

桥梁方案比选

周念先 著



同济大学出版社

·上海·

前 言

在信息爆炸的时代里,电脑国际联网已伸展到全国各大城市里的千家万户,使各行各业都可能随时得到有关方面的最新信息,促使各类学科得到迅速发展,桥梁学科自然也不例外。从事桥梁建设与研究者必须具有信息时代的眼光和头脑,随时吸收各方的新信息。只有具备超前的思想与意识,才能走在世界的前列。本书尽可能提供一些最新信息资料和一些超前的设计构思,以供桥梁设计工作者参考。

本书承蒙项海帆院士和袁国干教授校阅,在写作中得到严智睿、张乃华、林长川三位教授级高级工程师和周世忠高级工程师的大力协助,在此向他们表示衷心的感谢。对两位青年助手钱子强和钱冬的具体帮助也表示十分感谢。

此书虽然在 1996 年完稿,但本书的准备工作开始于 10 年前,在最初几年中,曾得到贤内助葛守善女士的鼎力相助,在此谨以本书对她表示深切的怀念和敬意。

内 容 提 要

本书共七章,第一、二章介绍桥梁的新分类,从中引出系杆拱桥的特点和方案比选四项原则以及对下部结构方案比选重要性的认识;第三章至第七章分别对小桥、中桥、大桥和超(特)大桥的方案比选作介绍,其中着重对斜张桥的适用性加以说明;在对斜张桥与悬索桥作对比时,提出悬索桥有被斜张桥取代的可能;在论述特大跨度桥梁设计中,提出可用斜张悬索协作桥取代单纯的悬索桥。

本书可供大专院校土建专业师生学习参考之用,也可供桥梁和其他土建专业的设计、施工、科研人员参考。

责任编辑 黄国新

封面设计 陈益平

桥梁方案比选

周念先著

同济大学出版社出版

(上海四平路239号)

新华书店上海发行所发行

常熟文化印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:8 字数:200千字

1997年10月第1版 1997年10月第1次印刷

印数:1—2000 定价:15.50元

ISBN 7-5608-1831-5/TU·238

序

周念先教授是 1952 年我国高等院校院系调整后,为建设同济大学桥梁隧道专业所成立的最初的桥梁教学小组成员之一。他最早为 53 届桥梁专业开设“桥梁工程”课,也是我们 55 届的授课老师,他的生动的讲课风格和丰富的国外资料引证,给我们留下了十分美好的回忆,是深受学生尊敬的老师之一。

周念先教授已退休十余载,但他十分关心中国的桥梁建设事业,对国内许多大桥方案都提出过自己的意见和建议。近年来,他已 80 余岁高龄,又患眼疾,仍辛勤笔耕,克服了许多困难,以他毕生的教学和研究心得,撰写了这部 30 万字的著作,是我们后辈的学习楷模。

本书介绍了桥梁方案比选的原则和标准和各种桥型的适用范围,特别是有关特大跨度桥梁体系的内容,包含了国外桥梁设计的丰富经验和作者的一些独特见解,很值得桥梁工程界同仁借鉴和探讨。

本书不仅可作为桥梁专业本科学生在进行毕业设计前的指导性教材,而且也为设计人员提供了一份很好的参考资料。我相信本书的出版将会对我国进入 21 世纪的桥梁建设作出重要贡献。

项海帆

1996 年 11 月

目 录

序	(1)
前言	(2)
第一章 总论	(1)
1.1 桥梁体系的新分类	(1)
1.1.1 墩支桥	(1)
1.1.2 杆吊桥	(2)
1.2 桥梁跨度的划分	(2)
1.3 各种桥型的应用范围	(2)
1.3.1 斜张桥的应用范围	(2)
1.3.2 悬索桥的应用范围	(3)
1.3.3 系杆拱桥的应用范围	(4)
1.3.4 墩支桥的应用范围	(5)
1.4 桥下净空与航空净空	(5)
1.5 比选方案的主要标准	(6)
1.5.1 安全	(6)
1.5.2 功能	(7)
1.5.3 经济	(7)
1.5.4 美观	(7)
第二章 桥梁下部结构对方案比选的影响	(12)
2.1 概述	(12)
2.1.1 地质钻探	(12)
2.1.2 桥位	(12)
2.1.3 施工安全与经济	(13)
2.2 墩台基础	(14)
2.3 桥墩	(15)
2.3.1 国外桥梁实例	(15)
2.3.2 新的构思	(18)
2.3.3 深水基础	(20)
2.3.4 防撞措施	(22)
第三章 小桥方案比选	(24)
3.1 概述	(24)
3.2 墩支桥	(24)
3.2.1 简支梁桥	(24)
3.2.2 悬臂梁	(25)

3.2.3	连续梁(分真假两种)	(26)
3.2.4	刚构桥(又名刚架桥)	(29)
3.2.5	拱桥	(31)
3.3	系杆拱	(34)
3.3.1	混凝土系杆拱	(34)
3.3.2	钢系杆拱	(34)
3.3.3	公路系杆拱桥的轮廓设计	(35)
3.3.4	系杆拱的挠度问题	(35)
3.3.5	系杆拱的施工方法	(37)
3.4	斜张桥	(40)
3.4.1	悬臂拼装法	(41)
3.4.2	顶推法	(42)
3.4.3	转体法	(42)
3.4.4	独塔斜张桥的力学优越性	(45)
3.4.5	桥梁方案的优化举例	(47)
3.5	桥台和桥墩	(48)
3.5.1	单孔桥梁	(48)
3.5.2	桥墩	(49)
3.5.3	墩台桩基础的改良	(50)
第四章	中桥方案比选	(51)
4.1	概述	(51)
4.2	斜张桥	(51)
4.2.1	双塔斜张桥	(51)
4.2.2	独塔斜张桥	(51)
4.2.3	单索面斜张桥	(52)
4.3	斜张桥的施工	(54)
4.3.1	沿 x 轴方向的施工方法	(54)
4.3.2	沿 y 轴方向横移的施工方法	(55)
4.3.3	沿 z 轴方向上下的施工方法	(56)
4.3.4	转体法	(57)
4.4	系杆拱桥	(60)
4.4.1	在排架上拼装的施工方法	(61)
4.4.2	浮托法和顶推法	(61)
4.4.3	用临时性独塔斜张桥的施工方法	(61)
4.4.4	用临时性双塔斜张桥的施工方法	(63)
4.4.5	用缆索吊机分段拼装的施工方法	(64)
4.4.6	整孔安装	(64)
4.4.7	可移动钢梁的运用	(67)
4.5	中承式拱桥	(68)

4.6	上承式拱桥	(69)
4.7	自锚式钢悬索桥	(71)
4.8	连续刚构桥和连续梁桥	(72)
第五章	大桥方案比选	(75)
5.1	概述	(75)
5.2	斜张桥	(75)
5.2.1	主梁	(78)
5.2.2	塔	(79)
5.2.3	索	(80)
5.2.4	抗震措施	(80)
5.2.5	山谷中的曲线斜张桥	(81)
5.3	悬索桥	(82)
5.4	拱桥	(84)
5.4.1	悉尼大拱桥	(84)
5.4.2	贵州省江界河桥	(85)
5.4.3	南斯拉夫 KRK 桥	(86)
5.4.4	四川省万县长江公路桥	(88)
5.4.5	大跨钢拱桥	(90)
5.5	系杆拱桥	(91)
5.6	小结	(91)
第六章	特(超)大跨桥梁方案的比选	(92)
6.1	概述	(92)
6.2	悬索桥	(92)
6.2.1	悬索桥的现状	(92)
6.2.2	悬索桥的展望	(96)
6.3	斜张桥	(98)
6.3.1	斜张桥的现状	(98)
6.3.2	斜张桥的展望	(104)
6.4	系杆拱桥	(107)
6.5	小结	(109)
第七章	我国沿海长大桥梁方案探讨	(110)
7.1	概述	(110)
7.1.1	深水基础	(110)
7.1.2	连续超大跨桥梁	(110)
7.1.3	抗风、抗震	(110)
7.1.4	高性能材料	(110)
7.2	跨海工程简介	(110)
7.2.1	勃海海峡跨海工程	(110)
7.2.2	长江口越江工程	(111)

7.2.3 杭州湾跨海工程 (111)

7.2.4 珠江口伶仃洋跨海工程 (111)

7.2.5 琼州海峡跨海工程 (111)

7.3 伶仃洋跨海工程方案探讨 (112)

7.4 琼州海峡方案探讨 (116)

结束语 (117)

附录一 桥梁修复与便桥便线 (118)

附录二 用造桥机架设铁路连续梁的方法 (120)

参考文献 (121)

第一章 总 论

1.1 桥梁体系的新分类

一般桥梁的分类从力学角度出发,分梁桥、拱桥、吊桥(包括悬索桥与斜张桥)等。随着桥梁建设的发展,用超前的眼光看,笔者认为应该按新的方法,分为墩支桥与杆吊桥两大类。

1.1.1 墩支桥

凡是梁式桥与上承式拱桥、斜腿式刚架都可称为墩支桥(见图 1-1-1,1-1-2,1-1-3)。桥墩

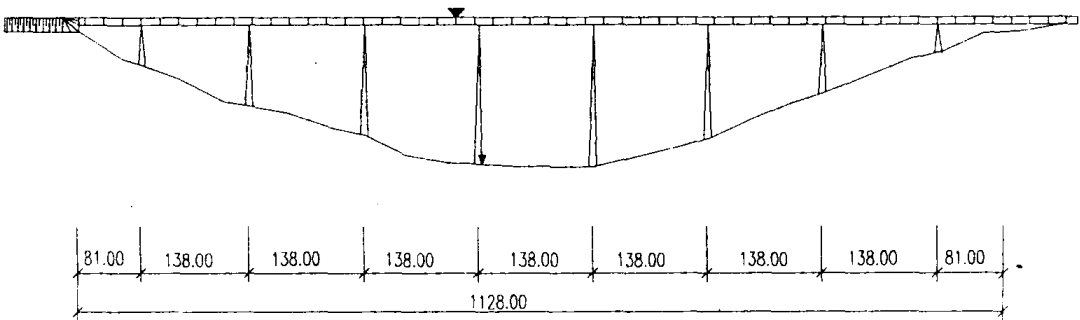


图 1-1-1 多孔梁桥 (单位:m)

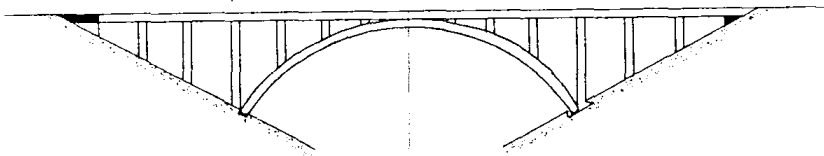


图 1-1-2 上承拱桥

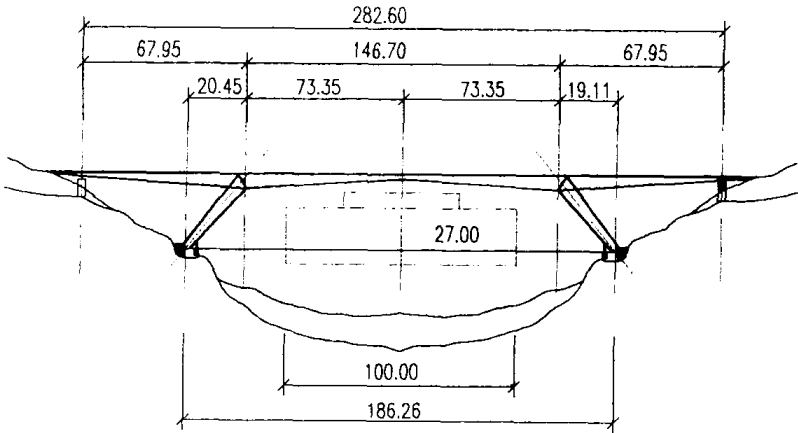


图 1-1-3 斜腿刚架 (单位:m)

支点的间距不能太大,因为上部结构的重量会随着跨度的增长而迅速加大,使得用料增多,施工较难,工期也加长。此外,还由于桥墩的数目较多,对满足桥下净空要求不利,所以墩支桥的应用范围要受到跨度的限制,一般用于跨度不大的河流和山谷。

1.1.2 杆吊桥

用间距 10m 左右的吊杆或斜索把一座大跨度桥梁分成许多个小跨弹性支承连续梁,称为杆吊桥。例如悬索桥、斜张桥、系杆拱桥。这类桥梁内的弯矩和剪力都很小,桥面结构很轻,吊着桥面的吊索受力也小,造价低。其主梁的高度可以减小到 1~3m(双层桥中减少到 7~13m),这就为桥下留出较大的通航净空,为桥上缩短接坡长度。其跨度可以做得较大,应用范围也广。

1.2 桥梁跨度的划分

在交通部铁道部现行的规范中,桥梁均按跨度或总长分为大、中、小跨并在勘测设计方面作出不同的规定。有鉴于桥梁跨度的不断发展,笔者建议采用下列标准来划分:一孔跨度在 100m 以下的称为小桥;100~300m 的称为中桥;300~500m 的称为大桥;500~1000m 的称为超大桥;1000m 以上的称为特大桥。本建议并无特殊之处,只是在考虑桥梁方案时提供给设计者一个不同技术难度的概念。在我国,铁路桥梁跨度发展的步伐不及公路桥梁快,其跨度划分可以参照公路桥梁的标准进行考虑。

1.3 各种桥型的应用范围

1.3.1 斜张桥的应用范围

自斜张桥(见图 1-3-1,1-3-2)问世以来,虽然还不到 50 年,但已建成桥梁的数量已经达到了 300 余座,其最大跨度由最初的 100 多 m 发展到目前的 900m 左右,如最近完工的 856m 法国诺曼底桥^[1-1]和将于 1999 年完工的 890m 的日本多多罗桥^[1-2]。根据我国的经验,在农村中也能用斜张桥建成几十米跨度的甚至于 100m 跨度的桥梁,故斜张桥可以因地制宜地与梁桥比较,并加以采用。

当斜张桥向大跨度发展时,主梁中的水平轴向力越来越大,当用钢材作主梁时,因为钢板的厚度不大,容易产生压屈失稳,所以在主梁根部需将钢梁截面加大从而导致很不经济的效果。若用混凝土材料,即使截面积加大,造价却并不昂贵,只是为了减轻自重,宜用如 60MPa 以上的高标号混凝土,在国外可以从市场上购到 80~100MPa 的商品混凝土。在我国,现虽有强度为 80MPa 的混凝土预制品,但在现场浇筑 80MPa 的混凝土还有一定的困难,这将有待于我们去努力解决。若用 60MPa 强度的混凝土,现已可以做成中跨为 400m、边跨为 200m 的双塔型混凝土斜张桥,如采用结合梁或中部的钢梁,跨度还可增大。如果像有些学者提出的那样在自锚式斜张桥之外,再加设地锚,跨度还可更大,但由于地锚的费用很贵,施工也较困难,故笔者并不建议采用这种用地锚的双锚体系。

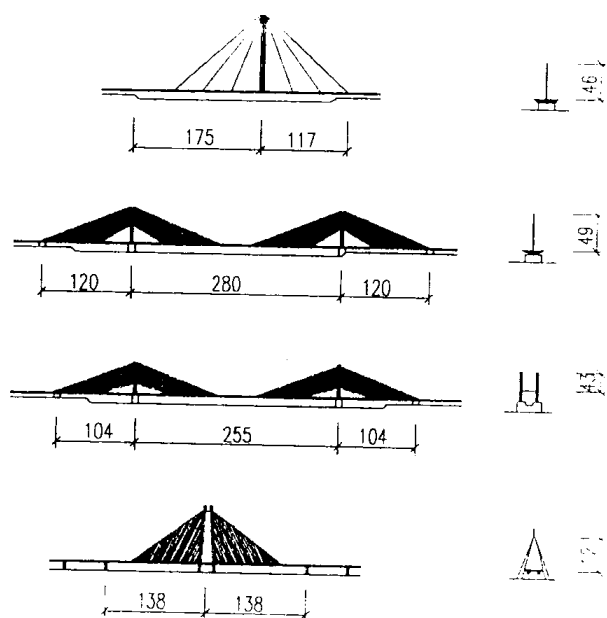


图 1-3-1 斜张桥 (单位:m)

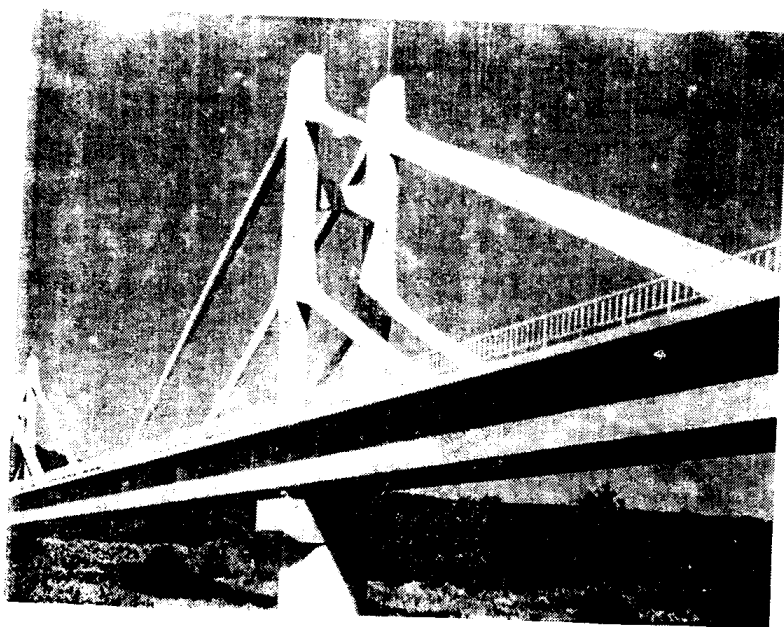


图 1-3-2 刚性索铁路斜张桥

1.3.2 悬索桥的应用范围

悬索桥(见图 1-3-3)问世已久,现在最大跨度是日本明石海峡大桥^[1-3],已达1990m,不过悬索桥主缆的拉力都要靠两端的地锚来承受,因此造价要比自锚式斜张桥的造价贵得多。据目前情况分析,900m 以下的跨度可用斜张桥,悬索桥的应用范围约在千米以上。

在较小跨度中,悬索桥可以采用自锚体系,例如日本 Konohana 桥^[1-4],中跨为 300m,边跨



图 1-3-3 悬索桥

各 100m,采用自锚式悬索桥。其主梁使用钢梁,用钢量较多,我国不宜采用。

1.3.3 系杆拱桥的应用范围

过去我国修建的混凝土系杆拱,其跨度大多在 60m 左右,现在用钢的跨度可以达到 202m,其所以未能有更大的发展,是由于施工困难。

笔者认为,即使跨度达 500 ~ 600m,施工问题也能解决,所以系杆拱的适用范围可以小到几十米,大到 600m。待积累了施工经验,尤其是采用钢管混凝土拱圈后,它的跨度还可望增加。不过由于拱圈主要承受压力,故笔者认为在中小跨度里还应以采用混凝土为主,必要时才用钢管混凝土。在国外系杆拱已有相当大的发展,还有铁路系杆拱桥^[1-5](见图 1-3-4,1-3-5)。对中承式拱桥,如果用系杆来平衡拱的推力的称为中承式系杆拱桥,属杆吊桥。未用系杆来平衡拱的水平推力的属墩支桥的范围。

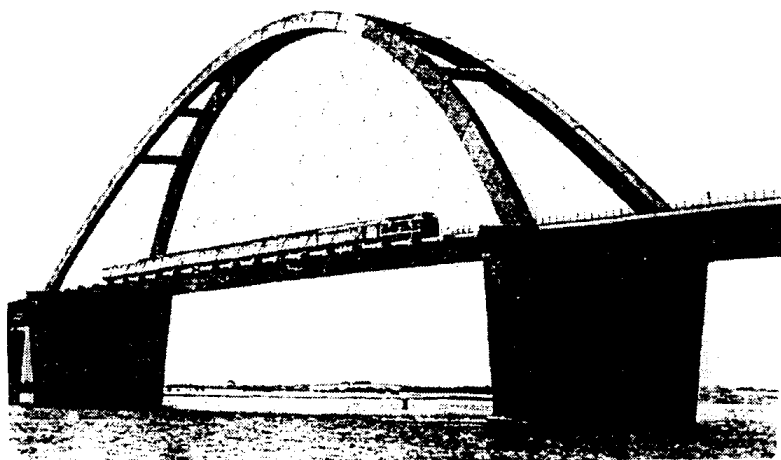


图 1-3-4 对称互贴式系杆拱

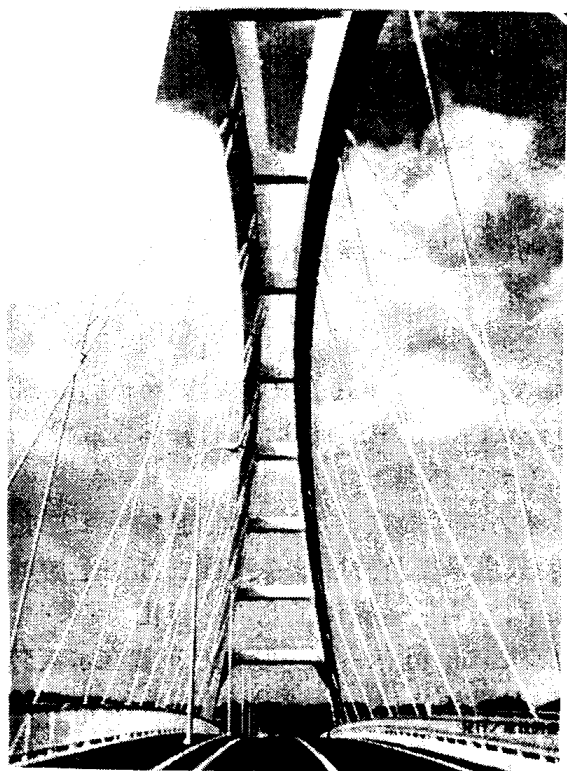


图 1-3-5 对称不贴式系杆拱

1.3.4 墩支桥的应用范围

在小跨度桥梁中,墩支桥的应用较多。当跨度大于 60m 时,可以开始考虑用系杆拱桥来比选。当跨度大于 100m 时,斜张桥可以参加比选。这是因为跨度在 100m 左右时就要采用连续梁,而连续梁上部结构的重量随跨度的加大而迅速增长,在造价方面不经济。又因为变高度连续梁的梁托将侵占桥下的部分净空,且连续梁的梁高相当大,故不适用顶推法施工,所以不如杆吊桥。

总之,墩支桥的应用范围受到一定程度的限制。尤其当系杆拱桥的施工方法解决以后,墩支桥将面临更大的挑战。

1.4 桥下净空与航空净空

过去讨论桥下净空时,往往以船只通航为主,制定了通航净空框图。为了适应船只、汽车、列车等的实际通行外轮廓,通航净空框图采用了两肩削角的六边形框图,但是船只还是有可能侵入削角的空间,撞及拱脚或有关的桥梁部分,导致桥梁坍塌,这种事故在国内外都发生过。如今国外已经大量采用矩形的框图。在我国经济飞速发展的今日,要充分利用整条河流以满足集装箱运输的要求,因此通航净空更应该是一个矩形的框图。近年来,航空净空问题日益为人们所关注,以往仅对个别大桥考虑航空净空问题,现在航空事业飞速发展,故应从预测远景的角度在桥的上空规定一条水平线,禁止结构物侵入其范围内,以策安全。

国外已经有因受航空净空限制需修改桥梁方案的实例。

1.5 比选方案的主要标准

在桥梁方案比选中,要注意下列四项主要标准:安全、功能、经济与美观,其中以安全与经济为重。过去对桥下的功能重视不够,现在由于航运事业的发展,需要十分重视桥下的通航净空。至于桥梁美观,要视经济与环境条件而定。

1.5.1 安全

现在我国公路交通运输十分繁忙,车速也在不断提高,所以在四车道中间至少要设置1m宽的中央分隔带。城市桥梁的车道中应设0.5m的分车带或设护栏以策安全。高速公路要求更高,必须按交通部有关规定办理。

关于桥下通航净空,虽然为航运提供了足够空间,但是桥下的水流方向并不一定垂直于桥梁,尤其在河流转弯处,船只更易撞及桥墩。在我国长江中上游的黄石桥,原设计方案是一座主孔460m跨度的斜张桥,它为航运提供了宽广的范围,后来改用了多孔预应力混凝土连续刚构,虽然桥的跨度也有245m,但有一个桥墩正好布置在水流转弯处,因而出现了船撞桥墩的事故;与此相反,法国的诺曼底(Normandie)大桥^[1-1]位于塞纳河口,原设计是跨度为512m的斜张桥,后考虑到桥塔有被船撞的危险,航运部门要求放大桥孔,经过几年的争议与研究,最后决定将一个塔移到岸边,另一个塔设在人工岛上,跨度放大到856m,比原来的跨度大出344m,并且在塔墩脚下做了很好的防护措施,以免15万吨油轮碰撞。由此可见对桥下的净空问题必须慎重对待。

对于在地质不稳定的山区里的多孔小跨桥梁,一般并无航运要求,但要防止泥石流将桥墩撞倒,使运输中断,这样的事故我国已出现过多次。今后在山区建桥也应放大桥孔,减少桥墩数,以避免泥石流冲击。虽然暂时看来不怎么经济,但为了避免以后灾难性的事故,还是值得的。在安全方面还须考虑桥梁基础的可靠性及施工期间的气象条件。关于桥梁基础,首先要检查桥位处地质资料是否齐全,勘探深度是否达到要求,是否采用了较新设备等。一般来说,桥位处地质资料要在沿桥位的长度上,在宽约50m的范围内进行大面积的深度勘测取样,从中了解地质密度及是否有裂缝、断层和大小溶洞存在,程度如何,而后根据桥位处地质资料再进行复核,由此检验桥梁分孔是否合理。若有个别桥墩下面出现地质不良,应及时修改方案。根据地质情况,还可进行桥梁结构体系的选择,如找不到合适的方案那就要考虑桥位的变更。

在桥梁施工期间,也得保证每个施工阶段中的安全度,尤其要注意洪水和飓风对结构物产生的不安全影响。一般而言,桥墩基础要在洪水来临前超出设计洪水水位,但往往由于上游洪峰提早到来、施工机具不足等意外因素造成事故。例如钱塘江一桥在下第一个重达600t的钢沉井时,就在一夜之间被洪水冲走,连冲到何处都未找到。在小桥中也会遇到类似情况,不可忽视这种意外造成的后果。在微观方面,只是材料的损失,而在宏观方面往往因此而拖延了工期。由此产生的经济损失很难估计。在上部结构的施工方面也可能遭到意外而产生重大的经济损失。对此在进行方案比选时应予以顾及。此外输油、气管道与高压电线不能从公路桥或铁路桥上通过,而要设专门的桥梁使之通过。

1.5.2 功能

在既通行公路又通行铁路的地方,不一定都建双层式公铁两用桥,因为公路设置在铁路的钢梁顶面,虽可节省一部分建筑材料,但是每年能源的多消耗是可观的。

在公铁两用桥中,如果考虑欠周,则会有损于公路交通的功能,例如,当铁路桥的钢梁跨度过大而感到钢梁的刚度与强度都不足时,有人用拱形第三弦杆予以加强,而第三弦杆只能在两片主桁顶上穿出公路桥面,乃至在这两片主桁梁之间形成瓶颈,让四车道公路在此无法通过,不得已采取的补救办法是在两片拱形弦杆外侧加设两个 4m 宽的单车道。从表面上看来,它们可以补足四车道。但是在单车道上无法超车,由此公路交通的功能便可能削弱。事实上若要保证公路交通的功能,可以不用拱形第三弦杆,而用其它方法提高铁路桥的刚度与强度。即在增大原有钢桁架惯性矩之外(亦即在不增加钢桁梁的截面积之外),用预应力帽筋将原有连续梁的体系转变成接近固端梁的体系,降低计算挠度公式中的系数($5/384$ 为简支梁挠度的系数, $2 \sim 3/384$ 与 $1 \sim 2/384$ 分别为连续梁与固端梁的挠度系数)。这就等于加大了原有的钢桁梁的刚度 1.6 倍左右。好在设计者能主动掌握帽筋中的预应力大小,使得有足够的支点负弯矩,以减小跨中的正弯矩,从而减小挠度和增加安全度。

现代设计者不仅会将预应力用于混凝土结构中,也要想到如何应用于钢结构中,作为体外配筋来处理,由此看来,只要我们重视功能的标准,在结构处理方面并不难找出合适的设计方案。

另外,如在 305m 大跨度的悉尼拱桥中^[1-5],原设计者采用的箱形拱顶高度也能满足要求,而经弗莱西奈氏(Freyssinet)审核时,他认为现有拱顶高度虽已满足要求,但可能在徐变作用下,挠度有增大的趋势,这将导致公路行车功能有所降低。建议将拱顶箱梁的高度加高,所花材料费有限,仅为该段 5%,而刚度却增大 50%。这种优化设计的措施非常有效,此例说明,当考虑功能问题时,还要想到远景的情况,而在结构上加以某些处理是不难的。

1.5.3 经济

从前进行桥梁方案设计时,大多数设计者都会重视建筑材料的消耗,而对施工周期的长短重视不够。从科学角度分析,时间就是金钱,时间就是效益。不能仅从桥梁工期短了可减少管理费出发,而应看到桥梁的提前竣工通车,会给国民经济带来巨大的宏观经济效益。所以在考虑经济时能研究出提前部分通车的方法也是很有价值的,另一方面为了加速施工应添置建桥机具,也应该看到这些机具可在今后的其它桥梁工程中再次使用。例如在日本为架设中等跨度的系杆拱桥往往使用一台、两台甚至于三台 3 000 ~ 4 000t 的浮吊,将数千吨重的钢梁一次吊装就位,从而加速建桥进度。

从建桥工期的长短分析经济影响时,要想到桥梁基础的施工对工期的长短影响很大,尤其在大桥施工中往往因施工方法不同施工工期差距很大。

1.5.4 美观

桥梁建筑不仅是交通工程中的重点建筑物,而且也是美化环境的点缀品,所以设计中必须精心规划、精心设计、精心施工,以期求得在增加投资不多的条件下,取得桥梁美观的效果。

例如在穿过一条山区的公路上,要建一座二三十米跨度的立交桥,不管用钢或用预应力

混凝土,通常的做法是用一根等截面梁跨越,但由于人们的视力有错觉,所以往往把这根梁看成是带下垂挠度的弯梁,看起来很不舒服,甚至于有怕它掉下来的危险,故设计者把梁底线做成反拱线(见图 1-5-1),所花材料有限,而给桥下行人一种安全美的感觉。

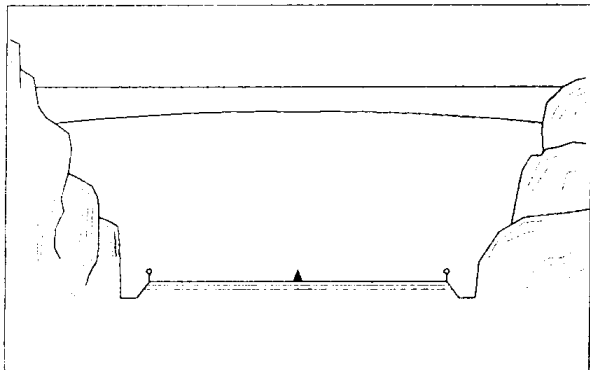


图 1-5-1 跨线桥梁

另一例是在类似的一条穿山公路上,造一座比较高的立交桥(跨度大),要做成 3 孔 20 余米连续梁,但是如将中间支承连续梁的两个桥墩,用直腿从高处放下来,既不安全又不美观,远不如做一个竖向椭圆拱并在它上面的两个 $\frac{1}{3}$ 点附近加两根短柱以托住上面的三跨连续梁,显得格外轻巧、秀丽,这既是功能美,又是结构美(见图 1-5-2)。

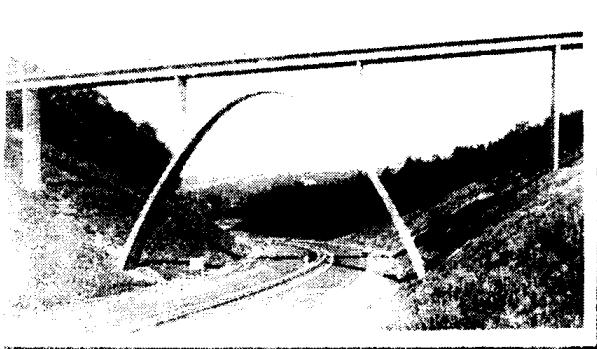


图 1-5-2 跨线拱桥

美化小桥尤其是梁桥比较困难,因为梁桥本身结构外形简单,所以只得用支承结构来美化全桥,上述例二就很明显地体现这一点,而例一就不明显,其实呈反拱形的下弦就等于是一根弧形托梁,这是一种最简单的支承。它融化在梁体以内,变得看不出。可它能起到美化桥梁的作用,希望读者能从上述二例中得到启发。

大中桥的美观,常取决于桥型。在 19 世纪与 20 世纪上半叶盛行过石拱桥,因其过于笨重,对地基要求又高,施工也麻烦,工期较长,因此已被淘汰,并被钢筋混凝土和预应力混凝土拱桥所取代。

澳大利亚悉尼建造的一座 305m 跨度的素混凝土拱桥,借助于扁千斤顶来调整各部应力,形态十分美观(见图 1-5-3)。南斯拉夫的 KRK 桥跨度大达 390m(见图 1-5-4),由于用了纤细的桁架拱结构,给人以轻盈的美感。

为了将占据桥下的拱圈范围缩小,可改用中承式拱(见图 1-5-5),是可以取得美化桥梁的良好效果。这种桥型结构的正负弯矩分配合理,给人以力学平衡之感,多孔连续的中承式

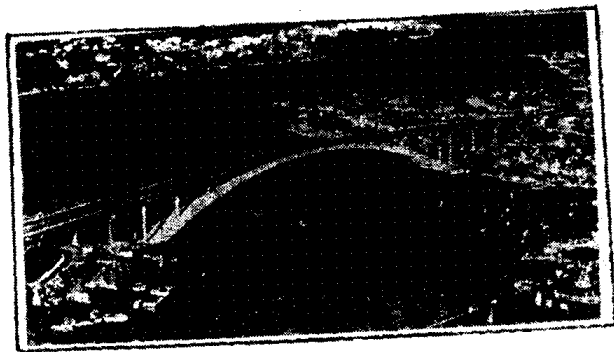


图 1-5-3 悉尼大拱桥

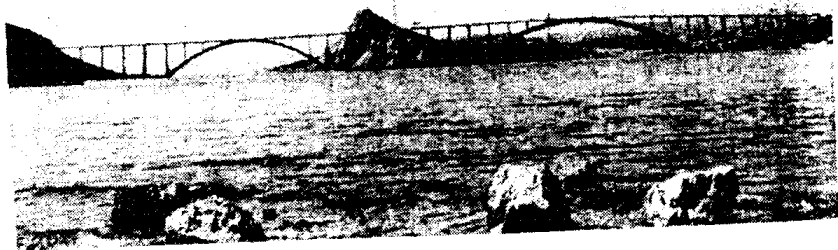


图 1-5-4 KRK 桁架拱桥

拱又以其波浪形起伏、构件轻巧给人以美的享受。

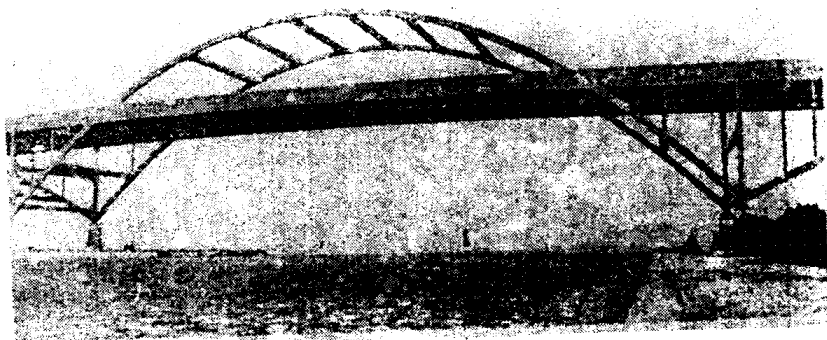


图 1-5-5 中承式拱桥

如果这小部分的拱脚怕船撞,则可将弯矩零点缩到桥墩的防护范围之内,使船不能撞击或者采用系杆拱桥。

系杆拱的(见图 1-5-6)美观要从立面与侧面两方面来评议,在立面上拱圈厚度 t 要小,拱顶的厚度约为 $0.01L$,拱脚的厚度约为 $0.015L$, L 为计算跨度;一般用管形拱圈时,要综合调整管的直径和壁厚以及多根管子的排列,以满足力学要求。必要时可从宽度方面加以补强。

从侧面看,两片拱圈宜做成对倾形式,但在拱顶顶面处拉开一段距离,并用少量几道横撑相连,如前图所示。

拱平面内的吊杆(索)如做成刚性结构就显得笨重,如做成柔性结构,则显得轻巧,但为