

交通大學推薦交流講義

起重運輸機械



起重機講義

緒言

1.1. 教材

俄文起重機教本 及改書及圖表，種類很多，不免詳細介紹，中文起重機書本，至今幾乎沒有，祇有洪致育先生編著的起重機，上海大東書局出版。這本書是以高等工業技術學校學生為對象，序詞曾說「作為訓練中派技術幹部的教材，並供給技術工人自修參考之用」。以我看來，其實並不差，該書對於怎樣設計起重機頗多介紹，並到舉計算實例，很可以供給我們大學生作為參考書。假如作為我們的教本，每週讀二小時，輔導半小時，一學期教完，祇嫌教材太多，來不及讀，但是對起重機格外感興趣的同學，作為月修課本，是很少的。此外，我認為這書內容有圖的機件及材料規格，類多採自德文來源，為了學習蘇聯先進經驗，結合祖國工業建設的實際情況，以及根據同學們的實際要求，似乎有加以若干補充的需要：應同學們的要求，擬繼續搜集些補充資料，及根據個人主觀的體驗，雖然是不夠純熟，結作補充教材之用。

1.2. 學習

同學們對於數學，物理，化學，理論力學，材料力學，金屬工藝學，電工原理，電機學，機械原理及機械零件等基本功課，已經有了相當的基礎，進而深入本專業功課，或者有些同學自認為對過去的基本功課以基礎 建築學是不足夠堅實 或是意謂已經學了那許多的基本功課，究竟有沒有茅盾應用之處？關於這些疑問，正好可以由學習起重機這門課去予以解決及運用，根據起重機初步瞭解它的全部內容來講，對於工程、工程見解的東西，因為起重機就是把過去已經學習的基本功課 予以複習，加以應用的一門課。我們可以肯定學習起重機是不難的、容易的。

但是，再仔細考一番，過去學習的基本功課，至今已面臨到演習的階段，從理論到演算練習題為止，即使演算差下，也無礙於結果，但是如果負責計算一部機器，一部起重機，甚至於計算決

起重機

定某一螺旋釘的尺寸，那就不能馬虎，從選定材料到圖示尺寸，要負全責。首先對於已經設計出的機件或機器，在製造時有無困難，是否合乎製造經濟條件，是否有錯，或是不够理想，都是設計者的重大責任，進而至於使用這部機器，如果出了毛病，對於整個建設事業的損失更大。也有些自以為小心謹慎的人，譬如設計一架飛機，對於飛機的這一機件，那一件，唯恐不夠牢，加重加粗些結果造出飛機，空飛不能落地，更不必談能載好多客貨。有理論，有經驗設計的行車起重機，自重30尤，能吊10尤，比較生疏的設計者，可能設計造出的，自重60尤，能吊還不及5尤，按經濟情況來講，是等於廢物。多數的起重機，是配設電馬達，作為動力的，各種自動控制設備，是電氣化的，這對於機械工程技術人員，可能感到束手。行車起重機的主要部分，還是剛架，且還是需要行動的鋼架，比起鋼建築工程師固定的鋼構，還要困難些，何況機械工程師，對於鋼架設計不內行。這似乎機械工程師，要兼通電氣，又通土木鋼建築工程，才入起重機之門，所以起重機這門功課，需要根據基本理論，而用於實際，事情並不輕鬆。

可是，同學們並不是起重機專業，對於學習起重機，並不嚴格要求能夠設計，祇不過在以後的工程師生活中，可能常常遇到起重機，譬如設計一個機器車間，決定配備那種樣的起重機最適用，在使用起重機時，對於它的管理和保養，以及車間裏的起重機，可能會發生事故，保安方面，應該注意那些事；我們應該知道，以外，我們目前學習起重機，也等於有機會複習過去的基本理論功課，把過去基本理論功課，配合實際應用，而把它們建築更深堅固一些。

1.3. 重要性和必要性 關於起重機的社會意義，以及對祖國大規模經濟建設的重要性和必要性。可分為解放前及解放後兩

起重機

個階段來說，在帝國主義者，軍閥官僚及資本主義者霸佔中國的黑暗時代，起重機及起重機學，照例是受到了壓迫。剝削階級看起重機，輕視勞動人民，尤其是在中國，以為勞動人民善良可欺，花費很少的代價可僱得很便宜的勞動力，起重機裝卸貨物，要比用起重機來工作便宜得多，需要工作時，呼之即來。工作期間付出很少的費用，不需工作時，揮之即去，他們不用預備一筆設備資金，沒有折舊費用，這是極大優點，經濟合算。假如全國最大工商業城市的上海，自陸路交通的車站，以沿黃浦江各江海碼頭，貨物的裝卸，都是憑人力，被蔑視為「苦力」的碼頭搬動工人，人數以萬計，絕少應用起重機工作，這是剝削者重視機器，輕視工人的實際情況，至於學術界方面，對於學習和研究起重機，固然是附帶的因為過去是為剝削階級服務的，所以，國內各大學院，很少設起重機課程。這是解放前，舊中國對於起重機，既不重要，尤不感興趣的事實。

在勞動人民獲得解放後的新中國，情形就大不相同，現在的學術是為勞動人民服務了。因為起重機可以代替繁重，又勞苦且很簡單的貨物裝卸工作，首先就應大力提倡，認識了起重機的重要。在國家的基本建設和重工業建設大規模開展進行之中，對於起重機，更感到迫切需要。例如水利工程，急迫而重要，主要的土方工程，是把泥土從一處搬到另一處，很可以運用泥泥起重機來工作。但是需要搬的土方，數量驚人，對於製造泥泥起重機，目前我國還缺乏經驗，更談不到大規模製造泥泥起重機，事情急迫，無法等待，幸而在農工階級兄弟政治覺悟提高的情況之下，數以百萬計的勞動農民，爭先恐後地、晝夜不息的挖土、挑土、造成世界上空前空前的土方工程記錄，因此連想到如果應用了起重機，就可以減輕勞動人民的勞動、並使工作更順利迅速地進行。

起重機

在大規模開始重工業建設方面來講，首先討論重工業的定義，有認為重是重要的重，也有人認為輕重的重，譬如開採煤礦、鐵礦、礦源蘊藏在數百公尺的地面之下，鑿成深井，採煤、鑄鐵、石，用捲揚機（一種特種用途的起重機）輸送到地面，每井每天，送出千噸以上，像這樣的煤礦工業，可說是又重（不輕）又要緊，由此可說明起重機和重工業的關係。

人們可能認為起重機重要，但坐比要性，例如一架起重機每天搬送煤千噸，可用千人的力來代替。話雖說得不錯，但是如果是整件物品，無法分開，周圍數百人，已無容足插手之地，這種情形，就必要應用起重機。另如前例所稱深井煤礦，深數百公尺，井口不過一間屋之大。如果千萬人不斷地上下搬運，至少是困難重重的。所以起重機的重要性和必要性，是隨著重工業的發展而來的。蘇聯是世界上第一個由新社會主義以至進入共產主義的國家，為了配合工業建設，尤其重工業建設，比起資本主義國家，有比較多的起重機、且有很大的起重機、有專門製造起重機的工廠、工業學院裏設起重機專業、有專家研究起重機的問題、把科學理論，實際應用到起重機的設計製造和研究，未來的新中國也必然是這樣的，且必然這樣才是準確的路徑。交通大學是目前國內各大學裏，唯一設有起重機專業的、有教研室、且在其他專業班級中，有一概性介紹的起重機課、政府對於起重機工程的重視，由此可見。

4. 歷史和成就 利用槓桿作用，以數十斤的人力，搬掘數百斤重的石塊，想像人類在原始時代已曾知道，發源地的埃及、希臘和巴比倫，歷史遺跡，中有許多巨石像和建築巨石柱，古時勞動人民的智慧，已很能運用起重機方法。在俄文起重機書籍中，首先曾介紹農民用起重方法，汲井水，灌溉田園，載有冬片，說明是轉錄自中國古史書本，是西歷紀元前數百年的事物（

春秋戰國時代)可見世界上以及中國勞動人民對於起重技術，都是很重視研究而且有成績的。

至於起重技術至今日的成就，在歐洲、有千噸的輪船起重機。德國雜誌封面，圖載蘇聯某重機械廠的機房內，設有起重機，不見全貌，但見一人立於吊鈎旁，鈎有二人之高、鈎柱可二人合抱，甚大可想。另圖蘇聯某名城開闢馬路，某歷史建築物在旁有碍，最後竟設法，把此屋搬移了十數公尺，這種起重技術，可稱奇觀。

我國首都北京的天安門廣場，在興建工程中，也曾把具有歷史意義的筆架兩座，兩旁分移，完整無恙。這也是解放後中國勞動人民對於起重技術創造集作智慧的表現。

2. 系統分類

2.1. 升降及運送 起重升降，是起重機的主要動作，

和主要任務。按重量的輕重和升降高度的不同，起重機的構造也就異樣。又如起重重量相同、高度不同，它的構造也還不同，起重5噸的螺旋千斤頂，祇需升降一二十公分，一人之力可以扳動（機器間及汽車修理常用）。載客十幾人或重不過1噸的電梯，從地面到達高樓頂層，則人力無法竟爭，需要電馬達為原動力，深井煤礦的捲揚機，深到地下數百公尺，機器有一間房子那樣大，升降速度很快，不到分鐘就到達地面。利用液壓壓力的起重機，可用人力傳動可以頂起100噸，便板了半個鐘頭，還沒有舉高半尺。這是由於重量和高度的不同，因此對於機器的構造、對於配備的原動力，完全兩樣。

除了升降之外，一般對於起重機還要求能夠通送，即水平方向的行動。水平方向的行動，原為一般交通工具的任務，但因通送距離不遠，往返時間很短，若是用交通工具和起重機聯合工作，並不經濟，不如讓起重機把這短距離的通送工作一併做到，更為經濟。

因此，一般對於起重機除了主要動作升降，還兼任水平方向內的運送工作。此外，還有因為地面的地勢或情況特別，例如山谷地帶、或機器間的地面、陳列了許多機器、地面交通受到障礙、不得不有賴起重機把物品升高到無障礙的空間、適送到目的地的上方、然後下降，完成任務。這一點是普通交通工具設法能作到，也就是非有起重機不可。

水平方向的運送，分直線行動和旋轉行動，以及直線和旋轉行動的聯合。機器間的樑上、架設行車起重機、除了升降之外，行車的左右行駛、整個機架的前後開動，都是直線行動。碼頭上的固定旋轉起重機，是單純的旋轉運送行動。也有旋轉起重機的底座可開動的，這樣便形成直線和旋轉行動的聯合。升降動作也有和水平方向運送動作的一個、聯合行動的，例如自動斜升扶梯。另有升降和平行前後連續的，如鍋爐間的送煤。總之、按直線和旋轉行動，在三軸的立作空間，可以類別示多種多樣的起重機。

運送距離的遠近，也有很大分別。用螺旋桿可旋轉走的螺旋桿千斤頂可以移走的距離。大概一尺左右。行車起重機的行車、支持於機架的軌道上、開動的距离，二三十公尺。較遠距离的起重運送，祇能用索道，俗稱鋼索起重機。某種結構有某種用途，亟注意調。

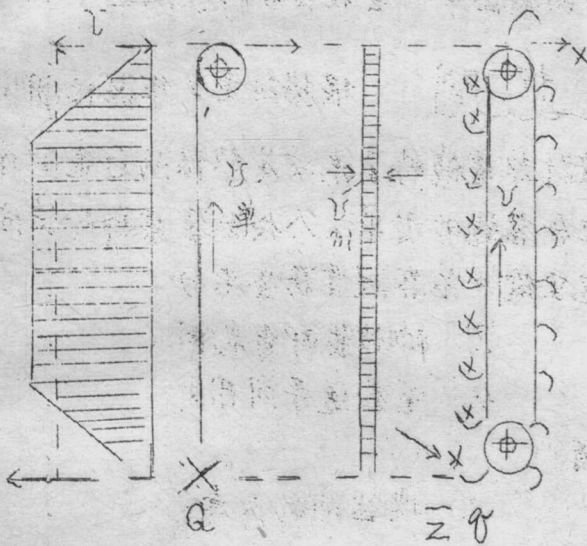
2. 2. 單載或分載

單載物品，需要一次裝載、

例如不便拆開一部機器、分載物品、可以分開裝載，例如煤礦石及糧食。乘客的升降機，可以多人合乘一轎或電梯，但可以陸續走上自動扶梯、漸次向上斜升，這就是可以分載，也可以合併單載的。此外還有不可分載而祇能單載的。目前的問題，是當兩可的時候，那一種方法比較有利，以資選擇。

為便於比較起見、附草圖1為單單載原理圖、草圖2為自動圖斗原理圖。升降高度相等、速度相等、單載重量等於各分載重量之和所需功率(馬力)相等但單載的載送率祇有分載送率之半、原因

單載當下降時，空鉤無事可做，而分載則陸續不斷地運送。假如單載的載送率要達到和分載的載送率一樣，除非載重 Q 加倍及所需功率加倍。這一點是分載法比單載法的優越點。另外關於裝載及卸貨，在分載法可以任意自動，單載法的大都需要人工服務，又單載的升降，大都須賴人工控制，分載法可任意自動。如此看，



$$\text{速度 } v_{\text{單}} = v_s$$

$$\text{載重 } Q = \frac{1}{2} q$$

起重機 P. 1-4

需馬力 $= N = \frac{N}{2}$
 素以分載法似乎比較有利。

載送率 $\gamma = 0.5 \gamma_s$ (即單位時間內的載送量)

事實並不盡然，因作無法分載的因不談，人們對於可以分載的常常也還喜歡合併為單載，似應深入查究原因。首先

$v_{\text{單}} = v_s$ 的假定，事實

上不成立，通常單載的正常速度，要比分載的大得多，空鉤的降速還可以更大。至於分載的速度，事實上不便太大，比單載的正常速度要小得多，如草圖所示。雖則單載的裝卸是要花費時間，單載的初速和終速都為零，以及降落雖可增速，終還是需要一些時間的。但因單載的正常速度可比分載的不變速度大了好幾倍，結果單載的載送率可能還要比分載的大。此外，單載的繫重機件的自重，大部比分載的載重機件總和為輕，分載的繫重機件在傳動時摩擦大，損蝕較大。於此可見，單載起重機比起分載起重機，具有決定的優點。根據這些理由也就說明了物品可以分載，但事實上也還多採用單載法的。

起重機

但是分載法並不是重疊可取、例如配合流水作業、幾乎全用分載法有時候還該分載和單載聯合運用。翻砂間的搬動砂匣和運鉄水、只祇能用單載。分起重機。分載起重機的運動速度、相當恒定不改變、各所屬機件的計算和設計、比較容易。至於單載起重機、則因運動的速度變化很大、材料的應力變化也大、問題比較複雜、正如我們的想像、在問題較多的機器中、去找尋和解決問題。

2.3. 工作忙閒 根據起重工作的忙閒、對

於起重機類型的選擇、在設計起重機時要先決定想像的起重工作繁忙程度、主觀的機器、該配合客觀的要求、今按起重業務的忙閒程度、例舉四種典型用途的起重機。依客觀業務要求分：

1. 冶金煉鋼工場用、
2. 輪船裝卸貨物用、
3. 火車貨站用、
4. 電廠透平間用、

又依主觀的機器、畧分三類

1. 水壓起重機、
2. 機器間的天車、
3. 深井捲揚機

三種機、它們的有效載重 Q 、升降距離 h 、各不同。所做的功 $A = Q \cdot h = \int P \cdot V dt$ 假定 P 和 V 為常數、則 $A = P \cdot V \cdot t$ 。又功率 $N = P \cdot V$ 、 $A = N \cdot t$ 、支撐用的水壓機、人力扳動、可能頂住100噸的重量、可是扳動半小時、祇頂起寸許。深井捲機、每次吊重10噸、從百公尺的深處很快地到達地面、無法使用人力傳動、配馬達、要數百馬力或千匹以上。至於機器間的天車大概是介乎兩者之間。三種機器的自重也各不同、總之、是無法調換用途。

上述依客觀業務要求類分出來的四種用途的起重機、工作的忙閒和每次載荷的輕重程度、都不相同、這些對於起重機、尤其是對於起重機架的設計時、具有不同的先決條件、詳參考一機書本記載。

2.4. 機架、傳動機構、動力及電氣配備的分類。

起重機

— 9 —

按機架的構造形狀俗稱什麼形狀的起重機，例如：龍門、橋式、高塔、羊角、葫蘆等。某種常用的起重機，俄文業КРГН、英文業Cran，德文業Kran，原意「鶴」這也可能是具有歷史意義的像形。

依起重機的行動，大別有四種傳動機構：1. 升降機構、2. 直線橫行機構、3. 旋轉機構、4. 擺動機構、行動較複雜的起重機，兼具上述機構的幾種，但升降是起重機的主要機構。四種機構，隨着行動的情況，它們所要求的功率也不同譬如載荷上升時，需要很大的功率，但載荷下降時，似乎還可以做還出功來。這一點至今還難以做到。水平方向的行動，主要是抵抗摩擦。起重機臂的擺動，要看缺的大小，定出需要功率。

動力配備，依理是任何動力都可以用的。不過單就起重機常常需要能夠變調轉缺的動力機，來配合升降機構的工作情況。人力傳動，取用方便，故至今對於功率小的（ G 不一定小）起重機，還常見採用。此外，則概用機械力傳動，機械力傳動可分：蒸汽機、內燃機、水力機、空氣力機及電力馬達等。人力傳動及機械傳動，還分往復和旋轉這動的兩大類，那一大類適用於起重機，要看力矩能變調的要求情況。電力馬達是至今最適用的動力90%以上的起重機，都配用電力馬達在電力馬達中的90%以上，又用三相交流感應。

起重機為了需要有調節及各種保險的裝置。調節裝置，如正反轉快慢及煞車保險裝置，如升降保險、橫行及翻倒保險。因為採用電力馬達，有現成的電線所以各種調節及保險裝置，也逐漸趨向於電氣化、所謂電氣化的自動控制。

8 設計例示範

8.1. 搖車機構 人力羊角搖車、在機械及土木建築工程方面的用途頗廣構造簡單、操作方便、茲選為設計例示範。機構方面、由手搖柄傳動齒輪組、至最後的一個齒輪、與捲筒結合、捲筒上繞鋼絲索、鋼絲索吊起或拉動需要起重物件、各軸支承於搖車的搖架（架）上。搖車用於直升起重、水平或斜升起重均可、裝設於簡單的旋轉架上、便成為人力旋轉起重機。

優點：構造簡單、多樣性用途、可搬移、效率 ≈ 0.75

缺點：吊重輕小、約500至1000kg、速度小、功率小、（人力）、不適宜持久工作傳動機構大多採用正齒輪、兼或用蝸桿齒輪。單螺旋蝸桿齒輪的蝸桿螺旋的斜率、如小於摩擦角、則傳動機構具有自動制退作用、但效率很小、 $\eta < 0.5$ 。應用正齒輪的搖車、為了搖柄脫手後、保證負荷不致降落起見、應設置制退機構、對於人力搖車、大都採用棘輪裝置。此外、常還需要設置可控制的負荷降落機構方法有幾種、一般採用帶式制動器、與棘輪聯合工作、使負荷升降如意。

設吊重為 Q 、升高的距離為 h 、 P 為搖柄圓周沿切線方向的作用力、 s 為沿圓周轉動的距離、則效率：

$$\eta = \frac{Q \cdot h}{P \cdot s} = \frac{Q \cdot h \cdot t}{P \cdot \rho \cdot t} = \frac{Q \cdot v_c}{P} = \frac{P_0}{P} \quad (1)$$

式中 t 為工作時間、 h 為起升高度、 v_c 為搖柄的圓周速度、 P_0 為沒有功率損失的理想力、比 P 小、 P_0 作用於搖柄、使負荷（即吊重）應無功率損失地升高、 P_0 可根據簡單的理論算式算出。 C 和每人的作用力、 P 為經驗數值效率 η 是各機構部分的分效率的乘積：

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \dots \quad (2)$$

η_1 為捲筒的、 η_2 和 η_3 等為一派齒輪組、二派齒輪組及棘輪的分效率

經驗數值詳書本記載。

設 M_K 為搖柄上的作用力矩、搖柄的長、搖柄軸距離地面的高度和 Q 為搖柄臂長，均為經驗數值、 M_L 為荷重力矩、 R 為捲筒半徑，則速比：

$$i = \frac{M_K}{M_L} = \frac{P \cdot Q}{Q \cdot R} = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3 \cdots = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4} \cdots (3)$$

z_1 為第一齒輪組的小齒數、 z_2 為第一齒輪組大齒數、

z_3 和 z_4 為第二齒輪組的小齒輪和大齒數。正齒輪的分速比，大概 $i \approx \frac{1}{2}$ 至 $\frac{1}{6}$ 、最大至 $\frac{1}{8}$ 人力傳動的，最大可能至 $\frac{1}{12}$ 。為了機構的緊湊、可使最大齒輪與捲筒軸結合。一般齒輪最少的齒數，可作 14 至 12、人力搖車的可至 10、齒桿千斤頂的小齒輪，祇有 4 齒。

羊角搖車的主要機件為：鋼絲索、捲筒、軸、軸承、齒輪組、棘輪、帶制動器、搖柄、撐桿及搖板（架）等，今擇要分述如下：

8.2. 鋼絲索 在討論鋼絲索之前，我們先把麻索和鏈條的優點、簡單地談一下。麻索的拉裂應力 σ_B ，不到鋼絲索的 $1/10$ ，但很軟，作為裝紮用運很好，不致剋損被紮的物件。鏈條雖牢，但自重較大、運動時的慣性作用也大、鏈條的斷裂，預兆不顯著，比較刚性，工作時有嘈雜聲、成本較昂，因此起重機中大都採用鋼絲索。但鏈條可自由彎曲、垂直扭旋性，在某些場合，也還有它的特種用途。

鋼絲索按用途的性質，分動索、靜索和輕軟索三種，搖車和一般起重機用的為動索、索橋及索道起重機的鋼索為靜索、裝紮及飛機件控制用的為輕軟索、一般書本中有詳細記載。動索用途較廣、故後段祇談動索的鋼絲索。

鋼絲索的材料很好、例如甘錳鋼、拉裂強度很高、 $\sigma_B = 130$ 至 180 kg/mm^2 、甚至更高、應用最廣的為六股索、每股的中心為一絲、外圍層々相繞、鋼絲總根數 $n = 6(1 + 6 + 12 + 18 + \cdots)$ ，最常用的有 114、222 和 366 絲的 A、B 和 C 的三類每絲直徑、

— 1.2 — 起重機

大概 $\delta = 2.4$ 至 2.0 mm ，拉裂強度、簡分為 130、160 和 180 kg/mm^2 三種詳書本記載。上海通用機器廠、當把 160 的作暫定規格。蘇聯對於鋼絲索的分類，比上述要詳細。

六股併成一索、中具 芯、用在受輻射熱的工場、應改用軟鋼芯、每股和整個索的繞法、有一列順的（順繞）、有交繞的。順繞的優點很多、但易于扭旋、不合普通用途。在起重機工程中、如設計者未加詳細說明時、均用交繞右旋索。為防止受潮生鏽、可用鍍鋅鋼絲、但鍍鋅絲沒有光鋼絲牢、計算吊重約為九折。為防止光鋼絲易于生鏽、也可塗以鹼性的油脂。

假定作為純受拉力計算、外鋼絲索的安全倍數應提高如下：不受熱的光索 6 至 9 倍、受輻射熱的光索 8 至 10 倍、對於並不恒久工作的人力搖車安全倍數可選低些。

動索的受彎曲、是無法避免的、故實際的安全倍數並沒有上述數字那麼大受彎曲的半徑愈大、則索的壽命愈長、但是機件的尺寸增大、也不經濟。滑輪或捲筒的直徑 D 和鋼索的一絲直徑 δ 的比值、大致如下：

$D : \delta$ ：捲索筒 500 至 600

引索輪 550 至 700

平衡輪 300 至 400

用於人力搖車的捲筒可取 400 至 500。為了不致選取太細的一絲直徑（價值較昂）、 D 和索直徑 d 的比值、在捲索筒可取 $D : d > 20$ 、引索輪 $D : d > 22$ 、以供供貨。

同向彎曲和變向彎曲。對於索的壽命的影響大不相同。設計時應極力避免變向彎曲、用四槽嵌索、四槽半徑的大小、槽的粗毛和細微以及軟硬、對於索的壽命皆有影響。

索端的固定方法、參攷一般書本記載。

鋼絲索繞於捲筒、除拉應力之外、還引起彎曲應力、按 $R \propto \frac{1}{R}$ 的

简单假定、作为各丝平行、无螺旋扭转、在中央角中所包圍的索的：平均長度 $l = R \cdot \varphi$ ，則最外層和最內層的索的長度：

$$l \pm \lambda = (R \pm \frac{\delta}{2}) \varphi$$

索的伸長或縮短： $\lambda = \frac{\delta}{2} \varphi$ ， $l = R \cdot \varphi$ 則：

$$\lambda = \frac{\sigma_b}{E} \cdot R \cdot \varphi = \frac{\delta}{2} \varphi \quad \text{得彎曲應力的公式}$$

$$\sigma_b = \pm \frac{\delta E}{2R} = \pm \frac{\delta}{D} \cdot E$$

$E \approx 2150000 \text{ kg/cm}^2$ 。但引導上式時，對於各絲的螺旋扭轉、相互的摩擦、及曲扭的改變等的附屬影响，未曾顧及。為改進計，引入指數 C ，則：

$$\sigma_b = \pm \frac{\delta}{D} E \quad (5)$$

B Q C H 氏曾推荐 $C = 3/8 = 0.375$ (俄文書載岡值)，這可能在某些情况時還大於此值。Isaachsen 氏荐：對於岡向彎曲的作 $C = 1$ 。另由 Benoit 及 Wornle 氏的實驗，按索的壽命和彎曲的次數有因。似仍應至少回到 $C = 1$ 的為宜。

由於拉和彎曲應力的綜合，得最大的外層應力：

$$\sigma_{\max} = + \frac{\rho}{\pi \delta^2} + C \frac{\delta}{D} E \quad (6)$$

故實際安全倍數為：

$$S = \frac{\sigma_b}{\sigma_{\max}} \quad (7)$$

8.3. 捲筒 简单搖車，鋼索只有一端繞在捲筒上，双生滑車則兩端均繞在捲筒上。鋼索纏繞在捲筒上的長度，係依照升降高度及滑車的力比而決定。捲筒的效率，在岡時顧慮軸承摩擦時為 $\eta \approx 0.95$ 、材料多用鑄鐵、僅在重型起重機上用鑄鋼，也可用鋼管焊製。捲筒上的散索槽呈螺旋形狀。為僅係索一端纏繞時，均用右旋螺旋，四槽半徑為： $r_1 = \frac{d}{2} + (1 \text{ 至 } 3 \text{ mm})$ (8)

凹槽斜距 $b_1 = d + (1 \text{ 至 } 3 \text{ mm})$ (9)

d 為索的直徑。凹槽不宜過小，應使索能舒適躺臥於槽中；詳看本書記載。因為在受力搖動方面，大都無法準確扶持鋼索引上捲筒和可能採用不同粗細的鋼索所以它的捲筒上，沒有嵌索凹槽。

一般捲筒與齒輪可用剪合螺釘連結，或釘柱套以剪力。捲筒連齒輪滑轉於固定的軸上，中型以上的起重機更需要在軸和殼之間，加紅鋼襯套。根據保安條理，捲筒的末端應加設邊緣，係高至少 $2d$ ，以防止鋼索滑出捲筒。又以 l 作為纏繞到捲筒上的鋼索的長度，則捲筒上繞索的圈數：

$$\gamma = \frac{l}{D \cdot n} + (1 \text{ 至 } 2) \quad (10)$$

加多的 1 至 2 圈為索端的固定需遇於受力。鋼索固定於捲筒上的方法，參攷書本記載。

鋼索繞於捲筒，除核應力之外，還引起彎曲應力按 R 與 $R \ll \lambda$ 的簡單假定，作為各絲平行，無螺旋扭轉，在中央角 φ 所包圍的索的平均長度 $l = R \cdot \varphi$ ，則最外層和最內層的索的長度

$$l \pm \pi = (R \pm \frac{\delta}{2}) \varphi$$

索的伸長或縮短 $\pi = \frac{\delta}{2} \varphi$ ， $l = R \varphi$ ，則

$$\pi = \frac{\sigma_b}{E} \cdot R \cdot \varphi = \frac{\delta}{2} \varphi \quad \text{得彎曲應力的公式}$$

$$\sigma_b = \pm \frac{\delta E}{2R} = \pm \frac{\delta}{D} \cdot E \quad (4)$$

$E \sim 21500000 \text{ kg/cm}^2$ ，但引導上式時，對於各絲的螺旋扭轉、相互的摩擦、及曲扭的改變等的附屬影響，未曾顧及，為改進計，引入指數 C 則：

$$\sigma_b = \pm C \frac{\delta}{D} E \quad (5)$$

Bach 氏曾推荐 $C = \frac{3}{8} = 0.375$ (俄文書載同值)，這可能在某些情

況時選大於此值。Isaachsen氏推荐、對於同向彎曲的作 $C = 0.5$ 反向彎曲的作 $C = 1$ 。另由 Berolke 及 Woerzle 氏的實驗、按壽命和彎曲的次數有關、似仍應至少回到 $C = 1$ 的為宜。由於拉和彎曲應力的綜合、得最大的外層應力：

$$\sigma_{max} = + \frac{P}{\frac{\pi d^3}{4}} + C \frac{\delta}{d} E \quad (6)$$

故實際安全係數為：

$$S = \frac{\sigma_b}{\sigma_{max}} \quad (7)$$

8.3. 捲筒。簡單捲車、鋼索只有一系統至捲筒上、雙生滑車則兩端均繞至捲筒上。鋼索纏繞在捲筒上的長度、係依照升降高度及滑車的力比而決定。捲筒的效率、在同時顧慮軸承磨損時為 ≈ 0.95 、材料多用鑄鐵、僅在重型起重機上用鑄鋼、也可用鋼管焊製。捲筒上的嵌索凹槽呈螺旋形狀。如僅係索一端纏繞時、均用右旋螺旋紋、凹槽半徑為：

$$r_1 = \frac{d}{2} + (1 \text{ 至 } 3 \text{ mm}) \quad (8)$$

$$\text{凹槽斜距} \quad b = d + (1 \text{ 至 } 3 \text{ mm}) \quad (9)$$

d 為索的直徑、凹槽不宜過小、應使索能舒適躺臥於槽中、詳書本記載。因為在人力捲車方面、大都無法準確扶持鋼索引上捲筒和可能換用不同粗細的鋼索、所以它捲筒上沒有嵌索凹槽。

一般捲筒與齒輪可用剪合螺釘連結、或釘柱套入剪力圈。捲筒連齒輪滑轉於固定的軸上。中型以上的起重機更需在軸和殼之間、加設銅襯套。根據保安條理、捲筒的末端應加設邊緣、緣高至少 2α 、以防止鋼索滑出捲筒。又以 l 作為纏繞到筒上的鋼索的長度、則捲筒上繞索的圈數。

$$\gamma = \frac{l}{D \cdot \pi} + (1 \text{ 至 } 2) \quad (10)$$

加多的 1 至 2 因為索端的固定處過於受力，鋼索固定於捲筒上的方法，參考書本記載。

捲筒筒壁承受彎曲及扭轉應力、主要還是受鋼索的周圍紮緊、發生由外向內的壓應力、許可壓應力 $\sigma_{\text{壓可}} = S/\delta$ (S 為索力 leg 、 δ 為一索有固的筒壁切面面積 cm^2) 鑄铁的 $\sigma_{\text{壓可}} \approx 500 \text{ 至 } 800 \text{ kg/cm}^2$ ，鑄鋼的 $\sigma_{\text{壓可}} \approx 600 \text{ 至 } 900 \text{ kg/cm}^2$ 。這種由於周圍紮緊而發生的壓應力，對於多層纏繞的捲筒，尤應注意。鑄造的捲筒，筒壁厚度三鋼索直徑。經驗算式，另如：

$$\text{筒壁的最小厚度 } A = 0.02 D + (6 \text{ 至 } 10 \text{ mm}) \quad (11)$$

對於沒有凹槽的鑄铁捲筒的筒壁厚度，還應加厚些上式的 D 為捲筒的計算直徑 ($D = 400 \text{ 至 } 600 \text{ mm}$)。

為可靠起見、可用下式驗算筒壁的壓應力強度：

$$\frac{S}{b \cdot A} - \frac{2R_a}{R_n + R_i} \leq \sigma_{\text{壓可}} \quad (12)$$

式中 S 為力 leg ， b 為一索有固的筒的寬度 cm ， A 為筒壁的最小厚度 cm ， R_a 為筒的最小外半徑 R_i 為筒的內半徑， $\sigma_{\text{壓可}}$ 值如前述。

其他有固捲筒的尺寸的計算，大都為經驗公式，參考書本記載。
o. ERNST: Mitt. FORSCH.-GHE-KONZERN, Oberhausen, Bd. 6 H. 5 185, 195, 載述起重機鋼索捲筒的強度的檢查。

831. 捲筒與齒輪和捲筒軸的結構方法，可能有下列幾種：

