

(64)出国参观考察报告之83

法国、瑞士高坝科学研究、 高坝观测、水文仪器及水 电开发情况专题报告

(内部资料·注意保存)

中华人民共和国科学技术委员会情报局编印

一九六四年十一月

說 明

我有关部门曾派张光斗、李鹏、顧兆勳、陈益焜、纪云生、祁庆和、冬俊瑞七位同志赴法国和瑞士考察高坝建设情况。考察组于1964年六、七月在法、瑞两国进行了为期46天的考察，并出席了法国水力学及流体力学会议。现将考察组所编写的报告分三册印发有关部门参考：

第一册——法国、瑞士高坝考察报告（考察报告81）；

第二册——法国、瑞士高坝设计和施工情况专题报告（考察报告82）；

第三册——法国、瑞士高坝科学研究、高坝观测和水文仪器及水电开发情况专题报告（考察报告83）。

本报告系内部资料，請勿公开引用。

目 录

第一部分 法国、瑞士高坝科学研究、高坝观测及水文仪器情况介绍.....	(1)
一、科学研究方面.....	(1)
(一) 法国Chatou试验研究中心 (Le Centre de Recherches et D'Essais de Chatou)	(1)
(二) 法国Grenoble应用水力学研究所 (Societe Grenoble D'Etudes et D'Applications Hydrauliques, 简称SOGREAH.)	(3)
(三) 法国Grenoble工科大学 (Universite de Grenoble) 水利系 (Section Hydraulique) 实验室.....	(6)
(四) 瑞士国立苏黎世工学院水工及土工研究所 (Eidgenassische Technische Hochschule Zurich, Versuchsamt für Wasserbau und Erbau)	(9)
(五) 瑞士国立工业、建筑和轻工业材料研究所 (Eidgenossische Material Prufung und Versuchsanstalt für industrie Bauwerke und gewerke)	(10)
(六) Maggia and Blenio 水力发电公司所属实验室.....	(13)
(七) A.Stucky 设计公司拱坝模型试验室.....	(13)
二、高坝观测.....	(14)
(一) 混凝土坝的观测.....	(14)
(二) 土坝观测.....	(17)
(三) Hüggenberger观测仪器.....	(19)
三、水文观测仪器及设备.....	(20)
(一) 瑞士水文观测情况.....	(20)
(二) 瑞士联邦水利局流速仪率定站和水文站.....	(21)
(三) 法国Neyrpic水利测量仪器工厂.....	(22)
第二部分 法国、瑞士水电开发方面的一些情况.....	(25)
一、法国水电发展概况.....	(25)
(一) 水电的调节问题.....	(26)
(二) 法国电力公司的一些情况.....	(27)
(三) 罗斯兰梯级电站 (Roselen'd).....	(28)
(四) 杜兰斯河梯级电站 (Durance)	(28)
二、瑞士水电发展概况.....	(31)
(一) 瑞士水电一般情况.....	(31)
(二) 英特尔伦 (Himterrhein) 河梯级电站 (瓦尔德勒坝)	(34)
(三) 林其 (Linth) 河梯级电站 (黎明波登坝)	(35)
(四) 萨西尔威浦 (Saaservispe) 河梯级电站 (马特马尔克坝)	(36)
(五) 拉比沙 (Rabiusa) 河梯级电站 (塞尔夫雷兰坝)	(37)
(六) 柏宁诺 (Belienio) 梯级电站 (卢松坝)	(37)
(七) 瑞士水电站开发的特点.....	(39)

第一部分 法国、瑞士高坝科学研究、高坝观测及水文仪器情况介绍

顧兆勳、祁庆和、冬俊瑞

一、科学研究方面

(一) 法国 Chatou 試驗研究中心 (Le Centre de Recherches et D'Essais de Chatou)

战后1946年法国恢复修建了国立 Chatou 水工实验所，其后业务范围逐渐扩大，发展成为 Chatou 试验研究中心。它的任务包括二方面，其一是作为法国公共工程部 (Travaux Publics) 与法国电力公司 (Electricite de France) 合组的研究机构，主要研究水力学及水文学方面的问题；另外作为法国电力公司专门研究有关发电的应用水力学和流体力学方面的机构。现有工作人员620人，其中工程师有200人。

Chatou 研究中心在组织方面，设有学术委员会 (Conseil scientifique)；试验研究部 (Departments d'Etudes et d'Essais)，其中包括五个部分；总务部 (Departments des Services Generaux)，负责行政事务及工厂等。

它的研究业务内容可以从试验研究部所属的五个部门的工作内容知其梗概，简述如下：

(1) 试验技术部 (Department "Essais")。负责新的量测技术的研究和推广，进行原型水流观测及室内室外量测仪器的改进；从事水力机械水力学方面的理论和试验研究等。

(2) 水工试验部，即原有的国立 Chatou 水工试验所 (Department "Laboratoire National d'Hydraulique")。从事于工程水力学领域内的理论研究和试验研究，这包括一般水力学、水力发电、内河及海洋航运、海滩保护等方面。此外还做水文学的统计与测验，以及实用气象学方面的研究。

(3) 流体力学部 (Department "Mechanique des Fluides")。从事于水动力学的理论和试验研究，火力发电站中的流体力学问题（如气体、多相流体及悬浮体等力学），磁场中导电体及极化气体的流体力学，水力学及流体力学领域中计祿方法的应用和发展，对于热能利用的研究。

(4) 热传导及原子能研究部 (Department "Transferts thermique et Etudes nucleaires")。从事于热传导的理论和试验研究（如交换器、反应堆的管系中的有关问题），有关原子能利用的研究；气体—蒸汽—液态金属试验站的建立等。

(5) 力学及原子技术部 (Department "Mechanique et technologie nucleaire")。从事于材料力学及弹性力学的理论和试验研究；岩石力学和冶金学中关于塑性的理论和实验研究；机械学 (mecanismes) 的研究，特别对于原子能电站应用机械的研究。

从上述情况看, Chatou 试验研究中心主要是结合生产实际中的问题来进行科学研究的, 接受主办部门的交办任务和国内外的委托任务。这个研究中心主要是为发电事业服务的, 现已发展到原子能发电方面的研究。我们只参观了水工实验所和电测仪器室。

水工试验部有几座试验大厅, 面积为11000平方米, 其中有一个水槽大厅, 长120米, 设有各种固定水槽和活动水槽, 有一条波浪槽, 长90米, 宽高各0.5米。还设有空蚀试验室, 泥沙试验室等。附属工厂和仓库占地8000平方米。有4座水泵站, 试验总流量为3.5秒立米, 总供电容量800千瓦。设有可产生潮汐、波浪和水流循环等用的试验设备, 拥有可供室内试验及野外原型观测用的各种仪器。为解决某些专门问题, 在国内有关河道和湖泊上设置了若干处试验站。

水工试验部的主要工作内容包括海港及河口的模型试验, 防波堤的试验, 内河航道试验, 河道治理工程的试验等; 在水电工程的试验研究方面包括进水口, 引水渠道和隧洞, 各种洩洪建筑物、输水隧洞、调压塔和水锤、尾水渠道、土坝渗流等问题。

1. 关于模型试验技术方面

模型比例尺一般较大, 模型的选取范围也相当长。一般正态模型比例尺为 $1/50 \sim 1/100$, 如 $1/100$ 比例尺的航道模型, 在建筑物上下游各截取20米长(合原型为4公里长河段), 以保证模型来流情况与原型相似; 有一个海港模型比例尺为 $1/100$, 模型面积约为800平方米。变态模型水平比例尺小一些, 变态率一般为5—10。

在模型制造方面广泛采用预制拼装方法, 并充分应用小型机械。例如模型墙多用预制大块空心砖砌筑; 闸坝模型多用铝板和塑料板拼装, 湿度和温度变化不会变形, 可保证试验精度, 并可多次使用, 也较经济; 模型量水堰箱和尾门也多是钢板制成品, 可长期更换使用。水泥砂浆用小型回转式搅拌机拌合; 运送砂石材料用电动拖车(电瓶车), 可自动翻斗卸料。大厅内运输都用起重机。

模型地形制作精度较高, 如山区地形变化复杂, 用薄铜片作地形板来模拟地形等高线, 比例尺小于 $1/100$ 的模型, 铜片安装的控制精度在平面上不大于2毫米, 垂直高度上不大于1毫米。作平原河道地形时, 用很多塑料棍来控制地形高程, 即把直径1厘米的塑料棍按需要截取其长度, 铸在一个水泥底盘上, 再用砂浆把底盘浇在地板上, 控制好棍顶高程, 再填料抹制地形。

模型河床糙率多用栽竖棍、埋块石的办法来修正, 渠道的糙率有用加铁纱或带孔栅板来模拟的; 溢洪道模型多用塑料板制成, 在某些比例尺情况下也用表面粘一层细沙的办法来加糙。

动床模型沙除用天然砂石制配外, 广泛采用塑料制成的轻质沙。这种沙质地坚硬, 多次实验不易变形, 也不易受温度变化的影响, 而且容易加工, 颜色也可多样化, 见到的塑料沙其比重为1.04, 1.07, 1.50者都有。在河道变态模型中, 因垂直比尺与水平比尺不同, 河道岸坡的坡度比原型要陡得多, 如作动床冲淤试验时, 用模型沙堆筑岸坡很难维持其稳定形状, 他们用棕网来作岸坡, 网厚为2—3厘米, 长约30厘米, 栽在带孔铁板上, 能在模型中站牢, 又可透水, 在棕网里面和二侧填以塑料沙来进行试验。

在海港和海滩保护模型试验中, 采用能发生水平向波浪的造波机。为避免模型墙发生波浪的反射, 在模型四周设置一种消浪设备, 在铁皮制的小框中放一种叶子细长的植物草, 非常柔软, 铁框长50厘米, 可连成一体, 也可拆装。该所多年来进行了潮汐发电的模型试验研究, 考虑了海底的抵抗阻力和地球自转对潮汐的影响, 使模型也有一定速度的转动。

2. 关于量测仪器方面

除常见的测针, 比压计, 量水堰箱外, 还看到如下几种仪器。

(1) 波浪记录仪。用以记录波形和大小, 传感器用二根长35厘米, 直径约0.5毫米的铜丝作成, 利用电阻变化原理, 记录用笔记记录仪 (SEFRAM牌) 或法国Neyrpic工厂出品的波形记录仪 (Enregistrenr Graphique de Houle)。

(2) 水位微量控制仪 (Pointe vibrante)。可自动记录水位的微小摆动, 也可用来控制恒定水位用。微小摆动的幅度为0—5毫米, 最细精度可达 $\frac{1}{20}$ 毫米。

(3) 低流速仪。为该所试制, 能测最小流速为1.5厘米/秒, 最大可至3米/秒。构造原理和一般旋桨式流速仪相同。共6个塑料桨片, 安装在一个外径约1.5厘米的小轮内。转轮是用两个电极感应的方法由电线引出, 记录转数可用四位计数器或电表。每转一圈, 计数器跳动5次, 扩大器和计数器均安在一个仪器上。为率定此低流速仪, 在一小型文透里循环水槽中进行。槽中设一支螺旋桨, 可使水流循环流动, 改变螺旋桨转数即可得到不同水流速度。将仪器放在文透里槽的喉道部分, 可得均匀流速, 见图1。由文透里槽水位跌落可计标流速, 大流速的范围用另一同样构造而稍大型的流速仪来进行率定。

(4) 溢流平台 (挑鼻坎) 的受力测量。为测定洩洪建筑物的挑鼻坎或溢流厂房顶平台上过水时所受的总压力, 应用电测方法, 将过水受力模型部分用二根钢梁夹紧, 在三个方向上用弹簧片支撑住, 簧片上贴电阻丝片。过水时在某一方向上产生力时, 弹簧片受挤压, 即可由电阻丝片量出。对水流脉动荷载及振动问题, 他们认为是不重要的, 故不作专门研究。

另外, 在仪器安装使用方面, 他们也比较注意。如水位测针 (精度 $1/10 \sim 1/20$ 毫米) 多是安装在用铁管

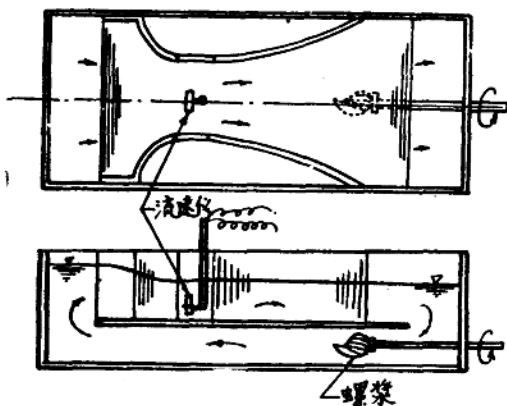


图1 文透里槽率定流速仪示意图

(直径约3—5厘米) 作的横杆和立柱上, 横杆和立柱用螺丝卡子撑紧, 立柱直接栽入模型中, 看来比较粗壮稳固。多管比压计的玻璃管直径也比较粗和均匀, 测尺均用金属刻度尺, 遇水不会影响精度。看来虽是小事, 可是对量测精度还是很有关系的。

(二) 法国Grenoble应用水力学研究所

(Societe Grenoble D'Etudes et D'Applications
Hydrauliques, 简称SOGREAH.)

SOGREAH是一个私营股份公司, 于1955年成立。成立后即接替了Dauphinois水工实验所 (Laboratoire Dauphinois D'Hydraulique) 的业务。复于1958年和水工与农业技术公司 (Compagnie des Technigues Hydranligues et Agricoles) 合并, 而成为现在的机构。

SOGREAH的主要工作内容，一方面作为顾问工程设计单位，承担经济发展计划的规划和设计工作；另一方面也作为科学研究中心，进行水力学及与流体力学和热力学有关问题的研究。设有水工试验所、土力学和水土分析试验所、电子计祿中心、水力机械试验设备、工业装置试验设备，以及一个技术图书馆（据1962年资料，有17000册图书和600种期刊等，有好几位工程师参加科学文献的搜集整编工作）等。共有工作人员1100多人，其中有工程师320人，技术工人380人，职员165人，还有280人分布在70个国外办事处内。它的业务对象有一半系在法国以外的。

它所从事的业务范围包括：

（1）水电工程及河道开发的设计。包括工程的规划、勘测、设计和水工模型试验。试验内容有溢洪道、输水隧洞、导流工事、涵閘、进水口和调压塔；河床的稳定与整治、河岸防冲、桥渡冲刷及航道研究等。

（2）农业开发的设计。包括规划、设计、研究地区的排灌系统、土壤改良和水土保持等工作。

（3）給水和淨水工程的设计和试验工作。

（4）滨海开发和港口设计与研究。包括对港口的选址，规划和设计，对港口、护岸工程和航道的模型试验研究。

（5）潮汐能量利用，即潮汐发电工程。包括围堰研究、波浪影响研究、能量计祿、整体设计和閘门设计。

（6）水文学、河形测量及气象学的研究。包括水文测验、人工降雨的理论和试验研究。

（7）应用工业水力学方面的研究。包括原子能工程中各式内外反应堆的液体循环系统的试验研究（如流态分布、水头损失，空蚀、瞬时流态等）；热传导问题，反应堆运动学及结构振动等的理论研究；有关工业方面课题如工业流体力学、热传导和质量传递（mass transfer）问题，冶金学问题的模型试验（包括钢铁工业中的液态金属的模型试验）；亚音速和音速气体动力学问题研究；以及水力拣选和水力输送等。

（8）造纸工业的水力学问题。

（9）水力机械方面的研究及试验。包括水轮机、水泵和閘门阀门的试验研究、水力机械结构的空蚀试验研究等。

（10）学科性专题研究。应用数学，物理及力学问题的理论性研究，涉及的问题包括水力学、材料力学、水轮机的调速器及中子力学（neutronic）等问题；利用电子计祿机（IBM 7070和1401）来进行各种科学计祿，如管网、调压塔、地下水渗流、洪水波及坝工等计祿。

（11）有关组织管理方面的电子计祿机应用。

（12）经济研究。

（13）风能利用的研究。

（14）外科医学上水力学和热动力学的应用，特别是血液循环方面。

（15）试验室仪器设备的设计，为教学或研究的水工实验室进行仪器设备的设计和装置。

我们只参观了水工试验所、水轮机试验室以及 Neyrpic 工厂的水轮机制造厂。最后还观看了 Serre-Poncon 土坝洩洪隧洞的模型试验和原型洩洪的电影和非洲 Kariba 拱坝围堰施工期受洪水淹没过程的电影。

水工实验所的试验面积60000平方米，总流量为8秒立米。包括几个试验厅，进行着各类不同的水工模型试验，主要有港工、河道、水工建筑物下游消能和冲刷以及施工导流等方面的试验研究。

港工实验的主要项目有建筑物的合理布置、防止海岸变形和防淤措施的试验、防波堤的稳定断面的研究等。模型尺寸较大，宽约30~40米，长约60—70米。模型池中的造波机是分段组成的，每段长约2米，用导板隔开。电动机带动蜗轮蜗杆及偏心拐臂，使各段的造波板作水平向前后摆动，可形成水平向波浪，见图2。造波板下部用铰固定，可与前沿形成各种角度，导板也可以改变方向，因此可以产生不同方向的波浪，并能保证在大面积上波形一致。模型池四周也设有消浪设备。在参观时波浪水槽中正进行防浪堤护坡堆块形状的专门试验研究。

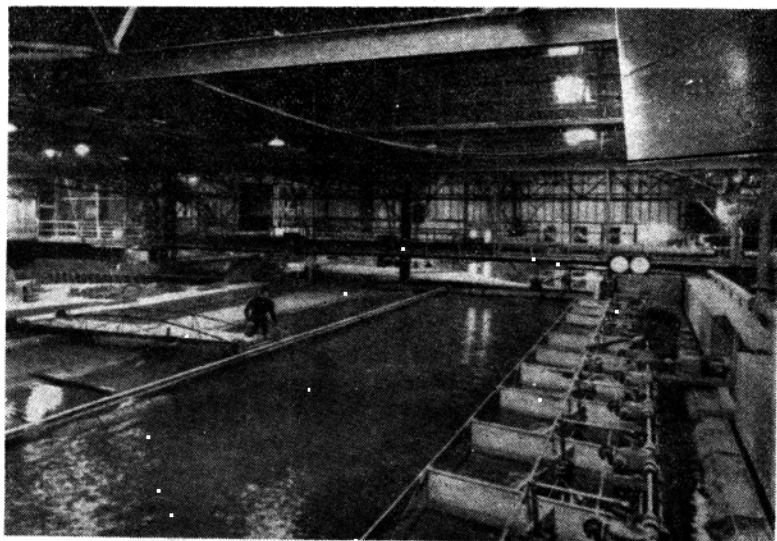


图2 分段造波机图

河道治理模型的尺寸和范围都比较大。看到一个为土耳其所作的河道裁弯取直模型试验，研究在不同流量条件下河道的变化情况，以确定裁弯和防淤的措施。水平比例尺1/250，垂直比例尺为1/60，是动床模型，总长达70米。为进行浑水试验，在模型上游有连续加沙的设备。另一个为巴西所做模型试验，研究在河中修建水电站和26孔双层水闸对河道的影响及其合理布置方案。为正态模型，比例尺是1/120。

有关建筑物水力学方面的试验，则为数较多，如船闸充水系统的布置，桥墩下游冲刷，高坝溢洪道或隧洞洩流时对下游的冲刷和消能以及对电站下游水位的影响等。例如非洲南罗得西亚的Kariba拱坝坝身大孔口洩洪的试验模型，比例尺约为1/100，主要研究大孔口的过水能力，孔口出流挑射距离及下游河床冲刷坑的深度和位置等。冲刷试验中所用动床模型沙就是按比例缩小的天然沙礫石，未考虑河床岩石特征。关于孔口出流可能引起拱坝振动等问题，据称并不重要，故未做专门试验研究。

拍摄科学影片一方面为了记录和保存科学研究成果，同时对某些整体水流现象来说，繪图、拍照片都不如拍摄电影片的效果好，而且可将天然水流与模型验证水流的影片多次重复放映或相互比较对照，以便深入研究某些现象，也是参加学术会议和进行宣传的重要资料。SOGREAH 水工实验所拍摄有14000米的电影片，其中有一部分还是彩色和有声电影。这次

我们观看了二部影片,一是介绍 Serre-Poncon 土坝隧洞洩流对原型和模型水流现象的对照比较,除掺气现象未能在模型中重演外,其它水流情况尚为相似。另一部影片是记录1957年 Kariba 拱坝施工围堰期间突遭比施工流量大三倍的洪水淹没的情况,受很大损失,为此专门又进行了室内模型试验(比例尺为1/75)。影片又比较了原型和模型的水流现象,为现场施工提供意见。

在水力机械试验室中,我们参观了一座水轮机试验台,可以作空蚀试验,见图3。该试验台的压力箱直径约3米,长约3米,工作段的直径约50~60厘米,试验台总长达10米,有两层楼那么高。当时正在进行貫流式水轮机的效率试验。水轮机模型比例尺为1/10。量测转速用闪光计数器(Frequenometre-chronometre Type A. 477,)由法国Rochar electronique 公司制造(记录仪器类似进位器的构造),水头用水银压差计量测,流量用堰箱量测,功率用秤量法测力矩。空蚀现象用闪光摄影来进行记录,每当水轮转至一定地位即进行曝光,因此可拍出稳定情况的照片。

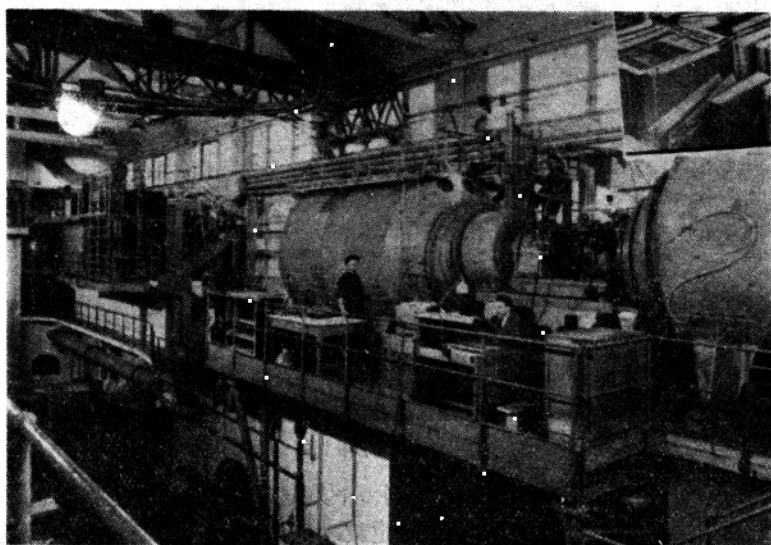


图3 空蚀实验台

总的看来,该研究所进行的研究课题多是以解决实际生产问题为主,也注意进行一些专题研究。由于SOGREAH又是顾问公司,又是研究所,并且和 Neyrpic 工厂关系密切,所以在设计、科研和生产等方面可以互相结合起来。我们所看到的实验设备是比较一般的,模型制造尚注意精度。一些新式量测仪器经研究成功后,即由Neyrpic工厂的水利量测仪器工厂去生产。

(三) 法国Grenoble工科大学 (Universite de Grenoble)

水利系 (Section Hydraulique) 实验室

Grenoble工科大学是法国有名的多科性工业大学之一,有6个系,现有学生1200人,其中水利系有学生150人,研究生60人,教职工120余人。除进行教学工作外,还开展科学研究工作,设有流体力学实验室和土力学实验室,主要进行学科性课题的研究。这些研究课题当然也是结合法国当前国防工业、原子能工业和水利工程的需要,而从具体生产问题中提出来的。

1. 流体力学实验室 (Laboratoires de Machanique des Fluides)

有专题研究和教学实验二部分, 分布在该系的一楼、二楼和地下室。专题研究有波浪和紊动等方面, 后者是研究高速水流和气流의紊动、射流、扩散、由于紊动而产生的混掺、边界层特征等、有关河流泥沙的运动问题、水流阻力规律及原子能电站冷却水的问题等。现将参观的课题介绍如下:

(1) 流体力学方面:

①波浪理论的研究。研究二元波浪的水力特性, 研究在邻近共振作用下非线性平面波的问题等。设备有二条玻璃水槽, 长20多米, 宽高各50厘米, 其中一条钢架水槽, 槽底的二侧均镶玻璃(厚15毫米)。造波机可生各种形状的二元波。量测仪器均用精密的电测自记仪器, 有测固定点的水位计; 也有测量整个波形的多点水位计, 它包括12根针尖(针尖可调整成适当的波形), 可同步记录波形于一种碳纸上。试验成果的计祢分析由该校应用数学系协作, 所用电子计祢机型号是IBM-7044。

②高速射流水股特征的研究。研究空气阻力和表面张力对高速射流的影响及射流本身的紊动特征。设备包括试验用喷嘴、管道、尾管和高速水流循环系统。喷嘴出口有不同直径, 看到的有25、40毫米二种, 喷嘴进口接一直径为15厘米的压力管道, 长约5米。水流循环系统包括水泵从地下水池中把水打入密闭压力箱, 经节门、压力管道由喷嘴射出, 经过测量后由一特制的圆形尾管导入量水堰箱, 然后回至地下水池。整个系统的最大流量为30秒公升。对直径为40毫米的喷嘴, 射流的最大流速为40米/秒。压力箱直径约40厘米, 高80厘米, 均有节门控制压力。圆形尾管直径约30厘米, 内侧装一层棕网, 高速射流冲来不致水花四溅。

量测项目包括测量射流水股的周边尺寸、流量和压力箱压力等。水股周边尺寸用二种方法测量, 一是照相机法, 用1/25~1/30秒快门闪光拍摄喷嘴出口处射流形状; 一是精密测定射流水股外缘的平均边界线, 即用一个导电探针沿射流水股直径方向移动, 当探针触到水股外缘即通电, 用千分表座标仪定出水股外缘平均尺寸。此二种方法相互校核, 流量用三角堰量测, 压力用水银压差计读测。

③紊流边界层的研究。研究二元风洞中紊流边界层的发展及其特性。风洞尺寸较大, 长20多米, 高约3米, 宽约20厘米, 是豎矩形断面, 均用6毫米厚铝板拼装, 边壁镶有观察风洞用的透明窗洞。另有插入量测仪器的孔洞, 为减少铝板光滑边壁对紊流的影响, 在内壁上贴一层3毫米厚, 称作Poral的轻质材料, 表面稍粗糙, 象金属板, 并能透气。为研究不同进口形式对风洞流态的影响, 在风洞进口设置一座很大的喇叭形渐变段(由水平向矩形断面渐变为豎矩形断面)。

风源用鼓风机, 总容量约3秒立米。

量测紊流流速采用热线测速仪, 据称系从英国进口, 每套价300~400英镑, 其型号为:

Electronic limited 54—58 Bartholomew close London ECI. Type A₂ probe for use with hot film anemometer. 仪器的探针长6~7厘米, 采用直径约4毫米的玻璃管将一种金属细丝固结于管内, 在一端作成宽3毫米, 厚0.5毫米的流线形扁咀, 金属丝稍稍露在咀外。由另一端用线引至扩大器和记录仪器。

率定试验是在一个方形玻璃容器内(长宽约60厘米)进行, 放置清洁淨水约50厘米深。把热线仪悬于一个可作圆周运动的拐轴上, 沉于水下20厘米, 拐轴以不同转速旋转, 热线仪即做不同速度的圆周运动(圆周直径约40厘米), 引起温度变化, 用电量予以记录, 精度可达千分之一/秒。

④圆球在静止液体中下沉速度的研究。设备为一高约1.2米的塑料圆桶，内置油液，为控制油的温度，在桶外又设套桶，用水循环流过。套桶外缘直径约20厘米。量测圆球下沉速度是在已知高度的二端用电测方法记录圆球经过的时间，据说研究结果和Stokes等人的结果相符。

⑤水电比拟试验设备。包括三相电拟试验设备，积分仪和函数变换仪(Transformer)等。前者包含一个2米长、1.2米宽、0.4米深的钢板试验槽及其上的电桥装置和测量仪器。函数变换仪系按放大尺原理以机械系统组成，可以做史瓦兹和对数变换。据称目前有关科研方面的计算工作可用电子计算机来解决，故这些设备主要是为数学试验用。

(2) 空气动力学方面(Aerodynamique)：

①次生流的研究(Courants Secondaires)。研究不同断面形状的高速风洞或有局部突起边界或平直边界时发生次生流和局部紊流的特征。高速风洞长约5米，用厚铝板拼装成梯形断面，可发生亚音速和超音速的风速。量测流速用双孔毕托管和热线测速仪，风量用文透里管量测。

②气体射流紊动特征的研究(Turbulence des jets)。是和喷气技术密切有关的研究课题。高压管道直径约5厘米，管道末端安设金属喷嘴，气体温度可以人工控制，压差用显微测压计读测。

还有研究两股射流相遇时紊动特征的设备，以及当管道形状变化即有收缩和扩大时的气体射流特性研究。

③炮洞(gun-tunnel)流动的研究。在一直径约5厘米的高压管道中，用活塞压缩管中气体，使温度升高，压力升高，直至把管中的一块金属薄片击穿，量测此瞬时压力、温度和气体特性的变化。量测仪器均用电子仪器。据称此项研究和导弹有关。

(3) 其它方面：

还看到一些和近代工业发展密切有关的研究课题，如：电磁流体力学方面研究；转炉炼钢内部流动状态的研究。

2. 土力学实验室

包含科研和教学试验二部分，研究课题及设备有：

(1) 土壤强度试验研究。研究土壤的剪力强度、压缩性、弹性模量、波桑比、塑性变形和孔隙水压力等。除设有作固结试验和剪力试验的一般性仪器外，还有较多的三轴试验仪。除一般类型外，还有几种尺寸较大和能经受高压的三轴试验仪：①可经受150公斤/厘米²压力强度的高约1米，直径30厘米，外面套筒完全用金属制成；②可经受20公斤/厘米²的高约1.3米，直径0.5米，外面套筒用透明材料制成，每隔10厘米加一钢箍，以防受压破裂；③可试验较大土样者，土样高1米，直径0.5米，承受压力也较高。套筒用钢制，上面镶有供观察用的圆形玻璃窗。

(2) 地基承受荷载的试验研究。属于散体力学二元问题，用一种Duralim轻金属条模拟地基土壤，当承受荷载后，金属条即发生移动，最后测定地基土壤塑性破坏的边界，以作为理论计算的根据。金属条长约6厘米，有四种不同断面，有圆有扁，有大有小(大者直径5毫米，小者3毫米)，来模拟不同的砂土颗粒。所有金属条均堆在一长约5米的直立钢板的一侧，受荷载后只限于在两个座标方向上移动。地基荷载可按铅直或倾斜方向来施加。测量用两种照相方法，一种是照相机固定不动，作长时间曝光，可拍出金属条受力后转移部分的图形(很象用纸花或银粉拍出的水流相片)；另一种是照相机附着于地基上来拍摄。目前

研究滚动车轮对于地基稳定性的影响。过去还作过不同的建筑物地基和板桩构造承受静荷载后的影响问题。

3. 含沙水流对于地基渗透系数影响的研究

在一高约12米,直径约0.4米的玻璃圆筒中,放置原型受扰动土壤(包括有较多成份的小礫石等),在圆筒顶部引入带沙水流,来研究土壤渗透系数的变化情况及规律。带沙水流由专门的循环系统来供应,可保证水流为恒定流动。

4. 同位素地基测验仪

用来测定地基土壤的含水量和容重。

5. 土坝浸润线试验

在宽为10厘米的狭槽中用颜色溶液观测模型土坝的浸润线变化。

另外还做岩石特性试验,研究徐变、流变性能,但设备并不多。此外还作滤器堵塞的试验研究等。

(四) 瑞士国立苏黎世高工学院水工及土工研究所 (Eidgenössische Technische Hochschule Zurich, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erbauung)

苏黎世高工是瑞士著名的高等工科大学,已有百多年的历史。该校现有12个系,共有学生约5000人。除教学工作外,该校一些有经验的教师还承担工程顾问工作,参与国家的工程设计与施工的讨论。这样结合具体工程所遇到的技术问题,在试验室内开展科学研究工作。为了适应工作需要,瑞士联邦政府在该校设立若干设备仪器比较充实的实验研究所,给以人员编制和经费,我们所参观的水工和土工研究所就是其中之一。现任研究所所长是G. Schnitter教授,长于坝工方面,为瑞士有名学者,也是该校土木系的教授。该研究所共有技术人员和工人一百多人,分属于三个方面:水力学、土力学和水文学(人员分配比例约为3:3:1)。

1. 水工实验室

已有30多年历史,是Meyer-Peter教授领导筹建。研究任务主要是接受工程设计单位委托进行水力学模型试验,瑞士本国一些重要水利工程的有关试验研究工作许多在该室进行,也承作部分国外委托项目。同时也开展一些水力学(和流体力学)专题研究工作。如在河道中泥沙运行规律、闸坝下游冲刷问题、有压管道非恒定流等方面都发表过研究报告。

实验室总面积约二千余平方米,试验总流量约5秒立米。设有1.5米、4.5米和15米三种水头的水流循环系统,有为研究河道底沙运动而设的长槽,长百余米,宽2米。为水力学教学目的设有专门的表演教室。

目前正在进行的研究项目有下列几方面:

(1) 闸坝下游消能冲刷模型试验研究——主要研究闸坝下游河床冲刷深度、消力坎或二道坝的合理形式与尺寸及闸门合理开启方式等。因原型河道较小,流量也不大,故正态模型比例尺一般采用1/20~1/50。模型中的建筑物多用塑料板与铝板拼制,模型地形用厚纸板按等高线裁制水平地形板来作控制,而地形板是用照相放大的办法裁制的,表面用水泥砂浆抹制。模型河床冲刷部分所用动床模型沙一般不作特别考虑,只用按同一比例尺缩小的天然沙和碎石来代替。

(2) 水电站系统的模型试验研究——研究河道泥沙对电站进水口的影响及其防护措

施,研究电站引水问题等。模型所用泥沙用漏斗状加沙器自动供沙,水位波动用自记水位计做记录,即利用二根铜丝作电阻式传感器,用笔记转鼓式仪器来自动记录。

(3) 电站非恒定流对船闸工作条件的影响研究——电站与洩水闸并列,当运用期间上游发生非恒定流动时研究对船闸灌水与洩水等工作条件的影响。作成正态模型,比例尺1/55,为模拟原型运用情况,将电站三台水轮机和多孔洩水闸用机体作成联动装置,加工比较精巧。水位波动是自动记录。

(4) 抽水机站水泵出水管形式的试验研究。

(5) 两个过水断面不同的管道接头处流量分配与水流型态的研究——为一专题研究,试验与公式计算相结合以求出一般性规律。

2. 土工试验室

在土力学方面,他们所作的科研工作范围有道路、冰冻作用、土壤稳定、电加固(Electroosmosis)、土壤动力学及基础、土坝、边坡稳定和地基承载力等问题。研究课题均由国内各生产单位委托。我们看到的有下列课题:

(1) 振动荷载作用下土壤在垂直和水平方向的变形研究,在三轴试验仪中进行,应用电测仪器量测和记录;

(2) 土壤孔隙水压力的三轴试验;

(3) 水流波动对粘土河床的影响研究;

(4) 灌浆对于材料渗透性能的影响研究;

(5) 对人工夯实的混合土料渗透性的试验;

(6) 温度对于固结的影响研究;

(7) 岩石的膨胀试验及收缩试验。

该试验室除设有一般性试验仪器外,还有下列一些特点:

① 固结试验仪:试样尺寸为50厘米²×2厘米和100厘米²×4厘米二种。

② 三轴试验仪数量较多,试样尺寸为50厘米²×12厘米。在量取薄膜外部压力方面是用压气的办法,用U形水银压差计量测。变形系用应变控制,荷载限度为5吨。有一大型三轴试验仪,用以试验原型扰动土样,试样尺寸可作到80厘米高、直径为50厘米的圆柱,荷载可达20吨。

③ 冷藏室。可将温度降至零下20°C,用于研究冻融对于土壤的影响。

④ 恒温室。能保持98%的湿度。用于贮藏土样。

总的看来,苏黎世高工的水工及土工研究所是以结合生产问题进行科研为主的,并且进行的研究项目也比较多,面也较广。同时也进行一些专题研究。看到的仪器设备是比较一般的,也有很多的三轴试验仪和振动荷载试验的自动记录仪器。

(五) 瑞士国立工业、建筑和轻工业材料研究所 (Eidgenossische Material Prüfung und Versuchsanstalt für industrie Bauwerke und gewerke)

瑞士国立工业、建筑和轻工业材料研究所,其德文简称为EMPA,法文简称为LFEM,已有多年的历史。全所共分三个部分,第一、二部分在苏黎世(Zurich),前者主要研究原材料、人工建筑材料和建筑结构的力学性能,包括:天然石料和人工建筑材料,胶结料,混凝土及钢筋混凝土、金属材料、木材等,压力容器,热量及燃烧技术,材料的不破坏试验,

材料力学及偏光弹性试验等九个组。后者主要研究材料的化学和物理化学特性,包括:金属化学分析及物理化学试验,油漆及涂料,水化学及陶器材料,有机化学,内燃机燃料及可燃燃料,道路建筑材料,可燃固体及气体,金属锈蚀,工业排气及防尘等九个组。第三部分在St.Gall,主要研究工业原料,半制成品和制成品,包括:纺织、制革、油脂及肥皂、造纸及印刷工业等四个组,和三个专门的物理、化学和生物试验室。苏黎世研究所新址是两年前建成的,据称投资达一亿多法郎。我们参观了属于第一部分的混凝土和钢筋混凝土结构两个试验室,下面就介绍这两个试验室的情况。

1. 混凝土试验室

多数试验项目结合具体工程进行,如水泥、骨料、塑化剂、加气剂的特性,混凝土的配合比,混凝土的物理力学性质及其防渗抗冻性能,混凝土在各种养护条件下不同龄期的强度等试验。此外,还进行0.25平方米大试件的强度试验,混凝土的温度和热性能试验、疲劳试验、动力特性试验和徐变试验等。除上述结合生产的试验外,还有一部分专题研究,如试样形状尺寸和强度的关系,混凝土配合比与疲劳强度的关系,细砂对混凝土的影响等。我们看到的主要试验项目和设备有:

(1) 骨料筛分。石料经过破碎筛分成四级,砂子用水力筛分,将0.1~5毫米粒径的砂分成四级或用振动筛分成1.0、0.4、0.2和0.12毫米四级,小于0.1毫米的冲洗掉。

(2) 试件及养护。试件有正方体和圆柱体两种。有的用水养护,有的用蒸汽养护,研究在一定温度(18°C)条件下,不同湿度(90%, 70%, 50%, 35%)对混凝土强度的影响。正方体试件的强度比圆柱体的为高,其比例约1.4~1.6。

(3) 切割及磨光。将试验室浇制成的试件或用工地取来的试样用切割机切割成需要的尺寸,以便进行各种试验。并用磨光机将切割好的试件表面磨光,以便荷载能均匀分布。磨光机是立轴钻石磨盘,盘的直径约为30~40厘米,由电动机带动旋转。

(4) 力学性能试验。可以进行拉力、压力、弯曲等试验,压力机最大压力约1000吨,为0.25平方米的大试件用。

(5) 混凝土中水泥含量的分析。将已有建筑物中混凝土磨成0.1毫米的细粉,用化学分析决定其SiO₂的含量,据此可定出混凝土中的水泥含量,精度可达5%。

(6) 渗透试验。试件有三种:20×20×20厘米³, 30×30×30厘米³和100×100×100厘米³(石块可用到200毫米)。试验前,将试件四周(顶、底除外)涂上沥青,然后放置在一个密闭的容器内,器内盛水,从容器顶部可通入高压空气,经试件渗出的水在底部管路流出。加压顺序从0.5大气压开始,每隔24小时增加一次,依次增至1、2、4、8直到30个大气压,每8小时观测一次。

(7) 冻融试验。瑞士高坝多在山区,高程在2000米左右,冬季天气严寒,所以非常重视混凝土的抗冻性能。冻融试验在冻融机内进行。试件在水中养护28天,90天后就可进行试验。先将试件放入机内,然后通入14°C的水,2.5小时后将水放掉,降温到-25°C,冻5.5小时,再加入14°C的水,融2.5小时,如此反复循环,每天3次,冻融机可自动冻融和自动记录,要求试件冻融800~1000次其弹性模量的降低不超过10%。

此外,还有混凝土配合比、骨料灌浆混凝土、水泥发热量、比重、塑化剂、加气剂、掺合料、酸硷溶液对混凝土的影响、试件形状尺寸对强度的影响等研究试验。

据称,结合具体工程的混凝土试验要在开工前5年就着手进行。应力试验方面一年可作20,000个试件。

2. 钢筋混凝土结构试验室

以进行原型混凝土或大比例尺结构模型试验著称。试验大厅长约70余米，宽约20余米，整个大厅的地板就是试验台，地板由重型钢梁做成，预埋螺絲孔，以便固定试架的钢柱。在试验加载时，此种地板可使钢柱受压或受拉。室内有吊车，用来安装试架及运输试件。大厅旁有一制造试件的车间，设有工作台和混凝土拌合机等。

该室的大部分试验项目都是结合具体工程进行。试件采用原材料做成原型或大比例尺的构件。这些试验有的属于基本构件的研究，如柱的纵向弯曲、预应力钢筋混凝土梁和板的强度、变形、牛腿试验和各种壳体的试验等。还有的则属于结构型式的改进和新的结构型式的研究，如钢筋混凝土铰等。这个试验室除静荷试验外，疲劳试验的项目也是较多的。加荷用千斤顶，量测变形用杆杆应变仪、千分表和电阻片。我们看到的几个比较主要的试验项目有：

(1) 柱的纵向弯曲试验。试件高达8米，可进行中心受压、偏心受压，也可以在横向加载。加荷用压力机，最大压力可达2000吨。

(2) 钢筋混凝土铰的试验。钢筋混凝土桥梁支点的铰接结构，一般都用钢料制造，构造和施工都比较复杂。他们拟将钢铰改为钢筋混凝土铰，如图4所示。这种结构可以使构造和施工都大为简化。

试验构件采用原型尺寸，其所承受的固定荷载为240吨，用预应力钢索加荷，活荷重为20至200吨，采用油压循环活塞加荷，每分钟250次，一星期可达二百万次。构件允许转动为12‰，钢筋上埋置应变仪，铰的外部也设有测量仪器，根据试验，铰处应力可达500公斤/厘米²（图5）。

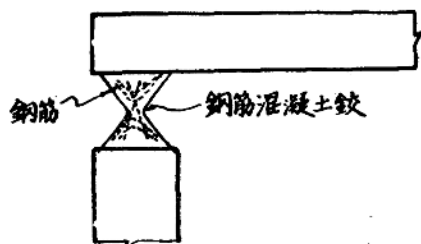


图4 钢筋混凝土铰图

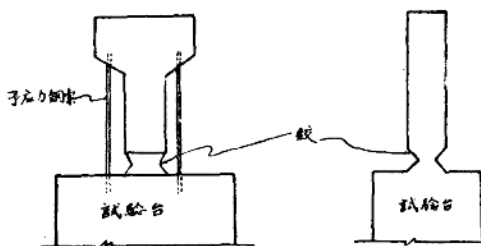


图5 钢筋混凝土铰试验装置图

(3) 图6a所示，为一建筑在软基上的钢筋混凝土桥（三孔），桥头因沉陷每二、三年就需调整一次，因此在两个边孔中间做铰，原设计铰的型式如图6b所示，现拟改为一种新的型式如图6c所示。梁内置预应力钢筋（应力达16,000公斤/厘米²），在切口附近也放置钢筋。试验加载采用千斤顶，允许有1%转动，加载到一定程度后，发现在切口上端附近出现水平裂缝。

(4) 钢索疲劳试验：钢索置于铅直向，加荷用油压循环活塞，荷载为210~240吨，每分钟250次。

(5) 钢梁试验：梁的两端支点不用螺栓，而是利用钢板夹紧产生的摩擦力。据称这样可使梁受力均匀。

从参观中得到的印象是：该研究室的规模较大，设备较新，投资也较大；以结构试验为主，采用原型或大比例尺构件，虽然也做一些模型试验，但不是主要的；研究题目多数是结

合具体工程进行的,但同时也有一部分专题性的研究;比较重视基本构件和新型结构的研究;研究题目多数是土木工程上的具体问题,但是应该说大部分研究成果在水工上也是可用的。

(六) Maggia and Blenio 水力发电公司所属实验室

Maggia and Blenio 水力发电公司是一私营公司,1956年成立,从事于瑞士南部Brenno及Maggia等河道的水电开发设计及其管理工作。为配合设计工作的进行,该公司附设有小型实验研究室,内分水工模型试验和结构应力模型试验二部分。全室面积很小,位于Maggiore 湖的湖滨公路一侧,设备也比较简单,人员也只有5~6人。据说结合设计,进行了试验研究工作,对验证设计和修改设计都起了相当的作用。较复杂的问题,交给规模较大的研究所进行。

1. 水工模型实验室

目前试验场地不足100平方米,在宽约4米的湖滨路堤旁搭上塑料屋顶板即成试验场,四面无墙,一侧面湖,一侧倚在公路路堤上。水流循环系统是用抽水机把湖水抽至一水塔,经过试验后的水流又洩回湖内,总流量只有60秒公升。该室作的试验研究有下列几项:

- (1) 闸坝下游冲刷和水流状态的研究;
- (2) 有坝取水口防沙模型试验——利用主河道水流转弯时发生断面环流现象而把泥沙携至下游,以研究取水口的合理位置;
- (3) 隧洞出口水流直接撞击立墙消能方式的研究;
- (4) 软基上空心重力坝坝底扬压力的试验研究——将坝基正态模型浸在油箱中,从在坝基轮廓线上安装的许多根测压管来测读扬压力分布情况,基础土壤用细沙代替,用油代水作试验,据说因油的粘滞系数大,不致于象水那样把细沙带走,油是用的废变压器油;
- (5) 其它——如竖井式溢洪道井口溢流型线和流量系数的研究,山区溪流取水口形式的研究等。

2. 结构应力模型试验室

面积很小,只能进行一项模型试验,模型比例尺约为1/300,也无温度、湿度控制设备。模型材料用塑料作,为Polylitet颗粒加Induritore和Aktivator液体。其弹性模量变化在10000~14000公斤/厘米²之间,波桑比为0.42,抗拉强度8~10公斤/厘米²。模型基础宽为坝底宽度的三倍,深度与宽度相同。只作水压试验,用水银加荷,加荷设备简单,用人工拉绳起吊。量测用千分表及电阻丝片和应变仪(包括胶水在内均购自Hüggenberger观测仪器工厂)。为了防止模型材料聚合时发热量大而开裂,先将材料聚合成固体,再碎成小块,作为模型骨料,然后再用塑料筑成模型。

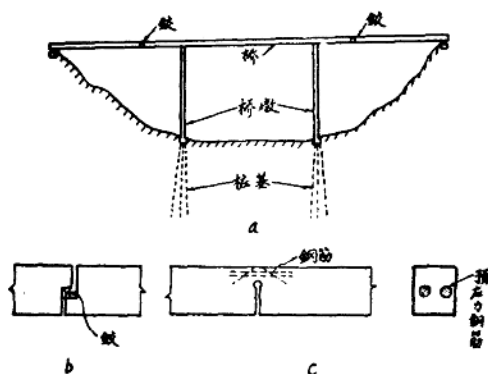


图6 新型拱坝试验图

(七) A. Stucky设计公司拱坝模型试验室

A. Stucky教授是瑞士有名的坝工专家,又是顾问工程师,承担水利工程设计 和顾问

工作，设有设计公司及小型结构模型试验室。试验室面积不大，位于地下室，无恒温恒湿设备，可同时进行4~5个模型试验。比例尺约1/250左右，模型材料采用石膏，模型基础宽用3倍坝底宽，深度与宽度相同，模型台高约1.3米。为了简化制模和加速模型干燥，采用在拱顶断缝，分开浇筑并用电炉烘干的办法，然后粘结成整体，表面涂防潮清漆一层。由于自重应力和温度应力均靠计测求得，所以试验只做水压荷载，加荷用水银，设备也很简单。

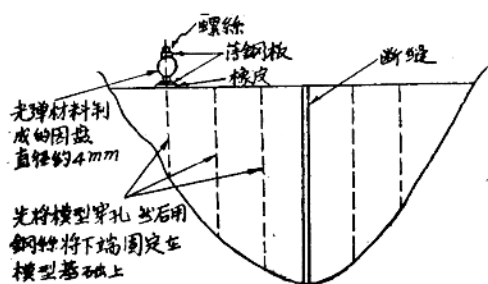


图7 结构模型试验布置图

量测仪器用千分表及电阻丝片和应变仪。为防止模型在加水压后开裂，对第二曲率不大的拱坝，在坝顶预以压力。加荷方式如图7所示：预加压力的大小，可通过量测光弹材料圆盘上的条纹数来确定。

另外，他们也曾用塑料制造拱坝模型，但由于该种材料聚合时发热量大，容易开裂，徐变变形较大，所以未再采用。

二、高坝观测

据Hüggenberger博士谈，高坝观测的目的有二：一是为了安全运行，二是为了科学研究，积累资料，供以后设计新坝时参考。他说，瑞士着重在前者，因而埋设的仪器不多；而美法等国家为要达到两个目的，所以埋设了较多的仪器，他认为埋设仪器过多，不但费用增加，而这些资料也难于全部正确。因而他主张尽可能少埋仪器，当然要以满足观测要求为限。另外，他还主张尽量采用外部观测仪器（仪器埋设在观测廊道、直井和坝的外表面上），少用埋设在混凝土内部的仪器。在瑞士，一个混凝土高坝所需埋设的全套仪器设备，包括埋装布置设计、供应仪器设备、指导埋装在內，约需20万至40万法郎，相当于坝造价的0.5~1.0%。

他们对仪器埋设的质量是比较注意的，因为仪器的寿命和测量成果的精度，不仅取决于仪器本身，而且也有赖于埋设的质量。据称，瑞士有些坝的观测仪器已运用10年以上，目前还在正常使用。

（一）混凝土坝的观测

1. 观测仪器的布置

针对每个坝和地基的不同条件，观测仪器的布置是不尽相同的。这次在瑞士参观的混凝土坝多系拱坝，一般都布置三个观测基面，即河床最深处一个（约在中央悬臂梁处）；左右近拱轴1/4点处各一个。在各观测基面上，一般每隔20~30米设观测截面一个。为了了解坝身近地基部分和基岩的工作情况，在靠近地基的坝体和基岩內也布置观测仪器。

2. 观测项目一般包括以下几项

（1）坝身及坝基的位移观测。这是混凝土高坝观测的一项主要内容。采用的方法为悬