

周筱滨 编

动力触探

中国铁道出版社

动力触探

周筱滨 编

中国铁道出版社

1986年·北京

动力触探

周筱滨 编

中国铁道出版社出版

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毫米 1/32 印张：6.125 字数：137 千

1986年2月 第1版 第1次印刷

印数：0001—3,000册 定价：1.30 元

内 容 简 介

本书介绍动力触探、标准贯入试验在确定浅基承载力、桩基承载力、土的物理力学指标、地基加固效果、砂土液化界限等方面的应用；并对动力触探及标准贯入试验设备的规格、操作方法及应用中应注意的事项作了叙述和分析。本书可供工程地质勘察、地基基础设计人员参考。

前 言

动力触探是一种传统的地基土现场测试技术，它具有设备简单、操作方便、成本低、效率高、用途广等优点。尽管动力触探的影响因素较多，指标比较粗糙和分散，但只要正确运用动力触探测试技术，并与其它勘察手段配合使用，仍然能够取得令人满意的结果。

本书是在国内许多单位实践经验的基础上参阅了一些国外成果编写而成的，旨在对动力触探的经验作较系统的整理和分析，供从事工程地质勘察的同志参考使用，并促进动力触探进一步发展。

由于编者水平有限，手头资料较少，不足之处在所难免，希读者批评指正。

编者在编写过程中得到王德民、顾宝和、高玉衡、彭非常、吴佩诚等同志的支持和帮助，在此对他们表示衷心的感谢。此外，还要感谢本书所引用的图书和资料的编著者。

编 者

1984.5

目 录

第一章 动力触探概述	1
第一节 动力触探的基本知识.....	1
第二节 动力触探的应用概况.....	17
第二章 动力触探的设备及其使用方法	23
第一节 我国常用的动力触探设备.....	23
第二节 特种动力触探设备.....	34
第三章 动力触探在确定地基土的承载力与变形模量, 确定桩基持力层与单桩承载力方面的应用	47
第一节 确定地基土的承载力与变形模量.....	47
第二节 确定桩基持力层与单桩承载力.....	57
第四章 动力触探在砂土密度测定、地基检验及分层方面的应用	67
第一节 砂土密度的测定.....	67
第二节 地基加固效果的检验.....	69
第三节 用动力触探分层.....	72
第五章 动阻力计算公式及其应用	74
第一节 概 述.....	74
第二节 介绍几种动阻力计算公式.....	76
第三节 动阻力的应用.....	81
第六章 标准贯入试验的设备及其使用方法	88
第一节 设备规格.....	88
第二节 自动落锤装置.....	88

第三节	标准贯入试验的方法	103
第四节	标准贯入试验的适用范围	108
第七章	用标准贯入试验确定地基和桩基的承载力	109
第一节	确定粘性土地基的承载力	109
第二节	确定砂性土地基的承载力	113
第三节	确定桩基承载力	120
第八章	用标准贯入试验确定土的物理力学指标	125
第一节	确定土的抗剪强度	125
第二节	确定土的无侧限抗压强度	128
第三节	确定土的相对密度和孔隙比	130
第四节	确定土的变形模量及沉降量	139
第五节	确定土的横波 (S 波) 速度	142
第九章	用标准贯入试验检验地基加固质量	144
第一节	检验地基加固质量的方法	144
第二节	检验地基加固实例	146
第十章	用标准贯入试验判别砂土和轻亚粘土的液 化界限	152
第一节	砂土液化的判别法	152
第二节	轻亚粘土液化的判别法	167
第十一章	标准贯入试验与静力触探的关系	175
第一节	国内的研究结果	175
第二节	国外的研究结果	177
第三节	结 语	181
第四节	讨 论	183
参考资料		186

第一章 动力触探概述

第一节 动力触探的基本知识

一、动力触探的定义

动力触探 (*DPT*) 是把装在探杆上的探头用一定的落锤能量打入土中, 根据贯入度、锤击数或探头单位面积动阻力探测土层性质的一种原位测试方法。用 63.5kg 的穿心锤, 以 76cm 的落距, 将标准贯入器打入土中 15cm, 然后再打入 30cm, 根据 30cm 的锤击次数探测土层性层的则称为标准贯入试验。(注)

二、动力触探设备的分类

动力触探设备根据冲击能量的大小, 即根据锤重、落距和锥体截面积分为若干种。

(一) 我国动力触探设备的分类

我国动力触探设备分类尚无统一规定, 一般可分轻型, 中型, 重型, 详见表 1—1。

在目前常用的多种动力触探设备中, 工民建工程地质勘察规范中推荐了三种。轻型动力触探设备贯入能量小, 只适用于一般粘性土和粘性土素填土, 贯入深度只有 4~5m。它具有轻便、灵活的特点, 对荷重不大的建筑物勘察非常实用。许多城市都建立了经验关系式。许多地方把它应用于素填土、灰渣等的勘察, 也取得了较好的效果。中型动力触探设

注: 《工业与民用建筑工程地质勘察规范》(JT21-77) 与《工程地质手册》第二版(建筑工业出版社) 将标准贯入试验称为“重型(1)动力触探”, 把锤重 63.5kg, 锥头直径 74mm 的重型动力触探称为“重型(2)动力触探”。

我国动力触探设备分类表

表 1 — 1

分类及名称		探头规格			锤重 (kg)	落距 (cm)	探 杆
		直径 (mm)	圆锥角 (°)	截面积 (cm ²)			
轻型	N_{10} (勘察规范推荐)	40	60	12.5	10	50	$\phi 25$ 合金钻杆 每节长1~1.5m
中型	$N_{63.5}$ (勘察规范推荐)	61.8	60	30	28	80	$\phi 33.5$
	DTE-8型	45	60	17.7	30	50	$\phi 33.5$
	黑冶61型	43.7	60	15	28	80	$\phi 33.5$
重型	N_{120} 或 $N_{(63.5)}$ (勘察规范推荐)	74	60	43	63.5	76	$\phi 42$
	杜兰捷触探设备	74	60	43	60	80	$\phi 42$
	标准圆锥型触探设备	51	60	20.3	63.5	76	$\phi 42$
超重型	N_{120}	74	60	43	120	100	$\phi 50 \sim 63$

备的使用还不广泛。重型(2)动力触探设备即 N_2 的冲击能量与标准贯入试验相同(也有人称它为标准动力触探设备)。只要增加一个标准贯入器,两种试验都可用一套冲击设备,因此勘察人员乐于接受。它的冲击能量与杜兰捷触探设备的冲击能量也相同,因此两种试验成果可以通用。杜兰捷触探资料和重型(2)动力触探资料积累较多,为广泛采用创造了较好的条件。重型动力触探设备由于冲击能量较大,一般适用于砂性土,含少量碎石、砾石类土,堆积黄土。重型动力触探设备中还有另一种叫标准圆锥型触探设备,它的探头截面积为 20.3cm^2 , 大约是重型(2)的一半,而冲击能量与 N_2 相同,穿透能力较强,适用于中密砂层或含碎石、砾石较多的地层。

四川省卵石地层分布较多,一般类型的动力触探设备冲

击能量不足，因此研制了超重型动力触探设备，锤重为120kg，落距100cm，探杆直径58mm，探头直径74mm，截面积43cm²，圆锥角度60°。

水电部的动力触探规定为 N_{10} 、 $N_{(63.5)}$ 和 N_{120} 三种。

(二) 国外动力触探设备的分类

表1—2和表1—3是一些国家的动力触探设备类型，基本分轻、中、重、超重等几类。从表中看到锤重由5kg至131kg，落距由20cm至150cm，圆锥的外径由21mm至74mm，额定贯入量由10cm至100cm。表1—4是贯入试验定型化欧洲分委员会提出的动力触探设备标准化的规格，分DPA和DPB两种类型。外型尺寸见图1—1。

国外除上述各种动力触探设备外，还有以下几种特种动力触探设备：

1. 静力—动力触探机。是一种既可做动力触探又可做静力触探的触探设备。如法国的詹戈特—邦尼敦型静力—动力触探机，安迪邦型静力—动力触探机，穆里斯型静力—动力触探机。

2. 贯入十字板。是法国德·马尔廷和耶·波切昂等研制的一种既能做十字板试验又能做动力触探的设备。

3. 瑞典式加重触探设备。用加荷、旋转的方法进行触探试验。

4. 电测动力触探设备。

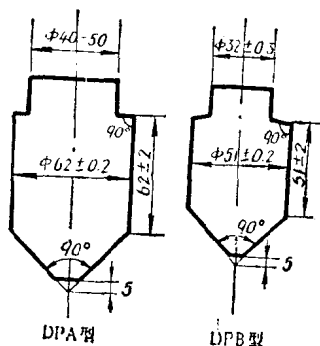


图1—1 DOA、DPB规格

表 1-2 国外动力触探设备分类表

分 类	锤重 (kg)	落距 (cm)	探杆 外径 (mm)	锥部 外径 (mm)	锥部 面积 (cm ²)	锥部形状	成果的表示方法	备 注
欧洲分委员会提案 A型(DPA) B型(DPB)	63.5 63.5	75 75	40~45 32	62 51	30 20	90°圆锥 90°圆锥	N_{dA} (击数/30cm) N_{dB} (击数/30cm)	
联邦德国 I.RS 5 I.RS10 MRS A10 MRS B10 SRS1c SRS15	10 10 30 30 50 50	50 50 20 50 50 50	22 22 22 32 32 32	25.2 35.6 35.6 35.6 35.6 43.7	5 10 10 10 10 15	60°圆锥 60°圆锥 60°圆锥 60°圆锥 60°圆锥 60°圆锥	n_{10} (击数/10cm) n_{10} (击数/10cm) n_{10} (击数/10cm) n_{10} (击数/10cm) n_{10} (击数/10cm) n_{10} (击数/10cm)	DIN4094
匈牙利	50	50	38~42	55	23.8	60°圆锥	(击数/25cm)	MSZ2635-65 BDS8994-71
保加利亚 轻重量 重量 超重量 套管	20 50 50 60 63.2	25 50 80 80 76.2	22 32 42 42 42~50	25 32 47.7 74 51	5.9 17.8 43	90°圆锥 90°圆锥 60°圆锥 套管	N (击数/10cm) N (击数/10cm) N (击数/10cm)	
捷克斯洛伐克	63.5 63.5	75 75		51 140	10.4 154	ϕ , 35毫米套管 ϕ , 20毫米套管	击数/30cm 击数/15cm	CSN73/821
印 度 I II	65 65	75 75	41 41	50 65	19.5 33.2	60°圆锥 60°圆锥	N_{cA} (击数/30cm) N_{cB} (击数/30cm)	IS-4968-I IS-4968-II

续上表

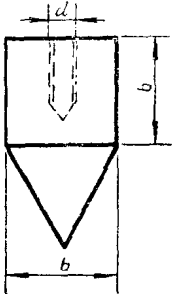
分 类	锤重 (kg)	落距 (cm)	探杆 外径 (mm)	锥部 外径 (mm)	锥部断 面积 (cm ²)	锥部形状	成果的表达方法	备 注
瑞典 A法 B法	63.5	50	32	45	16	90°圆锥	(击数/20cm)	SGF-1979
	63.5	60	32	45	16	90°圆锥	(击数/20cm)	
芬兰	65	60	32	45	16	90°圆锥	(击数/20cm)	SGY-1980
	65	60	32	51	20	90°圆锥	(击数/20cm)	
日本 大 型 中 型 土 研 式	63.5	75	40.5	50.8	20.3	60°圆锥	N _d (击数/30cm)	
	30	35	33.5	50.4	19.6	60°圆锥	N _{d35/10} (击数/10cm)	
	5	50	25	30	7.1	60°圆锥	N _d (击数/15cm)	
瑞典 轻 型 中 型 重 型 重 型 重 型 重 型 重 型 重 型	10	50	22	35.6	10	90°圆锥		
	20	50	24	36	10	90°圆锥		
	30	20	23	36	10	30°圆锥		
	50	50	32	43.7	15	90°圆锥		
	50	75	38	40/60		120°圆锥		
	60	50	38	62	30.2	90°圆锥		
	67	50	32	40	16	90°圆锥		
	50	50	42	25		45°角锥		
	50	32	43	62	30	套 管		
	50	50	33.5	43.7	15	90°圆锥		

续上表

分 类	锤重 (kg)	落距 (cm)	探杆 外径 (mm)	锥部 外径 (mm)	锥部断 面积 (cm ²)	锥部形状	成果的表示方法	备 注
波 兰 轻 型 重 型 TP-ZW UNIVERSAL	10	50	22	35.6	10	60°圆锥	(击数/10cm)	
	65	75	42	50.5	20	60°圆锥	(击数/20cm)	
	22	25	22	63.6	20.3	十字板	(击数/10cm)	
	20	25	33	50.8		60°圆锥	(击数/10cm)	
苏 联 轻 型 中 型 重 型	30	40	42	74	43	60°圆锥		
	60	80	42	74	43	60°圆锥		
	120	100	42	74	43	60°圆锥		
	63.5	50	32	40	12.6	90°圆锥	Q_0 (kN·m/n)	
澳大利亚	30.5	61	16	21	3.5	170°/180°	(击数/30cm)	
意大利	73	75	33	51	20.4	60°圆锥	(击数/30cm)	
葡萄牙	10	50	25	30	7.1	90°圆锥		
西班牙	65	50	32	40	12.6	90°角锥	n_{20} (击数/20cm)	
希 腊	50	50	32	43.7	15	90°圆锥	N (击数/20cm)	
南非联邦	63.5	75	33.3	50	19.6	60°圆锥	(击数/30cm)	

法国动力触探设备种类

表 1—3

型 式	锤重 (kg)	落 距 (cm)	探杆 外径 (mm)	锥头 外径 (mm)	锥 头 截面积 (cm ²)	附 注
E.T.F	150	50	45	65	33	
VERITAS	15	100	34	50	19.6	
SOCOTSO	8	80	25	35	9.6	
SOCOTSO	5.2	100	18	35	9.6	
BERG	60	50	32	60	28.3	
SOBESOL	60	50~150	42	55	23.8	
DUREMEYER	130.75	100	31.5	75	44.2	
ANN	5.2	100	18	35	9.6	
SISCO	50	50	32	43.7	15	
PILCON	75	65	42	60	28.3	
NORDMEYER	10	50	22	25.2	5	
BOTTE	50/100	50	32	43.7	15	
GEOT.APP	25/100	40	35	60	28.3	
TECHNOSOL	65	75	41	63	31.2	

5. 振动式连续贯入动力触探机。

三、标准贯入试验设备的规格

我国常用的标准贯入试验设备的规格如表 1—5。规格基本一致，只是贯入器的全长不同，细部结构也有一些不同。标准贯入试验设备的标准化，一直是大家关心和争论的一个重要问题。

外国采用的标准贯入试验设备的规格也不完全相同，多数采用美国标准，英国标准或国际土壤力学学会1977年欧洲贯入试验分委员会推荐的标准，见表 1—6。

四、动力触探的用途

动力触探应用的范围比其他测试方法广，通常有下述一些用途。在有建筑经验的地区和积累了触探资料的地区，它的效果是较为令人满意的。

欧洲分委员会推荐类型DPA、DPB的主要指标

表 1—4

指 标	DPA	DPB
锤 重 (kg)	63.5 ± 0.5	
长度与直径的比值	1 : 2	
落 距 (m)	0.75 ± 0.02	
振 动 板 (kg)	10 ~ 13	
规 格 (击数/0.2m)	5 ~ 100	
探杆外径 (mm)	40 ~ 45	32 ± 0.3
探杆自重 (最大) (kg/m)	8	
圆 锥 角	90°	
圆锥的截面积 (cm ²)	30	20
圆锥的直径新件 (mm)	62 ± 0.2	51 ± 0.2
圆锥的直径旧件 (mm)	60	49
圆锥罩长度 (mm)	62 ± 2	51 ± 2
圆锥的锥角 (上部)	90°	
孔臂的稳定性	有	无

我国标准贯入试验贯入器规格

表 1—5

制 定 单 位	全 长 (cm)	外 径 (cm)	内 径 (cm)	刃口高度
工民建地基规范	70.0	5.1	3.5	
水电部土工规程组	70.0	5.1	3.5	19°50′
冶金部武汉勘察公司	73.2	5.1	3.5	19°47′
交通部二航局设计院	81.0	5.1	3.5	19°47′

(一) 探明地质剖面 and 评价场地均匀性。如探明埋藏在松散沉积物下的坚硬基岩顶板；探明砂，砾石层透镜体的厚度、走向与分布范围；探明砂层中的松散带及粘性土的软弱夹层；探明砂层及粘性土的均匀程度，即同一层内性质的变化；划分天然层与回填层的变化范围；帮助调查滑坡体的范

围与滑动后土体性质的变化。

外国标准贯入试验设备的规格 表 1—6

标准名称	外径 (mm)	内径 (mm)	全长 (mm)	刃口 角度	锤 重	落 距
美国标准 ASTMD1586-67 (1974)	50.8	34.9	685.8+	18°25'	140(lb) (63.5kg)	30(in) (76cm)
英国标准 BS13777Tes+19 (1976)	50	35	680+	17°15'	65kg	76cm
日本标准 JISA-1291(1961)	51	35	810	19°47'	63.5kg	75cm
欧洲贯入试验分委员 会推荐标准(1977)	51	35	660	18°37'	63.5 ± 0.5kg	76 ± 2cm

(二) 确定地基土的承载能力和变形模量。

(三) 确定地基土的各种物理力学性质指标。

(四) 确定单桩的承载力和持力层。

(五) 检查地基土加固效果。

(六) 判别砂性土和轻亚粘土的液化。

五、影响动力触探的因素

(一) 机理方面的因素

1. 深度影响。从动力触探破坏机理来看, 世界工程界普遍认为属于剪切机理, 根据极限平衡理论, 深度影响对动力触探成果的作用是很大的。

所谓深度影响, 即某种匀质砂土地层在相对密度 D_r 完全一致的条件下, 原位测试成果受研究点所处位置以上土重的影响。只有排除了 D_r 和砂土结构不同的干扰才能作真正的深度校正。由于探头的工作机理不同, 各种原位测试手段受深度影响的范围和程度也不同; 同一种原位测试手段中的不同观测项目所受的深度影响也各不相同; 探头几何要素和贯入操作方法不同时, 深度影响也不同。

2. 探杆对冲击能量的吸收作用, 随探杆的加长而增加, 将造成击数偏大的假象, 故应研究一个界限值。有些规范规定: 有效探测深度以被击部件 (包括探杆, 导向锤垫及贯入器或探头) 的总重不超过锤重过多为限。

3. 探杆本身的细长比, 或两根以上的探杆轴线的不同心度, 使其在受到锤击时产生侧向挠曲变形, 消耗冲击能量, 亦造成锤击数不应有的偏大。

4. 探杆的某一部分如果受到孔壁上的摩擦作用, 亦将增加击数, 故应研究清孔适宜的深度, 探杆亦必须具有一定的强度及平直度。

5. 两根以上探杆接头丝扣, 在经受冲击时的消振作用, 会影响冲击能量的有效传递。

6. 探杆本身的弹性变形是冲击能转变成应变能的结果, 这也使击数偏大。

7. 冲击作用对土振动液化的破坏, 降低了天然土层的贯入强度, 致使锤击数减少。

(二) 人为因素

1. 探孔的垂直程度影响。探孔斜了, 击数偏大, 特别是深孔时影响更大。

2. 钻孔工艺。清孔程度, 孔底土层是否受扰动, 涌砂的处理, 塌孔的处理等, 对标准贯入试验成果的正确与否起着决定作用。

3. 对标准贯入试验来说还有落锤方式。人拉、机拉、自动落锤之间有较大的误差。冶金部武汉勘察公司作了对比试验, 结果是:

$$N_{\text{手}} = 0.738 + 1.12N_{\text{机}} \quad (1-1)$$

频数 $n = 49$, 范围 $N_{\text{手}} = 2.8 \sim 27.5$

$$N_{\text{机}} = 2.1 \sim 22.5$$