

中國水利工程叢書

虹 吸 溢 道

徐懷壽譯

中國水利工程學會發行

中國水利工程叢書

# 虹 吸 溢 道

徐 懷 雲 譯

原 名：Siphon Spillways

著 者：A. H. Naylor

中國水利工程學會發行

# 目 錄

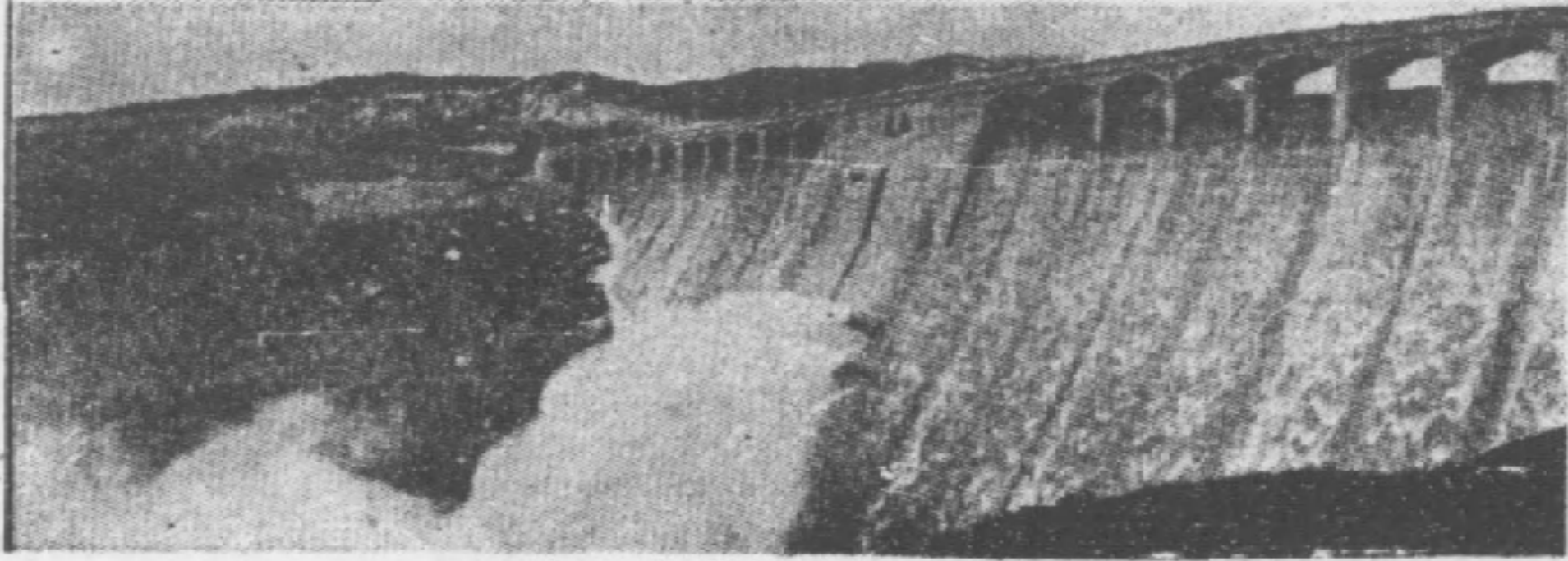
第一章	緒言	1
第二章	溢道之種類	3
	簡單之溢道	3
	活動水堰	4
	洩水閘及涵洞	5
	虹吸溢道	5
第三章	虹吸溢道之種類：依開始虹吸作用之方法而分類	7
	抽氣機式	7
	輔助虹吸管式	9
	滾水堰式	11
	踏步式	12
	下管峻峭垂直及頂點凸出者	16
第四章	虹吸溢道之種類(續)：依水頭之高低而分類	21
	高水頭類	21
	中水頭類	21
	低水頭類	21

第五章	開始虹吸作用之水頭	27
	水位升高之速度對於開始之影響	27
	有效水頭對於開始之影響	27
	模型試驗	28
	開始設備之比較	30
	開始性質與溢量之矛盾現象	31
第六章	虹吸管之效率	33
	溢量係數	33
	總水頭之測量	34
	真正效率	37
	效率之定義	37
第七章	虹吸溢道之設計——Laggan虹吸管	39
	概況	39
	喉高	39
	頂之半徑	40
	每管之寬度	42
	類別	43
	出口之高度	44
	垂直管	46
	下轉角	48
	水平管	48

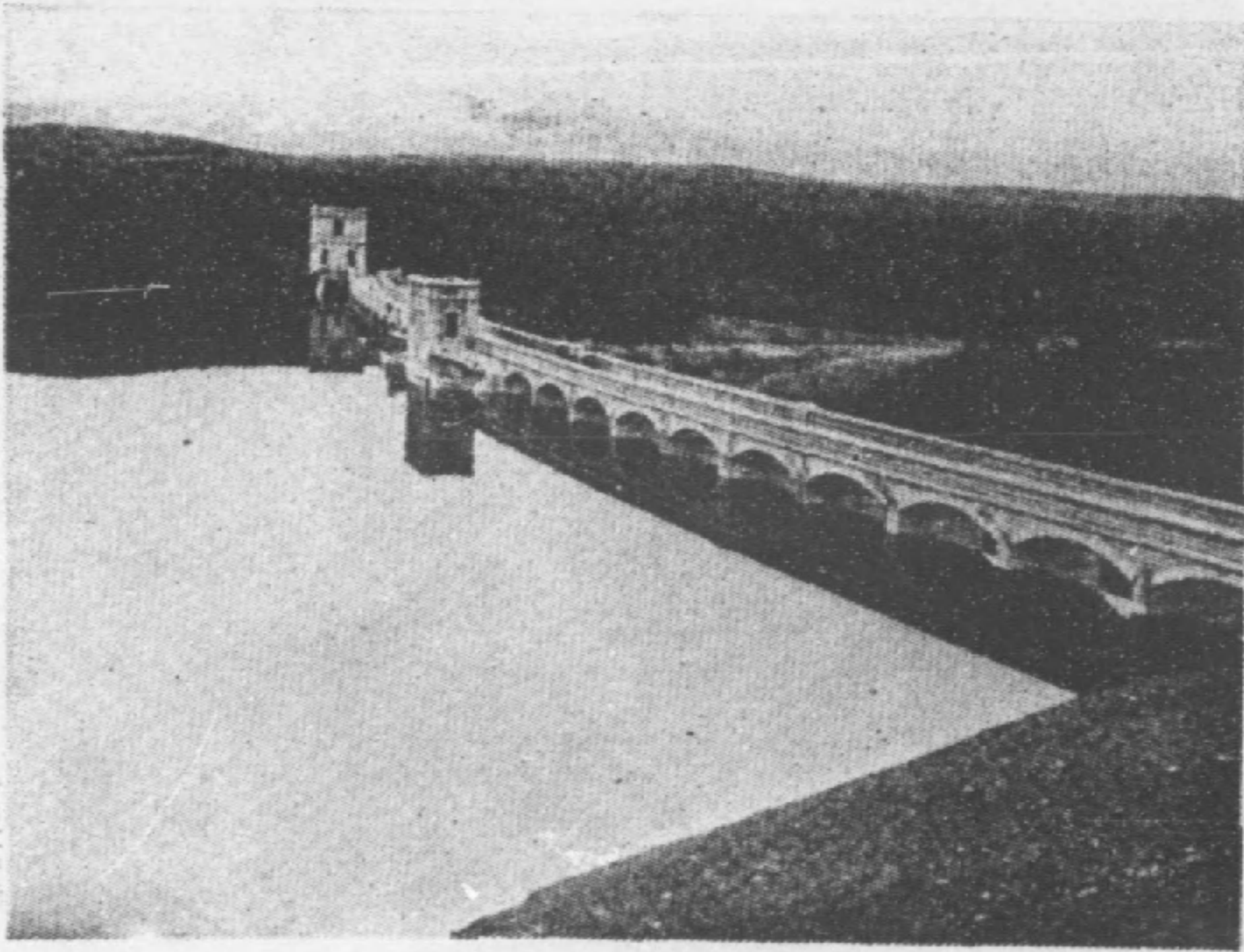
---

開始之性質	48
進口之上唇	50
圖解流水綫之漸近法	51
流量之計算	59
<b>第八章 虹吸溢道之設計(續)</b>	<b>67</b>
虹吸作用之停止	67
氣孔之大小	67
氣孔進口之式樣	69
靜水井	73
水柱式氣孔活門	74
機器氣孔門	75
<b>第九章 虹吸溢道之設計(續)</b>	<b>79</b>
出水口之設備——分水器	79
鋼板襯裏	80
虹吸管對於壩身之影響	80
水凍	82
<b>第十章 結論</b>	<b>85</b>
參考書	87



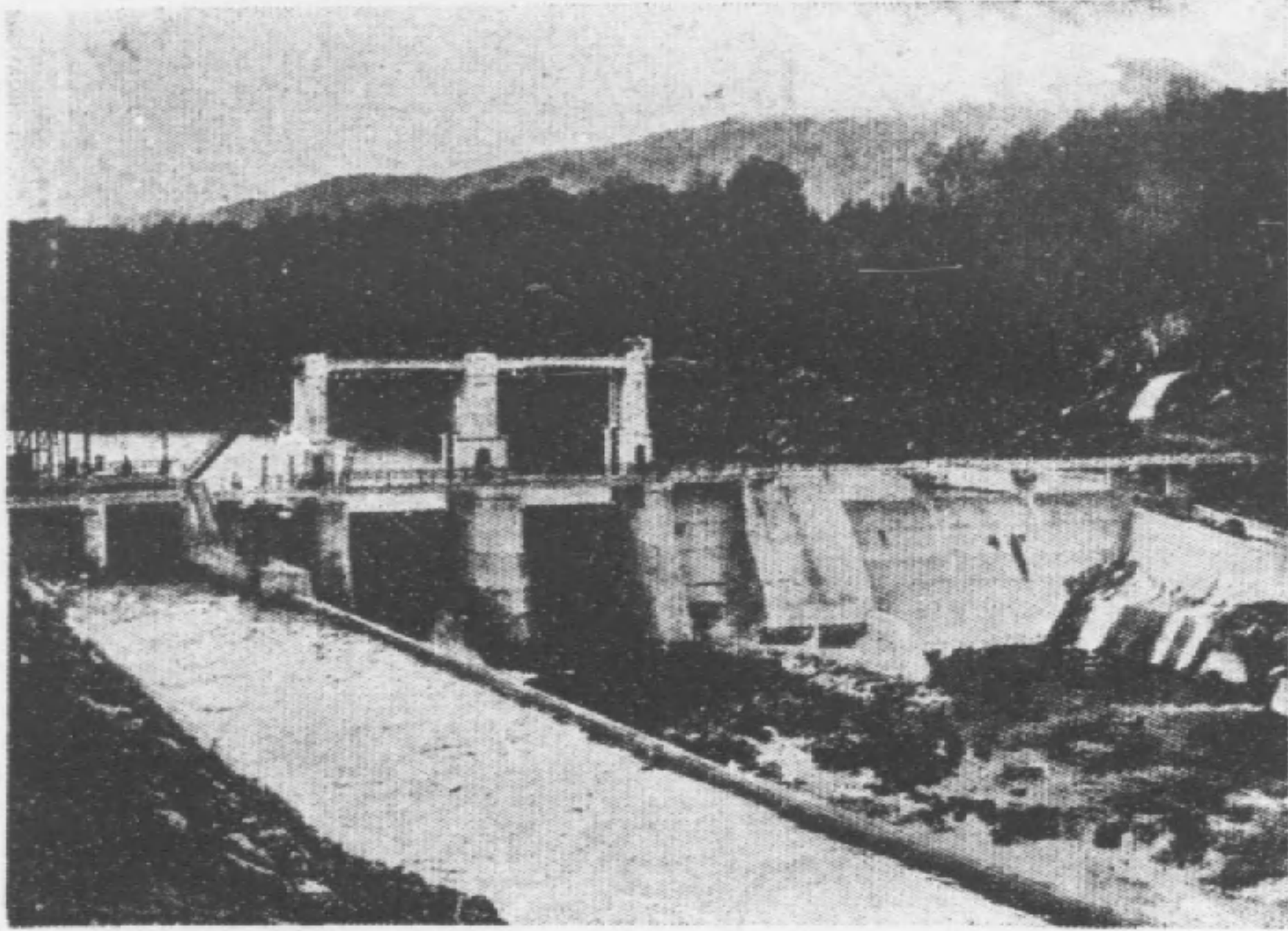


(a) Laggan 壩：兩虹吸管溢水情形

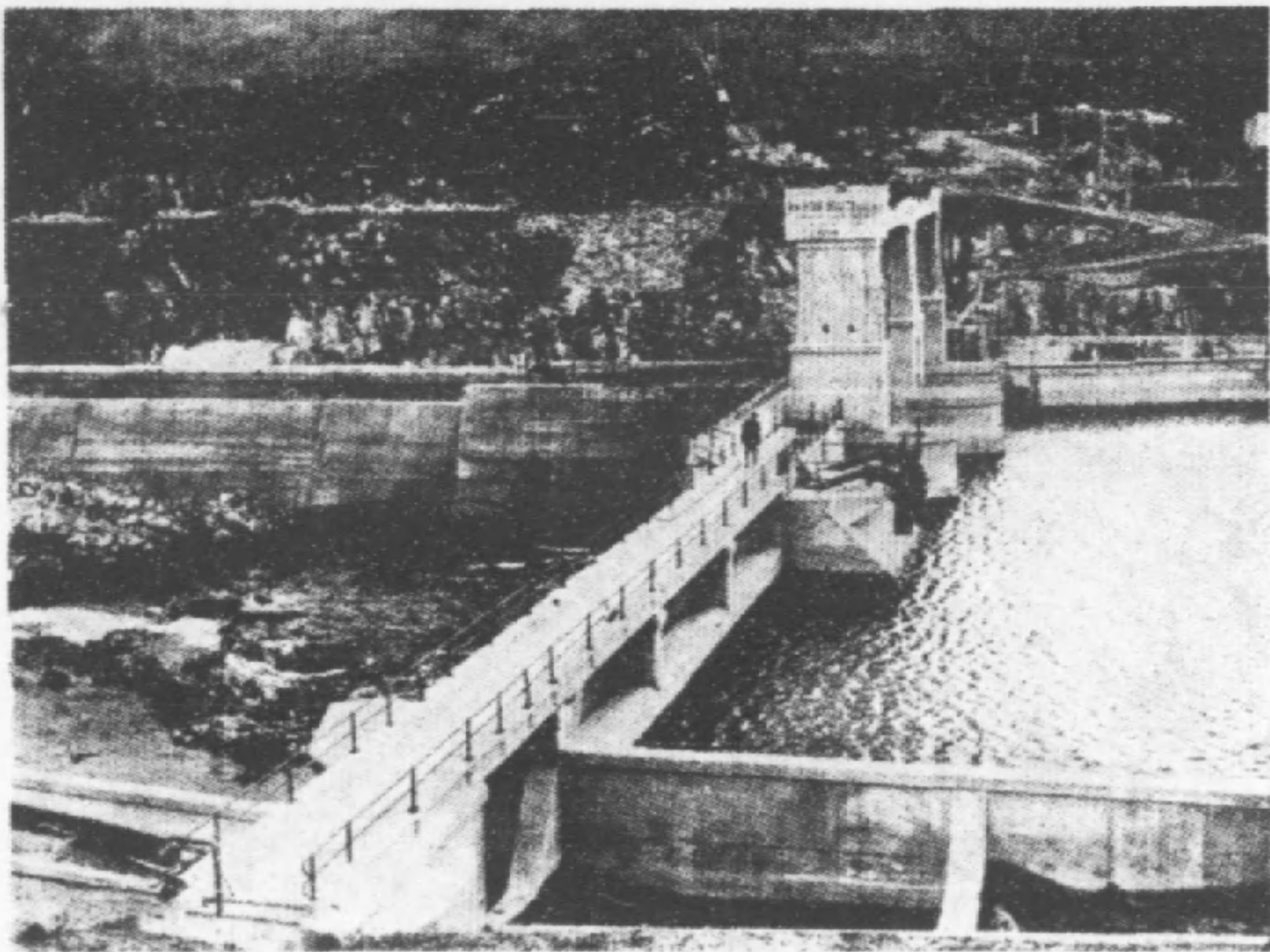


(b) Laggan 壩上游之情形

照 像 第 一 圖



(a) Dunalastair 壩：未溢水時下游之情形



(b) Dunalastair 壩：未溢水時上游之情形

照 像 第 二 圖



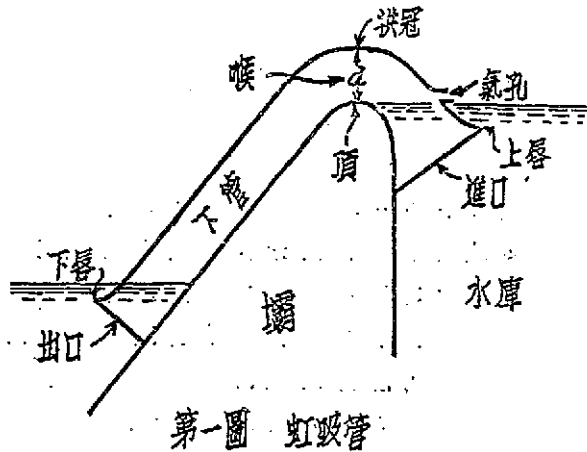
## 第一章 緒言

虹吸溢道者，爲一虹吸管或數虹吸管所組成。用以洩壩堰上游之過剩水量，而免由壩頂溢出也。虹吸管者，乃一中空管，曲之爲不等長之二管，用之可使液體越一相當之高度而下流。若將短管端沒於液體面下，而全管充滿液體。因大氣之壓力，液體沿短管而上流；且長管中向下之壓力大於大氣壓力，而液體下流。故管中之液體源源而流矣。惟出口須低於液面，且管之任一點高出液面不得大於該液體被大氣壓力所可壓上之高度（近海平面處水爲33英尺）。虹吸管用於壩堰者，通常與壩堰合爲一體，如第一圖所示，各部名稱見圖。當水庫滿溢時，水越虹吸管頂下注，若簡單之溢道，以下注之水能或水封池封閉下管，使喉部之空氣與管外隔絕。然後抽去空氣，則水流滿管，而虹吸作用開始。其流量較等水頭等長度之簡單溢道不知大若干倍矣。

虹吸管喉部之空氣可用抽氣機抽出。但通常之設計多利用溢水將空氣帶出，而虹吸之作用自動開始。

### 虹吸溢道之發達

近年來虹吸原理，已應用於大溢道。最早之建築，在



法國勞蘭州 (Lorraine) 之 Mittersheim 地方; 1866 年 M. Hirsch<sup>1</sup> 氏所造。附設有開始虹吸作用之設備者, 當首推德國 Stettin<sup>2</sup> 港之虹吸溢道, 1904 年 J. Heyn 氏所築。同時意國 Gregotti 氏亦築一同樣之鋼筋混凝土溢道, 而規模尤大。美洲之第一虹吸溢道為 1909 年築於紐約州之軍用運河。此後虹吸之原理遂廣為美洲合衆國所採用。而意、法、德、瑞士、挪威等國亦不乏此類之建築。英國適宜採用此項建築之處極少。最大之二虹吸溢道, 方始完成。一為 Grampian 山水電計劃之 Dunalastair 壩。<sup>20</sup> 一屬 Lochaber 縣水力計劃之 Laggan 壩。前者見照像第二圖及第三圖。後者見照像第一圖, 第四圖, 及第五圖 (b) 及第三十三圖。

## 第二章 溢道之種類

蓄水庫之有效容量為溢道頂點平面下之容積。但壩頂常高出溢道頂，以禦最高洪水。然壩身之體積通常與其高度之三方成正比。故壩頂之高度在最高洪水位與溢道頂平面之範圍內，愈低愈經濟。且有時須限制洪水位之高度，以免重要建築物及土地被淹。Laggan 壩即因此而引用虹吸溢道。在溝渠上限制洪水位升高，亦頗重要，因可避免昂貴之堤工也。

### 簡單溢道

通常用以防洪之溢道為一簡單之溢水堰。在石壩或水泥壩，壩頂之大部可充作溢水堰。水越壩頂作一薄片之水簾，沿壩面而下。水流之工作能力極易因磨擦而消失。每呎長之堰頂，最大溢量為  $3.9h^{\frac{3}{2}}$  立方呎/秒， $h$  為堰頂上之水頭。通常所採用之水堰剖面，在洪水位時多不能排洩其最大溢量。在英國洪水位高出堰頂極小，故宜用通常所採用之溢道。但 Laggan 壩所處之情形則不同。該地雨量重，山坡峻，且流域面積廣大。若築以簡單之溢道，頂點達需要之高度，洪水不得超過一定之水位，雖壩頂之全長充作溢水堰，亦不足以溢其洪水流。量。

土壩之溢道多築於壩之一端，或兩河岸上。並連以石溝排水。亦有用圓洞式溢水堰，水由河岸地面下之地

道排出。然均較靡費。可用虹吸溢道代之。虹吸管可埋於兩岸，或越壩頂而下。並輔以適宜之預防或設備，以免管身下陷。因管身之毀壞或將予土壩以嚴重之結果。然設計完善者亦無懼焉。

水堰之堰頂可彎曲如鋸齒，以增加其有效長度，而增加溢量。但洪水時，上游轉角處，水簾將重疊。而下游轉角處，水流將擁擠。有效長度，將因之大減。故此法亦無若何效用。

### 活動水堰

各種活動水堰，因其堰頂之可以降低而水量可以激增。每呎堰頂之溢量約為  $3.0h^{\frac{3}{2}}$  立方呎/秒， $h$  為高出堰頂之水頭。其深度可適應水流之需要而增加。然溢量之增加有一定之限制。因壩趾之流水不得過於擁集。且每立方呎/秒之水之代價，通常隨堰門之升高而增加。

最簡單之活動水堰為斜立之閘板。支以豎撐或拴釘。但于洪水未到前，必須拆卸。故不適宜。針堰固可于洪水時拆卸，然亦困難。不若自動之活動水堰便利。自動之活動水堰種類繁多。其簡單之一種為直立之水門。支點距壩頂之高度為門高之三分之一。當水位高出門頂，水壓重心高出支點。故水門自動傾伏。又一種，其旋軸設於門脚，而懸以適當之反重，使之直立。

活動水堰之最大缺點，為須要看守與修理。用於治河較為適宜，因其應用頻繁，即有損壞亦無不幸之事件發生。用於攔洪，洪水數年一次，應用時恐將危險疊出。故

活動水堰之安全，在於人事之管理，機械作用不可待也。

### 洩水閘及涵洞

凡水流由閘門下流出者，皆總稱曰洩水閘。如 Taintor 水閘，一圓弧式水門，旋軸在圓弧之中心，門聯練條及反重以瀘水。門上水壓力之合力通過旋軸，故無切線方面之分力，且水位增加後，門雖上浮，但於任何位置均可維持其平衡狀態；如圓筒式洩水閘，閘門為一大圓筒，洩水時圓筒沿傾斜之軌道上旋；如簡單之上提洩水閘及 Stoney 或 Glenfield 氏之上提洩水閘，Stoney 氏之洩水閘門與墩子間備有一串小滑輪，閘門上提時之磨擦力，可以減小。

洩水閘較之活動水堰為佳，因其排水量大也。至于涵洞則必須裝以閘門，或舌門，或兼備，以資節制，水頭方可充分利用。

活動水堰，涵洞及洩水閘皆不能自動洩水（裝以自動之設備者當可）。故于管理方面發生同樣之困難。且洩水閘于關閉時，極易淤塞，而建築費亦昂貴。涵洞或閘門多位於壩之中央。若洞門之數量少，則每洞之面積必大；面積小，則數量必多。總之壩身最大應力處之應力，將因之而增大。

### 虹吸溢道

虹吸溢道乃一非機械之設備，溢水量較簡單之溢道大；且自動溢水，溢水量僅依據喉部之真空程度及頂

---

點之高度而定。頂點之高度復依虹吸作用開始時高出頂點之水頭而定。

茲先討論虹吸溢道之種類次及其流量。

## 第三章 虹吸溢道之種類

### 依開始虹吸作用方法之種類

各種虹吸管之入口皆鐘式或漏斗式，以企減少入口之損失及水面之降低。入口之上唇均低於頂點。拱冠前方開以氣孔，位置剛低於虹吸作用停止時之水面，如第一圖。若無氣孔，則水面將降至上唇，方停止虹吸作用。儲蓄量將大減矣。

虹吸溢道無兩絕對相同者，其分類方法錯亂分歧，而最有用者或為依開始作用之方法而歸類乎。

### 抽氣機式

若虹吸管之下端沒于水中，喉部所藏空氣用抽氣機或噴吸器（噴水而吸氣也）吸去，則虹吸之作用開始。此法已應用于最早之虹吸管（有管理設備，在Mittersheim<sup>1</sup>）。當水位高出頂點時，水經一細管下流其支管通于喉部而成噴吸器。

紐約軍用運河Oswego<sup>3</sup>間之溢水設備為虹吸式涵洞。其虹吸作用由人所操縱。虹吸管畔設一真空箱。空積大於虹吸管。喉部與箱間有細管相通。水由箱之上口流入，下口流出，喉部之空氣因之漸漸抽出。管頂溢水激增後，虹吸作用開始。此種設備更有一可注意者。當管頂之水深達  $d/3$  時，（ $d$ 為喉高）虹吸作用無須水箱之協助，

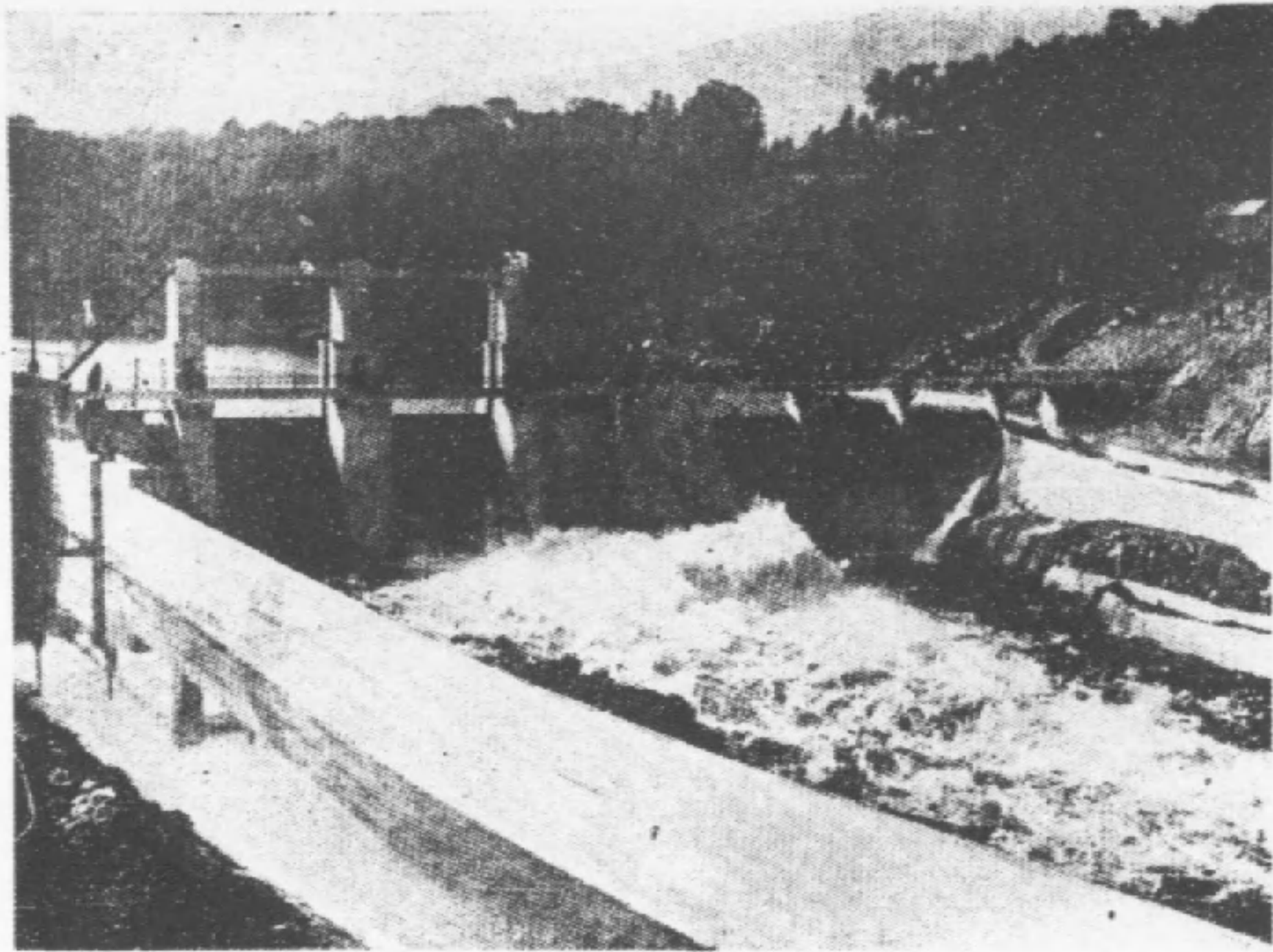
即可開始作用。倘箱與喉管間之細管未經閉塞，則箱內之空氣為喉部之流水漸次帶出，而成真空，可備下次之應用。

抽氣機式虹吸管之另一用途，為用于低水頭水車之進水裝置。因低水頭之水車需較大之進水門，用通常之洩水門比較糜費，而修養困難。若用虹吸管則水車之轉輪(Runner 其軸直立)可稍高於上游水面。惟轉輪前須設一小檻，檻頂亦略高出水面，此即虹吸管之頂也。噴吸器之支管，設一手輪，以司虹吸作用之開始。利用虹吸管，進水設備既可經濟；而水車之可以抬高，更可節省挖掘及水泥之費用。

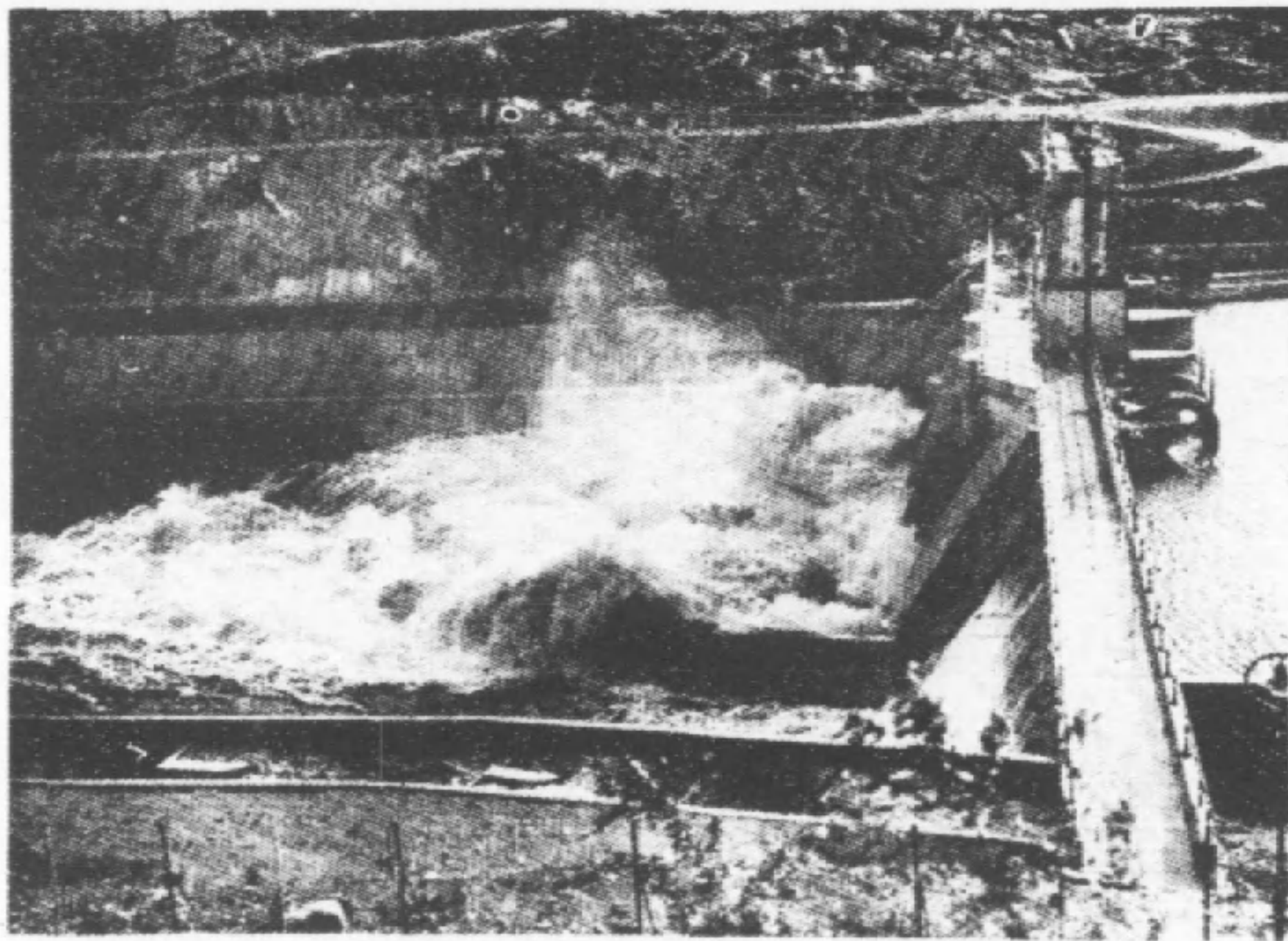
當水位低于管頂，抽氣機與噴吸器為唯一開始作用之設備。雖水位低于頂點數呎，若上口沒于水下，下口水封，各種虹吸管均可開始作用。然水面不得低于頂點二十四呎以上。因過低則管中之壓力太小，溶解于水中之空氣，將自由發生。抽氣機與噴吸器之最大缺點，為抽氣功能若受任何障礙而損失，則壩身將發生危險；而抽氣管為樹枝或結冰所阻塞，乃不可避免之事實。

噴吸器<sup>5</sup>原理用於一組之虹吸溢道，虹吸作用可依次開始，而免同時開始之過度震動。每兩虹吸管間，連以傾斜之細管。當第一虹吸管作用開始後，第二管喉部之空氣將為之抽去而開始。依此而第三、第四至於全部。每二虹吸管開始作用之時差，依細管之粗細而定。粗者時間固可以縮短，然過粗則有礙第一管之開始。總之此法無足介紹，因全部虹吸管之開始與壩身之安全僅係于



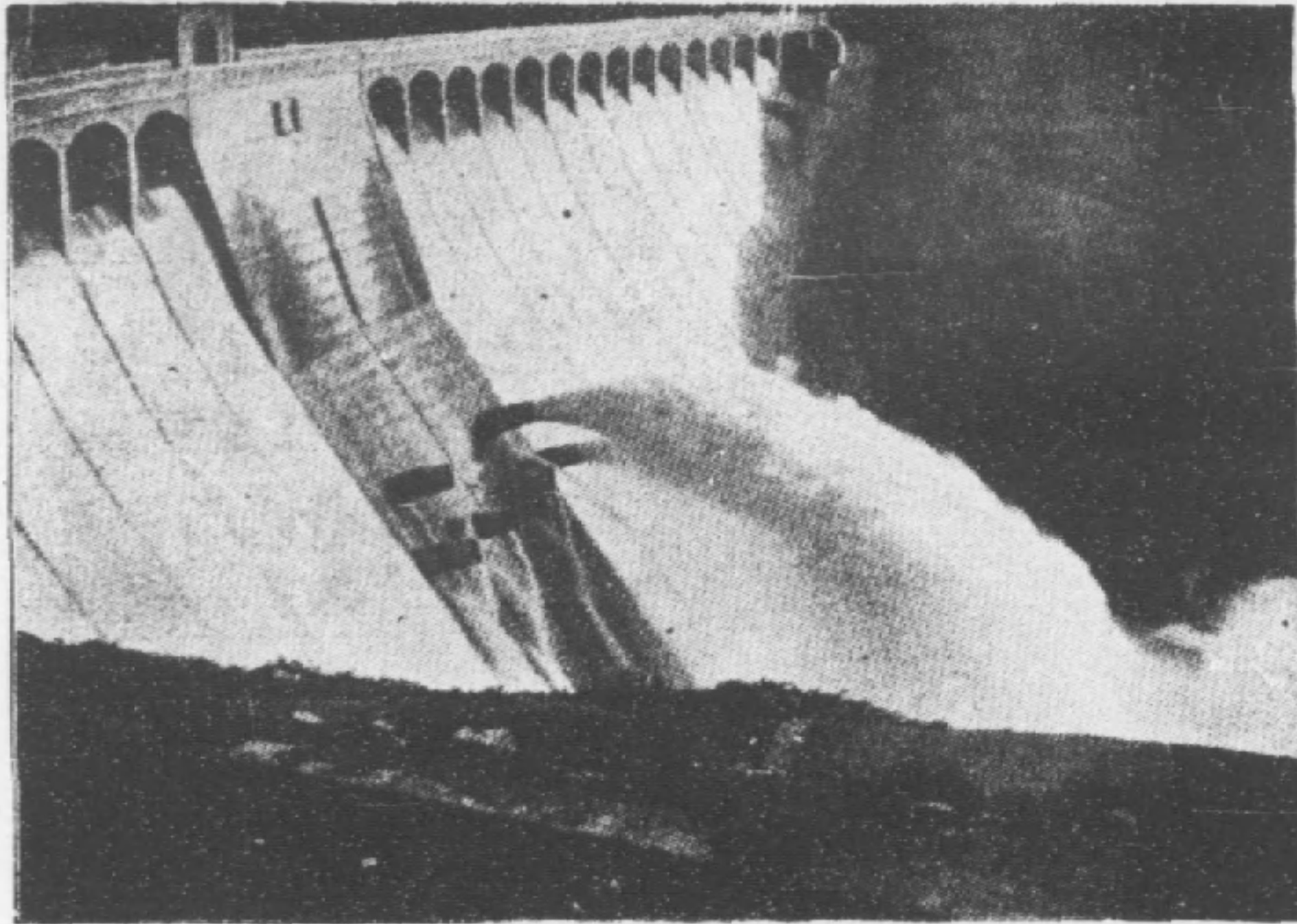


(a) Dunalastair 壩：溢水時下游之情形

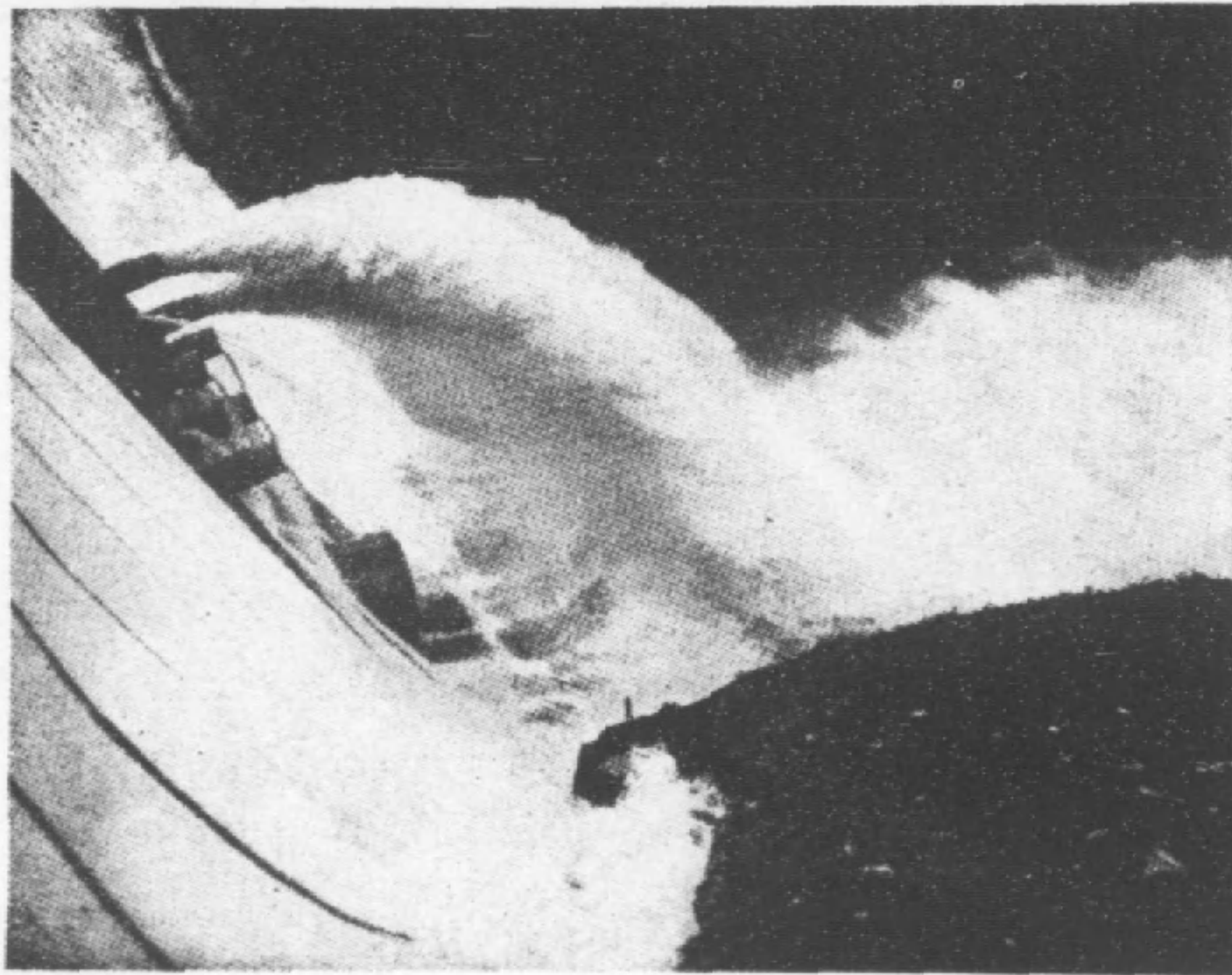


(b) Dunalastair 壩：四吸管均溢水，洩水閘開放三呎

照 像 第 三 圖



(a) Laggan 虹吸管：出口之情形



(b) Laggan 虹吸管：出口射水分散之情形

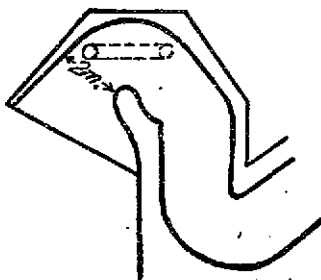
照 像 第 四 圖

一管之開始與否。

### 輔助虹吸管式

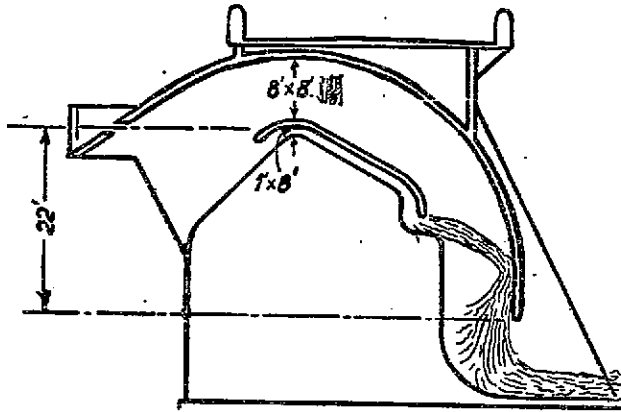
於虹吸管頂下設一小虹吸管，或曰“子虹吸管”。水位達子管頂時，子虹吸管已充滿流水，其射出之水簾，封閉正虹吸管之下管，喉部之空氣被流水漸次帶出，而開始虹吸作用。

Maramsilli<sup>6</sup> 虹吸溢道即一實例。正虹吸管之喉部為八呎長八呎高，子虹吸管為八呎長一呎高。水位未達正虹吸管頂前，子虹吸管已開始作用。該處所採用之兩類子虹吸管，設計均完善。子虹吸管開始作用後約十五分鐘，正虹吸管即開始作用，如第三圖。



第二圖 Zerbino 虹吸管

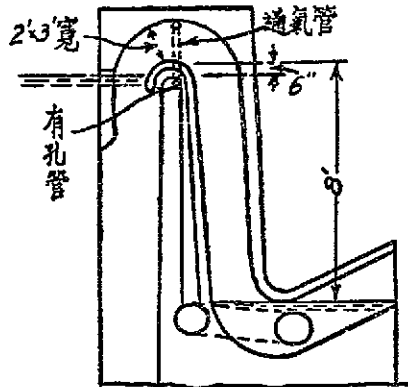
加州 (California) 之 Ripon<sup>2</sup> 虹吸溢道為子虹吸管，噴吸器及水封同時并用者，第四圖。子虹吸管之喉部與正虹吸管喉部連以氣管。當子虹吸管開始作用後五分鐘，正虹吸管即開始作用。子虹吸管喉部為 2 吋高， $\frac{3}{4}$  吋之水頭足可使作用開始矣。



5 10 15 20 25 30呎  
第三圖 Maramsilli 虹吸溢道

子虹吸管下端之水封池頗多弊害，可用他種設備代之，詳見後章。用子虹吸管後有效蓄水量之水面，為子虹吸管頂點之平面，而非正虹吸管之頂點平面。故對於最大溢量言，子虹吸管實有弊而無益。子虹吸管開始作用後，水由正虹吸管頂溢出者漸漸增加。子虹吸管射出水流將為之漸漸壓低，以至不能封閉下管。故子虹吸管不得過細，而能避免上述之情形者為限。其粗細亦易求之。可依據二水流之動力計算。由 Maramsilli 溢道之經驗，如計劃完善者，子虹吸管喉高約等於正虹吸管喉高之八分之一。子虹吸管頂之長度須與正虹吸管等，且不能分隔。故建築困難。造價昂貴。拱冠前部更須單薄，故易受吸力之震盪而破壞；而細小之氣管復易淤塞，而發生

危險。

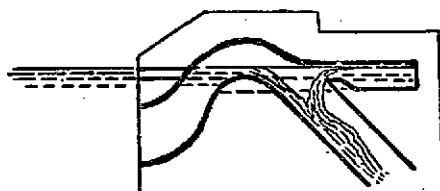


第四圖 Ripon虹吸溢道(加州)

### 滾水堰式

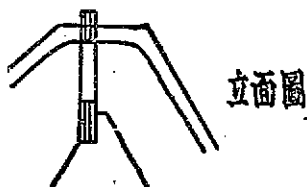
用滾水堰開始虹吸作用，其下管之斜度須稍平坦。水堰在虹吸管之背部，其結構，如第五圖。堰頂由兩側轉灣而與管頂相接。從堰頂溢出之水能封閉下管。喉部之空氣為溢水漸漸帶出而開始虹吸作用。

由Mokelumna<sup>2</sup>計劃中之Bear河溢道之試驗，得知在水面高出堰頂  $0.3d$  (最高水頭，見後章) 時，虹吸作用之開始，不可僅恃水堰。遂廢棄水堰，改善管頂下注之水流，以開始作用。後經一度之研究。若水堰之長度增倍，高出堰頂之水頭，祇須無堰時之半略強，即可使虹吸作用開始。

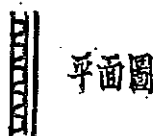


第五圖 滾水堰式

Heyn 氏認為增加堰頂（第六圖）長度，可在較低之水位獲得需要之溢量，而開始虹吸作用。故在管頂設一可以調整之框架，如第六圖。<sup>8</sup> 其平面為城垛式，下坎之高度可以高出頂點數吋，然溢水洶濤及下坎提高而減少流量，皆其弊端。足抵其益。故亦不得謂之完美設備。



立面圖



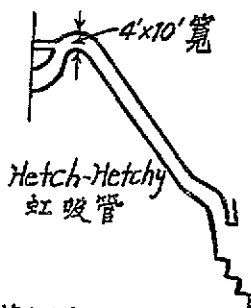
平面圖

第六圖 城垛式頂部

踏步式

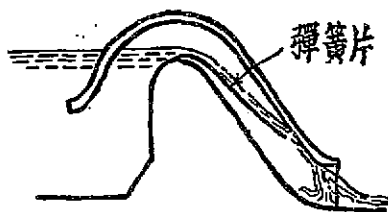
虹吸管之下管斜度，非十分峻峭者，於其下管蓋端處陡曲而下，成一踏步。當水溢管頂沿管而下至踏步處，

因水動力之惰性，將直射而下，封閉下管。管中空氣因流水帶出，而開始虹吸作用。



第七圖

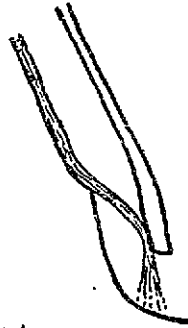
上述之 Bear 河溢道即以此法改良而成功者。其下管端並用水封池，滾水堰廢棄後，其開始作用之水頭為  $d/5$ 。



第八圖 彈簧片裝置

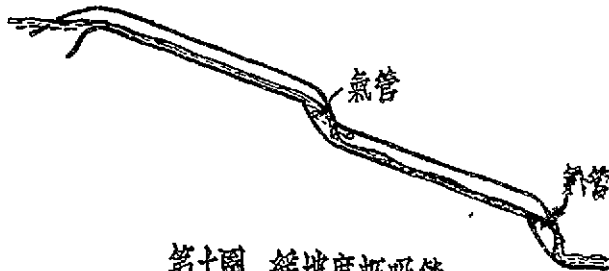
虹吸管之下管峻峭者，可先導之較平，再曲而下。加州之 Hetch-Hetchy<sup>9</sup> 溢道即一實例，如第七圖。開始作用之水頭預計為  $d/4$  至  $3/8$ 。另一例為 Moncenisio<sup>10</sup> 溢道，並附設水封池 (Sealing basin)。

Hayn 氏更有一種精巧之裝置。下管中附設一彈簧片，挑水直射管背，以封下管，而開始虹吸作用。開始後彈簧片為水重所壓，緊貼管壁，無礙于水流，如第八圖。然活動之裝置宜避免之。



第九圖 踏步式

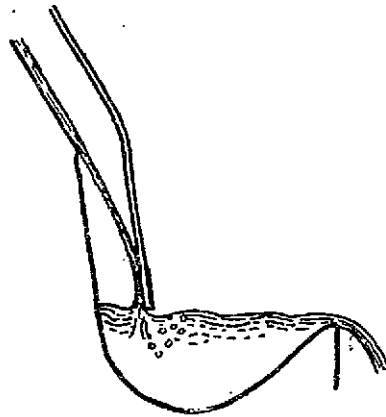
開始虹吸作用之效率，依空氣帶出之多寡而定。水流與管背所交之角度愈小，空氣之被帶出者愈多。與流速成正比例，而與流量之關係較小。故踏步宜近出口，以得最大之流速，而能封閉下管為限。下注之水能不得與



第十圖 緩坡度虹吸管



下管壁貼接。於出口處，用一小踏步可避免之，如第九圖。Dunastair 虹吸管即屬此類。該管並附設可以調整之氣門，因之開始作用之水頭，可以減低。喉高三呎者，水位高出頂點  $5\frac{1}{2}$  吋時作用開始，喉高四呎者，水位高出頂點  $7\frac{1}{2}$  吋時開始作用。水頭皆為喉高之  $\frac{6}{10}$  分之一。導空氣入水簾之後，因大氣之壓力亦可免水簾與下管壁貼接。虹吸管之下管頗長者，可用數級踏步。然每級之距離不得太近，以水流速度能封閉下管為度。而水簾前後之氣壓，必須相等。用氣管聯絡其前後之空氣可也。如第十圖。

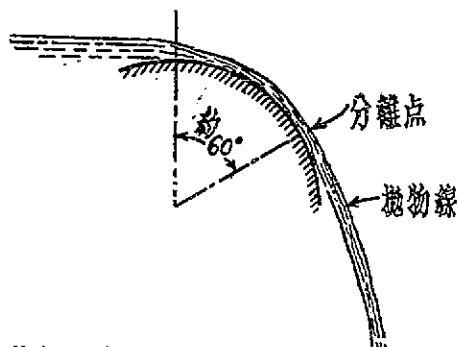


第十一圖 水封池

虹吸管之下端往往設一水封池，池邊之高度與管端齊，前章已有數例。管之下端須陡峻，但不能絕對垂直，以使帶出之空氣自由向外發展。故水封池猶一舌門，空氣可出而不可入，管中之空氣因之漸漸稀薄，如第十一

圖。若水位高出頂點  $h$  呎後方欲虹作用開始者，則下層須高出池邊，以便空氣自由流出，而免管內之壓力增加。水封池更可轉變水流之方向，此其另一特點也。其弊端為減少流量與增加建築費。若設計完善，下注之水能完整無隙，則水封池可以無須矣。

虹吸管之下管坡度小於  $1:1$  者，宜用踏步式。因水流之方向變遷最小，流量之係數可以較高，且該式無細微之氣管，因阻塞而發生障礙。設計完善者，水位高出頂點  $d/3$  即可開始虹吸作用。若輔以水封池，水位高出一二吋即可開始。然水位增高迅速者或須高出  $d/5$ 。



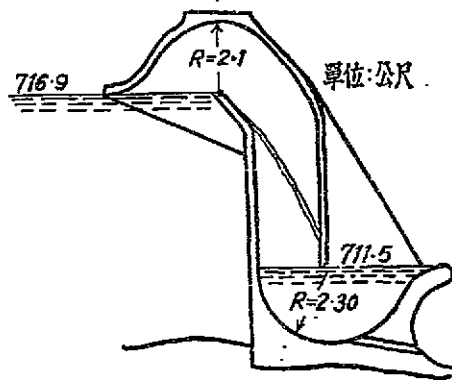
第十二圖 圓弧虹吸管頂

### 下管峻峭或垂直及頂點凸出之虹吸管

從溢水堰頂溢出之水片，除極薄者外，其縱剖面為圓弧，沿堰頂下流，約至  $60^\circ$  處始與堰頂分離，如第十二圖所示。用計算法極易證明之。分離點之角度與溢水深度

無關係。分離下之水片爲拋物線。若下管之坡度大於 $60^\circ$ 而較甚者，可無須其他設備，而開始虹吸作用。下管垂直者及頂點凸出者亦可，唯頂點須略加整理，使水片離堰頂射出。通常下管之下端爲直角轉彎，庶幾溢水可以水平流出。

此類虹吸管之作用開始，與踏步式者不同。溢水與堰頂分離後，成拋物線射出，與管背相擊，變爲細微之水沫，紛紛下墜。管中空氣爲水沫帶出，而開始作用。其開始作用之效率，依據溢量之多寡，水沫下墜之高，及其分佈之情形。水沫愈細，分佈愈勻，及下墜之高度愈深者其抽氣之效率愈大。然高度與效率之增加，有一定限制。達一定之高度後（在此高度以上，水沫爲等速下墜），效率則不再增加。



第十三圖 Bodano 虹吸管

虹吸管之下管較峭者，如加州 Sweetwater<sup>11</sup> 場之溢

道,及 Huntingdon 湖溢道之一部份虹吸管。Arizona 州 Yuma 溢道之下管爲直立者。下端附一水封池,管端浸入池中五至七呎。管端浸入池中者,其開始作用之溢量須較不浸入者大,因空氣須帶入水中越過下唇而逃出。該建築爲試驗後而造成者。雖浸入五呎,其開始作用之水頭僅高出頂點  $d/4$ 。

下管端浸入水封池之虹吸管,更有一缺點。當上游水面升至上唇或通氣管後,再略升高,則管內外之空氣隔絕。管內之空氣,因體積縮小增加壓力。因之壓低管內水面,而延遲開始作用。下游水面增高亦發生同樣之影響,甚有阻止作用之開始者。故於拱冠上須設一洩氣活門,如 Arizona 運河上之 Ocoee 溢道<sup>12</sup> (第十四圖) Canberra 之西湖溢道,及第三十五圖所示之 Gregotti<sup>13</sup> 氏式溢道。Leaburg<sup>14, 15</sup> 虹吸管内之壓縮空氣,由拱冠上之氣孔洩出。後經模型試驗之研究,拱冠上留一洩氣孔,對於溢量無顯著之妨礙。若洩氣孔爲水淹沒,則虹吸作用之開始,將因之遲延或停止。

虹吸管之下管端浸入水封池者,除上述一例外,尙有意國 Genoa 港之 Badana 壩,第十三圖,及 Mokolumna 計劃之一部份細微虹吸管。

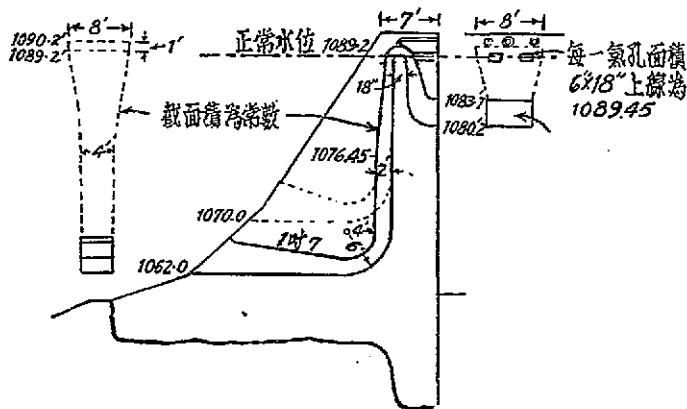
Glens Falls Feeder 溢道虹吸管之下端,爲一直角轉灣,而無水封池。上游之規定水位爲高出頂點  $d/2$ 。當水淹氣孔後虹吸作用立即開始。

虹吸管之下管垂直者,下管端多連一喇叭式之水平出水管,達於壩面。其下壁水平,上壁向上傾斜。若轉灣

處灣曲陡銳，可輔助虹吸作用之開始；且開始時之流水，須與上壁緊接，庶幾帶下之空氣，經過灣曲後，隨溢水而流出。

Ocoee 溢道即為上述情形之一實例。水位增加迅速時，氣孔淹沒後五分鐘，虹吸作用完全開始。氣孔上緣距頂點為  $d/4$ ，第十四圖。

加州 Alpine 壩之溢道，與 Laggan 壩者極相似。共有六虹吸管。每管之喉高三呎，長 7.5 呎。下管直立，上下之粗細一律。轉灣後溢水，水平流出。其氣孔不在同一平面上。但水位高出頂點  $d/3$  後，各管皆開始作用。

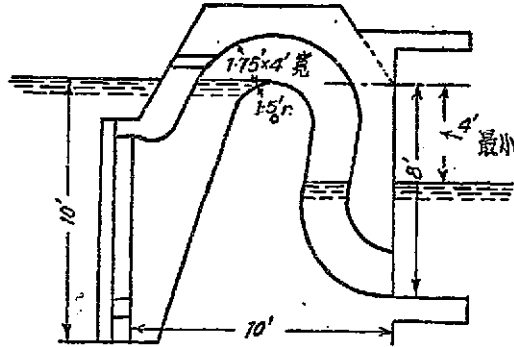


第十四圖 Ocoee 虹吸管

虹吸管之設計，亦有使頂點凸出者。其設計尤易完善。對於壩身之截面近乎長方形者頗多利便。因管之全體可以築於壩內也。第十五圖為美國 Erie 運河之虹吸管。氣孔上緣高出頂點  $d/2$ 。氣孔淹沒後，虹吸作用立即

開始。

Gregotti 氏所造之 Verona 虹吸管頂為銳緣凌水堰，凸出下管。對於開始作用之性質極佳。水位高出堰頂二吋至三吋（即  $d/12$  至  $d/8$ ）時，一二分鐘即開始作用。然而溢量最大受損失，其溢水係數為 0.40。



第十五圖 Erie 河虹吸管

此外尚有 Canberra 縣西湖虹吸管，水位高出頂點二吋（即  $d/27$ ）後，虹吸作用開始；Huntingdon 湖溢道之一部份虹吸管；及 Leaburg 虹吸管。Leaburg 虹吸管之各管粗細不等，然水位高出頂點  $d/7$  至  $d/4$ ，則各管均開始虹吸作用。

虹吸管頂凸出者，對於作用之開始有益，而于溢量有損，或因水流方面之轉變太遲也。

## 第四章 虹吸溢道之種類(續)

### 依水頭之高底而分類

虹吸管亦可分為高水頭,中水頭及低水頭三類。

#### 高水頭類

虹吸管各點之截面相等,而下管特長者。當上游水面漸漸增高,喉部之真空程度亦漸漸增加,而虹吸作用開始。上游水面高出下游水面至三十呎時(相差之確數,須視虹吸管之設計,大氣壓力及水內空氣之溶解量而定),在下管之下部流水將不能滿管,而發生猛烈之震盪。欲免除之,出水口之面積須減小,類似射水龍頭,或收斂下管,或增加流水之磨擦力。此種收斂之虹吸管,統稱之曰高水頭虹吸管。

#### 中水頭類

虹吸管下管各點截面積相等者,可稱之曰中頭虹吸管。以其適宜於中等水頭也。特點有二:(1)於較低之水位可以開始虹吸作用;(2)管身上下一律,建築費最廉。用於水量較大之處所,其下管亦有用喇叭式者。

#### 低水頭類

虹吸管之下管漸次放大者,(即喇叭式)稱之曰低

水頭虹吸管。

上述之分類乃依據出水口之面積小於、等於、或大於喉部之面積而言。對於水頭之高低，並無一定之範圍。P. Davis<sup>18</sup>曾依水頭分之。二十呎以上者為高水頭，二十呎與十呎之間者為中水頭，十呎以下者為低水頭。然不過一己之見耳。低水頭虹吸管之問題，皆發生於下管之放大；而高水頭虹吸管之性質，根據下管之收斂程度而定。故著者以為依據虹吸管之式樣而歸納，比較合理。

Laggan 壩虹吸管屬高水頭類，水頭為六十呎 Dun-  
alasta'r 虹吸管屬低水頭類，水頭雖為二十呎，然其出水口門面積較喉部之面積略大。

二十五呎以下之水頭用低水頭虹吸管可以增加溢量。而一切虹吸管之最大溢量，皆根據喉部之設計。除有效水頭極低者外，虹吸管之各部通常皆可依據喉部之最大流量而計劃。在低水頭雖喉部之設計允許有充分之流量，然實際難以獲得。主要之原因有二：(1) 在預計之水位，虹吸作用難保其可以開始；(2) 下管漸次放大消失水頭。

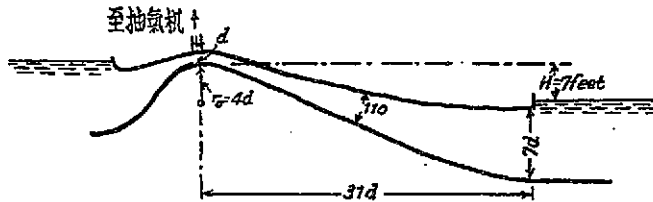
計算予喉部設計以充分流量之最小水頭，頗饒興趣。茲述之如下：

### 第一類 不能自動開始之虹吸管

第十六圖所示，乃一下管為喇叭式而不能自動開始作用之虹吸管；裝以抽氣機較為適宜。下管須漸次放大。A. H. Gibson 教授謂矩形之水管，其左右二面平行，上



下二面漸次放大者，水頭損失最小之放大角度為十一度，損失之水頭為  $0.17 \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g}$ 。  $V_1$  及  $V_2$  乃喉部及出口之流速。上式並包括磨擦之損失。若喇叭管上端聯一直角之轉灣，則放大之角度為八度三十分。<sup>17</sup>



第十六圖 非自動開始之低水頭虹吸管

故非自動開始之喇叭式虹吸管，其水流方向之變遷，愈小愈佳，而頂點之曲度半徑須較大（下面之計算設  $r_0$  等于四倍  $d$ ）；下管之放大角度須為十一度。

設  $V_1$  = 喉部之平均流速

$V_2$  = 出口之平均流速

則 總水頭 = 進口損失 + 喉部灣曲損失  
+ 下管放大損失 + 出口處水之動能。

設進口及灣曲之損失各等於  $\frac{0.1v_1^2}{2g}$

$$\text{則 } H = 0.1 \frac{v_1^2}{2g} + 0.1 \frac{v_1^2}{2g} + 0.17 \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\text{或 } 2gH = 0.37v_1^2 - 0.34v_1v_2 + 1.17v_2^2$$

求最小之  $H$ ，則  $\frac{dH}{dv_2} = 0$

$$\text{故 } 0 = -0.34v_1 + 2.34v_2$$

$$v_2 = v_1/7$$

故下管之長度，須繼續延長，至出口面積為喉部之七倍為止。

$$\text{則 } H = \frac{v_1^2}{2g} (0.37 - 0.05 + 0.3) = 0.35 \frac{v_1^2}{2g}$$

$v_1$  依喉部上下面曲度半徑之比例，及喉部之真空程度（最大不得超過二十四呎之水頭）而定。

$$v_1 = 39 \frac{r_0}{R-r_0} \log_e \frac{R}{r_0}$$

該式見後（第七章）。依第十六圖之比例，

$$\frac{R}{r_0} = 5/4,$$

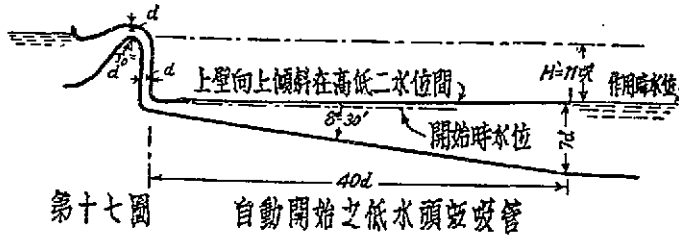
$$\text{則 } v_1 = 35$$

而最小之水頭為

$$= 0.35 \times \frac{35^2}{64.4} = 6.7 \text{ 呎 或 } 7 \text{ 呎}$$

## 第二類 自動開始而 outcome 管為喇叭式者

自動開始作用之虹吸管所需之最小水頭，當較第一類者為大。其下管必須垂直或頂點凸出。下管末端陡銳轉灣後，聯一水平喇叭管，放大角度為八度三十分，上壁須向上傾斜，然必須間於高低二水位間，如第十七圖所示。



則 總水頭 = 進口損失 + 喉部彎曲損失 + 磨擦損失 + 下灣損失 + 放大損失 + 出口處水之動能。  
 設彎曲損失為  $0.3 \frac{v_1^2}{2g}$ , 磨擦損失為  $0.1 \frac{v_1^2}{2g}$

$$H = 0.1 \frac{v_1^2}{2g} + 0.3 \frac{v_1^2}{2g} + 0.1 \frac{v_1^2}{2g} + 0.3 \frac{v_1^2}{2g} + 0.17 \frac{(v_1 - v_2)}{2g} + \frac{v_2^2}{2g}$$

或  $2g H = 0.97v_1^2 - 0.34v_1v_2 + 1.17v_2^2$

求最小之 H, 則  $\frac{dH}{dv_2} = 0$

$$0 = -0.34v_1 + 2.34v_2$$

$$v_2 = v_1 / 7$$

故  $H = \frac{v_1^2}{2g} (0.97 - 0.05 + 0.03) = 0.95 \frac{v_1^2}{2g}$

因空間及開始作用之關係,  $R/r_0$  之比須大於第一類者。設  $R/r_0$  為 2, 則最大而可能之喉部平均流速為

$$v_1 = 39 \frac{r_0}{R - r_0} \log_0 \frac{R}{r_0} = 27 \text{ 呎/秒}$$

最小之水頭為

$$0.95 \times \frac{27^2}{64.4} = 11 \text{ 呎}$$



## 第五章 開始虹吸作用之水頭

虹吸管開始作用之水頭極關重要。在某一水頭，吾人雖知其可以開始作用，但不能完全決定其必然開始。此虹吸管溢道爲人遲疑而不敢採用之一主要原因也。

### 水位升高之速度對於開始虹吸作用之影響

未開始作用時之虹吸管爲不穩定狀態。若氣孔未淹沒，雖輕微之風浪均可促成其作用之開始。既開始後，倘未因阻礙而中斷，溢水將源源不絕。故水位升高之速度極慢時，虹吸作用可于較低之水位開始。水位升高之速度增加，開始作用之水頭範圍亦增。而水位升高極快者，其開始作用之水頭將較高。

因虹吸作用之開始，須經過一定之時間始完成，而在此時間內，水位繼續升高，故發生上述之情形。某一已定計劃，其開始之水頭高度，故無一定。如水庫之管理，河道或溝渠之管理，及水電之給水，尤以後者，當用電量減少或全部之機器停止工作時，水位立即升高；在該種情形下開始作用之速度，尤爲重要。Gibson, Aspey 與 Tattersall 三教授用模型研究開始之結果。詳後。

### 有效水頭對於開始之影響

虹吸管下管之縮狹，及溢水下墜之高度大者，對於一定之溢量，增加其開始作用之效能。故高水頭虹吸管，

其開始水頭可以較低，而低水頭之虹吸管，其下管放大，墜水高度小，故開始困難，須較高之水位。

### 模型試驗

開始之現象，非計算可以解決。故一新計劃之虹吸管，須先加以模型之研究。Gibson, Aspey 與 Tattersall 有一論文，文中曾云：動力相似者，其模型與實際之  $\frac{Vd}{\nu}$  須相同。d 為直徑， $\nu$  為比較黏性係數。除  $Vd > 1.8$  者外，流量之係數無大影響。此規定模型最小之有效尺度。模型虹吸管中真空程度，須與實際者成比例。而實際之最大真空為 24 呎。故模型者不得大過該最大之比例數。否則實際之虹吸管中，將發生空隙，而模型不足以為代表。Loeburg 虹吸管之流量係數，模型者大于實際者。即因實在虹吸管中發生空隙也。

若虹吸管中發現空隙，則模型不能代表實際之情形，而水亦不能用為試驗時之流體。因開始時水與空氣間之相互作用極複雜。溢水挾帶空氣之能力，將根據水沫分散之範圍。故表面張力極關重要。且開始作用之現象中，黏力亦不可忽視，空氣之比較黏性係數（大于水之比較黏力係數），亦須顧及，d 則代表氣泡之直徑。

表面張力及黏力對於模型及實際上開始之影響，述之于次。

應用相似定律

$$\text{流量 } Q = \phi(\mu, \rho, l, g, t, \mu_a, \rho_a)$$

$\phi$  為函數

$\mu$  = 黏性係數      度量為  $\frac{M}{LT}$

$\rho$  = 濃度      度量為  $\frac{M}{L^3}$

$l$  = 長度      度量為  $L$

$g$  = 重力加速度      度量為  $\frac{L}{T^2}$

$t$  = 水與空氣間之表面張力, 度量為

$$\frac{ML}{T^2} \div L = \frac{M}{T^2}$$

小字  $a$  代表空氣

寫  $\mu_a = K_1 \mu$ ,  $\rho_a = K_2 \rho$ ,  $K_1$  及  $K_2$  皆無度量。

$$\text{則 } \frac{L^3}{T} \propto K_1^f K_2^h \left(\frac{M}{LT}\right)^a \left(\frac{M}{L^3}\right)^b L^c \left(\frac{L}{T^2}\right)^d \left(\frac{M}{T^2}\right)^e$$

$$\therefore \left. \begin{array}{l} a+b \quad \quad \quad +e=0 \\ -a-3b+c+d \quad \quad =3 \\ -a \quad \quad \quad -2d-2e=1 \end{array} \right\} \therefore \begin{cases} e = \frac{a}{2} + 2b + \frac{5}{2} \\ d = \frac{a}{2} + b + \frac{1}{2} \\ e = -a - b \end{cases}$$

$$\therefore Q \propto K_1^f K_2^h \mu^a \rho^b l^{-\frac{a}{2} + 2b + \frac{5}{2}} g^{\frac{a}{2} + b + \frac{1}{2}} t^{-a-b}$$

$$\therefore \frac{Q}{l^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}} \propto K_1^f K_2^h \left(\frac{\mu l^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}}{t}\right)^a \left(\frac{\rho l^2 g}{t}\right)^b$$

$$\begin{aligned} \therefore \frac{Q}{l^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}} &= \phi \left[ K_1, K_2, \left(\frac{\nu}{l^{\frac{1}{2}} g^{\frac{1}{2}}}\right), \left(\frac{\rho l^2 g}{t}\right) \right], \nu = \mu / \rho \\ &= \phi_1 \left[ K_1, K_2, \left(\frac{\nu}{\nu l}\right), \left(\frac{\rho \nu^2 l}{t}\right) \right], \nu \propto \sqrt{gl} \end{aligned}$$

模型與實在均用同一之流體者,  $K_1$  與  $K_2$  為常數。若  $n$  為模型縮小之比例, 依相似律,  $\nu$  應按  $n^{3/2}$  之比例縮小, 同時  $t$  須按  $n^2$  之比例縮小, 故模型與實在不能用同

一之流體。而須採另一流體，適合于  $\nu$  及  $t$  之變化，而有同一比例  $K_1$  及  $K_2$ 。

熱水近乎沸點，固可減少其表面張力，及比較黏性係數。但空氣之比較黏性係數，反因溫度之升高而增加。故沸水不能適用。沿虹吸管所發生之氣泡，因壓力而增減其大小。應予矯正。故模型外之空氣壓力，須為絕對大氣壓力之  $n$  分之一。然外壓力雖如此，水中所溶解之空氣，亦不能成比例。且空氣濃度反減小，而增加其比較黏性係數。故總上各條，可知開始之情形，不能以模型代表之。

因模型上之水粒與氣泡不能依比例縮小，故吾人可以斷言，模型之開始，必須較高之比例水頭，而實際之情形必較模型者為佳。上述之理論皆由試驗而產生。一  $\frac{1}{2}$  之模型其開始之比例水頭較實際者大 1.6 倍，一  $\frac{1}{4}$  之模型者，較實際大 4 倍。Laggen 虹吸管之模型為  $\frac{1}{2}$ ，其開始比例水頭較實際者大 1.8 倍。

對於一新計劃之虹吸管，其正確之開始性質有先知之必要者，唯一方法為建築三種尺度不同之模型。尺度之相差須大。由該模型之開始試驗，作一水頭與模型尺度之關係曲綫。實在開始之大概情形，可依曲綫而推定。

### 開始設備之比較

前章所論及之各種虹吸管，其開始之性質，茲總述之。



抽氣機式僅適宜于須人工管理之虹吸管。虹吸作用爲等速開始，其速度依抽氣機之容量而定，（有真空箱者除外）。對於水位升高極快者故不適用。

設計完善之輔助虹吸管，于水頭高出頂點  $d/8$  時，能誘導虹吸作用之開始。

溢水堰不可恃爲開始作用之設備。若再輔以他項裝置，可減低開始之水頭。然流量減小，因水堰增加磨擦之損失也。

水封法減少流量。若與他項裝置聯合應用，則作用之開始更爲可靠。數吋之水頭，即可開始矣。若下管端深埋于水封池者，開始作用將因之延遲，或停止。故管內之空氣，必須設法防止其壓縮，以免溢水減少或停滯。

踏步式者可使作用開始于  $d/3$  之水頭，與水封池聯用，亦可減至  $\frac{d}{5}$  或較小之水頭。

下管峻峭，垂直式或頂點凸出之虹吸管，若設計健全， $d/3$  之水頭，可保證虹吸作用之開始。而通常于  $d/4$  之水頭或較小者已可開始。

### 良好之開始性質與高溢量之矛盾現象

據有良好開始性質之虹吸管，其轉灣須銳急。水流方向須有巨大之轉變。而溢量大者，須有從容之轉灣，方向轉灣須小，以減小水頭之損失。此乃矛盾之現象。必須採取一折衷之辦法，方可獲得善美之設計。

虹吸管之設計，須先保證在規定之水頭內可以開始作用。然後改進其形態，而適應上述之條件。



## 第六章虹吸管之效率

任一虹吸管之設計，欲品評其效率，必先明瞭其各方之情形。對於效率之品評，已有若干散漫之言論與探討。如何評定一虹吸管之特質，亦有許多之提議。而于虹吸管之效率，則尚無一統一之測度法。

### 溢量係數

一部份之工程師，設虹吸管為一水管與洩水口 (Orifice)。溢水係數依據出水口之面積與總水頭。而以該係數斷定其價值。

$$\text{即 } C_D = \frac{Q}{A_2 \sqrt{2gH}}$$

$Q$  為溢量，——單位為每秒立方呎。

$A_2$  為出水口面積，——平方呎。

$H$  為總水頭，——呎。

$C_D$  為溢量係數。

另一部份之工程師認為喉管之截面積重要，故溢量係數根據喉管之截面積。

$$C_D = \frac{Q}{A_1 \sqrt{2gH}}, \quad A_1 \text{ 為喉管截面積。}$$

然  $C_D$  有時大于一。

亦有根據平均之面積者，

$$C_D = \frac{Q}{A_{\text{平均}} \sqrt{2gH}}$$

該式並無根據。

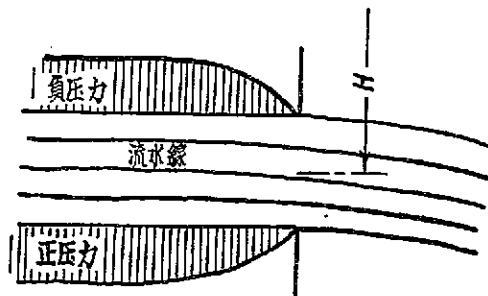
真正之溢量係數當以出水口面積求得者為是。效率皆小于一。該係數雖不能測度虹吸管之効力，然全管之水頭損失，皆已包含其中矣。總水頭之測量，無一定之標準，視情形而定，述之如次：

### 總水頭之測量

虹吸管之上口給水設備為一渠槽者，入口處有臨口流速。該流速之水頭，須包入總水頭。

下管端沒入水中者，總水頭即為上下游水面之高度差。

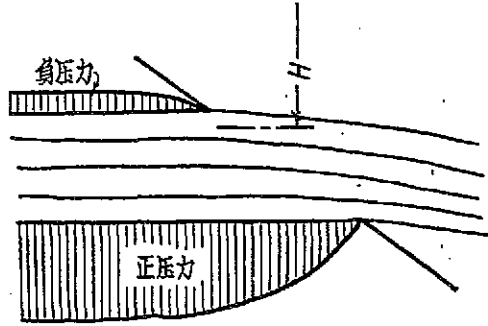
若出水口為洩水洞，溢水自由流出，而洞口平面與水流方向垂直者，總水頭為上游水面至洞心之高度。



第十八圖 正帶射水

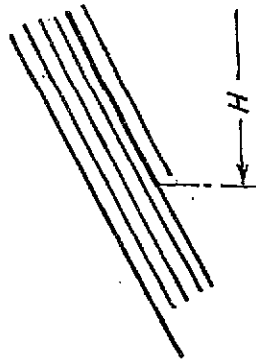
若洞口之平面與水流方向不垂直，例如水平之出水管，管口平面即壩面之平面。其總水頭為上游水面至洞心上某點之高度。若洞口平面之斜度為 1:1 者，其總

水頭略大于下唇至上游水面之高度。



第十九圖 傾斜射水

上述情形之一特例，為溢水沿壩面下注者，總水頭須量至下唇，如第二十圖。若下管端之轉彎接近出口，如第二十一圖，則水頭之高度減小。因出水口之水流近似自動漩渦，若口門外之壓力為一大氣壓力，則口門內之



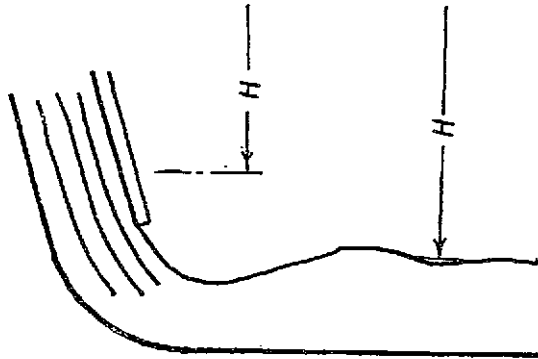
第二十圖 射水沿壩背而下

壓力為大于一大氣壓力。故管內之水流為一大氣者應在管端上某點。於此情形虹吸管下口可認為止于轉灣之下。水頭須量至下游之平均水面。而溢量係數則又為另一數矣。

溢水水平流出者，有時于出口外，有直立之水波，如第二十二圖。則  $D = \sqrt{\frac{2dv^2}{g} + \frac{d^2}{4} - \frac{d}{2}}$ 。

若直立之水波，對於虹吸作用無影響，則有效水頭量至下唇為止。設  $D$  之值較上式求得者略高，則水波將向上游移動，而洩水口被掩。有效水頭則為上下游水面之高度差，而溢量陡減。除水波離出水口較遠者外，水波之情形為不穩固，且溢水係數亦為不定數。

關於利用溢量係數之困難，已如上述而該係數更不能為有效之測度，以定設計之完善，例如出口裝一極小之噴射器，則流量係數為一，但虹吸管不復有其效用矣。

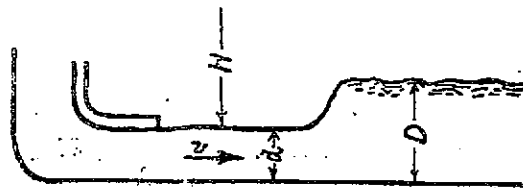


第廿一圖 水沿轉灣之渠趾而下

## 真正效率

溢道之最有效者，爲于規定之安全範圍內，排洩最大水量，而費用最低者。虹吸管直徑大者，每立方尺/秒之流量價值小於直徑小者，最有效之虹吸管溢道，爲每呎長之頂點，于規定之水位內，排溢最大之流量。故完善之效率測度法，爲根據每呎長之頂點，于水位升高一呎後，所排溢之流量（立方呎/秒）。不幸該流量不能計算。因于某水位欲測其溢量，須先于築成之虹吸管上，證明于某水位可以開始作用。且各種情形下開始之水頭，亦非一常數。

S. M. Dixon 提議：一虹吸管之效率，爲每呎頂長，于一定之水位時排溢之流量，除以有效水頭之平方根。此法與上述之法有同樣之弱點。用此法計算設計極完善之高水頭虹吸管之效率，其效率必低。且于第四章知除水頭低於 11 呎者外，最大流量與水頭無關。故作者認爲求效率之算式，不得含有水頭。



第廿二圖 直立水波

## 效率之定義

虹吸管未築成之前，無以知其開始之水頭。且開始之水頭，依環境之情形而轉變。故作者提議以其流量與同喉管面積之理想虹吸管流量之比為其效率之判斷。理想虹吸管之意義，純係理論。其喉部完全真空，該比將名之曰效率。

$$\text{效率} = \frac{Q}{A\sqrt{2ga}}$$

Q = 虹吸管之流量，

A = 喉管面積，

a = 與大氣壓力相當之水柱高，

單位為呎及秒。

在海平面  $a=34$  呎。

$$\text{故} \quad \eta = \frac{Q}{47A}$$

Q 可以計算求得（具相當之準確）；亦可以模型試驗求得，而與實際之流量相參照。然除少數之情形外，實際流量之測量尤難準確。

此乃真正效率。測度頂點溢量功能之一方法也。數值皆小於 100%。其唯一之缺點，為不能顧及開始之水位。然其特點即因未顧及該不定之開始水位，而有一定之數值。其另一特點為不顧及不定之總水頭 H。溢量係數與虹吸管之真正効力無關。溢水量與可利用之水頭之平方根成正比；所謂可利用之水頭，即喉部之真空水頭也。



## 第七章 虹吸溢道之設計—Laggan 虹吸管

虹吸管設計之方法，以一實例述明為最佳。茲將 Laggan 虹吸管各部之詳細設計討論之。

### 概 況

Laggan 壩頂之全長雖全部作為簡單之溢道，在規定水位內不足以洩最大之洪水量，故決定採用虹吸管以代一部份之簡單溢道。虹吸管之總容量為 3600 立方呎/秒。虹吸作用之開始分三組。每組溢三分之一之水量。水頭升高 6 吋，第一組開始。升高一呎，第二組開始。升高一呎三吋，第三組開始。

水頭升高 2 呎以上，所須之時間不超過 24 小時。故水位升高 6 吋，第一組虹吸管雖不開始作用，亦無關重要。因之各組虹吸管無須個別設計。在拱冠裝以適當之氣孔，使水位升高六吋時約略可以開始作用，而升高一呎必定開始。

### 喉 高

前章已說明抽氣機，輔助虹吸管，或開始溢水堰，有其種種弊端，反為實際所無需。故不採用。根據以往無開始設備之虹吸管，其設計完善者，水位升高  $d/3$  可保證其開始作用。且通常均在  $d/3$  以下， $d$  為喉高。S. M. Dixon

于縣立水工試驗館，依計劃之虹吸管，作  $1/8$  之模型，而試驗其開始之水頭。通常均為  $d/4$ ，二次為  $d/5$ ，故  $d/3$  可以保證其必定開始。且實際之情形，較模型者為佳，故  $d/3$  作為安全之開始水頭，無須懷疑。因之喉高定為 3 呎。

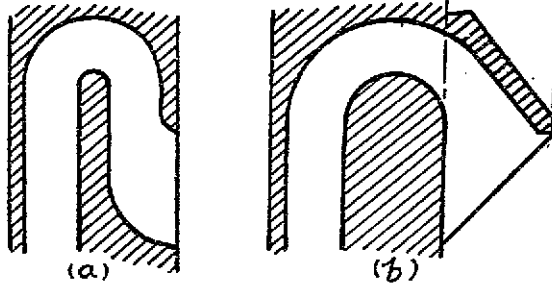
虹吸管頂用銳緣者，如 Gregotti 氏所監造之 Verona 虹吸管，其開始水頭可以較低，而喉高可以採用較大者。對於喉部已定之允許最大真空，及已定之拱冠弧度半徑 (Laggen 壩為壩頂之路寬所限制)，其最大流量之拱冠弧度半徑與頂點弧度半徑之比 = .27。用銳緣管頂，則減少溢量，且易發生真空隙，而受振盪之危險。

### 頂點之半徑

喉高已決定為 3 呎後，其頂點之半徑愈大，流量愈多。然下管之位置為壩頂之路寬所限制。且美洲尋常規定喉部之轉灣全部在壩頂之內如二十三圖 (a)。若入口之上唇如 (b) 圖所示，則半徑可以增大。其利端將更見于後。喉部外弧之最大半徑以 9 呎最佳，其內弧半徑則為 6 呎。

從經驗得知，虹吸管内之真空程度不得超過 24 呎。壓力過低，則溶解于水中之空氣大量發生，使溢水與頂點分離，而發生振盪。

據 A. H. Gibson 教授之模型試驗，Davise 氏之 Maramilli 虹吸管試驗，及其他之研究，知虹吸管喉部之水流與自動漩渦極相似。理論雖假設水流為無磨擦之線狀流動，



第廿三圖 喉部式樣之兩種

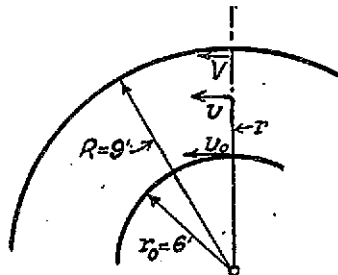
但難達真正自動漩渦，沿喉部轉曲愈近頂點，其水流愈近漩渦流動，然終難達真正之漩動以較大之比例尺用圖解法繪水流線，則水流速度之分佈可以求得，且可示知頂點縱剖面上水流情形，與自流漩渦極相近。

設喉部之水流為自動漩渦，其最大效率之公式可以求得。

設附加之小字 $o$ 表示頂點。

大寫之字母表示拱冠，第二十四圖。

因頂點之最大真空為24呎，故流速為



第廿四圖 喉部之水流

$$v_0 = \sqrt{2g \cdot 24} = 39.$$

自動漩渦其  $Vr =$  常數,

$$\text{故 } v = \frac{r_0}{r} v_0 = 39 \frac{r_0}{r}$$

每呎頂長之流量為

$$Q = \int_{r_0}^R v r dr = 39 r_0 \log_e \frac{R}{r_0}$$

故其最大效率為

$$\eta = \frac{Q}{47(R-r_0)} = 0.84 \frac{r_0}{R-r_0} \log_e \frac{R}{r_0}$$

Laggen 壩之  $R=9, r_0=6$  故可達之最大效率為

$$\eta = 0.84 \frac{6}{3} \log_e \frac{9}{6} = 68\%$$

而可能之流量為

$$Q = 0.68 \times 47 \times 3 = 96 \text{ 立方呎/秒}$$

近拱冠之速度

$$V = 39 \times \frac{6}{9} = 26 \text{ 呎/秒}$$

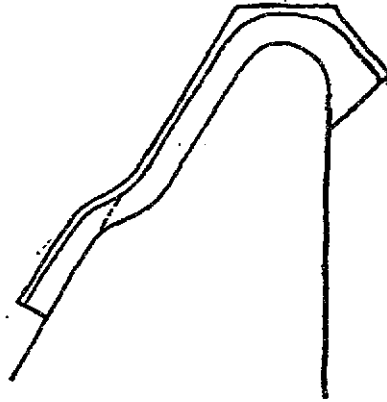
拱冠之壓力為

$$\frac{P}{w} = -3 - \frac{V^2}{2g} = -13 \text{ 呎水頭。}$$

### 每管之寬度

喉管之剖面須為長方形,因在一定之喉高,其最大之面積當為長方形。其寬度多受建築方面之限制。近拱冠為 13 呎之真空,即 800 磅/平方呎。若拱冠為拱形,則虹吸之寬度不太大者,拱冠不致過重。震盪所發生之影響不可忽視。在開始時溢水有猛烈之振動,若拱冠薄而闊,將被誘導而振動。寬度無一定之規定,最好之比例為 2d。

若寬度太小，則水錐半徑減小，磨擦損失增加，且建築費提高。



第廿五圖 虹吸管

Laggan 壩之寬度為 6 呎 11 吋。兩管間隔 2 呎。如此可以適應壩身之伸縮縫。每管最大之流量則為  $6.83 \times 96 = 650$  立方呎/秒。總流量為 3,600 立方呎/秒，故須虹吸管六隻。

### 虹吸管類別

虹吸管下管之位置情形，有三種，(1) 垂直式，(2) 下管沿壩面而下，(3) 頂點凸出。在本例中第三種無須討論，以其不能予健全之設計，或優良之開始性質。優良之開始，為下管沿壩面而下，並設一踏步，挑水封閉下管，第二十五圖；或下管子壩心直下，連一水平之出水管。

下管沿壩面而下者，可以減低動力之損失，而增高流量係數。但于高水頭虹吸管則並無利益，因高水頭虹吸管之最大流量與效率為喉部之情形所限制也。

Laggan壩若用下管沿壩面而下，其單薄之上管壁將受猛烈振盪，因之須多加鋼筋而建築費恐將糜費，若用垂直式，則可以免除振盪，因下注之水柱對於兩壁之壓力，適相等而相反。

一部份之工程司認為虹吸管不宜築于壩心。若虹吸管之體積與壩身體積之比極小，二管之距離不太近。雖築于壩心，亦無嚴重之弊害。對於壩基上壓力之分佈，亦無重要之影響。壩身之最大剪力近于壩趾。依 Laggan壩之佈置，經過垂直管之平面上之剪力將小于下游之剪力。因水平之出水管而增加之壩身之內壓力，亦無須顧慮，見後說明。據上種種，Laggan壩宜採用垂直之下管。

決定採用垂直式前，須慎重顧及各種之情形所發生之應力。

### 出口之高度

在本例之有效總水頭約為 120 呎，顯然屬於高水頭虹吸管。出水口決定採用射水式，使射出之水離開壩趾。然流量為頂點真空之程度所限定，而出水口愈低射出之速度愈大。出水口之面積愈須減小。故益近壩趾之低出水口，其射水速度愈大，射出之水離壩趾愈遠，而對於壩身之影響愈小。

然出水口低者，亦有其弊害。虹吸管愈長，其建築費

愈大；出水口愈小阻塞之機會愈多。壩趾上內壓力最大處，將不堅固；而 120 呎之水頭有 70 呎之速度，亦恐損壞混凝土牆面。曾經試驗，60 呎之流速對於精細混凝土之磨擦，若水泥面無不規則之處，足使平滑之水流起伏，而水中且無沙粒，則水流對於水泥面並無損壞。

出水口之高度遂決定離頂點 60 呎，射水速度則為 50 呎/秒。設流速係數為 0.8

$$v = 0.8 \sqrt{2g \times 60} = 50$$

全部設計完畢後，再求速度，與上值極相近。

因射水與河床接觸點愈遠愈佳。故射水須向上傾斜，第二十六圖。

設  $\theta$  = 射水管之傾斜角，

$a$  = 出水口距河底之高度，

$l$  = 水平射程，

$v$  = 出水口之流速，

射水大者空氣之磨擦力無關重要，茲不計及，則最大射程之傾斜角為：

$$\operatorname{Cosec} \theta = \sqrt{\frac{2ga}{v^2} + 2}$$

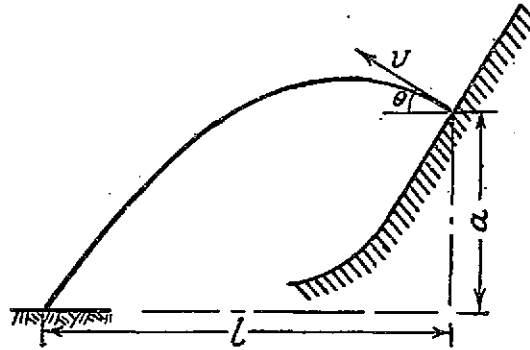
$$\text{故 } l = \frac{v^2}{g} \operatorname{Cos} \theta \left[ \sin \theta + \sqrt{\sin^2 \theta + \frac{2ga}{v^2}} \right]$$

$$v = 50 \text{ 呎/秒, } a = 64 \text{ 呎}$$

$$\text{則 } \theta = 31.6^\circ, \text{ 用 } 30^\circ$$

$$l = 128 \text{ 呎}$$

傾斜角採用  $30^\circ$  射程認為滿意。



第廿六圖 射水之路線

每管出口面積為  $\frac{650}{50} = 13$  平方呎，直徑為 4 呎。因出水口接聯一轉角，水平出水管之直徑及轉角處之直徑採用 4 呎 6 吋，面積為 16 平方呎，庶幾出水口可以流滿，而磨擦力亦可減小。

### 垂直管

茲可設計下管之垂直部份。在喉部之面積為  $A_1 = 20$  平方呎，水平出水管之面積為  $A_2 = 16$  平方呎，因兩虹吸管間距離愈大，則壩之內應力愈小。故由  $A_1$  減至  $A_2$  愈快愈佳，然管內之水壓力已極低，故不希望其繼續減小。若壓力為一常數，則水流增加之動能將等於其減少之勢能

$$\text{即 } d\left(\frac{v^2}{2g}\right) = -db$$



$$\text{或 } h_1 - h_2 = \frac{Q^2}{2g} \left( \frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right) = \frac{650^2}{64.4} \left( \frac{1}{16^2} - \frac{1}{20^2} \right) = 9 \text{ 呎}$$

由  $A_1$  減至  $A_2$  所經過之長度不得短于 9 呎。後採用 10 呎第二十九圖。

管之截面積于 16 呎後固可繼續減小，然最後仍須放大；且于建築立場言之，面積以一律為佳，因模板可以繼續應用也。

垂直管之截面形狀須加以討論。根據水力學應為圓形，其水潤週最小。若根據管間水泥之內應力，則管間之水泥愈厚愈佳；且須免除銳利之轉角，故截面須用卵圓式，或矩形而圓其角。然外加之費用，當不可避免。故採用圓形，直徑為 4 呎 6 吋。在截面積縮小之管段內，與壩垂直之平面上，水管由 3 呎放大至 4 呎 6 吋，即 1:6.6；于平行之平面上，則由 6 呎 10 吋減小至 4 呎 6 吋，即 1:4.2，而截面之形狀，為由矩形漸趨圓形。

Gibson, Aspy 與 Tattersall 三教授用模型研究垂直管形狀之改變，對於水力之損失。研究之結果得知雖管之截面積不變，增加之損失極大。所量得之損失雖含有直管下端轉角之損失，然增加之損失，可斷定其原因為下管轉角之深度大于不平行管斷之直徑。Gibson<sup>16</sup> 教授曾試驗一水管其截面積為常數而形狀漸次變更，其求得之結果較同長度，同面積，管壁平行之水管者大。

Laggan 壩之虹吸管，其形狀變遷之管段內，在與壩身平行之平面上，其收斂之程度較垂直平面上管壁放大之程度大；且面積漸次縮小，故因形狀之變更所引起

損失或將較小。

### 垂直管下端之轉角

轉灣之半徑與管之半徑之比為 5 時，轉角之水頭損失最小。故該轉角之半徑宜為  $11\frac{1}{2}$  呎。採用 12 呎，如第二十九圖。

### 水平出水管

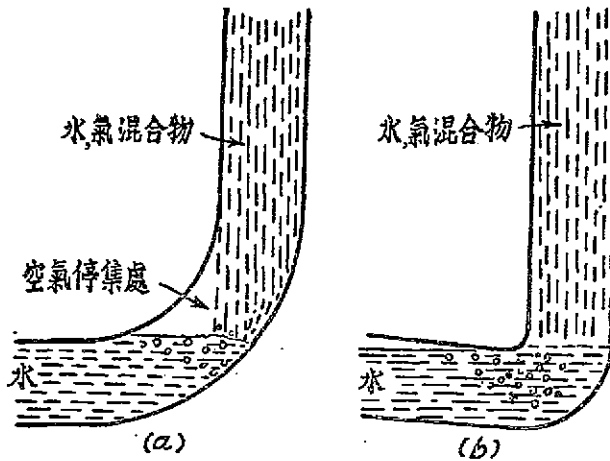
垂直管轉灣後，接一水平水管，其末端為  $30^\circ$  之仰角而遠出口。因壩內最大之壓力及剪力均在壩面。故水平水管以分數層為佳。出水口分兩層，高低相間。距頂點為 55 呎，與 65 呎。管間之有效距離因之增倍，而出水口間之壓力則小於壩趾之壓力。圓洞四周之理論壓力約為平均壓力之三倍，出水口用鑄鐵水管，水平管四周環以鋼筋以禦之。因出水口向上轉灣，故須一三吋之洩水管，以洩水平管中之餘水，而防止結冰。

### 開始作用之性質

茲討論開始作用之性質，

圓形堰頂上之洩水于  $60^\circ$  處與堰頂分離，已如十二圖所示。因洩水離開堰頂之重要，S. M. Dixon 教授作一模型，堰頂半徑為 6 呎。試驗之結果與計算者相合；且 2 吋之水頭，即可使水片離開堰頂。若水片於堰頂上未與頂點分離則在水流方向轉變處，及頂點凸出開始處，如第三十三圖，水片必與頂點分離。水片與管壁相擊處約

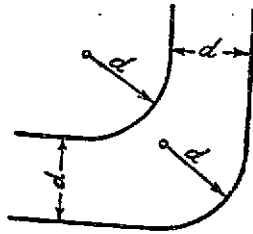
在下方 10 呎至 12 呎；而縮狹之兩壁將與水片之兩邊密切結合，水片與管壁相擊後變為水沫，自由下墜，約高 40 呎至 50 呎。除上端之水封外，墜水已具極強之抽氣能力。



第二十七圖 下灣曲度之影響。

美洲方面喜用陡灣。因挾空氣而下之水沫為轉灣之底壁阻止後，空氣上升而集于灣角。若轉灣銳利；出水管略向上傾斜，則聚集之空氣易為沖出，如第二十七圖 (b) 若轉角之弧度半徑較大，如第二十七圖 (a)，則聚集之空氣有逆水而上之危險。銳利轉灣之弊害，為增加水頭之損失；且于洩水時，管內之壓力極弱，因銳灣易發生真空隙，而使水流振盪。Gibson, Aspey 及 Tattersal 三教授謂在轉灣處，管徑增大，如第二十八圖。則損失可以減少，而轉角下之水流速度更均勻。如第二十八圖之轉角，

其轉灣弧度半徑可以減小。Laggan 壩因墜水之深度大，虹吸作用可以保證開始，故用一緩和之轉角。



第二十八圖

出水口之位置須能使開始作用時，水平管中之水流剛可滿管，庶幾空氣可自由逃出。若出水口之位置過高，則成一水封；在開始時，設出口內水面高出轉角，則聚集於轉角之空氣須加以壓力勝過此水頭而逐氣出管。Laggan 虹吸管原設計之出口（後於出口裝分水器，見第九章）已與上述之條件相合。

### 進口之上唇

尚餘上唇未曾討論。最早之虹吸管其上唇邊與頂齊。水位降至唇邊，虹吸作用停止，此種裝置雖簡單，然弊害極多；一波浪或一水峯均可使之停止作用。欲補救此弊端及其他之缺點（見後），上唇須低于頂，而至適當之深度；并裝設適宜之氣孔，或活門，使虹吸作用于一定之水位停止。

進口之面積通常規定為水管面積之二倍。Laggan

虹吸進口之流速為  $650/40 = 16$  呎/秒,相當之水頭為  $16^2/2g = 4$  呎; 4 呎之義意,並非進口之水面將降落 4 呎,上唇須加深 4 呎而阻空氣之流入。在任一虹吸管口之水位降落,只可用流水綫求得。用流水綫 (Streamlines) 解決水力學之問題為通常教本中所僅見。該法用途極廣;除簡單之情形者外,為求流速分佈之唯一途徑。對於等量流動 (Steady flow) 通常均不計及其漩渦 (eddies); 虹吸管進口之水流乃收斂之等量流動,用之當可得極近似之結果。茲論之如次。

### 圖解流水綫之漸近法

非洩遊之兩度流動 (Two-dimensional flow of an irrotational fluid), 可用下式表明:

$$\phi + i\psi = f(x+iy)^*$$

$\psi$  為流水綫 (flux)

$\phi$  為流速勢能 (Velocity-potential)

通常亦寫如下式

$$\omega = f(z)$$

在  $\omega$  之平面內,若取  $\phi$  為橫座標,  $\psi$  為縱座標,給直綫  $\phi = 1, 2, 3, \dots$  及  $\psi = 1, 2, 3, \dots$  成方格網。則該圖可代表等速之直綫流動,由左而右平行前進。

$$\text{設 } \omega = \phi + i\psi = F(t) \psi F(\xi + i\eta)$$

$F$  為任何函數。 $t$  平面內之  $\xi$  綫及  $\eta$  綫,相當於  $\omega$  平面之  $\phi$  與  $\psi$  綫,亦相互直交而成方格;然通常方格之

\* 見參考書 21

各邊爲弧綫，且各方格之大小不等。 $\omega$  平面內之每一點在  $t$  平面內有其相當之一點； $n$  線則代表水綫之可能分佈。依此按步推求，

$$\phi + i\psi = f(x+iy)$$

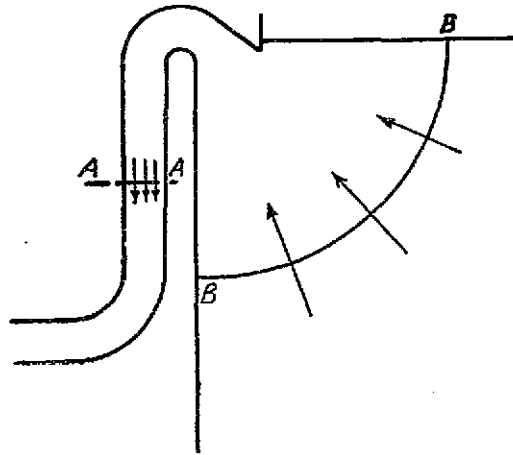
之關係可以求得。某一流動之流水綫及流速勢能綫據此或可求得，而適合其界面 (Boundary Surfaces)。Schwarz 及 Christoffel 二氏曾發表其求法。然其可能之範圍僅限於數類簡單者，如圓弧及直線所造成之界面。

因  $\phi$  及  $\psi$  綫必需直交且需成弧形之方格 (Curvilinear Squares)；若界面之情形已知，則流水綫之分佈可由圖解而得。

虹吸管之各截面均爲矩形且等寬者，則水流爲兩度之流動。又若各虹吸管均同時溢水，則進口之水流亦爲兩度流動矣。上下二界面極易確定；虹吸管之內壁爲  $\psi = 0$ ，外壁爲  $\psi = n$  ( $n$  爲一假定值，代表流水管——Streamtube 一之數目)。若再求得二等流速勢能綫，亦即其餘二界面上之流水綫方向，則流水綫分佈之情形可以決定。水庫深者 (與虹吸管徑相較)，在離進口數管徑之外，水綫之方向必皆爲輻射狀，而  $\phi$  綫則爲同心弧，如二十九圖之 BB 綫。若虹吸管含有一長且直之平行管段，於該段之中央假定其流水綫與管壁平行，即  $\phi$  綫與管壁垂直，<sup>10</sup> 當無大差誤，第二十九圖之 AA 綫。四圍之界面既定，流水綫可以開始繪製。

分 ABB A 爲四流水管 (爲便利計，故分爲四)；各管之流量相等。分割之法，全爲估計。在 AA 綫上爲平均分

佈。喉部之水流近似自動漩渦 (free vortex)，頂點之流水線將較密而近拱冠處將較疏。至 BB 面則又為平均分

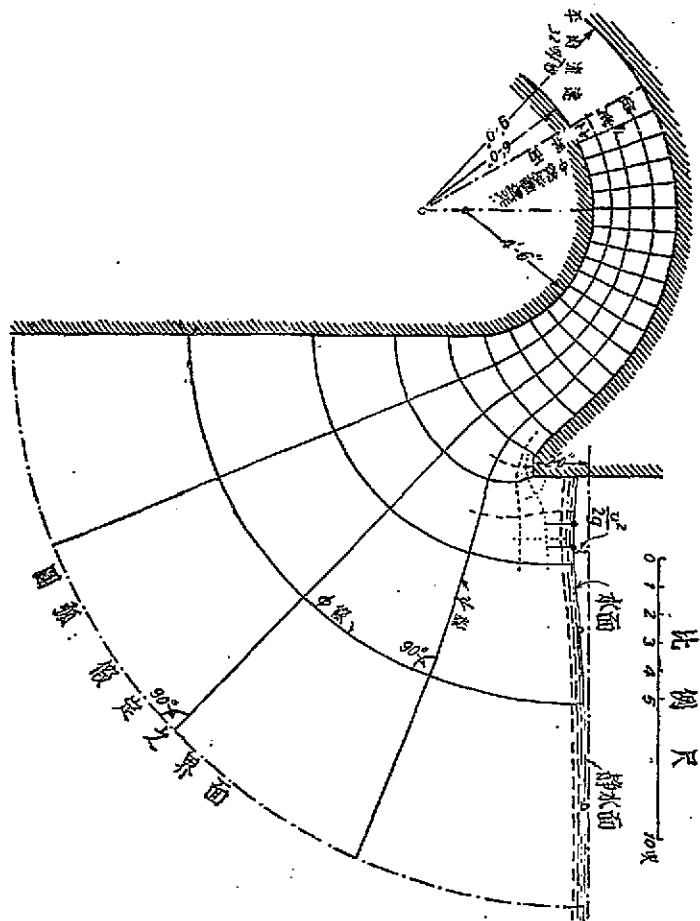


第二十九圖 界面之情形

佈。畫  $\phi$  綫，可先沿虹吸管之中心綫分割較為便利，分割之距離等於流水管之寬度。 $\phi$  綫與  $\psi$  綫直交成方格，然各格均難成一真正之方形，二  $\phi$  綫之平均距離難等於二  $\psi$  綫之平均距離。 $\phi$  綫畫完後，調整  $\psi$  綫，使各格趨于方形；再調整  $\phi$  綫使與  $\psi$  綫直交。如此漸次調整，以達須要之準確程度為止。

因界面之情形影響於每一  $\phi$  綫及  $\psi$  綫，故全部之方格網，必先繪出而後調整。喉部之水流雖近似自動漩渦，但除頂部轉灣之角度較小者外絕難達真正之自動

第三十圖 虹吸管進口之流水線



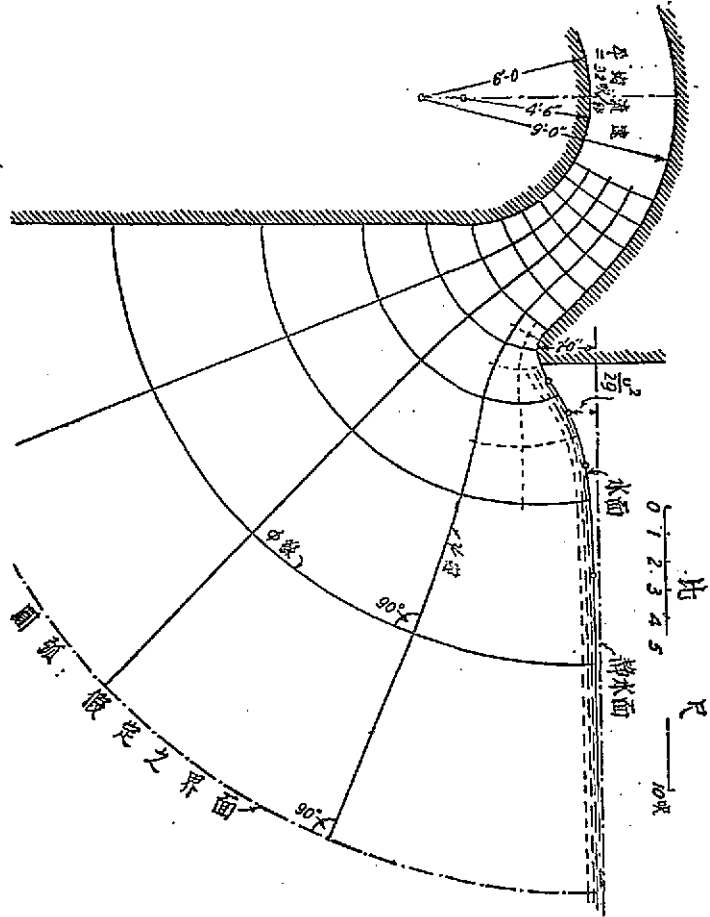
漩渦。在轉灣之分角線上假設水流為漩渦流動，已極準確，故  $\phi$  綫假定為一向心之直綫其差誤常可極小。

Laggan 虹吸管之直管內水流非兩度之流動，故以



喉部轉灣之分角綫爲界面,如三十圖。進口外之水面於

第三十一圖 虹吸管進口之流水綫另一情形



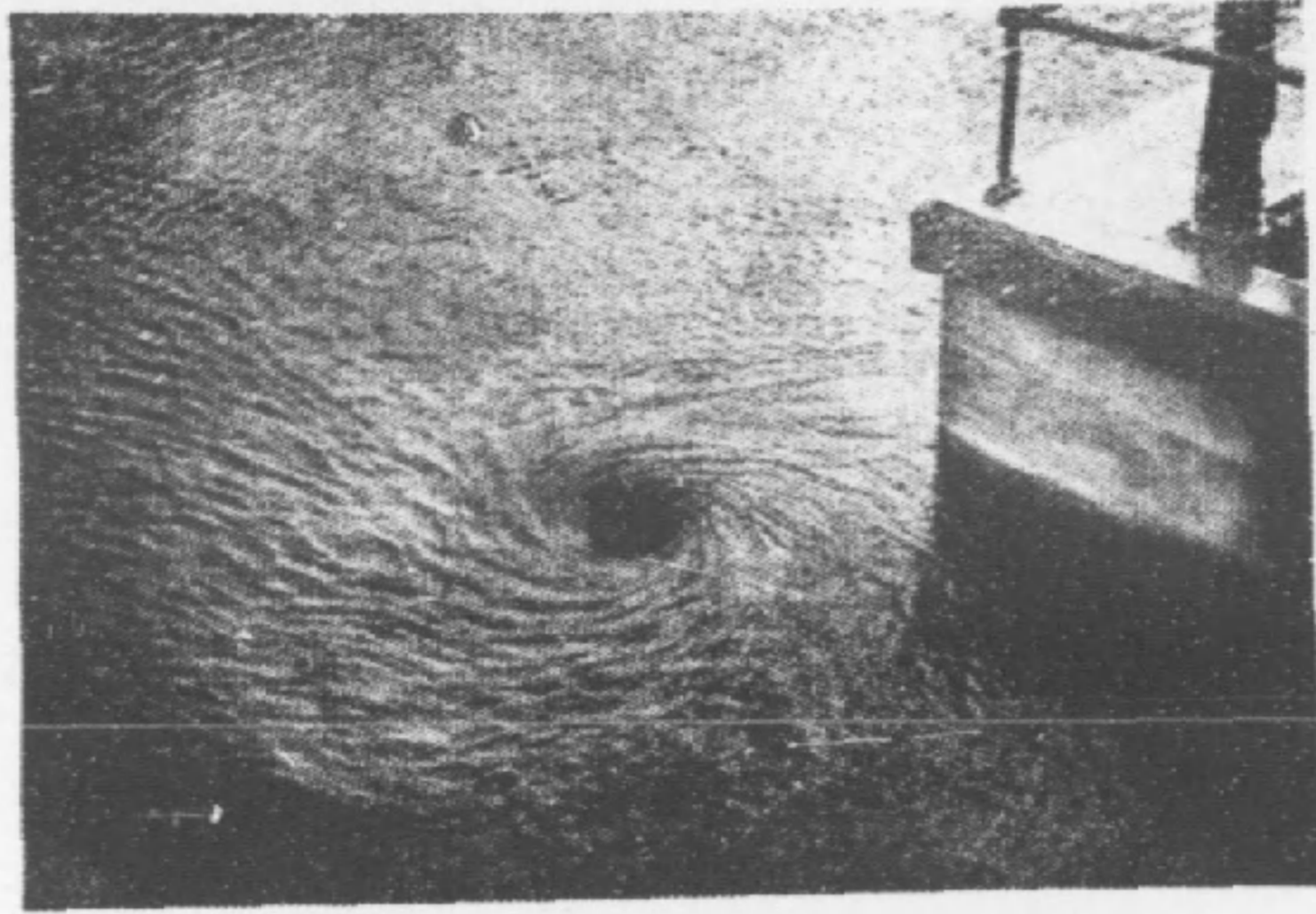
開始時假定爲水平。分割爲方格網,如上述之方法。因每方格中心之流速與方格之邊長成反比,故水面各點之

流速可以求得。為產生流速，水面必下降；下降之高度為  $\frac{v^2}{2g}$ 。依此繪成新水面；再調整方格網。如次漸次推進，以抵於成。

Laggan 虹吸管之上唇先會暫定為浸水二呎，水流之情形如三十圖。每虹吸管之流量為 650 立方呎/秒。與書面垂直之方向取寬一呎，則每流水管代表  $\frac{650}{6.83 \times 4} = 24$  立方呎/秒。水面之情形如第三十圖所示。第三十一圖之水面乃另一可能之結果。故第三十圖之水面為不穩定之狀態。當虹吸管開始溢水時，水面將微微降低，但不能持久，或將突然降落至唇邊，而空氣有吸入之可能。故最後決定上唇浸水八呎，以防止水面之降落及漩渦之發生。

由第三十圖及第三十一圖可見唇邊之流速極大；銳利之唇緣切須避免。浸水愈深其銳利之程度可以增加；然無一定之準則可為憑依。故每一設計必須繪出其流線。

於 Laggan 虹吸管之模型上——縮尺為八分之一，上唇浸水六呎，——溢水時見水面之降落雖極微；然拱冠前發生漩渦。漩渦發生後即漸漸縮小，至於消滅，而繼以反方向之漩渦。如此周而復始，每十分鐘一變換。在無磨擦損失之液體中，漩渦一旦發生，將永遠存在。增加上唇浸水之深度，僅能減少空氣之流入。因在漩渦之任一截面上其  $rv = \text{常數}$ ； $v (= \sqrt{2gh})$  隨深度而增加，故漩渦孔必隨深度而減小，如第三十二圖。水流下降後，由勢能變為動能，但因磨擦之損耗必消失其一部，下降愈大，損

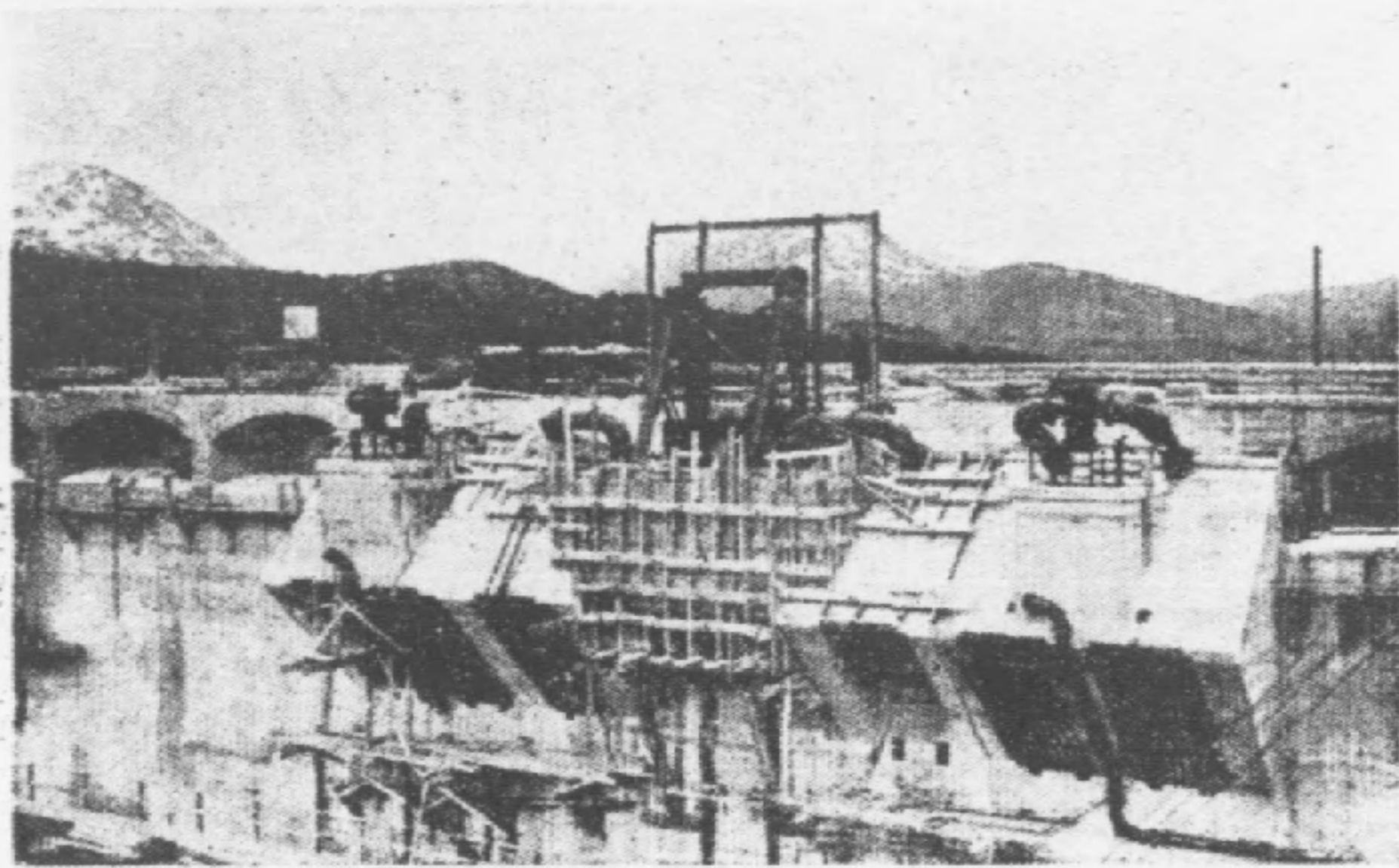


(a) Laggan 虹吸管進口前之自動漩渦



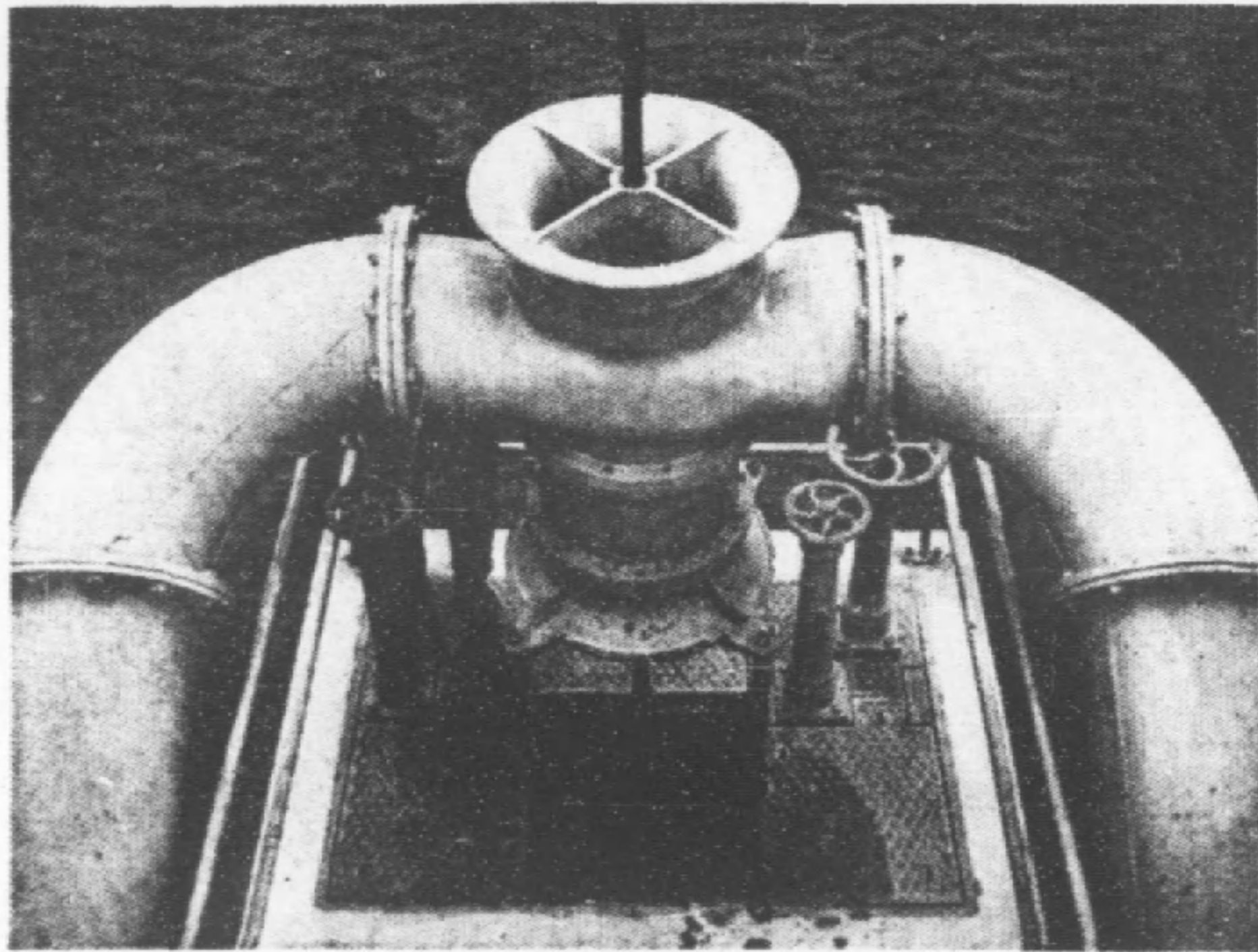
(b) Laggan 壩未溢水前之出口情形

照像第五圖



(a) Laggan 虹吸管：進口情形

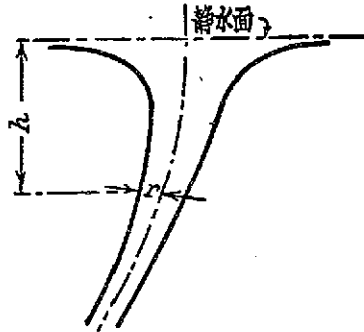
靜水井之進水管，管端裝濾水器



(b) Laggan 虹吸管之機器活門

照 像 第 六 圖

失愈大；而流速與理想值  $\sqrt{2gh}$  之差亦愈大。流速減小



第三十二圖 自動漩渦

(比較的), 離心力亦減小。漩渦之孔徑乃為四圍之水壓力所壓縮。至一定之深度後, 因增加深度所發生之磨擦損失大於所獲之能力, 則漩渦不能存在矣。故任一虹吸管, 其上層浸水至一定之深度後, 漩渦則不能發生。在模型上若發現漩渦, 實際上必有產生漩渦之可能; 但模型上雖無渦漩, 實際上不能保證無漩渦之存在。阻止漩渦之發生, 黏結力 (Viscosity) 為最大之因數, 已如上述。而流動之相似條件為模型與實際之  $\frac{\nu}{v l}$  及  $\frac{l g}{v^2}$  相等 ( $\nu$  為比較黏性系數, Kinematic Viscosity;  $v$  為流速;  $g$  為天然加速度;  $l$  為長度), 若用同一流體, 前者需  $l$  與  $v$  成反比, 後者需  $l$  與  $v^2$  成正比。此乃矛盾之現象, 不可能也。若另選一流體, 然亦無此極小之黏性系數者, 能使模型代表實之結果。故防止漩渦, 吾人所能致力者惟設計時隨處預防其發生, 及成功之希望耳。

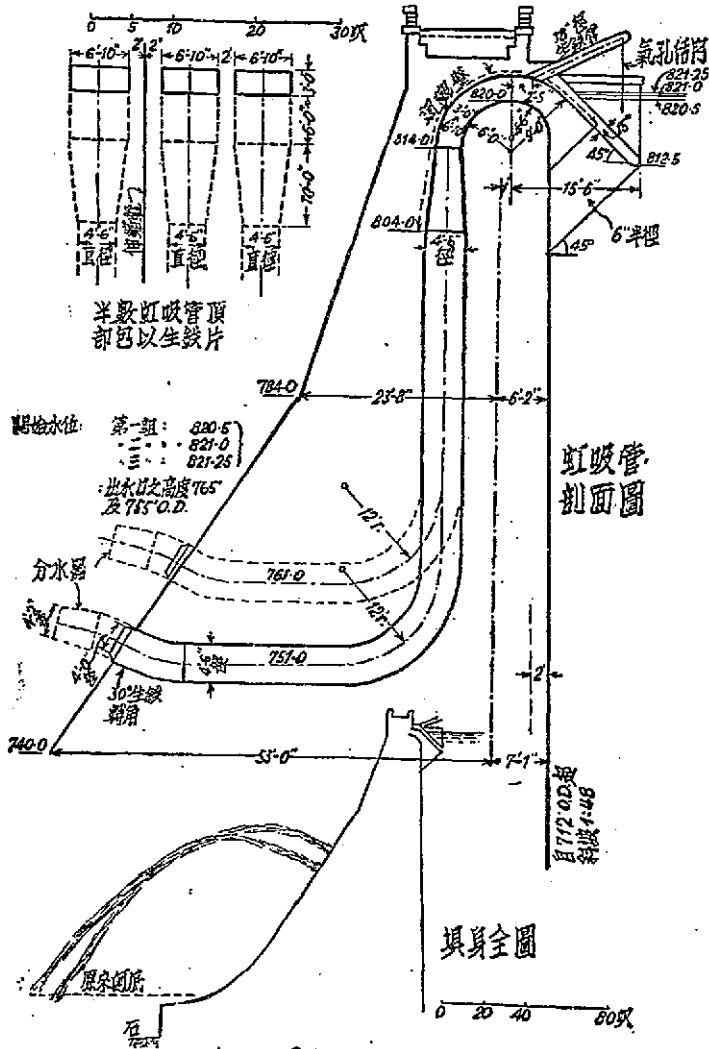
根據第三十圖及第三十一圖之流水線，可知上唇緣之半徑小者，唇邊之流速必大。若唇邊為銳緣者，則流速應為無窮大。速力過大，則易生真空，漩渦將因之而發生。故設計時雖唇片深沒水下，而銳利之唇緣仍須避免。

漩渦之發生或因各虹吸管之特殊情形所致，如銳緣之上唇，亦有因虹吸管内全部水流轉動而發生者，但此類漩渦之旋轉方向必始終如一。Laggan虹吸管之漩渦非此類者，因銳緣之上唇而發生者有二類。一為二漩渦同時出現自唇邊直達水面。一為二反方向之漩渦更相出現，如模型上所見者。

阻止虹吸管内水流之旋動可減小漩渦或更可使之消滅。故方形之虹吸管較圓者佳，而矩形者尤佳，茲討論一圓柱式水流，有順軸流動及旋轉流動。設 $\omega$ 為角速， $r$ 為半徑， $l$ 為長度， $\rho$ 為密度，則其動能為 $\frac{\pi \rho \omega^2 l}{2g} r^4$  ( $\frac{1}{2} m v^2$ )。若分水流為 $n$ 平行水片，每片之厚為 $2r/n$ 。則水流分為 $\frac{\pi}{4} n^2$  ( $= \frac{\pi r^2}{(\frac{2r}{n})^2}$ ) 個旋轉之水柱，每柱之半徑為 $r/n$ 。其動能之總和則為原有之 $\frac{\pi}{4n^2}$ 倍 ( $E' = \frac{1}{4n^2} m v^2$ )。動能大減。分水流為數片，對於防止漩渦之效能，於此可見。

阻止漩渦之發生猶有一法：在拱冠前設密接之木排，若範圍廣大，則漩渦之途徑增長，較難發生。但上唇浸水深者無效。

Laggan 虹吸管之上唇邊在頂點下 7 呎 9 吋。溢水



第三十三圖 Laggen 虹吸管

時浸水八呎。進口更裝有平行之鉄片突出唇外。故上述之兩類漩渦均可避免。

最近試驗 Laggan 虹吸管發現另一類之漩渦。產生於二虹吸管之進口之間，如照片第四圖(a)所示。其出現不定。有時於漩渦之中心有氣孔，有時無氣孔，有時完全消滅。在水面下六吋處，氣孔之最大直徑為六吋；但在唇緣之直徑則極小。由漩渦吸入之空氣對於虹吸作用無顯著之影響。

Laggan 虹吸管之溢水道已設計完畢。第三十三圖乃一總圖也。

### 流量之計算

前曾設一假定之流量與其係數，以便設計；茲可依據已設計之虹吸管而求其流量。

虹吸管之各剖面如第三十四圖

設  $v_0$  = 剖面 o 之平均流速

$v_{01}$  = o1 管段內之平均流速

$v_2 = V_3$  = 喉部及其他各剖面上之平均流速

a = 剖面面積

l = 管段之長度

m = 水霧半徑

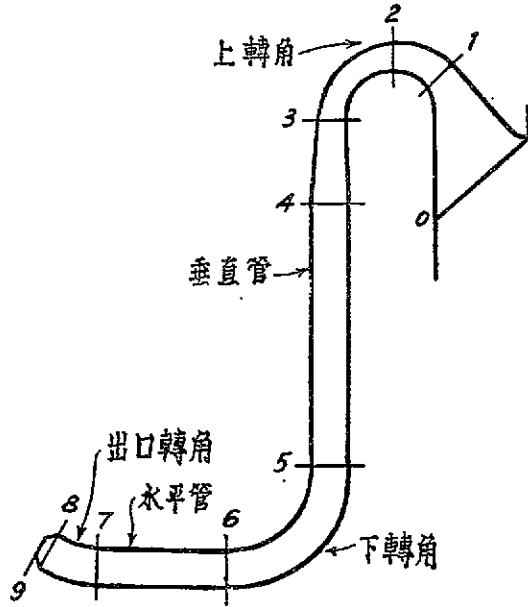
d = 直徑

各剖面之面積及流速可以喉部之剖面面積及其流速代之

$$a_0 = 102 = 5a_2 \quad \therefore V_0^2 = 0.04V_2^2$$



$$\begin{aligned} a_{01} &= 6\% = 81a_2 & \therefore V_{01}^2 &= 0.11 V_2^2 \\ a_{31} &= 18.1 = 0.89a_2 & \therefore V_{31}^2 &= 1.26 V_2^2 \\ a_{41} \text{ 至 } a_{21} &= 15.9 = 0.78a_2 & \therefore V_{41}^2 \text{ 至 } V_{21}^2 &= 1.62 V_2^2 \\ a_9 &= 12.5 = 0.615a_2 & \therefore V_9^2 &= 2.63 V_2^2 \end{aligned}$$



第三十四圖 Lagan 填虹吸管

磨擦係數  $c$  極難決定。通用之試驗值皆為微細之管徑者，或低流速者；且因水泥面而引起之變化亦極大。現流速為每秒 40 呎， $V_m = 45$ 。在 F.C. Lea 教授所著之水力學中，有各種管徑與  $c$  之曲線。引長諸線，求得普通水：泥管之  $c$  值為 145。用該值，則水頭之損失為

$$h_f = \sum \frac{lv^2}{0.2m} = \sum \frac{lv^2}{145^2 m}$$

因進口之流速極小，故進口之水頭損失  $h_0$  無關重要。用下式已夠準確。

$$h_0 = 0.5 \frac{v_0^2}{2g}$$

轉角之損耗水頭極重要。然吾人對於該項之知識缺乏，故不得不借重于模型試驗。轉角損耗非轉角本身發生之損耗，而為直管與彎管聯合之損失。當水流由直管流入轉角，其流速須從新分配，以近乎自動漩渦流動為止。因之損失一部份水頭。在轉角內更有洄漩之損失，及磨擦之損失；而曲度半徑小者尤甚。最後水流由轉角再流入直管，流速又須調整，水頭復因之而損失。故轉角之損失與轉角之角度非一簡單之比例。Bouchayer 與

Viallet 二氏求得轉角損失與轉角度之關係極不規則， $60^\circ$  之損失反小于  $30^\circ$  者。由直線流動變為漩渦流動，其動能增高，故壓力減低。由漩渦流動再轉為直線流動，其動力僅一部份還為壓力。若轉角前後之平均速度求得則轉角之損失約數可以求得。但大于真正之轉角損失極多。蓋因轉角下一定之距離內，水流盪漾，任一點之速度變遷極快，故某點之壓力不能代表其平均壓力。對於轉角損失之所以變化不定，上述各原因可作一解釋。 $90^\circ$  之轉角其  $\frac{2R}{d}$  為 5 時，損失最小。由試驗之結果知損失

之範圍為  $0.1 \frac{V^2}{2g}$  至  $0.46 \frac{V^2}{2g}$ 。

矩形水管與圓形水管轉彎水頭損失之關係，以往

毫無經驗。茲假設深度與半徑相等者損失相等。

轉角損失之試驗值，大平均由微細之圓管及低流速求得。但轉角處水流湍急，甚于直管，故除  $vd$  之值極小者外，黏性對於損耗之影響極小，即水頭損失與  $V^2$  將成爲比例。若然則已得之試驗值可應用于粗水管及高流速，但作者現尙不能證明之。

依以往之經驗，慎重考慮水頭之損失決定如下。

$$\text{上轉角角度約爲 } 135^\circ, \frac{2R}{d}=5, \text{損失} = 0.35 \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{下轉角角度約爲 } 90^\circ, \frac{2R}{d}=5, \text{損失} = 0.30 \frac{v^2}{2g}$$

$$\text{出口轉角角度約爲 } 30^\circ, \frac{2R}{d}=6, \text{損失} = 0.15 \frac{v^2}{2g}$$

高水頭虹吸管（如 Laggan 虹吸管）之轉角損失與總水頭之比，較低水頭虹吸管者小，故數值上稍有差誤，無關重要。

面積漸次縮小之管段，其因面積之縮小而發生之損失，姑不計及。

水流速力在管徑上之分佈，雖于直管段中亦不能均勻。故由出水口射出之水頭動能，將大于依平均速力求出之動能。因  $\alpha$  值增高，F.C. Lea 教授介紹用  $1.05 \frac{v_a^2}{2g}$  求動能，以代  $1.12 \frac{v^2}{2g}$ 。

現可開始計算

$$\text{總水頭} = \text{進口損失 } h_e + \text{轉角損失 } h_b + \text{磨擦損失 } h_f + \text{射水動能 } h_r$$

(a)H=56呎 (b)H=68呎

$$h_a = 0.5 \frac{v_0^2}{2g} = 0.5 \times 0.04 \frac{v_2^2}{2g} = 0.02 \frac{v_2^2}{2g} \quad 0.02 \frac{v_2^2}{2g}$$

 $h_b$ 

$$\text{上轉角 } 0.35 \frac{v_2^2}{2g} = 0.35 \frac{v_2^2}{2g} \quad 0.35 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$\text{下轉角 } 0.30 \frac{v_3^2}{2g} = 0.30 \times 1.62 \frac{v_2^2}{2g} = 0.49 \frac{v_2^2}{2g} \quad 0.49 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$90^\circ \text{轉角 } 0.15 \frac{v_3^2}{2g} = 0.15 \times 1.62 \frac{v_2^2}{2g} = 0.24 \frac{v_2^2}{2g} \quad 0.24 \frac{v_2^2}{2g}$$

 $h_i$ 截面 0 至 1:  $l = 12$ 

$$\left. \begin{aligned} v^2 &= 0.11 v_2^2 \\ m &= 1.94 \end{aligned} \right\}$$

$$\frac{lv^2}{c^2 m} = \frac{12 \times 0.11}{145^2 \times 1.94} \times 64.4 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$= 0.00 \frac{v_2^2}{2g} \quad 0.00 \frac{v_2^2}{2g}$$

截面 1 至 3

$$\left. \begin{aligned} l &= 18 \\ v^2 &= v_2^2 \\ m &= 1.04 \end{aligned} \right\} \frac{lv^2}{c^2 m} = \frac{18}{145^2 \times 1.04} \times 64.4 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$= 0.05 \frac{v_2^2}{2g} \quad 0.05 \frac{v_2^2}{2g}$$

截面 3 至 4

$$\left. \begin{aligned} l &= 10 \\ v^2 &= 1.26 v_2^2 \\ m &= 1.07 \end{aligned} \right\} \frac{lv^2}{c^2 m} = \frac{10 \times 1.26}{145^2 \times 1.07} \times 64.4 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$= 0.04 \frac{v_2^2}{2g} \quad 0.04 \frac{v_2^2}{2g}$$

截面 4 至 8

$$(a) \begin{cases} l = 10 \\ v^2 = 1.62v_2^2 \\ m = 11.2 \end{cases} \left\{ \begin{aligned} \frac{lv^2}{c^2m} &= \frac{70 \times 1.62}{145^2 \times 1.12} \times 64.4 \frac{v_2^2}{2g} = 0.31 \frac{v_2^2}{2g} \end{aligned} \right.$$

$$(b) l = 87 \quad \frac{lv^2}{c^2m} = \frac{87 \times 1.62}{145^2 \times 1.12} \times 64.4 \frac{v_2^2}{2g} = 0.39 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$h_v = 1.05 \frac{v_2^2}{2g} = 1.05 \times 2.63 \frac{v_2^2}{2g} = 2.76 \frac{v_2^2}{2g} \quad 2.76 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$(a) \text{ 總水頭} = 56 = 4.26 \frac{v_2^2}{2g}$$

$$(b) \text{ 總水頭} = 66 = 4.34 \frac{v_2^2}{2g}$$

總水頭  $H$  為上游水面與出口中心之水位差。故

$$(a) v_2 = 29.1 \quad \therefore Q = a_2 v_2 = 20.3 \times 29.1 = 590 \text{ 立方呎/秒}$$

$$(b) v_2 = 31.3 \quad \therefore Q = a_2 v_2 = 20.3 \times 31.3 = 640 \text{ 立方呎/秒}$$

效率為

$$(a) \frac{590}{20.3 \times 47} = 62\%$$

$$(b) \frac{640}{20.3 \times 47} = 67\%$$

依喉部之設計，其最高效率為 68% (見前章)。

(b) 類虹吸管用  $\frac{1}{8}$  之模型試驗，其流量結果為 3.985 立方呎/秒，實際之虹吸管則為  $3.985 \times 8^{5/2} = 613$  立方呎/秒。因黏性之影響，由模型試驗結果所算出之流量必較小，算得之流量其差誤尚小。



## 第八章 虹吸管之設計(續)

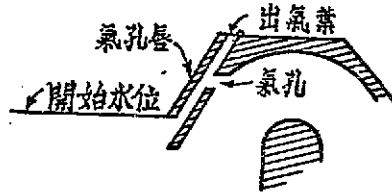
### 虹吸作用之停止

Laggan 虹吸管之開始性質與其作用已有充分之考慮,茲討論其作用之停止。進水口之上唇因種種之關係,低于頂點。若無適當之設備,使作用于適當之水位停止,則水位將繼續下降至上唇為止,而蓄水量大減。因欲獲得最大之有效儲蓄量,虹吸作用通常在允可之最高水位開始。故理想之停止,即水面剛低于該水位,作用立即停止。最佳之方法為導空氣入喉,破壞真空,而使作用停止。以前之虹吸管上唇與頂齊,水位降至上唇,則空氣自由輸入。若上唇低于頂點,則拱冠上須設氣孔,其上緣在需要停止之水位。尋常通用者為一矩形之氣孔,高小於寬。當水位漸次降低,氣孔漸漸露出水面,虹吸作用亦漸停止;但完全停止需時甚長,因之發生振動與響聲。且當水位漸次升高,氣孔淹沒後,水面發生漩渦,有阻止或延遲開始之危險。

改良氣孔之法為于氣孔外設一板片,如第三十五圖;或聯一水管垂直轉灣,沒于水下,如照像第三圖(b)。其目的在使空氣之進口面水平,並增加進口之面積。

### 氣孔之大小

吾人對於停止虹吸作用,氣孔所必需之面積方面



第三十五圖 氣孔唇

之知識，非常淺鮮。多數之虹吸管設計，均不注意氣孔之大小，以為無關重要。通常均傾向于安全方面，而用較大之面積。然氣孔面積大者亦有弊端，如發生漩渦及虹吸作用之不完全。下列實例略示面積變化之範圍。所示各值乃氣孔面積與喉管面積之比例。

Wood Creek.....	1/4.3
Ocoee.....	1/5.3
Lethbridge.....	1/6
Canberra.....	1/6
Hetch-Hetchy.....	1/10
Dunalastair(小虹吸管).....	1/13
Mokelumna.....	1/15
Maramsilli.....	1/16
Dunalastair(大虹吸管).....	1/16
Glens Falls Feeder.....	1/18
Erie Canal.....	1/28
Huntingdon Lake.....	1/28
Tyssefaldene(已知不足).....	1/192



Kadakvasla(不足一減少 $\frac{1}{4}$ 之溢量) ..... 1/288

Stiekney之氣孔面積爲其喉管面積之 $1/24$ 。氣孔未全部露出水面前,虹吸作用已停止。Laggan壩之水頭爲60呎,若用 $1/24$ 之氣孔,則恐將不敷。

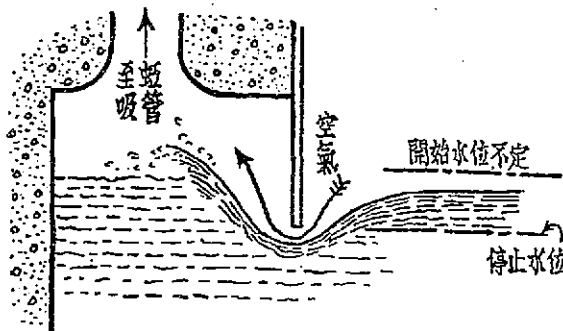
氣孔之面積無從計算,因空氣爲水帶出者依其與水混合之程度而定。若氣孔爲多數之細孔組成,則若干細微之氣泡,由氣孔輸入,分佈于流水中。雖其總體積較單氣孔之輸入者大,然多爲流水挾出,而不能停止作用。於拱冠內任一點若溢水未曾流滿,則空氣將羣聚于此,一細微之氣孔,即可使作用停止;有時水中逃出之空氣亦可阻止作用。故一旦拱冠內發生隱避之氣泡,其體積漸次擴大,漫佈拱冠全部;流水與氣泡間之磨擦力,僅可使泡內空氣流動,而不能挾之而下矣。氣泡之來源或由氣孔輸入,有時氣孔雖淹沒甚深,氣體可由漩渦吸入。

用模型試驗求氣孔之面積,亦非完善之方法。因空氣由洞口流入之速度與壓力之平方根不成比例。空氣既進拱冠後在實際上體積有相當擴大;且水氣間之黏力及表面張力均爲重要之因數。故決定于 $\frac{1}{2}$ 之模型上裝設通氣管,接于頂點,使空氣速度及真空壓力與實際之情形相同。用該法雖尙有諸端不正確之處,然其結果認爲有相當之可靠。試驗之結果,在模型上須兩隻 $1\frac{1}{2}$ 吋之矩形管,與水管之比爲 $\frac{1}{20}$ 。故實際上管徑須18吋。

爲安全計,用18吋之氣管,面積之比爲 $\frac{1}{11.5}$ 。

氣孔進口之式樣

氣孔水淹後，虹吸管洩水。氣孔內外之氣壓差，即氣孔與虹吸管接連處之真空壓力。因喉部水流為直線流動，其各點之真空壓力無多變化，故氣孔無論其為水平孔，設于拱冠者，或為氣管連于喉部者，其真空壓力，均可認為相同。Laggen 虹吸管之拱冠真空壓力為  $-13$  呎之水頭，由氣孔流入之水量當為  $0.6 \times \frac{\pi}{4} \times 1.5^2 \sqrt{2g \times 13} = 30$  立方呎/秒，流速為  $18$  呎/秒。產生該流速，水面常有極大之降落，故簡單之氣孔或氣管，將不能用。因難以獲得嚴密之節制；且水位之升高須經過較大之範圍，虹吸作用方可完成。氣孔進口之面積，更須增大，以和緩流速，減小水面之下降。

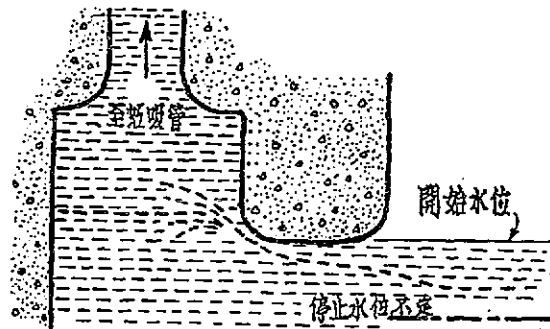


第三十六圖 銳緣氣孔唇

氣孔外設一長片若唇（姑名之為氣孔唇），如第三十五圖，乃解決該問題之一法也。Laggen 虹吸管之氣孔唇外復圍一靜水井以阻風浪之影響。氣唇所圍之水面積極大，水沒氣孔唇後，水面之降低極小。

設氣孔唇為銳緣如第三十六圖。水面升至唇邊後，若真空壓力強大，空氣將繼續衝進；且因離心力壓低水面，故水面須升高數吋，方可斷空氣之流通。當水面漸次降低時，水封停止尚快。空氣由唇邊流入，唇下之水面將為空氣壓低而停止虹吸作用。

氣唇為水平之寬緣者，如第三十七圖。當水面升至唇邊，空氣立即停止流入，因空氣須沿唇邊直線流入，故無離心力以壓低水面。然當水面漸次降低，至于唇邊，水因氣孔吸入，阻止空氣之流進；以至水面低于唇邊有相當之距離，方可停止虹吸作用。



第三十七圖 寬緣氣孔唇

開始虹吸作用之水位，無論其為銳緣氣孔，抑寬緣，氣孔均高于停止作用之水位。前者開始作用之水位為未知數，但高于唇邊；停止之水位為唇邊。後者反之。

選擇氣孔唇之式樣，依開始作用時之情形而定。作用開始時，或有極強之空氣由氣孔湧入，如高水頭虹吸

管，下管無水封，而溢水有相當之深度；或無空氣流入，未開始作用之前已冰封。後者宜用銳緣氣孔唇。最高水位極重要者，及有空氣湧入者，當以用寬緣為安全。

Laggen 虹吸管之出口設計，已見前章；其下管有水封之效能，但是否可以阻止強烈之空氣由氣孔湧入，尚屬懷疑。故決定採用寬緣。中間之二虹吸管即如此裝置。氣孔唇為 6 呎 4 吋長，一呎 2 吋寬，用螺旋調節其上下。

該虹吸管後經試驗，見氣孔唇被水淹沒後，作用立即開始；且無漩渦。然水位降落時，須低於唇邊 13 吋，作用始停。先則空氣由唇邊吸入，有微聲；次則，水面每四秒必上升與唇邊相接一次，而空氣大量輸入，射出水流亦同時發生搖洩之狀態。

若阻止水面之波動或減小唇寬，水面降低之範圍或可大減。Laggen 虹吸管之氣孔唇可以調節，故可使作用提早停止。該二氣孔唇之設備，乃嘗試驗性質；其餘者更須精確之設備。

於此更應注意一實際之事實。下管有水封者，須注意其可以調節之氣孔唇，是否完全密合。否則作用之開始，將因之延遲。

亦有用氣管代替氣孔者，由喉部接出，垂直轉灣沒于靜水井內。進口如鐘，直徑為氣管之兩倍。則進口之流速約為氣管內之  $\frac{1}{7}$ ，水面之降低為  $\frac{1}{49} \times \frac{V^2}{2g}$ 。Laggen 之  $V$  為 18 呎/秒。若用之，其水面之降低略大于一吋。銳緣鐘式進口之情形與銳緣之平片氣孔唇同。其弊端為易于發生漩渦，而妨礙其效用。

Mokelumna 計劃之氣孔爲一12吋之氣管，水面低于唇邊二吋，始停止作用。

Dunelastair 虹吸溢道之大虹吸管用19吋之氣管，小虹吸管用16吋之氣管。見照像第二圖及第三圖。管口微微放大。水面須低于管口4吋及 $3\frac{1}{2}$ 吋，作用始停。大小虹吸管之下管均水封，故用銳緣。

### 靜水井

寰氣孔唇之外，圍一靜水井，則井內之水面平靜，氣孔之開閉不受波浪之影響。在大水庫內波浪之起伏較巨。若無靜水井，氣孔因波浪之起伏，則時開時閉；虹吸之作用只能部份開始 (Partial Priming)；而部份之作用，能延常極長之時間。

靜水井乃一水池，位于拱冠前。池壁有洞；洞徑愈小愈佳，以減輕波動對於池內水面之影響。然對於氣孔之大者，則發生困難。如 Laggan 虹吸管，每管流量爲30立方呎/秒；井壁進水洞之大小又以無顯著之水頭損失爲佳，故進水洞之面積每虹吸管須12方呎。洞大如此，將不能阻止波動傳播。所幸者，波動影響之減小與水深俱進。於深水中（水深大于波長）水面下某深度之波動起伏理論上如下式。

$$\frac{h}{h_0} = e^{-2\pi \frac{y}{\lambda}}$$

$h$  爲  $y$  深度之波動起伏高，

$y$  爲水深，

$b_0$  爲水面之波動起伏高，

$l$  爲波長，

$a \equiv 2.718$

一波長之水深處：

$$\frac{h}{b_0} = \frac{l}{536}$$

$$\text{3}l \text{ 處：} \frac{h}{b_0} = \frac{l}{66}$$

$$\text{3}l \text{ 處：} \frac{h}{b_0} = \frac{l}{8}$$

Leggan 壩之水面波長均小於 12 呎。若氣孔前築一圍牆，牆腳在水面下 8 呎，水由牆腳下流入。進水洞雖大，內部之波動當小於水面波動之  $\frac{1}{66}$ 。用氣孔唇之二虹吸管可用此法。因二管間有充分之距離。圍牆下之進水口須距虹吸管之進口較遠，以免影響虹吸管口之進口流速。

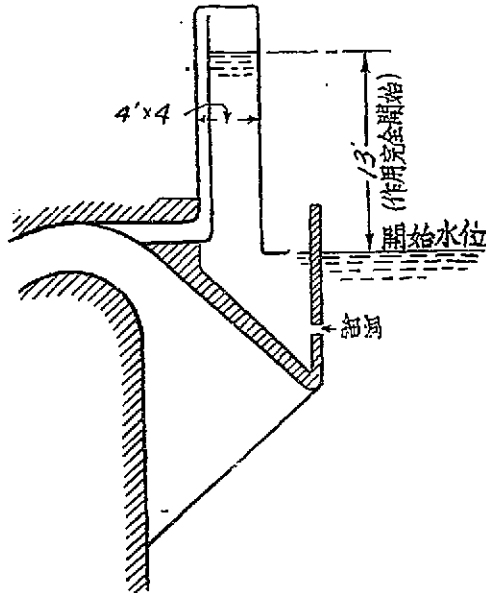
水庫中之波高約爲一呎時，靜水井內之波高依觀察結果約半吋。

### 水柱式之氣孔活門

茲述一水柱式之氣孔活門。著者自信可免除簡單氣孔唇所遇之弊端：如建築靜水井，及虹吸作用不能完全開始，或作用時斷時續等情形。

虹吸管拱冠內之最大吸力約 13 呎之水頭，水柱須用較大之高度——16 呎高，4 呎見方，如第三十八圖。氣孔聯于柱頭。柱底前緣高度，即開始作用之水位。當空氣

進口為水淹沒後，則內外發生壓力差，柱內水面上升，而愈阻空氣之襲入。在虹吸作用剛開始時，柱內僅數呎之水頭；完全作用時，則升至 13 呎。



第三十八圖 水柱式活門

水柱之截面積須較大，以免水泡上行，而將水頂入，成一真空抽水機。

此種裝置因無水流，故僅須一極小之靜水井，與水庫聯以細孔。

### 機器氣孔門

板片式之氣孔唇，已知其不適宜于精確之水位調

節；且因此種氣孔唇須避免波浪及虹吸管口水流之影響，故須較大之地位，而不能建于各虹吸管之上。溢道為數虹吸管所組成者，地位將不敷分配。

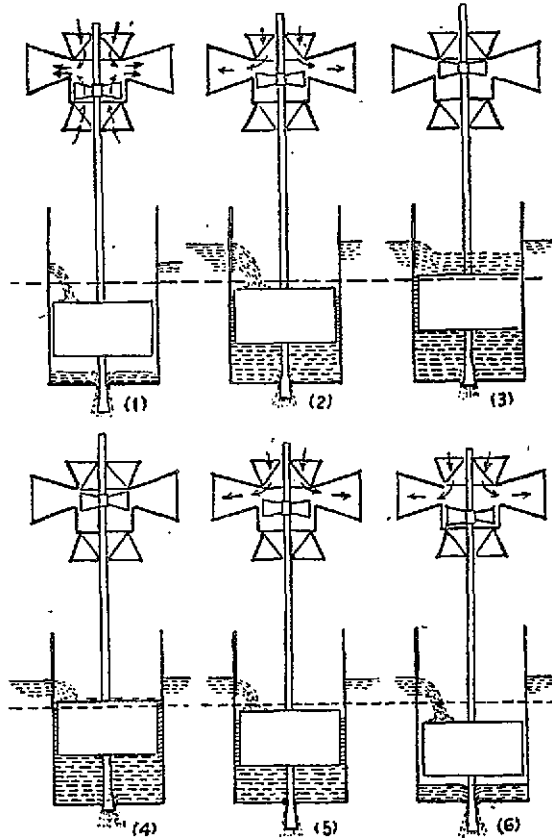
因之 Laggan 壩之其餘四虹吸管均採用機器氣孔門，自動節制空氣之流入。虹吸溢道，因無活動之設備，故較他種溢道為佳；氣孔門亦當以不用活動之裝置為是，然機器氣孔門具特殊之優點：裝置嚴密，作用精確。經慎重之考慮遂採用之。

氣門為 C.S.Meik 及 Halcrow 二氏之助手 H.D.Morgan (M.Sc., A M I.C.E.) 氏所設計，Glenfield 與 Kennedy 氏所監造。因其作用優美，茲略述之。照像第六圖及第七圖。

每一活門管兩虹吸管。第三十九圖表示作用之原理。活門為平衡式，門座為  $45^\circ$  之錐形。上下軸座之直徑須較貫軸者大，以使活門自由矯正其位置與門座密合。各門座，軸座，及受磨擦處均銅製，或用不銹鋼，以免氧化。貫軸下端接一銅製浮箱，其外為一生鐵櫃；水由一長方洞流入，由櫃底流出。出口連一出水管，達於壩之下游。貫軸直貫浮箱，下端直徑漸次增大；貫櫃底出水洞，洞口并寰以不銹鋼之襯管。生鐵櫃置於靜水井內，靜水井築於拱冠前。水由 9 吋之水管流入井中；管端須在深水中，且須距離虹吸管口較遠，以避免進口水流之影響。

水位漸次增高時，流入櫃內之水量增加，第三十九圖 (1)。而流出者近乎一常數。故浮箱上升，第三十九圖 (2)。浮箱上升後，出水口之面積減小，活門上升愈快，以至關閉通氣孔為止，第三十九圖 (3)。



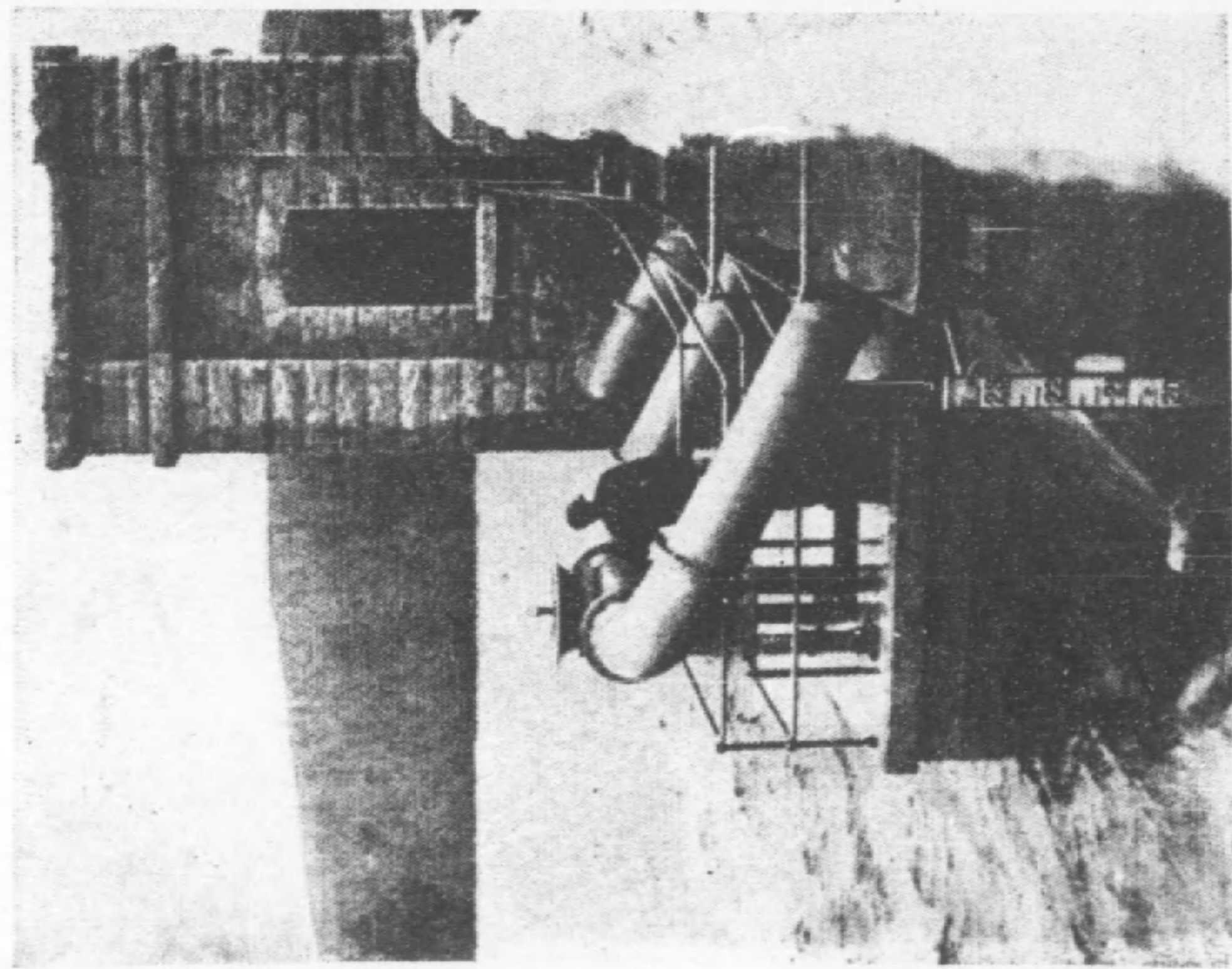


第三十九圖 Laggan 溢吸管：自動活門之作用

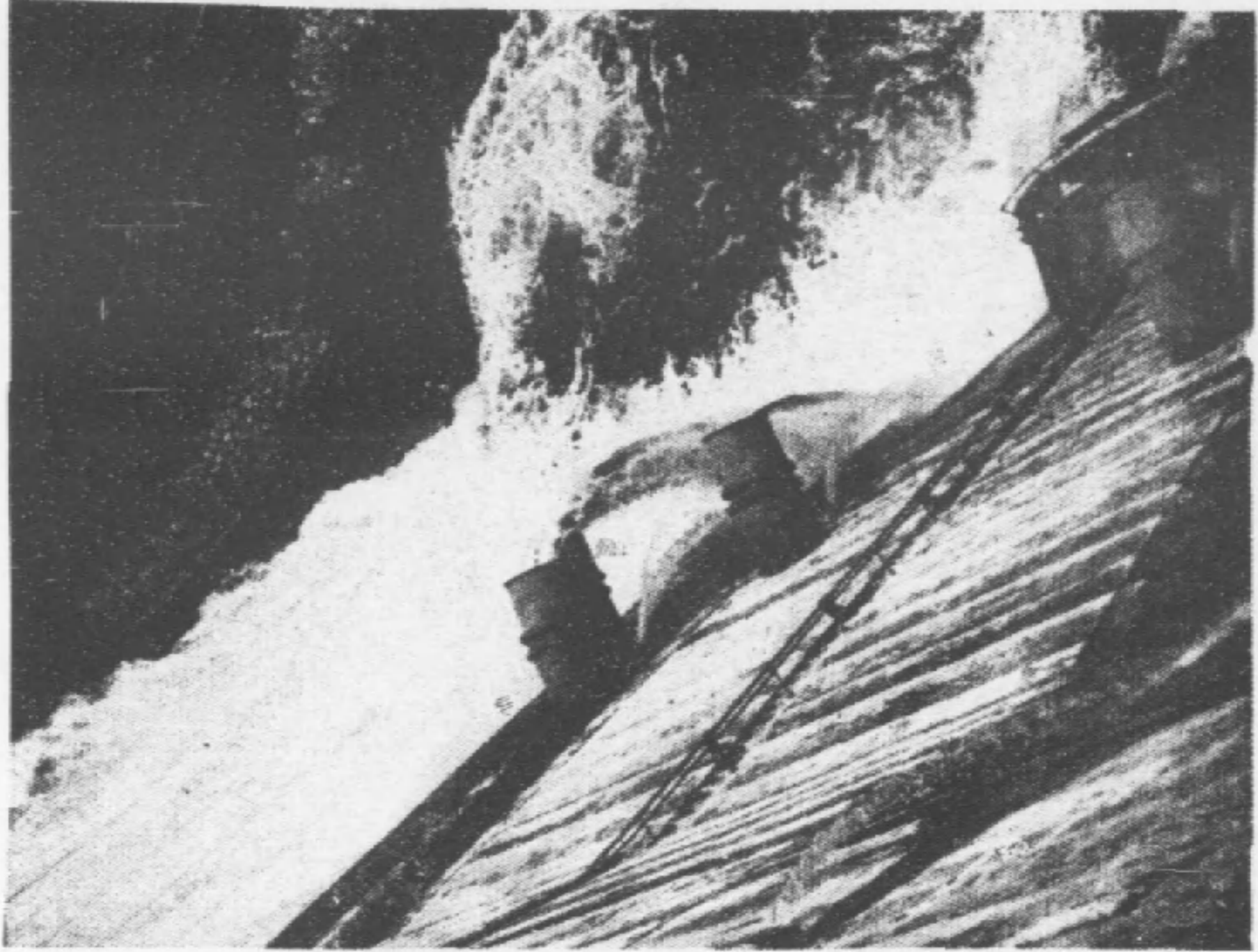
水位漸漸降低至低于開始虹吸作用之水位三吋時，第三十九圖(4)。櫃內水量漸次減少，浮箱下降，活門漸開，空氣流入；氣孔活門既開，第三十九圖(5)。作用立即加速，因出水口之面積加大也。第三十九圖(6)為活門全開之情形。

此種設備，加快虹吸作用之開始與停止；半作用之情形不能存在。水庫之滯蓄量約幾呎。水櫃及出水管內于通常之情形下，無水；虹吸作用開始後，水流不住，故無冰凍之虞。

因活門自動開閉，故無從試驗其性質；但於生鐵櫃之進水口，已裝設一四吋之手輪井水門，以調節進水量。其作用極安全，可以立刻停止虹吸管溢水。

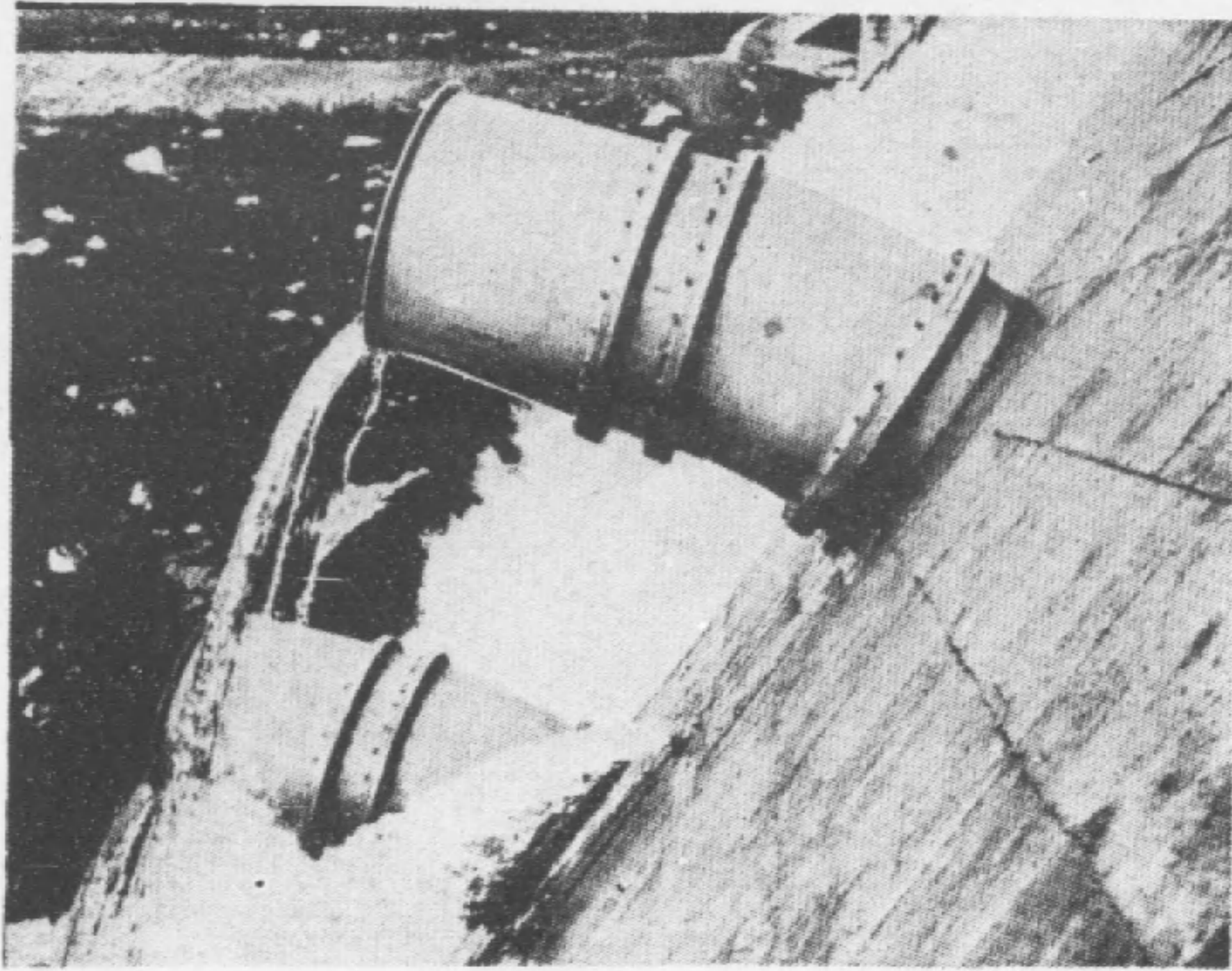


(a) Laggan 虹吸管之機器活門

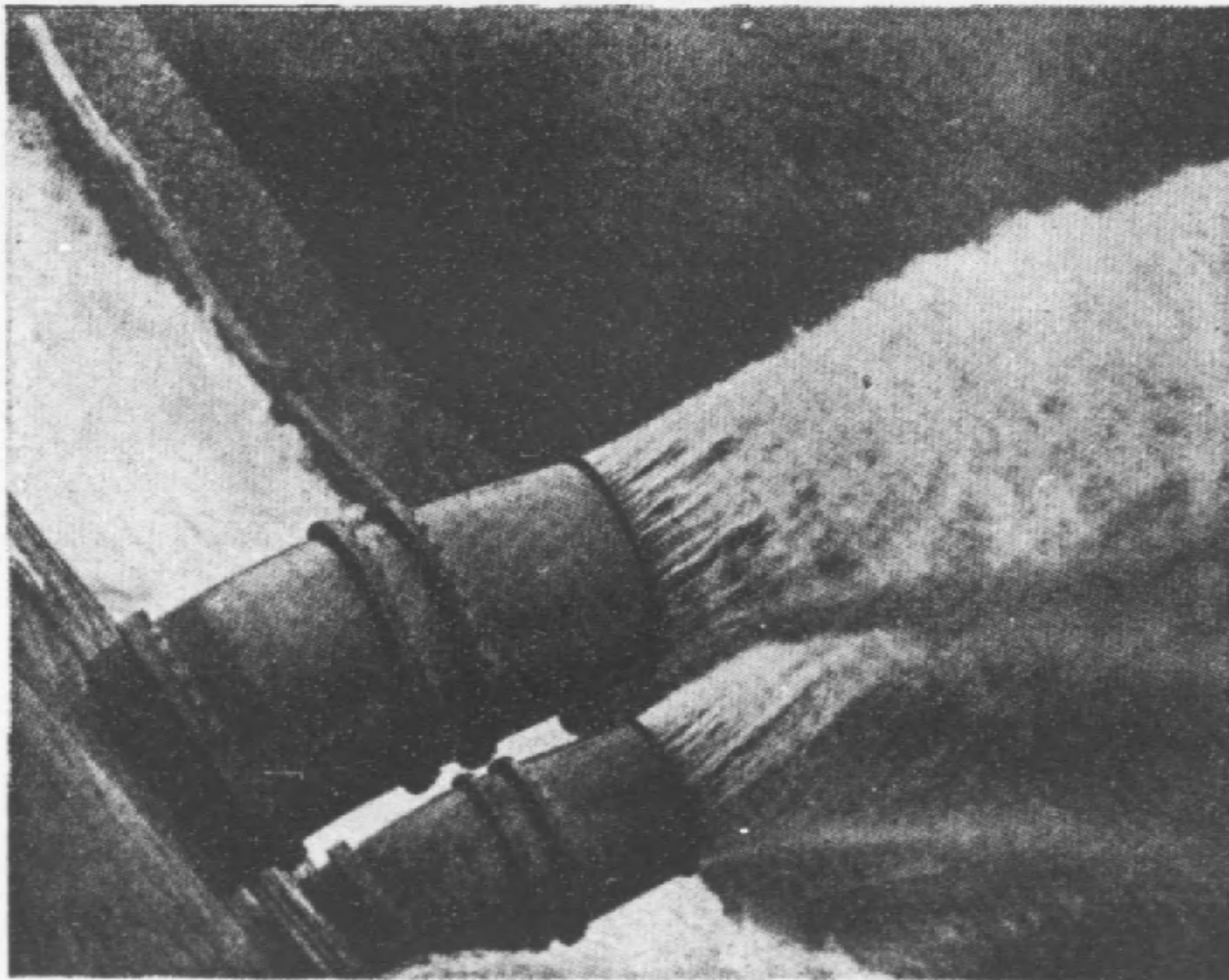


(b) Laggan 虹吸管作用開始時之情形

照 像 第 七 圖



(a) Laggan 虹吸管未開始作用前之情形



(b) Laggan 虹吸管之溢水情形—射水旋轉

照像第八圖

## 第九章 虹吸管之設計(續)

### 出水管口之設備

Laggan 壩之壩基爲花崗石，多顯著之劈裂紋。故虹吸管之出水口決定裝一分水器 (dispenser) 使射出之水柱不集中于一點。分水器爲 Glenfield 及 Kennedy 二氏所造。其主要部份爲一轉輪，輪翼垂直于軸；翼面漸次傾斜，使水柱中心旋轉之速度大于四周。水柱離分水器後，則分散爲水沫；其動能爲空氣之磨擦所吸收，而其經過之路線，亦無復爲拋物綫。分水器與出水管間接一  $15^\circ$  之轉角，使分水器成一  $15^\circ$  之仰角；目的在求出水口之降低，及獲得最大之射水接觸面，而減低沖擊之力量。

用分水器後水流之磨擦自然增加；且將流水之順軸流速轉變爲旋轉速力，出水口之面積當須增加。故出水口之直徑增加 2 吋，爲 4 呎 2 吋。

由開始作用之性質一節，知最佳之開始性質爲出水口置于適宜之高度，而使開始時之水平水管充滿流水。裝分水器後，出口之最低點較水平水管之上緣略高，後經試驗，知頂點之溢水深度須 5 吋，始可開始作用；水頭高出頂點 6 吋，第一組之虹吸管始需要其開始，故該情形可認爲滿意。在開始作用時，水流一時射出，一時停止，約 3, 4 秒一循環。水量漸次增加，至虹吸管充滿爲止，溢水則不停射出。用氣孔唇者，開始至完全作用之時間，

約需二分鐘。用機器活門者約需 15 秒。

### 鋼板襯裏

60 呎/秒之流水若無漩渦無雜物，其對於平滑細緻水泥面可無損壞。Laggan 水庫既長且深，可無雜物之故，虹吸管之大部均不用襯裏。然混凝土之平滑及質地均極重視。採用 4:1 之混凝土以使其不透水份。模板接縫處尤須注意，毋使有突出之現象；將模板內壁塗以油脂，繼續上提應用，則可免接縫之突出。

喉部之壓力極低，且水流方向轉變，水泥面有沖擊及吸力等破壞之危險。故由進口起至縮小之管段之下端止，襯以鋼板。

水平水管下端之  $30^\circ$  轉角，宜用熟鐵管以承受強應力。出水口與分水器相接處之襯管，須能承受拉力與撓力之合力；且突出壩外之管段因溫度增高而膨脹，未突出者，受混凝土之收縮而縮小，故其接連處往往發生極強之剪力。出口之襯管，不獨可以保護水泥面，并可增加壩面混凝土之應力。

### 虹吸管對於壩身之影響

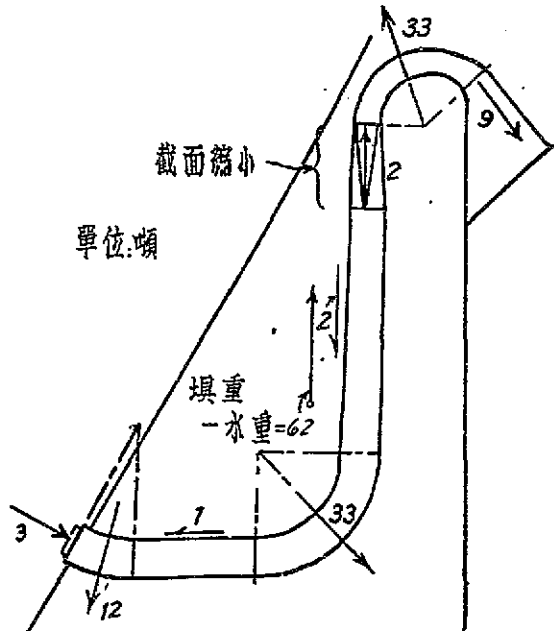
虹吸管對於壩身之應力及其安全應慎重研究。流水之直綫動力，與管壁發生之磨擦力，轉角之離心力，以及減輕壩身之重量等，於計算安全時均須顧及；且兩伸縮縫間之壩段，尤須單獨研究。總言之，上述各力之影響均為增加倒轉力率。(Overturning moment)。

$\theta$  角度之轉角離心力為  $2 \frac{w}{g} QV \sin \frac{\theta}{2}$ ，方向為  $\theta$  角之分角綫 ( $V$  為平均流速)。因加速所發生之動力為  $\frac{wQ}{g} \delta V$  ( $\delta V$  為加速度)，然其半消耗于管壁。磨擦力為  $WAb_f$  ( $h_f$  為磨擦所損失之水頭)。

第四十圖上各力為一虹吸管于作用時所發生之外力。

計算拱冠之應力，不可用離心力；而用其對於拱冠內部實際分佈之壓力。

虹吸管在壩身之內者，壩身最大應力處之應力當



第四十圖 Laggan 虹吸管作用時每管受外情形

然增加必須顧及。

虹吸管溢水沿壩面而下者，將增加壩趾之壓力。若射水與河床相擊處近於壩趾，則河床之石質須加以研究。

因虹吸管而使壩身發生振盪及其影響亦頗重要。極薄之混凝土建築物尤易發生危險。振盪之發生僅發現於溢水未能滿管及管內存留空氣者。故設計須避免銳澗（以防止真空）及漩渦；且開始與停止作用務使之於最短時間內完成。虹吸作用分組開始及利用機器氣孔活門均予此以莫大之利益。

## 冰 凍

予虹吸管以最大之威脅者乃冰凍之危險。

虹吸管口不可有水平突出之部份。因於其下易藏冰塊。Laggan 虹吸管之進口為  $45^\circ$  之斜度，口門外並有平行之鉄片，故口外冰塊不得入內。除水面在口門內有充分靜止之時間外，口門內結冰之機會絕少；設已冰結，在開始作用時，每一虹吸管内水流上沖之力量為 8 呎之水頭壓力，（即 16 噸）亦足以破壞之。

結冰之情形根據各地之氣候及水面風浪而定。歐洲各地之水庫冰片均不集於上游壩面。

水面冰結後，流量必減，水位必降，此一般之現象。在 Laggan 壩上游水面將升高之前，冰塊已溶解；自溶解開始起至水位升至頂高間之時期又頗長，故 Laggan 虹吸管可無冰凍之危險。



---

虹吸管內常無冰結之可能。水平水管更有洩水管  
排泄滯水，已如前述，茲不復贅。



## 第十章 結 論

對於虹吸溢道，吾國（英）人士各懷己見，反對採用。每一新設備，必高唱其慎重應用，以防嚴重之結果。若干已築成之壩堰，在安全水位下，均不足排泄其洪水。如加整理，經濟自然糜費，若於創始時建虹吸管溢道，固可解決洪水問題，且可節省經費。然據作者所知，吾國尚無一例。即主其事之工程司主張採用，亦多為地方人士之反對而終止。

反對採用虹吸管溢道之主因，乃恐懼其冰結。然氣候較我國更冷之地，亦不乏虹吸管之建築，更未聞受冰凍之危險。於天氣酷寒之地，冰結之機會雖多，然於冰凍期間，溢道仍須排水之機會至鮮，且水之最大密度為 $4^{\circ}\text{C}$ 。深廣之水庫，僅水面結冰，故虹吸管亦僅水面之部份，如氣孔及輔助虹吸管有冰結之患耳。但氣孔之冰凍僅能促成虹吸作用之開始，而不能阻止其開始。輔助虹吸管可以不用。出水口之水封池可用洩水管以泄其集水。進口可採取 Laggan 壩之計劃，則虹吸管可不受冰凍之虞。除氣候極寒，且冰凍之時期極長之地帶外，均可採用。

反對之另一原因為開始作用之水位不定。該點亦無須顧慮。本書對之已討論極詳。水位升至喉高之一小部份，作用可保其開始。

虹吸管進口深沒水下，且蒙以鉄網，可以阻止樹枝

雜物之流入。若拱冠上築以簡單之溢道，則更可排除雜物及清理水面。

虹吸管分數組，於不同之水位開始作用。即遇極惡劣之情形可保僅一二虹吸管停止作用。

成見自難消滅，然提倡者業已應用，將來當可普遍。茲可作一結語：虹吸溢道可解決簡單溢道不足排泄之困難，此其最大之特點也。

## 参 考 書

1. Le Genie Civil, March 27, 1926, P. 294.
2. Trans. Am. Soc. C. E. Vol. 85 (1922), P. 1099.
3. Engineering News, Vol. 64 (1910), P. 530.
4. Engineering Record, Vol. 67 (1919), PP. 481 & 488.
5. L'Elettrotecnica, May 5, 1928.
6. Proc. Inst. C. E. Vol. 224 (1926-7), P. 39.
7. Engineering News Record, May 5, 1932.
8. Die Bautechnik, Vol. 9, Jan. 16, 1931.
9. Trans. Am. Soc. C. E. Vol. 85 (1922), P. 905.
10. Engineering, Vol. 121 (1926), P. 5.
11. Engineering News Record, Vol. 82 (1919), P. 948.
12. Engineering Record, Vol. 69 (1914), PP. 545 & 567.
13. Engineering News, Vol. 65 (1911), P. 467.
14. Engineering News Record, August 18, 1932.
15. Proc. Am. Soc. C. E. August, 1933.
16. Proc. Royal Soc. Series A. Vol. 83 (1910), P. 375.
17. Proc. Inst. C. E., Vol. 231 (1930-1), P. 201.
18. Proc. Inst. C. E., Vol. 235 (1932-3), P. 352.
19. Die Bautechnik, May 3 & 24, 1929.
20. The Engineer, July 6 & 14, 1934.
21. Lamb: Hydrodynamics or Miles Walker: Conjugate Functions for Engineers.



中國水利工程叢書

# 虹 吸 溢 道

中華民國二十六年二月初版 1—500

每冊實價五角

譯 者 徐 懷 豪

發行者 中國水利工程學會  
南京梅園新村三十號

印刷者 東南印刷所  
南京洪武路二十五號

