

# 某工程储罐倾斜事故的地基处理

李明瑛

(茂名学院建筑工程系, 广东茂名 525000)

**【摘要】** 针对某石油公司油库五号储罐地基基础破坏事故, 分析了该储罐倾斜以及部分基础破坏的原因, 并依据工程地质条件、各土层的岩土试验的物理力学性质指标等, 提出了合理的、经济的储罐地基处理方案, 满足了储罐基础对地基强度、变形和稳定的要求。

**【关键词】** 储罐基础; 破坏; 地质条件; 地基处理

**【中图分类号】** TU 472.3

## Ground Treatment of a Tilted Oil Tank

Li Mingying

(Building Department of Maoming College, Maoming Guangdong 525000 China)

**【Abstract】** In allusion to an unexpected damage accident with No. 5 oil tank in some petrochemical company, the causes leading to the partial damage of the tank foundation and the tank's slant are analyzed. Based on geotechnical investigation and relevant geotechnical tests, a ground treatment measure to deal with the damage and the slant, successful application shows that the proposed measure is satisfied to the demands to strength, deformation and stability.

**【Key Words】** storage tank foundation; weak ground; geological condition; ground treatment

### 0 引言

随着建设事业的发展, 各类储罐日益增多, 且各类储罐向大型化发展, 荷载日益增大, 技术条件日益复杂, 基础沉降和不均匀沉降要求日益严格。因而必须针对各种场地具体的岩土性质、特征及不同类型的储罐结构选定最合适的基础形式, 选取最恰当的地基处理方法, 以确保储罐的安全运行。

### 1 工程事故概况

某石油公司油库, 规划设置 2 万  $m^3$  油罐 3 个, 5 000  $m^3$  油罐 5 个, 3 000  $m^3$  罐 3 个。当五号油罐(2 万  $m^3$ )安装完工之后, 为了检查焊接的质量和油罐基础的稳定性对地基进行预压, 往五号储罐进行充水预压试验。当充水到油罐体积约 2/3 时, 油罐整体往东北方向倾斜, 储罐基础产生不均匀沉降, 基础圈梁与罐底开裂 27 cm, 罐体上的一些附属设备, 钢梯底部和铁箱部分均陷入土中, 与罐体连接输油管线被拉裂。同时, 罐体周边地表出现三次塌陷, 塌陷土洞长约 3.50 m, 宽 1.5~2.0 m, 深度 2.00 m。发生事故后, 立即停止充水预压试验。

### 2 工程地质条件

该石油公司油库场地上覆土层主要为碳酸盐岩

残积粘土, 局部地段有砂质粘性土、粘土, 基岩是石灰岩、白云质岩或灰质白云岩。地层层序较简单、但纵横向地层变化相当大, 岩溶非常发育, 地下水丰富, 地质情况复杂, 事故发生后, 围绕事故油罐四周(罐基外 2 m)进行了详细地质勘探, 共设置 10 个钻孔, 并结合先进的电磁波透视 CT 对地基下的溶洞观测, 揭示的地质情况如下。

#### 2.1 地基土层

##### 1) 杂填土①层

分布广, 厚度欠均匀, 成份较复杂, 土质不均匀。主要由粘性土、砂土、碎石块等组成, 灰色, 湿, 松散, 结构性差, 强度低。厚度 0.50~3.00 m, 平均 1.77 m。

##### 2) 冲积一坡积土

主要由粘土矿物组成, 局部含粉粒, 土质不均匀, 分布广, 层位较稳定, 据土层物理力学性质不同, 分为以下三个亚层。

##### a. 粘土②<sub>1</sub>亚层

主要成份由粘土矿物组成, 含少量粉粒, 灰色、灰黄色, 湿可塑, 分布广, 厚度 4.90~12.40 m, 平均 8.36 m, 埋深 0.50~3.00 m, 顶界标高 101.58~104.60 m, 该层取原状土样 6 件, 室内试验结果主要

物理力学性质指标见表 1, 承载力特征值  $f_{ak} = 135 \sim 200$  kPa。

#### b. 粘土②<sub>2</sub> 亚层

灰黄色, 湿, 软塑—可塑。主要成份由粘土矿物组成, 土质不均匀, 仅在 Zk1、Zk2、Zk3、Zk4、Zk7、Zk8、Zk9 孔区分布, 剖面上不连续, 厚度 1.70 ~ 16.60 m, 平均 8.57 m, 埋深 7.80 ~ 13.00 m, 顶界标高 92.13 ~ 96.68 m, 取原状土样 6 件, 室内土工试验结果主要物理力学性质指标见表 1, 承载力特征值  $f_{ak} = 80 \sim 140$  kPa。

#### c. 粘土②<sub>3</sub> 亚层

灰黄色, 极湿, 软塑—可塑, 主要成份由粘土矿物组成, 仅在 Zk1、Zk3 孔区分布, 厚度 6.00 ~ 17.70 m, 平均 11.85 m, 埋深 15.00 ~ 27.50 m, 顶界标高 77.63 ~ 89.87 m, 剖面上呈尖灭现象出现, 承载力特征值  $f_{ak} = 160$  kPa。

### 3) 基岩

场地基岩(C1d)为碳酸盐岩, 属于海相沉积岩, 主要为石灰岩, 夹白云质灰岩或灰质白云岩, 分布广泛, 厚度巨大, 顶界面起伏变化十分大, 岩溶发育, 据岩石结构、强度、岩溶发育程度等不同, 细分为三个亚层。

#### a. 石灰岩③<sub>1</sub> 亚层

仅在 Zk7、Zk8 较明显, 厚度仅 0.30 m, 其余各孔以条带状产出, 似风化壳, 灰色、灰黄色, 裂隙发

育, 岩质硬, 性脆, 主要成份由方解石组成, 由于厚度小, 地质剖面未全面反映出, 顶界标高 80.08 ~ 81.97 m。埋深 22.70 ~ 24.4 m, 该层以下岩溶非常发育。

#### b. 溶洞或溶槽③<sub>2</sub> 亚层

在钻探过程中, 有 3 个钻孔 (Zk4、Zk7、Zk8) 发现溶洞, 其余钻孔大都以溶槽产出, 溶洞垂直厚度 3.50 ~ 19.50 m, 埋深 15.00 ~ 24.70 m, 顶界标高 79.78 ~ 90.10 m、洞(槽)中充填淤泥、地下水, 流塑状态, 是不规则状的形态存在。

#### c. 石灰岩③<sub>3</sub> 亚层

分布广, 厚度大, 除 Zk1、Zk3 孔未揭露外, 其余钻孔均进入 0.50 m 以上, 揭露厚度 0.50 ~ 2.50 m, 顶界面起伏变化十分大, 顶界标高 60.28 ~ 97.08 m, 埋深 8.00 ~ 44.20 m。灰色, 致密, 坚硬, 岩心完整, 主要成份由分解石组成, 夹落层的质灰岩或灰质白云岩。承载力特征值  $f_{ak} = 3000$  kPa。

## 2.2 土工试验成果

该工程共取土、岩样 12 个, 测定了地基土的物理力学性质指标, 包括: 含水率、密度、相对密度, 液塑性指数、压缩系数、压缩模量、抗剪强度等。通过对该地基土各土层的物理力学性质的现场原位测试以及室内土工试验结果的分析, 并根据有关规范与标准、本地经验值, 得出该地基土承载力的推荐值和相关参数。土工试验成果见表 1。

表 1 五号储罐地基土层土工试验成果表

孔号	试样深度/m	土样编号	质量密度 $\rho$ /( $g \cdot cm^{-3}$ )	天然含水量 $w$ /%	土粒相对密度 $G_s$ /( $g \cdot cm^{-3}$ )	天然孔隙比 $e$	液限 $w_L$ /%	塑限 $w_P$ /%	液性指标 $I_L$	塑性指标 $I_P$	内摩擦角 $\varphi$ /°	粘聚力 $c_f$ /kPa	压缩系数 $a_{v1-2}$ /MPa <sup>-1</sup>	压缩模量 $E_s$ /MPa	室内定名
Zk1	3.70~3.90	1-1	1.73	47.7	2.67	1.274	84.5	41.0	0.15	43.5	14.0	25.0	0.82	2.22	粘土
Zk1	5.70~5.90	1-2	1.83	40.9	2.67	1.051	70.0	32.7	0.22	37.3	9.9	89.0	0.19	10.68	粘土
Zk1	7.20~7.40	1-3	1.70	50.7	2.67	1.367	56.1	34.2	0.75	21.9	12.1	56.0	0.80	2.75	粘土
Zk3	3.70~3.90	3-1	1.77	48.7	2.71	1.281	73.3	39.5	0.27	33.8	30.6	85.0	0.79	2.74	粘土
Zk3	10.20~10.40	3-2	1.71	49.2	2.68	1.334	60.3	34.3	0.57	26.0	4.0	28.0	0.87	2.49	粘土
Zk5	3.70~3.90	5-1	1.86	32.7	2.71	0.938	69.9	33.9	0.03	36.0	39.2	36.0	0.53	3.59	粘土
Zk8	8.70~8.90	8-1	1.68	53.1	2.69	1.459	62.40	35.8	0.65	26.6	24.8	37.0	0.84	2.54	粘土
Zk8	10.20~10.40	8-2	1.82	36.0	2.68	1.003	54.0	31.0	0.22	23.0	14.0	25.0	0.33	5.93	粘土
Zk8	15.70~15.90	8-3	1.79	37.4	2.67	1.052	67.2	32.7	0.14	34.5	9.70	36.0	0.40	5.14	粘土
Zk8	18.20~18.40	8-4	1.78	42.0	2.70	1.152	63.8	31.4	0.33	32.4	15.4	57.0	0.32	6.61	粘土
Zk9	10.70~10.90	9-1	1.80	43.7	2.67	1.126	55.1	33.4	0.47	21.7	17.4	23.0	0.27	7.73	粘土
Zk9	12.20~12.40	9-2	1.91	36.0	2.68	0.912	52.7	28.0	0.32	24.7	14.8	33.0	0.31	6.01	粘土

## 2.3 工程地质剖面图

1-1' 剖面见图 1, 2-2' 剖面见图 2。

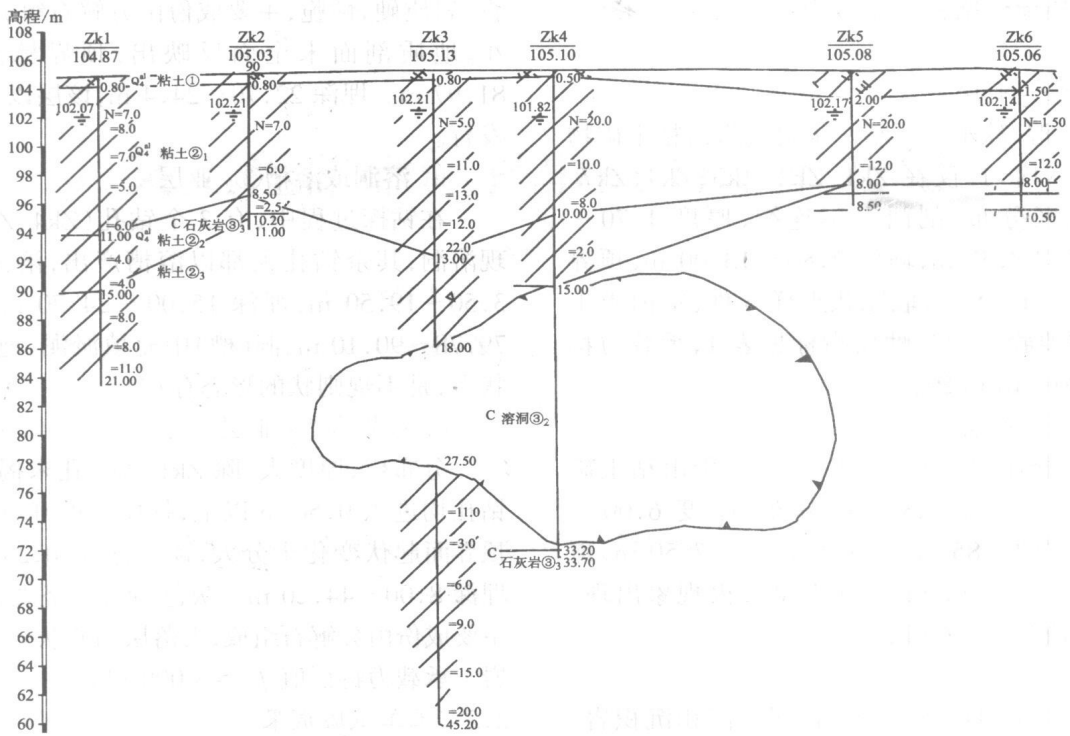


图1 工程地质剖面图 1-1'

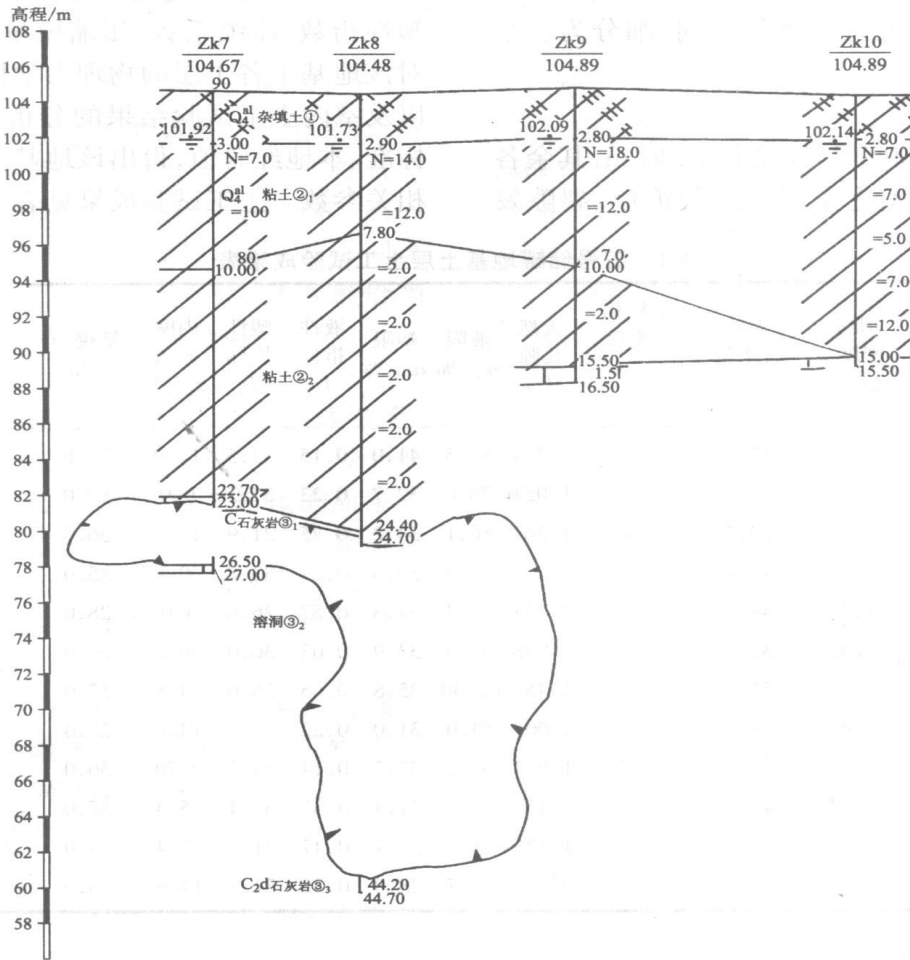


图2 工程地质剖面图 2-2'

## 2.4 地质条件综述

场地属于典型覆盖性岩溶土区, 上覆土层分布广, 厚度大, 均匀性差, 含水量高, 孔隙比大, 一般属于高压缩性土, 仅局部为中压缩性土, 土层结构较差, 强度不高, 粘土②<sub>1</sub>亚层、粘土②<sub>3</sub>亚层为中软土, 粘土②<sub>2</sub>亚层层于软弱土。

基岩分布广, 厚度大, 岩溶非常发育, 不规则状十分明显, 地下水发育。在天然状态下, 场地基本稳定, 一旦土(岩)层受到外力作用, 则破坏了地层的应力平衡, 容易发生地质灾害。因此, 场地地质灾害具有隐蔽的、突发的、随机性的特点。

## 3 储罐基础破坏事故原因分析

1) 地质勘探不够细致, 对地基土的分布构造缺乏足够的了解。设计前该油罐区域是按 30 m × 30 m 布设勘测点的, 实际落在这个油罐的勘探点只有一个, 从而漏探了油罐下的复杂填充性岩溶, 没有了解到犬牙交错的岩层面情况。实际该油罐正坐落在两个含水很大、深度分别为 18 m 与 20 m 的溶洞上, 溶洞内有复杂成分的处于流塑状态的填充物。两个溶洞平均埋深分别为 19 m 与 24 m。所以溶洞处的沉降变形必然要比其他地方大, 不均匀沉降变形必然要带来加载后油罐的倾斜。

2) 设计所采用的地基处理方式不妥。原设计的油罐地基采用了换填法处理, 基础下换土层厚 2 m。由于油罐基础尺度较大(38 m), 按照附加应力的影响深度与基础宽度的关系, 可以知道, 在 2 m 深度处的附加应力还是很大的, 附加应力衰减不多, 因而换填实际效果不会理想。一般来说, 换填法只能应用在条形基础或者独立基础的地基处理上, 对于大面积的油罐基础的地基处理不宜采用换填法<sup>[1]</sup>。

3) 基岩上的地基土多为中、高压缩性土, 虽然沉降变形计算的土层不深, 但计算沉降变形偏大, 因而, 容易产生不均匀沉降。

4) 储罐注水预压时注水速度过快也是原因之一, 由于所加的荷载不能及时地转换成有效应力, 造成罐体承受较大的超静水压力, 地基承载力没有得到充分的发挥, 从而推进储罐不均匀沉降和倾斜。

## 4 储罐地基的处理措施

根据以上分析, 要解决该油罐倾斜问题, 首先是要纠偏, 而且纠偏后确保不再发生过大的沉降变形和倾斜, 从根本上保证油罐的使用安全。所以问题最后集中在两个方面: ①处理溶洞的填充物, 提高其

承载力, 减少不均匀沉降变形; ②改善基岩上地基土的压缩性, 减少总的沉降变形, 并提高其承载力。通过分析比较, 本工程事故处理采用高压旋喷桩加固方案。高压旋喷桩加固软土地基, 以及含有复杂充填物的岩溶地基是可以改善地基的压缩性, 提高承载力的<sup>[2-5]</sup>。设计处理方案过程中参照《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)进行了设计计算, 计算表明, 采用高压旋喷桩加固可以保证强度与变形要求<sup>[6]</sup>。方案如下:

1) 本工程加固用高压旋喷桩采用两种形式。一种是在罐基圈梁上布设的单排垂直旋喷桩, 桩径为 800 mm, 间距为 2 m; 另一种是在罐基外打与铅垂线成 45°的倾斜旋喷桩, 桩径为 500 mm, 间距为 1.5 m 左右。桩深到基岩或者到溶洞底部, 并进入其下岩石不少于一倍桩径, 并利用打斜桩来纠偏, 打桩时应加强对罐体的垂直度的观测。

2) 垂直旋喷桩上设置 C25 混凝土梁加固原来已有的罐基圈梁。原来的圈梁已损坏的按照原设计混凝土等级补强。

3) 采用双通道注浆管, 配双重喷嘴, 喷水钻孔时控制水压为 22 ~ 25 MPa, 注浆时控制浆压在 25 ~ 27 MPa, 在溶洞内注浆管提速一般控制在 5 ~ 10 cm/min, 在溶洞上或者非溶洞位置, 提速一般控制在 15 ~ 20 cm/min。

4) 喷浆采用 32.5 水泥, 水灰质量比控制为 1:1, 并在其中加 3% 早强剂。

5) 对储罐进行充水预压要求在打桩完成 30 d 后进行。充水期间应严格控制进水的速度, 一般为 1 m/d, 并加强沉降观测。当沉降速度小于 10 mm/d 时可继续充水, 如此渐进直至充水到最高操作液位, 继续进行沉降观测, 到沉降速度小于 5 mm/d 为充水预压的稳定标准, 随即放水卸荷, 但放水时速度不应太快, 否则地基回弹影响充水预压的效果, 控制放水速度每次 2 m 高, 放一次水停 24 h 实测地基回弹, 直到放完水止。通过充水预压达到进一步加固地基作用。

## 5 储罐地基的处理效果

按照上述储罐地基的处理方案施工处理。油罐基础整体稳定, 基础圈梁与罐底裂缝闭合, 充水预压, 一切正常。且在储罐基础和储罐上, 布设 10 个沉降观测点, 对储罐进行沉降观测。通过 6 个月的沉降观测证明, 地基处理后达到了良好的效果, 满足了储罐基础对地基强度、变形和稳定要求, 经投油生产运转考验, 一切正常。

## 6 结论

在储罐建设中经常会遇到不良土质,不均匀土地层,沟壑暗浜等非理想土层作储罐的地基。特别是在碳酸盐地区搞建设,地质勘察的钻孔有一定的局限性,不能完全详细准确地反映建筑物地下的复杂地质情况,应结合先进的电磁波透视 CT 查明基岩的形态、特征岩溶发育和周围地质环境及覆盖土层的结构与厚度。在地基处理时,应从实际出发,因地制宜,选用技术先进、安全可靠、确保工程质量、经济合理的储罐地基处理方案,满足储罐对地基强度、变形和稳定的要求。本工程的成功纠偏表明旋喷桩加固复杂填充性岩溶软基储罐是可行的。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 叶书麟. 地基处理与托换技术[ M ]. 中国建筑工业出版社, 1994: 4-12.
- [ 2 ] 吕建兵, 傅鹤林. 复杂填充性岩溶软基加固的设计与施工[ J ]. 采矿技术, 2005(2): 68-69.
- [ 3 ] 罗孟秋, 孙庭富. 高压旋喷桩与倾斜锚固桩在加固岩溶强烈发育地基中的应用[ J ]. 华南地质与矿产, 2006(1): 66-71.
- [ 4 ] 肖 峰. 高压旋喷桩在隐伏岩溶区地基处理中的应用[ J ]. 西部探矿工程, 2005, 17(11): 54-56.
- [ 5 ] 陈 进. 高压喷射注浆法在基础加固工程中的应用[ J ]. 福建建筑, 2005(2): 67-69.
- [ 6 ] JGJ 79—2002 建筑地基处理技术规范[ S ].

收稿日期: 2006-11-01

(上接第 38 页)

## 3 结论

从以上分析中得出影响地下连续墙稳定的因素:地质条件、施工机械和成槽方法、稳定液。其中稳定液的类型和质量对槽壁稳定起着至关重要的作用,应该从稳定液入手来解决现代地下连续墙施工中槽壁坍塌的事故。从对几种不同地层的槽壁稳定性分析中可以总结为:作用在槽壁上主要有四种力①土压力;②地下水压力;③稳定液的液柱压力;④稳定液的胶结作用产生的粘聚力。前两者是失稳的因素,后两者是致稳的因素,其中稳定液的护壁胶结性能能促使墙壁内土体粘聚力增强的胶结作用,是促使墙壁稳定的重要因素,是极具潜力的因素。只有促稳的作用足以平衡失稳的作用时,槽壁才能维持稳定,否则产生整体滑落或壁面不断剥落等失稳现象发生。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] 赵志缙. 建筑施工[ M ]. 北京:中国建筑工业出版社, 1989: 185-190.
- [ 2 ] 丛蔼森. 地下连续墙的设计与施工与应用[ M ]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001: 105-108.
- [ 3 ] 刘广志. 国外地下连续墙施工设备与工艺[ Q ] // 中国

地质学会探矿工程专业委员会编. 全国岩土工程钻掘工程设备与工艺会议论文集. 1993: 67-73.

- [ 4 ] 波勒斯 J E. 基础工程分析与设计[ M ]. 北京:冶金工业出版社, 1985: 53-58.
- [ 5 ] 温特科恩 N F, 方晓阳. 基础工程手册[ M ]. 北京:中国建筑工业出版社, 1981: 35-39.
- [ 6 ] 郑国萍, 段亚辉. 深软地层连续墙施工中槽段坍塌的分析控制[ J ]. 西部探矿工程, 2006(8): 10-12.
- [ 7 ] 李会民, 王士川. 地下连续墙槽壁稳定性分析及护壁泥浆性能指标的确定[ J ]. 工业建筑, 1993(8): 9-11.
- [ 8 ] 刘海卿, 于海峰, 于 波. 深层地下连续墙槽壁稳定机理研究[ J ]. 科学技术与工程, 2006(8): 23-25.
- [ 9 ] 张天兰. 膨润土泥浆在工程中的应用[ J ]. 水运工程, 1993(10): 2-5.
- [ 10 ] 唐捷明. 提高地下连续墙槽壁稳定的施工方法[ J ]. 四川建材, 2006(4): 84-86.
- [ 11 ] 颜 恒. 地下连续墙槽壁稳定及护壁泥浆性能研究[ J ]. 石家庄铁道学院学报, 2006, 19(Z1): 27-30.
- [ 12 ] 方 奇, 张 聪. 地下连续墙施工技术特点[ J ]. 山西建筑, 2006(19): 62-65.
- [ 13 ] 孙浩威. 上软下硬地层地下连续墙成墙施工[ J ]. 中国科技信息, 2006(16): 25-27.

收稿日期: 2006-12-04