

地基旁压试验技术标准

Technical standard for foundation pressuremeter test

最新标准 全网首发



资源下载QQ群 : 424255365

2019-03-27 发布

2019-06-01 实施

中华人民共和国住房和城乡建设部 发布

中华人民共和国行业标准

地基旁压试验技术标准

Technical standard for foundation pressuremeter test

JGJ/T 69 – 2019

批准部门：中华人民共和国住房和城乡建设部

施行日期：2 0 1 9 年 6 月 1 日

中国建筑工业出版社

2019 北 京

中华人民共和国行业标准
地基旁压试验技术标准

Technical standard for foundation pressuremeter test

JGJ/T 69 - 2019

*

中国建筑工业出版社出版、发行（北京海淀三里河路9号）

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京同文印刷有限责任公司印刷

*

开本：850×1168 毫米 1/32 印张：2¼ 字数：60 千字

2019 年 5 月第一版 2019 年 5 月第一次印刷

定价：**16.00** 元

统一书号：15112·32473

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题，可寄本社退换

（邮政编码 100037）

本社网址：<http://www.cabp.com.cn>

网上书店：<http://www.china-building.com.cn>

中华人民共和国住房和城乡建设部 公 告

2019 年 第 75 号

住房和城乡建设部关于发布行业标准 《地基旁压试验技术标准》的公告

现批准《地基旁压试验技术标准》为行业标准，编号为 JGJ/T 69-2019，自 2019 年 6 月 1 日起实施。原《PY 型预钻式旁压试验规程》JGJ 69-90 同时废止。

本标准在住房和城乡建设部门户网站(www.mohurd.gov.cn)公开，并由住房和城乡建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国住房和城乡建设部
最新标准 全网首发 2019 年 3 月 27 日



资源下载QQ群：424255365

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发 2014 年工程建设标准规范制定、修订计划的通知》（建标〔2013〕169 号）的要求，标准修订组广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 仪器和设备；5. 仪器率定；6. 试验孔成孔；7. 现场试验；8. 资料整理及应用。

本标准修订的主要技术内容是：1. 对原总则内容进行修改；2. 增加了“术语和符号”章节；3. 增加了“基本规定”章节；4. 修改了“仪器和设备”部分内容；5. 修改了“仪器率定”部分内容；6. 将原“试验钻孔”改为“试验孔成孔”并修改了部分内容；7. 将原“试验步骤”改为“现场试验”并修改了部分内容；8. 修改了“资料整理及应用”部分内容；9. 修改了“附录”的部分内容。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由常州市中元建设工程勘察院有限公司负责具体技术内容的解释，执行过程中如有意见和建议，请寄送常州市中元建设工程勘察院有限公司（地址：江苏省常州市钟楼区广化街 218 号天禧星园商务楼 618 室，邮编：213001）。

本 标 准 主 编 单 位：常州市中元建设工程勘察院有限公司

本 标 准 参 编 单 位：溧阳市天目仪器厂

常州市城乡建设局

建研地基基础工程研究有限责任公司

上海岩土工程勘察设计研究院有限公司

机械工业勘察设计院有限公司
广州大学土木工程学院
辽宁有色勘察研究院
上海远方基础工程有限公司
中铁第四勘察设计院集团有限公司
中国建筑西南勘察设计院有限公司

本标准主要起草人员：王建君 邹联升 程伟峰 潘 政
施国平 夏云娟 周 鹏 施晓华
经 焱 石金龙 陈 晖 郝丽霞
陈 岑 孙俊红 郑先昌 郑伟锋
唐海峰 王忠华 谢 均 张慎清
本标准主要审查人员：龚晓南 侯伟生 梁金国 康景文
王长科 杨成斌 苏志刚 徐 超
严金森 袁灿勤 王曙光

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	5
4	仪器和设备	6
4.1	预钻式旁压仪	6
4.2	自钻式旁压仪	7
5	仪器率定	9
6	试验孔成孔	11
6.1	预钻式旁压试验成孔	11
6.2	自钻式旁压试验成孔	11
7	现场试验	13
7.1	一般规定	13
7.2	预钻式旁压现场试验	13
7.3	自钻式旁压现场试验	16
8	资料整理及应用	18
附录 A	常用旁压器结构形式和主要参数	25
附录 B	仪器综合变形率定要点	26
附录 C	弹性膜约束力率定要点	28
附录 D	记录表格式	30
本标准用词说明		31
引用标准名录		32
附：条文说明		33

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	5
4	Instruments and Equipments	6
4.1	Preboring Pressuremeter	6
4.2	Self-boring Pressuremeter	7
5	Instruments Calibration	9
6	Requirements of Test Holes	11
6.1	Drilling for Holes for Preboring Pressuremeter Test	11
6.2	Drilling for Holes for Self-boring Pressuremeter Test	11
7	Tests In-situ	13
7.1	General Requirements	13
7.2	Preboring Pressuremeter Test In-situ	13
7.3	Self-boring Pressuremeter Test In-situ	16
8	Data Collection and Application	18
Appendix A	Structural Forms and Main Parameters of the Pressure Equipment	25
Appendix B	The Key Points of Integrated Deformation Rate	26
Appendix C	The Key Points of Elastic Film Binding Rate	28

Appendix D Table Format of Records	30
Explanation of Wording in This Standard	31
List of Quoted Standards	32
Addition: Explanation of Provisions	33

1 总 则

1.0.1 为统一地基旁压试验方法和技术要求，做到安全适用、技术先进、评价正确、确保质量、经济合理、保护环境，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于地基预钻式旁压试验和自钻式旁压试验。

1.0.3 地基旁压试验宜根据地质条件和勘察要求选用试验仪器设备和试验方法，并结合钻探或其他原位测试方法应用试验成果。

1.0.4 地基旁压试验除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

最新标准 全网首发



资源下载QQ群：424255365

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 旁压试验 pressuremeter test

在钻孔中，通过对测试段孔壁施加径向压力使地基土体产生相应变形，测得土体压力与变形关系的原位测试方法。

2.1.2 预钻式旁压试验 preboring pressuremeter test

利用预先成孔，将旁压器放入孔内，通过对测试段孔壁施加径向压力使地基土体产生相应变形，测得土体各级压力与变形对应关系的原位测试方法。

2.1.3 自钻式旁压试验 self-boring pressuremeter test

将旁压器安装在钻杆上，旁压器底端安装旋转刀具，钻进时随之进入土层预定深度，停钻后进行试验，通过对测试段孔壁施加径向压力使地基土体产生相应变形，测得土体各级压力与变形对应关系的原位测试方法。

2.1.4 初始压力 initial pressure

旁压测量腔安置到试验位置，待旁压测量腔膨胀接触到孔壁且扰动土体恢复到接近原始状态所对应的土压力值。

2.1.5 临塑压力 critical pressure

旁压试验曲线直线段终点所对应的压力值。

2.1.6 极限压力 extreme pressure

旁压试验曲线上临塑压力之后曲线段的垂直压力轴渐近线所对应的压力值。

2.1.7 旁压模量 modulus of pressuremeter

根据旁压试验的压力与体积或位移曲线的直线段斜率计算获取的地基土的变形参数。

2.1.8 泊松比 Poisson's ratio

岩土体在弹性范围内轴向受力时，横向应变与轴向应变的比值。

2.2 符 号

2.2.1 岩土强度参数

C_u ——不排水抗剪强度；

f_{ak} ——地基承载力特征值；

p ——校正后的压力；

p_0 ——初始压力；

p_l ——临塑压力；

$p_{1.}$ ——极限压力；

p_w ——静水压力；

p_m ——记录仪或压力表的读数；

p_i ——弹性膜约束力；

u ——试验深度处土中孔隙水压力。

2.2.2 岩土变形参数

E_m ——旁压模量；

G_M ——旁压剪切模量。

2.2.3 几何参数

H ——测管水面距孔口的高度；

h_w ——孔口距孔内地下水位的深度；

S ——校正后测管水位位移值；

S_c ——用测管水位位移值表示旁压器测量腔固有体积；

S_l ——临塑压力所对应的测管位移值；

S_m ——各级总压力($p_m + p_w$)所对应的测管水位位移值；

S_0 ——旁压试验曲线直线段延长线与纵轴（位移轴）的交点，其值为旁压器接触孔壁时所消耗的水体积，用测管水位位移值表示；

V ——校正后的旁压器测量腔受压膨胀体积；

V_c ——旁压器测量腔固有体积；

V_l ——临塑压力所对应的体积；

V_m ——各级总压力下($p_m + p_w$)所对应的体积值；

V_0 ——旁压试验曲线直线段延长线与纵轴（体积轴）的交点，其值为旁压器接触孔壁时所消耗的水体积；

Z ——孔口至试验段中点的深度。

2.2.4 其他符号

K ——安全系数；

K_m ——侧向基床系数；

K_0 ——试验深度处静止土压力系数；

α ——仪器综合变形率定系数；

β ——修正系数；

γ ——土体重度；

γ_w ——水体重度；

μ ——泊松比；

φ' ——有效内摩擦角。

3 基本规定

3.0.1 旁压试验包括预钻式旁压试验和自钻式旁压试验。预钻式旁压试验适用于黏性土、粉土、砂土、残积土和碎石土，有经验时可用于极软岩和软岩；自钻式旁压试验适用于软土、软塑～可塑状的黏性土以及粉土和砂土。

3.0.2 旁压试验应根据试验仪器特性，在收集分析已有地质资料、场地地层分布的基础上，依据勘察要求编制测试方案。

3.0.3 试验孔及试验段或试验点的数量应根据工程需要确定。每个建设场地或同一地质单元试验孔不宜少于 3 个，每一主要土层试验段或试验点不应少于 6 个。

3.0.4 预钻式旁压试验应保证成孔质量，成孔直径应与旁压器直径相匹配，并减少对孔周土体扰动且防止孔壁坍塌。

3.0.5 自钻式旁压试验的钻头样式、钻头回转速率、刃口距离、泥浆压力和流量等应通过试验确定。

3.0.6 旁压试验设备的传感器、仪表在试验前应进行校准、标定，并应在有效期内使用。

3.0.7 资料整理时应考虑仪器设备、试验条件及方法对试验结果的影响；宜结合钻探、其他试验成果及地区工程经验综合分析和应用试验成果。

4 仪器和设备

4.1 预钻式旁压仪

4.1.1 预钻式旁压仪主要由旁压器、加压稳压装置、变形测量装置、数据测记装置、导压管及高压气源装置等组成(图 4.1.1)。

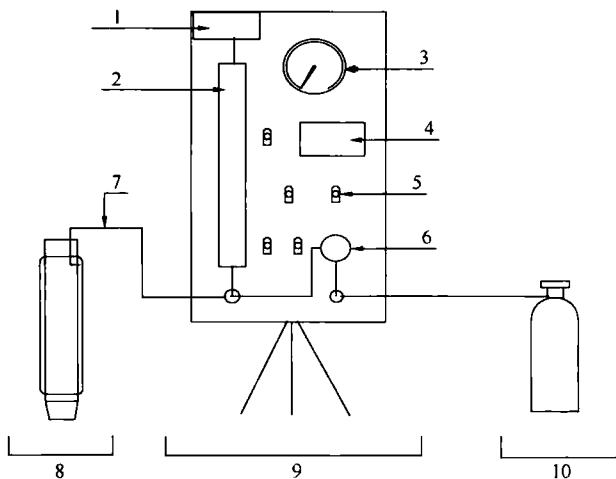


图 4.1.1 旁压仪设备结构示意图

- 1 水箱；2 测管；3 精密压力表；4 数据测记装置；5 控制阀门；
6 调压阀；7 同轴导压管；8 旁压器；9 加压稳压、
变形测量装置；10 高压气源装置

4.1.2 预钻式旁压器为圆柱状结构，在中空的刚性圆筒体上套有弹性膜，形成密闭的可扩张的圆柱状空间，可分为单腔式和三腔式两种结构形式，三腔式上下为辅助腔，中间为测量腔。常用旁压器结构形式和主要参数应符合本标准附录 A 的规定。

4.1.3 加压稳压装置主要由压力源连接管、减压阀、控制阀门

和调压阀等组成。压力源应根据不同型号旁压仪设备的结构要求选用相应的压力源装置，宜采用高压氮气或其他相关压力源；高压氮气经减压阀一级减压后通过精密调压阀对系统加压和稳压。

4.1.4 变形测量装置主要由测管、位移传感器和压力传感器及数据测记仪等部件组成，测量和记录被测土体受压稳定后的相应变形值。测量精度应符合下列规定：

1 压力精度的控制和测记的允许误差应为 $\pm 1\%$ ；

2 旁压器测量腔径向膨胀变量的测记的允许误差应为测量腔径向膨胀总变量的 $\pm 1\%$ 。

4.1.5 导压管用于变形测量系统与旁压器间的连接，可分为同轴高压软管或多根单管。导压管应连接可靠、拆卸方便、受环境温度影响小，并应适应野外现场作业条件。

4.1.6 预钻式旁压仪成孔辅助设备可采用勺钻、管状提土器或钻机等机具。

4.2 自钻式旁压仪

4.2.1 自钻式旁压仪系统主要由可自钻的旁压探头、电子箱、压力控制面板、应变控制器和数据处理系统、导压管、多芯电缆、电瓶、气源等组成（图 4.2.1）。

4.2.2 旁压探头包括钻进器和旁压器。钻进器位于探头的下端，外部是圆筒状端靴，内部为切削钻头；旁压器为中空刚性圆筒体上套有弹性膜，膜外可罩有不锈钢窄条保护铠，膜内装有位移传感器、压力传感器。

4.2.3 量测旁压器弹性膜膨胀时径向位移量的位移传感器由贴有电阻应变片的悬臂弹簧和随轴转动的杠杆式应变臂组成，沿轴向均匀布置，悬臂弹簧与弹性膜保持接触，可测试多方向的径向位移量。

4.2.4 压力传感器包括两个孔隙水压力传感器和总应力传感器。两个孔隙水压力传感器贴于弹性膜上，分布间隔应为 180° ，并应与弹性膜一起扩张，保持与土体直接接触以测量孔隙水压力；

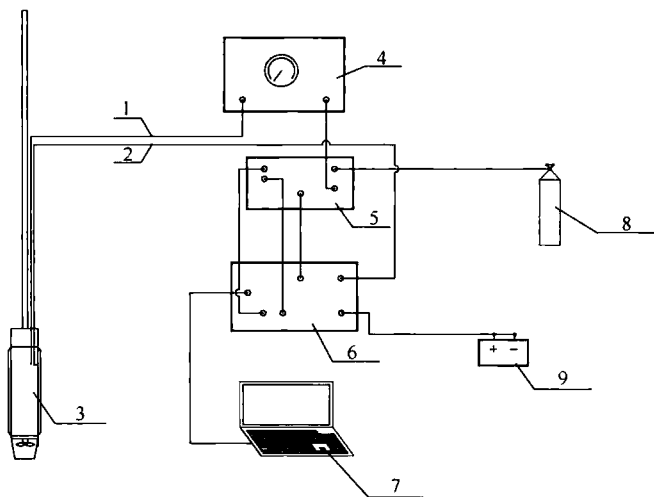


图 4.2.1 自钻式旁压仪设备结构示意图

- 1—导压管；2—多芯电缆；3—旁压探头；4—压力控制面板；
5—应变控制器；6—电子箱；7—计算机；8—气源；9—电瓶

总应力传感器应安装在弹性膜内。

4.2.5 电子箱通过连接探头的多芯电缆接收旁压器输出的电信号，由电压为 12V 的电瓶提供电源。经电子箱将输入的电信号放大，将获得的电压读数转换成数字信号，并输送至计算机中。

4.2.6 应变控制器用以控制施加在旁压器上的气压速率，使旁压器以恒定的应变率或压力率膨胀，自动进行旁压试验。应变控制器可采用应变控制式或压力控制式，应变率可为每小时或每分钟 0.1%、0.2%、0.5%、1%、2%，并通过应变控制器上的上升、保持或下降开关控制应变方向；压力变化率可在每分钟 14kPa~240kPa 之间分 5 档进行控制。

4.2.7 压力控制面板上应有高压表、低压表、调压阀、开关和快速接头等。

4.2.8 数据处理系统应由计算机、旁压试验数据处理软件两个部分组成。

5 仪器率定

5.0.1 仪器率定分为综合变形率定和弹性膜约束力率定。率定应符合下列规定：

1 初次使用或较长时间放置后再次启用时，应对仪器进行综合变形率定和弹性膜约束力率定；

2 更换或改变导压管长度，或更换测管等设备部件后，应进行仪器的综合变形率定；

3 更换弹性膜后，应对仪器进行弹性膜约束力率定；

4 20 次试验后宜进行弹性膜约束力率定，在地基承载力特征值小于 120kPa 的土层中每 10 次试验后宜进行弹性膜约束力率定。

5.0.2 仪器综合变形率定应符合下列规定：

1 将旁压器放置于率定管内，使弹性膜径向受到刚性限制；

2 率定时每一级压力增量可取仪器额定压力的 1/10，最大加压至仪器额定压力的 80%，具体操作方法可按本标准第 7 章现场试验相关规定执行，各级压力下的观测时间应与现场试验时一致；

3 量测每一级压力 (p) 对应的位移 (S) 或体积 (V) 值，并绘制关系曲线 (仪器的综合率定曲线)，其直线对应压力轴的斜率即为仪器综合变形率定系数 (α)；

4 仪器综合变形率定要应符合本标准附录 B 的规定。

5.0.3 弹性膜约束力率定应符合下列规定：

1 将旁压器竖立于地面，使弹性膜处在自由膨胀的状态；

2 率定前应先对弹性膜预膨胀收缩，使其自由胀缩 4 次～5 次；

3 率定时每一级压力增量宜为 10kPa，具体操作方法、观

测时间和终止率定条件，宜按本标准第 7 章现场试验相关规定执行；

4 量测每一级压力 (p) 对应的位移 (S) 或体积 (V) 值，绘制 p - S 或 p - V 关系曲线（弹性膜约束力率定曲线）；

5 弹性膜约束力率定要点见本标准附录 C。

5.0.4 配有传感器的自钻式旁压仪除应符合本标准第 5.0.1 条～第 5.0.3 条规定外，尚应定期对位移传感器和压力传感器进行率定，其灵敏度、精度应符合相关标准的规定。

最新标准 全网首发



资源下载QQ群：424255365

6 试验孔成孔

6.1 预钻式旁压试验成孔

6.1.1 试验前应根据试验场地岩土类型及特性选择钻机、钻具，并采用相应的钻进方法及成孔工艺。对于孔壁稳定性差的土层，宜采用泥浆护壁钻进或其他防坍塌措施。

6.1.2 试验孔与已有钻孔或其他原位试验测试孔的水平距离不应小于 1.0m，且不应小于已有钻孔或其他原位试验测试孔直径的 3 倍。

6.1.3 当采用大直径钻具钻进时，应根据旁压试验段成孔直径要求，在试验段或试验点的深度位置以上不小于 1.0m 处，根据旁压器外径选用的钻具变径钻进。

6.1.4 每次试验前，试验成孔深度应大于或等于旁压器底端深度 0.2m。

6.1.5 试验成孔操作应符合下列规定：

- 1 试验段成孔直径宜大于旁压器外径 2mm~6mm；
- 2 试验段成孔应垂直、光滑平顺、完整，且应降低对孔壁岩土体的扰动或保持原状；
- 3 每个试验段成孔后应立即试验。

6.2 自钻式旁压试验成孔

6.2.1 成孔前应做好自钻准备工作，清理回水管，防止水管堵塞。

6.2.2 试验成孔应通过钻杆自重先将钻进器切入土中，然后开动钻机带动切削钻头旋转钻进。

6.2.3 钻进宜根据土体的软硬程度向切削钻头施加一定的垂直压力。

- 6.2.4** 钻进应缓慢、平稳，土在切削腔被钻头粉碎形成的钻屑应利用循环冲洗液带到地面。
- 6.2.5** 钻进过程中贯入速率与回转速率应协调。
- 6.2.6** 钻至试验深度后应停止钻机旋转，并截断循环冲洗液，做好试验准备。
- 6.2.7** 试验孔间距应符合本标准第 6.1.2 条的规定。
- 6.2.8** 试验成孔除应符合本标准第 6.1.5 条第 2 款的规定外，成孔垂直度或倾斜度尚应符合现行行业标准《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87 的相关规定。

7 现场试验

7.1 一般规定

7.1.1 测试点低于孔口的深度不宜小于 1.0m；同一试验孔中相邻试验段或试验点的垂直间距不应小于 1.0m，且不应小于旁压器测量腔长度的 1.5 倍。

7.1.2 旁压试验时，旁压器测量腔应置于同一土层中。

7.1.3 旁压试验每钻进一段应进行一次试验；严禁一次成孔，多段试验。

7.1.4 现场试验宜按本标准附录 D 记录。

7.2 预钻式旁压现场试验

7.2.1 旁压仪主机应放置在试验孔侧适当位置，并调节至水平，用导压管连接主机与旁压器。

7.2.2 附带有电子自动数据测记装置的旁压仪，试验前应检查装置的连接状况、待机状态及设置感应参数等。

7.2.3 调整高压气源瓶上的减压阀，输出压力宜大于预估所需最大试验压力 0.2MPa；在试验过程中应保持压力源输出压力高于当前的试验压力。

7.2.4 注水与调零操作宜按下列步骤进行（设备结构见本标准图 4.1.1）：

- 1 向水箱注满清洁冷开水或纯净水，旋上水箱盖；
- 2 将旁压器竖立于地面，打开注水等相关阀门向系统注水；
- 3 在注水过程中应不断抖动导压管且振动旁压器排清管路中滞留的空气，确保导压管及旁压器充满水；
- 4 当目测管水位上升至或稍高于“0”位时，停止注水操作，并打开水箱盖；

5 注水完成待旁压器恢复原状后，将旁压器垂直提升，排除多余的注水，使测量腔的中点与目测管的“0”刻度齐平；当测管水位稳至“0”刻度时，关闭相关阀门将旁压器放好待用。

7.2.5 旁压器放置时应将旁压器用钻杆或连接杆连接，导压管宜隔段缚扎在钻杆上，将旁压器放至试验深度，并量测记录试验深度及地下水位。

7.2.6 试验加压应逐级进行。分级等级可采用预估临塑压力的 $1/5 \sim 1/7$ ，当无经验时亦可按表 7.2.6 确定。

表 7.2.6 试验压力增量

土类及状态	压力增量 (kPa)	
	临塑压力前	临塑压力后
淤泥、淤泥质土、流塑的黏性土、松散的粉细砂	≤ 15	≤ 30
软塑黏性土、疏松黄土、稍密粉土、稍密粉细砂、稍密中粗砂	15~25	30~50
可塑~硬塑黏性土、一般性质黄土、中密~密实粉土、中密~密实粉细砂、中密中粗砂	25~50	50~100
硬塑~坚硬黏性土、老黄土、密实粉土、密实中粗砂	50~100	100~200
中密~密实碎石土、极软岩	≥ 100	≥ 200
软质岩、强风化岩	200~500	≥ 500

7.2.7 加压稳压时间应根据土的特征或试验要求确定。各级压力下的稳压维持时间和量测变形时间可按表 7.2.7 执行。

表 7.2.7 加压稳压及变形量测时间

加压时间	稳压时间	测记变形量时间
1min、2min、3min	1min	15s、30s、60s
	2min	15s、30s、60s、120s
	3min	15s、30s、60s、120s、180s

7.2.8 试验加压应符合下列规定：

1 打开旁压仪量管阀门，试验的第一级压力荷载在旁压器内产生的静水压力应按下列公式计算：

1) 地下水位以上

$$p_w = (H + Z)\gamma_w \quad (7.2.8-1)$$

2) 地下水位以下

$$p_w = (H + h_w)\gamma_w \quad (7.2.8-2)$$

式中： p_w ——静水压力 (kPa)；

H ——测管水面距孔口的高度 (m)；

h_w ——孔口距孔内地下水位深度 (m)；

γ_w ——水的重度 (kN/m^3)，可取 10kN/m^3 ；

Z ——孔口至试验段中点的深度 (m)。

2 当到达设定的稳压维持时间后，按预定的试验加压等级加压，各级压力应在 10s 内加载完毕。

3 每级加压完成后，应及时记录所加压力及稳压维持时间内不同时刻的测管水位值；附带有自动数据测记装置的应同时操作记录仪，并记录试验压力和位移或体积数据。

7.2.9 符合下列条件之一时，可终止试验：

1 当测管实测体积达到旁压器测腔固有体积；

2 当水体积或水位变化明显加快，且测记变形时间 15s、30s、60s 后一个测记的变形量差值是前一个变形量差值的 5 倍；

3 试验压力达到仪器的额定压力。

7.2.10 试验结束后应立即对旁压器进行消压、回水和排水工作，并应符合下列规定：

1 当试验深度小于 2m 且仍需继续试验时，可将调压阀减压使压力降到零，利用弹性膜的约束力迫使旁压器中的水回至测管；

2 当试验深度大于 2m 且仍需继续试验时，宜根据相关的操作方法，利用系统内的压力，使旁压器中的水回至水箱备用，并保持水箱盖打开；

3 阀门置于排水位置,利用试验时系统内的压力将旁压器中水排净,并旋松调压阀;

4 待旁压器和系统完全消压 2min~3min 后,取出旁压器。

7.3 自钻式旁压现场试验

7.3.1 自钻式旁压试验钻至试验深度,应静待超孔隙水压力消散后再进行试验。

7.3.2 应根据土类性质选择加压方式,饱和软土宜采用应变控制方式,其余地基土宜采用应力控制方式。

7.3.3 试验前应检查装置的连接状况、待机状态及设置感应参数等。

7.3.4 在控制板调压阀处于关闭状态时,打开气瓶调压阀,输出压力宜高于预估所需最大试验压力 0.2MPa。

7.3.5 评定土的弹性模量、不排水抗剪强度时,可进行卸压再加压的循环加压试验,卸压再加压回环应避开临塑压力;卸压量可与土的抗剪强度相当,且不得大于 2 倍的抗剪强度;卸压后的压力不得低于初始压力。

7.3.6 初始加压阶段加压等级宜加密。

7.3.7 应力控制方式试验应按下列步骤进行:

1 试验前应检查旁压器与压力控制板、电子箱连接以及电瓶电压;

2 根据土层性质确定加压等级;

3 调节压力变化率调节开关,使旁压器中电路读数为零,记录初读数;

4 按预定加压等级施加各级压力,维持时间宜为 1min,并记录 15s、30s、60s 时的应变值、有效应力值和总应力值;

5 依据测试应变值,加压过程进行一个以上的加卸压循环测试,卸载阶段进行一个加卸压循环测试;

6 加压至应变臂测量的膨胀位移值达到 6mm 时应终止试验。

7.3.8 应变控制方式试验应按下列步骤进行：

1 试验前应检查旁压器与应变控制装置、电子箱连接以及电瓶电压；

2 按土层性质和试验类型（排水或不排水），并根据经验选择适宜的常量应变率，常量应变率宜为每分钟或每小时 0.1%、0.2%、0.5%、1.0%、2.0%档；

3 压力率可调 5 个压力变化率，根据经验，按土层从软到硬依次选择；

4 试验开始前，应将应变和压力调至零位；

5 当达到 10%应变值时应停止加压，并进行卸压；

6 卸压后，膜内压力降为零时终止试验，取出旁压探头。

8 资料整理及应用

8.0.1 资料整理前应先对试验记录数据进行校正, 并应符合下列规定:

1 压力校正应按下式计算:

$$p = p_m + p_w - p_i \quad (8.0.1-1)$$

式中: p ——校正后的压力 (kPa);

p_m ——记录仪或压力表读数 (kPa);

p_w ——静水压力 (kPa);

p_i ——弹性膜约束力(kPa), 由各级总压力($p_m + p_w$)所对应的测量位移(或体积)值查弹性膜的约束力率定曲线取得。

2 位移或体积校正和体积与位移的换算应按下列公式计算:

$$S = S_m - \alpha(p_m + p_w) \quad (8.0.1-2)$$

$$V = V_m - \alpha(p_m + p_w) \quad (8.0.1-3)$$

$$V = SF \quad (8.0.1-4)$$

式中: S ——校正后的测管水位位移值 (cm);

S_m ——各级总压力($p_m + p_w$)所对应的测管水位位移值 (cm);

α ——仪器综合变形率定系数 (cm/kPa);

V ——校正后的旁压器测量腔受压膨胀体积 (cm³);

V_m ——各级总压力($p_m + p_w$)所对应的体积值 (cm³);

F ——测管内截面面积 (cm²)。

8.0.2 旁压试验 p - S 曲线或 p - V 曲线应使用校正后的压力和校正后的位移或体积绘制(图 8.0.2), 并应符合下列规定:

1 纵坐标为位移 S 或体积 V , 位移 S 宜按 1 单位代表 5cm 水位下降值, 体积 V 宜为 1 单位代表 100cm³;

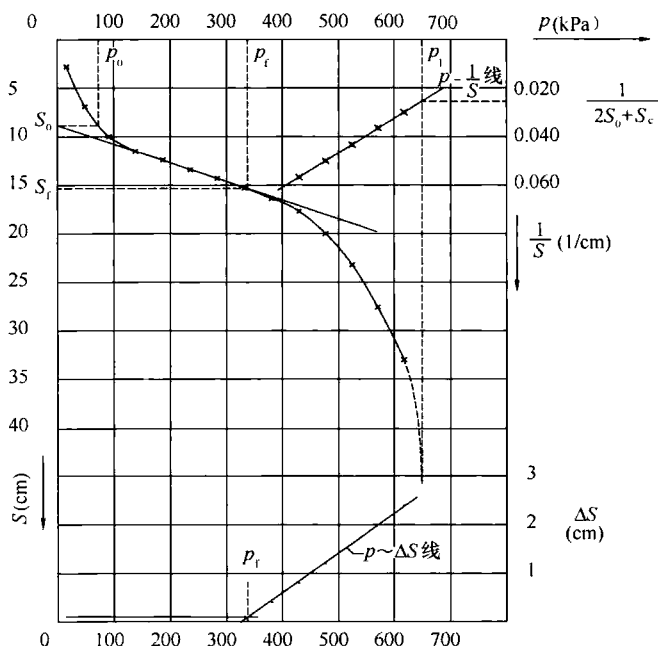


图 8.0.2 旁压试验曲线

2 横坐标为压力 p ，压力宜为 1 单位代表 100kPa；

3 绘制曲线时，宜先连直线段，并两端延长与纵轴相交，用拟合法绘制曲线部分，定出曲线与直线段的交点（直线段的终点）。

8.0.3 旁压试验基本参数的确定应符合下列规定：

1 初始压力 p_0 宜根据试验情况确定。当试验成孔与旁压器匹配、土层扰动较小、测试数据完整且旁压曲线有较明显的初始段时，可通过作图法确定初始压力 p_0 ；当采用作图法困难时，可采用静止土压力根据算法确定初始压力 p_0 。作图法和算法应符合下列规定：

1) 采用作图法时，应将旁压试验曲线直线段延长相交于位移（体积）轴，由交点作平行于压力轴的直线相交

于曲线的一点，此点所对应的压力为初始压力 p_0 (图 8.0.2)。

2) 采用计算法时，应按下列公式计算初始压力：

$$p_0 = K_0 \gamma Z + u \quad (8.0.3-1)$$

$$u = \gamma_w (Z - h_w) \quad (8.0.3-2)$$

式中： K_0 ——试验深度处静止土压力系数，可按地区经验确定，对于正常固结和轻度超固结的砂土和粉土取 0.5，可塑到坚硬状态的黏性土取 0.6，软塑黏性土、淤泥和淤泥质土取 0.7；

γ ——试验深度以上土的重度 (kN/m^3)，有多层土层时，可采用厚度加权平均值，地下水位以下取有效重度；

Z ——孔口至试验段中点的深度 (m)；

u ——试验深度处土的孔隙水压力 (kPa)，在地下水位以上 $u = 0$ ；在地下水位以下，由式 (8.0.3-2) 确定；

h_w ——孔口距孔内地下水位的深度 (m)。

2 临塑压力 p_f 可按下列方法确定：

1) 旁压试验 p - S 或 p - V 曲线直线段的终点所对应的压力为临塑压力 p_f ，对应的位移为 S_f 或体积 V_f (图 8.0.2)；

2) 稳压 3min 时 p - $\Delta S_{(180-30)}$ 或 p - $\Delta V_{(180-30)}$ 、稳压 2min 时 p - $\Delta S_{(120-30)}$ 或 p - $\Delta V_{(120-30)}$ 、稳压 1min 时 p - $\Delta S_{(60-30)}$ 或 p - $\Delta V_{(60-30)}$ 曲线直线变形段终点，即曲线与直线段拐点所对应的压力。

3 极限压力 p_L 可按下列方法确定：

1) 当试验加压的最大压力未达到极限压力时，需外推旁压试验曲线确定 p_L ，将旁压试验曲线末端光滑自然地作延长线，并呈趋于位移 S 或体积 V 轴平行的渐近线

时，其渐近线与旁压试验曲线延长线的切点对应的压力即为极限压力 p_L ；

- 2) 在旁压试验曲线的右面位移或体积轴上确定合适的位移或体积坐标比例，把临塑压力 p_f 以后曲线部分各点的位移 S 或体积 V 值取倒数 $1/S$ 或 $1/V$ ，与对应的压力 p 作 $p-1/S$ 或 $p-1/V$ 的关系曲线(该曲线应为一近似直线)，在该直线上取 $1/(2S_0 + S_c)$ 或 $1/(2V_0 + V_c)$ 所对应的压力即为极限压力 p_L (图 8.0.2)。

8.0.4 地基承载力特征值 f_{ak} 可按下列方法确定：

1 利用极限压力 p_L 确定：

地基旁压试验试验到极限状态时，可按下列两种情况确定地基承载力特征值 f_{ak} ：

- 1) 当极限压力 p_L 小于等于临塑压力 p_f 的 2 倍时，取极限压力的二分之一，由下式确定：

$$f_{ak} = \frac{p_L}{2} - p_0 \quad (8.0.4-1)$$

- 2) 当极限压力 p_L 大于临塑压力 p_f 的 2 倍时，由下式确定：

$$f_{ak} = \frac{p_L - p_0}{K} \quad (8.0.4-2)$$

式中： K ——安全系数，根据地区经验确定；无经验时可按表 8.0.4 确定。

表 8.0.4 安全系数 K 值

土类	黏性土	粉土	砂土
安全系数	2~2.4	2.3~3.3	2.7~3.6

2 利用临塑压力 p_f 由下式确定：

$$f_{ak} = \lambda(p_f - p_0) \quad (8.0.4-3)$$

式中： f_{ak} ——地基承载力特征值 (kPa)；

λ ——修正系数, 根据地区经验确定; 无经验时, 取 0.7~1.0。

8.0.5 按本标准第 8.0.4 条确定的地基承载力特征值可进行深度修正。

8.0.6 旁压模量 E_m 应根据旁压曲线直线段的斜率按下列公式计算:

1 当用位移 S 计量时:

$$E_m = 2(1 + \mu) \left(S_c + \frac{S_0 + S_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta S} \quad (8.0.6-1)$$

2 用体积 V 计量时:

$$E_m = 2(1 + \mu) \left(V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (8.0.6-2)$$

式中: E_m ——旁压模量 (kPa);

$\Delta p / \Delta S$ 、 $\Delta p / \Delta V$ ——旁压试验曲线直线段的斜率 (kPa/cm, kPa/cm³);

μ ——泊松比, 可根据地区经验确定, 当无经验时可按表 8.0.6 确定;

S_c ——旁压器测试腔固有体积 V_c 用测管水位位移值表示 (cm);

S_0 ——旁压曲线直线段延长线与纵轴 (位移轴) 的交点, 其值为旁压器弹性膜接触孔壁所消耗的水体积用测管水位位移值表示 (cm);

S_f ——临塑压力 p_f 所对应的测管水位位移值 (cm);

V_c ——旁压器测试腔固有体积 (cm³);

V_0 ——旁压曲线直线段延长线与纵轴 (体积轴) 交点表示的值, 即为旁压器弹性膜接触孔壁所消耗的水体积 (cm³);

V_f ——临塑压力所对应的体积 (cm³)。

表 8.0.6 土的泊松比 μ 值

岩土类型和状态		μ
碎石土		0.27
砂土		0.30
粉土		0.35
粉质黏土	坚硬状态	0.25
	可塑状态	0.30
	软塑状态	0.35
黏土	坚硬状态	0.25
	可塑状态	0.35
	软塑状态	0.38
淤泥和淤泥质土		0.42

8.0.7 旁压剪切模量 (G_M) 应按下列公式确定:

1 当用位移 (S) 计时:

$$G_M = \left(S_c + \frac{S_0 + S_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta S} \quad (8.0.7-1)$$

2 用体积 (V) 计时:

$$G_M = \left(V_c + \frac{V_0 + V_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (8.0.7-2)$$

式中: G_M ——旁压剪切模量 (kPa)。

8.0.8 软黏土的不排水抗剪强度 (C_u) 可按下列式估算:

$$C_u = (p_L - p_0) / N_P \quad (8.0.8)$$

式中: C_u ——不排水抗剪强度 (kPa);

N_P ——系数, 可取 6.18。

8.0.9 砂土的有效摩擦角 (φ') 可按下列式估算:

$$\varphi' = 5.77 \ln \frac{p_L - p_0}{250} + 24 \quad (8.0.9)$$

8.0.10 侧向基床系数 (K_m) 可按下列式估算:

$$K_m = \beta \Delta p / \Delta r \quad (8.0.10)$$

式中: K_m ——侧向基床系数 (MPa/m);

Δp ——旁压试验压力增量 (kPa);

Δr —— Δp 对应的径向位移增量 (mm);

β ——修正系数, 可以根据地区经验确定, 当无经验时可按表 8.0.10 确定。

表 8.0.10 修正系数 β 值

土层名称	淤泥质土	黏性土	饱和粉土、砂土	全、强风化岩土
修正系数 β	0.20~0.25	0.25~0.35	0.20~0.30	0.25~0.35

附录 A 常用旁压器结构形式和主要参数

表 A 常用旁压器结构形式和主要参数

型号		旁压器参数					试验荷载 (MPa)
		结构形式	总长度 (mm)	测量腔 外径 (mm)	测量腔 长度 (mm)	测量腔 体积 (cm ³)	
预 钻 式 旁 压 仪	PM-1A	单腔式	560	50	350	687.2	0~3.0
	PM-1B	单腔式	720	88	360	2189.5	0~3.0
	PM-2B	单腔式	720	88	360	2189.5	0~5.5
	PY 型	三腔式	500	50	250	490.9	0~2.5
	Menard G-AM	三腔式	650	58	200	528.4	0~10
	TEXAM	单腔式	720	74	390	1676.5	0~10
	Etastmeter	单腔式	1270	62	520	1569.9	0~20
自 钻 式 旁 压 仪	PYHL-1	三腔式	980	90	200	1271.7	0~2.5
	MIM-1	单腔式	1100	90	650	4133	0.4~2.5
	Cambridge Insitu Camkometer	单腔式	1175	83	515	3510	0~10
	Mazieer PAF-76	三腔式	1500~ 2000	132	500	6838.9	0~2.5

注：1 三腔式旁压器中腔为测量腔，上、下两腔为辅助腔。上、下腔与金属导压管相连，与中腔严密封闭。

2 旁压器腔室外壁附有弹性膜，部分旁压器弹性膜外罩有保护铠，保护铠由一系列不锈钢窄条附在弹性膜上组成。

附录 B 仪器综合变形率定要点

B.0.1 仪器综合变形率定试验时,按试验要求连接安装好设备,将旁压器放置于率定筒内,在旁压器受到刚性限制的状态下,根据试验加压步骤对旁压器加压,率定时每一级压力增量可取仪器额定压力的 1/10,最大加压至仪器额定压力的 80%后终止,各级压力下观测时间与正式试验一致,并应按表 B.0.1 记录。

表 B.0.1 仪器综合变形率定试验记录样表

仪器型号 PM-1A

导管长度 15m

率定管内径 55mm

率定日期 ××××年××月××日

压力 p (kPa)	测管水位位移值 S (cm)			
压力表读数 p_m	15s	30s	60s	120s
100	4.86	4.86	4.86	4.86
200	4.96	4.96	4.96	4.96
300	5.06	5.06	5.06	5.06
400	5.16	5.16	5.16	5.16
500	5.26	5.26	5.26	5.26
600	5.36	5.36	5.36	5.36
700	5.46	5.46	5.46	5.46
800	5.56	5.56	5.56	5.56

率定: ×××

记录: ×××

校核: ×××

B.0.2 确定变形率定系数时,绘制压力 (p) 与其对应的测管水位位移值 (S) 关系曲线,其直线的斜率 ($\Delta S/\Delta p$),即为仪器综合变形率定系数,图 B.0.2 中 $\alpha=0.001\text{cm/kPa}$ 。

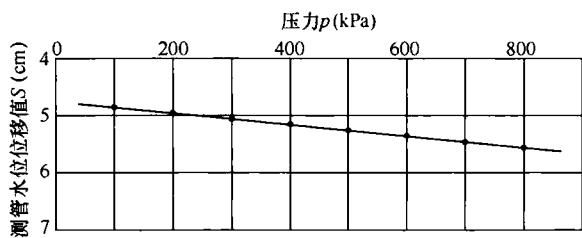


图 B.0.2 仪器综合变形率定曲线

附录 C 弹性膜约束力率定要点

C.0.1 弹性膜约束力率定试验时,按试验要求连接安装好设备,将旁压器竖立于地面,进行适量预加压,压力控制在 50kPa 之内使其自由膨胀,当测管水位降至 30cm 时卸压至零,反复加压、卸压四次以上再开始正式率定,率定压力增量为 10kPa,当测管水位降至近 40cm 时终止,各级压力下观测时间与正式试验一致,记录按表 C.0.1 执行。

表 C.0.1 弹性膜约束力率定试验样表

膜编号 膜 1# 仪器型号 PM-1A
工程名称 ×××××× 率定日期 ××××年××月××日

旁压器中腔中点至测管水面 垂直距离 (m)		0.9	测腔受静水压力 p_w (kPa)		9
压力 p (kPa)		测管水位位移值 s (cm)			
压力表读数 p_m	总压力 $p_w + p_m$	15s	30s	60s	120s
	9	0.55	0.55	0.55	0.55
10	19	1.70	1.70	1.70	1.70
20	29	2.80	2.90	3.00	3.10
30	39	4.55	4.75	4.95	5.15
40	49	7.40	7.60	8.00	8.45
50	59	12.40	12.60	13.00	13.60
60	69	20.35	20.85	21.55	22.55
70	79	32.70	33.20	34.20	36.20

率定: ×××

记录: ×××

校核: ×××

C.0.2 绘制率定曲线时，绘制压力（ p ）与其对应的测管水位位移值（ S ）关系曲线，即弹性膜约束力率定曲线（图 C.0.2）。

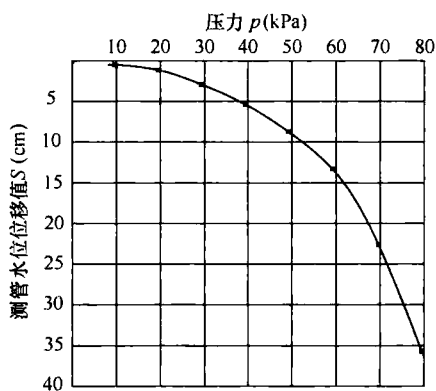


图 C.0.2 弹性膜约束力率定曲线

附录 D 记录表格式

表 D 旁压试验记录表

工程名称_____ 孔口高程_____

试验编号_____ 膜编号_____

仪器型号_____ 试验日期_____

试验深度 Z (m)		测管水面距孔口 高度 H (m)		测腔受静水压力 p_w (kPa)								
钻孔中水位距孔口高度 h_w (m)		是否带金属保 护套		成孔工具								
土层描述												
顺 序 号	压力 p (kPa)				测管水位位移值 S (cm) (累计数)					1/S		
	记录 仪或 表读 数 p_m	总压 力 $p_m + p_w$	弹性 膜约 束力 p_i	校正 后压 力 p	S_m						仪器综 合变形 校正 值 $a(p_m + p_w)$	校正 后 S
					15s	30s	60s	120s	180s			
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												
11												
12												
13												
14												

项目负责:

试验:

计算:

校核:

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

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做的：

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，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87

中华人民共和国行业标准

地基旁压试验技术标准

JGJ/T 69 - 2019

条 文 说 明

编制说明

《地基旁压试验技术标准》JGJ/T 69 - 2019, 经住房和城乡建设部 2019 年 3 月 27 日以第 75 号公告批准、发布。

本标准是在《PY 型预钻式旁压试验规程》JGJ 69 - 90 的基础上修订而成。上一版的主编单位是常州市建筑设计院, 参编单位是中南勘察设计院、青岛市勘察处、建设部设计管理司、溧阳县仪器厂, 主要起草人员是邹联升、李受祉、黑相文、周士鑑、张鼎鹤。

本标准修订过程中, 编制组进行了广泛的调查研究, 总结了我国目前各种类型旁压设备使用的实践经验, 同时参考了国外新技术、新工艺、新设备。

为便于广大勘察设计、施工、科研、学校等有关单位在使用本标准时能正确理解和执行条文规定, 《地基旁压试验技术标准》编制组按章、节、条顺序编制了本标准的条文说明, 对条文规定的目的、依据以及执行过程中需注意的有关事项进行了说明。但是本条文说明不具备与标准正文同等的法律效力, 仅供使用者作为理解和把握标准规定的参考。

目 次

1	总则	36
2	术语和符号	37
2.1	术语	37
2.2	符号	37
3	基本规定	38
4	仪器和设备	39
4.1	预钻式旁压仪	39
4.2	自钻式旁压仪	40
5	仪器率定	42
6	试验孔成孔	44
6.1	预钻式旁压试验成孔	44
6.2	自钻式旁压试验成孔	47
7	现场试验	49
7.1	一般规定	49
7.2	预钻式旁压现场试验	49
7.3	自钻式旁压现场试验	52
8	资料整理及应用	54
附录 D	记录表格式	63

1 总 则

1.0.1 20 世纪 90 年代以来，旁压仪技术有了较大的发展，压力和变形的记录方式及压力管道系统已有较大改进，为了规范地基旁压试验技术，统一旁压试验方法，合理评定地基承载力和变形参数，使旁压试验技术标准化、规范化，提高旁压试验质量，为设计提供可靠依据，确保工程质量，制定本标准。

1.0.2 旁压仪根据其旁压器置入土体的方式不同，分为预钻式、自钻式和压入式三种。国内以预钻式为主，自钻式旁压试验也常有使用，压入式旁压试验少有应用，故本标准针对预钻式旁压试验和自钻式旁压试验。目前国内使用的旁压仪除国产的外，也有法国、英国、加拿大、日本等国外产品，但其试验原理均基本一致，只是在设备具体结构和规格尺寸方面不同，因此，本标准是以目前使用较普遍的国产预钻式旁压仪为示例而修订的。对于其他型号旁压仪的试验，除设备结构、尺寸参数的计算等应按其相关说明操作外，试验孔成孔、试验压力增量、加荷速率以及试验资料整理等均应按本标准进行，以利于旁压试验技术的总结和提高。

1.0.3 旁压试验作为一种原位测试手段，试验位置有一定间距要求，不能做到连续性，为使试验成果具有代表性，满足统计数据的要求，可以结合钻探、静力触探等其他勘探方式，或收集已有勘探资料，在确定主要土层的情况下，合理布置旁压试验点。

2 术语和符号

2.1 术 语

本标准中所使用的术语和释义基本上是源于原标准和国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《岩土工程勘察规范》GB 50021 和《建筑岩土工程勘察基本术语标准》JGJ 84。

2.2 符 号

在变形测量装置中用于计量变形的单位，现常用的为体积 V (cm^3) 和位移 S (cm) 两种，国外产品通常使用体积 V ，国内产品习惯使用测管水位位移 S ，因此本标准规定用体积 V 或水位位移 S 值表示均可。体积 V 与位移 S 之间的关系是 $V = SF$ (F 为测管内截面积，用 cm^2 表示，对于某种型号设备为一定数)。

符号 p_m 原指压力表读数，现因旁压仪设备上增加了电子数字记录装置，因此符号为压力读数，系指记录仪显示的压力数值（或带有精密压力表计量的数值）。

符号 S 原标准中仅指测管水位下降值，而当前使用的旁压仪在数据采集记录装置以及结构形式均有较大的变化，因此符号 S 指的是测管水位位移值。

3 基本规定

3.0.1 随着我国基础设施建设和城镇化的发展，地下空间开发以及城市高层建筑日益增加，岩土工程勘察越来越显重要，为准确提供地基参数，旁压试验在岩土工程勘察中得以广泛应用。旁压试验适用范围也有了较大提升，各地区根据当地土层分布特点，做了较多的尝试，因此本标准对旁压试验适用性作了一些规定，对有经验的可推广使用。

3.0.2 旁压试验点的布置，宜先进行工程钻探或静力触探试验等，或收集场地已有勘探资料，以便确定土层分布，合理地在有代表性的地段和位置上进行试验，并且根据勘察大纲要求，编制专项试验方案后进行试验。

3.0.3 对每一建筑场地或同一地质单元不宜少于 3 个试验孔，对每一主要地层不宜少于 6 个试验段，是为了满足试验成果统计分析的要求。

3.0.4 旁压试验成孔质量对试验成果影响较大，尤其是作图法中确定初始压力时，成孔匹配性对初始压力取值影响大。

3.0.5 自钻式旁压试验，应先通过试钻，以便确定各种技术参数及最佳匹配，确保对周围土体的扰动最小，保证试验质量。

3.0.7 考虑到地质条件的复杂性，土质分布的不均匀性，以及各地土层的特点，不能仅靠单一测试手段来确定土性参数，一般通过多种试验手段以及工程经验等综合分析确定物理力学指标，为设计、施工提供合理、准确的岩土参数。

4 仪器和设备

4.1 预钻式旁压仪

4.1.1 由于生产技术的发展，目前已有多种不同型号的旁压仪存在。但结构形式和试验原理大致相似，因此，本标准选用了当前最常用的旁压仪设备，而不单以某一种型号的旁压仪设备作为本标准的功能示范，以便本标准能涵盖更多用户及顺应市场形势的发展需要。

4.1.2 旁压器：也称旁压探头，是旁压仪设备中的一个主要部件。不同型号的旁压仪设备配置有与之尺寸规格相适应的旁压器。目前常采用的旁压器有单腔式和三腔式旁压器。三腔式旁压器上下为辅助腔，中间为测量腔。辅助腔的作用在于延长孔壁土层受压段的长度，减少测量腔端部影响。当土体受压时，使测量腔部分周围土体均匀受压，使土层近似处于平面应力状态。由于单腔式旁压器的弹性膜易于装卸更换，因此逐渐被广泛使用。经国内外相关的研究和大量试验表明，单腔式旁压器在其测量腔的长径比满足一定条件后，对旁压试验的测试结果无明显影响。所以上述两种结构形式的旁压器均已得到广泛应用。

本标准附录 A 列出了部分常用旁压器的尺寸规格参数，详细精确的参数应参见旁压仪设备生产厂家的技术资料。

4.1.3 加压稳压装置包含压力源连接管、减压阀、控制阀门和调压阀等，用于在试验中实现加压、稳压的功能。压力源连接管宜采用高压管。根据现场条件或不同型号的设备，压力源一般采用高压气源，也可采用油压装置等。低压旁压试验可采用打气筒手动加压。考虑到安全性、稳定性，高压气源一般采用氮气。

4.1.4 变形测量系统是旁压设备的一个重要部件，主要功能是测量和记录在每一个规定的时间点，系统向旁压器所施加的压力

值和相对应的测管向旁压器注入的水量值。水量值有体积和位移两种表示方法。该量值在早期的旁压仪设备中，通常采用人工目测和手动记录其数据。由于电子技术的发展，当前的旁压仪设备中，通常采用传感器等电子测记方法，可有效地提高测记精度和准确度，减小人为误差，并降低操作劳动强度。

由于各种型号的旁压仪设备的测量管截面积和旁压器测量腔的初始体积不尽相同，之前用测量管的位移（或体积）量值精度表明设备试验中位移（或体积）的测量精度是不确切的。所以本标准规定采用以旁压器测量腔的径向膨胀变量作为设备的位移（或体积）测量精度。

4.1.5 导压管是旁压仪设备中传送液体和压力的部件，一般不宜将普通尼龙管直接作为导压管使用。试验压力大于 3.0MPa 的导压管建议使用耐高压的复合软管，现多用同轴高压软管。

4.2 自钻式旁压仪

4.2.1 本标准附录 A 列出的自钻式旁压仪有四种型号，华东电力设计院与溧阳仪器厂于 1983 年研制的 PYHL-1 型和城乡建设综合勘察院 1982 年研制的 MIM-1 型号的自钻式旁压仪，均为科研产品，并没有批量生产投入工程实践。法国生产的 Mazieer-PAF 自钻式旁压仪仅有少数科研院所有配置。国内目前使用的是英国剑桥自钻式旁压仪，自钻式旁压试验以剑桥旁压仪为主要依据，规范自钻旁压试验的操作。

4.2.2 旁压探头由钻进器和旁压器两部分组成，钻进器位于探头的下端，外部是一个类似土工环刀的圆筒形管靴，内部为切削钻头。在钻进过程中，外部的管靴不动，内部钻头随着钻杆驱动其转动，切削土体，循环水由水泵顺着钻杆内泵入，冲刷切碎的土体碎屑，并从钻杆和套管之间将其带到地表，同时，探头也随着进尺而被压入地层。

在钻进过程中，为防止土层扰动以及回水管堵塞，端靴底部与钻头末端的距离是钻进过程的重要参数，可根据土层性质调整

切削器的距离。切削器的调整距离建议值如表 1 所示。

表 1 切削器的调整距离建议值

土层性质	调整距离 (mm)
可塑~硬塑的黏性土	10~15
软黏土、稍密粉土、砂土	20
中密~密实粉土、砂土	10

4.2.3 弹性膜内部有位移传感器和总压力传感器。早期的自钻式旁压器，有三只位移传感器，沿着膨胀截面中心呈 120° 分布，试验中，常常会显示不同的压力拐点，难以判断是土层的各向异性造成，还是钻孔成孔问题造成。改进型的旁压器有六只位移传感器，沿轴心 60° 分布，能很好区分是土体差异还是其他问题的影响，通过六条旁压曲线能很清楚判读压力拐点的差异。

4.2.4 旁压器弹性膜上贴有两只孔隙水压力传感器，间隔 180° ，它随着弹性膜一起扩张，保持与土体接触，可测量孔隙水压力。膜内还有一个总压力传感器，用来测定施加的总压力。

4.2.6 应变控制器用来控制施加在旁压器上的气压速率。应变控制器有两种控制方式，一种是控制应变，另一种是控制压力。在应变控制状态时，旁压器以一定的应变率膨胀，应变率开关为每小时或每分钟 0.1%、0.2%、0.5%、1%、2% 等几档，上升/保持/下降开关可控制应变方向。在压力控制状态时，压力变化率开关在每分钟 14kPa~240kPa 之间可调 5 个压力变化率。

5 仪器率定

5.0.1 率定是旁压试验前应进行的准备工作之一。率定不仅能检验旁压试验设备的完好情况，而且通过率定可以确定旁压设备压力损失和位移（或体积）损失，旁压仪的调压阀、量管、导管、压力计等在加压过程中均会产生变形，造成水位下降或体积损失，这种水位下降或体积损失为仪器的综合变形，通过率定可以对试验结果进行修正。

1 初次使用设备因对设备压力损失和位移（体积）损失情况不明，需要对仪器综合变形和弹性膜约束力进行率定；仪器长期不用，设备开关有腐蚀，密封性变差，管道内会有杂质沉淀，通过仪器综合变形和弹性膜约束力进行率定，对设备性能进行检查。

2 加长或缩短导管、更换测管或注水管等，由于连接量测装置与旁压器的管路体积的改变，不同材质的差异，会使设备压力损失和位移（或体积）损失有所改变，需要对仪器综合变形进行率定。

3 试验前无论是更换新的弹性膜还是已多次使用过的弹性膜，性能均有较大的变化，需对弹性膜约束力进行率定。

4 弹性膜长期使用，约束力会有较大变化，对相同的护套和弹性膜，试验结果表明，每进行 20 次试验后重新率定一次约束力比较好。当地基承载力较低时，试验过程中，弹性膜膨胀较大，弹性膜经常在侧压力较低的环境下工作，变形会比较大，建议每 10 次试验后进行一次弹性膜约束力率定。

5.0.2 仪器综合变形校正系数 α 很小，一般不大于 $0.015\text{cm}^3/\text{kPa}$ （采用测管水位下降值 S 表示时不大于 $0.001\text{cm}/\text{kPa}$ ）。此值对于高压缩性土的变形，可以忽略不计，因与其相比，所占比重甚微。

相反对于低压缩土的变形,就不可忽视。所以应根据土的压缩性区别对待。

5.0.3 弹性膜约束力,主要因材料为橡胶,多次胀缩后,会逐步产生松弛。因此,换膜首次率定试验前,应先胀缩4次~5次后,再进行率定试验。扩张4次~5次后,弹性膜约束力会趋于稳定值(图1),试验20次后,需复率定一次。对于在承载力低的土层中进行试验,应增加率定次数频率,因为约束力对试验变形量影响所占的比重较大。

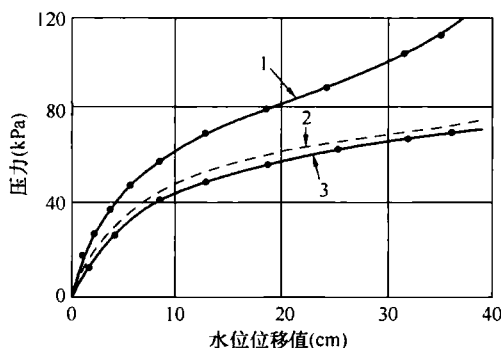


图1 弹性膜约束力多次扩张后率定曲线

1—第一次扩张; 2—扩张5次; 3—扩张20次

5.0.4 旁压器中的传感器一般采用电阻应变片,电阻应变片是一种将被测件上的应变变化转化成电信号的敏感器件。传感器性能稳定,精度高,工作可靠,体积小。在使用前要根据使用时匹配的二次仪表进行率定,以后每三个月进行一次率定,得到的率定系数与厂家给定的数值差值应小于3%。

6 试验孔成孔

6.1 预钻式旁压试验成孔

6.1.1 对于不同的岩土层要选择不同的钻探机具和施工工艺，国内大多数单位采用的成孔方法，都是利用已有钻探设备和施工工艺成孔，对于孔壁稳定性差的或者有缩孔的土层，宜采用泥浆护壁或其他防坍塌措施。对于砂性土地层，冲洗液的循环易于冲刷孔壁，冲洗液的流速尽可能低，泥浆泵量宜低于 $15\text{L}/\text{min}$ ，泥浆的稠度应符合一定比例，既能低速又能上浮土屑。

6.1.2 由于横向扩张的影响，Hughel (1973) 通过在实验室用放射性显示技术检验认为，旁压器放入及操作引起土体的扰动不大，土的径向位移为圆柱体半径的 0.5% ；但当旁压器在钻进过程中压入土中时，在圆柱体周围有一环状扰动区（剪切位移区），这对土的影响是不能忽视的。旁压试验有其应力影响范围，在此应力影响范围内不应有其他原位测试存在，以保证测试成果的精确度和可靠性。根据实践经验及理论推算，其应力影响范围的影响半径在水平方向约为 60cm ，垂直方向约为 40cm （两旁压器的上、下端点起算）。基于上述原因，规定同一个试验孔中的相邻试验段间距或试验孔与相邻钻孔和测试孔的水平距离都不应小于 1.0m 。

6.1.3 控制换钻具的位置，能保证试验段有足够的不扰动土层。

6.1.4 旁压器下端有 0.1m 的保护筒锥，成孔后往往有一定孔底沉淀物，因此旁压器底端要求保留至少 0.2m 空间段，保证旁压器能放置到指定深度进行试验。

6.1.5 预钻式旁压试验是在钻孔里进行的原位测试，测试成果的真实性取决于孔壁土体的原状程度和天然湿度。因此，成孔质量的好坏是旁压试验成败的关键。为此钻孔直径应比旁压器外径

大 2mm~6mm，满足旁压器能自由放入，否则会出现下列问题：

1 钻孔直径过小，则旁压器难以放至试验位置，或虽然强力将其插入，但会造成对孔壁土体的挤压扰动以及对弹性膜造成损伤。

钻孔直径过大，则旁压器弹性膜开始接触孔壁时所消耗的水量就过大。由于测管的储水量有限，因此，试验就有可能难以接近或达到极限压力。因为按定义，极限压力 p_L 是相对于旁压器测量腔所对应的钻孔初始体积 $(V_c + V_0)$ 而定。当钻孔初始体积扩大一倍，即 $2(V_c + V_0)$ ，此时的压力为极限压力 p_L 。如果以试验注入的水量（即测管的读数值）表示，应为 $V_L = V_c + 2V_0$ （图 2），所对应的压力为 p_L 。

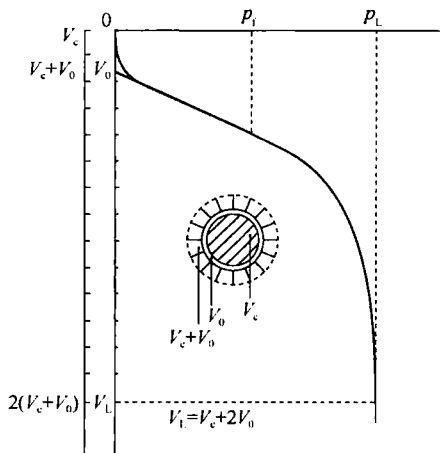


图 2 试验注入的水量与钻孔直径大小的关系

钻孔直径过大，旁压器弹性膜两端面临的空间就大，当试验压力较大时，弹性膜在临空面处无限制地膨胀，易发生破裂。

当钻孔直径特别大时，试验压力加到甚至未到临塑压力时，测管里就没水了，则无法完成试验。

以上这些现象，可由图 3 所示的旁压曲线的形状来判断： a 曲线是因缩孔或孔径太小，旁压器硬插下去所造成； b 曲线是标

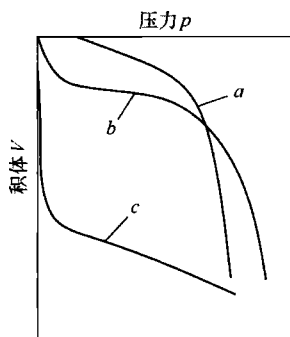


图3 旁压曲线的几种形状

准的旁压试验曲线；c 曲线是孔径过大或塌孔所造成。

2 试验段孔壁竖直、光滑、完整，可使试验近似于轴对称平面条件下进行。

3 成孔完成后应及时试验，否则会变形过大，成孔坍塌，下放旁压器困难，影响试验成果的准确性。以下是广东从化地区的强风化泥质粉砂岩的一组对比试验，同一钻孔，性质相同的土体，试验位置为地表以下 8m 和 10m，8m 位置成孔后立即试验，10m 位置成孔后 2h 后才将旁压器放入进行试验，试验所得 p - S （压力-位移）曲线如图 4 和图 5 所示。可以看到有明显的差别，

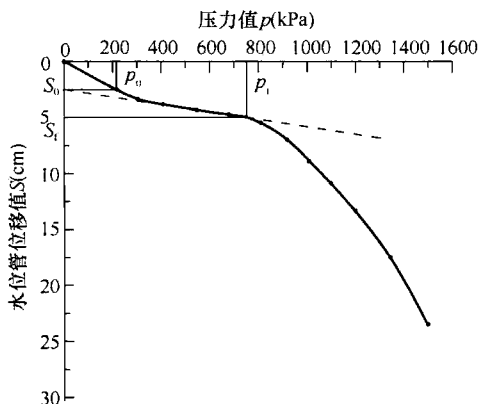


图4 泥质粉砂岩正常的旁压曲线

图 4 曲线完整，初始压力、临塑压力拐点明显；图 5 没有明显的拐点，整个加压过程曲线整体呈线性趋势。同样压力荷载下，图 5 位移大得多，由此可以判定试验土层泡水后软化，土的承压能力大幅降低。

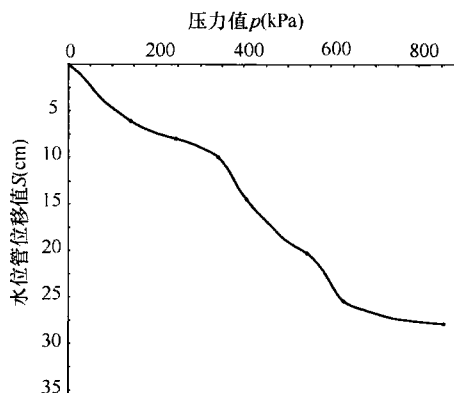


图 5 泥质粉砂岩 2h 后试验的旁压曲线

6.2 自钻式旁压试验成孔

6.2.1 自钻式旁压试验成孔设备有两种，一种是自带液压装置，一种是借助钻机。成孔前应调试设备性能，做好开钻前准备。自钻式旁压器下端为切削器，切削器内为钻头。钻头与切削器刀脚底边的相对位置，关系孔壁土层的扰动程度，在钻进中为防止土层扰动和回水管堵塞，应根据土层性质调整距离。

6.2.2 通过钻杆自重先少许切入土体，可以起到定位作用，也便于钻进。

6.2.5 钻进过程保持贯入速率与回转速率相协调，能充分切碎土层，便于清洗液循环，不易堵塞回水管。某些旁压仪采用恒定钻速，如法国 PAF-76 型旁压仪，要求采用恒定的 0.25m/min 的速率。钻进速度可以根据土类加以选定，对不同土类可按表 2 确定。

表 2 钻进速度建议值

土类及状态	淤泥质土	软塑黏性土	可塑黏性土	稍密粉土	密实砂
速度 (m/min)	0.8~1.2	0.5~0.65	0.2~0.4	0.3~0.5	0.1~0.2

6.2.6 成孔到指定深度后，应停止钻机钻动，并截断循环冲洗液，防止试验段土体扰动。在黏土中自钻会有一定的超孔压出现，应静待超孔压的消散，然后开始试验。

7 现场试验

7.1 一般规定

7.1.1 旁压器长度一般为 450mm~800mm，加上一个 200mm~300mm 的连接接手，其总长度接近 1.0m，若最小试验深度小于 1.0m，则旁压器就不能放置到预定的深度。

7.1.2 旁压试验应保证旁压器量测腔置于同一土层中进行。若旁压器放在两种或两种以上岩土层上时，由于土性软硬差异，致使加荷后弹性膜破裂；即使不破裂，加荷后，在软弱土层处，弹性膜变形大，较硬岩土体弹性膜变形小，旁压曲线失真。

7.1.3 旁压试验钻进到试验位置就应该进行试验，若一次成孔，多段试验，一方面会使成孔时间长，变形过大，成孔坍塌，下放旁压器困难；另一方面，由于钻具多次上下，成孔孔径偏大，影响试验成果的准确性，不允许一次成孔，多段试验。

7.2 预钻式旁压现场试验

7.2.4 由于本标准涉及多种型号的旁压仪设备，所以其具体的试验步骤，应按所用型号的旁压仪操作使用说明进行。

注水操作可按本条规定并结合所使用型号的旁压仪的操作使用说明进行。在此步骤中最重要的是尽可能地排出系统中的空气，以提高试验的精度。在排除导管内空气有难度时，也可按注水步骤，连接旁压器探头前，向导压管中注水，充分排净主机管路和导压管中的空气后，暂停注水，然后再连接旁压器，重新注水，并不断抖动导压管和拍打旁压器。在室外温度低于零度时进行试验，应采取防冻措施，防止水箱、导管冻结无法试验。

7.2.5 在放置旁压器至试验位置的过程中，应将导压管拉直逐段缚在钻杆上，避免在提出旁压器时由于导压管的弯曲而损坏导

压管或旁压器，在试验深度较大时更应注意。

7.2.6 为了保证在临塑压力 p_l 前有足够的测点，以保证连直线段的必要精度，本标准规定试验压力等级取预估临塑压力 p_l 的 $1/5 \sim 1/7$ 。当记录数据表明，变形明显增大，出现拐点，以后的压力增量可以适当加大。

7.2.7 加压速率或各级压力下的观察时间，是旁压试验的一个重要参数。它关系到旁压试验的机理、试验成果的判释和野外作业时间。近年来，国内常用的观测时间有 1min、2min、3min、5min 和 10min。人们将这些归纳为“快法”和“慢法”两种范畴。

根据原规程，全国不少单位曾进行过在各级压力下，采用不同观测时间的对比试验。常州市建筑设计院分别在硬塑状态黏土、可塑状态粉质黏土和流塑状态淤泥三类土层中，进行过在各级压力下，观测时间为 1min、3min、5min 和 10min 的对比试验。青岛市勘测处曾在砂土和粉土中进行过在各级压力下，观测时间为 1min、3min、5min 和 10min 的对比试验，其结果见表 3，表明不同观测时间对临塑压力 p_l 影响极小，而对极限压力 p_{li} 影响较大。对旁压模量 E_m ，仅淤泥有影响外，其他影响不大。

表 3 各级压力下不同观测时间的对比结果

土类	各级压力下观测时间 (min)	临塑压力 p_l (kPa)	极限压力 p_{li} (kPa)	旁压模量 E_m (MPa)
硬塑状态 黏土	1	450	1240	24.6
	3	440	1190	21.6
	5	450	920	19.5
	10	450	860	21.7
可塑状态 粉质黏土	3	175	520	8.7
	5	170	500	9.3
	10	175	480	8.3
流塑状态 淤泥	3	80	22	1.6
	5	80	19.3	1.4
	10	80	15.2	1.0

续表 3

土类	各级压力下观测时间 (min)	临塑压力 p_f (kPa)	极限压力 p_L (kPa)	旁压模量 E_m (MPa)
粉土	1	310	800	7.1
	3	300	675	5.9
	5	300	750	7.6
	10	295	630	6.1
砂土	1	205	610	7.9
	3	220	520	6.4
	5	195	575	9.3
	10	205	700	8.3

中南勘察设计院曾在软黏土及超固结黏土中进行了 9 组快法及慢法对比试验, 其结论是 $p_{f快}/p_{f慢} = 0.95$, 旁压模量 $E_{m快}/E_{m慢} = 1.11$, 表明差异不大。

国外大部分采用观测时间为 1min, 也有 2min 的。

为此, 本标准规定各级压力下观测时间为 1min、2min 或 3min 均可。对于软塑黏性土、淤泥和淤泥质土, 观测时间宜用 2min。

7.2.8 静水压力是指测管水位“0”位到旁压器测腔中点的垂直距离由水柱产生的压力。计算静水压力值应考虑地下水的影响, 可通过公式 (7.2.8) 计算而得。

7.2.9 旁压试验要求呈现被测土体的受压变形到破坏的过程, 因此要求尽量接近或达到土体的极限压力应力状态时终止试验。

1 由于变形过大, 旁压器测量腔扩张体积相当于其固有体积时, 测量管水位下降到测管底部, 无法继续测量其变形量。

2 当测管水位明显大幅度加快变化时, 表明被测土体已接近或到达极限破坏状态, 也有可能弹性膜意外破损。当稳压时间为 1min 时, 15s 记录的数值为 152mm, 30s 记录的数值是 160mm, 60s 记录的数值为 210mm, 30s 与 15s 记录的差值为

8mm, 60s 与 30s 记录的差值为 50mm, 此时后一次的差值大于前一次差值 5 倍, 判定不能稳定。

3 试验压力超过仪器设备的额定压力会造成设备的损坏。

7.2.10 对旁压器进行消压、回水或排水工作, 使弹性膜恢复到原始状态, 以便顺利地由孔中取出旁压器。

7.3 自钻式旁压现场试验

7.3.1 对自钻式旁压试验, 理论上对周围土的扰动最小, 但操作要求严格。自钻完成后, 会出现超孔压, 应静待超孔压的消散, 尤其在黏性土中, 超孔压的消散时间还比较长, 待消散完成才能开始试验。

7.3.2 旁压试验的试验方法分为应力控制和应变控制两类。软弱土控制变形稳定不易, 在应力控制下, 土体会不断发生变形, 不易测出某压力对应变形的增量; 在应变控制下, 只要测出某级应变对应的压力即可。

7.3.5 旁压器在孔内逐级受压的情况下, 孔壁土体变形在旁压试验曲线上呈现初始恢复、拟弹性区、塑性发展三个阶段。初始恢复阶段在 p_0 之前, 反映扰动土的压缩和恢复; 拟弹性阶段压缩和位移大致呈线性变化关系; 塑性发展阶段, 随着压力增加, 位移大幅增加, 直至破坏。土体和金属材料不同, 金属材料在弹性阶段, 应力和应变呈直线关系, 土体几乎没有直线阶段, 加荷一开始就呈非线性的, 拟弹性阶段类似线性, 土体大部为弹性变形, 仅有少部分为塑性变形, 在拟弹性阶段进行加退荷循环, 易形成回滞环。卸荷量可与土的抗剪强度相当, 这样可使加卸荷循环始终处于弹性变化范围内。

7.3.6 加荷初始阶段的小变形很重要, 为确保能采集足够的试验数据, 在加荷初始阶段采用小增量, 比较容易确定初始压力。

7.3.7 目前国内使用较多的是英国剑桥式自钻式旁压仪和法国国道桥式自钻式旁压仪, 设备构造、测试方式有所不同, 原理是一致的。英国剑桥式自钻式旁压仪的探头内装有弹簧式电阻应变传

感器，可测在不同压力下膨胀时的应变值。法国道桥式自钻式旁压仪探头加装自钻装置，测试方法类似预钻式旁压仪。国产如城乡建设综合勘察院 20 世纪 80 年代研制的 MIM-1 型自钻式旁压仪，是以英法两国自钻式旁压仪为基础的改进型，类似英国剑桥式旁压仪，属于单腔、气压应力控制式，操作方式类似英国剑桥式自钻式旁压仪。

8 资料整理及应用

8.0.3 旁压试验基本参数的确定

1 初始压力 p_0 的确定, 国外有取用旁压曲线直线段的起点所对应的压力 p_{0M} , Baguelin (1973) 比较了 p_{0M} 和 p_0 随深度变化的情况, 各个深度的 p_{0M} 都大于 p_0 , 但两条曲线基本平行, 故它们的差值近于常数。通过国内很多工程实践, 以及在同一土层里用不同直径和不同形式的钻具, 由不同的人钻孔做对比试验, 结果表明, 临塑压力 p_f 基本相同, 而直线段的起点 p_{0M} 很不相同。当采用另一种试验, 逐级加压到 p_{0M} 后, 逐级卸压让土回弹, 再重新逐级加压, 所测得 p_{0M} 值明显减小, 同时 p_{0M} 前的曲线形态也随之改变。因此, p_{0M} 很显然不等于 p_0 , 一般情况下 $p_{0M} > p_0$, 见图 6。

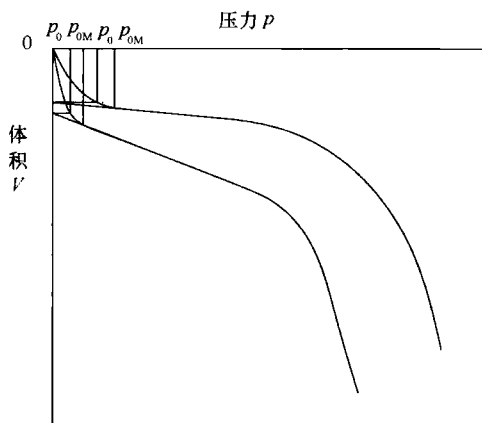


图 6 p_0 受直线斜率影响示意

为此, 国内多年来探索用各种方法求取 p_0 , 目前使用最普

遍一个是作图法，要求在加荷初始阶段采用小增量，尽可能采集较多的试验数据，试验成孔严格按照标准要求进行，有明显的初始阶段。否则可采用本标准第 8.0.3 条规定的算法来确定。

静止土压力系数 K_0 的取值，通常按土类和土的状态来确定。一般认为黏性土的 K_0 大于砂性土的 K_0 。根据国内很多单位的实测资料一般为：软土 0.6~0.7，砂土 0.39~0.51，粉土 0.38~0.46，黏性土 0.43~0.63。本标准简化计算和偏于安全考虑，对于正常固结和轻度超固结的土类，统一取值为：砂土和粉土取 0.5，可塑到坚硬状态的黏性土取 0.6，软塑状态黏性土以及淤泥和淤泥质土取 0.7。对于重度超固结土，按地区经验或试验确定。

旁压器测量腔外径与其对应的钻孔孔壁之间的孔隙体积用测管水位位移值 S_0 （或用体积表示为 V_0 ）来表示，国外采用的是直线的起点 p_{0M} 所对应的体积。由于前面所述的原因， p_{0M} 既不等于 p_0 ，又不易确定。为简化起见，本标准规定旁压曲线直线段延长线与纵轴的交点为 S_0 （或 V_0 ）。这样简化，只影响旁压模量 E_m 的计算中 $\frac{V_0 + V_f}{2}$ 值，带来的整体误差甚微。

2 临塑压力 p_f 的确定，国内自从开展旁压试验以来，大部分习惯直接在旁压曲线上取拐点所对应的压力为临塑压力 p_f 。大量试验资料表明，正常的旁压曲线均有很好的直线段，且拐点明显，临塑压力 p_f 很易确定。只要认真仔细，其误差极小。国外均采用 30s~60s 的体积增量 ΔV_{30-60} 与压力 p 的关系曲线辅助分析确定。其折点所对应的压力为临塑压力 p_f 。对直线段不明显，较难确定临塑压力情况下，也可采用稳压 3min 或 2min 或 1min 时压力与位移增量或压力与体积增量曲线的直线段拐点来确定临塑压力。

3 极限压力 p_L 的确定，旁压试验曲线过临塑压力后，趋向于与纵轴平行的渐进线时所对应的压力为极限压力 p_L ，一般试验压力最大只能加到接近极限压力 p_L 。因为，此时土体接近破

坏,如不及时终止试验,测管里的水位迅速下降,同时旁压器弹性膜迅速膨胀,有引起破裂的危险。为此,本标准规定了终止试验的条件,这样极限压力 p_L 一般需采用推算的方法求得。推算的方法很多,有外推法、倒数曲线、双对数和双倍体积法等。本标准选用了外推法、倒数曲线法,主要考虑这种方法比较简单。

8.0.4 地基承载力特征值 f_{ak} 的确定。

旁压试验目前在国内使用已比较广泛,本次收集了全国大部分地区旁压试验数据成果、工程经验、旁压试验论文、各行业旁压试验有关规程资料进行综合分析研判。在天然地基承载力计算方面方法很多,有些计算方法也比较复杂,经过对极限压力和临塑压力的统计分析,以及对原标准成果进行继承、补充和发展。

在根据旁压试验成果的分析应用中,临塑压力 p_I 和极限压力 p_L 法是目前国内常用的确定地基承载力特征值 f_{ak} 的方法,不同行业在规程中均有相应的规定和建议,一些地区规范根据本地区积累的经验,提出了地方标准。

基于上述情况,本条规定了地基承载力特征值 f_{ak} 的确定方法。

1 地基旁压试验到极限状态时,可由公式(8.0.4)计算确定地基承载力特征值。当极限压力与临塑压力 p_L/p_I 不大于 2 时,可由公式(8.0.4-1)确定;极限压力与临塑压力 p_L/p_I 大于 2 时,由公式(8.0.4-2)计算地基承载力特征值。

根据上海、西安、北京、江苏地区旁压试验统计资料,安全系数黏性土 2.0~2.4,粉土 2.3~3.3,砂土 2.7~3.6。各地区可根据地区经验采用,无经验的可按本标准规定采用。

2 为了检验用旁压试验方法确定地基承载力特征值 f_{ak} 的可靠性,根据现行标准有关规定,载荷试验在各种原位测试中最可靠。也以此作为其他原位试验的对比依据。为此全国很多单位结合工程进行了大量的旁压试验与载荷试验对比,本标准共收到 203 份对比试验资料。由于有些资料存在两种试验深度相差过大。载荷试验未做到比例界限或试验明显反常等情况。经筛选,

选用了 173 份对比资料, 资料按土类分档见表 4, 资料的地区分布见表 5, 资料按深度分档见表 6。

表 4 资料按土类分档

土类	黏性土	黄土	粉土	砂土	淤泥	素填土	其他
资料数	61	56	28	7	6	2	13

表 5 资料的地区分布

地区	江苏	山东	上海	北京	西安	兰州	太原	深圳	四川	青海	天津	厦门	内蒙古
资料数	16	23	4	41	16	35	4	13	13	2	2	3	1

表 6 资料按深度分档

深度 (m)	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9
资料数	73	57	22	9	2	2	1	7

载荷试验确定的地基承载力特征值 f_{ak} , 基本上按原提供资料单位的取值, 只是极少数有明显问题的作了些调整。总之, 所有的取值方法基本是按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 进行。

根据 173 组旁压试验与载荷试验对比资料, 进行了下列内容的回归分析 (为了方便, 采用了简化符号: $f_{ak载}$ 、 $f_{ak旁}$ 分别代表载荷试验和旁压试验确定的地基承载力特征值)。

- 1) 不分土类综合进行 $f_{ak载}-p_f$ 、 $f_{ak载}-f_{ak旁}$ 回归分析, 同时又分试验深度小于或等于 1.5m、大于 3.5m 进行回归分析。
- 2) 分别按黏性土、黄土、粉土和砂土单独进行 $f_{ak载}-p_f$ 、 $f_{ak载}-f_{ak旁}$ 回归分析。
- 3) 以上回归分析结果见附表 7 和图 7, 可以得到如下结论:
 - 1) 所统计的项目相关系数 r 均大于 0.9, 可以认为相关系数显著。
 - 2) 图 7a 的 $f_{ak载}-p_f$ 回归计算的直线在 $f_{ak载}=p_f$ 直线的下方, 表明 $p_f > f_{ak载}$ 。如果直接取 p_f 为地基承载力特征

值 f_{ak} ，则偏于不安全。

- 3) 图 7b 的 $f_{ak\text{载}}-f_{ak\text{旁}}$ 回归计算的直线与 $f_{ak\text{载}}=f_{ak\text{旁}}$ 直线几乎重叠，相关系数特别显著，可以直接取 $f_{ak\text{旁}}$ 作为地基承载力特征值 f_{ak} 。
- 4) 分别按黏性土、黄土、粉土和砂土单独进行回归分析，以及分别按试验深度小于或等于 1.5m 和大于 3.5m 进行回归分析。结果见表 7，表明上面的规律不受土类和试验深度的影响。

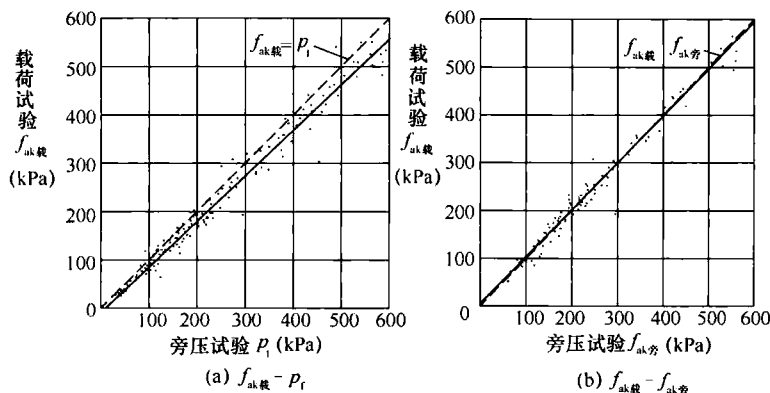


图 7 载荷试验 $f_{ak\text{载}}$ 与旁压试验 p_f 、 $f_{ak\text{旁}}$ 关系

表 7 旁压试验与载荷试验对比资料回归分析结果

土类	项目	回归方程 (kPa)	相关系数 r	频数 n
不分土类 (综合)	$f_{ak\text{载}}-p_f$	$f_{ak\text{载}} = -13.31 + 0.962 p_f$	0.969	173
	$\leq 1.5\text{m}$	$f_{ak\text{载}} = -7.18 + 0.996 p_f$	0.971	41
	$> 3.5\text{m}$	$f_{ak\text{载}} = -11.38 + 0.878 p_f$	0.918	27
	$f_{ak\text{载}}-f_{ak\text{旁}}$	$f_{ak\text{载}} = 8.35 + 0.967 f_{ak\text{旁}}$	0.974	173
	$\leq 1.5\text{m}$	$f_{ak\text{载}} = 3.72 + 1.007 f_{ak\text{旁}}$	0.971	41
	$> 3.5\text{m}$	$f_{ak\text{载}} = 15.39 + 0.950 f_{ak\text{旁}}$	0.923	27
黏性土	$f_{ak\text{载}}-p_f$	$f_{ak\text{载}} = -3.83 + 0.953 p_f$	0.963	61
	$f_{ak\text{载}}-f_{ak\text{旁}}$	$f_{ak\text{载}} = 15.01 + 0.964 f_{ak\text{旁}}$	0.970	61

续表 7

土类	项目	回归方程 (kPa)	相关系数 r	频数 n
黄土	$f_{ak载} - p_f$	$f_{ak载} = -14.57 + 0.942 p_f$	0.940	56
	$f_{ak载} - f_{ak旁}$	$f_{ak载} = 8.99 + 0.943 f_{ak旁}$	0.955	56
粉土	$f_{ak载} - p_f$	$f_{ak载} = 14.73 + 0.825 p_f$	0.933	28
	$f_{ak载} - f_{ak旁}$	$f_{ak载} = 35.34 + 0.832 f_{ak旁}$	0.906	28
砂土	$f_{ak载} - p_f$	$f_{ak载} = 12.15 + 0.890 p_f$	0.992	7
	$f_{ak载} - f_{ak旁}$	$f_{ak载} = 20.58 + 0.908 f_{ak旁}$	0.997	7

4 用旁压试验确定地基承载力特征值 f_{ak} 的精确度、误差和安全度分析。

- 1) 根据上述回归分析得出结论, 采用本标准第 8.0.4 条, 确定的地基承载力特征值 f_{ak} , 与载荷试验结果有极好的相关关系, 可以直接应用于工程。多年来, 各地积累了丰富的工程实践经验。现将上述的 173 组资料, 进行 $f_{ak载} = f_{ak旁}$ 相关分析, 其结果见表 8, 充分表明精确度高, 误差小。

表 8 $f_{ak载} = f_{ak旁}$ 相关分析、精确度与误差

土类	相关系数	频数 n	精确度与误差 (%)					
			<0.8	0.9~1.1	0.85~1.15	0.8~1.2	>1.1	>1.2
不分土类	0.974	173	4.1	69.9	83.2	91.9	13.9	4.0
不分土类 $\leq 1.5m$	0.970	41	7.3	68.3	78.1	90.3	12.2	2.4
不分土类 $> 3.5m$	0.921	27	3.7	59.3	81.5	92.6	14.8	3.7
黏性土	0.968	61	3.3	70.5	82.0	93.5	9.8	3.3
黄土	0.953	56	5.4	69.6	78.6	89.3	17.9	5.4
粉土	0.884	28	3.6	67.9	89.4	93.0	10.7	3.6
砂土	0.991	7	0	85.7	100	100	14.3	0

2) 安全度分析

近似地把旁压试验的极限压力与临塑压力之比 p_L/p_f 作为安全系数, 以 173 组旁压试验与载荷试验对比资料为依据, 经统计, 结果见表 9, 十三个地区的安全系数平均为 2.12, 最小安全系数为 1.7。本标准规定 p_L/p_f 小于 2 时, 采用 $\frac{p_L}{2} - p_0$ 确定地基承载力特征值, 说明有足够的安全度。

表 9 各地区 p_L/p_f 值统计表

地区	北京	江苏	山东	上海	天津	厦门	兰州	西安	太原	深圳	四川	青海	内蒙古
范围	1.9~ 3.8	1.6~ 2.6	1.6~ 2.6	1.6~ 1.8	1.5~ 1.7	1.7~ 2.3	1.6~ 3.4	1.7~ 2.4	1.6~ 3.1	1.9~ 2.5	1.7~ 3.0	2.0~ 2.4	1.7
平均	2.8	2.1	2.0	1.7	1.6	1.9	2.4	2.0	2.6	2.2	2.4	2.2	1.7
频数	41	16	23	4	2	3	35	16	4	13	13	2	1

8.0.6 旁压模量的确定

目前国际上大部分国家把旁压试验得到的模量, 称为旁压模量。苏联国标规定用旁压仪现场测定的模量为变形模量。不管何种形式, 其共同点是: 模量是孔径大小、对 S 轴或 V 轴的斜率 $\Delta P/\Delta S$ 或 $\Delta P/\Delta V$ 和 μ 三方面的函数。本标准根据目前国内倾向性意见, 规定采用旁压模量, 由标准公式 (8.0.6-1) 或公式 (8.0.6-2) 计算, 这样有利于与国内外交流。

鉴于我国现行规范均采用压缩模量 E_s , 为了满足工程应用需要, 可由旁压模量 E_m 换算成压缩模量 E_s , 办法是各地区可对各类土进行旁压试验与压缩试验对比, 建立旁压模量 E_m 和压缩模量 E_s 回归方程, 计算得到压缩模量 E_s 。

8.0.8 评价软黏土不排水抗剪强度的方法很多, R. J. Mair (1987) 提出的 $C_u = (p_L - p_0)/N_P$, $N_P = 6.18$, 经过全国各地多年使用, 和其他原位测试、土工试验手段对比, 取得了满意的效果。表 10 是上海岩土工程勘察设计研究院有限公司, 对上海浦东陆家嘴地区 4 个工程黏性土不排水抗剪强度试验对比资料, 具

有一定的代表性。

表 10 黏性土不排水抗剪强度

土类	三轴 UU 试验 S_u (kPa)	无侧限试验 $q_u/2$ (kPa)	旁压试验 C_u (kPa)	与三轴 UU 试验的 相对误差 (%)
②粉质黏土	52	48	49	+5.7
③淤泥质粉质黏土	38	36	36	+5.2
④淤泥质黏土	39	35	40	-2.6
⑤粉质黏土	62	60	61	+1.6
⑥粉质黏土	160	135	157	+1.9

8.0.10 预钻式旁压试验成果显示的为 p - S 或 p - V 曲线, ΔS 或 ΔV 增量较易确定, 确定 Δr 有一定难度, 可以通过 $\Delta r = \Delta V / 2\pi r L$ 进行换算, 这里的 r 为旁压探头半径, L 为旁压探头测量腔长度。若采用 p - S 曲线, 体积增量 ΔV 与位移增量 ΔS 之间的关系是 $\Delta V = \Delta S F$ (F 为测管内截面积)。

通过公式 $K_m = \Delta p / \Delta r$ 估算的侧向基床系数比其他手段获得的水平基床系数和经验值要大得多。这是因为通过公式 $K_m = \Delta p / \Delta r$ 估算时, Δp 取值采用拟弹性段的塑限压力与初始压力的差值, 以及对应的孔隙半径差。 K_m 体现的旁压试验 (拟) 弹性阶段的侧向基床系数, 而实际工程中 K_m 值多处于弹-塑性阶段或塑性阶段, 故以此计算的值偏大, 在工程中采用旁压试验确定水平基床系数, 因根据不同土性, 应力条件进行修正, 公式 (8.0.10-1) 采用了修正系数 β , 根据全国多个工程旁压试验成果与土工试验、标贯试验、扁铲试验以及地方经验值比较后确定, 表 11 是旁压试验侧向基床系数比较表。

表 11 旁压试验侧向基床系数比较表

试验深度	土类	拟弹性区 $\Delta p / \Delta r$ (kN/m ³)	弹塑性区 $\Delta p / \Delta r$ (kN/m ³)	塑性区 $\Delta p / \Delta r$ (kN/m ³)	水平基床系数经验值 (kN/m ³)	经验值/ 拟弹性区
10m	淤泥质黏土	50000	22000	12500	10000	0.2

续表 11

试验 深度	土类	拟弹性区 $\Delta p / \Delta r$ (kN/m ³)	弹塑性区 $\Delta p / \Delta r$ (kN/m ³)	塑性区 $\Delta p / \Delta r$ (kN/m ³)	水平基床系 数经验值 (kN/m ³)	经验值/ 拟弹性区
20m	粉质黏土	70000	50000	25000	20000	0.28
27m	粉质黏土	130000	80000	60000	50000	0.38
33m	砂质粉土	200000	120000	85000	75000	0.37

附录 D 记录表格式

为了便于记录表格式的理解和工程应用,通过一个工程实例,从现场记录至资料整理的过程进行示范,帮助工程技术人员准确地掌握试验标准。

表 12 旁压试验记录表

工程名称 ××××× 孔口高程 4.58m
 试验编号 P1-1 膜编号 膜 1#
 仪器型号 PM-1A 试验日期 ××××年××月××日

试验深度 Z (m)		3.4		测管水面距孔口 高度 H (m)		1.3		测腔受静水压力 p_w (kPa)		28	
钻孔中水位距孔口高度 h_w (m)				1.5		是否带金属保 护套		不带		成孔工具 勺型钻	
上层描述		表层 1.10m 为杂填土,较松散,下部为黏土,褐黄色,硬塑									
顺 序 号	压力 p (kPa)				测管水位位移值 S (cm) (累计数)				仪器综合 变形校 正值 α ($p_m +$ p_w)	校正 后 S	1/ S
	记录仪 或表 读数 p_m	总压力 $p_m + p_w$	弹性 膜约 束力 p_i	校正 后压 力 p	S_m						
					30s	60s	120s	ΔS			
1	0	28.0	27.8	0.2	2.9	2.9	2.9	0.0	0.028	2.872	
2	50	78.0	45.2	32.8	7.0	7.0	7.0	0.0	0.078	6.922	
3	100	128.0	52.8	75.2	10.0	10.1	10.1	0.1	0.128	9.972	
4	150	178.0	56.0	122.0	11.6	11.7	11.7	0.1	0.178	11.522	
5	200	228.0	57.6	170.4	12.6	12.7	12.7	0.1	0.228	12.472	
6	250	278.0	59.0	219.0	13.6	13.6	13.7	0.1	0.278	13.122	
7	300	328.0	60.3	267.7	14.6	14.7	14.7	0.1	0.328	14.375	
8	350	378.0	61.5	316.5	15.6	15.6	15.7	0.1	0.378	15.322	
9	400	428.0	62.9	365.1	16.4	16.6	16.8	0.1	0.428	16.372	
10	450	478.0	64.5	413.5	17.4	18.0	18.2	0.8	0.478	17.722	
11	500	528.0	67.0	461.0	19.3	20.0	20.5	1.2	0.528	19.972	0.050
12	550	578.0	70.1	507.9	22.2	23.0	23.8	1.6	0.578	23.222	0.043
13	600	628.0	73.4	554.6	26.2	27.2	28.2	2.0	0.628	27.572	0.036
14	650	678.0	77.3	601.7	31.3	32.5	33.7	2.4	0.678	33.025	0.030

项目负责人: ××× 试验: ××× 计算: ××× 校核: ×××

用校正后的压力 p 和校正后的变形 S 绘制旁压曲线 (图 8), 从中得到: $S_0 = 8.7\text{cm}$, $S_f = 16.0\text{cm}$, $p_f = 350\text{kPa} = 0.35\text{MPa}$, $p_L = 690\text{kPa}$ 。

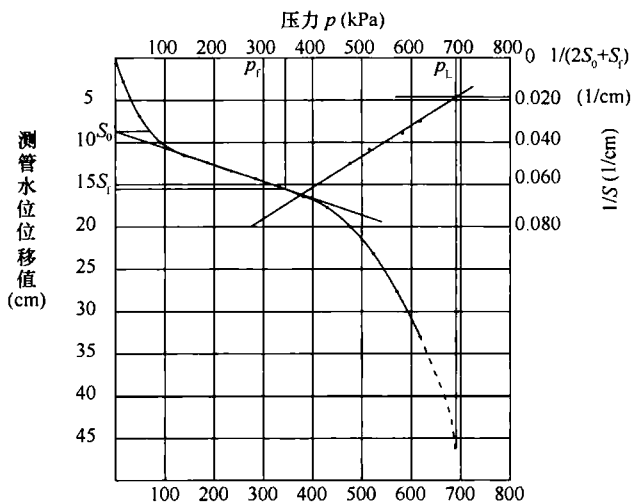


图 8 旁压曲线

已知试验段黏土层有关指标: $K_0 = 0.6$, $r = 20\text{kN/m}^3$, $r_w = 20\text{kN/m}^3$

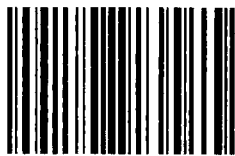
$$\begin{aligned}\text{静止土压力 } p_0 &= K_0 r z + u = K_0 r z + r_w (Z - h_w) \\ &= 0.6(20 \times 1.5 + 10 \times 1.9) + 10(3.4 - 1.5) \\ &= 48.4\text{kPa}\end{aligned}$$

用临塑压力 p_f 确定地基承载力特征值 f_{ak} :

$$f_{ak} = \lambda(p_f - p_0) = 1 \times (350 - 48.4) = 301.6\text{kPa}$$

根据第 8.0.6 条规定, 计算旁压模量 E_m :

$$\begin{aligned}E_m &= 2(1 + \mu) \left(S_c + \frac{S_0 + S_f}{2} \right) \frac{\Delta p}{\Delta S} \\ E_m &= 2(1 + 0.38) \left(34 + \frac{8.7 + 16}{2} \right) \frac{0.35 - 0}{16 - 8.7} = 6.1\text{MPa}\end{aligned}$$



1 5 1 1 2 3 2 4 7 3

统一书号：15112 · 32473
定 价： 16.00 元