

# 淮安三线船闸土锚施工

韩学广 易著伟 刘成洲 韦勇生

**【摘要】**本文主要介绍了淮安三线船闸土锚施工和试验情况。在软弱土层和复杂土质情况下,利用分散压缩型锚索的结构特点,通过土锚试验、修改设计、改善施工工艺等综合措施,保证达到设计承载力。对以后土锚的应用与发展起很大的作用。

**【关键词】**船闸 土锚施工 压缩分散型锚索 土锚试验

## 1、工程概述

淮安三线船闸为交通部“十五”期间重点水运建设项目,地处江苏省淮安市楚州区,位于京杭运河与苏北灌溉总渠交汇口下游,为二级通航建筑物,概算投资1.68亿元,于2000年9月开工,计划2003年1月完成。船闸规模为 $260 \times 23 \times 5\text{m}$ ,闸首为钢筋混凝土整体结构,由于闸室中心线距相邻一线船闸中心线仅66m,无法采用大开挖的常规施工,因而闸室采用了永久钢板桩加墙后土锚新颖的结构形式。闸室墙身为卢森堡进口的Z型钢板桩(AZ-26型),共计824片,412组,已于2001年9月底施打结束;闸室与上、下闸首衔接段采用三层土锚支护,闸室标准段采用两层土锚支护。

## 2、工程水地质条件

### 2.1 工程地质

淮安三线船闸所处位置地质条件较为复杂,土层分布不均匀,地表以下锚索所在范围内土层分布特性分述如下:

第一层为素填土,主要为建淮安一线船闸挖河时填积,以灰黄色粘土为主,局部为亚粘土混粉砂,可塑~硬塑状态,土质松散,分布不均匀,层厚约为2~5m,层底面标高均为7.6~8.2m。

第二层为灰色或灰黄色亚粘土混粉砂,局部为粉砂层,可塑~软塑。该层为历史时期黄河泛滥沉积物,性质不均匀,分布较稳定,层厚2~7m,

层底面标高约为4.4m。

第三层为黄色粘土夹铁锰结构,可塑~硬塑状态,该层分布稳定,层底面标高0~2m,层厚4~5m。

第四层分布比较厚,4-1层主要为灰黄色亚粘土混粉砂或亚粘土夹薄层粉砂,局部为粉砂层,间夹砂礓,可塑状态,该层分布稳定,层底面高程约为-2~-4m。

### 2.2 地下水情况

闸地区含水层可分为:

(1)潜水含水层:3层粘土层以上为潜水含水层,由粘土、亚粘土混粉砂组成。该层多为人工填土,成分不均匀。潜水静止水位埋深约为4.0~7.2m,标高约为8.3~4.5m,主要由地表水和大气降水渗入补给。

(2)第一承压含水层:第4-2层为粘土层,弱透水层。4-3层也为弱透水层,其透水性和富水性均较差。4-1层以粉土为主,夹粉质粘土,其富水性差。闸区隔水层不均质,隔水性能较好的4-2层不连续分布,局部缺失,4-1层通过4-3层与5层相通,5层确定为承压水层。

(3)第二承压水层:该含水层埋深较深,以细砂、含砾细砂为主,未揭穿,与第一承压含水层间隔水层较薄,厚仅0.4~1.0m。

闸首、闸室段各土层物理力学指标见表1。

### 3、工程特点及设计

#### 3.1 工程特点

(1) 淮安三线船闸东靠一线船闸, 中心距66m, 西临江苏灌溉总渠引水渠道, 不具备船闸常规大开挖浇注混凝土条件。因此, 在设计上决定选用钢板桩加土锚新颖的结构形式。

(2) 钢板桩选用卢森堡生产的Z型钢板桩。钢板桩为柔性结构, 每层锚索设置连续钢腰梁, 将整个钢板桩连成整体。考虑到船闸闸室通航要求, 桩后6.0m高程设置排水管道。以上两个因素决定了桩后须按要求进行开挖和回填。这也是该船闸土锚与其它土锚不同之处。为避免开挖段对锚索的影响, 锚索设立了严格的自由段和锚固段, 自由段和锚固段设立止浆器, 自由段没有浆体包裹。桩后开挖处于锚索的自由段范围内。

(3) 由于工程地质条件复杂, 土体离散性较大。在锚索形式上选用分散压缩型锚索, 在成孔工艺上采用全长套管跟进成孔工艺, 注浆技术采用二次注浆工艺, 即一次常压注浆和二次劈裂注浆。利用锚索的结构特点和成孔、注浆工艺的改进等综合措施来提高锚索的设计承载力。

#### 3.2 工程设计

闸室分闸室标准段、与下闸首衔接段、与上闸首相邻段共三段。与上闸首相邻段为地连墙, 长12.64, 布设三层锚索, 锚索间距2.1m; 与下闸首衔接段为钢板桩段, 长16.32m, 布设三层锚索, 间距2.52m; 闸室标准段长231.04m, 全为钢板桩, 布设两层锚索, 间距2.52m。

闸室标准段土锚结构见图1, 闸室土锚设计参数见表2。

### 4、土锚试验

土锚施工前, 在闸室标准段选取四组共13根锚索进行试验, 验证试验要求达到2.2Nt。试验记录见表3。

通过验证试验得出如下结论:

(1) 土体土质差或不稳定, 钻孔过程中容易出现异常现象, 如从孔口外或地表冒水, 对成孔质量影响很大, 承载力不稳定; 反之, 如土体较好, 钻孔过程中异常现象很少, 承载力皆较稳定。因此, 为确保质量, 成孔过程中采用全套管跟进, 过注浆边拔套管工艺。

(2) 在成孔过程中, 发现东侧土体异常情况多, 主要原因为回填土覆盖较厚。由于土质不均匀, 单增加锚固段长度, 效果不明显。该过程最后通过增加成孔孔径(由 $\Phi 168$ 增加到 $\Phi 185$ 以上), 增加承载体个数, 适当加长锚固段长度, 几种措施结合起来收效较大。

(3) 在土质不稳定的情况下, 单增加二次注浆质量, 对承载力提高不甚明显。在土质较好的情况下, 合理二次注浆浆量皆能满足承载力要求。

### 5、土锚施工

#### 5.1 锚索下料

由于分散压缩型锚索特点, 根据每根锚索的锚固段长度和承载体个数下料, 无粘结筋的下料长度不一样, 要分开下料, 并做记号。锚索下料长度为设计锚索长度外加1.0m工作段。

#### 5.2 制索

在专门的制索场地上组装, 将不同长度钢绞线摆放在货架上, 要求线穿好承载板, 然后装挤压套挤压, 再绑扎隔离架, 安装挤压套防腐PE套、导向帽, 穿二次注浆管(二次注浆管端头用水管堵头堵严实)。绑扎止浆器、止浆器注浆管。最后

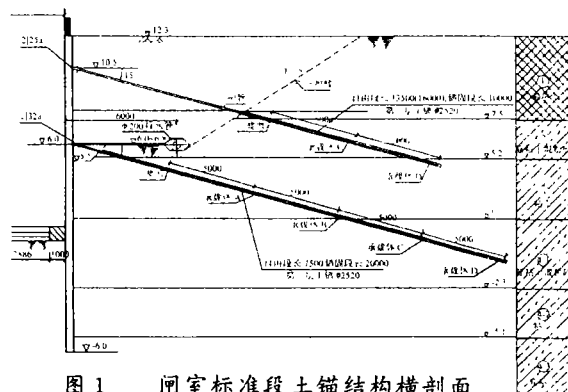


图1 闸室标准段土锚结构横剖面

表1 闸首、闸室段各土层物理力学指标

土层编号	土层名称	天然含水量 $\omega$ (%)	湿密度 $\gamma$ ( $g/cm^3$ )	干密度 $\gamma_0$ ( $g/cm^3$ )	天然孔隙比 $e$	抗剪强度(快剪试验)	
						内聚力 $c$ (kPa)	内摩擦角 $\phi$ (°)
1a	素填土	24.0	1.90	1.56	0.746	36.8	18.8
1	素填土(由粘土、亚粘土组成)	27.7	1.96	1.55	0.836	34.1	15.0
2	亚粘土混粉砂	28.4	1.95	1.52	0.795	32.8	17.0
3	粘土	27.4	1.98	1.55	0.767	59.2	13.9
4-1	亚粘土混粉砂	27.5	1.96	1.54	0.758	32.6	18.8

表2 闸室土锚主要设计参数

参数 部位		标高	钻孔直径 mm	钻机倾角 °	钻机孔深 m	锚索长度(m)			锚具规格	钢绞线规格	承载体数量	承载体间距	设计荷载 KN	设计极限荷载 KN	验证试验荷载 KN
						总长	自由段长	锚固段长							
闸室标准段 (钢板桩段)	第一层	10.5	168	15	23.5	23.5	13.5	10	OVM13-6S	1860MP a $\Phi$ J12.7	2	5	164.3	328.6	361.46
	第二层	6.0	168	15	27.5	27.5	7.5	20	OVM13-9S	1860MP a $\Phi$ J12.7	4	5	367.1	734.2	807.62
闸室与上闸首相邻段 (混凝土段)	第一层	10.5	168	15	23.5	23.5	13.5	10	OVM13-6S	1860MP a $\Phi$ J12.7	2	5	116.5	223.0	256.3
	第二层	6.0	168	15	23.5	23.5	7.5	16	OVM13-9S	1860MP a $\Phi$ J12.7	4	4	202.5	405	445.5
	第三层	4.0	168	15	22.5	22.5	6.5	16	OVM13-9S	1860MP a $\Phi$ J12.7	4	4	176.9	353.8	389.18
闸室与下闸首相邻段 (钢板桩段)	第一层	10.5	168	15	26	26	16	10	OVM13-6S	1860MP a $\Phi$ J12.7	2	5	150.7	301.3	331.54
	第二层	6.0	168	15	25.5	25.5	7.5	18	OVM13-9S	1860MP a $\Phi$ J12.7	4	4.5	362.8	725.6	798.16
	第三层	4.0	168	15	24.5	24.5	6.5	18	OVM13-9S	1860MP a $\Phi$ J12.7	4	4.5	414.4	828.8	911.68

表3 闸室土锚试验成果汇总表

次数	锚索编号	锚索编号	索长(m)	自由段长(m)	锚固段长(m)	承载体布置	二次注浆量(水泥)	最大试验荷载(kN)	最终稳定荷载(kN)	施工工艺	异常情况
第一次试验	闸室东侧	ZET21-1	23.5	13.5	10	2×5	9包	316.28(1.93Nt)	286.08(1.74Nt)	工艺A	板桩后11m地表冒水
		ZET17-1	23.5	13.5	10	2×5	9包	361.46(2.2Nt)	361.46(2.2Nt)		
		ZET11-1	23.5	13.5	10	2×5	9包	271.1(1.65Nt)	226.48(1.38Nt)		
第二次试验	闸室东侧	ZET14-1	27.5	13.5	14	2×7	40包	316.28(1.93Nt)	216.05(1.31Nt)	工艺A	板桩后9.1m地表冒水
		ZET8-1	27.5	13.5	14	2×7	16包	361.46(2.2Nt)	301.00(1.83Nt)		
		ZET5-1	27.5	13.5	14	2×7	16包	225.91(1.37Nt)	202.30(1.23Nt)		
第三次试验	闸室西侧	ZET5-1	23.5	13.5	10	2×5	12包	361.46(2.2Nt)	361.46(2.2Nt)	工艺A	
		ZET2-1	23.5	13.5	10	2×5	10包	361.46(2.2Nt)	361.46(2.2Nt)		
		ZET12-1	23.5	13.5	10	2×5	14包	361.46(2.2Nt)	361.46(2.2Nt)		
第四次试验	闸室东侧	ZDT21-1	31.5	13.5	18	3×6	18包	361.46(2.2Nt)	361.46(2.2Nt)	工艺B	板桩后24m地表冒水
		ZET2-1	31.5	13.5	18	3×6	18包	361.46(2.2Nt)	361.46(2.2Nt)		
		ZET4-1	31.5	13.5	18	3×6	18包	361.46(2.2Nt)	361.46(2.2Nt)		
		ZDT18-1	31.5	13.5	18	3×6	18包	410.75(2.5Nt)	410.75(2.5Nt)		

注: 施工工艺: A为拔套管后下索注浆, 成孔孔径 $\Phi$ 168; B为套管跟进下索注浆, 成孔孔径 $\Phi$ 185。

进行自由段防护处理：包扎三层沥青玻璃布，套装  $\Phi 110$  塑料 PVC 软管。在索体外绑扎一次注浆管到索底部，端头用细铁丝固定在最底层承载板上。

### 5.3 成孔

采用柳州市建筑机械总厂生产的全液压 YTMB150-60 型专用土锚钻机成孔，该钻机钻进速度快，性能稳定，重量轻，可进行干钻和水钻。成孔采用套管钻进，套管外径  $\Phi 168$ ，钻杆长度 1.5m/节。钻孔时严格控制钻孔轴线和钻孔角度，钻孔轴线可根据钻机套管中心线严格垂直钢板桩来控制，钻孔角度利用地质罗盘仪精密测量。

成孔时可根据钻进压力表来控制钻进速度，同时严格记录钻进过程了解锚孔内土质情况，孔深 31.5m，正常的钻进速度为 1.3h。

成孔完成后，多次来回清洗孔壁，直至孔口流出清水为清孔结束依据。

### 5.4 安装锚索

成孔完成后，将相对应的锚索人工抬至现场，穿入套管内。入索时注意不要用力过快，索体与套管内壁间隙较小（最小间隙仅为 1cm），而索体上的注浆管又较多（一次注浆管、止浆器注浆管和二次注浆管），避免出现注浆管损坏。

### 5.5 一次注浆

一次注浆采用 SNS 系列注浆泵，注浆泵采用水泥砂浆，其配合比为水：水泥：砂：外加剂 = 0.42 : 1 : 1 : 0.012。注浆从孔底往孔口注，注 6 包水泥拔三节套管（4.5m），拔 3m 注浆管；再注 4 包水泥拔出全部套管，注浆管不拔，再注，浆液面达到止浆器底端，此时全部拔完套管，然后再补浆，直至浆液面到达止浆器顶端 2m 处，停止注浆，一次注浆完成。

### 5.6 二次注浆

二次注浆在一次注浆完成 24h 后进行，此时一次浆体试块强度要求达到 5.0MPa。劈裂压力要求在 3.5~5.0MPa 之间，注浆运行压力要求大于

2.5MPa，二次注浆采用纯水泥浆，其配合比为水：水泥：外加剂 = 0.42 : 1 : 0.005。

### 5.7 张拉

分预张拉、补偿张拉和锁定张拉。

预张拉：由于钢板桩需前后开挖，一层锚索施工完成后，施加部分预应力以保持钢板桩稳定。

补偿张拉：钢板桩发生变位时按照设计图纸要求或工程师指示进行补充张拉。

锁定张拉：在填土完成后应进行逐根松锚，再按照张拉程序完成锁定。

预张拉和锁定张拉皆根据分散压缩型锚索特点，进行分次、分级张拉。分次张拉的目的是消除同时张拉不等长钢绞线造成受力不均现象。张拉采用整体张拉千斤顶 YCW100-200。

### 5.8 自由段补浆

预张拉完成后，从锚具后预留孔插入注浆管，伸进自由段底部补浆，浆体为水泥净浆。补浆以锚具孔口溢出水泥浆为止。

### 5.9 封锚

将多余钢绞线切除，焊锚头保护罩，在保护罩内灌注 30 号沥青。

## 6、施工过程中的问题及处理办法

### 6.1 关于二次注浆压力

二次注浆压力目前在规范中尚未明确。因为土质的变化，地质条件及气候环境的变化，对二次注浆压力的影响比较大。本工程通过现场测试提出二次注浆压力的控制方法。经现场测试发现，在靠上闸首段软弱土层中（F 段、E 段），二次注浆压力基本上为 1.5~1.8MPa，再往下土层明显好转，注浆压力基本上能达到 2.5~3.0MPa。

### 6.2 关于止浆器注浆压力

止浆器注浆压力规范中规定达到 2.5MPa，但经过现场测试，止浆器置于硬介质中，注浆压力能达到 3.0MPa。但是同样的止浆器置于软弱土体中，注浆压力只有 1.0~1.5MPa。随着注浆量的增

加, 止浆器逐渐膨胀, 膨胀到一定程度就会胀爆。因此, 止浆器的注浆压力控制在 1.0~1.5MPa, 控制浆量为 1 包水泥砂浆, 即浆量和压力双重控制原则。目前从闸室第一层共 214 孔的施工情况来看, 止浆器的止浆作用很好, 还没有发现二次劈裂浆体从自由段溢出的现象。

### 6.3 关于成孔

成孔质量是控制锚索承载能力的重要因素。由于土体的软弱和松散, 成孔过程中水从周围土体中涌出, 孔口返水较少。这种情况对成孔不利。为尽量避免这种情况发生, 成孔过程中严格控制进给压力, 不要猛增。同时多次来回清洗孔壁, 使孔壁周围浮土及时返出孔口, 降低水压力。

### 6.4 关于一次注浆

一次注浆材料选用 1:1 水泥砂浆, 而套管内径为  $\Phi 148$ , 索体外径  $\Phi 108$ , ; 加上一次注浆管外径 30mm, 套管与索体间隙很小。针对这些特点, 一次注浆采用分次注浆法, 即注一次浆拔几节套管, 拔几米注浆管。每拔一节套管, 索体若跟出, 马上将其顶回位。这样既避免了一次注浆量过多,

套管拔不动(套管由于外径大, 本身自重也较大), 又避免了拔套管时, 万一索体跟出, 无法回到原位。

## 7、施工体会

(1) 本工程于 2001 年 9 月份开始作锚索验证试验, 验证能否达到设计承载能力。从试验结果来看, 在软弱土层或复杂土质情况下, 土锚试验是很有必要的。通过试验来修改设计参数, 使设计更趋合理。但是, 由于现场缺少试验条件, 最后决定直接在钢板桩结构上只作验证试验, 不作拉拔试验, 无法确定至锚索的极限承载力。

(2) 本工程由于受到桩后开挖的影响, 自由段与非自由段用止浆器分离, 止浆器尺寸既不能太大, 以免在套管内下索困难; 又不能太小, 以免造成止浆器封堵不严, 二次劈裂从孔口冒浆。从第一层的锚索的二次注浆情况来看, 止浆器的封堵效果还是理想的。

(3) 从锚索结构和施工工艺改进上来解决软弱土质和复杂土质的锚索承载能力问题, 这一思路必定对以后土锚发展应用起到很大的推广作用。



## ● 信息窗 ●

# 《体外预应力体系》 获优秀标准化成果奖

10 月 14 日是第 33 届世界标准日, 中国标准化协会在北京举行了“中国企业标准工作论坛”, 中国标准化委员会主任李忠海、理事李瑞到会并作了重要讲话, 在论坛会上表彰了优秀标准成果

18 项, 我厂《体外预应力体系》产品企业标准荣获优秀标准化成果奖。

(陈小莲)