

序 言

錢塘江橋工程，是一個現代工程的代表作。爲了它是國人自辦的一座大橋，是我國橋梁史上新的一頁，同時結構宏壯，地位衝要，在當時曾引起中外人士廣泛的重視，因此中國科學公司便在橋工進行期間，約寫專稿，逐期在『科學畫報』上發表，作爲一個系統的報導。

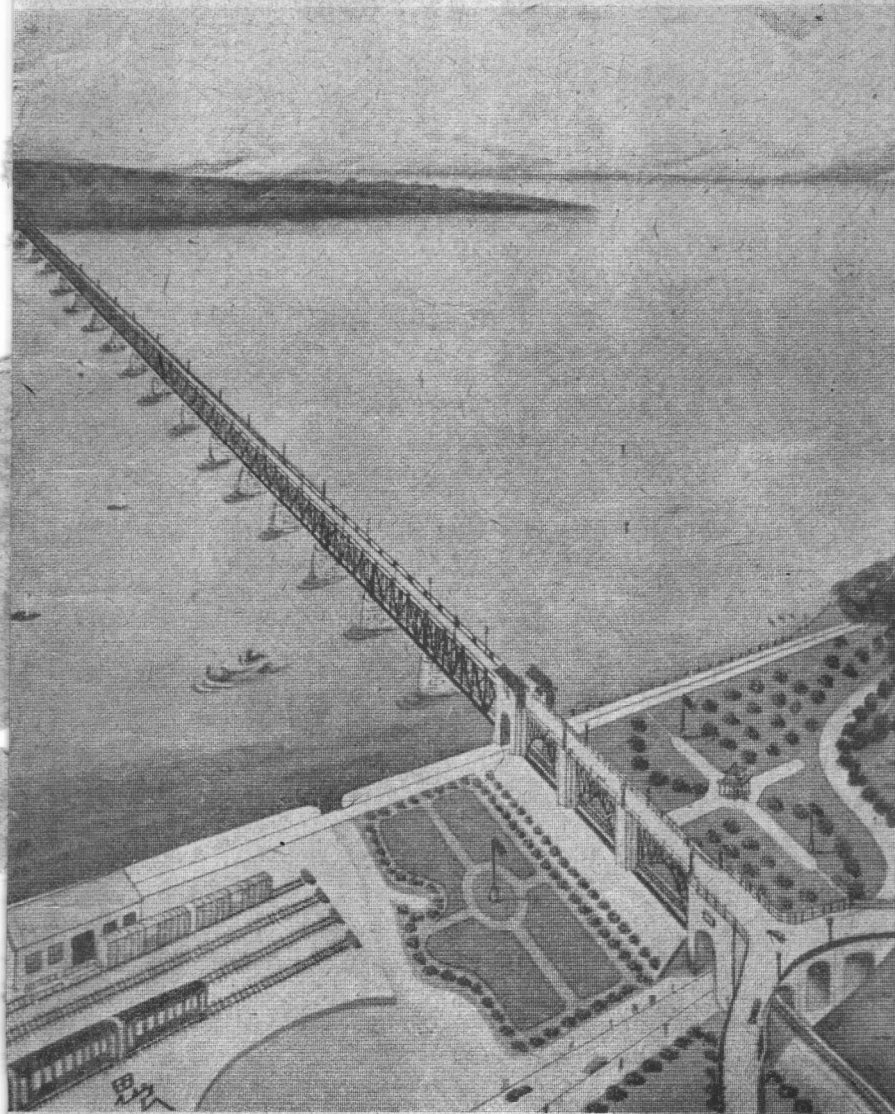
錢塘江橋工程，由設計，建造，到完工，是遭遇到不少困難的，這裏面交織着工程師和工人們的苦思勞作，團結奮鬥，乃至生命犧牲，終於在高度發揮科學效能的努力下，戰勝了自然，克服了一切障礙，由實踐經驗中，取得了最後的成功。

這本小冊子的原文，是在造橋期間，陸續寫出的。還記得當時情形，好像把現場作爲實驗室，一面研究，一面試驗，居然逐步地將所有問題解決了，於是將這些經驗，寫成各種報告，其中對普及科學知識較有作用的，便成爲這本冊子的資料。但爲了適應大衆的要求，儘量地減少了裏面的術語，又爲了這是不同於工程報告，所以裏面沒有統計數字，或算題似的公式。如讀者爲了興趣所近，要想更知其詳，以及建橋的史實，可請參閱中國工程師學會出版『工程』雜誌的『錢塘江橋專號』，和橋工處準備出版的『工程報告』。

現在這座橋已完成了多年，爲了說明工程經過和概況起見，特將錢塘江建橋記及工程記兩篇碑文，和材料，工款兩項數字的簡表附入，使得讀者知道是用了那些材料，和多少錢，費了多少時間，才能造起這一座大橋。

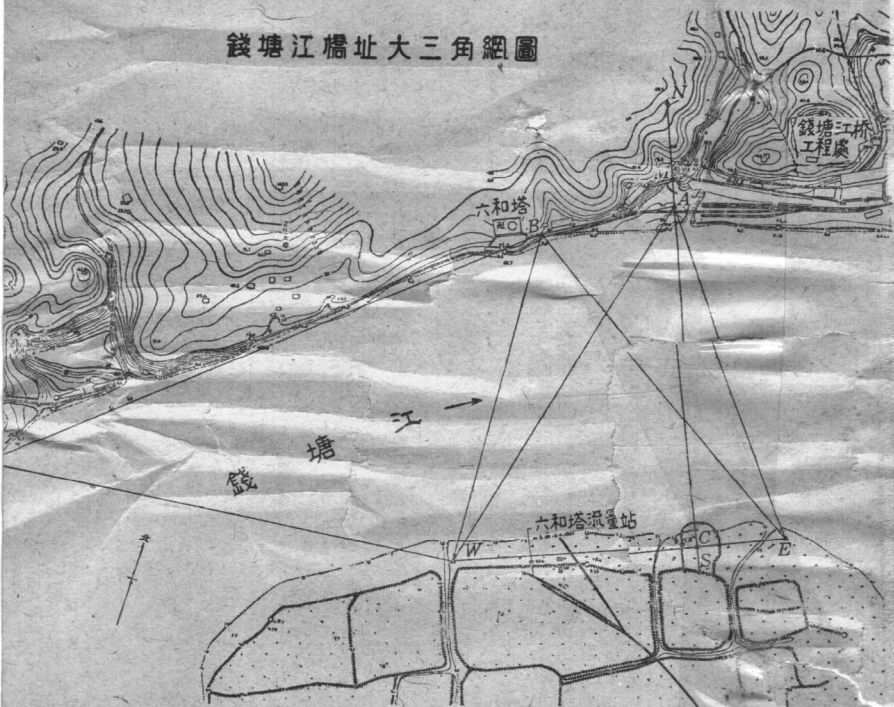
本篇的原稿，寫於十五年之前，而準備印成單行本，排好了版，又經過了一年多。最近科學公司馬蔭良先生來到北京，特來看我，說起這本小冊子即將付印出版，讓我為它寫篇小序，特作如上的介紹。又本篇的原稿，承李文驥先生代集資料和照片，胡國樞先生擔任繪圖，這次從『科學畫報』中選出，單刊為小冊子，更是受了科學公司楊允中馬蔭良先生先後一再的鼓勵和協助，均此誌謝。

茅以昇 一九五〇，七，廿。



錢塘江橋

錢塘江橋址大三角網圖



角 度

BAW	44°-54'-42.22"
WAC	36°-10'-46.50"
CAE	15°-55'-57.34"
WBE	55°-51'-13.99"
EBA	64°-12'-15.67"
ENA	55°-40'-52.11"
AWB	48°-55'-40.70"
AEB	18°-30'-10.25"
BEW	55°-26'-05.50"
ACE	89°-59'-30.91"
ACW	90°-00'-21.09"
HBN	51°-47'-54.09"
HWB	94°-10'-21.49"
BHN	34°-01'-44.42"

直 線

南岸基線	E-W	1,250.735m
	W-C	900.846"
	C-E	349.009"
北岸基線	A-B	452.431"
	A-M	115.221"
	C-S	100.061"
橋址中線	A-C	1,225.683"
	A-S	1,325.744"
	H-B	2,214.477"
	H-W	1,744.848"
	A-E	1,274.611"
	A-W	1,521.199"
	B-E	1,404.649"
	B-W	1,242.543"
	N-A	385.472"

基 點

A	40.14m
C	8.578
W	8.169
E	9.911
S	9.722
B	1.035
B. M. No. I	9.435
B. M. No. II	

圖 2 測 量 三 角 網

目 錄

封面 橋身沉箱吊運圖(彩色)

全橋工程圖(彩色)

序言

第一章 測量與鑽探·····	1
第二章 橋墩·····	8
第三章 鋼梁·····	36
第四章 第一墩與末孔梁·····	57
第五章 引橋與路面·····	68

附錄

錢塘江建橋記·····	81
錢塘江橋工程記·····	82
工款材料統計表·····	85

第一章 測量與鑽探

錢塘江橋橋墩及鋼梁工程，均採用浮運法，施工之際，江中一無憑借，但至鋼梁就位時，兩端須恰可安置墩上，不能稍有參差，故測量關係之重大，非他處橋工所能及。

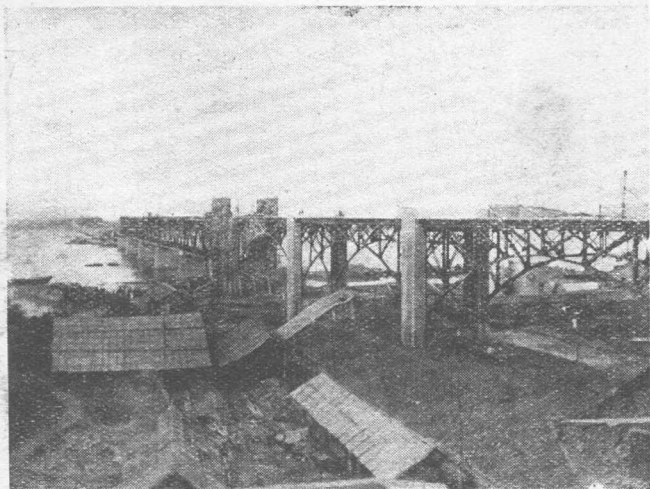


圖 1 錢塘江橋施工情形(26年5月)

大橋中心線選定後，第一步工作就是橋址測量。未曾開始測量之先，要在南北兩岸，選定合適地點若干處，設立標點及標準，作為大三角點。所選的共有九點，如大三角網圖所示(圖2)，AC是大橋的中心線，AB是北岸基線，長約四百五十公尺。EW是南岸基線，長約一千二百五十公尺。測量的手續很多，大

致如下所述：

(1)設標 標點用混凝土築成，方一呎半，高三呎，入地約二呎半，中間嵌一鐵釘做標心，其上建三角架，高約十呎，中間樹立標杆，頂尖高出地面約二十呎，標杆的中心線，與下邊標點的心，是用經緯儀校對過，使成一直線。

(2)基線量度 橋址測量是要很精細的，因為測量如果有一點差錯，影響於工程很大，而基線乃是測量的根據，更要精密地量度。在基線上每距離二十五公尺釘一木樁，各樁頂高度用水準測量，使其約略相等。量基線的標準鋼尺經過檢驗，不使有差錯。量的時候，用九公斤拉力，按木樁上的小釘，分段量度，並且帶有溫度計，記錄量時的溫度，以備校正長度。南北兩岸基線，都量了六次。經過斜度及溫度校正後，再用最小二乘法校正，取其最近值，作為三角測量的基線標準。

(3)角度觀測 三角網內的角度都要用精密經緯儀觀測數次，其手續如下：第一組，經緯儀度盤對零，望遠鏡正向，觀測內角六次，讀度數一次。第二組，經緯儀度盤不動，望遠鏡反向，觀測外角六次，讀度數一次。第三組，度盤不動，望遠鏡仍反向，觀測內角六次，讀度數一次。第四組，度盤不動，望遠鏡轉正，觀測外角六次，讀度數一次。每組讀數用六除，取其平均數，作為該組的結果，然後綜合各組的結果，用最小二乘法校正，作為每角的度數，然後再校正各個三角形的角度。

(4)水準測量 水平標準，係依照吳淞海面平均高度為零點，由橋址附近水利局所立水準標點，測至本處設立的北岸水準點，再根據此水準點，施行水準渡江測量。兩轉點距離一公里有餘，此種長距離水準測量，是很難準確的，水準儀望遠鏡的精密度要高，天氣又要晴朗，纔可望得到準確的結果。往返共測了八次，

經校正地球弧度，及折光影響後，取其平均數，以測定南岸水準點的高度。

(5)地形測量 橋址兩岸地形，要以三角點作根據，詳細測量，繪成地形圖，以爲設計引橋的根據。但應先用經緯儀視距法施測，就地繪成簡圖，以便註明建築物，道路，及各種附屬物。所測地面，南北兩岸各延長數百公尺，共計面積約一百十萬平方公尺，繪圖縮尺用五百分之一。

(6)施工測量 以上所述都可以說是一種預備測量，以爲施工時的根據。施工的時候，要知道橋墩的準確地點，鋼梁安裝的時候，要知道它的準確位置，然而都在水上，不能直接丈量的，非根據以前測定的標點，用經緯儀規線交會法測定不可。其法先按各橋墩的位置，擇標點三點，算出至此墩之規線角度，然後用經緯儀在各標點上觀測，使規線互相交會。倘測量絕對準確，則三規線必相交於一點，但

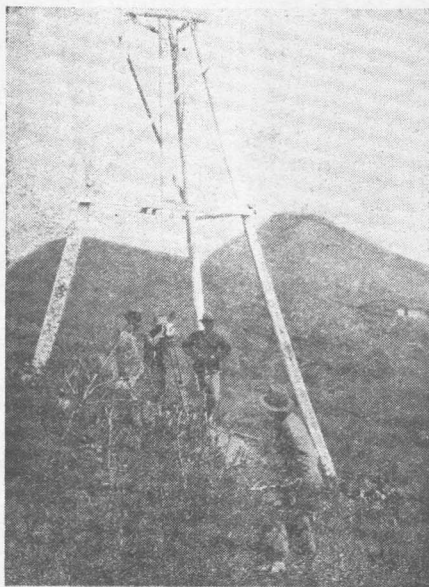
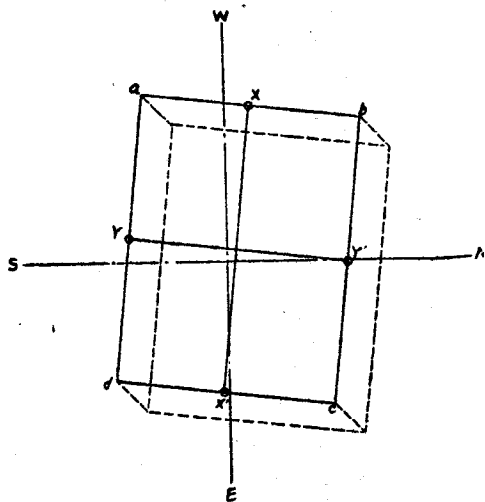


圖 3 三角點觀測

是在事實上，三線往往成一小三角形，則取此小三角形的中心點，作爲此測點之位置，如互差太多，則須由另一標點觀測校對。

本橋建築橋墩基礎，用浮運沉箱法(floating caisson)是很特

別的，此種沉箱浮運，到達地點時，要測定它的位置。用氣壓挖土下沉時，又不免傾斜，要隨時施測矯正。沉箱係一長方形箱，浮運之先，在箱的上面立標杆四根，以定箱的縱橫兩軸線。浮運就位後，用經緯儀在三角標點上測其兩軸位置，即可知沉箱的平面位置，是否準確，再用水準儀測沉箱四角的高度，則其全部傾斜位置，可計算而知。在用氣壓挖土下沉，及澆築礮牆的時候，沉箱每易傾斜，致有全座移動的危險。故工程進行中，須隨時施測，以校正橋礮位置（參看沉箱傾斜地位示意圖，即圖4）。



$XX'YY'$ 為立標杆四根，以表示沉箱縱橫軸線， SN 及 EW 為橋礮位置軸線，從橋址中線及其他三角點測得 XX' 及 YY' 之傾斜地位，再測 $abcd$ 四角之高度，則沉箱全部傾斜地位可以計算，沉箱位置準確則 XX' 與 WE 符合， YY' 與 SN 符合。

圖4 沉箱示位

橋梁上一切載重，均由橋礮傳達江底，故江底的地質情形，為橋梁設計之最要根據。欲明瞭江底的地質，便須鑽探。

鑽探工作，可用人力，或是用機器，在陸地或是在水中，凡是不用鑽很深的地方，都可以用人力鑽探。如果所鑽的深度在六七十呎以上，那就用機力鑽探比較便當，有時候因要鑽探數百呎，更非用機力不可。

鑽探機式樣很多，大

概可分為兩種：(1) 擊撞式鑽探 (percussive boring)，此種機的

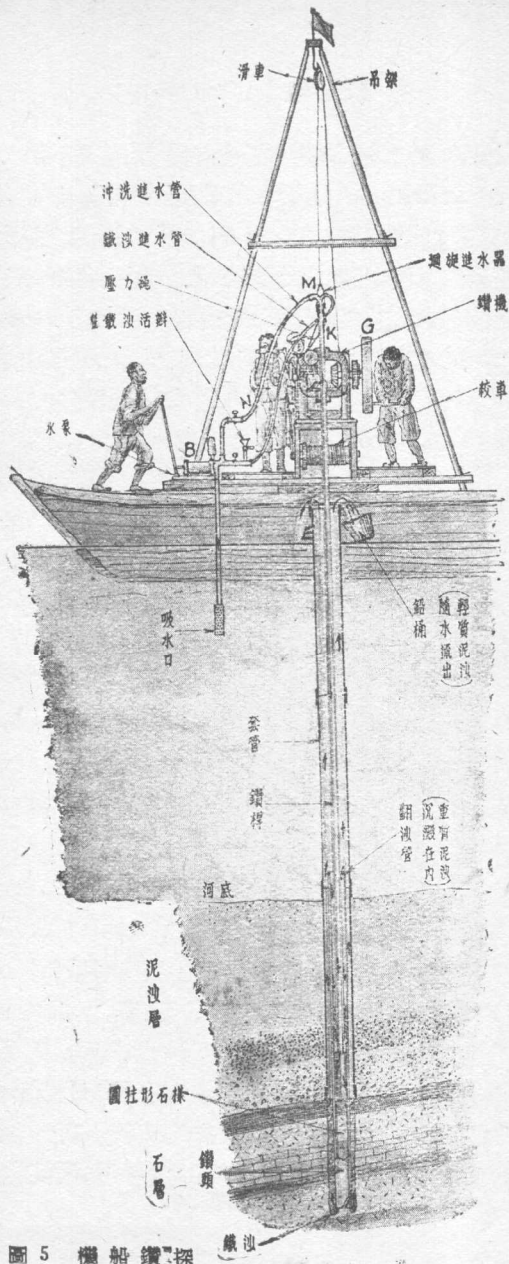


圖 5 機 船 鑽 探

鑽頭是要不斷的提起，降落，將岩石擊碎，然後取出的。(2)旋轉式鑽探 (core drilling)，此種機的鑽頭，是不斷地旋轉，將岩石磨成小圓柱形，整塊地取出。錢塘江橋址鑽探，係用第二種鑽機，如圖 5 所示，即江中鑽探大概情形。用一隻或一對駁船，四面拋八字錨，將船穩定。鑽探機 K 裝置於船上，在一座三脚架或四脚架的當中。架高約二丈，上裝滑車，為起吊鑽探管等用。鑽

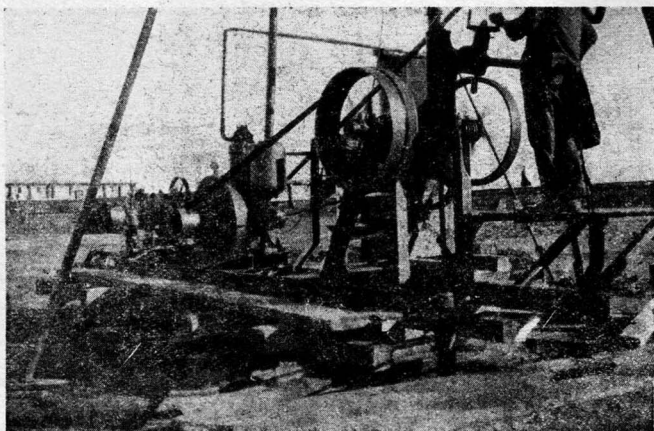


圖 6 陸地鑽探

探開始時，先用絞車鋼絲繩經過滑車，將套管吊起，放至水中(如 E)，插入江底。再將噴水鑽頭安裝在空心鑽桿下端，放入套管內，到達江底後，即開動抽水機 B，水即由吸水管口吸入，經橡皮喉 N，進水器 M，以達鑽管，噴入江底。同時轉動輪盤 G，由齒輪傳達於鑽桿，使不斷旋轉，以攪動江底沙土。沙土即與噴進之水混合上升，由套管口 E 沖出，故可用水桶在管口接取泥沙之樣。較重之粗沙石子等，若不能沖上管口，則沉澱於下端翻沙管內。這樣不斷地噴水及轉動，就可將江底沖成一孔，逐漸深入，套管及

鑽桿亦逐節接長。取出之土樣隨時用瓶貯存，載明高度，孔號，名稱。至鑽達石層時就要將鑽桿取出，更換鑽岩石的硬鋼鑽頭，繼續鑽探，同時將一種鐵沙放入，由進水管沖入至鑽頭下端以增加磨擦力，使石層較易磨損（有種鑽機，用黑金鋼鑽鑲嵌在鑽頭上，則可不用鐵沙），成圓柱形，陷入鑽頭空心管內，鑽深約呎許至二呎，便可取石樣。取樣之法，先在鑽桿上部用錘敲擊，使震動力傳達於鑽頭，石樣自折斷，即可將鑽桿提起，取出石樣後，仍放入繼續鑽探，至達所需深度為止（圖 5）。

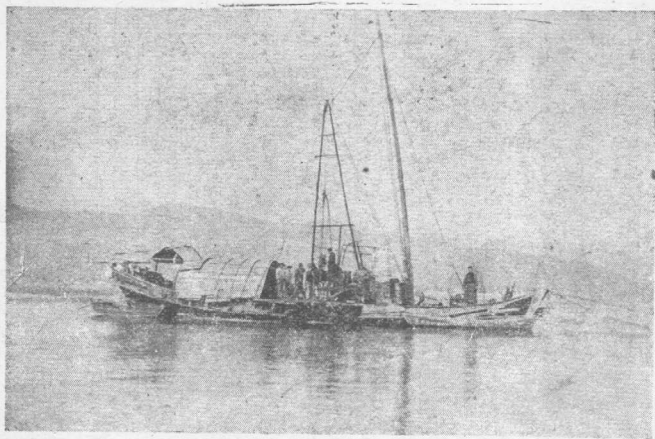


圖 7 水中鑽探

圖 5 所示抽水機 B 及輪盤 G，均係用人力搖動。但實際上多用柴油，汽油，或蒸汽機力，同時轉動鑽機及抽水機，其效力比用人工大得多。在陸地鑽探方法，也是一樣，不過將鑽機及三腳吊架等直接安放在所鑽的地點，不用船隻就是了。參看圖 6。

第二章 橋 墩

錢塘江造橋，最大困難在建築橋墩。因為江底浮泥細沙，有一百四五十呎的深度，而錢塘江發水時，傾瀉甚速。加以舉世聞名的錢塘潮，這‘土’與‘水’的綜錯關係，便形成幾種錢塘江底的特殊現象：

(一) 自冬徂夏，江底可刷深三十呎，其最深處年年不同。



圖 9 木 椿

(二) 江中若建築阻礙物如挑水壩之類，在壩頭處，一日夜之間，竟可刷深二十五呎，如在水中打樁，即在樁的四圍，也有冲刷。

(三) 江底上如放大石塊，不論如何重，幾天工夫，便滾得無影無蹤。

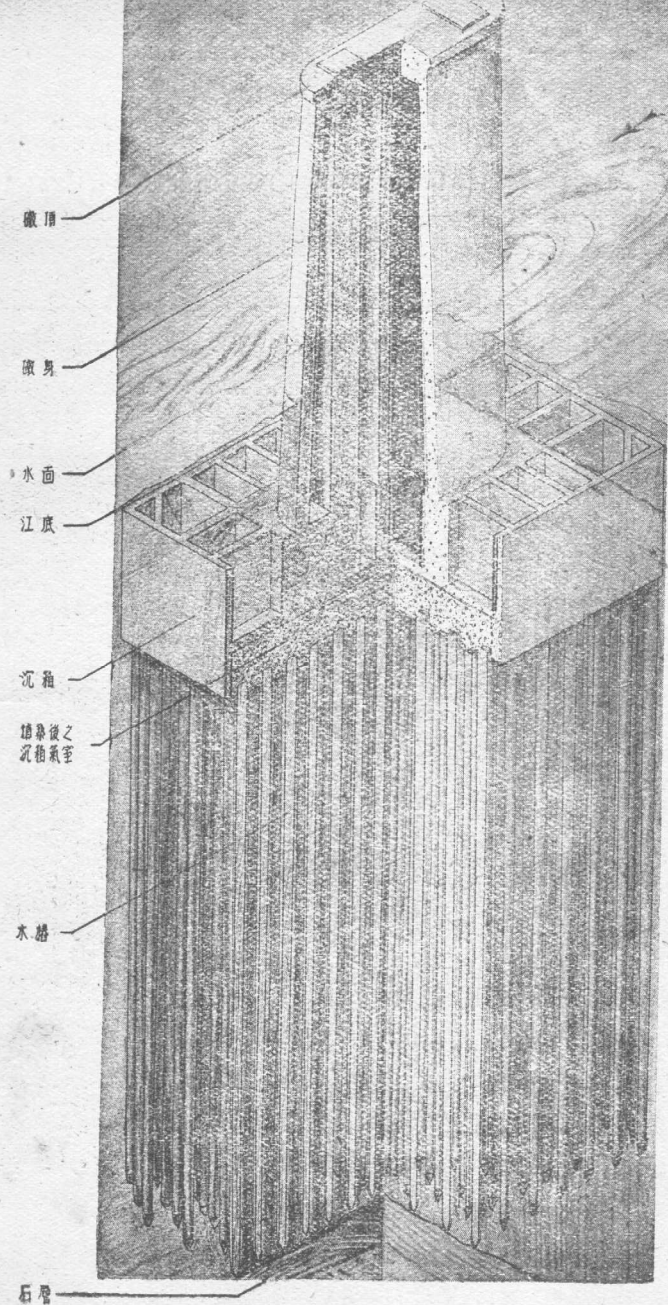


圖 8 正橋橋墩

(四) 如在江邊築井挖泥，這井中之泥，是永遠不會完的。

(五) 打樁到相當深度時，遇到硬的泥沙層，樁便打不下，但一遇水來，江底刷深，硬的泥沙，變成稀糜，這樁又不能支持，立刻傾倒。

照以上的情形，便是泥沙不深，築礮也是困難，何況深到一百四五十呎之多呢！因此普通的築礮方法及工具，都不能適用，經過多次的研究及失敗，才將各種煩難問題解決，出奇制勝地把這許多橋礮造成功。

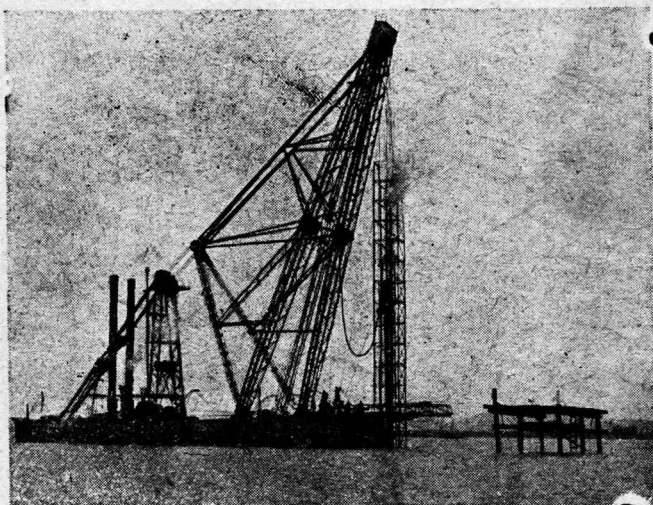


圖 10 打 樁 機 船

圖 8 是整個橋礮完成後的外觀，內將一角切去，表明裏面的情形。這橋礮可分為三部分：(1)木樁，(2)沉箱，(3)礮身。木樁長一百呎，每礮一百六十根，其功用在將上部的載重，傳達石層。沉箱長五十八呎，寬三十七呎，厚二十呎，用鋼筋混凝土造成，其功用在使上部的礮身，可以一面澆築，一面沉至樁頭。礮身頂部

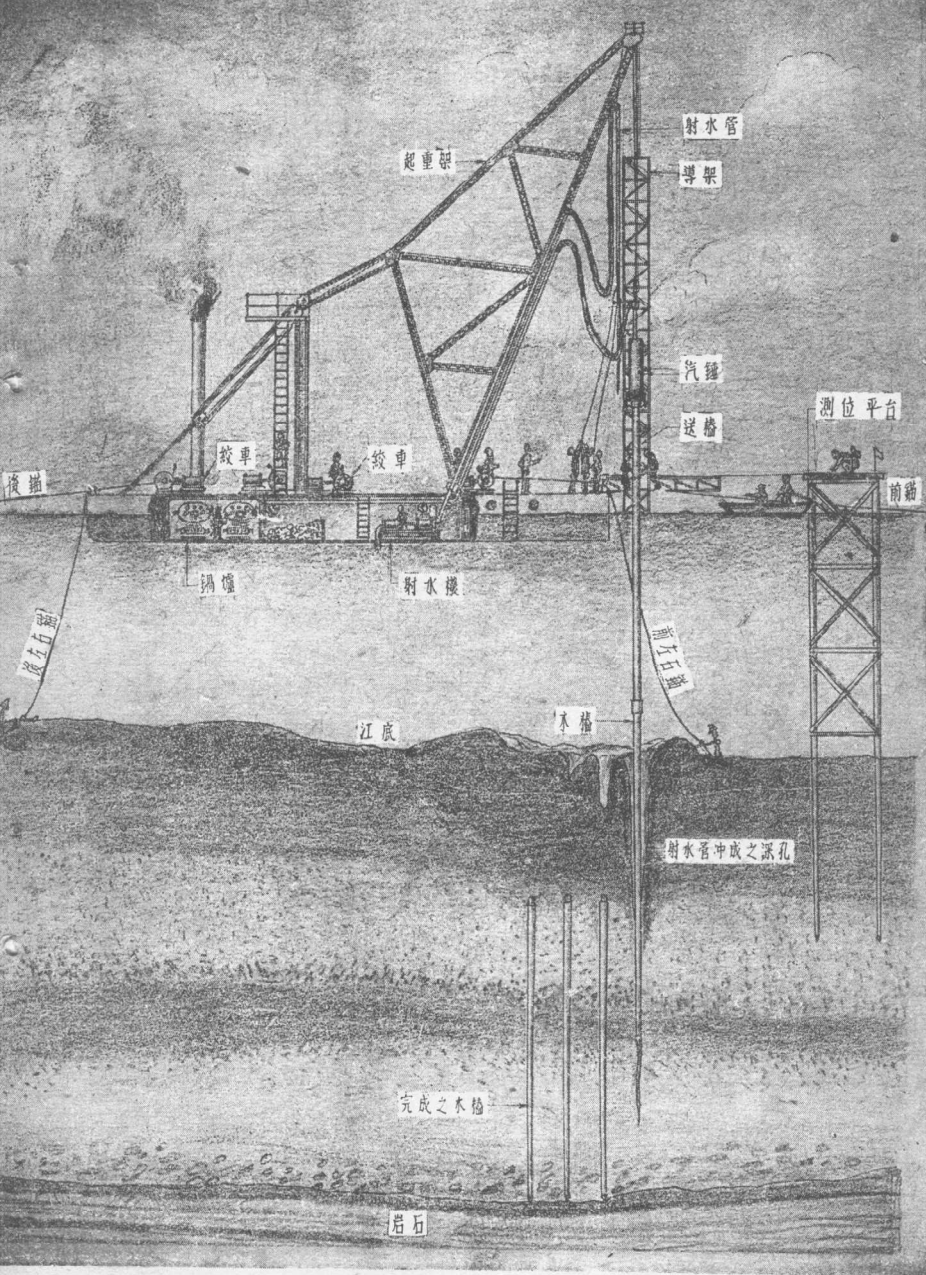


圖 11 機 船 打 樁

長三十二呎，寬八呎六吋（底部四圍每面伸出約四呎），最高約九十呎，亦用鋼筋混凝土造成。其功用在承托鋼梁，使載重傳至沉箱及木樁。

建築橋墩的程序，是先打木樁，繼放沉箱，最後澆築墩身。在打樁的時候，便在岸上做沉箱，樁打完時，沉箱便要就位，一面下沉，一面在箱上澆築墩身。這三步工作，從打第一樁起到澆完墩頂止，必須彼此銜接，日夜不停的一氣呵成。

本橋江中的橋墩，共十五座，有九座的建築是與圖 8 所示的一樣。其餘六座，在石層較高的地方，不用木樁，將沉箱直接築至石層上。

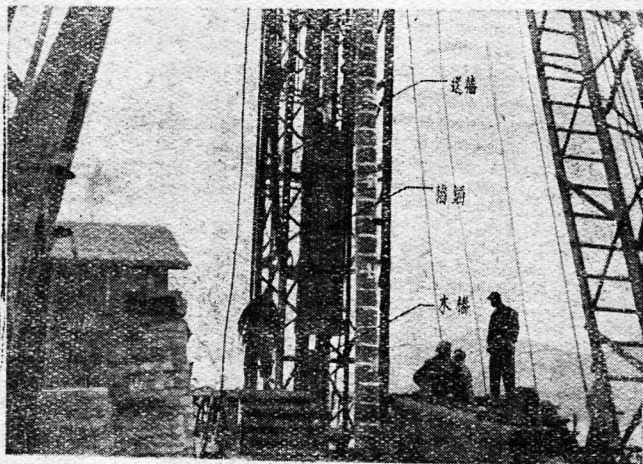


圖 12 樁 錘 及 送 樁

（一）打 樁

錢塘江底的泥沙，有一百四五十呎深，但木樁長僅百呎，在樁腳