

高等学校教学用书

# 公路钢桥

E. E. 吉勃施曼著

高等教育出版社

高等学校教学用书



公 路 鋼 桥

E. E. 吉勃施曼著  
同济大学桥梁与隧道教研組譯

高等教育出版社

本書系根據蘇聯公路運輸科技書籍出版社(Автотрансиздат)出版的吉勃施曼(Е. Е. Гибшман)教授著“公路鋼橋”(Металлические мосты на автомобильных дорогах) 1954年版本譯出。原書經蘇聯高等教育部審定作為公路學院或公路系“橋梁與隧道”專業的教學參考書。

書內闡述各種橋跨結構,包括板梁式橋、桁梁橋、拱橋及懸索橋的構造、計算和設計方法。較之1948年版本,本書特別增加了關於結合梁和冠于全鉸結構的組合體系的橋梁的論述。

## 公 路 鋼 橋

Е. Е. 吉勃施曼著

同濟大學橋梁與隧道教研組譯

高等教育出版社出版 北京宣武門內聚恩寺7號  
(北京市書刊出版業營業許可証出字第054號)

上海大東集成分印廠印刷 新華書店發行

統一書號 15010·670 開本 787×1092 1/16 印張 16 7/8 插頁 1  
字數 363,000 印數 1—1,100 定價 (4) 1.90  
1959年8月第1版 1959年8月上海第1次印刷

## 序

苏联共产党第十九次代表大会历史性的決議确定了，进一步发展苏联公路建筑和改建的远大計劃。因此，必須建造大量的公路桥梁。在城市中亦將建造并將完成很多桥梁。

由于建設規模的宏大，有必要广泛采用能最迅速而容易地越盖大跨度的鋼桥跨結構的桥梁。

苏联建立之强大的社会主义工業，冶金工業的迅速发展，鋼結構制造工厂的数量、设备及生产率的增長，提供了在公路和城市桥梁上大大扩展使用鋼材的一切条件。

由于其制造的工業化并可能將結構迅速机械化拼裝就位，鋼桥具有很大的施工上的优点。因此，在公路桥上使用鋼材正在日益广泛。

在遇到跨越大而多水的河流时，建造鋼桥跨結構常屬唯一的解决方案，在此等桥梁中采用鋼材之优点尤为重要。

苏联科学和技术的迅速发展提供了国民經济任何方面进步的优越条件，就中也包括桥梁設計和建造方面。

苏联的学者、工程师、生产革新者，不倦地在改进技术，加深其科学依据，追求結構新穎而更有效的体系和構造，以及生产效率最大的施工方法。

近年来，在苏联鋼桥建設方面有了很大的进展。苏联專家建議和拟訂出的新穎合理的鋼桥体系和構造获得了广泛的实际运用，并在很多場合完全排挤了以往采用的桥梁型式。鋼結構工厂制造的生产率和質量大大提高了，新式机械化的鋼桥架設方法被广泛地掌握了。

在桥梁建設方面，苏联的科学和技术占有先进的地位。苏联鋼桥体系和構造所采用的設計和計算方法以及施工方法都有深淵的科学依据，并利用了在采用社会主义劳动方法的条件下施工的先进經驗。

本書包含現代公路和城市桥梁設計和計算方法的基本知識。本書为公路学院学生在学习“桥梁”課程时作为参考書之用，現为第三次的修訂版。

由于在公路和城市鋼桥建筑技术中有了很多新的东西，本書中較以往各版也加进了很多补充和修改。

在这版中，鋼桥工厂制造問題和建造方法被刪去了，因为它們归入“桥梁建筑”那門課程中去了。

本書是在苏联桥梁建筑科学和技术的先进經驗上編写出的。絕大多数構造示例利用在苏联所設計并建成的桥梁。

E. E. 吉勃施曼 教授

# 目 录

|         |       |
|---------|-------|
| 序 ..... | ( 6 ) |
|---------|-------|

## 第一章 鋼桥概述

|                    |       |                        |        |
|--------------------|-------|------------------------|--------|
| § 1. 鋼桥的主要特点 ..... | ( 1 ) | § 2. 苏联桥梁建筑学派的特点 ..... | ( 16 ) |
| § 2. 鋼桥發展史略 .....  | ( 2 ) |                        |        |

## 第二章 鋼桥的材料

|                         |        |                          |        |
|-------------------------|--------|--------------------------|--------|
| § 4. 鋼桥所用的鋼料 .....      | ( 19 ) | 鋼料的疲乏 .....              | ( 25 ) |
| 概述 .....                | ( 19 ) | 荷载的动力作用 .....            | ( 27 ) |
| 普通的建筑碳鋼 .....           | ( 20 ) | § 7. 应用在桥梁建筑中的鋼材品类 ..... | ( 28 ) |
| 高級鋼 .....               | ( 22 ) | 鋼板 .....                 | ( 28 ) |
| 鋼和生鉄的鑄件 .....           | ( 23 ) | 角鋼 .....                 | ( 29 ) |
| § 5. 輕鋁合金 .....         | ( 24 ) | 工字鋼 .....                | ( 29 ) |
| § 6. 桥梁結構中鋼料的受力作用 ..... | ( 25 ) | 槽鋼 .....                 | ( 30 ) |
| 局部应力和硬化 .....           | ( 25 ) | 其他截面形式 .....             | ( 30 ) |

## 第三章 鋼桥的基本体系和鋼桥跨結構的行車部分

|                    |        |                               |        |
|--------------------|--------|-------------------------------|--------|
| § 8. 鋼桥的基本体系 ..... | ( 32 ) | § 10. 鋼桥行車部分的梁格系 .....        | ( 41 ) |
| § 9. 鋼桥的行車部分 ..... | ( 35 ) | 橫梁在主桁梁上的支承 .....              | ( 42 ) |
| 木車道面的行車部分 .....    | ( 35 ) | 縱梁与橫梁的联結 .....                | ( 44 ) |
| 鋼筋混凝土板的行車部分 .....  | ( 37 ) | § 11. 人行道和欄干 .....            | ( 48 ) |
| 鋼鋪板的行車部分 .....     | ( 39 ) | § 12. 行車部分的接縫設置及其与桥台的銜接 ..... | ( 48 ) |

## 第四章 板梁桥

|                         |        |                      |        |
|-------------------------|--------|----------------------|--------|
| § 13. 概述 .....          | ( 51 ) | 鋼成梁的接头 .....         | ( 60 ) |
| § 14. 板梁桥的主要体系 .....    | ( 51 ) | 焊成梁的接头 .....         | ( 61 ) |
| § 15. 板梁桥跨結構的主要尺寸 ..... | ( 53 ) | 板梁末端及支承之上部分的構造 ..... | ( 63 ) |
| 主梁高度 .....              | ( 53 ) | § 17. 結合梁桥 .....     | ( 65 ) |
| 桥梁橫截面中主梁的数目 .....       | ( 54 ) | 概述 .....             | ( 65 ) |
| § 16. 板梁的構造 .....       | ( 55 ) | 結合梁的構造特点 .....       | ( 66 ) |
| 鋼成梁的截面 .....            | ( 55 ) | 加强板参与結合梁作用的方法 .....  | ( 67 ) |
| 焊成梁的截面 .....            | ( 58 ) | § 18. 板梁桥構造示例 .....  | ( 69 ) |
| 桥梁的接头 .....             | ( 60 ) |                      |        |

## 第五章 板梁桥的計算

|                         |        |                                |        |
|-------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| § 19. 桥梁現代計算方法的概述 ..... | ( 74 ) | § 22. 結合梁的計算 .....             | ( 88 ) |
| § 20. 板梁的計算 .....       | ( 75 ) | 結合梁截面的受弯計算 .....               | ( 88 ) |
| § 21. 梁及其構件的穩定驗算 .....  | ( 81 ) | 結合梁中因溫度变化、混凝土蠕变及收縮所發生的应力 ..... | ( 90 ) |
| 整个梁的穩定驗算 .....          | ( 82 ) | 用剛性支撐構件时板与鋼梁联結的計算 .....        | ( 92 ) |
| 梁各个構件的局部穩定驗算 .....      | ( 84 ) | 用柔性联結鋼筋时板与鋼梁联結的計算 .....        | ( 95 ) |
| 腹板穩定的驗算 .....           | ( 85 ) | 結合梁材料圖的繪制 .....                | ( 96 ) |
| 受压翼緣板的穩定驗算 .....        | ( 88 ) |                                |        |

## 第六章 桁梁桥

|                  |        |                     |         |
|------------------|--------|---------------------|---------|
| § 23. 概述 .....   | ( 98 ) | 連續与悬臂桁梁桥的主要圖式 ..... | ( 103 ) |
| 簡支桁梁桥的主要圖式 ..... | ( 98 ) | 焊結合桁架的圖式 .....      | ( 105 ) |

|                               |                                          |
|-------------------------------|------------------------------------------|
| § 24. 梁式桁架桥跨结构的构造.....(106)   | 钢接的连续桥跨结构.....(124)                      |
| 桁架杆件的截面.....(106)             | 有刚性下弦的简支梁桥.....(125)                     |
| 腹条、腹板和隔板.....(110)            | § 26. 与行车部分的钢筋混凝土板结合的腹杆桁架式桥跨结构.....(127) |
| 桁架节点联结.....(111)              | § 27. 梁式钢桥跨结构的重量.....(128)               |
| 桁架的支承节点.....(118)             | 根据早先完成的設計数据来求鋼桥跨结构的重量.....(129)          |
| 连续桁架和悬臂桁架的构造特点.....(119)      | 根据理論公式来求重量.....(129)                     |
| § 25. 梁式桁架桥跨结构的构造示例.....(122) |                                          |
| 简支的钢成梁式桥跨结构.....(122)         |                                          |

### 第七章 桁架計算

|                               |                    |
|-------------------------------|--------------------|
| § 28. 求桁架构件內力和选定截面.....(131)  | 钢接的計算.....(138)    |
| 概述.....(131)                  | 板束接头的盖接.....(139)  |
| 具有刚性下弦的桁架的內力計算.....(131)      | 构件联结的計算.....(140)  |
| 选择构件截面.....(133)              | 节点板强度的驗算.....(141) |
| § 29. 敞口式桥受压弦杆稳定的計算.....(136) | 腹板与腹条的計算.....(143) |
| § 30. 桁架构件联结的計算.....(138)     |                    |

### 第八章 組合体系桥跨结构的桥梁

|                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| § 31. 概述.....(145)                  | 用附加下弦加强的連續梁体系的計算.....(154)        |
| § 32. 用附加弦杆加强的梁式組合体系的桥跨结构.....(146) | § 33. 带有附加斜撑的梁式組合体系桥跨结构.....(155) |
| 基本圖式与構造.....(146)                   | (梁-框架体系).....(155)                |
| 用多边形上弦加强的梁式体系的計算.....(152)          | 基本圖式与構造.....(155)                 |
|                                     | 梁-框架体系的計算.....(158)               |

### 第九章 梁式桥主桁梁間的联结系

|                                   |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| § 34. 联结系的形式及其在桥跨结构中的布置.....(159) | § 36. 联结系的計算.....(164)     |
| 联结系的布置方法.....(159)                | 平行弦桥跨结构縱向联结系的計算.....(164)  |
| 縱向联结系腹杆体系的主要式样.....(161)          | 多边形弦杆桥梁的縱向联结系的計算.....(166) |
| 橫向联结系的腹杆体系.....(162)              | 桥門架的計算.....(166)           |
| § 35. 联结系的構造.....(162)            | 联结系中的附加內力.....(167)        |

### 第十章 鋼桥支座

|                       |                      |
|-----------------------|----------------------|
| § 37. 概述.....(170)    | § 39. 支座計算.....(176) |
| § 38. 支座的構造.....(172) | 切綫式支座.....(176)      |
| 小跨桥梁的支座.....(172)     | 搖座式固定支座.....(177)    |
| 中跨和大跨桥梁的支座.....(174)  | 輻軸式活动支座.....(179)    |

### 第十一章 拱桥

|                            |                        |
|----------------------------|------------------------|
| § 40. 拱桥概述及其基本体系.....(181) | 拱桥的拱上建筑的構造.....(189)   |
| 拱桥联结系的布置.....(184)         | 拱桥的絞.....(194)         |
| § 41. 拱桥的構造.....(185)      | § 42. 拱桥構造示例.....(194) |
| 板拱的構造.....(185)            | § 43. 拱桥計算.....(199)   |
| 桁拱的構造.....(188)            |                        |

### 第十二章 悬索桥

|                                  |                                |
|----------------------------------|--------------------------------|
| § 44. 概述.....(204)               | 牵索桁架的主要体系.....(209)            |
| § 45. 具有纜索或鏈索的悬索桥的基本体系.....(204) | 牵索桁架的主要尺寸.....(210)            |
| 柔式悬索桥.....(204)                  | § 47. 悬索桥的縱向和橫向剛度的保証.....(211) |
| 具有刚性梁的悬索桥.....(205)              | 悬索桥的鏈索和刚性梁的支承固定.....(211)      |
| 多跨悬索桥.....(207)                  | 悬索桥中的抗風联结系.....(212)           |
| 悬索桥的主要尺寸.....(208)               | § 48. 悬索桥的構造.....(213)         |
| § 46. 牵索桥.....(208)              | 鏈索桥.....(213)                  |
| 概述.....(208)                     | 纜索桥.....(215)                  |

|                     |       |                   |       |
|---------------------|-------|-------------------|-------|
| 牽索桥.....            | (218) | 柔式桥的计算.....       | (227) |
| 塔架構造.....           | (219) | 有刚性梁的悬索桥的计算.....  | (229) |
| 刚性梁的構造.....         | (222) | 牽索桁架的计算.....      | (232) |
| 鏈索末端的錨固.....        | (224) | 悬索桥受風荷載作用的計算..... | (234) |
| § 49. 悬索桥的计算原理..... | (227) | 悬索桥的重量.....       | (235) |

### 第十三章 鋼桥墩台

|                       |       |                    |       |
|-----------------------|-------|--------------------|-------|
| § 50. 墩台的基本式样和構造..... | (237) | § 51. 鋼桥墩台的計算..... | (245) |
| 实体桥墩.....             | (237) | 桥墩的計算.....         | (245) |
| 鋼架墩.....              | (241) | 桥台的計算.....         | (247) |
| 实体桥台.....             | (243) |                    |       |

### 第十四章 鋼桥的规划

|                          |       |                        |       |
|--------------------------|-------|------------------------|-------|
| § 52. 概述.....            | (249) | § 54. 桥梁的建築艺术造型.....   | (254) |
| § 53. 桥跨的划分和桥梁圖式的选定..... | (249) | § 55. 跨越大河的桥梁规划示例..... | (255) |

### 第十五章 鋼桥的檢查裝置

|                    |       |
|--------------------|-------|
| § 56. 檢查設備和裝置..... | (262) |
|--------------------|-------|

# 第一章 鋼桥概述

## § 1. 鋼桥的主要特点

鋼是现代建筑桥梁所使用材料中最完善的。鋼有良好的机械性能:高的抗拉、抗压和抗剪强度。此外,鋼易于加工,可做成各式各样的構件。这些品質使鋼在桥梁建筑中被广泛应用。

在桥梁中,鋼用来做桥跨結構,墩台在大多数情况下则是用混凝土或石料建筑的。在特别高的桥梁、高架桥、跨路桥和栈桥上,鋼有时用在墩台的地面以上(或水面以上)部分中。

現今鋼桥用的鋼料大部是建筑碳鋼。建造巨大的建筑物以及要求重量最輕的桥梁結構(例如,开啓桥),应使用品質極高的鋼——高級鋼。在个别情况下桥梁中有时应用輕質硬鋁合金。

因为现代建筑鋼的强度高,鋼的容重虽大,但鋼桥还是最輕的,这使用鋼造成的桥跨可以远远超过用任何其他材料做成的桥跨。当代最大的鋼桥跨度可达 1000 m 以上;钢筋混凝土桥只能跨越約 260 m;石桥更小。

鋼桥的主要优点在于,可以用工業化方法来制造和拼裝。在工厂內制就的杆件运到桥梁建筑工地进行拼裝。

鋼桥的拼裝可以完全机械化,因此可获得快速的施工速度。

和工地实体墩台施工的同时,鋼桥跨結構可以在厂內制造,这也有助于加快施工速度。

鋼桥的另一个重要优点是,它可以不需要支架而用悬臂法拼裝。这大大簡化了在难以通过的山谷、水流急速的深水上、船只繁多的河道上等的架桥工作。

从运行观点来看,鋼桥比木桥价值高,因为鋼桥的养护费和修理費較小,使用期較長;但比钢筋混凝土桥、石桥来得差。

鋼桥的最大缺点是,它在潮湿、硫酸气和其他有害作用侵蝕下要生銹。防止鋼桥銹蝕,可用牢固的油漆塗抹。在鋼桥运营过程中,并应小心檢查鋼料的情况。

由于鋼桥具有上述的优点(尤其是在跨越大跨徑时),因此鋼桥在各国都被广泛采用着。

俄国革命前使用鋼造桥的發展,被帝国主义战争所打断。偉大的十月社会主义革命以后,苏联在恢复工業和交通的初期,因鋼料缺乏,必須节省建筑工程方面的用鋼。因此,这时期建造公路桥轉向利用当地材料,主要是用木料。

直到偉大的衛国战争前夕,苏联已有了强大的冶金工業,在各种建筑領域內——尤其是鋼桥建筑中才可以广泛使用鋼材。在衛国战争年代和战后时期里,苏联冶金工業更为發展。

在現在的公路干支綫建設中,要在很多大河流建造大量的桥,并要求在最短时期內完成之。

在这种情况下,由于鋼桥本身的优点,鋼在公路上的使用更为广泛。在最近几年內,苏联已

經建造很多巨型公路鋼橋。蘇聯的冶金和築路的更多成就，將可使在公路橋梁上更廣泛地採用鋼料。

## § 2. 鋼橋發展史略

橋梁是早在遠古已有的建築物。如所周知，古代橋梁建造用的材料是木料和石料。用金屬來作為橋梁建築材料是相當晚近的事。有證據可查，在中國建造有最古老的原始式的鏈條懸索橋；顯然，在印度也有。

歐洲有鐵橋是十八世紀下半期的事。在十八世紀，冶金工業才開始發展，造橋時只能用生鐵和少量的熟鐵。因此，初期的鐵橋是用生鐵做成的。在生鐵橋中，橋跨用梁和拱等跨越。但生鐵梁橋並沒有得到推廣，因為生鐵承受彎曲的時候受力不好。在拱圈內，材料主要受壓，適合了生鐵的機械性能——抗压極好、抗拉不佳，因此，生鐵拱橋很快得到很大推廣。

初期的生鐵拱橋，造在十八世紀末期，它們的構造大多是穿孔式的，因為當時對大塊生鐵部件的鑄造和用以拼裝成橋有很大困難。拱的形式和構造是直覺地選定的，主要是考慮它們能否製造和拼裝。當時已相當擅長建造木拱橋，這顯著地影響了初期生鐵橋梁的構造。這種影響表現在初期生鐵橋的構造中彼此間用橫杆連系着的圓弧杆件的形式（圖 1）。

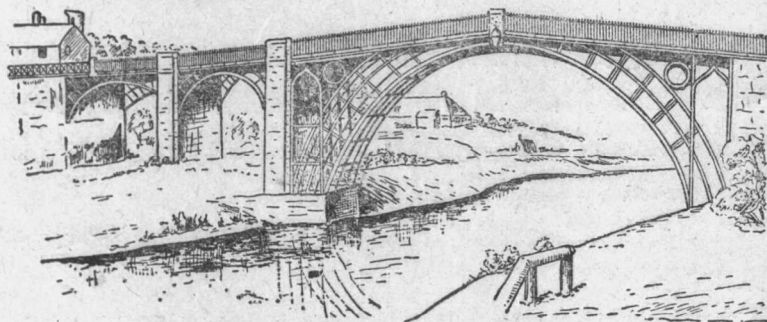


圖 1. 十八世紀下半期建造的初期生鐵拱橋之一。

由於生鐵性脆，用薄鑄件做成的拱在活載下工作不良。因此，生鐵拱很快就轉到用小塊的但

為較厚實的空心箱形的鑄塊（圖 2, a）、肋式或工字形的弧版（圖 2, б）、圓形或橢圓形截面的管子（圖 2, в и г）等來建造。鑄塊用螺栓或鍵  $n-n$ （見圖 2, a）連接。

穿孔式的和肋式鑄塊的拱在俄國、英國和法國建造的許多橋中都被採用過。這種生鐵拱的橋梁中都表現出當時盛行的石橋的形式和構造。

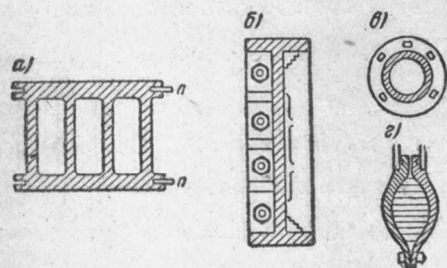


圖 2. 生鐵拱塊段的截面形式。

在跨徑較小的橋上，全部拱圈用楔形塊（空心鑄塊或肋式鑄塊）砌成，拱上部分用一層石料填背，再上用沙、土蓋起，再上鋪面（圖 3）。這些橋的拱

上部分兩邊用生鉄板鑲面。在跨徑較大的橋上,主拱用生鉄空心塊做成,并用穿孔式生鉄拱上建筑。

工字截面生鉄拱是更为完善且較輕的構造,在建筑列宁格勒的沐伽河上的“綠色”桥(1806年)時曾第一次采用。以后,在列宁格勒造了很多类似的生鉄桥。1885年在莫斯科奥勃伏特尼运河上造了一座構造非常有趣的、取名为“大星期五”的桥,后来称为“生鉄”桥(圖 5)。这桥的跨度約 40 m,具有当时少見的下承式構造。在横断面上有三个主拱,借鉄吊杆吊着桥梁的行车部分。

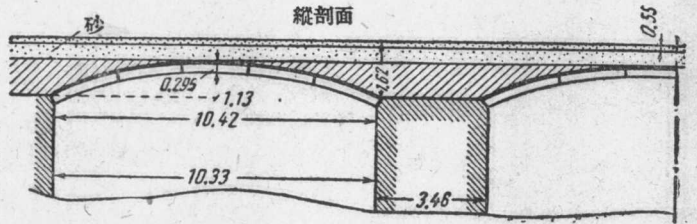


圖 3. 肋式生鉄塊拱桥的構造(土拉城烏巴河桥)。

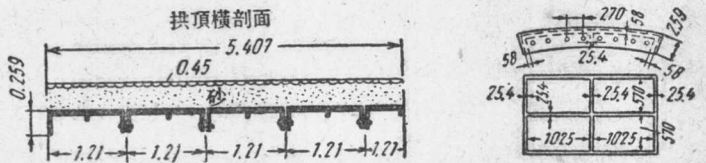


圖 4. 肋式生鉄塊拱桥的構造細節。

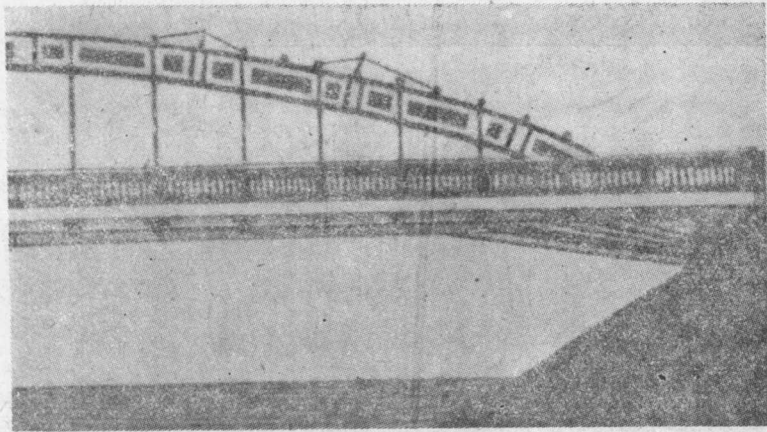


圖 5. 莫斯科奥勃伏特尼运河的“大星期五”(“生鉄”)桥(1885年)。

在筑桥技术的发展方面,俄国起着不小的作用。1810年在列宁格勒成立了交通学院。該校逐渐发展成为俄罗斯桥梁学校,并培养出許多天才的俄国工程师和学者。当时俄国在鉄桥建造方面是没有傳統的,由于公路建筑中有大量的桥梁建筑,使这种創造性的劳动得到了極广闊的前途。这說明为甚么在十九世紀初期俄国已成为建筑桥梁技术最先进国家之一。在当时大量俄国建造的桥梁中,必須指出一座在1850年由俄国有名的工程师 C. B. 盖尔边特斯(1810—1899年)建造的跨越彼得堡(即今列宁格勒)涅瓦河的著名桥梁。这座桥当时称为“神告节”桥(圖 6),十月革命后改称为“施米德中尉”桥。此桥有 7 跨,自 32—48 m 的平坦( $\frac{f}{l} \approx \frac{1}{10}$ )的生鉄工字形截面的拱,拱上建筑用生鉄格子塊做成。此外,为了船只通过,这桥有一跨活动孔。这座桥是在困难的当地条件下——水很深和流速很大——建成的。墩台建造和生鉄拱的桥跨結構的拼裝都做

得十分细致而巧妙,表现出当时卓越的俄国筑桥技术的水平。经过 87 年后,“施米德中尉”桥不



圖 6. 列宁格勒“施米德中尉”老桥。

能再满足桥上都市行車增加的要求和在活动孔下船只暢快通过的要求,因而拆去。拆下的桥跨结构的生鉄原件尚还良好,故重用以建造某一城市中的一座新桥。

差不多和生鉄拱桥出现的同时,开始了悬索桥的建造。最初的悬索桥是用鉄鏈做成,行車部分由鉄条悬吊在鏈索上(圖 7)。

悬索桥拼裝迅速簡易,可以用大跨度跨过多水河流而不需要建造中間桥墩,它很快地在俄国、英国、法国和其他国家广泛应用。同时在悬索桥構造上进行了一系列改进。焊接鋼鏈索开始代替了用螺栓鉸接的平板鏈;在桥跨結構中加进了剛性梁作为悬索体系中重要部分之一。

悬索桥拼裝迅速簡易,可以用大跨度跨过多水河流而不需要建造中間

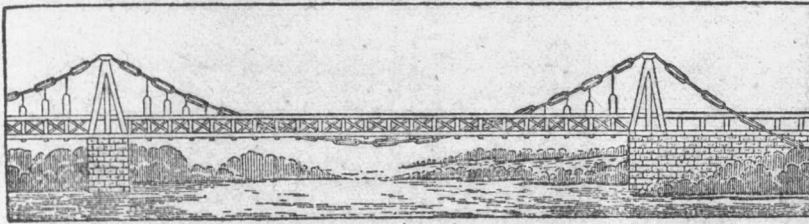


圖 7. 十八世紀末期的悬索桥。

俄国最初的悬索桥是在 1823—1827 年在列宁格勒建造的。这些桥梁是:叶加得令高夫斯基公园的一座跨長 15.2 m 的行人桥;跨过方丹卡河跨長 40 m 的潘杰列蒙諾夫斯基桥(圖 8);1825 年造成的沐伽河的行人桥、叶加得黎宁斯基运河的“銀行”桥和“幼獅”桥;跨过方丹卡河跨

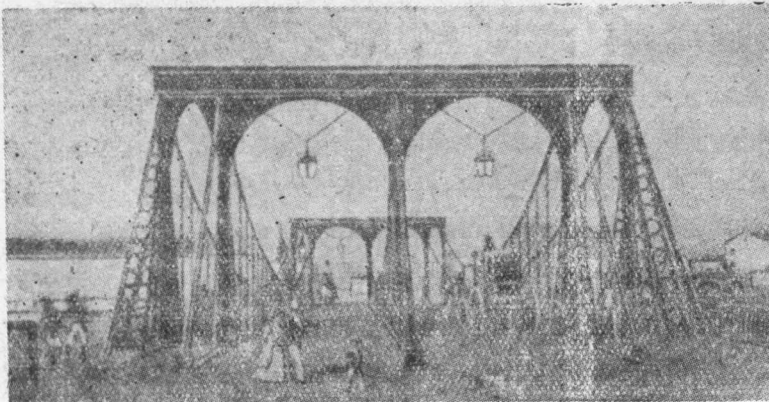


圖 8. 列宁格勒方丹卡河上的潘杰列蒙諾夫斯基桥。

長 38.4 m 的叶奇彼得斯基橋。1847—1853 年在德涅泊河上建了一座長度約 700 m 的大懸索橋 (圖 9), 這橋有 6 跨, 自 68.3—134 m 的橋跨和一跨活動橋跨。同時 (1853 年), 在偉利卡雅河的兩支流上造了兩座相同的懸索橋 (圖 10)。這兩座橋的跨長各為 93.2 m, 由克拉斯諾博耳斯基工程師建造。

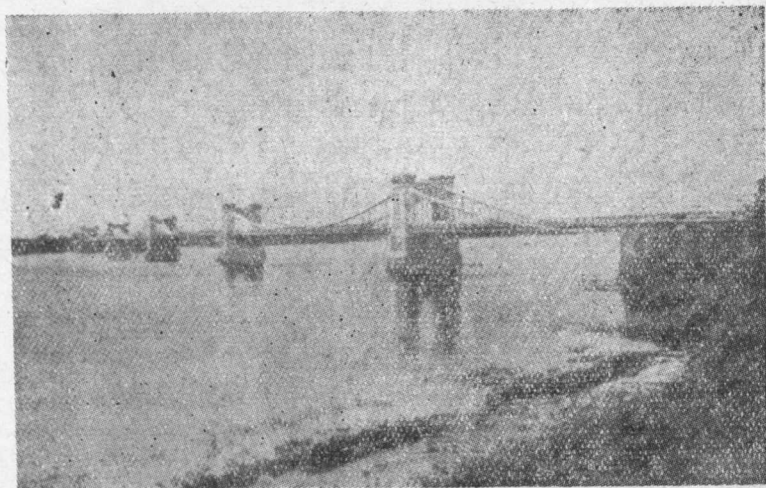


圖 9. 德涅泊河上的懸索橋 (1853 年)。

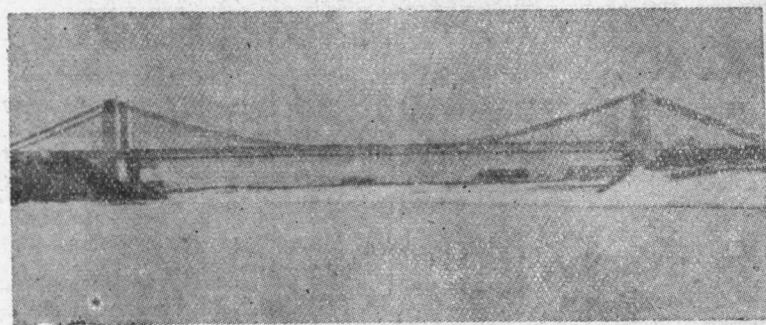


圖 10. 偉利卡雅河上的懸索橋 (1853 年)。

在上世紀二十到三十年代用鋼絲纜索代替了鏈索, 大大促進了懸索橋的發展。纜索比鏈索有很多優點, 例如: 構造和拼裝簡易、費用省等; 但也有一個重要缺點——剛度小。這些懸索橋設計最初用纜索鏈, 以後採用多條單獨的鋼索, 最後採用了扎成捆的鋼索。在十九世紀四十年代, 絞制鋼纜的發明也促進了懸索橋的推廣。在十九世紀上半時期建造的懸索橋的跨度達到了 300 m。

早在 1836 年, 俄國已在布列斯特-里托夫斯克要塞附近的西布格河上和諾伏-喬治葉夫斯克要塞附近的那列夫河上造了最初兩座鋼纜懸索橋, 前一座橋的跨度為 89 m 左右。

雖然懸索橋的建造有很大的成就, 但由於當時工程師對懸索橋上各個構件的受力情況了解不夠, 故很多懸索橋的剛度過小。這引起不少懸索橋的坍塌, 尤其是在美國和法國。大多數懸索橋的破壞是由於風吹使橋振盪, 或由於行人、騎馬或牲畜通過時有節奏的荷重而發生的。例如, 在

美国費拉达尔費亞、苏耳基耳河上的桥是在1809年造成的,在1811年因上面跑过牲畜群而倒塌。該桥倒塌后重新修复,但在1816年又被桥上积雪压塌。法国梅茵河桥在1838年造成,在1850年刮大风时,桥上跑过一队兵,因此破坏,死伤226人。法国費林河桥跨長198m,造在1836年,1852年被暴風吹坏。

悬索桥事故的总数并不限于上述的。这类事故对后来悬索桥的發展有兩方面重要的影响:一方面使建筑者对这种桥的热心冲冷一些,另一方面使工程师寻求加强悬索桥刚度的办法。装設較大的刚性梁、增加斜吊索、采用悬吊桁架等就是这些办法。

機車头發明和铁路出現后,要求有可靠的跨过河道的交通工具。悬索桥的刚度太低,生鉄拱桥更不能常适合当地条件。这样就开始了在梁式金屬桥建筑方面的發掘时期。曾用过生鉄的工字形的、箱形截面的和其他截面的梁做成跨度不大的梁式桥。

生鉄的缺点是,抗拉和抗冲击的强度不良,这是許多(尤其在英国)生鉄梁式桥破坏的重要原因。因此,漸漸用熟鉄代替生鉄来建造桥梁。最初曾进行了生鉄和熟鉄組合桥的試驗。

在上世紀四十年代出現了生熟鉄的箱式組合梁桥,它的上部用生鉄做成,它的下部用熟鉄做

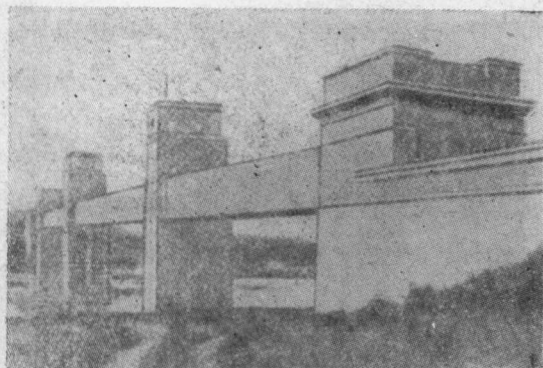


圖 11. 箱式桥跨結構的鉄桥。

成,中間用腹板(用熟鉄)連系着。以后生熟鉄桥發展为組合桁架桥,压杆用生鉄做成,拉杆用熟鉄做成。同时初次試建了巨大的板梁鉄桥。1850年在英国造成了一座跨度140和70m的箱式鉄路桥(圖11)。在横截面上,这桥的上下翼緣寬度等于全桥寬,兩边用腹板連系。

但箱式桥跨結構的桥梁重量太大,并非合理的構造,故很快就被擯弃,改为工字截面的梁:小跨采用型钢梁,大跨采用鉚成梁。

在俄国建造的工字板梁桥中必須指出,第一座这类的桥就是在列宁格勒、方丹卡河上的雪門諾夫斯基桥(1857年),和在高夫諾、涅曼河上的列宁格勒-华沙鉄路的一座桥(1861年)。但是工字梁桥跨过大跨度时显得十分笨重,因此發展到使用桁架桥。

最初的金屬桁架桥出現在上世紀四十年代,大体仿照当时盛行的木桁架桥,多数是一种用上下弦和許多斜条組成的多腹杆体系。

1853—1857年在路伽河上建造一座由俄国工程师 C. B. 盖尔边特斯設計的有名的桁架鉄桥(圖12)。这是兩孔跨度55.3m的双軌鉄路桥。桥跨結構为上承式,它的横截面中有四排多腹杆平行弦桁架(圖13)。在这些桥中 C. B. 盖尔边特斯首先运用了腹系,腹系中的斜杆是柔

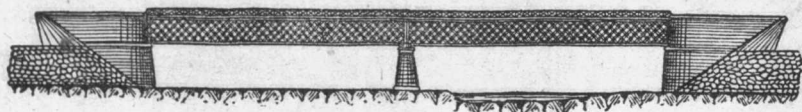


圖 12. 路伽河桥(1853—1857年)。

性的,用鉄条做成;桁架弦杆是箱形截面的,受压斜杆肢間做有綴条。这座桥的構造設計得極其細致巧妙。由工程师 Д. И. 茹拉夫斯基研究出的多腹杆桁架設計的計算理論大大有助于路伽河桥構造的正確选择。С. В. 盖尔边特斯在这桥所采用的新措施为以后鉄桥構造發展树立了榜样。路伽河桥良好地使用了大約 84 年,在衛国戰爭中才被破坏。

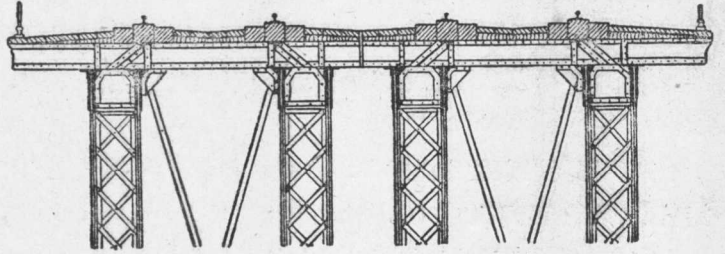


圖 13. 路伽河桥的橫断面。

十九世紀下半期俄国建造了許多巨大的鉄路和公路的腹杆桁架鉄桥。因此,这个时期标志着俄国筑桥科学的形成,促进这科学形成的有俄国杰出的工程师和学者,Д. И. 茹拉夫斯基(1821—1891 年)、Н. А. 白列留勃斯基(1845—1922 年)、Л. Д. 泊洛斯古略柯夫(1858—1926 年)、Ф. С. 雅辛斯基(1856—1899 年)、С. И. 白耳捷茨基等。

在上世紀六十年代俄国建造的公路桥中,應該指出,莫斯科城莫斯科河上跨徑 42.7 米的鮑罗琴斯基桥(1861 年)和在華沙、維斯拉河上有六跨、每跨 74.68 米的双跨連續桁架大桥(1858—1866 年)(圖 14)。这座桥也是由 С. В. 盖尔边特斯建造,它的構造和路伽河桥相似。

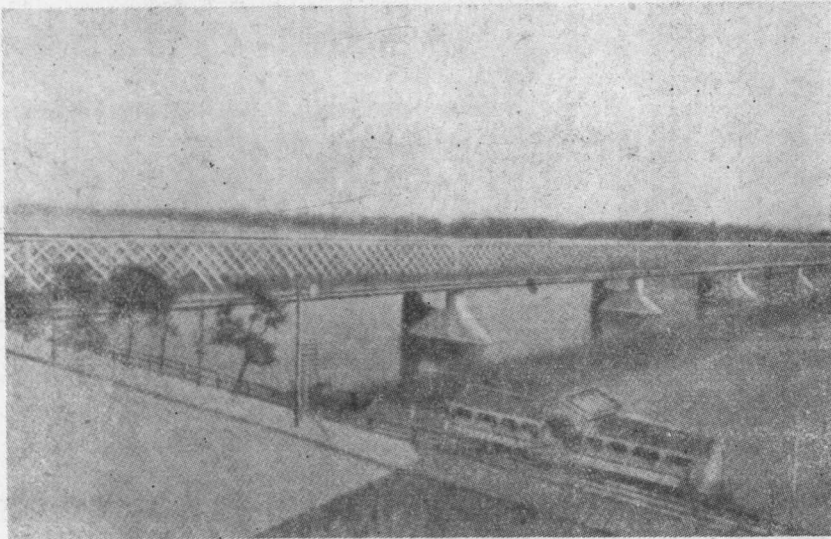


圖 14. 華沙維斯拉桥(1866 年)。

特別指出,在 1860 年建造路伽河桥时,已經采用沉箱来做墩台基础,沉箱是在 1859 年开始建議应用的。

在以后桁架鉄桥的發展中,桥梁建筑者致力于桁架腹杆的簡化和做出最可靠的节点联結。

但是在很多国家中,桁架鉄桥構造的發展走了弯路。例如,在美国,桁架节点構造采用了从悬索桥中抄来的栓—鉸接法。此种構造是在五十年代末建議采用,在美国采用極广。栓接节点的桁架在活載作用下产生很大震动,在冲击作用方面表現不佳。因此在俄国和欧洲大部分国家中这

种桁架应用不广。

虽然如此,美国人还繼續使用这种桁架,直至十九世紀末由于当时铆結構造的优越,并在別的国家已得到广泛应用,才被迫停用。至今铆接节点还是現代桥梁最常用的联結方式。必須指出,美国的桥梁技术缺乏足够的理論分析依据,常常盲目行动,因此屢遭失敗,不止一次地發生事故。

在德国桥梁以往常做成多層弦杆的多腹杆桁架,但由于多層弦杆的材料使用得不合理和構造复杂,故采用不广。

在十九世紀下半期,許多俄国和外国学者們都在努力寻求更新、更合理的桥梁桁架的体系和構造。

由于进行了桁架最合理形式的理論研究,因而已經建造出有許多把弦杆做成了拋物綫形、双曲綫形、半拋物綫形和其他曲綫形等的桁架桥梁。曾研究过一系列最接近于鉸接杆計算圖体系的新式簡單腹杆的桁架圖,并深刻地研究了因铆接节点刚性所引起的附加应力和其他問題等。結果在那时曾广泛应用的多腹杆桁架逐漸被多斜杆桁架所代替,最后又被最簡單腹杆的桁架所代替了。

著名俄国工程师及学者 H. A. 白列留勃斯基教授对祖国的建桥科学和实践具有巨大的貢獻。在上世紀七十年代中,他設計了“十月”鐵道上的桁架鉄桥代替原有的木桥。在他研究了建桥經驗之后,他选出了最合理和最簡單的桁架体系,將它們加以改善,并提出了新的建設性的解决方法。

在白列留勃斯基教授常用的多斜杆桁架中,他还介紹了上升式端斜杆的建築,順利地解决了桁架端点节間的構造,并提出了簡支在节点上的行車部分的新式橫梁,在外国称为“俄国式”橫梁。

白列留勃斯基教授設計的或者他直接参加建造的桥梁是很多的。除了在“十月”鐵路上的桥梁外,必須提到,在伏尔加河上的桥梁、在大西伯利亞鐵路干綫上的桥梁、在东南鐵路上的頓河桥、在斯莫林斯克的維堅勃斯基-奧洛夫斯基公路上跨过德涅泊河的桥和其他很多桥梁。

十九世紀后半期的鉄桥是用熟鉄做成的,熟鉄是用鍛塊法將生鉄放在專門的爐子中鍛燒得到的。

在用專門的爐子熔煉鉄的新法出現后,在桥梁上就采用更高質量的鑄鋼。在桥梁建筑中用鑄鋼代替熟鉄的功績也屬於白列留勃斯基教授。白列留勃斯基教授在建筑材料試驗的發展方面和把俄国科学和技术介紹給外国工程师方面也做了許多工作。

到十九世紀末,漸漸从多腹杆桁架和多斜杆桁架轉向更簡單腹杆系的桁架。早在1880—1890年,在俄国的許多公路上曾初次建造了有簡單斜腹杆或三角形腹杆的桁架桥。此类桥梁可以用下列桥梁作为例子:柯舍达尔-格拉特諾公路上的用三角体系桁架的涅曼河桥、用斜杆体系的谷独尔河上的桥、跨徑106.7m的用三角体系桁架的潑夏达河桥(1897年)(圖15),以及其他桥等。在十九世紀末,出現了最初的再分析架。俄国第一座再分析架桥是由Л. Л. 泊洛斯古略柯夫教授建造的叶尼斯河桥(1896年)。

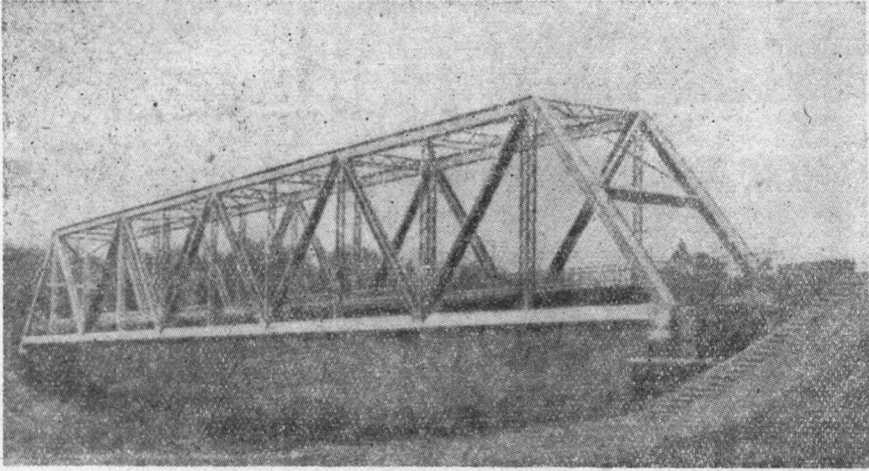


圖 15. 三角形体系的桁架桥(1897 年)。

十九世紀末和本世紀初是科学和技术(尤其是筑桥方面)迅速發展的时代。在这时期內建造了很多跨过最大河流的特出的桥梁,它們是以大胆而先进的决定而著称。这类大桥有,在斯維雅斯克和辛比爾斯克(現在的烏利揚諾夫斯克)的伏尔加河桥,每孔跨度 158.4m,是由 Н. А. 白列留勃斯基教授設計的;在馬朗姆的奧伽河桥和伏尔霍夫河桥,是由 Л. Л. 泊洛斯古略柯夫教授設計的,以及其他桥等。

1896 年在莫斯科成立了俄国第二所培养交通工程师的高等学校,即現在以 И. В. 斯大林命名的莫斯科铁路運輸工程学院。該院桥梁講座的第一位教授就是 Л. Л. 泊洛斯古略柯夫。在 1901 年 Л. Ф. 尼古拉教授写了俄国第一本重要的桥梁學習指南;在 1902 年 Е. О. 巴当教授写了第一本鋼桥教本,这書对俄国桥梁工程师的培养有極大作用。

在上世紀中期所建造的梁式桥中,常遇有連續桥跨結構的桥梁。連續梁桥有無可怀疑的經濟优点,同时也有它的缺点:感受墩台沉陷的影响;温度变化时变形較大;并且計算理論复杂,在当时是有相当困难的。

上世紀下半期,在連續梁体系桥梁中采用了鉸,把它化成靜定的悬臂梁,这給了鋼桥建造一个新的方向。

比間支梁桥經濟(跨度越長越經濟)的悬臂梁桥迅速获得了被广泛采用来跨越大的跨度,尤其是用在城市和公路桥梁中。

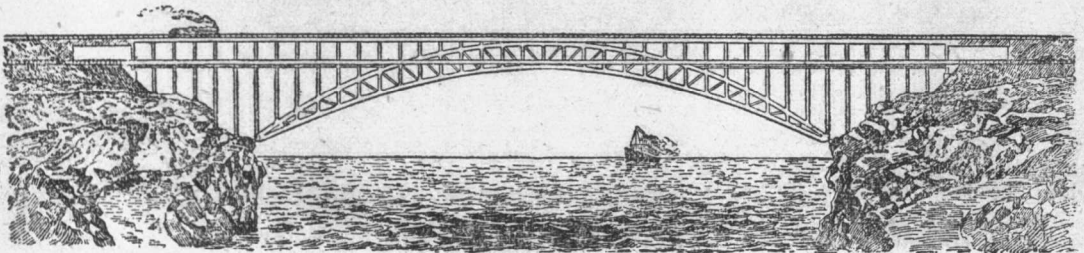


圖 16. 跨度 224m 的拱式鋼桥。

俄国第一座悬臂桥造在 1888 年,是苏拉河上的铁路桥,由 Л. Д. 泊洛斯古略柯夫教授设计。1898 年在斯莫棱斯克的德涅泊河上,筑成第一座公路悬臂桥;1894 年在特涅斯得尔河上造了一座跨度 102m 的铁路公路两用桥,由工程师博古斯拉夫斯基设计。1900 年在伏尔加河上造了一座至今尚存的跨度 93m 的桥,由工程师督奇斯基设计。1908 年在基奇加斯的德涅泊河上造了一座跨度 190m 的铁路公路两用的悬臂桥(1931 年建设特涅兹洛盖斯城时拆去)。这座桥是俄国当时跨度最大的桥(图 17)。

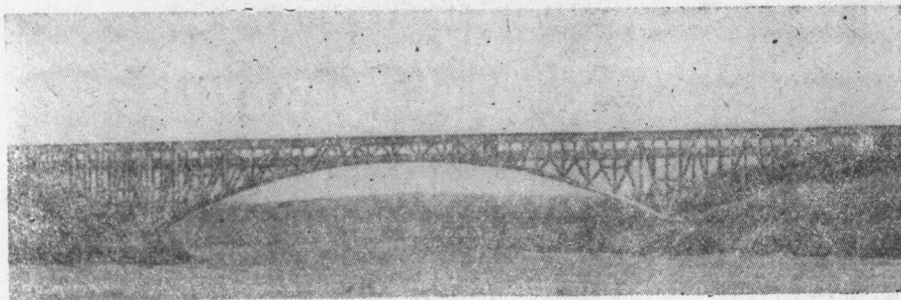


图 17. 跨度 190m 的德涅泊河悬臂桥(1908 年)。

1911 年在伟利卡雅河上建造的一座跨度 75m 的美丽的悬臂桥也是值得注意的,这座桥是由索洛夫也夫教授设计。在卫国战争时曾被破坏,现在已基本上修复(图 18)。



图 18. 伟利卡雅河桥(1911 年)。

在外国建造的最有趣的悬臂桥中,可以提到的有,1897 年建造的布达佩斯、多瑙河上的跨度 175m 的桥(图 19);跨度最大的是,苏格兰的福脱桥,跨长约 520m,造于 1890 年(图 20);美国的跨度 549m 的魁培克桥,在拼装时曾经过两次重大事故,终于在 1917 年完成。

随着广泛应用悬臂桥以后,就进入了使用连续结构的时代。因为深水基础建筑技术的进步,桥梁跨度和活荷重的增加,使再采用连续体系是合宜的。