

兩周的物理、天文與工藝

許 倬 雲

中國傳統的科學與工藝，在秦以前僅是發軔階段，因此當代治中國科學史最稱巨擘的李約瑟氏，對於先秦部份也不能給予很多的篇幅。先秦典籍以今日科學與工藝為範圍者，甚為稀少，不過墨經、周髀、考工記，及諸子學中的一些片斷而已。中國的學問一向以治平之道為主題，外此往往難入典籍，也往往難以保存流傳，是以上述史料的稀少，並不可推衍為古代科學與工藝之不發達；而這些史料保存的一些零碎的知識，反倒可以反映古代科技到達的水平。近年來考古發現層出不窮，因之也時有古人實物呈現今世，足與典籍記載互為佐證，然而我們對於古代科技水平的知識畢竟是零碎的，我們也惟有本「知之為知之，不知為不知」的態度，僅作一些片段的反映而已。本文內容採擷李約瑟之意見處最多，其中取捨則多參以己意。特為聲明，庶不掠人之美。

(一) 墨經中的物理學觀念

此處所說明的墨經包括墨子中的經上、經下與經說上、經說下諸篇，其文字諸般錯亂，自來以艱澀難通著稱，經過孫星衍、盧抱經、畢沅諸人校訂，始堪閱讀，而以孫詒讓的墨子閒詁為集其大成。可惜畢、孫諸氏雖已注意到墨經中討論光學力學的資料，限於他們本身對於物理學的知識，他們多未能多所闡述。直到最近二三十年內，才有專於墨經物理學著手整理。治墨經的學者梁任公、胡適之二位先生在以墨學與近代科學觀念對比上有極大的開創之功。但專精之著，則在後起，如楊寬、譚戒甫、樂調甫、錢臨照、吳南薰諸先生¹。李約瑟在其鉅著中陳述，即以樂、吳之成果為主要依據。李氏以科學史名家，又得到物理學家的合作，其對於墨經物理學知識的瞭解及重建，自是後來者居上，最有系統。是以本節所論也以李約瑟重建的系統為依據，庶幾不致像墨經原文散漫的排列。

李氏在他的鉅著第四卷第一分（即全書第二十六節），開宗明義即介紹墨經對於

時間，空間，與性質之聯續或不聯續，諸項觀念。列舉的諸節為：

經上：久，彌異時也。（孫詒讓，墨子閒詁，臺北藝文影印本，p. 593。以下簡稱孫詒讓）

經說上：久，古今旦莫。（同上，p. 624）

這是指抽象的時間，超越了，也包括了任何特定的時間片段，以說明時間範圍。

經上：盈，莫不有也。（孫詒讓，p. 590）

經說上：盈，無盈無厚。（同上，p. 630）

這是指抽象的體積，有所充滿，才能說到有厚度，易言之，是界說延伸性的空間。

經上：櫻，相得也。（孫詒讓，p. 590）

經說上：尺與尺俱不盡，端與端俱盡，尺與（端）或盡或不盡，堅白之櫻相盡，體櫻不相盡。（同上，pp. 630-361）

李氏以尺釋為線段，以端釋為點，以為兩線未必同長，是以未必能完全相合，而兩點可以重合，由於點的定義原就不佔空間。點若落在線上即是相合。兩件有質量的物體相接觸，縱使性質完全相同，終究是各佔空間的物體，無從相合²。

經上：鑪閒虛也。（孫詒讓，p. 589）

經說上：鑪閒虛者，兩木之間謂其無木者也（同上，p. 630）

李約瑟解釋這一節墨經文字，以為意指「面」不可能充分平滑，使以二木相接，終有縫隙³。也許比較適當的解釋不僅在討論面的平滑程度，而是更抽象的討論到「面」的性質，其實與前面討論線與點的差別是連類相屬的。

李約瑟在討論了這四節介於物理與幾何之間的問題後，又提出了波動理論與粒子理論。他以為中國傳統的物理觀念，偏於波動理論而與歐洲及印度的偏於粒子理論不同，然而他也承認任何文化都可因為人類切割木片的經驗而導致最小顆粒單位的觀念。古代中國也有過粒子理論，而墨經中的「端」，也就表達這一切割至最小單位的粒子⁴。墨經中亦有應用「端」的觀念分解時間至最小單位，而名之曰「始」，是以

經上：始，當時也。（孫詒讓，p. 594）

經說上：始，時或有久，或無久，始當無久（同上，p. 625）

此等「始」即不作開端，而是當作時間的「點」——亦是沒有持續線段的「久」。

墨子非攻，他的游說各國息爭，却並非全仗口舌，他的弟子們禽滑釐之徒便有在圍城代籌戰守之事。墨子書末備城門諸篇固可能為後世著作，但其列於墨子書中自亦由於傳說中總以為墨家頗重防禦戰具的製作。墨經中討論器械，每涉細節，足見墨經作家不是坐而論說的理論家，而是親手操作的機械工人。墨經中的力學勝義特多，當即由此種實際經驗抽繹的知識。

經上：力，刑之所以奮也。（孫詒讓，p. 590）

經說上：重之謂下，與重奮也。（同上，p. 620）

刑同形，墨沉之說甚是。與，孫詒讓以為當是舉之誤。若如此解釋，則此處所說是力與重量的定義，而且明確說出重量是向下的。

力學中的力矩觀念，也在一般墨經中有所論述。經下：「合與一，或復否，說在拒。」（孫詒讓，p. 600）這一段「經」沒有「經說」的闡述。李約瑟以為是說明若干「力」可以合而為一，而有時可能有反動力，有時可以沒有反動力，所謂或「復」或「否」⁵。

經下：契與枝板，說在薄。（孫詒讓，p. 609）

經說下：挈，有力也，引無力也，不正。所挈之止於施也，繩制挈之也，若以錐刺之，挈長重者下，短輕者上，上者愈得，下下者愈亡。繩直權重相若，則正矣。上者愈喪，下者愈得。上者權盡則遂挈。（同上，p. 663）

這兩節文字，李約瑟根據吳南薰的解釋，以為是討論滑車起重的原理。孫詒讓也曾引述張惠言的意見，以為契即挈，枝即收，板字則孫氏謂是假，與反同。孫氏又因經說有「權」，而疑薄為權之誤：對照經說，張孫之說當甚是。經說所述，鄒伯奇以為是升重法。按，這一段經說夾在說明「天平」與用輶車升重方法之間。則為用繩及重錘升重的滑車原理，亦殊為合理，凡此數節，當均係墨家在運用簡單器械時觀察得到的經驗。樊調甫以為此節論桔槔，似誤⁶。

最近有人以為「不正，所挈之止于拖也」純指在斜面上移動重物，但劉仙洲仍以為由斜面發展為螺絲則在古代記載中未得到可靠的史料⁷。輶車可能是滑車與斜面配合使用的機械。

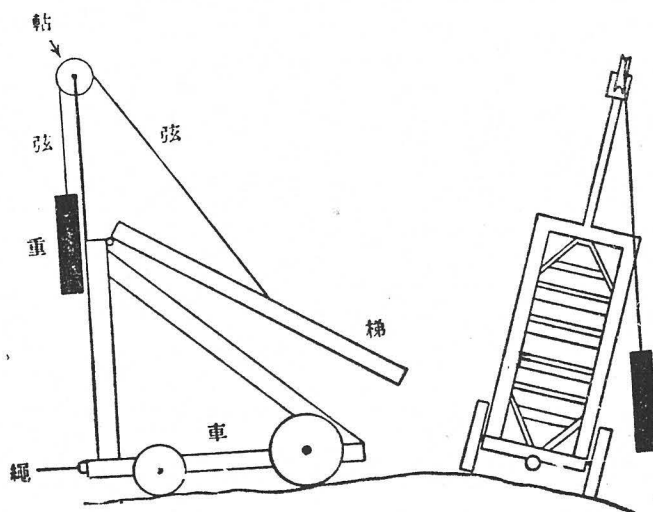
關於天平，據經說下：衡加重於其一旁，必捶。權重相若也，相衡則本短標長。兩

加焉，重相若，則標必下，標得權也。○（孫詒讓 pp. 661-662）本節前半節意義不明，但至少在這節的後半段，我們可以清楚的瞭解，是討論重量與支點距離愈遠，其力愈大，所謂本短標長重量相同時，標的這一端會下墜。中國俗語所謂四兩撥千斤，也不過運用這一點槓桿原理而已。

所謂輶車升重，只見經說有大段文字，却不見於「經」，其連屬在滑車的下文，也許也只在說明上引經下文字中的「挈」字。經說下：

兩輪高，兩輪爲輶，車梯也，重其前，弦其前，載弦其前。載弦其
軋，而縣重於其前，是梯。挈，且挈且行，凡重，上弗挈，下弗收，旁
弗玁，則下直，地，或害之也。汩，梯者不得汩，直也。○（孫詒讓，p.664

李約瑟根據欒調甫的解釋，作了一個示意圖如下：



(J. Needham, Science and Civilization in China Vol. 4 pt.1 p. 21)

照圖意所示，則輪車的使用，基本上是應用滑車原理將重物（如雲梯）升高。

墨經討論到負重問題的還有兩處：

經下：貞而不撓，說在勝。○（孫詒讓，p. 609）

經說下：故招負衡木，加重焉而不撓，極勝重也，右校交繩，無加焉，

而撓，極不勝重也。○（同上，pp. 661-662）

及 經下：均之絕不，說在所均。○（同上，p. 601）

經說下：均，髮均縣。輕重而髮絕，不均也。均，其絕也莫絕。（同上，p. 678）

孫星衍引列子湯問篇、張湛注，以爲指髮質均勻，則不至斷絕，否則即斷裂。若此，則墨經所討論是材料強度的問題，由後推論前節，「右校交繩」當也指重量因一方偏倚而使支點受力不勻，終於折斷。此句張惠言先釋校爲連木，又釋校爲急疾。孫詒讓則疑校爲權之譌誤，以爲挈權之繩相交結。李約瑟據吳南薰，釋爲「手搓的繩子」，似都因未與「髮均縣」一節相比，然而孫說仍差近，若懸重量的繩與其他繩索糾繞，也可以造成重量在支點上的軒輊，而使負重的衡木斷裂。樂調甫以爲「負」一節也論桔槔俯仰原理⁸。按，桔槔亦是槓桿之一種，故其說亦可從。

關於物體的運動，墨經也有所論列，如：

經下：行循以久，說在先後。（孫詒讓，p. 609）

經說下：行者，必先近而後達遠，遠近脩也，先後久也。（同上，p. 683）

此處便將時間與空間的關係，交代清楚、換句話說，涉及了運動速度的問題。

經上：動，或從也（同上 p. 595）

經說上：戶樞免瑟（同上，p. 626）

經上：止，因以別道（同上，p. 596）

經說上：止，無久之不止，當牛非馬，若夫過楹，有久之不止，當馬非馬，若人過梁。（同上，pp. 626-627）

李約瑟以爲這兩節所指殊與牛頓慣性定律相同，而在西方文化系統同樣想法的出現至早在第十世紀至十一世紀間，墨經的討論早了十三四個世紀⁹。但我們細參原文，實在太過簡略，而原文若從其他學者的解釋，便可有極不同的說法，例如「從」若仍作「徙」，樂調甫即以爲「墨子不謂世間有絕對之動，當亦不許其有絕對之止」¹⁰。按改字或增字以解釋古書，每難免「強作解人」似仍不如存疑爲宜。

墨經中討論的光學問題，大多明白易解。論其內容不外鏡鑑中成影的大小與正倒，

①經下：景不徙，說在改爲（孫詒讓，p. 606）

經說下：景光至景亡，若在，盡古息（同上，p. 655）

②經下：住景二，說在重（同上，p. 607）

經說下：景，二光夾一光，一光者，景也。（同上，p. 656）

③經下：景之小大，說在地舌遠近。（同上，p. 608）

經說下：景，木施，景短大，木正，景長小。大（光）小木，則景大於木，非獨小也。（同上，p. 658）

④經下：景到在午，有端，與景長，說在端。（同上，p. 607）

經說下：景光之人煦若射。下者之人也高，高者之人也下，足蔽下光，或成景於上。首蔽下光，故成景於下。在遠近，有端與於光，故景廡內也。（同上，pp. 556-657）

⑤經下：景迎日，說在搏。（同上 p. 608）

經說下：景，日之光反燭人，則景在日與人之間。（同上，p. 657）

⑥經下：臨鑑而立，景到。多而若少，說在寡區。（同上，p. 602）

經說下：遠近臨正鑒，景寡，貌能白黑，遠近施正，異於光鑒，景當俱就，去余當俱，俱用北，鑒者之臭，於鑒無所不鑒，景之臭無數而必過正，故同處，其體具，然鑒分。（同上 p. 659）

⑦經下：荆之大，其沉淺也，說在具。（同上，p. 605）

經說下：荆沉，荆之具也，則沉淺，非荆淺也，若易五之一。（同上，p. 680）

⑧經下：鑑位，景，一，小而易。一，大而，說在中之外內。（同上，pp. 603-604）

經說下：鑒中之內，鑒者近中，則所鑒大，景亦大遠中，則所鑒小，景亦小，而必正，起於中緣，而長其直也。中之外，鑒者近中則所鑒大，景亦大，遠中，則所鑒小，景亦小，而必易，合於中而長其直也（其上，pp. 659-660）

⑨經下：鑑圓，景一（小，一）大而必正，說在正（同上 p. 604，據樂調甫前引書 p. 87 改訂。）

經說下：鑒，鑒者近則所鑒大，景亦大，亦遠，所鑒小，景亦小，而

必正，景過正。（同上，p. 661）

這些光學的討論，在中國古籍中是很特殊的，而在墨經中却又可算得上是文辭較明白的，因此註釋雖不為極困難，只是為何在墨經中獨有此種討論，仍是饒有趣味的事。挨次說來，第①②節的說明景由光生，第③節說明物體與光源的相對部位決定影之大小，第④節似在說明倒影，李約瑟以為指針孔透影的原理，並且與「庫易也」（孫詒讓，P. 595）相提並論¹¹。然而後者以庫作障解，雖見孫詒，究屬揣測之辭，故本文不列。惟第④節所說，在日常經驗中也不難觀察得之，第⑤節為反光成影，李約瑟歸之於平面鏡的原理，然而又不同意樂調甫、吳南薰指為討論角的意見¹²。第⑥節明白說到鏡鑑，也論及單鏡及一組平面鏡的區別。李約瑟從吳南薰的解釋，以「當」為二鏡相對的角度，臭為臬，解作鏡中成影的目標¹³。然亦難免強經就己之病，尤其經文中未見提到二鏡。李氏解釋則專論二鏡斜列的關係。第⑦節論折光作用，以說明荆枝在水面下似乎接近水面的現象。李約瑟甚至用吳南薰的解釋，認為本節經說當連下文「若易五之一」在內，並認為係指折光率1.25或1.5（水的準確折光率當為1.33）¹⁴。按，「若易五之一」，細釋文意，當屬下文，則與「荆沉」現象未必相關。第⑧節說凹鏡，第⑨節說凸鏡，確是說明成影正反大小與在焦點內外的關係，文字明白，無可猶豫。

古時鏡鑑多為青銅所鑄。中國古代早至公元前第六世紀或第四世紀已有玻璃珠，但用於鏡鑑僅作鑲嵌裝飾之用，並未用作透鏡¹⁵，是以墨經的光學原理，當均由反射鏡得來，事實上中國古代所謂陽燧取火，也是用反射凹鏡在焦點上集中日光而引起燃燒，是以周禮秋官「司烜氏掌以夫遂取明火於日」周禮正義疏即以「墨經」釋「夫遂」¹⁶。

墨經中出現如許衆多物理學的討論，自是極奇特的現象，此事或當為由墨經之性質找說明，楊寬的墨經哲學基本上雖否定可用科學觀念解釋墨經，但是其中有一些見解，甚可有助於瞭解科學觀念之何以在墨經上出現。楊寬以為經上與經下不同，前者「命名舉實，文皆界說，其於宇宙人生及名實之理，無不通條連貫，蓋……墨家要旨之所在……經下文皆辯說，固後墨與他家辯難而作。」¹⁷戰國時代諸家雜作，然仍以儒墨道三家最為顯學，此所以孟子攻墨與楊，莊子誅儒與墨，墨子中則有非儒專篇，

而大取小取，又專以駁詰惠施一類詭辯家之學，所謂「夫辯者將以明是非之分審治亂之紀，明同異之處，察明實之理」¹⁸。墨家尚同，是以主張凡事須有一定的準則，如天志下：

故子墨子置立天以爲儀法，若輪人之有規，匠人之有矩，今輪人以規，匠人

以矩，以此方圓之別矣。是故子墨子置立天下，以爲儀法……¹⁹。

爲此之故，墨家必須嚴格的下界說，仔細的辯別差異，不容許道家大而化之的混合同異，齊一生死。楊寬特別指出，墨家以知識爲首要，事緣於知而絕於情欲。其對於知識的態度是嚴肅的²⁰。墨家重理性，重經驗，當然與道家的棄知識主懷疑態度，處處相悖。前者必持知識之普遍性與必然性，後者則每以人對於事物之認識，各囿於其特定的空間與時間，逾此範圍，標準便當更易。莊子、惠施最能爲後者代表。樂調甫以爲楊墨之辯係戰國子家圍繞着幾個大题目的辯論，如墨盈堅白，楊離堅白，墨別同異，楊則合之。而所謂「楊」者，實爲道家之代表。²¹樂氏之說實爲墨學中一大發現，有關古代學術史甚鉅。楊寬的議論事實上與此相近，不過說的更細膩。

循此觀點，我們可以分墨經中的科學知識爲二大類，一類爲建立絕對的標準爲目的，經上中的有關時空定義，均可入此類。其記載輻輳之制，滑車原理等等，又係此類的應用於實際器械。另一類則爲以實驗所得的知識破除世人妄說妄想，有關光學諸條，可能即爲破除對於光影變化的錯誤認識，冀免導入真幻莫辨的懷疑論。雖然諸家辯論未見有圍繞於鏡中真幻的主題，但是莊子有蝴蝶之夢，公孫龍有離堅白之辯。前者以爲真幻難分，後者以官感不可靠²²。即以墨經言，也有專門指出睡夢與實際人生之不同，經上所謂「臥知無知也」「夢臥而以爲然也」（孫詒讓前引書 p. 591）則經下的光學諸節甚可能便是由廓清夢臥幻境的迷惑而延長及於另一可能導致真幻迷惘的光影之理。

(二) 天文與星象

中國古代天文學與曆法有不可分的關係，但上古史稿中已有董彥堂師的殷曆譜序，對於古代曆法有深刻討論，故本節只就天文與星象二部着手。

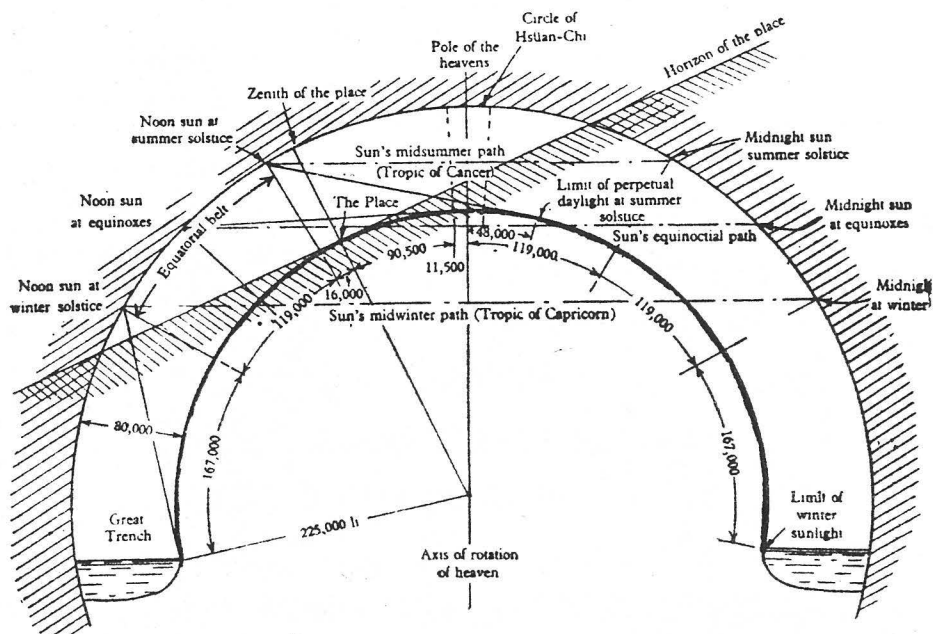
中國天文學自始即與近東古代文化所發展的天文學不同蹊徑。以決定季節爲目的，

中國古代用作測候標準的星象，名之爲辰；而辰則因時代不同，先後曾有參，大火，北斗，日月交會及太陽。埃及的標準是晨現東方的天狼，Chaldea 則以五車二星爲觀測標準。同時中國古代觀測着重昏星，故夏小正有「一月初昏參中」，「斗柄懸於下」，「六月初昏斗柄正於上」的說法，說明昏時斗柄方向以決定四季²³。反之，古埃及則以天狼初現於東方作爲一年季節的標準。

日食週期的不同，也足證明中國與近東古代天文學的差別。Chaldea 人發現二百二十三月的「沙羅週期」爲日食週期的近似值，中國在太初曆中可見的週期則爲一百三十五個月。中國一年歲實早已爲三百六十五又四分之一天，於是週天度數也相應的爲三百六十五又四分之一度；而近東天文學週天度數爲三百六十度，沿用迄今²⁴。

先秦天文專書傳世的自以周髀算經爲古。周髀算經不見於漢書藝文志，是以此書之時代頗滋人疑問，而且書中有引用呂氏春秋之處，更使人以周髀爲漢時作品，然而細審引呂氏春秋文字，殊與上下文不屬，故注家趙君卿已斷定「非周髀本文」²⁵。同時周髀中的「蓋天說」在漢時較「渾天」「宣夜」爲早，顯然是古時的天文知識，周髀中的數學資料也較九章爲古老，是以算學史家李儼列周髀爲最古算書，並假定爲戰國作品²⁶。李約瑟則比較周髀中的七衡圖，與古代巴比倫日行周天三匝的觀念極類似，而後者的時代早在公元前十四世紀，晚亦在公元前八世紀。於是李約瑟以爲周髀中最古老的部份可能早至孔子時代，甚或更早²⁷。

周髀中的「蓋天」說，實是中國最古老的宇宙觀念，所謂「方屬地，圓屬天，天圓地方」，「天象蓋笠，地法覆槃」²⁸，天高八萬里，天地都向四週邊緣逐漸低下，中央高於四旁六萬里，是以日運行處到極北時南方夜半，極東時，西方夜半²⁹。日週游四至，而正北極的「北極中大星」是天之中正，所謂璿璣之中，天心之正³⁰。璿璣徑二萬三千里，周六萬九千里，「此陽絕陰彰，故不生萬物，是以北極有不釋之冰。」³¹周髀以爲日光有照射的極限，所及不過十六萬七千里，於是有黑夜，而月之生光，亦由借日，所謂「日兆月，月光乃出，故成明月。」甚至星辰也因日月光華而能成行列³²。Herbert Chatley 曾作一圖，解釋「蓋天說」的宇宙與日行見於 “The Heavenly Cover”, a Study in Ancient Chinese Astronomy (Observatory, 1938, no. 61, p.10) 茲複製如下圖：



根據晉書天文志，蓋天說謂天地向左旋轉如磨磑，日月星辰則向右旋轉，但天行速，日月行緩，日月終於隨天左旋³³。Chatley 圖中的天地軸心，即是璿璣，也就是天地旋轉的中軸。這一觀念，顯然與 Mercia Eliad 所謂古代神話中的天柱有關，天柱也就是共工氏頭觸的不周山。據李約瑟的意見，不周也正是不旋轉的意思³⁴。晉書天文志提到蓋天說以爲天如傘蓋，地如棋盤，則天如穹形，地却是平正的³⁵。此說雖與「地如覆槃」之說不同，却似更近古代「天圓地方」的原始觀念。

綜此數端，蓋天說顯然保留了不少民俗信仰中的觀念，而在周髀中合理化爲這樣一個素樸的宇宙觀。但是到了後代蓋天說終於不能不讓位給渾天說。渾天說以宇宙譬作雞蛋，而以大地居於中央，天體懸游四周。張衡即根據渾天的觀念作成了渾天儀。

次論宿的觀念。

在中國天文學中，廿八宿是一個重要的觀念，廿八宿——角、亢、氐、房、心、尾、箕、斗、牛、女、虛、危、室、壁、奎、婁、胃、昂、畢、觜、參、井、鬼、柳、星、張、翼、轸。——分別屬於四方，每方有七宿。

殷墟出土武丁時代的卜辭中曾見有鳥星及火星。據竺可楨的研究，鳥星當即南方

的星宿，而火星是東方的房宿與心宿。竺氏遂謂殷商已有蒼龍，白虎，朱雀，玄武四象的劃分，而上述鳥火二星則是南方與東方的中星³⁶。在尚書堯典中提到鳥，火，虛，昴，作為四季的中星。天文學史家曾用這些中星當時的位置作為依據，嘗試確定堯典所記天文知識的年代。法國漢學家 Biot 所定的時代最早，可以遠在公元前二千四百年。但是定中星位置有二大困難：一則觀測時刻的早晚可以有位置的變移，二則這些七宿的位置也不甚一致：鳥可佔七宿的位置，火也佔不下三宿的位置。因此選擇的測定時刻與選擇的星位不同，即可逆測為種種不同的年代。據李約瑟的意見，諸家之中，以橋本增吉和竺可楨逆測的年代比較最有可能，即堯典四中星的測定可能在公元前一千五百年左右³⁷。

二十八宿見於詩經者凡八，如「七月流火」的火，包括心房氏，「定之方中」的定，可包括室與壁，此外則有昴（即罍）參，畢，箕，如

七月：七月流火，

定之方中：定之方中，

蒼之華，三星在罍，

小星：維參與昴，

漸漸之石：月離于畢，

大東：維南有箕……維北有斗³⁸。

夏小正中的天象資料，據能田忠亮的意見，反映公元前第四世紀的現象，而夏小正所見的廿八宿中的房、心、尾、昴、參與柳，其中柳與尾更是初次在古籍中出現³⁹。月令中則廿八宿有廿三宿見於記載，只缺心，箕、昴、鬼、張，然而却又多了弧與建，前者和牛接近，後者和斗接近⁴⁰。月令的記載，如三月「日在房，昏虛中，旦柳中」，充分說明了以廿八宿記太陽所在的觀念，李約瑟以為，中國古代天文學用可見的宿推知太陽位置：凡某宿不見，太陽即在不可見的宿中⁴¹。

如果廿八宿為黃道赤道的廿八個據點，其相互距離及位置應當相當整齊，然而今日的廿八宿位置顯然有參差不齊之處。竺可楨以為在公元前 2300—4300 年左右二十八宿中，十八到二十宿可以在一個環帶上，是以竺氏主張二十八宿排的列當係公元前三千年左右的觀念。⁴² 李約瑟則以為公元一千六百年前的赤道可經過二十八宿中的大部。換

句話說，二十八宿的觀念當在殷商以前，李氏也比較了中國與印度的星象觀念，結論是二者雖均有黃道赤道列宿，但是中國的列宿觀念顯然發生較早；然而中國古代天文學也可能受了古代的巴比倫月行赤道的觀念而修正，並且逐步發展為二十八宿。到夏小正與月令的時代，二十八宿無疑的早已完備。新城新藏早已認為廿八宿觀念在中國形成，經中亞傳入印度。但在中國天文學上，廿八宿經過幾次修正，而在印度天文學上的廿八宿反停滯在其原始面目。陳遵媯也肯定新城新藏的意見，以為廿八宿的發祥地，大概在渭水附近周人居住的地方，而且大概在周初已經使用，後來又經過不止一次的修正⁴³。

星圖的製作，在中國也有很早的紀錄。

中國古代曾有過三位製作星圖的天文學家。巫咸的著作即以巫咸為名，戰國齊國的石申則有天文，楚人甘德則有天文星占。三書均尚著錄於梁書，但是隋時三書已均佚失。據晉書，三國時吳國的陳卓曾依甘、石、巫三家作星圖。根據隋書，陳卓星圖上記載二百五十四官，星一千二百八十三顆，外加二十八宿及輔官附坐的一百八十二星。元嘉中錢樂之又據陳卓的圖鑄為銅圖，並以三色區別三家⁴⁴。李約瑟根據大英博物館藏斯坦因取去燉煌卷子中錢樂之的星圖，得到的中外星總數為，星座二百八十四，星一千四百六十四⁴⁵。三家星經所載星位都標明在黃道列宿內的度數及去極（北辰）的度數。李約瑟指出，中國古代天文學上星位的標位方法，與現代天文學所用的一致，却與希臘和阿拉伯的方法大相逕庭。希臘的方法是以中天黃道和經度作座標，歐州中古時期的天文學也因襲此法，直到近代天文學才有改正。阿拉伯人則以高度與高度角為座標，更是因地面而異，難求精確。李氏以為只有中國的這種標星方法能導致虞喜發現歲差，而歐州的天文學家要到1718才有同樣的觀念⁴⁶。

中國古代能够有這樣進步的天文智識，當係由於對於天象有精密的觀測。是以中國歷史上具有世界最早，最詳，也最可靠的天象紀錄。以日食而言，這種極其驚心動魄的天變，自然引起其極大的注意，事實上在最早的中國文字記載——殷代的甲骨卜辭上，日食的記載，即為主要的項目之一，董彥堂先生的殷曆譜中有專記日月蝕的交食譜，董先生並且曾以卜辭紀錄的日食核對奧伯爾子日食圖表。月食的紀錄在卜辭中更多，並且有殷都不能見，而由方國報告中央者⁴⁷。

如果書經夏書胤征記載的仲康日食確係實錄，這個在 2137 B.C. 十月廿二日發生的日食可能是世界上最古老的日食紀錄了⁴³。春秋在 242 年中記載日食卅七次，有卅三次可以證實的記載，其精詳可知⁹⁵。

甲骨卜辭中有一片乙卯日食，提到「三留食日，大星」⁵⁰此處的三留，據陳遵媯解釋，當係指日珥的現象。而這次日食的日期當在公元前十四世紀，無疑是世界最古的日珥紀事⁵¹。

彗星在中國列入災異，然而中國因此對彗星紀事，頗稱詳盡，春秋魯文公十四年（公元前 611 年）秋七月，有星孛入于北斗，據說是哈雷彗最早的紀錄⁵²。

中夜流星，疾飛而逝，自也引起人的注意。春秋魯莊公七年四月辛卯的「星隕如雨」（公元前 687 年 3 月 16 日），據推算是天琴流星羣出現的最古紀錄⁵³。

本節曾提到中國古代辰星定義的變遷，也足觀古人之重實測，方屢次改動觀測標準，以求精密⁵⁴。

關於太陽系諸行星的認識，最早為人注意的當是木星。古人因木星繞天一周，遂創為十二次之法，甚至把地上的列國也分配為十二個分野，木星一年在一「次」，用來紀歲。陳遵媯認為至遲到公元前四百年左右，古人已知其一周天不是整十二年。戰國甘德已有歲星經，當為關於木星的專著，惜已迭失⁵⁵。

古人重視五星聯珠，日月合璧的現象，是以漢代的三統四分諸曆所測五星行度和會合週期，均已與今日所知相差不遠。推及先秦，既有木星的專門研究，漢代的精密實數，當也所來有自，不為突然矣⁵⁶。

(三) 器械的使用

李約瑟根據器械的性質，簡約器械的作用為八類：(1)槓桿，鉸鏈與其他開關器械；(2)輪，齒輪，踏板；(3)滑車，傳動帶，傳動鏈；(4)曲柄搖桿與其他偏心輪的作用；(5)螺旋，旋軸，旋槳；(6)彈簧類；(7)管道；(8)活塞，活門類⁵⁷。

桔槔是最顯著的槓桿作用。莊子所提到的桔槔，顯然已是戰國常見的汲水器械。即使灌園老人拒絕使用，他也知道有此一物，莊子天地篇：

「子貢南游於楚，反於晉，過漢，見一丈人方將為圃畦，鑿隧而入井，

抱甕而出灌，掎掎然用力甚多，而見功寡。子貢曰：有械於此一日浸百畦，用力甚寡而見功多，夫子不欲乎？爲圃者印而視之曰柰何？曰，鑿木爲機，後重前輕，挈水若抽，數如洸湯，其名爲甕」

又天運篇：

「子獨不見夫桔槔者乎，引之則俯，舍之則仰」⁵⁸。

桔槔雖在中國出現很早，李約瑟氏却以爲古巴比倫有更早的桔槔紀錄而且認爲在歐亞大陸各處均有桔槔，却也是傳佈的結果⁵⁹。然而在這一段有關桔槔的對話中，子貢却給「機械」下了一個很好的定義，所謂「用力甚寡而見功多！」其定義的恰當，可概括一切工具的使用目的。這一個定義在中國古代顯然是很普遍的認識，因此韓非子也有過類似的說法，「舟車機械之利，用力少，致功大，則入多」⁶⁰。

鉸鏈的使用在青銅器中頗多見，所謂金鋪與環紐卽是今日的鉸鏈。小者例如銅器的蓋用鉸鏈連繫在把手上，大者例如傘架與車蓋的插架，都充分利用了鉸鏈的原理。附圖所示卽是周穆王時代的銅盃與戰國的銅製鉸鏈⁶¹。

輪之使用自以車輪爲最常見。從周禮考工記輪人的記載，車輪的結構包括轂，輻與牙，輳，而各部份分別以榆木，檀木，櫟木製作。製作過程也極複雜，一隻車輪大約以三十輻爲常度，是以道德經說到三十輻，共一轂，當其無，有車之用⁶²。據李約瑟的意見，歐洲在十五世紀始發展如碟形的內凹或外凸，但在中國則早在考工記中已說到輪的「綆」，鄭衆卽釋爲「輪輦」⁶³，而考古實物也顯示輝縣出土的戰國時代古車有向內凹的車輪，長沙出土的戰國古車却有向外凸的車輪⁶⁴。

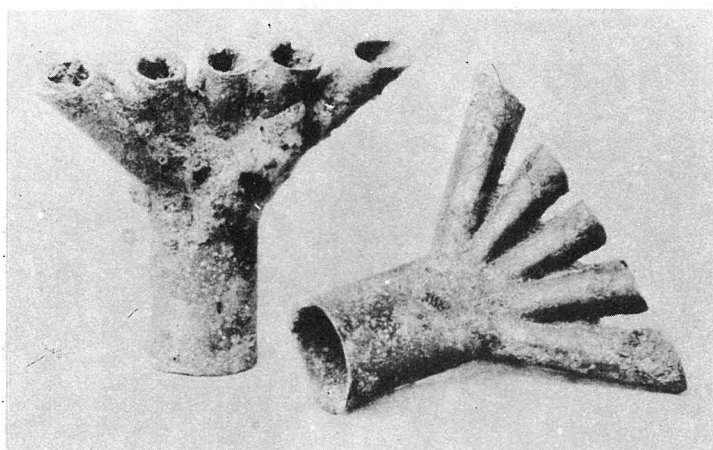
齒輪的使用可自實物得到證明，戰國晚期的墓葬中出現過若干小型齒輪。據說可能是弩弓的零件⁶⁵。若沒有齒輪作用的知識，漢以後指南車，里鼓車，渾天儀一類工具將都難以製作。

滑車類的使用，在中國古代當以轆轤爲最主要，禮記中記載公輸般以機封，當是使用豐碑和轆轤⁶⁶。李約瑟以爲轆轤太常見，以致本身未必常出現於典籍，其名稱反而見於借用作形容詞時，例如鹿盧劍之類⁶⁷。

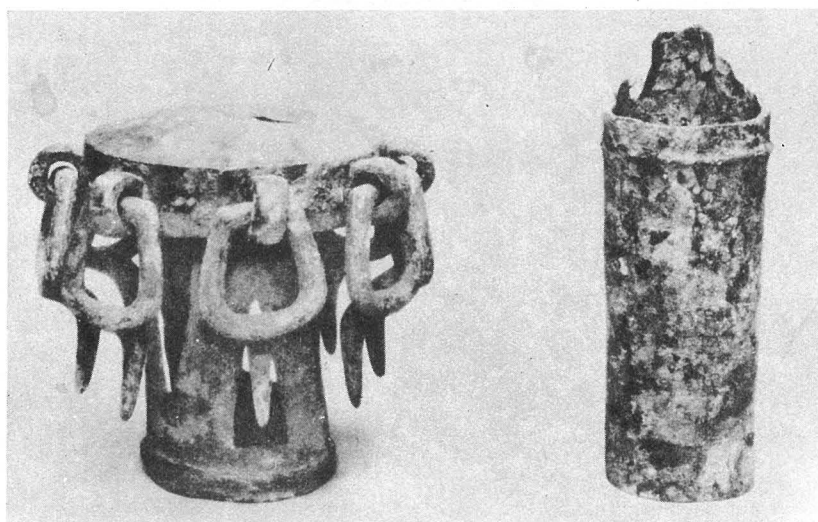
中國古代應用活塞的作用發展了世界最早的鼓風鑄鐵。即使左傳昭公廿九年「一鼓鐵」的記載固然也有以「鼓」爲容量單位的可能，然而老子與墨子兩書中，提到的橐



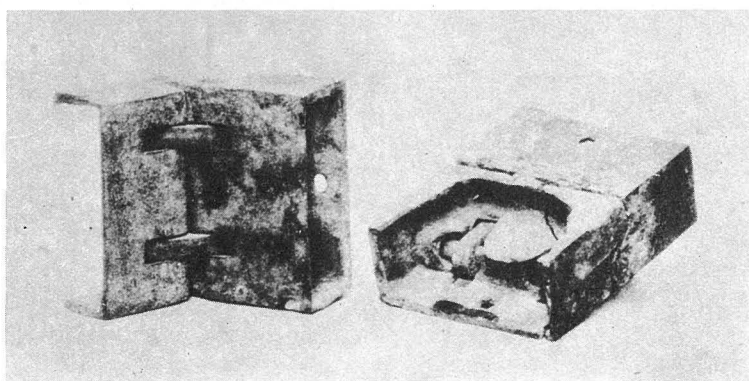
銅 盃



a.



b.



c.

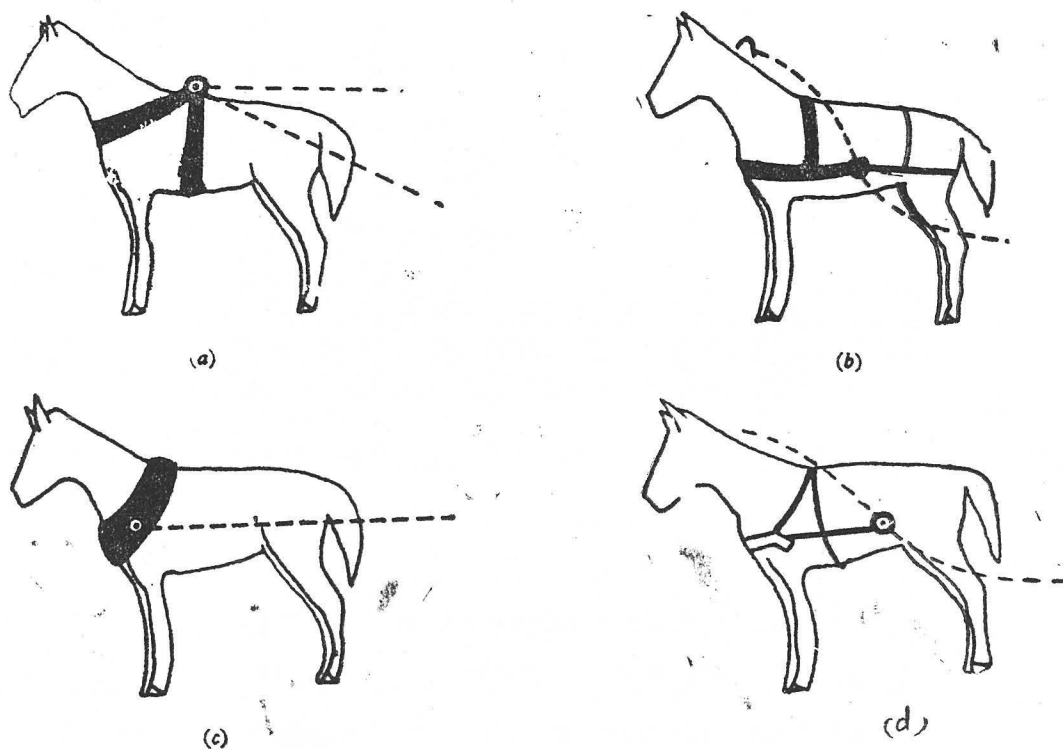
簫，楊寬以爲便是鼓鑄金屬時使用的「風箱」，這種牛皮製的皮囊，配上一對活塞，即可往復充氣排氣，發揮鼓風作用。墨子所謂「橐以牛皮，鑪有兩甌，以橐鼓之百十」，由於牛皮囊是空的，是以老子稱爲「虛而不屈，動而越出」⁶³。這種橐簫在戰時可以用於熏灼地道中的敵人，對抗敵人的地道攻擊，但更重要的用途仍在鼓鑄金屬時，以鼓風提高溫度。淮南子本經訓所說「鼓橐吹埵，以銷銅鐵」當可認作冶鐵用橐鼓風的證據，正如高誘解釋，「冶鑪排橐」，「橐口鐵筒入火中吹火」⁶⁴。據揚寬的意見，中國古代的冶鐵技術，因爲排橐的使用，產生世界上最早的鼓風爐。史記貨殖列傳中不少以冶致富者，當即拜鼓風爐之賜。

(四) 車 馬

古代中國的車，最早的實物證據爲殷虛出土的車輛零件，而完整車輛的出土當以輝縣琉璃閣和上村嶺虢國墓地兩次發現春秋戰國的古車爲最重要⁷⁰。車輪結構的討論已見於前節，據李約瑟對周禮考工記記載的描述，古車以方形車箱架在雙輪之間的軸上，車寬大約三呎，輪高六呎，輪軸之間有金屬的軛，軛，或鎔其上裝設轡和轡保護，而以軛轡固定其位置。軸上是車箱（軛）下部的轡和轡。軛本身則包括兩側的軛，較與挾手憑依的軛和軛。軛由車箱雙曲前伸，爲衡，衡的兩端則架設一對車軛⁷¹。

古車的軛都是曲軛，成爲一之曲線。只有漢代以後的車才變化爲棧車的直軛⁷²。曲軛的使用，據李約瑟的意見，與中國古代套馬的方法有關⁷³，李氏以爲歐洲古代套馬的馬具套住頸部與腹部，馬在前拉時勢必有氣管窒息的痛苦，而中國古代却是用胸帶和背帶，曲軛的使用即以下壓和前拉的力量分配在背部和胸部。李氏根據大司空村殷代遺址的車馬坑，判斷商代的軛仍架在頸部，但在戰國時代軛已有頸部移置在前股兩側，也就是使用曲軛的設備了⁷⁴。長沙出土的楚國漆奩上的馬車，顯示早期頸帶轉化爲胸帶的過渡，胸前有軛帶，却與軛的中點，聯繫在一起⁷⁵。

附圖爲 Needham 比較中國與歐洲的勒帶裝置（見 Joseph Needham，前引書，Vol. IV, part II p. 305, fig. 536 及 p. 311, fig. 548）



馬具勒帶裝置示意圖

a. 西方古代 b. 中國古代及中古早期 c. 中國及西方中古晚期 d. 長沙出土漆奩

(五) 「陶」「冶」的傳統

中國製陶的技術，在新石器時代即有良好的傳統。彩陶的描繪手法，用彩的調和美觀，以及黑陶的型制，都有極高的工藝水平。龍山出土的蛋殼陶，陶質堅緻，古人必已有掌握高溫的能力方可製作。中國新石器時代遺址中頗有不少燒製陶器的窖。有一些窖在夯土牆中，而且有傾斜的角度。這種向上的火道，可以產生比較高的溫度⁷⁶。從殷商出土的白陶，我人也可以看出高度的技術，而西安張家坡出土的帶釉陶片，已經

專家檢定，其硬度之高，以及帶釉的現象，足證張家坡的硬陶已與瓷器距離不遠⁷⁷。

製陶技術與冶鍊的關係是很密切的。殷商出土大量陶範，即是鑄造青銅器的原範。史語所萬家保先生在此有專門研究，而且上古史論文集集中也有李濟之先生的專篇，論述青銅工藝，故此處不贅述。到周禮考工記撰作的時代，青銅合金的成分，因器用本身的需要，有六種不同的比例，所謂

「金有六齊，六分其金而錫居一，謂之鐘鼎之齊；五分其金而錫居一，謂之斧斤之齊；四分其金而錫居一，謂之戈戟之齊；三分之金而錫居一，謂之大刃之齊，五分其金而錫居二，謂之削殺矢之齊；金錫半，謂之鑿燧之齊」⁷⁸。

而且青銅器上的花紋也用拍版印在陶範的內面，然後澆鑄在銅器的表面，這一發展本身，即可說明青銅鑄造已由個別的生產發展為大量的生產⁷⁹。

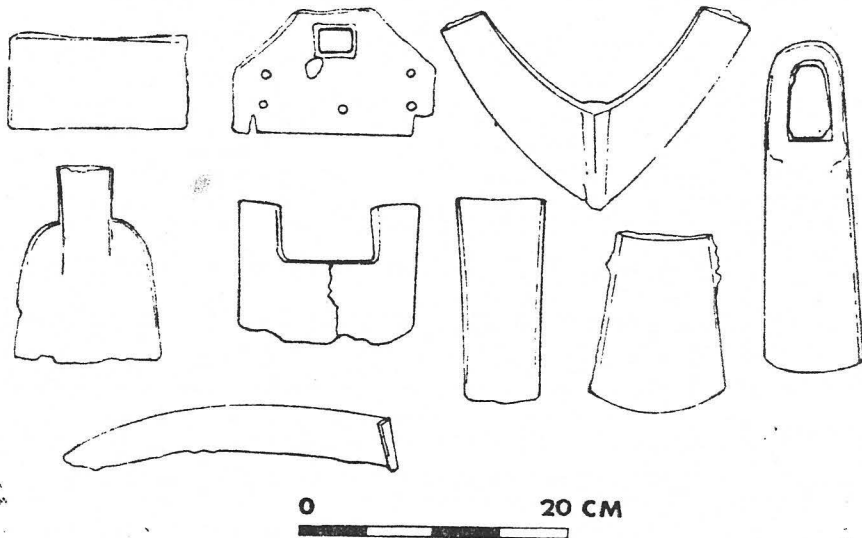
青銅器在生產工具方面一直未佔極大的重要性，由鑄造青銅器獲得的冶鑄技術卻為鐵製工具的生產鋪設了一條坦途。

鐵在中國出現的時間一直是一個聚訟的問題，梅原末治以為早在殷代即有用鐵的知識⁸⁰。然而自殷商以至西周，生產工具仍以木石為主，青銅只佔輔助地位，更遑論鐵器了⁸¹。自考古發現言之，鐵器在中國的大量出現，當在春秋戰國之交，是以前此的墓葬罕見鐵器出土，而戰國至漢代的墓葬則幾乎無不有鐵器，而且有時頗有相當數量⁸²。折衷一點的說法，張光直以為鐵製工具的大量出現當在公元前六世紀，即春秋中期，但到公元前五世紀時技術已臻完美，而且已廣泛的為人使用了⁸³。

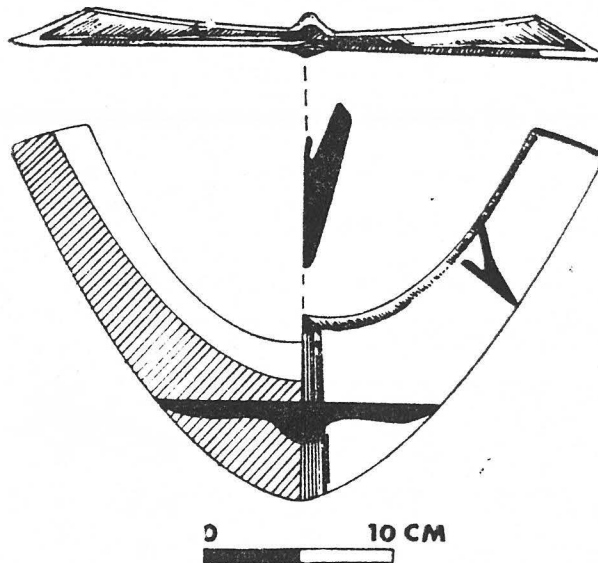
在中國古代的製鐵技術方面，最大的特色是鑄鐵的出現早於世界其他地區，領先歐洲幾達一千五百年之久⁸⁴。

李恒德以為中國在冶金技術上發展的方向與歐洲的冶鐵過程相反，歐洲由鍛鐵開始，而中國由鑄鐵開始。Vander Merse也具有相同的看法⁸⁵。楊寬則以為中國冶金技術也曾經歷過原始的塊煉法。由於冶爐的溫度不够高，鐵礦石不能溶成液體，只能呈現海棉狀，再經過鍛製成為器用。而且他舉尚書費誓的「鍛乃戈矛」和詩經公劉的「取厲取鍛」互證鍛即是鍛鍊的意思⁸⁶。冶金學家對輝縣出土若干鐵工具的金相學考察，也證實了原始的塊煉法，遲至戰國仍有人使用，這六件鐵器有的成型並未經過鑄

型，而是經過空鞣法，或則用錘打扁板金合攏，或則用模具作空鞣，反復加熱，反復加工而成⁸⁷。附圖爲戰國鐵器實例：

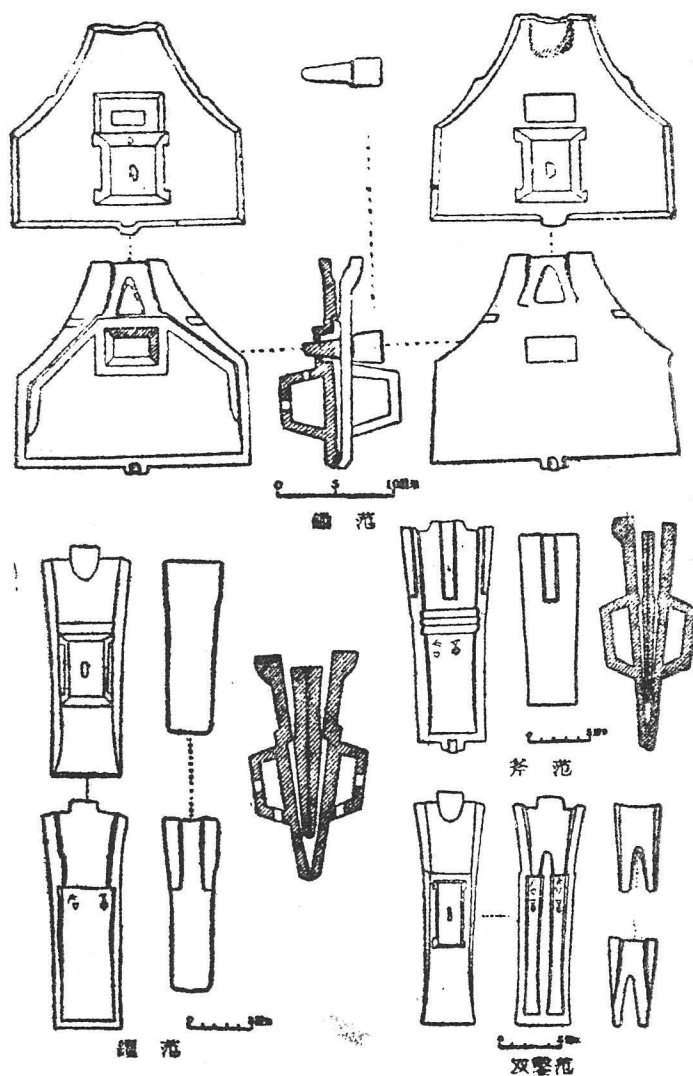


(采自新中國的考古收穫，1962，P61)



(采自夏鼐，輝縣發掘報告，1959 p. 92)

然而戰國鐵器已由鑄鐵製造，也是考古實物所表現的事實，大約由於青銅鑄造時獲得的高溫溶爐經驗，興隆出土的戰國鐵工具，不但有鑄範，而且是使用技術水準很高的冷鑄法，才能產生這種經過一千五百度高溫的灰口鐵⁸⁸。範型實例見下圖：



(熱河興隆發現的戰國生產工具鑄範，采自考古通訊1956年第1期鄭紹宗熱河興隆發現的戰國生產工具鑄範一文。)

以出土物的比例言，鑄鐵也是比較常見的，例如李文信根據對四十六件鐵農具的觀察，戰國諸件均是鑄造。而鍛製熟鐵的工具，須在漢代諸件中才出現。範型也在戰國時即已有較原始的單合範和進步的雙合範⁸⁹。

戰國出土的鑄鐵工具和武器，無論在楚在燕，其技術水平都相當的接近。前述熱河興隆的遺址出土了八十七件戰國鐵範，包括鋤、鐮、雙鐮、斧、鑿及車具，而且

在附近發現大量紅燒土，木炭屑，和築石基址，此處應是戰國的冶鐵作坊⁹⁰。在山西長治分水嶺的兩個戰國墓葬中，也分別找到十一件和九件鑄鐵製成的工具，如鑿、鎚、鐮、斧等⁹¹。又如長沙及衡陽出土的戰國楚墓，出土有鐵劍十四件，鐵戟二件，鐵匕首四件，鐵刀十件，鐵矛一件，還有些箭桿箭鏃等⁹²。

中國古代冶鑄生鐵的技術，當與溶爐具有鼓風設備有關。本文前節曾提出鼓風用的排橐和囊橐。使用皮囊或一列皮囊鼓風入爐，可以集中燃燒的時間，使鐵溶成流汁，流出爐外。爲了產生高溫，連續鼓風是必要的，因此冶鐵不僅需要大量人力在爐旁操作，也需大量人力採集燃料。管子輕重乙篇：

「一農之事，一車必有一耜，一鈔，一鑿，一鑄，一鎚，然後成爲農，
一車必有一斤，一鋸，一缸，一鑽，一鑿，一鋸，一軻，然後成爲車，
一女必有一刀，一錐，一鍼，一鉤，然後成爲女；請以令斷山木，鼓山
鐵，是可以無籍而用足」⁹³。

也無怪漢代的「鐵官」動輒需要大量的卒徒從事冶鑄。而以冶鐵致富的實業家也往往擁有大量的家僮⁹⁴。

以鐵礦石直接入爐冶鑄，鐵價自必低廉。是以在漢代鐵價只當銅價四分之一，有千鈞銅的商人其財富可與有千石鐵的商人同樣富有，而石是鈞的四倍⁹⁵。也可能因此古代才以銅爲美金，以鐵爲惡金，所謂：

「美金以鑄劍戟，試諸狗馬，惡金以鑄鉏夷斤斲，試諸壤土」⁹⁶。

生鐵易鑄而質脆，非再加工難以使用。戰國時鐵工已經知道了生鐵爐煉熟鐵的技術。楚國的鐵劍即可長達 140 公分，若單用鑄鐵，如此長度的鐵劍勢非折斷不可⁹⁷。

輝縣鐵器，據金相學的考察，固可能是塊煉法的產品，也有可能是生鐵加鍛的產品。是以才可能在同一件鐵器上出現高碳鋼口和純鐵的空鞘⁹⁸。至於煉鋼，戰國當也已有「自然鋼」的冶煉技術。吳越春秋所載的古代名劍，干將劍身作龜文，莫邪劍身作漫理，楊寬以爲即是所謂「布拉特鋼」⁹⁹。楊寬解釋布拉特鋼是由純鐵和夾在純鐵內的碳化薄片所組成的東西，碳化鐵質硬而脆，然也耐磨，外包軟而有韌性的純鐵，則剛柔相濟，成爲有彈性又耐用鋒利的刀劍良材¹⁰⁰。禹貢梁洲有「璆鐵銀鏤」，「鏤」據說即是剛鐵，而荀子說到楚的宛鉅鐵鉞，「鉅」也是剛鐵。楊寬以爲古時稱利兵爲白

刃，即指帶鋼的白色刀口¹⁰¹。證之輝縣鐵器的高碳鋼鋒刃，楊寬的說法是很有可能的。

(六) 土 木 建 築

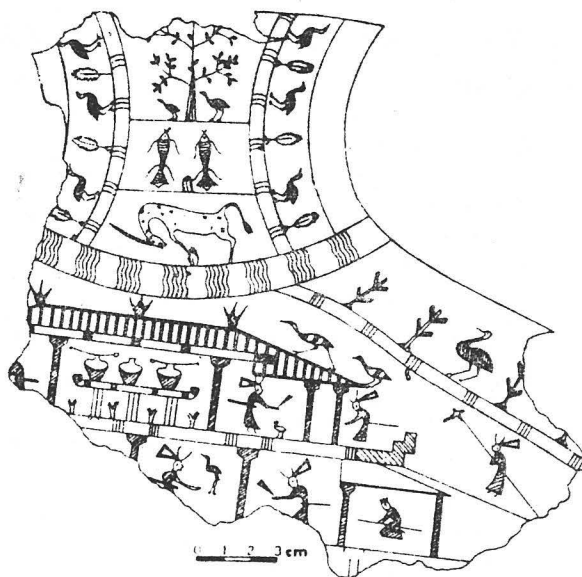
中國中原位居黃土地帶，黃土土質堅緻細膩，是以夯土成為中國建築上一大特色，早在新石器時代，夯土已在村落遺址出現¹⁰²。逮乎殷商之世，夯土成為建築上不可缺的項目，用于築基，造牆，填塞墓穴，無不有之¹⁰³，也許即為了夯土的方便易築，中國古代建築從未向石築方面發展，而只在土木建材方面發展中國建築特有的傳統。在佛教塔狀建築傳入中國以前，中國建築通常不向高處，而向平面發展，當也與土基土牆木架結構的特性有極大關係。

先秦城市遺址，幾乎無不有夯土築牆，早如鄭州的殷代城市、夯土版築的城牆有十公尺高，二十公尺厚，圍繞 3.2 方公里的中央行政區域¹⁰⁴。周代古城之有夯土城牆者如洛陽王城、平望、牛村、新田、晉陽、襄汾趙康鎮的古城、曲沃、聞喜、安邑、魏城古城、午城古城、武安古城、燕下都、臨淄、諸城、薛、滕鄆城、漂陽、邯鄲，咸陽、雍城，諸處古城遺址，幾乎均因發掘到夯土城牆而斷定為古代城市的¹⁰⁵。

城市在社會經濟方面的作用，當別由專篇討論。純從建築方面着眼，中國古代城市也有可注意之點。上述夯土城牆是其中重要特色。同時中國城市往往具有行政中心的性格，都市的建設因之也是有計劃的。周禮考工記建國規模說到一個城市前朝後市，縱橫各有九條通衢大道。其說法固是理想的濃縮結晶，但在人類學上的觀察，此種以人主居中的觀念，未嘗不反映「大宇宙」與「微宇宙」的交感¹⁰⁶。最近考古收獲至少有兩點證實了這種觀念在建築上的表徵。其一是中國古代城市大都採正南正北方向，偶而有一些與地極歧異者，也可以用極星位置的變移，得到合理的解釋，例如臨淄與燕下都的位置都離正方向頗有幾度距離，可能即是因當時極星的位置與真極不甚相同之故¹⁰⁷。其二是宮殿宗廟建於夯土高臺上，牛村古城的建築臺地位於全城的幾何中心，平望的土臺亦復如此。邯鄲有中央平行排列的兩列土臺。臨淄與燕下都的夯土臺地雖不在中央，却也大致是集中的¹⁰⁸。官方建築物之高於平地，在殷虛即已有其例證，如石璋如先生按柱孔復原的宗廟，即在土築高臺上¹⁰⁹。按照人類學的說法，當與天柱天極觀念有頗深的血緣關係¹¹⁰。然而高借重於土臺，而不能像西亞古代文明之借

重於石階，自然也受中國黃土平原自然條件的限制。夯土臺上的木結構自是由殷商以來即有的傳統¹¹¹。

平臺上建築樓房當是更進一步的發展。長治分水嶺出土的戰國銅器上有樓房的建構。兩層樓房，有顯著的柱頭支撐柱頭形狀，應即是斗拱的濫觴¹¹²。



木架結構的發生，當與南方干欄傳統有關，北傳與夯土基礎結合而成爲中國特有的建築特色。斗拱尤爲木架結構中最重要的發明。至遲在公元前第六世紀，斗拱已是大型建築不可缺少的部份，孟子說到「榱題數尺」。這種伸展的簷頭，勢須借重斗拱的結構，方有可能¹¹³。

屋頂用瓦，在西周建築的遺址上已數見不鮮。瓦列之前使用瓦當，既可做裝飾，又可幫助排水¹¹⁴。更值得注意的是城市中的下水道，燕下都的遺址出土若干陶製水管，城中還有幾條水溝，有的可能是供水道，有的則是排水溝¹¹⁵。咸陽古城也有不少陶製水管出土，可能是地下道的殘餘¹¹⁶。

夯土的使用，不僅限於城牆及基地，中國歷來防洪的堤岸也是用夯土築成，至今黃河堤仍是如此。防禦工事與防洪工事都稱爲防，二者在古代是合一的。夯土顯然也應用於道路，秦統一中國、遍築駛道，所謂「道廣五十步，三丈而樹，厚築其外，隱以金椎，樹以青松」¹¹⁷。即是以金屬樁柱打樁的路面。其寬廣堅實，堪稱當時最佳的公

路系統了。

(七) 結 論

總上所述，略可窺見中國古代科技的特色，在於理論和實用的結合，物理中力學突出，自然與創製器械有關，天文曆數，也與觀象授時的實用自然分不開。甚至光學的若干討論似也為說明官感作用的實證。這種現象，一方面反映中國古代文化中利用厚生的基本思想，另一方面也使中國古代科技有偏於一邊的趨向，忽略了純理論的探討。本文土木工程不涉塹堰，以已在農業技術一文中討論。青銅冶製則別有專文，也不在此重疊。

附識：1.本文為中國上古史稿第四本第八章。審查人何丙郁先生。

2.本文版權屬中國上古史編輯委員會。

註 解

- 1 楊寬、墨經哲學，正中，1942，1949。但楊氏原意實為反對以墨學比擬現代科學。譚戒甫，墨經易解，上海、商務，1935。錢臨照「釋墨經中光學力學諸條」李石曾先生六十歲紀念論文集，昆明、北平研究院，1944。樂調甫、墨子研究論文集，北平，1957。吳南薰先生著有中國物理學史，但外間未見流傳，僅由李約瑟引文中見到其大致面目，似對墨經文學及句讀，大大改訂修正過。
- 2 Joseph Needham, *Science and Civilization in China, Vol. IV, Part 1*, Cambridge University Press, (1962) pp. 2-3
- 3 Joseph Needham, 同上書，p. 3。
- 4 Joseph Needham, 同上書，p. 3。
- 5 Joseph Needham, 前引書，p. 19。
- 6 樂調甫，前引書，p. 89。
- 7 魏西河「滑車與斜面的發現和使用以中國為最早」清華大學學報第七卷第二期，1960。劉仙洲，前引書，p. 24。
- 8 樂調甫，前引書，p. 88。
- 9 Joseph Needham, 前引書，p. 53。
- 10 樂調甫，前引書，pp. 70-71.
- 11 Joseph Needham, 前引書，p. 82.
- 12 同上，p.83，參看樂調甫，前引書，p. 83。
- 13 Joseph Needham, 前引書，p. 83
- 14 Joseph Needham, 前引書，pp. 83-84。
- 15 George Sarton *Chinese Glass at the Beginning of Confucian Age*, ISIS, 25 (1936), p. 23,

- C.G. Seligman & H.C. Beck. *Far Eastern Glass; Some Western Origin* Bulletin of Museum of Eastern Antiquities, (1938) 10, p.1.
- 16 周禮正義(四部備要本) 70/10。
- 17 楊寬墨經哲學, 正中書局, 1942, 臺版, 1959, p. 2。
- 18 孫詒讓, 前引問詁, p. 758。
- 19 同上, p. 407。
- 20 楊寬, 前引書。
- 21 樂調甫, 前引書, pp. 59以下。
- 22 公孫龍子、堅白論:「視不得堅,而得其所白,無堅也。拊不得其所白,而得其所堅,得其堅也,無白也。……且猶白以目以火見,而火不見,則火與目不見,而神見,神不見而見離」(四部備要本,頁9)即完全懷疑官感之可靠,更不論官感印象之結合。
- 23 大戴禮記(四部叢刊本) 2/4, 2/8。
- 24 陳遵嫻、中國古代天文學簡史, 上海, 1955 pp. 16-18.
- 25 周髀算經(四部叢刊本) 上57。
- 26 李儼中國算學史(上海, 1937) p.15, 參考中山大學語言歷史研究所週刊, 1929, 第94至96號, 天文學專號, pp. 1-69 及能田忠亮、周髀算經之研究、京都, 1933。
- 27 Joseph Needham, 前引書 Vol.3, p. 256, Note e.
- 28 周髀算經上17-18, 下2。
- 29 同上, 下1-2。
- 30 同上, 下4。
- 31 同上, 下7-8。
- 32 同上, 下1, 下3。
- 33 晉書(四部備要本) 11/2。
- 34 Joseph Needham, 前引書, p.214.
- 35 同上11/2, 參看11/1。
- 36 竺可楨「二十八宿起源之地點與時間」氣象學報18, 1944, p. 12, 參看董作賓, 殷曆譜, 中央研究院1945, 第二冊, 3/1b按:房心均在十二歲次的「大火」之內。
- 37 Joseph Needham, 前引書, 第三卷, pp. 245-246。參看橋本增吉『書經の研究』東洋學報2, (1912), 3, (1913) 及4(1914), 又同氏, 『書經堯典の四中星に就いて』同上, 17(3) (1928) p. 303。竺可楨『論以受差定向書四仲星之年代』(徐旭生, 中國古史的傳說時代)北平1960, pp. 279 以下。
- 38 毛詩正義(四部備要本) 8-1/5, 3-1/8, 15-3/8, 1-5/3, 15-3/5, 13-1/8。
- 39 能田忠亮, 東洋天文學史論叢, 東京, 1944, 又同氏「夏小正星象論」東方學報(京都, 1942.12)
- 40 能田忠亮, 禮記月令天文考, 京都, 1938。
- 41 Joseph Needham, 前引書, p. 246.
- 42 竺可楨, 前引「二十八宿起源之地點與時間」。
- 43 Joseph Needham, 前引書, pp. 248, 253-259。新城新藏東洋天文學史研究, 京都弘文堂, 1928, pp. 194 以下。陳遵嫻中國古代天文學簡史, 上海, 1955, pp. 87-89。
- 44 晉書(四部備要本) 11/7, 陳卓總合三家的星數爲二百八十三官, 一千四百六十四星。陳書所載則爲二百八十三官, 一千五百六十五星, 參看陳書(四部備要本) 19/1-2, 戴內清以爲石氏星經的年代應在漢代初期太初改曆後。但戴內清據渾天儀時代立說, 只能謂錢榮之重建諸星位置係後出, 似不能據此攻石氏星

- 經本身紀錄星位問題，參看戴內清，中國天文曆法，東京，平凡社，1969，p. 12, pp. 46ff. 又朱文鑫天文學小史，商務，臺北重印本，p.19。甘石星經所測星位，據上田穰意見，當係公元前三百五十六年時位置，新城新藏從之。新城新藏，前引書，p.26。參看戴內清前引書，p.50。
- 45 Joseph Needham, 前引書, p.265。
 - 46 Joseph Needham, 前引書, pp.263-270。
 - 47 董作賓殷曆譜，下編卷三交食譜。
 - 48 書經日食的問題，自古聚訟紛紜，中外古今推算這次日食的日期，頗不一致。據陳遵媯列舉，有公元前2128, 2155, 2077, 2156, 2137, 2072, 2165, 2127諸種說法，但以奧泊爾子第一次所推公元前2137年十月廿二日之說最爲人接受。參看陳遵媯前引書，p.55，注3；董彥堂先生亦主此說，見前引殷曆譜，下編卷三，頁4。
 - 49 錢偉長我國歷史上的科學發明，北平，1954，p.36。
 - 50 陳遵媯，前引書p.60注引。
 - 51 陳遵媯，前引書，p.60。
 - 52 同上，p.65。
 - 53 同上，p.72-73。
 - 54 新城新藏前引書，p.5-9。
 - 55 陳遵媯前引書，p.93。
 - 56 同上，p.95。
 - 57 Joseph Needham, 前引書，Vol 4, pt.2, p.63。
 - 58 莊子（四部備要）5/6-7，5/22。
 - 59 Joseph Needham, 前引書 pp.331-335。
 - 60 韓非子卷15，二第三十七（王先慎韓非子集解，世界書局諸子集成本），p.279。這一對於機械的定義，劉仙洲是第一個認識其重要性的現代學者，見劉仙洲，中國機械工程發明史，上海，1962，pp.4-5。
 - 61 唐蘭五省出土重要文物展覽圖錄，1958，圖版28，63，64。
 - 62 周禮正義（四部備要本）75/1以下老子（四部備要本）上/6。
 - 63 周禮正義（四部備要本）75/3。
 - 64 輝縣發掘報告，北平，1956，p.48-50，圖61（1-2）。
 - 65 長沙發掘報告，北平，1957，p.27，圖版柒(1)。
 - 66 楊文奎「山西永濟縣蔣家崖發現的一批銅器」文物參考資料，1955(8)，p.40。
 - 67 禮記正義（四部備要本）10/3。
 - 68 Joseph Needham, 前引書，p.96。
 - 69 墨子閒詁，14/42。老子（四部備要本）上篇，頁3。參看楊寬「中國古代冶鐵鼓風爐和水力冶鐵鼓風爐的發明」，李光壁、錢君匋編，中國科學技術發明和科學技術人物論集，北平，1955，p.71。
 - 70 淮南子（四部備要本）8/10。
 - 71 石璋如殷代戰爭的紀錄與車戰方法（未刊），輝縣發掘報告，pp. 46-51。
 - 72 上村瀧號國墓地，北平，1959，p.42-47。
 - 73 馬得志，周永珍，張雲鵬，「一九五五年安陽大司空村發掘報告」考古學報1955，(9) p.25。
 - 74 Joseph Needham, 前引書，p.249。
 - 75 參看，四川漢畫像磚選集，北平，1957，pp.40 以下。
 - 76 Joseph Needham, 前引書，p.248-250。

- 74 Joseph Needham, 前引書, pp.304-307
- 75 同上, p.310, 參看常任俠漢代繪畫集, 北平, 1955, 圖版11, 楚文物展覽圖錄, 北平, 1954, 圖版43。
- 76 Kwang-chih Chang, *Archaeology in Ancient China*, Yale University Press, rev. ed, 1968 pp. 100, 105, 97.
西安半坡 (1963) 圖版118。
- 77 周仁、李家治、鄭永圃「張家坡西周居住遺址陶瓷碎片的研究」考古, 1960 (9) p.48-52; 又載豐西發掘報告附錄二, 北平, 1962, p.161-165。
- 78 周禮正義藝文印書館印行 p.7779。
- 79 張光直(Kwang-chih Chang), 前引書。
- 80 梅原末治、支那考古學論考、東京, 1929, pp. 179-180。
- 81 黃展岳「近年出土的戰國兩漢鐵器」考古學報, 1957 (3), p.106。
- 82 華覺明「戰國兩漢鐵器的金相學考查初步報告」, 考古學報, 1960 (1), pp.82-83。
- 83 Kwang-chih Chang, 前引書, p.313。
- 84 近來研究這個問題者, 以楊寬、李約瑟、關野雄、爲最著。見楊寬中國古代冶鐵技術的發明和發展, 上海, 1956; Joseph Neeham, *The Development of Iron and Steel Technology in China* (London, Newcome Socniety.) 1958; 關野雄, 中國考古學研究, 昭和三十一年, 東洋文化研究所。最近 Nikoloas vander mense 有一綜合的研究其論點見 Kwang-chih Chang, *The Archaeology of Ancient China*, pp. 314 以下。
- 85 李恒德, 「中國歷史上的鋼鐵冶金技術」自然科學一卷七期, Kwang-chih Chang, 前引書, pp. 315-316。
- 86 楊寬, 前引書, pp. 2-3, 15-16。尚書費誓的上下文爲「備乃弓矢, 鍛乃戈矛, 礪乃鋒刃, 無敢不善」(四部備要本, 尚書正義20/4) 詩經公劉的上下文爲「取厲取鍛, 止基迺理」(四部備要本, 毛詩正義, 17-3/8)。
- 87 孫廷烈「輝縣出土的幾件鐵器底金相學考察」考古學報, 1956 (2), p.125-140。
- 88 周則岳「試論中國古代冶金史幾個問題」中國礦冶學報第一期。鄭紹宗「熱河興隆發現的戰國生產工具鑄範」考古通訊, 1956(1), pp.29-35。
- 89 李文信「古代的鐵農具」文物參考資料, 1954 (9), p.80-86。
- 90 鄭紹宗, 前引文。
- 91 山西省文物管理委員會「山西長治市分水嶺古墓的清理」考古學報, 1957 (1), pp.103-118。
- 92 湖南省文物工作隊「長沙衡陽出土戰國時代的鐵器」考古通訊, 1956 (1), pp.77-79。
- 93 管子 (四部備要本) 24/2。
- 94 漢書 (四部備要本) 72/1。
史記 (四部備要本) 129/5, 13-14。
- 95 史記129/12。
- 96 國語齊語 (四部備要本) 6/8
- 97 見前註。
- 98 孫廷烈, 前引文, 又參看林壽東「晉北朝時期鑄冶鑄造業的恢復與發展」歷史研究, 1955 (6)。
- 99 楊寬前引書, p.84。
- 100 同上, p.85。
- 101 尚書正義 (四部備要本) 6/11引注疏。

- 荀子（四部備要本）10/10 楊倞注。
楊倞前引書，pp.85-86。
- 102 Kwang-chih Chang, 前引書，p.86。
- 103 參看石璋如先生在上古史論文中論殷代建築的專篇「殷代的夯土，版築，與一般建築」。
- 104 Kwang-chih Chang, 前引書，p.205。
- 105 同上，pp.286-305。
- 106 Paul Wheatley, *Pivot of Four Quarters*, University of Edinberg Press 1971, pp. 441 ff.
參看周禮正義（四部備要本）83/1—4。
- 107 同上，p.426。
- 108 同上，p.185。
- 109 石璋如殷虛建築遺存，1959，圖版區Ⅳ，Ⅵ。
同氏，「小屯殷代的建築遺跡」歷史語言研究所集刊26本 pp.160-161。
- 110 Paul Wheatley, 前引書，p.436。
- 111 Kwang-chih Chang, p.220
- 112 山西省文管會「山西長治市分水嶺古墓的清理」考古學報，1957（1），p.109。
- 113 鐵偉長，我國歷史上的科學發明，北平，1954，pp.91-93。
- 114 Kwang-chih Chang, 前引書，p.267, 283-305。
- 115 同上，p.299。
- 116 陝西省社會科學院考古研究所渭水隊『秦都咸陽故城遺址的調查和試掘』考古，1962(6)，pp.281-299。
- 117 漢書（四部備要本）51/2厚築，服虔以爲築壁，師古以爲築令堅實，與壁無涉，今從師古。

