

岩土体和混凝土材料热物性测试方法标准

Test standard for thermal properties testing methods on rock, soil,
and concrete materials

条文说明

目 次

1	总 则.....	22
2	术语和符号.....	23
3	基本规定.....	24
4	土体、岩石和混凝土材料热物性测试.....	25
4.1	一般规定.....	25
4.2	测试方法.....	25
4.3	试样制备.....	25
4.4	热学特性测定.....	28
4.5	现场综合导热系数测定.....	28
4.6	结果分析与评估.....	29
5	土体热致力学特性测试.....	30
5.2	温控直接剪切试验.....	30
5.3	温控压缩固结试验.....	30
5.4	温控三轴试验.....	31
5.5	温控渗透试验.....	41

1 总 则

1.0.1 为测定土体、岩石和混凝土材料热物性，测试土体热力学特性，统一试验方法，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于能源地下结构设计、建造过程中的基本热学、热力学特性试验。

1.0.3 室内土体、岩石和混凝土材料试样制备方法符合《土工试验方法标准》GB/T50123 和《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T50081；室外土体、岩石和混凝土材料的热物性测试符合《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366 和《地源热泵系统工程技术规范》GB 50366。

2 术语和符号

2.1.1 本标准所测导热系数主要针对土体、岩石和混凝土材料。土体材料包括有机土和无机土，无机土包括巨粒土、含巨粒土、粗粒土和细粒土。混凝土材料是指由胶凝材料将集料胶结成整体的工程复合材料，主要用于能源地下结构。

2.1.2 本标准所测综合导热系数是指能源地下结构和周围土体一起的平均导热系数或者其他混合结构（多孔、多层、多结构、各向异性）的平均导热系数。

2.1.3 能源地下结构是指利用浅层地热能的各种永久或临时的地下结构。能源地下结构的形式，包括能源桩（能量桩）、能源隧道、能源地连墙、能源锚索（锚杆）、能源管廊等。

3 基本规定

3.0.2 室内土体、岩石和混凝土材料的热物性特性与材料本身的物理特性、所处的环境温度、压力以及材料所受到的压力有关,这些因素的变化会影响测量结果。因此,应根据测量计划和要求,严格控制土体、岩石和混凝土材料的基本物理特性、所处环境的温度和压力,以及材料所受到的压力,并将这些信息详细记录。

3.0.3 在进行室内土体、岩石和混凝土材料热物性测试时,如果样品属于半封闭状态,应严格控制样品周围的环境,避免热对流、传导、辐射等因素造成所测热物性结果不准确。

3.0.4 室外土体、岩石和混凝土材料的热物性测试,主要是针对能源地下结构进行。能源地下结构指的是承担荷载等工程作用的同时,能够进行浅层地热能的交换,室外土体、岩石和混凝土材料的热物性就是在这个交换过程中进行的。应测量结构物热量交换过程中结构物的温度和换热功率。

3.0.5 室外土体、岩石和混凝土材料的热物性测试,主要是服务能源地下结构工程的设计和建设。因此,在设计测试时间和测试计划时,应充分考虑各种突发事情和意外,宜不耽搁能源地下结构施工以及上部结构物施工进度。

4 土体、岩石和混凝土材料热物性测试

4.1 一般规定

4.1.1 材料的导热系数与材料的矿物成分、密度、含水率、温度以及压力相关，应根据测量要求严格控制试样的物理特性和所处环境条件。

4.1.4 测试前需要对导热系数测量仪器进行校准，测量已知材料的导热系数误差不超过 5%方可进行试验。

4.2 测试方法

4.2.6 推荐使用 KD2 Pro、Hot Disk 等较为成熟的成品仪器测量，也可使用自制设备，自制设备可参考规范《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定防护热板法》GB/T 10294 和《绝热材料稳态热阻及有关特性的测定热流计法》GB/T 10295。

4.3 试样制备

4.3.1 土体试样制备应符合规范《土工试验方法标准》GB/T50123：

1 本试验方法适用于颗粒粒径小于 60mm 的原状土和扰动土。

2 需要准备的仪器设备有：土工筛、天平、击样器、压样器、抽气设备（真空表和真空缸）、切土刀、钢丝锯、碎土工具、烘箱、保湿缸、喷水设备以及定制换刀。

3 根据所使用的测量导热系数的仪器定制环刀、击样器以及压样器的尺寸。

4 原状试样制备步骤

1) 将土样筒按标明的上下方向放置，剥去蜡封和胶带，开启土样筒取出土样。检查土样结构，当确定土样已经受到扰动或取土质量不符合规定时，则不应制备试样。

2) 根据试验要求用环刀切取试样时，应在环刀内壁涂一薄层凡士林，刃口向下放在土样上，将环刀垂直下压，并用切土刀沿环刀外侧切削土样，边压边削至土样高出环刀，根据试样的软硬采用钢丝锯或切土刀整平环刀两端土样，擦净环刀外壁，称环刀和土的总质量。

- 3) 从余土中取代表性试样测定含水率、颗粒分析等试验项目。
- 4) 切削试样时,应对土样的层次、气味、颜色、夹杂物、裂缝和均匀性进行描述,对低塑性和高灵敏度的软土,制样时不得扰动。

5 扰动土试样制备

- 1) 将土样从土样筒或包装袋中取出,对土样的颜色、气味、夹杂物和土类及均匀程度进行描述,并将土样切成碎块,拌合均匀,取代表性土样测定含水率。
- 2) 对含有机质的土样应根据试验项目取足够数量的土样,置于通风处晾干至可碾散为止。对砂土进行制样时,宜在 105~110℃ 温度下烘干,对有机质含量超过 5% 的土、含石膏和硫酸盐的土,应在 65~70℃ 温度下烘干。
- 3) 将风干或烘干的土样放在橡皮板上用木碾碾碎,对不含砂和砾的土样,可用碎土器碾散(碎土器不得将土粒破碎)。
- 4) 对分散后的粗粒土和细粒土,应使用土工筛过筛。对含细粉土的砾质土,应先用水浸泡并充分搅拌,使粗细颗粒分离后过筛。
- 5) 试样的数量根据试验项目而定,应有备用试样 1~2 个。
- 6) 将碾散的风干土样通过孔径 2mm 或 5mm 的筛,取筛下足够试验用的土样,充分拌匀测定风干含水率,装入保湿缸或塑料袋内备用。
- 7) 根据试验所需的土量与含水率,制备试样所需的加水量应按式 (4.3.1-1) 计算:

$$m_w = \frac{m_0}{1 + 0.01\omega_0} \times 0.01(\omega_1 - \omega_0) \quad (4.3.1-1)$$

式中: m_w ——制备试样所需要的加水量 (g);

m_0 ——湿土(或风干土)质量 (g);

ω_0 ——湿土(或风干土)含水率 (%);

ω_1 ——制样要求的含水率 (%).

- 8) 称取过筛的风干土样平铺于搪瓷盘内,将水均匀喷洒于土样上,充分拌匀后装入盛土容器内盖紧,润湿一昼夜,砂土的润湿时间可酌减。

9) 测试润湿土样不同位置处的含水率,不应少于两点,含水率与要求的含水率之差不得大于 $\pm 1\%$ 。

10) 根据环刀容积及所需的干密度,制样所需的湿土量应按式(4.3.1-2)计算:

$$m_0 = (1 + 0.01\omega_0) \rho_d V \quad (4.3.1-2)$$

式中: ρ_d ——试样的干密度 (g/cm^3);

V ——试样体积 (cm^3)。

11) 扰动土制样可采用击样法,将根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土倒入装有环刀的击样器内,击实到所需密度。

12) 扰动土制样可采用压样法,将根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土倒入装有环刀的压样器内,以静压力通过活塞将土样压紧到所需密度。

13) 取出带有试样的环刀,称定制环刀和试样总质量,对不需要饱和,且不立即进行试验的试样,应存放在保湿器内备用。

14) 如试样需要饱和,宜根据土样的透水性能,进行饱和。粗粒土采用浸水饱和法;渗透系数大于 10^{-4}cm/s 的细粒土,采用毛细管饱和法;渗透系数小于、等于 10^{-4}cm/s 的细粒土,采用抽气饱和法。

4.3.2 混凝土试样制备应符合规范《普通混凝土力学性能试验方法标准》GB/T50081:

1 试模应符合现行行业标准《混凝土试模》JG237的有关规定,当混凝土强度等级不低于 C60 时,宜采用铸铁或铸钢试模成型;应定期对试模进行核查,核查周期不宜超过 3 个月。

2 振动台应符合现行行业标准《混凝土试验用振动台》JG/T245的有关规定,震动频率应为 $50\text{Hz} \pm 2\text{Hz}$,空载时振动台面中心点的垂直振幅应为 $0.5\text{mm} \pm 0.02\text{mm}$ 。

3 捣棒应符合现行行业标准《混凝土坍落度仪》JG/T248的有关规定,直径应为 $16\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$,长度应为 $600 \pm 5\text{mm}$,端部应呈半球形。

4 橡皮锤或木槌的锤头质量宜为 $0.25\text{kg} \sim 0.50\text{kg}$ 。

5 混凝土取样与试样的制备应符合现行国家标准《普通混凝土拌合物性能试验方法标准》GB/T50080 的有关规定。

6 每组试件所用的拌合物应从同一盘混凝土或同一车混凝土中取样。

7 取样或实验室拌制的混凝土应尽快成型；制备混凝土试样时，应采取劳动防护措施。

8 应将试模擦拭干净，在其内壁上均匀地涂刷一薄层矿物油或其他不与混凝土发生反应的隔离剂，试模内壁隔离剂应均匀分布，不应有明显沉积。

9 混凝土拌合物在入模前应保证其均匀性。

10 宜根据混凝土拌合物的稠度或试验目的确定适宜的成型方法，包括用振动台振实制作试件、用人工插捣制作试件或用插入式振捣棒振实制作试件。

11 试件成型后刮除试模上口多余的混凝土，待混凝土临近初凝时，用抹刀沿着试模口抹平。试件表面与试模边缘的高度差不得超过 0.5mm。

12 试件成型抹面后应立即用塑料薄膜覆盖表面，或采取其他保持试件表面湿度的方法。

13 试件成型后应在温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度大于 50%的室内静置 1d~2d，试件静置期间应避免受到振动和冲击，静置后编号标记、拆模，当试件有严重缺陷时，应按废弃处理。

14 试件拆模后应立即放入温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度为 95%以上的标准养护室中养护，或在温度为 $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ 的不流动氢氧化钙饱和溶液中养护。标准养护室内的试件应放在支架上，彼此间隔 10mm~20mm，试件表面应保持潮湿，但不得用水直接冲淋试件。

15 试件的养护龄期可分为 1d、3d、7d、28d、56d 或 60d、80d 或 90d、180d 等。

4.4 热学特性测定

4.4.3 导热系数测量仪器在使用前应进行校准，并按照仪器的使用说明书进行。

4.5 现场综合导热系数测定

4.5.1 换热器与水平总管连接方法的确定，宜考虑其实用性、经济性以及阻力损失等因素。换热器中管内流体需维持一定的流速，因此需设置循环水泵以保证所需的换热系数和换热量。

4.5.4 现场综合导热系数测定试验步骤如下：

- 1 根据地下结构形式确定埋管形式；
- 2 平整测试孔周边场地，提供水电接驳点；
- 3 测试岩土初始温度；
- 4 测试仪器与测试孔的管道连接；
- 5 水电等外部设备连接完毕后，应对测试设备本身以及外部设备的连接再次进行检查；
- 6 启动电加热、水泵等试验设备，待设备运转稳定后开始读取记录试验数据，包括循环水进出口温度、流量以及试验过程中向地埋管换热器施加的加热功率等；
- 7 提取试验数据，分析计算得出岩土综合热物性参数；
- 8 测试试验完成后，对测试孔应做好密封、标识等防护工作，后续可与其他钻孔等同使用。

4.6 结果分析与评估

4.6.1 试验开始前，宜制备相同规格的试样三个，分别测量其导热系数，三个样的测量误差不超过 2%，即证明试样具有可重复性，该试样方法可用于后续制样。所制样品应具有均匀性和可重复性。

4.6.4 可以直接或间接获得的主要参数包括：初始（未受扰动的）平均地基温度、测试深度范围内综合导热率。结合工程地质学的知识，或者从其它试验或已有的资料中获得比热容，从勘察报告中得到天然重度，再结合本项测试中得到的综合热导率，可以计算出其热扩散系数。

4.6.5 对于一些特殊地基土而言，如果温度改变导致的地基土中水分迁移现象显著，则其加热状态下的热响应测试与制冷状态下热响应测试所获得的岩土平均导热系数和换热性能有较大差别。

5 土体热致力学特性测试

5.2 温控直接剪切试验

5.2.3 温控系统装置可按照以下步骤操作：

- 1 设计温控系统装置：**根据试验所需的温度范围和精度，设计一个温控系统，包括温度控制器、加热器或制冷器等组件。
- 2 选择温控系统装置：**根据设计要求选择适当的温控系统装置，并确保它能够与直接剪切试验设备集成。
- 3 安装温控系统：**将设计好的温控系统安装到直接剪切试验设备上，可能需要进行结构上的调整以容纳温控系统的组件。
- 4 连接温控系统：**将温控系统连接到电源，并确保电气和机械连接是安全可靠的。
- 5 测试温控系统：**在进行实际试验之前，测试温控系统的性能，确保它能够准确控制温度，并保持在所需的范围内。
- 6 设定温度参数：**根据试验需要，设定试验期间所需的温度参数，包括目标温度、温度升降速率等。
- 7 进行预热：**在进行正式试验之前，进行试验设备和温控系统的预热，以确保温度的稳定性。

5.3 温控压缩固结试验

5.3.2 温控系统在固结试验中的作用是维持土壤样品在一定的温度条件下进行试验，以研究土壤在特定温度下的压缩特性。以下是温控系统在固结装置中的基本作用和实现方式：

- 1 保持温度稳定性：**温控系统旨在维持土壤样品在试验期间的稳定温度。这对于研究土壤在不同温度下的变形行为和压缩性质非常重要。
- 2 设定目标温度：**使用温控系统，试验人员可以设定试验期间所需的目标温度。这可以在试验的不同阶段或对于不同试验条件进行调整。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/258027072061006067>