

岔管分型及水头损失

水电部成都勘测设计院科学研究所 杨国瑞

岔管是管道系统中一种不可少的部件。岔管分流在理论计算上和实际应用中，都研究得很不充分，存在一些值得探讨的问题。随着工农业的发展及技术理论的提高，许多分流岔管出现了新的结构型式，如内加劲月牙肋，埃舍威斯 (Escher Wyss) 式等 (图 1)。这些型式除要求结构合理、工程经济外，还必须具有良好的水流条件及最小的水头损失。国内外许多单位在这方面进行了大量的工作，这些研究多以模型试验成果为依据并配以原型观测资料。本文将对岔管分型及其水头损失综合加以评述，以供设计岔管时参考选用。



图 1. 内加劲月牙肋岔管示意图
A、B—月牙肋

一、岔管水流及其水头损失系数表达式

岔管分流时，由于分引流量和改变流向，并受到结构几何形状、液体性质、运行条件等影响，其水流运动是极其复杂的。工程实践上选用的岔管，各具有不同的分岔角、不同的主管衔接形式，不同的面积比，分流比等。特别是为了结构需要而在管内设置导流板，月牙肋等，造成各种复杂的水流运动现象。例如埃舍威斯测得在管道进口流速分布虽是标准的，但因在其后两个分岔扩散断面的总流速减小了，从而流速分布也就改变了。流速梯度由陡变缓，而边界层本身则越来越厚。边界层水流在扩散段末端断面所占据的面积百分比，较进口大得多，中心区明显缩小。具有较高能量的中心区，向前运动，迫使具有较低动能的边层水流全部进入侧支管，从而大大减少水头损失。又如我所在对南桧河三级电站的岔管试验中发现，月牙肋两侧的动水压力分布是不均衡的，并随着分流比不同、存在不同的压差。随着不同的月牙肋长度，其压差及水头损失均有变化。由此看来，各型岔管具有其独特的水流流态特征，从而岔管的水头损失各异。因此，选择一个流态好、损失小的岔管，才是试验研究的目的和任务。

岔管的水头损失，研究者仍多以能量方程表述。有的考虑了分流比的影响，有的则加上

摩阻损失等。严格讲能量方程在推导过程中, 要求两过水断面间没有流量输入或输出, 即要求流量沿流程不变。就岔管分流条件而论, 除一支管过水情况外, 其他情况均未能满足上述要求。有的研究者考虑到这一影响, 在计算某一支管时, 加上另一支管的流速水头。即某支管的水头损失, 等于主管总能头减去某支管总能头, 再减去另一支管的流速水头。

为了简化计算并考虑便于对国内外有关资料进行综合比较, 我们以下式分别表达各支岔管水头损失:

$$\text{支管水头损失: } \Delta H_1 = \left(\frac{P_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} \right) \quad \text{※}$$

$$\text{岔管水头损失: } \Delta H_2 = \left(\frac{P_m}{\gamma} + \frac{V_m^2}{2g} \right) - \left(\frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \right)$$

工程实践上, 一般以流速水头的倍数表达这一损失, 据此则得到损失系数表达式:

$$\text{支管水头损失系数: } K_1 = \frac{\Delta H_1}{\frac{V_m^2}{2g}}$$

$$\text{岔管水头损失系数: } K_2 = \frac{\Delta H_2}{\frac{V_m^2}{2g}}$$

二、岔管分型及水头损失系数

由于工程实践要求不同, 因而岔管型式亦多种多样。从水流条件而言, 可分为对称岔管(如Y型)及不对称岔管(如T型)。从结构条件而言, 可分为三梁式、内加劲式等(见图1、2、3)。

(一) 单岔管

1. T型管:

在单岔管中, 人们对T型岔管研究得较早。其中以穆尼克(Munich)技术学校的试验为代表并较为系统。试验比较了分岔角、管径比、分流比、连接形式等对水头损失的影响。兹例举其代表性成果如图4及表1。

穆尼克的试验由于条件限制, 管径较小。对于较大管径的试验成果, 则有美国垦务局

※: 本文中出现的各符号及其脚注含义如下:

1. 符号: P—压力; V—速度; ΔH —水头损失; D—管径;
 θ —分岔角; R—雷诺数; K—水头损失; γ —水容重。
2. 符号右下脚注: m—主管; 1—支管; 2、3…—岔管。

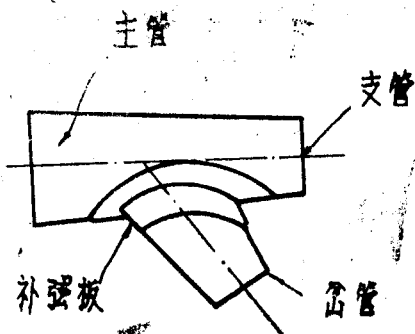


图 2. 卜型岔管示意图

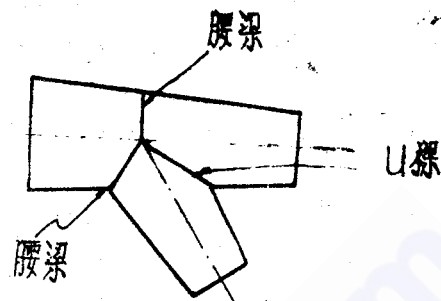


图 3-a. 三棵式岔管示意图

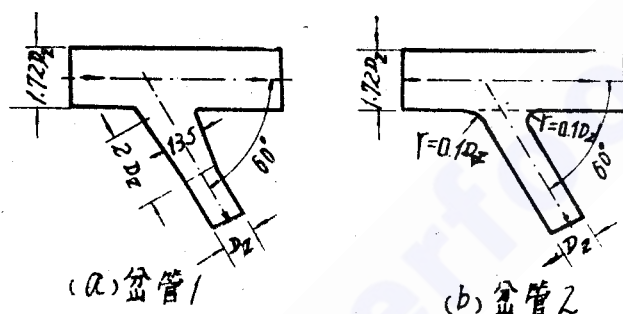


图 3₂ 美国垦务局式岔管

(U、S、B、R) 和路森德 (Lucender) 等, 也一并列入。

从这些成果看, 在流量比相同的条件下, 穆尼克所得损失系数较大; 同时, 损失系数还随着管径比的减小而增大, 尤以主管岔管连接形式 (圆角式或棱角式) 影响更明显。综合比较, 以路森德的形式在流速比较小的情况下, 显得优越。必须强调指出: 路森德试验曾与原型实测资料进行过对比, 两者颇为接近。

2. T 型岔管—即三通管:

这方面的试验及综合成果较为丰富。成果指出在流量相同时, 岔管损失与管径比 ($\frac{D_2}{D_1}$) 成反比。等管径 T 型岔管、水头损失最小。在分流比较小时, 水头损失变化较大。如系多 T 型管, 其两岔管中心距如大于 5 倍管径、即可同样用单 T 型管的成果而不考虑其两管间的影响。比较看出, T 型管以加德尔 (Gardel) 型式较为优越, 其代表性曲线如图 5 及 K 值见表 2。

3. 埃舍威斯岔管:

埃舍威斯是个岔管专业机构, 对各型岔管设计、制造和试验等都进行了大量的研究。这种岔管经历了四个阶段。其最新设计特点为: 第一, 在进口段扩大直径、出口段成为急剧收

表1 各型分流岔管水头损失系数表

序号	作者	岔管分型	D_1 (m.m)	D_2 (m.m)	D_2 D_1	雷诺数 Re	分岔角 θ	水头损失系数		备注
								流速比或流量比	K	
1	Munich	单岔管	43	16.4	0.38	5×10^5	45°	$\frac{V_2}{V_1} = 0.5 \sim 2$	0.61~1.4	
2	"	卜型	43	25	0.58		60°	$\frac{V_2}{V_1} = 0.5 \sim 2$	0.8~1.9	
3	Gardel	"	150	150	1	4×10^5	45°	$\frac{V_2}{V_1} = 0.5 \sim 1$	0.1~0.4	
4	"	"	150	60	0.4		60°	"	0.3~0.6	
5	Boulder	"	254	110	0.43		75°	$\frac{V_2}{V_1} = 0.5 \sim 2$	0.7~0.8	模型试验值
6	Lucender	"	11000	8030	0.73		55°	"	0.3~0.95	原型观测值
7	"	"					45°	"	0.2~0.8	
8	Symala	"	51	25	0.5		45°	$\frac{Q_2}{Q_1} = 0.3 \sim 0.5$	0.47~0.73	
9	Fontcnelle	"			0.5		45°	$\frac{Q_2}{Q_1} = 0.4 \sim 1$	0.2~0.7	

图 5、各种 T 型岔管试验成果图

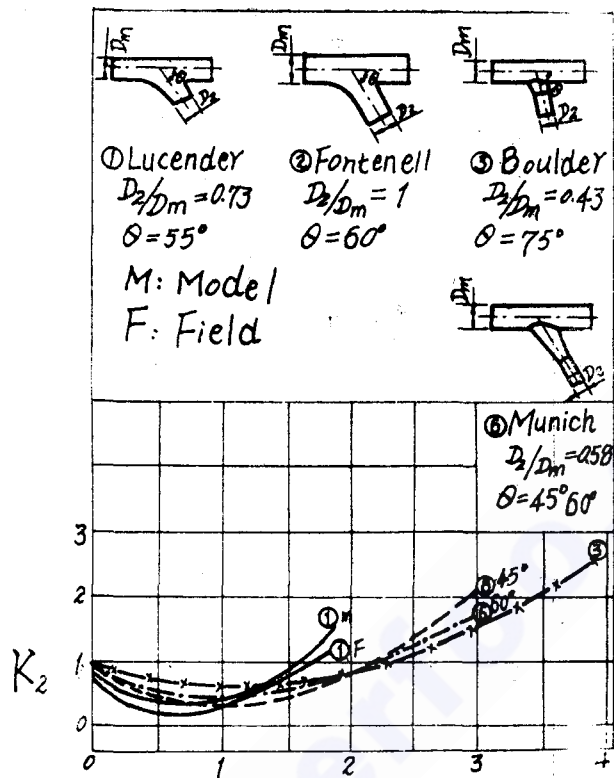
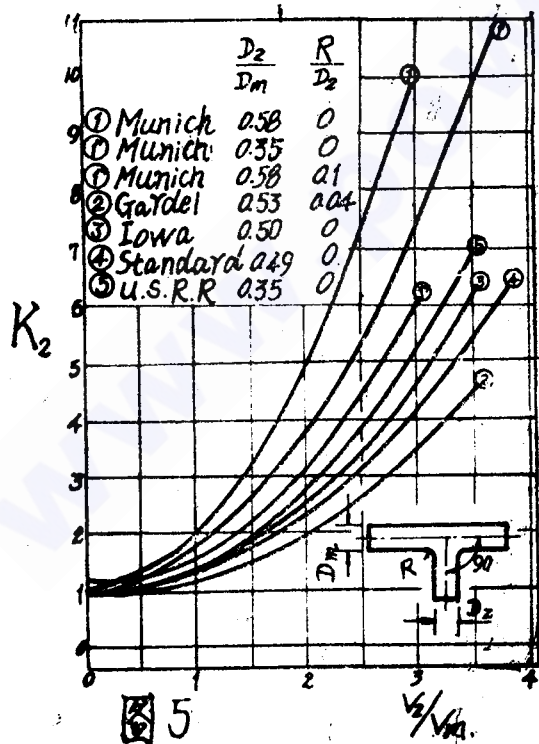


图 4 各种 T 型岔管试验成果图

图 6. 埃舍威斯岔管试验成果图

A—内加肋第一阶段 B—内加肋第二阶段 C—最新设计岔管 D—外加肋岔管 $S_{0.1}$ 、 $S_{0.2}$ —代表不同管径和组数的成果。

加肋岔管 $S_{0.1}$ 、 $S_{0.2}$ —代表不同管径和组数的成果。

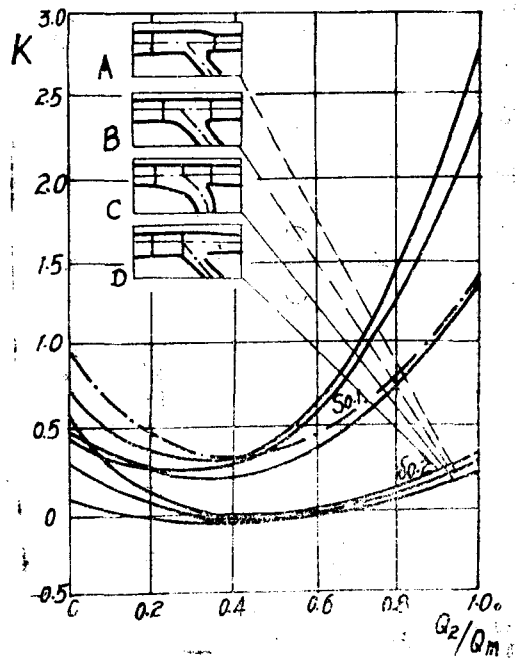


表2. 各种T型岔管水头损失系数表

序号	作者	岔管分型	D_n (m.m)	D_s (m.m)	D_2 D_1	雷诺数 Re	分岔角 θ	水头损失系数		备注
								流速比或流量比	K	
1	Munich	T型管	43	25	0.58	5×10^5	90°	$\frac{V_3}{V_n} = 0.5 \sim 2$	1.2~5.0	连接处 $d_2 = 0$
2	"	"	43	16.4	0.38		90°	"	1.1~3.8	"
3	"	"	"	25	0.58		90°	"	1.1~3.1	$R_{d_2} = 0.1$
4	Gardel	"	150		0.53	4×10^5	90°	"	1.01~2.0	$R_{d_2} = 0.04$
5	Iowa	"	51		0.50		90°	"	1.1~2.6	$R = 0$
6	Standard	"	32		0.49		90°	"	1.05~1.9	$R = 0$
7	美垦务局	"			0.33			"	1.1~2.8	$R = 0$

表3. 埃舍威斯岔管水头损失系数表

序 号	作 者	岔管分型模型比尺	D (m.m)	D ₃ (m.m)	$\frac{D_2}{D}$	雷诺数 Re	分岔角 θ	水头损失系数		备 注
								流速比或流量比	K	
1	E.W				0.54		43°	$\frac{V_2}{V} = 0.5 \sim 2$	0.2~0.3	
2	"				"		48°	"	0.4~0.5	
3	Richer						45°	$\frac{Q_2}{Q} = 0 \sim 1$	0.03~0.59	
4	华东水院	1:53 1:32	150	61.5			55° 120°	"	0.23~0.44	
5	成勘院科研所	1:10	350	200	0.71	7×10^5	50°	"	0.2~0.72	
6	"	半							0.28~1.0	
7	"	无							0.23~0.92	

缩的锥形管，以减小内加肋。在不降低刚度条件下，使内加肋突入岔管较少；第二、仔细地避免一些经常引起边界层分离和增加水头损失的形状突变；第三、降低岔管流速。通过试验，完全证明这种设计是满意的，其成果见图 6 及表 3。然而由于加工制作等原因，该形式我国尚少采用。

4. 三梁式岔管：

华东水利学院结合湖南镇电站的岔管选型，进行了多组方案的模型试验。重点对三不等锥、两不等锥各个角度以及 U 梁插入与否进行比较试验，研究所得岔管的损失系数见表 4。

表 4. 湖南镇电站各型岔管水头损失系数表

类 别	三 梁 式		U 梁不插入		U 梁 插 入		
	1 型	2 型	3 型	4 型	5 型	6 型	7 型
K_a	0.44	0.31	0.28	0.23	0.42	0.39	0.35

K_a 系各种水流条件下所得损失系数的平均值。试验指出：4 型及 7 型较好。加拉杆的 5 型水头损失最大。

5. 内加筋月牙肋岔管：

这种岔管是由外加筋到内加筋梁而进一步发展起来的。近年来，国内已有南桠河等六个电站采用了这种形式。由于月牙肋内插，势必影响流态，它的损失如何？两侧动水压力如何分布等问题，是设计部门很关心的。为此，我所结合南桠河三级电站（三台机组），进行了规模较大的模型试验。比尺 $1:10$ ， $R_c = 7 \times 10^5$ ，主管长径比 $\frac{L_m}{D_m} = 40$ ，岔管长径比 $\frac{L_2}{D_2} = 20$ ，分岔角 $\theta = 50^\circ$ 。

对于岔管损失系数，着重研究了月牙肋插入尺寸对水流及水头损失的影响。试验对比了全月牙肋（原设计）、1/3、1/2、2/3 月牙肋和无月牙肋五种情况的多种组合试验，其损失系数成果如表 5。

从表 5 中看出：在单管过流时（即一台发电，下同）损失系数随插入深度（即月牙肋长度）变化；而在两管或三管过流时，几乎反映不出这种影响。

为说明成果，对比了国外一些水头损失系数资料如表 6。

对比说明：我所进行的岔管试验，其成果一般能反映实际情况，和国外资料比较，尚称合理（参见表 3）。

（二）双岔管

这类岔管的基本特征，是在主管末端分为两个对称支管。两支管过水面积之和，一般等

表 5.

南桧河三级电站岔管水头损失系数表

编号	型 式	三 种 运 行 条 件 下 的 K 值		
		一台发电	二台发电	三台发电
1	全月牙肋	1.18	0.46	0.47
2	$\frac{2}{3}$ 月牙肋	0.94	0.35	0.54
3	$\frac{1}{2}$ 月牙肋	0.84	0.35	0.54
4	$\frac{1}{3}$ 月牙肋	0.73	0.36	0.52
5	无月牙肋	0.71	0.32	0.54

表 6.

国内外一些试验水头损失系数对比表

岔 管 型 式	三管过流	两管过流	一管过流	备 注
美垦务局 I 型	0.57	1.69	2.76	
II 型	1.23	2.99	4.90	
E.W	0.22	1.27	2.06	方案 3
	0.449	0.293	0.367※	
成勘院科研所	0.472	0.467	1.18	

※：以支管速度头比较

于主管面积之和。主管、支管常用锥管衔接。因工程要求不同又可分为若干类型。

1. Y型及叉型岔管：

伦斯 (Runs) 在哥伦比亚大学对该型岔管进行了五种形式五百多组试验。目的在于确定分岔角、拉杆、渐变段长度等参数的影响。因成果丰富，兹选代表曲线如图 7，并把各家资料列入表 7。

伦斯得出以下结论：

在对称水流（双管过水）情况下（即 $\frac{Q_2}{Q_m} = 0.5$ ），水头损失随分岔角减小而减小。在分岔角不大于 60° 的情况下，水头损失小于主管流速水头 10%，即 $K < 0.1$ 。

在不对称条件下（单管过水）即 $\frac{Q_1}{Q_m} = 1$ ，无论 Y 岔或叉岔，其水头损失系数 $K = 0.54$ ，与

表7. 各种Y型及叉型岔管水头损失系数表

序号	作者	岔管分型模型比尺	D (m.m)	D ₂ (m.m)	D ₂ D	雷诺数 Re	分岔角 θ	水头损失系数		备注
								流速比或流量比	K	
1	Kyung	Y型	133	73	0.71		60°	$\frac{V_2}{V_1} = 0.5 \sim 2$	0.05~0.5	
2	Runs	"	133	95	0.54		60°	$Q_2 = 0 \sim 1$	0.04~0.35	
3	Runs	"	133	95	0.54		45°	"	0.02~0.45	
4	Cansey	"	120	90	0.75		60°	"	0.4~1.4	
5	"	叉型	133	73	0.71		60°	"	0.05~0.3	
6	"	"	133	73	0.71		45°	"	0.01~0.45	
7	美垦务局	"		123			60°		0.2~0.75	
8	Salvesen	"	278	180	0.65			$\frac{V_2}{V_1} = 0.1 \sim 0.5$	0.1~0.5	

马里费尔特 (Marefite) 的结果接近。

拉杆增大了水头损失。损失增大与拉杆断面直径成正比。当单管过流、分流比大于 0.4 时, 损失急剧增加。

主管圆锥角的变化, 对水头损失而言相对影响很小。

综合各家资料看出, 在分岔角 $\theta \approx 60^\circ$, $\frac{D_2}{D_m} \approx 0.7$ 的条件下, 萨尔维森 (Salvesen)、伦斯型水头损失最小, 康锡 (Consey) 最大 [见文献 2]。

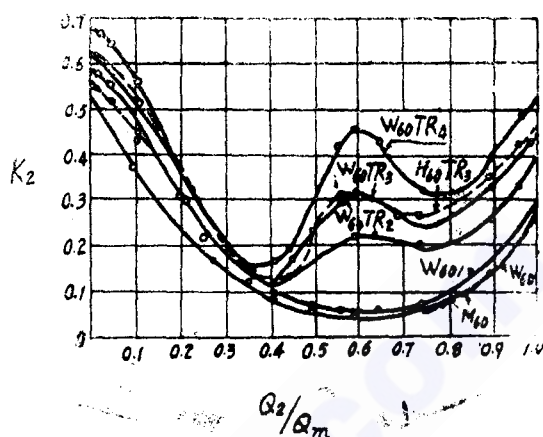


图 7. 伦斯 Y 型岔管试验成果图

图中: $W_{60}, 80, 100$ 表示不同管径;

$TR_{2,3,4}$ 表示不同拉杆。

(三) 球形岔管

球形岔管具有结构受力条件好, 节省材料, 布置灵活等特点。其形体由球壳、补强环、主管等组成。导流板由构造要求决定, 其形状以改善水流、减少损失为原则。1971 年我省磨房沟电站采用了 $D_m = 1390$ 毫米、 $D_2 = 1000$ 毫米、 $\theta = 90^\circ$ 的球型岔管并运行投产。

昆明勘测设计院科研所及伦期等对下列球岔进行了研究并得出成果见图 8、9 及表 8。其补充说明见表 9。

表 8.

国内外球形岔管试验补充说明表

作 者	型 号	补 充 说 明
昆明勘测设计院科研所	原 I	
	修 II	中采顶加长导流数
	修 III	中采顶加短导流数
	修 IV	小采顶加短导流数
	修 V	大采顶加短导流数
伦	WSS	球体 Y 型岔管小球平接
	WSR	球体 Y 型岔管小球圆接
	WLR	球体 Y 型岔管大球平接
斯	WLS	球体 Y 型岔管大球圆接
	MSS	球体 Y 型岔管小球平接 (代 45° 弯)

图 8. 球形岔管示意图

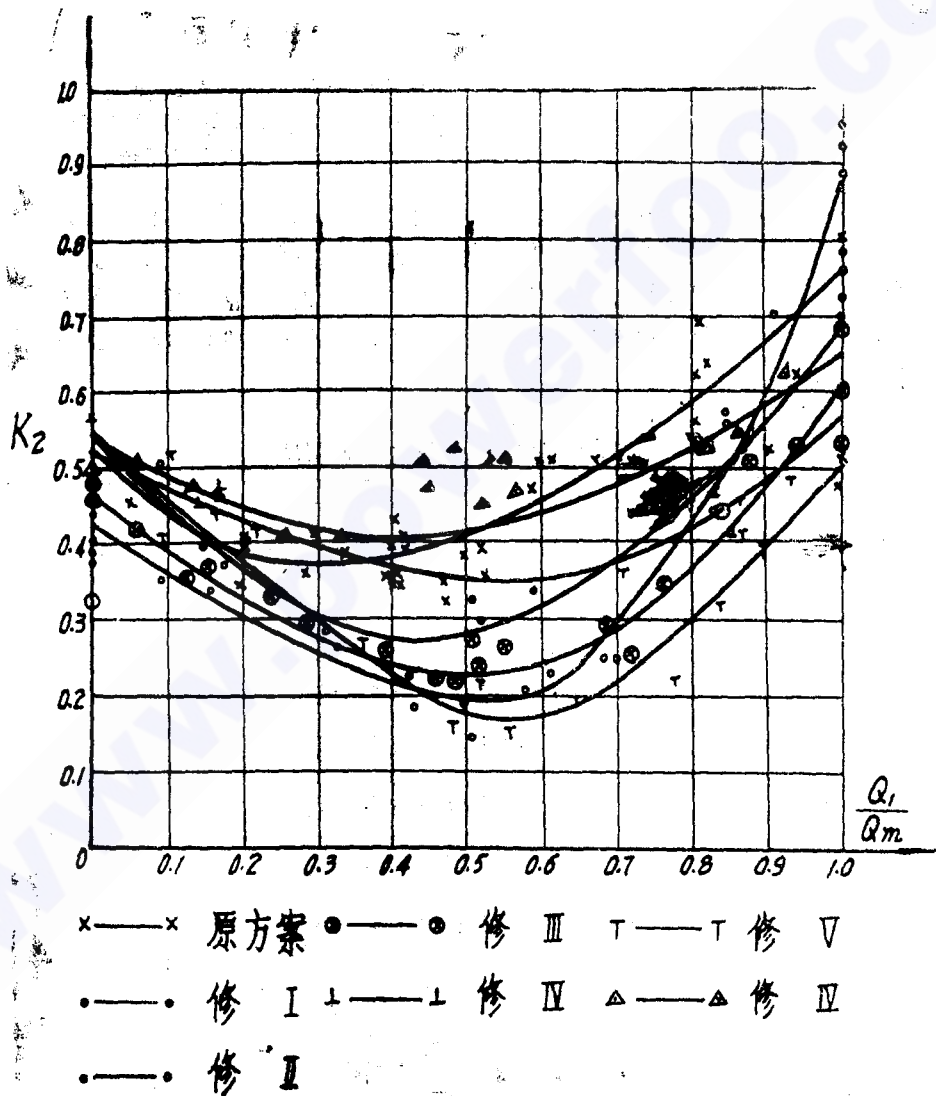
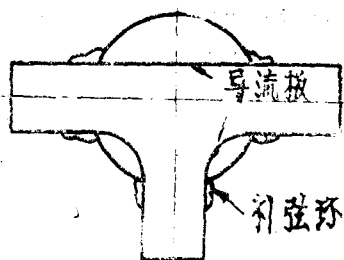


图 9. 昆勘测设计院科研所球形岔管试验成果图

表9. 国内外球型岔管水头损失系数表

序号	作者	岔管分型	模型比尺	D (m.m)	D ₂ (m.m)	$\frac{D_2}{D_1}$	分岔角 θ	水头损失系数	
								流速比或流量比	K
1	伦斯	球岔WSR		133		0.54		$Q_2 = 1 \sim 0.3 \sim 0.5$	0.51~0.2~0.44
2	"	WSS						"	0.52~0.27~0.81
3	"	MSS						"	0.57~0.31~0.80
4	"	WLR						"	0.54~0.4~0.92
5	"	WLS						"	0.54~0.47~1.2
6	昆明院科研所	原 I	1:22	152	109	0.71		"	0.55~0.42~0.75
7	"	修 II						"	0.42~0.2~0.89
8	"	修 III						"	0.46~0.22~0.6
9	"	修 VI						"	0.45~0.3~0.7
10	"	修 V					60°	"	0.5~0.2~0.5
11	萨尔维森	WLR							0.4~1
12	"	10°锥 W—Y							0.1~3

综上所述，伦斯试验，以WSR型损失最小，WSS次之，WLS最大，即小球圆接好，大球圆接差。昆明勘测设计院科研所以修V最好，修Ⅲ次之，即以大吊顶短导流板较好。以伦斯和昆明勘测设计院最好形式（即WSR和修V）比较在各分流比时，两者损失值相差很微。

（四）三岔管

为减少水头损失、经济方便，工程上常采用三岔管，即在主管某处集中分为三个支管。按其结构形式，又可分为：

1. 三瓣岔管：

即将主管按幅射分为三瓣，每瓣中心放一支管。支管断面在一定距离内变为圆形（见图10—a、b和表10），其渐变距约与主管直径相等。一般分水角最大为 15° 。拉姆甘加〔印度，1河名〕（Ramganga）工程导流洞选用过这种型式并推行了试验。

三瓣式岔管不需要拉杆或折射器，避免了结构振动和引起的附加损失。Ⅱ型三管过流时较其他试验的损失要小，而一管过流时要差。

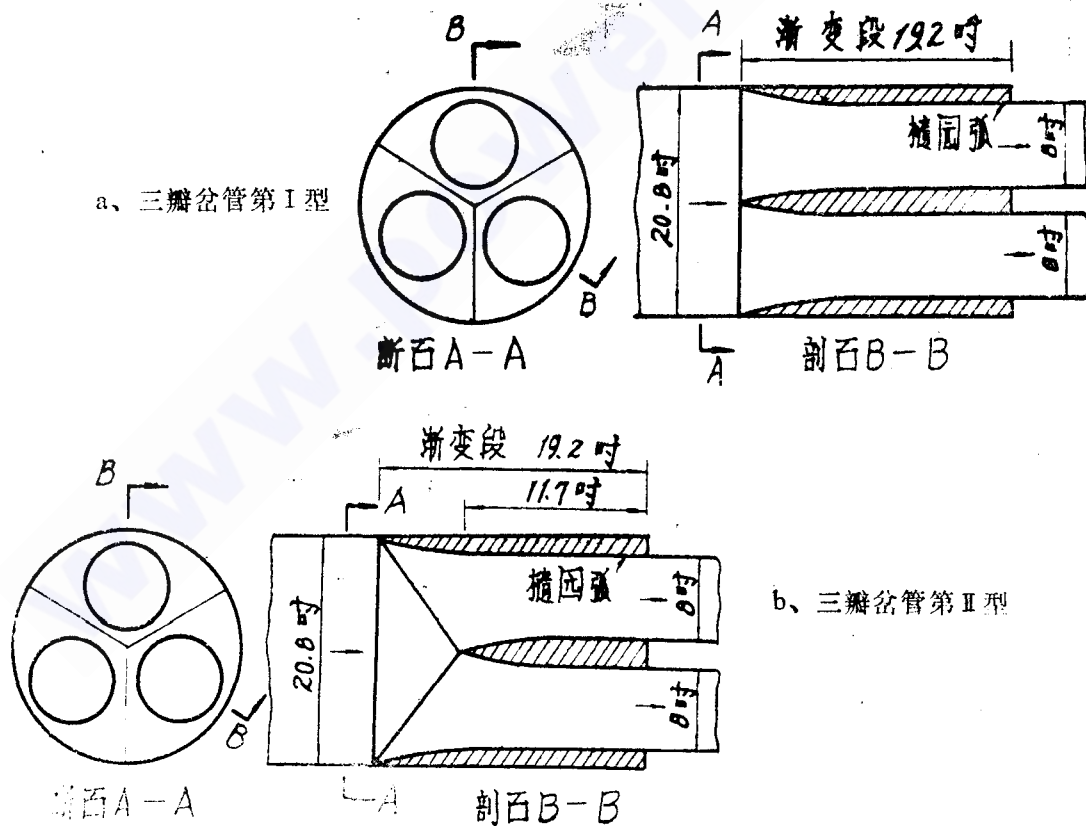


图10、三瓣岔管示意图

表10.

三瓣岔管水头损失系数表

型 式	水 头 损 失 系 数 K		
	三管过流	二管过流	单管过流
I	1.14	2.7	13.7
II	0.96	2.8	9.2

2. 连杆三岔管:

连杆三岔管的三只岔管断面面积相加, 近于主管面积。这型岔管为朗德·布提 (Round Butte) 电站设计所用, 并在阿尔布鲁克〔巴拿马〕(Albrook) 水工试验室进行研究, 图11、12即系其成果之一。

试验指出: 单管过流时, 左、中、右管损失各异, 并随流量变化。其他情况如中管关闭或三管过流, 其损失亦有不同。

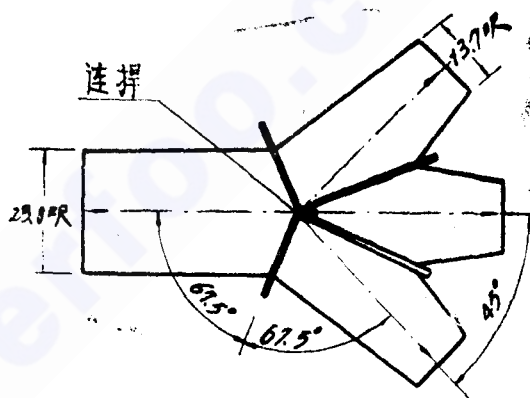


图11. 连杆三岔管示意图

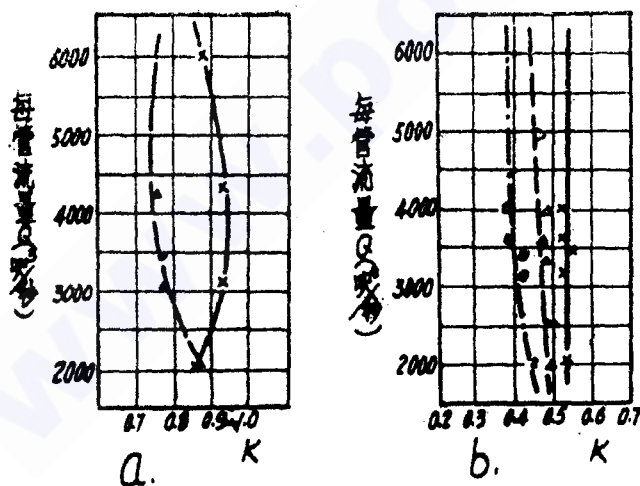


图12. 连杆三岔管试验成果图

a、中心管关、其余两管流量相等。

b、三管流量相等。

图中: $K = \frac{H_1}{H_m}$

△ — 左
○ — 中
× — 右

(五) 多岔管

在主管一端分为各条支管，即成为岔管。其损失系数以下式表示：

$$K_{\text{总}} = \sum_{b=2}^n \frac{Q_b}{Q_m} \sin^2 \alpha + K_{\text{进}}$$

式中：\$K_{\text{总}}\$—总水头损失系数；\$K_{\text{进}}\$—进口损失系数。

B. C. RAO试验成果如表11。

表11. B. C. RAO多岔管试验水头损失系数表

连接型式		$\frac{Q_b}{Q_m} \sin^2 \alpha$	$K_{\text{总}}$	$K_{\text{进}}$
D ₁ = D ₂ = D ₃ = 2呎	D ₃ (呎) α°			
	2 45	0.35	0.47	0.12
		0.50	0.67	0.17
	1 ½ 45	0.35	0.45	0.10
		0.50	0.64	0.14
	1 45	0.35	0.52	0.17
		0.50	0.73	0.23
	2 60	0.35	0.42	0.07
		0.50	0.61	0.11
	1 ½ 60	0.35	0.37	0.02
		0.50	0.54	0.07
	1 60	0.35	0.42	0.12
		0.50	0.62	0.07

如 无 试 验 资 料 时，进口损失系数一般可选为 \$K_{\text{进}} = 0.05\$；对 \$\theta\$ 为 \$30^\circ\$、\$60^\circ\$、\$90^\circ\$ 时，\$K_{\text{总}}\$ 值可用 0.29，0.77，及 1.01。

三、结束语

各型岔管各有其特点及优越性。国内外试验成果较多，文中仅列举代表性曲线及数据，可详参考文献。

藉助模型试验所得水头损失系数，可供设计参考选用。部分原型资料表明，试验所得数值偏大，由于岔管水流现象复杂，仍须进一步试验研究。

参考资料

1. 水电部第十二水电工程局：水电站高压钢管设计研究述评。水电部规划院编：《技术参考资料》，1977年第6期。
2. T. Y. Williamson, T. J. Rhone: Dividing Flow in Branches & Wyes. A. S. C. E. Hydra. Div. 1973年5月 P. 147.
3. Y. T. I: Head Loss in T-junction & Manifolds. Water Power. 1973, No. 7 P. 266.
4. Christ: Head Loss in Branch of Escher Wyes. Escher Wyes News. 1966, No. 2
5. 华东水利学院：湖南镇电站压力水管水力模型试验报告。1977年 7月。
6. 水电部成都勘测设计院科学研究所：南桡河三级电站内加劲月牙肋岔管模型试验报告。1978年。
7. 昆明勘测设计院科学研究所：西洱河二级电站无梁岔管模型试验报告。1977年。
8. Eugen. Runs: Head Loss in Wyes & Monifold. A.S.C.E. Hydra. Div. 1970年3月
9. V. R. Polepu: Hydroulic Performance of Penstock Trifurcation. A. S. C. E. Hydra. Div. 1976
10. 水电部科研所：管道论文译丛 1975年。

《拱坝技术》简介

该刊是水利水电拱坝技术情况网的网刊。每年出版二期(77年创刊、同年出版了三期)，由当年网长碰头会决定各期负责编辑、出版的单位。1982年第一期由水电部成都勘测设计院编辑、出版和发行，主要内容有：用几何(作图)法分析拱坝坝肩稳定性、二滩电站枢纽布置方案、二滩拱坝基础变形计算、二滩拱坝坝肩稳分析、二滩施工导流研究、凤滩拱坝泄洪消试能验总结和泉水双曲薄拱坝结构缝灌浆及工作状态等。凡需要者、可与该院情报科联系。