

精密水准测量中 尺台尺椿和脚架 垂直移动的影响

И. И. 恩 琴 著
В. И. 申亞基娜

測繪出版社

精密水准测量中
尺台尺椿和脚架
垂直移动的影响

И. И. 恩 琴 著
В. И. 申亞基娜
徐 礼 序 译

测绘出版社

1956·北京

И. И. ЭНТИН и В. И. СИНЯГИНА

Вертикальные перемещения костылей,
башмаков и штатива и их влияние на резуль-
таты нивелирования I и II классов

Геодезиздат, Москва—1953

本書系根据苏联部长會議內务部測繪总局中央測繪科学研究所
1953年第94期中“一、二等水准測量中尺台、尺椿和脚架垂直移动的
影响”一文譯出。作者詳細而全面地研究了尺台、尺椿和脚架的上升
和下沉对一、二等水准測量結果的影响，并提出了消除和减弱这些影
响的办法，可作为水准測量工作者、尤其是一、二等水准測量工作者
的作業参考書。

本書由徐礼序同志譯，謝世杰同志校。

精密水准測量中
尺台尺椿和脚架垂直移动的影响

著者	И. И. 恩琴 В. И. 申亞基娜
譯者	徐礼序
出版者	測繪出版社 北京宣武門外永光寺西街3号 北京市書刊出版業營業許可証出字第零四號
發行者	新華書店
印刷者	地質印刷厂 北京廣安門內教子胡同甲32号

編輯：張宝山 技術編輯：李堃如 校對：白叔鈞
印數(京)1—7200册 1956年11月北京第1版
定價(10)0.32元 1956年11月第1次印刷
字數45,000字 印張 2
開本31"×43¹/₂"

目 錄

序論.....	5
中央測繪科學研究所的研究.....	6
尺樁和尺台性能之研究.....	12
腳架性能的研究.....	24
尺樁、尺台和腳架的垂直移動對一、二等水準測量成果 的影響.....	35
結論和建議.....	48

序 論

实际經驗早已証明，在水准測量过程中，尺台和脚架不能保持固定不动。因此，水准測量成果中应顧及由于它們移动所引起的系統誤差。

由往測和返測所測得的高差之差，可用以評定水准測量的精度。其差数即上述往返測系統誤差之总和，而这些高差的中数，則受誤差之一半的影响。因此，了解尺樁、尺台和脚架移动的特征（水准測量时它們移动的大小、速度和方向）有着相当重要的实际意义。然而至今無論在数量上和質量上，都还没有足夠資料說明水准測量中尺樁、尺台和脚架的移动情况；而参考書中所引用的資料，除極少的以外，都是根据个別的觀測資料，并且多半帶有設想的成分。

大多数作者認為打入土中的尺樁和尺台，是由于其本身的重量和标尺的重量的影响而下沉的。

但是有很多贊同这个观点的作者也提出尺樁或尺台可能上升的意見。Φ.Н. 克拉索夫斯基曾寫道^①“在水准測量中，某些地段上所安置的尺台逐漸下沉，但也常發生尺台作相反移动的情况。”

对于尺樁和尺台移动的性質和速度有着不同的看法：一部分人認為下沉和上升不断地發生；另一部分人又認為僅在尺樁（尺台）打入地面后的最初瞬間，即当它是測程的前尺樁时，才發生移动。

大部分研究者都認為其所以要在水准測量成果中顧及系統誤差，是由于当觀測員轉至下一測站时，打入轉点上的尺樁（尺台）改变了原來位置的緣故。

下面將說明所研究的系統誤差的極大部分，并不是由于这些变动

^① Φ. Н. 克拉索夫斯基及 B. B. 但尼罗夫著：大地測量学，第一卷第二分册，§129. 1939年. 莫斯科。

所引起的，而是在測站上進行觀測時，尺樁（尺台）的下沉所引起的。

至于移动的大小，文献中所見到的也只是像“尺樁下沉的大小決定于土質”或“……決定于地層表面的湿度”等最普通的意見。A.C.契巴塔廖夫教授在其所著的“測量學教程”1949年版第二冊44頁中寫道：“由測量文獻中可看出，在堅硬土壤上半小時內下沉0.5公厘。”

1933年，Э.瓦爾哈洛夫斯基教授在進行水準測量精度的實驗時，順便測定了尺台移動對水準測量成果影響的大小。11公里長之閉合多邊形鎖用尺台進行了五次雙向水準測量，其結果證明：在五次往返觀測中，多邊鎖形的閉合差之值，都是1公厘至3公厘；並且往測之閉合差的符號都是正的，而返測之閉合差的符號都是負的。同一鎖形用木樁進行的兩次水準測量中，就沒有發現類似這樣的情況。

因此，根據瓦爾哈洛夫斯基實驗的結果，由單向觀測所得的高差，包含尺台下沉的系統誤差，在一公里路綫上約為0.2公厘。當然，這只是極其近似的數值。

對於腳架的移動情況，或多或少存在着這樣相同的見解——水準測量過程中腳架發生下沉現象，並且其下沉之值與在測站上的時間成正比。由於觀測員在其附近走動，腳架的位置起了變化，這也是可能的。但是，在數量上說明下沉的數據，即使是最近似的也沒有。

下面將說明在水準測量過程的大部分情況中發生腳架上升的現象，而只在某些土壤上和某些條件下，腳架才有下沉的情況發生。

由上所述，我們可以清楚地知道關於尺樁、尺台和腳架移動情況的問題，最近還沒有得到解決。因此，中央測繪科學研究所在研究一等水準測量系統誤差的同時，也研究了這種誤差。

中央測繪科學研究所的研究

還在1947年夏季就進行了尺樁、尺台和腳架的垂直移動及其性質實驗性的測定工作。這個實驗是在中央測繪科學研究所精密水準測量實驗室內進行的。

实验的方法大概如下：將实验的尺椿或尺台打在地下水准标石附近距仪器 30 公尺处的土中，脚架放在能保証仪器水平不变的結实的木椿上，实验的尺椿（尺台）和地下水准标石上都立着水准标尺，根据这些标尺用水准仪進行多次連續讀数。根据安放在地下水准标石上的标尺讀数，檢查仪器的水平位置是否有了改变。

实验脚架时采用的方法与上面所講的一样，但有一点区别，即脚架直接放在地上，并且只讀取安放在地下水准标石上的标尺的讀数。

这些实验在鋪面土路、干涸草地和沼澤草地上各進行了十次，得到以下的結果：

1. 在鋪面土路和干涸草地上，从未發現尺椿、尺台和脚架的移动。更精确地說，这种移动小于 0.07 公厘（測站上的觀測中誤差）。
2. 在沼澤草地上，尺台和立在它上面的标尺在 15 分鐘內，平均下沉 0.08 公厘，最大下沉达 0.20 公厘。当觀測員直接靠近它移动时，脚架于 10—12 分鐘內上升 0.08—0.11 公厘。

因此，从 1947 年的实验可以看出尺台和脚架在沼澤草地上移动的特征，并証明在硬土上，这种移动極其微小，甚至不能用水准仪來研究它們。因此，就提出了关于探討另一种更为精确的方法以研究这种现象的問題。

1949 年，精密水准測量实验室又开始实验尺椿和尺台移动情况的工作。是年夏季，中央測繪科学研究所科学实验仪器制造厂制造了一架所謂移动檢驗仪的普通仪器。它能測量安置在任何土壤中之尺椿、尺台和脚架垂直移动的数值和方向。这种仪器和計秒錶結合起來，还可以量測出垂直移动的速度。

仪器的設計思想，实验的方法以及工作領導都是由 И.И. 恩琴負責的。仪器的設計構造是由 Г.Г. 高尔頓和 А.А. 康姆列娃進行的。В.И. 申亞基娜拟定了檢驗仪器及尺椿和脚架垂直移动的方法；这些实验及其資料的整理工作也是由她進行的。

移动檢驗仪的構造及其使用 此仪器由三个部分構成（圖 1）：确定尺椿（尺台）K 垂直移动的数值和方向的量測裝置 И；帶有 В 杆

和Г杆的懸臂Б, Б杆和Г杆支承着量測裝置И, 并能使其和打入土中的尺樁К發生接觸, 而尺樁К接近于懸臂懸空的一端; 裝置А將懸臂Б的另一端連接在固定建築物(屋壁、木杆、鋼軌或瓦斯管)上。

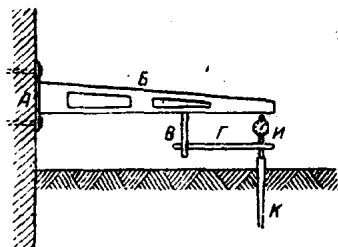


圖 1

根据 Е.Н. 克拉索特金的建議, 用标准指示器 КИ 当作量測裝置, 其活动杆的移动范围为 10 公厘。在两个装有轉动針的字盤上測定移动值。小字盤上最小的刻划相当于活动杆移动 1 公厘, 大字盤上最小的刻划則相当于活动杆移动 0.01 公厘。

硬鋁制的懸臂 Б 的断面成倒“T”形, 其長度为 0.5 公尺。在其下面的平板中有一縱筍槽, 鋼制的圓杆 Б 可以在槽中移动和穩固地固定。Б 杆上套着一个套管, Г 杆就固定在这个套管上。套管能夠沿着 Б 杆移动, 并能圍繞着它而轉动, 而 Г 杆既可在套管的圓环中前后移动, 同时又能旋轉。套管有一能使 Г 杆固定在需要位置的制動裝置。指示器移动杆的套子用螺絲固定在 Г 杆懸空的一端上。

部件 А 是用鋼制成的, 其形狀和板子一样, 懸臂 Б 用螺絲固定在上面。中央測繪科学研究所科学实验仪器制造厂共制造了三个这样的部件: 一个用来將懸臂固定在木杆或牆上, 另一个用来將懸臂固定在垂直埋于土中的鉄軌上, 第三个則固定在直徑为 100 公厘的瓦斯管上。

用这种仪器按下述的方法進行工作: 首先选择适当的建筑物(或在已确定的地方安裝鉄軌、瓦斯管或石樁), 將部件 А 固定在上面, 而懸臂 Б 則固定在部件 А 上。然后將尺樁打入土中, 再移动 Б 杆和 Г 杆, 使指示器的移动杆与尺樁头相接触。將 Б 杆和 Г 杆穩固地固定在这样的位置以后, 放下指示器, 使指示器的杆輕輕地压在尺樁头上, 并用螺絲使指示器固定于此位置。將指示器安裝在需要的位置約 10—30 秒鐘, 然后观察指示器的指針, 如果指針循順时針方向轉动,

就說明尺樁上升，如果指針循反時針方向轉動，則表示尺樁下沉，根據指示器和計秒錶的讀數，便可確定尺樁移動的大小和速度。應當指出：在尺樁的頭上安裝指示器時，也可放置水准標尺。

圖 2 是說明研究尺樁下沉過程中移動檢驗儀的情形。

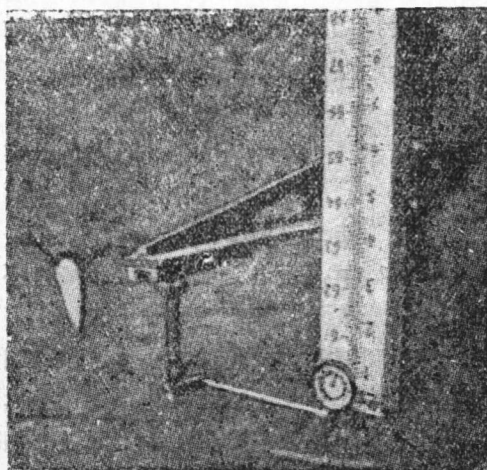


圖 2

移動檢驗儀的檢驗 實驗开始前，將儀器按下列各項在實驗室和野外進行檢驗：

1. 檢查指示器安裝的正確性；
2. 測定指示器的分劃值；
3. 檢查所有已安裝好的部件（尺樁、指示器等）在需要的時間內是否保持不動；
4. 檢查指示器的讀數是否改變，特別是在它裝好后的最初瞬間讀數是否改變；
5. 研究風和周圍空氣溫度變化對儀器影響的程度。

前兩項檢驗工作是在中央測繪科學研究所大地測量實驗室內用檢 6475 大型儀器顯微鏡進行的。檢驗時指示器是這樣安置的：指示器

移动杆的一端和顯微鏡支架相連，支架移动便帶动了指示器的移动針，根据指示器字盤上的指針即可測定支架移动的数值。將支架的移动值（即顯微鏡量測螺旋兩讀數之差）和指示器讀数变化相比較，即可測定指示器的分划值。由兩個字盤分划之不同部分所測定的分划值加以比較，再根据“往測”和“返測”中所得成果的符合程度，即可評定分划尺的刻划精度，以及工作中指示器所有机械的总協調性。指示器全部分划尺每隔大字盤 20 分划以“往測”和“返測”進行了实验（即相应于移动針移动 10 公厘）。

檢驗結果証明，指示器的性能完全令人滿意。大字盤分划尺不同部分的分划值之差小于 1μ ，而分划值的平均值与表面数值精密符合（0.010 公厘）。小字盤的指針移动和大字盤的指針完全一致，大字盤分划值平均等于 1.000 公厘，而个别分划值之差最大不超过 0.012 公厘。因此，分划尺之分划值无需加入任何改正数。

在進行第三、第四和第五項檢驗时，移动檢驗仪固定在一節鉄軌上，而鉄軌垂直埋于地下，其深度約为 1.5 公尺，指示器活动杆則和另一水平放置的鉄軌表面牢固地連接。進行第三項檢驗时，在一小时內，每隔一分鐘根据指示器的指針讀数一次。因为鉄軌已在檢驗开始前的几个星期埋于地中，所以可認為在一小时內，它的位置沒有变动，而指示器讀数中所有的变化（如果有这种情况的話），則是由于移动檢驗仪本身不穩定所致（如部件 A 和指示器連接不好，懸臂弯曲等）。重复進行了三次实验，証明指示器讀数在一小时內沒有变化，这就說明移动檢驗仪所有的裝置保持固定。

第四項檢驗中，当將活动杆安裝好后，立刻就進行了讀数，然后在兩分鐘內每隔 10 秒鐘讀数一次，指示器每次重新裝置时，我們都重复進行了 10 次檢驗。

这些檢驗結果說明：由于裝置而產生的指示器讀数变化，或完全沒有發生（有 8 次），或僅在最初的 10 秒鐘內發生这种变化，并且其值未超过大字盤 0.2 分划，即相应于 2μ 。

最后的兩項檢驗是在无風的陰天远离公路進行的。

为了進行第五項檢驗，相反地，曾选择了变化多端的有云的天气、且空气温度变化很快的白天進行。

檢驗时，移动檢驗仪曾处于以下所举之各种不同的条件中：

1. 仪器不避开日光；
2. 以外業用的太陽傘遮住日光，周圍气温变化范围很大；
3. 用同一把傘保护仪器，但气温变化不大；
4. 用由結实白布制成复盖的太陽傘保护仪器，懸臂上套着一个套子；
5. 在陰天進行观测（利用第三項檢驗進行观测）。

檢驗的結果列于表 1。

10分鐘內指示器讀数的总变化（公厘）

表 1

仪器不用傘保护				在溫度变化的情况下用傘保护仪器（晴天）				用有复盖的傘保护仪器（晴天）	
晴		陰		很 大		大		讀数变化	气温变化 Δt
讀数变化	气温变化 Δt	讀数变化	气温变化 Δt	讀数变化	气温变化 Δt	讀数变化	气温变化 Δt		
0.087	+1°.0	0.000	+0°.2	0.043	+1°.2	0.038	+0°.4	0.011	+ 0°.8

从这里可以很明顯地看出，讀数变化的基本原因是陽光直接晒在仪器上；用傘保护仪器，而特別是有复盖的傘，讀数变化就顯著减小，但不能完全消除这种变化。

曾在風速为 1—3 公尺/秒的天气下檢驗仪器对風的灵敏度，当風速大于 2 公尺/秒时，指示器的指針就开始震动，并且在大字盤上变动 1—2 分划。

根据上述檢驗結果，在使用移动檢驗仪進行工作时，必須遵守下列規則：

1. 观测僅能在陰天或夜間、風速不大于 $1 - 1 \frac{1}{2}$ 公尺/秒 的天

气進行；

2. 开始观测时，不得早于仪器取出后之半小时；

3. 每次观测前后都須量测气温。

可以这样說：如能很好地遵守这些規則，用此仪器测出尺樁、尺台和脚架的移动，其誤差小于 $\pm 5\mu$ 。

实验的進行 1949—1950年在基輔——克勒什洛火車站中央測繪科学研究所實習場進行了一切实驗，其目的在研究尺樁、尺台和脚架的移动。

这些实验主要是在三种土壤上，即在铁路路基上，公路旁、土路上和一、二等水准測量一般情况下進行的。但是除此之外，也曾在含有粘土，砂土和泥炭的場地上進行。

实验开始前的一个月到一个半月，就在上述所有的場地上埋下了4公尺長的一節鉄軌，其深度约为1.5公尺，每節鉄軌下面都垫了很多石块，鉄軌上端还纏着結实的鉄絲。

实验时也研究了現代一、二等水准測量中所采用的尺樁和尺台的性能，以及1.5公尺高的普通脚架和2.2公尺高的高脚架的性能。

研究計劃包括兩種实验。第一种实验的目的在于測定打入土中的尺樁、尺台和脚架移动的特征和近似值（在沒有載重量和有載重量的情況下）；第二种实验是給一、二等水准測量过程中尺樁、尺台和脚架的移动值、速度和方向提供完整而精確的概念。兩種实验的詳細記載寫在下面。

尺樁和尺台性能之研究

第一种实验 这种实验是根据下述方法進行的。安好移动檢驗仪后，將尺樁或尺台打入土中，立刻就使指示器活动杆与尺樁头可靠地連接起來。在第一分鐘內每隔10秒鐘，在一分鐘后的15—30分鐘內每隔一分鐘，根据兩個字盤和計秒錶進行讀数。然后再將尺樁或尺台打入新的地方，重复進行实验。

这种实验可察明打入土中之尺樁和尺台在其上沒有載重量的情况

下的性能。

为了明瞭尺樁和尺台上面有載重量时的性能，实验在某一方面有所改变，即在尺樁或尺台头上与指示器軸杆并排放着一根水准标尺，起初沒有握力，然后帶有不大的握力，这种握力与通常進行水准測量时一样。当尺樁（或尺台）的移动还没有逐渐减弱前，水准标尺始終放在尺樁上。然后将标尺拿开，并且在尺樁（或尺台）位置穩定后，再以一定的握力將标尺重新放在上面。

一次实验包括三次沒有握力和有握力的放置标尺，且整个实验过程中，尺樁（或尺台）保持在同一位置，同时也不变更指示器的安置。

現在來看第一次实验的結果。在沒有載重量的情況下，也就是僅在本身的重量影响下，打入土中的尺樁和尺台下沉量很小——5分鐘內不大于0.01公厘（泥炭地除外）。然而在非常潮湿的土壤上（剛下过大雨后），發現尺樁和尺台由土中上升，5分鐘內达到0.013公厘，这种上升的現象以尺台为最顯著。

尺樁和尺台类似的性能可用以下的方法說明。

在打入干燥土壤中的尺樁和尺台上有两个方向相反的作用力：即尺樁或尺台本身的重量和土壤的彈性后效。在干燥的或稍有些潮湿的土壤上，第一种力的作用較強，因而使尺樁和尺台往下沉，并且像所預料的一样，在不很坚实的土壤上（含有砂土和松軟的粘土的地方）第一种力也相当大。在土壤很潮湿的情况下，除第二种力的作用外还要加上另一种力的作用，即土壤因潮湿而膨脹所引起的力。这两种力的合力更比第一种力的作用大，这就是尺樁和尺台由土中上升的原因。这种情况下，尺台上升大于尺樁，因为尺台打在土的上層，而上層的潮湿程度更大。

圖3表示尺樁、尺台和脚架有載重量时，其性能之两种实验的結果（就所有其他的实验而言是典型的）。上圖說明尺樁，下圖說明尺台。兩次实验都是在铁路路基边缘進行的。粗的实綫表示标尺立在上面并有握力时尺樁（尺台）的性能，虛綫表示标尺立在上面但沒有握

力时尺椿（尺台）的性能，細綫則表示由尺椿（尺台）上取下标尺后的情况。

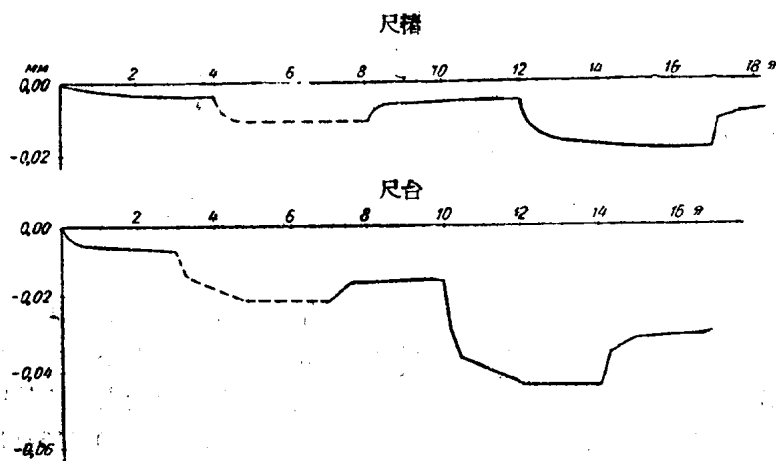


圖 3

我們列出了表 2 和表 3，这两个表內包括上面立着标尺并帶有握力时，在 10 秒鐘至 2 分鐘內，尺椿和尺台移动的平均值和最大值。

尺台在不同土壤上的移动

表 2

地 段 和 土 壤	实驗次数	在下列時間內的移动值 (MM)				在兩分鐘內的 最大 移 动 值
		10秒	20秒	1 分	2 分	
土路.....	6	-0.042	-0.050	-0.064	-0.068	-0.098
含砂土的場地	6	-0.106	-0.119	-0.126	-0.135	-0.174
公路边.....	4	-0.033	-0.038	-0.043	-0.046	-0.064
鐵路路基.....	6	-0.028	-0.032	-0.037	-0.041	-0.094
泥炭地.....	4	-0.456	-0.668	-0.790	-0.840	-0.990

尺槽在不同土壤上的移动

表 3

地 段 和 土 壤	实 验 次 数	尺槽于第一次安置标尺时的移动值(公厘)					拿去标尺后尺槽于两分钟内的移动值	尺槽于第二次安置标尺时的移动值(公厘)		
		10秒	20秒	1 分	2 分	在兩分鐘內的最大的移动值		10秒	2 分	在兩分鐘內的最大的移动值
土 路										
(很湿润的砂質粘土)	10	-0.009	-0.011	-0.014	-0.016	-0.030	+0.004	-0.003	-0.006	-0.011
含砂土的場地.....	10	-0.017	-0.020	-0.023	-0.024	-0.041	+0.003	-0.007	-0.011	-0.021
公路边.....	10	-0.006	-0.008	-0.009	-0.010	-0.020	+0.009	-0.003	-0.005	-0.006
鐵路路基.....	10	-0.008	-0.008	-0.010	-0.010	-0.019	+0.007	-0.004	-0.005	-0.008
泥炭地.....	10	-0.107	-0.130	-0.152	-0.168	-0.233	+0.118	-0.078	-0.117	-0.148

須指出：当标尺立在尺樁或尺台上沒有握力时，后者移动的特征仍然相同，但尺樁的移动值减少了25—40%，而尺台的移动减少了60—80%。

为了确定在尺台上重复放置标尺时，尺台本身的情况，还进行了补充的实验。在含粘土的場地上，由标尺重复放置五次所組成的一次实验的结果，列出圖4來說明。

由所列之圖表可得出下列結論。

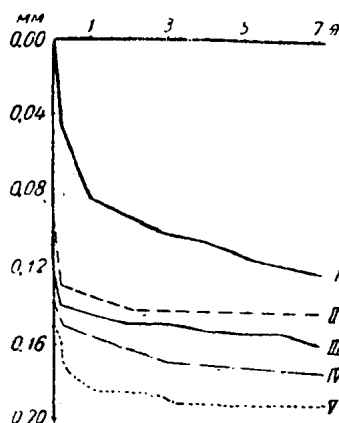


圖 4

1. 由于本身的重量，标尺重量和將标尺放在尺樁及尺台上不可避免的握力，在它們的共同影响下，使尺樁和尺台下沉。

2. 在最初的10—20秒鐘內，尺樁和尺台的下沉最快，也很剧烈，然后逐渐减弱，但在1—2分鐘內还可以觉察到，經過4—5分鐘后，它們的位置几乎完全穩定下來。

3. 在結实的土壤上（公路边、铁路路基、土路），兩分鐘內尺樁平均下沉0.01—0.02公厘；在粘土及砂土場地上比0.02公厘大些；而在泥炭地上平均下沉达0.15公厘。

在其后的3分鐘內，尺樁在所有土壤上的下沉量，最多是兩分鐘內总下沉值的10—15%。

尺台的下沉比尺樁大，約为3—6倍。大部分尺台在砂土上兩分鐘內平均下沉0.14公厘，泥炭地則为0.84公厘。

4. 只有重量不再作用到它的上面时（即拿开标尺后），尺樁和尺台才会上升。在这种情况下，虽然上升，但尺樁和尺台多半不能回復其原來位置。

尺樁和尺台的这种上升，可以用标尺重量及其上的握力作用而使土壤產生彈性后效來說明。在同一時間內和同一作用力的影响下，尺