

中国公路学会桥梁和结构工程学会
一九八七年学术讨论会

论 文 集

1988 12

中国公路学会桥梁和结构工程学会

一九八七年学术讨论会

论 文 集

中国公路学会桥梁和结构工程学会

前 言

中国公路学会桥梁和结构工程学会于1987年11月8日至12日在陕西省西安市召开学术讨论会，以桥梁工程经济分析和旧桥加固改造为讨论主题。到会者有从事桥梁设计、施工、科研和教学等方面代表140余人，对议题展开热烈的讨论，畅所欲言，效果良好。

会议收到的论文，经编辑组评审，选择有代表性的76篇，汇编成论文集，以资交流与参考。论文内容分为三类：

(1) 桥梁工程经济分析；(2) 桥梁鉴定、加固与改造；(3) 桥梁设计、施工与试验。

影响桥梁经济造价的因素甚多，是一个比较复杂的问题。桥梁设计者应重视桥梁优化设计，对桥位与桥型根据具体情况多做方案比较，选定经济合理的最佳方案。施工管理的科学化，设备和工艺的现代化，也是降低桥梁工程造价的重要措施。

随着改革、开放方针的全面贯彻，公路交通量增加，重车吨位加大，比例增多。原有桥梁，很多存在桥面窄、承载能力低的情况，不符合现代车辆通行的技术标准。有些桥梁，年久失修，损坏严重，不能继续使用。如将大批桥梁，拆除重建，为国家财力所不及。因此充分利用旧桥，挖掘潜力，节约投资，是我国交通建设的重要方针。桥梁的加固改造，应先对旧桥进行科学鉴定，因地制宜，采用经济合理的方法。

近年来公路建设迅速发展，桥梁技术不断进步。在设计理论、施工工艺、试验方法等方面积累了大量经验。互相交流，共同探讨，有很大的价值。

实现公路交通现代化，发展桥梁科学技术是关键性问题之一。我们桥梁技术工作者要经常交流经验，共同提高，为完成桥梁建设任务而备斗。

论文集编辑组

主编

戴 竞

编委

林祥威 王伯惠 周 丰

华孝良 段君谷 魏光霞

责任编辑

吴德心 张征宇

目 录

一、桥梁经济分析

1-1	大型桥梁建设的经济造价问题	吴 敏 (1)
1-2	双曲拱桥的重新评价和经济桥型的优选组合	王伯惠 (4)
1-3	回顾建国以来的建桥历史经验泛论桥梁选型问题	赵华明 徐累有 (12)
1-4	组合式斜拉桥经济性探讨	华孝良 陶劲松 (17)
1-5	斜拉桥的经济分析	黄恭安 (25)
1-6	清远北江大桥经济分析	彭嗣墨 庄永安 (36)
1-7	试谈影响桥梁造价诸因素	刘源远 (47)
1-8	谈桥梁方案的经济选择	杨凤山 (49)
1-9	30t 双组缆索吊机在拱桥施工中的经济分析	熊世龙 (56)
1-10	井柱灌注桩双曲拱桥涵的设计与施工	徐 峰 (70)

二、桥梁鉴定、加固与改造

2-1	旧桥的评定和加固	楼庄鸿 (79)
2-2	旧桥测试与承载能力鉴定	唐松林 (92)
2-3	用体外拉杆提高钢筋混凝土简支梁桥荷载通过能力的计算方法	杨大慰 (108)
2-4	钢筋混凝土空心板梁桥使用承载能力试验鉴定	张劲泉 谢经纬 (116)
2-5	云梦桥加固后承载能力的分析	王 胤 (135)
2-6	从一座6m砖板拱桥的试压结果浅论拱桥承载潜力的发掘	张中和 (144)
2-7	改造双曲拱桥的新途径——宁杭公路南渡桥改造工程	易建国 方 晞 (156)
2-8	咸阳渭河桥的改造与经济效益	江爱仕 (166)
2-9	初论四川现有公路桥梁利用改造价值及经济效益	魏光霞 (173)
2-10	试论新疆旧桥加固改造利用的价值	张 真 (182)
2-11	旧桥技术改造研究报告(西包线黄堡桥)	袁雪戡 幸进民 (187)
2-12	采用增设大主梁方法改造旧梁桥的合理性初步研究	叶见曙 郭永琛 (200)
2-13	旧桥技术改造问题	汤芳宇 (203)
2-14	浅议我院二座桥梁的加固与改造	宋肇书 (207)
2-15	拱桥的革新和挖潜	董光华 (211)
2-16	旧桥加固方法综述	黄小洛 (217)
2-17	旧桥加固研究	唐松林 安书杰 (223)
2-18	拱式桥梁喷锚加固机理探讨	蒙 云 (238)
2-19	桂林雉山双曲拱桥顶推加固	张书廷 赵之忠 (244)
2-20	对双曲拱桥加固方法的新探索	胡小庄 王建新 曹传林 刘丽 (252)

- 2-21 宁波市灵桥的病害和加固.....林志兴 陈忠延 凌建中 (260)
- 2-22 几种桥涵工程的加固措施.....王怀武 (277)
- 2-23 小桥涵加固的研究.....陈恭卿 (281)

三、桥梁设计、施工与试验

- 3-1 梧州西江桥设计.....魏 壮 (286)
- 3-2 预应力混凝土连续桁构梁桥——湖州五一桥设计.....张继尧 陈海君 (295)
- 3-3 天津永和大桥工程设计与施工概况.....谢树桐 高一新 (309)
- 3-4 草滩渭河桥桥位桥长探讨.....杨延明 (318)
- 3-5 江苏响水灌河大桥勘测设计.....胡明义等 (335)
- 3-6 邕江大跨度组合吊桥结构型式和内力分析.....刁永宁 (343)
- 3-7 V型刚架连续梁桥.....过伯陶 谢惠钧 杨育生 (353)
- 3-8 弯梁桥研究.....邵容光 赖国麟 夏 淦 (375)
- 3-9 徐州史小桥弯梁桥试验研究.....邵容光 黄 熙 向德成 (385)
- 3-10 从弯拱桥实例论弯桥较弯桥正做的合理性.....陈祥宝 郭临义 (392)
- 3-11 由宁扬一级公路上新建直梁弯桥论今后各级公路上
简易设置弯桥的可行性.....郑鄂生 (397)
- 3-12 横向铰接面板肋拱桥.....关祥云 (406)
- 3-13 无侧墙轻台拱桥.....翟炳孝 (413)
- 3-14 平原软土地基拱式体系的探讨——下承式拱桥结构.....夏永明等 (420)
- 3-15 拱桥的极限承载力计算及电算程序.....张中和 (433)
- 3-16 人车分流双层环形立交的方案与实践.....黄文机 林增官 于 坚 (444)
- 3-17 一座三跨连续梁的设计.....夏永明 管义军等 (452)
- 3-18 框架式排架桩桥.....王哲世 (465)
- 3-19 挡土板排架桩桥台.....王哲世 钱庆纯 (476)
- 3-20 框架式桥台的计算及轻型墩台推广应用中的若干问题.....郑鄂生 (486)
- 3-21 整体组合板式桥台的设计.....夏永明 管义军 (495)
- 3-22 车辆荷载统计分析.....常大民 (499)
- 3-23 钢筋混凝土及预应力混凝土梁斜截面剪压破坏临界
断面位置的研究.....胡肇滋 钱寅泉 (507)
- 3-24 按比拟板法进行荷载横向分布计算的程序.....胡师康 (518)
- 3-25 钢筋混凝土环形圆形截面构件最大裂缝宽度计算.....杨洪标 (527)
- 3-26 钢筋混凝土偏压曲柱的强度试验研究.....成文山 程翔云 阳旺云 (536)
- 3-27 公路部分预应力混凝土T梁截面实用优化设计.....王永平 (542)
- 3-28 超静定结构预应力组合截面的收缩、徐变分析.....张继尧 郑锦文 (557)
- 3-29 软弱地基上的桥梁基础工程.....汤芳宇 (573)
- 3-30 公路常备架桥设备加固的研究——预应力双导
梁钢桁架加固设计与工艺介绍.....过伯陶 李永固 (578)

3—31	利用建筑脚手架钢管与H ₁₀ 钢架组合成可移式 拱架修建拱桥的经验.....	罗荣志 (584)
3—32	预应力混凝土连续梁桥顶推结构计算.....	许天锡等 (588)
3—33	九江大桥690m预应力连续梁顶推工艺	董 波 (597)
3—34	西樵大桥(斜拉桥)施工简介.....	许昌炽 陈松龄 (604)
3—35	公路桥20mT梁二次现场浇筑.....	张一工 陈安华 (613)
3—36	预应力弯、斜、坡连续箱梁桥施工简介——青岛市铁港立交桥.....	李德宏 (619)
3—37	我国公路桥梁桩基础工程质量的检测与控制.....	赵学勤 (641)
3—38	关于钻孔柱桩轴向承载力潜力的分析.....	饶天赞 (647)
3—39	受正弦稳态激振力作用时钻孔灌注桩的动力响应.....	周 丰 (657)
3—40	桥梁模态锤击试验分析方法.....	王宏章 惠 昭 (668)
3—41	裸拱模型极限荷载试验报告.....	张中和 赵信文 (683)
3—42	粘贴技术长期效能的试验报告.....	马金宝 袁珍妮 (705)
3—43	公路桥梁冲击系数的试验研究.....	惠 昭 王宏章 (717)

一、桥梁经济分析

1—1 大型桥梁建设的经济造价问题

吴 敏 黑龙江省交通厅

本文拟通过哈尔滨松花江公路大桥的设计和施工,对大型桥梁建设的经济造价问题进行一些探讨。

哈尔滨松花江大桥桥址河段大体有这样几个特点:属宽滩性河段,河床纵坡为0.03~0.04‰,主槽宽400~1000m,两岸有堤防约束,宽窄不一,一般为5~10km。桥位处在常水位时主槽水深6~8m,设计水位时深达15m;这样的深水区约宽100m。桥位紧靠市区,市区堤防防汛标准尚不足2%。桥位下游有两座旧铁路桥,桥长为1027m和1066m,分别建于1901年和1932年。桥位北岸距主槽约2km处有一股岔流,通向太阳岛风景区。

该桥概算造价9629.3万元,决算10,661.3万元,决算与概算之差值主要是工程量的调整和材料差价,由于采用投资包干,竣工决算与批准概算平衡。全桥每平方米竣工造价为2,145.97元。

现就桥梁经济造价问题进行以下探讨:

一、选择桥型是确定全桥造价的关键。对哈尔滨桥我们主要考虑了这样几个前提。

首先是城市的需要。该桥位于大城市,与江边斯大林公园连成一体,结合大桥建设,拟为哈尔滨市增加一景,并在带状的斯大林公园形成景观的高峰。因而在桥型选择中,要在节约造价的前提下采用先进技术,建成一座现代桥梁。

其次是通航需要。松花江是我省主要通航河流,规划为二级航道,通航孔净宽要求不小于70m,在5%或然率时净高不小于11m。桥位处主航道曾多次变迁,通航孔以布满700m主槽为宜。

第三是地形和地质条件。桥位处为冲积平原,地势平坦,地质较为均匀,河床下40m内以中、粗砂为主,局部为砾砂,一般为中密饱和。40m以下为泥岩,有风化层。由于地质均匀,可以考虑在深基础的条件下采用超静定结构。

第四是流冰期可能出现大冰块顺流而下。

基于以上情况,在方案设计阶段我们集中考虑了斜张桥与连续梁两种方案。两个方案估算工程量如表1。连续梁方案主孔按 $80\text{m} + 6 \times 110\text{m} + 80\text{m} = 820\text{m}$ 一连,边孔简支梁按 $11 \times 40\text{m} = 440\text{m}$ 布孔。(初步设计中定案为 $59\text{m} + 7 \times 90\text{m} + 59\text{m} + 15 \times 30\text{m} = 1198\text{m}$),斜张桥方案按 $149.5\text{m} + 310.5\text{m} + 149.5\text{m} = 609.5\text{m}$,边孔按 $10 \times 60\text{m} = 600\text{m}$ 布孔。斜张桥具有用料省、结构轻巧美观、技术先进等优点,但据有些兄弟省的实践,实际造价往往较预计增多。本桥深水区仅约100m,修建大跨斜张桥必要性不大,而连续梁整体刚度大,行车平稳,便于养护,为了选用经济、实用、技术先进而较稳妥的方案,我们选用了连续梁桥。实践证明,此桥竣工造价除调整工程量材料差价、冰水毁外,已控制在概算内,这就给施工的顺利进行提供了条件。

连续梁、斜张桥工程量表 (主桥部分)

表1

桥 型	混凝土 (m ³)	钢 材 (t)	
		普 钢	钢 丝
连 续 梁	52,212	4,019	1,019
斜 张 桥	40,774	3,012	1,181

主桥基础型式主要考虑了沉井和钻孔灌注桩两种方案。沉井方案增加圬工达9,000m³。对钻孔方案的主要顾虑是能否顺利成孔,经试桩后证明可行,于是决定采用钻孔桩。遗憾的是在施工初期我们的钻孔机械能力有限,而最大钻深达60m,因而选用了直径130cm的桩径。但我们认为,采用大直径钻孔桩对深基础是较适用的,如浇筑空心钻孔桩的设想能够实现,那么大型钻孔桩在深基础中将更具有广泛的前途。

江南市内引桥方案争议较大,主要是直桥与环桥之争。环桥的主要优点是避免高架桥分割市区主要街道,且较新颖别致,增加景观。但缺点是行车速度、通行能力受到限制。考虑结合城市改造,且进入市区后行车时速不可能过高,按40km/h设计,也可满足设计交通量的要求,因而采用了环桥方案。

二、合理布孔是经济造价的重要前提。在设计特大桥时,确定经济跨径是较重要的问题。基础工程的施工难易是影响经济跨径的主要因素。本桥主桥竣工造价下部为3,478.7万元,上部2,522.7万元(未计材料差价及冰水毁)。上、下部造价之比为1:1.38,跨径似可加大。但在初步设计时曾比较过110m与90m两种方案(桥净宽24m,采用双箱),每平米工程量如表2。

跨径90m、110m连续梁工程量比较表

表2

跨 径 (m)	混凝土 (m ³ /m)	钢 材 (t/m ²)	
		普 钢	钢 丝
59+7×90+50	2.26	0.255	0.049
78+6×110+78	2.68	0.275	0.054

从上表看出,跨径90m的方案工程量较小,110m方案将增加混凝土18.6%,钢材增加8%。在本桥的具体条件下,90m跨径虽然主槽中的基础多两个,但水深不大,浅滩较多,造价将仍以90m方案较低,且110m跨径悬臂施工时单孔合龙时间长,悬浇合龙将近入冬季,施工难度增大,因而确定采用90m方案。考虑顺利宣泄流冰,以及主航道发生变迁形成斜交的可能性,未作更小跨径的比较。从主跨与边滩的造价分析,主跨为59m+7×90m+59m=748m一连续梁,概算造价2795元/每平米,边滩为30×15=450m简支梁,造价979元/每平米,为2.85:1。虽然边滩冲刷深度小6m,但采用小一些的跨径,造价将能降低。由于考虑了航道变迁的可能性,我们仍采用748m一连的主跨。但一般说来,布孔时主跨宜仅布设于必要

的深水区,其余采用较小的跨径,造价将能降低。

三、加强科学试验充分利用当时当地的条件,积极采用新技术是降低工程造价的主要方法。在建桥的过程中,充分利用当时当地条件,我们采用了沉浮式钢套箱、吹砂筑岛、井点降水、江砂填筑路堤、冰上钻桩、水上钻桩、泵送混凝土等多项新技术,仅沉浮式钢套箱和江砂填筑路堤就节约资金约160万元。与此同时,我们加强了科学试验,在指挥部领导下成立了驻现场科研组,对设计施工和新技术采用中的某些必要的课题进行了试验研究,在取得可靠依据的前提下予以采用。如对主航道的改移、上部箱梁的横向分布,盆式橡胶支座低温摩擦系数的选用,四分点横隔板的去留、利用江砂(极细砂)填筑路堤、井点降水的渗透系数等都分别经过了现场或模拟试验。对上部结构体系转换的全过程等则进行了应力监测,使设计和施工建立在较为可靠的基础上,为节约工程费用提供了依据。

引进新设备是保证工程质量、节约投资的主要环节。如采用泵送混凝土,一举改变了浇筑大体积混凝土时的人海战术,更重要的是节约了大量运送混凝土的临时设施。承台封底混凝土每次浇筑达600m³,仅用劳力200余人,10个小时完成。引进的钻机效率也较高,直径1.3m,60m深桩成孔速度从两天(黄河钻机)提高到14小时(RRC钻机),这对保证质量、节约工程费用均起到了较好的作用。

四、紧缩工期,安排施工,能取得一定的综合经济效益,松花江桥于1983年5月10日正式开工,1986年9月20日竣工,历时约41个月。此桥每年有五个半月进入冬季施工,施工期间每年都是丰水年,超过预计施工水位的时间在一个月以上,春季和深秋还各有一次流冰。原预定工期为54个月。我们考虑,现有的三颗树东江桥,净宽仅5.2m,在高峰期时常阻车,有时长达数小时,人们视为畏途。如能充分利用冬季,缩短工期,提前通车,虽将增加冬季施工费用,但综合考虑经济效益是非常值得的,因而在开工前进行了冬季施工试点,继而连续三年开展了冬季施工,严寒季节也未停工。我们还充分利用冬季的条件,在基础施工时进行了冰上钻孔,取得了较好的效果。冬季施工费用除按定额计算以外,不足部分追加114.7万元,共计299万元,但工期较预定提前13个月,按规定“过桥费”标准计算,可收585万元。

除进行冬季施工外,在工程管理上我们着重抓了分段悬浇、钻孔成桩等关键工期,悬浇段工期平均10天,最快为5.9天。每根钻孔桩工期由最初的7天缩短到平均3天,最快1天,这都给缩短工期,提供综合经济效益创造了条件。

五、管理体制与工程造价密切相关。哈尔滨松花江大桥是成立由省政府直接领导下的建设指挥部对工程进行全面领导的,由指挥部统一管理技术设计、工程施工、科学研究。指挥部设在现场,进行实质性领导。设计和科研人员也进入现场工作。技术设计由省建委授权指挥部批准。为了防止吃大锅饭,由建设单位(省交通厅)与指挥部在经批准的初步设计基础上签订了投资包干合同,指挥部再与各施工单位实行承包;桥头园厅及一些附属工程实行了招标投标。这种管理体制具有指挥统一,解决问题快,减少扯皮的优点。尤其是在大城市建桥,牵涉面较广,由省领导直接出面协调各方关系,为工程顺利进行提供了条件。这种管理体制,基本改变了设计与施工相互制约,科研与生产脱节的局面,避免了建设单位、设计和施工单位相互扯皮,对加快工程进度,节约投资,起到了重要的作用。对技术较为复杂的桥梁,设计与施工存在着不可分割的关系,那种互相制约的关系如不改变,某些问题必将出现拖而不决的局面,影响施工,我们基本没有出现这种情况。这也是竣工造价能控制在初步设

计概算之内的主要原因。

这种管理方式的主要问题是指挥部究竟是临时机构,难于具有长远打算,将影响队伍的提高。因此我们认为在特大桥建设中实行由设计与施工联合,进行“一条龙”的招标为好,这将对提高技术,降低造价起到显著的作用。对于特大型桥梁建设,设计是决定造价的主要因素。如单独进行设计招标,设计单位对工程成本不承担直接责任,采用的方案是否充分考虑了施工企业的优势和能力均难于认定。尤其是现代建桥技术,需要设计与施工协同作战,不可分割。进行“一条龙”的招标投标可以促使双方共同精心研究和综合考虑方案的先进性和可行性,发挥本企业的优势,以选定符合本企业实际的最优方案和全部工程投资。开展这样的竞争将能彻底改变互相制约、扯皮的局面,促进双方迅速提高。我们并进一步认为,大型施工企业应具有自己的设计、科研力量,以投入这种“一条龙”的招标,并不断分析国内外发展动向,提高自己的水平,对于一般工程,则可单独分别承担设计和施工任务。这样的企业,将具有广泛的前途。

1—2 双曲拱桥的重新评价和 经济桥型的优选组合

王伯惠 辽宁省交通科学研究所

提 要

本文对我国六十年代创建的双曲拱桥从桥梁发展史的角度作了历史的评价,肯定其在拱桥发展上的意义和价值,并发扬其优点,克服其缺点,结合灌注桩、组合桥台等国内创建的其他先进作法论证了一种优选组合的经济桥型,这种桥型在辽宁省农垦系统中已大量实现,获得了很大的经济效益。

前 言

1964年我国江苏省无锡市建桥职工创建了一种新的拱桥型式——双曲拱桥。这个桥型一诞生就受到中央和地方有关领导和全国公路以及铁路、水利、城建等桥梁技术人员的重视,短短数年间在全国获得广泛的推广。据1978年统计,当时全国已建双曲拱桥四千多座,总长三十余万米,有的省市甚至达到“有桥必拱,无拱不双”的程度。湖南省援外还曾在塞拉利昂修建两座跨径53m、全长七百余米的双曲拱桥,取得了国际友人的赞赏和好评。但是70年代中期以来,许多已建的双曲拱桥发生裂纹、变形、沉陷等病害,部分成了危桥。海城、营口和唐山两次大地震被毁坏者不少。一些地方把加固现有双曲拱桥作为专门课题和紧要任务来研究,现在双曲拱桥者在公路上似乎已是绝无仅有了。一些新建桥梁的可行性研究或设计方案比选时,双曲拱桥已经很少作为一种值得推荐的桥型参加比较了。二十年来我们亲自经历了双曲拱桥由盛到衰的过程。但是,这种突然的兴旺发达又突然的销声匿迹似乎不是一种正常的现象。这里,我们拟对双曲拱桥作一个历史的、科学的评价,并介绍辽宁省农垦系统近十年来大量修建双曲拱桥、方兴未艾的情况,并从中总结出一种优选组合的经济桥型来,对我国公路桥梁提高质量、降低造价会是有所裨益的。

一、双曲拱桥的历史评价

1964年在我国江苏省无锡出现的双曲拱桥，在今天来总结和回顾，应当肯定地说，它在拱桥建筑技术上具有划时代的革命的意义，最少下述三方面作出了突出的贡献：

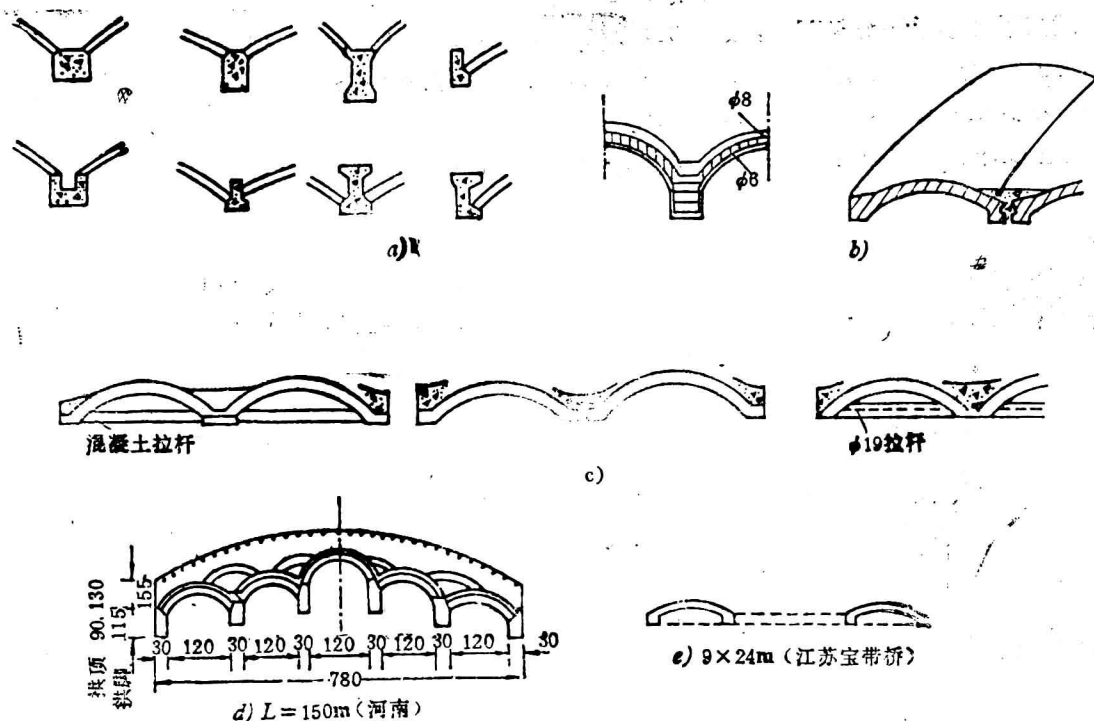


图1 双曲拱的各种横截面型式

- a) 拱肋的各种型式；
- b) 波肋合一式；
- c) 无肋式双曲拱；
- d) 高低波式；
- e) 双曲双肋拱。

(一) 双曲拱桥引起了拱桥横截面的革命。拱桥建筑是我国的民族传统，千百年来我们祖先就曾修建了许多出色的石拱桥，解放以来全国各地也都修建了大量的砖、石、混凝土拱桥。但是在双曲拱出现以前，这些拱桥几乎无例外地都是传统的矩形截面。双曲拱桥第一次在拱圈截面上采用曲线形，打破了一千多年以来只是矩形的传统。由于曲线形截面比矩形截面可以少用材料同时还可以获得更大的截面模量，因而一出现就得到了广大建桥技术人员的承认，迅速得到推广，并在推广过程出现了许许多多的不同横截面型式的拱桥，引起了一场影响十分深远的拱桥横截面的革命。

首先，就双曲拱本身来说，其横截面就有许多种不同型式的变化。图1a) 示波肋分离的各种作法、图1b)示波肋合一各种作法。图1c)示一些无肋双曲拱桥。图1d)示目前跨径最大的双曲拱桥河南省前河桥，单孔跨径150m，其横截面除了由波肋组成外，各个肋波也不是处在同一水平上而是在一条曲线上以图获得整个横截面更大的抗弯刚度。图1e)则示一

座双肋式双曲拱桥的横截面。

在双曲拱实现的拱圈横截面的革命的启发和带动下,人们的思想得到了解放,对拱桥的横截面又继续不断地进行改进和探索,目的是力图以更少的材料获得更大的承载能力,或者是更便于设计和施工。各地出现的一些混凝土和钢筋混凝土拱桥的新断面型式如图2所示。图2a)示一种波纹拱,图2b),2c),2d)则示管肋或管波拱。图2e)示管芯拱,先架设三条钢筋混凝土拱肋,然后在上面挂设模板,现浇成矩形外形,将三肋连接在一起。图2f)示折纹拱,比波纹拱更易于制作模板和设计计算,按装完了之后将顶面用预制板封闭(湿接缝)如图2g)中虚线所示就成了梯形截面的箱形拱,适于30m跨径以上大跨拱桥了。其他箱形拱桥的截面还有多种不同的组合成型方法,如图2h)所示,主要目的是尽量作到减少拱肋的第一次吊装重量。还有一种不封底的Π形截面,如图2i)所示。

这些变革自然也惊动了石拱桥,人们想方设法对古老的石砌板拱的横截面也开始作了一

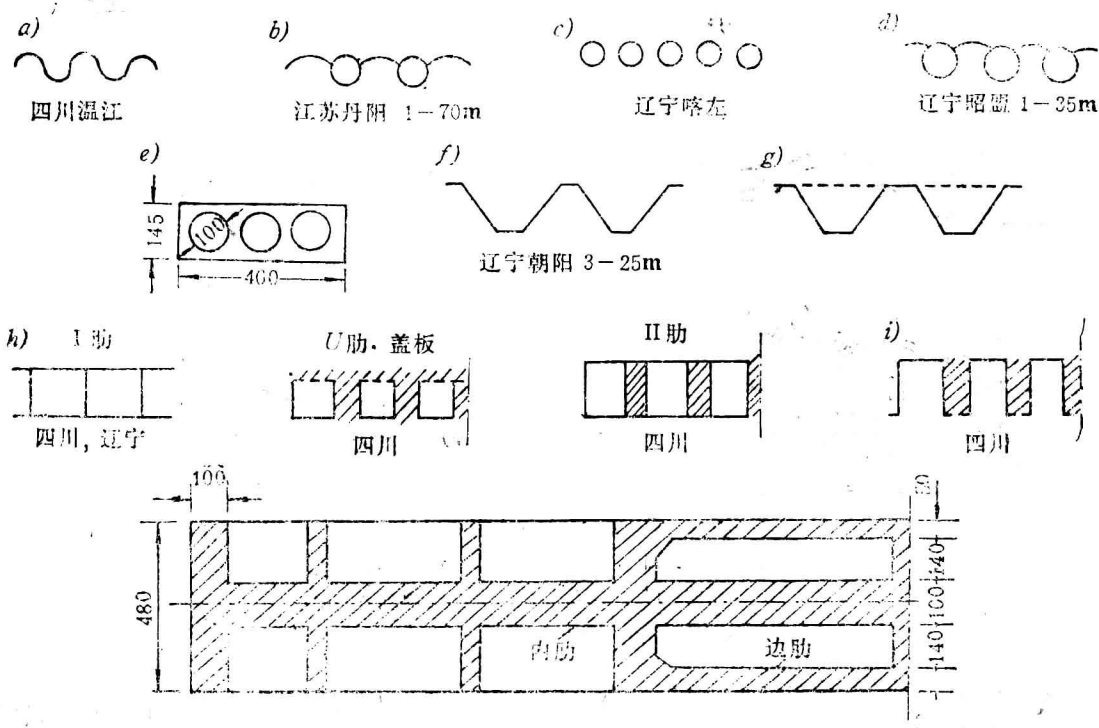


图2 后期出现的混凝土拱横截面的进一步变化

- a) 波纹拱; b) 波纹(管)拱; c) 管拱;
- d) 管波拱; e) 管芯拱(铁路); f) 折纹拱;
- g) 箱形拱; h) 箱型拱; i) Π型拱

些改革以求节省材料和造价,其中一些如图3所示。图3a)示石拱桥拱圈截面上部为板、下部部份挖空成肋的情形,经验说明肋数不宜太多以简化施工。其中图3a)④是跨径102m的河南省许湾桥的横截面,和板拱相比节约了圬工16%。图3b)示拱圈下面为板,上面为肋的情况,这样作法模板可简化,砌筑较易,而且各肋的外表不必像前者那样采用镶面石,因而造价亦较经济。双车道桥以上部设两个内肋为合理,如设边肋,应使边肋高度低于内肋,

以使拱圈能得到轻柔的外观，有时只在拱圈中部设边肋。湖南省自1977年以来已修建了一百余座全长五千余米这种上肋下板式截面的石拱桥，最大跨径70m（茅岗桥），并专称为板肋式拱。由于这个革新，加上拱上构造的轻型化，传统的板拱上部构造圬工可省掉30~50%。

（二）上部构造的轻型化引起了连锁反映：拱桥的下部构造的尺寸亦得以减少，地基承载力要求亦得以降低。具体的表现是：

历来拱桥皆要求体积庞大的、稳重的桥台，现在则大量的轻型桥台出现了。图4示少数几种拱桥轻型桥台的例子，其中湖南省首先提出的组合式桥台，如图4d①和4d②，由前台（又称台身）和台后（又称后座）两部份组成。前台主要承受拱脚的垂直力，而水平力则主要由后台基底的摩阻力来平衡。这在桥台的构造和原理上都是一种创新，而且具有十分显著的经济效益，早已在1975年纳入了当时交通部新颁的公路桥涵设计规范。

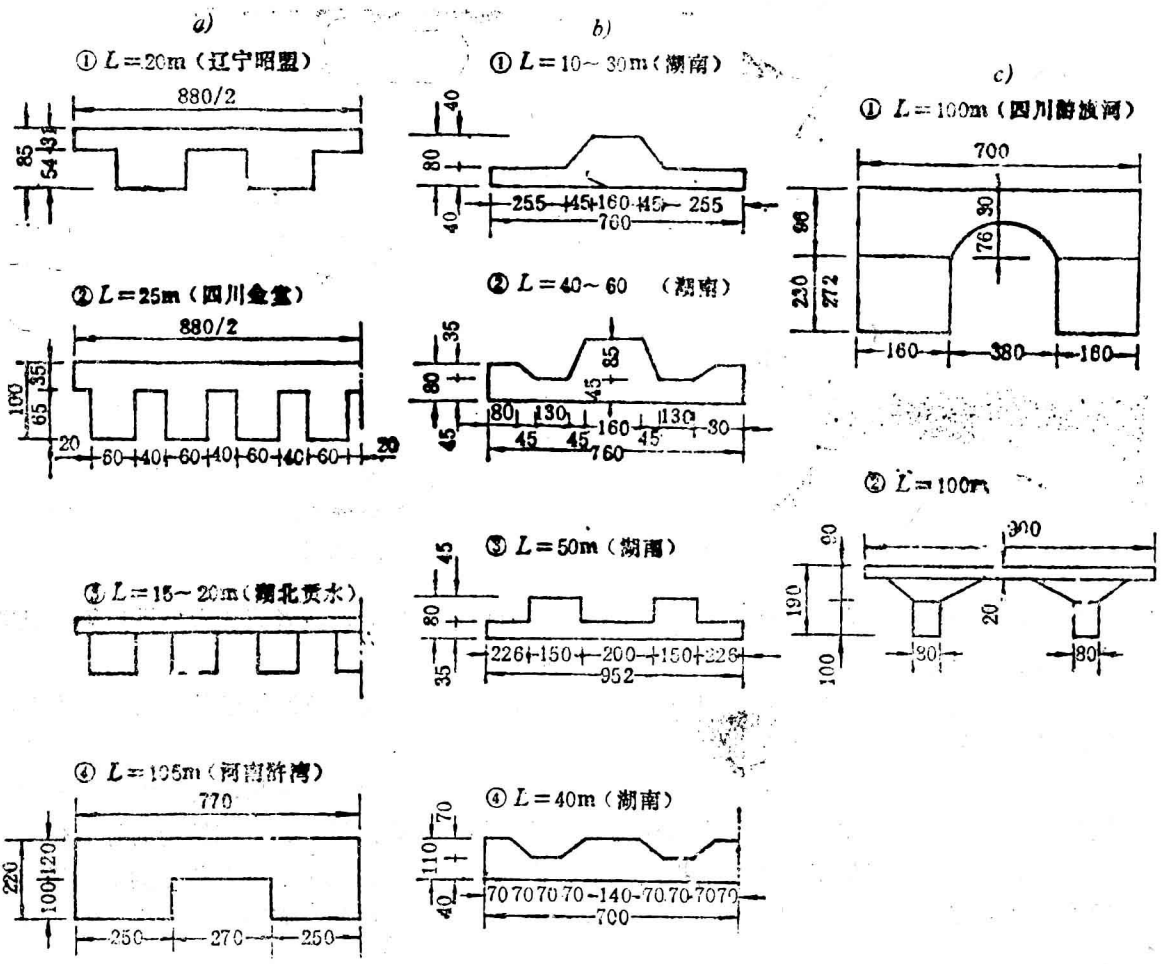


图3 双曲拱桥横截面的革命引起的石拱桥横截面的变化

历来拱桥的桥墩也都要求实沉稳重，现在则大量的桥墩采用灌注桩排架式，两边拱脚只座落在排架桩墩的墩帽上。当跨径达30m时，常用三根直径1.5m的灌注桩排架。这些桩排

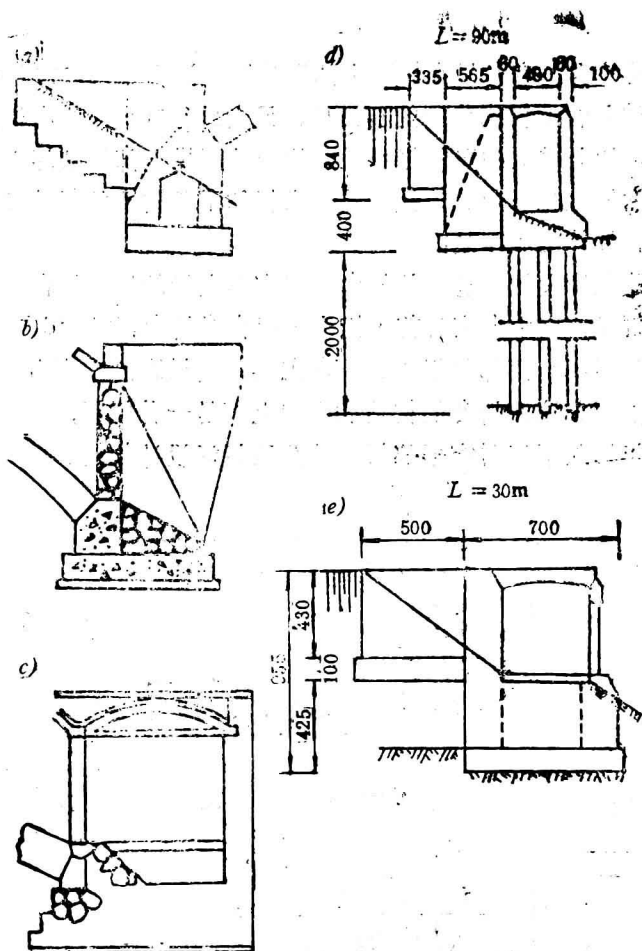


图4 双曲拱桥出现后的一些新的轻型桥台的例子

- a) 空心式，阶梯形翼墙（辽宁）； b) 扶壁式（浙江）；
c) L式（江苏）； d) 组合式（湖南）

架墩都是按高桩承台来设计的，而上部构造拱圈则按连拱计算，或者简化为单拱计算，但考虑拱脚承受一定的强迫位移。

钻孔灌注桩也是在60年代初期与双曲拱约略同时出现的我国公路桥梁技术的另一重大创新成果。这种构造体现了两种新技术成果的合理组合。

历来拱桥的地基都要求坚实稳固，最好是岩盘，起码也应是砂砾层，现在则在许多软土地基上如江浙沿海的软土地基上也修建了大量的拱桥。双曲拱桥上、下部结构的轻型化为软土地基上修建拱桥提供了必要的前提。应当指出的是：一些在软土地基上修建的双曲拱桥在后来出现了沉陷、裂纹等问题，是由于地基基础设计不当造成的，而不是双曲拱结构的缺点。

以上这些都是拱桥轻型化结出的硕果。应当指出的是：只是在双曲拱出现之后才使拱桥的轻型化真正成为具有实际意义和价值的现实。

（三）双曲拱桥最终完成了拱桥的无支架施工。

历来拱桥施工需要昂贵的支架，拱桥的无支架施工早已成为建桥工程人员所关心的课题。我国在五十年代和六十年代初期研究成功的横向悬砌法和纵向悬砌法在这方面作出了一定的

贡献，而双曲拱的出现则最终使拱桥达到了全面的无支架施工，这是人们都十分熟悉的事，不必赘述。

应当指出：近期新创成功的拱桥转体施工法也是在纵向悬砌法和双曲拱的无支架施工基础上发展起来的。

小 结

上述三方面是双曲拱这种拱桥新结构的特点和优点，也是双曲拱桥结构的无可争辩的历史功勋。在双曲拱的发展过程中还出现了一些其他的特点，如拱圈由历来的单一材料如石、砖、混凝土、钢筋混凝土修筑演变成了多种材料的组合，如钢筋混凝土肋砖波、石肋混凝土波等等，这对传统的拱桥建筑也是一种有意义的革新，这里就不作为重点一一提出了。

认真地总结和认识这些特点是很有价值和意义的事情。实际上双曲拱的雏形最早出现在辽宁省。1960年辽宁省喀左县公路段技术员杨小霞同志在县郊修了一座双孔跨径20m的塔城桥。那时还是修建传统的石拱桥的年代。该桥斜 40° ，为了避免砌筑斜拱圈的麻烦，采用了阶梯形正砌石肋的作法，如图5，每孔由4条石肋组成，拱上构造在拱脚部份有横墙腹拱，在拱顶部份没有腹拱，肋间空隙采用砖砌横向小拱来封闭，以便在上面铺设拱腹填充料（图5）。当时我们都认为这是一种很聪明的巧妙作法。事实上如果把中段的砖砌横向小拱向两段延伸直达拱脚就成了以后出现的双曲拱，但当时我们未见及此，未能作出进一步的总结和提

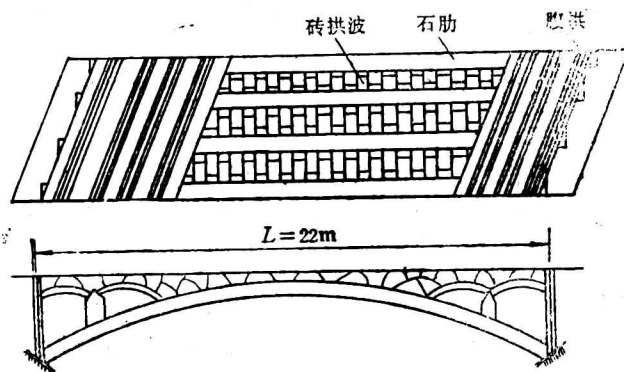


图5 辽宁喀左县塔城桥（1960年）
——最早出现的双曲拱桥的雏形

二、双曲拱桥出现的基本原因和克服措施

在1956~1975年的十年中全国掀起了普遍推广修建双曲拱桥的高潮，其中相当一部份，尤其在江、浙区的一些软土地基上的双曲拱桥，后来都出现了裂纹、变形、沉降等缺陷。据1979年全国普查资料，全国共有大、中公路双曲拱桥4085座，35万延米，其中好的和较好的占86%，次的和问题较严重的占14%。这个数字说明双曲拱结构本质上是成功的，但出现的问题也是严重的和大量的。出现问题的原因基本上可以分为两个方面：

第一，左倾路线的干扰。双曲拱诞生在左倾路线正在日益盛行的1964年。由于这种结构的雏形是由几个桥工队的工人首先提出来的，正好用来作为“卑贱者最聪明”的这个“最高指示”的有力例证，因而得到了大力宣传，把缺点（整体性不强等）放下不谈，把优点说得

很多，而且越拔越高，似乎可以有神奇的作用，拱肋可以作得十分纤细，填平层可以作得很薄等等。不两年到了“史无前例”的文化大革命，左倾路线取得了至高无上的统治地位，蔑视知识更是到了登峰造极的程度，在所谓“一无设计、二无图纸、三无技术人员也创建了许多宏伟工程”的大肆宣传下，一些工程包括许多双曲拱桥都是在“×××战斗组”之类的组织形式下进行的，其设计和施工的可靠程度往往是可疑的，许多双曲拱桥后来暴露出来了不少问题也是理所当然的了。

第二，早期双曲拱有缺点没有得到认真的对待和克服，关键的问题是整体性没有保证，主要在以下几方面：

1. 预制拱波一般是厚6~8cm的素混凝土弧形薄板，在土模或木模上现浇，不能得到良好的振捣，搬运砌筑过程常常就断折，或者已在顶部有隐伤，安砌后在荷载作用下很容易产生纵向裂缝。

2. 拱波是靠座浆安置在拱板上的，很难保证接缝的质量，而这些接缝在某些荷载情况（例如降温时拱波受收缩）下是承受拉力的，难免不发生裂缝。

3. 更严重的是拱波与拱波之间的砌缝。只有这些砌缝保证饱满密实，才能使拱波在纵向联成一个整体起拱圈的作用。只要有一条这种砌缝不起作用，这一条拱圈就将失去效用。而实际施工时这条砌缝是很难捣固的。在后来制订的设计规范中规定取拱波厚度的一部份（50%或60%）计入拱圈的厚度，大概就是考虑到这个情况，但遗憾的是，即使是50%或60%厚度作为有效也是保证不了的。实际上拱波只能起到模型板的作用，在其上后浇的填平层才能真正有效地起到拱圈的作用。许多双曲拱拱圈沉陷变形，强度和刚度不足，主要是由于这个原因。

至于在软土地基上发生的墩台基础的沉陷变形是下部设计不当造成的问题，不是双曲拱结构本身的缺点，已如前述。

为了保证双曲拱的整体性，可以采用如下一些措施：

1. 加强振捣工作，保证所有砌缝密实。实际施工时这一点很难作到，必须在每条砌缝下都设置悬挂的模板挡住砂浆不致漏掉。

2. 把拱波只作模板考虑，其上现浇的填平层才作为拱圈引入计算。这可以保证整个拱圈的强度和刚度，但不能保证拱腹的外形质量，因为一旦拱波部份出现了裂纹，会给人留下拱圈开裂了的印象。

3. 在模型支架上整体现浇双曲拱拱圈。在北方宽浅河滩的河流上采用土牛拱胎最为方便，有水孔可采用土、木混合支架或将水引到他孔。

4. 预制飞鸟式拱肋（图1b），肋间用适当宽度（10~30cm）的湿接缝连接。双曲拱的这种飞鸟式拱肋相当于梁式桥的T型梁，是一种十分合理的双曲拱拱肋型式。适当加宽湿接缝是为了使肋与肋之间形成刚性连接而不是铰接，用以增进整个拱截面的横向刚度。这种拱肋使整个拱圈两侧皆具有悬半坡，可以大大加强边肋的横向刚度和减少侧墙圬工量。预制安装法施工双曲拱宜大量推广飞鸟式拱肋。

5. 当跨径大，飞鸟式拱肋重量过大、吊装困难时，可先预制安装一般拱肋，再在肋间设置可以沿肋纵向移动的短段模板，在上现浇拱波和填平层，均匀的逐段进行。混凝土肋身应伸出钢筋与现浇混凝土连接。

上述后面三条是值得推荐的作法。

三、双曲拱桥经济型式的优质组合

1972~1974年,作者在农村插队期间,从事水利工程施工,曾在县以下道路上修建了一些石拱桥和双曲拱桥,其中,双曲拱桥如昌图县大四公社昭苏太河桥,9孔跨径15m全长135m,宽7m荷载标准汽—10,拖—60,设计时曾注意汇集了当时已成熟使用的一些较优的拱桥轻型结构的作法:

- 1.桥墩采用双桩式排架墩桩,两根灌注桩直径90cm,中间设一个双排桩式墩作制动墩。
- 2.桥台采用灌注桩基上设一字形轻型桥台。

3.上部双曲拱在土牛拱胎上整体现浇,但横隔梁(弧形,与拱波密贴)事先预制好安置在土牛拱胎上,以免制作拱胎时的麻烦。拱肋间距1.5m,两侧悬半波。

这座桥县里只拨了300t水泥,30t钢材,30m³木料(节余未用),其余动员民工完成。由于结构轻巧,用料十分经济。

对较小跨径,如一条乡道上三孔跨径8m、宽4.5m、载重汽—10的双曲拱桥,排架桩墩桩直径减为50cm,桥台座用一字式,基桩靠台座处设挡土板,上部采用无肋单波两侧悬半波,波跨2.25m,素混凝土在土牛上浇筑,厚仅20cm。

这些桥至今都使用完好,未出现任何裂纹。

直到1986年,我们才了解到一个有意义的情况:当双曲拱在全国公路系统走下坡路、停滞不前的近十年中,辽宁省农垦部门却在全省国营农场的道路上全面、大量地修建了许多双曲拱桥,最大跨径25m,并把这种形式推广使用到5m以下跨径,发展成为桩基拱涵,从1975年起至1986年的12年中共修建了438座总长2915m(拱涵长度按跨度计算),在技术上还有所改进。农垦部门的载重标准一般采用汽—10到汽—15,桥宽6~7m,其具体作法与上述我们在昌图县修建的那些双曲拱桥相似,但还有所改进:

1.桥墩采用双柱式排架桩墩,两根灌注桩,跨径5m以下者直径40~50cm,5~10m者直径50~70cm,15m以上者直径100cm,墩帽即为承台。

2.桥台采用组合式,跨径5~10m者只在双柱式排架前台之后设置一片混凝土挡土墙(里坡1:0.5)深入地面以下1m以防冲刷。跨径10~25m者后台石砌成U形墙。小的涵洞则只在前台台帽以下贴靠桩身设置几片预制钢筋混凝土挡板以防冲刷漏土(一般农田排灌渠道冲刷很小),参见图6。

3.上部构造双曲拱在土牛或土木混合拱架上整体现浇。一般采用三肋,肋间间距加大到2~2.5m,两侧悬半波。5m以下涵洞则只作成弧形或半圆形拱圈。

4.结构上的重要改进是在墩顶盖梁上作立墙以作为拱脚的横垫梁,半侧与盖梁整体浇注使拱脚成为固定端,半侧与盖梁和另半侧之间皆用油毡纸隔开使拱脚成为可以向内水平移动的活动端。这种作法既保持了拱脚的嵌固性质,又可避免拱身的温度和收缩裂纹(参见图6)。

辽宁农垦系统这些桥涵用料很省,施工简易,造价低廉,直到目前,中等桥梁造价只合3000元左右一延米(不包括管理费),而且最重要的是至今未发现什么裂纹和沉陷变形。今年六月,省桥梁学会曾专门召开了现场交流会和评议会,认为这种型式其墩、台、双曲拱上部是当前公路双曲拱桥灌注桩墩台众多形式中的优选组合,是十分合理而经济的。包括对双曲拱拱脚作法在结构上的改进等,都是值得在公路系统推广的。当然在推广时应按公路