

C144828
1474

城市高架桥的结构理论与计算方法

黄剑源 谢 旭 著

科 学 出 版 社

2001

内 容 简 介

本书介绍了城市直线高架桥与曲线高架桥空间结构分析中的理论计算问题,包括梁理论和板理论两种计算方法。

全书共分 10 章,主要内容包括城市高架桥的结构形式与构造特点,薄壁直线梁的空间结构分析,按板理论计算的直线箱梁结构解析法,考虑大曲率影响的薄壁曲线梁解析的一般理论,考虑畸变影响的薄壁曲线梁解析理论,曲线高架桥空间结构分析的刚度法,按板理论解析的曲线箱梁计算方法,以及预应力混凝土曲线梁的空间分析。

本书可供市政、交通、建筑等系统的桥梁设计、科研、教学人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市高架桥的结构理论与计算方法/黄剑源,谢旭著.-北京:科学出版社,2001

ISBN 7-03-007906-X

I. 城… II. ①黄… ②谢… III. ①高架桥结构-理论 ②高架桥结构-计算方法 IV. U448.28

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 63489 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2001 年 3 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

2001 年 3 月第一次印刷 印张:9 1/4

印数:1—2 300 字数:234 000

定价:25.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

城市高架桥工程和立交枢纽工程是解决现代城市交通问题的有效途径。当前,随着我国经济建设和对外开放的迅速发展,城市高架桥和立交桥的形式和构造日趋复杂多样,如上海南浦大桥、杨浦大桥跨越黄浦江的两岸高架引桥和天津市中山门立交枢纽都建造了空间螺旋形曲线箱形高架桥;北京市西厢工程菜户营立交枢纽是由 23 座各种类型桥梁组成的大型立交桥群,具有独柱式点支承和曲线、斜交的特点;青岛市建造了两座三跨一联预应力混凝土曲线斜支承格子箱形梁桥;天津市中山门高架桥还建造了主桥与匝道桥连接块的异形结构。其他如大连市香炉礁高架立交桥、深圳市华强立交枢纽、京津塘高速公路徐庄子高架桥、长春解放西路高架桥也都建设了弯、坡、斜的结构,其中还出现了既是宽、扁、平,又是大曲率的单箱多室的异形变宽桥与叉道桥结构。

为了适应城市高架桥工程和立交枢纽工程今后积极参与建设的发展需要,我们撰写了本书,供市政、交通、高等院校、科研等系统的学者和工程技术人员参考。

本书系国家自然科学基金资助项目的研究成果,主要研究城市高架桥空间结构分析中的理论计算问题,以及相应的结构分析程序,采用梁理论和板理论两种计算方法。与板壳有限元方法相比,它的特点是结构计算简便,节点处理灵活,自由度数目及数据处理量均大为减少,且程序简单,是在工程设计中最容易被接受的方法之一。

我们的研究工作得到了国家自然科学基金委员会的支持以及国内相关设计院、研究院、高等院校的帮助,对此表示衷心的感谢。我们同时向审阅本书的专家、教授与一起参加国家基金项目的研究生致以深深的谢意。

全书共分 10 章,其中第 3、4、5、6、8 章与各章计算程序由谢旭撰写,第 1、2、7、9、10 章的撰写与全书汇总整理工作由黄剑源承担。由于我们水平有限,书中不免有谬误之处,敬请读者惠予批评指正。

作者

2000 年 1 月

主要符号

A	断面面积
A_n	积分常数, n 为顺序号
$B = \int_A \sigma \omega dA$	开口断面翘曲双力矩
$B(B_I) = \int_A \sigma \hat{\omega} dA$	闭口断面翘曲双力矩
$B_D = \int_A \sigma_D \omega_D dA$	畸变翘曲双力矩
D_u, D_v	箱梁断面畸变位移系数
E	弹性模量
$e()$	两特征点间距离
$F = \frac{1}{2} \oint \rho ds$	箱形断面壁厚中心线所围面积
f_{ij}	柔度系数
f	箱形断面无量纲翘曲函数
$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$	剪切模量; 形心
I_x, I_y, I_{xy}	对形心轴的惯性矩、惯性积
$I_\rho = \int_A \rho^2 dA$	相对于剪切中心的惯性矩
$I_\omega = \int_A \omega^2 dA$	开口断面扇性惯性矩
$I_{\hat{\omega}} (I_\omega) = \int_A \hat{\omega}^2 dA$	闭口断面扇性惯性矩
$I_D = \int_A \omega_D^2 dA$	畸变翘曲惯性矩
I_R	箱形断面抗畸变的框架刚度

K	扭转常数;刚度矩阵
$I_{\omega D}$	箱形断面畸变翘曲刚度
$k = \sqrt{\frac{GK}{EI_{\omega}}}$	开口断面翘曲扭转衰减系数
$k = \sqrt{\mu \frac{GK}{EI_{\omega}}}$	闭口断面翘曲扭转衰减系数
l	沿形心曲轴梁的跨长
l_s	沿剪切中心曲轴梁的跨长
M_x, M_y	弯矩,当 $M_y=0$ 时 M_x 的下标 x 省略
$M_z(T)$	绕梁剪心轴的扭转力矩
$M_{z\omega}(T_{\omega})$	翘曲扭矩
$M_{S\omega}(T_S)$	纯扭矩
M_D	畸变矩
m_t	沿剪心轴单位长度的匀布扭矩
N	轴向力
P	竖向集中力
p_x, p_y	沿曲线梁剪心轴单位长度的匀布荷载,其中垂向匀布荷载 p_y 有时简写为 p
$q=\tau t$	剪力流
q_D	畸变剪力流
R_G	曲线梁形心轴的曲率半径
R_s	曲线梁剪心轴的曲率半径
R_c	曲线梁 c 点的曲率半径
r	曲线梁形心至断面中心线上点的切线垂矩
r_s	曲线梁剪心至断面中心线上点的切线垂矩
$S_{\omega} = \int_0^s \omega dA$	开口断面翘曲函数 ω 的静矩
$S_{\hat{\omega}} = \int_0^s \hat{\omega} dA$	闭口断面翘曲函数 $\hat{\omega}$ 的静矩
$\bar{S}_D = \int_0^s \omega_D t ds$	畸变翘曲函数 ω_D 的静矩

s	薄壁断面周边线坐标
T^*	作用在梁上的外扭矩
$[T_r]$	转换矩阵
t	壁厚
$\overline{U}_e$	总应变能
u_s	剪力中心在 $+x$ 方向位移
u_t, u_n	切线和法线方向的位移
v_s	剪力中心垂直于曲率平面方向的位移
v_1, v_2	箱形断面内位移
$\overline{W}$	外力势能
W	断面变形时的翘曲刚度参数;
ω_G	形心位置的轴向位移
w	曲线梁中曲面的纵向位移
x_s, y_s	形心坐标系下剪切中心
β (第 4, 8 章)	全体坐标系中 X 轴与局部坐标 x 轴的夹角
β	斜支承偏角; 或 $\beta = \frac{\sigma_{D_1}}{\sigma_{D_3}}$ 箱梁两角点 1, 3 应力的比值
β, β'	外荷载距左、右支座的角度坐标
$\beta = \frac{I_\rho}{I_\rho - K} = \frac{1}{\mu}$	箱梁翘曲剪切参数
γ	剪应变
γ_D	箱形断面畸变角
γ'_D	箱形断面畸变翘曲位移
Γ	泛函
δ	偏心桥墩的节点位移
δ'	一般桥墩的节点位移
Δ_p^I	不考虑翘曲影响由外荷载产生的变形函数
Δ_p^I	考虑翘曲影响由外荷载产生的变形函数或载函数

ϵ	纵向应变
ζ	箱梁翼板最大剪切相对角位移差
$\eta = \frac{1}{1 + (kr)^2}$	无量纲参数
$\theta_x, \theta_y, \theta_z$	转角位移或扭转角位移
ϑ	扭转角率
$\lambda = \sqrt[4]{\frac{I_R}{4I_{\omega D}}}$	箱梁断面变形时的衰减系数
$\mu = 1 - \frac{K}{I_\rho}$	闭口断面翘曲剪切参数
ν	泊松比
$\xi = \frac{\varphi}{\alpha}, \xi' = \frac{\varphi'}{\alpha}$	曲线梁在 φ, φ' 方向的无量纲坐标
ρ	断面中心线上点的切线至剪心的垂距
ρ_D	断面中心线上点的切线至畸变中心的垂距
σ	正应力
σ_D	畸变翘曲正应力
$\tau = \theta + \frac{v}{r}$	曲线梁总的扭转角
Φ	应力函数
φ, ϕ	曲线梁角度坐标, 从左或右支座量起
$\chi = \frac{EI_x}{GK}$	弯曲刚度与扭转刚度比值
$\chi = kl$	结构断面的扭转特性参数
$\psi = 1 - \frac{I_{xy}^2}{I_x I_y}$	非对称断面形状系数
$\psi = \frac{\oint r_s ds}{\oint \frac{ds}{t}}$	箱形断面的扭转函数
$\omega = \int_0^s \rho ds$	扇性面积
$\hat{\omega}$	闭口断面单位翘曲
ω_D	箱梁断面由单位畸变角(或畸变翘曲)产生

	的轴方向位移函数
ω_{Dn}	箱梁断面畸变翘曲主坐标
ω_{ζ}	箱梁断面由单位剪滞变形产生的轴方向位移函数
$\Omega = \oint \rho ds$	闭口断面壁厚中心线所围面积的两倍

目 录

前言

主要符号	viii
------------	------

第 1 章 概论	1
----------------	---

1.1 我国城市高架桥建设的成就	1
------------------------	---

1.2 城市高架桥的结构选型	10
----------------------	----

参考文献	13
------------	----

第 2 章 城市高架桥的几种结构形式与构造特点	15
-------------------------------	----

2.1 概述	15
--------------	----

2.2 曲线预应力混凝土连续箱形梁	15
-------------------------	----

2.3 正交异性板钢连续箱形梁	22
-----------------------	----

2.4 钢与混凝土组合连续箱形梁	25
------------------------	----

2.5 预应力混凝土空心板梁	29
----------------------	----

2.6 异形变宽桥	33
-----------------	----

参考文献	36
------------	----

第 3 章 薄壁直线梁的空间结构分析	38
--------------------------	----

3.1 概述	38
--------------	----

3.2 空间薄壁梁的节点位移自由度及断面位移模型	39
--------------------------------	----

3.3 薄壁直线梁的弯曲变形理论	42
------------------------	----

3.3.1 基本微分方程式	44
---------------------	----

3.3.2 刚度系数	47
------------------	----

3.3.3 等效节点力	50
-------------------	----

3.3.4 与有限元法及实验值的比较	52
--------------------------	----

3.4 薄壁直线梁的扭转变形理论	53
------------------------	----

3.4.1 直线薄壁梁的纯扭转解析理论	54
---------------------------	----

3.4.2 直线薄壁梁的翘曲扭转解析理论	61
----------------------------	----

3.4.3	单元刚度系数	67
3.4.4	在均布扭矩 m_x 作用下的等价节点荷载	68
3.5	考虑畸变影响下的单室箱梁扭转解析	69
3.5.1	荷载分解	69
3.5.2	单室箱梁的畸变位移及扭转畸变基本微分方程	70
3.5.3	单元刚度系数	79
3.5.4	在均布畸变荷载 m_d 作用下的等效节点荷载	81
3.5.5	畸变应力	82
3.5.6	横隔板的刚度及内力	83
	参考文献	84
第4章	按板理论计算的直线箱梁结构解析法	86
4.1	概述	86
4.2	节点的位移自由度	88
4.3	腹板单元的刚度方程	90
4.3.1	四边形单元的局部坐标系同自然坐标系的微分关系	90
4.3.2	单元的位移函数	92
4.3.3	单元的应变矩阵和刚度方程	94
4.4	翼板单元的刚度方程	98
4.5	横隔板单元的刚度方程	103
4.6	算例	105
	参考文献	108
第5章	考虑大曲率影响的薄壁曲线梁解析的一般理论	109
5.1	概述	109
5.2	曲线梁的纯扭转理论	112
5.2.1	基本假定	112
5.2.2	曲线梁的断面特性	113
5.2.3	基本微分方程	115

5.3	曲线梁的翘曲扭转理论	127
5.3.1	开口断面	127
5.3.2	闭口断面	132
5.4	薄壁曲线梁的弯曲正应力和剪切应力	137
5.4.1	薄壁曲线梁的弯曲正应力	137
5.4.2	薄壁曲线梁的弯曲剪应力	138
5.5	薄壁曲线梁的形心主轴	141
5.6	剪切中心	144
5.6.1	开口断面	144
5.6.2	闭口断面	147
5.7	算例	148
5.8	小结	150
	参考文献	150
第6章	考虑畸变影响的薄壁曲线梁解析理论	153
6.1	概述	153
6.2	单室曲线箱梁的畸变位移	153
6.3	考虑畸变位移的单室曲线箱梁解析理论	156
6.4	大曲率曲线箱梁的畸变分析	166
附录	曲线箱梁由单位畸变角 $\gamma_{D1}=1$ 或 $\gamma_{D2}=1$ 产生断面上各点的横向变形	170
	参考文献	178
第7章	薄壁曲线梁系结构空间分析的刚度法	179
7.1	概述	179
7.2	空间曲线梁的局部坐标及位移未知量	180
7.3	薄壁曲线梁翘曲单元的应变能	181
7.4	薄壁曲线梁翘曲单元的空间柔度矩阵	184
7.5	薄壁曲线梁翘曲单元的空间刚度矩阵	191
7.6	考虑翘曲影响的空间等效节点荷载	192
7.6.1	计算原理	193
7.6.2	考虑翘曲影响的空间等效节点荷载	

的求解	205
7.7 验证	205
参考文献.....	209
第8章 按板理论解析的曲线箱梁计算方法.....	211
8.1 概述	211
8.2 单元的坐标系及断面内各节点的位移自由度	213
8.3 腹板单元的刚度方程	215
8.3.1 单元的位移函数	217
8.3.2 单元的应变矩阵和刚度方程	217
8.4 扇形翼板单元的刚度方程	221
8.5 算例	224
参考文献.....	227
第9章 薄壁断面曲线高架桥的空间结构分析.....	228
9.1 概述	228
9.2 结构位移基本未知量及坐标系	229
9.3 节点坐标系下的单元刚度和荷载向量	232
9.4 梁与桥墩之间连接点的位移关系	235
9.5 应用实例	235
9.5.1 薄壁闭口断面曲线高架桥的空间 结构分析	236
9.5.2 薄壁开口断面曲线高架桥的空间 结构分析	239
9.5.3 斜支承曲线连续梁按刚度法与解析法 分析的比较	245
参考文献.....	249
第10章 预应力混凝土曲线梁空间分析的刚度法	251
10.1 概述.....	251
10.2 曲线梁的预加力空间等效荷载.....	253
10.2.1 预应力曲线梁的平衡微分方程.....	253
10.2.2 空间预应力束预加力 F 的矢量表示	255

10.2.3	曲线梁的预加力空间荷载和内力·····	257
10.3	空间曲线预应力束的摩阻和锚固应力损失·····	259
10.3.1	计算方法·····	259
10.3.2	计算实例·····	261
10.4	与实验值及曲线有限条法比较·····	263
10.5	工程应用·····	266
10.5.1	应用实例(一)·····	266
10.5.2	应用实例(二)·····	271
10.6	预设支座偏心改善曲线桥内力·····	273
10.6.1	概况·····	273
10.6.2	用刚臂模拟支座偏心的曲线梁单元 刚度矩阵·····	274
10.6.3	预设支座偏心调整曲线梁桥恒载扭 矩分布·····	277
参考文献·····		278

第 1 章 概 论

1.1 我国城市高架桥建设的成就

我国城市高架桥的建设主要开始于改革开放后的 20 世纪 80 年代,与美国、英国、日本、德国等相比,虽然起步较晚,但随着我国高等级公路、铁路、城市道路和大型立交枢纽的兴建,在短短数年内取得了巨大进展,并收到显著的经济、社会和环境效益。其中规模较大的几座城市高架桥如下。

1983 年建成的广州区庄高架立交桥为国内第一座 4 层转盘式立交(图 1.1)。立交第一层车道宽 15m;第二层在原地面为行人、非机动车环道,宽 3.5~7m;第三层为供机动车转弯的环道,环的内直径为 50m,环道宽 16m,与 7.5m 宽的单行匝道相连;第四层为机动车直行的 23 孔高架桥,桥宽 9.5m,总长 372m。全部立交枢纽工程均为钢筋混凝土结构,除第四层为预制梁外,其余均为现浇。立交的最大纵坡:机动车道为 5%,非机动车道为 0.5%。立交桥下净高为 4.5m^[1]。

图 1.2 为 1986 年建成的天津中山门桥,为互通式蝶形立交高架桥,全长 1411.5m,分为 3 层。下层供非机动车和行人通行,上两层供机动车行驶,做到机、非分行,机动车互通。环线干道一侧设置有 4 个匝道。全桥共 78 孔,其中曲线部分为现浇钢筋混凝土箱形连续梁结构,跨径从 17m 至 25.23m 不等,箱梁高 1.10m,桥面净宽 8.5~12m。下部结构为钢筋混凝土 Y 型桥墩。

图 1.3 为 1988 年建成的北京安慧桥,系机动车和非机动车分行的三层菱形苜蓿叶式立体交叉高架桥。整座立交包括主跨线桥 1 座,非机动车通道桥 18 座,其中主跨线桥上部结构为 7 跨变截面预应力混凝土连续箱梁,其跨径为 $(20+2\times 30+40+2\times 30+$

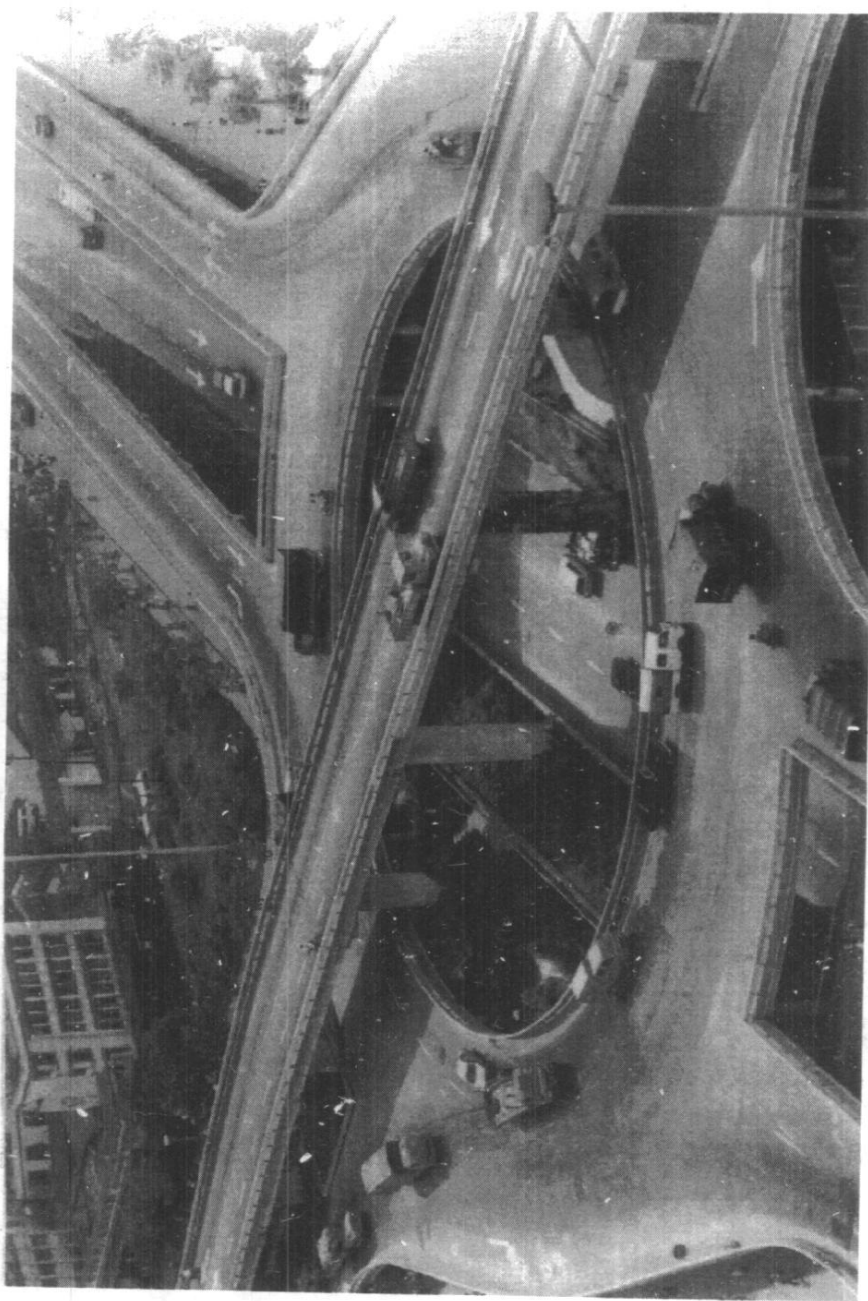


图 1.1 广州区庄高架立交桥

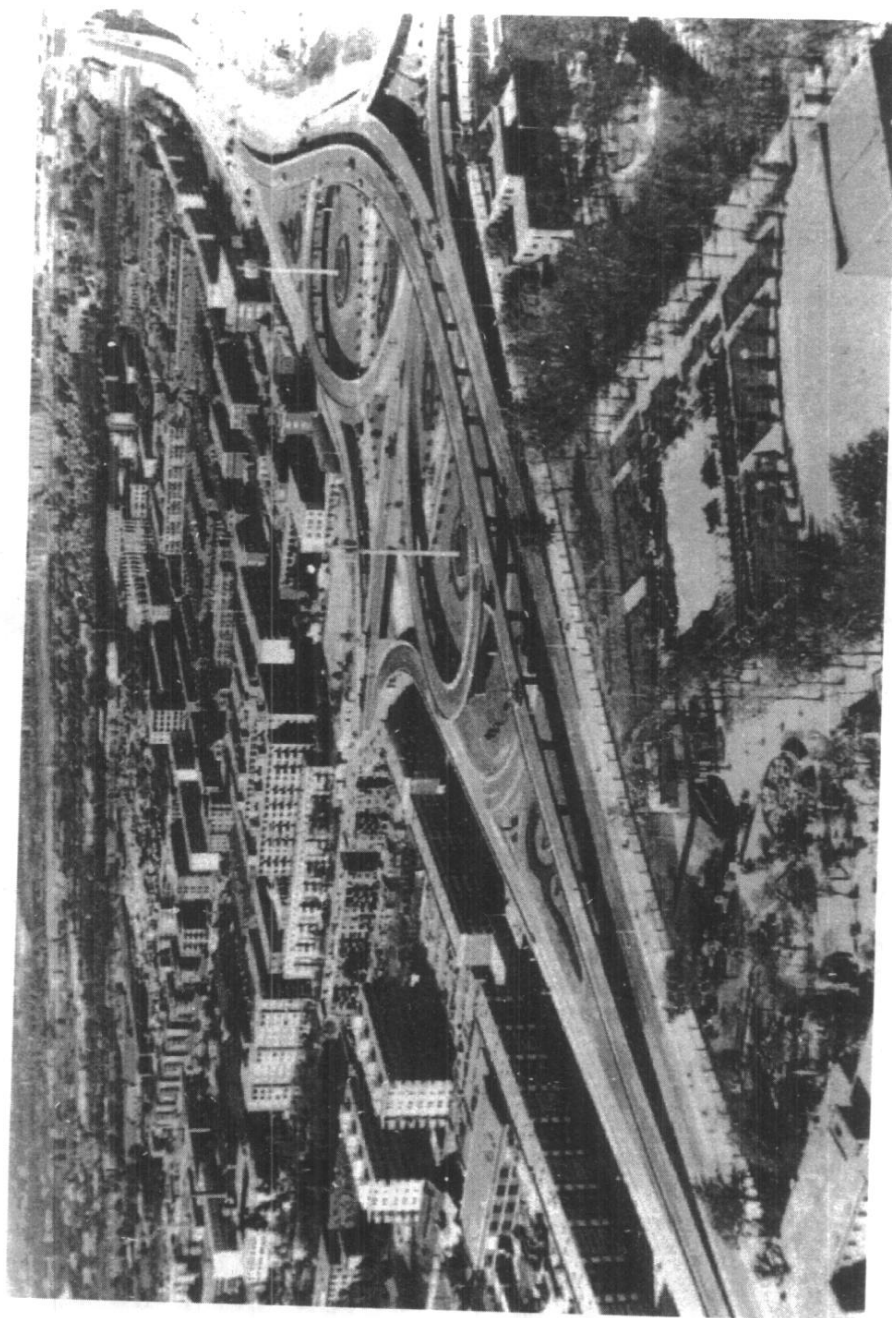


图 1.2 天津中山门高架立交桥