

运行式
动臂起重机的
起重稳定性

阿克山諾夫著

机械工业出版社

运行式动臂起重机的 起重稳定性

阿克山诺夫著

黄湛泉译



机械工业出版社

1958

出版者的話

运行式动臂起重机是国民經济各部門应用很广泛的一类起重機。

对于运行式动臂起重機，起重稳定性是一个很严重的問題，在設計制造上和使用上，这个問題都被提到首要的地位。

現在各国应用的計算运行式动臂起重機的方法，包括苏联的国定标准在內，是不够完全合理的：或是考虑不够全面，沒有考虑某些相当重要的因素，而过于加大安全系数；或是考虑不合理，把一些实际上不起作用的因素也計算在內。总的來說，都是过于安全的。按这些方法来計算，不能充分利用起重機的起重重量，或不合理地增加起重機的本身重量。

本書提出了更合理的、考虑更全面的、根据起重機使用条件来計算运行式动臂起重機起重稳定性的方法。按照这个計算方法，可以提高起重機的起重重量（特别是对于应用加长动臂的起重機）和降低起重機的本身重量。

本書可供設計制造运行式动臂起重機的工厂和使用这种起重機的各企業部門的技术人員以及高等学校有关專業的教師和学生参考之用。

苏联 И. П. Аксенов 著 ‘Грузовая устойчивость стреловых передвижных кранов’ (Машгиз 1952 第一版)

*

*

*

NO. 1637

1958 年 6 月第一版 1958 年 6 月第一版第一次印刷

850×1168¹/₃₂ 字数 115 千字 印張 4⁹/₁₆ 0,001—2,000 册

机械工業出版社(北京东交民巷 27 号)出版

机械工業出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版業營業許可証出字第 008 号 定价 (10) 0.90 元

目 次

原序	4
本書采用的符号	6
运行式动臂起重机的結構型式	9
起重機的一般特性和用途	9
履帶式起重機	11
鐵道式起重機	12
汽車式起重機	14
小型的起重機	15
現有的計算起重機穩定性的各種方法概述	15
影响动臂起重機穩定性的主要因素的理論性研究	19
在起重和落重時發生的慣性力對起重機穩定性的影响	24
在动載荷作用下的起重機穩定性的計算例題	52
風力對动臂起重機起重穩定性的影响	63
重載旋轉對起重機穩定性的影响	73
履帶式起重機穩定性的實驗研究	108
鐵道式起重機的試驗	122
總結	131
附錄	139
主要參考文獻	143

原 序

由于装卸工作和建筑安装工作的高度机械化，动臂起重机日益广泛地被应用在国民經济的所有部門中。

在每一个別情形中，动臂起重机的使用效率不仅决定于装卸工艺的正确組織，而且还决定于起重机的机动性和实际起重量的正确合理应用，这些是和起重机实际的起重稳定性系数有关的。

关于运行式动臂起重机稳定性的問題，有很多学者进行了大量的工作。

在外国技术文献中登載的有关起重机制造方面的著作，都只非常膚淺地談及起重机稳定性的問題，而且几乎完全沒有考虑慣性力和离心力对起重机稳定性的影响。

在我国（指苏联，以下同。——譯者）的技术文献中，特别是在我国实行工業化时期以来，出現了很多有关运行式动臂旋轉起重机稳定性問題的研究著作。和外国的著作比較起来，这些著作的优点是具有科学的內容和詳細地討論起重机稳定性的問題。

根据这些理論研究的成果，提出了动臂起重机稳定性的計算方法。但是，由于祖國的动臂起重机制造業的發展，运行速度的增加，生产率的提高，加長动臂的应用等等，以及由于提高單位起重量（每吨机器重量的起重量），引起了一系列的額外問題，需要新的理論上而特别是实验上的研究。到現在为止，在已出版的著作中所討論的計算方法，或是完全沒有考虑起重机在工作时所發生的动載荷現象，或是仅仅用簡單的方法把慣性載荷和靜載荷加起来。并且完全沒有考虑起重机質量的慣性，显然，这种慣性对于要使靜平衡的起重机傾复的重載慣性力，是起一定的阻碍作用的。

正确地确定傾复的載荷和它对起重机的作用，有很重大的意

义，因为起重机的工作能力、結構和整个起重机的重量特性都是由它来决定的。

本書是理論上和实验上研究在起重机起重时和旋轉时产生的慣性力和离心力（以及風力、地面傾斜度、起重机支承点下的泥土或鐵路路基的陷下等）对起重机稳定性影响的結果。

在本書中提出了根据起重机使用条件而定的計算动臂起重机稳定性的更准确的方法。按照所提出的方法，完全可以有根据地考虑合理修改整个动臂起重机的結構，降低机器的本身重量，在应用加長的动臂之下提高起重量，以及在使用中更完善地利用起重机的起重量等問題。

本書採用的符號

- α ——起重機的傾側角；
 β ——確定不帶動臂的起重機的重心正常位置的角度；
 ΔM ——力矩的變化量；
 ΔR ——動臂幅度的增加值；
 ϵ ——角加速度；
 η ——效率；
 μ ——制動石棉帶對鋼的摩擦係數；
 $\delta_{\text{索}}$ ——繩索的彈性伸長；
 φ ——確定不帶動臂的起重機的重心臨界位置的角度；
 φ_1 ——確定在靜穩定性係數範圍內的起重機重心可能移動的角度；
 $\varphi_{\text{偏}}$ ——重載對垂直綫的偏傾角度；
 ψ ——考慮泥土陷下不均勻的係數；
 ω ——角速度；
 α' ——自起重機旋轉中心綫到動臂重心的距離；
 α ——在計算起重機動穩定性時考慮的幅度增加值；
 α_p ——自傾復邊緣到對重重心的距離；
 b ——自起重機旋轉中心綫到不帶動臂的起重機旋轉部分的重心的距離；
 b' ——自起重機旋轉中心綫到吊鉤帶有重載的起重機重心的距離；
 $D_{\text{離}}$ ——起重卷筒接合离合器的輪盤直徑；
 $D_{\text{制}}$ ——起重卷筒制動器的輪盤直徑；
 $d_{\text{索}}$ ——繩索直徑；
 $E_{\text{索}}$ ——繩索的彈性模數；
 F ——起重機履帶的支承面積；
 $F_{\text{重}}$ ——重載的迎風面積；
 $F_{\text{臂}}$ ——動臂的迎風面積；
 $F_{\text{索}}$ ——繩索的截面面積；

- G ——不帶動臂的起重機重量；
 G' ——帶動臂的起重機重量；
 $G_{旋}$ ——不帶動臂的起重機旋轉部分的重量；
 $G_{運}$ ——起重機運行部分的重量；
 $G_{臂}$ ——動臂的重量；
 $G_{增}$ ——由於風力而引起的起重機重量的增加值；
 H ——自動臂端部滑輪樞軸到起重機支承平面的距離；
 $H_{懸}$ ——重載懸具的長度；
 H_1 ——自作用在動臂上的風壓力的中心到起重機支承平面的距離；
 h_1 ——自負載的起重機重心到起重機支承平面的距離；
 h'_1 ——自動臂轉動樞軸的連接中心綫至起重機支承平面的距離；
 h_2, h_3, h_4 和 $h_{機}$ ——分別為自動臂、不帶動臂的轉台、起重機的行走部分和不帶動臂的起重機等的重心到起重機支承平面的距離；
 h'_2 ——自作用在司機室的風壓力的中心到起重機支承平面的距離；
 h'_1 和 h'_2 ——在起重機支承點下的泥土或鐵路路基陷下的深度；
 h'_{max} 和 h''_{max} ——鐵路路基陷下的最大深度；
 i ——機構的傳動比或滑輪組的倍數（速比）；
 K ——起重機的靜起重穩定性係數；
 $K_{機}$ ——起重機的動起重穩定性係數；
 $K_{切}$ ——在重載的切向慣性力作用下的起重機穩定性係數；
 $K_{離}$ ——离合器接合的安全係數；
 $K_{制}$ ——制動安全係數；
 $L_{臂}$ ——動臂的長度；
 $L_{繩}$ ——繩索的長度；
 l ——自傾復邊緣到起重機旋轉中心綫的距離；
 $l_{臨界}$ ——自傾復邊緣到起重機靜穩定性臨界點的距離；
 $M_{機}$ ——起重機的穩定力矩；
 $M_{重}$ ——重載的傾復力矩；
 M ——重載慣性力所產生的傾復力矩；
 $M_{離心}$ ——重載離心力所產生的傾復力矩；
 $\Delta M'_{離}$ 和 $\Delta M''_{離}$ ——分別為轉化到逆轉軸和制動器軸上的由摩擦力所產生的

起重機旋轉阻力；

$M'_{慣}$ 和 $M''_{慣}$ ——分別為由重載慣性力和起重機旋轉部分慣性力所產生的起重機旋轉阻力；

$M'_{風}$ 和 $M''_{風}$ ——分別為作用在重載上和起重機旋轉部分上的風壓力所產生的起重機旋轉阻力；

$M'_{α}$ 和 $M''_{α}$ ——由於起重機傾側所產生的起重機旋轉阻力；

$M_{余}$ ——剩余的起重機穩定力矩；

$M_{α}$ ——由於起重機傾側所產生的傾復力矩；

$M_{物}$ ——取物裝置的重量所產生的傾復力矩；

$M_{臂}$ ——動臂重量所產生的傾復力矩；

$M_{風}$ ——風力所產生的傾復力矩；

$M_{切}$ ——重載的切向慣性力所產生的傾復力矩；

$M_{製}$ ——制動器發生的力矩；

$M_{和}$ ——作用在重載、動臂和起重機上的風壓力所產生的各傾復力矩的和；

$M_{傳}$ ——离合器傳送的扭矩；

$m_{索}$ ——不帶動臂的起重機質量；

n ——起重機轉台的每分鐘轉數；

P_1 和 P_2 ——起重機支承點下的泥土的單位壓力；

$P_{慣}$ ——重載的慣性力；

$P_{離心}$ ——重載的離心力；

$P_{切}$ ——重載的切向慣性力；

$P_{索}$ ——作用在起重繩索上的靜計算載荷；

$P_{離}$ ——作用在起重卷筒的接合离合器輪盤上的圓周力；

$P_{風}$ ——風壓力；

$P_{製}$ ——作用在制動器輪盤上的圓周力；

$P_{離接}$ ——起重卷筒的离合器的接合力；

$P_{制}$ ——起重卷筒的制動器的接合力；

$P_{製接}$ ——起重機旋轉機構的制動器和逆轉离合器的接合力；

Q ——在相當的動臂幅度下的起重機起重重量；

Q' ——舉起的重載和取物裝置的重量；

$Q_{機}$ ——在吊鈎上有重載的起重機的重量；

$Q_{減}$ ——起重機起重重量的減低值；

q ——取物裝置的重量；

R ——自起重機旋轉中心綫起計的動臂幅度；

R_0 ——自傾復邊緣起計的動臂幅度

运行式动臂起重机的結構型式

起重机的一般特性和用途

按照行走部分的型式，运行式动臂起重机分为履帶式、鐵道式和汽車式；按照取物裝置的种类，又分为吊鉤式和抓斗式。

履帶式、鐵道式和汽車式起重机的主要区别只在于行走部分。起重机所有其余的部件只是在結構形狀上有区别，有时是在起重机上的布置有所区别。因此，所有在起重机工作时發生的与起重机稳定性有关的现象，对于上列各种起重机來說，都是相同的。

在現代，上述各种起重机照例是做成「万能式」的，也就是这些起重机可以裝設各种起重机用的可更換的工作設備（如吊鉤、抓斗以及其他类似的取物裝置）来进行工作。但是，在3吨以下的小起重量的起重机以及自50吨以上的大起重量的鐵道式起重机則不是做成万能式的，而仅仅是用吊鉤夾套进行工作。

所有上列的各种动臂式起重机主要是用于裝卸單件物品和散碎物品，以及用于建筑和安裝工作。

用于轉載（裝卸）作業的起重机，通常都裝有标准長度的动臂——約为6至15公尺；用作建筑安裝工作的起重机則裝設加長的动臂，它的長度在18至45公尺範圍內。动臂的結構做成有可能用加插一特殊段或接上一末端段（通常所謂「鳥嘴梁」）（圖1）的方法来把标准动臂加長。

所有各种动臂起重机都具有十分高的提升物品的速度——自12至25公尺/分；和提升抓斗的速度——自45至60公尺/分。降下物品的速度可以达到很大的数值，因为在新式結構的起重机中，照例是利用重載本身重量来降下重載的。在这种情形下，落重的速度仅决定于落重高度、起重卷筒的制动器的工作能力和起重机

司机的經驗。

在动臂起重机的起重卷筒上，大多数应用闭式、开式或联合式的帶式制动器，很少例外。当用吊钩工作时，联合式制动器用作闭式制动器；当用抓斗工作时，則用作开式制动器。制动器工作方式的改变是由于改裝制动系統中的一个环节来达到的。大家知道，上述型式的制动器的区别在于：闭式制动器是利用彈簧或重錘来关闭制动器，而开式制动器則是由起重机司机踏下制动器的踏板来关闭。

履帶式和汽車式起重机的旋轉部分的旋轉速度在2.5~6轉/分的範圍內，并且实际上只有当起重机裝設挖土机的工作設備来工作时，旋轉速度才超过3轉/分。

鐵道式起重机旋轉部分的旋轉速度在1.0~3.5轉/分的範圍內。轉速的上限只用于小起重量的起重机。

起重机旋轉部分的旋轉機構应用踏板操縱的开式帶式制动器。旋轉部分的轉动方向由中央的逆轉機構来改变。这逆轉機構通常也是用来改变起重机的运行機構和动臂的升降機構的运动方

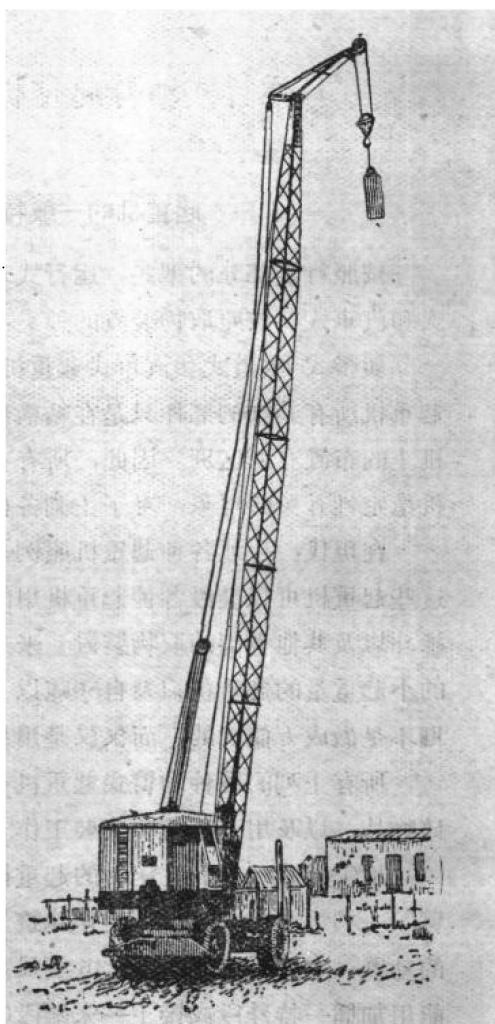


圖1 裝在特种汽車底盤上的、起重量为5吨和裝設帶有烏嘴梁的加長动臂的Э-255型起重机(动臂長度为18公尺)。

向的。

起重絞車（或抓斗絞車）的卷筒和中央逆轉機構的接合应用帶式、錐式、盤式或其他型式的摩擦离合器。

在現代的起重機中，应用四种操縱機構：杠杆踏板機構、風動機構、液壓機構和電動機構。

履帶式起重機

工業上生产的履帶式起重機有起重量自 5 至 50 吨的。也有起重量較大的起重機，但应用最广泛的起重機的起重量是自 5 至 25 吨（圖 2）。

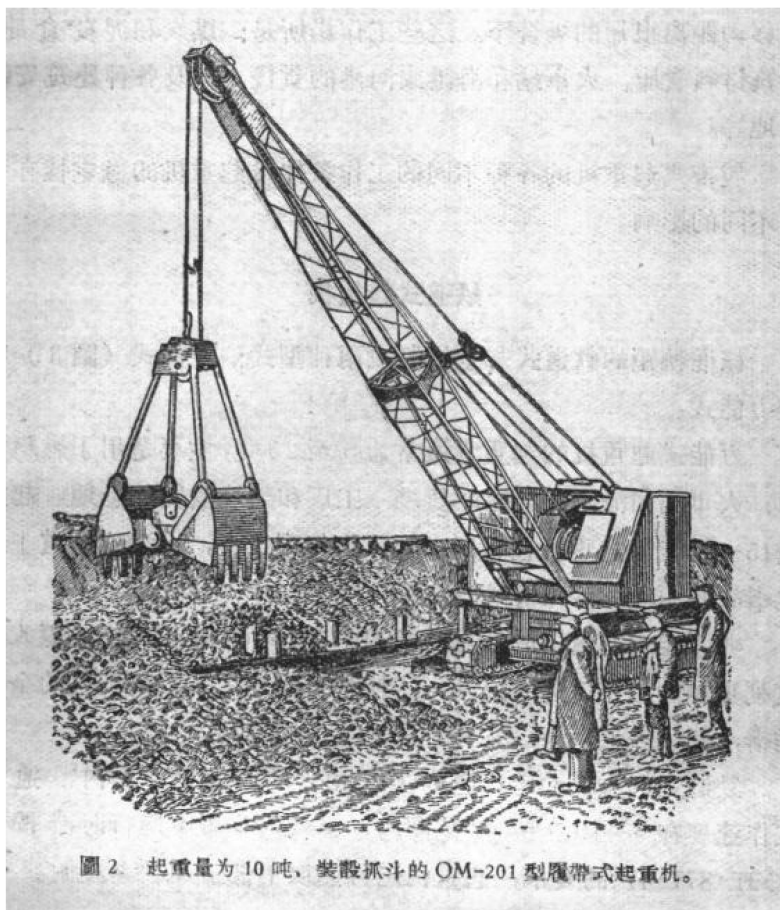


圖 2. 起重量为 10 吨、裝設抓斗的 OM-201 型履帶式起重機。

在同样的起重量和动臂幅度之下，履帶式起重机較鉄道式起重机輕25~30%，并且有非常好的自身稳定性；这稳定性是由于履帶行走裝置具有較寬的轍距所造成的。

履帶式起重机的特点是：它可以在任何等級的土壤（松軟的土壤、I級、II級、III級、IV級、V級和VI級土壤）上，以及在鋪着圓石、礫石、柏油或單純搗固的泥土的貨棧場地上工作和从一个地点运行到另一个地点，而沒有显著的陷下；可以在露天的和在有防風建築物的場地上工作。

由于履帶式起重机的运行速度不大（0.8~3.5 公里/小时），这种起重机主要是用在裝卸工作量很大而在工作时运行次数很少并且移动距离很短的場合下。这些工作場所是：煤炭和泥炭倉庫、建筑材料倉庫、火車站和海港或河港的貨棧、以及各种建筑安裝工地等。

履帶式起重机的各种不同的工作条件对起重机的稳定性有各种不同的影响。

鉄道式起重机

标准軌距的鉄道式起重机制成两种型式：万能式（圖3）和非万能式。

万能式起重机的起重量通常为5至25吨，主要是用于燃料倉庫、火車站和海港或河港的貨棧、工厂和建筑安裝的場地。起重量15~25吨的起重机也有用来編入修复列車中，以消除鉄道上發生事故所引起的后果等等。

非万能式起重机的起重量是50~75~100吨及以上，編入修复列車参加工作；除此以外，这种起重机还用来安裝沉重的金屬結構，架設鉄道桥架以及有时裝載沉重的物品。

鉄道式起重机的运行速度在3~25公里/小时的範圍內；通常工作速度在5~10公里/小时範圍內；当編入列車中运行时，按照ГОСТ 877-41的要求，起重机运行速度不低于80公里/小时。

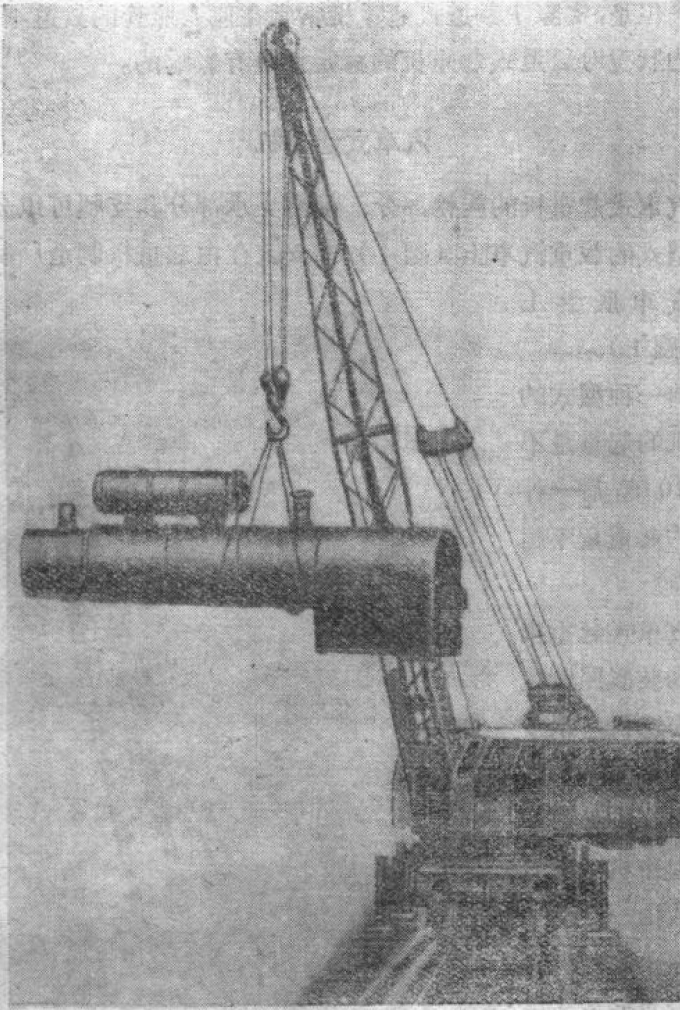


圖3 起重量25噸的K-231型鐵道式起重機。

鐵道式起重機的特点是：由於這種起重機只能沿着鐵道綫運行，所以最適合用於沿着鐵道綫的、集中了大量裝卸工作的地點，並且特別適用於有良好的分叉鐵道網的地點。由於具有這種鐵道網，造成最有利的工作條件，以便充分地各方面利用起重機設備。

鐵道式起重機可用於干綫的、站台的、倉庫的和臨時的鐵道

綫上。但是,实际上鐵道式起重機常常在無人照管的鐵道上工作。鐵道的狀況對鐵道式起重機的穩定性是有影響的。

汽車式起重機

汽車式起重機的旋轉部分、旋轉支承部分和支腿可以安裝在標準型式的載重汽車上(圖4)或安裝在由起重機製造廠製造的特种汽車底盤上(參看圖1)。

前一種型式的起重機的起重量不超過10噸,後一種型式的起重量不超過40噸。

汽車式起重機的驅動裝置照例是應用內燃機,很少應用柴油機電動裝置。裝在特种底盤上的起重機,所有的機構由一個原動機來驅動;但裝在載重汽車底盤上的起重機,可以用一個或用兩個原動機來驅動。當用兩個原動機時,其中一個是專門用來驅使起重機運行的。

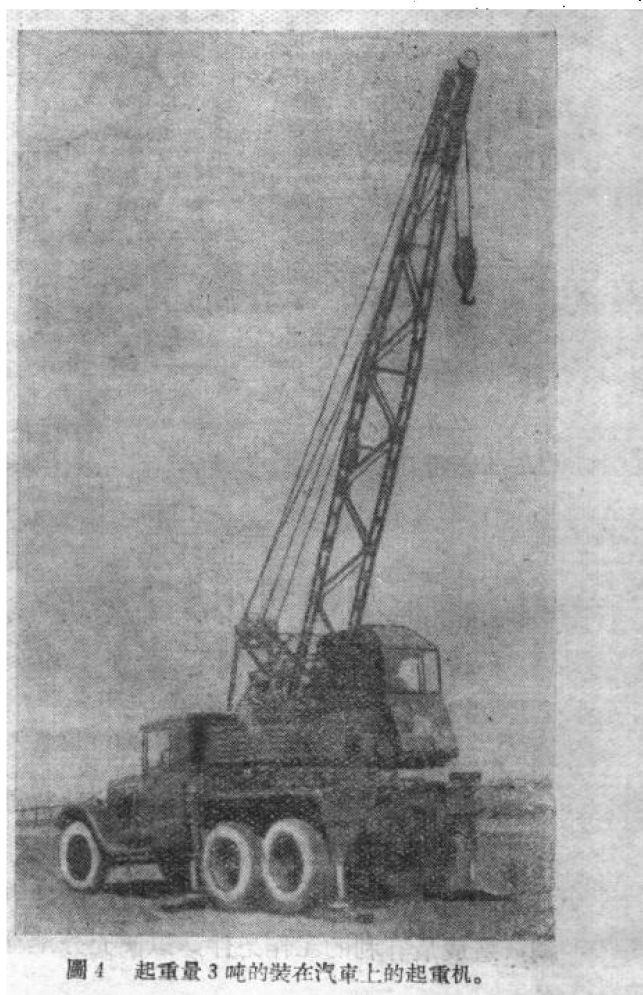


圖4 起重量3噸的裝在汽車上的起重機。

汽車式起重機的特殊優點是具有高度的機動性,也就是可以

很快地从一个工段轉移到另一个工段,并且运行的距离可以很大,因为这种起重机有較高的运行速度——20~30公里/小时及以上。

汽車式起重机成功地应用在各种倉庫、貨棧、建筑安裝工地和工厂場地上进行机械化工作。特别是广泛应用于建筑安裝工作、城市街道上的其他工作以及应用在当起重机設備要有高度的机动性的場合下。

必須指出,汽車式起重机可以在履帶式起重机所能工作的土壤(松軟的土壤除外)和路面上工作。这种起重机的通过性[●]和負載的載重汽車的通过性一样。

小型的起重机

小型的起重机裝在电动的或自动的搬运車上[⊙]。这种起重机广泛地应用在不能应用鉄道式、履帶式、汽車式和别的型式的起重机的場合下:例如用在有頂盖的火車站倉庫、工厂倉庫、海港河港的貨棧、机械裝配車間等等地方。小型的起重机裝設長度在5公尺以下的短勁臂。

小型的起重机的起重速度为10~12公尺/分;运行速度为5~6公里/小时;旋轉部分的旋轉速度为2.5~3.5轉/分。

現有的計算起重机稳定性的 各种方法概述

著名的計算勁臂起重机的起重稳定性的主要方法有下列四种:

按重載产生的傾复力矩作用的稳定性系数的計算起重机起重稳定性方法 这种起重机稳定性計算方法是最流行的,并且应用在各个国家中有各种的修正。例如,在某些国家中,起重机的起

● 通过性——汽車通过障碍物或坏路面的能力。——譯者

⊙ 电动的搬运車是指用蓄電池驅動的;自动的是指用內燃机驅動的。——譯者

重穩定性係數由下式確定：

$$K = \frac{M_{\text{重}}}{M_{\text{重}}}, \quad (1)$$

這個公式完全沒有考慮額外的載荷——重載的慣性力和離心力、風力、工作場地的傾斜度等等的影响。

在蘇聯，按重載產生的傾復力矩作用的穩定性係數的計算方法也用來正式計算動臂起重機的穩定性，並且在國家鍋爐及起重裝置檢查局的法規中明文規定〔12〕[●]。按照鍋爐及起重裝置檢查局的法規，所用的起重機起重穩定性係數有兩個。有一個起重機起重穩定性係數是按照考慮起重機工作時作用在其上的額外載荷的公式來確定的。在這種情形下，起重機的起重穩定性係數

$$K = \frac{M_{\text{重}} - M_{\text{慣}} - M_{\text{離}} - M_{\text{風}}}{M_{\text{重}}} \geq 1.15, \quad (2)$$

式中 $M_{\text{重}}$ ——考慮工作場地傾斜角度的影响在內的起重機重量所產生的穩定力矩；

$M_{\text{慣}}$ ——重載慣性力所產生的傾復力矩；

$M_{\text{離}}$ ——重載離心力所產生的傾復力矩；

$M_{\text{風}}$ ——作用在重載上、動臂上和起重機上的風壓力所產生的傾復力矩；

$M_{\text{重}}$ ——重載所產生的傾復力矩。

式（2）是並不複雜的，並且便於計算。這公式給出足夠的穩定性安全數值來對抗由於在相應的動臂幅度下的重載的作用而產生的起重機傾復現象。但是，按照這一公式的計算方法須經過我們在理論上和實驗上的檢驗，以表明這公式不僅考慮重載產生的，而且還考慮起重機產生的慣性力和離心力的方式以及其計算的完備程度。把靜止的或其他長時間作用的載荷和在百分之几或幾十分之几秒過程中產生的慣性載荷相加起來是不正確的。因此，必須表明起重機在重載慣性力作用下傾復時起重機質量慣性力和

● 原文號碼〔12〕可能是〔10〕之誤，因為書末所列參考書只有10本，而第10本正是鍋爐及起重裝置檢查局法規。——譯者