T/CECS \*\*\*-20\*\*

中国工程建设标准化协会标准

海绵城市建设浅层土壤渗透性

测试标准

Standard for permeability test of surface soil in sponge city construction

**（征求意见稿）**

中国工程建设标准化协会标准 发布

20XX年X月XX发布 20XX年X月XX实施

（装订预留空白页）**中国工程建设标准化协会标准**

海绵城市建设浅层土壤渗透性测试标准

Standard for permeability test of surface soil in sponge city construction

T/CECS \*\*\*-20\*\*

主编单位：天津市政工程设计研究总院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会标准

施行日期：20XX年X月

20\*\*年 天 津

（公告通知预留空白页）

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2020]14号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本标准共分8章和3个附录，主要内容包括总则、术语和符号、基本规定、渗滤筒法、试坑注水法、常水头法、变水头法、人工降雨法等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准文件由中国工程建设标准化协会海绵城市建设工作委员会归口管理，由天津市政工程设计研究总院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给天津市政工程设计研究总院有限公司（地址：天津市高新技术产业园区海泰南道30号，邮编：300392）。

主编单位：天津市政工程设计研究总院有限公司

参编单位：江西智慧海绵城市建设发展投资集团有限公司

北京清华同衡规划设计研究院有限公司

天津市勘察设计院集团有限公司

中国市政工程华北设计研究总院有限公司

天津城建设计院有限公司

天津城建大学

主要起草人：XXX XXX XXX

主要审查人：XXX XXX XXX

目次

[1 总 则 1](#_Toc104667015)

[2 术语和符号 5](#_Toc104667016)

[2.1 术 语 5](#_Toc104667017)

[2.2 符 号 6](#_Toc104667018)

[3 基本规定 8](#_Toc104667019)

[3.1 一般规定 8](#_Toc104667020)

[3.2 测试工作程序 9](#_Toc104667021)

[3.3 测试方法选择和数量 12](#_Toc104667022)

[3.4 测试结果分析和测试报告 14](#_Toc104667023)

[4 渗滤筒法 19](#_Toc104667024)

[4.1 一般规定 19](#_Toc104667025)

[4.2 测试 19](#_Toc104667026)

[4.3 计算和记录 21](#_Toc104667027)

[5 试坑注水法 24](#_Toc104667028)

[5.1 一般规定 24](#_Toc104667029)

[5.2 测试 24](#_Toc104667030)

[5.3 计算和记录 26](#_Toc104667031)

[6 常水头法 28](#_Toc104667032)

[6.1 一般规定 28](#_Toc104667033)

[6.2 测试 29](#_Toc104667034)

[6.3 计算和记录 31](#_Toc104667035)

[7 变水头法 34](#_Toc104667036)

[7.1 一般规定 34](#_Toc104667037)

[7.2 测试 35](#_Toc104667038)

[7.3 计算和记录 37](#_Toc104667039)

[8 人工降雨法 39](#_Toc104667040)

[8.1 一般规定 39](#_Toc104667041)

[8.2 测试 39](#_Toc104667042)

[8.3 计算和记录 41](#_Toc104667043)

[附录A 土的工程分类 43](#_Toc104667044)

[附录B 水的动力黏滞系数 45](#_Toc104667045)

[附录C 试验记录表 46](#_Toc104667046)

[本标准用词说明 51](#_Toc104667047)

[引用标准名录 52](#_Toc104667048)

[条文说明 53](#_Toc104667049)

Contents

[1 General provisions 1](#_Toc101358452)

[2 Terms and symbols 5](#_Toc101358453)

[**2.1 Terms** 5](#_Toc101358454)

[**2.2 Symbols** 6](#_Toc101358455)

[3 Basic Requirements 8](#_Toc101358456)

[**3.1 General requirements** 8](#_Toc101358457)

[**3.2 Test procedure** 9](#_Toc101358458)

[**3.3 Selection of test methods** **and quantity** 12](#_Toc101358459)

[**3.4 Test result evaluation and test report** 14](#_Toc101358460)

[4 Percolation cartridge method 19](#_Toc101358461)

[**4.1 General requirements** 19](#_Toc101358462)

[**4.2 Testing** 19](#_Toc101358463)

[**4.3 Calculation and recording** 21](#_Toc101358465)

[5 Water injection method in test pit 22](#_Toc101358466)

[**5.1 General requirements** 24](#_Toc101358467)

[**5.2 Testing** 24](#_Toc101358468)

[**5.3 Calculation and recording** 26](#_Toc101358470)

[6 Constant head method 28](#_Toc101358471)

[**6.1 General requirements** 28](#_Toc101358472)

[**6.2 Testing** 29](#_Toc101358473)

[**6.3 Calculation and recording** 31](#_Toc101358475)

[7 Variable head method 34](#_Toc101358476)

[**7.1 General requirements** 34](#_Toc101358477)

[**7.2 Testing** 35](#_Toc101358478)

[**7.3 Calculation and recording** 37](#_Toc101358480)

[8 Artificial rainfall method 39](#_Toc101358481)

[**8.1 General requirement** 39](#_Toc101358482)

[**8.2 Testing** 39](#_Toc101358483)

[**8.3 Calculation and recording** 41](#_Toc101358485)

[Appendix A Engineering classification of soil 43](#_Toc101358486)

[Appendix B Dynamic viscosity coefficient of water 45](#_Toc101358487)

[Appendix C Test record form 46](#_Toc101358489)

[Explanation of wording in this standard 51](#_Toc101358490)

[List of quoted standards 52](#_Toc101358491)

[Addition:Explanation of provisions 53](#_Toc101358493)

# 1 总 则

**1.0.1** 为了在海绵城市建设浅层土壤渗透性测试中贯彻执行国家的技术经济政策，做到安全适用、技术先进、数据准确、评价正确，为海绵城市设计、施工及验收提供可靠依据，统一试验方法，制定本标准。

**【条文说明】1.0.1** 海绵城市建设是通过城市规划、建设的管控，从“源头减排、过程控制、系统治理”着手，综合采用“渗、滞、蓄、净、用、排”等技术措施，有效控制城市降水径流，最大限度地减少城市开发建设对原有自然水文特征和水生态环境造成的影响，使城市在适应环境变化、抵御自然灾害等方面具有良好的“弹性”，实现自然积存、自然渗透、自然净化的城市发展方式。

土壤入渗是指水分进入土壤形成土壤水的过程，它是降水、地面水、土壤水和地下水相互转化过程中的一个重要环节。

地表以下通过第一个连续稳定的自由水面可把岩土层分为包气带和饱水带，如图1所示。

图示, 示意图

描述已自动生成

**图1 包气带和饱水带分布示意图**

包气带作为地下水位以上的非饱和地层，是由气—液—固三相构成的系统，也是大气降水进入潜水含水层的必经通道，是海绵城市建设最重要的地下储水空间，其透水性能和厚度决定着海绵城市建设的地质适宜性。包气带的渗透性决定了地表降水进入地下储水空间的能力，其渗透性越好，地表降水转为地下水的总量便越大，其渗透性不良，地表降水中的相当一部分便转为地表径流。因此，当包气带渗透性强、厚度大时，对海绵城市建设较为有利。表征包气带透水性能的参数主要是渗透系数，是描述土壤入渗快慢的极为重要的土壤物理特征参数之一，土壤渗透性越好，地表径流就会越少，渗透系数可通过渗透试验确定。

传统工程建设中，测试土壤的渗透系数，主要关注深层（＞2m）土壤的渗透性，确保工程安全，而海绵城市建设的雨水入渗主要集中在浅层（0~2m）土壤。

本标准所指的浅层土壤指地面下2m范围内，若2m范围内存在地下水，则为地面至地下水位内的包气带土壤。

目前，在海绵城市建设及相关的研究中，对于浅层土壤的研究及相关测试规程较少、且未有测试、评价、验收等方面的统一规定。因此，本标准的制定旨在规范海绵城市建设领域浅层土壤渗透性测试工作，总结经验，统一试验方法，提高测试工作的质量，为海绵城市工程勘察、设计、施工、验收提供依据。

**1.0.2** 本标准适用于海绵城市建设浅层土壤渗透性指标的测定与评价，不适用于岩石土层的测试。

**【条文说明】1.0.2** 本标准适用于海绵城市建设浅层土壤渗透性指标的测定与评价，具体分为为设计提供依据的原状场地浅层土壤渗透性测试与评价和场地施工后为验收提供依据的测试与评价。

**1.0.3**浅层土壤渗透性测试应根据各种测试方法的适用范围和特点，结合场地条件、设计方案、施工质量的可靠性、使用要求等因素，合理选择测试方法，正确判定测试结果。

**【条文说明】1.0.3** 本条是本标准编制的基本原则。土壤渗透系数是土体物理力学指标中变异系数较大的参数之一。同时，由于各种测试方法在可靠性或经济性方面存在不同程度的局限性，多种方法配合时又具有一定的灵活性。因此，应根据测试目的、测试方法的适用范围和特点，考虑上述因素合理选择测试方法，使各种测试方法尽量能互为补充或验证，实现各种方法合理搭配、优势互补。

试验资料的分析整理，对提供准确可靠的测试指标是十分重要的。内容涉及成果整理、参数的选择，并计算相应的标准差、变异系数或绝对误差与相对误差指标等。根据误差分析，对不合理的数据进行研究、分析原因，或有条件时，进行一定的补充试验，以便决定对可疑数据的取舍或改正。

**1.0.4** 海绵城市建设浅层土壤渗透性测试，除应符合本标准规定外，尚应符合国家现行有关标准和现行中国工程建设标准化协会有关标准的规定。

**【条文说明】1.0.4** 由于测试工作需在工地现场或者试验室内进行，因此浅层土壤渗透性测试工作不仅应满足国家现行有关标准的技术要求，还应符合工地安全生产、防护、环保等有关标准的规定。

# 2 术语和符号

## 2.1 术 语

**2.1.1** 海绵城市sponge city

通过城市规划、建设的管控，从“源头减排、过程控制、系统治理”着手，综合采用“渗、滞、蓄、净、用、排”等技术措施，有效控制城市降水径流，最大限度地减少城市开发建设对原有自然水文特征和水生态环境造成的影响，使城市在适应环境变化、抵御自然灾害等方面具有良好的“弹性”，实现自然积存、自然渗透、自然净化的城市发展方式。

**2.1.2** 浅层土壤 surface soil

地面下2m范围内，或2m范围内存在地下水，则为地面至地下水位内的包气带土壤。

**2.1.3** 土体渗透性 permeability of soil

土体透水的能力。

**2.1.4** 渗透系数 permeability coefficient

反映土体透水性能的比例系数，其数值等于水力坡降*i*=1时的渗透速度。

**2.1.5** 水力坡降 hydraulic gradient

单位渗流长度的水头损失。

**2.1.6** 水头 water head

含水层某处单位重量水的能量，以液柱高度表示，包括位置水头、压力水头和速度水头。

**2.1.7** 水的动力黏滞系数 dynamic viscosity coefficient of water

描述水[内摩擦力](https://baike.baidu.com/item/%E5%86%85%E6%91%A9%E6%93%A6%E5%8A%9B)性质的物理量，表征水反抗[形变](https://baike.baidu.com/item/%E5%BD%A2%E5%8F%98/718421)的能力，其数值大小随着温度升高而减少。

**2.1.8** 渗透速率 seepage velocity

水流通过土体单位过水断面面积的流量。相当于水力坡度1时的[渗透系数](https://baike.baidu.com/item/%E6%B8%97%E9%80%8F%E7%B3%BB%E6%95%B0/9629875" \t "_blank)，并与[水力坡度](https://baike.baidu.com/item/%E6%B0%B4%E5%8A%9B%E5%9D%A1%E5%BA%A6/8271637)成正比。

**2.1.9** 土试样 soil specimen

用于试验的具有代表性的土样。

## 2.2 符 号

**2.2.1** 几何参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *A* | —— | 试样面积； |
| *A*a | —— | 测试场地面积； |
| *A*h | —— | 铁环面积，双环法为内环面积； |
| *L* | —— | 渗径，等于试样高度； |
| *a* | —— | 变水头管截面积； |
| *d* | —— | 饱和土层厚度，即渗透经过的距离； |
| *h* | —— | 水层厚度； |
| Δ*h* | —— | 水头差，为水层厚度与试样高度之和。 |

**2.2.2** 物理参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *e* | —— | 孔隙比； |
| *k* | —— | 渗透系数； |
| *k*T | —— | 温度为T（°C）时的渗透系数； |
| *k*20 | —— | 标准温度时试样的渗透系数； |
| *m*d | —— | 试样干质量； |
| *ρ*d | —— | 试样干密度； |
| *ρ*s | —— | 土的颗粒密度。 |

**2.2.3** 测试参数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *H* | —— | 平均水位差； |
| *Hb*1 | —— | 变水头法开始时水头； |
| *Hb*2 | —— | 常水头法终止时水头； |
| *Hy*1 | —— | 试坑法试验结束时水的渗入深度； |
| *Hy*2 | —— | 试坑法贮水坑中水的深度； |
| *Hy*3 | —— | 试坑法作用毛细管力的水柱高度； |
| *Q* | —— | 渗出水量； |
| *Qi* | —— | 第i次渗出水量； |
| *V*降雨 | —— | 在*t*时间内的累积人工降雨量； |
| *V*外排 | —— | 在*t*时间内的累积出流量； |
| *t* | —— | 渗出水量*Q*时所需的时间； |
| *ti* | —— | 第i次渗滤所间隔的时间； |
| *vi* | —— | 第i次断面平均渗透速度。 |

**2.2.4** 计算系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| *η*T | —— | ToC时水的动力黏滞系数； |
| *η*20 | —— | 20oC时水的动力黏滞系数。 |

# 3 基本规定

## 3.1 一般规定

**3.1.1** 海绵城市建设浅层土壤渗透性测试分为为设计提供依据的原状场地浅层土壤渗透性测试与评价和施工后为验收提供依据的测试与评价。

**【条文说明】3.1.1**海绵城市建设一般按勘察、设计、施工、验收四个阶段进行，浅层土壤渗透性测试工作多数情况下分别放在勘察和验收阶段，即设计前和施工后。其目的为设计和施工后的验收提供依据与评价。

**3.1.2** 本标准中用到的各种仪器设备应在检定或校准的有效期内。现场测试前，应对仪器设备进行检查调试。

**【条文说明】3.1.2** 试验所用的仪器应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406的规定。根据国家计量法的要求，试验所用的仪器设备应定期检定或校验，以保证测试数据的准确可靠性和可追溯性。对通用仪器设备，应按有关的检定或校验规程进行，对专用仪器设备可参照国家现行相关标准进行校验。

虽然测试仪器在有效计量检定或校准周期内，但由于现场检测工作的环境较差，使用期间仍可能由于使用不当或环境恶劣造成仪器仪表受损。因此，现场测试前还应加强对测试仪器、配套设备的期间核查；发现问题后应重新检定或校准。

**3.1.3** 本标准以水温20℃为标准温度，标准温度下的渗透系数应根据试验得出的渗透系数按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （3.1.3） |

式中： *k*20——标准温度时试样的渗透系数；

*k*T——试验水温T℃时试样的渗透系数；

*η*T——T℃时水的动力黏滞系数（kPa·s）；

*η*20——20℃时水的动力黏滞系数（kPa·s），水的动力黏滞系数比*η*T /*η*20按附录B取值。

**【条文说明】3.1.3** 渗透系数与水的动力黏滞系数有关，而动力黏滞系数与温度有关，为此，在计算中要换算到标准温度下的渗透系数。国内现行规范《土工试验方法标准》（GB/T 50123-2019）、《公路土工试验规程》（JTG E40-2007）等均将标准温度定为20℃，也与国际上一些国家的标准一致。

**3.1.4** 本标准试验用水，除特殊要求外均应为纯水。

## 3.2 测试工作程序

**3.2.1** 海绵城市浅层土壤渗透性测试工作宜按照接受委托、调查和资料收集、制定测试方案、前期准备、现场测试、计算分析和结果评价、测试报告的程序进行。

**【条文说明】**3.2.1 关于海绵城市浅层土壤渗透性测试工作程序的规定。

测试工作程序如图2所示。

在实际执行测试程序中，由于委托要求、场地情况等因素的变化，可能使原测试方案中的测试数量、测试方法发生变化，测试方案可根据实际情况进行动态调整。

接受委托

调查、资料收集

制定测试方案

前期准备

现场测试

计算分析和结果评价

测试报告

重新测试，验证、扩大测试

**图2 测试工作程序框图**

**3.2.2** 调查、资料收集宜包括下列内容：

**1** 收集被测试工程的岩土工程勘察资料、海绵城市建设工程设计文件、施工记录，了解施工工艺和施工中出现的异常情况；

**2** 委托方的具体要求；

**3** 现场实施的可行性。

**【条文说明】3.2.2** 根据第1.0.3条的原则，本条对调查阶段工作提出了具体的要求。为了正确地对浅层土壤渗透性进行测试与评价，提高测试工作的质量，做到有的放矢，应尽可能详细了解和搜集有关技术资料。

**3.2.3** 测试方案的内容宜包括：工程概况、工程地质和水文地质条件、设计要求、施工工艺、测试方法和数量、测试点位选取原则、测试进度及所需的机械或人工配合。

**【条文说明】3.2.3** 本条提出的测试方案内容为一般情况下包含的内容，其他情况应根据项目特点进行详细说明。

**3.2.4** 验收测试的受检点位选择，可按照以下原则选取：

**1** 施工质量有疑问的区域；

**2** 局部地基条件出现变化的区域；

**3** 设计方认为重要的区域；

**4** 施工工艺不同的区域；

**5** 除本条第1~2款指定的受检区域外，其余受检点位的测试数量应符合本标准第3.3.2~3.3.3条的相关规定，点位布置应尽量均匀。

**【条文说明】3.2.4** 由于测试成本和周期因素，很难做到对工程范围内全部浅层土壤进行测试。施工后验收测试的最终目的是查明隐患、判定是否满足设计使用要求。为了在有限的测试数量中更能充分暴露存在的质量问题，宜优先测试本条第1~4款所列的区域，并考虑一定的随机性。

**3.2.5** 当发现测试数据异常时，应查明原因并重新测试。

**【条文说明】3.2.5** 测试数据异常通常是因测试人员误操作、仪器设备故障及现场准备不足造成的。用不正确的测试数据进行分析得出的结论必然不正确。对此，应及时分析原因，组织重新测试。

**3.2.6** 当现场操作环境不符合仪器设备使用要求时，应采用有效的防护措施。

**【条文说明】3.2.6** 操作环境要求是按照测试仪器设备对使用温湿度、电磁干扰、天气等现场环境条件的适应性规定的。

## 3.3 测试方法选择和数量

**3.3.1** 浅层土壤渗透性测试应根据测试目的、土壤类型、测试方法的适用性等，可按表3.3.1合理选择测试方法。当通过两种或两种以上测试方法的相互补充、验证，能有效提高测试结果可靠性时，应选择两种或两种以上的测试方法。

**表3.3.1 海绵城市建设浅层土壤渗透性测试方法适用条件**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验方法 | 浅层土壤分类 | | | |
| 黏性土 | 粉土 | 砂土 | 碎石土 |
| 渗漏筒法 | △ | ○ | ○ | — |
| 试坑注水法 | ○ | ○ | ○ | △ |
| 常水头法 | — | △ | ○ | — |
| 变水头法 | ○ | △ | — | — |
| 人工降雨法 | △ | ○ | ○ | ○ |

注：1 ○代表适用；△代表部分适用；—代表不适用；

2 人工填土层宜根据填土土性按照上表选用相应的测试方法。

**【条文说明】3.3.1** 浅层土壤渗透性测试应在保证准确全面判定的原则上，首选适用、快速、经济的测试方法。当一种方法不能全面评判其渗透性时，应采用两种或多种测试方法组合进行测试。

本条强调测试方法合理选择，目的是提高测试结果的可靠性，也是第1.0.3条的原则体现。表3.3.1所列5种方法是渗透性测试中常用的测试方法，应依据测试目的、内容和要求，结合各测试方法的适用范围，考虑设计、土质条件、施工因素等情况确定，不允许超适用范围选用。

对同一场地土层进行渗透性测试，应注意场地试验点选择具有代表性，宜运用现场试验、室内试验等多种方法进行测试，综合分析评价后提出试验的建议成果。对现场试验土层进行室内试验时，应取得对应土层的原状土样，确保原状结构，不失水分，土样数量足够，包装完好。多种方法进行测试时，应确保各试验点土性一致，状态相同。

目前，除表3.3.1所示的测试方法外，在科学研究、工程应用中还采用自制入渗仪或其他测试浅层土壤渗透性的方法。在应用本标准规定外的测试和结果评价中，应采用表3.3.1中的测试方法进行对比，兼顾实施中的经济合理性，及在满足正确评价的前提下，做到快速经济。

**3.3.2** 为设计提供依据的浅层土壤渗透性应依据设计确定的条件，采用相应方法确定，测试数量应满足设计要求，每10000m2建设场地不应少于3组，每组测试不应少于3点；且在同一条件下不应少于3组，每组测试不应少于3点。当建设场地面积不足10000m2时，按建设场地面积为10000m2时执行。

**【条文说明】3.3.2** 本条所述的“同一条件”是指海绵城市设施、测试土层、施工条件相同。本条规定每10000m2建设场地且同一条件下不得少于3组，每组不得少于3个测点，是保障合理评价测试结果的底限要求。若实际中由于某种原因不足以为设计提供可靠或设计另有要求时，可根据实际情况增加测试数量。

**3.3.3** 为施工后验收提供依据的测试，其测试数量应符合下列规定：

**1** 每5000m2建设场地不应少于3组，每组测试不应少于3点；且在同一条件下不应少于3组，每组测试不应少于3点；

**2** 除符合本条上款规定外，下凹式绿地、生态树池、透水铺装等渗透设施下测试数量不应少于1组；

**3** 当符合本标准第3.2.4条第1、2款规定，或为了全面了解整体工程场地范围内浅层土壤渗透性时，宜增加测试数量。

**【条文说明】3.3.3** 本条规定了在何种条件下浅层土壤应进行验收测试的数量低限。

**3.3.4** 当测试结果变异性较大、不满足设计要求时，应分析原因并扩大测试。验证或扩大测试采用的方法和测试数量应得到工程建设有关方的确认。

**【条文说明】3.3.4** 通常，因测试数量有限，当测试中发现不满足设计要求或者测试结果离散型较大，应扩大测试，其数量宜根据地基条件、施工质量变异性等因素合理确定。

## 3.4 测试结果分析和测试报告

**3.4.1** 应进行正确的数据分析和整理。整理时对试验资料中明显不合理的数据，应通过研究，分析原因（试样的代表性、试验过程中出现的异常情况等），或在有条件时，按照本标准3.2.4、3.3.4的有关要求，进行一定的补充试验后，对可疑数据进行取舍。

**3.4.2** 取舍试验数据时，应根据误差分析或概率的概念，按三倍标准差（即±3*s*）作为取舍标准，即在资料分析中应该舍去那些在±3*s*范围以外的测定值，然后重新计算整理。

**3.4.3** 在成果整理时应采用下列公式计算多次测定值*x*i的算术平均值，并计算出相应的标准差*s*和变异系数*c*v：

**1** 算数平均值应按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （3.4.3-1） |

式中： *n*——指标测定的总次数；

——指标测定值的总和。

**2** 标准差*s*应按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （3.4.3-2） |

**3** 变异系数*c*v应按下式计算，并按表3.4.3评价变异性：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （3.4.3-3） |

**表3.4.3 变异性评价**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变异系数 | *c*v<0.1 | 0.1≤*c*v<0.2 | 0.2≤*c*v<0.3 | 0.3≤*c*v<0.4 | *c*v≥0.4 |
| 变异性 | 很小 | 小 | 中等 | 大 | 很大 |

**【条文说明】**3.4.3 计算标准差用以反映实际测定值对算数平均值的变化程度，从而判断其采用算数平均值时的可靠性。

**3.4.4** 渗透系数的最大允许差值为±2.0×10-ncm/s。在测得的结果中取3～4个在允许差值范围内的数据，取其平均值作为试样的渗透系数。

**【条文说明】3.4.4**  与《土工试验方法标准》（GB/T 50123）保持一致，取同次方的最大与最小的差值不大于2.0的3个～4个结果，并取其平均值，作为该试样的平均渗透系数。

**3.4.5** 浅层土壤渗透性测试结果，应给出每个测点及整个场地的渗透性类别，浅层土壤渗透性类别应符合表3.4.5的规定。

**表3.4.5 土壤渗透性等级**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 等级 | 渗透系数*k*（cm/s） | 典型土类 |
| 极强透水 | *k*≧100 | 均匀的漂砾 |
| 强透水 | 10-2≦*k*<100 | 砾石、卵石 |
| 中等透水 | 10-4≦*k*<10-2 | 砂，含砂砾石 |
| 弱透水 | 10-5≦*k*<10-4 | 粉土，含细粒土砂 |
| 微透水 | 10-6≦*k*<10-5 | 黏性土~粉土 |
| 极微透水 | *k*<10-6 | 黏性土 |

**【条文说明】3.4.5** 本条浅层土壤渗透性等级划分标准参照《建筑工程抗浮技术标准》（JGJ 476）执行。为使渗透系数更接近工程实际情况，表3的渗透系数经验值可供参考。

**表3 渗透性类别**

| 类别 | 渗透系数*k* | |
| --- | --- | --- |
| （m/d） | （cm/s） |
| 黏土 | <0.001 | <1.2×10-6 |
| 粉质黏土 | 0.001~0.1 | 1.2×10-6~1.2×10-4 |
| 粉土 | 0.1~0.5 | 1.2×10-4~6.0×10-4 |
| 黄土 | 0.25~0.5 | 3.0×10-4~6.0×10-4 |
| 粉砂 | 0.5~1.0 | 6.0×10-4~1.2×10-3 |
| 细砂 | 1.0~5.0 | 1.2×10-3~6.0×10-3 |
| 中砂 | 5.0~20.0 | 6.0×10-3~2.4×10-2 |
| 均质中砂 | 35.0~50.0 | 4.0×10-2~6.0×10-2 |
| 粗砂 | 20.0~50.0 | 2.4×10-2~6.0×10-2 |
| 均质粗砂 | 60.0~75.0 | 7.0×10-2~8.6×10-2 |
| 圆砾 | 50.0~100.0 | 6.0×10-2~1.2×10-1 |
| 卵石 | 100.0~500.0 | 1.2×10-1~6.0×10-1 |
| 无填充的卵石 | 500.0~1000.0 | 6.0×10-1~1.2 |

**3.4.6** 浅层土壤渗透性验收测试应提供场地渗透性检测值，并评价渗透系数是否满足设计要求。

**3.4.7** 试验报告的编写和审核应符合下列规定：

**1** 试验报告所依据的试验数据应进行整理、检查、分析，经确定无误后方可采用；

**2** 试验报告的内容可包括：试验方案的简要说明，试验数据和基本结论。其中试验方案的内容可包括工程概况，所需解决的问题以及由此对试样的采制，试验项目和试验条件提出的要求；

**3** 试验报告中应采用国家颁布的法定计量单位；

**4** 试验报告应按下列方面审查：

**1)** 对照委托任务书，检查试验项目应齐全；

**2)** 检查试验项目应按照试验方法标准进行；

**3)** 综合分析检查指标是否合理；

**4)** 试验报告中数据统计分析应合理，结果应准确；

**5)** 检查土的定义应与相关标准相符。

**5** 试验报告审批应符合下列程序：

**1)** 由试验人员填写成果汇总表；

**2)** 经校核人员校核汇总表中的数据；

**3)** 由试验负责人编写试验报告；

**4)** 由技术负责人签字并盖章发送。

**3.4.8** 测试报告应包括下列内容：

**1** 委托方名称，工程名称、地点，建设、勘察、设计、监理和施工单位，结构形式、设计要求，测试目的，测试依据，测试数量，测试日期；

**2** 场地工程地质条件、水文地质条件描述；

**3** 测试位置的土体类型、位置和相关的施工记录；

**4** 测试方法，仪器设备，测试过程叙述；

**5** 测试数据，实测与计算分析曲线、表格和汇总结果；

**6** 与测试内容相关的结论。

**【条文说明】3.4.8** 测试报告应根据所采用的测试方法和相应的内容出具测试结论。为使报告具有较强的可读性和内容的完整性，除报告用词规范、结论明确、必要的概况描述外，报告中还应包括测试原始记录信息或其直接导出的信息，即测试报告应包含测试点的原始测试数据和曲线，杜绝报告中仅有测试结果而无任何测试数据和图表的现象。

# 4 渗滤筒法

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 渗漏筒法可适用于测定海绵城市建设中浅层砂土、粉土、黏性土的渗透系数。

**【条文说明】4.1.1** 渗漏筒法根据达西定律，最早应用于森林土壤渗滤率（渗透系数）的测定（《森林土壤渗滤率的测定》LY/T 1218），用来设计防止土壤侵蚀的措施、预测土壤水分可能暂时停滞的情况，制定灌溉制度等。

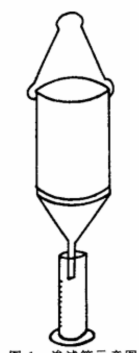
渗漏筒法适用于测定透水性较大的砂性土、粉土的渗透系数。对于渗透系数很小的黏性土，渗水量很少，不易准确测定。

**4.1.2** 试验用水宜采用纯水或经过滤的清水。在试验前应采用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时的水温宜高于室温3℃～4℃。

## 4.2 测试

**4.2.1** 渗滤筒测试方法适用仪器设备应包括渗滤筒、量筒（500mL）、烧杯、漏斗、秒表、温度计等。

【条文说明】4.2.1 渗滤筒示意图见图3。



**图3 渗滤筒示意图**

**4.2.2**  采用渗滤筒法测试土壤渗透性应按照下列步骤进行：

**1** 应在选定的试验地上和点位，用渗滤筒采取原状土，取土深度为10cm；取土后应将垫有滤纸的底筛网盖好，带回室内待测定；

**2** 将渗滤筒浸入水中，注意水面不应超过土柱，一般砂土可浸4~6h，粉土可浸8~12h，黏性土可浸24h；

**3** 到预定时间后应将渗滤筒取出，挂在适当位置，待重力水滴完后装上漏斗，漏斗下承接一烧杯；

**4** 应在渗滤筒上部加5cm深的水层（标记记号），待漏斗下面滴下第一滴水时开始计时，每隔1、2、3、5、10……*ti*……*tnmin*更换漏斗下的烧杯，并分别计量渗滤出水量*Q*1*、Q*2*、Q*3*、Q*4*、Q*5……*Qi*……*Qn*。每更换一次烧杯，应迅速将渗滤筒上面的水层加至5cm的深度，并记录水温（℃）；

**5** 渗滤筒法实验时，根据不同类型的土壤，试验一般在30min到1h即开始稳定。如果不稳定，应继续延长到单位时间内渗出水量相等时为止，并应同时测定渗滤筒中水的温度（℃）。

【条文说明】4.2.2 关于渗滤筒法测试土壤渗透性步骤的规定。

4 更换烧杯间隔时间的长短，视渗滤快慢而定，注意要保持一定的压力梯度。通常砂性土时间间隔可用1min~5min，粉土时间间隔可用5min~15min，每次渗滤出水量以100~200ml为宜。

## 4.3 计算和记录

**4.3.1** 断面平均渗透速度应按照下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.3.1) |

式中：*vi*——第i次断面平均渗透速度（cm/s）；

*Qi*——第i次渗出水量（mL，即cm3）；

*A*——试样的断面积（cm2）；

*ti*——第i次渗滤所间隔的时间（s）。

**4.3.2** 渗透系数应按照下式计算，并应按照本标准3.1.3的规定换算成温度为20℃时的渗透系数。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (4.3.2) |

式中： *k*T——试验水温T℃时试样的渗透系数（mm/min）；

*L*——渗径，等于试样高度（cm）；

Δ*h*——水头差，为水层厚度与试样高度之和（cm）；

*h*——水层厚度（cm）。

**4.3.4** 渗滤筒法渗透试验的记录格式应符合本标准表C.0.1的规定。

**【条文说明】4.3.4** 以下述测试为例说明试验记录内容。

土壤渗透性测定记录表（见表3）举例：

渗滤筒面积（*S*）：78.54cm2；

试验土层厚度（*L*）：10cm；

水层厚度（*h*）：5cm；

水温（T）：15.2℃。

土壤渗透系数测定结果计算举例：

渗透速度：

渗透系数：

20℃时渗滤系数，根据式（3.1.3）可计算得出*k*20=1.264×10-2cm/s。**表3 土壤渗滤率测定记录表**

| 渗滤时间 | | | 每段时间渗出水量  mL  *Q*1*…...Q*n | 渗透速度  mm/min | 水温T  ℃ | 渗透系数 | |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 时间 | | 自开始后min  *t*1*…...t*n | *k*T | *k*20 |
| h | min |
| 13 | 44 | 0 | 0 |  |  |  |  |
| 13 | 46 | 2 | 190 | 0.0202 | 15.3 | 1.344×10-2 | 1.526×10-2 |
| 13 | 48 | 4 | 177 | 0.0188 | 15.3 | 1.252×10-2 | 1.422×10-2 |
| 13 | 50 | 6 | 172 | 0.0182 | 15.3 | 1.217×10-2 | 1.382×10-2 |
| 13 | 52 | 8 | 164 | 0.0174 | 15.3 | 1.160×10-2 | 1.317×10-2 |
| 13 | 54 | 10 | 166 | 0.0176 | 15.3 | 1.174×10-2 | 1.333×10-2 |
| 13 | 56 | 12 | 160 | 0.0170 | 15.2 | 1.132×10-2 | 1.288×10-2 |
| 13 | 58 | 14 | 157 | 0.0167 | 15.2 | 1.111×10-2 | 1.264×10-2 |
| 14 | 0 | 16 | 157 | 0.0167 | 15.2 | 1.111×10-2 | 1.264×10-2 |
| 14 | 2 | 18 | 157 | 0.0167 | 15.2 | 1.111×10-2 | 1.264×10-2 |
| 14 | 4 | 20 | 157 | 0.0167 | 15.2 | 1.111×10-2 | 1.264×10-2 |

# 5 试坑注水法

## 5.1 一般规定

**5.1.1** 试坑注水法可适用于测定海绵城市建设中浅层砂土、粉土、黏性土的渗透系数。

**5.1.2** 试验方法有双环法和单环法，砂土及粉土宜用单环法，黏性土宜用双环法。

**【条文说明】5.1.2**  原位渗透系数的测定，以抽水、注水法测定结果较为可靠。但由于设备复杂，耗费大，仅在特殊需要时才采用。本标准中给出了试坑注水法，适用于地下水位埋藏较浅情况。但对细粒土应考虑毛细管引力对渗透系数的影响，否则将导致结果偏大。同时，此法应用于地下水面较深情况时，应予以注意。单环法由于没有考虑侧向渗透的影响，试验成果精度稍差；双环法基本排除了侧向渗透的影响，试验成果较为准确。

## 5.2 测试

**5.2.1** 试坑注水法可采用以下仪器设备：

**1** 铁环：双环法为内环直径25cm、高15cm，外环直径50cm、高15cm，单环法铁环直径37cm~75cm(铁环横截面积10000cm2)、高15cm。

**2** 5000mL~l0000mL装有斜口玻璃管和橡皮塞的供水瓶，根据试验需要可为一个或多个。供水瓶的分度值为50mL。

**3** 温度计：量程0℃~50℃，分度值1℃。

**4** 其它设备：土钻、吸水球及原位测试含水率设备。

**【条文说明】5.1.2**试坑注水法可采用图4所示的形式。

(a)双环法

**图4 试坑注水法示意图**

1—铁环 2—砾石层 3—支架 4—供水瓶

(b)单环法

4

3

3

4

1

2

2

1

1

**5.2.2** 试坑注水法测试土壤渗透性应按照以下步骤进行：

**1**  应在试验地区拟定的测试地点按预定深度开挖一面积不小于1.0m×1.5m的试坑，在坑底再下挖一直径等于外环、深10cm~15cm的贮水坑，整平坑底；

**2** 把铁环小心放入贮水坑中，钢环入土深度至环上的起点刻度。双环法应使内、外环成同心圆状，两环上缘应在同一水平面上。压环时，须防止土的压实或变形。如扰动过大，应重新挖试坑；

**3** 在环底部土体上均铺2cm厚的砾石层，然后向环内注入清水至满，安放支架至水平位置。将供水瓶注满清水后倒置于支架上，供水瓶的斜口玻璃管插入环内水面以下。双环法注水时，支架上倒置2个注满清水的供水瓶，2个供水瓶的斜口玻璃管分别插入内环和内外环之间的水面以下，玻璃管的斜口应在同一高度上，即环口水平面；

**4** 打开橡皮塞，调节供水瓶出水量，以保持环内水位不变。双环法注水时，内环和内外环之间的水面应在同一高度；

**5** 记录渗水开始时间及供水瓶的水位和水温。经一定时间后，测记在此时间内由供水瓶渗入土中的水量，直至流量稳定为止；

**6** 从供水瓶流出的水量达稳定后，在1h~2h内测记流出水量至少5次~6次。每次测记的流量与平均流量之差不应超过10%。双环法主要测记内环供水瓶的流量；

**7** 试验结束后，应拆除仪器，吸出贮水坑中的水。

**5.2.3** 试验结束后在离试坑中心3m~4m以外，钻几个3m~4m深的钻孔，每隔0.2m取土样1个，平行测定其含水率。根据含水率的变化，确定渗透水的入渗深度。

## 5.3 计算和记录

**5.3.1** 渗透系数应按下列公式计算，并应换算成20℃时的渗透系数*k*20：

**1** 近似值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.3.1-1) |

**2** 较精确值

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (5.3.1-2) |

式中： *Q*——渗透水量，双环法为内环渗透水量(cm3)；

*t*­——时间(s)；

*Ah*——铁环面积，双环法为内环面积(cm2)；

*Hy*1——试验结束时水的渗入深度（试验后开挖确定）；

*Hy*2——贮水坑中水的深度(cm)；

*Hy*3——相当于作用毛细管力的水柱高度(cm)，

3 相当于作用毛细管力的水柱高度*Hy*3应按照表5.3.1取值：

**表5.3.1 相当于作用毛细管力的水柱高度表(cm)**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土的名称 | *Hy*3 | 土的名称 | *Hy*3 |
| 粉质黏土 | 100 | 黏土质细砂 | 30 |
| 砂质黏土 | 80 | 细砂 | 20 |
| 粉土 | 60 | 中砂 | 10 |
| 砂质粉土 | 40 | 粗砂 | 5 |

**5.3.2** 试坑注水法渗透试验的记录格式应符合本标准附录C表C.0.2的规定。

# 6 常水头法

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 常水头渗透试验可适用于土壤为粗粒土的渗透系数测试。

**【条文说明】6.1.1** 海绵城市建设中，浅层土壤一般多为人工回填的粗粒土，常水头渗透试验适用于这种粗粒土。

国外有的标准（如JIS）规定：常水头渗透试验适用于渗透系数较大的试样：即k=1×10-2cm/s~1×10-3cm/s。《公路土工试验规程》释义手册描述：一般情况下，常水头法适用于渗透系数大于10-4cm/s的土。

**6.1.2** 试验用水宜采用实际作用于土中的天然水。有困难时，可用纯水或经过滤的清水。在试验前必须用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时的水温宜高于试验室温度3℃～4℃。

**【条文说明】6.1.2** 关于试验用水问题，海绵城市建设主要考虑大气降水的入渗，但实际试验时用雨水有一定困难，所以考虑可用纯水或经过滤的清水。水中含气对渗透系数的影响，主要是由于水中气体分离，形成气泡堵塞土的孔隙，致使渗透系数逐渐降低，因此，试验中要求用无气水，最好用实际作用于土中的天然场地水。本标准规定采用的纯水要脱气，并规定水温高于试验室温度3℃~4℃，目的是避免水进入试样内因温度升高而分解出气泡。

## 6.2 测试

**6.2.1** 常水头渗透试验测试所用的主要仪器设备，主要包括常水头渗透仪、天平、木锤、秒表等，应符合下列规定：

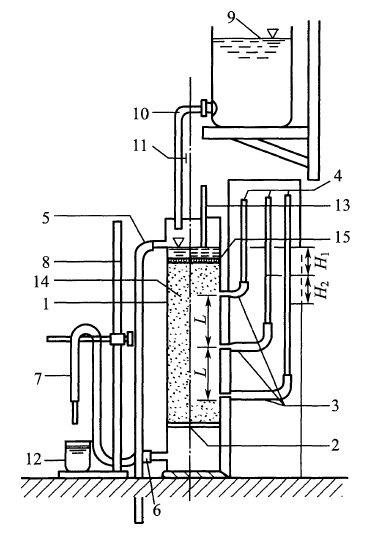
**1** 常水头渗透仪装置（图6.2.1）可由金属封底圆筒、金属孔板、滤网、测压管和供水瓶组成；

**2** 封底圆筒的尺寸参数应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406的规定，当使用其他尺寸的圆筒时，圆筒内径应大于试样最大粒径的10倍；玻璃测压管内径为0.6cm，分度值为0.1cm；

**3** 天平的称量范围宜为0~5000g，分度值宜为1.0g；

**4** 温度计分度值宜为0.5℃；

**5** 量筒体积宜为500mL或者1000mL。



**图6.2.1 常水头渗透仪装置**

1—封底金属圆筒；2—金属孔板；3—测压孔；4—玻璃测压管；5—溢水孔；6—渗水孔；7—调节管；8—滑动支架；9—容量为5000mL的供水瓶；10—供水管；11—止水夹；12—容量为500mL或者为1000mL的量筒；13—温度计；14—试样；15—砾石层

**【条文说明】6.2.1 对常水头渗透试验测试所有仪器设备的要求。**

1 用于常水头渗透试验的仪器有多种，常用的有70型渗透仪和土样管渗透仪，这些仪器设备，操作方法和量测技术等方面与国外大同小异，国内各单位通过多年来的工作实践认为是可行的。为此，除本规定推荐的试验仪器外，也可采用满足要求的其它类别试验仪器。

2 本条圆筒内径应大于试样最大粒径的10倍，这是因为若试样粒径相对圆筒内径较大时，圆筒内壁与部分试样的间隙大，可能出现试样边缘部分渗透水增大；另一方面，试样有效截面积会减小，有效水流长度缩短，造成试验有较大的误差。

**6.2.2** 常水头渗透试验应按下列步骤进行：

**1** 装好测试仪器，量测滤网至筒顶的高度，将调节管7和供水管10相连，从渗水孔6向圆筒内充水至水位略高出滤网顶面，关止水夹11；

**2** 取具有代表性的风干土样3kg～4kg，称量准确至1.0g，测定其风干含水率。将风干土样分层装入圆筒内，每层2cm～3cm，用木锤轻轻击实到一定厚度，以控制孔隙比。当试样中含黏粒较多时，应在滤网上铺2cm厚的粗砂作为过滤层，防止试验时细粒流失。每层试样装完后，慢慢开启止水夹，水由筒底向上渗入，使试样逐渐饱和。水面不得高出试样顶面。当水与试样顶面齐平时，关闭止水夹11。饱和时水流不可太急，以免冲动试样。最后一层试样应高出测压管3cm～4cm，并在试样顶面铺厚约2cm砾石作为缓冲层。当水面高出试样顶面时，应继续充水至溢水孔5有水溢出；

**3** 量试样顶面至筒顶高度，计算试样净高度，称剩余土样的质量，准确至1.0g，计算装入试样总质量；

**4** 静置数分钟后，检查各测压管水位是否与溢水孔齐平。不齐平时，说明试样中或测压管接头处有集气阻隔，用吸水球对准水位低的测压管口进行吸水排气处理，直至水位齐平为止；。

**5** 将调节管7提高至溢水孔5以上，然后将调节管7与供水管10分开，并将供水管10放入圆筒内，开止水夹11，使水由顶部注入圆筒内。降低调节管口，使其位于试样上部1/3高度处，形成水位差使水渗入试样，经调节管7流出。在渗透过程中调节供水管夹，使供水管10流量略多于溢出的水量，溢水孔5应始终有余水溢出，保持圆筒内常水位不变，试样处于常水头下渗透；。

**6** 当测压管4水位稳定后，测记测压管水位。并计算各测压管之间的水位差。开动秒表，同时用量筒12自调节管口接取经一定时间的渗出水量，并重复一次。接取渗出水时，调节管7出水口不可浸入水中。测量进水和出水处的水温，取平均值；

**7** 降低调节管7管口至试样的中部和下部1/3处，以改变水力坡降，按本条5、6款的步骤重复测定渗出水量和水温，当不同水力坡降下测定的数据接近时，结束试验；

**8** 根据工程需要，可以改变试样的孔隙比，测定相应的渗透系数。

**【条文说明】6.2.2** 试样安装时，在滤网上铺2cm厚的粗砂作为过滤层，在试样顶面铺2cm厚的砾石作为缓冲层，过滤层和缓冲层材料的渗透系数应恒大于试样的渗透系数。

试验的水头应控制适当，水头过高会冲毁土试样。对同一土试样做不同水头试验时，均应自低水头试验做起，并以低水头试验成果为主要依据，如土试样确有明显冲坏，试验结果又明显偏高，此时应重新试验。

## 6.3 计算和记录

**6.3.1** 试验结果应按下列公式计算及制图：

**1** 试样的干密度及孔隙比

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （6.3.1-1） |
|  |  | （6.3.1-2） |

式中： ——试样干密度（g/cm3），计算至0.01；

——试样干质量（g）；

*h*——试样高度（cm）；

——试样面积（cm2）；

——试样孔隙比，计算至0.001；

——土的颗粒密度（g/cm3）。

**2** 常水头渗透试验渗透系数：

（6.3.1-3）

式中：——试验水温T℃时试样的渗透系数（cm/s）；

——时间t秒内的渗出水量（cm3）；

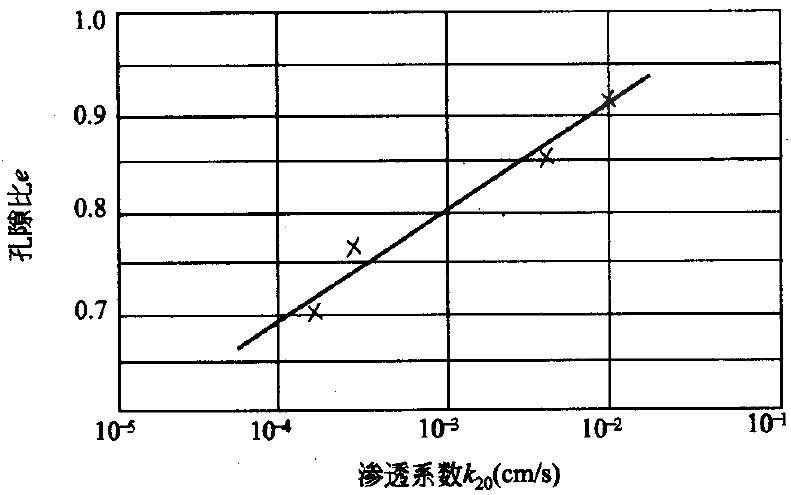
——渗径，等于两测压管中心间的试样高度（cm）；

——试样面积（cm2）；

——平均水位差，H可按(H1+H2)/2公式计算（cm）；

——时间（s）。

**3** 进行不同孔隙比下的渗透系数试验时，可在半对数坐标纸上绘制以孔隙比为纵坐标，渗透系数为横坐标的关系曲线（图6.3.1）。



**图6.3.1 孔隙比与渗透系数关系曲线**

**【条文说明】6.3.1** 水的动力粘滞系数随温度而变化，土的渗透系数与水的动力粘滞系数成反比，因此在任一温度下测定的渗透系数应换算到标准温度下的渗透系数。

**6.3.2**  常水头渗透试验的记录格式应符合本标准表C.0.3的规定。

# 7 变水头法

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 变水头渗透试验可适用于土壤为细粒土的渗透系数测试。

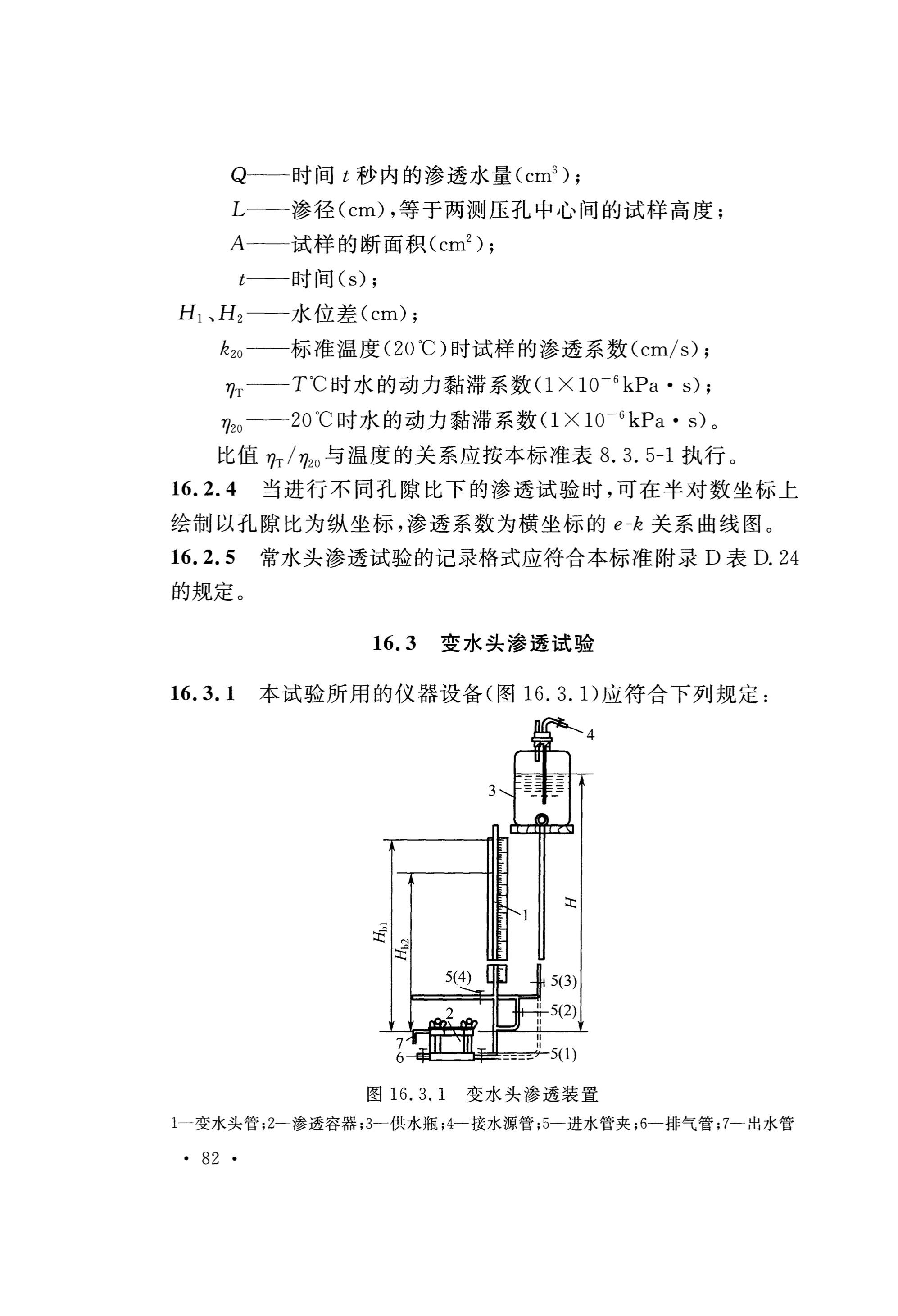
**【条文说明】7.1.1** 按《土的工程分类标准》（GB/T 50145-2007），细粒类土指土样中细粒组（土颗粒粒径d≤0.075mm）含量不小于50%的土。再根据土样中粗粒组（土颗粒粒径0.075mm＜d≤60mm）的含量大小，可进一步分为细粒土及含粗粒的细粒土等。规定变水头法用于测定细粒土的渗透系数比较原则，但较为直观。根据实际试验结果，一般适用于测试渗透系数k介于10-3cm/s～10-6cm/s的土样，按《岩土工程勘察规范》（GB50021-2001）（2009年版）中土的定名，一般适用于测定粉细砂、粉土、粉质黏土的渗透系数。

**7.1.2** 试验用水宜采用纯水或经过滤的清水。在试验前应采用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时的水温宜高于室温3℃～4℃。

**【条文说明】7.1.2** 对于海绵城市建设，主要考虑雨水入渗于地表土体中，故建议采用纯水或经过滤的清水。水中含气对渗透系数的影响主要是由于水中气体分离时，形成的气泡会堵塞土体中的渗流孔隙，从而使渗透系数逐渐降低，因此，试验时应采用无气水。规定水温高于室温3℃～4℃，目的是避免水进入试样时因温度升高而分解出气泡。

## 7.2 测试

**7.2.1**  变水头法采用的仪器设备宜包括变水头渗透装置及其他设备，变水头渗透装置宜由渗透容器、水头装置两部分组成，具体见图7.2.1所示：

****

1—变水头管；2—渗透容器；3—供水瓶；4—接水源管；5—进水管夹；

6—排气管；7—出水管。

**图7.2.1 变水头渗透装置**

**【条文说明】7.2.1** 变水头渗透试验使用的仪器设备应满足试验结果可靠、仪器结构简单、操作方便的要求，还应止水严密，易于排气。

渗透容器一般由环刀、透水板、套筒及上、下盖组成。

测试还用到切土器、秒表、温度计、削土刀、凡士林等设备材料。

**7.2.2** 变水头装置中变水头管的内径应均匀一致，不宜大于1cm，应根据试样渗透系数大小选择内径的大小，长度宜为2m左右，管外壁应有分度值为1.0mm的刻度。

**【条文说明】7.2.3** 细粒土渗透系数小，试验时间段内渗透穿过土试样的水量小，变水头管内水位下降量小，变水头管内径规定不宜大于1cm，是为了增大变水头管内水位下降量，便于精确观测。

**7.2.3** 变水头法测试土壤渗透性主要步骤包括：

**1** 根据需要用环刀在垂直或平行土样层面切取原状试样或扰动土制备成给定密度的试样，进行充分饱和。切土时，应尽量避免结构扰动，不得用削土刀反复涂抹试样表面；

**2** 将渗透容器套筒内壁涂一薄层凡士林，将盛有试样的环刀推入套筒，压入止水垫圈。把挤出的多余凡士林小心刮净。装好带有透水板的上、下盖，并用螺丝拧紧，不得漏气漏水。对不易透水的试样，应进行抽气饱和；对饱和试样和易透水的试样，直接用变水头装置的水头进行试样饱和；

**3** 把装好试样的渗透容器与水头装置连通。利用供水瓶中的水充满进水管，水头高度根据试样结构的疏松程度确定，不应大于2m，待水头稳定后注入渗透容器。将容器侧立，排气管6向上，打开排气管管夹，打开进水管夹5（1），充水排除渗透容器底部的空气，直至溢出水中无气泡为止。关排气管管夹，放平渗透容器；

**4** 在一定水头作用下静置一段时间，待出水管口7有水溢出时，再开始进行试验测定；

**5** 将水头管充水至需要高度后，关止水夹5(2)，开始测记变水头管中起始水头高度和起始时间，按预定时间间隔测记水头和时间的变化，并测记出水口的水温，温度应精确至0.5℃。如此连续测记2～3次后，再使水头管水位回升至需要高度，再连续测记数次，重复试验5次～6次以上。

**【条文说明】7.2.3 关于变水头法土壤渗透性测试步骤的规定。**

**1** 试样饱和是变水头渗透试验中的关键步骤之一，土样的饱和度越小，土体中孔隙内残留的气态越多，将使土的有效渗透面积减小，降低渗透性，故应在试验时对试样进行充分饱和。

**5** 温度相差1度，水的动力粘滞系数比的相对偏差在2%～3%之间，则计算的标准温度下的渗透系数误差为2%～3%之间，相对本标准对渗透系数平行试验的最大允许差值±2.0×10-ncm/s，温度精确至0.5℃完全可以满足试验要求。

## 7.3 计算和记录

**7.3.1** 变水头渗透试验渗透系数应按下式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （7.3.1） |

式中： *a*——变水头管截面积（cm2）；

*L*——渗径，等于试样高度（cm）；

*Hb*1——开始时水头（cm）；

*Hb*2——终止时水头（cm）；

*A*——试样面积（cm2）；

*t*——时间（s）。

**【条文说明】7.3.1** 变水头渗透系数的计算公式是根据达西定律推导而得，求得的渗透系数是测试温度下的渗透系数，应校正到标准温度下的渗透系数。

**7.3.2** 变水头渗透试验记录格式可按表C.0.4的规定。

# 8 人工降雨法

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 人工降雨法可适用于表层土壤渗透性的场地原位测试场景。

**8.1.2** 根据项目需求，人工降雨法在测试土壤渗透性的同时，可同步开展产流与径流污染特征的相关研究工作。

**8.1.3** 测试场地面积应不小于3m2、净空应不低于3m。

**8.1.4** 测试时间应避开阴雨天气，风速不宜高于8m/s，气温不宜低于0℃。

## 8.2 测试

**8.2.1** 人工降雨设备由动力系统、降雨管路系统、控制系统和其他配套设施组成，并满足以下要求：

**1** 动力系统可由水泵、压力表、电动调节阀组成。水泵可采用智能式自吸泵，水泵参数需满足测试试验降雨强度和扬程要求；

**2** 降雨管路系统可包括喷头、喷头管组、供水管路、分水管、电磁阀、降雨支架。喷头可选择旋转下喷式喷头，雨滴大小调控范围0.5mm~6.0mm，降雨均匀度系数大于80%。供水管路与电磁阀根据测试试验降雨强度选择适宜规格。降雨支架高度不小于3m，并设置移动滚轮；

**3** 控制系统宜由计算机、显示屏、信号采集器、降雨软件等组成控制平台，可调节降雨强度，显示管道压力、阀门状态、时间、雨强等信息，并记录降雨过程曲线；

**4** 其他配套设施宜包括水箱、挡水板、承水托盘、防水电子秤、雨量计、温度计，并根据实际测试需要选配流量计、水质监测仪，野外接电不便时需配备发电机。

**5** 水箱容积应不小于1m3，配有进水管、控制阀。承水托盘容积不小于30L。防水电子秤称重范围不小于1g-30kg，宜具备无线蓝牙传输功能。雨量计采用翻斗式，最小每次翻斗0.2mm深雨量，宜采用无线传输。温度计量程宜为-10℃~50℃。

**8.2.2** 应根据土壤类型、场地地形、地上附着物、供电与供水条件等选择测试场地，清理场地内垃圾和影响测试的地上附着物。

**8.2.3** 应根据喷头数量及其服务范围将测试场地分为多个降雨分区，以分区为单位，安装喷头、喷头管组、分流管、电磁阀、降雨支架，并与供水管路、水箱、水泵、电动压力阀相连接，管路系统连接方式不宜采用串联方式。

**8.2.4** 控制平台宜通过线缆或无线的方式与电动压力阀、电磁阀等智能控制设备相连接，测试控制系统调节、显示、记录功能，确保系统功能正常。

**8.2.5** 根据测试场地地形，在测试场地四周必要位置布设挡水板，引导雨水径流自集中出口外排，减少测试期间雨水向测试场地外漫流、渗透。测试场地面积较大或坡向较多时，可设多个集中出口，出流数据累积计算。

**8.2.6** 测试场地集中出口处放置承水托盘和防水电子秤用于出流量实时计取。根据测试实际需要，出流量较大或同步开展产流与径流污染特征研究时，应采用选配的流量计与水质监测仪进行出流监测。

**8.2.7** 应以人工降雨设备最小雨强启动测试，观察雨水渗透、外排情况。如雨水全部渗透，则应加大测试雨强，直至出现少量雨水外排；如雨水外排水量较大，承水托盘10min以内即满，则应减小测试雨强。测试全程应按上述规则持续调节雨强。

**8.2.8** 测试过程中，应实时记录降雨数据与外排水量数据。如监测设备不具备无线数据传输功能，则应按不超过30s一次的频率人工记录数据。

**8.2.9** 承水托盘盛满雨水后，应更换盛水托盘，并将承接的雨水搅拌均匀后，采样测定水体悬浮物。实际出流雨水水量数据需扣除悬浮物含量。

**8.2.10 应**持续人工降雨测试，直至在固定雨强条件下，单位时间内出流水量持续10min以上稳定不变时，停止测试。

**8.2.11** 必要时另择场地条件类似的区域进行平行试验，或选择其他土壤类型或性状差异较大的区域补充测试。

**8.2.12** 测试结束后，应提取全部实时记录的降雨数据与外排水量数据，拆除测试装置，恢复场地。

## 8.3 计算和记录

**8.3.1** 表层土壤在测试温度条件下的渗透系数在出流稳定后单位时间内入渗水量可按照下列公式计算：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （8.3.1-1） |

式中： *k*T ——试验水温T℃时试样的渗透系数（cm/s）；

*V*t ——在t时间内的渗入水量（L）；

*Aa*——测试场地面积（m2）；

t ——出流稳定后的持续测试时间（s）。

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | （8.3.1-2） |

式中： *V*降雨 ——在t时间内的累积人工降雨量（L）；

*V*外排 ——在t时间内的累积出流量（出流水重量扣除悬浮物含量后，按水的密度换算）（L）。

**8.3.2** 标准温度时表层土壤的渗透系数根据动力粘滞系数比，按本标准第3.1.3进行换算。

**8.3.3** 出流稳定前的入渗水量数据可作为非饱和土渗透性能的参考值，可作为海绵城市设计的辅助参考。

**8.3.4** 人工降雨渗透试验记录格式可按表C.0.5的规定。

# 附录A 土的工程分类

**A.0.1** 地基土的类别及定名划分标准，应根据土的塑性指数或颗粒级配按表A.0.1确定。

**表A.0.1 地基土类别及其定名划分标准表**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土的类别及名称 | | 划分标准 | |
| 按塑性指数 | 按颗粒组成百分数 |
| 黏性土 | 黏土 | *I*p>17 | − |
| 粉质黏土 | 10<*I*p≤17 | − |
| 粉土 | 黏质粉土 | 7<*I*p≤10 | 粒径小于0.005mm的颗粒含量等于或大于全重的10%，小于等于全重的15% |
| 砂质粉土 | 3<*I*p≤7 | 粒径小于0.005mm的颗粒含量小于全重的10% |
| 砂土 | 粉砂 | − | 粒径大于0.075mm的颗粒含量大于全重的50% |
| 细砂 | − | 粒径大于0.075mm的颗粒含量大于全重的85% |
| 中砂 | − | 粒径大于0.25mm的颗粒含量大于全重的50% |
| 粗砂 | − | 粒径大于0.5mm的颗粒含量大于全重的50% |
| 砾砂 | − | 粒径大于2mm的颗粒含量占全重的25%~50% |

注：**1** 对砂土定名时，应根据粒径分组，从大到小由最先符合者确定；

**2** 砂质粉土的工程性质接近粉砂；

**3** *I*p=10~12的低塑性土，应同时进行颗分试验，若粒径小于0.005mm的颗粒含量小于或等于全重的15%，应以颗分定名为准；

**4** 塑性指数的确定，液限以76g圆锥仪入土深度10mm为准；塑限以搓条法为准；

**5** 当有机质含量*W*u≥5%时，可按下列原则定名：5%≤*W*u≤10%时，定为有机质土；10%≤*W*u≤60%时，定为泥炭质土；*W*u＞60%时，定为泥炭；

**6** 天然含水率大于液限、且天然孔隙比小于1.5但不小于1.0的黏性土或粉土应定名为淤泥质土；天然含水率大于液限且天然孔隙比不小于1.5时应定名为淤泥。

**A.0.2** 人工填土根据物质来源、堆填方式、组成物质等因素，可分为杂填土、素填土、冲填土等。其中：杂填土主要是由建筑垃圾、工业废料、生活垃圾等杂物组成的填土；素填土主要是由黏性土、粉土、砂土等组成的填土；冲填土主要是由水力冲填泥沙或粉煤灰形成的填土，亦称“吹填土”。

# 附录B 水的动力黏滞系数

**表B.0.1 水的动力黏滞系数、黏滞系数比、温度校正系数**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度  T（oC） | 动力黏滞系数η/(1×10-6  kPa·s) | ηT/η20 | 温度  T（oC） | 动力黏滞系数η/(1×10-6  kPa·s) | ηT/η20 |
| 5.0 | 1.516 | 1.501 | 17.5 | 1.074 | 1.066 |
| 5.5 | 1.493 | 1.478 | 18.0 | 1.061 | 1.050 |
| 6.0 | 1.470 | 1.455 | 18.5 | 1.046 | 1.038 |
| 6.5 | 1.449 | 1.435 | 19.0 | 1.035 | 1.025 |
| 7.0 | 1.428 | 1.414 | 19.5 | 1.022 | 1.012 |
| 7.5 | 1.407 | 1.393 | 20.0 | 1.010 | 1.000 |
| 8.0 | 1.387 | 1.393 | 20.5 | 0.998 | 0.988 |
| 8.5 | 1.367 | 1.353 | 21.0 | 0.986 | 0.976 |
| 9.0 | 1.347 | 1.334 | 21.5 | 0.974 | 0.964 |
| 9.5 | 1.328 | 1.315 | 22.0 | 0.963 | 0.953 |
| 10.0 | 1.310 | 1.297 | 22.5 | 0.952 | 0.943 |
| 10.5 | 1.292 | 1.279 | 23.0 | 0.941 | 0.932 |
| 11.0 | 1.274 | 1.261 | 24.0 | 0.919 | 0.910 |
| 11.5 | 1.256 | 1.243 | 25.0 | 0.899 | 0.890 |
| 12.0 | 1.239 | 1.227 | 26.0 | 0.879 | 0.870 |
| 12.5 | 1.223 | 1.211 | 27.0 | 0.859 | 0.850 |
| 13.0 | 1.206 | 1.194 | 28.0 | 0.841 | 0.833 |
| 13.5 | 1.188 | 1.176 | 29.0 | 0.823 | 0.815 |
| 14.0 | 1.175 | 1.163 | 30.0 | 0.806 | 0.798 |
| 14.5 | 1.160 | 1.148 | 31.0 | 0.789 | 0.781 |
| 15.0 | 1.144 | 1.133 | 32.0 | 0.773 | 0.765 |
| 15.5 | 1.130 | 1.119 | 33.0 | 0.757 | 0.750 |
| 16.0 | 1.115 | 1.104 | 34.0 | 0.742 | 0.735 |
| 16.5 | 1.101 | 1.090 | 35.0 | 0.727 | 0.720 |
| 17.0 | 1.088 | 1.077 | — | — | — |

# 附录C 试验记录表

**表C.0.1 渗滤筒法测定记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 | |  | | 试验地点 |  | | 试验方法 |  | | 试验者 | |  | |
| 土质说明 | |  | | 试验编号 |  | | 取样深度 |  | | 计算者 | |  | |
| 仪器名称及编号 | |  | | | | | 试验日期 |  | | 校核者 | |  | |
| 渗透时间 | | | 每段时间渗出水量mL  *Q*1*......Q*n | | | 渗透速度  mm/min | | | 水温*T*  ℃ | | 渗透系数 | | |
| 渗滤时间 | | 自开始后  min  *t*1*......t*n | *k*T | | *k*20 |
| h | min |
|  |  |  |  | | |  | | |  | |  | |  |
|  |  |  |  | | |  | | |  | |  | |  |
|  |  |  |  | | |  | | |  | |  | |  |

**表C.0.2 试坑注水法试验记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 | | |  | | 试坑编号 | |  | | | 试验方法 | | |  | | 试验者 | |  | |
| 土质说明 | | |  | | 铁（内）环直径 | |  | | | 试坑深度 | | |  | | 计算者 | |  | |
| 仪器名称及编号 | | |  | | | | | | | 试验日期 | | |  | | 校核者 | |  | |
| 测量时间 | | | 时间  间隔  *t*  （min） | 渗入  水量  *Q*（cm3） | 水的渗透流量 | | | 近似  渗透  系数  *k*T  （cm/s） | 试验时水的  入渗  深度  *Hy*1  （cm） | | 贮水坑中  水的深度  *H*y2  （cm） | 相当于  作用  毛细管力的  水柱高度  *H*y3  （cm） | | 渗透系数  *k*T  （cm/s） | | 水温20℃渗透系数  （cm/s） | | 平均  渗透系数  （cm/s） |
| d | h | min | cm3/min | cm3/s | |
| — | — | — | (1) | (2) | (3) | (4) | | (5) | (6) | | (7) | (8) | | (9) | | (10) | | (11) |
| — | — | — | — | — |  |  | |  | — | | — | — | |  | |  | |  |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  | |  |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  | |  |

**表C.0.3 常水头渗透试验记录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验编号 | |  | | | 试样高度 (cm) | |  | | | | 干土质量 (g) | |  | | | 试 验 者 | |  | | |
| 试样编号 | |  | | | 试样面积A (cm2) | |  | | | | 土料比重Gs | |  | | | 计 算 者 | |  | | |
| 仪器名称及编号 | |  | | | 试样说明 | |  | | | | 孔隙比e | |  | | | 校 核 者 | |  | | |
| 测压孔间距 (cm) | |  | | |  | |  | | | |  | |  | | | 试验日期 | |  | | |
| 试验  次数 | 经过时间  t  (s) | 测压管水位（cm） | | | 水位差(cm） | | | | 水力  坡降  J | 渗透水量  Q  （cm3） | | 渗透系数  kT  （cm/s） | | 平均水温  T  （℃） | 校正系数 | | 水温20℃  渗透系数  k20  （cm/s） | | 平均渗  透系数  k20  （cm/s） | 备注 | |
| Ⅰ管 | Ⅱ管 | Ⅲ管 | H1 | H2 | | 平均H |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |
| （1） | （2） | （3） | （4） | （5） | （6） | | （7） | （8） | （9） | | （10） | | （11） | （12） | | （13） | | （14） |  | |
| - | - | - | - | （2）-（3） | （3）-（4） | |  |  | - | |  | | - | - | |  | |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  | |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  |  |  | |  |  |  | |  | |  |  | |  | |  | |

**表C.0.4 变水头渗透试验记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验编号 | |  | | | 试样说明 | | |  | | | 试样断面积A （cm2） | |  | | | 试 验 者 | |  | | |
| 试样编号 | |  | | | 变水头管截面积a（cm2） | | |  | | | 孔隙比e | |  | | | 计 算 者 | |  | | |
| 仪器名称及编号 | |  | | | 试样高度L（cm） | | |  | | | 试验日期 | |  | | | 校 核 者 | |  | | |
| 试验  次数 | 开始时间t1  (d：h：min：s) | | 终止时间t2  (d：h：min：s) | 渗流时间t  （s） | | 开始水头Hb1  （cm） | 终止水头Hb2  （cm） | |  |  | | 水温T℃时的  渗透系数kT  （cm/s） | | 试验水温T  （℃） | 校正系数 | | 水温20℃  渗透系数  （cm/s） | | 平均渗  透系数  （cm/s） | 备注 | |
| （1） | | （2） | （3） | | （4） | （5） | | （6） | （7） | | （8） | | （9） | （10） | | （11） | | （12） |  | |
| - | | - | (2)-(1) | | - | - | |  |  | | (6)×(7) | | - | - | | (8)×(10) | |  |  | |
|  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |  |
|  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
|  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
|  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
|  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |
|  |  | |  |  | |  |  | |  |  | |  | |  |  | |  | |  |

**表C.0.5 人工降雨法试验记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 任务单号 | | |  | | 试验编号 | |  | | 试验方法 | |  | | 试验者 | |  |
| 土质说明 | | |  | | 天气 | |  | | 试验日期 | |  | | 计算者 | |  |
| 仪器名称及编号 | | |  | | | | | | 测试场地面积*Aa*（m2） | |  | | 校核者 | |  |
| 测量时间 | | | 时间间隔  *t*（s） | 累积人工降雨量  *V*降雨（L） | | 累积出流量  *V*外排（L） | | t时间内的渗入水量  *V*t（L） | | 渗透系数  *k*T  （cm/s） | | 水温20℃渗透系数  （cm/s） | | 平均  渗透系数  （cm/s） | |
| h | min | s |
| — | — | — | (1) | (2) | | (3) | | (4) | | (5) | | (6) | | (7) | |
| — | — | — | — | — | | — | |  | |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |
|  |  |  |  |  | |  | |  | |  | |  | |  | |

# 本标准用词说明

为便于在执行本标准条款时区别对待，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”。

# 引用标准名录

《室外排水设计规范》GB 50014

《建筑给排水设计规范》GB 50015

《岩土工程勘察规范》》GB 50021

《给水排水构筑物施工及验收规范》GB 50141

《城市绿地设计规范》GB 50420

《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《建筑工程抗浮技术标准》JGJ 476

《城市道路工程设计规范》CJJ 37

《透水水泥混凝土路面技术规程》CJJ/T 135

《透水砖路面技术规程》CJJ/T 188

《透水沥青路面技术规程》CJJ/T 190

《透水性水泥混凝土人行道应用技术规程》SZ-C-B06

《城市道路-透水人行道铺设》10MR204

《种植屋面工程技术规程》JGJ 155

《公路土工试验规程》JTG E40

《森林土壤渗滤率的测定》LY/T 1218

中国工程建设标准化协会标准

海绵城市建设浅层土壤渗透性

测试标准

T/CECS \*\*\*-20\*\*

# 条文说明