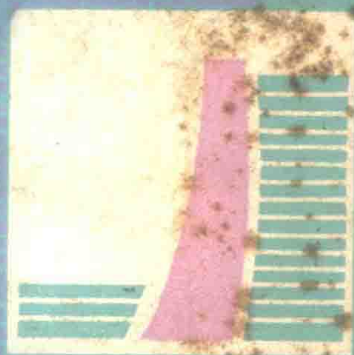


拱坝简捷计算

四川省水利局編



四川人民出版社

拱 坝 简 捷 计 算

四川省水利局编

四川人民出版社

一九七五年·成都

拱 坝 简 捷 计 算

四川省水利局编

四川人民出版社出版

(成都盐道街3号)

四川省新华书店发行

自贡新华印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张34 字数662千

1976年12月第1版 1976年12月第1次印刷

书号: 15118·0 定价: 2.68元

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

备战、备荒、为人民。

兴修水利是保证农业增产的大事。

我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代的强国。

前 言

在无产阶级文化大革命中，特别是批林整风、批林批孔以来，我省“农业学大寨”群众运动更加蓬勃发展。广大贫下中农和水利工作者，遵照毛主席关于“水利是农业的命脉”的光辉指示，掀起了群众办水利的热潮。利用当地材料修建的砌石拱坝，也正在迅速发展。但是拱坝这一较优坝型，计算上却较繁难。如何化繁为简，多快好省地为农业大上快上服务，是广大水利工作者共同关心的问题。

文化大革命以来，四川省水利勘测设计院规划七队的同志，在党的领导下，贯彻执行毛主席关于“抓革命，促生产”的方针，通过拱坝的现场设计实践，接受贫下中农的再教育，向有实践经验的工人学习，摸索到一些简化计算的途径，推导出一些简易算式，使拱坝计算方法有所简化，设计工效有所提高。他们又遵照毛主席关于“要认真总结经验”的教导，将改进后的拱坝计算方法作了系统的整理，编写成了《拱坝简捷计算》一书。《拱坝简捷计算》是他们与工农相结合，总结工农群众的实践经验的集体劳动成果。这本书的产生，是对林彪、孔老二“生而知之”、“上智下愚”、“天才论”等反动谬论的有力批判，也是对林彪反党集团污蔑文化大革命无耻谰言的有力驳斥。

本书是一本专业技术读物，主要讨论中小型拱坝设计中的计算问题，可供水利技术人员和广大水利工作者参考。本书介绍的内容，不是现行各种算法的机械罗列，凡是本书未曾探讨或简化的计

算方法,只作一般的轮廓介绍。全书共分十章。第一章概括介绍拱坝设计常识,其余各章均以计算为重心,在形状、荷载、应力、稳定等计算中,又以应力计算为重点,在书中占有较大篇幅。在计算途径上,一般是提出简易的和较精确的几种不同的方法,让读者根据实际情况加以选择。应力计算中,着重介绍实践中应用最广的纯拱法和拱冠梁法。

本书的特点,是以大量图表代替繁琐的数字运算。为了帮助有的读者了解图表的编制原理,还增加了一些叙述拱坝理论的章节,但与应用部分分开叙述。

本书在编写过程中,曾得到水利电力部、成都工学院、浙江大学、重庆土木建筑工程学院和省内各水利工程、有关科研单位的大力支持、帮助;初稿写成后,我局曾邀请了内江地区水电局、内江地区科学技术委员会、重庆市水电局、威远县水电局、乐至县水电局、垫江县水电局、内江县水电局、水利电力部成都勘测设计院、成都工学院、四川省水利学校、内江地区水利电力学校、自贡市小井沟水库、四川省水利勘测设计院及其所属的规划二队、三队、四队、五队、六队、八队和九队等单位的同志,对书稿进行了“三结合”审查、修改、定稿。对此,我们表示衷心的感谢。

由于我们对马列主义、毛泽东思想学习不够,实践经验不足,拱坝简捷计算也还有一个不断发展、日趋完善的过程,书中可能存在一些缺点和错误,殷切地希望广大读者批评指正,以便修改补充。

四川省水利局

一九七五年元月

符 号 说 明

1 与形状有关的符号

T ——拱厚
 T_0 ——拱冠厚
 T_a ——拱端厚
 T_b ——拱座厚
 ΔT ——与 T_0 对比的拱厚扩大值
 r ——拱圈轴线半径
 R ——拱圈外弧半径
 ρ ——拱圈内弧半径
 ρ ——以圆心为极点的动径
 S ——弧长
 l, L ——弦长
 a ——梁的截面形心至外弧之距
 b ——梁截面上核点至外弧之距
 H ——坝高；坝前最大水深；梁高
 ΔH ——梁的分段高度
 A ——面积
 V ——体积
 φ, Φ ——拱圈中心角
 φ_a, Φ_a ——半个拱圈所对的中心角
 Φ_d ——等厚段所对的中心角
 e ——偏心距
 J ——惯性矩
 h ——水头，计算水位至计算点之距
 ε ——拱圈中性轴与形心轴之距
 N ——计算点处拱厚与 T_0 之比
 N_a ——拱端厚 T_a 与拱冠厚 T_0 之比
 μ ——计算点动径与拱冠处动径 r 之比
 μ_a ——拱端处动径与拱冠处动径 r 之比
 τ ——厚高比，坝底厚度与坝高之比
 λ ——跨高比，坝顶跨度与坝高之比
 ψ ——拱端倾斜角

2 与力有关的符号

P ——均布径向荷载强度

P_t ——温度折算水头
 P_d ——地震惯性力强度
 P_c ——地震时水激荡力强度
 P_s ——淤沙压力强度
 P_u, P_v ——扬压力强度
 G, g ——自重
 w ——垂直荷载
 u ——渗透压力
 P_g ——拱系分得的荷载强度
 X, P_l ——梁系分得的荷载强度
 t ——坝内平均温度最大变幅
 α ——坝体线膨胀系数；渗透压力系数；地震动力系数
 μ ——泊桑比
 γ_c ——坝体材料容重
 γ_b ——基岩容重
 E ——坝体材料弹性模量
 E_c ——基岩弹性模量
 G ——剪切模量
 H ——拱内轴力
 V ——拱内剪力
 m, M ——弯矩
 R ——拱端合力
 h_0 ——均布荷载 P 与拱冠处轴向集中力 $F\rho_0$ 共同作用下弹性中心的轴力
 h ——轴力系数
 m ——弯矩系数
 v ——剪力系数
 σ ——应力
 $[\sigma]$ ——允许应力
 σ' ——应力系数

3 与变位有关的符号

θ ——角变位
 $\Delta, \Delta r$ ——径向变位

Δs ——切向变位
 u ——横向变位
 v ——纵向变位
 A, B, C ——形常数
 A', B', C' ——形常数元
 D ——载常数
 D' ——载常数元
 a, b, c, d ——中心角因子
 $\alpha_1, \beta_1, \gamma_1, \delta_1$ ——积分因子

β ——梁的变位因子
 K ——拱冠径向变位因子
 α, β, γ ——基础变位系数
 δ ——梁拱的变位系数

4 其它系数

K_c ——安全系数
 k ——安全因子
 f ——摩擦系数

目 录

符号说明

第一章 拱坝简介	(1)
----------	-------

第二章 拱圈形状参数计算	(11)
--------------	--------

第一节 等厚拱	(11)
---------	--------

一、形状参数选择	(11)
----------	--------

二、等厚圆拱形状参数计算	(16)
--------------	--------

第二节 变厚圆拱	(18)
----------	--------

一、形状参数选择	(18)
----------	--------

二、形状参数计算	(22)
----------	--------

第三节 大头拱	(25)
---------	--------

一、形状参数选择	(25)
----------	--------

二、形状参数计算	(27)
----------	--------

第三章 荷载计算	(29)
----------	--------

第一节 设计荷载及其组合	(29)
--------------	--------

第二节 荷载算式及数表	(30)
-------------	--------

第三节 安全系数与允许应力	(44)
---------------	--------

第四章 纯拱法——等厚圆拱应力捷算	(47)
-------------------	--------

第一节 一般情况	(47)
----------	--------

第二节 等厚圆拱应力捷算——均布径向荷载	(48)
----------------------	--------

一、等厚圆拱应力捷算的图表法	(48)
----------------	--------

二、等厚圆拱应力捷算经验公式法	(62)
-----------------	--------

第三节 等厚圆拱应力捷算——温度荷载	(68)
--------------------	--------

第四节 等厚圆拱应力捷算——地震荷载	(68)
--------------------	--------

第五节	等厚圆拱应力计算——拱座位移影响	(73)
第六节	等厚圆拱应力计算——拱端倾斜影响	(76)
第七节	自然拱和二次拱计算	(79)
附表	IV—1 ~ IV—2 固端等厚圆拱应力系数表——均布径向荷载	(82)
	IV—3 等厚圆拱应力系数增值表——基础变形影响	(90)
	IV—4 固端等厚圆拱内力系数表——均布径向荷载	(98)
	IV—5 ~ IV—6 固端等厚圆拱应力系数表——温度荷载	(104)
	IV—7 ~ IV—14 固端等厚圆拱应力系数表——地震荷载	(112)
	IV—15 ~ IV—18 固端等厚圆拱内力系数表——地震荷载	(136)
附图	IV—1 ~ IV—4 固端等厚圆拱应力系数曲线——均布径向荷载	(154)
	IV—5 ~ IV—8 等厚圆拱应力系数增值曲线——基础变形影响	(166)

第五章 纯拱法——变厚圆拱及非圆弧拱应力捷算 (176)

第一节	变厚圆拱应力捷算——均布径向荷载	(176)
一、	变厚圆拱应力捷算图表法	(176)
二、	变厚圆拱应力捷算经验公式法	(178)
三、	变厚圆拱应力捷算分段累计法	(182)
第二节	变厚圆拱应力计算——温度荷载、基础变形和拱端倾斜	(185)
一、	温度荷载作用下的应力计算	(185)
二、	基础变形、拱端倾斜时的应力计算	(186)
三、	计算实例	(187)
第三节	大头拱应力计算	(198)
第四节	非圆弧等厚拱应力计算	(224)
第五节	非圆弧变厚拱——坦拱应力计算	(227)
附表	V—1 ~ V—2 固端变厚圆拱应力系数表	(230)
	V—3 ~ V—4 固端变厚圆拱内力系数表	(266)
	V—5 ~ V—6 累计因子及中心角因子表	(274)
附图	V—1 ~ V—4 固端变厚圆拱应力系数曲线	(294)

第六章 纯拱法——等厚圆拱应力捷算的算式推导 (325)

第一节	等厚圆拱的一般算式	(325)
第二节	等厚圆拱应力捷算法的算式	(330)
第三节	等厚圆拱的应力分布规律	(347)

第七章 纯拱法——变厚圆拱及非圆弧拱应力捷算的算式推导	(360)
第一节 变厚圆拱内力算式的简化	(360)
第二节 变厚圆拱的分段累计法	(363)
第三节 变厚圆拱的积分法	(366)
第四节 变厚圆拱应力经验公式	(373)
第五节 变厚圆拱的温度应力和基础变形影响	(375)
第六节 非圆弧拱应力通解	(378)
第七节 大头拱应力算式的推导	(388)
第八节 非圆弧等厚拱应力算式的推导	(394)
第九节 非圆弧变厚拱应力算式的推导	(398)
第十节 组合拱	(399)
第十一节 变厚圆拱应力规律	(402)
第八章 拱冠梁法应力捷算	(405)
第一节 拱冠梁法的一般原理	(405)
第二节 梁拱分载值计算	(408)
第三节 定型河谷分载线	(428)
附表 Ⅷ—1 ~ Ⅷ—4 拱冠梁变位因子表	(436)
Ⅷ—5 ~ Ⅷ—6 等厚圆拱拱冠径向变位因子表	(445)
Ⅷ—7 正矢型变厚圆拱拱冠径向变位因子表	(448)
Ⅷ—8 拱冠梁弯矩系数表	(450)
附图 Ⅷ—1 ~ Ⅷ—2 等厚圆拱拱冠径向变位因子曲线	(451)
Ⅷ—3 固端正矢型变厚圆拱拱冠径向变位因子曲线	(455)
第九章 拱冠梁法应力捷算的算式推导	(464)
第一节 梁的变位	(464)
第二节 拱的变位	(479)
第三节 定型河谷分载线的推求	(482)
第四节 基础变形	(485)
第十章 坝肩基岩滑动稳定计算	(494)
第一节 危险滑动面和安全系数	(494)

第二节 坝肩基岩滑动稳定的捷算图表.....	(496)
附表 X—1~X—3 抗滑稳定安全因子及危险滑裂角表.....	(502)
附图 X—1 坝肩基岩滑动稳定安全因子曲线.....	(507)
附录一 关于厚拱应力计算问题.....	(510)
附录二 拱圈放样计算.....	(522)
参考书目.....	(526)

(1) 坝体材料.....	.....
(2) 坝体材料.....	.....
(3) 坝体材料.....	.....
(4) 坝体材料.....	.....
(5) 坝体材料.....	.....
(6) 坝体材料.....	.....
(7) 坝体材料.....	.....
(8) 坝体材料.....	.....
(9) 坝体材料.....	.....
(10) 坝体材料.....	.....
(11) 坝体材料.....	.....
(12) 坝体材料.....	.....
(13) 坝体材料.....	.....
(14) 坝体材料.....	.....
(15) 坝体材料.....	.....
(16) 坝体材料.....	.....
(17) 坝体材料.....	.....
(18) 坝体材料.....	.....
(19) 坝体材料.....	.....
(20) 坝体材料.....	.....
(21) 坝体材料.....	.....
(22) 坝体材料.....	.....
(23) 坝体材料.....	.....
(24) 坝体材料.....	.....
(25) 坝体材料.....	.....
(26) 坝体材料.....	.....
(27) 坝体材料.....	.....
(28) 坝体材料.....	.....
(29) 坝体材料.....	.....
(30) 坝体材料.....	.....
(31) 坝体材料.....	.....
(32) 坝体材料.....	.....
(33) 坝体材料.....	.....
(34) 坝体材料.....	.....
(35) 坝体材料.....	.....
(36) 坝体材料.....	.....
(37) 坝体材料.....	.....
(38) 坝体材料.....	.....
(39) 坝体材料.....	.....
(40) 坝体材料.....	.....
(41) 坝体材料.....	.....
(42) 坝体材料.....	.....
(43) 坝体材料.....	.....
(44) 坝体材料.....	.....
(45) 坝体材料.....	.....
(46) 坝体材料.....	.....
(47) 坝体材料.....	.....
(48) 坝体材料.....	.....
(49) 坝体材料.....	.....
(50) 坝体材料.....	.....
(51) 坝体材料.....	.....
(52) 坝体材料.....	.....
(53) 坝体材料.....	.....
(54) 坝体材料.....	.....
(55) 坝体材料.....	.....
(56) 坝体材料.....	.....
(57) 坝体材料.....	.....
(58) 坝体材料.....	.....
(59) 坝体材料.....	.....
(60) 坝体材料.....	.....
(61) 坝体材料.....	.....
(62) 坝体材料.....	.....
(63) 坝体材料.....	.....
(64) 坝体材料.....	.....
(65) 坝体材料.....	.....
(66) 坝体材料.....	.....
(67) 坝体材料.....	.....
(68) 坝体材料.....	.....
(69) 坝体材料.....	.....
(70) 坝体材料.....	.....
(71) 坝体材料.....	.....
(72) 坝体材料.....	.....
(73) 坝体材料.....	.....
(74) 坝体材料.....	.....
(75) 坝体材料.....	.....
(76) 坝体材料.....	.....
(77) 坝体材料.....	.....
(78) 坝体材料.....	.....
(79) 坝体材料.....	.....
(80) 坝体材料.....	.....
(81) 坝体材料.....	.....
(82) 坝体材料.....	.....
(83) 坝体材料.....	.....
(84) 坝体材料.....	.....
(85) 坝体材料.....	.....
(86) 坝体材料.....	.....
(87) 坝体材料.....	.....
(88) 坝体材料.....	.....
(89) 坝体材料.....	.....
(90) 坝体材料.....	.....
(91) 坝体材料.....	.....
(92) 坝体材料.....	.....
(93) 坝体材料.....	.....
(94) 坝体材料.....	.....
(95) 坝体材料.....	.....
(96) 坝体材料.....	.....
(97) 坝体材料.....	.....
(98) 坝体材料.....	.....
(99) 坝体材料.....	.....
(100) 坝体材料.....	.....

第一章 拱坝简介

1. 拱坝在水利建设上的发展 我国古代劳动人民在治水实践中，很早就认识到拱型结构的优越作用。迄今，还可在一些河川上，看到古老的曲线型坝。

解放以来，在伟大领袖毛主席关于“水利是农业的命脉”光辉思想指引下，我国水利事业，有着一日千里的飞跃发展。其中取材方便、费省效宏的拱坝，在全国各地，尤如雨后春笋。据一九七三年四月全国的统计，坝高15米以上的各种类型砌石坝中，拱坝占37.4%。^{〔1〕}特别是无产阶级文化大革命以来，狠批了刘少奇、林彪的反革命修正主义路线，广大群众“破除迷信，解放思想”，使各种类型的砌石拱坝，更得到了普遍迅速的发展。仅四川省在文化大革命以来建成的砌石拱坝，已达44座。威远县的河口、长沙坝，垫江县的红旗，梁平县的盐井口等拱坝，坝高都在40米以上。坝的布置形式，也是多种多样：有坝顶溢流的，也有在坝身设大孔口泄流的；拱圈形状，有等厚圆拱、变厚圆拱和大头拱，其中，既有定圆心定半径拱坝，也有变圆心变半径拱坝。各地的经验证明：拱坝能经受超载、坝顶溢流、坝身开孔等考验，在适宜的条件下，较其它坝型具有投资较少，运行安全等多种优点，较受群众欢迎。

在世界上，拱坝数量也与日俱增。一九二〇年至一九四〇年，拱坝占各类水坝的28.2%，而一九四〇年至一九六〇年，则达到35.1%。据一九六〇年资料，150米以上的高坝中，拱坝已占58%，而一九七三年资料，200米以上的高坝中，拱坝则占65%。

^{〔2〕}^{〔4〕}拱坝的优越性，已日益为全世界所公认了。

2. 拱坝的安全性和经济性 拱坝是一种空间壳体，属高度超静定结构。当局部受力过大时，它能够自行调整，不致影响整体的安全。因此，有较强的适应性。只要地基良好，拱坝的超载能力也是较高的。



图1—1 四川省长沙坝砌石拱坝

在重力坝中，如果上游坝面产生了裂缝，就会导致渗透压力急剧增大，威胁着坝身的稳定。所以，重力坝要严格限制上游坝面的拉应力。这样，同时也就限制了抵抗超载的能力。而拱坝，因渗透压力对稳定的影响很小，即使上游坝面有局部拉裂，应力也可自行调整；若下游面压应力在允许范围以内，整个坝体仍然稳定。实践证明，拱坝还有较好的抗震性能，地震区也可以修建。轻型拱坝富有弹性，对基础局部变形，也有一定的适应能力。

法国曾修过一座三米高的试验拱坝，半径20米，拱厚0.2米，当压应力超过300公斤/平方厘米时，才开始破坏。但这时坝身较薄的部分，仍能继续工作。意大利的一些试验也表明，拱坝可以承受比设计值大7~12倍的荷载。〔2〕

由此可见，拱坝是一种安全度较高的坝型。

拱坝在承受水压荷载时，能将外荷传给河岸，借助两岸基岩来维持稳定，所以，稳定条件并不控制坝的体积。而重力坝则主要靠自身重量来维持稳定，体积要比同一条件下的拱坝大得多。同时，拱坝因底盘狭小，扬压力随之也较小，在薄拱坝中常可不计。在这一点上，重力坝又大为逊色。因为重力坝体积大，底盘宽，底部要受较大的扬压力，减少了坝身的有效重量，这对坝体稳定是很不利的。

拱坝是推力结构，能充分发挥建坝材料的耐压特性。坝的厚度，主要决定于拱内推力的大小和材料的抗压强度。如果河谷狭窄，推力较小，坝就可以修得较薄，这在材料、劳力、资金各个方面，都比重力坝更为节约。重力坝的厚高比，常超过0.7，而拱坝则多在0.1~0.4之间。

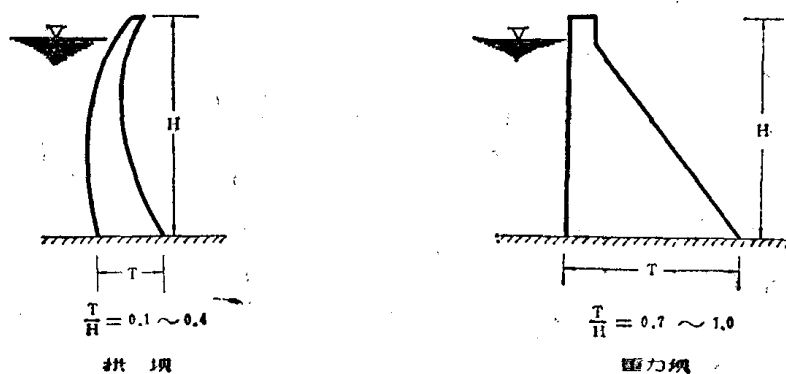


图1—2 拱坝断面与重力坝的对比

因此，在一定条件下，拱坝是一种比较安全、经济的坝型。

3. 修建拱坝的自然条件 拱坝是超静定结构。地基变形、温度变化，都会使它产生较大的应力，所以在修建时，要考虑一定的客观条件。

拱坝的外形，象半个圆筒，要求坝址处是一个比较狭窄，岸坡少有突变，两岸又稍能对称的河谷。在平面上，坝址处的等高线最好是向下游收缩的漏斗形，使起稳定作用

的两岸岩体体积最大。如果坝址处河谷一岸平缓，一岸陡峻，拱坝就会因不对称而形状歪扭，造成局部应力集中。在这种地形条件下，可采取加重力墩、填塞谷底等办法，以改善对称条件。如四川省威远的河口、梁平的盐井口、安岳的朝阳等拱坝设计，都是这样处理的。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的。过去认为，河谷顶部宽度与坝高之比，小于 $1.5 \sim 3.5$ 时，才适于修建拱坝。这个框框，现在已大大突破，有些已超过7，甚至达到11，〔2〕〔3〕仍可修坝。

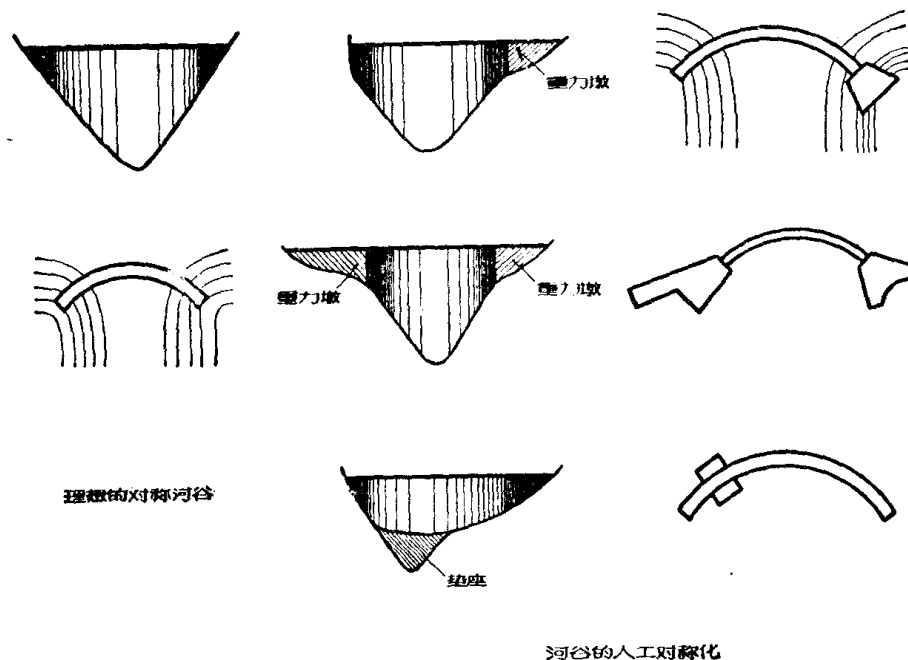


图1—3 河谷形状的对称性

地质条件与坝体安全，关系十分密切，特别是坝肩地质，更应给予足够的注意。由于拱端压力较大，这就要求基岩有较高的抗压强度和较小的变形。理想的坝基，是基岩坚实完整、緻密均匀、透水性小、能耐风化；岸坡稳定，无滑坡崩塌；岩层厚度无剧烈变化，无强烈褶曲和断裂构造。岩性最好是完整均一，较为坚硬的火成岩、变质岩或胶结良好、不易溶蚀的沉积岩。

实际上，完全符合理想的地质条件很难遇到。一般说来，多数有缺陷的地基，都可通过一定的工程措施加以改造，只不过是一个经济比较问题。象地基软弱，可用清挖软基、灌浆加固等法来改善；粘土岩地区，基岩强度不高，且易风化，可局部加大拱端厚度，使推力分散，同时在开挖中预留保护层。活断层附近，一般是不宜作坝址的。但压性的死断层，如其走向与河床斜交，则那里也并非不能建坝。当断层倾向上游时，在下游建坝，对坝体稳定影响不大。若断层倾向下游，则坝址应尽量下移，使坝底与断层面之间的持力层，有足够的厚度。因此，在选择坝址时，要认真作好地质勘察工作。

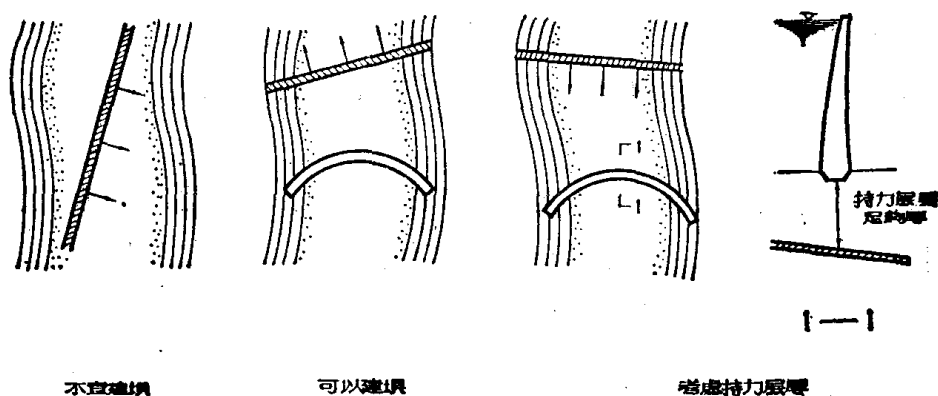


图1—4 断层与坝址选择

坝址附近，最好有天然的建筑材料场地，以便就近开采，降低工程造价。同时，还希望下游不远处有比较开阔的地形，以便于布置施工场所。选择坝址时，要全盘考虑枢纽工程的布置条件。如需在河床内布置厂房，或坝顶溢洪流量较大，则不宜选在过于狭窄的河谷内。此外，还要注意溢洪条件，若坝顶溢流不允许，还应考虑上游是否有低矮的鞍部可作溢洪道，或单薄的山脊可作泄洪隧洞。

4. 拱坝的布置与类型 U型河谷，岸坡陡直，不同高程处的河谷跨度大致相近，在布置拱坝时，可采用同一圆心的等厚拱。这样，不但布置简单，而且各层拱圈的中心角，都可接近最优值。这种形式，称为“定圆心拱坝”。这种拱坝，可以作成上游坝面直立、下游倾斜，使各层拱圈外半径（上游拱弧半径）相等；也可以作成上下游坝面都倾斜，使各层拱轴线半径相等。从梁的应力条件看，以上游坝面直立为优。定圆心拱坝，因其水平曲率在垂直方向上均一不变，故又称“单曲率拱坝”。

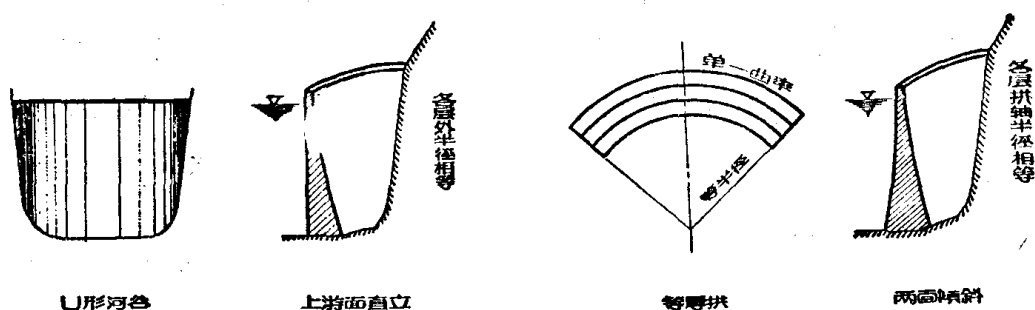


图1—5 定圆心拱坝

在梯形河谷中，布置定圆心拱坝，底层拱圈中心角每嫌过小，所以常固定外弧（上游弧）圆心和外半径，而将内弧（下游弧）圆心向上游移动，以缩小下部拱圈的内半径，加大中心角。这样就形成了变厚拱。由于各层拱圈外半径相等，故称“变圆心等外半径拱坝”。

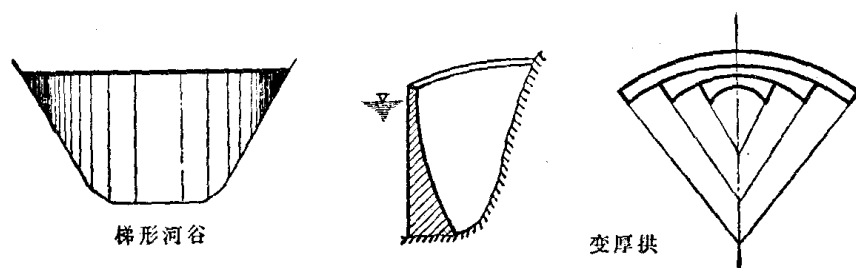


图1—6 变圆心等外半径拱坝

V形河谷的跨度，是随高程的降低而逐渐减小的，于是需要把各层拱圈的圆心，自上而下地逐渐向上游移动，使各层拱圈中心角相等，并都接近于最优值。这种布置，称为“变圆心等中心角拱坝”。采取等中心角的结果，会使上部坝体超出下层拱圈以外，失去支撑，形成“倒悬”。倒悬的部位，可以人为地确定，如使岸边坝体保持垂直，则倒悬发生在拱冠处，而且倒向下游，如〔图1—7(a)〕所示；若使拱冠处上游坝面保持垂直，则倒悬出现在岸边，而且倒向上游，如〔图1—7(b)〕所示。

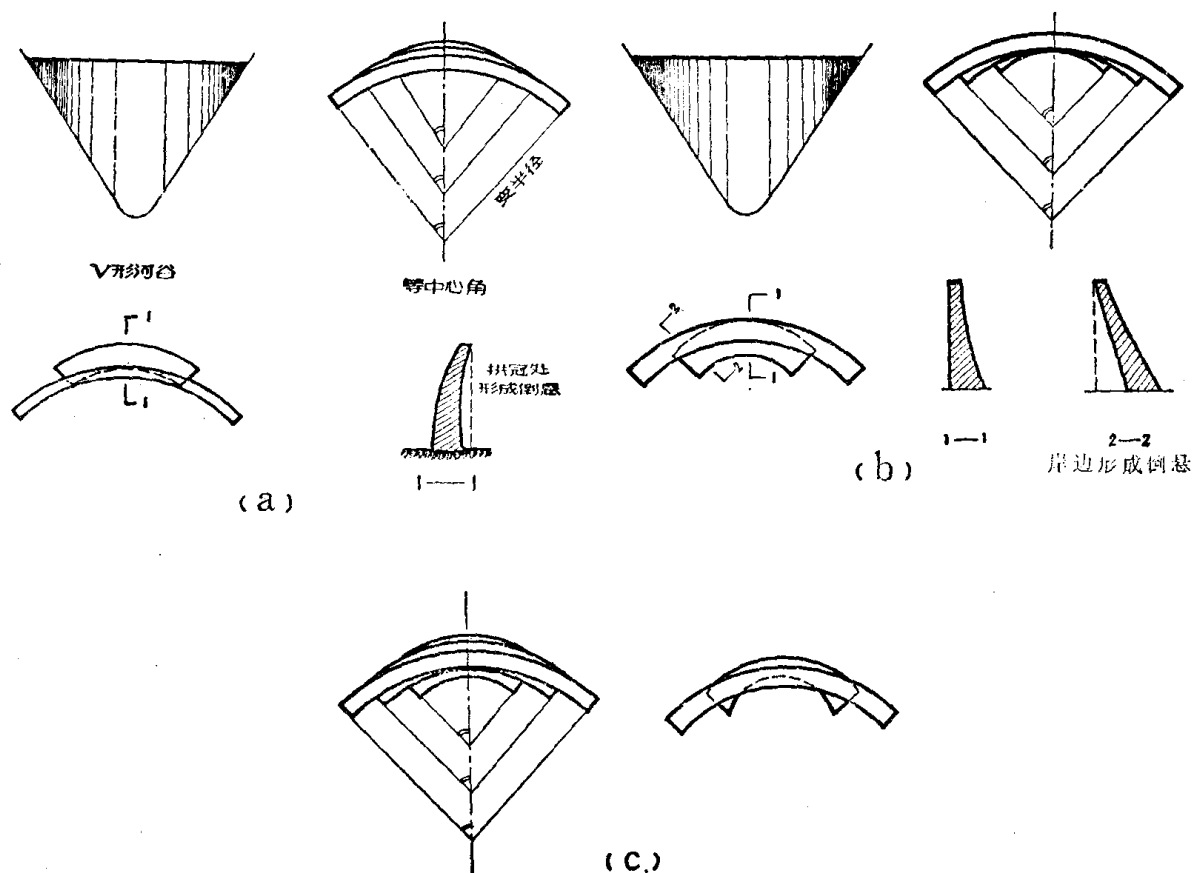


图1—7 变圆心等中心角拱坝

倒向上游的坝体，在施工和水库水位消落时，下游坝面会产生很大的拉应力，影响坝体稳定，故需在上游面加设支撑体；倒向下游的坝体，在分块浇筑时，常需采取加速