

中國工程師手冊

(18)

水利 第二冊

第三編 灌溉工程

第四編 排水工程



中國工程師手冊

(18)

水利 第二冊

汪胡楨主編



商務印書館出版

中國工程師手冊已成之基本、土木、水利三輯，初版印行於一九四四年，一九四七年十二月改歸我館出版，內容切合我國工程界的實際需要，惟地名、政區名沿用舊名，並有引用偽「國民政府」及舊法規條文的地方，因全書篇幅繁多，一時不易澈底修訂，祇能等待改編時，加以改正。

商務印書館 一九五一，五。

		◆(365614R)				中國工程師手冊 (18) 第二冊利
印刷者	發行所	發行者	出版者	主編者	汪	
★版權所有★	商務印書館	三聯書店	中國圖書發行公司	上海河南中路二一號	商務印書館	胡楨
	各分店	開明書局	北京球線胡同六十六號	聯發聯合組		

1950年11月第1版 定價人民幣9,000元
1951年8月第2版

(滬)2001-5000

中國工程師手冊總目

- | | | |
|------------|-------------------------------|---------|
| (1)基本第一册 | 第一編 算表 第二編 算學 第三編 高等算學 | 18,000元 |
| (2)基本第二册 | 第四編 物理叢表 第五編 化學 | 5,000元 |
| (3)基本第三册 | 第六編 應用力學 第七編 材料力學 第八編 應用流體力學 | 15,000元 |
| (4)基本第四册 | 第九編 測量學 第十編 工程地質學 | 11,000元 |
| (5)基本第五册 | 第十一編 工程契約 第十二編 換算表 | 6,000元 |
| (6)土木第一册 | 第一編 工程材料 第二編 材料試驗 | 11,000元 |
| (7)土木第二册 | 第三編 結構力學 | 10,000元 |
| (8)土木第三册 | 第四編 土力學 第五編 混凝土 第六編 圬工 | 15,000元 |
| (9)土木第四册 | 第七編 鋼結構 第八編 木結構 | 7,000元 |
| (10)土木第五册 | 第九編 土工 第十編 基礎 | 7,000元 |
| (11)土木第六册 | 第十一編 隧道 | 10,000元 |
| (12)土木第七册 | 第十二編 土木機械 | 5,000元 |
| (13)土木第八册 | 第十三編 道路 | 8,000元 |
| (14)土木第九册 | 第十四編 鐵路工程 第十五編 登山鐵路 第十六編 高速鐵路 | 11,000元 |
| (15)土木第十册 | 第十七編 房屋 | 7,000元 |
| (16)土木第十一册 | 第十八編 都市規劃 第十九編 航空站 | 8,000元 |
| (17)水利第一册 | 第一編 水文學 第二編 閘壩工程 | 8,000元 |
| (18)水利第二册 | 第三編 灌溉工程 第四編 排水工程 | 9,000元 |
| (19)水利第三册 | 第五編 河工學 第六編 渠工學 | 8,000元 |
| (20)水利第四册 | 第七編 發電水力 第八編 海港 | 10,000元 |
| (21)水利第五册 | 第九編 給水工程 第十編 陰溝工程 | 8,000元 |

中國工程師手冊

水利手冊

(汪胡楨主編)

第三編 灌溉工程

(汪胡楨)

目 錄

第一章	水之灌溉率	2
第二章	灌溉之方法	17
第三章	渠道	23
第四章	渠首工	40
第五章	溢道與退水閘	53
第六章	特殊輸水設備	56
第七章	跌水	73
第八章	分水閘與斗門	81
第九章	渠道之交叉建築	85
第十章	抽水灌溉	87

中國工程師手冊

水利手冊

(汪胡楨主編)

第四編 排水工程

(張書農)

目 錄

第一章	緒論.....	2
第二章	土壤與土壤水.....	7
第三章	明溝排水.....	15
第四章	暗溝排水.....	27
第五章	機器排水.....	47
第六章	放淤.....	57
第七章	灌溉農田之排水.....	65
第八章	洗鹼及洗鹽.....	67

中國工程師手冊

水利手冊

(汪胡楨主編)

第三編 灌溉工程

(汪胡楨)

目 錄

第一章	水之灌溉率	2
第二章	灌溉之方法	17
第三章	渠道	23
第四章	渠首工	40
第五章	溢道與退水閘	53
第六章	特殊輸水設備	56
第七章	跌水	73
第八章	分水閘與斗門	81
第九章	渠道之交叉建築	85
第十章	抽水灌溉	87

第三編 灌溉工程

第一章 水之灌溉率

1. 雨量與作物 農作物之生長區域，常隨雨量而異。就大體言，全年雨量在 100 毫米以下，謂之不毛地帶，不能生長任何植物；在 100 至 250 毫米間謂之乾旱地帶，一切農作物須恃人工灌溉，方能生長；在 250~500 毫米間者，謂之半乾燥區，如一年中雨量分配得當適如作物之所需，則不需人工灌溉即可生長作物，故又名乾農作物區；在 500~800 毫米間者，足供普通乾作物之用；在 800 毫米以上，則可種植水稻矣。

我國雨量，南北迥異，以秦嶺山脈與淮河為界，由此界向北雨量逐漸減少。在此界線上平均年雨量線為 1000 毫米（閱圖 1）。黃河沖積平原上，平均雨量在 500~750 毫米之間，在黃河以北晉陝等省境則雨量驟形減低，平均在 300~400 毫米之間。降雨時間大都皆在夏秋之交，正當農作物發育之際，若此稀少之雨澤能年年如期而降，且數量勿過參差，則尚可以種植若干耐旱之穀類。但揆諸實際，雨量愈形稀少之處其每年之變率愈大，故此一區域苟無人工灌溉之設施，則欲期年有收



圖 1

年之變率愈大，故此一區域苟無人工灌溉之設施，則欲期年有收

穫，實不易如願以償也。

自 1000 毫米年雨量線以南，作物所需之水量宜若可以全恃天雨矣。但事實上此部分地域蒸發較烈，作物以米為主，需水量較多，且最重要者，為稻禾生長之數月內雨量多寡不一，故有時感覺其過多，而須用人工或機力將田中積水排諸江河，有時感覺其不足，則須用人工或機力將江河之水汲入田間，雖欲純恃天雨，亦不可得也。

2. 植物與水之關係 植物之生長，全賴水分以為攝取養料之媒介。水能溶解無機物與由土壤中空氣內之細菌接觸變化，以備植物根部所吸收，再經葉面之呼吸作用及日光之同化作用而變成養料，運散全體，以資發育，故土中水分為植物必不可缺之原料。

3. 土壤中之水分 在潮潤之地帶及乾旱地帶之經過降雨或灌溉者，地中某種深度以下輒為水所浸透。此浸透土壤之面名為地下水位。土壤中所含之水量可以分為三部分：

(a)自由水 在浸透之土壤中，若開掘一排水之溝，則存在於土壤顆粒間大部分之水量，即因地球引力之作用，由溝中流出，而其空隙，則為空氣所充滿。流出之水量名為自由水，或名重力水，以其可因地球引力而流動耳。

(b)毛細管水 土壤中自由水既如是排出，但仍有一部分之水量，因土壤顆粒間之毛細管作用勝過地球引力之故，致被含濡而不放。此部分之水量名為毛細管水，其量隨土壤顆粒之粗細而異，粘土之顆粒較沙土為細，故其中所含毛細管水亦較多。毛細管水既與空氣並存故對於植物之生育最為適宜。毛細管水為植物一再吸收苟非源源挹注則其量漸少，一至萎謝點以下，則作物即行枯萎矣。

(c)附着水 土壤苟非用人工烘焙，則雖屆極乾之時，其顆粒之四周仍有一極薄之水膜包圍其外，此項水分名為附着水。附着水祇能由烘焙而消失，但烘焙以後，放置普通之空氣中，即仍吸收水分而成為附着水。附着水非植物所能吸取，故與植物之生長毫無關係。土壤愈密則所含附着水之量愈多。

4. 各種土壤中所含之水量 ⁽¹⁾布利格, ⁽²⁾拉夫列治, ⁽³⁾希爾加德等教授對於各種土壤中所含之水量曾作廣博之試驗, 茲錄其結果於表 1。

表 1 各種土壤之含水量表(百分數以重量計)

土壤種類	重量 磅/立 方呎	附着水 %	萎謝點 %	毛細管 水上限 %	自由水 上限 %	總量 %
粗沙	81	1.0	1.5	13	11.5	33
細沙	82	2.1	3.3	14	10.7	34
沙性壤母	82	4.7	7.0	15	8.0	35
細粒沙性壤母	83	6.9	10.8	16	5.2	37
壤母	83	9.1	13.4	18	4.6	38
粘土壤母	83	11.8	15.0	19	4.0	40
粘土	86	13.2	16.5	20	3.5	42

(註) 1 磅/立方呎 = 16.02 仟克/立方米

5. 黃土之含水量 我國北部諸省大部分為黃土所掩, 故黃土之含水量情形, 有特加研究之必要。據金陵大學林科教授盧得密爾克⁽⁴⁾之試驗知黃土所含飽和水量以重量計為 36.65%, 又據費禮門⁽⁵⁾之試驗知每立方呎黃河沙土重 88 磅, 以實沙之比重 2.48 計之, 則知空隙為 43%。按前者指原生黃土而言, 後者指沖積黃土而言, 故空隙有參差耳。黃河沙土壓實後每立方呎重 110 磅, 則其空隙為 35%, 與前數相似。

將試樣研成細粉, 以在氣溫 40~60°F 之日光中曝曬六日後, 秤其重量, 得每立方呎 94.7 磅, 在 240°F 之爐中烘焙後, 得每立方呎重量為 90 磅。此 4.7 磅之水分可視為土粒之附着水, 以重量之百分數計為 5.3%。又黃土之毛細管水上限當在 5.3% 至 35% 之間, 平均約為 29.7%, 重力水上限為 8.1%。

6. 萎謝點 植物每因葉面蒸發過大, 土中水分不足以供蒸發之消耗, 而萎謝枯槁。其開始發現萎謝時之水分百分數(以重量計)名為萎謝點。觀表 1 可見各種土壤之萎謝點, 其數約較附着水多半

倍左右。萎謝點以下之水因毛細管作用過強非植物根部所能吸收。

作物所能利用之水量以萎謝點為最小值，以毛細管水上限為最大值，兩值之差，即為作物可以利用之水量。

7. 毛細管水在地中之行動 在地下水水位以下之土壤全為水所浸透，自此以上，則土壤空隙中所含水量隨距離之增加而逐漸減少，並為空氣所替代。如土質甚勻，則其減少之率亦甚均勻。迨至相當距離後，土壤中所含毛細管水全部減盡而為空氣所充滿。此項距離以粘土為最遠，粗砂為最近。⁽⁶⁾里昂與⁽⁷⁾腓賓曾測定各種土壤中毛細管水升起之速率如表 2。表中最後一項可大約指示毛細管水升高所及之距離。惟曾有記錄知毛細管水在重粘土中有升達 8 呎者，可知此表所列尚非止境也。

表 2 毛細管水升高之速率(以吋為單位)

土 之 種 類	15 分鐘	1 小時	2 小時	1日	3日	8日	13日	19日
沉泥與極細之沙	2.7	4.7	7.0	20.0	30.0	45.0	52.0	56.0
極細之沙	7.6	10.0	12.4	21.0	23.0	26.0	27.5	28.5
細沙	9.0	9.5	10.0	11.6	13.0	14.3	15.2	16.0
粗及中級之沙	5.8	6.0	6.3	7.5	9.0	10.0	11.5	12.5
細礫	4.0	5.0	5.3	6.4	8.0	9.0	10.0	10.8

1吋=2.54 厘米

灌溉田地之水，如自地面以下用管輸入，則將循上述之速率，分佈於地下水水位以上之土壤內。如灌溉水係用明溝灌在田地之表面，則與水首先接觸之土壤先被浸透，乃由毛細管及重力之作用，並由土壤中坼裂，根穴及蟲穴之助向下方及四周散佈。此項行動自以粗粒土壤較粘重土壤為迅速。土壤中所保持之水量以毛細管水上限為最高額。

在灌溉水潤濕地面以後，蒸發立即發生，於是近於地面之土壤即被奪去水分以致含水量低於毛細管水之上限。但閱時未久，下方之毛細管水即上升而補其缺額。曠是之故，毛細管水達到上限之地

帶逐漸下降。故在乾旱之田地內施行灌溉以後，土壤中必有一段地帶，其含水量適達毛細管水之上限，自此地帶向上，與自此地帶向下，含水量均較少。苟於灌溉之後，水量向下輸運，適及作物之根杪而不再下注，則可謂達到盡量利用灌溉水之理想目的。苟灌水較少則水量所達到者不及作物之根杪，水量較多則將越過根杪，再向下注以達地下水位。前者不能應付作物之需要，而後者則使一部分之水量不能為作物所吸收而歸於廢棄，皆非折衷之道也。

過多之雨水及灌溉水降達地下水位以後，即與地內蘊藏之地下水合成一體。苟有排水溝渠，則此多餘之水即由溝渠中排出。否則勢必將地下水位稍形提高。

8. 作物之需水率 作物生活時本體中最多之成分為水，故水為作物食料中之最重要者。且除此以外，土壤中所供給之一切食料均需倚賴水之輸運始能達到作物之根部而為所吸收，並傳佈至作物本體之各部分以供其消化。職是之故，水為作物生存所不可稍缺。

表3 作物每磅乾質所需水量表(磅)

作物試驗者	勞斯(7)與 吉爾伯(8)	黑爾里格 雷(9)	窩爾尼 10)	金(11)	維特索 (12)	平均
麥	225	359			1006	530
燕麥		402	665	557		541
大麥	262	310	774	393		435
豌豆	235	292	479	447		363
紅色車軸草	249	330		453		344
玉蜀黍			233	272	387	297
馬鈴薯				423	1440	931
大豆	214	262				238
蕎麥		371	664			518
糖蘿蔔					662	662
苜蓿					970	970
平均						530

1 磅=0.45 仟克。又據日本西ヶ原農事試驗場之試驗知早稻一磅須水 392 磅；中稻 347 磅；晚稻 395 磅。

迨水在作物本體中完成其使命後，則由葉片發散而返歸大氣之中。

作物造成纖維質一磅所需之水量隨作物之種類與養料之不同而異。據試驗之結果可列成表 3。

表 3 中之作物需水率為作物發育時由根部吸收溶解肥料之水量用以滋養枝幹，開花結實，卒由葉面蒸發。據試驗所知，植物之吸水與蒸發，並不因地中水分之降低而減小。除非水分減至萎謝點，不能維持其蒸發為止。麥最能耐旱，雖適於吸收之水量被蒸發殆盡，尚可支持其蒸發而不槁。果木樹之蒸發則隨氣溫及葉面大小而異，與其可供之水量關係尚小。其他穀類之吸水量隨土壤中水量之減少而減少，但其收穫之量亦將隨之減降。

植物吸水量因葉面之增大而亦隨之增加。⁽¹³⁾ 據庫塞爾巴赫在美國尼布拉斯卡州之試驗，謂作物初生葉時，蒸發漸增，及全盛時達最高點。在此最盛時約四五週，蒸發量可等於全生長期內蒸發量之半。及至將成熟期，則蒸發量驟形降低。在五穀蒸發最盛之日中，其量達全部吸水量之四分之一。

各植物所吸取之水量，不因土質之肥厚與礫薄而異。其收穫量非與其吸水量成正比例，蓋相關之因素不僅水分一項而已。

9. 作物之根部 作物之根為攝取及輸送養料之器官，其入土之深，散佈之廣，常因作物之種類，土質之鬆實肥瘠，以及地下水面之高低而異。在何處土中所含水分適合植物之吸水，則該處根鬚最發達。但地下水若太近地面，則足以促令根部橫向發展而無深根之

表 4 作物根幹之長度與重量

作物	最深根(米)	幹枝之重量 (克)	根部之重量 (克)	根與幹之 重量比率
麥	1.86	31.4	2.9	10.8
大麥	1.77	27.8	2.1	13.5
燕麥	2.32	45.4	4.1	11.1

麥穀高粱之類根部大都散播於表土 60 厘米深度以內，黃豆棉花等則超過 60 厘米。

存在。故須排水以增深根部之領域。作物之根所以能深達地下者，以尋找較充分之水源與養料耳。

大抵肥土沃壤，作物之根深而廣。普通植物根部之長度與地面上部分之比約為 1:15。⁽⁴⁾ 據舒爾最在 1906 年之研究得結果如表 4。

10. 灌溉水量過多之害 灌溉水量不足則不敷作物之需要，自爲人所易知，但灌溉水量過多，亦足致害於作物。蓋灌溉水量過多，使地下水位升高，如地下水位侵入作物根部地帶之內，則根部所接觸之土壤，全爲水所浸透，無些微空氣之存在。微菌既須空氣以生存。至是乃亦全部死滅以致作物之養料無由造成。此種現象名爲土壤之沉死，恒發現於蓄水庫下游及河渠兩岸之低地爲滲漏之結果。

再地下水位過高則作物爲保持其生命起見勢必將其根部儘量發展於地下水位以上之局部地帶，其範圍既小，則作物自難茂盛。

地下水位升高以後，因蒸發之作用使地中所含之鹼性鹽類沉積於地面與根部地帶中。爲量過多，以致作物不能生長。鹼類中爲害最烈者爲碳酸鈉 Na_2CO_3 ，有腐蝕性，如與有機物相混，則現赭色，名爲黑鹼類。其次爲食鹽 NaCl 與硫酸鈉 Na_2SO_4 。足以爲害作物

表 5 每英畝作物之收穫量表

灌溉水量 (吋)	麥 蒲式耳	土蜀黍 蒲式耳	苜蓿 磅	提摩太草 (牛草)磅	鴨茅 磅	燕麥 蒲式耳	馬鈴薯 蒲式耳	樹籐 噸
5	37.8	...	9,200	...	2,526	62.3	154	13.3
7.5	41.5	79.1	...	3,982	...	...	182	...
10	43.5	89.5	9,884	...	2,829	54.8	195	18.6
15	45.7	93.9	7,546	3,844	2,685	71.5	227	19.5
20	...	91.6	9,097	...	...	80.7	267	21.3
25	46.5	99.2	9,354	...	...	...	...	...
30	48.0	97.1	8,840	6,054	...	...	244	20.8
40	...	...	...	...	4,042	79.1	250	...
50	49.4	96.0	10,813	...	...	...	...	24.5
60	...	...	...	8,406	5,270	...	304	...
100	...	...	...	2,214	1,192	...	...	...

【註】每英畝 100 美蒲式耳 = 每市畝 5.8 市石

每英畝 10,000 磅 = 每市畝 1494 市斤

灌溉水量 1 吋 = 25.40 毫米

之量因作物之耐鹼性而異，無一定之規律可循。大略言之則如次：

碳酸鈉 0.1% 食鹽 0.5% 硫酸鈉 1.0%

11. 灌溉水量與作物收穫之關係 美國 佐塔州試驗場曾就各種作物灌溉不同之水量以視其收穫量之多寡，其結果列如表 5。

就表 5 而觀可知灌溉水量超過一定量之後，不僅不能增加收穫量，反足使之減少甚巨。且水量增多後足使收穫物之蛋白質或氮化合物大為減少，以致減低其充作食糧之效用。穀實將較鬆軟，而稻草之類反將增多。苜蓿及其他牧草之類，則於灌溉水量過多時，足使木質增加，減却飼料之營養價值。馬鈴薯與糖蘿蔔之灌溉水量過多時，則含水量與木質均隨以增加。加多量之水於棉花則為害甚著。表 6 示在各種灌溉水量(以深度計)時，每畝呎水量所造成之收穫量，觀此益可明瞭灌溉水量愈多，則效率愈小。

表 6 每畝呎水量所造成之收穫量

灌溉水量 吋	麥 蒲式耳	玉蜀黍 蒲式耳	馬鈴薯 蒲式耳	糖蘿蔔 噸	苜蓿 磅	胡蘿蔔 噸
5	7.6		31	2.8	...	...
7.5	6.4	6.1	24	...	...	2.2
10	4.3	5.8	20	1.9	988	...
15	3.0	4.6	15	1.3	503	1.6
20	...	3.6	13	1.1	455	...
25	1.9	3.2	...	...	374	0.9
30	...	2.7	8	0.7	295	...
40	1.3	...	6	...	...	0.8
50	1.0	1.4	...	0.5	216	...
60	...	...	5	...	...	0.6
100	...	...	...	...	...	...

[註] 1 畝呎 = 1233.5 立方米

在乾旱區域恒覺曠地過多而水源過少，故對於此彌可珍惜之水源必須設法使之造成最大之效果。表 7 所列乃用 30 畝呎之水灌溉於 1 至 6 畝之面積而比較其收穫量。在此情形下，足見灌溉少量之水於大面積上其收穫量遠較灌溉多量之水於小面積上為優也。

12. 作物之最佳灌溉水量 對於作物最適宜之灌溉水量乃隨作物發育期內降雨之量與土質而異。由美國農業部試驗之結果知在沙性或粘性壤中之馬鈴薯灌水 24 吋可得最大之產量，在細

表 7 用 30 呎呎之水灌溉於不同面積後收穫量之比較

面 積	1 呎	2 呎	3 呎	4 呎	6 呎
麥(蒲式耳)	48	91	100	166	227
玉蜀黍(蒲式耳)	97	188	268	316	...
苜蓿(磅)	8,840	15,092	29,652	...	55,200
拉摩太草(磅)	6,054	7,688	...	15,928	...
馬鈴薯(蒲式耳)	244	454	585	728	924
糖蘿蔔(噸)	20.8	39.0	55.8	...	82.8

【註】1 呎 = 6.0702 市畝, 1 美蒲式耳 = 3.5238 市斗, 1 磅 = 0.9072 市斤
沙性或粘性壤中中之糖蘿蔔, 灌水 30 吋可得最大之產量。(閱表 8)

中歐作物在生長期內之需水量如次:

穀 類 生長期 120~150 日 需水量 150~300 毫米

牧草類 生長期 180~210 日 需水量 350~500 毫米

表 8 美國各種作物需水量(呎)一覽表

作 物	土 質	最大需水量	最小需水量	經濟需水量
苜 蓿	壩 母	4.0	1.5	2.5
	沙 土	10.0	4.0	6.0
穀 類	壩 母	3.0	1.0	1.5
	沙 土	5.0	1.5	2.5
馬 鈴 薯	壩 母	3.0	1.0	1.5
	沙 土	5.0	1.5	2.5
糖 蘿 蔔	壩 母	3.0	0.5	1.2
	沙 土	5.0	1.2	2.0
落 葉 果 樹	壩 母	2.0	0.7	1.0
	沙 土	4.0	1.5	2.0
柑 橘	壩 母	3.0	1.2	1.7
	沙 土	5.0	2.0	3.0

【註】1 呎 = 0.3048 米

13. 作物之灌溉時期 ⁽¹⁵⁾ 巴克在美國南愛達荷州 100 處以上壩
母農田測驗之結果, 知在作物生長期內最合宜之水量分配率如次:

四月	1%	七月	33%
五月	19%	八月	17%
六月	28%	九月上半月	2%
共計		100%	

據巴克之意見，在天氣較暖之處四九兩月之百分數可以較多，而將餘數月之百分數略減。

洛惠渠工程計畫擬製時根據陝西省灌溉之經驗，規定各月灌溉水量之分配如表 8a。

表 8a 洛惠渠灌溉需水量表(厘米)

月 份	節 氣	小 麥	高 粱	棉 花
一 月	小寒,大寒	—	—	—
二 月	立春,雨水	—	—	—
三 月	驚蟄,春分	10	—	—
四 月	清明,穀雨	—	10	10
五 月	立夏,小滿	—	—	10
六 月	芒種,夏至	8	10	—
七 月	小暑,大暑	10	10	—
八 月	立秋,處暑	10	10	—
九 月	白露,秋分	10	—	10
十 月	寒露,霜降	—	—	—
十一 月	立冬,小雪	—	—	10
十二 月	大雪,冬至	—	—	—

⁽¹⁶⁾ 弗爾志曼在德國中級重壤母土中試驗各種作物在生長期內之需水量百分數如表 9。

14. 吾國黃土地之作物需水量 張炯民國二十四年發表研究之結果如次：陝省連年苦旱，近次第舉辦大規模之灌溉工程，其需水量計算，雖係約估，但尚合實用。作者為伊洛渠道設計時，亦曾作最經濟之淨需水量估計，為數亦不過大。茲將作者在豫西調查所得結果而研究之，以示一般。豫省西境山原區域，常年苦旱，農民鑿井灌田所在皆是，引水之難不於抱甕，故其用水，特別經濟，小心翼