

TU DE GUANRUSHIYAN

土的 贯入试验

В.Ф. 拉扎列诺夫著 叶启民译



中国铁道出版社

土的贯人试验

〔苏〕B.Φ.拉扎列诺夫著

叶启民 译 陈秉昆 校

中国铁道出版社

1984年·北京

2067/117

内 容 简 介

“土的贯入试验”是测定土的物理和力学性质的一种迅速而精确的方法。这一试验方法在国际上已日益广泛应用。

本书系统的论述了土的贯入、旋转剪切和触探试验的理论基础和工艺特点，将室内试验与原位测试相结合，据以研究编制地区性标准和分析、统计土的力学性质指标。

本书可供有关科研和勘察设计工程技术人员参考。

ПЕНЕТРАЦИОННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ГРУНТОВ В.Ф.РАЗОРЕНОВ, 1980

土的贯入试验

〔苏〕В.Ф.拉扎列诺夫著

叶启民 译

中国铁道出版社出版

责任编辑：施以仁

封面设计：赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：9.25 字数：201 千

1984年7月第1版 1984年7月第1次印刷

印数：0001—5,000 册 定价：1.15元

译者说明

译者怀着极大的兴趣读完这本苏联 B.Φ.拉扎列诺夫著的《土的贯入试验》。该书的第一版是1968年问世的，现据1980年俄文修订本译出。

早在1962年，河北省水利厅高玉衡同志从苏联考察归来在《苏联土探技术与现场试验方法》一文中就曾提到许多苏联学者从事圆锥贯入试验的研究，认为它是有发展前途的，

“对其理论及方法应加以重视及研究。对苏联水文地质和工程地质研究所 B.Φ.拉扎列诺夫的科研成果应该深入学习，因为他基本上总结了苏联现代圆锥试验的基本成就。”

最近15~20年苏联的贯入试验又取得一些新的成果，本书作了较详细的介绍。贯入试验在苏联已正式纳入规范，在工程地质勘察工作中得到广泛的应用。

在国际上“土的贯入试验”日益引起广泛的重视；我国也有许多单位正在进行研究。这是因为“土的贯入试验”不论对于建筑工程中的土工测试，还是农业上土壤性质的测定，以及军事上战车通过地带土的沉陷性质的研究，都是卓有成效的方法。

在我国推广使用和加强贯入试验的研究，对于改进土的勘察和试验工作具有多方面的现实意义。

1. 贯入试验可快速、精确地测定土的许多物理力学指标。

贯入试验实为“圆锥液限仪”的发展。但液限仪仅能确定液限，而现代贯入试验不但能确定土的液限，而且可用来

确定塑限、液性指数、含水量及密度等物理指标；可以用来测定内聚力、内摩擦角、变形模量、土的压实性、湿陷性、膨胀性和土的灵敏度（结构强度系数）等土的力学指标。

2. 贯入试验方法是改革我国现行各种地基规范中土的容许承载力表的途径之一。规范中采用扰动土的液性指数作为确定天然（原状）地基土的容许承载力的主要指标，这是一个原则性的错误，急需改进，因为土的物理指标是不能反映土的天然结构强度的。实践证明，有时钻孔取出的原状土，天然状态是坚硬的，而室内化验结果可能为软塑，有时甚至为流塑，这是极不合理的。在这种情况下，采用现行地基规范可能给国家造成很大的经济损失。

3. 贯入试验的方法简便、可靠，易于进行大量试验，为采用理论公式计算地基创造了条件。

目前一般认为按理论公式计算地基容许承载力，较为合理，但限于条件，在铁路工程等地基勘测中按现行规范的试验方法，很难取得大量试验数据，而本书第八章介绍的方法是可供参考的。

4. 贯入试验的研究为编制地区地基规范创造了条件。

我国幅员辽阔，地质条件复杂，土的工程地质性质差异很大。现行规范中的地基容许承载力表适用全国广大地区，势必增大了安全系数。采用贯入、旋转剪切及触探法对编制各地区地基承载力公式，将是简单而有效的。

5. 贯入试验的理论为动力和静力触探的解释和应用开辟了新的途径。

6. 本书所述土的贯入、旋转剪切和触探试验三种方法在理论上成为一个完整的体系；在实用上将室内与原位试验结合起来；进而分析研究了各种常规试验方法之间的关系，可以使土的各种试验结果之间相互验证和换算。这无疑是个

很大的进步。

7. 本书对土的物理力学指标测定误差的分析以及采用电子计算机程序整理分析试验结果等也作了较深入的研究，有一定的参考价值。

需要特别强调指出的是，本书介绍的内容不一定是先进的。例如本书第二章，讲扩大锥头触探法的缺点时，提到的因“探杆与侧面土层的摩擦而限制了触探的深度”，从这一点看来苏联触探的机械装置就不如我国广泛使用的电测静力触探法精确。我国的静力触探仪不存在这一缺点。因而阅读本书，要结合我国的实际，不可生搬硬套。

本书翻译过程中得到了高玉衡、肖忱等同志的帮助。全书由译者所在单位（铁道部第三勘测设计院）科研所陈秉昆同志校核。铁道部科学研究院土工室左佐生同志从专业角度对本书译稿提出许多宝贵的修改意见，有些疑难问题承蒙周镜研究员指正。谨此一并致谢。

限于译者水平，错误与不妥之处一定不少，恳请读者批评指正。

译者1983年1月

原 序 摘 译

苏联在工程地质勘察方面，为了提高质量，合理地使用野外和试验室的方法确定土的性质指标，广泛利用新的先进的勘察方法，综合地采用工厂制造的自动化仪器。

1968年作者在本书第一版前言中指出：研究粘性土和非粘性土的物理力学性质较新方法中，贯入、触探和旋转剪切试验近年来在工程地质勘察的实践中得到了广泛地发展。

实践日益证明了上述观点。这是毫不奇怪的，因为贯入和触探试验的结果，精确度高；可以客观地检验得到的结果；完成试验的仪器和技术较简单，显著地降低勘察的劳动强度和费用。总之这些研究方法的良好质量，得到了勘察、设计和施工人员的完全承认。

本书第二版根据近年来众多的实际材料作了修订，试图系统地讲述贯入、触探和旋转剪切试验在理论和试验研究方面所取得的主要成果，包括：

1. 试验成果准确性的客观检验方法；
2. 扰动和原状粘性土物理性质和力学指标之间相互关系的各种计算方法；
3. 根据电子计算机的综合程序《土》，用最小二乘法计算土的分类特征值；
4. 举例说明采用程序《土》确定塑性界限、摩擦和内聚力指标、变形模量及黄土的相对湿陷系数等；
5. 最后，介绍粘性土力学性质地区标准的编制等。

目 录

主要符号	1
引 言	3
第一章 土的贯入试验	7
第一节 贯入试验方法的定义	7
第二节 土的贯入试验结果的表示方法	8
第三节 均质土中贯入试验结果的不变性	14
第四节 圆锥下沉深度较小时粘性土贯入试验结果的 分析	16
第五节 检验单位贯入阻力和贯入指标不变性的 图解法	20
第六节 层状土贯入试验结果的分析	25
第七节 使用不同锥头贯入试验结果之间的 关系	28
第八节 非粘性土贯入试验结果的分析	34
第二章 扩大锥头的静力和动力触探	39
第一节 扩大锥头触探法的应用范围	39
第二节 静力触探成果的表示方法	40
第三节 粘性土静力触探结果的分析	43
第四节 非粘性土静力触探结果的分析	49
第五节 按静力触探结果确定砂土的内摩擦角	54
第六节 动力触探结果的表示方法	56
第三章 土的旋转剪切试验	69
第一节 土的旋转剪切试验结果的表示方法	69
第二节 粘性土旋转剪切试验的工艺特点	70
第三节 单位旋转剪切阻力的不变性	73

第四节	土的贯入和旋转剪切联合试验法	74
第五节	粘性土联合试验的特点	78
第四章	粘性土物理和力学性质之间相互关系的理论基础	82
第一节	土中各相的关系	82
第二节	饱和粘性土物理和力学性质之间的关系	84
第三节	饱和粘性土的物理和力学性质之间相互关系的文献资料	87
第四节	查明三相土物理和力学性质之间相互关系的原则	88
第五节	三相土物理和力学性质之间相互关系方程的分析	91
第六节	三相土物理和力学性质相互关系的计算图式	98
第七节	粘性土的分类特征值	101
第八节	土的力学性质试验结果分析和整理的图解法	103
第九节	三相土物理状态的相对指标和力学性质之间相互关系的综合计算图式	107
第十节	粘性土物理和力学性质之间相互关系计算程序综述	111
第十一节	最小二乘法计算的基本原理	111
第十二节	三相土物理和力学性质之间相互关系的文献资料	115
第五章	确定粘性土塑性界限和稠度的贯入法	121
第一节	确定饱和粘性土稠度系数的贯入法	121
第二节	贯入法确定粘性土塑性界限的原理	125

第三节	用双贯入法确定饱和粘性土的 塑性界限	126
第四节	双贯入法的系统误差	133
第五节	考虑个别土样饱和度不同时系统误差的 计算	133
第六节	考虑土样不完全饱和时系统误差的 计算	135
第七节	试验偶然误差的分析	140
第八节	粘性土塑性界限和塑性指数之间的 关系	141
第九节	饱和粘性土物理和力学性质之间相互关 系表现的规律	143
第十节	塑性指数和塑性界限与粘土粒组的百分 含量、粘土矿物的活动性及亲水性的 关系	146
第十一节	单贯入法确定粘性土的塑性界限	149
第十二节	单位贯入阻力 R_u 和 R_m 之间的相互关系	152
第十三节	扰动饱和粘性土的物理和力学性质之 间的相互关系	153
第十四节	饱和粘性土的引用稠度系数	156
第十五节	粘性土的塑性指标	158
第十六节	用双贯入法和苏联国家标准确定粘性 土塑性界限和塑性指数的平行试验 结果的对比	159
第十七节	各种方法确定的粘性土液限和塑性指 数之间的关系	163
第十八节	确定扰动饱和粘性土含水量的 贯入法	164

第十九节	双贯入法确定土的塑性界限的 工艺特点	164
第六章	用贯入和旋转剪切联合试验法研究粘性土 的强度性质	166
第一节	室内试验结果的检验	166
第二节	应用综合程序《土》分析贯入试验结果的 特点	167
第三节	扰动粘性土贯入试验结果的分析	168
第四节	用各种仪器完成的扰动粘性土贯入试验 结果的分析	174
第五节	用旋转剪切法得到的扰动粘性土试验结 果的分析	177
第六节	扰动三相土的强度性质试验结果的 统计分析	179
第七节	原状粘性土的物理和力学性质之间相互关 系的特点	187
第八节	粘性土结构性质的确定方法	187
第九节	饱和原状土贯入试验结果的分析	191
第十节	三相原状黄土的贯入试验结果的分析	194
第十一节	采用粘性土物理和力学性质相互关系 计算图式的特点	201
第七章	粘性土力学性质的研究	204
第一节	扰动粘性土压实性的研究	204
一、	土压实基本情况的研究	204
二、	黄土压实性的试验室研究	207
三、	黄土压实性的野外研究	211
第二节	用平面剪切法研究粘性土的抗剪强度	214
一、	西瓦什饱和淤泥层强度性质的研究	214

二、确定粘性土内聚力和内摩擦角的贯入	
检验法	221
三、黄土剪切试验结果的分析	223
四、考虑黄土塑性指数变化时剪切试验结果的分析	230
五、利用程序《土—5》分析黄土内摩擦角的变化	232
第三节 用单轴压缩、压模和自由膨胀法研究粘性土的抗剪强度	234
第四节 粘性土压缩性和黄土湿陷性的研究	241
一、粘性土变形性质和强度指标之间相互关系的研究	241
二、黄土总变形模量和压缩性指标变化的分析	242
三、残积土载荷板试验结果的分析	244
四、黄土湿陷性的预测	245
第八章 粘性土强度和变形性质地区标准的分析	253
第一节 土的饱和度和孔隙比最佳间距的计算	253
第二节 饱和粘性土强度和变形性质地区标准的分析	255
第三节 三相状态粘性土（包括黄土）强度和变形性质地区标准的分析	263
第四节 地基土计算压力的确定	270
第五节 采用计算图式查明天然混合物的物理力学性质的相互关系	274
附录 土的贯入和旋转剪切试验仪器简介	276
参考文献	282

主 要 符 号

土的物理指标

γ_s ——容重	w_0 ——土的含水量
δ ——干密度	w_L ——土的饱和含水量
$1/\delta$ ——比容	G ——土的饱和度
e ——土的孔隙比	I_A ——稠度指标
γ_s ——固体颗粒密度	M_A ——稠度系数
γ_w ——水的密度	K_s ——压实系数

土的分类特征值

w_L ——液限
w_p ——塑限（滚搓界限）
M_p ——塑性指数
M_{Apl} ——亲水性指标
R_L, R_p, R_{pl} ——分别为液限、塑限及液限时干密度而含水量为塑限时，所对应的单位贯入阻力
k_f, k_p, k_{pl} ——同上相应状态时粘性土的结构强度系数
x, y, z ——粘性土物理力学性质之间相互关系的标准线性方程的参数

土的强度和变形性质指标

φ ——内摩擦角
c ——内聚力

- E ——总变形模量
 R ——单位贯入阻力（在粘性土中）
 Q ——单位触探阻力（在粘性土中）
 U ——贯入指标（在非粘性土中）
 V ——触探指标（在非粘性土中）
 N ——动力触探指标
 a ——动力触探单位功指标
 τ ——单位旋转剪切阻力，单位抗剪强度
 p_{np} ——单轴极限抗压强度
 a_0 ——相对压缩系数
 δ_{np} ——相对湿陷系数

尺 寸 符 号

- h ——贯入深度，测头十字板的高度
 H ——触探深度
 D ——十字板或联合测头的直径
 k_v ——十字板或联合测头的常数

缩 写 符 号（译注）

- | | |
|-----------|------------|
| max——最大 | шт——探杆 |
| min——最小 | ср——平均值 |
| const——常数 | тор——环刀顶面 |
| кон——圆锥 | рез——环刀刃口面 |

引 言

使用贯入、触探和旋转剪切研究土的物理和力学性质的方法，最近15~20年在苏联得到特别迅速地发展。

现在苏联有20多个科学研究和勘察设计单位积极参加研究野外和室内贯入、静力和动力触探、旋转剪切试验方法及工艺，试验成果的解释，以及新的仪器、设备的制造。

贯入试验方法发展到现阶段具有下列特点：

1. 用于研究土的贯入试验方法，贯入的深度小于圆锥的高度，可适用于从淤泥到坚硬的土而不受限制。

2. 贯入仪器的类型和贯入锥头的大小，自然是有规定标准的。通常根据需要，例如，选用能够量测0.002~0.005到0.65~1.5MPa（单位贯入阻力）的设备，可以用来研究从流塑到坚硬状态的土。

3. 贯入试验的结果是所研究土的力学性质的客观特性，在一定的范围内与贯入力的大小无关，而且与所采用圆锥的锥角无关。

4. 贯入试验结果的不变性可以保证确定土的力学性质贯入指标的准确性。

5. 贯入试验的结果提出了土的抗剪强度的独特指标，贯入试验的成果之间，例如圆锥和球压仪的贯入阻力之间，以及与粘性土的内摩擦角和内聚力之间在一定范围内是函数关系。

6. 使用贯入和旋转剪切方法对粘性土进行联合试验，在某些情况下，有可能极简单和十分精确地测定粘性土的内

摩擦角和内聚力。

7. 贯入试验的结果可直接确定非粘性土的内摩擦角和内聚力。

8. 贯入试验方法的特点是提高了劳动生产率和试验成果的精确度。因而，贯入法才能顺利地用于不论是野外还是试验室条件下大量地确定土的物理力学性质指标。

9. 贯入试验有很高的精确度，可以比较简单地确定贯入结果与土的物理性质指标相关的，甚至函数关系。可以在任何土工试验室找到扰动粘性土的这种相互关系。

10. 找到上面提到的相互关系，可以比较简单地解决另外的现实任务，用于确定粘性土的摩擦和内聚力指标与粘性土物理指标之间的相互关系。

11. 贯入试验的结果可以确定粘性土的稠度和非粘性土的密实程度，不需要任何补充试验。

上述以及许多其它的重要的贯入试验特性本书也将要研究。

40年代末期 П.А.列宾杰尔 (Рибидер) 院士的著作发表之后，贯入试验在苏联开始较快地发展。列宾杰尔指出采用贯入法对散粒体结构力学性质研究的有效性。据这些研究结果，他提出了贯入试验结果的不变性原则，如今已在各种土中得到了证明。

根据这一个时期 А.М.瓦西里耶夫 (Васильев) 的研究成果，用平衡锥贯入法确定液限纳入了苏联国家标准 (ГОСТ) 5184—49 (和 1977 年 №.5184—77)。П.О.包依钦科 (Бойченко) 发表了第一篇关于用贯入法确定粘性土稠度的论文。

在这一时期还有崔托维奇的著名试验，使用球压仪确定粘性土 (实际上是未固结的) 的内聚力。总之，苏联从50年

代开始已成功的使用贯入试验确定土的物理力学性质。

1955年别列赞采夫提出，在一定范围内，贯入试验结果与粘性土的摩擦和内聚力指标之间存在简单准确的函数关系。这些研究是粘性土联合试验的基础。

进一步的研究曾提出考虑圆锥侧表面摩擦力的方法，扩大了极限平衡理论解决轴对称课题的适用范围。

推荐贯入试验用于：

定量评价各种土在各种类型外力作用下（浸湿、干涸、压缩、膨胀、冻结、溶化、化学加固和风化等）力学性质和状态的变化。以作用后贯入阻力 R_1 与作用前贯入阻力 R_0 的比值 R_1/R_0 来确定作用的效果。有时做两个平行贯入试验来测定土的结构性（灵敏度），黄土的湿陷性和土的膨胀性。

为了对比和客观地检查土的力学试验结果，使用了传统的方法。

先找出粘性土物理指标与单位贯入阻力之间的相互关系之后，才能确定粘性土的力学性质（强度和变形的关系）。

在这方面的发展，允许在必要的情况下，利用贯入和触探的方法，保证足够的精确度来确定土的压缩、摩擦和内聚力指标而不进行压缩和剪切试验。

贯入、静力和动力触探法已列入 СНиП II-15-74《建筑地基设计规范》和 СНиП II-9-78《建筑工程勘察基本规范》，触探法已列入 ГОСТ 20069-74 和 19912-74，以及 1977 年在第九届国际土力学和基础工程会议上国际委员会拟定的欧洲标准。目前研究的主攻方向，是利用触探法直接确定土的强度和变形特征，以及桩基承载力等。成功是毫无疑问的，途径之一是扩大探头直径（与探杆相比）以保证下沉时只是挤出土体形成探孔而没有压密作用。此时贯入和触探试验大致是相近的。开创了使用贯入法，分析、总结和解释静