



CECS 35:91

中国工程建设标准化协会标准

锤击贯入试桩法规程

**STANDARD PROCEDURES FOR PILE TEST
BY HAMMER IMPACT—PENETRATION METHOD**

1992 北京

前　　言

锤击贯入试桩法（简称锤贯法）检测单桩承载力，是目前我国使用较广的一种桩基非破损动力检验方法。该法自 1981 年通过鉴定以来，在工程中应用取得了比较好的效果，并积累了一定的经验。目前这种方法已经在北京、四川、湖南、宁夏、浙江、云南、黑龙江、江苏、福建、新疆、吉林和江西等地区使用，已成为检验单桩承载力和处理工程事故的重要方法之一。为了统一测试技术和承载力确定方法，提高检验结果的可靠性和可比性，原城乡建设环境保护部于 1988 年以城标字 141 号文，委托中国建筑科学研究院会同四川省建筑科学研究院和福建省建筑科学研究所进行本规程的编制工作。经多次征求意见和修改，最后由建设部建筑工程标准技术归口单位组织审查定稿。

现批准《锤击贯入试桩法规程》为中国工程建设标准化协会标准，编号为 **CECS 35 : 91**，并推荐给工程建设有关单位检测单桩承载力时使用。在使用过程中，如发现需要修改补充之处，请将意见和有关资料寄北京（100013）安外小黄庄中国建筑科学研究院地基基础研究所《锤击贯入试桩法规程》管理组。

中国工程建设标准化协会

1991 年 12 月 27 日

目 录

主要符号

第一章 总则.....	1
第二章 试验仪器和设备.....	2
第三章 试验技术要求.....	4
第一节 一般规定	4
第二节 试验准备工作	5
第三节 锤击力和贯入度的量测	6
第四章 单桩极限承载力的确定.....	8
第一节 一般规定	8
第二节 $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法.....	8
第三节 波动方程法	9
第四节 经验公式法	10
附录一 试验报告中应记载的内容	11
附录二 锤击力传感器的静态标定	12
附录三 锤击贯入试验原始记录表	13
附录四 本规程用词说明	14
附加说明	15

主　要　符　号

C_{ds}^c —— $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法的动、静极限承载力的对比系数；

C_{ds}^f —— 经验公式法的动、静极限承载力的对比系数；

e_r —— 标准误差；

Q_d —— 实测桩顶锤击力；

Q_{du}^c —— $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法确定的试桩的动极限承载力；

Q_{su}^c ——

$Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法确定的试桩的静极限承载力；

Q_{su}^f —— 经验公式法确定的试桩的静极限承载力；

Q_{su}^w —— 波动方程法确定的试桩的静极限承载力；

Q_{su}^s —— 静载荷试验确定的试桩的静极限承载力；

s_d —— 实测桩顶贯入度。

第一章 总 则

第 1.0.1 条 为了统一锤击贯入试桩法（简称锤贯法）的测试技术和分析方法，保证试验结果的正确性，特制定本规程。

第 1.0.2 条 在一般情况下，单桩极限承载力的确定应符合现行标准《建筑地基基础设计规范》及《工业与民用建筑灌注桩基础设计与施工规程》的有关规定。

在符合本规程第 1.0.3 条～第 1.0.5 条规定的情况下，可按本规程规定的方法快速确定单桩竖向受压极限承载力。

第 1.0.3 条 本规程主要用于确定中小型预制桩与灌注桩的单桩竖向受压极限承载力。

第 1.0.4 条 在大范围内应用前，动静对比试验总桩数不应少于 20 根，动静对比试验结果的标准误差不应超过 $\pm 20\%$ ，并需经主管部门审定。对有代表性的土层和桩型的动静对比试桩数均不应少于 3 根。

第 1.0.5 条 从事锤击贯入试桩法测试和测试结果分析的人员，均应经过专门培训与考核。

第 1.0.6 条 在现场作业时，应遵守现行安全和劳动保护的有关规定。

第二章 试验仪器和设备

第 2.0.1 条 锤贯法试验仪器和设备应由锤击装置、锤击力量测和记录设备、贯入度量测设备三部分组成。

第 2.0.2 条 锤击装置应符合下列要求：

一、锤击装置应由重锤、导杆、底盘和动力等部分组成，应移动方便，就位迅速，操作灵活，并能提供足够锤击力。试验时可采用不同形式的锤击装置，也可使用落锤或柴油打桩机兼作锤击贯入试验的锤击装置；

二、重锤应质量均匀、形状对称、锤底平整光滑，并宜整体铸造。锤的质量宜按 1000、2000、3000 和 4000kg 等系列选择制作；

三、锤垫宜采用 2~6cm 厚度的纤维夹层橡胶板。

第 2.0.3 条 锤击力量测和记录设备应符合下列要求：

一、锤击力传感器

1. 弹性元件应采用合金结构钢或优质碳素钢。钢材抗拉强度 f 不得小于 $600MPa$ ，屈服强度 f_y 不得小于 $350MPa$ 。截面尺寸应进行强度核算，可取应力为 $0.2f_y$ ；

2. 应变元件宜采用阻值为 120Ω 的箔式应变片，应变片的绝缘电阻不应小于 $5000M\Omega$ ；

3. 转感器的量程可分为 2000、3000、4000 和 5000kN 等，额定荷载范围内，传感器的非线性误差不得大于 3%；

二、动态电阻应变仪 应变量测范围应为 $0 \sim \pm 10000\mu\varepsilon$ ，标定误差不得大于 $\pm 1\%$ ，工作频率范围不得小于 $0 \sim 1500Hz$ ；

三、光线示波器 振子非线性误差不得大于 3%，记录纸移动速度的范围宜为 $5 \sim 2500mm/s$ 。

第 2.0.4 条 锤击力量测和记录也可使用能满足试验要求的

其他类型仪器，但标定时与使用时的配套仪器必须相同。

第 2.0.5 条 贯入度量测设备应符合下列要求：

- 一、百分表或位移传感器的分度值不得大于 $0.01mm$ ；
- 二、磁性表座应安装、拆卸方便；
- 三、垫块应为钢制长方体，对应面的不平行度不得大于 0.01 ，
表面粗糙度不得低于 ；
- 四、基准桩和基准梁应具有足够刚度。

第 2.0.6 条 计量仪表应按计量法规定定期标定，锤击力传感器的标定应按附录二执行。

第三章 试验技术要求

第一节 一般规定

第 3.1.1 条 采用锤贯法试桩时应具备下列资料：

- 一、工程名称及设计、施工、建设单位名称；
- 二、试桩区域内建筑场地的工程地质勘察报告；
- 三、桩基础施工图；
- 四、试桩施工记录；
- 五、试桩桩顶处理前、后的标高。

第 3.1.2 条 试桩应选择具有代表性的桩，对工程地质条件相近，桩型、成桩机具和工艺相同的桩基工程，试桩数量不宜少于总桩数的 2%，并不应少于 5 根。

第 3.1.3 条 从设桩至试验的休止时间应符合下列规定：

- 一、预制桩应按表 3.1.3 执行；

从设桩至试验的休止时间

表 3.1.3

土的类别	休止时间 (d)	
碎石土	3	
砂土	7	
粉土	10	
粘性土	非饱和	15
	饱和	25

二、灌注桩或现浇桩头的桩应在混凝土达到设计强度等级以后，并应符合表 3.1.3 的规定。

第二节 试验准备工作

第 3.2.1 条 为便于安装测试仪表和避免试验时将桩头击碎, 对灌注桩和桩头严重破损的预制桩, 应按下列要求处理桩头:

一、桩头标高宜高出试桩附近自然地面 $0.5m$ 左右，桩头平面尺寸应与桩身尺寸相当，桩头顶面应水平、平整、桩头与桩身中轴线应重合；

二、桩头主筋应与桩身相同，顶部加钢筋网片1~3层，桩头混凝土强度等级不得低于C28。

第 3.2.2 条 试验设备安装与仪器连接宜按图 3.2.2 执行。

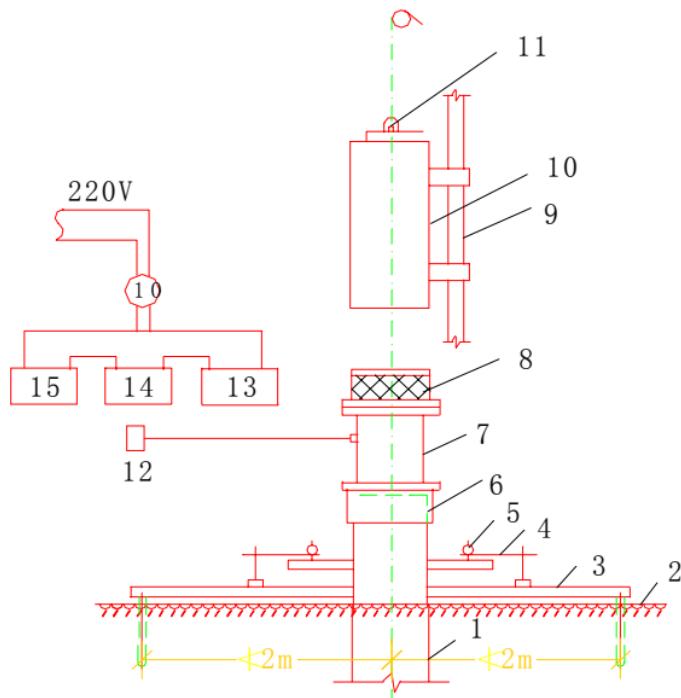


图 3.2.2 试验设备安装与仪器连接示意

1—试桩；2—基准桩；3—基准梁；4—磁性表座；5—百分表；6—桩帽；7—锤击力传感器；8—锤垫；9—导杆；10—重锤；11—自动脱钩装置；12—电桥盒；13—电源供给器；14—动态应变仪；15—记录仪器；16—电源稳压器

第 3.2.3 条 安装锤击力传感器时，锤垫、锤击力传感器及桩帽应平直对中放置在桩顶上，并拧紧紧固螺栓使其与桩头固定。

第 3.2.4 条 锤击装置就位后，应做到底盘平稳、导杆垂直、锤的重心线应与试桩桩身中轴线重合。

第 3.2.5 条 贯入度量测系统的安装应符合下列规定：

一、试桩与基准桩的中心距离不得小于 $2m$ 。基准桩应稳固可靠，其设置深度不应小于 $0.4m$ ；

二、量测标点必须与桩身联成整体，与桩顶距离不宜小于一倍桩径或边长，并对称设置两个标点（图 3.2.2）；

三、每个量测标点上方，各安设一只百分表，撤去垫块后百分表滑杆下端与量测标点间的空隙不应小于 $4mm$ 。

第 3.2.6 条 二次测试仪器宜置于距试桩 $10m$ 以外，并应按仪器使用说明书规定开机调试。

第 3.2.7 条 试验前应在百分表滑杆下端与量测标点之间填塞垫块和测读百分表初读数，并应记入试验原始记录表（见附录三），然后将垫块取出。

第 3.2.8 条 上述各项准备就绪后，应先试击一锤，取落高为 $0.2m$ 左右，确认整个试验系统处于正常工作状态后，即可开始正式试验。

第三节 锤击力和贯入度的量测

第 3.3.1 条 试验时落高的大小，应按试桩类型、桩的尺寸、桩尖持力层性质和锤的质量等因素确定，并应符合下列规定：

一、采用 $Q_i-\Sigma s_i$ 曲线法分析时，锤的落高应由低至高按等差级数递增，级差宜为 $5cm$ 或 $10cm$ ；

二、采用波动方程法和经验公式法分析时，各击次可采用不同落高或相同落高。

第 3.3.2 条 每根试桩试验的总锤击数宜按表 3.3.2 执行。

总锤击数建议值

表 3.3.2

分 析 方 法	总 锤 击 数 (击)
$Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法	8~12
波动方程法	5~8
经验公式法	5~8

第 3.3.3 条 每锤击一次，均应量测落高、贯入度和锤击力值等参数，并应及时记入试验原始记录表。

第四章 单桩极限承载力的确定

第一节 一般规定

第 4.1.1 条 试验数据可按本章所列方法进行分析，试桩极限承载力的确定方法应通过对本地区动静对比试验资料分析后选用。

第二节 $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法

第 4.2.1 条 应根据试验原始记录表的计算结果作锤击力峰值与桩顶累计贯入度 $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线图或 $\lg Q_d - \Sigma s_d$ 曲线图。

第 4.2.2 条 试桩的动极限承载力 Q_{du}^c 值，在 $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线上按第二拐点法确定；在 $\lg Q_d - \Sigma s_d$ 曲线上按陡降段起始点法确定。

第 4.2.3 条 试桩的静极限承载力 Q_{su}^c 可按下列公式计算：

$$Q_{su}^c = Q_{du}^c / Q_{ds}^c \quad (4.2.3)$$

式中 Q_{su}^c —— $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法确定的试桩的静极限承载力，kN，精确至 10kN；

Q_{du}^c —— 由第 4.2.2 条确定的试桩的动极限承载力，kN，精确至 10kN；

Q_{ds}^c —— $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法的动、静极限承载力的对比系数，由第 4.2.4 条确定，精确至小数点后两位；

第 4.2.4 条 在符合 1.0.4 条规定的条件下， $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法的动、静极限承载力的对比系数可按下列公式计算：

$$C_{ds}^c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{Q_{du,i}^c}{Q_{su,i}^c} \quad (4.2.4)$$

式中 C_{ds}^c —— $Q_d - \Sigma s_d$ 曲线法的动、静极限承载力的对比系数，精确到小数点后两位；

$Q_{du,i}^c$ —— 第 i 根试桩的动极限承载力，kN，精确至 10kN；

$Q_{su,i}^s$ —— 第 i 根桩的静载荷试验确定的试桩的静极限承载力, kN , 精确至 $10kN$;

n —— 参加动、静对比试验统计的试桩数量。

第 4.2.5 条 标准误差 e_r , 可按下列公式计算:

$$e_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_{du,i}^c}{Q_{su,i}^s} - C_{ds}^c \right)^2}{n}} \quad (4.2.5)$$

式中 e_r —— 标准误差;

其余符号同前。

第三节 波动方程法

第 4.3.1 条 波动方程法可按锤心速度为初始条件的计算机程序或输入锤击力波为初始条件的计算机程序进行计算, 应分别按下列步骤进行:

一、按锤心速度为初始条件计算时, 应先输入锤—垫—桩—土系统各参数, 输出锤击力与贯入度计算值, 并绘制成相关曲线。按锤击力和贯入度的实测值, 由相关曲线确定每击次试桩的静极限承载力;

二、按输入锤击力波为初始条件计算时, 应先输入桩—土系统各参数和贯入度的实测值, 由程序直接输出每击次试桩的静极限承载力。

第 4.3.2 条 确定试桩的静极限承载力 Q_{su}^w , 值时, 参加统计的单击贯入度不小于 $1.5mm$ 的击次不得少于 3 击, 并取其中极差不超过平均值 20 的数值按下列公式计算:

$$Q_{su}^w = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Q_{su,i}^w \quad (4.3.2)$$

式中 Q_{su}^w —— 波动方程法确定的试桩的静极限承载力, kN , 精确至 $10kN$;

$Q_{su,i}^w$ —— 波动方程法确定的试桩第 i 击次的静极限承载力, kN , 精确至 $10kN$

m——单击贯入度不小于 $1.5mm$ 的锤击次数。

第四节 经验公式法

第 4.4.1 条 单击贯入度不小于 $2.0mm$ 时, 各击次的静极限承载力 $Q_{su,i}^f$, 可按下列公式计算:

$$Q_{su,i}^f = \frac{1}{C_{ds}^f} \cdot \frac{Q_{d,i}}{1 + S_{d,i}} \quad (4.4.1)$$

式中 $Q_{su,i}^f$ ——经验公式法确定的试桩第 i 击次的静极限承载力, kN , 静确至 $10kN$;

$Q_{d,i}$ ——第 i 击次的实测桩顶锤击力峰值, kN , 精确至 $10kN$;

$S_{d,i}$ ——第 i 次的实测桩顶贯入度以厘米计的数值, 精确到小数点后两位;

C_{ds}^f ——经验公式法的动、静极限承载力的对比系数, 由动、静对比试验的回归分析确定, 精确到小数点后两位。

第 4.4.2 条 确定经验公式法的静极限承载力 Q_{su}^f 值时, 参加统计的单击贯入度不小于 $2.0mm$ 的击次不得少于 3 击, 并取其中极差不超过平均值 20 的数值按下列公式计算:

$$Q_{su}^f = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Q_{su,i}^f \quad (4.4.2)$$

式中 Q_{su}^f ——经验公式法确定的试桩的静极限承载力, kN , 精确至 $10kN$;

$Q_{su,i}^f$ ——经验公式法确定的试桩第 i 击次的静极限承载力, kN , 精确至 $10kN$;

m——单击贯入度不小于 $2mm$ 的锤击次数。

附录一 试验报告中应记载的内容

- 一、工程名称、工程地点、试验目的和试验日期；
- 二、试验场地的工程地质概况、试桩及钻孔综合柱状图；
- 三、桩基施工概况及试桩施工记录；
- 四、试验情况、仪器设备及试验过程中出现的异常现象的说明；
- 五、试验数据处理、分析方法和试验结果；
- 六、结论；
- 七、签署报告单位名称、试验负责人、报告审核人、审定人。

附录二 锤击力传感器的静态标定

- 一、锤击力传感器的静态标定应在压力试验机上进行；
- 二、标定时应先加载至传感器的额定荷载，稳压 $1\sim 2\text{min}$ ，然后卸载，循环 2 次，以减少滞后误差；
- 三、荷载应分 10 级施加，每级应按额定荷载的 10% 进行加（卸）载，试验应重复 3 次，加（卸）载速度应缓慢、均匀、稳定；
- 四、满量程时，示波器光点的幅值应略小于仪器本身容许的最大量程，否则应调节动态应变仪和示波器的衰减或增益，直至满足要求为止；
- 五、应取 3 次测试数据的平均值作压力与应变幅值标定曲线；
- 六、传感器应定期系统标定，当更换导线、仪器或出现异常情况时，应重新标定。

附录三 锤击贯入试验原始记录表

试验日期： 试桩编号： 试桩截面：
重锤质量： 工程名称： 桩顶标高：
入土深度： 标定系数： 力传感器编号：
百分表编号： 应变仪编号： 示波器编号：
试验环境：

第 页 共 页

仪器操作：

观测记录:

校核:

附录四 本规程用词说明

一、为便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1. 表示很严格，非这样作不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2. 表示严格，在正常情况下均应这样作的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3. 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样作的：

正面词采用“宜”或“可”，反面词采用“不宜”。

二、条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”。

附加说明

本规程参编单位和主要起草人名单

主编单位：

中国建筑科学研究院

参加单位：

四川省建筑科学研究院

福建省建筑科学研究所

主要起草人：

李大展 佟世祥 李瑜 柳春