

ICS 73  
P70  
备案号:

# MT

## 中华人民共和国煤炭行业标准

MT/T 593.7—2011  
代替MT/T 593.7-1996

---

### 人工冻土物理力学性能试验 第7部分：人工冻土三轴蠕变 试验方法

Artificial frozen soil physics mechanics performance test——

Part 7 : Artificial frozen soil tri-axial creep test method

2011-04-12发布

2011-09-01实施

---

国家安全生产监督管理总局 发布

## 目 次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 前言 .....                       | II |
| 1 范围 .....                     | 1  |
| 2 规范性引用文件 .....                | 1  |
| 3 术语和定义 .....                  | 1  |
| 4 试验用仪器、设备 .....               | 1  |
| 5 试样 .....                     | 2  |
| 6 基本要求 .....                   | 2  |
| 7 试验步骤 .....                   | 2  |
| 8 计算与绘图 .....                  | 3  |
| 附录 A（规范性附录）人工冻土三轴蠕变试验成果表 ..... | 6  |

## 前 言

MT/T593《人工冻土物理力学性能试验》分为八个部分：

- 第1部分：人工冻土试验取样及试样制备方法；
- 第2部分：土壤冻胀试验方法；
- 第3部分：人工冻土静水压力下固结试验方法；
- 第4部分：人工冻土单轴抗压强度试验方法；
- 第5部分：人工冻土三轴剪切强度试验方法；
- 第6部分：人工冻土单轴蠕变试验方法；
- 第7部分：人工冻土三轴蠕变试验方法；
- 第8部分：人工冻土抗折强度试验方法。

第1部分至第7部分是对MT/T593《人工冻土物理力学性能试验》的修订，第8部分是MT/T593《人工冻土物理力学性能试验》新增加部分。本部分为MT/T593的第7部分，是对MT/T593.7—1996《人工冻土物理力学性能试验 第7部分：人工冻土三轴蠕变试验方法》的修订，本部分代替MT/T593.7—1996。

本部分与MT/T593.7—1996相比主要变化如下：

- 修改了原标准中“含水量”统一改成“含水率”（1996年版的4.5、7.1.1；本版的见4.5、7.1.1）；
- 增加了三向压缩应力波动界限值（见7.1.7）；
- 增加了三轴蠕变仪的设备图（见图1）；
- 修订了三轴蠕变设备要求（1996年版的4.1、4.2；本版的4.1、4.2）；
- 增加了试验过程中对试块的保护措施（本版的7.1.5）；
- 修改明确了蠕变试验中应力系数（1996年版的7.1；本版的7.1.10）
- 增加了蠕变数学模型的定义（本版的8.3）
- 增加了蠕变曲线和蠕变模型的描述（见附录A）。
- 修改了附录的性质将提示性附录修改为规范性附录（1996年版的附录A；本版的附录A）。

本部分的附录A为规范性附录。

本部分由中国煤炭工业协会提出。

本部分由煤炭行业煤矿专用设备标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：煤炭科学研究总院建井研究分院、北京中煤矿山工程有限公司、中国矿业大学、安徽理工大学、济南瑞普机电技术有限公司。

本部分主要起草人：李长忠、崔灏、汪仁和、李栋伟。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- MT/T593.7—1996。

## 第7部分：人工冻土三轴蠕变试验方法

### 1 范围

MT/T593的本部分规定了人工冻土多试样和单试样三轴压缩蠕变试验用仪器、设备，试样，基本要求，试验步骤和计算与绘图。

本部分适用于轴对称三向剪切应力条件下冻结原状土及重塑土蠕变性能的测试和计算。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过MT/T593的本部分的引用而成为本部分的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本部分，然而，鼓励根据本部分达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本部分。

MT/T593.1 人工冻土物理力学性能试验 第1部分：人工冻土试验取样及试样制备方法

MT/T593.4 人工冻土物理力学性能试验 第4部分：人工冻土单轴抗压强度试验方法

MT/T593.5 人工冻土物理力学性能试验 第5部分：人工冻土三轴压缩强度试验方法

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**人工冻土三轴蠕变** artificial frozen soil tri-axial Creep

人工冻土在三向压缩应力不变，且轴向应力大于围压应力条件下，其变形随时间延长而改变的性质。

### 4 试验用仪器、设备

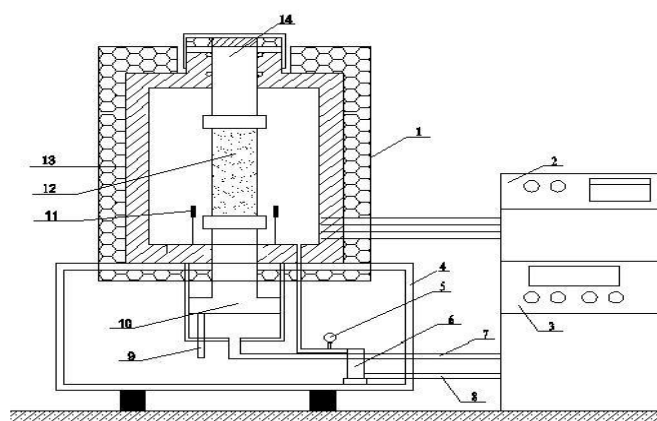
4.1 低温三轴蠕变试验仪（如图1所示）：最大轴向荷载200kN，围压6MPa（适用于土层埋深小于300m）、12MPa（适用于土层埋深小于700m）及20MPa（适用于土层埋深小于1200m），波动度不超过10kPa。

4.2 应力及变形测试元件：压力传感器（量程0kN~200kN,精度1%）；位移传感器（轴向量程0mm~50mm，精度1%；径向量程0mm~25mm，精度1%）；数据自动采集系统等。

4.3 温度传感器：量程-40℃~+40℃，精度0.2℃。

4.4 冷却及温控设备等。

4.5 试验用含水率、密度测试装置。



1-油缸 2-制冷系统 3-液压系统 4-支座 5-围压量测装置 6-体变量测装置  
7-轴压加载油路 8-围压加载油路 9-轴向位移传感器 10-轴向加载活塞  
11-温度传感器 12-试样 13-保温层 14-轴向压力传感器

**图1 低温三轴蠕变试验仪**

## 5 试样

- 5.1 采用冻结原状土试样或冻结重塑土试样，其制备方法按MT/T593.1中6.2.2和6.2.3的规定进行。
- 5.2 试样规格应与MT/T593.4所采用的试样规格一致。
- 5.3 试样数量：5个（多试样三轴蠕变）或2个（单试样分级加载三轴蠕变），其中一个试样用于进行三轴剪切强度试验。

## 6 基本要求

- 6.1 试验应在规定的试验温度中进行。
- 6.2 温度波动度小于等于 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。
- 6.3 只有一种试验温度时，应选择 $-10^{\circ}\text{C}$ 。若有多种试验温度时，其中应有 $-10^{\circ}\text{C}$ 。如果有特殊要求，可另选试验温度。
- 6.4 试验前各试验用仪器、设备应校正合格。

## 7 试验步骤

### 7.1 多试样分别加载三轴压缩蠕变试验

- 7.1.1 核实试样的来源、编号、密度、含水率和温度等，并填入附录A表内，检查试验用仪器、设备及测试系统等。
- 7.1.2 测量试样尺寸，对冻结后变形的试样按规定要求进行修正，同时称重并记录。
- 7.1.3 按MT/T593.5中7.1的规定，用一个试样试验得到瞬时三轴剪切强度。
- 7.1.4 确定合适的蠕变加载系数 $k_t$ ，并根据瞬时三轴剪切试验结果计算出所需轴向荷载和围压，填入附录A表内。
- 7.1.5 在试样外套一层乳胶膜，以防含水率变化，将试样装在三轴蠕变试验仪的上下加压头之间，安装并连接好压力量测系统、位移量测系统。
- 7.1.6 施加围压，使试样在规定围压下固结稳定。
- 7.1.7 在恒定围压下给试样迅速加载至所需荷载或应力值，同时记录时间、变形等，并将其数据填入附录A表内，试验过程中试样所受应力保持稳定，波动度不超过 $\pm 10\text{kPa}$ 。

7.1.8 当试样变形已稳定 ( $d\varepsilon/dt \leq 0.0005h^{-1}$ , I类蠕变) 24h以上或已破坏 (II类蠕变) 时, 测试结束。将结束时的时间和变形记入附录A表内。

7.1.9 卸去荷载, 取出试样, 描述其破坏情况, 填入附录A表内。

7.1.10 若需获得蠕变曲线簇, 可根据需要确定几个不同的蠕变加载系数 $k_i$ , 一般 $k_i$ 按0.3、0.4、0.5、0.7取值。重复7.1.1、7.1.2和7.1.4~7.1.9规定的步骤。

## 7.2 单试样分级加载三轴压缩蠕变试验

7.2.1 确定各级蠕变加载系数 $k_i$ , 一般 $k_i$ 按0.3、0.4、0.5、0.7取值。

7.2.2 取最小的一级蠕变加载系数, 按7.1.1~7.1.7规定各步骤进行。

7.2.3 测定进行到变形已稳定 ( $d\varepsilon/dt \leq 0.0005h^{-1}$ , I类蠕变) 或变形速率趋于常数 ( $|d^2\varepsilon/dt^2| \leq 0.0005h^{-2}$ , II类蠕变) 24h以上 (不超过48h), 一级蠕变结束。

7.2.4 依次取不同的蠕变加载系数 $k_i$ , 计算出所需荷载值, 重复7.1.7和7.2.3规定的步骤。

7.2.5 当某一级的测试进入第三阶段时, 不能再进行下一级的加载, 可将此级蠕变进行到试样破坏为止。

7.2.6 按7.1.9规定的步骤进行。

## 8 计算与绘图

### 8.1 应变计算

#### 8.1.1 轴向应变计算

$$\varepsilon_1 = \Delta h / h_0 \dots\dots\dots (1)$$

$$\varepsilon_{1c} = \varepsilon_1 - \varepsilon_e \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\varepsilon_1$ —试样轴向总应变, 从对应于蠕变开始时计算;

$\Delta h$ —试样轴向变形量, 单位为毫米 (mm);

$h_0$ —试验前试样轴向长度, 单位为毫米 (mm);

$\varepsilon_{1c}$ —试样轴向蠕变应变;

$\varepsilon_e$ —弹性应变 (加载过程中瞬时应变)。

#### 8.1.2 径向应变计算

$$\varepsilon_3 = \Delta D / D_0 \dots\dots\dots (3)$$

$$\varepsilon_{3c} = \varepsilon_3 - \varepsilon_{3e} \dots\dots\dots (4)$$

式中:

$\varepsilon_3$ —试样总平均径向应变;

$\Delta D$ —试样径向总平均变化量, 单位为毫米 (mm);

$D_0$ —试验前试样平均直径，单位为毫米（mm）；

$\varepsilon_{3c}$ —试样平均径向蠕变应变（从对应的轴向蠕变应变开始时刻计）；

$\varepsilon_{3e}$ —试样加恒定蠕变应力后平均瞬时径向应变（与对应的瞬时轴向应变时间段一致）。

### 8.1.3 应变强度计算

$$\gamma_c = \frac{2}{3}(\varepsilon_{1c} - \varepsilon_{3c}) \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\gamma_c$ —应变强度。

当忽略试样径向蠕变应变：

$$\gamma_c = \frac{2}{3}\varepsilon_{1c} \dots\dots\dots (6)$$

## 8.2 应力计算

### 8.2.1 应力强度计算

$$\tau = \sigma_1 - \sigma_3 \dots\dots\dots (7)$$

式中：

$\tau$ —应力强度，单位为兆帕（MPa）；

$\sigma_1$ —轴向主应力，单位为兆帕（MPa）；

$\sigma_3$ —径向主应力，单位为兆帕（MPa）。

### 8.2.2 应力强度取值

$$\tau_i = k_i \tau_b \dots\dots\dots (8)$$

式中：

$\tau_i$ —第*i*级蠕变应力强度取值，单位为兆帕（MPa）；

$k_i$ —加载系数；

$\tau_b$ —试样瞬时应力强度，单位为兆帕（MPa）。

## 8.3 蠕变数学模型及绘图

根据三轴压缩蠕变数据，建立相应的蠕变数学模型：

$$\gamma_c = f(T, \tau, t) \dots\dots\dots (9)$$

式中：

$T$ —试验温度，单位为摄氏度（℃）；

$t$ —蠕变时间，单位为小时（h）。

采用幂函数描述人工冻土蠕变数学模型如下：

$$\gamma_c = \frac{A_0}{(|T|+1)^D} \tau^B t^C \dots\dots\dots (10)$$

式中：

$A_0$ —试验确定的常数；

$B$ —试验确定的应力影响无量纲常数；

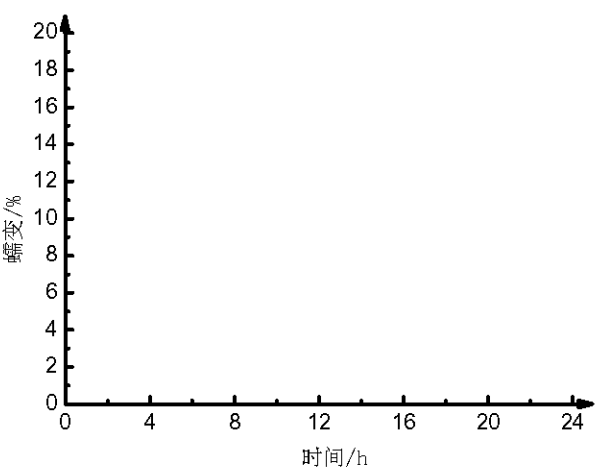
$C$ —试验确定的时间影响无量纲常数；

$D$ —试验确定的温度影响无量纲常数；

求出对应的蠕变常数，绘出三轴压缩蠕变曲线，填入附录A表内。



附 录 A  
(规范性附录)  
人工冻土三轴蠕变试验成果表

|  |            |                   |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
|--|------------|-------------------|------------|------------|---------|------|----------|---------|-----------------|------|---------|---|----------|------------|---|---------|----------|-------------------|------|-------|----|----|------------|-----|--------|----------|-----|--|
| <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20%;">试验前试样高度</td><td style="width: 10%;"><math>h_0 =</math></td><td style="width: 10%;">mm</td></tr> <tr><td>试验前试样直径</td><td><math>D_0 =</math></td><td>mm</td></tr> <tr><td>试验前试样截面积</td><td><math>A_0 =</math></td><td>mm<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>试验重量</td><td><math>W_0 =</math></td><td>g</td></tr> <tr><td>试验前试样含水率</td><td><math>\omega =</math></td><td>%</td></tr> <tr><td>试验前试样密度</td><td><math>\rho =</math></td><td>g/mm<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>试验温度</td><td><math>T =</math></td><td>°C</td></tr> <tr><td>围压</td><td><math>\sigma =</math></td><td>MPa</td></tr> <tr><td>瞬时应力强度</td><td><math>\tau =</math></td><td>MPa</td></tr> </table> | 试验前试样高度    | $h_0 =$           | mm         | 试验前试样直径    | $D_0 =$ | mm   | 试验前试样截面积 | $A_0 =$ | mm <sup>2</sup> | 试验重量 | $W_0 =$ | g | 试验前试样含水率 | $\omega =$ | % | 试验前试样密度 | $\rho =$ | g/mm <sup>3</sup> | 试验温度 | $T =$ | °C | 围压 | $\sigma =$ | MPa | 瞬时应力强度 | $\tau =$ | MPa | <p>1.蠕变曲线:</p>  <p>2.蠕变数学模型及参数:</p> <p>3.试验破坏情况描述:</p> |
| 试验前试样高度  | $h_0 =$    | mm                |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 试验前试样直径  | $D_0 =$    | mm                |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 试验前试样截面积   | $A_0 =$    | mm <sup>2</sup>   |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 试验重量   | $W_0 =$    | g                 |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 试验前试样含水率   | $\omega =$ | %                 |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 试验前试样密度  | $\rho =$   | g/mm <sup>3</sup> |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 试验温度   | $T =$      | °C                |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 围压   | $\sigma =$ | MPa               |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 瞬时应力强度   | $\tau =$   | MPa               |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
| 蠕变加<br>载系数   | 轴向荷载<br>kN | 弹性变形<br>mm        | 变形始值<br>mm | 变形终值<br>mm | 起始时间    | 终止时间 |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
|  |            |                   |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
|  |            |                   |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
|  |            |                   |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
|  |            |                   |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |
|  |            |                   |            |            |         |      |          |         |                 |      |         |   |          |            |   |         |          |                   |      |       |    |    |            |     |        |          |     |  |

工程名称:

试验者:

土样编号:

计算者:

试样编号:

校核者:

土样说明:

试验日期: