

樁和樁基的計算

A.B. 帕塔列耶夫 著

中央交通部公路總局譯

人民交通出版社

樁和樁基的計算

A. B. 帕塔列耶夫著
中央交通部公路總局譯

人民交通出版社

本書簡要地分析了樁和樁基計算的應用方法；並對各種材料的樁及其計算公式的應用，根據具體情況與打樁的錘型提出許多寶貴的建議。

本書可作為樁基設計師們和建築工程師們的參考應用。



樁 和 樁 基 的 計 算

А. В. ПАТАЛЕЕВ

РАСЧЕТ СВАЙ И СВАЙНЫХ ОСНОВАНИЙ

ИЗДАТЕЛЬСТВО

МИНИСТЕРСТВА РЕЧНОГО ФЛОТА СССР

МОСКВА—1949—ЛЕНИНГРАД

本書根據蘇聯河運部出版社1949年莫斯科、列寧格勒版譯出

楊 振 清 譯

顧 玉 琇 校

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北 京 北 兵 馬 路 一 號)

新 華 書 店 發 行

編輯：符 浩 助理編輯：張錫銘

全書256,000字★定價16,000元

1954年6月初版★印數：1—7000冊

目 錄

原 序.....	1
第 一 章 樁和樁基的分類.....	3
第 二 章 樁 的 構 造.....	6
1 木樁	6
2 鋼樁	12
3 鋼筋混凝土樁	21
4 綜合樁	28
第 三 章 各種樁的工程經濟估計.....	31
第 四 章 打樁時在土壤中發生的物理現象.....	36
1 土壤的變形	36
2 打樁的休止對貫入度的影響	48
第 五 章 決定樁的容許載重的基本方法.....	55
第 六 章 按土壤的阻力求容許載重.....	57
1 樁的載重試驗	57
2 計算用的理論公式	63
3 計算用的經驗公式	72
4 計算用的動力公式	83
第 七 章 選擇打樁用的錘型.....	113
第 八 章 受垂直載重的樁和樁基的支承量.....	120
第 九 章 驗算樁基樁尖下土壤強度及其可能的沉陷.....	168
第 十 章 受水平載重的樁和樁基的支承量.....	167
第十一章 同時受軸向壓力和撓曲作用的樁的計算.....	201
第十二章 樁在基底中之分佈，樁台中各樁內力之計算.....	213

原 序

在戰後斯大林五年計劃中，按照基本修復工程和新建工程所要完成的以及爲了實現蘇聯國民經濟發展的長遠計劃而製訂的巨大工作量，要求我們認真地注意在這些工程中節省材料，減少繁重性，從而減低工程造價。

有時，由於需要巨量的材料而造成材料供應的緊張狀態，應向工地工程師們提出嚴格節省建築材料的要求，應向設計師們提出合理設計的要求。

在設計橋梁墩台基礎各種水下工程及工業建築物中，已廣泛地採用樁和樁基，同時打樁技術近二十年來也有顯著的改進，而且已經開始採用新式結構的樁和樁基。

技術進步的結果，雖然可以解決長度達 40~70 公尺的各式樁的打入問題，然而這決不能說樁承量的計算理論可以忽視土壤力學的發展和土壤的彈性及塑性性質的研究。

當解決所設計的建築物採用樁或樁基的問題時，應該選擇樁的材料和型式，決定其打入方法，即是選擇適當工具，擬定施工方法，同時考慮當地的地質條件而決定單樁或整個樁基的容許載重。

樁的承重能力及其計算方法視樁的尺寸，樁的材料和型式，打樁方法，地質情況，土壤特性，土壤物理性質，內摩擦角，土壤極限抗剪角，樁佈置的疎密以及其他因素等而定。

許多蘇聯的和外國的學者與研究家曾從事於樁承量的實驗和理論研究，但是其中一些人僅僅從事於試驗室中的模型研究，或試圖按衝擊理論，土壓力理論得出樁承量的計算公式，結果，這些公式都具有極端的、與實際情況脫節的性質（主要在法國和德國的學校）；反之，另一些人則在天然條件下從事於樁的研究工作，常常不根據足夠數量的試驗，沒有理論基礎，便提出計算的經驗公式，甚至爲個別公式大事吹噓（主要在美國）。

僅有少數學者知道理論研究應和嚴肅的試驗工作相結合，例如，H.M. 格爾雪萬諾夫和一些蘇聯科學研究院的實驗家們（洛列金，拉德森科夫，高魯布科夫等等）就這樣做了。

然而在有大量樁工的工程中，很多的實驗機會往往沒有加以利用，因此在

棧和棧基的計算中至今仍存在許多模糊之處。

關於棧承量計算問題，由於這些不能令人滿意的情況，因此專門書籍發表了許多不同的建議；有時這些建議，未經考驗，自相矛盾，甚至錯誤地指導設計師和工地工程師。

許多公式的作者，在其理論根據中對個別的因素，例如棧的削尖或棧的削成錐形等給予過大的數值，結果或是得到大得荒謬的，或是小到極限的棧承量。

顯然，根據載重試驗以決定棧的容許載重乃是最完善的方法，但比較其他方法需時較長，而且此項方法也是極麻煩的。因此需要得到一個較為簡單的棧和棧基的容許載重計算法。

根據打棧工程及棧和棧基的計算方法的實際情況，現行的有關計算問題的各種條例都有重新改訂之必要。

河海運輸事業的增長，需要擴大和改建許多海港，建築停泊棧，碼頭及其他建築物，而這些工程大部分都是建築在棧基上的。

根據上述情況，有必要將現行計算法加以分析，使其與實際施工相聯系，拋棄不良的方法，確定經過實踐考驗的計算法，並提出一些新的建議。

第一章

樁和樁基的分類

樁的分類根據材料，縱橫斷面的幾何形態，打入土中所採用的方法，在土壤中的作用性質及樁軸對水平方向的位置而定。

按照樁的材料可分為木樁，鋼筋混凝土樁，鋼樁，混凝土就地模製樁，土樁及綜合樁。

應用最廣者為木樁，鋼樁及鋼筋混凝土樁。

按樁的縱斷面形狀可分為圓錐形樁，稜形樁及特殊形狀等類。木樁主要是採用圓錐形，而鋼樁及鋼筋混凝土樁則多用稜形。

按樁的橫斷面形狀可分為圓形樁（實心的或空心的管樁），正方形樁，多角形樁及複雜形式的管樁。

按樁的製造方法和樁打入土中的方法來分，樁可分為打入的，沖射的，旋入的，灌注的和爆炸的。現代工程中實用上最有效的是打入法，有時亦用沖射法。

按樁在土壤中的作用性質而言，可分為支承樁；即樁的下端支承於堅實的土層上者（如圖1a）；摩擦樁（懸樁）；即樁藉摩擦力作用將載重傳導於土壤中者（如圖1b）。

樁的容許載重是根據樁的材料強度及土壤對於軸向力的和垂直於軸向力的抵抗力而定。

按樁軸對於水平方向的位置而言，根據樁的受力性質（如圖2）可分為：a）垂直樁，b）斜樁，c）三角架樁。在大多數情況下都採用垂直樁。斜樁及三角架樁用以承受水平力，並賦予建築物以較大的穩定性（橋台，碼頭，停泊棧及擋土牆等）。

如果樁緊密成行打入，用以防止土壤的垂直坍落或防止土壤的滲透者，則此類樁稱為板樁。打入於一定範圍內整體無間的一羣樁，則稱為羣樁（例如：錨船樁）。

如羣樁的打入不是緊密相連的，而樁與樁間有一定的距離，此種羣樁稱為樁基。

為了把構造物的載重傳播於樁基上應設置樁台。樁台的用途是承受構造物

的載重並把載重較均勻地分佈於樁上。樁台由三部分組成：即樁台，樁，樁與樁間的土壤。

根據現代的技術文獻，樁台可分成兩類：低樁台，即樁台底面直接與土壤接觸；高樁台，即樁台底面超出土壤表面。

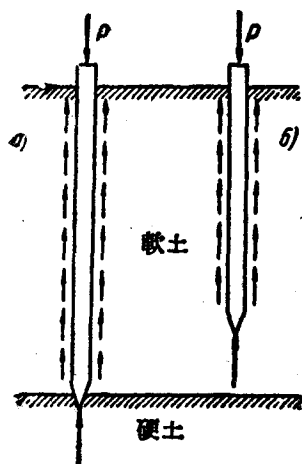


圖 1

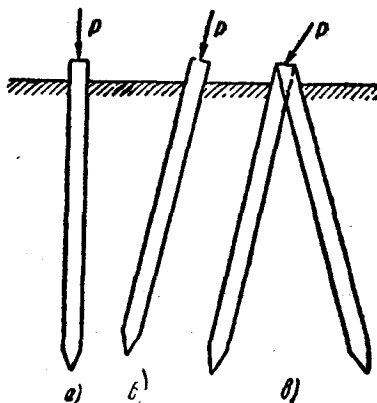


圖 2

根據蘇聯鐵道部 1947 年所公佈的橋涵設計規程的規定，低樁台的底面應置於河底標高以下或可能冲刷綫以下最少 1.5 公尺。現代亦有少數將樁台築成高出於水位者。

有些樁台底面置於人工填高的基底上（如築島，在板樁圍堰中填土及沉於河底內的井筒中填土等）。

以上的分類不能認為詳盡，所以下面介紹較完全的樁台分類：

低樁台，樁台底面置於天然土壤上（如圖 3 a, б）。

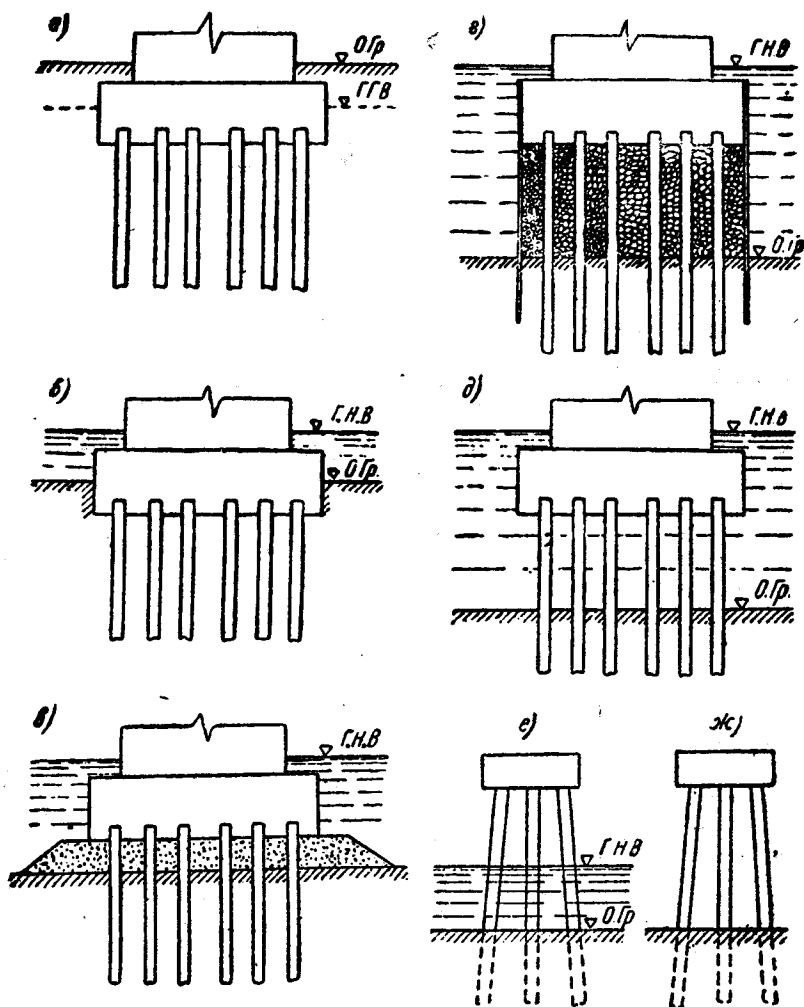
升高的樁台，樁台底面高出河底並置於樁與樁間的濾水性土壤和石料等填料之上（如圖 3 в, г）。

高樁台，樁台底面在河底之上，其下沒有人工填築的基底（如圖 3, д）。

水上樁台，樁台底面在水位以上（如圖 3, е）。

地上樁台，樁台底面在無水及無填土之地面以上者（如圖 3 ж）。

以上的分類是較完全地考慮到樁台的構造特點。



第二章 樁 的 構 造

1 木 樁

作木樁的材料一般有：松木，柏木，落葉松，橡樹，杉木及銀松等。

從前杉木及銀松僅用於臨時構造物，現在它們也用於永久性的建築物。銀松樁的壽命為松木樁的三分之一，杉木樁為松木樁的一半。

在重要的永久性建築物中使用的木樁及木板樁，宜置於最低水位下最少 $0.25 \sim 0.50$ 公尺。在淡水中樁能保持很久。在彼得第一時代於彼得堡打入的樁，以及在同一時代於克羅斯達特沉下的木排架到現在仍然完好的存在。

然而在極髒的水中，為沼氣所飽和的池沼中，木料逐漸被腐蝕。因此架設在有流水的河流上的木橋橋樁，其使用壽命可超過一百年，可是架設在髒水渠道中的橋樁，經過 $50 \sim 70$ 年就會腐爛。

如果樁沒有完全打入水中，木樁靠近水面和靠近地面的地方，也就是木樁濕度經常變更的地方，容易腐爛（如果樁曝露的時間不長，它還來不及變乾，則不致於腐爛）。在此種情況下增加樁使用期限的方法是：在濕度變更之處，纏裹塗上防腐藥膏之綑帶。

如果水的含鹽度超過 1% ，則在此種水中的木料將被害蟲（海蟲，蛀木蟲等）所損壞。在這種情況下木樁的防腐方法最好是：以蒸木油浸煉木料或將木樁包藏以防止木料腐壞的模壳內。如果普通的木樁在海水中經過 $3 \sim 6$ 年的時間即行腐壞，又有些在港灣中經過一年即腐壞，那麼用蒸木油浸煉的木料（每立方公尺木料需蒸木油量可達 300 公斤）可用 $15 \sim 25$ 年。

水面以上木樁的壽命，視木料的品質及當地情況而定。

在北方木材壽命較南方長（可至 40 年）。木材平均壽命可參照表 1 規定。

下表（表 1）指出，木材在空氣中的壽命，落葉松及松大致為橡樹壽命的 60% ；杉為 50% ；而銀松為 40% 。

冬季採伐的木材強度最大。

近代工程中最廣泛採用的木樁直徑由 $22 \sim 36$ 公分，其中多數是 $26 \sim 28$ 公

分。如果考慮到國民經濟中極其需要該項直徑的木料，則取 16~22 公分直徑的木料來作樁是完全合理和有效的。

木材壽命表(年)

表 1

木 材 種 類	極乾燥 地 區	在水下	在多雨 雪的環 境中	在靠近地面 的土壤		在溫度變 更之處	
				未經浸 煉	經 浸 煉 者	在 空 氣 中	在 土 中
橡樹.....	2000	1000	30~40	15~20	20~25	120	200
落葉松.....	2000	600	20~30	10~15	15~20	90	150
松.....	1000	500	15~20	5~10	15~20	80	120
杉.....	900	200	10~15	4~5	8~13	50	25
銀松.....	700	100	5~10	2~4	5~8	30	20

近代應用的有：普通樁（由一根樹幹做成的）；接樁（由各單獨部材接合而成的）；組合樁（順着長度有接頭，其斷面由若干構件組成）；加強樁（有附加的結構構件）；板樁。

普通樁一般的長度為 4~15 公尺，直徑 22~36 公分。採用作樁的普通圓木料，其長度有 4~7 公尺者，7.5~9.0 公尺者，最長的為 9.5~12.0 公尺。長於 12 公尺的木樁須訂貨製造，有時可至 20 公尺。用直徑 16~22 公分的細木料作樁時，其長度為 4~9 公尺。

普通樁的優點是：沒有接頭，打樁時可較有效地利用打樁工具。

作樁用的木料，樹幹的曲度不得有大於 $\frac{1}{8}$ 直徑的撓度。

樹幹的增粗度（在每 1 公尺長的木材上直徑的增大值）不得大於 1.0~1.2 公分。

作樁用的圓木應仔細地剝去樹皮。

樁的削尖（圖 4）可做成三邊或四邊，必須要求樁尖與樁軸一致，因此須用由樣板做成的特別的校驗規。

如果在木樁打入土壤時，遇有圓石，石塊，碎石，薄層的軟岩石等，則樁的下端應用與樁尖緊貼的鋼質的或鍛鐵的樁靴保護。樁靴可用鉚釘聯結。樁的上端應有準確與樁軸垂直的切面。

當用吊錘或汽錘打樁時，為了保護樁頭不被打裂，須裝上一個保護盤（圖 5a）或用鋼的墊帽，此項鋼帽係由 20 公厘厚的鍋爐鐵板做成，帽上鉚有滑桿（圖 5b）。

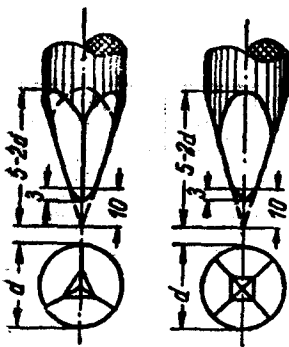


圖 4

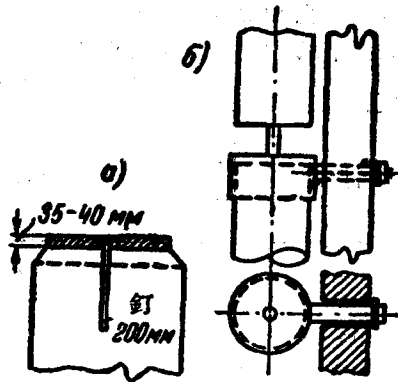


圖 5

當樁打入的長度大於建築用的木料時（一般為6~8公尺），或現有的打樁架高度不足時，宜用接樁。

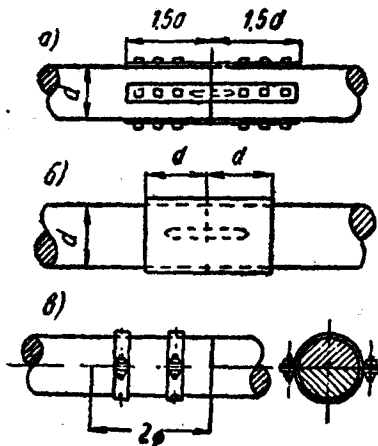


圖 6

面及更好的使用材料。

組合樁大多數是以直徑16~30公分的木料三根或四根拼成，並准許使用細長的木料。

永久式橋墩用的組合樁，如為四根木料拼成時，其邊長為45~48至65~66公分，如為三根木料拼成時，邊長為50公分。組合樁用長度為6.5公尺及6.5

接樁各構件之聯結，以粗糙的鋼梢釘（暗梢）平接較好，而梢釘須先置入預行鑽好的孔中。樁的聯結構件大部用四塊或六塊鐵板而以螺栓或鉚釘聯結（圖6, a），有時亦用四塊角鐵聯結。較好的是用管形的接頭，兩連接端串於鐵環中（圖6, b）。半木平頭拼接（圖6, c），因強度較小，近代採用較少。

無接頭的長樁打樁時，需要較複雜的設備，如高的打樁架，較重的樁錘等等。

組合樁 是由若干根圓木料在長向聯結而成的樁，其目的是加大樁的橫斷

公尺以上的木料拼製。組合樁的重量達 6.0 噸時其長度可達 25 公尺。組成組合樁的木料，其本身以直徑為 10~25 公厘的螺栓聯結。

構成組合樁的構件，其接頭應相間設置並考慮到各個接頭間的距離不得小於 1.5 公尺。在接頭的兩邊靠近接頭處每隔 0.50 公尺應用聯結木料用的螺栓聯結（圖 7）。

切鋸木料接頭時，由於對頭緊密接合的緣故應鋸成與樁軸垂直。組合樁的打入土中部分，其螺栓頭突出邊緣之外不得大於 3~4 公厘。

拼製組合樁首先是按全長做好。樁的下端削成三面或四面的棱錐體，樁的上端切平以後套上樁箍。

如果以直徑為 16~18 公分的木料做臨時構造物用的組合樁，則構件相互間的聯結可用鐵絲捆紮。

樁錘的打擊重量不得小於組合樁重量的 1.2~1.3 倍。顯然，當樁的重量較大時，它的打入需要較複雜的機械，較重的樁架和打擊設備。表 2 為普通樁和組合樁性質比較表。

由下表（表 2）可知，組合樁計算無支長度較普通樁增大 60~80 %。組合樁可能負擔載重為接樁之 2.5~4 倍。

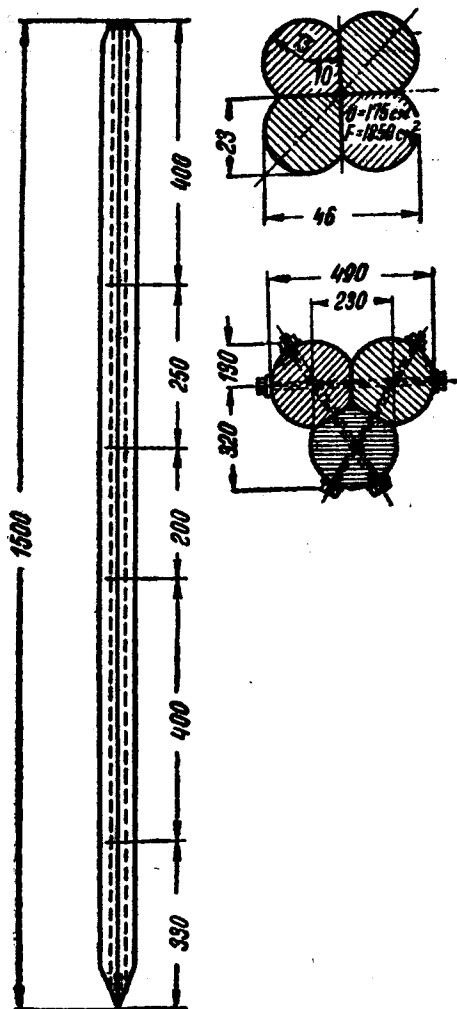


圖 7

普通樁和組合樁的性質表

表 2

樁 的 種 類	斷 面	橫 斷 面 積 CM ²	慣 性 力 矩 1, CM ⁴	抵 抗 力 矩 W CM ³	慣 性 半 徑 r (CM)	樁 的 最 大 計 算 無 支 長 度	周 長 CM
普 通 樁		$0.79d^2$	$0.049d^4$	$0.10d^3$	$0.25d$	$30d$	$3.14d$
三 木 組 合 樁		$2.25d^2$	$0.365d^4$	$0.365d^3$	$0.4d$	$48d$	$6.24d$
四 木 組 合 樁		$2.73d^2$	$0.54d^4$	$0.54d^3$	$0.45d$	$54d$	$6.74d$

用三木組合樁較四木組合樁要經濟一些。

加強樁 用於短期建造的木樁橋梁及樁冰組合的渡口，目的在增加施工的速度。但處於鬆軟土壤中的永久性建築物，爲了減少樁的入土深度，也用加強樁。加強樁係利用夾木或帶短木塊的夾木做成（圖 8）；前者用於堅實的土壤中，後者用於鬆軟的土壤中。利用這些附加的構件，構成了樁在土壤上附加的支承面積，可以增加樁的附加支承量。靠樁尖處有由二根支承於短木塊上的枕木所做成的支座的木樁，稱爲立樁（圖 8）。

夾木和短木塊的尺寸按樁的載重和土壤的容許壓力而定。

木板樁 廣泛地用作加強基坑牆壁防阻水滲入壁內，或作爲圍堰建築以及永久性建築物的承重結構（堤岸，橋墩）。

木板樁的行列用直徑 20~28 公分，相互間距離爲 2~3 公尺的導樁所組成。導樁的樁頭用斷面不小於 14×14 公分的方木或直徑爲 $\frac{23}{16}$ ~ $\frac{28}{16}$ 公分的半圓木聯結以作水平導木。在水平導木所形成的槽口中打入板樁。木板樁的厚度根據其長度確定一般厚度爲 5~26 公分之間。當選擇板樁的尺寸時大體上可參照表 3 的資料。

木質圍堰用 5~10 公分厚的木板及 10~26 公分厚的方木做成。用木板做的圍堰大多數用方口的接榫或藉人字邊聯結。當板樁由方木做成時以用普通的槽口或梯形接榫較佳。

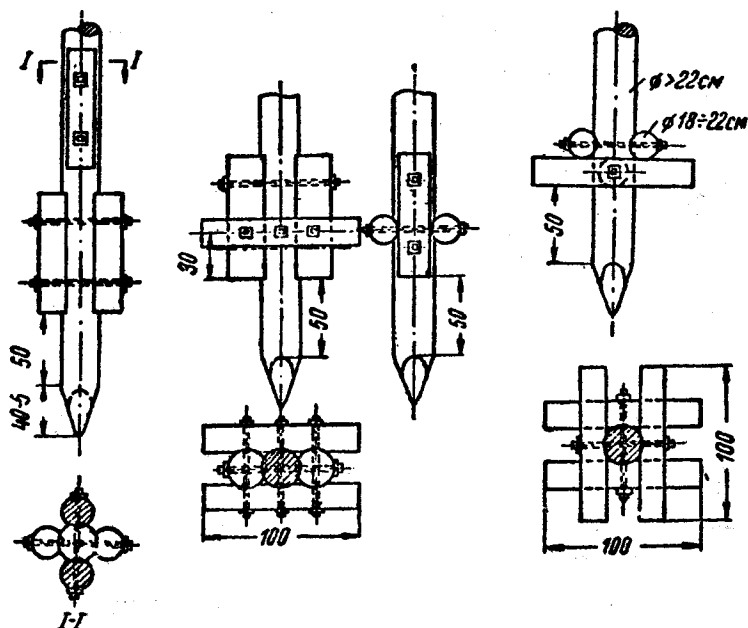


圖 8

木板樁長度與厚度的關係表

表 3

板樁長度 (公尺)	2~3	3~5	5~7	7~9	9~10	10~12	12~14
板樁厚度 (公分) ...	5	7.5~10	10~15	15~18	18~20	20~24	24~26

普通板樁的槽口寬度及深度常為厚度的 $\frac{1}{3}$ ，但不得大於 5 公分（圖 9 a）。

在實際施工中廣泛地採用由厚度為 2.5、5、7.5 及 10 公分的木板做成的組合板樁，木板一面用直徑為 10、13、16 及 19 公厘的螺栓，每隔 0.8~1.0 公尺板長加以聯結，另一面按正面所釘的螺栓距離，間隔釘入，即螺栓間的距離為 0.4~0.5 公尺，成棋盤狀釘合（交錯釘上）。板樁打入時以樁舌向前。板樁的下端削尖，使其能利用土壤的反衝力緊壓近於以前打入的板樁中。

在設計建築物的樁基工程時通常也考慮到板樁圍堰的作用。

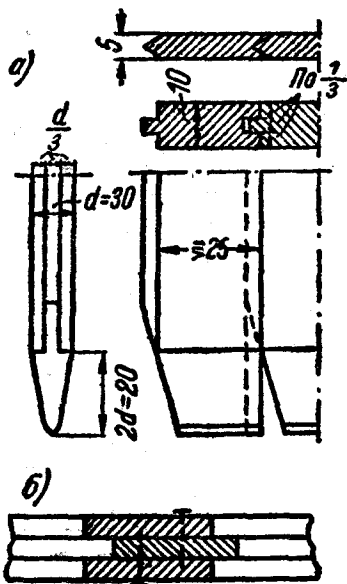


圖 9

根據許多觀察的資料可以看出，金屬樁在 20 年以後，腐蝕不到其本身斷面的 1%，而在極鹹的土壤中增至 2.5%。近代認為金屬樁的壽命平均可超過 100 年。

在含有酸類的，特別是含有硫酸的以及含鹽的水中，鐵的腐蝕來得更厲害。

粘土常含有游離的硫酸，因而損害鐵質。鋼樁在潔淨的砂土中，銹和鐵形成一種外膜，此種外膜可以防阻水和酸類滲入鐵中。

鐵多半是在水面及接近水面的空氣處受侵蝕，特別是在細薄斷面的鐵料中。在各種類型的鐵料中，軟鐵及含碳較多的鐵對腐蝕的抵抗較差。鋼的抵抗較鍛鐵強些。雖然還有某些爭論，而鑄鐵的穩定性是較小的。

為了保證鋼樁有適當的耐久性，在土壤和空氣的——或水和空氣的——交界處以上 0.5~1.0 公尺處，和交界處的下面 1.0~1.5 公尺處用一層噴射水泥做成的外套圍繞着，或設置一段鋼筋混凝土套。地面以下 3 公尺處則將金屬塗以保護漆，以及用含銅的鋼（含銅量至 0.25%），或鎳合金作樁。鍍鉻的鋼完全不生銹，但價值昂貴。

2 鋼 樁

在現代的工程中實際上最常用的有下列幾種鋼樁：圓形的及複雜斷面的鋼管樁（空心的或打入以後灌注混凝土的），工字型鋼（普通型的或寬邊型的），鋼軌，鋼板樁，螺旋樁。

近幾年蘇聯在建築方面曾廣泛地採用鋼樁，特別是在建築高橋台的經濟結構時，大部是用鋼管樁，工字型樁和鋼板樁。

因此，存在於含水介體中的金屬的腐蝕以及鋼樁和鋼板樁的壽命問題有非常重要的意義。

觀察的資料指出，在含水介體中的金屬樁腐蝕較慢，在淡水中的有些增快，而在乾濕變更的介體中的腐蝕更快。

鋼樁及鋼板樁表面的防腐塗料是瀝青及柏油樹脂，將瀝青和柏油樹脂溶化後，將做好的樁浸入5分鐘。但是當打樁時會損傷這些保護塗料的。

較好塗料的成分是：8份（體積比）柏油樹脂，1份松脂油及1份消石灰的混合劑。

鋼管樁 鋼管樁大多數用無縫圓鋼管，甚少用槽型（I型鋼）和企口型軋製鋼（圖10）。企口型軋製鋼所製的鋼樁是以兩個同樣的帶有企口的角鋼將其勾嵌入另一個的企口中，並在搭縫中扣緊。如為槽鋼時，兩企口間的勾縫用鉚焊接（圖11）。

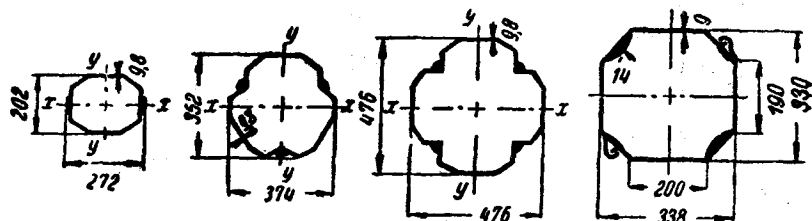


圖 10

圓形鋼管的直徑界於250至2500公厘之間。當直徑大於1,000公厘時，鋼管事實上已變為沉井。最常遇見的為直徑250至1,000公厘的圓形鋼管。

實際上基礎和基底的構造物常用厚壁的及薄壁的空心鋼管樁。

打入於堅實土壤中的鋼樁，須用厚壁管樁，而打入於鬆土中的，得用薄壁管樁，但必須以特殊的環箍加強其上下端。

用錘打入空心鋼管樁時，管壁的厚度在任何情況下不得小於8公厘，如土壤中有障礙物時，不得小於10~12公厘。

打入直徑小於42公分的空心鋼管樁，要套以鉚接的管靴一同打入，但當較大的直徑時用向下的管口打入（圖12）。隨着下端開口樁的打入，用噴射的水將土壤沖鬆並以吸水唧筒將其排出。

空心鋼管樁的優點是：製造、運輸及打入土中都很簡易。

空心鋼管樁各節連接的方法是把管端適當加工，並嵌入內套管。嵌入的管與接長的樁用電鉚來固定，然後進行管端的鉚接（圖13, a）。有時鋼管樁各節，用鉚於管外的鉚接鉗來連接，當電鉚能保證鉚的質量時，可以在鋼管樁連接處鉚接，無須用鉚結飯。（圖13 b, c）。



圖 11