

公路双曲拱桥

设计施工经验选编

交通部双曲拱桥技术经验交流现场会议 编

人 民 交 通 出 版 社

公路双曲拱桥

设计施工经验选编

交通部双曲拱桥技术经验交流现场会议编

人 民 交 通 出 版 社

1975年·北 京

内 容 提 要

本选集系根据《双曲拱桥技术经验交流现场会议》上提出的技术资料选编而成。全书共有 21 篇文章，其中主要是关于双曲拱桥设计计算、施工方面的技术经验，此外还有旧桥改建为双曲拱桥以及一些已建成的双曲拱桥静载试验资料，可供从事公路桥梁建设的设计、施工和科研人员学习参考。

公 路 双 曲 拱 桥

设计施工经验选编

交通部双曲拱桥技术经验交流现场会议编

人民交通出版社出版

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第 006 号

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷二厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：15 插页：3 字数：349 千

1975 年 3 月 第 1 版

1975 年 3 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数：0001—20,000 册 定价（科三）：1.30 元

(只限国内发行)

前 言

在党的社会主义建设总路线指引下，我国公路建桥职工破除迷信，解放思想，继承我国修建石拱桥的优良传统，结合我国当前具体情况，创建和发展了双曲拱桥。这种新的桥型具有用料省、造价低、结构坚固、施工简便、形式美观等优点。几年以来，全国各地因地制宜，广泛采用，得到很大的发展。

为总结和交流双曲拱桥的修建经验，交通部于一九七二年十一月在湖南省长沙市召开了“双曲拱桥技术经验交流现场会议”。会议以路线斗争为纲，联系实际，狠批了刘少奇、林彪的反革命修正主义路线，回顾了双曲拱桥的发展过程；总结和交流了双曲拱桥在设计、施工、科研各方面的经验，并对今后公路桥梁建设提出了新的要求。

遵照毛主席关于“要认真总结经验”的教导，在这次会上，各有关单位提出了大量经验总结、科研成果和技术资料，现将其中部分资料汇编成册出版，以供今后桥梁建设上的参考。

热诚希望广大读者结合当地具体情况，将发现的问题和意见函告交通部公路局。

编 者

一九七三年九月

目 录

公路双曲拱桥的成长与展望	交通部公路局(1)
双曲拱桥上部构造设计计算的一些考虑	湖南省交通规划勘察设计院(4)
宝带桥的设计	江苏省交通局(12)
关于双曲拱桥设计的几点体会	交通部第二公路勘察设计院(34)
乌江渡公路大桥设计体会	贵州省交通局(39)
永定河大桥单向推力墩的设计	北京市市政设计院(55)
斜孔桩桥台配双曲拱桥的实践与认识	陕西省交通科学研究所(65)
老灌河双曲拱桥	河南省交通局设计院(73)
旧桥改建为双曲拱桥	广西壮族自治区交通局工程公司(87)
半永久式桥梁套建成双曲拱桥	福建省建阳地区第一交通工程队(100)
双曲拱桥悬索吊装施工体会	四川省交通局(107)
多孔双曲拱桥缆索吊装无支架施工	湖南省交通规划勘察设计院(121)
东兴桥无支架吊装的应力验算	广西壮族自治区交通局工程公司(133)
净跨30米双曲拱桥整片拱肋吊装方法	湖北省交通局公路管理局(148)
三铰木拱架	四川省交通局(153)
用挂链试验掌握双曲拱桥均衡加载	江苏省盐城地区交通局(159)
双曲拱桥施工加载计算	湖南省交通规划勘察设计院(163)
关于双曲拱桥预留拱度设置方法的意见	江苏省盐城地区交通局(184)
双曲拱桥模型试验	湖南大学土木系公路工程教研室(193)
永定河大桥荷载试验	北京市市政设计院(216)
标准轨铁路双曲拱桥试验	湖南省交通局交通科学研究所(221)

公路双曲拱桥的成长与展望

交通部公路局

一九六四年,江苏无锡县建桥职工,在两个阶级、两条路线、两种思想的激烈斗争中,遵照毛主席“自力更生”、“艰苦奋斗”的伟大教导,破除迷信,解放思想,继承和发展了我国石拱桥的悠久传统,吸取了钢筋混凝土桥预制装配的优点,成功地创建了双曲拱桥。

这一新的桥型,用料省,造价低,结构坚固,施工简便,形式美观,是适合我国当前具体情况,符合党的社会主义建设总路线精神的。据湖南、江苏、广西等省、区的统计,与其它钢筋混凝土桥梁比较,双曲拱桥可节省钢材百分之六十左右,采用无支架施工还可节省不少木材。以湖南省湘江上的两座大桥为例,长沙大桥是双曲拱桥,湘潭大桥是钢筋混凝土肋拱桥,前者较后者每米节省钢材百分之六十八,木材百分之四十。由于双曲拱桥具有上述优点,因此,深受群众欢迎,各地因地制宜,广为采用。如跨越湘江、汉江、乌江、大渡河、永定河、京杭大运河等较大河流上的桥梁,都采用过这种新桥型,有的铁路和水利工程也修了双曲拱桥。

党的九届二中全会以来,通过批林整风,深入进行思想和政治路线方面的教育,广大职工阶级斗争和路线斗争觉悟不断提高,双曲拱桥的建设速度进一步加快。据十七个省、市、自治区的不完全统计,到目前为止,共修建双曲拱公路桥三千三百余座,总长十九万三千米;还修建了大量农桥,仅江苏省的苏州、扬州、盐城、南通四个地区就修建了八千七百多座,长达十六万一千米。这对改渡为桥、改建危桥、发展交通事业,促进工农业生产起了一定作用。同时,结构形式不断改进,施工措施不断完善,工程质量不断提高,特别在无支架吊装施工方面,积累了一些经验,为今后在深水、深谷中建桥创造了有利条件。

但是,双曲拱桥在发展过程中,也出现了一些质量和安全问题。据调查,已建成的双曲拱桥,有些开裂比较严重,个别的甚至影响到继续使用。特别是有些省、区,在施工过程中发生过安全事故。必须认真对待,采用积极措施,切实加以解决。

随着我国社会主义建设的迅速发展,公路桥梁建设还不能适应客观形势的需要,全国还有不少公路渡口、临时性木桥需要逐步改建,加上新建公路,今后桥梁建设任务还是十分繁重的。为了更好地贯彻党的社会主义建设总路线,确保工程质量和安全生产,还要认真抓好以下工作:

一、加强党的领导,狠抓思想和政治路线教育

几年来的实践证明,能不能多快好省地修建双曲拱桥,路线是根本,领导是关键。1972年建成的湖南长沙湘江大桥,由于党委重视,思想教育和组织管理工作抓的紧,工期短,造价低,质量好。因此,党委一定要加强对基本建设工作的领导,遵照毛主席“路线是个纲,纲举目张”的教导,狠抓思想和政治路线方面的教育,深入开展革命大批判,彻底批判刘少

奇、林彪的反革命修正主义路线。正确贯彻党的路线、方针、政策，正确处理政治和业务的关系，充分发挥政治工作的统帅作用和保证作用；划清为革命学技术、钻研业务和“技术第一”、“业务挂帅”的界限；划清遵守社会主义的规章制度和资产阶级管、卡、压的界限。要用对工作“极端的负责任”、“对技术精益求精”的精神和“三大纪律八项注意”教育干部和群众，培养“三老”（当老实人，说老实话，做老实事）、“四严”（严格的要求，严密的组织，严肃的态度，严明的纪律）、一丝不苟的作风，更好地为社会主义革命和社会主义建设服务。

要充分发挥干部、工人和工程技术人员的作用。对技术人员要热情关怀，严格要求，大胆使用，支持他们的工作，发挥他们的专长。

二、坚持群众路线，贯彻民主集中制

双曲拱桥是群众创造又经过群众不断革新、发展的新桥型，它的发展过程有力地说明“人民群众有无限的创造力”。

近几年来，在党的领导下，各地依靠和发动群众，修建了大量的双曲拱桥，湖南省净跨一百一十米的石潭大桥，辽宁省净跨八十米的建昌县大桥，都是在党的领导下，在专业部门的帮助下，发动群众修建成功的。我们一定要遵照毛主席的教导，坚持“自力更生”、“艰苦奋斗”的方针，充分发挥广大群众的积极性，采取国家投资，民办公助等多种形式，积极发展桥梁建设。在发动群众修桥时，必须认真贯彻毛主席和党中央关于提高质量、保证安全生产的指示，切实做好技术培训和交底工作，把设计要求、施工技术、操作规程、质量标准交给群众，经过群众认真讨论，贯彻执行。对群众的意见，要虚心听取，认真对待。合理的及时采纳，不合理的要耐心说服解释；做到统一思想，统一指挥，统一行动。不要擅自改变设计要求和施工方法。既要相信群众，又要加强技术指导和技术监督工作，这样才能把群众的积极性引向正确的轨道，促进双曲拱桥顺利地蓬勃发展。

三、加强技术管理，严格按照基本建设程序办事

在生产管理上要严格遵守国家关于加强基本建设管理的规定。认真做好勘测设计工作，加强对设计文件的审核。大、中型桥设计时，必须实行两个“三结合”；经过批准的设计文件不得随意修改；必须修改时要经过群众讨论，领导批准；重大的修改或变更要详加验证，并经原批准单位核准。要加强技术管理，建立和健全岗位责任制，严格遵守设计施工的有关规定。在施工前一定要编好施工方案，做好施工准备工作。对于国内还缺乏经验的结构、工艺和材料，必须通过试验，报经主管业务部门批准，方可采用。要严格执行材料检验制度，不合格的不准使用；要切实做好质量检查和竣工验收工作，重要工程特别是隐蔽工程，必须做好原始记录，进行中间检查验收，不符合设计和使用要求的不得交工。对于大型桥梁，必须进行技术总结，长期观察，建立技术档案。

四、精心设计，精心施工，确保安全质量

安全质量问题是个政治问题、路线问题，必须高度重视，严肃对待，决不可掉以轻心。

要狠抓安全、质量，正确处理多、快、好、省的辩证关系。片面追求多快，忽视好省是错误的。基本建设是国家的百年大计、千年大计，提高工程质量，正是为了把基本建设搞得更多、更快、更好、更省，全面贯彻社会主义建设总路线。为了确保工程质量和安全生产，要做到精心设计，精心施工。要把勇于实践、勇于创造的革命精神和实事求是的科学态度紧密地结合起来。总体布置要按照使用要求，结合地形、水文地质、材料供应、施工条件等因素，综合考虑，根据因地制宜、就地取材的原则，选择经济合理的桥型和跨径。在发展双曲拱桥的同时，并不排斥采用其他桥型，如山区石料充足，也可以多修石拱桥。对跨径八十米以上的双曲拱桥，更要采取慎重的态度，设计、施工方案必须报送省的主管部门认真研究审查，不要采取片面追求大跨径的错误做法。对主拱圈的设计，要全盘考虑各阶段的受力状态，合理地选择线型和截面形式；必须进一步采取有效措施保证主拱圈的结合强度和整体性；要加强横向联系，适当增设横隔板；墩台设计要安全可靠，保证有足够的抗滑移和抗转动的性能，基底应力和沉降要尽可能地保持均匀；对于多孔连拱桥要分组设置制动墩。在施工过程中，要严格遵守操作规程，做好观测和质量检查工作，及时掌握拱轴线的变化；对无支架施工，拱肋必须具有足够的刚度，并应事先制订好吊装和安砌方案，结合工程进行的实际情况，认真按照执行，确保吊装精度和拱肋、拱圈的纵横向稳定。总之，要把每个环节的工作做好、做细，保证工程质量和施工安全。

五、加强科学研究，交流技术情报

几年来，各部门对双曲拱桥做了很多科研工作，但还远远赶不上生产建设的要求。例如双曲拱桥偏心受压时主拱圈截面的应力分布和截面强度；弹性压缩、温度变化、混凝土收缩和徐变等对主拱圈的影响；拱上构造的联合作用；拱脚支承的边界条件；墩台位移、转动和沉降的容许值等等，都需要通过科学研究和设计施工实践加以改进和解决。对这些问题，希望各有关部门订出计划，分工协作，加强领导，充实力量，紧密结合工程实践，积极开展科研工作。对已建成的双曲拱桥要进行重点调查，为设计和施工提供更多的科学依据。要认真总结经验，加强科技情报工作，及时交流科研成果和技术资料，不断提高双曲拱桥的技术水平。

目前，我国国民经济已进入了新的重要发展时期。我们一定要在毛主席无产阶级革命路线的指引下，“抓革命，促生产，促工作，促战备”，高举总路线的光辉旗帜，深入开展“工业学大庆”的群众运动。发扬成绩，克服缺点。为社会主义革命和社会主义建设作出更大的贡献。

双曲拱桥上部构造设计计算的一些考虑

湖南省交通规划勘察设计院

一、计算理论的采用

双曲拱桥是介乎板拱与肋拱之间的一种新的推力结构型式。根据我省实践和试验结果,拱圈的工作状态基本上处于弹性受力阶段,故目前整个计算理论,仍然采用弹性理论,各种外力仍考虑由拱圈单独承受。拱圈内力按无铰拱(个别桥按双铰拱,三铰拱)计算,断面应力按圬工计算。当拉应力和偏心距均已超过圬工容许值而全断面含筋率达到钢筋混凝土构件标准时,则按钢筋混凝土构件验算断面应力。与《拱桥设计计算手册》的板拱计算方法相比较,除考虑拱圈断面各组成材料的弹性模量换算和需要时按钢筋混凝土构件验算应力外,其基本理论与计算方法是相同的。

当然,目前这种计算理论与方法并不能完全反映客观实际,还存在一定的问题,比如:拱上建筑与拱圈的共同作用,在现行计算方法中未能合理体现;温度和混凝土收缩应力的计算尚欠完善;徐变影响未予考虑;由肋、波、板组成的拱圈断面其整体性低于板拱;活载横向按均匀分布计算还不够合理等等。虽然如此,在尚无更合理的新的计算理论的现阶段,我们仍然采用弹性理论,假定拱圈单独受力,主要是基于以下考虑:

1. 从一些试验资料来看,在试验荷载作用下,双曲拱桥有符合弹性阶段受力的一面:

(1) 拱顶最大挠度与荷载关系基本接近直线,其实测数字与按弹性理论计算的数值基本符合;

(2) 实测应变与荷载关系基本按直线规律变化,实测应变值小于弹性理论的计算值;

(3) 卸荷以后拱体变形基本上能恢复。

2. 从实践效果分析,我省建成的双曲拱桥一直都在正常使用(裂纹问题是混凝土圬工结构通常所存在的“通病”)。说明现行计算理论对结构强度有足够保证。

3. 由于温度应力、混凝土收缩和徐变影响等因素的变化规律尚未摸清,目前无法准确定量计算。此外考虑到今后重型车辆越来越多,对桥梁承载力要求越来越高,因而双曲拱桥采用弹性理论设计,在结构强度上留有一定的潜力储备也是必要的。

二、矢跨比的选择

合理地选用矢跨比,应根据地形条件、地质情况、净空要求和施工方便、单跨或多跨、大跨或小跨、等跨或不等跨、空腹或实腹等因素给予综合考虑。我省目前矢跨比的采用,公路双曲拱桥一般为 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{8}$,铁路双曲拱桥为 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 。

就施工来说,陡拱施工操作不方便。

从结构受力来看,矢跨比小则弹性压缩、混凝土收缩和温度附加力均较大,对拱圈不利。从 $\frac{H_g}{V_g} = \frac{L}{4f}$ 的关系式来看,矢跨比减小后水平力的增加要比垂直反力的减小迅速得多,所以坦拱对墩台受力来说也是明显不利的,尤其是当地基不好时,则导致较大的位移,反过来又对拱圈产生不利因素。下面列出 $\frac{f}{L}$ 与 $\frac{H_g}{V_g}$ 的关系表和我省××铁路(准轨)实腹双曲拱的计算结果比较表:

表1-1

跨径 (米)	f/L	m	恒 载			活 载			制 动 力		温 度		组 合 内 力		
			H (吨)	V (吨)	M (吨·米)	H (吨)	V (吨)	M (吨·米)	H (吨)	V (吨)	H (吨)	M (吨·米)	H (吨)	V (吨)	M (吨·米)
12	1/3	3.5	90.87	162.73	3.2	61.0	66.83	23.65	6.63	8.22	12.0	30.77	170.5	23.78	51.22
12	1/4	3.5	113.24	143.63	1.3	81.8	66.74	24.63	6.62	7.13	28.24	56.0	229.94	217.5	81.97
比 值 %			125	87.6	140.5	134	99.5	110	1	86.7	236	185.8	134.5	91.7	160

表1-2

f/L	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{10}$	$\frac{1}{12}$	$\frac{1}{15}$
H_g/V_g	0.78	1.15	1.46	1.72	1.94	2.15	2.41	2.96	3.69

从表1-1可看出随着矢跨比减小 $\frac{H_g}{V_g}$ 的增长情况。

从表1-2可看出,当跨径 L 和悬链拱轴系数 m 一定时,采用 $\frac{1}{4}$ 矢跨比的拱较 $\frac{1}{3}$ 的拱虽减少了12.4%的恒载垂直力,但恒载水平推力增加了25%,活载推力增加了34%,温度和混凝土收缩产生的水平力增加了136%,组合内力中,推力增加34.5%,弯矩增加60%。

在多孔情况下,坦拱的连拱作用较陡拱显著,对拱圈不利。

从变形来看:据我省几次调查,矢跨比小于 $\frac{1}{6}$ 者,在建成后经过一两年使用,拱顶多有明显地下挠,矢跨比越小,跨径越大,则下挠量越大,均超过了原预留拱度。如254号桥4-42.5米, $\frac{f}{L} = \frac{1}{8}$,72年6月检查较70年竣工时拱顶又下沉了5厘米左右;224号大桥,主孔跨径110米, $\frac{f}{L} = \frac{1}{8}$,68年竣工时预留拱度已基本完成,72年4月检查,拱顶继续下沉了14厘米。而这两座桥的墩台基础均较坚固,无位移现象。从出现的裂纹程度来看,我省××铁路14座双曲拱桥调查表明矢跨比 $\frac{1}{3}$ 比 $\frac{1}{4}$ 的桥情况好些,其中三座质量好、未出现裂纹的矢跨比均为 $\frac{1}{3}$ 。

从拱的纵向稳定考虑,拱过坦或过陡都不利。

综合以上各方面考虑,根据我省具体情况,矢跨比的采用,公路以 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{8}$ 为宜,铁路以 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 为宜。

三、拱轴线型的选择及拱轴系数 m 的确定

1. 基本线型

我省双曲拱桥拱圈形式有圆弧线,悬链线,高次抛物线等。无论选用何种线型,其目的不外乎两个:(1)谋求与恒载压力线(三铰拱压力线)基本相吻合的轴线;(2)使设计和施工均较方便。我省公路双曲拱桥跨径在30米以上者均采用悬链线;30米以下者,根据具体情况不同,有采用悬链线,也有采用圆弧线的。个别特大跨径的桥因采用大空腹拱上构造,曾用过高次抛物线。铁路双曲拱桥都是采用悬链线。

2. 拱轴系数 m 的确定

近几年来,对 m 值的选用一般都是偏低考虑。有支架施工者,宜在2.814~5.321之间;无支架(或早期脱架)施工者,宜在3.5以下。这主要是考虑了以下几个因素:

(1) 拱轴系数 m 与弯矩 M 的关系

当 m 增加一级时,弯矩影响线面积,不论拱顶、拱脚正值增加5~10%,负值减少5~10%。所以 m 的增加对正弯矩控制的拱顶断面不利,对负弯矩控制的拱脚断面有利。根据双曲拱桥使用情况看,有裂纹的以在拱顶下缘为多。所以应着重控制拱顶断面正弯矩,特别是铁路双曲拱桥。因此,选用较小的拱轴系数 m 是有利的。

(2) 拱轴系数 m 与拱上构造的关系

对采用悬链线作拱轴的双曲拱桥,多半是空腹式,其拱轴系数的大小反映着拱上建筑材料的分布情况。近年来,拱上建筑向轻型方面发展,因此 m 值较前减小。但若为追求过小 m 值,以使拱上构造采用完全钢筋混凝土轻型结构,这将多耗钢材,所以 m 值的选择在偏低的前提下尚应根据具体情况综合考虑。

(3) 拱轴系数 m 与施工方法的关系

拱轴系数是根据全桥建成后的恒载确定的,但自拱肋合拢至拱上构造未完成之前,各施工阶段的恒载压力线与设计拱轴线是不吻合的,裸肋或裸拱的 m 接近于1。如果设计时取用了较大的 m 值,这将使裸肋或裸拱在施工过程中产生较大的偏心,受力不利,增加施工加载的困难,甚至威胁到施工的安全。

对于无支架施工者,由于裸肋、裸拱受力状态的存在, m 值的选择应特别慎重。如 $\times \times$ 桥6-40米,矢跨比 $\frac{1}{6}$, $m=4.324$,采用无支架缆索吊装施工,三段拱肋合拢后,一般的经过四天全桥30片拱肋,大部分在靠近拱脚的 $\frac{1}{8}$ 截面附近从肋上缘向下出现轻重不同但却很明显的径向裂纹,个别最大宽度达2毫米。

对有支架施工者,考虑到裸肋(拱)与支架的共同受力, m 值可适当放宽选用。

3. 降低拱轴系数 m 的措施

(1) 挖空拱板,选用波形或折线形拱板的拱圈断面,这对空腹式有效,因拱顶仍为实

体, 对 $M_{顶}$ 减少不多, 而 $M_{脚}$ 得到了较大幅度的降低;

(2) 拱上腹孔采用挖空式横墙或立柱。采用较坦的腹拱或板式桥面;

(3) 拱上腹孔的布置按照可能和需要进行尽可能挖空;

(4) 使拱上填料的厚度和重量空腹部分小于实腹部分;

(5) 主拱采用较小的矢跨比, 但要进行得失比较;

(6) 设计时考虑假载, 采用低一级或半级的 m 值。但这又造成与恒载压力线产生偏离, 因此也不宜降低过多。

四、拱圈截面型式的选择

双曲拱桥拱圈断面系由不同材料、以不同的施工方法分层砌筑而成。所以应特别注意加强拱圈各组成部分的结合强度, 以提高组合拱圈的整体性。

在双曲拱桥推广初期, 由于经验缺乏, 设计考虑不周, 施工质量重视不够, 部分桥拱圈产生了组合面水平(环向)裂纹和波顶纵向裂纹, 削弱甚至破坏了拱圈整体强度。近几年来广大工人和技术人员总结经验, 在构造上想了很多办法, 收效很大。归结起来, 大致有以下几点:

1. 合理地分配断面刚度

平板式拱圈断面, 横向刚度不均, 在混凝土收缩作用下, 波顶(厚度最小)容易产生纵向裂纹。据调查, 拱圈不同程度的波顶纵向裂纹多产生在初期采用的填平式断面, 237号桥4孔50米, 其中两孔采用填平式拱板, 两孔采用波浪式拱板, 前者出现波顶纵向裂纹, 后者至今完好。说明波形断面确较平板式断面合理, 另一方面波形断面上下刚度也较平板式均匀。这对于拱式结构受双向弯矩作用的特点来说, 也是比较有利的。

拱波的跨径、矢度应考虑横向刚度均匀。结合施工方法、设备、桥宽和拱肋型式、肋距等进行合理选择。拱波矢跨比多为 $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{5}$ 。拱波跨径常用的是 $L_0 = 1.20 \text{米} \sim 1.6 \text{米}$ 。早期一般多用 $L_0 = 1.2 \text{米}$ 左右, 近年波跨渐增, 多采用 $1.4 \sim 1.6 \text{米}$ 。特别是无支架吊装施工以来, 拱波能利用缆索吊装, 克服了大拱波预制块笨重、不便于人工抬运的困难, 个别桥已采用 $1.8 \sim 2.0 \text{米}$ 。波跨增大可减少肋数, 但在无支架施工时, 为了施工加载顺利, 须保证拱肋在拱圈截面全面积中的一定比例。我省约为25%左右。

2. 改进拱肋断面型式和加强肋、波、板间的连接。

为解决拱圈断面整体性问题, 防止水平(环向)裂纹开展, 采用在拱肋上缘设置剪力筋、剪力槽、剪力块、适当加宽拱肋、设置高低拱波、拱波削脚等措施都能收到一些效果, 但在一定条件下采用上型和凹型的拱肋断面效果更为显著。尽管这种断面制作麻烦一点, 但从保证断面的整体性来说, 还是值得推荐的。

3. 混凝土标号的采用:

考虑到混凝土收缩差、温度差的附加内力, 而影响双曲拱断面的整体强度, 肋、波、板的混凝土标号宜尽量接近。初期采用填平式断面时, 在计算过程中曾使我们产生过一种片面认识, 即波、板标号越低, 弹性模量 E 值就越小, 拱圈组合截面重心轴就将下降, 容易达到设计要求。因此, 初期修建的双曲拱桥, 拱波混凝土标号多为150号, 拱板多为150号混凝土或片石圪工。经过几年来的实践, 体会到此一认识是片面的。收缩差和温度差对断面整体强

度有一定影响,因此近年来,一般波、板多采用 200 号混凝土,拱肋采用 250 号~300 号混凝土。同时水泥标号也控制在 400 号以上。如果水泥标号过低,用量必多,会加剧混凝土的收缩变形。有一座桥,施工者试图提高工程质量,盲目地多用水泥 30%,结果适得其反,导致拱圈未通车就严重开裂。

4. 砖、石圬工材料在中小跨径桥的应用

从结构受力考虑,中小跨径桥恒载较小,活载、混凝土收缩、温度等作用相对地增大,而采用砖、石圬工等材料其弹性模量低,一方面可使收缩,温度影响大为降低;另一方面适当增大拱圈截面后,恒载增大,相对地减少了活载、收缩、温度所引起的偏心,断面应力情况将获得改善。

五、钢筋的合理布置

双曲拱基本上属于圬工拱桥的范畴,但实际上大部分桥多为少筋混凝土结构。铁路双曲拱拱圈近乎钢筋混凝土结构。根据计算内力配置主钢筋可满足强度要求,但在构造方面尚需另配置防收缩钢筋。我省有些桥,设计时对受力主筋留有充分余地,但同样出现了裂纹,这主要是混凝土的收缩,温度的影响。

1. 拱肋的布筋

拱肋主筋的直径不宜采用过大,一般选用 $\phi 16 \sim \phi 22$ 为好,尽可能地用螺纹钢,以增强粘结力。据调查有些双曲拱拱肋径向裂纹中间比上、下缘宽,据分析,为混凝土收缩所致。所以当拱肋高度较大时,应考虑设置一定数量的防收缩纵筋,有条件能在拱顶部分布置钢丝网也许效果更好。

2. 肋背锚固筋

其作用是加强拱肋与拱板、拱波的结合强度,防止环向(水平)裂纹。早期常采用小直径 $\phi 6 \sim \phi 8$ 的单筋于纵向布设,在施工过程中因妨碍操作,常被弄弯,到浇拱板混凝土时再大致整直,其作用不大。近年多布置为 Π 形锚筋,直径 10~14 毫米,间距不超过 30 厘米。

3. 拱板布筋

近年来在一些大跨径双曲拱桥的设计中,拱脚上缘设置了抗拉钢筋,在计算时,如果上缘拉应力小于圬工容许拉应力,则按构造配筋,否则按钢筋混凝土构件配筋。通常伸到第一排立柱处。

考虑到拱圈的横向刚度和混凝土收缩,常在拱板布设钢筋网。特大跨径桥全孔贯通,一般大跨径桥仅拱脚一段(至第一排立柱处)和拱顶一段布设。钢筋直径为 6~8 毫米,做成 15×15 厘米的方格网。

六、加强横向联系

据我省双曲拱桥静载试验资料分析,拱顶和 $\frac{1}{4}$ 点荷载的横向分布是不均匀的。从六座桥资料统计,拱肋挠度不均匀系数 $\bar{K} = \text{最大挠度} / \text{最小挠度} = 1.07 \sim 1.52$,最大不均匀系数 $K = 1.18 \sim 3.3$ 。桥愈宽,不均匀系数愈大。如 254 号桥拱圈宽 12.16 米, $\bar{K} = 1.4$, $K = 3.3$ 。无横系梁的 56 号桥,拱顶断面两加载轮间的三条拱肋挠度曲线呈 W 型。(加载轮置于此三肋之

边上二肋)由此可见加强双曲拱的横向联系是十分重要的。

早期采用的横向拉杆,使用效果不好。对大中桥更不适宜。近年来多用横系梁和横隔板。一般在拱顶区段,腹孔墩下,分段吊装拱肋的接头处采用较强大的横隔板。余者采用横系梁。

七、拱上构造

1. 腹孔的形式

腹孔的选择,在就地取材,因地制宜的原则下,应偏于轻型,以利于拱轴系数 m 值的降低和装配化施工。腹孔的形式,过去常用横墙式,近来多采用立柱式;圆管式只在个别中桥上用过,蓼花形式现已很少采用。据调查,横墙式使用情况较好,开裂的较少。立柱式的盖梁,凡按构造布筋的均出现有不同程度的裂纹,故今后必须依照结构受力需要配筋。蓼花形式腹拱拱脚处的下层腹拱或主拱断面,一般均有径向裂纹出现。仅221号大桥,因拱轴采用了接近恒载压力线的高次抛物线及在下层腹拱脚处作了铰结处理,该处未发现裂纹。另外,如系多孔桥,采用蓼花形式腹孔对于施工和战备来说,也是不利的。

2. 腹孔的跨径

为使空腹式拱桥的恒载压力线与拱轴线相接近,腹孔的跨径不宜过大。我省除蓼花形式腹拱外,一般腹拱跨径约为主拱跨径的 $\frac{1}{10} \sim \frac{1}{15}$ (主拱跨径小的比值大)。挖空度(腹孔挖空长度/主拱跨径)多在55%以上。最高达77%(梁式腹孔)。

3. 腹孔墩的受力问题

我们曾对253号大桥和251号大桥的立柱进行了静载试验,试验结果表明,立柱基本上处于压杆状态。但从连拱的作用分析,腹拱墩承受水平推力的大小,决定于腹拱墩的推力刚度。细长的腹孔墩承受水平推力小,矮胖的腹孔墩承受水平推力大。253号桥最高腹拱墩为4.2米,251号桥最高腹拱墩为4.05米,且墩脚是个弧形铰。以往我们曾学习外省经验,腹拱墩按承受腹拱(固定拱)推力的50%计算,从一些较柔的立柱式腹拱墩按连拱简化法计算结果看,腹拱墩只承受15%左右的推力。这一问题有待进一步试验和探讨。

4. 拱顶填料

拱顶填料的设置与其厚度,主要取决于活载作用和地基情况两个因素。在地基非常软弱的情况下,为了减轻地基的负担,拱顶填料可考虑尽量减薄。在一般情况下,尤其是我省地基情况较好,从有利于活载分布与减少活载冲击影响,以及在多孔桥设置预留拱度而早期不能完成等方面考虑,一般均设置了填料。公路双曲拱桥一般厚度采用30~50厘米。

八、预留拱度的设置

经调查发现一部分双曲拱桥拱顶部位栏杆下沉,多跨桥的栏杆成了波浪形,跨径越大,拱矢度越小则拱顶沉落就越明显,这说明我们过去对预拱度估计不足。以往取用仅与跨径有关的经验数字 $\Delta f = L/600 \sim 800$,实践证明确系偏小。如224号大桥、254号桥(前已叙述)。

再加256号桥中孔 $L=102$, $\frac{f}{L} = \frac{1}{10}$,为有支架施工,设计拱顶预留拱度12厘米,72年

元月开始浇拱肋至五月桥已完成通车,拱顶实际下沉37.5厘米,随着温度下降,12月份拱顶继续沉至49厘米。当然,下沉的原因是多方面的,但却说明过去我们对预拱度缺乏分析研究,对此问题认识不足。

影响拱圈下沉的因素很多,如拱圈的刚度、跨度、矢跨比,恒载的弹性压缩,混凝土收缩、徐变,温度下降,施工方法,墩台位移等等。若用一个简单的经验公式确实难以概括,实践说明,预留拱度的设置应根据每座桥的具体情况,经过详细的分析和必要的计算来确定其数值,而原则是不宜偏小;无支架(或脱架)施工的一般应大于有支架施工者。

九、混凝土收缩、徐变以及温度变化

经几年来的调查,反复实践使我们初步认识到,我省双曲拱桥产生的裂纹主要是混凝土收缩和温度变化的影响;而双曲拱桥竣工后之拱顶继续下沉主要是混凝土徐变和收缩所致。所以对于混凝土收缩、温度与徐变问题已经逐步引起我省设计、施工、科研各方面的注意。

1. 混凝土收缩

这问题最明显的反映在××铁路上,全线共十四座双曲拱桥,墩台都奠基于坚实岩层上,其设计、材料、施工时间是基本相同的。但由于在拱圈施工缝设置与否、混凝土达到什么强度才合拢、水灰比、水泥用量、养护等这些影响混凝土收缩的主要因素上做法不同,其质量就大不相同。凡是施工中不设施工缝或设缝而混凝土强度很低时就合拢、水灰比大、水泥用量多、养护不好的桥,裂纹就出现得早,程度也严重些。反之,其中至今仍未发现裂纹的,皆是对上述因素严格控制,以至混凝土收缩大为减少的三座桥。

混凝土收缩,是水泥凝固硬化的物理化学过程和毛细管作用失去多余水的结果。这种在空气中体积的缩小是混凝土固有的特性(膨胀水泥例外)我们的努力乃是在于减少混凝土的收缩以及由此而引起对结构内力的影响。众所周知,这可以从下面几方面来实现。

(1)设置施工工作缝,并在混凝土强度达到50~70%时才合拢。

混凝土特点是早期收缩大,随着其强度的增长逐渐减少。设置工作缝就可使每段混凝土在早期有自由变形的可能,以减少收缩所引起的内力。

(2)采用较低的水灰比

普通混凝土我们通常采用0.45以上的水灰比,实际上0.2~0.25水灰比的水就可以满足水泥水化、凝固的要求,而存留在混凝土内多余的水则逐渐蒸发,引起混凝土体积缩小,所以在施工能做到的情况下,应尽可能采用较低的水灰比以减少混凝土的收缩。

(3)减少水泥用量

水泥浆收缩也是造成混凝土收缩的一个重要因素。水泥用量越大,一方面水泥浆产生的收缩越大。另一方面当水灰比不变时,也相应增大了水的总量,这都增大了混凝土的收缩,所以在保证混凝土强度前提下应尽可能采用较高标号而数量较少的水泥。

(4)混凝土骨料采用良好的级配

混凝土骨料中砂、石本身是不可压缩的,但填料级配越差,骨架中的空隙愈大,则可压缩性就大。而要混凝土达到一定强度,当填料级配不好时,则水泥与水的用量都会加大。这些都会使混凝土收缩增大,所以应采用级配良好的混凝土填料。

(5)加强养护

水泥水化过程要几个月才能基本完成,而这过程中混凝土(特别是混凝土强度增长最快

时)周围环境的湿度大小对其中游离水蒸发有直接影响。周围环境越干燥,游离水蒸发就越快、越大。失水引起之混凝土收缩也就越大。因此,加强养护也是减少混凝土收缩的一个重要措施。

对混凝土收缩的计算,我们一般仍按1961年《公路桥涵设计规范(草案)》规定进行,对预制吊装拱肋、分段现浇拱板混凝土者按相当于温度降低 5°C 计算。由于上述五个因素对收缩影响很大,因此这些因素若不控制,则混凝土收缩按现行计算考虑将远嫌不足。

2. 温度变化

××铁路利民桥为1~12米、矢跨比 $\frac{1}{4}$ 的双曲拱,设计荷载中-22,静载试压时,拱顶加载至160吨,为设计荷载的2.2倍,中午温度上升时观测,拱顶不但没有继续下沉,反而略有回升,可见温度作用之大。××铁路全线共十四座双曲拱桥,71年先后竣工,曾于71年6、8、11和72年1月先后进行四次全面检查。头两次是暑天,未发现裂纹。第三次由北向南全线逐座检查,开始也都未发现裂纹,后来在检查中间遇到寒潮,之后继续检查的几座桥,则普遍发现拱顶裂纹。第四次检查是72年元月,温度更有显著降低,检查发现裂纹有所发展。上述情况说明温度的影响、尤其是温度突降的影响是很明显的。

现行设计计算中,温度变化数值是按年气温变化采用,拱圈受力则假定为随气温变化而整体均匀胀缩。按此计算一般不至于开裂,但由于组成双曲拱拱圈的肋、波、板各部分截面大小、暴露面积和在拱圈中的位置以及混凝土标号(有些甚至材料)都不相同。实际上温度变化、特别是在气温突降时,拱圈各部分存在明显的温差,不可能是整体均匀胀缩。这说明现在的理论、计算不能完全反映实际情况。据长沙铁道学院对这方面的理论研究表明,考虑双曲拱拱圈各部位的温度差、收缩差时,拱肋拉应力比现行计算的要大1~2倍,到底对温度应力应如何确定实用理论公式,目前看来尚有困难,我省正在进行的由科研、施工、设计三方面参加的温度应力试验,期待有些成果。

3. 混凝土徐变

如前所述,我省混凝土双曲拱桥竣工、使用二年后发现,拱顶部位两侧栏杆普遍有不同程度的沉落,不少多跨桥的栏杆成了波浪形,据分析这种非弹性下沉,主要是混凝土徐变与收缩(除个别桥皆可排除墩台沉陷、位移因素的影响)所致。

由于混凝土的徐变,双曲拱在恒载作用下,在一定时期内挠度会加大,对于这点,在我们过去的设计中是被忽视了。因此预留拱度设置往往不足,以致使一些桥实际拱轴线在拱顶部位低于设计拱轴线。据有关资料分析,双曲拱由温度、收缩、墩台位移等作用而引起的应力会因徐变而衰减,这种徐变对温度、收缩应力实际上是起着有利作用。因此,一些同志对双曲拱开裂的原因究竟是否由温度而引起持有不同看法。徐变作用究竟有多大,徐变与温度收缩等作用之间的关系究竟如何,目前看来还得出一个确切的定量分析。这个问题只能有待今后的实践和科学试验来作答复了。

毛主席教导我们:“一个正确的认识,往往需要经过由物质到精神,由精神到物质,即由实践到认识,由认识到实践这样多次的反复,才能够完成。”七年来(1966~1972年)我省修建了总长近24公里的双曲拱桥,这些实践使我们对双曲拱桥有了一些认识,但是双曲拱桥毕竟还是新生事物,目前我们对它的规律性还掌握不足,某些技术问题还有待解决。上述问题的考虑也不一定正确,为了交流经验,更好地向兄弟省、区学习,共同促进双曲拱桥的发展,谈了上述一些看法,供参考。不当之处,望给予批评指正。

宝带桥的设计

江苏省交通局

一、概 述

宝带桥位于苏州市东南十五华里，跨京杭大运河三支流（土名玳玳河，年河及其桥河）汇水颈口上。该桥始建于唐代，相传刺史王仲舒鬻玉带建桥而得名。至南宋给定五年（公元1232年）郡守邹应博重建。其后修葺不继，逐渐倾倒。明正统七年（1442年）又重建此桥，越四年落成。以后虽经清康熙九年（1670年），同治十一年等次重加修建，但今日所见之桥，仍保存明正统间周忱所建规模形制。桥形如长虹卧波，又如玉带浮于水上，名实相副。

这一我国古代劳动人民修建的江南有名的宝带桥为习见的半圆石拱桥，连续53孔，长约235米；中间三孔较大，分别为3.9、6.95、3.9米。全桥狭长若带，倒影水中真虚互见，造型美观，是研究中国建筑史和桥梁史的重要证物。解放后，在党的关怀下，列为省一级保管文物，经常接待外宾前往参观。

本桥在苏（州）嘉（兴）公路上，与老宝带平行。为了与老桥相互衬托，相得益彰，采用具有民族特色的9孔24米双曲拱桥，矢跨比为 $\frac{1}{6}$ 。下部构造为空箱式轻型桥台和钻孔灌注桩墩。设计标准为净7，两边各设人行道75厘米，桥上设1.16—2.5%纵坡；载重采用

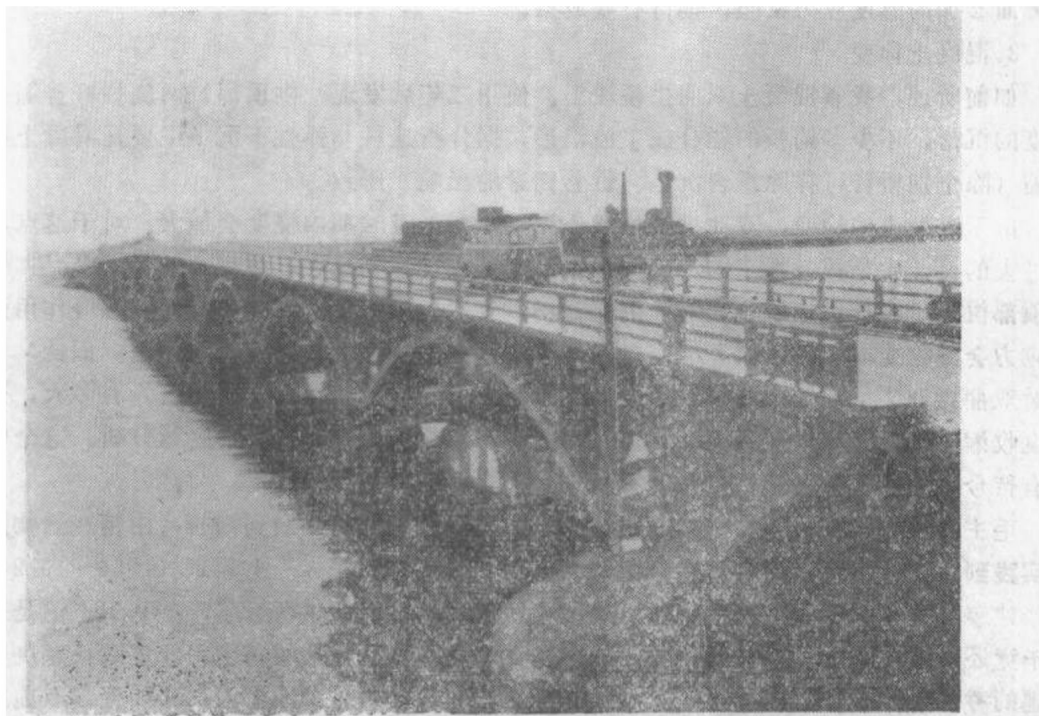


图3-1 宝带桥（甲）