



# 天津港易堵管黏土物理力学指标及应用

张更生<sup>1</sup>, 王力威<sup>1</sup>, 唐达方<sup>1</sup>, 钟 贵<sup>2</sup>

(1. 中交天津航道局有限公司, 天津市疏浚工程技术企业重点实验室, 天津 300457;

2. 中交天航南方交通建设有限公司, 广东 深圳 518040)

**摘要:** 基于天津港地区大量的易堵管黏土标准贯入试验和室内土工试验资料, 应用数理统计方法, 对易堵管黏土标准贯入击数与物理力学指标间的相关关系进行研究分析。结果表明: 经验公式的回归系数均在 0.8 以上, 具有较高的可靠性。研究结果经过可靠性分析验证后, 为易堵管黏土通过原位测试指标来计算黏土的物理力学指标提供了可行的方法, 该方法节约疏浚工程勘察费用, 给类似的疏浚工程以借鉴, 具有较高的实际应用价值。

**关键词:** 易堵管黏土; 标准贯入击数; 物理力学指标; 经验公式; 可靠性

中图分类号: U 656.1; U 616+.21

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)07-0137-04

## Physico-mechanical index of pipe blocking clay in Tianjin port & its application

ZHANG Geng-sheng<sup>1</sup>, WANG Li-wei<sup>1</sup>, TANG Da-fang<sup>1</sup>, ZHONG Gui<sup>2</sup>

(1. Dredging Engineering Laboratory, CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin, 300457, China;

2. CCCC TDC Southern China Communications Construction Co., Ltd., Shenzhen 518040, China)

**Abstract:** Based on the great number of standard penetration tests and indoor soil geotechnical test data about the pipe blocking clay in Tianjin port, this paper studied and analyzed the correlation between the standard penetration number and physico-mechanical index of pipe blocking clay by applying the mathematical statistic method. The results show that the regression coefficients in empirical formulas all are above 0.8 with higher reliability. After verification by reliability analysis, the research results provide a feasible method by calculating the physico-mechanical index of pipe blocking clay with the in-situ test index. It helps to cut down the cost for investigation of dredging engineering, provides reference for similar dredging engineering, and owns a higher practical application value.

**Keywords:** pipe blocking clay; standard penetration number; physico-mechanical index; empirical formula; reliability

随着我国沿海港口不断发展, 为加大货物吞吐量, 港池航道的水深已不能满足要求, 需对港池航道进行疏浚加深。我国沿海城市地质状况复杂, 不同性质的黏土广泛分布, 由于对此类易堵管黏土认识不够, 在疏浚施工实施过程中, 水下黏土造成输送堵管、糊绞刀头等现象, 引起管线爆裂, 增加了疏浚施工成本, 延误了施工工期。而海上施工勘察受到水深、海况和船舶通行等的

影响, 一般疏浚工程施工勘察的钻孔间距在 100 m 以上, 大间距取土钻孔的地质勘察很难摸清疏浚区域的地质状况。而港口航道勘察原位测试具有工期短、成本低的特点, 如果大量布置原位测试钻孔, 通过原位测试指标进行黏土物理力学指标的计算来确定这些指标, 给疏浚中的勘察带来很大好处。基于这些原因, 在调研大量疏浚工程中发生堵管的黏土地质资料的基础上, 试图通过定

收稿日期: 2016-01-28

作者简介: 张更生 (1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事岩土工程勘察设计和疏浚土质研究工作。

量分析方式找到黏土原位测试指标标准贯入击数与其它物理力学指标之间的函数关系；通过实际疏浚工程可靠性验证后，采用原位测试指标来计算黏土的物理力学指标，为疏浚施工中易堵管的黏土提供详实的地质资料，降低疏浚施工风险，给类似的疏浚工程以借鉴，意义重大。同时可以减少外业勘察和室内试验的工作量，节约疏浚工

程勘察费用，达到技术经济合理的目的。

### 1 易堵管黏土的特性

针对天津港航道、码头疏浚工程的勘察资料，对照施工中发现输送困难且易堵管的黏土地层，基于大量此类黏土标准贯入试验及室内土工试验资料，进行数理统计，得出易堵管黏土的指标(表1)。

表 1 易堵管黏土指标统计值

项目	含水率 W/%	密度 $\rho/(g/cm^3)$	黏粒含量 $\lambda/\%$	液性指数 $I_L$	压缩系数 $a_v/MPa^{-1}$	压缩模量 $E_s/MPa$	快剪		塑性指数 $I_p$	孔隙比 $e_o$	标准贯入 击数 $N/$ 击
							粘聚力 $C/kPa$	内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$			
范围	19.2~41.7	1.70~2.03	27.6~58.9	0.04~0.68	0.02~0.68	4.8~15.1	9.4~25	5.6~17	17.1~28.9	0.58~0.99	4~22
平均值	27.60	1.90	35.70	0.29	0.33	10.10	17.10	11.60	20.10	0.785	13.40

从表1可以看出，易堵管的黏土接近于高塑性黏土，较普通黏土具有黏粒含量高、亲水矿物含量高、黏性大、具有粘黏而不破坏分散的能力。此黏土疏浚工程分级为4级，呈可塑-硬塑状态，固结程度为中等，粒径小于0.005 mm的土颗粒平均占35.7%，黏土比表面积大，颗粒之间以及颗粒与水之间的相互作用复杂，使黏土物理力学性质存在较大差别，如塑性、压缩性和强度等<sup>[1]</sup>。塑性指数是用来区分黏土的关键指标，表征黏土可塑程度的范围，指标越大，黏粒含量越大，而天津港区黏土  $I_p$  在 17.1~28.9，为典型的黏土，随着黏土  $I_p$  增大，黏土逐渐呈现强塑性，粘聚力增加，增大黏土疏浚施工中堵管的可能性。黏土快剪指标粘聚力和内摩擦角，可用来表征黏土在挖掘过程中的难易程度，输送过程中相互粘黏而不破坏分散的能力，对黏土输送成球不离散影响较大。此类黏土在输送和挖掘过程中，发生了糊绞刀头和堵管现象，黏土球块直径2~40 cm，在管道内运动状态复杂，滚动、悬浮、推移和跳跃各种状态均可能出现，大块黏土运动速度缓慢，输送时阻力较大，因此粘结强度高的黏土输送时，速度会不断降低并向下方聚集，容易造成排泥管的堵塞，给疏浚生产带来了安全隐患和经济损失，疏浚施工过程中对此类土要引起足够的重视。

筛选、统计和回归分析的方法，建立了易堵管黏土力学指标标准贯入击数与其它物理力学指标之间的经验公式<sup>[2]</sup>。以易堵管黏土标准贯入击数  $N$  为横坐标，分别以液性指数  $I_L$ 、含水率  $W$ 、快剪粘聚力  $c$ 、快剪内摩擦角  $\varphi$ 、压缩系数  $a_v$ 、压缩模量  $E_s$  和天然密度  $\rho$  指标为纵坐标作散点图，见图1~7。

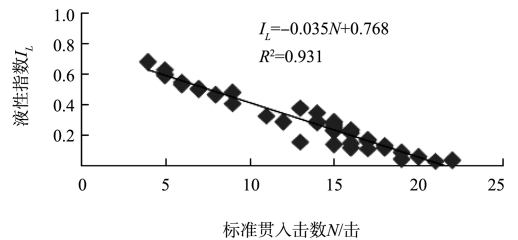


图 1 液性指数与标准贯入击数曲线

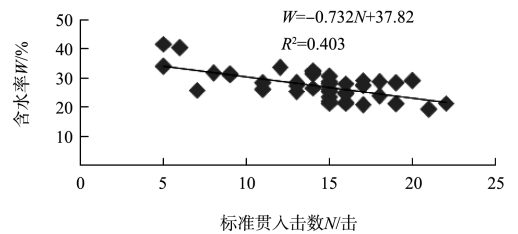


图 2 含水率与标准贯入击数曲线

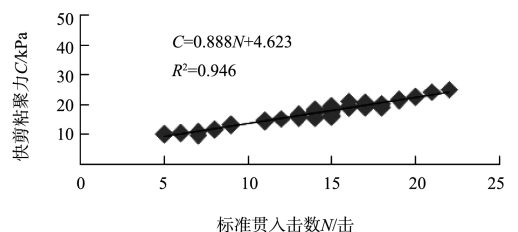


图 3 快剪粘聚力与标准贯入击数曲线

### 2 易堵管黏土标准贯入击数与物理力学指标关系

依据天津港疏浚区域的工程地质资料，通过

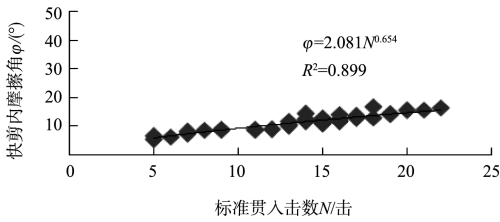


图 4 快剪内摩擦角与标准贯入击数曲线

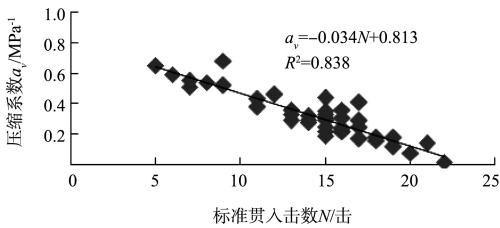


图 5 压缩系数与标准贯入击数曲线

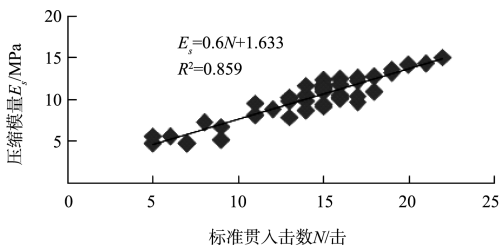


图 6 压缩模量与标准贯入击数曲线

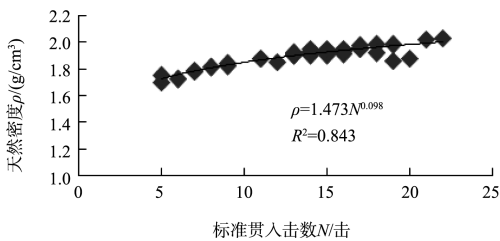


图 7 天然密度与标准贯入击数曲线

从图 1~7 拟合的曲线可以看出, 标准贯入击数与液性指数  $I_L$ 、快剪粘聚力  $C$ 、压缩系数  $\alpha_v$  和压缩模量  $E_s$  指标存在简单的线性相关关系, 标准贯入击数与快剪内摩擦角  $\varphi$  和天然密度  $\rho$  指标为幂函数相关关系, 回归系数均在 0.8 以上, 相关性

较高。而标准贯入击数与含水率  $w$  的相关性较差, 回归系数为 0.403。标准贯入击数、液性指数、快剪粘聚力、快剪内摩擦角、压缩系数、压缩模量和天然密度是黏土软硬程度、固结程度、抗剪强度和粘结强度判别的关键指标<sup>[3]</sup>。标准贯入击数与液性指数、压缩系数呈反比关系, 标准贯入击数越大, 液性指数和压缩系数越小, 黏土体越硬, 固结程度越高; 标准贯入击数与快剪粘聚力、快剪内摩擦角、压缩模量和天然密度成正比关系, 标准贯入击数越大, 快剪粘聚力、快剪内摩擦角、压缩模量和天然密度越大, 黏土体抗剪强度、密实程度越大。此类黏土在疏浚施工中, 挖掘相对困难, 在水动力条件下不易崩解破碎, 易于输送堵管。基于上述拟合经验公式, 针对疏浚工程中的关键指标, 可依据表 2 中的经验公式, 由标准贯入击数快速计算得到易堵管黏土的其它物理力学指标, 为黏土疏浚工程投标决策、工艺管理和施工管理等提供基础资料。

表 2 标准贯入击数与物理力学参数经验公式

经验公式	回归系数
$I_L = -0.035N + 0.768$	0.931
$C = 0.888N + 4.623$	0.946
$\varphi = 2.081N^{0.654}$	0.899
$\alpha_v = -0.034N + 0.813$	0.838
$E_s = 0.6N + 1.633$	0.859
$\rho = 1.473N^{0.098}$	0.843

注: 此经验公式适用于天津港地区标准贯入击数为 4 击  $\leq$  22 击、可塑-硬塑状态的易堵管黏土。疏浚岩土工程分级为 4 级。

### 3 经验公式的可靠性分析

依据《天津港 25 万吨级航道工程地质勘察》资料, 选取 4 组黏土标准贯入的原位测试和土工试验实测数据, 见表 3。

表 3 易堵管黏土物理力学指标实测值

标准贯入击数/击	液性指数 $I_L$	快剪粘聚力 $C$ /kPa	快剪内摩擦角 $\varphi$ /(°)	压缩系数 $\alpha_v$ /MPa <sup>-1</sup>	压缩模量 $E_s$ /MPa	天然密度 $\rho$ /(g/cm <sup>3</sup> )
8	0.54	10.5	8.00	0.50	5.50	1.89
12	0.43	14.4	9.60	0.44	9.70	1.93
15	0.20	16.8	11.60	0.26	11.80	1.97
18	0.11	19.4	13.50	0.17	13.70	2.02

将易堵管黏土的原位测试指标标准贯入击数作为自变量, 利用建立的标准贯入击数与其它物

理力学指标的经验公式, 对疏浚区域黏土液性指数  $I_L$ 、快剪粘聚力  $C$ 、快剪内摩擦角  $\varphi$ 、压缩系数

$a_v$ 、压缩模量  $E_s$  和天然密度  $\rho$  指标进行预测，分析预测值与室内试验值之间的偏差，评估拟合经

验公式在指定土质条件下应用于生产的可靠程度，见表 4。

表 4 易堵管黏土物理力学指标预测分析

标准贯入 击数/击	项目	液性指数 $I_L$	快剪粘聚力 C/kPa	快剪内摩擦角 $\varphi/(^\circ)$	压缩系数 $a_v/\text{MPa}^{-1}$	压缩模量 $E_s/\text{MPa}$	天然密度 $\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$
8	实测值	0.54	10.50	8.00	0.50	5.50	1.89
	预测值	0.49	11.73	8.11	0.54	6.43	1.81
	绝对偏差	-0.05	1.23	0.11	0.04	0.93	-0.08
	相对偏差/%	-9.26	11.71	1.37	8.00	16.91	-4.23
12	实测值	0.43	14.40	9.60	0.44	9.70	1.93
	预测值	0.35	15.28	10.57	0.41	8.83	1.88
	绝对偏差	-0.08	0.88	0.97	-0.03	-0.87	-0.05
	相对偏差/%	-18.60	6.11	10.10	-6.82	-8.97	-2.59
15	实测值	0.20	16.80	11.60	0.26	11.80	1.97
	预测值	0.24	17.94	12.23	0.30	10.63	1.92
	绝对偏差	0.04	1.14	0.63	0.04	-1.17	-0.05
	相对偏差/%	20.00	6.79	5.43	15.38	-9.92	-2.54
18	实测值	0.11	19.40	13.50	0.17	13.70	2.02
	预测值	0.14	20.61	13.78	0.20	12.43	1.96
	绝对偏差	0.03	1.21	0.28	0.03	-1.27	-0.06
	相对偏差/%	27.27	6.24	2.07	17.65	-9.27	-2.97

注：绝对偏差 = 预测值 - 实测值；相对偏差 (%) = 100 × (预测值 - 实测值) / 实测值。

进行上述预测分析是为了验证经验公式可靠性，把预测值与实测值作比较，从而来判断经验公式的实用性。从表 4 可以看出，易堵管黏土的液性指数相对偏差为 -18.6% ~ 27.27%，快剪粘聚力相对偏差为 6.11% ~ 11.71%，快剪内摩擦角相对偏差为 1.37% ~ 10.1%，压缩系数相对偏差为 -6.82% ~ 17.65%，压缩模量相对偏差为 -9.92% ~ 16.91%，天然密度相对偏差为 -4.23% ~ -2.54%，相对偏差分布在 -28% ~ 28%。由此可见，易堵管黏土的预测值与实测值偏差不大，初步验证了经验公式的可靠性和实用性。在以后的易堵管黏土的疏浚施工生产中，基于天津港区域标准贯入击数，利用拟合的经验公式来预测黏土的其它物理力学参数，减少外业勘察和室内试验的工作量，节约工程勘察费用，具有实际应用价值。随着更多的易堵管黏土测试数据资料收集和统计，可以逐步对经验公式系数进行修正，使其更精确，具备更强的实用性，为类似工程及建立地区经验公式提供重要参考。

#### 4 结论

1) 基于数理统计方法，建立了易堵管黏土标

准贯入击数与液性指数、天然密度、快剪粘聚力、快剪内摩擦角、压缩系数和压缩模量经验公式。经验公式的回归系数均在 0.8 以上，易堵管黏土物理力学参数与标准贯入击数具有较高相关关系。

2) 依据具体疏浚工程资料，利用经验公式通过标准贯入击数确定黏土物理力学指标，预测值与实测值相对偏差普遍分布在 -28% ~ 28%。易堵管黏土的预测值与实测值偏差不大，初步验证了经验公式的可靠性和实用性。

3) 随着更多的易堵管黏土测试数据资料收集和统计，可以逐步对经验公式系数进行修正，使其更精确，具备更强的实用性，为类似工程及建立地区经验公式提供重要参考。

#### 参考文献：

[1] JTS 181-5—2012 疏浚与吹填工程设计规范[S].  
 [2] 陈映红. 淤泥及淤泥质土的物理力学性质指标的相互关系研究[J]. 广东水利水电, 2004(4): 33-35.  
 [3] 李双英, 黄荣通. 试用标准贯入试验判断薄层状黏土的状态[J]. 西部探矿工程, 2006(10): 83-84.

( 本文编辑 武亚庆 )