

其大館藏

全国水利水电地质勘察会议丛书之十一

253456

灌 浆 試 驗

水利电力部水利水电建設总局編



2
10;7

水利电力出版社

PDG

目 录

一、帷幕灌浆的设计与施工方法.....	2
二、白莲河电站围堰基础采用粘土灌浆方法介绍.....	45
三、青铜峡河床冲积层帷幕灌浆试验.....	87

一、帷幕灌浆的設計与施工方法

水利电力部北京勘测設計院

第一部分 三門峽坝基基岩帷幕灌浆試驗

一、地質資料的收集与試驗地段的研究

在灌浆試驗以前，必須全面的收集与了解坝址区工程地質和水文地質資料，这样有利于灌浆試驗的設計和施工方法的周密考虑。

三門峽大壩的基础岩石是中生代閃长玢岩，其厚度为90~130公尺。傾向上游，从三門峽向下游閃长玢岩逐漸变薄，閃长玢岩是一种极耐风化的坚硬块状結晶岩。它的极限抗压强度可达1,000~1,200公斤/公分²。

閃长玢岩由于受到构造动力作用，使其完整性遭到了破坏。形成了閃长玢岩中的断层、破碎带以及构造裂隙密集带等，这些构造断裂带的方向有二組：一組是北东向(最发育)；一組是北西向(較少)，絕大部分傾向下游，傾角一般在70~90°之間。

一般在地表5公尺以下範圍內为閃长玢岩的强风化带，透水性較大(5~20公尺/昼夜)，閃长玢岩大部分为不透水至微透水，20公尺以下单位吸水量皆小于0.01公升/分，实际上即为不透水层。綜上所述，除断层、构造破碎带透水較大外，其他皆属不透水，断层带和破碎带內主要充填物为角砾岩、碎屑和粘土等。

(一)試驗地段的選擇原則及其注意事項

1. 選擇地段时应根据特定目的，經研究后提出几个地段

方案，根据試驗目的进行比较，然后确定适宜方案。

2. 試驗地段應該是在初步設計勘察结束后，并且坝軸綫业已确定的基础上，試驗地段尽可能选择在坝軸綫範圍內或坝軸綫附近。这样的試驗資料可与将来大坝施工时密切吻合。

3. 选择試驗地段时，最好具有能代表一般性地质条件，又具有代表特殊地质条件——如断层、破碎带、裂隙密集带等等，如此不但能与实际情况相符合；而且能通过最少的地段达到預期的目的。

4. 选择試驗地段时，应尽量照顾到大坝溢流部分地质条件，同时也应考虑到坝接头非溢流部分地质条件。

5. 选择試驗地段时要照顾到基础不同性质岩层的灌浆試驗，以便得出比較全面的資料。

6. 試驗地段位置最好是交通方便，不与施工干扰及不会受爆破影响和不受洪水威胁的位置。

而三門峽在选择第一試驗地段时考慮問題不周，所选择的地段地质条件过于偏好。缺乏代表性，接着在选择第二、三地段时，地质条件代表性較广，有普遍的构造裂隙、断层带、及构造破碎带、裂隙密集带等等。除此而外，为了在閃长玢岩破碎带找出合理的处理方法。因此，在坝址一号断层內选定了第四灌浆地段。

(二) 灌浆試驗地段确定后应做的工作

当試驗地段确定后，对该地段区域内做出大比例尺的岩石平面裂隙素描图，素描范围应根据地质条件和灌浆設計相結合，估計到灌浆試驗时，灰浆可能扩散的範圍內进行詳細的素描和記錄。如果試驗地段包括有特殊地质地段——破碎带、断层带，如在平面裂隙素描图还不能把它真实現象反映出来时，可单独的进行更大比例尺的素描工作。

裂隙素描图应反映出裂隙以及破碎带的发育规律、产状要素(走向、倾向、倾角)、宽度、成因类型、充填物以及它们的特征,并需把裂隙进行系统的编号,从而编成灌浆试验地段局部平面裂隙图。

这份资料对灌浆试验成果及灌浆试验过程中发生一些特殊现象——串水、串浆、地面冒浆、地面抬动等情况,提供可靠而有利的分析研究依据。

二、帷幕灌浆试验的设计

(一)设计时应用的初步资料

灌浆试验的设计,应以工程地质特点和施工可能性相结合。

1. 工程地质方面

1) 岩层、岩石的地质分布界线及地层的厚度。
2) 岩石物理机械性质、极限抗压强度、抗剪强度、比重、容重等试验资料,这些都与灌浆试验压力有着密切的关系。

3) 岩层、岩石的裂隙分布状况、性质、成因类型、产状要素、形态等,岩层的裂隙是灌浆处理的直接对象,它们的特征,决定了进行灌浆工作方法。

4) 坝址地质剖面图,了解坝址地质构造等情况。

5) 最好把山地工作的平洞、竖井、探坑的平面展示图和记录综合研究绘制出裂隙率随深度变化曲线图,这样的资料对设计参考价值更大。

2. 水文地质方面

1) 坝址河床及两岸衔接地段的水文地质剖面图,以便了解岩石渗透性及含水层分布情况。

2) 坝址区地下水等水位线图,这与计算压力、压水试验

等均有密切关系。

3) 地下水流速流向测定资料, 借以解决能否采用水泥灌浆, 以及是否需要采用阻止压实水泥灌浆流失的措施。

4) 地下水化学性质的资料——即溶解侵蚀作用的测定。根据地下水和地表水的化学分析结果, 做出这种水对灌浆有否影响的结论。

(二) 灌浆试验地段设计

1. 钻孔方向

确定钻孔方向的主要原则, 应使钻孔尽可能与更多的岩石裂隙、层理互相交叉。三门峡地区裂隙比较复杂, 其中以构造裂隙为主, 裂隙倾角很大, 一般在 $70^{\circ} \sim 85^{\circ}$, 按此特点, 我们在第一、二试验地段打了一部分斜孔和一部分直孔进行比较, 斜孔倾斜方向与裂隙倾斜方向相反, 钻孔倾角为 70° 左右, 但从灌浆得出的资料, 也很难看出斜孔比直孔优越, 后在第三地段一律改打直孔。

2. 钻孔深度

钻孔的深度即是帷幕深度, 必须根据岩石的渗透程度(即 ω 之大小) 来确定。一般来说, 地基为坚硬岩石时, 其透水性是随着深度增加而减少的, 当透水性小到符合于抗水层的标准($\omega = 0.01$ 公升/分) 时, 这个深度就被认为是合理的幕深了。如果基岩抗水层埋藏很深时, 也不必一定达到实际抗水层, 一般可达到坝高的 $0.5 \sim 1$ 倍。

三门峡岩石透水性因部分受到构造破碎带、裂隙密集带的影响, 在具有构造带地段上透水性变化往往是没有规律的, 如鬼门岛第三地段直45号孔在孔深 $60 \sim 75$ 米时, ω 反而比上部为大, 因此我们在灌浆试验中, 孔深都设计成打透閃长岩, 深入石炭二迭纪煤系 $15 \sim 20$ 公尺, 借以了解不同岩

层及接触带的透水情况。試驗証明三門峽站孔深度无需达到这样深，一般在地表以下50~60公尺即滿可以了。

3. 孔距的設計

灌浆孔的距离和排列，必須使防滲帷幕有連續性。一般可根据基础的透水性、承受水头大小、灰浆稠度等等来决定。

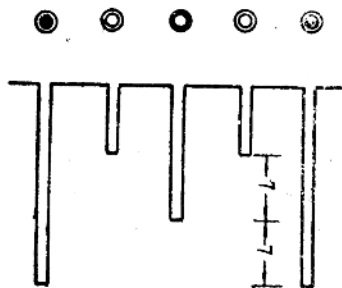


图 1

孔距一般是本着逐漸加密的原則(图 1)，因而分成灌浆孔和檢查孔二类，开始孔距(也就是第一次序钻孔)不妨稍大些，以利在逐漸加密的过程中找出合理的孔距，但起初孔距亦不能过大以免增加了无益的工作量。

三門峽第一試驗地段，初步确定直孔組孔距为 5 公尺，斜孔組孔距为 2 公尺；第二試驗地段根据第一試驗地段分为三个“一”字形，它們無論是直孔組或斜孔組孔距为 3~4 公尺，这样的設計排列缺点少了对幕厚資料的論証。因此，在第三地段設計孔排时，就糾正了第一、二地段偏差，对幕厚等等都作了全面考虑。第四地段是專門进行破碎带的試驗，所使用的压力不能太大，所以孔距定为 1.5 公尺。

根据这种逐漸加密的原則，我們收到的灌浆效果是十分

滿意的。即一般随着孔距逐漸加密，水泥注入量和单位吸水量大大减少了(图2)。

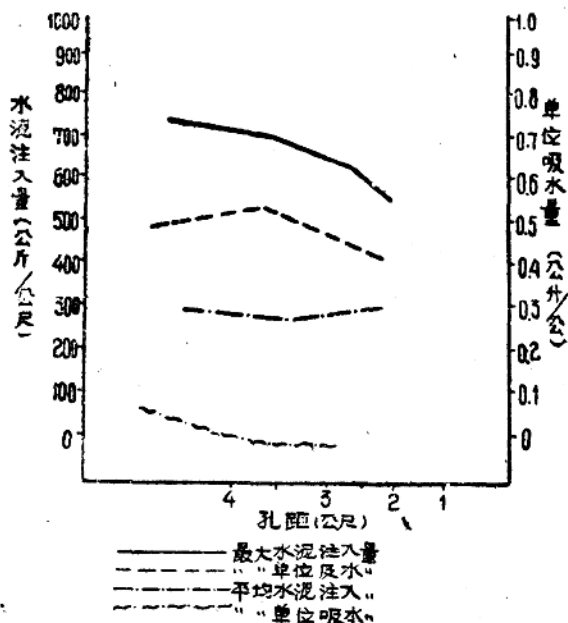


图2

4. 排距的设计

排距布置是垂直坝轴线方向，所以应该考虑到垂直坝轴线方向基岩的工程地质特征。其具体方法与孔距同，为了使同一孔距在试验过程中能以得到相互比较的机会，最好采用每种孔距有二个或二个以上的平行试验。

三门峡第一试验地段，采用“丁”字形和“△”的二种。并

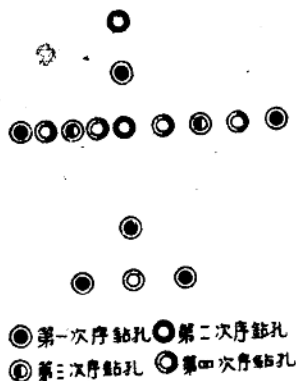


图 3

且用分組等距的(图 3), 前者, 在施工中存在着許多缺点; 后者, 違反了逐漸加密的原則, 所以, 在中途不得不停止試驗。

第二試驗地段, 采用“一”字形多組平行排列方法(图 4), 幕軸綫方向与主要裂隙(北东組)成 45° 夹角, 我們原先认为夹角相等, 孔距的資料可用排距, 其实沒

有实际資料的証实, 光凭地表推断是不够的。钻孔最大的距离为 4 公尺与 3 公尺, 最小的孔距为 0.75 公尺与 0.5 公尺。

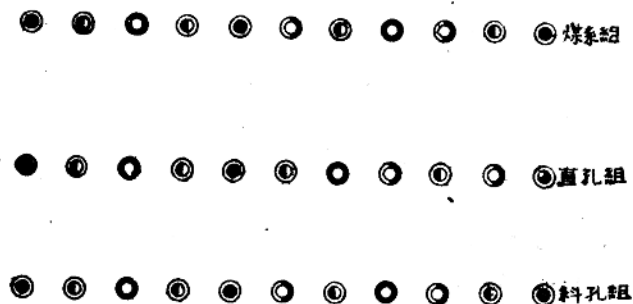


图 4

第三地段克服了一、二地段的缺点, 采用了“十”型的钻孔布置(图 5), 这样可能取得多方面的資料, 并且相互比較的亦更多, 証明是一种比較优越的方法。

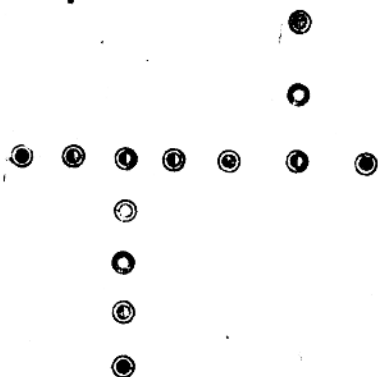


图 5

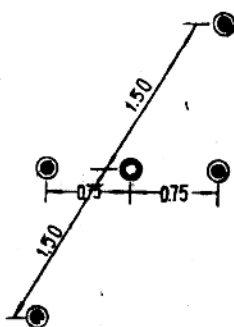


图 6

第四地段为了适应羣孔作业和破碎带的宽度，钻孔基本上是按“十”字形排列的(图 6)。

5. 灌浆孔径

一般希望灌浆孔尽量采用小口径，它具有下列优点：施工方便且经济，浆在孔内流速大，不易沉淀，但是在灌浆试验中为了用岩心来鉴别地质构造及确保堵塞塞住，故我们采用钻孔直径 $\phi 91$ ，如遇松散岩层时，还必须考虑到变径问题，故上部孔径再可稍放大一级。

6. 孔段长度

为使取得的资料能有较高的精确性，各个钻孔应自上而下(各孔段之高程最好保持一致)逐段进行试验，每试验孔段长度不应过长，一般规定为 5 公尺，如碰到耗浆量甚大的破碎岩层及耗浆量甚小的基岩时，可酌情修改之。

三、灌浆试验施工方法及程序

(一) 施工程序的编排

我们都采用了自上而下的逐段压水和灌浆方法(段长计

有5公尺、6公尺、3公尺等各地段不一样)，先进行試段钻进，钻至預計高程后，接着进行清水冲洗，直至見不到悬浮細小物質为止，然后下栓塞采用同一深度灌浆压力（75~100% 工种）进行高压压水冲洗裂隙，其后再做低压压水試驗，求出其单位吸水量，按其大小进行灌浆工作。灌浆結束待干后，再钻开原孔段洋灰柱，做檢查性压水試驗，如单位吸水量符合要求（小于0.01 公升/分），可以繼續进行下一試段試驗工作，否則应重新做灌浆工作。

各次序钻孔施工过程，本着逐渐加密的原則（图1），从施工剖面，施工高程上采用多孔平行流水作业法，但各次序在縱深方面保持一定的高程差（图1），其目的为避免前一次序孔灰浆还未凝結前，而被后一次序孔压水冲毀等現象，同时也可避免施工上的相互干扰。

（二）施工方法

1. 钻孔工作

对钻孔工作的要求，是根据保証灌浆資料正确性而提出的，应尽量保持孔壁均匀平正，岩心获得率高，裂隙不被岩粉或其他杂物所堵塞，孔軸綫不能过大偏斜，为符合这些要求最好采用硬合金，鋼粒鉄砂混合钻进等。

三門峽坝址区为7~8級閃长玢岩，虽用合金鋼钻进为宜，但因受技术水平和經濟条件所限，我們只能使用鋼粒鉄砂清水冲洗的回轉钻进，在煤系中采用硬合金钻进，效果都是极其良好的。

在钻孔工作中，由于灌浆孔距較近，深度又大（最近的为0.5公尺，最深的为100多公尺），如果钻孔有稍大的偏斜，易产生串通現象，这样不但影响了灌浆質量，而且經濟上也是一个很大的損失，三門峽在第二地段仍有二对钻孔发生了

此种情况，为此，我們在鉗孔工作中十分重視鉗孔偏斜問題，所以在第三、四地段并未产生串通情况，同时对鉗孔偏斜也摸索出許多措施經驗及控制該种精度的測斜仪来，茲介紹如下：

(1) 采用加重减压鉗进。即在鉗具上安設足够重量的鉗鉗，又利用給进把平衡器减压，这样上下二头力使鉗具起垂直方向的撐直作用，保證了鉗具的垂直；

(2) 采用混凝土鋼軌基础，并設前后微动裝置，使鉗机很好的固定在水平面上；

(3) 安設孔口定向管，其长度不应短于3公尺，这对导致鉗孔沿着預定方向鉗进，起着很大的作用；

(4) 采用基础稳固、精度較高的匈牙利300型鉗机；

(5) 在鉗杆上每隔3~4公尺，加設导向胶皮圈，以防鉗具用劲时产生过大的离心力；

(6) 稳固鉗机时，可用鉗錘通过鉗机立軸中心对准孔位；

(7) 采用鋼粒鉄砂混合鉗进，每次給砂量尽量少，鉗粒直徑不要大于 $3m/m$ ，以减少孔壁和鉗具的空隙；

(8) 鉗机立軸轉数最好采用140~170轉/分(免离心力太大)，鉗具长度不应短于9公尺；

(9) 經常每10~15公尺測孔斜一次，如超过偏斜必須設法糾正。

2. 洗孔及裂隙的冲洗

冲洗工作的好坏，对渗透性及灌浆資料正确与否有密切关系，所以此項工作在操作規程上必須作一專門性規定。

在鉗孔結束后的冲洗，直至回水完全澄清为止，高压水冲洗可分单孔和羣孔二种。

單孔沖洗，三門峽在第一、二、三地段均採用，它的壓力為灌漿壓力的75%，直至穩定流量時間超過40~60分鐘方可停止（流量的穩定表明了岩層裂隙斷面也不會再發生變化了）。

羣孔沖洗裂隙，經過第三地段初步試驗後收到了良好的效果。而在第四地段我們又廣泛的採用了這種方法，証明效果是極其優越的，特別對幾個鉆孔相互串通時更適合該種沖洗，一般都能把碎屑沖出來，其壓力可採用同深度的灌漿壓力。

在第四地段破碎帶內充填着很多粘土物質，根據規範中介紹及各單位施工經驗，我們利用了5%氫氧化鈉(NaOH)稀溶液進行強烈沖洗，但經多次試驗，並未收到明顯效果，後又改為清水沖洗。

3. 壓水試驗(低壓壓水)

可以正確的求得岩石滲透性和單位吸水量，其數值是供灌漿時正確的選擇水灰比。

在第一試驗地段中，每孔做四次壓水試驗，其中二次高壓壓水，二次低壓壓水試驗。

第一次是低壓壓水，求出岩石裂隙未被高壓壓水沖洗前的單位吸水量；

第二次是高壓壓水，主要是沖洗裂隙；

第三次是高壓沖洗岩層後的低壓壓水，求出岩層被高壓壓水沖洗後的單位吸水量；

第四次是檢查性的高壓壓水試驗。

後因壓水試驗在整個施工中占時間太長，在第二、三地段均把第一次壓水試驗省掉了，根據試驗証明，高壓壓水前後之二次低壓相差1~2倍左右。

第四地段，我們先採用高壓壓水，其壓力與灌漿壓力

同，穩定流量時間為一小時，如各孔段不串通，可採用單孔壓水試驗，如串通的鉆孔可採用羣孔壓水試驗。

4. 灌漿工作

(1) 灌漿壓力

在不破壞岩石的結構情況下，越大越好，其具體數值決定於孔深、岩層的性質、完整性、裂隙的大小，以及使用水泥漿的濃度而定。

其壓力的計算值應規定不得小於岩層上方厚度的重量與建築物建成部分重量，一般可根據“蘇聯水泥灌漿防滲帷幕”中實驗資料查得(表1)。

表 1

基礎岩層性質	最大容許壓力 (公斤/公分 ²)	井 孔 類 別			水泥漿濃度	
		基本孔 (第一 次序)	第一 檢查孔 (第二 次序)	第二 檢查孔 (第三 次序)	稀 漿	濃 漿
層理或裂隙呈水平狀 的沉積岩	孔深每公尺為 0.25公斤/公分 ²	1.0	1.25	1.5	1.0	1.5
裂隙稀少的大塊結晶 岩	孔深每公尺為 0.5公斤/公分 ²	1.0	1.25	2.0	1.0	1.5

注：表中最大容許壓力值，應按施工次序，乘以表右側各行中之相應系數。

三門峽壩址區岩層堅固，裂隙細小，傾角較大，能耐高壓，根據公式計算得：

$$P_{n.p.} = P_0 + P_z.$$

式中 $P_{n.p.}$ ——全壓力；

P_0 和 P_z ——根據岩層來決定的；

Z ——灌漿段頂板以上岩石厚度。

閃長玢岩 $P_0 = 3$ 公斤/公分²， $P = 2$ 公斤/公分²；

第一試段 $P_{nP_1} = 3 + 2 \times 3 = 9$ 公斤/公分²;

第二試段 $P_{nP_2} = 3 + 2 \times 8 = 19$ 公斤/公分²;

第三試段 $P_{nP_3} = 3 + 2 \times 13 = 29$ 公斤/公分²;

第四試段 $P_{nP_4} = 3 + 2 \times 18 = 39$ 公斤/公分²。

但由于灌漿机械設備限制，在第四段以下压力均一律采用29公斤/公分²，如在基岩中遇到裂隙密集带，破碎带等等均可酌情的降低压力。

另外在灌漿地段附近必須設置岩石面抬动观察仪，如有岩石抬动現象，必須降低压力，設法处理。

(2) 灰漿稠度

通过压水試驗求出来的单位吸水量，其大小只能标志着岩层的透水程度，而不能表明裂隙大小，灌漿中使用灰漿稠度与单位吸水量最优的关系，应通过各孔段試驗才能找到。在起初我們第一地段曾采用过，其数据如表 2。

表 2

单 位 吸 水 量 (公升/分)	灰 水 比
0.000~0.001	1:16~1:14
0.001~0.005	1:14~1:12
0.005~0.01	1:12~1:10
0.01~0.05	1:10~1:8
0.05~0.1	1:8 ~1:6
0.1~0.5	1:6 ~1:3
0.5~1.0	1:3 ~1:1

当在同一灰漿稠度下，逐漸变濃至注入量慢慢减少时，应将灰漿稠度逐漸变稀至1:12或1:20結束，使細小裂隙能給以补足，但据資料分析难以达到預期效果，后一律改用表 3 选择。

表 3

单 位 吸 水 量	灰 水 比
小于0.01	1:12
大于0.01	1:10

同一稠度的灰浆注入量超过300公升/分而不見减少时，可把灰浆稠度按 1:12、1:10、1:8、1:6、1:4、1:3、1:2、1:1、1:0.8、1:0.6 逐級变濃，后又在第三地段增加了如 1:4 灰浆量，超过300公升，但还須保持 40 分钟，这个措施是比较完善的。

在許多灌漿孔段中資料証明，只有在裂隙的吸水率不小于0.01公升/分的情況下，才能灌进水泥浆去，最后經总队几次會議討論決定在小于0.005公升/分以下一律不进行灌漿工作，且每公尺水泥消耗量小于一公升的也无需待干的必要。

(3) 灌注材料

水泥浆材料的选定，是根据岩层裂隙大小、透水情况、地下水、地表水有无侵蝕性决定的，三門峽坝址閃长玢岩裂隙水无侵蝕性，流速小于 1 公尺/昼夜，裂隙密集細小，所以采用了普通500号水泥，水泥經篩分結果，其中有5.6%的水泥粒徑大于0.1公厘，故用特制的90号篩分析过篩(4,900眼/公分²)，但当稠度大于 1:3 的灰浆而每分钟注入量超过 5 公升的則可以用不过篩的水泥。

在第二地段为了加速凝固和待干時間，仍使用过氯化鈣，虽在時間上有了縮短，但水泥凝固后质量大大減低了。由于氯化鈣使水泥保水能力增加，强度大大減低，后在第三、第四地段均未采用速凝剂。

为了鉴别扩散半径，我們建議可采用不同顏色的水泥。

(4) 机械設備与装置

在各个地段試驗中，基本上采用循环式水压灌浆，但在个别孔段孔壁坍塌，也曾采用过填压式灌浆，在第一試驗地段的施工初期，曾使用过单缸立式和双缸立式的灌浆机，后因不能满足高压灌浆的要求，改用skP-90×150往复式水泵。

skP-90×150往复式水泵能配置三种大小不同的缸套，借以适合各种排浆量的需要，吸程較长，往复次数不多，运转平衡，唯一的缺点是灰浆易磨損机件，兼之每次灌完后，必須进行一次清理工作。

灌浆塞均采用圆柱形循环式灌浆塞，结构简单，操作和拆装方便。三門峡仍使用过灌浆塞下部加了一道长长的輸浆管，直至离孔底50~100公分左右，后因灰浆流速不够，常常因沉淀灰浆而堵塞，所以后期很少采用。

灌浆机和钻孔的距离为20~30公尺，其間用12层布的耐压胶皮管連接，在回浆管路上安設一活动夹子賴以控制压力。

(5) 灌浆效果的检查

灌浆試驗是隐蔽性的工程，灌浆后必須經過质量检查，对灌浆效果才能有全面了解。灌浆质量检查一般我們曾做过以下三种方法：

1) 原孔灌浆质量检查——这是把原来灌过浆的孔段經待干钻开洋灰柱，經冲孔后，我們在初期用0.5、1.0、1.5公斤/公分²压力，做低压压水試驗，在第二、三、四地段采用大坝水头1.0~1.5H稳定流量为一小时，按其耗水量Q按公式 $\omega = \frac{Q}{HL}$ 求出单位吸水量，如小于0.01公升/分即为合格。

2) 检查孔：最后一次序的钻孔为純粹检查孔，除了从其