

# 铁路后张法预应力混凝土槽形梁简介

第三勘测设计公司 周振宗 蒋国雄 执笔

## 一、概 述

铁路后张法预应力混凝土槽形梁是一种新形的桥梁结构，它由两片主梁和一个连接两主梁的道床板组成，列车荷载通过道床板传递给主梁。槽形梁的特点是能大幅度地降低轨底至梁底的高度如图1。

由于梁的建筑高度降低，可加大桥下净空或降低路基填筑高度；在用作立交桥路基高度一定的情况下，可以减少桥下路面的开挖，

这对地下水比较丰富的地区，由于路面的提高，可以大大减少排水工程。故槽形梁适用作平原河网地区的跨航道桥梁及城市工矿地区的跨线立交桥。

槽形梁降低路基的填筑高度，可取得减少土方量、少占田地、节省工程投资的经济效益。在平原地区，槽形梁桥一般较上承式桥可减少几万方路堤填筑量。图2中举出槽形梁可较上承式梁节省两端路堤土方约50000m<sup>3</sup>，如按城市附近12元/m<sup>3</sup>计，则可节省工程投资就达60万元。

由于槽形梁两片主梁在外侧，道床板横向较宽，断面混凝土数量及用钢量较上承式混凝土梁为大，故其结构本身将比同跨上承梁要多花投资，按我国现有生产技术水平约增加120%~150%（国外研究结果增加50%~100%）。

槽形梁与下承钢梁比较，具有省钢料、噪音小、养护维修方便等优点。

我国最近设计并建造了两座槽形梁桥，现就已成建成的单线跨度24.0m槽形梁与具有相同跨度的预应力混凝土上承梁、钢筋混凝土框架及钢梁大致比较如表1。

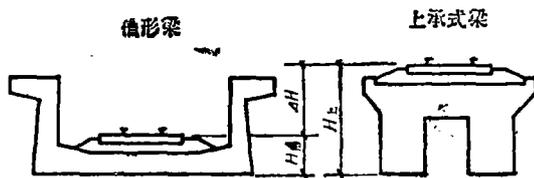


图1 槽形梁和上承式梁的建筑高度比较

表1

|                                 | 建筑高度<br>(m) | 混凝土数量<br>(m <sup>3</sup> ) | 钢材数量<br>(t) |
|---------------------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| 槽形梁                             | 0.92        | 127.7                      | 24.70       |
| 后张法预应力混凝土梁                      | 2.60        | 60.0                       | 10.84       |
| 6.5m + 12m + 6.5m<br>三孔钢筋混凝土框架桥 | 1.50        | 283.5                      | 37.74       |
| 下承焊接板梁桥                         | 0.92        |                            | 37.69       |

注：1. 建筑高度指轨底至梁（板）底的高度，槽形梁为有碴桥面；

2. 框架数量按垂直线路方向长5m（单线）计算。

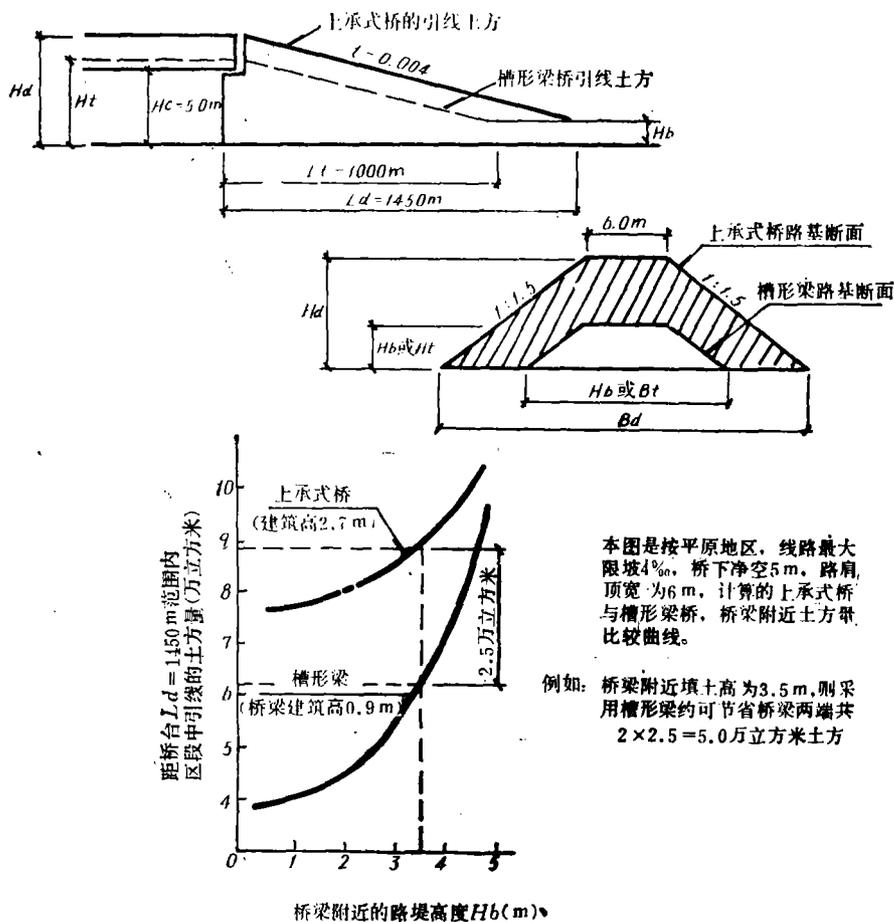


图2 桥梁附近的土方量（桥梁一端）计算

## 二、国外槽形梁概况

由于槽形梁具有比较明显的优点，所以近年来各国都对这种型式的梁作了一些研究，并建造了各种类型的槽形梁桥。国外最早报导的槽形梁是英国于1952年建造的罗什尔汉桥（单线）跨度为48.6m。日本在50年代以后陆续修建了较多的槽形梁，至70年代日本已建成最大跨度为61.4m的第二丘里双线桥。在日本总武线上的中川放水路桥还做成了连续槽形梁，德国在扑罗钦根港的内卡河桥做成了上承、下承连续过渡的五跨连续槽形梁桥。还有斜架做成斜桥的澳大利亚的布里斯班桥，以及用槽形梁作为斜拉桥主梁的英国拉英跨线桥等。

总之槽形梁可以做成各种类型以适应各种不同情况，同时在研究了槽形梁的受力性能、施工方法后，对发展其他结构也是有益的。现将国外槽形梁资料汇总如表2。

国外槽形梁断面形式大致可分成以下几种如图3~8。

日本和苏联将槽形梁做成了标准设计，其截面尺寸如图9、10及表3、4。

表2

| 项<br>目<br>桥<br>名 | 国<br>别 | 普通混凝土梁或预应力梁 | 简支梁或连续梁 | 跨度<br>(m)                     | 桥长<br>(m) | 单线或双线 | 主梁型式 | 主梁高<br>(cm) | 上翼缘宽<br>(cm) | 板厚<br>(cm) | 道床型式 |
|------------------|--------|-------------|---------|-------------------------------|-----------|-------|------|-------------|--------------|------------|------|
| 魁特一布一劳密桥         | 阿尔及尔   | 普           | 简支      | 37.0                          | 38.9      | 单     | 直工   | 415~450     | 85           | 纵横梁式       | 有碴   |
| 胜川跨线桥            | 日      | 普           | 简支      | 8.3                           | 8.9       | 单     | 直距   | 150         | 75           | 30         | 有碴   |
| 羽咋川桥             | 日      | 预           | 简支      | $3 \times 19.2 + 2 \times 16$ | 92.85     | 单     | 直Γ   | 160         | 100          | 30         | 有碴   |
| 荒川桥              | 日      | 预           | 简支      | 38.8                          | 39.7      | 双     | 斜Γ   | 330         | 180          | 70         | 有碴   |
| 下拓桥              | 日      | 预           | 简支      | 24.0                          | 24.96     | 双     | 斜Γ   | 245         | 120          | 50~55      | 轨枕板  |
| 都什花尻桥            | 日      | 预           | 简支      | 35.01                         | 36.26     | 双     | 斜Γ   | 320         | 155          | 55         | 无碴   |
| 第二平原桥            | 日      | 预           | 简支      | 42.0                          | 43.2      | 双     | 斜Γ   | 390         | 155          | 45~54      | 有碴   |
| 罗什尔汉桥            | 英      | 预           | 简支      | 48.6                          |           | 单     | 直工   | 380         | 120          |            | 无碴   |
| 第三齐川桥            | 日      | 预           | 简支      | 15.8                          | 16.4      | 双     | 箱    | 160         | 90           | 60         | 有碴   |
| 第二丘里桥            | 日      | 预           | 简支      | 61.4                          | 63        | 双     | 箱    | 550         | 270          | 65         |      |
| 中川放水路桥           | 日      | 预           | 连续      | $37.35 + 48 + 37.35$          | 123.9     | 双     | 箱    | 320         | 230          | 70         | 无碴   |
| 内卡河桥             | 西德     | 预           | 连续上、下承  | $35 + 39 + 47 + 39 + 35$      | 195       | 单     | 直Γ   | 300         | 125          | 40         | 无碴   |
| 布里斯班桥            | 澳      | 预           | 简支      | 19.35                         |           | 单     | 直工   |             |              |            | 有碴   |

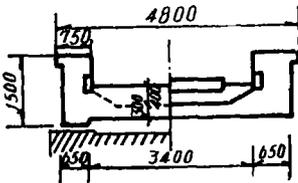


图3 胜川跨线桥

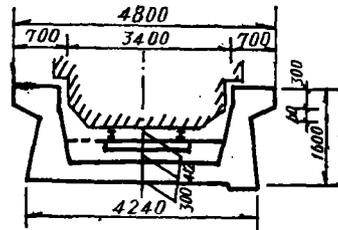


图4 羽咋川桥

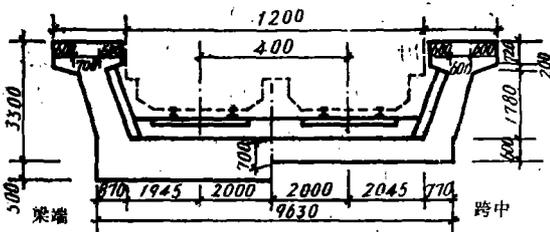


图5 荒川桥

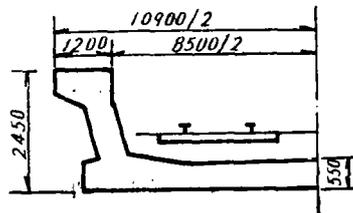


图6 下拓桥

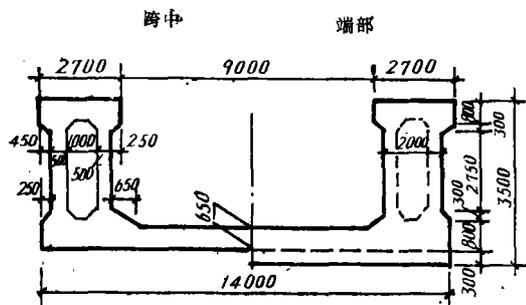


图7 第二丘里桥

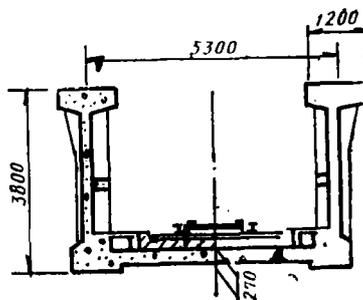


图8 罗什尔汉桥

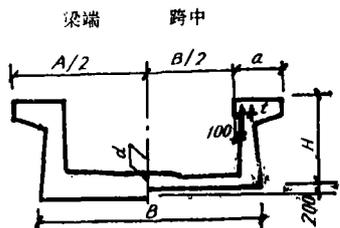


图9 日本槽形梁标准设计

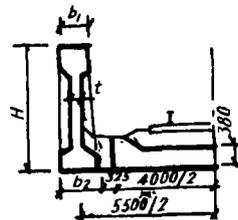


图10 苏联槽形梁标准设计

日本槽形梁标准设计截面尺寸表

表3

| 跨度<br>(m) | 全长<br>(m) | 梁宽<br>A<br>(m) | 主梁中心距<br>(m) | 主梁高<br>H<br>(m) | 轨底至<br>梁底高<br>(m) | 梁内净宽<br>b<br>(m) | 梁底宽<br>B<br>(m) | 主梁上翼<br>缘<br>a<br>(m) | 主腹板厚<br>t<br>(m) | 梁板厚<br>d<br>(m) |
|-----------|-----------|----------------|--------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|-----------------------|------------------|-----------------|
| 15.8      | 16.56     | 6.60           | 5.10         | 1.40            | 0.95              | 4.60             | 5.60            | 1.00                  | 0.30             | 0.42            |
| 19.0      | 19.76     | 6.60           | 5.10         | 1.55            | 0.97              | 4.60             | 5.60            | 1.00                  | 0.30             | 0.42            |
| 22.1      | 22.86     | 7.00           | 5.15         | 1.70            | 0.98              | 4.60             | 5.70            | 1.20                  | 0.35             | 0.42            |
| 25.2      | 25.96     | 7.35           | 5.30         | 1.90            | 1.00              | 4.75             | 5.95            | 1.30                  | 0.35             | 0.42            |
| 31.3      | 32.06     | 7.35           | 5.30         | 2.35            | 1.02              | 4.75             | 5.95            | 1.30                  | 0.35             | 0.42            |

苏联槽形梁标准设计截面尺寸表

表4

| 桥长<br>(m) | 跨度<br>(m) | 梁高<br>H<br>(m) | 翼缘宽 (cm)            |                     | 跨中腹板厚<br>t<br>(cm) |
|-----------|-----------|----------------|---------------------|---------------------|--------------------|
|           |           |                | 上 (b <sub>1</sub> ) | 下 (b <sub>2</sub> ) |                    |
| 12.0      | 11.3      | 1.25           | 55                  | 65                  | 14                 |
| 15.0      | 14.3      | 1.65           | 60                  | 65                  | 16                 |
| 18.0      | 17.3      | 2.05           | 60                  | 65                  | 16                 |
| 24.0      | 23.3      | 2.60           | 60                  | 75                  | 16                 |
| 27.0      | 26.3      | 2.60           | 60                  | 85                  | 18                 |

### 三、我国两孔槽形梁的情况

1978年在铁道部科技局的领导下，组成了由铁道部第三勘测设计院主持有上海铁道学院、铁道部第三工程局、铁道兵部队等单位参加的“槽形梁新技术研究协作组”，同时对单线24m及双线20m两座后张法预应力混凝土槽形梁进行了研究、设计和施工。经过五年的努力，现已试制成功。通过静动载试验，应力及变形实测值均与设计数据较为接近，刚度很大，证明槽形梁结构具有一定的安全度，各部尺寸的选择是比较合适的。

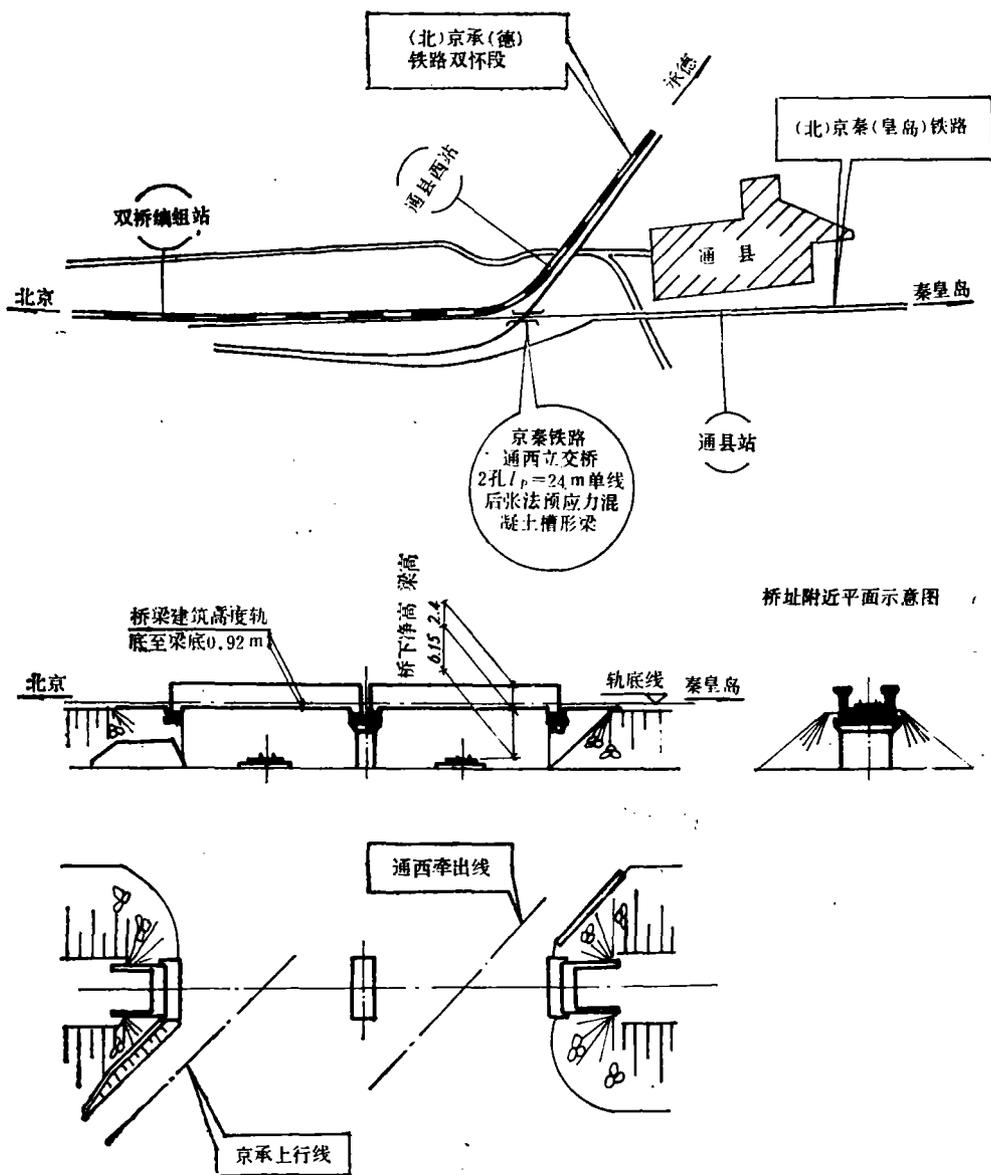


图11 北京枢纽双桥编组站通西立交2—24.0m单线槽形梁

我国设计两座槽形梁桥：一座是跨度24m的单线槽形梁，在北京铁路枢纽双桥编组站内（图11），为京秦线跨越京承上行线及通西站内牵出线的两孔跨线桥。该桥由于京承铁路轨底标高已定，不能变动，故京秦铁路的轨底标高由桥下净高及梁的建筑高度所决定。采用槽形梁较采用预应力上承梁降低路堤高度1.69m。

另一座是跨度20m的双线槽形梁，位于京承铁路的怀柔车站附近，是跨京丰公路的公路立交桥。该桥由于桥位地处怀柔水库下游2公里左右，桥址地下水由于有水库蓄水补给，地下水水位很高，使公路路面不宜下挖太多，而铁路轨底标高也不宜抬高。槽形梁的建筑高度从轨底至梁底为1.12m，比同跨度低高度钢筋混凝土梁1.85m低0.73m，故只有采用槽形梁才能较好地解决上述矛盾。两桥已于1982年建成，并正式交付运营。

### （一）梁的结构尺寸及断面形式。

1. 跨度24m单线槽形梁，全长24.6m，主梁采用直墙式梁高2.4m，两主梁内侧净距为5.1m，上翼缘宽为1.0m，主梁腹板厚为0.3m，腹板内侧每隔2m设有12cm×20cm加颈肋9个以增加腹板刚度；梁端腹板厚由0.3m经过1.5m的过渡段后增加到0.54m，腹板加宽长度为1.3m。主梁下缘用斜坡来加大截面，使其与道床板连接形成刚性角隅。道床板采用板式结构，板中厚度0.45m，以2%排水坡与主梁第二斜坡相交，厚度为0.41m。为增加梁体刚度，梁端部设置端横梁。单线梁多采用道碴桥面。

2. 跨度20m双线槽形梁，全长20.6m，主梁采用斜墙式梁高2.5m，两主梁内侧净距为9.58m，上翼缘宽为1.3m，主梁腹板厚为0.4m，梁端腹板厚由0.4m经过0.6m的过渡段后增加到0.65m，腹板加厚部分长度为2.65m，主梁下缘加腋长度为1.5m，根部为0.75m，以强大的角隅来满足要求。道床板厚为0.6m~0.65m。在梁体端部设有端横梁。双线梁采用有碴桥面。

### （二）槽形梁的预应力

槽形梁采用三向预应力张拉，纵向及横向预应力采用 $\phi 5\text{mm}$ 高强钢丝束，竖向预应力采用 $\phi 25\text{mm}40S_{12}V$ 粗钢筋。单线梁采用36 $\phi 5\text{mm}$ 钢丝束，最大控制张拉力84.72t；双线梁采用48 $\phi 5\text{mm}$ 钢丝束，最大控制张拉力113.1t。纵横向预应力钢丝束均采用镦头锚锚固。为进行上述较大吨位的张拉，采用新产品YCL-120型千斤顶进行张拉。

纵向钢束为两端张拉；横向钢束，单线为一端张拉，双线为两端张拉。要求按张拉顺序对称进行。

竖向预应力粗钢筋先把钢筋冷拉到7500kg/cm<sup>2</sup>，然后按0.85R<sub>t</sub>（单线梁）或0.9R<sub>t</sub>（双线梁）作为锚外控制应力，采用YCL-120型千斤顶中的47t顶压千斤顶进行张拉，粗钢筋张拉锚固端采用冷轧螺纹螺母锚固。采用无粘结法施工。

### （三）预应力张拉顺序

槽形梁是一个三向预应力新结构，国内首次采用。为了防止在预应力阶段由于张拉顺序安排不当而造成梁体裂缝，参考了国外资料及结合我国施工的实际情况，进行了研究，制定了槽形梁的张拉顺序，并通过梁段试验检验张拉顺序的可行性（在正式施工前，为摸索施工工艺，灌注了双线3.3m、单线4.0m的1:1实型梁段，进行分批张拉）。

根据梁段试验及结合施工实际情况，现有槽形梁的张拉顺序分三个循环进行，使梁体周边受力能循序均匀上升，以防止张拉过程出现裂缝。

#### 1. 第一次张拉；

在混凝土强度达到70% (350级) 进行部分预应力筋50%控制张拉力张拉, 按下列顺序进行。

- (1) 端横梁及道床板中的部分 (间隔1~3根) 横向预应力钢束;
- (2) 梁端及沿梁全长方向的部分 (间隔1~3根) 竖向预应力筋;
- (3) 纵向预应力钢束中主梁端部下部锚固的一部分;
- (4) 经计算能支承槽形梁自重所需要的纵向预应力钢束。

第一次张拉完毕后, 即可顶梁或打掉楔块, 拆除底模, 使梁体自重起作用。

#### 2. 第二次张拉:

混凝土强度达到100%, 将第一次未进行张拉的剩余钢束乃按横、竖、纵顺序一次张拉到100%控制张拉力。第二次张拉必须在第一次张拉完毕 (在第一次张拉过程中, 梁体混凝土已达设计强度), 顶梁、拆除底模后立即进行, 因为截面下缘应力由压应力比较大的状态在拆除底模后一下子变得很小。若梁上有一些机具设备等重物, 则下缘压应力将会变得更小甚至出现拉应力, 这对梁体是不利的。

#### 3. 第三次张拉:

将第一次张拉50%的预应力束 (筋) 乃按横、竖、纵的顺序, 补足至100%控制张拉力。

在完成上述三次张拉循环后, 如检查发现钢束伸长不够或锚头丝扣两端露头不均匀等, 还可进行重新张拉, 充分发挥镦头锚可以重复张拉的优点。

实践证明, 按照上述顺序张拉, 槽形梁梁体及采用镦头锚梁端部角隅扩孔段范围内, 在张拉时没有出现裂缝。

#### (四) 支座

槽形梁由于道床板横向宽度较宽, 当梁体受荷时, 不但纵向产生挠度, 而且横向也产生挠度, 这就要求支座在两个方向均能转动。设计采用了盆式橡胶支座。单线24m梁采用了钢盆内径为400mm的200t盆式橡胶支座; 双线20m梁采用了钢盆直径为450mm的400t盆式橡胶支座, 每孔梁四个。双线梁横向宽度为9.2m, 考虑到横向伸缩位移, 把固定端的一个支座改变为横向可位移固定支座。

## 四、槽形梁的研究与试验

槽形梁是一个三维结构, 同时由于混凝土的非弹性性质与裂缝的影响等, 使梁的变形及应力状态用一般理论表现出来是困难的。现代技术都采用实验的方法修正各种假定结构图式的计算理论, 以达到在设计计算中的适用范围为止, 求得合理的结构分析, 归纳采用尽可能简便的计算方法。我国对槽形梁的研究在理论分析方面及实验方面分别做了以下的工作:

#### (一) 在理论研究及结构分析计算方面:

1. 研究推导了按立体计算理论的函数解公式;
2. 研究改编了槽形梁按板壳结构分析的板壳有限元 (三角元和矩形元) 电算程序;
3. 研究了槽形梁按梁、板组合结构, 采用国外引进的大型SAP5电算 (块体单元) 程序。

用以上的计算分析方法对槽形梁结构进行了在竖向荷载作用下及在预应力作用下的应力、变形的全面作用分析, 摸清了槽形梁的受力情况; 编制了《预应力混凝土槽形梁设计计

算原则》。

(二) 在配合理论研究、结构设计、施工工艺技术所需的实验方面:

1. 做了1/30缩尺的有机玻璃整体模型静力试验。分别单、双线按均布荷载与影响线加载两种方式及满布支承与四点支承两种形式研究槽形梁在荷载作用下的变形及应力情况;

2. 做了端角隅的实型及光弹性试验。槽形梁梁端角隅处, 三向预应力管道交错密集, 应力情况复杂, 结构布置困难, 为此设计了一个1:1的端角隅实型进行了张拉试验, 并测试了孔壁应力。同时又做了1/10的环氧树脂模型, 模拟两向预应力, 进行光弹性试验, 观测预应力张拉时可能出现的最大孔边应力。

3. 做了实型梁段综合试验。分单线4m梁段、双线3.3m梁段, 做了两组综合性试验, 除作了预应力张拉工艺、张拉顺序及一系列单项工艺技术试验外, 实测了:

(1) 三向预应力之间的相互影响;

(2) 粗钢筋轧丝锚具的锚固性能;

(3) 板内横向钢丝束及竖向预应力筋施加预应力时混凝土弹性压缩的影响范围;

(4) 竖向预应力筋张拉预应力损失等等。

## 五、对推广使用槽形梁的设想

预应力混凝土槽形梁作为一种立交桥的结构形式, 有其独特的优点, 故在日本等国家被广泛采用, 并制定有专门的槽形梁设计规范和标准设计。

我国随着四个现代化建设的发展, 立交桥的建设任务也将繁重起来。框架体系从目前资料来看, 它只适合于中小跨度的立交桥, 使用于20m以上跨度是否合理, 有待探讨。但槽形梁对于较大跨度的立交桥较为适用, 今就如何发展提出几点设想。

1. 采用无碴桥面。使用宽轨枕板沥青砂浆桥面, 可调式弹条扣件, 这样可进一步降低建筑高度。

2. 设计制造槽形梁预制块件。现场整体灌注槽形梁, 桥下满堂脚手架, 侵占桥下净空, 影响水陆交通, 大大地限制了槽形梁的被广泛使用。预制块件可分纵向块及横向块两种。纵向分块方案先在工厂预制两片主梁, 运往工地架设后, 在悬吊于主梁的脚手架上组拼道床板预制块或现浇道床板; 横向分块方案将工厂预制的横向块运往桥头组拼, 用顶推或拖拉施工就位。

3. 配套预应力混凝土槽形梁标准设计。跨度为16m~32m, 设计分整体灌注及预制块拼装两种, 桥百分有碴及无碴两类。

4. 发展成为大跨度斜拉桥的主梁。大跨度斜拉桥以往多用箱形断面, 由于①上承箱梁建筑高度大, 引桥长, 土方量大附属工程费昂贵; ②实腹箱梁阻风面大, 对空气动力稳定性不够好; ③箱梁施工不易, 进度不快。这些影响了斜拉桥在铁路上的发展使用。采用槽形梁既解决了建筑高度降低的问题也减小了迎风面, 施工也较方便。英国的净跨 $2 \times 54.87\text{m}$ 的铁路跨公路的拉英斜拉桥, 已采用了槽形梁。

槽形梁的设计、施工方面还存在不少问题需进一步加以研究解决, 使这种桥梁的发展前途更广阔。