

獅子灘水力发电站 施工技术总结

卷 二

土石方开挖及基础工程

電力工業出版社

前 言

獅子灘水电站是我国第一个五年計劃內最先兴建的一批水电站中工程量最大的一个。其勘测工作开始于二十年前，是旧中国最早提出开发的水电站之一。在獅子灘水电站开发历史中，最能看出新旧中国水电建设事业的对照。

龙溪河虽只是一条长不到 200 公里的小河，但蕴蓄水力资源却有 10 万千瓦以上。由于四川煤炭缺乏，龙溪河水力的开发是有很大经济价值的。在龙溪河全河的梯级开发方案中，獅子灘水电站的水库担负着为下游各梯级电站调节流量的任务，是全河开发的关键，但是在国民党统治的 15 年中，对龙溪河的开发采取了时断时续、零敲碎打的方式，对獅子灘以下各个梯级电站进行了局部的开发，而对于作为龙溪河全河开发关键的獅子灘水电站，则由于工程规模大，始终未敢动手。1938 年至 1943 年间，建造了第四梯级下清溪洞水电站，装机容量约 3000 瓩。1940 年时在第三梯级迴龙寨水电站进行了小部分的土木工程，旋即停工。1946 年开始在第二级上清溪洞水电站施工，到 1949 年解放时约完成了一半土木工程，解放后继续完成了余留下的土木工程和全部机电安装工程，在 1953 年发电。由于没有獅子灘的调节，下游各级电站枯水季的发电量是很不可靠的。

1949 年冬，国民党匪军在撤退前夕，对龙溪河上唯一已经发电的下清溪洞水电站予以彻底炸毁。解放后立即进行了恢复，恢复工程在 1950 年完成。恢复后的容量为 3040 瓩。

解放后对獅子灘水电站进行了深入的研究，在开发规模方面，解放前考虑獅子灘水库的正常高水位为 340 公尺，水库容量 4.69 亿公方，装机容量 15000 瓩。解放后在设计过程中最后确定的獅子灘水电

站正常高水位为 347 公尺，庫容 8.3 亿公方为一多年調节水庫，装机容量 48 000 瓩。下游各級电站的容量亦因而有很大的变化。除獅子灘本身装机容量增加 33 000 瓩外，上清澗河水电站原定 10 000 瓩，因地下厂房不好扩建，只能把第二台机组容量由原設計的 7000 瓩提高到 7500 瓩；迴龙寨的装机容量原定为 6000 瓩，按新設計改为 16 000 瓩；下清澗河在原来的 3040 瓩以外，將另行扩充 30 000 瓩。全河开发总容量，由原来的 64 000 瓩，提高到 107 540 瓩。从这里可以明显地看出旧计划在流域规划方面的缺点和新設計在充分利用水力資源方面的优越性。

獅子灘水电站具有高达 52 公尺，长达 1014 公尺的攔河大堤和长达 1400 公尺的隧洞，工程量很大的。但是这样大的工程，只在短短 26 个月的時間內便完成发电了，这不能不認為是新中国水电建設的一个胜利。

随着獅子灘水电站的完成，上清澗河水电站也已全部建成，迴龙寨和下清澗兩水电站均在施工中，預計到 1958 年底該二水电站亦將完成，龙溪河全河的梯級开发，亦即全部完成。

在獅子灘工程中，我国第一次采用了堆石填的坝型。这一坝型的选用曾經过了慎重的多方面的考虑，最后由于獅子灘坝址的地質較复杂，缺乏适宜于筑土填的土壤，也缺乏适合于筑混凝土填的粗細骨料，交通运输不便，天气多陰雨，而現場有充分的合格的石料，且有方便的溢流和引水的地形，終于决定选用了堆石填，这一坝型的选定是完全合理的、正确的。

獅子灘堆石填的断面，采用了与一般堆石填較为不同的結構。上游面采用了較大体积的塊石混凝土牆，混凝土牆和堆石填体之間又設有一个楔形体。这一断面的采用是考虑了一定的具体情况的，但是在施工过程中感觉到这一断面比較复杂，施工上有相当的不便，尚待今后設計中研究改进。

獅子灘工程由于工程量較大，施工期限較短，在施工中采用了較高的机械化程度。30 余万方的混凝土，57 万余方的堆石，極大部分是采用机械化施工的。由于我們缺少这样大量机械化施工的經驗，工作

中还有不少缺点和困难。但是通过本工程、对机械化施工积累了初步的经验，这些经验是宝贵的，对今后水电建设工作是有帮助的。

狮子滩工程的另一个特点是工程的多样性。大坝主体除大量的堆石工程外，还有大量的混凝土工程，而大坝以外的几个小坝则有土坝、条石坝等不同型式。除拦河坝以外，还有引水隧洞、调压井、厂房和单独的溢洪道。几乎水电工程中的各项重要水工结构物，在狮子滩工程中都包括了。这当然增加了工程的复杂性，但由此也积累了一定的施工经验和培养了一定的施工人才。

狮子滩混凝土墙工程中采用了填加大块石的新技术措施，节约了水泥约10 000吨，最大块石填加率达到26%。这一措施现在已成为一个成熟的先进经验，在国内各水电、水利工地推行。狮子滩的石料开采用了大爆炸的方法，一次炸出石料3000—5000方，在数量上保证了石料的供应。又在隧洞衬砌工作中，采用了钢模台车来代替木模，节省了大量木料。这些以及其他许多工程上的特殊措施，都是值得重视的。

由于狮子滩工程局工作人员们的努力，得以及时编出了狮子滩水电站的施工总结，对这一巨大工程的施工活动进行了详细的记述，总结的内容是丰富的。为了使这一工程的经验得到更加广泛的传播，水力发电建设总局决定将这总结分开刊行，以满足一切关心狮子滩工程、关心我国水电建设的同志们要求和期望。

应当指出本总结也存在着一定的缺点，譬如篇幅冗长，叙述过程罗列事实较多，而分析利弊、综合研究较少，编写人虽对此已进行了数次的修改和补充，但结果仍未能完全满意。

本总结仅包括了狮子滩工程的施工部分，此外还有狮子滩水电站的设计总结，狮子滩水电站的机电安装总结，均在编写之中，将陆续刊行。

水力发电建设总局

1957.8.

目 录

前言

第一章 测量控制	6
第一节 挡水建筑物部分	7
第二节 引水发电系统	16
第二章 打眼放炮	23
第一节 开挖形式	23
第二节 鑽孔	24
第三节 装药爆破	40
第四节 黑药电引放炮	47
第五节 双合鑊破石法	51
第三章 填基开挖和处理	54
第一节 工段划分	54
第二节 石方开挖	56
第三节 出露	58
第四节 开挖中特殊问题的处理	61
第四章 土石混合填	67
第一节 清理、开挖	67
第二节 排水溝和基础处理	68
第五章 第二条石填	71
第一节 土方开挖	72
第二节 石方开挖	73
第六章 进水口	74
第一节 现场布置和工段划分	74
第二节 施工方法	76
第三节 經驗教訓及对今后工作意見	78
第七章 引水隧洞开挖	80
第一节 测量放綫	82
第二节 开挖方法	84

第三节	出渣运输	94
第四节	支撑	96
第五节	通风、照明、排水	99
第六节	安全技术措施	101
第七节	經驗教訓	104
第八章	調压井	107
第一节	現場布置	107
第二节	导井开挖	109
第三节	扩大开挖	114
第四节	安全措施	123
第九章	高压水道	126
第一节	劳动組合与循环作業	126
第二节	开挖方法	130
第三节	出渣方法及效率	132
第四节	岩層与支撑	134
第五节	經驗教訓	134
第十章	厂房	136
第一节	施工方法	138
第二节	劳动組合及生产率	142
第十一章	工程地質	143
第一节	工程地質特征	143
第二节	堆石填区的地質情况	160
第三节	溢洪道地質	162
第四节	第一、二、三填地質	164
第五节	进水口、引水隧洞、調压井、 高压水道、支管、厂房地質	167
第十二章	灌浆工程	169
第一节	概述和准备工作	169
第二节	材料和設備	170
第三节	鑽孔灌浆的施工	177
第四节	灌浆質量及效果的檢查	195
第五节	經驗及教訓	207
第六节	施工后的意見	217

第一章 測量控制

全工地設置有 B_1B_2 、 B_3B_4 和 B_5B_6 三根基綫，根据这些基綫再布置出許多三角点，使形成三角控制網。引水系統和擋水建筑物的各

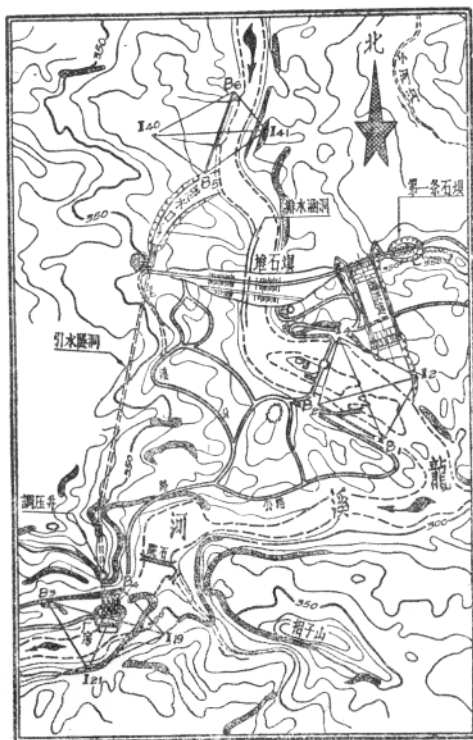


圖 1-1 三角網基綫圖

填軸中心綫是控制建築物位置的根本依据，填軸綫上的控制点的縱橫坐标也是設計上給出的。

(1) 三角站的选定

根据圖上填軸綫控制点的位置情况从填区选取所需要的三角站，如圖 1-2 (I_{38} 即表示填区三角站 38 号，三角站为三等和四等)。选用三角站时应注意下列几点：

- 1) 使三角点之間無障碍，互相通視；
- 2) 三点形成三角形的三个內角，任一个角都不能大于 120 度或小于 30 度；
- 3) 三点之間任何兩点的高差所形成的仰角或俯角最好不大于 30 度。

(2) 野外踏勘及設点

为了使所选的三角站符合于实际施測和將来的控制，有障碍物时可以除去，如果障碍物难于除去时，即考虑另选点次或进行增設補助控制点。填軸控制点中的第一点由于袁家坪一帶的房屋未能立刻搬拆，与第二点不能通視；同时由于地形的关系，該点亦不能控制河槽部分的施工，故第一控制点初期無法使用。在經過野外的踏勘后，第一点与第二点之間加一設点 $1'$ (圖 1-2)。設点 $1'$ 的选择时，軸綫虽未定出，但在設計圖上已經有了設計的填軸綫 (即 1 点和 2 点的坐标已知，1—2 点的方向角亦为已知)，根据实地情况选择一个比較高的地方并能与 2 点通視，然后在地形圖上找出。已知 1、2 兩点在圖上的位置， $1'$ 为所理想的一点 (即与第二点能互相通視，又能控制河槽部分的

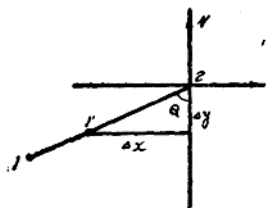


圖 1-3

的施工之用)，用比例尺在圖上大概量出 $1'$ 点的位置，否則应正确量出 2— $1'$ 或 $1'$ —1 的距离和已知 1—2 綫的方向角 θ ，求出 Δy ， Δx ，与 2 点的縱橫坐标相加減即得出 $1'$ 点的坐标 (圖 1-3)。

(3) 內業計算

三角站和填軸的位置点經选好及

踏勘后即进行内业计算，因填轴线上各控制点和三角站的纵横坐标都是已知，所以用解直角三角形的方法及公式

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \text{ 依次求出 } \theta, \theta_1, \theta_2 \text{ 等角 (圖 1-4)}.$$

再从几何关系上求出各控制点与其相应各三角站所构成之三角形的三个内角来，根据算出的角度分别到实地上去交会。计算时：

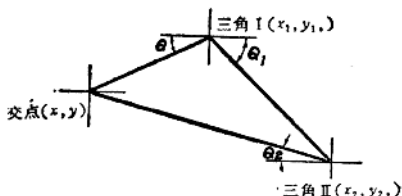


圖 1-4

1) 需要八位对数表 (如精度要求到秒，六位对数表已足)。

2) 内角不要小于 30° 或大于 120° 。

3) 算出后要进行平差，达到规定的闭合差。

(4) 实地施测

按照内业所计算出的角度进行实地施测，由于三角形的允许闭合差为 6 秒，测量仪器要求比较高，仪器采用威尔特 T_2 经纬仪，能直接读出一秒，用前方交会法进行，将各填轴控制点 I、I'、2、3、4、5 各点分别交会在地面上，埋设石桩或混凝土桩，精确的将点交会在桩上。做完后再将各点的关系通视一遍。

交会点的误差除了三角站本身引起外，主要还受地形放样时测角误差等影响。误差的改正在大坝的定线点 2、3、4、5 中交会误差 (相对的) 最大在 4 公分左右，改正方法系根据 2、5 两点来改正其他各点，这是考虑控制容易，5 点在较高的山头上，能通视各点不受开挖影响，同时这样作对建筑物没有其他影响 (圖 1-5)。

待通视联线将各点都改正在一直线上，作出最后肯定的点子后才算定线工作才算完成。

2. 辅助固定桩的测设

由于大坝的范围相当辽阔，建筑项目繁多 (有基础开挖、堆石、

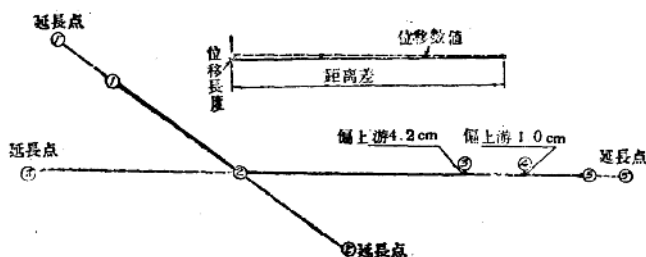


圖 1-5

塊石混凝土、斜牆、楔形體等項)，在測量工作上如單依靠幾個填軸控制點，是應付不了施工上需要的，同時軸綫上的控制點都在建築的範圍內，由於基礎開挖及填體的堆築，部分的填軸控制點都全被挖掉或埋沒或受障礙而不能使用。為了解決這些問題，來很好的控制大填各方面的施測工作，必須要在需要的地帶設置一系列的固定樁點。

(1) 軸綫的延長控制點：填軸控制點 2 與 3 交出以後，由於基礎開挖及填體的澆築，都無法保留和利用，因此將 2 點延長到磨担山壩口設置點 2'，3 點延長到席家坪上設置點 3'，這樣填軸綫的控制轉彎之前就利用 1' 點和 2' 點控制，轉彎以後的填軸綫就利用點 5 和點 3' 控制。轉彎處(折綫部分)的填軸綫以 6 點和 7 點来控制。

(2) 上下游平行軸綫控制點：這是為了控制大填縱向測量所設的固定點，這些點可以構成與填軸綫平行的許多綫，在進行各建築物的施工放綫時；可以利用與其最接近的填軸平行綫來放綫，這樣可以減少量距的時間和量距的誤差，同時也可以避免填體堆築或施工設備等影響而引測困難，從而可以提高測量效率和精度。這些點子設置的多少，視施工的需要而定，堆石壩上分三部分設置(圖 1-6)。

1) 在 1' 處(樁號 0+202.245)與填軸垂直向上游每隔 10 公尺做一個固定點，作至 30 公尺。向下游也每隔 10 公尺作一個固定點，作至 50 公尺，在樁號 0+229.51 處與軸綫垂直向下游從距填軸 60 公尺作到 100 公尺。每隔 10 公尺做一個固定樁，同樣在點 2 處(0+743.42)也與填軸綫垂直向上游每隔 10 公尺做一個固定點，作至 30 公尺；向下

游也每隔10公尺作一点固定点作至100公尺。1'点与2点上下游对称埋設的固定点,就構成了河槽和右岸的縱向控制網。

2)在填軸曲綫部分格号0+725—0+770一段,只在0+725及0+770处,与填軸(0+725—0+720的一段填軸綫)垂直向上游18公尺处各設一个固定樁。

3)在0+770—1+000这一段,在0+770及1+000处与填軸垂直向上游11公尺,向下游20公尺各作一个固定点,構成左岸的縱向控制網。

(3)填段分段控制点:

这是控制大堤分段和橫向测量的点子,根据設計塊石混凝土牆的分段尺寸来埋設,河槽每隔10公尺和左右兩岸每隔15公尺,設立一固定樁,这些固定樁的設置以不在填基开挖範圍內和不被建筑物所障碍为原則。在0+202.245—0+743.42的分段控制点,上游是埋設在距填軸綫30公尺的平行軸綫上,下游是埋設在距填

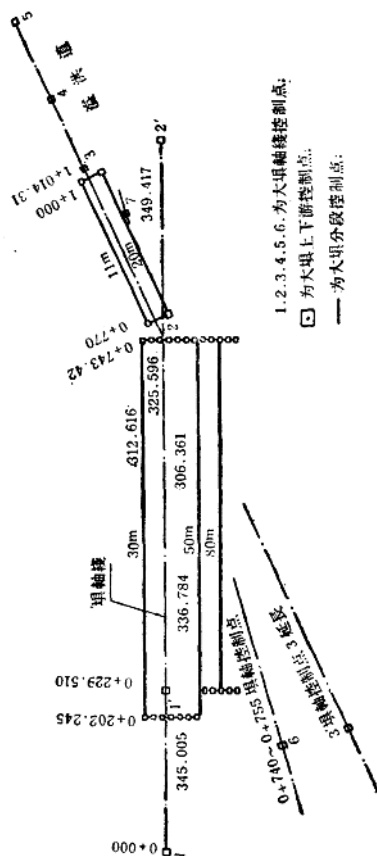


圖 1-6 大堤控制点測量布置圖

軸綫 50 公尺和 80 公尺的平行軸綫上(开始是做在 50 公尺平行軸綫上,后来因被开挖掉又在 80 公尺的平行軸綫上补点)。0+770—1+000 的分段控制点上游是埋設在距渠軸綫 11 公尺的平行軸綫上,下游是埋設在距渠軸綫 20 公尺的平行軸綫上。上下游的固定 桩点構成了大渠测量的橫向控制網。所有補助固定桩点的測量精度达到 1/10000 以上。

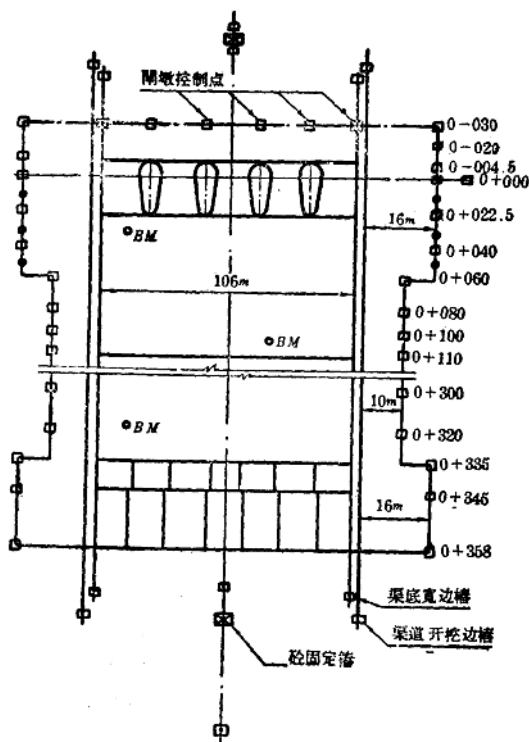


圖 17 渠洪道平面控制布置

二、溢洪道控制点的布置与测定

1. 平面控制点的布置

溢流体閘墩(溢流体)控制点設在 0-030 及已澆筑的护坦上。渠道縱向开挖控制樁,設在左右兩岸,在 0+060 以前(上游)距开挖底 16 公尺,0+060 以后(下游)距开挖底 10 公尺。距开挖边綫 3—5 公尺,每 20 公尺处設置一石樁,其中間再設木樁,这些樁不但用于开挖中測繪断面,易于控制;并且在澆筑放綫組立木模时也很方便。如定綫时仪器置于一岸的某樁号上,視彼岸对称樁号,瞄視一直綫,这样操作簡便,同时避免轉角的誤差。渠底寬控制点設在渠道进出口兩端开挖綫以外(溢洪道平面控制網布置如圖 1-7)。

2. 測定步驟及方法

首先把交会出的主要軸綫移設到开挖区以外,再根据移出的軸綫点作縱橫向的(中心綫)控制。測定方法有下列两种:

(1)直接丈量法:从溢洪道溢流体軸綫起始兩点各向外量出 16 公尺埋設固定樁,作为溢流体軸綫控制,分別置鏡于該点上(圖 1-7)轉 90° ,直接用鋼尺从該点丈量出縱向控制点,但在量距沿途均是斜坡山地,甚至有时遇到悬崖陡壁,如跨过悬崖时量距则采用以下两种方法:

1)錘球投影分段量距法:适合于在不太陡的斜坡上,是在斜坡上,的測綫內打上小樁($30 \times 3 \times 3$ 公分),小樁間距視兩点高差大小決定,

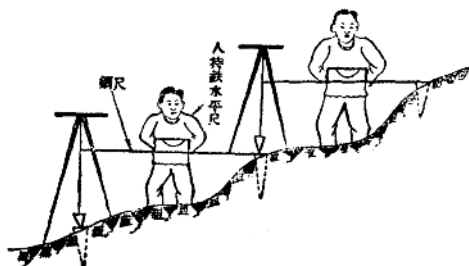


圖 1-8

兩點高差不能大于量距人由脚到肩高度，一人持鋼尺一端固定于小樁上一点，一人持鋼尺另端靠近錘球。另一人持水平尺校核鋼尺是否水平，待平后即讀数并記錄，而得出水平距，經過丈量二次誤差不大于2公厘即可，否則重作。鋼尺拉力大小視量距長短而定，長則拉力大，一般在5公斤以上，二次的拉力必須力求相等(圖1-8)。

2) 过悬崖处用上法就很难跨过悬崖，我們直接量斜坡距 S ，用水平仪求出 A 、 B 兩点高差 Δh ，根据几何关系計算出水平距 $D = \sqrt{S^2 - \Delta h^2}$ (圖1-9)。

(2) 前方直角交会法：

在第一期作左右兩岸控制时用此法先交出縱向主

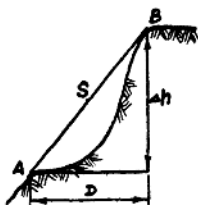


圖 1-9

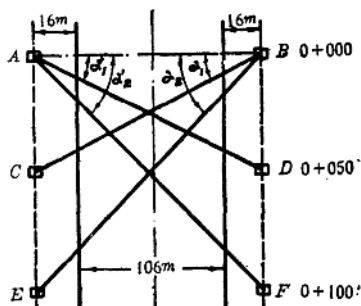


圖 1-10

要控制樁，然後在其間補插控制點(圖1-10)。

作法：1) 在溢流体軸綫起始兩点各向外量出16公尺，為置儀器主要站點；

2) 根据几何关系用 $\operatorname{tg} \alpha = \frac{AC}{BA}$ 分別計算出 $\alpha_1 \alpha_2 \dots (\alpha_1 = \alpha'_1, \alpha_2 = \alpha'_2 \dots)$ 。

然後分別置鏡于 A 、 B 二点，分別按應轉的角度值交出 $0+050$ ， $0+100$ ， $0+150 \dots$ 。

此法的优点是大量減輕量距的体力劳动，速度較快，避免了斜坡量距的困难，但最大的缺点是受交会角度过小过大的限制，一般要求不小于 30° ；不大于 120° 。因边長相差太大，所交出点，縱橫樁

距誤差達不到 $1/10\,000$ 的精度，因此在第二期測設控制點時未採用此法，而是用鋼尺丈量法。

三、高程控制點的設置

高程控制點的設置按施工的進度和地形情況，在現場設立水準點。堆石壩的高程控制點共 6 點，右岸兩點，河槽兩點，左岸兩點（圖 1-6），都是由觀音殿永久水準點“9”引測過來的。這幾個點在數量上是不能滿足實際工作需要，故需作些臨時性的水準點（這些點也要經過檢查達到規定的精度才能使用），這些水準點的選擇得當與否，很大部分就需要靠工作人員經常深入現場了解，其設置應考慮到用起来方便，照顧的面廣，不受或少受工程的影響，能直接以一鏡子就可以看到所需要高程的地方，減少轉點，避免誤差和提高測量效率。溢洪道利用磨担山勘測處測設的永久水準點 BM_{17} ，距溢洪道樁號 $0+200$ 約 100—150 公尺，即根據這一水準點移設在建築物區內，以作開挖和澆筑高程的控制。臨時水準點的設置，原則上要能保存相當長的時期，這樣在施測時能避免轉鏡的麻煩和誤差，加快施測速度，保證質量。水準點應設置在堅硬不風化的沙岩上或已澆好的混凝土上，頂面作成凸形，塗上紅油漆以防風化。

在測水準點前需先作好儀器校正，水準尺最小讀數 0.3 公分，最

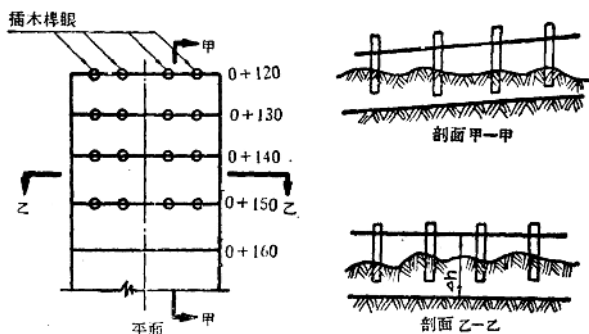


圖 1-11

大不能讀到三节尺，閉塞差不超过 $10\sqrt{K}$ 公厘。

溢洪道在 $0+110$ 以下天然岩石修整段，由石工修整，高程允許差 ± 0.02 公尺。在这样大的範圍內修整到正負2公分凸凹不平許可差，要求很好的水准控制，在每10公尺縱向樁的橫斷面上每相距10—15公尺用風鑽打眼（深30—40公分），用3公分直徑的木桿插入，石碴塞牢，不使上下移动为止，然后在每一排橫向樁的木桿上測繪出等高綫，用紅油漆（或鉛筆）作標誌，并註明修整的数值；在縱的方向上測定成与渠底設計一致的坡度。从測定在桿上的標誌拉上麻繩，每点从綫上打下去 Δh 高，即达設計高程，工人容易掌握，不会造成超挖，且可减少測量人員經常性的測量（圖1-11）。

第二节 引水發電系統

引水發電系統（自進水口至厂房）的控制測量是一个完整的系統，各点控制如圖1-12。

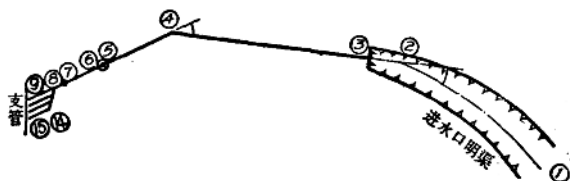


圖 1-12

- ①、②—進水口明渠；③—隧洞進水口（槽号 $0+000$ ）；④—隧洞綫中部折綫轉弯处的交点；⑤—調压井中心点；⑥—压力隧洞整曲綫的起点；⑦—压力隧洞的終点；⑧—高压水道与厂房隧洞轉弯处的交点（主管轉点）⑨—第一机组中心；⑩—第四支管轉点；⑪—第四机组中心。

以上这些控制点的定位是根据設計座标用双三角法將控制点前方交会于地面。

一、隧洞地面中心綫的測設

根据已經选定好可以通視的三角站，进行計算，算出兩三角站 A 、 B 和隧洞中心綫上一点 O 的座标和它們所組成的三角形的內角值。