

86.831
L B Z

~~24344~~

083378

第六次国际大壩會議論文选集之三



堆石坝及其心墙的 設計和施工

C. M. 罗伯茲等著
水利水电科学研究院译



圖書之單

1962.11.2

水利电力出版社

內 容 提 要

本书系第六次世界大坝會議論文选集之三，书中包括有关堆石坝及其心墙問題的論文 4 篇，計为：克伊奇堆石坝，土耳其海发里坝不透水心墙和坝壳的施工，論堆石坝斜墙內的沒閘綫和滲流量，为解决高堆石坝不透水层設計而对試驗性粘土填方进行的观测。

本书通过具体实例，論述了有关堆石坝及其心墙方面的一些問題，可供水利水电設計、施工及科学研究人員使用，亦可供高等院校水利系及有关专业的师生参考。

堆石坝及其心墙的設計和施工

C. M. 罗伯茲等著

水利水电科学研究院譯

2263 S 692

水利电力出版社出版（北京西单科学路二里为）

北京市书刊出版业营业許可証出字第195号

水利电力出版社印刷厂排印

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

350×1168 1/32开本 * 1 1/2印张 * 19千字

1959年12月北京第1版

1959年12月北京第1次印刷(0001—2,143册)

統一书号：15143·1836 定价(第10类)0.36元

目 录

克伊奇堆石坝.....	2
土耳其海发里坝不透水心墙和坝壳的施工.....	22
論堆石坝斜墙內的浸潤綫和滲流量.....	31
为解决高堆石坝不透水层的設計而对試驗性粘土填方 进行的观测.....	45

克伊奇堆石壩

(英国)C.M. 罗伯茲

1. 引 言

克伊奇壩形成了苏格兰英伏尼斯郡加丽河二級开发工程的主要水庫，它是在1955年11月委托北苏格兰水电局建造的。

这个壩位于罗克伊奇东端，壩长320米，高38米，它抬高水位30多米，形成了长15公里、平均寬为1.2公里的水庫。庫容有3.53亿立方米，落差26米，供发电330天。流域面积135平方公里，为英国最潮湿地区之一，平均年降雨量为3175毫米。

在水庫区西端必須建造两个小的拦河壩，两个壩全是混凝土重力壩，但其中一个有一小段具有堆石支撑的心墙，用来封閉深而窄的暗沟。

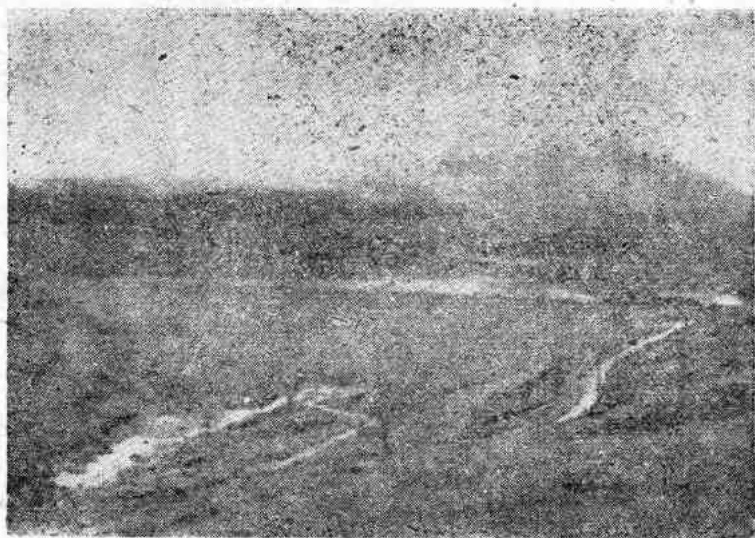
靠一个长4.5公里、直徑3.5米用混凝土衬砌的隧洞从水庫輸水至发电站。隧洞的进口处装置了一自由滚动式控制閘門和一保險閘門，均安裝在一个閘門井內(图1)。进水口本身設有一重型的带耙的拦污柵，以防止污物。

为了保护通至隧洞进口的明开段不致被由水庫风浪冲下的冰碛、漂石等損害，从明开段边缘且平行于明开段建造了一混凝土擋土墙的保护带，高2.13米，平均高1.5米。除了明开段边缘与擋土墙之間的区域之外，在擋土墙外边一条約9米寬的复盖层被开挖至岩石上。

由于克伊奇工程地点偏僻，引起了一些困难，主要是劳力供应和通路的准备。承包者在发电厂厂址附近，約在克伊奇壩下游5公里处，建立了一个良好设备的主营房；这个营房还有工厂、仓库、办公室等。在水庫西端建立了一个輔助营房，供在两个拦河壩上僱用工人的住宿。在施工最高峯时期，在各工程上僱用了

640人，这些工程中除了坝之外有发电隧洞、发电厂和一条2公里长的山坡水道。

至坝址的通路是从英伏加丽开始的一条二级公路，其路面在建造开始前重新铺设到克伊奇坝。从那里起公路的标准逐渐降低，一直通至罗克伊奇的西端。从这一点起，必须建造一条约5公里长的新公路，以达拦河坝址，而且相当一段的现有公路需要加宽和加固。由于沿着罗克伊奇的公路以后要被淹没，所以必须在建造主要工程的同时(分别签订合同)，在较高高程上建造一条新公路。



混凝土的粗骨料是在现场生产的，石料是来自隧洞开挖或来自位于水库区的采石场(约在克伊奇坝上游0.4公里处)。砂必须从离工程最远达96公里地区的一些取土坑运入。水泥是来自英格兰南部的工厂，由海路运至英伏尼斯，再从那里由公路运至工地。

2. 坝的设计

在早期研究过的几个设计中，被认为最合适的是混凝土重力坝和上游有混凝土面墙的堆石坝，估算表明堆石坝的造价比混凝土重力坝低，主要是因为有着相当数量的开挖石料可以利用。另外两个因素影响了最后的选择。一是节约水泥，部分是由于季节性缺货，部分是由于价格的一直上涨。另一是缺乏木匠，这是过去英格兰水电工程曾遇到的困难。少用模板的建筑类型被认为是特别吸引人的。

也曾经考虑过上游面墙同刚性心墙比较的问题。后者曾被采用在许多坝中，并曾发生过一些失事，主要是由于堆石的侧向移动。采用心墙需要比较大量的堆石。由于加丽河河谷是大格兰地震活动区的一个部分，所以觉得面墙同截水墙之间的柔性连接缝，比一个对于心墙底部不合适的活动接缝能较好地抵抗地震。在水库区内未能找到可用来建造不透水部分的冰碛土。相信堆石能充分压密，使施工完毕后的沉陷最小；这样给上游面板一相当坚硬的支承。

坝所采用的最后设计是由压密的堆石主体组成，下游面坡堆成1:1.4，上游面1:1.3。

下游面是裸露的，为了得到稳定并使完工后很平整，用人工堆砌一层平均厚为23厘米的较大石块，作为坝主体的一部分（图2）。

减少堆石体沉陷的措施，在本报告的后面叙述，为了在坝的上游面使混凝土面墙有一实际上固定的支承和一个平整的面，采取了专门的措施。一个厚度变化的垫层（下部厚2.13米，上部厚0.9米），是以人工挑选的大块石堆砌成的。规范规定在堆石主体填筑好至少三个月以后才能在其上铺此垫层。这样做是为了使堆石在自重和施加的压密下尽可能多地沉陷。

在坝的底部岩石上，建造了一个钢筋混凝土双涵洞，约102米长。其中一半，有一直径180厘米的软钢冲刷管竖立在台座上，

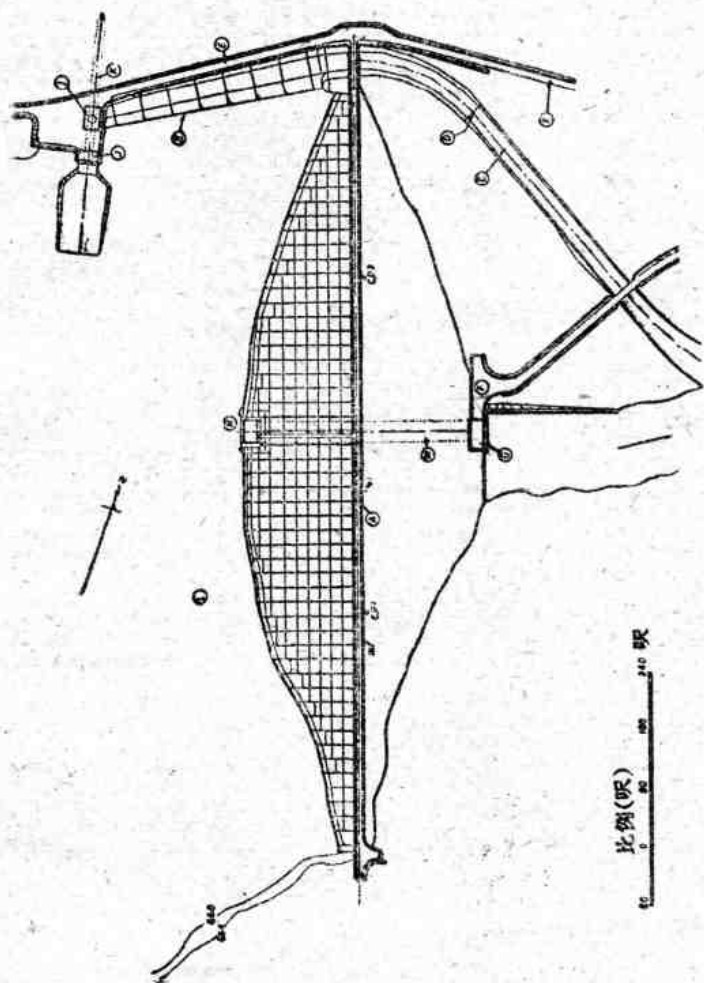


图 1 总平面图

A—道路; B—旁侧渠道疏浚; C—溢洪道; D—混凝土墩; E—公路; F—回廊; G—补偿水发电; H—涵管; I—隧洞; J—隧洞进水口; K—隧洞; L—隧洞; M—涵管。

比例(呎) 0 50 100 200

且在上游边端可用一保險閘門来关闭。在下游边端装有一針形閘，以便将水泄入河槽中。該冲刷管也用作泄放每秒1.25立方米的补偿流量。这个流量，通过装在坝址处的一个350匹的臥式反击式水輪机，被用来增加发电量。水的供給是通过冲刷管的一个支路。涵洞的另一半是用作泄水的，在正常时期用一单面閘門关闭着，下游边端在正常时期用一个空心法兰关闭。閘門和保險閘門都通过坝上游面一鋼筋混凝土結構頂部的閘室操縱的，到閘室是借鋁制便桥連接至坝上的公路(图1)。

涵洞是第一期建造的，并作为河流部分分水用。

北岸有側槽式溢洪道(图1)。溢洪道的渠道只是在頂部用混凝土衬砌。曾进行了模型試驗，以确定渠道的正确形状和坡度，特别是确定进入坝下游河床的流量。

3. 堆 石

坝所需要的堆石总量达295,000立方米，其中約76,500立方米由开挖岩石(这种石料一般是适用的)取得；不足部分从采石場取得。

在工地发现的岩石为摩挪(Moine)片岩，其分类为从带有火成貫入体的砂屑片岩和泥質片岩到块状的白粒岩。规范要求采用干淨和坚实的石块，且必須注意从堆石备用的岩石中除去所有的或大部分高云母質岩石，因为这种岩石具有不良风化性質。这种不合格的岩石当然必須在早期就剔除，以免将合格的和不合格的石料互相混在一起。为此目的，在隧洞內(它是开挖堆石的主要来源)进行了一系列的檢查。檢查員必須在清除前一次开挖后检查每一隧洞面，因这时候的隧洞面很干淨而且从实用上来看，事实上也为下一个开挖长度提供一个典型断面。如果这个断面显示有超过約10%的云母夹层，則所开挖出的岩石禁止使用，而所生产的石块則移至合适的石堆。偶而，所有禁用的石料被用来建造临时公路和类似的工程。这一系列的檢查进行得相当滿意，而在堆筑时对堆石的檢查表明仅仅有一些小量的云母質岩石，不过

这些石块散开得很好。采用这种检查方法，大約有15%的隧洞岩石被弃置。

在明开挖中，检查当然是較简单的，但一般地仍采用同样的原則。

另外，所有小于9.5毫米的細粒必須除去。这样规定的理由是因細粒的存在可能会阻止堆石的石块边对边地堆积，并且可能形成一些細砂集中带，这些带在荷重增加时可能坍塌，或者坍塌而引起沉陷。另外，还研究了冲射水可能把細粒挟带入河中并引起污浊，而危害魚的生存。为了除去这些細粒設置了一个主要包括有搖动篩的除尘站，所有开挖的和采石場的石块都通过这个站。因为用的炸药比例高，隧洞石料含有許多細粒，并且由于經常的潮湿天气使得这些細粒附着在石块上；很快就发现单是过篩不能除去細粒至可接受的程度。于是，增加冲洗的设备，并結合設置除尘站；这个方法进行得很好，虽然它引起了由于冲射水对河水污浊的問題。試驗表明采用此法，平均将除去16.4%的材料。

填基的准备包括简单地清除复盖层和清洗基岩。只是在一些个别地方必須清除已分解的岩石，不过深度也不大。一些原来为粘土充填的縫，用混凝土填塞起来。开挖是用索式鏟土机或面鏟来进行的，而最后清洗是用鎬和鏟。

曾用噴射法打算清除在南側的相当陡的复盖土，但是由于污浊了河水，已放弃这个方法。复盖层深度的变化达6.7米，主要是由泥炭和不易压实的含漂石的冰磧土組成。这样的材料被认为不宜于作为堆石的基础，因为有預期的沉陷和可能滑动，而且地面的坡度一般是向下游，滑动更是可能的。

在上游填趾处开挖一截水槽深至新鮮岩石內，在高程191.5米(离水准基面)以下的区域深进180厘米，而在高程191.5米(离水准基面)以上的区域深进120厘米。截水槽底寬为120厘米，其边坡为4:1。截水槽下面有灌浆帷幕，其在河床內最大深度为12米。最大灌浆压力为4.2公斤/厘米。用混凝土填筑的截水槽可作上游面墙的底部支承用。面墙与截水槽之間的連接处垫以不透水填料。

設置了地基排水設備。此設備包括有許多直徑為 152 毫米的明接頭的混凝土管，圍以 23 厘米厚的人工堆砌塊石。這些管按基岩的天然落差鋪向河槽，一般是跟隨着岩石的天然溝壑而鋪設。小量的開挖是必須進行的。這些 152 毫米直徑的管子被引進設置在涵洞兩邊的兩個 450 毫米直徑的管中。這些管子的水泄入 600 毫米的管子中，組成了在南北兩個側邊的下游堤趾排水。這樣一種布置使得在兩固定點（即在兩個 600 毫米的排水管端點）的漏水觀測和測量容易進行。觀測曾進行了 9 個月，在南面排水管流量是 0.017 立方米/秒，而在北面的排水管流量為 0.005 立方米/秒。

大部分的水是從堤下游來的地面水，特別是在南面，那里的排水管位於很深的泥炭中，並且排除河岸很大面積的水。因此，真正的滲漏水量可以略而不計。

在清除基岩之後，必須先以人工用碎石將地基孔穴和不規則處填塞後，方能開始堆石。在這些孔穴處的堆石的壓實是相當困難的，曾使用瑞典造的震動錘，但不太成功，這可能部分是由於操作者對這種設備缺乏經驗之故。在這個操作中使用的“土壤震動夯實器”，包括有一堅實的震動底板，它同堆石接觸。連接在底板上的震動構件可用一個駕駛柄轉動，因而合力的方向是變化的，並且這個震動器可自己向前或向後移動。震動部分是由裝在底板上的一个柴油馬達來帶動。震動頻率是 950 轉/分，機器總重為 1360 公斤。所遭遇到的困難是當機器撞上一個大石塊或基岩時，主震動器彈簧會受到破壞。

考慮到在施工期和水庫蓄水後的允許沉陷，在水平和垂直方向上，將堤的斷面增大 30 厘米，垂直方面的增大，大致為總高度的 1%。

為獲得最大的壓密，堆石的規範規定了一些條例：

1. 堆石 60 厘米厚層分層填筑，沿整個堤長整平，每層從上游向下游傾斜成 1:24 的坡度。
2. 用來堆筑的不同大小的石塊必須分散開，以消除相同大小的石塊聚集成窩穴。

3. 每一层需用不小于10吨重的辗压机很好地辗压。

4. 在压密时,每层必须以最小压力为2.8公斤/厘米²的水充分冲洗。每一层用水容积必须不少于该层石块容积的四倍。

采用的石块的最大尺寸并没有注明,但这是根据每一层的厚度来控制的。在实践中发现石料的加工给出了相当好的级配,从采石场采来的石块一般大于隧洞开挖的石料。为了便于在每层表面上行驶胶轮車輛,在其上盖一层骨料碎石厂废弃的石料,主要是应用76至100毫米大小的石料。

辗压开始时是用一台10吨重的蒸汽辗压机,但是在工作开始后不久,根据从国外得来的报导,考虑了用振动辗压机。从丹麦运来一台約3½吨重的震动辗压机,并对其进行了长期间的比較試驗。这些試驗証明,对60厘米的层厚来说,用10吨重辗压机能得到的最大压密是2.6厘米,即4.3%。在压密过的层上使用震动辗压机又得到附加压密1.1厘米,即1.9%。因此,这种組合的总压密是3.7厘米或6.2%,这可与单用震动辗压机获得的压密3.5厘米或5.7%相比較。

用組合法能有稍好压密的理由是震动辗压机在已經整平了和部分压密后的表面上工作得最好,因为辗压机在堆石的整个寬度上有着較好的接触。

采用的震动辗压机包括2.70吨重的轆子,活动地悬吊在一个桁架上。这个架子在其尾部带有一个产生震动频率为1,500轉/分的震动馬达。这一組合体是用一汽胎拖拉机牵动的。

辗压期間的困难之一,是如何很好地压密每一层的边緣。首先是操作者害怕将机器太靠近边緣,其次是没有側向限制的块石堆被推向外面,这与保持正确的断面是矛盾的。由于在每一层堆填之前先用人工堆砌較大块石,使之成为約45厘米厚的粗糙干块石砌坡,在上游坡留有梯阶,以便可以最后楔牢在用人工堆砌的块石垫层中(这45厘米厚的块石砌坡是块石垫层的組成部分),这样就大大减小上述的困难。同样,在下游坡也提前准备好了一层23厘米厚的人工堆砌层。断面是由坡度板来控制。

在實踐中沖射水是分兩步進行的，即在10噸輾壓機輾壓後使用規定體積的一半，而在震動輾壓機輾壓後用另一半體積的水。

一定壓力下的水是从裝在填下游的水泵中打出的，而實際的沖射水是來自兩個裝在特制車上的直徑152毫米的水管，這兩個水管上裝有許多直徑12毫米的向下的噴咀。沖射水量的有效控制一般是讓水車在一個地點停留的時間（以分鐘計）要準確，然後向前移動，移動的距離剛好等於其寬度。水車上還裝有一個壓力表。一般地說，這個方法工作得相當好，但是控制正確數量的沖射水是有困難的，並且使用的較小的噴咀也是有問題的，這裡尚有改進的余地。此外，使用粗的強大的沖射水將抵消一些對堆石的壓密，且也是難以操作的。

上面所述的全部操作的控制和管理是很重要的。很快地就取得了一個正常的生產率。堆石的平均填筑速率每月為13,160立方米，最高為22,950立方米。在頂部附近，當因填的寬度減少而限制了車輛和輾壓機的駕駛時，生產下降相當大。即使在生產最高峯時期，發現也只需要一部10噸輾壓機和一部震動輾壓機。

從除塵站運輸石料是用鏟運機或類似的傾卸卡車，鋪填堆石並使其粗略地形成堆石層是由斜角推土機進行的。在北岸需要修築一系列的通路來配合填體高程的上升。

供應建造人工墊層所需要的選擇過的石料是有些困難的，因為作為供應石料的總通路的填體的高程，同正進行墊層工作的高程有着差別。由於沿着填體上游邊緣安放一些小型活動起重機，並用石斗或起吊索來下降選用石料，因而這種困難已被克服。經過相當長的時間後才建立了一個可行的施工次序和方法，特別是由於這個工作並不真正要求熟練的石匠，而在任何情況下熟練的石匠是缺乏的，所以必須為這個工程訓練普通工。

對壓密過的堆石進行試驗是為了求出其密度。數次試驗的結果，得出的密度為1913公斤/立方米，孔隙率為27.1%。而未經過壓密的石料孔隙率為41%。

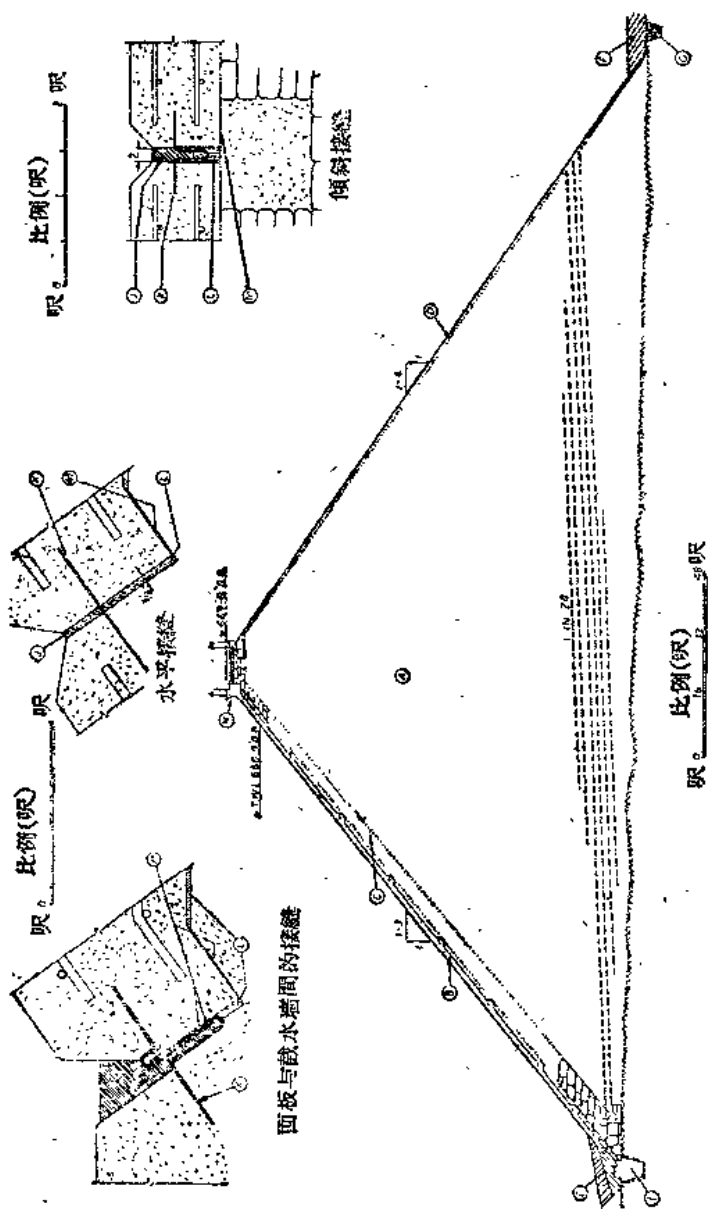


图 2 克伊奇坝断面

A—堆石主体；B—钢筋混凝土面板；C—人工堆填块石；D—9英寸厚的块石砌放；E—选择的细料回填土；F—选择的回填土；G—排水；H—波浪折向墙；I—叠水墙；J—橡皮垫层充填物；K—铜片止水；L—Flexcell伸缩缝；M—涂上Colastic的表面。

4. 沉降和撓曲的測量

考虑了数种測量方法，最后采用了下列几种：

1. “瑞典式測井”——这些測站是供觀測堆石中平行于和垂直于填軸綫的沉陷和移动的(圖3)。測井的位置示于圖1。

測井是用直徑106厘米的鋼筋混凝土管子建造的，第一节管連其管樁欄于澆注在基岩上的混凝土底座上。底座上嵌有一个有中心標記的銅盤。当周圍堆石上升时，第二节管子放在第一节管子之上，用木楔插入管子的插口接縫中，且保持第二节管子长出約38毫米。当堆石上升到高出任一个管子的接头約3米时，木楔被敲出，这样使一个个管子靠堆石的摩擦阻力悬空支持着，因此整个測井是一段段分开的，以使单独的管子随着堆石的任何移动而能自由地移动。我們发现用机械方法来压密靠近管子处的堆石而又不損坏管子是有困难的。在管子周圍用人工堆填石料45厘米就克服了这个困难。管子中放入两根0.5吋見方的銅杆，間隔3.6米，一根平行于填軸綫，另一根与其成直角。对从垂球綫至銅杆上切成V形槽的距离进行了量測。管子安有步梯鉄条。

从設置高程开始，随着堆石的进展，就进行觀測工作，这是用專門設計的望遠鏡安設在管子頂部的木盖上进行的。望遠鏡可以对准銅盤上的中心標記，同时从岸边測站上用仪器上的一个中心針来校核其位置。撓曲測量是从銅杆鋼比例尺上測讀支距来进行的。

2. 沉陷測站——这些測站是为觀測堆石中不同高程的沉陷而設計的。它們包含有許多同心圓管，可沿一直徑22毫米的軟鋼中心杆滑过，有一組(C.P.1)安放在混凝土底座上，另一組(C.P.2)安放在堆石上(圖3)。最里面的滑动管最长，直徑32毫米；最外面的滑动管最短，直徑152毫米，都配有60厘米×60厘米×9.5毫米的厚軟鋼底板，砌筑在堆石中的需要高程上。随着堆石的上升，所有滑动管都接至填的頂部。在安好每一个底板之后，記錄下其推算出的高程以及第一根管長頂部的相应標記的推算高程。

随着管子的伸长,做出新的标记,且用卷尺测定出从底部起的总长度。这些测站的位置示于图 1 中。

每一个底板的沉陷是用卷尺测出的在相应管子上冲孔标记的理论高程与以精密水准获得该标记的实际高程之间的差值。

在填完工时,将这些同心圆管子的顶部作成相同的高程,其顶部盖上箱子,这样即可继续观测下去。C.P.2 的结果如图 4 所示。

3. 上游和下游挠曲测站——这些测站包含有一些 32 毫米的不锈钢杆,在下游面安放在混凝土块上,在上游面直接安放在面板上。它们是供测量挠曲和沉陷之用的。

杆顶的标记位于两岸测站的视准线上,从两岸测站进行观测。

在上游边设立了同挠曲测站相似的沉陷测站,用精密水准法进行测量。

4. 防浪墙的沉陷测站——这些测站,原来是供作起始点目的用的,包含有许多安在防浪墙混凝土中的软钢圆头螺栓中。用精密水准测量沉陷。

5. 坝顶公路沉陷测站——这些测站包含有许多嵌在公路表面高程以下混凝土块中的 25 毫米直径的钢杆,并用箱子加以保护。用精密水准测量沉陷。

施工期间和水库蓄水期间在瑞典式测井中以及当堆石时在同心圆管上和挠曲测量装置上,定期地进行观测工作。

这些读数表明由于对压密采用了各种措施,施工完毕以后的沉降事实上远较所希望的小。在观测高程处的沉降,看来是发生在施工期间堆石体上升的时候,且随着堆石高度的增大而大致均匀地增加。水库水位的上升没有在堆石中引起任何更重要的沉陷。

在挠曲装置上观测到的挠曲读数很小,它们大都在所采用方法的精度范围之内。

这主要是因为原来所预期的挠曲或移动较大,而埋设测站和观测方法都是根据这样的观点设计的。

各种仪表是在下列时期进行测读的：

	施工时期 (月)	水库蓄水时期 (月)	总计 (月)
瑞典式测井 W1	14½	12	26½
瑞典式测井 W2	—	12	12
沉陷测站 C.P.1	10	16½	26½
沉陷测站 C.P.2	12¾	16½	29
上游挠曲测站	—	13½	13½
下游挠曲测站	—	16½	16½
上游沉陷测站	—	11	11
防浪墙沉陷测站	—	12	12
坝顶公路沉陷测站	(只测读一次)		

记录到的观测可以总结如下：

1. 垂直沉陷——在 C.P.1 直径32毫米管子上最大的绝对观测沉陷是58毫米，为底板以下6.5米高堆石柱体沉陷的0.88%。最大的沉陷百分数是在 C.P.2 直径22毫米的杆子上记录到的，为底板以下2.4米高堆石柱体的 1.07%。在防浪墙测站上至今记录的最大沉陷，是当水库蓄满时在36米中为8.8毫米或0.024%。不清楚究竟这是堆石中的沉陷还是面板中的其他一些移动。在上游沉陷测站上，最大的记录沉陷是8.5毫米。

2. 挠曲——这些挠曲在上游面已被忽略不计。在下游面，最大的记录挠曲是19毫米，在测井中最大的下游挠曲是18毫米，但这些可能代表局部的移动。

5. 防止污浊的措施

除尘站以及骨料压碎和筛分站的冲洗装置，都刚刚位于坝上游，且接近河流，这就不可避免地对河水引起了一定量的污浊。大量石粉和泥粒引起的污浊，对鱼和水中的植物的生命将会有伤害。

除了这两个主要来源之外，有时还有其他的污浊，象拖拉机和车辆加油时的柴油漏失，以及从临时公路和混凝土拌合站来的

