

农村小型水电站讲义

上 卷

第二分册

水利部北京勘测设计院水电组编



水利电力出版社

农村小型水电站讲义

上 卷

第二分册

水利部北京勘测设计院水电组编

水利电力出版社

內 容 提 要

本講義是为适应日益开展的农村水电建設而編制的。

本講義原拟分上、中、下三卷出版，現經研究后，認為改分上、下兩卷出版为宜，上卷为水工部分，下卷为电气部分和机械部分。

上卷共 13 章，分为兩個分册出版，第一章至第五章为第一分册，第六章至第十三章为第二分册。

第二分册的主要內容是：对压力水管的設計作了詳細的討論，并分別介紹了鋼管、木管及鋼筋混凝土管的計算方法，討論了厂房的型式、布置及其基本構件的設計方法，此外，还闡述了农村水电站修建前的勘测和調查工作中的一些基本問題，并介紹了一些簡單可行的方法。

讀者对象为：各省所办农村水电站訓練班的學員，中等水利学校非水能利用專業畢業的学生或与此程度相当的人員。

农村小型水电站講義

上 卷 （第二分册）

水利部北京勘测設計院水电組編

*

1089\$274

水利电力出版社出版(北京西郊科学路二里書)

北京市書刊出版業營業許可証出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印 新华書店發行

*

787×1092 $\frac{1}{2}$ 开本 * 9 $\frac{1}{2}$ 印張 * 185千字 * 定价(第9类) 1.00元

1958年7月北京第1版

1958年7月北京第1次印刷(0001—15,100册)

目 录

第六章 压力水管总論	3
§38. 压力水管的功用及其类型	3
§39. 压力水管的数目及布置方式	4
§40. 压力水管中的水头損失	8
§41. 压力水管中的水錘現象及水錘压力的計算方法	15
§42. 机組轉速的变化及飛輪力矩的計算	34
§43. 压力水管直径的选择	45
第七章 压力鋼管設計	47
§44. 压力鋼管的构造	47
§45. 作用于露天鋼管上的力	52
§46. 管壁中的应力	59
§47. 水管稳定性的計算	63
§48. 鎮墩及中間支墩	64
§49. 对鋼管結構上的要求	70
§50. 計算举例	73
第八章 木質压力水管設計	77
§51. 木質压力水管的构造及材料	77
§52. 木管的强度計算	81
§53. 木管的支座	86
§54. 构造上的要求	88
§55. 木管的拼装	89
第九章 鋼筋混凝土管設計	90
§56. 鋼筋混凝土管的构造	90
§57. 作用于水管上的力	94
§58. 管壁中的內力	101
§59. 管壁厚度及鋼筋数量的选择	108
第十章 水电站的厂房	109
§60. 水电站厂房的功用及其类型	109

§61. 厂房的布置	118
§62. 厂房结构的强度计算	145
§63. 厂房稳定性的计算	170
第十一章 查勘的任务和目的	183
§64. 概說	183
§65. 选择水能开发方式及电站布置方案的几个原则	184
§66. 地形测量	187
§67. 水文气象调查及水文勘测	188
§68. 地质工作	192
§69. 灌溉用水及其他用水调查	199
§70. 用电量及动能经济调查	200
§71. 输电线路查勘	202
§72. 旧有水工建筑物调查	204
§73. 工程材料、劳动力及交通运输的调查	205
第十二章 查勘前的准备工作	205
§74. 概說	205
§75. 资料的搜集及研究, 查勘提纲的拟定	206
第十三章 勘测的具体方法	208
§76. 概說	208
§77. 地形及断面测量工作	208
§78. 水文勘测	214
§79. 地质勘测	221

第六章 压力水管总論

§38. 压力水管的功用及其类型

在农村水电站里，当水头超过 6 公尺时，就常常有必要采用压力水管。压力水管也叫水輪机輸水管，用以将水自水庫、压力前池或調压塔引至厂房內的水輪机，並將流量在机組間进行分配。由于压力水管系設于坡度較大的斜坡上，故其所承受的水头(尤其是它的下端)是很大的，尤其是在水电站負荷突然減少之际，因发生所謂正水錘而引起的压力升高常常是很可觀的。因此，在設計和敷設压力水管时必须特別小心，如果管壁破裂就会带来严重的后果：水电站厂房及其中所安設的设备都有可能被急泻的水流冲毀，运轉人員亦有生命危險。法国就有过这种不幸的例子。

压力水管按材料来分有鋼管、木管、鋼筋混凝土管三种主要型式，在农村小型水电站里还有采用鑄铁管者。鋼管系用鋼板焊接或鉚接而成，由于其具有很高的强度，故可用于任何水头之下。除此以外，鋼管还有經久耐用、不易漏水等优点。木管系用木板拼合而成，外边用圓鋼作成的管箍拉紧，这就好像制造木水桶一样。木管的这种构造，限制了它所适用的水头范围，而且直徑愈大，适用的水头愈低。根据各国的經驗，当直徑为 0.5 公尺时，适于采用木管的极限水头約 200 公尺；当直徑为 1 公尺时，此极限水头就降低到了 140 公尺；而当直徑为 2 公尺时，木管就只能用于 80 公尺以下的水头了。木管的主要优点是造价比鋼管要便宜很多，构造簡單，拼装时不需要复杂的设备，运输木板及管箍都比較方便，这些对于盛产木材而交通不便的山区尤其显得突出。木管管壁的传热性很低，故比鋼管不易冻结；同时木料的彈性模量及溫度膨胀系数都很小，所以也就沒有必要在木管上設置伸縮接头。除此以外，木管还有一个优点，就是它的糙率較低，因而摩擦損失就比其他种水管要小。木管的缺点是使用年限較鋼管为短(如木料質量好而且养护得法，亦能使用 20 年以上)，漏水的可能性

較大，維護費用較多。总的說來，在目前我国鋼板材料缺乏的条件下，当进行压力水管型式的选择时，木管是值得优先考虑的。河北省房山县高庄水电站、福建省古田县曹洋溪水电站以及其他一些小型水电站都采用了木質压力水管。

鋼筋混凝土管适用于30公尺以下的水头，但在少数情况下也有用到50公尺水头者。上面所講的鋼管和木管多系露天設置，而鋼筋混凝土管則多半埋設于地下或在其上填土，这是因为鋼筋混凝土管管壁很厚，具有很大的刚性，不必采取其它措施来加强就可承受一定的外部压力；而埋設于地下或在其上填土以后，就可防止結冰和減少溫度应力。鋼筋混凝土管的缺点是太重，消除軸向溫度应力的伸縮設備很复杂，水头較高时不透水性較差。由于压力水管通常系設置于陡坡上，故水管很大的重量和很大的軸向溫度力都要求加重鎮墩(固定台)。鋼筋混凝土管可先在工厂制成管段然后运至現場敷設，或者直接在現場澆灌。福建省永春县古浪水电站的压力水管即为鋼筋混凝土管；广东省不久前也建造了几座采用鋼筋混凝土压力水管的水电站，其水头接近40公尺。

鑄鐵管系用工厂制就的現成管段在現場拼接而成。管段的尺寸工厂有一定的規格。鑄鐵管的优点是施工簡單。缺点是管壁厚，重量大，接头容易漏水，运输較不便利，伸縮設備也很复杂。福建省順昌水电站、貴州省修文水电站、四川省北碚水电站等都采用了鑄鐵管作为压力水管。

为了節約鋼材，有的地方对小型水电站还拟采用竹筋混凝土管和竹制压力水管，但現在还缺乏这种水管的使用經驗。福建省閩清县金沙水电站用废汽油桶焊接而成压力水管，可作为一个利用废物的例子。

§39. 压力水管的数目及布置方式

压力水管的数目与水电站的引用流量及机組数目有关，同时也是个經濟比較問題。在实际工程中，水輪机的供水可以有三种方式：

- 1) 每一台水輪机有自己单独的压力水管(图6-13)；

6-16) 所有的水轮机用一根总的压力水管供水，至厂房前再分岔 (图 6-16)；

3) 每两台水轮机共一压力水管 (图 6-16)。

在后两种情况下，水管的末端需要设一成型部件 (即分叉管)，以便将水分配至每一台水轮机。

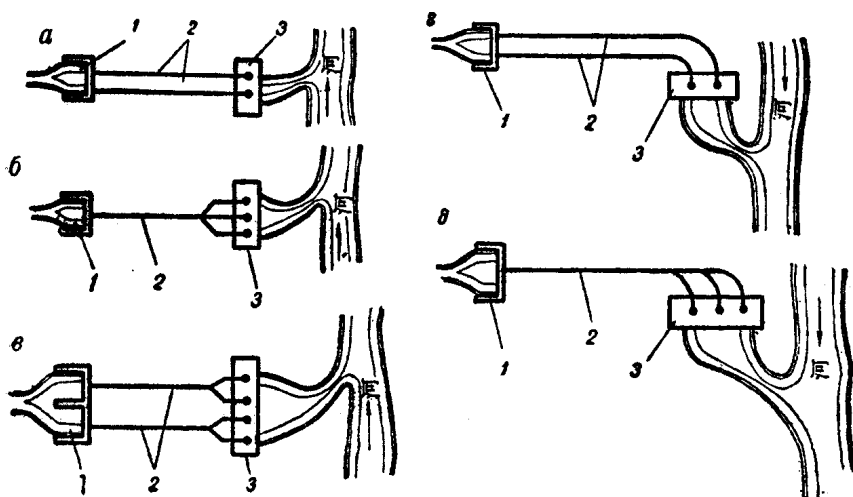


图 6-1 压力水管的布置方式
1—压力前池；2—压力水管；3—厂房。

第一种供水方式叫单独供水；第二种供水方式叫联合供水，第三种供水方式叫分组供水。在农村小型水电站里，机组数目一般都不超过两台，分组供水的方式很少采用。

单独供水的方式，不但构造简单，而且运用方便。当一根水管因损坏而需修理时，不至使整个水电站都停止工作；不需要复杂的成型部件，设计及施工工作都比较简单；水管的直径比较小，因为通过它的流量只是一台水轮机的引用流量。

分组供水和联合供水在运转上的可靠性都比较低。当一根水管损坏时，在分组供水的情况下，需要有两个机组停止运转，而在联合供水的情况下，水电站的所有机组都要停止运转。这在没有水库调节的条件下，还会造成很大的电能损失。为了使每一水轮机能单独停事檢

修起見，在水輪機之前、分叉管以後必須設置閘門，而閘門的價格一般是比較昂貴的。然而，當水電站機組數目在兩台以上時，單獨供水並不經常是經濟的；水管數目多了以後，鎮墩、支墩變得複雜了，水管沿綫的開挖清理工作加多了，在明流引水的情況下，壓力前池的構造也因水管數目多而變得複雜了，製造幾根小直徑水管所需的勞動力也可能比一根大直徑水管要多一些。由此看來，單獨供水以用於只有兩個機組的水電站較為合適。在有三個或四個機組的水電站里，只有當壓力水管很短時才建議採用單獨供水，在其他情況下都可考慮分組供水或聯合供水。以上只是一般性的評論，最後選擇供水方式時，應以技術經濟比較為依據，對各方案的年運轉費、電能損失及運轉中的可靠性加以全面的論證。但必須注意，水輪機的供水方式不同，不但水管本身的造價不同，而且與水管有關的工程（如壓力前池、沿綫開挖、支墩等）及水管附件的造價也將不同。

壓力水管通向厂房的方向可以與厂房縱向牆壁垂直（即與機組中心聯綫垂直），可以與厂房縱向牆壁平行，也可以斜交成某一角度，根據厂址附近的地形條件而定。第一種方式叫正向引近；第二種方式叫縱向引近；第三種方式叫斜向引近。

在縱向引近的情況下（圖6-1*d*，*δ*），水管進入厂房時需拐一個 90° （或接近 90° ）的彎，因而就有必要在轉彎處加設鎮墩，同時也增加了水頭損失。正向引近（圖6-1*a*，*δ*，*e*）就沒有這些缺點，不但構造上簡單，而且就水力學的观点而言也是最好的。水管不改變自己的方向直接通入厂房而與水輪機渦殼相連。除此以外，採用正向引近的方式還能保證電站樞紐有較好的平面布置；當水電站有幾個機組時，可使厂房的長度方向與山坡及河流平行，這對於在山坡與河流間的場地面積不夠寬的情況尤其具有重要的意義。

然而，正向引近有一個很大的缺點，當水管破裂時，水流順山坡急瀉而下，會使首當其衝的厂房遭到毀滅性的損害。為了避免這種災害，有時把厂房移到河的对岸去（圖6-2），這樣，從水管流出的水就可由河道排走而不至危及厂房的安全。但是這樣做就須把水管引過河，增加了水管的長度，需要設置過河的橋架，還增加了水管中的水錘壓

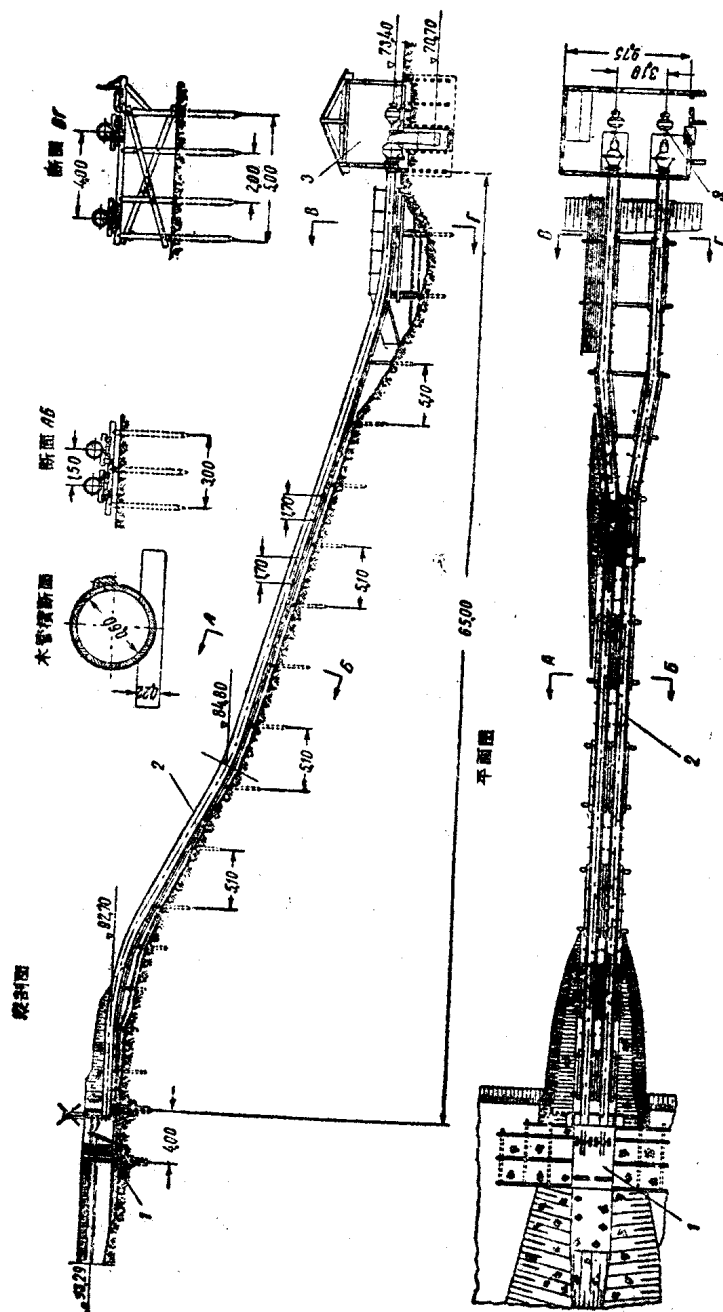


图 6-2 木質压力水管縱剖面及平面图
1—压力前池; 2—压力水管; 3—厂房。

力。

在縱向引近的情况下，防止厂房遭到水流的冲击要简单多了；只需沿水管的延长方向开挖一条排水渠就能把水流引走。但是这时厂房的縱向系与山坡垂直，要求在山坡与河流之间有較寬的場地。

在高水头水电站里，当水管破裂时，水流系由很高的地方傾泻而下，保护厂房免遭水流冲毁的措施就显得特別必要了。所以，对于高水头水电站常采用縱向引近，而对于中水头水电站則采用正向引近。

斜向引近也需要在厂房前拐弯，具有和縱向引近同样的缺点。如果斜度不大，也可不經拐弯就通入厂房，但此时水管占据了厂房內較大的面积，对厂房內部的布置可能是不利的。

§40. 压力水管中的水头损失

为了决定水电站的工作水头及了解压力水管中的电能损失，必須先知道压力水管中的水头损失。为了确定增加負荷时測压管高度綫的最低位置也必須求出水管內的水头损失。

当水沿水管流动时，有一部分水头(也就是能量)消耗在克服水流阻力之上；所消耗的这一部分水头就是上面所說的水头损失。水头损失有下面两种：

1) 分布于水管全长上的、因水与管壁摩擦而产生的水头损失，簡称为摩擦损失；

2) 发生于水管断面改变、方向变化(轉弯)及閘門、分叉等处的局部水头损失。这种水头损失是集中在造成阻抗的地方的，所以叫局部损失。水管中的总水头损失，等于上述兩項损失之和，即

$$h_{\text{总}} = h_{\text{摩}} + h_{\text{局}}$$

式中 $h_{\text{摩}}$ ——沿水管长度的摩擦损失；

$h_{\text{局}}$ ——各种局部损失之和。

在水电站的压力水管中，水流形态不可能是层流，而是紊流，所以摩擦损失与管壁粗糙程度有关。我們知道，用不同材料制成的管壁是具有不同糙率的，因而对于木管、鋼管和鋼筋混凝土管应采用不同的公式来計算摩擦损失。

在木質压力水管中摩擦損失按下式計算，

$$h_{\tau p} = 0.000885 \frac{v^{1.8}}{D^{1.17}} L \quad (6-1)$$

式中 D ——水管內徑，以公尺計；

v ——水管中的流速，以公尺/秒計；

L ——水管长度，以公尺計。

在鋼管中摩擦損失按下式計算：

$$h_{\tau p} = am \frac{v^{1.9}}{D^{1.1}} L \quad (6-2)$$

式中 D 、 v 、 L 的含义和上面一样；

a ——考虑管壁接縫性質对水头損失的影响的一个系数，它的数值可按表5-1决定；

m ——考虑水管使用年限的一个系数(随着使用年限的增长，管壁粗糙度及水头損失也将逐渐增加)，它的数值与水的性質有关。

通常鋼管中的水头損失系对運轉的第一年及第十五年进行計算。

对于運轉的第一年，系数 m 的数值如下：

当为純淨的清水时 $m = 1.01$ ；

当为对管壁有腐蝕性的水时 $m = 1.02$ 。

对于運轉的第十五年， m 的数值如下：

当为純淨的清水时 $m = 1.16$ ；

当为对管壁有腐蝕性的水时 $m = 1.25$ 。

表 6-1

水 管 构 造 性 質	系数 a
有橫向及縱向鉚接縫的水管：	
1) 管壁厚 6 至 11 公厘的搭接管	0.00114
2) 管壁厚 ≥ 12 公厘的搭接管及管壁厚为 6 至 11 公厘的帶盖板的平头接管	0.00124
3) 管壁厚 ≥ 12 公厘的帶盖板的平头接管	0.00134
橫向接縫有伸入的鉚釘头，而縱向接縫为光滑(例如焊接)的水管	0.000878
內壁表面光滑的水管(例如焊接管及无縫鋼管等)	0.000826

在混凝土管及鋼筋混凝土管中，摩擦損失按下式計算：

$$h_{rD} = a \frac{v^2}{D^{1.25}} L \quad (6-3)$$

式中 D 、 v 、 L 的含義和上面一樣；

a ——考慮管壁特性的一個係數，其值按表 6-2 決定。

表 6-2

水 管 的 性 質	係數 a
1) 施工情況不太好的、由短的管段連接而成且其接縫未仔細弄光滑的水管	0.00153
2) 施工情況尚令人滿意的、用水泥漿抹平的、由短的管段連接而成但接縫加以正確處理了的水管；用木模板澆制的整體水管	0.00114
3) 施工情況良好的、用較長的管段連接而成的、直徑不小於 0.6 公尺的水管；中等尺寸的用金屬模板澆制的、而且內壁塗了柏油或以純水泥漿抹平的整體水管	0.000917

在一般的施工情況下，使用刨光了的木模板而且施工質量很好的水管，最合適的是第二級粗糙，即 $a=0.00114$ ；最高值 $a=0.00153$ 可採用於舊水管及施工情況不好的水管。

壓力水管中的局部水頭損失可用如下之一般公式來表示：

$$h_{\zeta} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (6-4)$$

式中 ζ ——水頭損失係數，因阻抗的形式而定；

v ——水管中直接靠近阻抗處的流速，以公尺/秒計；

g ——重力加速度，採用 9.81 公尺/秒²。

在水電站的壓力水管中，通常可遇到如下幾種局部水頭損失：

- 1) 由壓力前池或調壓塔流入水管的入口損失；
- 2) 水管轉彎時的損失；
- 3) 水管分岔處的損失；
- 4) 漸縮圓錐管中的損失；
- 5) 閘門處的損失。

現分別列出各種水頭損失係數于下。

入口损失 入口水头损失与入口的形状有关, 其水头损失系数的数值可按表 6-3 采用;

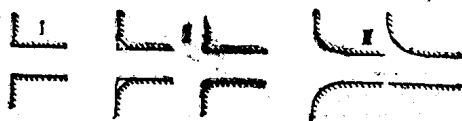


图 6-3 入口形状

表 6-3

进口编号	进口特征	损失系数 ζ_{ex}
I	直角进口	0.50
II	将边缘尖角削去或将之修圆后的进口	0.25
III	喇叭形进口	0.10

应用表中系数时, 流速 v 系进口渐变段内按长度的加权平均流速。

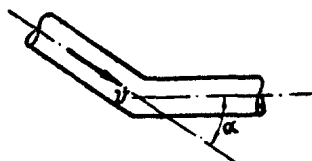


图 6-4a 急剧转弯

转弯损失 转弯损失又有两种情况,

一种为急剧转弯 (弯曲半径接近于 0), 一种为和缓转弯。

在急剧转弯的情况下, 水头损失系数按表 6-4 采用。

表 6-4

转弯角度	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
系数 ζ	0.20	0.30	0.40	0.55	0.70	0.90	1.10

附注: 表中数值只适用于转弯前、后直径相等的水管。

在和缓转弯的情况下, 水头损失系数按下式计算:

$$\zeta = \left[0.131 + 0.163 \left(\frac{d}{R} \right)^{3.5} \right] \frac{\alpha}{90^\circ} = \zeta' \frac{\alpha}{90^\circ} \quad (6-5)$$

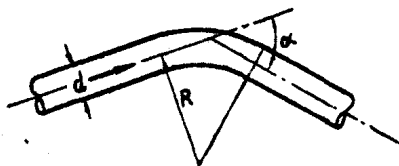


图 6-4b 和缓转弯

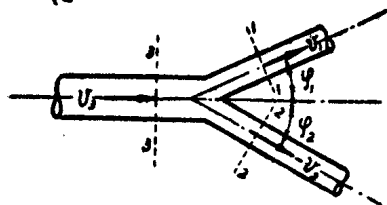
式中 ζ' 为 $\alpha = 90^\circ$ 时的水头损失系数, 其值可按表 6-5 采用。

分叉损失 分叉损失有 Y 形分叉 (图 6-5a) 及旁支分叉 (图 6-5b) 两种。

表 6-5

$\frac{d}{2R}$	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
ζ'	0.13	0.14	0.16	0.21	0.29	0.44	0.66	0.98	1.41	1.98

(a)



(b)

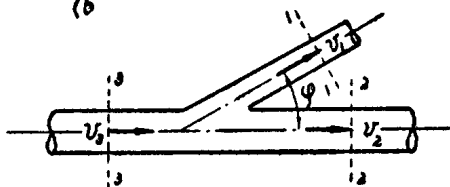


图 6-5 分叉管的形式

Y形分叉的水头损失系数按下式计算:

$$\zeta_{s-1} = \tau \left[1 - 2 \frac{v_1}{v_s} \cos \varphi_1 + \left(\frac{v_1}{v_s} \right)^2 \right], \quad (6-6)$$

$$\Delta h_{s-1} = \zeta_{s-1} \frac{v_s^3}{2g};$$

$$\zeta_{s-2} = \tau \left[1 - 2 \frac{v_2}{v_s} \cos \varphi_2 + \left(\frac{v_2}{v_s} \right)^2 \right], \quad (6-7)$$

$$\Delta h_{s-2} = \zeta_{s-2} \frac{v_s^3}{2g};$$

式中 τ 为修正系数,在大多数情况下它的数值都小于1,但在缺乏试验资料时,可近似地采用为1。

旁支管相当于 φ_2 (或 φ_1)等于零的情况,其水头损失按下式计算:

$$\zeta_{s-1} = \tau \left[1 - 2 \frac{v_1}{v_s} \cos \varphi + \left(\frac{v_1}{v_s} \right)^2 \right], \quad (6-8)$$

$$\Delta h_{s-1} = \zeta_{s-1} \frac{v_s^3}{2g};$$

$$\zeta_{s-2} = \tau \left[1 - \frac{v_2}{v_s} \right]^2, \quad (6-9)$$

$$\Delta h_{s-2} = \zeta_{s-2} \frac{v_s^3}{2g}.$$

为了方便起见,我们以 ζ 为纵坐标, $\frac{v}{v_s}$ 为横坐标,对于不同的 φ 角绘制了分叉管水头损失系数曲线(图6-7)。

渐缩管水头损失 当圆锥角 $\theta \leq 5^\circ$ 时,水头损失很小,可采用 $\zeta = 0.06 \sim 0.005$,视 θ 大小而定。当圆锥角较大时,水头损失系数 ζ 可按表6-6采用。



图 6-6 渐缩管

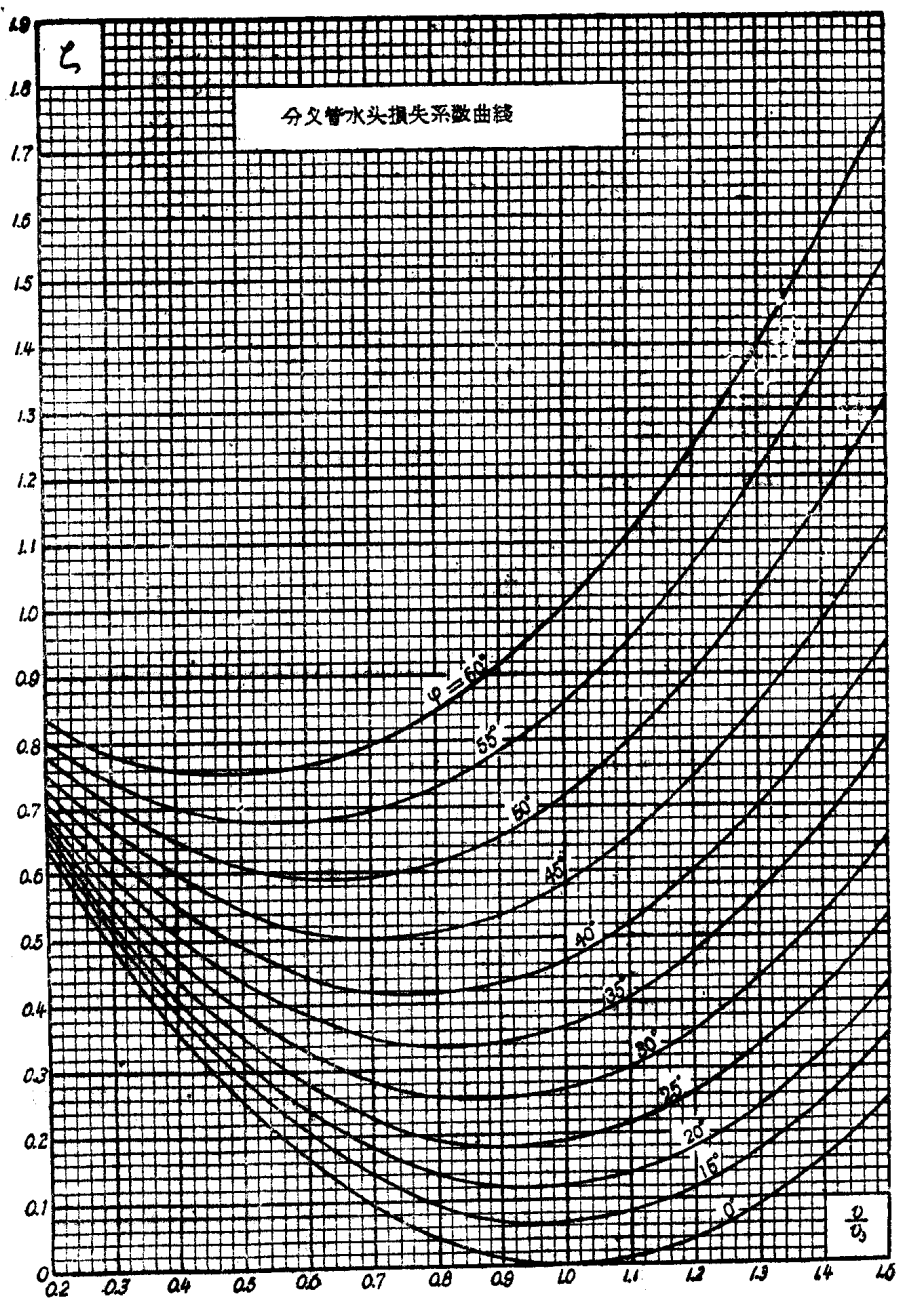


图 6-7 分叉管水头损失系数曲线

表 6-6

θ°	15	20	25	30	45	60	75
ζ	0.18	0.20	0.22	0.24	0.30	0.32	0.34

以上水头损失系数值均系对流速 v_2 而言, 即 $\Delta h = \zeta \frac{v_2^2}{2g}$, 而 v_2 则为断面缩小以后的流速。

閘門損失 在农村小型水电站的压力水管中, 最常采用的是滑动閘, 蝴蝶閘則較少采用。现将水流通过这两种閘門时的水头损失系数列出于下。

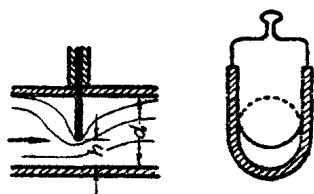


图 6-8 滑动閘

在滑动閘的情况下, 水头损失系数 ζ 与閘門的开启程度, 即 $\frac{d-h}{d}$ (图 6-8)

有关。 ζ 之值可根据 $\frac{d-h}{d}$ 或 $\frac{\omega_0}{\omega}$ 由表 6-7 查出, 此处 ω_0 为开启面积。

表 6-7

$\frac{d-h}{d}$	0	$\frac{1}{8}$	$\frac{2}{8}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{4}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{6}{8}$	$\frac{7}{8}$
$\frac{\omega_0}{\omega}$	1.000	0.948	0.856	0.740	0.609	0.466	0.315	0.159
ζ	0.00	0.07	0.26	0.81	2.06	5.52	17.00	97.80

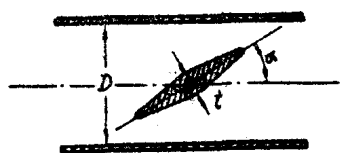


图 6-9 蝴蝶閘

在蝴蝶閘的情况下, 水头损失系数 ζ 与 α 角 (图 6-9) 有关。当蝴蝶閘全开时, 即当 $\alpha = 0$ 时, 水头损失按下式计算:

$$\zeta = \frac{t}{D}, \quad \Delta h = \zeta \frac{v^2}{2g};$$

式中 t 为蝴蝶閘最大厚度, D 为水管直径。如无厂家资料, $\frac{t}{D}$ 值可按表 6-8 采用。

表 6-8

水头 (公尺)	25	50	100	150	200	250
t/D	0.1	0.13	0.18	0.22	0.26	0.29