

第三届全国岩土工程实录交流会

# 岩土工程实录集

中国建筑学会工程勘察学术委员会  
国防机械工业工程勘察科技情报网

兵器工业出版社

86.113083

TU43-53

6

110字重(家)

第三届全国岩土工程实录交流会  
岩土工程实录集

《岩土工程实录集》编辑部 编

江苏工业学院图书馆  
藏书章

兵器工业出版社



(京)新登字049号

### 内 容 简 介

《第三届全国岩土工程实录交流会岩土工程实录集》是继1990年《第二届全国岩土工程实录交流会岩土工程实录集》出版之后,为召开第三届全国岩土工程实录交流会而编辑出版的。

经专家评审会推荐,本实录集收编了有代表性独具特色的岩土工程实录共87篇,全书近百万字。无论是理论方面还是实践经验方面,其质量和水平比前两届实录集均有明显的提高。所涉及的地区及技术范围均有所扩大,其中有9篇是荣获第三届国家优秀勘察工程奖项目的实录。本实录集突出地反映了我国近几年来岩土工程发展的新水平。

本实录集的内容,共分为六部分:一、房屋建筑与构筑物;二、水电、路桥、港工、隧洞工程;三、特殊地质条件与特殊土;四、桩和地基处理;五、深基础支护及降水;六、事故分析、纠偏、托换及其它。

本实录集是岩土工程勘察、设计、施工与监测科技人员工作的范例,也是高等院校有关专业师生的重要参考文献。



井田本林文中 第三届全国岩土工程实录交流会  
**岩土工程实录集**

《岩土工程实录集》编辑部 编

\*

兵工工业出版社 出版、发行

(北京市海淀区车道沟10号)

北京新丰印刷厂印刷

\*

开本: 787×1092 1/16 印张: 36.25 字数: 924千字

1993年10月第1版 1993年10月第1次印刷

印数: 1—2000 定价: 39.00元

ISBN 7-80038-528-0/TU·13

# 前 言

全国岩土工程实录第一届交流会于1988年10月召开，第二届交流会于1990年12月召开。两届交流会部分展示了我国实行岩土工程体制近十年来岩土工程蓬勃发展的形势和获得的丰硕成果，预示了我国岩土工程体制已顺利地渡过了起步阶段、开始向加速发展阶段过渡。

上两届交流会与会代表不仅交流了彼此对岩土工程的看法、做法，加深了对岩土工程的认识，相互学习了很多岩土工程技术和经验，促进了岩土工程技术水平的提高，同时也看到了各自（个人和部门）的优势和不足。这些都有利于我国岩土工程体制与技术的进一步发展与提高。

中国建筑学会工程勘察学术委员会、国防机械工业工程勘察科技情报网根据大家每隔几年召开一次实录交流会的希望，于1992年初，着手了第三届全国岩土工程实录交流会的筹备工作。为了搞好实录集的编审工作，大会筹备组邀请了常士骝、张苏民、顾宝和、卞昭庆、袁炳麟、李国新、尤大鑫、许年金8位教授级高工和陈群、鲍世敏、王志智、刘正、李秋岚、石乃荣6位高级工程师组成了编审委员会，并于1993年2月在北京进行了审稿工作；由《军工勘察》编辑部的王志智、刘正、石乃荣、崔国梁、彭光林、冯静等同志，并邀请陈群、黄运飞二位高级工程师参加组成了《岩土工程实录集》编辑部，进行编辑出版工作。

收入本实录集的论文共87篇，大致可分为六部分，即：一、房屋建筑与构筑物；二、水电、路桥、港工、隧洞工程；三、特殊地质条件与特殊土；四、桩和地基处理；五、深基支护及降水；六、事故分析、纠偏、托换及其它。所选87篇论文的质量和水平比前两届有明显提高，涉及的方面也有所扩大，其中有9篇是荣获第三届国家优秀勘察工程奖项项目的实录。例如获金质奖的“青藏公路多年冻土工程勘察”、获银质奖的“中国国际文化交流中心工程岩土工程勘察”、“紧水滩水电站工程地质勘察”和“长甸水电站引水隧洞不稳定岩体的预报与防治”等优秀工程。

有部分实录由于各种原因未能选入本实录集，请作者谅解。

本实录集在征稿、编审、编辑各项筹备工作中，除了主办单位给予大力支持外，还得到了中国兵器工业勘察研究院、中国航空工业勘察设计研究院、中国航天工业总公司第七设计研究院勘测公司等单位的大力支持，特此致谢。

由于时间和编审水平所限，未免有错、漏和不妥之处，例如个别插图中的外文字体不够规范等，欢迎批评指正，有关意见和建议请寄：邮编100053，北京573信箱《军工勘察》编辑部收转。

常 士 骝

1993年8月10日 北京

# 目 录

## 一、房屋建筑与构筑物

- 天津无缝钢管总厂主厂房岩土工程勘察实录……………张福江 李国新 ( 1 )
- 太原二电厂扩建工程天然地基勘测与评价……………王洪兴 ( 12 )
- 江苏仪征丙纶织物厂主车间建造在多种地基  
类型的岩土工程实录……………陈多马 韦佳 ( 20 )
- 兰州蓝星化学清洗公司办公楼加层改建工程勘察……………杨增文 ( 27 )
- 邢台钢铁厂职工医院门诊楼加层地基勘察工程实录……………王振华 ( 30 )
- 北京市琉璃河水泥厂技术改造工程勘察实录……………严义荣等 ( 34 )
- 陕西广播电视中心主楼岩土工程勘察……………任澍华等 ( 40 )
- 长春国际贸易中心岩土工程勘察实录……………马玉林 ( 47 )
- 常州大厦塔楼工程勘察实录……………汤锁法等 ( 53 )
- 中国国际文化交流中心工程岩土工程勘察实录……………张弘等 ( 58 )
- 上海世界广场大厦工程地质勘察实例……………莫群欢等 ( 65 )

## 二、水电、路桥、港工、隧洞工程

- 太原钢铁公司 3<sup>#</sup>高炉易地大修岩土工程勘察实录……………王自元 李国新 ( 73 )
- 贵阳汪家湾大型储气罐地基强夯工程实录……………曹鸿生 ( 79 )
- 准格尔黑岱沟露天煤矿选煤厂超高大煤仓岩土工程实录……………韩洪德 ( 82 )
- 靖远矿区王家山煤矿圆筒仓岩土工程实录……………马琨 ( 90 )
- 江西万安水利枢纽一期工程地质勘察……………黄养仁 王造根 ( 95 )
- 牛头山水库工程地质勘察……………倪学锦 朱宏林 ( 103 )
- 紧水滩水电站工程地质勘察实录……………吴泉根 ( 107 )
- 红水河岩滩水电站碾压混凝土围堰地基岩土工程实录……………高光庭 ( 116 )
- 204国道江苏灌河大桥工程地质勘察……………李含顺 张海静 ( 125 )
- 昆明南过境干道一级公路的软基路堤试验工程……………丁立道 陈国亮 ( 136 )
- 胜利油田桩西海堤工程地质分析评价……………王世希 ( 148 )
- 大秦线和尚坪隧道岩土工程实录……………刘广质 ( 154 )
- 密云水库引水隧洞岩塞口爆破工程勘察实录……………陈群等 ( 158 )
- 长甸水电站引水隧洞不稳定岩体的预报与防治……………王惊谷 颜雨生 ( 163 )
- 大连20万吨船坞坞口基坑开挖中的岩土工程问题及对策……………黄春水 张文龙 ( 170 )
- 青藏公路多年冻土地区岩土工程勘察实录……………李含顺 ( 174 )

### 三、特殊地质条件和特殊土

北京西客站地铁站的膨胀岩	曲永新等	(189)
新近沉积软粘土“干缩”作用的岩土工程评价	盛麟祥	(197)
湖南永和磷铵厂海泡石粘土的工程地质特征	成谷雨	(204)
吉林汪清刺猬沟冻结状态的尾矿坝工程地质评价	连国经	(212)
新疆内陆盐渍土地区工程建设中的岩土工程问题	朱瑞成	(217)
某厂膨胀土滑坡勘察实录	许年金	(223)
福建顺昌水泥厂滑坡整治岩土工程实录	袁善策	(227)
松藻矿务局金鸡岩洗选厂2*住宅楼滑坡整治实录	章宗仁 张久仪	(233)
津浦铁路泰安路基塌陷整治实录	曾经道 张举贤	(238)
深圳某滑坡治理工程实录与问题探讨	王松龄	(243)

### 四、桩和地基处理

软质岩石桩基岩土工程勘察实录	黄经秋	(247)
复杂岩石地基上的桩基	黄志仑 刘家明	(252)
红光电子管厂891*工程人工挖孔灌注桩工程实录	赵跃平	(260)
卵石地基人工挖孔压浆桩的勘察设计与施工	朱锦云	(269)
海淀工人文化宫螺旋成孔灌注桩施工新方法实录	马金普	(275)
钻孔泥浆护壁灌注桩加固地基实例与剖析	陈多马	(278)
引孔沉管灌注桩在较密实砂层中的应用	梁 闽等	(286)
淮格尔中心区振动沉管灌注桩基础实录	王德峰 陈家友	(292)
夯扩桩的设计与施工及在武汉地区的应用研究	姚永华等	(300)
夯扩桩处理大型油罐软土地基岩土工程实录	姚永华 叶德华	(309)
黄土地基中扩底墩的岩土工程实录	高广运等	(317)
淤泥、石灰桩复合地基模拟试验	梁镇培	(324)
华能上安电厂食堂大餐厅生石灰、水泥、砂、土桩基础托换工程实录	李宏义	(332)
丰南涤纶厂振冲碎石桩工程实录	梁金国等	(339)
振动挤密砂桩在软弱地层的应用技术	侯生明 梁 闽	(344)
压入桩托换技术延伸与发展的几个工程实例	钱国林	(346)
上海飞利浦半导体公司静力压桩施工监控	杨宝山	(349)
中国统配煤矿总公司科研生活楼护坡桩工程实录	高晓芬 孙耿琴	(359)
某厂升压站支挡构筑物设计	傅世法等	(369)
水泥粉喷搅拌桩挡墙围护工程实录	郭志业 孙国强	(375)
2000t 水压机深基用沉井护坡法实施成果	周坚梁 贾国辉	(379)
福州华盛大厦深基坑开挖采用水泥土桩挡墙围护的工程实录	颜景忠	(382)
协和医院综合业务楼支护工程实录	杨德林	(388)

北京大兴县枣园小区住宅楼夯实水泥土桩复合地基工程实录·····	王小晋 阮森	(396)
大兴清源西里小区挤密碎石桩工程实录·····	徐铁柱	(400)
桩基质量检测技术的应用研究·····	黄祥宾	(404)
振动沉管挤密碎石桩施工中的质量控制·····	王凤魁	(410)
DDC 法加固地基·····	黄志仑 司炳文	(414)
北京北汽五厂立体停车场地基处理实录·····	田岳峰	(423)
东营原油库扩建2 <sup>#</sup> 浮顶油罐地基加固工程实录·····	张金等	(426)
垫层地基处理软弱土的效果分析·····	陈多马	(433)
强夯人工碎石土的地基评价·····	赵立中 郭朝顺	(440)
湿陷性黄土强夯有效加固深度与夯沉量的确定·····	谭昌奉	(444)
武钢矿石场堆载预压试验工程实录·····	姚相臣 唐传政	(448)
马钢原料场强夯动力置换加固软土地基试验工程实录·····	姚相臣 唐传政	(461)
软弱地基处理工法及实例·····	中岛志郎	(472)

## 五、深基支护及降水

西南交通大学信息大楼区深基坑降水工程实录·····	全纪平等	(483)
成都无缝钢管厂管坯连铸机旋流沉淀池井点降水工程实录·····	童鹤	(489)
东方艺术大厦降水护坡工程实录·····	袁长生等	(493)
502 <sup>#</sup> 工程深基坑施工中的两个岩土工程问题·····	王代兵 肖汉英	(499)

## 六、事故分析、纠偏、托换及其它

陕西省彬县大佛寺石窟环境地质条件及病害的勘察与研究·····	胡贵臻 张苏民等	(505)
某宾馆墙体裂缝产生的原因分析及其治理措施实录·····	张弘等	(514)
新近堆积黄土地基机场道面沉降的补救措施实录·····	冯立本	(519)
某油罐倾斜事故分析与纠斜工程实录·····	沈昌鲁	(523)
某矿9 <sup>#</sup> 住宅楼人工浸水纠偏矫正岩土工程实录·····	王步云等	(528)
福州某高校综合教学大楼局部纠偏及加固工程实录·····	戴一鸣 龚镛	(536)
结构顶升纠偏研究报告·····	陈忠麟等	(542)
四川某厂18 <sup>#</sup> 住宅楼地基事故分析与整治工程实录·····	高元志 苏建军	(548)
上海石油化工总厂塑料厂三期工程超高压压缩机动力机器基础测试·····	赵小云等	(552)
北京市军队离退休干部活动中心基础沉降和地基应力等量测与分析·····	邢念信等	(564)

# 一、房屋建筑与构筑物

## 天津无缝钢管总厂主厂房岩土工程勘察实录

冶金工业部勘察研究总院 张福江 李国新

### 一、概述

#### (一) 建筑物特征

天津无缝钢管总厂为国家重点建设项目,是一具有国际先进水平的大型工业建筑,主要生产线(包括炼钢、连铸、出坯、精整、轧钢及管加工等)分别是由德国、意大利和美国引进的。

主厂房间呈条带状连跨布设,建筑总面积近 $3 \times 10^5 \text{ m}^2$ 。

主厂房属敏感性 I 类建筑物,排架结构,柱基,跨度 $36 \sim 48 \text{ m}$ ,柱距 $18 \sim 24 \text{ m}$ 。地基承载力标准值要求 $250 \text{ kPa}$ 。主要设备有 $1500 \text{ kN}$ 电炉连铸机,连轧机和整管机等,吊车设置达 $2500 \text{ kN}$ ,地面超载 $100 \sim 150 \text{ kPa}$ 。

1988年我院对上述车间进行了岩土工程勘察工作。1991年建成,1992年投入生产。现将该工程的岩土工程勘察实录汇总如下。

#### (二) 勘察目的与钻探方案

拟建的无缝钢管总厂地处海陆交互沉积的滨海平原软土区。该区地震基本烈度为 8 度,1976 年唐山地震时天津——塘沽一带地基土有液化和震陷现象发生,同时考虑到建筑物荷载大、跨度大、对沉降要求敏感等特点,本次勘察除查明场地内地基土的物理力学性质外,主要查明场地内的桩基条件,即桩端持力层的埋藏与分布,并提供桩端平面处土的承载力标准值及桩周土摩阻力标准值,以及饱和软土在 8 度条件下的震陷性等。

勘察点的布置原则是,按柱网每柱下设勘察点。

钻孔深度:  $45 \sim 50 \text{ m}$

#### (三) 勘察试验手段及工作方法

##### 1. 钻探与取样

钻孔是使用 DPP-100 车装液回转钻机泥浆护壁全岩芯钻进法进行的。软土: 原状土料试是采用 ASTM 标准薄壁管取土器静压法采取的; 硬型土原状土试料是使用活塞式对开薄壁取土器锤击法采取的。

##### 2. 原位试验

标准贯入试验采用自动脱钩。分预打与正打部分,分段记录(预打 $15 \text{ cm}$ ,正打分两段,每段 $15 \text{ cm}$ ),以正打部分作为  $N$  值。

静力触探试验是采用车装液压电测双笔自动记录仪进行的;

十字板剪切试验是采用 CLD-1 型两用电测十字板仪进行的;

天然地基与桩基抗压刚度是采用频谱分析仪于现场实测的;

波速与地微动是采用高精度测试仪于现场实测的。



### 3. 室内试验

除进行一般物理力学性质试验外,还进行了高压固结、静三轴、动三轴等室内试验。高压固结试验最大压力3200kPa;一般压缩试验压力达800kPa;动三轴试验主要是用于判定饱和和软土在8度条件下的震陷性和震陷系数。

试验方法与标准是按照“冶金工业建设工程地质勘察土工试验操作规程”进行的;土的分类分别按照中国“工业与民用建设地基基础设计规范TJ7-74”和美国“ASTM-D2487-69”土的统一分类系统标准定名的。

## 二、拟建场地地基土的构成

场地内的地基土由上至下主要由下列地层构成:

①植物层 主要为耕土,一般厚度0.30~0.50m;

第四系全新统冲积层( $Q_4^{1}$ )——第一陆相层

②粉质粘土 局部地段为粘土,黄褐色,含少量氧化铁及螺壳,很湿~饱和,软~可塑状态,层厚0.30~2.60m;

第四系全新统海相沉积层( $Q_4^m$ )——第一海相层

③粉土 部分地段为粉质粘土,灰色,含少量有机质及贝壳,具水平层理,饱和,软~流塑状态,层厚1.40~3.90m;

④淤泥质粉质粘土 灰~深灰色,含有机质及贝壳,局部地段含大量贝壳(呈贝壳层)并分布在5.00~8.00m深度范围内,具水平层理,间夹粉土,呈互层状,饱和,层厚7.00~10.04m;

⑤粉土 部分地段为粉质粘土,灰~深灰色,含有机质及贝壳,具水平层理,间夹粉质粘土,呈互层状,该层底部有0.10~0.50m陆相的黑色泥炭层,饱和,软~可塑,层厚2.00~4.80m;

第四系上更新统冲积层( $Q_3^{1}$ )——第二陆相层

⑥粉土 灰黄~褐黄色,含少量氧化铁及螺壳,局部地段混砂,饱和、可塑,部分钻孔控制地段为粉砂,饱和,中密状态;层厚1.60~5.60m。

⑦粉质粘土 局部地段为粘土,褐黄色,含氧化铁、姜结石及云母,夹粉土及粘土薄层,饱和、可塑,层厚3.30~9.10m;

第四系上更新统海相沉积层( $Q_3^m$ )——第二海相层

⑧粉质粘土⑧<sub>1</sub>,该层下部为粉土⑧<sub>2</sub>,灰黄~灰褐色,含氧化铁、贝壳,夹粘土薄层,呈互层状,饱和,可~硬塑,层厚1.90~5.50m;

第四系上更新统冲积层( $Q_3^{1}$ )——第三陆相层

⑨粉质粘土、粉细砂、粉土层,三层土相间呈互层状,饱和,密实和硬塑状态,总厚度3.10~12.30m;

⑩粉细砂 黄褐~黄灰色,长石~石英质,含氧化铁及云母,部分地段有粉质粘土及粉土透镜体分布,饱和,密实~极密实,厚2.50~11.60m;

第四系上更新世海陆交互沉积层( $Q_3^{1+m}$ )

⑪粉质粘土、粉土、粉细砂 黄褐~灰褐色,含氧化铁、云母及少量贝壳,饱和,分别呈硬塑和极密实状态。

各层土的埋藏与分布如图1地质剖面所示。

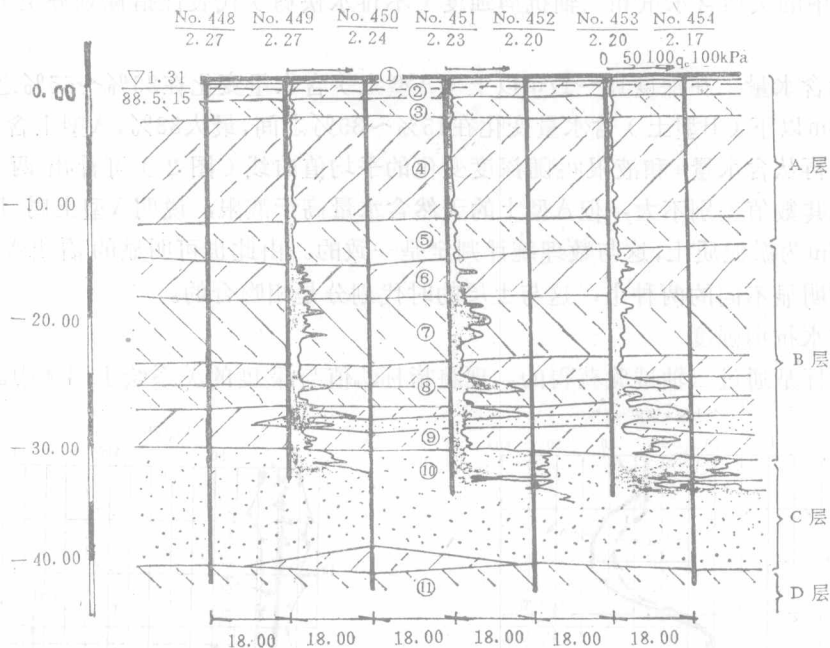


图 1 地质剖面

### 三、地基土的工程性质分析

#### (一) 室内试验

通过室内试验各主要土层土的物理力学性质指标值，平均值列于表 1 中。

表 1 各层土物理力学性质指标平均值

土型分类	土层编号	土层名称	重力密度 $\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	天然含水量 $w$ (%)	孔隙比 $e$	液限 $w_L$ (%)	塑性指数 $I_p$	液性指数 $I_L$	压缩指数 $a_{1-2}$ (MPa <sup>-1</sup> )	压缩模量 $E_s$ (MPa)	压缩指数 $C_c$	前期固结压力 $P_c$ (MPa)	三轴不排水快剪	
													$\varphi$ (°)	$C_u$ $\times 10^2$ (kPa)
Q <sub>4</sub> <sup>a1+m</sup> A型土	②	粉质粘土	18.0	36	1.439	38	17	0.87	0.65	31	0.251	1.0	1.30	0.23
	③	粉土	18.3	34	0.934	29	10	1.45	0.41	49	0.203	0.60	0.28	0.25
	④	淤泥质粉质粘土	17.8	39	1.096	35	16	1.24	0.69	30	0.255	0.75	0.69	0.17
	⑤ <sub>1</sub>	粉质粘土	16.3	35	0.957	35	15	1.00	0.50	41	0.214	1.20	0.60	0.22
	⑤ <sub>2</sub>	粘土	19.7	24	0.663	24	8	0.92	0.21	78	0.108	0	0	0.28
Q <sub>4</sub> <sup>a1+m</sup> B型土	⑥	粉土	20.3	20	0.560	23	8	0.69	0.22	70	0.095		2.88	0.28
	⑦	粉质粘土	19.3	29	0.782	35	15	0.57	0.28	64	0.166	2.60	1.08	0.71
	⑧ <sub>1</sub>	粉质粘土	19.1	29	0.806	35	15	0.59	0.28	67	0.217	3.1	1.10	0.50
	⑧ <sub>2</sub>	粉土	20.4	20	0.554	22	8	0.7	0.21	76	0.097		0.47	0.33
	⑨ <sub>1</sub>	粉质粘土	19.5	26	0.725	34	15	0.45	0.24	73	0.190	3.7	2.3	0.73
	⑨ <sub>2</sub>	粉土	19.8	22	0.615	25	8	0.53	0.18	91	0.118		2.75	0.34
Q <sub>3</sub> <sup>a1</sup> C型土	⑩ (粉细砂)	粉质粘土(夹层)	19.7	24	0.692	30	14	0.43	0.23	29	0.178		0.4	0.54
		粉土(夹层)	20.1	21	0.595	24	6	0.59	0.13	134	0.109		0.7	0.27
Q <sub>3</sub> <sup>m</sup> D型土	⑪ <sub>1</sub>	粉质粘土	19.1	26	0.729	33	14	0.59	0.23	118	0.194	5.1		
	⑪ <sub>2</sub>	粉土	19.7	23	0.655	26	9	0.67	0.20	86	0.110			

现仅就其中的天然含水量和三轴抗剪强度（不排水快剪）代表性指标划分土类型进行简要分析。

1. 天然含水量 在深度15~17m以上（A型土）含水量变化在25%~55%之间，最大58%；15~17m以下（B型土）含水量变化在15%~35%之间，最大38%，A型土含水量高，且变化幅度大。再从含水量 $w$ 和液限 $w_L$ 随深度变化的平均值曲线（图2）可看出两曲线形状基本一致，而其数值差别不大，但A型土的天然含水量高于液限，说明A型土属于软土，即深度在4~13m为淤泥质土，这与数理统计判定是一致的。由此也可明显的看出A型土与B型土属工程性质明显不同的两种土，这与土层的时代划分是相吻合的。

## 2. 不排水抗剪强度

该强度指标是通过三轴试验获得的。现将指标 $C_u$ 值与深度的关系绘于图3中。

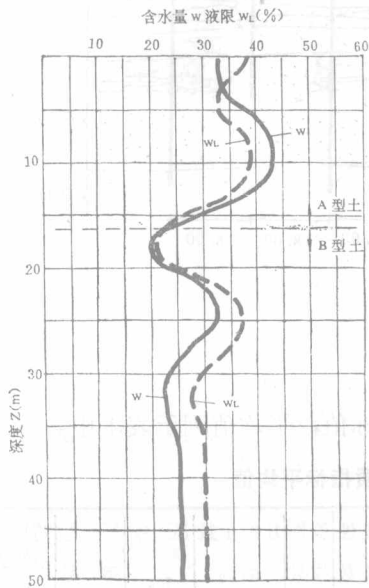


图2 含水量 $w$ 、液限 $w_L$ 平均值—深度 $z$ 关系

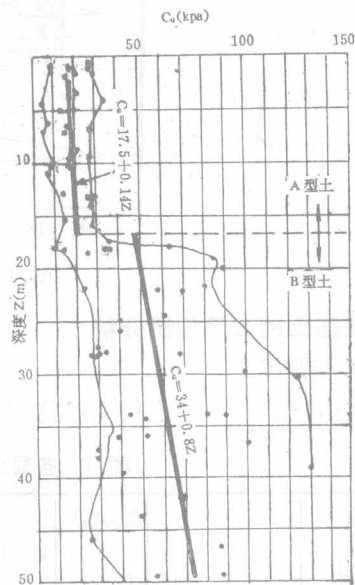


图3 三轴不排水抗剪强度 $C_u$ —深度 $z$ 关系

从表1可看出A型土 $C_u$ 值一般变化在5~30kPa，而B型土变化在23~100kPa之间。分段建立线性回归方程，即：

$$\text{A型土 } C_u = 17.5 + 0.14z \quad (1)$$

$$\text{B型土 } C_u = 34 + 0.8z \quad (2)$$

式中  $C_u$ ——不排水强度（kPa）

$z$ ——深度（m）

从上述方程可以看出 $C_u$ 值随深度变化的趋势。A型土的 $C_u$ 值虽然随深度有所增长，但很小，反映了软土的特征；而B型土的 $C_u$ 值随深度增加明显，反映了硬型土的特征，这与天然含水量的分析基本一致。

为研究土的固结状态。利用Skempton关系式

$$C_u = (0.11 + 0.0037I_p) \sigma'_v \quad (3)$$

式中  $I_p$ ——塑性指数

$\sigma'_v$ ——试验深度处的有效压力

可以获得正常固结土的 $C_u$ 值随有效压力的增长规律。但实际上,本工程实测 $C_u$ 要比式(3)大,说明土具有某些超固结特征,因此按式(3)又考虑 $P'_e$ 值是随 $\sigma'_{ve}$ 而变的特征,其前期固结压力 $P'_e$ 与不排水抗剪强度 $C_u$ 的关系如下:

$$P'_e = C_u (0.22 + 0.0037I_P)$$

并以此获得图4  $P'_e$ - $z$ 关系和图5 超固结比与深度的关系。

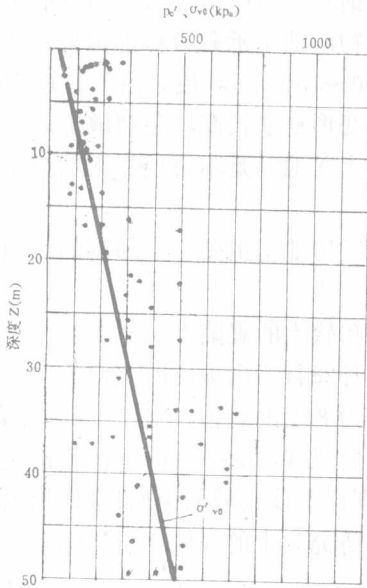


图4  $P'_e$ -深度 $z$ 关系(按Skempton)

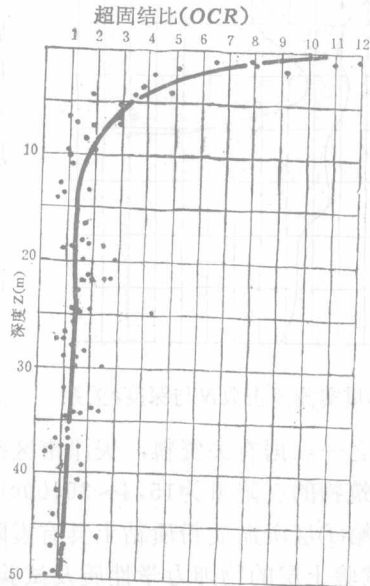


图5 超固结比-深度 $z$ 关系(按Skempton)

从图5看,超固结比(OCR),近地面处为最大值,随深度的增加而减少, $z=5.5\text{m}$ 以上超固结比大于3,20m左右为2,以下逐渐减少到大致45m处的1.0(正常固结土)。这说明了A型土基本为正常固结土,但近地面处由于某些因素的超载作用而形成了超固结土;B型土则属于超固结土。

## (二) 原位试验

本工程使用了多种测试手段,现仅对静力触探和标准贯入试验简要评述如下。

### 1. 静力触探试验

静力触探是该地区一种比较好的原位测试手段,主要用来地基土的力学分层,评价场地的物理力学性质、确定桩端持力层及有关计算参数等。

从图1可看出锥尖阻力 $q_c$ 随深度变化的规律。15~17m以上,即A型土具有较低的阻力值;而B型土则有较高的阻力值,并且在该层土中和下部有粗粒土(砂)特征的高阻值。这为桩端持力层的选择提供了可靠的依据。

### 2. 标准贯入试验

标准贯入试验是一般砂土和粘性土中较好的试验方法。现仅将主要控制性钻孔中获得的实测锤击数随深度变化的关系绘于图6中。从图中可看出标贯实测击数高值、低值的变化规律:深度0~5m一般为1~3击;5~13m为0~2击;15~21m之间变化较大,最大可达27击,说明该层有砂性土存在;30m以下实测击数较高且区间值变化大,30~37m大于50击者较少,这主要是土中有砂性土存在;37~50m主要大于50击,这反映了砂土的密实特征。



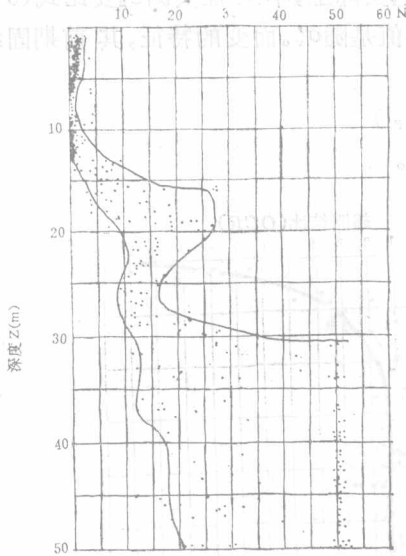


图 6 标贯实测锤击数  $N$  与深度  $z$  关系

上述实测锤击数随深度变化的分析与前面静力触探曲线的反映和地基土的工程地质分层及岩性描述是相吻合一致的。30m 以下土层可做大型或重大建筑物的桩端持力层。

#### 四、地基评价

天津无缝钢管厂主厂房是大型超载的工业厂房是属于 I 类建筑物。地基承载力标准值要求 250kPa，地面超载为 100~150kPa。最大吊车起重 2500 kN，对地基不均匀变形要求较高，是超敏感的。因此，浅层软土（A 型土）地基是不可能作天然地基的。必须采用桩基。

所以对主厂房地基主要从土的震陷性和桩基进行评价。

##### （一）饱和软土的震陷性

1976 年 7 月 28 日唐山地震时天津市至塘沽区遭受了地震烈度为 8 度的震害，地基土的震陷是该次地震的震害之一。据有关资料，天津市建筑物震陷量为 0.86~3.80cm；塘沽区（望海楼地段）建筑物的震陷量为 15.4~30.00cm。勘察场地则位于该区域的中间地带，勘察结果证实场地内的第④层淤泥质粉质粘土具有震陷特征，所以研究软土的震陷具有实际意义。

##### 1. 试验土层的物理力学性质及试验仪器

试验的土层为第④层淤泥质粉质粘土，该土的物理力学性质指标均由 ASTM 标准薄壁管取土器静压法取土并通过现场室内试验获得的，其指标统计值见表 2。

根据塘沽震害调查，对照本勘察试验结果认为：天然孔隙比  $e > 1.0$ 、液性指数  $I_L > 1$ 、标贯击数  $N \leq 2$  的粉质粘土或粘土，可定为震陷性土型，应进行动三轴震陷试验。

本次勘察符合上述条件的震陷土型是埋深于 5 至 13m 间淤泥质粉质粘土。

震陷试验是采用国产 SDZ-1 型单向电磁振动式动三轴仪进行的，试验数据采用微机处理。

##### 2. 动、静强度比

土的动强度是指土在规定震次达到破坏时所需的动应力  $\sigma_{df}$ ；静强度是指在静力作用下达到破坏时的静应力  $\sigma_{sf}$ 。本试验采取的破坏标准取应变的 5%，震次按里氏震级 7.5 级的等效震次 20 次，震动频率为 1Hz。

试验表明，该饱和软土的应力—应变关系均服从双曲线关系：

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{a + b \cdot \varepsilon} \quad (4)$$

式中  $\sigma$ ——应力

$\varepsilon$ ——应变

$a$ 、 $b$ ——由试验确定的双曲线参数

实测动、静应力—应变关系曲线见图 7

根据 4 组试验的动静强度比  $B_r = \sigma_{df} / \sigma_{sf}$  为：

当侧压力  $\sigma_3=50\text{kPa}$ 时  $B_r=0.46\sim 0.82$

$\sigma_3=100\text{kPa}$ 时  $B_r=0.41\sim 0.60$

$\sigma_3=200\text{kPa}$ 时  $B_r=0.61\sim 0.82$

根据动、静强度比 $B_r$ ，可初步判定土的抗震陷能力或抗震陷程度。当围压 $\sigma_3=100\text{kPa}$ 条件下， $B_r>1$ 时，土的抗震陷能力高； $B_r=0.5\sim 1.0$ 时抗震陷能力中等； $B_r<0.5$ 时则属低抗震陷能力。按这一分类原则，试验土层的动、静强度比平均值 $B_r=0.64$ ，具有中等抗震陷能力。

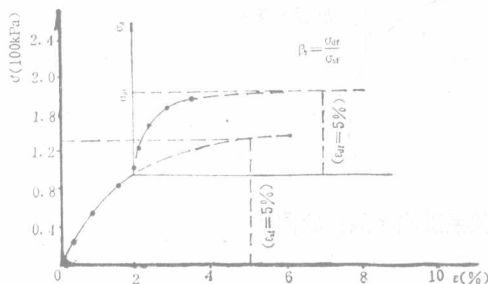


图 7 动、静应力—应变关系曲线

式中  $C_u$ ——软土不排水抗剪强度 (kPa)

$\gamma'$ ——试验土层有效单位重度 (kN/m<sup>3</sup>)

$z$ ——试验土层深度 (m)

已知 $C_u=17\text{kPa}$ ； $\gamma'=8\text{kN/m}^3$ ，按试验土层深度 $z=5\text{m}$ 计，则 $\sigma_{sf}=127.4\text{kPa}$ 取安全系数为1.05，则静强度设计值为120kPa。

根据动强度试验，得动静强度比的平均值为0.65。

所以，确定震陷系数的动应力采取 $B_r \cdot \sigma_{sf}=0.65 \times 120=78\text{kPa}$ 。

震陷系数 $\epsilon_d$ 可按下式计算：

$$\epsilon_d = \left( 1 - \frac{h_d}{h_p} \right) \frac{N}{20} \quad (6)$$

式中  $h_d$ ——在动应力作用下，振动次数 $N=20$ 时，土样的振后高度 (cm)

$h_p$ ——振前土样在静压力为 $0.65\sigma_{sf}$ 下稳定高度 (cm)

$N$ ——设计的循环次数

当 8 度时 $N=10$ ，9 度时 $N=20$

通过动应力与动变形的关系计算震陷系数如图 8 所示。

震陷系数实测结果为：

当侧压力  $\sigma_s=50\text{kPa}$ 时，  $\epsilon_d=0.012\sim 0.06$

$\sigma_s=100\text{kPa}$ 时，  $\epsilon_d=0.015\sim 0.06$

$\sigma_s=200\text{kPa}$ 时，  $\epsilon_d=0.005\sim 0.006$

#### 4. 震陷评价

(1) 试验场地的基本烈度为 8 度，地面最大加速度 $a_{max}$ 按 $0.2g$ 考虑。按 Seed 公式计算 10m 深处地震剪应力为：

$$\tau_d = 0.65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot (\gamma \cdot h + p_z) \cdot \gamma_d \quad (7)$$

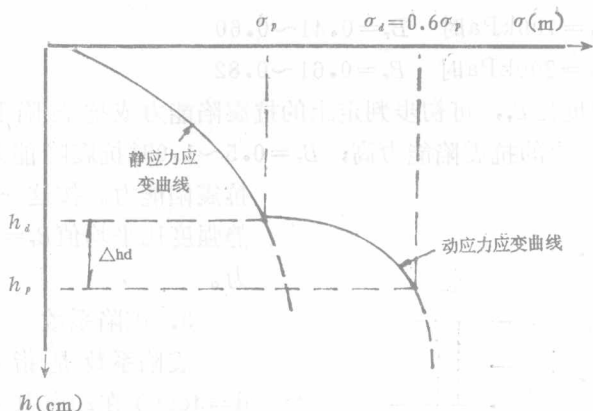


图 8 破坏动应力与动变形关系震陷系数试验曲线

式中  $a_{max}$ ——地面最大加速度（取  $0.2g$ ）

$g$ ——重力加速度

$\gamma$ ——震陷土层上复土自重 ( $kN/m^3$ )

$h$ ——震陷土层厚度 (m)

$p_z$ ——震陷土层顶部的附加压力（指建筑物而言）

$\gamma_d$ ——应力衰减系数

如取 5 m 深处有震陷土层，建筑物荷载作用下 5 m 深度处的附加压力按 40 kPa 考虑，则地震剪应力为 21.5 kPa。而第④层土的静抗剪强度为 17~20 kPa，动抗剪强度为 12~14 kPa。

说明 8 度地震剪应力远大于该土的抗剪强度，易产生破坏剪切变形——震陷。

(2) 场地基本烈度为 8 度，等效震次  $N=10$  次，故 (6) 式改为

$$\varepsilon_d = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{h_d}{h_p} \right) \quad (8)$$

在地震烈度 8 度条件下，当侧压力  $\sigma_s \leq 100$  kPa 时，震陷系数  $\varepsilon_d = 0.01 \sim 0.03$ ，平均  $\varepsilon_d = 0.016$ ；侧压力  $\sigma_s = 200$  kPa 时， $\varepsilon_d = 0.0025 \sim 0.003$ 。

由此可认为，当  $\varepsilon_d \geq 0.01$  时具有震陷性； $\varepsilon_d < 0.01$  时可不考虑震陷性。

(3) 在 8 度地震条件下第④层土的震陷量  $S_d$  可按式进行估算：

$$S_d = \varepsilon_d \cdot H \quad (9)$$

式中  $S_d$ ——震陷量 (cm)

$\varepsilon_d$ ——震陷系数

$H$ ——震陷土层厚度 (cm)

试验土层厚按 8 m 计，计算震陷量  $S_d = 12.8$  cm，这与实际调查资料基本相吻合。

## (二) 桩基

### 1. 桩尖持力层

从地基土的工程性质分析中可明确的看出 15~17 m 以下土层，即 B 型土由于堆积时间长且埋深也较大，为超固结土，因此其工程性质比较好，可做桩尖持力层。根据建筑物的载荷大小和对沉降要求的敏感程度，做如下选择：

(1) 第⑦层粉质粘土,呈可塑——硬塑状态,该层土埋藏稳定,可做一般荷载较大而对沉降要求不甚敏感建筑物的桩端持力层,桩端可埋置在地表下20.00~22.00m;

(2) 第⑨层粉质粘土(粉土、粉细砂)土层较致密,可做对沉降要求较敏感的大型建筑物的桩端持力层,桩端可埋置在地表下30~33m;

(3) 第⑩层粉细砂,呈极密实状态,可做重大建筑物的桩端持力层,桩端可埋置在地表下35~40m;

## 2. 单桩竖向承载力标准值的计算

根据拟建场地的地层结构和土的物理力学性质,并结合当地建筑经验及施工条件等建议选用钢筋混凝土预制桩基础。单桩竖向承载力标准值采用以下三种方法对三种不同桩端持力层进行计算:

(1) 规范计算公式法,即“工业与民用建筑地基基础设计规范TJ7-74”中公式,即:

$$P_a = R_t \cdot A + \sum f \cdot F$$

式中符号及意义与规范同。

(2) 标准贯入试验法,按日本1982年土质调查法公式,即:

$$R_u = 30N \cdot A + U \left( \frac{1}{5} \cdot \sum \bar{N}_s \cdot L_s + \sum \bar{N}_o \cdot L_o \right)$$

$$P_a = \frac{R_u}{\eta}$$

式中  $R_u$ ——单桩极限承载力(kN)

$P_a$ ——单桩承载力标准值(kN)

$N$ ——桩端附近标贯击数平均值〔桩端以上4D,桩端以下1D(D为桩径)范围内的平均值〕

$\bar{N}_s$ 、 $\bar{N}_o$ ——桩通过砂层和粘性土层的标贯击数 $N_{60}$ 平均值

$L_s$ 、 $L_o$ ——桩通过砂层和粘性土层的长度(m)

$A$ ——桩截面积( $m^2$ )

$U$ ——桩周长(m)

$\eta$ ——安全系数,  $\eta = 3$

(3) 静力触探法,按中国铁道科学研究院公式,即:

$$P_a = \frac{1}{\eta} \left( \alpha_i \cdot \bar{q}_o \cdot A + U \sum \beta_i \cdot \bar{f}_{si} \cdot h_i \right)$$

式中  $\bar{q}_o$ ——桩端附近平均锥尖阻力(桩尖以上、以下各4D, D为桩径)

$\bar{f}_{si}$ ——桩侧摩阻力(即第*i*层静触侧摩阻力平均值)

$\alpha_i$ ——第*i*层锥尖阻力修正系数

$\beta_i$ ——第*i*层侧摩阻力综合修正系数

$h_i$ ——第*i*层土的厚度(m)

$\eta$ ——安全系数  $\eta = 1.5$

按上述公式,对三种埋深和不同截面预制桩的单桩竖向承载力标准值计算结果列于表2;为与现场桩载试验进行比较,故将现场桩静载试验结果列于表3。

表3中数值列出三种方法的计算结果基本相当,与现场桩静载荷试验结果表4相比较也



表 2 单桩承载力标准值计算结果

桩端持层	桩截面及埋深 (cm)	按规范计算 $P_0$ (kN)	按 N 值计算 $P_0$ (kN)	按静触计算 $P_0$ (kN)
⑦	40×40×2100	798	631	854
⑨	45×45×3300	1841	1901	1983
⑩	45×45×3850	2206	2435	2572

表 3 现场单桩静载荷试验结果

桩端持层	桩截面及埋深 (cm)	极限承载力 $R_u$ (kN)	承载力标准值 $P_0$ (kN)
⑦	40×40×2000	1500	750
⑨	45×45×3100	4500	2250
⑩	45×45×3950	5870	2935

表 4 桩基土层压缩模量

地层编号及岩性	第 ⑨ 层			第 ⑩、⑪ 层		
	粉质粘土	粉 土	粉 砂	粉质粘土	粉 土	粉 细 砂
$E_s$ (MPa)	16.0	20.0	35.0	19.0	24.0	45.0

基本一致,现场值稍高于计算值,是符合实际的。这说明了通过土的物理力学性质的分析对计算参数和计算方法的选择是合理的。

### 3. 桩侧负摩擦力

通过对土的物理力学性质的分析,可清楚的认识,第④层淤泥质粉质粘土虽属正常固结土,但它仍具有高孔隙、高压缩性、低抗剪强度等特征,在大面积荷载作用下将产生固结下沉,土体在固结下沉过程中将对桩产生负摩擦作用;另外当有 8 度地震作用时,由于震陷的产生也将对桩产生负摩擦作用。拟建主厂房各车间的地面堆载为 100~150kPa,对该土层如不进行处理时,在上述条件作用下均应考虑对桩产生的负摩擦作用。当地面装载(包括填土)小于 50kPa 时,可不考虑地面荷载对桩的负摩擦作用,但尚应考虑震陷对桩的负摩擦作用,仅从震陷角度考虑加固后土体的静抗剪强度(三轴不排水快剪)应大于 25(kPa)。

### 4. 群桩基础变形计算参数

鉴于厂房和设备基础荷载大,对变形要求严的特点,将采用群桩基础。为提供设计时进行变形计算所需的计算参数,根据桩端处的估算压力,从压缩曲线( $e-p$ 、 $e-\log P$ 曲线)计算及标贯、静力触探试验计算而得出的压缩层内的压缩模量 $E_s$ 列于表 4 中。

## 五、结论与建议

(一) 鉴于场地内地面下 16.00m 深度范围内各层土均属软弱地基土,不宜做为承载主厂房和设备基础的天然地基,应采用桩基础。

(二) 主厂房与设备基础宜采用钢筋混凝土预制桩基础。