

# Research on Foundation Treatments' Settlement of Silty Clay Regulating Sluice's Separable Hoist Building

Boze Yang, Xinyang Zhu, Peisi Yu

Ningbo City Water Resources and Hydropower Planning and Design Institute, Ningbo Zhejiang  
Email: [121013687@qq.com](mailto:121013687@qq.com)

Received: Mar. 1<sup>st</sup>, 2015; accepted: Mar. 12<sup>th</sup>, 2015; published: Mar. 19<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.  
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).  
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

Chao Tang River Regulating Sluice lying in the town is based on silty clay foundation with higher subgrade bearing capacity, which has higher demands in appearance and safety. To control the settlement of the hoist buildings on both sides of the sluice chamber, box foundation and pile foundation are compared in settlement and stress through Midas-gts in this paper. And combined with the considering of construction requirements and investment, we finally choose the pile foundation.

## Keywords

Chao Tang River Regulating Sluice, Separable Hoist Building, Foundation Treatments, Research on Settlement

---

# 粉质粘土地基上的节制闸边侧分缝启闭房地基处理方案沉降设计研究

杨波泽, 朱鑫阳, 俞佩斯

宁波市水利水电规划设计研究院, 浙江 宁波  
Email: [121013687@qq.com](mailto:121013687@qq.com)

收稿日期：2015年3月1日；录用日期：2015年3月12日；发布日期：2015年3月19日

## 摘要

潮塘江节制闸位于城区，外观要求和安全关注度比较高，闸址土质为粉质粘土，承载力高。为控制闸室两侧启闭房沉降变形，本文通过有限元软件Midas-gts计算分析比选了空箱基础和深层桩基础两种方式的沉降和应力，同时结合建设要求及投资等方面，最终选定深层桩基础作为潮塘江节制闸边墩两侧启闭房的基础处理方式。

## 关键词

潮塘江节制闸，边侧分缝启闭房，地基处理方案，沉降设计研究

## 1. 引言

潮塘江节制闸位于慈溪市宗汉街道，潮塘江与漾山路江交汇处，为河区间水系节制闸，规模为3孔×8 m，总净宽24 m。为满足规范要求土基上的闸室分段长度不宜超过35 m [1]，本节制闸采用闸室30 m不分缝，但为了满足运行使用和建筑外观要求，边墩两侧启闭房各10 m与闸室启闭房分缝的结构设计方案，见图1所示。

本地区地基土质性质较好，根据地勘报告，闸址处地基土由II<sub>2</sub>粘质粉土等组成，该土层厚14.0 m~19.1 m，物理力学指标较好，承载力大，地基承载力特征值可达120~140 kpa，为闸结构主要持力层[2]，闸址地质剖面图见图2所示。

根据经验惯例，水闸两侧房屋基础宜做空箱结构作为上部房建基础，其具有投资省、结构简单的特点。但从本地区建设经验，该种地基处理方式在后期结构缝变形明显，外观效果比较差，严重的时候甚至会影响到启闭房设备的正常使用。例如慈溪市八塘横江四灶浦口闸建成于2004年，启闭房两侧段采用空箱基础，与中间段采用沉降缝隔开。经过将近十年运行，沉降缝处不均匀沉降差最大有5 cm，缝宽度

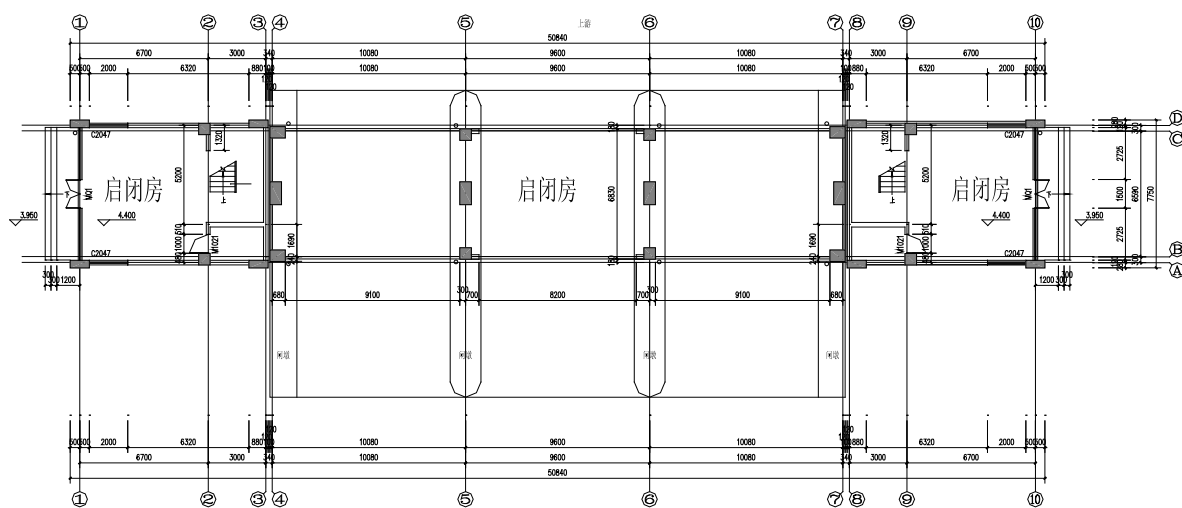


Figure 1. Hoist room floorplan

图 1. 启闭房平面布置图

在一层地面测量实测最大值为 7.5 cm，在二层启闭操作层最宽处将近 20 cm。沉降缝的变形扩大影响了水闸的外观立面和运行安全。

潮塘江节制闸位于城区，外观要求和安全关注度将更高，因此有必要将两侧启闭房的地基处理方案进一步进行分析研究，确定合适的处理方式，提高工程建设质量。

## 2. 处理方案沉降设计

### 2.1 处理方案拟定

本次对节制闸两侧分缝启闭房屋下部地基处理进行方案比选设计，以空箱基础和深层桩基础两种处理方案进行分析研究。

### 2.2. 有限元计算模型

本次计算采用大型国际商用有限元软件 Midas-gts 建立了潮塘江节制闸的有限元模型。该水闸模型顶高程 3.95 m，闸底板顶高程-0.37 m。水闸顺水流向长 15 m，垂直水流方向长 30 m。模型的上下游各延伸 10 m，模型左右岸各延伸 22 m，地基的深度方向延伸了 55 m。

水闸闸墩、底板均采用 C30 砼，底板垫层采用 C15 砼，混凝土防渗墙采用 C20 砼。地基的主要持力层为砂质粉土，主要分为 II<sub>2</sub>(砂质粉土)、II<sub>3</sub>(砂质粉土)两层。

水闸结构混凝土采用线弹性本构模型来模拟，不同标号的混凝土的物理力学参数见表 1 所示；地基土采用 Mohr-Coulomb 本构模型来模拟，不同土层的物理力学参数如表 2 所示。

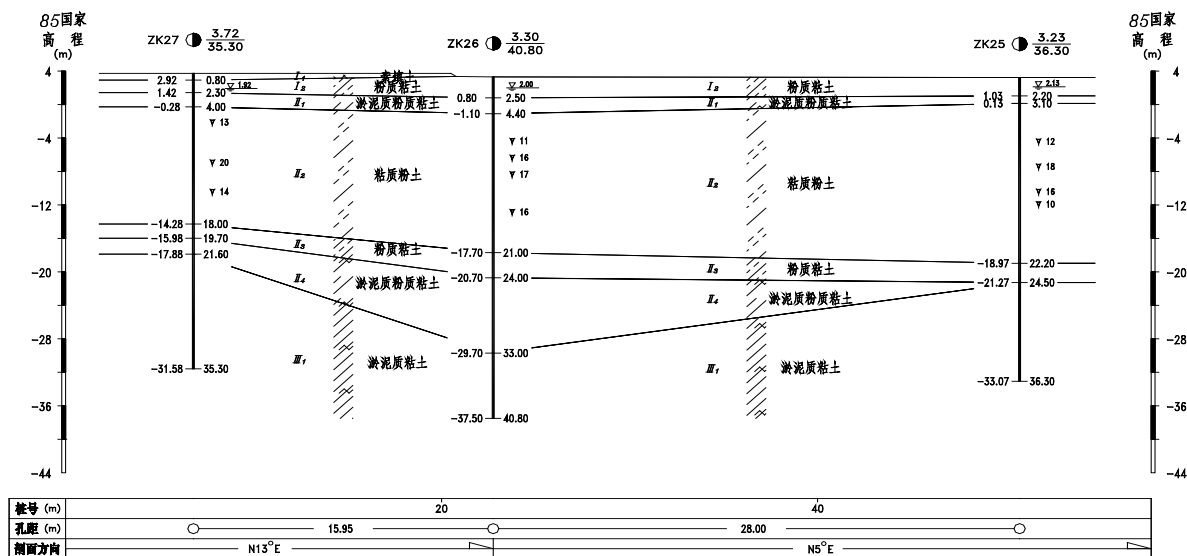


Figure 2. Lateral engineering geological profile

图 2. 横向工程地质剖面图

Table 1. Physical and mechanical parameters of sluice structure

表 1. 水闸结构的物理力学参数

混凝土	C30 砼	C15 砼	C20 砼
弹性模量(MPa)	3.00 + e4	2.20 + e4	2.55 + e4
泊松比	0.167	0.167	0.167
密度(kg/m <sup>3</sup> )	2400	2400	2400

模型边界条件：地基土四周采用法向链杆约束，底部采用全约束。

完建期荷载组合：水闸自重+上部厂房结构、启闭机、闸门自重 + 两岸挡土自重+交通桥自重。施工期水闸的上下游无水，不考虑静水压力、扬压力等作用。

本次模型建立时对有关结构作了一些简化，未建立上部厂房结构、启闭机、闸门的模型，对这些结构的自重通过计算后以均布力 *pressure* 加载在模型的相应位置处。

仿真计算过程：

由于施工开挖中地基的初始沉降和初始地应力施工完后水闸最终应力、位移都有较大影响，因而我们建立计算模型时，尽可能的模拟施工过程，采用了分部计算的方法。具体计算过程是：

第一步，先计算地基自重等产生的初始地基应力和初始地基变形；

第二步，通过程序平衡掉因地基自重引起的初始位移。这时地基中存在初应力，但初始位移近似为零；

第三步，计算整个水闸结构—地基系统的总位移和应力，分析不同结构间的相互作用。

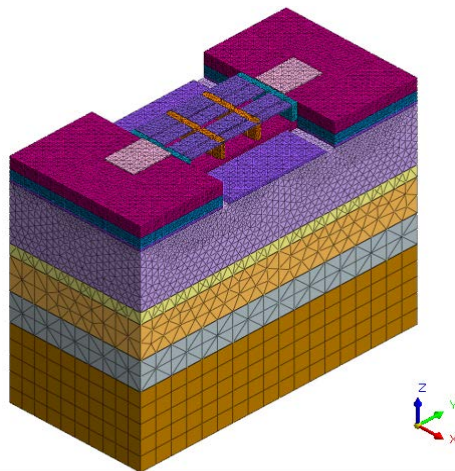
### 2.3. 方案一(空箱基础)

整体模型共划分 149,564 个单元，水闸-地基整体与闸体的有限元模型分别如图 3 和图 4 所示。

沉降结果：

**Table 2.** Physical and mechanical parameters of soil  
**表 2.** 地基土的物理力学参数

土体	初始模量(MPa)	泊松比	密度(kg/m <sup>3</sup> )	凝聚力(KPa)	内摩擦角(°)
I <sub>2</sub> (粉质粘土)	5.90	0.35	1870	16.9	15.3
II <sub>1</sub> (淤泥质粉质粘土)	4.03	0.35	1810	13.7	11.9
II <sub>2</sub> (粘质粉土)	11.67	0.35	1890	10.6	19.8
II <sub>3</sub> (粉质粘土)	4.85	0.35	1820	14.2	13.6
II <sub>4</sub> (淤泥质粉质粘土)	3.63	0.35	1770	13.5	11.0
III <sub>1</sub> (淤泥质粘土)	3120	0.35	1730	14.0	9.7



**Figure 3.** Finite element model of the whole sluice-soil

**图 3.** 水闸-地基整体有限元模型

由图 5 和图 6 可以看出,水闸-地基系统的最大沉降值发生在水闸的中间一孔,为 8.13 cm。水闸闸体的最小沉降值为 7.49 cm,不均匀沉降为 0.64 cm,均满足规范中水闸最大沉降不大于 15 cm,不均匀沉降不大于 5 cm 的要求[1]。沉降的计算结果说明闸体的不均匀沉降较小,对闸室的稳定有利。

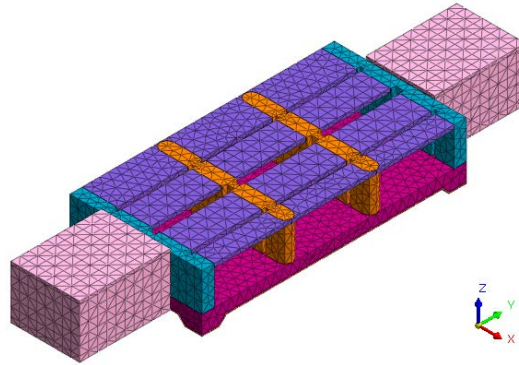


Figure 4. Finite element model of box-slucice chamber  
图 4. 闸体和空箱的有限元模型

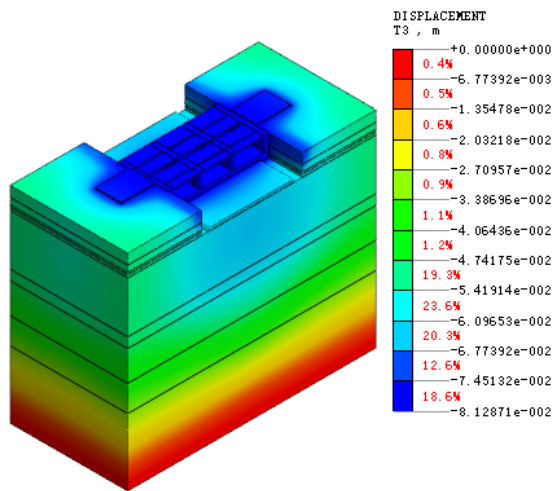


Figure 5. Final settlement of the whole sluice-soil  
图 5. 水闸和地基的整体最终沉降图

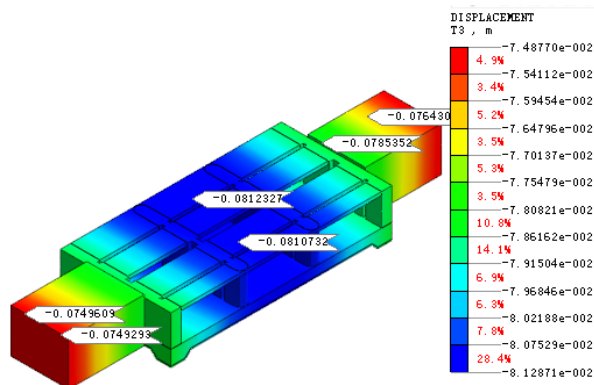


Figure 6. Final settlement of box-slucice chamber (1800 days)  
图 6. 水闸和空箱最终沉降图(1800 天)

另外,由图可知水闸两侧空箱的最大沉降为 7.85 cm,最小沉降值为 7.49 cm,不均匀沉降差为 0.36 cm。

#### 应力成果:

水闸大部分混凝土采用 C30 砼,该标号混凝土的极限抗拉强度  $f_t = 2.01$  MPa,极限抗压强度  $f_c = 20.1$  MPa。

水闸和空箱的顺河向最大拉应力为 322.16 kPa,顺河向最大压应力为-437.91 kPa。横河向最大拉应力为 1261.37 kPa,横河向最大压应力为-2453.88 kPa。竖向最大拉应力为 414.24 kPa,竖向最大压应力为-675.67 kPa。最大拉应力和压应力均未超过混凝土的极限抗拉抗压强度,应力满足规范要求。

#### 2.4. 方案二(桩基础)

整体模型共划分 99,758 个单元,水闸-地基整体与闸体的有限元模型分别如图 7 和图 8 所示。

MIDAS-GTS NX 提供了桩单元来模拟桩侧阻力和桩端承载力,其参数说明如表 3。

#### 沉降结果:

由图 9 和图 10 可以看出,水闸-地基系统的最大沉降值发生在水闸的中间一孔,为 8.07 cm。水闸闸

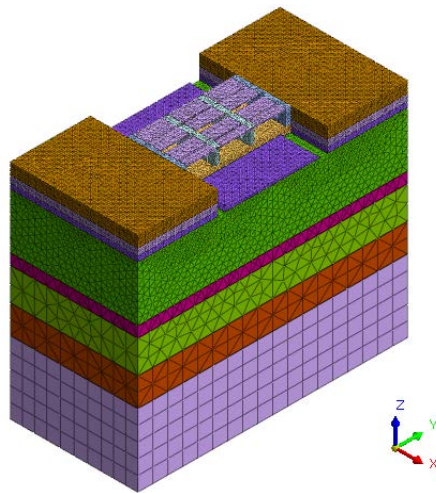


Figure 7. Finite element model of the whole sluice-soil

图 7. 水闸-地基整体有限元模型

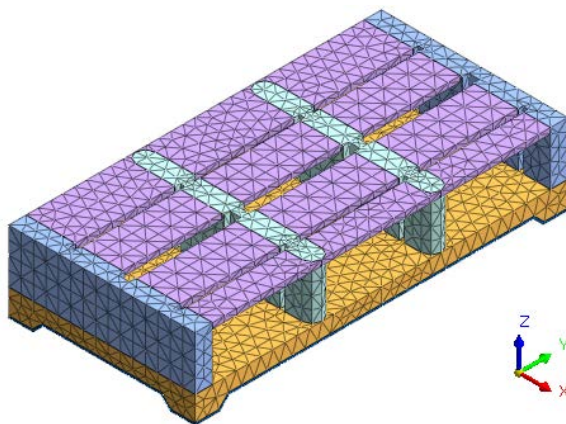
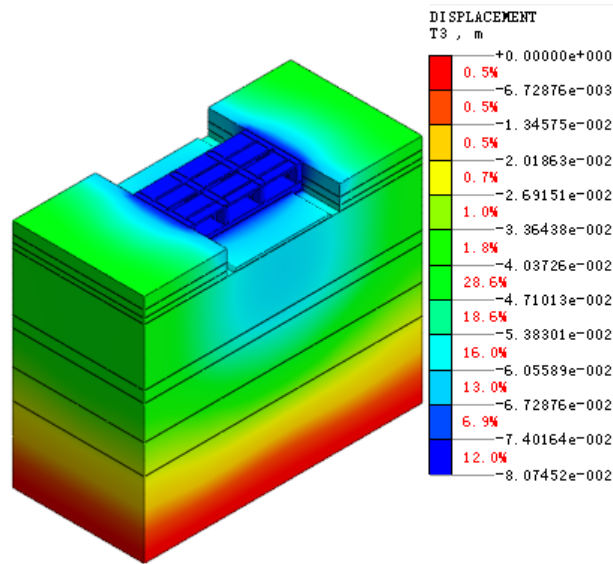


Figure 8. Finite element model of the sluice chamber

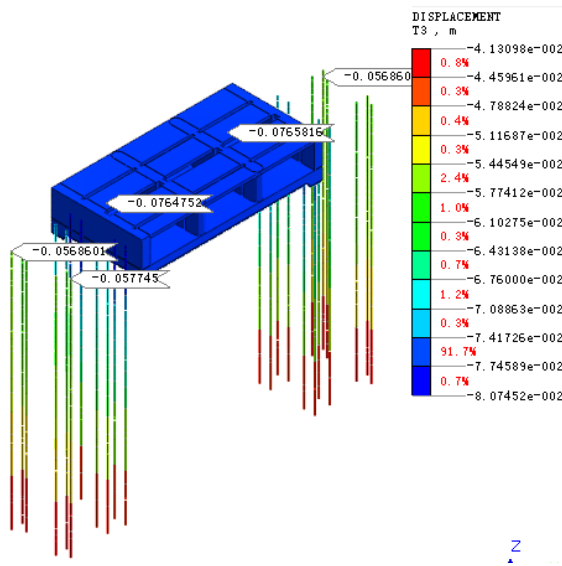
图 8. 水闸有限元模型

**Table 3. Pile unit parameters table**  
**表 3. 桩单元参数说明表**

项目	说明
最终剪力	限制了最大摩擦力，超过该值认为桩土间摩擦力消失
剪切刚度系数	面内剪切方向的刚度系数
函数	输入参考高度位置的摩擦力-相对位移曲线
法向刚度系数	面外垂直方向的刚度系数
桩端承载力	限制了最大承载力，超过该值认为桩端不能再承受力



**Figure 9. Final settlement of the whole sluice-soil**  
**图 9. 水闸和地基的整体最终沉降图**



**Figure 10. Final settlement of pile-sluice chamber**  
**图 10. 水闸和桩基的整体最终沉降图**

Table 4. Foundation treatment comparison table of the hoist building

表 4. 启闭房两侧地基处理方案比较表

结构	闸室区域	启闭房两侧	
地基处理方式	无处理	柱下桩基处理	空箱基础
最终沉降量(cm)	8.13	5.68	7.85
与闸室区域沉降差(cm)	/	2.45	0.28
地基处理部分工程造价(单侧)(万元)	/	46.1	25.5
地基处理占节制闸总投资比例(%)	/	10.2	5.6

注：空箱基础的工程造价考虑了多开挖、回填以及外运的土方费用 1.7 万(单侧)。

体的最小沉降为 7.52 cm，不均匀沉降为 0.55 cm，均满足规范中水闸最大沉降不大于 15 cm，不均匀沉降不大于 5 cm 的要求。沉降的计算结果说明闸体的不均匀沉降较小，对闸室的稳定有利。

另外，由图可知水闸两侧桩基的桩顶沉降值为 5.68 cm，比空箱基础的沉降值有显著减小。

#### 应力成果：

水闸的顺河向最大拉应力为 575.28 kPa，顺河向最大压应力为 473.82 kPa；横河向最大拉应力为 576.39 kPa，横河向最大压应力为 -1124.84 kPa；竖向最大拉应力为 332.72 kPa，竖向最大压应力为 -716.61 kPa。最大拉应力和压应力均未超过混凝土的极限抗拉抗压强度，应力满足规范要求。

### 2.5. 方案比选

两个方案经济性能综合比选如表 4。

根据计算分析可知，采用两种不同的启闭房两侧地基处理方式，对闸室的沉降影响不大，闸室的沉降均为 8 cm 左右，且闸室的三向应力都能满足规范要求。但空箱基础的启闭房沉降比桩基基础的大得多。而根据工程建设经验，采用空箱基础时，实际不均匀沉降值并非理论计算值那么小，其影响因素较多，对施工要求较高，其底板下地基的均匀性不易控制，特别是在左右侧受力不均的情况下，比较容易使得空箱连同上部启闭房出现倾斜后“V 型开裂”现象。

采用深层桩基处理的方式，将有效避免两侧启闭房倾斜的现象出现。目前钻孔灌注桩的施工技术成熟稳定，质量可控性好，且柱下桩受力明确，减少沉降量方面作用显著[3]。

从地基处理投资方面来说，两种方式投资相差仅为工程总投资的 4.6%。

因为潮塘江节制闸为城区水闸，对水闸的安全性和美观性均有很高的要求，所以在设计的时候需要尽量避免不均匀沉降及启闭房倾斜的隐患。因此两侧启闭房地基处理推荐采用可靠性更高的柱下桩基处理方式，即：单侧布置钻孔灌注桩 14 根，桩径 600 mm，桩长 47.0 m。

### 3. 结论

经过沉降计算分析，空箱基础和灌柱桩基础最终沉降和不均匀沉降均能满足设计规范要求，但考虑上部房建的外观性能，为避免后期分缝变形，在投资可接受的范围内，可采用灌注桩深层处理作为地基处理方案，使得沉降缝变形更加可控，建设质量更好。

### 参考文献 (References)

- [1] SL365-2001, 水闸设计规范.
- [2] (2012) 慈溪市城区潮塘江排涝工程初步设计报告. 宁波市水利水电规划设计研究院, 宁波.
- [3] 陈宝华, 张世儒 (2003) 水闸. 中国水利水电出版社, 北京.