

高等學校教學用書

起重運輸機的金屬結構

理論及計算

上冊

M. M. ГОХБЕРГ 著
彭聲漢 譯

高等教育出版社

高等學校教學用書



起重運輸機的金屬結構

理 論 及 計 算

江苏工业学院图书馆

M. M. 哥赫勃爾格 著 章
彭 聲 藏 書

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) 出版的技術科學候補博士哥赫別爾格 (M. M. Гохберг) 所著的“起重運輸機的金屬結構”(Металлические конструкции подъемно-транспортных машин) 1949 年版譯出。原書經蘇聯內河運輸部高等教育總署審定作為水道運輸工程學院教學參考書。

譯本分上下兩冊出版：上冊敘述金屬結構及其桿件設計的基本原理，下冊敘述起重運輸機械的金屬結構。

起重運輸機的金屬結構

理論及計算

上 冊

書號341(課318)

哥 赫 別 爾 格 著
彭 壁 漢 譯

高等教育出版社出版

北京琉璃廠一七〇號

(北京市書刊出版業營業許可證出字第〇五四號)

新華書店總發行

商務印書館印刷

上海天通菴路一九〇號

開本850×1168 1/32 印張6 4/16

字數 138,000

一九五五年六月上海第一版

印數 1—2,500

一九五五年六月上海第一次印刷

定價(8) 洋 0.96

上册目錄

緒論	1
§ 1. 金屬結構的一般概念及其應用範圍	1
§ 2. 吊車的金屬結構	2
第一篇 金屬結構及其桿件設計的基本原理	
第一章 √ 金屬結構的物料	8
§ 3. 物料的選擇	8
§ 4. 分類	11
第二章 √ 金屬結構的荷重	13
§ 5. 荷重的類別	13
§ 6. 固定荷重	14
§ 7. 臨時荷重	15
第三章 √ 決定金屬結構的強度	17
§ 8. 鋼在拉、壓及彎曲時的工作	17
§ 9. 壓桿的穩度	21
§ 10. 反覆荷重作用下鋼的工作情形	25
§ 11. 應力的分類(主要的,附加的,局部的和初始的)	29
§ 12. 容許應力	30
第四章 金屬結構的製造	33
§ 13. 金屬的加工	33
§ 14. 裝配、加鉚及施焊	34
§ 15. 發送前的準備工作及鐵路轉運	36
第五章 √ 金屬結構的連接	39
§ 16. 鉚釘連接和螺栓連接	39
§ 17. 焊接	50
第六章 √ 梁	63
§ 18. 壓延梁	63
§ 19. 組合梁	65

§ 20. 組合梁中翼緣和腰板的連接	74
§ 21. 梁的拼接	79
§ 22. 梁的穩度	92
§ 23. 受有局部彎曲作用的雙腰板梁的翼緣	113
§ 24. 鋼軌及其連接	116
第七章 桁架	126
§ 25. 概論	126
§ 26. 桁架的桿件	130
§ 27. 承受局部彎曲的弦桿	142
§ 28. 桁架的節點	150
§ 29. 弦桿的拼接	161
§ 30. 桁架的撓度及加拱	168
§ 31. 柱	171
附錄 1. 壓延粗邊鋼板	179
附錄 2. 壓延通用寬鋼板條	179
附錄 3. 壓延等邊角鋼	180
附錄 4. 壓延不等邊角鋼	183
附錄 5. 壓延槽鋼	186
附錄 6. 壓延工字鋼梁	188
附錄 7. 起重吊車風荷重	191

結 論

§ 1. 金屬結構的一般概念及其應用範圍

由壓延金屬(在某些情形下尚有鋼鑄件及鑄鐵鑄件)所製造的結構物叫作金屬結構。這種結構的桿件是用焊接, 鉚釘及螺栓來連接的。

僅僅在十九世紀的後期由於冶金工業, 尤其是壓延工業的發展, 金屬結構才開始被廣泛地應用。在過去的一百年間, 金屬結構的名稱繁多: 工業和民用建築的骨架, 建築物的個別部份, 橋梁、吊車、塔架、桅桿、液容器等。

金屬結構應用的範圍愈來愈廣而在所有的工業國家中, 金屬結構的生產量亦年復一年地在增長。從事於金屬結構製造的工廠有起重機製造廠, 機車及車廂製造廠, 造船廠及其它的工廠。這些工廠中都有着製造金屬結構的專門車間。爲了金屬結構的大量生產還建立了專門的工廠。因爲金屬結構的形式雖然很多, 但所有這些結構都是用由同一設備來加工的壓延金屬所製成的。

金屬結構的廣泛應用是由於: 較之其它建築物料, 金屬具有許多優越的地方。譬如用金屬來製造吊車較之木材就有下述的主要優點:

- (1) 強度很高(平均容許應力要大九倍);
- (2) 經久;
- (3) 防火。

現代的巨型吊車是不可能用木材來製造的。至於談到鋼筋混凝土, 這種物料雖然對於巨型的結構說來, 它可以保證足夠的強度但

是却不能應用到移動的結構中去，因為它使得結構物的重量大為增加。

所以在吊車製造中，木材和鋼筋混凝土是比不過金屬的。當建築這樣的起重運輸機械的結構時，如懸索站、桅桿、支架、塔、高架橋等，木料和金屬同樣用得很廣，至於鋼筋混凝土就用得很少。物料的選擇是根據結構的使用期限，作用荷重的大小和當地的條件而定。臨時性的或使用期限不長（在十年以內）的結構，當荷重不大而又可以就地取材的話，木料就用得較多而不大用金屬。鋼筋混凝土則有時用來建築懸索站和高架橋。在一定的條件下（結構物的容量很大，工業的施工法），它亦可以和金屬相比。

在所有用來建造結構的建築物中，要以金屬的強度最大。金屬結構在工廠中製造，用鐵路來運輸亦很方便而且可以在一年之中的任何時間來架立。所有的這些優點都說明了為什麼在各式各樣的建築物中金屬結構用得最普遍。

§ 2. 吊車的金屬結構

吊車是許多機構和金屬結構的統一的綜合。金屬結構形成了置放機構的骨架，並將由貨物、結構的自重及風力等所生的荷重傳至基礎（或支承吊車的結構上）。

向吊車的金屬結構所提出的基本要求是：（1）結構具有必需的強度和剛度從而保證吊車能可靠地正常地工作；（2）結構的成本應儘可能地低廉；（3）結構的外形要美觀。

此外，既然吊車差不多總是一種移動的結構，對它說來尤其重要的條件是重量要最小。在一般的吊車結構中，金屬結構的比重由吊車的型式和它的主要參數而定。

在橋式電動吊車中，全部金屬結構的重量一般總是幾倍於機

構的重量。對於建築和港口的吊車亦是如此，至於轉運橋還要超出得多些。顯然，從這裏可以看出，金屬結構的正確設計和製造對於吊車製造是有着多麼重大的意義。

吊車製造的發展史可以分為三個時期。

第一時期——從古代至十九世紀的中葉，即從古代到開始應用壓延金屬來製造吊車的結構和利用機械驅動作爲能量來源的時期爲止^{[3]⊖}。

最初的起重機出現在很遠的古代。由於一般技術的發展，吊車的結構亦隨之得到發展。

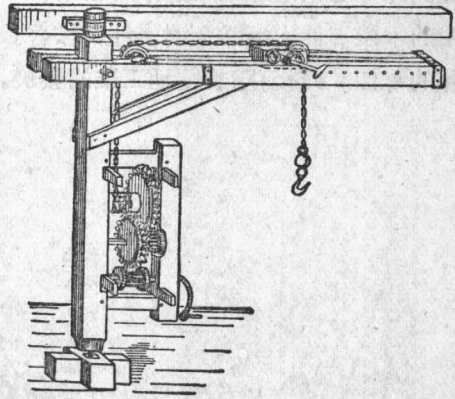


圖 1. 十六世紀的懸臂旋轉吊車。

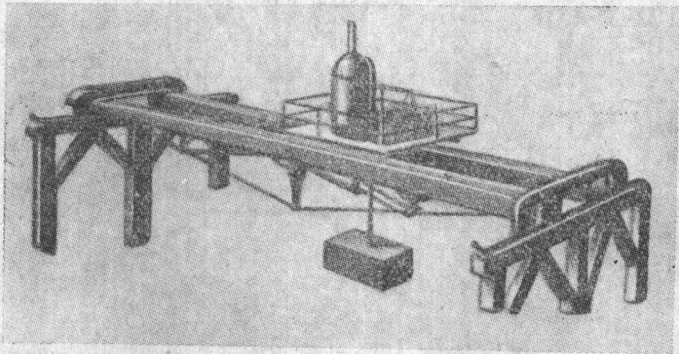


圖 2. 十九世紀的用蒸汽力來驅動的橋式吊車，吊車的橋架是木製的。

⊖ 編者註：帶方括弧 [] 的數字係表示參考書目中的參考書號碼。參考書目附在下冊譯本內。

這個時期的特徵是：所有的機構都是用人力來驅動的，而且吊車的骨架亦是用木料來製造的。金屬部份僅僅是用來連接木桿件的（圖 1）。

第二時期——從十九世紀的中葉至本世紀的二十年代，即一直到開始應用電焊來製造吊車結構為止。在這個時期，吊車結構中的木製零件逐漸為金屬零件所代替。起初，金屬只用來製造機械的零件。此後，隨着壓延工業的發展，吊車的骨架亦開始用金屬

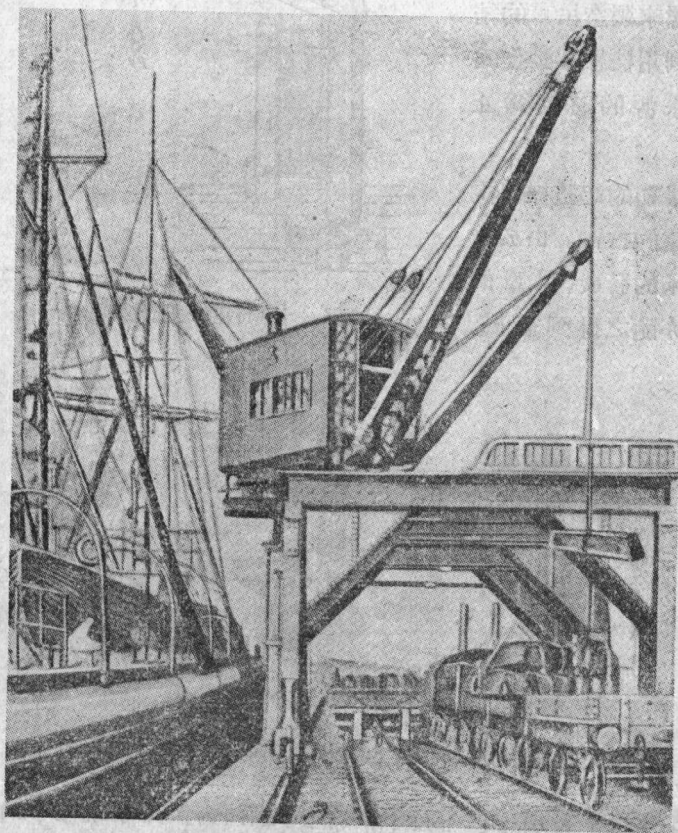


圖 3. 十九世紀的門桁式吊車。

來製造，並且在十九世紀末就逐漸地完全代替了木製的吊車結構。同時，吊車亦初步由人力驅動而過渡到機械驅動，並且很快就轉變到電力驅動(圖 2 及圖 3)。圖 2 所示的吊車橋是由帶有金屬桁構的木製主梁及金屬端梁所組成的。在圖 3 所示的門桁式吊車中，它的門桁是金屬的而起重臂則是木的。

第三時期(從本世紀的二十年代開始)的特徵是吊車的金屬結構由鉚接而過渡到焊接。圖 4 所示的現代起重量很大的吊車橋是用鉚接製造的，而圖 5 則為類似的焊接吊車橋。

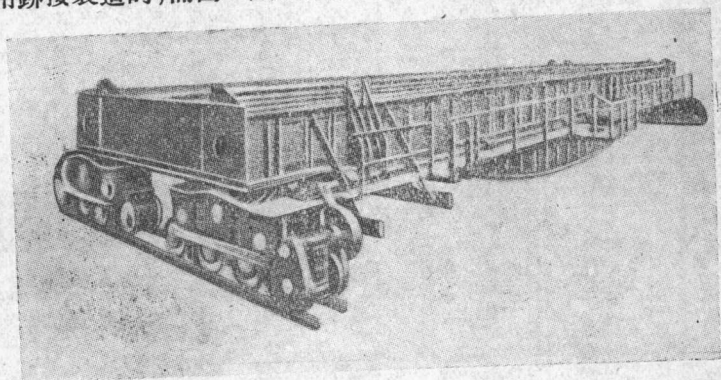


圖 4. 跨長 27 米，起重量 430 噸的橋式吊車。

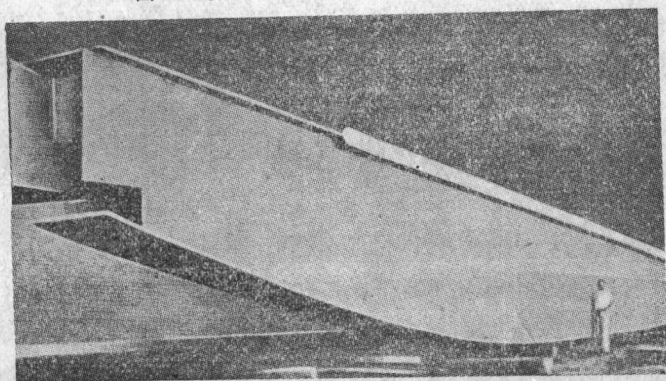


圖 5. 起重量 250 噸的橋式吊車的焊接梁。

焊接是俄羅斯的發明並且是按照斯拉維揚諾夫的方法而施焊的。他在 1890 年就已取得用金屬電極來焊接的專利權。製造金屬吊車結構的新的技術方法——電焊——獲得了廣泛的應用。隨着高級焊條以及最近的熔劑層下自動電焊(在院士 E. O. 巴頓的領導下由烏克蘭科學院電焊研究所研究成功)的出現,電焊結構的可靠性更是無可置疑的了。因為它的造價和重量較鉚接為低,現在,我國的吊車製造工廠僅僅在特殊情況下才製造鉚接的吊車。

第一篇 金屬結構及其桿件 設計的基本原理

金屬結構的計算和設計是按照蘇聯國定標準 (ГОСТ) 及重工業企業建築部的技術規範的規定而進行的。現在所用的規範是：ГОСТ 960—46 “鋼結構” 及 “鋼結構設計標準及技術規範” (H 與 TY—1—46) ① [4]。

吊車結構的規章則由電站部國定鍋爐鑑定所之檢查規範而規定 [10]。

① § 12 中之容許應力則不相同。

第一章 金屬結構的物料

§ 3. 物料的選擇

起重運輸機的金屬結構所用的物料為馬丁壓延鋼，鋼鑄件和鑄鐵鑄件。

所用物料的機械性質應符合表 1 及表 2 之要求。

表 1. 壓延鋼的機械性質

標準號	鋼號	拉力強度限	屈伏限	長試件的伸長率 ϵ (%)
		σ_{Rt} (KG/MM ²)	σ_T (KG/MM ²)	
		不 小 於		
—	Ст.СпК ①	50	32	20
ГОСТ 380—41	Ст. 5	50	27	15
ГОСТ 380—41	Ст. 4	42	24	19
ГОСТ 380—41	Ст. 3	38	22	21
ГОСТ 380—41	Ст. 2	34	21	26
ГОСТ 380—41	Ст. 0с	32	19	18

① СпК — 高級鋼。

表 2. 碳鋼及灰口鑄鐵鑄件的機械性質

鑄件名稱	鑄件號	拉力強度限	壓力強度限	彎曲強度限	標準試件的垂直度當支承距等於 (MM)		5 倍於計算長度試件的伸長率(%) 不小於
		(KG/MM ²) 不小於			600	300	
碳鋼異型鑄件 (ГОСТ 977—41)	15—4020	40	—	—	—	—	20
	35—5015	50	—	—	—	—	15
灰口鑄鐵的鑄件 (ГОСТ Б-1412—42)	СЧ 12—28	12	50	28	6	2	—
	СЧ 15—32	15	60	32	7	2	—
	СЧ 18—36	18	67	36	8	2	—
	СЧ 21—40	21	75	40	8	2	—

現在用得最多的是鋼號為 Ст. 3 的低碳鋼。

當計算變形和位移時所用的常數為：

(a) 縱向彈性模數：

壓延鋼及鋼鑄件的所有鋼號為

$$E = 2\,100\,000 \text{ 公斤/厘米}^2;$$

號碼為 CЧ 21—40 及 CЧ 18—36 的鑄鐵鑄件 $E = 1\,000\,000$ 公斤/厘米²；號碼為 CЧ 15—32 及 CЧ 12—28 的鑄鐵鑄件 $E = 850\,000$ 公斤/厘米²；

(6) 壓延鋼的剪力模數 $G = 0.4 E = 840\,000$ 公斤/厘米²。

一切鋼號所採用的線膨脹係數 $\alpha = 0.000\,012$ 。

用作結構中受力桿件的鋼料，應該附有鑑定書來證明它的機械性質。性質不明的鋼料（即沒有鑑定書的鋼料）如果由試驗證明它的機械性質不低於 Ст. 0。號鋼，可以把它當作 Ст. 0。的鋼料來使用。

不能通過試驗的性質不明的鋼料只能用於不予計算的聯結件，立足台，安全桿及其它不工作的桿件中。

為了減輕重量，在吊車結構中可試用低合金鋼——高級鋼 (СНК)，以及輕金屬——鋁及鋁合金。

採用高級鋼時應該考慮到格形結構的桿件的柔度、鉸狀結構的穩度以及所有結構的總的撓度，和容許應力一樣這些都是為規範所規定的。自然，如果按照上述條件而設計的任一桿件中的應力不足時，那麼採用機械性質很高的鋼料並不能減輕桿件的重量。

同時，高級鋼的價錢較普通低碳鋼 Ст. 3 為貴。因此使重量減輕乃是合理採用高級鋼的一成不變的條件。當不能達到減輕重量的目的時，採用高級鋼是不合理的。實際上，只有在重型吊車結構中（例如由低合金鋼焊接而成的起重量在 200 或 300т 之間的橋式吊車中）採用高級鋼才可能是合理的^{[5]、[6]}。高級鋼 (Ст. СНК) 的

機械性質如表 1 所示。

當採用低合金鋼時，結構的重量約可減輕 20%。但是僅僅在得到鍋爐鑑定所的允許之後才可以採用 Cr.5 或 ЦПК 號鋼(見 § 10)。

輕減吊車結構的另一方法是採用以鋁為主要金屬的輕合金。

鋁合金亦可以像鋼一樣，壓延成各種類別的建築型鋼。它的機械性質(σ_{ny} , σ_T , ϵ)並不比 Cr.3 號的碳鋼遜色而比重却只 2.8 (鋼為 7.8)。自然，從這一方面看來，如果要減輕結構物的重量而用輕金屬所收的效果是很大的。

輕金屬的缺點在於它的彈性模數較低。

鋁合金的彈性模數等於鋼的三分之一。這就是說，在外力作用所引起的應力相等時，鋁合金結構的彈性變形要比鋼的結構大兩倍。

一噸鋁合金的價錢遠較一噸鋼為高；但是事實上金屬結構的差價並沒有這麼大，因為一噸鋁合金所壓延出來的型鋼將是一噸鋼的 $\frac{7.8}{2.8} \cong 2.8$ 倍。至於說到造價，鋁合金結構亦不會比鋼結構高。

用鋁合金來做旋轉吊車的懸臂時，效果尤其明顯，因為減輕懸臂的重量同時亦就減輕了平衡物的重量。

用鋁合金來做橋式吊車就可以減輕房屋結構的荷重。這樣，一個跨長 24.7 公尺起重量為 50T 的鋁合金吊車，它所加在行車軌道上的壓力和起重量為 25T 的鋼吊車一樣。

在已有的結構中裝置起重量合乎要求的吊車時，應將吊車的自重大大地減輕，在這種情形下採用輕金屬尤其是適宜的。

到現在為止，鋁合金還沒有被廣泛地應用到起重運輸機的結構上去。

§ 4. 分 類

金屬結構中的壓延桿件，按照國定標準(ГОСТ)的規定製成一定的型式和尺寸。所謂分類就是將這些桿件按幾何性質歸併在一起。

壓延型鋼的分類是金屬結構標準化的基礎，並隨着工業的發展而日益擴展。壓延金屬的種類愈多則造出來的金屬結構亦愈合理，愈便宜。

壓延鋼可分為兩大類：

(1) 鋼板——粗邊鋼板(OCT 10019—39)和寬扁鋼(ГОСТ 82—41)；

(2) 型鋼或構造鋼——等邊角鋼(OCT 10014—39)和不等邊角鋼(OCT 10015—39)，槽鋼(OCT 10017—39)，工字鋼(OCT 10016—39)(參看附表 1—6)。

鋼板——壓延鋼中用得最多的一種，在金屬結構中它所佔的比重正日益加大中。

我們所用的鋼板主要是粗邊鋼板。這種鋼板厚度可達 60 mm；通常寬為 1200—2000 mm，長為 7—10 m。

附有寬扁鋼分類的目的是爲了可以從結構製造工廠中得到現成的需要寬度的扁鋼，這樣就可以減少金屬在加工時的耗費。因爲，不然就要用切割的方法從鋼板中截取鋼條。

角鋼 是型鋼中最流行的一種。角鋼被分為等邊角鋼(兩個肢的寬度相同)不等邊角鋼(兩肢之比在 1.33—1.67 之間，最普通的是 1.5)。肢的寬度(cm)即爲角鋼的標號。在承受軸向力的桿件和連接桿件中，角鋼是用得很廣泛的。等邊角鋼和不等邊角鋼在金屬結構中的作用是一樣的，至於究竟用那一種恰當則由構造的觀點

而定。

在我們的分類中，每一種角鋼可以有幾種厚度。這裏應該指出，薄的角鋼總是比厚的角鋼要來得適宜些。因為在壓桿中，薄的角鋼有着較大的旋轉半徑而在拉桿中則有着較小的鉚孔減損面積。所以在任何場合中，如果構造的條件允許的話，就不要用厚而肢短的角鋼而用薄一點的但是肢却較長的角鋼。角鋼分類表的造表方法是使角鋼的面積一個大過一個。等邊角鋼包括的號數從 2 到 23，肢的差數從 5—30 mm，不等邊角鋼則從 3 到 20（長邊）。角鋼的最大長度可至 12—19 m。

槽鋼 亦是用得最廣的一種型鋼。用來作為承受軸向力的桿件以及承受橫向彎曲的梁。此外，槽鋼亦非常適於用作結構中的連接桿件。在我們的分類中，槽鋼的高度從 50 到 400 mm，差數 20—50 mm。槽鋼的高 (cm) 和它的標號的數字一樣。從高度為 140 mm 的槽鋼開始，每一種高度就有兩種或三種不同的截面。和角鋼一樣，槽鋼的長度亦是 12—19 m。

工字鋼 除了受有橫向彎曲的桿件之外，幾乎所有的桿件都用到普通的或寬翼緣的工字鋼。在我們的分類中，普通工字鋼的高自 100 至 600 mm，差數為 20—50 mm。工字鋼的高度 (cm) 和它的標號的數字一樣。從高為 200 mm 以上的工字鋼開始，每一高度可有 2—3 種不同的截面。寬翼緣工字鋼的高度自 200 至 600 mm。工字鋼長達 19 m。

金屬結構中的主要承重桿件應具有剛性的截面；所以僅由一條扁鋼來作這種桿件是不容許的。

結構主要桿件中的軋及型鋼的腰軋的厚度不得小於 4 mm，鉚接構造中的角鋼不得小於 $50 \times 50 \times 5$ ，焊接中則不得小於 $45 \times 45 \times 5$ 。