



# 礦井提昇設備 設計的幾個問題

蘇聯 布·勒·達維德夫著

王興祚譯

燃料工業出版社

## 內 容 提 要

本書研究了正確地計算礦井提昇設備的很多重要的理論問題和實際問題。在第一章裏，敘述了用接觸器操縱感應電動機時礦井提昇工作的運動和運動力的情況；指出了以往在設計這類提昇設備時所發生過的錯誤，並說明充分利用電動機能力的更正確的計算方法。在第二章裏闡述了對於使用扁鋼絲繩的紡車式絞車和用翻轉罐籠提昇礦物的絞車，確定提昇容器的制動力矩和初靜不平衡的計算特點。

本書可作為設計和計算礦井提昇設備的設計機構的工作人員、煤礦的機械工程人員以及高級礦業學校機電工程學系的學生的參考讀物。

## 礦井提昇設備設計的幾個問題

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ШАХТНЫХ  
ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

根據蘇聯國立煤礦技術書籍出版社(УГЛЕТЕХИЗДАТ)

1950年莫斯科俄文第一版翻譯

蘇聯B. Л. ДАВЫДОВ著

王 興 祚譯

燃料工業出版社出版

地址：北京東長安街燃料工業部

北京市書刊出版營業許可證出字第012號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

編輯：張伯顏 穆湘如 校對：周金英

書號288 \* 煤111 \* 850 × 1092 1/32開本 \* 4 1/4印張 \* 99千字 \* 定價7,600元

一九五四年十一月北京第一版第一次印刷(1—3,200冊)

# 目 錄

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| 序 言                                          | 2   |
| 第一章 用接觸器操縱電動機時的礦井提昇的運動和運動力                   | 3   |
| 第1節 礦井提昇設備的設計理論和設計實踐現狀                       | 3   |
| 第2節 對於提昇設備的工作制度進行合理計算時的主要要求                  | 15  |
| 第3節 礦用提昇電動機的真實起動時間                           | 20  |
| 第4節 在線性特性交於同期速度的一個點的情形下，<br>起動力矩的計算方法（第一近似法） | 29  |
| 第5節 線性特性與真正特性相切時，起動力矩的計算方法<br>（第二近似法）        | 38  |
| 第6節 線性特性成為真正特性的割線時，起動力矩的計算<br>（第三近似法）        | 51  |
| 第7節 不穩定制度的提昇過程的運動和運動力                        | 60  |
| 第8節 電動機容量、絞車效率和電力消耗的確定                       | 70  |
| 第9節 電動機減速的運動力                                | 76  |
| 第10節 複雜的速度曲線圖                                | 82  |
| 第11節 不平衡提昇時的加速運動過程                           | 94  |
| 第二章 紡車式絞車提昇和翻轉罐籠提昇的特點                        | 104 |
| 第12節 紡車式絞車提昇時制動力矩的計算                         | 104 |
| 第13節 翻轉罐籠的初靜不平衡                              | 110 |

## 序 言

請讀者注意，這一本「礦井提昇設備設計的幾個問題」是根據在頓巴斯礦區觀察和研究了許多礦井提昇設備的工作情形而編寫出來的。

從 1943 到 1946 年，在頓巴斯各礦井的機械設備恢復期間內，發覺了用在提昇工作中的那些感應電動機，凡是使用了起動特性級數有限的起動盤時，則絞車的實際加速時間常常和原先計算的起動時間大有出入。本書的第一章分析了這種現象，說明在使用接觸器操縱電動機時礦井提昇工作的運動和運動力情況。

第二章的內容，談到紡車式絞車在修復工作中的實際經驗和設計開鑿井筒用的新提昇絞車的工作經驗。在這種情況下，要詳細分析扁鋼絲繩向紡車式絞車繩筒上纏繞時的工作過程，第 12 節就是講到這一問題。第 13 節講到由於在庫依貝舍夫煤礦局尼可保力-馬利烏保力第 13 號礦井上修復和使用提昇絞車，得以揭露在設計使用翻轉罐籠的提昇設備時一般常常發生的許多錯誤。

這本書可供給設計礦井提昇設備的設計機構和供給那些有責任要經常提高所使用的提昇設備效率的煤礦機械工程師用，以及那些應當掌握這種礦井提昇的設計方法以便能充分利用提昇設備內部能力的高級礦業學校學生讀用。

對於後一種讀者來說，我們認為在第一章內所講的提昇工作運動和運動力的計算方法是最合適的，這個方法對於揭露提昇設備在非穩定工作制度期間內各個現象的內部結構情況，比較到現在為止所採用的其他方法更為深刻，這對於青年專門人員在吸取專業知識階段中是非常重要的。

著 者

# 第一章 用接觸器操縱電動機時的礦井 提昇的運動和運動力

## 第1節 礦井提昇設備的設計理論和設計實踐現狀

在蘇聯，由於煤礦工業的發展，由於國內許多省區被短時侵佔而破壞了的礦井的大量恢復和新礦井的大量建設，必須建立很多新的礦井提昇設備，這種設備是礦井全部設備中最重要的部分之一。提昇設備是使井下巷道和地面聯通的唯一環節，從井下往地面提昇礦物，提昇和下送人員、機械、坑木、炸藥及其他材料；自然，這種提昇設備必須是工作得特別精確和不出事故。正確設計出來的提昇設備，其技術指標和經濟指標，應能使提昇工作在耗電最少、設備容量最小和效率最大的條件下來維持井下巷道和地面的交通。都知道有過這樣事情，在斯達哈諾夫運動中礦井增加了採煤量，可是被提昇設備的提昇能力限制住了。所以在編寫提昇設備的設計書時，因為設計書能預先確定提昇設備的各種指標，就必須在設計書中能真正反映出提昇工作的全部情況。如果錯誤地確定了提昇的加速時間或減速時間、或前後兩次提昇中間的停頓時間及其他動作所佔用的時間，那末這些被錯誤確定了的時間在一晝夜內積累起來是很大的，這就會使提昇設備的提昇能力大大降低。

實際上，像大家知道似的，提昇設備的小時提昇能力可按下列公式求出：

$$A_{\text{чac}} = \frac{3600}{T_0} Q, \quad (1)$$

式中  $T_0$ ——提昇一次所需用的時間（包括前後兩次提昇之間的停頓時間在內的全部時間），秒；

$Q$ ——提昇一次所提出的有效重量（箕斗的或罐籠裏煤車

的載重量)。

因此，具有不同提昇時間  $T_0$  和  $T'_0$  的兩部提昇絞車，提昇能力的比例等於：

$$\frac{A_{\text{yac}}}{A'_{\text{yac}}} = \frac{T'_0}{T_0} \quad (2)$$

如公式 (2) 所示，提昇能力是和提昇時間成反比例的。所以，即使在起初確定提昇時間的數值時所得的絕對錯誤很小，也會使提昇能力受到比較大的損失。例如，假設在提昇設備的設計書中，將 45 秒鐘的總提昇時間規定錯了，即使僅僅多定了 5 秒鐘，提昇能力的損失就要達 10%。

提昇操作的時間長短是和許多的計算因素和構造因素有關聯的，這樣，要用什麼方法才能使提昇設備的現代設計法保證正確地算出提昇時間呢？

設計機構設計提昇設備的工作制度時，是分兩個階段進行：在第一個階段裏，計算提昇工作的運動和運動力，在第二個階段裏，計算電力傳動裝置，其中包括起動阻力的分級和器械（接觸器、繼電器、開關）的選擇。當然，這裏所講的是指設計用感應電動機的提昇設備而言。

用這種方法設計提昇設備的工作制度，至少在方法本身就含有兩個錯誤根源，這些錯誤在事實上是可能完全歪曲計算結果的。

第一個錯誤根源：存在於按命定的一次提昇操作時間（這時間是決定於提昇能力條件的）去確定最大提昇速度的計算部分內。都知道這一算題的答案很多，可是從那些答案中祇能挑選一個。事實上即使速度曲線圖（圖 1）是一個簡單梯形的，按一定比例表示已走過的路程（提昇總高度  $H$ ）的梯形曲線圖面積，是和提昇的最大速度  $v_{\text{max}}$  以及提昇操作的時間  $T$ （這裏的  $T$  是指純運動時間，不包括停頓時間），有着這樣的

$$H = \frac{T + T_z}{2} v_{\text{max}} = \left[ T - \frac{v_{\text{max}}}{2} \left( \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} \right) \right] \times v_{\text{max}} \quad (3)$$

幾何關係。

式中  $a_1$  及  $a_3$ ——是指提昇容器在加速和減速期間內的加速和減速的絕對值。

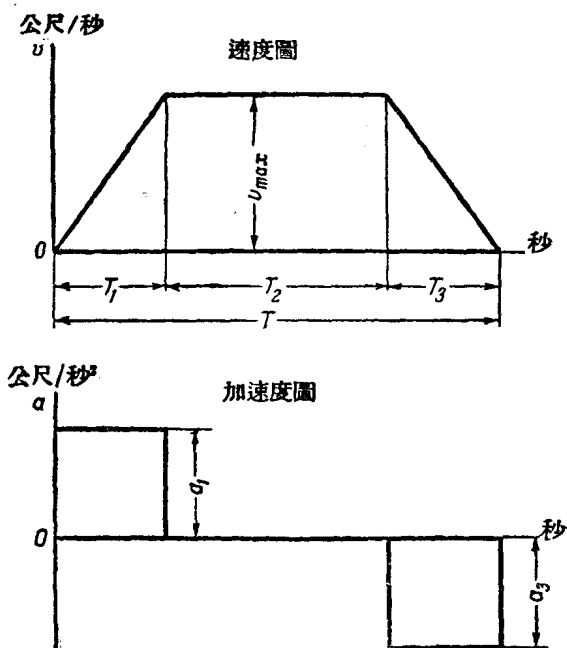


圖1 普通罐籠的提昇速度曲線圖

由下一公式，

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_3}, \quad (4)$$

求出的  $C$  值，稱為加速度的模數。在公式(3)內引用這一數值，則得出計算  $v_{\text{max}}$  的二次方程式

$$v_{\text{max}} = CT' - \sqrt{(CT')^2 - 2CH}. \quad (5)$$

公式(5)內三個已知數值中，只有兩個( $T, H$ )是真正命定了的。加速度的模值，不得不根據在各種提昇型式中使用提昇設備所獲得的實際工作經驗加以補定。決定這一數值的加速度  $a_1$  和  $a_3$  值，一般是規定為自 0.6 公尺/秒<sup>2</sup> (在罐籠提昇時) 至 1.0 公

尺/秒<sup>2</sup>（在工作繁忙的箕斗提昇時）。最常採用的初加速度值，等於 0.75—0.80 公尺/秒<sup>2</sup>。

命定了初加速度值和末減速度值以後，計算最大提昇速度的算題，就會從有無數答案的不定型變為只有一個答案的定型算題。

這樣，提昇工作的運動問題算是完全解決了，設計人員可以進一步計算提昇工作的運動力。在繩繩圓周半徑不變的條件下，圓周上的總拉力值，可從科學院院士莫·莫·費道洛夫的著名公式

$$F = KQ - (q - p)(H - 2x) + Ma \quad (6)$$

中求出。

式中  $K$ ——礦井井筒的阻力係數；

$Q$ ——同時提昇的有效重量，公斤；

$q$ ——每一公尺尾繩的重量，公斤/公尺；

$p$ ——每一公尺提昇鋼絲繩的重量，公斤/公尺；

$x$ ——從提昇起點算起的已走過的路程，公尺；

$M$ ——提昇設備的化算的總質量，公斤秒<sup>2</sup>/公尺；

$a$ ——提昇加速度（減速度）的當時值，公尺/秒<sup>2</sup>。

有了這樣算出來的在全部提昇期間內繩繩圓周上的拉力值，就可以按照公式

$$F_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{\int_0^T F^2 \times dt}{T + \frac{\theta}{3}}}, \quad (7)$$

計算電動機的有效力。

式中  $\theta$ ——兩次提昇操作中間的停頓時間。

這一有效力是計算電動機設備容量的根據。電動機的設備容量從公式

$$N_{\text{мот}} = \frac{F_{\text{эф}} \times v_{\text{макс}}}{102\eta}, \quad (8)$$

中求出。

式中  $\eta$ ——提昇絞車機械部分的效率，主要是指絞車的減速器的效率。

此外，必須用公式

$$\lambda' = \frac{F_{\text{max}}}{F_{\text{эф}}} \leq (1.6 - 1.8). \quad (9)$$

檢查電動機的過負荷。

如果用上列各方程式確定出來的全部數值都是滿意的，而且過負荷  $\lambda'$  是充分靠近了自己的高值時（過負荷  $\lambda'$  的值低時，因為起動電阻器裏的損失由於起動時間過長而增大，所以提昇絞車的效率會是低的），則認為提昇絞車計算的第一個階段是作完了。

如果從歷史觀點來研究這一問題，則應指出：這一種計算方法只是在使用液體電阻器操縱提昇電動機時，才能得到滿意的結果。這種液體電阻器，在理論上允許絞車在加速運動期間內，按照已命定的規律嚴格地保持着起動力矩，使絞車在過負荷  $\lambda'$  不變的情形下，真正能得到等於預先命值為  $a_1$  的提昇加速度。但是，自從液體電阻器被用單個的阻力箱裝配出來的金屬電動器代替之後，前面講的計算方法就得不到正確的計算結果了。

事實上，在使用阻力級數有限（5—7 級）的金屬電阻器時，由於感應電動機的主要特性的作用，每一級的力矩將按照一定的關係發生變化，而不能是不變的。因此，在起動期間內，加速度是不斷變化着的；在新的一級阻力導入線路那一瞬間，加速度值是最大的，等這一級阻力走到末尾時，加速度要逐漸下降，降到不大的數值。這時的速度圖已經不像圖 1 所表示的那樣是一條直線，而是一種由許多曲線線段組成的了，關於這一問題，將在下面的第 7 節內詳細講到。按照這種級狀曲線圖起動的提昇設備，其平均加速度只有在大量提高過負荷  $\lambda'$  使達到上述的最大值的情形下，才能等於命定值  $a_1$ 。

忽略了這一情況，在用接觸器起動電動機時，仍然使用用液

體電阻器時所用的計算方法（液體電阻器能保證電動機的起動力矩按照預定的規律進行變換），在絕大多數情況下，是不能得到等於命定值的提昇加速度。結果是因為實際的加速度比命定的小了，絞車的加速期間延長了，相應地整個提昇時間也隨着延長，結果使實際的提昇能力和計算的大不相同，像從公式(2)那裏所得的結論一樣。

通常因為在提昇工作中沒有反過來用實際達到的提昇加速度去校驗計算的數值，所以上述情況在設計時是始終察覺不到的。

當計算提昇工作時，如果全部計算是根據命定的不變力矩；或是根據繩繩圓周上的不變拉力  $F_{ок}$  來進行，而不是根據命定的加速度，則其結果也多是不能令人滿意的。這時，對於最普遍最常用的無尾繩( $q=0$ )的不平衡提昇來講，公式(6)要寫成微分方程式（ $t$ ——當時的提昇時間）如下：

$$M \frac{d^2 x}{dt^2} - 2px = F_{ок} - (KQ + pH), \quad (10)$$

這一公式的積分等於：

$$x = A \operatorname{sh} \sqrt{\frac{2p}{M}} t + B \operatorname{ch} \sqrt{\frac{2p}{M}} t - \frac{F_{ок} - (KQ + pH)}{2p}. \quad (11)$$

因為在提昇起點時， $t=0$ ，已走過的路程  $x=0$ ，提昇速度  $v = \frac{dx}{dt}$  也等於0，則由方程式(11)得出

$$A=0; B = \frac{F_{ок} - (KQ + pH)}{2p},$$

這時，提昇速度的方程式成為

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{F_{ок} - (KQ + pH)}{2p} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{2p}{M}} t, \quad (12)$$

這是在某些資料裏常介紹的一個方程式。

從上面所談到的問題可以清楚看出，用接觸器操縱電動機時，想使提昇電動機的旋轉力矩保持不變，或是想使它和繩繩圓周上的拉力成比例，都是絕對辦不到的事情，所以用上列的計算方法

也永遠得不到滿意的結果，無疑問的，這個方法應當摒棄不用。

從此以後，〔接觸器操縱電動機〕這一術語，要了解為利用起動阻力級數有限的起動器來操縱電動機，而不論是用什麼器械來接通那些級的阻力。

應當談一下計算提昇運動的第三種方法，這是根據命定的最大速度來計算的。這一種方法的來源，是因為我國工廠成批製造出來的提昇絞車，減速器都有標準的傳速比，電動機也都有標準轉數，所以絞車就都有一定的最大速度。事實上，都知道提昇的最大速度是由公式

$$v_{\text{max}} = \frac{\pi D n}{60 i} \quad (13)$$

求出來的，式中：

$D$ ——繩繩機件的直徑，公尺；

$i$ ——絞車減速器的傳速比；

$n$ ——電動機轉子的轉數，它和定子磁場的轉數有這樣的相互關係

$$n = n_0(1 - \sigma'_0), \quad (14)$$

式中  $n_0$ ——定子磁場的每分鐘轉數；常用的電動機的定子磁場轉數等於 750; 500; 375; 300 轉/分鐘；

$\sigma'_0$ ——電動機自然特性的滑差，等於 3 至 4 %，依靜阻力多少而定。

公式(13)表示提昇的最大速度，同公式(5)表示的一樣是不可以任意選定的，相反地，這個數值必須作為一個命定的數字去作計算根據，因為絞車的繩繩機件的尺寸，在設計提昇工作的運動時已經知道，所以命定提昇的最大速度永遠是可能的。

在這種情況下，應求解公式(3)的  $T$  值，由下一公式求出：

$$T = \frac{H}{v_{\text{max}}} + \frac{v_{\text{max}}}{2C} \quad (15)$$

▼ 這裏仍然是根據命定的加速度  $a_1$  和  $a_3$  值不正確地求出了  $C$  值，所以算出來的提昇時間也是不正確的，能引起前面已經講過

的那些後果。

由此得出結論，現有的計算礦井提昇運動的各種方法，在確定提昇操作時間時都是有錯誤的，也就是說，在計算提昇能力方面都是有錯誤的。

然而，這種錯誤在提昇設備的計算工作中還不是唯一的一個錯誤。

計算的第二個階段給提昇操作時間帶來許多新的誤差；這些誤差的發生，仍然是因為在進行設計時常常採用了不正確的方法。

在第二個階段裏，設計人員根據預定要裝用的標準起動盤上的起動級數，將阻力分成同樣的級數。這時，完全忽略了一件重要事項——那就是忽略了在此以前已經從初步計算中準確地知道了絞車的起動時間和提昇的平均加速度，所以設計人員的任務不僅是單純地選擇起動阻力，還要將其分成級數，保證提昇設備在命定的時間裏起動完畢。這裏應注意的是在使用了提昇設備的現代結線系統圖以後，司機開動絞車時，只能將操縱手把扣留在中間幾級的阻力上，用以延遲起動，可是想要使起動時間加快，那是不可能的。另一方面，如果司機將手把一次推到最終的位置，則帶有繼電器的自動起動系統；能利用繼電器使阻力順着命定的次序和經過命定的時間間隔退下來。

因此，使阻力分級時，應從自動起动的原則出發，和尋常所規定的（圖3）一樣，認為在各級中的最大起動力矩和最小起動力矩都各有同樣的數值。可是很清楚地看出，起動期間的數值將是不一樣的，它取決於最大起動力矩和最小起動力矩的值和取決於這些力矩和阻力的靜力矩之間的關係。如果在解決阻力分級的問題時，不是從全面解決這一問題的分解法和圖解法着手，想摸索出合乎命定的起動時間所需要的阻力分級來，那是絕對辦不到的事情。但是，這些方法到現在還沒有充分用上，因此，可以有把握地說，在絕大多數的提昇設備中，實際的起動時間要和原先設計書中所計算的相差很大。

尤其是因為提昇設備的起動時間不僅是決定於原動機的機械規格，也不僅是決定於最大和最小的起動力矩，還要取決於起動特性的數目，所以這個問題就格外顯得複雜了。在那同時，設計提昇設備時也常採用起動特性數目各不相同的起動盤，雖是這樣，在命定的起動時間內，也沒有在起動阻力分級的方法中得到足夠的反映。

因為把各個起動特性設想為直線的和交於同期速度的一個點上（圖3），所以計算的第二個階段，在確定提昇時間時又造成了一個錯誤。大家知道：這些起動特性在實際中並不是直線的，可是，一般認為把曲線看成直線不會給計算結果帶來大錯，甚至在專門著作①中也是這樣指出的。

如果談的是一般的感應電動機的起動問題，例如運輸工作、金屬加工工作和其他工作所用的電動機，其起動時間不受嚴格的限制，上面的看法還可以認為是正確的。可是在電動機用於礦井提昇工作時，起動時間是嚴格確定了的，如果實際起動時間沒有和規定的時間一致，就會使提昇工作不與計算的工作制度和計算的提昇能力相符合，這樣，前面指出的起動特性的曲線形狀已不能拋棄不顧，不能毫無條件地換用直線來表示起動特性。從後面的證明也可以看出，用直線來代替曲線，會使計算的答案中有極顯著的誤差。

因此，上述各點證明，提昇設備工作制度（運動和運動力）的現代設計方法，其顯著的缺點是工作中的提昇設備其實際數字和設計數字不一樣。通常是電動機的實際起動時間（用簡單的輔助器械和計時測定的方法是容易測出來的）和設計書中所規定的數字不同。

到此處為止，我們只研究了很簡單的梯形速度曲線圖；在實際工作中這種速度曲線圖是最容易實現的，可是，已經證實的是即使在這種最簡單的情況下，也會有大錯的。對於複雜的速度曲

---

① 維·凱·保保夫教授著，電力傳動裝置，1946年版。

線圖，例如對於使用翻轉式提昇容器時的速度曲線圖（圖2），現有的計算方法更顯出是不完善的。

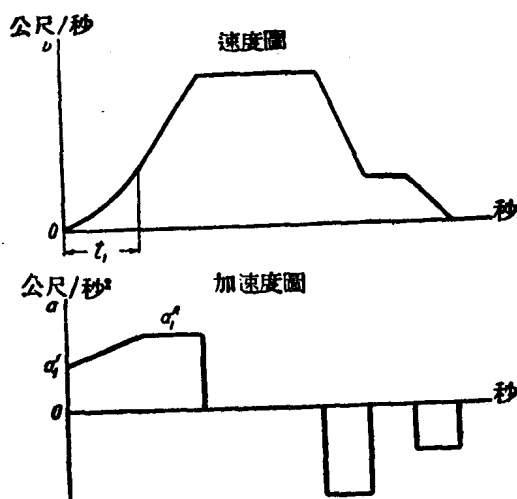


圖2 翻轉箕斗提昇時一般常用的速度曲線圖

這裏，在第一段期間裏，翻轉式提昇容器是順着卸煤彎軌下滑的，由於容器是處在初靜不平衡的情形下，換句話說，由於在彎軌上的一段期間裏，容器的重量只有一部分由提昇鋼絲繩來担负，其餘重量都落在彎軌上了，因此，靜阻力的變化是按照線性規律進行的。這一靜不平衡的變化規律，是箕斗架子移動時間的函數，列如公式

$$S = (1 - \alpha) \left( 1 - \frac{t}{t_1} \right) Q_m, \quad (16)$$

式中  $\alpha$ ——靜不平衡係數；

$t_1$ ——箕斗由卸煤彎軌上往下滑動時的總時間；

$Q_m$ ——箕斗自重（公斤）。

上面指出的靜不平衡的變化規律，無疑問地本身就是錯誤的，在容器從卸煤彎軌上向下滑動期間內，不能反映兩根提昇鋼絲繩之間的拉力相差的變化情形，在後面第13節裏我們來詳細分

析這個問題。這裏暫不批評公式(16)的實質如何，先分析一下在公式(16)所指出的提昇容器的初靜不平衡的變化規律條件下，圖2所列的速度曲線圖是否能實現的問題。

設計速度曲線圖時，最好這樣來規定加速度的變化規律，使靜阻力和動阻力的和數始終是常數。這時，加速度變化的線性規律，從初加速度值  $a'_1$  到末加速度值  $a''_1$ ，要決定於  $S$  變化的線性規律。這兩個數值  $a'_1$  和  $a''_1$  之間的關係如下：

$$a'_1 = a''_1 - (1 - \alpha) \frac{Q_m}{M} \quad (17)$$

進一步可得出結論，在提昇加速度變化的線性規律情形下，已走過的路程應等於：

$$x_1 = \int_0^{t_1} \int_0^{t_1} \left( \alpha'_1 + \frac{\alpha''_1 - \alpha'_1}{t_1} t \right) dt^2 = \frac{2\alpha'_1 + \alpha''_1}{6} t_1^3, \quad (18)$$

式中  $x_1$ ——箕斗從卸煤彎軌上向下滑動時，箕斗架子的移動總距離。

從圖2看出，上述的計算方法是假設加速度的增加是由不大的初值  $\alpha'_1$  增到加大的末值  $\alpha''_1$  的。容易理解的是實際工作中的提昇設備，在任何一級的阻力中都有相反的關係存在，那就是加速度由初值到末值是逐漸減小的（但不是依線性規律進行的），等達到末值時，轉接到另一級阻力上，這時加速度重新增至最大值。因此，用接觸器來起動電動機時，要想實現由方程式(18)所求出的最終數值所表示的加速度變化規律，根本是不可能的。

到現在為止，我們只研究了絞車加速期間的情況，還一點也沒有談到現有的方法在設計提昇設備減速運轉時的正確性。因為在多數情況下，使用感應電動機的提昇設備，是在電動機停電的條件下來進行減速運轉，也就是說，是在剩餘運動能力由機械制動器來吸收的條件下來進行的，所以關於提昇設備是否能實現設計的減速度問題，一般是歸結為制動裝置的特徵問題，而不是電力傳動裝置方面的問題。但是，在某些情況下，特別是在利用摩

擦輪作為纜繩機件時，提昇設備的化算質量很小，不能夠實現制動減速，而是要用電動機來減速，亦即是要開動電動機來進行減速。在這種情況下，用接觸器來操縱電動機的方法，仍然是不能保證絞車的減速度始終不變，其情況和在提昇開始時不能保證加速度不變是一樣的。因此，出現了新的錯誤的根源，因而使提昇容器的實際移動時間和預先命定的數值相差更大了。

除在計算提昇時間這一方面的錯誤以外，一般的計算方法還引起一些次要性質的（從實際工作來看）錯誤，可是對於這一種錯誤也不能置之不顧。這裏我們指的是在確定提昇設備的效率；以及按公式(7)確定電動機的有效力時所發生的錯誤，事實上都知道提昇設備的效率是由一次提昇工作中所完成的理論的功

$$W_{\text{теор}} = QH. \quad (19)$$

和在這一次提昇工作中實際所耗用的總電力

$$W_{\text{полн}} = v_{\text{макс}} \int_0^T F dt. \quad (20)$$

相比而求出的。

現有的計算方法，既然在確定加速運動期間（如果用電動機來減速，也包括減速運動期間）的時間 $t$ 的函數 $F$ 時是有錯誤的，那就顯然地在絞車不等速運動期間內，按長方形面積或近似長方形面積計算的積分(20)，實際上將與用上述方法求出的數值不同，因此，在計算提昇設備效率的答案中，就摻進去一定的一些錯誤。

同樣的情形，在公式(7)中，依然按照絞車加速期間的力 $F$ 的線性變化所計算的積分，實際上在加速期間內是由同起動阻力數目相適應的各個分段的總和所組成的，各個分段的縱座標的變化規律，將和一般在計算中所規定的不同。所以這種計算電動機有效力的老方法，本質上也是一種錯誤的。

因此，凡是使用接觸器來起動感應電動機的礦井提昇設備，其目前的設計書中，無論是在計算提昇工作的運動和運動力，或

是在確定電動機的容量和提昇設備的效率方面，都是有很多錯誤的。現在，產生了這樣一個問題，這些錯誤究竟有多大，亦即用現有計算方法求出的結果，比更準確的數值差多少呢？

我們已經指出，目前在確定提昇能力所造成的錯誤是很顯著的，可能導致不良的結果，使提昇工作的實際能力不能符合礦井的要求。可是，即使這種情況是不存在的，我們也還是認為應使用真正能揭發提昇過程中內部一切現象的方法來計算提昇設備；並在任何情況下，如果準確的計算方法是繁重的，或者是複雜的，也只有在分析了準確的計算方法並經證明近似的計算方法沒有錯誤時，才可以在實際工作中使用近似方法。若準確的計算方法並不比近似的方法複雜得多，在這些情況下，就沒有介紹使用近似方法的意義了，這種方法只能使對於整個提昇過程得不出清楚的概念。

前面講的是關於現有的計算方法在原則上的缺陷，它不能保證實際的加速運動期間和理論求出的數值一致。即使在個別情況下，所計算出來的結果和理論數值一致，或是相差無幾，因為在現有方法上已經證實了是不正確的，所以要想使用這種方法，必須用下面介紹的方法，把計算得出的數值檢驗一下。

## 第2節 對於提昇設備的工作制度進行合理計算時 的主要要求

前面已經證明，提昇設備在加速運動期間的運動和運動力的合理計算方法，必須是根據許多因素來確定提昇的加速度，而不能任意規定。如果在計算時命定了加速度值，則應保證這一命定了的加速度值，能在實際工作中實現。

如果感應電動機的起動特性是直線，則解決前面所提出的問題（對平衡提昇而言），比較起來是簡單的。這時，只列出像方程式(10)那樣的提昇運動的一般微分方程式就可以了，但不可用圓周力  $F_{OK}$  是不變的作為根據，而應以圓周力  $F_{OK}$  是速度的函數，按線性關係發生變化為根據。其結果就會得出線性方程式，