

中小型水庫坝基的处理

水利电力部长沙勘测设计院勘测处編

水利电力出版社



中小型水闸坝基的处理

王明耀 王明耀 王明耀 王明耀 王明耀 王明耀 王明耀 王明耀 王明耀 王明耀

水利部黄河水利委员会

內 容 提 要

本書主要敘述湖南省在1958年以前的几年中，在兴建中小型水庫工程中所发现的坝基地質問題以及坝基处理的一些措施和方法。書中內容是以列举实例为主，而不着重理論敘述。所列举的实例都是具有代表性的，所以对今后兴建水庫工程的坝基处理有着一定的参考价值。

本書可供水利工程的設計施工人員參閱。

中小型水庫坝基的处理

水利电力部长沙勘测設計院勘测处編

*

1957S568

水利电力出版社出版（北京西郊科學路二里溝）

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 新华書店发行

*

787×1092 $\frac{1}{32}$ 开本 * $\frac{9}{16}$ 印張 * 13千字

1959年3月北京第1版

1959年3月北京第1次印刷(0001—4,080册)

統一書号：15143·1549 定价(第9类)0.09元

目 录

前言.....	2
一、坚硬岩层基础的处理.....	2
二、软岩基础的处理.....	9
三、石灰岩喀斯特区基础的处理.....	14
四、泉井的处理方法.....	16
五、小结.....	18

前 言

基础处理工作是一切水工樞紐工程上的重要环节之一。每一个工程經過勘探之后，地質人員都要提出对基础处理的意見，最后才决定應該采取的处理措施，这项工作往往是地質設計和施工等部門共同商討而决定的，但在这个过程中，是有不少的爭論和审慎考虑的。現在就从地質方面来談一下湖南省在1958年以前的几年中，在兴建中小型水庫工程坝址基础处理工作的一些措施和方法，对今后水庫工程的兴建，可能会有一些参考价值。为了按照基岩的工程特性的不同，以下分为坚硬岩层、軟弱岩层、石灰岩层等以及泉井問題的处理等节，內容是以列举实例而不是理論的叙述。但在湖南省已兴建的水庫是很多的，当然不能全部列举，下面的一些基础处理方法的叙述，是選擇具有代表性的例子，它們是可以包括已建工程处理方法的全面的概况。

一、坚硬岩层基础的处理

坚硬岩层包括石英岩、石英砂岩、砂質板岩、花崗岩等，按照湖南省兴建的坝型不同，施工中采取的处理方法也不相同，茲列举几种实例如下：

1. 拱坝基础的处理 根据洞口半江水庫单拱溢流混凝土坝的基础处理，有下列几項措施，其基岩全为石英砂岩。

(1) 清基后之河谷基岩橫断面不对称，左边边坡較緩，右

边却很陡。处理方法是把左边坝端扩大，作为一部分重力式的混凝土坝，以改善山坡的不对称情况，然后再接单拱坝的拱体。

(2)河床中有一深槽，清基后深达7.5公尺，造成河谷基岩底面一个高低极不一致的楔形。处理方法是将河谷深槽部分，全部用混凝土浇筑，填出到河水面以上，然后才按照拱形上升。

(3)坝端接头部分是在两岸山坡各凿成一个槽子，把混凝土坝身嵌入基岩之内，槽子的基岩面要凿成与坝轴线相垂直，嵌入深度在天然基岩面以下2公尺，直到看不见有明显的节理裂缝，但有弱裂隙和少数中等裂隙为止。基岩面都作5公尺深的固结灌浆。

(4)最初清基是用黄色炸药爆破的，到了预计深度之后，则用人工修凿，使它成为设计上所需要的一定样子。河水面的高程以下，是混凝土坝体浇筑部分的基础，清基时只要把风化性的岩石清去，达到坚实的比较新鲜的基岩后，再用人工凿毛，然后就可浇灌混凝土(当时曾有人主张在水工建筑物基础的清基中，不能用爆破)。

(5)对于河中的断层和裂隙的处理。半江河中有一斜过河谷之断层和两条裂隙，是无法避免的，但断定是闭合裂隙。清基是把断层缝内的疏松破碎风化带全部挖掉，挖深2公尺多直到裂隙几乎完全闭合为止，清基后河底基础面上的裂隙比为0.7%，然后浇灌混凝土。另外针对裂隙加作了15个固结灌浆孔，大约沿裂隙每隔3~5公尺布一孔，同时在轴线内缘与裂隙相交之处，有一排深20~25公尺的帷幕灌浆孔，孔距约5公尺。

(6)基础面的处理都是作固结灌浆，内缘作帷幕灌浆。固结灌浆多半是用人工打孔，深为5~7公尺的方格形，布置在

拱坝整个基面之下，用水泥灌注；帷幕灌浆是用鑽机打孔，深20~25公尺，大部分是根据压水試驗資料 W 为0.02左右而定的，布置在拱坝內坡脚，成三角形排列，孔距为5公尺。此外又针对裂縫补加若干灌浆孔。

总之，半江单拱坝的基础处理是采取了比較完善的方法，主要是改善地形条件，清除风化层到达坚实基岩，并采用水泥灌浆。

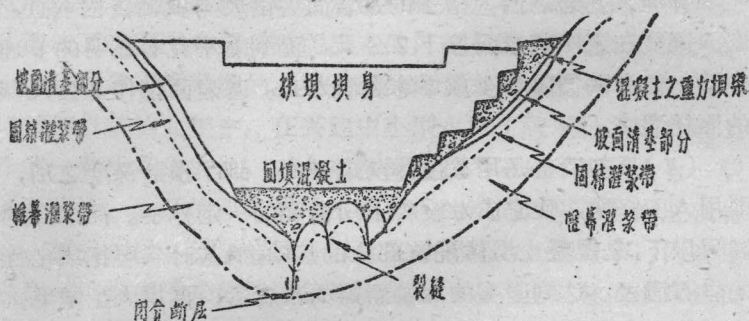


图1 洞口半江水庫基础处理部分图

2. 平板坝基础的处理 瀏阳双江口水庫鋼筋混凝土平板支墩溢流坝的基础处理方法有下列几項。其基岩为石英砂岩及砂質頁岩等坚硬岩石。

(1) 坝址两岸很陡，在左右岸两边最高处的支墩基础面上都有裂隙且右岸上部为风化带。处理的方法是把裂縫的張开和疏松部分清除，填充較好的填充物質，再把最边上的支墩都改为重力式的岸墩。这样可以使清基范围不扩展到山坡以上，减少很多的清基数量。

(2) 右岸山坡有一风化带通过坝端的軸綫上，并且又是在山坡很陡处，清基工作数量很巨，需要扩展到山頂。处理方法

是将右岸岸墩接头，向下游移动 5 公尺許，这样避免了风化带并能把坝端接头完全放在坚硬的砂質頁岩层上，同时也减少了清基数量。

(3) 河面以上两岸岸坡很陡，支墩相距又近，清基不是全面进行，只是清除支墩基础和上緣之截水平板之基础，每两个支墩間之高差很大，清基切深之后局部山坡因之更陡，同时基岩又有节理裂隙，可能发生滑动。处理方法：每两个相邻之支墩，清基到新鮮岩石面上，两墩之間則不清基，只将其过陡部分和突出部分削成均匀的一个斜坡，在支墩內側垂直状的陡坎下，用混凝土填塞。此外针对裂縫都作固結灌浆。

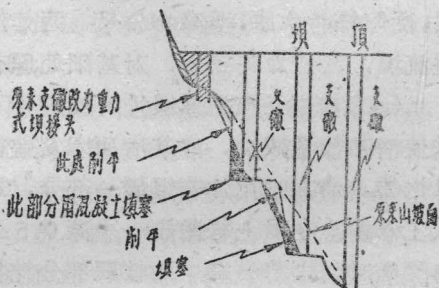


图 2 浏阳双江口支墩基础处理示意图

(4) 裂縫中的夹泥层和裂縫处理。在左右岸的边坡上，有两組裂縫比較显著，从表面看裂縫中夹有泥的，經過清基挖掉近表面的风化层之后，其內部是閉合的或者是有薄状的頁岩夹层(沿层理的裂縫)，但不是夹泥层，因此可以不作泥层考虑。

有一組节理是傾向下游的，有几处是橫过支墩基础，縫的寬度約 0.1~0.2 公尺。处理方法是 用一小部分鋼筋跨過裂縫，或者是将裂縫的上部凿成 V

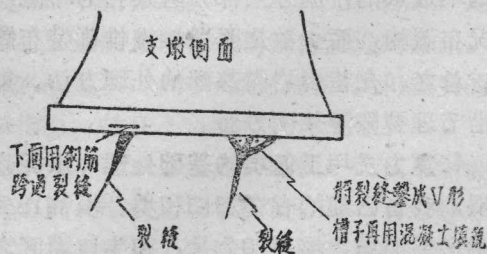


图 3

形，然后浇筑混凝土。

东安金江水庫的平板支墩坝，坝高54公尺，其左岸支墩下的裂缝处理，也是用相同的方法。

总之对于支墩坝的基础处理，是针对支墩坝的基础部分而作的，并不是对整个坝基进行清基的。此外，还采用了固结灌浆和帷幕灌浆，方法与半江单拱坝的相同。

3. 圬工重力坝的基础处理 南岳华严湖水庫，坝高24公尺，衡阳栉竹水庫，坝高40公尺，两处都是水泥浆砌块石的重力溢流坝，基岩为花岗岩，对基础处理有下列几项：

(1)首先是在选择坝址时就避免了风化层很厚的地方，这样使清基数量减少，清基后河床复盖很浅。但两岸有些夹杂的风化带，清基时用炸药爆破一部分，达到新鲜的基岩面，再以人工修凿。在坝上缘凿成一个深0.5公尺的截水槽，当基岩还有裂隙时，则将裂缝中的软弱部分挖掉，打到坚硬岩层为止，然后以混凝土浇灌。

(2)坝基岩面全部作固结灌浆，固结灌浆是用人工打孔，孔深5公尺多。沿坝基临水面之基础边缘作一系列深到抗水层(W 为0.01)的帷幕灌浆。在南岳华严湖水庫因为当时没有认真作好表面处理，有个别灌浆孔发生沿节理缝漏浆现象。因为基岩是不透水的，所以大部分灌浆孔的布置，都是沿着裂缝分布情况布置的，而少数是照坝轴綫帷幕带布置的。

总之，在花岗岩内基础的处理方法，集中在风化岩的清除和沿节理裂隙灌浆两方面。

4. 重力式圬工低坝的基础处理 水泥浆砌块石滚水的低拦河坝，我省已建的有宁远仁和坝，坝高15公尺，半江水庫拱坝下游之拦河坝，坝高10公尺，和半江灌区之引水坝，坝高5公尺。处理方法如下：

(1) 宁远仁和坝基岩为泥盆纪石英砂岩和砂质頁岩，河床全为出露基岩，掩盖极少。但有一条横过河床之闭合断层，清基后这条断层的縫完全闭合，两盘均为完整之岩层，未见破碎现象，只有极个别地方有綠泥石夹角礫岩帶，裂縫中不漏水也无涌水，清基后所见裂縫情况簡直和一个层面的特征一样，且其走向又未縱穿坝身，只是斜过基坑中之一部分。因此认为不必处理，只是将疏松层清除后，把基岩面凿毛用混凝土填平即开始砌块石坝体。仁和坝两岸因岩石稍帶破碎、有裂隙，故经过固結灌浆及帷幕灌浆处理。

(2) 半江水庫的两个拦河低坝，基岩为泥盆纪石英砂岩，河床复盖层深达7~10公尺，清基数量很大。当时研究河床中之冲积层情况，系大小卵石和泥沙的混杂沉积，胶合坚实，要用洋鎬才能挖动，而设计的坝身不高，砂卵层的承载已经足够，并且其渗透系数也很小，因此这两个不高的圉工拦河坝都没有清到基岩，只将表面一、二公尺渗透性大的疏松砂卵石清除后，即行砌坝。当初考虑这样的基础是可以承载坝身和滾水部分的压力，事实上现在这两坝没有发生沉陷，坝身亦甚完好没有裂开现象。这种圉工坝建在砂卵石层的基础上，一般是不敢作的，前例也很少，但是在半江河谷采用了。在当时施工围水和清基工程上是起了很大的节约作用。现在坝体完全良好，足见这样的处理是正确的。在这两处没有采用任何灌浆的措施。

总之对于拦河滾水的低坝，如果是闭合的断层和結实的砂卵石层，都証明可以作坝，并且不需要作任何处理。

5. 土質坝 土坝本来不要求基岩如何坚硬，而且不需要全面清基。考虑河中疏松层、岸坡之坡积层及砂卵石台地等之有漏水性，所以只要求核心墙或粘土斜墙部分要清到抗水地层，其他各部分都不清除，一般土坝的清基工作都是这样作的，例

子是很多的，已經建成的都沒有什麼問題。

(1) 堅硬而完整的基岩，截水牆深最少50公分。埧端清基也應達到50公分深。

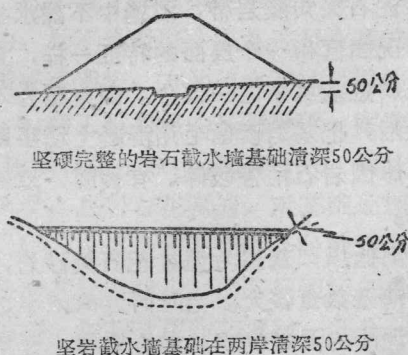


圖4

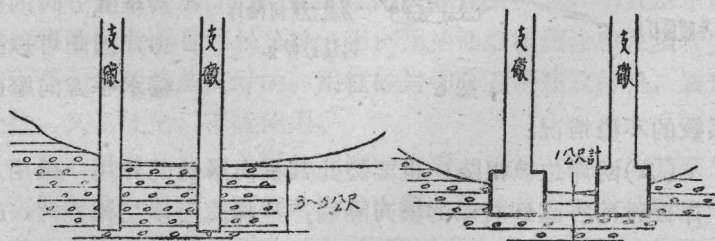
(2) 如果復蓋層不深下面又是堅實基岩，則把截水牆基礎挖到基岩上，河床及埧端都要這樣作。節理很發育的岩層應該清深一些，大的建築（30公尺以上的埧）還得對節理採取一些灌漿處理。不過對於土埧基礎作灌漿處理的是沒有做過。

(3) 復蓋層很厚時，採用上游鋪蓋方法。以臨澧沮水官亭塔水庫為例。基岩是烏桐石英砂岩，根據鑽孔資料基岩均不透水（ W 小於0.01），但是河中之沖積層很厚，在基岩表面以上，砂土、細砂、卵石的復蓋層厚達19.5公尺，以粘土和砂質粘土占大多數。當時設計埧高為38公尺，經地質勘探後知其滲透系數不大，設計上採用土埧埧型，因此考慮基礎的處理不採用截水牆而採用上游作鋪蓋，全部不清基，只是將山坡有草皮樹根的土層及河谷或河漫灘部分的淤泥帶清掉，即填筑土埧。這一處的處理方案是在1956年決定的，今年才進行施工興建。又如已經勘探設計正在施工中的黃材水庫和紅岩水庫，埧高約60公尺，都是建在堅硬岩石上的土埧，這些基礎的處理，均計劃只是截水牆或粘土斜牆清基到堅實岩層，其餘部分均不清基，一般都不作灌漿工作。

二、軟岩基礎的處理

軟岩基礎包括頁岩、板狀頁岩、第三紀紅砂岩、紅礫岩以及第四紀的松疏地層，一般對於這種地層的基礎是采用土填壩型或土石混合填壩型，但湖南省安仁仙下水庫在第三紀紅色礫岩基礎上却是作了42公尺高的混凝土大頭壩，即空心重力壩，在永興石壁壩水庫紅砂岩基礎上作了22.8公尺高的水泥漿砌塊石重力壩。這種壩型的選擇，是在附近沒有土料作壩，而且石料也很缺的建材條件下決定的。因其岩性軟弱選取這樣的壩型是有些缺點的。茲將其基礎和處理情況，分述如下：

1. 紅色礫岩基礎的處理 仙下水庫為新第三紀紅礫岩，該地層的特性是厚層狀膠結較松的礫岩，其礫粒雖很堅硬，但膠結質量很軟，可以用手指甲搓破，干燥岩心試樣的抗壓強度平均（三組試件）為180公斤/平方公分，濕的試樣（ $20 \times 20 \times 20$ 公分）之抗壓強度平均為90公斤/平方公分，鑽孔中基岩很松軟岩心率不高，但壓水試驗的滲透量很小， W 為0.01多，岩石產狀為整體，整個基坑岩石不但沒有明顯的節理和裂隙，且層縫也



原來計劃把支墩置入岩內

施工時把支墩基面增寬，但未置入岩內很深的地方去

圖 5

不显著。因为考虑其承载力很差，設計上的最大垂直荷重要求为12.7公斤/平方公分，对于这个问题的处理方法是将高支墩的基础置入基岩之下約3公尺以上的深度，即在河底清除风化的复盖层之后再挖深3~5公尺，但在施工时未清至这样的深度，而是把支墩的基础面扩大一倍，如图5所示。

经过苏联专家奥加林等人查勘，专家意見認為此类岩石是新三紀的产物，实际上不能叫做岩石，說是胶結比較好的冲积扇比較恰当些。其胶結質多为泥質浸水后可以軟化的，軟化系数将会很低。摩擦系数原来估計是0.5，因岩石不良，专家考虑此值会过大，可能招致危險。

我們接受了专家的意見，同时因为砾岩取試驗样品很困难，而摩擦試驗又无設備，因此采取以下处理方法：

(1)基础承载力方面既經施工部門扩大基面之后，可以解决其承压不足的問題。

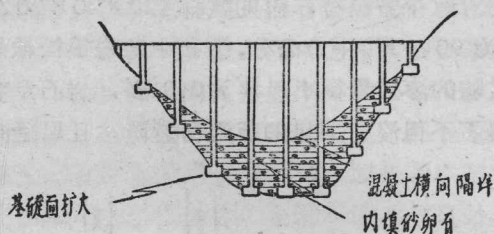


图6

(2)墩与墩之間全部用混凝土板隔起来內填砂卵石，以增大其垂直方向的压力，因此可以改善水平方向摩擦

系数的不穩情况。

(3)两岸边坡很陡，也要防止其橫向滑动的作用，采用从左岸經過河谷直到右岸的橫向隔墙，这样就可以互相支持，改善边坡不穩情况，至于隔墙的数目和不同支墩間的高度，由設計人員計算确定，以防止两岸滑动为准。

2. 紅色砂岩基础的处理 石壁壠水庫坝高22.8公尺，基岩

为新第三紀紅色砂岩，系石英質細粒為紅土質膠結，疏松不堅，指甲可以搓破，岩石產狀是近于縱谷的斜切河谷，傾向下游，傾角為 20° 多。因為沒有土料採用了水泥漿砌塊石重力壩，臨水面為 $30\sim 60$ 公分厚的混凝土板，壩長每隔 20 公尺有伸縮縫，外有柏油木板防滲，背水面為漿砌條石，壩體為 1:4 水泥砂漿砌塊石，并用大部分卵石填縫，基礎處理情況是將表土全部清除後，再把風化性的基岩去掉，到達比較新鮮的基岩，如有松散的再清去一層，直到比較完整堅實為止。再按照設計的規定，凿成整齊的齒狀階構，然後砌石，石料主要是用紅砂岩。壩的完成日期是 1956 年 8 月 20 日，大約三個月之後，天氣溫度下降，壩身開裂，從 11 月 14 日至 12 月 20 日的 36 天內，裂縫繼續發展，計垂直裂縫五條寬 $3\sim 7$ 公厘，施工人員經過多方分析和觀測，認為不是基礎沉陷的影響，而是溫度下降招致收縮不均的影響，不過所用石料質量亦太差，使裂縫更為惡化。後又經過省專縣各方面派人員檢查研究採取三項措施。

(1) 臨水面防滲，在臨水面灌注柏油砂板。

(2) 壩身水泥灌漿，用壓力灌漿來加強壩身與基礎的結合，共在壩身鑽孔 463.8 公尺，灌入水泥量計 6441.8 公斤。

(3) 控制蓄水位。經過處理之後，效果明顯，不過從中獲得的經驗和教訓也可以總結一下：用柏油砂板防滲和在壩身進行水泥灌漿效果是良好的。用紅砂岩作砌石的建築材料，質量太差，又易軟化，不能使用。

從石壁壩的已成水庫的問題上來看，新第三紀作為基礎，無沉陷現象，阻滑方面也未發生問題。不過我們對於仙下水庫的基礎處理是比較審慎的，因為壩身很高水庫很大，從專家談話當中我們深深體會，不論什麼地層都可以作壩，問題是對於這些筑壩的地層一定要知道它的工程特性。

3. 松疏基础上作土坝的处理 在软弱或松疏基础上作土质坝，本来清基工作是比较简单的，但我们碰到的情况有些也是复杂的。因为河床的沉积层常常存在具有流动性的淤泥及泥炭层，一般说法有机质含量超过1%以及水溶性盐类含量超过3%时是不适宜于建坝的，必须采取措施加以处理。我省比较高的土坝对于淤泥层等基础多是清除。但有一些中小型的土坝则常采用一些其他的方法，兹分述于下：

(1) 放缓坝坡，加大坝底宽度。在洞庭湖区修兴土堤或堵口时，常常遇到淤泥层很深的软基础，有时很象沼泽，对于淤泥是无法清除，但又必须筑坝，处理方法曾经采用层层填土，基础陷落再行填土，继续沉陷继续填加，慢慢地土坝基面扩大然后得到稳定。大通湖区有一段堵口堤，其土坝的边坡到了1:18才得到稳定，稳定后迄今无恙。不过对于沼泽性的地带还可以采用沉排方法，但我们还未用过。

(2) 挤淤的方法。河床基础上有一层淤泥，非加以很大的围水抽水工作绝不能清除，这个时候可以用挤淤的方法，先在坝轴部分填筑砂土，层层堆夯将其下面的流动性的淤泥排挤出去，这种方法在湖南省南洞庭湖堵口时曾经用过。例如南洞庭湖湘阴塞子庙堵口工程，是在水深10公尺以上的深潭中，河宽60余公尺，河底有一层不很厚的淤泥，因为淤泥在水下很深，围水清基很困难，因而采取了挤淤的方法，施工时不围水，而是从左右两岸进土至河中合龙。随后在坝身中轴上层层压土夯实，土坝则随夯随沉，水下边坡逐渐变大，其填土夯压部分均集中在坝轴线上，不填补边坡，到后来边坡在水下日趋稳定，坝坡自然变缓，其下部流动性的淤泥和初填而被浸湿的稀土，则被上压土壤所代替，把淤泥稀土排挤到上下游去了，以后继续加高的坝体也是随沉随填，直到填筑到高达25公尺时，沉陷

变小，最后趋于稳定。自1953年建成之后，经过多次考查，坝身已没有什么变化。在施工中所填筑的土方，比地面上的同样坝高的土方，要多30%。但减少了围水清基的土方，节省了器材和抽水设备。

(3)清除淤泥地层的方法。对于比较高的土坝，而淤泥层不是很厚的，则采取清除方法。在土坝基面上把流动性的土质挖掉，换以抗剪强度较大的土料，以增强地基。以桃源县之古堤水库为例。古堤水库内坡右边有一淤泥带深在2~3公尺，但分布不很广。修建水库时将淤泥层全部清除再行填土。其他如沮水官亭塔水库坝基面内有一、二个淤泥带，设计时拟将全部淤泥清除。又如汝城县的江头水库，坝基下及涵管中部有一层淤泥带，均系采用清除方法。

(4)土坝两岸坡积层的处理。对于坡积层尤其高山坡下之厚层土石堆积土，是滑坡的堆积且有滑动的可能。在选坝址时应设法避免把它作为坝基。因为这是不好处理的，当我们清基时，可能又招致新的滑崩。如果不可能避免把它作为坝基时，就应该清除，这时必须从高处逐渐向下清除，才能保证施工安全。另外这种坡积层是土石杂乱堆积，渗透性很大，截水墙必须切过它达到抗水地层，才能防止漏水，和由于漏水引起的崩垮。例如汝城李家洞水库右端外坡上的滑坡现象的处理，是将坝轴线向上游移动，使滑坡处不在坝基面之下，并且将崩垮地带上部的疏松土石清除，使其上部压力减轻，同时用粘土或石灰三合泥封闭其张开部分，填平凹处，导走径流防止雨水渗入。

(5)此外，中小型水库之基础，倘若遇到河谷是透水层或裂缝很发育的透水基岩，不能作好核心墙基础时，必须采用各种防渗设备和措施，如打深截水墙、打板桩、岩化砂卵石、水

泥灌浆、上游鋪盖等方法。从經濟可行而又能就地取材出发，当遇到抗水地层埋藏很深时，一般可以采用粘土鋪盖，我省利用粘土鋪盖修成的水庫有衡阳关王庙水庫，今年兴建的有官亭塔水庫，王家厂水庫。1953年在南兴庭湖兴建的新杲寺水閘，閘基为透水层且有承压水。閘的上下游是用混凝土鋪盖，达到加长渗徑减少渗透的目的，又如长沙市烈士公园之人工湖，本来是在瀏阳河左边的一个冲积河洲上，下层为砂卵石的透水层与河水相通，只是其上面有厚2~3公尺以上之粘土及砂質粘土，足为人工湖区的鋪盖，修造人工湖时只将个别土层淺薄和河沟深港沒有土层之处增加粘土鋪盖，这样处理之后，枯冬也不漏水了。

总之，軟岩基础的处理，我們对于新第三紀基岩修建混凝土坝取得的經驗还是不够的，目前的一些資料还只能說是一些教訓。土坝的基础处理，虽然是对基岩力学性質要求不高，但对于第四紀疏松地层特性的要求就高，虽然湘省修建土坝为数很多，羣众的經驗也相当丰富，但我們缺乏广泛的总结和研究。

三、石灰岩喀斯特区基础的处理

关于这方面的基础处理問題，主要是防止溶洞漏水。如何避免溶洞漏水，本来是要在选择坝址阶段解决的，但是选定坝址之后，在施工期間也可能会发现种种預料不到的不同的地質情况，那时清基和处理基础方法也就不能一样，这里只就清基发生的一些情况的处理方法(在喀斯特区如何修建水庫，另有总结文件)略述如下：

1. 截水墙的基础一定要建在抗水层之上。当选择坝时已經