

# 预应力钢筋混凝土 铁路桥跨结构

Е. А. 特羅依茨基

Н. Н. 包格达諾夫 合著

Л. И. 約西列夫斯基

人民鐵道出版社

# 預应力鋼筋混凝土 鐵路橋跨結構

Е.А.特羅依茨基

Н.Н.包格達諾夫 合著

Л.И.約西列夫斯基

鐵道部設計總局定型設計事務所橋梁科譯

人民鐵道出版社

一九五七年·北京

应用預应力鋼筋混凝土結構，在發展工業化的施工方法上有特別重要意义，本書介紹苏联在建筑鐵路桥梁方面采用預应力鋼筋混凝土桥跨結構的成就，共分十章，其主要內容叙述近代預应力鋼筋混凝土鐵路桥跨結構的構造，并說明其設計、計算和制造方法，同时闡述了这些結構的試驗和实验性研究的結果。

本書可供鐵路及公路桥梁設計及建筑工程技術人員作参考之用。

参加本書的譯校工作部門：第四章§1, §2及§3之第1節——建筑工程部科學研究院；第九章——鐵道科學研究院；第一，二，三章，第四章§3之第2節，第五，六，七，八，十章，及全書校閱——鐵道部設計總局定型設計事務所桥梁科（邵厚坤、張达鈞、余覺一）。

### 預应力鋼筋混凝土鐵路桥跨結構

Пролётные строения железнодорожных мостов  
из предварительно напряжённого железобетона  
蘇聯 E. A. Троицкий, Н. Н. Богданов, Л. И. Иосилевский 合著

蘇聯國家鐵路運輸出版社（莫斯科1955年俄文版）

Трансжелдориздат Москва 1955

鐵道部設計總局定型設計事務所桥梁科譯

責任編輯 王育泉

人民鐵道出版社出版

（北京市霞公府 17 號）

北京市書刊出版業營業許可證出字第 010 號

新華書店發行

瀋陽鐵路管理局印刷廠印

（瀋陽市和平區昆明街 1 號）

1957 年 6 月第 1 版

1957 年 6 月第 1 次印刷 平裝印 0001—2,380 册

書號：757 開本：850×1168  $\frac{1}{32}$  印張：10 $\frac{7}{8}$  插頁 2 254 千字 定價（10）1.90 元

# 目 錄

|     |   |
|-----|---|
| 序 言 | 1 |
|-----|---|

## 第一章 關於預应力桥跨結構的一般知識

|                          |    |
|--------------------------|----|
| § 1. 梁式預应力鋼筋混凝土桥梁結構的主要形式 | 3  |
| § 2. 預应力桥跨結構所用的材料        | 12 |

## 第二章 後張式鋼筋混凝土桥跨結構的構造和設計 (具有强大鋼筋束的)

|                           |    |
|---------------------------|----|
| § 1. 構造特点                 | 27 |
| § 2. 强大鋼筋束的構造             | 28 |
| § 3. 具有在縱向張拉的强大鋼筋束的桥跨結構構造 | 46 |
| § 4. 用鍍筋預加腹版橫向應力的薄壁桥跨結構構造 | 67 |
| § 5. 後張式桥跨結構的設計指示         | 72 |

## 第三章 具有强大鋼筋束的後張式預应力鋼筋混凝土 桥跨結構的制造工藝

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| § 1. 强大鋼筋束及鋼筋架的制造         | 84  |
| § 2. 預先張拉强大鋼筋束的工藝         | 107 |
| § 3. 压注水泥漿                | 113 |
| § 4. 具有强大鋼筋束的後張式桥跨結構的工厂制造 | 114 |

## 第四章 先張式桥跨結構的構造和制造工藝 (具 有散布鋼筋)

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| § 1. 構造特点                               | 121 |
| § 2. $\gamma\pi\kappa\delta$ 型桥跨結構的構造   | 124 |
| § 3. $\gamma\pi\kappa\delta$ 型桥跨結構的制造工藝 | 136 |

## 第五章 分兩階段灌注的先張式橋跨結構的 構造和制造工藝

- § 1. 分兩階段灌注時預拉鋼筋的特點…………… 150
- § 2. 分兩階段灌注的先張式橋跨結構的構造…………… 151
- § 3. 分兩階段灌注的預應力橋跨結構制造工藝…………… 158
- § 4. 在列寧格勒跨過斯大林大街的跨綫橋橋跨結構… 166

## 第六章 具有強大鋼筋束的先張式橋跨結構的台 座法制造工藝

## 第七章 在先張式預應力鋼筋混凝土橋跨結構中 張拉鋼筋時的控制方法

- § 1. 現有的根據測量彈性變形來決定應力的方  
法的缺點…………… 180
- § 2. 根據測量受拉鋼絲對集中力的作用所產生的抗  
力來測量應力的方法（懸吊荷重法）…………… 182
- § 3. 利用纜索應變儀來測量鋼筋中應力的方法…………… 186
- § 4. 用各種方法來測量鋼筋應力的結果比較…………… 192

## 第八章 預應力鋼筋混凝土橋跨結構的運送和架設

- § 1. 根據經鐵路運送和用架橋机架設的條件  
決定的橋跨結構構件的尺寸…………… 194
- § 2. 運送時及用架橋机架設時拼裝構件的抗裂  
性及強度的保證…………… 201
- § 3. 運送時橋跨結構梁片的固定及架  
設到橋孔上時梁的起吊…………… 204

## 第九章 預應力橋跨結構及其部件的試驗研究結果

- § 1. 試驗研究的任務…………… 206

|                                                              |     |
|--------------------------------------------------------------|-----|
| § 2. 强大鋼筋束在靜荷載、振動荷載及長期荷載<br>作用下工作的研究·····                    | 207 |
| § 3. 具有强大鋼筋束的預应力梁在振動荷載<br>作用下的研究·····                        | 220 |
| § 4. 將跨度为 $23m$ 的具有强大鋼筋束的預应力<br>桥梁試驗至破坏·····                 | 229 |
| § 5. 有預应力鍍筋的薄壁預应力鋼筋混凝土<br>梁的研究·····                          | 236 |
| § 6. 在使用中的試驗性后張式桥跨結構的<br>長期觀測·····                           | 242 |
| § 7. 計算跨度为 $22.8m$ 的先張式預应力鋼筋混凝土試驗<br>梁（中央結構設計处的構造）的試驗結果····· | 247 |
| § 8. $L_p = 2.0m$ 先張式（具有散布鋼筋）預应力鋼筋<br>混凝土試驗梁的試驗·····         | 257 |
| § 9. 分兩階段灌注的 $L_p = 6.0m$ 先張式預<br>应力梁的試驗結果·····              | 267 |
| § 10. 在制造分兩階段灌注的預应力桥跨結構时進<br>行研究的結果·····                     | 281 |

## 第十章 預应力鋼筋混凝土桥跨結構計算原理

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| § 1. 計算总則·····              | 290 |
| § 2. 預应力鋼筋混凝土桥跨結構的强度計算····· | 291 |
| § 3. 后張式桥跨結構的預应力計算·····     | 298 |
| § 4. 先張式的梁的預应力計算·····       | 305 |
| § 5. 梁的抗裂性計算·····           | 306 |
| § 6. 剪应力計算·····             | 307 |
| § 7. 主应力計算·····             | 308 |
| § 8. 鍍筋計算·····              | 309 |

|                                         |     |
|-----------------------------------------|-----|
| § 9. 混凝土分兩階段灌注時具有散布鋼筋的橋跨<br>結構計算特点····· | 310 |
| §10. 后張式橋跨結構算例（具有強大鋼筋束）·····            | 314 |
| §11. 先張式橋跨結構（中央結構設計處的型式）算例·····         | 332 |

## 序 言

在1954年8月19日苏联共产党中央委员会和苏联部长会议“关于在建筑中发展装配式钢筋混凝土结构和配件的生产”的决议中强调指出，为了胜利地发展工业化的施工方法，预应力钢筋混凝土结构是具有特别重要意义的。

苏联在桥梁建筑方面从1946年即开始采用预应力钢筋混凝土桥跨结构，其形式为具有强大钢筋束的结构。钢筋束是在混凝土灌注好、并获得足够的强度以后张拉的。这种结构型式是由全苏铁路运输科学研究院(ЦНИИ)、在斯大林奖金获得者技术科学副博士A. II. 科罗夫金的领导下所建议和研究并实现了的。这种结构进一步的发展和贯彻到建筑实践中的工作是在斯大林奖金获得者技术科学副博士E. A. 特罗依茨基和技术科学副博士Д. А. 格里哥立也夫的领导下在全苏运输建筑科学研究院(ЦНИИС)实现的。

除了具有强大钢筋束的后张式结构外，目前已在桥梁建筑中获得极大推广的，是有散布钢筋的先张式结构，这种结构，也曾被提出和研究了，并且在某些桥梁中已经实现了。

这种型式的桥跨结构，是在斯大林奖金获得者技术科学副博士H. H. 包格达诺夫的领导下，于桥梁工程总局中央结构设计处和工程师A. C. 巴捷里斯合作研究出来的。

制造有散布钢筋的桥跨结构时，可在特别的台座上一次灌注全梁，或分两个阶段灌注，并利用先灌好的部分作张拉钢筋的支撑。

其中的第二种制造工艺，是由工程师A. C. 巴捷里斯和工程师B. A. 捷日恩的领导下、并在列宁格勒铁路运输工程学院参加下，由列宁格勒桥梁公司研究出来的。

现今，在试验方面，又完成一种型式的预应力桥跨结构——由莫斯科铁路运输工程学院桥梁教研组建议的、按台座法工艺灌



注混凝土的、并有强大鋼筋束的先張式結構。这些桥跨結構制造工艺的研究,和为此而采用的台座構造及新型錨植 (АНКЕР) 设备,是由技術科学副博士Л.П.約西列夫斯基,工程师М.Н.馬立科和А.В.依万諾夫与列寧格勒桥梁公司 (工程师Г.В.特羅依茨基和В.А.捷日恩) 緊密合作完成的。

在掌握和研究新型預应力結構的过程中,全苏运输建筑科学研究院 (ЦНИИС), 莫斯科铁路運輸工程学院 (МИИТ) 和其他的机构均进行了并正进行着巨大的科学研究工作。

由于擺在桥梁建筑者前面的任务是大量擴展采用裝配式鋼筋混凝土桥梁和預应力結構的范围,所以特別要求有效地总结和出版有关預应力鋼筋混凝土桥跨結構的设计、建筑、和研究方面所积累的資料,以便在实际和科学工作中能够利用这些資料。

这种目的便决定了本書讀者所关注的內容。本書系由作者們集体編寫的。

技術科学副博士Е.А.特羅依茨基編寫: 具有强大鋼筋束的后張式桥跨結構的構造說明, 制造工艺, 实验性研究和計算方法等章; 技術科学副博士П.П.包格达諾夫——具有散布鋼筋的結構和其制造工艺, 計算方法, 以及各种型式的桥跨結構經铁路运输的方法等章; 技術科学副博士Л.П.約西列夫斯基——分兩階段灌注的桥跨結構和具有强大鋼筋束按台座法工艺制造的先張式桥跨結構的構造, 制造工艺, 和計算特点, 以及在建立鋼筋拉力时的控制方法, 桥跨結構所用材料和由莫斯科铁路運輸工程学院 (МИИТ) 桥梁試驗實驗室对具有散布鋼筋束的結構所做的实验性研究的結果等章節。

本書对被研究的每一种型式的預应力桥跨結構,全都作了評述,但是缺乏关于其中最受推荐的桥跨結構的結論。在工厂制造裝配式結構的条件下更廣泛地采用預应力鋼筋混凝土的經驗,对于縮減标准尺寸、种数这样極其重要的問題,是应当給予解答的。

教授Г.К.叶芙格拉佛夫

## 第一章 关于預应力桥跨結構的一般知識

### §1. 梁式預应力鋼筋混凝土桥 梁結構的主要形式

在梁式鋼筋混凝土結構中建立預应力的目的，是为了利用高强度的鋼材作鋼筋及保証受拉杆件或受撓杆件的受拉区域具有充分的抗裂性。

如所周知，在普通鋼筋混凝土的受拉或受撓杆件中，混凝土受拉时的極限变形能力与鋼筋中的应力为 $200 \sim 300 \text{ kg/cm}^2$ 时的变形相适应。对于3号鋼在一般的容許应力  $1200 \text{ kg/cm}^2$  时（由于主力），如果适当的布置鋼筋及适当的選擇鋼筋的直徑，就可以保証必須的抗裂性；也就是用不致使鋼筋遭受銹蝕危險的数值來限制受拉区域的裂縫开展。

通常認為当裂縫开展不超过 $0.2 \sim 0.3 \text{ mm}$ 时，鋼筋不致發生銹蝕；但这个数值决不可認為是精確的規定。

如果在鋼筋混凝土構件的受拉鋼筋中允許更高的計算应力，那么用上述的数值來限制裂縫开展就变成非常困难的事了。尤其是就铁路桥梁的鋼筋混凝土桥跨結構而言，它們不只应能承受住計算荷載下的裂縫开展的極限数值，而且要經受得住將來可能有的荷載下的裂縫开展極限。

采用螺紋变形鋼筋并同时变更它們的鋼号，是提高鋼筋中的容許应力并保持抗裂性要求的方法之一。然而这种方法僅能稍許相对地提高鋼筋中的容許应力——达 $1500 \sim 1700 \text{ kg/cm}^2$ 。

在鋼筋中建立預先的拉力，并把此拉力傳遞到混凝土上，也就是在混凝土由于外載而承受拉力的地区內造成預压应力会得到更有效的結果。經過適當地計算就可以保証混凝土中沒有合成的

拉应力。因此，不僅在采用高强度鋼筋方面獲得了有效的結果，而且也改善了結構物的使用質量，甚至完全消除了其中極微細的裂縫。

不拟全面地研討預应力結構的發展歷史，僅對曾經在橋跨結構中采用的那些結構體系加以敘述。

按照預应力梁式結構的制造方法可以分為：鋼筋的張拉系在梁的混凝土灌注以后進行的結構①；和鋼筋的張拉系在布置有被張拉的鋼筋的梁的全部混凝土或一部分混凝土灌注以前進行的結構②。



圖1. 具有强大鋼筋束的梁的圖式

- 1—鋼筋束；2—錨杯；3—鋼筋束的封閉式錨管；4—上部的預应力鋼筋；  
5—梁端；6—插入的墊圈。

按照受拉鋼筋的布置，預应力桥梁結構可以是：具有强大鋼筋束的結構，每根强大鋼筋束由30~40根或更多的單根鋼絲集結而成；也可以是具有散布鋼筋束的結構，這種鋼筋束每根有2~3根鋼絲，有時稍為多一些。對於后張式結構宜采用强大的鋼筋束；反之對於先張式結構則宜采用散布的鋼筋束。

具有强大鋼筋束的后張式的梁的制造圖形示于圖1。

鋼筋束1的鋼絲錨固在錨杯2中。在灌注梁的混凝土時采取了措施使鋼筋束和混凝土之間不發生粘着力（例如將鋼筋束穿過薄鉄皮做成的套管）。當混凝土達到了需要的強度后利用可拆卸的千斤頂設備來張拉鋼筋束；千斤頂則夾住鋼筋束端的一個錨杯并支承在梁端5上。在橋端與錨杯之間裝置有墊圈6使梁的下緣內所產生的鋼筋拉力及混凝土的壓力得以巩固；然后取下張拉設備，并

譯者注：①即後張式結構；②即先張式結構。

依次張拉下一鋼筋束。全部鋼筋束張拉完畢以後，將水泥漿壓入包住鋼筋束的套管內，以建立鋼筋束和混凝土的粘着力。

在先張式的結構中，鋼絲裝配有留在梁的混凝土中的錨榫。伸出在錨榫前面的鋼絲端部，用張拉設備夾住（圖2）；在鋼筋拉緊以後，灌注梁的混凝土。傳遞鋼筋拉力于混凝土上，系當混凝土獲得了足夠的強度以後，靠放鬆張拉設備或切斷鋼絲的外露端而實現的。

梁的混凝土分兩個階段灌注（圖3），是第二種類型的預應力鋼筋混凝土橋跨結構的變態。這種體系的特点是：起先（第一階段）灌注梁的上翼緣及腹版並利用它們作為張拉鋼筋的台座，然後（第二階段）——灌注下翼緣的混凝土；以後放鬆鋼筋時原始力即傳遞在下翼緣上。

先張式預應力橋跨結構的鋼筋，也可以如同後張式的結構一樣，集結成強大的鋼筋束，但須配以特殊形式的錨榫。

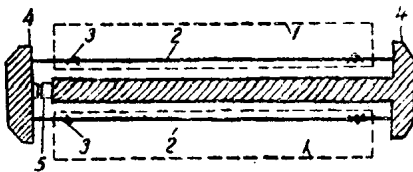


圖2. 具有散佈鋼筋的梁的圖式

預應力鋼筋混凝土不僅能采用于版梁式的橋跨結構類型中，而且可以采用于空腹桁架的類型中。道羅費耶夫工程師及B. II. 格涅道夫

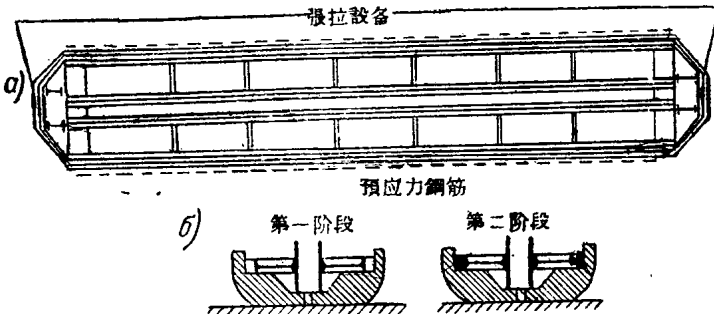


圖3. 分兩階段灌注的梁的製造圖

a—梁的佈置平面； b—中部的截面。

斯基教授的設計屬於相同类型的建議（圖4）。杆件中混凝土的原始压应力，系借張拉鋼筋而產生；鋼筋放在桁架杆件内部的套管內，因此，鋼筋和混凝土之間沒有粘着力。这些杆件中的原始

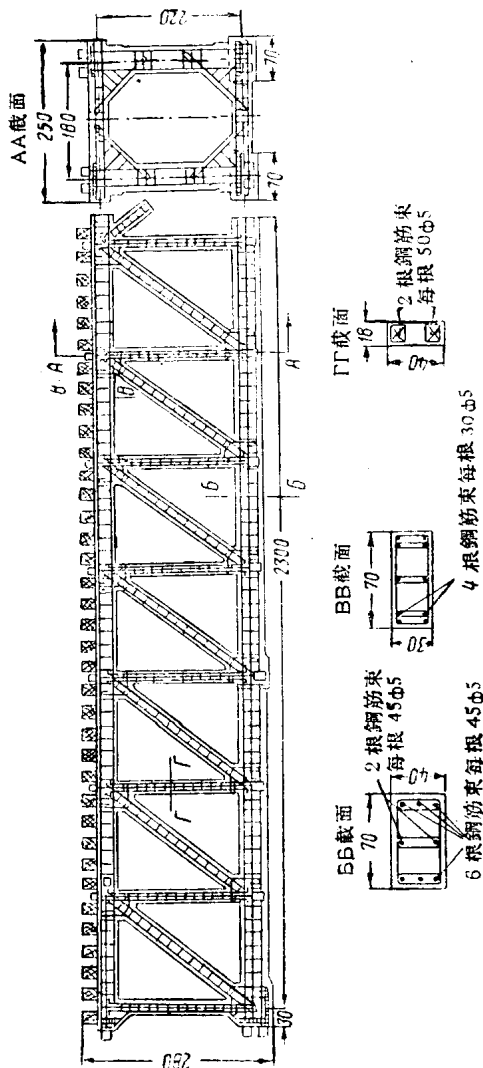


圖4. 格溫道夫斯基教授設計的預應力空腹桁梁

压应力超过外载所引起的拉应力，这样就保证了杆件内没有裂缝并可以利用高强度钢筋。

钢筋张拉以后即将水泥浆压入套管内。钢筋可以由钢丝组成的钢筋束，如同版梁一样。许多用在预应力版梁上的配件（锚植，张拉用的千斤顶等）均适用于空腹式预应力桁梁。

预应力结构也可以成功地采用作为拱桥的桥面，吊杆及系杆。

除了上列的预应力钢筋混凝土结构体系以外，尚可采用斯大林奖金获得者B.B.米哈依洛夫教授建议的体系。在这种结构体系中结构物的预应力系用被重量拉紧的钢丝缠绕钢筋混凝土梁，或将钢筋缠绕在固定于模板上的销钉上，按照“连续配筋”的原则而产生。缠绕是将梁或模板在特殊的设备上旋转而实现的。然而这种已经广泛流行于工业及民用建筑中的体系尚未在桥梁建筑中获得采用。因为桥梁的跨度及荷载都很大，所以不太合适。

在国外的实践中提出了一些极不相同的钢筋张拉方法：将处于混凝土中而不和混凝土粘结的钢筋通电流加热，然后在伸长状态下将钢筋固定；应用由压紧的铁心及拉紧的钢丝组成的“带电荷的”杆件（灌注混凝土以后抽出铁心而使杆件“放电”，钢丝的拉力即传至混凝土上）等等。

目前预应力钢筋混凝土公路桥梁在国外采用得很普遍。预应力铁路桥跨结构却见得很少。当跨度比较不大时（16m以下），这种类型的桥跨结构设计成在架设地点旁制造的预应力梁。这时单线铁路的桥跨结构系由许多片梁组成（10~14片）。每片梁的重量大致为10m。将桥跨结构分为许多拼装杆件，显然，这是由于缺乏起重能力较大的专用的悬臂架桥机的缘故。

这种桥跨结构的预应力梁，一般具有下翼缘加以扩大的T形截面。将制好的梁架于墩台上，并将每片之间的空隙灌以混凝土使其成为整体的版。同时，可以应用先张式的预应力梁，也可采用后张式的预应力梁。

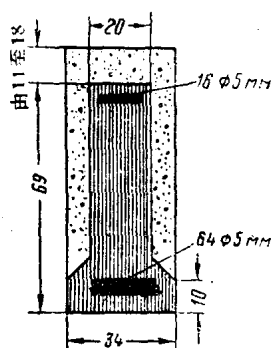


圖5. 混凝土就地灌注以後梁的橫截面

及其上面的 11~18cm 的厚度就地以混凝土灌注。应用了立方强度为  $450 \text{ kg/cm}^2$  的混凝土。钢筋中的装配应力为  $10500 \text{ kg/cm}^2$ 。

制造上述型式的桥跨结构关联到混凝土的大量消耗，其中很大一部分是就地灌注的。桥跨结构的自重增加也引起了钢筋不必要的高度消耗。上述的桥跨结构与桥梁工程总局中央结构设计处 (Упр 5) 的跨度为 15.8m 的桥跨结构比较起来，每 1 延公尺多费了 1.3 倍的混凝土，预应力钢筋也多费了 1.6 倍。

可以拿在工业铁路及运煤输送带下的计算跨度为 23.46m 的桥跨结构，作为国外的后张式预应力钢筋混凝土桥跨结构的一个例子。该桥跨结构的二个主梁系在旁边制造。每一个主梁以横向缝划分为三个拼装杆件。主梁为工字形截面 (图6)，其高度为 1.75m。腹版厚度在跨度中央为 10cm 而在支承处为 18cm。主梁的边部拼装杆件重 5.5m，中间的拼装杆件为 8.5m。主梁的每个梁的预应力钢筋为 6 根钢筋束，每根钢筋束由 12 根直径为 5mm 的钢丝组成。主梁架设在桥跨上以后将钢筋束穿入腹腔内，腹腔是为此目的而预留在拼装杆件的下翼缘内的。拼装杆件之间的缝隙以水泥浆填充之；俟水泥浆硬化以后进行张拉钢筋，然后将水泥浆压入钢筋束的腹腔内。人行道悬臂则就地灌注到主梁上。

主梁彼此之间用上部版及作为两个运煤输送带的基础的下部

英國在1950年建造的桥梁，可作为这种型式的桥梁的一个例子。桥梁为单孔，其计算跨度为 14.1m。这个桥 (图5) 的预应力梁的高度为 69cm，下翼缘的宽度为 34cm，其中的钢筋系在灌注混凝土以前张拉的，并系由两根直径 5mm 的钢丝组成的钢筋束。每个梁的下翼缘设置这样的钢筋束 32 根；梁的上部则设置 8 根。一个梁的重量为 9.7m。梁的下翼缘互相紧靠地安置，其间的空间

版互相連接起來。鐵路橋枕即直接鋪設在上部版上。厚度為23cm的上部預應力鋼筋混凝土版系就地灌注。為了避免巨大的扭轉力矩傳至主梁上，在上部版支承于主梁上的地方設置有彈性襯墊。下部版由裝配式的空心梁形成。空心梁支承于主梁的下翼緣上，並以穿過空心梁腹腔內的橫向預應力鋼筋束及縱向預應力鋼筋束拉緊。縱向預應力鋼筋束沿空心梁的表面設置，並在張拉完畢後鋪上一層混凝土。

橋跨結構所取的構造是經濟的，但具有一種缺點，即在建橋地點必須分成幾個步驟來完成大量不同的工作，並且在每個階段完成以後必須等待混凝土獲得規定的強度。

德國在建造就地灌注的大跨度預應力橋跨結構方面已進行了引人注目的工程。這項工程系屬於公路橋梁的，但也可以把這種工程取得的經驗應用到鐵路橋梁中去。

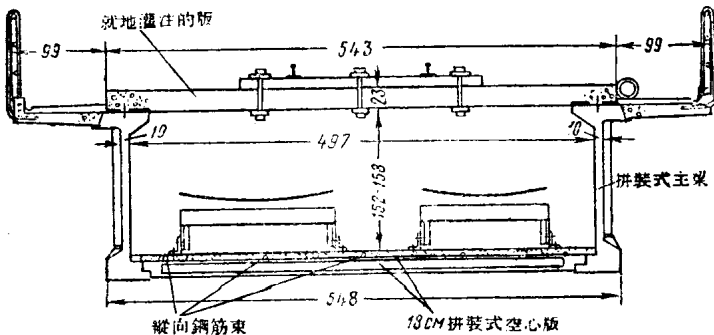


圖6. 橋跨結構的橫截面

由按照這一種式樣建造的一些橋梁中可舉出在沃爾姆斯（Вормс）城跨越萊茵河的橋梁修復的例子。橋梁（圖7）具有三個長度約為101, 114及104m的主要跨徑。在修復時曾利用了已遭受破壞的橋梁的墩台。橋跨結構乃是懸臂梁，其端部在跨度中央以鉸連接。由分隔式橋台向橋梁的一方面伸出的懸臂，用復蓋



分隔式桥台孔径上的平衡梁所平衡。为了平衡另一桥台的懸臂梁，則建筑了長約40.0位于路堤水平綫下的平衡懸臂。

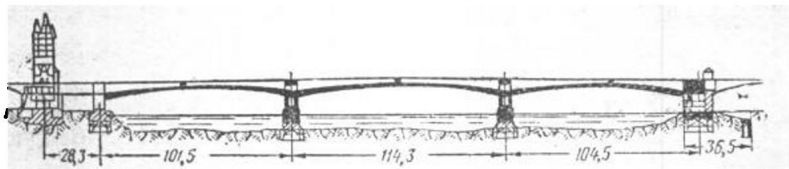


圖7. 修復的橋梁縱截面

桥跨結構的橫截面为兩個箱形截面的主梁（圖8），主梁在上面由桥面版相連接，在桥面版上布置了寬 7.5.0 的汽車道，兩個自行車道及兩个人行道。寬度各为 1.5.0。版有双向的預应力，而主梁僅有縱向的預应力。主梁高度由跨中的 2.5.0 变至支点的 6.4.0。連接主梁用的隔板僅在跨度中央有鉸的地方及支承处才有。

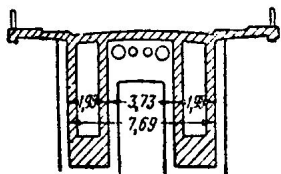


圖8. 橫截面

采用由“Сигма60/96”的鋼材制成的直徑为 25.0 的鋼筋作为桥跨結構的鋼筋。这种鋼材在应力为  $7700 \text{ kg/cm}^2$  时有明顯的屈服台階。鋼筋端部形成有螺紋的粗大部分。

从桥台及桥墩开始，桥跨結構均用懸挂法在活动模型板中建造，而不用脚手架；并且桥跨結構自桥墩的兩側同时建造（使懸

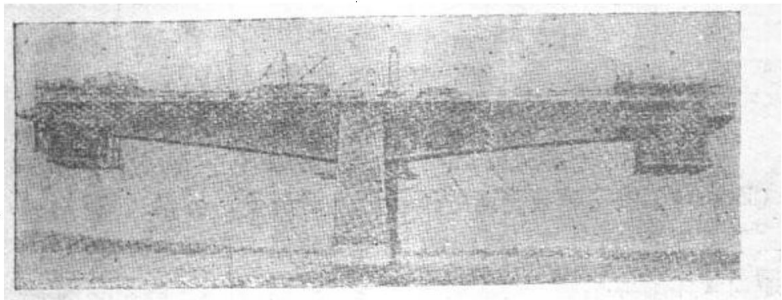


圖9. 平衡懸掛法灌注橋跨結構的混凝土