

大中型灌区（泵站）建设管理回顾与展望交流
暨灌区量测水分会年会

灌区量水技术与设备

谢崇宝
中国灌溉排水发展中心

2019年10月17日 甘肃兰州

主要内容

- 灌区量水任务
- 规划总体原则
- 量水测点布局
- 流量计算理论基础
- 量水监测基本要素
- 设施与方法选择
- 流速仪量水
- 标准断面量水
- 浮标量水
- 建筑物量水
- 量水堰量水
- 量水槽量水
- 仪表量水
- 堰闸组合模式
- 测控一体闸量水

1、灌区量水任务

- 引水计划：测算年月日不同时段渠道水位流量变化过程，为编制渠系用水计划(渠首引水和渠系配水计划)提供依据；
- 用水依据：根据用水计划和水量调配方案，及时准确地从水源引水，并配水到各用水单元；
- 水量调配：为灌区实施用水“总量控制”、“定额管理”、“按方计费”、“水价改革”等提供数据；
- 效果评价：分析评价灌水质量和灌溉效率，修正供配水方案，指导和改进用水管理工作；
- 能力校验：验证和核定渠系建筑物输水能力和输水损失，为灌区改建扩建等提供规划设计等基本资料。

2、灌区量水网站规划总体原则

- 布设原则：充分利用现有建筑物量水，并视实际需求与可能，安装量水堰或量水槽；
- 设置顺序：一般应从源头开始，先上后下，先干支后斗农，逐级延伸；优先保证用水单元分界点的计量和满足特定目的及需求；
- 单元划分：条件有限时，宜适当放大用水单元，单元内部分摊；条件成熟后，逐步缩小计量单元；
- 方法选择：水源及引水渠宜采用水工建筑物量水；配水渠（支、斗）、分水点（斗、农）宜采用量水堰槽量水；
- 精度要求：计量的精确度不应片面要求过高：一般仪表量水误差不超过5%；堰槽量水设备8%；水工建筑物量水10%。

3、灌区量水测点布局

- 引水渠渠首（干渠）：观测从水源引入流量及水位；渠首以下50~100m水流平稳段或利用引水建筑物本身量水；
- 输水渠渠首（支渠）：观测从上一级渠道分得的水量及渠道的输水损失；渠首以下30~80m水流平稳段或利用输配水建筑物本身量水；
- 配水渠渠首（斗渠）：观测从输水渠分得的水量及渠道的输水损失；渠首以下30~50m水流平稳段或利用输配水建筑物本身量水；
- 分水点或分界点：观测与收集专门的资料。水量平衡分析点；用水效率分析点；协会分水点；厂矿分水点；其他特定需要点。

4. 流量计算理论基础

- 为了控制和调度渠系中的水位和流量，常在渠系中修建各种闸堰坝或建筑物等，形成孔流或堰流。
- 孔流：从闸门下泄的水流与闸门下缘相接触的称闸孔出流；不接触的为明渠水流；
- 堰流：从建筑物顶部溢过，不与闸门相接触的称堰流。根据堰坎厚度与堰顶水头之比，又分为①薄壁堰流 (≤ 0.67)；②实用堰流 ($0.67, 2.5]$ ；③宽顶堰流 ($2.5, 10]$ ；当大于10时，则为明渠水流。

4.1 堰流基本公式

●堰流基本公式：确定堰的过水能力（即流量）和各种影响因素之间关系的式子，由能量守恒方程式推导得到。对堰顶过水断面为矩形的薄壁堰流、实用堰流或宽顶堰流都是适用的。

$$Q = mnb \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}}$$

$$Q = \sigma_s \varepsilon_1 mnb \sqrt{2g} H_0^{\frac{3}{2}}$$

H_0 ：堰顶总水头，在堰的上游（3~5）H处量取H和 V_0 计算；

M：流量系数，是综合反映水头损失，水流垂直收缩程度等各种因素的综合系数，对不同类型的堰流，m值不同；n：堰孔数；

ε 侧向收缩系数， σ 淹没系数；

B：堰顶宽度（堰顶过水断面面积为矩形）

4.2 孔流基本公式

●孔流基本公式：水平底坎上平板闸门的出流， H 为闸前水头， e 为闸孔开度。当水流行近闸孔时，在闸门的约束下流线发生急剧弯曲；出闸后，流线继续收缩，并约在闸门下游 $(0.5\sim 1)e$ 处出现水深最小的收缩断面。闸孔出流受水跃位置的影响可分为自由出流及淹没出流两种。

$$Q = \mu b e \sqrt{2gH_0}$$

$$Q_s = \sigma_s \mu b e \sqrt{2gH_0}$$

μ ：流量系数， H_0 ：闸前总水头， b ：闸孔宽度， e ：闸孔开度；
 σ 淹没系数

5、量水监测基本要素

■水位

- 水尺零点应低于或等于零流量时的水面高程；
- 通常可采用水尺、浮子或压力超声波水位计等设备测量水位；
- 水位计宜采取防冻、防破坏、防盗、防淤塞等保护措施；
- 静压井及连通管应采用防渗材料，内径应满足设备安装及清淤要求；
- 设备与井壁间隙不得小于0.08m；连通管底缘应高于井底板0.15m；
- 连通管管径与静压井内径比例宜取为1/10~1/30；
- 连通管走向应垂直于水流方向，安装高度应位于最低水位0.06m以下；

■流速

- 流速测量可采用转子式流速仪、电磁流速仪、多普勒流速仪等设备；
- 流速测量宜采用专用测桥，可利用满足测流条件的跨越渠道的桥梁等；
- 流速测点应布置水流平顺处，不应设在淤积严重、水草或杂物较多处；



6、量水设施及方法选择

■ 量水设施选型

- 准确度：应具有一定的量水精度和准确度，以满足需求为原则；
- 适应性：量水设备应与渠道的过流能力相适应，宜行水头损失要小，测流范围要大；
- 便捷性：造价低廉，施工简易，观测和计算要简捷；
- 灵敏度：测水设施应具有适当的灵敏度，能够及时准确感知水情变化；
- 抗干扰：抗干扰，水质、水温、泥沙等影响小。

■ 量水方法选择

- 流速仪量水宜用于要求水头损失小、易受下游水位影响的大型渠道量水及其它量水方法的率定。
- 标准断面法量水宜用于渠段顺直、断面规则、水流均匀、测流断面不受建筑物泄流影响的渠道。
- 渠系建筑物量水宜利用已有的涵闸、倒虹吸、跌水（陡坡）、渡槽等渠系建筑物。
- 支渠及以下小型渠道，根据渠道纵坡、水流含沙量等宜选用量水堰槽。
- 输水管道等宜采用管道流量计。

7、流速仪量水

●流速仪测流条件

- 测流断面内测点流速不超出流速仪的测速量程；
- 垂线处水深不小于用一点法测速的必要深度；
- 水中漂浮物不影响流速仪正常运转；
- 水位平稳, 一次测流的起止时间内水位涨落差不大于平均水深的2%。

●测流断面选择

- 测流渠段平直、水流均匀；
- 测流渠段纵横断面比较规则、稳定；
- 测流断面与水流方向垂直；
- 测流断面附近不应有影响水流的建筑物、树木或杂草等，测流断面在建筑物下游时，不受建筑物泄流的影响；
- 在不规则的土渠测流时，应将测流渠段衬砌成规则的标准段（如梯形断面等）

流速仪量水 (续-1)

●流速仪测流垂线布设

- 测流断面上测深、测速垂线的数目和位置，应满足过水断面和平均流速测量精度的要求。
- 任意两条测速垂线的间距，应不大于渠道水面宽的 $1/5$ 。
- 垂线间距在水面宽 $20\sim 50\text{m}$ 时为 $2.0\sim 5.0\text{m}$ ；测线间距在水面宽 $5\sim 20\text{m}$ 时为 $1.0\sim 2.5\text{m}$ ；测线间距在水面宽 $1.5\sim 5.0\text{m}$ 时为 $0.25\sim 0.6\text{m}$ 。
- 测深垂线应分布均匀，能控制渠床变化的主要转折点。渠岸坡脚处、最大水深点、渠底起伏转折点等处都应设置测深垂线。
- 主流摆动剧烈或渠床不稳的测站，垂线宜加密布置，垂线位置应优先分布在主流上，并避开水流不平稳和紊动大的岸边或回流区。
- 规则的灌溉渠道断面上，测深垂线与测速垂线可合并设置。
- 垂线可等距离或不等距离布设。若过水断面和水流对称，则垂线应对称布设。

流速仪量水 (续-2)

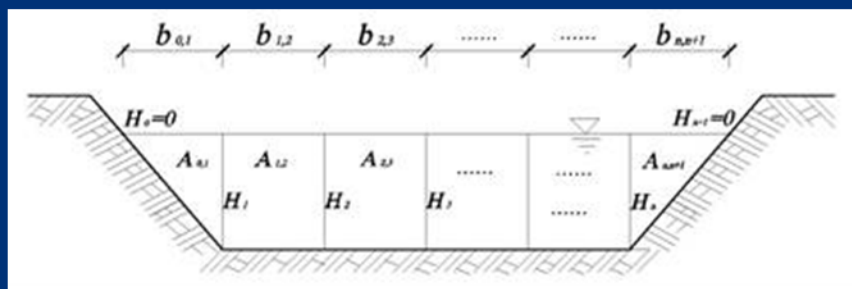
不同水深的测速方法

总干、干、分干渠	垂线水深/m	>3.0	1.0~3.0	0.8~1.0	<0.8
	测速方法	五点法	三点法	二点法	一点法
支、斗、农渠	垂线水深/m	>1.5	0.5~1.5	0.3~0.5	<0.3
	测速方法	五点法	三点法	二点法	一点法

垂线流速测点的分布位置

测点数	相对水深
一点	0.6
二点	0.2、0.8
三点	0.2、0.6、0.8
五点	0.0、0.2、0.6、0.8、1.0

注：相对水深为仪器入水深度与垂线水深之比。



流速仪量水 (续-3)



电磁流速仪



旋浆流速仪



电波流速仪



超声波流速仪



8、标准断面量水

- 渠段选择：渠段应上下游渠道顺直、渠床稳定坚固、水流平稳、无冲刷或淤积现象，且不受下游建筑物回水影响，其长度应大于**20**倍渠段的最大水深；测流渠段也可以人工加以衬砌，以保证渠床稳定；
- 曲线率定：在渠道内设立一水位尺，利用流速仪测定不同水位时的相应流量，绘制水位流量关系曲线，并定期进行校核与修正；
- 水位实测：测流时，测流渠段的水流不应受下游节制闸或壅水建筑物的影响；水位宜采用静压井的方式观测；配合水位自动传感设备可实现流量自动监测。

标准断面量水：工程实例



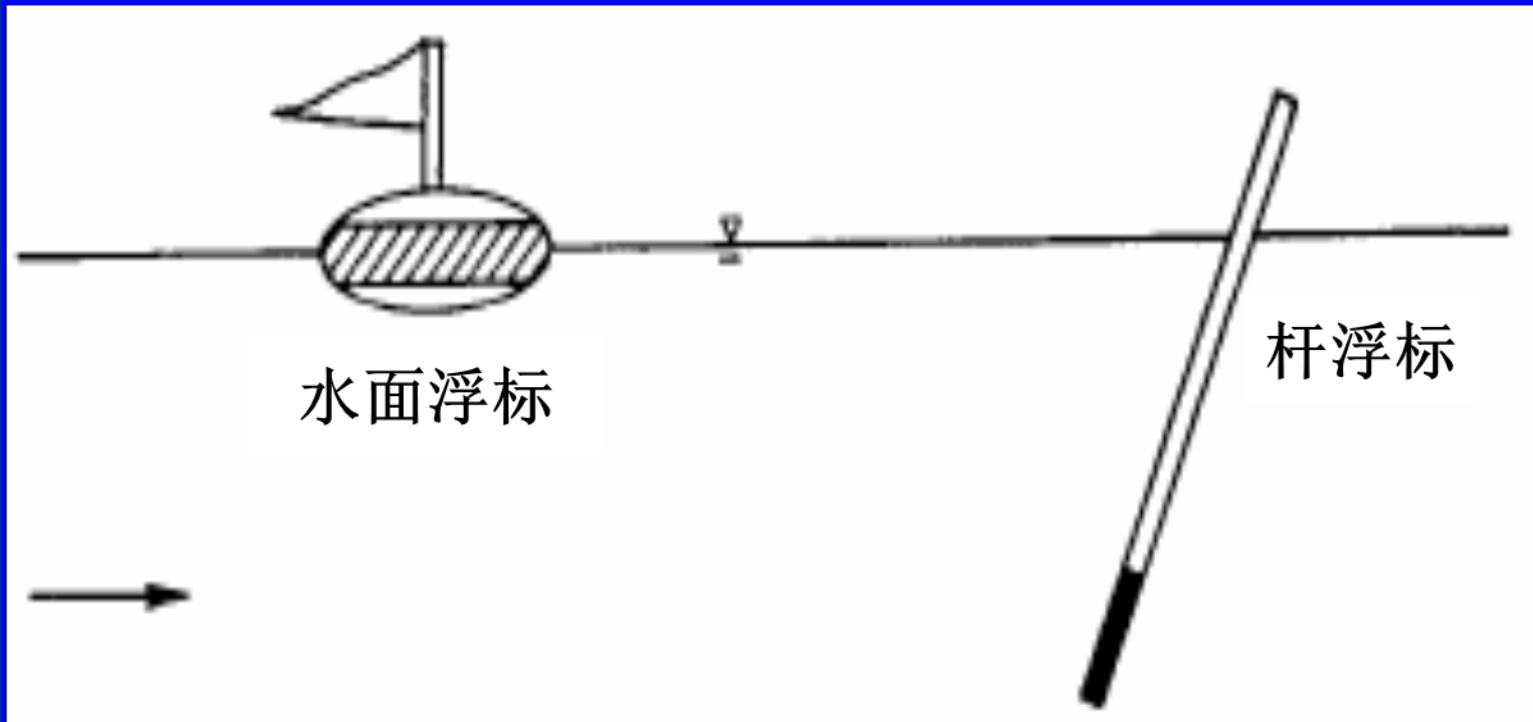
标准断面量水：问题讨论？



9、浮标量水

- 监测原理：将浮标投入水中，观测单位时间内浮标运行的距离，即可得到水面流速，再乘以系数即得断面平均流速。
- 使用条件：该方法对渠道、水流无特殊要求，但水面应该无波动，无涡流。
- 适用范围：在野外环境下，用此进行简单估计流速不失为一种实用的方法，现场检测。但新版国标《灌溉渠道系统量水规范》（2007版和2016版）均未列入浮标量水方法。

浮标量水：浮标形式



- ✓ 水面浮标：水面浮标易受风的影响；
- ✓ 竿浮标：如改为底部加重，部分沉于水中的圆杆，则浮标可呈垂直式的漂流而反应垂直断面的平均流速，称之为杆浮标。

10、建筑物量水

●选取原则：建筑物量水是较为经济、简便、避免二次水头损失的量水方法；在有可能用水工建筑物量水的地方，应优先考虑使用。

●常见形式：闸涵；渡槽；虹吸；跌水。

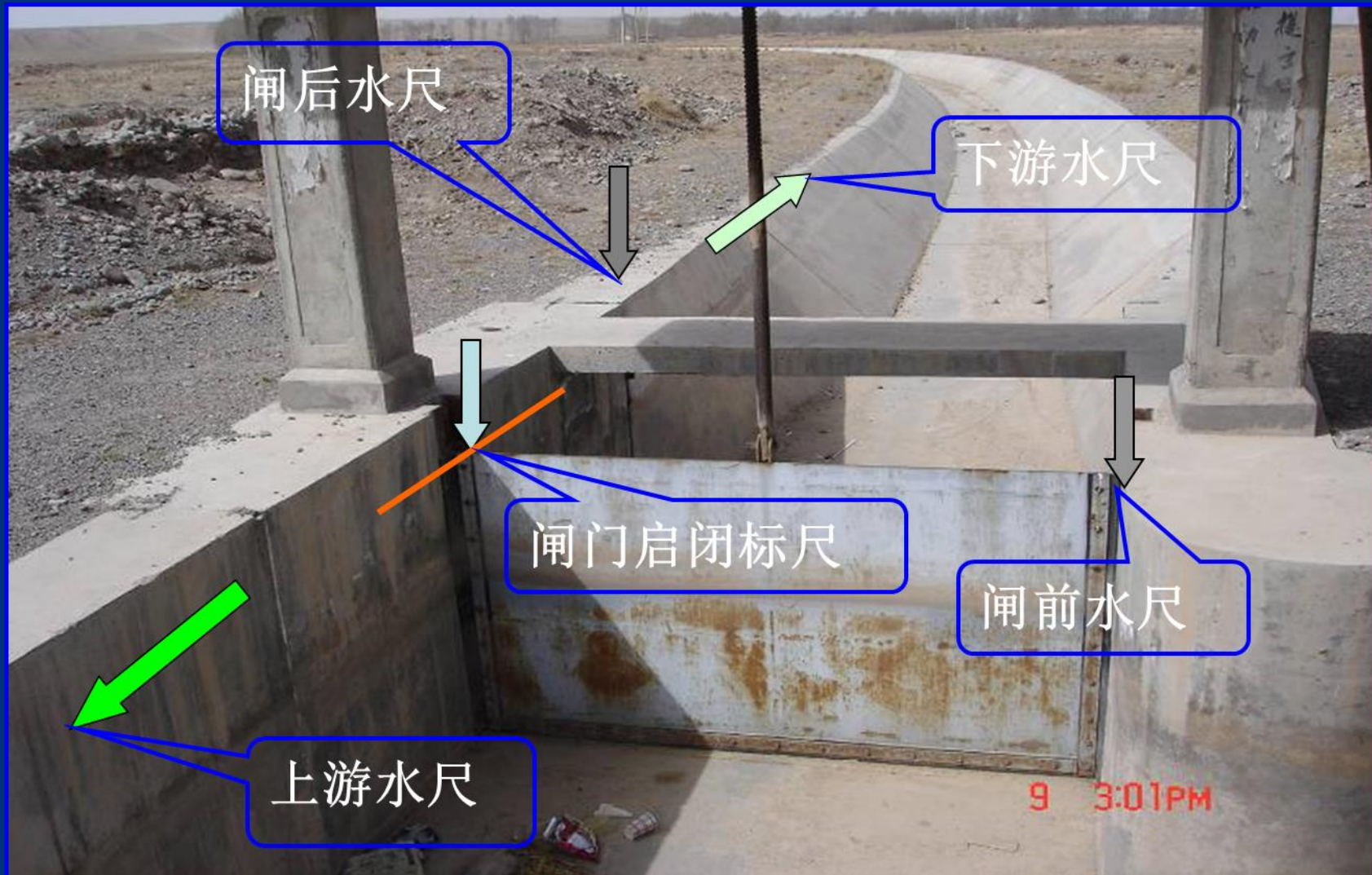
●适用条件：

- 建筑物完整无损，无变形、剥蚀或渗水；
- 调节设备良好、闸门无歪斜、不漏水、无扭曲变形；
- 建筑物前后无泥沙淤积及杂物阻水；
- 符合水力计算要求：水位差大于5cm；淹没度小于0.9；
- 侧面引水：流速应小于0.7m/s，平稳流入建筑物；
- 正面引水：水流对称进入建筑物；
- 多孔闸门提起高度应一致。

10.1、闸涵量水

- 利用涵闸量水，只要在放水闸门或涵管处安设水尺，测得相应水位，即可根据水力学原理，采用相应流量公式计算流量；当入闸水流不对称时，闸前两侧均需安设水尺，取平均值；
- 上游水尺：应设在闸前渐变段上游3~5倍闸前最大水深处；无渐变段时从闸门处算起；
- 下游水尺：应设在下游水流平稳处；有消力池时，水尺距离消力池末端不应小于消力池进口至闸门距离的3倍；
- 闸前水尺：可直接绘设在闸前侧墙上，水尺距离闸门等于 $1/4$ 单孔闸宽；
- 闸后水尺：可直接绘设在闸后侧墙上，水尺距离闸门等于 $1/4$ 单孔闸宽并不得超过0.4m；
- 闸门启闭高度标尺可直接绘设在闸槽边缘的边墩上，标尺零点与闸孔完全关闭时的闸门顶部相平。
- 各水尺零点均应与闸底位于同一高程，误差应小于 $\pm 0.002\text{m}$ ；水尺刻度应清晰易读，最小刻度值可取0.005m；上下游水尺分直立式和斜坡式，可绘制在渠道边坡上或设在靠桩上，桩基要牢固稳定，也可设置在岸边的观测井内；
- 根据涵闸的不同类型和水流形态，选择适当的流量公式。

闸涵量水：图解



10.2、渡槽量水

- 渡槽是输送渠水跨越山冲、谷口、河流及交通道路等的交叉建筑物。其断面规则，水力条件稳定，流量计算简单，用作量水精度较高；
- 用作量水的渡槽，其水面应不受下游壅水影响，槽身不应有漏水现象；
- 在渡槽进、出口和中间槽壁上各设一个水尺，水尺的零点与该处槽底高程相平；中间水尺读数为槽内水深或称为平均水深；流量计算以中间水深读数为依据；
- 当渡槽的槽身总长度大于进口前渠道水深的20倍时，均匀流公式计算槽中流量：
$$Q = A(1/n) R^{1/6} \sqrt{Ri}$$
- 当渡槽的槽身总长度小于渠道最大水深的20倍时，堰流公式计算槽中流量，水尺应按堰闸量水要求设置。

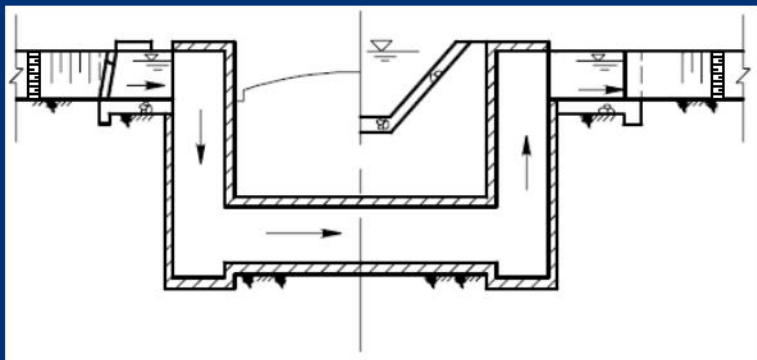
渡槽量水：图解



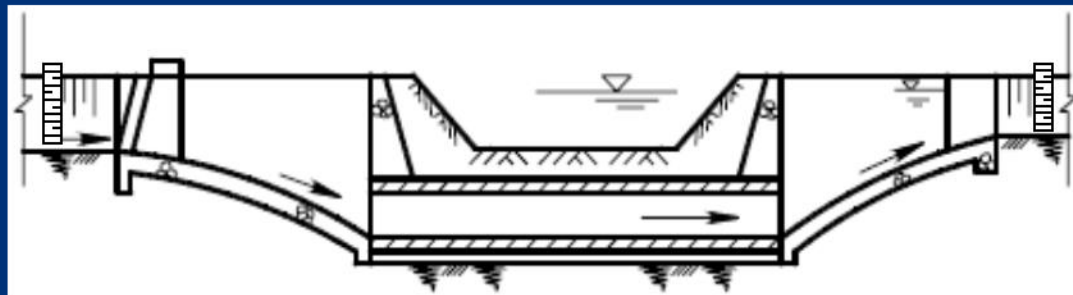
10.3、虹吸量水

- 虹吸管是渠道与河流、谷地、道路、冲沟及其他渠道相交时，为连接渠道而设置的压力输水管道。其断面呈圆形或方形；可以分双管或单管布置；
- 水尺安设在倒虹吸上下游距进出口各约4倍渠道正常水深处，上下游水尺零点与进口底缘相平。
- 利用倒虹吸管量水，进、出口处应设置拦污栅，并应注意随时清除栅前污物，以提高水尺读数的精确度，并使水流通畅。
- 计算公式：经验公式，率定系数： $Q = C Z^n$
计算公式 $Q = \mu A \sqrt{2gZ}$

虹吸量水：图解



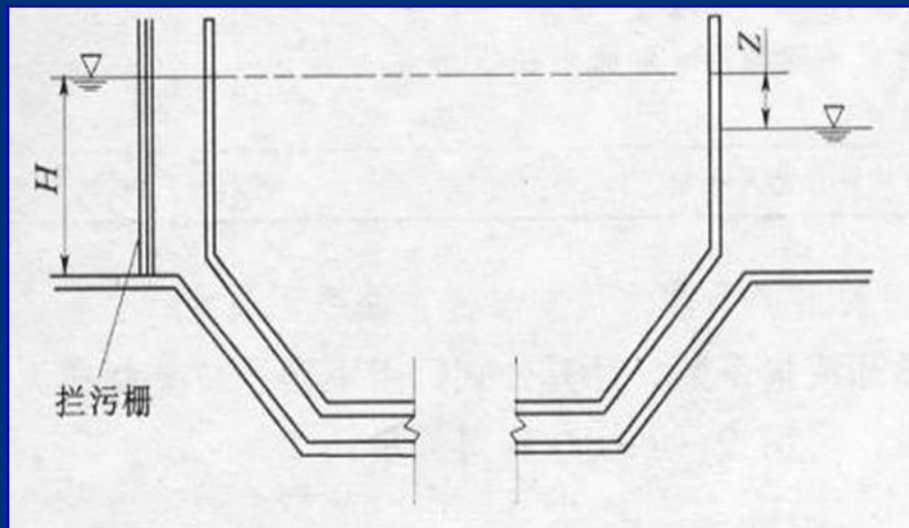
竖井式倒虹吸管



斜坡式倒虹吸管



倒虹吸效果图



进口应设置拦污栅

10.4、跌水（或陡坡）量水

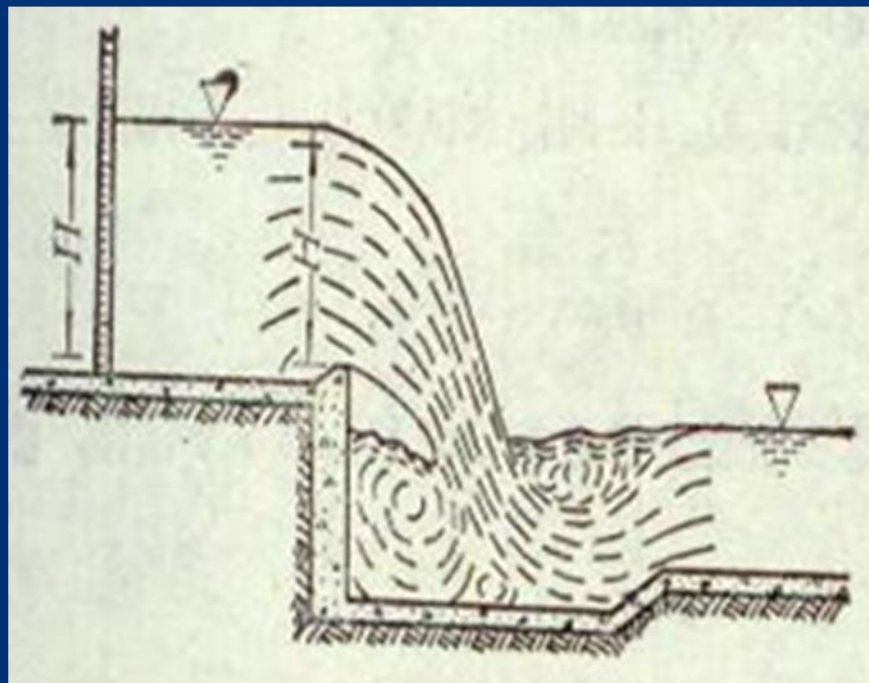
- 跌水是一种落差建筑物，修建在渠道落差集中的地方，连接上、下游渠道，从而避免了大填方或深挖方。跌水分单口跌水和多口跌水。跌水口形式有矩形、梯形与台堰式。
- 因其流量受影响因素较小，计算又简单，因而量水精度较高。
- 水尺应安设在建筑物上游3~4倍渠道正常水深处，水尺零点与跌水底坎相平，以便直接读出上游水头。
- 经验公式，率定系数： $Q = \zeta H^n$

跌水量水：图解



跌水量水

跌水量水示意图



11、量水堰量水

- 量水堰应设置于顺直渠段，上游行近渠段壅水高度不应影响进水口的正常引水，渠床稳定坚固、水流平稳、无冲刷和淤积现象，且不受下游建筑物回水影响，长度应大于渠宽的5~15倍；行近渠内水流佛汝德数 Fr 不应大于0.5。
- 薄壁堰堰板厚度与堰上水头之比应小于0.67，量测清水；薄壁堰堰板应与侧墙和水流方向垂直。堰口应制成锐沿；水舌上下表面应与大气接触；
- 水头测量断面应设置在距堰口上游3倍到6倍的堰顶最大水头处；堰上水头应大于0.03米；
- 多用三角形和梯形两种。三角形量水堰的过流能力一般为0.8~64L/s，梯形量水堰过流能力一般为5~1500L/s；优点是精度高，成本低，结构简单，观测方便；缺点是抬高了上游渠道的水位，不适宜纵坡小而水流含沙量大的渠道；移动式梯形堰为小断面土渠中方便而有效的测流工具。

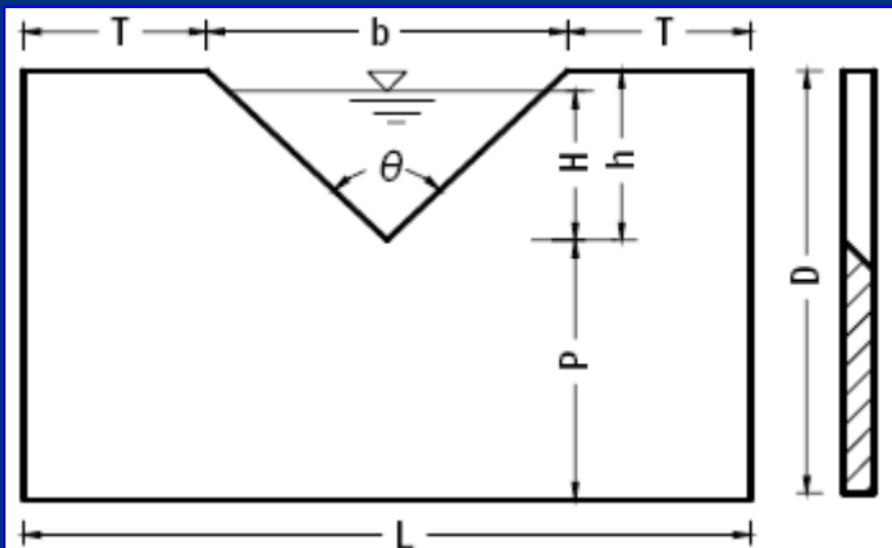
11.1、三角形薄壁堰

- 过水断面为三角形缺口，角顶向下。常用的堰顶夹角为45度、90度。三角形量水堰的过流能力一般为0.8~64L/s
- 三角形薄壁堰测流精度高，成本低，结构简单，观测方便，一般适用于比降较大或有跌坡的小型渠道上，最适宜在实验室或试验渠道上测定流量。
- 缺点是抬高了上游渠道的水位，不适宜纵坡小而水流含沙量大的渠道。堰前易沉积泥沙，降低测流精度。水流中有较多漂浮物时，堰口容易被漂浮物堵塞，严重影响精度。同时，三角形薄壁堰过水能力小，如水流呈淹没状态时，计算复杂且精度降低。

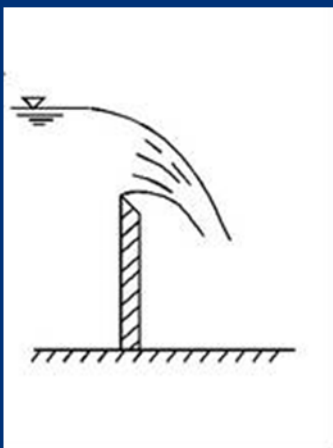
●自由流公式：

$$Q = (8/15)\mu\sqrt{2g} \tan(\theta/2) H^{2.5}$$

三角形薄壁堰：参数表



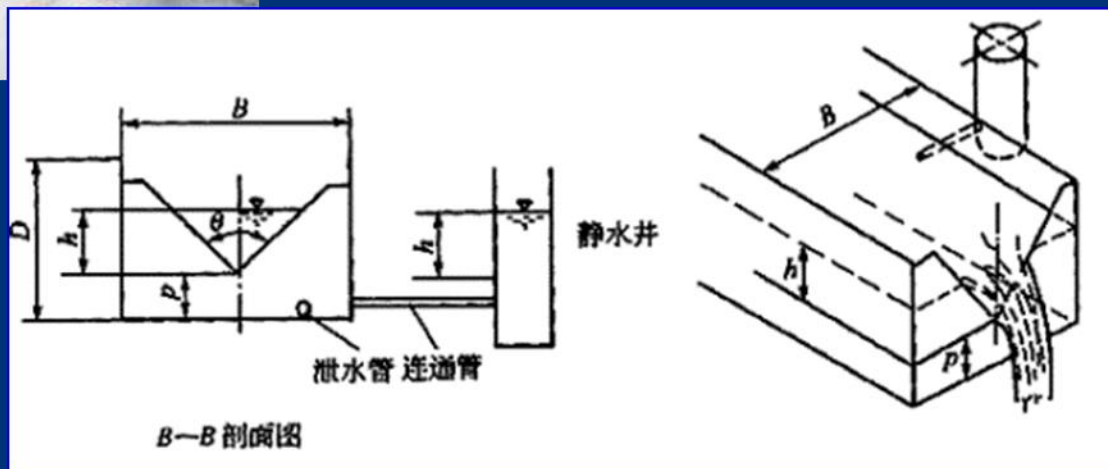
- 堰上水头应大于0.03m。堰口与两侧渠坡的距离 T 及角顶与渠底的高度 P ，不应小于最大堰上水头 H 。



直角三角形量水堰结构尺寸

序号	渠道流量 Q (L/s)	最大水头 H (cm)	口高 h (cm)	槛高 p (cm)	堰高 D (cm)	边宽 T (cm)	堰宽 L (cm)	堰口宽 b (cm)
1	50~70	30	35	30	75	30	150	70
2	70~100	35	40	35	85	35	170	80
3	100~140	40	45	40	95	40	190	90
4	140~185	45	50	45	105	45	210	100
5	185~240	50	55	50	115	50	230	110
6	240~300	55	60	55	125	55	250	120
7	300~375	60	65	60	135	60	270	130

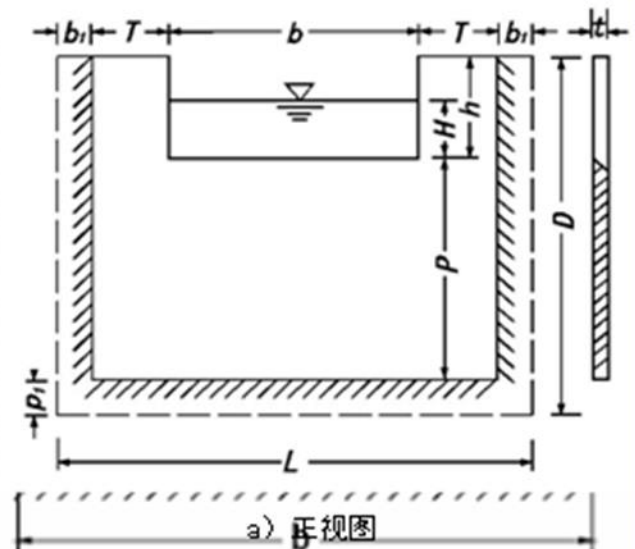
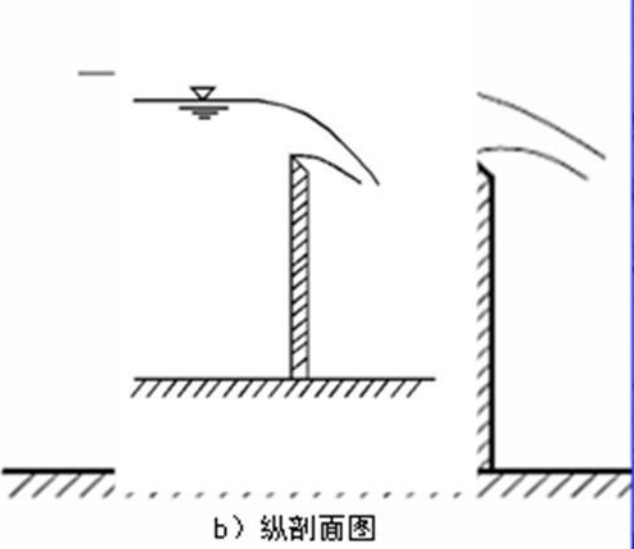
三角形薄壁堰：图解



11.2、矩形薄壁堰

- 矩形薄壁堰分为无侧收缩和有侧收缩两类；堰顶宽度与行近渠槽等宽时称为无侧收缩矩形薄壁堰；堰顶宽度小于行近渠槽宽度时为有侧收缩的矩形薄壁堰。
- 一般在坡降较大的顺直平滑的矩形清水渠道上使用。堰口宽度不小于0.15m；
- 矩形薄壁堰前泥沙容易沉积，影响测流精度；
- 无侧收缩公式：
$$Q = mb\sqrt{2g} H^{1.5}$$

矩形薄壁堰：参数表

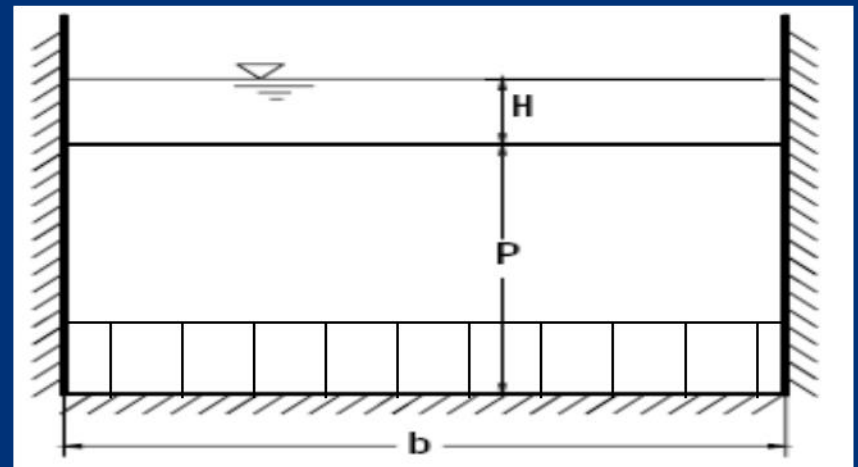
量水设备	主要几何尺寸 (m)		测流范围 (m^3/s)	约束条件	应用说明
 a) 平面图			 b) 纵剖面图		保障(比降较 渠道; 淹没式 于田间测流。 含沙量小的 流量范围为 s 时精度较 差约为±2%
矩形薄壁堰 (无侧收缩)	b	p			水头条件好的渠道
	1.0	0.2	0.005~0.67		
	1.0	1.0	0.005~7.7		
矩形薄壁堰 (有侧收缩)	1.0	0.2	0.009~0.45		
	1.0	1.0	0.009~4.9		

矩形薄壁堰：图解



●堰上水头小于0.15m时，稳定的水头流量关系已不能保证，使测流精度大受影响。

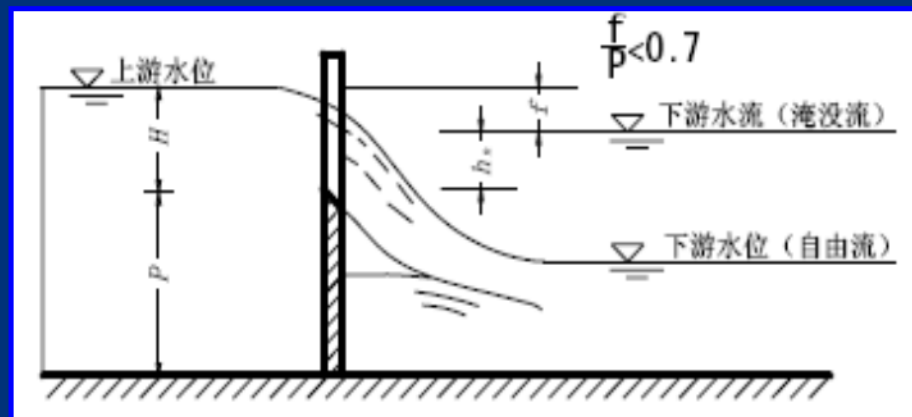
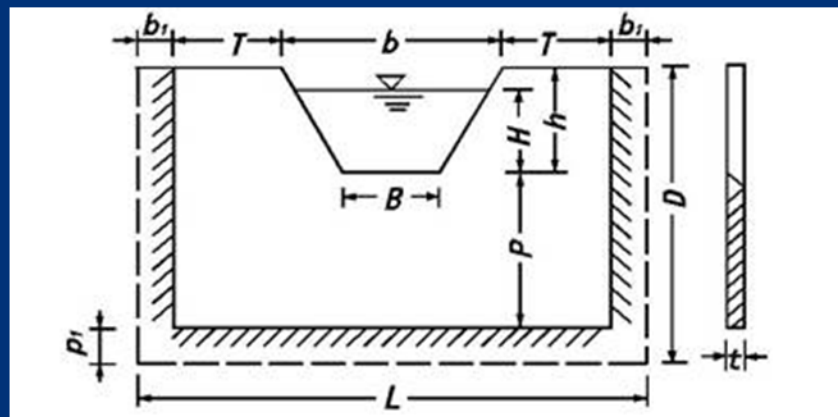
●堰口宽度 $b \geq 0.15\text{m}$



11.3、梯形薄壁堰

- 梯形薄壁堰结构为上宽下窄的梯形缺口，堰口侧边比应为1：4（横：竖）；尺寸要求：下底宽 B 小于1.5m；上底宽 $b=B+h/2$ ；边宽 $T=B/3$ ；底高 P 大于 $B/3$ ；全高 $D=P+h+0.05\text{m}$ ；全长 $L=b+2T+0.16\text{m}$
- 量水壅水较高，水头损失较大，同时堰前易沉积泥沙
- 适宜在水头条件较好（渠道比较大）、含沙量小的渠道上使用。
- 当下游水位高于梯形堰的堰槛，上下游水位差与堰槛高之比 $f/P < 0.7$ 时，梯形堰为淹没出流。
- 自由流公式：
$$Q = 1.86 B H^{1.5}$$

梯形薄壁堰：参数表



梯形薄壁量水堰几何尺寸关系表

B	b	H	H	T	P	D	L	流量范围 (L/s)
25	31.6	8.3	13.3	8.3	8.3	26.6	64.2	2~12
50	60.8	16.6	21.6	16.6	16.6	43.2	110.0	10~63
75	90.0	25.0	30.0	25.0	25.0	60.0	156.0	30~178
100	119.1	33.3	38.3	33.3	33.3	76.6	201.7	61~365
125	148.3	41.6	46.6	41.6	41.6	93.2	247.5	102~640
150	177.5	50.0	55.0	50.0	50.0	110.0	293.5	165~1009

梯形薄壁堰：图解



11.4、U形渠道抛物线形量水堰板

- 抛物线形量水堰板是由塑料板制成抛物线形喉口，并在上部留横档以维持强度，将其放置在U形渠道中专门刻制的横槽中，堰板喉口底端与渠底齐平，不必改变渠底坡度；
- 适用于底弧直径 $D=0.2\sim0.6\text{m}$ ，渠道衬砌深度 $H=0.3\sim0.6\text{m}$ ，直线段外倾角 $0^\circ \leq \sigma \leq 15^\circ$ ，渠底比降 $i=1/300\sim1/1500$ 的小型U形渠道量水；
- 抛物线形喉口量水堰板应在自由流条件下使用，临界淹没度不宜大于0.7；
- 断面收缩比 ε ，应按堰板插入渠道后灌溉渠道中水位升高不超过渠顶，并保证自由出流的原则确定，一般宜在0.45-0.65。

U形渠道抛物线形量水堰板：参数表

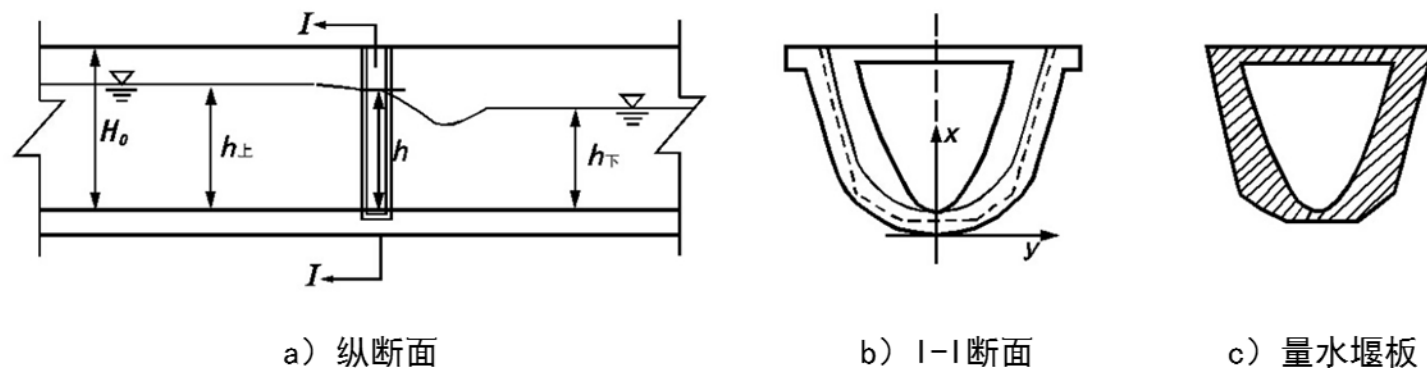


图 1 抛物线形移动式量水堰板的构造

1.1.1.1.1 自由流流量计算公式

喉口的流量可用式 (45) ~ 式 (48) 计算。

$$Q = C_1 \cdot \frac{A^2}{h} \left[1 - \sqrt{1 - C_1 \cdot \frac{h^2}{A^2}} \right] \dots\dots\dots (45)$$

$$C_1 = \frac{\sqrt{gP}}{2.828\alpha_0 C_d} \dots\dots\dots (46)$$

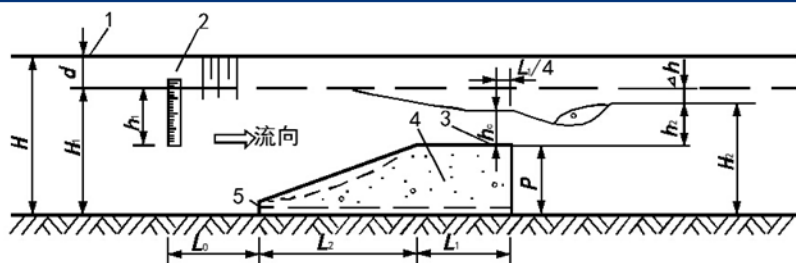
$$C_2 = \frac{\alpha_0 C_d^2}{P} \dots\dots\dots (47)$$

$$C_d = 0.4336 \left(\frac{\varepsilon}{Ph} \right)^{0.0277} \dots\dots\dots (48)$$

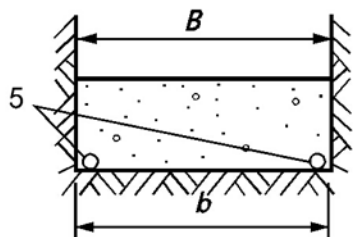
11.5、量水槛

- 量水槛由上游行近渠道和底槛组成，无侧收缩。
- 量水槛顶长度是堰前最大水深的1.5~2.5倍，迎水面用1:3的斜坡与原渠底连接。堰后用较缓的斜面与渠底衔接，也可不设斜面，垂直与渠底衔接。底部应设排水管。
- 量水槛用于矩形、梯形或抛物线渠道测流，水头损失宜在 $0.1h_{\max} \sim 0.13h_{\max}$ ，最大流量与最小流量比 $Q_{\max}:Q_{\min}=10:1$ 。

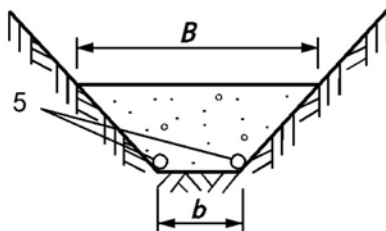
量水槛：图解



a) 量水槛纵断面



b) 矩形量水槛纵断面



c) 梯形量水槛纵断面

- 量水槛高度 P ，应按修建量水槛后灌溉渠道中水位升高不超过渠顶，并保证自由出流的原则确定。量水槛淹没度 h_2/h_1 应控制在0.85左右，渠道超高 d 一般为正常水深的20%，

- 量水槛槛顶最小水深应大于0.05m。

- 量水槛槛顶长度 $L_1 = (1.5 \sim 2.5) h_{1\max}$ 。根据已知渠道水力要素，通过试算进行淹没度校核，并确定渠道超高 d 、量水槛高度 P 及槛顶长度 L_1 ；

- 经验公式：

$$Q = A h_1^n$$

量水檻：参数表

量水设备		主要几何尺寸(m)			流量系数 ^a A	流量指数 ^b n	测流范围 (m^3/s)	约束条件		应用说明
		槛宽 B (m)	槛顶长 L (m)	槛高 P (m)				$h_{\min}$	$H_{\max}$	
量水槛	梯形控制断面	1.219	0.914	0.305	3.570	1.738	0.034~1.133	0.658	0.829	梯形断面边坡 ($m=1$) 的型式, 用于水头 有保障的斗、农渠
		1.372	0.762	0.381	3.850	1.738		0.665	0.886	
		1.524	0.61	0.457	3.830	1.660		0.715	0.943	
		0.762	0.61	0.229	3.000	1.860		0.085	0.615	
		0.914	0.457	0.305	3.100	1.760		0.078	0.669	
		1.067	0.305	0.381	3.600	1.783		0.070	0.725	
		1.562	1.066	0.381	4.279	1.691	0.057~1.70	0.071	1.079	梯形断面边坡 ($m=1.25$) 的型式, 用于水头 有保障的斗、农渠
		1.753	0.914	0.457	4.316	1.628		0.066	1.132	
		1.947	0.762	0.533	4.657	1.622		0.062	1.187	
	矩形控制断面	0.300	0.400	0.100	0.653	1.581	0.009~0.9	0.067	0.293	水头条件较好的 中、小型 矩形断面渠道
		0.400	0.500	0.100	0.912	1.611		0.080	0.396	
		0.500	0.800	0.25	1.070	1.605		0.082	0.392	
		0.600	0.600	0.15	1.310	1.611		0.083	0.699	
		0.600	0.800	0.250	1.274	1.605		0.083	0.630	
		0.700	0.800	0.350	1.444	1.605		0.083	0.695	
		0.800	0.800	0.200	1.750	1.611		0.083	0.695	
		0.800	0.800	0.250	1.712	1.605		0.083	0.695	
		0.900	0.800	0.300	1.819	1.605		0.083	0.695	
		1.000	0.800	0.250	2.100	1.611		0.083	0.964	
		1.000	1.000	0.300	2.090	1.605		0.084	0.983	
		1.100	1.000	0.250	2.310	1.605		0.083	0.964	
		1.200	1.000	0.300	2.440	1.611		0.083	0.964	
		1.300	1.000	0.300	2.710	1.605		0.083	0.964	
		1.400	1.000	0.500	2.884	1.605		0.083	0.964	
		1.500	1.000	0.500	2.960	1.590		0.084	0.983	

^a流量系数 A 为式（53）中的待定系数。
^b流量指数 n 为式（53）中的待定指数。

12、量水槽量水

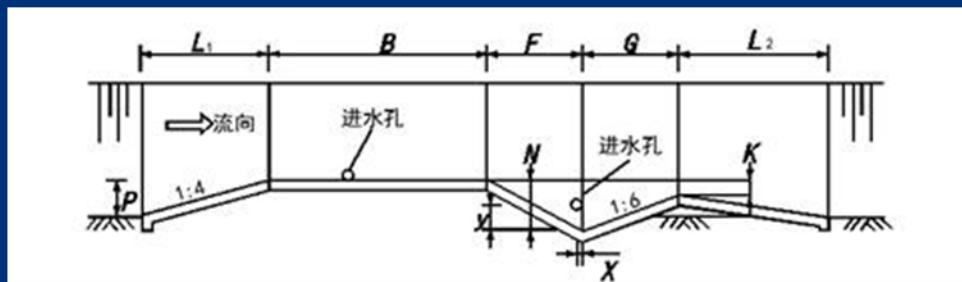
- 量水槽应设置于顺直渠段，上游行近渠段壅水高度不应影响进水口的正常引水，长度应大于渠宽的5~15倍；行近渠内水流佛汝德数 Fr 不应大于0.5。
- 槽体表面平滑，轴线应与渠道轴线一致。
- 量水槽上游不应淤积，下游不应冲刷。
- 量水槽产生的水位壅高应保证渠段上游安全及正常运行。

12.1、巴歇尔量水槽

- 巴歇尔量水槽:由进口收缩段、喉道、出口扩散段及上下游水尺组成;进口收缩段的侧墙与轴线应成 $11^{\circ}19'$;出口扩散段的侧墙与轴线应成 $9^{\circ}28'$;喉道地板的坡降为3:8,出口扩散段底板逆坡为1:6;
- 槽型的选择应考虑流量变化范围、有效水头、最大淹没度、渠道特性、水头损失、水流含沙情况、经济条件等因素;
- 不应随意改变或按比例缩放标准设计中给定的各部尺寸,应根据工程地点渠道的实际情况及水流条件,选择与之最接近测流要求的标准尺寸;
- 自由流下量水精度高,测流比率大,损失水头小;结构复杂,造价高,施工困难;当淹没度大于90%时,精度降低很多,不宜在经常发生严重淤积的渠道上使用。

巴歇尔量水槽：参数表

W	A	$2A/3$	B	C	D	量测范围(m^3/s)	
						最小	最大
0.250	1.351	0.900	1.325	0.550	0.780	0.006	0.561
0.500	1.479	0.986	1.450	0.800	1.080	0.012	1.159
0.750	1.606	1.070	1.575	1.050	1.380	0.016	1.772
1.000	1.734	1.156	1.700	1.300	1.680	0.021	2.330
1.250	1.861	1.241	1.825	1.550	1.980	0.026	2.920
1.500	1.988	1.326	1.950	1.800	2.280	0.032	3.500
1.750	2.116	1.411	2.075	2.050	2.580	0.037	4.080
2.000	2.243	1.495	2.200	2.300	2.880	0.041	4.660
2.250	2.370	1.580	2.325	2.550	3.180	0.046	5.240
2.500	2.498	1.665	2.450	2.800	3.480	0.051	5.820
2.750	2.625	1.750	2.575	3.050	3.780	0.056	6.410
3.000	2.753	1.835	2.700	3.300	4.080	0.060	6.990



●量水槽中A, B, C, D尺寸是喉口宽度W的函数,

$A=0.51W+1.22m$;

$B=0.5W+1.2m$; $C=W+0.3m$;

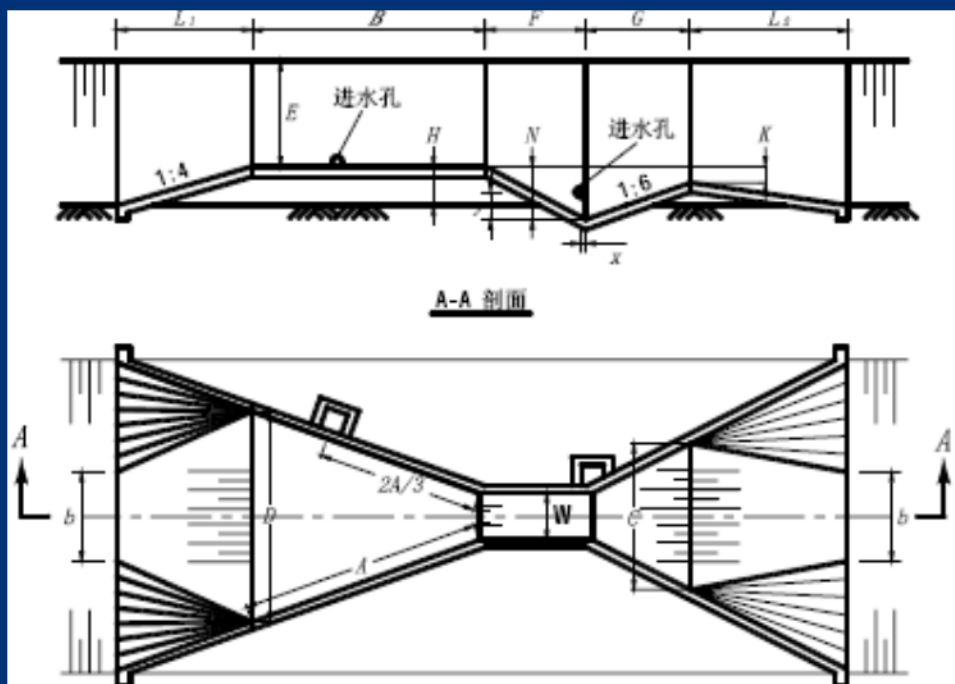
$D=1.2W+0.48m$

● $F=0.6m$; $G=0.9m$; $K=0.08m$;

$N=0.23m$; $X=0.05m$; $Y=0.08$

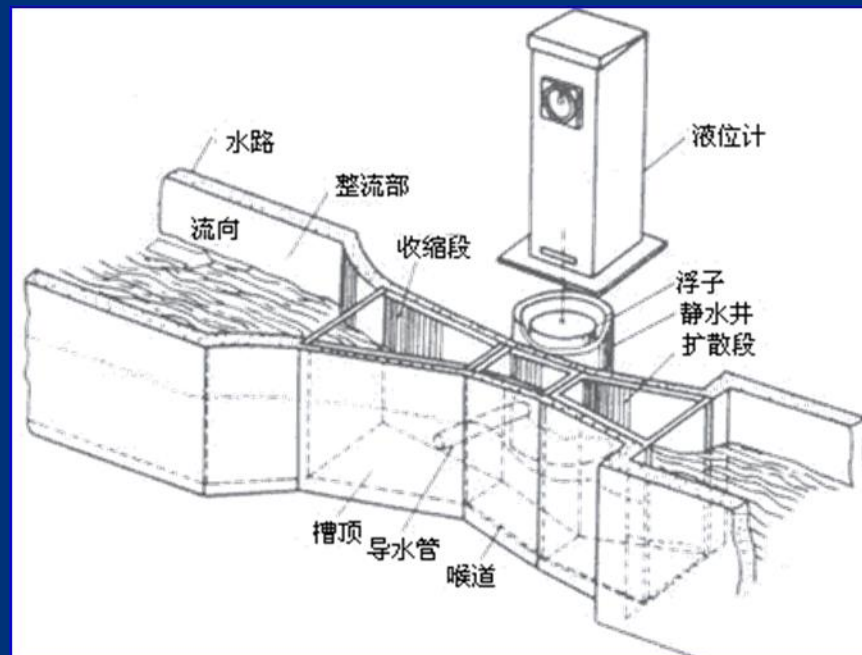
米

巴歇尔量水槽：图解



- 量水槽上下游水尺分别在进口收缩段距喉道首端 $2A/3$ 和距喉道末端 X 长度上游处。
- 水尺零点高程均与进口收缩段底板高程一致。
- 喉道宽度在0.75m以下且水流平稳的量水槽，水尺设在侧壁上；喉道宽度在0.75m以上和水流不稳定的量水槽，应在槽外设观测井。
- 观测井底应比槽槛低0.2m~0.25m，观测井与量水槽可用平置的金属管或塑料管连通。

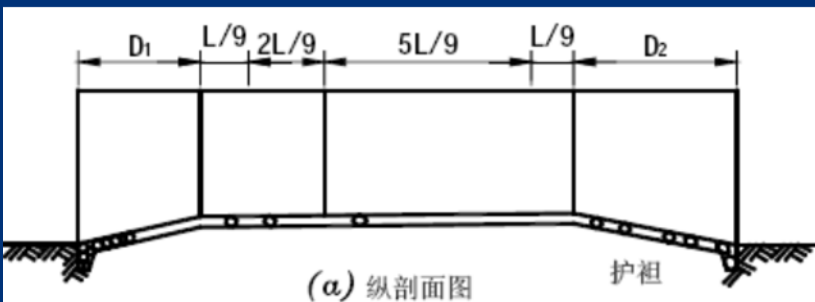
巴歇尔量水槽：图解



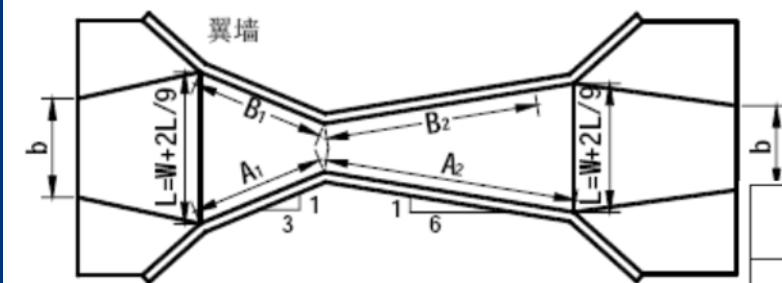
12.2、矩形无喉道量水槽

- 巴歇尔槽的改进形式。突出优点是结构简单，造价低，施工易，抗杂物泥沙干扰强，自由出流和淹没出流量水精度均较好；有必要对各种型号进行测试，确定精确参数，以便推广应用；
- 矩形无喉道量水槽由进口收缩段、矩形喉口、出口扩散段及上下游水尺组成；
- 上游进口段以1：3折角收缩，下游出口段以1：6折角扩散，进口和出口宽度相等；
- 用于水头条件较好的斗、农渠道。

矩形无喉道量水槽：参数表



(a) 纵剖面图



(b) 平面图

●量水槽的上、下游水尺分别设置在距进口和出口 $1/9L$ 处，水尺零点与槽底齐平。

●小型量水槽（喉宽 $<0.8\text{m}$ ），水尺可设在侧墙壁上；大型量水槽可在槽外设观测井观测水位。

槽型	槽宽	槽长	上游侧墙长度	下游侧墙长度	上游水尺位置	下游水尺位置	进、出口宽度	上游护坦长度	下游护坦长度
$W \times L$	W	L	A_1	A_2	B_1	B_2	B	D_1	D_2
0.2×0.9	0.20	0.90	0.316	0.608	0.211	0.507	0.40	0.60	0.80
0.3×0.9	0.3	0.9	0.316	0.608	0.211	0.507	0.40	0.60	
0.4×1.35	0.40	1.35	0.474	0.913	0.316	0.760	0.70	0.80	1.20
0.6×1.80	0.60	1.80	0.632	1.217	0.422	1.014	1.00	1.00	1.60
0.8×1.80	0.80	1.80	0.632	1.217	0.422	1.014	1.20	1.20	2.00
1.0×2.70	1.00	2.70	0.950	1.825	0.632	1.521	1.60	1.40	2.40
1.2×2.70	1.20	2.70	0.950	1.825	0.632	1.521	1.80	1.60	2.80
1.4×3.60	1.40	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.00	1.80	3.20
1.6×3.60	1.60	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.20	2.00	3.60
1.8×3.60	1.80	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.40	2.20	4.00
2.0×3.60	2.00	3.60	1.265	2.433	0.843	2.028	2.60	2.40	4.40

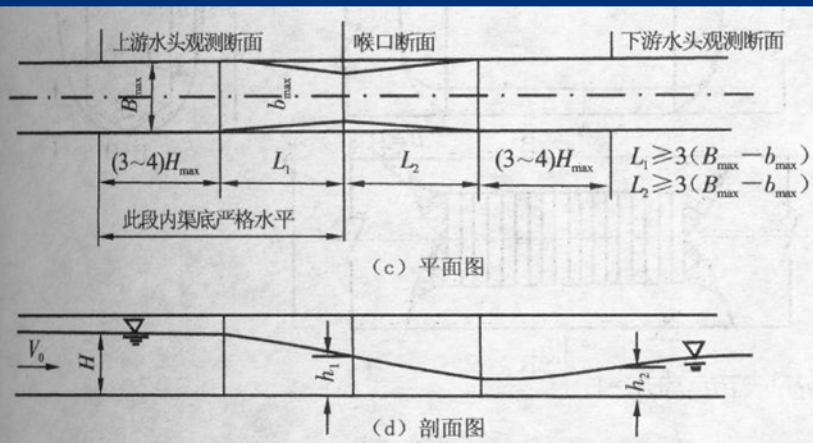
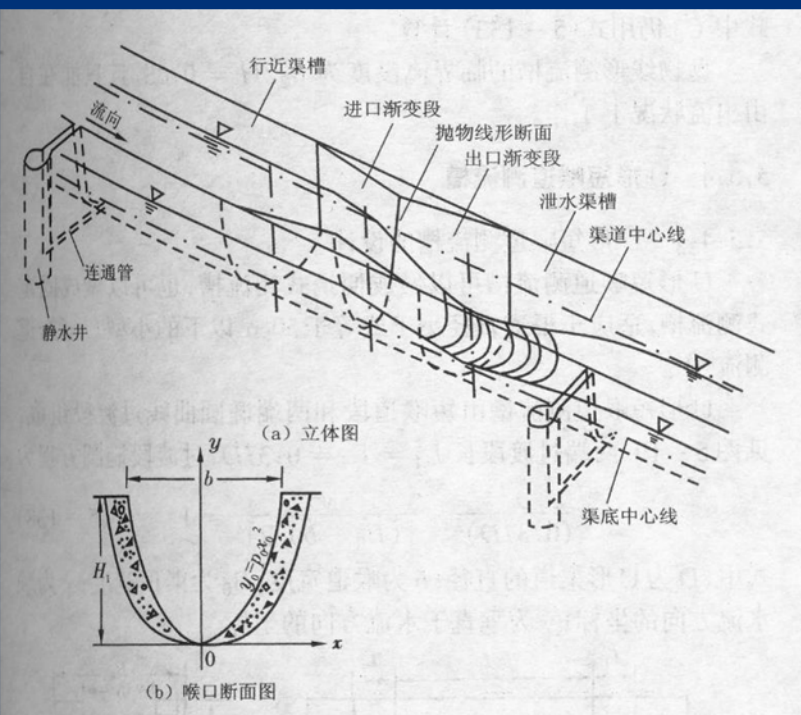
矩形无喉道量水槽：图解



12.3、U形渠道抛物线形喉口量水槽

- 抛物线形喉口量水槽由进口收缩渐变段、抛物线形喉口断面、出口扩散渐变段和水尺组成。
- 喉口上游（4~5）H渠段内的渠底高程应与抛物线形喉口底部高程齐平。
- 渐变段长度：进口收缩渐变段和出口扩散渐变段的收缩、扩散比皆为1：6。进、出口渐变段的长度相同。
- 适用于具有下列参数的U形渠道量水
 - a) 底弧直径 $D=0.3\sim2.0\text{m}$;
 - b) 渠道衬砌深度 $H=0.4\sim1.5\text{m}$;
 - c) 直线段外倾角 $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$;
 - d) 渠底比降 $I=1/300\sim1/1500$ 。
- 抛物线形喉口量水槽应在自由流条件下使用，临界淹没度不宜大于0.88。
- 量水槽水尺前的佛汝德数 Fr 应小于或等于0.5。

U形渠道抛物线形喉口量水槽：参数表



标准量水槽的选用，应根据U形渠道的技术参数以及渠道比降，选择相应的断面收缩比 ε ，计算出相应渠道的标准量水槽的抛物线形状系数 P 值。

表 F.1 标准抛物线形喉口量水槽尺寸及流量公式系数表

型号	P (1/cm)	喉口断面方程 x-横坐标 (cm) y-纵坐标 (cm)	适宜渠道规格			堰口宽		渐变段长度 (cm)			$Q=CH+D^3$ 流量公式系数		收缩比
			R (cm)	H (cm)	a (度)	b (cm)		外倾角 (度)			C	D	
56	0.056	$y=0.056x^2$	40	$\cong 80$	14	75.6	80				112.50	949.54	0.65
59	0.059	$y=0.059x^2$	40	$\cong 80$	14-9.5	73.6	86	63			109.90	922.38	0.63-0.65
62.5	0.0625	$y=0.0625x^2$	40	$\cong 80$	14-5	71.6	93	69	47		105.34	894.17	0.61-0.65
62.5	0.0625	$y=0.0625x^2$	35	$\cong 70$	14	66.9	68				127.16	898.83	0.65
67.5	0.0675	$y=0.0675x^2$	35	$\cong 70$	14-9.5	64.4	76	55			118.68	863.08	0.63-0.65
70	0.07	$y=0.070x^2$	35	$\cong 70$	14-5	63.2	79	58	39		118.46	845.21	0.62-0.65
75	0.075	$y=0.075x^2$	30	$\cong 60$	14	56.6	61				131.87	822.48	0.65
80	0.08	$y=0.080x^2$	30	$\cong 60$	14-9.5	54.8	66	48			126.30	793.73	0.63-0.65
85	0.085	$y=0.085x^2$	30	$\cong 60$	14-5	53.1	71	53	37		120.97	768.70	0.61-0.64
95	0.095	$y=0.095x^2$	25	$\cong 55$	14	48.1	55				129.39	732.38	0.65
100	0.1	$y=0.100x^2$	25	$\cong 55$	14-9.5	46.9	59	41			129.28	710.65	0.62-0.65
105	0.105	$y=0.105x^2$	25	$\cong 55$	14-5	45.8	62	45	30		128.47	690.98	0.61-0.65
120	0.12	$y=0.120x^2$	20	$\cong 50$	14	40.8	46				137.32	652.49	0.65
130	0.13	$y=0.130x^2$	20	$\cong 50$	14-9.5	39.2	51	34			133.21	623.44	0.63-0.65
160	0.16	$y=0.160x^2$	20	$\cong 50$	14-5	35.4	92	74	30		102.04	562.96	0.56-0.62
170	0.17	$y=0.170x^2$	15	$\cong 40$	14	30.7	38				137.93	550.90	0.64
180	0.18	$y=0.180x^2$	15	$\cong 40$	14-9.5	29.8	41	30			143.07	531.76	0.62-0.65
200	0.2	$y=0.200x^2$	15	$\cong 40$	14-5	28.3	45	32			133.85	502.09	0.59-0.65

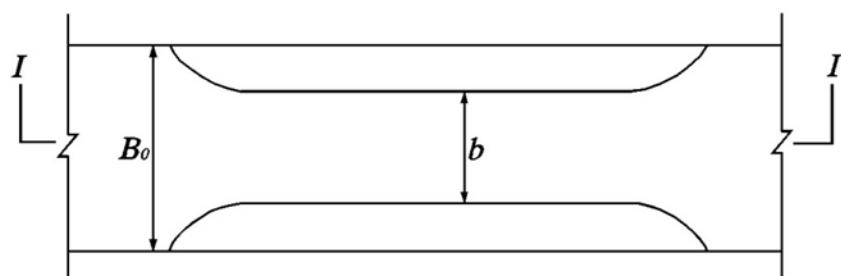
12.4、直壁式量水槽

- 直壁式量水槽进口与出口由椭圆形曲线与U形渠道衔接，量水槽底部不改变原渠道底坡
- 适用于具有下列参数的U形渠道的量水。
 - a) 底弧直径 $D=0.3\sim0.8\text{m}$;
 - b) 衬砌深度 $H=0.3\sim0.8\text{m}$;
 - c) 直线段外倾角 $0^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ 。
- 直壁式量水槽应在自由流条件下使用，临界淹没度不宜大于0.83。
- 量水槽水尺前水流的佛汝德数 Fr 应小于或等于0.5;
- 槽前最小水深 $h_1 \geq 0.06\text{m}$;
- 渠底比降 $I=1/200\sim1/1000$ 。

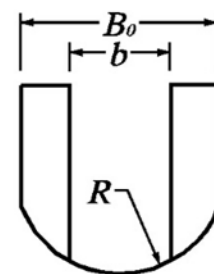


直壁式量水槽：示意图

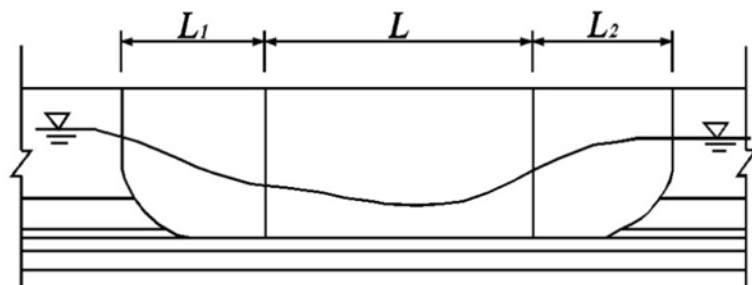
水尺位置在量水槽进口上游 $1.5B_0$ 处，水尺零点为该断面渠底中心高程。量水槽应保证自由流。在设计阶段应根据渠道设计最大流量、最小及中间流量分别校核临界淹没度。流量计算公式： $Q = 0.261D^2 \sqrt{2gb} (0.516h_1/R + 0.0187)^{1.5476}$



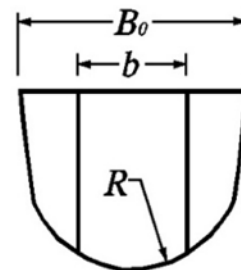
a) 俯视图



b) 外倾角为 0° 的 U 形渠道前视图



c) I-I 纵剖面图



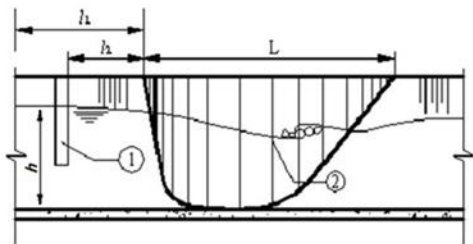
d) 外倾角非 0° 的 U 形渠道前视图

图 1 直壁式量水槽结构图

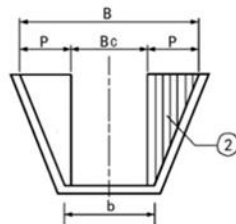
12.5、机翼型量水槽

- 机翼形量水槽是在渠道两侧修筑仿机翼形槽壁，使水流通过时产生临界流，具有不受下游水位影响的单一水位~流量关系。因此只需测得上游水深，就可以计算出过槽流量。
- 机翼形量水槽包括垂直设置的量水槽壁，量水槽壁外缘体形呈机翼状，相对渠道一侧边缘是流线型，上游一端较宽。

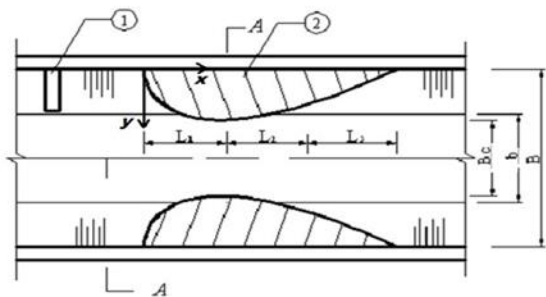
机翼型量水槽：示意图及计算公式



a) 纵断面图



b) A-A 剖面图



c) 俯视图



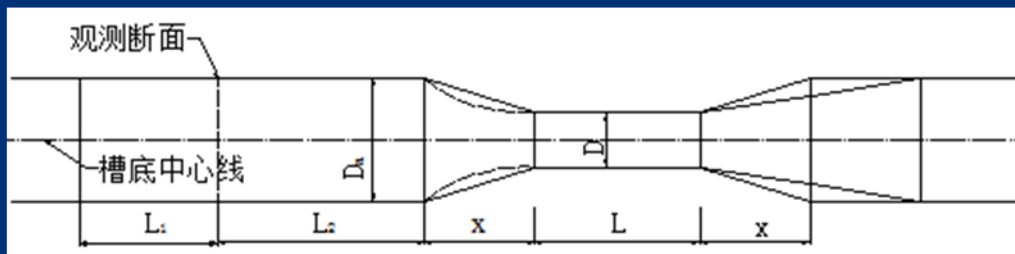
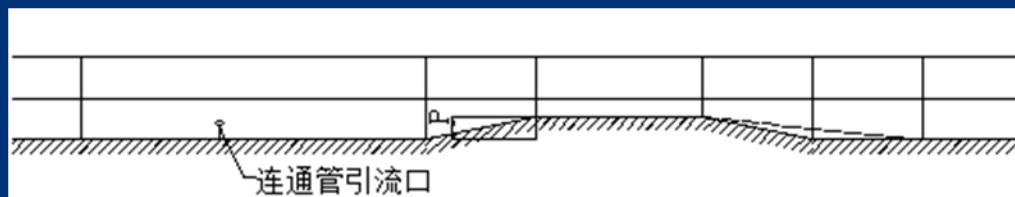
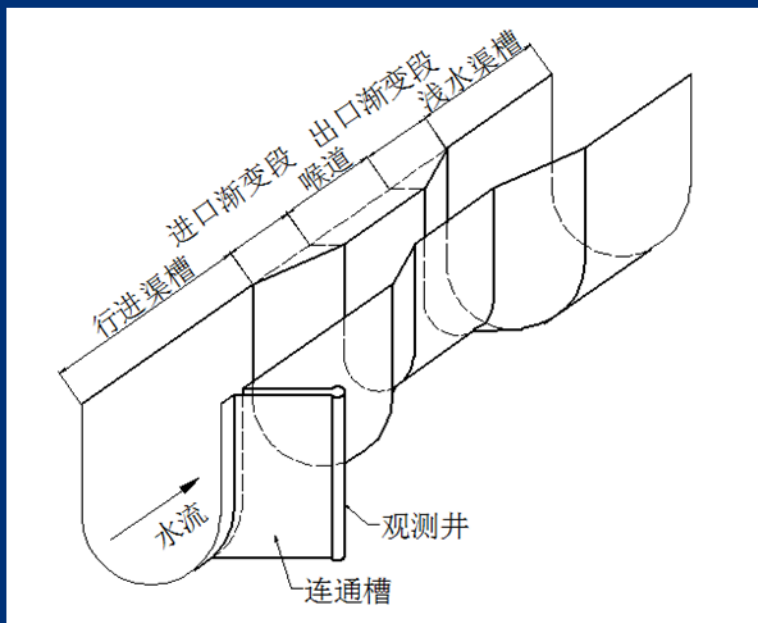
机翼型量水槽

渠道类型	流量公式
U 形渠道	$Q = 0.5416\sqrt{g}B_c^{0.9093}h^{1.5908}$
矩形渠道	$Q = 0.5964\sqrt{g}B_c^{0.9820}h^{1.5180}$
梯形渠道	$Q = 0.6095\sqrt{g}B_c^{0.9157}h^{1.5843}$

12.6、长喉道量水槽

- 长喉槽由进口段、前缘段(部分长喉槽无前缘段)、收缩段、喉段、扩散段组成
- 长喉槽喉道应有足够的平行于渠底的长度, 保证喉道内流线平行出现临界流段。
- 进口收缩段应足够平顺, 保证上游水位测量断面与喉道间的水头损失可以忽略。
- 喉段上游收缩段应有适当的收缩比, 保证临界流的产生。
- 长喉槽断面形状常用的有矩形、梯形、U形及抛物线形。
- 长喉槽控制断面的收缩形式为侧收缩、底收缩和侧底双向收缩。

长喉道量水槽：示意图



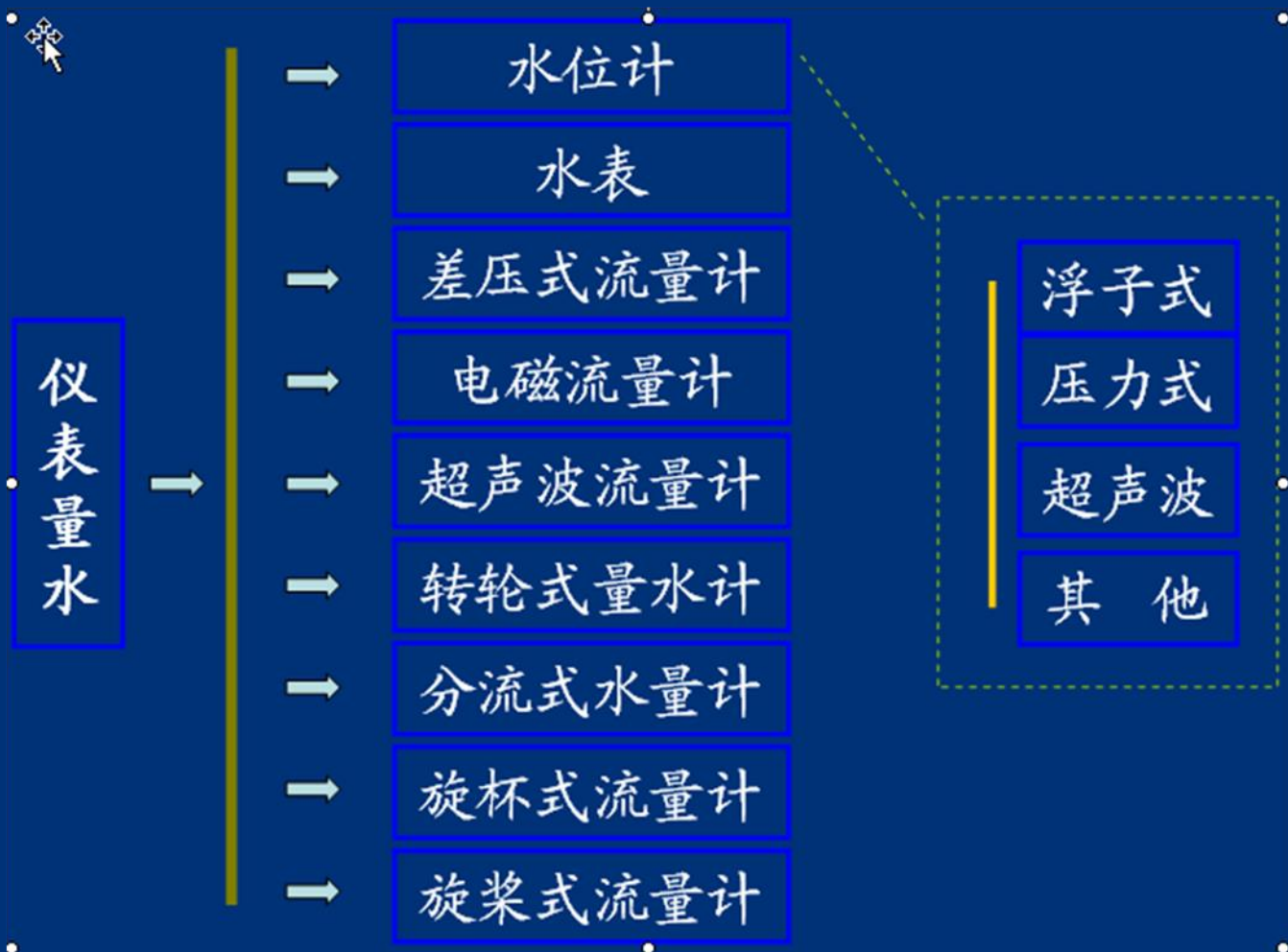
- 长喉槽渐变段侧收缩比和底收缩比进口段宜取 $1:3$ ，出口渐变段宜取 $1:6$ ，自由出流时可将出口渐变段后半段截除。
- 长喉道槽的喉道长度 L 可在 $1.0H_{max} \sim 10.0H_{max}$ 范围内选取，宜选用 $(1.5 \sim 1.7) H_{max}$ 。
- 长喉道槽的收缩后的喉道断面过流面积值 A_c 与上游渠道原过流面积值 A_1 的比值对于矩形断面宜取 $A_c/A_1 \leq 0.7$ ，梯形断面宜取 $A_c/A_1 \leq 0.5$ 。

长喉道量水槽：侧收缩量水槽图解



- 收缩段应有足够长度，保证喉道内产生平行水流，并在量水槽内出现临界水流。
- 喉道收缩断面与行近渠道断面应有一个适当比率，矩形长喉道水槽不应大于0.7，梯形长喉道量水槽不应大于0.5。

13、仪表量水



13.1、浮子水位计

- 使用非接触式编码装置水位计的平均无故障工作次数应在 1×10^6 测次以上。悬索应采用低线胀系数的材料并经耐锈蚀处理。推荐使用链式传动的穿孔钢带或带珠钢索。浮子式水位计平均无故障工作时间应大于一年，使用接触式编码装置水位计的平均无故障工作次数应不低于 2×10^5 测次（一般以水位变化0.01m，完成一次编码为一测次）。
- 浮子直径应不大于0.25m；测量范围为0~5m，分辨率 $\leq 0.01\text{m}$ ，适应水位最大变化率 $\geq 0.40\text{m/min}$ ，适用环境温度 $-10^\circ\text{C} \sim +60^\circ\text{C}$ ，相对湿度 $\geq 85\%$ 。
- 基本误差应小于 $\pm 0.02\text{m}$ ，测量结果的合格率应在95%以上，回差应小于该水位计允许的基本误差限，重复性误差应小于该水位计允许的基本误差限的0.5倍。
- 应具有自动记录水位变化的功能，以直流电为主，6V或12V

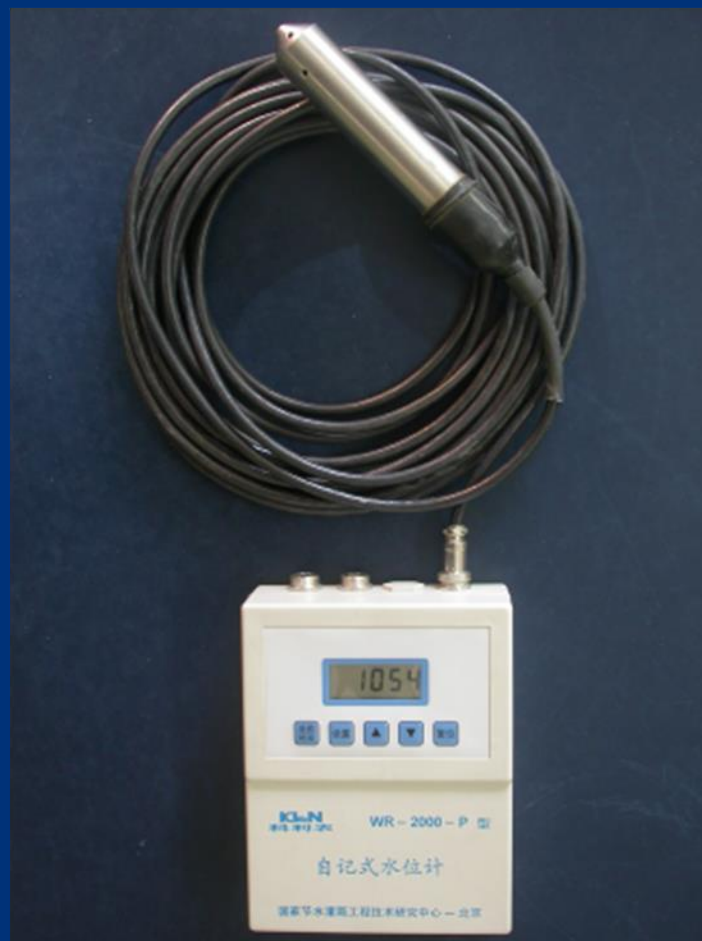
浮子水位计：图解



13.2、压力式水位计

- 外壳及引压管应选用耐压、耐腐蚀材料的压力传感器。传感器应具有温度补偿，使用温域宽；可防浪涌电压，极性反向保护；具有抗干扰能力，适合恶劣环境使用；平均无故障工作时间应大于25000h，易损件为可更换部件或可修复产品。
- 测量范围为0~5m，分辨率 $\leq 0.002\text{m}$ (按传感器量程分级)，适应水位最大变化率 $\geq 0.60\text{m/min}$ 。
- 在0~5m范围内基本误差应小于 $\pm 0.02\text{m}$ ，当测量范围增大时，误差应控制在量程的0.3%~0.5%以内，测试结果的合格率应在95%以上；回程误差应小于基本误差的1.5倍；再现性误差应小于基本误差的2倍，试验周期一般为2天；24h输出漂移不应超过基本误差；在0~+40℃温度漂移不应大于基本误差。
- 应具有自动记录水位变化的功能，以直流电为主，6V或12V

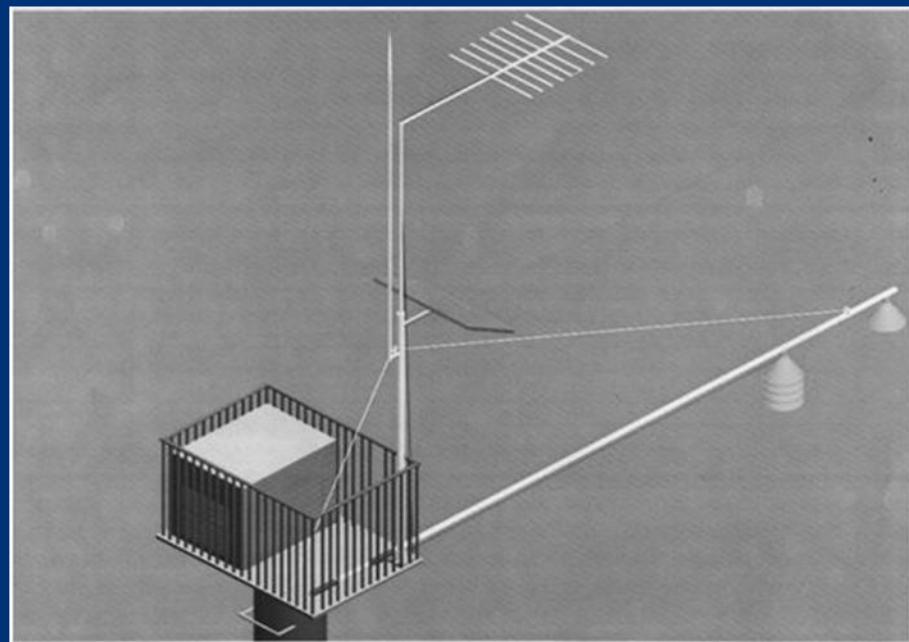
压力式水位计：图解



13.3、超声波式水位计

- 超声波水位计分为液介式和气介式水位计；
- 液介式水位计测量范围0.5-5m，分辨率 $\leq 0.005\text{m}$ ，盲区 $\leq 0.5\text{m}$ ，适用环境温度 $-10^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ ，水位计的换能器与主机之间传输电缆允许长度应不大于100m；
- 气介式水位计测量范围0.8-5m，分辨率 $\leq 0.005\text{m}$ ，盲区 $\leq 0.8\text{m}$ ；水位计的换能器与主机之间传输电缆允许长度应不大于20m；
- 在10m测量范围内，以静水及固定反射目标施测的结果为准，其基本误差应不大于 $\pm 0.02\text{m}$ ，置信水平应不小于95%；重复性误差应不大于基本误差的0.5倍；再现性误差应不大于基本误差的1.5倍；在 $0 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内，温度—声速补偿不完善所引起的误差不大于基本误差的1.5倍；
- 供电电源优先采用直流电，电压以12V为宜。

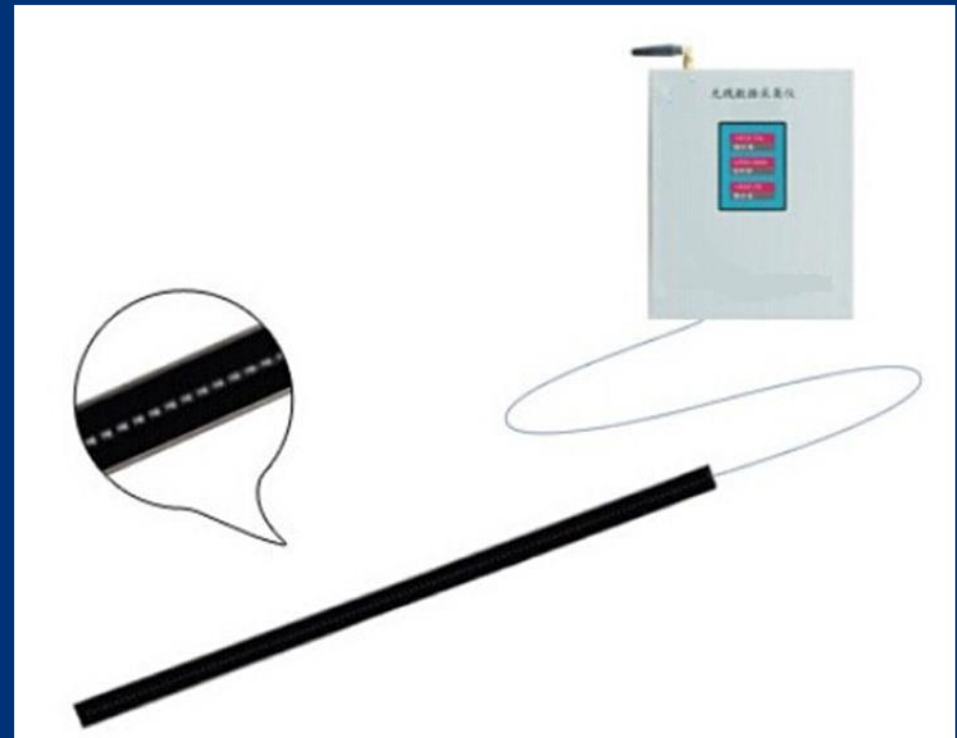
超声波水位计：图解



13.4、电子水尺

- 电子水尺主要可分为触点式、磁致伸缩式和电容式；
- 工作环境温度： $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ；显示记录装置的工作环境相对湿度应不大于95%；
- 测量范围为 $0\sim 0.5\text{m}$ 或 0.5m 的整数倍。分辨率为 1mm 、 5mm 、 1cm 。最大水位变率应满足不低于 $40\text{cm}/\text{min}$ 。最大允许误差应不超过 $\pm 1.0\text{cm}$ ，置信水平应不小于95%；回差应小于最大允许误差；重复性标准差应小于最大允许误差的0.5倍；
- 材料及密封性：电子水尺结构应满足潮湿及水下环境的防护要求，测体一般应采用不吸水且防锈蚀材料制成，使用其他材料时应作表面防锈蚀处理，且整个传感器应良好密封，并可承受额定工作水压力的1.5倍；
- 电源推荐采用直流 12V ，允许偏差 $-10\%\sim 15\%$ ；显示记录装置可采用 220V （ 50Hz ）交流供电，允许偏差 $\pm 10\%$ ；静态值守电流应不大于 3mA ；
- 电子水尺可靠性特征量以平均无故障工作时间（MTBF）表示，即在满足仪器正常维护条件下，电子水尺的平均无故障工作时间应大于 8000h 。

电子水尺：图解



13.5、水表

- 水表主要有旋翼式和螺翼式水表两类；水表分为固定式和移动式两种，移动式水表可用于田间测流；
- 旋翼式水表适用于小口径管道的单向水流总量的计量。如用口径15mm、20mm规格管道的家庭用水量计量。这种水表主要由外壳、叶轮测量机构和减速机构，以及指示表组成，具有结构简单特点。包括不带输出的机械式、带模拟量输出的、带数字输出的。水流带动旋转翼带动齿轮来计数，旋转翼每转一圈输出1个脉冲信号；
- 螺翼式水表适合在大口径管路中使用，其特点是流通能力大、压力损失小。同旋翼式水表一样，螺翼式水表也属于速度式水表的一种。当水流入水表后，沿轴线方向冲击水表螺翼形的叶轮旋转后流出，叶轮的转速与水流速度成正比，经过减速齿轮传动后，在指示装置上显示通过水表的水总量。螺翼式水表分为水平螺翼式水表和垂直螺翼式水表两大类。国内所使用的大部分工业用表都是水平螺翼式水表。

水表

- 水表周围空气温度在 $0\sim 40^{\circ}\text{C}$ 时，水表的工作水温应小于 40°C ，工作压力应小于 980Kpa
- 在渠道或管道上安装固定水表，宜选用湿式水表，并应设表井等保护设施。（干式水表：计数器不浸入水中的水表，结构上传感器与计数器的室腔相隔离，水表表玻璃不受水压，传感器与计数器的传动一般用磁钢传动。）
- 根据管道设计流量、水头损失要求，选择大于或接近额定流量的水表，不宜直接以管道直径大小选定水表的口径；
- 水表的水头损失：最大流量时，水表压力损失不应超过 0.1MPa ，水平螺翼式水表不应超过 0.03MPa 。水表流量与水头损失关系曲线由水表制造厂提供；
- 旋翼式水表前后应有不小于 0.3m 的直管段；螺翼式水表前应有不小于8-10倍公称直径的直管段；
- 水表前应设过滤网。

水表：技术参数

表 F.1 旋翼式水表主要技术参数

公称口径 (mm)	流量参数 (m ³ /h)				灵敏度	示值范围 (m ³)	
	特征流量	最大	额定	最小		最大	最小
15	3	1.5	1	0.045	≤0.017	0.001	10000
20	5	2.5	1.6	0.075	≤0.025	0.001	10000
25	7	3.5	2.2	0.090	≤0.030	0.001	10000
32	10	5.0	3.2	0.120	≤0.040	0.001	10000
40	20	10.0	6.3	0.220	≤0.070	0.01	100000

表 F.3 水平螺翼式水表主要技术参数

公称口径 (mm)	流量参数 (m ³ /h)				示值范围 (m ²)	
	通过能力	最大	额定	最小	最大	最小
80	65	100	60	2	0.01	1000000
100	110	150	100	3	0.01	1000000
150	275	300	200	5	0.01	1000000
200	500	600	400	10	0.01	1000000

注：通过能力为水头损失 1m 时通过水表的水量。

*以上数据仅供参考。

水表：图解

螺翼式水表



旋翼式水表

13.6、电磁流量计

- 电磁流量计由传感器和转换器及流量显示仪表等三部分组成；
- 传感器根据法拉第电磁感应定律制成。在一过水管段外安放一块电磁铁（铁芯），其上绕有导线（绕组）。导线通电时，在铁芯两段产生磁场。当水流（导体）流过该磁场时，切割磁力线，安装在该管段管壁上一个特定位置的电极将产生电动势。其电势大小与水流流过的速度成正比；
- 转换器向传感器提供励磁电流；放大处理传感器的微弱电讯号，实现电磁流量计的诸多功能
- 精度等级：宜选用满量程输出误差小于 $\pm 1.5\% \sim \pm 2.5\%$ 的流量计。
- 前后置直管段长度：前置直管段长度应大于5倍管径，后置直管段长度应大于2倍管径，在此范围内不应安装闸阀。
- 流速、口径：选定的仪表口径可与管径不同。上限流速不超过 5m/s ，下限流速不小于 0.5m/s 。
- 变送器应有耐压密封性能试验报告。

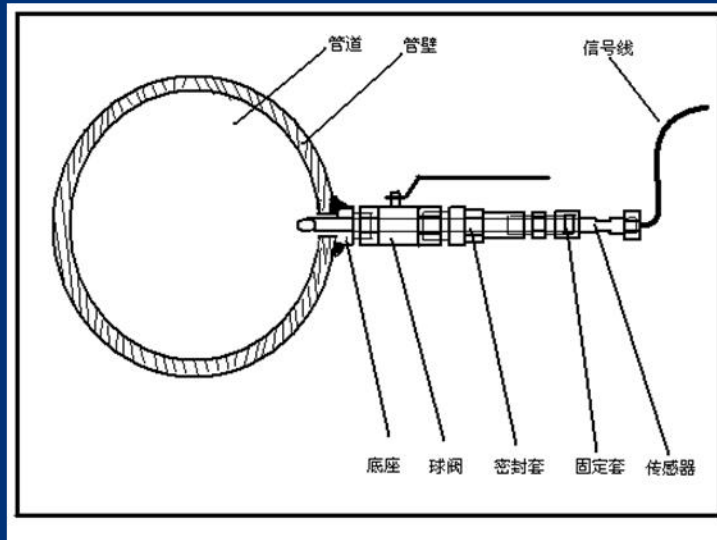
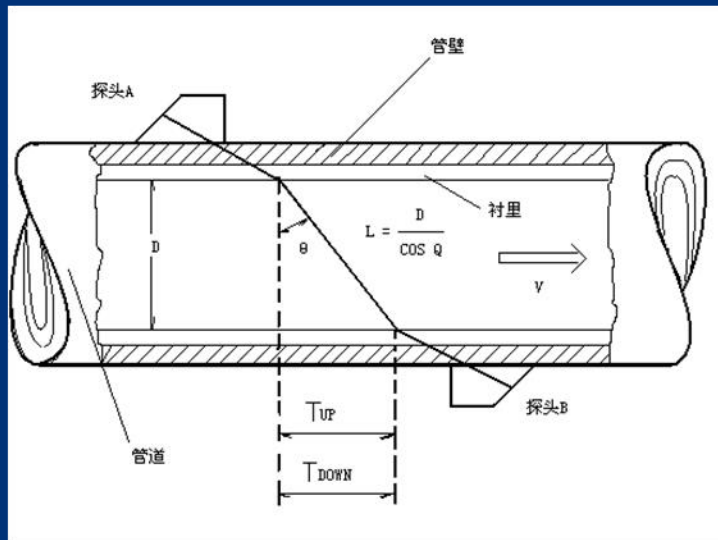
电磁流量计：图解



13.7、超声波流量计

- 超声波流量计是根据超声波在水中传播时，其传播速度 C 、相位 ϕ 和频率 f 与水流流动速度 V 有密切关系而研究制成的时差法、相差法和频移法超声波流量计。超声波流量计由超声波换能器、转换器及流量水量显示三部分构成。
- 根据对信号检测的原理, 超声波流量计可分传播速度差法(包括: 直接时差法、时差法、相位差法、频差法)、波束偏移法、多普勒法、相关法、空间滤波法及噪声法等类型, 其中以噪声法原理及结构最简单, 便于测量和携带, 价格便宜但准确度较低, 适于在流量测量准确度要求不高的场合使用。
- 直接时差法、时差法、频差法和相位差法的基本原理都是通过测量超声波脉冲顺流和逆流传报时速度之差来反映流体的流速的, 故又统称为传播速度差法。其中频差法和时差法克服了声速随流体温度变化带来的误差, 准确度较高, 所以被广泛采用。按照换能器的配置方法不同, 传播速度差又分为: Z法(透过法)、V法(反射法)、X法(交叉法)等。
- 波束偏移法是利用超声波束在流体中的传播方向随流体流速变化而产生偏移来反映流体流速的, 低流速时, 灵敏度很低适用性不大。
- 多普勒法是利用声学多普勒原理, 通过测量不均匀流体中散射体散射的超声波多普勒频移来确定流体流量, 适用于含悬浮颗粒、气泡等流体流量测量。

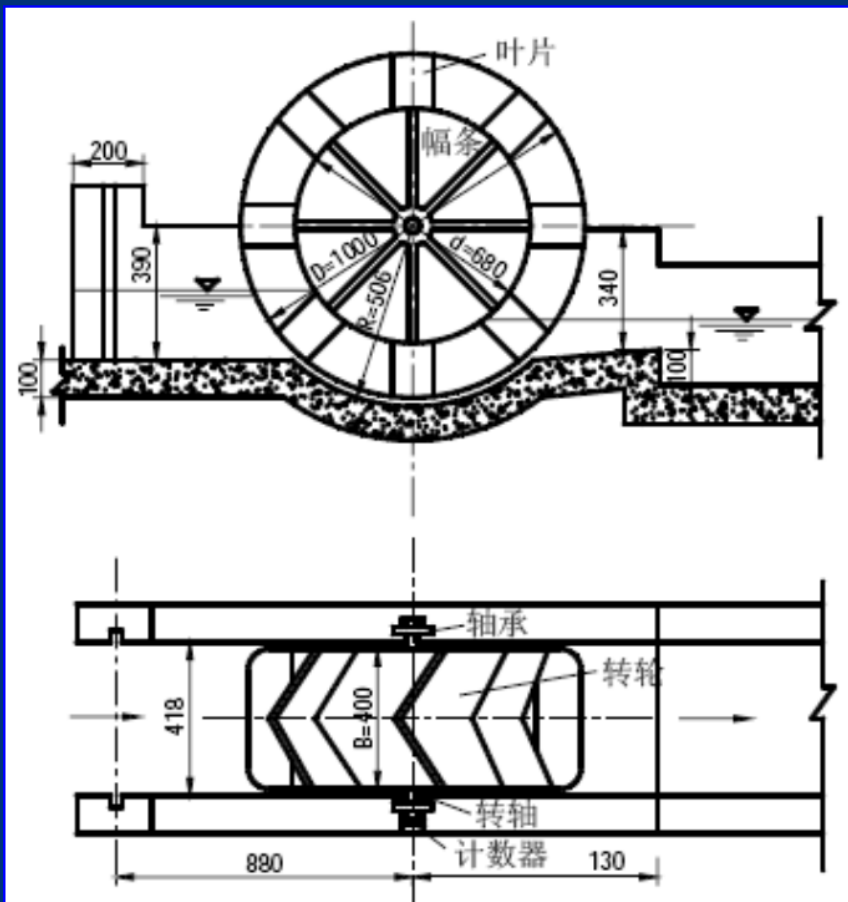
超声波流量计：图解



13.8、转轮式量水计

- 转轮式量水计结构：由转轮、水槽和计数表三部分组成。
- 转轮式量水计是灌区田间量水的关键设备。被用来测量流过某一断面的水量，它通常被特别设计安放在混凝土建筑物；
- 小型转轮式量水计：设计最大可通过流量5ML/D（百万升每天）；大型转轮式量水计：设计最大可通过流量12ML/D。

转轮式量水计：参数



- 水温： $0^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ ；
- 工作环境相对湿度：不大于95%（ 40°C 条件下）；
- 水中无水草和大的漂浮物；
- 不宜在高淹没度的条件下使用；
- 在量测范围内流量误差小于 $\pm 5\%$ 。

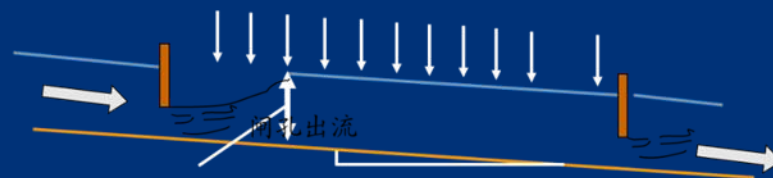
转轮式量水计：图解



13.9、磁浮子水位计

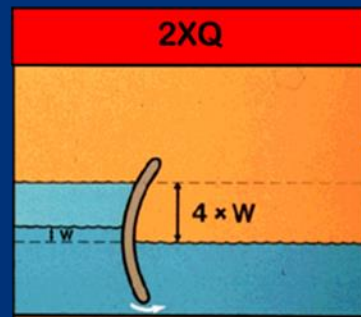


14、堰闸组合模式



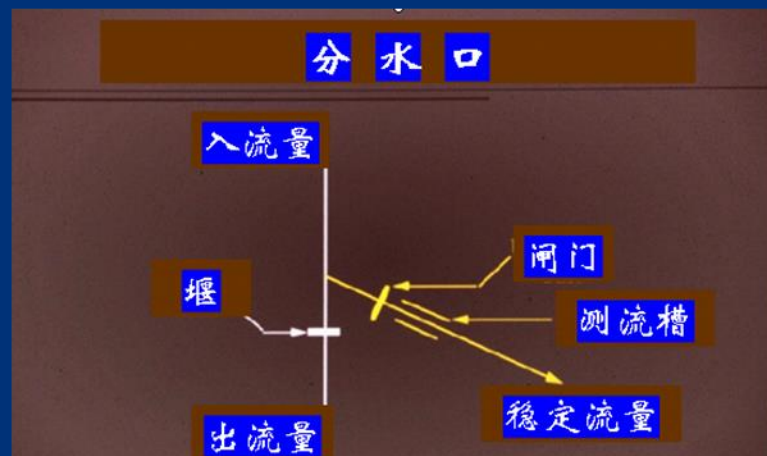
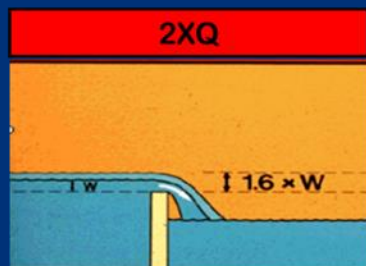
闸孔流公式

$$Q = \mu e b \sqrt{2gH}$$



堰流公式

$$Q = mbH \sqrt{2gH}$$



15、测控一体闸量水

- 国外典型测控一体闸

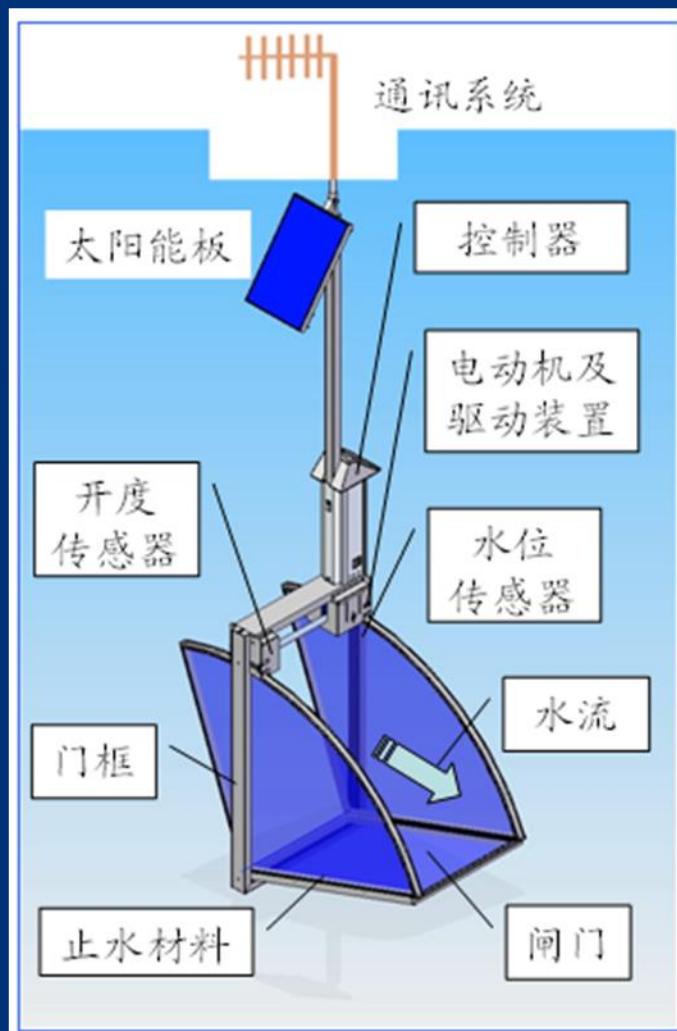
- 堰槽式测控一体闸
- 箱涵式测控一体闸

- 国内典型测控一体闸

- 底升式测控一体闸（研发）
- 活页式测控一体闸（研发）
- 地藏式测控一体闸（研发）

- 国内水量测控集成改造模式

15.1、堰槽式测控一体闸



特点

- 顶面溢流堰，稳定水头
- 测控一体化，节支便捷
- 太阳能驱动，节能环保

15.1、堰槽式测控一体闸



漂浮物怎么办？

淤积怎么办？



15.2、箱涵式测控一体闸

装配结构？



测量原理？

15.3、底升式测控一体化闸



(a) 不挡水状态 (b) 开始挡水状态 (c) 进一步挡水状态 (d) 完全挡水状态

图：底升式测控一体化闸门工作状态

15.4、活页式测控一体闸



(a) 完全关闭状态 (b) 开始溢流状态 (c) 进一步溢流状态 (d) 水平状态

图：活页式测控一体化闸门工作状态

15.5、地藏式弧形闸门



(a) 完全关闭状态



(b) 开始溢流状态



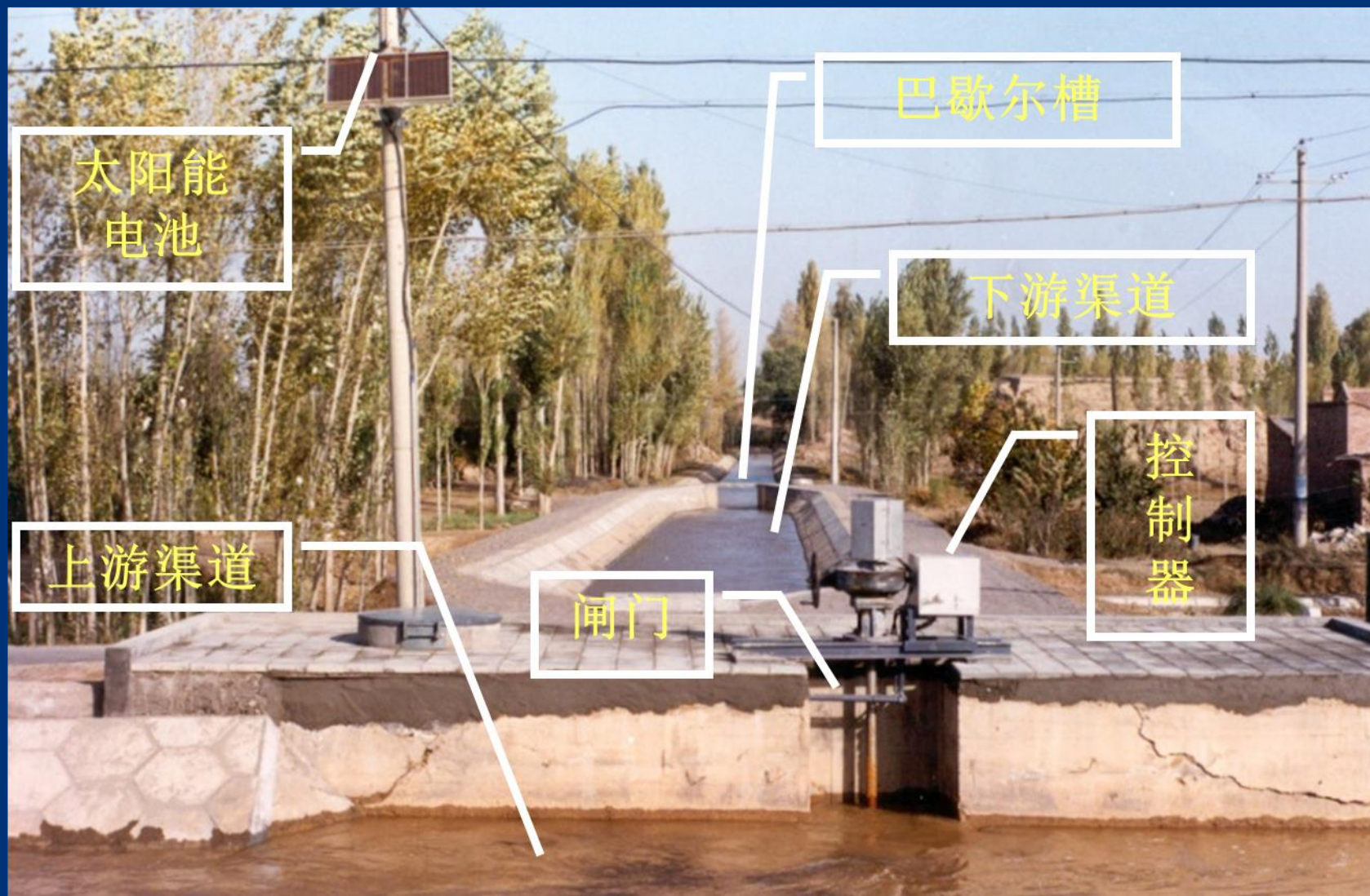
(c) 进一步溢流状态



(d) 完全过流

图：地藏式弧形闸门工作状态

15.6、国内水量测控集成改造模式





请各位专家提出宝贵意见！

谢谢！