

577818

两种新型渡槽的 设计与计算实例



余际可 程永东 蔡建华 编著

水利电力出版社

两种新型渡槽的 设计与计算实例

余际可 程永东 蔡建华 编著

水利电力出版社

(京)新登字115号

内 容 提 要

渡槽是常见的一种跨越式输水建筑物,一般多采用梁式或拱式结构型式。本书介绍了湖南省已建成的两座新型拱梁组合式渡槽,由于其结构新颖,采用了薄、轻、巧、强的设计思路,达到了节省工程量、运行成功的效果,已经通过技术鉴定并获得省级科技进步奖。书中主要从建筑结构设计原则上进行了技术总结,并具体介绍了这两项工程的方法及计算实例,值得有关设计与科研人员借鉴参考,也可供水利及土建院校师生作为教学资料。

两种新型渡槽的设计与计算实例

余际可 程永东 蔡建华 编著

*

水利电力出版社出版、发行

(北京三里河路8号)

各地新华书店经售

北京市槐花印刷厂印刷

*

787×1092毫米 32开本 4.25印长 92千字 1插页

1993年11月第一版 1993年11月北京第一次印刷

印数0001—1760册

ISBN 7-120-01721-7/TV·699

定价4.20元

目 录

前 言

第一章	钢筋混凝土新型拱式渡槽简介	7
第一节	拱式渡槽发展沿革及今后发展方向	1
第二节	拱梁组合式折线拱渡槽	7
第三节	斜撑梁组合式 π 型拱渡槽	9
第二章	凉清拱梁组合式渡槽设计	11
第一节	结构构造及设计特点	11
第二节	两种组合拱渡槽设计计算方法	29
第三节	凉清拱梁组合式渡槽计算实例	52
第三章	茶溪口斜撑梁组合式 π 型拱渡槽设计	91
第一节	设计特点及施工方法	91
第二节	设计计算方法	102
第三节	茶溪口斜撑梁组合式 π 型拱渡槽计算实例	102
附图		124
附图 1	凉清渡槽布置图	
附图 2	凉清渡槽钢筋图	
附图 3	凉清渡槽结构图(一)	
附图 4	凉清渡槽结构图(二)	
附图 5	茶溪口渡槽布置图	
附图 6	茶溪口渡槽结构图	
参考文献		129

第一章 钢筋混凝土新型拱式渡槽简介

第一节 拱式渡槽发展沿革及今后发展方向

本书介绍的钢筋混凝土新型拱式渡槽有两种，现均已在湖南省建成并投入正常运行。一种是建于岳阳铁山灌区的凉清拱梁组合式折线拱渡槽（图1-1），另一种是建于江永县源口灌区的茶漈口斜撑梁组合式 π 型拱渡槽（图1-2），以下分别简称为“拱梁组合式渡槽”及“ π 型拱渡槽”，或统称“组合式拱渡槽”。它们都属于拱型渡槽中组合结构的范畴，其设计构思及方案的提出，与拱式渡槽的发展是分不开的。

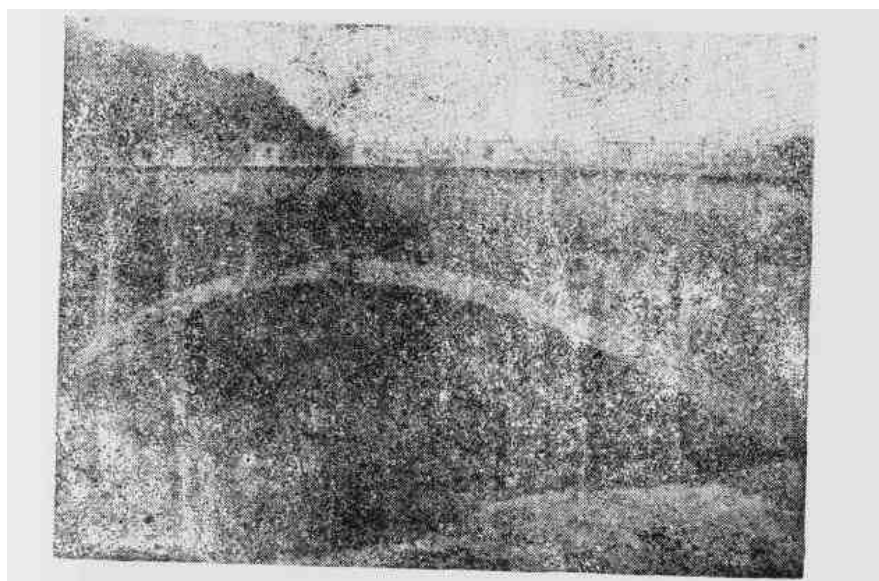


图 1-1 凉清拱梁组合式折线拱渡槽

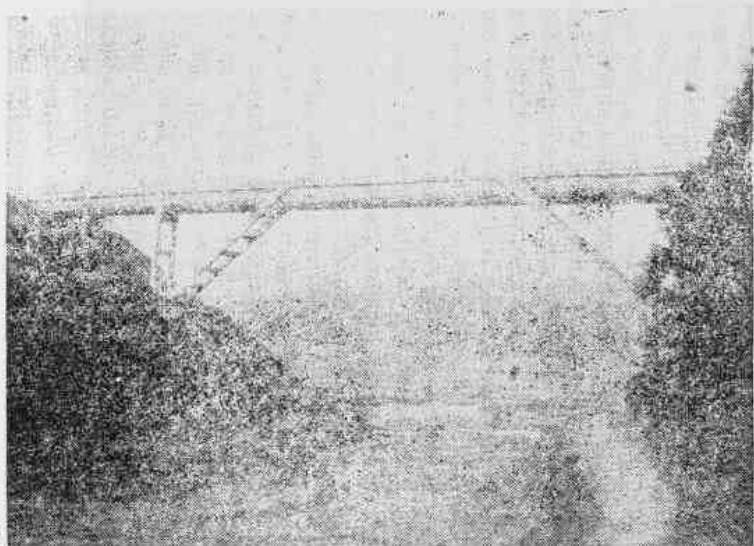


图 1-2 茶溪口斜撑梁组合式 π 型拱渡槽

一、发展沿革

建国以来，我国渡槽建设呈现出百花齐放，异彩纷呈的繁荣景象。从断面形式看，60年代中期以前多采用矩形、箱形，以后多用U型槽壳。从受力性质看，渡槽可分为梁式、拱式、悬吊式、斜拉式等几类。但应用最多的仍是前两类。其发展过程大致是：

梁式 简支或双（单）悬→组合式桁架梁（上承式及下承式）。

拱式 板拱→肋拱→双曲拱→箱形拱→桁架拱→折线拱→拱梁组合式折线拱及斜撑梁组合式 π 型拱。

从发展趋势看，不论梁式、拱式均以“组合式”为其发展方向。所谓“组合”，即槽身既不像梁式槽单独起纵梁作用，也不像一般拱上槽身主要作为输水结构，而是与其他构件（拱或杆件）“组合”在一起，通过调整二者之间的刚

度，使拱槽变位协调，联合受力，充分发挥材料的强度，以节省工程量。因此，从理论上和实践上看，都是较合理的。

在介绍组合拱渡槽以前，对各类拱式渡槽的特点，进行简短的回顾是有必要的。

板拱 最早的拱式渡槽都是板拱，由素混凝土或圬工建造。由于板拱耗材多、跨度小、外形笨重，除山区石料丰富的中小渡槽外，一般已不多用。

肋拱 由板拱发展到钢筋混凝土肋拱，是一个很大的进步。它可使跨度大大增加。如湖南省青山灌区的群英渡槽，全长1150m，为悬链线无铰拱，设计流量 $10\text{m}^3/\text{s}$ ，最大高度40m，矢跨比 $f/l=1/3$ ，由7跨80m拱跨和若干跨双悬式组成。该渡槽建于1972年，造型美观，至今运用正常。

双曲拱 70年代，为了节省钢材，采用了双曲拱渡槽。其特点是设计上以土代洋（少用钢筋），施工上化整为零（将肋拱、拱波、拱板分三次拼装现浇而成），适用于吊装。其缺点是，虽较肋拱节省了钢材，但材料总用量比肋拱式多，对地基要求高，施工工序多，结构整体性及应力状态也欠佳。湖南安化县的向阳渡槽，广东高要县修建的双坑渡槽，跨度均达到100m，广西玉林县的万龙渡槽，跨度达到126m，这些渡槽运行情况均正常。

箱形拱 渡槽跨越深沟宽谷，必须加大拱的惯性矩，为节省材料，提高装配程度，并加强纵横向整体刚度，就出现箱形截面拱，湖南省郴县高峰水库灌区于1975年建成了乌石江渡槽，设计流量 $5\text{m}^3/\text{s}$ ，主拱采用R300钢筋混凝土箱形断面， $f/l=1/8$ ，跨度达到110m，主拱分5段预制，用无支架缆吊施工，建成后运行正常。

桁(刚)架拱 当外荷一定时，将减少尺寸后的肋拱作为

下弦杆，另设水平杆作为上弦杆，上下弦之间设置竖向及斜向腹杆，组成桁架拱（当仅有竖向腹杆时为刚架拱）。上下弦杆及腹杆三者联成整体，共同受力。它兼具有桁架及拱的特点，力学性能较肋拱大为改善。以刚架拱而言，在同样条件下，混凝土方量较肋拱要少，但由于上弦杆、腹杆成为弯压结构，钢筋总用量则节省不多。其优点是适于吊装施工，造型轻巧美观。^④江苏、山东、湖南等地均有建成实例。

折线拱 在集中荷载作用下，合理的拱轴线本来就是折线，利用这一力学特征，各地修建了三折、五折的折线拱渡槽。湖南大圳灌区邵阳分干吉山渡槽为五折拱，该渡槽设计流量 $5.5\text{m}^3/\text{s}$ ， $f/l=1/6.42$ ，槽身为 $b\times h=2\text{m}\times 1.76\text{m}$ 的矩形断面，折线拱由5节工字型梁组成，拱跨 52.35m ，由 $4\times 10.27\text{m}$ 及 $1\times 11.7\text{m}$ 槽跨组成。其特点是：①由于采用折线拱，加大了排架间距，较充分发挥了槽身的纵向抗弯刚度，同时也减少了拱上排架工程量；②折线拱的应力状态比曲线拱好；③设计施工均比曲线拱简单。吉山多折拱渡槽比传统的肋拱渡槽在设计水平上又提高了一步。

组合拱 上述各类拱式渡槽一个共同特点是：槽身都是作为外荷作用在拱（或桁架拱）上，拱上槽身潜力远未发挥。特别是曲线拱，为改善拱体应力，常限制拱上排架间距为 $3\sim 8\text{m}$ （或15倍拱肋宽），致使槽身支座及排架工程量增加，而槽壳纵向抗弯刚度却未充分利用，抗裂安全系数常高达 $4\sim 5$ 以上，再加上拱式渡槽习惯采用墩式结构（实心或空心墩），有些还设置加强墩，更增加了工程量。这就是在一般地形条件下^①，拱式渡槽比梁式渡槽工程量要多、造价

① 指最大槽高在 $35\sim 40\text{m}$ 以下，跨越田埂、平川情况，若跨越深谷、河流，当另作别论。

要高的原因。如湖南铁山灌区桃林畈渡槽，设计流量 $12.95\text{m}^3/\text{s}$ ，长 1070m ，最大槽高 37m ，跨越一宽阔田垌，采用跨度为 12m 的井字型排架简支方案，仍比上述各种拱式方案要省，上述吉山折拱渡槽虽经改建，但槽拱仍各自“孤军作战”，未联合作用共同受力，槽壳纵向刚度也仅在最大正弯矩小范围内得以发挥。如果采用组合拱方案，拱式渡槽的上述缺点均可克服。据凉清拱梁组合式渡槽及茶溪口 π 型拱渡槽方案比较结果，分别比原简支方案节省混凝土 26% 、 17.2% ；节省钢筋 25% 、 $13\%\sim 40\%$ 。这是渡槽建设史上拱式渡槽在一般地形条件下第一次工程量少于梁式渡槽，其意义是重大的。

二、今后渡槽建设发展方向

渡槽建设，一开始就和桥梁建设结下了不解之缘。桥梁上的许多形式（如梁式、拱式、斜拉式、悬吊式）渡槽上也都有，它们的共同点是均属跨越结构，不同点是渡槽过水是静荷载，一般为旱地作业，不跨越大江河；桥梁过车是动荷载，一般均跨越江河。现代桥梁建设技术的发展，常使人们望桥兴叹，感到渡槽建设技术较之桥梁是太落后了。今后渡槽建设方向向何处去？这是须要回答的一个问题。

据了解，当代桥梁建设的几种形式有斜拉式、连续刚构、顶推工艺建造连续梁及拱式等。其中拱式结构，渡槽上早已采用，不予置评。斜拉式桥一般经济跨度在 400m 以上，小于此跨度时常不合算。某些城市采用斜拉桥，往往不是为了节省造价，而是将它作为现代技术文明的象征，其艺术欣赏价值不逊于工程使用价值，因而对造价节省不去苛求。国内某些已建的斜拉式渡槽，如北京市军都山斜拉渡槽也是作为十三陵风景区景点之一，其造价比常规形式要高。显然，

大型渡槽要求普遍采用斜拉式也是不现实的。连续刚构是桥梁建设的另一种先进型式。施工时,将箱梁采用挂篮悬浇,逐节向河心延伸,每节之间用预应力连成整体,因之跨度可达到150m左右。连续刚构除箱梁纵向、横向施加预应力外,为减少箱梁顶、底、腹板厚度,在板的竖向(垂直板厚方向)也施加预应力,即使如此,板的最小厚度仍为0.26~0.32m。如果渡槽也采用连续刚构,仅为了构造要求,需将槽壁厚由现时的8~18cm(流量不大于40m³/s)增至0.3m左右,显然是得不偿失的。因此,连续刚构在渡槽建设上是难以应用的。连续梁顶推工艺,是桥梁建设的又一项先进技术。连续梁墩间距一般为40m左右,在一岸设置预制场,分段预制好预应力箱梁,利用千斤顶逐节拖拉(或顶推),并连成整跨连续梁。湖南沅陵沅水大桥已有顶推连续梁总长 $10 \times 42 + 13.5 = 433.5$ m的实例。此一工艺如移植到渡槽上来,首先需将槽底壁厚增加至30cm以上,以满足施加纵向预应力的要求;其次,尚需和渡槽施工行之有效的吊装工艺比较,如能节省,才可有条件地应用到个别大型渡槽工程上来,要普遍推广,亦非易事。

综上所述,渡槽今后建设方向,只能根据自身特点(静荷、旱地修建,一般不跨越大江河),走薄、轻、巧、强的道路,而本书介绍的两种组合式结构,正试图满足这一要求。

应予指出的是,梁式渡槽中的简支、双悬,因具有设计简易、施工方便的优点,今后仍将是采用最普遍的一种形式。因此,这里介绍的两种组合式渡槽,并不希图在任何条件下均取代梁式渡槽,主要是在那些按传统习惯考虑修建拱渡槽的场合(如跨越深谷、河川,或渡槽高度 $h \geq 25 \sim 30$ m时),

如采用组合拱方案，将可获得明显的经济效益。

第二节 拱梁组合式折线拱渡槽

铁山灌区凉清拱梁组合式渡槽，设计流量 $19.5\text{m}^3/\text{s}$ ，校核流量 $21.54\text{m}^3/\text{s}$ ，坡降 $1/3000$ ，高 22m ，槽身全长 75.2m ，是由一跨 50.4m 的拱梁组合式结构和两端各一跨 12.4m 的简支结构组成的钢筋混凝土渡槽（图1-3），槽身采用半圆薄壳断面，内径 5.52m ，直段高 0.39m ，槽壁厚 13cm ，槽壳高宽比为 0.57 ，拱肋采用二次抛物线型等截面双铰折线拱，矢跨比为 $1/5.6$ ，断面尺寸为 $0.5\text{m} \times 1.0\text{m}$ ，混凝土标号：槽壳、拱肋为 $R250$ ，排架为 $R200$ ，铰窝为 $R300$ ，其他均为 $R150$ 。

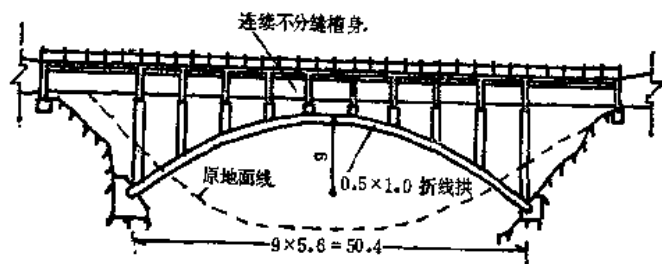


图 1-3 凉清渡槽正面图（单位：m）

拱梁组合式渡槽是由桁（刚）架拱发展而来，槽身被作为桁（刚）架拱的上弦杆，它和下弦杆（拱）、竖杆（排架）组成整体，联合作用，共同受力。为此，要求将拱上 50.4m 长的槽壳不分缝，做成连续式槽身，搁置于拱上排架顶面之上，这种拱梁组合式结构集中了梁式、拱式、桁架拱式渡槽

的优点,而又克服了它们的缺点,特别是拱跨越大,此种优点愈显突出。采用组合式结构后,混凝土及钢筋工程量比原设计简支式约节省26%,比常规肋拱节省1/3以上,其中拱肋断面仅及常规肋拱($0.7\text{m} \times 1.2\text{m}$)的59%,从造型看,钢筋混凝土壳槽如此之大($D_s=5.52\text{m}$),槽壁如此之薄($\delta=13\text{cm}$),在同样跨度下拱肋断面如此之小($b \times h=0.5\text{m} \times 1.0\text{m}$),国内尚无先例。这是薄、轻、巧、强在国内渡槽建设上得到较好结合的又一次成功实践^①。

凉清渡槽于1989年4月动工,次年1月建成,并于同年3月28日至4月8日进行了10昼夜试水检验,除槽身因施工质量有局部渗漏外,整个结构情况良好,由满槽水及温降产生的拱顶最大挠度值为12.2mm(自重产生挠度在外),小于设计值13.1mm,并与气温变化明显相关,上午低温时挠度大,下午温升后挠度变小,放空槽水后挠度能恢复到初始值,表明该结构处于弹性阶段,工作正常。该渡槽现已通过技术鉴定,并获省级科技进步奖。1991年投入正式运行以来情况正常。

- ① 四川省于1987年建成了大田口桁架拱渡槽(详情请见《水利水电技术》1987年12期),本渡槽与其不同之处在于:①大田口是典型的桁架拱,除槽身作为上弦杆外,另设型钢作为斜腹杆,桁架各节点均按固结施工,为减少槽壳弯矩,在槽壳跨中设置了一个永久性钢铰;凉清渡槽既非桁架拱,也非刚架拱,而是将连续槽身“搁置”于拱体排架之上形成的组合拱。②均为联合受力,大田口按典型桁架拱进行设计;凉清系考虑拱槽刚度协调,变位一致,通过排架在拱槽交接处自动调节拱槽与各跨荷载及内力的分配。③减少拱截面尺寸途径不同。大田口槽身是一根承受较大压力的压杆(压力主要为平衡钢斜杆拉力而产生),它分担了拱顶40%左右的推力;凉清槽壳也是压杆,但轴压力较小,主要是受弯构件,通过拱壳变位一致,大幅度减少拱体弯矩,使拱基本上变成无弯矩构件。④凉清渡槽因不需设置钢斜腹杆,因而无防锈维护任务,结点也非固结,槽壳上不需要设置永久性钢铰,因而在施工及运行管理上更为简便。

第三节 斜撑梁组合式 π 型拱渡槽

源口灌区茶溪口 π 型拱渡槽，设计流量 $6.6\text{m}^3/\text{s}$ ，坡降 $1/800$ ，高 22m ，槽身全长 92.12m ，是由一跨长 50m 斜撑梁组合式 π 型拱及4跨长 10.5m 的简支结构组成的钢筋混凝土渡槽（图1-4），槽身采用半圆薄壳断面，内径为 2.4m ，直段高 0.62m ，槽壁厚 10cm ，槽壳高宽比为 0.758 。 π 型拱由斜撑与槽身之一部组成，其交角为 38.58° ，矢跨比为 $1/4.64$ ，斜撑断面尺寸为 $0.35\text{m} \times 0.7\text{m}$ ，与基础固结。混凝土标号：槽壳、斜撑为 $\text{R}250$ ，其它均为 $\text{R}150$ 。

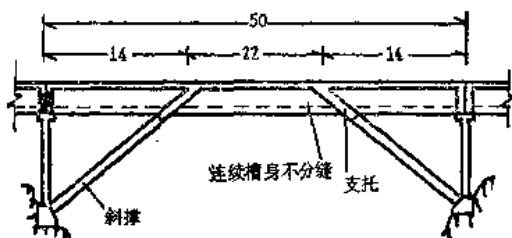


图 1-4 π 型拱渡槽（单位：m）

π 型拱渡槽的构思是在尽可能加大渡槽跨度并力求工程量比梁式结构（简支、双悬）还要节省的要求下提出的。 π 型拱由连续式的长壳槽与斜撑及端支点（与拱座相连的矮墩或矮排架）组成，结构上属于端点简支的三跨刚架，由于斜撑对边墩产生很大的推力属推力结构，故定名为 π 型拱。它兼具有连续梁与拱的特点及优点，是三种渡槽形式（双悬、上承式桁架梁，凉清式组合拱）的综合与发展，是渡槽工程设计与实践中使输水结构与承重结构合为一体的成功实践，

因而在相同地形条件下能做到工程量（特别是钢筋用量）比简支等梁式渡槽要省，比常规拱式渡槽更省。

茶溪口渡槽于1989年7月开工，次年5月建成。1991年3月25日至3月31日进行了满槽水6昼夜的试水检验，整个结构情况良好。在满槽水及温降情况下，跨中最大挠度为5mm（自重挠度在外），在设计范围之内。和凉清渡槽一样，也与气温变化相关，表明该结构处于弹性阶段，工作正常。该渡槽现已通过技术鉴定，并获省级科技进步奖。工程于1991年投入使用，情况正常。

本书在介绍上述两种组合式渡槽时，着重从两处工程的设计特点、力学性能、计算方法与计算实例进行阐述，至于常规渡槽设计时需涉及的水力计算、工程布置、一般结构构造，均不再赘述。

第二章 凉清拱梁组合式渡槽设计

第一节 结构构造及设计特点

一、结构构造

1. 壳槽断面形式

从设计简易、施工方便看,采用矩形断面较好。但从水力条件、结构受力性能、节省工程量、多年来运行情况 & 造型美观看, U型壳槽均优于矩形渡槽。因此,决定采用 U型断面。

2. 连续槽壳支座

连续槽身通过支座搁置于拱体排架顶面上,支座和槽壳的连接方式与一般简支梁式渡槽完全一样(见书末附图)。像凉清渡槽这样的规模(内径 $D_s=5.52\text{m}$),顺水流方向的支座宽度按构造要求不应小于 30cm。由于采用了连续槽身,槽壳支座数目比常规肋拱上短跨简支槽身要少一半。

3. 拱端排架^①

组合拱渡槽在温降时,拱轴及拱上槽身均将缩短,拱体将变“坦”。这时,拱上各个排架顶端连同其上的连续槽身,均有向拱跨中点变位的趋势,尤以拱端排架顶点水平位移最大。为使长壳槽在温变时端点伸缩自由,减少温降时长壳槽开裂的可能性,拱端排架设计时必须采取以下两种措施中的一种:

① 指布置在拱脚上的排架。拱墩上的排架不属此列。

第一种 拱端排架高度不应小于 $8 \sim 10\text{m}$ ，排架顶部仅承受本跨连续槽身传来的荷载，以保证拱端排架顶点因温降变位时不受到邻跨竖向荷载产生摩擦力的约束影响。

第二种 拱端排架若同时承受本跨连续槽身及邻跨连续槽身或简支槽身传来的荷载，此时拱端排架顶部应设置滚动支座。滚动支座可以由若干根 $\phi 12 \sim 16$ 的圆钢和钢板组成（见图2-1）。此法已在湖南多处病险渡槽处理时采用，方法简便，效果良好。

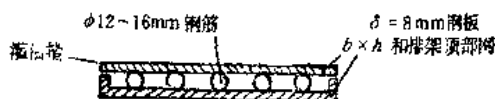


图 2-1 简易滚动支座

此外，也可采用聚四氟乙烯橡胶板滑动支承，施工时将四氟橡胶板置于拱端排架顶部，其上的槽支座（本跨及邻跨）底部设置钢板，钢板与四氟板的动摩擦系数为0.05，起动时静摩擦系数为0.07~0.08，可保证槽身温变时伸缩自如。

聚四氟乙烯俗称塑料之王，是一种新型的热塑性材料，成型品色泽洁白，半透明，有腊状感觉。它的抗压强度也很高（ $12.5 \sim 25.4\text{MPa}$ ），加之与钢板摩擦系数小，由于这些特性，目前国内外已将四氟板做成桥梁的活动支座。

四氟板导热性很差，在钢板与它相摩擦滑动时，产生的热量基本由钢板导走。如果两块四氟板相互摩擦移动，则产生热量很大，将会很快地使四氟板中部分材料烧结、分离，使摩擦力反而增大。所以不能采用上下两层四氟板相互滑动。四氟板面积的大小，可以按其承载力为 5MPa 确定。目前，我国水利部门已开始采用四氟板作为滑动装置。

在一般情况下，推荐采用第二种措施。

4. 混凝土标号

据近年来若干钢筋混凝土建筑物病害原因分析报告的建议,为延缓普遍存在的混凝土表层碳化进程及钢筋锈蚀现象,薄壁钢筋混凝土受力构件中的混凝土标号不宜低于R 250,保护层厚不宜小于2cm,故组合拱渡槽槽壳及拱肋等主体部位均采用R 250,铰窝用R 300,其他为R 150。

5. 其他方面

拱槽连结方式(分离式或实腹式)及槽壳与排架连接形式(固结或铰结),将在设计特点中阐述。连续槽壳、拱上排架、拱体和联系梁构造及尺寸、拱端铰窝、边墩形式及设计均见书末附图。

二、设计特点

1. 拱梁(槽)联合受力机理

拱梁组合式渡槽的构思来源于桁(刚)架拱。采用和拱跨相同的连续槽身,作为桁架拱的上弦杆,布置于拱体排架上。设计时要反复计算,优选出槽、拱、排架的尺寸及相应刚度,把拱、排架、槽身视为一个整体,使拱槽通过排架的联接在交点处产生变位一致,自动调节拱槽及槽身各跨荷载的分配,使之联合受力,从而减少拱肋截面尺寸及槽壳厚度以节省工程量。因之,组合拱结构设计中最为本质的特点在于“拱槽刚度协调,变位一致、联合受力”。

拱梁联合受力的领域是广阔的,但合理的拱梁组合则必须具备两个条件:一个是须采用和拱跨相同的连续槽身,另一个是必须采用刚性槽、柔性拱。

(1) 连续槽身 表2-1列出了6种拱型在基本荷载情况下的应力及挠度值,现分析如下:

内力情况 表中未列出内力值。以常规双铰拱为例(因