

101908

049487

651.5018
2721

鉚接金屬橋梁

技術科學博士 C. A. 伊利亞塞維奇著
鐵道部鐵道研究所結構研究組譯

人民交通出版社

本書第一次系統地介紹了有關銲接橋梁結構及其計算方法的十分豐富而集中的資料。

本書的用途很廣，可供在研究銲接橋梁結構方面的設計人員之用，也可供在公路及鐵路上使用這種結構而進行試驗研究工作的工程師、研究生與大學生之用。

參加本書翻譯及互校工作的為鐵道部鐵道研究所結構研究組：緒論（許乃武），第一章（王增榮），第二章（周家模），第三章（許成業），第四章（楊祖裕），第五章（許乃武），第六章，第七章（范靈）。

書號：1051-京

銲接金屬橋梁

С. А. ИЛЬЯСЕВИЧ

СВАРНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МОСТЫ
ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОРОЖНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ГУШОСДОРА МВД СССР
МОСКВА-1952

本書根據蘇聯道路出版社1952年莫斯科版本譯出

鐵道部鐵道研究所結構研究組譯

人民交通出版社出版

（北京北兵馬司一號）

新華書店發行

機械工業出版社印刷廠印刷

初編者：石道全 複審者：郭秉鉞

1955年4月北京第一版 1955年4月北京第一次印刷

開本：33.5"×45" $1/32$ 印張：6 $3/4$ 張

全書：230,000字 印數：1—2350冊

定價（9）：1.65元

（北京市書刊出版業營業許可證出字第〇〇六號）

目 錄

作者的話.....	1
緒論.....	2

第一章 橋梁結構中銲接的應用

§ 1. 蘇聯銲接橋梁建築的概述.....	5
§ 2. 銲接橋梁應用上的優點和益處.....	21

第二章 銲接橋梁的材料

§ 1. 低炭鋼用於銲接橋梁結構.....	26
§ 2. 橋梁結構自動銲接的電極銲條與熔劑.....	29
§ 3. 手工銲接的電極.....	31
§ 4. 容許應力.....	34
§ 5. 銲接橋梁中的裂紋.....	36

第三章 銲接鉸梁橋

§ 1. 鉸梁的優點與缺點.....	43
§ 2. 鉸梁的斷面形式.....	45
§ 3. 鉸梁斷面主要尺寸的選擇.....	48
§ 4. 鉚釘裝配結合的公路銲接鉸梁橋結構.....	61
§ 5. 整體銲接公路鉸梁橋的結構.....	77

第四章 上承鉸梁橋的幾個計算問題

§ 1. 主梁間活荷載的分佈.....	94
§ 2. 橋面系鋼筋混凝土版與鉸梁的聯合作用.....	98
§ 3. 鉸梁銲接結合的計算.....	105
§ 4. 銲接鉸梁鉸壁局部穩定性的計算.....	107
§ 5. 銲接鉸梁整體穩定性的計算.....	114
§ 6. “合鉸釘”聯接的壓延工字鋼組合梁的計算.....	115

第五章 銲接主桁架橋梁

§ 1. 桁架的主要特點.....	120
§ 2. 鉚銲主桁架橋梁的結構.....	124

§ 3. 整體銲接主桁架橋梁的結構.....	140
------------------------	-----

第六章 主桁架的幾個計算問題

§ 1. 有撐桿簡單桁架及格子組合桁架的計算.....	178
-----------------------------	-----

§ 2. 三角桁架開口承壓弦桿穩定性的計算.....	187
----------------------------	-----

第七章 銲接橋梁結構的製造

§ 1. 熔劑下自動和半自動銲接的工具.....	193
--------------------------	-----

§ 2. 銲接工字型或H型構件時的變形及其防止方法.....	196
--------------------------------	-----

§ 3. 構件裝配與銲接的設備.....	201
----------------------	-----

參考書籍.....	208
-----------	-----

作 者 的 話

在寫[銲接金屬橋梁]這本書的時候，作者廣泛地採用了[鋼結構設計研究所]的設計資料。研究所的橋梁部門在金屬橋梁方面進行着巨大的、創造性的、啓發性的工作。在這裏，對於研究所所長，斯大林獎金獲得者 H. П. 密里尼克夫的幫助謹致以謝忱。

作者對於技術科學碩士 A. A. 莫拉托夫在準備一部分原稿上的幫助表示真誠的謝意。

本書的審閱者技術科學博士 Г. А. 尼古拉耶夫教授和[鋼結構設計研究所]橋梁部門負責人 Г. Д. 波波夫工程師，特別關懷地審查了原稿，並且在原稿最後準備付印前給予很多寶貴的指示，作者特別向他們致以謝意。作者同時也向本書的編輯，技術科學碩士 A. И. 克德羅夫致以謝意。

最後，希望讀者對本書提出自己的批評和見解。這本書把我國在銲接橋梁結構方面所進行的巨大研究工作初次加以闡明。既然本書是第一次出版，自然不會沒有缺點，這些缺點在以後出版類似的有關銲接橋梁的書籍中應該消除。

作者將衷心接受讀者們所批評的意見。

C. A. 伊利亞塞維奇

緒 論

我國是電鋸的誕生地，遠在前世紀八十年代，俄國的工程師 H.F. 斯拉瓦諾夫和 H.H. 別納爾道斯已經發明了電鋸；但是，鋸接鋼結構，其中包括鋼橋，只有在偉大的十月社會主義革命以後，才開始運用。俄羅斯技術和經濟的落後，資本家地主階級政權對俄國人的天才、能力和創造性缺乏信心以及崇拜外國，這一切都不會使得這樣寶貴的、進步的發明在革命前的俄國找到實際的地位。

但是還在第一個斯大林五年計劃的年代裏，許多冶金聯合製造廠的建造中，已經廣泛地採用了電鋸。可以指出這樣一個事實來證明：一個冶金聯合製造廠，在它的建築期間，1933 年有百分之五十的金屬結構是用鋸接製造的；而到 1935 年就有百分之八十的這類結構應用了鋸接。

1934~1935 年以前的一段時期是我國鋸接結構發展的最初階段。這階段的特點是，從數量上或從形式上來看，鋸接的應用開始於各種不同的建築結構。當時的鋸接結構是適應於鋸接可能有的設備的，這些結構的鋸接以搭接為主要形式，而且是按照鋸接金屬最低的容許應力來計算的。只用手工鋸接來製造建築的結構，而且，電極只有固定塗料的；因此，鋸接的質量和數量是不高的。在這最初階段鋸接也開始應用於橋梁結構。

鋸接建築結構發展的次一階段，大約延續到 1938~1939 年，這階段的特點是創造了為製造優良鋸接更為有利的條件。在巨大的五年計劃建設中，培養出許多熟練的鋸接人才，鋸接技術有了相當大的改進，高級的厚皮鋸極開始應用。在這個時期中，鋸接的生產已經有了很大的發展，鋸接結構的研究工作，從放慮各種不同形式鋸接結合的特殊性方面開始進行。需要指出，在這個階段中，通過進行規模巨大的對於鋸接結合在各種荷載作用下工作情況的試驗研究，鋸接程序的研究已經受到了相當的重視。

這個時期，鋸接橋梁結構的發展也是繼續着的。但是，這種結構中裂紋的出現使得人們以很警惕的態度來對待鋸接橋梁，特別是用在鐵路運輸上的鋸接橋梁。

大約在 1938~1939 年開始了鋸接結構發展的新階段，這階段以使用熔劑下的自動和半自動的電鋸為特徵。E.O. 帕通院士主持下的烏克蘭蘇維埃社會主義

共和國科學院電鋸研究所作了特別豐富的研究工作，因此，在更完善的銲接方法方面獲得了巨大的成就，這些成就從本質上促進了銲接結合質量的提高，也促進了銲接生產率的增長。這裏適當地強調一下，在熔劑下自動銲接方面，俄國的科學和技術是佔居首要地位的，因為銲接的發明者 H.Γ. 斯拉瓦諾夫是世界上第一個注意到熔劑下電弧銲接的可能性的，當時他還創造了專門的電熔機，實質上，這就是世界上自動銲接機的最初雛形。

直至目前是我們所談的銲接結構發展的第三個階段，這階段的特點是這種結構在形態上的進一步改善，它們成為整體製造的，而且在細部的製造上係根據：對銲接技術程序的特殊性的研究；各種荷重作用下銲接結合實際的作用狀況以及對於銲接程序、熱力原理與銲接結合強度廣泛的試驗研究。我國在自動和半自動的熔劑下電弧銲接方面獲得了極大的成就，這使得在世界上第一次運用這種更完善的銲接方法於橋梁結構成為可能。

建築中電弧銲接應用問題的專門研究，使得蘇聯現在有極大部分用在工業建築方面的鋼結構是用銲接結合來製造的。至於在橋梁結構方面無疑地還存在着問題，目前對裂紋形成的原因研究得不够說明了其在應用上的落後。同時，還必須承認，對於最合理的結構體系及銲橋結構形式這類問題缺乏認識，特別是在桁架橋梁應用的時候這種認識上的不够，是所以落後的一個非常重要的因素。目前對於具有不同體系和不同結構形式的整體銲接橋梁結構的實際研究工作還正在進行中。

同時也應當指出，目前正注意由低合金鋼製造的——例如由型鋼 11Л2 製造的——結構銲接的研究工作。正因為這種鋼在大型建築結構中，特別是在橋梁結構中具有很多優點和廣泛應用的實際可能性，所以，這種研究工作是很有現實意義的。

在研究鋼結構銲接的許多問題時，正如我國國民經濟其他方面一樣，理論與實踐、學者與生產者之間有着密切的配合。可以舉出很多富有成果的、重要的工作，這些工作把科學研究部門和有關工廠及生產企業聯繫在一起。

現在，銲接在橋梁建築上使用問題的專門研究工作，不僅明確了在這方面它的發展是落後的，而且也肯定了許多暫時還不能解決的問題是很複雜的。橋梁結構是很重要的結構，這種結構的正常工作應當首先保證安全地運輸荷載。它們處於最繁重的使用條件之下，其特點是動力作用很大以及有着很不利的大氣影響，特別是惡劣的低溫的影響。銲接鐵路橋梁是處在格外繁重的使用條件之下的，這種橋梁的工作特點是：作用在它上面的活荷重佔全部計算垂直荷重的很大一部

分。根據這一點看來，公路橋、特別是城市橋梁是處於較為有利的工作條件之下的。完全可能，這就是為什麼很久以前建造的用於公路及城市的鉚接橋梁，和用在鐵路上的比較起來情況是非常良好的，而且很少有形成裂紋趨勢的原因。

目前，用鉚接來製造的鋼橋結構，其載重量還不是很大的。但是完全有理由來認為：通過整體橋梁的建造與試驗，通過橋梁合理結構形式的研究，通過各種鉚接結合及鉚橋個別構件震動強度的試驗研究，通過橋梁結構工廠及裝配鉚接技術的日益改進等等，一定會使鉚接橋梁的承重量在最近的將來可以有相當的提高。這將使鋼料的大量節約，橋梁結構製造廠產量的提高以及造價的減低成為可能。

當紀念鉚接在橋梁建築上使用二十週年的時候，彙集了有關解決鉚橋問題的資料，這些資料極為豐富，多樣，並且是建設性的。我們認為，鑑於目前正在鉚橋方面進行的大量研究工作，其中特別是關於擬訂這種橋梁最合理的結構形式的研究工作，把這些資料全部彙集起來、系統化並加以分析將是十分有益的工作。從這裏就產生了寫這本書的意圖，這本書主要是針對着設計鉚接橋梁結構範圍而寫的。

我們在這本書裏，除了研究鉚接橋梁的結構以外，還配合需要，给出了一些技術性問題最基本的補充知識。簡單地把後一類材料介紹一下，就是：鉚橋用的鋼料，自動鉚接用的鉚條與熔劑，手工鉚接用的電極，鉚接橋梁結構構件製造的主要特點等等。在這本書裏也稍許涉及某些上部結構的計算問題，這些問題在橋梁的一般文獻裏是沒有說明的。

第一章 橋梁結構中銲接的應用

§ 1 蘇聯銲接橋梁建築的概述

蘇聯的銲接橋梁從 1931 年開始建造。第一個銲接橋梁首先是交通人民委員部中央建築研究所的桁架鐵路橋梁，此橋建築在鐵路的支線上，跨度為 12 公尺。這座應用白堊粉塗料電極所製的橋梁上部結構已安全地使用了相當長的時期。還有一座公路銲接橋梁也於同一時期建造，其一般形式如圖 1 所示。橋共有五孔，其中最大的一孔（即中間的一孔）為 20 公尺。橋面寬 6.5 公尺，人行道寬 1.5 公尺。橋梁為簡支梁式，沿縱向分為兩個獨立的片，其中每片係由縱向聯結系和橫向聯結系聯繫起來的二個銲接鉸梁所組成。

梁的工字型截面係由腹鉸和鉸於腹鉸上的翼緣角鋼構成。垂直加勁肋鉸在腹鉸的兩邊。所有聯結系都用單個的角鋼直接固定在水平翼緣和加勁肋鉸上。此橋所用的銲接鉸梁截面和鉸接梁截面的式樣完全相同。

在 30 年代初期，跨度為 23 公尺的鐵路銲接鉸梁橋製造了很多，且已具有由腹鉸和翼緣鉸構成的較為合理的工字型截面。可惜這些橋梁由於有着本質上的缺點並未能實地利用，諸如結構的不完善、製造的不能令人滿意以及當溫度在零度以下時所用金屬的抗擊韌性很低等都是這種結構的缺點。

整體銲接主桁架橋梁的試驗反覆進行了很多次。跨度為 45 公尺的鐵路下承主桁架橋梁已製造了五孔，此類桁架有附加立柱和懸桿的三角形格子。在 Г. А. 尼古拉耶夫教授領導下設計了這類橋梁，其中的一個示於圖 2。此外，與此相類似的橋梁（圖 3）是在 H. Г. 波拉莫諾夫工程師領導下做出的，其概貌幾乎一樣而其結構則稍有不同，這四孔橋梁的不同處在於主桁架的構件是用壓延槽鋼所作的。

應當指出，上述銲接橋梁在當時就跨度而言在世界上是最大的。當時國外已製造的最大銲接橋梁跨度為 42 公尺（在美國波斯頓區通過瀑布的橋）。

在這期間（三十年代）銲接不僅用在簡支梁式橋梁中，也開始用在梁式懸臂橋梁、連續橋以及推力拱式橋和懸橋中。當時已製造了全部銲接的鉸式雙懸臂橋梁（圖 4），此橋中部的跨度為 35 公尺，懸臂的跨度為 5.0 公尺。為了使跨度中部

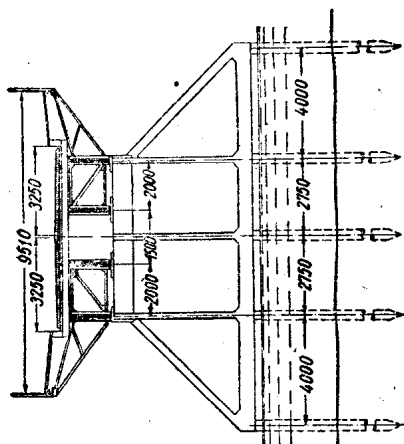


圖 1

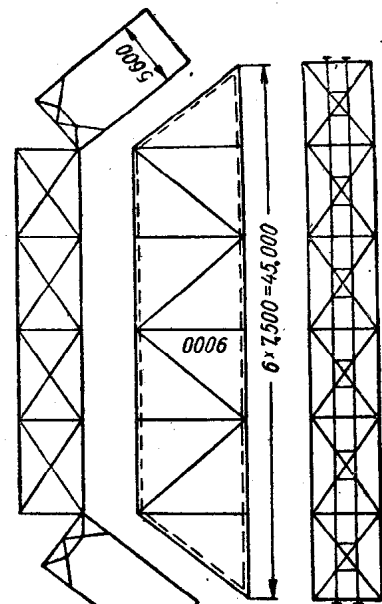
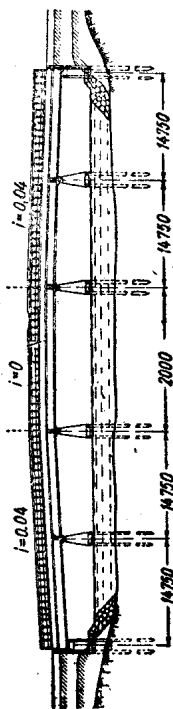


圖 3

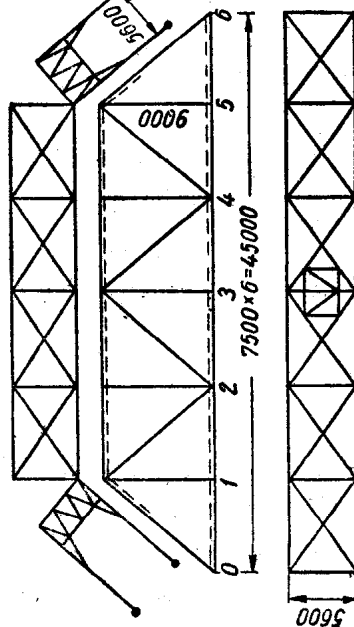


圖 2

能承受產生彎矩的最大荷載，懸臂部分填以碎石。這種構造上的措施可以減低中間一孔中央部分的高度到 2.15 公尺（即為 $\frac{1}{16}l$ ），因而得到一定的經濟效果。懸臂之高度在支座處為 2.78 公尺（大於其長度的一半），因懸臂有相當的剛性故可以不用橋台。橋上有兩股電車道，這部分橋面寬 13.7 公尺；兩邊人行道寬各為 2.25 公尺。橋梁的橫截面上有八個主梁。此橋到現在仍處於正常使用的情况中。

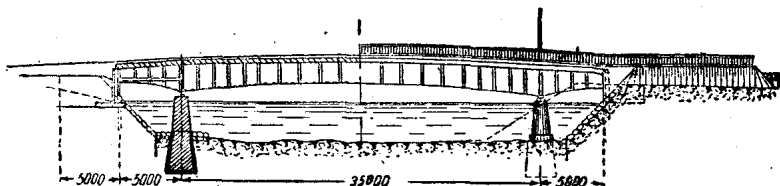


圖 4

當時，舊的都市的生鐵拱式橋梁的改建也已經實現。由於改建的結果，生鐵拱式橋梁已全部由焊接的連續橋梁所代替（圖 5）。被改建後的橋梁的橋面寬為 18 公尺，人行道寬為 3.0 公尺。橋梁的鉸式主梁採用封閉箱式雙壁結構，其腹鉸高度恆為 2.2 公尺。這座橋是許多整體焊接橋梁中的一個，直到現在仍在正常使用着。

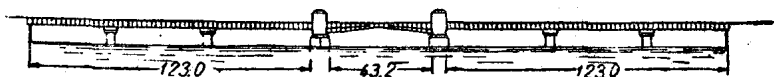


圖 5

關於在拱橋中應用焊接的問題還在 1931 年就已經進行研究，當時在 H.C. 斯特列累茨基教授領導下擬製了一個整體焊接橋梁的方案，此橋設於一條寬為 115 公尺的河上〔1〕^①。其主梁規定是用鉸梁與鉸式推力拱構成的組合體系（圖 6）。拱很平緩，矢高等於 $\frac{1}{16.4}l$ 。橋的全寬為 27 公尺，其中兩邊人行道寬各為 4.5 公尺。在橋的橫截面上有 4 個主梁（圖 7），軸距分別為 7.7 和 7.0 公尺。這座橋的結構是新穎的，其出發點是希望能最大限度地使橋梁上使用焊接，從而使鋼鉸得以充分地利用。此橋的拱和梁都是用縱鉸和橫鉸組成的鉸式方框型。梁和拱的高度為 1.1 公尺，即約為 $\frac{1}{105}l$ 。中間的拱寬為 4.2 公尺（ $\frac{1}{27.4}l$ ），邊拱寬 2.8 公尺（ $\frac{1}{41.1}l$ ）。在中間主梁之間的上部用剛性橫撐連繫以保證它們在橫

① 指附錄於書後的參考書籍號次，以下同——編者。

的方向上能共同起作用並有很高的穩定性。邊梁用鉸和中間的主梁連繫，因此其窄拱的橫向穩定性較低。這種方法就整體而言無疑是有價值的。它表明早在鉚接發展初期，為尋求鉚接橋梁最適合的結構形式，蘇聯的橋梁工程學派所持的態度是富有創造性的。

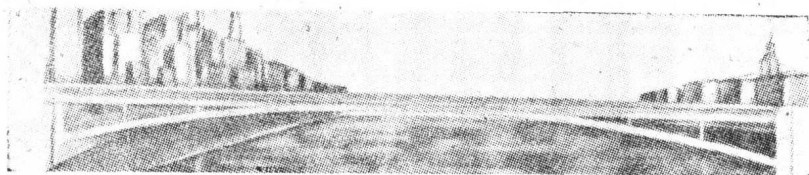


圖 6

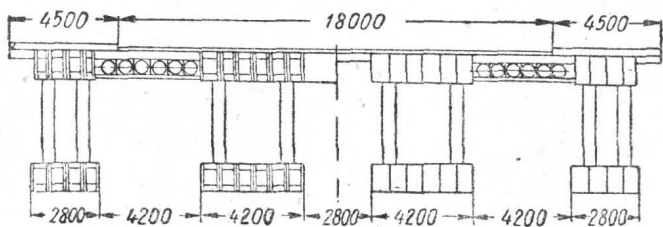


圖 7

在 30 年代裏，有一條鐵路線上建造了一座上承鉚接雙鉸拱式橋梁，跨度為 140 公尺。這座橋梁的構造很新穎，橋面是鋼筋混凝土的，橋梁的特點是採用在直徑為 820 公厘中填混凝土的鋼管作為桁構拱的弦桿。鋼管用滾製鋼板以縱向對頭鉚縫鉚接製成。拱的格子構件——斜桿和立柱——為工字型截面，與拱的弦桿以鉚接節點相連接。在其使用過程中很多節點處有裂紋產生，但這些裂紋已用適當的方法消除，現在此橋仍在正常地使用着。

1938 年在我們的領導下做了鉚接橋梁的兩種設計，利用組合體系的優點以鉚梁作為基本構件之一。其中第一個設計〔2〕為跨度等於 55 公尺的整體鉚接鐵路橋梁，此橋是用垂直懸桿連接的鉚式剛性梁和柔性拱所構成的組合體系（圖 8）。梁的工字型截面腹板高為 2.1 公尺（ $\frac{1}{26.2} l$ ）；拱的 H 型截面高為 0.53 公尺（約 $\frac{1}{104} l$ ）。全部橋面系上的桁架和梁都用最適合於鉚接的工字型和 H 型截面，而不用斜桿，因此就把節點數目減少很多，這對鉚接結構也是十分重要的。根據這種看法，與此相類似的組合體系對鉚接橋梁來說，可以認為比普通簡單的梁式桁架更為合理。

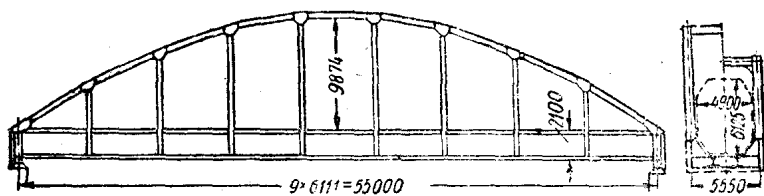


圖 8

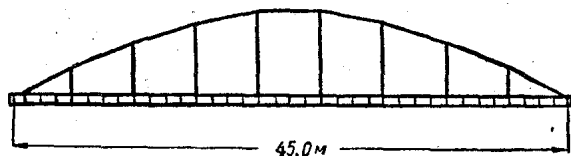
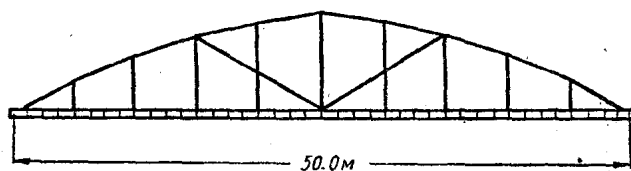
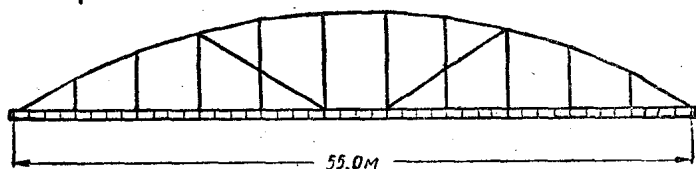
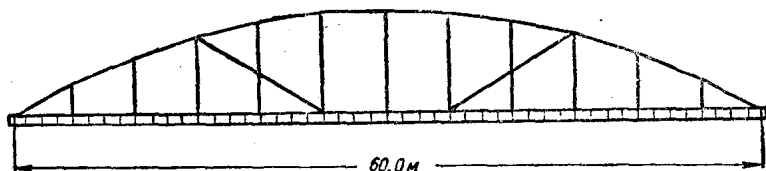


圖 9

另一個設計[2]是可裝拆的公路橋梁，它能拆裝成 15 到 60 公尺的跨度。跨度小於 50 公尺者利用前面講過的組合主桁架形式，也就是有螺栓裝配拼接的鉚接板式剛性梁，此梁用由鋼管作成的柔性折線拱來加強，而鋼管則用螺栓法蘭盤接合來連接。跨度為 50、55 和 60 公尺者(圖 9)，主桁架之組合體系因在跨度中

部引用兩個斜桿而複雜化，斜桿可以使剛性梁的負擔減少很多。這樣剛性梁的高度可為 0.774 公尺，當跨度 $l = 60$ 公尺時此高約相當於 $\frac{1}{77.5} l$ 。其後在蘇聯橋梁工程中這種組合體系的發展趨向於用三角形腹桿代替垂直懸桿的組合桁梁。

1941 年，Г.Д. 波波夫工程師、B.B. 穆勞姆柴夫工程師和 Н.И. 波利瓦諾夫工

程師首先提議用這類桁

架，並設計了跨度為 104

公尺的公路鉚焊合用的

鋼橋。這種桁梁已用在

跨度為 83.2 公尺的公

路定型鉚接橋梁（圖

10, a）和跨度為 66 公尺

的鐵路整體鉚接橋梁

（圖 10, б）。

在 30 年代裏，有一

個跨度為 132 公尺的公

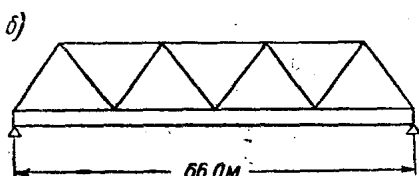
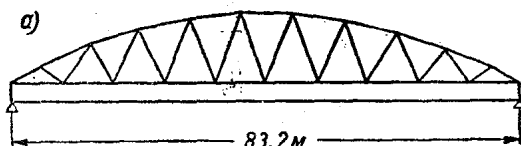


圖 10

路懸橋工程中也利用了鉚接。此橋由 B.A. 羅斯諾夫斯基教授建議設計為懸索桁梁（圖 11）。這種桁梁最重要的構件——節點——是節點鈑，其上有用角鉗縫鉚接的特製支撐，以支持鋼纜端頭的鑄件。橋到現在仍正常的使用着，並且在鉚接的地方沒有任何損壞。

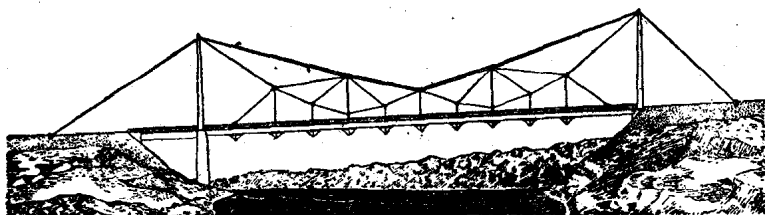


圖 11

偉大的衛國戰爭以前設計完成的有下列橋梁：

- 1) 城市中所用跨度為 21 公尺的上承鉸式整體鉚接橋梁。
- 2) 公路用定型上承鉚接簡支梁橋，跨度為 31.6 及 42.5 公尺，以鉚釘裝配拼接。
- 3) 公路用下承鉚接橋梁，其跨度為 52 公尺，以鉚釘裝配拼接，主桁梁是用柔性拱來加強的鉸梁式組合體系。
- 4) 跨度為 66 公尺的下承主桁架鉚接橋梁，以鉚釘裝配拼接，其主桁架有三

角形格子和平行弦桿。

由此可見，在 1931 到 1941 年間，公路橋梁和都市橋梁的設計和製造方面都廣泛地採用了銲接，而且在 1931 到 1941 年所製造的公路橋梁大部分都是整體銲接的。

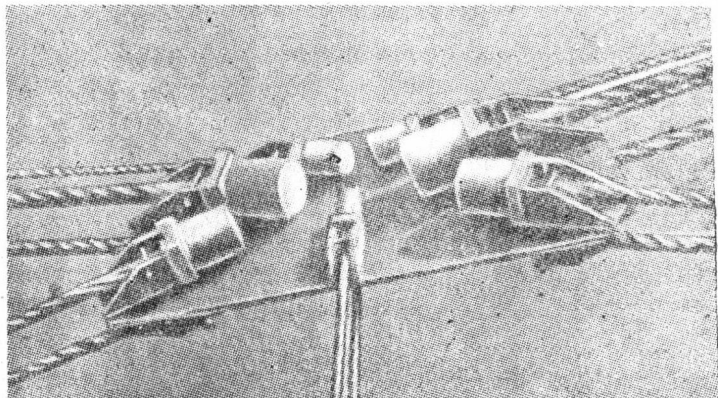


圖 12

在偉大的衛國戰爭時期，無論在修復和新建的公路或者在鐵路橋梁方面都已經廣泛地採用了可以加快結構製造速度的銲接。在這時期所製造的四個大的臨時公路鋼橋中，銲接不僅用在橋梁的製造上，而且也用在樁式金屬墩座的製造上，其墩座或為金屬管式或為軌束形式，到現在這些橋仍在使用着。其中有一個橋各孔均為 19.7 公尺，是上承主桁架式銲接橋梁。此橋採用銲接金屬樁的塔架式墩座，樁是由兩個底緣相接的鋼軌組成。橋到現在仍在使用着。另外一個公路鋼橋在河流的航道部分有二孔，跨度各為 21 公尺。在這座橋上銲接不僅用於橋梁，而且也用於金屬橋墩上。其中跨度為 21 公尺者採用兩排樁的塔架墩座，而跨度為 7 公尺者就用一排樁的墩座。跨度為 21 公尺者所採用的桁架是由壓延工字鋼或鋼板切成的“合鉸釘”來連接。這個橋現在仍存在着，其模型的一部分概貌示於圖 13。

除此而外，還有二個已建造的公路銲接橋梁：一個和前述的橋梁結構相類似；另一個有兩孔跨度各為 21.5 公尺，其與前述橋梁結構的不同處在於所用的是主桁架式梁（圖 14）。

圖 15 所示都市橋梁的建造也是在這時期。這個橋是由國立[鋼結構設計研究所]設計的。佈置兩股電車道的橋面寬為 18 公尺。梁式簡支銲接橋梁在橫截面

上有 8 個與前述式樣相同的雙層組合梁，梁由 №55a 工字鋼組成，梁間沿全長用鉸形“合鉸釘”連接。混凝土墩上部的金屬搖軸框架支座也用鉚接製造。

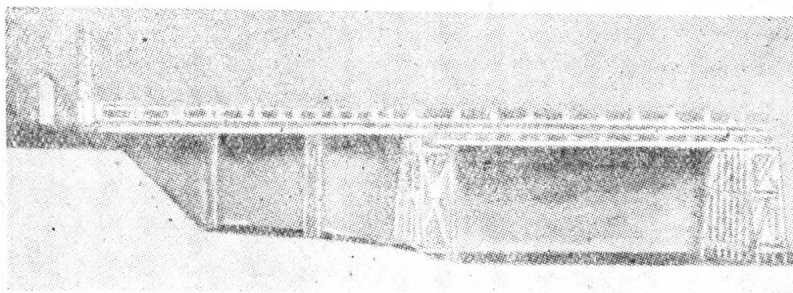


圖 13

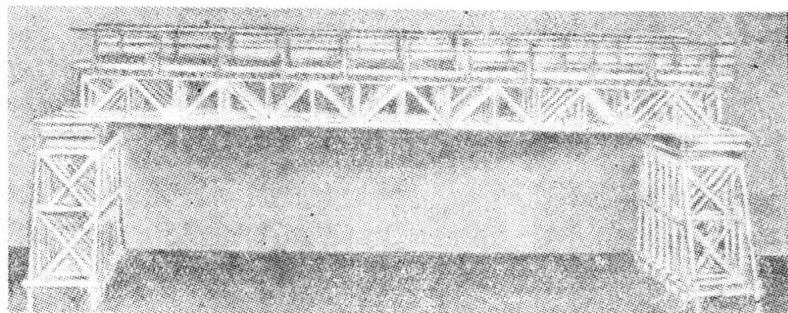


圖 14

其次應當提出的是四孔跨線橋的建築(圖 16)。該跨線橋的橋面寬為 13.6 公尺，人行道寬 1.5 公尺。梁式簡支鉚接橋梁的鉸式主梁用鉚釘裝配拼接。橋的橫截面上有六個主梁。此橋中間的金屬墩座和前述的例子相同，也是利用鉚接製造的桁式框架。這個跨線橋梁的特點是橋面系鋼筋混凝土版和主梁起共同作用，這樣就明顯地減低了梁的金屬用量並提高其垂直剛度。

有一條建成的鐵路，在大量快速製造的橋梁中，鉚接曾廣泛的使用過。在這些用鉚釘裝配拼接的橋梁中已用了約 8500 噸的金屬。這可以說明工作量之大。由於在戰爭條件下不熟練的工人所進行的鉚接工作質量不好，以及由於所用鋼料的可鉚性不完全令人滿意(這正如以後研究證明的一樣)，這些鐵路橋梁在使用過程中產生了大量的裂紋，但是這些裂紋的存在到現在並未妨礙橋梁的繼續使用。

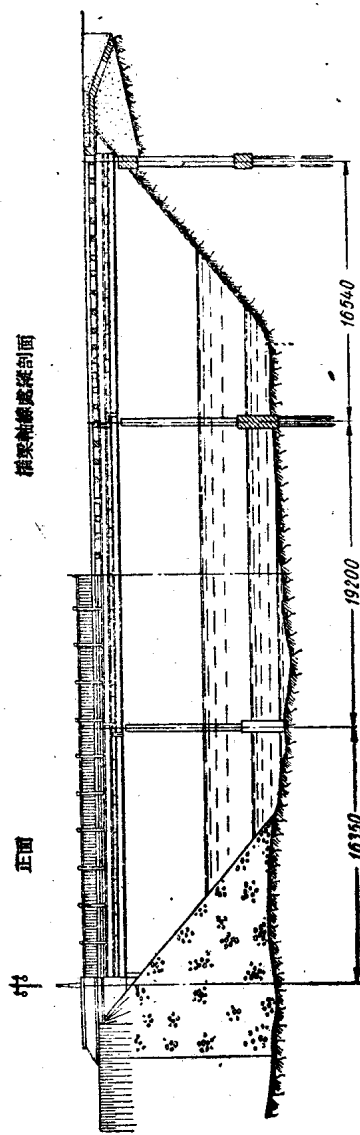


圖 15

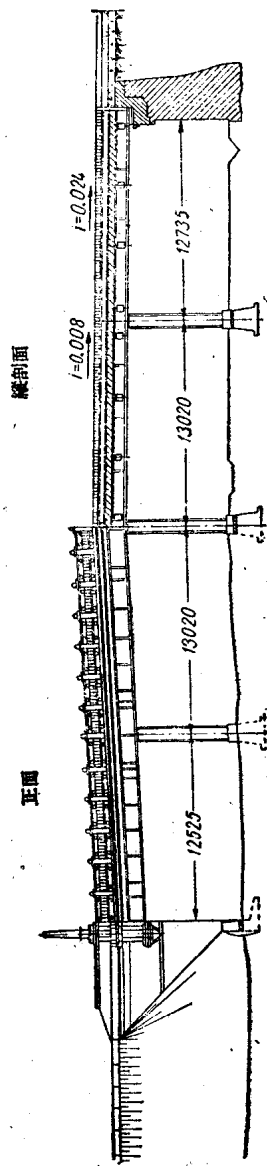


圖 16