

第176圖 復水器  
 A……熱貯蔵器 B……汽爐  
 T<sub>1</sub> T<sub>2</sub>……タービン

高圧のものは作製が困難になるから用ひられない。現在の最高壓力は 20kg/cm<sup>2</sup>迄で容量は 40) m<sup>3</sup> が最大である。

## 第二部 水力発電所

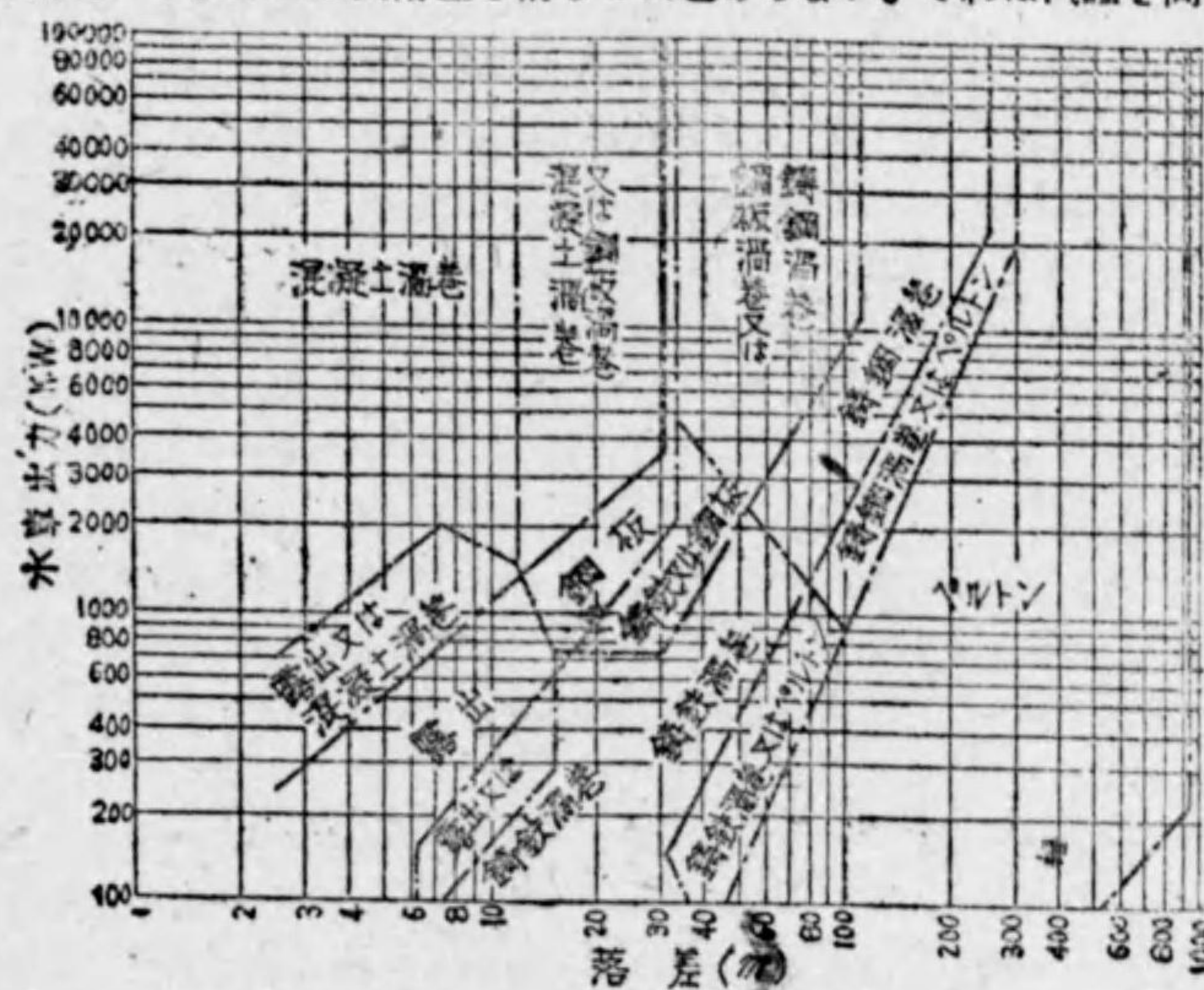
### 第一章 總 說

#### (1) 水力発電所の分類と發電方法

水力発電所の動力源は落差と水量であるから、分類は先づ落差による方法が考へられる。

1. 高落差
2. 中落差
3. 低落差

これらの間には明確な規準はないが、大体 25m 以下を低落差、20) m 以下を中落差、それ以上を高落差と稱して大過あるまい。それは汽機を高中低に分類



第 177 圖 各種水車の適用範圍

した時に鐵の構造に差異があると述べた様に水力に於ても落差に従つて水車の構造に相違がある。

第 177 圖は White (米)——食塩溶液法で水量を測定する方法や Hydraulone の發明で

知られて居る Allis chalmers 會社の技師長——が 15 年余りも以前に發表したもので、少し古いが、概念を掴むには便利である。即ち高落差は Pelton 車、中落差には Francis 車の Spiral 型、低落差は同じく Francis 車の露出型 (Open wheel) 又は Propeller 水車が用ひられるのである。勿論確然たるものではなく特にその後スパイラル型の設計の進歩が目覺しく、小容量高落差のものにも用ひられる様になり、又プロペラ型水車の發達は主に次の表の發表以後の事であるから現在では決してこの表を根據とすることはよろしくない。唯歴史的になつて居る或る一つの規準として見られたい。

落差	発電所数
3m以下	7
6	31
9	61
12	60
15	54
18	52
21	69
24	40
27	63
30	41
45	203
60	122
75	91
90	68
120	94
150	40
180	26
210	21
240	10
270	6
300	6
360	7
450	5
450m以上	4

高中低落差の相違は猶工事方法に於ては可成然と區別されるのであるが、これは余り細部に亘るから一括的に述べ難い。夫々の部分に於て説述する。今我國の水力を落差別に表示すると左の如くなる概観すれば中落差が斷然優位を占めて、中でも、30~60 米の邊が最も多い事がわかる。近時は 20m 以下の低落差が著しく發達した。

最高は 1700m まであるが、1000m 以上にもなると水圧が  $100\text{kg/cm}^2$  となるわけで、水槌作用等を考慮すれば水壓鐵管の構造は非常に厄介になるからこの落差を 2 段に使用した方が經濟的な場合が多い

次に導水方法から分類すると

#### 1 水路式発電所 (Headrace system)

#### 2 堰堤式発電所 (Dam system)

水路式とは河川を上流に於て堰き止め、取入口から長い水路を以て導水して充分の落差を作り、そこに発電所を設けて再び元の河川へ放流する。異つた河川へ放流する——例へば箱根の芦の湖は東へ流れて小田原へ落ちて居るが、あれを外輪山を西に貫通して駿河の方へ流す様にする(現在でも灌漑用水の隧道はあるが)と發電には便利な場合があり得る。斯くの如き例は相當にあるが、これは流域變更と云ふて普通には許されない。

堰堤式は河川を横斷して高い堰堤を築造し、これによつて落差を得るので、水路は殆んど必要がない代りに、堰堤の築造費と、これによる上流の水没地積が大きいため買収賠償費も必要だし、魚道や流筏路等の附帯設備も考慮しなければならぬ。比較的落差ながら大水量・容量のものに多い。庄川水力の小牧、昭和電力の祖山、大同電力の大井、東信電氣の豊實等がこの例で、近年我國にも大に發達して來た。

尙発電所の性質から

1. 貯水池及調整池を有する発電所
2. これを有せざる発電所
3. 揚水発電所

貯水池及調整池を全く所有しない発電所は寧ろ稀ではなるが、かゝる発電所は利用價值が甚だ少ない。單に湯水量だけしか發電出來ない。堰堤式のもの又は大なる湖水を水源に有するものは貯水量最も大きく、冬期の湯水に堪える事が出來

るが、小さな數時間分の調整池を有するものでもその利用價值は非常なものである。だから遂に揚水発電所が計畫される。これは晝間他の発電所の余剰電力を利用してポンプを運轉し、上部の調整池に溜水し、夕刻の尖頭負荷時に使用するもので、その能率は 40% を超えない程のものであるが、その利用價值は莫大である。運轉操作の上から考へると、直列式発電所と單獨発電所とは大分意義が異つて居る。一流域に一箇の発電所しかない場合はその操作は何等の工夫をも要しない水量の許す範囲内に於て負荷に應じたる運轉をすればよろしい。

然るに一水系に數個の発電所が尻續ぎに直列して存在する場合はこれと異つて居る。例へば夕刻負荷が急に激増するとき、水門を開いて第一発電所に全負荷をかける。然るにその水が第二第三等の下流の発電所に到達する迄には數拾分乃至數時間を要する。

かゝる場合は原則的に云へば水量の許容する限度の一定負荷を懸けて、負荷の變動に對する調節は最下流の発電所で行ふのである。故に大同電力の木曾川系の如く、桃山須原以下賤母、讀書等の數発電所が直列にあり、最下流の大井が容量も最も大きく且つ大なる貯水池(有効貯水量  $11,100,000\text{ m}^3$ ) を有するものは甚だ便利であり、東京電燈の日橋川系(猪苗代)の如く、貯水池(猪苗代湖)が最上流にあるものは日々の尖頭負荷に對しては火力又は他の発電所の補給に俟たねばならぬ。但し猪苗代湖は、年々の尖頭負荷——(yearly peak)——冬期河川は湯水し、而も需用電力は反對に増大する——これに對する大なる貯水池として重大な役目を果して居る事は云ふ迄もないが。

更に機械の設置場所から

屋内発電所と屋外発電所とに分類したり  
操作方式から

手動式発電所と自動式発電所とに分けたりするが、いづれも説明記述の便宜上で實質的に甚だしく異なるものではない。

屋内発電所と云ふものは普通の発電所の事で、これでも變壓器や油入開閉器は屋外に置くものが多い。それを更に發電機をも屋外に設置する意味で、建築を節約する爲であるが、元來、水力発電所の建設費はその 8~9 割までが水路費であつて、發電機や變壓器や建物なぞ、全体から見れば到つて僅かなものである。その建物を節約するのであるから、先づ大きい発電所ではない。外國には長大な堰堤の上に十數箇の發電機を並べ、堰堤の一端にその制御室を設置したのもあるが我國では氣候と洪水位の關係で、斯くの如きは望まれぬだらうと思はれる。我國の例では東邦電力の嚴木川 2760 kW 2 台がその唯一の例になつて居る。そしてこれは自動式である。

## (2) 水力發電の發達と趨勢

1878(明治11年)巴里の近くのセルメーツに極めて小規模のものが設けられたのが水力発電の最初だと云はれて居る。稍大きいものとしては1891年(明治24年)獨乙のノイハヴゼン発電所で、水車30台、合計4000馬力、アルミニウム工業に使用されたのが記録である。

我國では1890年、足尾で古河鑛業会社が直流60kW3台、30kW2台を設けたのが発電所としての嚆矢で、同時に京都市で琵琶湖の疏水を利用して、蹴上に12馬力のペルトン車2台にエチソングイナモ(勿論直流)を着けて設けられ、送電は足尾よりは一年遅れて1891年になつたが市の電燈と電車に供給した。なほこの発電所はその後引續いて6年間に同様の水車を2台まで増設したが、その後ペルトン車を止めてフランス水車とし、且つ電氣方式も三相交流としたが、1936年再び水壓鐵管以下を全部新にして、今は國産の7000kW 堅形水車が2台据えられて居る。最初から云へば3代目である。筆者の如き老人は顧みて感慨深きものがある。

次いで1899年に郡山絹絲紡績會社と廣島水電が夫々550kW及750kWの電力を發生して、これを10,000Vで、22kmの送電に成功し、翌1900年に小田原電氣鐵道會社が芦の湖から流れる須雲川の水を利用して750kWを發生し、國府津湯本間の電車と附近の電燈を供給した。

その後1907年に東京電燈會社が桂川系の駒橋に15,000kWの発電所を建設し、東京まで75kmを55,000Vで送電したのが、近代的大発電所の體を爲した最初だと云ふてよからう。

それからは宇治川、桂川、鬼怒川、猪苗代等の大會社が續々設立されて今日の隆盛を見るに到つた。

又1924年に宇治川電氣會社の志津川発電所及其の翌年に大同電氣會社の大井発電所が建設された。これが大堰堤式発電所の實現を見た最初で、以來堰堤式は續々として計畫施設せられつゝある。

昔時は水力即ち落差の如くにさへ云はれた。我國は陸地狹長にして長江なく……然れども地勢急峻にして瀑布多く、加ふるに雨量潤澤……などと落差のみが水力の根原であるが如くに宣傳された。云ふ迄もない。水力は落差と水量の積である。落差は低くも水量が多ければ結局大水力だ。且つ、高落差地点は大分あさり盡された。残るは工事費の懸るもののみになつた。その上高落差は山間の上流地にある。濁水の影響が特に冬の凍氷期に激しい。低落差地点は中流以下にある堰堤式の必然の結果は、尨大な貯水池を造る。これが何より有難い。

斯くて水力開發の眼は、低落差堰堤式発電所に集注されるに到つた。これが近時の趨勢の第一條項である。

次に、明治時代から大正の初期にかけては水力は主として水路式で、且つ使用水量は濁水量を標準とした。濁水量の意義に就いては後に述べるが、一年間を通

じて355日間、これより下らざる量を濁水量と云ふと云ふのがその定義であるから、所謂最小水量である。當時の需用は電燈が主であつたから需用家に迷惑を及ぼす事を恐れて、最低量だけの發電しか許さなかつたのである。然しこれでは流水の利用と云ふ点から考へれば勿体ない事の限りであるから、漸次その標準を増大し、九ヶ月水量、六ヶ月水量、遂に今日では四ヶ月水量を標準として發電設備を設置するに到つた。然らば残る八ヶ月の不足水量は如何するか、或る量は貯水池による。その不足は補給火力に據るより外はない。茲に水火相據り相扶くるの必要が痛切に感じられるのである。これが近代の趨勢の第二である。

更に第三の趨勢は、苟くも遺利を剩さざらんとする傾向で、往時は一水系中、有利に開發し得る部分のみを取つて、その余は捨て、顧みなかつた。然し現在ではこれが許されない。それは單なる工費の多寡の問題でなく、國家資源の利用上必要だからである。

以上発電所の分類及趨勢を述べたが、最後に潮力発電所(Tide plant)に就いて一言する。

潮汐干満の差を利用する潮力発電は未だ世界に於て實現には到らないが、各方面で大分調査は進められ、經濟上可能性を認められて居る。我國では朝鮮の西海岸、仁川附近に於て最大潮差約10mに達する箇所があつて、既に幾度か計畫だけは立てられた。

これは海岸の入江、又は河口を(朝鮮のは島と島の間)を堰堤を以て塞ぎ、貯水池を形成し、海面の高低に應じて貯水池の水を流入或は流出せしめて發電するのであるから、落差の變動が激しく水車の設計が困難とされて居たが、これはカプラン水車の出現によつて大に緩和された。唯日々零から最大まで變化するのであるから、火力其他の補給設備がないと困る。或は池を二箇作つて一つを高潮池、他を低潮池とし、海面とこの二池の間に常に差を保たしめて出力を平均する様に工風されたものもあるが、それだけ能率が悪くなるし何れにしても築堤費は尨大なものとなる。

これは水力に於ける明日の問題である。

### (3) 水力の統計

1910年(明治43年)逓信省で水力調査を行ひ、目下第三次調査が實施中である。それによれば、開發確實なるもの1151地点で、發電力は9,453,000kW、さらに將來選定し得る見透しあるもの6,000,000kWあると報ぜられて居る。

表示すると統計表の如くである。

地点數も發電力と第二次調査とは大分異つて居る。新らしきに依る外はないから暫く本表を掲げて置く、千葉、香川、福岡、長崎、佐賀は本表にはないが、第二次調査には次の如く示されて居る。小なるが故に除外したが調査未了なるか明

かでない。(括弧内は地点数)

千葉 495kW (4) 香川 378 (1) 福岡 4363 (6) 長崎 1102 (5)  
佐賀 34012 (11)

猶発電を開始して居る容量は第一部の冒頭に述べた。

府 縣 別 水 力 地 点 統 計 表

府 縣 別	地 点 数	發 電 力 kW	府 縣 別	地 点 数	發 電 力 kW
北 海 道	138	593,000	青 森	26	86,000
秋 田	57	154,000	岩 手	89	242,000
山 形	48	337,000	宮 城	12	24,000
新 潟	56	1,047,000	福 島	60	548,000
栃 木	11	104,000	群 馬	42	858,000
茨 城	1	2,000	福 井	23	110,000
長 野	87	953,000	埼 玉	7	19,000
千 葉	—	—	東 京	5	12,000
山 梨	33	222,000	神 奈 川	5	39,000
靜 岡	26	640,000	愛 知	11	324,000
岐 阜	79	962,000	富 山	51	545,000
石 川	13	47,000	山 口	1	4,000
滋 賀	2	8,000	三 重	23	81,000
奈 良	20	99,000	和 歌 山	7	34,000
大 阪	2	1,000	京 都	8	18,000
兵 庫	5	13,000	鳥 取	13	38,000
岡 山	12	55,000	鳥 根	21	144,000
廣 島	13	99,000	沖 繩	10	4,000
香 川	—	—	德 島	20	245,000
高 知	35	279,000	愛 媛	5	41,000
福 岡	—	—	佐 賀	—	—
長 崎	—	—	大 分	12	23,000
熊 本	12	44,000	宮 崎	30	200,000
鹿 兒 島	20	150,000	全 國 合 計	1151	9,453,000

朝鮮に於ても、内地より一年遅れて 1911 年以來、2 回調査が行はれ、地点数 150、發電力 2,936,000 kW と發表された。

昭和 5 年末 (少し古い) 現在で發電開始地点は 7 個で、發電力は 116,790kW である。

尙朝鮮には、潮力發電として最大 1,000,000 kW 年平均 350,000 kW の發電力ありと豫想せられて居る。

台湾に於ては未だ正式の水力調査が行はれて居らず、又河川一般が濁水で良地

点に乏しいと云はれて来たが、然し昭和 9 年には日月潭の 1 地点で、100,000 kW が竣工し、續いてその尻に第 2 發電所の 45,000 kW が工事中であり、非公式ながら全島で 2,000,000kW の包藏水力ありと傳へられて居る。

滿洲國も充分な調査がないから正確な所は不明だが、優良な水力を包藏することは斷言し得る。

但し同國は降水量が少ない。最も多い長白山方面でさへ、年降水量が 1000mm 位で、我國の北海道より少なく、中部地方の半分以下である。奥地に到ると更に減少し、新京附近では 500 mm を出でない。且つその雨は夏 4 ヶ月間位に降り盡して他の月は雨を見ない程であるから、堰堤によつて大貯水池を設ける必要がある。松花江、嫩江、渾江等に於て夫々數十万 kW の開發見込みがあると云ふ

参考的に、世界の包藏水力と人口一人當りの一ケ年の發生電力量 kWh とを掲げる。これらに就いては甚だ資料に乏しいが、比較的確實と考へられるものとして世界動力會議の報告に基いて居る。

世界各國包藏水力表 (平水量標準水車軸 kW)

北 米	53,000,000 kW	伊 太 利	5,900,000kW
加 奈 陀	31,000,000	ユ ー ゴ スラビヤ	5,600,000
諸 威	12,100,000	獨 乙	3,500,000
佛 蘭 西	7,900,000	瑞 西	3,300,000
瑞 典	6,100,000	埃 太 利	2,600,000

各國人口當り發生電力表 (人口一人當り一ケ年 kWh)

國 名	1925 年の統計	1930 年の統計
諸 威	2,500	3,420
加 奈 陀	1,200	1,940
瑞 西	931	1,360(1931)
北 米 合 衆 國	909	990
瑞 典	607	830
獨 乙	326	460
佛 蘭 西	251	380
英 吉 利	262	380(1931)
伊 太 利	193	270
日 本	132	260(1932)
蘇 聯	16	70(1931)

我國の包蔵水力 15,000,000kW は北米と加奈陀に次いで大で、この点で我國は水力國だと云はれて居るが、これには相當の割計が必要で、量的に指摘することは困難だが、我國の水力調査は非常に綿密に行はれて居る。

外國は未調査なのが多い。特に蘇聯などはてんで調査がない——か或は發表しないかである。而して一方人口は稠密だから、一人當り一ケ年の電力量は前表の如く實に尻から2番目だ、だから何も水力には限らぬが資源の獲得が何よりも大切であるのは云ふ迄もないが、技術屋としては現存する資源を無限の愛惜の情を籠めて、苟くも遺利を剩さざる底の覺悟を以て利用の道を講じなければならぬ

#### (4) 水 量

##### A 雨量及流量

河川の流域 (River basin) に降つた雨は、一部は蒸發し、一部は地下に滲透しその残りが流量となつて河川に表れる。一方河川の流量は現今は全國に散在する發電所又は官廳會社の測水所によつて測られてあるから通常雨量から計算し出すよりは正確にわかつて居るが、順序として計算するとすれば次の如くする。

先づ河川の流域を定める。これは5萬分の地圖等によつて分水嶺を辿れば直に知り得る。その面積をプランメーターなり其他適當な方法で算出する。今その流域面積が 100km<sup>2</sup> (平方軒) であり、これに年雨量が 1000mm でありとすれば、そしてこれが蒸發其他の損失無く且つ一年平均して流れる——即ち平均流量であるとすれば

$$\frac{100 \times 1000^2 \times 1}{365 \times 24 \times 60 \times 60} = 3.17 \text{ m}^3/\text{sec}$$

往時は毎秒 1 立呎の流量を單位として個と稱したが、今は毎秒 1 立方メートルを單位とし、矢張り個と稱して居る。區別する爲、メートル個と云ふ事もある。

實際は蒸發及滲透があるから、上記の量だけは流出しないで、これにある係数を乗じた値となるわけである。この係数を流出係数と云ふ。

この流出係数は、雨の降り方、流域の状況等で著しく變化するもので、普通、山は登るに従つて雨量が増す。所謂平地は晴で山は雨の場合が甚だ多いものである。そして雨量觀測所は多く下流部にあるのが常だから、その觀測値を用ゆれば流出係数は 100% 以上の數値を示す事が往々ある。だから正確に測るには全流域に多くの雨量計を置いて、長年の間實測する必要があるのだが、それは雨量と流出量の關係を調べる事になるので、水力用としては雨量は必要はない。流量が問題になるのである。

唯概念的に云ふて、我國では雨量に對して流出量は山間部では 70% 位と見て差支へなからう。平野に降りても 50% 程度であらうと云はれて居る。これが滿洲國などになると 70% は蒸發すると云ふ。

地 方	平均雨量 mm	平均流量 100km <sup>2</sup> 當り m <sup>3</sup> /sec
北海道	1056.8	4.92
東北	1265.4	4.27
奥羽	1461.6	7.07
關東	1654.3	4.97
北陸	2232.4	9.73
東山	1398.0	6.32
東海	2013.5	7.72
山陰	1756.3	4.97
内海	1449.8	5.67
南海	2420.5	7.81
北九州	1913.6	5.30
南九州	2444.5	6.86
全國平均	1785.6	6.29

左に全國各地方別にせる雨量觀測所の實測雨量平均と、各測水所の平均流量 (流域 100km<sup>2</sup> 當りの流量 m<sup>3</sup>/sec) を示す。

前述の理由で流出係数が 100% 以上になつて居るのが多い。

##### B 渴水量、低水量、平水量

平均流量は水力利用の点から云へば余り意義あるものではない。渴水量、低水量等が問題になる。

我國の河川は 4, 5, 6 月、及 9, 10, 11 月の春秋二期に豐水期があり、7, 8 月及 12, 1, 2, 3 月の夏冬二期に渴水期がある冬期の渴水は通常その程度も大きく、期間も長く、且つこの期に於て電力の需要が最高値を取

るのであるから最も重要視される。

發電水力方面では河川の流量の程度を次の如くにして表して居る。

最小水量 1 年中の最低水量

渴水量 1 年中 35 日、之より下らざる水量

低水量又は 9 ヶ月水量 1 年中 275 日、之れより下らざる水量

平水量又は 6 ヶ月水量 1 年 185 日、之れより下らざる水量

豐水量 1 年中 95 日、之より下らざる水量

高水量 毎年 1, 2 回起る大出水量

洪水量 數年に一度の最大出水量

渴水量が最も注目すべき量で、この水量を以て常時使用水量とし、これより得たる電力を電燈電力等の一般電氣供給用に充てる。

明治から大正初期の發電所はこの渴水量を標準にして設計せられたが、それでは水力が不經濟であるから、漸次低水量以上の水量を使用する様になり、現在では平水量、或はそれ以上の水量を標準として發電所が建設せられる様になつた。

渴水量以上の水量を特殊使用水量と云ふ。特殊使用水量を以て發電する電力は火力發電所を設けて補給するか、或は貯水池を設けて高水時溜水する様な設計をしなければ一般供給用に充てる事は許されない。但し電氣化學工業の如きもので渴水期には送電を停止しても差支へない事を條件とするならば特殊供給として許

される。

水源に湖水があるか、地質が不透水性でよく水を保つ場合には、湧水量と平水量の値は接近するが、性質の良い河川ではその差は甚だしい。次に全国の流域面積 1000km<sup>2</sup> 以上の大河の各流量の比較を示す。水量はその流域の 100km<sup>2</sup> 當りの m<sup>3</sup>/sec の値を示す。

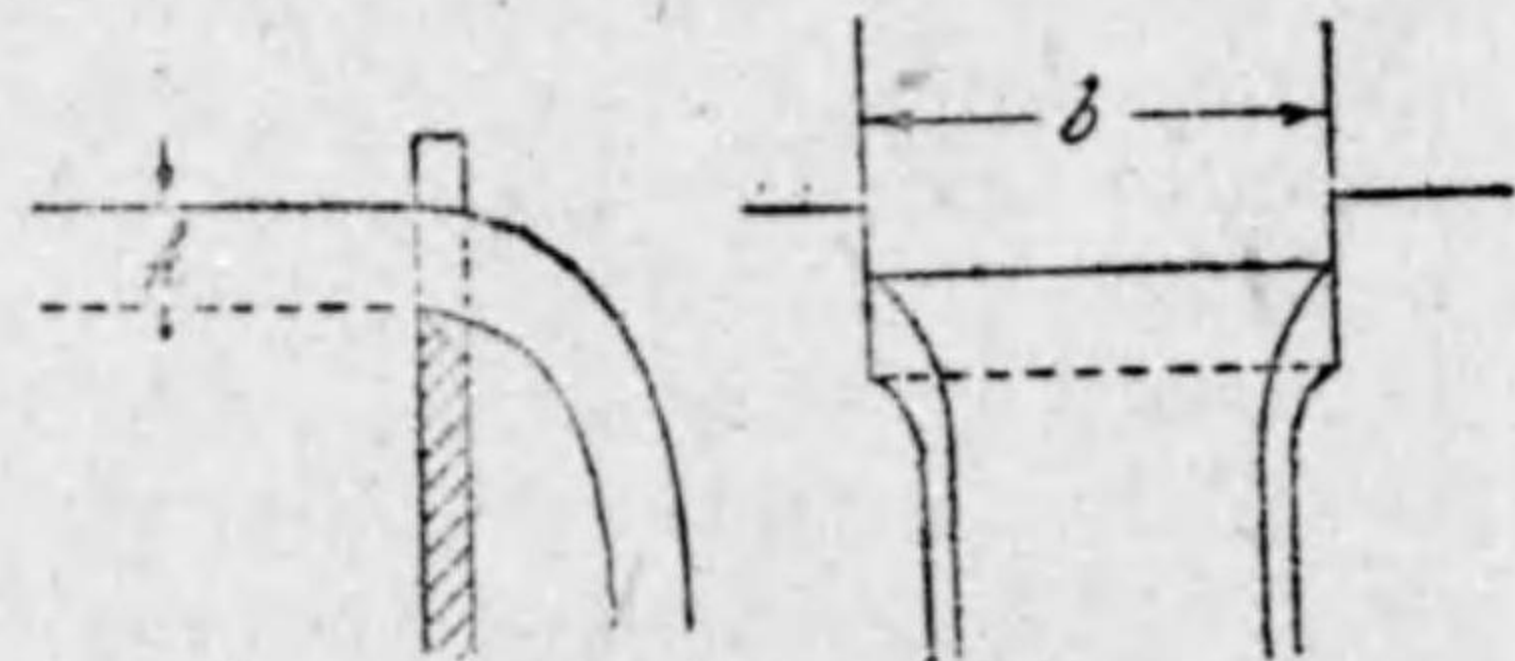
水系名	河川名	測水所流域面積 km <sup>2</sup>	平水量	低水量	湧水量	平均
天鹽川	天鹽川	2820	1.60	0.88	0.60	3.33
北上川	北上川	1160	2.29	1.68	1.23	3.20
利根川	利根川	1700	3.69	2.50	1.62	4.97
〃	香妻川	1200	2.95	2.17	1.54	3.97
天龍川	天龍川	1820	2.60	1.91	1.31	3.23
阿賀野川	阿賀野川	6230	3.70	2.57	1.81	6.05
〃	只見川	1820	4.04	2.61	1.71	6.96
信濃川	千曲川	7000	2.49	1.84	1.37	3.20
〃	犀川	2620	3.26	2.39	1.72	4.21
木曾川	木曾川	2260	4.10	2.62	1.45	6.69
江川	江川	2570	1.84	1.17	0.56	3.69
吉野川	吉野川	1500	3.40	1.91	1.01	10.80
大淀川	大淀川	1380	4.34	3.21	2.31	6.25
川内川	川内川	1000	3.38	2.65	1.97	6.43
筑後川	筑後川	1440	2.30	1.79	1.22	3.09

C 流量の測定

流量の測定法は幾種類もあつて、水量の多寡、場所の廣狹によつて夫々適否がある。開渠又は小川で比較的小量の場合には堰測法が正確であるが、流量が大となれば工費がかゝつて困る。

① 堰測法 (Weir method)

堰測の開口の形状にも色々あるが、矩形のものが多い。流量小なる場合は三角形に作る



第 178 圖

計算式も實は甚だ變が多いが、通常用ひられる Francis の公式を述べると

$$Q = 1.833 (b - 0.1h) h^{3/2} \dots \dots \dots (1)$$

Q = 流量 (m<sup>3</sup>/sec)    b = 堰開口の幅 m    h = 水頭 m

接近速度がある場合には h<sup>3/2</sup> の代りに

$$[(h + h_v)^{3/2} - h_v^{3/2}] \quad \text{但し } h_v = \frac{v^2}{2g}$$

v は水の流速である、v = 0.3 m/sec 位までならば h<sub>v</sub> は甚だ小さくなるから閉却し得る。

注意としては堰の開口の縁は木材を鋭角に尖らす事、開口の幅は水頭 h の 3 倍以上にする。出来るだけ水を高く堰き上げて上流を静かにする堰は流身に直角にする。

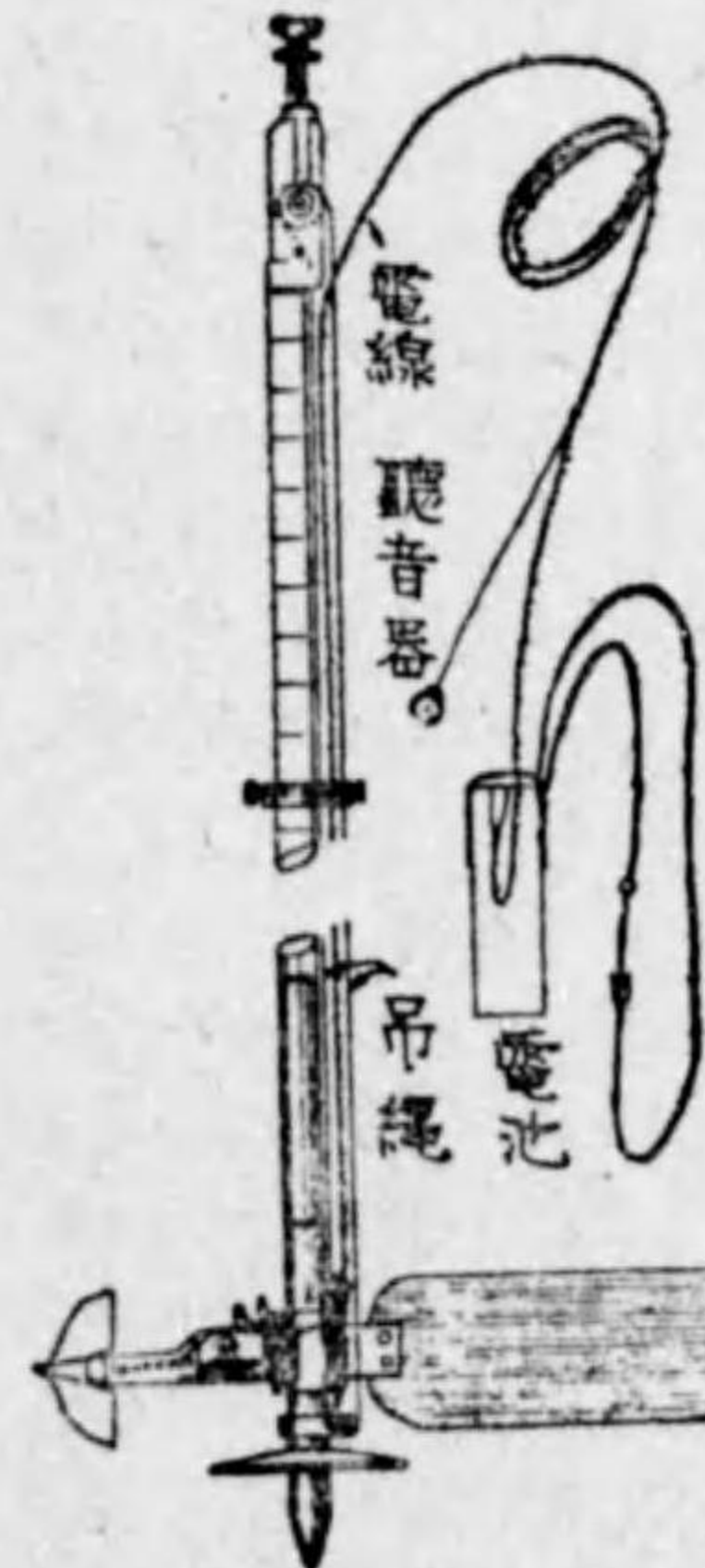
② 流速計測法 (Velocity-area method) これは普通の河に用ひられる方法で、河の断面積を測量し、流速を何等かの方法で算出して、兩者の相乗積として流量を算出する方法で、河の断面積は普通の測量に依るより外はない。流速の測定法

は流速計を用ひるもの、浮子を用ふるもの、ピトー管を用ふるもの等がある。

流速計は第 179 圖の如く、方向舵を備へた先方にスクリウ型の機構を有して、流れに従つて回轉するのを電気音響式にして陸上で數へるのである。狭谷などに於ては河水にロープを渡し籠を吊つて河川の各点及各水深に於ける速度を測定する。幾分不正確なるを免れないが場所によつてはこれ以外の方法はない。

浮子を流下せしめて速度を計る方法もある。表面と中心と底部では夫々水流が異なるものであるが、大体平均速度は表面流速の 0.8 倍と見る。尤もこれは水深が相當大きく、流速が小で且つ無風場合に限る風の影響はなかなか大きく、流れの方向に向ふときは往々表面速度が非常に大きくなる事もあり、又逆に河床が平滑で急流な場合には、空氣の摩擦の爲に、河床の流速が最大となる事もある。

浮子は有り合せの木片の如きもので充分である。木の葉の如きは風の影響を受けるからよくない。竹筒の下部に錘を附したものの如きは遠方から見通し

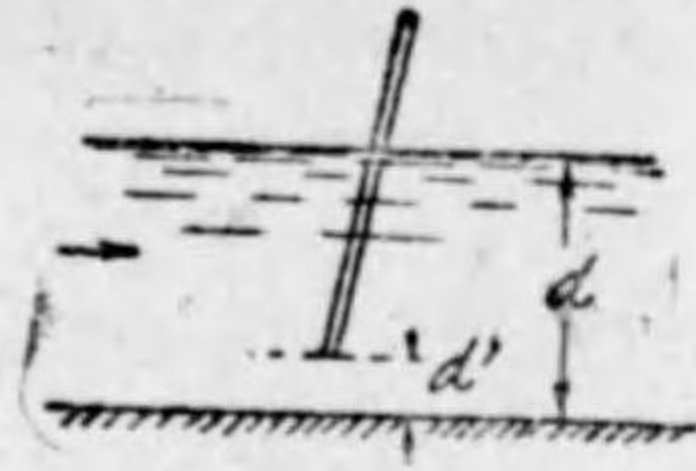


第 179 圖

に便利である。場合によつては第 180 圖の如き浮子を用ふる事もある。これは河底が平らかな場合に限る。

$$V_m = \frac{L}{t} \left( 1.012 - 0.116 \sqrt{\frac{d'}{d}} \right) \dots \dots \dots (2)$$

$V_m$  = 平均流速 m/sec     $L$  = 流過距離 m  
 $t$  = 流過時間 sec     $d$  = 水深 m  
 $d'$  = 桿の下端より水底までの距離 m  
 $d' \leq \frac{1}{4} d$  たるべき事



第 180 圖

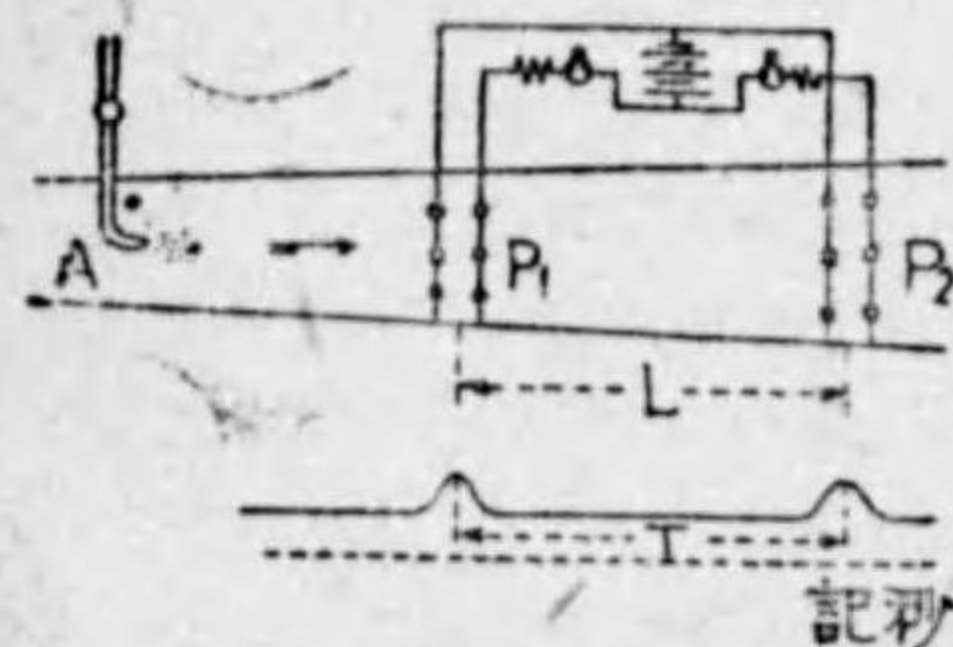
④ 食塩溶液法 (Titration method) 流れの上流に於て濃度の知れた食塩濃溶液を一定の割合で注入し、それが攪拌されて来たものを下流で汲み取り、食塩の量を定量分析して流量を検査するのである。

$$Q = \frac{A-B}{B-C} q \dots \dots \dots (3)$$

$Q$  = 求むる河川の流量  $m^3/sec$      $q$  = 注入する食塩水の量  $m^3/sec$   
 $A$  = 注入する食塩水中一定量に含まれる食塩の重量  $gr/m^3$   
 $B$  = 下流で汲み取つた水一定量中に含まれた食塩の量  $gr/m^3$   
 $C$  = 食塩水注入以前に含まれる食塩の量

定量分析には色々の方法があるが、汲み取つた水一定量中にクローム酸加里液を豫め少量滴下し置き、濃度を精密に定めた硝酸銀の溶液をそれに攪拌しつゝ滴下し、食塩と硝酸銀とが完全に中和すれば、クローム酸加里の爲に赤色を呈するに到るから、その時滴下した硝酸銀の量から化學當量にある食塩の量を計算し得る。食塩の濃度は十万分の一程度まで検出出来るが、正確を期待するには少なくとも五万分の一以上の濃度を下流の水が保つ丈の濃食塩を一定時間上流から注入する必要がある。尙注入した食塩は、よく攪拌されねばならぬから、水車の能率測定なぞの場合、ペンストツの上端から注入して放水路で検査する様な事が行れた一時賞用されたが、相當食塩量も必要だしするので次の食塩速度法の方が今多く用ひられて居る。

④ 食塩速度法 (Salt Velocity method) 1923 年 Allen の創案にかゝるもので、第 181 圖の如く、鐵管又は水路中を水が矢の方向に流れるとき、 $P_1, P_2$  に電極を置きその回路に記録電流計を置く事圖の如くする



第 181 圖

清水は電氣の不良導體であるが、食塩を含むと導電度が著しく増すから、A に於て高壓を以て濃食塩水を一度に噴射すると、それが水に混じて  $P_1$  に來れば電氣抵抗が減じて、グラフに第一の山形を表はし  $P_2$  に來れば第二の山形を示す。その間の時間から流速を見出す。  
 $P_1, P_2$  の距離は長い程よいが、10 米位でも目的は達し得る。割合に正確で、費

用も少額だから近來最も多く用ひられる。

猶、鐵管なぞの場合には、ピトー管 (Pitot tube) ヴェテユリー管 (Venturi meter) 等が用ひ得る。

## 第二章 水路工作物と其の建設

(取入口より放水路までの各種工作物)

### (5) 堰 堤

#### A 取水堰堤

水利地点の決定に従つて取水口の位置は自然に定まるから、その附近で築造に都合のよい場所を選ぶことになる。その條件は第一は岩盤の露出した所がよい。地盤が軟弱で、已むを得ず所謂 floating foundation とすることもあるが、破壊の實例が多いのみならず維持費がかかることを豫期しなければならない。

第二は河幅の狭い處が大體有利であるが、流量が非常に大きく且つ急流の場合には施工の容易な事を主眼として、河幅の廣狭には拘らない場合もある。通常河川の半分を締め切り、半分の堰堤を築造し、最下部分に土砂吐門を造り、次に残の半分を締め切り、水はその間は土砂吐門から流出せしめながら築造するものであるから河川の渇水期を選ぶことゝ、その年の渇水量の大小が工事の難易に甚だしい影響を及ぼすものである。

又堰堤は河川の直線箇所河身に直角に設けるのを原則とする。これは土砂の堆積しない爲と水路にそれが流入しない爲である。

#### B 背水曲線

堰堤を築造すれば或る量の水面隆起を生ずる。その影響即ち背水の影響は必ず上流に及ぼす。



第 182 圖

圖の様に、堰堤の爲に  $h$  なる水面隆起を生ずれば、その背水の影響は B 点まで及ぼす。これに關して Poiree (ポアレー) 計算式がある。

背水の影響の終端点 B は圖中 A よりの上流の水平線が舊河川面との交点 C までの二倍でありと考へる。

即ち  $AB = 2nh$      $\frac{1}{n}$  = 河川の勾配

そして AB 間はその二点で切する拋物線と考へると S なる点に於ける嵩水の高さ  $h_1$  は

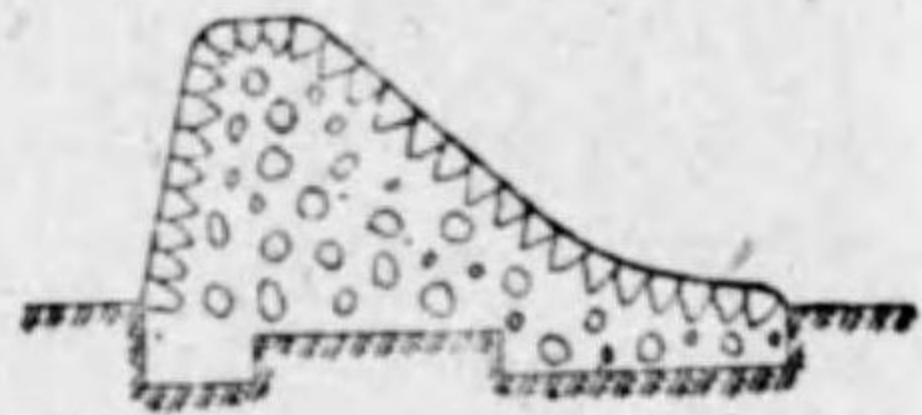
$$h_1 = \frac{\left( 2h - \frac{1}{n} S \right)^2}{4h} \dots \dots \dots (4)$$

となる。これは河川が同一勾配且つ同一断面積とした場合で、洪水時は大体そう考へて差支ない。

C 取水堰堤の構造

取水堰堤は通常高さが低いから安定と強度の問題に對しては著しい考慮を要さないが、洪水時、溢流の爲、裾の部分が洗堀されることゝ、大きな石が轉流して來ることがあるのを豫期しなければならない。

構造は圖(183圖)の様に、表面間地石張り、内部を玉石コンクリートにしたものが多く、岩盤を掘鑿して水の爲に押し流されぬだけの抵抗を造る。下が岩盤でない場合は所謂 Floating foundation になるのであるから、底面の幅と高さの比を、8~15倍に取つて、滑らぬ様、又漏水のない様にする。



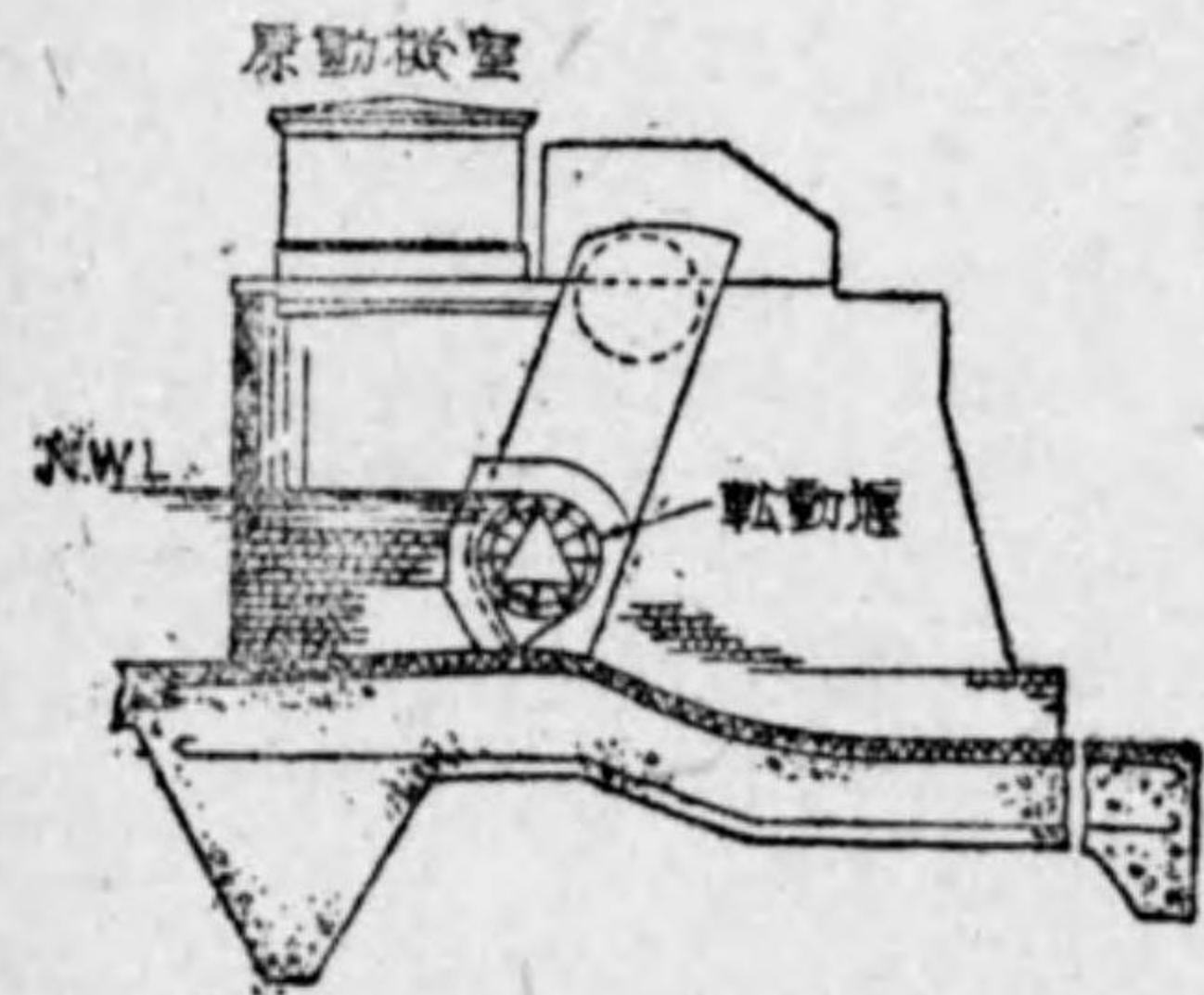
第183圖

漏水を生ずると、長年月の間に土質の中に浸潤して、堰堤の下が半流動体の様になる。そこに洪水などが來ると一舉に押し流される様な事が起るのである。

D 可動堰

可動堰は洪水時の嵩水を減少せしめ、土砂の通過を便にし、又渇水期には貯水の役をする。轉動堰、テインターゲート、スルースゲート、決瀉板等が主なもので、ベアトラップ、チルチングゲート等も實例がある。

轉動堰 (Rolling dam) は直径 3~5m、長さ 30~50m 位の鐵構フレームの表面に鐵板を張つて圓筒に仕上げたものを、平時は河身に横へて堰堤となし、洪水時には鎖によつて轉がして引き上げる様にしたものである。(184圖)



第184圖

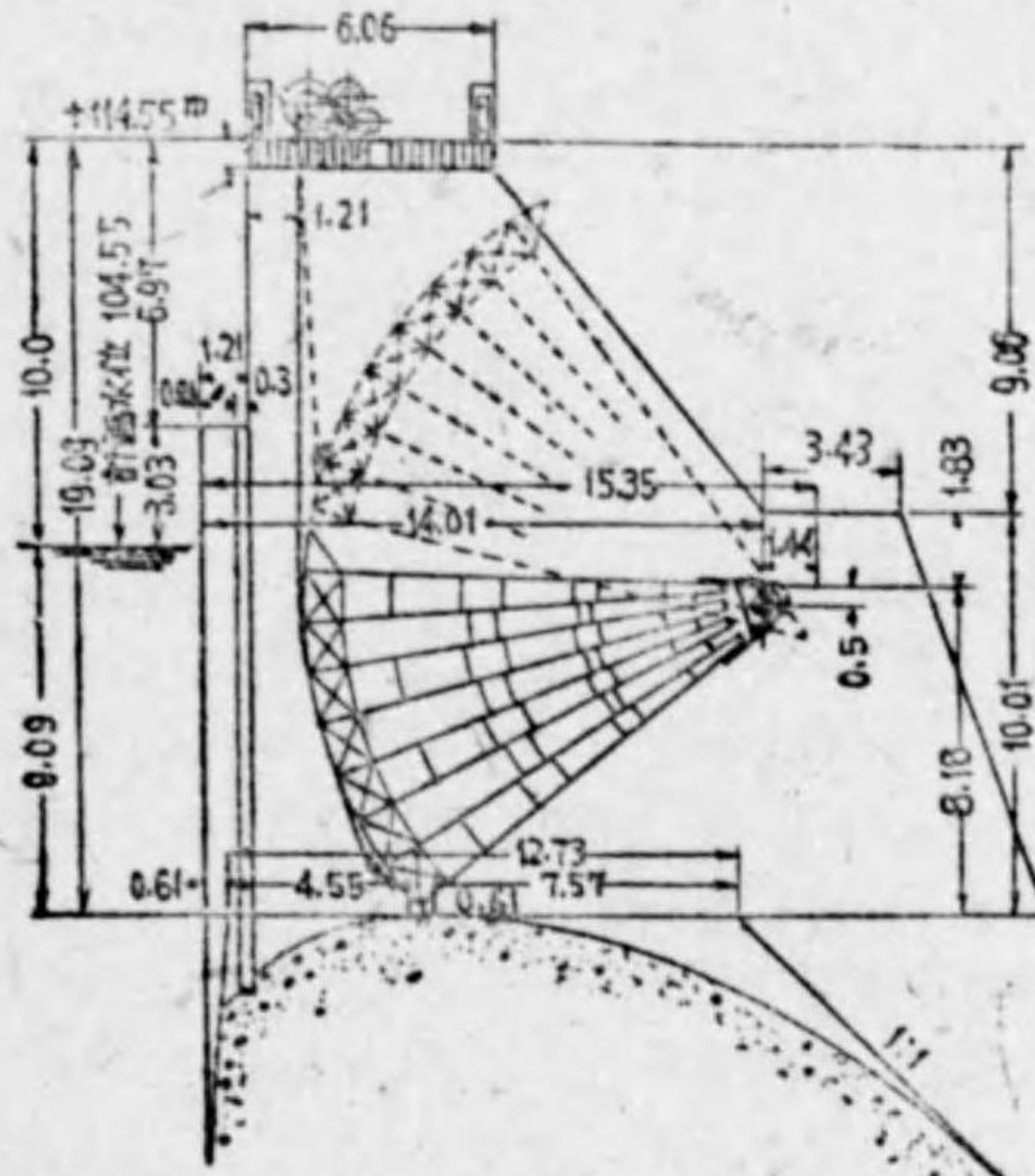
扇狀の門扉がある。要に相當する所に回轉軸を置く。轉動堰よりは溝造が簡單で操作も容易だ高堰堤の上部に取付けられる。庄川筋の祖山、小牧、阿賀野川筋の鹿瀬、豐實、木曾川筋の大井等の發電所に用ひられて居る。

これは兩側のビーヤを高くすれば、幾何までも引き上げられるのであるから、洪水位の高い我國では都合がよいから最も多く用ひられて居る。

テインターゲート は第185圖の様な構造で、高さ 6~10m

扇狀の門扉がある。要に相當する所に回轉軸を置く。轉動堰よりは溝造が簡單で操作も容易だ高堰堤の上部に取付けられる。庄川筋の祖山、小牧、阿賀野川筋の鹿瀬、豐實、木曾川筋の大井等の發電所に用ひられて居る。

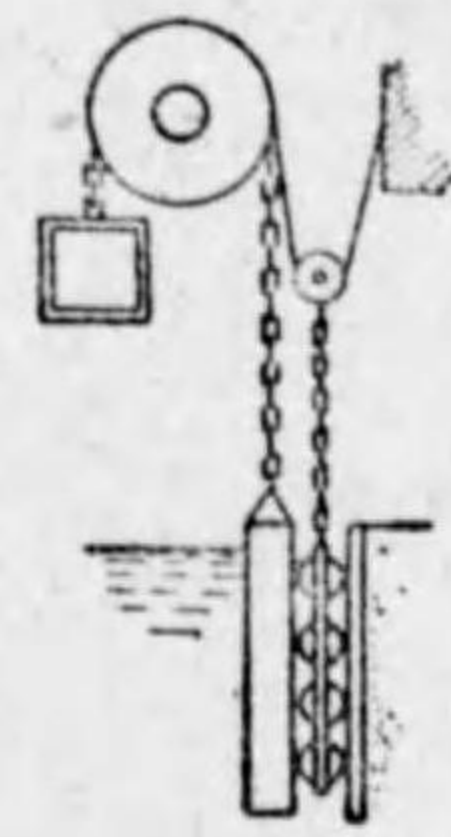
スルースゲート (Sluice gate) 構造は普通の水門に用ふる門扉と異なる一方に平衡重錘を附するから、動力も著しく大きくはならない。側方水壓に對して



テインターゲート

第185圖

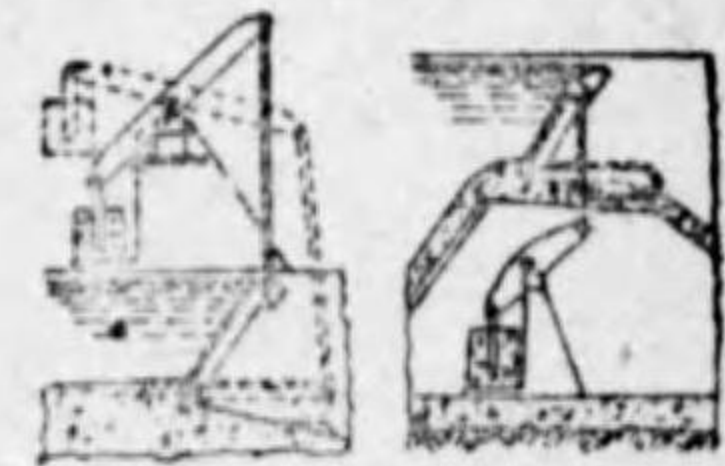
抵抗を小さくする爲、門扉にローラーを附けたものを、roller gate と云ひ、ローラーを門扉に固着せず、186圖の様に一連につなぎ、ローラーの運轉を少なくしたものを、Stoney gate と云つて居る。スルースゲートは普通水門に用ひられるのだが、これを動堰として用ひたのは九州大淀川、飛騨川名倉發電所などに例がある。



第186圖

決瀉板 (Flash board) これは堰堤の頂部に穴を穿つて取り外し得る様に柱を立て、それに2寸厚位の板を以て堰を作る。洪水時、水位が著しく上昇して溢流する様になれば、壓力に堪え兼ねて或る一ヶ所から板が外れてバラバラになつて下流に流れ出る。その板は回収し得なくとも工費が安いから償ひ得る。九州佐賀の川上川發電所で最初に用ひて、木曾川筋の發電所には多く用ひられて居る。

テイルチングゲート (Tilting gate) (第187圖) 平時は平衡荷重 (Counter weight) の爲に水を堰き止めて居るが、水壓が高くなれば自然に開く装置である。益田川小坂發電所で使つて居る。



自動テイルチング堰

第187圖

ベアトラップ (Bear-trap dam) 第188圖の構造で、Aに上流の水壓を通すると堰が起き上つて水を堰き止める。水が溢流するときはトラップは低下する。芝川發電所にその例がある。



ベアトラップ堰

第188圖

E 土砂吐門

堰堤は河身を横切つて造り、水の取入口は河に直角に造るのが普通である。そして土砂吐門は取入口



に近く、堰堤の底部に設ける。流下する玉石砂利、砂等は随分量が多く、堰堤を埋め、取入口から水路に流れ込んだものは殆んど永久に取り去る事が出来ないから土砂吐門の完否は極めて重大な意義を持つ。故に土砂の多い川では轉動堰の如きものを用ふる。土砂吐門は普通スルースゲートを用ふる。取水量の小なるものでも 2m 角位の大きさのもの設ける。

#### F 流筏木路

流木の量が少ない場合には、堰堤の頂部を切り缺いて、それに角落しを設けて置く。流木が相當滯つた折を見て角落を外して水と共に流下する。木材の數量が甚だ多い場合には、木材又は鐵板でシュートを造つて一本宛流し遣る。尚堰堤上流には木材を誘導してやる爲、木材を針金で連絡したブーム或は網場アバと稱して兩岸からロープを渡してそれを力に水面に木材を浮かして流材を阻止する等の事を行ふ。

流木を一旦堰堤に引き上げ、それを放水口の下流まで運んで、再び河川に流し入れる様な特殊運材装置を設けたものもある。庄川筋祖山、小牧はこの例である。

筏に對しては流木路よりも一層緩勾配の滑かな水路を造り、人を載せたまゝ下流に流しやる様にする。紀州吉野川の吉野発電所、十津川の摺子発電所で行はれて居る。

インクライン、即ちケーブルカーを上下の水中からかけて、それに材木を乗せる方式は、阿賀野川の鹿瀬、豊實発電所で採用されて居る。

#### G 魚道

河川には鮎、鱒、鮭、鰻等の溯河魚族があるから、堰堤には魚道を造る必要がある。

勾配式と階段式とエレベーター式とがある。勾配式とは、 $\frac{1}{8} \sim \frac{1}{20}$  位、なるべく緩かな勾配にし、且つ底面を粗莖にして抵抗を多くし、可及的水流を緩かならめらる。

階段式は、深さ 1m 位の段階に分つて、魚が休息しつゝ跳躍して登る様にする高堰堤にして、これらの設備が効果なき場合は、小牧発電所の如く、堰堤の趾部に魚を蒐め、時々エレベーターで引き上げて上流に放流する様にする。

流筏木路、魚道等は、水路の附帯工事として、必ず施設しなければならぬもので、その設計に認可を要する。

#### H 高堰堤

確然たる境界はないが、大体 20m 程度以上のものを高堰堤と稱する。

種類は色々あるが、我國では、コンクリート造の重力堰堤 (Gravity dam) が最も多い。

構造は第 189 圖の如く、自身の重量で水壓に耐える様にするからこの名がある従つてコンクリートの比重即ち砂利及砂に如何なるものを用ふるかが問題になる

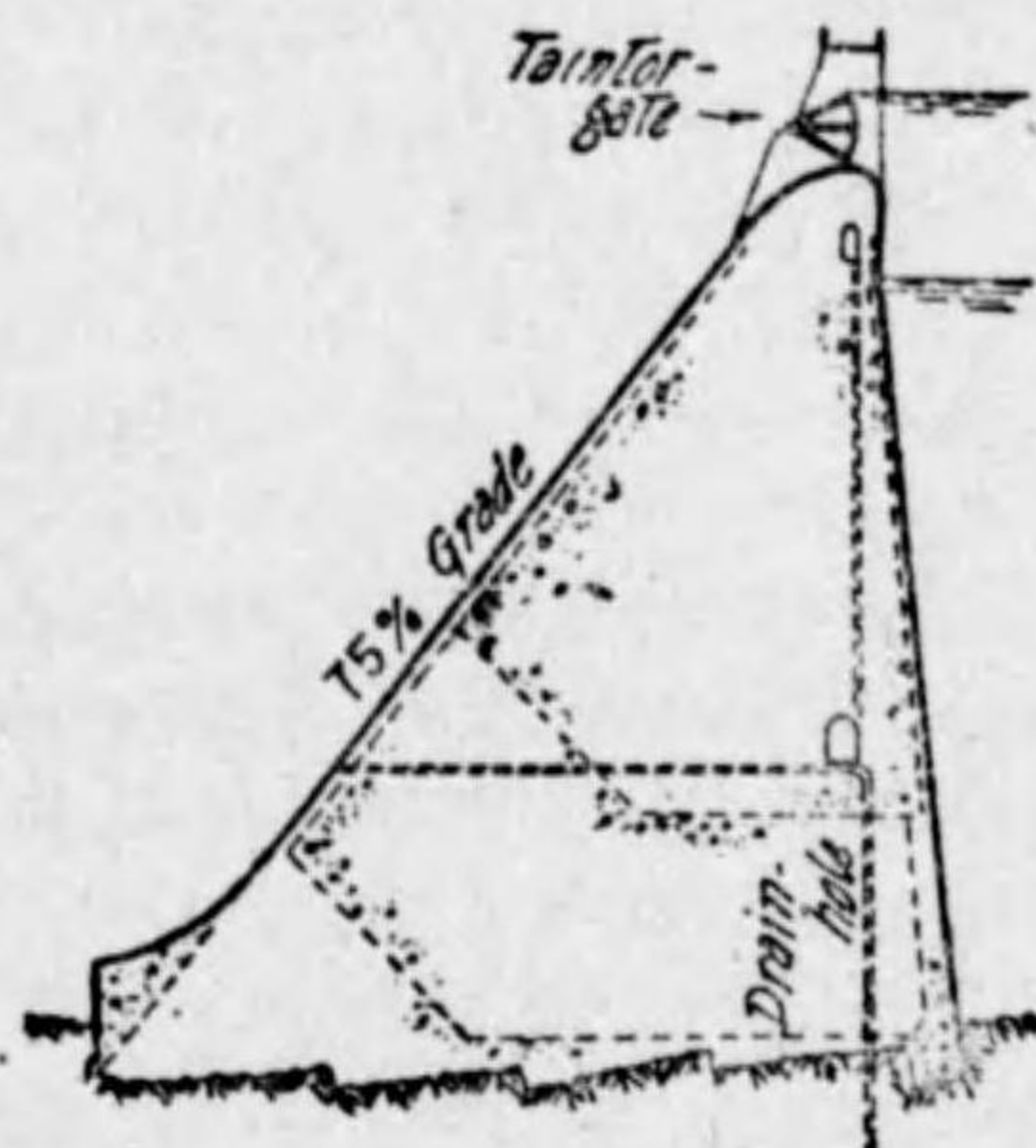
山間では良質の砂及堅固な玉砂利が多量に得難いので困るものである。

断面形状は圖の如く三角形をなし、上流面は一分位の勾配とし、下流面は 7~8 分位横に働く水壓の爲、顛倒する恐れなき設計たる事を要する。

計算に當つて考慮することは、堤体自身の重量、水壓、浮力、地震力及氷壓及泥壓である。

自重及水壓は説明する迄もない。

浮力は堰堤の下部に於て上方へ働く水壓で、堰堤の下部には岩盤とコンクリートの間又は岩盤の間に水が浸入し、それが理論的に云へば水頭だけの水壓を有する筈であるから、自然上向水壓を生ずる尤も圖に示した様に監査坑 (Inspection gallery) があり、水抜き孔が設けてある



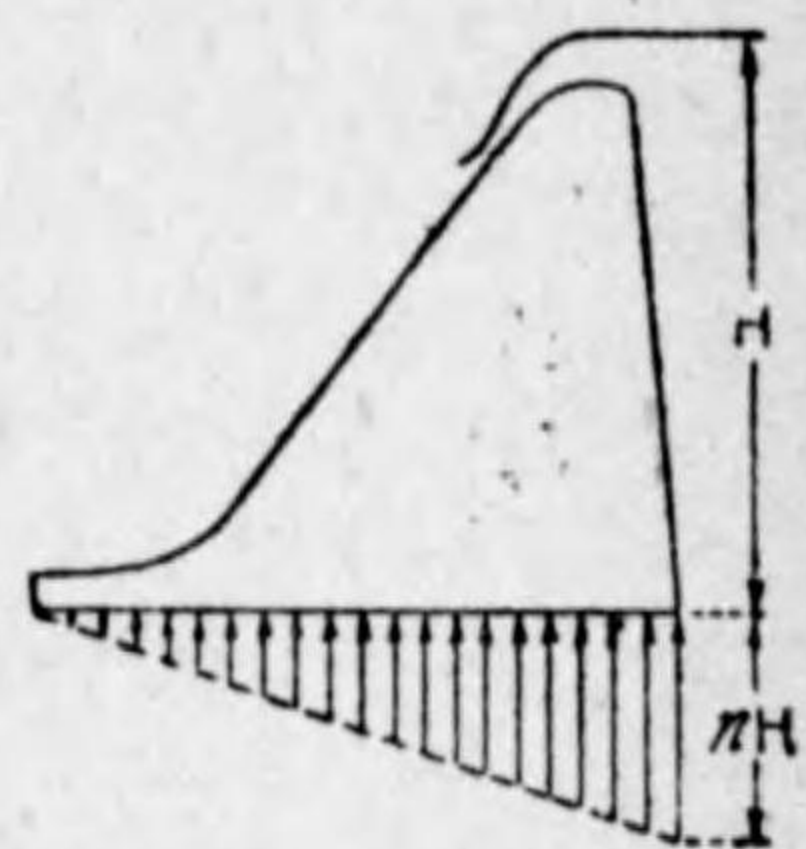
第 189 圖

のであるが、果して完全に作用して居るか否かは疑問であるから、これはなきものとして、この水壓による上昇力が堤体の下では如何に分布するかを考へる。

第 190 圖の如く趾部に於て零、踵部に於て  $nH$  だけ働くと考へ、 $n$  を實驗報告に徴するに、 $0.2 \sim 0.7$  位までであるから、我國では大体 0.5 に取つて居る。

自重からこの浮力を引き去り、猶水壓に對して充分なる事を要する。

更に地震力は、震度を 0.15 程度に取る。つまり震力は 自重  $\times$  震度 で、これが水平に働くと考へる——上下動は普通水平動の  $\frac{1}{2}$  以下である。



第 190 圖

堤体の安定には以上の外に貯水池に土砂が堆積した場合の泥壓及水が凍結した場合の氷の膨脹、或る大きさの氷の板が風と水壓で押し付けられた場合の力なども考慮する必要がある。氷壓はなかなか大きいものであるから、普通なるべく堰堤附近に結氷することを避ける工夫を廻らし、空気を噴射して水を動揺せしめる事を圖り、又は小舟で碎氷し廻る等の事をさへするものである。

#### I 高堰堤の施工法

高堰堤の施工に對しては先づ豫めボーリングを爲して、岩盤の深さ及その性質を調査する。上部の風化した部分や、軟質の岩は除き、且つ浮き石を取り去る。堰堤踵部に於ては止水壁 (Cut off wall) と稱して第 189 圖 (前圖) の如く深く

溝を研り込み、漏水が堤の下に廻らぬ様にする。岩盤には亀裂や間隔があるものであるから、膠結法 (grouting) によつてセメントを注入する。

これは岩盤に深さ 10m 位の孔を穿ち、これに鉄管を挿入し、周囲はモルタルを以て密閉して漏れ出ぬ様にし、セメントと水を等量位に混じた汁を  $5 \text{ kg/cm}^2$  乃至  $20 \text{ kg/cm}^2$  の高圧で押し込むのである。岩の亀裂が狭い場合には圧力を高くし、且セメント汁も水の多いものを用ひ、広い間隙がある様子ならば濃きものを用ふる。大体緩硬性のセメントがよいのであるが、湧水などのある場合には逆に急硬性のセメント又は特に急硬剤を混入する事さへある。

斯く基礎を堅め終つたならば、その上に設計による堰堤を造り上げるのであるが、砂と砂利とが問題になる。附近で良質のものが得られればよいが、山間の狭谷などではその便がないので遠方から索道等で運搬する。處がこれさへ出来ない場合が往々あるので、碎石と山砂を使ふ。碎石は母岩が堅硬なものならよいが、山砂は花崗岩の風化したものなどであると砂の小さな一粒に既に亀裂を有して居るのであるから脆いものになる。そこで山砂を使ふ場合には理想的に云へば一度軽く粉碎器に掛けて亀裂のあるものを悉く碎き、水で洗つて膠泥を去り、更に水洗又は篩分の方法によつて微塵を捨て、仕舞へばよいのである。

由來コンクリートの機構は、砂利の空隙 (void) を砂で詰め、砂の空隙をセメントで詰め、そのセメントが膠着剤となると云ふのであるから、その細粗粒の混合程度が上記の條件に適合しなければならない。

粗骨材、即ち砂利に就いては土木學會の鉄筋コンクリート標準示方書には次の様に書いてある。

- 最大目の篩を通過する量 95% 以上
- 最大目の 1/2 の目の篩を通過する量 75% 以下にして 40% 以上
- 第 4 番篩を通過する量 10% 以下

第 4 番篩と云ふのは目の大きさ 4.76mm であり、又最大目の篩は 75.0mm である。即ち粗骨材の最大寸法は 75mm 以下にせよと云ふのであるが、これは鉄筋コンクリートの場合であつて、堰堤の如き鉄筋なき場合には、300mm 以上の骨材を抛り込む。但し斯くの如く大なる骨材は、コンクリートミキサーの中には入れられぬから現場で唯容積を大きくする爲に投入するだけである。

次に砂が、砂利の空隙を填充するのであるから、砂も細粗適度に混合せるものがよい。但し微塵はよくない。それはコンクリートが膠結する機構を考へて見れば明かな事で、砂をセメントが包んで、砂利と砂利の間に挿まるから砂利と砂利との結合が出来上るのであるから、砂又は砂利をセメントがよく包むと云ふ事が膠結の條件である。微塵があると、この一粒毎にセメントがこれを包まなければならないから、セメントが多量に必要なるばかりでなく、却つて強度が弱くなる

10% 程度の粘土を混入すると、コンクリートの強度には影響なくして、水密性

を増すと云ふ實驗報告はあるが、これは乾燥粘土をセメントに混じた場合の事で砂の中に含んで居る粘土は砂の表面に附着して居るのであるから、セメントの膠着を害するだけで、害あつて益がある筈がない。だから最もよく水洗する必要がある。

處が實際の工事に當つては一日に 200 坪も 300 坪ものコンクリートを打つのであるから、粉碎水洗粒度精選などと云つてもなかなか行ひ難い。悪いのは承知で泥のついたまゝの砂を使つて後に漏水を生じた實例もある。

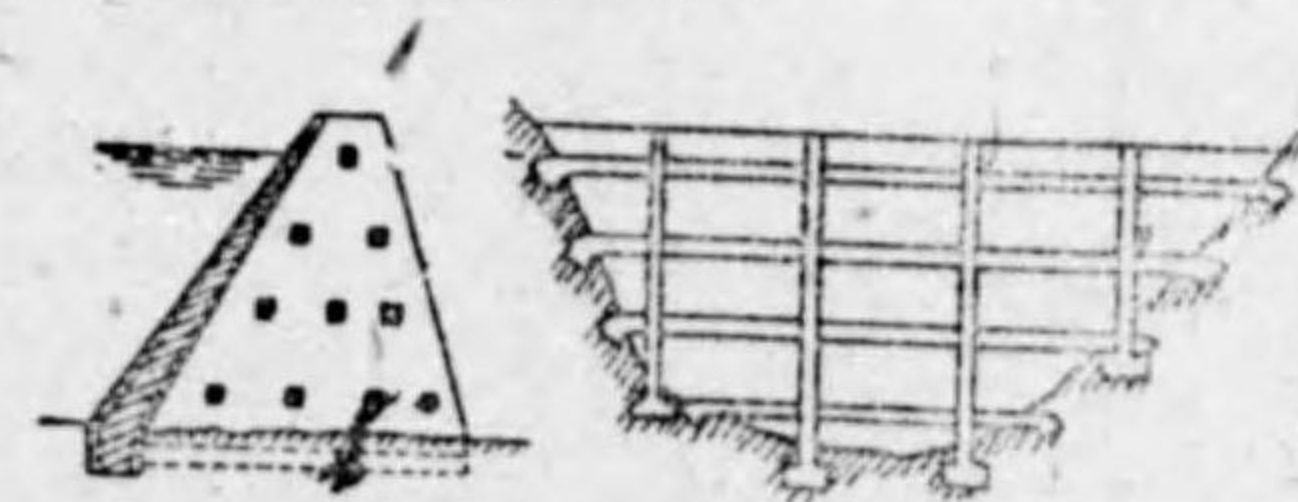
セメントは硬化するとき、化合熱を發生する堤体が大きいと内部では蓄熱されて豫想外の高温となり、悪質の亀裂を生ずる惧がある。小牧では電氣溫度計を挿入してその上昇に留意し、米國のボールドーダム (Boulder Pine Canyon) では 2 米位の間隔に鉄管を通して冷却水を循環せしめた。

次に我國の著名な重力堰堤を表示する。

重力堰堤

堰堤名	會社名	發電所名	基礎上水面迄の高さ (m)	堤長 m	有効貯水量 $\text{m}^3$
小牧	庄川水力	小牧	78.8	300	18,500,000
祖山	昭和電力	祖山	69.7	132	8,300,000
帝釋川	山陽中央	帝釋川	62.0	38	10,300,000
大井	大同電力	大井	46.2	275	11,100,000
祐延	日本海電氣	小口川第三	44.5	125	7,500,000
取水口	大淀川水力電氣	高岡	38.8	124	3,220,000
松谷調整池	群馬水電	松谷	37.3	91	168,000
宇治川	宇治川電氣	志津川	31.2	66	320,000
豊實	東信電氣	豊實	31.2	206	1,700,000
落合	大同電力	落合	28.0	193	1,160,000

J 中空堰堤 (hollow dam)



第 191 圖

鐵筋コンクリート中空堰堤は 6~10 米位の間隔に扶壁を設けてそれに床板 (flat deck) を立て掛ける事第 191 圖の如くしたもので、中空であるから岩盤が著しく堅固でない場所にも適す

るし、コンクリートの容積が重力堰堤に比して少ないからセメント運搬に困難を伴ふ山の中の工事も都合がよい。然し應力の点ではその信頼度は重力堰堤には

及ばないから、高さは先づ 30 米位に止まつて居る。

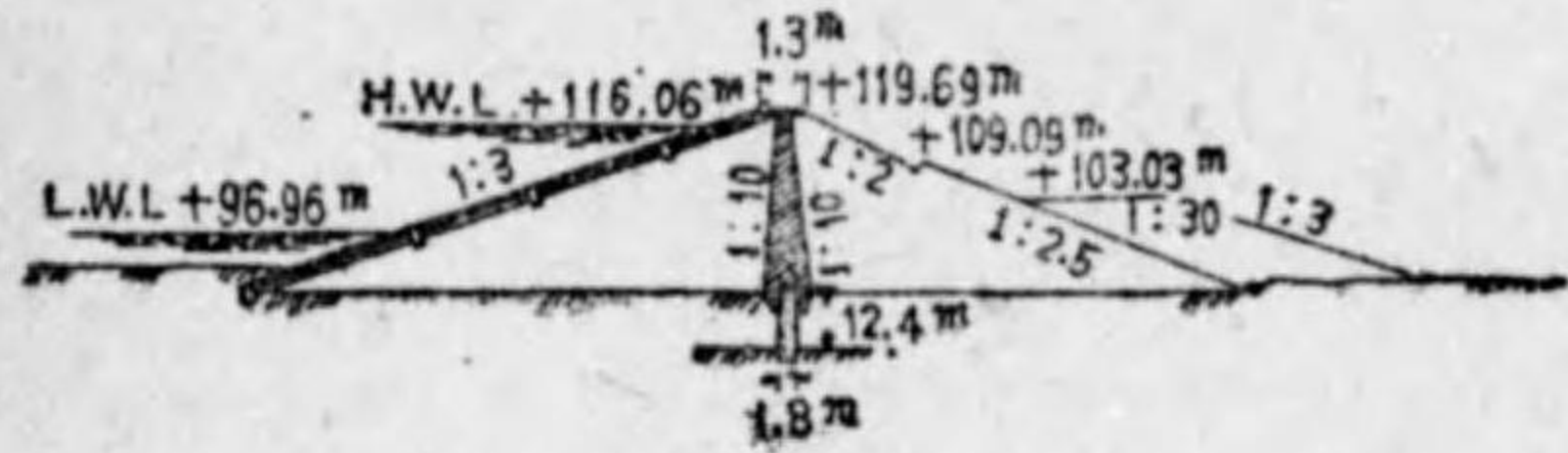
この床板の部を拱 (arch) にしたものをマルチアーチ (multi arch) 型と稱する。強度は強い筈なのであるが、應力計算が甚だ面倒になつて萬全を期し難い。嘗つて伊太利の Gleno で大破壊を起した實例もある。我國にはこの型は一つもない。いずれも床板扶壁型である。

扶 壁 堰 堤

堰堤名	會社名	発電所名	基礎上面迄の高さ m	堤長 m	有効貯水量 m <sup>3</sup>
丸沼	上毛電力	一ノ瀬	30.9	67	11,000,000
恩原	中國合同	平作原	26.8	87	2,540,000
眞立	日本海電気	小口川第二	22.0	61	22,000
高野川	東京電燈	中津川第一	19.4	133	70,000
眞川	富山縣營	眞川	18.2	73	45,000

K 土堰堤 (Earth dam)

基礎に適當な岩盤を求め難い場合は、土堰堤を用ふる。第 192 圖の如く、水の方の勾配は 1 : 2 ~ 1 : 3 とし、反対側は 1 : 1.5 ~ 1 : 3 位にし、細粗適度に混じた土壌を 30 糎位づゝの厚さに敷い



第 192 圖

て大槌とかローラとかで打堅めつゝ築き上げて行く。

普通中央には心壁 (Core wall) と稱して粘土又は鉄筋コンクリートで壁を設け、これは地中相當の深度に達せしめて漏水を阻止する様にする。材料の撰擇、施工法の注意等に関してはコンクリートよりも更に面倒な智識と經驗を要するものであるが、稍本書の範圍外に屬するから略して、土堰堤としての一般上の注意事項のみ述べて

元來土堰堤はその頂を水が溢水する様になれば、忽ち決潰するものと覺悟しなければならぬ。だから貯水池の目的で土堰堤を造る場合は、充分な洪水排きを設けて、萬一にも水が土坡を超えるが如き事なき様心掛けねばならぬ。

基礎が岩盤である場合には決して土堰堤を築いてはならない。岩盤を沿ふて水の通路を作るからである。同様に、地表上に腐蝕土や草木がある場合にはそれらは必ず町嚙に取り除かねばならない。腐蝕土の層が滑り面を形成するからである。増築する場合、舊堰堤上に直に土を盛ることはよろしくない。新舊面の密着不良

からその面で滑りを生ずる。漏水を阻止すると共に排水には留意するを要する。漏水が堤體中に漏潤して所謂水を孕んだ時は最も危険である。

著名な土堰堤を表示する。

土 堰 堤

堰堤名	會社名	発電所名	基礎上面迄の高さ m	堤長 m	有効貯水量 m <sup>3</sup>
大野	東京電燈	ハツ澤	41.5	282	740,000
第三水社	九州水力	女子畑	31.8	177	—
地造原	台湾電力	日月潭	30.2	—	124,000,000
第二	九州水力	町田第一	29.4	94	1,840,000
武周湖	九州水力	女子畑	21.8	58	—
造川	越前電気	蒲生	19.1	83	3,170,000
	鬼怒川水	大瀧	18.8	111	84,000

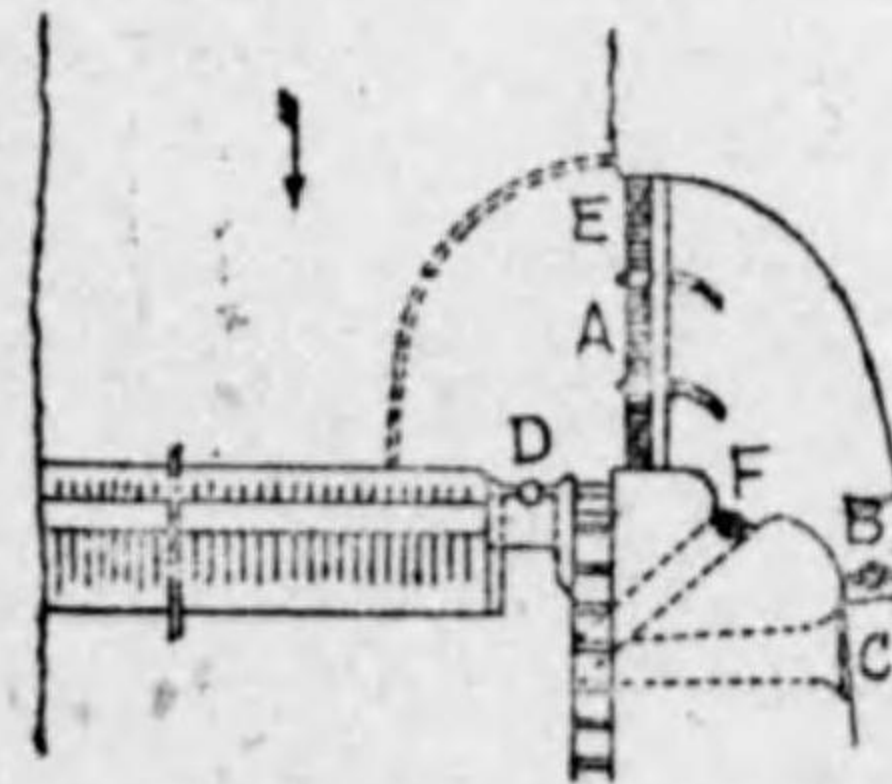
尚、Hydraulic fill dam と稱する工法がある。これは、水壓管で土を水と共に流し來つて、沈澱せしめて作る方法で、礦山で石炭を採掘した跡を填充するに、Sand flashing と云ふて、砂又は土に 50% 程度の水を混じて壓入する方法とやゝ似て居て、米國では行はれて居るが我國には例がない。台灣嘉南大圳土堰堤は Semi hydraulic fill と稱せられるもので、土は車で現場まで運び、それを水に溶かして沈澱せしめた。

(6) 取水口

A 位置

取水口の目的は、所定水量を完全に取入れ得る事と、取水量を調節し、又遮断し得る事及水路内に土砂、流木、流氷、塵埃等が流入しない様にする事である。

故に必要な量の水を取入れ得る爲に充分幅廣く、調節遮断の爲には水門が必要であり、第三の土砂、流木等を防ぐ爲には位置を適當に取り、塵除格子其他の設備を要する。この三者を考慮して取入口は第 193 圖の如く河身に直角に造り、その近くに D なる土砂吐門を水底深く置き、取入口は土砂を吸ひ込まぬ様に底は稍高く、流速が緩かになる様充分幅廣く造る。



第 193 圖

B 塵除格子 (Bar Screen)

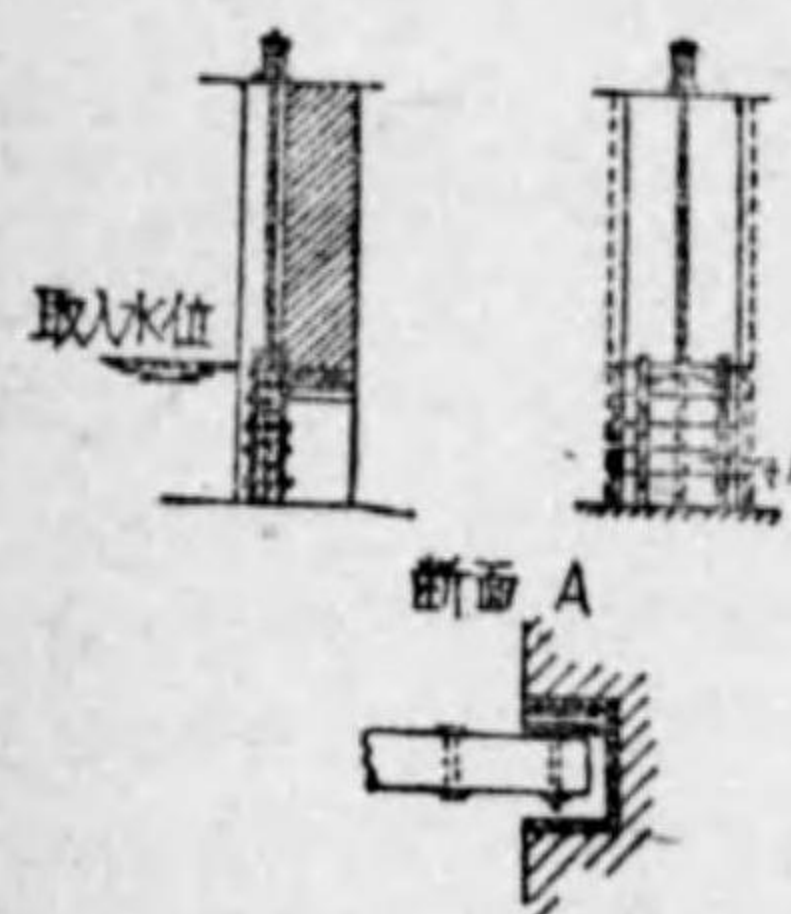
水中に浮游する樹枝落葉等を取り去るもので、平鐵板の厚さ 10mm 幅 10~100mm 位

なものを 20~30 mm 程度の間隔に組んで、所々に間隔片を置いて鉄ボルトで締め、頑丈に作る。垂直なものもあるが、60°位の傾斜を有たしめると熊手でゴミを撥き揚げるに便である。自動ゴミ掻き装置を備へたものもあるが操作は完全とは云へぬ様だ。こんな簡単な除塵篋一つでも考へると色々面倒があるもので、例へば間隔に就いても浮游塵埃の種類によつて廣狹を考へねばならぬ。附近に潤葉樹が多いと、秋の落葉は甚だしい障害になる。低落差のフランス車だとそれ程でもないが、ベルトン車の場合には噴口の針弁 (needle valve) の間に落葉が挿まつて完全に閉ぢない。高壓の漏水が、弁と弁口に菊の花の様な溝をつけて仕舞ふ流木と流水には、殆んどその適当な處置がない。往々にして塵除格子を破壊する。これに對しては、取入口の前方に木材を針金で結んだものを浮べて、先づ塵除格子に近付くのを防いで居る。

最も困るのは流雪で、一度格子の目を滑つたものが、水路中で再び結合して大塊となり、遂に水壓鐵管中に侵入し、水管の曲り角に累積し、流水を止め、その下部の水は流れ去つて、急激な真空を生じた爲、管の破壊を來した例が一再ならず宮城縣や福島縣にある。

### C 水 門

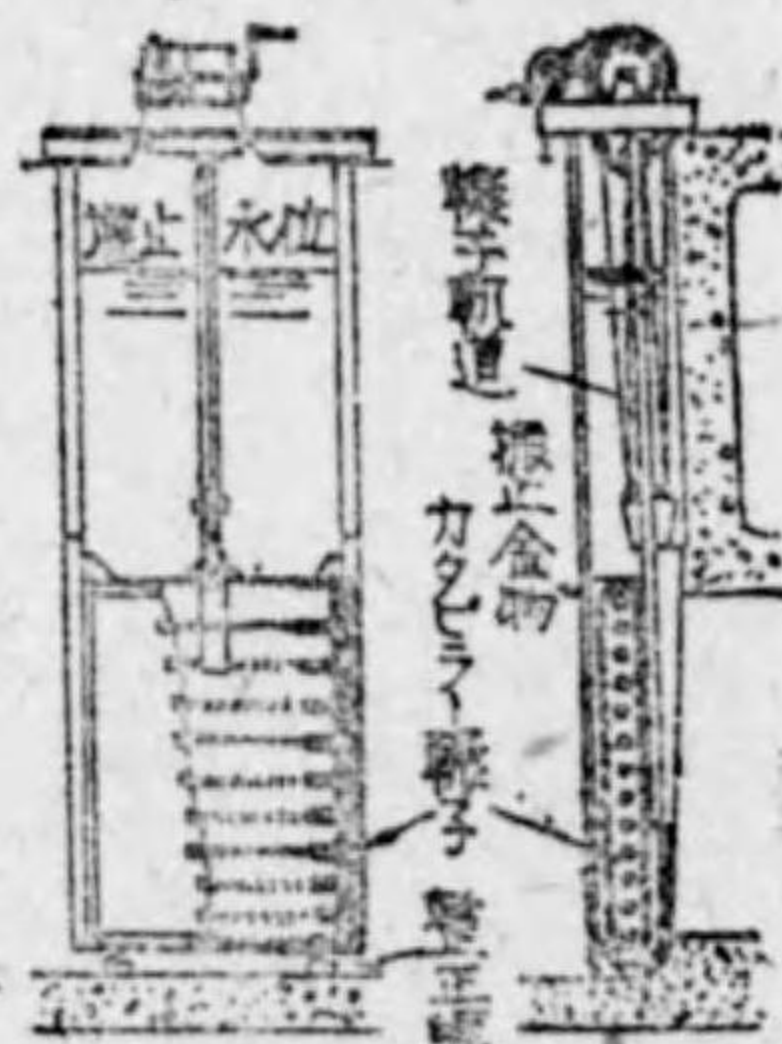
小型のものは、スライディングリフト (Sliding lift gate) 型で (第 194 圖) 木又は鋼板で造る。戸當りには青銅等の水中で腐蝕せず又摩擦の少ない金属を用ひ、操作は、2m 幅位までは手動であるが、大きなものは電動機で動かす稀に石油發動機を原動機とすることもある。水門が大きい場合には水圧も従つて大きく、戸當りの摩擦で動作が困難になるので、この部にローラーを入れる。その構造に依つて



ストーン式 (Stoney gate) ローラー式 (Roller gate) カタビラー式 (Caterpillar gate) 等の名稱がある。

第 195 圖は最後のものを示す、カタビラー、即ち無限軌道を應用したものである。

漏水に對しては夫々特殊の水密方式があつて、或はゴム板或は薄い鋼板等が水壓で自然に側壁に密着する様な構造になつて居る。但し、實際は必ずしもその構造の理論通りに行くものではない。月一回の停電日 (ない處もある) の水路掃除や、検査の折に漏



カタビラー門扉 第 195 圖

水が多くて困る事がある。余りよい方法でもないが石炭の燃えガラをバラ、と落す。比重の関係で緩かに水中を落下する間に漏水に吸ひ寄せられて割合有効なものである。

### (7) 水 路

#### A 水路位置の選定

水路を河の右岸にするか左岸に取るかは、取入口と發電所の位置を決定するとき、自然に定つて仕舞ふ事であるが、沈砂池や、水槽の位置や、地質も豫め調査して考慮に入れなければならない。古生層の地方では岩盤が揉まれて居て地滑り等を起し易い。

水路工事に當つては土捨場を豫め考慮する必要がある。掘鑿土砂は決して河川へ投棄することは許されない。全部崩れ落ちぬ様、適當な勾配となし、或は石垣等を設けてならし置く様設計せねば工事は認可されない。

又水路、特に隧道は、最も工期を長く要するものであるから、よく工程を定めて、最初に着手し、すべての竣工が同時になる様に計畫する。發電所だけが早く出来ても水路が未完成では發電出来ぬのみでなく、その建設費の少なくも利子だけは無駄拂ひをしなければならぬ。

#### B 水路の種類

水路の種類は隧道、暗渠、開渠の3つで、樋と管とが稀に用ひられる。隧道は水力の水路としては最も普通なものである。水路は概ね山地に設けられるから、自然山の中腹を穿つ事になるからであるが、又これは最初の建設費は大きいが維持費は最も少ないからである。

目的地を直線で結んで、山腹を深く貫通することも、ない事はないが、斯くすると全長は勿論短かくて済むが一本の隧道の長さが増大する。それは直に工期に大影響を與へるから、實際は余り山腹の深くない所を貫いて澤の所々で横坑を造り、數箇所から掘鑿する様にする。

平坦部は開渠にする工費も安い。暗渠は開渠が深くなつた場合や澤の下を通る場合に造る。この二つは自然山の中腹を通ることになるから、地震等の場合には最も危険である。

大正 12 年の關東大震災にはこの種類のものは表土諸共に摺り落ちて大被害を受けた。又漏水は水の損失となるのみでなく、附近の地盤を緩めて思はざる危険を招くから嚴に戒めねばならぬ。

#### C 水路の勾配

水路の勾配は  $1/1000 \sim 1/1500$  を普通とする。勾配を緩かにすれば有効落差に於て利益があるが、水路断面を大きくする必要から工費が増大する。故にこれが爲に利する出力と工事費の増大による費本費の増大とを對比して電力の採算を行ひ適

當な勾配を定める……と普通の本に書いてある。然しこれには疑問がある。例を以て云ふと水路延長 1km で勾配が  $\frac{1}{1000}$  なら、爲に失ふ落差は 1m である。今勾配を  $\frac{1}{2000}$  とするなら失ふ落差は 0.5m となる。水量が假に  $100\text{m}^3/\text{sec}$  (大分大きいが) とするとこの 0.5m の爲に生ずる理論馬力は  $490\text{kW}$  となる。

この6掛けが賣れるとして——水車、發電機、變壓器、送電線等の能率と又負荷率を考へて——1 キロ年の賣電價格を 100 圓とすれば約 30,000 圓となる。

これを利子として金を借りるとすれば、利子を 5 分とすれば、600,000 圓だけ借りられる。kW 當りにすれば 1,200 圓/kW になる。

一方發電所の水路費はどの位かと云ふと、これは状況の差異で非常な相違がある。高いのは 600圓/kW 以上のもあり、安いのは 70圓/kW と云ふのもあるが大抵 200~400圓/kW 位だと見てよからう。

即ち極く僅かでも、落差を増加せしめ得るならば、その爲には随分な巨費を投じて差支へないと云ふ理屈になる。

これは決して筆者の一家言ではない。15年程以前に宇治川電氣會社の技師長永井博士が、土木學會誌上で、この事を論じて居る。そして結論として恚う云ふて居る。

土木工事は關係因子が複雑だから、ケルヴィン法則 (Kelvin law) を適用するに困難が多いが、兎に角落差を有効に利用する爲にはもつと水路に金をかけてもよいと云ふ事がわかる。然るにこれをしないのは莫大な資金を獲得する事が困難だからだ。と

ケルヴィン法則と云ふのは、送電線の經濟的設計によく使はれるもので、電壓を高くすると電流が少なくなるから、送電損失が減少する。これを金に換算すれば、年々の利益がそれだけ増した事になる。一方電壓を高くした爲に、碍子が多くなり、従つて鐵塔も太くなり、建設費が高くなる。そこで建設費の利子と減損償却と維持費の増額が前の送電損失の減少による利益と相等しくなる迄は、電壓を高くした方が結局得だ、と云ふ事になる。

この平衡の法則を Kelvin law と稱し、あらゆる問題に應用される。唯水路問題に関しては送電線の様には簡単ではない。勾配を半分にすれば水速も半分(とは行かない)になるから、斷面積が 2 倍になる。従つて工費も 2 倍だなどは決して云へないので、水路工事は何分にも莫大な金額だから、會社の内部では充分その經濟的設計に就いて検討して居る筈だが、外部にこれを發表したものは殆んどない。

尙水路の勾配に関しては、余りに緩かだと水草類が生じて流れを阻害する。余り急で水速が  $5\text{m}/\text{sec}$  以上となると水路壁の摩滅が大きくなる。大抵流速は  $2\text{m}/\text{sec}$  附近が多い。

隧道は開渠よりも勾配を急にした處が澤山ある。掘鑿費が隧道は高いから少し

でも細くして工費を助ける目的である。

水壓隧道は理屈から云へば勾配は不用なわけであるが、修繕等の場合の水切りに適度の勾配を取る。

D 水路の断面

開渠の場合には断面第 196 圖の如くである。

A は木橋、又は水路橋等に用ひられる。B 及 C は側壁が土壓に耐える様に、法面勾配を取つたものである。掘鑿が最も少なく通水量が最大となる様即ち潤邊 (Wetted perimeter) が最小になる様にする。その條件としては A の場合には

$$b = 2d \dots\dots\dots (5)$$

B 及 C の場合には

$$d = \sqrt{\frac{A \sin \theta}{2 - \cos \theta}} \quad b = 2d \tan \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (6)$$

A = 斷面積      b, d,  $\theta$  = 圖による寸法又は角

要するに水深 d を半径とした半圓に外接する梯形又は矩形であればよい。隧道の場合には第 197 圖の如くである。



第 197 圖

A は小隧道で、且つ岩盤が堅固な場合に限る。それでも岩盤が剝落し易い。B も小隧道に用ひられる型である。隧道には最小限度の大きさがある高さ 1.5m、幅 1m 以下となつては殆んど掘鑿が不可能になる。B は先づこの最小限度に近い場合の型である。C は普通のもので、近時の標準型は第 198 圖の如く、上半分は半圓形とし、側壁及敷はその直徑を半径とし、半圓の端及頂点を中心とした弧から成立つ馬蹄形のものである。經濟的で土壓に對しても相當の強度がある。D は眞圓形で、水壓隧道に用ひられる。

裝工は概ねコンクリート搗き立て摩擦抵抗を小さくする爲、モルタルを塗り、又玄光、イナトール、ソリューション等の塗料を塗ることもある。この塗料は水虫(トビゲラと稱する糞虫様の蟲を替み、隧道の相當深い所に附着する)の豫防にも役立つと云はれる。



隧道標準断面

第 198 圖

水溜隧道以外に鉄筋は用ひない。

**E 流量**

水路の流量に関しては多くの式が與へられて居る。先づシエジエ (Chezy) の 1813 年に發表した式を掲げる。

$$Q = Av \dots\dots\dots(7)$$

$$\left. \begin{aligned} v &= C \sqrt{mi} \\ m &= \frac{A}{s} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(8)$$

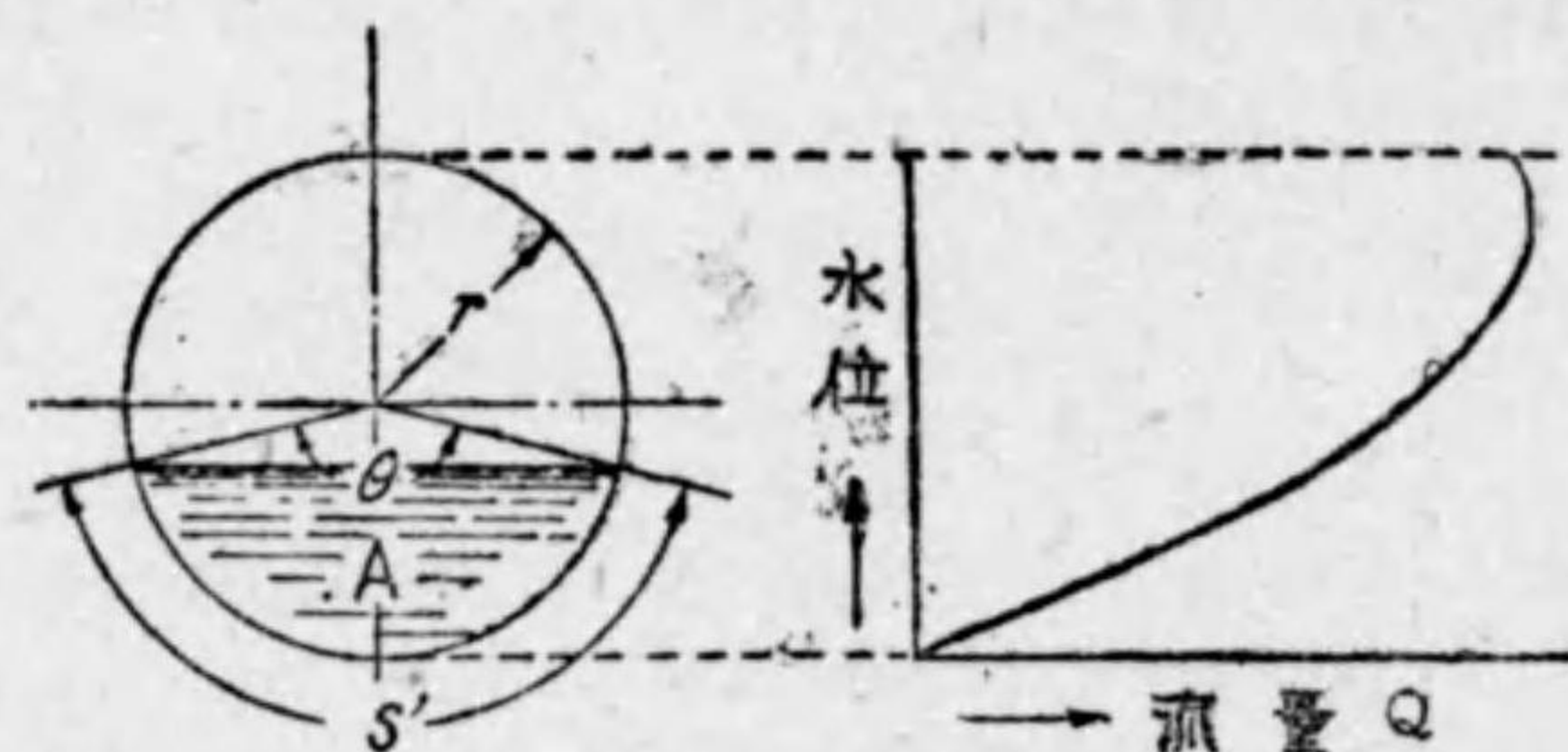
Q=流量 m<sup>3</sup>/sec A=水の断面積 m<sup>2</sup> v=水の水速 m/sec  
C=Chezy の流速係数 m=動水半径 m i=水路勾配 s=潤邊の長さ m

Chezy は C の値に就いて次の實驗値を與へて居る。

Chezy の C の値

水路の種類	C
鉄綫鋼管	55~63
隧道 (卷立)	64~78
滑面水路	28~39

曩に、(5) (6) 式で開渠の經濟的断面を定めたが、あれはこの Chezy の式から誘導したものである。簡單だから述べない次に圓形又は馬蹄形の隧道の場合、天井まで満水すると却つて水量が減少するとよく云はれて居る。この理由を Chezy の式



第 199 圖

によつて證明して置かう。

隧道は圓形でその半径は r とする。

水の断面積は

$$A = \frac{1}{2} r^2 \theta - \frac{1}{2} r^2 \sin \theta \dots\dots\dots(9)$$

潤邊の長さ

$$s = r \theta \dots\dots\dots(10)$$

流量 Q=Av

これに Chezy の式を代入する。

$$Q = AC \sqrt{mi} = AC \sqrt{\frac{A}{s} i} = C \sqrt{\frac{A^3}{s} i} \dots\dots\dots(11)$$

これに (9) 及 (10) を代入すると (11) 式中の A と s が消えて、流量 Q は、r, C, i なる定数と變數  $\theta$  とで表される。

Q が最大となる條件として  $\frac{dQ}{d\theta} = 0$  を求めればよいのである。但し以上の如

くすると計算が面倒になるから (11) 式を見て

$$\frac{dQ}{d\theta} = 0 \text{ となる爲には } \frac{d}{d\theta} \left( \frac{A^3}{s} \right) = 0 \text{ となればよい。}$$

$$\text{即ち } 3 \frac{dA}{d\theta} - \frac{A}{s} \frac{ds}{d\theta} = 0 \dots\dots\dots(12)$$

を計算すればよいのであるから、(12) 式に (9) (10) 式を代入する。すると

$$2\theta - 3\theta \cos \theta + \sin \theta = 0 \text{ となり } \theta = 308^\circ$$

なる値が得られる。従つて最大流量は

$$Q_{max} = 2.33 C r^2 \sqrt{ri} \dots\dots\dots(13)$$

なる式が得られる。又天井まで満水した場合は

$$Q = 2.21 C r^2 \sqrt{ri} \text{ である。}$$

再び第 8 式に還つて Chezy は  $v = C \sqrt{mi}$  なる根本式を導き、その流速係数 C を直接實驗値から與へたが、1897 年、バザン (H. Bazin) は、C の値を次の如き形で表はした。

$$C = \frac{87}{1 + \frac{n}{\sqrt{m}}} \dots\dots\dots(14)$$

これを Bazin の新公式と云ふ 1859 年にダルシーバザン (H. Darcy & H. Bazin) の名前で發表したものがあつたからである。

m は 8 式と同じで  $\frac{\text{流水断面積 } m^2}{\text{潤邊の長さ } m}$

n に就いて次の値を與へた。

水路の種類	n の値
削りたる板、滑かなセメント面	0.06
削らざる板、切石、煉瓦	0.16
粗石積	0.46
良好な状態の土	0.85
普通状態の土	1.30
不良状態の土	1.75

(14) 式は形が簡單で計算に便であるが、水路の勾配に関する考慮がない。だから相當の勾配のある場合にはこの式がよく適合するがごく緩かな水路には次のガ

ンギエ・クツタ (Ganguillet & kutter 1869 年) の式がよいと云はれる。

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0.00155}{i}}{1 + \left(23 + \frac{0.00155}{i}\right) \frac{n}{\sqrt{m}}} \dots\dots\dots (15)$$

kutter の式に対する n の値

水路の種類	n
削りたる板、滑かなるセメント面	0.010
削らざる板	0.012
切石、煉瓦積	0.013
粗石積	0.017
良好な状態の土床	0.025
床粗き小石、草類ある川	0.030

(15) 式に対する n の値は次の通りである。

kutter の式には、水路の勾配も含んで居るから、式としては完備して居る様にも思はれるが勾配による項の影響は極めて少ない。i=0.01~0.001 の間で、C の値の變化は 1% にも到らない。だから時には i=0.01 として (15) 式を

$$C = \frac{24.55 + \frac{1}{n}}{1 + 24.55 \frac{n}{\sqrt{m}}} \dots\dots\dots (16)$$

として使用する事さへある。

尚 n の値は kutter の數値を用ひ

$$v = \frac{1}{n} \cdot m^{2/3} i^{1/2} \dots\dots\dots (17)$$

とするマンニング (Manning) の式と云ふのもある。

流速公式に關しては余りに各種のものを羅列し過ぎたかも知れぬが、水路は發電所の最大問題であるから、流量は色々な式で幾通りにも計算して見る必要がある。

F 管路の損失水頭

前項の流量算定は、損失水頭 (水路の勾配に全長をかければよい) が定つて居るとき、幾何の水量が流れ得るかを算定するのである。管路や水壓隧道に於てはこの逆である。流量は極端に云へば、いくらでも通る。唯その流量による損失水頭が幾何になるかが問題である。損失水頭はすべて次の形で表される。

$$h_s = \zeta \left(\frac{v^2}{2g}\right) \dots\dots\dots (18)$$

h<sub>s</sub> = 損失水頭 m    ζ = 損失係數    v = 流速 m/sec    g = 地球の加速度 = 9.81m/sec<sup>2</sup>  
二三の場合を書くと

(1) 逆サイホンの場合の損失水頭

$$h_1 = \zeta \frac{v^2}{2g} = \left(1 + \zeta_1 + \zeta_2 \frac{L}{m}\right) \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (19)$$

ζ<sub>1</sub> = サイホンの入口に於ける水頭損失係數 = 0.5 但し水路よりサイホン部への断面が漸次的に滑かて變化する場合は 0.2 まで減ずる。

ζ<sub>2</sub> =  $\frac{2g}{C^2}$  = サイホン部の水路摩擦係數、C は Chezy の式の値に同じ

L = サイホン部の管路の長さ m

$$m = \text{動水半径} = \frac{A}{s} = \frac{\text{流水断面 } m^2}{\text{調査の長さ } m}$$

(2) 水壓管路の入口の水頭損失

$$h_1 = \zeta_3 \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (20)$$

ζ<sub>3</sub> = 水壓管路入口の水頭損失係數 普通 Bell mouth 型の場合は 0.1~0.2

(3) 水壓管入口附近又は出口附近に置かれた瓣による損失水頭

$$h_1 = \zeta_4 \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (21)$$

ζ<sub>4</sub> = 瓣による水頭損失係數で、普通のスライド瓣、ロータリー瓣、バタフライ瓣 (Butterfly valve) 等ではその全開の時 0.1 位、針瓣 (needle valve) では 0.05 位

(4) 水壓管路の全長に対する損失水頭

$$h_1 = \zeta_5 \frac{L}{m} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (22)$$

ζ<sub>5</sub> =  $\frac{2g}{C^2}$  = サイホンの場合と同じで、C は Chezy の式の値

L = 水壓管路の全長 m

m = 動水半径 =  $\frac{A}{s}$  動水半径の代りに管の直径を用ゆるなら D=4m とすればよい。

(5) 管路屈曲による損失水頭

$$h_1 = \zeta_6 \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (23)$$

ζ<sub>6</sub> の係數に就いてはワイスバツハ (Weisbach) の實驗結果は屈曲角度を θ とすると

θ	15	30	45	60	90	120	140
ζ <sub>6</sub>	0.0222	0.0728	0.183	0.365	0.99	1.86	2.43

これらの損失水頭は、いづれも v が小さい限りごく小さい値である。逆に言へばこの水頭損失を大ならざらしめんが爲に v を 2~4m/sec 位 —— 7.5m/sec と云ふ例もあるが——にして居るのだと云ふ事が判る。

G 水路の構造

隧道の掘鑿に就いては通常の鐵道や道路のものと變りはない。但し片勾配とせざるを得ぬから上流側からの掘鑿が排水不良の爲困難を感ずる事が往々ある。又漏水がない様にする爲、特に注意する必要がある。コンクリートを巻立てたる

のコンクリートと、掘鑿岩盤との空隙なども、全部コンクリートを以て裏込めするが安全だ。

水圧隧道は充分モルタルを注入すれば、鉄筋は殆んど不用な譯けだが、用心の爲、多くは鉄筋入りに造る。而も兎角水圧隧道は漏れがあつて困るものである。

湧水はそのまゝ横坑から抜き捨てゝ仕舞ふのが普通だが、相當の量があれば水路内に取り込む様にするのがよい。途中に溪流等がある場合、亦同様である。

開渠を設ける箇所は、基礎が土壌であるから沈下は或る程度豫期せねばならぬ堤を築いてその上に開渠を置くのは避けた方がよい。寧ろ水踏橋が、已むを得ずば逆サイホンを用ふべきだ。

(8) 沈砂池、調整池、貯水池

取入口に貯水池を有せず、又調整池もない場合は、必ず沈砂池を備へる。河水は一見清澄に見ゆるも、かなりの細砂を混入して居るものである。それが時に硅石質のものなぞであるると、爲に蒙る水車の磨耗は夥しいものである。沈砂池の位置は出来れば取入口の近くがよい。土砂はその性質によつて沈降速度が異なるから流水を汲み取り、硝子筒に入れてその沈降速度を計るのである。それで大体の程度を知る。その沈降速度が 0.05m/sec だとすると、今沈砂池の深さ 5m, その流速を 0.2m とすれば、表面から底まで完全に沈澱するに要する池の長さは

$$\frac{5 \times 0.2}{0.05} = 20 \text{ m}$$

となる。勿論渦流を起さぬ様、又沈澱した土砂を小さな池なら停電日に掻き出すが、大きな池だと適當に排除する様な装置を考慮しなければならない。

調整池及貯水池の利用方法に關しては第 7 章に述べる積りである。

(9) 水槽及調壓水槽

A 水槽

水路の終端に在つて水路と水壓鐵管と連絡の用を爲してゐる。嘗て逕信省の試験に水槽の作用を述べよと云ふ問題があつた時、この水壓鐵管への水の分配と云ふ事を書いた人が一人もなかつたと云ふ笑話の様な話がある。余り明から事だから却つて忘れたのだろう。

水路中に含まれた土砂を更に此處で排除し、尙塵埃格子で浮游物を取り除く。又相當の水量を保有して水車の負荷の變動に應じて水位の調節をなし落差の急激な變動を防止する。水壓鐵管への入口に制水門を設けて必要な時には鐵管への水を遮断する、するとその時長い水路を通つて來る全水量を安全に溢水せしめる爲餘水路を設ける要がある。

水槽は大抵山の中腹に造るから、土地が狹隘で、案外この餘水路の爲の施設が

爲し難いものである。而も溢水は充分排出せしめねば水槽が溢れて困る。狭い面積から多量の溢水を排除する爲にサイフォン溢水路が設けられる。猪苗代發電所、澁川發電所などに見られる處である。(第 200 圖)



第 200 圖

初め水槽内の水位が除々に上昇する時は、先づ A から流出するが水位が上昇して B 孔が遮断されればサイフォン作用が開始される。流量は次の式で計算される。

$$Q = 0.65 A \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (23)$$

Q=流量 m<sup>3</sup>/sec    A=咽喉部の面積 m<sup>2</sup>    g=9.81m    H=水頭 m

H の高さは 8m 位が限度である。それ以上になると水流の連続性が破れてサイフォンとしての作用がなくなる。

B 調壓水槽 (Surge Tank)

長い水壓鐵管の中をある速度で水が流れて居る時、その終端で急に之を遮断すれば長い水の柱は、例へば汽車の列車の様なものだから、急に之を止めればその保有して居るエネルギーは壓力となつて表はれる。これを水槌作用 (water hammer) と云ふ。そして急に止められた列車が反動で後戻りする様に、一度上昇した壓力が背後へ押し戻し、また押し寄せて幾回もこれを繰り返す。これを襲波現象 (Surging) と呼んで居る。

これを數學的に取り扱ふのは大變面白いのであるが、同時に相當面倒であるから、式の變化は省略して結論だけ述べると、水管の終端で全く瞬時に停止する場合壓力は

$$\Delta P = 14.75 v \text{ kg/cm}^2 \dots\dots\dots (24)$$

$\Delta P$ =水槌作用による壓力 kg/cm<sup>2</sup>    v=水流の速度 m/sec

普通  $\Delta P$  を水頭で表すのが便宜だから

$$h = 147.5 v \dots\dots\dots (25)$$

h=水槌作用による水頭

(24) 及 (25) 式には水管の長さや太さは含んで居ない。唯水速と水の比重が關係して居るだけである。一見不合理なるが如く見えるが、水を壓縮不可能な剛体と見做せば、長い水管の何處で遮断しても同じ事で、長さには不關係に上式が成立つわけである。外に水柱の惰性を基本として計算式も容易に導けるのであるがその値は上式よりも少さくなるのであるから (24) 式による計算をして置けば間違ひはないのである。

少し古いが、アンウキン教授 (unwin) が 1912 年行つた實驗結果を掲げる。これは直徑 10 糎、長さ 700m 及 320m の管路に於て、その終端の瓣を 0.03 秒の時間で急に閉塞し、管路上 10 個所に指示壓力計を取りつけて計つた。何處でも略同一の壓力上昇を示したと云ふ。表中 K は (24) 式を、 $\Delta P = Kv$  と考へた



時の値である。

v m/sec	$\Delta P$ kg/cm <sup>2</sup>	K の 値
0.152	2.18	14.4
0.594	8.1	13.6
0.906	11.8	13.0
1.240	16.3	13.2
2.785	36.5	13.2

0.03 秒と云ふ瓣の閉鎖時間は甚だ小さい値である。斯く短時間に瓣を閉鎖する事は決してない。従つて上記の様な大なる壓力上昇はない——またあつては困る。

實際問題としては更

に水管が壓力で膨脹する。この値は相當大きいもので、その爲壓力の上昇は更に緩和されるのである。これらを考慮に入れた現象もユーコウスキー (Jukowsky) 以下の學者の努力で大分鮮明にされたが、かなり複雑した式の形になり、割合に使用し難いから省略して置くが、瓣の閉鎖、又は開放の速度を緩かに取つて壓力の上昇を 30~40% 程度に止める様にする。そしてその上昇は調壓水槽で調整する。

然し水槌作用を減少さす爲、瓣の閉鎖時間を長くすれば、水管の方の心配はなくなるが、水車が困る。急に負荷がなくなると速度が上昇する。そこでフランス車では緩急瓣 (Relief valve) を備へて、側方から水を抜いてやる。又ペルトン車では折流板 (Deflector) と稱して水の噴孔の先に板を置いて、これが急に下りて承腕に水が作用するのを遮断する。緩急瓣及折流板に就いては水車の夫々の章に於て述べる。調壓水槽に就いてだけ茲に書く。

調壓水槽は、普通、水槽 (Head tank) で間に合せて居るが、余水を捨て、仕舞はねばならぬ不利があるのと、水路が長いと、水の隋性による揺動が長く続く又壓力隧道があつて、水壓鐵管へ續いて居る場合などでは、普通的水槽は設けられないから、是非特別の調壓水槽を設備せねばならぬ。

設置場所は水車瓣の直前程有効であるから、普通、壓力隧道と水壓鐵管の境目に置かれる。約 3 種類ある。

單式調壓水槽 (Simple surge tank) は單なる水槽を管路上に置くので、壓力の上昇と共に水が槽内を上るので動作は鈍く容積は大きくなければならない。

小孔式調壓水槽 (Restricted orifice) は水管から槽への入口を水管の 1/10 位に狭める。水の出入に對して摩擦を多くして水頭を押へるのであるが、この作用は不確實で余り面白くない。

差働調壓水槽 (Differential surge tank) (201 圖) はタンクが二重になつて居て一部の水は下の小孔 A から外殻に入るが大部分は中央のライザー (riser) を



第 201 圖

久發電所で造られた。

外に新井式と云ふのがあつた。第 202 圖の如く差働式と小孔式を組合せた様なもので、岩盤の中に造るに適して居る。

台灣日月潭發電所及飛驒川名倉發電所にある。

### (10) 水壓鐵管 (Penstock)

#### A 水壓鐵管の種類

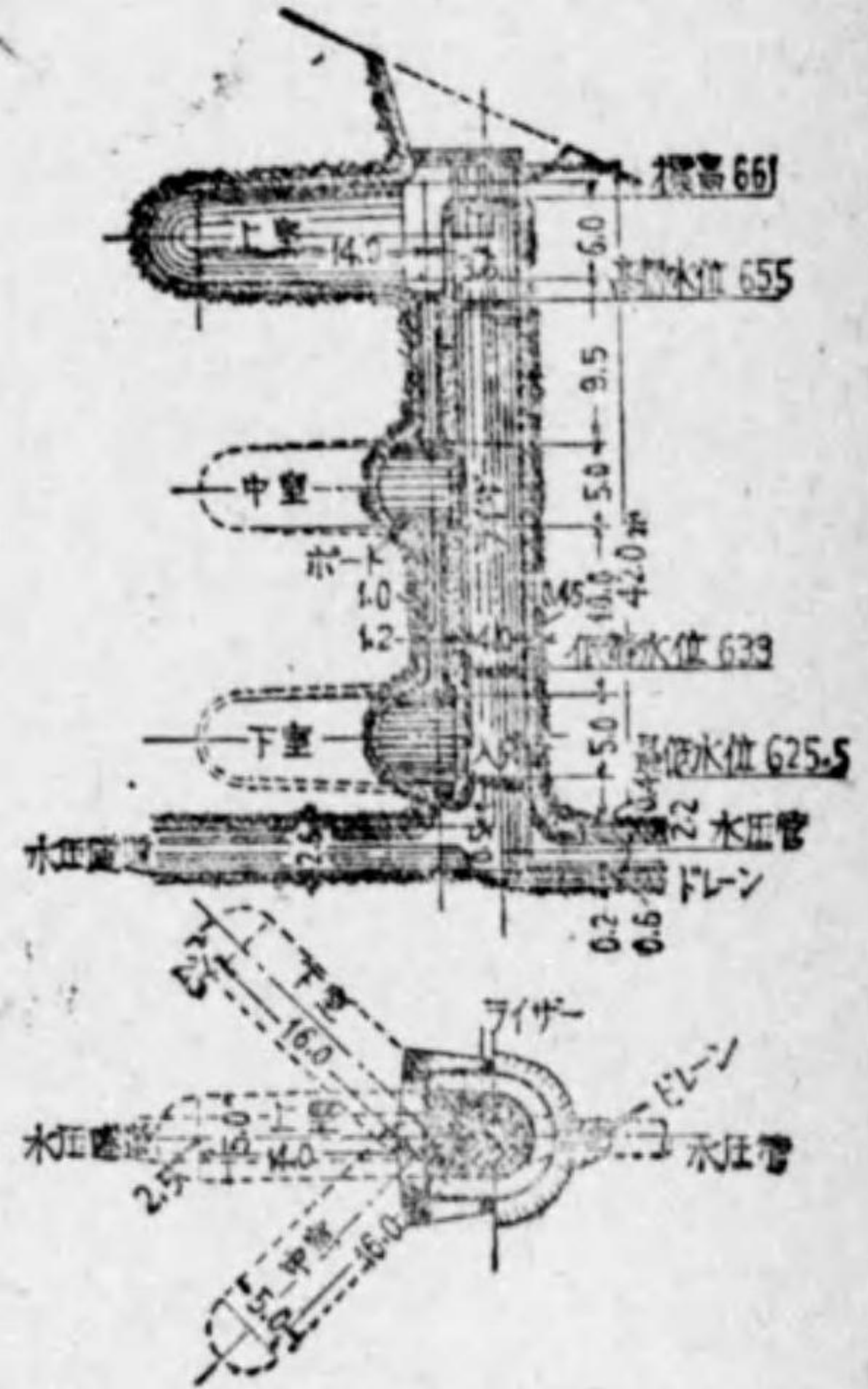
水槽から水車までの壓力管路を水壓管路と云ふ。壓力管には勿論鐵管が最も多いが、木管及鐵筋コンクリート管路も稀には使はれる。木管は工費は安いが壽命が短い。外國では直径 3m 位まで造られた例があるが、我國には殆んど見ない。

鐵筋コンクリート管は、歐洲戰の當時鐵材の暴騰した折、二三の實例があるが結局不經濟であるし、高壓には向かない。水頭 30m 位までが限度である。

鐵管には鋼板を鉄綴 (Riveted pipe) したものと、銲接したものがある。又彎曲部等の特殊箇所には、鑄鋼管 (Cast steel pipe) を用ゆる事があり、更に壓力が非常に高い場合には、引拔鋼管 (Solid drawn pipe) を用ゆる事さへある。

鉄綴管は、最も普通なもので、従つて多く用ひられて居る。これは漏水を防ぐため、コーキング (Coking) をするから、普通の強度計算式から算定した値よりもリベットを細くし、その代りピッチを小さくする。従つて、接合能率 (joint efficiency) が低くなる。大体の接合能率を掲げると次の如くである。

昇つて溢流して外殻に入る。ライザーの高さだけの水壓に耐へ、外殻の容量だけの貯水量を有するから、効用が 2 倍になる。單式に比べると水位の動揺する時間が甚だ短かくてすむ。利根川、佐



第 202 圖

鉄管接合能率

接合の種類	重ね接手 (Lap joint)			銜き合せ接手 (Butt joint)		
	単列	複列	三列	複列	三列	四列
接合能率 %	50	70	73	83	85	90
使用板の厚さ mm	6~15	6~19	6~25	9~25	9~32	9~32

鉄管の厚さは次の式で計算し得る——蒸汽管の場合と同一式である。

$$t = \frac{PD}{2\sigma\eta} \quad (26)$$

t=管の厚さ cm P=水圧 kg/cm<sup>2</sup> D=管の直径 cm

σ=鉄管の許容強度 kg/cm<sup>2</sup> η=鉄管の接合能率

δの値は、軟鋼板の破壊強度 4,000kg/cm<sup>2</sup> であるが、安全率を4位に取るから 1,000kg/cm<sup>2</sup> とする。

Pは水圧で、静圧だけなら

$$P = 0.1 H \quad (27)$$

H=水頭 m

として水車から水槽水面迄の高さであるが、水槌作用を見込むと次の式の如くなる。但し簡単に考へれば 30~40% の増加を見込めはよい。

水槌作用に関しては、龔に (25) 式で瓣を瞬時に閉鎖した場合、理論的には水槌作用による水頭の増加は

$$h = 147.5 v$$

となると云ふたが、実際の場合には瓣を瞬時に閉鎖する事は勿論ないから、単に速度による水槌作用よりは、水柱の粘性によるものが大きくなる。

アリエビ (L. Alievi 1901) の次の如き式が用ひられる。

$$h = \frac{NH}{2} + \frac{H}{2} \sqrt{N^2 + 4N} \quad (28)$$

$$N = \left( \frac{lv}{gTH} \right)^2 \quad (29)$$

h=水槌作用による増加圧力水頭 m H=静水圧水頭 m v=管内の流速 m/sec

T=水車瓣の閉鎖時間 sec l=管の全長 m

そして (27) 式中の H の代に (H+h) を代入したものを更に (26) 式に用ゆればよろしい。

斯くして求めた鉄管の厚さ t には更に腐蝕 (Corrosion) 及潰蝕 (Erosion) に對する餘裕として 3mm 程度厚くして置く。

偽鉄綴の方法に就いて、手打鉄では 25mm 位まで、壓搾空氣鉄打機械を使用する場合は厚さ 30mm、水壓鉄打機械を使用しても 36mm を越える原板は、却

々工作が六ヶ敷くなる。

銲接管は電氣及瓦斯の2種類がある。

電氣銲接は特に近時發達して來たもので、現場に於て管の縦継手などには最も便利である。接合能率は熟練な銲接工によるときは 80~90% に達するが、部分的に高熱を興へるから、その部分が冷却するとき收縮することによつてその周圍に初應力 (Initial stress) を生じて居る惧れがある。故に (26) 式で計算するとき δ の値を稍低く取り、85 kg/cm<sup>2</sup> 以下とする。

余り厚いものには不適當である。最大 27mm と云はれる。

瓦斯銲接は、ハンマーウェルド (Hammer welded) と稱して、銲接部に肉を盛つて、その赤熱して居る間によく打槌して材質を締め、更にその上に肉盛り、再び打槌する、と云ふ風にして銲接する方法で、斯くするとその部分を削つて見ても殆んど氣泡も認められず、銲接の迹も見分け難い程になるので、近來高壓用によく使はれる。

能率も 90% 位あるし、且つ鉄綴式に比べると僅かなものではあるがリベットの頭に因る摩擦水頭の損失がなくなる。又腐蝕はリベットの周圍から始まるものであるから、それがないから壽命も幾分長いと云ひ得る。

鑄鋼管及引抜管に就いては別に云ふ事はない。最上のものである。唯少し大きなものになると製作が困難で價が高くなる。

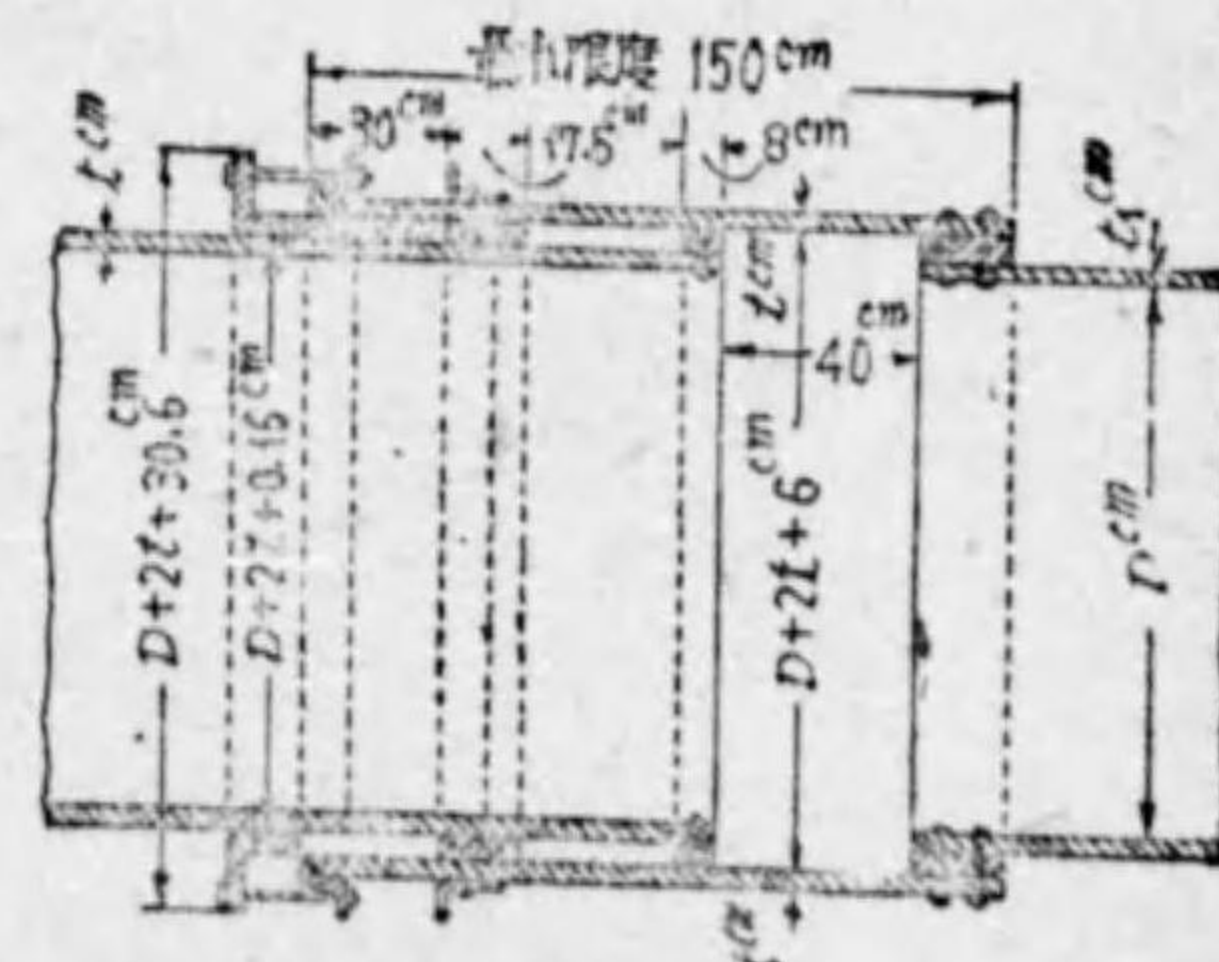
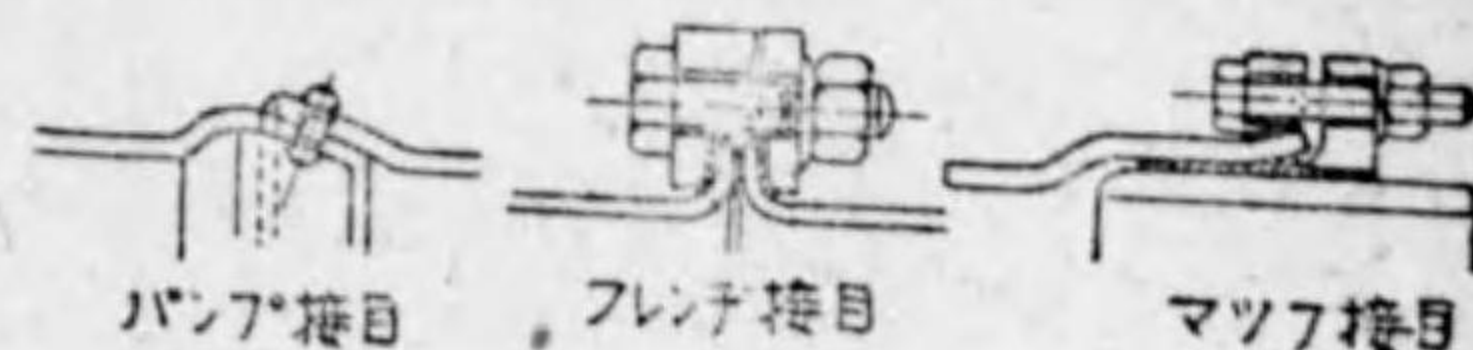
管径は我國の最大は 4.1m で、管内の流速は 1~3m/sec 位、高落差のものは下部に赴くに從つて管径を小さくするから、從つて速度が大となり最高 9m/sec に及んで居る例があるが、余り速度を大にすると水槌作用の影響が大きくなるの

みでなく  $\frac{v^2}{2g}$  なる水頭

損失が増して來る。

B 水管の接手及伸縮 接手

水管の横接合、即ち管と管との接手は、その應力は理論的に云へば縦接合の半分になる。夫々鉄綴又は銲接するが、運搬や敷設の都合で適當の長さ毎に現場接手を設ける又全長一直線と云ふ水管路はない。必ず途中に數箇水平(又は水平に近い)



第 203 圖

部を設けて鉄管を固定し摺り落ちるのを防いで居る。故にその固定台と固定台の間には必ず伸縮接手を置く。

これらの構造は圖の如くである。(第 205 圖)

水壓鐵管は細きものを數多く用ひるよりは太きものを數少く用ひる方が價が安いから、小水力で水車の台數が多い場合には 2~3 台の水車に對して、1 本の水壓鐵管を配し、末端で分岐せしむる事もあるが、大水力に對しては水車 1 台に 1 本づゝ配置する方が管の強度からも運轉上からも望ましい。

水壓管路は水槽及發電所の位置によつて自然その位置が定められるのである。が注意條項としては出来るだけ岩盤の露出した所を選び、管路の基礎工事を容易ならしめる。雪崩の害を受けぬ様注意する。これには山の背即ち尾根を選ぶのである。一般に澤よりも尾根の方が地質も良好である。

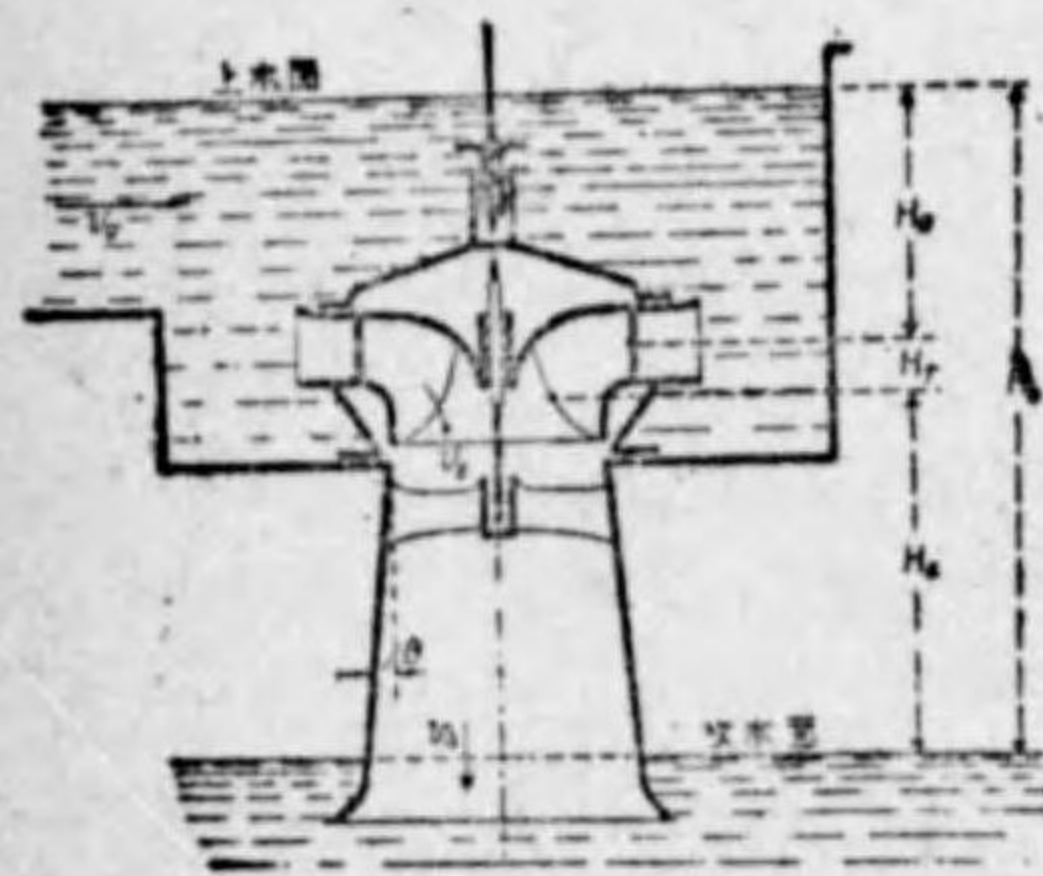
勾配が余り緩かなるは元よりよくないが、さりとて余り急なものも敷設に困難である。特殊な地形ではあつたが、ペンストツクの上までセメント 1 袋運搬するに 40 錢かゝつた例もある。

排水に留意して水壓管路に集る水を他へ安全に導く工夫も豫め必要である。風致地區に建設する場合には管路に植林して隠蔽したりする等の考慮を要する

(11) 各種の吸出管 (Suction pipe)

A 吸出管の最大高さ

吸出管はフランシス車及プロペラ車に用ひる。勿論ペルトン車には使へない。



第 206 圖

蒸汽タービンの復水器に比すべきもので、落差による真空を利用するものである。

第 206 圖の如き低壓水車に於て、水車入口の中央では  $H_e$  の水頭が働き、水が車内を流通する間に  $H_r$  の高さを降下するから水車の出口に於ける水頭は  $H_e + H_r$  で若し吸出管を付けなければたゞこれだけの水頭しか利用出来ない。然るに圖の様な吸出管を水車の尻に取り付ければ下方の  $H_s$  なる水頭が負壓力として働いて、利用水頭は  $H_e + H_r - (-H_s) = H_0$  となる。

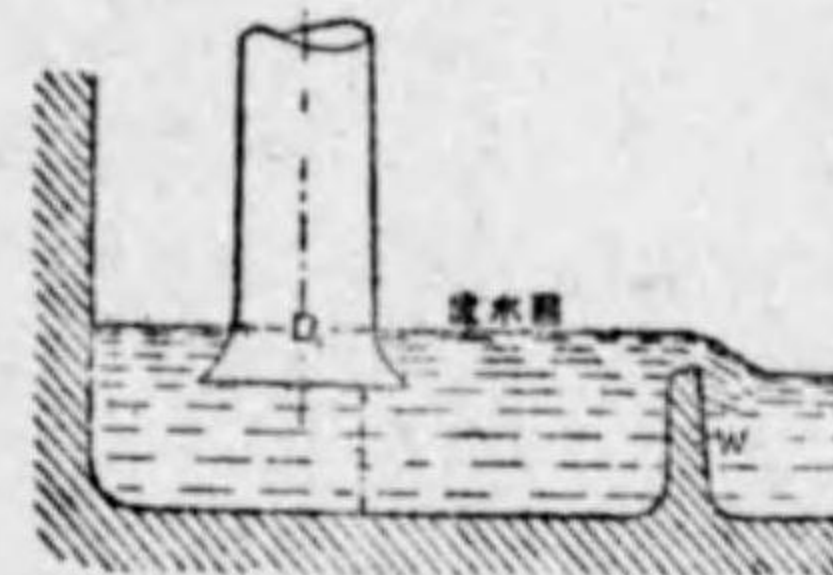
吸出管が完全に働く爲には、接手や其他から少しも空氣漏洩がない様にする必要がある。

吸出管なくして全水頭を利用せんとすれば、水車を放水面以下に据付ければよい。然しこれは工作も又検査や修繕時の取出しにも困難だから、吸出管の有効限度内で水車を高く据え付ける。

その有効限度は大氣壓に相當する真空だから理論上には 10m であるが、實際はそれだけ高くすると水が連続した水柱とならずにバラバラになつて仕舞ふから大体 6m 程度を限度として居る。

B 吸出管の構造

吸出管はまた尾管 (Draft tube) と呼んで居る。鉄管で造る場合もあるし、コンクリートの土台中に築き込むものもあり、空氣の竄入を懼れてコンクリートに鐵板の裏張りをする事さへある。それは結局設計者の意向であるが、概して云へば、鐵管は小形に多く、大容量のものは自然コンクリート造りとなる。



第 207 圖

鐵管製のもの第 207 圖の如く、 $6^\circ \sim 14^\circ$  の角度を以て下方に開いて居る。落下する間に水が速度を失ふ様に漸次に面積を広げるのであるが、廣くし過ぎると真空が破れて仕舞ふからごく僅かしか廣げられない。水車出口の速度は  $0.02\sqrt{2gH} \sim 0.1\sqrt{2gH}$  で數値的に云へば 1~4 m/sec 程度である。

尾管は 30 cm 位水中に入れて、又 W なる溺堤を置いて渦水時にも管端が露出することなき様にする。

$$\eta = 1 - h \times \frac{2g}{v^2} \dots \dots \dots (30)$$

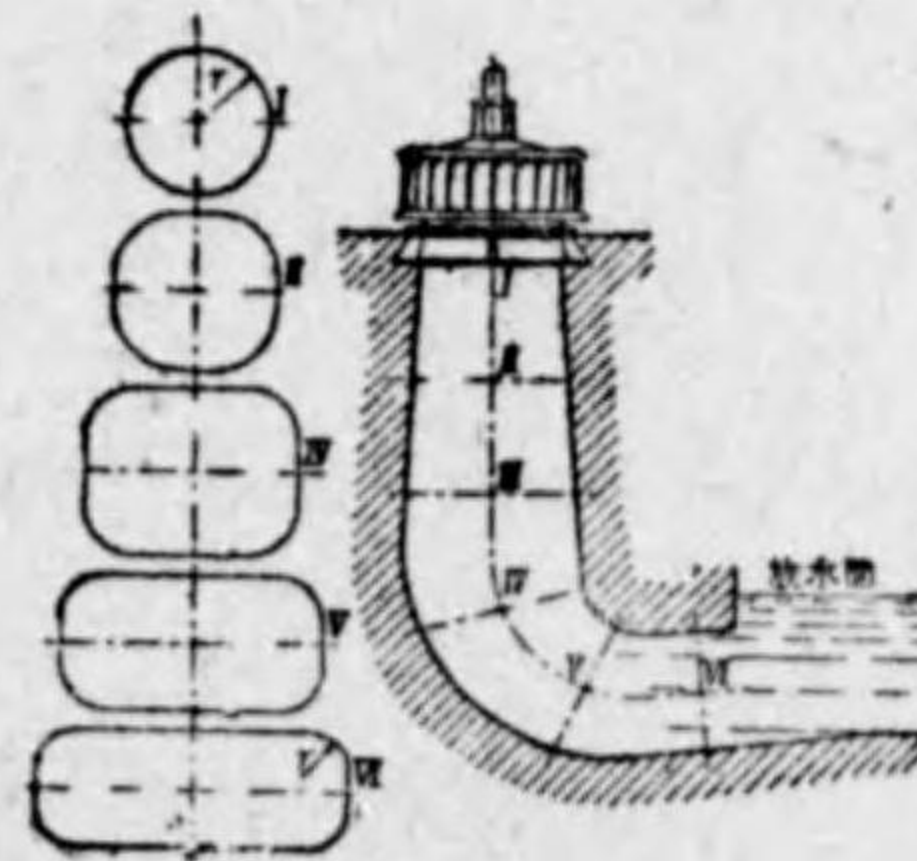
なる値を尾管の能率と稱する。

$h$  = 水車の出口以後に於ける總損失水頭

$v$  = 水車出口の流速

$h$  の値は容易に求め難い。寧ろ逆に尾管の構造から  $\eta$  を假定して  $h$  を求める 第 207 圖の如き圓錐形垂直管に於ては 61~80% と云はれる。水車が横型で尾管が  $90^\circ$  彎曲すると  $\eta$  は 40% 位に低下する。

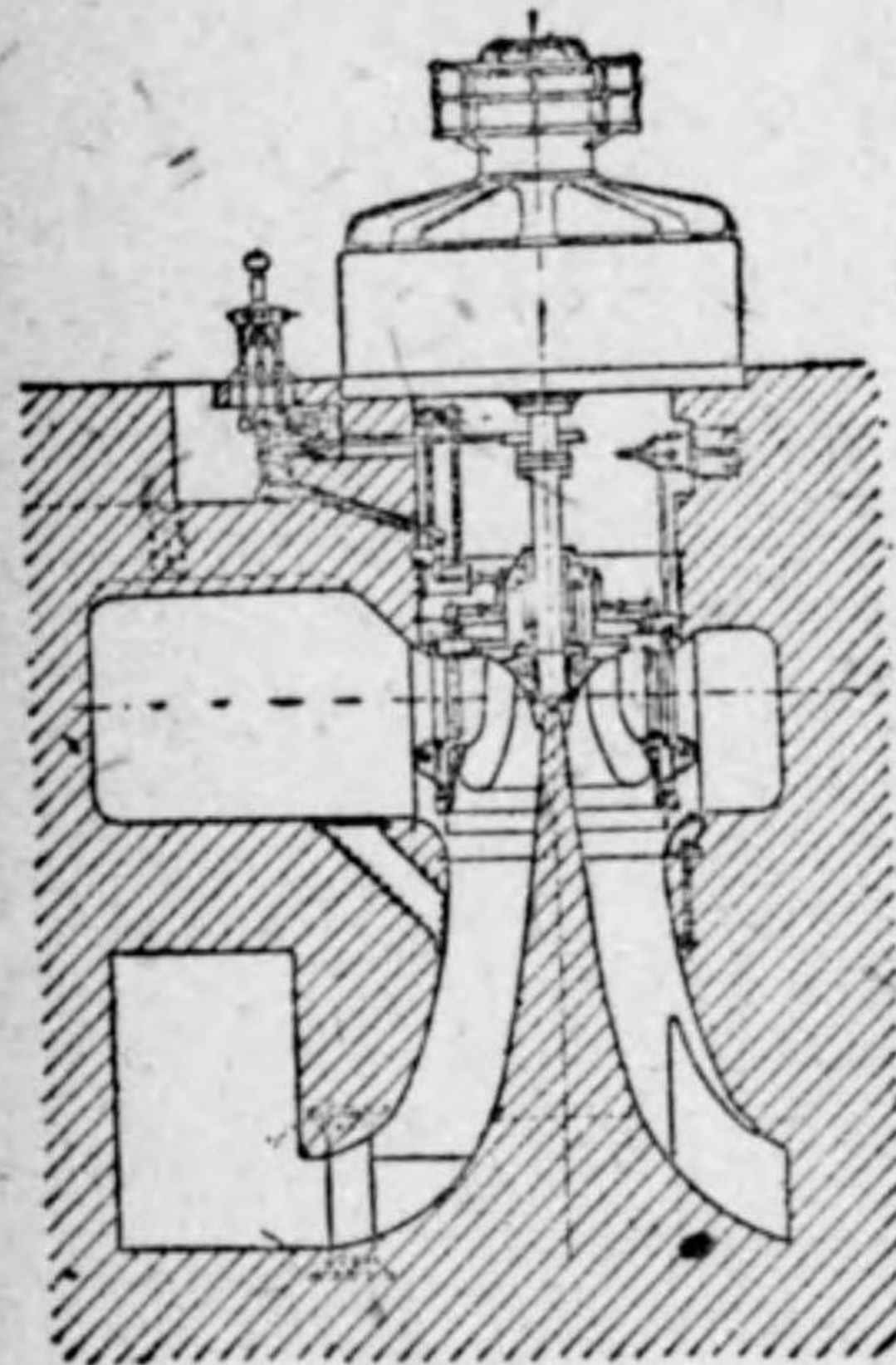
第 207 圖の如き垂直管は土台下を非常に廣く掘鑿する要があるから、大型の水車は第 208 圖の如く作る。途中から断面の形を變へて横幅の廣いものにするのは、若しこれを最後まで圓形のまゝにすると、直徑が増大して工費が嵩むのと、却つて内部に渦流を生じ易いからである。然し能率は稍低く 60% 位になる。そこで第 208 圖は、I. P. Morris 會社の技師ムーディ (mooly) の發明でムーディ型又は擴大型 (Spreading) と稱されて居る。



第 208 圖

これは尾管の振動なぞもよく防いで能率も

よく 8) と云はれて居る。



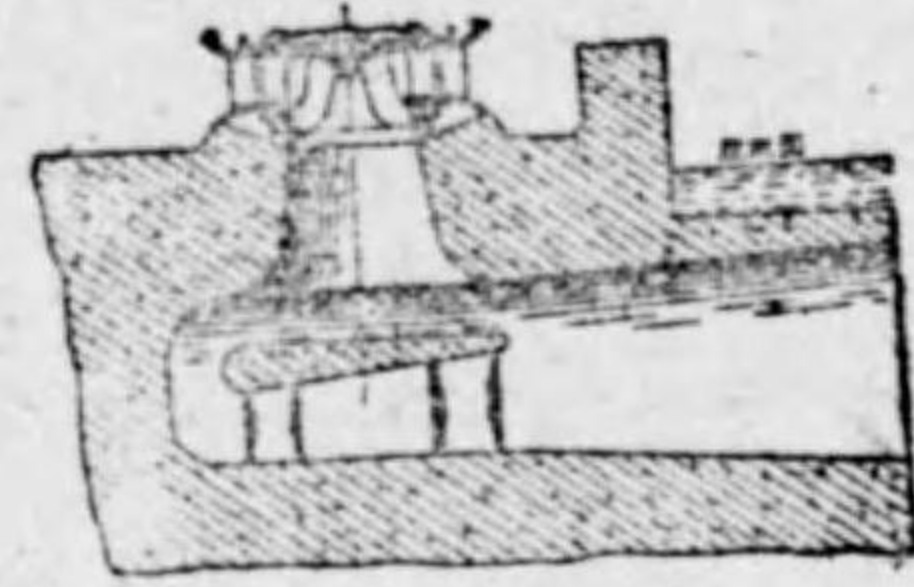
第 209 圖

間で取り替えねばならぬなぞと云ふ話が近時は甚だ尠くなつたが、昔は往々あつた。水車の構造によるかとも云にれたが、これは尾管中の水柱が振動するのだと云ふ事がわかつた。

水車の出口に於て水は圓周方向の速度を失ひ、半徑方向にのみ落ちるのは全負荷の場合に限るので、輕負荷又は過負荷の場合には半徑方向の分速度が残留するから、水柱はある回轉をなしながら、手拭を振つた様な恰好で落下すると見てよい。これが振動の原動力で、これが尾管の自然振動數と一致すると共振現象を起す。近時のものなるべく鐵管製の尾管を避けてコンクリート製を用ふるのは、一つはこの理由である。

(12) 開閉 瓣

A 蝶羽瓣 (Butterfly valve)

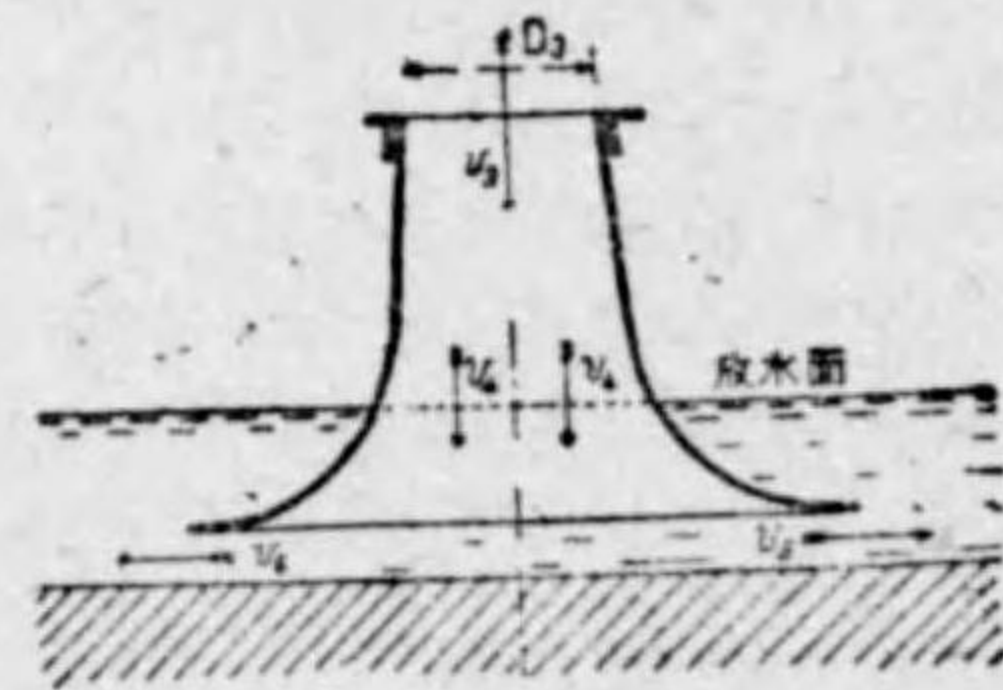


第 213 圖

又第 210 圖は Allis-ch-lmer 會社のホワイト (white) の發明にかゝる圓錐水路型 (Hydrau cone) で、斷面圓形なる水流が平板に垂直に衝突したとき、なだらかに廣がり行く状態を模して造つたものと云ふ  
第 211 圖はカプラン (kaplan) の考案した型で、放水面以下で圓錐を急に擴大しホワイト式と同一理論に基いたものである。

C 吸出管の振動

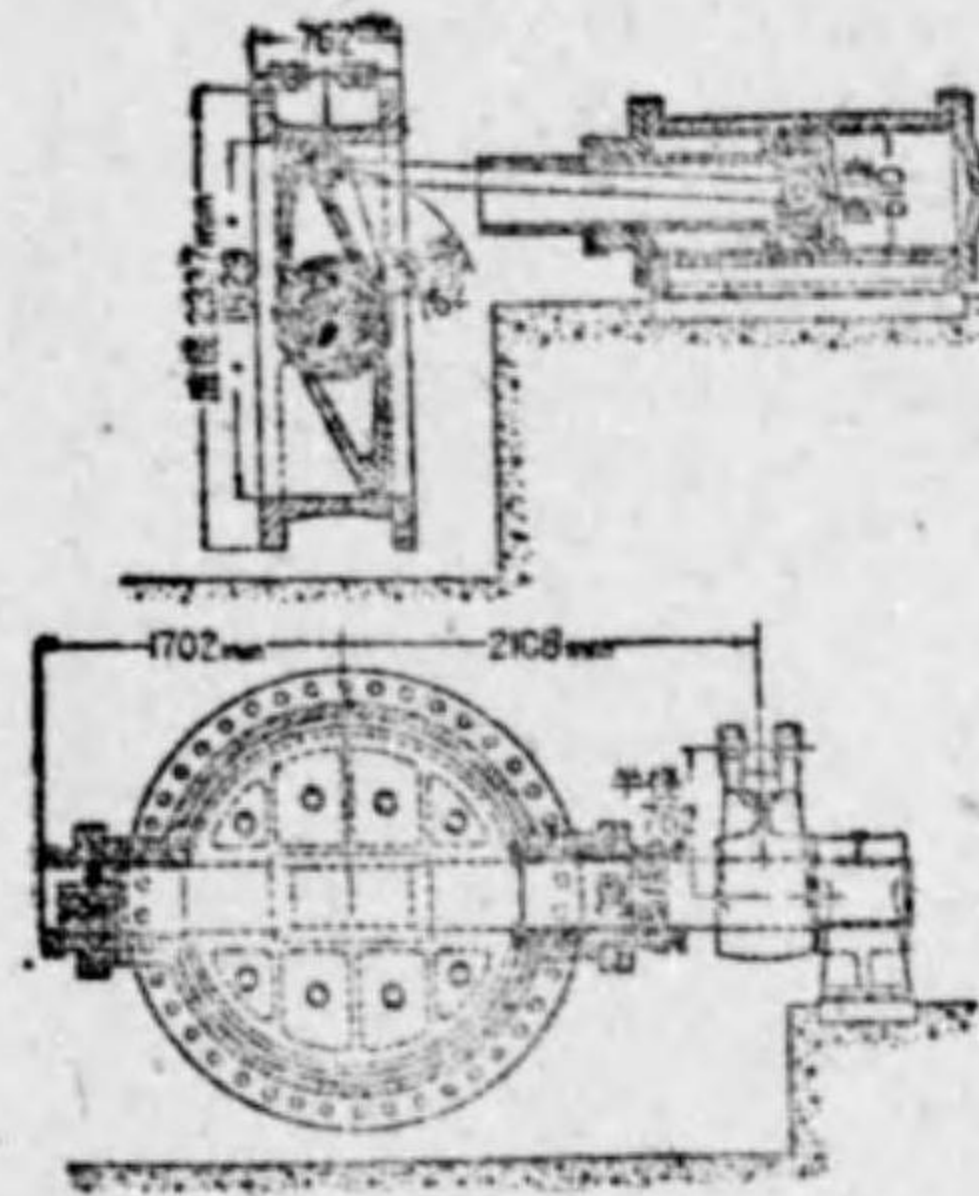
垂直型の水車に限るのであるが、運轉中振動を起す。水車直上のガイド軸承が3週



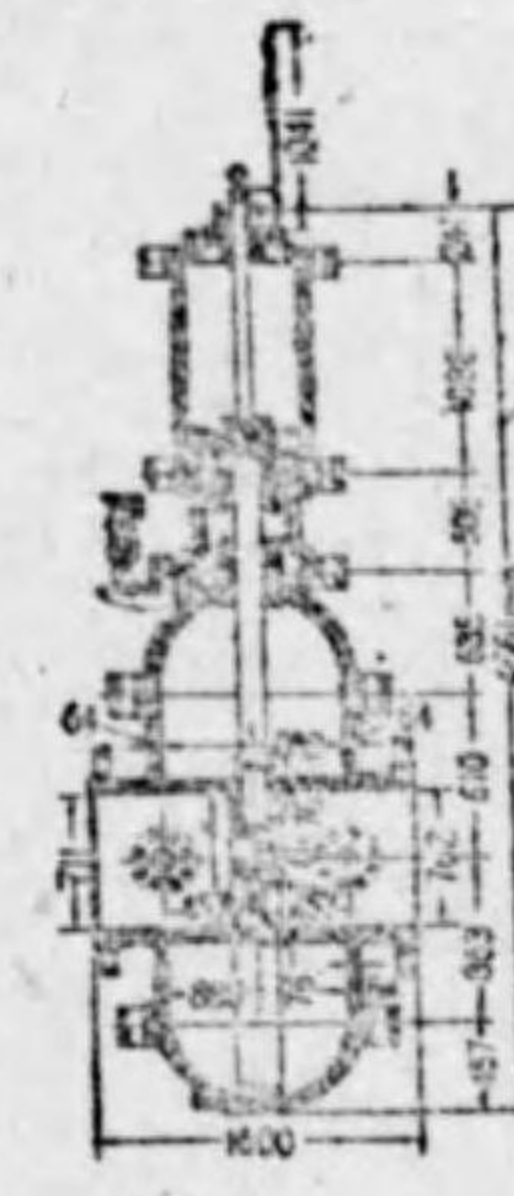
第 211 圖

極めて低落差の露出型水車でない限り必ず水車の入口に開閉瓣を置く。

低壓の場合は蝶羽瓣 (Butterfly valve) が用ひられる。これは第 212 圖の如く



第 212 圖 蝶羽瓣



第 213 圖 締切瓣

導管中に1枚の回轉板を置いたもので、機構簡單で價格も安く嵩張らない。缺點と云へば水が完全に止まり難い。特に塵埃が多いと回轉軸部に挟まつて困ると半開の場合、水流の作用で瓣板が壓し廻されやうとする傾向があるから、大型のものはその機構の途中に必ず螺齒嚙合せ (worm gear) を用ひ

外方からは廻せるが瓣自体が廻轉しやうとしても動かない様な構造になつて居る

B 締切り瓣 (Gate valve) (第 213 圖)

蒸汽の瓣と同様の構造で、管徑小さく落差大なる場合に用ひられる。

C 針瓣 (needle valve)

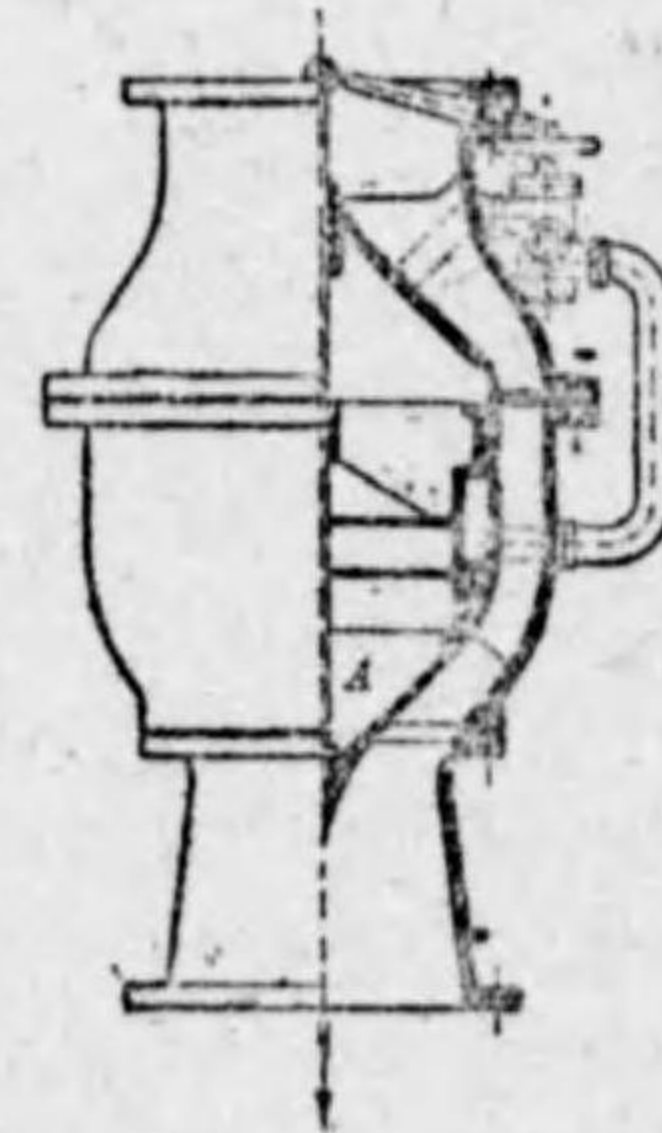
更に高落差又は管徑大なる場合は針瓣 (needle valve) が多い。

第 214 圖 Johnson 考案のものであかるらその名で呼ばれる事もある。

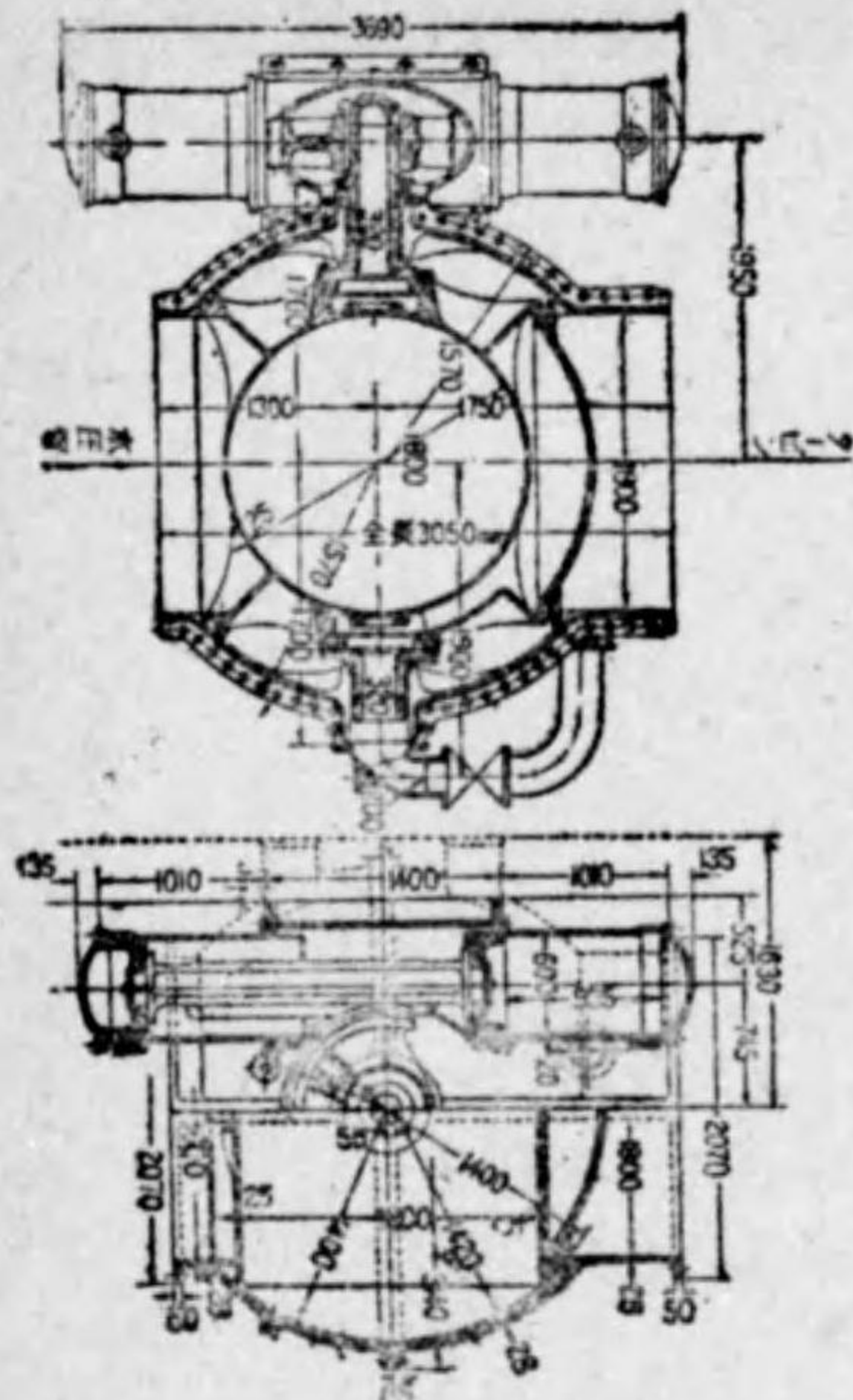
圖の A の部に高壓水を導けば、A 部は前方に移動して瓣は閉ぢ、A 部の水を排除すれば A は後退して瓣を開く様になる。價格は高いが操作輕易で瓣による水頭損失も極めて尠ない。

D 回轉瓣 (Rotary valve) 第 215, 216 圖

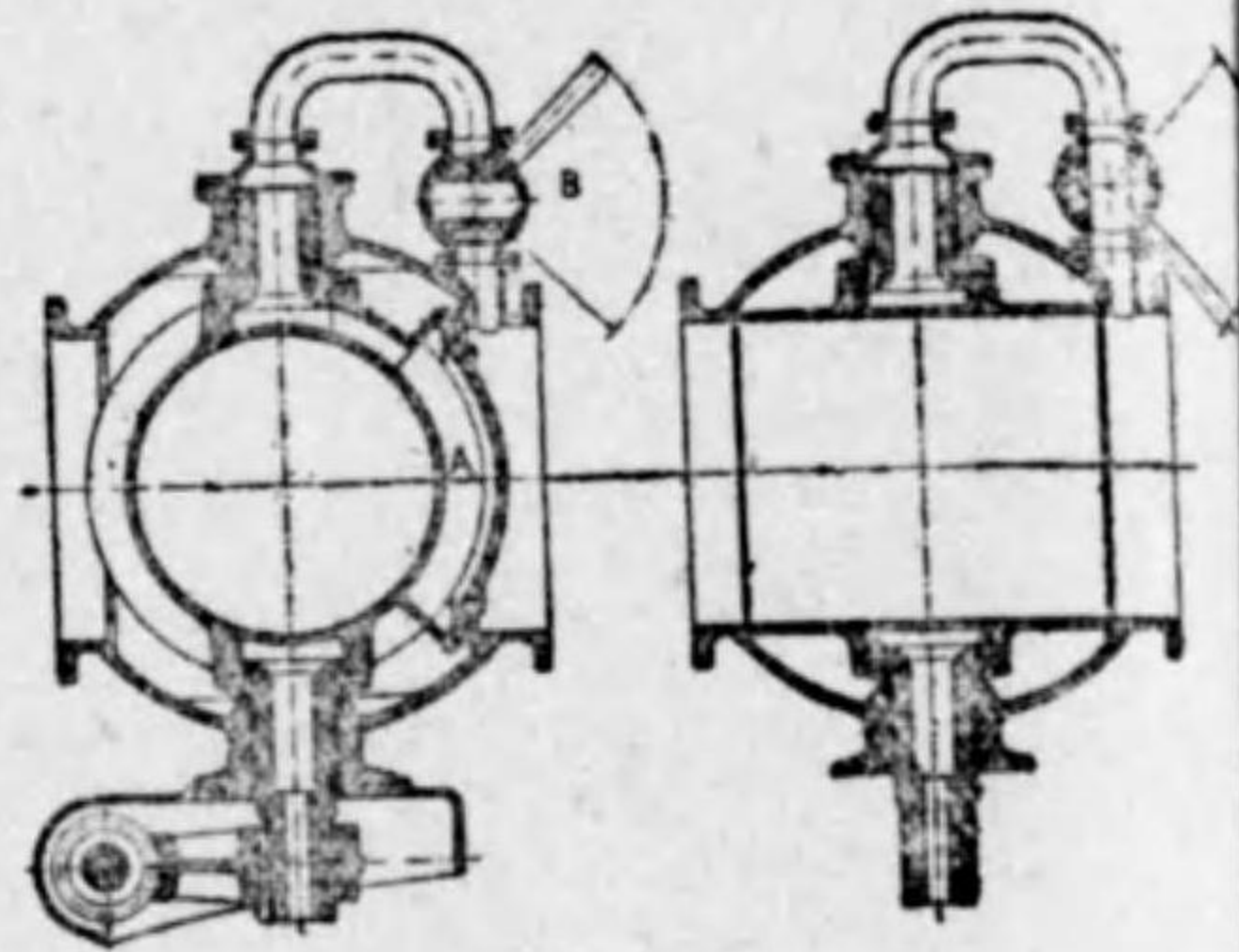
構造は圖の様に、水管の一部が球形に膨れて、中に又中央に孔を穿つた球を挿入したと思へばよい。左圖は閉止状態で、B の槓杆を開けば壓力水が A 部に浸入して瓣面を瓣座に密着させ漏水を防ぐ。右圖は開路状態で内部球の孔は管形と等しいから全開の場合には瓣による水頭損はなくなる。落差 900 m, 直徑 2m 程度まで造られた。



第 214 圖



第 215 圖



第 216 圖

### 第三章 水力原動機

#### (13) 基本智識の解説

##### A 水量、落差、水力の関係

水力は落差 (Head) と水量 (Discharge) の相乗積である。  
 落差が  $H$  m で、水量が  $Q$  m<sup>3</sup>/sec (米個) であれば理論出力

$$W. kW = \frac{1000 Q \times H}{100} = 10 \times QH \text{ (kW)} \dots\dots\dots (31)$$

である。Q は m<sup>3</sup>/sec であるから 1 m<sup>3</sup> は 1 噸即ち 1000 kg, 100 kgm/sec の仕事量が 1 kW である。——(正確に云へば 1kW = 102 kgm/sec)

H は單に落差と云ふたが、取入口の水位と放水口の水位の差は水力利用區間の全体の總落差 (gross head) であるから、この總落差を採つて計算した場合は、總水力馬力と稱すべきである。實際水車を動かす水力はこの總落差から各種の損失落差を控除したる有効落差 (Effective head) を以て計算すべきである。

各種の損失と云ふのは、第 1 は水路勾配に因るもので、水路の勾配が  $\frac{1}{1000}$  で直長が 1000m あれば損失落差は 1m である。第 2 は水が水路に流入する時

の速度損失で  $h_1 = \frac{v^2}{2g}$  で表される。この二つが主なるもので、その他は水路に水門ビヤ等のあるため、鐵格子 (除塵簀) による水頭損失、管の摩擦損失等で既にそれらの條下で説述した。數値から云へば最初の二つが斷然大きく、後のものはこれに比ぶれば殆度云ふに足らぬ程である。

以上の各損失を控除したる有効落差と水量との相乗積が理論出力で、これに水車及發電機の能率を乗すれば發電所出力が得られる。

$$\text{理論出力} \times \text{水車能率} \times \text{發電機能率} = \text{發電所出力 (kW)}$$

この混合能率は容量の大なる機械程良好であつて、大体次の程度と見てよろしい

kW	水車能率	發電機能率	混合能率
100 kW 未満	80%	90%	72%
1000	82	94	77
5000	85	96	82
10,000	86	96	83
20,000 以上	88	97	85

發電機端子電壓は 10,000V を越えないから高きは 154,000V 低きも 70,000V 位まで遅昇して送電し、受電端で再び 20,000, 或は 30,000 V の市内送電々壓に下げる。その能率が 80% 程度だから送電線の能率が 90% として受電端での能率は 54~72% 位になるものである。

##### B 落差と水車型式の関係

水車は水の保有する位置の勢力を利用して之を機械の回轉の仕事に變成する機構であつて、蒸汽タービンと原理も働作も全く類似して居る。異なる所は蒸汽の膨脹の性質が水にはない位なものであるから、其説明も蒸汽タービンの條下をも併せて参照せられたい。

分類も全く蒸汽タービンに似て居て、衝動水車 (Impulse turbine) と反動水車 (Reaction turbine) とに別けて居る。

そして蒸汽と同様に高落差即ち高壓のものには衝動型がよく、中低落差には反動型が適して居る。そして蒸汽の方では愈々高壓になる傾向が多いので、斷然衝動型が優勢だが、水力では寧ろ低壓の開発が多く、反動型中でも最せ低落差によいプロペラ型が近時非常な勢で發達して來た。

##### ① 衝動型水車

これはペルトン (pelton) 型と稱する。圖盤の周圍に承椀を羅列して、それに噴孔から噴射する水——即ち落差を全部水の速度に變じて衝擊せしめるのであるから、水は承椀に衝突するのみで充満することはない、従つて水車内には水壓はないから水の飛沫を防ぐ外函だけで何等壓力に對する設備はいらない。これは修理点檢にも便利であるし据付にも都合がよい。

落差の大なる程水の衝撃力も強くなるから高落差に適して居る。又吸出管を利用することが出来ないから、水車と放水面間の落差は空しく捨て、仕舞はねばならない。故に低落差には用ひられない。大体 200m 以上に用ひられる。

水車の周速速度は理論上  $0.5\sqrt{2gH}$  の場合に最大能率が得られる。但し其最大能率の値は反動型に比べると後述の如くや、低い。然し過負荷及部分負荷の場合の能率の變化は反動型のフランシス車に比べると遙かに少ない。故に負荷の變動ある場合には適して居る。

同一容量に對しては衝動車は反動型に比して型体が幾分大きなるのを免れない。この理由はベルトン車に於ては、周速の承輪の中、常にその一つだけ（噴孔が二つなら二箇）が水の衝激を受けるが、反動型で全周の翼が全て水壓を受けるからだと考へてよい。従つて床面積もそれだけ大となる。現在の最大は 75,000 HP.

### ② 反動型水車

反動型にはフランシス (Francis) 車とプロペラ車 (Propeller) とあり、プロペラ型の變形としてカプラン (Kaplan) 車がある。これは落差の一部丈を水車の入口で速度に變じ、残部は壓力として水車に還入り、それが吸出口に向つて逸出するときに速度となつて出て行く。その反動で水車を回轉せしむるものであるから水車内は壓力水が充滿して居る。吸出管（尾管）を附けて放水面までの落差を全部利用することが出来る。

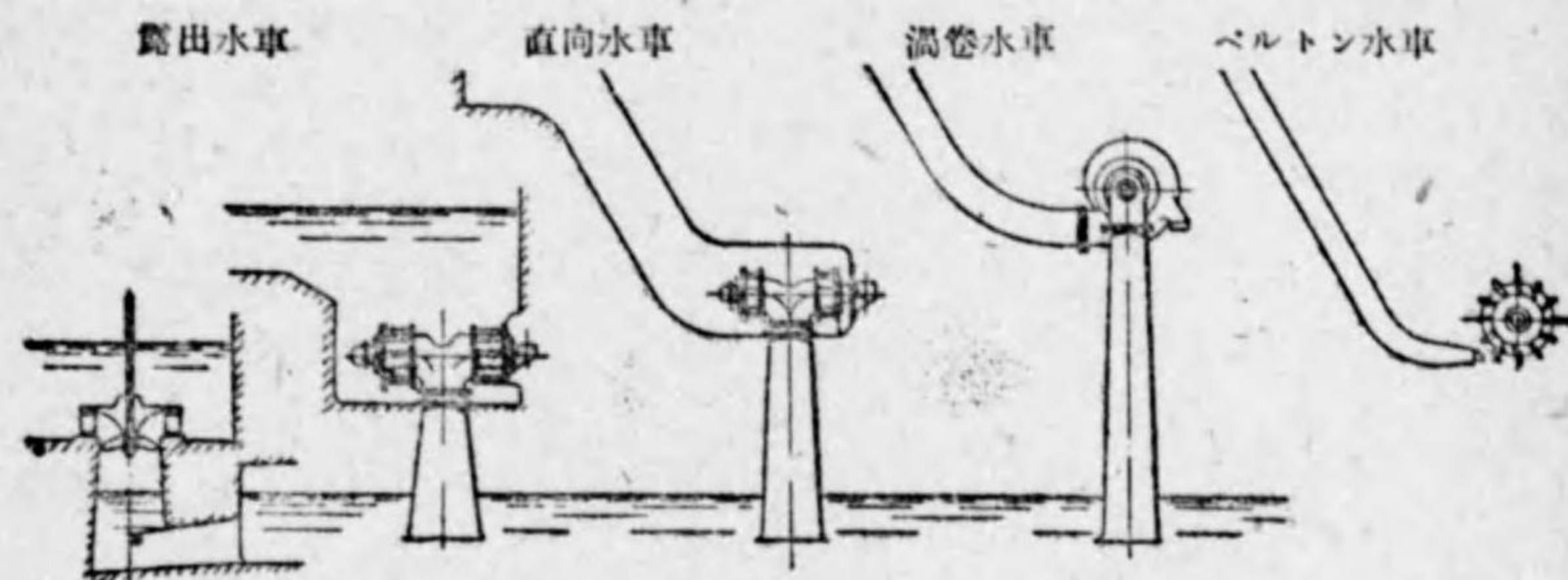
中落差及低落差に適し、フランシス型では 250 m 位まで造られた事はあるが、普通はまづ 200m まで、それ以下 30m 位までは各種のフランシス型が用ひられる。——プロペラ型が發達しなかつた以前には 10m 以下の低落差に對してもフランシス型の露出水車 (Open wheel) や直向水車 (Frontal turbine) が用ひられたが 15 年程以前からプロペラ型の發達が目覺しく 30m 以下は大抵プロペラ型になつた。然るにかゝる低落差のものは濁水、平水の水位差が相當あることを免れない。普通のプロペラ型はフランシス型と同じく最高能率は優秀であるが負荷の變動による能率の變化が激しい。又落差の變化に對する能率の變化も激しい。これを救済する爲にカプラン車が現れた。これが英太利 Brum 市のカプラン教授 (Prof., Kaplan) が 1912 年に發明したものであるが、實際盛んに用ひられる様になつたのは近年である。この機構はプロペラ水車と全く同じで、その翼の角度が任意に變更し得られる構造である。故に負荷に應じ又落差のある程度の変化に應じて、この翼の角を變へて良好な能率を保つ事が出来るので、近時は殆んどプロペラ水車を驅逐するに到つた。

反動型水車の最大能率に對する圓周速度は理論上  $0.7\sqrt{2gH}$  である。その最大能率は後述の様に 93% に達して衝動型に比すれば優秀である。然し、輕負荷及過負荷の場合の能率の低下割合は甚だしい。但しカプラン型だけは特別で翼の角度を變へる事によつて、相當廣範圍の負荷の變化に對して良好な能率を保ち得

る。

衝動型に比して形体が小さい。特に洪水位等の關係で堅型が多く——と云ふよりは殆んど全部が堅型になつたので、床面積は甚だ小さくなつた。但し修理点檢は稍不便である。

水中に土砂を含有する場合、ランナー (Runner) の磨耗、間隙の増大等は衝動型に比して甚だしく、それが能率に及ばず影響が大きい。(第 217 圖参照)



第 217 圖

### (14) 水車の縦横的分類

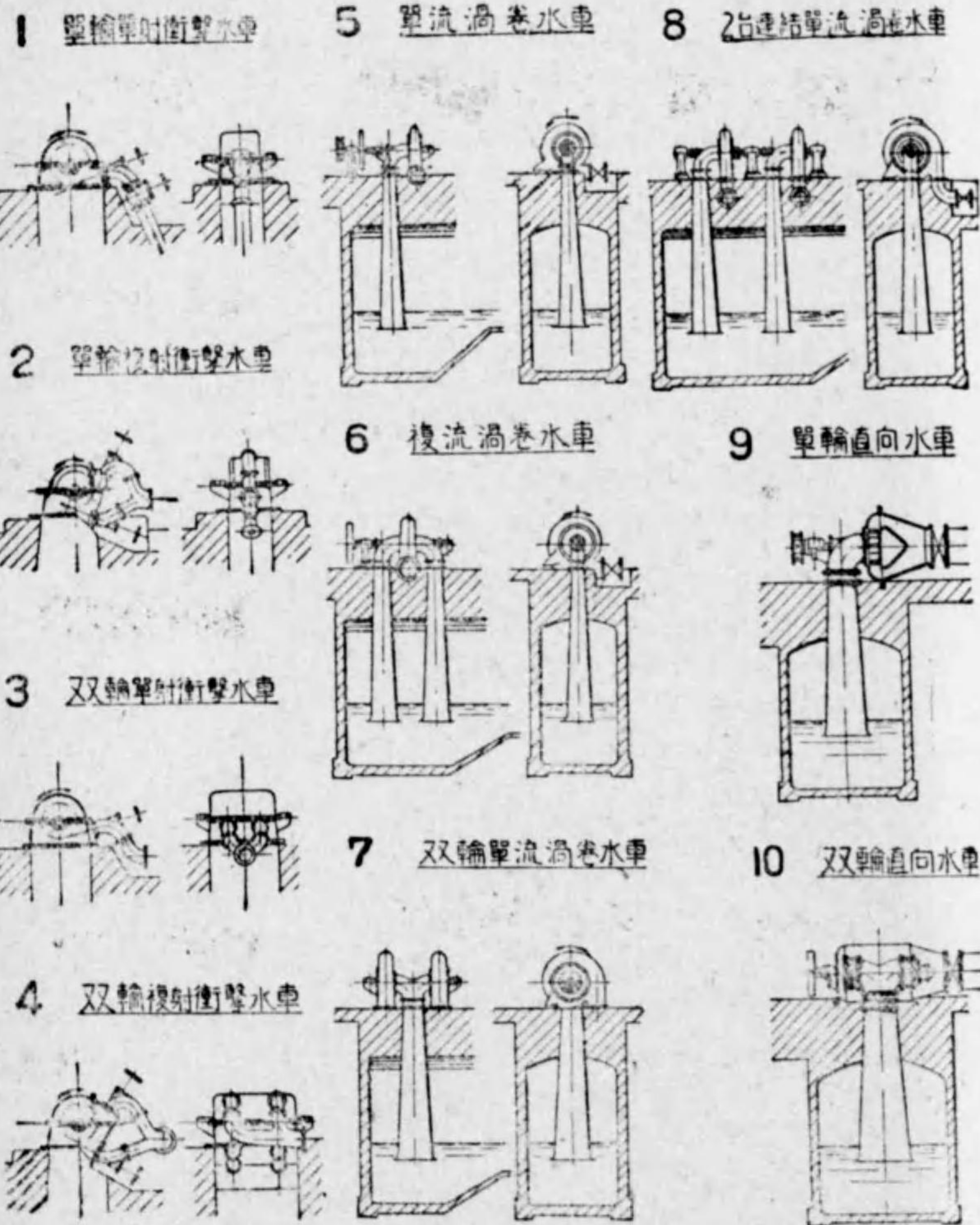
縦軸型 (Vertical type) と横軸型 (Horizontal type)

衝動水車は殆んど横軸型である。反動車も従來は横型が多かつた。現存して居るものの中には多くの横型がある。然し現在は殆んど縦型になつた。従來横型の多かつた理由は主として構造上、特に軸承部に適切な推力軸承がなかつた爲であり、それがキングスベリー (Kingsbury) —— ミツチエル型と全く同一である——及發條付推力軸承 (Spring thrust bearing) 等の優秀なものが出来て以來、斷然縦型が優秀になつた。縦型の利益は、發電機を洪水面以上に置くことが出来ること、能率のよい事、ランナーから吸出管に到る水流に無理のない事等、甚だ多い。唯水車と發電機が同一床面にない爲、点檢掃除と運轉上の監視には不便である。

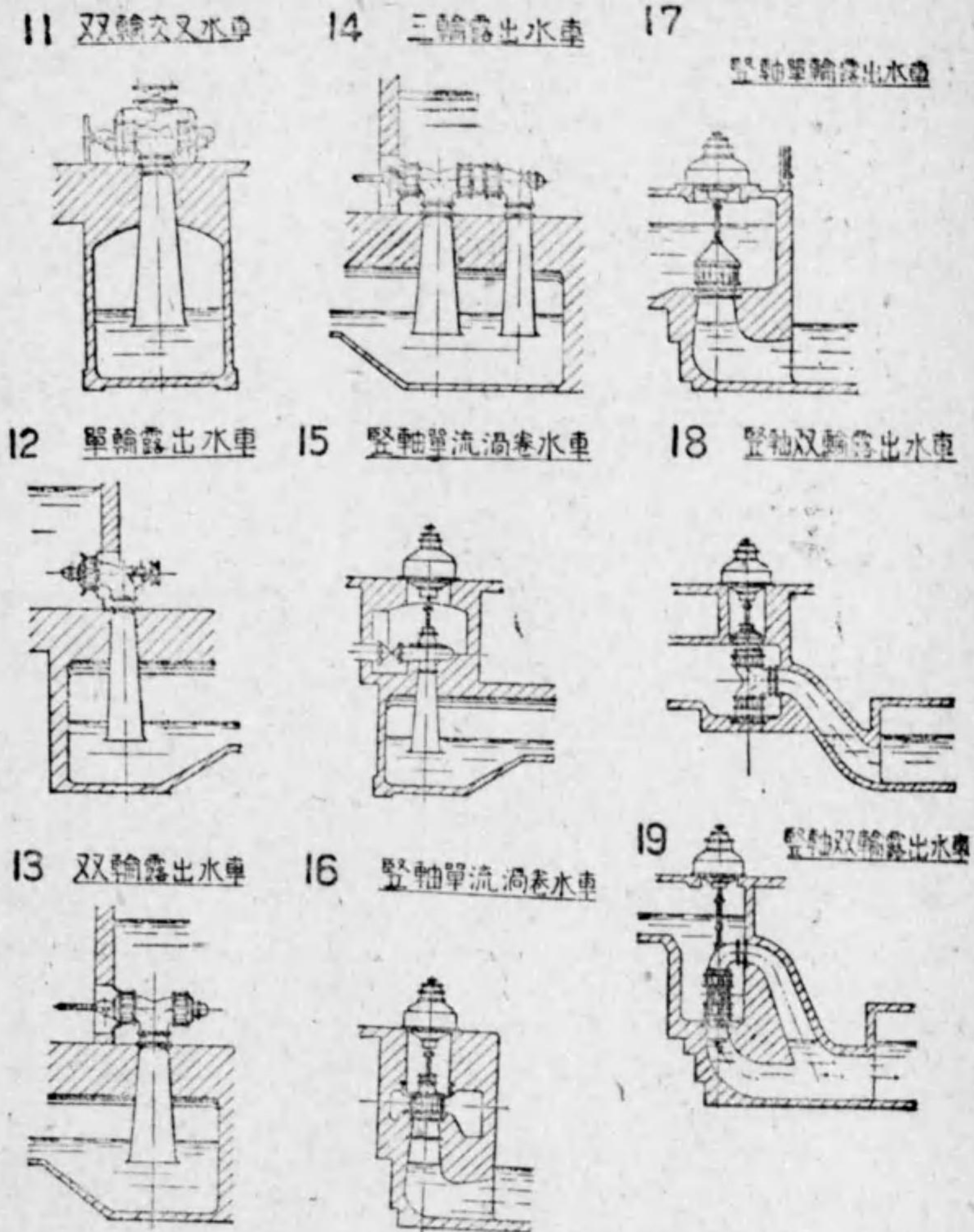
第 218 圖の 1 はベルトン車で、噴孔が一つのものである。2 は同じく噴孔を二箇所有するもの、圖で、共に横型である。噴孔の数は最大 4 本までである。但しこれは縦型でないといけな。然し斯く多くの噴孔を水車の周圍全面に取り付ける事は排水が水車に衝突して能率に影響もあるし、又構造上点檢掃除にも不便を生ずるから、先づ二本が最大である。又水車の周速速度は、前述の様に水速の  $\frac{1}{2}$  であるから、直徑を大きくすると回轉數が低下して仕舞ふ。だから水量が多く出力が大きい場合には、同形の水車を 2 箇發電機の左右に取り付けたものが見られる。(第 218 圖の 3 及 4)

猶 218 圖の呼稱に就いて云へば

1. 單輪單射衝擊水車 (Single runner single nozzle-impulse type water turbine)
2. 單輪複射衝擊水車 (Single runner double nozzle " " )
3. 雙輪單射衝擊水車 (Twin runner single nozzle-impulse type water turbine)



第 218 圖 水車型式圖 共の 1



第 218 圖 水車型式圖 共の 2

4. 雙輪複射衝擊水車 (Twin runner double nozzle)
- 5 より 14 までは反動式の横型である。前述の様にこれらは近時、15 以下の整型に追はれつゝある。

5. 単流渦巻水車 (Single runner or single flow spiral type water turbine)
6. 複流渦巻水車 (Double runner or double flow spiral type)
7. 双輪単流渦巻水車 (Twin runner single flow spiral type)
8. 2 台連絡単流渦巻水車 (Double set of single flow spiral type)

5 乃至 8 は渦巻外函型 (Spiral casing type) と稱せられる。名の如く鑄鐵製又は鐵板製の渦巻型の外函を持つて居る。200m 以下 30m 位の中落差に用ひられる。その中 6, 7 のランナーを 2 箇備へたものは大馬力の型で、直径を大にすれば回轉数が低下するから、それを避ける爲にランナーの数を倍加するのである勿論軸方向の推力を平衡させ得る利益もある。

8, 9, 10, 11 は胴型 (Drum type) と稱し、名の如く外函が渦巻をなさずして一つの胴を形成して居る。低落差用で

9. 単輪直向水車 (Single runner frontal type)
10. 双輪直向水車 (Twin runner frontal type)
11. 双輪交叉水車 (Twin runner cross type)

直向と交叉との差は單に水壓管の入り来る方向が水車軸に對して垂直であるか平行して居るかの差だけである。

12, 13, 14 は露出型と呼ばれ前者より更に低落差に用ひられる。

12. 単輪露出水車 (Single runner open flume type)
13. 双輪露出水車 (Twin runner open flume)
14. 三輪露出水車 (Triple runner open flume)

此の型は更に 4 輪乃至 6 輪まで製造された事がある。ごく低落差用であるから水速は遅く、従つて水車の周邊速度も遅いから大直径とすれば甚だしく回轉数が低下するのみならず、その直径が水溝の幾割かに當る程だから、極端に云へば水車の上端が水面に出て仕舞ふ様になる。従つて水車のランナーの上部と下部では水壓が異り、水速が異なる事になる。だから小直径の水車を幾箇か横に並べねばならなくなる。現時はかゝる低落差用は殆んどプロペラ型が用ひられる様になつた

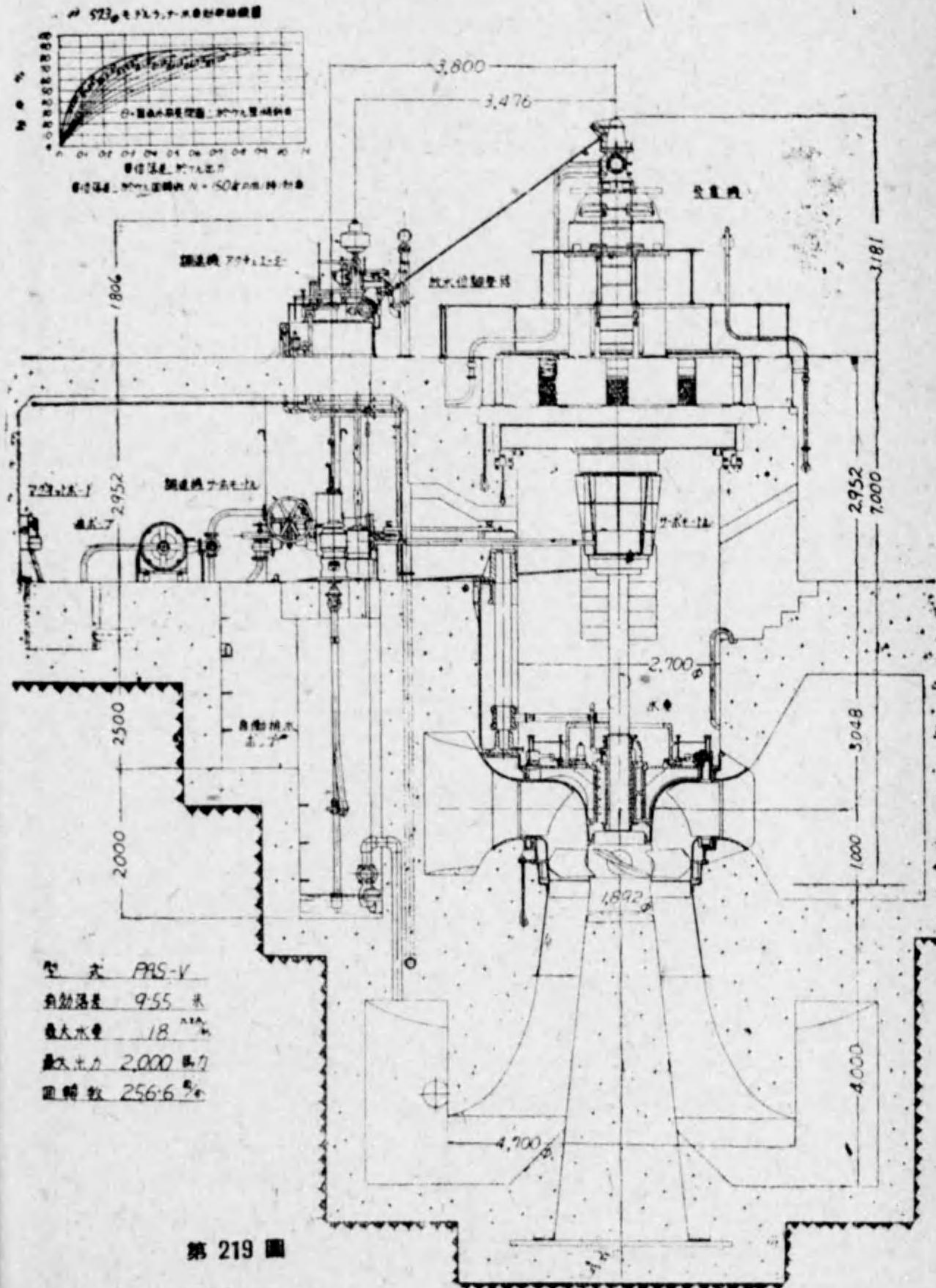
15 以下は堅型である。

15. 堅型、單流渦巻水車 (Single flow spiral type)
  16. 同
- 但し 15 は鑄鐵又は鐵板製の渦巻外函を有して居るが、16 はこれを混凝土の中に埋め、又は混凝土そのものを以て外函を造つて居る。

17. 堅型 單輪露出水車 (Single runner open flume)
18. 堅型双輪露出水車 (Twin runner open flume)
19. 堅型

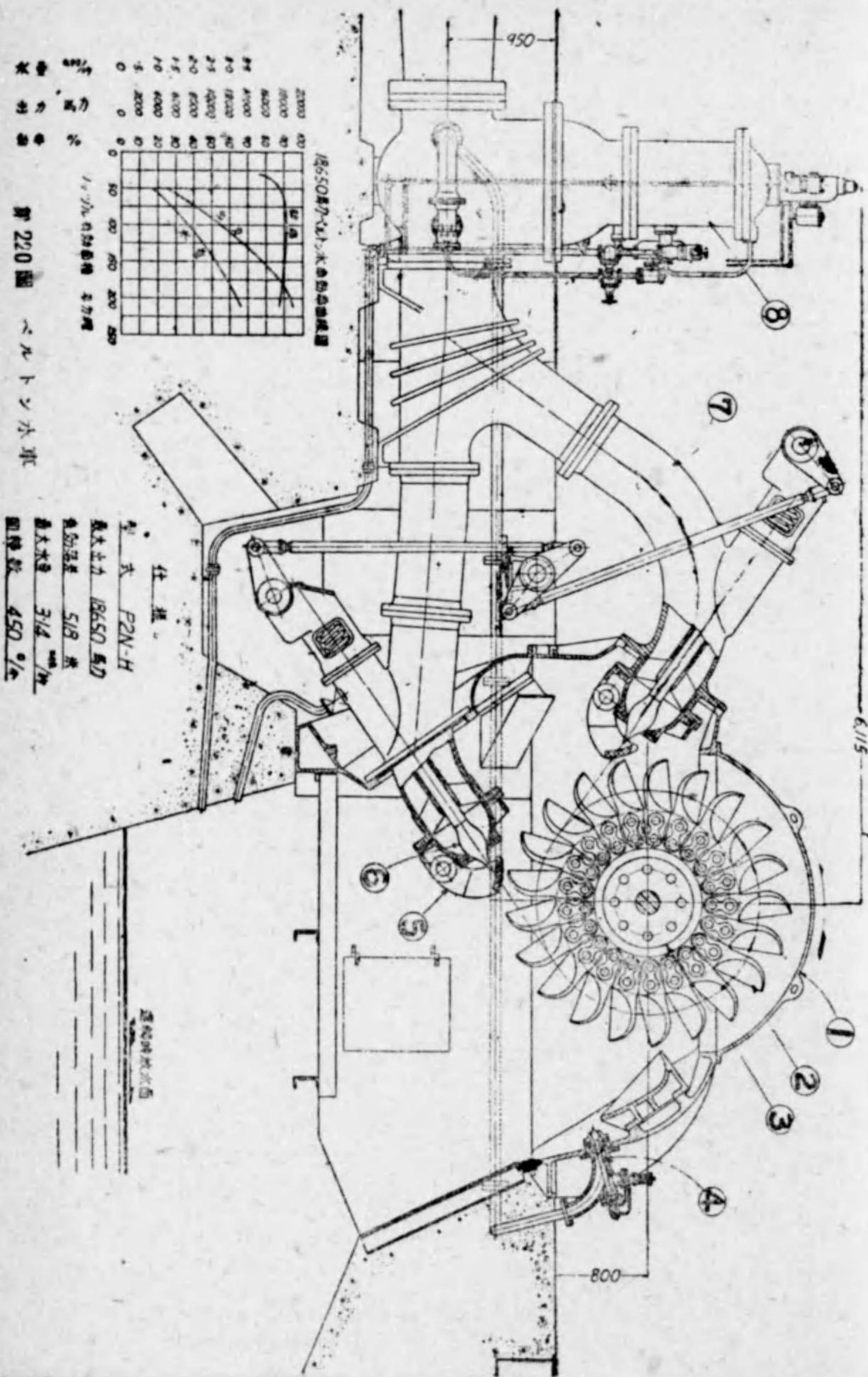
19 は型式から云へば双輪でなく複輪と云ふべきだが、習慣上矢張り双輪と稱して居る。但し流を云ふ場合には 18 は單流 19 は複流と云つて居る。

第 219 圖はカプラン水車の圖である。落差 9.55m, 水量 18m<sup>3</sup>/sec, 出力 2000 H.P, 回轉數 2566r.p.m のものを示す。



第 219 圖





(15) 各種水車の構造、材料と特性

A ペルトン水車 (Pelton wheel)

第 220 圖は 18,650 馬力のペルトン車の概形圖で、1 は外函、2 は承碗 (Bucket) 3 は車殻、4 は制動用の噴孔、5 は折流板 (deflector) で運轉中はも少し引き上げられて水流の邪魔にならぬ位置にある。急激に負荷が減少した場合、俄かに 6 の針瓣 (needle valve) を締めると水槌作用で鐵管に危険を及ぼすから先づこの折流板が圖の位置に來て噴水を遮斷し、然る後徐ろに針瓣を閉ぢる。7 は水管、8 は主塞止瓣である。

承碗は鑄鋼で、モリブデン等を混じて硬度と耐蝕性を増す場合もある。噴孔は磷青銅等の摩擦に耐えて摩擦の少ない金屬を用ひ、針瓣は不銹鋼を用ひる。噴孔と針瓣は磨耗部分であるから、

取り替え得る構造になつて居る

第 221 圖は承碗を示す。

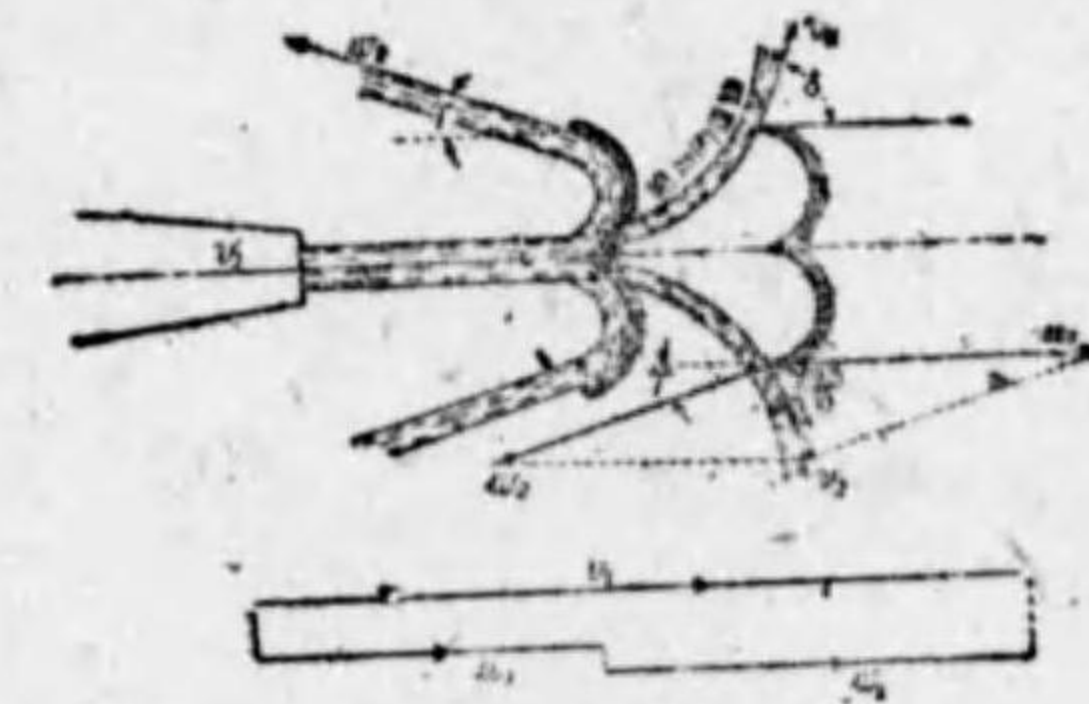


第 221 圖

ペルトン車の運轉に関する理論

第 222 圖はペルトン車の一承碗に水流が衝撃して、水流と承碗とが共に移動する状態を描いたものである。即ち承碗に眼を

着けて——承碗を動かぬものとして考へれば、左方の様に水は彎曲して反轉するが、實はその間に承碗が水流の方向に移動するから、水流の實際の移動は右の様に兩股に分れて流れるに過ぎぬ。



第 222 圖

$v_1$  = 水流の絶対速度 m/sec

$w_1$  = 水流の承碗に入る時の關係速さ

$u_1$  = 承碗の移動の速さ m/sec

$w_2$  = 水流の承碗を去るときに關係速さ m/sec

$W$  を噴孔から流出する 1 秒間の水量 kg/sec とすれば

$$\text{承碗に入るときに水流の保有する運動量} = \frac{W}{g} \times v_1 \text{ kg.m/sec}$$

で、又一方水が承碗を去るとき保有する運動量は  $\frac{W}{g} v_2$  であるが、この中承碗の回轉方向の分力を求むれば

承碗を出づるとき碗の回轉方向に水流の保有する運動量

$$= \frac{W}{g} v_2 \cos \delta = \frac{W}{g} (u_1 - w_2 \cos \gamma) \text{ kg.m/sec}$$

入るときと去るときとの運動量の差が承腕に働いて車体を回轉する力となるのであるから

$$F = \frac{W}{g} \{v_1 - (u_1 - w_2 \cos \gamma)\} \dots\dots\dots (32)$$

承腕の内面を水が流動するときの摩擦係数を  $k$  とすれば

$$\frac{w_1^2}{2g} = (1+k) \frac{w_2^2}{2g} \quad \text{或は} \quad w_2 = \frac{w_1}{\sqrt{1+k}} \dots\dots\dots (33)$$

これを (32) 式に代入すれば

$$F = \frac{W}{g} \left(1 + \frac{\cos \gamma}{\sqrt{1+k}}\right) (v_1 - u_1) \text{ kg} \dots\dots\dots (34)$$

車体は承腕のピッチ圓に沿ふて  $F$  kg なる力を受けつゝ  $u_1$  なる速さで回轉する故、車体が水流から受け取る仕事量は

$$K = \frac{W}{g} \left(1 + \frac{\cos \gamma}{\sqrt{1+k}}\right) (v_1 - u_1) u_1 \text{ kg.m/sec} \dots\dots\dots (35)$$

kW になほせば (100 kg.m/sec = 1 kW)

$$B \text{ kW} = \frac{1}{100} k = \frac{1}{100} \cdot \frac{W}{g} \left(1 + \frac{\cos \gamma}{\sqrt{1+k}}\right) (v_1 - u_1) u_1 \dots\dots (36)$$

然るに噴孔から流出する水流の保有する運動のエネルギーは  $E = \frac{1}{2} \cdot \frac{W}{g} v_1^2$  kg.m/sec であるから能率は

$$\eta = \frac{K}{E} = 2 \left(1 + \frac{\cos \gamma}{\sqrt{1+k}}\right) \frac{(v_1 - u_1) u_1}{v_1^2} \dots\dots\dots (37)$$

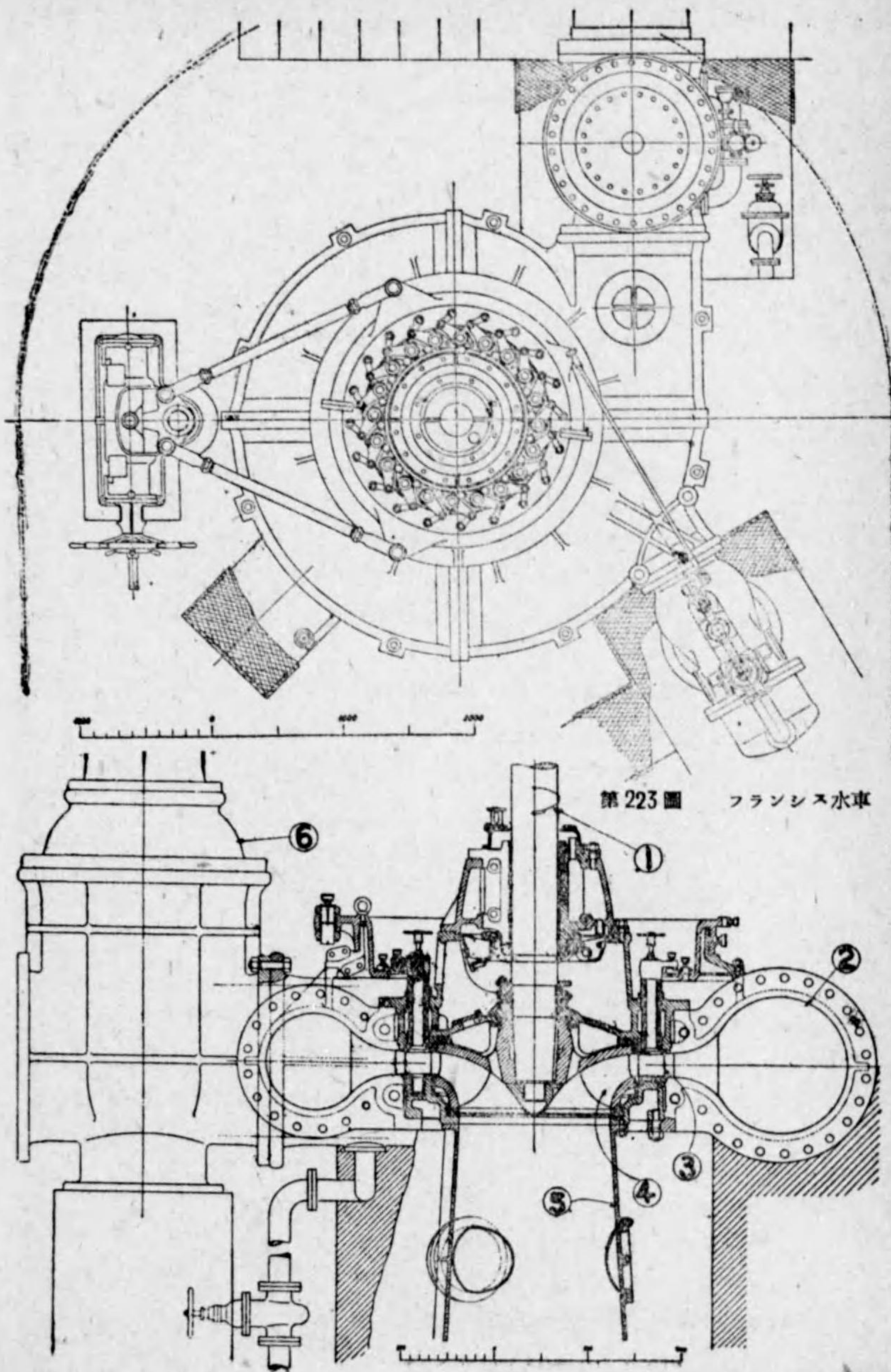
末項の  $(v_1 - u_1) u_1$  を考へるに、前述の如く  $v_1$  は水流の速度、 $u_1$  は承腕の回轉速度で  $u_1 = 0$  なら承腕が回轉せぬ事で車体の仕事量はない。又  $v_1 = u_1$  なら、承腕が流速と同速度で移動することで、このときもまた仕事量はない。數學的に、 $(v_1 - u_1) u_1$  の最大値を求めても  $u_1 = \frac{v_1}{2}$  のとき最大であることがわかる。即ち承腕の回轉速度が水流の速度の  $\frac{1}{2}$  に於て最大の仕事量を受取る。

$k$  は承腕内面の摩擦係数で、磨き程度の良否によつて 0.5~1.5 の間にある。 $\cos \gamma$  の値は 0.95 程度であるから (37) 式の値は 82% 位になることがわかる。猶  $v_1$  の値は理論的には  $\sqrt{2gH}$  だが噴孔の摩擦があるから  $v_1 = C \sqrt{2gH}$  となる。

$C$  の値は 0.95~0.98 である。

**B フランシス水車 (Francis water turbine)**

第 223 圖はフランシス型水車の断面及平面圖で、①は軸、②は渦巻外函、③は導翼、④は翼車 (ランナー)、⑤は尾管、⑥はサーボモーター (Survo



第 223 圖 フランシス水車

motor) で平面圖の如き機構で導翼を開閉する。



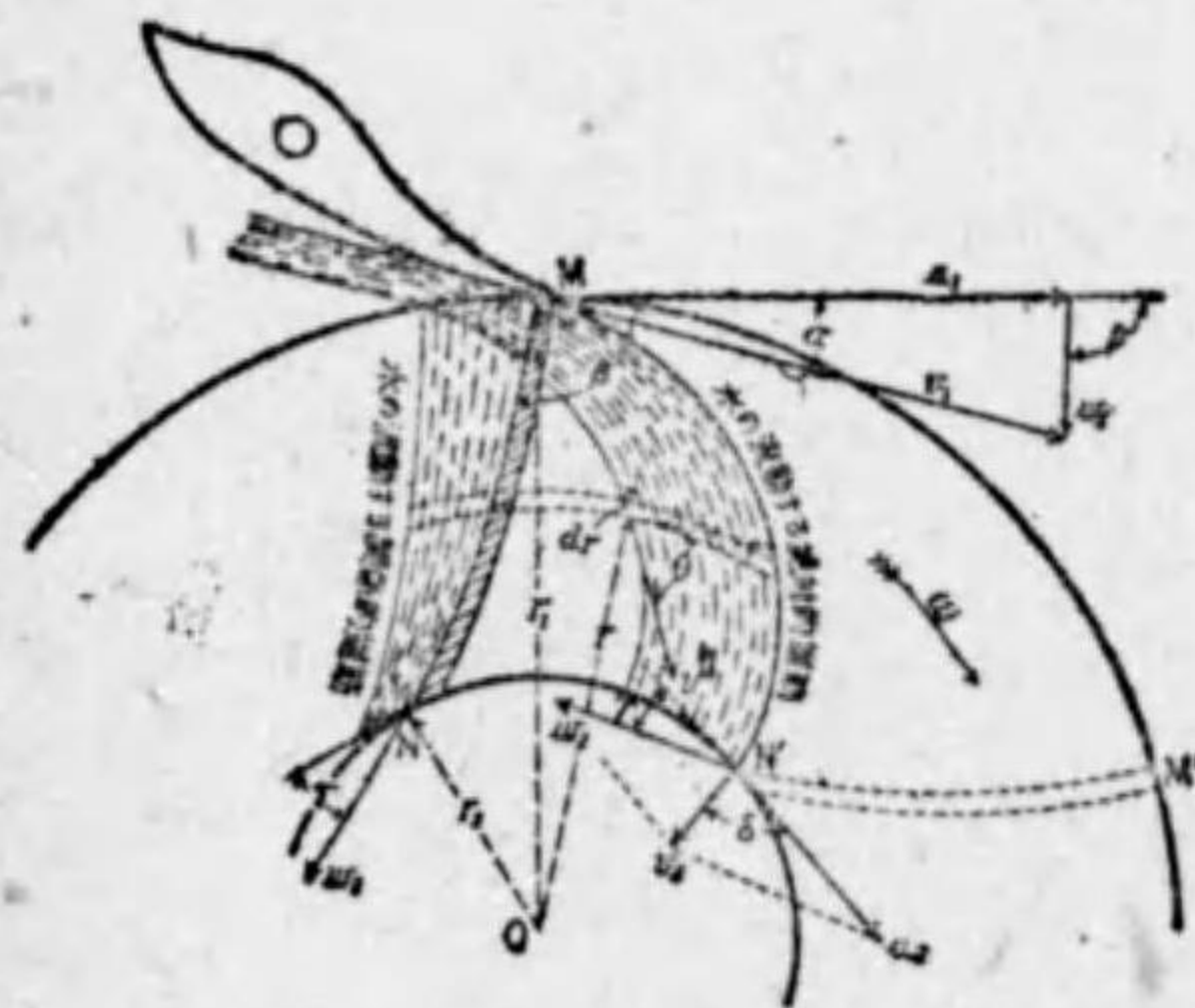
第 224 圖

導翼開閉の位置は第 224 圖の如く、導翼を傾斜して相互間の間口を狭むれば閉遮となり、立てゝ間隔を開いた場合が全開となり、大抵  $\frac{3}{4}$  開口の場合、正規の水量が流れる様にし、全開では過負荷に堪える様にする。

翼車は第 225 圖の如く、後述の如く水量のみならず、落差及その設計 (特有速度の取り方) によつて甚だしく形状が異なる。材料は高速車は砲金製の鑄物を用ひ又鋳鋼を用ふる場合もあるが、鐵板を彎曲して周圍部を鑄込んだものが最も多い

フランス水車の運轉に関する理論

フランス車内の水の運動状態は、最初導翼に導かれて、車軸に垂直な平面内で渦巻状をなして水車に入り、漸次に方向を轉じて水車の出口では軸方向に流出する。所謂三次元の運轉であるが、簡單の爲平面的に考へると第 226 圖の如くなる。



第 226 圖

るに水流が翼車に沿ふて、M から N まで流れる間に車盤は N から N' まで廻るのであるから水流の實際の流路は MN' の如くなる。

- $u_1$  = 翼車の入口の圓周速度 m/sec
- $v_1$  = 翼車に入る水の絶對速度 "
- $w_1$  = 翼車に入る水の關係速度 "

M 点に於て導翼に沿ふて  $\alpha$  なる傾斜をなし  $v_1$  なる絶對速度で流入した水は、翼車に沿ふて流動するから、車盤に關係的——即ち翼車が動かぬとすれば曲線 MN に沿ふて流れる。然

- $\alpha$  = 翼車に入る水の入射角
  - $u_1$  = 翼車の出口の圓周速度 m/sec
  - $v_1$  = 翼車を出る水の絶對速度 "
  - $w_1$  = 翼車を出る水の關係速度 "
- (即ち翼車が動かぬ場合の水の放出速度)

$\delta$  = 翼車を出る水の放出角、即ち出口の圓周方向の切線と水の實際の流出方向との間の角

とし猶次の 2 つの角を考へる。

- $\beta$  =  $w_1$  (即ち翼車に入る水の關係速度) の方向とその点の切線方向との間の角
- $\gamma$  =  $w_1$  の方向とその点の切線方向との間の角

とすると、1 秒間に車内を流通する水量が W kg であれば、車内の任意の半径 r 点に於て、流通する水の運動量 (momentum) の軸心に對するモーメント (moment) は  $\frac{W}{g} v \cos \theta \times r$  である。

$\frac{W}{g}$  は、重量 W kg なる水の質量——この呼稱はない。英國では稀にスラツグ (Slag) と云ふ言葉を使つて居るが、我國では、重量 5 疋なる物体の質量 5 疋と云ふより外はない。本當はこの逆で、質量が 5 kg の物体が緯度 45 度附近では 5 kg の重量があり、赤道附近では少し軽くなる。と云はねばならぬ。兎に角

$$\frac{W(\text{重量})}{g(\text{加速度})} = m(\text{質量}) \quad \text{の關係である。}$$

$\theta$  は任意の半径 r 点に於ける水流の絶對方向と圓周方向の間の角  $v$  はその速度であるから  $v \cos \theta$  は圓周方向の分速度である。

更に半径が  $r+dr$  なる圓周では  $v$  も  $\theta$  も僅かづゝ異つて居る。従つてその点の運動量のモーメントも前式とは少し異つて居る。その差額を  $\frac{W}{g} d(v \cos \theta \times r)$  と書けば、水流が半径  $(r+dr)$  から  $dr$  だけ内方へ進むにつれて、車体が水流から受け取る力のモーメント  $dT$  はこの差額に等しくならねばならぬ。翼の入口から出口までこの差額を寄せ集れば車体の受け取る全体の力のモーメントが得られる。

$$\int dT = \frac{W}{g} \int_{r=r_1}^{r=r_2} d(v \cos \theta \times r)$$

$$T = \frac{W}{g} (v_1 \cos \alpha \times r_1 - v_2 \cos \delta \times r_2) \dots \dots \dots (38)$$

而してこの時このモーメントを受けながら  $\omega$  radian/sec の角速度で回轉しつゝ

あるのであるから、車体が水流から受取る仕事量は

$$k = \frac{W}{g} (v_1 \cos \alpha \times r_1 - v_2 \cos \delta \times r_2) \omega \text{ kg.m/sec}$$

而して  $r_1 \omega = u_1$   $r_2 \omega = u_2$  であるから

$$k = \frac{W}{g} (v_1 u_1 \cos \alpha - v_2 u_2 \cos \delta) \text{ kg.m/sec} \dots\dots\dots (39)$$

kW になほせば (1 kW = 100 kg.m/sec)

$$B \text{ kW} = \frac{k}{100} = \frac{W}{g \times 100} (v_1 u_1 \cos \alpha - v_2 u_2 \cos \delta) \dots\dots\dots (40)$$

一方 W kg なる水量が H m なる高さにあれば、その所有するエネルギーは W.H kg.m である。これを能率  $\eta$  なる水車に働かせれば、水車のなす仕事量は  $\eta.H.W$  であるから、これが前記 (39) 式に等しくなければならない。

$$\eta HW = \frac{W}{g} (v_1 u_1 \cos \alpha - v_2 u_2 \cos \delta)$$

$$\text{故に } v_1 u_1 \cos \alpha - v_2 u_2 \cos \delta = g \eta H \dots\dots\dots (41)$$

(41) 式は、反動型水車の基本方程式 (Fundamental Equation) と稱せられるもので、これから色々な式が誘導される。

翼車から出た水流  $v_2$  が正しく半径方向に向はずに、猶幾分の圓周方向の分力が残つて居て、旋回運動を生ずると、これは渦流を生じて損失を増すのみでなく尾管の振動をも起すものであるから、 $v_2$  は正しく軸心に向ひ、即ち  $\delta = 90^\circ$   $\cos \delta = 0$  となる様に設計するのである。但しすべての負荷に對して水流が斯くなる様にする事は不可能なのであるから導翼の正規開口の場合に斯くなる様にする。従つて (41) 式は

$$v_1 u_1 \cos \alpha = g \eta H \dots\dots\dots (42)$$

尙又最大能率の條件として水流が翼車に入り込むとき少しも衝突を起すことなく、滑かに翼に對して切線方向に進む必要がある。それには翼車の回轉速度の翼の面に沿ふた方向の分速度、即ち  $u_1 \sin \beta$  と、水流の同じくこの面に沿ふた分速度即ち  $v_1 \sin(\beta - \alpha)$  とが等しくなければならない。

$$u_1 \sin \beta = v_1 \sin(\beta - \alpha) \dots\dots\dots (43)$$

(42) と (43) とを掛けて

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \sqrt{\frac{g \eta H \sin(\beta - \alpha)}{\cos \alpha \sin \beta}} \\ v_1 &= \sqrt{\frac{g \eta H \sin \alpha}{\cos \alpha \sin(\beta - \alpha)}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (44)$$

常速水車 (常速の意義及次に出来る低速高速の意義に就いては特許速度の條下で述べる) では  $\beta = 90^\circ$  であるから (41) 式は

$$\left. \begin{aligned} u_1 &= \sqrt{g \eta H} = \sqrt{\frac{\eta}{2}} \sqrt{2gH} \\ v_1 &= \sec \alpha \sqrt{g \eta H} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (45)$$

翼車の圓速度  $u_1$  は (45) 式に  $\eta = 1$  と置いて

$$u_1 = \sqrt{\frac{1}{2}} \sqrt{2gH} = 0.707 \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (46)$$

$\sqrt{2gH}$  は云ふ迄もなく理論水速であるから、翼車の圓周速度がその 0.707 倍に達したとき、理論上の最大能率が得られる、但し水車の能率  $\eta$  は決して 1 となることは出来ぬから、例へば  $\eta = 88\%$  とすれば

$$u_1 = 0.66 \sqrt{2gH} \text{ となる。}$$

(45) 式の  $\sqrt{\frac{\eta}{2}}$  は確かに水車の能率に關係を有する因子ではあるが、これを一つの係数と見て

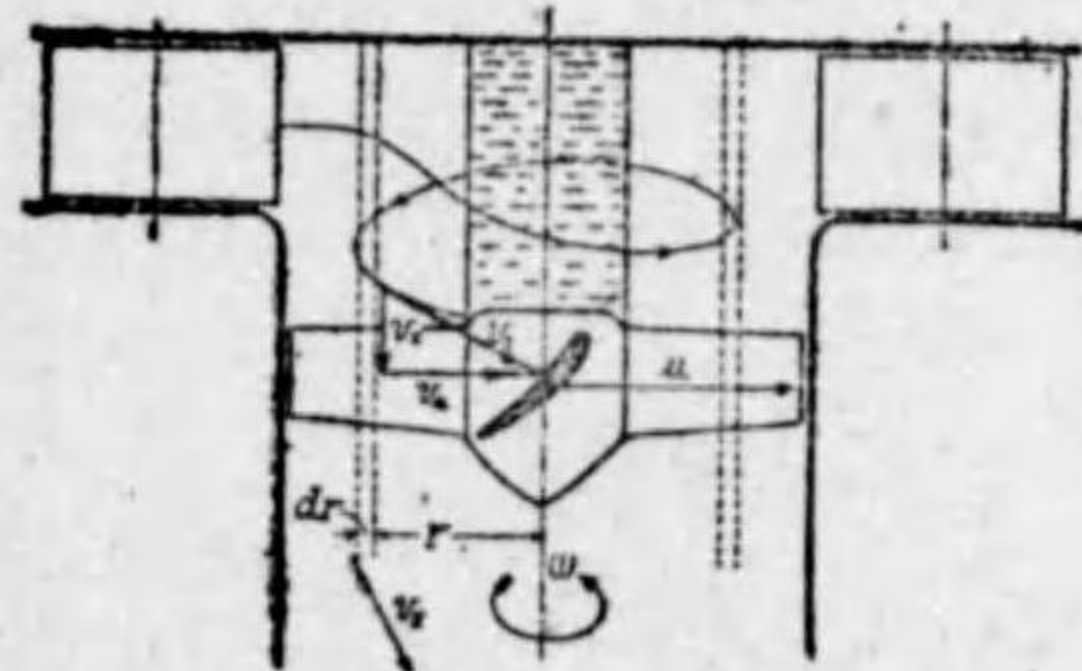
$$u_1 = \sqrt{\frac{\eta}{2}} \sqrt{2gH} = C \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (47)$$

と書き、C を速度比 (Speed ratio) と呼んで居る。

前記の如く常速車では  $\beta = 90^\circ$  で  $C = 0.66$  位  
低速車では  $\beta < 90^\circ$   $C = 0.55 \sim 0.63$   
高速車では  $\beta > 90^\circ$   $C = 0.80 \sim 0.98$

に及んで居る。更にプロペラ車では、この C の値は 1.4~3.0 位になるのである  
プロペラ車の運轉に關する理論

構造は既に第 219 圖に示した如くで、汽船の推進用のスクリウプロペラと同一構造で、大抵は 4 枚、稀に 6 枚がある。



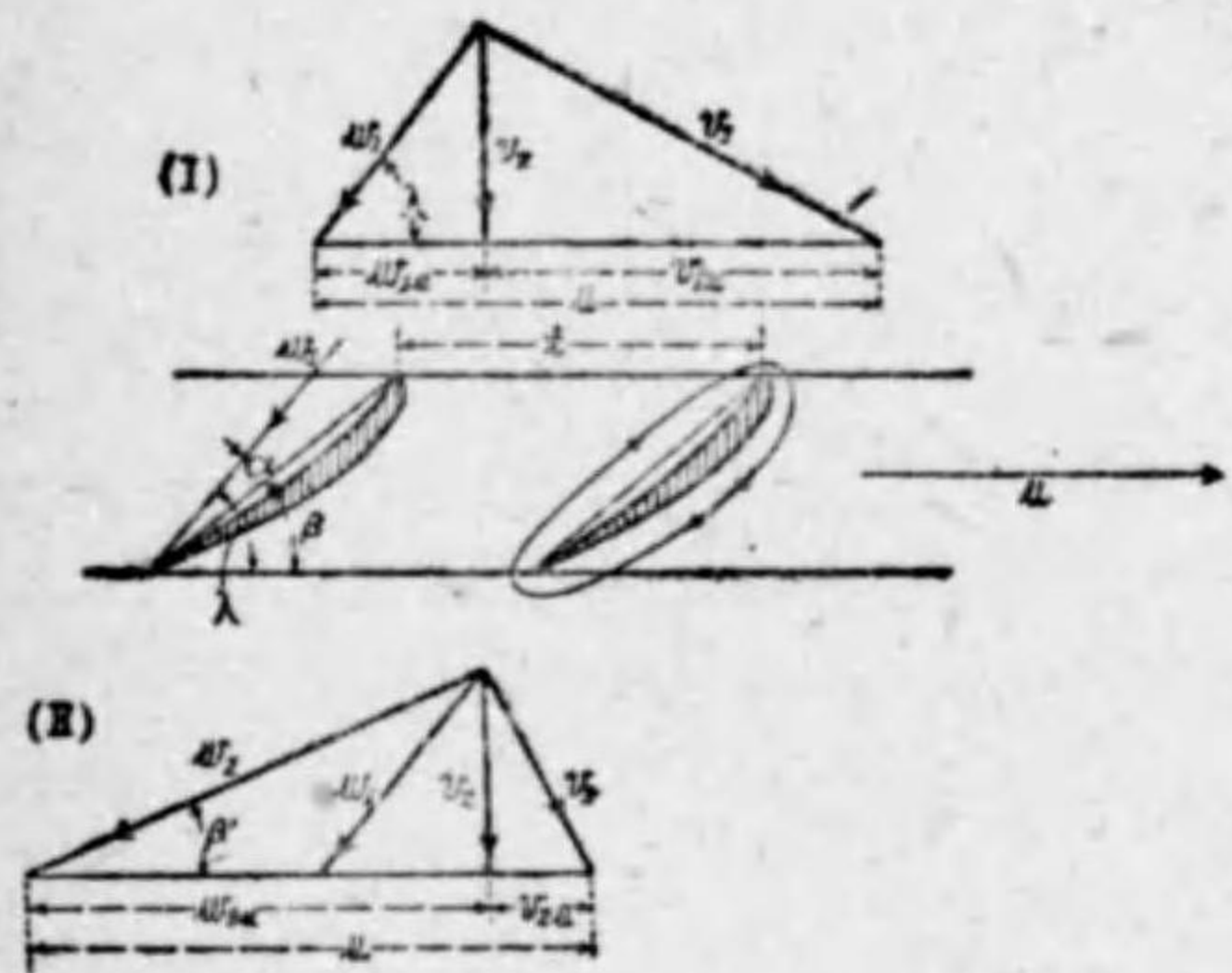
第 227 圖

第 227 圖は水の經路を描いたもので、水は最初水平に半径の方向に進入して來るが、フランス車と同様の導翼で導かれて渦卷をなして進入し、同時に方向を轉じて軸方向に向ひ、矢で示した如き  $v$  を以て翼に當るのである。

翼の入口で任意の半径  $r$  に於ける流速  $v_1$  は渦卷の速さ  $v_{1u}$  と流下速度  $v_{1t}$  とに分けられる。そしてこのとき翼は水

に押されて  $u$  なる速度で逃げる。 $u$  は水の渦卷の速さ  $v_{1u}$  よりも大きい——これがフランス車と異なるところである——から、水の翼に對する關係速度  $w_1$  は却つて後方に向ふ様になる。ダイヤグラムを作ると第 228 圖の如くなる。

翼は水平面からは  $\beta$  なる傾斜をなして居る。そこに  $w_1$  なる速さの水流が



第 228 圖

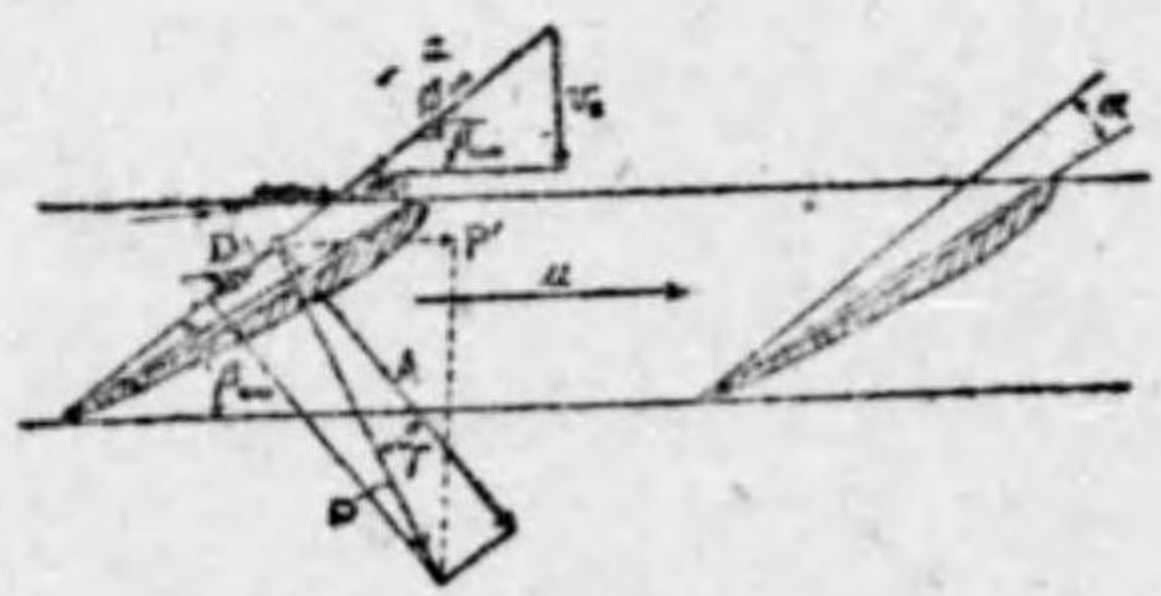
なる角度を以て還入つて来る  
 そして翼の面を沿ふて流れる  
 間に圧力が減り、それだけ流  
 速が速くなるから翼を出ると  
 きの速度は  $w_2$  となり、角度  
 も  $\beta'$  角となつて流出する。  
 翼は  $u$  なる速度で右方に移動  
 して居るのであるから、ダイ  
 ヤグラムを作れば 228 圖 (I)  
 の如くなつて水の絶対流出速  
 度は  $v_2$  となる。

翼と水流との関係を見れば  
 水流は翼の入口に於ては翼と  
 めなる角をなして  $w_1$  の速度

を以て入り来り、翼面を沿ふて流れる間に速度と角度を變へて、出る時は  $w_2$  の速度で  $(\beta - \beta')$  の角度で去る。故に水流に向つてある角度で進む様な恰好である。翼を前方に押し進める力が如何にして生ずるかの説明は、丁度飛行機の翼が空中を進行することによつて浮揚力を生ずると全くよく似て居るので、現今ではその理論が空氣動力學 (Airo dynamics) で立てられて居る。然しこれは一通りの空氣力學の理論を説明しないと理解し難いので、こゝでは他の説明をするのであるが概念的には飛行機の翼を想像するとよい。

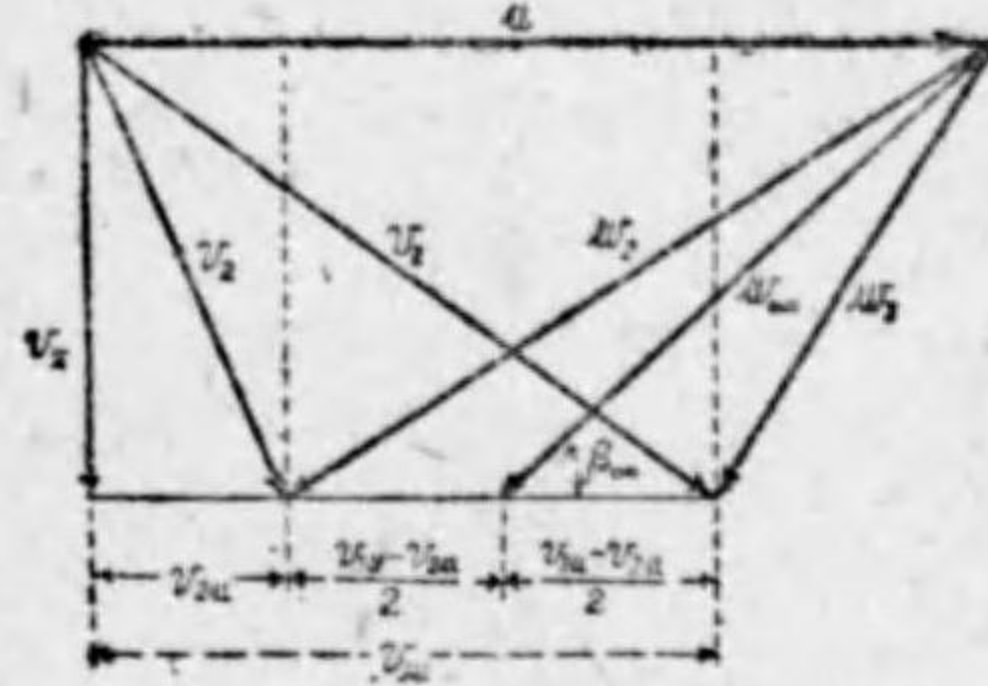
第 229 圖は前圖と同じものであるが、こゝで便宜上次の假定をする。即ち前圖に於ては翼の入口では水は翼に対して  $\alpha$  なる角 (即ち、水平面に對しては  $(\beta + \alpha)$ ) で入り来り翼を、去る時は水平面に對して  $\beta'$  なる角であると云ふたが、斯く角が

變化し、速度が變化するのは説明に面倒だから、この角度も速度も平均の  $\beta_\infty$  及  $w_\infty$  なる値を持つものとする。即ち水流は  $(\beta_\infty - \beta)$  なる一定の迎角 (Angle of attack) を以て翼に入り来ると實驗上  $P$  なる力が翼に働く。  
 $P$  を水流の方向及これと直角の方向に分つと夫々  $D$  及  $A$  に分解される。空氣の場合では  $D$  を抵抗 (Drag)  $A$  を揚力 (Lift) と稱して、水流の方向に飛行機を引張れば、 $D$  なる抵抗と  $A$  なる揚力が生ずると云ふのである。水車では、 $P$  の水平方向への投射  $P'$  が回轉力となるのである。



第 229 圖

又  $w_\infty$  及  $\beta_\infty$  を定める爲に第 230 圖を作る。これは 228 圖の (I) 及 (II) を同一圖上に描けば直に得られる。



第 230 圖

第 229 圖から

$$P' = A \sin \beta_\infty - D \cos \beta_\infty = P \sin(\beta_\infty - \gamma) \dots (48)$$

但し  $\gamma$  の値は同圖から

$$\tan \gamma = \frac{D}{A} \dots (49)$$

で與へられる。

翼は  $P'$  の力を受けながら、 $u$  なる速度で移動するのであるから、その時受け取る仕事量は

$$k = P'u = P \sin(\beta_\infty - \gamma)$$

水流はこれだけの仕事量を翼に與へる外に  $D$  なる抵抗によつて失はる量を補はねばならぬ。その量は  $D$  なる抵抗で  $w_\infty$  の速度であるから

$$L_1 = D w_\infty \text{ である。}$$

結局水流の仕事量は翼の受取つた量  $k_1$  と損失  $L_1$  の和であるから能率は

$$\eta = \frac{k_1}{k_1 + L_1} = \frac{P \sin(\beta_\infty - \gamma)}{P \sin(\beta_\infty - \gamma) + D w_\infty} \dots (50)$$

(48) と (49) 式から  $A$  を追出して  $D$  の値を求め、それを (50) 式に入れると

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{w_\infty}{u \times (\tan \gamma - \cos \beta_\infty)}} \dots (51)$$

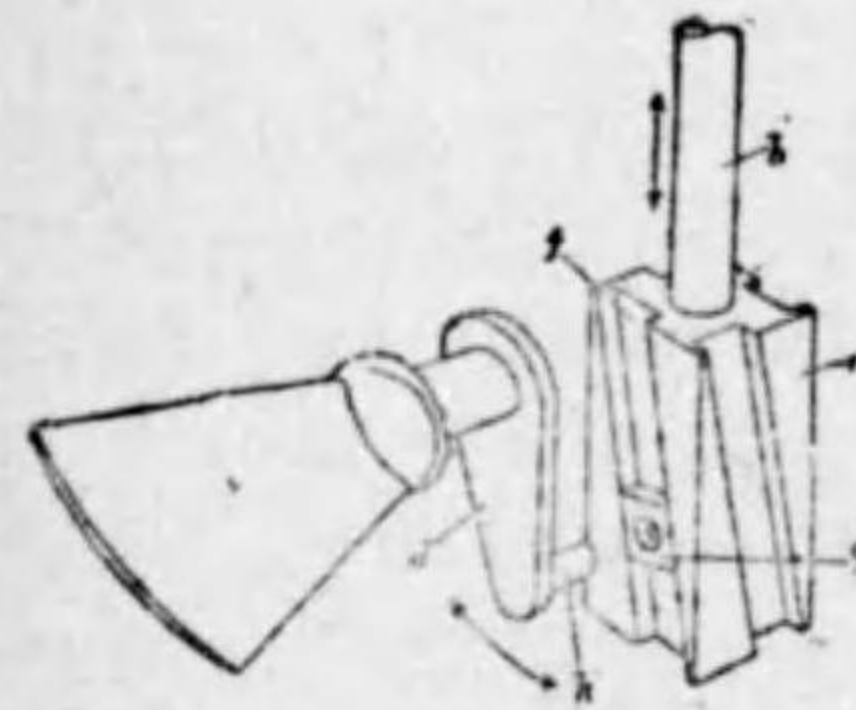
なる式が得られる。

上記の仕事量は第 227 圖の半径  $r$  点に於て厚さ  $dr$  なる圓環に就いて云はれた事で、水車全体としてはこれを内徑  $r_0$  から外徑  $r_1$  まで積分しなければならない。即ち各半径に於ける異なる  $v_1$  異なる角  $\beta$  に就いて各に計算してこれを集積するのであるから、實際の寸法に就いて行ふのである。

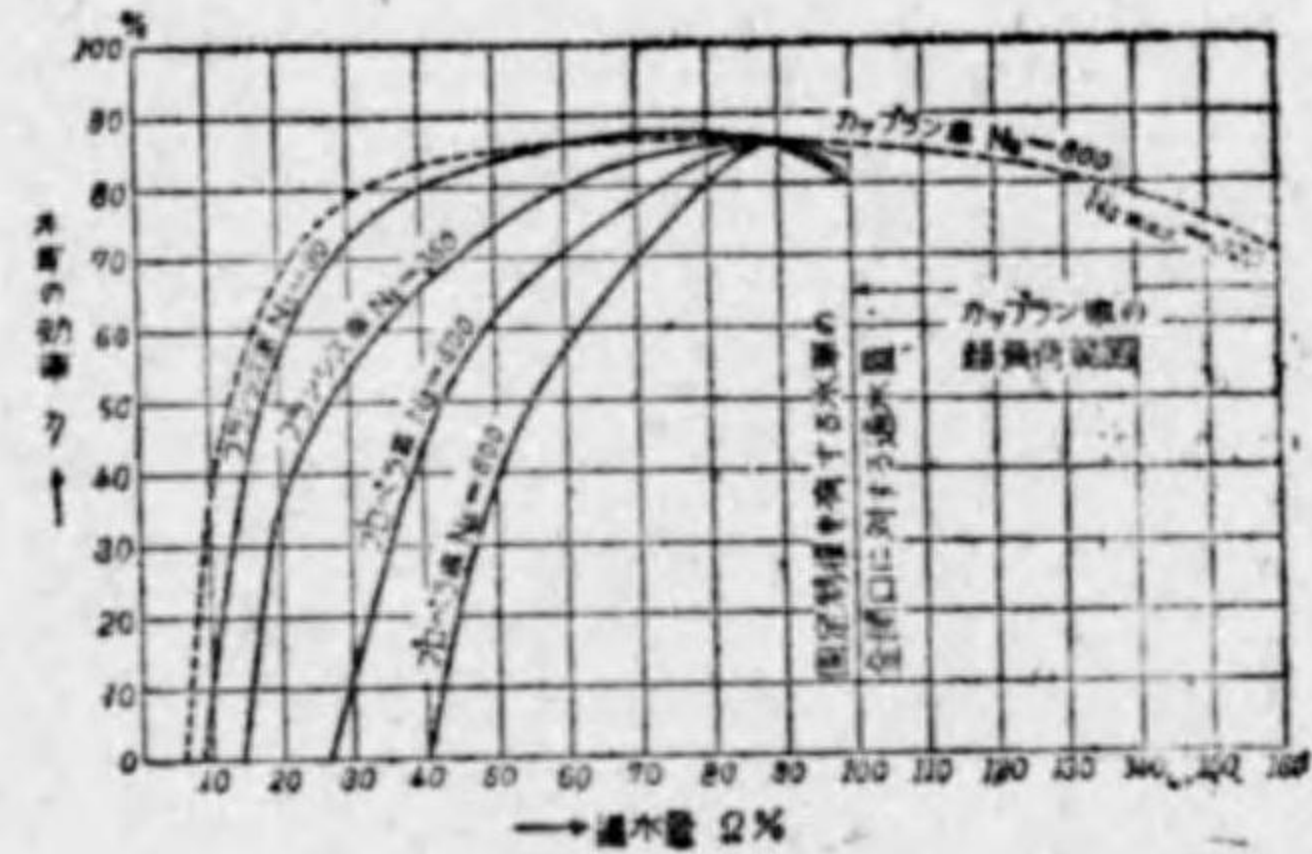
### C カプラン水車

プロペラ車の發達は最近 15 年間の事である。即ち低落差大水量の開発が盛んに目論まれるに當つて、低落差だから理論水速  $\sqrt{2gH}$  の値が小さくなる。フランス車では、翼の圓周速度はこの理論水速以上になる事は出来ない。大容量の水車となるに従つて直徑が増す。従つて回轉數が甚だ低くなる。然るにプロペラ車では、この周邊速度が理論水速の 1.5~3.0 倍になし得る。茲に俄然プロペラ車擡頭の機運を生じたのであるが、こゝに又都合の悪い事は低落差の場合はどうしても水位の變動が激しい。水量も従つて變化する。これに對して單なるプロペラ車は後圖に示す様に能率の變化がはげしい。これを修正する爲にプロペラ

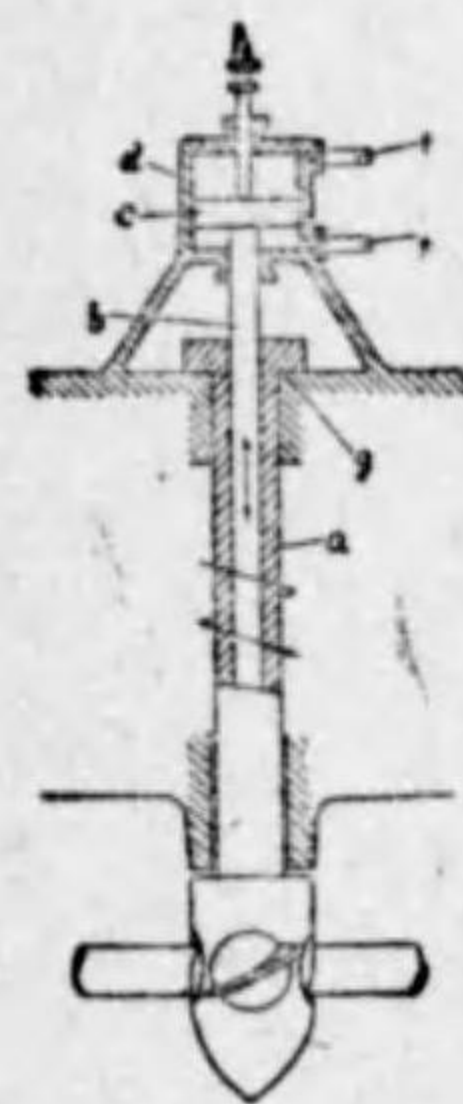
車の翼の角を自在に変化させる考案はプロペラ車の出現と共に待望されて、それが前述の様に 1912 年 Prof., Kaplan に依つて成就された。機構そのものは決して驚く程のものではないが、その効果は甚大で、現今プロペラ型と云へば「動き羽根プロペラ車」即ちカプラン車であると云つて差支へない。



第 231 圖



第 233 圖



第 232 圖

機構も甚だ簡単なもので、第 231 圖と第 232 圖と見れば自ら了解される。第 232 圖の e, f は油管で、油壓によつてピストン C を上下することによつて翼の角度を変更する。他に 2, 3 の異つた方式もあるが、原理は全く同一である。

終りにフランス車、プロペラ車、カプラン車の能率曲線の特性を掲げてこの節の終りとしやう。(第 233 圖参照)

いづれの水車も導翼の 88% 附近の開口的場合最高能率を發揮するが、プロペラ車の  $n_s=800$  ( $n_s$  は特有速度で後章に述べるが、理論水速に對して回轉速度の速いものを特有速度が高いと云ふ) なるものは甚だ急峻な曲線

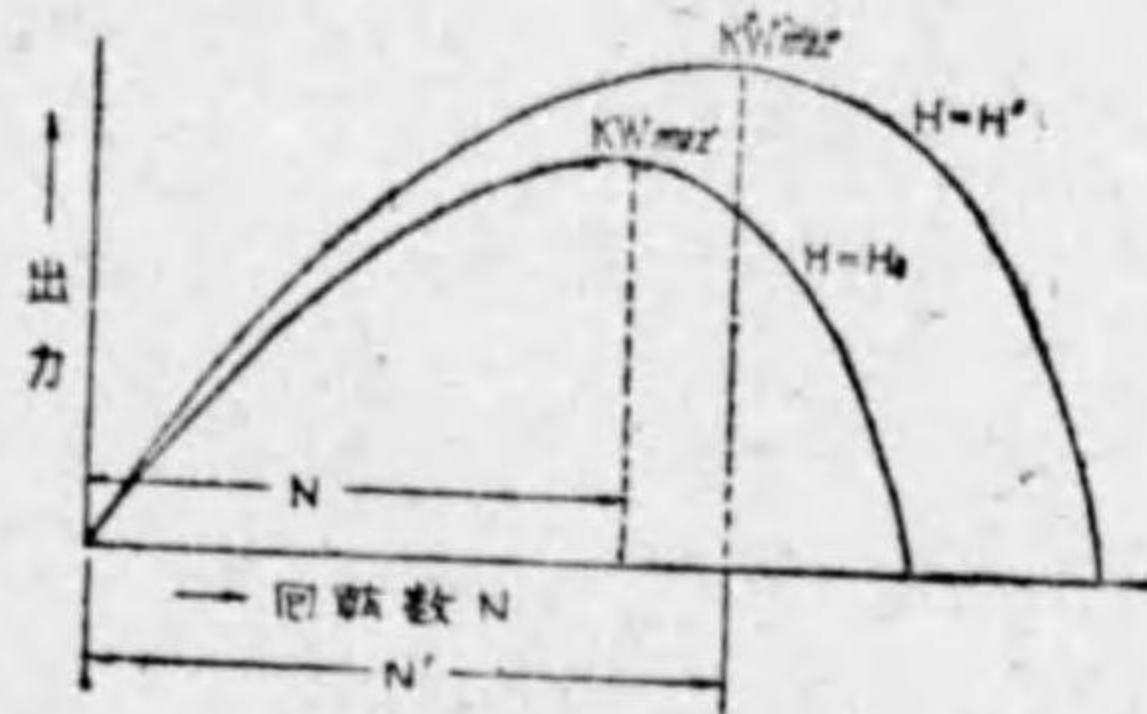
を書いて居る。プロペラ車でも  $n_s$  の稍小なるものは急峻度が幾分緩かであり、フランス車も同様であるが、カプラン車は更に平坦で、能率よく使用し得る範圍が甚だ廣いのみならず、超過負荷の領域が如何に大きいかがわかる。

(16) 水車の特有速度 (Specific speed or characteristic speed)

A 落差に對する水車の回轉數と出力の關係

ある水車を一定落差 H で運轉し、ベルト車なら噴孔、反動車なら導翼の開口を一定にしたまゝ水車の回轉數を色々に変へて、その時發生する馬力を測定すると、第 234 圖の如き曲線が得られる。説明する迄もなく、回轉數を零とすれば

發生馬力も亦零となる。回轉數を増せば出力も増すが、ある回轉數に於て發生出力が最大となり、それ以上は却つて減少し、遂に水車の周邊速度が水流の理論水速と等しくなれば、所謂走り放しとなり、再び發生馬力は零となる——但しプロペラ車では周速は水流の理論水速以上になることは前述の通りであるが——これを圖示すると第 234 圖の如くなる。



第 234 圖

この最大出力  $kW_{max}$  を出す回轉のときの車周速度は、曩に (44) 式で與へられた通りとなり

水車の構造上から来る入射角——導翼からランナーに向ふ角  $\mu$  と、水流の關係速度  $w_1$  の方向  $\beta$  との函數であるのみでなく、亦落差 H の函數である。だから次にこの水車を異つた落差  $H'$  を以て運轉してやると、又異つた曲線  $H=H'$  の線が描かれる。

然るに、水車は同一なのであるから  $\mu$  及  $\beta$  は一定である。又最大の作用能率  $\eta$  も略一定であると云ひ得るから (44) 式はこの場合

$$u_1 = C \sqrt{H_0} \quad v_1 = C \sqrt{H_0} \dots (52)$$

そこで前記の落差だけを變へた場合、最大馬力を生ずる回轉數の比は

$$\frac{u_1'}{u_1} = \frac{N'}{N} = \frac{C \sqrt{H'}}{C \sqrt{H}} = \sqrt{\frac{H'}{H}} \dots (53)$$

となる。即ちある一つの水車の最大出力を出す回轉數は落差の平方根に比例する次に水車の吸收する水量 Q は落差の相違によつて如何に變化するかを考へるに、噴孔又は導翼の開口は一定としたのであるから、流入速度  $v_1$  に比例しなければならぬ。

$$\frac{Q'}{Q} = \frac{v_1'}{v_1} = \frac{C \sqrt{H'}}{C \sqrt{H}} = \sqrt{\frac{H'}{H}} \dots (54)$$

即ちある一つの水車の最大出力を出す水量は、落差の平方根に比例する。

落差 H にして水量 Q なるとき水車の出力は  $kW_{max} = K \cdot Q \cdot H$  K=常數  
落差  $H'$  にして水量  $Q'$  なるときは  $kW'_{max} = KQ'H'$

故に

$$\begin{aligned} \frac{kW'_{max}}{kW_{max}} &= \frac{KQ'H'}{KQH} = \frac{Q'}{Q} \times \frac{H'}{H} \\ &= \sqrt{\frac{H'}{H}} \times \frac{H'}{H} = \left(\frac{H'}{H}\right)^{3/2} \dots (55) \end{aligned}$$

次にこの水車を落差 1m の所に使用したとすれば、この落差に於て最大出力を

出すべき回轉數  $N_1$ 、水量  $Q_1$  及其の出力  $kW_1$  は式 (53) (54) (55) に於て、 $H'=1$  とすれば直に次の如く書ける。

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= N \frac{1}{\sqrt{H}} \\ Q_1 &= Q \frac{1}{\sqrt{H}} \\ kW_1 &= kW \frac{1}{H^{3/2}} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (56)$$

**B 特有速度の計算式**

以上の關係式を念頭に置いて次の諸事項を假定する。

與へられた水車を幾何學的相似法によつて縮少する。

幾何學的相似法と云ふのは、第 235 圖によつて明かな如く、同圖は直徑  $D_1$  を

$\frac{1}{2}$  に縮少した圖である。即ちすべての寸法が比例的に縮少されて、恰好は少しも變らないとの意味である。

どの程度まで縮少するかと云ふに、この小水車を單位落差 (1m) の許で運轉したとき、丁度單位出力 (1 kW) を發生するが如き大きさまで縮少する。斯くの如き小水車の回轉數  $n_s$  を與へられた水車の特有速度と稱する。

繰り返して云へば、與へられた水車と相似形にして、單位落差の許に、單位馬力を發生するが如き小水車の相當速度を、その水車の特有速度と云ふ。

そこでこの特有速度  $n_s$  と與へられた水車の速度  $N$  との關係を見出す爲、説明の便宜上、先づ與へられた水車を、そのまゝ單位落差 (1m) の許で運轉したと考へ、その時の  $N_1$  其他の關係を見、然る後

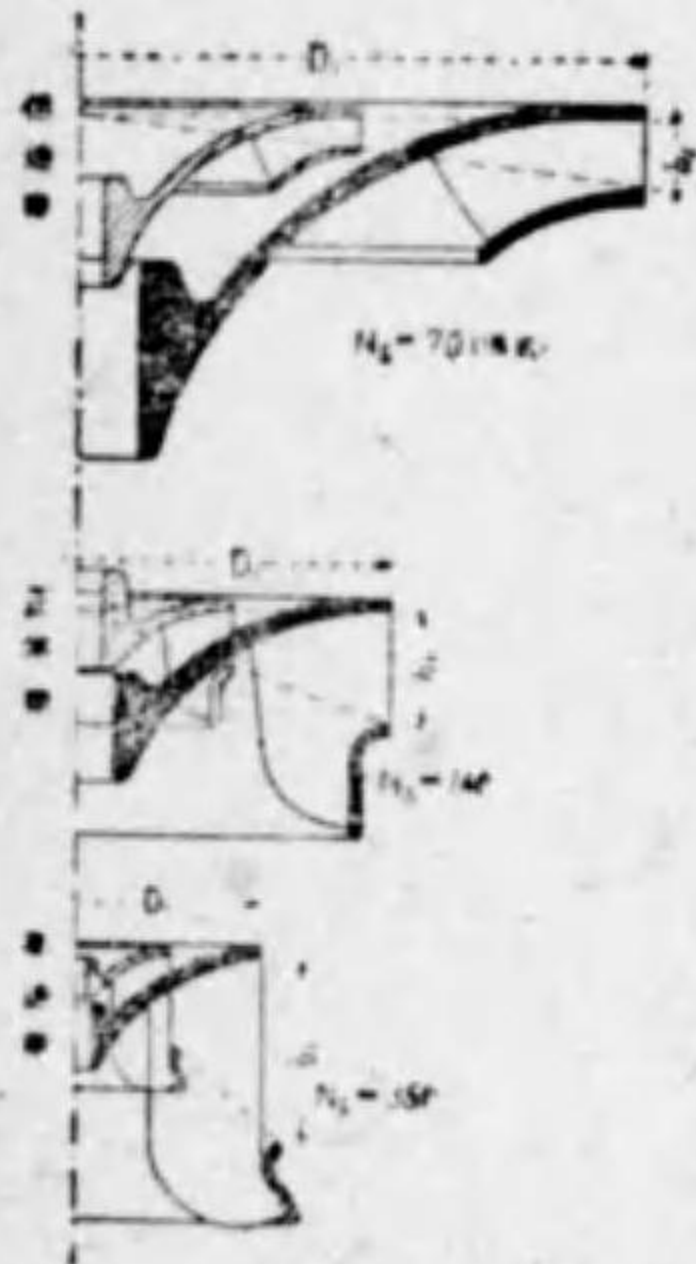
水車を相似法によつて縮少するのである。記號を次の如く定める。

$N, Q, HP, D$  等を夫々與へられた水車の回轉數、吸收水量、出力、直徑とし、

$N_1, Q_1, HP_1$  等を夫々この水車を、そのまゝ單位落差で運轉したときの回轉數、水量、馬力等とし

$n_s, q_1, d_1$  等を相似法によつて單位落差の許で、單位出力を發生するが如き小水車の回轉數 (即ち特有速度) 水量、直徑とする。

すると水車の大きはそのまゝとして落差だけ變へた場合の關係は實は既に (56) 式で計算してある。



第 235 圖

$N_1$  と  $Q_1$  とはもとの落差の平方根に逆比し、 $kW_1$  は落差の  $\frac{3}{2}$  乗に逆比する。そこで今度は相似法によつて縮少する。そして適當に縮少されたと假定すれば水車の入口の水速は、落差が等しい (1m) のだから同一でなければならぬ。従つて水車そのものゝ周速も同一だから

$$\pi D_1 N_1 = \pi d_1 n_s$$

故に  $n_s = N_1 \frac{D_1}{d_1} \dots\dots\dots (57)$

又水の流入する入口の面積は、直徑の 2 乗に比例するから水量は

$$\frac{q_1}{Q_1} = \left( \frac{d_1}{D_1} \right)^2$$

故に  $d_1 = D_1 \sqrt{\frac{q_1}{Q_1}} \dots\dots\dots (58)$

然るに直徑  $d_1$  なる小水車は單位落差の許で 1kW を發生すると云ふ假定だから、小水車の吸收する水量  $q_1$  は次の關係になつて居らねばならぬ。

水車の馬力は

$$kW = 10 Q H \eta \dots\dots\dots (59)$$

この水は單位落差 ( $H=1$ ) 單位出力 ( $kW=1$ ) のときにも成立しなければならぬから

$$1 = 10 q_1 \times 1 \times \eta$$

これを (58) 式に代入して

$$d_1 = D_1 \sqrt{\frac{1}{10 Q_1 \eta}} \dots\dots\dots (60)$$

かくして得た  $d_1$  の値を (57) 式に代入し

$$n_s = N_1 \sqrt{10 Q_1 \eta} \dots\dots\dots (61)$$

(61) 式中の  $N_1, Q_1$  に (56) 式の値を入れ  $10 Q H \eta = kW$  なる關係を導入すれば

$$n_s = N \frac{kW^{1/4}}{H^{5/4}} \dots\dots\dots (62)$$

これが與へられた水車の特有速度である。

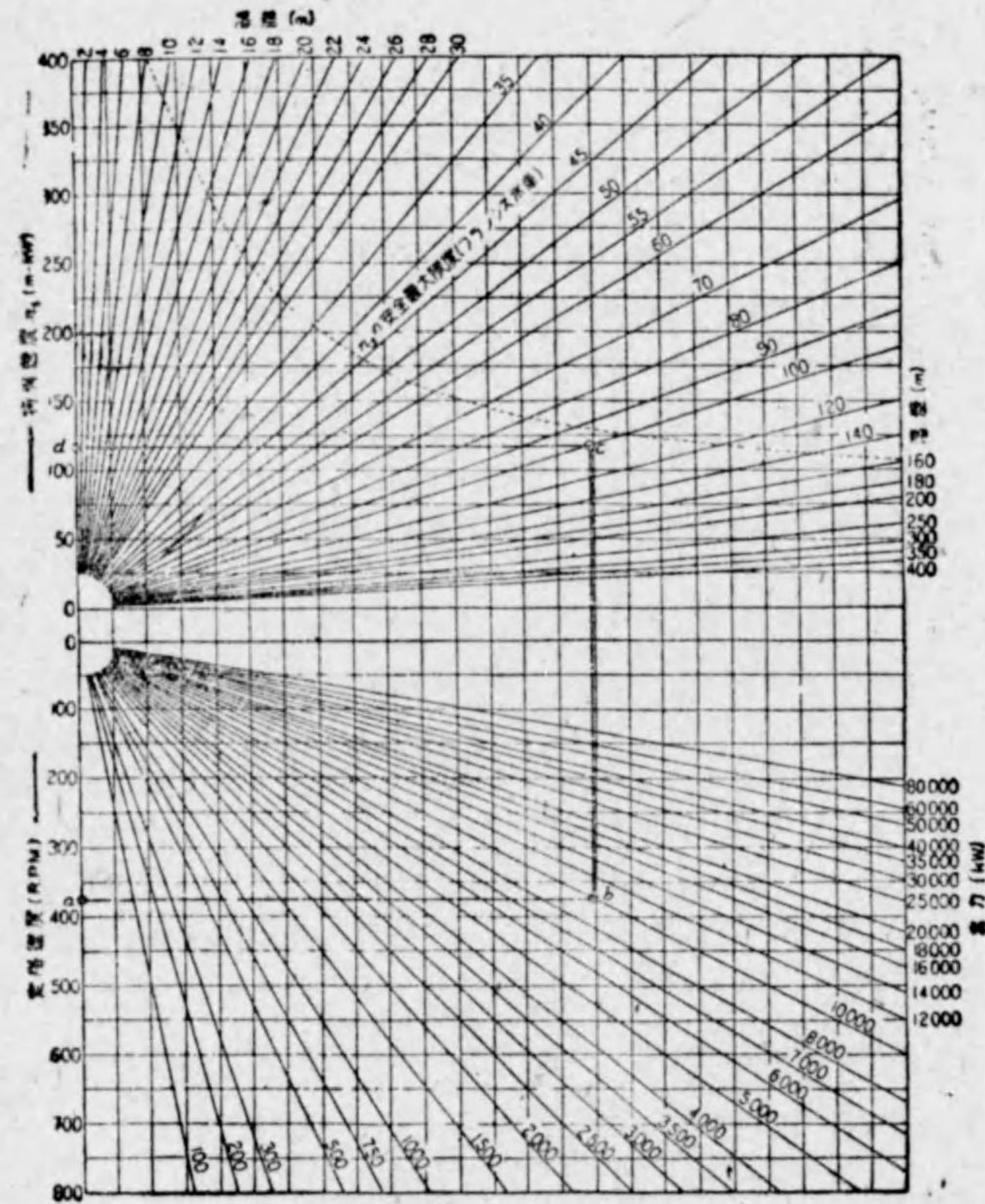
(62) 式に依つて與へられた水車の特有速度は直に計算し得られる。逆に特有速度から定格速度 ( $N$ ) をも計算し得られるが、計算の便宜上第 236 圖の圖表が作られてある。

特有速度は單位の取り方で、その數値が異なる。我國の標準は固より

$$\begin{aligned} n_s &= \text{特有速度} = \text{r.p.m} & kW &= \text{出力} = \text{kW} \\ N &= \text{定格速度} = \text{r.p.m} & H &= \text{落差} = \text{m} \end{aligned}$$

であるが、實はこれはまだ充分行はれて居らず、英國式 (呎一馬力) と佛國式 (米一佛馬力) とが混用されて居るから、蛇足に近いがその換算式を掲げて置かう

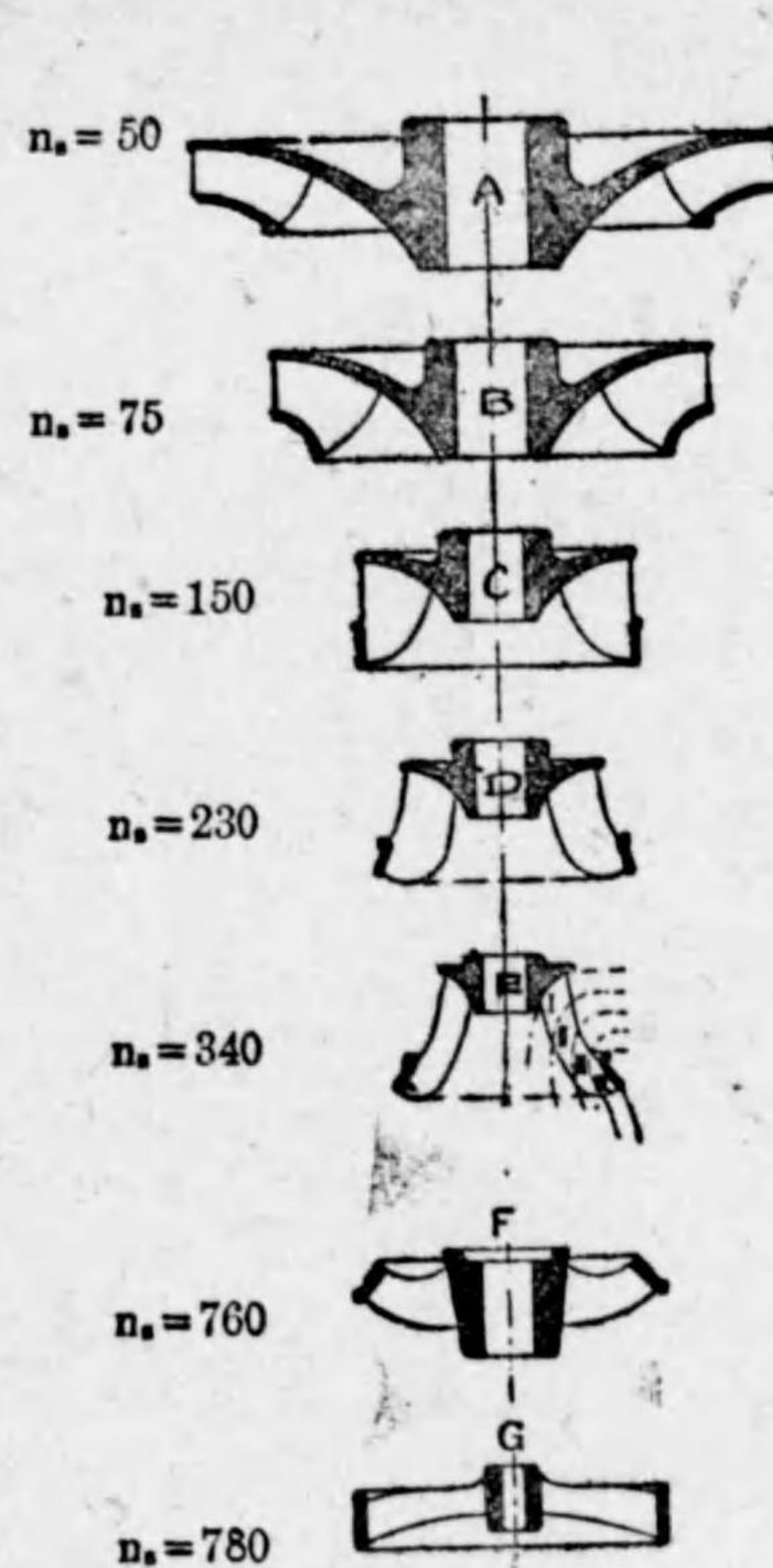
(日本標準) × 0.2622 = 英國式  
 ( " ) × 1.158 = 佛國式  
 (英國式) × 3.814 = 日本標準  
 ( " ) × 4.416 = 佛國式  
 (佛國式) × 0.8637 = 日本標準



第 236 圖 特有速度線圖

さて第 236 圖の使用法は、圖中 a→b→c→d と進つて行けば、自ら特有速度が得られるし、特有速度から逆に定格速度をも求め得られる。圖中の点線は、フォレスト・ネーゲル (Forrest Nagel) の實驗から與へた  $n_s$  の最大限度で、落差が大きくなるに従つて特有速度を低くしなければならぬことを示して居る。

特有速度と水車の形狀に就いて云へば第 237 圖の如くである。



第 237 圖

A を低速車と云ふ。余程高落差の大馬力のものに用ひられる型である。B, C を正常車、D を高速車、E は超高速車である。低速、高速の意味は理論水速に對して回轉が速いか遅いかを云ふのであつて、與へられた水車の實際の速度を云ふのではない。

F 及 G はフランス車からの變形ではあるが既にプロペラ型になつて居る。

設計に當つて特有速度は前記の Nagel の限度以内なら、如何様にとつても差支ないかの様にも見えるが、實は必ずしもそうではない。特に特有速度がある限度を超えて高いと次に述べる空洞現象が激しくなつて翼に潰蝕が起る。

車体の型式	特有速度 $n_s$
ベルトン車	單射型 8.6~22
	複射型 17~35
フランス車	低速車 52~86
	正常車 85~170
	高速車 170~300
	超高速車 300~330
プロペラ車	40~600
カブラン車	600~860

水車の型式と特有速度の關係概數は上掲の表の如くであるが、最初に與へられ



た落差に対して正常車にしようか、或は高速車にしようかと云ふ判断に迷ふのである。これは設計者の多年の経験とその巧拙に俟つ所だが、公式的に與へたものもある。例へばフランス車に対しては

$$n_s = \frac{1300}{\sqrt{H}} \dots \dots \dots (63)$$

ペルトン車に対しては

$$n_s = 200 \frac{d}{D} \dots \dots \dots (64)$$

d=噴孔の直徑 D=承碗圓周の直徑

(C4) 式中には落差がないが、出力が與へられれば水量が定まり、落差によつて噴射速度がわかるから、結局 d の中に落差が含まれて居るのである。

プロペラ車やカプラン車に対してはまだ一定の標準はない様である。

### C 空洞現象 (Capitation)

フランス車やプロペラ車は屢々翼の裏面——時には中部に虫が食つた様な腐蝕を生ずる。これは侵蝕 (Pitting) とか潰蝕 (Erosion) と呼んで、特有速度の高いものに多く、殆んど凡ての水車に免れ得ない程著名な現象になつて居る。これは蒸汽タービンの復水器管の場合と同様で、色々な説明が與へられて居るが、眞の理由はわからない。唯次の様な事が云へる。

1894年に英國でタービニア (Turbinia) と云ふ、40噸ばかりの快速船を造つた。名の如く蒸汽タービンで推進機を廻轉する。而も最初の船であつた。所が32哩の豫定速度が18哩しか出ない。その原因は推進機が水中で空轉をする。推進機の周圍が真空になつて水を掻かないからだ云ふ事が想像されて、實驗する爲に、水に沸騰点の近くまで熱して置いて、その中で推進機を回轉し、電弧で瞬時寫眞を撮影して見ると、果して真空が出来てゐる。

水車やポンプにもこの現象があるに相違ない。局部的に壓力の低い箇所が生じ水は冷沸騰 (Cold boiling) を生じ、又は水中に含有して居た酸素が分離して、空洞を生ずる。こゝまでは事實である。唯然し、その空洞を生ずればなぜ翼を腐蝕するかと云ふ説明が色々に分れる。

第一は純然たる機械的作用だと云ふのである。即ち出来た空洞は極めて不安定なものである。元々、極く局部的に出来る真空だから、周圍の水がこれを埋めやうとして渦巻を起して衝突して来る。空洞は出来ては潰れまた出来る。連続して水は翼の面を打撃する。そして孔を穿つと云ふのである。だから翼を硝子で造つても潰蝕現象は起ると云ふ實驗さへある。

第二は水中の酸素が作用すると云ふ説で、第三は壓力差の生ずる所必ず電位差を生じ、局部電流が流れる。

いづれも皆有り得べき事柄で、或はこれらのすべてが混在するのも知れぬが

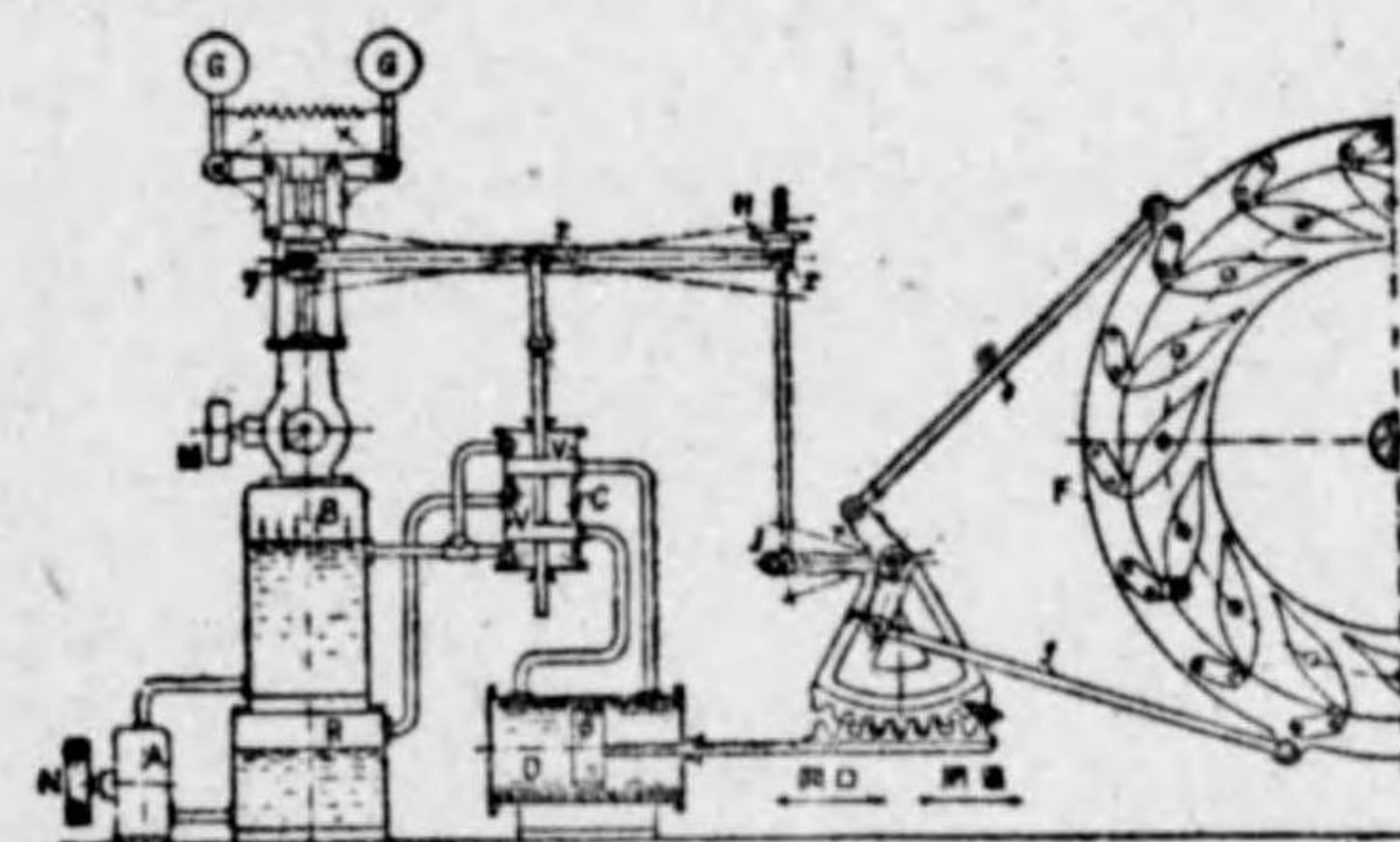
結果から云へば、厚さ 30 mm もある翼が、1年にもならぬに使用出来なくなつたとか云ふ例は多く聞く所で、鑄鋼も青銅も皆蝕されて、これに耐える材料はない。

これを逃れる方法は、空洞を生じない様にするより他なく、それにはドラフトヘッドを低くする。即ち尾管を短かくする。出来得るなら、水車を水の中に埋めて吸出作用をなくするがよいのであるが、これは掃除点檢にも建設にも困難が多い。

### (17) 調速機の構造と作用

#### A 機構

第 238 圖は調速機構 (Governor mechanism) の骨組圖で、M 及 N は何れも



第 238 圖

滑車で、水車の軸から革帶を掛けて回轉する。A は N に聯結せるポンプで壓力油を循環せしめ、それによつて、すべての調速機構を動作せしめる。M は傘齒車 (Bevel gear) で、遠心錘 G.G に回轉を傳へる。回轉の遲速によつて G.G は閉閉し、それに聯結せる座環 (Sleeve) y が昇降し 槓杆

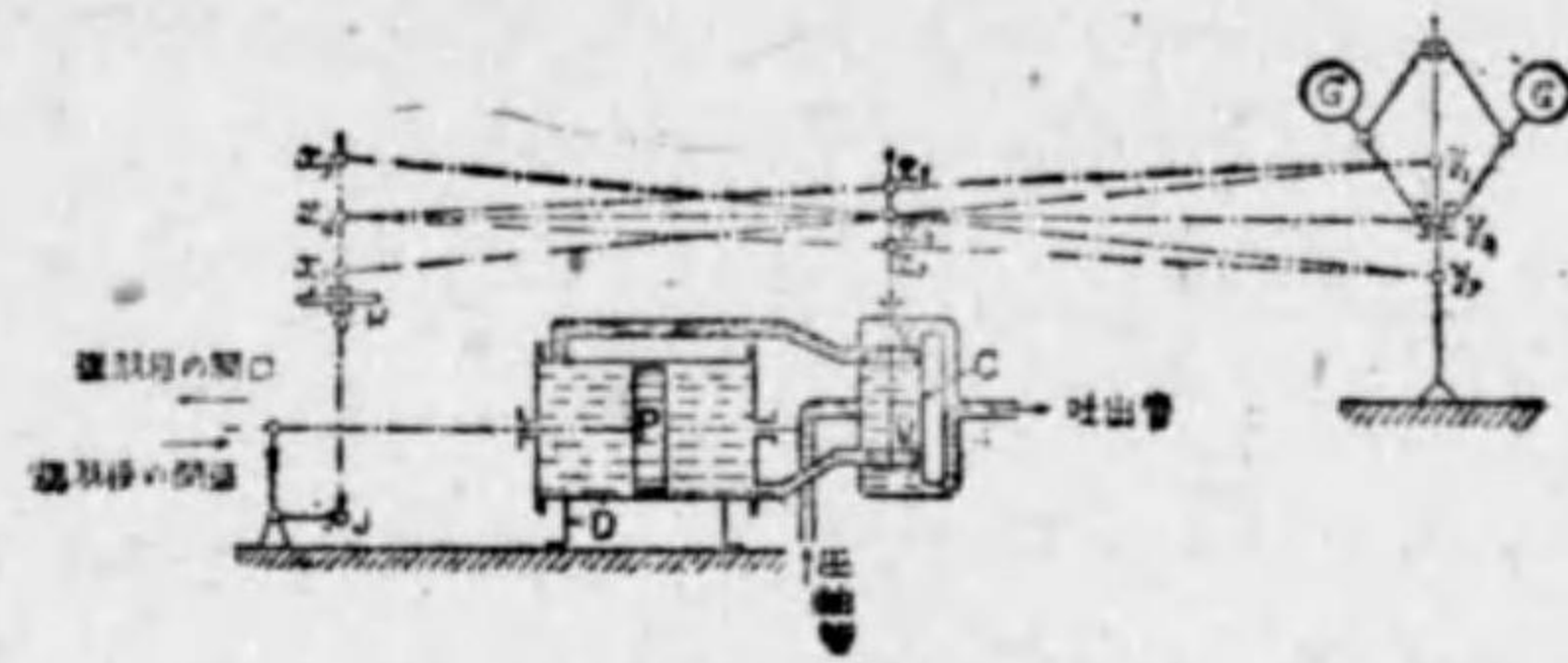
作用で z が上下する。z には分配瓣 (Distribution valve) V. V が懸垂して居るから、その移動によつて壓力油はサーボモーター (Servo motor) D の右又は左に導かれ、ピストン P を左右に動し、齒棒と齒腕 (rack and pinion) の機構で水車の導翼 (Guide vane) を開閉する。

x の部分の中繼機構 (Relay mechanism) で、導翼の開閉状態を分配瓣 V に傳へる装置で——即ち系統的に云へば、水車の速度によつて先づ G が働き出す遠心錘 G はこの場合指揮官である。その指揮によつて分配瓣 V が命令を出す。それに従つて P が動作する。その結果を x が V に報告するのである。

その順序を第 239 圖に依つて説明する。

今遠心錘の座環  $y_0$ 、分配瓣の懸垂点  $z_0$ 、中繼点  $x_0$  はこの位置で、ある速度のとき平衡を保つて居るとする。

速度が高くなると遠心錘 G は開いて座環  $y_0$  は  $y_1$  まで昇る。すると、 $z_0$  は  $z_1$  に上る。分配瓣 V.V は上方に昇つて、サーボモーター D の左方は壓力油管に連結され、右方は吐出管の方へ連結されるから、ピストン P は右方へ移動し



第 239 圖

導翼を閉遮する。するとピストン P の運動に聯關して J 点が下方に降り  $x_0$  点が  $x_1$  点に来る。従つて  $z_1$  点は  $z_0$  点へ戻る。 $y_1, z_1, x_1$  が一直線になつて、且つ  $z_0$  に於ては分配弁は最初の位置に戻つてサーボモーターには油を送らぬから P はその位置に止まり、導翼の閉遮程度もそこで止まる。即ち最初よりは少し速度の上昇したまゝで運轉を繼續するのである。

全負荷時の回轉數を  $N_1$  とし、無負荷になつた時の回轉數を  $N_0$  とすれば、その差を兩者の平均の速度で除した値、即ち

$$\frac{N_0 - N_1}{\frac{N_0 + N_1}{2}} = \frac{N_0 - N_1}{N} = \delta$$

を調速機速度調定率 (Degree of speed regulation) と稱して居る。

この値は大體 3~4% 位である。發電機が唯一台で運轉して居る場合には、この速度調定率は小さい程よろしい。そして敏感な遠心錘を用ひ、やゝ複雑な中繼機構を使用すれば  $\delta = 0 \sim 1/2\%$  程度まで自動的に調整することは出来るのである。

然し發電機が唯一台で運轉することは先づない。大抵は大きな電力系統に結線されて平行運轉をするのであるから、かゝる場合には速度調定率を余り少なく保つ事は害があつて益のない事である。

**B. 調速機の不動時間 (Dead time) と閉鎖時間 (Closing time)**

水車から負荷を取り去つた瞬間から導翼が動作し初めるまでに経過する時間を調速機の不動時間と云ふ。

又導翼を全負荷時の開口位置から無負荷運轉に對する開きまで持ち來す時間を調速機の閉鎖時間と稱する。

今水車が全負荷で運轉して居るとき、發電機のスイッチが開いたすると、負荷は瞬間に零になる。然し調速機の遠心錘が開いて座環を揚げ分配弁を持ちあげる迄には回轉が或る値だけ (0.5~1%) 上昇した後でなければならない。

而も、革帶には「滑り」があり、遠心錘の座環と調速槓杆と取付、及槓杆と槓桿との取付には幾分の「遊び」があり、又分配弁には「重なり」(Lap) があるから負荷のなくなつた瞬間から導翼の閉鎖が初まる迄には、或時間の遅れ (Time

lag) は免れない。

無負荷から逆に全負荷を掛けた場合も同様である。

この不動時間は、凡ての点で好ましくないものであるから、出来るだけ短かいがよい。現今は調速機の機構が精巧になつたから大體  $1/2$  秒内外になつた。

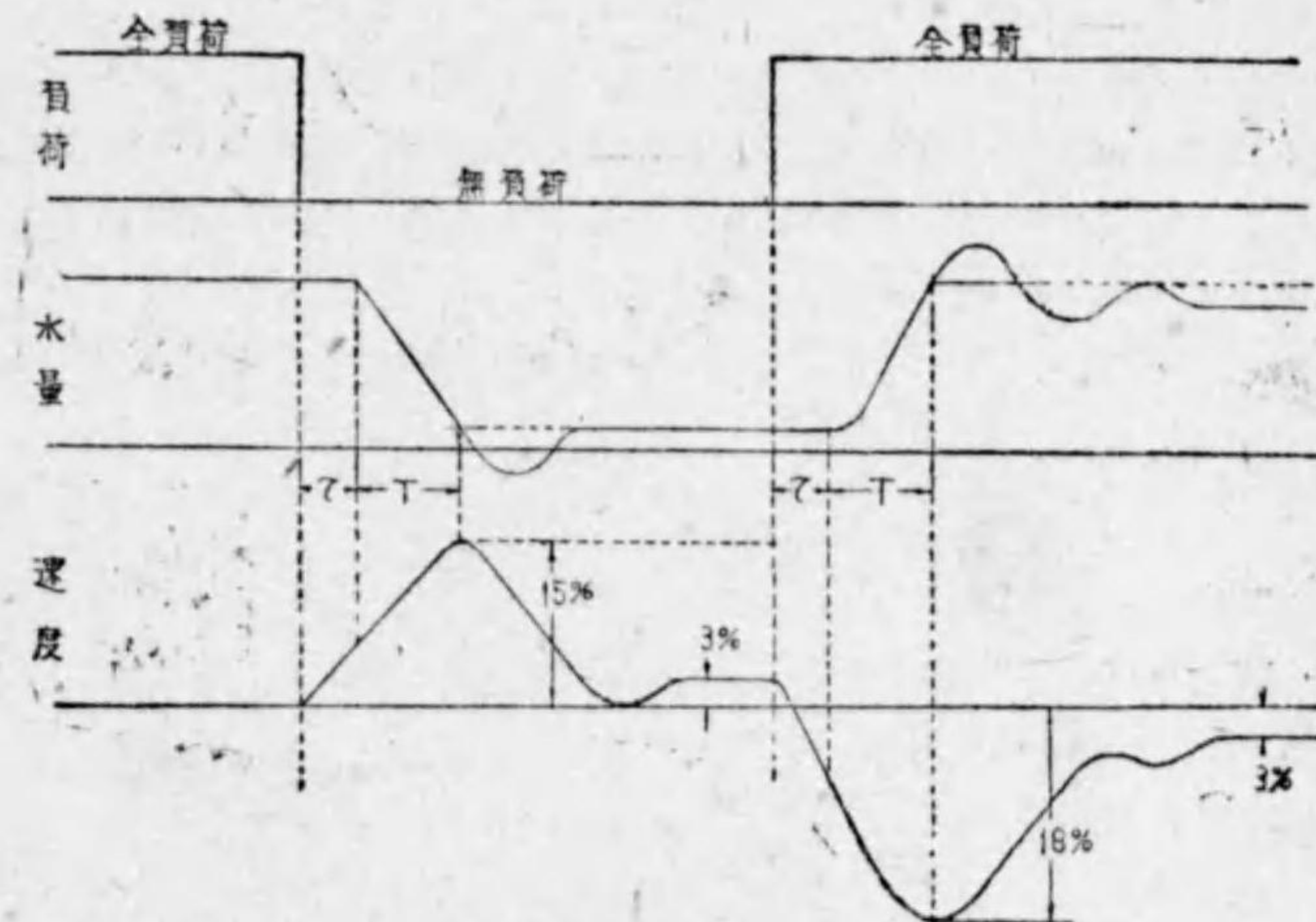
次に調速機の閉鎖時間、即ち導翼の開閉が開始されてから完了するまでの時間は余りに急速に動作せしめると水槌作用を生じて水車外函にも導水管にも危険を生ずるから、これを考慮して適當に定める要がある。

露出型水車では、導水管に對する危険はないから極く短かく取る事が出来る。 $1/2 \sim 2$  秒位にする。

中落差のフランシス型が一番都合が悪い。30~50m 位のもので、導水管が短かい場合には 3 秒位、稍長い導水管がある場合には 5 秒以上ともする。

高落差になると必ず制壓弁 (Relief valve) 又はベルトン車なら折流板 (Deflector) が附く。これは正常水壓より 10~15% 位も上昇すれば制壓弁が働く様にし、又折流板ならば主弁の動作に先立つて噴射する水を曲折せしめるのであるから閉鎖時間は却つて短かくてもよく、大體 2 秒程度に定めてある。

以上の不動時間を  $\tau$  とし、閉鎖時間を  $T$  とすると全負荷から無負荷になつた場合、又無負荷運轉時に急に全負荷の掛つた場合の水車に流入する水量、及速度の變化は概念的に云へば次の如くなる。



第 240 圖

水車が全負荷で運轉して居るとき急にスイッチが開いて無負荷となる。然るに調速機の不動時間  $\tau$  秒間は、何等導翼の動作は始まらないから水量は全負荷時

の水量が流入する爲に、水車は急激に速度が上昇する。τ 秒の後、導翼の閉鎖運動が始まるが、T 秒までは無負荷時の水量よりは多いのであるから、速度はまだ上昇を続ける、T 秒に達したとき、無負荷に相当する水量となり速度上昇は止まる。だから点線の如く速度は約 15% 位上昇したるそのまゝの速度で運轉する。然し全負荷と無負荷と 15% も速度が違つては困る。實際は、T 秒後更に一度は無負荷時開口度以上に導翼を閉遮し、速度を下降して圖の如く緩かに波打つて、3% 程度の上昇の点に止まる様にする。無負荷から全負荷に移る時も全く同様である。

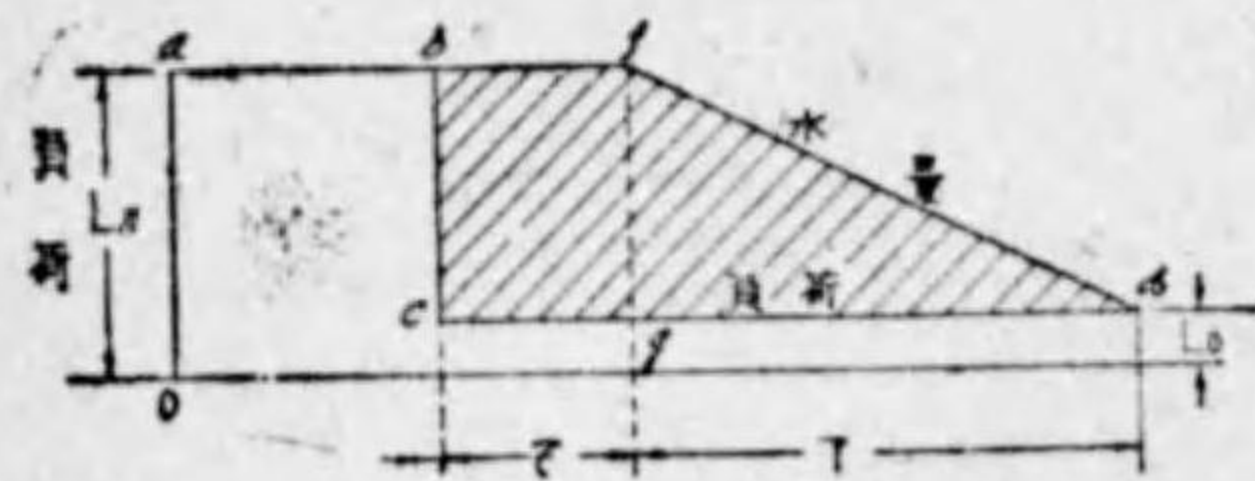
この速度及水量の波打つ現象を揺動 (Hunting) と稱して、已むを得ない事ではあるが出来るだけその量の小さく、又時間の短かい事が望ましい。

普通の水車では最大速度變動率が 15~23% 位、揺動の波は 3 波以内で 15~20 秒程度で収める様にする。その爲に適當な蓄勢輪を附して減衰効果 (Damping effect) を充分ならしめるのである。

C 蓄勢輪効果 (Flywheel effect)

前記の全負荷から無負荷になつた場合、瞬間の速度上昇は 15~23% になると云ふたのは、別に附言しなかつたが、適當なる蓄勢輪がある場合の事である。若し全く蓄勢輪なく、又發電機回轉子にも水車にも少しも慣性がないと考へれば、全負荷から無負荷になつた瞬間に純理論的に云へば、速度は無限に大きくならねばならぬ。

全負荷例へば 1000 kW が急に零となつたとし、調速機の不動時間が 2 秒であるとすれば、その間だけでも 2000 kW.sec のエネルギーは機械の全ての摩擦——これが無負荷運轉に要する動力——に打勝つ動力と、残りは蓄勢輪中に貯へられる回轉のエネルギーとになるより外はない。



第 241 圖

L<sub>n</sub> に相當する出力を kW<sub>n</sub>、L<sub>0</sub> の出力を kW<sub>0</sub> とすれば b, c, g, d, f の面積は

$$(kW_n - kW_0) \times \left( \tau + \frac{T}{2} \right) \text{ kW.sec}$$

として計算し得られる。1 kW.sec = 100 kg.m だから仕事量

$$\Delta k = 100 (kW_n - kW_0) \times \left( \tau + \frac{T}{2} \right) - \text{kg.m} \dots\dots\dots (65)$$

第 241 圖に示す如く、負荷は L<sub>n</sub> から L<sub>0</sub> になり a-b-c-d の如く變る、水量は調速機の不動時間 τ だけ遅れて b-f-d の如く變化する。従つて斜影を施した部分の面積は水が水車に與へた過剰の仕事量である。

一方負荷 L<sub>n</sub> のとき、速度が N<sub>n</sub> で負荷が L<sub>0</sub> になつたとき、N<sub>0</sub> の速度になつたとすれば回轉体の運轉エネルギーの増加は次の如く書ける。

$$I = \text{回轉体の慣性能率 (moment of Inertia)} = wR^2$$

w = 回轉体の重量 kg

R = 回轉半径 (radius of Gyration)

回轉半径と云ふのはある回轉体のすべての重量が中心からのある距離に集中したと考へられるその距離を云ふので、厚さの一樣な圓盤なら、半径の 75% に當る。又現在の場合では單に蓄勢輪のみでなく、發電機の回轉子も水車のランナーも凡て含むのであるから本當は  $I = \sum wR^2$  と書くべきだが、簡單の爲單一の蓄勢輪のみの如く書く。すると運動のエネルギーの式は

$$k = \frac{1}{2g} I \omega^2$$

ω = 角速度 radian/sec

此式は  $\omega = \frac{2\pi N}{60}$  であるから

$$k = \frac{1}{2g} I \omega^2 = \frac{1}{2g} \frac{wR^2 (2\pi)^2 N^2}{(60)^2} \quad \text{となり}$$

$$\frac{w}{g} = m \text{ (質量)} \quad \frac{2\pi RN}{60} = v \text{ (周邊速度)}$$

と考へると  $\frac{1}{2}mv^2$  の周知の運動のエネルギーの式となる。

上記の式を念頭に置いて、回轉数が N<sub>n</sub> のとき及 N<sub>0</sub> になつた場合の夫々の回轉体の保有する運動のエネルギーを書く

$$k_n = \frac{1}{2} \times \frac{I}{g} \left( \frac{2\pi N_n}{60} \right)^2 = 5.55 \times 10^{-4} I N_n^2 - \text{kg.m} \dots\dots\dots (66)$$

$$k_0 = \frac{1}{2} \times \frac{I}{g} \left( \frac{2\pi N_0}{60} \right)^2 = 5.55 \times 10^{-4} I N_0^2 - \text{kg.m} \dots\dots\dots (67)$$

兩者の差は

$$\Delta k = k_0 - k_n = 5.55 \times 10^{-4} I (N_0^2 - N_n^2) - \text{kg.m} \dots\dots\dots (68)$$

又 N<sub>0</sub> - N<sub>n</sub> = ΔN とすれば、速度變動率は

$$\delta = \frac{N_0 - N_n}{N_n} \times 100 = \frac{\Delta N}{N_n} \times 100 \dots\dots\dots (69)$$

となる。

更に  $\frac{\Delta k}{k_n}$  を求める。

$$\frac{\Delta k}{k_n} = \frac{5.55 \times 10^{-4} I (N_0^2 - N_n^2)}{5.55 \times 10^{-4} I N_n^2} = \frac{(N_0 - N_n)(N_0 + N_n)}{N_n^2}$$

$$= \frac{2 \Delta N}{N_n} = \frac{2\delta}{100} \dots\dots\dots (70)$$

但し  $N_0 - N_n = \Delta N$

$$N_0 + N_n = 2N_n + \Delta N = 2N_n$$

( $\Delta N$  は小さい値だから  $2N_n$  に対して省略する)

(70) 式を  $\Delta k = \frac{2\delta}{100} k_n$  と見て (65) 式と等しと置いて

$$\frac{2\delta}{100} \times 5.55 \times 10^{-4} IN_n^2 = 100(kW_n - kW_0) \left( \tau + \frac{T}{2} \right) \dots\dots (71)$$

$$\delta = 9 \times 10^6 (kW_n - kW_0) \times \frac{\tau + \frac{T}{2}}{IN_n^2} \dots\dots\dots (72)$$

今、调速機の不動時間  $\tau = 0.5 \text{ sec}$  閉鎖時間  $T = 2.0 \text{ sec}$

$N = 500 \text{ r.p.m}$   $W = \text{蓄勢輪の重量} = 2000 \text{ kg}$   $R = \text{回轉半徑} = 0.8 \text{ m}$

従つて

$$I = WR^2 = 2000 \times (0.8)^2 = 1280 \text{ kg.m}^2$$

又  $kW_n = 300 \text{ kW}$

無負荷運轉時の所要電力  $kW_0 = 0.1kW_n$  とすれば

$$\delta = 9 \times 10^6 (300 - 30) \times \frac{0.5 + 1}{1280 \times (500)^2} = 11.4\%$$

(18) 水車の諸附属品

A 制壓機 (Pressure Regulator)

调速機が動作して水車の水口を徐々に閉鎖する場合に水壓鐵管内に水壓の上昇を來す。短時間に閉鎖すれば所謂水槌作用を生ずるのは既に述べた所であるが、緩漫に行つても少量の水壓上昇は生じないわけには行かぬ。

$L = \text{水壓管の長さ m}$

$A = \text{管の切斷面積 m}^2$

$v_1 = \text{水口を全開した場合の管内の水の流速 m/sec}$

$v_0 = \text{無負荷になつた時の流速 m/sec}$

$T_r = \text{全開から無負荷閉口までの時間 sec}$

全開口の時、管内に充滿せる水の運動量は

$$M_1 = \frac{1000 AL}{g} v_1$$

無負荷閉口の場合は

$$M_0 = \frac{1000 AL}{g} v_0$$

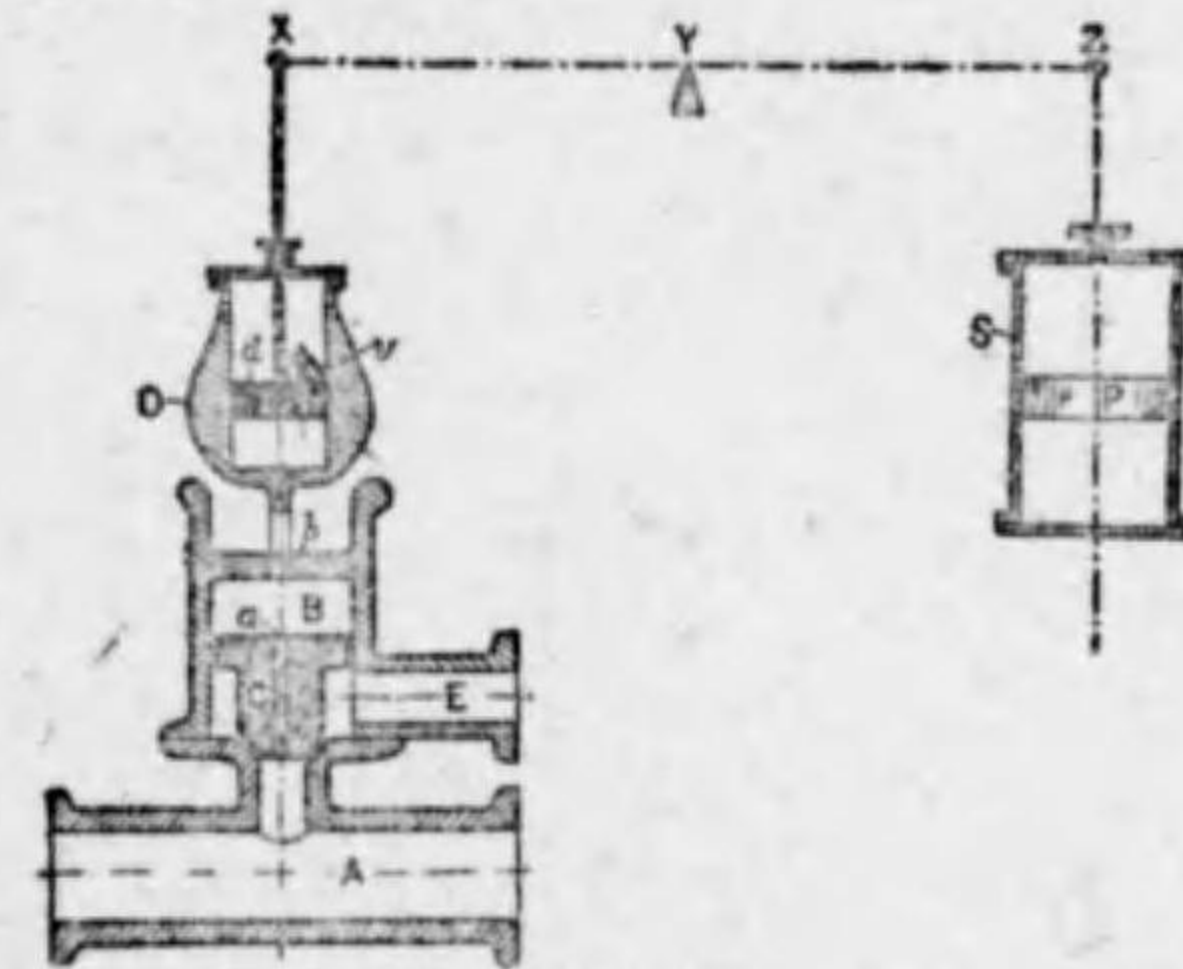
兩者の差は流水の運動量を  $M_1$  から  $M_0$  に變へる爲に流水に逆つて與へられた力である。

$$F(\text{kg}) = \frac{M_1 - M_0}{T_r} = \frac{1000 AL}{g} \times \frac{(v_1 - v_0)}{T_r}$$

これを管の切斷面積に割り當て、且つ  $\text{kg/cm}^2$  の單位になる様によれば

$$P(\text{kg/cm}^2) = \frac{F}{A \times 100^2} = \frac{1000 L}{100^2 \times 9.8} \times \frac{v_1 - v_0}{T_r} = \frac{1}{98} \times \frac{v_1 - v_0}{T_r}$$

前節蓄勢輪効果の條下で全負荷から急に無負荷にした場合、速度上昇を或る値以下に止めんとすれば、蓄勢輪の非常に大なるものを要する事と调速機の閉鎖時間が充分短くないといけない事を説いた。然し水車の出力が大きなるに従つて蓄勢輪の所要重量は過大なものになるから、無暗に大きくする事も出来ぬ。调速機の閉鎖時間は短かくすれば、前記 (72) 式の價が過大になる。そこで制壓機なるものを考案して、閉鎖時間は短かくし、その代り一時水を他に放出してやる装置である。



第 242 圖

ベルトン車に於ては折流板を以て水流を屈折する事は前に述べた。

第 242 圖は、その一種で、S はサーボ・モーター、D は彈壺 (dash pot) と稱し、内に油を充たして、ピストンには  $d$  なる小孔と  $v$  なる弁がある。ピストンが緩徐に上下する場合には、油は  $d$  及  $v$  から逃れてピストンは自由に摺動するが、今急にサーボモーターのピストンが引き下

げられると、 $d$  の小孔から油が逃れきれないで、彈壺 D も一緒に引き上げる。すると彈壺はその自重で  $b$  なる孔を押へて居たのが開いて、B 中の水を  $b$  孔から逃がす。すると C なる栓が上方に浮いて、壓力水は A 管から E へ逃がれる。

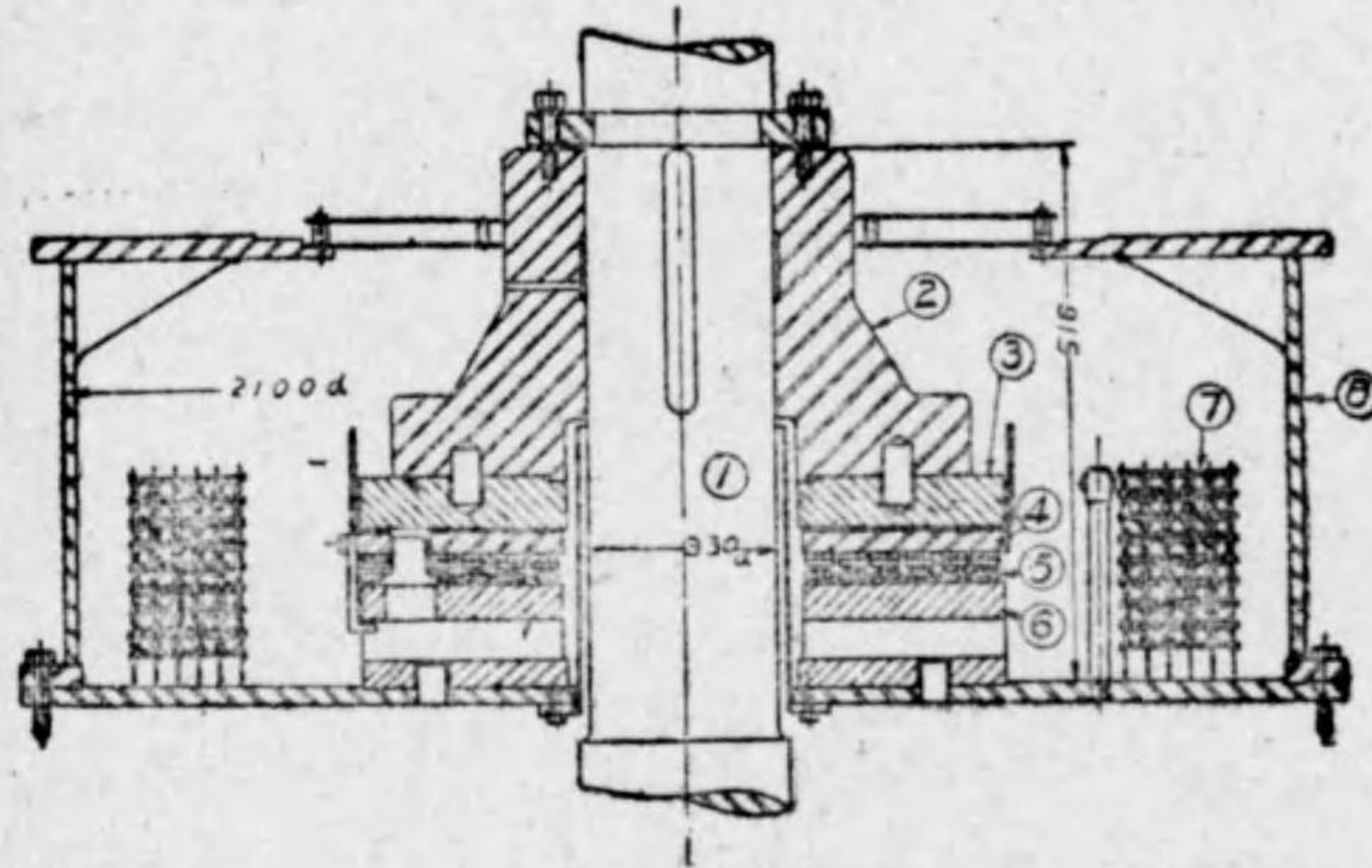
制壓機の機構は各社各々特殊の構造を有して居て、種類は甚だ多いが、原理は略似たものである。中落差以上のフランシス車に用ひられる。露出型及プロペラ車には必要がない。

B 推力軸承 (thrust Bearing)

近時ベルトン車を除いては、堅型が壓倒的優勢を占めるに到つた。その理由は建物面積の少なくすむ事、洪水に對して安全なる事等によるものである事は既に述べた。而してこれと技術的に可能ならしめたのは優秀なる推力軸承の出現によつたのである。

水車に用ひられる推力軸承は 2 種類で、キングスベリー (kings bury) 一或

は、ミツチエル (michell) 型と、スプリング・スラスト・ベアリング (Spring thrust Bearing) である。ミツチエル型の方は蒸汽タービンの條下に述べた。構造に幾分の差違はあるが、原理は同一だから省略する。



許容水推荷重—175,000kg ①軸 ②キャップ ③回転板 ④静止板  
⑤スプリング ⑥スプリング台 ⑦水冷管 ⑧ハウジング

第 243 圖

スプリング型は 1918 年米國の G.E 社で發明されたもので、第 243 圖に示すが如き構造で發電機の上に取り付けるのが普通だ。

⑧の回転板を薄い④の静止板で受け、これは又⑤なる多くのスプリングに支へられて居る。この構造の原理は、次の様に云はれて居る。

軸承は薄い油の膜の上に浮いて居るものである。油の厚さは 2~3 mil (1/1000 吋を mil と云ふ) である。そして決して軸承の金屬と金屬とが接觸してはならないものだ。

然るに軸受が焼けると云ふのは、必ず金屬と金屬が直接摺れ合ふからである。推力軸承に於て、金屬が直接金屬と摺合ふ爲にはその部分の油を押し出して仕舞つた後でなければならない。その爲には局部的に異常な壓力が生じなければならぬ。

だから軸承のバッドを受ける板の方を柔軟な薄いものにして、且つその下にスプリングを置けば異常な壓力を生じたら、その部分が凹んでくれて、油が押し出されない。油が押し出されぬ以上は焼ける事はない。

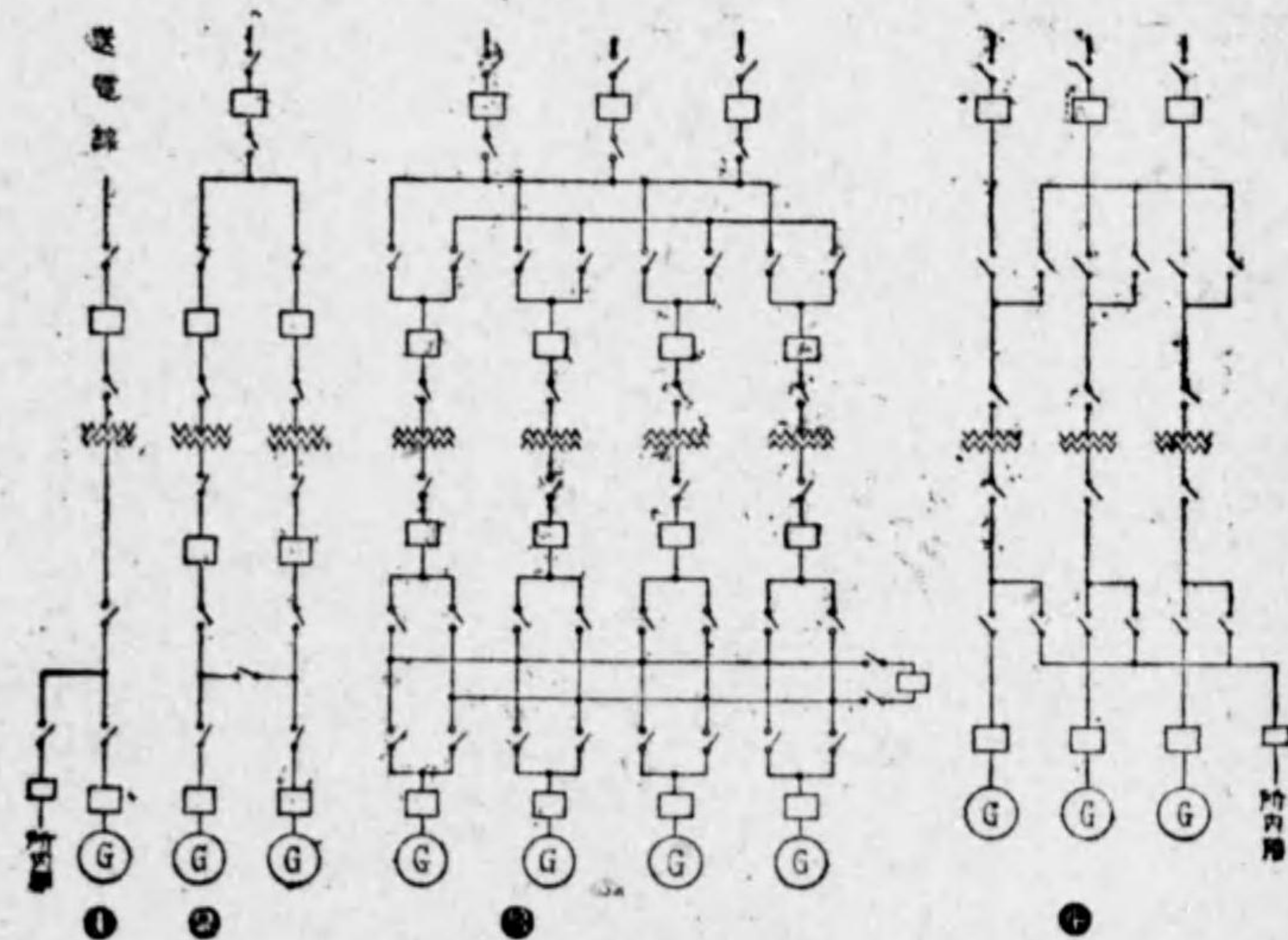
實際は必ずしも、如上の通りには行かぬが、兎に角、よく用ひられる軸承である。

### 第四章 電氣設備

#### (19) 電氣設備の分類と概説

發電所のみならず、すべての電氣施設は、我國では甚だよく統制されて居る。更に電力國家管理案によつてその統制は一層強化されるだらう。三相交流がよいと云へば都會も田舎も皆電線 3 本になる。チェリー方式と云ふ直流高壓もなければ單相交流もない。周波數でも關東は 50, 關西は 60, 九州の北部が 50 で、中南部は 60, 北海道は 60 で滿洲國は 50 と截然として定められてある。倫敦では街に古風な瓦斯燈が燦然と輝いて居て、15 サイクルから 133 サイクル迄雜然として混在したり、紐育でさへ目抜のマンハツタンの中に直流配線や交流 4 線式が澤山あるのと較べれば、我國の整然たる秩序は誠に喜ぶべきだが、余り單一で淋しい位だ。發電所も同様で、電氣方式は 3 相交流以外にはない。周波數は前記の地方別で定つて居る。それに従つて細かい部分まで必然的に略一定の型に嵌められて居る。

箇々の機器に就いては夫々の節に於て説述するが、電氣設備全体としての分類は先づ接続回路の方式から云ふがよからう。



第 244 圖

第 244 圖の ① は最も簡單な場合で、1 發電機、1 變壓器、1 送電線で、圖の如き接続法を取るより外はない。

② は、2~3 發電機とそれに相應した變壓器のある場合で、發電機側に接続母

線 (Tie Bus) を入れて並列運転と切換へとをなし得る様にし、変圧器の後に母線を置いて2変圧器を並列にし、それから送電線へ接続して居る。切換にも負荷の増減にも便利であるが①と對比して明かに2箇の油入遮断器が増加することがわかる。

③は最も普通に用ひられる接続回路で、低圧側(発電機側)にも母線を置き、又高圧側にも母線を置いてある。圖は二重母線単一遮断方式(Double Bus Single Breaker System)で、母線はいづれも二重にあるが、それに接続する油入遮断器は1箇である。遮断器を二重にしたもの(Double Breaker System)母線を環状にしたもの(Ring Bus)等があつて、夫々得失があるが、それは母線の條下で述べる。

④は單位式(Unit System)と云はれる方式で、1発電機、1変圧器が直列に接続された形で、高圧側及低圧側に母線があるが、これは切換母線(Transfer Bus)で並列用には用ひない。

⑤の方式は復器であるが、使用上便利な点が多い。然し発電機の容量が非常に大きくなるとすべての発電機を並列に用ひる事は遮断器の容量が——短絡等の場合に——耐え切れなくなる。そこでこの⑥の方式が考へ出されたので、これは近時の著しい傾向である。

## (20) 水力用発電機に就いての再認識

### (A) 発電機の型式

水力用発電機は、普通凸極回轉磁界型で、極数は

$$P = \frac{120 f}{n} \quad f = \text{周波數} \quad n = \text{r.p.m}$$

の式に依つて定まるから、回轉數が極く速いので750位から遅いのは150位だから、極数は8乃至48の多數に上る。蒸汽タービン用の2~4と較べて甚だしい相違がある。

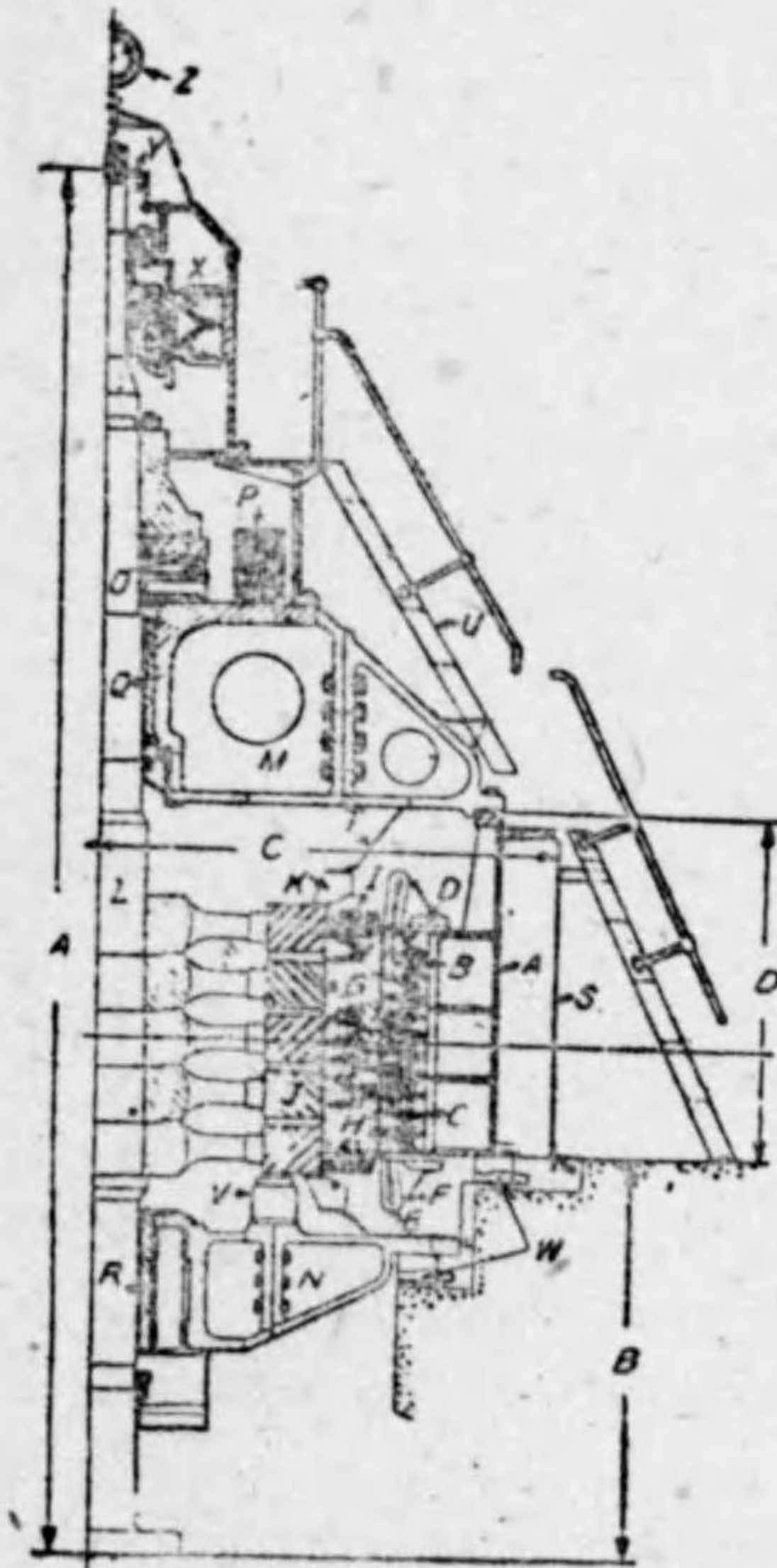
第245圖は堅型の新らしい型の断面圖である。車殼(hub)は鑄鐵、又は鑄鋼で作る。時には厚さ18~30mm位の圓板を重ねる事もある。形体が大きいから單一のものとする事が困難だからである。磁極は3耗程度の鋼板を重ねて成形し、フブテール(dove tail)によつて車殼に取り付ける。界磁線輪は平銅(厚さ0.8~3mm位、巾25~40mm位の銅の細帯)をエヂワイズ(edge wise)に捲く事蒸汽タービン発電機の場合と同様である。

固定子の捲線には色々の型式がある。

#### ① 鎖形捲(單層捲)(Chain winding)

第246圖の如く、1分溝(Slot)中には1つのコイルだけ入れて1極1相

の溝數(No. of slots per pole per phase)が2つ以上の場合はコイルの大きさが夫々異なる様になる。この捲方は1分溝中にコイルが1つだけしか入らぬから工作、特に絶縁に便があるから、獨乙の製品には甚だ多かつたが、短節捲(Shot pitch winding)が出来ぬ。又豫備品を備へるに各種のコイルを必要とする等の缺點がある爲、現在では殆んど用ひられて居ない。



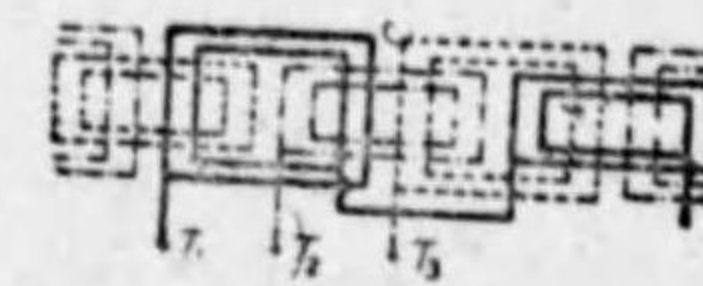
第245圖 機型交流整

ルに移るときの進行方向が異なるだけで、實質的の差違はない。

直流機に於ては、波捲を直捲(Series winding)と云ひ、重捲を並列捲(Parallel winding)と稱して、名の如き特性を有して居ることは捲方を辿つて見れば直に理解出来る。

猶、1極1相の溝數が1箇なるものを集中捲(Concentrated winding), 2以上のものを分布捲(Distributed winding)等の呼稱もあるが、構造上から来る必然の結果で重要な分類ではない。

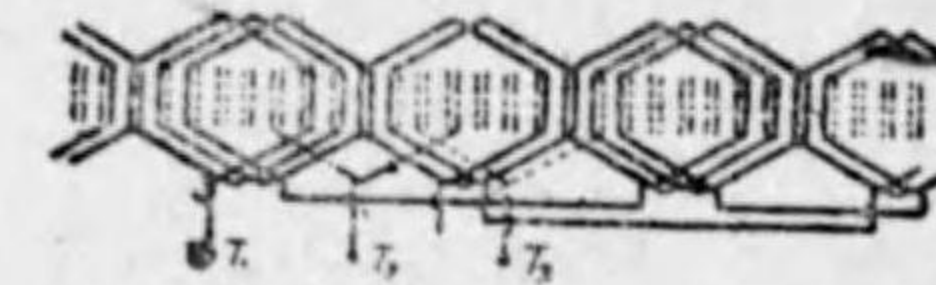
#### ② 全節捲(Full pitch winding)



第246圖 鎖形捲

#### ③ 重捲(Lap winding)

第247圖の如く、1分溝中には2箇のコイルを上段と下段とに分けて入れ、



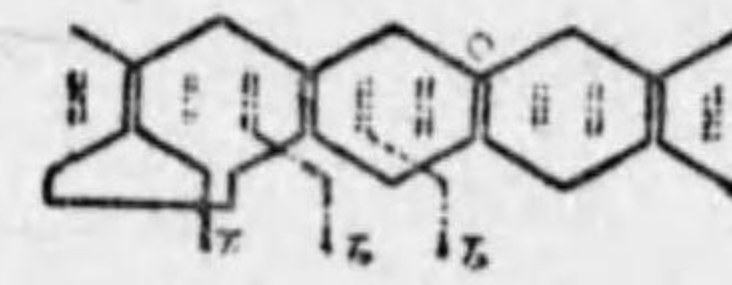
第247圖 重捲

順次に捲き重ねて行く方法で、二層捲(Double layer winding)と稱される。

この變形に

#### ④ 波捲(wave winding)

と稱するのがある。第248圖の如く、重捲と異なる点は、1コイルから次のコイ



第248圖 波捲

コイルピッチが極間隔に等しきものを全節捲と云ふ。往時はこの捲方を用いたのであるが、これは空隙の磁束分布状態がそのまま電圧波形になつて現れる。而して特に水力発電機に於ては磁束の分布が梯形になる。

その理由は、蒸汽タービン発電機の界磁捲線は分布されて居るが、水力発電機の界磁捲線は所謂集中捲線であるから、磁極の表面は、均等の起磁力 (magnet motive force) を受けて、到底サイン (Sine) 形の磁束分布をしない。だから極面の中央部は空隙を短かくし、左右は大にして幾分これを匡正するけれども、猶甚だしい梯形の跡を残すものである。梯形波形には云ふ迄もなく第3高調波を含有する。これを除去するには短節捲より外にはない。

#### ⑤ 短節捲 (Short pitch winding)

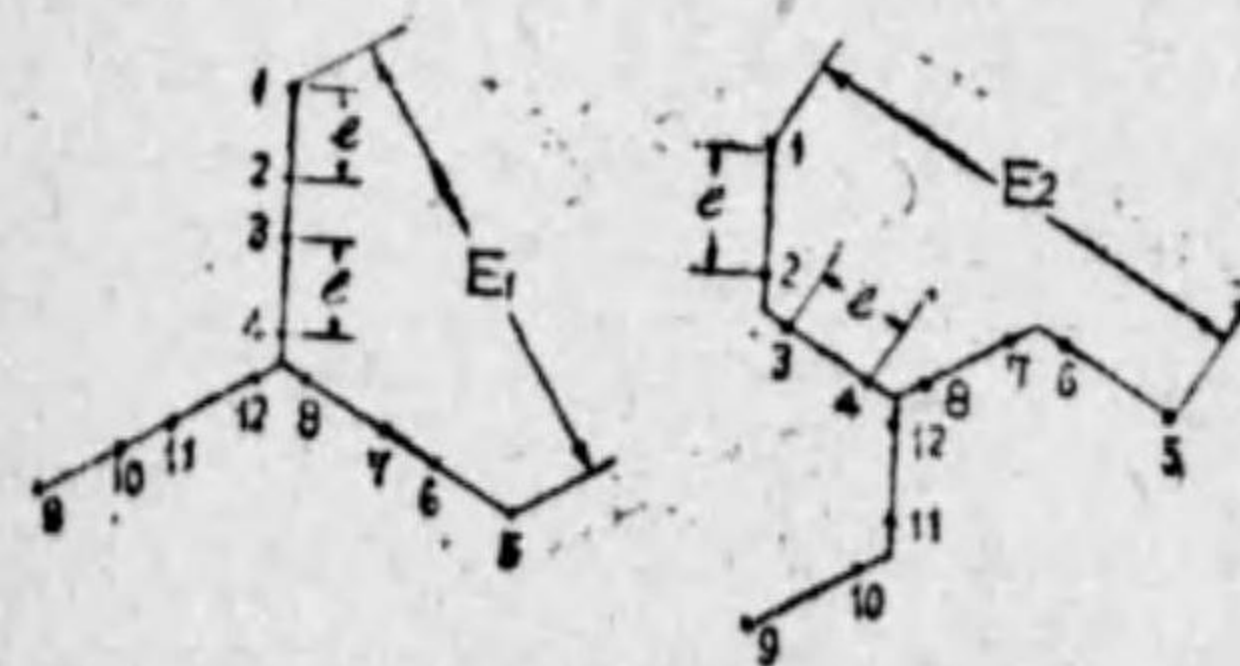
これはコイルのピッチが極間隔より短かいものを稱するので、第3高調波を除去するには  $\frac{1}{2}$  だけ短かくすればよろしい。又かくすると、溝による漣波 (Slot ripple) も大抵は消えるし、コイルの間隔が狭くなるから、端コイル (end coil) の長さが節約される等の利益もあるので、現在ではごく小容量のものを除いては多くは短節捲を用ひて居る。

#### (B) 相間接続 (Phase Connection)

三角結線は、殆んど用ひられない。線間電圧が直に相電圧になること、第3高調波による循環電流が流れて線輪を無益に熱すること及中性点接地が出来ないから保安上も面白くないのみならず、接地機電器其他の保護装置が取り付けられないからである。但し、往時、発電機電圧が 3000 V 程度で、變壓器を用ひずに直接送電をして居た頃には、送電線の1線に接地が起つても、そのまま繼續送電が出来るとか、又は1相に故障が起つても V 結線で使へるとか云ふて却つて三角結線を喜んだ時代もあるのであるが、謬想であるのは云ふ迄もない。

星形結線の利益は前記の逆で、大容量のものは二重又は三重の星形結線を用ふる。

50 サイクルと 60 サイクルとを併用する場合には、豫め各相を 2 つに分割してその端子を機外に引き出して置き 50 サイクルの場合には星形結線とし 60 サイクルの時には千鳥星形にする



第 249 圖

各相の 2 分した電圧を  $e$  とすれば星形の場合の線間電圧は

$$E_1 = 2\sqrt{3}e = 3.47e$$

千鳥星形の線間電圧は

$$E_2 = 3e$$

然るに、千鳥星形のときは 60 サイクル用だから、回轉速度が

60/50 倍になるからその時の電圧を  $E_2'$  とすれば

$$E_2' = 3e \times \frac{60}{50} = 3.6e$$

即ち、50 サイクル用に比して 4% だけ高い電圧となるが、これは勵磁電流によつて調整する。

#### (C) 発電機の電圧

我國の交流定格電圧は、110, 220, 3300 (3450), 6600, 11,000V である。110, 220V は低壓で勿論発電機には用ひない。3300V (3450 V は発電機電圧を以て直接送配電する極めて小容量のもの) は小容量のものに時々用ひられ、6600V は大約 15 年前まではよく発電所に用ひられたが、現在では先づ 11,000 V が普通だと云ふてよい。

これ以上は (13,400V が近時大容量のものに用ひられるが) 工作上面白くないので、発電機電圧は、先づ 10,000V とし、變壓器で任意に選昇して居る。

#### (D) 定格力率

発電機の力率は、負荷の性質によつて定められるもので、発電機側で左右し得られるものではないが、大体 75% 以下のものもなく 90% を越えるものも少ない。我國での標準は 80% としてある。だからこれ以下の力率で使へば出力は定格の場合でも電流が多くなり、且つ定格の電圧を保つ爲に勵磁電流を大にしなければならぬから、自然発電機の過熱を生ずる。

水力用発電機として注意すべきは、送電線の影響で、特に長い送電線に對して小容量の発電機が接続されて居る場合、負荷が零になると、送電線の充電電流の影響が激しく現れる。進相電流を取るから電圧はぐんぐん上昇する。遂に発電機の勵磁を零にし、又は逆方向に勵磁してきへ受電端の電圧は正規電圧以上になる猶充電電流の値は過大となつて発電機を焼損するに到る。だから長距離の送電線を有する発電所では豫め送電線の充電電流値を計測して、それに耐える様、2 台又はそれ以上の発電機を並列に接続し、決して単機では充電しない様にするとか又受電端リアクタンスコイルを設備して負荷を取去ると共にこれを送電線に接続し発電所としては無負荷で送電線に接続する事のない様にしたものである。現時は發達して、受電端に必ず大なる——殆んど發電所と同容量か少なくとも 80% 程度に該當する程の調相機を設備するから、如上の心配は殆んどない。

#### (E) 能率

能率は小型のものでも 94% を下るものは少ない。大容量のものは 97.5% 程度である。水力用発電機は、蒸汽タービン発電機に比して回轉数が甚だ低いから勵磁損が後者に比べると甚だ多くなる。

発電機容量 (kW)	100	1000	5000	10000	30000
勵磁損 (%)	2~4	1~2	0.6~1.5	0.5~0.7	0.4~0.5

それでも、上表の如く極めて小さな値である。小さい方の値は速度の速いもので大なる値は速度の遅い機械に對するものである。速度が遅いと極数が多くなる。従つて勵磁損が大きくなる。

其の他の損失、即ち鐵損、銅損、風損の各々の割合は各製作者により、機械の性質によつて異なる故、一概に表示するには資料が乏しいが、能率 97.5% の機械なら勵磁損が 0.5%、風損が 0.5%、鐵損が 1.2%、銅損が 0.8% 程度と見て大なる間違ひはない。即ち勵磁損を控除した残りの損失を、鐵、銅、風が 5, 3, 2 の割合で受持つ程度である。これが蒸気タービン発電機では、逆に 3, 3, 4 位の割合だと云ふに對比して相當の差違のある事がわかる。

その理由は、後者は 1500~3600r.p.m と云ふ高速で、前者は 120~750 r.p.m である速度の差で、且つ前者は小容積内に發生する熱を他へ速に移行せしめる必要から風損が多くなるのである。又、極数多く直徑大なる結果、鐵量の多い機械 (iron machine—これに反し蒸気タービン発電機の如きを Copper machine と稱する) となり、同時に磁氣飽和も高いから鐵損が多くなる。

周知の如く固定損と變動損 (鐵損及風損と銅損) の比が等しくなつたとき最高能率になるのだから、水力用発電機は普通全負荷に於て、未だその最高能率点に達して居ないのが常だ。

#### (F) 電壓變動率 (Voltage Regulation)

電壓變動率とは、勵磁及速度を一定にして置いて、ある力率で定格出力 (全負荷) から急に無負荷にした場合の電壓の上昇割合を云ふので、この定格電壓に對する比例を % で表して變動率と云つて居る。即ち

$$\text{變動率} = \frac{V_1 - V}{V} \times 100$$

$V_1$  = 無負荷にした場合の電壓     $V$  = 指定力率にて定格出力の場合の電壓

變動率は、力率によつて甚だしく値が異なるから、必ず幾 % の力率に於ける變動率と云はねば意味をなさぬ。

變動率を算出するには次の四つの方法がある。

① 直接負荷法で定格出力に相當する負荷をかけ、急に無負荷にしてその上昇電壓を計る。但し急に無負荷にすると速度が 10% 以内上昇する。この速度上昇による電壓の上昇は採らない。嚴格に云へば、無負荷になつて上昇した速度は落着いても、全負荷の時より 2~3% は高いのであるから、サーボモーターを働かせて定格速度にし、その時の電壓上昇を読むのである。

この方法は、力率 100% の場合は水抵抗等で容易に出来るが、指定の力率にす

る事は他に大なる容量の発電所があつて、それと並列に實際負荷に接続する場合でもなければ得られない。

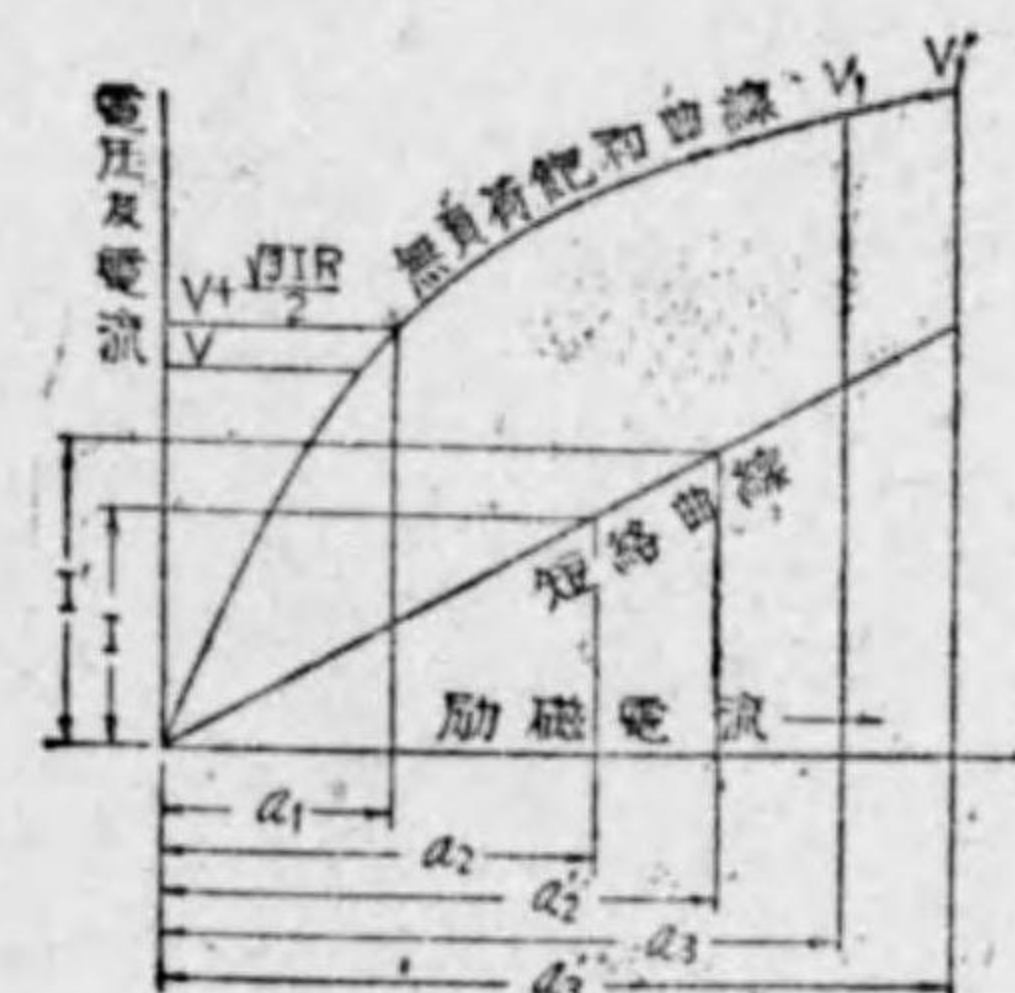
② は無負荷飽和曲線と零力率全負荷飽和曲線を描いて求める方法。

③ は無負荷飽和曲線と短絡曲線より全負荷零力率飽和曲線を求め、それから算出する方法で

この2つは発電機の固有リアクタンス (inherent reactance) 及 抵抗値等が正確に知られて居ないと出来ない。従つてこれは機械製作者がその實測値又は設計値から豫定數値とし算出する場合に用ひられる方法で、現場向ではない。

運轉者が、これを算出するには無負荷飽和曲線と、短絡曲線とからする第4の方法が先づよいとされて居る。

④ 無負荷飽和曲線と短絡曲線は現場でも試験することが困難でないし、又必ず製作者の試験表に記載されて居るものである。



第 250 圖

にわかる。即ち短絡電流は発電機の抵抗は極めて小さく、リアクタンスはこれに比べれば大きいから、短絡電流は起電壓に對して殆んど正しく 90° 遅れて居る。短絡電流によるアムペアターンは減磁アムペアターン (Demagnetizing ampere turn) として働くものだからである。即ち力率 100% のとき電流  $I$  を通じ且つ端子電壓を  $V$  に保つに要する勵磁電流は  $a_3$  でそれに相應する無負荷電壓は  $V_1$  であるから

$$\text{變動率} = \frac{V_1 - V}{V} \times 100\%$$

又力率 100% 以外の任意の力率  $\cos\phi$  に對しては  $I' = \frac{I}{\cos\phi}$  として、 $I'$  に對する前記の方法を行へばよい。

昔は電壓變動率の小なるを以てよい機械と稱した。その爲には機械のリアクタンスが小さいのがよいとせられた。然しリアクタンスが小さいと短絡電流が大き

$V$  = 定格電壓

$a_1$  = 無負荷飽和曲線上の、 $V$  に相應する勵磁電流

$I$  = 定格電流の値

$a_2$  =  $I$  に對する勵磁電流

とすれば、100% 力率に於て電流  $I$  に對して定格電壓  $V$  を保つべき勵磁電流値

$$a_3 = \sqrt{a_2^2 + a_1^2}$$

として與へられる。

一寸見ると  $a_3 = a_1 + a_2$  として差支なきさうだが、これは短絡電流の性質を考へれば直



くなる。故障時の被害が大きいので、変動率は悪くともリアクタンスは相當の大きになければならぬと云ふ事になつて、現時では寧ろ如何にして適當の大きさのリアクタンスを有せしむるか云ふ事を製作者が苦心する程である。蒸汽タービン発電機ではリアクタンスは甚だ小さい。水力用のものは稍大きくなる。大抵12~25%位のリアクタンスを有して居る。即ち定格電流にリアクタンスを乗じた値が定格電圧の12~25%と云ふ意味である。

#### (G) 温度上昇 (Temperature rise)

発電機内の損失電力はすべて熱になる。熱は発電機の温度を高める。或る温度に達すると発生する熱量と放散する熱量が等しくなつて温度は一定になる。これを発電機の上昇温度と云ふ。

周囲の空気温度を普通 40°C とし最大温度上昇 (maximum temperature rise) を限定するのであるが、結局は使用された絶縁材料の許容耐力で定められるのであるから、寒地とか、冬期では幾分発電機の容量が増加することになる。

されば冷却法も、往時 6000 kW 程度までの発電機は開放型で、熱空気はそのまゝ室内に放出された、だから発電機室内は夏期などは非常な暑さで、従つて周囲の空気温度を 40°C としその上に温度上昇を考へると云ふ様な規程も出来たのである。然し発電機の容量の増加と共に開放型では従業員の苦痛も甚だしいからすべて密閉型となつた。蒸汽タービン発電機の如く全密閉循環式ではない、下方の放水口、又は堅型ならば水車室から空気を採り熱せられた空気は室外に放出する様にする。幾分の塵埃は伴ふが火力の如き混濁はないから循環式にしてこれを水で冷却する程の必要はない。だから大抵台湾を除けば 25°C 程度の空気が得られる。

許容最高温度 (allowable temperature rise) は絶縁材料に依つて、次表の如く定められてある。

級	材 料	最 高 温 度 °C	最大温度 上昇 °C
A	木綿、絹、紙及之に類似の材料をワニス類にて含浸したる場合又は常に油中に浸したる場合並にエナメル線	105	65
B	雲母、石棉、其他の高温度に耐え得る材料を A 種材料と共に用ゆる場合に A 種材料は單に構造上の目的に使用せられ之が損することあるも全体として電氣的及機械的性質を害せざるもの (マイカナイト、石棉紙等の如し)	125	85
C	生雲母、石棉、磁器、石英其他の B 種より高き温度に耐え得る材料	制限を附せず	

絹、木綿、絹、紙及類似の材料をワニス類にて含浸せず、又油中に浸さる場合にありては最高温度及最大温度上昇共に A 級の指定温度より 15°C を減じたるものたるべし。

木綿、絹、紙等をワニス含浸をせずに使用するのは低壓の小電動機に限る。高壓 (3000V 以上) になれば必ず A 級の材料を使用する。特に発電機は 3000V 級のものでも B 級以下の絶縁材は使用しない。マイカナイトとは美濃紙の上に雲母の薄小片をワニスを以て貼り付けて適當の厚さにしたもの、石棉紙も同様二枚の紙の間に石棉の繊維を並べたものである。大容量の発電機はコイル等は生雲母以外のものは使はないから、C 級であると云へるのだが、矢張温度上昇は B 級を限度として居る。

注意までに記すが、上記の表は絶縁材料の許容温度で、発電機そのもの、温度ではない。前述の如く発電機の許容温度は絶縁材料で限定されるから、それ以上になることは許されぬが、以下ならば實は使用者と製作者の協定で任意なのである。大抵は 55°C 上昇を限度とするが、中にはもつと高いものもある。例へば、スタータービン発電機などは発電機軸の一端には 400°C の蒸汽が通るのだから発電機全体の温度上昇は却々 50°C や 60°C では收らない。

温度の測定法は 3 種類ある。

① は発電機の最も温度の高そうな所に寒暖計を「パチ」ではり付けて計るので往時の開放型の場合は固定子鉄心の外側などにつけて行つたものであるが、不正確だから今は殆んど行はない。

② 運轉を停止して、捲線の抵抗を測る方法であるが、スイッチを切つて直流電源からの接続線を持つて来てアムメーターとヴォルトメーターで測るのだから製作所の試験室でなら可能だし、又上手にやれば最も正確なのだが現場では先づ出来ない。

③ は埋込温度計によるもので、温度係数の明かに知られて居る——例へばニツケル線の如き——細線を誘起電圧の影響を受けぬ様によく捻回して、固定子捲線の上コイルと下コイルの間に挿入し、ブリツチ接続の一つの腕にこれを入れる様に接続し、蓄電池からの電流を時々通して配電盤で読み得る様にする。

#### (H) 絶縁耐力及絶縁抵抗

絶縁抵抗は運轉及停止の前後に測つて記録するものだが、特に試運轉前には注意すべき事項である。長い据付期間放置されて濕氣を吸収して居るから最初は甚だ低い。乾燥するに従つて高くなる。そして最小限度

$$\text{絶縁抵抗 (m}\Omega \text{ メグオーム)} = \frac{\text{端子電圧}}{\text{容量 (kVA)} + 1000}$$

までは達せしめる必要がある。

これは 500V のメツガーで測ることになつて居るが、1000V のものを使ふ場合はリード線自身の絶縁が低くて誤差を生ずることもある。絶縁耐力は日本電氣機器標準規程では  $2 \times (\text{定格電圧}) + 1000\text{V}$  (1 分間) であるが、電氣工作物規程

では  $1.5 \times$  (最大使用電圧) 10 分間である。但し星形結線で中性点接地の場合は 1.25 倍で良い。

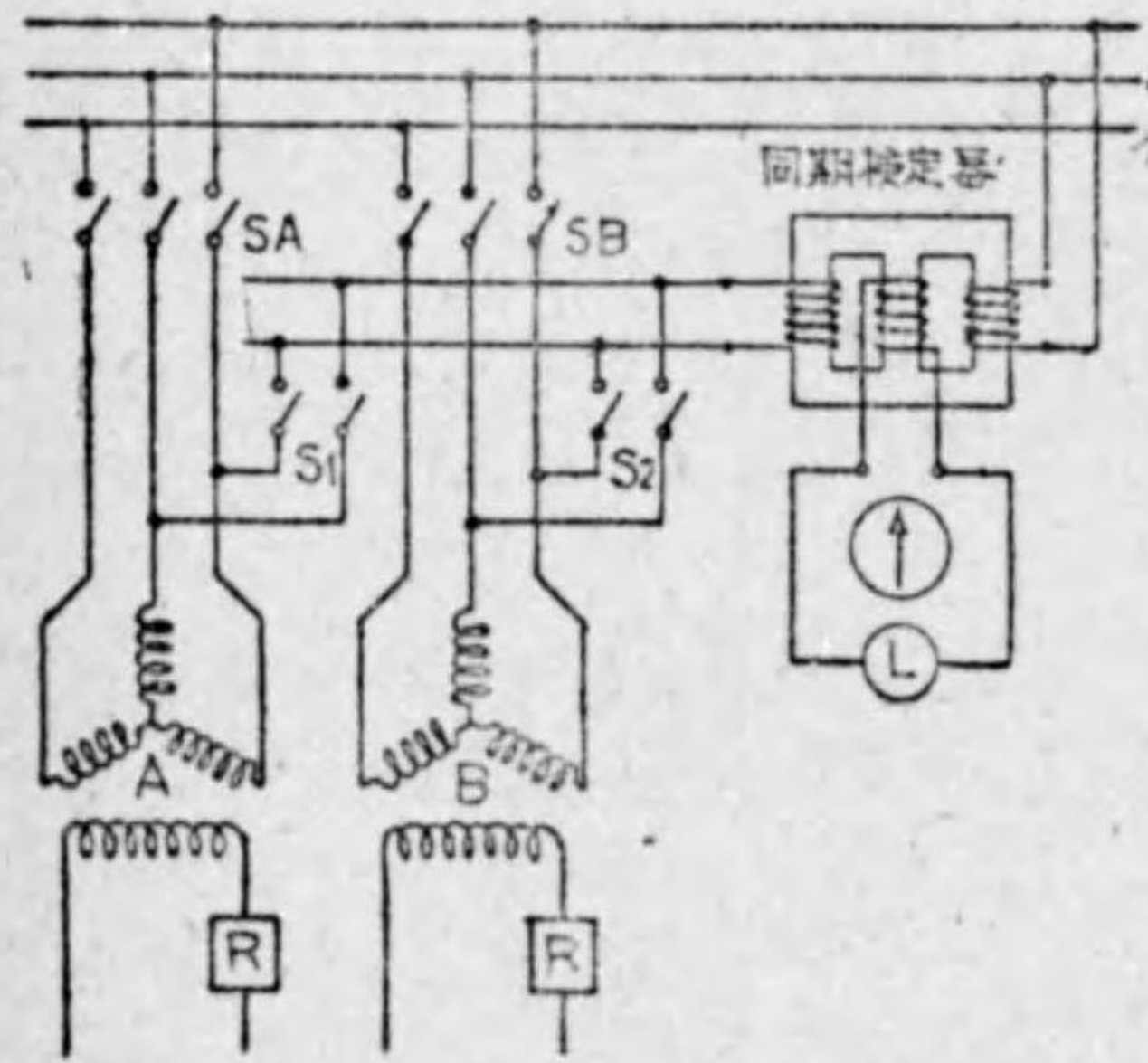
勵磁捲線の方は、勵磁の定格電圧の 10 倍、但し最小 1500 V 最高 3500 V とする、勵磁捲線の方はなぜそんなに高い比例を取るかと云ふに、勵磁電圧は大抵 120V 位から 250V の如き低電圧だから、その 2 倍や 3 倍では何の試験にもならぬからだ云ふ理由もあるが、又界磁捲線の回数が相當多いから發電子反作用で大きな誘導電圧を生ずることがあるからである。

### (I) 並行運轉 (Parallel running)

唯 1 台の發電機で單獨に送電、又は配電することは殆んどない。數台の發電機或は數ヶ所の發電所が並行運轉するのが常である。

並行運轉の條件としては機械としては電圧の實効値並に波形がよく一致したものでなければならず、操作の條件としては周波數と位相とが一致しなければならないのは、既に第三卷で詳述されて居るから更めて述べない。

2 つの發電機の同期を検する同期檢定器 (Synchronizer) の接続は第 251 圖の如くである。

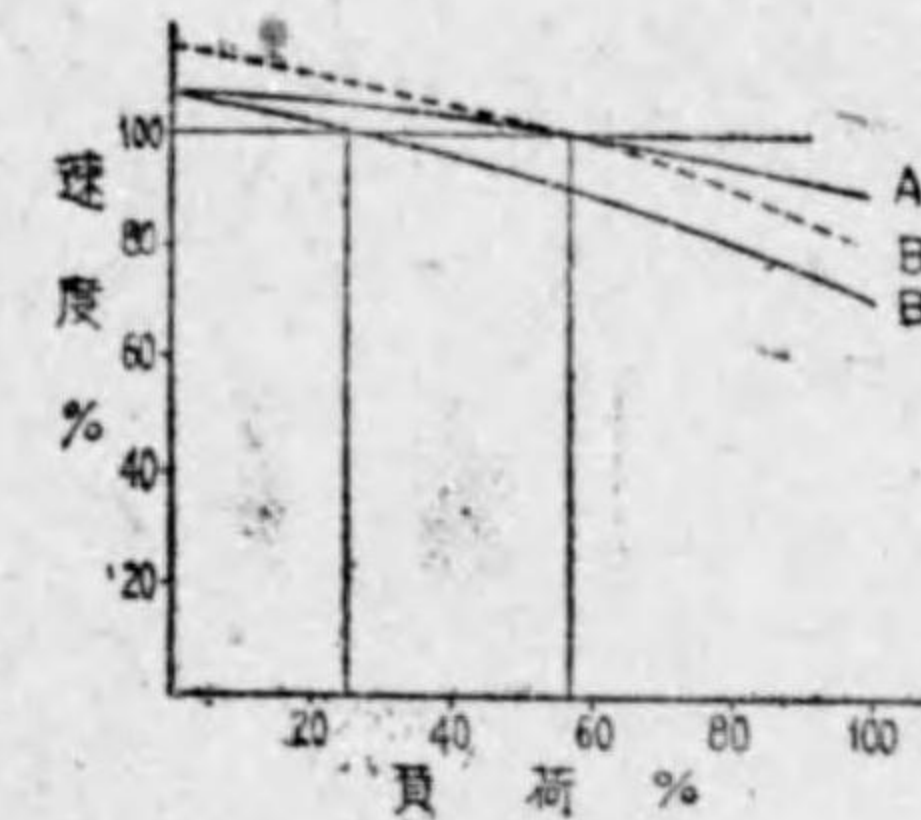


第 251 圖 並行運轉略圖

$S_B$  が舊式の電動機操作の油入開閉器である場合には、檢定器の同期を見て押鈕を押すと、後或時間経つて開閉器が操作する。その間に同期が外れて仕舞つて並行運轉出来ぬ。何遍も開閉器を入れ替ると云ふ様な不便があつたが、近時のものはすべて電磁操作で、押鈕と同時に開閉器が操作するから、この憂はない。唯蒸汽タービンの方は速度の調整が極めて精密に行はれるから、徐々に同期するが水力タービンはこれに比べれば速度の變化が激しいから、同期化の操作もかなり

今 A 機は負荷運轉をして居る。新に B 機を起動し規定速度に略近くなつたときを考へる同期檢定器は圖の如く三脚を有する鐵心の中央脚に捲ける回路には電圧計及ランプをつけ、1 脚には母線電圧を、又他の 1 脚には新に回路に挿入すべき電圧を加へる。檢定燈 L は明滅し、電圧計指針は左右に振れる。B 機が速度を調整して、A 機と全く同期になれば電圧計は零を指し電燈は消えるからその瞬間に開閉器  $S_B$  を閉ぢればよろしい

手早く行ふ要があり、従つて運轉手の巧拙が目立つ。斯くて同期化した B 機はまだ全く無負荷であるから、これに負荷せしめるには徐々にゲート弁を開いて水量を増し、入力を多くする。水車の速度は負荷と共に低下する。その状態を負荷—速度特性曲線と稱する。若し仮りに負荷を負ふても毫も速度の低下しないものや、更に負荷が多くなつて却つて速度の増加する機械がありとすれば、これは決して並行運轉が出来ないのである。だからこの負荷に従つて速度の低下する下降特性 (falling characteristics) は極めて重要な性質で、その低下の割合が問題になる。2 つの機械が全く同一の低下割合を持つて居れば、あらゆる負荷に對して均等に負荷を分擔するから最も好ましいが、機械容量の大小や、新舊や、其他の事情で異なるを得ない。



第 252 圖

そこで第 252 圖の如き状態となる。並行運轉をして居る 2 つの機械の特性曲線を、夫々 A, B とすれば、速度は必ず等しくなければならぬから、圖の如く A 機は 60% B 機は 25% の割合で負荷を分擔することとなる。この場合、B 機にも A 機と同一負荷を與へんが爲には B 機を速度を上げ B 線の如き特性にしてやらねばならぬ。云ふ迄もないが、勵磁を高くすることは唯横流 (Cross Current) を生ずるだけで負荷の分配に役立つものではない。

### (21) 勵磁機の勵磁方法と運轉方法

#### (A) 容量と勵磁方式

主發電機の容量と勵磁機容量の比は第 253 圖の様な割合と見てよろしい。即ち高速度のものは勵磁容量が小さくてすむ。又發電機容量が大きくなるに従つて勵磁容量は割合に小さくなる。

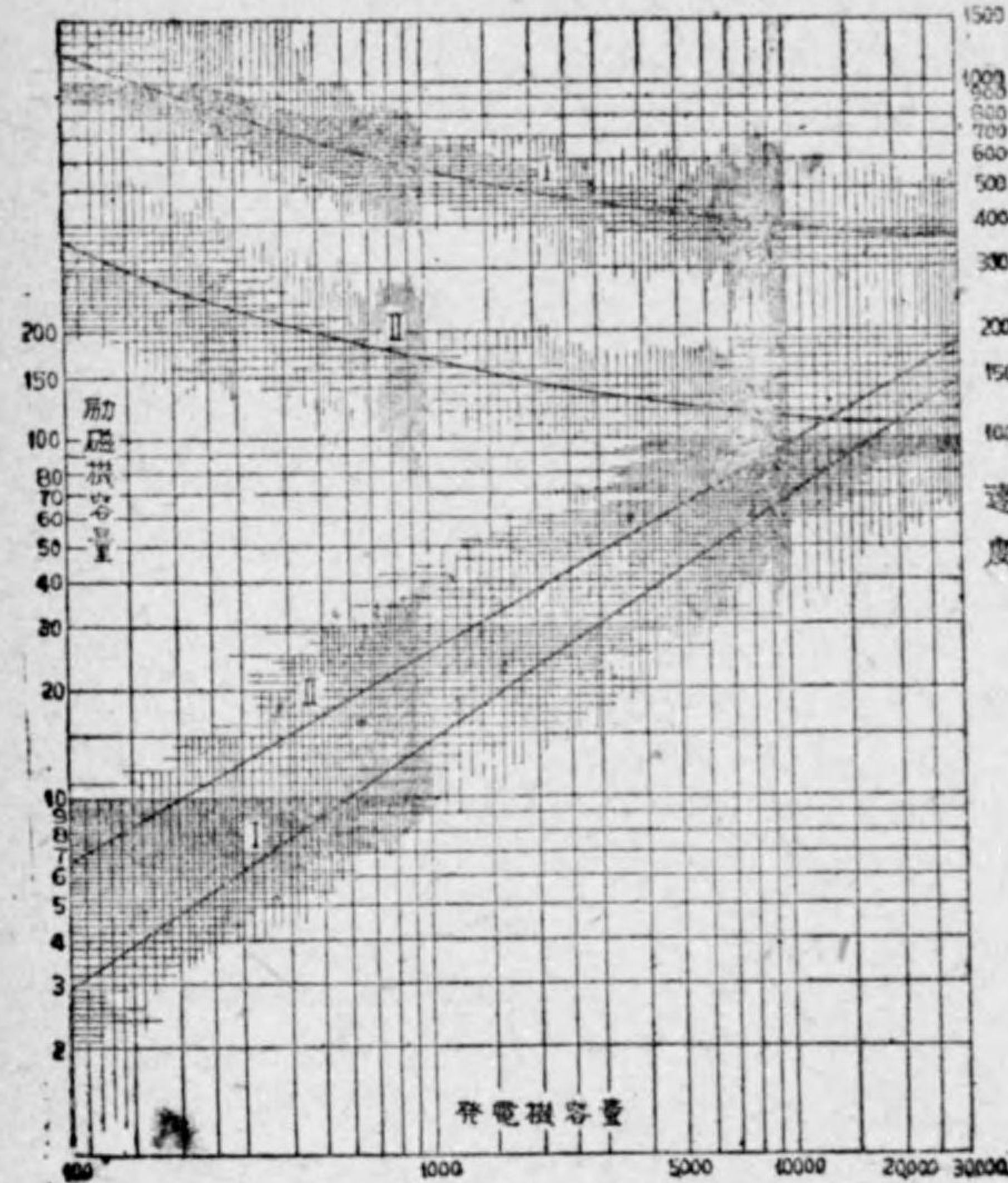
勵磁機は勵磁専用とし、所内動力用——開閉器作用の電源等と共用することは最も良くない。それはこれらの附屬機具や補助機は發電所としては最も故障の多い回路なのだから、主機はこれらの故障の影響から獨立させる必要があるからである。

勵磁方式としては 2 つある。

① 中央勵磁方式 (Centralized excitation system) は 1 台又は數台の勵磁機があつて、1 つの勵磁母線 (excitation bus bar) に接続されこの母線から各發電機の勵磁を取るのである。

この方式の利点は勵磁機の数減じ得ること、極端に云へば、唯 1 台の勵磁

機と浮動電池 (floating battery) — 勵磁母線に並列にある容量の蓄電池を常に



第 253 圖

② は個別勵磁方式 (Individual excitation system) で、各發電機に夫々專屬の勵磁機を設備する方式で、發電機と同軸に直結するものと、他の動力で運轉する場合とある。後者は主發電機の回轉が余りに遅く、勵磁機の形体が巨大になり過ぎる時に限る。

但し他に勵磁母線と、1 台の豫備勵磁機を備へる要がある。それは個別勵磁機の故障の爲主發電機も運轉し得られなくなる虞れがあるからである。

この方式の利点は、發電機と勵磁機が夫々一体をなして獨立して居るから勵磁機の故障は他に波及しない。又勵磁電壓の調整も前の式では相當な主界磁抵抗器を挿入してそれで調整するから損失が大きい、この式ならば勵磁機の界磁で調整するのだから小さくて済む。すべての点で優つて居るから近時はこの個別勵磁方式が斷然多くなつた。唯主發電機の容量が小さくて数の多い場合は經濟的でない。

#### B 勵磁機の運轉方式

接続して置けばよろしいので、方式としては簡單である。然し 1 個所の故障が必ず全系統に累を及ぼすのは免れないから、この方式で理想的設備をしようとすれば、1 台で全發電機を勵し得る容量の勵磁機を 3 台置いて中 1 台を常に豫備としなければならぬ。

だから實際は余り簡單とも云へぬ。

勵磁機を何に依つて驅動するか方式に次の 4 種類がある。

#### ① 電動機驅動 (motor drive)

普通誘導電動發電機で、操作容易で能率もよい。價格も亦低廉であるから、中央勵磁方式を採用する所、又は豫備勵磁機として最も多く用ひられる。同期電動機を用ひると速度の變化による勵磁電壓の變動がないから、一層便利なわけであるが、これは取り立てて云ふ程の問題でない。

#### ② 水車驅動 (Prime mover drive)

唯送電線等の大故障で、交流系統に擾亂を生じた場合、交流電源による電動機驅動式は、この渦中に巻き込まれるから、1 台の勵磁機だけは水車直接驅動式にして置く必要がある。又發電所の自己起動——他から電力を貰ふことなしに——の爲にも必要になる。

#### ③ 電動機及水車の二重驅動 (dual drive)

然るに小型水車は能率もよくないから、1 台の勵磁機の左右に水車と電動機を取り付け、起動は水車で行ひ、常時運轉は電動機に切り替える。時には水車を切り離さず、或る水量だけを通して少量の負荷を分擔せしめ何れの故障に對しても備へる様にする事もある。

#### ④ 主發電機直結運轉 (direct coupling)

主機に直結されるので固より個別勵磁方式に限る。能率も信頼度も高く、取扱ひも便利だから、著しく低速の場合を除いては近時最も廣く用ひられる。

たゞ主機の速度變化の影響を受ける。例へば唯 1 台で送電して居る場合などに俄かに負荷が増加すると主機の速度が下る。すると勵磁電壓が降下する。従つて主機の電壓が 2 重に降下すると云ふ缺點はあるが、これには他の電壓調整法もあるわけであるから缺點として數へる程のものではない。

#### (C) 勵磁機の特性、速應勵磁

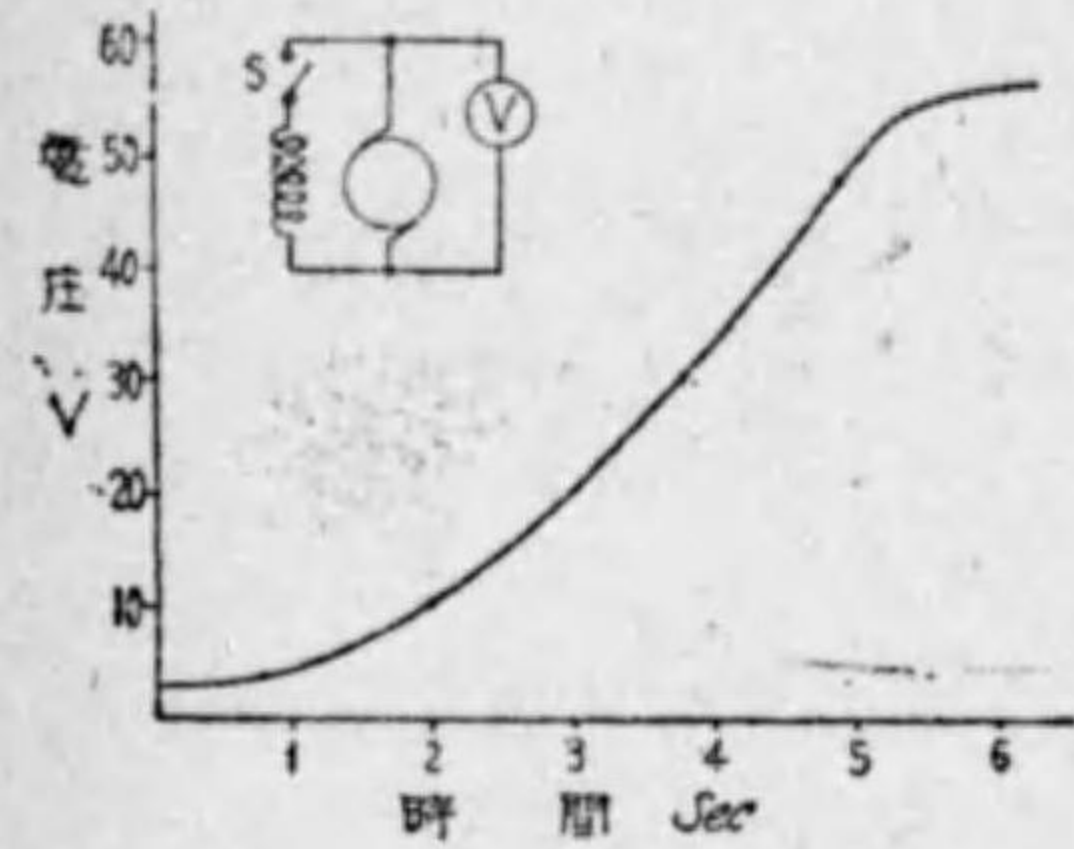
勵磁機には分捲も複捲も共に用ひられる。手動電壓調整を行ふ場合には複捲の方が優れて居るが、自動電壓調整器を使用する場合は優劣はない。又中央勵磁方式を採る場合は勵磁母線の電壓を一定に保つ必要上複捲が好ましいが、個別勵磁方式ならば分捲でも一向差支はない。更に副勵磁機を備へるものは分捲の方が都合がよい。

勵磁機の具備すべき特性としては、相當の廣い範圍に電壓を調整し得て、而も夫々の電壓の下で安定に運轉し得て、更に迅速に電壓を變化し得ることである。

この三要素は設計上互に矛盾して居る。即ち負荷が變化しても電壓の變動の少ない、安定度の高い爲には、鐵心が飽和して居らねばならぬ。然るに飽和度が高いと廣範圍に電壓を調整し難い。又電壓が安定であると云ふのは、發電子反作用 (Armature reaction) のアムペア回數に對して、界磁アムペア回數 (Ampere turns) に對して界磁アムペア回數がしつかりして居る事で、即ち、界磁の捲數が

多い。従つて界磁回路のインダクタンスが大きい。だから急速に電圧を変化せしめ難くなる。

分撻發電機を規定の速度で回轉せしめて置いて、界磁の開閉器 S を閉じると、最初には磁界の残留磁氣で數ヴォルトの電壓を發生し、それによつて界磁回路に微電流が流れ、その電流によつて磁束を増して發生電壓を高め、界磁の電流を増し漸次に斯くして最高電壓まで至る。この變化を電壓確立曲線と稱する。



第 254 圖

この現象は、電壓が變動する度に必ず起るもので、普通の分撻機では、30~60 V/sec 位である。この遅れ (time lag) が主發電機の電壓の上昇率に影響を及ぼし、従つて送電系統の安定度 (Stability) を害する。そこで、近時、速應勵磁方式 (Quick response excitation system) がやかましく論じ出された。

勵磁機そのものとしては前記の電壓確立曲線が急峻になる様、即ち勵磁回路のインダクタンスを少なくする様、捲數を少なくして電流を多くし、界磁鐵心のヒステリシスの遅れを少なくする爲、成層鐵心を用ひ、空隙を小にする——これらはすべて勵磁機の安定度を害する條件だ——その代り、自動式とせず一定電壓の副勵磁機 (Sub-exciter) を備へて他勵磁方式を採る。そして 500~600 V/sec 程度の急速電壓上昇率を有たしめる様にし、電壓調整器の敏感なものを備へる。

(22) 電壓調整装置

單に電壓調整装置と云ふと、變電所の調相機もこの中で、特にこれは、系統として電壓調整に重要な使命を持つて居る。然しこれは變電所の條下で述べるとして、こゝでは發電機の電壓調整装置のみに就いて記す。

電壓調整装置の種類としては

手動電壓調整器 (Manual Voltage Regulator)

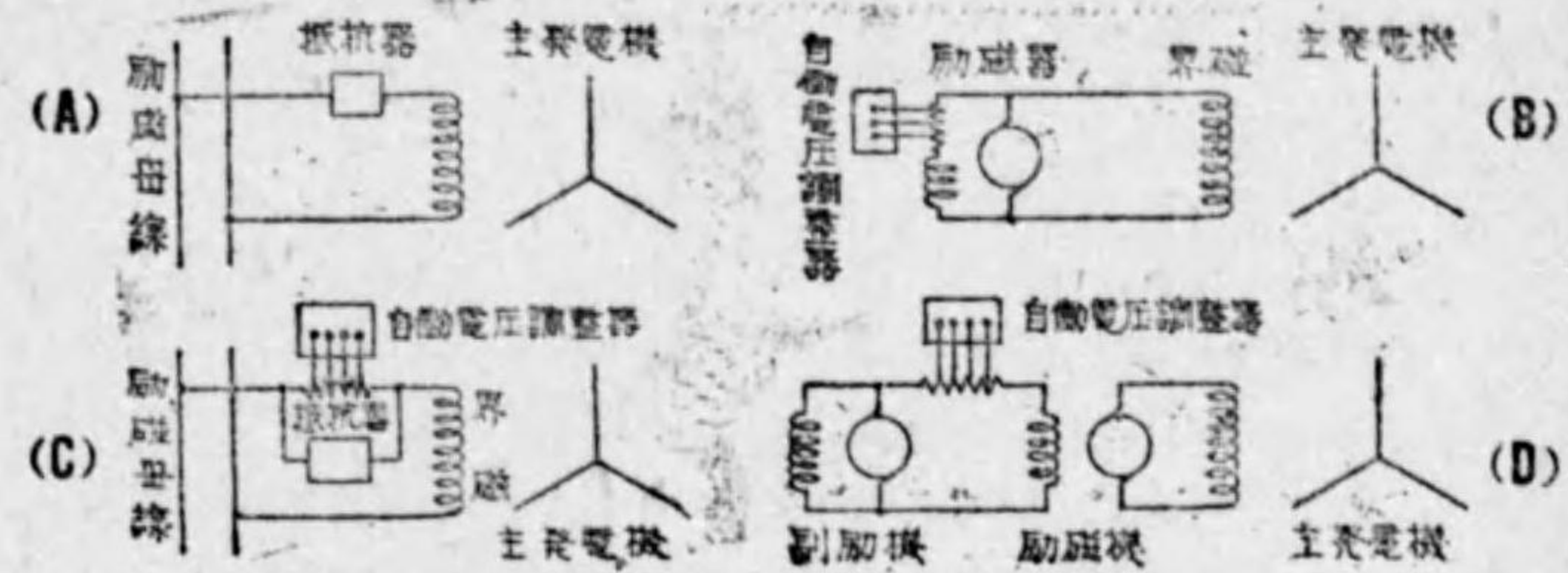
これは鑄鐵製 (grid iron) の抵抗器を發電機の界磁回路に挿入して、その把手を配電盤で手動、又は電動機で動かす方式で、最も簡單な然し舊式のものである

自動電壓調整器 (Automatic Voltage Regulator)

中央勵磁方式の場合には (B) の如く主發電機の界磁回路に挿入する。界磁電流は相當の量であるから、之を直接制御することは困難だから、分路抵抗を置きその一部を制御する。従つて調整の範囲は限られる。

個別勵磁方式に於ては (C) の如く勵磁機の界磁回路に調整器を入れる。調整の

範囲は大に廣大されるが、調整は敏速でない。調整の順序を考へると、先づ調整

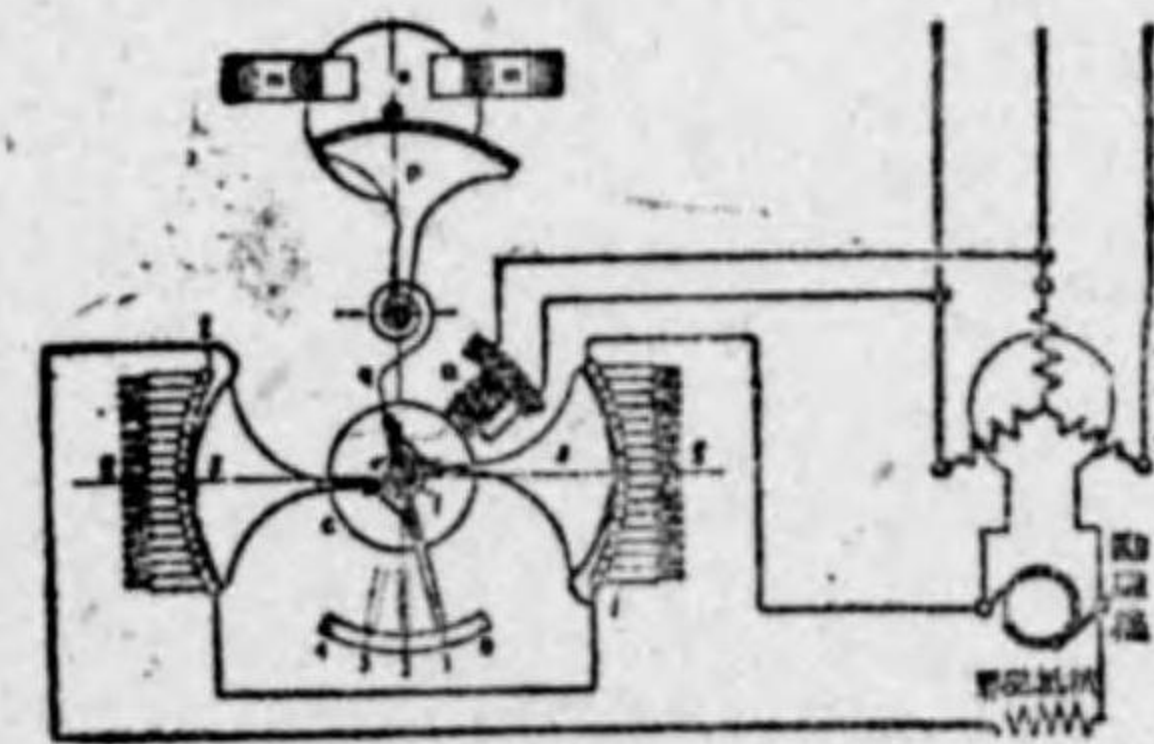


第 255 圖 發電機電壓調整裝置

器が動作して勵磁機界磁の電流を増し、それによつて勵磁機の電壓を高め、その高くなつた電壓によつて更にも一度界磁電流を大きくし、その増大電流による磁束で最後の勵磁電壓が定まるわけである。

(D) は個別勵磁方式で副勵磁機を備へる場合、自動調整器は主勵磁機の界磁回路に挿入することは (C) と同じだが、他勵磁になつて居るから前記の如き循環操作をする事なく、よく速應勵磁の目的に副ふのである。現今大型の發電機の勵磁方式は殆んどこの方式になつて居る。

次に調整器そのものゝ種類は、振動型 (Vibrating type) と抵抗型 (Rheostatic type) とある。振動型に就いてはその例としてチリル (Tirril) 調整器に就いて蒸汽タービン發電機の條で述べたから抵抗型に就いて述べる。



第 256 圖

固定子をなして居る。誘導機の回轉力は電壓の 2 乗に比例する。g は勵磁機の界磁回路に挿入された抵抗で、ドラム c が回轉すると s なる扇形片が摺動して、s を短絡する装置である。q は補助彈條で、c の運動を可換的に p に傳へ p は又ラックエンドピニオンの装置によつてアルミニウム圓盤 o に回轉を傳へる。

第 256 圖はブラウン ポペリー調整器の接續器で、抵抗型の代表的なものである。

交流の端子電壓に比例した回轉力をアルミニウムの胴 c に與へるコイル a がある。

圖は簡單の爲單相的に描いてあるが、固より 3 相で、且つその間には變壓器や調整抵抗器等も挿入されて居る。即ち a は一つの誘導電動機の

m.m は耐久磁石で、 $\circ$  の運動を制限して亂調防止装置をなして居る。

## (23) 變壓器

### (A) 變壓器の種類

既に記した如く、發電機の端子電圧は最高 13,400V、普通 11,000V で、これ以上はスロット内のコロナ発生とか絶縁工作の困難の爲、外國では 30,000 V まであるが却つて面白くないとされて居る。そして送電電圧は、50,000 以上 154,000 V まであり、今 200,000V 線が計畫されて居る。是非變昇變壓器を要する。たとへて近距離送電や、直接配電する發電所でも、發電機を直接送配電線に接続することは——現時は相當例があるが——決して良設計と云ふ事は出来ぬ。筆者に云はせれば、たとへて 1 對 1 でも變壓器を置きたいと思ふ。

實際かゝる場合、送電線の擾乱や、雷様が發電機へ侵入して大事な發電機を焼いた例は相當多いからである。

變壓器を設置するのに、單相變壓器 3 台を 1 バンクとする場合と、3 相器 1 台を置く場合とあり、利害は相半ばして居るが、近時の傾向 3 相變壓器使用が漸く勢を得つゝある。比較して見ると

#### ① 單相變壓器組合せの場合

a 運搬簡易 これは相當重大な因子である。水力発電所は山間僻地にある場合も多い。運搬路の関係で、時には鐵道の墜道を通り得ない爲、3 相が使へない事さへある。

b 一次二次の端子が各 2 箇づゝ合計 6 箇必要になり接続が複雑する。但しその組合せで種々の電圧が得られる便宜もある。

c 豫備變壓器を 1 ヶだけ置けばよいから、この設備費が少なくてすむ。

d 三角結線の場合は 1 相故障の時 V 結線にして 58% 負荷を供給し得る。然しこれは大設備では行ふべき事でないから、余り重大視しないがよい。等であるに對して

#### ② 3 相變壓器の場合

a 單相 3 箇に對して 1 箇で足るから、全体の重量は少なく、占積も小さく、價格は大變安くなる。

b 一次二次合計 3 箇の端子で外部接続は甚だ簡單

c 但し豫備を置くとすれば 3 相 1 箇を置かねばならぬからその設備は大きい

d 1 相の故障時には全變壓器が使用出来ぬ。

蒸汽タービン發電機の條下に述べた如く、近時は發電機—變壓器と相結んで、1 つの機械と見る傾向が強くなつたので、三相變壓器の使用が擡頭して來た。

### (B) 變壓器自身の構造からの分類

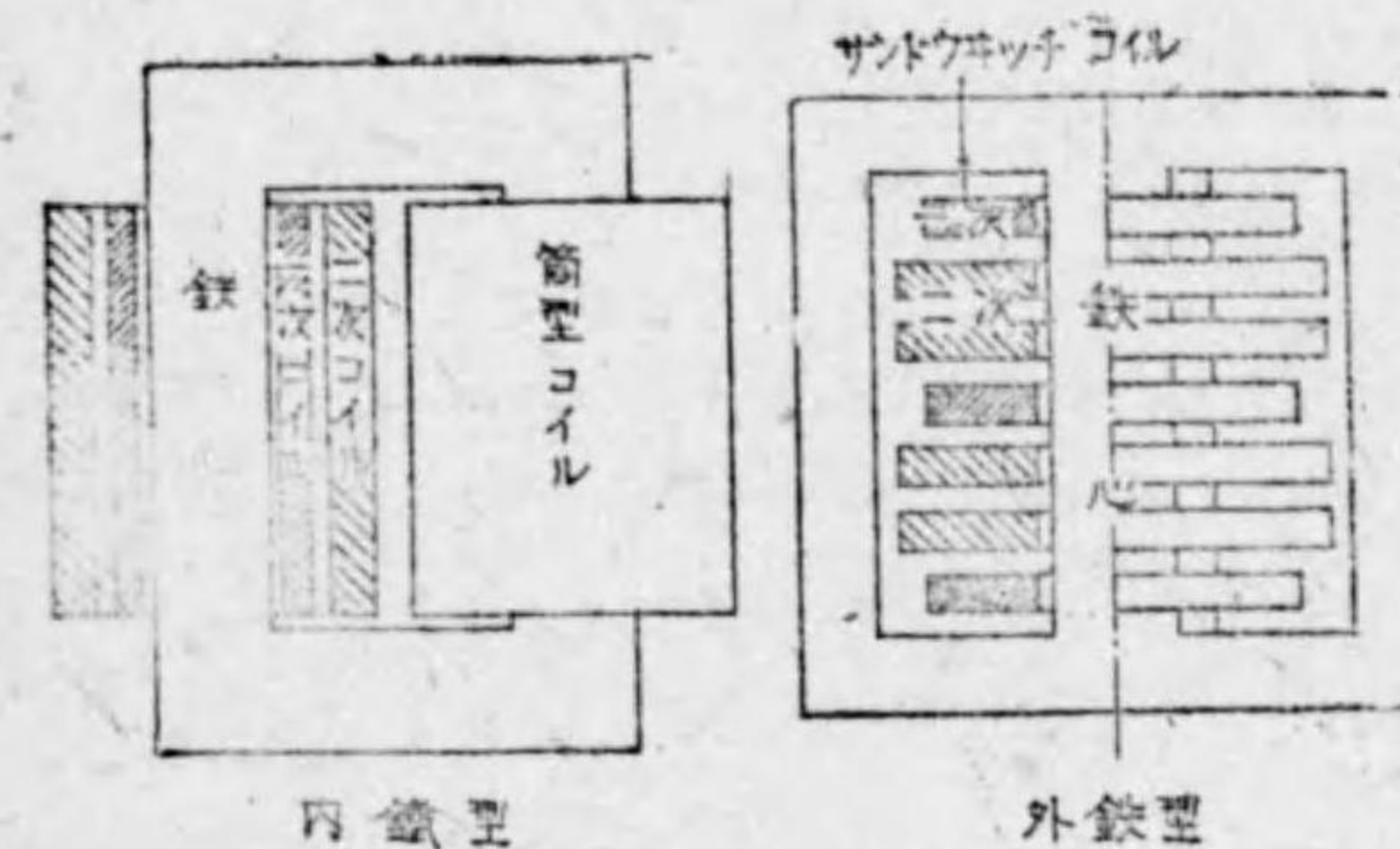
鐵心には

① 内鐵型 (Core type) と ② 外鐵型 (Shell type) とあり

コイルに就いては

③ 筒型コイル (Cylindrical coil) と

④ サンドウキツチ型 (Sandwich type) とある。



第 257 圖

いづれも製作者の好々によると云ふ程で、殆んど取り立てゝ云ふ程の優劣はない。

外鐵型は機械的構造上に於て優れて居るが、組立は面倒である。筒型コイルはリアクタンスが少なく、電氣絶縁はよいがコイルそのものゝ構造上の強度はサンドウキツチ型に及ばない。3 相變壓器

器は自然内鐵型となる。いづれかと云へば内鐵型筒型コイルが多い。

### (C) 變壓器の冷却方法

變壓器の冷却方法には幾種類もある。配電用や特種の用途のものは今述べない。水力発電所の變昇變壓器に就いては

#### ① 油入自冷式 (Oil immersed self cooled)

直徑 50 mm 位の冷却管を數百本變壓器の外側と取りつけて、油の自然循環によつて冷却をなさしむる方式で、容積が大きくなつて自然油も多量に要し、價格も 20% 以上次の水冷式のものより高價であるが、維持費は不用だし監視の手間も要らないから大に喜ばれて、最も廣く用ひられて居る。

#### ② 水冷式 (Oil immersed water cooled)

變壓器の上部——變壓器の本体は小さなもので、外函の半部以下に收まつて上部はすべて油である——に鐵或は銅の蛇管を裝置し、これに水を通して冷却するもので、豊富良質の水が得られる處では價格も安いから往時からよく用ひられて居る。缺点是、水管に泥土及スケールが溜ることで、時々蒸汽や稀塩酸で洗つてやる要があり、又稀に水管に穿孔を生じて冷却水が油中に漏れて大事を起す。

#### ③ 送油式 (forced oil cooled)

これは油を循環せしむる方法で、函外に取り出した油は水で冷却する。これには送油ポンプを備へねばならぬ欠点があるので余り喜ばれない。

其 他

④ 送風式 (air blast cooled)

⑤ 油入送風式 (Oil immersed forced air cooled)

等があるが④は殆んど現時動力用には用ひられず、⑤は放熱管を變壓器と隔離して設置し、これに送風機で空気を吹きつける方法であるから、一度變壓器から隔離して取り出す程なら、水で冷却した方が便利だから、水力発電所では先づ見ない。

變壓器は過熱することは固より悪いが過冷することも決してよくない。水冷式の如き負荷に應じて水量を加減し、負荷がなくなつたならば直に送水を停止せねばならぬ。周囲の空気温度よりも變壓器内部の温度を低下せしめると湿気を含んだ空気を吸入し、その温度が凝結して長い間には變壓器の下方にも3層、5層の水の層を作つて居ることがある。

#### (D) 定格電壓

變壓器の定格電壓は二次側で云ふ事に定められて居る。(昭和8年に電氣工務委員でかく改正された) 即ち全負荷の場合二次側に於てこの電壓を得られる様にすることにしたのである。

発電所の特高變壓器の電壓はそう幾種類もない。

公 稱 電 壓	發 電 機 から 特 別 高 壓 へ 選 昇		
	定格二次電壓	全容量タップ電壓 (二次捲線)	
6,000	6,600	6,900	6,300
10,000	11,000	11,500	10,500
20,000	22,000	23,000	21,000
30,000	33,000	34,500	31,500
40,000	44,000	46,000	42,000
50,000	55,000	57,500	52,500
60,000	66,000	69,000	63,000
70,000	77,000	80,500	73,500
100,000	110,000	115,000	105,000
140,000	154,000	161,000	147,000
200,000	220,000	230,000	210,500

公稱とは、所謂通稱と云ふ程の意味だが、同時に受電端に於ける全負荷時に保たねばならぬ電壓である。例を以て云へば、猪苗一東京間の送電線は100,000V

の線と云はれる。これは變壓器の二次電壓は110,000Vで全負荷の場合10,000Vの電壓降下があるから、東京田端の變電所の受電電壓は100,000Vである。然し變壓器は負荷の性質等(一般の規定で云へば送電線の距離の遠近等のため)を考慮して115,000Vと105,000Vとのタップを作つて置くと云ふ意味である。

一般に定格電壓は公稱電壓より1割高く、その前後5%のタップを作る。

タップ(Tap)は普通高壓側につけるのだが、時には低壓側に置く事もある。各タップからはリードを出して函外に調比装置(ratio adjuster)に導き、函外で變換する。近時は負荷の掛つたまま、このタップを切替得る様にしたもの、154,000Vの變壓器にも出来る様になつた。

#### (E) 能率 (Efficiency)

變壓器は電氣機械中でも最も能率の良好なもので98~99%の能率を示すものである。

變壓器内の損失は、鐵損と銅損であるが、近頃は無負荷損失と負荷損失とに區別して云ふ事もある。無負荷損失は鐵損と誘電体損で、負荷損失は銅損、渦流損、漂游損を云ふ。

直流で測定した捲線の抵抗に電流の2乗を掛けたのでは、交流の場合の銅損は出て来ない。30~100%も交流の方が多くなる。設計に當つて、これを實効抵抗(effective resistance)として交流の場合にはこの位抵抗が増加した如く考へて計算するのであるが、その増加割合は、構造や、銅線1本の太さや、更に磁束の密度等にも關係して熟練な設計者には或る程度の見當はつくが、一般にはその増加の割合は見究め難いものである。何故に交流の場合に増加するかと云へば、表皮作用(Skin effect)と渦流作用(eddy current)の爲である。

又漂游損(Stray loss)に到つては更に決定が困難である。これは漏洩磁束が鐵板押への金物や、外函中を通つてその爲に生ずる損失で、いづれも實測に困難なものである。唯これらのものは容量の大なるもの程目立つて大きく、又負荷に比例して起るものであるから、負荷損失の中に勘定する。そして前記の無負荷損失とこれとが丁度等しくなつたときが最高能率になる。その点が近來の設計では $\frac{1}{4}$ 負荷附近で、全負荷では幾分能率降下する。

切りつめた設計になつて居るからでもあるが、又最も多く使用されるのが $\frac{1}{4}$ 負荷附近であるからだとも考へられる。

#### (F) 電壓變動率 (Voltage Regulation)

一次供給電壓を一定に保つて、二次側の負荷を全負荷から無負荷になした時、電壓の變動の割合を二次電壓の百分率で示したもので、普通1~5%である。計算式は

$$\text{電圧変動率} = 100 \left[ \frac{IR}{E} \cos\theta + \frac{IX}{E} \sin\theta + \frac{\left( \frac{IX}{E} \cos\theta + \frac{IR}{E} \sin\theta \right)^2}{2} \right]$$

E=定格電圧 I=一次電流 θ=位相角 R=実効抵抗 X=実効リアクタンス

### (G) 変圧器の接続 (Connection of transformer)

一次二次の接続法は次の4種になる。

- ① Y Y (Star-Star)      ② Y Δ (Star-delta)  
③ Δ Y (delta-Star)      ④ Δ Δ (delta-delta)

②③が便宜が多いのは云ふ迄もない。①は第3高調波の電圧が残る。④は第3高調波は送電線には出ないが変圧器内に環流を生ずる。又接地が取れない。

③が特高に用ひられる事が多い。送電線側がYだから接地に都合よく、1相の電圧は線間電圧の $1/\sqrt{3}$ ですむ。

### (H) 変圧器の並行運転

2個以上の変圧器を並行運転せしめるには

- ① 各変圧器の変圧比が厳密に相等しく  
② 変圧器のインピーダンス電圧降下が同一で  
③ 変圧器のインピーダンスの位相が相等しい事が必要である

以上はどの本にもある事だが、案外守られないで失敗する例を聞く。抵抗の差はそれ程影響しないが、位相角の差は軽視され易くて實に非常に大切なものである詳しく述べる暇がないが、型の違ふ——内鐵型と外鐵型——変圧器などは先づ並行運転は出来ぬと考へる方がよい。又容量の異なるものも危険である。

これは管に並行運転のみでなく、3箇の変圧器をΔ結線にする時でも同様である。

### (I) 変圧器油

変圧器に使用する油は鉱油で、植物性及動物性の油は用ひない。絶縁を良好ならしめると共に熱傳導の速かなものでなければならぬから、粘度の低い、流動度の高いものたるを要する。変圧器に使用した諸材料に對して化學的の害を與へる夾雜物 酸、アルカリ、硫黄等の含量の最も小なる事を要する。

日本標準規格に制定する變壓器油の仕様は次の如くである。

#### 第一種變壓器油 (一般變壓器用)

比重 0.91 以下

粘度 レッドウッド粘度計にて 20°C のとき 140 秒以下  
50°C                      50    "  
75°C                      33    "

引火点 ペンスキーマルテンス試験器にて 130°C 以上

蒸發量 98°C 以上にて 5 時間加熱 5% 以下

絶縁耐力 12.5mm の球状電極を用ひて間隔 2.5mm とす 25,000V 以上

### (24) 配電盤の計器

機器の電圧、容量、或は設計者の意向等によつて配電盤の形態には幾種類も様式がある。

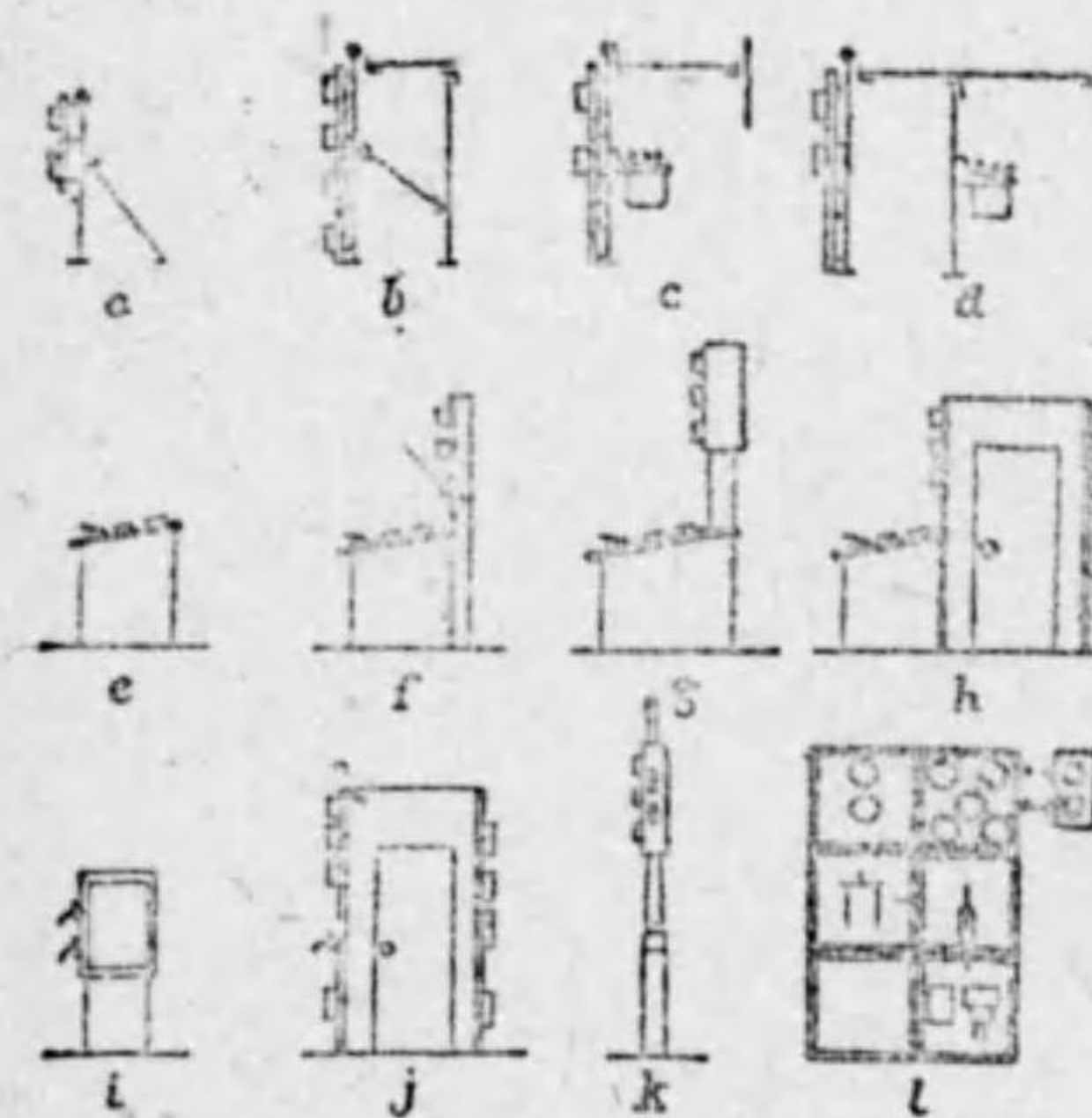
第258圖は代表的なものを集めたもので

(1) 直立盤 (vertical board) 圖の a, b, c, d は 30 0V 級の小容量のものに用ひられ、機械的制御で油入開閉器の操作なども手動で直接操作する。

(2) ベンチボード盤 (bench board) e, f, g, h は大型大容量のものに用ひられ、最近 10 年間の發達であるが、發電所の重要配電盤はすべてこの型を用ひる。

(3) 直柱盤 (Pedestal board) i, j は

(4) ポスト盤 (Post board) k と共に補助機などの爲、その機



第 258 圖 配電盤の諸型式

a b c d...垂直盤 e f g h...ベンチボード盤  
i j...直柱盤 k...ポスト盤  
l...垂直に旋回盤を取付く

械の直ぐ側に獨立して置かれるもので

(5) 旋迴盤 (Swinging board) l は同期檢定器の如き共通計器用として、盤の端に取り付けるものである。

發電所の配電盤は大體次の種類を備へる。

- ① 發電機用配電盤      ② 勵磁機用配電盤  
③ 送配電線用配電盤    ④ 所内動力用配電盤

配電盤に備へる計器類は發電機用のものは次の種類を備へ、勵磁機用其他のものはその中から不必要なものを省いた形になる。

1. 電流計 (Ammeter)
2. 電圧計 (Volt meter)
3. 電力計 (Wattmeter) 指示 (indicating) 及記録 (Recording)
4. 積算電力計 (Watt-hourmeter)

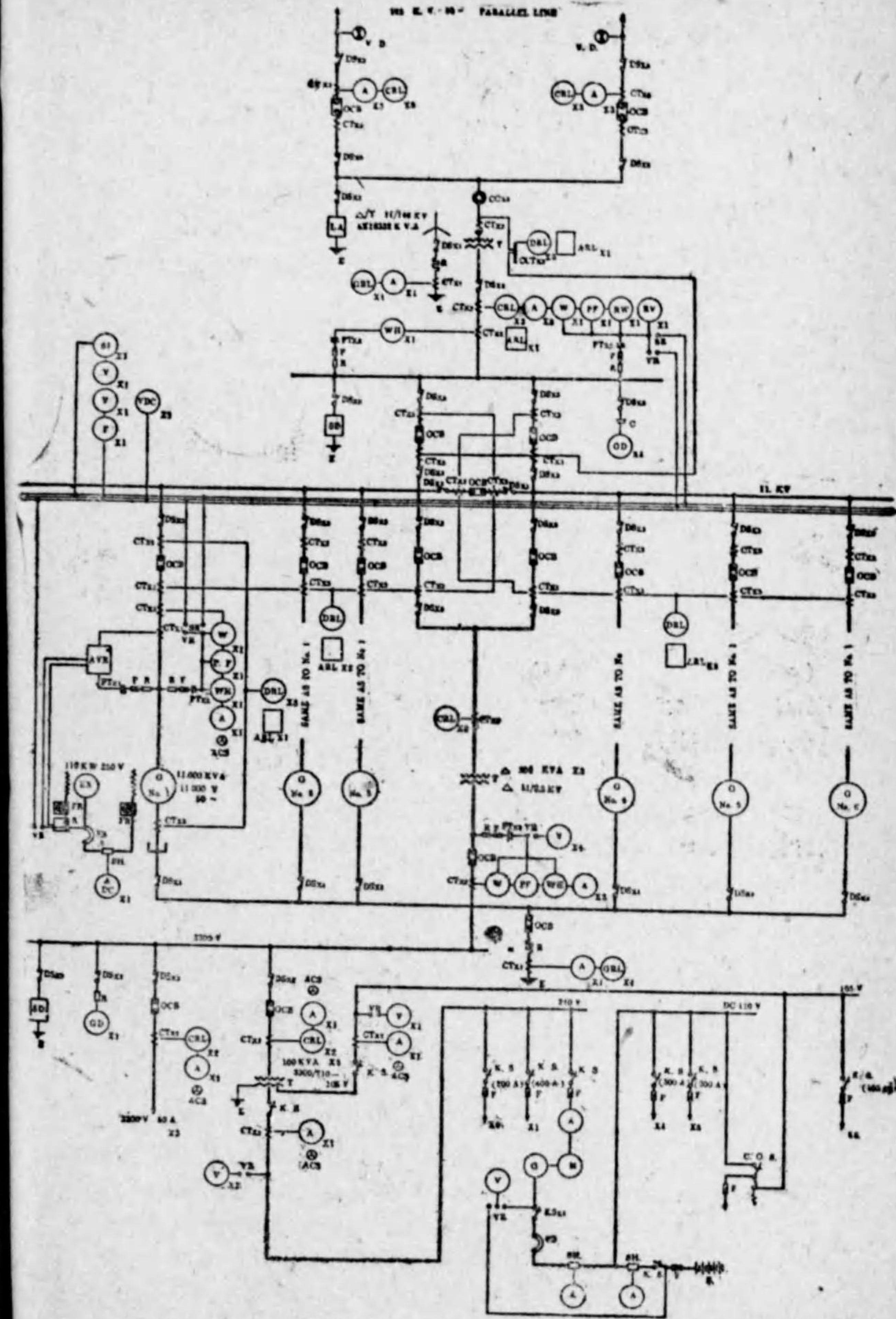
5. キロヴォルトアムペア計 (Kilovolt ampere meter)
6. 力率計 (Power factor meter)
7. 周波数計 (Frequency meter)
8. 同期検定器 (Synchronous cope)
9. 検漏計 (Ground detector)
10. 漏度指示計 (Temperature indicator)
11. 計器用變流器 (Current transformer)
12. 計器用變壓器 (Potential transformer)

等である。これらの詳細に就いては第2巻に既に説明されてあるから説かない。

配電盤の接続に就いては一例を示す。この接続圖は單なる機器類の繼がりを示すものと思ふは甚だしい誤りで、電氣家の購置を絞る所で、遮斷器1箇の置き方にも甚だしい巧拙があるものである。これを詳しく比較検討することを省くが、讀者は機會ある毎に接続圖を多く集覽してその利害得失を研究せられたい。

記 號 表

A	電流計	G.R.L	接地繼電器
A.C.S	電流計用切替スイッチ	K.S	双型開閉器
A.V.R	自動電圧調整器	L.A	避雷器
C	コンデンサー	M	電動機
C.B	遮斷器	O.C.B	油入遮斷器
C.C	塞流線輪	P.F	力率計
C.C.T	保價變流器	P.T	計器用變壓器
C.O.S	切替スイッチ	R	抗抗器
C.R.L	電流繼電器	R.V	記録型電圧計
C.T	變流器	R.W	記録電力計
D.C.R.L	差動繼電器	S.D	貯電放電器
D.S	斷路器	S.H	直流電流計用シャント
E	接地	S.R	同期化用レセブタクル
E.X	勵磁機	T	變壓器
F	可熔片	V	電圧計
F.M	周波数計	V.D	檢電器
F.R	界磁抵抗器	V.R	電圧計用レセブタクル
F.S	界磁開閉器	W	電力計
G	發電機	W.H	積算電力計
G.D	檢漏器		





## (25) 遮断器と断路器

## (A) 分類

生線(イギセン)の開閉に用ひるものを一般に遮断器(Circuit breaker)と稱し、その遮断機構が空気中であるか、油中であるかによつて、氣中遮断器(air circuit breaker)油入遮断器(oil circuit breaker)等の名稱がある。

遮断器は、同路に短絡等を生じた場合、これを系統中から取除く唯一の装置であるから遮断容量が最大の必要條件で、次に述べる様な種々な機構が用ひられる。

電壓も、遮断容量も遮断器より低いものを油入開閉器(oil switch)と呼んで居る——嚴密な意味に於て油入開閉器と油入遮断器との差違はない、唯一般的に大容量で何等かの速断装置(Quick break mechanism)を有するものを O.C.B (oil circuit breaker の略)と云ひ、然らざるものを O.S (oil switch)と稱する更に低電壓、小電流の場合には双型開閉器(knife switch)を用ふる。

電流を連続的に開閉するもの、例へば電動機速度制御装置の如きものをその構造に従つて、接觸器(contactor)とか制御開閉器(controlling switch)と云ひ、接觸の切替等に用ひるものを、これも形狀に従つて、ドラム型開閉器(drum switch)栓開閉器(plug switch)等の名稱を與へて居る。

死線(シ=セン)を開閉するものを断路器(disconnecting switch)と云ふ。

断路器は決して電流のある回路を遮断するものではない。所謂區分開閉器で、回路の區分、1部の修理点檢等の場合その部分を系統から分離する爲のみに用ふる。

なほ他に回路の過電流を遮断する爲に可熔片(Fuse)を用ひるが、これは高壓回路には用ひられるが、特別高壓回路には極めて特殊の場合以外に用ひない。

發電所としては遮断器と断路器が最も重要であるからこれに就いて述べる。

## (B) 遮断現象と機構

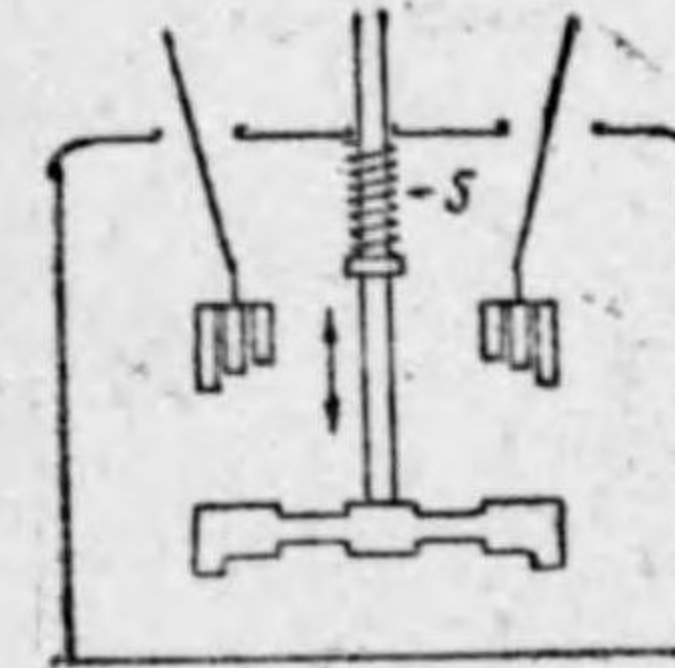
電流の流れ居る回路を開くと接觸部の間に電弧を發生する。電弧を發生したまゝ接觸部を離隔すると、交流で 100,000V にもなれば 4m 位電弧は繼續する。だから單に接觸端子の離隔だけで回路を遮断せんとするならば、非常に大きな距離を離さねばならぬ。

これを放電間隔から考へて見ると、如何に濕氣の多い等の悪い條件の下でも、1m も隔てれば電弧は決して發生しない。然るに一度電弧が發生するとその電流の通路は瓦斯がイオン化され、イオン化された瓦斯は導体であるから斯く長い電弧が成立するわけである。だから遮断機構は次の二つの原則から成つて居る。

第一は出来るだけ速に且つ遠く、接觸端子を引き離す事であり

第二は、發生した瓦斯イオンを消す、又は吹き飛ばす事である。

遮断機構の詳細は相當複雑な理論と功緻な構造を含んで居て、到底その一つ一つを紹介して居る邊はないが、原則は上記の二つに歸するので、更に細く區分すると、接觸端子間の離隔速度を大にし、且つその距離を大にする方法としては、多重遮断と速断機構で、普通の油入開閉器にも充分その意圖は現れて居るのであるが、即ち兩方から油中に垂下する端子に對して下方から接觸子が引き上げられ



第 260 圖

て回路を閉ぢる。遮断の折は接觸子は自重と發條の力で急速に落下する。電弧は兩方の端子と接觸子の間に發生するわけで、それが2ヶ所になるから、電弧の通路に就いて考へれば、2 倍の距離と速度で引き放たるゝ結果になる。かゝる方法で、この遮断箇所を 12 箇まで造られた事がある。(即ちかゝる油入開閉器を 6 箇まで直列に繋いだ恰好である)この方式は歐洲で發達したのであるが、構造が複雑するので喜ばれず、寧ろ數少なく簡單にして堅牢にとの意向から

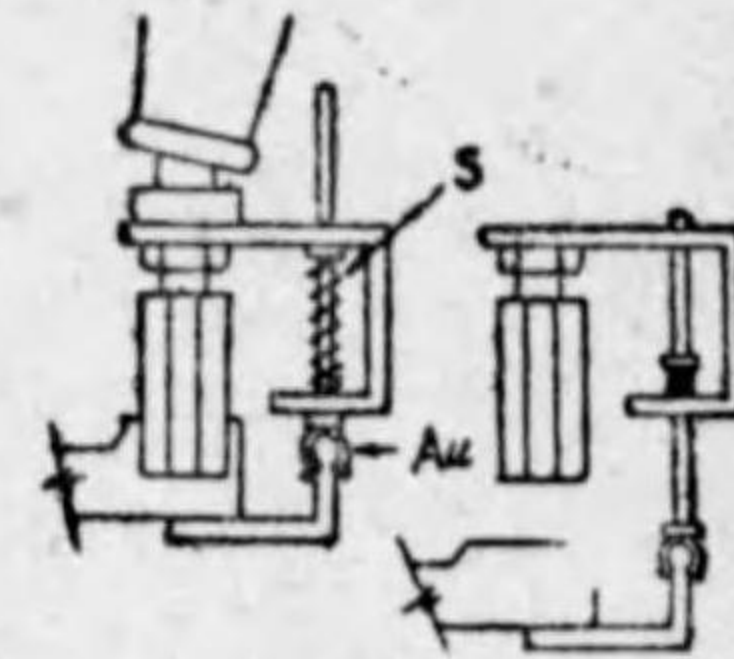
今は余り用ひられぬ。次に速断機構は圖の S の彈條を置いて接觸片は自重のみでなく、彈條の力をも併せて急速に下降するが如きも一つであるが、猶第 261 圖の如き機構も大に用ひられた。

閉路の場合は主接觸片も補助接觸片(Au)も共に圖の如く一緒に接觸して居るが、開路の場合は主接觸片が先づ離れ、補助接觸片は噛み合つたまゝ或る距離だけ降下する。そして壓縮された彈條の力で、急激に開離する。

この種類の機構は現在も猶多く用ひられて居る。次はイオンの消去法で、油を入れるのはこの目的である。昔は油の効用を次の如く説明した。

交流は 60 サイクルなら 1 秒間に 120 回電壓が零の点を通過する。だから嚴密に云へば交流の電弧は消えては亦發生する。だからこの電弧の消えた瞬間に油の膜が端子間に這入り込んで、次の電弧の發生を妨げる。

これは諺かに誤りである。油の流動はかく敏速なものでない。然らば油の存在は何の効果もないかと云へばそうではない。電弧が發生すると非常な熱を生ずるその熱は油を蒸發し、分解し、瓦斯を生ずる。然しその爲熱を奪はれるから電弧の發生は甚だ僅少で済む。油の効用はこれだけである。油入遮断器の側面に硝子の窓を造つて寫眞を撮影するとこの状態がよくわかる——初期の遮断器の研究はこの程度であつた——接觸の開く瞬間に、電弧が發生し、氣化蒸發した油の瓦斯がやがて周囲の油に熱を吸収されて、一部はスラツヂ(Sludge)となるが、大部分



第 261 圖

は元の油に還るそれが、容量が段々大きくなるに従つて電弧も大きく、氣化する量も多量になり、容積の膨脹は油函に大なる壓力を與へる様になり、時には油を吹き出し、又時には外函を破裂さす様になつた。

そこで遮断器の研究の第二期に這入つた。外函の構造を堅固にして壓力に耐える様にする事と、氣化膨脹した瓦斯を利用して電弧を吹き消す工夫までである。

此の種類は甚だ種類が多い。その詳細を列記して得失を論ずる事は決して無益な事ではないが、緒言にも述べた如く、本書の主意でないので、唯原理だけを羅列する事とする。

① 消弧室型 (Explosion chamber type)

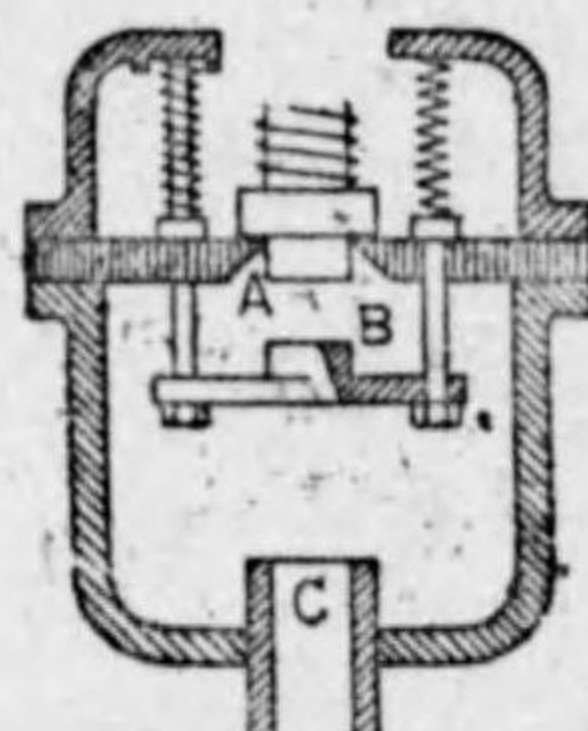
極めて、丈夫な小さな金属油槽を絶縁碍子の上に固定し、端子は碍子を貫いて下から油中に入り、接觸子は上方から降下して接觸を作る。二段の仕切板を置いて接觸桿は仕切板を貫いて居る。



第 262 圖

遮断する時には接觸桿が上方に引き上げられる。端子と離れるとき電弧を發生し、その熱の爲、油が氣化して多量の瓦斯を生じ、仕切板の内は非常な高壓となる。桿が引き上げられて仕切板の孔から引き抜かれんとするときこの高壓の瓦斯は非常な勢で孔から噴出し電弧を吹き飛ばす。

② 油吹付型 (Oil blast type)



第 263 圖

A は接觸端子、B は中間接觸子、C は接觸桿で、閉路の場合は、C が上方に昇つて B を押し、更に A に接觸するのである。遮断の場合は先づ B、C が一体となつて A から離れ、電弧は A と B の間に發生する。B は圖の位置まで下るとそこで停止する。C は更に降下する。今度は電弧は B と C の間で發生する。このときは前の電弧によつて函の中は非常に高壓の瓦斯が充滿して居るから

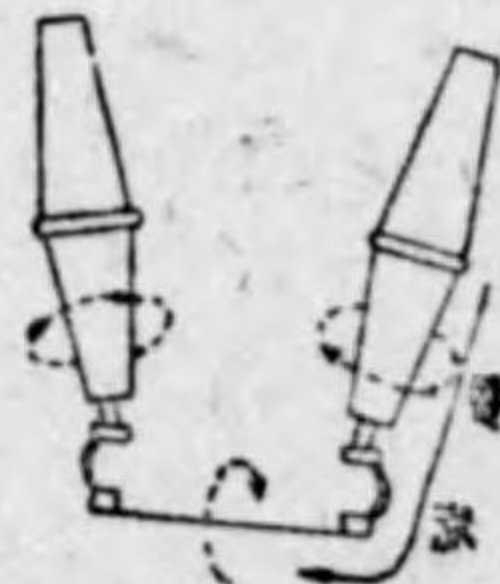
その瓦斯に押されて油は C の孔から下方へ逸出し B、C 間の電弧を消去する。

③ 膨脹室型 (explosion schalter)

①のものと原理は同一で、油を用ひず水を用ふるもので獨逸で造られた。

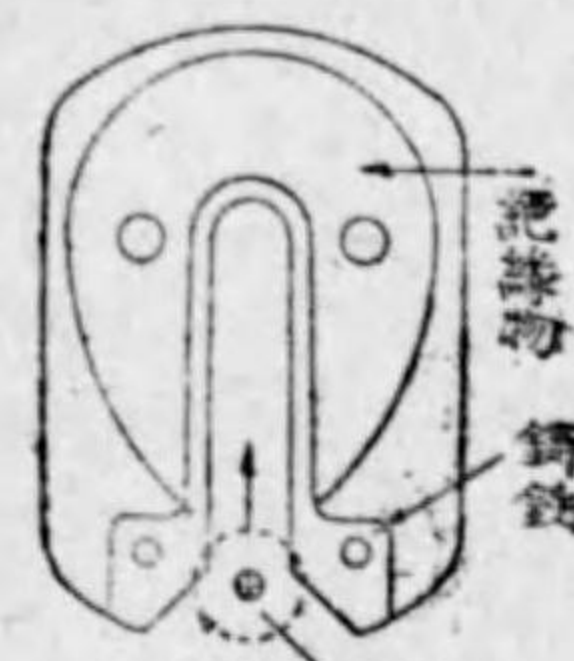
④ デイオングリット型 (De-ion grid)

油入開閉器内の電流の回路を圖の如く採れば、これと連環して磁束は点線の如く生じ、より多くの磁束を回路



第 264 圖

の内側に取込まんが爲に、電流の回路は外側に擴がらんとする傾向を生ずる。これを利用して絶縁したる鑄鐵製の溝を作る事圖の如くする。



電流の發生部  
第 265 圖

圖の如き構造物を絶縁物を挿んで十數枚積み重ねて、電弧の發生する部分をこれを以て外から蓋ふのである。電弧は鑄鐵の溝の中で發生し磁束に追ひやられて奥の方に延び、距離を擴大して遂に切れる。

空氣遮断器は 10 年程以前に歐洲で發達して、特高用として大に使用される様になりかけたが、遂に大成するに到らず、今日は油入遮断器の全盛を示して居るから、同器に就いては説明を省略する。

(C) 遮断耐量 (Lupturing Capacity)

或る遮断器を、何万ボルトの回路に使用した場合、何千アンペアの遮断容量を有するかと云ふ事は、製作者と雖も實は的確に明言し得ない。同型のものゝ安全に使用せられた經驗から類推して大約の値を云ふ程度である——但し普通何アンペアの油入開閉器と云ふのは意味が違ふ。これは電流による溫度上昇が許容範圍 (30°C 上昇) にある事を云ふので、遮断耐量とは別物である。

而も、如何なる遮断器が幾何の遮断耐量を有するかは製作者に非ざる運轉者は斷定が付かなくとも、回路のこの場所には、幾何アンペアの遮断耐量のものを設置しなければならぬと云ふ事を決定するのは設計者とし、又運轉者として是非共必要な事となる。

發電機、變壓器に對して%リアクタンスなる言葉を用ひる。その意味は、定格電流とそのリアクタンスの積の端子電壓に對する比である。即ち

$$\frac{xI}{E} \times 100 = \% \text{リアクタンス}$$

電壓 回轉數、容量、其他設計の仕様によつて非常にその値は異なるが、發電機に於ては大抵 12~18%、變壓器に於ては 6~12% 位のリアクタンスがあるものである。

だから變壓器の出口で短絡が起つたとすれば、この%リアクタンスの逆數倍だけの短絡電流が流れる。

$$\text{短絡電流} = \frac{I}{\% \text{リアクタンス}} = \frac{EI}{xI} = \frac{E}{x}$$

斯く云へば甚だ簡單だ——理論としては甚だ簡明なのがが、實際數台の發電機が並列に在り、網狀送電線の或る場所に短絡が起つた場合など、計算は必ずしも容易でない。

而して前記の短絡電流は、永久短絡値で、瞬間の最大値ではない。瞬間最大値はこの 2 倍即ち 2E/x である事は第 2 卷に詳記されてある。唯その物理的意義

を少し附加して置けば、短絡電流は大抵 90° 遅電流である。さればこの電流が流れると發電機反作用で減磁作用を呈し、電壓を降下し、その降下した電壓によつて電流を流す。然るに短絡の瞬間は、まだ電流がないからこの減磁作用がない。従つて正規電壓を以て電流が突流するからである。

されば、更に詳しく考へれば、短絡を起す直前に發電機は如何なる力率で運轉して居たか、その短絡は電壓波形の最大値で起つたか、又最小値で起つたか等の條件によつて、短絡電流の瞬間値が異つて来る。然しこれば交流の過渡現象理論で論ぜられるのであるから、今は次の如き假定を置くと云ふ事を述べるに止める

- ① 發電機、變壓器、送電線の静電容量及抵抗の影響は無視する。
  - ② 短絡は接觸抵抗なしに起つたと見做す。即ち全短絡 (Dead earth) である
  - ③ 短絡は全負荷 80% 力率の場合に起つたと考へる。即ち正規全勵磁であると考へる。
  - ④ 自動電壓調整器の影響は考へない。即ち自動電壓調整器があれば、電壓が降下するに従つて勵磁を強める——昔はこれを自動電壓調整器の缺点として論じたものであるが、實際はこれは問題にならぬ。調整器の感度は 0.5~1.0 秒位は遅れるものであり、その間に短絡の最大値は経過し、調整器が本當に働く頃には油入遮斷器が切れて居る。
  - ⑤ 短絡は、回路の過渡現象が最大となる様な電壓値で起つたと假定する。
- 以上の如くして短絡電流を計算し、その電流を遮斷し得る様、適當の安全率を見込む。

短絡電流 (又はこれに安全率を乗じたもの) に正規の電壓を乗じたものを、その回路に必要な遮斷耐量と稱する。

往々 1,500,000 kVA なる數値が云はれる。これが現在の略、油入遮斷器の最大容量である。

(D) 遮斷時間

回路に短絡を生じてから、遮斷器が遮斷を完了する迄には次の様な階梯を踏むのである。

- (1) 回路に短絡電流が流れ、従つて變流器にそれに比例する大きな電流が流れて繼電器 (Relay) を働かせ遮斷器の引外し線輪 (trip coil) の接觸点を閉ぢる。
- (2) 引外し線輪がこれによつて勵磁され、そのプランジヤーが吸引されて引き外し機構 (trip mechanism) を動作する。
- (3) 引き外し機構が動作して遮斷器の接觸子桿が降下し、先づ主接觸部が開離し、次いで補助接觸片が離れ、電弧が発生し、或る距離だけ接觸子桿が離隔したとき電弧が消えて遮斷が完了する。

第266圖は遮斷器操作機構の骨組圖で閉路の場合は D なる動作コイル (Closing

Coil) が働いて實線の矢の如く機構が動いて閉路操作を完了すれば F なる爪で引き掛けて戻るのを防ぐ。

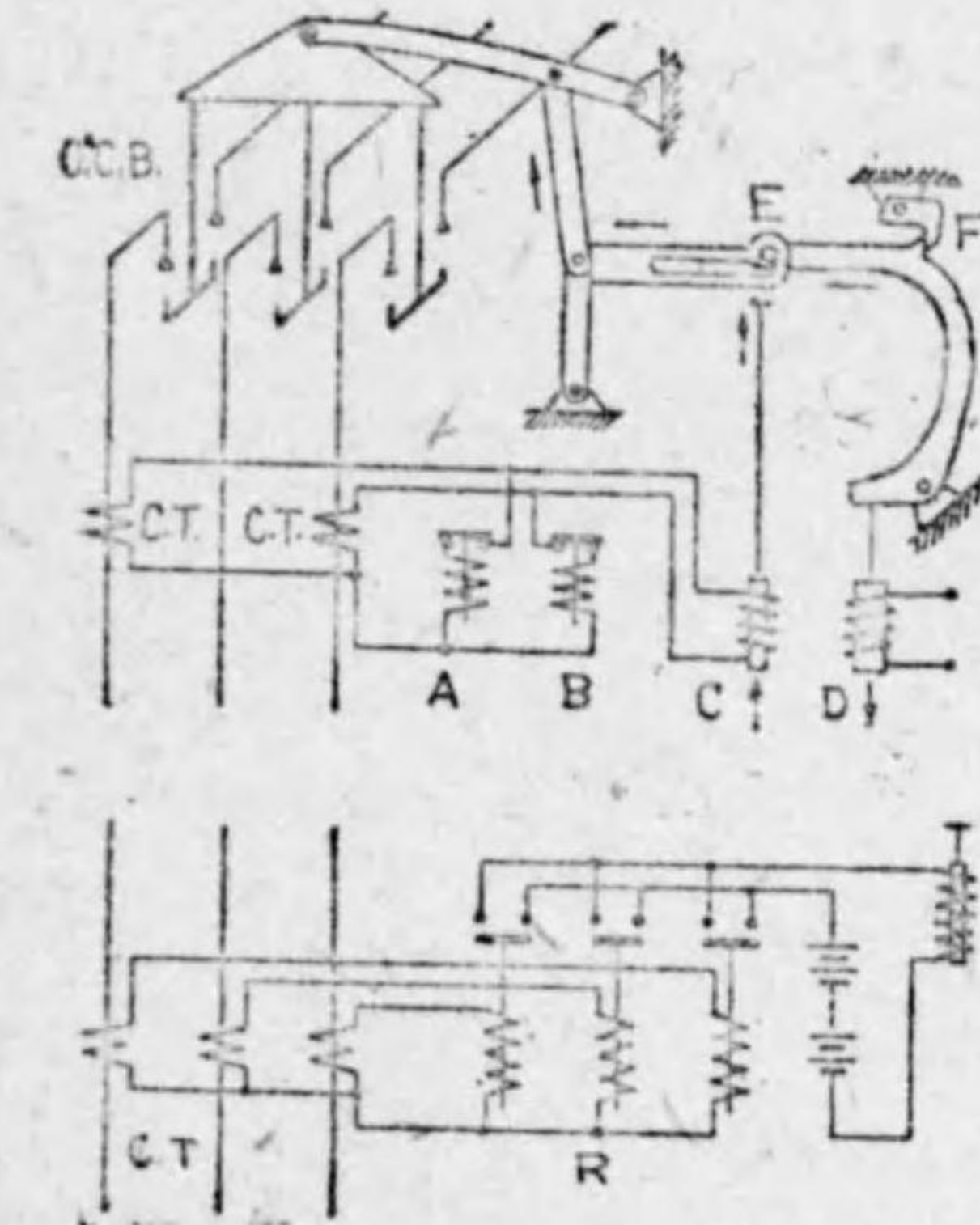
開路の場合は、變流器 C.T の電流は繼電器 A, B に働いてその接点を開く。今まで A, B によつて短絡されて居た引外し線輪 C を勵磁し、そのプランジヤーを引上げ E 点の引掛け爪を叩く。そして点線の矢の如く動作して遮斷するのである。

繼電器 A, B がなくて C.T の電流が直に引外し線輪に働く型もある。小容量のものはこの方式が多い。然しこれは時限調整を精密に定める事が困難であるから、圖の様にその間に繼電器を置く方式が考へられた。これは一時相當に用ひられた式で、特に見逃すべからざるはこれが閉路式 (Closed circuit) である事

である。繼電器回路の弱点は接点の接觸が完全に行はれるか否かにある如何に巧妙な機構でも、折角の操作的に接点の接觸が悪くては何もならない。閉路式の特長は平生電流が流れて居て操作時にそれを切る点にある。

だから、この方式は原理的に良好なものであるが、一方操作の確實有効なるが爲に相當の電流の量を要する。その多量の電流を平時流して置く事は經濟的でないばかりでなく、機器の設計上甚だ不利である。

そこで第 266 圖の如く、原理的には必ずしもよくないが、繼電器は、變流器の電流で操作し、繼電器の接点には直流を導いて、引外し線輪の働作を確實有力ならしめて居る。



第 266 圖

さて斯くの如く、機構が重複錯綜して居るから、短絡を生じてから遮斷器の操作が完了するまでにある時間を要する。

この時間は、廻轉變流機の様き機械を保護する目的で設置される高速遮斷器に於ては最も短かい事が必要であるが、發電所の油入遮斷器の如きに於ては寧ろある時間の遅れを必要とするのである。

其意味は第 1 は選擇遮斷の必要で、需用点に近い即ち發電所側から云へば先の方ほど早く切れて、根本即ち發電所に近いほど遅れて切れて呉れねば故障の度毎に發電所の遮斷器が飛ぶのでは、故障箇所の發見にも困る。第 2 の必要は、既に

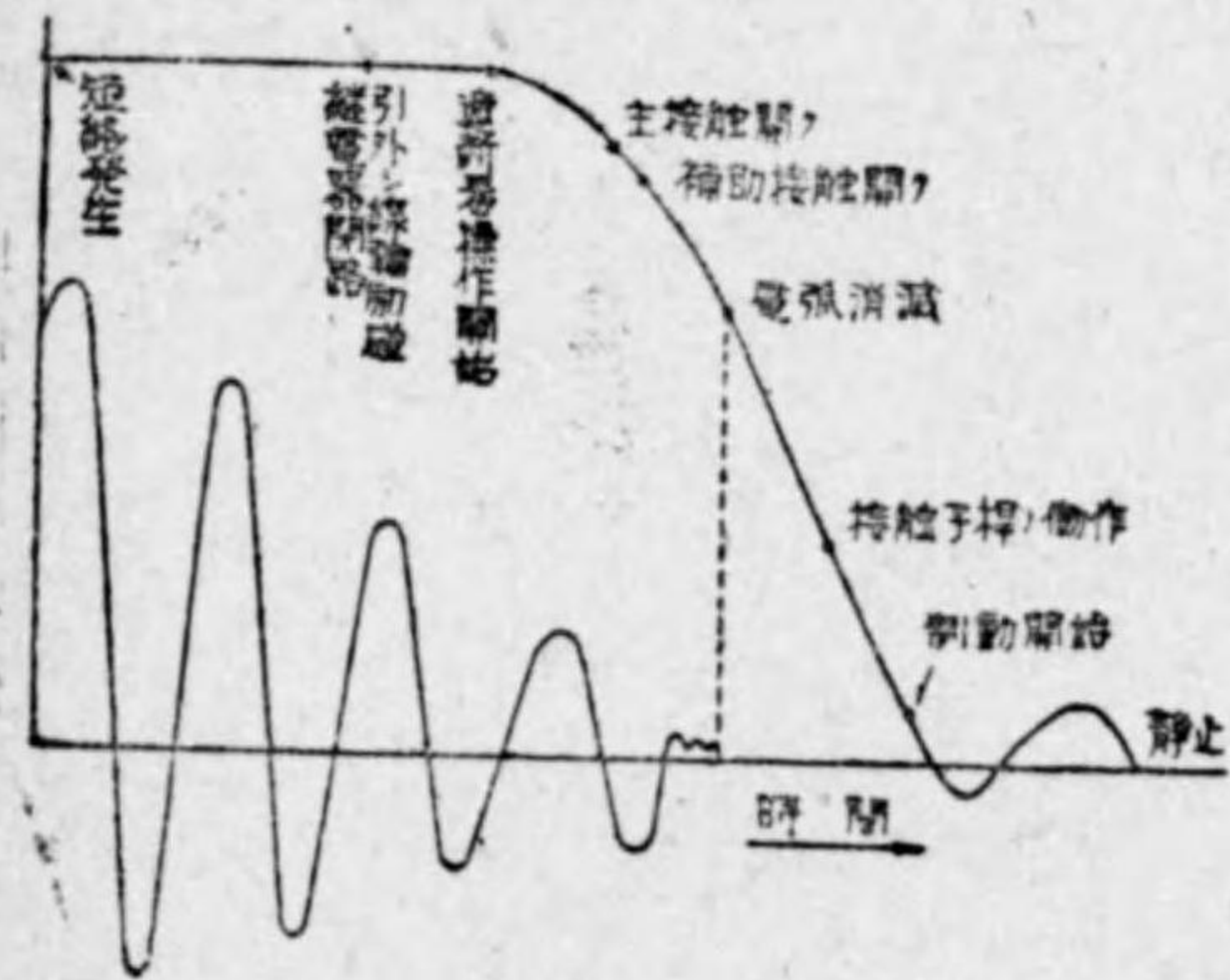
短絡電流値の節で述べた如く、短絡の瞬間は永久短絡電流の2倍の電流が流れるのだから、これを遮断するのは困難が多い。而して発電機の破壊するのは巨大な電流による電磁作用もあるが、主なるものは熱で焼ける事で、熱の発生による温度の上昇は決して瞬間的ではないから、短絡の瞬間に遮断しなければならぬと云ふ事はない。

だから中間に継電器を挿入して 1.5 sec ~ 3 sec 倍の後に遮断するが如く調整する。

猶短絡を生じてから、遮断器の操作完了までの電流と、遮断器の接触子桿の運動を圖示すれば、第 267 圖の如くなる。

又継電器を用ゆるれば、その調整によつて、遅れさす方は自由であるが、速くする方には継電器の性質によつて最小時限の限度がある。

電源として変流器の二次電流を用ゆる方式(第 266 圖の如き)では継電器を使用せず引外し線輪を直接変流器に接続する場合が最も敏速で、大凡 0.08sec 位プランジヤ型(Plunger type)の継電器を使用するもので 0.1~0.15 sec 誘導型継電器を使用すると 0.2~0.3 sec 位となる。更に第 266 圖の如く引外し線輪に直流を導く型では 0.25~0.4sec 位を要する。



第 267 圖

て色々の變化ある操作をなさしめる事は電氣のみのなし得る獨壇場であるから、苟くも電氣家とあるものはその研究には充分努力すべきだと思ふ。

発電所に用ひられる継電器の種類だけを列記して置かう。

- a 過(低)電流継電器 (Over or under Current relay)
- b 過(低)電壓継電器 (Over or under Voltage relay)
- c 電力継電器 (Power relay)
- d 差働(平衡)継電器 (differential or balanced relay)

E 継電器

継電器の種類は實に多いその原理及構造は巧妙を極めて居る。更にそれを使用する回路の方式に到つても多岐を盡して居るこれらと比較研究するのは甚だ興味ある事であるが、何分過量なものと発電所としては稍本筋を離れるので一切省略する。但しこの巧妙なる継電器を使用して色々の場合に應じ

- e 反相継電器 (reverse phase relay)
- f イムビダンス(距離)継電器 (impedance or distance relay)
- g 温度継電器 (temperature relay)
- h 壓力継電器 (Pressure relay)
- i 周波數継電器 (frequency relay)

等がある。そしてその構造原理は、主として電磁作用による、プランジヤ型(Plunger type)か廻轉磁界による誘導型(induction type)が最も多く、メーカーの原理による可動線輪型(moving coil type)及熱作用型(thermal type)も時には用ひられる。

又時限(time delay)に就いて云へば

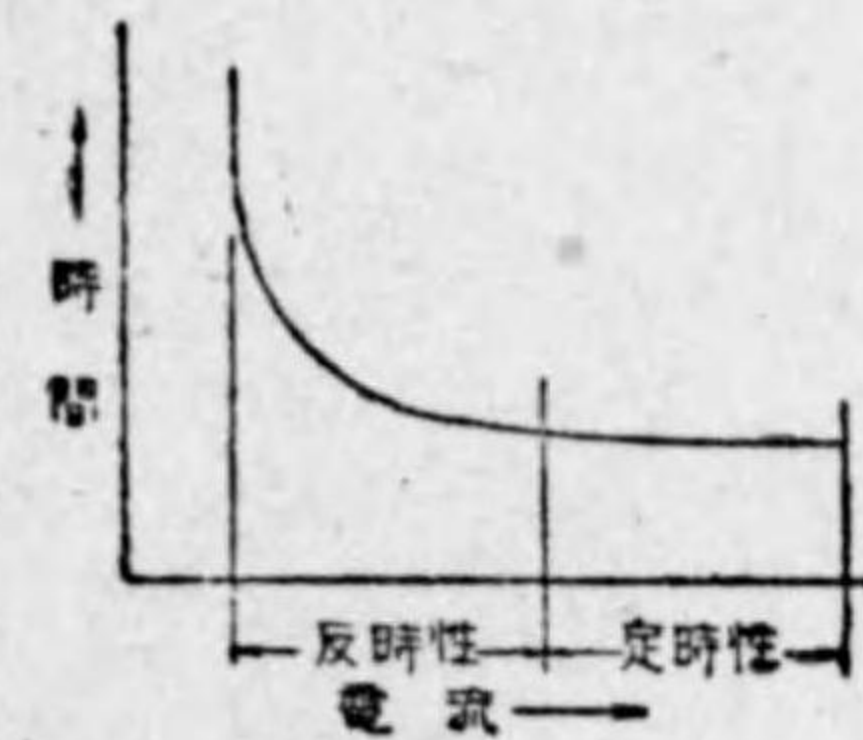
j 即時(instantaneous) 何等の時限装置なきもので、電流電壓が或値を超えれば直に動作する。實際はそれでも 0.08sec 以下にはならぬ。

k 定時限(definite time) 電流がある一定値を超えればそれ以上は電流の大小に關係なく一定時限を有するもの。

l 反時限(inverse time) 電流に反比例した時限を有するもの。

m 反定時限(inverse-definite time) 電流の値がある値以下になると反時限性を有する。然しその値以上では定時限であるもの、普通の誘導型継電器は大體

この特性を有して居る。



第 268 圖

n 比例時限 これは二つの相反する勢力源によつて動作するもので、例へば電流によつては動作を起すが電圧はこれを抑制する。イムビダンス継電器の如きがこれで、送電線の末端で短絡を生じたとすると、短絡電流は全線を通じて同一であるが、故障箇所の近くでは電圧は全く降下するから、その附近の継電器は直に動作するが、送電端では電圧降下は甚だしくないから、そこにある継電器は動作しない。

F 断路器 (disconnecting switch)

これは既に述べた如く死線だけを切るもので、決して遮断耐量のあるものでない。唯ある回路を區分する爲に置く施設である。輕視され易いが、その役目は甚だ重大で、特に回路の如何なる場所に置くかは設計の良否の分れ目になる。

構造は普通の双型開閉器(knife switch)又はその大型のもので、過熱せぬだけの電流容量と、今一つは短絡を生じた場合電磁作用で、開路する惧れがあるから開止め装置が必要である。

直接開閉する事はなく、鉤又は機械的の連鎖機構で、或る距離を隔てて操作する。電流は流れて居らぬ回路であるが、送電線や避雷器の前に置く場合にはそれ

らの充電々流の爲スパーク的の電弧を發生するから、電弧角 (Arc horn) を備へる事もある。

G 可熔片 (Fuse)

猶回路遮断の目的で使用されるものに可熔片がある。

これは特別高壓には極めて特殊の場合しか用ひられぬ。先づ高壓までである。銅 (特殊の場合には白金線もある) 又は鉛と錫の合金の、線又は平板を、露出型 (open fuse) 包装型 (enclosed fuse) 等の型に従つて備へたもので、定格以上の電流が通ると發生熱の爲熔解して遮断する。

液入型 (oil immersed) と稱して油中に置くものもあるが、定格値が狂ふから好ましくない。

高壓用としては放出型 (explosion fuse) と云ふのが有る。口の狭い絶縁容器の内に可熔片を装置したもので、加熱熔解した時、内部の空氣が膨脹噴出して、電弧の發生を妨げる。又 S.C. フューズの名で知られて居るものは、可熔片を彈條を以て引張つて居る。熔断と共に距離が増加して遮断の目的を達する。

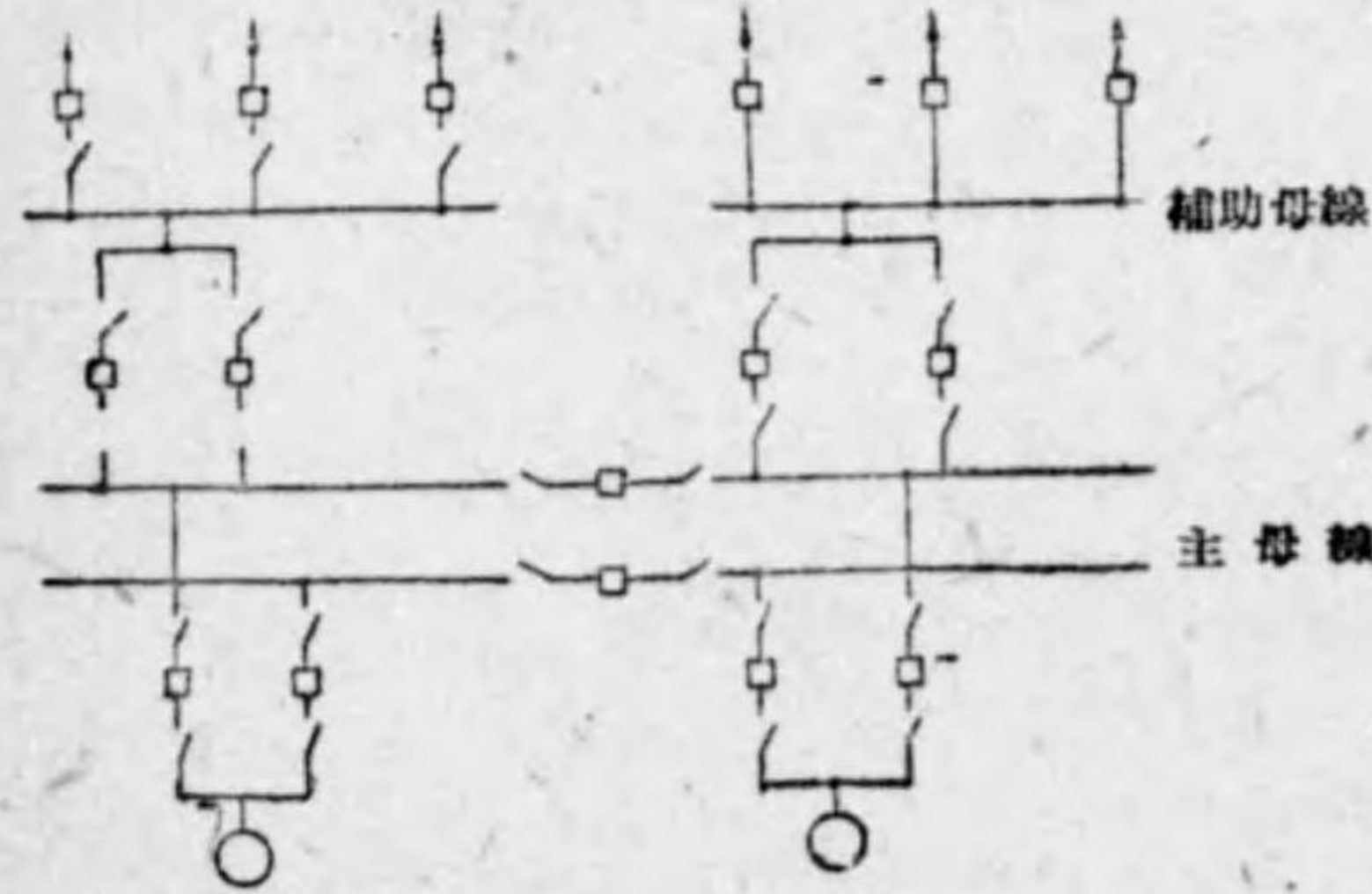
(26) 母線及導体

A 母線方式

母線方式に就いては既に 19 に於て述べた。單一母線式 (Single Bus System) は簡單ではあるが、融通性 (Flexibility) が乏しいから大發電所では用ひられない。矢張り二重母線二重遮断器方式 (Double Bus double breaker system) が面倒ではあるが用ひられる。

二重以上にすることはない例ではないが、考へ物だ。

母線を二箇以上に區分し得る様開閉器を設置するものを、分割母線式 (Sectionalized Bus system) と稱し、更に兩端を連絡したのを、環狀母線式 (Ring Bus system) と稱する。これは送電線若くは饋電線の多寡に従つて便否が定まる問題で、更に饋電線の多い——これは主として都市の電車變電所の如きに用ひられるが——場合は、補助母線を追加して集團母線式 (group Bus system) が採用される



第 269 圖

補助母線を除けば二重母線二重遮断器式となり、主母線の兩端に開閉器を挿入す

これは送電線若くは饋電線の多寡に従つて便否が定まる問題で、更に饋電線の多い——これは主として都市の電車變電所の如きに用ひられるが——場合は、補助母線を追加して集團母線式 (group Bus system) が採用される

第 269 圖はこの例で

れば環狀母線式となる。

母線方式の良否得失に關しては述べるべき事が甚だ多いのであるが余り冗長になるを恐れて省略するが、唯其の優劣を比較検討する場合の注意を述べる。

第一は母線は母線の爲に存在するのではないと云ふ事である。母線方式の比較を書いてある書物の中に、一號母線が故障を生じた場合に二號母線を使用する、と云ふが如き意味の事を見受けるが、これは最も誤れるものである。

凡そ母線は發電所の電氣施設の中で最も堅牢安全なるべきものである——實際は時折故障も生ずるが、それは設計構造の過誤で、原則的に云へば決して故障があつてはならぬものである。

母線の使命は結局、系統の切替にある。負荷を中斷する事なしに、並列運轉にあるものを單獨送電にする。A 發電機を B 發電機に切り替える。これが最大の用途である。

それから送電線の故障は、その出口の油入遮断器で遮断する。發電機、主變壓器これも亦夫々の遮断器で系統外に切り放つ。然らば遮断器の故障は?

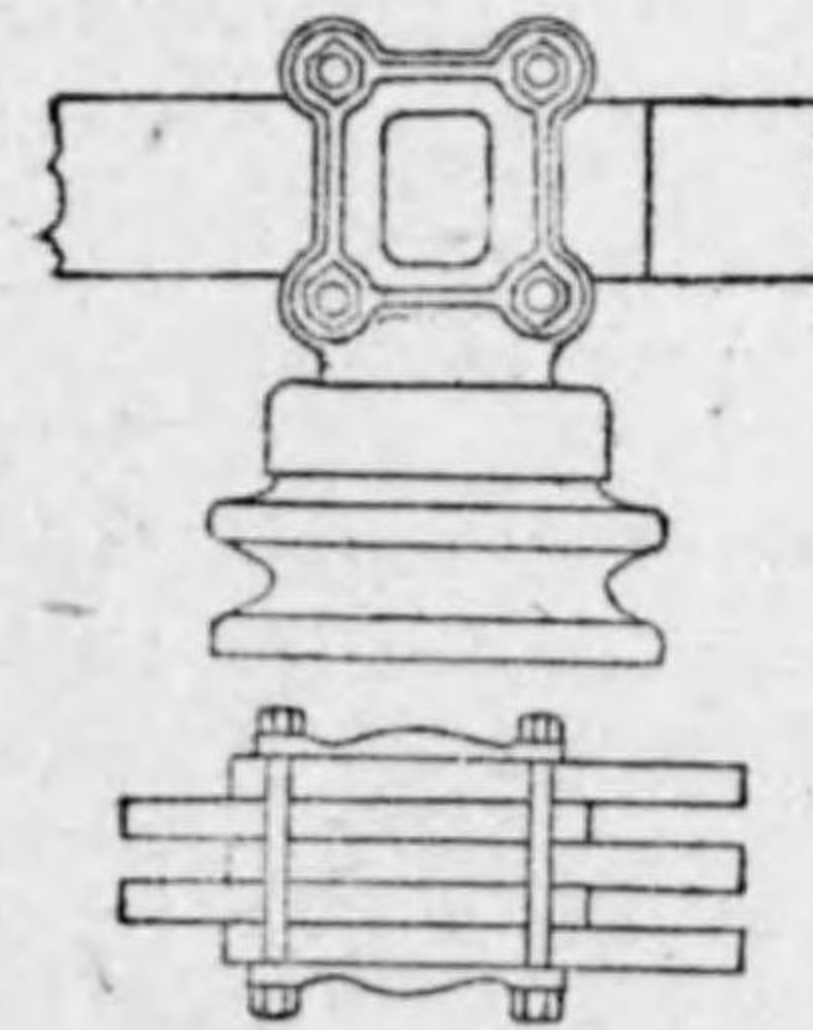
これを母線で切り替えるのである。

畢竟母線の使命は上記の二つに歸するので、最後に、母線自身の故障、掃除、点檢等をも加味して母線方式の比較をすれば自ら利害得失は判然する。

B 母線材料及構造

母線は銅棒、銅帶、銅管等を用ひる。硬引アルミウム帶も時には用ひられるが鐵附けがきかないので不便である。

銅棒と云ふても太い線の事で、200~250 アムペア位までは B.S. 4 番線 (面積約 100mm<sup>2</sup>) を用ゆる。大体、電流密度は導体の細い場合及單獨に存在する場合は 2~2.5 A/mm<sup>2</sup> とし、銅帶等の如く面積大きく、且つ幾本も並列に使用する場合は 1.5~2 A/mm<sup>2</sup> 程度に取る。



第 270 圖 (A)

250 アムペア以上になると銅管を使用する。それは 4 番以上の太い線は市販にないから、どうせ注文するなら、表皮作用が少なく、熱の放射面積の大きく、強度も大きい銅管の方がよいからである。

更に大容量のものには銅帶を用ふる。厚さは大抵 6.5mm、幅は 60~100mm 位のものを銅帶の厚さ位の間隔を隔て、幾枚も重ねて用ふる。風通しのよい様に、銅帶が縦になる様に設置するのが原則だが、壁に沿ふて横に置はす時には水平に置かねばならぬ事もある。この場合は 25% 位電流容量が減少する。

これは 25% 位電流容量が減少する。

銅帯の接続は両方の端部を半田で鍍金し、交互に合せて締付けながら加熱する。これを頑丈なクリップで支持する。クリップの金物は昔は鑄鐵で造つたが、大電流が通ると加熱するので現在は非鐵金屬を用ふる。

又短絡を生じた場合、他の相の導体との間に大きな磁力線による反撥力を生ずる。

その力は次の式で計算される。

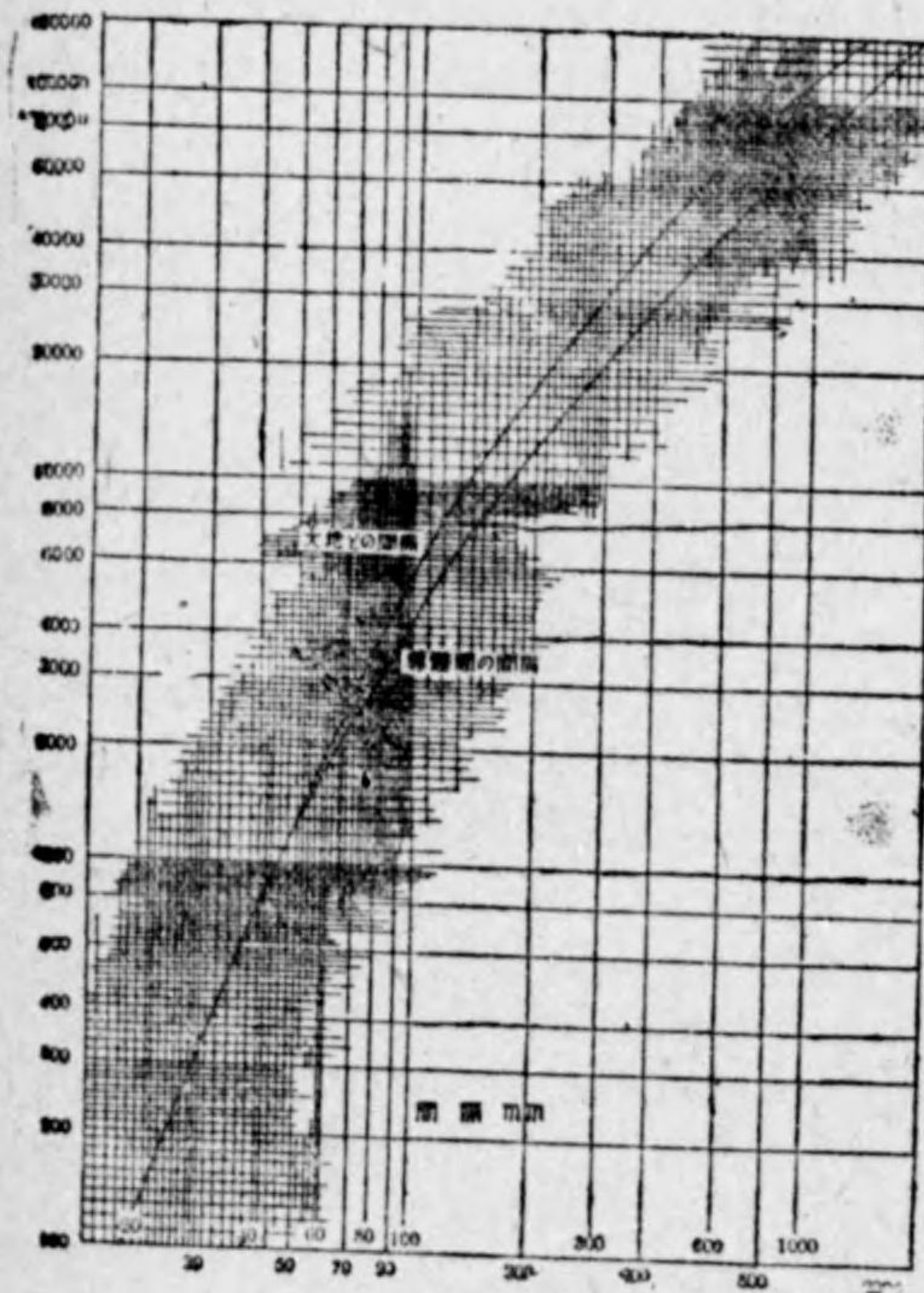
$$F = \frac{2.35 \times k \times I^2}{S} \times 10^{-4} \text{ kg}$$

F=電磁力による反撥力 kg I=短絡時の最大電流 A l=支持点間の距離 cm

S=母線間の距離 cm

k=銅帯の形状及配置による更正係数で銅帯が偏平で、それが互に水平に並んで居れば1以下であるが、縦に並んで居れば1以上で大抵 1.2~1.3 と見て差支ない。

導体相互間及大地との間隔は電圧に従つて、大抵第 270 圖の距離を隔てる。



第270圖(B) 導体間及大地間との最小間隔 (縦軸電圧ボルト)

屋内に設置する場合は特別高壓は、大抵劃壁(Compartment)を造つて各相毎に分割する。劃壁は大地になるから線の間隔は第 270 圖の約 2 倍は必要になる。劃壁は厚さ 50mm 程のコンクリートの壁で、鐵筋又はメタルラスを挿入するものもあるが、加熱することを恐れて竹又は葎の小舞(コマイ)を入れること日本壁の如くにする所もある劃壁の用は蜘蛛が巣を掛けたり蛇が紐間を短絡したりするのを防ぐのにある。

屋外の場合は、細い母線は普通の送電線用の導線を碍子で緊張して用ふる。太いものは銅管が多い。70,000V 以上で懸垂

碍子を用ふる場合は管の自重による彎曲が目立つて、甚だ美觀を害するので鋼管を使用した例もある。

市内の屋外變電所になると火事の折焼けた材木や、風で看板が飛んで来る事を恐れて鐵構全部を鐵網で包んだ例もあるが、かくする程なら寧ろ屋内施設とすべきかも知れぬ。

(27) 保護装置と保安裝置

A 差動繼電器

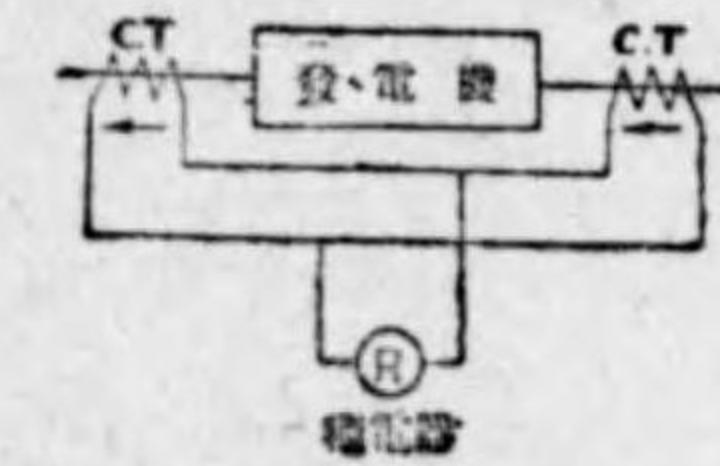
繼電器の種類はその名稱だけを(25)に於て述べた。實に多種多様で而もドンドン新らしき考案が發表される。

これらの繼電器は制御用もあるが實は主として保護裝置に用ひられるのであるされば茲に保護裝置を記述するに當つては、幾分繼電器の内容に觸れざるを得ない。

保護裝置として最も重要な差動方式に就いて述べる。

差動方式は略々 2 種類に分つて考へる事が出来る。

① 直列差動方式 被保護機器、例へば發電機を中に挿んで前後に變流器を置き、これを直列に接続し、之に分路して繼電器を接続する。



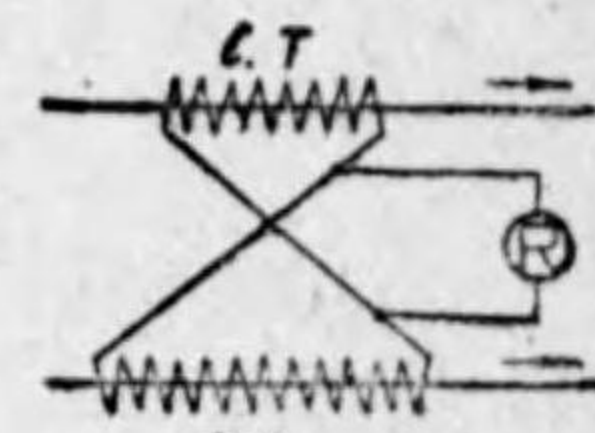
第 271 圖

一次電流が被保護器の前後に於て等しい間は二次電流は直列に循環して繼電器には流れないが、機器の内部に何等かの故障を生じ一次電流の前後の値が異れば、その差に比例するだけの電流が繼電器に流れて動作する。

② 並列差動 第 272 圖の如く並列回路に使用せられるもので、内容は直列差動と變らない。

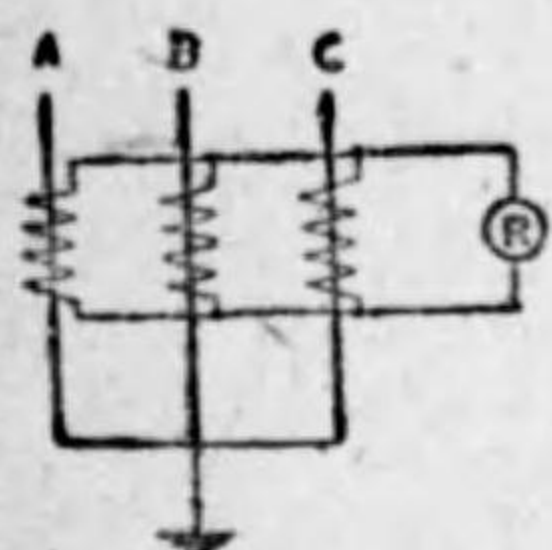
二つの回路の電流が相等しければ(又は設計通りの比例値を採つて居れば)變流器の二次電流は唯環流するだけであるが、回路電流に差を生ずればその差だけは繼電器を流ればならない。

繼電器を流れるのは差電流だからその値は小さい。従つて繼電器そのものは極く敏感なものである必要がある



第 272 圖

③ 接地繼電方式 これは方式から云へば並列差動の一種に過ぎないが、特に地氣發生に對する保護裝置として零相電流を利用する点が異つて居る。



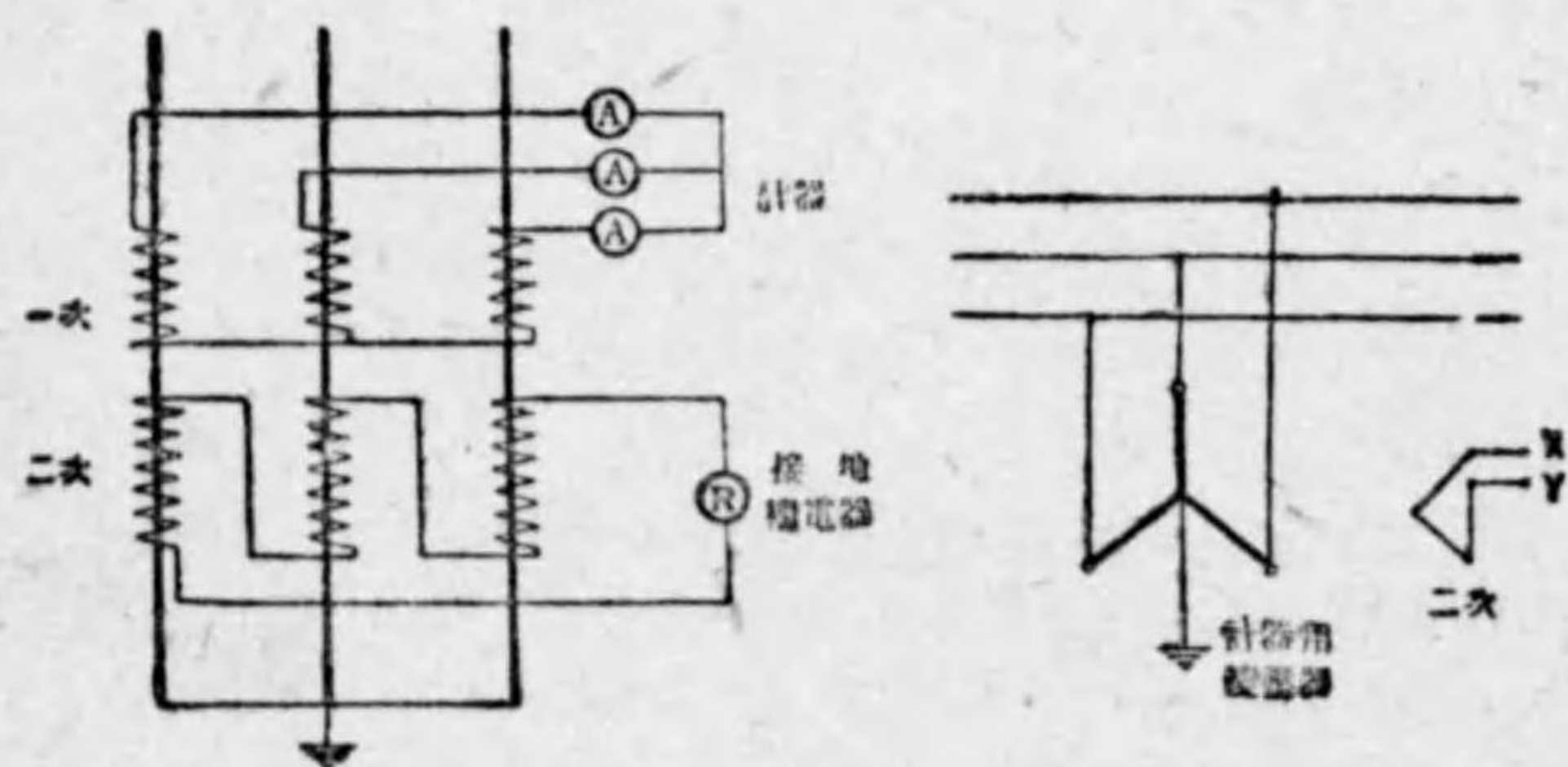
第 273 圖

A, B, C は星形結線の発電機の中性線である。それに變流器及繼電器を接続する事圖の如くする。3相電流の和は常に零だから、A, B, C の各相に、たとへ不平衡が生じても地氣でない以上は、その二次電流は變流器内を環流するに止まる。然るに1相、例へば B に地氣を生じたとすると、その接地電流は A, C の何れをも通ることなく、大地を通つて所謂零相電流となる。この接地電流だけが繼電器を流れる。

實際はこの接地繼電器の爲のみに特に3箇の變流器を置く事なく、第273圖の如く計器用又は他繼電器の變流器に第三次捲線を施して、その接続を圖の如く即ち計器用の二次捲線は並列に接いで各相の電流を測り—その中性点を橋絡して接地繼電器を挿入すればよいわけであるが、計器のインピーダンスが接地繼電器の感度に影響するから—第三次捲線を直列に接いでこれに接地繼電器を置く第三次捲線中には3相の如何なる電流も流れない。(三次は直列接続だから)唯接地電流のみが流れる。同様に二次には、3相電流のみが流れて、接地電流は決して流れない。(中性点の橋絡がないから)

然しこの接地零相電流は発電機の中性点が高抵抗接地なぞの場合はそう大きな値にならず、従つて接地繼電器に與へ得る勢力も小さく、充分の感度を有せしめるのに困難する。そこで、更に零相電圧を求めて、電圧電流相俟つて接地繼電器を電力式繼電器として操作を確實ならしめる。

零相電圧を得る方法は第274圖右方の圖の如くである。



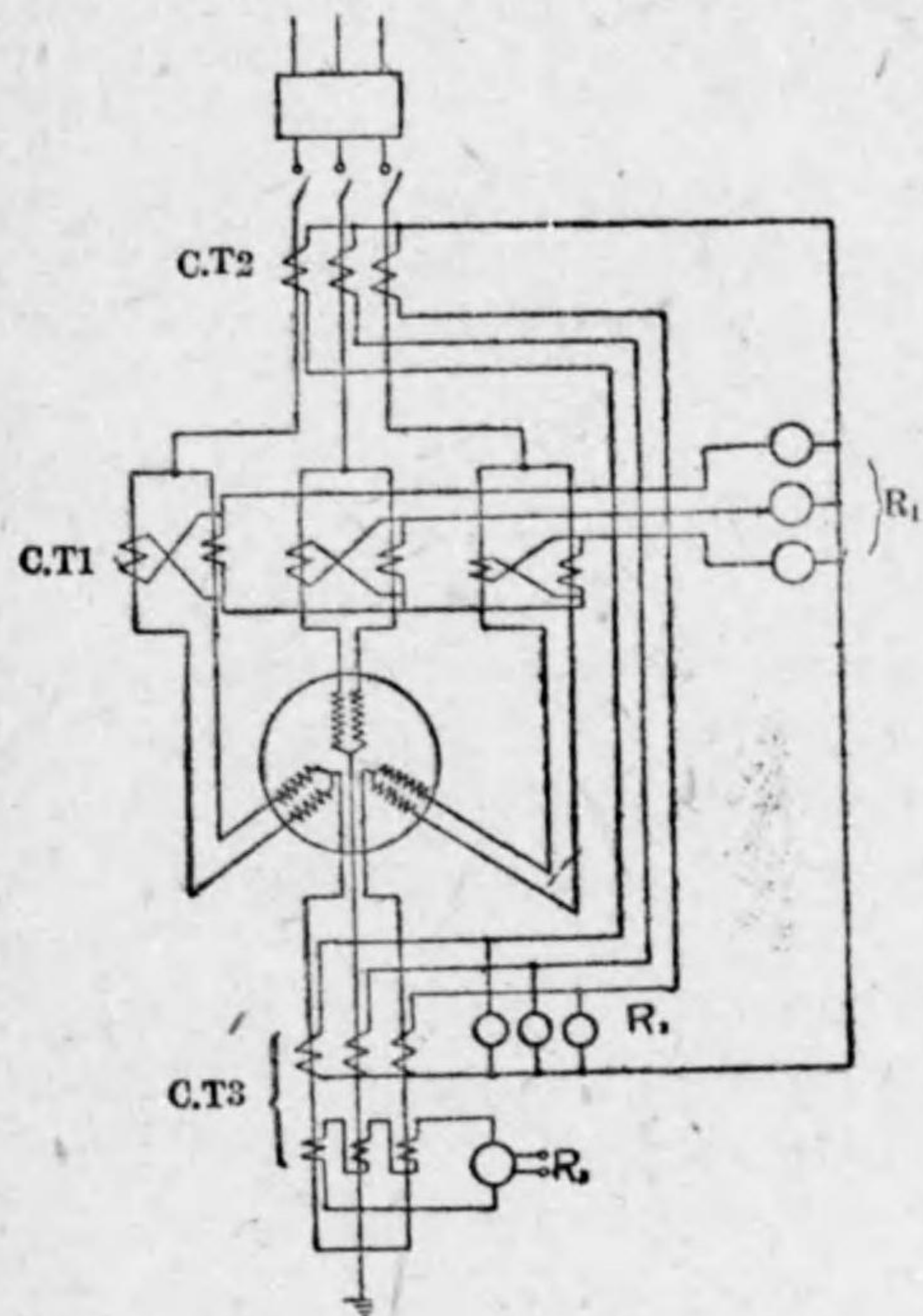
第 274 圖

計器用變壓器を星形に接続して中性点を接地する。二次捲線は開三角 (Open delta) に接続して、その開いた口 XY の端子を使用する。交流理論で周知の如く、一次のこの結線に於て3相大地電圧のベクトル和は零であるから、一次に地氣がない場合は二次の XY 端子間には電圧はなく、一次に地氣を発生したとき

その接地零相電圧だけが現れて来る。

### B 發電機の保護装置

上記の差動方式を使用した発電機の保護装置接続は第275圖の如くである。



第 275 圖

發電機は、二重星形結線で、C.T. 1 の並列差動方式による繼電器 R<sub>1</sub> によつて各相中の不平衡による故障に備へ、C.T. 2 と C.T. 3 及 R<sub>2</sub> の直列差動式繼電方式によつて機内の層間短絡又は相间短絡等を防ぎ C.T. 3 の三次線には接地繼電器を備へて居る。

この他、逆電力繼電器も稀に使用する事がある。然し單なる過電流繼電器は昔はよく用ひられたが現在は殆んど用ひない。

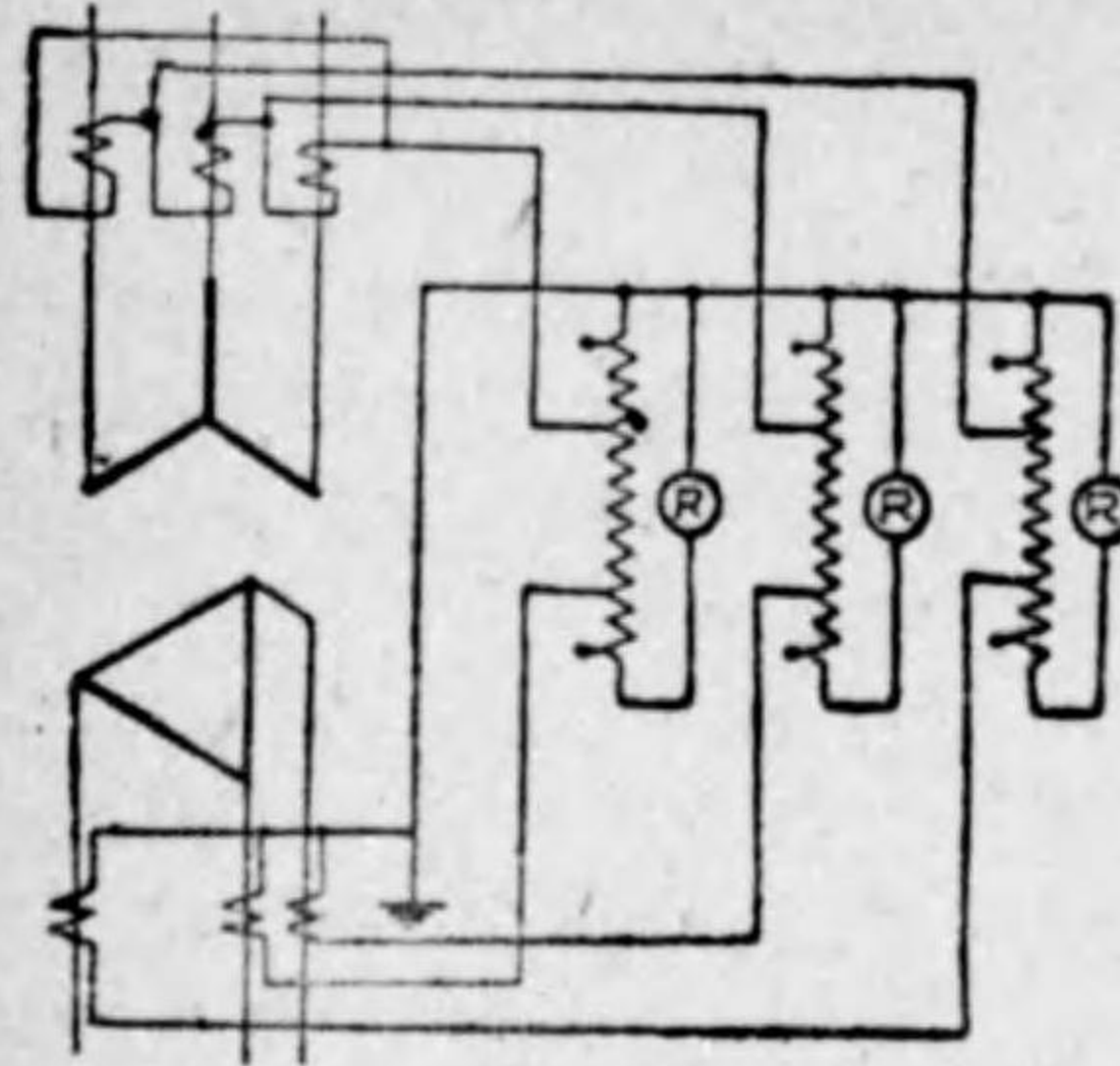
但し自動発電所の如き監視の不充分な個所では熱作用を利用した型の過電流保護装置を用ひる。これは瞬間の過大電流を恐れるのではなく、全体的過負荷による機器の焼損を顧慮するからである。

又軸承溫度繼電器 (Bearing temperature relay) 磁界制御回路の故障、過速度に對する保護等には夫々繼電器による保護装置を置く。

### C 變壓器の保護

變壓器も發電機と同様に、差動繼電方式によつて内部の故障を保護するのが普通になつて居る。唯變壓器は發電機と違つて一次と二次では電流が甚だしく異なるのみでなく、位相も相違し、それが常に一定に比例を有するのではなく、勵磁電流なるものゝ存在の爲負荷に依つて大なる差を生ずる事である。

第276圖は一次三角二次星形なる變壓器の結線で、變流器はこれを補整する意味で、逆に一次側は星形に二次側は三角に接続し、變壓比に應じた變流比を以て差動繼電方式に適合する様にするのであるが、それでも設計の計算通りには出な



第 276 圖

いので、タップ変流器 (tap transformer) なる単捲変圧器を中間に挿入し、そのタップを適宜に選んで調整する様にする、然し変圧器には一次側に勵磁電流と云ふ相當大きな、そして位相の異つた量が附加されて居るのだから、精密な比例を保たしめる事は到底困難で結局、繼電器の余り鋭敏なものは用ひられない事になる。特に閉路の瞬間の電流の突流 (Current rush) 等の問題もあるから、余儀ない次第である。

他に近時、變壓器の内部故障に對して、油の熱分解によつて生ずる瓦斯を利用するブッフホルツ (Buchholz) 浮標型繼電器なるものがある。甚だ風変わりなものであるで紹介して置く。

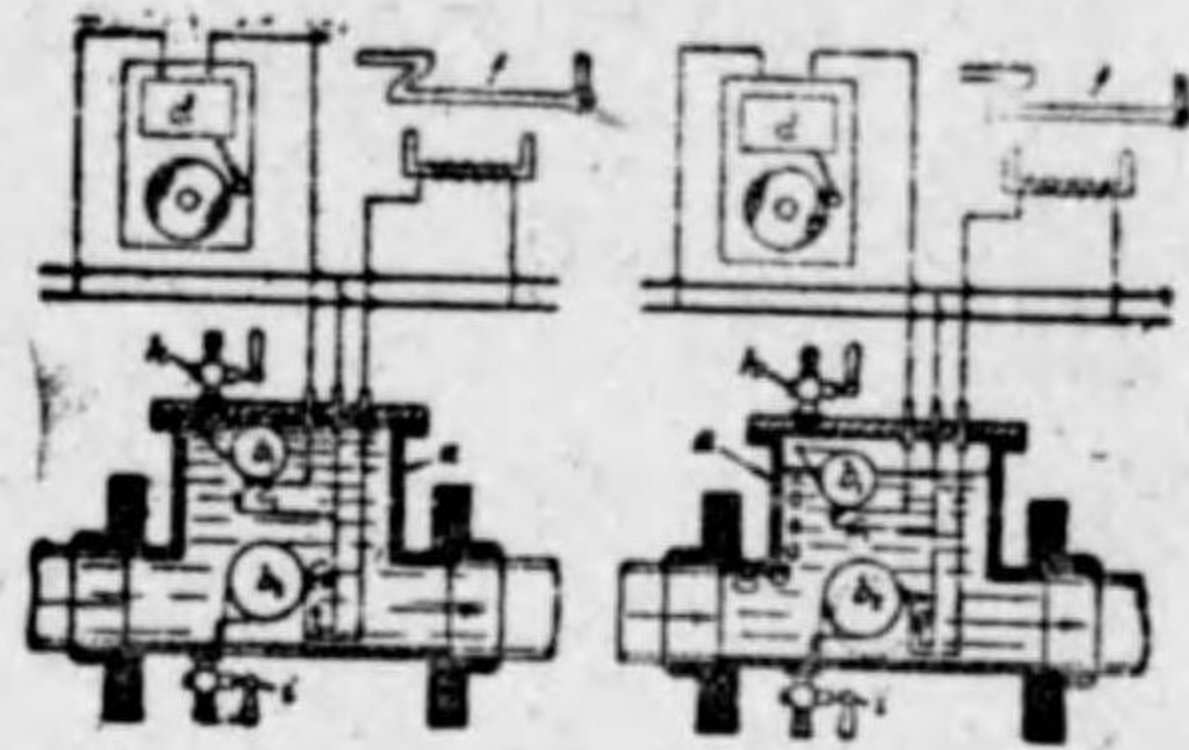
變壓器の主タンクと油保存タンク (reservoir tank) とを連結する管の中間に設置するもので、管内に2箇の浮標を納め上部の浮標は圖の如く瓦斯が発生して、上部分に溜ると自身の重量で垂下して接觸を作り警鈴を鳴らす。下部のものは油の急激なる移動によつて同じく警報する装置である。

他に送電線の保護装置も、その装置は發電所内に置かれるのであるが、これは送電線の編に護る。

#### D リアクトル (Reactor)

昔時電力の需用は電燈が主であつた時代は發電機の電壓變動率は小なる程よしとせられた。従つて發電機自身のリアクタンス、線路のリアクタンス共に有害なるものと考へられた。

發電機容量の増大と共に理論には變りはないが、實際問題として短絡電流が余りに過大になつて、遮断器の容量がこれに堪えられなくなるので、短絡電流の値を3~4、最大5倍程度に限定せんとするに到つた。發電機と變壓器のリアクタンスが充分でない場合には、別にリアクタンスコイルをその回路に挿入して、目



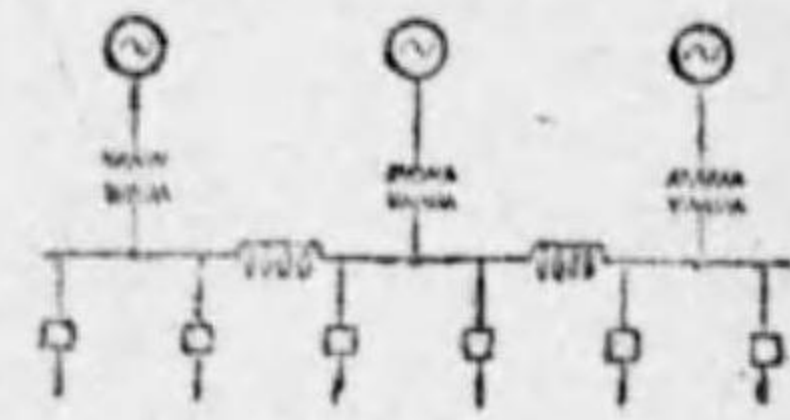
第 277 圖

的を達せしめる。かゝるリアクタンスを限流リアクトル (Current limiting reactor) と稱する。

リアクトルの挿入法に2つある。

① 發電機リアクトル 發電機から母線までの間に挿入する方法で、發電機を直接保護する目的は到達し得るが、常に發電機電流による一定電壓降下を生ずるを免れない。

② 母線区分リアクトル 第278圖の如く母線を幾つかの区分に分つてその区分の間にリアクトルを挿入するもので、圖の様に各送電線 (又は饋電線) が發電機に對して平等に接続負荷されて居る時はリアクトルを通る電流は送電線の負荷の差だけで、従つて電壓降下も甚だ尠ないが、1線に短絡を生じた場合その線へ他の發電機の電流が翕流する事を防止制限するの效果がある。



第 278 圖

①は殆んど用ひられて居ない——昔都市の火力發電所が、普通高壓、若しくは6000V程度で、直接配電を行つて居た頃にはよく用ひられたが、今は凡て②の方式だけしか用ひられない。

構造は、大きな塞流線輪 (choking coil) に異ならない。鐵心は飽和現象があるから用ひられぬ。短絡時巨大電流の電磁歪力を受けるから、頑丈な木材又はコンクリートの心を置き、これに適當所要の回数を捲き、時にはコンクリートの内に埋め込みにしたものである。

單に限流のみに止まらず、1箇の塞流線輪として短絡時の搖動 (サージング) による波頭急峻なる進行波をも受ける事があるべきものだから、出口と入口の附近は——これは變壓器の捲線も全く同様だが——機械的並に電氣的に堅固な構造とする。

#### E 保安装置

① 機械又は機器に故障を生じた際、これをその系統から除去して適當に處理するものを保護装置と云ひ、外部即ち送電線の故障、主としてサーチが機内に流入するのを防ぐ装置を保安装置と云ふて居る。

サーチは短絡開路の遮断現象からも起るが、大なるものは、固より直接間接の雷撃である。

270 萬ヴォルトなどと云ふ巨大な誘導電壓を生ずる事が、近時クリドノグラフ (kly dono graph) の發達で測定されるに到つた。又その振動數も10萬サイクルの程度だと云はれて來たが、これも陰極線オツシログラフ (cathode ray oscillograph) 等で實證されるに到つた。即ち送電電壓の10~20倍と云ふ電壓が、



而も非常な高周波、従つて急峻な波頭を有する進行波となつて襲撃して来るのであるから、これが機器に侵入すれば大なる被害を生ずることは云ふ迄もない。

だからかゝる高電圧を誘起しない爲に、完全にその目的を到達しては居ないが——送電線上に地線 (ground wire) を張り、又進行波の急峻な波頭を緩和する爲に塞流線輪を置く——塞流線輪はかゝる高周波に対してはリアクタンスの値が高くなる。即ち

$$\text{インダクタンス } L = 0.4\pi nA \times 10^{-8}$$

$n$  = 塞流線輪の捲数

$A$  = " の面積

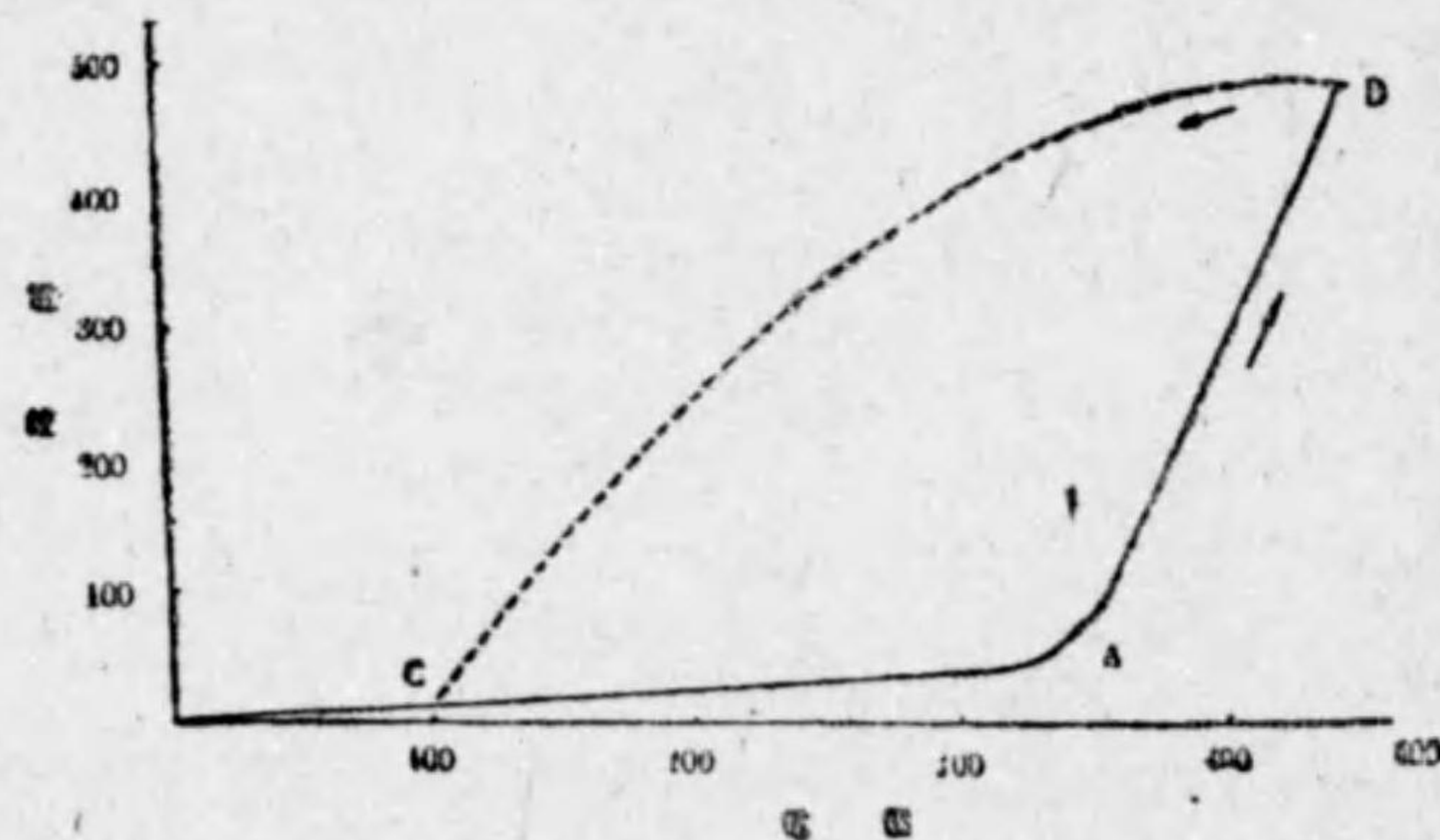
但しこれは理論値で、 $n$  なる捲線が1箇に集中されてある場合で、普通の塞流線輪の如く或る長さ distributes して捲かれる場合は漏洩を生ずるから、 $L$  の値はこの式より少し小さくなる。この修正係数は 0.8 と考へれば充分である。

そして、リアクタンス  $x = 2\pi fL$ 、

であるから、周波数  $f$  が非常に大きくなると  $L$  はさまで大きなくとも、 $x$  の値が大となり、それで雷撃のサーチの侵入を防ぐと云ふ風にも云はれて来たが、これは實際の塞流線輪に就いて計算して見ればわかる事で、決してこれで完全に防げる程大きな値とはならない。唯急峻なる波頭を幾分緩和するに役立つ程度であるそこでサーチのエネルギーを吸収して仕舞ふと云ふ方法が1つだけ残る。

## ② 避雷器

避雷器の持つべき特性は弁作用である。即ち理論的に云へば第 279 圖の如く、



第 279 圖

或る限界電圧 (Critical voltage) 迄は電流を全く通さない。若しくは通しても非常に尠ない。而してその電圧を越えると忽ち多大の電流を通す事 A B の如くなる。そして電圧が低下すれば再び B A の線に沿ふて戻ることが理想的であるが

これは望み難い事で、多くは B C の如き線を描く。

斯くの如き特性を有するものは先づ第 1 に空隙である。

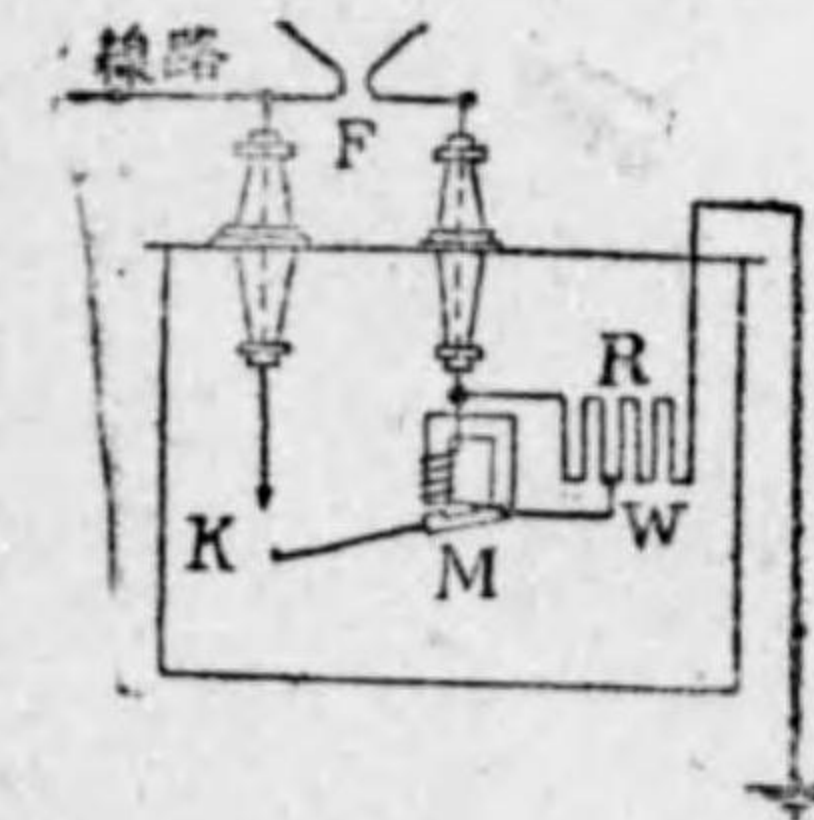
## ③ 角型避雷器 (Horn Arrester)

角型の間隔を電圧に応じて適當に保てば、それ以上の電圧が来ると直に電弧短絡 (Arc-over) する。然るに電弧が一度通ると空気はイオン化されて、導体になるから、電撃による異常電圧は去つても猶電弧は繼續し、所謂機流 (dynamic current) が引續いて流れる。この時電弧の發生熱による空気の上昇と電磁作用とで、電弧は上方に吹き飛ばされて、數秒乃至十數秒の後には遮断するが、その間だけ送電線は接地した事になつて機流が流れるから、この値を制限する爲に、直列抵抗を挿入する。するとこれは雷撃電流の通過をも制限するから、避雷器としての特性を害する。

猶、角型間隔と電弧の起動する電圧との関係が空気湿度や温度の関係で變化したり、又空隙は電弧の發生にある時間の遅れ (time lag) を生ずるから、肝心の雷撃電圧の急峻波が来たとき、直に動作せなかつたり、等の色々の缺點があるのでこれを單獨に使用する事は尠く、今一層弁作用の確實な、アルミニウムセル (Aluminum cell) を直列抵抗の代りに挿入したり、角型間隔を1ヶ所とせず、2~3ヶ所の小間隔に分割し、且つ球状間隔を置く。これは容量を有するので電弧發生の遅れを補正する効があると云はれる。猶數種のこれらに類する考案があるから、主なるものを逐次説明する。

## ④ ベンドマン避雷器 (Bendmann Arrester)

放電に續く機流の續流するのを、1時角型間隔を短絡して他に導き、それを油の中で遮断する様な機構で、第 280 圖の如く、一度 M なる電磁石が働いて K を閉ち、K, M, W の回路が出来ると電流はその方を通つて F なる間隔の電弧は消滅する。而して電磁回路にも電流はなくなるから K は再び開いて遮断の目的を達する。



第 280 圖

單なる角型だけであると、前記の如く尠くも數秒の電弧の連續は免れないが、この型に於ては、 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{10}$  秒で電弧は消えると云はれる。

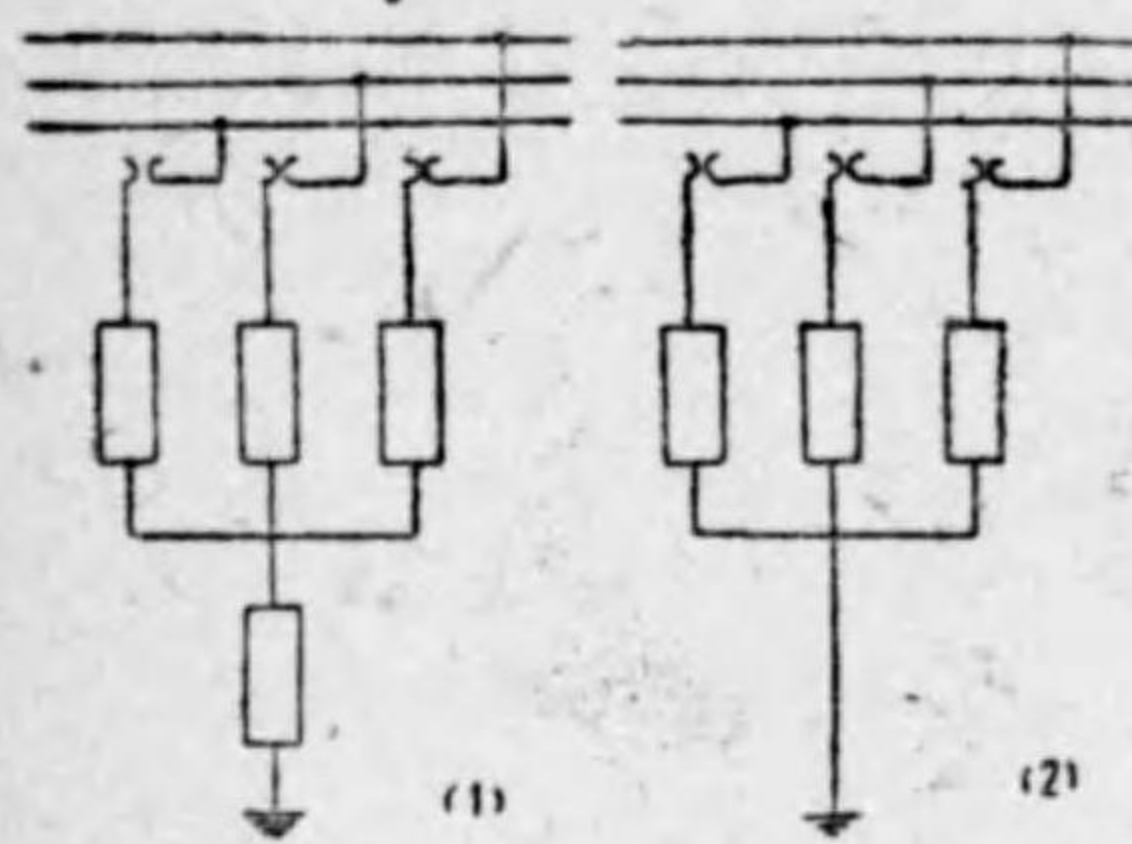
## ⑤ アルミウムセル (Alumium cell Arrester)

2枚のアルミウムの薄板を磷酸塩又は硼酸塩の水液中に浸して交流電圧を加へると 350 V 附近に於て、板の表面に水酸化アルミウムの薄膜が出来

て殆んど電流を通さなくなつて仕舞ふ。更に電圧を上げると、忽ち薄膜が破れて大電流を通過させる。而して、350 V に戻ると忽ち薄膜が出来て、再び電流を通さなくなる。この電圧を臨界電圧 (critical voltage) と稱する。

構造は摺鉢型をなしたアルミニウム薄板を磁器の間隔片を挟んで、幾枚も重ねる。数は臨界電圧で線路電圧を除いた値だから、数百枚に及ぶ摺鉢の間に電解液を満し、全体を油槽中に浸す。

線への接続は大抵第 281 圖の如くする。



第 281 圖

(1)は昔時用ひられた接続法で、現在は(2)が多い。送電線に直接接続すると、微量ながら漏洩と容量電流 (Capacity charging current) が流れて電解液を温め、且つ薄膜を劣化するから角型間隙を直列に入れる (直統の場合には直接接続する事もあるが寿命が短くなる事は免れない)

又この水酸アルミニウムの薄膜と云ふのは、實は水酸化アルミニウムは甚だ不安定な化合物で、容易に分解するものである

から、毎日 1 回づつ間隙を短絡して充電してやる必要がある。薄膜化成状態の良否はこのとき電流の大きさ、火花の出方等で察知するのである。

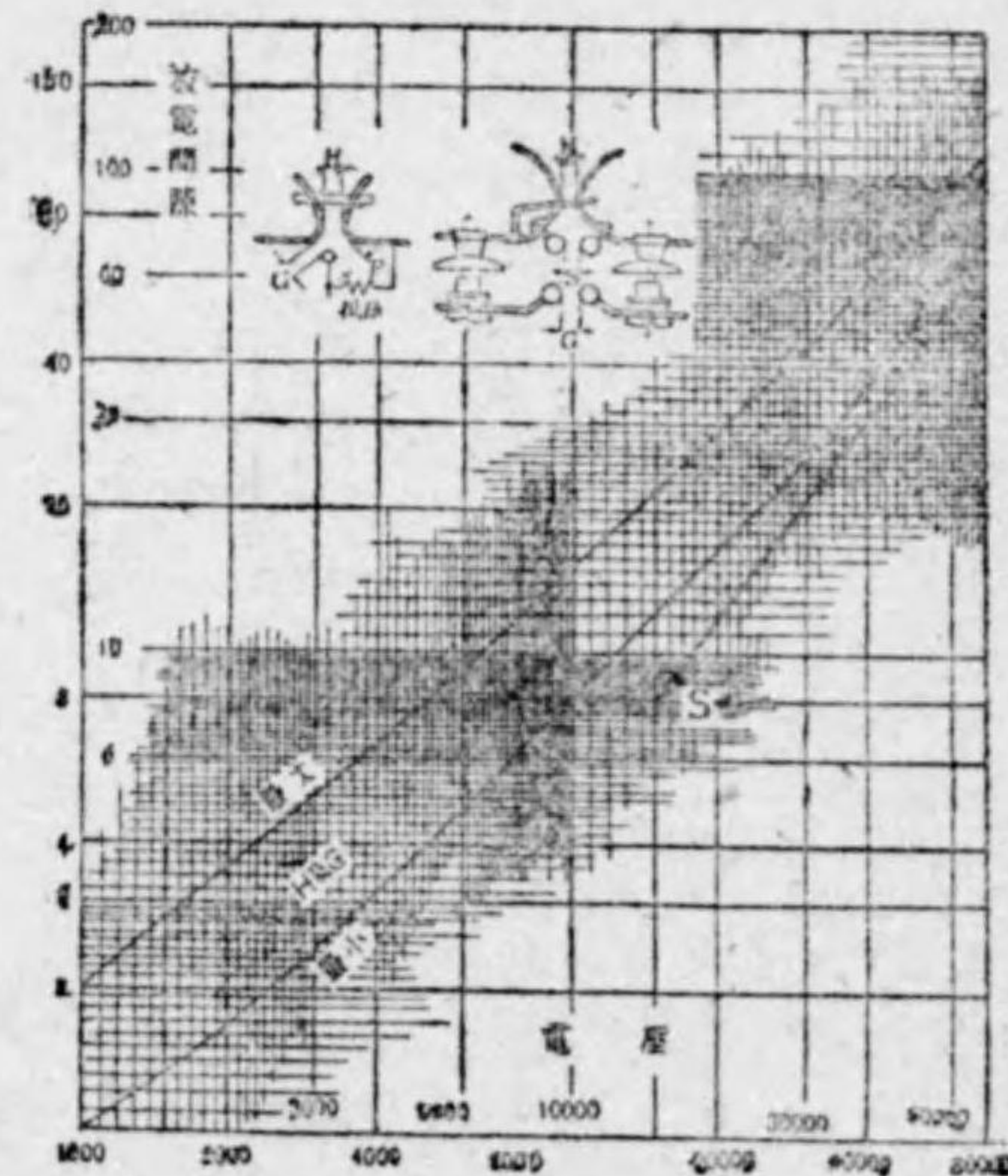
この時充電の爲、送電線にサーチを惹起するから、普通抵抗を挿入してこれを抑制し、又時期を選んで深夜の負荷減少時に行ふ様にして居る。

アルミニウム避雷器に直列に入れる間隙と電壓との関係を、第 282 圖に示す。

アルミニウム避雷器は屋外に設置するのが普通である。従つて角型間隙も屋外である。雨天の場合と晴天の場合で調整値に差を生ずるのは止むを得ない。又圖の如く間隔は小さいものだから、蜻蛉が止つても影響する。唯直列にアルミウ避雷器があるから單なる角型避雷器の如く、弧光放電に到らない。

⑥ オキサイドフィルム避雷器 (Oxide film Arrester)

これはニスを塗つた金属板の間に二酸化鉛の粉末を充填する勿論粉末がコボれない様に磁製の環を置く。その厚さ 1.6cm 直径 19cm 程度で



第 282 圖

ある。

二酸化鉛  $PbO_2$  は  $350^\circ C$  に加熱すると、鉛丹  $Pb_2O_4$  となる。 $550^\circ C$  になると一酸化鉛  $PbO$  となる。この高級酸化物 (酸素の多い方即ち  $PbO_2$ ) は良導体で  $0.3 \sim 1.5 \Omega/cm$  程度の抵抗であるが低級酸化物は絶縁体である。

この二枚の金属板の間に二酸化鉛の粉末を挟んだものを 1 単位とし、その臨界電圧は矢張  $350V$  附近で、これを超過するとニスの絶縁が破れて電流は翕流すると局部的に熱を發生し、前記の化學變化を起し、電流を遮断する。この化學變化は實に數マイクロ秒の瞬間に完了されると云ふから遮断能力は極めて大きい近時大いに用ひられて居る。

⑦ ペレット型オキサイドフィルム避雷器 (Pellet type oxide film Arrester) 上記の粉末を直径  $2.3mm$  程の小粒 (Pellet) に固め、表面だけを一酸化鉛で初膜したもので、この小粒を磁器外函中に壓封したもので高壓程度に用ひられる

⑧ オートバルブ避雷器 (Autovalve Arrester)

陰極降下避雷器とも云ふ。極めて僅から間隙  $0.01mm$  の間に電圧を加へると  $350V$  に達したとき暈光 (glow) を發して或る電流が流れ、その電流が或る値、 $45 amp/cm^2$  以上になると暈光忽ち變じて電弧となる。

カーボ・ランダムと粘土を主材とし、數十オーム/cm 程度の固有抵抗を有する圓板を、 $0.1mm$  の厚さの雲母間隔環を挟んで直列に積み重ねる。雲母板を入れぬ時もある。この場合は兩板が部分的に接觸するが、幾分の漏洩のある平板間隙と等しい事になる。放電は  $350V$  に達したとき、間隙の長さが  $0.01mm$  の處で暈光として初まるが、電極板材料の固有抵抗が高いから弧光になる程度の電流密度に集中するに到らず、暈光のまま安定な放電を持続する。

電流の量は極板面積を廣くする事によつて得られる。普通極板直径  $50mm$  位發電所用にはこれを 4 筒並列に入れる。然し  $10,000V$  位までである。

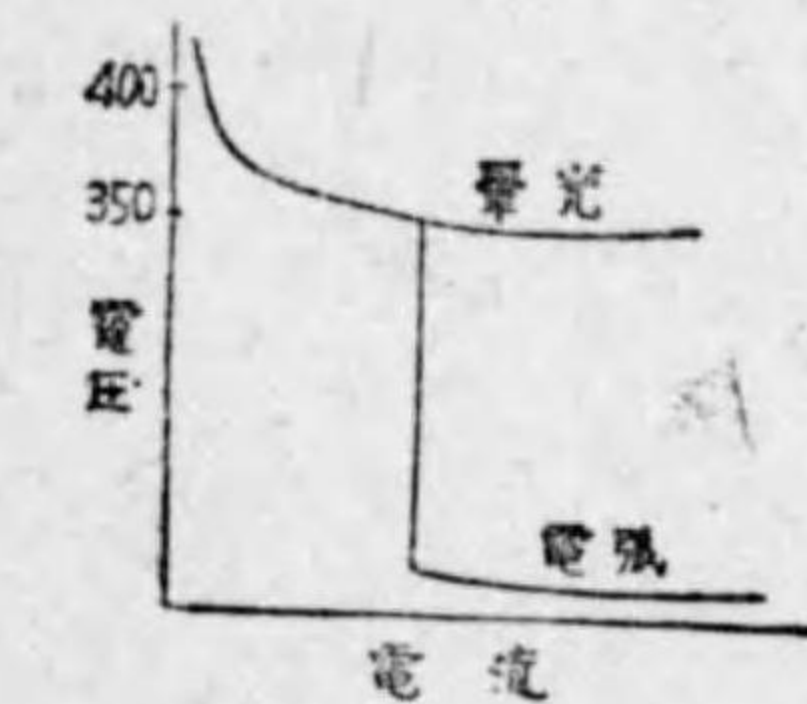
⑨ 弁抵抗避雷器

これは抵抗の値が電流が増加すると著しく低下する非金属性の導体、即ち弁抵抗材料で造つたもので、この型に屬するものは

SAW 避雷器、サイライト避雷器 (Thyrite)、レジストバルブ避雷器 (Resist valve)、ドライバルブ (Dryvalve) 等がある。

いづれもカーボランダムを主材とした無機質の導電材料を高温度焼成した陶磁質のもので、その特性は

$\rho = C \sigma^{-\lambda}$   $\rho$  = 固有抵抗  $\sigma$  = 電流密度  $\lambda$  は大体 0.7 程度である。



第 233 圖

實際構造は直径 150cm, 厚さ 19mm の圓板となし、これを 10 枚積み重ねて 11.5kV 用とする。その 1 単位の特性は略

$$e = 6000 i^{0.9} \quad e = \text{電壓 ヴォルト} \quad i = \text{電流 アムペア}$$

このものには臨界電圧はない。唯或電圧以上になれば俄かに電流が増加する。普通直列に間隙を入れて用ひる。

⑩ 其他の避雷器

多隙避雷器 (Multigap arrester)

壓室避雷器 (Compression chamber arrester)

等があるが、いずれも高圧用であつて、発電所には余り用ひない。

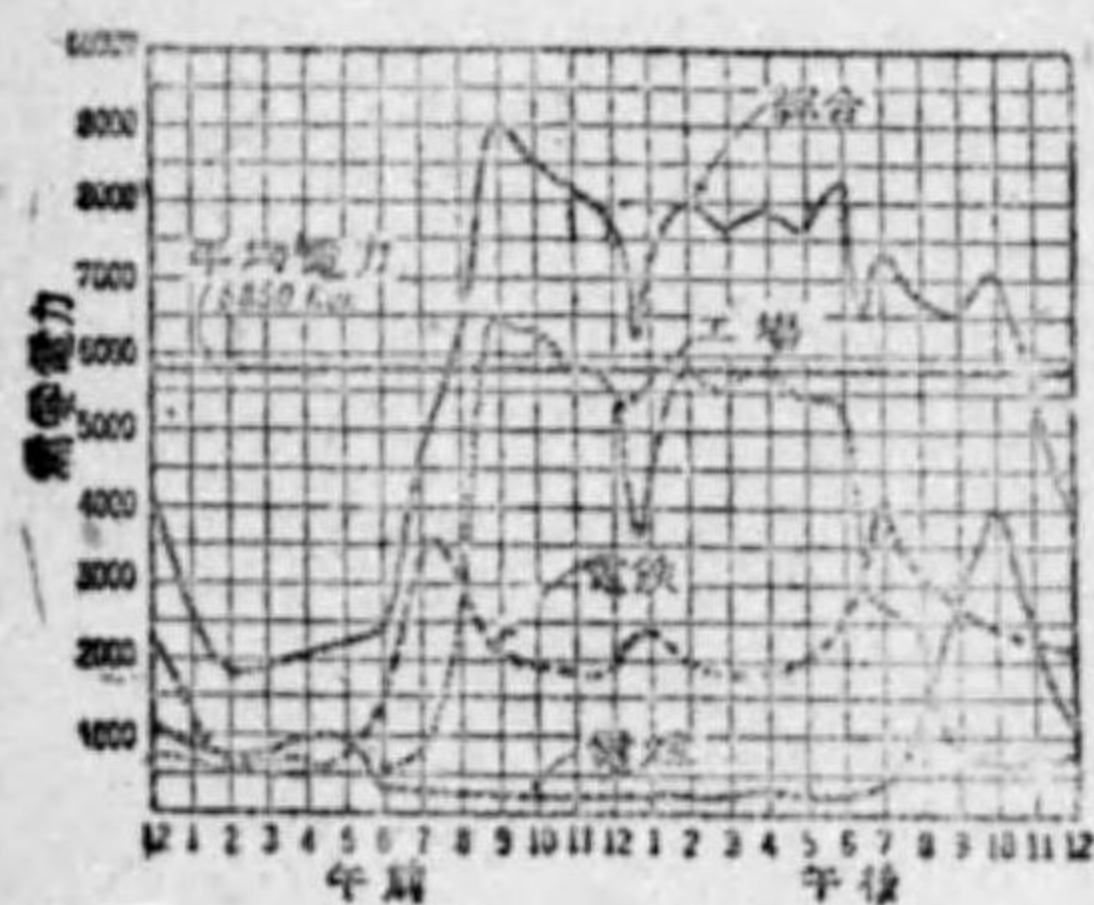
第五章 水力発電計畫 (設計より運轉まで)

(28) 發電計畫

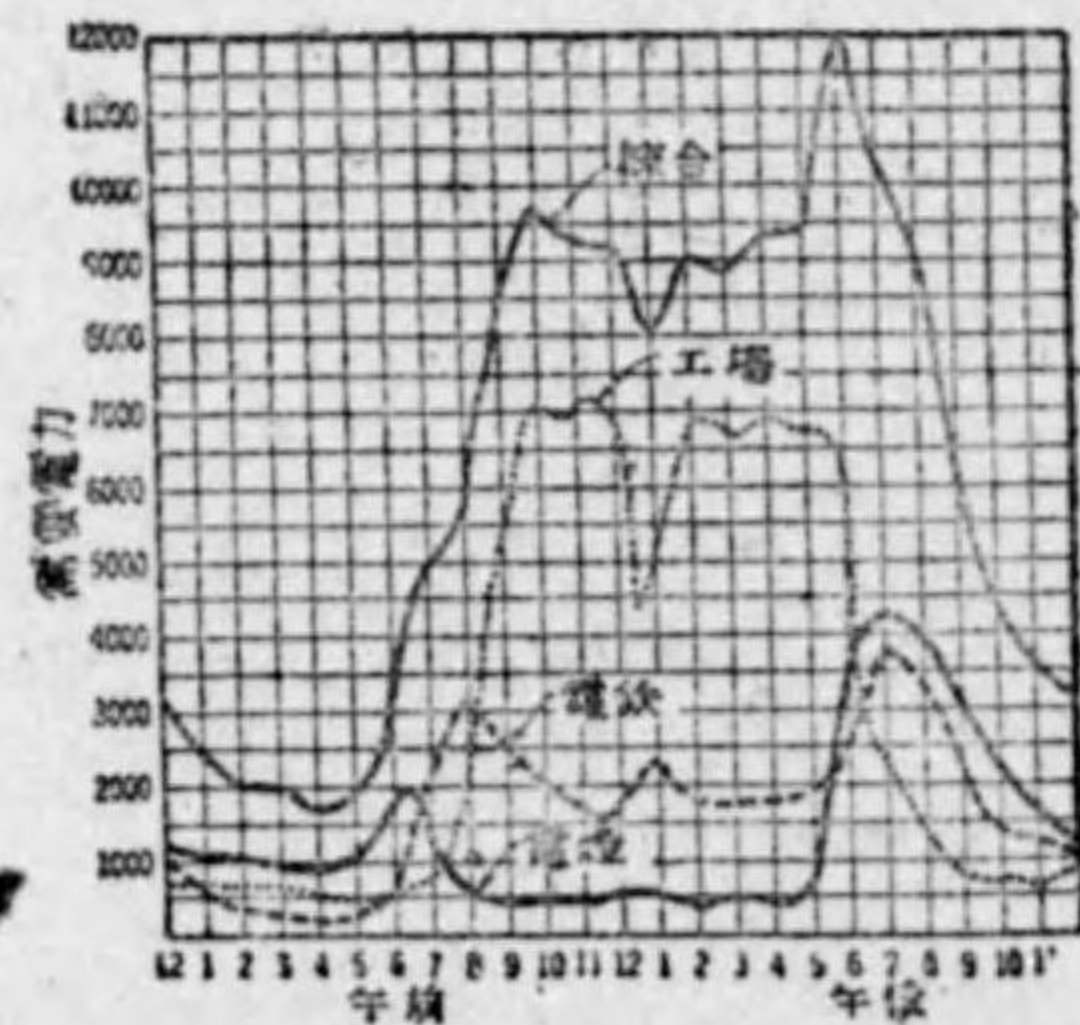
A 負荷曲線

火力と水力では發電計畫の根本方針が全く異つて居る。前者は先づ負荷 (數年後の事だから想定のものだが) があつて、これに應ずるべく幾何量の發電を計畫するかと云ふのであるが、後者は水力があつて、幾何の發電が可能であるかと云ふ事になるのだから反對である。

ある水系の可能發電量は、端的に定められて仕舞ふ。それこそ逆さに振つてもそれ以上は出ないのである。だから山の峽から野の末まで、落差を剩す所なく使ふと云ふのが第 1 段の原則になる。これを算盤の採れる様にして最も有効に開發すれば問題は解決である。然り空間的にはこれで終りである。唯時間的問題が残る。夏と冬には渇水期があり、春秋は流水は豊富である。そのいずれの水量を以て發電水量とするか、同じ 100m の落差を得るにしても、取入口から眞直に墜



第284圖 夏季の日々負荷曲線



第285圖 冬季の日々負荷曲線

道で發電所の上に持つて來たのと、途中で貯水池があるのとでは工費が異ふと共にその利用價值が甚だしく異なる。

茲に到つて遂に負荷の性質を念頭に置いて補給火力と對照しつゝ比較商量しなければならなくなる。

第 284 圖及第 285 圖は都市の夏と冬に於ける代表的の日々の負荷曲線 (daily load curve) である。詳しい批評は目的外だから省略するが、一通り解説を加へれば、工場負荷は朝 7 時から急に増して午後 6 時まで繼續する。正午は晝飯の爲減少する。途中で波を打つて居るのは職工の疲勞度をそのまゝ示して居るのである。だから夏冬共に午後の方が低い。又夏は朝 7 時から直に仕事に掛るから、8~9 時に最高が出る。冬は寒いから 10 時になつて最大能力を發揮する。又最高値が冬の方が高いのは、電熱を含むからである。電鐵は朝と夕に尖頭があり、晝近くに少し許り増して居る。電燈は夏は朝夜間燈を消して、日中は到つて少く夜も 10 時が最高となる。冬は朝 6 時と 7 時の間に電燈で飯を食ふ人が多數あることを示し、夕方も 5 時から点燈して最高が 7 時になつて居る。

この 3 者の綜合負荷は、夏は 9 時に最高があり、冬は 9~10 時に一度と、特に夕方工場動力の未だ終らざる中に電燈と電車の尖頭が重るので最大尖頭が午後の 6 時に起る。そしてこの綜合負荷の最高は夏と冬では 33% も異つて居る。

これを供給して行くには、發電機容量はどうあつても尖頭負荷だけ即ち 12,000 kW だけなければならぬ。は云ふ迄もない。又水力だけで冬の渇水期にも全部供給し得るならばこれも問題ではないが、冬の渇水期に 12,000 kW 出る處なら豊水期にはその 2 倍も出力がある筈だからそれでは勿体な過ぎる。

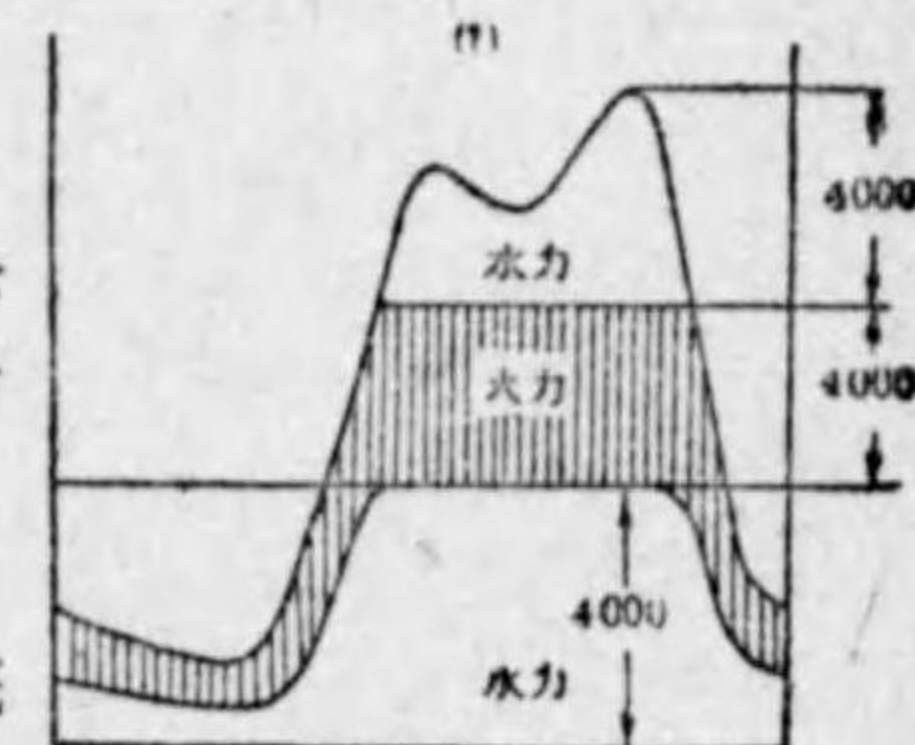
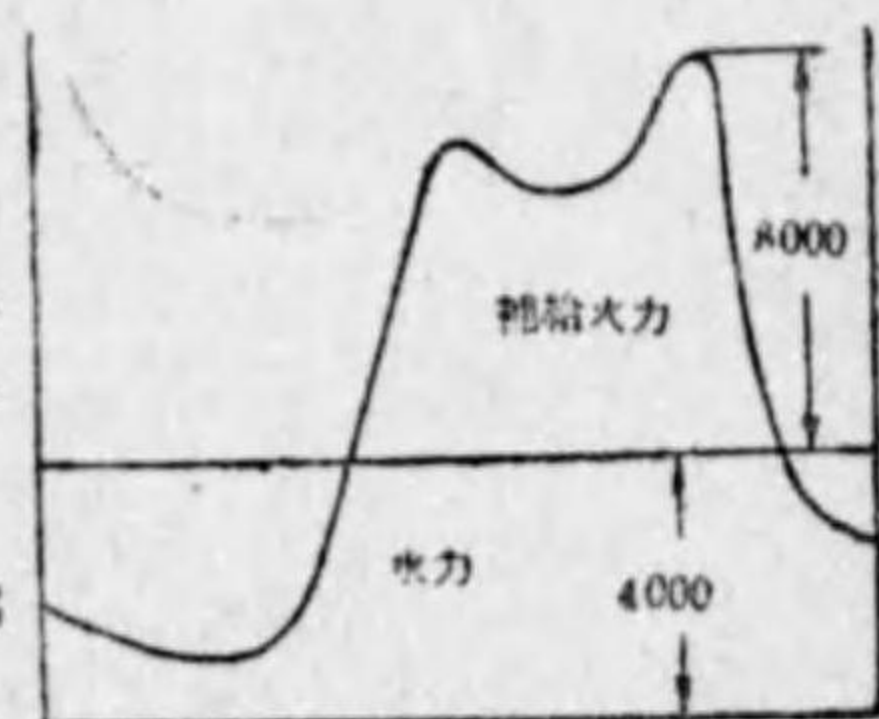
假に豊水期 8,000kW, 渇水期 4,000kW とすれば、第 286 圖の ① の如く、残る 8,000 kW を全部火力に補給を仰がねばならぬ。

この時水力に貯水池又は調整池があれば第 286 圖 ② の如く、朝晩の余剰を溜水して尖頭負荷に當て、火力は 4,000 kW で済む事になる。

實際水火併用は、この様にして行はれて居り、揚水發電所は更にこの尖頭負荷の尖端のみを除去する爲に、朝晩の余剰電力を以て揚水貯溜して居るのである。

B 使用水量

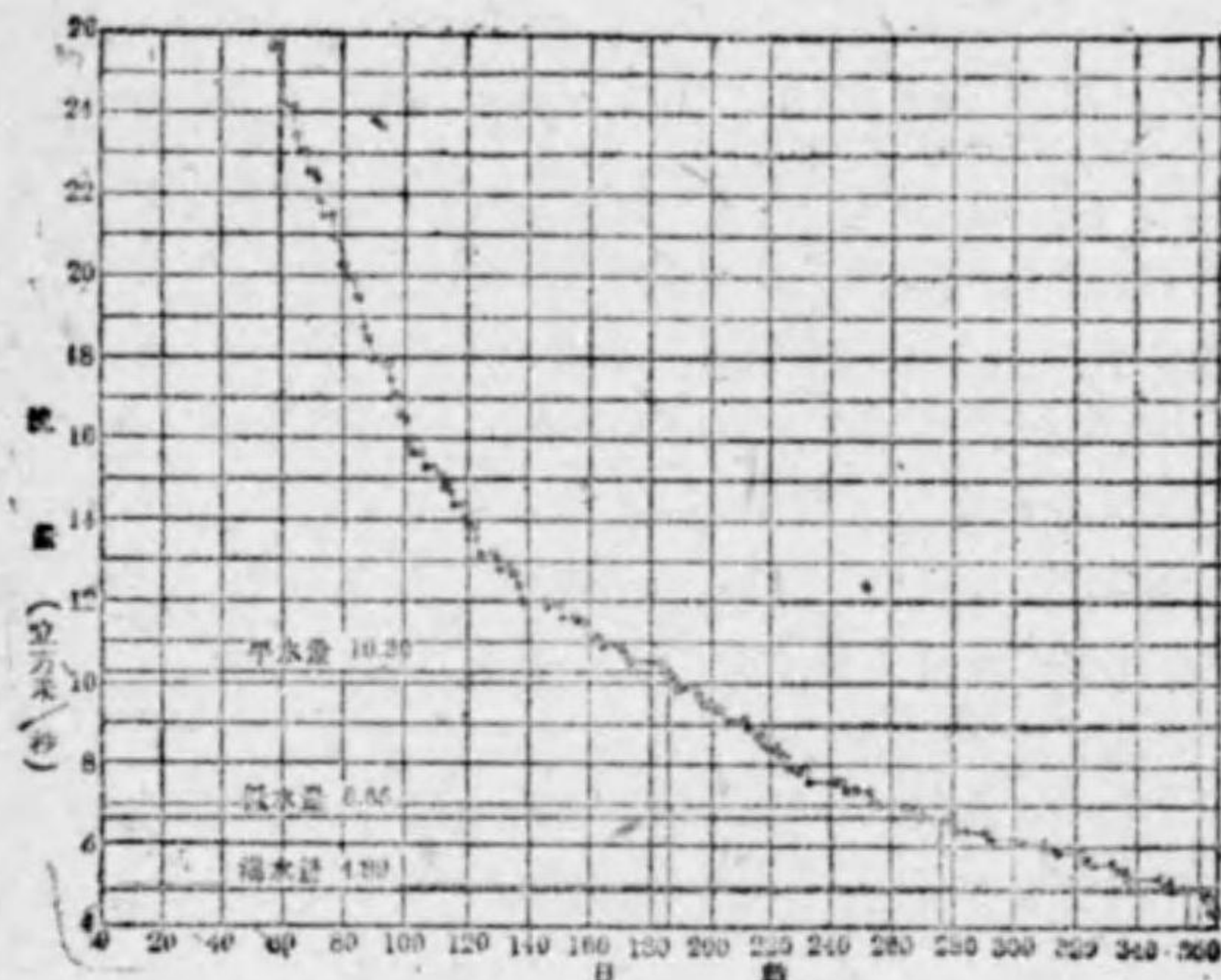
上記の如くある想定負荷に對して水力が基底負荷 (Base load) として受持つべき部分、火力の分擔すべき部分、及水力の調整池による補給量



第 286 圖

とに分ける。すると基底負荷に對して流通すべき水量、尖頭負荷除去用に對して必要なる貯水量とが茲に決定される。

と云へば事甚だ簡単である。實際理論は斯くの如く簡單明瞭であるが、實際設計に於てはそう一口に云ふて貰ひたくない程面倒臭い。



第 287 圖 流況曲線圖

つてはそう一夕の漫談では出来上らない。既に第 1 章に於ても述べたが、茲に再び河川の流況曲線の代表的なものを掲げる。

湧水量と云へば、先に定義に従つて 1 年中 355 日間これより下らざる水量と云ふのだから、流量から云へば圖の如く僅かな量となる。昔はこの湧水量を認可使用量としたものであつた。今は平水量 (185 日) 或は 4 ヶ月水量で発電所を設計するだから、平水量で設計すれば、若し少しも貯水池がなしとすれば残る 180 日間は発電容量は不足する。そこで貯水池はその 185 日以内の豊水期の余水を貯溜し、又 1 日は終日全負荷でない——最も問題となる冬季尖頭負荷を對照として述べて居る——必ず補給火力を交へて居て、火力は起動、止が却つて不経済でもあるし、汽罐タービン共に損傷を起すもとなるから、焚き出したらなるべく定負荷で運轉し、深夜から早朝迄の軽負荷は水力の方で減少させて、その間の余水を貯水する。

即ち秋の豊水期に大溜めにした水量と、冬期毎日余剰時間中小溜めにする分量とがその冬期間 120 日の間毎日平水量で 2.5~3 時間だけ運轉するに足り、と云ふ計算が立つならば、こゝに平水量を以て使用水量とする。と云ふ方針が決定されるわけになる。

例へば 4,000 kW の尖頭負荷正味 2.5 時間なら 10,000 kWh だ。この時有効落差が 100m なら全能率を 50% と仮定すれば、72,000 瓩の水が貯水されねばならぬ事は直にわかるが、これを實際の地形に當て嵌めて幾何の貯水池を造らねばならぬかに到

使用水量は然しながら、発電所のみの一方向的算定のみを以て定められるべきでない。灌溉流木、魚道、其他の水利事業の既得権がある。

灌溉は 4 月から 8 月まで大抵渴水期を外れて居る。又 0.03 m<sup>3</sup>/sec の水は優に 10~20 町歩を灌溉し得るものである。

流木も伐材は積雪期で、流下は雪解の時期を利用するのが多い。又下流に水車などがある時は水を分けねばならぬが、これは水車を廢止してその代り電力を供給すると云ふ契約で話が纏る事が多い。

斯くて流域、流量、使用水量等が定められ、又調整池や貯水池が定まり、一方補給火力の容量とその併用運轉を目論見つゝ水力発電計畫が進められる。

### (29) 設計、据付、運轉

續いて取入口から、発電所までの位置が決定される。

水路及其の附屬設備に就いては、第 2 章に述べたから茲に再述しない。

唯工期が最も慎重な考慮を要する。即ち完成を描へると云ふ事で、最も期間のかゝる隧道に最初に着手してすべてが同時に完了する様にする。

土木は本書の範圍外だから除くが、水車電氣設備に就いて一言すると、近頃は夫々の製作者をして据付から試運轉まで請負はしめる方式を採る處が大分増加した。甚だしきは水路鐵管までそうするのもある。

これはある点から有利であり、合理的である。その意味は、嘗てこんな例がある。水車と発電機が別の會社で、据付が直營であつた。處が推力軸承が焼けた。焼けたから軸承が悪いと云ふと、いやこれは水車の推力が計算以上に大きいからだと云ふ。水車側は、いやそれは据付が間違つて居るからだ、と三者巴になつて喧嘩した。色々研究になつて學問上は有益だらうが、事業としては面白くない。

製作者の請負とすれがかゝる場合悶着が起らぬし、又責任の歸着点も明かだ。然し實際は製作者と雖も充分な据付熟練工をそう多數に擁して居るわけではないから、下請負をさせて指導監督するに止まる。だから矢張り己れがやるんだと云ふ自信がある人は直營を採るべきである。

発電所は多少とも不便な所だから、運搬方法は最も考慮しなければならぬ。

今はない、ある製作所で製作した発電機は低床の特別貨車に積んで、鐵道隧道の建築定規を摺れすれに辛うじて通つた。而もこれは豫定の設計ではなくて出来上つた結果の偶然の僥倖であつたと云ふに到つては聊か耻かしい。

大正三年の頃出来た猫苗代第一発電所は當時未曾有の 115,000V の高壓送電線を有する最大の発電所であつたので、その設計には當時の俊秀を集めて周到な注意を以て事に當つた。さればその仕様書はなかなかよい事が書いてあつて、その後長い間殆んど模範的なものとされて居た。

その緒言 (General remark) の欄に——こゝに技術家の根本意圖が盛られるの

である——日本は鐵道が狭軌だから（外國製作者を對象として居る）發電機、水車の一片の大きさは、この貨車に積み得る大きさになければならぬ。變壓器、油入遮斷器等亦この大きさに以内に分解し得らねばならぬと先づ第一に書いてある。

それからボルトの「ねぢ」は小さな問題で實は大きい。メートル法制定の時もメートル法と「ねぢ」と叫んだ程で、第一種類が多い。時計ねぢ、自動車や飛行機用ねぢ、瓦斯管ねぢ、強力ねぢ、その上に型式がいくつもある。我國では15年前からその統一が叫ばれて居るが、まだ混沌だ。メートルねぢは或る製作者は既に採用して居るが、市販品は斷然ウキフトウオースねぢが多い。

これは互換性を有せしめる爲に、發電所内では統一する要がある。特に僻地の發電所で購入意の如くならぬ所ではこれを痛感する。これと同じ事はアングル、バー、チャンネル等の据付用鐵構材に就いても云へる。種類を少なくして貯藏品の融通性を有せしむる事、瓦斯管や電線類も同様である。

これは云ふべくして實は行ひ難い事であるが、大處高處から見ても、どうしても行はねばならぬ所である。

次は操作機構の統一で、押扭や、引き扭や、旋回把手が雜然と羅列されるのは面白くない。發電機はA製作所、制御盤はB製作所と別れては自然かゝる結果に陥り易いが、従業員の手操作の難易から云ふても是非共ある程度の統一が望ましい。

更に手動の弁や抵抗器把手の回轉方向で、弁は時計方向が締まるのであるが、抵抗器は逆なのが多い。故障時に機械屋が抵抗器の把手を扱ふ事もあらうし、電氣屋が水車を止めねばならぬ事もある。無意識の間に平生の習慣が顔を出す事があり得るのである。

これには更に一層高處から觀て、例へば時計方向へ廻せば常に安全の側になると云ふ風に統一すべきであると思ふ。筆者見る所を以てすれば、現在この点缺陷がある。25年前、猫苗代の仕様書にはこれを指摘してあるにも拘らず、だ。

以上は設計に當つての注意の一端だが、結局「仕事は段取だ」と云ふ言葉がある。段取即ち準備で、平凡な事だが、これ以上のものはない。すべてが準備、用意、心構え、覺悟の如何だ。されば最大の準備は人間だと云ふ事に歸着する。人間の配置——適處に適材を置いておけば仕事は人間がする。

だから人間をよく取扱ふ様、全力を盡して働き得るが如き組織及環境が必要だかゝる意味に於て従業員の休息、慰安、娛樂等に關する考慮も重大な意義を持つ。かう云ふ話は際限がないから止めるが、さて据付工事に當つては、先づ工用の動力（水車發電機の据付のみでなく寧ろ土木用が大きいのであるが）問題で、現在日本の内地では、先づ送電線を先に造つて、これによつて電力を購入すると云ふ事が考へられるのであるが、實際はこの送電線の建設が却つて長時日を要するから、そこで工用の發電所を建設する。500kW~3,000kW位で、ディーゼル機關の事

もあるし、別に小水力を建設する事もある。

次は運搬道路で、軌道、電車道、索道等、型の如く造り、砂利、砂、セメント鐵筋等の土木用資材から、石炭、食物等まで送らねばならぬ。水路用の諸設備は割合大型だからいづれも分割して運搬し現場で組立てる。

水車、發電機、變壓器等は分割しても何分大きなものだから、これ等の運搬が最も骨が折れる。

火力用機は随分大きなもの（120 瓩位まで例がある）でも海で廻送して来て、浮動クレーンで吊り揚げるが、水力機はそう行かない。發電機の如きも、固定子のフレームと鐵板とコイルに分割して持つて来る。だから鐵板を揮發油で洗つて錆を落とし、ニスを塗つて積み上げる。變壓器もコイル、鐵心等、皆別々だから現場で組立て、それから乾燥作業を行はねばならぬ。

さて斯くして据付が完了すれば、試運轉だが、關係工作物を綿密に点検しなければならない。こんな事は云ふ迄もないのだが、而も往々点検の足りなかつた實例がある。水を通したが水車が廻らぬ。調べたらスパイラルケーシングの中に何處から這入つたかコンクリートが充満して居たとか、油管の中にボロが填つて居た——給油管は特に注意が肝要だ。30分乃至數時間、油ポンプを廻して油を循環させ、フィルターを通して油中の塵埃を除去してからでないといふ水車發電機は起動してはならない。其他電線の誤謬接続は最も惡質だ。これは仕事をした當人には發見し難い事もある。そこで2班に分けて爲した仕事を交替して点検し、点検した組がスイッチを入れると云ふ風にして居る處もある。

点検を終れば水車の方は通水試験、即ち満水して1日位そのまま放置し、水路工作物から水車までの漏水を見る。それから徐々に運轉に移る。

電氣の方は耐壓試験で使用電壓と工作物の性質に従つて電氣工作物規程に従つて各種電壓でそれぞれ規定の時間だけ行ふ。最高壓に對しては電源がないから、單相2箇の高壓側を直列に絡いで、所定電壓を得るのが普通だ。

それが済むと豫備の負荷試験、仕様書に對する試験、官廳の使用認可試験等の順序になる。

仕様書に對する試験は、その中に代金支拂の條項を含んで居て重要視せらるべきもののだが、火力の時にも述べた如く、余り實際には行はれない。官廳の使用認可試験は逓信省検査官の立會の下に落成検査と共に行はれるのである。

逓信省検査の目的は、電氣の危険に對する保安的見地からその取締りと供給の安固に對する監督とであつて、従つてその検査方針は落成工作物が認可申請書通りに出來て居るか否かと云ふ点と、電氣事業法施行規則及工作物規程に牴觸する所はないかと云ふ点である。

工作物規程に就いては敷衍、解説すべき所もあるが冗長を恐れて略する。

## (30) 故障と対策

水力は火力と異つて、突発的の故障は余程少ない。それはボイラーと云ふ厄介なものがない事と、補助機の種類も数も少ないからだ。

珍妙な故障の例は、水車外函の破裂で——昔の話であるが——横型低落差のものであつたが、その破片が飛んで隣り水車の調速機を破壊したので、それも過速して破壊し、発電所内は水浸しになつて仕舞つた。

こんな事は矢鱈にあるものではない。

多いのは軸受の焼損、油ポンプ及調速機へへの調帯の切斷、水車翼の磨耗等から来る不平衡による振動の發生等で、稀に流水や木材が流れ込んで弁や翼を傷ける事。

或る火山地帯の発電所では水中に硫酸分があるので、翼が激しく侵蝕される他に、時々火山の活動が盛んになると、水中に降灰が混じるので磨耗も甚だしい。又清澄な様に見えても水に土砂を含んで居る。その質が珪酸質の場合には翼は甚だしく磨耗される。それがある程度に到ると振動となつて現れる。

又水車発電機は固定子を二つ以上に分割するから、軸電流を發生する可能性が火力機よりも一層多い。これを防止する爲、ベDESTALの下に絶縁物を挿入する等適當の方法は講じてあるのだが、ツマラス所が抜けて居て——例へば油管の接手に入れるべき絶縁を忘れて爲に軸電流が多量に流れた例もある。

これらはいづれも原因を明かにすれば対策が従つて定まるわけだが、中には避け難いものもある。例へば水路内に砂が沈澱するとか、落葉や雪が水路につまるのなどは容易に対策を樹て難い。

電氣方面では送電線から来るサーチの襲來で、これが最も大きい。

これらに對して直接の対策と云へば、保安装置の整備であるが、間接により意義のある事は正確に記録を取つて、且つそれを集成統計する事である。

雷雨の襲來でも決して出鱈目に來るものではない。發生する地方がきまつて居る。ある處で發生し、一定の方向と速度で進行する。而も氣温と天候の如何な状態で起るかさへ殆んど印で押した様に定まつて居るものなのだから、襲來は避け得られないが、準備は充分出來るわけである。

その他小さなものに就いて云へば、モーター1箇でも負荷と温度上昇とをよく記録して置けば、焼損を生ずる前に豫知する事が出來るし、ベルト一本にも壽命があるものなのだから、注意さへすれば當らずと雖も遠からざる用意をなす事が出來る。

水車のランナー、ギヤー等は分解点檢の度毎に寸法を測定して記録する。單なる寸法の變化ではない、機器の健康診斷の唯一の調書である。

## (31) 水力発電所の例と建設費

我國に於ける水力発電所の設備並に建設費を次表に例示する。

猶世界的の最高記録を次に列挙して見る。之は必ずしも最高記録1つとは限らずに、記録的など云ふ意味を以て書く。(314頁参照)

但しこの報告は3年前のものであるから、其後大なるものが幾つか建設されたが、未詳で加へられなかつた。日本の例に就いても、鐵道省信濃川の千手発電所には 60,000 H.P の水車が据えられたし、鴨綠江には 1,600,000 kW の発電所が計畫中である。又第一部に書いた仁川の潮力発電所は愈々實施計畫に入るらしい

## 第六章 揚水発電所 自動発電所

## (32) 揚水発電所の種類と概説

揚水発電所 (Pumpingup station) は能動的な調整池で、端的に云へば蓄電池と同じ役目をなす。不用時に貯めて置いて、必要時に取り出す。唯それだけで、全体の出力量 (kWH) から見れば、能率 (揚水能率) だけ損になる。即ち揚水発電所の機構は上下に貯水池があつて、負荷の軽い場合にはこの発電所は揚水唧筒場となり、他から電力を貰つて下の貯水池の水を上を揚げる。夕方の尖頭負荷時にのみ上の貯水池を利用して發電する。だから能率は悪いもので 50~57% 位である。然し前章で述べた如く、負荷の尖頭を除去するのは非常に價值のある事であるから、最初瑞西で發明されたものだが近年獨乙で盛に利用され、我國でも大に注目されて居る。

色々な型や種類があつて、夫々の地形と事情でどれが最もよいと一概に斷定は出來ぬが、瑞西で最初に用ひられた場合は、次の如き状態であつた。第一の貯水池は落差大きく貯水量も大きい。第二の貯水池は別の水系にあつて落差貯水量共に小さい。そこで負荷の軽い時期には、第二貯水池の水で運轉し、且つ余力を以て放流水を汲み上げて、第一貯水池に送水する。尖頭負荷時には二箇の貯水池の水を利用して需用に應ずる。と云ふ方法であつた。

我國の池尻川揚水発電所もこれに類して居る。即ち野尻湖から 76m の落差で池尻川発電所に到つて居る。こゝで池尻川なる他の水系の水と合して關川、田口以下合計 7 箇の発電所が直列に存在して居る。

そこで輕負荷時には池尻川の水を揚水して野尻湖に貯へる。然らざればこの水量は空しく放流すべきものである、そして尖頭時に使用するとその水は 7 箇の発電所に順次利用されるから、充分な利用價值を發揮する。

## (33) 揚水発電所の可能な場合

揚水発電所は、概念的に考へると甚だ面白いものであるが、本當に有利に運營出來るのは限られた場合である。

我國に於ける水

Table with 7 columns: River Name, Head 300m+, Head, and Head. Rows include: Effective Head (m), Water Volume (m³/S), Usage Volume (m³), Installed Capacity (kW), Storage Capacity (m³), Regulation Capacity (m³), Pipeline Length (m), Turbine Count, Construction Costs, and Staffing.

力發電所の概要

Table with 9 columns: Head 300~200m, Head 200~150m, and Head 150~100m. Rows include: Installed Capacity, Output, Water Volume, Pipeline Length, Turbine Type, Construction Costs, and Staffing for various power stations.

河川名(又は湖沼名)	落差 100~60m			落差 60		
	天龍川	五箇瀬川	石狩川	小又川 (北海道)	千曲川	吾妻川
有効落差 (m)	79.35	83.33	72.40	69.09	54.00	42.42
取水 量 (m³/S)	37.57	19.48	16.7	5.57	33.40	33.39
使用水量	最大 (%)	37.57	19.48	16.7	5.57	33.40
	常時 (%)	28.30	9.18	9.2	2.92	16.70
	常時尖頭 (%)	37.57	13.13	17.3		33.40
設備出力 (最大) (豫備機を含む) (kW)	24,100	12,800	12,000	3,000	22,200	10,838
	最大(尖頭) (%)	24,100	12,800	9,400	3,000	14,800
	許可出力 常時(平均) (%)	18,200	6,000	5,000	1,600	7,400
	常時尖頭 (%)	24,100	7,200	9,400		14,800
貯水池	容量(有効) (m³)					
	堰堤高さ (m) (河床上)					
	堰堤頂長 (%)					
調整池	容量(有効) (m³)	162,800	46,647	161,000		
	堰堤高さ (m)		28.0	240		
	堰堤頂長 (%)		82.3	140.0		
	満水面積 (m²)		7,495	24.0		
水路	無圧全長 (m)	10,777	3,299	5,001	5,916	6,055
	有圧全長 (%)	0	990.8	1,949	0	0
水 圧 管 長 (%)	278,665	248.5	422.0	129.4	119.2	82.42
水車発電機組数(組)	3	2	2	1	3	3
水 車 型 式	縦軸フ ランシ ス	同 左	同 左 閉鎖 通風型	同 左	横軸フ ランシ ス	同 左
發 電 機 型 式						
送電電圧 (kV)	140	10	60	30	60	100
建設費 (円)	土木工事費 (円/kW)	317	153	363	371	689
	電気工事費 (%)	104	64	102	76	130
	合計 (%)	421	217	465	447	439(※)
運轉維持費 年額 (円) (%)	2.90	1.22	1.60	1.61		4.20
従業員	人員 {社員(人)}	7	4	3	2	1
	{備員 (%)}	22	16	8	5	5
	交代制(=) {社員 (%)}	3	2	2	2	2
	{備員 (%)}	3	2	2	2	2
竣工年度	昭 4	昭 4	昭 4	昭 5	昭 5	大 11

(イ)記載の数値は公稱電圧を示す(日本電気工業委員会—標準電圧規程)  
 (ハ)許可最大出力 1kW 當りの數値 (ニ) 2 又は 3 とあるは 2 交代制又は交 3

筑後川 支流	落差 30m							
	阿寒川	大分川	阿賀野川	神通川	空知川	木津川	桂川	安曇川
51.00	50.00	31.82	24.85	25.75	19.40	22.30	12.88	27.27
17.25	10.57	8.35	222.6	44.50	33.36		25.04	
17.25	10.57	8.35	222.6	44.50	33.60	18.65	25.04	11.13
8.07	6.40	8.35	108.5	33.40	18.50	7.33	18.28	5.29
8.07		8.35	222.6					
7,000	4,150	2,350	53,760	10,000	6,000	3,000	2,400	2,000
7,000	4,150	2,000	44,800	9,500	5,100	3,000	2,400	2,000
3,275	2,500	2,000	21,800	7,100	1,700	1,180	1,800	1,000
2,275		2,000	44,800					
	11300000							
			1,693,000				99,000	
			30.0				16.1	
			205.5				56.1	
			1,386,000				108,761	
8083	4,341	4,327	0	1,234	0	1,212.5	150.16	1797.4
0	0	0	0	0	0	0	0	0
102.9	170.8	31.82	17.60	0	0	22.21		111.66
2	2	1	6	4	2	2	2	2
縦軸フ ランシ ス 閉鎖 通風型 60	同 左	横軸フ ランシ ス	縦軸フ ランシ ス	縦軸露出 フランシ ス	横軸フ ランシ ス 開放型	縦軸フ ランシ ス	同 左	横軸フ ランシ ス
60	50	60	140	20及40	60	30	10	30
289	299	119		256	295	295	402	610
90	109	111		94	79	169	192	240
379	408	230	390(※)	350	374	491	594	850
2.06	1.47	3.92	2.11	3.20	2.07	9.90	4.25	10.40
1	2	1	7	3	3	3	0	2
11	5	6	48	17	6	11	8	13
	2		3	2	2	2		2
2	2	2	2	2	2	3	2	3
昭 4	昭 4	大 6	昭 4	大 8	大 7	大 8	大 13	大 11

(ロ)許可最大出力 1kW 當りの數値、電気工事費は発電所建物及機械基礎を含む  
 代制 (ホ)建設費中には變電設備費を含まず



條件的に述べるならば

① 単獨発電所では数台の発電機と、之れに對應した数本の水壓鐵管があつて輕負荷時に一部の発電機を休止し、揚水用電動機として利用し得る場合で、これは A 貯水池の水で發電し、その動力で B 貯水池に揚水するので、A 貯水池が小さいか、又は A は貯水池なしの場合に限る。

② 多數の発電所が聯系して居る場合、その中で貯水池を有せざる発電所が負荷の輕重に拘らず一定の水量を放流する場合、この余剩電力を揚水発電所に供給して噴筒を運轉する。勿論貯水池のある所では貯水する方が有利である。

③ 一水系の上流から下流に亘つて幾つかの発電所が直列に存在し、最上流の発電所の上方に貯水池を設置し得るならば、この発電所を揚水式となし、その放流を下流発電所で幾回にも繰り返して使用できるから、かゝる場合は明かに有利である。——揚水の水頭は僅かでこれを利用する時の落差が大きいからである。

④ 聯系用に補給用火発電所を有し、輕負荷時に火力を負荷供給用とし、猶揚水発電所を揚水用として運轉して、之が爲に得られる出力の増加が燃料費の増加を償ひ得る場合——と云ふと、論理が複雑して居るが、若し補給火力と揚水しない水力とで尖頭負荷時の出力を負擔し得るなら、揚水する事は全く無意味である。火力で發生した電力で揚水する。それが再び電力になつて還つて來る場合の能率は 50% だから不經濟なのは明かだ、唯揚水貯溜しなければ尖頭負荷が負ひ切れない場合だけが問題となる。

要するに或る季節中のある時間の余剩電力を利用して行ふ揚水量による出力の増加が新設備(補給火力)の如きに要す經費より小額なる場合、これが有利になる。

(34) 自動発電所 (Automatic station)

発電所の自動制御化は米國が最初で、丁度 20 年前である。理由は全く、米國の従業員は給料が高いからこれを節約する意味から出たのだが、今では却つて他の意味で重要視されて居る。それは水力を開發するに落差を集めて一箇所に導き発電所を建設する代りに、水流の到る處に小発電所を造つて電氣として集積するこれは確かに或る場合に於ては經濟的である。我國の如き資源に乏しい所で遺利を剩さざる底の計畫には時には絶對的の必要條件となり得る。更に統制上にも便利である。だからよく利用すれば今後ともに大いに發達すべき性質のものである自動と云ふても幾種類もあるが

① 全自動式 (Full automatic control)

之は起動、停止、出力調整及勵磁方式等全く発電所自身になさしめるので、概して系統に對して比較的重要でない。小水力の開發に用ひられる。

② 半自動制御 (Semi automatic control)

水力發電世界の最高記録表

種別	世界記			日本記		
	發電所名	國名	記録	發電所名	事業者名	記録
最大容量發電所	Dnieperstroy	ソ連	558,000kW	松興第一	朝鮮電力	1,36,000kW
ク	Queen stone	カナダ	422,000kW	(内地)小牧	庄川水力	72,000kW
ク	Beaulieu	カナダ	1,680,000kW	長津江第一	長津江水電	180,000kW
最高堰堤	Owyhee	米	160m	小牧	庄川水力	79.2m
ク	Boulder Dam	米	223m	(第二位)龍山	大同電力	73.2m
最大容量揚水発電所	Hierdecke	獨逸	148,000kW	小口川第三	日本海電氣	17,900kW
最大容量水車	Dnieperstroy	ソ連	75,000kW	松興第一	朝鮮電力	34,000kW
ク	Boulder Dam	米	85,800kW	長津江第一	長津江水電	39,000kW
ク	Schoellkopf	米	52,500kW	(内地)盤寺	日本海電氣	28,700kW
最高落差(インバルス水車)	Dixence	瑞西	1,740m	松興第一	朝鮮電力	691m
ク	Bucks Creek	米	780m	(内地)小口川第三	日本海電氣	636m
ク	Zappels	伊	360m	深良川第一	東京電燈	265.4m
ク	River Shannon	愛爾士	32.3m	阿	中部電力	14.85m
ク	Safe Harbor	米	31,700kW	大津	東信電氣	2,611kW

之は上記諸操作中の幾つかを親発電所から遠方制御し、他の附随的操作を自動発電所自身になさしめるもので、稍重要な発電所には殆んどこの式を採用して居る

### ④ 遠方制御 (Remote control)

之は起動停止から勵磁迄、親発電所の制御所から制御するもので、面倒ではあるが大容量のものはこれによるをよしとする。

更に遠方監視制御 (Supervisory control) 遠方測定方式 (Telemetry system) の發達は一層この遠方制御方式の採用を促進せしめた感がある。

自動制御方式は、前記3方式の中に又幾種類の變化があつて、一見非常に複雑に見えるが、原理はさまで面倒なものでない。順を追つて述べると

**起 動** 之は稀には発電機側から起動するものもあるが、大抵は水車側からである。

先づ親発電所から、連絡送電線又は特設制御線に電壓を與へてやる。(連絡送電線は大抵 3,000V 程度である) すると起動要素の浮動開閉器が動作する——これは導水弁を開閉する機構で、水位標示器と連關して居るから、水位が適當の高さだけなければ動作しない。——即ち水位が適當であれば導水弁は開き、水は水車に通つて起動する。適當な速度になる (95%) と遠心力型限速開閉器が投入されて発電機は無勵磁のまま線路に接続される。その爲、発電機には磁極に籠型制動捲線が設けてあるから、誘導電動機として回轉する。直に勵磁機の回路が閉ぢて同期化する。

**出力調整法** は水位に応じて導水弁を開閉する装置だから、水のある限り先づ全負荷運轉するものと見てよい。

**勵磁方法** は簡単なのは豫定勵磁で、これも常に一定勵磁を行ふ様にする。

以上は最も簡単な起動方式で、これから先は色々な方法がいくらかでも案出されるわけである。我國では佐賀縣の川上川第四発電所が 15 年前に自動化されて以來、續々造られて 50 箇所 60,000 kW に及んで居る。

## 第三部 開閉所及變電所

### 第一章 電氣設備一般

#### (1) 開閉所の任務と種類及電氣設備

開閉所は送電線の途中に置くものと需用地の入口に設置するものとある。

前者は長い送電線の途中、所々に設置して送電線の區分、並列及分岐を行ふものであるから、負荷の多い時には何回線かを並列にして使用する。——大抵送電線の1回線は 35 萬サーキュラーミルの太さの線を用ひ、15 萬ヴォルトで、常時 4 萬、最大 5 萬キロ位の送電容量と見て差支へない。——だから送電損失を尠くする爲、平常は回線のすべてを並列に使用する。故障を生じた場合はその1回線の全部を停電することなしに區分して、故障區分だけ回線数を減少し、その部分だけは過負荷になるが全体としての電壓降下はさ程でない様にする。

これだけが中間開閉所の任務である。

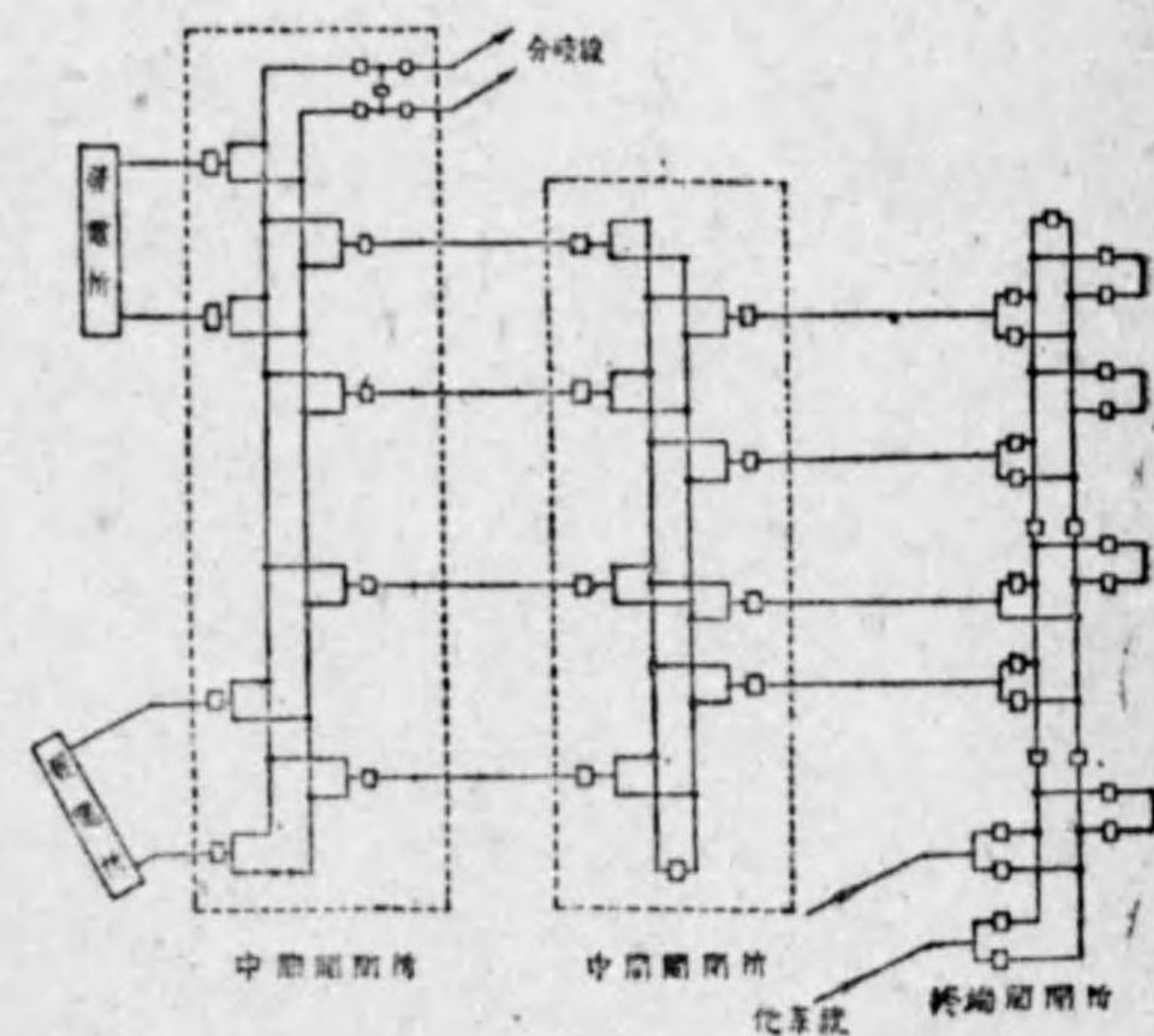
他に送電線の途中で中間需用地への分岐を必要とする場合にも設置される。又他の系統との連繫にも使

用される。但し兩系統の同期を司る (Synchronize) ことは開閉所の任務ではない。この場合開閉所は唯線を終いで同期は各発電所で行ふのである。

需用地入口の所謂終端開閉所も任務は全く中間開閉所と等しい。

唯送電線の終端は大都市である。そして官廳の指令もあつて、數系統の電力は都市の各方向から這入る様に計畫される。

そして入口の開閉所は、互に環狀の連絡線で聯繫する。又この開閉所は直に一次變電所に連絡されるのが普通である。



第 288 圖

第288圖は中間並に終端開閉所の接続圖で、單一遮斷、二重母線型を示して居るが、固より單母線型もある。特に中間開閉所は設備の完全よりも寧ろ簡單堅牢にしてその設備箇所の多い方が便利であるから、設備の種類の少ないがよい。

以上の目的に従つて、電氣設備は自ら定まる。即ち斷路器、遮斷器、母線が主なるもので、これに路線の保護設備と保安設備とを備へればよろしい。

保護設備は各種の繼電器を使用して、故障時に適當に撰擇遮斷を行はしめるもので、色々の方式があるが、これは第五卷「送配電線の建設と保守」を参照して頂きたい。

又保安設備は所謂避雷器で、その良否と設置箇所、即ち開閉所の位置と間隔は相當に送電系統の安定度に影響を及ぼすものである。

斷路器、遮斷器及母線は開閉所の主要機器で、特に斷路器の設置方式——必ず目的の回路を操作して決して誤用のない様にする事が開閉所設計の生命である。それから更に重要なものは連絡電話で最もよいのは獨立した電話線路を建設することで、費用は大きい、大送電線は多くこの方針を用ひて居る。添加電話線は平時も誘導の爲絶縁臺に上つて受話器を取るのだが、故障時には一層甚だしく、且つ弧光短絡でも生ずれば、先づ通話は雜音の爲不可能だと考へた方がよい。搬送電話は大分用ひられたが、缺點は同様である。

以上は特高開閉所に就いて述べたのであるが、他に開閉所としては高壓並に低壓開閉所がある。

高壓開閉所とは配電用の開閉所で夜間線を晝夜間線に切り替えたり、高壓線相互間の連絡開閉を司るもので、切り替え開閉器と高壓用油入開閉器を備へて指令所からの指令により、或は一定の時間に、時には自動式によつて前記の操作を行ふ所で、多くは配電用變電所に附屬して居る。

低壓開閉所、これは、電氣鐵道の饋電線に對して設置されるもので——故に低壓の名はよくないかも知れぬ——高速遮斷器又はカーボンブレーカーの類を備へて電車線電力の遮斷接続を行ふものである。

## (2) 變電所の任務と種類及電氣設備

變電所は一次變電所と二次變電所に分けられる。

一次變電所は送電端で發電機電壓から送電電壓に昇昇する諸設備と、又受電端で需用地の幹線電壓——現今では2万ボルト——に降降する設備を稱して居る。

二次變電所は、更にこの幹線電壓から配電電壓——3kV——に變壓する設備を稱する。但し二次變電所には更に2種類ある。普通の供給用、即ち電燈（電力）變電所と、電车用變電所とである。

猶、連絡線電所と云ふのがある。例へば大都市に水力は300kmの裏日本から150kVで送電して來て居る。火力は70kVで送電する。而して都市を圍繞する

數箇の開閉所を絡ぐ連絡線は70kVであると云ふ場合、150kVを先づ70kVに落して、この連絡線に結ぶ要がある。斯くの如きは機能的に云へば變壓器を備へたる開閉所に近いのであるが、送電線の制御を行ふ爲調相機を備へ、容量も大きいので自然大變電所の態を備へて居る。

送電端の一次變電所は發電所の附屬としてその電氣設備の章で述べた。こゝには受電端のものに就いて説明する。

これは終端開閉所と連結一体となるのが普通である。そして都市の外郊に設置され、他の系統とは連絡線——70kV又は20kV——で連絡し、市内變電所には20kVの地下電纜で連結される。電氣設備は開閉所用設備の外には變壓器と、これに伴ふ配電盤である。

此處では受電と共に市内への送電が行はれるのであるから、受電回線の數だけの送電盤（饋電盤）が必要である。そして更に、こゝで初めて電氣が商品になるのだから賣買の設備——責任分解点と契約の如何によつて電力を變壓器のいづれの側で測るか決まる。

二次變電所の中で電燈（電力）變電所は、20kVの地中線で受電し、普通高壓3kVで配電する。だから設備は、この變壓器と配電線用の配電盤、電壓調整器（Voltage regulator）等であり。油入遮斷器操作用の蓄電池は少容量でよい。（50～100AH）

電车用變電所は直流變換設備が加はる。廻轉變流器、水銀整流機とこれに伴ふ直流配電盤と高速遮斷器類を備へるのである。

## (3) 電線接続圖による一實例

第289圖は一次變電所の接続圖で、開閉所からの引込線は140kV、2回線型の如く、檢壓器（Voltage detector）とアルミウムセル避雷器を備へ、塞流線輪を通つて環狀母線に入る。變壓器は1台、20,000kVAのもの9台を3バンクにしてある。

一次及二次は共に星形接続で140kV/66kV三次捲線は三角結線で11kV、容量は10,000kVAで調相機用である。

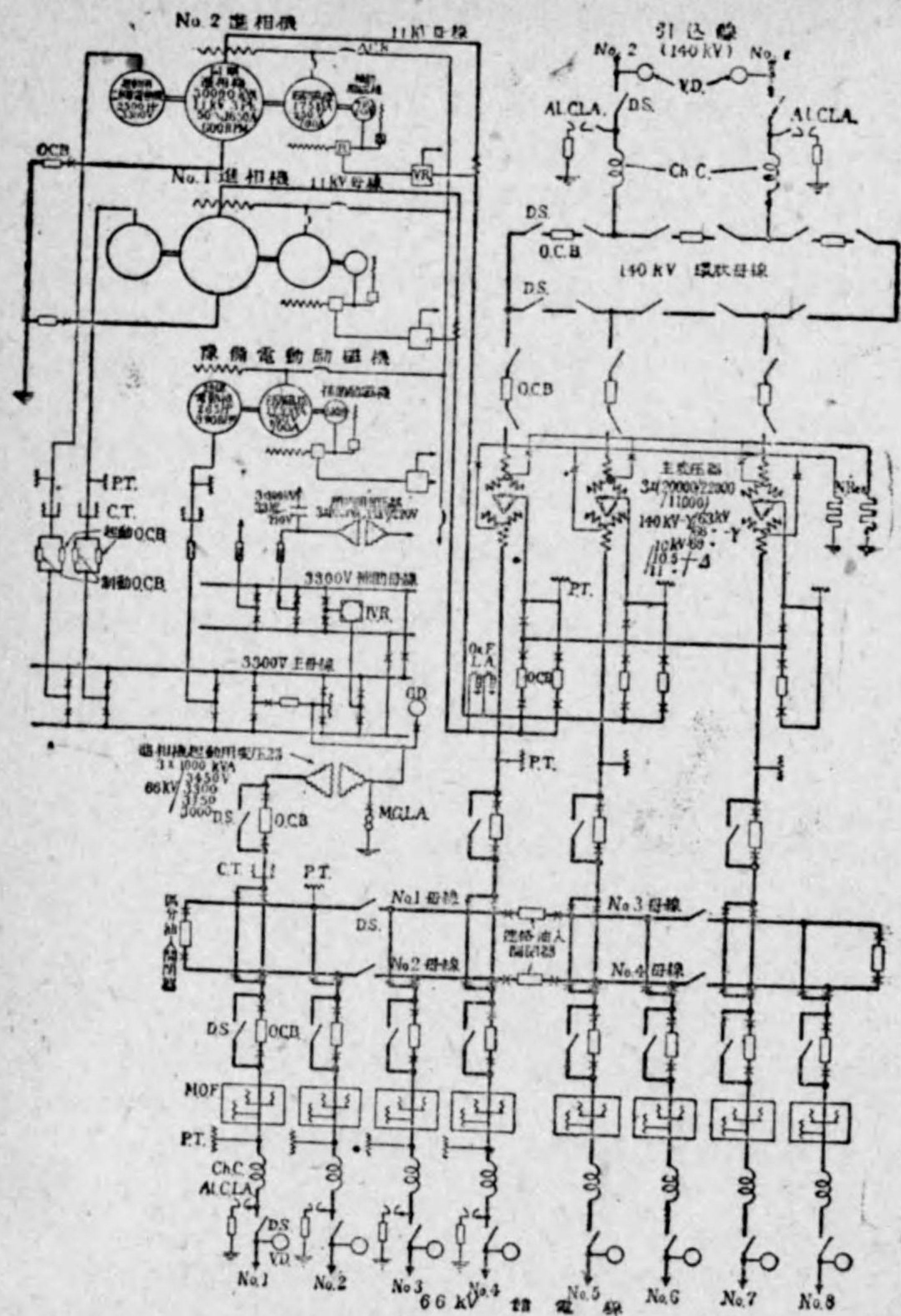
調相機は30,000kVAのもの2台

60kV側は母線で、區分油入開閉器で2重母線環狀式にも用ひられる。

11kV以上の電氣回路はすべて屋外に置いて唯進相機及配電盤、蓄電池のみを屋内設置とする。

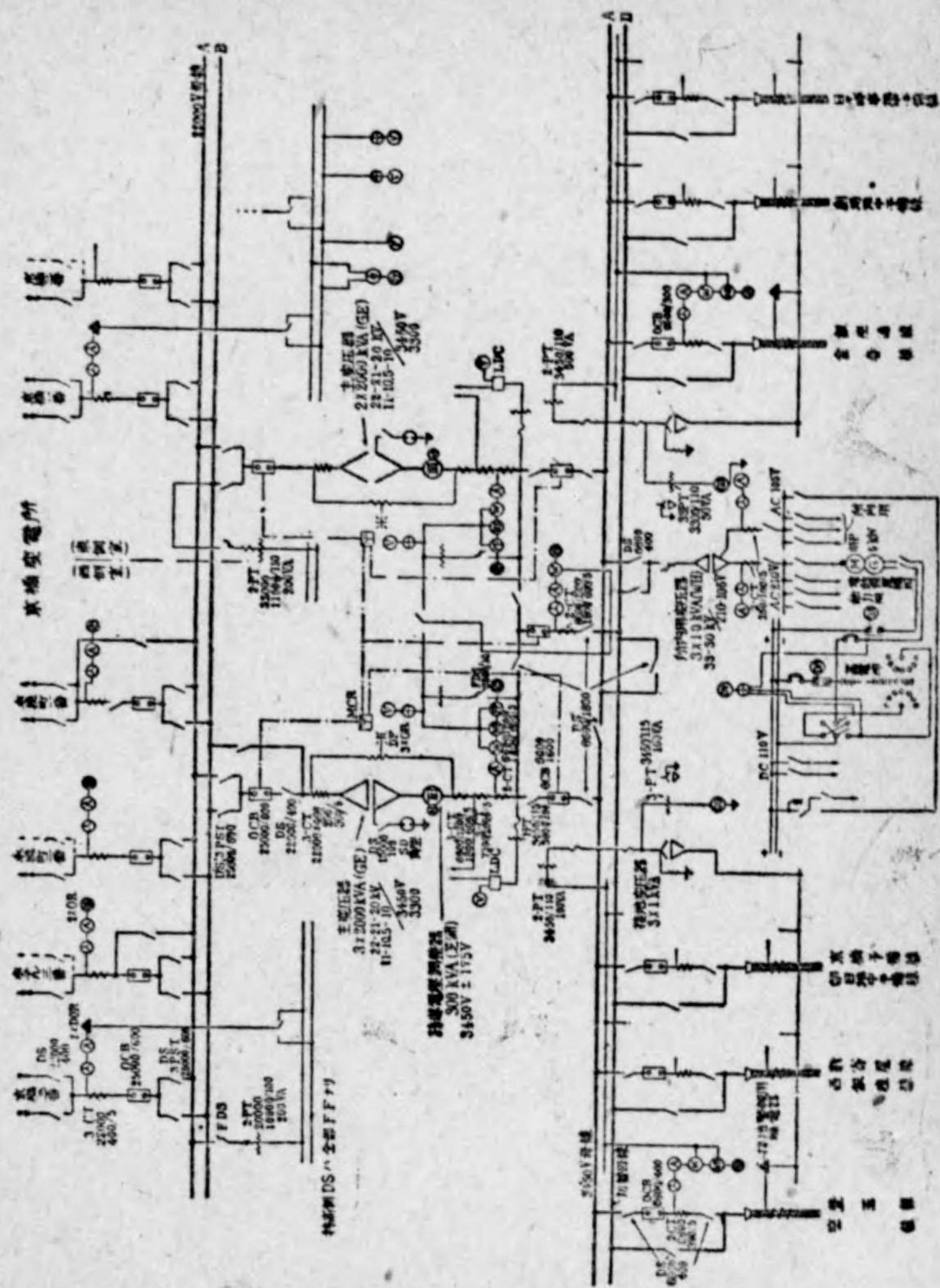
第290圖は二次變電所の接続圖で22kVの母線は受電と他の變電所との連絡となり、主變壓器は2台で内1台はV結線になつて居る。

變壓器の二次側即ち普通高壓には、誘導電壓調整器があり、油入遮斷器を経て普通高壓母線に接続され、母線から6回線の地中線を出して内3回線は市内配



- A.C.B 氣中遮斷器
- C.T 計器用變流器
- 調整器
- O.C.B 油入遮斷器
- R 抵抗器
- ALCLA アルミニウムセル 遮雷器
- D.S 断路器、區分開閉器
- G.D 檢漏器
- I.V.R 誘導電壓
- M.G.L.A 多隙遮雷器
- M.O.F 測定裝置
- OxFLA オキサイドフィルム 遮雷器
- N. Kes 中性点接地抵抗
- P.T 電位變壓器
- Ch C 塞流線繪
- V.D 檢壓器
- V.R 電壓調整器

第 289 圖 一次變電所接続圖



- A 電流計
- C.T 變流器
- D.A 直流電流計
- D.F 差働繼電器
- D.O.R 進力繼電器
- D.S 断路器
- D.V 直流電壓計
- F 周波計
- F.D.S 可熔片附断路器
- F.F 前面—前面接續
- G.D 檢漏器
- L.D.C 線路降下保償器
- M.C.R 多接觸繼電器 (M/G) 電動發電機
- O.C.B 油入遮斷器
- O.R 過電流繼電器
- P.F 力率計
- P.S.T 三極單投断路器
- P.T 計器用變壓器
- S.D 蓄電放電器
- Sy 同期檢定器
- V 電壓計
- W 電力計
- WH 積算電力計
- (A) 電流計用切替スイッチ
- (+) 電壓計用切替スイッチ

第 290 圖 二次變電所接続圖

電に供し他の 3 回線は劇場、新聞社等の重要需用家への豫備線に充てゝある。これは市内の事だから全部屋内施設で、接続圖ではわからないが、4 階建として床面積の節約を圖つて居る。

## 第二章 開閉所變電所の設計

### (4) 開閉所變電所の位置撰定

送電線の中間に置く開閉所は、前記の如く故障を生じた區間を切り離す役目が最も大きいのであるから、送電線のサーチのよく起る地方を挿んで、必ずしも距離には拘泥しない。又これは、平生は線路巡視工夫の足溜りにもなり、劣化碍子取替の時の碍子其他の線路材料の置場にもなるのであるから、これらの便宜をも考慮して位置を撰定する。

施設はすべて屋外構造なのが普通である。終端開閉所と一次變電所は需用地の外廓に需用地を圍繞する様に配置される。需用地に出来るだけ近い事が希望なのだが、都市が段々膨脹するにつれて追ひ出される。それは既設々備は特別な事情がなければ撤去を命ぜられる事はないのだが、架空送電線の下が街になり、人家になる。すると所謂制限外施設として認められるだけ、だから今後の増設や新設が許されない。一方需用は増加する、送電線は不足する、遂に變電所の後退を余儀なくせられる。

故に一般に都市計畫區域外に大變電所の位置を撰定するのだが、それでも都市計畫は何年目かには再び擴大されるし、それを惧れて余り遠くに設置したのでは二次變電所迄の距離が増大して地中線だけの建設費でも大變になる。

そこで幹線電壓の上昇が考慮される。現在はどこでも 20 kV であるのを、一舉に 70 kV 程度に上昇せしめ——これが油浸電纜 (Oil filled cable) の成功で、可能になつたのである。——中央變電所とも稱すべきものを、都市の負荷中心部に設置する。そして外廓にある開閉所から眞直にこゝに接続する。中央變電所は組織上からは二次變電所だが、實際は一次的の効果を發揮せしめる。これは理想ではない。東京及大阪では計畫の域を脱して實施期に入つて居る。

二次變電所の位置は、担当區域の負荷中心点に置くのが一つの理想である。だから物体の重心点を求める様な方法で (モーメント法) その中心点を求める事なぞが提唱されて居る。然し負荷の中心地は、同時に商工業の中心点である。地價も高く各種既設物の権利が有つて容易に得られない。そこで中心を外れて、然しながら運繫二次變電所がこの中心を取り圍む様に二次變電所を設置する方法が寧ろ採用されて居る。

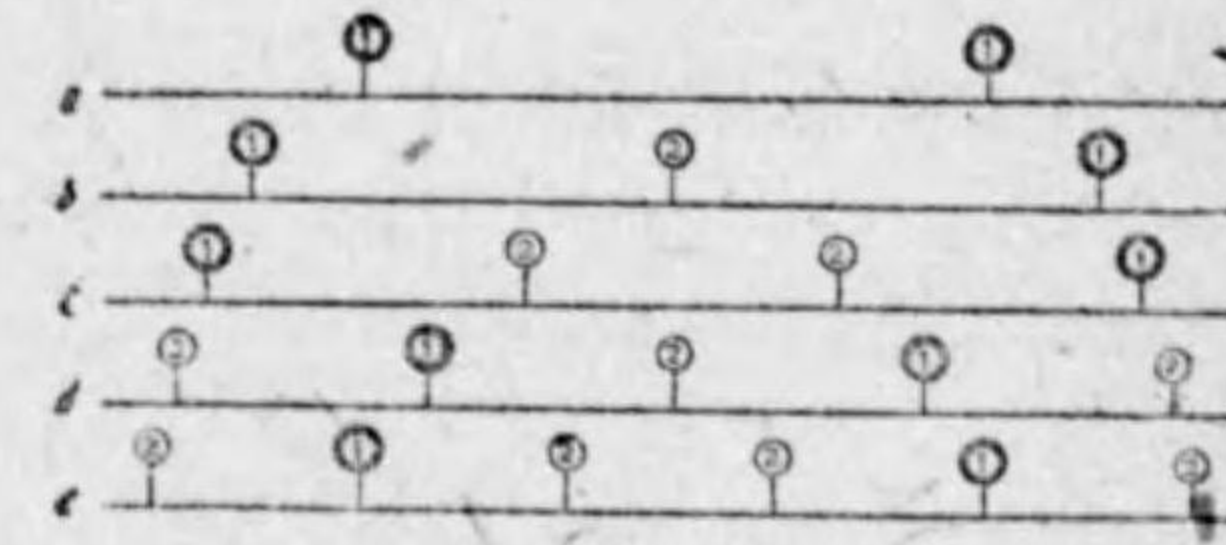
但し都市は動いて居る。負荷も常に増進する。設計の規準を何年後の豫想に置くか、更に進んで負荷を適當の箇所に誘致して理想の饋配電網を形成することを

考へるのは單なる電氣屋以上の經論ではあるが、念頭に置くべき問題であらう。

極く單純な、A 点から B 点に到るだけの電車線の變電所にしても、全線間に最初に 2 箇所の變電所を置くとして、その状態で最もよき條件を考へれば、全線の  $\frac{1}{4}$  の箇所に置く事は當然であるが、數年後に變電所を 1 箇、2 箇、3 箇、4 箇等を増設すると考ふるなら最初に置くべき位置は全く異つて仕舞ふ。

全線に第一期として 2 箇作るだけなら a の如くでよいが、第二期に中間に 1 ヶ所だけ増設する考へなら b の如くして最初の若干の不便を忍ばねばならぬ。

更に 2 ヶ所設ける積りなら c、3 ヶ所なら d、等の如く最終計



第 291 圖

畫の如何で最初の設計が異つて来る。普通の供給用變電所に到つては條件は複雑するからその位置撰定並に容量決定に到つては余程の熟考を要する。但しこれは經驗によるものではない。實例の綿密な調査と判斷とに俟つべきものだ。

### (5) 設計の一般

開閉所、變電所の現存設計は甚だ種類が多い。どの型が最もよいかと云ふ判定に苦しむ。現存するものに對して余り激しい非難は憚るが、先年電氣計算誌上に於て痛烈にやつつけられてあつた如く、徒に複雑にして、操作の便に缺くる處あるべしと推せらるゝものが案多多いのは事實だ。

發電所には略定まつた型がある。經濟を重んじたもの、能率を貴んだもの、夫々に設計者の意圖を明かに示して居る。

開閉所や變電所は發電所に較べれば、設備は遙かに簡單である。然るに何處に重点を置いたか、何を第一目的としたか看取される程のものが尠ないのみならず設計者の頭腦の混乱をさへ思はしむるものあるに到つては、寧ろ電氣家の恥だ。閑話休題、さて設計に際して第一の注意事項は

目的の闡明だ。これさへ充分に把握するならば他の問題は自ら解決される。

例へば母線方式の如き簡單なものでも、凡そ幾多の種類が理存する。これなぞも目的をよく考へるならば、どの程度のものが必要かは判定される。筆者なぞは 2 重母線、單一遮斷器型以上のものは寧ろ有害だと心得て居る。

次は必要以上のものは却つて有害だと云ふ事だ。あつても差支ない程のものは無い方がよい。これは經濟問題ではない。運轉者の腦裡に無用の負担を加へるのみでなく、却つて地綫を與へるからである。

次は實際の配置が端的に接続線圖に従つて居る事である。これはなかなか出来ない事だが極めて必要である。線圖で遮斷器の直ぐ下にある斷路器は實際でもそ

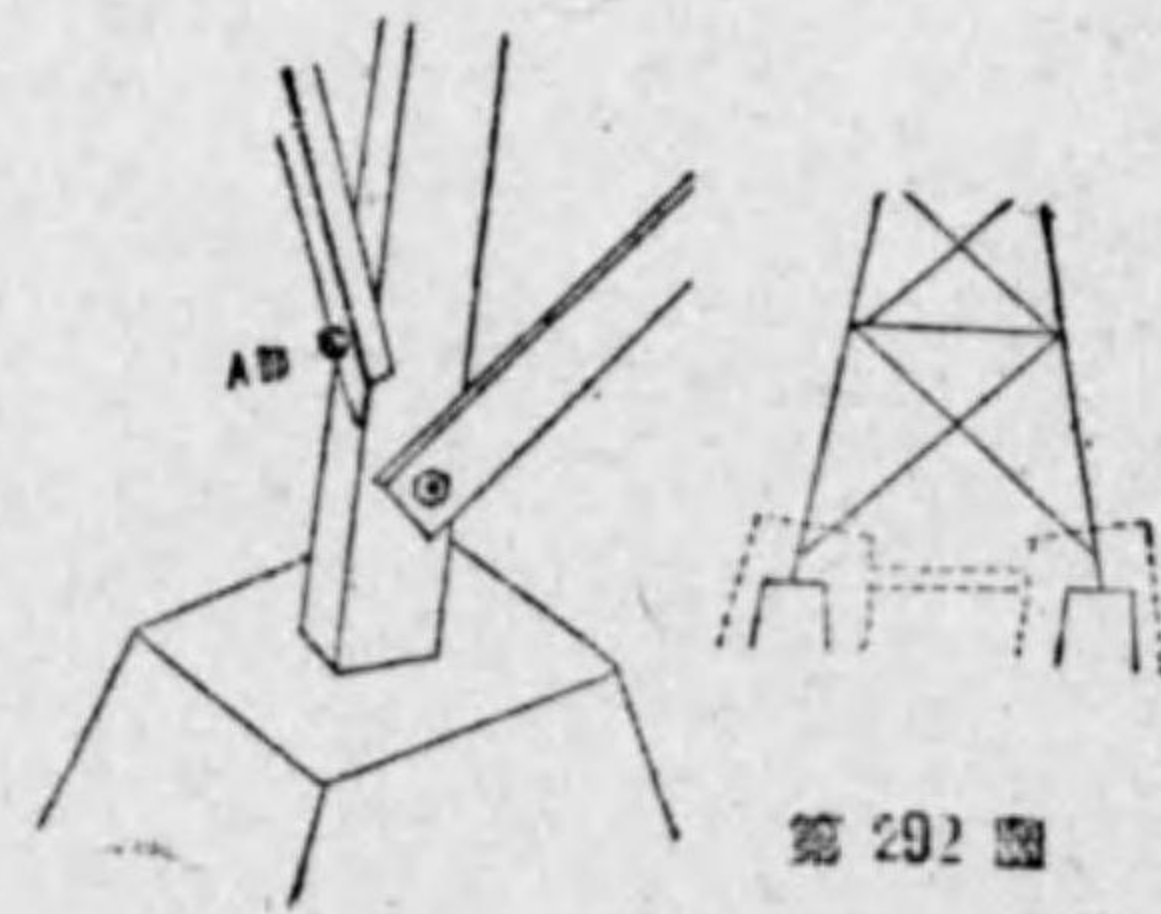
の如くしたい。ぐるつと廻つてそれが二階にあるが如きはよろしくない。論より證據だ、實際の配置の如く接続圖を書き更めて見たら、如何に複雑して辿り難いかは直ぐわかる。

運轉者は常に接続圖を腦裡に描いて、それによつて行動するのであるから地圖を頭の中で訂正しながら歩くのでは道を間違へるのも無理はないと云はざるを得ない。

以上は設計に當つての趣意で、甚だ抽象的であるが、必要な注意はこれに盡きると云つてよい。

一次變電所は前述の如く都市の外廓に造られるから、平地で且つ面積も比較的廣く取れるから、従つて設計は平面的になる。余り海岸の近くでない限り地盤もまづ良いから基礎工事は簡單でよい。大部分が屋外構造だから潮風が直接當る處は特別高壓は禁物だ。畑地の間などである場合は洪水位の注意を要する。60年間の統計などが氣象觀測所などにあるものであるから、又古老に訊ねてその最高水位を考慮の中に入れる事、大抵は大丈夫だが、時とすると油入遮斷器の機構部分などに侵水する事がある。風位風速なども調査すべきだ。風上に工場や煙突などがあると——後から立てられるのは防ぎ様もないが——碍子の劣化が激しくなる昭和9年の關西風水害時、風は南から吹いたから東西の送電線が倒された。地震に対する考慮は、變壓器の轉出止め以外のものは先づ見當らない。これは電氣施設は地震に對して安全だと云ふのではない。適當な具体案がないと云ふに止まる關東大震災のときは直接の被害は比較的少なく、建物の倒壊による間接被害が多かつた。耐震ではない對震である。地震と云ふ天然の巨大な力に對して微小な人間の力を以て反抗する事は無意味である。揺れるがまゝに然しながら頽れざるが如き構造でなければならぬ。と云ふ議論は盛んに聞かされたが、これと云ふ具体案は得られなかつた。唯弾力性を有せしむる様に煉瓦積は最もよくない。鐵筋コンクリートよりも鐵骨鐵筋コンクリートが望ましい。由來鐵筋コンクリートは三階程度を限度とすべきだと云はれて居る。だから——少し話はそれるが——市内の二次變電所で四階程度のものにもなると柱が異常に太くなる。

一次變電所の屋外鐵構はこの点に於て余程弾力性に富んで居る。だから關東大震災に於ても被害は少なかつた。唯顯著な一例は、鐵構——主として鐵塔であつたが根元が圓の如くなつたものはA点から折れた。山形



鋼の兩側に穿孔されて、そこに最も大なるモーメントが掛るのだから當然であるその部分をコンクリートで包んだものは無事であつた。

又鐵構はすべて基礎兩脚間の距離が變らないとして計算されるものである。それが兩脚間隔が開くとか、換れる、又は高低を生ずれば、も早や組み合せた鐵構としての効力はなく、唯別々の山形鋼の強さになつて仕舞ふ。一次變電所には鐵塔は2基か3基しかないが、この原則はすべての鐵構に共通の事で注意すべき處である。

最後に防空施設で、爆彈の貫通しない様な頑丈な屋根を造る事は固より困難である。爆彈の落下勢力を吸収せしむるが爲に、屋根上に土を2~3米も被覆すれば有効であることは勿論だが建物の強度が堪えられぬ。

迷彩塗装、着色網被覆等が考へられるが、未だ充分に實施されたものを見ない屋根上に植木鉢を並べる。冬も枯れない「きづた」の類を纏繞せしめる等も一考慮であるが、投影を生じるので高い建物は隠蔽に困難である。

夜間の燈火遮蔽は充分考慮しなければならない。配電盤のみを操作に差支なき程度に照射して、窓は間接光とし0.1ルクス以下の明るさに保つ。これは眼を近づければ新聞が辛うじて讀める程度である。

一次變電所の施設としては、調相機と稀に周波數變換機がある。共に第三卷に詳しく説明されてあるから一切省略する。

唯回轉機の据付基礎に就いては發電所では平板基礎として機械の基礎を建物の基礎と一緒にするのが近代の傾向だと述べたが、變電所に於ては回轉機の基礎は建物とは別にすることがよい。それは發電所では發電機が最大重要物で、その振動軽減の爲には他の不便は多少忍ばねばならぬが變電所では配電盤諸機具が寧ろ最重要性があるので調相機は先づ從屬的地位にあるから、その振動等が配電盤諸計器に影響を及ぼすのは避けなければならない。これに關連して防音と通風で、防音は一次變電所は市外廓にあるからそれ程八ヶ釜敷云はない。従つて通風も調相機を包んで床下から建物外に通風筒を建てる程度のものである。

二次變電所は一次と趣を異にする。市内に建てられるから後者の設計が平面的であつたに比して、これは立体的でなければならない。

一階に引込線ケーブルヘッドと主變壓器を置き、二階と三階に特高母線と油入遮斷器を配置し、四階に配電母線と配電盤並に制御盤を置くと云ふ風にするのが普通である。地積が充分に得られないのみでなく、地形も不整形な事が多いので先づその形に應ずる必要がある、大抵表通りは避ける方がよろしい。これは地價の關係もあるが、また都市の性質として變電所の如き表通りと關係の薄いものは大局的に見て遠慮すべきである。その代り裏町になると色々な面倒が起る。第一は大きな機械を持ち込む通路を考慮しなければならぬ。引込線と引出し線とその通路の下に埋めねばならぬ。又市街建築物法によつて道路の向ふ側から $\frac{1}{4}$ の角

度で上方に線を引いて、その線の内であれば建物が建てられぬから 3 階 4 階の建物は敷地一杯に建てられず大分内方に引き退かねばならぬ。

防音施設は絶対に必要になる。防音には云ふ迄もない二つの問題が含まれて居る。第一は音の発生を少なくする事で、第二は発生した騒音を吸収し、及び余り影響のない方向へ放出する。音響の発生は避け難いものには相違ないが、よく原因を調査すれば或る程度の軽減は可能なものである。尤も誘導電圧調整器の唸りや回轉變流機のプロファン等の騒音の如き、性質的にどうしても免れぬものや、變壓器の唸りの如く、設計と工作で甚だしい差違のあるものもある——變壓器の唸りは磁束密度が高く板鐵の締付が悪い場合は相當に激しいが、良好な設計によれば随分低くする事が出来るものだ。然しながら、又補助機としての軸筒や、通風機から出る音響の方が激しい事もある。だから設計に際して豫め、これらに関して周到な注意を拂ふ事が必要で、具体的に云へば何でも無い事だが、例へば通風機の音響は翼の周速とその形状に關係するのだから、多翼式を避けて、ターボ翼型にするとか、誘導電動機の唸り (hum) は回轉子と固定子の齒の數によるものだから回轉子導体を振る (skew) ことによつて殆んど除かれるものだから、これを指定するとか、最初の設計の際の用意で或る程度まで制限する可能性がある。然し全く無音と云ふ事は望まれぬのだから、次に発生する音響を吸収する工作を考へる。

これは反射共鳴することを避ける爲、音の発生部を出来るだけ小範圍に包被する事と、壁、天井等を吸音材で被覆する事だ。回轉變流機等の如きは通風關係もあるが全密閉型とする。但し密閉の鐵板が薄いと振動してそれ自身が新なる發音体となる。電車のギヤボックスを鐵板接合から鑄鐵製に更へ、鉛を充填した程の意氣込で、頑丈なものにして共鳴を防ぐべきだ。壁にはコルク板とかセロテイツクス、アローチツクス等のパルプ壓縮材を試みて相當効果を上げた例があるが耐火性がないのと外觀がよくない爲、態々その上をプラスターで仕上げた事さへある。天井は、押えもの——プラスターを平滑な鏝で仕上げた——が普通だが、住宅などで相當効果のあるスポンヂ叩き、海綿で叩いて、凸凹を造る方法や、大阪地下鐵で成功したメトロストーン——白色セメントにベーキングパウダー (Baking powder) 質の瓦斯を發生する粉末を混じ、水でねつて厚さ 15mm 位の板とする。多孔質の輕石の様な板で、音響吸収には甚だ効果的であつた——の如き一考の値がある。

而して最後には音の外界に傳播するのを防ぐために、發音体のある部屋を嚴重に仕切る。窓は二重硝子戸とし、そして通風はこれに従つて音響が流れるから屋上に眞直に空に向けて放出する。床も陶製タイルなぞよりはゴムタイルがよい。

最後は防火施設で、電線には耐燒線——四種線のゴムの代りに石棉を用いたもの——を用ひ、油入遮斷器はコンパートメント内に收め 變壓器や回轉變流器等

には炭酸瓦斯消火装置を附する——筆者はこの炭酸瓦斯消火装置には反對意見を持つものだが。

猶、變壓器發火の際操作する爲、コンクリート壁を隔て、油拔弁を裝置する。そしてバイリン等の四塩化炭素充填の消火器並に砂を用意する。但し消火器はいざ使用する時には大抵空になつて居る程のものだから、平常の点檢が肝要だ。

### (6) 電線接續圖及工程の決定

接續圖は因より變電所の生命だから最初に定める。多くの類例を蒐集して比較検討すべきだが、あれもこれもと取り入れる事のみを知つて徒に機器の複雑化を喜ぶのは最も戒むべきだ。目的を正確に把握して不用を省略除去して簡明直截なる線圖を作ることに専念すべきだ。

先に示した如き單線線圖を先づ作り、次に三線の接續圖を作り、すべての計器繼電器操作並に制御回路を記入する。

次にそれに寸法を入れる。主要機器の容量は固より、油入遮斷器の遮斷容量から、母線から制御線迄の太さを記入する。機器の寸法は製作者に問ひ合せ、又は型録等で調べる。

そして配置が定まれば建物は建築係、又は設計事務所へ依頼する。建築の詳細設計が終つて請負に掛る頃には機器類の注文も終る。事變以後は別だが、その前なら建築は 8~10 ヶ月で出来上る。そこへ機器が納入される。と云ふ順序で、機器の据付は 3~4 ヶ月を普通とする。建築 6 ヶ月、電氣 2 ヶ月と云ふあたりが最速の記録だらう。

建設費は、一次變電所は 11圓~44圓/kW, 25圓/kW 附近のものが最も多い。

二次變電所は 13圓~76圓/kW, 40圓/kW 程度が普通と思はれる。二次が高價なのは地價と、建物と、その建物が防音耐震耐火等の條件つきだからだと思はれる。

### (7) 主要機器の設計と仕様書

機器各箇の設計と仕様書に就いては第 3 卷に詳説してあるから背て重複しない唯相互に連關した一つの組織としての批判を述べる。例へば、變壓器は 3 相 1 箇がよいか單相 3 箇がよいかと云ふが如き。

これは實は未だに結論のない議論である。本書でも曩にこれの利害得失を一般に云はれて居る程度に述べた。

即ち 3 相は結線が簡單である。然し 3 相 1 箇の豫備が入用だ。單相 3 箇なら豫備は單相 1 箇でよい。それに 1 箇故障の場合にも V 結線で一時凌げる。

これではどつちがよいかわからない。實際兩方共用ひられて居る。そこで筆者が一つの結論を與へやう。これは何も筆者が權威を以て斯く斷すると云ふ自慢的

のものではない。ある一つの見解に従ふ主張として述べるのである。

2 回線の引込みがある場合、単相なら、2 バンク即ち 6 箇と豫備が 1 箇でよい。3 相なら 2 箇が常用で 1 箇が豫備だ。

単相の場合は、豫備の 1 箇をどの變壓器とも交替し得る様にする爲、結線が甚だ複雑する。同様の事が油入遮斷器にも必要になる。必然の勢として二重遮斷器式になる——即ち箇々のものに対して豫備を有せねばならぬと云ふ見解だからである。

3 相の場合は變壓器のみでなく、前後遮斷器をもこめて、即ち 1 回路全部を豫備とする。その代り単一遮斷器式である。だから故障の場合は、變壓器の故障でも遮斷器の故障でもすべて 1 回路を交替する。所謂單位式 (Unit system) で、この方が簡明である。價格も變壓器だけなら単相と 3 相の差があるが、遮斷器を籠めて云ふならば多くは違はない。まして結線の繁簡は比較にならない。

變壓器の冷却方法がまたこれと同様に議論されて居る。

全自然冷却式、水冷式及この中間に當る油を變壓器から一度引き出してそれを自然冷却するものと、水で冷却するものとある。一次變電所用の屋外式の場合は價格は高いが、全自然冷却式がよい。二次變電所で屋内設置の場合は、床面積が限られるので問題になる。

水さへ自由に得られれば、水冷式には多くの利点があるのだが、水道は料金が低い。地下掘抜井戸は 5~6 年で詰る。そこで中間の抽油式が考へられるのである。然しまた筆者の見解を以てすれば、この中間式は最もよくない。兩者の缺點だけを併せた様なものである。自然冷却式の長所は監視不用の点にある。抽油には油ポンプが入用だ、既にその特長を失つて居る。水冷式の長所は小型で價格の安い所である。抽油自然冷却式となればこの点と亦反して居る。だから價格と床面積が許せば全自然冷却がよく、然らざればポンプの故障に備へる爲屋上に水槽でも置いて水冷却とするがよいと思ふ。

以上の様な例は幾つもある。否、寧ろ一つ一つがこの例であると云ふて差支ない。そしてそれはすべて故障時に對する豫備如何と云ふ点を中心として議論されるのである。そしてその論議を詮じ詰めると機器が各箇に豫備を有するがよいか一回路一組が豫備として存在するがよいかと云ふ点に歸着して仕舞ふ。

こゝまで持つて來れば結論は明かで、機器が夫々に豫備を持つとすれば、極端に云へば 2 倍の設備を要する事で、一回路一組が豫備であるものよりも遙かに量も質も多くなるのは瞭かである。

油入開閉器は故障の多いものだから、これだけは特に豫備を置かうとか、ポンプだけを二重設備にしようとか考へるのは、全体として考へて見ると姑息な彌縫策で、却つて複雑化して經費を増大せしめる。設計の主意は簡單明瞭、直截なるべきである。

電車用變電所の主要機器は電燈用のそれに比して、直流變換装置と、高速遮斷器がある。

直流變換装置としては、縦横變流機 (Motor converter) 電動發電機 (Motor generator) 回轉變流機 (Rotary converter) 水銀整流器 (Mercury rectifier) とがある。最初の 2 つはもう現在は用ひられない——まだ使用して居る所は幾つもあるが——そしてこれらが使用された當時の理由は 50 及 60 サイクルに對する回轉變流機製作の困難が第一の問題で、それに直流電壓の相當廣範圍の調整を希望した爲である。現在は製作上の困難も殆んど全く除去されたし、負荷が多くなつたとき直流電壓を調整して高くしてやることは、却つて有害とされるので前二者の存在の理由は全く消滅した。

但し回轉變流機は 1 台で 1500 V のものは、どうも面白くないので 750V 2 台を直列に結んで居る。起動等の場合に多少の面倒はあるが運轉には支障はない。大体、回轉變機的设计製作の技術は、この 10 年來非常に發達した。昔はスリップリングが極の數だけの多角形に磨耗したり、整流子片が一つ置に火花を出したり——整流片の 2 つが 1 つのスロットから出て來て居る——等の不結果は到る處で見られたのだが、現在こんな不始末は決して見られない。信頼度から云へば回轉變流機は充分である。

水銀整流器は逆弧現象が困る。電壓ではない、電流の問題で、1 台 2000 A を超えるものには特殊の注意を要する。これは未だ斷定は出來ぬ事だが、水銀及アノード材質の純度によるもので、真空や、冷却装置の良否によるものではないらしい。整流器は無負荷の場合非常に高い電壓を示すから、全然無負荷では電車線に接続することが出來ない。必ず少許の抵抗負荷を挿入する。だからそれだけ能率を害して製作者の誇稱する程良好なるものではない。

唯磨耗部分がないから生命が長い。音響を發生しないから市内設置に適して居る——但し主体は如何にも無音だが、真空ポンプと冷却水ポンプ、又その水を冷却する通風機の騒音は必ずしも變流機に負けない程だ。

又整流による高周波の發生も問題になる。勿論濾波器はあるが完全でない。

仕様書は第 3 卷に詳記してあるから箇々に對しては省略する。唯全体としての連繫關係を製作者にも徹底せしめる様に、目的と使用範圍を明示し、且つ供給範圍を正確に決定して置く事が必要である。例へば空氣冷却器と通風機とが別の製作者であつて、規定の效果を得られなかつた場合、一方は風量が不足だからと云ひ、他は冷却器の通風抵抗が豫定以上に高いと云ふ。それぞれ測定器具があるのだが、現場では取付の關係で正鵠を得た測定は困難である。

又兩者の取合箇所の寸法は最も綿密に協定しなければならない。パイプ一本でも長さは固より、フランジの形状寸法等、幸ひ火力發電所用の高壓でなければ日本標準規格があるから之を規準として仕様すれば良い。



豫備品と附屬品に対する仕様は、つまらぬ様に見えて案外注意を要する。前者は磨耗消耗する部分に限るのが原則である。變壓器のコイルなど必要な時には絶縁が劣化して仕舞つて居る事もある。變流機の炭素刷子や彈條など、多量に備へて大變役立つ事もあるし、廢棄する様になつた事もあるから一概には云ひ得ないが、記録計の紙やリボンには必ず使用するものだから、1ヶ年分位は付けるのが普通になつて居る。

附屬品はどの範圍迄を含ましめるかが問題である。變壓器の下の軌條は附屬品ではないが、吊り金具は含んだ方がよい。走行起重機(電動式の場合)の集電装置と共に摺動するトロリー線の支持碍子も(集電装置の構造に關係するから)共にするのは双方の便宜だ。

基礎ボルト類も同様含む方がよい。又かゝるボルトナット類や端子の如きは剩つても仕様の無いものではあるが、5%以下の余裕を見込む必要がある。

### (8) 機器の配置と配線工事

土地の廣い場合には平家建に限る。郊外でも土地は却々得られない。市内に到つては是非共2階以上にして、床面積の節約を圖らねばならぬ。

その場合には變壓器を一階にしてその上に母線及遮斷器と起動盤を持つて來る。實は變壓器は背が高いから母線室が三階の高さになる。廻轉變流機を二階にしてその下に高速遮斷器と補助變壓器その他を持つて來る。必然的にこの部分が甚だ窮屈になる。

蓄電池室と事務室は重ねる。猶他に倉庫と變壓器分解室が入用である。二階建の場合には一部を突抜けにして分解室に利用する事もあるが、利用率を考へると余り經濟ではない。又階段の置き場所は小さな問題だが困るものである。

近時漸く防空既設に關連して問題となつて來たが、床面積を節約すると云ふて上へ上へと造り建てる事の可否で、騒音問題をも兼ねて、地下變電所が研究されて來た。未だ實例はないが今後の研究對象である。

配線工事は隠蔽工事と露出工事で、露出工事中には天井裏を唯棒組の中に並べるのと、更に之を鐵管に通し、角では「割リベンド」を用ひて全部保護する様な方式もある。これは外傷に對しては確かに強いが、工費と手間を考へれば余りよい方法とは思はれない。

隠蔽工事は床の中にコンヂット管を埋め込むもので、コンクリート工事と共に工事をしなければならぬので、建築屋も電氣屋も共に嫌がる。又増設が困難である。誤つて管中にコンクリートを入れると回復の途がないから10%位の數を余分に見込む必要がある。露出工事に比べると配線に手間が掛る等の缺點はあるが、最も廣く用ひられて居る。

### (9) 故障とその説明

數の最も多いのは電壓降下と地氣發生である。電壓降下は受電側に起つて、且つ變電所以外に原因があるのだから、低電壓繼電器が働いて油入遮斷器が開路したら、その制御装置を起動位置に戻して電壓の回復を待つより外はない。唯慌てゝ負荷をそのままにして遮斷器を操作するなどのない様に異系統の電源と切替えるにしても起動の順序に従つて操作すればよい。

地氣發生は原因不明に終ることが多い。架空線に風の尾が引掛つたとか、雨の日に樹の枝が觸れたとか云ふ程度のももあるわけだが、又ケーブル被鉛は針孔穿孔を生じて最初の地氣の形で現れるから、1種の危険の豫告として時間、程度、發生の状況等を記録して置事だ。記録は大切なものである。然し更に大切なのはこれを集成して統計する事である。

變電所として主要機器の故障は、その數多く起るものではない。附屬器具の故障の方が遙かに多い。電磁操作開閉器のコイルが焼けるとか、繼電器の接續が不良になるとか云ふ程度である。そして大抵は平常の手入と注意で防ぎ得る事が多い。

### (10) 主要機器の手入

變壓器油や、開閉器の油は、年に2~3回は取り出して検査する。スラツチ(Sludge)——油が分解炭化して黒い泥になる——が溜るから、その程度によつて年に1回、變壓器油なら3年目位には濾過して泥を去り、水分を除去し、耐壓試験を行ふ。(12.5mmの球狀間隙で1mmにつき25,000V以上)

變壓器の如きも分解して見ると、思はぬ鐵板締付ボルトが緩んで居たり、コンパウンドが流れ出して居たりするものである。油入開閉器に到つては接觸部の損傷や磨耗が案外大きい。必ずよく磨り合せを行つて良好な接觸を保つ様になければならないのは勿論だが、彈條が長い間の緊張状態と熱の影響を受けて弾性を減じて居る事で、縮んだものを延ばして「焼き」を入れ直す(鋼製なら)とか或は新品と交換する等の要がある。

廻轉變機も年に一度位分解して掃除するがよい。壓搾空氣で吹かして埃を除去し、清拭する。電氣絶縁物に對しては尖つたものでホヂツたり油で拭ふたりするのは有害である。

整流子は凸凹が激しくなつたら切削する。然しマイカの切落し(Under cut)部は製作所でなければ觸れぬがよい。却つて短絡を生ずる事がある。

出協承認番號 3298

發 變 電 所 工 學

定 價 3 0 圓

昭和 21 年 7 月 30 日 印 刷

昭和 21 年 7 月 25 日 發 行

複 製

著 者	都 築 謙 雄
發 行 人	田 中 增 吉
印 刷 人	丸 山 武
印 刷 所	電 氣 書 院 印 刷 所
製 本 所	電 氣 書 院 製 本 所

會員番號 A 220010

發 行 所 大 化 書 房

京都市東山區今熊野銀ノ宮33

振替 大 阪 4 6 1 5 7 番

電 話 祇 園 8 2 7 番

配 給 元 日 本 出 版 配 給 統 制 株 式 會 社

東 京 都 神 田 區 淡 路 町 二 丁 目 九 番 地

---

月刊 電 氣 計 算  
雜 誌

懇切なる指導  
新鮮なる記事  
明朗なる編輯

- ★電気技術者、特に獨學技術者に電気工學上の最新學理を根本的に解説した獨特の記事を満載してゐる……電檢受験者が必讀すべき雑誌である……
- ★電気工學者の最新技術を速報し、現場技術者の素養の向上を計つてゐる。新しき電気技術者たらんとする者の必携すべき雑誌である。
- ★一見、讀者を魅了せずには置かない明朗にして興味溢るゝ編輯ぶりを、試みに一見して見られよ。

---

月刊 初 級 電 氣 工 學  
雜 誌

初學者（工業學校程度）に電気工學上の基礎理論と最新技術を、毎號、一主題に就き縦横に解剖し、独自の解説を以て、根底から理解させてゐる。雑誌と書籍の兩特長を具備した新しい雑誌

第1卷 第1號 電 氣 磁 氣 現 象 } 以下毎月刊行  
第1卷 第2號 靜 電 氣 現 象 }

---

氣電書院主要刊行圖書

電氣工學計算の基礎理念	電氣機器新書	發變電所工學
直 流 回 路 及 計 算	直 流 機 の 原 理 と 運 轉	電 線 接 續 法 解 說
交 流 回 路 及 計 算 (上、下)	交 流 機 器 解 說	屋 内 電 氣 工 事 設 計 要 領
高 級 電 氣 工 學 計 算 の 基 礎	配 電 工 學 新 書	屋 内 工 事 施 行 法
電 氣 工 學 新 書	電 燈 照 明 新 書	屋 内 工 事 配 線 圖 解 說
電 氣 磁 氣 測 定	發 電 工 學 新 書	屋 内 工 事 の 故 障 と 對 策
電 氣 測 定 新 書	電 力 傳 送 工 學	無 線 工 學 の 理 論 と 實 際

---

★御申込次第、現在在庫の書名、定價を報告申し上げます

543-Ts99



1200500746164

543  
99

終