

ICS 93. 020

CCS P14

团体标准

T/CECAS 200XX-2026

岩土工程勘察微水试验规程

Code of Slug Tests in Geotechnical Engineering

(征求意见稿)

202X-XX-XX发布

202X-XX-XX实施



中国勘察设计协会 发布

前 言

根据《中国勘察设计协会2024年团体标准制修订项目工作计划》（中设协字〔2024〕45号）文件要求，按照《中国勘察设计协会工程建设团体标准编写规定》（中设协字〔2025〕24号）的规定，编制组在深入开展调查研究、系统总结工程实践经验、充分借鉴国内相关标准的基础上，经广泛征求意见和多次论证，完成了《岩土工程勘察微水试验规程》的编制工作。

本规程主要内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.仪器设备；5.现场试验；6.资料整编。请注意，本规程部分技术内容可能涉及专利，相关专利技术的实施应用，请标准使用者直接与主编单位联系协商。本协会作为标准发布机构，不承担专利识别及专利争议处理责任。

本规程由中国勘察设计协会归口管理，中国勘察设计协会岩土工程与工程测量分会负责日常管理工作，黄河勘测规划设计研究院有限公司承担具体技术内容的解释工作。执行过程中如有修改建议或意见，请寄送解释单位（通讯地址：河南省郑州市金水路109号，邮政编码：450003）。

主编单位：黄河勘测规划设计研究院有限公司

参编单位：河海大学

长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）

上海勘察设计研究院（集团）股份有限公司

河南省地质局生态环境地质服务中心

机械工业勘察设计研究院有限公司

北京市地质环境监测所

主要起草人：

主要审查人：

目 次

前 言	1
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 仪器设备	7
4.1 水头激发设备	7
4.2 止水栓塞	8
4.3 过滤器	8
4.4 数据采集设备	8
5 现场试验	9
5.1 一般规定	9
5.2 现场准备	9
5.3 试验设备安装	9
5.4 试验操作	10
6 资料整编	13
6.1 试验资料整理	13
6.2 渗透性参数计算	13
6.3 试验报告编制	13
附录 A 微水试验记录表格	14
附录 B 微水试验常用模型	18
附录 C 微水试验参数计算	30
附录 D 微水试验设备结构及安装	35
本规程用词说明	38
引用标准名录	39
条文说明	40

1 总则

1.0.1 为规范岩土工程勘察中的微水试验方法，确定含水层渗透性及了解相关水文地质条件，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于岩土工程勘察中地下水位以下岩土体的原位渗透性测试工作。水利、能源、交通、桥隧等行业可参照执行。

1.0.3 岩土工程微水试验除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

中国勘察设计协会

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 微水试验 slug test

通过人为激发方式使井(孔)内水位产生瞬时变化,借助水位恢复过程分析,测定饱和岩土体渗透性参数的水文地质原位试验方法。

2.1.2 注水式微水试验 injection slug test

通过向井(孔)内瞬时注入一定水量作为激发方式的微水试验。

2.1.3 抽水式微水试验 pumping slug test

通过抽水设备从井(孔)内瞬时抽取一定水量作为激发方式的微水试验。

2.1.4 提水式微水试验 bail slug test

通过提水容器从井(孔)内瞬时提出一定水量作为激发方式的微水试验。

2.1.5 冲击式微水试验 solid-slug test

通过向井(孔)内瞬时投入或提出密度大于水的固体介质产生水位脉冲的微水试验。

2.1.6 气压式微水试验 pneumatic slug test

通过向井(孔)内密封段瞬时施加气压脉冲作为激发方式的微水试验。

2.1.7 激发水头 induced head

通过人为激发方式引起井(孔)内水位波动的瞬时变化量。

2.1.8 冲击棒 slug rod

用于瞬时改变井(孔)内水位的柱状固体激发装置。

2.1.9 过滤器 screen assembly

设置于井(孔)含水层段,具有滤水、挡砂及护壁功能的装置。

2.1.10 预试验 pilot test

为验证试验方案可行性及设备适用性,在正式试验前进行的预演性试验。

2.2 符号

K ——渗透系数；
 T ——导水系数；
 S ——贮水系数；
 Q ——注（抽）水量；
 r_c ——套管半径；
 r_w ——过滤器半径；
 R_e ——有效影响半径；
 H ——地下水位；
 H_0 ——初始地下水位；
 w —— t 时刻井（孔）水位相对于初始地下水位的变化量；
 w_0 ——瞬时水位变化后，即刻的井（孔）水位相对于初始地下水位的变化量；
 b ——含水层厚度；
 q ——过滤器单位面积流量；
 L_k ——过滤器的长度；
 L_e ——有效水柱长度；
 ζ ——阻尼系数；
 F ——形状系数；
 T_0 ——特征时间；
 L ——Bouwer-Rice 模型初始地下水位到井（孔）底的距离；
 D ——Bouwer-Rice 模型初始地下水位到含水层底板的距离；
 A 、 B 、 C ——Bouwer-Rice 模型无量纲参数。

3 基本规定

3.0.1 试验前应根据试验井（孔）结构及水文地质条件编制试验设计，并应开展预试验。

3.0.2 试验设计应包括下列内容：

- 1 试验目的、试验方法及试验层位；
- 2 试验井（孔）结构参数、成孔工艺、过滤器类型、规格及安装标准，洗孔与止水的技术要求；
- 3 水头激发方式、激发高度及试验设备技术指标；
- 4 现场试验操作规程与数据记录要求；
- 5 参数计算适用模型及公式。

3.0.3 微水试验的试验井（孔）宜结合岩土工程勘察钻孔或管井开展，其直径宜为 50mm~800mm。试验井（孔）的钻进与成孔工艺应符合下列规定：

- 1 试验井（孔）宜采用清水钻进；
- 2 井（孔）壁稳定性不足时，可采用泥浆等护壁冲洗液钻进；
- 3 试验井（孔）完成后应及时洗孔，确保水位动态响应灵敏；
- 4 试验管井的设计、施工及洗井应符合现行国家标准《管井技术规范》GB 50296 的规定；试验钻孔的设计、施工及洗孔应符合相关行业标准的规定。

3.0.4 试验井（孔）中的试验段设置应符合下列规定：

- 1 当垂向渗透性存在显著差异时，应进行分段试验；
- 2 试验段应与过滤器的安装位置严格对应；
- 3 试验段不应跨越井（孔）变径处，也不应跨越渗透性有明显差异的含水层；
- 4 试验段长度宜大于 0.5m。

3.0.5 微水试验激发方式选择宜符合下列规定：

- 1 强渗透性（ $10^{-2}\text{cm/s} \leq K < 10^{-1}\text{cm/s}$ ）含水层宜优先采用气压式或抽水式激发方式；
- 2 地下水位埋深小于 10m 的微~中等渗透性（ $10^{-6}\text{cm/s} \leq K < 10^{-2}\text{cm/s}$ ）含水层宜采用注水式、抽水式、提水式或冲击式等激发方式；

3 地下水位埋深大于 10m 的微~中等渗透性 ($10^{-6}\text{cm/s} \leq K < 10^{-2}\text{cm/s}$) 含水层宜采用注水式或气压式激发方式。

3.0.6 试验激发水头宜控制在 0.5m~2.0m 范围内, 并应符合下列规定:

- 1 微~弱渗透性 ($K < 10^{-4}\text{cm/s}$) 含水层中, 激发水头高度宜大于 0.5m;
- 2 中等渗透性 ($10^{-4}\text{cm/s} \leq K < 10^{-2}\text{cm/s}$) 含水层中, 激发水头高度宜大于 1.0m;
- 3 强渗透性 ($10^{-2}\text{cm/s} \leq K < 10^{-1}\text{cm/s}$) 含水层中, 激发水头高度宜大于 1.5m。

3.0.7 试验水头激发过程持续时间宜小于 5.0s。

3.0.8 试验数据应采用自动化采集系统记录与存储。

4 仪器设备

4.1 水头激发设备

4.1.1 注水式微水试验设备应符合下列规定：

- 1 配备专用注水器或水泵注水系统；
- 2 注水器宜采用漏斗形结构并设置容积刻度标识，注水口应配置快速启闭阀门装置；
- 3 注水器容积应根据设计激发水头高度和井（孔）直径等参数估算确定；
- 4 水泵注水系统应配备水泵及流量控制装置，确保注水量可控；出水口宜置于地下水位以下大于0.5m。
- 5 试验用水的水质不应劣于试验井（孔）的地下水水质。

4.1.2 抽水式微水试验设备应符合下列规定：

- 1 水泵型号及规格应根据设计激发水头高度、地下水位埋深、过滤器直径及含水层渗透性等参数估算确定；
- 2 抽水设备应选择带逆止阀的水泵。

4.1.3 提水式微水试验设备应符合以下规定：

- 1 提水容器直径宜为井（孔）直径的0.5倍~0.8倍，当试验井（孔）直径大于200mm时，可适当减小；
- 2 提水容器长度宜按设计激发水头高度的1.5倍~4.0倍确定，当试验井（孔）直径大于200mm时，可适当增加，且提水容器长度应小于井（孔）内水深；
- 3 提水容器的上端宜采用可降低水花的流线型形状，底部应设置自动启闭进水口。

4.1.4 冲击式微水试验设备应符合以下规定：

- 1 冲击棒直径宜为井（孔）直径的0.5倍~0.8倍，当试验孔直径大于200mm时，可适当减小；
- 2 冲击棒长度宜按设计激发水头高度的1.5倍~4.0倍确定，当试验孔直径大于200mm时，可适当增加，且冲击棒的长度应小于井（孔）内水深；
- 3 冲击棒的入水端宜采用可降低水花的流线型形状。

4.1.5 气压式微水试验设备应包括电源、空气压缩机、压力表和孔口密封转换装

置等组件，空气压缩机的工作压力应大于0.6MPa。

4.2 止水栓塞

4.2.1 进行分段微水试验时，成井（孔）时应做好管外分层止水，且应采用止水栓塞对试验段实施有效封隔。止水栓塞应满足下列要求：

- 1 栓塞类型宜选用水压式或气压式；
- 2 栓塞长度应大于试验井（孔）直径的8倍；
- 3 栓塞应止水可靠。

4.3 过滤器

4.3.1 微水试验中过滤器的设置应符合下列规定：

- 1 第四系松散层管井中的试验井（孔）应安装过滤器；
- 2 基岩钻孔中的试验井（孔）可根据井（孔）壁稳定状况及试验要求，确定是否安装过滤器，井（孔）壁稳定时可不安装过滤器。
- 3 多层含水层中的试验井（孔），其过滤器应对各含水层采取分层止水措施。

4.3.2 过滤器的选型及安装应符合下列规定：

- 1 宜选用骨架过滤器、包网过滤器、缠丝过滤器或填砾过滤器；
- 2 过滤器长度应依据试验含水层厚度及试验段长度综合确定；
- 3 过滤器技术参数及滤料规格应符合现行国家标准《供水水文地质勘察标准》GB/T50027、《管井技术规范》GB50296和相关行业标准的有关规定。

4.4 数据采集设备

4.4.1 微水试验数据采集宜采用集成化设备。设备应具备数据自动采集、实时传输、存储及显示等功能，包含压力传感器和数据采集系统等模块。设备选型应符合下列要求：

- 1 压力传感器的测量精度宜高于1mm，其量程范围宜为0m~10m水柱；
- 2 数据采集系统的采样频率应可调，其调节范围宜为1Hz~10Hz。

5 现场试验

5.1 一般规定

5.1.1 对于自建井（孔），现场试验工作应系统开展成井（孔）、洗井（孔）、过滤器安装、试验段隔离、传感器安装、水位测量、水头激发、水位观测与记录等工作流程。过滤器安装和试验段隔离的实施，应依据含水层介质类型及试验类型确定。

5.1.2 对于既有井（孔），试验前应对井（孔）的结构参数、含水层特征及成井（孔）工艺等基础信息进行全面调查与分析。调查内容包括井（孔）直径、深度、井（孔）壁结构、过滤器规格等参数；含水层水位、地层结构、颗粒组成、厚度、岩溶及裂隙发育程度等水文地质特征；井（孔）施工异常位置、钻井（孔）液漏失量、洗井（孔）出水情况等工艺参数。

5.1.3 应根据场地水文地质条件和预试验成果，确定符合试验设计的水头激发方式、激发强度及数据采集频率等技术指标。

5.2 现场准备

5.2.1 试验前应对试验井（孔）进行编号，测定并详细记录其坐标、初始静水位、试验段顶底板高程，以及大气压力和气温等环境参数。

5.2.2 试验实施前，应对所有设备进行系统性检查与调试，确保压力传感器、数据采集系统等设备处于正常工作状态。

5.2.3 试验记录宜采用标准化的数据记录表格，格式可参考附录A.1-1~A.1-3。记录内容应完整、准确，确保试验数据的可追溯性。

5.3 试验设备安装

5.3.1 根据4.3.1条的规定确定试验井（孔）是否需要安装过滤器。过滤器安装应符合下列规定：

- 1 完整井（孔）的过滤器应覆盖整个含水层，非完整井（孔）的过滤器应准确定位于试验段位置，并确保过滤器连接部位密封可靠；

- 2 过滤器安装过程中应设置导正器，保证井管位于井（孔）中心；

3 包网或缠丝过滤器应确保结构完整和外观平整；

4 过滤器与井（孔）壁间隙应分层回填合格砾料，其质量和规格应符合《管井技术规范》GB50296和相关行业标准的有关规定；

5 砾料回填时，单次填入高度宜小于0.8m，套管靴内保留高度宜大于0.2m，最终回填顶面应超出过滤器工作段顶端约0.5m。

5.3.2 分段微水试验的止水作业应符合下列规定：

1 第四系松散层试验段的止水应参照现行行业标准《水利水电工程注水试验规程》SL345的规定执行；

2 基岩试验段的止水栓塞应设置在岩体完整段，宜优先选用气压式或水压式栓塞，并确保栓塞定位准确。当栓塞位于岩体破碎段时，可调整试验段长度。

5.3.3 压力传感器安装应紧贴井（孔）壁布置，在试验全过程中保持位于最低水位以下大于1.0m。

5.3.4 注水式试验设备的安装应满足下列要求：注水器置于井（孔）口，安装稳固且调平；注水口置于试验孔内，快速启闭阀门有效且可靠。

5.3.5 抽水式试验设备的安装应满足下列要求：水泵流量与扬程符合试验设计要求；水泵与电源、管路连接可靠，进水口深度控制在试验时最低水位以下大于2.0m。

5.3.6 提水式试验设备的安装应满足下列要求：井（孔）口导向轮和闭锁装置等有序安装，闭锁装置有效且可靠，绳索规范连接和安装；提水容器应保持位于井（孔）中心，且升降顺畅、迅速。

5.3.7 冲击式试验设备的安装应满足下列要求：井（孔）口导向轮和闭锁装置等有序安装，闭锁装置有效且可靠，绳索规范连接和安装；冲击棒应保持位于井（孔）中心，且升降顺畅、迅速。

5.3.8 气压式试验设备的安装应满足下列要求：孔口密封转换装置与钻孔直径匹配，且安装牢靠；进（排）气阀门按顺序安装且保持打开状态，并与加压设备连接可靠，加压系统经密封性检测合格。

5.3.9 电气设备、水泵、空气压缩机等动力设备的安装及使用，应符合国家现行用电安全技术规范的有关规定。

5.4 试验操作

5.4.1 微水试验操作的准备工作应符合下列规定：

- 1 压力传感器放入孔内，放置深度符合试验设计要求；
- 2 安装、调试水头激发设备和数据采集设备，确保设备工作正常；
- 3 在放置压力传感器、水头激发设备等进入地下水前后，均应测量地下水位；
- 4 气压式微水试验的准备工作应与孔口密封转化装置的安装协同进行；
- 5 在水头激发操作前，应开启数据采集设备；
- 6 应根据试验设计开展预试验，确定满足试验要求的水头激发方式、水头激发高度等参数。

5.4.2 注水式微水试验的操作步骤应符合下列规定：

- 1 向注水器注入符合设计要求的水量；
- 2 快速开启注水阀门实施注水，注水完成后立即关闭阀门并移除注水器；
- 3 记录地下水位动态变化过程；
- 4 水位恢复稳定的标准：观测地下水位恢复至初始值，或连续5min水位波动不超过1.0cm；
- 5 试验结束的标准：达到水位恢复标准后，延续观测1min~2min后方可正式结束试验。

5.4.3 抽水式微水试验的操作步骤应符合下列规定：

- 1 根据预试验确定设计降深、抽水量、抽水时长等参数，按照设计抽水量启动水泵并计时，达到设计抽水时长后立即停泵；
- 2 记录地下水位动态变化过程，根据5.4.2条第5款规定结束试验。

5.4.4 提水式微水试验的操作步骤应符合下列规定：

- 1 试验前通过导向系统将提水容器定位于井（孔）中心，并标记设计提升幅度；
- 2 将提水容器缓慢匀速沉入水下，待水位恢复至符合5.4.2条第4款规定，在5s内快速将提水容器提出水面并移至井（孔）外；
- 3 记录地下水位动态变化过程，根据5.4.2条第5款规定结束试验。

5.4.5 冲击式微水试验可分为放入和提出两个独立试验阶段，每个阶段均可以单独视为一组微水试验。冲击式微水试验的操作步骤应符合下列规定：

- 1 利用导向轮和闭锁装置将冲击棒准确定位于试验井（孔）中心，置于水面

以上0.5m~1.0m处，并标记设计放入长度。

2 打开闭锁装置，将冲击棒在5s内沉入初始地下水位以下，达到设计下放深度后重新锁定闭锁装置；

3 记录地下水位动态变化，根据5.4.2条第5款规定结束冲击棒放入阶段的微水试验；

4 上述步骤结束后，开展冲击棒提出阶段的微水试验，在5s内将冲击棒快速提出水面，并移至井（孔）外；

5 记录地下水位动态变化，根据5.4.2条第5款规定结束试验。

5.4.6 气压式微水试验的操作步骤应符合下列规定：

1 启动空气压缩机，完成压缩空气的储气；

2 关闭孔口密封转换装置的排气阀，打开进气阀，启动充气，待压力稳定或达到设计压力值后立即关闭进气阀，同时打开排气阀；

3 记录地下水位动态变化，根据5.4.2条第5款规定结束试验。

6 资料整编

6.1 试验资料整理

6.1.1 原始试验数据应经过系统整理和现场校核。发现异常数据现场分析和解决，无法确定异常原因时应重做试验，确保试验数据的真实性和可靠性。自动采集的水位数据可参考附录 A.1-4 的格式进行整理。

6.1.2 应利用复核后的数据绘制水位—时间动态、无量纲水位变化量—时间对数关系等曲线。

6.2 渗透性参数计算

6.2.1 渗透性参数计算应基于完整、规范的试验资料整理工作，确保原始数据的准确性和可靠性。

6.2.2 承压含水层微水试验宜选择CBP模型、Hvorslev模型、Kipp模型；潜水含水层微水试验宜选择Bouwer-Rice模型。参数计算应依据试验段含水层结构特征和水文地质条件，选择附录B中的理论模型和附录C中的计算方法。

6.2.3 现场条件具备时，水文地质参数宜采用多种水文地质原位试验方法计算，对比分析计算结果。

6.3 试验报告编制

6.3.1 试验报告应由文字和图表两部分组成。

6.3.2 文字部分宜包含试验目的与任务、试验场区水文地质条件、试验井（孔）结构、试验方法与技术参数、试验过程与异常情况处理、成果分析与评价、结论与建议等内容。

6.3.3 图表部分宜包括试验场地平面布置图、试验井（孔）结构示意图、水位—时间动态曲线图、无量纲水位变化量与时间对数关系曲线图、基本数据与计算成果汇总表等，图表制作应规范清晰。

附录 A 微水试验记录表格

A.1 注水（抽水、提水）式微水试验数据记录宜符合表 A.1-1 的规定。各试段的原始水位数据记录宜符合 A.4 的规定。

表 A.1-1 注水（抽水、提水）式微水试验数据记录表

工程名称								工程部位					试验孔号			
试验点坐标		X						试段编号				变径深度（m）				
		Y						含水层顶板深度（m）				试段岩性				
		Z						含水层底板深度（m）				过滤器类型/型号				
序号	开始时间			结束时间			初始水位 （m）	试段顶高 程（m）	试段底高 程（m）	传感器深 （m）	套管半径 （m）	滤管半径 （m）	注（抽、 提）水量 （L）	采样频率 （Hz）	备注	
	日	时	分	日	时	分										

记录：

校核：

日期：

A.2 冲击式微水试验数据记录宜符合表 A.2-1 的规定。各试段的原始水位数据记录宜符合 A.4 的规定。

表A.2-1 冲击式微水试验数据记录表

工程名称				工程部位				试验孔号							
试验点坐标	X			试段编号				变径深度 (m)							
	Y			含水层顶板深度 (m)				试段岩性							
	Z			含水层底板深度 (m)				过滤器类型/型号							
序号	开始时间			结束时间			初始水位 (m)	试段顶高程 (m)	试段底高程 (m)	传感器深度 (m)	套管半径 (m)	滤管半径 (m)	冲击棒体积 (L)	采样频率 (Hz)	备注
	日	时	分	日	时	分									

记录:

校核:

日期:

A.3 气压式微水试验数据记录宜符合表 A.3-1 的规定。各试段的原始水位数据记录宜符合 A.4 的规定。

表A.3-1 气压式微水试验数据记录表

工程名称							工程部位						试验孔号					
试验点坐标		X					试段编号						变径深度（m）					
		Y					含水层顶板深度（m）						试段岩性					
		Z					含水层底板深度（m）						空气压缩机型号/功率					
													过滤器类型/型号					
序号	开始时间			结束时间			初始水位 （m）	试段顶高程 （m）	试段底高程 （m）	传感器深度 （m）	套管半径 （m）	滤管半径 （m）	孔内最大 压力 （MPa）	加压时长 （s）	采样频率 （Hz）	备注		
	日	时	分	日	时	分												

记录:

校核:

日期:

A.4 微水试验水位原始数据记录表宜符合表 A.4-1 的规定。

表A.4-1 微水试验水位原始数据记录表

工程名称					工程部位		试验孔号				
试验点坐标		X			试段编号		变径深度（m）				
		Y			大气压力（Pa）		试段位置/岩性				
		Z			试验开始时间		试验结束时间				
序号	试验时间			实测压力（Pa）	孔内水位（m）	序号	试验时间			实测压力（Pa）	孔内水位（m）
	时	分	秒				时	分	秒		

记录：

校核：

日期：

由此

$$w = w_0 F(\alpha, \beta) \quad (\text{B.1.3-2})$$

其中,

$$\alpha = \frac{r_w^2 S}{r_c^2} \quad (\text{B.1.3-3})$$

$$\beta = \frac{Tt}{r_c^2} \quad (\text{B.1.3-4})$$

$$w_0 = \frac{V}{\pi r_c^2} \quad (\text{B.1.3-5})$$

$$F(\alpha, \beta) = \frac{8\alpha}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{\exp(-\beta u^2 / \alpha)}{uf(u, \alpha)} du \quad (\text{B.1.3-6})$$

$$u = \frac{r^2 S}{4Tt} \quad (\text{B.1.3-7})$$

$$f(u, \alpha) = [uJ_0(u) - 2\alpha J_1(u)]^2 + [uY_0(u) - 2uY_1(u)]^2 \quad (\text{B.1.3-8})$$

式中

H ——地下水位;

w —— t 时刻井(孔)水位相对于初始地下水位的变化量;

w_0 ——瞬时水位变化后, 即刻的井(孔)水位相对于初始地下水位的变化量;

r_c ——套管半径;

r_w ——过滤器半径;

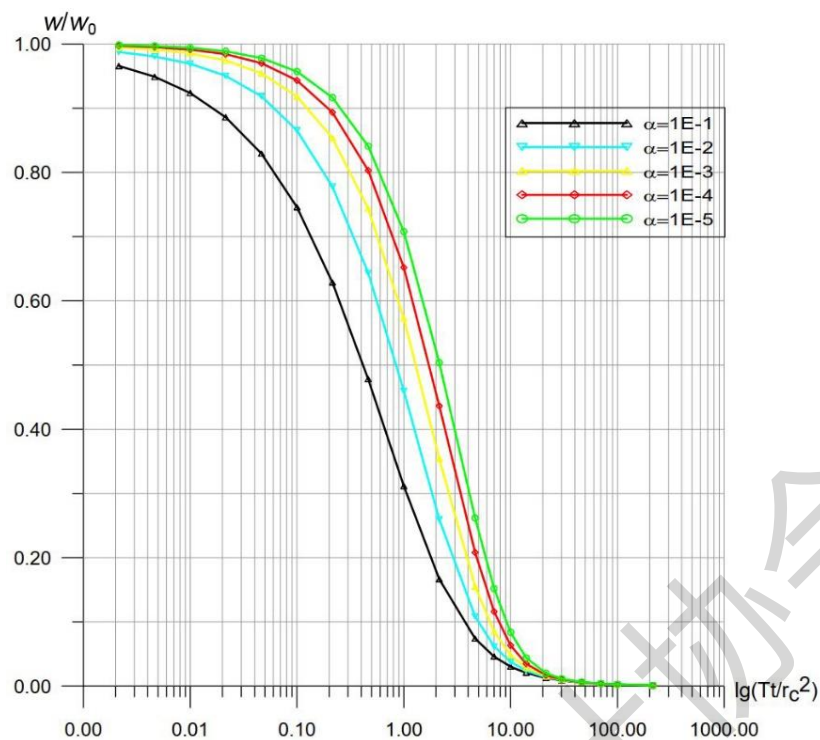
α ——无量纲化贮水系数;

β ——无量纲化导水系数;

J_0 和 J_1 ——零阶和一阶第一类贝塞尔函数;

Y_0 和 Y_1 ——零阶和一阶第二类贝塞尔函数。

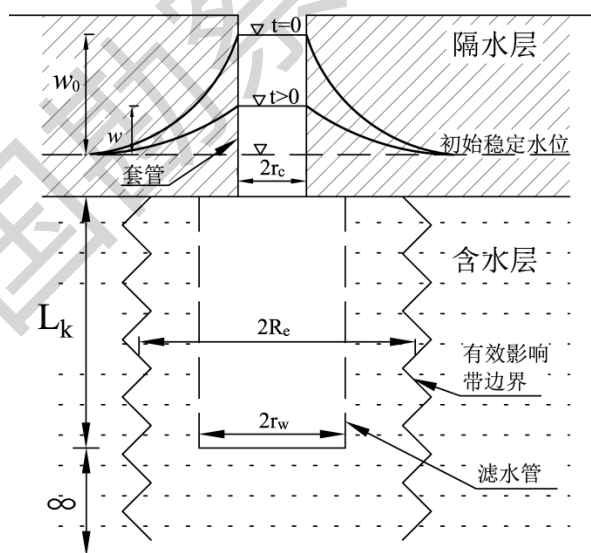
B.1.4 对式(B.1.3-6)进行数值积分, 得到不同 α 值条件下的 w/w_0 比值, 在半对数坐标纸上绘制系列标准曲线, 如图B.1.4-1所示。



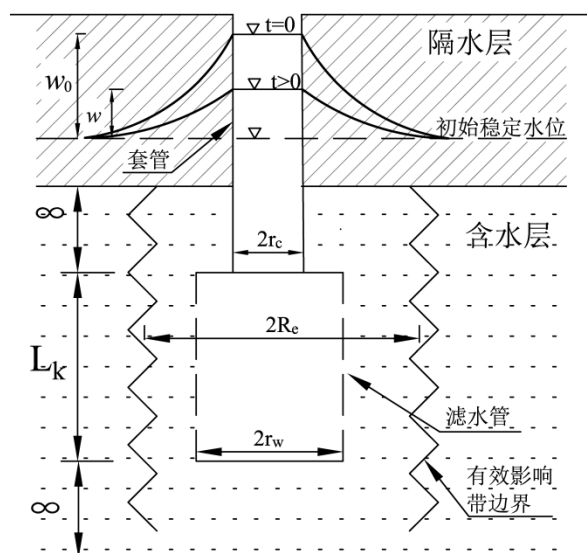
图B.1.4-1 w/w_0 - $\lg Tt/r_c^2$ 对应 α 关系曲线

B.2 Hvorslev 模型

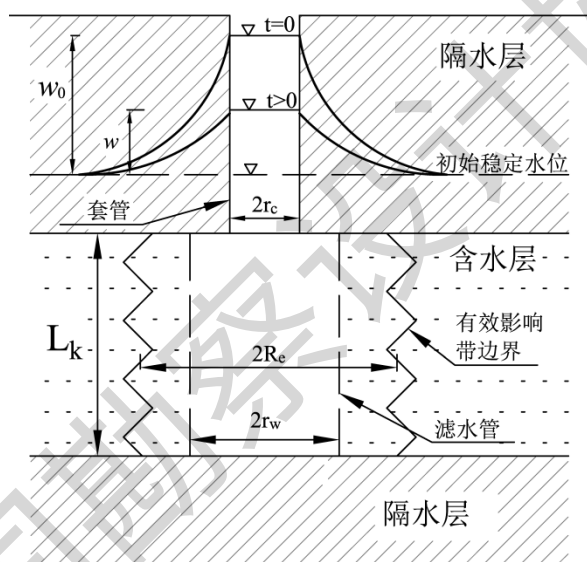
B.2.1 Hvorslev 模型主要适用于承压含水层，几何模型如图 B.2.1-1 所示。



(a) 情形 1



(b) 情形 2



(c) 情形 3

图 B.2.1-1 Hvorslev 几何模型示意图

B.2.2 Hvorslev 模型假设条件如下：

- 1 承压含水层均质各向同性；
- 2 含水层等厚且无限延伸；
- 3 承压完整或非完整井（孔）；
- 4 忽略含水介质的弹性储水效应。

B.2.3 当井（孔）中的地下水位瞬时改变后，流出或流进井（孔）的水量与井（孔）附近含水层渗透系数之间的关系可表示为：

$$q(t) = \pi r_c^2 \frac{d(w_0 - w)}{dt} = FKw \quad (\text{B.2.3-1})$$

式中

q ——过滤器单位面积流量；

F ——形状因子，取决于井（孔）滤水管形状和位置；

r_c ——套管半径；

t ——时间；

w ——试验过程中， t 时刻孔（井）中水位相对于初始水位的变化量；

w_0 ——瞬时水位变化后，即刻的孔（井）水位相对于初始地下水位的变化量。

B.2.4 对（B.2.3-1）式分离变量，

$$\frac{\pi r_c^2}{FK} \frac{d(w_0 - w)}{w} = dt \quad (\text{B.2.4-1})$$

对（B.2.4-1）式定积分，

$$-\frac{\pi r_c^2}{FK} \ln \frac{w_0 - w}{w_0} = t \quad (\text{B.2.4-2})$$

渗透系数可以表示为：

$$K = -\frac{\pi r_c^2}{Ft} \ln \frac{w_0 - w}{w_0} \quad (\text{B.2.4-3})$$

式中各符号意义同前。

B.2.5 形状系数的计算可分为 3 种情形，见图 B.2.1-1。

1 对于非完整井（孔）（情形 1），当过滤器顶部或底部毗邻含水层顶板或底板，形状系数为：

$$F = \frac{2\pi L_k}{\ln \left(\frac{L_k}{r_w} + \sqrt{1 + \frac{L_k}{r_w}} \right)} \quad (\text{B.2.5-1})$$

2 对于非完整井（孔）（情形 2），当过滤器顶部或底部距离含水层顶板或底板较远，即含水层顶部和底部并不在试验影响区域内，形状系数为：

$$F = \frac{2\pi L_k}{\ln \left(\frac{L_k}{2r_w} + \sqrt{1 + \left(\frac{L_k}{2r_w} \right)^2} \right)} \quad (\text{B.2.5-2})$$

3 对于完整井（孔）（情形 3），过滤器穿透整个饱和含水层。当过滤器的长度大于过滤器半径 8 倍时，即 $b/r_w > 8$ ，形状系数为：

$$F = \frac{2\pi L_k}{\ln(R_e/r_w)} \quad (\text{B.2.5-3})$$

式中

r_w ——过滤器半径；

L_k ——过滤器的长度，这里等于含水层厚度 b ；

R_e ——有效影响半径，经验值建议取过滤器的长度或 $200r_w$ 。

B.3 Bouwer-Rice 模型

B.3.1 Bouwer-Rice 主要适用于潜水含水层，几何模型如图 B.3.1-1 所示。

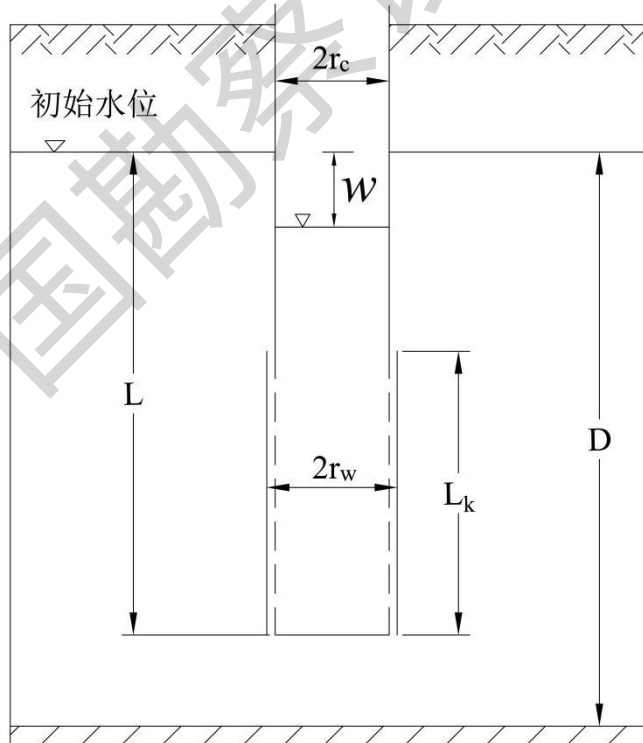


图 B.3.1-1 Bouwer-Rice 几何模型示意图

B.3.2 Bouwer-Rice 模型的假设条件如下：

- 1 潜水含水层均质各向同性；
- 2 含水层为圆形有限延伸，边界为定水头；
- 3 潜水完整或非完整井（孔）。

B.3.3 井（孔）中流量可由变形后的Thiem公式计算

$$Q = 2\pi K L_k \frac{w}{\ln(R_e / r_w)} \quad (\text{B.3.3-1})$$

水位上升或下降引起的水位变化率 dw/dt 与流量 Q 的关系可由下式表示：

$$dw/dt = -Q / \pi r_c^2 \quad (\text{B.3.3-2})$$

其中 πr_c^2 是水位上升时的横截面积。负号表示 w 随时间增长而减小。

由以上二式得到：

$$\frac{1}{w} dw = -\frac{2KL_k}{r_c^2 \ln(R_e / r_w)} \quad (\text{B.3.3-3})$$

积分得：

$$\ln w = -\frac{2KL_k t}{r_c^2 \ln(R_e / r_w)} + \text{constan } t \quad (\text{B.3.3-4})$$

将初始时刻 $t=0$ 时 $w=w_0$ 代入上式，渗透系数的表达式为：

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e / r_w)}{2L_k} \frac{1}{t} \ln \frac{w_0}{w} \quad (\text{B.3.3-5})$$

式中

t ——时间；

w —— t 时刻孔（井）水位相对于初始地下水位的变化量；

w_0 ——瞬时水位变化后，即刻的孔（井）水位相对于初始地下水位的
变化量；

L_w ——过滤器长度；

R_e ——影响半径；

r_c ——套管半径；

r_w ——过滤器半径。

B.3.4 在给定井（孔）和含水层几何特性如 r_w 、 D 、 L 的条件下，流量 Q 与 L_k 呈

线性关系，与井（孔）和含水层几何特性相关的经验公式为：

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln(L/r_w)} + \frac{A + B \ln[(D-L)/r_w]}{L_k/r_w} \right]^{-1} \quad (\text{B.3.4-1})$$

当 $L = L_k$ 时，上式可以简化为：

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln(L_k/r_w)} + \frac{C}{L_k/r_w} \right]^{-1} \quad (\text{B.3.4-2})$$

如图 B.3.4-1 所示， A 、 B 、 C 为无量纲参数，且均为 L_k/r_w 的函数。

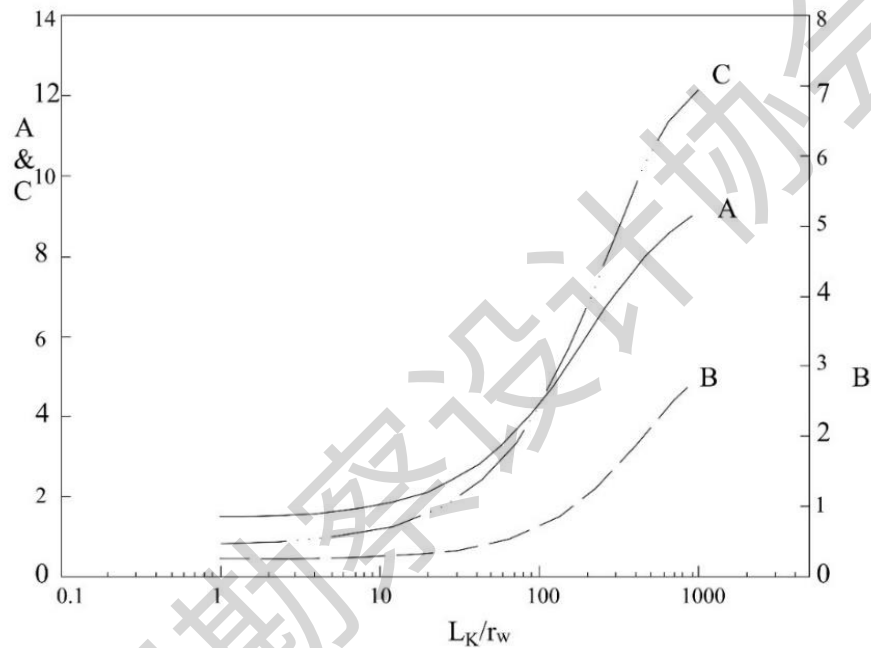


图 B.3.4-1 无量纲参数 A 、 B 和 C 与 L_k/r_w 的关系

式中

L ——初始地下水位到井（孔）底的距离；

D ——初始地下水位到含水层底的距离；

A 、 B 、 C ——无量纲参数。

B.4 Kipp 模型

B.4.1 Kipp模型主要适用于承压含水层，几何模型如图B.4.1-1所示。

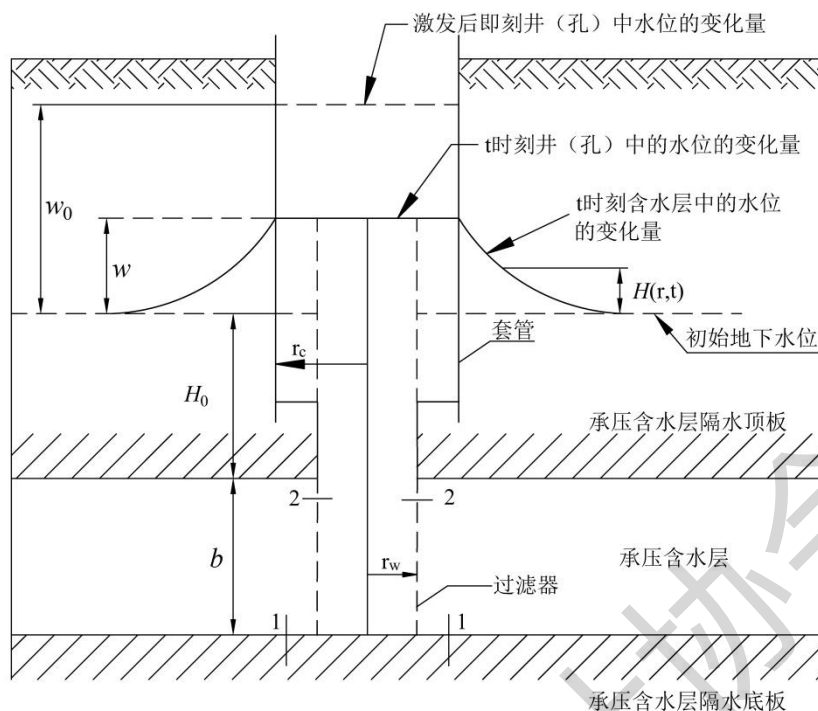


图 B.4.1-1 Kipp 几何模型示意图

B.4.2 Kipp模型假设条件如下：

- 1 承压含水层等厚、均质、各向同性；
- 2 试验井（孔）为完整井（孔），且过滤器100%有效；
- 3 其它假设条件：
 - 1) 柱坐标系的原点取为含水层顶面与井（孔）轴线的交点；
 - 2) 通过同一井（孔）断面的平均速度近似不变；
 - 3) 水头的摩擦损耗忽略不计；
 - 4) 整个含水层系统的水流为均匀流；
 - 5) 井（孔）中水流由径向流变为垂直流时，速度变化引起的动量变化忽略不计。

B.4.3 Kipp模型结合了以下4个方程：

柱坐标系下含水层中水流运动方程为：

$$\frac{S}{T} \frac{dH}{dt} = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dH}{dr} \right) \quad (\text{B.4.3-1})$$

式中

H ——地下水位；

t ——时间；

S ——贮水系数；

T ——导水系数。

B.4.4 根据水量平衡原理，由激发（振荡）引起的井（孔）筒内流量变化等于井（孔）壁周边含水层的径向流量

$$\pi r_c^2 \frac{dw}{dt} = 2\pi r_w T \left. \frac{dH}{dr} \right|_{r=r_w} \quad (\text{B.4.4-1})$$

式中

r_c ——套管半径；

r_w ——过滤器半径；

w —— t 时刻井（孔）水位相对于初始地下水位的变化量。

B.4.5 根据能量守恒原理

$$\frac{d}{dt} \int_{-b}^0 \pi r_w^2 \rho v dz = (-\rho v^2 + p_1 + p_2 - \rho g b) \pi r_w^2 \quad (\text{B.4.5-1})$$

式中

ρ ——水的密度；

g ——重力加速度；

v ——过滤器中的水流速度；

p_1 ——界面1-1处的水压力；

p_2 ——界面2-2处的水压力；

b ——含水层厚度。

B.4.6 以井（孔）水位变化量表达的水流振荡微分方程为：

$$\frac{d^2 w}{dt^2} + \frac{g}{L_e} w = \frac{H_w - H_0}{L_e} g \quad (\text{B.4.6-1})$$

式中

H_w ——过滤器壁的水位；

H_0 ——初始地下水位；

L_e ——有效水柱长度， $L_e = H_0 + (r_c^2 / r_w^2)(b/2)$ ；

b ——含水层厚度。

B.4.7 Kipp采用无量纲的井（孔）水位变化量 w' 、无量纲时间 $\hat{t}$ 和无量纲贮水系数 α 、无量纲惯性系数 β 、无量纲阻尼系数 ζ 将上述方程转换为无量纲形式，并用拉普拉斯变换和拉普拉斯逆变换求解方程，得到一组标准曲线，如图B.4.7-1所示。

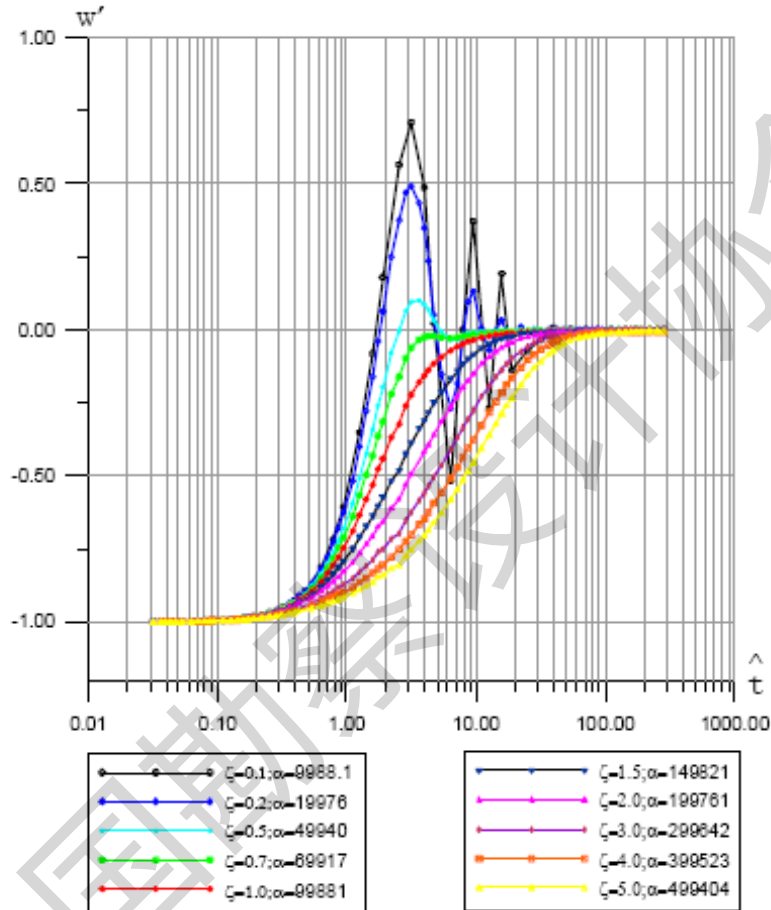


图 B.4.7-1 无量纲 w' — $\hat{t}$ 关系曲线图

B.4.8 通过平移坐标轴匹配实测曲线与标准曲线，记录标准曲线中的 ζ 和 α 值，得到：

$$S = \frac{r_c^2}{2r_w^2 \alpha} \quad (\text{B.4.8-1})$$

$$T = [(\beta g) / L_e]^{1/2} r_w^2 S \quad (\text{B.4.8-2})$$

$$K = T/b \quad (\text{B.4.8-3})$$

式中

S ——贮水系数；

T ——导水系数；

ζ ——无量纲化阻尼系数；

α ——无量纲化贮水系数；

β ——无量纲化惯性参数，根据 $\beta = [(\alpha \ln \beta) / 8\zeta]^2$ 迭代计算得到。

中国勘察设计协会

附录 C 微水试验参数计算

C.1 CBP 模型参数计算

C.1.1 根据图B.1.4-1在半对数纸上作 $H_w / H_{w0} \sim \lg Tt / r_c^2 (\beta)$ 标准曲线，其中

$\beta = Tt / r_c^2$ 取对数坐标；

C.1.2 求出 H_w / H_{w0} 的比值，在与标准曲线相同模数的半对数坐标纸上绘出

$H_w / H_{w0} \sim t$ 实测曲线；

C.1.3 将实测曲线和标准曲线进行拟合，选择一个匹配点，使得此点在标准曲线上有 $Tt / r_c^2 = 1$ ，记录该点对应实测曲线的时间 t ；

C.1.4 根据以下公式计算水文地质参数：

$$T = \frac{\beta r_c^2}{t} \quad (\text{C.1.4-1})$$

$$S = \frac{\alpha r_c^2}{r_w^2} \quad (\text{C.1.4-2})$$

式中

T ——导水系数，单位 m^2/s ；

S ——贮水系数，无量纲；

r_c ——套管半径，单位 m ；

r_w ——过滤器半径，单位 m ；

α ——无量纲化贮水系数；

β ——无量纲化导水系数；

t ——时间，单位 s 。

C.2 Hvorslev 模型参数计算

C.2.1 按附录 A 采用半对数坐标纸绘制水头比与时间 $\ln[(w_0 - w) / w_0] - t$ 关系曲线。当水位变化比与时间关系不呈直线时，应进行检查并重新试验。

C.2.2 采用式 (C.2.2-1) 计算含水层的渗透系数：

$$K = \frac{\pi r_c^2}{Ft} \frac{\ln \frac{w_0 - w_1}{w_0 - w_2}}{t_2 - t_1} \quad (\text{C.2.2-1})$$

式中

K ——渗透系数，单位 m/s；

t_1 、 t_2 ——某时刻的试验时间，单位 s；

w_1 、 w_2 ——在试验时间 t_1 、 t_2 时的水位变化量，单位 m；

r_c ——套管半径，单位 m；

F ——形状系数，单位 m，根据过滤器与含水层的空间分布关系确定。

C.2.3 除按上述方法外，还可根据 $\ln[(w_0 - w)/w_0] - t$ 关系曲线求得的特征时间 T_0 ，采用式 (C.2.3-1) 计算含水层的渗透系数：

$$K = \frac{\pi r_c^2}{FT_0} \quad (\text{C.2.3-1})$$

式中

T_0 ——特征时间，单位 s， $(w_0 - w_1)/(w_0 - w_2) = 0.37$ ，即 $\ln[(w_0 - w_2)/(w_0 - w_1)] = 1$ 时所对应的 t 值，可在 $\ln[(w_0 - w)/w_0] - t$ 关系曲线上确定。

C.2.4 形状系数的计算参考附录 B.2.5 款。

C.3 Bouwer-Rice 模型参数计算

C.3.1 在半对数坐标纸上绘出 $\lg w \sim t$ 曲线；

C.3.2 用一条直线拟合该曲线的直线部分，并延长该直线至 $t = 0$ ；

C.3.3 如果 $L \neq D$ ，计算 $\ln(D - L)/r_w$ ；如果 $\ln(D - L)/r_w > 6$ ，则令 $\ln(D - L)/r_w = 6$ ；

C.3.4 如果 $L \neq D$ ，在图 B.3.4-1 中查找 A 和 B 的值；如果 $L = D$ ，在图 B.3.4-1 中查找 C 的值；

C.3.5 采用式 (C.3.5-1) 计算 $\ln(R_e/r_w)$ ：

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln(L/r_w)} + \frac{A + B \ln[(D - L)/r_w]}{L_k/r_w} \right]^{-1} \quad (\text{C.3.5-1})$$

式中

L ——初始水位到井（孔）底的距离，单位 m；

D ——初始水位到含水层底面的距离，单位 m；

L_k ——过滤器长度，单位 m；

R_e ——影响半径，单位 m；

r_w ——过滤器半径，单位 m；

A、B、C——无量纲参数。

C.3.6 在直线上找一点，记下 w_0 、 w 和 t 的值，采用式 (C.3.6-1) 计算含水层的渗透系数：

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e/r_w)}{2L_k} \frac{1}{t} \ln \frac{w_0}{w} \quad (\text{C.3.6-1})$$

式中

t ——时间，单位 s；

w —— t 时刻孔（井）水位相对于初始地下水位的变化量，单位 m；

w_0 ——瞬时水位变化后，即刻的孔（井）水位相对于初始地下水位的变化量，单位 m；

L_k ——过滤器长度，单位 m；

R_e ——影响半径，单位 m；

r_c ——套管半径，单位 m；

r_w ——过滤器半径，单位 m。

C.3.7 除按上述方法外，还可根据 $\ln(w/w_0)-t$ 关系曲线求得的特征时间 T_0 ，采用式 (C.3.7-1) 计算含水层的渗透系数：

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e/r_w)}{2L_k T_0} \quad (\text{C.3.7-1})$$

式中

T_0 ——特征时间，单位 s， $w_1/w_2=0.37$ 即 $\ln(w_2/w_1)=1$ 时所对应的 t 值，可在 $\ln(w/w_0)-t$ 关系曲线上确定。

C.4 Kipp 模型参数计算

C.4.1 根据Kipp的解析解在半对数纸上绘制 $w' \sim \lg \hat{t}$ 标准曲线, 如图B.4.7-1所示;

C.4.2 在与标准曲线相同模数的半对数纸上绘制同比例的 $w \sim \lg t$ 实测曲线;

C.4.3 拟合实测曲线与标准曲线;

C.4.4 对应标准曲线记录相应的 ζ 、 α 值, 在标准曲线上选取任一匹配点, 记录相应的 w' 、 $\hat{t}$ 值; 对应实测曲线记录时间 t 和水位变化值 w 。

C.4.5 根据下式计算贮水系数:

$$S = \frac{r_c^2}{2\alpha r_w^2} \quad (\text{C.4.5-1})$$

式中

S ——贮水系数, 无量纲;

r_c ——套管半径, 单位 m;

r_w ——过滤器半径, 单位 m;

α ——无量纲化贮水系数。

C.4.6 根据下式计算有效静态水柱长度:

$$L_e = (t / \hat{t})^2 g \quad (\text{C.4.6-1})$$

式中

L_e ——有效静态水柱长度, 单位 m;

t ——时间, 单位 s;

$\hat{t}$ ——无量纲化时间;

g ——重力加速度, 单位 m/s^2 。

C.4.7 根据下式迭代计算无量纲惯性参数 β :

$$\beta = [(\alpha \ln \beta) / 8\zeta]^2 \quad (\text{C.4.7-1})$$

式中

α ——无量纲化贮水系数;

β ——无量纲化惯性参数。

C.4.8 根据下式计算导水系数和渗透系数:

$$T = [(\beta g) / L_e]^{1/2} r_w^2 S \quad (\text{C.4.8-1})$$

$$K = T / b \quad (\text{C.4.8-2})$$

式中

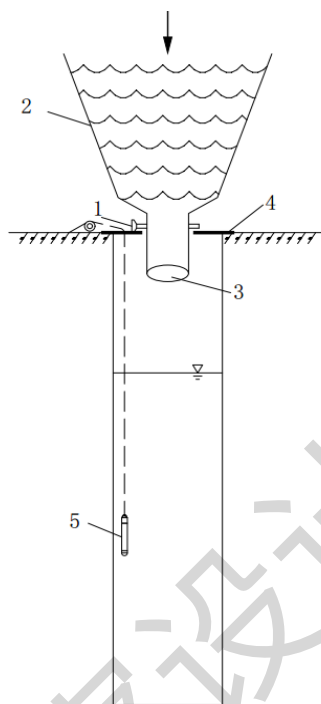
T ——导水系数, 单位 m^2/s ;

K ——渗透系数, 单位 m/s ;

b ——含水层厚度, 单位 m 。

附录 D 微水试验设备结构及安装

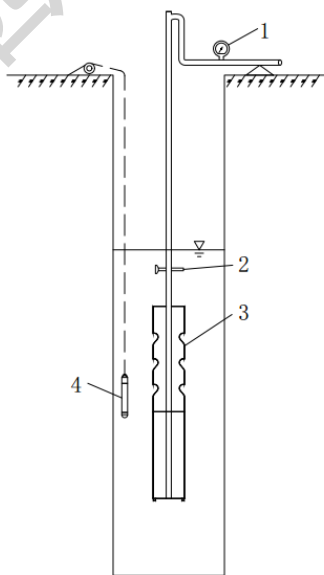
D.0.1 注水式微水试验应按图D.0.1所示安装传感器装置、水平固定板、注水器等组件。



1-止水阀；2-注水器；3-出水口；4-水平固定板；5-传感器装置

图 D.0.1 注水式微水试验设备结构及安装示意图

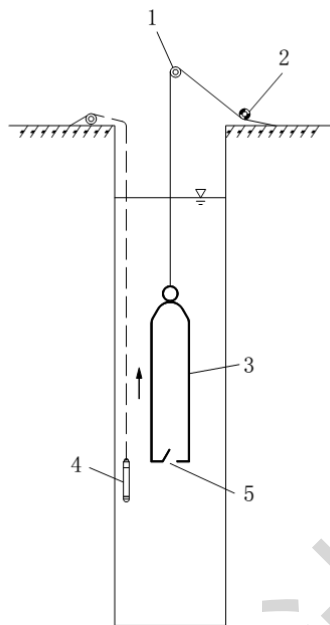
D.0.2 抽水式微水试验应按图D.0.2所示安装传感器装置、流量计、水泵等组件。



1-流量计（表）；2-逆止阀；3-水泵；4-传感器装置

图 D.0.2 抽水式微水试验设备结构及安装示意图

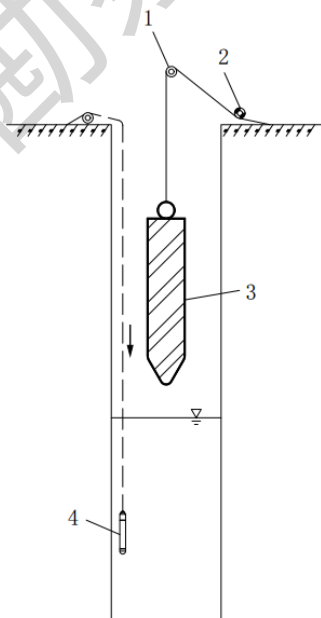
D.0.3 提水式微水试验应按图D.0.3所示安装传感器装置、提水容器、导向轮、闭锁装置等组件。



1-导向轮；2-闭锁装置；3-提水容器；4-传感器装置；5-单向进水阀

图 D.0.3 提水式微水试验设备结构及安装示意图

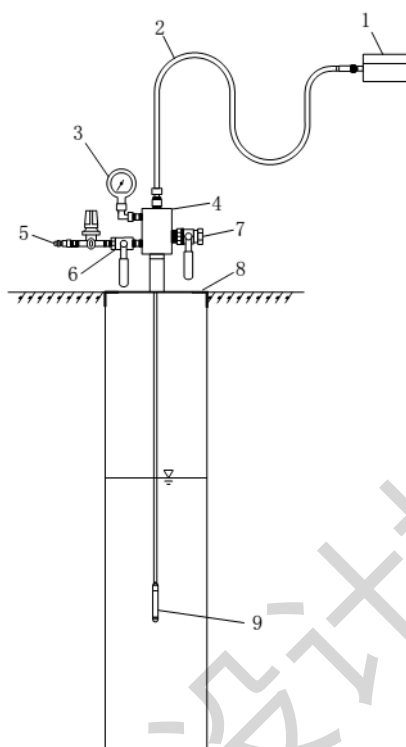
D.0.4 冲击式微水试验应按图D.0.4所示安装传感器装置、冲击棒、导向轮、闭锁装置等组件。



1-导向轮；2-闭锁装置；3-冲击棒；4-传感器装置；

图 D.0.4 冲击式微水试验设备结构及安装示意图

D.0.5 气压式微水试验应按图D.0.5所示安装空气压缩装置、压力表和孔口密封转换装置、传感器装置等组件。



1-数据采集装置；2-数据传输线；3-压力计；4-测试组件；5-压缩空气；
6-进气阀门；7-排气阀门；8-孔口密封装置；9-传感器装置

图 D.0.5 气压式微水试验设备结构及安装示意图

本规程用词说明

1 为了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,非这样做不可的用词:

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用词:

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用词:

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

- 《管井技术规范》GB 50296
《供水水文地质勘察标准》GB/T 50027
《岩土工程勘察规范》GB 50021
《水利水电工程钻探规程》SL/T 291
《水电工程钻孔振荡式渗透试验规程》NB/T 35117
《钻探、井探、槽探操作规程》YS/T 5208
《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T 87

中国勘察设计协会

中国勘察设计协会团体标准

岩土工程勘察微水试验规程

T/CECAS: ××××—202×

条文说明

目 次

1 总则	42
3 基本规定	43
4 仪器设备	45
4.1 水头激发设备	45
4.2 止水栓塞	46
4.4 数据采集设备	46
5 现场试验	47
5.2 现场准备	47
5.3 试验设备安装	47
5.4 试验操作	48
6 资料整编	49
6.1 试验资料整理	49
6.2 渗透性参数计算	49

1 总则

1.0.1 微水试验是一种通过人工瞬时改变井（孔）内水位，观测其恢复过程，并采用理论数学模型求解参数，以确定饱和岩土体渗透性参数的原位水文地质试验方法。目前岩土工程行业缺乏统一的微水试验技术标准，制定本规程有利于规范岩土工程勘察中的微水试验操作，统一技术要求，提高成果质量，促进这一原位试验方法的应用和推广。

1.0.2 微水试验作为一种快速、经济的原位测试手段，可与注水试验、压水试验和抽水试验等方法互为补充，共同构成完整的岩土体渗透性测试技术体系。

3 基本规定

3.0.1、 3.0.2 为保证试验效率和成果可靠性，正式试验前需科学设计试验方案，合理确定试验段长度、水头激发方式、试验设备配置等关键参数。试验设计是保证试验系统性与规范性的基础。

3.0.3 微水试验主要用于测定井（孔）水位以下含水层的水文地质参数，为兼顾试验的可操作性与适用性，试验井（孔）直径一般控制在 50mm～800mm。

施工过程中，基岩井（孔）宜优先采用清水钻进工艺，松散地层则应根据井（孔）壁稳定性选择清水或泥浆钻进。当采用泥浆护壁时，应在下管和填滤料前进行换浆处理，将稠泥浆逐步置换为稀泥浆，以避免滤料层淤塞。

工程实践表明，泥浆钻进时，黏粒等成分会向井（孔）壁周围岩土层扩散渗入，可能对微水试验结果造成影响。因此，试验前必须进行彻底洗井（孔），直至水位变化反应灵敏为止。对于渗透性强且井（孔）壁稳定性差的地层，需特别加强护壁措施。

3.0.5 水头激发方式的选择应综合考虑对地下水面的干扰程度和激发过程的瞬时性等。由于不同岩土体的渗透特性差异显著，应结合现场条件、试验段渗透性、井（孔）径尺寸和地下水位埋深等选择最适合的水头激发方式。各种水头激发方式的适用性分析见表 1。

表 1 水头激发方式适用性概率分析表

激发方式	是否适用分段试验	地层透水性	现场条件
注水式	适用	微～中等透水	无需动力
抽水式	不适用	微、中等、强透水	需要动力、水泵机械
提水式	不适用	微～中等透水	无需动力
冲击式	不适用	微～中等透水	无需动力
气压式	适用	中等～强透水	需要动力、空气压缩机、孔口密封装置等

注水式通过瞬时注水激发水头抬升，具有设备简单、操作便捷的优点，但其对地下水面扰动较大，且激发过程不易精确控制；抽水式通过短时抽水激发水头变化，激发过程瞬时性好，数据质量较高，但受地下水位埋深限制较大；提水式通过快速提水激发水头变化，数据质量较高，但对操作精度要求严格；冲击式通

过机械冲击激发水头变化，瞬时性好，数据质量高，但在强渗透性地层中激发效果可能不佳；气压式通过改变井（孔）内气压激发水头变化，适用于强渗透性地层且数据质量最优，但对设备和钻孔密封性要求较高。

工程应用中，建议优先选用提水式、冲击式（提出过程）和注水式微水试验方法。试验结果表明，提水式和抽水式对试验水体的影响相对较小，所得渗透系数较为稳定；而注水式、冲击式和气压式对孔内水体的影响较大，所得渗透系数可能存在一定离散性。

3.0.6 本条规定了不同渗透性含水层中激发水头高度的控制原则。激发水头过小会导致测量误差干扰显著，试验结果离散性较大。基于理论模型和工程实践经验，激发水头宜控制在 0.5m~2.0m 范围内。对于大口径水井或强渗透性地层，若难以达到规定的激发水头高度控制标准，可根据实际情况适当调整。

3.0.8 不同渗透性含水层的水位恢复速度差异显著，微水试验的水位恢复过程通常历时数秒至数十分钟。人工监测难以准确捕捉快速变化的水位数据。因此，必须采用自动化数据采集设备，数据采集设备的采样间隔宜控制在 0.1s~1.0s（即采样频率 10Hz~1.0Hz）范围内，最大不宜超过 1.0s（即采样频率大于 1.0Hz）。

4 仪器设备

4.1 水头激发设备

4.1.1 注水式微水试验设备的选择应综合考虑地下水埋深、设计激发水头高度、激发持续时间及岩土体渗透性等因素。建议采用带有容积刻度标记的漏斗形注水装置，便于准确控制注水量，并有效减少水花飞溅对试验数据的干扰。试验前应对量具和计时装置进行标定，确保激发参数的准确性。

注水式微水试验主要适用于微~中等渗透性含水层，因为在相同井（孔）直径和注水量时，微~中等渗透性含水层更容易达到设计的激发高度。对于强渗透性含水层，达到相同激发高度所需注水量更大、激发时间可能更长，易超出规定的激发时长限制。因此，强渗透性含水层宜采用注水量更大的水泵注水系统。水泵注水系统的选择需满足注水量、激发时间、对地下水面扰动等要求。为减少水花飞溅，应将出水口置于地下水位以下一定深度。

注水式微水试验不能污染场区的地下水质，应满足水质要求。

4.1.2 抽水式微水试验的水泵选型应根据设计激发水头高度、地下水埋深、过滤器直径及含水层渗透性等参数综合确定。在机井或民井等大口径井中试验时，可选用潜水泵。在口径较小的钻孔中试验时，宜优先选用地面安装的离心泵。为防止停泵后管路中的水回流影响试验精度，抽水管路应设置可靠的止回装置。

4.1.3、4.1.4 提水容器与冲击棒的直径、长度应根据试验井（孔）直径、设计激发水头高度、操作便利性等因素确定。一般情况下，提水容器、冲击棒的体积宜略大于激发水头变化对应的水量。同时，考虑到激发时间要求和操作便捷性，提水容器与冲击棒不宜过长、过重。根据经验，其直径宜为井（孔）直径的 0.5 倍~0.8 倍，长度宜为设计激发水头高度的 1.5 倍~4.0 倍。现场操作时可根据实际条件进行适当调整。若含水层较薄或井（孔）内水深较浅，导致估算后的提水容器、冲击棒长度较长而无法操作时，应优先考虑更换激发方法，无法更换激发方法时，可适当增加其直径。

4.1.5 气压式水头激发系统主要由电源、空气压缩机、压力表和孔口密封转换装置等组成。空气压缩机的选型应满足试验所需压力及储气量要求。孔口密封装置应确保安装后具有良好的气密性，其结构参数应与进出气管路相匹配。

4.2 止水栓塞

4.2.1 止水栓塞适用于进行分段微水试验的井（孔）。止水栓塞应满足止水效果好、安装操作便捷的要求。

4.4 数据采集设备

4.4.1 随着传感器技术的快速发展，微水试验推荐采用集成化的数据采集设备。这类设备将压力传感器、存储器等核心元件小型化集成，并采用先进的密封固化工艺，具有优异的防水、防潮和抗震性能。集成化设计不仅能有效避免水头激发设备与数据采集装置之间的相互干扰，还便于穿过孔口密封转换装置等各类试验部件，为激发设备的选型提供了更大的灵活性。

压力传感器的选型需综合考虑试验段水压力和设计激发水头高度等因素，其测量精度直接影响试验结果的可靠性，量程为 0m~10m 水柱的压力传感器通常能满足精度要求。鉴于微水试验的水位恢复过程通常较短暂，为完整记录水位动态变化，宜采用采样频率可调的水位自动采集系统，以满足不同渗透性含水层的测试需求。

5 现场试验

5.2 现场准备

5.2.1 当工程场区内的试验井（孔）数量较多，或存在多层含水层时，试验前应对所有井（孔）统一编号，并与其坐标位置建立对应关系。试验前应详细记录各井（孔）的初始静水位、试验层位及环境参数，为后续试验成果分析提供充分依据。

5.2.3 本条文规定了试验数据记录格式，建议采用附录 A.1-1~A.3-1 的标准表格，记录试验编号、试验点坐标、含水层结构、井（孔）结构及试验起止时间等参数。规范的记录格式有利于确保试验数据的完整记录和规范管理，避免重要参数的遗漏。

5.3 试验设备安装

5.3.1 过滤器的安装涉及到分层止水的设置，为多层含水层中的微水试验顺利开展提供基本保障。为保证填砾过滤器骨架管准确定位，应设置导正器。导正器的布置方案应根据含水层结构、成井（孔）深度及井（孔）身垂直度等情况综合确定。导正器宜安装在每层过滤器的上部接头处。

5.3.3 数据采集系统的安装应确保压力传感器在试验过程中位于最低动水位以下不小于 1.0m 的深度。设备布置时，需统筹考虑激发装置、止水设备和数据采集系统的空间关系，避免相互干扰，并尽量减少设备晃动对试验精度的影响。

5.3.4 注水式微水试验设备安装时，应确保注水器在井（孔）口安装稳固、调平，保证水流垂直进入井（孔）、避免水流冲击井（孔）壁影响试验结果。

5.3.5 抽水式微水试验设备安装时，应确保电源、管路连接可靠，且水泵带有逆止阀。试验过程中，确保水泵进水口始终位于动水位以下一定深度。

5.3.6、5.3.7 本条规定了提水式、冲击式微水试验设备的安装要求。安装时需注意避免水头激发装置与井（孔）壁或其他设备发生碰撞或摩擦。井（孔）口设置的导向轮是为了确保激发装置能沿井（孔）中心线垂直运动，闭锁装置则是为了在非激发阶段将激发装置可靠地固定于预定位置。绳索连接应规范、牢固。

5.3.8 气压式微水试验对系统密封性要求极高，任何漏气现象都可能影响试验结

果的可靠性。设备安装过程中及安装完成后，必须对加压系统进行严格的气密性检查。

5.4 试验操作

5.4.1 开展正式微水试验前必须进行预试验，以确定合理的水头激发方式、激发高度、数据采集频率等关键参数。若预试验结果表明某些参数无法满足正式试验要求，应及时调整试验设计方案或更换试验设备。

5.4.2 注水式微水试验的数据采集频率应根据含水层渗透特性设定。强渗透性含水层水位恢复快，宜采用较高的采样频率，以确保获得完整的水位变化曲线；弱～中等渗透性含水层可适当降低采样频率。试验操作过程中应严格控制注水过程，确保快速完成，并保持水位观测的连续性。水位恢复至初始值后，适当延长观测时间1min～2min，以确认恢复稳定。

5.4.4 提水式微水试验操作过程中，提水容器放入水下过程应保持缓慢匀速，待其充满水后，在5s内快速提出水面并移出井（孔）外，以减少水体扰动和水花飞溅，避免影响数据质量。

5.4.5 冲击式微水试验通过快速放入和提出冲击装置，可分别获得两条独立的水位变化曲线，据此可计算两组水文地质参数进行对比。试验操作时应确保冲击过程的瞬时性，以达到理想的水头激发效果。

5.4.6 气压式微水试验的关键在于保持系统的气密性。试验过程中需密切监测压力变化情况，若压力不稳定或达不到预设值，应及时检查设备的密封性。

6 资料整编

6.1 试验资料整理

6.1.1 微水试验宜采用压力式传感器配合自动化数据采集与存储设备实现水位动态数据实时采集，原始水位数据可参照附录A.4-1的格式进行记录与整理。试验数据管理宜实行标准化纸质表格与电子存储相结合的双轨制，既便于现场记录与核查，又有利于数据的长期保存与追溯。

6.2 渗透性参数计算

6.2.2、6.2.3 进行参数计算前，应了解试验段的水文地质条件和试验井（孔）结构特征。根据含水层类型（承压或潜水）及井（孔）结构（完整井或非完整井等），选择附录B中符合或接近现场水文地质条件的理论数学模型，并依据附录C给出的相应公式计算水文地质参数。也可采用经实践验证的专用计算软件（如黄河勘测规划设计研究院有限公司开发的微水试验求参软件，登记号：2018SR080073）进行参数求解。

为提高成果可靠性，渗透性参数的最终取值宜综合考虑多种原位水文地质试验方法（如抽水试验、注水试验等）的计算结果，进行对比分析后合理确定。