

# 洛河预应力混凝土 箱形连续梁公路桥 设计施工经验

河北省交通规划设计院  
河北省交通工程大队第一工程队 编  
交通部公路规划设计院

人民交通出版社

洛河预应力混凝土  
箱形连续梁公路桥  
设计施工经验

河北省交通规划设计院  
河北省交通工程大队第一工程队 编  
交通部公路规划设计院

人民交通出版社

1980年 北京

## 内 容 提 要

洛河大桥全长354.55米，主跨径按  $30+2\times 45+30$  米的预应力混凝土箱形连续梁设计，两端边跨径按  $5\times 20$  米的钢筋混凝土T型简支梁设计。本书以预应力混凝土箱形连续梁为主，介绍了全桥的设计计算和施工经验，探讨了预应力钢丝束的张拉工艺，论述了工程材料、施工机具的检验与桥梁竣工后的荷载试验。另外在附录中介绍了本桥变截面连续梁影响线及活载内力的电子计算机计算程序，介绍了地震力计算以及其他计算。本书可供公路桥梁设计和施工人员以及大专院校桥梁专业师生参考。

### 洛河预应力混凝土 箱形连续梁公路桥 设计施工经验

河北省交通规划设计院  
河北省交通工程大队第一工程队 编  
交通部公路规划设计院

人民交通出版社出版  
(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号  
新华书店北京发行所发行  
各地新华书店经售  
人民交通出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：17.75 插页：3 字数：432千

1980年8月第1版

1980年8月第1版第1次印刷

印数：0001—3,800册 定价：1.60元



大桥全景

# 前 言

京汉公路洛河大桥位于河北省永年县北郊，在邯郸以北20公里。战国时期赵国曾建都于邯郸，临洛关（即今永年县）即为重要关口。我国交通干线京广铁路，京汉公路都在临洛关穿过，但由于洛河洪水泛滥较宽，河床冲淤变化较大，建桥投资较多，解放以来，公路大桥一直未能修建。因此每逢洪水季节，南北交通断绝，对当地工农业生产影响很大。1975年邯邢基地交通建设指挥部确定投资修建洛河大桥，由河北省交通工程大队测设队（现已改为河北省交通规划设计院）负责设计，河北省交通工程大队第一工程队负责施工。

建桥方案经与交通部公路规划设计院多次研究，结合洛河宽浅河槽的自然条件，拟定了两端各为5孔20米钢筋混凝土T形简支梁，中段为 $30+2\times 45+30$ 米预应力混凝土箱形连续梁方案。

预应力混凝土连续梁桥，比简支梁、悬臂梁桥刚度大、变形小，受力匀称而合理；梁的截面高度较小，可减轻自重，节省材料，提高桥下净空。采用箱形梁截面，具有较大的抗弯抗扭刚度，同时因具有较好的整体性及连续性，对抗震及行车都是有利的（接缝少，可提高车速，行车舒适）。这种结构可采用工场预制，悬臂吊机拼装，也可采用悬臂浇筑施工法，这对水深湍急的河流，无须设置排架即可进行大跨径桥梁施工。和T型刚构桥相比，除上述优点外，还由于上部结构的弯矩不传递给桥墩，可以减少下部工程量和简化下部工程的施工。事物总是一分为二的，它也存在某些构造和工艺的复杂性，以及由于混凝土徐变、温度变化、基础不均匀沉陷等因素，而产生不易精确计算的二次内力等缺点。

大桥于1975年9月开始设计，1976年6月完成。施工单位于1975年11月进入工地，1977年7月15日大桥胜利建成通车。在设计期间，交通部公路规划设计院曾派人参加了全部设计和施工，并配合做了大量的试验工作。

在全部施工过程中，设计、施工人员与科研相结合，边试验，边研究，初步掌握了箱形连续梁的施工方法，达到了浇筑张拉一对箱梁块件用150个小时的新记录；试制了硫磺砂浆临时支座，改进了拆卸方法；在采用橡胶抽拔管技术时，得到了管道无串浆的优良成绩，在连续梁合拢段施工中，初步摸索了一些施工规律，为我国修建同类型桥梁，提供了某些先进经验。

本书是由原设计、施工单位及交通部公路规划设计院共同编写而成，但由于我们的技术水平有限，对于连续梁的理论计算、施工工艺和试验资料分析等，编写的可能不完全合理，如有错误，请同志们批评指正。



# 目 录

<b>第一章 工程概况</b> .....	1
<b>第一节 桥址自然条件</b> .....	1
一、桥址上、下游情况.....	1
二、桥位水文.....	1
三、河床地质.....	3
四、地震调查.....	3
<b>第二节 桥型与桥梁结构</b> .....	3
一、桥型方案.....	3
二、桥梁上部结构.....	6
<b>第三节 主要材料、机具数量及造价</b> .....	8
一、主要材料指标及数量.....	8
二、主要机具数量.....	9
三、桥梁造价.....	9
<b>第二章 预应力混凝土箱形连续梁设计</b> .....	10
<b>第一节 基本规定</b> .....	10
一、技术标准.....	10
二、箱梁块件、截面缝、永久支座、临时支座编号.....	13
三、主梁安装顺序.....	13
四、计算选用的基本数据.....	13
五、设计依据.....	13
<b>第二节 连续梁影响线的计算</b> .....	13
一、四跨连续梁影响线计算公式.....	13
二、连续梁电算资料.....	22
三、影响线图示.....	26
<b>第三节 施工和运营时期的内力计算</b> .....	27
一、施工时期.....	27
二、运营时期.....	51
三、AB、BC跨各阶段弯矩的汇总.....	59
<b>第四节 钢丝束的估算和设置</b> .....	59
一、估算钢丝束.....	59
二、钢丝束的布置.....	68
三、钢丝束座标计算.....	70
<b>第五节 箱梁截面几何特性</b> .....	74
<b>第六节 预应力损失计算</b> .....	85
一、混凝土收缩引起的应力损失 $\sigma_{s1}$ .....	85
二、钢丝松弛引起的应力损失 $\sigma_{s2}$ .....	85

三、锚头变形、钢丝回缩和接缝压缩引起的应力损失 $\sigma_{S3}$ .....	85
四、钢丝束与管道之间的摩阻引起的应力损失 $\sigma_{S4}$ .....	86
五、混凝土徐变引起的应力损失 $\sigma_{S5}$ .....	88
六、混凝土的弹性压缩引起的应力损失 $\sigma_{S6}$ .....	88
七、钢丝与锚圈口的摩阻损失 $\sigma_{S7}$ .....	90
<b>第七节 施工阶段和运营时期箱梁混凝土及钢丝束的应力计算</b> .....	100
一、钢丝束产生的内力 .....	100
二、混凝土的正应力计算 .....	103
三、各截面钢丝束应力的汇总 .....	103
四、各阶段箱梁混凝土正应力和钢丝束应力的汇总 .....	103
<b>第八节 箱梁混凝土剪应力验算, 主应力抗裂验算, 竖截面强度计算</b> .....	113
一、箱梁混凝土剪应力验算 .....	113
二、主应力抗裂验算 .....	123
三、普通箍筋的配置计算 .....	125
四、竖截面抗弯破坏安全度计算(强度计算) .....	127
<b>第九节 挠度计算</b> .....	130
一、弹性挠度计算方法 .....	130
二、徐变挠度的计算方法 .....	132
三、几项规定和说明 .....	133
四、结构自重引起的弹性挠度和徐变挠度 .....	136
五、预应力引起的弹性挠度和徐变挠度 .....	142
六、活载引起的挠度 .....	161
七、挠度总计和预留拱度的设置 .....	162
<b>第十节 局部构件计算</b> .....	162
一、桥面板的计算 .....	162
二、永久支座的计算 .....	163
三、箱梁 0* 块临时锚固计算 .....	167
<b>第十一节 日照温差引起的内力及预应力钢丝束产生的徐变内力</b> .....	168
一、日照温差引起的内力计算 .....	168
二、预应力钢丝束产生的徐变内力计算 .....	171
三、对日照温差应力及预应力钢丝束引起混凝土的徐变应力的组合与分析 .....	173
<b>第十二节 对设计中一些问题的讨论</b> .....	173
一、关于箱梁的构造 .....	173
二、预应力损失 .....	174
<b>第三章 预应力混凝土箱形连续梁的施工</b> .....	177
<b>第一节 施工方案与施工设备</b> .....	177
一、施工技术方案的施工程序 .....	177
二、施工机具调配 .....	177
三、大型设施 .....	177
四、工地布置 .....	181

五、施工进度	181
六、施工组织	184
第二节 施工工艺	185
一、墩上永久支座安装与临时支座制作	185
二、施工支架	188
三、模板制作与安装	191
四、钢筋及预应力管道	193
五、钢丝束编制和穿束	195
六、浇筑混凝土	195
七、箱梁冬季施工和混凝土养护	197
八、边跨直线段施工	199
九、跨中合拢段施工	200
十、挠度控制与分析	203
十一、桥面施工	206
第三节 张拉工艺及管道压浆	207
一、张拉设备	207
二、油压表及千斤顶的校验	209
三、锚具	211
四、钢丝束张拉	212
五、管道压浆	215
第四节 关于顶锚时, 大缸应不应该回油的探讨	216
一、纯顶锚试验	216
二、实际张拉钢丝顶锚试验	217
第四章 试验和测验	220
第一节 材料、机具性能试验	220
一、临时支座硫磺砂浆夹层的试配	220
二、钢丝束管道水泥浆配合比选择	221
三、高强钢丝的试验	222
四、锚具试验	224
第二节 施工阶段应力及竣工后车辆荷载作用下应力、挠度的测验	228
一、各施工阶段张拉钢丝束引起的应力测验	228
二、局部应力实测	231
三、竣工后车辆荷载作用下应力、挠度观测及横向偏载增大系数	233
四、箱梁底板底面裂纹的观测	237
五、运营阶段跨中挠度与桥墩沉陷观测	238
附录一、变截面连续梁影响线及活载内力电算程序	240
附录二、徐变内力公式推导及支座沉陷量的确定	260
附录三、底板局部应力计算及锚下混凝土局部应力验算	264
附录四、地震力计算	271



# 第一章 工程概况

## 第一节 桥址自然条件

### 一、桥址上、下游情况

洛河属于海河流域滏阳河系，发源于河北省太行山西麓，主要由南洛河、北洛河汇集而成。总汇水面积2300平方公里。桥位上游为山前区河段，两岸多为砂粘土，砂质河床；河床纵坡约为1‰；桥位处南岸为粘土陡坡，北岸为粉砂土缓坡，河道弯曲，河床不甚稳定，冲淤变化较大。洛河河道原本窄狭，经1913、1917年两次大水，河床冲宽冲深，在桥位下游河北铺与临洛关之间，洪水向北扩宽120米，1963年洪水又向北扩宽100米。洛河在桥位下游进入平原区，河道逐渐淤塞变窄，洪水时期泛滥很宽，最后汇流入滏阳河。洛河属于季节性河流，每年七、八月间为洪水季节，其余月份水流枯竭。

桥位下游80米为旧公路，建有2孔4米木便桥，每年汛前拆除，汛后搭建，造成汛期严重阻车现象。

桥位上游150米处有铁路桥两座，即铁路上、下行桥，相距100米。上行桥建于1902年，1910年、1913年、1917年先后被冲毁三次，解放战争时期被敌人破坏，解放后修复成2孔30米和12孔20米。下行桥于1959年建设成为16孔20米上承式钢板梁桥。1963年由于上游小水库倒坝十余座，造成特大洪峰，大树堵孔，水漫梁顶，导致上、下行桥大部桥墩冲倒，部分钢梁冲走。水害后，进行修复，下行桥改建为2孔29.8米下承式钢板梁桥及13孔20米上承式钢板梁，上行桥按原孔修复。

洛河上游新建水库计有口上水库、东风水库，设计标准较低，规划中的尚有大洛远水库及马会水库，皆未建成，上述水库在水文计算中均未考虑。

### 二、桥位水文

#### (一)流量、流速计算

洛河临洛关水文站，有连续水文资料23年（1951~1973年），间断水文资料6年（1921~1949年），洪水调查8年（其大小顺序为1963、1917、1913、1853、1924、1929、1939、1956年），其中1963年洪峰流量12300立方米/秒，相当于300年一遇，按数理统计结果：

$$Q_0 = 876 \text{米}^3/\text{秒}, C_V = 1.875, C_S = 4.42,$$

$$Q_{1\%} = 8180 \text{米}^3/\text{秒}, \text{做为设计流量。}$$

$$\text{设计洪水位 } H_{1\%} = 65.03 \text{米}$$

$$\text{设计流速 } V_P = 4.33 \text{米/秒}$$

#### (二)壅水、浪高

$$1. \text{壅水 } \Delta z = 0.18 \text{米}$$

$$2. \text{浪高 } h_0 = 0.24 \text{米}$$



3. 计算水位  $H = 65.03 + 0.18 + \frac{0.24}{2} = 65.33$  米

### (三) 冲刷

1. 一般冲刷  $h_p = 12.2$  米

2. 局部冲刷  $h_b = 2.86$  米

局部冲刷标高 =  $65.03 - 12.2 - 2.86 = 49.97 \approx 50.00$  米

3. 冲刷系数  $P = 1.32$  (符合《公路桥涵设计规范》规定 1.2~1.8)

## 三、河床地质

在1975年1月初步设计时,曾在桥位处钻有4孔,地质分层不明显,技术设计时仅选用了两孔(5\*、6\*),并又钻了4孔(1\*~4\*)。根据钻探结果分析桥位处地质为第四纪近代冲刷层,上部主要是中细砂(主河槽为中砂,两侧为细砂),厚4.6~11米,下部为次生黄土质亚粘土,并夹有中细砂层,属于近期洪水冲淤层。桥位地质剖面见图1-1。

## 四、地震调查

1966年3月22日,河北省邢台地区发生强烈地震,地震中心在宁晋县的大曹庄、尧台、贾家口、东旺一带,距桥址90余公里。据中国科学院地震考察队宏观调查报告及中国地震目录附图(科学出版社第三、四册合订本),洛河桥桥位处为烈度七度地震地区。

据现场调查,当时地震时在桥位上游约一百米河道中心,出现一个沉陷圈及一些不规则裂缝;缝宽约3~4厘米,沉陷圈里出现许多水泡,直径4~5厘米,并喷出黑砂及黑水,汇集成流,形成宽约4~5米的水流,黑水流了近一小时,临洛关的古老房屋有局部倒塌现象。

1976年7月28日,唐山、丰南一带发生地震时,洛河桥工地仅看到电灯泡摇摆,震力没有上次邢台地震影响大。

邯郸地区地震队介绍该地区历史最大震级为5.5级,据国家地震局资料,认为邢台地区在今后100~200年内,9~10烈度地震发生的可能性很小,重破坏地区基本烈度可按8度考虑,其他地区可作7度考虑。

设计时,邯邢基地交通建设指挥部确定洛河桥按7度设计,唐山地震后,洛河桥施工时,通知按8度烈度验算,以便加强防震措施(地震力计算见附录四)。

## 第二节 桥型与桥梁结构

### 一、桥型方案

初步设计原为18孔20米T形简支梁桥,但T型刚构梁的根部较高,不适宜洛河宽浅河槽,因此,确定采用预应力箱形连续梁方案。连续梁施工,墩上需要两个临时支座,曾考虑采用两个薄壁墩,作为上部与下部连接而按悬臂吊装施工,但又考虑到洛河漂浮物很多,两薄壁墩间,易受漂浮物堵塞,造成水害(铁路桥已有这种经验),因而未被选用。采用了高桩承台重力式墩身。连续梁跨径根据洛河河槽宽浅的特点,两端引道不宜过高,跨径不宜太大,决定中跨采用45米,边跨采用30米,根据当时材料供应情况和施工条件,确定只做一段

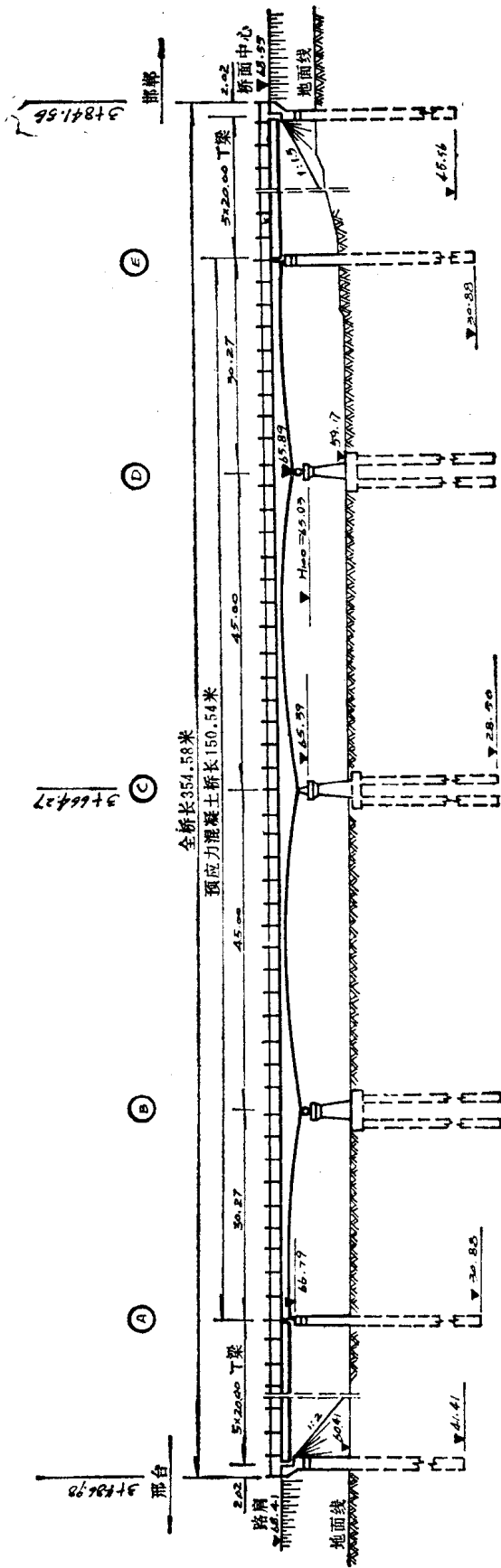


图 1-2 桥梁总体布置

预应力连续梁，桥长 150 米，为便于排泄洪水，置于河槽中段，其他仍为普通钢筋混凝土 T 形筒支架桥。连续梁孔数原曾考虑三孔一联，为了取得跨中合拢经验，决定采用 4 孔一联。实践证明，本桥桥型还是比较好的。

原设计上部构造施工方案为分块预制、吊机悬臂拼装，环氧树脂接缝，后因施工设备不足，冬季施工温度低，环氧树脂不易胶结，改为用贝雷活动托架分块悬臂浇筑。

预应力连续梁的下部构造，共有五个墩，其边墩为三柱式钢筋混凝土灌注桩基础，桩柱直径 1.2 米，入土深 28.29 米，桩柱间距 4.4 米。三个中墩，每个墩的基础为 8 根直径 1.2 米的混凝土灌注桩，入土深 30.67 米，基础桩顶上设置厚 1.5 米的承台，墩身为重力式，桥梁总体布置及横截面见图 1-2 和图 1-3。

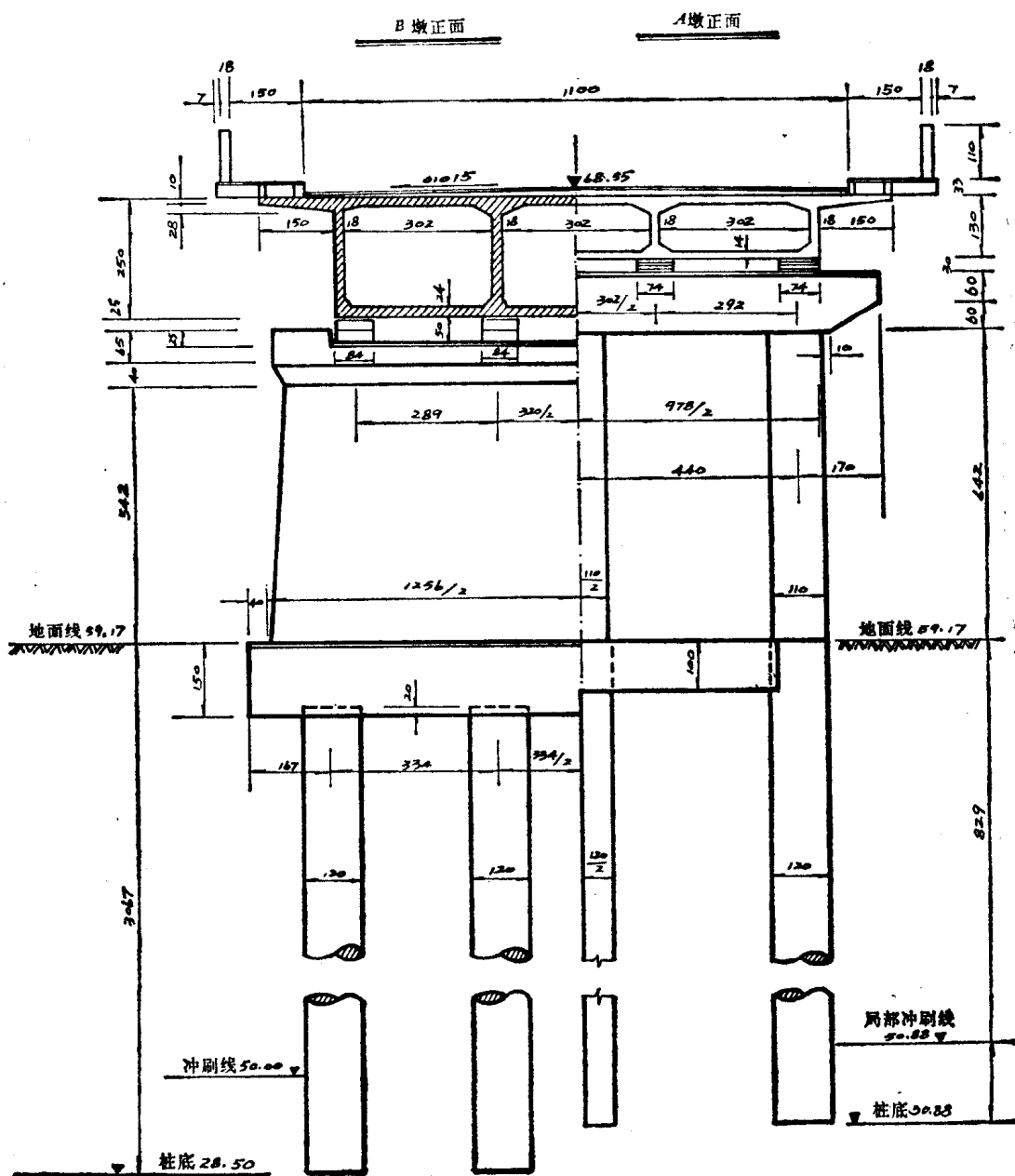


图1-3 桥梁横截面

## 二、桥梁上部结构

### (一)上部结构主要尺寸的拟定

#### 1.主跨径拟定

洛河预应力连续梁桥，中跨跨径定为45米，边跨径根据国内外的经验一般为0.5~0.75倍中跨径，因此决定采用0.666倍中跨径，即等于30米，全联主跨径为：

$$30\text{米} + 45\text{米} + 45\text{米} + 30\text{米} = 150\text{米}$$

#### 2.顺桥方向梁的尺寸拟定

(1) 支点处梁高，一般大跨径变截面连续梁支点处梁高与中跨径之比为1/20左右，本桥跨径较小，只45米，支点处梁高与中跨径之比，采用1/18，支点处梁高为2.5米。

(2) 跨中梁高，一般跨中梁高为支点处梁高的1/2，考虑到边跨直线段梁高应与跨中梁高相等，而边跨直线段与T形梁相接，T形梁高1.30米，因此决定边跨直线段及跨中梁高均采用1.30米，以便相互配合，接近支点梁高的1/2。

(3) 梁底曲线，采用二次抛物线。

#### 3.横桥方向梁的尺寸拟定

箱梁顶板宽为12.78米，与T形简支梁同宽，其余横截面尺寸，参照国内修建的T形刚构桥采用四肋三箱，顶板净跨3.02米，顶板厚度18厘米，底板厚由桥墩处24厘米，向跨中逐渐减薄，到跨中为14厘米。

梁的主要尺寸见图1-4、1-5。

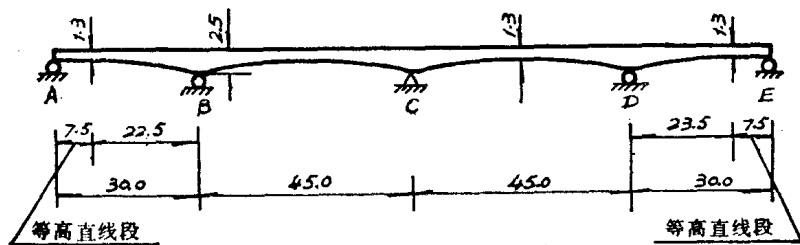


图1-4 纵断面图

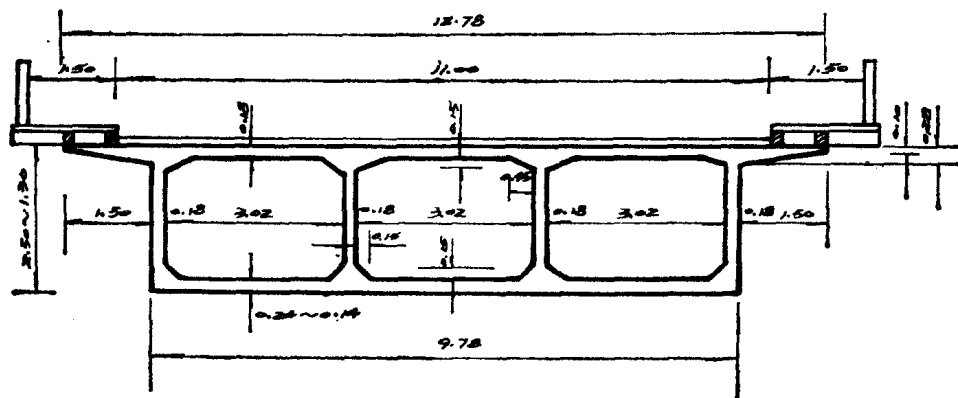


图1-5 横断面图

### (二)块件划分

首先决定桥墩上0号块件的长度和跨中合拢段的长度，0号块件的长度要考虑布置两侧临时支座和锚杆以及悬臂吊机所需要的长度，本桥决定采用4.5米，跨中合拢段的长度考虑



浇筑合拢段时间不要过长，一般在三、四小时，因此合拢段不宜太长，又能方便操作，如安装模板、布置钢束管道等，所以也不宜太短，本桥采用2米。

在半跨中扣除  $1/2 \times (0 \text{号块件长度} + \text{合拢段长度})$ ，即为块件划分总长度，在这个长度内先作  $n$  等分长度，计算每个块件实际重量，在长度与重量坐标轴上，绘制块件累计重量曲线如图1-6。

分块长度决定于悬臂吊机能力，本桥吊机起吊能力为40吨，则在重量坐标轴上，每量取40吨作水平线交于重量累计曲线，然后引垂线交长度轴，便得分块长度。

这样得出分块长度，每块不同，施工不便，因此要进行调整，把块件分成几批，使每批块件分块长度相同，而每块重量不超过吊机能力，可取每批块件中最短长度为统一长度，本桥分两批，靠近桥墩处四个块件，每块件长2.5米，后三个块件，每块件长3.05米。

施工时将悬臂拼装改为贝雷托架悬臂浇筑时，取消湿接缝，1\*块件长度改为2.60米。

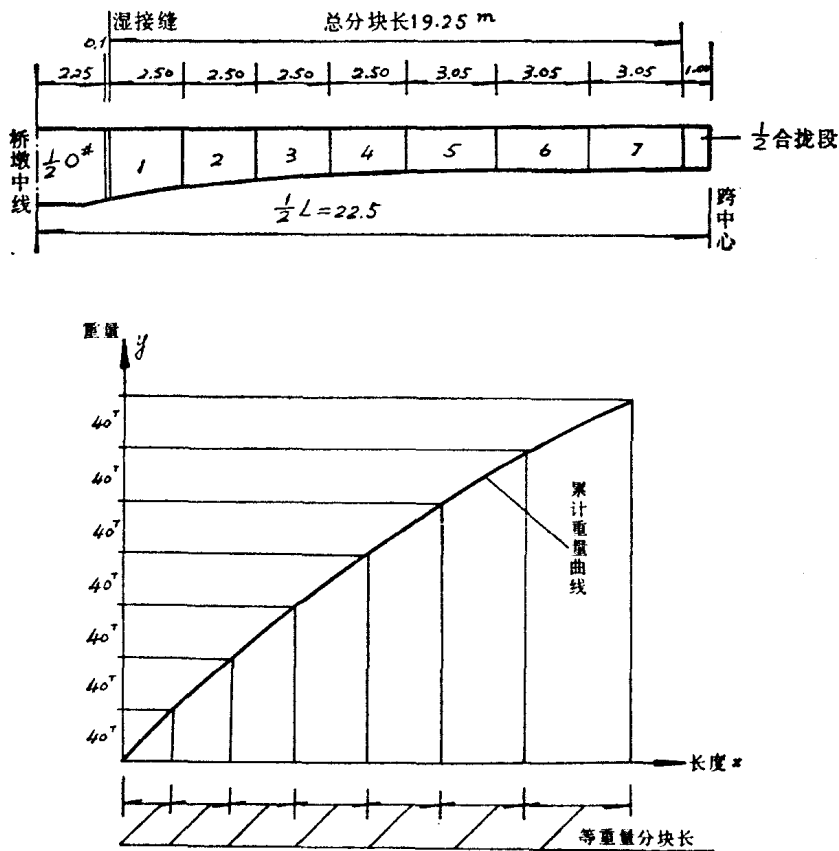


图 1-6

### (三) 预应力钢丝束布置

根据各个截面内力所配置的钢丝束，B、D墩上的负弯矩束（I组束）各为72束（见图1-7），C墩上的负弯矩束为80束。AB、DE边跨顶板不对称负弯矩束各有6束（II组束）。AB、DE跨正弯矩束（III组束）。各有42束。BC、CD跨正弯矩束（III组束）各有58束，见图1-8。各组束的纵向布置见图1-9、1-10、1-11，钢丝束平面布置见图1-12、1-13。

(四) 钢丝束锚固端顶板加厚、底板加厚、顶板 III<sub>N</sub> 槽口构造大样详见图1-14。

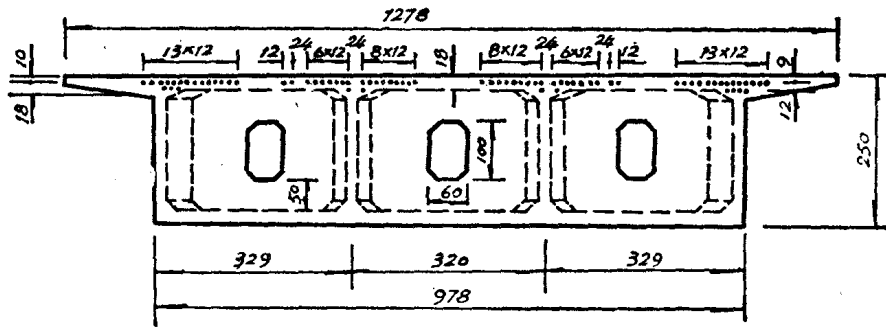


图 1-7

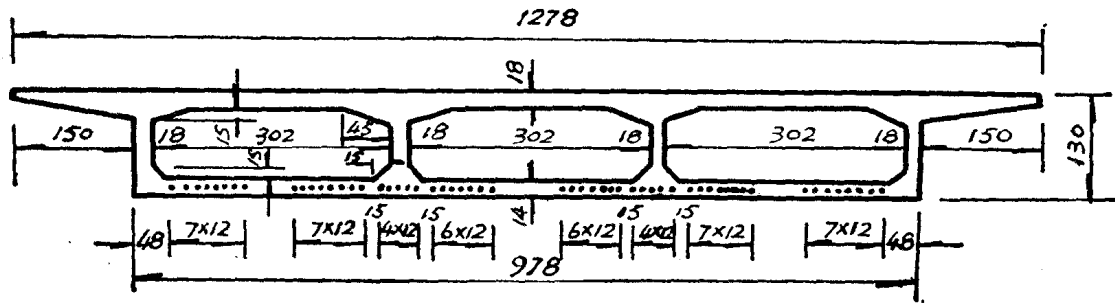


图 1-8

### 第三节 主要材料、机具数量及造价

#### 一、主要材料指标及数量

##### 1. 上部构造

T形简支梁-250号混凝土，受力钢筋用A5螺纹钢及A3圆钢筋。

预应力梁-400号混凝土，预应力筋采用24根 $\phi 5$ 高强钢丝，弗氏锥形锚具，钢丝抗拉极限强度为16000公斤/厘米<sup>2</sup>，非预应力受力钢筋，采用A5螺纹钢。构造筋采用A3圆钢筋。

人行道、栏杆-200号混凝土。

桥面铺装-250号混凝土底层，沥青混凝土磨耗层厚2厘米。

##### 2. 下部构造

灌注桩、柱-200号混凝土；

承台-250号混凝土；

墩台-200号混凝土；

墩帽-250号混凝土；

永久支座-45号铸钢。

主要材料数量

表1-1

材料名称	工程项目	预应力连续梁 (长150.54m, 宽12.78m)			T形梁 (长204.04m, 宽12.78m)	人行道、栏杆、桥面铺 装, 防护工程及其它	合计
		上部	下部 (包括支座)	小计			
400*混凝土 (m³)		854.4	1.9	856.3			856.3
250*混凝土 (m³)			442.7	442.7	857.6	390.0	1690.3
200*混凝土 (m³)			1469.0	1469.0	835.9	190.8	2495.7
沥青混凝土 (m³)						78.0	78.0
φ5高强钢丝 (T)		39.4		39.4			39.4
45*铸钢(支座) (T)			11.3	11.3			11.3
45*钢(锚头) (T)		5.3		5.3			5.3
铅板 (T)			0.4	0.4			0.4
锌铁皮 (T)		1.0		1.0	0.4	0.1	1.5
A3及A4钢材 (T)		90.7	44.3	135.0	234.2	20.4	389.6
钢材小计 (T)		136.4	56.0	192.4	234.6	20.5	447.5
机具、设备用钢 (T)							71.5
钢材总计 (T)							519.0
水泥 (T)		(包括临建工程)					2631
木材 (m³)		(包括临建工程)					843

预应力箱梁上部钢材每平方米70.9公斤(不包括机具、设备用钢)

二、主要机具数量

表1-2

机具名称	数量	机具名称	数量
85 <sup>T</sup> 三作用千斤顶	10台	轻型钢轨	2500米
LYB610高压油泵	5台	1~5吨卷扬机	17台
空压机	1台	50KW、84KW发电机	2台
灰浆泵	1台	180~320KW变压器	4台
钢门架	1付	250~400公升混凝土拌合机	6台
钢木门架	2付	蒸汽锅炉及设备	1套
3 <sup>T</sup> 、16 <sup>T</sup> 吊车	2台	75KW对焊机	1台
贝雷架	200片	21~30KW电焊机	8台

三、桥梁造价

(一)全桥总投资241.9万元(包括接线路基土方, 导流防护工程, 张拉设备, 实验费等)。

(二)全桥主体造价230万元(减去路基土方11.9万元), 按全桥长354.58米计, 每米造价6500元, 其中预应力连续梁每米造价9540元, 每平方米造价681元。