

全国水利水电地质勘察会议丛书之四

施工地质及基础处理

水利电力部东北勘测设计院等著

水利电力出版社

內 容 提 要

本书介绍了土坝、拱坝等坝型的基础处理，特别对利用粘土灌浆，粘土柱防渗帷幕来防止砂砾层基础的渗漏，作了详细的介绍。另外也介绍了资水拓溪与桓仁电站关于设计工作如何和地质勘察工作密切配合的具体经验。

本书除对地质勘察工作者有参考价值外，对设计人员也是重要的参考材料。

施工地质及基础处理

水利电力部东北勘测设计院等著

*

20718 615

水利电力出版社出版（北京西郊科学路二里沟）

北京市书刊出版业营业登记证出字第105号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店北京科技发行所发行 各地新华书店经售

*

787×1092毫米开本 * 3/4印张 * 17千字

1959年9月北京第1版

1959年9月北京第1次印刷(0001—3,400册)

统一书号：15143·1649 定价(第9类)0.10元

目 录

1. 恒仁水电站施工阶段工程地质勘探小结
.....水利电力部东北勘测设计院(2)
2. 土坝的基础处理.....山东省水利勘测设计院(11)
3. 流溪河电站施工地质遇到的几个问题
.....广东省水利电力勘测设计院(16)
4. 顺德县潮水电站地基的勘探及处理方法
.....广东省水利电力勘测设计院(20)

桓仁水电站施工阶段工程地質勘探小結

水利电力部东北勘测设计院

根据苏联和国内已有水电站的建設經驗，不仅在技經报告、初步設計、技术設計各个阶段的設計需有相应的地質勘探工作，在施工詳图和施工阶段的地質勘探工作也是必不可少的，而且是很重要的一項工作。从桓仁水电站施工詳图阶段目前所进行的一小段工作来看，也是如此。如坝基左岸河床內建議开挖深度在前一設計阶段确定为1.5~4公尺，而实际开挖却只有0.5~3公尺，即减少了1~2公尺，节省了开挖量5,500方。前一設計阶段的地質勘探工作，只是一些鉆孔和少量的山地工程，坑孔的間距最近的也有40多公尺，凭着这些少量的岩心来推测，是与实际情况有所出入的。如小的构造断裂，层面及风化面的起伏不平 and 鉆探时鉆探机械对岩心的破坏……等，这些都对风化綫的确定有一定程度的影响。当然不如实际全部开挖出来了解得清楚，这些只有在施工阶段中才能全部查清，其他如夹层断层等問題也是一样。

施工詳图阶段地質勘探工作的內容，一般有下列几項：

1. 校核与补充前一阶段的工程地質勘察成果；
2. 基坑开挖的工程地質編录；
3. 設計各种輔助及临时性建筑物的地基勘察工作；
4. 建筑材料的补充勘察；
5. 水庫区内与浸沒坍岸作用有关的补充勘察；
6. 地下水动态的长期观测。

結合桓仁水电站的具体情况，施工詳图阶段的地質工作，

便集中在大堤基础的处理上面，主要的有以下几点：

一、基坑开挖的工程地质记录与地基的验收工作

1. 施工前的准备工作

地质人员在施工前必须很好地全部熟悉前一阶段的资料，对每一个细小问题都要很透彻的了解，搞清楚那些问题已经解决了，那些问题还需在下一阶段继续查明。对以前所有的资料应十分熟悉，并有一个立体的概念，一旦在野外遇到有关的地质现象时，要马上能与它们联系起来，加以分析研究，而得到解决。若不是这样，以前的资料便不能很好地利用上，以前的勘探工作白费了。否则光凭新开挖出来的资料来下结论，就会出现资料太少论证不足的情况，可能会得出不正确的结论来。在施工以前，地质人员还需很好地了解设计意图和有关地基的各种施工规范，使地质勘察工作有目的、有方向，避免为地质而地质无目的地进行工作。地质人员在施工前还需详细地向施工人员介绍坝区的地质情况，使他们进行工作时心中有数，更好满足设计的要求。

2. 外业工作

(1) 在开挖过程中及时仔细地观测收集有关的地质资料，并将所收集到的资料与以前的成果加以核对。

(2) 在开挖过程中收集与岩石物理力学性质有关的一切资料，如风镐开挖的效率，放炮对岩石的影响（钻孔深度、钻孔间距、装药量、影响半径），岩石风化速度等，借以确定岩石的新鲜坚硬程度。

(3) 在坝基开挖及两岸的削坡工程中，经常配合施工人员准确地鉴定坝基的新鲜岩面线。

(4) 注意开挖中基坑的渗水情况，必要时需进行测量，并

了解渗水来源，以协助施工单位考虑排水措施。

(5) 开挖基坑的边坡稳定问题，虽然每个坝墩开挖的边坡设计已经确定，但在开挖过程中由于构造断裂节理裂隙的影响，边坡常出现有不稳定的情况，地质人员可与施工技安人员配合研究，及时处理，以避免挖至设计高程后再次施工。

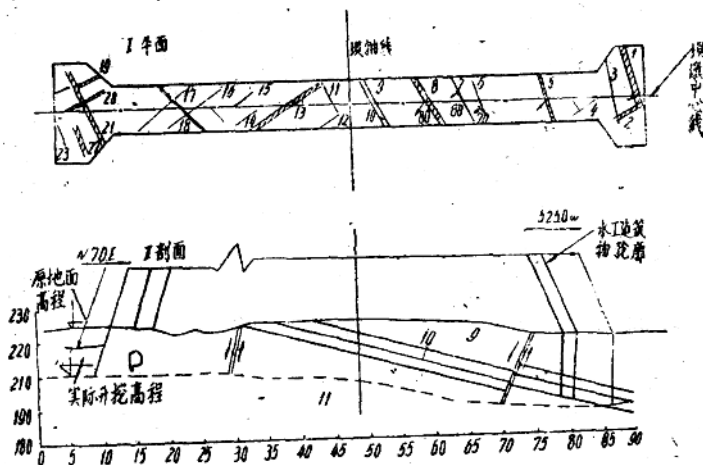


图 1

(6) 在基坑开挖爆破工作过程中，我们地质人员需对爆破进行监督，防止炮眼多装药及羣孔同时爆破，以确保基底及侧壁岩石不受炮震影响，否则爆破会使基底岩石松动，破坏了岩石的天然完整性，使岩石的抗压强度及抗剪强度降低，造成基底撬挖清理的工作量增加，拖延工期。

(7) 经常注意保护坝基区保留的长期观测孔，以便为了观测运转时期附近地下水的变化，查明坝基渗水及扬压力。桓仁坝址基础纵横方向各布设一排地下水长期观测孔，它们也和水

205 工程施工詳图阶段工程地質勘测实际开挖记录表

记录日期	年 月 日	断面桩号	编号			
水工建筑物名称	层 位	段 数				
基坑开挖时岩石 的工程地質特性	岩性					
	简述					
	节理发育规律性					
夹层情况						
断层情况						
开挖深度						
水文地質 观 测	基坑渗水类型					
	基坑渗水来源					
現場开挖地質环境 与原地地質資料 之地質环境比較						
爆 炸 与 开 挖 的 情 况	风鑽类型	风鑽鑽进速度	爆破影响范围			
	风鎚类型	炮眼深度每 m ³ 岩石的	爆炸块度			
	炸藥类型	炸藥耗量	引爆方法			
工程发生特殊問題及 初步处理意見						
采 样	地下水分析	采样编号	采样地点	数量	水样的性質	
	基坑岩石物理 力学試驗	采样编号	采样地点	岩石名称	层 位	数量

負責单位: _____ 記錄者: _____ (年 月 日)
 校核者: _____ (年 月 日) 組长: _____ (年 月 日)

工建筑的其他埋設仪器一样重要。为了保証在施工过程中地下水的长期观测孔的完整无损，除用書面形式提交施工单位外，地質人員还需与开挖筑坝队及基础灌浆队取得現場联系，加以保护。

(8) 在每个坝基上采取一定数量的岩样，进行岩石物理力学性質試驗，校核以前資料是否正确，并作为施工驗收的凭据。

3. 内业工作

(1) 开挖后发现的新的地質現象、断层及破碎带与节理裂隙依一定比例尺繪在开挖地質平面图及剖面图上，然后提供給設計部門分析研究，再由它給开挖工区与灌浆队，以便因地置宜的采取措施，合理的布置灌浆孔距、孔深，安排工作计划。

(2) 詳細地对每个坝墩下面的軟弱夹层进一步研究分析，記錄其产状，并繪制夹层厚度分布图。每个坝墩下的夹层产状均需进行描繪。

(3) 須索取坝址区的水工設計图及施工平面布置图，前者尤为重要，必須把地質与水工图結合起来，把断层位置，钻孔位置及夹层分布范围等按一定比例尺放到水工建筑及开挖图上，又須在原有的地質图上繪出坝形及水工平面布置图，这样可便于說明問題，精确的提出开挖方案及挖方量等。

(4) 整理施工后的地質資料施工中所采集的标本应分类编号保存。

在开挖时施工单位常常打豎井、开平硐、挖坑槽、钻淺孔，这些机会必須爭取，往往这些地方多半是具体施工开挖地点，所以要詳細收集这种資料，进行取样及地質描繪。

(5) 每个坝墩的岩性描述和地質剖面的繪制，皆是一經常性的工作，必須伴随着开挖来逐步的測繪，最好是地質

組自備測量人員用三等水準進行填墩剖面的測繪（基底高程，岩層分界綫，斷層錯動，填軸綫等）。

4. 基坑驗收

(1) 每個填墩開挖至基底後，必須經過有設計、地質人員參加的，由施工單位組織的基坑驗收合格後方能澆筑混凝土。設計人員檢查的着眼點多為開挖設計邊綫，填墩尺寸，以及填基坡度等。

地質人員檢查的主要內容是岩石是否堅硬新鮮，仔細檢查是否爆破震松，是否受風化，是否有炮窩存在。

鑑定鬆動岩石可用地質錘敲打，要仔細認真的逐塊敲打，如發覺有空洞聲及濁音處，立刻用口頭或書面提給施工單位進行掘挖處理，不准用放炮方法處理。

鑑定新鮮岩石可與勘探中鑽取的新鮮岩心標本進行比較，但野外基坑中的肉眼鑑定有時是不大容易的，可結合試驗對比。

二、幾個特殊問題的補充勘察

1. 斷層處理

根據勘探結果，在填體的13~27填段（墩）內皆有斷層穿過，分別穿過各填段的上、中、下各部位，斷層走向 $N\bar{E}25\sim30^\circ$ ，傾向 $S\bar{E}$ ，傾角 $67\sim83^\circ$ ，垂直斷距6公尺，破碎帶寬4.5公尺並夾有斷層泥。在前一階段設計中認為斷層很壞，不能承受荷重，經設計計算結果，在上游大頭處的斷層須下挖20多公尺，但13~15填段斷層經開挖出來後，又進一步鑑定破碎帶破碎程度並不嚴重，而是愈往深處風化程度愈輕，只是靠地表的2~3公尺處，因受長年的風化營力作用，而呈松散破碎狀態，塊徑為10~20公分，往下則塊徑增大為30~80公分，岩石也較新鮮。因此按照大伏房斷層處理的經驗，考慮斷層可承受一部

分荷重，經設計計算，最后只需挖5~6公尺的深度，这样不但减少了挖填工作量，且縮短了施工期間。

2. 右岸坝基下粘土夹层处理

第10层安山凝灰岩的頂、中、底部有灰綠色的亚粘土夹层，原状土的压縮試驗表明此夹层为可压縮的，經水工人員进行計算，得出其沉陷量为大坝所不允許，因此采用嗣控措施。

1~8号坝段的夹层部分嗣控給施工方面带来不便和一定困难，是設計与施工方面考虑和研究的課題，于是进行了基坑中夹层厚度的統計和描述。

夹层分三种状态：

1. 軟塑性；

2. 軟塑性带有碎块；

3. 干破性半岩石状态。

按苏联試驗专家西曼丘克建議方法統計夹层厚度（1.按100%、2.按100%、3.按10~20%厚度）得总厚度为21公分，經水工方面的具体稳定計算及沉陷計算，得出的結果都为百公尺大坝所不允許，經专家及有关人員共同研究，夹层仍須采用嗣控，只有右岸山脚下的1、2号坝段可以采取适当措施，不进行嗣控，因原来的上复山体較厚，已在容重为2.6吨/立方公尺，高百余公尺的山体下預压，故坝体修筑不会引起較大的沉陷。

3. 坝基固結灌浆

坝基下面由于节理裂隙的切割，岩石的完整性遭到破坏，同时由于开挖放炮的影响，坝基也受到一定程度的破坏，为了使坝基成为一个完整体，增加它的强度和抗滑稳定，須进行固結灌浆，固結灌浆的孔深为5公尺。

在灌浆队工作开始时，地質人員把灌浆坝段的平面图、大小断层、节理裂隙的发育情况及产状等資料，以口头和書面形

式，向施工方面交了底，以便根据岩石破碎程度和节理产状，合理的控制孔距、灌浆压力和水灰比，使灌浆工作能顺利进行。

有的坝段在开挖过程中震动不甚剧烈，而且第11层安山凝灰集块岩节理不甚发育，且为方解石充填，胶结良好，或是闭合，所以在耗浆量上很小（ $2 \sim 11$ 公斤/每孔），但也有处于断层破碎带附近或局部炮震区，则耗浆量极大（每孔灌浆2,000多公斤）。

4. 断层泥的冲洗和处理

(1) 右岸围堰内13~15号坝段断层斜穿上游大头，为了避免大坝运转期间断层泥继续恶化而引起绕坝渗漏或管涌作用等，地质与施工、水工方面共同研究决定进行断层泥的冲洗清理。

试用了以下方法：沿断层泥倾向用钻机钻孔，深15公尺左右，孔距3公尺左右，用 $P=13$ 公斤/平方公分的压力水冲洗，共钻孔3个，冲洗效果不好，只在距地表为3~5公尺深度内能冲洗出紫色的断层泥，其下部则失败。

估计其原因：(1) 钻孔随深度而偏离断层泥；(2) 断层泥没有理想的层状构造，而是起伏凸凹，且厚薄软硬夹杂，况且断层深部夹泥两旁岩石不甚破碎，故压力水不易冲入。

(2) 上游大头的断层泥处理：

在冲洗后浇筑混凝土时，须先铺水泥浆，且较一般的要铺厚些，这可以保证混凝土与坝基及断层泥冲沟接触更为紧密良好。

5. 开挖后小断层处理

除本节1所谈的断层与原勘探资料相符外，又在开挖时发现两条断层，其走向为北东，断距为1.8~3.0公尺，破碎程度各处不同，处理方法基本与上述相同，只是在有的坝段中断层

破碎帶不寬，且不很風化處，則沒作處理。

6. 摩擦系數的最終確定

施工詳圖階段中對原有的設計資料及數據進行了審查，認為填基的摩擦系數還可提高。1959年初在蘇聯專家西曼丘克的指示和指導下，最後確定 $\operatorname{tg} \phi = 0.73$ (岩石與混凝土)。

確定的方法如下：

(1) 從室內試驗結果的 $\operatorname{tg} \phi$ 與 P 的關係曲線來看， $\operatorname{tg} \phi$ 值在荷重小時偏大，荷重大時偏小。結合大壩運轉及儲水後的應力情況，可採用 $\sigma_{pacu.}$ 下的 $\operatorname{tg} \phi$ 。

$$\sigma_{pacu.} = \frac{\sigma_{cp} + \sigma_{max}}{2} \quad \sigma_{cp} = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2}$$

則 $\operatorname{tg} \phi = 0.73$ 。

(2) 從野外抗剪斷的試驗考慮：

填基荷重為 26 公斤/平方公分時，原試驗成果如下表：

試驗日期	試驗日數	試件面積	抗剪斷強度 τ 公斤/平方公分	垂直荷重 P 公斤/平方公分
1957年	1	0.25公尺 ²	39	26
1958年	2	0.25公尺 ²	34.37	26

故採用平均值 $\tau = 36.6$ 公斤/平方公分 (包括凝聚力 C 值)。

則 $\operatorname{tg} \phi = \frac{\tau}{P} 1.45$ ，這樣可取抗滑穩定安全系數 $K = 2$ 。

依室內試驗結果選用 $\operatorname{tg} \phi = 0.73$ ，安全系數 $K = 1.05$ 。

依室外試驗結果 $\operatorname{tg} \phi = \frac{1.45}{2} \times 1.05 = 0.75 \sim 0.76$ 。

(3) 根據專家指導，最後依據室內資料，因為室內的試驗操作及成果整理等比較正確可靠，故採用 $\operatorname{tg} \phi = 0.73$ 。

土坝的基础处理

山东省水利勘测设计院

一、坝基的处理

土坝工程能够做在不透水而且是坚实的地基上是最理想的(如致密的岩石,粘土等),但在我省土坝往往都是跨有松散砂砾石复盖的河床上,或其他松散软弱基础上,也有处在断层破碎带和裂隙发育的岩石上等等。在这些地带均应根据其具体情况,进行必要的处理,使坝建成蓄水后不会通过坝基形成大量的渗流或避免坝基发生滑动的可能。近几年来在党的正确领导下,发挥了广大群众和干部的智慧,进行了创造性的劳动,在坝基的处理上积累了不少的经验,取得了很大的成绩,但在少数地区,对坝基处理这一关键性的重大问题,还未能得到应有的重视。

有些水库对坝基未做应有的处理,有的在处理中质量控制亦不够严格,蓄水后漏水较多。也有的粘土截水墙或板桩未打至不透水层,不能达到预期的防渗效果,也有的在回填粘土截水墙时因排水不良,形成橡皮土,夯打不实,甚至有些基槽积水未能排出,即行回填,以上等等都可能产生水量渗失,或由于地下渗流的集中,导致工程发生严重的事故。因此正确的处理坝基作好防渗措施,是十分重要的问题。

根据我省的经验及参考其他各省有关资料,下面除致密的岩石及粘土坝基以外,就其他各种常遇到的坝基的处理办法提出一些意见,供各地研究。

1. 松散的浅层透水地基

这是我省最常遇到的坝基，多由冲积的粗砂及砾石卵石层构成，透水性很强，渗透系数 K ，值一般的均大于 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-3}$ 公分/秒，砂砾石层的厚度为5~10公尺。这种情况下最彻底的防渗办法是采用粘土截水墙，并将粘土截水墙的底嵌入岩石不透水层中0.5~1.0公尺，截水槽的底宽一般采取水头的四分之一，但为照顾到开挖回填压实的方便，底宽不应小于5.0公尺。截水墙的边坡根据砂砾石层的性质决定，只要在施工时能站得住就行。粘土截水墙的位置一般均放在坝体的中间或少偏上游，但要与坝身的防渗体接合起来。当粘土截水墙达不到不透水层时，其减少的渗漏量是有限的，如某坝的底宽为183公尺，蓄水深25公尺，坝基砂砾石复盖层厚10公尺，渗透系数为100公尺/昼夜，当不进行任何防渗处理时，通过坝基的渗漏量为119公方/昼夜，在坝基设一深达不透水层的粘土截水墙，墙的底宽八公尺，边坡1:2，通过坝基的渗漏量为0.09公方/昼夜，但若截水墙深仅六公尺，底宽及边坡同前，则通过坝基的渗漏量则又增为106公方/昼夜，比不加防渗处理减少的是有限的。

2. 松散的深层透水地基

这是我省在丘陵区和平原区及个别山区修建水库所常遇到的地基，透水层的深度一般在十至十五公尺以上，此时如果采用粘土截水墙，需要的抽水设备很多，给施工带来很大困难，因此可以采取粘土铺盖的办法，以增长渗水的路径，减少渗透速度及渗漏量。铺盖的长度与坝型有关，应以使渗流路径大于水头八至十倍为原则，在河岸的滩地上有淤积物的地区如淤积物的透水性较小，可以利用淤积代替人工铺盖。铺盖的厚度前端不应小于0.5~0.75公尺，越靠近坝体越厚，视铺盖上的水头而定。

在松散的深层透水地基处理中，我省有的水库已创造性的采用了混凝土桩截水墙和粘土桩阻水帷幕的办法，据初步总结，是成功的经验，但具体效果尚应进一步研究，特别因采取上项措施需用机械较多，目前还不能大量推广。

3. 有软弱夹层的地基

在松散的复盖层中常常夹有呈透镜体分布的淤泥，泥炭等软弱的夹层，对这些软弱的夹层如能摸清楚分布规律，经过一定的试验研究，是可以合理的处理的，但如不经过研究而不加处理，却有可能引起严重事故。各水库在施工中也摸到了一些经验，当在遇到黑色或灰色的滑润土时，就应引起特别的重视，首先要查清该种土的分布范围和埋藏深度，取样进行试验确定其含水量、干容重，内摩擦角，有机质和可溶性化学成分的含量等物理及化学性质，然后研究适当的处理方法。

如软弱层的埋藏深度较浅，最彻底的办法是将位于坝基内的部分全部挖除，如不能清除或埋藏较深，可采用排水换基、预压，或用爆破加固的办法，以增加承载及抗滑的能力。另外对软弱层的物理力学性质加以了解，通过分析计算确定安全稳定的坝坡，以上这些都是现在各地经常采用的有效措施。

4. 断层的处理

由于地形地质条件的限制，坝址要完全避开断层往往是有困难的，而断层也不完全是很可怕的东西，在一些情况下它并不影响建筑物的安全和造成水量的大量漏失。在我省范围内坝址往往很长，且河谷复盖层较厚，一般多采用土坝、水头一般在二十五公尺以内者居多，因此对断层研究，应首先了解其位置、走向、断层性质、充填物的性质及充填的情况，断层带的宽度等。在石灰岩地区的断层往往促进了喀斯特溶洞的发育，应引起足够的重视；其他在火成岩、变质岩及砂页岩地区的断

层应着重了解其大小、破碎带的宽度及填充物的性质等，在摸清情况的基础上提出处理措施。应该指出，凡是远距坝址的断层，除在一定的条件下有可能形成漏水通道外，对于坝的安全是无影响的。现主要对垂直和斜交坝轴的断层提出几点处理的意见以供参考：

(1) 帷幕灌浆的方法：当断层破碎带透水性较大且河床复盖层甚厚，基开挖有困难时，可以考虑这种方法。

(2) 在断层上作粘土铺盖。

(3) 在断层上做混凝土盖板或砌石拱延伸至上下游坝脚以外。

(4) 在断层带内作深截水墙。

5. 坝基裂隙的处理

岩石的裂隙常为水库漏水的通道，尤其是顺河向开张性未充填的裂隙，更是不利的条件，应该采取适当的处理方法，以减少水量的漏失，同时也避免在一定的条件下由于渗流的集中而导致工程事故的发生。根据我省具体情况，提出如下的几种处理方法以供参考：

(1) 加深截水槽：坝端风化裂隙层需普遍掘除一层，截水槽的深度应根据工程的规模及结构型式而适当的加深至裂隙大量减少的程度为止。

(2) 上游作粘土铺盖或用水泥砂浆嵌缝以进行封闭。

(3) 作阻水帷幕式灌注浑水。

6. 喀斯特的处理

石灰岩区常常有地下溶洞、暗流、漏斗、盲谷等等特殊情况，修建水库如果没有考虑到这些情况，常会使修成的水库成为不能蓄水的干库。因此修建水库时，对于喀斯特是应当重视的。然而在喀斯特地区依然要进行水利建设，这就促使人们对

喀斯特的問題进行斗争。在我国的其他省区已有很多向喀斯特进行斗争的成功經驗，下面介紹几种方法作为参考。

(1) 尽量将坝址躲开喀斯特地区。寻找不致发生喀斯特的地质条件做为基础，如砂岩、頁岩、泥灰岩等。

(2) 在喀斯特地区如果遇到有承压水，而承压水头不高于水库的正常高水位，应尽可能将坝址选在承压水地段的下游。

(3) 庫底溶洞漏水时，可以采用粘土鋪盖或砌石将溶洞盖起来。

二、土坝与山坡的结合

土坝坝头与山坡岩石結合不好，很可能产生集中渗流或垂直裂缝，因此亦应妥加注意。坝头山坡的清理坡度，在岩石部分一般不陡于1:1，最小不陡于1:0.5；在粘性土壤部分一般不陡于1:2，最小不陡于1:1；无凝聚性坝壳与坝头山坡相接时，其清理坡度，以不低于山坡土壤在含水饱和情况下的稳定为原则。塑性斜墙最好在坝头附近适当距离处逐渐变成心墙，再与坝头山坡相接。所有接坡部分，不应以台阶状相接，因为这种阶梯可能在高度骤然发生变化的地方，成为造成坝身及坝的防渗设备内产生裂缝的不均匀沉陷的原因；也不允許有倒坡或急驟的变坡，因为倒坡或急驟的变坡都不能夯实，将来坝身沉陷时发生空洞現象。必須保証坝体防渗部分(如心墙等)应与坝头山坡的不透水地层密切結合，以防坝头繞流发生危險，結合方法可在岸坡上开一道或两道槽，使心墙或坝端嵌入槽内，以增强結合的密实性，在开挖槽时应将所有松散破碎的岩石全部清除，在回填前先用水泥、粘土或胶泥浆涂抹一层1~3公分，然后再回填粘土，用木榔头仔細夯实。建議土坝与坝头山坡之結合面，在平面上用弧形相接，以加长渗徑。