

高等學校教學用書

起重運輸機的電氣設備

下 冊

Ю. А. 列依高爾特著

高等教育出版社

高等學校教學用書



起重運輸機的電氣設備

下 冊

Ю. А. 列依高爾特著
宗 孔 德 等 譯

高等教育出版社



本書係根據蘇聯內河運輸部出版社(Издательство министерства речного флота СССР)出版的列依高爾特(Ю. А. Рейнгольдт)所著“起重運輸機的電氣設備”(Электрическое оборудование подъемно-транспортных машин)1946年版譯出。原書經蘇聯內河運輸部教育司批准為內河運輸高等技術學校機械系教科書。

本書中譯本分上下兩冊出版：上册內容為拖動力學、電機和電機的控制與保護設備。拖動力學一章介紹了基本運動方程式及起動與擊動情形；電動機一章介紹了起重用各種電動機的性能和工作情況及功率的選擇等；電動機的控制和保護設備一章介紹了各種控制和保護設備，其中有各種接觸器、開關和繼電器等。

下冊內容為起重機的設備元件、起重機電路、抓取式吊車及裝卸橋的電氣設備、電梯的電氣設備、小型吊車的電氣設備、電氣跑車和連續運輸機構的電氣設備等。前兩章總的介紹了起重機的設備元件、各型控制器及控制電路；其他各章分別介紹了各該起重運輸設備上所用的電氣設備及控制電路。

參加本書翻譯和校訂工作的有清華大學電機系宗孔德、楊福生、康書香、鄭學堅、周以克、周禮果、王繼中等同志。

起重運輸機的電氣設備

下 冊

書號394(課366)

列 依 高 爾 特 著

宗 孔 德 等 譯

高 等 教 育 出 版 社 出 版

北 京 珠 璃 廠 一 七 〇 號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新 華 書 店 總 經 售

商 務 印 書 館 印 刷 廠 印 刷

上 海 天 通 老 路 一 九 〇 號

開本 850×1168 1/32 印張 7¹⁰/16 字數 151,000

一九五五年九月上海第一版 印數 1—1,200

一九五五年九月上海第一次印刷 定價(8) ¥ 1.16

下 冊 目 錄

第四章 起重機的電氣設備元件	187
§ 46. 起重機構所用電動機的選擇	191
§ 47. 保護裝置	204
§ 48. 機械掣動的電氣控制設備	212
§ 49. 起重裝置的電流引入設備	221
第五章 起重機電路	230
§ 50. 直流鼓型控制器	230
§ 51. 交流鼓型控制器	240
§ 52. 凸輪控制器	253
§ 53. 接觸控制器	261
§ 53 a. 美國的接觸控制器電路圖	303
§ 54. 完整的起重機電路圖	315
第六章 抓取式吊車及裝卸橋的電氣設備	323
§ 55. 鼓輪間有機械連繫的絞車	325
§ 56. 電動機的協同旋轉	333
§ 57. 鼓輪間沒有機械連繫的抓取器絞車的控制電路圖	337
§ 58. 抓取式吊車的電動機選擇	345
§ 59. 裝卸橋及高架吊車的電氣設備	348
第七章 電梯的電氣設備	352
§ 60. 電梯電氣設備的元件	355
§ 61. 槓桿控制電梯的電路圖	359
§ 62. 按鈕控制電梯的電路圖	363
第八章 小型吊車的電氣設備	371
§ 63. 小型吊車的裝置	371
§ 64. 小型吊車的連鎖	376
第九章 電氣跑車	382
§ 65. 電氣跑車的裝置	382

§ 66. 電氣跑車的控制電路	385
§ 67. 蓄電池組及充電站	388
第十章 連續運輸機構的電氣設備	392
§ 68. 總論	392
§ 69. 連鎖結構	395
§ 70. 傳送帶連鎖電路	400
§ 71. 穀倉的電氣設備	405
附錄 電動機的技術數據	411
參考書目	417
名詞對照表	420

第四章 起重機的電氣設備元件

用以拖動與控制起重機械的電機與電器叫做起重機的電氣設備。現今，在起重機械上電力拖動代替了蒸汽機和內燃機的拖動（很少例外），並得到廣泛的應用。這是因為它比其他拖動方法具有某些優點。這些優點是能量的獲得容易，易於按照起重機械的要求選擇適當功率與性能的電動機，和起動與調速簡單、迅速而效率高。

由於電力拖動的應用才使起重機廣泛地用作裝卸機械。在工作中這種機械的生產率高、機動性和可靠性大，同時它的維護與使用既簡單而又經濟。因此電動機在一開始應用時（十九世紀九十年代）就用來拖動起重機械了。

隨着電氣化更進一步的發展，電機與電器的性能必須更進一步地適合於所拖動的機構的特性，並由於起重機對裝於其上的電氣機構提出了特別要求，所以它們獨立發展成電氣設備的一個特殊分支，稱為起重機的電氣設備。

起重機上的電氣設備的工作情況是很繁重的，電動機每小時的起動次數很多（200 次以上），每次起動都會引起過載、電氣的（電流）和機械的衝擊，這就要求電氣設備在電氣與機械兩方面都要有很高的可靠性。因為起重機常常裝在露天地區，並要不停地工作於潮濕與多灰塵的地方，所以起重機的電氣設備必需能承受溫度的急驟變化。同時起重機的設備必需在使用與維護方面可靠、簡單而又方便，並需保證從事裝卸工作人員的安全。

按照起重機上電氣設備的不同作用,可以把起重機的電氣設備分成下列幾類:

- (a) 拖動起重機構運動的電動機;
- (б) 用以控制起重機所有電氣機構的控制器;
- (B) 預防起重機過分超載的保護設備;
- (Г) 當電動機接入時,用以鬆開機械掣閘的電氣設備;
- (Д) 防止起重機出軌,並當起重機臨近極限位置時能將電動機斷開的保護設備;
- (e) 電流的引入設備。

此外在每一個電氣化的起重機上都有照明與信號設備。

起重電動機 如上所述,爲了拖動起重機構,通常採用特種起重電動機,它的結構與特性均能滿足對起重電氣設備所提出的特殊要求。這類電動機作成開啓式、防護式和全封閉式,其中防護式與封閉式電動機用的最廣。

準備爲間歇工作而設計的電機叫作起重電動機。它的功率以相對暫用係數(簡寫作 IIB) 15, 25 和 40% 等標明。

國定全蘇標準 ГОСТ 184—41 條規定 220 伏直流起重電動機的允許過載程度如下表。

電動機的激磁型式	IIB=25% 時 最大轉矩與額定轉矩的比值		當 $n=2.5 n_R$ 時 最大轉矩與額定轉矩的比值
	在額定電壓時	當 n 接近於 $0.2 n_R$ 時	
串激.....	4	4.8	2
複激.....	3.5	4.3	
並激.....	2.2	2.6	

美國冶金工程師協會 1940 年的標準規定,在繁重情況下工作的起

重電動機轉矩倍數如下：

電動機的激磁型式	起 動 轉 矩 的 倍 數		額定轉速時最大轉矩的倍數	
	500 伏	220 伏	500 伏	220 伏
串激.....	4.0	5.0	3.5	4.0
複激.....	3.6	4.5	2.8	3.5
並激.....	3.0	3.6	2.5	3.0

國定全蘇標準 ГОСТ 183—41 條規定起重電動機的過載能力比一般工業用的電動機大。起重用鼠籠型感應電動機的起動轉矩不應小於額定轉矩的 1.65 倍。繞線型電動機的最大轉矩不應小於額定轉矩的 2.75(2.2)倍，而鼠籠型電動機不應小於 2.3(1.9)倍。

括弧中的數字是指功率為 8 仟瓦或低於 8 仟瓦的電動機的最大轉矩與額定轉矩的比值。

為了減少整個機構在起動時的能量損耗，我們盡可能地使電動機的運動部分的直徑減小而長度增加以減少其 GD^2 。因為電樞的 GD^2 要比起重機構的其餘旋轉部分歸化於電動機轉軸的 GD^2 大好幾倍，所以這樣作是很有意義的。

起重電動機具有比他種電動機更為堅固的機械構造，因為它要承受大的機械衝擊。

起重電動機的故障必需在最短的時期內修好，因為這些故障能使起重機損壞並將使裝卸工作停頓。為了滿

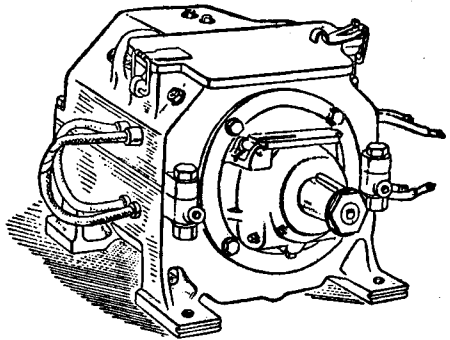


圖 131

足這種要求，必須使電動機的重要部分（換向器、繞組、軸承）便於檢查並能很快地將電動機拆散與裝好。

因此在國外具有分散機架的起重電動機獲得廣泛應用。圖 131 所

示美國“奇異公司 (General Electric Co.)”1939 年型的封閉式電動機，就是這種構造的一例。僅僅將緊緊機架上部與下部的四個螺絲扭開，並把端蓋的螺絲取下後，就可全部地檢查電動機，並進行必要的修理，一直到電樞的更換。

現在在蘇聯，起重機的電器設備主要是由以基洛夫命名的“迪那莫”工廠製造的。KПД 系列直流起重電動機（圖 132）既可作成串激的，也可作成複激的和並激的。在大多數情況下，用直流工作的起重機是用串激電動機裝備的，只有在特殊的情形下，才採用複激或並激電動機。

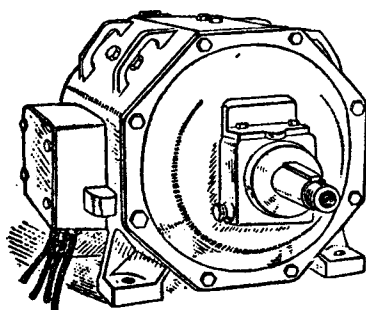


圖 132

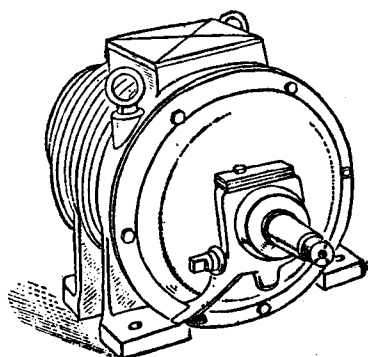


圖 133

“迪那莫”工廠所製造的 KT 系列（圖 133）繞線型與 KTE 系列鼠籠型感應電動機是為交流起重機使用的。直到最近為止，在交流起重設備中採用繞線型感應電動機幾乎已成為一種慣例。這不僅是因為需要調節轉速，而且是因為鼠籠型感應電動機的起動轉矩不大和允許的每小時起動次數不多（因為起動電流使繞組過分發熱）。因為利用自耦變壓器或電抗器進行起動會使起動轉矩降低，所以在起重機構的拖動中，我們不用這些起動方法，因此，電源容量的不足也就限制了大型與中等功率鼠籠型電動機的應用。

現在這種限制已經消除了，因為在大多數情況下，變壓器的容量是

足夠大的。此外，鼠籠型感應電動機的起動電流也降低了一些(KTK 系列電動機降到額定值的 1.1 倍)。所以這種電動機可用於既不需要調速而且每小時的接入次數又不多的情況下。利用鼠籠型感應電動機來移動港埠式起重機的門或半門的機構就是其中一例。

§ 46. 起重機構所用電動機的選擇

拖動起重機構所需的功率決定於該機構對電動機轉軸所產生的阻力轉矩。計算功率就是要算出這些轉矩，構成電動機的負載曲線，並求出其均方根功率。確定阻力轉矩的方法決定於起重機構的構造，這些方法在起重運輸機的課程中講授。起昇機構所用的電動機功率的詳細計算步驟如下。用同樣的步驟可決定其餘機構所用電動機的功率。爲了要決定起重電動機的功率就必須要知道下列的數據：

Q —起重機的生產率，仟克/小時；

G —所舉的重量，仟克；

G_0 —抓重設備的重量，仟克；

H_1 與 H_2 —升起和下降的高度，米；

v_1 與 v_2 —升起和下降的速度，米/秒；

η_1 —滿載時起重機構的效率，它是繩索、滑輪、鼓輪和由抓重設備到電動機軸上所有傳動部分效率的乘積；

i —電動機對絞車鼓輪的傳動比；

R_0 —絞車鼓輪的半徑，米。

起昇電動機的功率應由完成各項操作步驟所需功率的計算結果決定。普通起重機中這些操作可分爲四步：重物的升起與下降，空的抓重設備的升起與下降。爲了使公式中的形式一致起見，凡屬於重物升起的數值都標以下角 1，屬於重物下降的標以下角 2，屬於空的抓重設備升起的標以下角 3，屬於空的抓重設備下降的標以下角 4。

1. 求出每小時的工作次數：

$$z = \frac{Q}{G}$$

及每次所需的時間：

$$T = \frac{3600}{z} \text{ 秒。}$$

2. 求出升起滿載重物時所需之功率(只考慮靜阻力矩)：

$$P_1 = \frac{(G + G_0)v_1}{102\eta_1} \text{ 仟瓦。}$$

3. 求出相對暫用係數約值：

$$\Pi B' = \frac{4t'}{T} 100\%,$$

其中

$$t' = \frac{H_1 + H_2}{2(v_1 + v_2)} \text{ 秒。}$$

4. 根據 P_1 , i 與 $\Pi B'$ 的值, 在目錄上預選一電動機。對於非抓取式起重機來說, 所預選電動機的功率最好很接近於且稍低於功率 P_1 。

5. 電動機軸上的轉矩：

$$M_1 = 975 \frac{P_1}{n_1},$$

式中 n_1 是預選的電動機的額定轉數, 或

$$M_1 = \frac{(G + G_0)R_0}{i\eta_1}。$$

6. 滿載重物下降時所需之功率與電動機軸上的轉矩：

$$P_2 = \frac{(G + G_0)v_2}{102} \eta_2;$$

$$M_2 = 975 \frac{P_2}{n_2} = \frac{(G + G_0)R_0\eta_2}{i}。$$

只有在重物下降時採用電氣掣動的情況下, 才必須計算這些數值。現在電氣掣動在大多數情形中已經採用。因為重物 G 下降時機械損失使電動機所需要的掣動轉矩或掣動功率減低, 所以必須將公式中的效率放在分子上。當不要求特殊的快速下降時, 通常我們採取 v_2 等於 v_1 , 即 $n_2 = n_1$ 。

可用下列方法決定 η_2 的數值^①。以 ΔM 表示克服傳動部分的損失所必需的轉矩，並認為在升起與下降時 ΔM 相等。那麼：

$$\Delta M = M_1 - \frac{(G+G_0)R_6}{i} = \frac{(G+G_0)R_6}{i\eta_1} - \frac{(G+G_0)R_6}{i},$$

由此

$$\Delta M = -\frac{(G+G_0)R_6}{i} \left(\frac{1}{\eta_1} - 1 \right), \quad (a)$$

但，另一方面，

$$M_2 = \frac{(G+G_0)R_6\eta_2}{i} = \frac{(G+G_0)R_6}{i} - \Delta M。$$

將(a)所表示的 ΔM 的值代入此式，即得：

$$M_2 = -\frac{(G+G_0)R_6\eta_2}{i} = \frac{(G+G_0)R_6}{i} - \frac{(G+G_0)R_6}{i} \left(\frac{1}{\eta_1} - 1 \right),$$

因此

$$M_2 = \frac{(G+G_0)R_6\eta_2}{i} = \frac{(G+G_0)R_6}{i} \left(2 - \frac{1}{\eta_1} \right),$$

所以

$$\eta_2 = 2 - \frac{1}{\eta_1}。$$

當傳動效率高於 0.8—0.85 時，可以認為 $\eta_2 \cong \eta_1$ ，因為這時的誤差不過 2 %。這時

$$P_2 = P_1\eta_1^2,$$

$$M_2 = M_1\eta_1^2。$$

7. 空的抓重設備升起時的功率與轉矩：

$$P_3 = \frac{G_0 v_3}{102\eta_3},$$

$$M_3 = \frac{G_0 R_6}{i\eta_3} \quad \text{或} \quad M_3 = 975 \frac{P_3}{n_3}。$$

因為傳動效率隨負載的減小而降低，所以這兒已不能認為 η_3 等於

① А. В. Фатеев, Электрическое оборудование механизмов внутризаводского транспорта, 1936 (法切耶夫：“廠內運輸機構的電氣設備”)。

掣動作用時其值為負。因此在圖中所繪出的點： a 對應於負載 $G+G_0$ 與 M_1 ； b 對應於負載 G_0 與 M_3 ；而 c 對應於負載 $G+G_0$ 與 M_2 。然後通過 a 和 b 畫一直線找出它與縱座標的交點 v ，並將 v 點與 c 點連起來。在重量的負方向畫出 G_0 的值，並在 vc 直線上找出對應的 M_4 。

從圖中顯然看出 M_4 是正，也就是要用強力下降。線段 Or 是空載時機構中的損失轉矩，而線段 Od 是能使起重機構轉動的重量。

如果重物和抓重設備的重量總和不變，但抓重設備的重量較大時，例如是 G'_0 ，則升起它所需要的轉矩 $M'_3 = ex$ 。所以當此抓重設備下降時，電動機所需要產生的不是拖動的而是掣動的轉矩，其值等於 $3u = M'_4$ 。

這樣決定了 M_4 的數值與符號後，即可求出

$$P_4 = \frac{M_4 n_4}{975}。$$

在強力下降的情形中，可以選擇 n_4 等於 n_1 。假如 n_4 的值沒有特別給定時，在掣動下降時也可以這樣做。

9. 決定以穩定速度工作的時間。

整個升起與下降的時間可分成三部分：

- (a) 重物加速的時間 t_B ，
- (б) 重物以穩定速度運動的時間 t ；
- (B) 從電動機斷電到重物停止的減速時間 t_v 。

假如加速度與減速度的值不變，即假定加速度過程中重物以等加速度運動 ($M_B = \text{常數}$)，而在重物停止前以等減速度運動，則重物的速度曲線如圖 136 中的梯形所示。

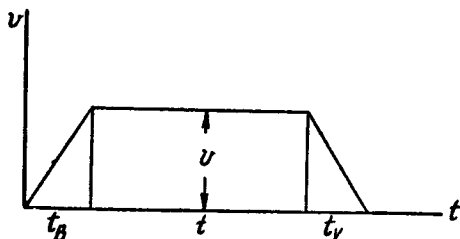


圖 136

必須注意，在 t_B 與 t 的時間內電動機是接入電源，而在 t_v 的時間內電動機則是斷開的。

在 t 時間內重物以穩定速度 v 所走的路程是：

$$H' = vt = H - \frac{v(t_B + t_v)}{2},$$

由此可知，重物以穩定速度運動的時間 t 等於 $\frac{H}{v} - \frac{t_B + t_v}{2}$ 。

可以用計算的方法求出 t_B 的值，也可以認為 $t_B = 1.5 - 5$ 秒。

計算 t_B 的方法如下。先選定起動轉矩的倍數 $\frac{M_a}{M_n}$ 在 1.5—2 之間，並證明所給電機的 $M_a < M_{max}$ 後，根據公式 $M_a = M_s + M_B$ ，即 $M_B = M_a - M_s$ （參看第一章，§3），即可按下式求出 t_B 的值：

$$t_B = \frac{GD_s^2 n}{375 M_B} + 0.975 \frac{Gv^2}{n M_B \eta}.$$

式中 GD_s^2 是所有旋轉部分歸化於電動機轉軸的飛輪轉矩的總和。算出在 GD_s^2 中佔有絕大部分的電樞的 GD^2 後，為考慮其餘質量的作用，可將之乘以係數 1.15。

這樣，加速的時間：

$$t_B = 1.15 \frac{GD_0^2 n}{375 M_B} + 0.975 \frac{Gv^2}{n M_B \eta},$$

式中 GD_0^2 是電動機的電樞與連於其軸上的連接器的飛輪轉矩的總和。

$$\text{由此：} \quad t_{B_1} = 1.15 \frac{GD_0^2 n_1}{375 M_{B_1}} + 0.975 \frac{(G + G_0) v_1^2}{n_1 M_{B_1} \eta_1},$$

$$t_{B_2} = 1.15 \frac{GD_0^2 n_3}{375 M_{B_2}} + 0.975 \frac{G_B v_3^2}{n_3 M_{B_2} \eta_3}.$$

強力下降時可認為

$$t_{B_1} = t_{B_2}.$$

當電動機起掣動作用而使重物下降時， t_{B_1} 的值可用第一章 §3 中所講的圖解法求得。

在此情形下剩餘轉矩：

$$M_B = M_2 - M_T = I \frac{d\omega}{dt}。$$

當掣動的方法已知時，曲線 $M_T = f(\omega)$ 的構成，請參看第一章。

當空的抓重設備也需要在電動機起掣動作用的情形下下降時， t_{B_1} 可用類似的方法求得。

雖然 t_v 的值可以用 § 3 中的公式計算出來，但是通常仍是給出的。由於我們不能希望當電動機斷電與掣動開落下時，重物還能繼續升起，所以可認為 t_{v_1} 等於零。在已知的假設下，這一點也可以用於 t_{v_1} 與 t_{v_2} 上（當強力下降時）。至於談到掣動下降時的 t_{v_1} 與 t_{v_2} ，則決定於重物的大小及下降的速度，其值在 0.5—1 秒之間。

P_a 的值可由下式決定：

$$P_a = \frac{M_a n}{975}。$$

在掣動情況下，決定 M_a 的值就像根據電動機的特性決定 M_T 的均方根值一樣。

10. 完成上述計算後，就可以畫出一個週期內電動機的負載曲線，並決定其等值功率與相對暫用係數：

$$P'_{\Pi. \kappa} = \sqrt{\frac{P_{a_1}^2 t_{B_1} + P_{a_1}^2 t_1 + P_{a_1}^2 t_{B_2} + P_{a_2}^2 t_2 + P_{a_2}^2 t_{B_3} + P_{a_3}^2 t_3 + P_{a_4}^2 t_{B_4} + P_{a_4}^2 t_4}{t_{B_1} + t_{B_2} + t_{B_3} + t_{B_4} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4}}。$$

$$\Pi B' = \frac{t_{B_1} + t_{B_2} + t_{B_3} + t_{B_4} + t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{T'}$$

式中 T' 是這個計算中第 1 步所求出的工作週期。

這樣所得到的 $P'_{\Pi. \kappa}$ 要按公式（參看 § 8）換算成最相近的標準 ΠB_{CT} 值時的功率：

$$P_{\Pi. \kappa} = P'_{\Pi. \kappa} \sqrt{\frac{\Pi B'}{\Pi B_{CT}}}$$

或

$$P_{\Pi. \kappa} = P'_{\Pi. \kappa} \sqrt{\frac{\Pi B'}{\Pi B_{CT}} (\alpha + 1) - \alpha} ,$$

式中 ΠB_{CT} 是相對暫用係數的標準值。

假如換算後所得到的功率和預選的電動機功率相等或稍微小一點時，那就可以把它用在所給的機構上。

如果 $P_{\Pi.K}$ 比所選電動機的 P_H 小的很多，並且與尺寸較小的電動機的 P_H 相近時，那麼就要從第 8 步起重新計算，也就是要採取一個小的電動機並重新給一個 P_a 並決定 M_B, t_B 與 $P'_{\Pi.K}$ 。如果 $P_{\Pi.K}$ 比預選的電動機的 P_H 大時，也必須進行同樣的重新計算。

必須特別強調指出，在第 9 步中所選定的 M_a 一定不能大於預選的電動機的 M_a （在目錄中已給出）。如果 M_a 的值沒有給出時，可以認為它不大於電動機 M_H 的二倍（鼠籠型感應電動機除外，因為按照國定全蘇標準可以認為它的 $M_a = 1.65 M_H$ ）。

在需要更準確的計算，和所有使用鼠籠型感應電動機的情形中，必須按照均方根值電流而不是按均方根值功率進行電動機發熱的檢驗。同時按照轉矩的值決定與之對應的電流，並將此電流的值代入 $I_{\Pi.K}$ 中（參看 § 8）。

上述的計算步驟既可用於感應電動機，也可用於直流電動機，其不同之點只在於：感應電動機時，可認為 $v_1 = v_2 = v_3 = v_4$ （假設沒有任何特殊要求）；預選的（參看第 4 步）串激和複激直流電動機時，必須按照 M_1, M_3 和 M_4 及自然特性的型式（圖 41 和 56）決定 n_1, n_3 和 n_4 。而後按照起重機構的傳動比和等式 $\frac{n_1}{n_3} = \frac{v_1}{v_3}$ 及 $\frac{n_1}{n_4} = \frac{v_1}{v_4}$ 求出速度 v_1, v_3 和 v_4 ，並把它們代入對應的公式。

如上所述，起重機其餘機構的電動機功率計算步驟與上述的起重機構的電動機功率計算步驟相同。所以下邊只研究選擇這些機構所用電動機的一些特點：

1. 改變懸臂伸距的機構

(a) 每一週期由懸臂升起和下降兩個動作構成。

(6) 因為阻力轉矩不是常數，而是由懸臂位置決定的變數，所以必