

TA 7220/4250(5)

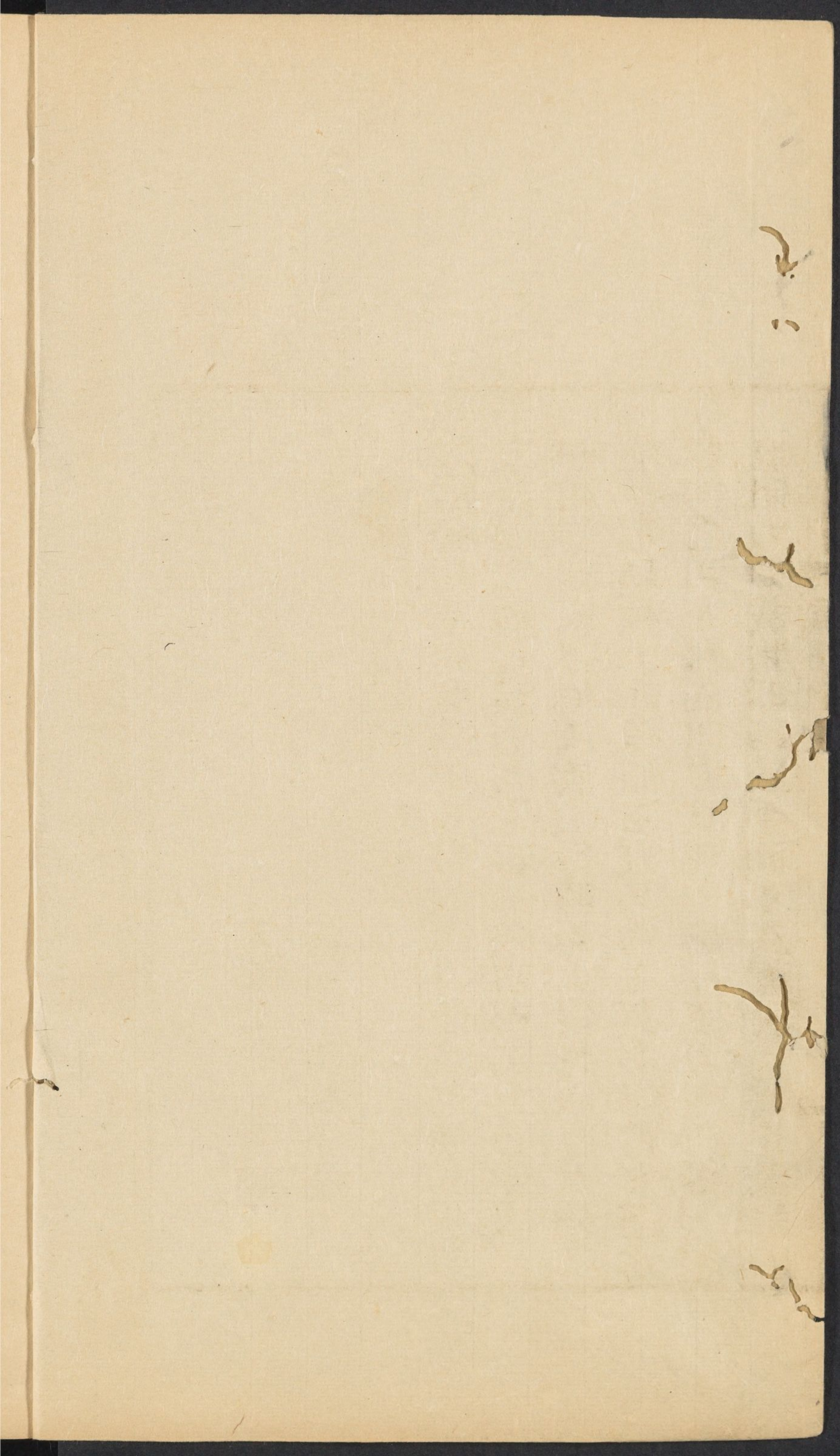
5

THE CHINESE-JAPANESE LIBRARY
OF THE HARVARD-YENCHING INSTITUTE
AT HARVARD UNIVERSITY

DEC 28 1956

自
十
五
至
二
十

終



護書印

重學卷十五

哈神集

英國艾約瑟口譯

海甯李善蘭筆述

論動面阻力

此卷斤尺里等俱用英制

凡二動體相擊相磨其中必有面阻力能減動速故用若干力當生之動必減小欲生若干動當用之力必加大

如載物器或有輪或無輪行時面上皆有面阻力輪之繞行定軸軸上亦有面阻力又物之有樞紐者如運水器內之舌亦有面阻力其理一也面阻力有三等一相磨阻力如載物器行於平面不為輾動而為直動

無輪車行

於雪或光滑之石以平面行於冰面阻力俱極小不在此例。又如軸轉於小孔內又

如圓面轉於定點此等歷時既久面阻力皆能令物動漸遲而靜欲令長動必頻加力。二、輓動阻力如圓柱體轉於地平面此阻力較小於相磨阻力以其由兩面相合而生非相磨而生也。圓柱轉時阻力之比如抵力之比亦如圓柱全徑之反比即此可見輪愈大則動愈速也。三、輪轉阻力。輪輓於路軸磨於孔輪軸兩周均有阻力任減其一全阻力亦減小。故或平厥路或膏厥軸其速略相等也。凡面阻力必等於物動方向對面減速之抵力欲消除之當加抵力於本力方向。靜重學不

言力生動加減速。但言力令物定然能令物平動之力。等於能消阻動之力。蓋物有質阻率。而無偏動偏靜之性。若阻動力或能抵平。或盡消去。物必以平速前行。觀本

卷諸款自明

由此而知令物平動之力。可用靜重學之理并

動理第一例推之。

第一款 用等於面阻力之力。令物行於地平面上。速必恆平。

因阻力與推力。爲對面相等二力。所生之加減速。相消恰盡。物之前行。一似無力加之。故仍以本速平動。假如物行於地平面。面阻力爲物重三分之一。用抵力亦

如物重三分之一加於物行方向則物以平速行。令物以平速行之力名曰牽力。車輪大小異牽力亦異。路之質性異牽力亦異。今測得牽力之率。石路物重二千斤。牽力小者三十二斤。大者三十九斤。路極不平處至四十八斤。火石路英國或用火石鋪路物重千斤。牽力六十四斤。平鐵軌路牽力或爲物重二百四十分之一。或爲三百分之一。平石路爲七十分之一。石子路爲十五分之一。

第二款 物行時面阻力與遲速無涉。卽有涉亦甚微。

近有人用大於牽力之力引物於平面試之。知物有平加速。然則令物動之力必爲長加力。故生動之抵力亦

爲長抵力。蓋生動之抵力，恆等於牽力。面阻力之較，因彼力不變，故此力亦不變也。又動初之面阻力，大於動時之面阻力，或云加倍，或云若九與二。旣動以後，此阻力永不變也。若軟質之物行於平面，則行愈速，阻力愈大。

第三款 車行於路，若以同比例率減小路之最大斜面，令面阻力減小，則當用之牽力亦減小。

斜面角正弦減小之比，同於牽力減小之比。在斜面上，令重定之力，等於股爲實弦爲法。假如斜面二丈，最高一尺，面阻力不論，令重定之力爲重二十分之一。此力

等於令車以平速動之牽力。牽力或恰抵滯，或更加大。斜面阻力可作平面阻力論。因抵力略相似也。如平面阻力等於一為實十二為法，斜面最大阻力等於一為實二十為法，則常牽力為 $\frac{1}{12}$ ，最大牽力為加 $\frac{1}{12}$ ，即等於 $\frac{2}{12}$ 也。又測得車行最大牽力為 $\frac{2}{12}$ ，常牽力又 $\frac{1}{12}$ 存參。若减小面阻力，至等於一為實六十為法，而斜面不變，則常牽力為 $\frac{1}{60}$ ，最大牽力為加 $\frac{1}{60}$ ，即等於 $\frac{1}{30}$ 為四倍常牽力也。然則常牽力減至五分之一，最大牽力減至二分之一，無此牽力，即不能令車行於此路。設减小斜面最大阻力，等於一為實四十五為法，則最大牽力為 $\frac{1}{45}$ ，加

$\frac{1}{4}$ $\frac{5}{7}$ 卽 $\frac{7}{8}$ 爲倍常牽力又三分之一較前所得最大牽力 $\frac{2}{1}$ $\frac{5}{5}$ 爲二十四分之七也設鐵軌路面阻力爲重二百四十分之一斜面上令重定之力爲重二十分之一動初牽力爲 $\frac{1}{2}$ $\frac{4}{4}$ 加 $\frac{1}{2}$ 卽 $\frac{3}{2}$ $\frac{4}{4}$ 卽斜面上牽力大於平面十三倍然則路有最大斜面雖能減小阻力如鐵軌路亦無益因斜面加牽力太大故也設減小鐵軌路斜面令阻力等於一爲實三百爲法則牽力爲 $\frac{1}{2}$ $\frac{4}{4}$ 加 $\frac{1}{3}$ $\frac{0}{0}$ 卽 $\frac{3}{4}$ $\frac{0}{0}$ 較前所得最大牽力 $\frac{3}{2}$ $\frac{4}{4}$ 爲六十五分之九由此觀之設欲平治道路令重車可駕一馬而行必減小斜面不然雖光滑無益必用二馬也

凡用速小則水路利於陸路用速大則陸路利於水路蓋行水路時必以水阻力爲牽力而水阻力漸大比例較大於速方漸大比例若陸路則無論速之大小面阻力恆同也故車或五小時行十里或一小時行十里牽力無異而舟則一小時行十里較五小時行十里者牽力須加至二十五倍

近有人測兩船並重四萬七千零四十斤一船一小時行二里半用牽力七十七斤一船一小時行幾四里用牽力三百零八斤然則速之比例若五與八則水阻力之比例若一與四也速方之比爲二十五與六十四以

較水阻力之比則水阻力大矣設有車無論一乘連乘
 與船等重陸路面阻力爲寅分重之一以此面阻力作
 水阻力變大變小與速方變大變小比例恆同重四萬
 七千零四十斤水行四里水阻力三百零八斤約爲一
 百五十二分重之一若使水阻力變大變小之比若速
 方變大變小之比設一小時內用庚速行水路有等數
 如左

庚重
 一六×一五二
 水阻力

重寅
 陸阻力

寅乘庚方若小於二千四百三十二

即十六個與百五十二相乘之數則

水阻力小於陸阻力設寅爲已知數必有某速令水阻力等於陸阻力漸小於此速水阻力亦漸小漸大於此速水阻力亦漸大如陸阻力爲七十二分重之一速方小於三十三則水路利於陸路蓋凡水速必在一小時六里以內方爲便利再大則不及陸路矣舟行速至一小時八里以外水阻力增率甚緩與算理不合或云因船太速高出水面故也或云生動於水處處不同水陸二路又有載重之較鐵軌路極光滑車輪抵力不過七千零七十斤石路極光滑車輪抵力不過四千五

百斤惟水路抵力視船與水之大小船重并貨重等於
舟腹入水之等體水重

詳見流
質重學

重學卷十五終

重學卷十六

英國艾約瑟口譯

海甯李善蘭筆述

論諸器利用

用牛馬水火風氣等力可代人力馬牛以引車風水以轉輪而火輪機車出生鐵及煤於礦大火輪機引重於鐵路皆利用也論其要則所生之變動不一而變動之大小可以一律推之蓋力與變動必有可測之比例也

凡利用之器其速可以平速論之

第一款 凡用器所加之抵力幾等於所去之阻力

以靜重學

直學十六
之理
言之

所加抵力爲長加力。如用車抵力等於面阻力加斜面重分力。若平路則無重分力。用風或牛磨麥磨石轉時其阻力幾等於當用之抵力。舉煤及生鐵諸重物舉力必等於所舉重大。火輪車動時生抵力於本方向必大於路之面阻力及他阻力。究之抵力不過抵平阻力。不能生動。略加力卽生動矣。力長加則器可長動。今不論動速。故生動之力不妨極小。與抵平阻力之力無涉。抵平阻力之力亦能令器以本有之速平動也。器或不平動。速有增減。當思有以通之。如恆升車一下一舉。

水再下再舉水利用即減因本盤有阻力故也必另造

玉衡兩車相連用時一上一下則水泉湧出力少功倍

矣

見奇器圖說

外輪之用最廣令外輪動之力或平加或

參差加則外輪生力於程功之處亦然

外輪乃器之末輪亦名飛輪

第二款 器之程功以所加之力乘所過之路為率

力增則功亦增比例恆同如車重加倍或所舉之重加

倍所過之路不變則所程之功必加倍矣 設所過之

路加倍所程之功亦必加倍如引車行六里較三里為

加倍功舉重高二十尺較十尺為加倍功又如磨石阻

力同則兩轉較一轉亦為加倍功於此可見抵力及路

苟有一變則所程之功亦變故程功之率爲力乘路也
設所程之功分爲若干等分如舉一千斤高二十尺其
功之率爲一千乘二十分一千斤爲十分每分一百斤
分二十尺爲二分每分十尺則每百斤兩次舉之初次
舉高十尺二次舉又高十尺所程之功等若分一千斤
爲百分每分十斤舉之俱高二十尺人工及器每次往
還之力俱不論所程之功亦等也可見所程之功與作
工遲速無涉

第三款 作工或用器或不用器所程之功等

器不論精粗遲速行極微路時作工者加子力於極微

路中生丑力於程功處命加力處之路爲甲程功處之路爲乙以第一款証之子丑二力相平於器上甲乙爲子丑二處同時中當過之路故子乘甲等於丑乘乙而子乘甲卽作工者過乙路時分中所程之功丑乘乙乃作工者於同時分中用器所程之功知此款理自明矣如獄囚一小時中升轉輪梯一千尺設身重一百五十斤所程之功爲舉一百五十斤過一千尺則子乘甲等於一百五十乘一千設其輪爲磨物之器此數仍爲程功之率設直動變爲輓動如火輪之推機令外輪轉行若進退一次輪轉一周則推機抵力子卽乘倍推機路

即等於直加外輪半徑之抵力即乘輪周即乙直加

力即令器平動諸阻力之對力今不論令輪初動之力但論動時令輪以平速行之力

前論作工以器全力加於程功處有時所生之動為本

力對力之較如火輪車是也

第四款 火輪車加力於輪令輪動車亦動是為動心輪

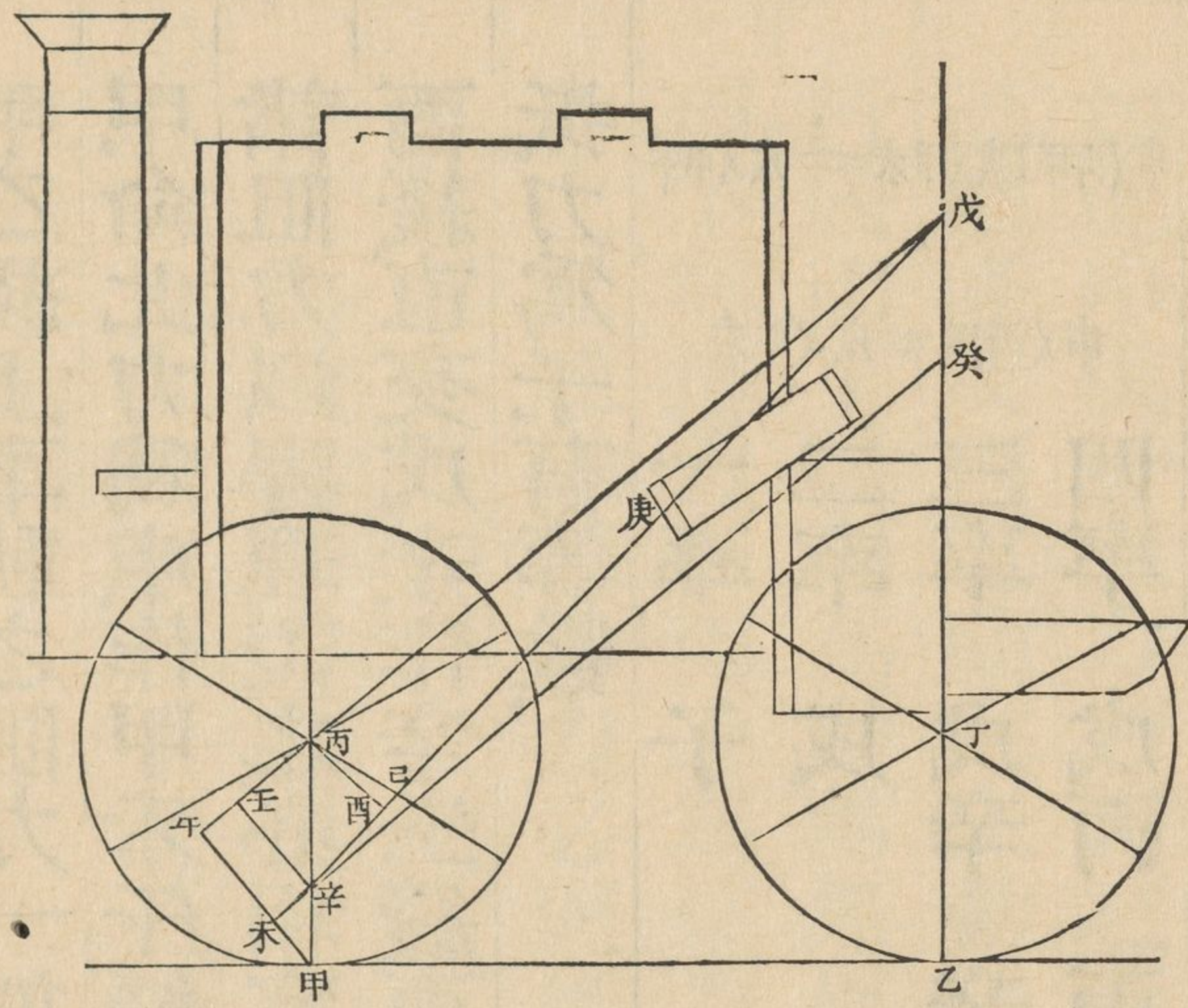
當用之力與靜心輪同靜心輪阻力加於輪周故用力同

如圖丙丁為前後二輪之軸甲乙為路丙己為轉軸曲

柄用己庚鐵條加於丙己之己點令丙己曲柄與甲丙

輪同繞丙軸有二相等對力為鐵條所生一加於己點

一加於庚點設引長己庚遇甲丙於辛遇乙丁於戊則



癸戊丙戊之并力。癸戊消乙點之抵力。丙戊令丙點向

加於甲丙輪之力。一如在
 辛點。加於車之對力。一如
 在戊點。作丙戊聯綫。又作
 辛癸綫。與丙戊平行。戊辛
 辛戊為己庚二點本力對
 力之率。而戊辛為癸辛丙
 辛之并力。然丙辛力在甲
 點。則等於無。故丙甲輪上
 惟癸辛為有用力。辛戊為

戊而行所以有癸辛丙戊二力加於甲丙輪令輪轉於
 甲乙綫上車動之阻力一如在丙點上其方向直交丙
 甲命此力為申作甲未午綫直交丙戊辛癸則諸力及
 諸阻力以桿理證之必相定命癸辛力即丙戊力為戊作丙
 酉綫直交戊辛作辛壬綫直交丙戊又命庚己所出之
 抵力為子有等數。

申义丙甲 戊义甲未 戊义甲午

申义丙甲 戊义午未

一率	子
二率	戊
三率	戊辛 辛壬 午未
四率	戊丙 丙酉 丙酉

子义丙酉 戊义午未

申义丙甲 子义丙酉

如此申戊子三力所出之能等。設丙爲定點。子力用庚
己鐵條及丙己曲柄。生動於輪。輪周申力爲對力。與車
行於丙丁綫。丙爲動點。無異。用庚己條所加之力。在
丙下爲推力。在丙上爲拉力。設庚點連於推機。以水氣
令之動。此推拉二力。必與推機進退一次相應。他利用
器。其理亦然。如舟之櫓。當作輪半徑。繞行於樞。水阻力
加於櫓。稍與手力進退一次相應。

第五款 火輪車以平速行。推機抵力乘倍推機路。等於
阻力乘輪周。

命阻力爲申。推機上之平抵力爲丑。推機路爲辰。輪全

徑為已推機過倍辰輪必一周周上諸點經過之路等
於周率乘已丑與申相平以三卷之理證之有等數

丑二辰——申周率

本款推機之實抵力為丑若推
機之全抵力為丑風氣抵力為
卯則實抵力為丑少卯有等數

申周率——(丑卯)辰

本款只論一推機設有二推機平抵力為丑等數同前
故作工用火輪機器欲測其所程之功與他器同

凡以器作工者器之抵力乘路恆等於所加抵力乘所
過之路為作工者之能率火輪機用煤百斤舉高一尺
乘其力若干為火輪機之能率火輪機當程之功異於

實程之功。

作工之利用有定質重有流質重有定質凸力有流質流
力。如有流質漲力。如有人畜能力而煤炭爲能力之源能
水令水化爲氣故也。諸能力中不論恆暫俱爲實力者。重與
漲力是也。其他用時則生用過則止。若干時中生若干力。
皆有定率可推。

第一論定質重

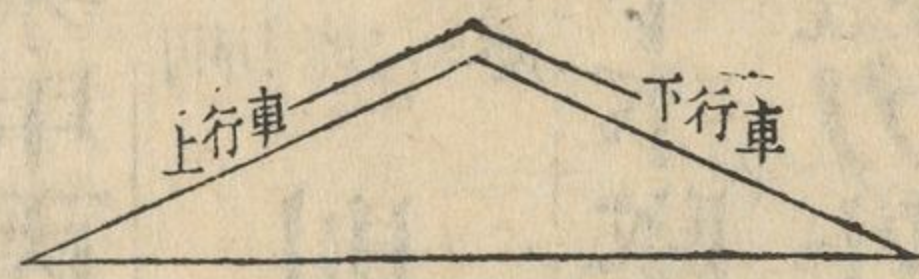
重卽地力用以生動其利甚廣如用於鐘表能令擺動
能令錘動又如大斧劈物又如西國打樁器全用地力
凡用物重以生動當程之功爲重乘路假如重千斤下

重學十六
行十尺其功爲一萬若改用器或舉一萬斤高一尺或
舉一斤高一萬尺所程之功俱等以其乘得之數相等
也

以物重爲生動之力如斜面鐵路用重車下行引輕車
上行其下行之車非平動因地力有長加速故也凡生
動力與阻力相平於動器上則必平動而此法一上行
一下行生動力與阻力平尚不能動必藉他力助之卽
地力所生長加速也此爲自行車路法

假如有自行車路高一百尺長四千尺有輕車一千斤
以重車四千斤引之上行面阻力爲二百分重之一法

以重較三千斤乘高一百尺得三十萬卽當程之功也
上行車阻力以一千爲實二百爲法下行車阻力以四



千爲實二百爲法并之得二十五斤乘長四千尺得十萬卽實程之功也然則當程之功比實程之功多三倍用此較以生動且爲增速之根若阻力爲二十斤下行車力必加多二十斤設重較二千斤斜面高爲一百分長之一則較力與阻力適相平若其高減小卽不能引矣用重或全用以生速或用十分之幾以生速以重乘本速當行之垂路爲程功之率列款如左

第六款 不論何器用重生動實程之功等於當程之功
重所生之速亦在其中。

如午重自甲下墜至丙以前論證之當程之功等於午
乘甲丙設不作工全用以生速有等數。

$$\text{速} = \frac{\text{地力}}{2} \text{甲丙}$$

則當程之功如下式

$$\text{功} = \frac{\text{速}}{2} \text{地力}$$

因

$$\text{路} = \frac{\text{速}}{2} \text{地力}$$

故也。

午下墜時有時用其重之幾分以作工如午重中減去
阻力外取未為用以作工之重乙為未重初用之點過
乙點後午重之垂長加力等於
 $\frac{\text{地力}}{2} \text{午}$ 用代地力設戊為
午已過甲乙路在乙點時之速亥為午過甲乙又過乙

丙路在丙點時之速有等數如左。

物下墜得

以此

即實程之功等

亥速時所

易前

於當程之功而

過之路命

等數

所生之速亦在

為癸則有

得下

內也蓋午乘癸

等數

式

為生速所程之

$$\text{亥} = \text{戊} \frac{\text{上} \text{二} \text{午} \text{丁} \text{未} \text{地力} (\text{甲} \text{丙} \text{丁} \text{甲} \text{乙})}{\text{午}}$$

$$\text{戊} = \text{二} \text{地力} \text{甲} \text{乙}$$

$$\text{亥} = \text{二} \text{地力} (\text{甲} \text{丙} \text{丁} \text{未} \text{地力} (\text{甲} \text{丙} \text{丁} \text{甲} \text{乙}))$$

$$\frac{\text{午} \text{亥}}{\text{二} \text{地力}} \text{上} \text{未} (\text{丙} \text{甲} \text{丁} \text{甲} \text{乙}) = \text{午} \text{甲} \text{丙}$$

功未乘甲丙甲乙較為除阻力所程之功 動時未或

變大變小理仍同蓋甲丙少甲乙為最微可當墜路之

幾分而墜下此路時以未為定數等數同故未改變大

小理仍同也 設分全路為若干微路一一考之直至

動末理亦同。任有若干重若干阻力理總同。

設子丑寅為重丁戊己為當過之路角亢氏為子丑寅

用所得速當過之路午未申為抵去阻力之重辛壬癸

為午未申重當過之路推得等數如左。

乾坤震為子丑寅實得之

速坎艮巽為經過丁戊己

當得之速酉戌亥為經過

辛壬癸當得之速有等數

子角 丑亢 寅氏 午辛 未壬 申癸

— 子丁 丑戊 寅己

乾 — 二地力角

子乾 丑坤 寅震 午酉 未戌 申亥

— 子坎 丑艮 寅巽

各體乘本速方之和名全動能以前論證之合體上所加之能設止地力而無他力加之則合體之全動能等

於各體空中下墜之全動能然必加消阻力之力於全動能則本款之理難用蓋當消之阻力難推故也如物相擊相抵改變形狀時用若干動能亦難推也。

第二論流質重

用流質重之動力與定質之理同故水當程之功爲水重乘水下行之路實程之功或用抵力或用流力俱以乘得速當過之路。卽水重能過之路。

然水之速不能全用以程功故別立法如令水之各點速依垂綫上行至得速當過之路則全速已消盡一如全水不動亦有下行過此路之能故當程之功爲重乘

路也。若實程之功，則因水之各點力，互相加減，消去全力之幾分。此幾分不加於作工之輪，而加於他處，不能用以程功。故無論何水輪，或激輪上半，或激輪下半，實程之功皆少於當程之功。以能力之幾分消於不可推之阻力，而水中又有橫流之水，故也。由是論之，凡用水輪以舉重，如用其全力，則水重乘得速，當過路等於所舉重乘重所過路，而能力中有幾分不能用，必增加所用之水力。所用水之若干力，與速有恆比例，而得速當過路與速方有恆比例。故所程之功與速立方有比例。今英國造器者，測得水激上半輪當程功，即所用與實

程功比若五與四比。阻力水激下半輪當程功與實程
不論功比若十與三比。

第三論定質凸力

凸力之利用如巧偶鐘表八音匣之發條能生恆動如
弓及捕鳥鼠之巧機能生暫動推發條之功用準繞軸
漸卸時所過微路蓋推法任用何點上所加之抵力乘
此點所過路爲程功之率而發條動時抵力恆改變故
所程之全功等於各微路乘動時各秒中所加抵力之
和。

第四論氣力

氣動爲風故
或稱風氣

氣之力有二。一漲力。一動力。如風鎗不用火藥。用氣漲力。故放時無聲。如西國煮肉器。懸於火前。器中有巧機。氣感於火。生動於機。令肉四面旋轉。用氣動力也。又如風車船帆。俱用氣動力。與流水之理同。推漲力。若干氣當程之功。等於漲力之并重。乘得速當過之路。路以高下言之。今用風車所程之功。推得風力大小之比。若速立方大小之比。

第五論水氣力

水氣用漲力。及被冷熱加減之能。冷則氣縮。熱則氣盈。欲知程功之率。可如他物之有凸力者推之。其與他物不同者數

端詳論如左。

火輪器有三種。其一水氣化水時。令風氣加抵力之器。謂之風抵力火輪。其二令推機進退之水氣有二路。一路水氣方泄。氣盡化爲水。一路水氣方盛。水盡化爲氣。互爲盛衰。此器水氣漲力。或能大於風氣漲力。其三水氣不化水。長令推機向風氣而阻其抵力。故水氣漲力必大於風氣漲力。此器火力最大。

風抵力火輪之制。爲推機進退於空柱中。有與風氣同漲力之水氣。由柱底入。令推機行至柱端。於是水氣化水。推機爲外面風氣所抵。行至柱底。則又放水氣入。行

重學十六
至柱端如此進退不已而水氣所程之功在退時而不
在進時但進退必互用以成動

第七款 以水立方積一尺化水氣求風抵力火輪當程
之功

近時造器者測知與沸水同熱之水氣漲力與風氣等
此水氣體較水原體大一千七百十一倍所以水立方
積一尺可化水氣立方積一千七百十一尺每方一尺
抵力二千一百二十斤設容水氣之器內高一尺底面
平方積一千七百十一尺則全抵力爲一千七百十一
乘二千一百二十卽三百六十二萬七千三百二十斤

此氣化水後全抵力在平方積一尺內所以當程之功
 為三百六十二萬七千三百二十。用英尺
 英斤
 設體高為寅尺有等數。

面積 $\frac{171}{1}$ 寅

進行功率 $\frac{171}{1}$ 甲卯

推機抵力 $\frac{171 \times 210}{1}$ 寅

退行功率 $\frac{171}{1}$ (乙卯) 卯

化水後推機必經過寅尺然則當程之功
 仍為三百六十二萬七千三百二十。設
 推機進行之抵力略大為甲風氣加於推
 機之抵力為乙進退之路為卯有等數。
 故一進一退所程之功為乙乘卯設甲抵
 力非略大等數亦同。設甲等於半乙則
 推機進退二能力俱為乙乘卯之半英國

鐵軌路所用風抵力輪多準此法。

第八款 風抵力火輪用煤一斤求當程之功。

測得用煤在七斤十斤之間能令立方一尺水所化水
氣漲力與風氣等近又測得用煤八十四斤能令立方
十尺水化爲水氣用第二測則煤八斤又十分斤之四
可化立方一尺水準前款八十四斤煤之功率爲三六
二七三二〇〇以八十四除之得四三一八二四爲一
斤煤之功率又減轉氣車能力爲全力八分之一又減
器不全空阻力及面阻力得實程之功

水與水氣有熱化冷化之別冷化器推機進退由於兩

邊水氣一邊之氣方盛。一邊之氣化水。此器水氣漲力。恆大於風氣漲力。最爲利用。欲增多其功。有二法。一令水氣之熱大於沸水之熱。則漲力大於風氣漲力。此非煤多不能。一令水氣漲足。自能滿器之空處。法於推機過空柱幾分時。塞閉管口。則已入之水氣漲足。令推機行至路末。此法功多而煤省。較風抵力火輪更妙。近時英國所用火輪器。空圓柱全徑八十寸。當程之功。七千○五十六萬二千八百。用煤八十四斤。推得用煤一斤。能舉一斤重。過八十四萬尺。用英尺。英斤。

大抵力火輪推機進退於空圓柱內。推機一邊有水氣。

一 邊有外面之風氣而水氣漲力大於風氣漲力令推機向風氣一邊而行至柱端管口立塞水氣入於此邊此邊之管口自開兩邊風水二氣互變令推機復向此邊而行至柱底如此一開一塞推機遂進退不已。

第九款 求大抵力火輪當程之功。

此必先知用煤一斤可生若干漲力之水氣又必知水氣由鍋至空柱過管口時減去漲力之幾分已知空柱內水氣漲力即可推當程之功設題如左。

假如大抵力火輪推機面平方積一百二十七寸又十分寸之二鍋中水氣漲力較風氣漲力每方寸多五十斤。

推機路二尺行路之輪全徑三十七寸設過路一千一百六十四尺求當程功推機面乘漲力較得六千三百六十斤為推機上抵力進退之路共四尺故進退一次之功為六千三百六十乘四行路輪周一百十六寸又百分寸之二十四此輪旋一周推機之抵輪旋十二周

有等數

英國以十二寸為一尺

為過路一千

一百六十四

尺時推機進

退次數

$$\frac{12 \times 164}{12 \times 164}$$

$$= 120$$

抵輪轉數

$$\text{全功} = 12 \times 164 \times 4 \times 120$$

$$= 95040$$

此題之理

空柱中水

氣漲力與

鍋中等

重學一六
造器者用此題推得行路輪全阻力一千八百二十九
斤乘所過路一千一百六十四尺得二百十二萬八千
九百五十六爲實程之功實程功異於當程功半由他
阻力半由空柱中鍋中漲力不同又推得此器化一尺
水用煤十八斤或二十斤。

假如用此器之小者空圓柱徑八寸推機路四尺五寸與

恆升車

見奇器
圖說

相連恆升車全徑十八寸半推機路四

尺五寸舉水廿八尺一小時用煤八十斤一分中推機
行十八次求所程功。

水圓柱面 = 一八五 × 一八五 × 七八五四

= 二六八八

凡水高一尺
每方寸面上
之抵力為千
分斤之四百
三十四

水重 = 二六八八 × 〇四三四 × 二八

= 三二六六五

推機路四尺半乘十八次得八十一尺又以一小時六
十分乘之得四千八百六十尺為一小時所行之路以
水重三千二百六十六斤半乘之得一千五百八十七
萬五千一百九十為一小時所程之功以煤八十斤除
之得十九萬八千四百三十九又八分之七為一斤煤

所程之功。因恆升車與火器推機路等故抵力必等。
令二器平。然則火器推機上抵力亦三千二百六十六
斤半。

以推機面除抵力得

六十五斤為每方寸

面實抵力。即水氣風

氣二漲力之較。

推機面 = 八八八七五四

= 五〇二七

火輪車平動時抵力令速恆平。蓋阻力與速無涉。推機
抵力亦與速無涉。設車在中道變速而行。其漲力在空
圓柱內前後略同。惟生水氣有遲速之異耳。

第十款 大抵力風抵力二火輪用煤之較。

大抵力火輪車重二千二百二十斤行一里用煤半斤

設面阻力爲二百四十分重之一則二千二百二十斤

面阻力爲九斤又四十分斤之一一里所程之功爲九又

四分之一乘五千二百八十。英國以五千二百八十尺爲一里。得四萬

八千八百四十爲半斤煤所程功倍之得九萬七千六

百八十爲一斤煤所程功與第八款風抵力火輪一斤

煤所程功相較差三十三萬四千一百四十四爲大抵

力小於風抵力之功。用倍大大抵力火輪所程之功

與所用之煤比例略同程功不論遲速蓋功之遲速由

重學十六
於水化氣之遲速氣非別氣乃應有若干漲力之氣故
鍋面受火愈多速愈大風愈急速亦愈大若能令無用
之水氣盡出氣門風必增急可令速增至無窮大求化
氣遲速當另設款今不具論。

第六論人畜能力

人或升梯或登山必以足力舉己之身

假如山高一萬尺人登其巔身重一百五十斤求所程功
以一萬乘一百五十得一百五十萬卽功也。

假如腳夫舉重六十八斤升梯高三十六尺一日六十六
次身重一百四十斤求所程功。

以三十六尺乘六十六得二千三百七十六爲路總六
十八加一百四十得二百〇八爲重總重總乘路總得
四十九萬四千二百〇八爲所程功其少於前題者身
外有他重故也身外之重愈少則人力愈有用又此題
有下行前題無下行也

假如舉錘打椿錘重一千二百九十五斤舉高四尺七寸
六分每日三十八人作工十小時一小時舉三百六十
次求一人一日之功

以十小時乘次數得三千六百爲總次以錘重乘之得
四百六十六萬二千爲總重又以舉高乘之得二千二

百十九萬一千一百二十爲實三十八人爲法除之得五十八萬三千九百七十七卽功也。

假如有人用力十五斤半於一分中轉輪二十次能力所加之周七尺五寸四分每日作工六小時求所程功以三百六十分乘二十次得七千二百爲總次以用力乘之得十一萬一千六百又以輪周乘之得八十四萬一千四百六十四卽功也。

假如有人舉重三百七十斤一分中升高十尺求所程功以十尺乘三百七十得三千七百卽功也。

假如有人舉重五百五十斤一分中升高十尺每日作工

六小時求所程功。

以三百六十分乘五百五十。又以十尺乘之。得一百九十八萬。卽功也。

假如井中有物。重二百斤。以索過滑車。令馬引之。凡八小時。而出一小時。行二里半。求所程功。

以八小時乘二里半。得二十。卽舉二百斤。過二十里也。以里法五千二百八十尺乘之。得十萬。○五千六百。又以二百斤乘之。得二千一百十二萬。卽功也。

假如馬在平地。引重二千斤。九小時。行廿五里。阻力爲十二分重之一。求一分中所程功。

$$\text{功} = \frac{25 \times 2000 \times 5280}{540 \times 2}$$

$$\frac{26400000}{6480}$$

以廿四約之得下式

$$\text{功} = \frac{11000000}{270}$$

$$\frac{407401}{27}$$

求得四萬〇七百四十又二十七分之二十，即功也。

或云馬力能於一分中舉五百五十斤，過四十尺，即二萬二千斤，過一尺，為馬力之率。

第十一款 人畜能力之較

人畜能力，以靜體為最大，行則力必減小，行至極速，則人畜之力不能程功，僅能令身動耳。假如命人速為午，用以引重，速變大則力小，速變小則力大，其式如左。

測驗而知

(六午)^二設午為○則人不行力為二十八斤^八若一小時行

五二里則力減為十二斤^八一小時行四里則力減至

三斤^二而一小時行六里為極速之限速至限則力減

盡無功可程矣 欲知程功若干用所有之力乘一小

時所過之路其式如左

(六午) ^二	里	一	二	三	四	五	六
-------------------	---	---	---	---	---	---	---

四午 ^五	功	二〇	二五 ^六	二六 ^六	二八	〇四	〇〇
-----------------	---	----	-----------------	-----------------	----	----	----

故人速一小時二里所程之功為最大

命馬速率為午^{即一小時所過路}其式如左

重學一六
設午爲○。則馬不動。力爲一百四十四斤。設一
小時行一里。則力減爲一百二十一斤。一分中
所過路等於五千二百八十尺。爲實六十分。爲法。實如
法而一。得八十八尺。以力一百二十一乘之。得一萬○
六百四十八。爲一分中所程功。設一小時行四里。則
力減爲六十四斤。一分中所過路等於五千二百八十
尺。爲實十五分。爲法。實如法而一。得三百五十二尺。以
力六十四乘之。得二萬二千五百二十八。爲一分中所
程功。

假如有車重一萬六千斤。行於平路。用八馬引之。二小時

行二里半每日行八小時求一馬一日所程之功

設阻力為

十二分重

之一則有

式

$$\text{一馬功} = 2000 \times 20$$

$$\text{一馬功} = 1560 \times 166 \frac{2}{3}$$

$$= 1760000$$

$$\text{一分功} = 220 \times 166 \frac{2}{3}$$

$$= 36666 \frac{2}{3}$$

設車重四千斤一小時行十里則必十馬引之每日行
二小時一馬之功為四百斤乘二十里即四千斤乘二
里所程之功較前僅得五之一車速故也

善蘭案題與款不合蓋又一說兩存之也

第十二款 人畜與火輪煤能力之較

準前論用煤一斤能力八十四萬而一人一日中出能力一百五十萬則人一日之能力約倍於煤一斤之能力。

準前論火輪推機上抵力乘一分中所過路爲一分中所程功而推機上抵力與推機面積或方或圓俱有恆比例設用風氣抵力其可用之力爲五斤又十分斤之九卽可求推機上之抵力推機爲風氣抵力所加行盡空柱中之路爲半次一進一退爲一次以一分中次數乘倍路爲一分中全路設題如左。

假如風抵力火輪器方柱空徑九十寸推機路九尺一分

中進退九次所程之功較馬力多若干倍。

方徑自之得八千一百以風氣抵力乘之得四萬七千七百九十為推機抵力又以九尺乘九次得八十一尺為全路以乘推機抵力得三百八十七萬〇九百九十為實以前平地引重題馬力所程功為法除之如左式。

求得一分

中火輪之

功大於馬

之功九十

五倍強

三〇八七〇九九〇
四〇七四〇〇〇〇

一〇四五一六七三〇
一一〇〇〇〇〇〇

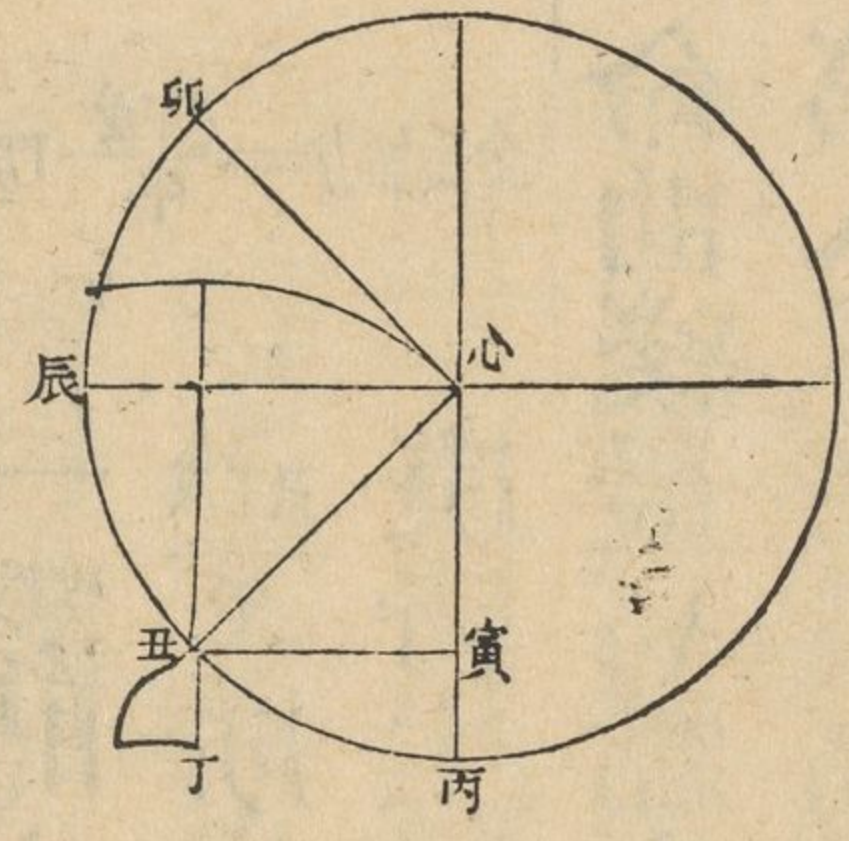
〇二六七三〇
一〇〇〇〇〇

第七論車過阻物力

車以平速行於平路其加於車動方向綫上之力必等於面阻力若以平速上行於斜面則力必等於面阻力加重之分力車之各點必以平速行於平綫設有加減則由能力加於輪軸而生蓋車之全質阻力一如收於輪軸上之力點也

車行平路突遇阻物如小石類不能行於直綫如車體甚堅阻物與輪周僅遇於一點則過此點時輪心必行於弧綫而以此點爲心過後仍行於直綫也凡車過阻物時必減速欲令速不減必別加力

第十三款 令堅車過阻物速不變當用若干能力。



如圖心丙心丑心辰心卯皆輪半徑

丑丁為阻物高輪遇阻時丑心與垂

綫心丙相交之角必以阻物高為正

矢寅丙等於丑丁故丑心半徑必環繞丑點

而輪心新變路與平綫心辰相交之

角亦必以阻物高為正矢卯心辰與丑心丙二角等故命此角為亢

車之平速為甲輪心初行平綫忽變方向成亢角時必

減速所餘之速等於甲乘亢角餘弦以前卷相擊之理

證之命輪半徑為乙阻物高為子平路長阻力為戊車

過阻物時方向綫上之能力為己車質阻力為午此力收於輪心在曲綫時與平綫等曲綫上不論何點俱有地力之分力加於車動方向綫上命此分力為庚則上行時之全長加力有等數

一霎時中之變速為定數

$\frac{\text{戊}}{\text{午}}$ 所生增速與不定數

$\frac{\text{庚}}{\text{午}} = \frac{\text{戊}}{\text{午}}$ 全長加力

庚所生減速之較

命曲綫最高點之速為丁自最卑至最高之路為辛準第八卷在最高點時加減之速過辛路時必變則有等數

變速 $\frac{子}{乙} = \frac{子}{乙}$

因 $\frac{子}{乙}$ 之能力加之故也 子為最高至最卑
之垂路則速方之加減為倍地力乘子也而甲
乘亢角餘弦為最卑點之速故有等數。

$\frac{子}{乙} = \frac{子}{乙}$

欲令車在最高點
時之速與未遇阻
物時等則丁必等
於甲而亢角餘弦
必等於 $\frac{子}{乙}$ 故有
等數。

$\frac{子}{乙} = \frac{子}{乙}$

$\frac{子}{乙} = \frac{子}{乙}$

$\frac{子}{乙} = \frac{子}{乙}$

與辛弧相應之
地平綫等於乙
乘亢角正弦則
辛弧即等於乙
乘亢角度設平
路上有阻力戊

則當用之能力有等數

此合車速

不變當用

之力與未

遇阻物時

之力相較

等數如左

當用力 = 戊乙亢正弦

己辛丁戊乙亢正弦 = 辛(己丁戊) L 戊乙(亢丁亢正弦)

亢 = 亢正弦 L $\frac{亢正弦^2}{六}$ L ()

較力 = 辛(己丁戊) L $\frac{戊乙亢正弦^2}{六}$ L ()

因亢弧甚小

亢正弦立方

以上諸數可

以不論故較

力等數如下

式

較力 = (己丁戊)辛 = 午地力子 L 午(甲子丁甲子乙)

此右邊第

一項為上

行路所加

能力之分

力第二項

為忽改方

向震動時所加能力之分力

車過阻

子乙

設子小

若地力乘乙小

物震阻

甲丁

於乙可

於甲方則地力

重阻二

地力乙

去之則

之阻力必小於

力之較

甲丁

比例變

車震之阻力車

比例如

甲丁

為下式

之本速大於車

下

地力子

過阻時之速

假如有車一小時行十里輪徑四尺求過阻物時震阻重阻二力之較

先求一

$\frac{1}{4} \frac{1}{3}$

得一秒中十四

約得震重二

秒中之

尺又三之二乃

阻力之比若

路等數

依上所定術用

一百廿一與

如下

$$\frac{5280 \times 10}{60 \times 60}$$

數推之

速：地力徑：：（ $\frac{1}{4} \frac{1}{3}$ ）：三二

三十六之比

車之震阻力可以法消去之法用鋼條作墊二層下層
 彎向上上層彎向下若二弓對合下層附于軸上層以
 承車身過阻物時軸向上行車身下壓鋼墊略平復凸
 車身不震也輪心所行之綫由直而曲由曲而直初無
 定限可推故前款中車速減小自甲至於甲乘亢角餘
 弦若用鋼墊則無此減速設鋼墊加力於車之綫與輪

心所行之綫恆成直角則能令車改方向而不改速然則用鋼墊之車過阻物時但加抵地力分力之力而不用抵震阻力分力之力較無鋼墊車之加力減大半也車過阻物後仍行平路之理

前論堅
車過阻
物用若
于能力
有等數
如下

子力地二辛午戊丁己二弦餘亢甲丁

命最
卑點
之速
為癸
則有
等數

子力地二辛午戊丁己二弦餘亢甲丁

辛午戊丁己二弦餘亢甲丁

車之下行弧綫等於上行弧綫此二弧綫與地平成角
必等車仍行平路時癸減小有等數。

然則車之前後二速必等。

故癸乘亢餘弦等於甲也。

甲—癸亢餘弦

甲—癸亢餘弦—甲亢餘弦—甲亢餘弦—甲亢餘弦—甲亢餘弦

二(巳丁戊)辛——午^甲二^子一丁亢餘弦^四亢餘弦

亢餘弦

仍易為

子^子甚

小可簡

去之則

有式

二(巳丁戊)辛——午^甲二^子

用此能力以過阻

物是為加力若無

阻物不用此力其

重分力為○蓋下

行所加略等於上

行所減故也

設如石路似有無數阻物連綿不斷車之輪心恆不行於地平而行於弧綫各弧之心為各石之頂點設各弧俱等與地平成丑角則輪心離此弧至彼弧以倍丑角為改變方向之率而丑角必甚小

第十四款 無鋼墊車行於石路自抵消阻力之力外當加若干力令車以平速行

仍命弧綫之

因車行近後弧綫時之

最高速為丁

速等於癸乘倍丑角餘

餘亦同前有

弦至後弧最高點時速

等數

仍為丁故有等數如左

子地二辛丁巳二丁癸

當加力 = 二午癸丑正絃

因丑角甚小餘絃
幾等于一故可省
又角之矢甚小
可不論故有式

$$\text{丑正絃} = \sqrt{\frac{\text{子}}{\text{乙}}}$$

$$\text{癸} = \text{子}$$

$$\text{當加力} = \frac{\text{二午丁二子}}{\text{乙}}$$

子 = 癸 = 丑餘絃 = 二 $\frac{\text{己丁戊}}{\text{午}}$ 辛丁二地力子

癸 = 癸 = 丑餘絃 = 四 $\frac{\text{己丁戊}}{\text{午}}$ 辛

二(己丁戊)辛 = 二午癸(一丁丑餘絃)

$$= \frac{\text{二午癸}}{\text{二丑正絃}}$$

當另加能令仍如故有等數

$$\text{二己辛丁二戊乙丑正絃} =$$

$$\text{二(己丁戊)辛} \perp \text{二戊乙(丑丁丑正絃)}$$

$$= \frac{\text{二午癸}}{\text{二丑正絃}} \perp \text{二戊乙(丑丁丑正絃)}$$

$$\text{丑} = \frac{\text{丑正絃} \perp \frac{\text{丑正絃}}{\text{六}} \perp \text{三}}{\text{六}}$$

當加力 = 二午癸丑正絃丑餘絃 = 二戊乙丑正絃六

因丑正絃
立方以上
諸數甚小
可不用故
有左式

路不平滑當加力以消其阻力此力與速方恆有比例
又與石高恆有正比例與輪半徑恆有反比例用鋼
墊可減小加力車行亦不震動蓋鋼墊有凸力善消不
平鋼墊愈柔震愈小輪行有上下車體無上下車與路
俱可不傷法之盡善者也

重學卷十六終

重學卷十七

英國艾約瑟口譯

海甯李善蘭筆述

論相擊抵力之理

前論相擊爲暫時之抵力。今論歷時之久暫由於體質之剛柔。如以錘擊木墩。墩上抵力。因錘與木之相遇而生。故鐵錘之力大於紗球。鐵墩所抵之能大於軟枕。而錘之能力消於墩之抵力。其所歷之時刻。又有不同。時刻愈小。抵力必愈大。而物性受凹愈少者。時刻亦愈小。蓋其時刻自兩面相遇至錘心最近所擊物心而止。受凹愈少。則所過

之路愈小故時刻亦愈小其阻錘之對力必愈大也

欲明此理必先定凹力凸力一切諸率今權命受擊物

質之率為甲所凹之路為天則所用之力為天甲即受

擊物所抵定之能力又若乙為錘質之率地為面之凹

路則地乙為錘擊物所出之能

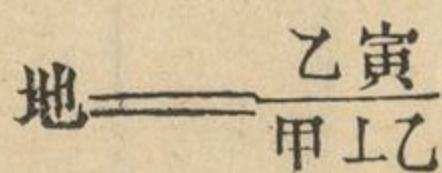
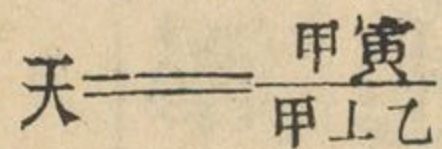
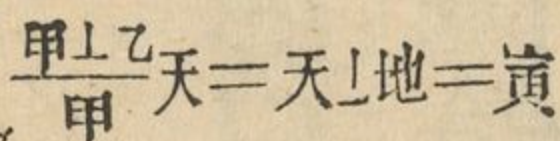
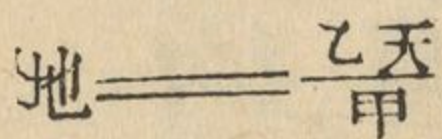
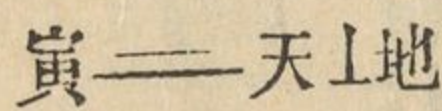
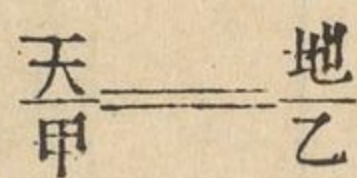
第一款 此物擊彼物二物愈剛所出之力愈大

仍以天甲 地乙 為錘與受擊物所出之能此二能必等

命錘重為子初遇時之速為

丑錘心所過路為寅寅路生

於兩物之凹故有等數



加於子

之抵力

有等數

令子速減

少之抵力

有等數

依第八卷所

定之等數則

有左式

$$\frac{\text{地力地}}{\text{乙子抵力}}$$

$$\frac{\text{地力地}}{\text{子乙阻力}}$$

$$\frac{\text{地力寅}}{\text{甲乙子}}$$

$$\frac{\text{力}}{\text{速}} = \frac{\text{速}}{\text{速}}$$

$$\frac{\text{地力寅}}{\text{甲乙子}} = \frac{\text{速}}{\text{速}}$$

$$\frac{\text{地力寅}}{\text{甲乙子}} \times \frac{\text{速}}{\text{速}} = \frac{\text{速}}{\text{速}}$$

$$\frac{\text{速}}{\text{速}} = \frac{\text{速}}{\text{速}}$$

$$\frac{\text{地力寅}}{\text{甲乙子}} = \frac{\text{速}}{\text{速}}$$

命定數

為丙則

有式

若路

等於

則

路漸增

速漸減

有等數

若速

等於

則

此時錘之全

速消盡凸力

最大抵力亦

最大

物初遇錘時抵力為

○漸增至等于

為最大也

$$\frac{\text{寅}}{\text{寅}} = \frac{\text{子(甲乙)}}{\text{地力}}$$

$$\frac{\text{地力}}{\text{乙}} = \frac{\text{寅}}{\text{甲乙}} = \frac{\text{子}}{\text{地力(甲乙)}}$$

$$\frac{\text{丑}}{\text{子}} = \frac{\text{地力(甲乙)}}{\text{地力(甲乙)}}$$

設凹分爲已知之數。體質愈剛則凹分之凸力愈大。甲乙愈小。由此而知所出之能力與錘重平方根恆有比例也。

此論所擊物爲不可動。故有此最大抵力。若物能動。抵力必小於此矣。試以平力擊小物。令物動於平力之對面方向。物重及質阻率可不論。物小故也。設款如左。

第二款 以錘擊釘。令入他物。求所過路大小。

命阻力爲卯。錘釘初遇時。釘不動。至錘與釘相凹。所生之能等於卯。則釘動矣。等數如左。

$$\frac{\text{地}}{\text{乙}} = \frac{\text{一}}{\text{甲} \perp \text{乙}} \text{路} = \text{卯}$$

$$\text{路} = (\text{甲} \perp \text{乙}) \text{卯}$$

則相凹之力等於卯命錘之速為癸則釘動時有等數

$$\text{癸} = \frac{\text{地力寅}}{\text{子}(\text{甲} \perp \text{乙})}$$

$$= \frac{\text{一}}{\text{子}} \text{地力}(\text{甲} \perp \text{乙}) \text{卯}$$

初動以後錘與釘俱前行恆為阻力所阻直至錘力消盡而止命錘釘路為申有等數

若申等

或丑

於○則

方小

等數如

於此

下而釘

數亦

不進

然

$$\text{阻力率} = \frac{\text{卯地力}}{\text{子}}$$

$$\text{申} = \frac{\text{速}}{\text{卯地力}} = \frac{\text{子}(\text{五})}{\text{二地力卯}} \text{地力}(\text{甲} \perp \text{乙}) \text{卯}$$

$$\text{丑} = \frac{\text{地力}(\text{甲} \perp \text{乙}) \text{卯}}{\text{子}}$$

設丑甚大則釘所過路與釘之剛柔無涉。設丑僅能令釘動則或加剛於錘或加剛於釘所過之路必驟大。設阻力令釘不能入而所釘之物與釘俱行與釘柔之理同乙必加大始能入物故剛釘之入物必深於柔釘也。

動限

錘釘俱剛則甲乙俱小而小錘用小速所

等數

出之能等於大抵力卯所出之能故大錘

如下

甲乙卯力地=子丑

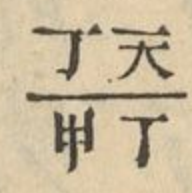
擊堅木釘其能與十四萬斤之抵力略等

前論甲乙大小由於錘與物之剛柔命物之全徑為丁有戊力加之或凹入或凸出有等數。

生凹天面之



力如下式



設戊力即物質則戊為凸力率質愈堅凸力率愈大甲亦愈小鋼鐵凸力率為九百萬尺

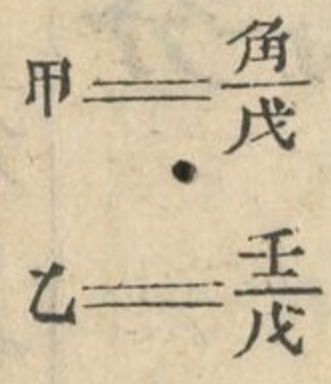
假如用鐵錘以高生速擊鐵墩求凹深若干

鐵錘之重以鐵柱為率鐵柱之底為錘墩相遇之面設錘為平行諸面體壬為其長有等數

設墩厚為角

在所擊之方

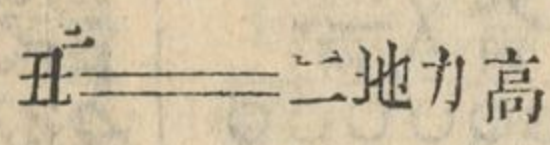
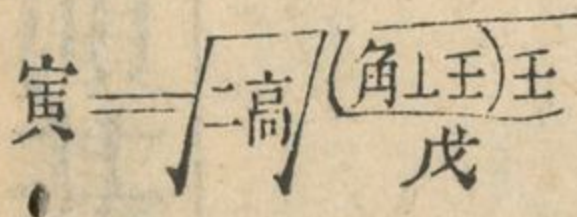
向綫上



命路為

寅則有

等數



設鍾長四分尺之一，下行八尺，墩厚二尺，則其式如左。

即一千分。

尺之一為

鍾墩其凹

之路。

$$\text{寅} \quad \sqrt{\frac{9 \times 2}{4}} \quad \sqrt{9000000}$$

$$\frac{1}{1000}$$

設欲求最大抵力，必用前所得之等數。

故最大抵力等

於四千尺高之

鐵柱壓力。

$$\text{抵力} = \frac{\text{高} \times \text{壬戌}}{\sqrt{\text{角上壬}}}$$

$$\sqrt{\frac{1}{6}} \frac{2}{4} 9000000$$

$$\sqrt{\frac{9}{4}}$$

$$= 4000$$

設鍾墩遇面方寸抵力，等於立方積四萬八千方寸之

壓力即重一萬二千斤強

假如鐵釘入木阻力等於鐵柱之重柱之底面與釘頭遇
錘之面等命長為己求釘入木路大小

釘長為

因角小

釘入木之

角以前

於壬故

路減小為

證之有

又有等

因剛

等數

數

不足故也

劈入他物若論阻力亦可依本卷例推之天平一邊

有重一邊用物自若干高投入空盤令彼重上升物重

若干亦可以此理推之用相擊能力以消阻力動定

重學卷十七
之時。擊力亦當適盡。不然卽不可推。於鐵板中鑿穴。亦用此法。打洋錢亦用此法。加重於桿之一端。以轉螺旋。欲擊螺旋。令之忽停。所加之力必甚大。蓋用相擊能力。乃欲於一霎時中。消去質之重速。故必用最大能力。設於堅石中。開一穴。擊鐵條。令入穴。錘擊數次。後消去阻力。則石可隨鐵條而起。若柔石則不能。蓋堅石所凹甚微。擊時所消阻力甚大。柔石則阻力不甚大。擊時鐵與石互相讓也。堅石中所去阻力。卽鐵條起石之力。較柔石中阻力以數倍計。

重學卷十七終

重學卷十八

以下三卷附流質重學略

英國艾約瑟口譯

海甯李善蘭筆述

總論

金木土等類為定質氣水等類為流質定質之各點

凡體皆無

數細點所積而成

重定不移流質之各點周流無定定質滯力大

流質滯力微也流質有二曰輕流質如氣

氣動成風故一名風氣

之

類是也曰重流質如油水水銀及五金鎔液之類是也流

質有二力曰互攝力曰互推力二力略相等重流質亦微

有滯力何以明之凡濺水空中必略如球體

不竟成球體者各點互相

攝引外面諸物亦相攝引故也。又試以平面體加于流質上舉時必增力。

此其證也。

所增之力即為滯力率。

輕重二質理多同者如熱則體

增大寒則體減小此其一也。測各物之性以定體增減之率而水之體性特異至極寒時體反增大用法輪海所造寒暑表測之寒漸增水體漸減小至四十度為減小限乃質多體少之極處此時水之質最密若寒再增水體復漸增大至三十二度而成冰矣當成冰一霎時中體增大最

多亦最速。

瓶蓋因水迸裂即是故也。

論縮力

昔人論水不能令縮意大里亞弗羅倫之地多格致士嘗

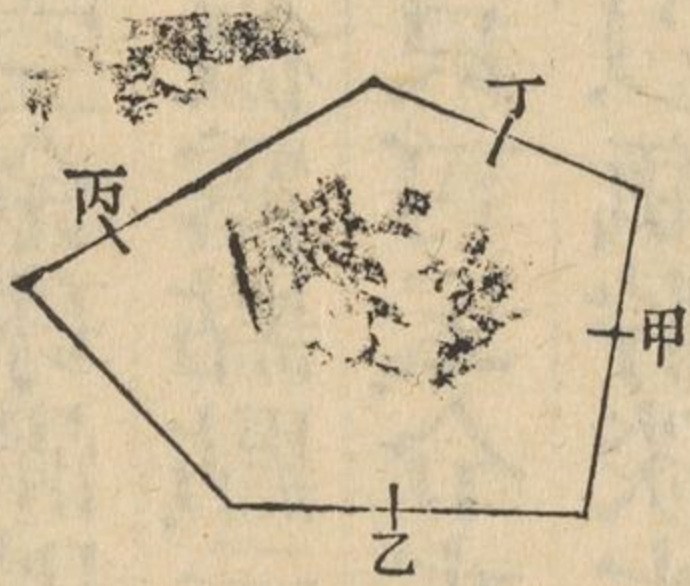
用空金球滿貯水密封無隙用器四面擠之水必透金出如微露點點云水不能令縮之據也今細窮其理此不足據只可云令水透金易于令水縮耳水實可縮何以明之試以瓶貯淡水密封口沈海底出驗之水必變鹹蓋由淡水縮海水入之故因思瓶之口塞必先入乃剏法用銅瓶置分釐尺于口塞旁驗縮入若干乃有定率如法測得水深五千尺水體積縮二十分之一因其可縮而知水有凸力瓶出海時口塞必復原處是水先縮後長有凸力也凡縮之球體疾行相擊擊點必微凹即凸以令體疾回謂之凸力曰安知非銅瓶改變形狀之故耶曰瓶之內外抵力同必無改變形狀之理故決定

爲水之縮也

論抵力

定質流質抵力不同。定質抵力靜動只有一箇方向。卽加能力之方向是也。流質抵力處處皆其方向。如以水滿貯牛胃。手執其口。執處抵力與各處抵力等。蓋任在何處。所出抵力必通于各處。與互相攝引之理無涉。

如甲丙爲滿貯水器。于甲乙丙丁四面上各開相等小穴。用短柱塞之。勿太緊。令可進退。如甲柱漸進。則乙丙丁諸柱必漸退。欲令不退。必用等于甲柱之力阻之。乙丙



丁穴任在何處皆同觀此而知抵力處處皆同。

加于流質抵力之比必同于小穴大小之比每柱抵力可作諸餘柱抵力并力假如器之一面用相等若干柱代之若一柱加于流質之抵力爲一斤則全面抵力同于柱數乘一斤。用此理造水抵力器設大柱大于小柱一千倍小柱抵力一斤可抵大柱一千斤故凡流質可當作通抵力之器別器通力有定方向流質任何方向俱同火機器鐵鍋中水極沸時水氣漲大恐鍋裂任于鍋上預開小穴掩以機板能自開閉水氣抵力太大鍋欲裂時機板卽自開水氣卽洩亦此理也。設有鐵

鍋每徑寸之小圓面能抵二十斤。抵力過此卽裂。或火盛或機停。水氣驟長。抵力增至二十一斤。機板卽自開。水氣卽洩。洩至水氣抵力少一斤。機板卽自閉。小穴任開于何處皆同。此所謂等通抵力。流質滿貯器中。密封之。卽有此理。器之功用。聚流質各點于一處。以令抵力加于流質之各處俱等。若流質不滿貯器中。則亦須論流質本重。本重抵力加于下面。愈下愈大。四周所加抵力。不論上下。處處俱等。

論流質面形狀

流質在滿貯密封之器中。流質面之形狀。卽器內面之形

狀今欲明流質自然所成之面。試貯流質于相通諸器中。諸面高下必俱在一箇地平面上。此共見共知也。以理推之。乃地心攝引力加于同距心之流質。大小俱等而然。凡諸物相近距地心等。可作在一箇地平面上論。蓋諸流質之面爲平于地平之面。則地心力加于各點俱等。各點必俱定。設面非平于地平。則地心力加于各點有較多較少之處。而處處有不等之抵力來往其中。流質全體不定矣。因此而知。設四周俱定。必有一小面可作地平。不問何流質爲地心力攝引。理俱同。如風氣小面亦必平于地平。非特地力。任有何能力加于流質。流質各點之面必直交。

各點諸能力之并力線。以此理爲據。合無窮水面。必成球面。小面爲地平。全面爲球面。然略近球面。而非正球面也。蓋地球旋轉。生離心力。離心力及地心攝力。合生并力。水面必直交并力。所以海面及地面。當近赤道處。曲于球形。當二極處。平于球形。又近高山處。水之定面。形狀恆稍變。必直交所加諸能力之并力。月過處。月力合地心力。亦生并力。并力方向。異于地心力方向。必令水面改變。卽潮汐之理也。故水面恆直交于并力。并力動。水面亦動也。水及水銀貯器中。其面異。近邊處。水必略高。水銀必略低。貯小管中。近口之面。水銀必凸。水必凹。此何故。蓋另有二

力一流質諸點互相合力一流質與器口諸質點相合力
流質面直交二合力之并力并力愈大曲度愈多互攝力
不論遠
近俱有互合
力惟近有之

論平面

水之平面以小面言之與地平面略無差別若統論其大
面如海及江湖即大不同地平面乃恆爲平面之切面何
爲平面乃水爲地心力攝引自然所成形狀之面也地球
可作球形論雖略區
今弗計陸地之面必有高卑海面定時無高
卑故海面爲平曲度之球面測量而知其如此準地心攝
引之理推之亦當如此若作別形狀則面不能定矣蓋面

之諸點離地心不等則加于諸點之攝引力亦必不等故必成球體乃俱相定也是以球面爲定面今作平面論之設地面皆水則止一箇平面今因有陸地高卑不止一箇平面諸平面離心遠近不等而最大者爲洋面他平面俱以此爲準

他海面亦有高低惟洋面以地半徑爲距地心線故以此爲準

論二處流質相通必升至本平面

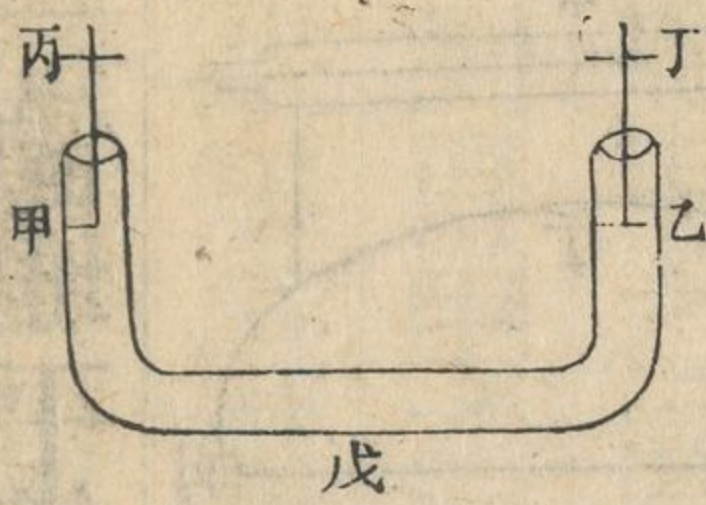
一箇平面上諸點距地心等則地心力加之亦必等所以諸點若不在一箇平面不能定昔人運水入城必作引水橋路工費極大今改用長管或地中或地面不論方向曲折引之此有一要法聚水處必高于城中需水處能依此

法以管千百支分引之。雖岑樓之上。取之裕如。我英倫頓
國都街道之下。數千百里。皆埋水管。家家引取。入廚無行
汲于戶外者。試用相通多器。列于平面。大小形狀不必
同。以水入一器。必通於諸器。且其面必彼此相平。

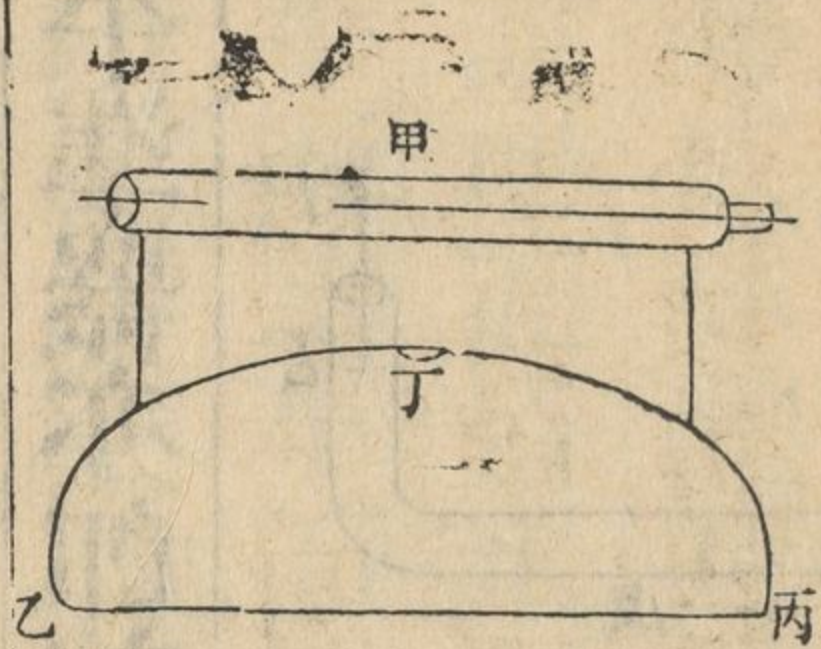
論平準器

平準器亦即前條之理也。欲知兩地高卑平否。必用平準

如甲戊乙爲水平準。兩端彎向上貯水。其
中水面浮甲乙二板。板上立甲丙乙丁二
柱。長短必等。丙丁二點作二小穴。或置二
小木筒。用時人目在丙筒平望丁筒。必在



一箇地平線上因甲乙水面平故也



又如甲乙丙為燒酒平準所用燒酒必疊燒幾次為燒酒

之精質乙丙為玻璃罐下面平上面微凸貯

酒其中微令不滿密封之不滿處有氣泡

恆在最高點下面若平于地平泡恰當凸

面之中心如丁若置器不平一邊略高泡即離丁點而

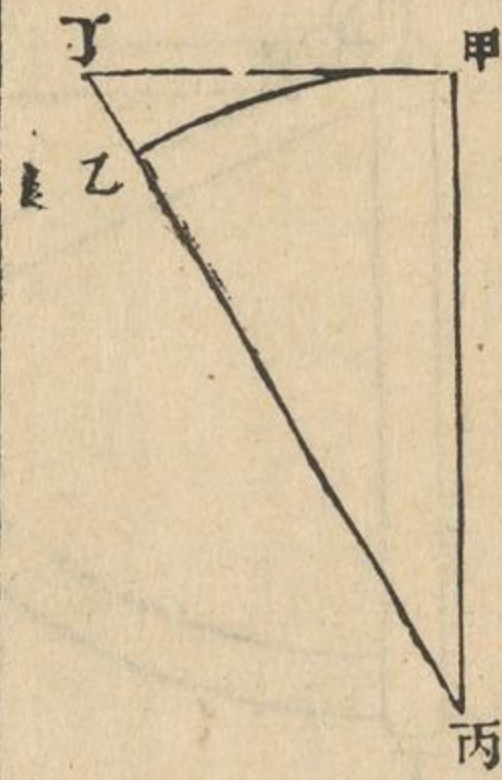
至側邊之高點視泡在丁點否即知器平于地平否其

上置遠鏡如甲遠鏡軸線即虛線平行于罐底罐底平于

地平時人目窺遠鏡所見之物俱在一箇地平面上此器

亦有無遠鏡者用燒酒取其不冰也凡與大工不能缺此器

設在山中有彼此兩地欲測在一箇地平面上之點先
于此處任取一點平置燒酒準令泡在丁點用遠鏡測



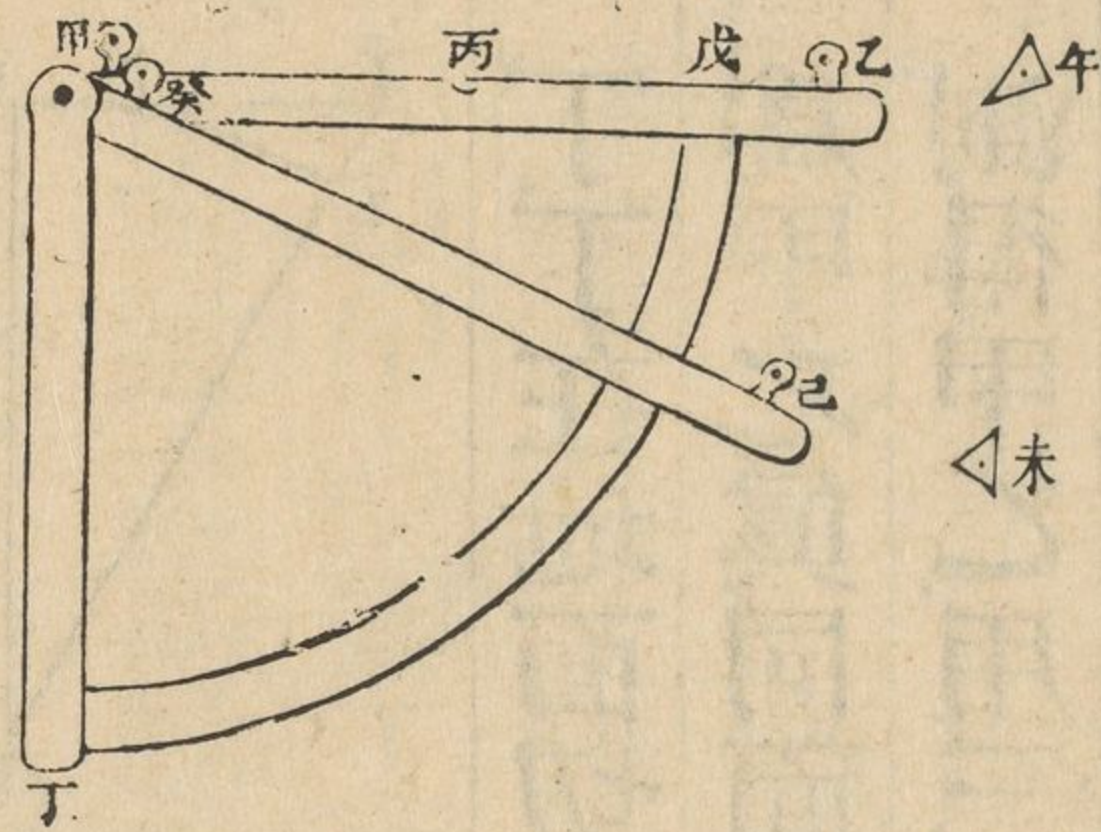
彼處之點即得如此既有二同地平點
餘處高卑俱可以此為準彼處地平點
必在遠鏡所見點下如遠鏡所見點為

丁丁在地面切線甲丁上甲乙為真地面
以球面言之故乙

為甲之真同面點丁為甲之視同面點丁乙為視真較
測得甲乙用三角術推之即得乙丁

如欲知所觀之物下距地平線若干度須以象限儀附于
平準之下合為一器測之

如甲乙為平準設甲乙平于地平時氣泡在丙目在甲
 穴窺乙穴所見之物為午則午與甲乙同一地平面丁



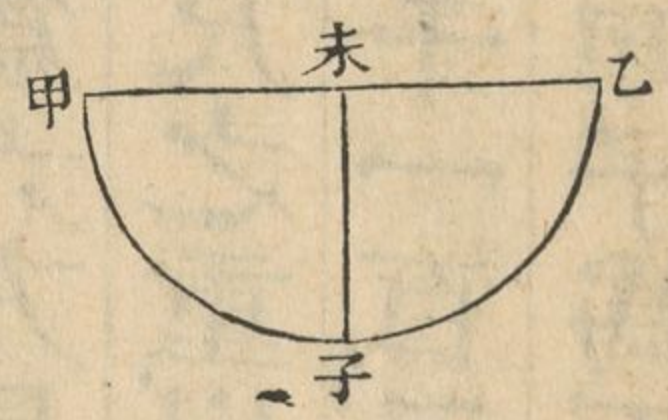
戊為象限儀癸己為活準著于甲點
 旋轉于丁戊設目在癸穴窺見未物
 在己穴之外查乙己度即得若未在
 甲乙午地平面之上須以器倒置之
 令甲己線出甲乙線之上窺物小穴
 中間界以細線以免視度有小差

論流質抵力愈深愈大

前論流質體為地心力及他力所加所成形狀其面恆直

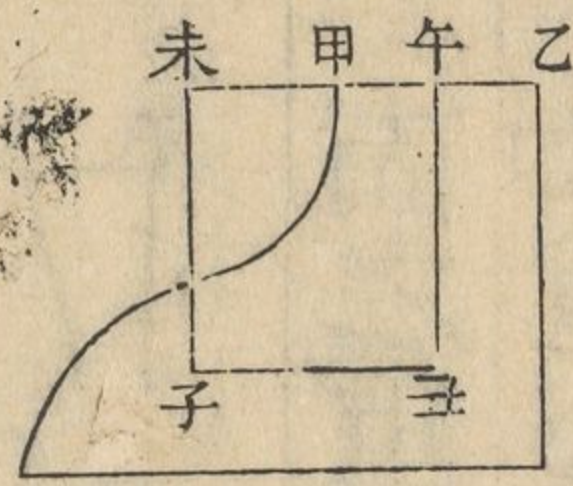
交于諸力之并力線。今論流質各點因地所生之抵力。流質愈深。抵力愈大。蓋流質定于器中。各層流點自下而上。俱爲地力所加。澄然不動。因各點抵力大小相併相抵。故也。如此地力加于流質各點。其各點抵力加于下面一點。而此抵力通于四周方向。欲知流質壓于平面。卽地平面抵力若干。當以流質高乘面積得體積。其重卽平面抵力也。設面爲六方尺。流質體高三尺。所求抵力等于流質十八立方尺之重。以水言之。每立方尺重六十二斤半。計全抵力一千一百二十五斤。英斤

如子爲下面一點。甲乙爲水面。因水之各點俱定。故自



未至子諸點可當作一條線直交甲乙水面。當水定時此線與四面之水一似不相聯屬。四面之水一如定質但此線為流質而子點抵力僅為子未線上各點抵力所生各點向下之力必經過未子線加于子點故子點抵力為全線各點向下力之和即各點之全重故線愈長即水愈深抵力愈大也。

如子點不正當甲乙水面之下作子丑線平行于水面作丑午線直交水面準前說子丑丑午諸質點當作二線與四面之水一似無涉丑點抵力為丑午線上諸點



之全重子點抵力為丑點由丑子線通過之
 抵力蓋丑子平行于流質面故離地心等子
 丑之重必等故子點抵力等于丑點抵力而
 子點抵力大小以子未長短為準故子點任
 在何處抵力以水深論無異也

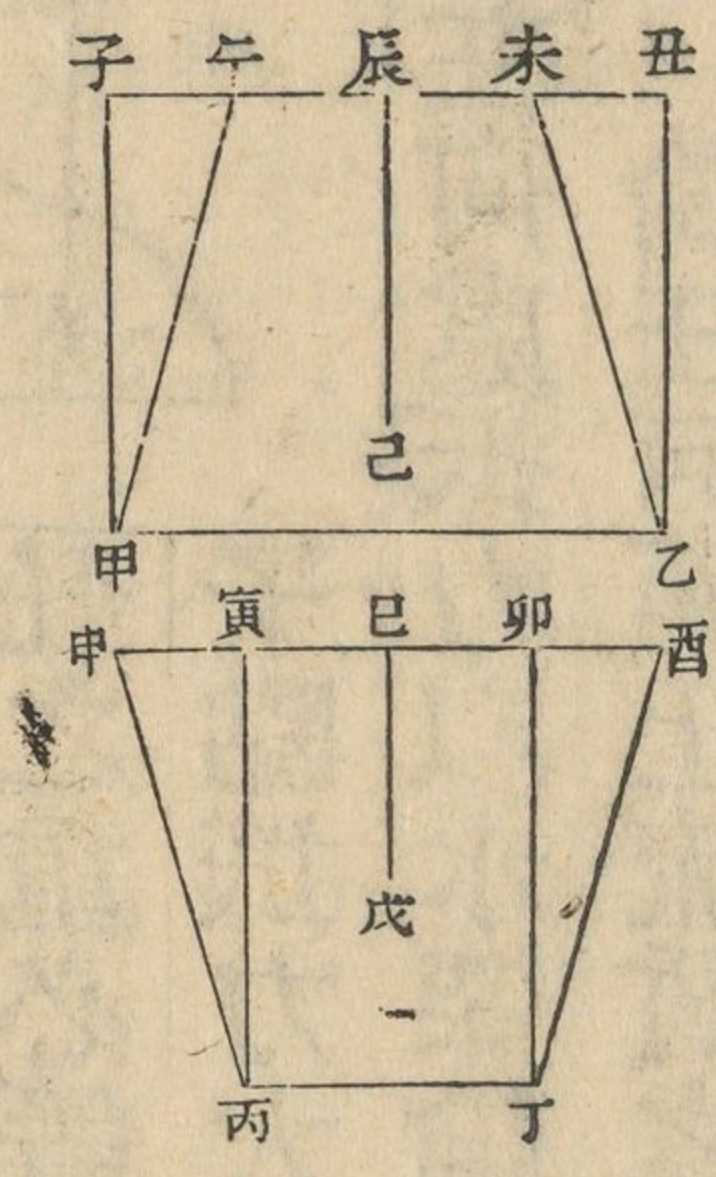
論任何面上流質之抵力

觀上條之理而知流質任何點其抵力必等于上面垂線
 各點向下力之和因各垂線向下力方向俱平行故任何
 面沈于流質中可推面上之全抵力
貯流質器之面任割取一小面亦可推測
 以本面為底以本面重心距流質面為高高乘底得體積

命此體積為流質柱柱重等于面上全抵力此為已知之理欲得其詳

須用算術推之

如甲乙未午酉申丙丁為兩箇相等截頂圓錐器一順一倒貯水其中求底面抵力及旁面抵力有兩流質柱

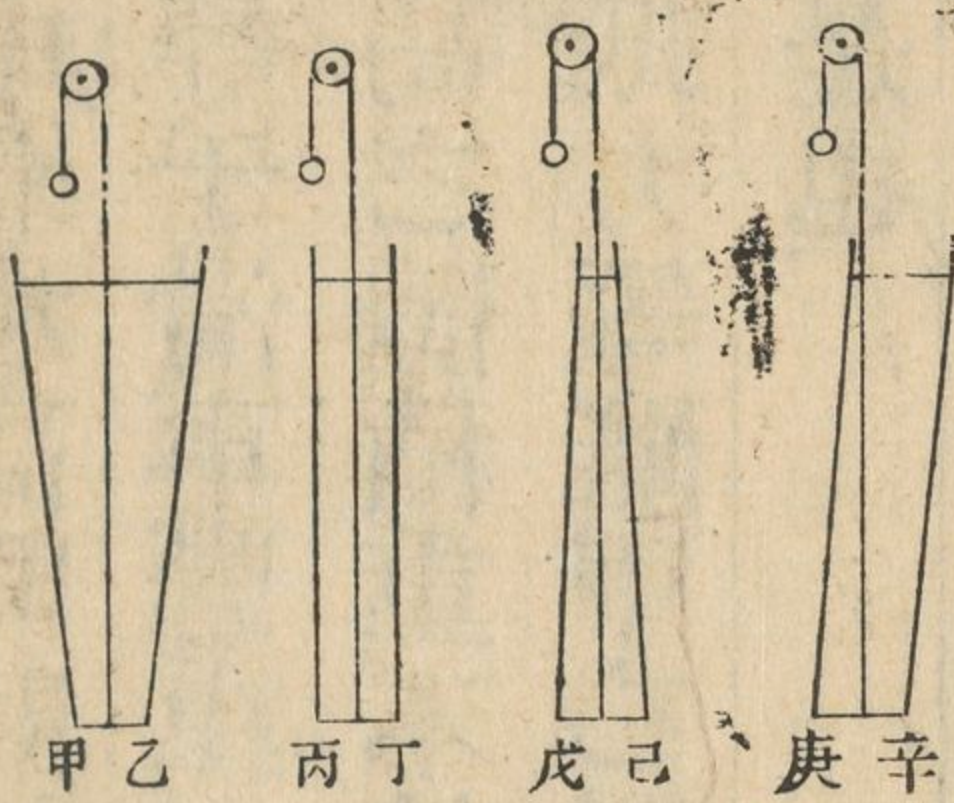


底等于抵水之面高等于底面重心距水面之線一為子甲乙丑一為寅丙丁卯因兩箇抵水之面重心距水面等故也惟旁

面之重心其深淺不等上一圖甚近底如下一圖略高

如重心高卑大異所以截錐器倒置之則重等于抵力

之流質柱卑順置之則高甲乙底之抵力大于所貯流
 質重丙丁底之抵力小于所貯流質重瀉水于順置之
 截錐器中設器之質體輕水力必令器上升因地心力
 小于抵力故也



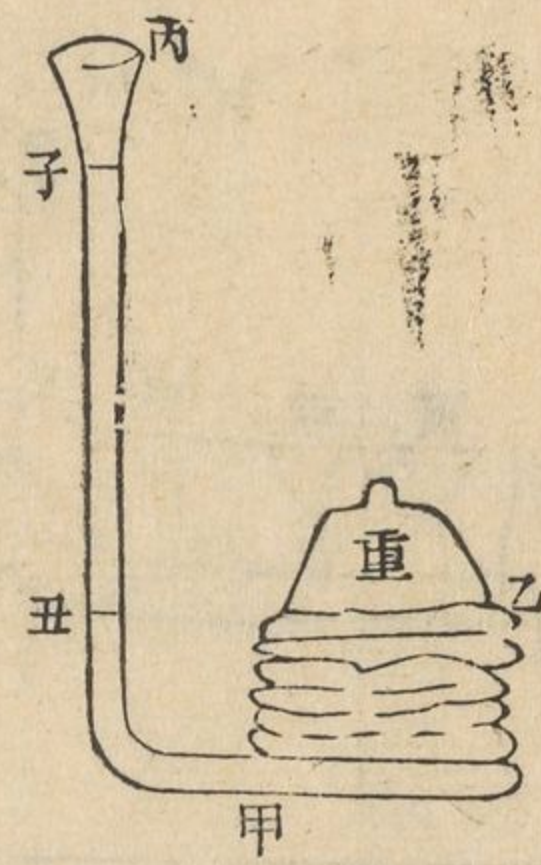
如上四圖為四貯水器甲乙丙丁戊
 己庚辛四底面等上面向下抵力大
 時底必有欲開令水流出之勢試作
 四活底以索着活底之心經過滑車
 一端懸重則重為底面上抵力之率
 四重大小必等乃以水徐徐入四器

重學十六
中令水高時時相等。測知四底必同時欲開。卽水柱重
等于滑車懸重之時也。各器水柱抵力。皆卽器底乘水
高之體積重。不論器爲何形狀。俱同。故甲乙戊己底面
抵力等。雖甲乙器大于戊己器。不論也。此理似非而實
是也。

論水橐籥

水橐籥上下用二木板。四周綴以牛皮。令不透水。傍用籥
管以入水。

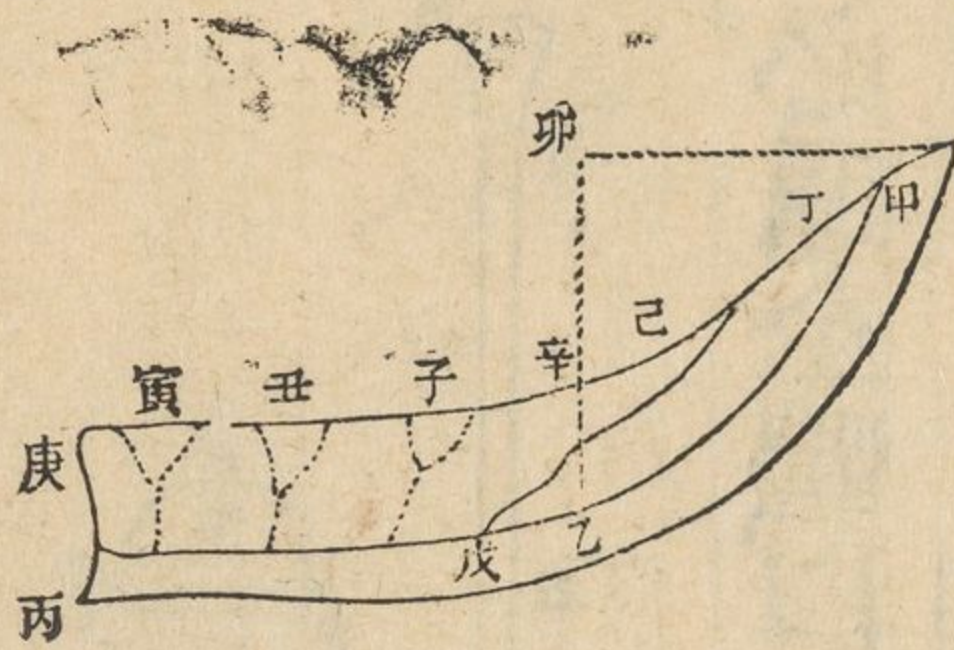
如圖于管口丙入水。水流至甲。令上板乙上升。以重加
于乙。升至不可升之時。乙板向上之抵力。與重并板重



向下之抵力必相定當相定時設子
 爲籥管中水高丑與橐中水高等則
 子丑一段水體之重卽推起橐上全
 重之能力子丑水體加抵力于丑面
 必通全體以相等抵力加于各處等面設乙板面大于
 籥管口面卽一千倍則丑點上一斤重能抵定乙板上
 一千斤重如欲令所抵之重加大至無限量其法有三
 一增大木板一減小管面一增長管高可用極小水力
 抵極大重若用水銀質重于水則所抵之重更大用風
 氣亦妙人立于板上向管吹氣能令板載已身上行

論泉穴

土中有泉穴，穴中之泉從土中向上直行，嘗觀開井，有時水躍出，高于地面數尺，與上條之理同。蓋地球之外皮，土石各層，處處高卑不同，故也。



如庚丙甲為地球外皮一段，甲乙丙為沙子，滿中皆水，上有不通水之堅土，如丁戊，堅土至戊點而盡，己庚為常土，與沙子連，則水必上升，欲與甲點平，故有子丑寅諸泉穴。虛線即泉脈，設欲于辛點開井，必掘深至乙。穿過丁戊堅土也。掘至乙

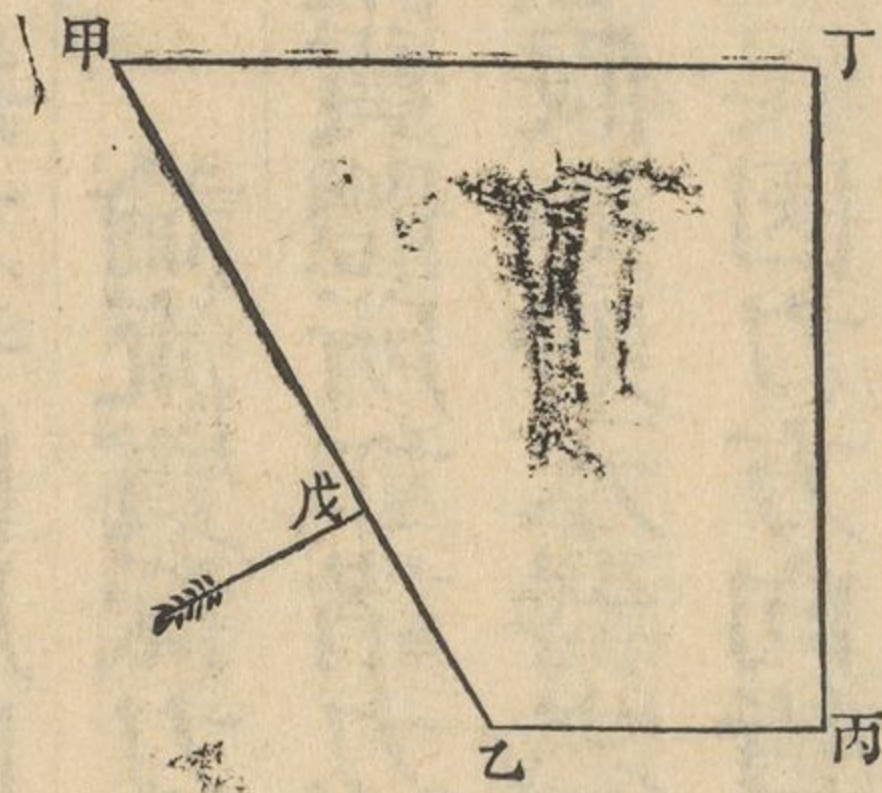
時水必躍出至卯高與甲等設甲乙一層沙子在山邊則水躍之高必如地中抵力之率設有泉脈從山頂通山腹山腹四周俱不通水積成數百尺高之水體加大抵力于四周围四周土石不能抵必開裂而成瀑布

論流質抵力心

流質體所加諸力可以并力代之并力所加之點爲抵力心假如貯水器之底面爲地平面則底面并力點與重心無異因力方向皆平行并力方向俱同故也若貯水器旁面之抵力心必在重心之下設旁面爲平行四邊形抵力心之高爲三分面高之一設爲等腰三角形倒置之抵力

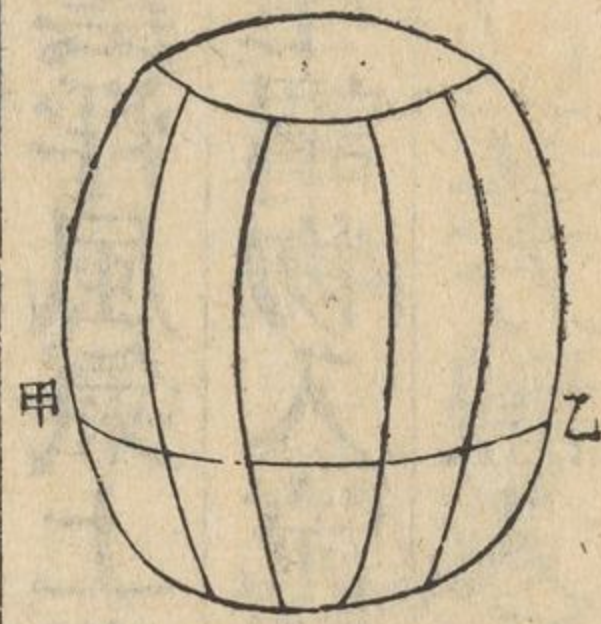
心之高為面之中垂線二分之一。正置之則為四分之一。

如甲乙為貯水器平行四邊形旁面。此面活動不連于器。取甲戊為甲乙三分之一。但于戊點加一抵力。可令全面不動。



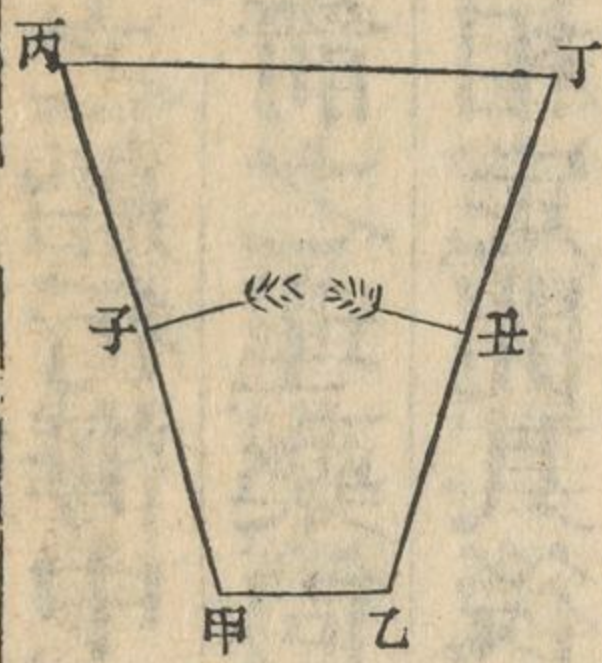
設器為桶。旁有活面。用條木支于外。所支點離底亦為三分桶高之一。活面即不動。凡水工明抵力心之理。為第一要務。造水閘不用此理。則不堅固。蓋水閘當抵力。

心點必多加能力以阻下面之水



論旁面抵力

水貯器中旁面抵力兩邊相平相定故滿貯水器無偏動于一邊之勢設于此邊開一小穴器必向彼邊自倒因去一邊之抵力故也



如甲乙丁丙為貯水器子丑抵力相定設于丑點開小穴則丑點無抵力子點抵力如故必令器向子點一邊自倒推

重學十六
三
之船行海中後面放水可令船向前也因此亦可明火
箭之理藥筒火發筒中四周爲大抵力所加前後二面
相定開其後面則後面抵力散于空中前面無相當抵
力故令火箭向前而飛

論物浸流質中之理

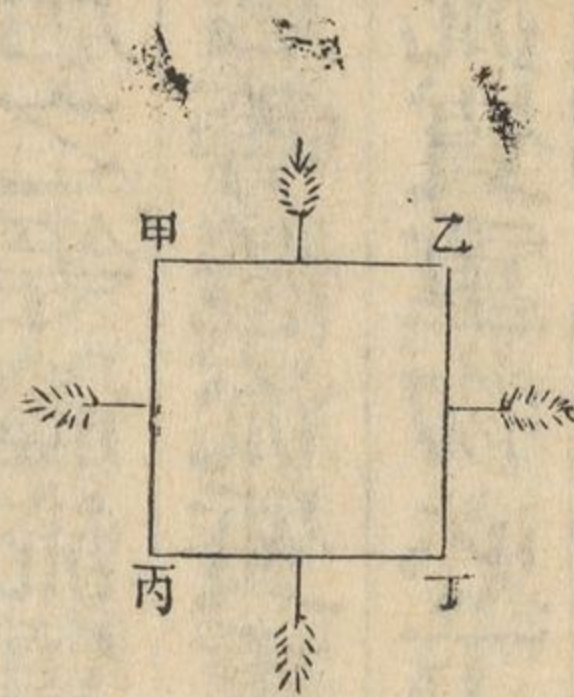
觀定質物浸入流質中似與地力攝引之理不合如竹木
之類入水必升鍤入水銀必升炊煙在風氣中或升或降
雲浮風氣上與輕物浮于水無異昔希臘國彌底推得其
理謂物入流質中必變輕所減本重等于等體流質重

設立方體入流質中上下面平行于地平

即平行于流質面

立體諸

面之各點必為流質抵力所抵



如圖甲乙丙丁為立方體四矢為四面

抵力方向甲丙及乙丁旁面抵力必相

等且相對故相抵相消甲乙面所抵上

邊之向下力等于甲乙面至流質面之流質柱重丙丁

面所抵下邊之向上力等于等體流質重加上面抵力

如此則加于立體者有二能力一本重有令體向下之

勢一上下二面抵力之較有令體向上之勢設此二能

力相等立體必定設不相等立體或升或降視本重或

大或小于對面能力

即上下面二
抵力之較

為準

論物入流質中減重之理

物入流質中觀所減之重必因流質載之而然蓋物未入之前有等體流質先在物所居之處凡流質愈深處愈重此等體流質可當作定質體與四面流質一似不相連屬先在物所居之處不動因有向上抵力恰等于體重抵定之故也所以物入居之而定必有向上抵力載之物重必等于先所居之等體流質重如此凡物入流質中物重若等于先所居等體流質重必相定而物重即減盡設物重大于等體流質重物必下降設物重小于等體流質重物必上升是則物體定于流質中必等于流質同重之體因物入時所

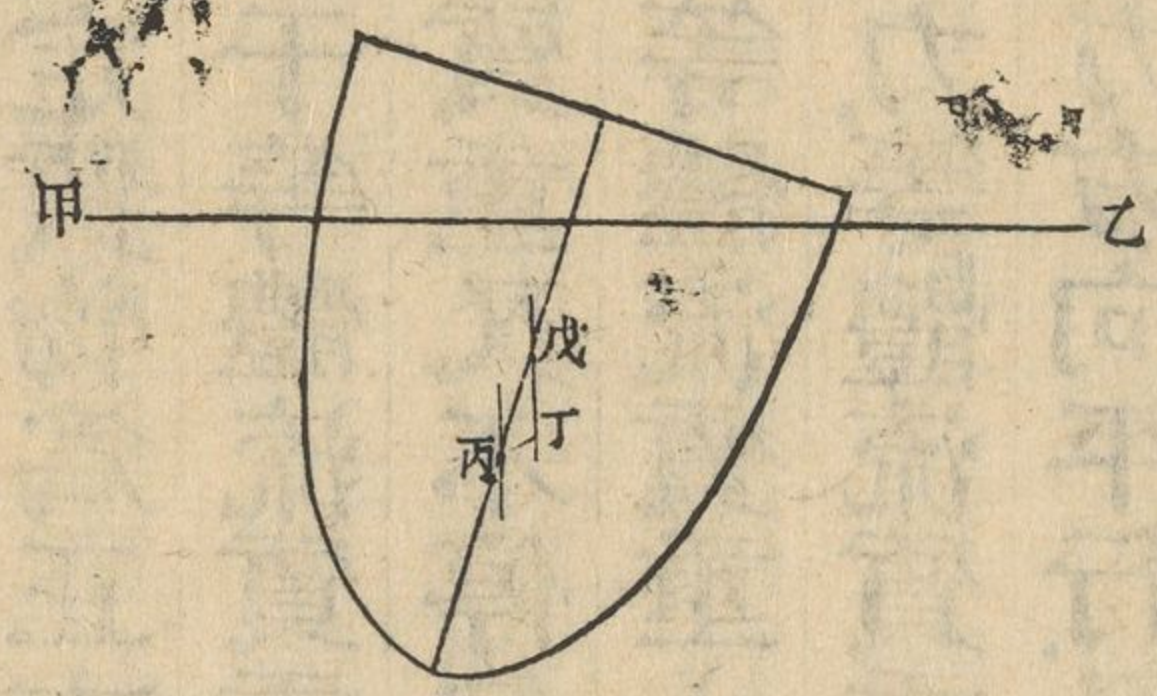
讓開之流質其重必等于物本重故也。

論相定之理

設定質物爲正方體各點質重停勻則如上條所言物重
等于等體流質重物卽定此第一要理也若非正方體各
點質重又不停勻則當用重心有二重心一定質物重心
一等體流質重心定質本重一如收于定質重心爲向下
之力等體流質重一如收于流質重心爲向上之力此二
二力方向平行且對面若二力相等又在一箇垂線上則
物必定。

如甲乙爲流質面丙爲定質重心丁爲等體流質重心

定質重為經過丙點之垂力。等體流質重為經過丁點
向上之力。此二方向不合為一線。物不能定。物定時。丙



丁丁戊必同在一箇垂線上。故定質
重心與流質重心必在一箇垂線上。
物乃定。此第二要理也。二要理外更
有定心定不定心定之理。約言之。定
質重心愈下。愈近定心定。所以船底
必鎮以鐵石之類。令定質重心下于

等體流質重心也。小舟中人起立時。易傾側。因定質重
心高為不定心定也。

論等體重

用前條物入流質之理可測諸定質之等體重諸定質體相等輕重各異由于質重各異也如方寸鐵或方寸金重于方寸水又如一瓶水銀重于一瓶水欲測各質等體異重之率法甚難今以水較之則甚易凡定質入流質中必減重用算術推之有比例

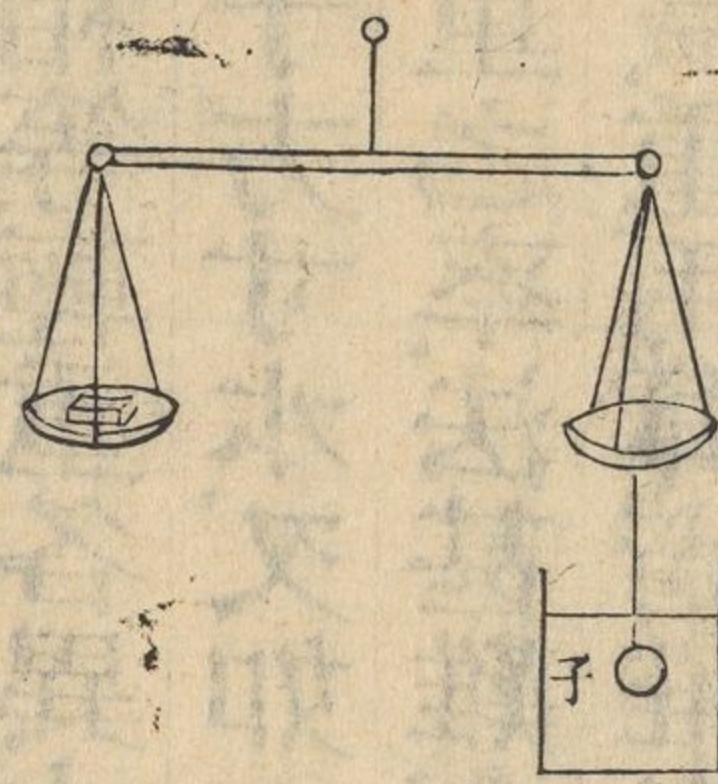
一率 所減之重

二率 全重

三率 流質等體重

四率 定質等體重

重學十八
依此比例諸異質體可于一箇流質內測其輕重察其減重若干即可推得其等體重用以定諸質體輕重率甚便也。



測等體重用天平如圖天平一邊之銅盤出細線以繫物先以常法平之視有若干重次入物水中平之視有若干重二重較爲等體水重乃以本重爲實等體水重爲法實如法而一爲物之等體重率。

如有金本重三十五分入水中變爲三十一分所少四分卽水之等體重乃置三十五爲實以四爲法除之得

八七五卽金之等體重率。

論物在流質中或升或降之理

設不合上條中要理則物在流質中必或升或降以物本重或大或小于等體流質重故也令物升降之力等于物本重與等體流質重之較凡輕物或木箱錫箱牛胃等物中有風氣入水中必升浮水面卽此理也用此等物可起深水中之重物如大船沈水中欲起之用木箱滿貯水入船底兩旁用皮條或繩搭住以長氣機管取出箱中之水箱卽舉船而起舉船之力卽二等體重之較也魚在水中能自升降者因腹中有風氣胞能大能小故升降甚便欲

升時風氣胞漲大令等體流質重大于魚身重卽升欲降時風氣胞縮小令等體流質重小于魚身重卽降人入水中等體流質重亦大于身本重又胸中空處能大能小胸放大可令兩重較更增大設誤落水但昂其頭胸必放大且以兩手入水則必不沈若手出水則等體流質重減小小于身本重頭必沈矣身旣下沈直至水底抵力能減縮身之體積則身本重大于等體流質重不能復升矣凡自高下墜入水必深縮力加多身之體積驟減小亦不能復升也死後體漲大復升浮水面因等體流質重大于本重故也氣球上升亦此理令球上升之力卽球本重與等體

氣重之較初作氣球時用熱氣冷熱二氣其重較不小等體冷氣重大于熱氣并所帶或船或車重球必上升矣近時氣球中所用氣以法煉之其重小于常氣四五倍故球上升又速又高水中小氣泡上升亦卽此理愈近水面泡愈增大所撼動之水體亦愈近水面愈大也此有二理一水愈深抵力愈大一氣凸力之比同于等體空之反比

論熱氣上升之理

聚火處開煙囪令煙速出于上亦前條之理也熱氣輕于等體冷氣當漸熱時體必加大所以撼動冷氣漸多卽等體冷氣重漸大二重之較卽令熱氣上升之力又人口中

所出之氣亦常上升。煙中有無數細黑點。故可見他熱氣無此黑點。故不能見也。煙囪若高能成熱氣長柱。而動力甚大。譬以長木入深水。其上升速于短木數倍也。故煙囪一百五十尺高。較五十尺高出煙幾倍速。又高煙囪之煙向上直升。恆高于頂若干尺。外面風力不能敵。低煙囪之煙有時不敵外面風力。卽不能出。有反入室中之患。英國造布火機房。及冶房煉藥房等處。必建高煙囪。因此也。出煙專用此大煙囪。各處之火。用小煙囪通入大煙囪。令下面有熱氣長柱。其大動力可代橐籥。故諸火俱極旺。若諸火俱滅。一時不能復然。因氣不流通。須先用枯草或刨

花入大煙囪中燒之令氣漸熱復成長柱然後流通諸火
乃可復然也

重學卷十八終

東坡志林卷十八
下
公人大致因中身之合身神機以双身林然然然然然然

重學卷十九

英國艾約瑟口譯

海甯李善蘭筆述

論輕流質

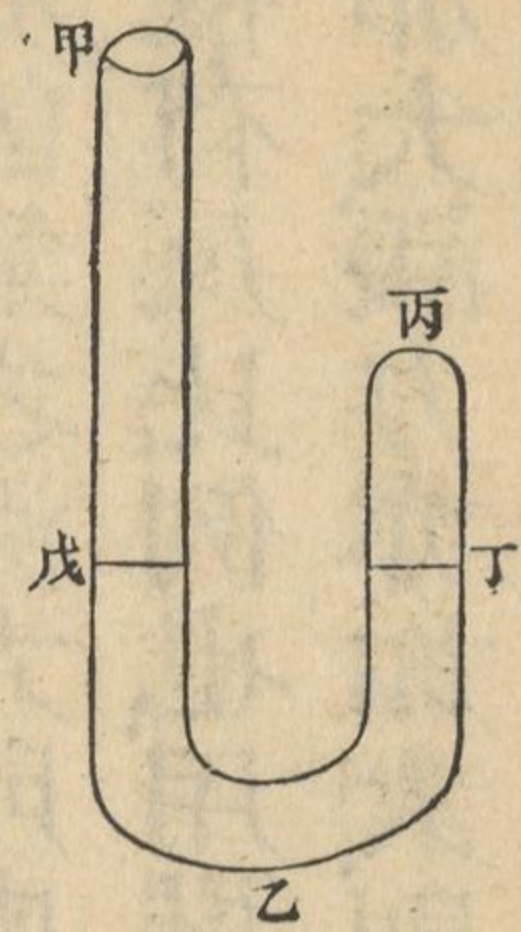
前卷中論流質抵力及物入流質中所言流質不分輕重因地力所加理無異也然輕流質之理有與地力無涉而爲諸質點互推力所生者今詳論之諸流質中凡屬氣類非水類卽有互推力此力乃成風之根故諸質點互相加力之理與定質異并與重流質異定質中諸點之力互相擁擠令諸點各居本處不能移動重流質中諸點之力僅

能令諸點于各平面互相往來一無阻礙惟輕流質中諸點之力能令諸點四面散行直至遇物阻攔而止故器內有氣必加抵力于器之四面然則氣之定時必有外來之力抵定諸點若諸點之推力與外來之力稍不相等卽不能定矣此抵定之力名氣漲力與地心力無涉故氣可作無輕重論而凡氣閉于器中必生抵力于四周曰設于器上開小穴當穴處無抵定漲力之面如此氣動乎外氣入乎內氣出乎抑內外俱不動乎曰內外氣輕重冷熱等則俱不動內外二力相抵定若輕重冷熱異則不能相抵定而動矣其動依大力之方向

論漲力

凡氣之冷熱不變則漲力大小與所處空體之大小恆有反比例此理英國鮑以勒始發之凡氣漲力與抵力恆等試用長空圓柱其兩端一塞一通以通之一端倒入水中漸下則柱中氣所處空體爲水逼漸小故令柱下行之力必漸加大而令柱下行之力卽柱口與氣漲力相抵之力亦卽氣之漲力所處空體愈小漲力愈大故空體與漲力恆有反比例也用推機進退空柱中理同若寒暑表熱度加大漲力亦加大則比例又不同

又測法如圖甲乙丙玻璃管自甲漸以水銀入之能擠



乙丙之氣令漸小縮入丙丁空體內
 水銀愈增丙丁之空體愈小甲戊中
 水銀重即為丙丁中氣漲力之率如
 法驗之與上空柱入水所測合不論
 何氣其體質厚薄與空體大小恆有反比例何謂厚薄
 體質多而密為厚質少而疎為薄所處空體愈小則愈
 厚愈大則愈薄漲力大小與體質厚薄有正比例與空
 體有反比例

玻璃罩內之氣用氣機管出之氣漸出所留者復漲大仍
 充滿罩中故漸薄每推機進退一次氣必遞薄一次而漲

力必遞小。至漲力小極時不能開掩機則氣不能復出矣。故氣機管不能出盡罩內之氣也。又有倒氣機管其用與氣機管相反能令氣擠入器中愈厚漲力亦愈大。至漲力大極時外面之氣不能復擠入謂之定限。前所言體質厚薄與漲力大小有正比例者用此器測而知之。風鎗卽此理鎗內有小空體擠氣令漸入體質愈多愈厚漲力愈大發鉛子猛烈與火藥等。

恆升車內用氣匣最易顯氣之漲力。古時恆升車不能令水常流不息。近加氣匣內有氣與外不通先擠水入此匣內然後上升則常流不息矣。蓋水入時能擠小匣內之氣

以生漲力令水由小管上升小管與恆升車所舉水同高故能不息也氣匣之用甚廣火輪器用之可免炸裂之患可免霎時機停令器壞之患又能令全器相切之諸面歷久不壞救火之水龍亦用之而用之最大者莫如引水筭于一小房中用火機及氣匣以引水而一大城中數十萬煙戶無出汲之勞并不必蓄水高處省人工無數器之利用無過于此者

流質漲力之妙用莫如大抵力火機凡水熱至寒暑表二百十二度水必化氣其漲力與尋常氣漲力等若再增熱度則水氣漲力極大雖至堅之器不能當之故熱度大于

二百十二度謂之大抵力火機其漲力非尋常氣漲力可比此力爲諸巧機之根用之造器歷數十世不能盡其巧法。

論各種氣分合之理

包地球外之氣非一種也乃各種氣相和而成可以法分之合之俱有精理而與地心力無涉試以二瓶一貯水母氣一貯炭氣水母氣最輕炭氣最重以輕者居上重者居下各啓瓶口對合之須臾水母氣下降炭氣上升和洽極勻設貯氣之器有隙通外氣則內氣必出外氣必入內外相和其出入處方向對面而不相礙。

英國達爾敦嘗細察此理。知輕流質本有互相推盪之理。若輕流質爲兩種氣。卽無此理。蓋兩輕流質彼此互視。俱如空體。故此氣質點流入他氣質點中。不相阻礙。但有點與點相擊之微細阻礙。一如水入沙中。亦如風透薄紗也。凡二氣此氣漲大時。他氣諸點之質阻率。能減小。此氣諸點之動速。迨二氣和洽後。則諸點僅能加抵力于本氣之諸點。此論能解難解之理。蓋屢測輕流質相合時。恆與地力之理相反。如炭氣重于水母氣。二十二倍。輕者居上。重者居下。能相和洽。此理最難解者。得此論始釋然矣。近人復以法攷之。用水和燒酒。以器盛之。置玻璃罩內。以氣機

管漸出罩內之氣令薄則二物必俱漸化爲氣以補之至罩內氣質復厚漲力復原則二物不復化氣乃以石灰入罩內水所化氣必與石灰合氣之體質復薄水復化氣而罩內有石灰所化氣復與之合如此可使器內之水盡化爲氣與石灰合至僅存燒酒而止然則水氣足卽能阻水之化氣燒酒氣足卽能阻燒酒之化氣去一氣留一氣則一無阻之者故復化氣一有阻之者故不復化氣蓋二物各有化氣之能各不相雜此可證達爾敦所言之理甚確也

論地球外有風氣包之

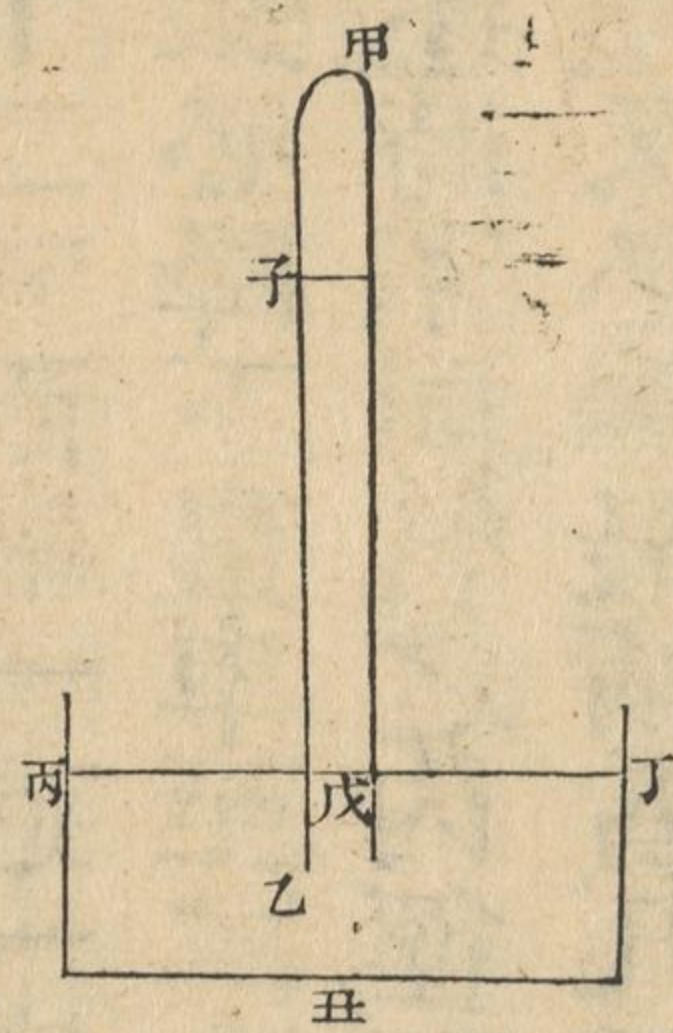
地球外有氣四圍包裹何以知之地面處處有雲浮行空中且處處有風又仰觀最高山頂亦有雲有風雲外蔚藍無際此氣厚之證試觀深水澄碧一色同此理也若無氣仰視空中必純黑無色而晝夜俱能見星矣包地球之氣不論何地不論何時亦不論高卑爲諸氣和洽而成恆同諸氣中淡養二氣爲多他氣俱甚微加于氣之力有二一諸點互相撼動推盪之力一地心力令諸點相定

論氣抵力

地心力加于氣所生抵力以輕重論與重流質之理同抵力大小與深淺有正比例是也自地平面至氣盡界氣之

積最深故最重地漸高則氣漸淺亦漸輕也明崇禎十三年伽離略始測定氣之重其門人據此以發明恆升車水升之理測氣之器卽風雨表也其法用玻璃管長英尺三十二寸兩端一通一塞滿貯水銀倒植水銀器中管中水銀必降下最卑至二十八寸最高至三十一寸而定升降逐時不同管之內徑不得小于八分寸之一其水銀必極淨又必擇最精者凡用法作空此管之空最真玻璃管高不至二十九寸水銀必升至頂而無空若管高過二十九寸卽有空欲求其故試置風雨表于玻璃罩內以氣機管出其氣則水銀必漸降再放氣入則水銀必漸升觀此可

知水銀定于管中者因氣之重擠之令不能降也既明此理即可用水銀柱高爲氣之重率。



如圖甲乙玻璃管倒置丙丑丁爲器中水銀面子爲管中水銀面子戊爲氣重力所擠不能降之水銀柱設柱徑爲八分寸之一以丙丁面分作與柱底相等之若干小面則各小面向上之抵力必等于子戊水銀柱向下之抵力各小面上之氣向下抵力必與向上抵力等故氣柱徑八分寸之一其重與戊子水銀柱等彼此可互爲輕重之率。

風雨表可當作水銀平準。前所論燒酒平準，止能于同平面高卑處用之。若非同平面高卑，則當以大平原爲高卑之準，而以海面爲準者，更精更確。此必以風雨表測之。如在海面水銀高二十九寸九分二釐二毫，至山上水銀必降。蓋卽上所論氣淺而輕故也。深壑中水銀必升。氣深而重故也。約略高九百英尺，水銀降一寸。山高一萬八千尺，水銀柱高十四寸九分六釐一毫。山高三萬六千尺，水銀柱高七寸四分八釐。○一依此用連比例，任若干高，俱可推也。

論氣若逐層等質當若干高

前論因氣為流質不論在何點抵力與柱長恆有比例又
 氣為輕流質其厚薄與抵力亦恆有比例然則地面抵力
 最大氣之質最厚漸高則抵力漸小質亦漸薄矣氣質厚
 薄上下逐層不同故高卑不可測設上面之氣擠緊令厚
 薄皆與地面等則依法推之其高約得五里英國每里五千二百八十英尺約等中國三里有奇故以抵力論之若氣質逐層等則其高約得中國十五里

一率 氣厚薄

二率 水銀高

三率 水銀厚薄

四率 氣高

氣之質厚薄恆有小變故抵力亦恆有小變必以中數爲準用大小不同徑之水銀柱比較知之有方寸面水銀柱卽知方寸面氣抵力凡水銀方寸體積重七兩八錢五分三十二寸重二百五十一兩二錢卽十五斤十分斤之七爲方寸面氣抵力之率計人之身有氣三萬斤重壓之而人不覺者因通體互相抵定故也其抵定之理有二一流質通抵力處處如一。一氣漲力與質之厚薄恆有正比例與所處空體恆有反比例人身外邊氣抵力四面擁擠與身內氣之漲力相抵定設外抵力略大身之所處空體必略小內之漲力必略大內外二力仍相抵定如海底採珠

者入水十六尺外抵力加半倍三十二尺加一倍身體擠小內之漲力亦加大半倍一倍故不害也醫者爲病人打火罐罐中有火時氣因熱漲大而質薄打後火滅而冷氣質不能變厚漲力小不能與身內之漲力相抵定故罐口皮肉俱腫漲

寒暑表水沸時熱度以氣抵力爲準若無氣水沸時熱度必甚小氣抵力時有小變故水沸熱度亦時有小變

論倒器口風氣抵力

倒器中能令水倒懸不出者因器口有氣抵力抵定故也試以有底之管貯水于中以底向上倒懸之水必不出若

以法令水面不動各點俱定則無論器大小俱可倒懸水必不出試用玻璃碗滿貯水貼紙于碗口徐倒之紙下有氣抵力必能令上面之水不出蓋用紙貼之能令水面諸小點不移動故也若以此器平覆几上去其紙水猶不出微舉離几水卽盡出于几上

據此可明吸酒管之理吸酒管內兩邊倒懸之水俱欲下行在頂點有兩分之意而頂點無空勢不能分其不能有

空者因氣力擠之若頂點高三十二英尺

英國以十二寸爲一尺中國一

尺約抵英尺十四寸

卽空矣故極大之吸水管高不得過三十二英

尺此器中有二抵力一在長端之口一在又一端之水面

二水柱一自長端口至頂點一自水面至頂點長短不齊
兩端水皆滿水柱長者重必令短者倒流而上遂流轉不
息而吸管中水恆滿也蓋吸管中水動之力因氣加于所
吸之水面而生若吸管中水不滿必有中分之處而因氣
抵力擠之令水恆滿不能中分也故水之過吸管其理一
如極光滑之鍊索懸於一點兩端不齊自能滑過卸下也
若兩端齊卽不動一端略長短者必隨長者而動矣水在
吸管中亦然令兩邊水柱等長水必不斷亦不動故若令
一端之水面與一端之口在一箇地平面上水必不流轉
也

論氣層層包裹之理

觀前論流質相定之理，即可明氣層層包裹之理。氣之中間，不論何點，其質之厚薄與抵力大小，恆有正比例。以此推之，離地面漸高，必漸薄；其外疑有盡界，其盡界必略如球面。然則其盡界之面，必與洋面平行。故太空之氣與大洋之水，俱爲流質。海其旋轉及地心力攝引之理，俱同。所以氣之盡界，必爲平球面。地球面至氣之盡界，自內至外，逐層分爲無數球面。氣定時，其抵力其厚薄其冷熱，每面上必處處相同。試于一面上任取二點，二點之抵力同，厚薄冷熱亦同。則氣必定。氣球爲無數同心球面，自小至大。

包疊而成。逐層球面。自內至外。厚薄由漸而變。層層不同。言光差之理者。以先明無數球面之理爲最要事。

論風

上論相定。言其理耳。氣球爲流質大海。必無處處相定之時。蓋氣之本性最易流動。故若一點略有撼動。卽傳之各處。俱不能定而成風矣。風之起。其最大之因爲太陽晝夜往來感動之故。其他所因俱甚小。蓋氣定時。逐層之面。冷熱俱同。太陽能亂其冷熱。十二時中。從太陽中所來之熱氣。刻刻不同。而冷熱又有因于地勢而變者。而氣遂不能定矣。各處緯度異。冷熱亦因之而異。蓋向日之正斜不同。

也。赤道之地，太陽常過天頂，兩極之地，半年有日，半年無日。若于二地取相等二小面，其受熱氣多寡懸絕矣。正居日下，熱氣正射，則熱多；若斜射，則熱少；愈斜則愈少。赤道北緯四十五度之地，冬與夏所受熱氣其較甚大。非冬遠日而夏近日也。日之正射斜射異也。故離赤道漸南漸北之地，一年中熱氣中率必以漸而變，俱可推定。或有不合，必因地勢之故而合者居多。赤道之地，一年熱氣中率，寒暑表八十四度。倫敦小寒大寒時三十六度，小暑至處暑六十一度。一年中中率五十度。距赤道北七十六度四十五分之地，中率十八度。七十八度之地，中率十六度。準此

推之北極之地中率約四度然則近赤道一帶之氣較他處必甚熱故體積加多蓋熱度增體必漲大故也而因漲大則必輕于他處之氣故必上升而其下兩旁之冷氣來補之復受熱氣漲大上升兩旁復有冷氣來補之于是赤道上升之氣如流之不斷南北來補之氣亦如流之不斷遂生上下二潮上自赤道流向二極下自二極流向赤道而名之曰風地球面有常風上潮若無他故則北半球恆南風南半球恆北風下潮若無他故則北半球恆北風南半球恆南風而因地球每日自轉風亦隨之而轉下潮近赤道地球緯度之速漸大風不能追及一若退行故北半

球變東北風南半球變東南風赤道左右三十度內常常如此海船最易行至近赤道風從東來之路漸消而盡蓋已得地球之速故一若無風或僅正南北風。

上潮有時降行地面亦成常風在北溫道外恆爲西南風在南溫道外恆爲西北風此一因于地球自轉一因于上潮方向也蓋上潮有向東之速乃地球赤道上自轉所生故北溫道外上潮向東之速大于北方諸地面向東之速迨熱氣消盡必下降至地面而所得赤道之速尚未消盡仍大于各地面之本速故既至地面卽爲大西南風也在南半球則爲大西北風。

攷驗上潮有二據。大西洋海中有高山名德內黎非山巔與山脚之風方向恰對面。又海中火山頂噴煙焰方向與海面之風亦對面。蓋煙焰初出山頂在氣之下潮中其力甚猛直上不動及入上潮力漸衰乃隨風之方向而橫行也。準此測得上潮之行甚速或云海中常有颶風其故亦因于此。蓋上下方向對面遂成迴旋之風也。竊意東南東北二常風久之其力定能減小地球自轉之速雖小阻力積久能成大也。幸上潮時時降行地面消去其阻力故不變也。蓋地球面上恆有此類相等諸能力雖時地不同而無加減也。又中國東海之風夏常西南冬常東北亦卽此

理因太陽緯度而異也其大略可類推。

論氣之盡界

包地球外之氣若無盡界日月諸行星亦兼包于內則大陽居氣球之中亦仍與地球外氣球理同然以意度之而知氣有盡界不兼包日月諸行星也何則蓋氣之漲力能推諸點向外行令漸遠地心其方向與地心力恰對面漸高則漲力必漸小直至漲力與地心力相等之處則氣之諸點不能復相推而有盡界矣漲力漸小又因漸高漸冷之故以此二理推之氣之盡界當不及一百五十里

近時格致

家言氣或有盡界或無盡界未有確據未可強定

重學十九
論氣球合諸氣而成

包地之氣合諸氣而成乃化學家之理也計百分氣中有養氣二十分或二十一分淡氣七十九分或八十分二氣和洽而成非變化而成故氣在化學中獨異非若他物合諸質體變化而成也氣中又有炭氣水氣然俱甚微諸氣和洽而成包地之氣故氣球中有養氣球淡氣球炭氣球水氣球尚有他氣攷驗未明諸氣球各自充滿各不相礙設去其一餘仍如故也

各氣視他氣皆若質之視空此理甚微妙不易解也

重學卷二十

英國艾約瑟口譯

海甯李善蘭筆述

論流質之動

凡流質之動與定質理無異。設有流質一段不連他物空中下墜必與定質同。如雨點及貯流質器下墜是其證也。故如有氣一段四面俱空不連他氣墜地時必鏗然與石無異。又流質擺動亦與定質同。故擺錘中多有用水銀者。若曲玻璃管滿水其中擺動時一如定質。其二端之動比若二管長短平方根之比。于此益可信重學之動理。

論流質出口遲速

凡器中流質出口入氣中行成柱體若無物阻之其柱之面恆不變當出口時各質點之速等于空中下墜已過若干路所當得之速用此理推得二事一出口時速之大小由于口離流質面之深淺不由于本質之厚薄故諸流質空中下墜俱同速也如水與水銀出口時若口之離面深淺同其速之大小亦同然當口處水銀下壓之力甚大于水設口離面三十二英尺水上面所加之抵力等于地面之氣常抵力而水銀十三倍之一同流質出口速之大小比若經過之高平方根之大小比蓋各物空中下墜每

秒中速之比。若經過之高平方根之比。故也。如有貯水器
一百尺高。旁開二口。一離水面一尺。一離水面一百尺。則
流出之速。下口必十倍于上口。若于二口中間離水面四
尺九尺十六尺二十五尺等處。又開各口。其流出之速。必
二倍三倍四倍五倍于離面一尺之口。然用此理測量流
出之速。必略減。不能恰合。蓋尚有面阻力。上所論之理。與
面阻力無涉。若欲知其定速。必細測面阻力所減若干。已
測定一口。則餘口可推算而知也。

出口之速。與多有定比例。如一秒中。下口較上口。其流出
之多加若干倍。則其速亦必加若干倍。故實程之工。等于

當口處抵力大小當程之工也。此凡與水同類不能縮之物皆然。若能縮之物則不然。又流質之上面若氣之常抵力外。又另有抵力。令流質之面與口氣之抵力不同。則加高器中流質柱推之。蓋流質自器中出入氣中。其上面必有抵力傳于口。傳于口之力與口外氣阻出口之抵力同。故流質自器瀉入氣中。無異于在真空中下墜。如玻璃罩內抽出氣即成真空。若流質上面別加抵力。如以砧迫之之類。則出口處必增速與多。欲知增若干。其比例當以同輕重加高之流質柱為率。若上面抵力減少。小于口外氣抵力。則流質出口不易。海船中水桶必有二口。一在上面。一在下。旁水出

時必有氣在器中水面其漲力加水柱重之力必略大于口外氣抵力若略小水必不出所以上面必有通氣之口也。

論流質出口形狀

凡流質出口在器底必直向下行在器旁必依拋物線行皆作柱狀而漸縮設口爲徑寸之平圓則所作柱狀近口處亦必徑寸漸遠漸縮最小至八分寸之五謂之小平圓截面流質各點出口時俱欲向此截面此面距口有一定遠近過此面則柱之形狀不變矣其故蓋由出口之流質處處遲速不同之故設流質各點用同速行其方向皆平

行于柱軸則自出口至地形狀如一矣。乃器中之水必用無數方向流至口。故出口有倒尖錐之理。錐尖在口外。卽當小平圓截面之處。流質各點俱欲向錐尖之點。故擠成小截面也。無論在器底在器旁皆然。尖錐形狀視口之形狀及截面距口遠近而異。截流柱爲無數截面。口爲平圓則諸截面皆爲平圓。口爲正方則諸截面形狀不一。略遠口諸角俱無。再遠則爲八角形。有四大邊四小邊俱相等。再遠則爲八等邊形。而諸邊微曲。漸近平圓。再遠則爲四曲邊形。凹面向外。若口爲他形狀則流柱之變狀又不同。其故皆生于各點在器中趨口之方向。測流質出口多少。

不用口面積而用截面積約爲口八分之五。

論助口管

接小管子口外能令流質出口加多管之形狀可任意爲之若圓柱形與口大小同加于器底方向爲垂先將流質充滿其中則出口視前較多若不先充滿則流柱仍如前漸遠漸縮不能着管之邊而管爲無用最妙者用二尖錐形管以二尖相連近口之錐與流柱形狀同外錐加長其底口與原口等流質至小平圓截面處遇外錐流柱必由小而漸大用此管流質之出多于前若十五與十之比此助口管之妙用也蓋外錐加長則下面各點之速大于上

面各點又有相分之勢則中有空處各點不擁擠故流出
加速又口外每有氣之擠力阻之用此管能去此病也

論流質阻力

凡物行于流質中必生阻力阻力之大小視流質之厚薄
及行之遲速若用小速行于薄流質中阻力幾等于無若
速大如礮子之類則阻力亦大必能減速又物緩行水中
阻力極小漸速阻力亦漸大如船初行一小時一里繼二
里繼三里水之阻力必漸大其漸大之比若速方漸大之
比故一小時船行二里之阻力必四倍一小時行一里之
阻力而一小時行三里則阻力必九倍也物之面有受阻

力多者有受阻力少者欲求阻力最少之面理有多端如船尾當作若何形狀離船首當若干遠船腹當作若何形狀今攷驗尚未明也

物行流質中推其阻力不同者有二一物或全在水中或半在水中一或行于闊處或行于狹處俱不同也故上所論水阻力漸大之理有時竟不合者如一小時行四五里有常阻力與上論合若于狹處一小時行十二里至十四里阻力反變小或幾等于無則不合矣又舟載人約七十五至九十用二馬牽之一小時行十里馬不病若一小時行六里馬必斃阻力反大也且一小時行十五里較易于

六里其故由于船頭激生之浪其動法因遲速而異愈速則船出水愈高故阻力愈小又水面大小與船大小亦有一定比例

凡氣加于闊面其阻力可以輕氣球下墜時用傘之理明之輕氣球下必綴以傘下墜時爲氣所阻故幾秒後不復增速傘與人俱用平速而下又鳥之飛亦藉此阻力阻力加于翅尾如舟舵以正方向

論流質動之功用

流質以動加于定質與以定質擊定質無異故必生動于定質可以定質受擊之理論之其擊力之大小視流質之

動率大小最大之浪擊船有時能令錨索絕風一小時行六里人幾不覺行八十里至一百里則能拔木發屋凡風帆風碓輪水碓輪之作皆本此理也。

流質之動有時忽止所生之變其比例若止動時分之反比例與定質理同然流定二質轉動之理不同流質忽然不動所生之變必轉傳于各處如用多管通于積水處一管開令水出不論用何速若驟令水停所生之變各管俱知面積等則生等變脆薄處必破裂西國各城用轉水管若大管中水忽停流數里外小管一時俱裂用此理可激水上射至極高處。

論川中水流

水流于川遲速不同其故多端底有高卑邊有曲直又有面阻力及他故俱能減流速且令改方向開港若高卑同且甚直流速最易推凡水流上面速于下面中流速于兩邊因底及兩岸有面阻力且多曲處故也通水管中流速不同亦然用面阻力推之能知一小時管中過若干水凡港之灣凸邊之流速于凹邊此生于各點互離心力能令水積于凸邊故也水之上下面非但速不同或方向亦異甚至方向對面亦有之如通海之港潮來時鹹水從下入淡水從上出是也鹹在下淡在上者輕重異故也故油入

水必上浮熱水入冷水亦必上浮凡大川入海離口若干里海面之水俱淡然下必鹹也。

論浪

浪乃略高之水行于水面凡一浪行于水面各小面以次相傳俱生高卑動立海岸觀浪一若水向海邊流然水行未必依此方向水在浪中僅有向上或墜下之方向其本方向或與浪同或與浪對面水與浪之方向各不相涉故舟在水面日經過數千浪或不行或因風前行或因水前行全不關浪也又浮木水面浪雖推擊木不行然則浪不能動水面之物故水不因浪行浪自行水自行也浪長浪

落水不過向上向下行。初未嘗橫行。人見水面浪行方向。以爲水行者誤矣。

深潭止水投小石必感動水面。疊生圓浪。經過水之通面。若投二石各爲浪心。生二圓浪。必相遇。遇時各不變方向。無相阻力也。凡疊浪先生者必高于後生者。如是遞卑。至于無浪遇物阻。浪不能向前。則阻物復爲浪心。生半圓回浪。回浪遇本浪與二石所生二浪相遇無異也。浪速之比。例亦可推。如水邊距投石處十尺。浪自浪心行二秒至水邊。則一秒行五尺。卽浪速。

浪每因風而生。浪之高。根于水之深。水闊二三百尺。深三

四尺浪高不過二三寸水深二三十尺浪高約尺半地中海浪低于大洋浪大洋浪最高時二船雖甚近亦能遮隔不相見故可以浪高低爲海深淺率今推測尙未能定也浪速因高卑而異亦因形狀而異形狀刻刻變換故浪速難推大洋之水每日升降二次海邊之地有潮來去因此也近有推得浪速者大西洋一小時約行七百英里近海岸或一百八十里或六十里或三十五里通潮小川中不過十三里川愈深潮入愈難而愈緩

論測潮

測潮有二法一常測一處一徧測各處而比較之

測一處者逐日測其早晚高卑而知由于日月經緯及遠近之故僅測數日僅測數地必有大不合理不可解處須常測徧測然後知不合理者皆合理也當攷者有六事一各地月過中線差潮漲在月過中線後若干時刻日日不同大率此差宜用朔望爲準然亦須用多日之中數以定中差二半月差月過中線差因月距日又生差須以日月赤道緯度及地心差之中數攷之此差半月而復故名半月差此差各地當相同然亦須測之或變或不變未能定也上潮時刻須以半月差爲準三潮距朔望差潮期後于朔望或一日或二日或三日故大汎潮不在朔望一日半

中。而在其後一日半中。上潮距月過中線。差平數時。不在朔望一日半之中。而在其後一日半中。朔望時刻距月過中線。差平數時刻。卽潮距朔望時刻也。四潮日差。一日二潮。高卑不同。某月早潮高。某月晚潮高。須于各地測之。五潮。隨地不同。或有地兩潮。從兩路來。或無日差。或二潮合爲一潮。十二時只一次。所生之差。又異。六日。月地心差不同。赤道緯度不同。俱能變潮之高卑。及時刻。測驗須久。且精。方密而確。

測潮須測水漲至極高之時刻。及水之高卑。然有浪。測之難準。須用木或錫作長管。立海中。旁開諸小孔。以通水管。

中水面浮以小木隨水上下木上立一細表密刻分秒用此法卽確知水之漲落若干高下也

水漲極高時用最準時表查其時刻與厯書中月過上下中線時刻相減得每日月過中線差

各處同測而比較之者欲知潮頂及所向之路也潮頂卽水最高處潮頂至處卽水漲極高時設各地同時水漲極高于地球圖中作一線名各地同潮線朔望二日每隔十五度作各地同潮二十四線爲大地同潮圖此圖可攷潮路方向欲作同潮線須先知各地月過中線差或測而知或比較而知欲測每地月過中線差須用逐日所測水漲

極高時真時刻除朔望二日外又須加減半月差一法欲知同潮線但以各地同時同潮比較而得更便捷不必用中線諸差也如半日內于各地測潮用其時刻相比較卽知各地潮之早晚此時刻較數視推算所得時刻更真也測潮之人必居海濱每日細測月過中線差半月差距朔望差每日高下差等事與各地比較卽知一月中潮有改變與否

潮頂之行與海水之行須詳細分別其方向蓋潮自行水自行不相涉也如桅上旗因風生綺浪其方向與旗行方向不同也有多地潮自長落水亦自行各自有方向

重學二十一
潮長時水進口。潮落時水出口。理之常也。然惟海邊海灣則然。有多地。潮之長落與水之進出時不相應。又兩端通海之川。潮漲至極高後二三時。水方不動。其前水仍進口也。潮落至極卑後二三時。水仍出口也。

有諸海港合而復分。水道變方向與前又異。有時成環繞之行。半日中水道歷盡羅經各方向。或東南西北。或東北西南。水道變遲速亦變。故測潮須兼測水道。其法先測有進退之水道。否若有須測潮長落後。歷若干時。水方復本道。設有環繞水道。其變方向更須細測之。

重學卷二十終

南漚張文虎覆勘

5



5

5

5

