

渡槽设计与电算程序

宋森正 张启海 主 编
王彦明 燕同胜 副主编

山东科学技术出版社

前 言

渡槽是土工建筑物中应用最广泛的交叉建筑物之一。本书以精练和实用为原则，系统地介绍了渡槽工程的整体布置、结构型式和构造、结构计算和结构优化等内容，并编写了实用性较强的工程实例和电算程序。

各章节编写分工如下：

第一章、第二章第一节至第三节、第三章第一节至第二节由宋森正（山东工业大学）编写；第二章至第四章的电算程序、第三章第四节、第四章由张启海编写；第五章由王彦明编写；第二章第五节由燕同胜（胜利油田）编写；苗兴皓、王艳玲参加部分电算程序的编写；包婷参加描绘图工作；全书由宋森正修改定稿。

本书可作为高等院校水利水电工程类专业师生教学用书，可供水利水电工程技术人员设计时参考。

因编者水平有限，如有不当之处，敬请读者批评指正。

编 者

1996 年 10 月

目 录

第一章 绪 论

第一节	概述	1
第二节	渡槽的作用、组成及类型	4
第三节	渡槽设计的基本资料及设计步骤	6
第四节	渡槽的总体布置和纵剖面设计	7
第五节	作用于渡槽上的荷载、荷载组合及稳定计算	17

第二章 梁式渡槽

第一节	槽身	27
第二节	槽墩和槽架	42
第三节	基础	53
第四节	槽身及刚架结构电算程序	61
第五节	简支梁式渡槽设计实例	76

第三章 拱式渡槽

第一节	拱式渡槽的型式、构造和特点	115
第二节	主拱圈结构设计	130
第三节	无铰拱内力电算程序	146
第四节	拱式渡槽设计实例	160

第四章 桁架拱式渡槽

第一节	桁架拱式渡槽的型式、构造及特点	189
第二节	桁架拱结构计算	191
第三节	桁架拱电算程序	195
第四节	桁架拱渡槽设计实例	213

第五章 钢筋砼桁架拱结构的设计优化

第一节	概述	251
第二节	钢筋砼桁架拱结构的多重几何优化和截面优化	251
第三节	桁架拱工程实例(算例)的优化效果	255
第四节	桁架拱几何优化和截面优化程序	259

第一章 绪 论

第一节 概 述

渡槽古称“飞渠”，它在我国有悠久的历史。古代，人们凿木为槽，引水跨越沟谷，即为最古老的渡槽。2000 多年前兴修的“郑国渠”上就已有了渡槽。

20 世纪 50 年代之前，渡槽多为石拱或木梁式结构，也有个别为钢筋砼的，例如 1935 年建成的陕西省洛惠渠的曲里、守村两座肋拱渡槽。50 年代中后期，随着经济建设的发展，采用钢筋砼的渡槽日渐增多，多为厚壁及板梁结构的槽身，支承结构多为重力墩，施工方法多用现浇整体式。1955 年，黑龙江省首先采用装配式渡槽，至 60 年代初期以后，装配式渡槽得到迅速推广。这是因为装配式渡槽较现浇式渡槽可节省大量木材和劳力，显著降低工程造价，加快施工进度，便于施工管理和提高工程质量。

到 70 年代，我国大型灌区有了很大发展，渡槽流量由几米³/秒发展到几十米³/秒；结构出现百米以上的大跨度，支承结构出现了双曲拱、三铰片拱、桁架拱、箱拱等。如山东省青州市东张双曲拱渡槽跨度为 100 米。广西玉林 1976 年修建的万龙双曲拱渡槽跨度达 126 米。湖南郴县 1975 年所建乌石江渡槽，主拱为箱拱，跨度达 110 米。工程实践表明：半装配式双曲拱，构件零碎层次多，施工麻烦影响进度，且结构整体性不高，应力状态不好，施工过程中易发生不安全事故。而箱形拱的装配程度高，纵横向刚度均较大，结构性能好，整体性有保证，因此适宜在大跨度拱式渡槽中采用。

目前，渡槽的发展呈以下趋势：适应各种流量、各种跨度，特别是大跨度结构型式的研究；应用先进理论和先进手段进行结构型式优化设计；施工新技术的研究；斜拉式及悬吊式这类跨越能力最大的渡槽型式的研究；过水与承重相结合的合理结构型式的研究；利用电子计算技术及先进设计理论优选结构型式的研究；早强快干砼和钢纤维砼等材料的研究；新型止水材料的研制和应用的研究；旧槽补强及加固的研究；构件预制工厂化及大型机械吊装等研究工作。

山东省已建部分渡槽工程资料见表 1—1～表 1—7。

表 1—1 山东省部分浆砌石拱渡槽

地点名称	最大流量 (米 ³ /秒)	槽身断面		净跨度 (米)	主拱厚 (米)		净矢高 (米)	建成年份	备注
		高(米)	宽(米)		拱顶	拱脚			
烟台市福山区门楼水库灌区红旗渡槽	7.8	2.2	3.0	8.5	0.4	0.4	2.0	1970	等截面圆弧拱
济南市历城区锦绣川水库黄岩	6.5			14.6	0.5	0.8	3.2	1969	
费县长行电灌站		1.4	1.4	20	0.4	0.4			空腹等截面圆弧拱

续表 1—1

地点名称	最大流量 (米 ³ /秒)	槽身断面		净跨度 (米)	主拱厚 (米)		净矢高 (米)	建成年份	备注
		高(米)	宽(米)		拱顶	拱脚			
邹县西苇水库战备渠		2.0	3.0	20	0.8	0.8	2.0		
五莲县长城岭水库灌区夺丰		0.7	0.6	15.61	0.3	0.45	2.55		空腹变截面
五莲县长城岭水库灌区薛长城岭	3.5	3.0	1.6	15	0.4	0.4	4.0	1971	
	3.5	3.0	1.6	30	0.6	0.75	5.0	1971	空腹变截面
	3.5	3.0	1.6	66	1.0—1.3	1.3	10.0	1971	面圆弧拱

表 1—2

山东省部分肋拱渡槽

地点名称	跨度 (米)		最大流量 (米 ³ /秒)	槽身断面		净矢高 (米)	建成年份	备注
	节长	净跨		高 (米)	宽 (米)			
五莲县长城岭灌区后长城岭	21.7	20.2	3.0	1.46	1.7	2.035	1972	
泰安市黄前水库灌区潦河	18.9	18	4.5	1.4	2.0		1971	
莱芜市杨家横灌区杨家横	24		3.0	1.35	1.5	4.8	1972	
	12	11.4	3.0	1.35	1.5	2.4	1972	
	12	11.4	3.0	1.75	1.96	0.57	1972	
莱芜市大冶灌区古城	30		1.42	0.9	1.20	6.0		
新泰市桃花峪灌区	6		0.3	0.50	0.60	1.0	1972	
胶南市吉利河灌区皂户河	10	9.0	8.43	2.52	2.1	0.85	1972	无筋砼肋拱
胶南市吉利河灌区杨家河西	20	19	2.07	1.2	1.4	3.375	1972	无筋砼肋拱

表 1—3

山东省部分三铰拱渡槽

地点名称	跨度 (米)	最大流量 (米 ³ /秒)	槽身断面			净矢高 (米)	建成年份
			高 (米)	宽 (米)	δ (厘米)		
沂水县沙沟水库灌区峨庄	15	2.3	1.16	1.3	10	1.5	1971
临朐县嵩山水库灌区东干渠首	16	4.0	1.20	1.65	9	1.875	1972
临朐县嵩山水库灌区马庄	16	4.0	1.20	1.65	9	1.875	1972
五莲县长城岭水库灌区薛长城岭	21.7	3.3	1.56	1.7	12	2.7	1972
蓬莱市东方红水库灌区	10.9	0.8	0.8	1.1	7	1.0	1972
	10.9	1.2	1.0	1.3	9	1.0	1973
安丘市于家河水库灌区茅子阜	11	8.0	1.62	2.2	15		1973
	16.16	8.0	1.62	2.2	16		
胶南市吉利河水库灌区穿溢洪道	20	8.43	2.32	2.1	20	1.0	1972
胶南市吉利河水库杨家河东	10	2.07	1.19	1.4	8	1.0	1972

表 1—4

山东省部分钢筋砼薄壳渡槽

地点名称	节长 L (米)	最大设计流量 (米 ³ /秒)	槽身断面			建成年份	全长 (米)
			D (米)	h (米)	δ (厘米)		
安丘市牟山北干 0+850 54+350	13	18.7	3.8	0.62	15	1964	52
安丘市牟山北干 21+850 17+350	12.5	13.2	3.40	0.55	12	1964	87.5
安丘市牟山北干 26+760 29+530	11	11	3.2	0.50	12	1964	33
临朐县冶源 水库灌区 营子河	10	60	2.4	0.55	10	1966	100

注: D ——直段宽度; h ——直段高度; δ ——槽壁厚度

表 1—5

山东省部分钢丝网薄壳渡槽

	地点名称	节长 L (米)	最大设计流量 (米 ³ /秒)	槽身断面			建成年份	每节槽身自重 (吨)	其 他
				D (米)	h (米)	δ (厘米)			
简支梁式	安丘市牟山水库灌区许营河	10	13.2	2.8	0.7	5	1967	12.5	四网四筋
	栖霞市隋家沟	14	3.5	0.85	0.6	3.4	1968		
	济南市历城区锦绣川水库灌区	12	6.5	2.0	0.6	3.5		11.8	四网三筋
	莱芜市杨家横水库灌区	12		1.5	净高 1.5	4.5		4.42	半椭圆断面 四网四筋
	莱芜市雪野水库灌区唐王许	12		1.2	净高 1.2	3.6		3.24	
双悬臂梁式节长 / 悬臂段	栖霞市安里水库灌区松龙北沟	25		1.4	0.6	3.0	1969		
	栖霞市安里水库灌区虎山河	22 / 4.5	1	1.8	0.99	3.0	1969		
	栖霞市下紫现头	20	5.14	1.0	0.65	3.0	1969		
	栖霞市轱辘磨水库	27 / 6	1.2	1.0	0.35	2.5			
	沂水县峨庄	30 / 7	2.3	1.4	0.42	3.0			
	临沭县龙窝灌区胡庄	20 / 5	17.25	3.4	净高 3.12	4~6	1969		五网四筋

表 1—6

山东省部分双曲拱渡槽

地点名称	最大流量 (米 ³ /秒)	净跨 (米)	总长度 (米)	矢跨比	槽身断面			拱肋厚度 (米)		建成年份
					D (米)	h (米)	δ (厘米)	拱脚	拱顶	
青州市东张	5.2	100	265	1/6	2	0.5	8			1980
新泰市胡家沟	6.9	20	1327	1/6	1.3	0.6	6	0.3	0.3	1978
新泰市西周	6.9	20	887	1/6	2.1	2.4	15	0.3	0.3	1978

表 1—7

山东省部分桁架拱渡槽

地点名称	最大流量 (米 ³ /秒)	工程总 长 度 (米)	净跨 (米)	矢跨比	主拱圈厚度		槽身断面			建成 年份
					拱脚 (米)	拱顶 (米)	宽 (米)	高 (米)	壁厚 (厘米)	
栖霞市苗家沟复拱式	3.5	82.5	50	上 1/6 下 1/10	0.9	0.55	2	1.4	6	1980
栖霞市亭口下承式	1.5	120	16	1/10		0.15	1.42	0.7	4	1973
栖霞市亭口下门楼中承式	2	300	30	1/10		0.30	1.7	1	5	1977
青州市小石河上承式	10.64	5 孔 158	30	1/8		0.30	2.4	1.9	4	1973

第二节 渡槽的作用、组成及类型

一、渡槽的作用

当输水渠道与河渠、道路、山沟、洼地等相交时，以明渠方式，引导渠水，跨越障碍而修建的架空输水建筑物，称为渡槽，俗称“过水桥”。渡槽是渠系建筑物中应用最广的交叉建筑物之一。它除用于输送渠水外还有排洪和导流等作用。当挖方渠道与冲沟相交时，为排泄冲沟来水和泥沙，不使山洪及泥沙进入渠道，可在渠道上面建排洪渡槽。

在流量较小的河道上修建闸、坝，用上、下游围堰拦断河道时，可在基坑上面架设导流渡槽，使上游来水通过渡槽泄向下游。渡槽顶部一般应设置便道，以通过行人并利于管理和检修，但通常不与桥梁合建，仅排洪渡槽可兼作农村便桥用。

二、渡槽的组成及类型

渡槽是由槽身、支承结构、基础及进出口建筑物等部分组成的，如图 1—1 所示。槽身搁置于支承结构上，槽身及槽中水的重力通过支承结构传给基础再传至地基。渡槽的类型，一般是指输水槽身及其支承结构的类型，可有以下几种分类方法：

1. 按施工方法分 有现浇整体式、预制装配式及预应力渡槽。
2. 按所用材料分 有木渡槽、砖石渡槽、砼及钢筋砼渡槽等。
3. 按槽身断面型式分 有矩形槽、U 形槽、梯形槽、椭圆形槽及圆管形等，渡槽工程中常用的是前两种。
4. 按支承结构型式分 有梁式、拱式、桁架拱式、斜拉式及组合式等。

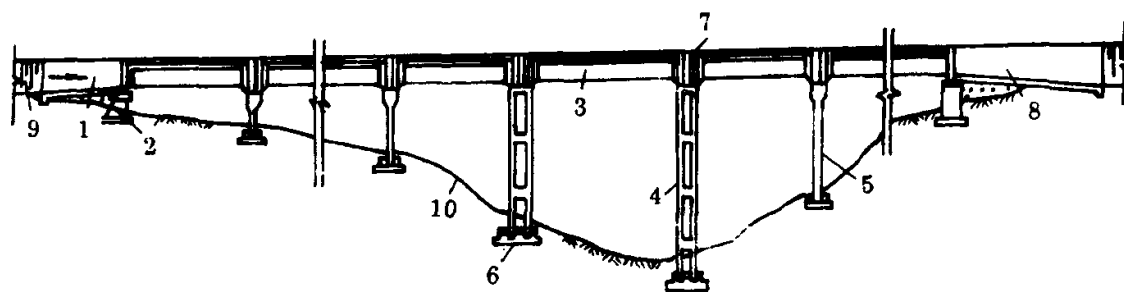


图 1—1 梁式渡槽

1—进口段；2—重力式槽台；3—槽身；4—双排架；5—单排架；
6—排架基础；7—伸缩缝；8—出口段；9—渠道；10—地面线

以上分类方法中，第 4 种方法能反映渡槽的结构特点、受力状态、荷载传递方式和结构计算方法的区别，故本书按这种分类方法进行论述。

梁式、拱式和桁架拱式是最基本也是应用最广的渡槽型式，故本书主要讨论这三类渡槽的有关问题和设计方法，并提供实例。在此首先对这三类渡槽的结构特点、受力状态和荷载传递方式作简要介绍。

梁式渡槽的支承结构是重力墩或排架。槽身搁置于墩、架顶部（图 1—1），既起输水作用，又是承受荷载而起纵梁作用的结构，在竖向荷载作用下产生弯曲变形，支承点只产生竖向反力。按支承点数目及布置的不同，又分为简支、双悬臂、单悬臂及连续梁四种型式。前三种一节槽身在纵向只有两个支点，是静定结构，为常用型式。连续梁式渡槽的一节槽身，在纵向的支点数目大于 2，是超静定结构。在同样跨度和同样荷载条件下，连续梁式渡槽的跨中弯矩较简支梁式渡槽的小，因而可以加大其跨度。但是连续梁式槽身施工，如果采用整体预制吊装方法，各支点要保证连续梁式支承条件很难；如果各支点产生不均匀沉降时，除了槽身将产生较大的附加弯矩外，还可能产生扭曲应力，因而对地基条件要求高，故实际工程中采用较少。梁式渡槽的实用跨度一般在 20 米以内。

拱式渡槽与梁式渡槽不同之处，是在槽身与墩台之间增设了主拱圈和拱上结构。拱上结构将上部荷载传给主拱圈，主拱圈对墩台产生强大的水平推力。主拱圈是主要的承重结构，各径向截面具有明确的形式，其重心连线即为主拱的轴线，即主拱圈具有明确的拱轴线。主拱圈将拱上铅直荷载转变为轴向压力，并给墩台以水平推力，而拱内弯矩则较小，这是拱式渡槽的主要特点。因主拱圈以承受轴向压力为主，拱内弯矩较小，故拱式渡槽的跨度较大，可达百米以上。主拱圈有不同的结构型式，如板拱、肋拱和双曲拱等。其轴线可以是圆弧线、悬链线、二次抛物线和折线等。可以设有不同的铰数，如无铰、双铰和三铰。拱上结构有实腹与空腹之分。因此拱式渡槽又可分为不同类型。

桁架拱式渡槽，槽身与墩台之间的支承结构是桁架拱，它用横向联系将数榀桁架拱片连接而成为一整体结构。桁架拱片是由上、下弦杆和腹杆拼接而成的平面拱形桁架，下弦杆或上弦杆做成拱形，工作时整体受力，具有拱和桁架的特点。桁架拱式渡槽的槽身，一般采用矩形断面，支承于桁架拱的节点上，故槽身荷载是桁架拱节点上的集中荷载。桁架拱的拱形弦杆（拱肋）与墩台的连接分有铰和无铰两种。地基条件较差时可做成两铰拱，以减小因温度变化、弹性压缩和墩台位移而产生的应力；无铰拱要求较好的地基。桁架拱式渡槽一般用的是两铰拱。

桁架拱渡槽，按其结构特征和槽身在桁架上位置的不同，可分为上承式、下承式、中承式和复拱式。各种型式中的腹杆既有竖杆也有斜杆，一般称为斜杆式桁架拱。如果只设竖杆不设斜杆，则为竖杆式桁架拱。上承式桁架拱常将顶拱段做成实体。

第三节 渡槽设计的基本资料及设计步骤

一、基本资料

基本资料是渡槽设计的依据和基础，主要包括以下几个方面内容：

1. 规划要求 规划阶段，渠道的纵横断面及建筑物的位置已基本确定，据此可得出渡槽上下游渠道的各级流量和相应水位、断面尺寸、渠底高程及渠道通过渡槽时的允许水头损失值等。

2. 设计标准 设计标准直接关系到渡槽的安全和经济，必须慎重选定。凡适用于渡槽设计的国家规范，如《水工钢筋混凝土结构设计规范》等的规定必须遵守。若无直接应用于渡槽设计的国家规范可查用时，则设计中采用的计算方法和有关依据，可参考类似建筑物的国家规范，如《公路桥涵设计规范》等。关于渡槽级别的划分，在无统一规范规定之前，设计时可根据当地规定确定。对于跨越铁路、重要公路及墩架很高或跨度很大的渡槽，应采用较高的级别。对于跨越河道、山溪的渡槽，应根据其级别、地区经验，并参考有关规定选择洪水标准，计算相应的槽址水位、流量及流速。

3. 地形资料 应用 1:200 至 1:2000 地形图。测绘范围应满足渡槽轴线的修正和施工场地布置，在进出口及有关附属建筑物布置范围以外，最少应留 50 米富裕宽度。对于小型渡槽，也可只测绘渡槽轴线的纵剖面及若干横剖面图。跨越河道的渡槽，应加测槽址河床纵横断面图。

4. 地质资料 通过挖试坑及钻探等方法，探明地基岩层的性质、厚度、有无软弱层及不良地质隐患，注意河道及沟谷两岸是否稳定，是否有可能滑动、崩塌的岩体，并绘制沿渡槽轴线的地质纵剖面图；通过必要的试验，测定地基土及基岩的物理力学指标，决定地基承载力等。对于地震区，尚应收集地震资料。

5. 水文气象资料 调查渡槽所在地区的最大风力等级与风向，最大风速及其出现频率；多年月平均气温，年平均气温，最高及最低月平均气温，冬夏季的最低、最高温度，最大温差及冰冻情况等。渡槽跨越河流时应收集河流的水文资料及飘浮物情况等。

6. 建筑材料 砂料、石料、砼骨料的储量、质量、位置、开采及运输条件和木材、水泥、钢材的供应情况等。

7. 交通要求 槽下有通航河道、铁路、公路通过时，应了解船只、车辆所要求的净宽、净空高度；槽上有交通要求时，要了解荷载情况及今后发展要求等。

8. 施工条件 施工设备、施工技术力量、水电供应及对外交通等条件。

9. 运用管理要求。

以上各项资料并非每一渡槽设计均需具备，每项资料调查、收集的深度和广度，则随工程规模的大小、重要性及设计阶段的不同而不同。

二、渡槽的设计步骤

1. 通过调查、勘测、试验等手段收集所需要的各种基本资料，并根据渡槽的任务和地形、地质等条件确定渡槽的级别和设计标准。资料收集的深度和广度，一方面取决于工程规模的大小和重要性，一方面随设计工作的逐步深入而补充必要的相应资料。

2. 选择槽址及槽身起止点位置。进行这一工作时，应根据地形、地质等条件考虑渡槽的型式和大体的纵剖面布置。

3. 进行水力设计，确定槽身的横断面尺寸和槽底纵坡及进出口高程。

4. 进行渡槽的纵剖面布置。这一步骤的内容是选定各组成部分的结构型式和材料、分跨、拟定各组成部分的布置尺寸和高程，将成果绘在纵剖面布置草图上，并绘制若干必要的横剖面图，必要时还需绘置平面布置图，以决定开挖和填筑工程量。纵剖面及横剖面图中应注明高程、基础中心线的桩号。纵剖面布置草图中还应注明进出口渠底高程、渠水位、河道或溪流等的最低水位与最高水位；槽下交通道路、航道的位置与要求的净宽、净空高度及地质条件等，以便调整纵剖面布置尺寸和高程，定出总体布置方案。对跨度或槽高较大、地质条件较差的大中型渡槽，所拟定的布置方案，应验算渡槽及其地基的稳定性，以证明布置方案的可行性和安全度。

5. 进行方案比较，确定最优的总体布置方案。

6. 进行结构计算和构造设计，将成果绘制成设计图，计算各项工程量和各种材料用量，进而提出工程概预算和总投资。

第四节 渡槽的总体布置和纵剖面设计

渡槽的总体布置是渡槽设计的一个重要内容，它包括槽址和槽身中心线的选择及进出口段的布置。渡槽纵剖面设计，主要包括确定槽底纵坡、水力计算、进出口高程及确定渐变段长度等。

总体布置是根据渠系的规划布置及查勘资料，通过分析比较和水力计算等步骤，选定总体布置方案，设计成果应包括渡槽工程的平面图、纵剖面图和若干横剖面布置图。

一、总体布置的依据与基本资料

渠系的规划布置已定出：渡槽位置、通过渡槽的设计流量及最大流量；上下游渠道的断面尺寸、渠底高程和通过各级流量时的水深与水位，其中，通过设计流量时上下游渠道之间的水位降落值，是规定的允许水头损失。对于地形、地质条件复杂，长度较大的渡槽，渠系规划布置所定的跨越溪谷、河流等的槽址位置常是不确定的，可以在数十米乃至数百米范围内变化，需通过总体布置进行方案比较来选定。同时，允许水头损失值也是初步数据，须在总体布置方案选定之后才能最后确定，但不应有较大的变动。当水头损失不等于初定值时，须通过渠系水位复核来确定最后的上下游渠底高程。

设计标准直接涉及到工程的投资、质量要求及安全程度，渡槽设计时须慎重选定。渡槽的级别可参考有关规范确定，其相应的强度和稳定安全系数，按有关规范的规定选用。对于跨越溪谷、河流等的渡槽，须考虑洪水对渡槽的影响。根据建筑物的级别，参照有关规定选择洪水标准，并计算其相应的水位、流量及流速。

渡槽的总体布置方案，必须与当地的各种条件相适应，为此，应做好深入细致的调

查研究和勘测工作，取得地形地质、水文气象、建筑材料、运输条件、交通要求及施工条件等各项资料。调查和收集这些资料的深度和广度，则随渡槽规模的大小、重要性及设计阶段的不同而不同。

渡槽的设计以上述依据与基本资料为基础，便可进行总体布置工作。

二、渡槽位置选择

在渠系总体规划布置时，已从全局考虑决定了渡槽的位置。对于长度不大的中小型渡槽，中心线和槽身起止点位置，一般已无多大选择余地。对于地形、地质等条件复杂、长度较大的大中型渡槽、中心线和槽身起止点位置选择，一般可从以下几个方面进行考虑。

1. 槽址应尽量选在地质良好、地形有利的地方，以便能尽量地缩短槽身长度、减小基础工程量和降低槽墩、槽架的高度。进出口应力求落在挖方渠道上，必须落在填方渠道上时，填方高度（从渠顶算起）宜小于6米，要做好与填方渠道的连接，绝对保证施工质量并做好止水。

2. 跨越河流的渡槽，槽址应位于河床稳定、水流顺直地段，避免位于河流转弯处，以免凹岸及基础受冲。渡槽的轴线应尽量与水流方向正交。对于可能冲刷的岸坡，应根据情况设置块石护坡，过陡而又不稳定的岸坡应当削除。对于通航河道，尚应满足通航流速及净空的要求。

3. 渡槽进出口渠道与槽身的连接，在平面布置上应争取成一直线，切忌急转弯。进出口段急转弯，易恶化渡槽的水流条件，影响正常输水，并易造成下游渠道水流摆动，引起冲刷。对于大流量或坡度大的渡槽，更应注意这个问题。

4. 当渡槽发生事故时，需要停水检修，或为了上游分水等目的，常在进口段或进口前渠道的适宜位置设节制闸，以便与泄洪闸联合运用，使渠道水泄入溪谷或河道中，保证渡槽安全。泄洪闸的位置，是根据整个渠系的规划布置选定的，一般在大型渡槽前均应设置。这样，既可保证不因某段渠道发生洪水漫溢而造成各种不利后果，又给渡槽的检修创造了有利条件。

5. 应少占耕地，少拆房屋，尽量做到施工方便、就地取材。

三、渡槽型式选择与分跨

渡槽型式的选择，是包括槽台在内的进出口建筑物和各个跨段的槽身、支承结构、基础结构型式、构造及材料。与此有关的各项问题，将在以后各章详细介绍。

槽身分跨，是在纵剖面布置的草图上选定槽墩或槽架及其基础的中心线位置。对长度不大的中小型渡槽，一般只采用一种类型的单跨或等跨布置方案。对于地形、地质条件复杂而长度又大的大中型渡槽，应根据槽身距地面的高度变化和地质条件，可选用一种或两种类型和两三种跨度，但不能变化过多，以免增加施工上的麻烦，并应注意两种类型和两种跨度相接处的槽墩受力状况，以减小不对称槽墩的工程量。渡槽型式的选择与槽身分跨工作是渡槽设计的关键。显然，渡槽各跨段和各组成部分，一方面发挥各自的作用，另一方面又相互配合，每个部分结构型式的改变，必将引起其它部分的相应变化，设计时应从全局出发，采用合理的布置方案。选定渡槽的型式和槽身分跨时，除了处理好各个部分之间的联系外，还须使它与外部条件相适应，这样才能作出安全、经济、

合理的布置方案。这些外界因素很多，主要有以下几个方面：

1. 地形地质条件 对于窄深山谷地形，两岸地质条件又较好，有足够的强度与稳定性时，宜建大跨度单跨拱式渡槽；当地形平坦，槽高不大，一般采用梁式渡槽较好，施工与吊装均方便；当地形地质情况比较复杂时，则要作具体分析。例如跨越河道的渡槽，当河道水深流急、槽底距河床高度大、水下施工较困难，而滩地部分的槽底距地面高度又不大，且渡槽较长时，则可在河床部分采用大跨度渡槽，在滩地则用梁式或中小跨度的拱式渡槽。对于地形地质条件，既要分析如何采用不同的结构型式来适应这些外界条件，也要分析研究如何采取措施，使不利的外界条件向有利方面转化。例如，当地基承载能力低时，可以采取轻型结构来适应，也可采取工程措施，提高其承载能力。

2. 建筑材料情况 建筑材料情况有时对决定渡槽类型起重要作用。如果有质量符合要求且数量足够的石料时，应优先考虑砌石拱渡槽，以节约钢材、水泥、木材。但用浆砌石修建渡槽，石料的开采、加工、砌筑常常需手工操作，花费劳力较多。设计时应综合考虑地形地质、施工等条件，通过方案比较采用合理的结构型式。

3. 施工条件 目前渡槽建筑中，为了节省劳力，加快施工速度，大多数采用装配式预制构件，这就需要一定的吊装设备和吊装技术。选择渡槽类型时，要考虑尽可能利用原有吊装设备，或便于自力更生制造的简易起重设备。同一渠道的渡槽应尽量采用一种结构型式，以便使用同一套吊装设备，也利于设计和施工定型化。

以上三个方面的条件在决定渡槽型式是相互联系又相互影响的。但具体到某一个渡槽，并不是三个方面都起着同样的作用，要具体情况、具体分析，只有在这些错综复杂的问题中抓住主要矛盾才能更好地选择渡槽的型式和槽身的分跨。

四、渡槽纵剖面设计

渡槽纵剖面的设计任务是根据设计流量及其通过渡槽的允许水头损失值，选择适当的渡槽纵坡和断面，并拟定出渡槽进出口高程。为此，必须对渡槽的水流现象作出初步分析。

为了减小渡槽断面尺寸，降低其造价，渡槽底坡往往比渠道底坡陡，这样水流自上游渠道经过渡槽流至下游渠道时，水深和流速将沿程变化。在进口段，随着过水断面的减小，水流将逐渐收缩，流速不断加大，水流位能的一部分转化为动能，而另一部分消耗于因水流收缩而产生的局部水头损失，因此形成进口段的水面降落。水流进入槽身段后，由于槽身段长度一般均大于10倍槽前水深，而槽底为正坡，槽身断面尺寸及糙率系数沿程不变，故槽身基本上保持均匀流，水面坡等于槽底坡。在出口段，随着过水断面的扩大，流速逐渐减小，水流动能的一部分由于水流扩散而损失，另一部分转化为位能，形成水面回升，如图1—2所示。

我们首先认识了渡槽的水流规律，就可以进一步来解决渡槽纵剖面设计的有关问题。现分述如下：

1. 纵坡的确定 渡槽纵坡对过水断面的影响很大，纵坡大，可减小断面，节省材料，施工吊装方便，造价低。但也有其不利的一面，即纵坡大，水头损失也大，自流灌溉面积则减小。而且纵坡加大后，将增大流速，对进出口渠道可能引起冲刷现象，对有通航要求的渡槽也将产生不利影响（一般通航流速要求在1.5米/秒以内）。因此，水头损失

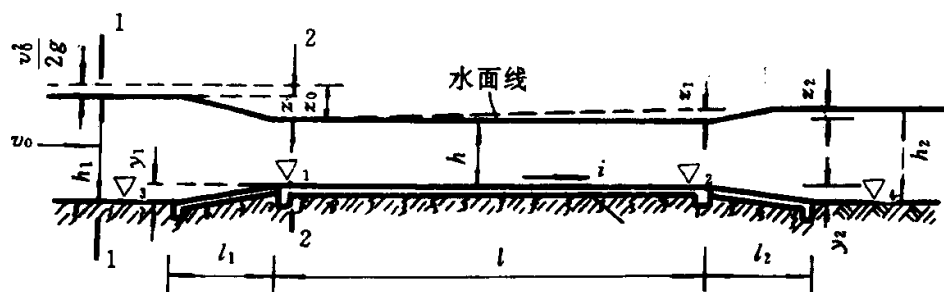


图 1—2 渡槽的水流现象

与渡槽造价对纵坡的要求是矛盾的,但这个矛盾是可以解决的。在分析各种矛盾的基础上,通过调查研究,选定适宜的纵坡,使其既能满足灌区规划要求,又能达到降低造价的目的。例如,有的灌区要求渠道水面尽量少降低,以求扩大自流灌溉面积,这时,水头损失就是确定渡槽纵坡的主要方面,就应选择较缓的纵坡;当条件允许时也可采用较陡的纵坡,但不宜太陡(一般应小于 1/500);如果渡槽是以流速为主要控制条件,则应在满足流速的前提下,选择适宜纵坡,使渡槽达到最小的经济断面。对于中小型渡槽,纵坡一般采用 1/500 至 1/1500。

2. 渡槽过水能力的计算 渡槽过水流量可按明渠均匀流公式计算:

$$Q = \omega C \sqrt{Ri} \quad (1-1)$$

式中: Q ——渡槽的过水流量 (米³/秒);

ω ——渡槽过水断面面积 (米²);

C ——谢才系数,常用曼宁公式 $C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}}$;

n ——糙率系数,钢筋砼槽身可取 $n = 0.013 \sim 0.014$,浆砌块石槽身 $n \geq 0.017$ 。

R ——水力半径 (米);

i ——渡槽纵坡。

设计时,常先确定纵坡 i ,并拟出断面形式与尺寸,按式 (1—1) 进行校核计算,直到符合通过设计流量要求为止,这时的断面还应留有一定的超高。

通过设计流量时的槽壁超高 Δh 可按下列经验公式计算:

$$\Delta h = \frac{h}{12} + 5 \text{ (厘米)} \quad (1-2)$$

式中: Δh ——通过设计流量时的水面至拉杆底面或槽顶 (无拉杆时) 的距离;

h ——通过设计流量时的槽中水深。

此外,槽壁超高还应满足下述要求:通过加大流量时的水面不超过拉杆底面;无拉杆时,水面不超过槽顶。

3. 水头损失及水面衔接计算 渡槽槽身水面与上下游渠道水面衔接计算包括进口水面降落、槽身水面降落及出口水面回升三个部分。现分述于下:

(1) 进口水面降落值 z 的计算 进口水面降落的水流现象与淹没宽顶堰流相近似,所以,工程上常用淹没宽顶堰公式计算进口水面降落值 z ,也可按能量方程求得,常取其中较大值作为计算值,如图 1—2 所示。

按宽顶堰公式推求:

$$Q = \epsilon \varphi \omega \sqrt{2gz_0} \quad (1-3)$$

式中： z_0 ——为 1—1 与 2—2 断面的水位差（考虑了行近流速水头），因渠道流速一般较

小，计算中常可忽略不计 $\frac{v_0^2}{2g}$ 值，近似采用 $z_0 = z$ ；

ϵ ——进口侧收缩系数，常取 0.9~0.95；

φ ——流速系数，常取 0.9~0.95；

g ——重力加速度， $g = 9.81$ 米/秒²。

将式 (1-3) 两边平方移项并令 $z_0 \approx z$ ，得

$$z = \frac{Q^2}{(\epsilon \varphi \omega \sqrt{2g})^2} \quad (1-4)$$

按能量方程法推求：

$$z = \frac{1 + \xi_1}{2g} (v^2 - v_1^2) \quad (1-5)$$

式中： ξ_1 ——为进口局部损失系数，常用 0.1；

v ——槽身流速；

v_1 ——上游渠道流速。

(2) 槽身水面降落 槽身段水流为均匀流，故水面降落 z_1 等于底坡降落：

$$z_1 = il$$

式中： l ——渡槽槽身段长度。

(3) 出口水面回升值 z_2 的计算 出口水流仍有水头损失，但是由于出口处流速较槽身内的流速为小，部分动能转化为位能，因此渡槽出口处的水面比槽身末端的水面要高，水面产生回升现象。根据水电部原北京勘测设计院的试验资料，渡槽出口水面回升值 z_2

与进口水面降落值 z 有关，一般 $z_2 \approx \frac{z}{3}$ ，具体数值见表 1—8。

z_2 值也可按能量方程法求：

$$z_2 = \frac{1 - \xi_2}{2g} (v^2 - v_2^2) \quad (1-6)$$

式中： ξ_2 ——出口局部损失系数，常取 0.2；

v_2 ——下游渠道流速（米/秒）。

表 1—8 出口水面回升值与进口水面降落值关系表

z (米)	0.05	0.10	0.15	0.20	0.25
z_2 (米)	0	0.03	0.05	0.07	0.09

注：该表适用于渠道流速和槽内流速之比在 1/5~1/4 的范围。

通过渡槽的总水面降落： $\Delta z = z + z_1 - z_2 = z + il - z_2$ (1-7)

该总水面降落值应小于或等于灌区规划中要求的允许水头损失值。

(4) 进出口高程的确定 主要解决进口槽底抬高与出口渠底降低问题，使水面能很好衔接，以免影响过水能力及渠道发生冲淤现象。

进口槽底抬高值

$$y_1 = h_1 - z - h$$

出口渠底降低值 $y_2 = h_2 - z_2 - h$

进口槽底高程 $\nabla_1 = \nabla_3 + y_1$

出口槽底高程 $\nabla_2 = \nabla_1 - il$

出口渠底高程 $\nabla_4 = \nabla_2 - y_2$

式中: ∇_3 、 ∇_4 —— 渡槽进、出口的渠底高程;

h_1 、 h_2 、 h —— 分别为进口渠道、出口渠道及渡槽的水深。

五、进出口建筑物

选定渡槽进出口建筑物型式和布置尺寸, 是渡槽总体布置的主要内容之一。

渡槽进出口建筑物的作用是使槽内水流与渠道水流平顺衔接, 并防止冲刷: 将槽身结构与两岸渠道连接起来, 避免因连接不当而引起漏水, 致使岸坡或填方渠道产生过大的沉陷和滑坡现象。尤其当槽身与填方渠道连接时, 边坡稳定问题显得更为突出, 在设计和施工中应予以足够的重视。

渠道断面通常是梯形的, 为了减小渠道的水面降落, 渠底纵坡一般都很小, 故渠道的过水断面和水面宽常较大。对于渡槽, 为了减小工程量, 槽底纵坡常较渠道为陡, 故过水断面和槽宽要比渠道小得多, 槽身断面常用矩形或U形的。因此, 为了使渠道水流与槽内水流平顺衔接, 渡槽进出口均需设置渐变段。渐变段一端与渠道梯形断面相连接, 为便于施工, 另一端常作成矩形断面。扭曲面式渐变段水流条件较好, 采用比较普遍, 一般用浆砌石建造。其它八字墙等形式的渐变段水流条件较差, 但施工较方便。渐变段长度 L_d , 通常采用经验公式计算:

$$L_d = C (B_1 - B_2) \quad (1-8)$$

式中: B_1 —— 渠道水面宽度;

B_2 —— 渡槽水面宽度;

C —— 系数, 进口取 $C = 1.5 \sim 2.0$; 出口取 $C = 2.5 \sim 3.0$ 。

对于一般中小型渡槽, 也可采用下列经验公式计算:

$$L_d \geq (4 \sim 6) h \quad (1-9)$$

对于进口渐变段, 采用 $L_d \geq 4h_1$, h_1 为进口渠道水深; 对于出口渐变段, 采用 $L_d \geq 6h_2$, h_2 为出口渠道水深。对于抗冲能力较低的土渠, 为了防止冲刷, 靠近渐变段的渠道可用干砌块石护砌, 其长度约等于渐变段长度。

渐变段与槽身之间, 常因各种需要再设置一连接段。对于U形槽身, 需设连接段将矩形过水断面(渐变段末端)变为U形; 渡槽进出口, 常因交通要求需设连接段, 以便布置交道桥或人行便桥; 为了停水检修等目的, 常需在渡槽进口设置节制闸或留检修门槽(有时, 出口也留检修门槽); 为了便于观察和检修, 槽身与进出口建筑物接头处的伸缩缝不应埋入土内, 而用连接段伸入渠道填土范围内与渐变段连接。连接段的长度, 根据具体情况由布置决定。

槽身结构与两岸渠道的连接方式, 因渠道是填方或挖方而不同, 现分述如下。

1. 槽身与填方渠道的连接 当槽身与填方渠道连接时, 通常采用的连接方式有斜坡式(图1—3)和挡土墙式(图1—4)两类。

斜坡式连接是用连接段伸入填方渠道末端的锥形土坡内; 按连接段支承方式的不同,

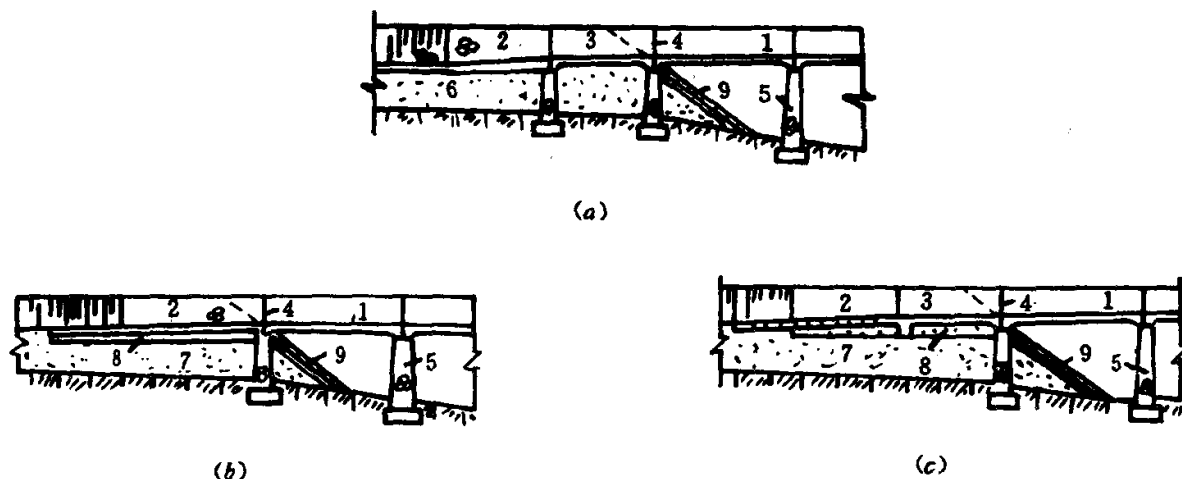


图 1—3 斜坡式连接

(a)、(b) 刚性连接；(c) 柔性连接

1—槽身；2—渐变段；3—连接段；4—伸缩缝；5—槽墩；6—回填粘性土；7—回填砂性土；
8—铺盖；9—砌石护坡

又分为刚性连接和柔性连接两种。

刚性连接是将连接段支承在埋置于锥形土坡内的槽墩（架）上〔图 1—3 (a)〕。支承墩（架）应建在老土或基岩上，当填方渠道产生沉陷时连接段不会因填方渠道的沉陷而下沉，伸缩缝止水的工作较可靠，但其槽底会与填土脱离，形成漏水的通道，故要做好防渗处理和采取措施减小填方渠道的沉陷。对于小型渡槽，也可不设连接段，而将渐变段直接与槽身连接，并按伸缩缝要求设置止水，防止接缝漏水影响渠坡安全〔图 1—3 (b)〕。

柔性连接是将连接段直接建造在填方渠道上，靠近槽身的一端仍支承在墩架上〔图 1—3 (c)〕。连接段将随填方渠道的沉陷而下沉，故对设计和施工的技术要求较高，填土质量要严格控制，尽量减少沉陷；应根据可能产生的沉陷量，槽身应预留沉陷高度，以保证沉陷后，进出口高程仍能符合设计要求；槽身的伸缩缝要能适应因沉陷而引起的变形。

刚性连接比较可靠，采用的也较多。柔性连接因对技术要求较高，采用的较少。但是无论那种连接方式，都应尽量减小填方渠道的沉陷，做好防渗和防漏的处理，保证渠道边坡的稳定。为了防止产生过大的沉陷，渐变段与连接段下面的回填土，宜用砂性土，并须认真分层夯实，上部则铺以厚 0.5~1.0 米的防渗粘土铺盖。如当地缺少砂性土，需用粘性土填筑时，回填土应分层夯实，回填后应间歇一定时间，等填方沉陷趋向稳定，再在填方上建造连接段和渐变段。为了防渗，槽底的渗径长度一般应不小于槽内水深的 3~5 倍。当渗径不足时，可在槽端的底部和两侧设置截水环，用以增长渗径。当需利用渐变段防渗时，浆砌石建造的渐变段必须砌筑密实，迎水面用水泥砂浆勾缝或浇以厚 5~10 厘米的混凝土护面。为了保证边坡稳定，填方渠道末端的锥体土坡不宜过陡，并采用砌石或草皮护坡，在坡脚处需设排水沟，排水导渗。刚性连接和柔性连接段结构，其受力条件与槽身接近，常可采用与槽身相同的构造，而不进行结构计算。

挡土墙式连接是将边跨槽身一端支承在重力挡土墙式槽墩（台）上，并与渐变段直接连接（图 1—4）。挡土墙应建在老土或基岩上，以保证挡土墙的稳定和减小沉陷。挡土

墙两侧则建造一字或八字形斜降式挡土墙挡土。为了降低挡土背后的地下水压力,在墙身和墙背应设置排水设施。其它有关防冲、防渗和对填土质量的要求等与斜坡式连接相同。挡土墙式连接亦属于柔性连接,工作较可靠,但用料较多,一般在填方高度不大时采用。

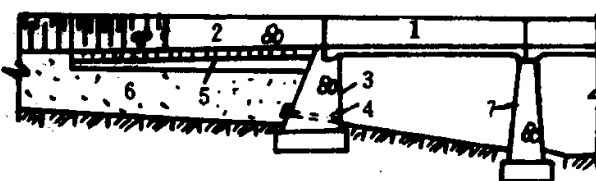


图 1—4 挡土墙式连接

1—槽身; 2—渐变段; 3—挡土墙; 4—排水孔;
5—铺盖; 6—回填砂性土; 7—槽墩

2. 槽身与挖方渠道的连接 当槽身与挖方渠道连接时,可采用图 1—5 所示的连接方式,即将边跨槽身靠近岸坡的一端支承在地梁或高度不大的实体墩上〔图 1—5 (a)〕。槽身与渐变段之间用连接段连接,小型渡槽也可不设连接段。连接段是在地基上直接建造的,其底板和侧墙沿水流方向,基本上不承受弯矩作用,可用浆砌石或纯砼建造。有时,为缩短槽身长度,可将连接段向槽身方向延长,并建造在用浆砌石砌筑的底座上〔图 1—5 (b)〕。

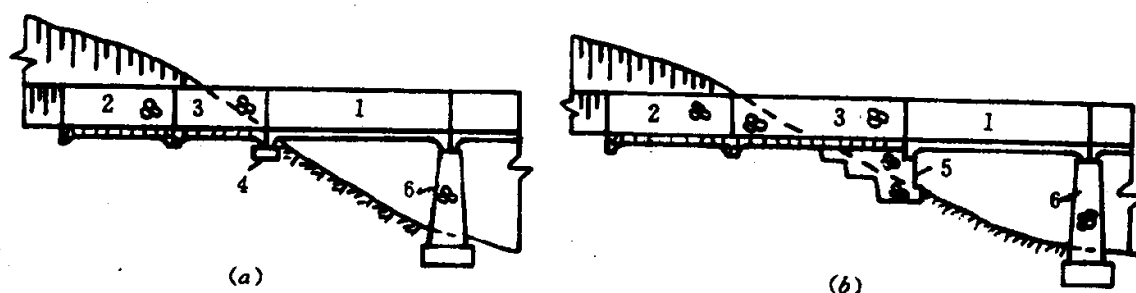


图 1—5 槽身与挖方渠道的连接

1—槽身; 2—渐变段; 3—连接段; 4—地梁; 5—浆砌石底座; 6—槽墩

六、渡槽伸缩缝(或变形缝)止水

渡槽伸缩缝止水,是渡槽工程中不可缺少的组成部分,如止水不严密或两岸连接不好,不仅造成渡槽漏水,而且有可能由于漏水促使两岸岸坡坍塌或产生较大沉陷而引起渡槽失事,所以在设计和施工中应予以高度重视。

渡槽无论是现浇槽身或预制装配的,在跨与跨的接头处都必须设置伸缩缝,以适应槽身因温度变化引起的伸缩变形和允许的沉陷及位移。伸缩缝必须用既能适应变形又能防止漏水的柔性止水材料充填,常用的渡槽止水有以下几种类型:

1. 橡皮压板式止水(图 1—6) 这是最常用的一种止水,预制槽身时,先在槽端内壁留一凹槽,其深度 4~6 厘米,止水材料为橡皮带(一般橡皮带厚 6~12 毫米),为了使其能紧贴在凹槽上,常用扁钢并通过螺栓将橡皮带压紧,扁钢厚 4~8 毫米,宽 6 厘米左右。螺栓的间距、直径与扁钢厚度的相互关系,是能否压紧橡皮并使其达到止水要求的一个关键。螺栓直径一般为 9~12 毫米,间距等于 16 倍螺栓直径或 20 倍扁钢厚,常为 20 厘米左右。为了减慢铁件锈蚀,对预埋螺栓和扁钢压板应事先作防锈处理(油漆或镀锌)。此外在凹槽内最好填沥青砂浆或 1:2 水泥砂浆,这不仅对止水起辅助作用,并能防止橡皮老化与铁件锈蚀。为了有利于螺栓更换,近年来将螺母先预埋于砼内,再铺装止水橡皮和压板,并把螺栓拧入螺母将橡皮压紧,这样处理,不仅压板留孔对位方便,而且螺母埋于砼内加油后不易锈蚀,一旦螺栓损坏还可更换。

这种止水如能保证施工质量,可以作到不漏水、止水效果较好,但需要金属与橡皮