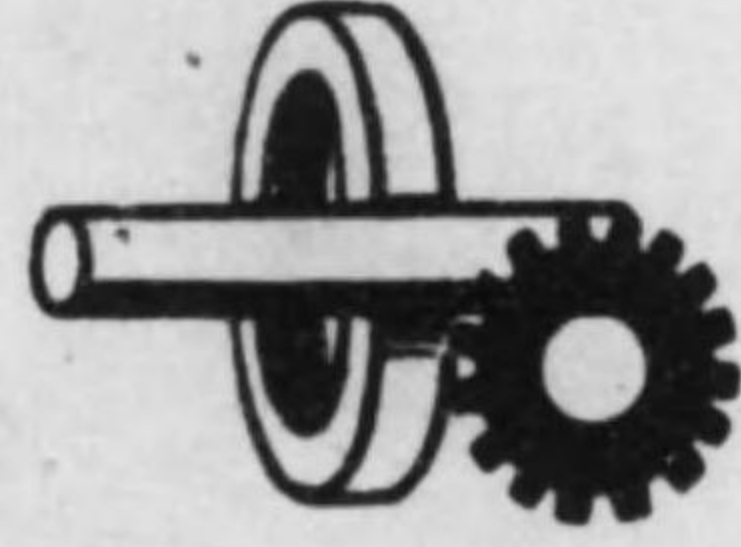


始



原 動 機

1



實業教育振興中央會

特 255
857



昭和 21 年 2 月 27 日

文 部 省 檢 定 書

實業學校實業科用

Approved by the Ministry of Education

(23 February 1946)

原 動 機

1

實業教育振興中央會



目 次

第1. エネルギーの考察.....	1
第2. 往復ポンプ.....	15
1. 吐出水量・吸上高	17
2. 空 気 室	18
第3. 水 圧 機 械.....	20
1. 用 途	20
2. 水圧用ポンプと使用液	21
3. 水圧プレス	22
4. 水 圧 溜	24
5. 水力傳導装置	25
第4. 熱 の 利 用.....	27
1. 熱 の 移 動	27
2. 蒸發・冷凍・乾燥	33
第5. 蒸 氣 罐.....	37
1. 給水・通風	47
2. 燃料・燃焼	52
3. 蒸氣の性質と利用	56
第6. 水 力.....	61
1. 水力の利用と水力發電所	61
2. わが國の水力	62
3. 落差の形成	63

4. 有効落差	64
5. 現今の水車	64
第7. 送水設備	71
1. 管内の水の流れ	71
2. 管内の流速と水圧との関係	72
3. 管内を流れる水の抵抗	74
4. 管路で送られる動力	76
5. 水圧の傳達	77
6. 送水ポンプ	78
7. 渦巻ポンプの原理と構造	79
8. 渦巻ポンプの形式	82
9. 渦巻ポンプの取扱ひ	84
10. プロペラポンプ	86
11. 流量の測定	86

第1. エネルギーの考察

原動機は自然に存在するエネルギーを機械エネルギーに変へて仕事をさせる機械である。すべての工業は殆ど原動機の發達を基礎として成りたつてをり、現代の生産・運輸などの施設も原動機の力がなくては其の能力を發揮することができない。

機械工業は工業の諸分科のうちでも特に原動機及びその發生する動力と關聯が深い。原動機の製作は殆どすべて機械工業の受けもつ仕事であり、又原動機の運轉と管理の大部分は機械技術者の任務である。

現在われわれが大規模に動力を發生するために利用してゐる自然のエネルギーを考へてみよう。

(1)石炭や石油などの燃料の燃焼によつて發生する熱エネルギー これを利用する原動機を總稱して熱機關といふ。蒸氣機關・蒸氣タービン・ガソリン機關などは熱機關である。

(2)水が高所から低所へ流れ落ちる際に發生する水力エネルギー これを利用する原動機を總稱して水力原動機といひ、各種の水車はこれに屬する。

電氣は動力を遠隔の地に傳へるのに重要な役割をもつが、現在では自然のエネルギーを直接に電力に轉換することは稀で、一度熱機關或は水力原動機によつて發電機を動かして電力を發生させる。

電池から發生する電力は自然のエネルギーが直接に電氣エネルギー

一に轉換する例であるが、動力源としての電池の價値は、發生するエネルギーがあまり小さなために、熱機關に於ける燃料や水力原動機に於ける水力に比べれば殆どいふに足りない。蓄電池はかなり大きな動力を發生するが、これは充電によつて一旦電池内に電力を蓄へた後これを放出するものであるから、自然のエネルギーをその中に蓄へてゐるものとはいはれず、單に一時電力の貯藏所の役割をするに過ぎない。

このやうに現在われわれが實際に工業・交通・運輸などの目的のために利用してゐる自然のエネルギーは、熱エネルギーと水力エネルギーが大部分を占めてゐるが、このほか自然界にはわれわれの利用を待つてゐるエネルギーがたくさんあるから、科學技術の發達につれて今後種々な新しい原動機が現れるであらう。

熱と水力以外に古くから今日まで利用され、又將來利用される見込のある動力源は次のやうである。

(1)今までに實驗されたことのあるもの

(ア)風力 (イ)潮汐の干満の差 (ウ)深海の表面と底部との温度差 (エ)太陽熱 (オ)地熱

(2)將來動力源になるかも知れないもの

(ア)雷雲と地表との電位差 (イ)原子核の破壊に際し發生するエネルギー

このほか未知・既知の動力源は種々あると思はれる。

(考察) 1. 風力原動機が廣く利用されないのはなぜか。

(考察) 2. 太陽熱を利用する原動機の家をたててみよう。

原動機はその特質として或る時間繼續して仕事をする事ができ、且つその發生する動力を自由に調整できることが必要である。

原動機が自然のエネルギーを機械エネルギーに轉換する際、自然のエネルギーの全部が機械エネルギーに變へられるのではなく、その何%かが轉換されるに過ぎない。その割合は普通効率といふ言葉で表される。たとへば蒸氣機關の熱効率が10%であるといへば、石炭の發生する熱エネルギーに對して、蒸氣機關の發生する機械エネルギーはその10%といふことである。

物象でも學んだが原動機が仕事をする能力は仕事率で表す。即ち單位時間に何程のエネルギーを出すか(仕事をするか)といふことである。仕事率の單位はキロワット(1秒間1000ジュールの割合です仕事で、kWで表す)又は馬力(1秒間75kg/mの仕事で、HPで表す)である。

kWとHPとの關係は、 $1\text{HP}=0.736\text{kW}$ である。

これまでの習慣ではHPは原動機の發生する機械エネルギーの仕事率、又は機械を運轉するために必要な動力を表すのに用ひ、kWは發電機の發生する電力を表すのに用ひてゐる。

直流の電流が流れてゐる場合、電壓をVボルト(V)、電流をIアンペア(A)で表すと、電氣の動力Wは

$$W = \frac{1}{1000} VI \text{ (kW)}$$

である。

原動機の発生する動力は殆ど常に回転軸の回転力（回転軸に作用する偶力）となつて現れる。回転力は $\text{cm}\cdot\text{kg}$ 又は $\text{m}\cdot\text{kg}$ で表す。

回転力を $M(\text{m}\cdot\text{kg})$ として第1.1圖のやうに半径 $r(\text{m})$ のベルト車に掛けたベルトに傳へ、そのために張力 $F(\text{kg})$ を生じたとすると



た

$$M = Fr \text{ (m}\cdot\text{kg)}$$

になる。これが1回転をした時になす仕事は

$$2\pi rF = 2\pi M \text{ (kg}\cdot\text{m)}$$

第1.1圖
力と回転力

であるから、1分間 n 回転の速さで回転

してゐる場合の1秒間になす仕事は次のやうである。

$$2\pi M \times \frac{n}{60} = \frac{\pi}{30} Mn \text{ (kg}\cdot\text{m)}$$

これをHPで表せば次のやうである。

$$\frac{\pi}{30 \times 75} Mn \text{ (HP)}$$

(考察) 3. 回転速度1分間3000で、75HPを発生する自動車機関の発生する回転力を計算せよ。

自然のエネルギーはなるべく有効に機械エネルギーに轉換しなければならない。即ち効率のよい原動機を工夫すること

である。しかし実際に原動機を製作しようとする時、種々理論上及び實際上からの条件があつて、自然のエネルギーを全部利用し盡くすことは不可能である。

水力原動機を例にとつてこのことを考へてみよう。

或る水車があつてその水車よりも $H(\text{m})$ の高さにある水槽から1秒間 $Q(\text{m}^3)$ の水が水車に流れ込んでくるとすれば、その水流のなす仕事率は次のやうである。

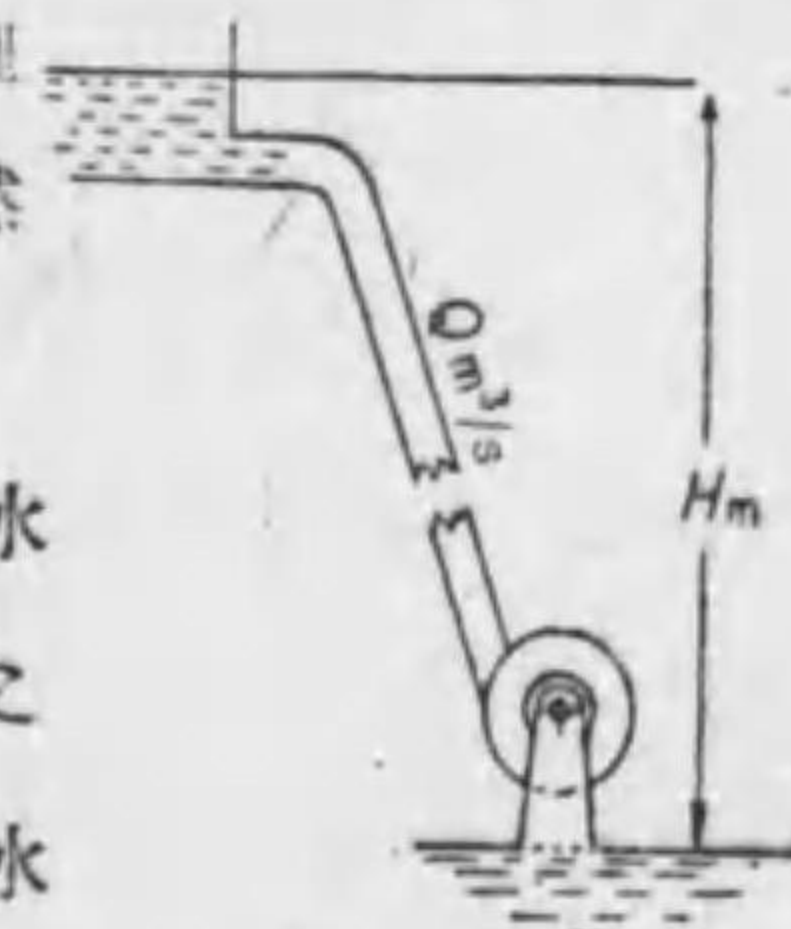
$$\frac{Q \times 1000 \times H}{75} = 13.3 QH \text{ (HP)} \dots\dots\dots (1.1)$$

(考察) 4. (1.1)式を證明せよ。

(考察) 5. 川の流が断崖などから急に落ちれば瀧になる。この場合水のもつエネルギーはどうなるか。又瀧のエネルギーをむだにしないで有効に利用するにはどうするか。

実際には水が管路を流れるために摩擦を生じ、又水車の中でも水の渦が出来たり、水流が水車の羽根や壁などに衝突したりして水流のエネルギーの一部を無益に失ふから、水車の発生する仕事率は、(1.1)式よりも少い。しかしここでは理想的な場合としてこのやうな損失は全然ないものと考へる。

(1.1)式によると同じ $Q(\text{m}^3/\text{s})$ の水量を流すにしても、水位の差 $H(\text{m})$ (これを落差といふ)を大きくした方が水車の発生するHP(水流のなす仕事率)は



第1.2圖

大きなことがわかる。

水は常に高所から低所へ流れる。水車はこの原理を利用したものであるが、高所ではなぜ水が絶えないのか考へてみよう。

これは地表や海面にある水が太陽熱によつて熱せられ、水蒸気となつて蒸發し、次第に上昇して寒冷な上空で凝結し、小さな水滴にかへつて雲となり、雨になつて降つてくるからである。そして太陽によつて一度空中高くもち上げられた水が再び地面へ向かつて降つてくるのは、地球の引力が雨を地球の中心へ向かつて引きつけるからである。故に水力は大きな意味では、その源は太陽の輻射熱と地熱と地球の引力とであるといへる。

(考察) 6. 風車の原動力も太陽の輻射熱に歸することができる。そのわけを考へてみよう。

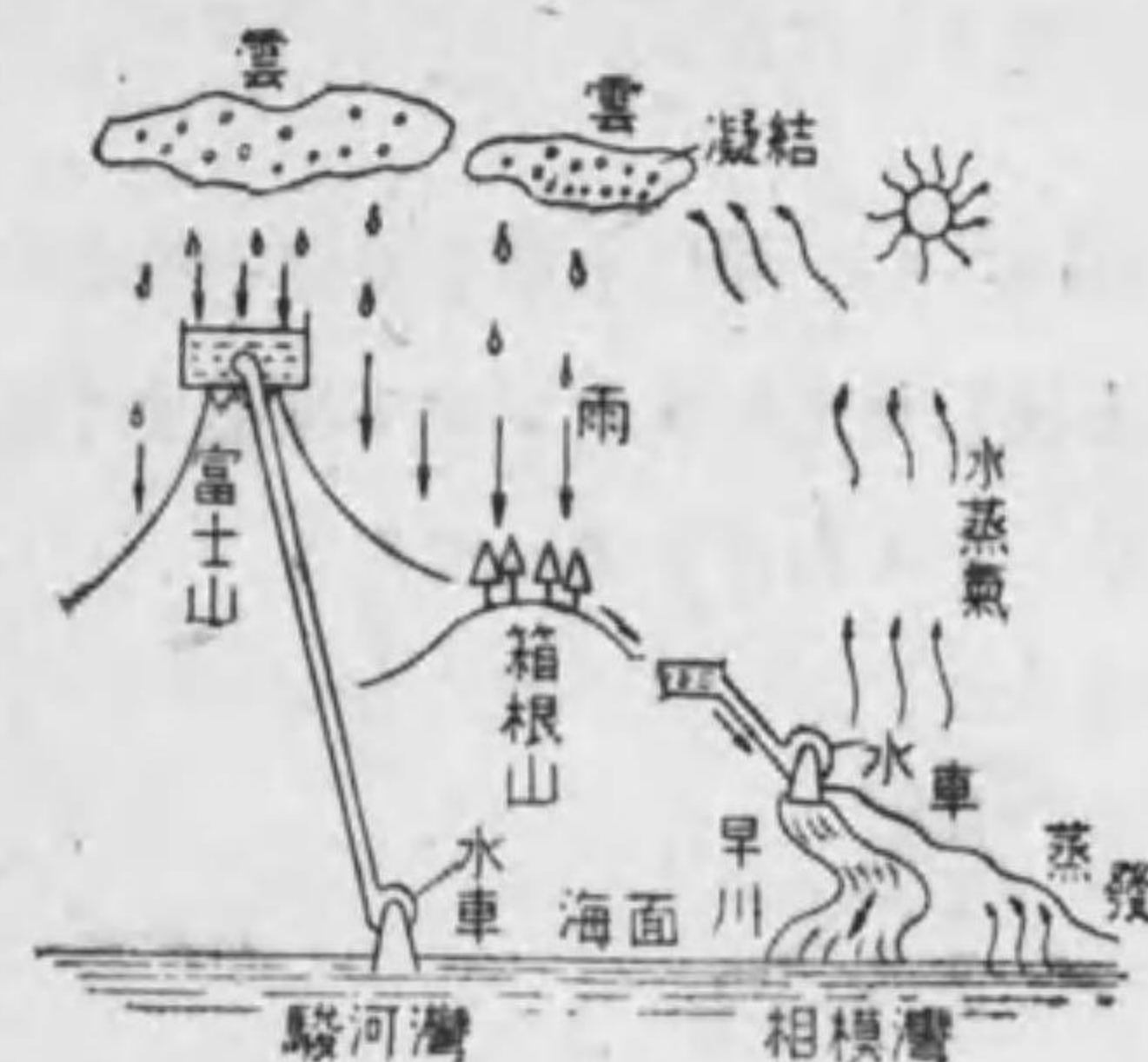
(考察) 7. 潮汐の干満を動力源として利用する場合の動力源は何か。

水力を最も有効に利用するにはできるだけ落差を大きくとることが必要である。たとへば雨水を受ける貯水池を富士山頂に設け、水車を富士山附近の駿河灣の水際に据ゑれば非常に大きな落差が得られる。しかし実際にはそのやうな工事は種々なことから實現が困難であるので例を富士山附近にとるならば、實際の工事では貯水池を富士山よりも遙かに低い箱

根山に設け、水車を海面よりは高い早川の谿谷に据ゑる。随つて工事の都合上エネルギーの大きな損失をする。

なぜこのやうな損失をしなければならないのか考へてみよう。

(ア)富士山頂に貯水池を設けたのでは十分な水量を集めることができないが、箱根山に貯水池を置けば、周りの山に降つた雨の大部分



第1・3圖

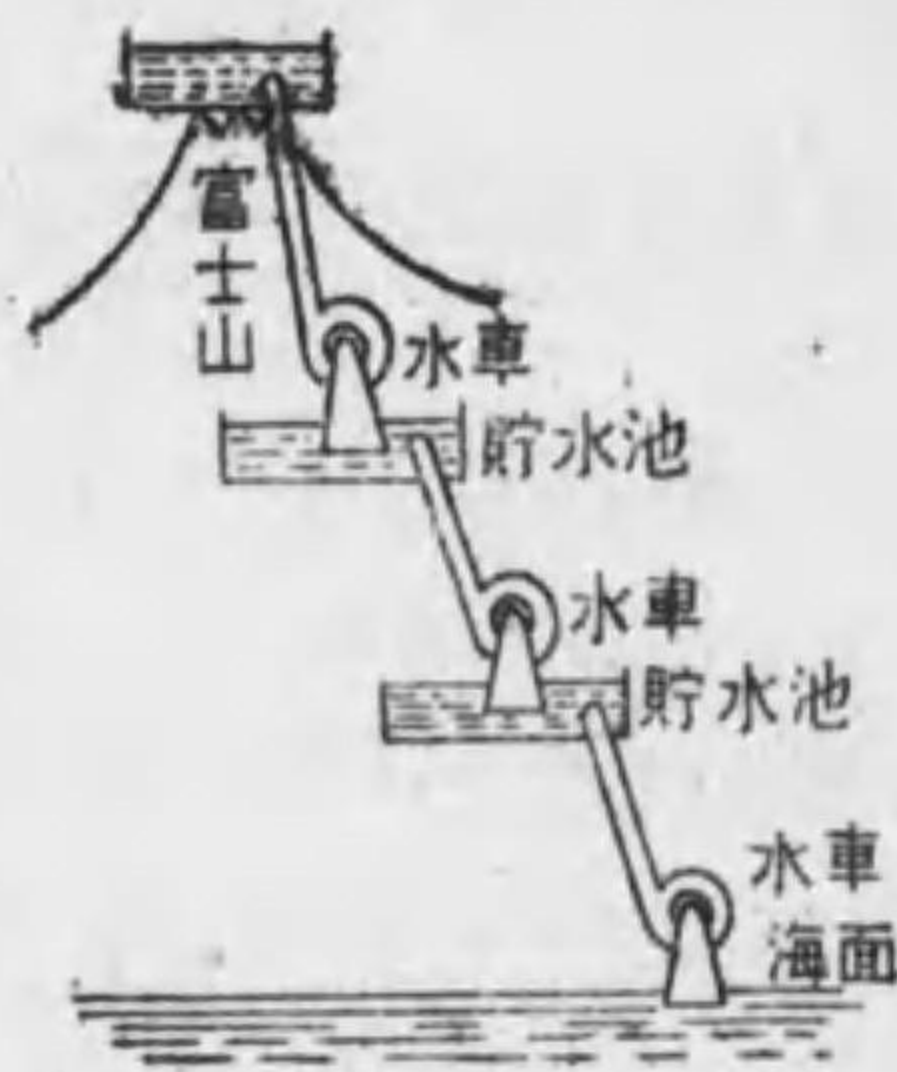
が川となつて絶えず貯水池へ流れ込むから、豊富な水量が得られる。

(イ)富士山頂から駿河灣の水際まで水圧管を敷くとすれば落差は約3700mである。水柱の高さ1m毎に0.1kg/cm²の壓力を生ずるから、落差3700mでは370kg/cm²の壓力(約350氣壓)を生ずる。故にこのやうな高壓力に耐へる水圧管をつくることは不可能でないにしても、資材を經濟に使ふといふことから實際的ではない。但し富士山頂から駿河灣の水面までの落差をむだなく使ふためには、必ずしも富士山から駿河灣の水際まで1本の管を敷く必要はない。その落差を何段にも分け、各段毎に水車を据ゑてもよいが、この方法では各段毎に幾分か水のもつエネルギーを失ふ。

このやうに實際に起る種々な條件を排して理想的な場合を考へると、水力を完全に利用するためには貯水池を空中高く雲の發生する場所に置き、水車を地球の中心に据ゑればよい。これが理想的に考へた場合の最大落差であるが、實際には地

球の中心に水車を据えたのでは、水車から流れ出た水を放流することができないだけでなく、水車を海の水面以下の高さには据えられない。

(考察) 8. 假に水車を地球の中心に据えたとすると、水車を廻した水を又ポンプで海面まで汲み上げなければならない。そのわけを考へてみよ。



第1・4圖

このやうに水が自然にもつエネルギーを水車によつて機械エネルギーに變へ、發電機を運轉させるか又は他の仕事をさせたとしても、自然に發生するエネルギーを全部利用することは實際上種々な條件に妨げられて不可能である。しかしわれわれはできるだけ多くのエネルギーを利用するやうに努力しなければならない。

熱はエネルギーの一つの形態であり、仕事もエネルギーの一形態であつて、その間には次の關係があることは物象で學んだとほりである。

$$1 \text{ cal} = 4.186 \times 10^7 \text{ エルグ} = 4.186 \text{ ジュール}$$

$$1 \text{ kcal} = 41.860 \text{ エルグ} = 427 \text{ kgm}$$

1 kgの最上質の石炭を燃すと約 8000 kcal の熱量が發生す

る。その熱量を全部仕事に變へることができるとすれば

$$8000 \times 427 = 3416 \times 10^3 \text{ kgm}$$

の仕事を行し得るはずである。故に1kgの最上の石炭を1時間かかつて燃すと、その熱によつて1時間の間に

$$\frac{3416 \times 10^3}{3600 \times 75} = 12.7 \text{ HP}$$

の動力を發生させることができるわけである。しかし實際に熱機關が發生する馬力はその數分の一に過ぎない。即ちその效率は100%よりは遙かに低く、機關車用の蒸氣機關は僅かに約10%、熱機關として最高の效率をもつジゼル機關でも40%を超えることは稀である。このわけは水力の例に比べれば大體わかるであらう。

(考察) 9. 良質な石炭の比重は約 1.3 である。石炭1kgの體積は何程か。石炭を貯炭庫に貯へる場合、石炭の比重から計算した貯炭量と實際の貯炭量との間にはどれだけの差があるか、學校の石炭置場で調べてみよ。

水力の場合には同じ水量を流すにしても落差が大きければ利用できるエネルギーも大きなことを學んだ。そしてその場合利用できる最も低位な水面は海面であつた。貯水池の高さは、前の例では富士山の高さを、利用できる最高の高さとしたが、富士山の上に足場を組んで貯水池の高さを上げることも理論上は可能であるから、高さに対してはそれほどはつきりした制限はない。

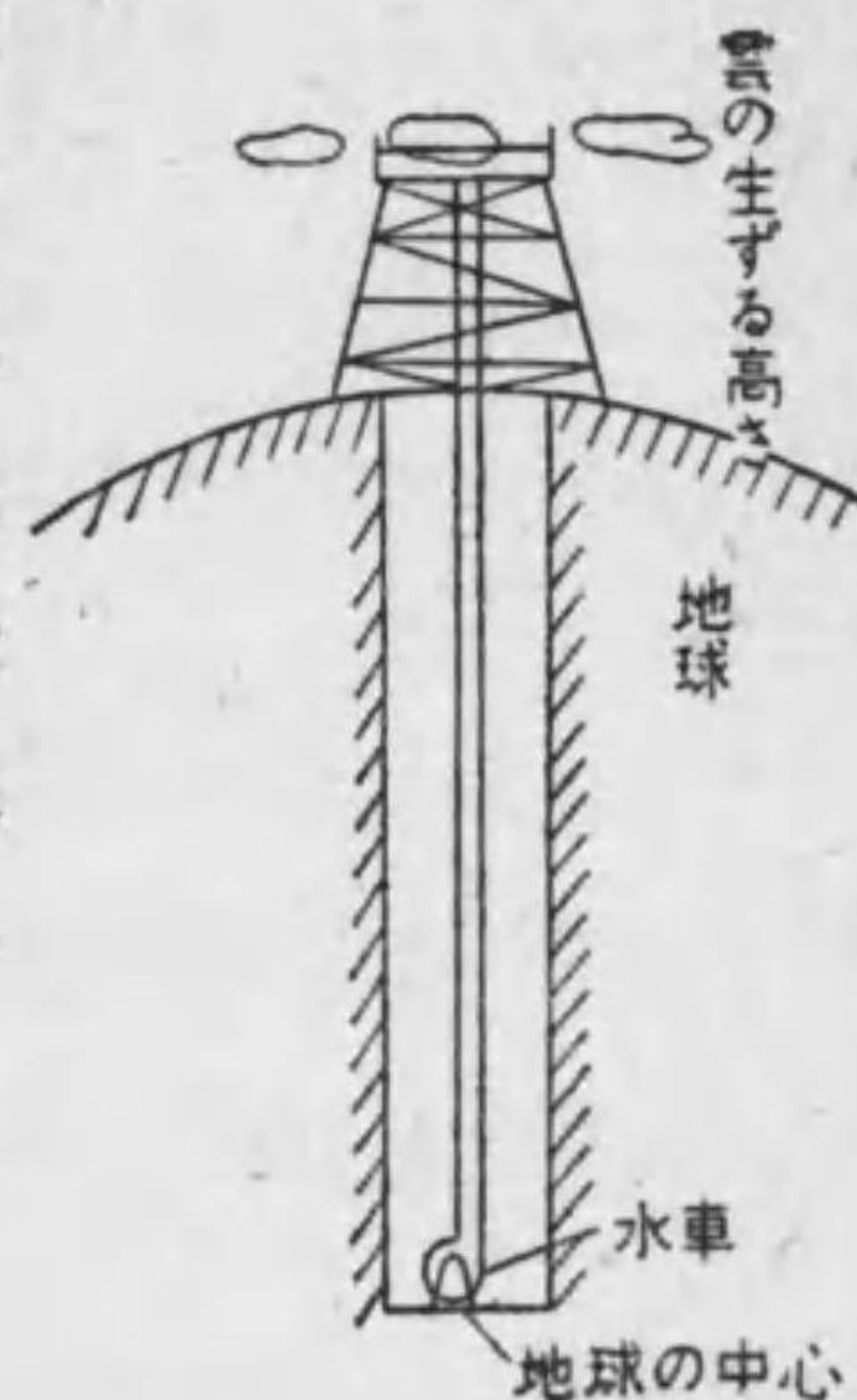
熱機関の場合には燃料を燃して熱を発生させ、その熱エネルギーを使つて機関を動かし、餘つた熱を大氣中へ放出し又は水に運び去らせる。この燃料の発生する熱量を動力源として利用する場合、水力の水量に相當するものは熱量であり、落差に相當するものは燃料の燃える際の高温度と、機関の中で仕事をなし終つた際の温度との温度差である。

そして水力の場合に純理論上考へられる最低位の水面、即ち地球の中心に相當する温度は -273°C であることが實驗で知られてゐる。この温度を絶対零度といひ、又攝氏の温度に 273°C を加へたものを絶対温度といふ。

故に熱エネルギーの利用を考へると、熱の位置エネルギーの最低點は -273°C にあるともいへる。高温度の方は高水位即ち雲の高さに制限がないやうにはつきりした制限はない。

燃料を燃して発生する熱を利用する場合には、その温度を高くするほど利用できるエネルギーの割合は多い。温度差を大きくするためには、最高温度を高くすると共にその熱機関の作用にあづかる最低温度を低くしなければならないが、その最低温度は大氣温度よりも低くはできない。ちやうど水車の場合に、純理論上考へることのできる最低の水面は地球の中心であるのに、實際には海の水面以下の場所に水車を据ゑても、水車から出た水を又海面まで汲み上げるのにエネルギーが必要であるから、結局海面以下の低所に水車を据ゑても無益であるのと同様である。

現在用ひられてゐる熱機関のうちで最も熱効率の高いものはジーゼル機関である。ジーゼル機関に就いては後で學ぶが、その作用はシリンダの中で空氣の燃料を混ぜて燃焼させ、その際発生する熱でシリンダ内の氣體を熱して氣體の壓力を高め、ピストンを壓して仕事をさせる。故に機関の発生する動力源はいふまでもなく燃料の発生する燃焼熱である。仕事が終わつた際の氣體は壓力が下り、同時に温度も下つてシリンダから大氣中へ放出される。この氣體を廢氣といふ。



どんなに装置を巧妙にしても、或は機関製作の材料が進歩しても廢氣が相當多くの熱をもち去るのを防ぐことはできない。これは蒸氣の温度を大氣の温度よりも低くすることは不可能だからである。

第 1.5 圖
純理論上から考へた場合の
水車に與へ得る最大落差

(考察) 10. 廢氣の温度は理論上 -273°C 即ち絶対零度まで下げた場合に始めて燃焼によつて生じた熱を全部利用することができる。しかし實際に廢氣の温度を大氣の温度以下に下げたとしても仕事の益にはならない。このことを水力の場合と比べて考へてみよ。

次に高い温度の方を考へてみよう。

ディーゼル機関のシリンダ内で発生する高温は、燃料油が燃えた瞬間に起る。燃料の燃焼によつて発生する熱量は、高い温度で利用するほど利用率が高いことは、同じ水量の水でも水位の高いものほど利用率が高いのと同様である。

ディーゼル機関のシリンダ内の最高温度は大體 2000°C と推定され、廢氣の温度を 600°C とすると、これらの温度を絶対温度で表したものは、それぞれ

$$\text{燃焼の温度(最高温度)} \quad 2000 + 273 = 2273^{\circ}\text{C}$$

$$\text{廢氣の温度(最低温度)} \quad 600 + 273 = 873^{\circ}\text{C}$$

である。即ちこの場合理論上利用できる温度差は 2273°C であるのに、実際には $2000 - 600 = 1400^{\circ}\text{C}$ であるから、ディーゼル機関は理論上では

$$\frac{1400}{2273} \times 100 = 61.6\%$$

の熱効率をもつはずである。

熱機関の発生する最高温度を $t_1^{\circ}\text{C}$ 、最低温度を $t_2^{\circ}\text{C}$ とすれば、その熱機関の熱効率は

$$y = \frac{t_1 - t_2}{(t_1 + 273)}$$

以上には決して上らない。この y の値を理想熱機関の熱効率といふ。

理想熱機関の熱効率は熱機関が理想的につくられたものと

しての効率であつて、熱機関の達し得る熱効率の最高の目標であるが、實際の熱効率は種々な熱損失や使ふ氣體の性質などのためにこの値よりもかなり低い。たとへばディーゼル機関ではシリンダを冷却するために冷却水のもち去る熱などは、熱効率を理論上よりも著しく低くする大きな原因である。

蒸気機関の熱効率が著しく低い原因は理想熱機関の熱効率から計算してみれば明らかになる。蒸気機関の蒸気の温度を 250°C とし廢氣の温度を 120°C とすれば、この場合の理想熱機関の熱効率は

$$y = \frac{250 - 120}{250 + 273} \times 100 = 24.9\%$$

であるが、實際の機関では種々な損失があるために十數%の熱効率が得られるに過ぎない。

蒸気機関に於いても蒸気罐の爐の中では 1200°C 或はそれ以上の高い温度が発生する。しかしその熱が罐内の水に傳はつて水蒸氣になると、水蒸氣の温度は爐の温度に比べて非常に低いから、機関の熱効率が貧弱な値になる。この関係は富士山頂に落ちた水を箱根山の貯水池で受けるために、水のもつエネルギーを無益に失つてゐるのに似てゐる。蒸気機関の熱効率をよくするためには、蒸気温度を高めて排氣温度を低めればよい。大型の蒸気タービンなどでは極力その方法を講じて熱効率の改善に努めてゐる。

物象でも學んだがエネルギーは不滅である。熱機関を例とすれば、燃料の発生した熱エネルギーで熱機関を運轉する場合、機関の仕事と廢氣やその他のものがもち去る熱エネルギー

一と、機関内部の摩擦などに費されるエネルギーとの総和は燃料の発生するエネルギーに等しい。自然界全體に於いては、燃料が燃えた後も燃える前もエネルギーの増減はない。

しかし自然のエネルギーは不滅であるが、一度原動機に利用されたエネルギーを、新たに別なエネルギーを消費せずに再び回収して原動機に利用することはできない。

(考察) 11. 外部からエネルギーの補給を受けないで永久に運轉を續ける機械をつくることは不可能である。これを永久動不可能の原則といふ。例をあげてそのわけを考へてみよ。

一度発生した熱エネルギーはこれを失へば再び回収できない貴重なものである。故に燃料を大切に燃し方に工夫をこらして熱機関の熱効率を高くすることに心掛けなければならない。

蒸気罐で発生した蒸気を機関に送る途中、管の管壁から逃げる熱などは全く無益な損失であるから、管の保温を十分にして熱經濟をはかる必要がある。煙突の煙がもち去る熱なども、爐へ送る空気を豫熱することなどに利用すれば熱の浪費の一部が回収できる。

すべてこのやうにして原動機の構造と學理とをよく理會し、エネルギーの損失をはぶくやう努めることが大切である。

第 2. 往復ポンプ

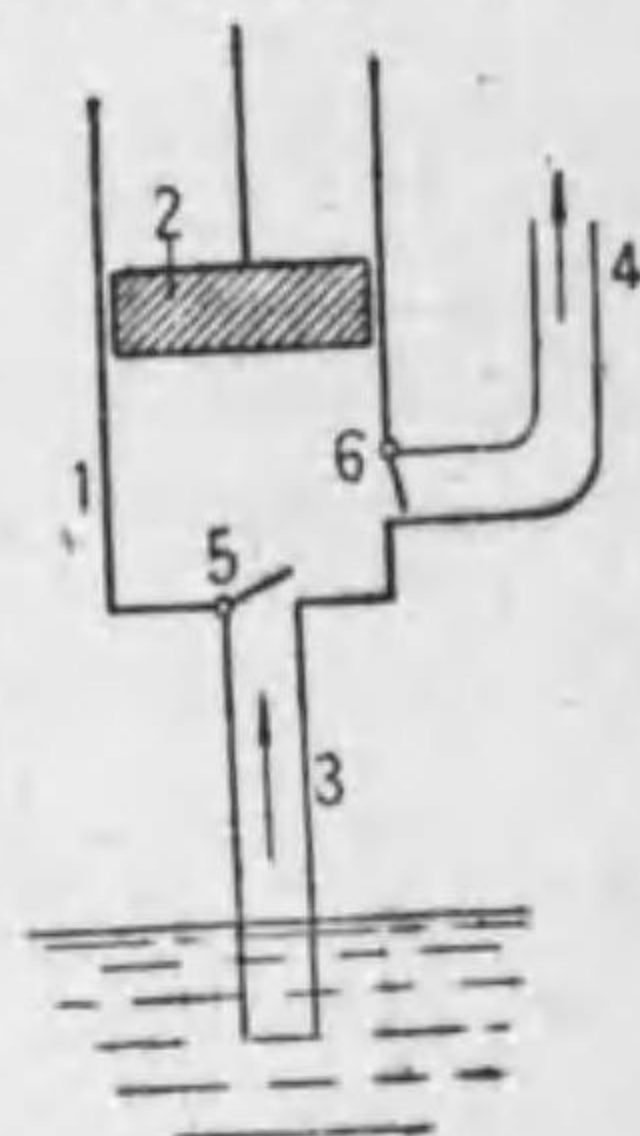
第 2・1 圖のやうにシリンダとピストンを組み合はせてつくつたポンプをピストンポンプといふ。

(考察) 1. 第 2・1 圖によつてピストンポンプが水を吸ひ上げ水を吐き出す場合の各部分の作用を考へよ。弁はどんな運動をするか。

(考察) 2. 吸込弁オロこみべんや吐出弁はきだしべんに故障が起るとどんなことが生ずるか。

(考察) 3. 防火用ポンプや井戸ポンプなど手近にあるポンプに就いて構造と機能を調べてみよ。

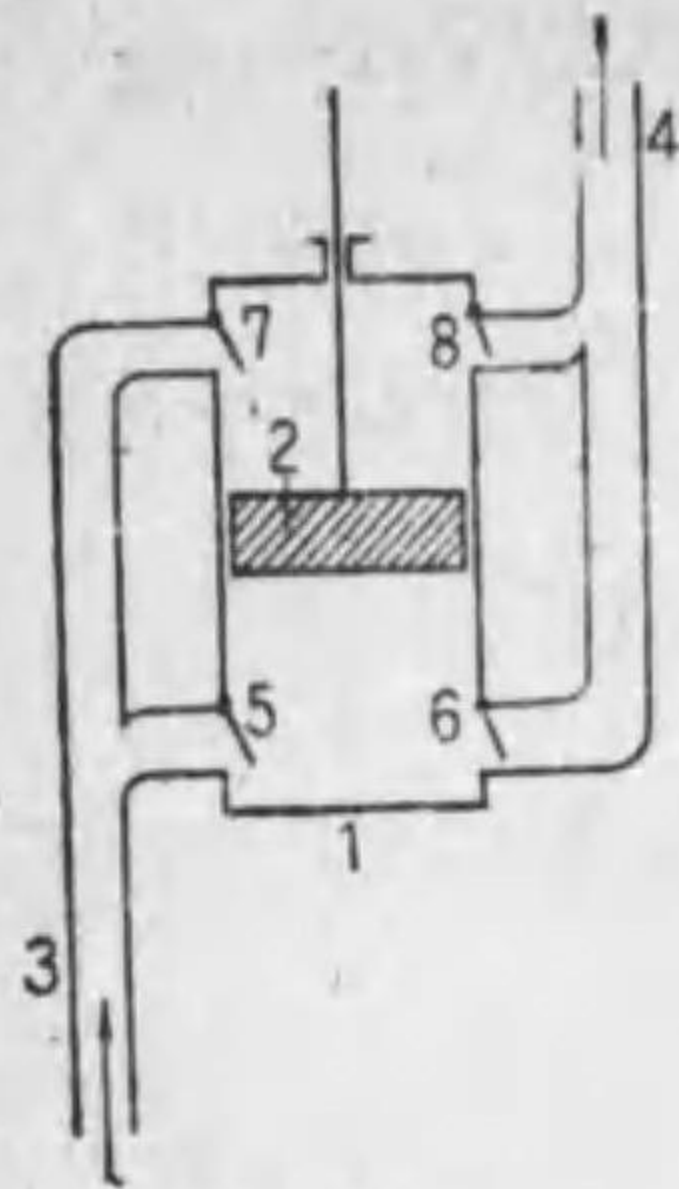
第 2・2 圖のやうな構造にすれば、ピストンが上方へ動いた場合も下方へ動いた場合も水を送り出す。このやうな構造を複動式といひ、第 2・1 圖のやうなものを單動式といふ。複動式と同じ大きさのピストンとシリンダをもつ單動式に比べて、ピストンの 1 柱復毎に約 2 倍の水量を送り出すことになる。



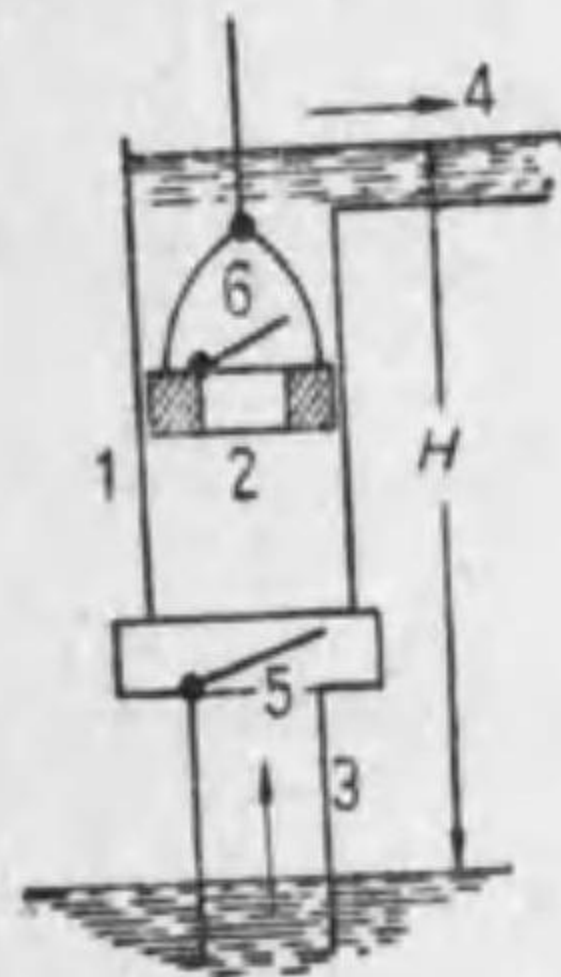
第 2・1 圖

第 2・8 圖は一般家庭で使つてゐる手押ポンプで、ピストンポンプの一種である。

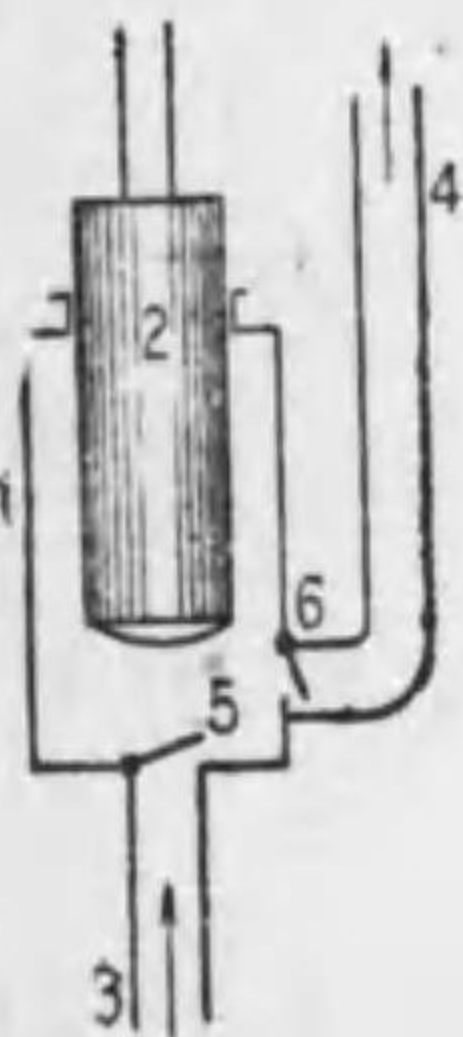
シリンダの上部に蓋をしその蓋に太い棒を挿し込んで上下に動かしても、ピストンポンプと同様に水を吸ひ上げたり送



第 2・2 圖



第 2・3 圖

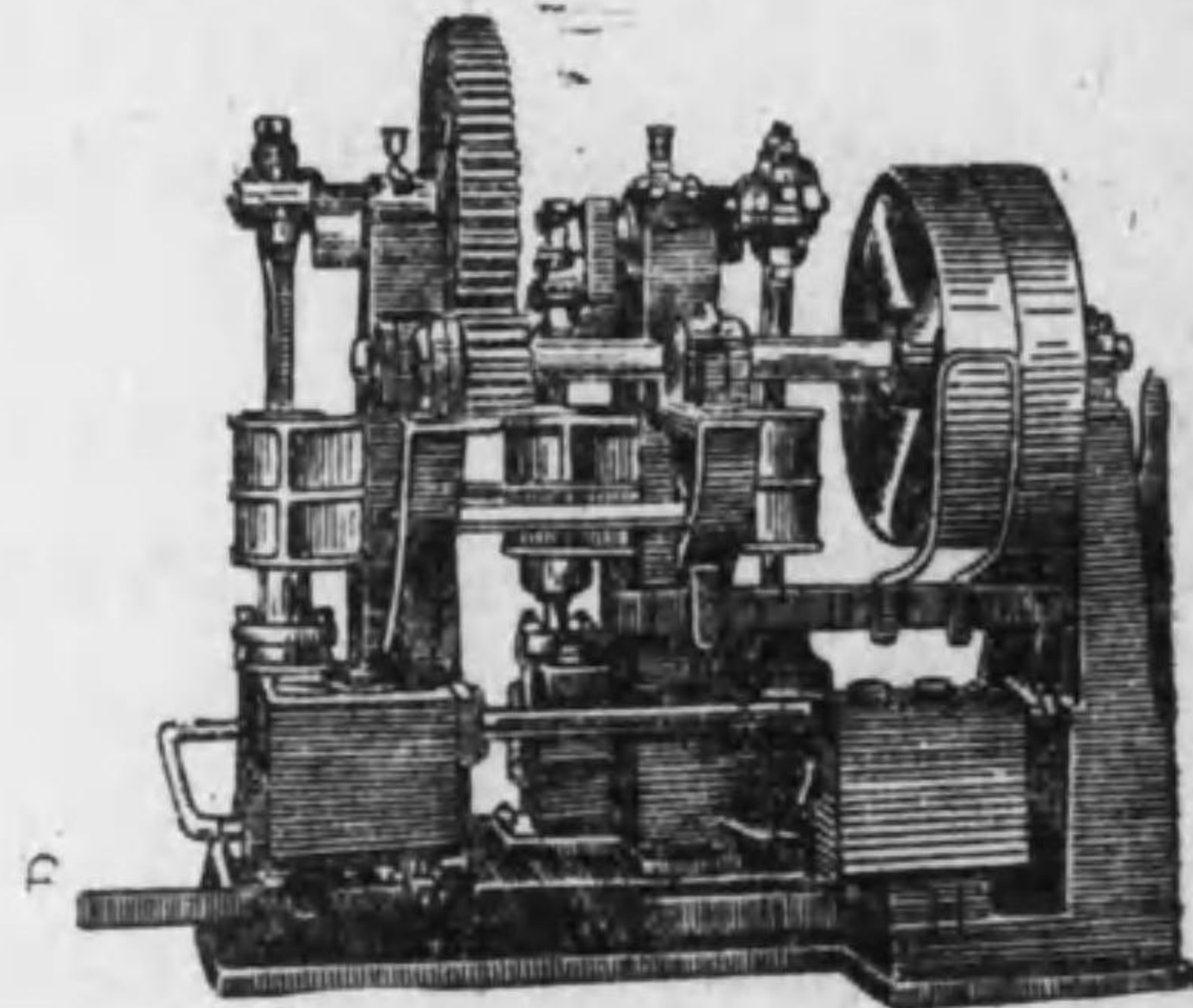


第 2・4 圖

り出したりできる。第 2・4 圖はその構造でピストンに代つて往復運動をする棒②をプランジャといひ、このやうなポンプをプランジャポンプといふ。

ピストン又はプランジャの往復運動によつて水を送り出すポンプを總稱して往復ポンプといふ。

ピストンポンプではピストンとシリンダとの間隙が大きくなつて、シリンダの内部で水が漏れてゐても外部からわからないが、プランジャポンプでは水の漏れるのは蓋の孔の所だけで外部からわかるから、高い壓力の水をつくる場合にはプランジャポンプが適してゐる。



第 2・5 圖

第 2・5 圖は 3 箇のプランジャを 1 本のクランク軸で運轉するポンプである。クランクの角度は 120° づつの間隔につくられ、3 箇のプランジャは交互に上下運動をするやうになつてゐる。これを三連式プランジャポンプといひ、工業用に廣く用ひられる。

1. 吐出水量・吸上高

ピストンの直徑を $d(\text{cm})$ 、ピストンが往復する距離を $l(\text{cm})$ とすれば、1 回の往復でピストンの移動する體積は $\frac{\pi}{4}d^2l(\text{cm}^3)$ であるから、1 往復でこれだけの水量が吐き出されることになる。随つて 1 分間に n 回往復すれば、1 分間の吐出水量はその n 倍である。

(考察) 4. プランジャポンプの吐出水量はプランジャの直徑とプランジャの往復する距離とできまり、シリンダの直徑には關係がない。そのわけを考へてみよ。

ピストンの移動した體積 $\frac{\pi}{4}d^2l$ を Q_0 にすると、實際に吐き出された正味の水量 Q は、 Q_0 よりも少いはずである。 $Q_0 - Q$ は種々な原因で漏れた水の量である。又 Q/Q_0 の比を體積效率といひ普通 % で表す。この値は小さなポンプでは 80% 程度であるが、良好なポンプでは 90% 以上である。

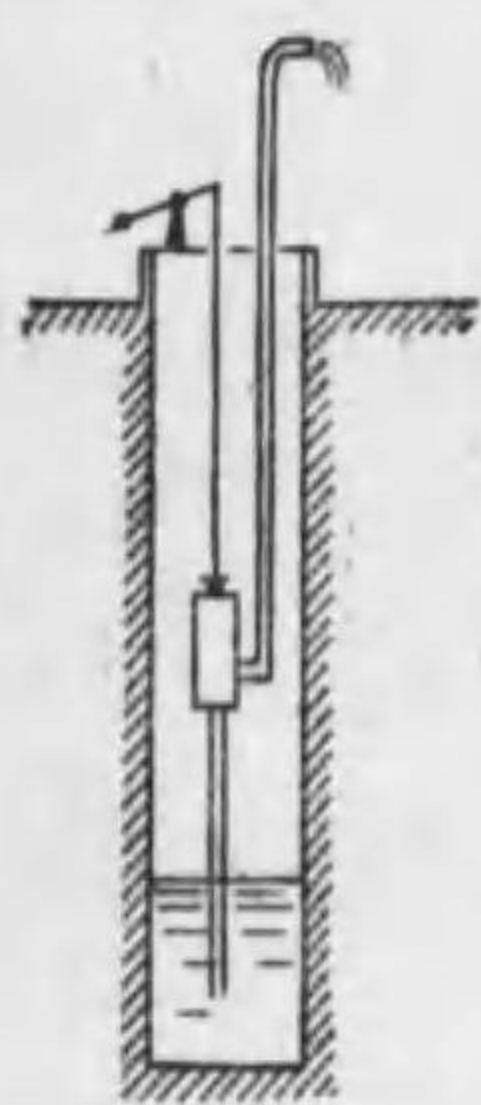
(考察) 5. 水の漏る原因を考へてみよ。

(考察) 6. 今まで學んだポンプでピストン又はプランジャが上方に動いた際なぜシリンダの中に水を吸ひ上げるか。

又吸上高には限度があるかどうか調べてみよ。

(考察) 7. シリンダの中が完全に真空になれば、吸上高が10 mになるわけを考へよ。

シリンダが水面から10 m以上の高さであれば、幾らピストンを動かしても水は絶対にシリンダの中には



第2.6圖 深井戸式ポンプといふ。

はいらないからポンプは働かない。そこで実際にはシリンダを水面から凡そ7~8 m以内に置く。これがポンプの吸上高の限度である。

もし井戸の深さが10 m以上の場合には、第2.6圖のやうに、シリンダを井戸の中に入れて吸上高が7~8 m以内となるやうにしなくてはならない。このやうな形式のものを深井戸式ポンプといふ。

(考察) 8. 吸上管が不完全で空気が洩れればどうなるか。

(考察) 9. ガソリンの比重は約0.70である。ガソリン吸上用往復ポンプの理論上の吸上高は何程か。

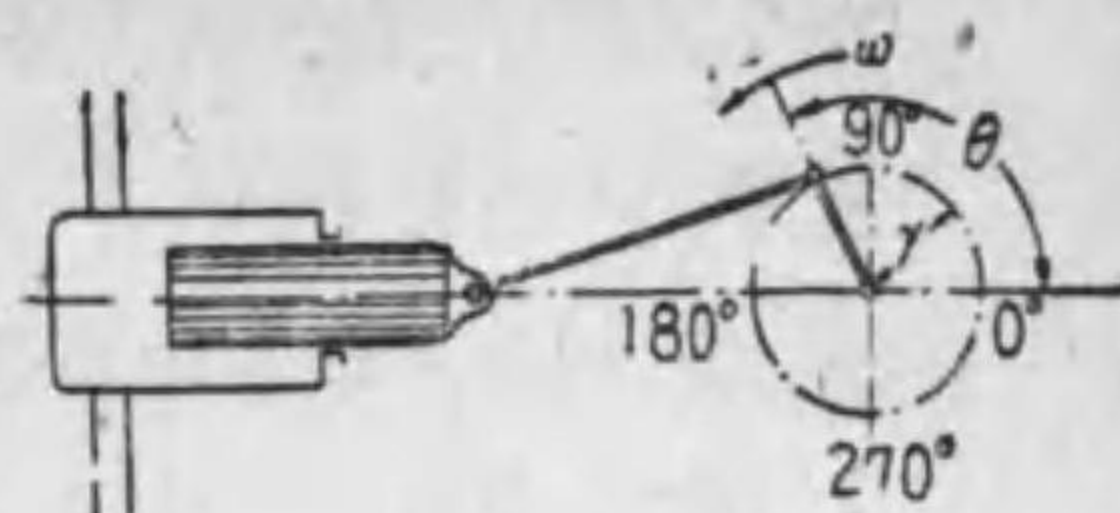
(考察) 10. 前題のガソリン用往復ポンプを富士山頂で使用するとしたら、吸上高の限度は何程か。但し富士山頂の気圧は水銀柱で480 mmである。

2. 空気室

第2.7圖のやうにクランクを廻してプランジヤポンプを運轉する場合には、クランクが等速度で回轉するとクランク

の位置に従つてプランジヤの速さに遅速が生ずる。

クランクが0°又は180°の角度附近ではプランジヤの速さは非常に遅く、90°又は270°附近で



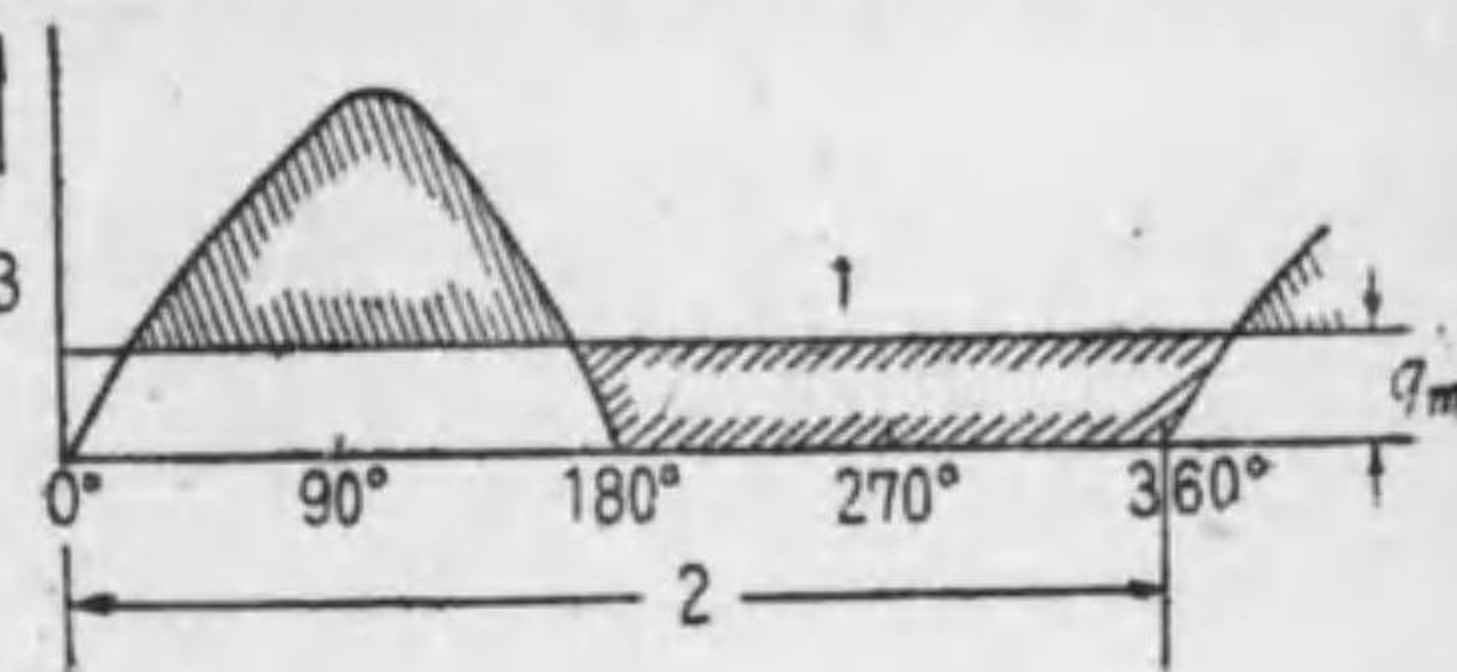
第2.7圖

往復ポンプのクランク角度と行程

は最も速い(ピストンポンプの場合も同様である)。プランジヤが速く動けば送り出す水量は多く、遅く動けば水量は少い。随つてこの場合には送出管から出る水の量は同じでない。

横軸にクランクの角度をとり縦軸に排水量をとつてその関係を示すと第2.8圖のやうになる。実際にポンプを使ふ場合、水の出方が不規則では不便である。この際送出管から一様に水が出るやうにするには、平均排水量よりも餘分の水を一時貯藏しておき、不足の場合に補ふやうにする。

第2.8圖で、平均排水量に相當する3横線をひくと、この線から上の斜線をひいた山形の面積が餘分の水量を示し、こ



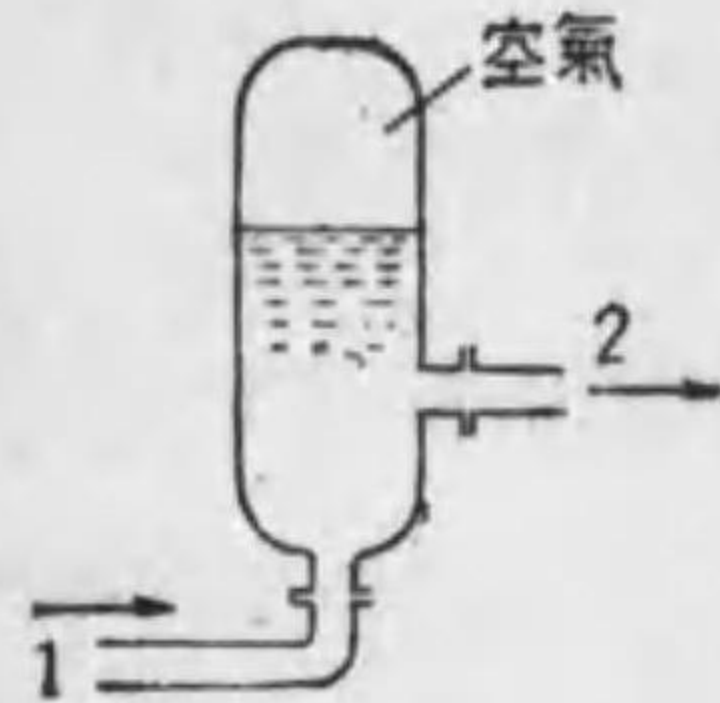
第2.8圖

単動式のピストンポンプ1箇の場合の排水曲線

の線から下の皿形の面積が不足の分を示す。そしてこの両面積は等しいことになる。このやうな餘つた水を一時貯藏する所を空気室といひ、ポンプの送出管の途中に取り付ける。

第2.9圖は空気室で、①はポンプからの送出管でシリン

ダに接続してゐる。空気室の中には空気がはいつてゐて、餘分な水がポンプから送られた場合はこの空気を壓縮して室内に貯藏し、ポンプから送られた水が不足した場合は、空気が



第2.9圖
空気室

膨脹して空気室内の水が流れ出し、その不足分だけを補充する。故にいつでも管②からは同じやうに水が送り出されることになる。

管の中の水の流れを急に堰きとめると流水の惰性でとめた所に強い衝突が

起り、その瞬間に附近の水圧が著しく高くなる。ちやうど列車が進行中、機関車が障礙物に當つて急にとまると、後に續いた車輛が今までの惰性で強く衝突するのと同じわけである。

(考察) 11. 流れを堰きとめる時間が短かいほど高い水圧が起るのはなぜか。

このやうな現象を水撃作用すゐげきさうりやうといふ。この作用が起るとポンプや管に害を與へるから注意しなければならない。

第3. 水圧機械

1. 用途

水圧機械は流體の壓力のエネルギーを利用して種々な仕事をさせる機械である。たとへば鋼塊を壓延したり切斷したりする重工業方面や、大豆その他の壓搾油装置などの農業方面

に用ひられるほか、水力を使つて動かす起重機もある。又工作機械や自動車のブレーキ装置などに使はれるものもあるが、これらも水圧機械と考へてよい。液のなかだちによつて2軸間に回轉運動を傳へる装置がある。これもまた水圧機械の一種である。

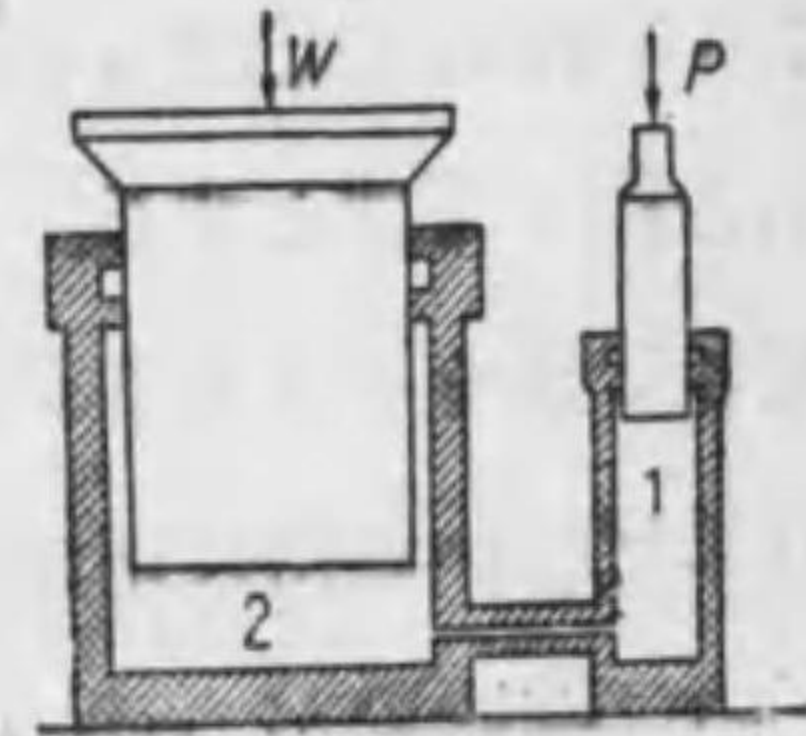
第3.1圖に就いて水圧機械の原理を考へてみよう。

右方のプランジヤの斷面積を a_2 、左方のプランジヤの斷面積を a_1 とすると、右方のプランジヤに加へられる力 P と、左方のプランジヤに加へられる力 W

との間には

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{W}{P}$$

の関係がある。



第3.1圖

(考察) 1. このわけを説明し、又

右方のプランジヤにかかる力を左方のプランジヤにかかる力の5倍とするには、兩方のプランジヤの直徑の比を何程にすればよいか。且つ左方のプランジヤと右方のプランジヤとの動きの比はどうなるか調べてみよう。

2. 水圧用ポンプと使用液

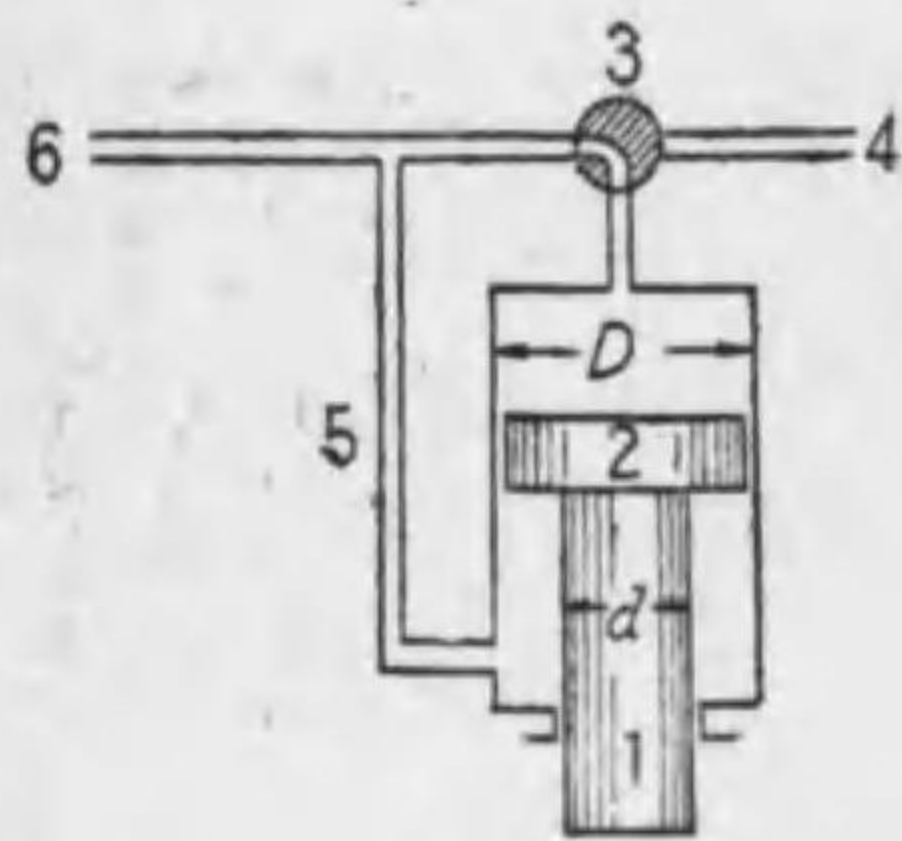
工作機械などに使ふ水圧装置で比較的壓力が低い場合は、價格その他の關係で回轉ポンプを使ふが、一般の水圧用ポンプでは水量の少い割合に高い壓力が必要なのでプランジヤポンプを使ふ。この場合壓力が高いので空気室を用ひずに安全

弁などを設ける。

電動力の場合には第2・5圖のやうな三連式プランジヤポンプが多く、蒸氣力の場合にはシリンダ4箇を2列にしたものが多い。

使用液には水・油及び水とグリセリンの混合液がある。水の場合は同一の水を循環して用ひ、漏れた水だけを補充する方法と使つた水を捨ててしまふ方法とがある。いづれの方法でも水の中の不純物はできるだけ取り去つておかないとポンプに故障が生じやすい。油の場合はもちろん循環して使ふが濾過器を必要とする。又油の中に氣泡を生じないやうに注意する。水とグリセリンの混合液は容易に凍結しないので寒さのはげしい場所に用ひる。水とグリセリンを等量に混合したものは凝固點が -25°C である。

3. 水圧プレス



第3・2圖

鐵板に鋏などを締める際に使ふ。第3・2圖は構造と原理を示す。①をラムといひ、下部の端は鋏などが打てるやうに凹んでゐる。②は水壓を受けるピストンで①に固定されてゐる。ポンプからの高壓水

は管⑥から送られて三方コック③によつてシリンダの中へはいり、ピストンの上部に作用する。又同時に管⑤を通つてピストンの下部にも作用する。

ラムの直徑を d 、ピストンの直徑を D とし液の壓力の強さを單位面積當り p とすれば、ピストンの上部の全壓力は $\frac{\pi}{4}D^2p$ であり下部に作用する全壓力は $\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)p$ であるから、ラムが鋏を壓す力 F はこの差即ち

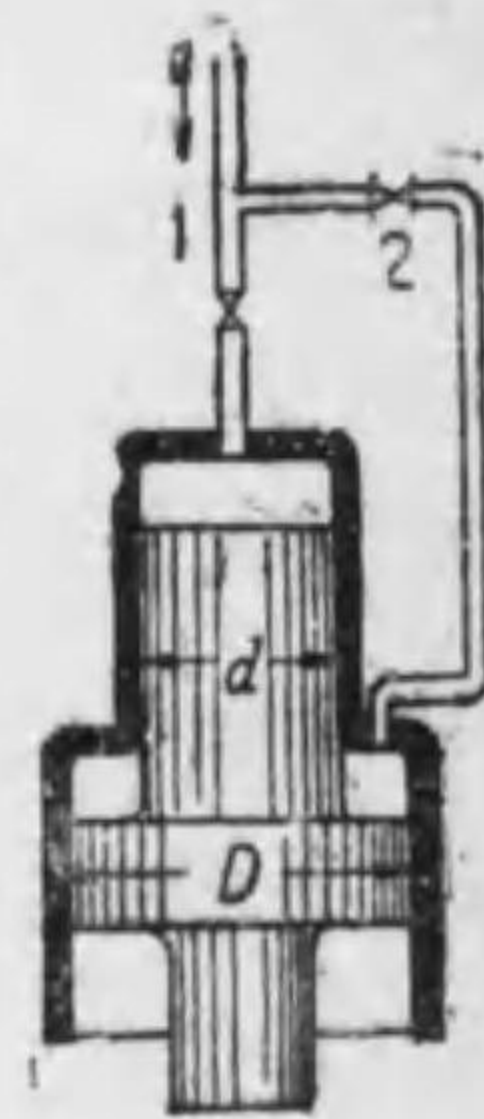
$$F = \frac{\pi}{4}D^2p - \frac{\pi}{4}(D^2-d^2)p = \frac{\pi}{4}d^2p \dots\dots\dots(3 \cdot 1)$$

である。ラムを後退させる場合は三方コックを廻しピストン上部の液を管④を通して捨てる。この場合ピストンの下部に働く力 F は

$$F = \frac{\pi}{4}(D^2-d^2)p \dots\dots\dots(3 \cdot 2)$$

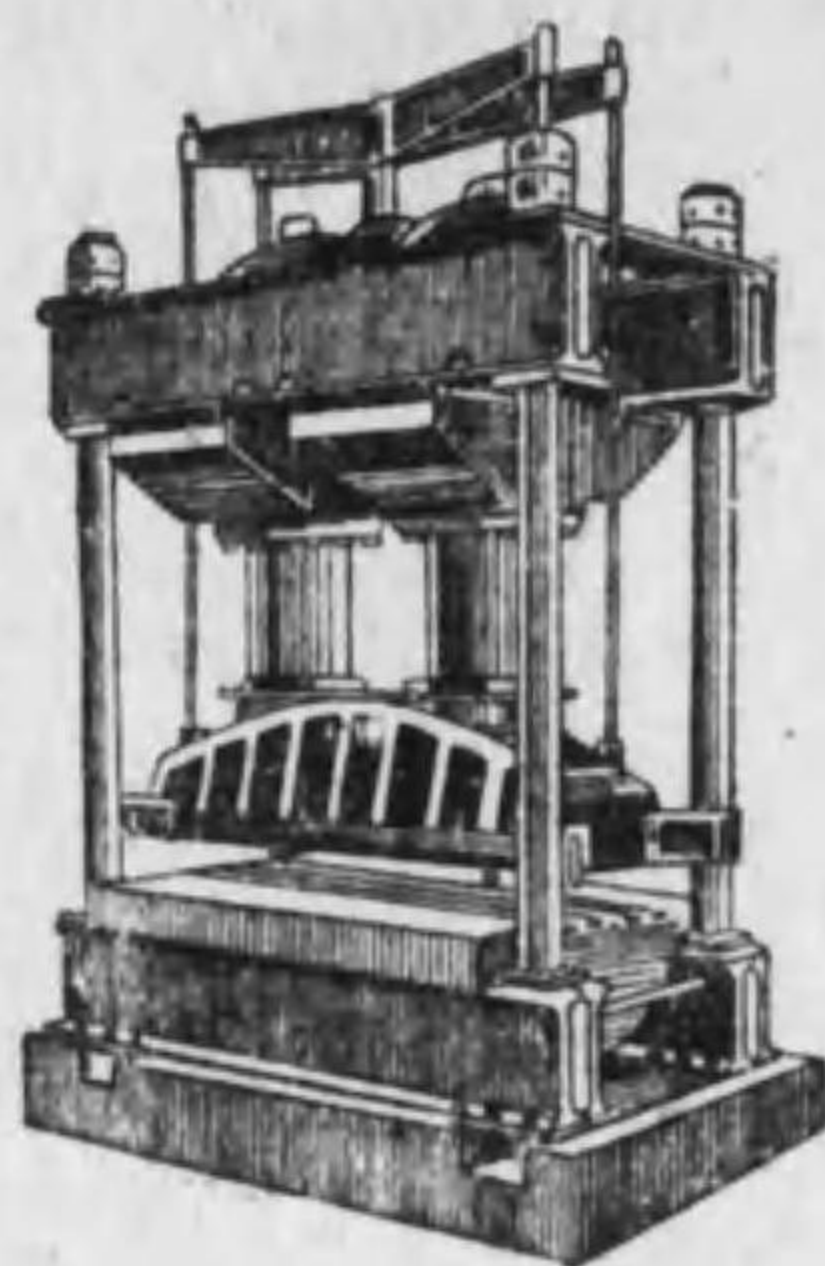
である。随つて實際には D は d よりも少し大きくつくればよい。 F をプレスの容量といふ。實際の F の大きさはバッキンや案内装置のため多少の抵抗を受けるから、(3・1)式の値よりも2~5%小さなものになる。

このやうな構造の水圧プレスでは水の使ひ方が不經濟である。そのわけはこの場合ラムには絶えず高壓水が働いてゐるが、實際には



第3・3圖

ラムが進んでその先端が工作物に當るまでは高壓水を用ひないでよい。そこで水を節約するために第3・3圖のやうな直徑の違つたラムを使つたものが考案されてゐる。これを差動式水圧プレスといふ。



第 3・4 圖

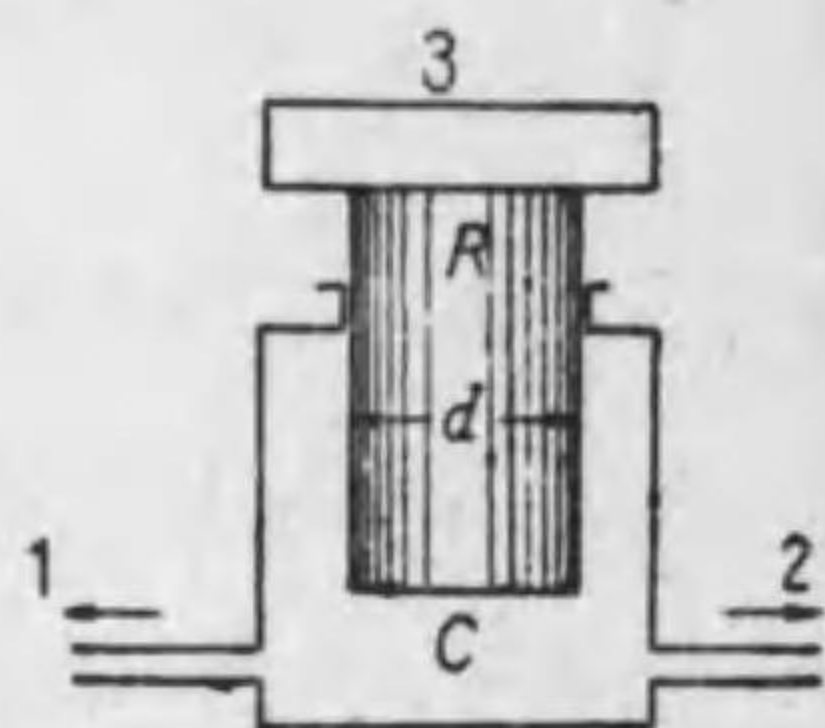
(考察) 2. 第 3・4 圖は差動式水壓プレス^{すゐあつため}の構造である。その種々な作用に就いて考へてみよ。

4. 水 壓 溜

小容量のポンプから送り出された高壓水を溜めておいて、これを一時に使ふとかなり大型の水壓機械を動かすことができる。

これは數臺の水壓機械に對して 1 臺のポンプを設備する場合などに便利である。又 1 臺の水壓機械でもあまり使用しない場合には、水壓溜を設けると小さなポンプですむ。

水壓を用ひて種々な機械を運轉する場合には前以つてポンプで水壓をつくつておく。この際ポンプはできるだけ同じ状態で運轉する方がよいが、水壓機械の方はそれに比べて使用状態が同じでないから、この間に水壓溜を設けて調節する。



第 3・5 圖 水壓溜
①ポンプから ②機械へ
③荷重

第 3・5 圖は水壓溜の原理である。ラム R の頂部③には鋼塊などの荷重を載せてある。d をラムの直径 (cm), p をシリンダ C 内の壓力の強さ (kg/cm²), h をラムの上昇する高さ (m) とし、W をラムと荷重との總和 (kg) とすれば

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{\pi d^2 p}{4} \\
 \text{又は } p &= \frac{W}{\frac{\pi d^2}{4}} \dots\dots\dots (3 \cdot 3)
 \end{aligned}$$

の関係があり、又水壓溜に蓄へられたエネルギー E (kg · m) は

$$E = \frac{\pi d^2 p h}{4} \dots\dots\dots (3 \cdot 4)$$

で表される。バツキンなどの摩擦による抵抗を f としてこれを考へに入れると次のやうになる。

$$p = \frac{W \pm f}{\frac{\pi d^2}{4}} \dots\dots\dots (3 \cdot 5)$$

+ : ラムが上昇する場合 - : 降下する場合

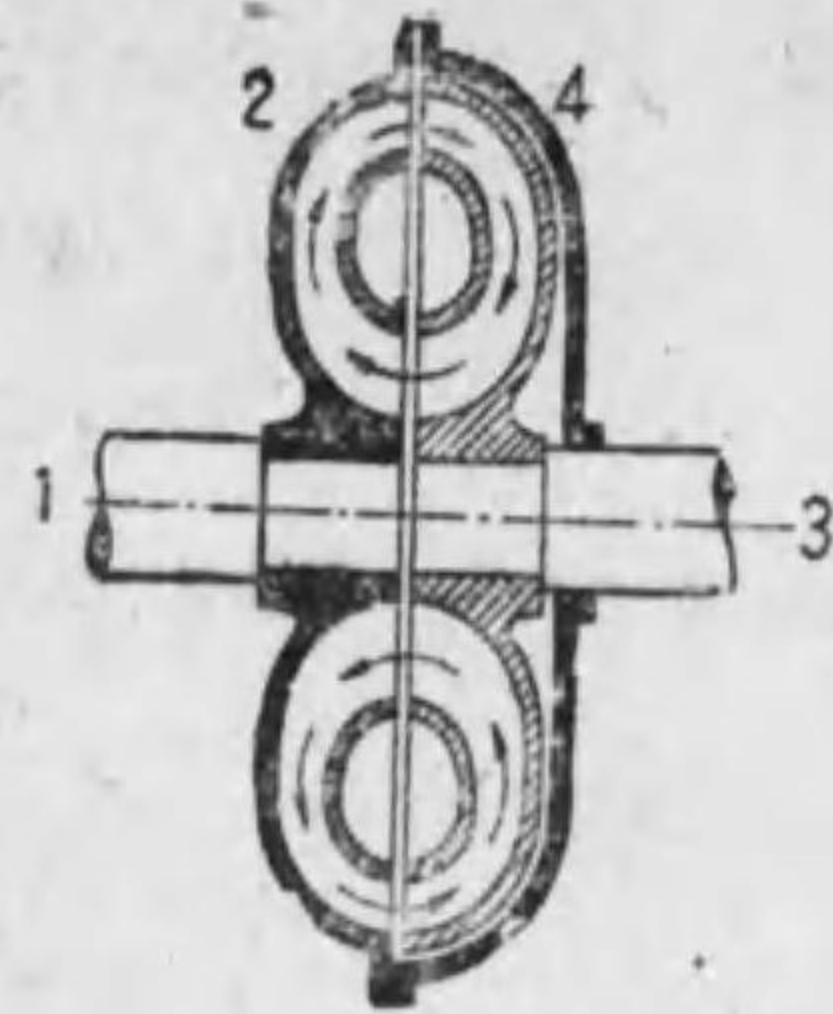
水壓溜から出る水の壓力とそれにはいる水の壓力との比は $\frac{W-f}{W+f}$ で、これを水壓溜の效率といひ 95~98 % である。

5. 水力傳導装置

水や油のやうな液體をなかだちとして 2 軸間に回轉運動を傳へる装置を水力傳導装置といふ。

液には殆ど壓縮性がないから運動の傳導が確實であると共に流動性が大きいので、主軸に回轉の不整があつても受動軸ではかなり調整される特徴がある。

装置には種々あるが第 3・6 圖はその一例でこれを水力接手すゐりよくつぎてといふ。①は主軸でポンプの羽根車②が附いてゐる。③は受



第3.6圖

動軸で水車の羽根車④が附いてゐる。②と④を一つの箱の中に装置して内部に液體を入れておくと、主軸のポンプの羽根車から送られた液は水車の羽根車に作用して受動軸を廻し、それから排出された水は再びポンプの羽根車へ吸ひ込まれ、液は絶えず循環して使はれる。しかし普通の運轉状態では、水車の回轉數はポンプの回轉數よりも幾分減少して2軸の間にスベリを生ずる。

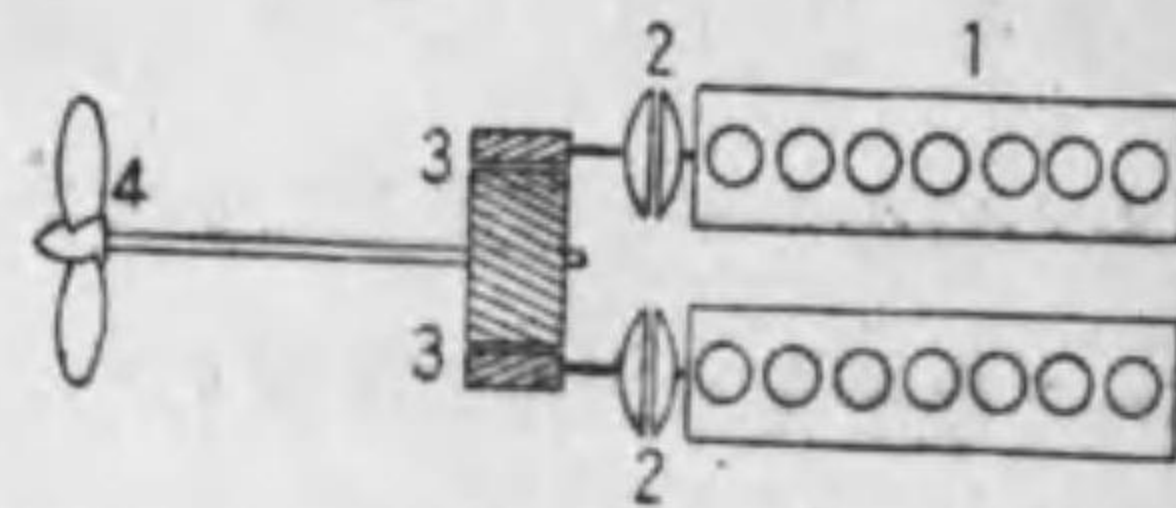
このやうな水力傳導装置は、最近の工作機械やジーゼル機關を原動機とする船舶の推進器又は揚水發電所の發電機と水タービンなどのほかは、ポンプの連結やその他一般車軸の回轉傳導などその應用範圍は極めて廣い。

第3.7圖はジーゼル機關に水力接手を用ひて船の推進器を回轉させる場合である。

ジーゼル機關は回轉力が不均一で激動が大きいので、このやうに水力接手

を使ふと推進器の回轉がむらなく滑かになつて都合がよい。

主軸のポンプと受動軸の水車とを全く離れた任意の位置に据ゑ、その間を管で結んで液體を通し動力を傳導する方法もある。これを水壓接手といふ。最近の工作機械には削らうと

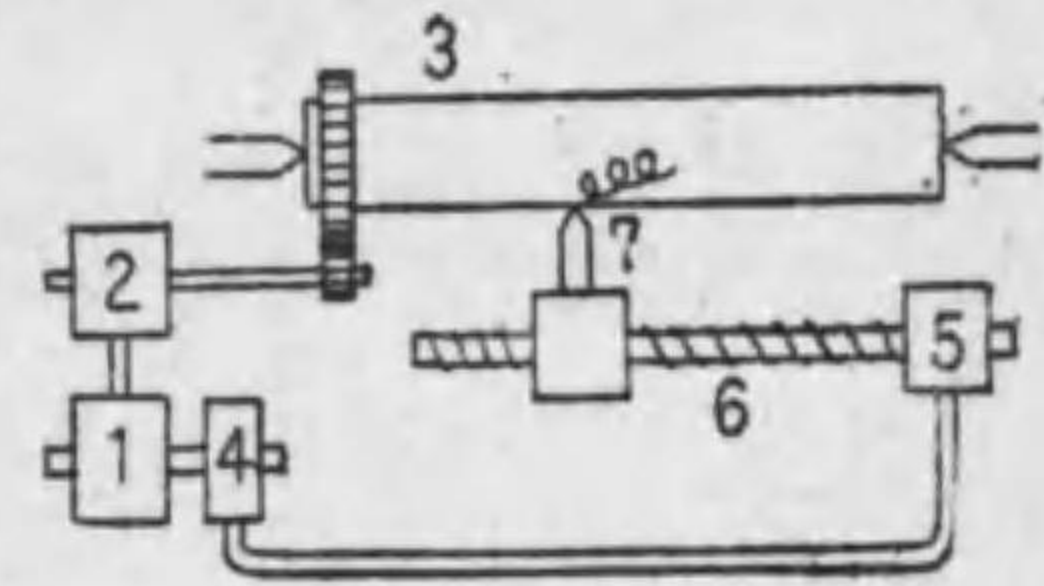


第3.7圖

する素材を回轉させたり、刃物臺を動かしたりする装置にこれを用ひてゐる。これまでの齒車装置では振動があつたり速さの調節が十分できなかつたりしたので精密工作には不適であつたが、この方法によればそれらの缺點はすべて除かれる。

第3.8圖はその装置である。

①が原動ポンプで、②の受動羽根車によつて削らうとする素材③を廻す。④も原動ポンプで、⑥の受動羽根車で旋盤の送り棒⑤を廻す。⑥を廻して往復臺⑦の送りを行なふ。



第3.8圖

第4. 熱の利用

1. 熱の移動

熱は高温の所から低温の所へ向かつて移動する。移動の仕方は傳導・對流・輻射の三つの過程のいづれかによる。

傳導とは物體の高温部から低温部へ熱の移動する現象をいひ、移動の仕方は物體の性質によつて違ふが、一般に金屬は熱の良導體である。特に熱の傳導率の低い物體を熱の絶縁體といふ。たとへば鐵・銅・アルミニウムなどは熱の良導體で、石綿・煉瓦などは熱の絶縁體である。

厚さ d (cm), 面積 A (cm²) の板の表面を温度 t_1 °C, 裏面を温度 t_2 °C に保つと、熱は傳導によつて表面から裏面へ向かつて流れる。この場合 T 秒間に高温部から低温部へ向かつて流

れる熱の量 $Q(\text{cal})$ は、実験によると表面積の廣さ A 、温度差 $(t_1 - t_2)$ 、時間 T に正比例し、板の厚さ d に反比例する。

$$Q = k \frac{A(t_1 - t_2)T}{d}$$

k は比例定数で、その値はそれぞれの物體によつて違ひ、熱の良導體では大きく不良導體では小さい。 k の値を物體の熱傳導率といふ。熱傳導率は或る物體の厚さ 1cm の板の兩面の温度差が 1°C の場合、 1cm^2 の面積に就いて1秒間に流れる熱の量をカロリーで表したものである。

(考察) 1. この式に於いて、 $A=1$ 、 $(t_1 - t_2)=1$ 、 $T=1$ 、 $d=1$ とおけば $Q=k$ になるのはなぜか。

工業上に於いて、熱傳導率は普通次の單位を用ひる。

熱量	keal	時間	時(h)	厚さ	m
温度	$^\circ\text{C}$	面積	m^2		

この單位を用ひた場合の熱傳導率を λ で表せば、 λ と k との間には次の關係がある。

$$k = \frac{1}{360} \lambda = 0.00278 \lambda$$

λ は主に熱の絶縁物の熱傳導率を表すのに用ひる。

(考察) 2. $k = \frac{1}{360} \lambda$ の關係を證明せよ。又 λ はなぜ熱の絶縁物の熱傳導率を表すのに用ひられるか。

工業上用ひる素材の常温に於ける熱傳導率は次のやうである ($\text{cal} \cdot \text{cm} \cdot ^\circ\text{C}$ 單位)。

軟鋼	0.13	電解銅	0.95
鑄鐵	0.12	純アルミニウム	0.49
銀	1.00		

(考察) 3. このうちで最も熱傳導率の高い金属は何か。又これらの金属を良導體の順序に排列してみよ。

(考察) 4. この表によつて、同じ鐵を主成分とする金属でも熱傳導率に相當な違ひのあることを調べよ。

(考察) 5. 電解銅の熱傳導率は軟鋼の熱傳導率の何倍か。

合金の熱傳導率は純金属よりも低く、純金属にごく少量でもほかの金属その他の不純物を混ぜると熱傳導率は著しく減り、又鋼は焼入をすると熱傳導率が減る。

前にも學んだが工業上や日常生活に於いても、一度發生した熱を無益に失ふことはできるだけ避けなければならない。たとへば蒸氣罐で發生した蒸氣を機關に送る途中で、蒸氣管の表面から發散する熱は全く無益な損失であるから、蒸氣管の表面を石綿や炭酸マグネシウムなどの保温材で保温する。又各種の加熱爐などで爐の壁から大氣中へ逃げる熱も全くむだであるから、爐の壁體の保温を完全にして熱の無益な損失を防ぐ。

工業上用ひられる熱保温材の熱傳導率の例は次のやうである ($\text{keal} \cdot \text{m} \cdot ^\circ\text{C}$ 單位)。

石綿	0.15	耐火煉瓦	0.86
----	------	------	------

(考察) 6. 石綿の熱傳導率は軟鋼の熱傳導率の何分の 一か。

氣體は熱せられると膨脹して密度が小さくなり軽くなる。随つてこの場合氣體は上昇運動を始め、温度の低い氣體がその後にはいり込む。この現象を對流作用といふ。對流作用は氣體が自由に運動できる廣さのある場所でないと起らない。對流は氣體ばかりでなく液體に於いても起る。對流が起ると熱せられた熱體は、熱を冷所へ運ぶから熱の移動が行なはれる。

對流を起さない場合の氣體や液體の熱傳導率は極めて低い。たとへば常溫の空氣は 0.02 ぐらゐ、常溫の水は 0.5 ぐらゐである (kcal·m·°C 單位)。

赤熱した炭火の傍らに立つた場合、炭火から立ち昇る熱せられた空氣の流れに直接觸れなくても熱く感ずる。この場合には、熱は傳導や對流の作用によらずに高温の物體から直接われわれの身體へ向かつて移動する。

このやうに仲介物質を必要とせず物體から熱が放射される現象を輻射といふ。實驗によると熱の輻射はその物體の絕對溫度を T とすれば T^4 に正比例する。輻射によつて放散する熱を Q とすれば次の關係がある。

$$Q = CT^4$$

C は物體の輻射定數といひ、この値は表面が黒色の場合には大きい、磨いた金屬の表面などでは小さい。

輻射は放射線であるから^{ついたエ}衝立などでその進行を遮ることができる。

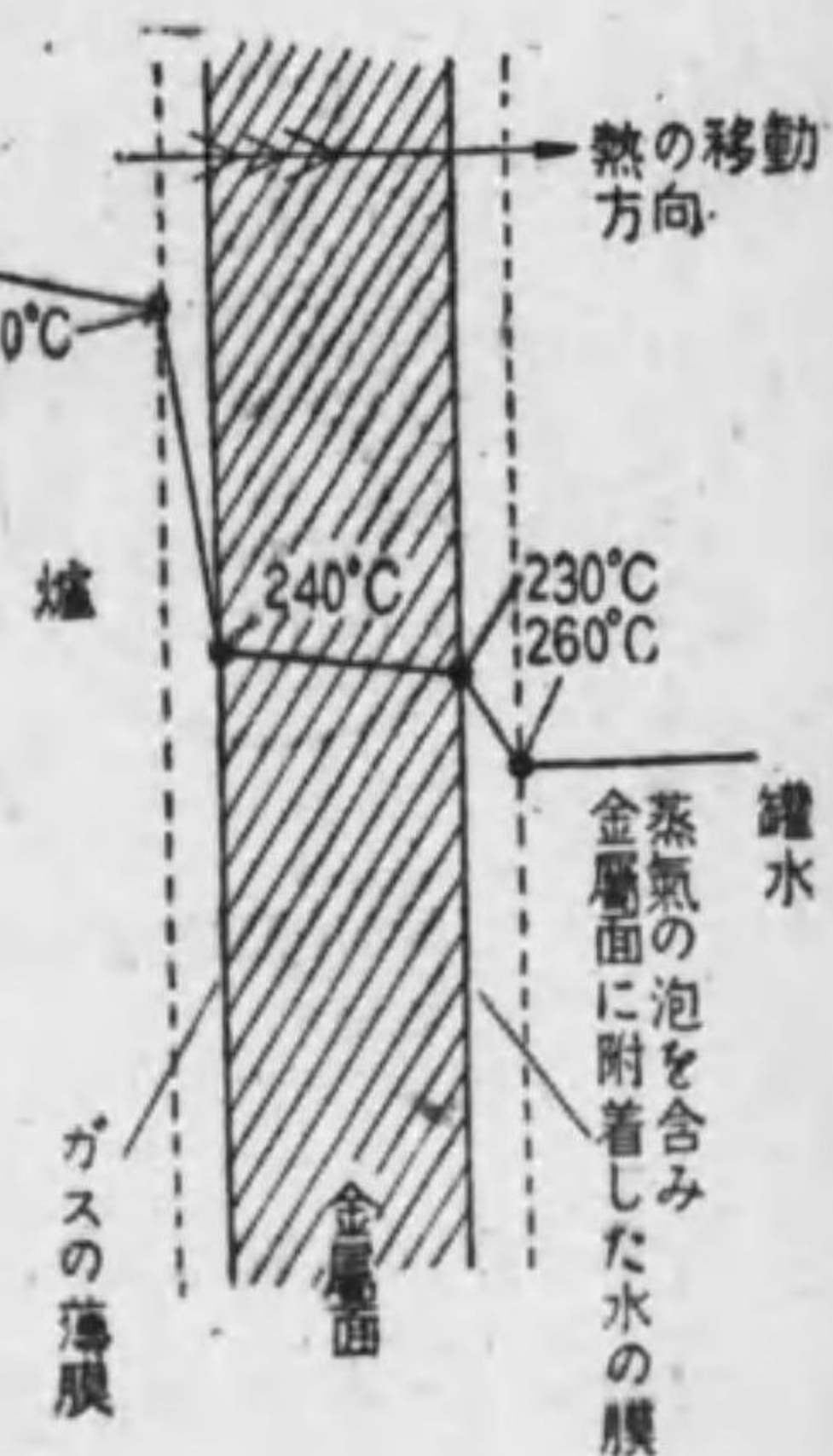
(考察) 7. 蒸氣罐に於いて、爐から罐水へ熱が傳はり、罐水内で蒸氣の發生する現象を調べてみよ。その間にこれら三つの現象による熱の移動が明らかに認められる。

(考察) 8. 罐の焚口や熱處理爐の前などに立つと甚だしく熱く感ずるのはなぜか。

熱の移動は工業では熱の傳導といふ形で各方面に利用される。これに熱の傳導を盛んにして利用する場合と、熱の移動を極力防いで熱の絶縁を行なふ場合とがある。蒸氣罐や復水器などは前の例で、冷蔵庫や蒸氣管などの保温は後の例である。

一般に氣體は熱の不良導體である。金屬の傳熱面に氣體の薄膜が附着すると熱の傳導を著しく妨げる。第 4-1 圖は蒸氣罐の傳熱面に於ける温度差を想像したものであるが、傳熱面の氣體の薄膜がどんなに熱の傳導を妨げるかがわかるであらう。

(考察) 9. 傳熱面に於ける熱の傳導をよくするためには、どんな工夫をすればよいか。蒸氣罐で熱を有効に利用して盛んに蒸氣を發生させるために

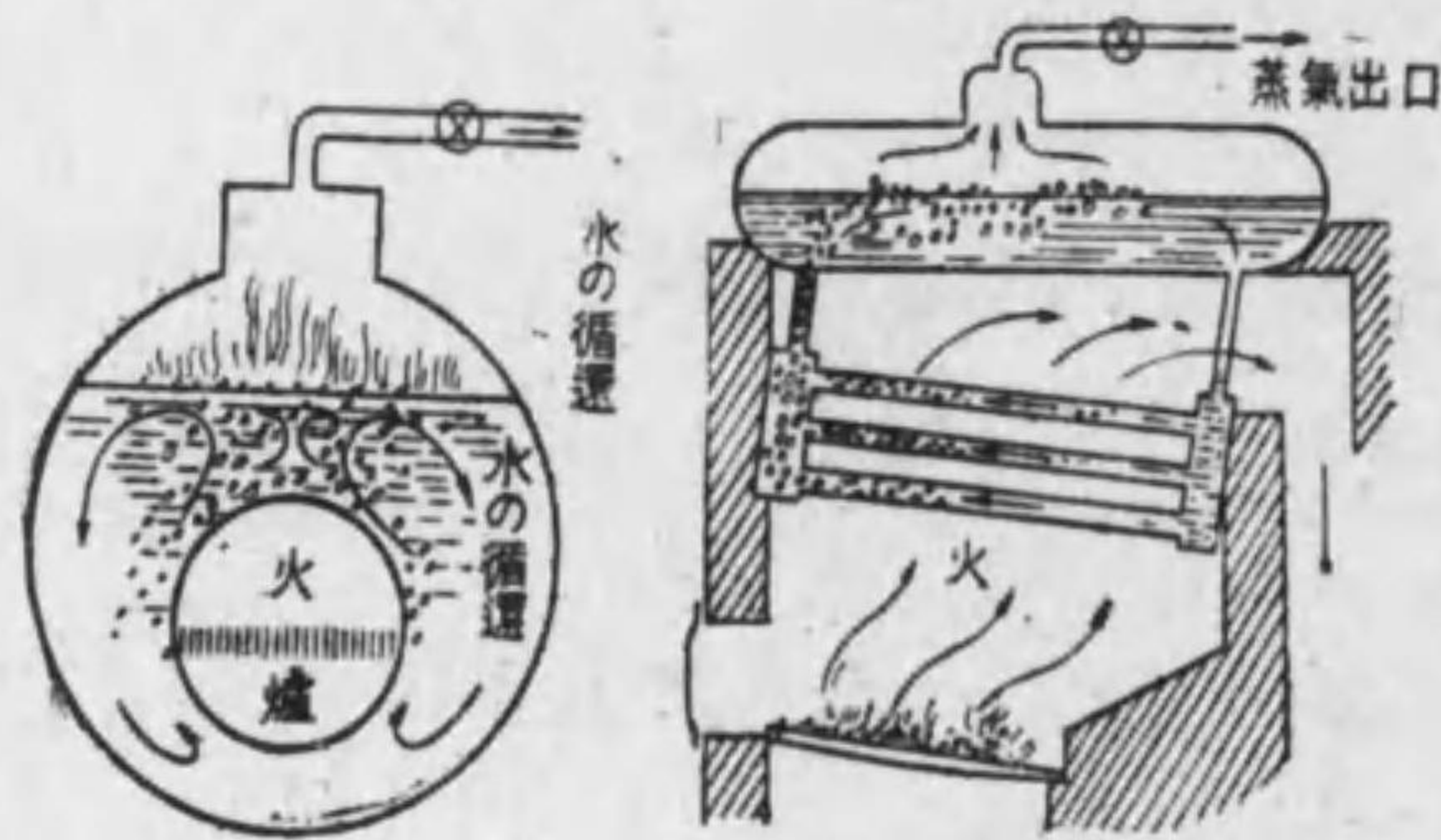


第 4-1 圖

は、罐水を規則正しく循環させることが大切である。罐水の循環は一種の対流作用である。小型の蒸気罐で大量の蒸気を発生するものは、罐水の循環が規則正しく計画どほりに起るやうに工夫してある。

(考察)10. 第4・1圖に例をとつて考へてみよ。

対流を利用する場合には蒸気罐の循環に對すると同様な注意が必要である。たとへば暖房のために放熱器を部屋の一角に置く場合に、最も効率よく部屋を温めるためには、放熱器を窓際の温度の低い場所に設ける。



空気が空
圓罐(不規則な循環
をする)

すゐくわんが空
水管罐(規則正しい循
環をする)

第 4・2 圖

ガラス窓は部屋の内外の空氣の流通を遮斷し、内外の空氣の對流による熱の損失を防ぐが、透明であるため熱の輻射は殆ど遮られない。又一般にガラスの厚さは薄いから、熱の絶

縁體としての効果は殆どなく、随つてガラス窓の防寒力は極めて低い。

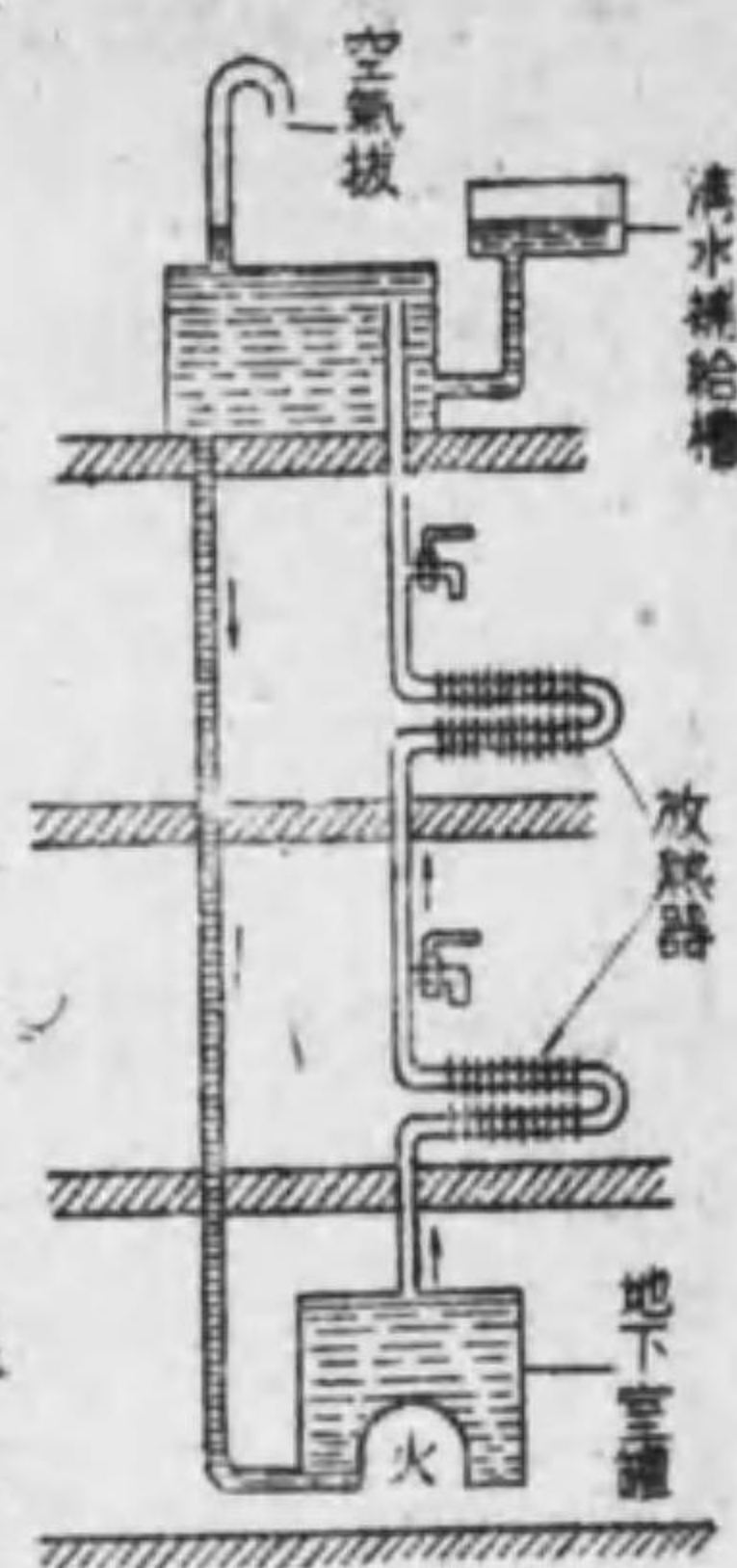
(考察)11. 酷寒地方では二重窓とするのはなぜか。

暖房用の放熱器は普通地下室にそなへた蒸気罐からの蒸氣によつて温められるが、温水を循環させて温めることもある。このやうな暖房法を温水暖房といふ。温水暖房では、温水と冷水との比重の差を利用して自然對流を起させ、ポンプの力によらずに水を循環させるのが普通である。

人體に感ずる温冷感は、空氣の温度だけでなく湿度にもよる。最も快適なのは温度 16~18°C, 湿度 55~70% の時であるといふ。多數の人が室内にゐる場合には、單に空氣の温度と湿度を一定に保つだけでなく、適當な氣流を起させて人體から發する濕氣を取り去り、又濁つた空氣を清淨にする必要がある。この場合には建物の一角に送風機をそなへ、空氣を循環させて汚染した空氣を外氣と交換し、或は汚染した空氣を水で洗淨する。

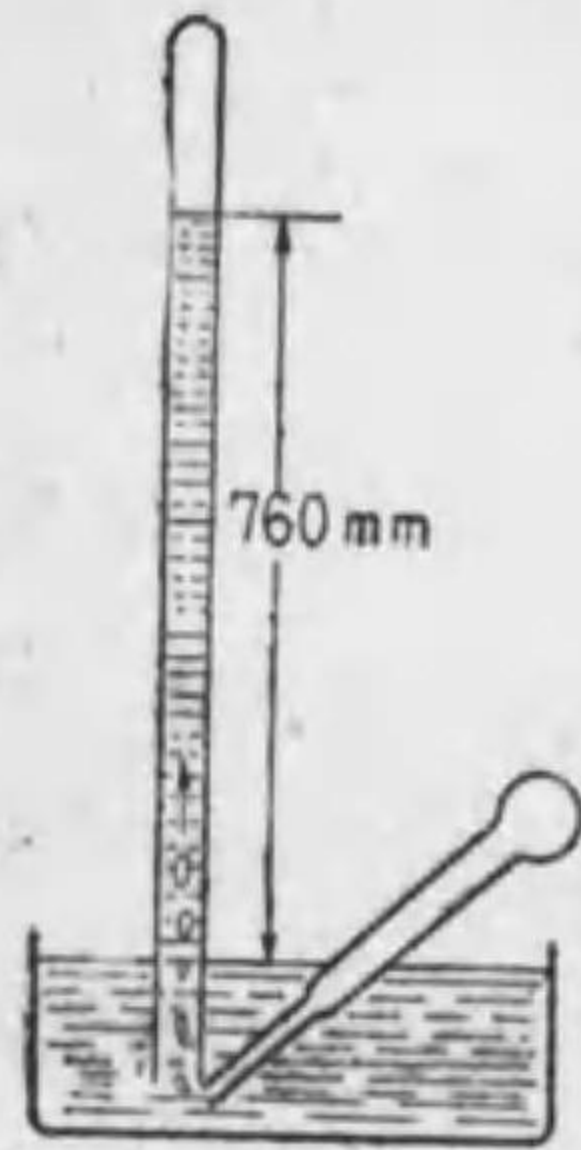
2. 蒸發・冷凍・乾燥

ガラス管に水銀を満たして逆さに水銀槽の中に立てると、水銀柱は約 760 mm の高さに下つてガラス管の上部に真空を



第 4・3 圖

残す。この水銀柱上の真空へ向かつて空気の小さい粒を押し込んだとすると、空気の泡は水銀柱を上り水銀柱を押し下げる。空気の泡を續けて押し込めば水銀柱は幾らでも下る。しかし、たとへばエーテルのやうな液體の小さい粒を水銀柱の中へ押し込むと、真空中でエーテルは氣化して水銀柱は少しは押し下げられるが、なほこれを續けて押し込んでも、暫くしてエーテルは氣化しなくなり水銀柱の降下もやむ。この場合水銀柱の高さは大氣の溫度だけによつて變化し、その他の



第4・4圖

條件では變化しない。最初水銀柱が降下したのは、水銀柱の上部にあつた真空中でエーテルが氣化し、その氣體の壓力が生じたことを示す。この壓力をエーテルの蒸氣壓といふ。最初のうちは押し込んだエーテルは全部蒸發するが、水銀柱上の壓力がエーテルのその溫度に於ける蒸氣壓に達するとそれ以上エーテルは蒸發せず、氣化したエーテルと液體のままのエーテルが共に残るやうになる。この状態になつた時エーテルの蒸氣は飽和したといひ、飽和する前に液體エーテルの粒を押し込めば蒸發する。この場合水銀柱上のエーテルの蒸氣は不飽和であるといふ。

飽和壓力は又蒸氣張力ともいふ。われわれは海面の高さに近い地上で水を熱すると、その溫度が 100°C になつた時水は沸騰して盛んに蒸發することを知つてゐる。この沸騰蒸發の

現象は、水の 100°C に於ける飽和壓力が1氣壓であることを示す。逆にいへば1氣壓に於ける飽和蒸氣の溫度は 100°C である。

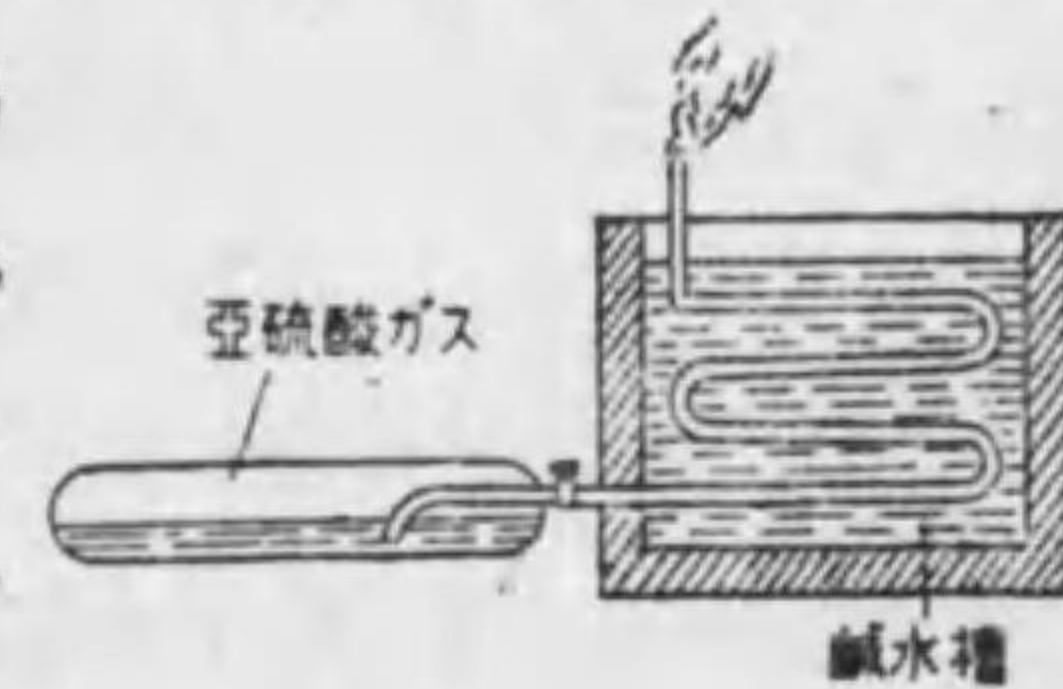
すべて液體はその時の外氣の壓力に相應する蒸發溫度に達すると沸騰し、外氣の壓力が大きくなればその飽和蒸氣の溫度も大きくなる。

(考察)12. 氣壓の低い所たとへば富士山頂では米がよく煮えないのはなぜか。この反對の例が臺所に用ひられるものにあるが何か。

(考察)13. 低い溫度で物を煮詰めるにはどうすればよいか。

沸騰して氣化する際には熱を奪ふ。いひかへれば外部から熱を與へなければ沸騰氣化の現象は起らない。この蒸發の際に奪ふ熱を氣化潛熱といひ、1氣壓に於ける水の氣化潛熱は1kgにつき640 kcal ぐらゐである。工業ではこの氣化潛熱を利用することが非常に多い。冷凍及び乾燥などはその例である。

冷凍機は液體が蒸發する際に熱を奪ふ性質を利用したものである。亞硫酸ガスのやうな沸點の低い液體を用ひて、第4・5圖のやうに鹹水槽の中で蒸發させると、鹹水の溫度は著しく下る。しかしこのままでは亞硫酸



第4・5圖



ガスを大氣中に逃してしまふから、冷凍機はこれを循環して使ふやうに工夫してある。即ち氣化した亞硫酸ガスを壓縮機で壓縮して壓力を高め、壓縮によつて生じた熱を放熱器で取り去り、冷えて再び液化した亞硫酸ガスを鹹槽の中で再び膨脹させ、これを循環させる。

冷凍に使用する亞硫酸ガスのやうな物質を冷媒れいばいといふ。普通用ひる冷媒は亞硫酸ガスのほかアンモニヤと炭酸ガスである。

(考察)14. 亞硫酸ガスを用ひて冷却するのになぜ鹹水を使用するか。



第4・6圖
家庭用電氣冷蔵庫
①調節弁 ②蒸溜器
③壓縮機 ④凝結器
⑤蓄液部

大氣中に含まれてゐる水分の蒸氣壓がその大氣の溫度に相應する飽和壓力よりも低い場合、その大氣中へ水分を含んだ他の物質を放置すれば、その水分が大氣へ向かつて蒸發する。乾燥はこの理を應用したものであるが、一層速かに乾燥を行なふには空氣中の水分を少くし、空氣の溫度を高めて飽和蒸氣張力を高め、乾燥させる物質に沿つて流れる氣流により速かに濕氣をもち去らせることである。

乾燥爐は特にこのやうな作用を盛んに起

させるやうに工夫したものである。

(考察)15. 物を乾かす物干臺の適當な位置を考へよ。

最初に學んだやうに熱は溫度の高い所から低い所へ向かつて流れるのが自然である。冷凍機は大氣よりも物質の溫度を低く保つ作用をするもので、物質に熱が蓄積して溫度が高くならうとするのを防ぐ。つまり熱を溫度の低い所から高い所へ向かつて移動させる装置である。このためには、冷媒のガスを壓縮するのに動力を使用しなければならない。故に冷凍機は熱ポンプともいふ。

第5. 蒸氣罐

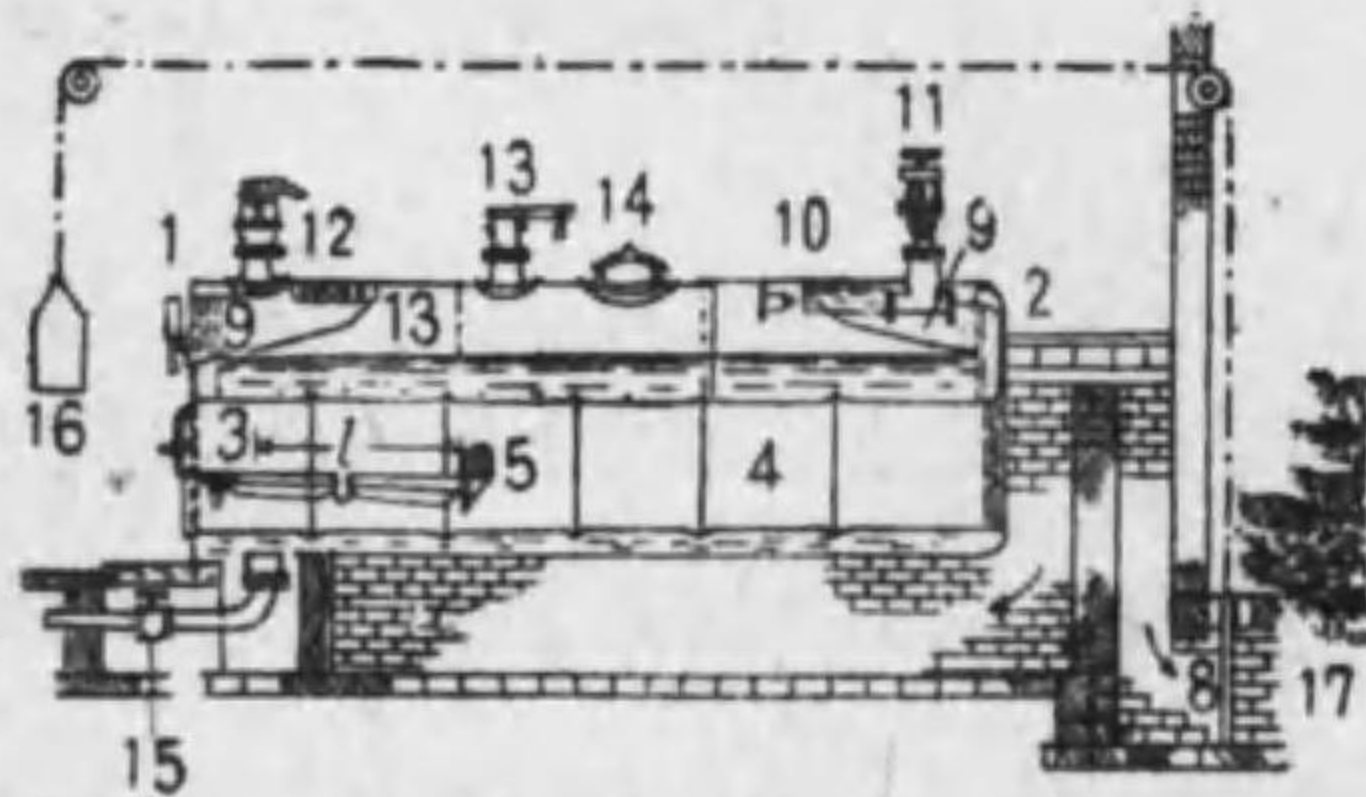
密閉した湯沸器ゆわかしきの中で水を熱すると、壓力と溫度の高い水蒸氣が発生する。この装置を大型にしたものが蒸氣罐である。蒸氣罐には燃料を燃す設備や、水・蒸氣を入れる容器のほか燃料から熱をとる面などが必要である。燃料には石炭と重油が使用される。

蒸氣罐は古くから蒸氣機關を動かすのが主な目的であつた。現在は汽車と船舶に限られてゐる感があり、用途はよほど減つたやうにも考へられるが、實際は反對で、各種工業の進歩・發展につれて蒸氣罐の利用方面も益々擴大してゐる。即ち製紙・製糖・製油その他各種の化學工業又は紡績や染色などの加熱乾燥用として、或は製鋼所での鋼材の壓延・鍛錬や文化設備など、又衛生思想の普及につれて多人數の炊事・病院の殺菌用など極めて廣い範圍に用ひられる。又冬の間水力の利

用できない場合など、火力発電所では大容量の蒸気罐が用いられる。又商船の大部分は蒸気罐によつて動いてゐる。

1. 分類

蒸気罐の据附方法によつて横罐と堅罐に分れ、又構造と形



第5.1圖

コルニシ罐とその煉瓦積

- ①前方鏡板 ②後方鏡板 ③火格子 ④焰管
- ⑤火堰 ⑥底煙道 ⑦側煙道 ⑧主煙道
- ⑨板控へ ⑩水け止弁 ⑪主止弁 ⑫バネ安全弁
- ⑬テコ安全弁 ⑭マンホール ⑮吹出コック
- ⑯釣合鍾り ⑰節氣板

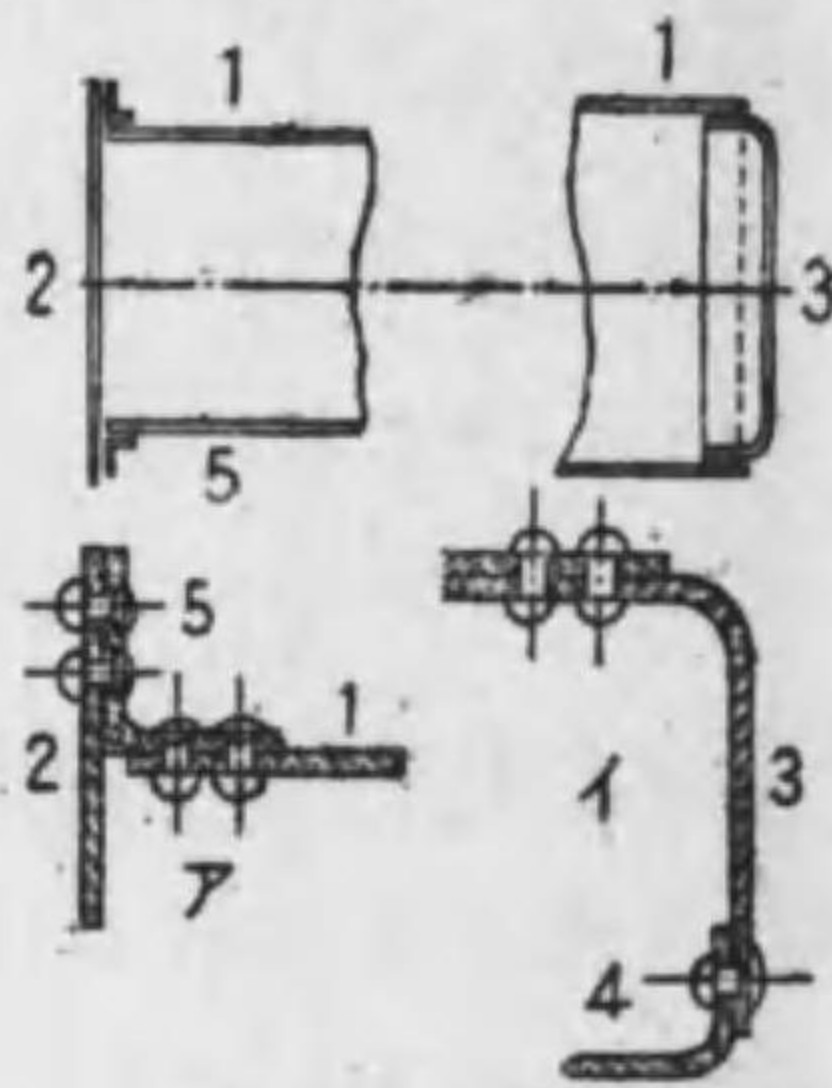
むら。罐胴は水平に置くので一種の横罐である。この焰管の中で燃料を燃し、又出来た熱いガスがこの内面を熱する。

(イ)ランカシャ罐(二焰管罐) 前者よりも大型で焰管筒が二つある。

状からは圓罐・水管罐・煙管罐などとなり、移動性からは機關車罐と船舶罐に分けられる。

(1)陸用圓罐

(ア)コルニシ罐(一焰管罐) 水と蒸氣を入れる圓筒形の罐胴と、それを縦に貫ぬく1本の太い焰管とから出来て



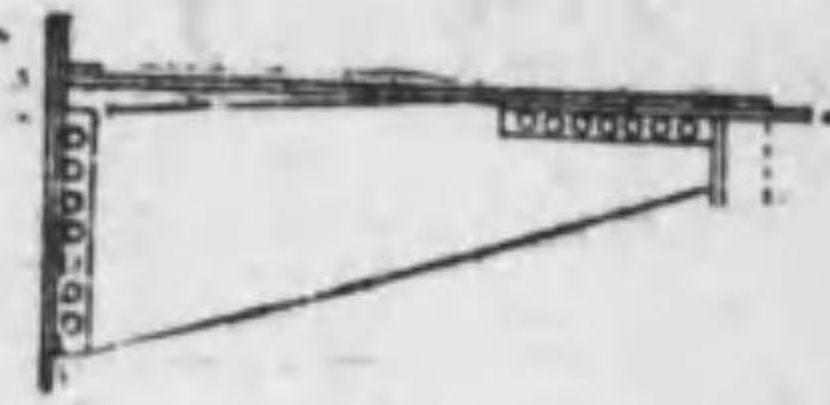
第5.2圖

罐胴と鏡板の織ぎ方

- ①罐胴 ②前鏡板 ③後鏡板
- ④焰管 ⑤山形鋼

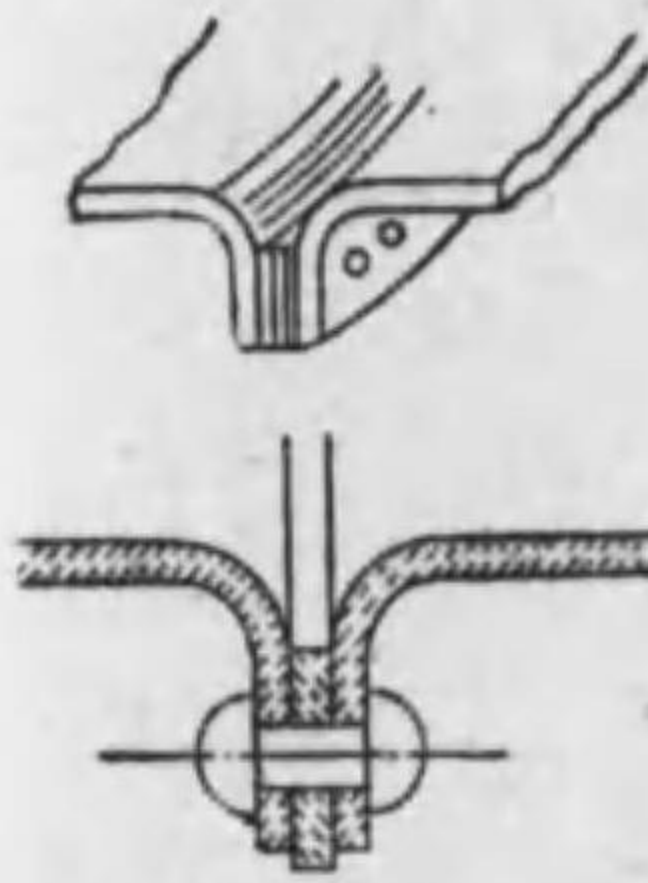
ランカシャ罐やコルニシ罐はよくある罐であるから注意し観察するがよい。

(ウ)圓罐の構造 罐體は軟鋼で成り、罐胴は圓筒形に曲げた板と鋸接する。罐胴の前後の板を鏡板といひ、これを平な板でつくる場合には罐の内壓によつて外方へ膨れるのを防ぐために、胴板と鏡板の織目の隅に板を入れて強さを増すやうにする。この板を板控へ又はオクミ板といふ。



第5.3圖 板控へ

鏡板を外方へ皿形に膨らませてつくつたものは内壓に對して強いから板控へをつけない。焰管は長さ約0.9mのものを數箇堅につないで胴の長さに合はせる。この織目は第5.4圖のやうに輪板を入れた構造になつてゐる。



織ぎ方をこのやうにすれば、焰管が周圍の蒸氣壓によつて壓潰されにくくなり又焰管が熱のため伸縮を起す場合に無理を生じなく、鋸が直接焰に觸れない長所がある。なほこれらのほかに焰管を波形にしたもの、又は焰管に圓錐管を挿入したものなどがある。

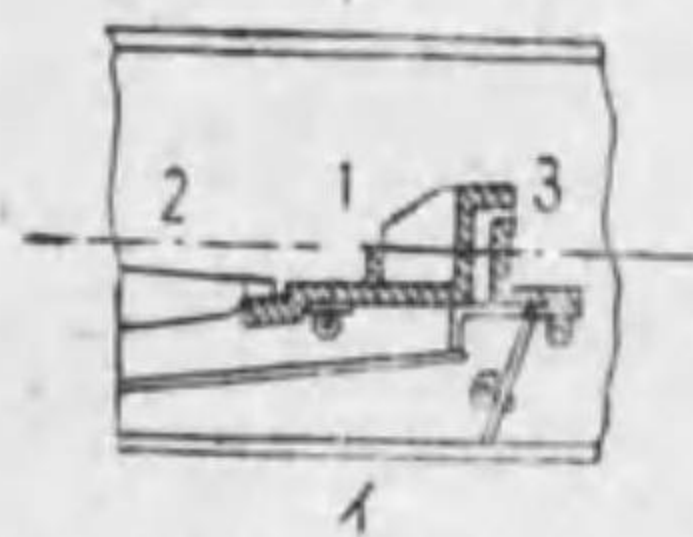
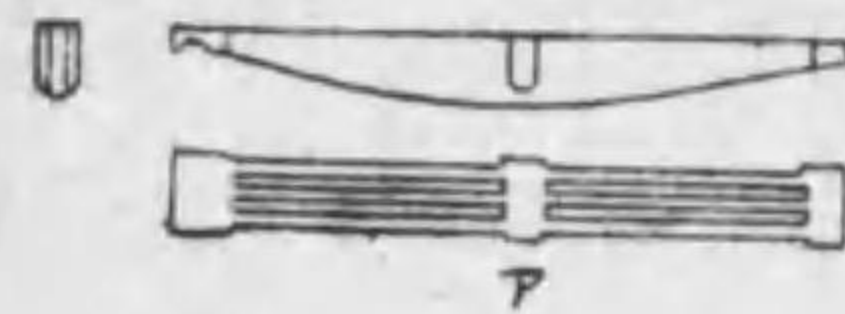
(考察) 1. 焰管に波形の板を用ひ或はこれに圓錐管を入れるのは何のためか



第5.5圖 圓錐管

考へてみよ。

(E)火格子と傳熱面 コンロの木炭を載せる棧まに相當するものが火格子で、第5.1圖③は普通の火格子である。第5.9圖②は鎖状火格子くさりじやうで、機械的に動きながら新しい石炭を給炭槽①から受けて順次奥の方へ移動させてゆく。このやうに石炭



第5.6圖

火格子棒と火壇

⑦火格子棒 ①火壇附近 ①火壇 ②火格子棒 ③通風溝

を自動的に供給しながら燃す装置をストーカ又は自動給炭機といふ。石炭を大量に燃焼させるには、スコップで石炭を投げ込む手焚てがきよりもストーカが便利であり、又人手もはぶける。第5.1圖で火格子の長さしと焰管の内徑との積を火格子面積といひ m^2 で表す。

コルニシ罐やランカシヤ罐では圖で明らかなやうに、焰管の内面を熱した熱ガスは更に罐胴の外側の約 1/2 の表面積を熱する。その傳熱面積の計算は、罐胴の外徑を $D(m)$ 、長さを $L(m)$ 、焰管の内徑を $d(m)$ とすれば、コルニシ罐では

$$\text{傳熱面積} = \pi dL + \frac{1}{2} \pi DL (m^2)$$

になる。しかしコルニシ罐では d が D の約 1/2 になつてゐるから、この式は次のやうになる。

$$\text{傳熱面積} = \pi DL (m^2) \dots\dots\dots(5.1)$$

又ランカシヤ罐では

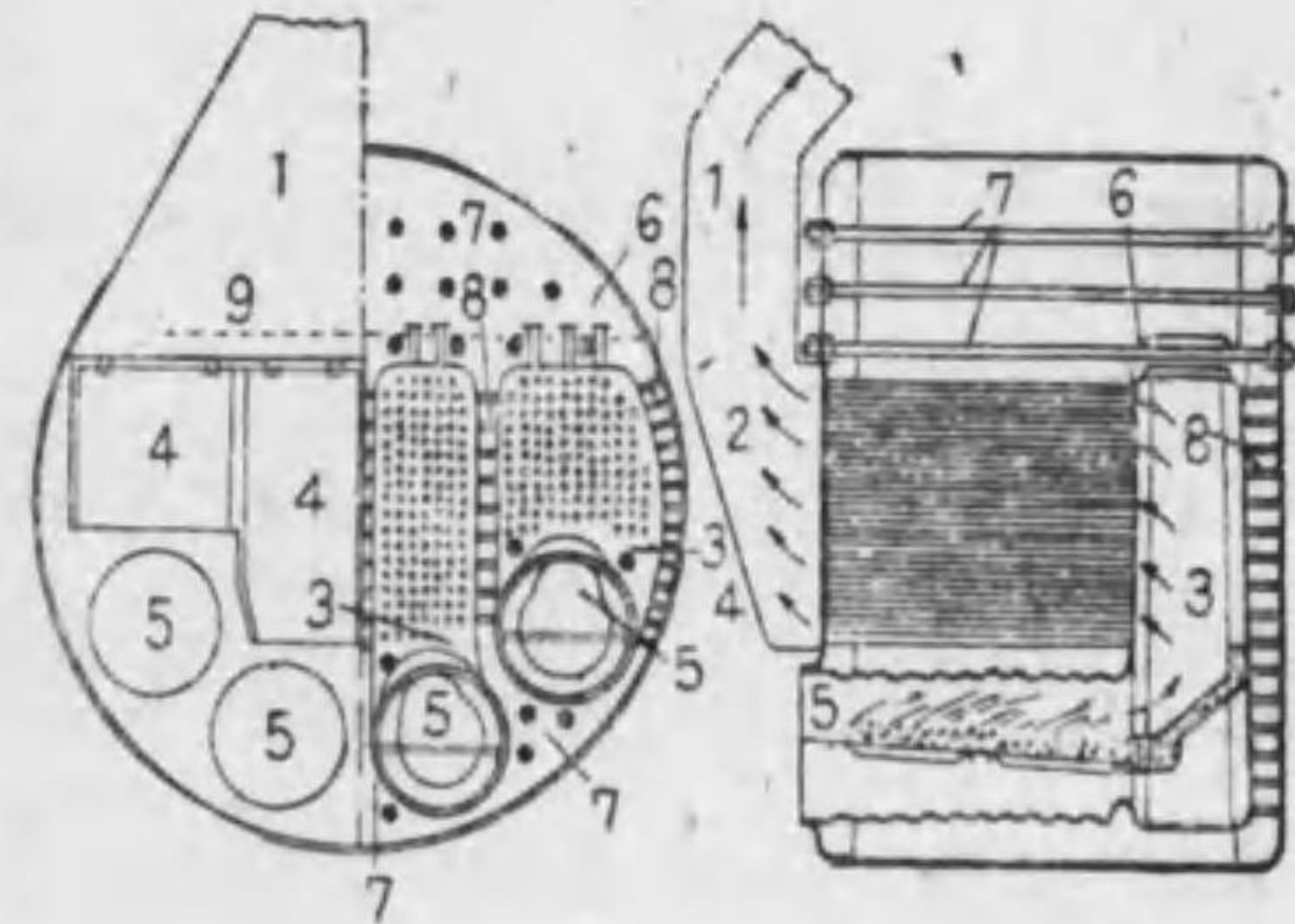
$$\text{傳熱面積} = 2\pi dL + \frac{1}{2} \pi DL (m^2)$$

になる。ランカシヤ罐では d は D の約 1/2.6 になつてゐるから上の式は次のやうになる。

$$\text{傳熱面積} = 4 DL (m^2) \dots\dots\dots(5.2)$$

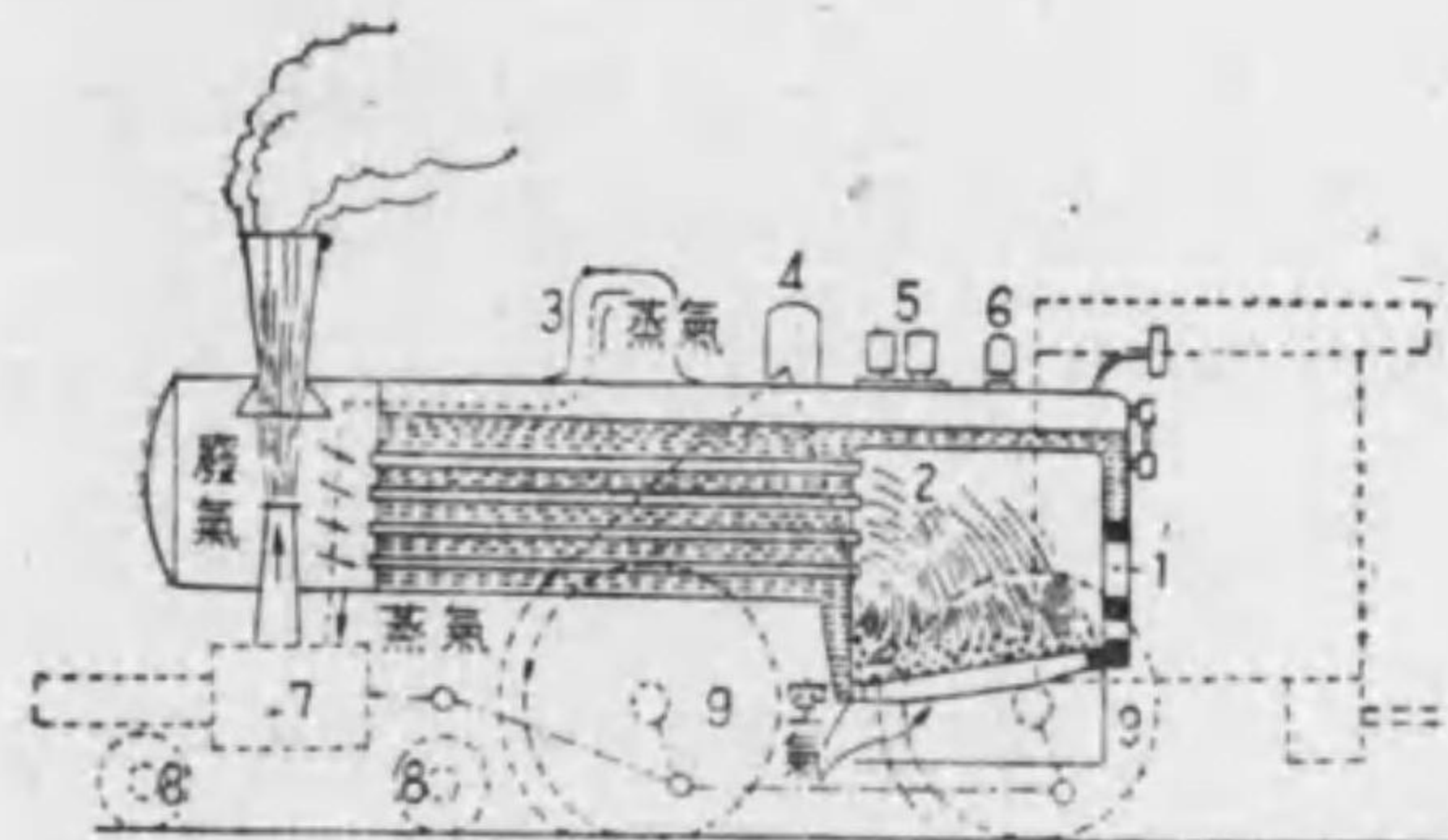
(2) 豎罐 小型で効率^レは低い^レが簡単で運搬に便利である。

(3) 船用圓罐 短かい罐胴に波形板の焰管を 1~4 本挿入し、その上方



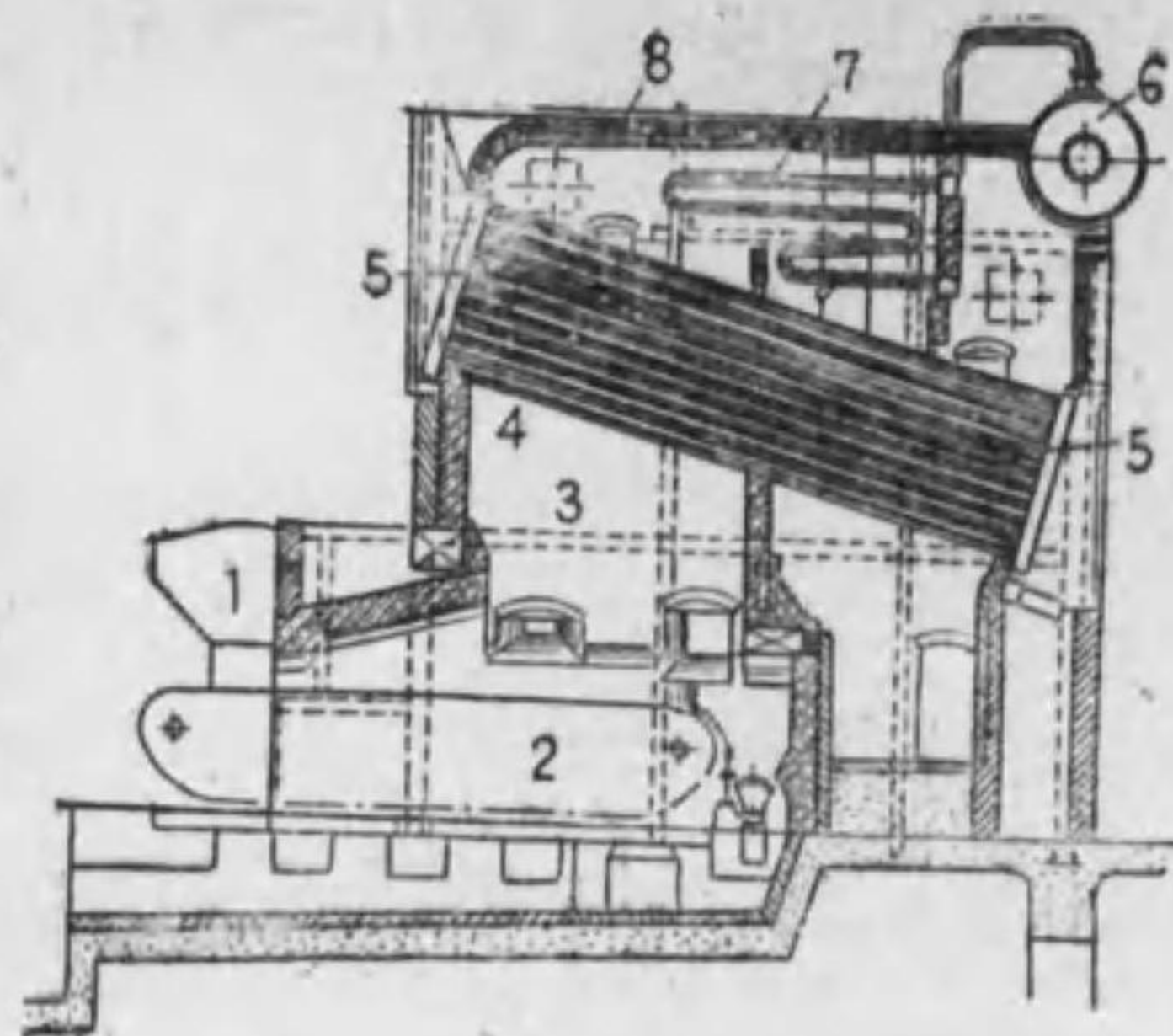
第5.7圖 船用圓罐

に多數の煙管をもつ構造である。



第5.8圖 國關車罐

①焚口 ②火室 ③蒸氣溜 ④砂溜 ⑤安全弁 ⑥氣笛 ⑦機關 ⑧先臺車 ⑨動輪



第5・9圖 水管罐

- ①給炭槽 ②鎖火格子 ③爐 ④水管
- ⑤管寄 ⑥氣水胴 ⑦過熱器 ⑧蒸氣管

(考察) 2. 船用圓罐はどこで傳熱が起るか。又どこが最も傳熱作用が盛んであるか第5・7圖によつて考へてみよ。

(4)機關車罐 高い煙突をつけることができないから、吹出管に蒸氣機關の排出蒸氣を導いて煙の排出を助ける。

(考察) 3. 第5・8圖に就いて機關車罐の構造の大要を調べなぜこのやうな構造にするかを考へてみよ。

(考察) 4. 吹出管に排出蒸氣を吹き込ませるとどうして煙がよく出るか。これに似た作用をするものを考へよ。

(5)水管罐 船用圓罐と機關車罐では管の外側に水があつて内側を熱ガスが通つてゐるが、この罐では外側が熱ガスに觸れ、内側に水の通る管を多數設けて熱を受けるやうにしてある。水管罐には大型なもの、壓力の高いものなどがあり、一

焰で發生した熱ガスが前へ戻つて煙突に逃げるので戻火罐ともいふ。

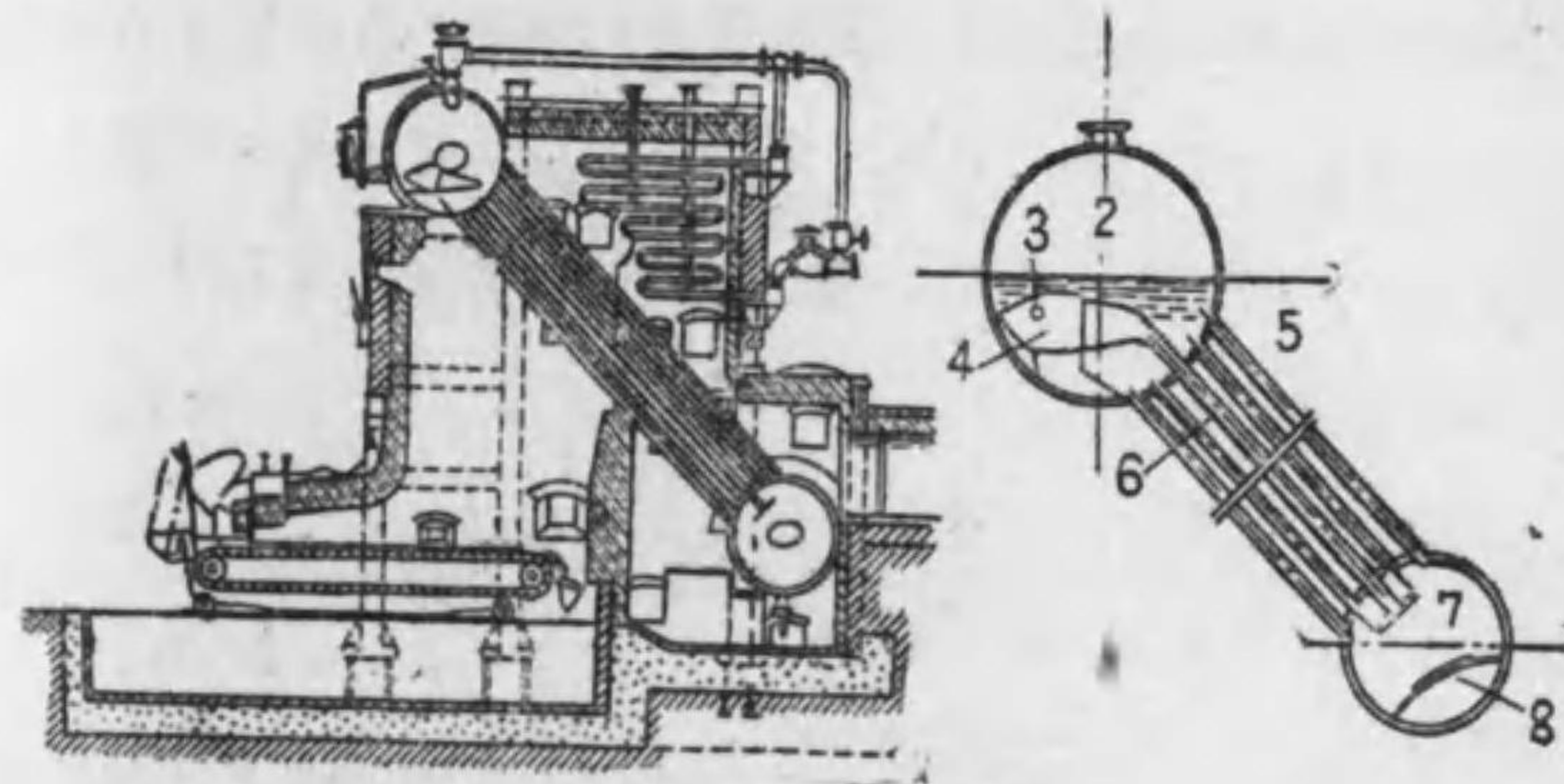
船の狭い罐室に用ひるのに都合よく、又效率もよい。

(考察) 2. 船用圓罐はどこで傳熱が

般に大容量のものが多く火力發電所の罐は皆これである。

第5・9圖②の上で石炭が燃えて出來た熱ガスは④の水管を熱する。發生した蒸氣は⑥によつて⑥に集る。⑥は多數の水管を集める管寄といふ。

水管罐は大量の蒸氣を迅速に發生するのに適するが、罐水に純良なものを使用しないと水管内に湯垢が生じて水管をいためたり、水管の接手から漏水を起す原因になる。



第5・10圖 タクマ式罐

- ①蒸氣口 ②氣水胴 ③内部給水管 ④集水管 ⑤水管
- ⑥降水管 ⑦マンホール ⑧沈澱物仕切板

(考察) 5. 水管内に湯垢が生ずるとどうして水管が損傷するか。

2. 附屬品

(1)扉 手焚の圓罐又は豎罐で石炭の投入や灰出の際に開閉する扉である。

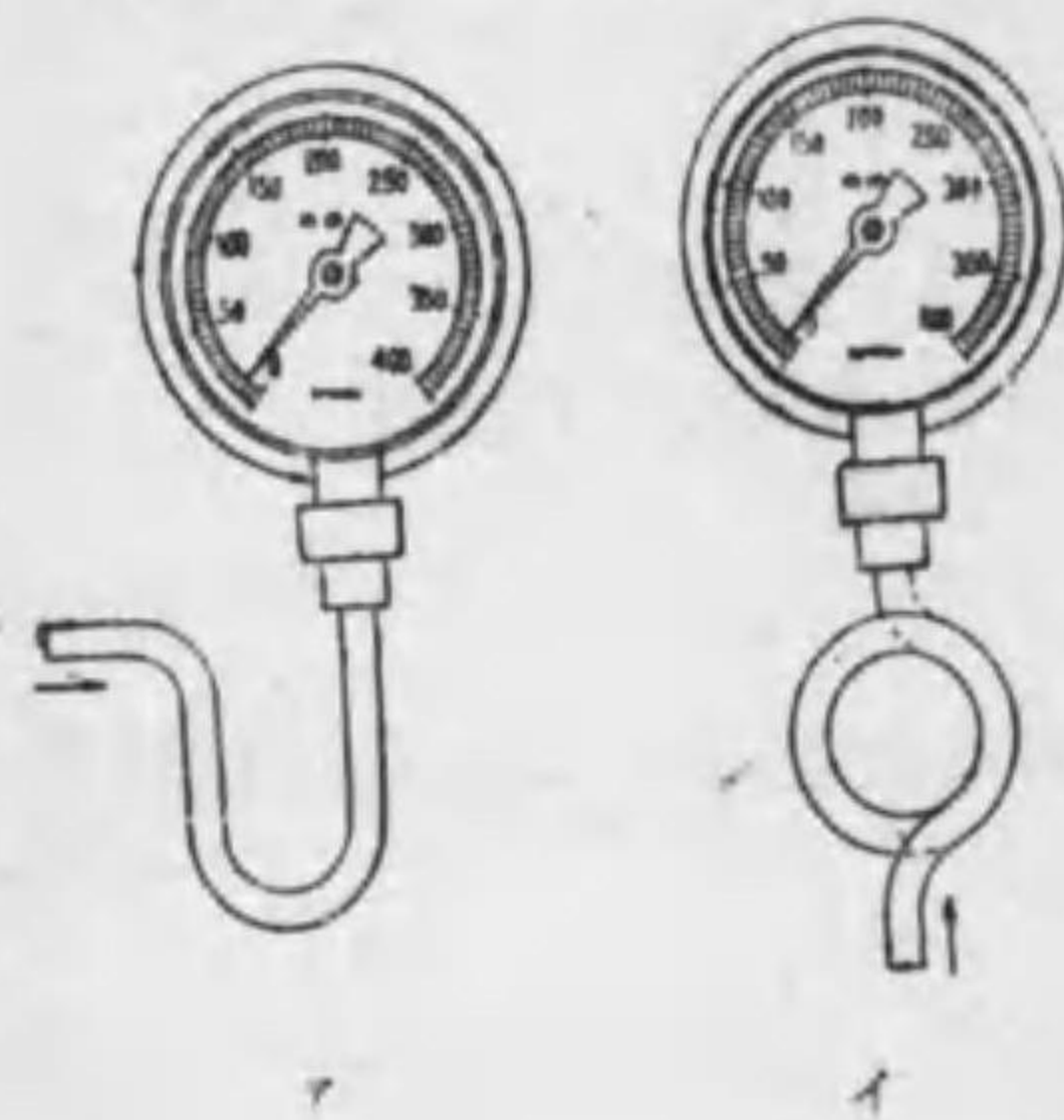
(考察) 6. 扉の開閉は短時間に行なふのはなぜか。

(2)マンホール 罐は一定の時期に休ませて内部を掃除したり検査するが、その際人が出入するため罐胴に設ける孔である。普通長軸 400 mm, 短軸 300 mm の楕圓形をなし、蒸氣の發生中は丈夫な蓋をしておく。

(3)主止弁 罐の頂部にある主蒸氣管の取附の根元に設けた弁で、普通球形弁が用ひられる。

(4)水け止弁 主止弁に、蒸氣以外に熱湯から飛散する水滴がはいり込むのを防ぐため、水滴をおさへて蒸氣だけを通過させるやうにしたもので、太い管に細い孔を多數あけた籠のやうなものである。

(5)壓力計 常に一定壓力で蒸發が行なはれるやうに偏曲管壓力計を罐の前面に取り付ける。



第 5・11 圖
偏曲管壓力計の取附方

(考察) 7. 蒸氣罐又は蒸氣管に偏曲管壓力計を取り付ける管は、真直ぐにせず第 5・11 圖のやうに曲げなければならぬ。そのわけを考へよ。

(6)底水吹出コック 罐の最下部に設けたコックで、罐を長期間休ませようとする場合に罐水を排出し、又罐内掃除の場合汚水を排出するためのものであ

る。

(7)安全装置

(ア)安全弁 蒸氣壓が一定壓力以上に高くなり過ぎた場合、自動的に開いて蒸氣を外へ逃し、罐内の壓力を低下させる弁である。直接に錘りを載せた錘り安全弁や、バネの力でおさへたバネ安全弁及びテコの理を應用したテコ安全弁がある。取締規則によつて罐には必ず 2 箇以上の安全弁をそなへることになつてゐる。又陸用蒸氣罐規格 (J E S) では、弁の大きさは次の式によつてゐる。

$$F = \frac{22 E}{P+1} \dots\dots\dots (5 \cdot 3)$$

F : 安全弁の最小總面積(mm²)

E : 罐の想定最大蒸發量(kg/h)

P : 最高使用壓力(kg/cm²)

(考察) 8. 三つの安全弁のうちどの種類の罐にはどの弁がよいか例をあげて考へてみよ。

(イ)水面計 罐内の水面を一定に保つことは空罐を焚かないため又は熱湯を吹き出させないために大切である。そのためにガラス管で出來た水面計をそなへて外部から罐内の水面の高さを注意をする。水面計は安全のために一つの罐に 2 箇取り付ける。

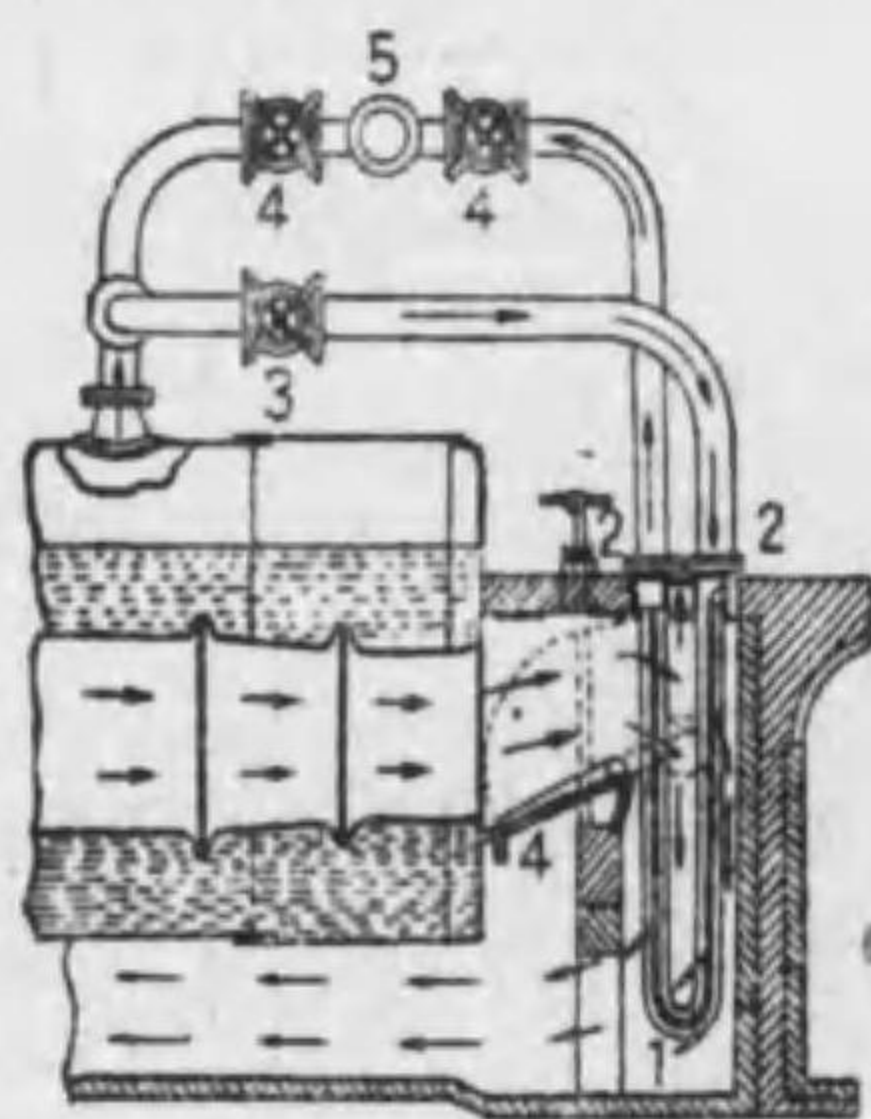
傳熱面の比較的高い位置に熔栓といふ熔けやすい金屬を鑄込んだ栓をつけておき、罐水の水面が低くなり過ぎて傳熱面

の部分蒸気に露出すると、栓の中の金属が溶けて蒸気を吹き出し、水面の下つたことを知らせる。

(7)減水報知器 水面計の一種で水面が下り過ぎると自動的に蒸気を吹き出して気笛を鳴らす。

蒸気罐を製造する工場に對しても、又それを使用する工場に對しても、危険防止上種々な取締規則がある。製造者も取扱者もよくその規則を理會して職務に當らなければならない。

(考察) 9. 蒸気罐で爆發の危険防止上最も大切な附屬品は何か。



第 5・12 圖

ランカシャ罐に設置した過熱器
①過熱管 ②管寄 ③④止弁
⑤出口

に曲げ、管寄によつて一つに組み合はせたものである。

(9)重油バーナ これによれば細い孔から重油を霧にして噴出し、空氣とよく混つて殆ど無煙の状態で燃すことができる。重油は粘性が高いから温めて低くし、細い孔から噴出しやす

(8)過熱器 罐で蒸發した水蒸気を更に熱し、過熱蒸氣として用ひると種々な利益がある。

過熱器は過熱蒸氣をつくる装置で、第 5・9 圖⑦もこの一種である。第 5・12 圖では、③から來る飽和蒸氣を更に①②へ導き熱ガスに觸れさせて過熱する。

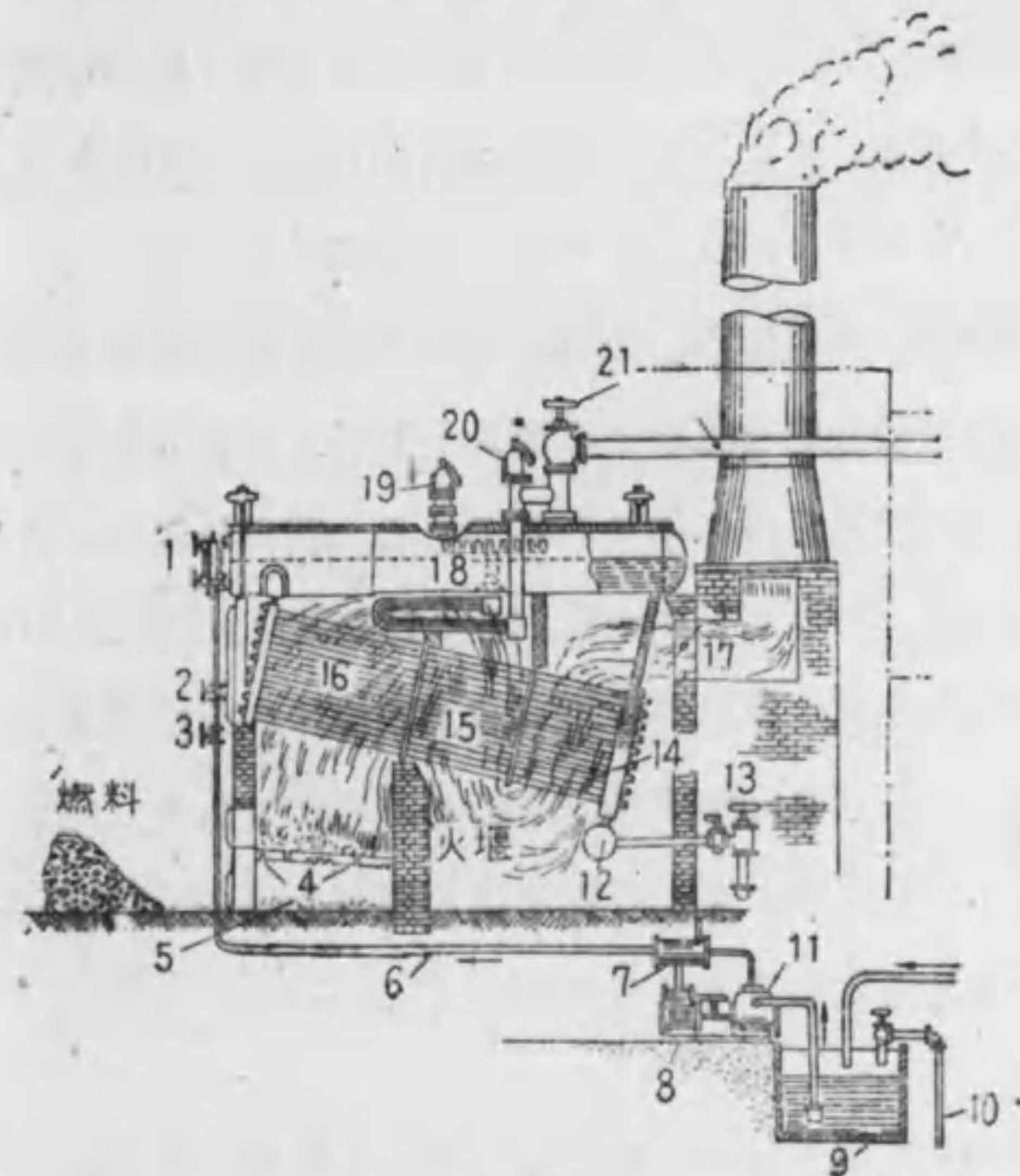
この過熱器は外徑 25~50 mm、厚さ 4~5 mm の鋼管を U 字形

くして油に壓力を加へるか、又は高速度の蒸氣で噴出させるか、或は壓縮空氣で噴出させる。

1. 給水・通風

1. 給 水

(1)給水清淨装置 泥土や塵埃などを含んでゐる水は瀧過・沈澱させなければ罐に供給できないが、このやうにした水でもなほ礦物質が溶け込んでゐて、これをそのまま罐に使用すると、罐壁や水管の内面などに湯垢が生じて熱の傳導を妨げる。故に水は罐に送る前化學的に清淨にする装置が必要であ



第 5・13 圖 罐 室

る。別な方法としては、罐内に薬品を入れて湯垢の発生を防ぐ方法がある。これに用ひる薬品を清罐劑せいぐんざいといふ。

(2)給水ポンプ 罐内の高い蒸氣壓に逆つて水を供給するポンプで、特殊な構造になつてゐる。直動ポンプと多段タービンポンプがある。

又蒸氣を直接水に混ぜて蒸氣のエネルギーで水を吹き込むインゼクタがある。1箇の罐室には安全のため給水装置を2基以上そなへなければならぬ。

(3)給水逆止弁 給水ポンプがとまつた場合又は給水管が破損した際などに、熱湯が逆に吹き出さないやう給水の進む方向へだけ開き、反対方向には蒸氣壓のために自動的に閉ぢるやうにした弁で、給水管の末端に取り付ける。

(4)節炭器 蒸氣罐から煙突へ逃げる煙の通路の罐に接近した所に多數の鐵管を集めたものをそなへ、その管の中へ水を通して煙で温めて罐に送るものである。管の外側に溜る煤を自動的に除くやうにしてあり、熱の經濟上大いに効果がある。

(5)給水加熱器 蒸氣原動機又は蒸氣罐に使ふ直動ポンプなどが排出する蒸氣の熱で給水を温めるものである。細い黃銅管の集りから成り、管の外側に排出蒸氣を導いて内側に通した水を温める構造となつてゐる。

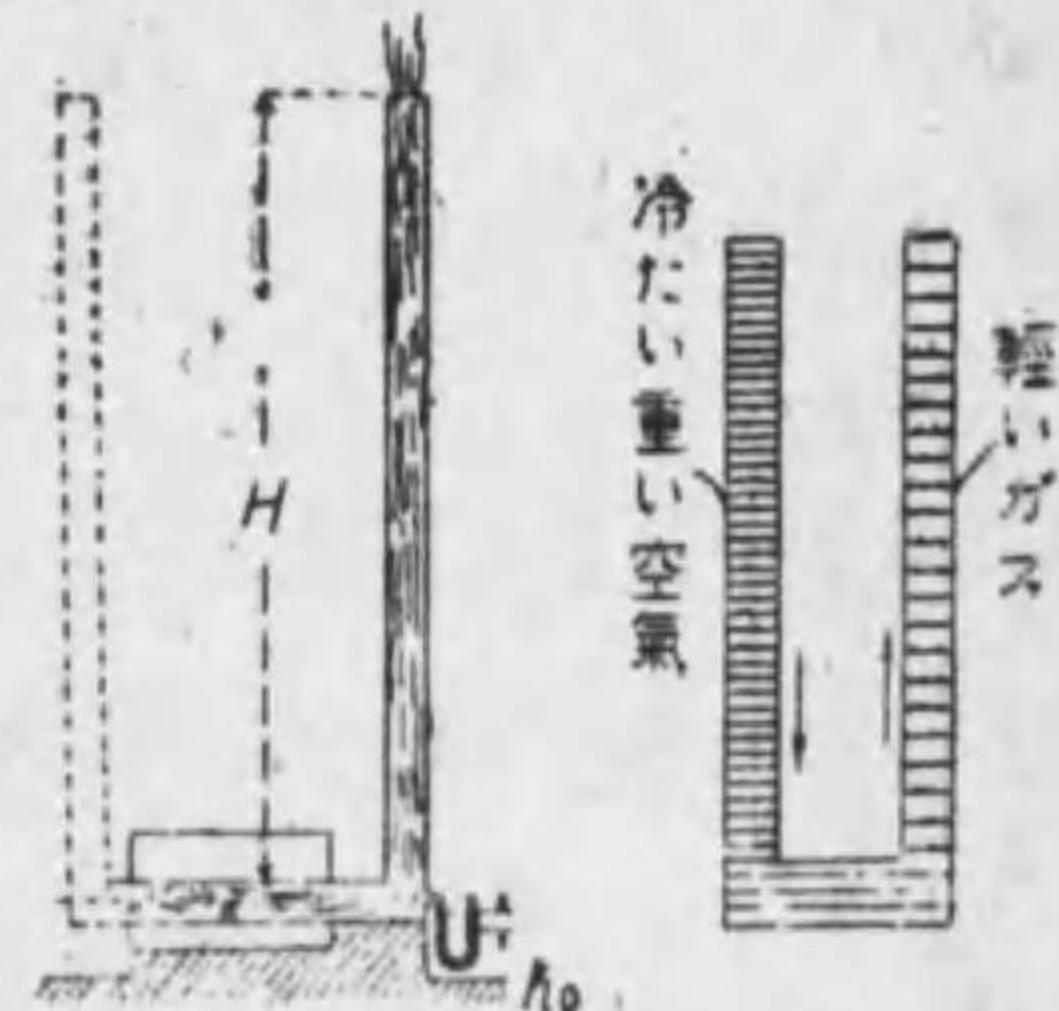
(考察)10. 煙又は廢氣の熱を利用して給水を温めることは熱の經濟上大いに効果があるが、そのほかにも大切な利益

がある。どんなことか考へてみよ。

2. 通 風

罐の爐内で發生した煙や廢氣は、外に逃して新しい空氣を吸ひ込まなければ燃焼を續けることができないので、爐や煙突の中に風の流れを起す必要がある。風の流れを起す力を通風力といひ、煙突で通風力を起すのを自然通風、機械の力によるのを人工通風といふ。

(1)自然通風 炭火を起したコンロを横から見ると、熱くて軽いガスが上つてゐるのがわかる。



第5・14圖

その火の上に兩端の開いた高い筒を立てるとガスはよく導かれて火の燃え方が強くなる。これは下の風口から新しい空氣が盛んに吸ひ込まれるからで、この風口の戸を閉ぢると火勢は衰へる。蒸氣罐ではこの風口の戸に相當するものを節氣板せつきいたといひ、蒸氣罐の直ぐ後部の煙の通路に大きな節氣板がある。煙突が通風を起すわけは、煙突外の冷たい重い空氣が中の熱くて軽いガスを重さの差で押し出すからである。通風力は次の式で計算できる。

$$\text{通風力} = \text{煙突の高さ(m)} \times (\text{冷たい空氣 } 1 \text{ m}^3 \text{ の重量} - \text{熱いガス } 1 \text{ m}^3 \text{ の重量}) \dots\dots\dots (5 \cdot 4)$$

(5・4)式で求められる通風力の値は、それを計るU字管内

の水の高さをmmで表したものであるが、実際には煙やガスの通路には種々な妨げがあるので通風力はこの計算の値よりも少い。

(考察)11. 蒸気罐の火を急に消さなければならない場合はどうするか。

(2)人工通風 コンロの炭火の燃え方を強くするため、下の風口を扇であほいだり、上から口で息を吹きかけたりするが、これは一種の人工通風といへる。蒸気罐ではこれらのことを主に送風機で行なふ。機関車罐の場合は排出蒸気を吹き出して通風を起すので、やはり一種の人工通風である。送風機による方法には押込・吸出及びこれを同時に行なふ並行通風などがある。人工通風は比較的大型な蒸気罐設備に用ひられ、大量の石炭をよく燃し又燃えにくい石炭も容易に燃すことができる。

(3)空気豫熱器 罐の爐内へはなるべく温かい空気を入れる方がよいので、人工通風などによる場合、爐にはいる空気を煙のもつてゐる熱を利用して温めるやうにしたものである。

3. 取扱ひ方

(1)水圧試験 罐が新しく出来上つた場合、又は定期的の検査の後などには必ず水圧試験を行なふ。この際はすべての孔口を閉ぢ、罐の頂上の孔から空気を逃しながら水を満たし、空気が少しもないやうにしてから水圧試験ポンプで壓力を加

へる。壓力は陸用蒸気罐規格によれば、最高使用壓力の1.3倍に 3kg/cm^2 を加へたものを試験壓力とする。ポンプでこの壓力を加へた場合各部に異常が起らないやう注意する。

(2)焚き方 手焚或はストーカによつても煙突の煙の色に注意し、うすい煙が出るやうにする。このことは燃料の經濟上はもちろん、都市の衛生上からも大切なことである。

燃焼を完全にするには、手焚ならば一定時間毎に火格子に平均に石炭をまき散らし、火格子面からの空氣の抜け方も一様に行なはれるやうにし、又灰が相當溜つたら迅速に罐換をして灰を出さなければならない。ストーカで鎖火格子の^{おがへ}のでは、火格子上の石炭の厚さと火格子の移動の速さを考へて調節する。いづれの場合も節氣板の開き方に注意する。

(3)水面計 蒸気罐内の水面がいつも一定の高さを保つてゐるやうに、水面計に對して注意することが必要である。

(4)安全弁 壓力を一定に保つこともまた大切で、壓力計に對する注意を怠つてはならない。安全弁がいつもよく作用し得る状態にあるかどうか、安全弁をもち上げて蒸気を吹かす試験をときどき行なふ必要がある。

(5)休止 蒸気罐を相當期間休ませる場合には、罐内の水を底水吹出コックから全部排出する。罐水を排出して間もなく給水の必要が起つても、まだ蒸気罐が相當温かい場合には冷水を送つてはならない。

(考察)12 温かい罐に冷水を送つてはならないのはなぜか。

2. 燃料・燃焼

1. 燃料の性質

(1)燃料の發熱量 1 kg, 又は 1 m³ の燃料が完全燃焼する際に發する熱量をその燃料の發熱量といふ。普通固體又は液體の燃料に對しては、燃料 1 kg 當りの發熱量をキロカロリーで表し kcal/kg とし、又氣體燃料に對しては 1 m³ 當りで表し kcal/m³ とする。この m³ は溫度 0°C, 氣壓 760 mm(水銀柱の標準狀態) に於ける氣體の體積を立方メートルで示したものである。

(2)發熱量の測定と計算 燃料の發熱量はこれを燃して直接計るのが最も確實である。これに使ふ装置を熱量計といひ、固體・液體・氣體の各種燃料の發熱量をそれぞれ測定するのに適した構造となつてゐる。又燃料(液體)を分析して、その 1 kg 中に含まれてゐる炭素・水素・酸素・水分(附着水)が、それぞれ C, H, O, W (kg) であれば、その燃料 1 kg の發熱量 Q は次の式で求められる。

$$Q = 8100 C + 2,9000 \left(H - \frac{O}{8} \right) - 600 W (\text{kcal}) \dots\dots (5 \cdot 5)$$

液體燃料のやうに成分として水素を含むものは水素の燃焼によつて水を生ずる。燃料を燃す際に發生する熱はこの水を蒸發させるから、その發生した熱量中の幾らかの熱量が失はれる。又別に燃料が水分を含む場合はその水分の蒸發にも熱を失ふことになる。

この二つの失はれる熱量を全熱量から差し引いたものを低發熱量といひ、差し引かないものを高發熱量といふ。實用上必要なものは低發熱量である。(5・5)式は低發熱量を求める式である。

燃料中には微量の硫黄を含んでゐるが、これが燃えると有毒性の亞硫酸ガスを發生し、又水と混ぜれば硫酸となつて罐の各部を腐らせるから、燃料中の硫黄はなるべく少い方がよい。

(3)引火點と發火點 燃料を熱して次第にその溫度を高めながらそれに焰を近づけると、燃料から發散するガスに火をひいて燃焼を起す。この引火を起す最低溫度を引火點又は引火溫度といふ。重油が保存しやすく、ガソリンが保存しにくいのは引火點の關係からである。

又燃料はこれを熱し續けて或る溫度に達すればおのづから發火して燃焼するやうになる。この最低溫度を發火點又は發火溫度といひ引火點よりも 10~20°C 高い。

2. 石 炭

石炭を大別すれば無煙炭と有煙炭になる。有煙炭を更に分類すると瀝青炭・褐炭・泥炭などになる。

(1)無煙炭 質が硬く炭素の含有量が極めて多いから、發熱量も大きく又煙が少くてよいが、點火しにくい上に短焰で燃え、且つ燃焼の際に崩れやすいので、單獨で蒸氣罐などに使用するには適しない。

(2)瀝青炭 漆黒な光澤があり揮發分 30~40% もあつて點火しやすく、燃燒する際は長焰を生ずるから蒸氣罐の燃料として最も重用される。

(3)褐炭 茶褐色で水分を多く含み50%のものもある。木理の残つてゐるものを亞炭と呼んでゐる。褐炭でも黒褐色で木

第 5・1 表 發熱量の概數値

種	類	低發熱量(kcal/kg)
無	煙炭	7300~8000
瀝	青炭	5200~7800
褐	炭	2000~5900
煉	炭	4500~7800

理のないものは蒸氣罐の燃料として十分使用できる。

(4)泥炭 水分を極めて多く含み、採掘のままでは90%以上のもの

もある。

(5)煉炭 質の劣つた燃料を結合劑で固めて製する。

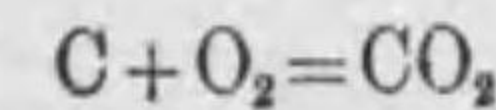
3. 重油

原油を分溜して得られる燃料油のうちで最も比重の大きなものである。蒸氣罐には重油及び原油が使用される。重油ジゼル機關の燃料にもなる。重油は石炭に比べて優れた點が數多くあるが、先づ第一に發熱量の大きなことである。石炭の良質なものでも發熱量は大體 8000 kcal/kg であるが、重油は 1,0000 kcal/kg ぐらゐであるから、同じ重量で重油は石炭の 1.25 倍の熱量を出すことになる。

(考察) 13. 重油は取扱ひに種々な點で石炭に優れてゐるが、どんな點か考へてみよ。

4. 燃 燒

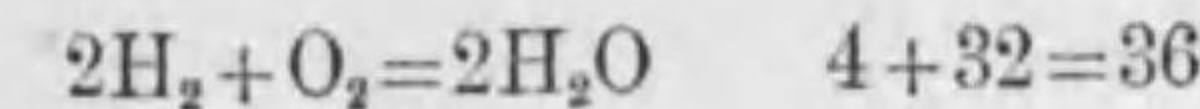
燃燒とは燃料中の炭素と水素が空氣中の酸素と化合して熱を發生することで、この際炭酸ガスや水蒸氣が大量に發生する。それ故空氣又は酸素がなければ燃燒は起らない。炭素が完全に燃える際は炭酸ガスが發生する。その關係を式で表すと



となり、これを重量の割合で表せば次のやうになる。

$$12 + 32 = 44$$

1 kg の炭素を完全に燃すには $\frac{32}{12} = 2.67$ kg の酸素が必要である。同様のことが水素では、



となり、1 kg の水素を完全に燃すには $\frac{32}{4} = 8$ kg の酸素が必要である。

空氣の重量の 23% が酸素であるから、上の各式で與へられた酸素の量を空氣の量に換算すると次のやうになる。

$$\text{炭素 1 kg に対して 空氣 } 2.67 \div 0.23 = 11.6 \text{ kg}$$

$$\text{水素 1 kg に対して 空氣 } 8 \div 0.23 = 34.8 \text{ kg}$$

故に 1 kg 中に炭素 C (kg)、水素 H (kg)、酸素 O (kg) を含む燃料 1 kg を完全に燃すには、次の空氣量が必要になる。

$$Aw = 11.6 C + 34.8 \left(H - \frac{O}{8} \right) \text{ kg} \dots\dots\dots (5 \cdot 6)$$

乾いた空氣は溫度 0°C、大氣壓 760 mm 水銀柱の場合、重

量 1 kg につき 0.774 m^3 の體積があるから、(5.6)式の空氣の重量を體積に換算するには 0.774 を掛ければよい。

$$Av = 0.774 \left(11.6 C + 34.8 \left(H - \frac{O}{8} \right) \right) \text{ m}^3 \dots\dots (5.7)$$

このやうにして計算した空氣の必要量は理論上のもので、實際にはこれでは足りない。實際に與へる空氣の量との比を空氣過剩率といふ。

蒸氣罐で石炭を焚く場合、手焚とストーカとでは少し違ふが、この過剩率は 1.4~2.0 倍ぐらゐである。重油の場合は 1.2~1.4 に減る。

(考察) 14. 重油を焚く場合はなぜ空氣過剩率が少なくてよいか。

3. 蒸氣の性質と利用

1. 飽和蒸氣

蒸氣罐内に發生する蒸氣は、罐内の水の溫度に相當する飽和壓力をもつ飽和蒸氣である。罐前に取り附けた壓力計は常にこの飽和壓力を示す。發生した蒸氣の量に等しい飽和蒸氣が仕事に使はれて罐から出てゆけば、壓力計の針は一定の點を指す。故に蒸氣罐の壓力計の針は常に 1 點を指すやうに蒸發を起させるのが理想である。飽和蒸氣中、少しも水滴の混らないものを乾き飽和蒸氣といひ、幾分か水滴が混つてゐるものを濕り飽和蒸氣といふ。

或る飽和溫度にある 1 kg の水を同一溫度の乾き飽和蒸氣に

變へるのに必要な熱量を、その溫度に於ける蒸發(氣化)の^{せん}潜熱といふ。

水 1 kg を一定壓力のもとで、基準溫度 0°C から飽和溫度まで上昇させるのに必要な熱量を液體熱といふ。或る壓力のもとにある溫度 0°C の水 1 kg をこの壓力のもとで熱して全部蒸發させ、乾き飽和蒸氣とするまでに要する熱量は、

$$\text{熱量} = \text{液體熱} + \text{氣化の潜熱} \dots\dots (5.8)$$

で表される。これを乾き飽和蒸氣の全熱量といふ。即ち全熱量は或る壓力のもとで溫度 0°C の水 1 kg を、全部その壓力の乾き飽和蒸氣にするのに必要な熱量である。

或る壓力又は溫度を基準として、蒸氣の體積・全熱量・液體熱・潜熱その他種々な値を表したものを蒸氣表といふ。これに示してある蒸氣壓は普通絶對壓力である。絶對壓力は工業上では偏曲管壓力計で計つた壓力に 1 を加へたものである。

1 kg の水が全部蒸發して出來た蒸氣 1 kg 中、 $(1-x)\%$ の水分を含む濕り飽和蒸氣があれば、その x を濕り飽和蒸氣の乾き度といひ、その全熱量は次のやうになる。

$$\text{全熱量} = \text{液體熱} + x \times \text{氣化の潜熱} \dots\dots (5.9)$$

(例題) 壓力 10 kg/cm^2 絶對、乾き度 0.95 の濕り飽和蒸氣 1 kg がもつ全熱量を求めてみよ。

(解) 蒸氣表から壓力 10 kg/cm^2 、絶對に相當する液體熱 = 181.2 kcal/kg 、氣化の潜熱 = 481.7 kcal/kg が得られる。

故に 全熱量 = $181.2 + 0.95 \times 481.7 = 638.8 \text{ kcal}$

である。

2. 過熱蒸気

蒸気罐胴内に発生した飽和蒸気を罐胴外の加熱管に導いて加熱すると、壓力は罐胴内と同じで温度だけ上昇した性質の大分違った蒸気が生ずる。これを過熱蒸気といふ。

この蒸気は空氣のやうにガスに近い性質をもち、液體からは遠い状態にある。過熱蒸気は加熱によつて任意の温度まで高めることができる。過熱蒸気の温度と蒸気の壓力に相當する飽和温度との差を過熱度といふ。

過熱蒸気は使用中冷却して少しく温度が下つても容易に凝結して水にならないから用途が廣い。

3. 蒸気罐の容量その他

蒸気罐は水を蒸發させるのが目的であるから、蒸發能力の高いほど蒸気罐の容量は大きい。又水に熱を與へる面、即ち傳熱面積の大きなほど罐の容量は大きい。

或は又燃料を燃す場所即ち燃料を載せる火格子の面積の大きなほど罐の容量は大きいともいへる。ちやうど家の大きさをいふのに、疊數や坪數で表したり又は間口や奥行などでも表せるやうに、罐の大きさは水の蒸發量・傳熱面積・火格子面積・一定時間に燃すことのできる燃料の量・直接罐の寸法などで表すこともできる。

(1)蒸發量 蒸気罐内で蒸發が行なはれる場合、蒸気罐の種類又は使用状態によつて給水の温度や蒸気の壓力が違ふ。随つて同じ1kgの水を蒸發するのに必要な熱量が同一ではない。

から、蒸發された水量では直ちに蒸気罐の容量を比較できない。故に一定の基準となるものが必要である。即ち温度100°Cの水1kgを全部蒸發させて、100°Cの乾き飽和蒸気とするのに必要な氣化熱539.3kcalを使つて次のやうな計算を行なひ、基準となる蒸發量を計算する。この値を基準蒸發量又は相當蒸發量といふ。

基準蒸發量 =

$$\frac{\text{實際蒸發量(kg/h)} \times (\text{實際の發生蒸気の全熱} - \text{給水の全熱})}{539.3} \quad \text{kg/h} \dots \dots (5 \cdot 10)$$

(5・10)式の1kgについての基準蒸發量を蒸發係數ともいふ。

單位傳熱面の蒸發 傳熱面1m²につき1時間に蒸發する量を實際蒸發率といひ、これによつて傳熱面の性能を判断することができる。

$$\text{實際蒸發率} = \frac{\text{全蒸發量(kg/h)}}{\text{總傳熱面積(m}^2\text{)}}$$

實際蒸發率に蒸發係數を掛けると傳熱面の基準蒸發率になる。

(2)燃焼率 火格子1m²につき1時間に燃焼する石炭の量を燃焼率といひ、燃焼率と火格子全面積との積によつて、爐内に1時間に發生する全熱量を計算することができる。

第5・2表 傳熱面の基準蒸發率

罐の形式	基準蒸發率 (kg/m ² h)
縦 罐	10 ~ 15
コルニシ罐	15 ~ 20
ランカシヤ罐	17 ~ 30
機關車罐	40 ~ 60
船用圓罐	25 ~ 30
水管罐	30 ~ 60

燃焼率は蒸気罐の種類・燃焼法・通風力及び石炭の種類などによつて違ふ。

第5.3表 燃焼率 (1時間 1m² 當り kg)

通風	罐	コルニシ ランカシヤ罐	船用圓罐	水管罐	機關車罐
自然通風	50~75	75~100		100~125	
人工通風			100~200	150~250	400~600

(3)傳熱面積・火格子面積

火格子上で燃焼する石炭の量の多い蒸気罐では、傳熱面積を廣くとつて發生する熱の大部分を吸收する必要がある。そのために傳熱面積と火格子面積との比は、蒸気罐の種類によつて大體きまつてゐる。

第5.4表

罐の形式	傳熱面積/火格子面積
豎 罐	10 ~ 15
焰管式圓罐	25 ~ 35
船用圓罐	30 ~ 40
機關車罐	40 ~ 80
水管罐	40 ~ 60

4. 蒸気罐の効率

1時間に使用した燃料の總發熱量と、蒸気發生のため有効

第5.5表 蒸気罐の効率

罐の形式	効 率
豎 罐	0.40 ~ 0.50
焰管式圓罐	0.50 ~ 0.75
船用圓罐	0.60 ~ 0.72
機關車罐	0.55 ~ 0.72
水管罐	0.58 ~ 0.72

に利用された全熱量との比を蒸気罐の効率といふ。

5. 蒸気の利用

簡単に熱の運搬や移動ができるものは、電氣と石炭ガス及び蒸気である。特に

蒸気は任意の場所で石炭や重油などの燃料を燃して得た多量

の熱を比較的低い温度で管によつて自由に目的の所へ運搬して動力を發生させ、又は各種の加熱に用ひることができて便利である。特に加熱の際はガスや電氣と違ひ、附近のものに發火させるほど温度が高くなく、又一般工業には低い温度で加熱することが多いので用途が廣い。

第6. 水 力

1. 水力の利用と水力發電所

水の流れを利用して動力を得ることは極めて古い時代から行なはれてゐる。これに使はれる機械を水車といふ。しかもとの水車は木製で、装置も極めて簡單なものであつた。随つて出力も回轉數も小さく、多くは農村の手助けとして^{ミナリ}靱磨^{ミナリ}米搗のほか製材などに利用したに過ぎなかつたが、今では山間の河川や瀑布などを利用して大規模の水車を仕掛けて發電機を運轉し、電力を起して大都會へ送り各種の工業に利用するに至つた。即ち大都會では電燈を點じ電車を動かし、工場では電動機を運轉して物を生産してゐる。最近では鐵道の電化が次第に普及され、工業に文化に重大な關係をもつやうになつた。

わが國は水力の豊富な國であるから、水力事業が益々盛んとなつて電力が安價に得られるやうになつてからは、製鋼・冶金・化學工業などに利用してゐる。たとへばアルミニウムの製鍊などにも非常に電力が必要である。又電力によつて發

生した電気弧光で空気中の窒素を固定し、窒素肥料を製する。しかし冶金や製錬又は化学工業などに水力電気を使ふ場合には鐵塔や電線を架設して電力を山間から遠く離れた都會へ送る必要はない。水力電気を發生する場所に冶金工場や化学工場を建設して、そこで電力を費して製錬を行なひ、製品となつたものを工場から都會へ送る方が經濟的である。随つて最近では水力の豊富な地點へ工場を移轉する傾向が多くなつてきた。

2. わが國の水力

明治23年に足尾銅山が松木川の上流の水源を利用して發電し、自家用として使用したのが水力發電の初めで、一般供給用としては同25年に京都市が琵琶湖の疏水工事を起して、電力を京都の電燈・電力に供給したのが最初である。水力發電が發展するやうになつたのはその頃からで、又交流理論の研究も進められて、長距離送電が經濟的に可能となつた。同40年始めて當時の東京電燈會社が山梨縣の桂川の水源を利用して發電し、電壓を5,000Vにして約80km離れた東京へ遠距離の電力輸送に成功してから、水力發電は實に長足な進歩を遂げ、その後續いて各地の水力地點が開發された。そして大正年間となつてからは、實に火力發電を壓倒して現在の水力發電全盛時代を招來した。

今日の火力發電は、燃料の節約や建設費の低減などの技術的改良が相當に進歩したので採算上非常に有利となり、水力

發電に對抗してゐる。けれども火力發電では常に多大な燃料を消費するのに反し、水力發電では全く無償で得られる天然の恩恵を利用するのであるから、結局現在の火力發電は水力利用上の効率を高めるための補給用として認められてゐるに過ぎない。

水量の豊富な河川としては、信濃川を始め阿賀野川・木曾川・利根川・天龍川・黒部川などがある。

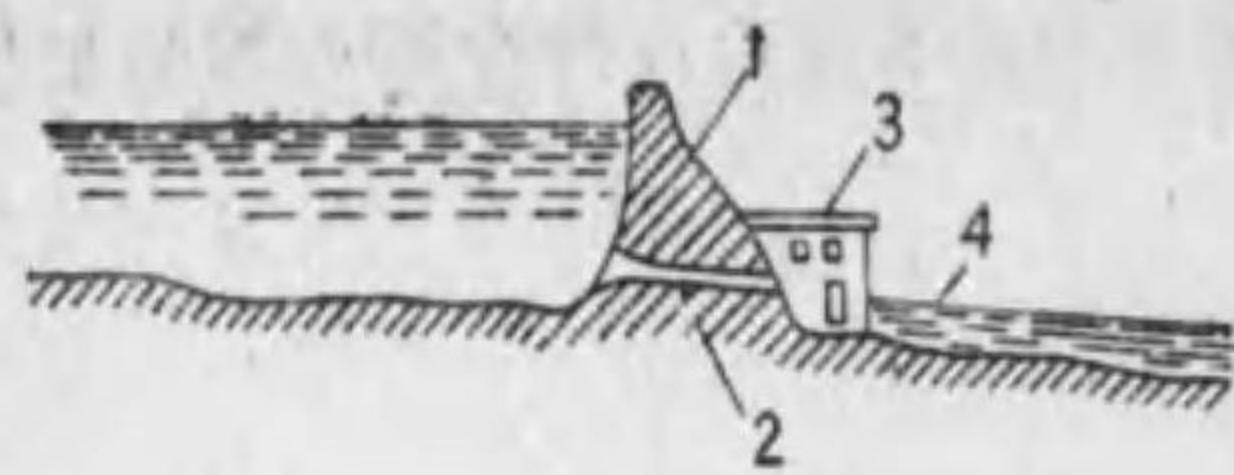
水車1臺の出力も大正の末頃までは1,000HP程度であつたが、昭和にはいつてからは2,000~3,000HP級のものが製作され、最近では1臺で優に10,000HPを超えるものさへ製作できるやうになつた。

3. 落差の形成

水力を利用して水車を運轉するためには、一定の水量が絶えず或る高さから落下してゐることが必要である。この水の落ちる高さを落差といふことは前に學んだ。瀧などを利用する場合は比較的容易に落差が得られるが、一般には天然の地形に種々な人工設備を施さなければならない。その方式に大體2種ある。第一は水路式といひ、河川の上流などで比較的急な流れの場所に行なはれる法である(第6・1圖)。第二は堰堤式といひ、河



第6・1圖 水路による落差の形成
①堰堤 ②取水口 ③水路 ④水櫃 ⑤水壓管 ⑥水車室 ⑦放水路 ⑧本流との合流點



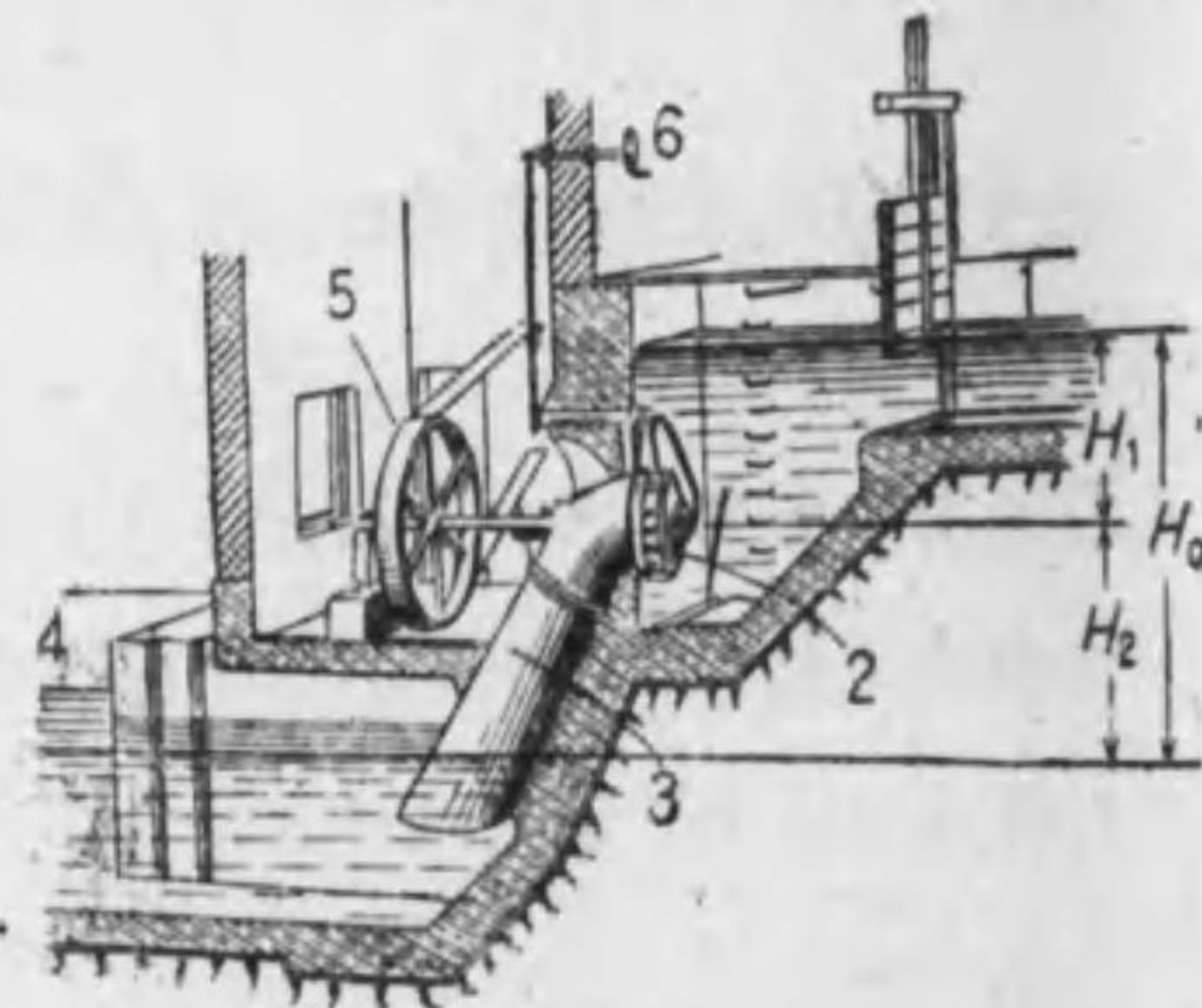
第 6.2 圖 河川の下流に於ける落差の形成
①堰堤 ②水圧管 ③水車室 ④放水路

川の下流などの勾配の緩やかな場所に適する方法である(第6.2圖)。又落差の極めて低い場所には第6.3圖の方法にする。

(考察) 1. 附近の発電所をよく観察して、どの方法が用いられてゐるか調べてみよ。

4. 有効落差

第6.1圖のやうな水路式の水力設備では、取水口②と放水路の出口⑧との兩地點の高さの差を自然落差といふ。そしてこの落差は全部が有効に水車に働くものではなく、このうちから水路や水圧管内の損失をすべて差し引いた残りが水車に有効に作用する。これを有効落差といふ。

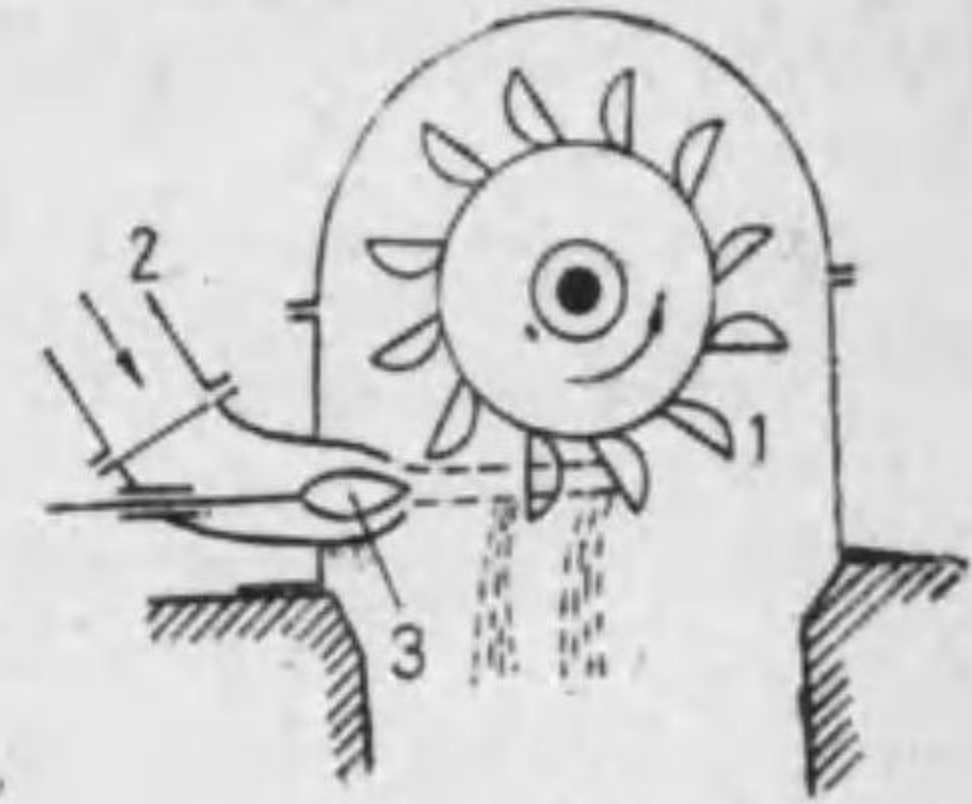


第 6.3 圖 露出型水車
①上水路 ②水車 ③吸出管 ④放水路
⑤ベルト車 ⑥水量調節用ハンドル

第6.2圖のやうな堰堤式の場合、又は第6.3圖のやうな場合には、堰堤の上水面と水車室直下の水面との水位の差 H_0 を有効落差と考へてよい。

5. 現今の水車

今日の水力発電所に使つてゐる水車は科學的の理論を基礎として設計・製作されたものである。農村などで使つてゐる木製の水車では、水車の羽根車にはいつた水の重量で車を回轉し、



第 6.4 圖
①羽根車 ②水圧管
③針弁

羽根と水との間には少しも關係した運動が行なはれない。このやうな水車を重力水車ともいつてゐる。しかし現今の科學的に設計された水車では、羽根にはいつた水は羽

根に沿つて關係運動をなし、水が羽根に沿つて流れる間にその速度と運動の方向とが變り、水のもつてゐる速度と壓力のエネルギーとを利用して羽根車を廻すやうに考案してある。

現今の水車には次の三つがある。

1. ベルトン水車

高い落差に用ひる水車で第6.4圖はその主要部である。羽根車①とは第6.5圖のやうなバケツを車盤の周圍に取り附けたものである。

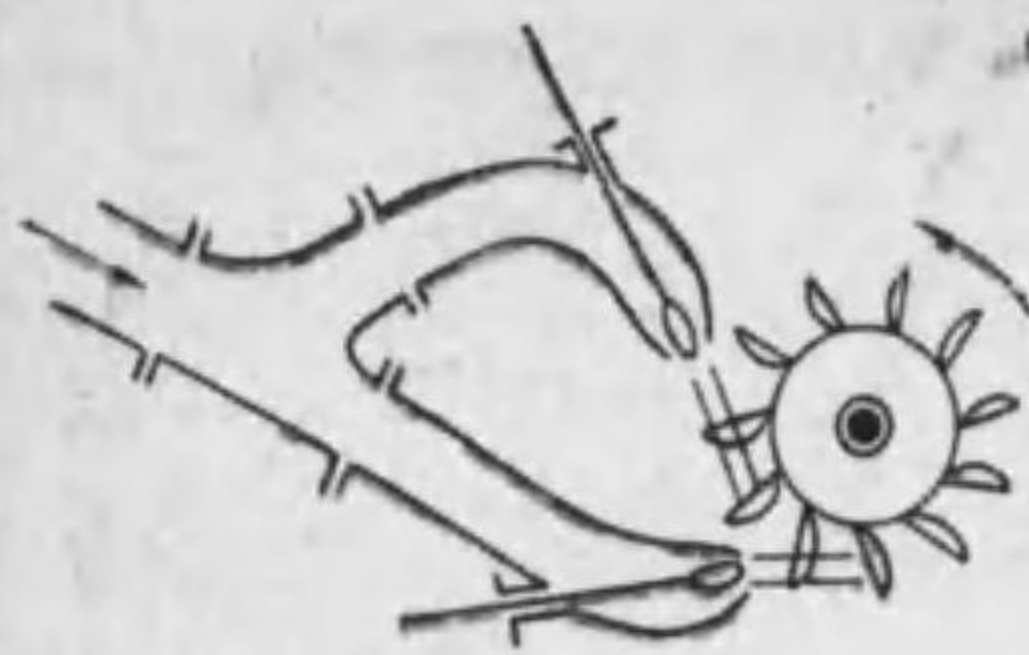


第 6.5 圖
ベルトン水車のバケツ

ノズルは墳水管のことで、これから出る噴射水はバケツの中央に衝擊し、左右に分れて流れ出る。ノズルの内部には針弁③があ

つてこれが前後に働くとノズルの出口の面積が變るから噴射水の量が調節される。

この水車は一般に高い落差に適する。容量の小さなものは



第6.6圖

70~80mの落差にも用ひられるが、大容量になると200~300m以上が普通である。

使用水量が多くなると水圧管の先端を分けてノズルを2本とし、第6.6圖のやうに1箇の羽根車に2本の噴射水を作用させる。

第6.7圖は噴射水がバケツに衝突してから流れ去るまでを示す。 v_1 は水の速度、 u はバケツの速度、 θ_2 は噴射水が方向を變へる角度である。

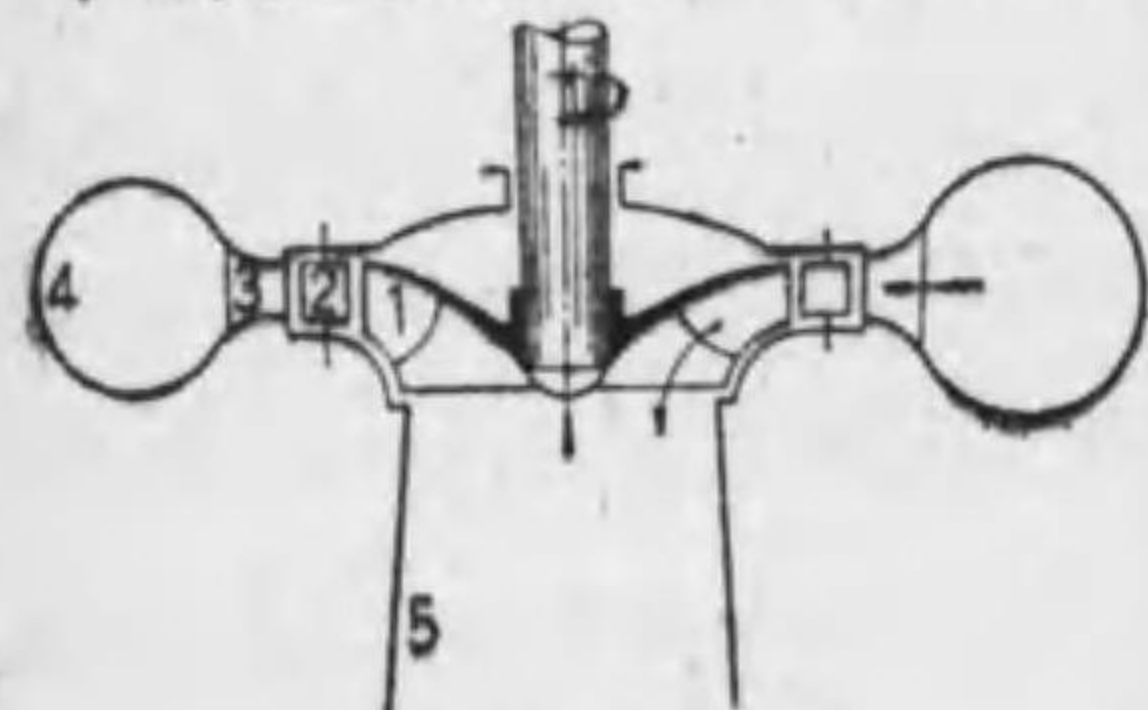
(考察) 2. バケツの速度を變へると羽根車の受ける動力もまた變る。そのわけを考へてみよ。



第6.7圖

2. フランス水車

中程度の落差に用ひる水車で第6.8圖はその主要部である。



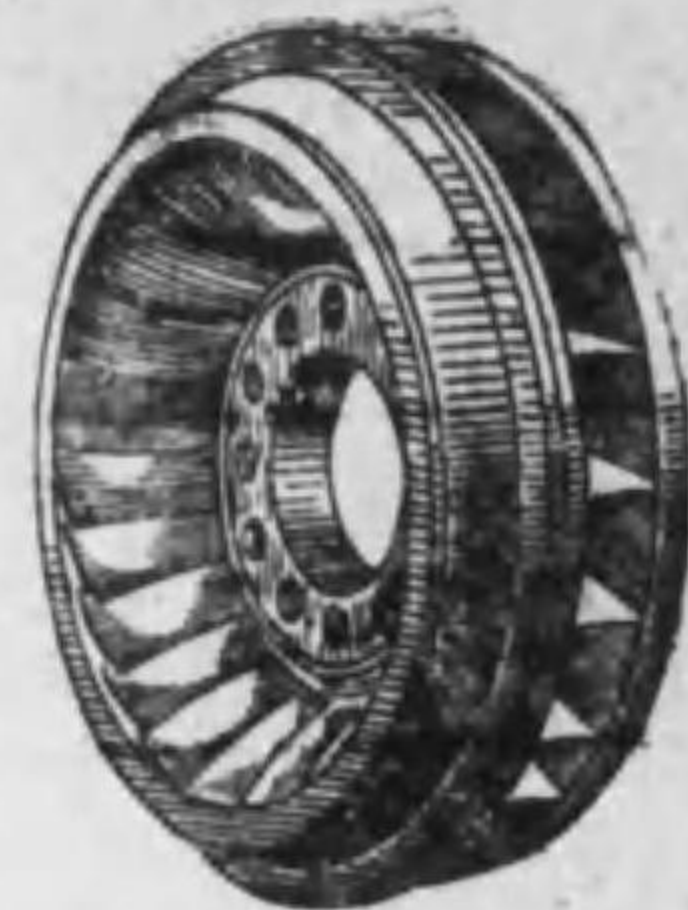
第6.8圖

①羽根車 ②案内羽根 ③速度環 ④渦形室 ⑤吸出管

形式によつては③の速度環と④の渦形室とが省略されることもある(たとへば第6.8圖の場合)。羽根車①の形はペルトン水車とは全く違ひ、第6.9圖のやうな曲面の羽根をもつた車である。水は羽根車の外周から充滿し

て流れ込み、羽根に動力を與へて中心部に集り吸出管⑤を経て放水路へ流れる。

案内羽根②は羽根車の外周に排列されてゐて、第6.11圖のやうに案内羽根の開閉によつて羽根車に流れ込む水量を調節する。



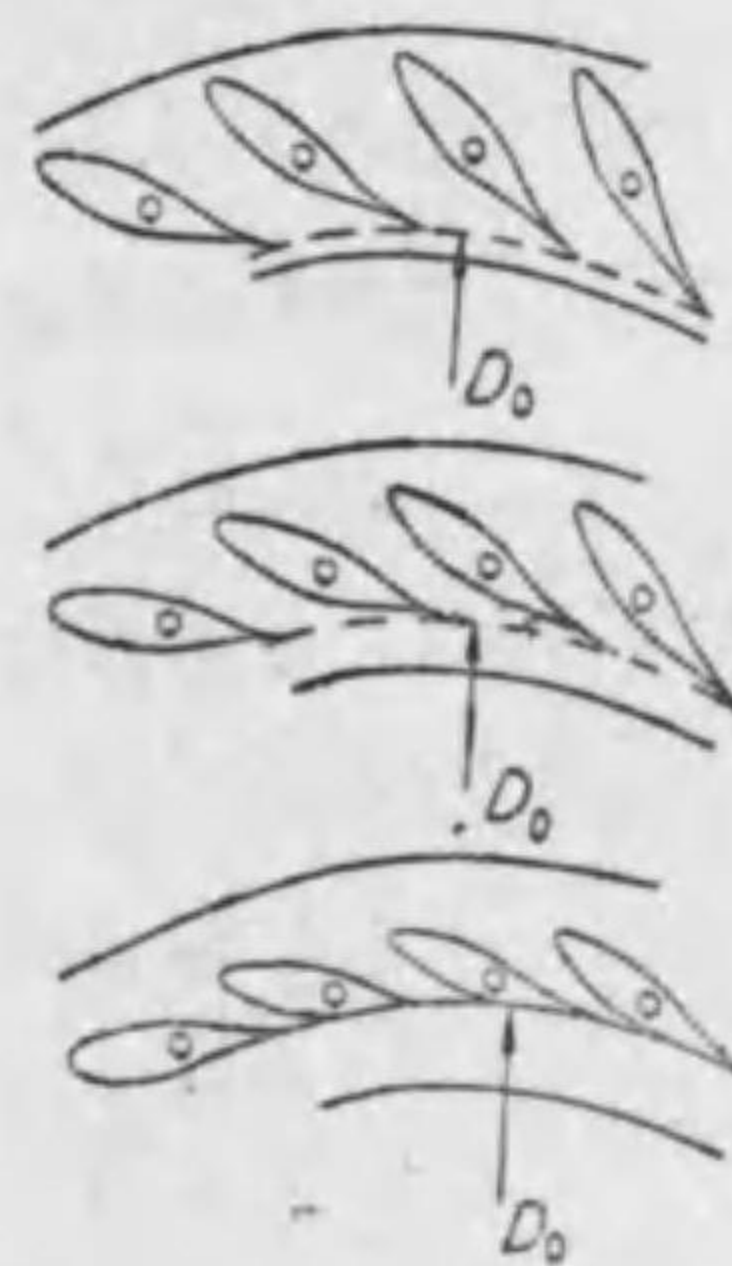
第6.9圖 フランス水車の羽根車



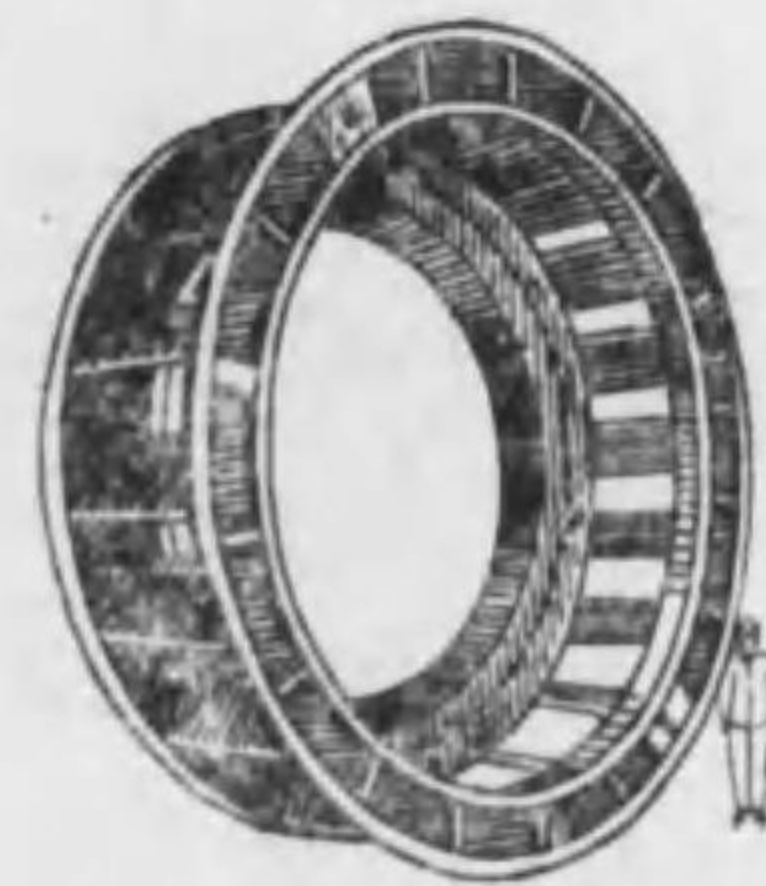
第6.10圖 フランス水車の案内羽根

速度環③は更に案内羽根の外周にある圓形の枠である(第6.12圖)。渦形室④は鑄鐵・鑄鋼・鐵板・コンクリートなどで作る(第6.13圖)。

吸出管⑤は羽根車の出口に接続される管で、鐵板又はコンクリートで作り、下端は放水路の中に浸つてゐる。そのために水車の放水路面と鉛直高が有効に水車に作用するといふ利益がある。



第6.11圖 案内羽根の開閉關係



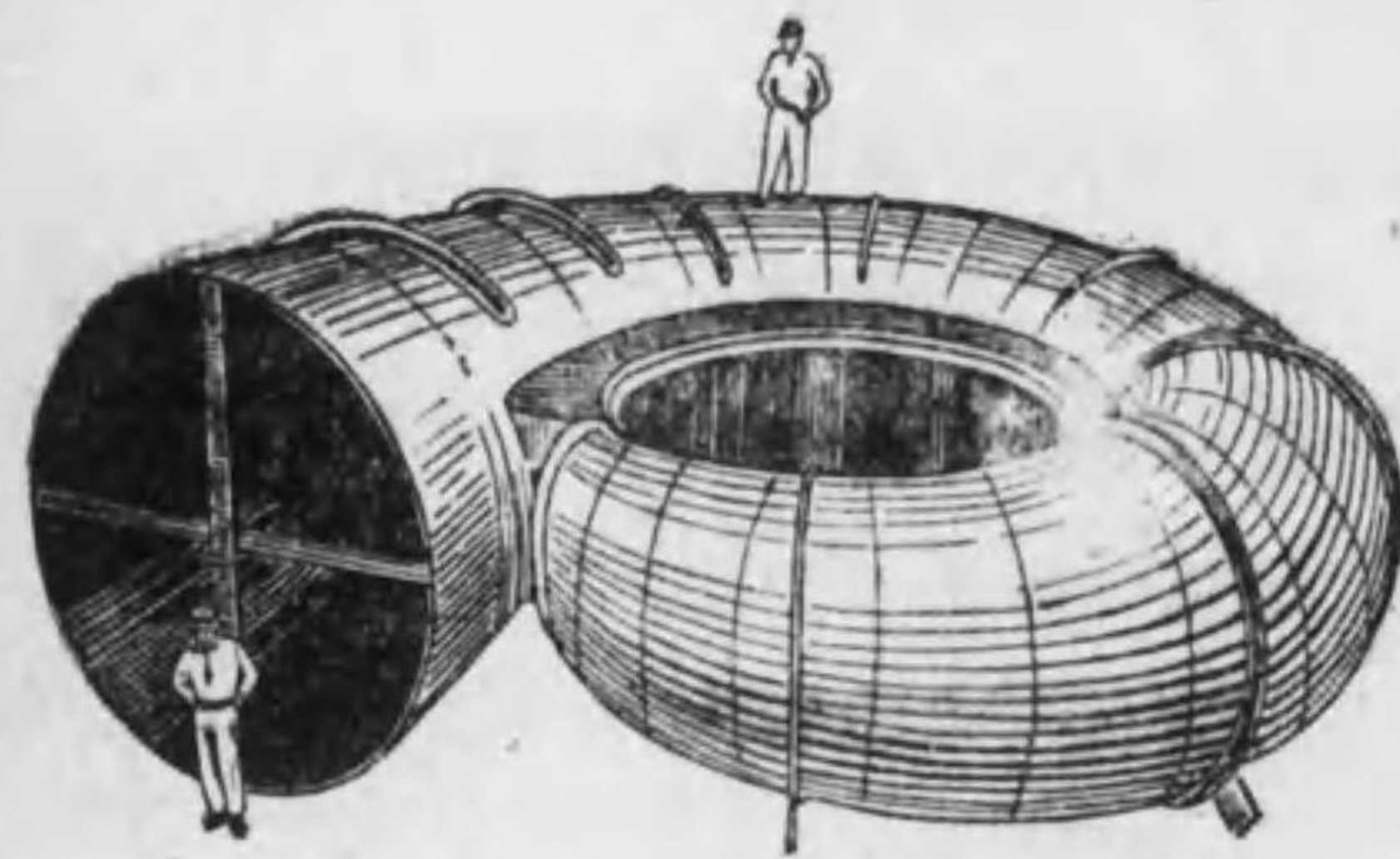
第6.12圖 速度環

フランス水車は落差が最低10m

ぐらゐから、最高300mにも及ぶ極めて廣範圍に採用される水車で、わが國の水力發電所の約80%はこの水車

である。この形式と落差との関係は次のやうである。

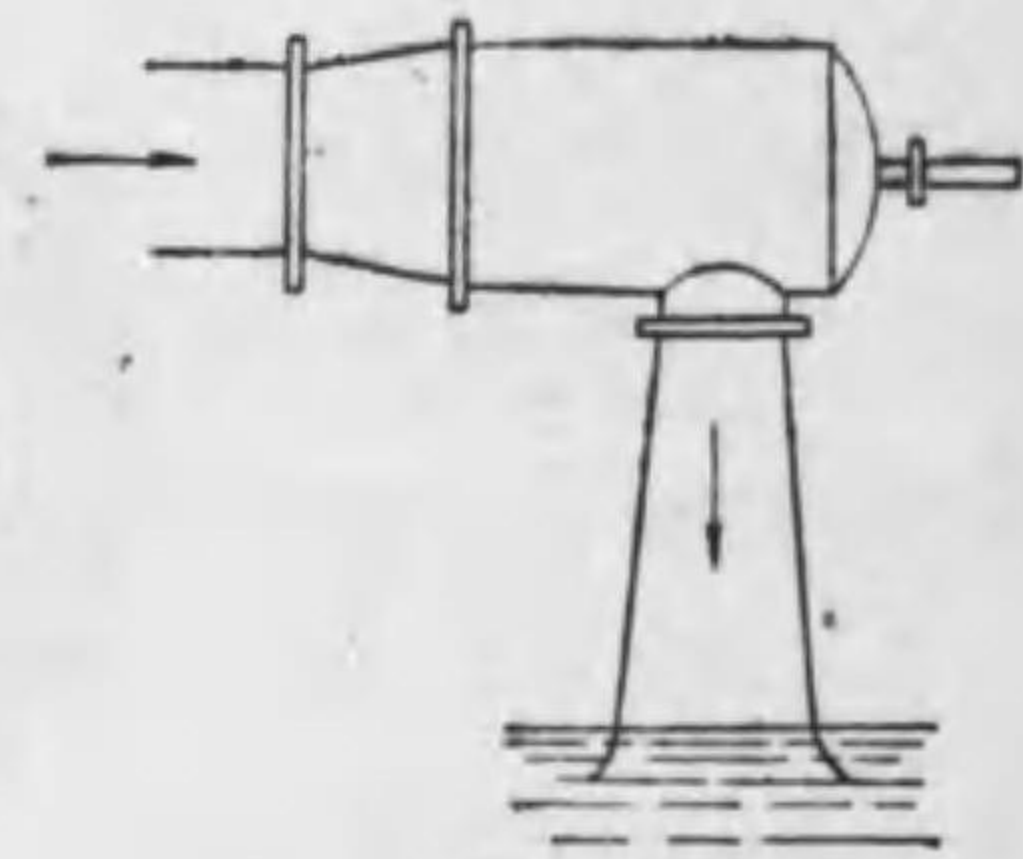
型	渦 卷 型				露 出 型
	鋼 銅	鐵 鋼	鋼 板	コンクリート	
洞	鋼 銅	鐵 鋼	鋼 板	コンクリート	鋼 板
落差 (m)	300~80	150~15	100~15	15以下	30~5
					なし
					10以下



第 6・13 圖 鐵板製の渦形室

角度を以つて v_1 の方向へ流れ込み、出る時には α_2 の角度で v_2 の方向へ流れ出る。 w_1 と w_2 は v_1 及び v_2 を對角線とする平行四邊形の 1 邊の長さに當るもので、羽根に沿つて流れる水の速度になる。

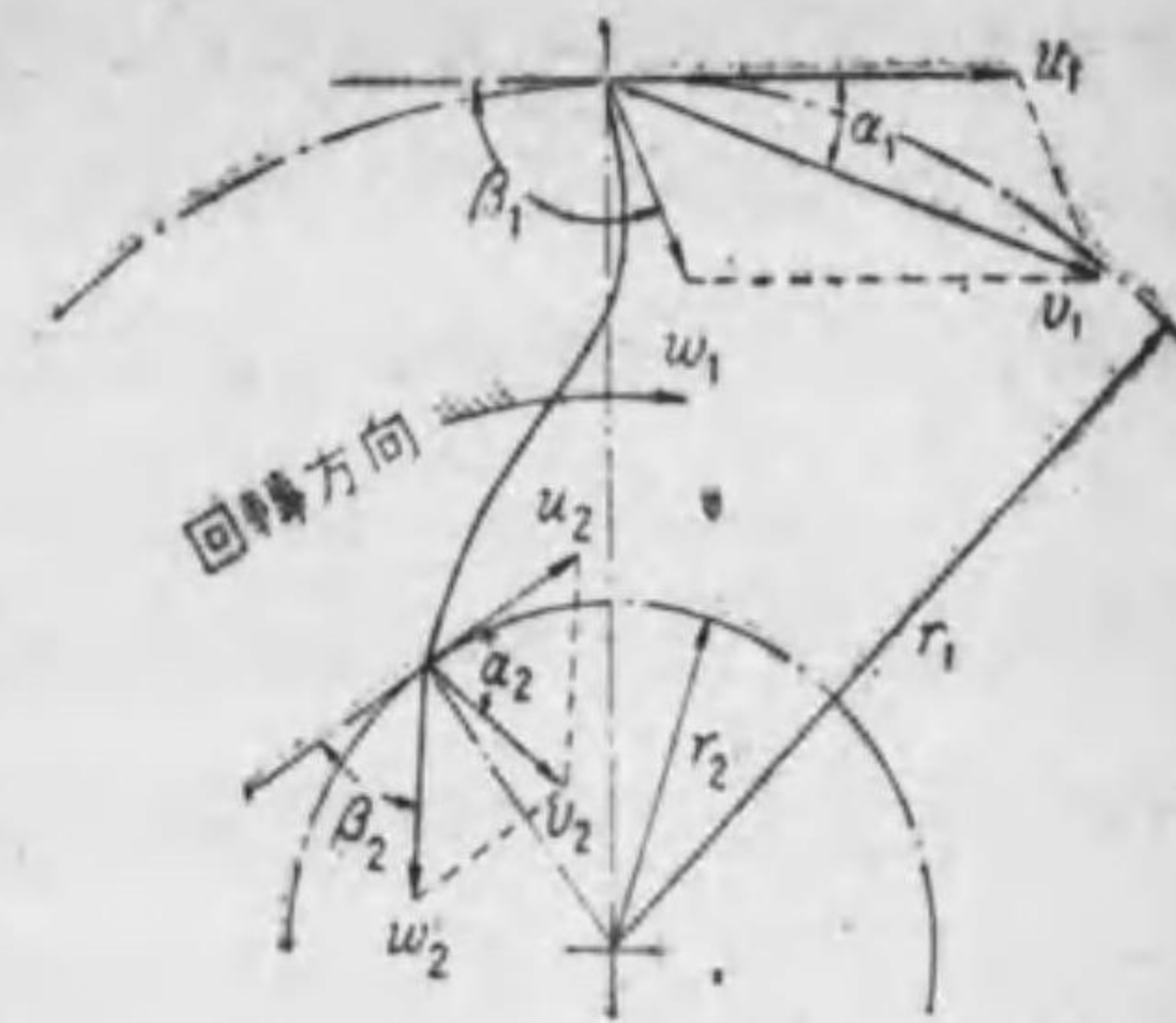
このやうにフランシス水車は、水が v_1 の方向へ流れ込むものが v_2 の方向へ流れ出る時の反動で羽根車を廻すから、反動水車ともいふ。そして羽根車にはいる水は速度と共に壓力をもつて



第 6・14 圖 縦洞型水車

第 6・15 圖は羽根に水がはいる時と出る時の速度の關係を示す。即ち水は羽根の圓周方向の速度 u_1 と α_1 の

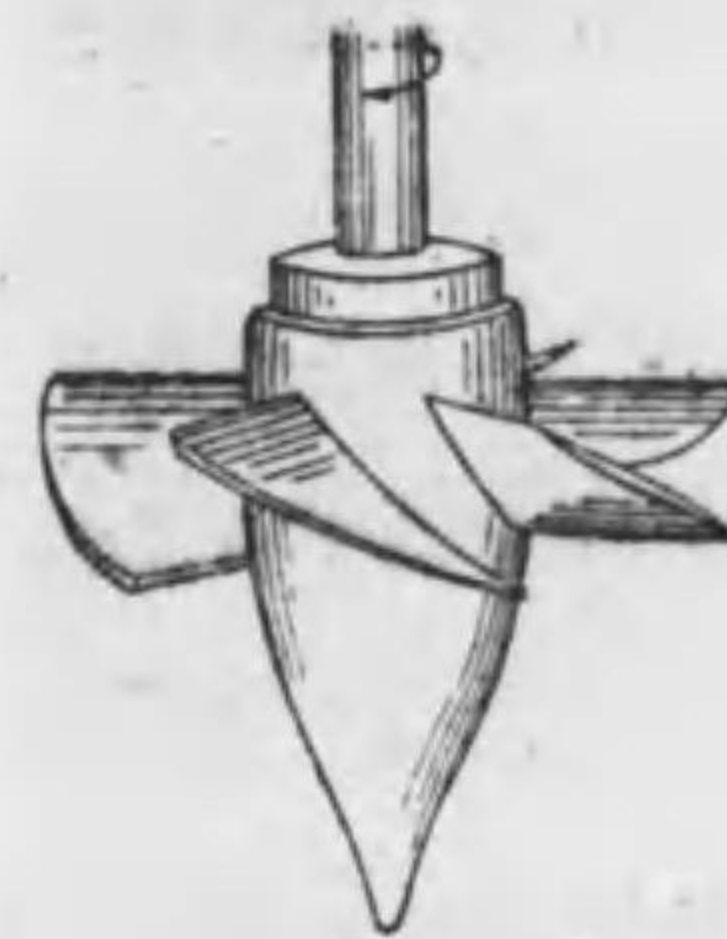
る。ペルトン水車では羽根車にはいる水は大氣中でパケツに衝突するから、速度をもつてゐるが壓力はもつてゐない。随つてペルトン水車を衝動水車ともいふ。



第 6・15 圖

3. プロペラ水車

低い落差に用ひる水車で羽根車は船の推進器に似てゐる。羽根数は 2~8 枚であるが、4 枚と 6 枚のものが最も多い。單にプロペラ水車といへば、一般に羽根がボスに固定された

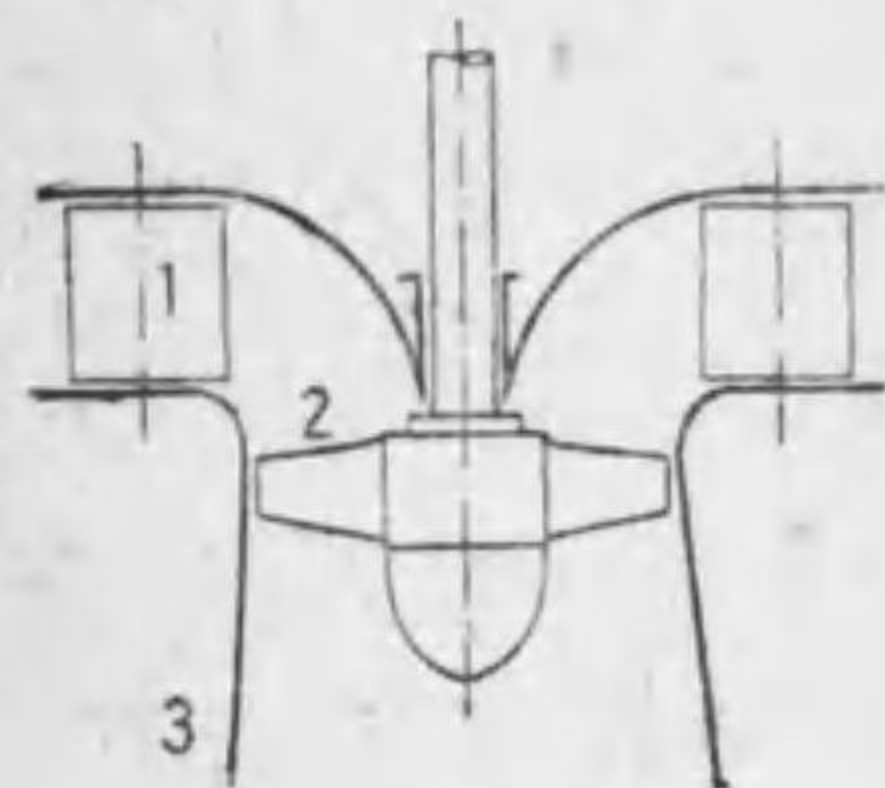


第 6・16 圖
プロペラ水車の羽根車

もののことで、特に羽根がボスに對して動くことのできるやうにつくられたものをカプラン水車といふ。又この水車もフランシス水車と同様に案内羽根や渦卷の洞をもつてをり、違ふのは唯羽根車の形だけである。そしてカプラン水車では、案内羽根の角度が變るのに應じて、羽根車の羽根角度もまた自動的に變るやうに仕掛けてあるのが特徴である。これは水車に流れ込む水量が變つても水車の效率を低下させないためである。

プロペラ水車は低い落差で且つ水量が極めて豊富な場合に

適する。使用される落差は 30 m 以下の場合が多く、4~5 m の例も少なくない。水量は 1 秒間 300 m³ といふやうな大きな例もあり、随つて羽根車の直径が 7 m に達する大型機も製作さ



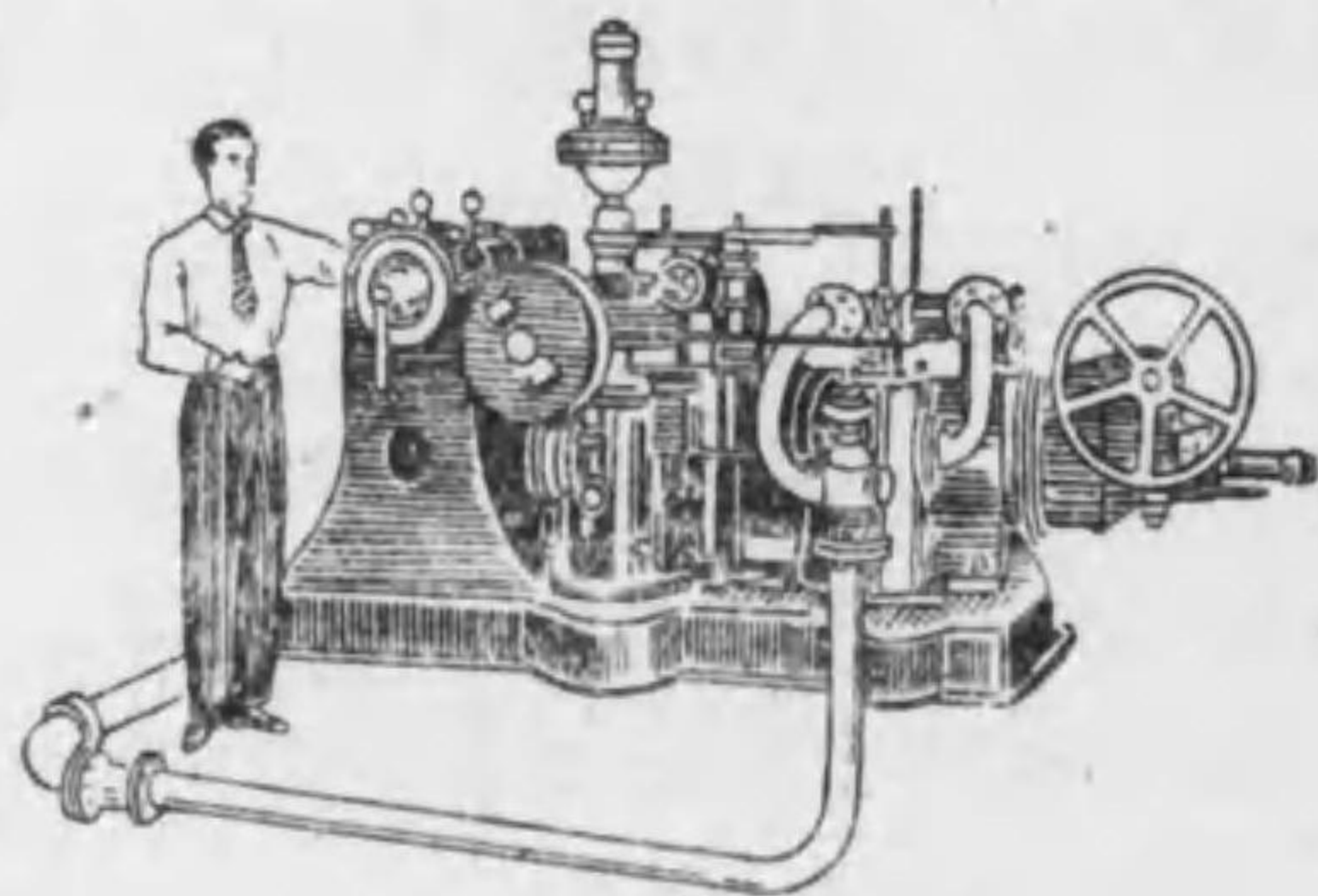
第 6・17 圖
①案内羽根 ②羽根車
③吸出管

れる。第 6・17 圖は案内羽根と羽根車との關係を示すもので、案内羽根①を出た水は直角に曲つてから羽根車②に作用し、吸出管③に流れ込む。

1. 調速機

水車にかかる負荷は常に一定ではなく、ときどき變化するのが普通である。負荷が變ればそれに従つて水車に送り込む水の量も調節しなければならない。さうしないと水車は一定の回轉數を保つことができなくなる。

發電機を直結する水車では、回轉數に不同があると電壓や周波數が變つてくるから、電力の使用者が不便を感ずるばか



第 6・18 圖 油壓式調速機

りでなく、送電上にも不都合を生ずる。随つて負荷が變つても常に一定の回轉數を保たせるやうに、水車には必ず調速機をつける。

調速機は針弁又は案内羽根に働いてこれを動かし自動的に水量を調節する。針弁や案内羽根を動かすには相當大きな力があるので、普通には油ポンプで油壓をつくり、これをシリンダの中のピストンに働かせ、それから針弁や案内羽根を動かすやうにしてある。このやうな装置を自動式油壓調速機といふ。

第 7. 送水設備

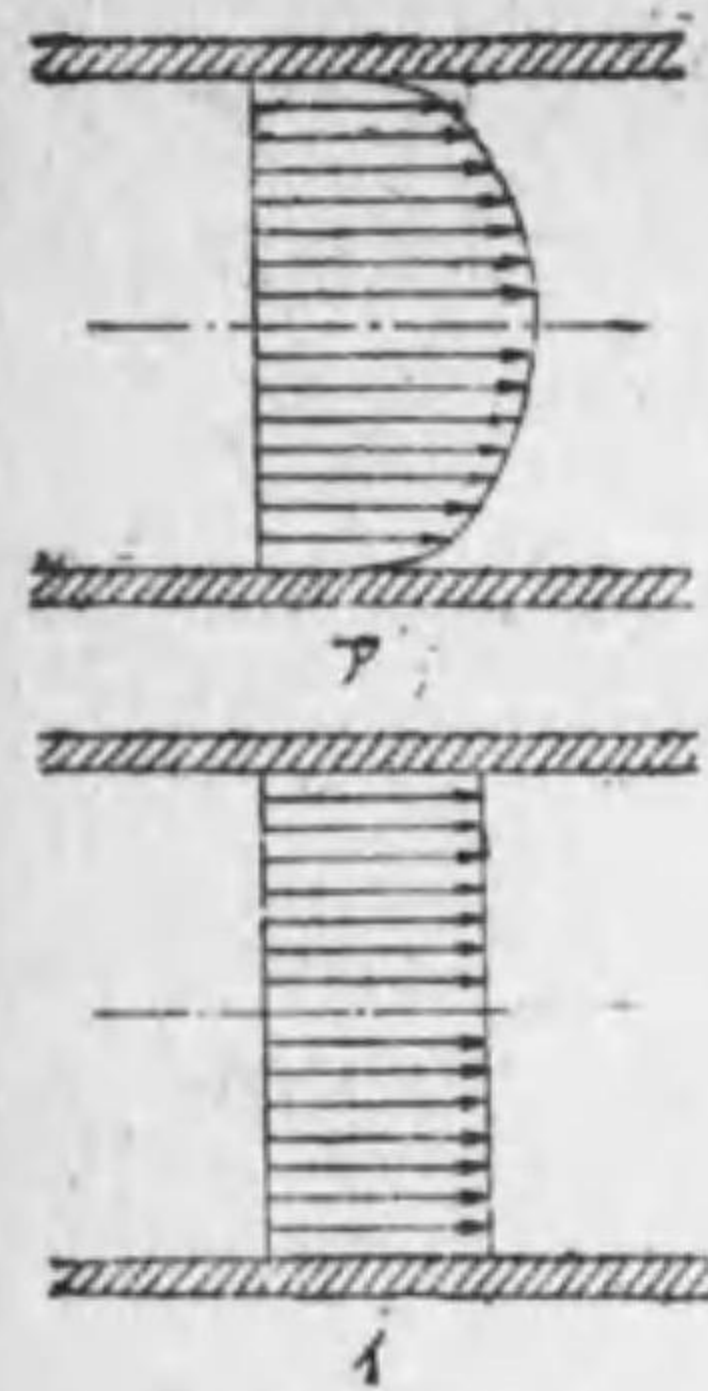
1. 管内の水の流れ

ポンプで水を送る際は多く管路を用ひる。ポンプには前に學んだピストンポンプのやうに往復運動によるものと、次に學ぶ羽根車の回轉によつて水を送り出す渦巻ポンプとがある。このほか特殊なポンプもあるが種類は極めて少い。

(考察) 1. 管路の中の水が流れる際の有様に就いて考へよ。これはポンプと關聯して極めて大切なことである。

管内を流れる水の量は管の斷面積と水の速度から計算できる。管の斷面積を A (m²)、水の速度を毎秒 v (m) とすれば、1 秒間に管内を通過する水量 Q (m³) は次の式で示される。

$$Q = Av \dots\dots\dots (7 \cdot 1)$$



第7.1圖

但し管内の水の速度分布の有様は、實測によると第7.1圖①のやうに壁管の附近では小さく、管の中央附近では大きい。故に(7.1)式の v は第7.1圖②のやうに平均されたと考へた水の水の速度である。もし管の途中が第7.2圖のやうに太い細いがあつたとし、①②③の各點の面積をそれぞれ A_1, A_2, A_3 、水の水の速度をそれぞれ v_1, v_2, v_3 とすれば次の關係が成りたつ。

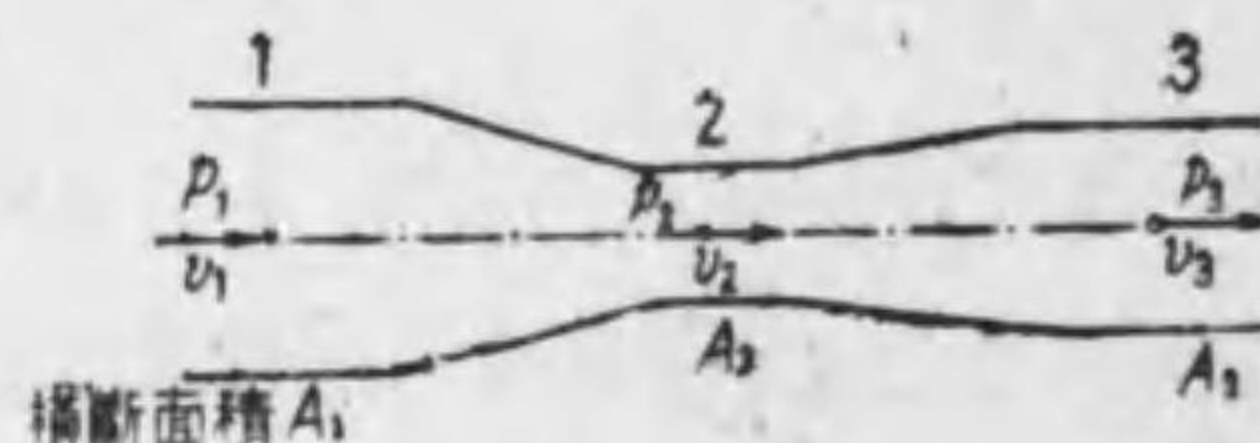
$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3 \dots \dots \dots (7.2)$$

(考察) 2. もしこの關係が成りたない場合、たとへば $A_1 v_1 > A_2 v_2$ とすれば、第7.2圖①の斷面を流れた水はどうなるか。又 $A_1 v_1 < A_2 v_2$ の場合はどうか。

(考察) 3. 管路の途中を細くしておくと、その部分では水の速度が大きくなることを考へよ。たとへば面積を1/5にすると速度は何倍になるか。

2. 管内の流速と水壓との關係

第7.2圖のやうに太い部分や細い部分のある管が水平に置いてあり、水が充滿して流れてゐる場合を考へてみよう。



第7.2圖

前と同様に①②③の各

點の水の速度が v_1, v_2, v_3 、その時の各點の水の壓力が p_1, p_2, p_3 であつたとし、速度の單位は m/s, 壓力の單位は kg/cm²とする。

水力の理論によれば、速度 v_1 で流れる水1kgがもつエネルギーは $v_1^2/2g$ で示され、壓力 p_1 の水1kgについてのエネルギーは p_1/γ で表される。但し g は重力の加速度で9.8 m/s/s, γ は單位體積の水の重量で1000 kg/m³である。壓力と速度の關係を次の實驗から考へてみよう。

軟かいゴム管に水を通した場合、出口を細くすると管中の流水の量が減る。随つて流速が遅くなり、この時減つた速度に相當するだけの壓力が増して管は膨らむ。このことはエネルギー保存の法則から説明することができる。即ち水平に置かれた管の中を水が通る場合、水のもつてゐるエネルギーは速度と壓力とであつて、そのエネルギーの和は常に一定である。故に第7.2圖①の點でも②の點でもその和は常に等しいはずであるから、次の關係が成りたつ。

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{p_3}{\gamma} \dots \dots \dots (7.3)$$

これによると管の太い部分①と細い部分②とでは、後者の方が水の速度が大きいから水壓は小さくなることがわかる。即ち管の途中を細くして管内の水の速度を大きくするほど水壓は下る。この原理は流體の力學上重要なものである(管が水平でない場合には各點の高さを計算に加へなければならな

い).

(考察) 4. 川岸の近くにある物體は益、岸の方へ押されるわけを考へよ。

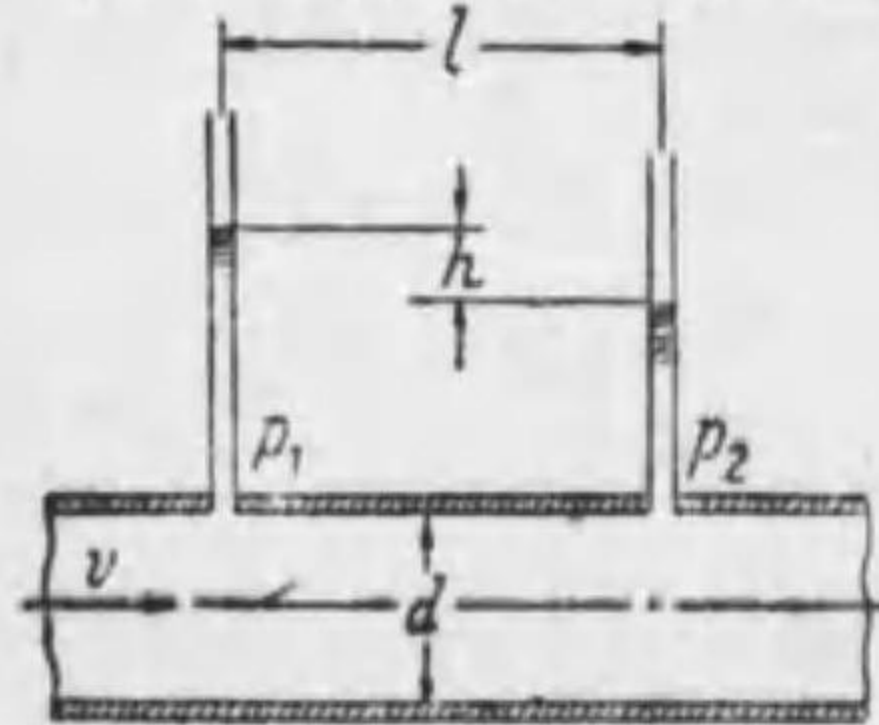
(考察) 5. 幅の狭い運河を大きな船が通る際、船が一方の岸に接近すると益、岸へ向かつて押されるわけを考へよ。

(考察) 6. 回轉しながら飛ぶ球はその道筋が曲線になるわけを考へてみよ。

(實驗) 吊り下げた2枚の紙の間に風を送ると、紙は兩方から接近して間隙が狭くなることを實驗せよ。

3. 管内を流れる水の抵抗

第7・3圖のやうに内径 d の變らない管を水平に置いて水を流した場合、距離 l をへだてた2點に就いて(7・3)式を適用してみる。この際管の斷面積はいづれも變らないのであるから v は v_2 に等しい。随つて理論上は p_1 もまた p_2 に等しいはず



第7・3圖

であるが、實際に實驗してみると第7・3圖のやうに、 p_2 は p_1 よりも幾分小さくなり、 $\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma} = h$ で示されるだけ下流の方が壓力が低い。この h は水が距離 l を流れる間に生じた摩擦

の抵抗と考へられ、随つて管内を流れる水の摩擦による抵抗は壓力の低くなる度合で表すことができる。

一般に固體に沿つて水が流れる場合、水の受ける摩擦抵抗

に就いては實驗上から次のことがいへる。

(ア)水と固體との接觸してゐる面積の廣さにやや正比例する。即ち同じ太さの管の場合ならば短かい管よりも長い管の方が抵抗力は大きい。

(イ)水の流れの速度のほぼ二乗に正比例して増す。即ち管内の流れの速度が2倍になると抵抗は4倍に増す。

(ウ)水と固體との接觸してゐる表面の粗滑によつて變る。ガラスのやうな滑らかな管内を流れるよりも、錆の多い鐵管の中を流れる場合の方が抵抗は大きい。

(エ)水の壓力の大小には關係しない。即ち管内を流れる水の壓力を増しても流れの受ける抵抗には關係しない。これらの事實を基礎として管内を流れる水の抵抗損 h を表すと次のやうになる。

$$h = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots \dots \dots (7 \cdot 4)$$

但し λ は管内壁の粗滑度によつて變る摩擦係數で、比較的新しい鑄鐵の管では 0.024 程度にとり、古い錆びた管では 0.03 内外にとる(直徑と長さの單位は m, 速度は m/s の場合である)。

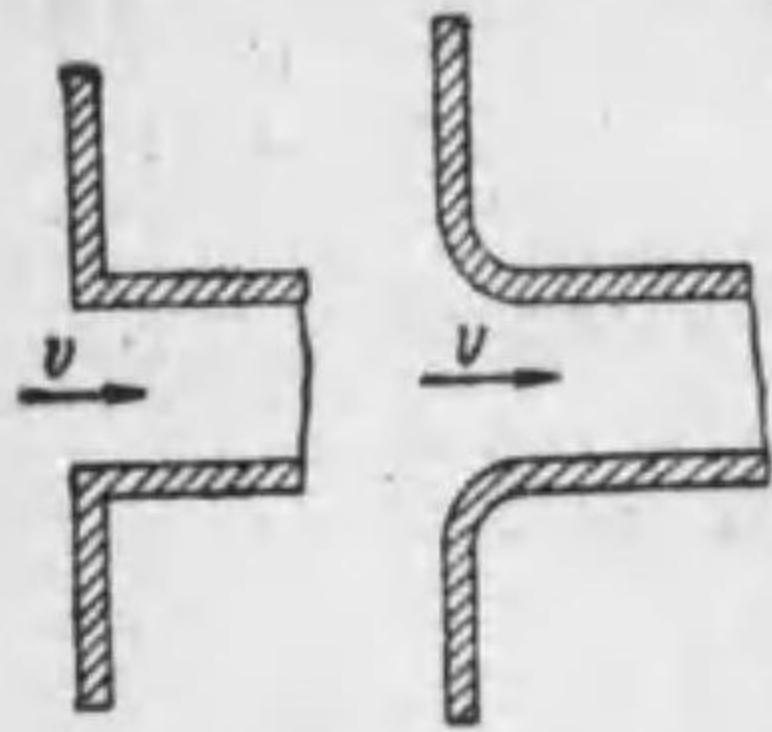
内徑 30 cm の管内を水の速度が 1 秒間 1 m で流れる場合、管の長さ 1000 m についての壓力の降下を計算してみよう(但し $\lambda = 0.024$ とする)。

(7・4)の公式から、

$$h = 0.024 \times \frac{1000}{0.3} \times \frac{1^2}{2 \times 9.8} = 4.1 \text{ (m)}$$



即ち抵抗による損失として水柱約 $\pm m$ の壓力降下が起る。
以上學んだところは太さの變らない真直ぐな管に就いての



抵抗損の計算であるが、實際には管路の曲りや太さの大小などがあるために更に複雑な計算式によらなくては正確な値が求められない。又管路の途中に種々な弁があつて、そのために流れが

第7・4圖 入口損失 幾らかでも妨げられるやうなことがあるとそのためにも抵抗損が起る。水槽などから管路へ流れ込む際の形も抵抗損に影響する。たとへば第7・4圖の㊸と㊹を比べれば㊹の方が遙かに抵抗は少い。

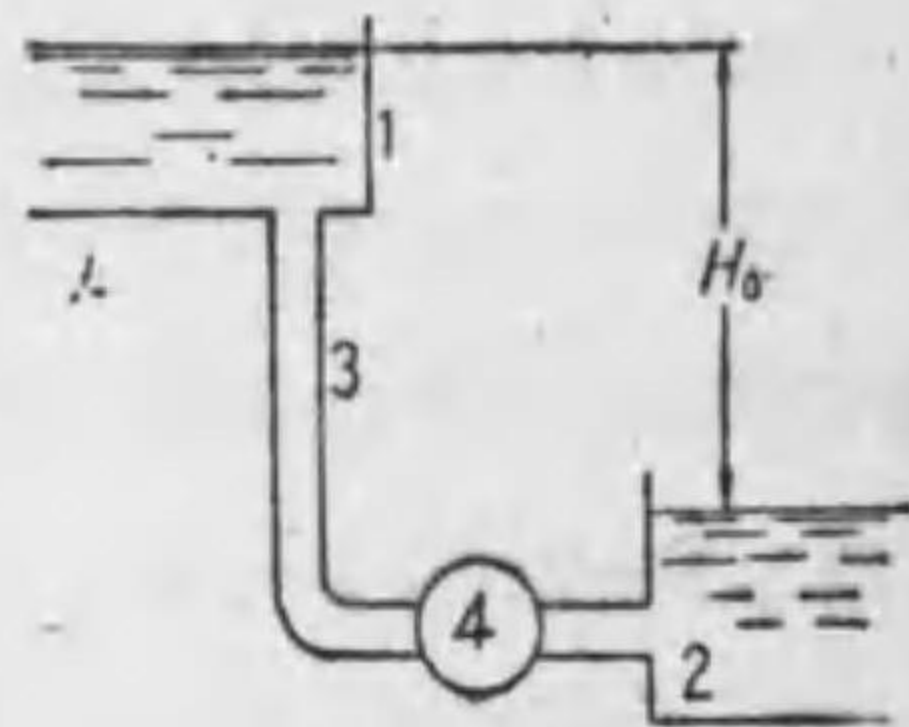
(考察) 7. 管路に送水する場合に抵抗を最も少くしようと思へばどんなことに注意すればよいか。

4. 管路で送られる動力

第7・5圖のやうに水槽①と②を管路③で結びつけ、管路の途中に機械④を設けた場合を考へてみよう。

④が水車であれば、水槽①の水が②へ落ちる際に車を廻して動力を發生し、④がポンプであれば、水槽②の水は①に押し上げられる。

水槽①及び②の兩水面間の鉛直高を H_0 とし、④が水車で



第7・5圖

る場合を考へると、 H_0 の落差が全部有効に水車に作用するものではない。前に學んだ管路内のすべての抵抗 h_i を、 H_0 から差し引いた残りの落差 $(H_0 - h_i)$ だけが有効に水車に働く。随つて管路を流れる水量を1秒間 $Q(m^3)$ とし、 H_0 の單位を m にとれば水車の發生する理論上の馬力は(1・1)式で學んだやうに、

$$\frac{1000 Q(H_0 - h_i)}{75} \text{ (HP)}$$

で示される。正味の發生馬力はこれへ更に水車の效率を掛けたものである。

次に㊹がポンプの場合を考へると(この場合には H_0 を實揚程といふ)、ポンプが水を H_0 だけ押し上げるためには、管抵抗の總和 h_i に打ち勝たなければならないので、結局ポンプは揚程 $(H_0 + h_i)$ に作用するものと考へることになる。 $(H_0 + h_i)$ をポンプの總揚程といふ。随つて水車の場合と同様に1秒間 $Q(m^3)$ の水を揚水するものとすれば、理論上の所要動力は次のやうである。

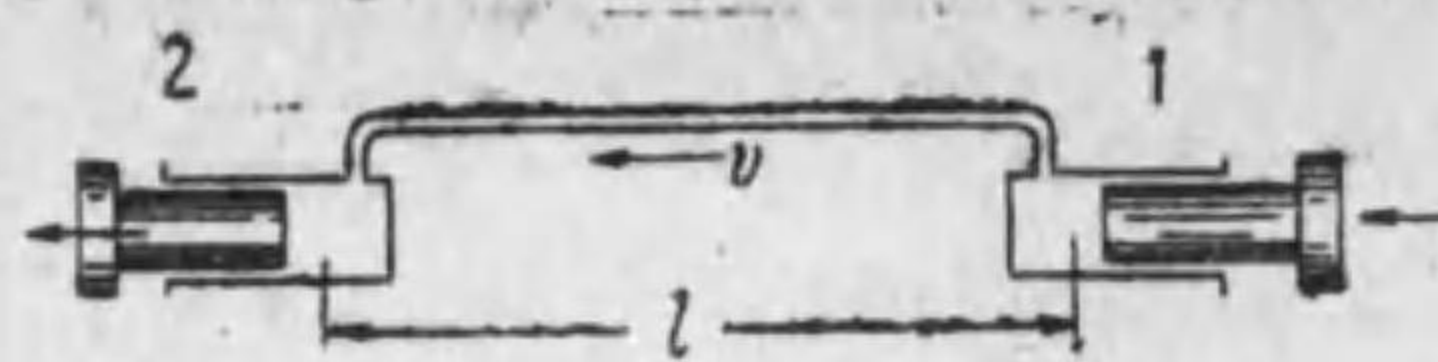
$$\frac{1000 Q(H_0 + h_i)}{75} \text{ (HP)}$$

正味の所要動力はこれを更にポンプの效率で割つたものである。

5. 水壓の傳達

ポンプで水壓をつくつて水壓機械に傳達する場合は、第3・1圖のやうに傳達管路が短かければ管内の摩擦抵抗を考へな

くてよいが、第7・6圖のやうに相當長い管路で壓力を傳へる



第7・6圖 長距離管路に於ける壓力の傳達

場合は、管内の摩擦抵抗を考へた方がよい。ポンプ①

の壓力を水柱 H (m), 水壓機械②に於ける壓力を水柱 H_p (m), 管路の長さを l (m), 内徑を d (m) 管内の水の速度を v (m/s) とすれば, (7・4) 式の h が管内の抵抗であるから, $H-h$ が H_p になるものとして考へて次の關係が成り立つ。

$$H_p = H - h = H - \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (7 \cdot 5)$$

$\frac{H_p}{H}$ の比を水壓傳達の效率といふ。即ち

$$\frac{H_p}{H} = 1 - \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g} \cdot \frac{1}{H} \dots\dots\dots (7 \cdot 6)$$

で示される。この式でわかるやうに效率は v が小さなほどよい。なほ前に學んだとほり、摩擦抵抗は流れの壓力の大小は殆ど無關係である。

6. 送水ポンプ

ポンプとは壓力の働きによつて液體を吸ひ上げ又は押し上げる機械である。普通にこれを往復ポンプ・渦巻ポンプ・回轉ポンプ・特殊ポンプに區別する。

(1) 渦巻ポンプ 羽根車の回轉によつて水に回轉運動を與へると、そのために水に遠心力が起つて壓力が生ずるポンプで、近頃工業用その他一般に使はれてゐるものの大部分は渦巻ボ

ンプである。現在では最高 1000 m までも揚水できるものがあり、送水量も 1 分間 1000 m³ に及ぶものが製作されてゐる。随つてポンプを運轉する電動機も、ポンプ1箇に對して 5000 HP 以上の動力を使つてゐる。たとへば鑛山の坑内排水・上水道や下水道の送水と排水・耕地の灌漑、或は消火・蒸氣罐の給水・船渠の排水・船舶内の揚水と排水のほか埋立工事・^{しゅんせつ} 浚渫工事・土木工事・揚水發電所・水壓機械の運轉などを始め、製紙用バルブ・糖汁・油類輸送などの製造工業に至るまで、あらゆる方面に利用の道が開かれてゐる。

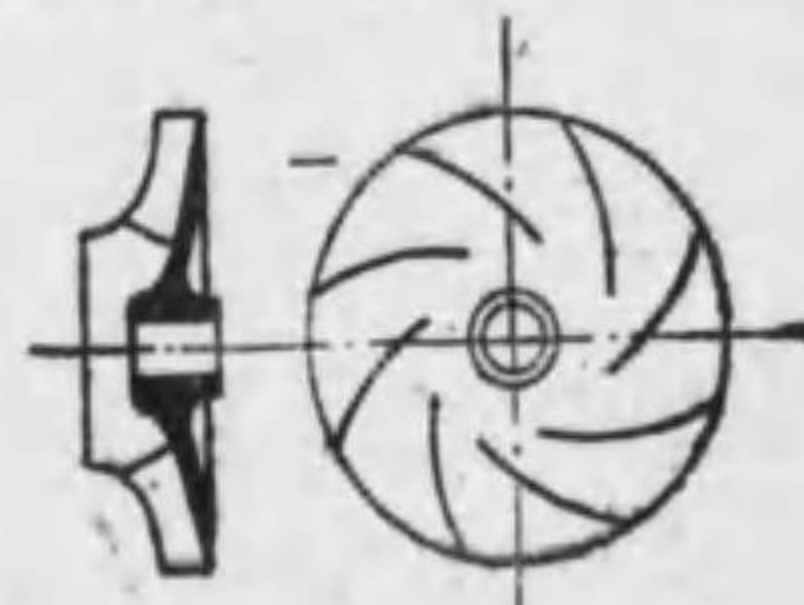
(2) 回轉ポンプ 齒車を用ひて送水するポンプで、潤滑油のやうな粘液を吸ひ上げる小容量のポンプに用ひられる。

(3) 特殊ポンプ 蒸氣の噴流によつて水を押し込むインゼクタ、蒸氣壓力を直接に水面に働かせて揚水するダルマポンプ、壓縮空氣を水に混ぜて揚水する氣泡ポンプ、流動水柱の衝擊作用を利用して揚水する水撃ポンプなどをいふ。

7. 渦巻ポンプの原理と構造

或る機械的な裝置で水に回轉を與へると遠心力が生じて壓力が発生する。この原理から考案されたものが渦巻ポンプで、随つてこれを遠心ポンプともいふ。

渦巻ポンプの主要部は羽根車である。フランス水車の羽根車と殆ど同じ形で、數枚の曲つた羽のある車である。軸心から水を吸ひ上げ、水が羽根の間



第7・7圖 渦巻ポンプの羽根車

を通る間に羽根の回転によつて水に遠心力が與へられ、羽根



第7・8圖 粘液用の羽根車

車の外周から高壓水となつて出る。羽根数は普通6~12枚であるが、粘液を取り扱ふもの、たとへば製紙用のパルプの輸送などに使ふものは、第7・8圖のやうに

2枚羽根とする。渦巻ポンプの初期には

開放型の羽根車を用ひたが、最近では水に土砂を含む場合、

又は低い場合に揚水するに過ぎない。

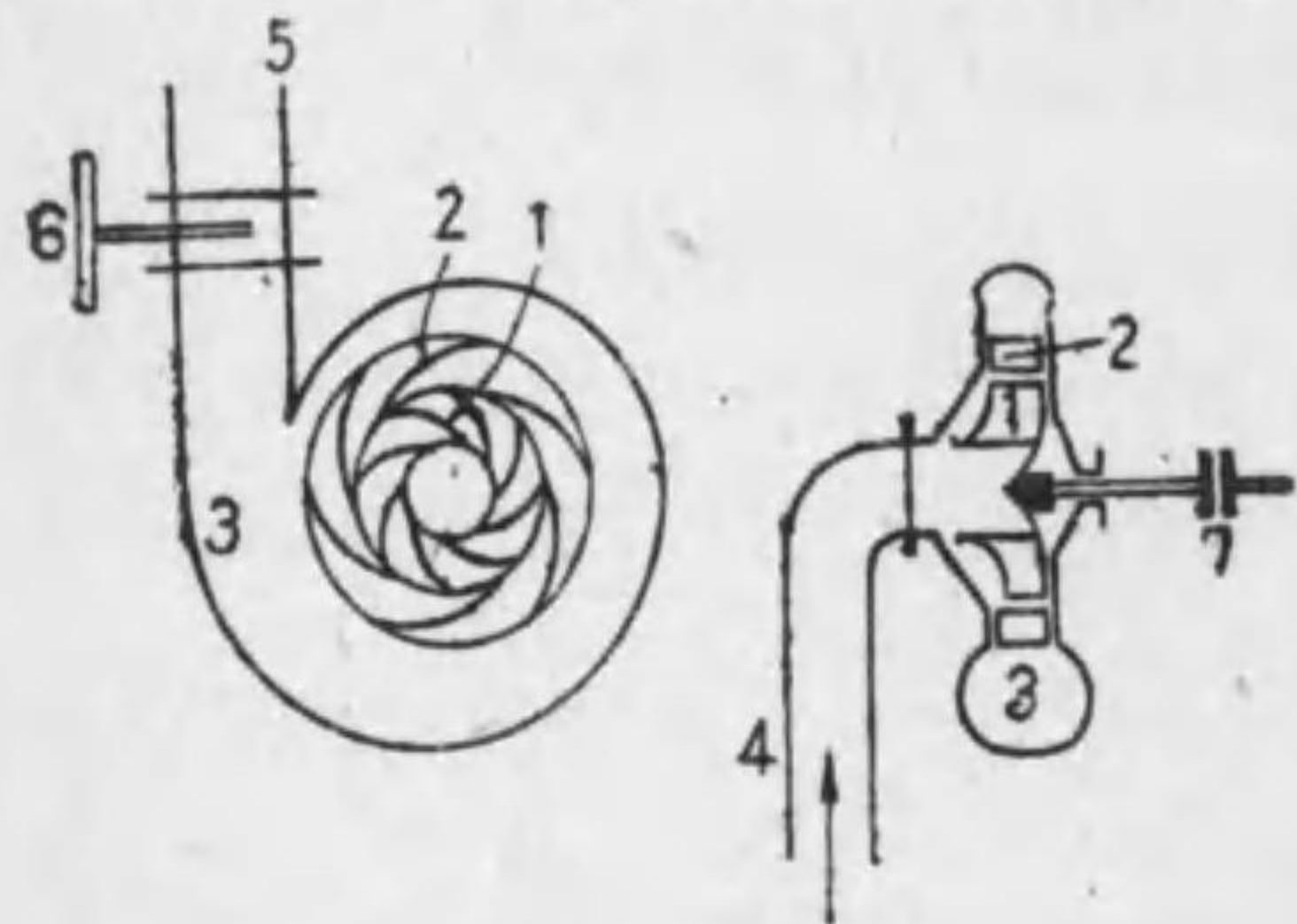
第7・10圖は渦巻ポンプの組立て、羽根車①の外周には案内羽根②があり、羽根車の外周から放出された水は案内羽根に導かれて流れ、更にその外側にある渦



第7・9圖 開放型の羽根車

形室③に集る。案内羽根の数は普通は羽根車の枚数よりも数枚少くし、且つ案内羽根は水車の場合と違ひ一般に渦形室に

固定されてゐる。



第7・10圖

- ①羽根車 ②案内羽根 ③渦形室 ④吸上管
- ⑤吐出管 ⑥仕切弁 ⑦軸接手

揚程の低いポンプでは案内羽根をはぶき羽根車の外周から出た水を直ちに渦形室へ送るやうにする、

羽根と水との關係

運動は第7・12圖の

やうに全くフランシス水車の場合と同様である。即ち羽根の

入口及び出口までの半径

をそれぞれ r_1, r_2 とし、

羽根車の1分間の回轉數

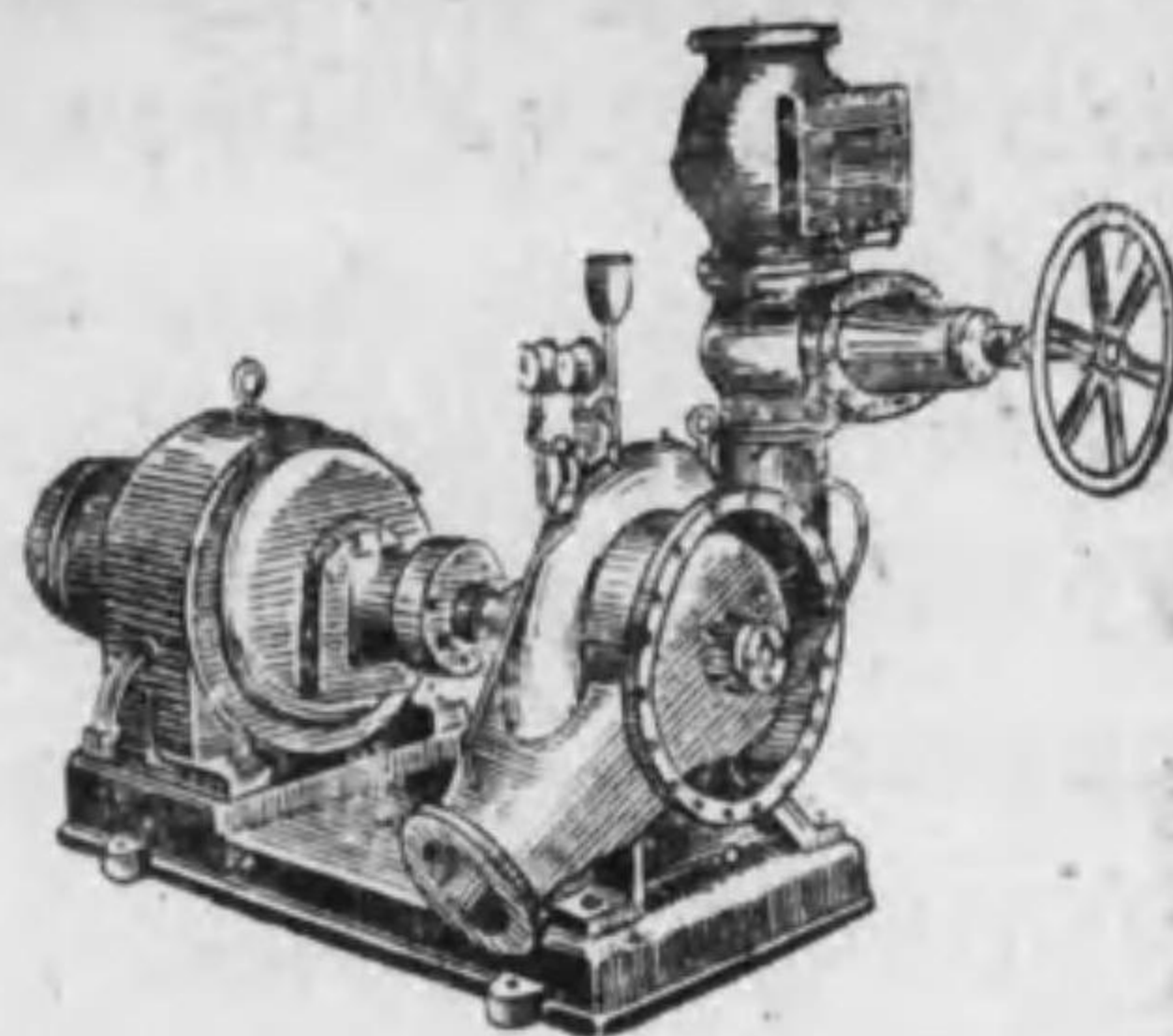
を n とすれば、羽根の周

速度 u_1 及び u_2 (m/s) は次

の式で示される。

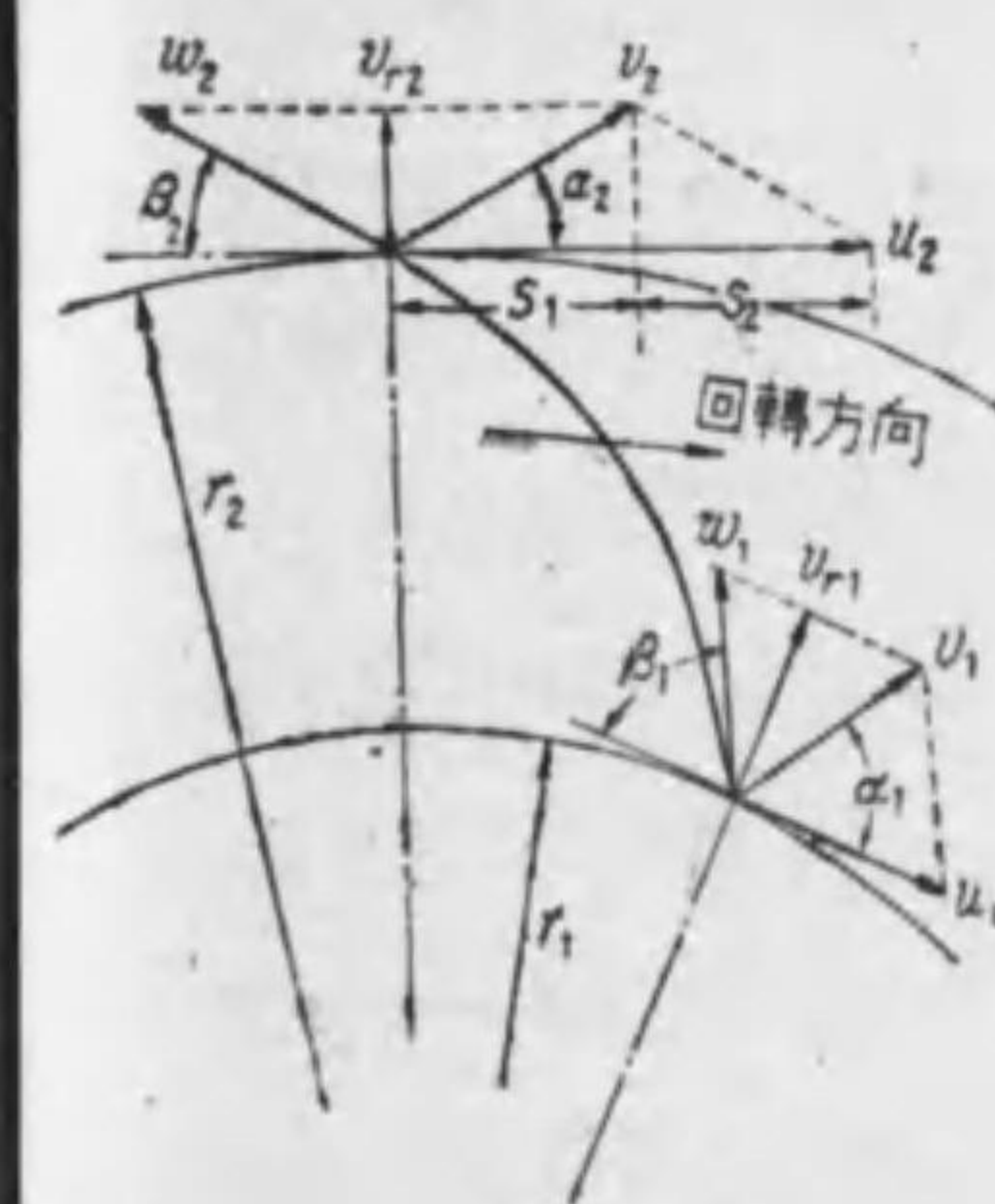
$$u_1 = \frac{2\pi r_1 n}{60},$$

$$u_2 = \frac{2\pi r_2 n}{60} \dots \dots (7 \cdot 7)$$



第7・11圖 渦巻ポンプ

そして羽根の入口で水が v_1 の方向及び大きさに流入したものとすれば、 v_1 を對角線とする平行四邊形の1邊 u_1 が羽根に沿つて流れ込む水の方向及び大きさである。又羽根の出口で羽根に沿つて流れ出る水の方向及び大きさが u_2 であつたとすれば、 u_2 と u_1 でつくつた平行四邊形の對角線 v_2 が水の出る方



第7・12圖

向及び大きさである。随つて羽根の形は入口では u_1 に接する角度 β_1 に、出口では u_2 に接する角度 β_2 につくる。又案内羽根は v_1 に接するやうに角度 α_2 につくればよい。このやうな線圖を速度線圖といひ、羽根車の設計上極めて重要なものである。實際の設計には水の入口角度 α_1 を 90°

とする。これは α_1 を 60° 以外の角度で設計すると、水が吸上管内で旋回運動して効率が低くなるためである。

8. 渦巻ポンプの形式

渦巻ポンプでは揚程並びに水量の種々なものが要求され、又使用場所も多いのでそれぞれの目的に応じた形式のものが製作される。

(1)片側吸込式と両側吸込式 第7・10圖は片側吸込式である。水量が多い場合には2箇の羽根車を背中合せに軸に取り付け、それぞれ両側から水を吸ひ込んで、1箇の渦形室に集めて送水する。これを両側吸込式といふ。

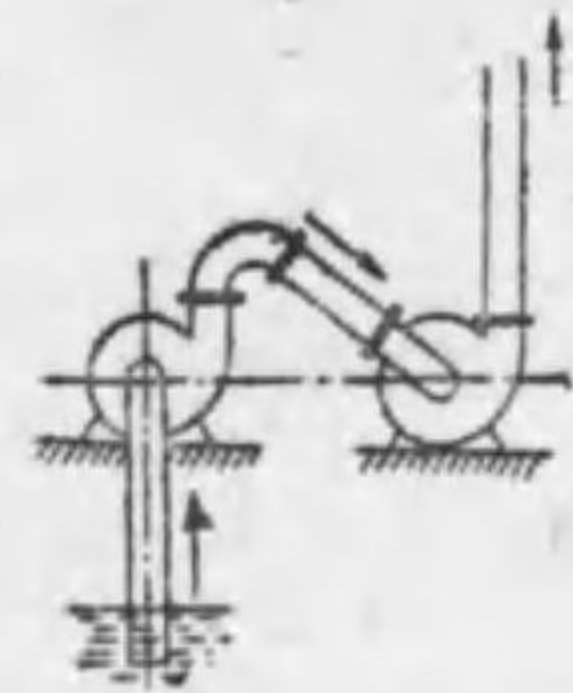
(2)豎軸と横軸 一般には横軸が多い。特に豎軸が要求されるのは、深井戸の水を吸ひ上げる打込井戸・釣下ポンプ又は汚水用ビルジポンプなどの場合である。豎軸ポンプの特徴は電動機だけを床の上に据え付け、ポンプは下水に近く或は下水の中に据えて運轉することができる点である。これは渦巻ポンプも往復ポンプと同様に、吸上高が7~8mに制限されてゐるので、深井戸の場合はこのやうな形式にしなければならない。据附面積が狭くてすむ点も特徴の一つである。

(3)案内羽根の有無 案内羽根をもつてゐないポンプを特にポリユートポンプといひ、揚程が30m程度までの低揚程に用ひられる。案内羽根をもつてゐるポンプをタービンポンプといひ、揚程が大體30m以上の場合に使はれる。一般に案内羽根をつけると製作費が高くなるがポンプの効率はよくな

る。随つて高い揚程のポンプには必ず案内羽根をつける。

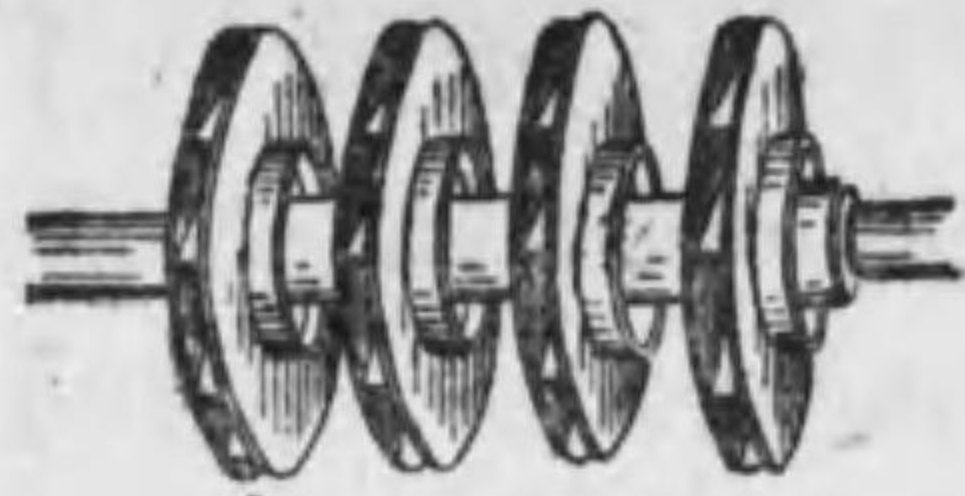
(4)單段式と多段式 羽根車1箇が水に與へる遠心力の大きさ(水の發生する壓力)には限度がある。なぜならば、遠心力を大きくするためには羽根車の回轉數を高めるか、又は羽根車の直徑を大きくしなければならない。この二つにはおのづから制限があつて、或る限度を超えて大きくすると、羽根車の素材自體の強さが遠心力による應力に耐へかねて、羽根車は破壊する。

羽根車の外周の直徑を D (m)、回轉數を1分間 n とすれば、羽根車の周速度 u_1 (m/s)は前式のやうに $\frac{\pi Dn}{60}$ で示される。羽根車の素材が鑄鐵又は青銅の場合、この u_1 の値が大體35m/sを超すと素材が破壊する危険があるので、前の D と n とから計算した u_1 の値を35m/s以内にとどめなければならない。ポンプ設計の理論によれば羽根車の發生する揚程は $u_1^2/2g$ くらゐで示される。故に u_1 をその限度の35mとすれば $35^2 \div (2 \times 9.8) \doteq 60$ mとなり、これが1箇の羽根車の發生できる實用上の最高揚程を示すことになる。随つてこれ以上の高揚程のポンプを製作しようとするれば、第7・13圖のやうに第1のポンプの吐出口を第2のポンプの吸込口に接續して、順次に直列式の接續を行なへばよい。このやうにすれば最後のポンプではそれぞれのポンプの發生する揚程の總和の揚程が得られ、理論上何程



第7・13圖
渦巻ポンプの接續

の高圧でも得られることになる。



第7・14圖 4段羽根車

実際にはこのやうに数箇の渦形室を使用することは不経済であるので、第7・14圖のやうに1軸に多数の羽根車を順に取り付け、水を次々に送つて最後の羽根車で渦形室へ送り出すやうな構造とする。これを多段式ポンプといひ、羽根車の數に應じて1段、2段、3段と呼ぶ。

第7・15圖は4段ポンプの断面で、この構造では最終段以外の羽根車につける案内羽根は次の羽根車の入口へ水を送る關係上、案内羽根の出口を半徑方向



第7・16圖
中間案内羽根

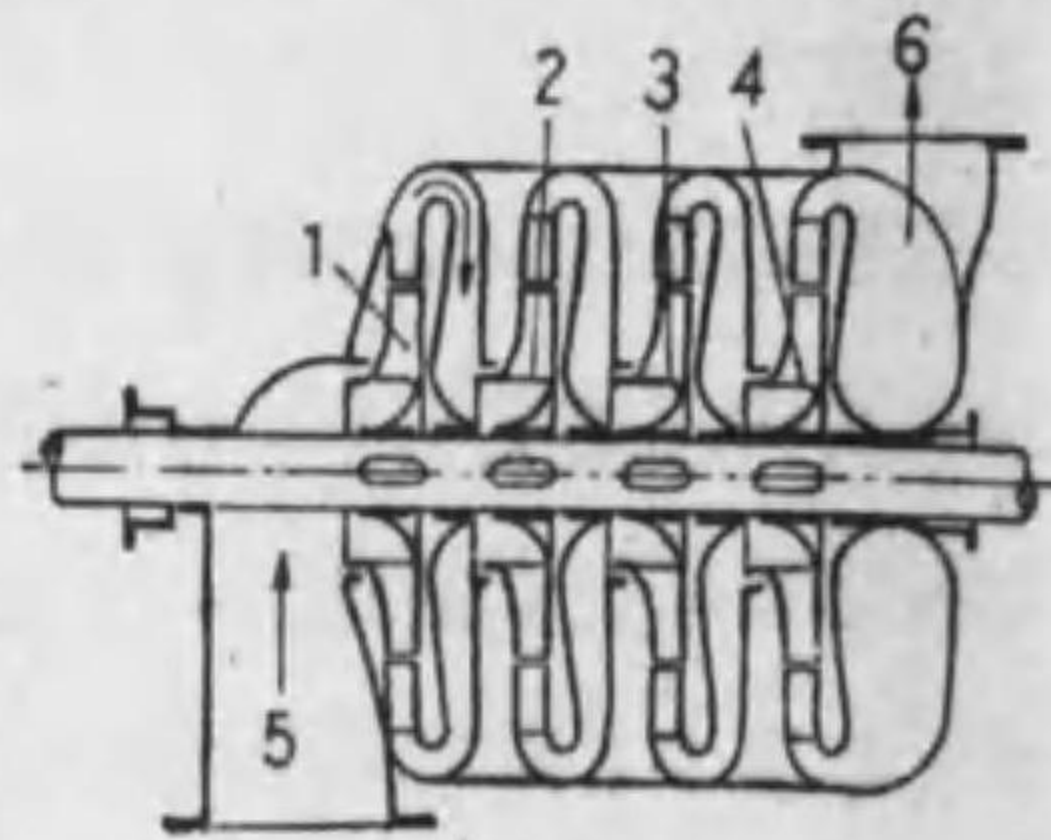
にする。

(考察) 8. 數箇の電池を直列に接続した場合と並列に接続した場合とで、電流と電壓との關係はどうなるか。渦卷ポンプでは電流が水量に、電壓が水壓に相當することを考へよ。

9. 渦卷ポンプの取扱ひ

ピストン又はプランジャ式の往復運動ポンプでは、シリンダ又は吸上管内に水がはいつてゐなくても、運轉を始めれば

実際にはこのやうに数箇の渦形室を使用することは不経済であるので、第7・14圖のやうに1軸に多数の羽根車を順に取り



第7・15圖
①②③④各段目の羽根車
⑤吸上管 ⑥吐出管

空気が次第に排除されて自然に水が吸ひ上つてくる。しかし渦卷ポンプでは、羽根車の回轉だけでは渦形室或は吸上管の中の空気を排除して十分な真空をつくることができないので、前以つて渦形室と吸上管内に水を入れておかなければならない。これを呼水又は迎へ水といふ。随つて呼水が逃げないために吸上管の下部には必ず弁がついてゐる。

呼水が終つたら電氣の開閉器を入れて電動機を廻す。この際ポンプの吐出管側の仕切弁は必ず閉ぢておき、それから徐々に弁を開いて送水する。ポンプの運轉をとめる場合もまた必ず仕切弁を閉ぢ終つてから、開閉器を開いて電氣を切る。これは送水管内の水の運動の急激な變化による水撃作用でポンプをいためるのを防ぐためである。

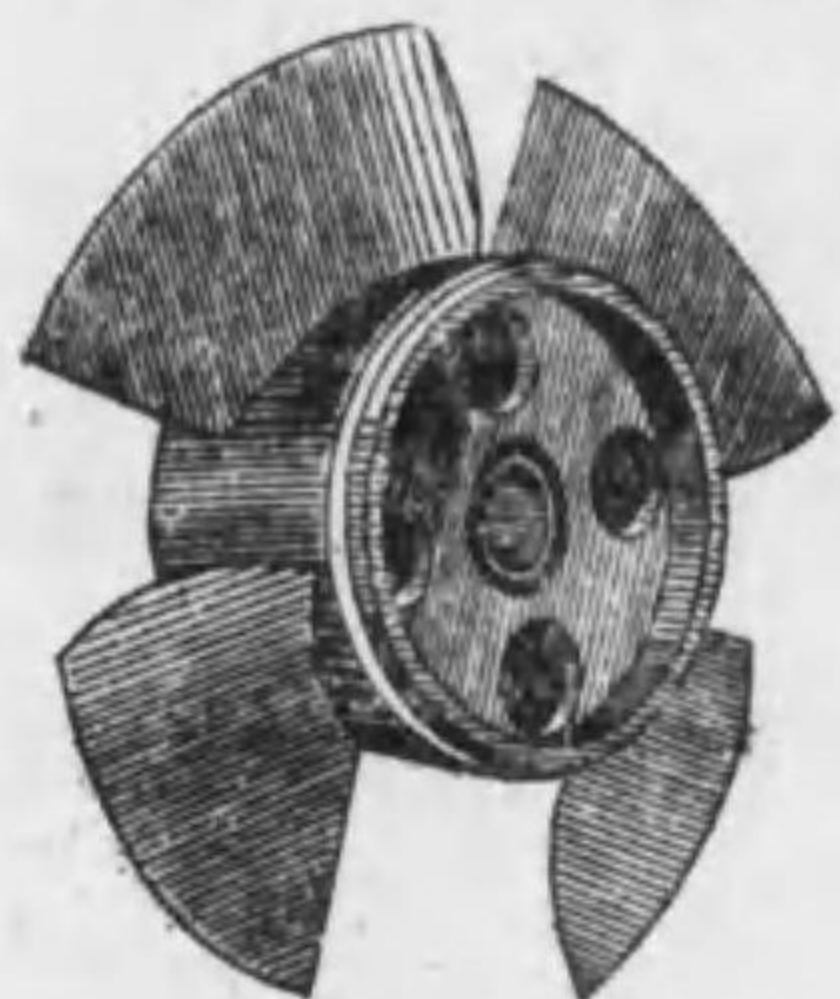
往復ポンプで吐出側の仕切弁を開いたままで運轉すれば忽ちシリンダを破壊するか、又は電動機のヒューズが切れて必ず故障を起す。しかし渦卷ポンプでは仕切弁を閉ぢたままでも殆ど故障のおそれはない。もちろんこの際水は1滴も出ないで、羽根車が渦形室の中で單に水をかき廻してゐるだけであるから、電動機の負荷としては却つて送水してゐる時よりも少いが、渦形室内の壓力は相當に高くなる。次に仕切弁を開いて次第に水を送り出すと渦卷室内の壓力も次第に低くなり、送水量が増すにつれて水壓は下る。そして規定の水量を出す頃になると、水壓は最初よりかなり低くなる。即ち渦卷ポンプでは規定の吐出水量より少い水量で運轉すれば、水

圧は規定の水量の場合よりも高くなるといふ性質がある。

ポンプを運轉するに必要な動力は水量の増すにつれて増加する。即ち水量を減らせば所要動力は少なくてすむ。随つてポンプの吐出圧力が増せば所要動力は減り、圧力が下れば所要動力は増すことになる。これは渦巻ポンプを取り扱ふに當つて特に注意しなければならないことである。

10. プロペラポンプ

第7・17圖のやうに船の推進器のやうな形のポンプである。



第7・17圖
プロペラポンプの羽根車

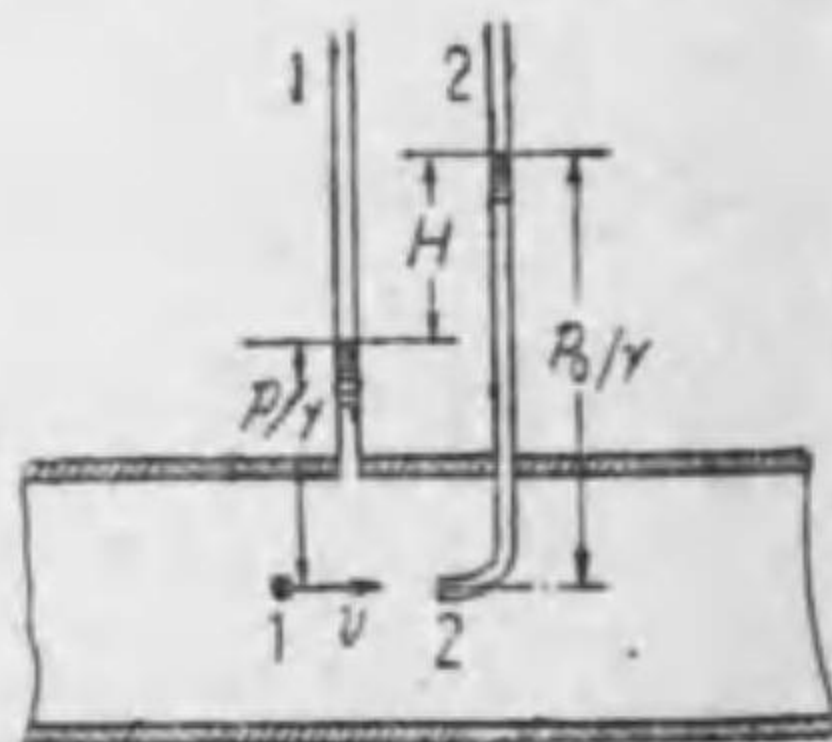
外胴には渦形室を用ひず單に羽根車を管内で廻すだけである。大體10m以下の低揚程に使はれ、水量が豊富な場合に適するので排水・下水・灌溉などの大規模な工事に用ひる。

(考察) 船を錨でとめておき推進器を廻せば水はどの方向へ動くか。

プロペラポンプの働きと同じであることを考へてみよ。

11. 流量の測定

管内を流れる水量は管の斷面積と管内を流れる水の速度とがわかれば(7・1)式から計算できる。流れの速度を測る簡単な方法は第7・18圖のやうに管壁に鉛直に1本の

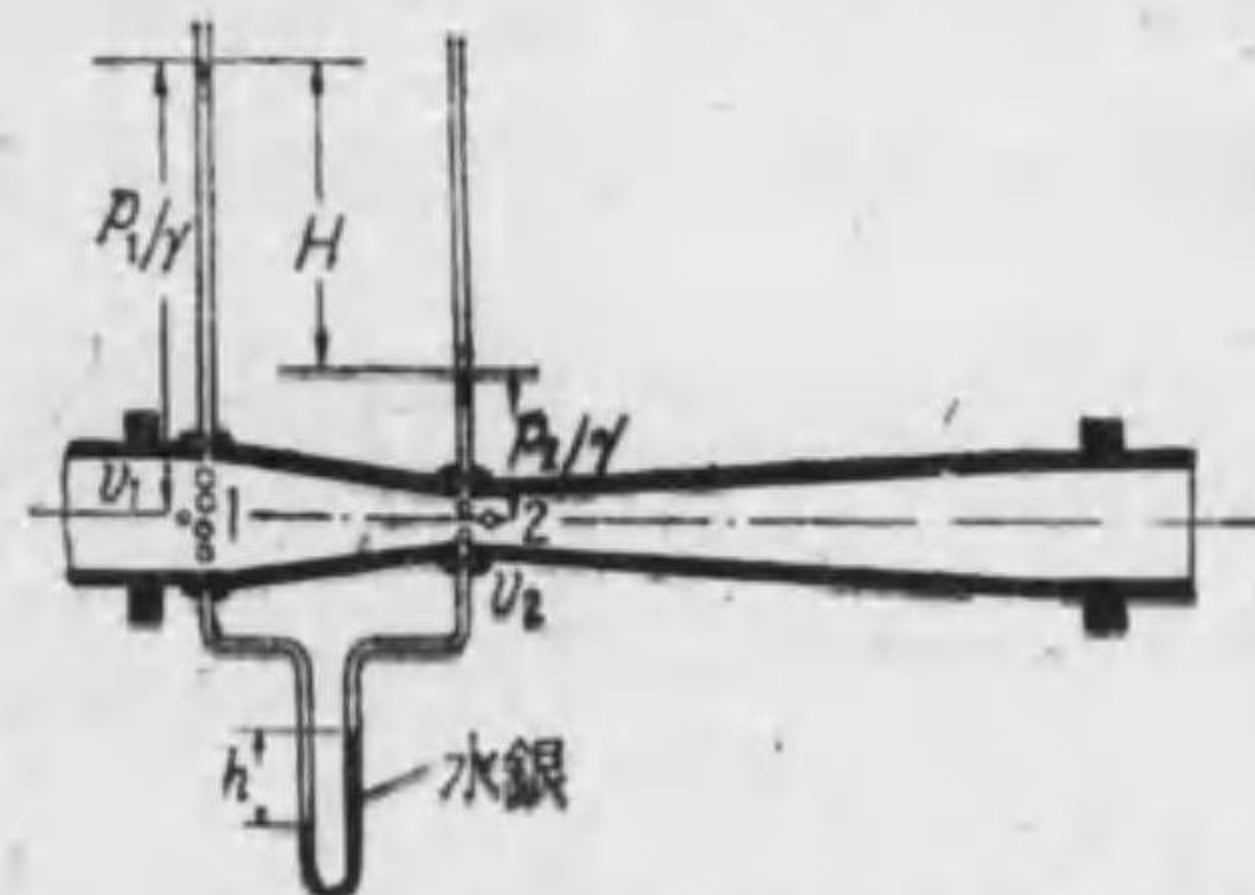


第7・18圖

細い管①を立て、別に管内で流れの方向へ曲つた管②を挿入する。①と②との水面の差H(m)は管内の流れの速度のエネルギーを示すから、管内の流水速度を1秒間v(m)とすれば、

$$H = \frac{v^2}{2g} \text{ 即ち } v = \sqrt{2gH} \dots\dots\dots(7 \cdot 8)$$

となり、Hを測れば流れの速度は計算できる。この値は曲つた管の先端に於ける流れの速度を示し、管内の流れの速度は場所によつて違ふから(第7・1



第7・19圖 クピレ流量計

圖の参照), 實際には管内の數箇所で測つたHからVを計算し、平均値を出して(7・1)式で計算しなければならない。

第7・2圖のやうに管の途中を細くして太い部分と細い部分の壓力の差を測定すれば、水の速度を測らなくても水量を求めることができる。このやうな装置をクピレ流量計といふ。

第7・19圖の太い部分と細い部分との斷面積をそれぞれA1, A2(m²), 壓力をp1, p2(kg/m²), 速度をv1, v2(m/s)とすれば、管が水平に置かれた場合には(7・3)式のやうに、

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \dots\dots\dots(7 \cdot 9)$$

である。ところが $\left(\frac{p_1}{\gamma} - \frac{p_2}{\gamma}\right)$ は圖のやうにH(m)であるから、

$$H = (v_2^2 - v_1^2) / 2g \dots\dots\dots(7 \cdot 10)$$

になる。又流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$ は(7・2)式から

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 \dots\dots\dots (7 \cdot 11)$$

であるので、これから

$$v_1 = \frac{Q}{A_1} \quad \text{及び} \quad v_2 = \frac{Q}{A_2}$$

を求め、これを(7・10)式に代入すれば

$$Q = \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (7 \cdot 12)$$

となり、壓力の差 H を測定すれば水の速度を測らなくても計算から流水量が求められる。

但し(7・12)式で求めた流水量は理論上の値で、實際の流水量 Q_1 は流量計の係数 C を掛けた式、即ち

$$Q_1 = C \frac{A_1 A_2}{\sqrt{A_1^2 - A_2^2}} \sqrt{2gH} \dots\dots\dots (7 \cdot 13)$$

で計算する。 C の値は1よりも小さいが、殆ど1に近い値である。普通には細い部分の直径を太い部分の直径の凡そ $1/3$ の大きさにつくる。たとへば直径を30 cm 及び10 cm とし、 H が6 m ならば断面積は

$$A_1 = \frac{\pi}{4} \times 0.30^2 = 0.0705 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \frac{\pi}{4} \times 0.10^2 = 0.00785 \text{ m}^2$$

であるので、係数 C の値を0.98 とすれば流水量 Q_1 は(7・13)式から

$$Q_1 = 0.98 \frac{0.0705 \times 0.00785}{\sqrt{0.0705^2 - 0.00785^2}} \times \sqrt{2 \times 9.8 \times 6} \\ = 0.084 \text{ m}^3/\text{s}$$

になる。

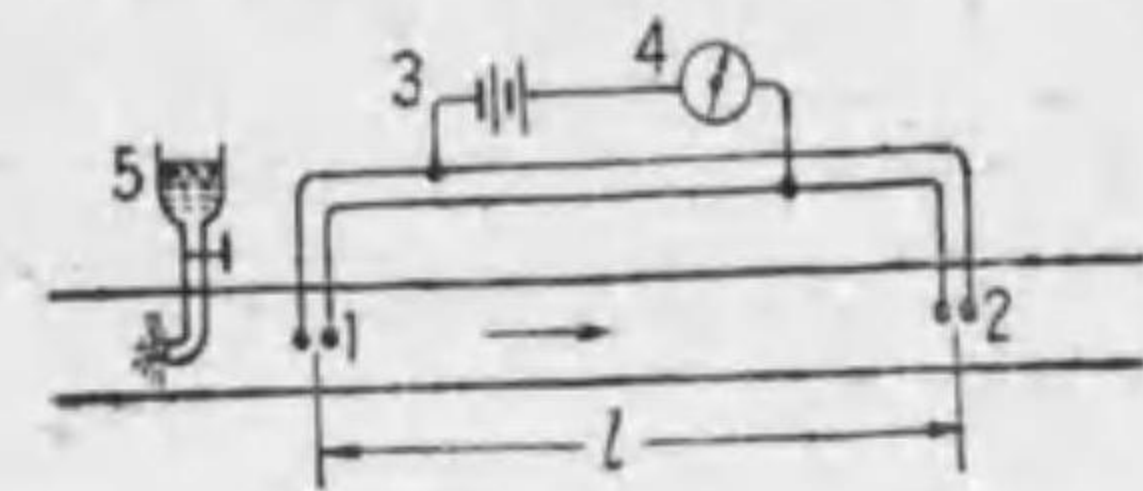
H を測定する場合直接に水柱で測ることもあるが、壓力の差の大きな場合は第7・19圖の下部に示したやうに水銀柱で測る。この際水銀面の差を h とすれば、水銀の比重は13.6 であるから

$$H = (13.6 - 1)h = 12.6h \dots\dots\dots (7 \cdot 14)$$

として H が求められる。

このやうな装置で H の種々な値に対する Q_1 の値を一度計算して数表又は圖表にしておけば任意の H の値に對して直ちに流水量がわかり便利である。又時計仕掛で方眼紙を動かし、適當な方法で H の値を自動的に記録させる装置をつくつてお

けば時々刻々の流水量の變化の有様を方眼紙に寫し出すことができる。しかしこの装置では管の途中がくびれてゐるので、流水中常に

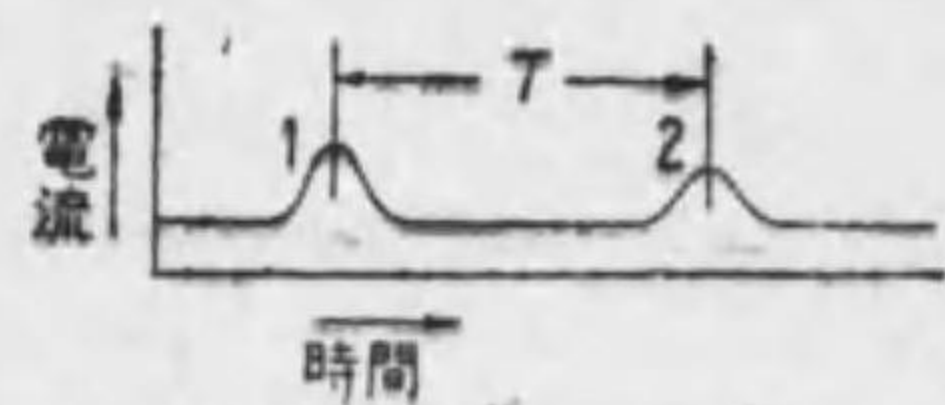


第7・20圖
①②電極 ③電池 ④電流計
⑤塩水注入装置

何程かの抵抗を受けてゐる。随つて流水のエネルギーを利用するやうな場合、たとへば水力發電所の水壓管などには不向である。このやうな場合には、やはり管内の流れの速度を測つて流水量を出す。管内の流れの速度を測る方法に塩水速度

法といふのがあつた。これは水の中に塩が溶け込んでゐると水の電気伝導性を増すといふ原理に基づいて考へられた方法である。装置は第7・20圖のやうに、管路中のなるべく真直ぐな部分に適當な長さ l (m)だけ離れた2點を選び、ここに電極①及び②を置く。これを電池③と電流計④に接続し、更に電極①の上流に塩の注入装置⑤を設備し、一定量の塩水を不連続的に注入する。

管路の中を普通の水が流れてゐる場合には電極の間の抵抗が相當に大きいから、比較的僅かな電流が通つてゐるに過ぎない。ところが上流から塩水が流れて來て電極①を通過すると、電氣の傳導性が増して電流が増加するから、電流計の針が瞬間的に大きく動く。その塩水が更に下流の電極②を通過する時にも再び電流が増して電流計の針が大きく動く。そこで経過時間と電流の關係を自動的に記録させると第7・21圖



第7・21圖

のやうな形が出来る。即ち山形①②が塩水の流れた時刻であるから、この間の時間を圖から求め、これが T 秒であつたとすれば

流れの速度は $\frac{l}{T}$ m/sであることがわかる。

第7・21圖は記録電流計又はオシログラフを用ひて自動的に系がさせた例である。測定上の注意としては、塩水を注入する際になるべく擴散しないやうに、且つ塩水が流れの断面全體に行きわたるやうに短時間に注入することである。かう

しないと、系がされる電流の山の形が平たく長いものになつて①—②間の時間の決定が困難になる。

以上は管路中の一定断面をある瞬間に流れる水量、即ち流水量を測定する方法であるが、別に或る相當に永い時間内に通過した流水量の總計、即ち水の全體積を測定することが必要な場合もある。たとへば水道の量水器として廣く用ひられてゐる水量計などはこれに屬する。この種の水量計の一種に羽根車水量計がある。普通はセルロイド又はエポナイトで出來た極めて軽い羽根車があつて、これが水の流れに應じて回轉し、その回轉數から流過した水量を計る。即ち羽根車の回轉は齒車装置で上部の指針盤の針に傳へられ、それまでに流れた水量の値が示される。普通内徑が10~250 mm程度の管路に用ひるが、水が不純な場合には沈澱物が羽根車に附着したりするため、流水量に應じた正確な回轉數を示さないことがあるので注意を要する。又羽根車が比較的速く廻つてゐる時急に流れをとめたりすると、羽根車が慣性で廻り續けるので指針は實際に流れた水量よりも大きい値を示すことがある。

この種の水量計は用ひる前に必ず目盛検査を行なはなければならぬ。



昭和21年2月23日印刷
昭和21年2月27日發行

原 動 機 1

不許複製

(定價3圓20錢)

著作權者

財團法人 實業教育振興中央會

實業教科書株式會社

發行者

代表者

取締役社長 倉橋藤治郎

東京部總町區五番町五番地

大日本印刷株式會社(東京一)

印刷者

代表者 佐久間長吉郎

東京都牛込區市谷加賀町一丁目十二番地

發行所

實業教科書株式會社

東京部總町區五番町五番地

(假事務所) 東京都日本橋區通三丁目八番番

振替東京183260

特255

857

終