

混凝土坝的施工

水利水电建設編委会編

水利电力出版社

混凝土坝的施工

水利水电建设委员会编

*

1605S448

水利电力出版社出版 (北京西郊科敏路二里路)

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 新华书店发行

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 开本 * 8 $\frac{1}{2}$ %印张 * 226千字

1959年1月北京第1版

1959年1月北京第1次印刷(0001---3,800册)

统一书号: 15143·1251 定价(第9类)1.20元

編 者 的 話

随着工农业生产的全面大跃进，全国各地区的电力供应情况日益紧张，动力不解决，将影响到整个工农业生产。目前大部分的省、专区、县都明确了这样一个道理，抓钢铁必须同时抓电，办工业必须同时办电，同时更明确了农村电气化对促进农业生产的重大作用。总之电力先锋必须先行。

电力来源要有两个：水力和火力。火力发电在我国历史比较长，基础也较好，而水力发电基本上是从第一个五年计划起才开始发展起来的，是一个年青的工业。由于我国水力资源极其丰富，开发条件又极其优越，所以党中央规定了我国远景电力方针是“水主火辅”。为了尽快地提前实现“水主火辅”，必须贯彻全党办电全民办电的电力建设政策，大搞水电站。

在大规模的水电建设中，混凝土坝仍不失为主要坝型之一，尤其在山区河流可以大量采取轻型混凝土坝。几年来，我们在修建混凝土坝方面，积累了一定的经验，同时也吸取了国外在这方面的一些比较成熟的经验。

为了适应目前水电建设大跃进的发展形势，和满足广大读者的迫切要求，我们把1957、1958两年来在中国水利和水力发电两杂志所发表的混凝土坝施工方面的较好经验，汇编成册，付梓问世。

本书共分三部分，第一部分是大坝基础处理，内容是响洪甸水库、三门峡水电站和印度巴克拉大坝在这方面的经验；第二部分是混凝土坝的施工，包括上犹水电站重力坝和响洪甸水库重力拱坝的施工经验，此外有中苏专家的论著；第三部分是节约水泥。

我们认为这个选辑，对我国今后在混凝土坝的设计和施工方面会有很大帮助，特推荐于读者。

由于仓促付印，无论在内容和文字方面会有许多错漏，希望读者大力指正。

水力发电编辑委员会

目 录

(一) 大壩基础处理

1. 响洪甸重力拱坝的坝址地质与基础处理
.....响洪甸水库工程局(3)
2. 三门峡水电站的坝基开挖.....王英祥 張德旺(18)
3. 印度巴克拉坝的基础处理.....楊德功(30)

(二) 大壩混凝土的施工

1. 上犹水电站的大坝施工.....潘圭綏 馬鍾珩(76)
2. 响洪甸水库重力拱坝施工介紹.....罗礼成(95)
3. 大骨料的应用和混凝土标号的分区.....蔡敬荀(107)
4. 外加剂的使用經驗.....响洪甸水库工程局(113)
5. 响洪甸重力拱坝大体积混凝土的冷却
.....响洪甸水库工程局(123)
6. 混凝土坝内温度裂缝的防止和混凝土块温度应力的計算
...И.И.瓦西利耶夫 B.B.布林科夫 M.B.罗德維契(41)
7. 国外水电建設中混凝土工程 施工經驗...Г.В.塔拉洛夫(179)
8. 大坝混凝土的預冷.....楊德功(194)
9. 印度巴克拉坝的大骨料混凝土及柯依那坝的块石混凝土
.....工 力(205)
10. 利用管柱施工法建造支墩坝.....王达观 蘆永清(213)
11. 用装配式钢筋混凝土制成的混凝土运输栈桥
.....M.M.切尔尼雅夫斯基(225)
12. 英国修建預应力加筋钢筋混凝土坝的經驗.....(232)
13. 混凝土澆制段的尺寸問題.....A.A.扎格略許基(235)

(三) 节 約 水 泥

1. 在水工混凝土中节约水泥的意义和方法.....吳中偉(245)
2. 水力樞紐工程中降低水泥用量的措施...Г.В.塔拉洛夫(272)
3. 提高水灰比降低水泥用量.....吳圣光(278)

响洪甸重力拱壩的壩址地質与基础处理

响洪甸水庫工程局

一、壩址地質

1. 地形 响洪甸水庫位于潁河西源，壩址位于麻埠下游約 8 公里的响洪甸。自壩址逆流而上，兩岸山勢雄偉，形成峡谷，出黃石冲口后即豁然开朗，为一冲积平原，天然形成良好的水庫腹地。水庫四周羣山环抱，山嶺重迭，構成良好的分水嶺。壩址附近河道寬度一般为 150~200 公尺，河床比降由 1/800~1/1,000，兩岸山坡約在 45~60° 之間，表面复盖不厚，多为棕色森林土；河床系沙与卵石，間有大粒徑孤石。河流行經曲折山谷，常是陡坡湍流，水面比降有达 1/200 以上者，山洪暴发水流飞溅，响彻云霄，响洪甸之名由此而得。

2. 地层 本水庫位于大别山区，地层比較簡單，以水成变質岩系分布最广，其次为火成变質岩及火山岩系侵入岩，壩址区域主要为岩漿岩，呈近南北向的分布噴发于变質岩区内。岩石性質复杂，种类繁多，凝灰岩及凝灰角礫岩作北 10~20° 东分布，傾向东南（即傾向下游左岸），傾角約 30~40°。粗面岩及火山角礫岩沿层面成岩牆狀侵入，并穿于凝灰岩及凝灰角礫岩內。左岸山頂为火山角礫岩，其下为凝灰斑岩，下部为粗面岩，其中有火山角礫岩侵入，山麓以下皆为凝灰角礫岩，河床部分为凝灰斑岩，內有粗面岩牆数条穿插其中，右岸山頂为正長岩及粗面岩構成，与凝灰斑岩呈混熔接触。茲將各种岩石性質簡述于后。

(1) 凝灰岩或凝灰斑岩 灰色或紫灰色，斑狀結構，斑晶为正長石，有高領土化及方解石化現象，石基为玻璃質及凝灰質，次生矿物有絹云母、方解石、綠泥石、磷灰石及磁鉄矿，岩性坚硬，为粗面岩質的凝灰岩，抵抗风化力强，在岩石表面无剧烈风

4

化現象，仅有风化节理。本岩石除具有冷凝节理外，尚因有地壳运动影响所产生的密集之节理及破碎帶。

(2)凝灰角礫岩 紫灰色，角礫狀膠結，角礫粗細不一，顏色亦有变化，成分与凝灰岩类似，但岩質較脆，节理不甚发育，亦无剧烈风化現象。

(3)粗面岩或粗面斑岩 肉紅色，斑狀結構，斑晶为正長石类，风化后呈絹云母化及高嶺土化。石基为長石类矿物及絹云母、綠泥石等，岩性坚硬，无剧烈风化現象，亦具有冷凝节理，但以構造节理居多。

(4)火山角礫岩 暗紅色，具有明显的角礫狀結構，狀如混凝土，礫石大多为粗面岩，呈角礫狀及渾圓狀，膠結物为玻璃質等，并含綠泥石及絹云母等矿物，略帶风化，节理不甚发育。

(5)正長岩 有較大面积分布于坝址上游，在坝址处仅只右岸山頂部分大多新鮮，风化較少，节理也不发育。

坝址区除部分正長岩外，大部分为岩漿岩，虽种类复杂，互相穿插，但呈混熔接触，結合良好，虽岩石名称不同，但其岩芯获取率一般都很高(90%以上)，抗压强度均在1,000~2,000公斤/平方公分，坝基漏水率亦很小，故坝址地質一般甚称良好。

3.地質構造 坝区火山岩及侵入岩近于南北向分布，与变质岩相交的南北向节理相一致，可能为裂隙式噴发，由于頻繁的岩漿活动及構造作用，故地質構造較为复杂，根据断层节理分析，主要是受近乎南北向压应力而产生近东西向的冲断层，縱节理并伴有近南北向横断层、横节理及受剪切应力而产生的剪切断层和挤压破碎帶等。茲將主要地質構造分述于后。

(1)断层破碎帶

1)王家崗断层：在坝址左岸下游約 100 公尺与 200 公尺处，有兩条断层，均为东西走向的冲断层，但离坝址較远，对坝基处理无影响。

2)左岸坝肩上游断裂帶：在紧靠拱肩上游附近的山沟內，走向为北70°，傾向西南，傾角約70°，岩层被挤压破碎，有擦痕，

大部分为方解石膠結，表面風化劇烈，为一規則的斷裂帶。由于岩性較弱被冲刷侵蝕成为山沟，上有堆积物复盖，寬度在地表約 1 ~ 2 公尺，唯其斷裂破碎影响到填基以內，增加了石方开挖量，并需严密檢查其滲漏問題。

3) 填基下断层破碎帶：靠近左岸河床南北 20° 西走向的断层破碎帶一道，傾向西南，傾角約 75°，呈不連續的剪切破碎，其寬度不大，且大部膠結，可以用局部开挖后进行灌漿处理。另外在右岸山脚下有走向、傾向、傾角均与前相同的断层，但膠結極好，工程上不必开挖处理，但其中有岩石結晶，按一般情况可能出現晶洞，如有連續性，則可能形成漏水孔道，故需加孔檢查有无晶洞，并进行灌漿处理。

4) 死活断层的情况：从鑽孔中遇到的断层角礫岩，一般膠結良好，岩性堅硬，仅局部有挤压破碎現象，但深度不大，且有方解石填充，从而証明为非活动性断层，在地震裂度 7 度的情况下（經中国科学院地球物理研究所鉴定响洪甸区域地震裂度为 7 度）不会发生錯动。故虽有断层，但仍具备建造拱坝的条件。

(2) 裂隙 坝址区内裂隙以構造节理与冷縮节理为主，茲分述于后。

1) 左岸山头的大裂隙：在左岸坝肩 120 ~ 130 公尺高程內，有四条大的裂縫。第一条裂縫方向为北 80 ~ 90° 东傾向上游，傾角約 70°；第二条裂縫方向、傾向大致与第一条裂縫相同，傾角 60 ~ 70°；第三条裂縫方向为北 70° 东，傾向上游，傾角約 80°，为其中的最大裂縫，地表寬达 40 公分，其中有松散碎石填充，近乎直立；第四条裂縫方向为北 50 ~ 60° 西，傾向上游，并有擦痕。从擦动現象上判断，其性質介乎剪切节理与断层之間，对坝头較为不利，經硯探了解，裂縫向下逐漸封閉消失，而拱軸綫又近乎垂直擦动面，故危害性不大，可用开挖与灌漿相結合的措施加以改善。另外在 90 公尺高程附近有近乎水平的裂縫，以 30° 傾角傾向河床，需全部开挖处理。

2) 河床兜底縫及填基夾层：兜底縫即平行于兩岸山坡向河床

傾斜的风化裂縫和平行于河床而近乎水平的节理，深度一般不大，仅1~2公尺(最大为3~5公尺)，因系水平裂縫，且縫中有夾泥，故影响坝基安全，因之，必須將兜底縫以上的岩石全部清除。

在坝基內从鑽孔冲洗中發現局部有夾泥层，主要是構造縫或岩縫，与兜底縫不同，其方向是傾斜的(不規則，且不連續)，夾泥层很薄，鑽孔中一般不易发现，簡單的檢查办法是水气联合冲洗，从出水上进行肉眼观察，此一方法仅能定性，不能定量。愈往下縫愈少，就愈密合，故开挖至一定深度后即进行冲洗灌漿，使縫密合。

3)冷凝裂隙：左岸山脚处粗面岩侵入体与相鄰岩体接触处，因冷凝作用，局部形成裂隙，方向为北20°西，傾向西南，傾角約75°，縫內部分为方解石填充，另有黃褐色粘土类杂物，表面寬度一般为20~30公尺，深度达数十公尺，其岩石本身却較新鮮完整，須部分开挖并加深孔灌漿处理。

4)风化裂隙：由于风化作用的結果，使岩石变質深度一般不大，仅1~2公尺，即正長岩区亦风化不深，仅左岸山头大裂隙及坝軸綫上游断裂帶影响範圍內，风化較深，达10公尺左右，均全部予以清除〔詳见图1(見插頁)〕。

二、重力拱坝对地基的要求

拱坝是一个整体，沿坝軸綫沒有伸縮縫，故不允許有較大的不均匀沉陷，它的作用是由水平的拱和垂直的悬臂梁两种結構来共同担负外来的荷重，河谷愈窄，拱的作用愈大，坝身厚度愈薄；若河谷变寬，則拱的作用变小，坝身厚度加大，由于这些結構性能，拱坝的理想，坝址应当是河谷狭窄、坝基坚固不透水，和能够抵抗侵蝕的較为整体的岩石；兩岸地形近乎对称，对計算工作也是一个非常有利的条件。

拱坝兩岸的拱座岩石較河谷地基为重要，特別在薄拱坝的情况下，外来荷重絕大部分由水平拱作用傳遞到河谷的兩岸，因

此，要求在選擇填址時對河谷兩岸岩石構造的了解應特別加強。

拱填填址應該盡量避免放在斷層上，或者堅硬和沉陷不等的地基上。但事實上，要求填址地基沒有裂隙或絕對避免斷層是不很可能的，只有經過開挖及結合灌漿。處理後，一般裂隙及死斷層的局部缺陷是可以改善的。但應嚴禁在活斷層上建造拱填，特別在地震區，對斷層的性質更須作出可靠的判斷，並詳細研究斷層在發生地震時是否可能重新發生錯動，危及填身安全。拱填的填軸綫宜布置在河谷收縮断面稍前一些，使拱座能很好地支承在岩石上，並可減少石方開挖。

在拱座山頭單薄的情况下，必須校核拱座基礎岩石的穩定性^①。

三、開挖標準與形狀要求

响洪甸水庫填基在岩石性能上，一般要求開挖至新鮮岩石以下至少 1 公尺，其斷層破碎帶要求開挖至不風化岩層，開挖後的岩基要尽可能新鮮、堅硬完整；在形狀要求上，于填軸綫方向開挖成一個規則而且漸變的縱断面，既不許可做成階梯形，又不允許有尖銳的棱角，以避免填身在基礎形狀突變處發生較高的局部拉應力，使混凝土產生裂縫，而拱座岩石面最理想的條件是開挖成全半徑向，使拱座能穩固地支持在岩盤上。但為了得到拱座岩

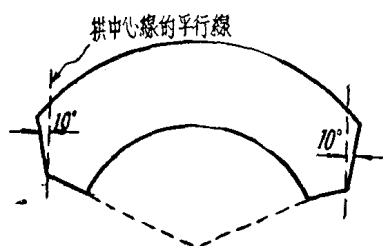


圖 2

石面的半徑向，必須開挖大量石方，故响庫只要求拱座岩石面的下游 $1/2$ 為半徑向，而將上游 $1/2$ 的岩石面向下游收斂，同時兩岸拱座面的收斂應近似地對稱于填的中心綫，其交角不應小於 20 度，亦即拱座上遊 $1/2$

部分的岩石面與填的中心綫交角不應小於 10 度，如圖 2 所示。

① 參見“水利學報”1958，第一期第36~40頁。

四、坝基开挖

1. 有关开挖措施的规定与要求 为了尽量减少岩石爆炸对坝基岩层的影响，根据响库坝址地质的岩石性能，对开挖方法与要求作了如下的规定：

(1) 开挖

1) 在利用岩层1.5~2.0公尺以上，允许深孔爆破，孔深一般不大于开挖岩石厚度的1/3，风化破碎部分，允许孔深为开挖岩石厚度的1/2左右。

2) 距利用岩层1.5~2.0公尺左右，停止深孔爆破，而改用浅密钻孔，减少装药量进行分层爆破，同时孔深限制在1.0公尺以内，装药0.5~1.0支，炮群在50孔左右。

3) 刷帮：规定留下距上下游面开挖坡1.0~2.0公尺的保护层，最后用小炮刷帮，并用延期雷管爆炸，以保持边坡岩石完整。

(2) 整修

1) 人工整修：在靠近利用岩层30~50公分时（视岩石性质而定）一般应禁止爆炸，改用人工整修，清除爆炸裂缝及松动岩石。

2) 小炮整修：当爆炸基本结束后，局部形状仍不能满足设计要求，而人工整修工作又很艰巨时，根据具体情况，可采用浅孔整修（孔深、孔距均在0.5公尺左右，装药1/4~1/2支，炮群限制为15~20个），或用黄泥贴药爆破（系用黄泥将炸药贴在岩石上进行爆炸，适用两个或两个以上自由面的形状）。唯小炮整修后，仍须进行人工整修。

3) 凿毛处理：基础岩石于人工整修后。在浇筑混凝土之前用人工将软弱不够紧密的岩石、水锈、节理缝面凿毛，以利于混凝土结合。

2. 开挖深度的拟定 一般规则系根据开挖标准与形状要求来拟定开挖深度，但结合具体条件，却有不少问题，难以获得满意的科学的判断。首先是新鲜岩石的鉴别问题，由于风化与新鲜岩

石之間缺乏一个明显的界限，从岩芯上很难精确判断其风化深度，故只能估計利用岩层高程确定开挖深度；并在开挖过程中进行肉眼鉴别，最后确定利用岩层綫。但由于缺乏鉴定标准，又系肉眼观察，故仍难以精确判断。如保証岩石不风化，則要求开挖至新鮮岩石下1公尺，但由于方法不够科学，在判断中标准难以一致，常造成爭論，且标准掌握不穩，建議制定現場鑑別岩石是否新鮮的簡易办法，以便有所遵循。其次，是对地質構造上的缺陷，如断层、大裂隙等处理方法的拟定，直接影响开挖量与工期，更是难于解决的另一問題。根据鑽孔岩心、破碎与漏水情况結合設計要求，可提出开挖高程与灌漿深度，但由于鑽孔的代表性不够，难以确定断层式裂隙的开挖深度，而是在开挖过程中加以現場掌握，如此常因开挖量增加或减少，造成工期推迟的浪費，或因工期提前，下一工序赶不上进度的脫节現象，为此建議如果遇到此种情况，最好作大孔徑(鑽孔直徑大于70公分，人可下井观察)鑽孔或經礮探了解，据以拟定处理方法与开挖深度，既有利于工期安排，又便于方案研究，应在勘探工作中加以解决，否則，將不可避免施工被动或方案变更等重大缺点，应当引以为訓。

3. 开挖程序与方法 为减少上下立体作业，坝基兩岸山坡部分，宜在清基之前进行，从下向上按断面要求开挖，至基本上符合图紙后，再逐步向上扩展，这样可作到清渣打鑽兩不误。如从上向下开挖，要打鑽的地方均堆有石渣，势必影响开鑽，故前者对进度有利，后者却有利于整修，但总的時間是前者有利，故加采用。另外，控制兩岸山坡基础开挖的因素，是清渣而不是打鑽，为此如何加快清渣速度，是一个值得研究的技术措施。根据响庫实践証明，在1:1的縱坡上，爆破的石块都是滑下来的，印度巴格拉坝曾用高压水冲洗清渣，看来是一个簡而易行的办法，但条件是否允許(主要是高水头)，經濟价值如何，应結合具体情况加以研究。响庫因受水头限制(仅3~5个大气压)，試用效果不好，故未推广，而采用人工清渣，始終控制进度，形成施工中

的薄弱环节。

先进行坝基兩岸山坡石方开挖，对施工安排是极其有利的，唯需具备地質構造已搞清、坝軸綫已最后确定等条件，否則坝軸一移动將造成盲目开挖的浪費行为，故必須积极創造条件，然后决定开挖。力爭坝基开挖工作在澆筑混凝土前結束，以解决兩者上下立体作业的矛盾。

河床部分系采用先拉明槽后扩大的施工方法，即順河流方向先开明槽，随即利用槽壁作为自由面向兩側扩大，如此爆炸效果大，标准也容易掌握，如遇断层破碎帶，則应順断层拉槽并尽先將其挖深，以便提早决定处理方案。

开挖方法系采用手提风鑽鑽孔，裝硝磺炸藥，用电雷管进行炮眼爆破。虽然它是内部爆破方法最不經濟的一种，但从滿足坝基开挖标准要求来講，却是一种較好的方法。因系人工出渣，故要求爆炸石块不能过大，一般为0.05~0.1公方，以便人工抬运；如石块过大，則需將大块石用人工搞碎或放小炮改小，增加工序，影响出渣。为了避免爆出大块石的缺点，又不能因爆炸影响坝基利用岩石，故裝藥量不宜过多，而需將孔距减小，特別在爆炸距利用岩层1.5~2.0公尺以內的岩石时，宜采用松动炮，成列分批爆破，以达到松动龟裂岩石的目的。开挖次序建議从下游往上游，这样就易于掌握半徑的形狀。

决定炸藥量时选定炸藥系数，应結合岩石特性及其一般物理性能初步决定，并通过試驗成果，加以校核。响庫岩石强度系数 $f=10$ ，根据节理、裂隙等構造条件，采用对应于爆破强度系数 $f=5\sim6$ 的炸藥系数，已能滿足爆破要求。随着开挖岩层高程下降，鑽孔加密，炸藥量也随着降低，最后一批炮眼底应保持在一個預定的面上，以免爆炸后造成不規則的断面，并引爆破主向平行于岩面，以达到保全利用岩层的目的。

4. 地質資料的补充和基础验收工作 基础开挖过程，也就是檢驗技术設計阶段的地質資料是否正确过程，但对于地質構造上的缺陷，如断层、裂隙的处理，仅从岩石表面仍难作出可靠的

決定，故常需于河床砂卵石清除之后，根据岩石表面情况，結合已有地質資料，补充必要的地質工作，如响庫在清除坝基兜底縫之后，发现仍有不規則的节理、裂縫，为了弄清情况，經鑽孔冲洗檢查（孔深 5 公尺，用水气联合冲洗），发现在技术設計阶段所未曾发现的夾泥縫問題，对固結灌漿的处理提供了新的資料。另外在断层破碎帶补作了坝基地質檢查孔（孔深 15~20 公尺，間距約 10~20 公尺），基本上搞清了破碎帶的性質、深度与范围，从而定出切合实际的處理方案，既有利于施工安排，又可作为深孔固結灌漿用来加固地基。

关于基础驗收工作，应按以下程序进行：

(1) 初步驗收：主要是檢查断面尺寸与形狀要求，于整修炮結束后即測量其断面，檢查是否符合圖紙規定，并檢查基础岩石，是否滿足要求，是否需要加以特殊处理等。

(2) 正式驗收：人工整修結束、冲洗干淨后进行，主要檢查整修是否合乎要求，即已松动裂縫岩石是否全部清除，突出棱角是否打掉，水锈是否清理，有无节理裂縫集中，需要加强灌漿处理，总之能否滿足澆筑混凝土的基础要求，并选取代表性石样，一部分进行抗压試驗，一部分留作样品作为驗收資料，以备日后查考（詳見圖3）。

五、改善坝基的措施

任何岩石都不免裂縫，而且往往会遇到断层破碎或裂隙夾泥等構造上的缺点。为弥补天然缺陷，故須研究改善基础的措施，以滿足筑坝要求，茲分述于下：

1. 断层处理 断层处理的方法常見有兩種，一种是开挖至断层变成很小，縫很紧密、岩石新鮮完整时停止，然后回填混凝土，并进行淺孔固結灌漿；另一种是开挖至一定深度，此时断层兩边的岩石已不风化，且較完整，于是即回填混凝土，并进行深孔固結灌漿。这两种方法中前者要求开挖至断层变成很小很紧密，在某些情况下是很难做到的，故在大多数情况下常采用后一

方法，如响庫坝基下的断层破碎帶也是采用开挖和深孔灌漿相结合的方法进行处理的，原来断层附近破碎帶地表的寬度最大約 5 ~ 6 公尺，經开挖 3.5 公尺后断层寬度一般仅为二、三十公分，最大 50 公分，而且兩边都是坚硬的岩石，断层帶亦大部膠結。至此即停止开挖，并在結合較差处放了断层鋼筋，然后回填混凝土并进行深孔固結灌漿。在已膠結的地方（內有石英或方解石填充），則不加放鋼筋，仅回填混凝土后进行深孔固結灌漿。

2. 裂隙处理 原則上采用开挖与冲洗灌漿兩者相结合的方法。根据对坝身危害程度的不同，提出不同的处理方法。当裂隙呈反半徑方向，或夾泥层与基础岩石面平行时对拱坝最为不利，应尽可能采用开挖的方法处理。若采用其他的方法，如灌漿、加錨錠等措施来补救，常常是得不偿失的，而“开挖”往往是最有效、最經濟的办法。若裂隙的傾角很大，近乎垂直，其走向又接近垂直坝軸綫时，这种裂隙的危害性就很小，在开挖至裂隙不寬、岩石不风化且較完整的情况下，即可采用冲洗灌漿的方法处理。根据上述原則，响庫除將风化裂隙、河床兜底縫全部清除外，并对冷澆裂隙的反半徑向部分及河床內局部的水平夾泥层开挖至相当程度后再进行冲洗与深孔灌漿，而在河床兜底縫以下的局部的不規則夾泥层，則不再进行开挖，仅加强冲洗和灌漿处理。

3. 固結灌漿 固結灌漿的目的为膠結岩石裂隙（構造縫或爆破裂縫）、改善地基的均匀性，以增强基础的承压能力。灌漿孔一般仅只布置在坝基范圍內，設計孔深均为 5 公尺，呈梅花形布置。因系采用輕型手持风动凿岩机鑽进，故在岩层較为破碎和裂隙夾泥地帶，則适当地將孔距减小至 2 ~ 3 公尺，以便冲洗。灌漿前应对岩石縫隙进行冲洗，特別对夾泥层应加强冲洗工作，冲洗时应采用高压水与压缩空气輪流冲入，以扰动縫中含泥，增加冲洗效果。因局部岩縫夾泥不易溶于水，故在冲洗出水較为清彻后尚須在孔內通压力水浸泡一个时期后再用水气輪流冲洗，反复多次至全出清水后才允許进行孔深 5 公尺的浅孔固結灌漿。根据已澆混凝土和未澆混凝土兩種情况，分別采用不同的冲洗与灌漿

压力，即前者的冲洗压力为 2.5 公斤/公分²，灌浆压力为 3.3 公斤/公分²；后者的冲洗压力为 1.5 公斤/公分²，灌浆压力 2.2 公斤/公分²。在粗面岩接触带的冷凝裂隙处及河床断层破碎带所布置的深孔固结灌浆孔，孔深加到 10~15 公尺，采用鑽探机鑽进，孔距 3 公尺。由于该处冲洗灌浆时，岩石表层的浅孔（孔深 5 公尺）灌浆已完成，并已澆制相当厚度的混凝土（一般不少于 2 公尺），故冲洗和灌浆压力分别加大为 3.5~4.2 公斤/公分²与 4.2~5.7 公斤/公分²，并采用循环灌浆法以期扩大灌浆效果。所有固结灌浆均使用 400 号火山灰质水泥，采用 1:1~5:1 水灰比。

4. 帷幕灌浆 帷幕灌浆的目的为减小基础的渗漏和减低坝基的浮托力，以保证建筑物的稳定与安全。

除被破碎带及其影响范围在帷幕孔上游加设一排孔深为 25 公尺的帷幕孔以外，其余部分均采用单排式。鑽孔沿坝轴綫布置在坝基上游坡脚内，灌浆顺序采用三次逐渐加密法，即第一次序鑽孔灌浆间距 12 公尺，第二次序为 6 公尺，第三次序达到设计标准间距 3 公尺。

此法的优缺点如下：

- (1) 下一次序的鑽孔可检查和增强上一次序孔灌浆的效果。
- (2) 可以避免或减少鑽孔相互間的串浆现象。
- (3) 可作选择檢驗孔和鉴定帷幕质量的参考資料。
- (4) 增加鑽孔移动距离，为其唯一缺点。

根据地質構造上的缺陷，并結合地質孔水压試驗資料及水头高度，拟定帷幕孔的深度。设计标准单位吸水率 $q < 0.01$ 公斤/分

压水試驗所得資料

孔 (公尺)	深	平 均 值	最 大 值
0~10		0.0109	0.051
10~20		0.0044	0.074
20~30		0.0059	0.050
30~50		0.0052	0.017

鐘。

从而可以看出一般漏水率不大，按最大水头高度約70公尺，拟定河床部分正常帷幕孔深50公尺，并根据破碎帶的深度，拟定附加帷幕25公尺。兩岸山坡则根据水头作用的大小，孔深由15~50公尺不等。所有鑽孔均用直徑57公厘的投砂鑽头鑽进。

灌漿方法一般有兩種：(1)自上而下逐段鑽孔和灌漿；(2)一次鑽孔，自下而上分段灌漿。前一方法适用于岩层破碎或多趋于垂直裂縫的地区，具有可采用較大压力、避免反漿現象、保証灌漿效果，但进度慢、成本高、多耗水泥。后一方法适用于岩层較好、不破碎或垂直裂縫較少的地区，具有进度快、成本低、鑽孔灌漿互不矛盾，但压力不能适当加大、孔壁坍塌、灌漿塞堵塞困难、常易产生反漿現象等。响庫結合兩種方法的优缺点，在破碎帶采取了綜合方法，即地表10公尺以內，則采用一次鑽孔自下而上分段灌漿的方法，并提高其灌漿压力，10公尺以下的其余部分，因岩层較好，压力允許按設計規定进行，均采用一次鑽孔，自下而上分段灌漿，其分段長度一般5公尺左右。

灌漿压力的选定：在不松动岩层的原則下，压力愈大，灌漿效果愈好。結合地質条件与設備所限，响庫一般帷幕孔灌漿压力在孔口段为4.2公斤/公分²，并以此为基数，以后孔深每增加1公尺，增加压力0.56公斤/公分²，最大压力为15公斤/公分²。灌漿前的压水試驗，压力仅为灌漿压力的0.8；檢查孔压水試驗所用压力則为最大作用水头的1.2~1.5倍。其灌注方法均采用循环式水压方法，水灰比为1:1~10:1。

另外，为加强混凝土与基础岩石間的結合，应于冬季混凝土具有甚大收縮时，沿帷幕孔前打淺孔(至岩石下0.5公尺即可)一排进行回填灌漿，以补强阻水帷幕。

5. 基础排水孔 由于基础岩层在灌漿处理之后，仍不能作到絕對不漏。为了使得透过帷幕孔的水流，能很快地自地基排出，减少坝基浮托力作用，以保証建筑物的安全，故在帷幕孔的后面加設地基排水孔一道，間距3.5公尺，孔深根据帷幕孔灌漿

时所得資料決定，一般为帷幕孔深的0.7左右，在岩层地質構造良好的地压，排水孔深約为作用水头的0.2~0.4。

六、問題討論

1. 冲洗和灌漿压力的选定 人所共知，在允許的範圍內灌漿压力愈大，灌漿效果亦愈好，但絕不允許因压力过大破坏岩石泵有組成，甚至將岩石掀起。为此灌漿压力的选定关系到孔距、成本与效果等問題，有的文献提出“灌漿压力不得大于其上岩石重量的規定”。这样作的結果，必然使鑽孔加密，成本增大，而且由于压力过低，在裂縫中夾泥的情况下含泥很难冲洗干淨，因之灌漿效果值得怀疑。这样規定不仅假定岩石有縫，而且假定垂直与水平縫將岩石割裂成块，且已全部脫开，但实际情况却不尽如此，虽然岩石不可能沒有裂縫，但裂縫一般是不規則的，除特殊情况外，裂縫并未把岩石全部分裂开来，这样灌漿压力就有可能提高，在已澆筑基础混凝土的条件下，压力更可适当加大，故建議在选定灌漿压力前先进行現場試驗，根据不同岩层構造分別定出合理的冲洗和灌漿压力。响庫曾在爆炸后但尚未整修的基地上，選擇了兩種不同的情况进行了試驗，其結果如下：

第2号块上的試驗孔：岩石較好，仅表面有細縫，阻塞器塞在孔口下1.0公尺，使用压力达14公斤/公分²以上，漏水量仅为0.2公升/分，測微仪未动。

第23号块上的試驗孔：岩石較破碎，表面裂縫多；第一次將阻塞器塞在孔口下2.0公尺，使用压力6公斤/公分²，漏水量达100公升/分，測微移动0.015公厘，第二次將阻塞器改塞在孔口下2.3公尺，使用压力加大到8.5公斤/公分²，却不漏水，測微仪亦未見移动。

以上試驗資料說明，根据响庫地質構造，灌漿压力允許适当加大，并說明因爆炸影响而裂縫的岩石漏水量很大，应当用人工整修加以清除，并將細縫进行淺孔灌漿处理。

2. 固結灌漿孔的深度、間距及其作用 一般說来，固結灌漿