



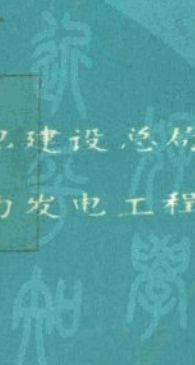
第十五届

国际大坝会议译文选编

(上)

水利电力部水利水电建设总局

中国水利学会 中国水力发电工程学会



PDG

译 序

国际大坝委员会成立于一九二八年,其宗旨是促进大坝设计、施工、维修和运行方面的技术进步,国际大坝会议是该委员会召开的国际性坝工技术讨论会,每三年一次,着重交流讨论与上述宗旨有关的先进技术与经验。第十五届国际大坝会议召开于一九八五年六月,地点在瑞士的洛桑。我国派出以李鹗鼎和潘家铮为首,以及沈崇刚、张泽祯等九人组成的代表团参加了这次会议。按历届大会议题顺序,本届的议题是:

第56题:大坝和地基监测系统(82篇)

分支题目:1.与坝的型式、规模、年限、安全和运行要求相适应的观测设备和观测系统的设计;2.观测设备和观测系统的最新发展—遥控和自动化;3.监测的可靠性,仪器损坏的修复和更换;4.观测资料整理、分析和解释;5.为改进分析方法,原型观测与预测的比较—反演分析和经验;6.大坝监测的管理问题;7.观测设备安装和运行的费用。

第57题:混凝土坝的裂缝问题和碾压混凝土新工艺(43篇)

分支题目:(一)混凝土坝的裂缝:1.大坝裂缝的原因;2.材料特性对裂缝的影响;3.裂缝的数学和物理模型;4.避免和减轻开裂的措施;5.裂缝修补。(二)碾压混凝土坝:1.材料和混凝土配比设计;2.浇筑方法;3.结构细部;4.大型试验和典型实例;5.费用。

第58题:坝基防渗处理(86篇)

分支题目:1.确定地基渗透特性的方法;2.防渗和排水系统的设计和施工;3.确定基础处理的效果和耐久性的方法和观测设备;4.渗漏控制和扬压力控制的补救措施。

第59题:为保证大坝安全的加固工作(57篇)

分支题目:1.已建大坝的加固和修复;2.基础加固的补救措施;3.泄洪能力的扩大;4.为满足安全标准改变运行条件。

为把大会成果及时介绍给国内广大读者,由原水利水电建设总局,组织选译编辑出版了这本文集,文集从大会的268篇论文中选入有关论文92篇,分上(56和57专题)、下(58和59专题)集出版。出版工作曾得到中国水利学会和中国水力发电学会的资助。参加选题工作的有赵志仁(56题),曹乐安和朱伯芳(57题),于晓中(断裂力学部分)蒋元驹(碾压混凝土部分),张泽祯、李浩钧(58题)以及王祖华(59题)等。参加编辑工作的有:王华阳、贾锡泽、田淑贤、刘玉敏、谢授麟和苑赫宗。此外,还编入了水利水电监测技术情报网已出版的56专题部分译文,其中部分原稿曾请马君寿同志作了复校。

对曾参与选集出版的其它同志,在此谨致谢意。

目 录

大坝和地基监测系统 (专题56)

考伦坝的监测系统 (报告1)	(1)
对伊泰普工程各建筑物性态的评价 (报告15)	(22)
佛士度爱利混凝土面板堆石坝的变形特性 (报告21)	(36)
地震观测系统和从地震时岩体运动特性 及坝内的反应所得到的经验教训 (报告25)	(58)
大坝岩基结构缺陷的探查与监测 (报告36)	(69)
混凝土坝地基的决定性水力监测模型的研究 (报告49)	(84)
在俾埃曼河电力开发中混凝土面板堆石坝的性能及监测 (报告58)	(99)
高堆石坝的结构性态, 对观测资料的综合分析 以及关于应力~应变关系的结论 (报告67)	(105)
莫纳萨武软心墙坝的应力~应变特性—预测、性态和分析 (报告68)	(118)
大坝运行期间监测系统的变动 (报告72)	(133)
萨扬舒申斯克坝和努列克坝施工期 和分期蓄水观测资料的分析 (报告75)	(139)
法国电力公司所属各坝的监测 (报告78)	(142)
原载“水工建筑物观测情报网”网刊《观测技术》专题56的译文	
地形观测、倒垂线法的改进、可靠性的提高 (报告4)	(149)
高土坝坝体和基础监测及性能评价 (报告8)	(163)
坝的统计学特性模型 (报告16)	(178)
弗劳埃诺坝的观测和观测成果 (报告17)	(187)
法国三座混凝土坝的观测设备和观测成果 (报告22)	(193)
已建混凝土坝和基岩的钻孔电视观测 (报告28)	(205)
得克萨斯州韦科土坝粘土页岩坝基孔隙压力的监测与分析 (报告29)	(214)
混凝土坝中观测到的滞后反应 (报告38)	(225)
大坝监测成果的定量分析—目前水平、应用和展望 (报告39)	(230)
克伦布赖恩坝稳定性监测的现代仪器 (报告42)	(238)
已建混凝土坝监测系统的现代化 (报告50)	(246)
伊德里斯1号坝观测设备的修复 (报告52)	(257)
瑞士大坝监测的现代方法 (报告53)	(263)
格洛克纳—卡普伦水电开发中各坝的安全监控 (报告59)	(273)

挪威监测填筑坝性状的仪器技术和设备 (报告62)	(281)
博克哈特塞填筑坝混凝土防渗心墙的监测及成果解释 (报告66)	(294)
用数学模型的数值模拟对科尔巴拉坝的性态进行检验 (报告77)	(301)

混凝土坝的裂缝问题和碾压混凝土新工艺 (专题57)

雷沃斯托克重力坝大体积混凝土的裂缝 (报告1)	(317)
碾压混凝土在混凝土重力坝部分坝段上的试用 (报告2)	(328)
关于碾压混凝土的抗渗、抗冻和抗裂的特性 (报告5)	(336)
玉川坝的碾压混凝土施工概况 (报告6)	(344)
上静水坝碾压混凝土设计和施工的基本要点 (报告8)	(355)
对美国陆军工程师兵团建成的混凝土坝中裂缝的重新分析 (报告9)	(363)
碾压混凝土坝设计的革新 (报告11)	(370)
一座碾压混凝土供水建筑物—蒙克斯维勒坝 (报告12)	(383)
对厚层碾压混凝土重力坝的研究 (报告13)	(395)
在混凝土大坝中表征裂纹特性的断裂力学模型 (报告16)	(400)
埃里扎纳坝的碾压混凝土试验 (报告19)	(405)
分析在地震期间重力坝中裂缝发展的数字算法 (报告26)	(408)
在弗瑞瓦斯坝混凝土中掺用硅粉 (报告30)	(419)
混凝土坝的非膨胀性裂缝 (报告36)	(424)
用意大利国家电力公司与其它机构合作完成的断裂力学成果	
研究混凝土大坝的裂缝问题 (报告39)	(438)
大坝碾压混凝土配合比的设计方法 (报告41)	(448)
大体积混凝土坝中温度裂缝、裂缝生成的准则	
及防止裂缝的措施 (报告43)	(469)

(注: 本选编页码149~152编重)

考伦坝的监测系统

TAWEESAK MAHASANDANA等

(泰 国)

提 要

本文描述了在泰国考伦 (Khao Laem) 综合利用工程的基础及建筑物所设置的观测仪器、考伦坝是一座建立在岩溶石灰岩基础上, 高90米的混凝土面板堆石坝。

文中叙述了用于监测大坝及其基础的观测设备的设计范围、详述了仪器的类型、数量及布置、并简述了工程性能和施工方法。

本文还提供并讨论了施工期、水库蓄水前的观测结果。

一、前 言

考伦坝是一个综合利用工程, 混凝土面板堆石坝坝高90米 (最大断面高113米)。坝顶长度1000米, 并为一个发电能力为30万千瓦的地面电站供水, 堆石体积800万立方米。该坝位于曼谷西北300公里的Quae Noi河上, 此河与Quae Yai河在北碧 (Kanchanaburi) 省汇合成夜功 (Mae Klong) 河。

坝基由互层的页岩、砂岩和石灰岩组成, 砂岩和石灰岩极度风化, 并在河床下60米深处发现空穴。右坝肩由大块石灰组成, 这些石灰岩有巨大的岩洞和溶洞。一个主断层带 (三塔断层) 将坝基岩石与右坝肩隔开。

在该坝设立了监测设备, 以便施工期提供数据和在水库运行期监测水库的工作状况。选用的监测系统适合现场施工条件和进度, 其中一部分是就地简单设计制作的, 仪器的全部费用大约是56.4万美元, 大约相当于工程费用4.4亿美元的0.1%。

本文将介绍监测系统的详细情况及观测结果, 水库初蓄及运行中的观测将在以后介绍。

二、工程简介

1. 图1绘出了工程平面图, 相应的资料在表1中。根据一个合同完成的、包括大坝在内的主体工程是与导流隧洞分开的, 而导流渠的起始开挖另由投标定约, 右坝肩截水帷幕处理根据另一合同完成。两个合同的施工期都是从1980年3月1日起到1984年12月1日止, 由于追加了导流渠开挖和坝基与右坝肩处理, 后两项工作遇到困难致使合同完成延期一年。水库在1984年6月1日开始蓄水, 第一个发电机组预计1984年12月1日交付使用。

右坝肩截水帷幕处理中有六个长2到3.5千米, 上下相距14米的灌浆廊道。截水帷幕处理包括有廊道支护, 用混凝土和砂浆对大大小小的石灰岩溶洞进行回填及灌浆帷幕。

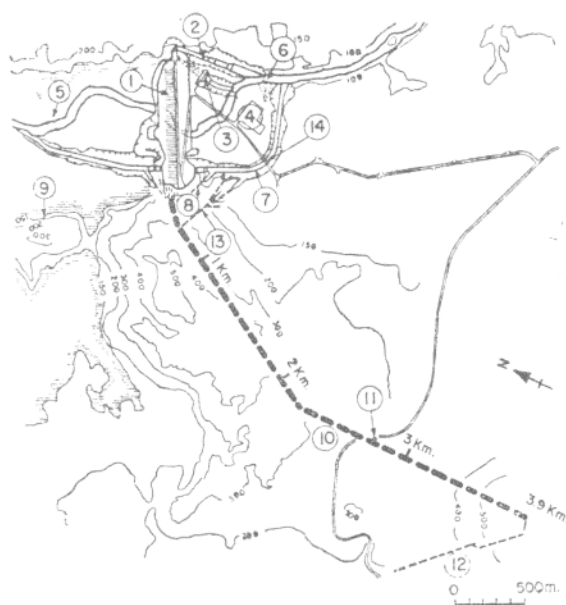


图1 总平面图

1、大坝；2、溢洪道；3、电站；4、开关站；5、上游围堰；6、下游围堰；7、导流渠；8、导流洞；
9、正常水位155.0高程；10、灌浆廊道；11、通风井；12、施工支洞；13、交通廊道；14、分水渠桥

坝基处理包括有灌浆帷幕的几段正截水墙，有三个地区是用深55米搭接桩构成的隔水墙进行处理的。用中心距为1.23米的大直径冲击式钻机钻出主孔，然后用导管法浇注混凝土。在混凝土凝固后钻中间的副孔清除孔中残岩，然后在付孔中浇注混凝土而形成连续防渗墙。底座的一部分因为岩石情况不允许开挖而采用了灌浆处理。此外，由于开挖基础坡度的情况，难以采用其他大型施工机具。

大坝清基是根据沉陷及受力情况而设计的，清基准则如下：(i) 从底座到六分之一坝宽要控制至稍有风化或更好的岩基上。(ii) 六分之一坝宽到坝轴线挖至有50%的岩石，但允许有孤立的小块强风化岩石和粘土。(iii) 坝轴线至下游坝趾挖至有30%坚实岩石。

大坝填筑于1981年5月开始，计划1984年8月完工。石料主要由位于上游1公里处的石灰岩料场取得。大坝堆石区如图2所示，施工现场级配曲线见图3。

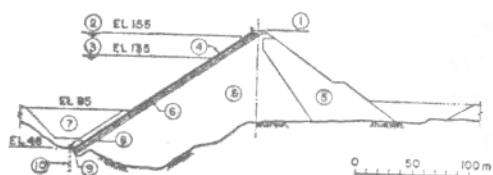


图2 考伦坝的最大断面

①坝顶高程161.75； ③正常水位；
③最低运行水位； ④混凝土面板；
⑤堆石3A和3B；⑥反滤层2B和2C；
⑦填土； ⑧底座廊道； ⑨底座；
⑩灌浆帷幕

表1

相应资料

水文	集水面积	3720平方公里	溢洪道	明渠斜槽，过水能力	3200米 ³ /秒
	年总径流	55×10 ⁸ 米 ³		两个弧形闸门，每个闸门尺寸为	14宽米×9米高
	最大可能洪水	7100米 ³ /秒	灌溉泄水管	混凝土衬砌输水管道	5.3米的正方形
	最高记录洪水(1974年秋季)	3590米 ³ /秒		泄水能力	270米 ³ /秒
水库	表面积	353平方公里	进水结构	三个定轮闸门、每个闸门尺寸为	4米宽×8米高
	蓄水高程160.5米（最高水位时库容）	95亿米 ³		三个钢衬混凝土输水管道	
	蓄水高程155.0（最高运行水位时库容）	74.5亿米 ³	发电用水管道	管道直径	6.3米
	蓄水高程135.0米（最低运行水位时库容）	26.5亿米 ³		长度	235米
	有效库容	48亿米 ³	电站	尺寸	110米长×39米宽×53米高
				安装8个10万千瓦的发电机组，总计	30万千瓦
大坝	石灰岩堆石高度	92米	水轮机	竖轴辐向轴流式（混流式）	额定功率10.2万千瓦
	最大断面的高度	115米		转速	150转/分
	坝顶长度	910米	发电机	伞式、额定值为	111000千伏安、功率因数0.9
	上、下游坝坡	1：1.4		电压	13.8千伏
	面板厚度	600到300mm		频率	50赫兹
		厚度-0.3+0.003H(米)			
导流渠	宽度	30米	输电线	第一部分双回路	88公里
	长度	2.4公里		第二部分单回路	108公里
	过水能力	4800米 ³ /秒		电压	230千伏
				频率	50赫兹
导流洞	直径	7.0米	变压器	露天8相、额定值为	115000千伏安
	长度	387.0米		电压	13.8/230千伏
	两个截流闸门，每个闸门尺寸为	3米×7米长			

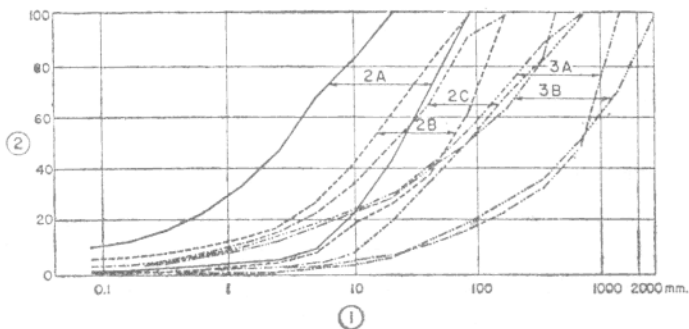


图3 堆石级配曲线

①粒径(毫米)； ②小于某粒径百分数

靠近底座和面板下的石料是碎石厂加工的，其余部位采自料场的天然石料。面板下部区域每层铺400毫米，用10吨振动碾碾压3遍。沿坝坡在喷浆混凝土密封之前碾压8遍，头两遍不振动，第三四遍半振动，最后全振动。上游堆石（3A）每层铺1米，而下游（3B）

每层铺 2 米每层碾压 4 遍。在填筑时，还要以堆石体积15%的比率加水。

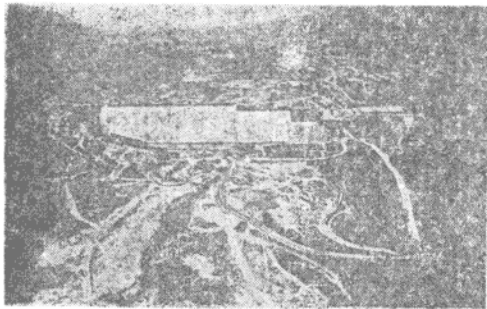


图4 接近竣工时的大坝（照片）

混凝土坍落度在50—80毫米之间。图4是接近竣工时的大坝照片。

面板厚度在邻近底座的最大截面是0.6米，由上向下逐渐减少，在防浪墙是0.3米。钢筋是面板设计面积的1%，双向则每一方向各为0.5%，钢筋埋置在面板中心。底座与面板间的固定边缝具有双重止水、(i) 面板底部的铜片止水，及(ii) 面板中心的氯磺酰化聚乙烯合成橡胶止水，面板分缝在靠近坝趾处是7.5米，上部是15米。混凝土用滑模施工，混

三、观测系统

为了提供资料和验证在基础与建筑物的设计假设，设计还采用了适合于施工情况的观测设备系统。表2列出了为量测坝体、混凝土面板、通过截水帷幕的渗流量和地震活动而设计的观测系统。量测内容有：

- (1) 坝体基底的31处沉降观测，
- (2) 坝体内 3 个坝段的垂直位移观测。
- (3) 作用在坝体挡土墙和电站进水建筑物的堆石应力观测。
- (4) 98个表面沉降标点观测；其中20个标点在坝顶、20个标点 in 面板、34个标点在下游面、24个标点在底座廊道内。
- (5) 面板应变观测。
- (6) 混凝土面板和底座之间边缝的移动及 4 个垂直收缩缝的开裂度观测。
- (7) 混凝土面板 4 根测斜导管方向的挠度观测。
- (8) 沿底座廊道和右坝肩截水帷幕的渗流观测及坝下游面的渗流观测。
- (9) 地下水观测。
- (10) 坝趾周围的地震活动，包括坝和它的建筑物在强地震时的运动观测。

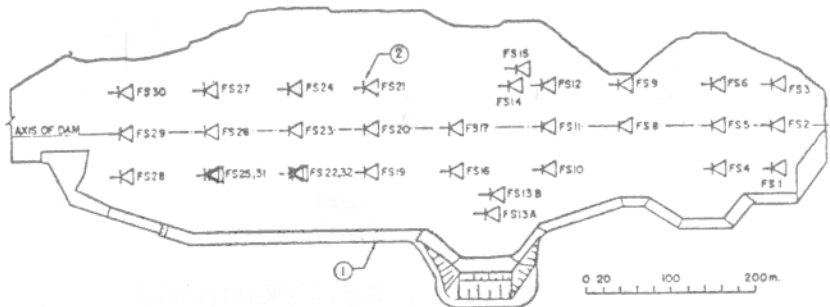


图5 基础沉降计的位置图

1、底座基础； 2、基础沉降计

表 2 观测仪器明细表

名称	数量	位置	观测	工料费 (美元)	厂家	备注
坝体						
1 基础沉降计	31	主坝基座	基础沉降	38,500	当地制造	合同中未规定
2 水管式测降计	12	堆石	堆石沉降	32,000	英国, 土工测试仪器有限公司	
3 应力计	12	电站进水口挡水墙背坡	堆石压力	24,000	瑞士, Huggenberger	
4 表面沉降标点	98	面板 (20)、坝顶 (20)、下游面 (34)、底座廊道 (24)	沉降	13,400	当地制造	
面板						
1 应变计	57	埋置面板内	混凝土应变	25,000	瑞士, Huggenberger	合同中未规定
2 无应力应变计	4	层上	无荷载应变	62,500	同上	
3 边缘计	29	边缘	接缝移动	105,000	同上	
4 竖向收敛计	4	收敛线	同上	11,500	同上	
5 测斜仪	4	混凝土面板上	面板挠度	84,000	英国, 土工测试仪器有限公司	
渗流测量						
1 渗流观测系统 (染色观测洞)	89对	底座廊道 (19) 与右坝后廊道 (7%)	判断渗流区	打钻灌浆费用	当地制造	合同中未规定
— 微流计	1	同上	渗流	15,100	日本、应用地质调查公司	
— 温度传感器	1	同上	水温记录	1,000	同上	
— 布尔德管式压力计	14	同上	水压	1,000	英国, Budenburg	
2 渗流测量	14	右坝后廊道 (11)、下游坝趾 (2)、固定桥 (1)	渗流	打钻灌浆费用	当地制造	
— 溢流堰	1	坝下游2.5公里	同上			
3 水文测量站	39	网状系统 (廊道内16个、下游波23个)	地下水位			
8 地下水观测孔						
地震监测系统						
1 短周期地震仪 (SPS-1)	1	右坝肩	震源距离	34,000	美国、动态度量股份有限公司	由业主提供及安装
2 强震加速度计 (SMA-1)	4	廊道A、坝顶、下游坝趾和溢洪廊道	加速度	17,000	同上	

观测设备的详细情况及测量方法讨论如下：

(一) 基础沉降计

由于基础复杂，施工期决定在一个 100×50 米的网格上设置基础沉降计。沉降计遍布坝基整个范围，它们的埋设位置如图5所示，这些沉降计设计简单，并在工作现场装配。沉降计基本上是由钢板上竖立钢管构成，竖管在施工中一直延伸出堆石表面。在竖管外部罩有一个套管，这样只有当板下基础沉降时才能使钢板移位。测量竖管顶部的高程减去竖管长度即获得读数，仪器的高程是已经知道的。图6是基础沉降计的装配图。

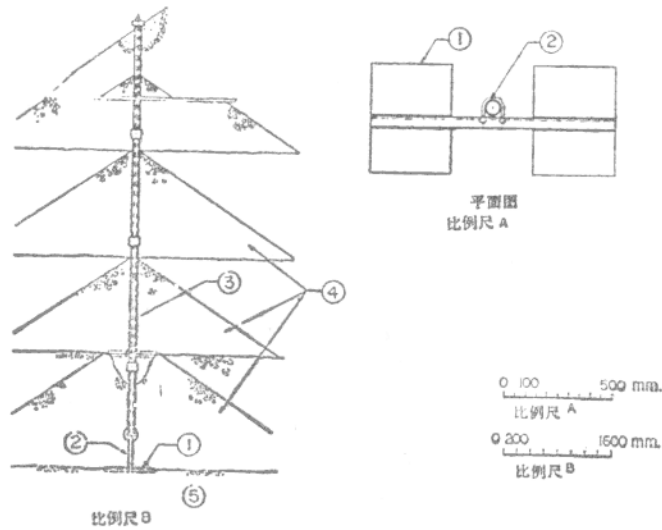


图6. 基础沉降计装配图

①钢板；②竖管；③套管；④堆石；⑤基础

(二) 水管式沉降计

为了测量坝体内的竖向位移，在坝体的三个坝段中设置了12个水管式沉降计。设置位置及坝段示于图7。

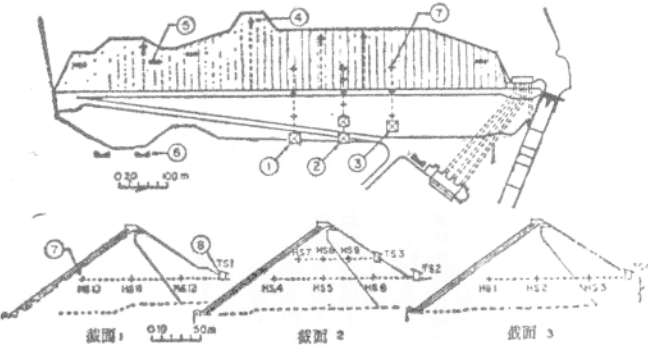


图7 检测设备平面及断面图

①坝段1；②坝段2；
③坝段3；④测斜仪引管；
⑤竖向收缩缝测定计；
⑥V型堰；⑦水管式沉降计；
⑧观测室；

水管式沉降计应用了连通管和溢流的原理。每一个沉降计有两个溢水管，由埋在地下的

尼龙管将其与设置在同一高程的观测室的透明测量管相连，两个溢水管高度相差30毫米，溢水管水位也即沉降计的水位，由观测有相应刻度的测量管水位而确定，沉降计的沉降值可由与测量管水位的等下降量反应出来，该沉降计测量沉降值精度为 ± 4 毫米。

水管式沉降计测头完全封闭，并设有通气管及排水管，以与大气压力平衡并排出多余水量。如果不全密闭防水，它将起水压计的作用了。

读数据时通水管要泵入足够的脱气水充满，并排出通水管内的气泡。有刻度量测管也应充水，节间并用设在测量板上三向通阀直接与通水管相连。量测管的水位下落直至与沉降计测头的溢流水位相等。

水管式沉降计的埋设见图8。沉降计按设计部位埋设，然后用4根管连接至终端测量板上。沉降计测头埋设后用 $50 \times 50 \times 50$ 厘米木模内充混凝土以保护。

沉降计由英国土工测试仪器有限公司 (Soil Instruments Ltd) 提供。

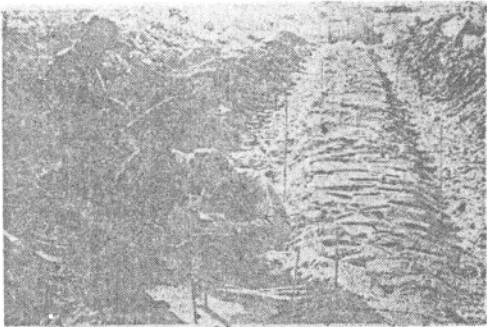


图8 水管式沉降计的安装

(三) 应力计

作用在坝体挡水墙背坡及电站进水口的堆石应力，可以用Huggenberger公司制造遥压仪PC30型应力计测量。该仪器直径270毫米，卡尔逊 (Carlson) 型、用4芯电缆连结，用比例电桥，比例电价是惠斯登电桥原理，电阻从0到109.99欧姆，精度0.01欧姆，压力0~3000千牛/米²，最小读数1是5千牛/米²。图9所示为应力计的布点。

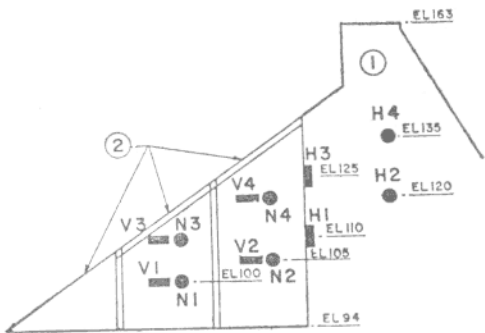


图9 应力计的布点

①电站进水建筑物；②坝体挡土墙

(四) 表面沉降标点

坝体表面沉降可用常规方法测量，标点布置为相距90米。
面板沉降标点是直径15毫米，长250毫米的不锈钢测点，底座廊道内也是用的这样大的测点。坝顶沉降标点设在防浪墙上，直径15毫米，长2000毫米。下游面沉降标点与坝顶沉降标点同样大小，嵌在2米长标点管中，管内充填砂浆，顶端设螺帽保护。

(五) 应变计，无应力应变计

面板内应变计埋设在混凝土内，应变计标距长300毫米，共24个。仪器布置成45°和90°多向组合。图10是45°多向组合应变计。Huggenberger公司制造的TFC型应变计为卡尔逊

(Carlson) 式，灵敏度为 3×10^{-6} 应变。每一个应变计都调到全量程的一半，这样就可以测量相同的拉伸和压缩，面板内的温度也可由这些应变计测得。应变值和温度值用比例电桥测读。

由全类的应变计构成的四个无应力应变计埋设在面板下的铜容器中，容器内充填混凝土（图11）。无应力应变计测量由于温度应力和混凝土徐变而导致的应变。应变计与无应力应变计的埋设布置见图12。

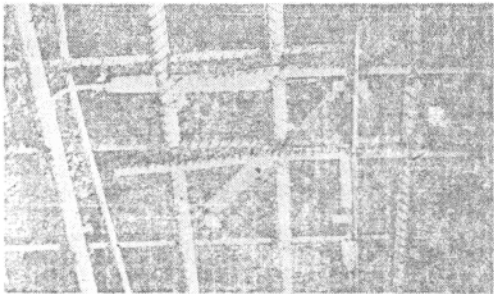


图10 45°应变计的多向组合（照片）

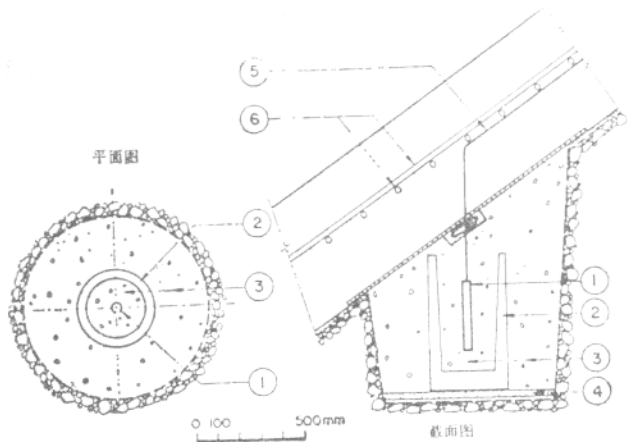
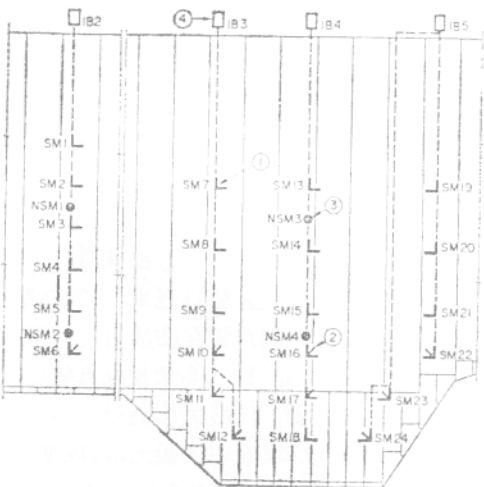


图11 无应力应变计

- ①应变计；②铜容器
- ③混凝土；④砂浆；
- ⑤电缆；⑥钢筋

图12 应力计埋设布置

- ①90°应变计多向组合；
- ②45°应变计多向组合；
- ③无应力应变计；
- ④开关盒



(六) 边缝计, 竖向测缝计

面板和底座间的边缝横向移动用580毫米长的边缝计 (Huggenberger) 制造的TTE 型测针测量。边缝计浇筑在混凝土内或锚定在底座上。锚固定时加用一根长100—200毫米, 直径12毫米的钢杆连接到面板的觐标下。图13为边缝计的埋设, 边缝计法向, 垂直向和平行向的移动都用数字显示, Indipoc P 2 型比例电桥测得, 比例电桥设在底座廊道内的专设空座、可直接测得边缝的位移, 以毫米计。

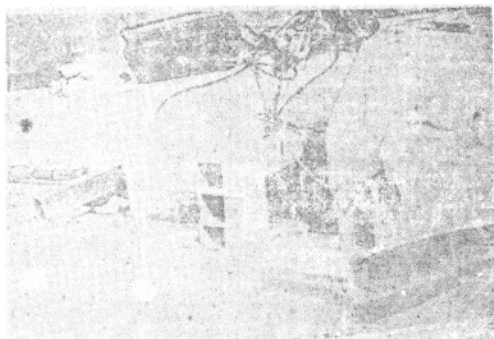


图13 边缝计

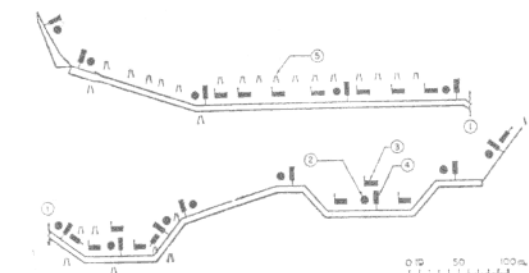


图14 边缝计埋设布置和染色探测孔

- ①边线; ②法向边缝计; ③平行向边缝计;
④垂直向边缝计; ⑤染色探测孔

边缝计的量程为100毫米和60毫米两种, 埋设位置如图14所示。垂直向边缝计调整出测量范围的20%, 法向边缝计调整出测量范围的80%, 平行向边缝计调整出测量范围的50%。边缝计和延伸杆用重型钢罩加以保护, 以防不透水填料进入。

垂直收缩缝的位置选在靠近两坝肩和图7的导流渠左测小山的两边。这些缝没有钢筋, 位置是根据以往工程的经验选定的。测量竖向收缩缝的移动, 使用的是Huggenberger 制造的小型应变计, 该仪器的测量量程是50毫米, 调整出5毫米量程(测量量程的10%), 用Indipoc P 2 型比例电桥测读。仪器用重型钢罩保护免受损害。

(七) 测斜仪

混凝土面板的四个位置设置了56毫米直径的铝合金导管, 如图7所示。导管的轴向为四个互成90°角的凹槽, 导管用支护固定夹固定在混凝土面板上, 一对凹槽为垂直向。靠近底座的测斜仪导管底端埋设为固定端, 而其顶端要精确测量确定。测斜仪测头有两个连接到它的末端的加重导轮 (图15), 用以克服电缆通过导管内一对凹槽时的滑动阻力。测头的深度由电缆测得, 电缆每0.5米间隔有压扁的重型钢箍标尺, 向上面每隔1米量测读数, 测得值为其挠度, 以米计。

将读数和安装后的初始读数 (基础读数) 相比较即可测得导管的任一点或全部累计挠度。与初始值比较还可绘制导管挠度变化, 测读精度可达 ± 0.1 毫米。

本工程购置了两台单向测斜仪和两台测读设备, 其中有一台是备用的。

测斜仪测读设备的特点是所有零部件都是通用的。本测斜仪为英国土工测试仪器有限公司 (Geotechnical Instruments Ltd, UK) 的产品。

(八) 渗流检测系统, 测量堰和测量站

通过底座廊道和右坝肩廊道 (B、D和E) 下部截水帷幕的渗流水将用染色探测孔判

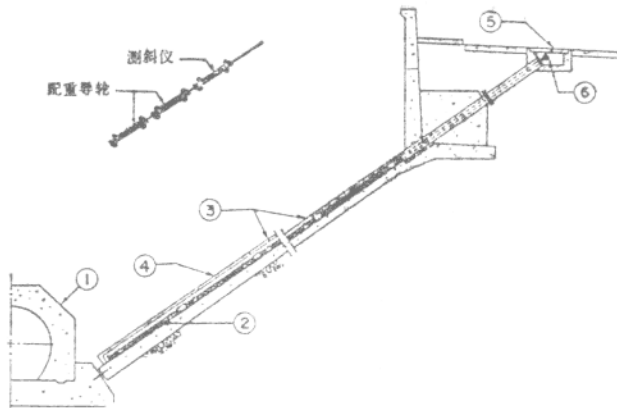


图15 测斜仪及测斜导管

- ①底座廊道； ②测量仪导管； ③钢罩；
④混凝土护层； ⑤盖； ⑥可拆卸螺帽

断。染色探测孔是在截水帷幕上下游成对钻成的斜孔，在坝基部分每相隔40米一对，在右坝肩部分相隔50米一对，孔与高吕菜区相接，其最大值为50米。钻孔用直径80厘米聚氯乙烯管衬砌以保持各孔张开。一个镀锌钢竖管和球阀组件设置在每一孔顶以便于染料射入。底座廊道的染色探测孔位置示于图14。

将高浓度染料(荧光素钠盐或若丹明-B液)用高压泵打入上游探测孔，下游孔保持微开状态，根据不同的时间(1小时到1周)抽取水样。任何渗漏量就可由喷射、抽样时间和下游孔染料的浓度而确定。

在渗流探测孔内装有压力表，用以记录上下游水位之间的水头。水库蓄水后，主要渗漏区可以根据压力表读数的异常差值记录而加以确定。

右坝肩所有廊道排出的水量由11个V型堰测定，坝内渗出的水量由3个V型堰测定，也可由横跨固定桥(导流桥)下导流渠的混凝土排水堰来测定。设计混凝土排水堰的目的是防止最低廊道F免遭尾水淹没，右坝肩廊道和下游坝趾导流渠处的渗漏量可据堰后水位上升率而确定。

为测定通过大坝的总渗水量，计划在大坝下游2.5公里处设置一个流量测量站。

(九) 地下水观测孔

设置若干直径为76毫米的观测孔用以进行地下水监测，施工期在坝趾及下游隆起部位钻了若干直径为100毫米的辅助孔。孔中水位用电测法，即带有电传感器的水探测器测定。孔顶至水面的深度用有刻度的电缆测定。水位计及其探测器皆为当地设计并制造。计划用大约30个孔来长期监测，孔位如图16所示。孔径的选择以使其与微型流量计和温度记录探测器相适应为宜，温度记录和渗流可提供地下水波动的分析资料。此外，还计划对孔中的水样进行化学分析。

(十) 地震测试仪

设计阶段的地震危害研究结果表明，在150公里范围内没有地震的仪表记载。施工初期，泰国矿产资源局提出了通过大坝的三塔断层还有活动可能的问题。有关方面一致同意

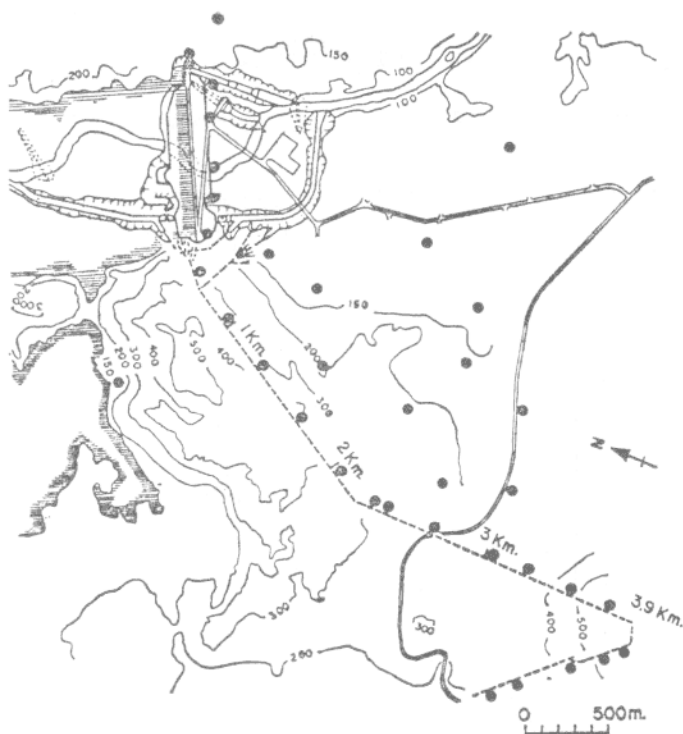


图16 地下水观测仪

建立三个地震观测站以便进一步观察，并可改进泰国西部地区的局部监测网。这三个观测站在1982年底已纳入国家地震监测网，其中的一个观测站，名KHT，设在考伦坝的右岸距断层大约1公里处。

地震观测站用的是一个竖向分量地震仪，这种仪器是用墨水笔记录的，并需每天校准，以克服无线电信号干扰。此观测站可测定震中距及大约的震级，地震波曲线定期送至泰国气象局。

1983年4月22日发生了强烈地震，地震级别5.5，震源在考伦坝以东55公里处的另一条支流Quae Yai河，在考伦坝区的地震烈度是修正的麦氏（Mercalli）地震烈度表5到6度。为此给考伦坝购置了四套自动记录加速仪（SMA—1）分别设置在（I）坝趾，（II）坝顶中心，（III）右坝肩廊道顶部和（IV）溢洪道廊道。每一套SMA—1由三个相互垂直、处于准备状态的加速度计构成。其测量量程是1g（980厘米/秒²），当加速度达0.01g时启动器触发SMA—1。三个加速度计都用70毫米胶片记录接收到的加速度，胶片冲洗后即可测定出加速度峰值和持续时间。

四、施工期的观测

施工期，仪器观测通常每周一次。施工期的若干观测记录概述如下：

（一）基础沉降

基础最大沉降发生在沉降计FS20和FS21区域。基础沉降与堆石高度关系曲线见图17。这个地区的基础有脱钙基岩的石灰岩砾石覆盖层，留在原地的约深20米，并且这一地区的地基模量很底，只有3000千帕。

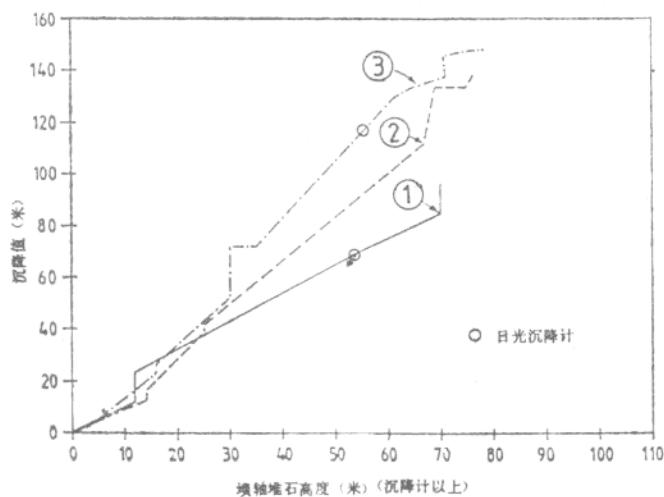


图17 基础沉降

①沉降计FS19； ②沉降计FS20； ③沉降计FS21

（二）坝体内的沉降

施工期堆石的沉降只是由于它们本身自重引起的，最大沉降发生在沉降计HS5的区域。堆石沉降，沉降计以上堆石高度以及经历时间三者的关系曲线示于图18，沉降值包括

由于基础压缩引起的沉降（基础沉降）在内。在3A区，堆石高度每层1米，堆石模量（除去基础沉降）为4000—60000千帕、在3B区，堆石高度每层2米。堆石模量为3000千帕。由固结试验测得的模量是46000—10000千帕。

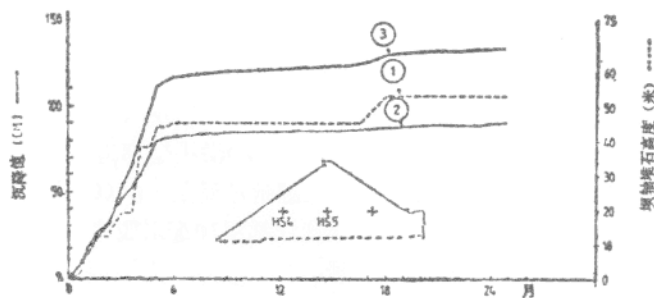


图18 坝体内的沉降

①沉降计上部堆石高度；②水管式沉降计HS4的沉降值；
③水管式沉降计HS5的沉降值

(三) 坝体挡水墙和电站进水建筑物的应力

最近一次测定的水平应力与垂直应力之比 (K_0) 小于设计的 K_0 值。应力计的各测量值比较分散, 设计时坝体挡水墙 K_0 值取 0.85。应力计 V 2 和 N 2 的测量值与堆石高度以及经历时间关系曲线示于图 19。

时期 (月)

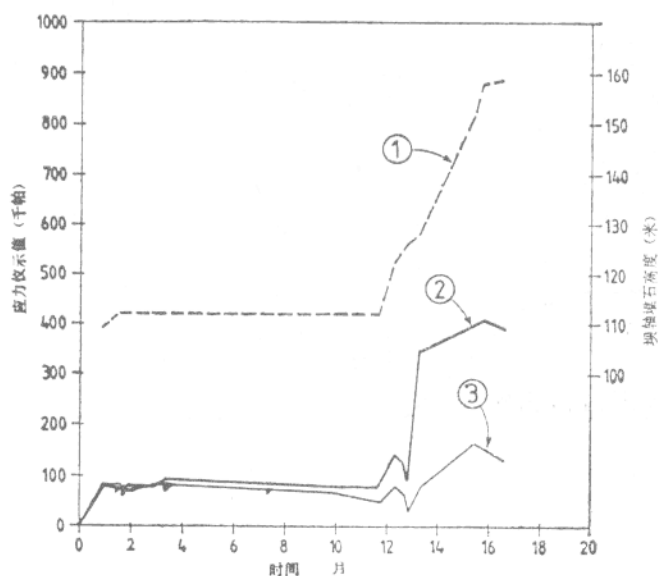


图 19 堆石应力计测量值

①堆石高程; ②应力计 V 2 测量值; ③应力计 N 2 测量值

(四) 表面沉降

面板和坝顶的表面沉降标点在大坝竣工后埋设。下游堆石的沉降标点是在接近竣工本文提交前不久才埋设的, 所以沉降测量值较小, 最大值几厘米。

(五) 面板内的应变

图 20 给出的是最新应变记录 ($\times 10^{-6}$) 及用括弧括起来的计算应力值 (兆帕)、给出值没有作温度及自热膨胀作用这方面的修正。观测结果表明面板主要是压缩沿斜向, 和水平向的应力稍有不同。

(六) 接缝的位移

测缝计的埋设已经完成, 基准点示值也已记录。水库蓄水后将每月观测。

(七) 混凝土面板的挠度

四条测斜仪导管在坝体竣工后安设, 导管延伸至坝顶, 初测值在测斜仪埋设完后, 水库蓄水前测定。

(八) 渗流观测

渗流观测主要是水库蓄水后监测基础处理的效果。从其它有多孔石灰岩基础的大坝推断, 在多年平均流量为 $175 \text{ 米}^3/\text{秒}$ 时, 渗流量约为 $1 \text{ 米}^3/\text{秒}$ 。