

高等学校教学参考书

槽形梁

胡匡璋 江新元 陆光间 合编

中国铁道出版社

1987年·北京

前 言

随着我国四化建设的发展,在铁路交通事业方面,城镇需要建造的铁路立交桥越来越多。三向预应力混凝土槽形梁作为一种桥梁的形式在我国刚刚开始出现。由于它的建筑高度低,能减少大量土石方,降低整个工程造价,因此,在立交桥的建筑高度受到限制时,是建造立交桥的合理方案。

为适应我国铁路建设事业的发展,对我国首次建成的两座槽形梁桥的理论计算和试验研究成果作了总结。本书系统地阐述了槽形梁的特点和结构形式,以及国外槽形梁桥的发展使用情况。介绍了有关槽形梁立体计算的函数解,以及板壳体系有限元法在槽形梁计算中的应用。对槽形梁各部分的受力及变形状态作出详细分析,并总结出了槽形梁桥的设计计算原则建议。

本书由长沙铁道学院徐铭枢教授主审。上海铁道学院79级研究生黄靖烈、罗蔚文同志为本书提供素材,罗蔚文同志并参加编写部分章节,顾建生、陈炳秀、黄玉珠同志参加指导槽形梁毕业设计工作,土木系77,78,79,80级部分学生参加槽形梁毕业设计为本书提供数据,在此一并致谢。

本书第一章由陆光间编,第二章由胡匡璋编,第三章由江新元、胡匡璋合编,第四章由胡匡璋、江新元、陆光间合编,附录由陆光间编。

作 者

于上海铁道学院1986年3月

内 容 提 要

本书阐述了下承式预应力混凝土槽形梁的立体计算理论,介绍了我国第一座20m双线铁路槽形梁与24m单线铁路槽形梁的设计、研究及试验情况。对槽形梁的作用性能作了较全面的分析,并提出了常规设计原则的建议。

本书可供大专院校铁道工程、铁路桥梁专业师生及桥梁工程技术人员参考使用。

高等学校教学参考书

槽 形 梁

胡匡璋 江新元 陆光闾 合编

中国铁道出版社出版、发行

责任编辑 刘桂华 封面设计 刘景山

中国铁道出版社印刷厂印

开本: 787×1092毫米 $\frac{1}{32}$ 印张: 6 字数 129 千

1987年5月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—2,000册 定价: 1.05元

目 录

第一章 概 述	1
第一节 槽形梁的特点及结构形式	1
第二节 国外槽形梁的使用及发展	4
第三节 我国两座槽形梁桥及研究情况简介	12
一、我国两座槽形梁桥简介	12
二、我国槽形梁研究情况	18
第二章 立体计算的函数解	24
第一节 板的平面应力状态	27
一、对称荷载情况	28
二、反对称荷载情况	34
第二节 薄板的弯曲	38
一、对称荷载情况	41
二、反对称荷载情况	45
第三节 主梁的内力及变形	51
一、轴向力及弯矩	52
二、扭矩及扭转角	53
三、曲率及伸长	55
第四节 变形连续条件方程	59
第三章 板壳体系有限单元法	63
第一节 板壳问题的单元分析	65
一、平面应力问题的单元分析	66
二、薄板弯曲问题的单元分析	71
三、薄壳问题的单元分析	79

第二节 结构整体分析	81
一、坐标转换及整体刚度矩阵	81
二、约束条件	83
三、槽形梁结构模型化	85
第四章 槽形梁作用分析及常规计算原则	88
第一节 竖向荷载作用下的分析	89
一、道床板的剪力滞现象	89
二、板的横向弯矩及横向正应力	91
三、板的纵向弯矩及纵向正应力	100
四、板的扭矩及纵向水平剪应力	103
五、梁体变形及主梁上翼缘纵向应力	107
六、主梁腹板上的应力	111
七、端横梁的作用及计算	119
第二节 预应力作用分析	123
一、纵向预应力钢丝束作用下的应力状态与 变形	124
二、横向预应力钢丝束作用下的应力状态 与变形	131
三、全部纵、横向预应力钢丝束作用下的应 力状态与变形	136
四、竖向预应力钢筋作用下的腹板应变	138
第三节 槽形梁在施工运营过程中“三条腿” 的内力分析	141
一、槽形梁在自重作用下“三条腿”的受 力分析	141
二、槽形梁在运营时“三条腿”的受力分析	142
第四节 槽形梁桥设计计算原则建议	146
一、一般规定	146

二、道床板的计算	147
三、主梁计算	149
四、端横梁计算	150
附录 铁路后张法预应力混凝土槽形梁算例	152

第一章 概 述

第一节 槽形梁的特点及结构形式

预应力混凝土铁路槽形梁，是一种下承式的预应力混凝土铁路桥梁。它由行车道床板、主梁及端横梁等部分组成（图 1—1）。从道床板上通行的线路来分，可分为单线槽形梁与双线槽形梁。按桥面形式可分为有碴桥面与无碴桥面。按端部支承情况，则可以四点支承，也可做成端部满布支承。

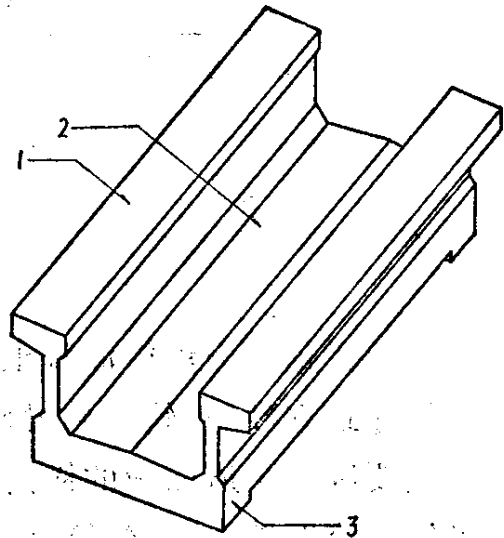


图 1—1 槽形梁的组成及各部名称
1——主梁；2——道床板；3——端横梁。

当列车荷载作用在桥面上时，荷载通过道床板传给主梁，再由主梁传到支座（接近端部的部分荷载，则由道床板经端横梁传给支座）。所以道床板是直接承受荷载的，其厚度主要取决于横向跨度的大小。一般有碴单线槽形梁的道床板厚度可取40~45cm，有碴双线槽形梁可取60~65cm。主梁承受从道床板传来的荷载，这种荷载除引起主梁的弯曲之外，还引起主梁的扭转。主梁的形式有I形、Γ形、箱形等，如图 1—2 所示。当主梁跨度不大时可用I形。跨度大时，宜采用箱形以增大其抗扭刚度。由于列车在两主梁之间通过，

为了减小主梁间距，减小道床板的横向跨度，还可利用铁路限界下部的缩小部分，将腹板做成斜的，并将主梁上翼缘的大部分移向外侧，做成Γ形，称为斜墙式。若主梁腹板是竖直的，就称为直墙式。端横梁主要是起到加强结构的抗冲击作用。

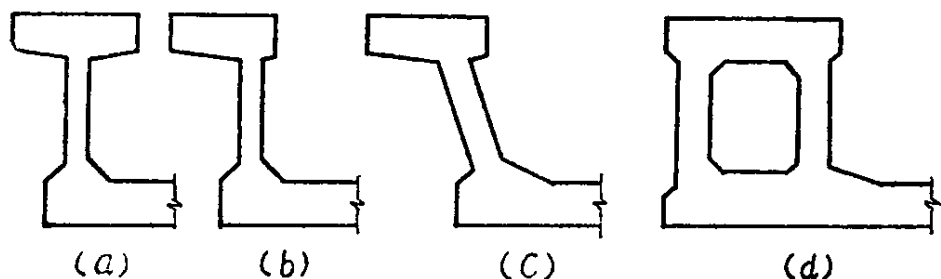


图 1—2 槽形梁主梁的各种形式
(a) I形；(b) Γ形（直墙式）；(c) Γ形（斜墙式）；
(d) 箱形。

与上承式预应力钢筋混凝土铁路桥梁比较，槽形梁可以大大降低建筑高度（从轨底到梁底的高度）。而且槽形梁的建筑高度主要取决于道床板的横向跨度，与梁的纵向跨度无关，因此当纵向跨度越大时，建筑高度的降低越显著。如按标准设计，跨度16m的低高度钢筋混凝土梁，梁高为1.1m；跨度32m的预应力混凝土梁，梁高为2.5m。如用槽形梁，则建筑高度可分别降低0.7m与2.1m。由于降低了建筑高度，可以节省大量路基的土方量，并减少占地面积，因而大大降低工程投资。在一定的路基高度下，可以减少桥下开挖，有利于在某些地下水位较高的地方减少排水工程。

图 1—3 是平原地区，按线路最大限坡 4%，桥下净高 5m，路基顶宽 6m，计算得上承式梁桥与槽形梁桥。桥梁附近土方量的比较曲线。当桥梁附近填土高为 3.5m 时，采用槽形梁可节省桥梁两端土方量 50000m³。在平原地区，一般取土困难，房屋的拆迁也十分困难。大量土方的节省，占地

面积的减小,可取得十分可观的经济效益。

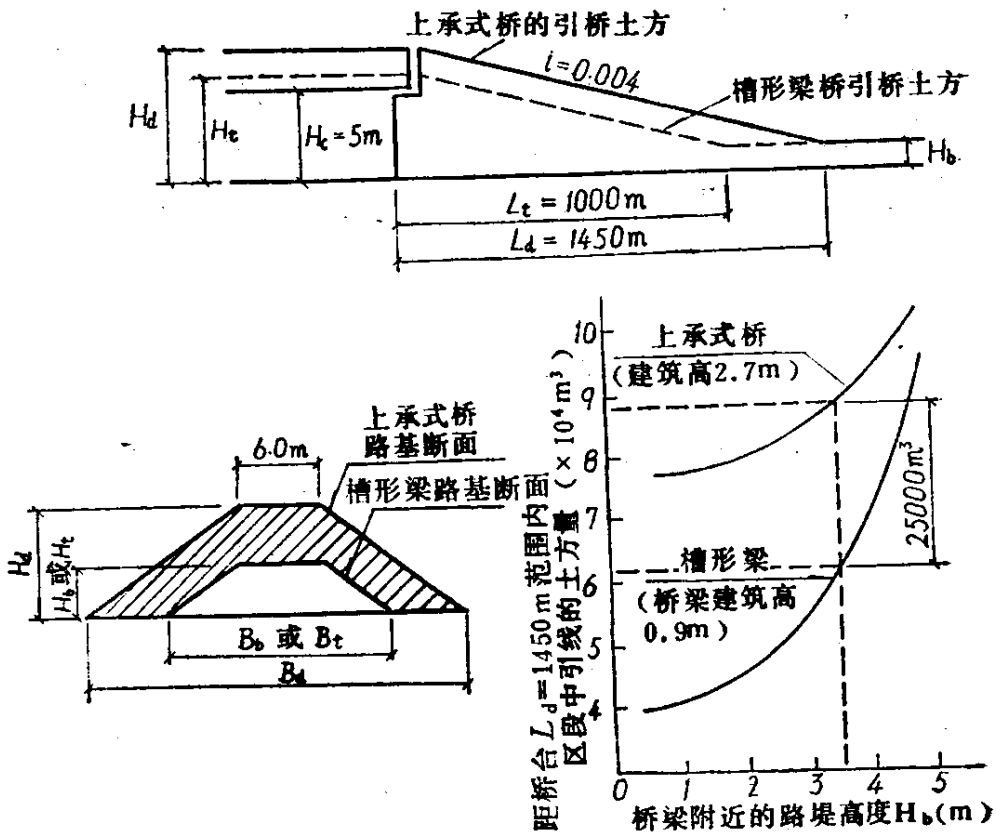


图 1—3 上承式梁桥与槽形梁桥土方量比较 (桥头一侧)

预应力混凝土铁路槽形梁与下承式钢梁比较,有节省钢材,减少噪音,养护简便等优点。所以槽形梁是立交桥的一种合理形式。

槽形梁的道床板中,除布置横向预应力筋外,道床板作为主梁的下翼缘,还要布置纵向钢筋。在主梁腹板中除布置纵向钢筋外,为了承受道床板传来的竖向拉应力,还要布置竖向预应力筋。所以槽形梁是三向预应力结构,构造比上承式预应力梁复杂,自重比上承式梁大,施工中也有其本身的特点,只要掌握了这些特点,是可以保证其施工质量的。

第二节 国外槽形梁的使用及发展

国外最早报导的预应力混凝土槽形梁，是英国1952年建造的罗什尔汉桥^[1]。横截面见图1—4，跨度48.6m，主梁间距4.1m，跨中主梁高3.80m，支点处梁高2.83m，主梁的纵向预应力筋和道床板的横向预应力筋均采用直径为28.6mm的预应力粗钢筋。

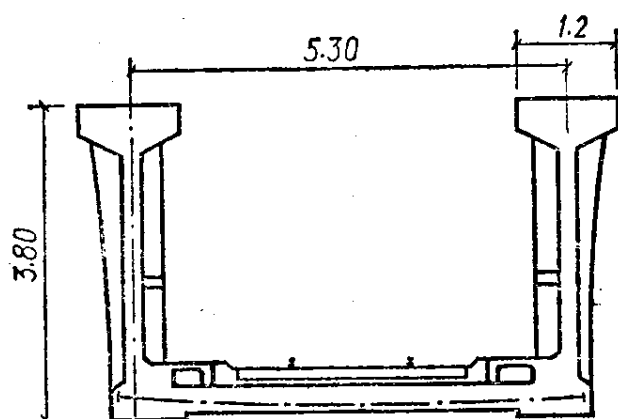


图1—4 罗什尔汉桥跨中截面（单位：m）

日本为适应立交桥的发展，增加净空，减少噪音等原因，多处建造了这种桥梁^[2]，例如羽咋川桥，荒川桥等。羽咋川桥是单线五跨简支梁，中间跨度为19.85m，主梁采用（直墙式） Γ 形（图1—5）^[3]。荒川桥是跨度为38.6m的双线简支梁，主梁采用（斜墙式） Γ 形（图1—6）^[4]。在新干线的建造中，因为建筑高度的限制，建造了多座槽形梁桥，如下拓桥，都计花尻桥，第二平原桥等^[5]。目前跨度最大的槽形梁，是日本的第二丘里跨线桥^[6]。该桥位于新干线上，是和公路交叉的跨线桥，与计划中的公路交角为 $23^{\circ}07'$ ，跨度61.4m。考虑到结构上的稳定性，施工方便等原因，采用图1—7所示的截面。主梁为箱形，上翼缘宽2.7m。因为是双线，主梁间距9.0m，道床板厚65cm，在端部设有端

横梁。第二丘里桥的混凝土等级为圆柱体试件450号。满堂脚手施工，现场浇注混凝土。考虑到大体积施工，掺入部分粉煤灰，以减少混凝土的收缩和发热量。纵、横向均用钢绞线施加预应力。纵向采用E5-31型，一束中有 $\phi 12.4\text{mm}$ 钢绞线31根，孔道直径105mm，最大张拉力每根钢丝束达400t。横向钢丝束采用E5-19型，一束中有12.4mm钢绞线19根，孔道直径72mm，最大张拉力每根钢丝束达250t。竖向则用 $\phi 26\text{mm}$ 预应力钢筋施加预应力，锚固板锚固。

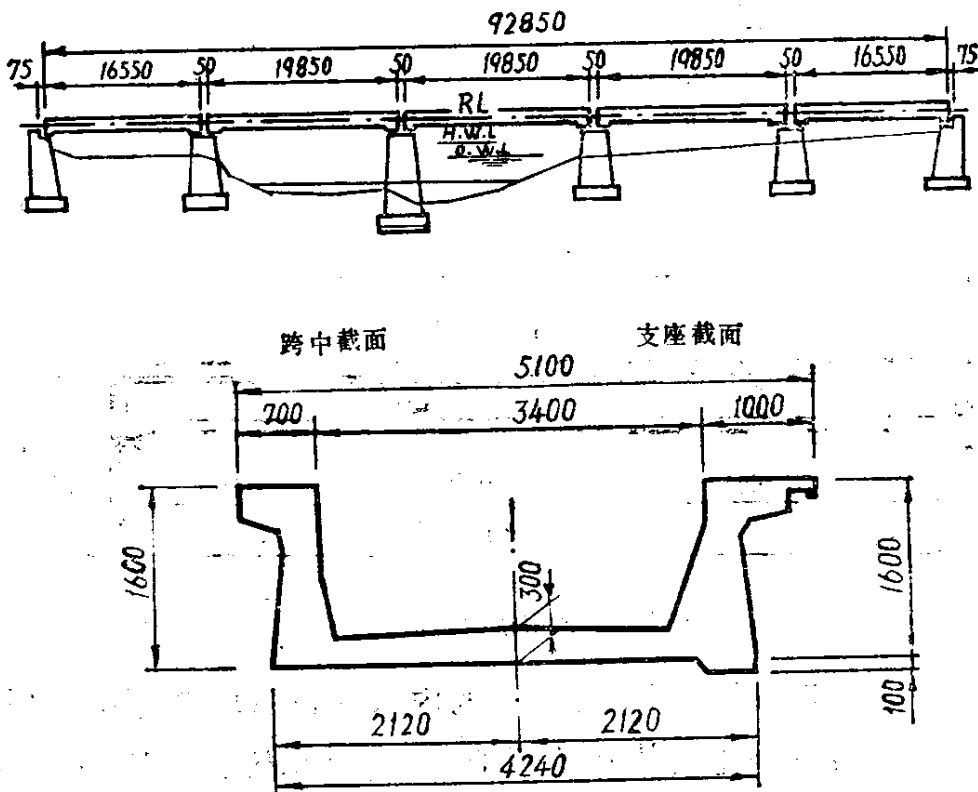
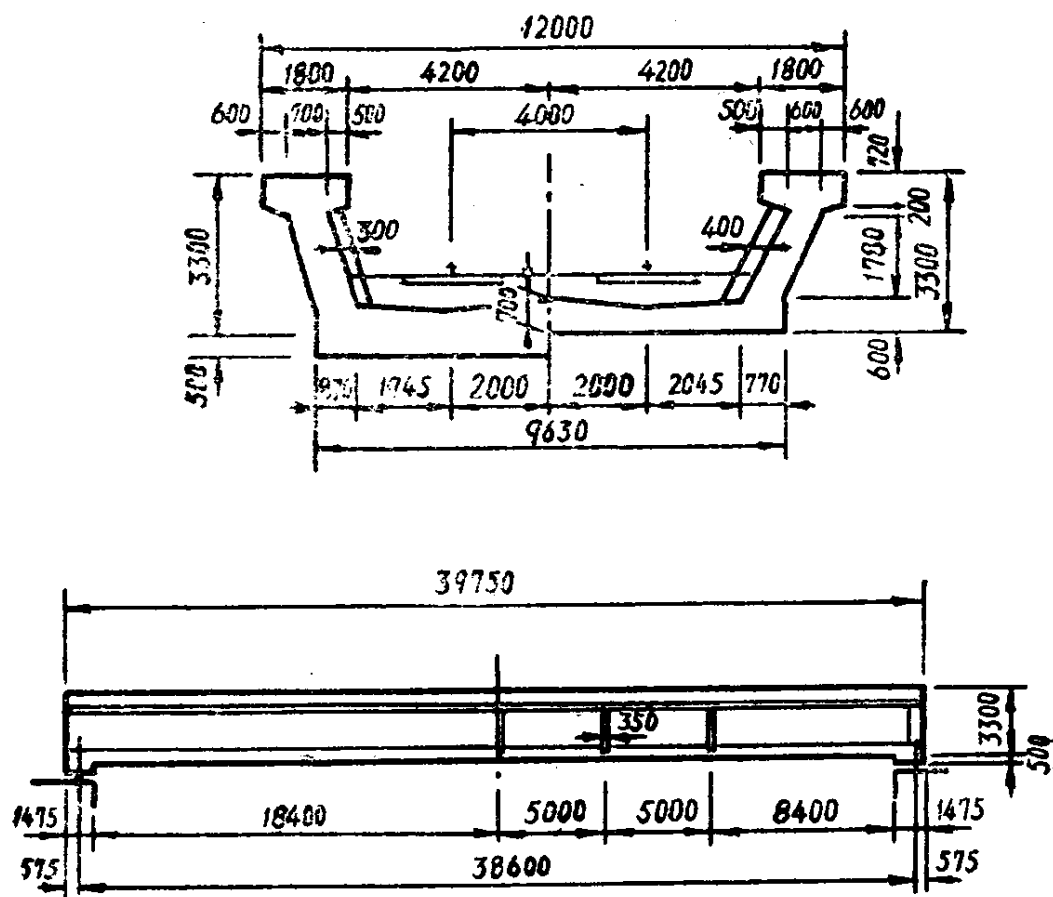


图 1—5 羽咋川桥 (单位: mm)

除简支梁外，还建造了连续梁：如日本总武线的中川放水路桥（图 1—8）⁽⁷⁾，三跨连续梁全长123.9m。中跨48m，边跨37.35m，因净空要求做成无碴桥面下承式预应力混凝土桥梁。荷重为KS-18，混凝土设计强度400号（圆柱体强



朴罗钦根 (Plochingen) 的内卡河桥 (联邦德国) (图 1—9), 是另一个比较特殊的例子^[8], 该桥正桥长度 195m, 为五跨连续的预应力混凝土梁, 各跨跨度为 35 + 39 + 47 + 39 + 35 m。考虑到中间跨的通航净空要求, 中间跨做成下承式, 两个边跨做成上承式, 中间跨与边跨之间做成过渡段。因采用了连续梁, 边跨对中间跨的弯矩起卸载作用, 所以中间跨跨度达 47m, 但主梁高只有 3m, 采用无碴桥面, 轨底到梁底只有 40cm。此梁中间跨位于直线段内, 其余跨则位于反向曲线

段内，曲线半径较小，对梁重产生较大的扭矩。边跨设计成变化高度的箱形截面，中间跨设计成槽形，使得抗扭惯性矩的分布与扭矩之包络图一致。

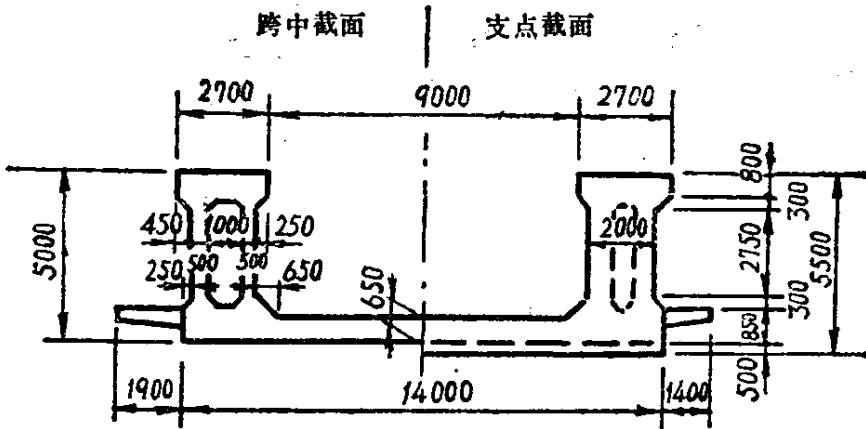


图 1—7 第二丘里跨线桥截面 (单位: mm)

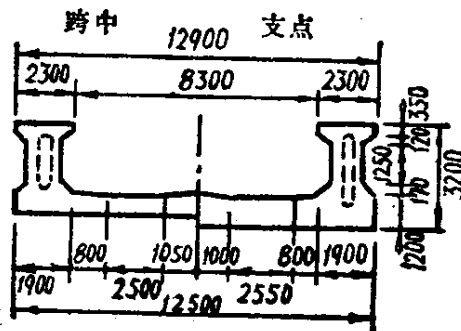
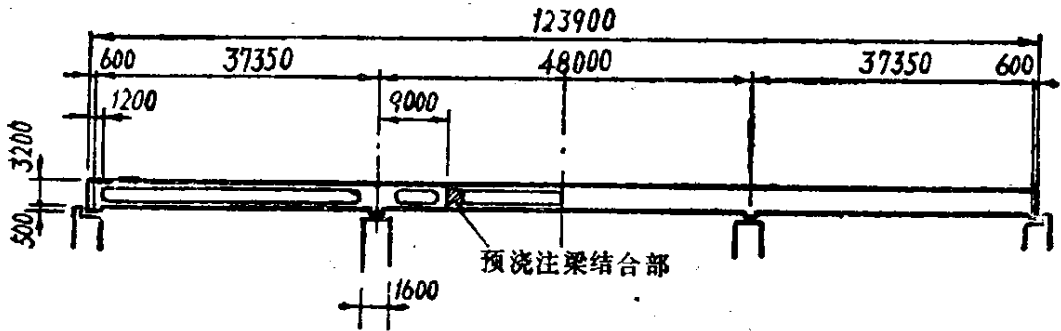


图 1—8 中川放水路桥 (单位: mm)

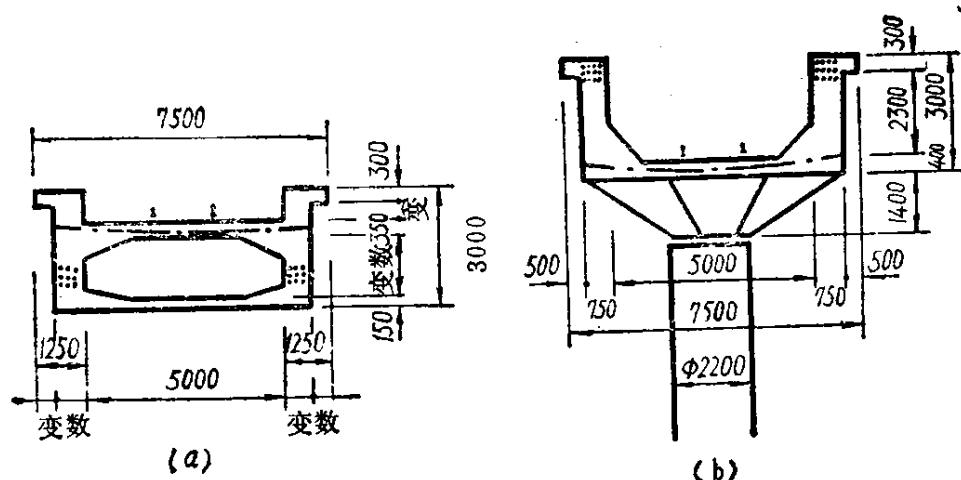


图 1—9 朴罗钦根内卡河桥截面 (单位: mm)
a) 正桥变化处; b) 槽形梁范围内。

除了斜交正做的桥外, 还有斜交做成斜桥的。如澳大利亚的布里斯班桥^[9], 跨度19.36m, 斜交角度为57°。在表 1—1 中列出了根据现有资料的国外一些槽形梁的汇总表。此外, 槽形梁还可作为斜拉桥主梁的一种形式, 例如英国的林奈 (Lyne) 跨线桥的设计方案 (图 1—10)。

国外槽形梁的施工方法也是多种多样的。除了就地浇注的以外, 还有装配式或拖拉就位的。例如日本的中川桥, 中间跨为槽形梁, 就是先建造主梁, 将模型板吊挂在主梁上, 再灌注桥面板混凝土。这种方法适用于保持桥下

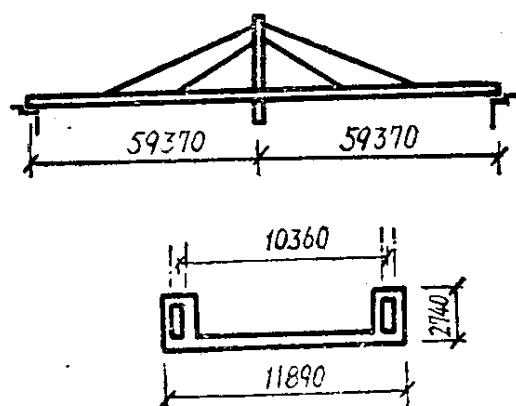


图 1—10 英国林奈跨线桥的设计方案
(单位: mm)

净空而不能安装满堂脚手的情况。此外还可以先预制横梁, 主梁现浇, 例如 (日) 山平线大崎跨线桥展宽工程, 是在 4

表 1 — 1

目前国外槽形梁情况

桥 名	国 别	结 构 类 型	跨 度 m	桥 长 m	主 梁 间 距 m	主 梁 形 式	主 梁 高 cm	主 梁 跨 中 高 跨 比	上 翼 缘 宽 cm	道 床 板 厚 cm	道 床 类 型	备 注
魁特一布一劳 密桥	阿尔及 利	单线简支普梁	37.0	38.9	4.5	直、I	415~ 450	1/8.2	85	(纵 横 梁)	木枕有碴	1933年建造
胜川跨线桥	日	单线简支普梁	8.3	8.9	3.4	直、矩	150	1/5.5	75	30	木枕有碴	
羽咋川桥	日	单线简支预梁	16.55 + 3 × 19.85 + 16.55	92.85	3.4	直、I	160	1/12	100	30	木枕有碴	
荒川桥	日	双线简支预梁	38.6	39.7	8.4	斜、I	330	1/11.7	180	70	有碴	
下拓桥	日	双线简支预梁	24.0	24.96	8.5	斜、I	245	1/9.8	120	50~55	轨枕板	
都计花尻桥	日	双线简支预梁	35.01	36.26	8.9	斜、I	320	1/11	155	55	无碴	
第二平原桥	日	双线简支预梁	42.0	43.2	9.0	斜、I	390	1/10.75	155	45~54	有碴	位于曲线上
罗什尔汉桥	英	单线简支预梁	48.6		4.1	直、I	380	1/12.8	120	27	无碴	1952年建造
第三齐川桥	日	双线简支预梁	15.8	16.4	7.3	箱形	160	1/9.9	90	60	有碴	
第二丘里桥	日	双线简支预梁	61.4	63.0	9.0	箱形	500	1/12.3	270	65		
中川放水路桥	日	双线连续预梁	37.35 + 48.0 + 37.35	123.9	8.3	箱形	320	1/15	230	70	无碴	
朴罗钦根内卡 河桥	西 德	单线连续预梁	35 + 39 + 47 + 39 + 35	195.0	5.0	直、I	300	1/15.6	125	40	无碴	
布里斯班桥	澳大利 亚	单线简支预梁	19.36		(外侧) 3.89	直、I					有碴	斜交57°

条并列运营线下，准备修通40m宽的公路。槽形梁施工时，先将预制横梁安装于轨道下，然后在线路两侧制成主梁，并与横梁接成整体。最后开挖桥下土方，修建公路。这种方法适用于运营线路上的施工。此外，也有整体结构在桥位附近造好后，再采用纵拖或横移的。

总之，槽形梁可以做成各种各样的形状，并根据不同的条件，采用不同的施工方法，所以适应性较强。而且，槽形梁作为下承式预应力混凝土桥梁的一种基本形式，研究了槽形梁的受力性能、施工方法以后，对发展其他结构也是有益的。

为了发展这种形式的桥梁，各国在理论分析，模型试验及施工方法等方面进行了不少的研究工作。

在结构分析方面，国外主要采用以下三种方法：

1. 将道床板分成很多横梁的平面格子结构，假定每段之间没有联系，则板端弯矩与主梁的扭矩之间可建立起一定的关系，由此求得主梁的扭矩。

2. 将槽形梁视为道床板带有加劲梁的空间立体结构，用富里哀级数法进行分析。

3. 采用薄壳结构有限单元法进行分析。

在理论分析的同时，进行了模型试验。模型试验分有机玻璃模型试验及混凝土模型试验两种。有机玻璃模型的优点是能放大模型梁的变形，对校核弹性分析较为恰当。模型的主梁形式有直墙矩形、直墙Γ形、斜墙Γ形、箱形等。混凝土模型试验可得出其裂缝发展情况及破坏的特征。除了对各种小比例尺的混凝土模型进行试验外，日本的荒川桥双线槽形梁进行了1/4模型试验，澳大利亚布里斯班桥斜槽形梁进行了1/6模型试验。混凝土模型试验结果表明，在道床板上先产生裂缝，并且槽形梁的极限状态是由道床板的破坏而产生的。斜槽形梁的混凝土模型试验则表明道床板中的钝角处的应力及

主梁的转角，实测值与弹性理论计算值之间有较大的偏差。这可能是微裂缝或塑性变形产生内力重分布引起的。

对建造的几座桥梁还进行了实桥测定，如日本的荒川桥和第三齐川桥，用D-51型蒸汽机车做了荷载试验。实桥试验表现出的变形状态与模型试验是一致的。

在理论及试验研究的基础上，提出了设计计算方法。在日本并把槽形梁的设计计算方法纳入了日本国有铁道建筑物设计标准中^[10]。日本和苏联还做了槽形梁的标准设计。苏联槽

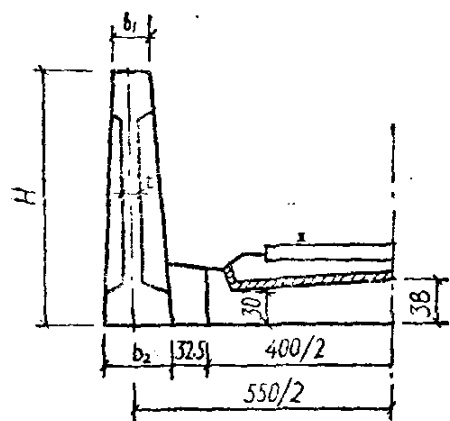


图 1—11 苏联槽形梁标准设计截面
(单位: cm)

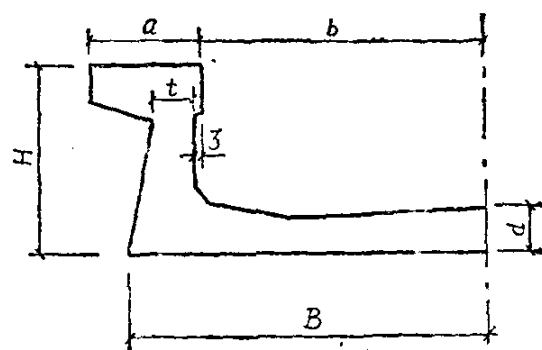


图 1—12 日本槽形梁标准设计截面

苏联槽形梁标准设计截面尺寸 表 1—2

桥 长 (m)	跨 度 (m)	梁 高 H (m)	翼缘宽 (cm)		跨中腹板厚 t (cm)
			上 (b_1)	下 (b_2)	
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