

139847

工 試 驗

王鍾琦 林繡賢 編著

23

科 学 技 術 出 版 社

土 工 試 驗

王鍾琦 林繡賢編著

科 学 技 術 出 版 社

內 容 提 要

本書对各种土工試驗的理論和方法作了系統的介绍,并归納其效果和經驗,加以評述,以供實驗者之選擇,为便于現場的实际应用,并介紹了各种快速測定法;書中对各种特殊的理論,有深切研討,以提高讀者的理論認識。

本書可供專業学校的工程地質、土力学、地基与基礎教学人員及工程地質勘察与土工試驗工作者学习参考之用。

土 工 試 驗

編 著 者 王鍾琦 林德賢

*

科 学 技 術 出 版 社 出 版

(上海南京西路 2004 号)

上海市書刊出版業營業許可証出 079 号

上海啓智印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号: 15119·598

开本 787×1092 耗 1/27·印張 14 8/27·字數 292,000

1957 年 12 月第 1 版

1957 年 12 月第 1 次印刷·印數 1—1,800

定价 (10) 2.20 元

序

土建工程在完成祖國五年計劃的基本建設任务中占着重要的地位。而如何选择、处理以及利用土來作为工業与民用建筑的地基或路基与筑壩的填充材料等，已成为設計一切土建工程的先决条件。近几年來通过工程的实践及学习苏联先進的科学成就，促使我國在土工方面的技術水平也有了顯著的提高。但是，目前的理論与經驗还不足以适应建設任务的需要；由于对土的工程性質沒有充分的認識而產生的困难問題是时常遇到的。这种情况充分說明深入研究土的物理力学性質，并掌握其規律是我國土工工作者迫不及待的科学任务。

土是一种多相物質的集成体；就其結構而論又屬於松散体系。因此，对于它的認識与研究必須通过土工試驗提供具体方法才能實現。同时也只有通过試驗才能驗證所得到的理論与經驗的正确性，并借以推陈出新地發展更多的理論。这种作用已然使土工試驗对于土質学与土力学以及地基与基礎的設計工作成为一个必不可缺的中心環節。

土工試驗是一門年輕的科学。很多理論还基于某些經驗分析或近似的假設。而在我國有關部門对此項科学試驗工作也都在摸索学习，很需要在理論上、方法上、經驗上得到系統的參考資料。近年來借助于苏联及其他國家有关文献的啓發与指導，使我們在工作中獲益很大。但由于这些外文書籍目前还不能在我國讀者中廣泛流傳。而在國內，具有完整系統的土工試驗書籍又很少見。作者願在学习先進經驗之余，結合工作中的点滴經驗与体会編成此冊。

EAR 82/13

本書的編寫，採用理論與方法並重：經驗與研討兼述的原則。在取材上力求能系統地將各項土工試驗由原理而涉及方法；由方法而歸述其效果與經驗。同時，為能使本書對實際工作者有所助益，在內容上亦着重地評論各種理論與方法的優缺點。對某些較重要的問題或獨創性的見解，特列成“問題的研討”一節，以希通過討論得到進一步的認識。鑒於加速試驗過程，提高試驗效率對於當前實際工作的重要意義，故在各項試驗的敘述中還特別提出各種工地現場試驗及快速測定的方法，以求能體現出上述精神。

自從“百家爭鳴”的方針提出後，在我國學術界更呈現了欣欣向榮的景象。作者雖感學識淺陋，但偶有一得願以就正於當世學者專家，不敢謂“鳴”，只想借以拋磚引玉，引起爭鳴而已。

目 錄

序	1
---	---

第一編 土的物理性質

第一章 土的基本物理性質	1
--------------	---

1-1 基本物理性指標的定義	1	1-5 土的單位容重試驗	22
1-2 指標間的相互關係	4	1-6 含水量及單位容重的聯合快速測定(卡瓦列夫濕度-密度儀法)	33
1-3 土的顆粒比重試驗	5		
1-4 土的含水量試驗	13		

第二章 土的稠度界限	44
------------	----

2-1 土的稠度觀念及稠度界限	44	2-5 縮限試驗	58
2-2 稠度界限測定的原理	48	2-6 問題討論	59
2-3 液限(可塑性上限)試驗	54	2-7 測定稠度的其他方法	61
2-4 塑限(可塑性下限)試驗	57		

第三章 砂土的緊密度	73
------------	----

3-1 緊密度的重要性及其物理意義	73	因素	75
3-2 緊密度的實際應用	74	3-4 以量筒倒轉法求砂土最大孔隙比	78
3-3 測求砂土最大與最小孔隙比的方法的評述及其影響		3-5 以錘擊法求砂土最小孔隙比	79

第四章 土的粒徑分析	81
------------	----

4-1 粒徑分析對研究土的物理力學性質的重要性	81	分析原理	86
4-2 土的顆粒級配	85	4-4 斯托克斯(CTOKC)定律	87
4-3 土的粒徑分析之一——篩		4-5 斯托克斯定律的適用條件問題	91

4-6 比重計法粒徑分析的論述.....92	4-8 比重計法, 移液管法及沉 澱法的試驗程序..... 105
4-7 移液管法 (пипеточный метод) 与沉澱法 [或沙巴 寧 (А. Н. Сабанин) 法] 粒徑分析的原理..... 103	4-9 篩分法試驗程序..... 112
	4-10 問題的研討..... 113

第二編 土的力學性質

第五 章 土的壓縮与固結..... 121

5-1 基本論据..... 121	5-5 固結之時間因數与滲透系 數的關係——根据固結資 料推求滲透系數的原理... 140
5-2 土在壓縮中孔隙比与外压 力的關係——壓縮曲綫与 膨脹曲綫..... 125	5-6 原則問題的討論..... 146
5-3 固結作用的理論..... 128	5-7 試驗方法論述..... 148
5-4 側限壓縮条件下的側压力 及側压力系數..... 135	5-8 关于快速固結的研討..... 154

第六 章 黃土类土的濕潤沉陷性..... 164

6-1 黃土类土濕潤沉陷的基本 觀念及其意义..... 164	6-3 濕潤沉陷性指标..... 168
6-2 濕潤沉陷性黃土及类黃土 的物理及化学組成..... 165	6-4 原則問題的討論..... 172
	6-5 壓縮試驗法求黃土的沉陷 性..... 174

第七 章 土的抗剪强度..... 176

7-1 基本論点..... 176	7-8 直接剪力試驗..... 195
7-2 直剪試驗原理..... 180	7-9 三軸向加壓剪力試驗..... 208
7-3 三軸向加壓剪力試驗原理 181	7-10 无側限压力試驗..... 225
7-4 无側限压力試驗原理..... 185	7-11 工地現場試驗——十字 鉤剪力儀法..... 231
7-5 应力与应变..... 187	7-12 試驗的計算問題..... 238
7-6 砂土的剪力特性——臨界 孔隙比問題..... 191	7-13 問題的研討..... 238
7-7 原則問題..... 192	7-14 砂土臨界孔隙比的測定 250

第八 章 砂土的自然休止角..... 255

8-1 基本觀念.....	255	8-2 試驗方法.....	256
第 九 章 土的压实及其工地控制	259		
9-1 最大密度与最佳含水量...	259	位容重的計算.....	267
9-2 最佳含水量与最大單位容重試驗.....	260	9-4 最佳压实厚度及最少压实次数的決定.....	269
9-3 土中含有大于 5 公厘的顆粒时最佳含水量与最大單位容重的計算.....	267	9-5 施工时的工地控制.....	270
第 十 章 柔性路面材料与路基土的变形模量	273		
10-1 基本觀念.....	273	10-5 室內变形模量試驗.....	286
10-2 計算公式的推導.....	275	10-6 工地現場 变形模量試驗.....	291
10-3 最大容許相对 变形值的确定問題.....	280	10-7 变形模量快速測定法.....	294
10-4 測定中的原則問題.....	285	10-8 問題的研討.....	295

第三編 土的基本水性

第十一章 土的渗透性	300		
11-1 基本觀念.....	300	11-8 变水头渗透試驗法.....	320
11-2 达西氏試驗定律 (Закон Дарси).....	302	11-9 Ю. М. 阿別列夫加壓渗透試驗.....	323
11-3 影响渗透系数的因素.....	304	11-10 卡綿斯基管 (Каменский Труб) 渗透試驗.....	326
11-4 常水头渗透原理.....	308	11-11 基姆 (Тим) 氏渗透試驗.....	329
11-5 变水头渗透原理.....	310	11-12 工地現場試驗.....	331
11-6 渗透系数的經驗計算.....	311		
11-7 常水头渗透試驗法.....	315		
第十二章 土的膨脹性	337		
12-1 膨脹的原因及其与土的膠体的关系.....	337	12-4 膨脹性的指标.....	339
12-2 毛細水表面張力作用对膨脹的关系.....	338	12-5 粘性土的膨脹試驗——瓦西里耶夫法.....	340
12-3 影响土內膠体膨脹性的因素.....	339	12-6 拉朴傑夫 (Ф. Ф. Лаптев) 基尔雅諾娃 (А. Т. Кирьянова) 法.....	343

12-7 瓦西里耶夫法与拉朴傑	夫—基尔雅諾娃法之比較	344
-----------------	-------------	-----

第十三章 土的湿化性..... 346

13-1 土的湿化原因.....	346	性指标	348
13-2 对湿化假說的研討	347	13-4 湿化性試驗	349
13-3 影响湿化的因素及湿化			

第十四章 土中水的毛細作用..... 351

14-1 毛細水头的实际意义 及 其上升高度	351	14-4 毛細水头的直接观测法	354
14-2 影响毛細水头及其运动 的因素	352	14-5 卡綿斯基法毛細水头試 驗	355
14-3 土的毛細管力	353	14-6 郝賽尔 (Housel) 法毛細 水头試驗	357

第四編 土的化学性質

第十五章 土的有机物含量..... 359

15-1 土的有机膠体物質概論	359	15-4 容量法(即滴定法)測求 土的有机物含量	362
15-2 土中有机膠質(腐植質) 之定量分析原理	360	15-5 以灼燒法估計土中的有 机物含量	364
15-3 灼燒損失量的論据—— 有机物含量的粗略估計	362	15-6 計算問題	365

第十六章 碳酸鈣含量..... 368

16-1 基本論据	368	16-3 碳酸鈣含量簡易鑒定法 (加酸反应法)	371
16-2 碳酸鈣含量試驗 定量法	370		

参考文献..... 372

第一編 土的物理性質

第一章 土的基本物理性質

土的基本物理性質指标系指比重 (γ_s)、單位容重 (γ)、含水量 (W)；及由此三者計算而得的孔隙比 (e)、孔隙率 (n)、飽和度 (G) 而言。這些基本指标表明土的天然狀態及其結構，同時也体现出土在外力作用下所要產生的某些特性。因此，對於判定土的物理力學性質是不可缺少的。

1-1. 基本物理性指标的定義

為了便於說明上述基本指标的意義，可將土中的固體顆粒、水、空氣三者分開，繪成三相物質圖，如圖 1-1 所示。

圖中：

V ——土的總體積(公分³)，
包括土粒、水、空氣
的體積；

g ——土的總重量(克)，包
括土粒和水的重量，空氣重量甚微，故可忽略不計；

V_1 ——固體土粒的淨體積(公分³)；

V_a ——空氣的體積(公分³)；

V_w ——水的體積(公分³)；

V_2 ——孔隙的體積(公分³)；

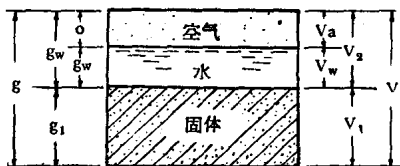


圖 1-1 土的三相物質圖

g_w ——水的重量(克);

g_1 ——土粒(在 105°C 下烘干的土)的重量(克)。

自圖中所示三相物質的相互关系, 可得出下列指标的物理意义:

顆粒比重(γ_s)——土粒固体部分的重量(包括礦物結晶成分及有机与无机膠体部分), 与 4°C 时同体积蒸餾水的重量比。因 4°C 时蒸餾水每一立方公分重 1 克, 所以土的比重在数值上即等于土固体部分的單位体积重, 即:

$$\gamma_s = \frac{g_1}{V_1} \quad (1-1)$$

在实用中通常簡称为土的比重。

單位容重——單位体积土的重量。按照土所处的不同情况可分別表示如下:

(1) 天然單位容重(γ)——在天然湿度及結構的状态下土單位体积的重量, 其值等于土总重与土总体积的比, 即:

$$\gamma = \frac{g}{V} \quad (1-2)$$

(2) 骨架單位容重(γ_c)——或称土的干容重, 即假想土处于无水的二相状态时的單位体积重量。在数值上等于土粒在 105°C 下烘干的恒重与土的天然状态总体积的比, 即:

$$\gamma_c = \frac{g_1}{V} \text{ 且 } g_1 = \frac{g}{1+W} \quad (1-3)$$

$$\therefore \gamma_c = \frac{g}{(1+W)V} \quad (1-4)$$

式中: W ——土的含水量

应当說明, 骨架單位容重并非烘干土的單位容重, 因为后者的体积因干燥收縮, 恒較原有的体积为小。所以此項指标僅能由換算求得, 而不能直接測定。

(3) 飽和單位容重(γ_n)——土中孔隙全为水所充滿时的單位

体積重量，自圖 1-1 所示关系知

$$\gamma_n = \frac{g_1 + V_2(\gamma_w)_{4^\circ\text{C}}}{V} \quad (1-5)$$

式中：\$(\gamma_w)_{4^\circ\text{C}}\$——\$4^\circ\text{C}\$ 蒸餾水的單位容重等于 1 克/公分³。

$$\therefore \gamma_n = \frac{g_1 + V_2}{V} \quad (1-6)$$

(4) 水下單位容重\$(\gamma_b)\$——处于水面以下的土体受到水的浮力作用而減輕其在水中的重量，故其單位容重为土饱和时的單位容重减去水的浮力(即固体体積水的重量)；即：

$$\gamma_b = \gamma_n - \gamma_w = \frac{g_1 + V_2}{V} - \gamma_w = \frac{g_1 + V_2}{V} - 1 \quad (1-7)$$

上述指标中，以天然單位容重为基本数据，借以推算其余的指标以表示土在各种情况下所具有的物理意义。在一般情况下，僅提到土的單位容重时，系指天然單位容重而言。

含水量\$(W)\$——充塞在土孔隙中的水的重量与土的固体顆粒在 \$105^\circ\text{C}\$ 下，烘至恒重时的重量百分比，即

$$W = \frac{g_w}{g_1} \times 100\% \quad (1-8)$$

通常簡称在天然状态时土的含水量为天然含水量；風干状态时土的含水量为吸湿含水量；而饱和状态时土的含水量为饱和含水量。

孔隙比\$(e)\$：土的孔隙部分体積与土的固体部分体積之比，以小数表示之，

$$e = \frac{V_2}{V_1} \quad (1-9)$$

孔隙率\$(n)\$：土的孔隙部分体積与土总体積之比，以百分数表示之，

$$n = \frac{V_2}{V} \times 100\% \quad (1-10)$$

孔隙比与孔隙率均用以表示土的密实程度，根据 ННТУ 127-55 规范規定，砂土的密实程度如表 1-1 所示：

表 1-1

砂 土 的 类 別	密 实 程 度		
	密 实 的	中 密 的	松 的
礫砂,粗粒及中砂	$\varepsilon < 0.55$	$0.55 \leq \varepsilon \leq 0.65$	$\varepsilon > 0.65$
細 砂	$\varepsilon < 0.60$	$0.60 \leq \varepsilon \leq 0.70$	$\varepsilon > 0.70$
粉 砂	$\varepsilon < 0.60$	$0.60 \leq \varepsilon \leq 0.80$	$\varepsilon > 0.80$

饱和度 (G): 土中的水分所占体积, 与全部孔隙体积之比, 通常可以百分数或小数表示, 即:

$$G = \frac{V_w}{V_2} \quad (1-11)$$

饱和度的大小, 可以表示砂土在天然状态时的干湿程度; 表 1-2 示砂土饱和度与其干湿状态的关系:

表 1-2

应用于桥梁规范中		应用于建筑规范中	
饱和度 G	土的状态	饱和度 G	土的状态
$G \leq 0.4$	干 的	$G \leq 0.5$	稍 湿 的
$0.4 < G \leq 0.8$	湿 的	$0.5 < G \leq 0.8$	很 湿 的
$0.8 < G \leq 1.0$	饱 和 的	$0.8 < G \leq 1.0$	饱 和 的

上述六项指标就其物理意义来看, 可知比重、天然单位容重、天然含水量三项为最基本数据, 而需要直接测定。其余三项指标则可按照三相物质的相互关系求得, 换算方法将述于 1-2 节。

1-2. 指标间的相互关系

一、天然单位容重 (γ)、含水量 (W) 与土骨架单位容重 (γ_c) 间的关系

根据(1-4)式可得出:

$$\gamma_c = \frac{g}{(1+W)V} = \frac{\gamma}{1+W} \quad (1-12)$$

二、土的骨架單位容重 (γ_c)、比重 (γ_s) 与孔隙比 (ε)、孔隙率 (n) 間的关系

求得了土的骨架單位容重和已知土的顆粒比重，則可計算孔隙比、孔隙率。其关系如下：

$$n = \frac{\gamma_s - \gamma_c}{\gamma_s} = 1 - \frac{\gamma_c}{\gamma_s} \quad (1-13)$$

$$\varepsilon = \frac{1 - \frac{\gamma_c}{\gamma_s}}{\frac{\gamma_c}{\gamma_s}} = \frac{\gamma_s - \gamma_c}{\gamma_s} \times \frac{\gamma_s}{\gamma_c} = \frac{\gamma_s - \gamma_c}{\gamma_c} = \frac{\gamma_s}{\gamma_c} - 1 \quad (1-14)$$

又根据(1-13) 及 (1-14) 二式，可得出 ε 及 n 值的相互关系：

$$\varepsilon = \frac{n}{1-n} \quad (1-15)$$

$$n = \frac{\varepsilon}{1+\varepsilon} \quad (1-16)$$

三、土的比重、含水量、孔隙比或孔隙率与飽和度的相互关系
求得土的孔隙比或孔隙率，并已知土的比重和含水量，根据圖 1-1 可算得土的飽和度 G ：

$$\therefore W = \frac{g_w}{g_1} = \frac{\gamma_w \cdot V_w}{V_1 \cdot \gamma_s}$$

$$\text{通常取 } \gamma_w = 1, \text{ 因此得 } W = \frac{V_w}{V_1 \cdot \gamma_s} = \frac{V_2 \cdot G}{V_1 \cdot \gamma_s} = \frac{G \cdot \varepsilon}{\gamma_s} \quad (1-17)$$

$$\therefore G = \frac{W \cdot \gamma_s}{\varepsilon} \quad (1-18)$$

$$\text{或 } G = \frac{W \cdot \gamma_s (1-n)}{n} \quad (1-19)$$

以上公式(1-12)、(1-13)、(1-14)、(1-18)均可繪成圖解。

1-3. 土的顆粒比重試驗

土的比重是提供計算孔隙比、孔隙率、飽和度等物理性指标必

不可缺的一項基本數據。這些指標的計算不僅用于直接反映土的天然狀態干濕及緊密程度，同時對於計算及研究土在外力影響下所產生相應的物理變化也具有特別重要的作用。

一、測定比重的一般原理及原則

根據 1-1 節的定義，得知土的顆粒比重系指顆粒的重量與同體積 4°C 的蒸餾水重量之比。其數值可根據 1-1 式的原理計算，即：

$$\gamma_s = \frac{g_1}{V_1}$$

式中土粒重量 g_1 及其體積 V_1 需要分別求得。

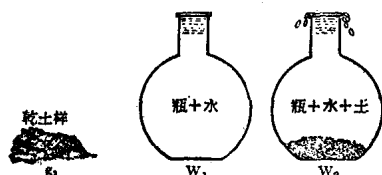


圖 1-2 顆粒比重試驗示意圖

求干土重的方法是將土在 105°C 烘箱中烘至恒重，然後在干燥器中冷卻，以天平秤得其重量。求土體積的原理是：將土放於盛裝蒸餾水的比重瓶

中，根據其所排開的液體體積求得。其法系將干土樣放置於比重瓶中，而求排開水的體積，根據圖 1-2 今設：

g_1 ——干土重(克)；

W_1 ——在溫度 $T^\circ\text{C}$ 時，比重瓶盛滿蒸餾水至一定標記時的總重量(克)；

W_2 ——在溫度 $T^\circ\text{C}$ 時，比重瓶裝入干土後，再盛滿蒸餾水至同一標記時的總重量(克)。

自圖所示三者之關係，可以想像如下：將 g_1 克之土放入盛滿蒸餾水之比重瓶內，則必將一部分蒸餾水擠出瓶外，當水中無空氣存在時，被擠出的蒸餾水體積必然等於放入的土樣體積，其數值可自三者的重量關係求得：

$$V_1 = \frac{W_1 + g_1 - W_2}{\gamma_w(T^\circ\text{C})}$$

与土同体积 4°C 时的蒸馏水重:

$$W_w = \frac{W_1 + g_1 - W_2}{\gamma_w(T^{\circ}\text{C})} \cdot \gamma_w(4^{\circ}\text{C})$$

所以土的比重为:

$$\gamma_s = \frac{g_1}{W_w} = \frac{g_1}{W_1 + g_1 - W_2} \cdot \frac{\gamma_w(T^{\circ}\text{C})}{\gamma_w(4^{\circ}\text{C})} \quad (1-20)$$

式中: $\gamma_w(T^{\circ}\text{C})$ ——为 $T^{\circ}\text{C}$ 时蒸馏水的密度(克/公分³);

$\gamma_w(4^{\circ}\text{C})$ ——为 4°C 时蒸馏水的密度(克/公分³),

但当土中含有水溶鹽(鹽沼土、海積土等), 活性膠質(肥粘土) 及有机質(泥炭、腐植土等)时, 上述原理即不能适用, 因为:

1. 水溶鹽遇水后尤其在試驗时的煮沸过程中, 溶解于水而成溶液, 故水与鹽原有的体积之和大于溶解后鹽溶液的体积。同时水溶鹽中原有的結晶水的密度較蒸馏水为小(如 $\text{CaSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 及 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 中的結晶水的密度为 0.71、0.79、及 0.85 克/立方公分), 且由于土粒中水溶鹽的溶解使土粒所排开水的体积减小, 故按上式計算則所得比重数值偏大。

2. 土中原有的活性膠体得到充足的水分后, 与水的分子發生异性电荷作用而吸收一部分水, 使粘結水(吸附水膜)数量相对增大(从 1.2~1.75), 因而也使原有水与土的体积之和大于水与土作用后的体积。根据苏联对含有活性膠質各种土的試驗說明, 土与水 100 克作用后的体积将会縮小 0.05~1.15 立方公分, 而对含有有机物的土其收縮情况則更大(有达 2.53~4.27 立方公分)。因此, 如用上述公式計算, 結果也是偏大。

据上所述, 含有水溶鹽及活性膠体的土, 其比重的測定应用中性液体(如火油, 苯等代替水), 以防鹽类及膠体的溶解。上述公式应改为:

$$\gamma_s = \frac{g_1}{W_1 + g_1 - W_2} \times \frac{\gamma_k(T^{\circ}\text{C})}{\gamma_w(4^{\circ}\text{C})} \quad (1-21)$$

式中: $\gamma_k(T^{\circ}\text{C})$ ——在温度 $T^{\circ}\text{C}$ 时, 中性液体的密度;

其他符号同前，唯以中性液体代替了水而秤得其重量。一般当水溶鹽含量，活性膠体含量占顆粒礦物部分的总重 5% 以上时，均宜采用中性液体來測定。对于含有有机質的土的比重測定法，全苏國定标准（参考文献 37）中僅規定当有机物含量超过土干重 5% 时，即不宜用上述方法來測定，但当无他法补救而必需用此法时，則須說明有机物含量的多寡。至于究竟应否采用其他方法則并未說明。作者認為，当有机質含量超过 5% 时，使用中性液体測定比重同样是比較合宜的。

二、試驗方法

土的比重測定法有三种：

1. 蒸餾水煮沸法——适用于不含可溶鹽，活性膠体或有机質的土，但当土中有机質殘余含量未超过 5% 时，尚可使用此法。



圖 1-3 比重瓶

2. 中性液体抽气法——适用于含有可溶鹽、活性膠体或有机質的土。但因操作較繁且不經濟，一般僅当上述物質的含量大于 5% 时始采用之。

3. 蒸餾水抽气法——适用条件与煮沸法同，惟以直接抽气代替煮沸。

主要仪器

比重瓶 (100 c.c.) (圖 1-3)；

砂浴或其他煮沸設備；

普通天平 (1/100 克)；

其他用品：玻璃漏斗、洗瓶、滴管、吸水紙、溫度計 (0~50°C 最小刻度 0.1°C)、磁鉢和帶有硬橡皮头的乳棒、鉄鉢帶棒、孔徑 2 公厘之篩、蒸餾水或中性液体、烘箱、恒溫水槽 (0~40°C)，抽气設備 (包括抽气机、真空管路及抽气鋼箱)。

土样制备：