

水工建筑物

马文英 张红光 等编著

西安地图出版社

高等学校教材

水工建筑物

(下册)

马文英 张红光 等编著

西安地图出版社

内容提要

本书为高等院校“水利水电工程建筑”和“农业水利工程”专业水工建筑物课程的教材。全书分上、下册,上册包括绪论、重力坝、拱坝、支墩坝、土石坝、河岸溢洪道、水工隧洞和坝下埋管、水闸、闸门与启闭机、过坝建筑物、取水枢纽;下册内容原计划为渠系建筑物包括渡槽、倒虹吸、水利工程中的桥梁、跌水、陡坡、涵洞,考虑到南水北调等水利建设新形势对毕业生知识结构的要求,添加了有关渠道工程的内容。

本书除可用作上述专业的普通高校本、专科及成人高等教育本、专科学生教材外,还可作为其他相近专业学生的参考用书,以及从事水利水电工程设计与施工技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

水工建筑物(下) / 马文英,张红光编著. —西安:
西安地图出版社,2005.7
ISBN 7-80670-837-5

I. 水… II. ①马…②张… III. 水工建筑物
IV. TV6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 091421 号

水工建筑物(下册)

马文英 张红光 等编著

西安地图出版社出版发行

(西安市友谊东路 334 号 邮政编码 710054)

新华书店经销 煤炭科学研究院西安分院印刷厂印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 8 印张 185 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—1000

ISBN 7-80670-837-5/TU·21

定价:18.00 元

前 言

为了适应当前和今后一定时期我国南水北调工程建设对水利类人才知识结构的要求,本书作为水工建筑物下册内容,详细讲述了渠系建筑物(诸如渡槽、倒虹吸、桥梁、跌水、陡坡、涵洞)及其相关的渠道工程的设计原理与设计方法等内容,以强化学生在这方面的知识基础,为毕业后顺利承担和完成这方面工程的设计、施工、管理等任务作好知识储备。

参加本书编写的人员分工为:李峰完成第十二章第一节和第四节,吴飞完成第十二章第二节;袁吉栋完成第十二章第三节,穆智勇完成第十二章第五节和渠道思考题,马文英完成第十三章第一、二节,张红光完成第十三章第三、四、五、六节及思考题和附录。马文英、张红光担任主编,全书由马文英统稿,李彦军教授担任主审。

由于水平有限,书中难免存在不妥及错误之处,请读者批评指正。

2005 年 7 月

目 录

第十二章 渠道	1
第一节 灌溉渠道系统的组成与布置	1
第二节 灌溉渠道的流量	2
第三节 渠道纵横断面设计	4
第四节 渠道横断面的结构形式	13
第五节 渠道防渗	14
第十三章 渠系建筑物	17
第一节 渠系建筑物的类型与作用	17
第二节 渡槽	17
第三节 倒虹吸	58
第四节 水利工程中的桥梁	75
第五节 跌水和陡坡	97
第六节 涵洞	108
附录Ⅲ	118

第十二章 渠 道

渠道是水利建设中的输水工程,用来从河流、水库、湖泊等水源引水以供农业灌溉、发电、工业与民用等,是应用最为普遍的水利工程,也是渠系建筑物的载体。本节以灌溉渠道为主讨论渠道系统的布置、纵横断面的设计及防渗措施等。

第一节 灌溉渠道系统的组成与布置

按地形条件和控制面积大小,农业水利工程中的渠道系统一般由干、支、斗、农四级固定渠道构成,干渠主要起输水作用,支、斗渠主要起配水作用。

对于灌溉渠系的布置,应尽可能将渠线选择在较高地带,以便控制较大的自流灌溉面积;而对局部高地可采用提水灌溉,以节省造价;输水渠道宜布置在挖方中,配水渠道宜布置成半挖半填的形式,以利于输水安全和配水方便;在有中小型水库、塘堰、泵站及井灌设施的地区,可考虑建立蓄、引、提或井、渠结合的水利系统;有时还应考虑综合利用问题,例如利用渠道落差建筑物的水头发电或水力加工,利用大型渠道开展航运等;为适应农业现代化发展要求,灌溉渠道还应与公路、机耕道路、林带及排水沟等统一规划、全面安排。

为了保证渠道运行安全,在渠道的下列地方应设置退水(或称泄水)建筑物:引水渠末端,渠首闸下游,有大量山坡洪水汇入渠段的下端,渠道穿越滑坡体及其他易出事故渠段的上端,大型填方渠段、渡槽、倒虹吸等重点建筑物的上游,以便必要时全部泄走渠水。退水建筑物可以是退水闸或沿渠堤设置的侧向溢流堰。

沿山麓或盘山修建的渠道,为防止暴雨时山洪冲垮渠道,可用排洪渡槽或排洪涵洞(管)将山洪排泄至沟溪的下游,一般沟溪底高于渠道设计水位时,宜用排洪渡槽,沟溪中的设计水位低于渠底时,宜用排洪涵洞;当山洪较小而渠道较大且附近有退水建筑物时,也可将山洪引入渠道,借助附近的退水建筑物排走;当沟溪洪水较大而渠道流量较小时,宜采用渡槽或倒虹吸穿越沟溪,将渠水输送至沟溪对岸,而山洪由原沟溪宣泄,即遵循“小穿大”原则;当沟溪设计洪水位与渠道中的设计水位相近时,只能采用倒虹吸,但山洪一般含沙量大、污物多,易于淤塞;当渠底远高于沟底而沟谷又很宽时,用渡槽输送渠水并可兼作跨越沟溪的交通桥用,且水头损失较小,但比采用倒虹吸造价高。

当渠线遇到山峦高地时,可采用绕线渠道、隧洞穿越、明挖等几种方式,具体采用哪种方式须经技术经济比较确定。工程规模较小时,也可采用经验性的综合经济指标简略地比较确定,例如有些工程总结出的综合经济指标为:1m长穿山石隧洞相当于10m长的盘山石渠;1m长穿山土隧洞相当于30m长的盘山土渠等。

第二节 灌溉渠道的流量

一、灌溉渠道的设计流量

农业水利工程中灌溉渠道的设计流量 $Q_{\text{设}}$ 可由下式计算:

$$Q_{\text{设}} = Q_{\text{毛}} = Q_{\text{净}} + Q_{\text{损}} \quad (12-1)$$

其中

$$Q_{\text{净}} = q_{\text{净}} \cdot \omega$$

$$Q_{\text{损}} \approx \sigma \cdot L \cdot Q_{\text{净}}$$

$$\sigma = \frac{A}{Q_{\text{净}}} (\%)$$

式中 ω ——渠道控制的灌溉面积,万亩(15 亩为 1 公顷);

$Q_{\text{损}}$ ——渠道损失的流量, m^3/s ;

σ ——每千米渠道渗漏损失水量占渠道净流量的百分数;

L ——渠道长度, km;

A, m ——渠床土壤的透水系数及透水指数,应由实测资料分析确定,缺乏实测资料时可按表 12-1 采用;

$q_{\text{净}}$ ——设计净灌水率或称设计净灌水模数($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{万亩}$),一般大面积水稻灌区 $q_{\text{净}} = 0.45 \sim 0.60$,大面积旱作灌区 $q_{\text{净}} = 0.20 \sim 0.35$,对灌溉面积较小的斗、农渠常需在短期内集中灌水,其 $q_{\text{净}}$ 应远比上述经验数字为大。

表 12-1 土壤透水参数 A, m 值表

渠床土壤	透水性	A	m
重黏土及黏土	弱	0.7	0.3
重黏壤土	中下	1.3	0.35
中黏壤土	中等	1.9	0.4
轻黏壤土	中上	2.65	0.45
砂壤土及轻砂壤土	强	3.4	0.5

通常 $Q_{\text{损}}$ 由三部分组成:①渠道的渗透损失,由上述公式计算;②渠道的水面蒸发损失,一般不超过渗透损失的 5%,常忽略不计;③渠道的漏水损失,主要指应予以避免而未能避免的水量损失,一般也常忽略不计。

对于万亩以上的灌区,一般干渠的 $1\text{m}^3/\text{s}$ 设计流量约可灌溉稻田 0.75 万~1.0 万亩或旱作物 2.0 万~2.5 万亩。

二、各级渠道的毛流量

渠道设计时,往往是根据田间作物的净用水量 $Q_{\text{净}}$,加上各级渠道的水量损失后得到渠首引入的毛流量 $Q_{\text{毛}}$;具有已成灌区的水量量测资料时,也可利用以下经验系数即水利用

系数推求各级渠道流量直至渠首毛水量；渠道输水时各个环节的水利用系数如下计算：

(一) 渠系水利用系数 $\eta_{\text{系}}$

渠系水利用系数 $\eta_{\text{系}}$ 是渠系灌入田间的净流量 $Q_{\text{净}}$ 与渠首引入的毛流量 $Q_{\text{毛}}$ 之比，在数值上它等于各级渠道水利用系数的乘积，即：

$$\eta_{\text{系}} = \eta_{\text{干}} \cdot \eta_{\text{支}} \cdot \eta_{\text{斗}} \cdot \eta_{\text{农}} \quad (12-2)$$

式中 $\eta_{\text{干}}、\eta_{\text{支}}、\eta_{\text{斗}}、\eta_{\text{农}}$ 为同时工作的干、支、斗、农渠的水利用系数，可通过总结已成灌区的水量测量资料得到；灌区规划时， $\eta_{\text{系}}$ 值也可参考表 12-2 选用。

表 12-2

自流灌区 $\eta_{\text{系}}$ 值表

灌溉面积 (万亩)	<1	1~10	10~30	30~100	>100
$\eta_{\text{系}}$	0.85~0.75	0.75~0.70	0.70~0.65	0.6	0.55

(二) 渠道水利用系数 $\eta_{\text{渠道}}$

渠道水利用系数 $\eta_{\text{渠道}}$ 等于渠道出口净流量 $Q_{\text{净}}$ 与进口毛流量 $Q_{\text{毛}}$ 之比，即：

$$\eta_{\text{渠道}} = \frac{Q_{\text{净}}}{Q_{\text{毛}}} \quad (12-3)$$

对渠系中任一渠道，在进口处从上一级渠道引入的流量就是它的毛流量，分配给下级各条渠道的流量总和就是它的净流量， $\eta_{\text{渠道}}$ 的数值可通过总结灌区水量测量资料得到。

(三) 田间水利用系数 $\eta_{\text{田}}$

田间水利用系数 $\eta_{\text{田}}$ 是指实际灌入田间的水量与末级固定渠道（农渠）放出的水量之比，即：

$$\eta_{\text{田}} = \frac{\omega_{\text{净}} \cdot m_{\text{净}}}{W_{\text{农渠}}} \quad (12-4)$$

式中 $\omega_{\text{净}}$ ——农渠的灌溉面积，亩；

$m_{\text{净}}$ ——田间的净灌水定额即单位面积上的灌水量，立方米/亩；

$W_{\text{农渠}}$ ——农渠放出的净水量， m^3 。

$\eta_{\text{田}}$ 的数值，对于旱作物区约为 0.9，水田地区可达 0.95 以上。

(四) 灌溉水利用系数 $\eta_{\text{水}}$

灌溉水利用系数 $\eta_{\text{水}}$ 是实际灌入田间并储存在作物根系吸水层中的有效水量（稻田是指灌入格田的水量）与渠首引入总水量之比，即：

$$\eta_{\text{水}} = \frac{\omega \cdot m_{\text{净}}}{W_{\text{毛}}} = \eta_{\text{系}} \cdot \eta_{\text{田}} \quad (12-5)$$

式中 ω ——次灌水的总灌溉面积，亩；

$W_{\text{毛}}$ ——次灌水渠首引入的总水量， m^3 。

其余符号意义同前。

须指出，上述诸水利用系数的数值与灌区大小、渠道长度、田间状况、渠床土质及防渗措施、灌溉技术及管理水平等因素有关。实际工程中，应选择条件相近的灌区实测数值进行计算。通过水利用系数求得各种毛流量后，即可进行各级渠道及渠系建筑物的设计。

三、渠道工作方式

灌溉渠道的工作方式有续灌和轮灌两种。续灌是指在一次灌水延续时间内渠道连续输水,按此方式工作的渠道称为续灌渠道;若同一级渠道中,在一次灌水延续时间内各条渠道分组轮流输水,则为轮灌,按轮灌方式工作的渠道称为轮灌渠道。实行轮灌时,输水流量集中,同时工作的渠道短,输水损失小,但渠道设计流量大,修建渠道土方量及渠系建筑物规模也大,一般较大的灌区,只在斗渠以下实行轮灌。

四、渠道的加大流量和最小流量

渠道设计时,一般按设计流量计算渠道过水断面尺寸,但考虑到渠道运行时常会在小于设计流量或大于设计流量的情况下工作,因此为使渠道适应各种情况,还需用加大流量 $Q_{加大}$ 和最小流量 $Q_{最小}$ 对渠道设计进行校核。

(一) 加大流量 $Q_{加大}$

渠道的加大流量 $Q_{加大}$ 按下式计算:

$$Q_{加大} = j \cdot Q_{设} \quad (12-6)$$

式中 j ——流量加大系数,对续灌渠道,可按表 12-3 选用;

对轮灌渠道,因其控制面积较小且输水量可在轮灌组间调节,不考虑加大流量影响,取 $j=1$ 。

表 12-3

续灌渠道的流量加大系数 j 值

设计流量 (m^3/s)	<1	1~5	5~10	10~30	>30
加大系数 j	1.35~1.30	1.30~1.25	1.25~1.20	1.20~1.15	1.15~1.10

(二) 最小流量 $Q_{最小}$

当渠道流量过小时,可能会因水位过低导致下级渠道引水困难,因此设计时需渠道通过最小流量时的水位校核下级渠道能否引取相应的水量。不能满足下级渠道引水要求时,应在分水口下游设置节制闸,壅高水位以保证下级渠道引水。

一般 $Q_{最小}$ 值采用渠道设计流量的 40%,或使通过 $Q_{最小}$ 时的渠道水深为通过设计流量 $Q_{设}$ 时渠道水深的 70%。

第三节 渠道纵横断面设计

在确定了渠道的 $Q_{设}$ 、 $Q_{加大}$ 、 $Q_{最小}$ 后,即可进行渠道纵、横断面设计。合理的渠道纵横断面除满足输水、配水要求外,还应满足渠道纵、横向稳定条件。纵向稳定即在设计条件下工作时渠道不发生冲刷或淤积,或在一定时期内保持冲淤平衡;横向稳定即渠道不发生水平面上的左右摆动,也即保持渠道在横断面上的平面稳定。

一、渠道纵断面设计

渠道纵断面设计的任务,是根据灌溉水位要求确定渠道的空间位置,即确定渠道水面在不同桩号处的高程。

(一) 灌溉渠道的水位确定

要满足自流灌溉要求,各级渠道入口均应有足够的水位,该水位应根据其所辖灌溉面积上控制点的高程,加上控制点以上渠道的沿程水头损失及各建筑物的局部水头损失,自下而上逐级推算而得,即:

$$H_A = A_0 + \Delta h + \sum Li + \sum \xi \quad (12-7)$$

式中 H_A ——渠道入口处水位, m;

A_0 ——渠道所辖灌溉面积上控制点(较难灌到水的地面点)高程(m),当沿渠地面坡度大于渠道比降时,控制点往往在渠道入口附近,反之控制点在渠尾附近;

Δh ——所选控制点与末级固定渠道出口处地面的高差,一般取 0.1 ~ 0.2 m;

L ——计算渠道入口下游各级渠道的长度, m;

i ——计算渠道入口下游各级渠道的比降;

ξ ——水流通过渠系建筑物的水头损失, m,可按表 12-4 采用。

表 12-4 渠系建筑物局部水头损失最小值表(单位: m)

渠 别	控制面积 (万亩)	进水闸	节制闸	渡 槽	倒虹吸	公路桥
干渠	10 ~ 40	0.1 ~ 0.2	0.10	0.15	0.40	0.05
支渠	1 ~ 6	0.1 ~ 0.2	0.07	0.07	0.30	0.03
斗渠	0.3 ~ 0.4	0.05 ~ 0.15	0.05	0.05	0.20	0
农渠		0.05	-	-	-	-

(二) 渠道纵断面图

渠道纵断面图包括沿渠地面高程线、渠道内设计水位线及最低水位线、渠底及渠道堤顶高程线、分水口及渠系建筑物的位置等,见图 12-1,绘制步骤如下:

(1) 绘制地面高程线。根据渠道中心线的水准测量成果(桩号和地面高程)按一定比例绘制;无测量成果时,也可由地形图量取不同桩号处的高程确定。

(2) 绘制渠道设计水位线。先根据水源或上一级渠道的设计水位、沿渠地面坡降、各分水点的水位要求和渠系建筑物的水头损失,

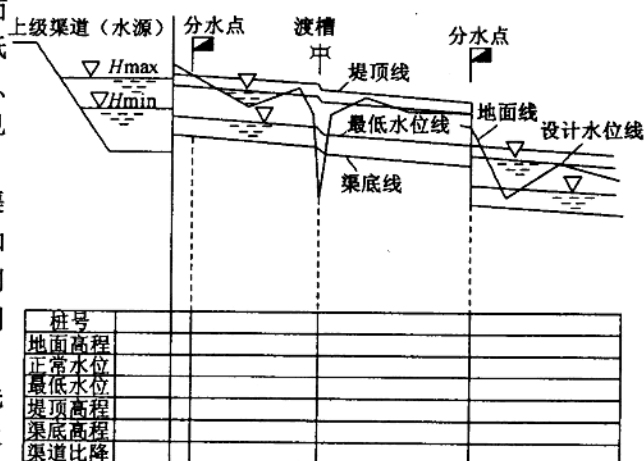


图 12-1 渠道纵断面图

初步拟定一个水面设计比降,绘出渠道设计水位线,再经过与横断面设计的水深成果反复协调修正后最终确定。

(3)绘制渠底高程线。利用横断面设计成果,在渠道设计水面线以下,以渠道设计水深为间距作一平行线即为渠底高程线。

(4)绘制渠道最低水位线。在渠底线以上,以渠道通过最小流量时的最小水深为间距,作渠底线的平行线即为渠道最低水位线。

(5)绘制渠道堤顶线。在渠底线以上,以通过加大流量时的加大水深加安全超高为间距,作渠底线的平行线即为渠道堤顶线。

(三)渠道纵断面的水位衔接

渠道沿途分水后,渠中流量逐段减小,因此过水断面可随之减小。当渠道横断面变化时,断面变化处常设在渠系建筑物的下游端。当渠道沿线地面坡度较陡或有跌坎时,常在满足自流灌溉的条件下,在渠道上设置跌水、陡坡等落差建筑物。在诸如上述部位,应通过渠系建筑物的合理选型考虑局部水头损失后,使得渠道水位合理衔接。

二、渠道横断面设计

渠道横断面设计的主要任务是由水力计算确定渠道横断面尺寸。由于灌溉渠道大多在一定长度内具有相同的流量、底坡、断面尺寸及相近的渠床糙率,渠内水流符合明渠均匀流条件,渠道横断面尺寸按明渠均匀流公式计算,即:

$$Q = \omega \cdot C \sqrt{Ri} \quad (12-8)$$

式中 Q 、 ω ——渠道的设计流量(m^3/s)及过水断面面积, m^2 ;

R 、 i ——水力半径(m)及渠道比降;

C ——谢才系数,一般采用 $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$;

n ——渠床糙率系数,可参表 12-5 采用。

表 12-5

渠床糙率系数 n 值表

1. 土 渠			
流量范围 (m^3/s)	渠床特征	糙率系数 n	
		灌溉渠道	退、泄水渠道
>25	平整顺直,养护良好	0.020	0.0225
	平整顺直,养护一般	0.0225	0.025
	渠床多石,杂草丛生,养护较差	0.025	0.0275
25~1	平整顺直,养护良好	0.0225	0.025
	平整顺直,养护一般	0.025	0.0275
	渠床多石,杂草丛生,养护较差	0.0275	0.030
<1	渠床弯曲,养护一般	0.025	0.0275
	支渠以下的固定渠道	0.0275	—
	渠床多石,杂草丛生,养护较差	0.030	—

2. 岩石渠床

渠床表面的特征	糙率 n
经过良好修整	0.025
经过中等修整,无凸出部分	0.030
经过中等修整,有凸出部分	0.033
未经修整,有凸出部分	0.035 ~ 0.045

3. 护面渠床

护面类型	糙率系数 n
抹光的水泥抹面	0.012
修理得极好的混凝土直渠段	0.013
不抹光的水泥抹面	0.014
光滑的混凝土护面	0.015
机械浇筑表面光滑的沥青混凝土护面	0.014
修整良好的水泥土护面	0.015
平整的喷浆护面	0.015
料石砌护	0.015
砌砖护面	0.015
修整粗糙的水泥土护面	0.016
粗糙的混凝土护面	0.017
混凝土衬砌较差或弯曲渠段	0.017
沥青混凝土,表面粗糙	0.017
一般喷浆护面	0.017
不平整的喷浆护面	0.018
修整养护较差的混凝土护面	0.018
浆砌块石护面	0.025
干砌块石护面	0.033
干砌卵石护面,砌工良好	0.025 ~ 0.0325
干砌卵石护面,砌工一般	0.0275 ~ 0.0375
干砌卵石护面,砌工粗糙	0.0325 ~ 0.0425

(一) 渠底比降 i

渠底比降的选择关系到控制灌溉面积和工程造价。为减少工程量,应尽可能选用和地面坡度相近的渠底比降,一般随着流量的逐级减小渠底比降应逐级增大。当干渠及较大支渠的上下游流量相差较大时,下游段的渠底比降应增大些,其他各级渠道的比降,一般不变。清水渠道易产生冲刷,宜采用较缓的渠底比降;浑水渠道比降应适当加大些。平原灌区地势平缓,宜采用较小的比降,以便控制较大的灌溉面积。石渠及衬砌的土渠可采用较大的比降,以节省工程量。设计时,一般是参照地面坡度及下级渠道的水位要求初拟一个渠底比降,求得渠道断面尺寸后再按不冲、不淤条件进行校核,不满足要求时,修改比降重新计算,

直至满足要求为止。土渠初拟渠底比降时也可参考表 12-6 采用。

表 12-6

土渠渠底比降 i 值参考表

渠道设计流量 (m^3/s)	< 1	1 ~ 10	> 10
土渠比降	1/200 ~ 1/2000	1/1000 ~ 1/5000	1/2000 ~ 1/5000

(二) 渠床糙率系数 n

渠床糙率系数 n 的选取影响到渠道工程量和渠道的运用,若选用的 n 值比实际值偏大,则渠道的实际过水能力比设计要求的偏大,无形增加了渠道工程量,且会因流速大、水位低,引起渠道冲刷和影响下级渠道引水;若设计选用的 n 值比实际值偏小,则渠道实际输水能力小于设计要求,影响灌溉用水。因此,渠床糙率系数 n 选定,要综合考虑渠床性质、施工质量和运用管理等因素。

(三) 渠道边坡系数 m

渠道边坡与水平线夹角的余切值称渠道的边坡系数 m ,它关系到渠道的边坡稳定。大型渠道的 m 值应由土工试验及稳定分析确定,一般渠道的最小边坡系数可参考表 12-7 和表 12-8 采用。

表 12-7

挖方渠道最小边坡系数 m 值表

渠床条件	水深 $h(\text{m})$			渠床条件	水深 $h(\text{m})$		
	< 1	1 ~ 2	2 ~ 3		< 1	1 ~ 2	2 ~ 3
稍胶结的卵石	1.00	1.00	1.00	轻壤土	1.00	1.25	1.50
夹沙的卵石和砾石	1.25	1.50	1.50	砂壤土	1.50	1.50	1.75
黏土、重壤土、中壤土	1.00	1.25	1.50	砂 土	1.75	2.00	2.25

表 12-8

填方渠道最小边坡系数 m 值表

渠床条件	流量 $Q(\text{m}^3/\text{s})$							
	> 10		10 ~ 2		2 ~ 0.5		< 0.5	
	内坡	外坡	内坡	外坡	内坡	外坡	内坡	外坡
黏土、重壤土、中壤土	1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
轻壤土	1.50	1.25	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
砂壤土	1.75	1.50	1.50	1.25	1.50	1.25	1.25	1.25
砂 土	2.25	2.00	2.00	1.75	1.75	1.50	1.50	1.50

(四) 渠道断面宽深比 b/h

渠道断面宽深比即渠道底宽与水深的比值 b/h ,它影响到渠道性能和造价。选择 b/h 时

常考虑以下几方面因素：

1. 水力最优断面

当渠底比降和糙率一定时,通过某一规定流量所需的最小过水断面称水力最优断面,此时渠道工程量最小。对于梯形渠道,水力最优断面的宽深比为

$$\frac{b}{h} = 2(\sqrt{1+m^2} - m) \quad (12-9)$$

式中 m ——渠道边坡系数。

不同边坡系数下,渠道水力最优断面的宽深比见表 12-9。

表 12-9 不同边坡系数 m 下水力最优断面宽深比 (b/h) 最优值表

边坡系数 m	0	0.25	0.50	0.75	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	3.00
$(b/h)_{\text{最优}}$	2.0	1.56	1.24	1.00	0.83	0.70	0.61	0.53	0.47	0.32

满足水力最优断面的渠道一般为窄深形,适用于石方或衬砌渠道以及挖方较深、流量较小的渠道。对大型渠道,开挖深度大,地下水位高时将施工困难,且往往因流速过大产生冲刷,因此较为宽浅的断面更为多用。

2. 断面稳定

实际应用中,渠道断面宽深比过大时易产生冲刷,过小时又易于淤积,都会使渠道变形。因此防止渠道变形的稳定断面宽深比,应该使渠道不冲、不淤或保持周期性冲淤平衡,对于一般梯形渠道,满足不冲不淤相对稳定的适宜宽深比 b/h 值,可见表 12-10。

表 12-10 梯形渠道稳定断面宽深比 b/h 值表

渠道流量 (m^3/s)	<1	1~3	3~5	5~10	10~30	30~60
b/h	1~2	1~3	2~4	3~5	5~7	6~10

对多泥沙的浑水渠道,稳定断面的宽深比 b/h 值与渠道流速、水流含沙情况等因素有关,应根据当地具体情况总结经验而定,初选时可参考陕西省提出的以下经验公式:

$$\text{水深: } h = \beta \cdot Q^{\frac{1}{3}} \quad (12-10)$$

式中 $\beta = 0.58 \sim 0.94$, 一般可用 0.76。

$$\text{宽深比: 当流量 } Q < 1.5 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 时, } \frac{b}{h} = N \cdot Q^{\frac{1}{10}} - m \quad (12-11)$$

式中 $N = 2.35 \sim 3.25$, 一般取 2.8。

$$\text{当 } Q = 1.5 \sim 5.0 \text{ m}^3/\text{s} \text{ 时, } \frac{b}{h} = N \cdot Q^{\frac{1}{4}} - m \quad (12-12)$$

式中 $N = 1.8 \sim 3.4$, 一般取 2.6。

以上各式中 m ——渠道边坡系数。

3. 利于通航

渠道内有通航要求时,还应考虑船舶吃水深度、错船裕度以及通航流速等要求来确定渠道的断面尺寸,一般要求水面宽度不小于 2.6 倍船舶宽度,船底以下水深不小于 15~30cm。

(五) 渠道的不冲不淤流速

为保持渠道的纵向稳定,所选断面尺寸还应使渠道的设计流速满足不冲、不淤流速要求,即:

$$v_{\text{不淤}} < v_{\text{设计}} < v_{\text{不冲}} \quad (12-13)$$

1. 不冲流速 $v_{\text{不冲}}$ (m/s)

渠床土粒在水流作用下将要被移动但尚未移动时的水流临界流速即为渠道不冲流速 $v_{\text{不冲}}$, $v_{\text{不冲}}$ 的大小与渠床土壤性质、水流含沙情况及渠道断面的水力要素等有关,需由试验研究及总结实践经验确定,设计时可按下式计算:

$$v_{\text{不冲}} = K \cdot Q^{0.1} \quad (12-14)$$

式中 Q ——渠道设计流量, m^3/s ;

K ——与渠床土壤耐冲性能有关的系数,见表 12-11。

表 12-11

K 值表

非黏性土	K	黏性土	K
中砂土	0.45 ~ 0.50	砂壤土	0.53
粗砂土	0.50 ~ 0.60	轻黏壤土	0.57
小砾石	0.60 ~ 0.75	中黏壤土	0.62
中砾石	0.75 ~ 0.90	重黏壤土	0.68
大砾石	0.90 ~ 1.00	黏土	0.75
小卵石	1.00 ~ 1.30	重黏土	0.85
中卵石	1.30 ~ 1.45		
大卵石	1.45 ~ 1.60		

黏性和无黏性土土质渠床的不冲流速也可参考表 12-12、表 12-13 采用。

表 12-12

黏性土渠床的不冲流速

土 质	不冲流速 $v_{\text{不冲}}$ (m/s)	备 注
轻壤土	0.60 ~ 0.80	土壤干容重为 13 ~ 17 kN/m ³
中壤土	0.65 ~ 0.85	
重壤土	0.70 ~ 1.00	
黏 土	0.75 ~ 0.95	

表中所列 $v_{\text{不冲}}$ 值为水力半径 $R = 1\text{m}$ 的情况,当 $R \neq 1\text{m}$ 时,表中所列数值应乘以 R^α ,指数 α 按下列情况采用:①各种大小的砂、砾石、卵石、疏松的砂壤土及黏土,取 $\alpha = 1/3 \sim 1/4$;②中等密实和密实的砂壤土、壤土及黏土, $\alpha = 1/4 \sim 1/5$ 。

表 12-13

无黏性土渠床的不冲流速

水深(m)		0.4	1.0	2.0	≥3.0
土质	粒径(mm)	不冲流速(m/s)			
黏土淤泥	0.005~0.05	0.12~0.17	0.15~0.21	0.17~0.24	0.19~0.26
细砂	0.05~0.25	0.17~0.27	0.21~0.32	0.24~0.37	0.26~0.40
中砂	0.25~1.00	0.27~0.47	0.32~0.57	0.37~0.65	0.40~0.70
粗砂	1.00~2.5	0.47~0.53	0.57~0.65	0.65~0.75	0.70~0.80
细砾石	2.5~5.0	0.53~0.65	0.65~0.80	0.75~0.90	0.80~0.95
中砾石	5~10	0.65~0.80	0.80~1.00	0.90~1.1	0.95~1.2
大砾石	10~15	0.80~0.95	1.0~1.2	1.1~1.3	1.2~1.4
小卵石	15~25	0.95~1.2	1.2~1.4	1.3~1.6	1.4~1.8
中卵石	25~40	1.2~2.5	1.4~1.8	1.6~2.1	1.8~2.2
大卵石	40~75	1.5~2.0	1.8~2.4	2.1~2.8	2.2~3.0
小漂石	75~100	2.0~2.3	2.4~2.8	2.8~3.2	3.0~3.4
中漂石	100~150	2.3~2.8	2.8~3.4	3.2~3.9	3.4~4.2
大漂石	150~200	2.8~3.2	3.4~3.9	3.9~4.5	4.2~4.9
顽石	>200	>3.2	>3.9	4.5	>4.9

根据经验,一般土渠的不冲流速在 0.6~0.9m/s。

对衬砌渠道,从渠床稳定考虑,渠内流速仍应有一定限制,否则过大流速的水流,冲击衬砌裂隙会使其翘起甚至剥落,例如美国垦务局建议,混凝土衬砌渠道水流速不应大于 2.5 m/s。对于土渠道,从抑制杂草生长考虑,流速不宜小于 0.3~0.4m/s。

2. 不淤流速 $v_{\text{不淤}}$ (m/s)

流速降低时,水流的挟沙能力减小,当水流中的泥沙在渠道内将要沉积而尚未沉积时的水流速即渠道不淤流速 $v_{\text{不淤}}$,其数值主要取决于水流的含沙量和断面的水力要素,亦应由试验研究及总结经验确定,设计时可参考陕西省提出的以下经验公式:

$$v_{\text{不淤}} = C_1 \sqrt{R} \quad (12-15)$$

式中 R ——渠道水力半径, m;

C_1 ——与渠道泥沙性质有关的系数,见表 12-14。

表 12-14

 C_1 值表

泥沙性质	粗砂质黏土	中砂质黏土	细砂质黏土	极细砂质黏土
C_1 值	0.65~0.77	0.58~0.64	0.41~0.54	0.37~0.41

(六) 渠道水力计算步骤

渠道水力计算的任务是:依据上述因素,由计算确定出合理的过水断面水深 h 和渠底宽度 b 。一般由试算确定,求解步骤为:

①初拟一渠道底宽 b 及宽深比 b/h ,求得一个水深 h 及各水力要素,并由式(12-8)可求得渠道流量 Q 。

②核算渠道流量。以上求出的 Q 应与渠道设计流量 $Q_{\text{设}}$ 相等或接近,一般要求误差不大于 5%,即 $(Q_{\text{设}} \pm Q)/Q_{\text{设}} \leq 5\%$ 。如不满足,需修改水深 h 值重新计算 Q ,直至满足要求为止。

③验算流速。对由步骤②核定的流量 $Q_{\text{设}}$,验算渠道流速 $v = Q_{\text{设}}/\omega$ 是否满足不冲不淤条件: $v_{\text{不淤}} < v_{\text{设计}} < v_{\text{不冲}}$ 。如不满足,另设 b 值重复上述计算,直至满足流量与流速要求为止。

设计时,对于清水渠道,一般只需满足渠道过水能力和不冲要求;对于从多沙河流上引水的浑水渠道,最大含沙量时的允许不淤流速,往往大于最小含沙量时的不冲流速。因此若按夏季高含沙时的不淤条件设计渠道,则冬季低含沙时将发生冲刷。这时应尽量使夏季的淤积量与冬季的冲刷量大致相等,使渠道保持一年内的周期性冲淤平衡。渠道水流的挟沙能力可参考黄河水利委员会提出的公式计算:

$$\rho = 77 \frac{v^3}{gh\omega} \left(\frac{h}{B}\right)^{1/2} \quad (12-16)$$

$$\text{或} \quad \rho = \frac{77}{g\omega} \frac{Q^{0.9}}{B^{1.4} n^{2.1} i^{1.05}} \quad (12-17)$$

式中 ρ ——渠道水流的挟沙能力, kg/m^3 ;
 Q, v ——渠道流量 (m^3/s) 与水流流速, m/s ;
 h, B ——渠道水深 (m) 与水面宽度, m ;
 ω ——渠道中泥沙的加权平均沉降速度, m/s ;
 n ——渠道糙率;
 i, g ——渠底比降与重力加速度, m/s^2 。

该式适用于 $\rho = 0.92 \sim 43.43 \text{ kg/m}^3$ 的情况。

三、渠道堤顶尺寸

(一) 安全超高

为防止波浪漫溢堤顶,保证渠道安全运行,挖、填方渠道的堤顶均应设安全超高 Δh , 中国《灌溉排水设计规范》建议 Δh 为

$$\Delta h = \frac{h_j}{4} + 0.2 \quad (12-18)$$

式中 h_j ——渠道通过加大流量时的水深, m 。

填方衬砌渠道的超高可采用 $0.15 \sim 0.65 \text{ m}$, 此外填方渠道竣工时,还应预留约 10% 的沉陷超高;为安全,傍山渠道宜采用较大的堤顶超高,寒冷地区,渠道超高还应考虑冬季安全输水要求,即留出足够高度以容纳形成的冰盖,在冰盖下面通过设计流量。冰盖厚度可按下式计算:

$$h_s = \alpha \sqrt{\sum t} \quad (12-19)$$

式中 $\sum t$ ——冰盖形成期间的日或月平均负气温的总和, $^{\circ}\text{C}$;

α ——系数,采用日平均负气温总和时, $\alpha = 2$;采用月平均负气温总和时, $\alpha = 11$ 。

对于衬砌渠道,也可采用较大的设计流速防止渠道结冰,一般当水流速达到 $2 \sim 3 \text{ m/s}$ 时,即可防止渠水结冰。