

科學圖書大庫

# 自來水工程設計

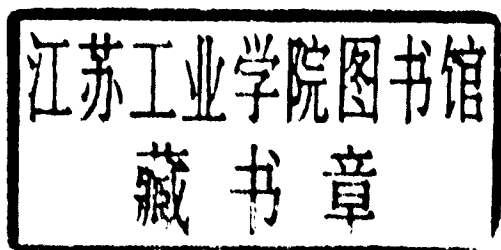
譯者 李俊德

徐氏基金會出版

科學圖書大庫

# 自來水工程設計

譯者 李俊德



徐氏基金會出版

徐氏基金會科學圖書編譯委員會  
監修人 徐銘信 發行人 石開朗

# 科學圖書大庫

版權所有

不許翻印

中華民國六十九年七月九日初版

## 自來水工程設計

基本定價 3.20

譯者 李俊德 國立成功大學教授

本書如發現裝訂錯誤或缺頁情形時，敬請「刷掛」寄回調換。謝謝惠顧。

(67)局版臺業字第1810號

出版者 臺北市徐氏基金會 臺北市郵政信箱 13-306  
發行者 臺北市徐氏基金會 臺北劃撥賬戶第 15795 號  
承印者 大興圖書印製有限公司 三重市三和路四段一五一號

# 譯 序

自來水對我國工商業之發展、國人健康之維護、生命財產之保障、及生活水準之提高關係至鉅。我國若欲進入開發國家之林，自來水事業猶須加速發展，同時須加緊訓練培養所需之技術人員。與自來水事業建設相關之重要課程為自來水工程設計，此科目亦為環境工程學系之主要課程，但目前國內有關自來水工程設計之中文教科書尚感缺乏，故當徐氏基金會託譯本書時，本人感覺此工作有其必要且深富意義。

本書共有十七章，包括需水量、水源、集水、抽水、配水系統、管綫設計、水質、沉澱、混凝、過濾、消毒、氣味控制、軟化及鐵錳之去除等。本書在理論方面之篇幅雖不太多，但切合實際應用之需要；書內列有大量圖、表及許多演算詳盡之例題，且敘述精簡，故頗適合做為大學、專科自來水工程設計課程之教科用書及供工程技術人員參考之用。多承本系林一宏、李建德兩同學之協助校稿、騰稿本書始得完成，謹此申謝。

本書儘量以簡潔文字譯述，但以書成倉促，謬誤之處，定然難免，尚祈海內外諸先進賢達，賜予指正是幸。

中華民國六十九年八月

李 俊 德

謹識於國立成功大學環境工程研究所

# 目 錄

譯 序	II
第 一 章 導 論	1
第 二 章 需水量	3
第 三 章 水 源	17
第 四 章 水之集取	24
第 五 章 配 水	83
第 六 章 抽 水	92
第 七 章 配水系統	112
第 八 章 管綫設計	131
第 九 章 水 質	152
第 十 章 水之處理	161
第 十 一 章 沉 澱	165
第 十 二 章 混 凝	187
第 十 三 章 過 濾	215
第 十 四 章 消 毒	254
第 十 五 章 味道與氣味之控制	266
第 十 六 章 水之軟化	274
第 十 七 章 鐵、錳之去除	292
附 錄	299
索 引	301

# 第一章 導 論

水是人類維持生命所不可缺少的。假若沒有水，地球上將無生命存在。人體內含有百分之六十五之水份。除了人每日之需要外，灌溉、發電、娛樂和工業生產皆需要水。

地球上有鉅量之水，約有  $1.4 \times 10^9$  立方公里，這些水以洋、海、河、湖、冰等形式存在。但只有佔總量 3% 之河、湖及地下水為可供利用之淡水。淡水是有限的，但由於人口之急速增加和工業之高度發展，淡水之使用量正不斷在增加。

根據聯合國人口諮詢局之資料，在公元初年，全世界約有 3 億人口，1680 年為 6 億，到 1850 年增至 12 億，1945 年為 24 億，至 1969 年約為 35 億。耶穌誕生後經過 1680 年的時間，世界人口才增加一倍。爾後 170 年即增加一倍，再來是 95 年，假如要達到 1945 年人口的一倍可能只需 45 年時間，也就是說到 1990 年，人口之總數將達 48 億，而至 20 世紀末將高達 60 億。人口增加之後果是顯而易見的。水之總需要量及每人用水量皆將不斷增加。

在六十年代，德國之家庭、公共及商業方面之用水量為 150 公升 / 人口 / 日 ( lpcpd )，現在已經是 250 lpcpd，到 1985 年，用水量將達 300 lpcpd，而到 2000 年將增至 400 lpcpd。工業用水則以 3% 之年平均率增加。在美國情形亦類似。1965 年，美國每人在家庭、公共及商業方面之用水量為 460 公升 / 日 ( lpd )，工業用水為 137 lpd，到 1985 年將分別增至 465 lpd 及 152 lpd。估計到 2000 年將分別增為 474 lpcpd 及 163 lpcpd。年增加率為 0.3%。

開發中國家用水量之增加率可能較高度工業化社會高許多。基於此觀點，吾人需確認水是一種資源，需要適當之保護，以免未來發展後產

生如西方先進國家現今所呈現之難題。

人類現正致力於將豐富之海水變為可用水。但到目前為止，海水淡化之實用阻止了它的普及性。所以此可利用水源目前仍停留在發展階段。因此地下及地面水源必需加以開發。可利用水源之基本條件為水量充足及水質安全。水若受到污染可引起疾病，許多病原菌為水媒性的，故水必需經適當處理才可供使用。以往，人們直接從井裏汲水或直接用木桶、水瓶從河裏取水。社區未曾考慮到建立配水系統。現在每戶之供水設備皆納入於一可確保提供水質安全水量充足之中央供水系統。問題之要點在於社區用水之取水、處理和配水等之經濟性問題。本書將討論這些土木及衛生工程師感興趣之問題。

## 第二章 需水量

### 2.1 用水量

對一特定社區之用水量端視下列各項因素決定：

1. 人口
2. 天氣狀況
3. 生活習慣和方式
4. 衛生設備
5. 污水系統
6. 工業
7. 水費

裝有計量水錶之地方，其用水量較以固定用水量 ( flat rate ) 收費之地方為少。

總用水量之估算可將家庭用水、公共用水、工業用水相加而得。若估計總需水量時，則因水管漏水所引起之浪費水量亦應考慮在內。漏水量可以總需水量之10 %估計之。

以每人每日用水量為基準，社區內平均家庭用水量可計算出來。印度之平均用水量為135 lpcpd。衛生設備良好之城市可高至450 lpcpd。在估計用水量時，未來人口之增加、社區之發展亦應加以考慮。表2.1所列為各種不同目的之用水量。做為估計社區總用水量之參考。

為便於比較，將高度開發國家之平均家庭用水量列於表2.2。

### 2.2 用水量之變化



表 2-1 用水量

<u>家庭用水</u> (用水量以升計算)		
每人每日飲用, 烹飪、清洗	20至	30
沐浴一次	40至	80
沖洗廁所一次	8至	15
每平方公尺庭園澆花	1至	2
<u>公共用水</u> (用水量以升計算)		
每平方公尺街道沖洗		1
每平方公尺綠地和植物澆水		2
學校每學童每日		2
醫院每日每床位	200至	650
市場每平方公尺每日		5
辦公處每日每位員工		2
<u>每人每日之水廠用水量</u> (反沖洗濾池及清洗管綫等)	1至	2
<u>商業用水</u> (用水量以升計算)		
旅館每日有使用之床位	100至	150
屠宰場每日每隻動物		600
洗衣店每公斤乾衣服	40至	70
<u>工業用水</u> (用水量以立方公尺計算)		
每噸煤	1.5至	2.5
每噸人造纖維	7至	70
每噸鋼 鋼	8至	20
每噸人造纖維		400
每噸紙	400至	600
每噸糖	1至	17
酪農廠每1000升牛乳	2至	6
皮革廠每張皮	1至	2
每部汽車		150
每噸紡織品	2300至	270
每1000m <sup>3</sup> 煤氣		7
精煉每1000升石油		7至70

表 2.2 高度開發國家之用水量

國 名	人 口 (百 萬)	平均家庭用水量 (升 / 每人 / 每日)
西 德	59.9	99
荷 蘭	12.7	109
法 國	49.5	133
瑞 士	6.	272
美 國	20.0	250

用水量並不保持一定。每年、每月、每週、每日、甚至於每小時均可看出用水量之變化。在學年裏，導致用水量之增加。在較熱月份裏，更多之水消耗在飲用、沐浴、草地和花園之澆水上。假日和週末用水量亦會增加，即使在同一天內用水量也有不同，早上及接近中午時用水量較多，至晚上用水量即很少。

通常在小社區中用水量之變化相當大，但在較大城鎮，用水量之變化較小，約和平均用水量相似。下列由經驗得來之數值，可用來估計最大用水量。

最大日用水量 = 1.2 至 2 倍平均日用水量

最大時用水量 = 2 至 3 倍平均時用水量

### 2.3 消防用水量 ( Fire Demand )

某一定量之水必須準備以供滅火之用。此滅火所需之水量僅是一大都市總用水量之一小部份而已，但對於小社區却有著較大影響。當火災發生時所需之水量相當高，因此在選擇管徑，抽水機大小及供水壓力時，均須慎重考慮。最小之消防用水量，應以能應付城市中可能發生之最大火災所需之水量及流量為準。要撲滅一場火災所需之水量大約在 200 至 300 立方公尺之間。這是根據平均流量在 9 至 12  $l/s$ ，而滅火時

間在5至10小時，所求得之水量\*。消防栓必須設置在適當之地點，當消防隊使用加壓器（booster）時，供給之水壓約需達到4大氣壓。若要保證整個區域都有充足之流量供應，其配水管網中之最小管徑不得小於100 mm（4 in）。在美國推薦使用更大之管徑。

## 2.4 人口預估

### 2.4.1 人口預估之基礎

任何一個給水系統均應能供應社區目前及未來用水量之需要。因此，在設計給水系統時，必須估計未來人口。此需要有遠見和正確之判斷。人口因(1)出生，(2)死亡，(3)遷移而發生變化。

出生、死亡、遷移速率決定於許多因素，從這些因素當中，預測者必須判斷那一因素需要列入考慮，以預估未來之人口。茲將人口預估之幾種方法加以討論：

### 2.4.2 預估人口之方法

#### 2.4.2.1 圖解法 (Graphical Method)

將過去幾年之人口對時間作圖，點繪於紙上。預測者根據過去幾年人口增加之趨勢，應用判斷力，延長圖形至未來幾年，以此種圖形外插之方法，即可預估未來之人口。

2.4.2.2 算術法 (Arithmetical Method) 在此法中假設人口變化率為常數，以數學式表示：

$$\frac{dP}{dt} = K_a \dots\dots\dots(2.1)$$

$$dP = K_a dt$$

$\frac{dP}{dt}$  表示在單位時間內人口數 P 之改變量， $K_a$  為算術常數。

\*在北美洲之中央、擁擠、高價值地區，下列公式可用以估計 200,000 人以下社區之消防用水量。

$$Q = 3860 \sqrt{P} (1 - 0.01 \sqrt{P})$$

式中 Q = 消防用水量 (升/分)    P = 人口 (千人為單位)

從最初  $t_1$  年之人口數  $P_1$  積分至未來  $t_r$  年之人口數  $P_r$ ，可得

$$\int_{P_1}^{P_r} dP = K_a \int_{t_1}^{t_r} dt$$

$$P_r - P_1 = K_a (t_r - t_1)$$

$$\text{或 } P_r = P_1 + K_a (t_r - t_1) \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\therefore K_a = \frac{P_r - P_1}{t_r - t_1} = \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0} \dots\dots\dots (2.3)$$

於此， $P_0$  為早期  $t_0$  年時之人口數，從式 2.2 中可清楚看出人口及時間之線性關係，而其斜率即為  $K_a$ 。

2.4.2.3 幾何法 ( Geometrical Method ) 假設人口之變化率在某一時刻是相同的，即

$$\frac{dp}{dt} = K_g \cdot P \dots\dots\dots (2.4)$$

其中  $K_g$  是幾何常數

同理，從  $t_1$  年之人口數  $P_1$  積分至預測  $t_r$  年之人口數  $P_r$ ，可得

$$\int_{P_1}^{P_r} \frac{dP}{P} = K_g \int_{t_1}^{t_r} dt$$

$$\ln \frac{P_r}{P_1} = K_g (t_r - t_1)$$

$$\ln P_r = \ln P_1 + K_g (t_r - t_1) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$K_g = \frac{\ln P_r - \ln P_1}{t_r - t_1} = \frac{\ln P_1 - \ln P_0}{t_1 - t_0} \dots\dots\dots (2.6)$$

於此， $P_t$  為早期  $t$  年時之人口數。式 2.5 顯示出，假如人口數以對數座標、時間以線性座標作圖，將可得一直線，直線之斜率即為  $K_g$ 。

在選擇算術法或幾何法之前，必須將過去人口資料對時間作圖，點繪在一般圖紙上（圖 2.1）。假如人口與時間之關係幾近於直線，則可用算術法預測人口。假如圖形呈向上之凹形曲線，則可用幾何法預估之。求  $K_a$  和  $K_g$  值時，選用之時間間距，可以是最近人口普查之間距，或是幾個間距之平均值，或其它合意之選擇。

#### 2.4.2.4 比較法 (Comparative Method)

預估一城市之未來人口可將幾個發展型態類似城市之人口資料點繪出而得到目的。此欲預估之城市，其預期發展之型態，應與其它較老、較大之城市相類似。依照其他參考城市人口曲線之增加趨勢，以外插法延長欲預估城市之人口曲線至所欲預測之年度，即可估計得出。

#### 2.4.2.5 比例與相關法 (Ratio and Correlation Method)

一小地區之人口成長與此小地區所在區域之人口成長有密切關連。因此，可利用預測大地區未來人口之方法，進而預估此小地區之未來人口。人口普查部門經常預測大地區未來人口之發展，藉此數據之助，吾人可估計小地區之人口。

吾人可假設

$$\frac{P_f}{P_f'} = \frac{P_i}{P_i'} = K \text{ (常數)} \dots\dots\dots (2.7)$$

- 式中  $P_f$  = 小地區之預測人口數
- $P_f'$  = 大地區之未來人口數
- $P_i$  = 小地區在最近一次普查之人口數
- $P_i'$  = 大地區在最近一次普查之人口數

若吾人有過去許多年之記錄，則  $K$  值可由這些數值平均而得。

#### 2.4.2.6 成分法 (Component Method)

人口變動之主要原因如下：

1. 出生
2. 死亡

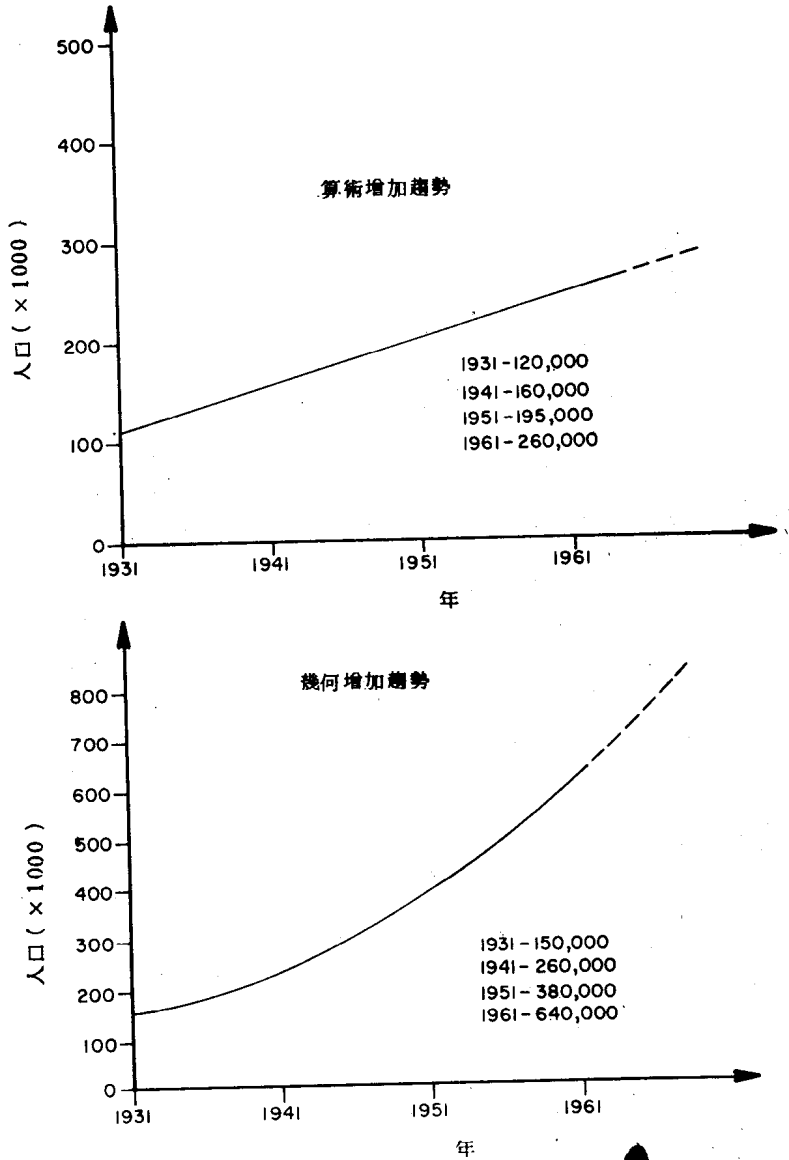


圖 2.1 人口預估

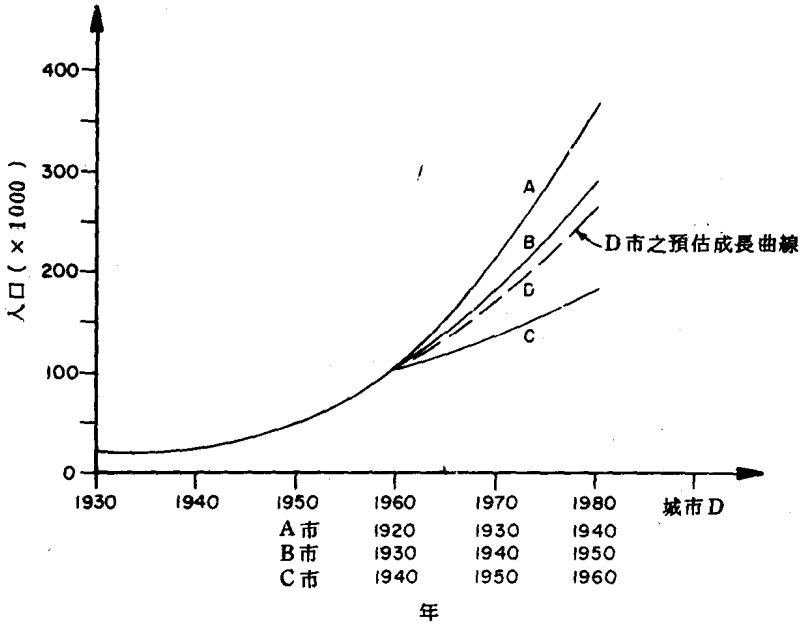


圖 2.2 以比較法預估人口

### 3. 遷移

假如吾人具有人口出生或死亡之資料，則人口之自然增加數，甚易估算得到。在計算時，須先算出遷移之淨人口數，如此才不會影響到記錄之出生及死亡人數。

此法之主要優點，在於其可分別判斷各種因素對人口成長之影響。當人口遷移非人口變化之主要因素時，此法特別有用，因為決定人口淨遷移數是很困難的。

#### 2.4.3 影響人口預估之因素

1. 預估期限 ( 預估期限增長，準確性減低 )。
2. 區域人口 ( 人口減少，則準確性降低 )。

3. 人口增加率 ( 人口增加率提高, 準確性減低 ) 。

#### 2.4.4 設計期限 ( Design Period )

自設計日起至達到設計條件之預估日期間之年數, 稱之為設計期限。

對一給水淨水廠而言, 其設計期限為 25 年至 50 年。

對一配水系統而言, 其設計期限為 50 年。

影響設計期限之因素:

1. 使用之結構物和設備之壽命。
2. 初期資金運用和維護費。
3. 可利用之資金。
4. 在設計期限末期, 可供應之預期用水量。
5. 淨水廠擴建或增加現有處理能力之可能性。
6. 在設計期限內, 物價之波動。

#### 【例題 2.1】

下列為一城市人口調查資料。試估計 1970 年此市之人口。設 ( a ) 人口成長呈算術趨勢, ( b ) 人口成長呈幾何趨勢。

年	人口 ( × 1000 )
1930	62
1940	74
1950	85
1960	100

( a ) 由 1930 年和 1940 年人口調查資料:

$$K_a = \frac{74,000 - 62,000}{10} = 1200$$

由 1940 年和 1950 年資料知:

$$K_a = \frac{85,000 - 74,000}{10} = 1100$$



由1950年和1960年資料知：

$$K_a = \frac{100,000 - 85,000}{10} = 1500$$

$$\text{平均 } K_a = \frac{1200 + 1100 + 1500}{3} = 1266.66$$

吾人知  $R_t = P_t + K_a (t_r - t_i)$

$$\begin{aligned} P_{1970} &= 100,000 + 1266.66 (1970 - 1960) \\ &= 112,666 \text{ 或 } 112,670 \end{aligned}$$

(b) 由1930年和1940年人口調查資料知：

$$K_g = \frac{\ln \left( \frac{74}{62} \right)}{10} = 0.01769$$

由1940和1950年資料知：

$$K_g = \frac{\ln \left( \frac{85}{74} \right)}{10} = 0.0138$$

由1950年和1960年資料知：

$$K_g = \frac{\ln \left( \frac{100}{85} \right)}{10} = 0.0163$$

平均  $K_g = 0.0159$

$$\ln P_t = \ln P_i + K_g (P_t - P_i)$$

$$\ln P_{1970} = \ln 100,000 + 0.0159 \times 10$$

$$\log P_{1970} = 5.069$$