



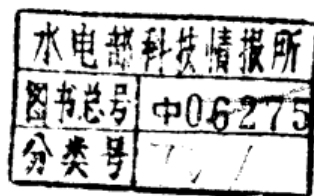
数据加载失败，请稍后重试！

增 訂 版

水 利 工 程 學

黃 友 訓 著

大 學 圖 書 供 應 社



目 錄



005572 水利部信息所

緒 論

水利工程中關於水知識與水經濟學之新評價.....	1
(甲) 水經濟的本質及其課題.....	2
(乙) 水在自然界中的存積情形.....	6
在地面之上的水.....	23
(甲) 流動的地上水.....	25
在地面之下的水.....	28
嚴副總統在工程師聯合年會開幕禮中專題演講：	
“工程師與經濟學家在經濟開發中之關係”.....	31

第一章 海埔新生地之開發問題..... 38

第一節 中國開發荒地及海埔地歷史.....	38
第二節 台灣海埔地開發經過.....	41
第三節 外國開發海埔地實例之尋求.....	43

第二章 水利工程中之地下水問題..... 48

第一節 地下水之來源、狀況、及其性質.....	48
第二節 地下水之流動情形.....	57
第三節 實測地下水流速度之方法.....	62
第四節 流入井中地下水水量之推算.....	63

第三章 蓄水工程與水力發電..... 78

(甲) 蓄水工程..... 78

第一節 蓄水壩之種類..... 78

第二節 建壩前之準備工作..... 79

第三節 蓄水壩失敗之原因..... 80

第四節 蓄水庫之功用..... 82

第五節 水庫容量之確定..... 83

第六節 水庫之放洩問題..... 88

(乙) 水力發電..... 90

第一節 概 說..... 90

第二節 流量之調節與電力估計..... 94

第四章 通航河流之治理 (河工學)..... 99

第一節 流體運動之基本原理..... 99

第二節 流速與流量之計算方法..... 101

第三節 溝渠之形狀..... 106

第四節 埝 工..... 109

第五節 河道整理..... 111

第六節 河道渠化..... 116

第五章 水利工程中最重要之建築材料 133

第一節 木 料..... 133

第二節 鐵 料..... 136

第三節 混凝土..... 138

附錄 水利法..... 159

緒 論

水利工程中關於水知識 與 水經濟學之新評價

水與吾人之關係至爲密切，水利建設乃爲生產建設之母。地球上的水雖然差不多是一個常數，但各地的降水及蒸發量，均因季節而有所不同。尤其降雨的時間及降雨量的多少，現在尙不能控制；因此、各地的水災旱災相繼不絕，不獨影響生物的生長，而且影響水力發電、交通航運，工業建設。我們爲達到地盡其利之目的，必須用各種方法來控制地面上的水，使各種生物可以得到適時而且適量的水，滋長繁榮。這種控制水的方法，就是興水利除水害，也就是水利事業的興辦。所謂水利事業，在水利法中已有規定。凡由人爲方法控制或利用地面水，或是利用地下水以防洪、排水、禦旱、灌田、放淤、保土、洗鹽、給水、築港、便利水運或發展水力，均稱爲水利事業。

我們打開歷史來看，一個朝代的興亡，莫不與水利息息相關。凡是英明的帝王，對於水利事業一定很注意。因爲水利事業獲得普遍，然後物產才能豐富，人民才能安居樂業，國家才能富強，政治才能修明。

土木工程爲建設國家及改善國民生活之基本動力。水利工程學是土木工程學系必修的一門學科，而水利事業是屬於水經濟學的範疇，故土木工程師對於水經濟學應有相當的了解與認識。本篇文章，先就水經濟的本質與課題，及水在自然界中存積的情形，詳加研究與分析。

。

(甲) 水經濟的本質及其課題

自有歷史以來，在其數十萬年永續不朽的道途中，人類與水結了不解之緣，例如人畜所不可或缺的飲水，經由捕魚與栽種植物覓取營養料之供應，尤其植物之生長只有水才能促成，以及人與貨物在水上之運送等等。有關文化的，與促進世界文明的向前發展，又帶來了新的依賴性，亦即工商業需要用水以促進生產，家庭用水由於大量採納機械取代人手的動作而急劇上升。國民經濟與家事之處理，均伸手向電能尋求解決，此種電能大部份是由水力發電而來的。最後還有一點值得一提的，即地球表面上主要是在開發中國家人口的突然增加，只有利用人工灌溉方可適量的藉賴農作物的生產獲得生活上的滿足。

從上述入與水互相關連的輪廓中，可以導引出下列自然水供獻所產生的各種利益，其次序大約相同於一個等級的順敘：

- (1) 飲水供應。
- (2) 農業與森林經濟的灌溉用水。
- (3) 工商業與家庭用水的供應。
- (4) 污水沖淡。
- (5) 水力發電。
- (6) 通航河道。

這六種利益乃提供有關水量、水質、以及用水時間分配的各式各樣的不同之要求。但無論如何，在地球上人口密集的地區，水的供人使用，其份量與品質定能滿足人類的所有用途之要求，那是不待言而自明的。

今日的缺水現象，在大多數古老文明國家之人民方面，委實有其更深一層的原因，即對於自然界作了極不幸的錯誤估計。他們根本就

不認識，或者知道的太晚了，森林對於自然雨水的平均存積是不可或缺的；而且在乾旱週期較長的暖氣候地區內，一次開墾過的森林是很難恢復原狀的；祇以太陽可使土地完全龜裂，同時一般強烈的驟雨必將沖去稀薄的上層土壤。腓尼基人（腓尼基是地中海東岸的一個古國）取去黎巴嫩的杉木，製成航海的船隻。希臘人一樣砍去他們山上的樹林，由於如此引起加速的雨水流下，以及由此產生的土壤毀蝕作用，已將有用的土地減少到可使用面積的十分之一。迦太基之居民及羅馬人也促使富於森林的北非洲變成荒漠，或變成少樹木之乾燥大草原。最後威尼斯那個海軍強國、更需要大量的木材，以滿足它的造船工業，結果留下了達爾馬西亞海岸旁邊荒涼萬狀的石灰岩的不毛地段。可是人類在新時代歷史上所表現的違反自然之行爲，却亦有助於雨水儲積的破壞，因而促使廣闊區域大草原之形成。在北美洲及南美洲的大部份，在大量使用機器的情形下，大面積的土地改良工作更不容有樹木及小叢林之存在，連草皮都完全予以撕碎而一掃而光。這種情形在一世紀的過程中，首先是由於乾透，然後由於強風吹拂，自必導致可耕地的徹底毀滅。就是今天美洲大陸的廣大地區，尤其是美國，面臨一種缺水的嚴重威脅。此外，對於這種由於人類缺乏經驗所引起的缺水情形，必將更爲加劇者，實在因爲人口不斷增加，工業化的範圍日益擴大，以及生活習慣的水準日見提高，所以需要用水的分量乃直線上升的緣故。

對於水正在發生威脅的第二個危險，乃爲逐漸引人注視的污染問題（pollution problem）。就工業生產的技術方法而言，水是扮演重要的一個角色。在工廠中使用過了之後，水就連同各式各樣的污穢物質離開製造場所，而且往往只有略加消毒，或者根本未加過濾的將水導引進入地表面的水流中，或者導引進入於地下水層之內部。家庭

及洗衣作所用之水充滿了廢棄的殘餘物料，這些物料一部份是無法予以作化學的解裂，因此阻止了氧氣與水接觸的通路。除此以外，由於地面水流的放射性傳染（這是由於從原子彈試爆在雨雪中留下放射殘屑，以及由於從核子分裂設備中流出來的污水所招致的），水的品質必將大為惡化。對於地下水可能造成的最大危害，乃由有裂縫的汽油儲蓄器及充作燃料之各種油槽所構成。因此，我們需要超區域性的擴大計劃及管理措施，其設計的主要目標有下列三點：

- (1) 針對一定的供應地區，尋求自然水源與用水量之間最為合理的平衡狀態（這是屬於水量經濟學之範圍）。
- (2) 保持水的清潔，或將水內的不潔物質予以排除乾淨，如此便可滿足消耗者與農業上對於水之品質的要求（這是屬於水質經濟學之範圍）。
- (3) 藉賴真知灼見的對水技術上各種措施，可在不利的設想之下，改變地面各水流的自然性質及其生物組織的形態（這是屬於生物學的水經濟學範圍）。

以上所述三種有關水經濟的構想，是曾致力於處理水的問題，而拿水當作施與生命及維持生命的一種支配力。但水亦可變成人類的勁敵，亦即當自然界供給雨水過量的時候。河流的超高水位已經毀滅了許多人類的生命，而使廣大地區變成荒涼萬狀。洪水氾濫以及過高的地下水位，對於農民的耕種早已帶來無法測度的災害，而且亦將構成對農業經營上招致失敗的一種危險泉源。因此，除了有益水經濟問題之外，吾人尚須進而研究保護水經濟的問題。所謂保護水經濟者，其任務乃在下列三項：

- (1) 減少河川之高水位（採取防止發生高水位之各項措施）；
- (2) 使高水位遠離受損害的耕作面積（利用隄防的設施達成高水

位的保護目的)；

(3) 阻止或排除有害的土壤過於潮濕(排水工程)。

保護水經濟這一門知識，按其本質而論，可列入水量經濟學範圍之內。

最後值得一提的，是水利工程(在德文稱為Wasserbau，在英文稱為Hydraulic Engineering)與水經濟學(在德文叫做Wasserwirtschaft，在英文應該譯成Water Economy)的定義，應予相提並論，這也是筆者在講授水利工程學時所強調的一種說法，即：所謂水利工程者，乃指人類應用的技術而言，其目的乃在役使自然界中水的無限寶藏，或設法防止水的過量。但所謂水經濟者，却是經由層次井然的各種計劃及管理措施，達成如此手段認清目標的合理安排與治理。按照德國工業規範DIN 4049這一條例之規定，則把水經濟這個名稱解釋為：所有人類對地面水及地下水所作具有影響力的，有計劃的，有系統的處理法則。為使一個區域配合整體之水利工程起見，需要一種高瞻遠矚的看法，這就要對水知識(在英文方面稱為Water Knowledge或Water Science，在德文方面稱為Gewässerkunde)有充分的了解，才能達其目的。水知識是屬於水文學(Hydrology)的一部分，這一部分乃專門研究雨雪落於陸地與萬流入海間，各河川在自然水循環中所產生的各種現象。水文學(亦即水的現象及其形態學)對於水利工程專家頗為重要的第二部分，應為流速測量術(Hydrometry)或流速流量等之測定法(Wassermesswesen)。因此，水知識與水文學就其在本篇幅認為有必要的時候，均將同時提出加以討論。

(乙) 水在自然界中的存積情形

一、風土氣候 (Climate)

世界風土氣候，因各地緯度、海內度、和高度的影響而有所不同，主要的氣候帶，可分為熱帶（Tropical Zone），溫帶（Temperate Zone），寒帶（polar Zone）或稱（Cold Zone）。大概的界限是由回歸線及極圈所構成。

- (1) 熱帶：在南北回歸線之間，日光強烈，溫度遠較其他各帶為高。熱帶又分四個副區：「a」赤道雨林區，在南北緯五度之間，全年高溫多雨，氣候濕熱，森林密茂。如南美洲亞馬遜河流域，非洲剛果河流域等處，都是此種氣候。「b」熱帶草原區，在南北緯五至二十度之間，氣溫雖高，但雨量不多，僅夏季有雨。森林稀少，多為草原。非洲的蘇丹，即屬於此種氣候。「c」熱帶沙漠區，在南北回歸線左右，炎熱乾燥，溫度較差大。如沙哈拉沙漠與阿拉伯沙漠等處，就是這種氣候。「d」熱帶季風區，有乾濕季之分，雨量豐沛，濕季尤多。如中南半島，印度等處，都是此類風土氣候。
- (2) 溫帶：地居中緯度，四季顯明。溫帶亦可分成四個副區：

「a」溫帶季風區，如我國東部及美國東部，因在大陸東岸，受季風的影響，夏季多雨，冬季乾旱。「b」地中海氣候區，在南北緯三十至四十五度之間，夏季乾熱，冬季溫濕多雨，除地中海沿岸外，如美國的加利福尼亞州等處，都是這種氣候。「c」溫帶沙漠草原區，在大陸的內部，海洋風不易吹入，雨量稀少，冬季轉冷。如蒙古、新疆、及中亞細亞等處。「d」溫帶溫涼區，位居大陸西岸，在南北緯四十五至六十度之間，地近西風盛行帶，風來自海上，復有暖溫洋流經過，冬暖夏涼，終年潤濕，屬海洋性氣候，雨量頗豐。西北歐就是這一類的風土情形。

- (3) 寒帶：在緯度六十度以上，又可分為三個副區：「a」寒帶雪林區，在緯度六十度與七十度之間，氣候寒冷，但因受北極海風的影響，雨雪較多。植物多為針葉林。「b」苔原，亦名凍土帶（Tundra），又稱寒漠（Cold desert）。在緯度七十度以上，冬季多不見日光，溫度極低，終年冰凍，夏季祇可表面溶解。植物僅生苔蘚。如西伯利亞最北部，及我國青康藏高原最高的地方，都是這一類的氣候。「c」冰原，在緯度七十五度以上，冰天雪地，除極小細菌外，絕無其他植物之存在。

赤道地區的風土氣候，每年有兩次的降雨時間（即三月至五月一次，九月至十一月又一次），而在較低的空氣層中是拿有規則的貿易風來表示，這種貿易風乃在南緯三十度與北緯三十度之間經常吹向一定方位，而在北半球是從東北方吹向赤道，又在南半球卻從東南方吹向赤道的一種方向。大的空氣潮濕度連同強烈的溫度，必將促成對土壤的快速分解，由此產生一層十公尺至二十公尺厚的風化蓋。

與赤道氣候帶相啣接的，是熱帶乾燥氣候的地區，其溫度變化較為顯著。只有在起風的地方，亦即在北半球靠近山脈的北斜面，以及在赤道之南方靠近南斜面之處，才有比較強烈的雨雪降落。佔優勢者是夏天的豪雨。假如局部的陽光照射，例如在廣大的沙漠地區，便可決定該地區的氣候時，吾人乃稱這種氣候為輻射氣候（Radiation Climate）。在此氣候帶中，一年四季的各個季節已經很明白的各自獨立的趨於顯著。在北半球的這個地方是冬雨連綿，但夏天却是過分的乾旱難熬。

貿易風地區（Territory of Tradewind）。是從赤道向南及向北各約二十五度的緯度以內為其範疇，溫帶地區則以西風最

爲流行。在貿易風地區與溫帶地區之間，大概有三十度左右的所謂馬緯度（Horse-latitudes = Rossbreiten），即接近北緯三十度或南緯三十度的區域，其地氣候平靜，並有輕微之逆風。這是氣壓較高的地帶。

在溫帶地區以內，因其地位靠近海邊，是屬於海岸氣候，冬暖夏涼。此地下雨多半是在春秋二季。大陸的內部顯示大陸性氣候（continental climate），乃指大陸內部寒暑俱烈，冬夏溫度相差甚大而雨量較少者而言。由於強烈的夏季蒸發之故，產生了毫無人煙的荒涼地帶（例如東土耳其斯坦，蒙古之大戈壁沙漠等），到了冬天，寒冷無比。

在寒帶地區由於太陽的光綫幾乎平行射入，夏日的加溫極爲微弱。春夏秋冬各個季節中，日與夜的長短大有區別。冬天的雨量尤其稀少，廣大地區陷於永久結冰的狀態之下。一直到了不久以前，在西伯利亞之東北，環繞佛科揚斯克（Werchojansk）及雅庫次克（Jakutsk）地區已被世人視爲地球的冷極，該處最低的溫度到達攝氏零度以下六十八度（一九三三年二月是如此）。可是在地球物理的研究年度中，蘇俄在南極地帶所設立的觀測站，叫做 Sowjetskaja 者（南緯七十八度二十四分，東經八十七度三十五分），已於一九五八年八月九日測得土地的溫度爲攝氏零度以下八十六度點七。

東南亞洲擁有廣大陸地與水域的邊界地區內，季節風（Monsoon）代表了該地區整個的風土氣候。在夏季的時日裡，季節風是從海洋吹向溫暖的大地（這就叫做夏天的季節風），主要是對於山脈的南斜面及東南斜面帶來了大量的雨水。在冬季的時日裡，乾燥的季節風乃從寒涼的內陸吹向比較溫暖的海洋（這就叫做冬天的季節風）。

在水經濟方面頗爲重要者，有如下列的各種氣候之劃分：

- (1) 乾燥氣候 (arid climate) : 蒸發量大於降雨量, 因此互有連繫的植物皮層之形成受了阻礙。土壤上面一層充滿了鹽分。
- (2) 潮溼氣候 (humid climate) : 降雨量大於蒸發量, 因此產生水的過剩, 輸給所有河流, 而對植物的生長提供有利的條件。
- (3) 半乾燥氣候 (Semiarid climate) : 這是介於乾燥與潮溼之間的氣候。
- (4) 冰雪氣候 (Nival climate) : 夏天的溫度不足以溶化冰與雪的封鎖。

在地球的歷史過程中, 各地的風土氣候已發生若干次的變化。這就証明了在北極地帶 (尖峰之山上) 已有石炭層的發現; 以及南非洲在二疊紀 (即大約二百二十億年前之古生代最新紀層) 亦有變成冰川之跡象。

二、 風雨氣象 (Weather - Conditions)

有風就會有雨, 意即雨是由風帶來的。風的種類大概分為兩類, 爲行星風, 一爲區域風。

- (1) 行星風: 地面受日光照射, 各處不同。赤道地帶日照最強, 空氣受熱膨脹上升, 至高空後, 分向兩側散流, 復因地心吸引力引而下降, 至緯度三十度降至地面。此時該處附近的氣壓增高, 而赤道地帶的空氣因膨脹上升, 地面氣壓減低, 於是南北緯度三十度附近的氣流遂向赤道對流。又因爲地球是自西向東自行旋轉, 風向受其影響而發生偏差。北緯向南流動的氣流就變成了東北風, 南緯向北流動的氣流就變成了東南

風；這便是所謂信風（亦稱貿易風）。凡信風吹送的地帶就是信風帶。同時在南北緯度三十度的高氣壓並且分向南北兩極散流，北半球為西南風。南半球為西北風。其吹送的地帶，那便是西風盛行帶。凡是氣流上升的地方，因空氣膨脹散熱，水蒸氣易於凝結，是多雨的地帶，所以赤道附近是世界多雨之區。氣流下降的地方，氣壓增高，易於吸收水汽，天氣常是相當乾燥；所以南北回歸綫附近是世界最乾旱的地區。氣流由溫暖的地方流向寒冷的地方，易於降雨，迎風之地尤盛。反之，則降雨較少。所以西歐一帶雨澤豐沛。至於地形與距海遠近，影響雨量也是很大。高山迎風的山坡是比較背風的山坡要大。內陸受不到自海洋吹送而來的風，雨量總是稀少的。

- (2) 區域風：區域風的種類很多，有季風、海陸風、山風、谷風、熱風、以及各種旋風。
- a. 季風 (Monsoon) 是一種因季節而發生的海陸風，以亞洲大陸最著。在中國夏季多東南風，冬季多西北風。在印度夏季多西南風，冬季多東北風。
 - b. 海陸風 (Sea Breeze Land Breeze) 多發生在海岸及大湖沿岸，範圍較小。白天風由海上來是為海風，晚間風由陸上吹送海上是為陸風。
 - c. 山風、谷風——多發生在高山區，晚間氣流沿山坡下行是為山風，日間谷中氣流沿山坡上壓是為谷風。
 - d. 熱風——多起於亞洲與非洲的沙漠地區。
 - e. 旋風 (Cyclone) 是一種旋轉的氣流，有溫帶氣旋及熱帶氣旋。我國冬春二季的降雨，大半是受溫帶氣旋的影響

。熱帶旋風，各地名稱不一。

在太平洋加羅林群島附近、孕育而成的熱帶旋風叫做颱風（Typhoon），東南亞一帶在夏秋季降雨，很多是受其影響的。

對於水利工程之施工頗有關係的，我們還要進一步研究地球週圍的大氣，究竟是如何情形。包圍地球四周的大氣（Atmosphere）或稱氣體罩（Gas-mantle），其高度可達八百公里左右。氣體物質的百分之九十八是空氣，位於地面零公里與五十公里之間。地球周圍的大氣，可分四個大氣層：

(一) 對流層（Troposphere）亦稱風雨氣象變化最多的一層。

這一層在南北兩極是八公里，在赤道是一十六公里高，在我們居住的緯度五月裡是九點七公里高，七月裡是一十一點一公里高。靠近對流層的上部邊緣，吾人處於中緯度選擇一般向西流動的範圍以內，從事觀測最大風速的地區（這是所謂噴管流動，英文叫做 Jet-stream，其速度之高可以超過每小時四百公里）。

(二) 平流層（stratosphere），亦稱高氣層，係大氣之上部，約在三十五公里以上；隨緯度、季節、及氣候而異。在此範圍內溫度僅隨高度而略有變化，水氣不凝結成雲，而實際上亦不發生對流。從前的名稱是同溫區域（isothermal Region），今仍習用。到了一十六至一十七公里的高空，氣壓已經降低到地面上所屬氣壓的十分之一。

(三) 常態氣壓層（Mesosphere），此層有上下之分，上層是五十到八十公里的高空，下層是三十五到五十公里的高空。由平流層到常態氣壓層是流動而不穩定的。有時常態氣壓層也

包含在平流層之內。中間停留層 (Mesopause) 亦即常態氣壓層的上層，它將北極光向下劃成一個界限。在中間停留層的邊緣，經過強烈的火山爆發之後，可以出現明亮的夜間雲彩。

(四) 恆溫層 (Thermosphere) 是由於強烈的溫度上升而得名。此恆溫層乃在八十公里的高空與常態氣壓層向上緊相連接的。恆溫層亦稱為離子層 (ionosphere)，因為在這一層大氣層中氧氣分子「O」，二氧分子「O₂」，以及亦可能是二氮分子「N₂」，經由鈾釷原子輻射而獲得加強的「電離作用」，即分裂成為「離子」的緣故。在離子層的範圍以內，又有好幾層的大氣層，其高度是受強大的「時間偏差」及「太陽活動週期」的影響。按照它的高度分為三個大氣層：

- a. 「D層」，此層一日中在五十至九十公里的高空，由於「電離作用」經過太陽硬化的倫琴射綫（即X光射綫）而出現。「D層」可將電磁波在最長波的範圍內，以「50kHz」（即在頻率五十個千赫範圍內）起反射作用，「短波」則當通過之時必將使之減弱。
- b. 「E層」，此層亦稱Kennelly-Heaviside層。是1861～1939年美國電機工程師Arthur Edwin Kennelly及1850～1925年英國物理學家Oliver Heaviside二人所發現，所以稱為Kennelly-Heaviside大氣層，以資紀念云耳。此「E層」乃在九十至一百三十公里的高空，經過太陽的軟性X光射綫而起「電離作用」。這個大氣層的形成，是當日出的時候就在分子間的「氧氣」達於最高分解之一層中，中午臻於最高一點，但到了晚間却不

完全消失。重要的一個現象，還是在一百公里的高空、有不規則成形而散開的「 E_2 大氣層」之出現，這個大氣層乃在遊動的離子雲彩中、主要是在深夜裡與北極光發生連帶關係的。

『 F_1 層』，這一大氣層在一日中是居於一百八十至二百五十公里的高空逐漸醞釀而成的。更為重要的「 F_2 大氣層」是在大約三百公里的空中，由於極小的空氣密度及十分緩慢的介於「電子」與「陽離子」之中間一再結合，在黑夜裡逐漸下降的情形下有其固定的位置。「 F_1 」與「 F_2 」兩個大氣層加起來，亦稱為「Appleton 大氣層」；是紀念 1892~1965 年代英國物理學家 Sir Edward Appleton 所發現而定出來的名稱。爲了短波向著「 E 層」與「 F 層」所作的反射，自由電子是要負其責任的。在恆溫大氣層方面，証實了有風在吹送，風的速度可達每秒數百公尺以上。此外，太陽與月亮所帶來的潮汐，一定會促成離子空氣層有規則的運動，與地磁場形成相對的狀態。由此產生高達數萬「 A 」（「 A 」代表 Angström、爲波長單位）的電流。在電流這方面，因其具有磁性作用，必將引起大部份有規則的地磁變化。

離子層的暴風雨，是由「氫」原子核、「鈣」離子，及其他分子所促成，這些分子是以高達每秒二千公里的速度從太陽方面拋射出來的。假如地球遭遇了如此一種的氣體噴射之襲擊射，那末這些分子必將轉移方向，進入北極光區域以內，而在那裡經過「能源」的大量放出，勢必產生極光（在北半球是北極光，在南半球是南極光）及電離微擾