mm	振冲器长/mm
75	158	1450	12~14	160	2.5	426	2710

为研究无填料振冲挤密法对粉砂土地基的适宜性,探讨不同施工工艺对其加固效果的影响,试验采取了如下工艺措施:

(1) 选择适当的造孔水压和水量。造孔水压大小取决于振冲器的贯入速度和土质条件。造孔速度慢或土质坚硬可加大水压力,反之宜减少水压。一般造孔水压可控制在0.30~0.80 MPa。对松散的粉细砂、砂质粉土、粉煤灰地基,造孔水量宜少,以防止随返水带出大量泥砂。

(2) 控制振冲器下降和上提速率。为避免振冲不充分和漏振,保证施工质量,振冲时应严格控制振冲器

上提间距、速率及下降速率。下降和上提速率不宜超过2.0 m/min,上提间距宜为50 cm。

(3) 采用双机共振施工工艺,有效限制振冲流态区的发展并扩大挤密范围,提高振冲加固效果。

(4) 根据粉砂土特性确定振冲加密电流和留振时间。

工程区场地为粉砂土地基,根据《水电水利工程振冲法地基处理技术规范》(DL/T5214-2005),地基的加密效果采用标准贯入试验进行检测,宜在施工15 d后进行,先做检测试验,然后进行一次性验收。经多次现场试验后,综合考虑加固效果、施工效率和工期等因素,得出的主要施工参数见表3。

表3 振冲挤密施工参数

造孔水压/MPa	加密电流/A	留振时间/(s·m <sup>-1</sup> )	上提速率/(m·min <sup>-1</sup> )	下降速率/(m·min <sup>-1</sup> )	提升间距/m
0.4	50~80	8~15	1.5	1.5	0.5

#### 3.2 施工方案

该工程地基处理施工应先进行场地平整,场地平整高程为5 m,然后进行振冲处理,最后开挖基坑,5.0 m高程至开挖建基面高程(平均-2.5 m)间土层不需进行振冲处理。现场采用1台25 t履带吊机带2套额定功率75 kW的振冲器进行施工,采用围打法,即振冲加固地层的顺序采用由外向里施工法,施工时先完成四周的外围2~3排孔,内层采用隔一圈成一圈的跳打法逐渐向中心收缩。

造孔是保证施工质量的首要环节,造孔应符合下列规定:

(1) 振冲器对准桩位,对准偏差应小于100 mm,先开启压力水泵,振冲器末端出水口喷水后,再启动振冲器。待振冲器运行正常后开始造孔。

(2) 造孔过程中振冲器应处于悬垂状态。振冲器与导管之间有橡胶减震器连接,因此,导管有稍微偏斜是允许的,但偏斜不能过大,一般允许偏差应控制在处理深度的1%以内,防止振冲器偏离贯入方向。

(3) 根据试验成果,确定造孔水压0.4 MPa,造孔速度1.5 m/min。

加密是振冲法处理地基的关键环节,控制标准采用加密电流、留振时间、加密段长度综合指标法。采用这3种指标是为了使加密质量更有保证,因为加密效果不仅与加密电流大小有关,也和达到该电流值维持时间长短有关。留振时间是指振冲器达到加密电流后的振动时间。加密段长度越小、效果越好,长度越大、效果越差,甚至产生漏振。

## 4 质量控制

### 4.1 桩位偏差

要使成桩后的桩位偏差满足规范要求,首先在造孔时要控制孔位偏移。造孔过程中发生孔位偏移的原因及纠正方法如下。

(1) 由于土质不均匀,造孔时的孔位易向土质软的一侧偏移。纠正方法为:开始就使振冲器向硬土一边造孔,偏移量多少在现场施工中确定。

(2) 振冲器导管上端横拉杆绳拉力方向或松紧程度不合适造成振冲器偏移。纠正方法为:调整拉绳方向和松紧度。

(3) 当造孔结束发现桩位偏移超过规范或设计要求时,应找准桩位重新造孔,加密成桩。

### 4.2 成桩深度

(1) 在振冲器和导管安装完成后,应用钢尺丈量并在振冲器和导管上做出长度标记,一般记 0.50 m 为一段,使操作人员据此控制振冲器入土深度。

(2) 应了解地面高程变化情况,依据地面高程确定应造孔的深度。

(3) 施工中当地面出现下沉或淤积抬高时,振冲器入土深度也要做相应的调整,以确保成桩长度。

### 4.3 施工技术参数控制

施工技术参数有加密电流、留振时间、加密段长、造孔水压等,控制时应注意下列事项:为保证加密电流和留振时间的准确性,施工中应采用电气自动控制装置。在振冲施工过程中,设定的加密电流、留振时间可能发生变化,应及时校核和调整。施工中应确保加密电流、留振时间和加密段长满足现场试验确定的技术要求,否则不能结束一个段长的加密。应定期检查电气设备,及时更换不合格、老化、失灵的原器件。

## 5 检测数据分析

由于振冲问题本身的复杂性和现有设计计算理论的不完善,振冲施工过程中和挤密加固后必须对加固效果进行检测。根据有关规范要求和检测方法可靠、简单、方便的原则,地基的加密效果采用标准贯入试验进行检测。

经振冲挤密处理后,要求表层 5 m 深度土层的标准贯入度不小于 12 击,5 m 以下的标准贯入度为 12 ~ 18 击。质量检测单位根据设计要求,对该项目进行了 120 孔桩的标贯试验,其中 3 孔为未进行振冲处理的原状土。根据标准贯入试验锤击数,经数理统计分析,求得振冲挤密处理前后标准贯入试验(N63.5)统计值

见表 4。

表 4 振冲挤密处理前后标准贯入试验(N63.5)成果

指标	检测孔数/A	深度	范围值/击	平均值/击	标准差	变异系数
振冲处理前	3	表层 5m 以内	5~8	7	1.414	0.202
		表层 5m 以下	5~13	10.25	0.471	0.046
振冲处理后	117	表层 5m 以内	12~16	12.67	3.514	0.277
		表层 5m 以下	13~36	21.75	4.693	0.216

注:表中深度是以建基面-2.5 m 高程为基准。

统计结果显示,未做过振冲施工的原状土与做过振冲施工的数据对比,可以发现经振冲后的土层标准贯入击数有较大的提高。经振冲挤密处理后,表层 5 m 深度土层,标准贯入击数范围值在 12 ~ 16 击,平均值 12.67 击,满足设计要求;5 m 深度以下土层标准贯入击数范围值在 13 ~ 36 击,平均值 21.75 击,满足设计要求。

## 6 评价与结论

(1) 无填料振冲挤密法地基处理的实践表明,只要采用正确的施工工艺和技术参数,采用该法加固粉砂土地基效果明显,处理后地基均匀密实。

(2) 无填料振冲挤密法加固粉砂土地基具有工艺简单、经济实用和效果显著等优点,具有广阔的应用前景。

### 参考文献:

- [1] 吴文峰,余锦地. 萧山区防洪排涝工程——钱江闸站枢纽及河道工程初步设计[R]. 杭州:浙江省水利水电勘测设计院,2010.
- [2] 李力军. 振冲法在东江水利枢纽基础处理工程中的应用[J]. 人民长江,2008,(10).
- [3] 叶观宝,王世威,邢皓枫,等. 振冲法处理吹填土浅地基的分析[J]. 施工技术,2007,(9).
- [4] 叶观宝,裴红涛,徐超,等. 无填料振冲法加固吹填粉细砂现场试验研究[J]. 勘察科学技术,2009,(4).

(编辑:徐诗银)

(下转第 66 页)



- [4] 罗元华. 泥石流堆积运动特征[J]. 地球科学 - 中国地质大学学报, 2003, 28(5): 532 - 536.
- [5] 朱海勇, 胡卸文, 吕小平. 大桥沟泥石流运动特征及其对工程影响分析[J]. 成都理工大学学报: 自然科学版, 2006, 33(6): 557 - 560.
- [6] 王光谦, 邵颂东, 费祥俊. 泥石流模拟: I - 模拟[J]. 泥沙研究, 1998, (3): 7 - 13.
- [7] 王光谦, 邵颂东, 费祥俊. 泥石流模拟: II - 模拟[J]. 泥沙研究, 1998, (3): 14 - 17.

(编辑: 赵凤超)

## Model experiment on gradient of intercepted sediments of debris flow behind dam

LI Feng<sup>1</sup>, GUI Jinxiang<sup>1</sup>, MA Dongtao<sup>2</sup>

(1. China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China; 2. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China)

**Abstract:** Gradient of intercepted sediments is an important parameter for design of landslide dam, which affects the intercepted capacity and project benefits. In order to discuss dam height, as well as the relationship between longitudinal gradient ratio of gully bed and the gradient of intercepted sediments, we conducted a model experiment by adopting a similarity ratio  $\lambda_L$  of 500. The results show that the relationship between the gradient ratio of gully bed and the gradient of intercepted sediments is positive correlatively and the derivative of linear growth of the above two parameters is quite different under various dam heights; the dam height and gradient of intercepted sediments are in quadratic function relation, namely the gradient of intercepted sediments increases first and then decrease with the rising dam height if the gradient ratio of gully bed is constant.

**Key words:** viscous debris flow; landslide dam; gradient of intercepted sediments; erosion of riverbed and ditch

(上接第 43 页)

## The high - pressure consolidation grouting test for surrounding rock of diversion tunnel of Jinping II Hydropower Station

LIU Tao

(Chengdu Hydropower Construction Company, Sinohydro Bureau No. 7 Co., Ltd., Chengdu 611130, China)

**Abstract:** The diversion tunnel of Jinping II Hydropower Station was taken as an example to carry out high - pressure consolidation grouting test for surrounding rock under the thin and incomplete closed concrete lining. In order to avoid the lifting - failure of the lining concrete caused by grouting pressure, the "pressure relief holes for anti - lifting" were drilled on the lining before grouting construction to partly release the slurry pressure at the interface of concrete lining and foundation rock. It was proved that the "pressure relief holes for anti - lifting" played an important role in protecting thin concrete lining in the high pressure consolidation grouting process, and the process was feasible and effective, which can speed up the construction and save construction cost.

**Key words:** thin lining; incomplete closed thin lining; high - pressure consolidation grouting; pressure relief holes for anti - lifting; Jinping II Hydropower Station

(上接第 46 页)

## Application of vibroflotation compaction method without filler in silty sand foundation treatment: a case of Qianjiang sluice station

YU Jindi, WU Wenfeng, ZHU Yalei

(Zhejiang Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Hangzhou 210002, China)

**Abstract:** In order to avoid the liquefaction of silty sand foundation, reduce uneven settlement of the foundation and improve the bearing capacity, the vibroflotation compaction method without filler can be used to compact the silty soil in the foundation area, making the foundation reach dense state. Combining with the Qianjiang sluice station, we introduced the application of vibroflotation compaction method without filler in the silty sand foundation treatment, analyzed the treatment effect from 4 aspects of design, construction, quality control and test. Engineering practice shows that, as long as appropriate construction technology and parameters are adopted, silty sand foundation reinforcement by this method has obvious effect, which can meet the requirement of quality and progress control.

**Key words:** without filler; vibroflotation compaction method; silty sand; foundation treatment