

GANGQIAO

6

〔日〕小西一郎 编

钢 桥



36
01

中国铁道出版社

钢 桥

第 六 分 册

〔日〕小西一郎 编

戴振藩 译

中 国 铁 道 出 版 社

1981年·北京

钢 桥

第 六 分 册

〔日〕小西一郎 编

戴振藩 译

中国铁道出版社出版

责任编辑 王能远

封面设计 赵敬宇

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/16 印张: 14.75 字数: 320 千

1981年8月第1版 1981年8月第1次印刷

印数: 0001—2,000 册 定价: 2.30 元

内 容 提 要

本分册讲述曲线桥、斜桥、平纵联、横联、桥门架及新型支座的构造及设计计算方法,介绍了许多桥梁设计的基本理论,如弯扭理论、正交异性板理论、折板理论、多角形曲线桥理论,有限单元法、有限条元法、连续曲线折板理论、曲线格子梁理论及转换矩阵法等。

本书可供高等院校桥梁专业师生和桥梁工程技术人员参考。

出版说明

本书是一部详细阐述现代桥梁设计理论及设计方法的巨幅著作。原书为日本丸善株式会社1976年版，共四册，分为设计篇及基础篇。前者阐述各式桥梁的设计方法及介绍结构实例，后者着重介绍桥梁设计所用的基础理论及基本资料。

虽然本书是针对钢桥写的，但是本书中所述设计原则及力学分析也适用于同样结构型式的钢筋混凝土桥及预应力混凝土桥。我们深信本书的翻译出版，将有助于我国桥梁事业的发展。

为了及早与读者见面，我们将全书分为11个分册陆续出版。本分册译稿由我社聘请劳远昌教授作了文字方面的校阅及修改。

全书主要内容及分册划分见下页。

原 书	内 容	译 本
设计篇 I	第一章 桥面系构造	第一分册
	第二章 板梁桥	第二分册
	第三章 桁架桥	第三分册
设计篇 II	第四章 拱桥	第四分册
	第五章 斜拉桥	
	第六章 悬索桥	第五分册
	第七章 曲线桥、斜桥 第八章 纵向联结系、横向联结系、桥门架 第九章 支座	第六分册
基础篇 I	第一章 绪论 第二章 荷载 第三章 结构材料 第四章 安全系数、安全度、可靠度 第五章 强度设计法	第七分册
	第六章 构件连接法 第七章 平板理论 第八章 格子梁理论	第八分册
	第九章 屈曲理论 第十章 构件设计	第九分册
	第十一章 抗风设计 第十二章 抗震设计	第十分册
	第十三章 钢结构的安全性、可靠性的统计学方法 第十四章 电子计算机的应用 第十五章 特大桥的架设	第十一分册

目 录

第七章 曲线桥及斜桥

7.1	概述	1
7.2	基本设计中的问题	1
7.3	曲线梁桥的分类	5
7.4	曲线梁桥的结构分析	8
7.4.1	单纯扭转理论	9
7.4.2	弯曲扭转理论	16
7.4.3	正交异性板理论	74
7.4.4	折板理论	75
7.4.5	多角形曲线桥理论	76
7.4.6	有限单元法	76
7.4.7	有限条元法	78
7.4.8	连续曲线折板理论	88
7.4.9	曲线格子梁理论	90
7.4.10	迁移矩阵法	95
7.5	实用计算法	99
7.5.1	M/R 法	99
7.5.2	并列曲线梁桥的实用算法	102
7.5.3	并列曲线 I 形梁桥截面的简易算法	112
7.6	曲线桥的力学特性与设计方面应注意之点	115
7.6.1	挠度的性状	115
7.6.2	弯矩	117
7.6.3	扭矩	117
7.6.4	截面旋转角	118
7.6.5	格子刚度	118
7.6.6	支承条件	120
7.6.7	纵联	122
7.6.8	曲线 I 形梁的翼缘的局部屈曲	124
7.6.9	曲线梁的翼缘有效宽度	126
7.6.10	曲线梁桥的冲击系数	127
7.7	单位用钢量	130
7.8	主梁设计	131
7.8.1	主梁刚度比的拟定	131
7.8.2	腹板高度	131
7.8.3	主梁形式的选择	131
7.9	曲线桥实例	132
7.9.1	曲线 I 形梁桥	132
7.9.2	曲线箱梁桥	139

7.10 斜桥的结构分析	139
7.10.1 斜支箱梁桥的结构分析	140
7.10.2 斜桥的力学性状	152
7.10.3 斜桥的简易算法	155
7.11 曲线桥的动力学性状	157
7.11.1 自由振动	157
7.11.2 汽车行走时的强迫振动	159
7.11.3 曲线梁桥的冲击系数	162
7.12 斜梁桥的设计	163
7.12.1 主梁设计	163
7.12.2 斜桥的横向联系杆件的设计	165
7.12.3 斜桥的混凝土桥面板	166
7.12.4 铁路桥的主结构间距	167
参考文献	168
第八章 纵向联结系 横向联结系 桥门架	172
8.1 概述	172
8.2 设计计算	173
8.2.1 纵联	173
8.2.2 端横联	178
8.2.3 制动架(制动桁架)	178
8.2.4 根据空间结构分析的设计合理化	179
8.3 构造方案	192
8.3.1 纵联的构造	192
8.3.2 横联的构造	203
8.3.3 桥门架的构造	212
参考文献	215
第九章 支座	216
9.1 前言	216
9.2 支座的功能及发展	218
9.3 钢支座	220
9.3.1 优质钢支座	221
9.3.2 强化钢支座	221
9.3.3 防锈焊接钢支座	221
9.3.4 改进的防锈焊接钢支座	221
9.4 合成橡胶支座	222
9.5 氟素树脂支座或PTFE支座	223
9.6 用多种材料的支座	224
9.6.1 氯丁橡胶盆形支座	224
9.6.2 Neotopf滑动支座	225
9.6.3 点摇滑动支座	226
9.6.4 弧形滑动支座	226
9.7 支座的安装	227
9.8 结论	227
参考文献	228

第七章 曲线桥及斜桥

7.1 概 述

由于人口集中化及摩托化急剧发展的原因,在先进国家及发展中国家的大城市中70年代的交通事业处于一种令人难以乐观的状况。为了改善这种现状,城市高速公路的兴建与城市范围内的进一步发展一并兴盛起来。在日本,以东京及大阪为中心的高速公路网已经成为相当齐备的状态,正在广阔的范围内进一步拟建新的线路。城市高速公路与平面街道立体交叉(译注—以下简称立交)成为两层乃至三层的高架公路,这种设计可以得到效率良好的交通状态。因为与步行者完全分开所以它也是一项积极的交通安全措施。因此,城市高速公路成了高架结构物的连续体。

近年来,在公路的线形设计中,多半优先考虑交通工程方面的问题来决定路线形状,因此结构物及桥墩大多必须配合线路形状来设计因而具有异形的几何形状及支承条件。于是在斜坡及立交枢纽附近的结构物必须支承曲率较大的曲线状路面。

还有,在平面街道中将过密的交叉点改成立交,新增立体迂回侧线等等,都有助于改善交通事态。

在这些路线部分已普遍地出现了所谓曲线桥和斜桥形式的桥梁。特别是曲线桥,它具有优雅的结构美,尤其在跨长与宽度比较大的曲线部分,它是不可缺少的结构形式。

这样一来,今日的桥梁技术人员,对于具有曲线桥及斜桥那样的异形几何形状的桥梁结构,熟知其特殊的问题及措施乃是十分重要的。

在本章中,指出关于曲线桥及斜桥的问题,提出针对它们的实际解决办法。

7.2 基本设计中的问题

因为这种桥梁是公路体系的一部分,所以它的基本设计就与线路的规划设计相互关联。

在这里,首先讨论在线路的规划阶段中结构技术人员必须注意的某些问题。

曲线桥及斜桥的基本设计与公路的计划及设计具有密切的关联性。在高速公路出现以前的时代,桥梁的基本设计领先于公路的设计。因此桥梁专门是直线结构,普通设计成沿着桥轴垂直的方向支承的。而且通向公路的引桥多半是急剧而曲折的。自从进入高速公路时代以后,交通工程及公路计划人员一边考虑经济效果、社会意义、行政背景与建设费用和维护费用的相关性,一边制订基本路线计划。在进一步具体的线形设计中,专门重视汽车的行驶性。由于路面的几何形状与过密的建筑地带及平面街路等的当地条件等等,结构物的基本设计显著地受到限制。但是,桥梁技术人员很好地克服了这样的严格的条件,在曲线桥及斜桥的设计、制造和架设中最近正在迅速地进步。

在这里,首先对高速公路的设计原则作简单的叙述,然后论述在这些桥梁设计中特别是结构物的中心线的拟定等理论应该怎样考虑。

高速公路的交通效率首先根据交通容量而定。可是这样交通容量是由线路内的狭口地带来决定的。对于可以考虑为狭口的路桥交汇处的斜坡及立交枢纽的设计,应该给予最谨慎的注意。不然的话,就会成为造成一般公路部分浪费的设计。所以对于在这样的地点设置的构筑物,在设计中必须特别考虑桥梁与公路的相关性。

在高速公路的设计中,交通安全问题乃是一个重要点。例如,高速高架公路的宽度不够时,司机高速运转就容易发生事故。还有当高架结构的桥墩过多又做得过大时,平面街路的使用,就会发生障碍,所以必须预先考虑。

高速公路的设计大致可以分为两类:一般公路部分,和立交枢纽和路桥交汇处的斜坡那样的路线分岔部分。因为对于两者的设计原则不同,所以必须各别地处理。所以相应的桥梁结构物在基本设计的处理上也与一般公路部分及分岔部分不同。

一般公路部分的几何形状各项参数,在经济许可范围内,必须按照在设计速度下能保证行驶安全性来决定。现在假定设计速度为 V (公里/小时),则最小曲线半径:

$$R = \frac{1}{127} \frac{V^2}{e + f} \quad (7.1)$$

其中 f 表示轮胎在路面上的横滑摩擦系数,约为0.1~0.16; e 为超高。图7.1为最小曲线半径的推荐值。在市街部分因为设计速度小些所以曲线半径一般也可小些。

线路的水平曲线采用最小半径为式(7.1)的圆曲线或回旋曲线(Clothoid)。即使在路线的回旋曲线的情况下,按照结构物通常设计成沿着一条具有在它的跨度内的平均曲线半径的圆曲线的形状。

在城市之间的市际高速公路中,因为设计速度很大,所以曲线半径很大与其说是曲线桥问题还不如说是斜桥问题。而在城市高速公路中,设计速度为50~60公里/小时,多为曲线半径相当小的曲线桥。

考虑到在曲线部分的行驶安全性,就加上超高。普通在市际高速公路中超高为0.08~0.12米/米,在城市高速公路中则为0.05~0.08米/米。因此结构物的桥面部分就构成具有与路面一样的超高,它的横截面形状,左右为非对称的。

桥面的车道宽度原则上与其他部分的情况一致。特别是在车道宽度狭小的情况下,在曲线为急弯的部分,就有必要加大其宽度。

路肩部分以按照桥的长度及建设费决定为宜。在中小跨度桥梁中,可以设全宽路肩,可是在长大桥中,因为桥梁部分的工费一般比公路部分大得多,所以设置约1~1.5米宽的路肩较为经济。曲线桥及斜桥属于前者。

在急弯的曲线部分,如图7.2(a)所示,因为栏杆和照明用的柱子以及路面以上的邻接高架结构物等妨碍前方的视距,所以在基本设计的阶段必须予以注意。必须不致因为超高的关系而如图7.2(b)所示,使栏杆及邻接桥墩等侵入建筑限界内。对于视距及建筑限界可以

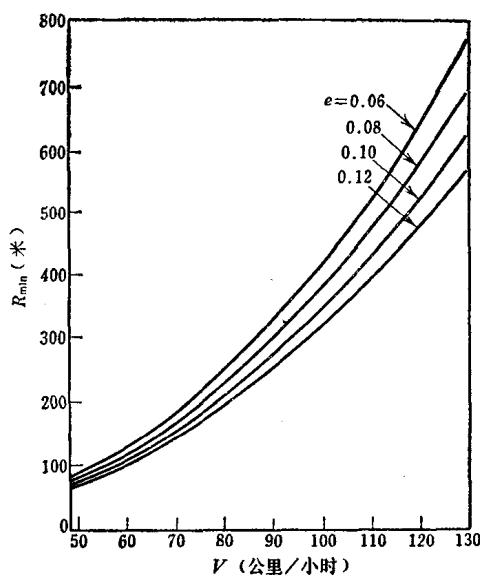


图7.1 最小曲线半径与设计速度的关系

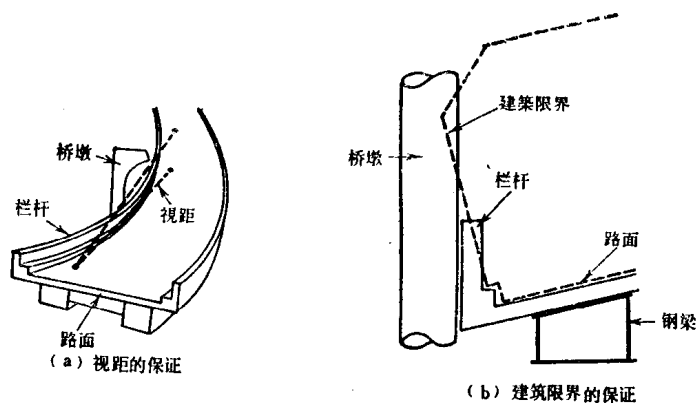


图7.2 基本设计中应注意的事项

参考：（1）日本公路协会的公路构造令的解说及适用（1970年）*，（2）建设省公路局、城市局等的城市高速公路的构造标准（1967年）**。

立交有喇叭式、Y式、菱形式、四叶式及环式等，图7.3为绕线式的立交。在（b）式中主要公路的对向路线位于同一的水平上，将分岔部分集中在中心，用四层的结构支承着。与此相对，在形式（a）中主要公路的对向路线有高程差，在主要公路部分与分岔部分的立交点采用简支曲线桥与简支斜桥。互通式立交的设计主要按照结构工程而不是按照交通工程进行的。但是因为结构物的工程费一般都较高，所以在不损害交通工程的条件下，必须采取工程费尽可能小的解决办法，也就是配有分岔部分的方法。因为图7.3（a）比（b）经济，以选择由排架与简支桥组成的（a）式的方法为宜。

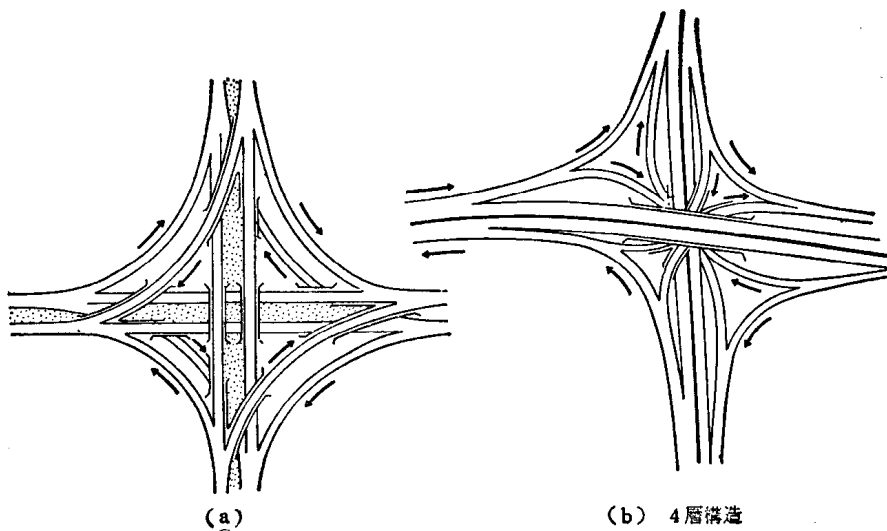


图7.3 互通式立体交叉

在这样的互通式立交的计划设计的最后阶段，从结构工程的观点来判断乃是重要的任务。

图7.4为阪神高速公路的东大阪线与环状线的内本町互通式立交。

为了使分岔部分的占地面积成为最小值，曲线半径就应尽可能地小，所以超高也就很大

*原文为道路构造令の解说と运用（昭和45年）

**原文为都市高速道路の构造基準（昭和42年）

了,并且纵坡度多半也就大。分岔部分的设计速度根据主要公路部分的设计速度如表7.1所定。表中列出了考虑行驶性的理想速度及其有关的曲线半径(假设 $e = 0.10$),以及可能的分岔部分最小速度和在这样的情况下所采取的最小半径。这样一来,因为曲线半径显然很小,所以在分岔部分就采用缓和曲线。结构物中心线按照在缓和曲线区间的两端的曲线半径的大致平均值的曲线半径来拟定。

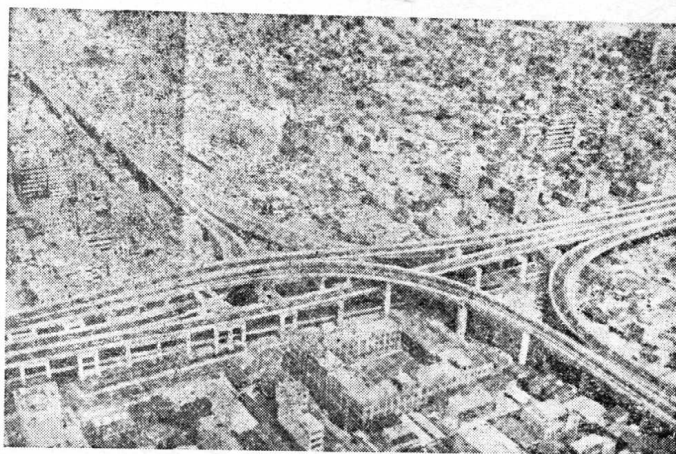


图7.4 东大阪线内本町互通式立体交叉

表7.1 分岔部分的设计速度及曲线半径

主要公路设计速度 (公里/小时)		50	60	70	80	90	100	110	120
分岔部分	理想速度 (公里/小时)	40	50	60	70	75	80	90	100
	曲线半径 (米)	45	75	100	150	180	200	250	350
	最小速度 (公里/小时)	25	30	35	40	45	50	50	55
	最小曲线半径 (米)	20	25	35	45	55	75	75	90

分岔曲线部分的最大纵向坡度应该尽量地小,特别是在交通量过密的城市高速公路中为了防止事故是尤为重要。一般最大纵向坡度与最大超高取表7.2的值。

表7.2 最大纵向坡度与最大超高

状 况	普 通	市 区	积 雪 地 区	特 别 情 况
最大纵向坡度〔%〕	4 ~ 6	3 ~ 4	5	8 ~ 10
最大超高(米/米)	0.06 ~ 0.12	0.10	0.06 ~ 0.08	0.14

对于不考虑让车的单车道情况和考虑让车的情况,以及具有双车道的分岔部分,其有效宽度如表3所示。表中I、II和III系根据以下的线路状况来区分。

表7.3 分岔部分有效宽度 (米)

铺装内侧的曲线半径 (米)	单车道一侧通行不考虑让车			单车道一侧通行, 考虑让车			双 车 道		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
20	5	5.5	6	7	7	8	9	10	11
30	4.5	5	5.5	6	7	7	8	9	10
60	4	4.5	5	5.5	6	7	8	8.5	9
120	4	4.5	4.5	5.5	6	6.5	7.5	8	8.5
∞	4	4.5	4.5	5	5.5	6	7	7.5	7.5

(I) 小轿车为绝对多数,混有若干普通载重汽车的路线。

(II) 普通载重汽车众多, 混有若干拖车的路线。

(III) 长度为13~15米的拖车众多的路线。

在分岔部分一般不设路肩。

即使在市内马路的立交中, 因为半地下式有工费高昂等缺点, 所以多采用高架式。在这样的情况下, 对于市内高架曲线部分的桥墩, 考虑到平面街路、地下埋设物、建筑物等, 就以尽量少为理想; 对于分岔部分, 以架设容易且工期较短的钢曲线梁桥为宜。

在平面街路上的梁下净高必须至少为4.5米, 在铁路上的, 至少为6.5米。在分岔部分的出入口处路面应尽可能地低, 分岔部分的长度要短, 这样分岔部分的工费就少。因此考虑到这些问题以及结构美观等, 梁式比桥架式为好。在这里大都不用曲线桁架桥。

因为在分岔部分连接主要公路部分之处, 结构是枝状, 所以呈复杂的几何形状。图 7.5 为在阪神高速公路湊町互通式立交的分岔部分。

主要公路为四车道, 用三跨连续桥面板曲线箱梁桥支承, 在跨中分岔部分曲线箱梁沿斜向连接着。对于这样的部分, 尤其必须进行严密的结构分析。有限单元法是一种有效的方法。

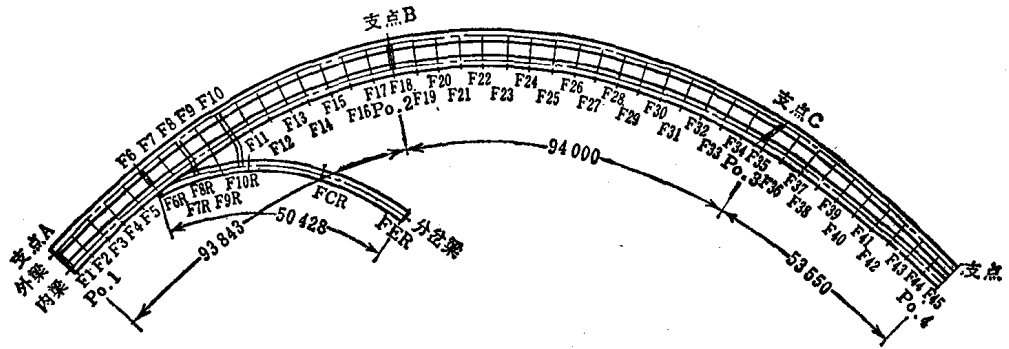


图7.5 湊町互通式立体交叉曲线连续梁

7.3 曲线梁桥的分类

曲线梁桥采用与第二章所述的直线梁桥同样的结构形式。也就是说, 按照横截面形状可分类为 (图7.6): (a) 曲线单箱梁桥, (b) 曲线格子箱梁桥, (c) 曲线格子工形梁桥, (d) 曲线多室箱梁桥等。

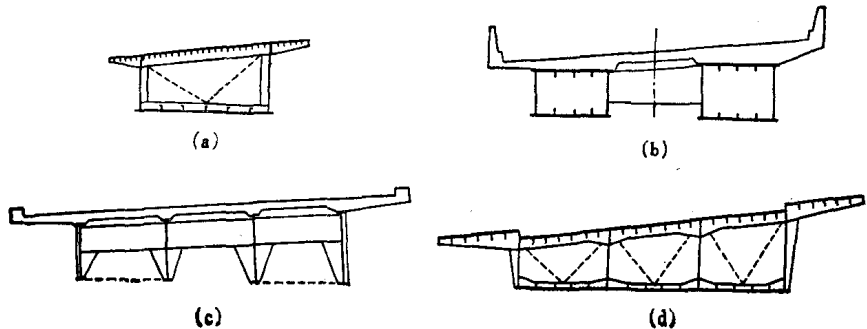
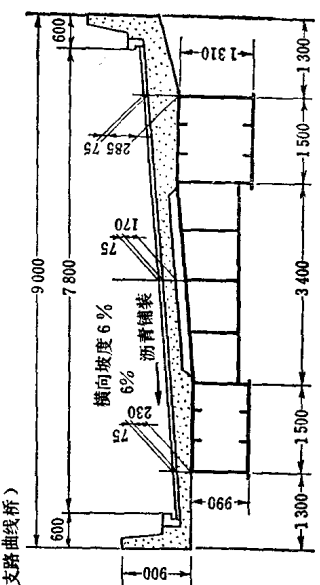
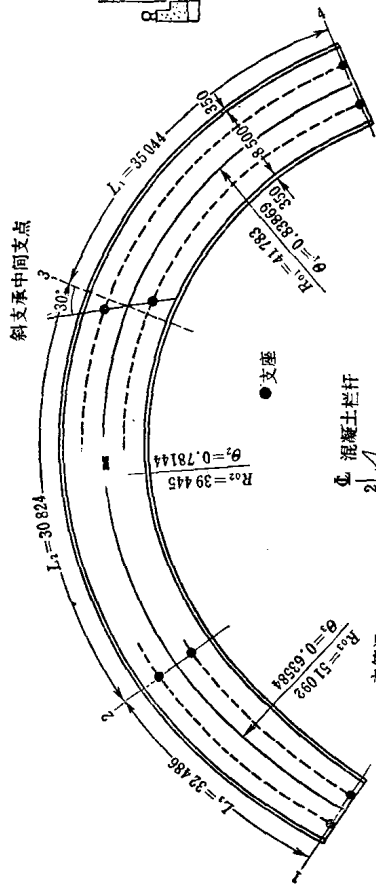
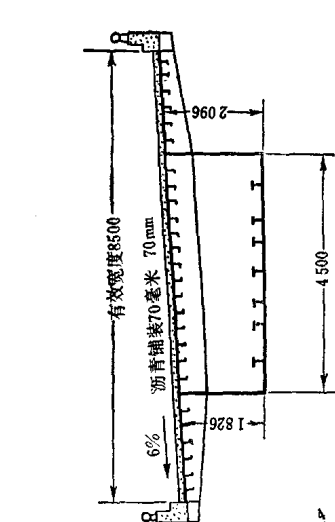
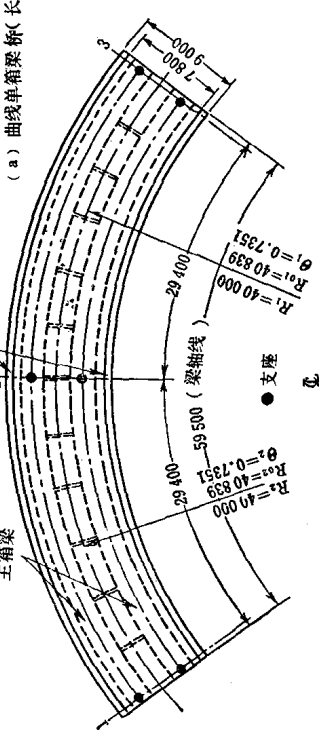


图7.6 曲线桥构造形式

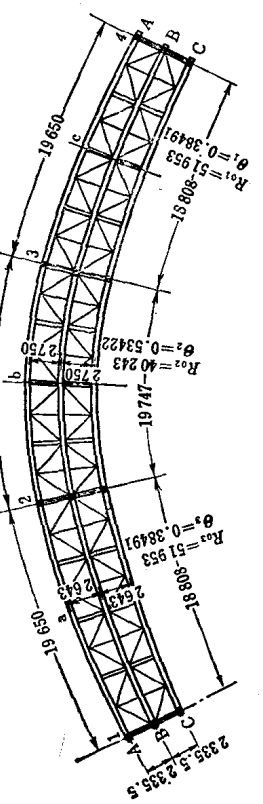
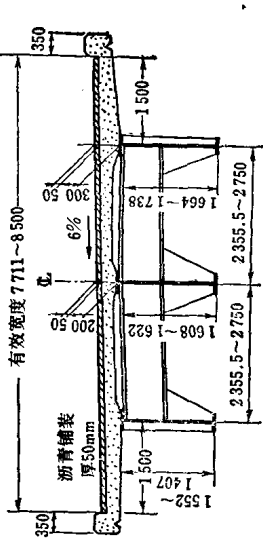
图 (a) 和 (d) 是所谓薄壁闭口截面, 扭转刚度非常大。图 (c) 为薄壁开口截面,



(a) 曲线单箱梁桥 (长柄支路曲线桥)



(b) 曲线格子箱梁桥 (名神高速西互通式立体交叉曲线桥)



(c) 曲线格子I形梁桥 (十三支路曲线桥)

因为各主梁是板梁,所以扭转刚度非常小,但是设置了坚固的横梁而形成格子结构,增大了桥梁截面整体的弯曲扭转刚度。它适用于跨度较小的曲线桥。

当跨度较大且宽度在三车道以上时,就宜用两根以上的并列箱梁,用坚固的横梁作成图(b)的曲线格子箱梁桥。因为路面设置超高,所以内侧腹板较低,外侧腹板较高,一般就成为非对称截面。

曲线桥也与直线桥一样,可分为结合、非结合、钢桥面板、简支、连续、直桥和斜桥等。

图7.7为典型的桥梁实例。图(a)为三跨曲线连续钢桥面板单箱梁桥,建于大阪市长柄侧线的立交点。跨度组合为 $32.486 + 30.824 + 35.044$ 米。各跨的曲线半径不同, $R_1 = 51.092$ 米, $R_2 = 39.445$ 米, $R_3 = 41.783$ 米,都非常小。中间支点成为斜支承。宽8.5米的双车道为单向通行。内侧腹板高1.826米,外侧2.096米,间距4.5米,超高度6%。

图(b)为日本道路公团名神高速公路西宫立交两跨曲线连续非结合箱梁桥,跨度组合为 $29.4 + 29.4$ 米,宽度7.8米,双车道单向通行。内梁腹板高0.99米,外梁1.31米,腹板间距全部为1.5米,超高度6%。横梁跨长3.4米。图(c)为大阪市十三侧线的三跨曲线连续非结合格子I形梁桥。跨度组合为 $19.650 + 21.235 + 19.650$ 米,宽7.711~8.5米双车道单向通行,梁由3根I形板梁构成,内梁腹板高1.407~1.552米,中梁1.608~1.622米,外梁1.664~1.738米,纵向坡度整个变化很小。主梁间距也配合宽的变化,中跨2.75米,边跨在端部渐渐变化到2.335米。在宽度上桥面板向两侧各伸出1.5米不变,以取得外观上的谐调。图d为阪神高速道路公团中之岛三跨连续钢桥面板双箱梁S字桥。跨度组合为 $60 + 72 + 60$ 米,两个边跨的曲线半径为84米,平面形状为反弯的S形,设计速度50公里/小时,超高度10%,宽13.1米。

7.4 曲线梁桥的结构分析

在曲线梁桥中,即使竖直荷载作用于截面的剪力中心,由于随着发生弯曲的同时也发生扭转,因此应作计入拌随弯曲的扭转的立体结构分析。

为了正确了解曲线梁桥上所有须加考虑的荷载,例如恒载、活载、风荷载、地震荷载等所产生的结构应力及变形,最好根据上述分类的结构形式,采用各别的适用算法。

曲线桥的历史很久了。最初的曲线桥可以说是德国的钢桁架铁路桥。1914年Kapsch⁽¹⁾对高架高速铁路桥的曲线桁架桥进行了分析,Gottfeld⁽²⁾⁽³⁾在1932年发表了对于用横向联系杆件联结的同心圆曲线双主梁钢桥(简支和连续)的计算方法,在日本的某一专门杂志上也介绍过,但是包含将主梁当作在节点间为直线的大胆假设,除了在曲线缓和的高速铁路桥那样的情况以外,在实用上是有问题的。

1937年Kühl⁽⁴⁾将Gottfeld的理论推广到任意形状的曲线双主梁钢桥,还有Stussi用三弯矩式解决了Gottfeld的理论。还绘出多角形主梁桥的精确解。

1952年Wansleben⁽⁵⁾论述了用横向联系杆件联结成具有扭转刚度的曲线双主梁桥,研究了由于翘曲产生的约束应力的影响。

近年来随着曲线梁桥建造的逐渐增加,相继发表了曲线桥的结构分析理论,可分类如下:

(1) 单纯扭转理论, (2) 弯曲扭转理论, (3) 考虑桥截面的变形的曲线桥理论,

(4) 曲线格小梁理论, (5) 有限单元法, (6) 有限条元法, (7) 多角梁近似理论及 (8) 扇形正交异性板理论等。

这些分析法是设想出各种适当的结构模型, 进行适应于这种结构模型的力学处理。因此作为设计对象的曲线梁桥, 在充分了解了构成理论基础的假设被满足到怎样的程度以后, 判定是否采用该项分析法是很重要的。以下以应用于设计中为目的叙述各种算法, 关于公式的详细推导等, 可参阅有关文献及专门论著。

7.4.1 单纯扭转理论

这种理论是根据以下几项假设而建立的。

(1) 因为横截面各项尺寸与跨长之比很小, 所以作为集中在梁轴中心线的弹性杆件处理, (2) 由于被隔板等充分加劲了之故横截面没有畸变。(3) 横截面保持平面。(4) 认为剪力中心的曲线半径 R_0 等于图心(梁轴)的曲线半径 R ($R_0 = R$)。

如果跨长为横截面尺寸的4倍左右时, 则可认为假设(1)能满足, 而在充分刚劲的隔板等设置较密的情况下, 横截面的畸变很小, 假设(2)可满足。在同时受弯曲及扭转的钢曲线梁中, 除了圆形或正方形的情况以外, 一般保持平面的假设(3)就不成立。但是象单室箱梁那样的梁近似于正方形, 如果 $\kappa = I\sqrt{GJ/EC_w} > 30^{(7)}$ 时因为横截面的翘曲不那么大之故, 所以由假设(3)引起的误差, 在实用中是容许的⁽⁸⁾。

那么如图7.8(a)所示, 对于在支点A和B处不能自由地扭转的简支曲线梁, 用单纯扭转理论分析时, 则成为外部一次超静定的结构。

现在针对图7.9所示的6种有代表性的荷载状态求得超静定反力扭矩 $X = T_B$ 如表7.4所列。支点A及B的反力 R_A 及 R_B 列于表7.5中, 而支点A的反力扭矩则列于表7.6中(图7.8(b))。

此外图7.8(c)所示的截面力(1)弯矩 M 、(2)剪力 Q 和(3)扭矩 T , 分别列于表7.7、7.8和7.9中。

最后沿图7.8(d)所示的方向的位移量(1)截面旋转角 β 和(2)挠度 δ 分别列于表(7.10)和(7.11)中。

根据单纯扭转理论的曲线连续梁的分析, 在原理上与直线连续梁的分析法没有多大的变化, Curjel-Benfield⁽⁹⁾, Hogan⁽¹⁰⁾、Velutini⁽¹¹⁾、Schulz⁽¹²⁾等应用了弯矩分配法。因为弯曲与扭转复合在一起, 所以逐次渐近计算的内容就颇为复杂。

Stqmpf⁽¹³⁾、Morris⁽¹⁵⁾和Zavelle⁽¹⁶⁾曾用位移法分析。在利用电子计算机时以位

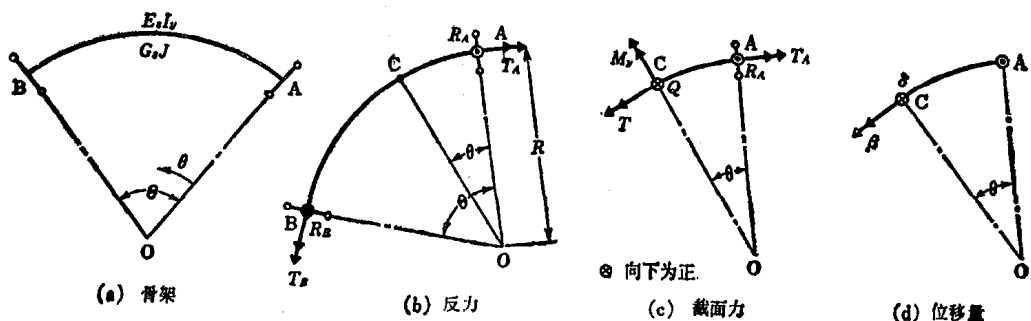


图7.8 简支曲线梁