

“六五”国家科技攻关项目 “深厚覆盖层建坝研究”成果综述

鲁慎吾 任德昌

(水电部成都勘测设计院)

提 要

“六五”国家科技攻关项目“深厚覆盖层建坝研究”，经两年半联合攻关，共取得57项科技成果，使深厚覆盖层从勘探、取样、工程特性、建坝试验研究、理论计算和施工等方面都有一个飞跃。这将对加快水电建设的前期工作，缩短建设周期，降低工程造价等均具有重要意义。

本文综述了深厚覆盖层金刚石钻进与取样技术研究；SM植物胶的研制；GST—30型高压大三轴及平面应变试验机的研制；铜街子工程左深槽堆石坝离心模型试验研究；深厚覆盖层综合测试技术方法研究和防渗墙墙体材料固化灰浆研究等主要成果。

一、任务来源与主要攻关目标

(一) 任务来源

我国西南地区水能资源十分丰富。岷江、大渡河、雅砻江、金沙江、嘉陵江、雅鲁藏布江等河流可开发的水电装机容量及年发电量均占全国的50%左右，是我国水电建设的重点。

这些河流的河谷中覆盖层较为深厚，多为40~70米，有的深达百米以上。覆盖层分布规律性差，结构和级配变化大，且常有粒径20~30厘米的漂卵石或间有1米以上的大孤石，伴随架空现象，透水性强；层内亦夹有粉细砂及淤泥，组成极不均一。在上述覆盖层上建坝所遇到的关键技术问题，迫切需要认真研究，以适应进一步开发上述河流的水能资源。

目前，国内外对深厚覆盖层的勘探和取样技术、工程特性试验、建坝试验研究、变形应力理论计算、防渗加固处理等都还缺乏完整经验。随着四个现代化建设的进一步发展，有许多高坝大库将陆续兴建在深厚覆盖层上。结合西南地区的特点，研究深厚覆盖层的生成规律、勘探手段、取样技术及工程特性；建高堆石坝及中型混凝土坝的地基承载能力、不均匀沉降、砂层液化及抗滑稳定安全度；堆石坝体与基础的应力分布、传递及变形规律；高水头作用下堆石坝体防渗结构、建坝试验研究；防渗材料及施工机械与工艺的研究；原型观测仪器的埋设技术等，都是“深厚覆盖层建坝研究”的关键技术问题。为此组织科技攻关，在理论和实践上都有非常重要的意义。

建国30多年来，我国在覆盖层上先后兴建了不少的混凝土重力坝、闸坝和土石坝。

*主要研究人员有鲁慎吾、吴锡贤、刘麟德、任德昌、高钟璞、向大润、李月良、盛焕鸿、雷泽宏、白玉华、黄其愚、范锦华、肖树斌、孟庆林等。

六十年代初,相继在深达44米覆盖层上兴建了密云水库斜墙土坝,坝高66米;在深达37米覆盖层上兴建了下马岭水电站混凝土重力坝,坝高33米。七十年代,在深45米的覆盖层上建成了映秀湾水电站混凝土闸坝,闸高17.9米;在深34米的覆盖层上修建了碧口水电站粘土心墙堆石坝,坝高101米。这些都为我们进行“深厚覆盖层建坝研究”工作积累了一定的经验。

1983年6月,我院作为该课题的承担者,邀请水电部地质勘探基础处理公司、河海大学、水电部第七工程局等单位协作攻关,与水电部科技司签订了“深厚覆盖层建坝研究”“六五”国家科技攻关合同。

(二) 攻关主要目标

随着土力学理论、试验技术的发展及大型高效施工机械的应用,国外兴建在深厚覆盖层上的高土石坝也愈来愈多。截至1980年止,全世界共修建高度100米以上的大坝403座,其中建在深厚覆盖层上的土石坝192座,占总数的47.6%。与此同时,对坝基深厚覆盖层的处理技术也有很大发展,如法国谢尔庞桑(Serre Poncon)粘土心墙坝,覆盖层深110米,灌浆帷幕处理深达115米;埃及阿斯旺(Aswan)粘土心墙坝高111米,覆盖层深170米,采用水泥灌浆处理,防渗帷幕深达250米;加拿大马尼克-3(Manic-3)号粘土心墙坝高107米,覆盖层深130米,采用两道深131米的柱列式混凝土防渗墙。

针对我国西南山区堆积型河谷覆盖层特点,重点结合大渡河中下游铜街子水电站左深槽70余米覆盖层、兴建50米高堆石坝的关键技术问题组织攻关。通过专家评议,确定“六五”期间攻关的主要目标如下:

1. 深厚覆盖层勘探工艺和取样技术研究;
2. 深厚覆盖层综合测试技术方法研究;
3. 深厚覆盖层工程特性试验研究;
4. 深厚覆盖层防渗墙建坝试验研究及数值分析;
5. 深厚覆盖层坝基混凝土防渗墙施工技术及原型观测研究。

上述课题完成后,将加速水电站前期工作的进展,使铜街子水电站左深槽深厚覆盖层采取适当的工程措施和计算、试验、监测分析,可以代替深槽深挖方案,使导流明渠提前一年完工,电站提前一年发电,可多发电32.1亿度,增加收入1500万元。由于减少深挖土石方30万 m^3 ,从而节约混凝土30万 m^3 ,扣去防渗墙6400 m^3 后,加上改进设计计算、加快成墙速度、降低工程造价等,一并可节约费用2000万元,经济效益十分显著。由于电站提前投产,从而促进工农业增产,为社会增加财富,其社会效益也很显著。

通过科技攻关取得的研究成果,将直接应用于铜街子、太平驿等工程,并可在条件相似的其它工程中推广应用。

二、攻关主要成果

该课题通过两年半时间的联合攻关,在水电部地质勘探基础处理公司、河海大学、

四川简阳水电设备厂等协作单位的密切配合下,在水电部第七工程局、核工业部九院四所、中国船舶工业总公司704研究所、中国人民解放军5701工厂等兄弟单位的大力支持下,完成了攻关合同中规定的各项任务,共取得五十七项科技攻关成果。

1984和1985年,水电部水电建设总局邀请国内有关专家和学者,对其中八个主要专题的成果进行了鉴定和评审。有些成果,已在专业学会上交流,受到一致好评。如“深厚覆盖层坝基承载力、不均匀沉降、抗滑稳定安全度试验研究”成果,在1984年全国土木工程学会交流时得到充分肯定,被推荐到第十届国际土力学及基础工程协会学术会议上交流。

1985年12月26至30日,由水电部聘请中国科学院有关专业的学部委员等专家对“深厚覆盖层建坝研究”课题进行了总审。总审认为:水利电力部成都勘测设计院现已完成了合同规定的各项任务,主要成果已在铜街子、太平驿等工程中应用,取得了显著的经济效益和社会效益。铜街子工程左深槽采用承重式防渗墙作为斜墙堆石坝的支承代替覆盖层深挖方案;加上覆盖层勘探新工艺、防渗墙接头拉管机具的使用、墙体新材料的应用,加快了勘探进度,为设计提供可靠科学依据,证实了方案的可行性。新方案缩短了工期,降低了造价,可取得经济效益约1500万元;提前一年发电,增加净收入约1500万元,共将取得经济效益约3000万元。在国内可推广应用在类似条件的工程中,其效益更加显著。

现将取得的主要成果分五个部分综合介绍于后。

(一) 深厚覆盖层金刚石钻进与取样技术研究

几十年来,我国水电工程对覆盖层钻进一直采用传统的跟管工艺。这种钻探方法效率低、劳动强度大、钢材消耗多,且钻孔质量差,岩芯采取率低(约30%左右),一般只能探明覆盖层的厚度,对其组成结构、层次无法准确判断;覆盖层中的薄砂层、夹泥层等软弱夹层更无法取出,地质上亦不能作出正确评价。为了攻破这个难关,通过大量调查研究,查考国内外资料,选择了采芯率较高的金刚石钻进作为主攻方向,并着手钻孔冲洗液的研究。

钻孔冲洗液是关系到覆盖层金刚石钻进与取样成败的关键。在国内采矿工程钻孔中已采用无固相冲洗液MY护壁的基础上,寻求适合于水电工程覆盖层工程钻探所要求的既能护壁又便于取样的冲洗液配方。经过大量室内外试验,研制成功了MY-1A无固相冲洗液。为进一步寻求更多品种、更廉价的钻孔冲洗液,我们从多年生野生草本植物根中提取SM植物胶。它具有优良的护壁防塌及保护岩芯的作用;同时作为泥浆处理剂,要具有提高粘度、降低失水量、改善流变性能、稳定泥浆等作用。通过三个钻孔的生产工艺性试验,证明SM植物胶既是一种理想的适用于覆盖层金刚石钻进的无固相冲洗液材料,又是一种多功能的泥浆处理剂。其性能指标优越,无毒性污染,原材料来源广,加工容易,价格低廉(仅为MY-1A无固相冲洗液的1/3)。

经过两年多野外生产性试验,采用金刚石单动双管钻具钻进,配合有特殊功能的无固相冲洗液MY-1A、SM植物胶护壁相结合的新工艺(插页照片1),共钻孔16个,覆盖层总进尺700余米,其中单孔钻进覆盖层最大深度为79.08米。在不同层次、不同

结构成分的覆盖层中,应用上述新工艺,不需任何专用机械设备及专门取芯工具,也不需要特殊操作技术,能在砂卵石层中随钻取出较理想的圆柱状薄砂层、漂卵石夹砂、砾质砂与基岩接触带等近似原状的岩样(插页照片2、3、4),层次清楚,结构分明,资料可靠。钻进台月进尺达145.16米,较常规钻进提高1~2倍。且金刚石钻头使用的最高寿命达39.77米。这不仅是钻探技术上的重大突破,而且由于孔形规则,给孔内综合测试技术和其它研究创造了极为有利的条件。

水电部主持的部级专家组总审意见中认为:深厚砂卵石覆盖层金刚石钻进与取样技术、SM植物胶的研制均属国内首创,具有国内外先进水平,有很大实用性。

(二) 深厚覆盖层综合测试技术方法研究

为了提高深厚覆盖层综合测试技术,参考国内外资料,在四川省灌县沙金坝建立了深厚覆盖层综合测试基地,按覆盖层地质特性和测试技术方法的要求,设计建造了大型模拟井。模拟深厚覆盖层各层次的结构特征,建立各系列地层模型,用综合测井等办法对地层模型作正演和反演两方面的模拟,确立二者之间的精确关系。从正演实测成果入手,找出模拟的各种类型地层的物理力学参数规律,指导生产工作中的反演、推断和解释。

依据深厚覆盖层生成规律的研究,自下而上宏观地分为三大层:

第一层——含泥砂卵石层组成的冰碛物;

第二层——由漂卵石层、泥砂块碎石层、粉细砂层组成的冰水堆积物;

第三层——现代河床冲积层。以砂卵石层为主,缺少0.5~10毫米中间粒径。

根据三大层中典型颗粒级配曲线,扩充成三组系列试验模型级配曲线,再由模型级配曲线配制各系列地层模型,进行综合测试技术方法研究。为探讨深厚覆盖层地质特性提供系列化数据,分析内在规律,并通过生产实践中的反演,为深厚覆盖层建坝提供物理力学基本参数。

沙金坝大型模拟井主要包括:

1. 组合式大型模拟井 内径2米,高10米(插页照片5),可装料33米³,一次可模拟八种不同类型的地层。在模拟井的上部设钻机机场,模拟不同类型的钻进方法对测试技术的影响,保证了试验条件的一致性。该井可研究各类模拟地层及不同地层组合的工程地质特性。

2. 水文地质试验模拟井(插页照片6) 这是为研究组粒料渗透特性专门设置的。该井内径6.8米,井深4米,可装料50米³。井内分别按东、南、西、北四个方向设置80根测压管,监测模型各点压力变化情况。该井可模拟抽水、注水、压水等常用水文地质试验方法,研究各类模拟地层及不同地层组合的渗透特性。

通过两个大型模拟井对现代河床冲积层测试技术方法的初步研究,证明了 $\gamma-\gamma$ 测井是研究深厚覆盖层特性的有效方法之一,已取得的成果揭示了 $\gamma-\gamma$ 测井的一些规律。超声成相技术在模拟地层中取得的照片十分清楚,准确地反映出覆盖层的土体结构,并能精确地确定塌孔掉块位置和范围,这在深厚覆盖层测井技术上无疑是一次重大突破。流量测井也取得了成功,测试成果表明:试料粗粒含量 $P_{60} \leq 80\%$ 时,渗流趋于服从达

西定律 $V=KI$, 渗透系数 $K<10^{-2}$ 厘米/秒; $P_s>80\%$ 时, 渗流规律发生质变, 趋向堆石体渗流规律 $V=KI^{0.5}$, $K>10^{-1}$ 厘米/秒。

沙金坝综合测试基地是目前国内研究深厚覆盖层特性的最大综合测试基地。它具有多次反复使用的特点, 为系统研究深厚覆盖层工程地质和水文地质特性提供了比较完善的模拟对比设施, 开创了地质、试验、综合测试等专业间有机联关, 促进了各专业发展。该项成果填补了国内这方面的空白, 就是在国际上, 这种 1:1 的具有生产性和研究覆盖层特性的试验资料也是不多的。

(三) 深厚覆盖层工程特性试验研究

该项目着重对饱和砂土动力特性、覆盖层荷载及抗剪强度、渗流稳定特性、接触面特性等进行研究, 并研制相应的试验设备, 应用微机采集和处理数据, 提高量测速度和精度。

1. GST-80 型高压大三轴及平面应变试验机的研制 国内现有的土工大三轴仪压力低、围压小, 不能适应深厚覆盖层建坝研究的需要, 必须研制高压大三轴及平面应变试验机。该项研制工作由水电部成勘院承担, 四川简阳水电设备厂、中国船舶工业总公司 704 研究所、中国人民解放军 5701 工厂等单位协作联合攻关, 于 1985 年 12 月研制成功 GST-80 型高压大三轴及平面应变试验机 (插页照片 7)。该设备是目前国内最大最先进的设备, 其主要性能技术指标如下:

- (1) 主机最大荷载 300 吨;
- (2) 最大围压 80 公斤/厘米²;
- (3) 反压范围 0~25 公斤/厘米²;
- (4) 试样尺寸 $\phi 300 \times 750$ 毫米、 $\phi 300 \times 600$ 毫米;
- (5) 围压稳定周期及稳压误差, 半年以上 $\leq \pm 1\%$;
- (6) 轴向测力元件为新研制的 300 吨及 100 吨两级防水荷载传感器, 精度等级 $\leq \pm 1\%$, 采用单板机控制伺服阀加压, 感应同步尺作为单板机的反馈元件, 感应同步尺的精度为 ± 1 微米;
- (7) 加载速率 0.35~1.75 毫米/分及 3.5~14 毫米/分;
- (8) 轴向最大行程 250 毫米;
- (9) 体变量测及饱和装置采用 3 个钢质定量缸, 容量 3×15 升, 分辨率 7 毫米, 其上部装一量程 300 毫米的 WY 型位移传感器, 精度 1%;
- (10) 轴向位移采用 WY 型位移传感器, 量程 300 毫米, 精度 1%;
- (11) 轴向油压系统供油压力为 210 公斤/厘米²。该系统具有自动恒压、手动调压功能, 还具有油温油质、超温报警、超压报警、油路堵塞报警、行程限位等自动控制装置;
- (12) 系统中安置双向液压锁, 保证试验过程中压力室悬停;
- (13) 围压和反压系统由 WY150-III B 型液压稳压器和 YA1-2 型油水分离装置两部份组成;
- (14) 试验过程中各个测试数据通过微机适时在瞬间同时采集, 用软件程序计算整

理成图, 得出最终试验成果。

该项研究成果于1985年12月由水电部水电总局主持鉴定, 鉴定书认为: “该设备具有鲜明的特点, 并有一定独创性。如压力高, 围压大; 定量缸和位移传感器组合的测内外体变系统; 300吨水下传感器; 轴向加压微机伺服控制系统; 围压稳定系统; 微机采集和处理数据的测试系统。还具有多功能的条件, 比较先进, 填补了国内高压大三轴仪的空白, 代表了国内先进技术水平, 接近国内外同类型的技术水平。”“成为高土石坝粗粒土强度测试的重要手段, 解决了高土石坝粗粒土强度测试难题, 可研究200米以上高土石坝高应力状态下材料强度及应力应变关系, 为深厚覆盖层建高土石坝创造了条件。

2. 地槽拉杆式荷载试验设备的研制和应用 覆盖层地基承载力及变形的量测, 一般均采用堆荷载、侧壁摩擦及四方钻锚拉孔, 浇钢筋混凝土桩与十字钢梁组成荷载台等设备, 但都存在工作量大、时间长、试验费用高等缺点。为改变这一现象, 结合工程研制成的地槽拉杆式荷载试验设备, 在工程中应用得到很好的效果(插图照片9)。

1984年8月, 由水电部水电总局主持召开鉴定会, 鉴定书中指出: 该设备确是深厚覆盖层建闸坝的量测地基承载力和变形特性指标较优的设备, 在国内同类反力装置中有所创新。设计合理、结构简单、安拆方便、造价低廉, 经野外荷载试验应用效果良好。每组试验与钻孔锚拉钢筋混凝土桩比较, 可降低成本约1万元, 提高工效5~10倍。现已被新疆勘测设计院等单位使用, 技术经济效益显著。

3. 深厚覆盖层坝基饱和砂层标贯、同位素测密度及相对密度试验研究 该项研究是结合铜街子工程左深槽堆石坝基础中下卧的细砂层进行的。

在钻孔中采用标准贯入试验, 用日本OYO株式会社应用地质调查事务所3000系列综合测井仪测定砂层密度, 进行相对密度试验。这是判别砂基液化的有效方法, 其成果已应用在铜街子工程设计中。同时, 减轻了劳动强度、缩短试验时间、提高工效, 是加快前期工程开发的有效措施。

4. GZ型大容量数字自动检测仪研制及应用 GZ型大容量数字自动检测仪是自行设计研制的自动检测成套设备, 是水电工程电拟渗流试验急需的专业仪器。

该仪器在设计中采用多接点执行切换元件, 自动按序工作及单机复用方案。具有独创性, 检测容量大、精度高、能完成多点信号自动检测及打印工作。通过在铜街子、太平驿工程电拟渗流试验中的运用, 证明该仪器性能稳定, 检测数据比人工手动测记提高工效15~20倍, 并消除人为的测记误差, 相应提高了量测精度。在电拟渗流试验测试技术自动化方面, 达到了国内先进水平。

GZ型仪器的研制成功, 为国内提供了一套新型的“性能价格比”较高的大容量数据自动检测仪。由于它的通用性, 也适用于其他工程试验中多点毫伏级信号的自动检测工作。

5. 深厚覆盖层建高土石围堰土工试验研究 该项研究工作是结合二滩工程高土石围堰基础下粉质壤土层进行的。

该项目着重对堰基粉质壤土层进行荷载、渗透变形、振动液化等试验研究并提出防液化措施。对堰基砂卵石层、块碎石层、粉质壤土层还进行固结排水试验, 提出有限元计算 $E \sim \mu$ 、 $E \sim B$ 及 $K \sim G$ 模型应力应变非线性八个参数, 为设计分析提供数据, 对

工程亦有参数价值。

(四) 深厚覆盖层防渗墙建坝试验研究及数值分析

深厚覆盖层建坝试验研究中,着重对其坝基承载力、不均匀沉降、抗滑稳定安全度;堆石坝离心模型试验;防渗墙及堆石坝空间非线性、弹塑性应力应变有限元计算和相应程序进行研究。同时,还对深厚覆盖层坝基和坝料抗滑稳定安全系数、接触面特性;承重式防渗墙应力应变进行了试验研究。上述科研成果,应用到铜街子工程左深槽堆石坝及基础处理中,肯定了深厚覆盖层中采用承重式混凝土防渗墙建斜墙(心墙)堆石坝方案是可行的,从而节省了大量投资。主要成果有:

1. 铜街子工程左深槽堆石坝离心模型试验研究 土工建筑物的应力变形状态,因尺寸太大几乎不可能用原型尺寸进行研究。国外多采用土工离心模型试验,利用模型的离心力以加大材料自重,研究原型的应力、变形等性状,目前国内尚处于研究阶段。

通过两年多时间的努力,在核工业部九院四所的大力支持下,借助其巨型离心机有效半径 10.8 米,离心加速度 90g(插页照片 10),使铜街子工程左深槽沥青斜墙堆石坝离心模型(模型比 1:90)试验研究获得了成功(插页照片 11)。针对坝体施工、完建和正常高水位运行情况,对覆盖层坝基、堆石坝体、混凝土防渗墙及挡墙部位的应力、变形和坝体边坡稳定进行了研究。试验过程中摄像自动控制,用微机采集和处理测试数据。通过试验,论证了堆石坝体变形、坝基混凝土防渗墙主要是承受压应力,从而定性地论证了铜街子工程左深槽采用承重式防渗墙支承沥青混凝土斜墙堆石坝方案在技术上可行,经济上合理。

专家组认为:这是国内首次结合大型土石坝工程进行的巨型离心模型试验。通过离心模型试验,特别是摄像自动控制、微机采集和处理数据系统在离心机中应用,填补了国内空白,对铜街子设计方案的合理性进行了定性论证。

2. 深厚覆盖层防渗墙及堆石坝空间非线性、弹塑性应力应变有限元计算和分析 该项研究委托河海大学进行,其成果直接应用在铜街子工程中。

与会专家认为:三维非线性分析本身是一个复杂的课题,加之铜街子工程左深槽堆石坝的复杂条件更增加了三维非线性分析的难度。计算中采用双曲线模型及向大润副教授提出的分布屈服模型。分布屈服模型在反映剪胀性、中主应力影响和软化特性方面,比邓肯模型有所改进。计算结果与力学分析是一致的,与平面有限元计算结果相对照也是合理的,为设计中所采用。该项研究成果与“高土石坝筑坝关键技术问题研究”三维非线性分析成果共同填补了高土石坝三维非线性分析的空白,具有国内先进水平。

3. 深厚覆盖层坝基承载力、不均匀沉降、抗滑稳定安全度试验研究及数值分析 该项成果通过大量现场和室内荷载试验分析比较,得出室内采用等量代替法的试样和原型应力进行荷载试验,测得的地基承载力和变形模量与野外实测值接近。通过室内模型试验,研究深厚覆盖层建坝后的不均匀沉降、抗滑稳定安全度,其实测值与平面有限元计算成果相近,为设计提供可靠参数,并应用于铜街子工程和广西铜鼓滩工程的设计中。

该研究成果 1984 年经中国土木工程学会土力学及基础工程学会评选,推荐编入岩土工程英文论文选集,送十届国际土力学及基础工程协会学术会议交流。

4. 深厚覆盖层坝基和坝体材料抗滑稳定安全系数、接触面特性试验研究和计算程序 该研究结合铜街子左深槽堆石坝及铜鼓滩覆盖层建混凝土闸坝等,采用大型土力学槽进行地基模型试验和中型直剪仪(直径 $\phi 50.5$ 厘米)进行接触面特性试验研究。

试验结果表明,两者测得的抗剪强度指标 ϕ 、 c 及五个非线性参数 δ 、 c 、 R_1 、 K_1 、 n 均较接近。

试验过程中为提高量测精度和计算速度,应用微型计算机采集处理数据,绘制关系曲线,应用效果良好,值得推广。

试验中采用压力传感器、液压千斤顶稳定器恒压、电测百分表测变形、微机采集处理数据及大型土力学槽测试,具有国内先进水平。1985年被选入全国土的抗剪强度及本构关系学术讨论会论文选集。

5. 深厚覆盖层承重式防渗墙应力应变试验研究及数值分析 该项试验的模型比1:50。采用等量代替法的试样和原型应力、应变花、电测百分表等测试系统对铜街子左深槽承重式防渗墙的应力应变进行试验研究,是一次新的探索。试验结果表明,防渗墙以承受压应力为主,与河海大学、清华大学及我院有限元计算成果比较接近,为设计多方面提供印证。这将为今后瀑布沟工程深厚覆盖层上建高土石坝的进一步试验研究提供参考。

6. 铜街子工程左深槽段堆石坝及基础处理设计 该项研究主要是从设计着手,综合运用上述一系列成果,改进设计方法,采用新型结构,论证铜街子工程左深槽70余米覆盖层中采用承重式混凝土防渗墙修建堆石坝方案的可行性。

从目前设计水平、施工条件、工艺水平等综合分析,应力应变均能满足要求,说明了深厚覆盖层基础采用承重式防渗墙,修建中等高度的堆石坝在技术上是可行的。为减少不同变形模量的土层对防渗墙变形的不利影响,在两道主墙间采用多道横隔墙支撑,并在墙顶部采用钢筋混凝土框架结构与主墙连接,保证两道承重式防渗墙受力的整体性。为减少墙体应力,在防渗墙顶部采用软接头,使之有适当的压缩性,从结构上创造了坝基覆盖层与防渗墙共同受力的条件。堆石坝基左深槽中粉细砂层埋藏较浅,承载力低,并有液化的可能性,这将直接影响坝体沉陷和稳定。现场振冲试验成果表明,采用75千瓦大功率振冲器穿透漂卵石夹砂层,对粉细砂层进行振冲加密是可行的,提高了砂层的相对密度和承载能力。

由于应用了攻关研究成果,改进了设计,采取了可行的处理措施,使铜街子工程左深槽深厚覆盖层采用承重式防渗墙修建沥青混凝土斜墙堆石坝方案成为现实,从而节省了大量投资。

(五) 坝基深厚覆盖层混凝土防渗墙施工技术及原型观测研究

这个专题主要是委托水电部地质勘探基础处理公司、水电部第七工程局和水电部成都勘测院结合铜街子工程左深槽承重式防渗墙施工共同进行。

为改变30年来防渗墙造孔机具和施工工艺、墙体材料单一及质量检测手段落后的面貌,并探讨深墙仪器埋设技术,通过今后原型观测资料分析,监视墙体安全运行。水电部地质勘探基础处理公司研制了CG-1冲击反循环钻机及泥浆筛分、回收系统,并

对防渗墙接头拉管机具及工艺、墙体预留灌浆孔工艺、“双掺”混凝土、固化灰浆、超声检测防渗墙孔形及墙体质量、防渗墙墙深仪器埋设技术等进行了研究。我院对防渗墙高强混凝土的特性进行了探讨。水电部第七工程局对原型观测资料分析也进行了初步研究。主要成果有：

1. 防渗墙墙体材料研究 通过工程实践，防渗墙按其作用和受力条件的不同，对墙体材料的要求也不同。近三十多年来，我国防渗墙墙体材料处于单一的落后状态，不能适应各种用途防渗墙的需要。为此，重点对“双掺”混凝土、固化灰浆等墙体材料进行了研究。

1985年11月，水电总局主持召开的评审会上，与会专家一致认为：该专题密切结合水电工程覆盖层基础防渗墙施工中急需解决的技术问题进行的研究，其选题是正确的，主攻方向也是明确的。

通过室内及现场试验研究，“双掺”混凝土已成功地应用在草坡水电站拦河闸基础防渗墙中。该防渗墙顶长63米、墙厚0.8米、最大墙深38.7米。使用结果表明：“双掺”混凝土在保证强度的前提下，和易性好，减少了浇注过程中的故障和事故，有利于保证施工质量。该电站使用“双掺”混凝土防渗墙后，节约水泥650吨，节省投资3.4万元，相当于节省原混凝土墙体材料投资的18%。

固化灰浆从配方、工艺、直到现场施工都做了大量试验研究，并成功地应用于铜街子工程纵向围堰防渗墙（墙顶长99.4米、墙厚0.8米、最大墙深19米，插图照片12）。为安全渡汛赢得了时间，节省投资7.4万元，相当于节约原混凝土墙体材料投资的45%。固化灰浆防渗墙具有防渗效果好，适应变形能力强，便于拆除，并有利于消除墙体接缝夹泥等优点，尤其适用于临时建筑物围堰基础的防渗处理，为我国防渗墙墙体材料增添了新品种。此项成果拟在铜街子工程下游围堰基础防渗墙中推广应用。

2. 用超声法检测防渗墙孔形及墙体质量的研究 根据超声波对不同介质的反映，检测防渗墙孔形及墙体质量是本专题研究的内容。借助防渗墙中预留灌浆孔或钻机打孔，用超声波检测槽孔形状、墙体接缝夹泥厚度及墙体质量获得了成功。

1985年11月，由水电部水电总局主持召开的评审会上，与会专家和代表一致认为这项工作密切结合防渗墙施工及质量检查中急需解决的问题进行了研究，很有现实意义，为检测防渗墙的施工质量做了十分有益的工作，今后还应该继续完善，推广应用。

3. CF-1冲击反循环工程钻机和泥浆筛分、回收系统的研制 CF-1冲击反循环工程钻机是在吸取国外各种同类钻机的优点，博取众家之长，结合我国具体情况设计而成的。它具有在各种复杂的深厚覆盖层中建造防渗墙的施工能力。该样机已由水电部夹江水工机械厂试制并于1985年7月投入试生产。在粉细砂层中经过3个月的钻进工艺试验，效果良好，并对个别部件又作了改进，使该钻机的各项性能技术指标基本达到了设计要求。

泥浆筛分、回收系统适用于冲击钻机造孔时固壁泥浆的净化、除渣及回收。该筛分机具有两层筛网，将筛分和脱水组合在一起。现场试验表明，对筛除钻渣，回收泥浆有令人满意的效果。

4. 防渗墙接头拉管机具研制 该项研究系根据铜街子工程左深槽基础承重式防

渗墙厚度1米,研制了特别的拔管机、接头管、管模,以提高墙体施工的速度,保证墙体接头质量。

1985先在铜街子工程纵向围堰厚80厘米的防渗墙中试用,性能良好,效果满意。1986年上半年,在铜街子工程左深槽厚1米的承重式防渗墙中应用结果表明,它不需大型起重机械设备,灵活性大,占地面积小,在施工场地比较狭窄的条件下,只要施工组织管理安排恰当则起拔效果良好。接头拉管机具的研制和应用,对于保证墙体质量,提高工效,降低成本,加快进度具有很大意义。

5、防渗墙高强度混凝土物理力学特性试验研究 为满足铜街子工程左深槽承重式防渗墙高强度的要求,针对防渗墙混凝土采用直升导管法浇筑工艺、混凝土骨料粒径 $d \leq 40$ 毫米且高流态的特点,对高强混凝土的配合比进行选择试验,提出普通高强混凝土、粘土混凝土、页岩陶粒混凝土几种配比。通过防渗墙混凝土配合比选择试验,采用松香热聚合物、硅胶、木钙、FDN高效减水剂、糖钙复合剂等五种外加剂进行比较,选出较优外加剂提出设计要求的350号高强度混凝土配合比,供设计和施工选用。对选定的配合比,进行混凝土力学、变形及物理性能试验;为防渗墙体原型观测的应力分析提供混凝土的弹性模量及徐变度等资料。同时,该项成果还采用粘土、膨润土、粉煤灰等不同掺合料对墙体混凝土的影响作了有成效的探讨,可供其他类似工程参考使用。

6、防渗墙深墙仪器埋设技术研究 根据我院提供的深墙观测仪器埋设布置图及埋设技术要求,水电部地质勘探基础处理公司完成了观测仪器埋设的施工工艺设计,并在室内对土压力盒的埋设进行了“挂布法”和“气压法”的模型试验。根据铜街子现场施工的具体条件,推荐墙体上部采用挂布、下部采用气压法相结合的“综合法”埋设土压力盒。

施工实践证明,采用“综合法”埋设土压力盒,缩短了埋设时间,减少了墙底淤积厚度,有利于保证墙体质量,并提高了仪器埋设的成活率。铜街子工程左深槽承重式防渗墙最大深度77.2米,共埋设观测仪器111支,仪器的成活率为96.4%,移交时的合格率达93.7%。

三、结 束 语

“深厚覆盖层建坝研究”科技攻关历经两年半时间,在国家计委、经委科技局及水电部科技司、水电总局的指导下,通过各协作单位共同努力,顺利地完成了合同规定的各项任务。取得的重大成果已直接应用在铜街子、太平驿等水电工程中,促进了深厚覆盖层建坝技术的发展,取得显著效益。

1985年5月,在国家计委、经委、科委和财政部联合召开的“六五”国家科技攻关总结表彰大会上,被评为“六五”国家科技攻关受奖项目,获得国家奖励(见插页照片13),这是对我们的鞭策和鼓励。

我们深深感到,“深厚覆盖层建坝研究”是一项综合性很强的关键技术。今后的研究工作还需进一步深化。“七五”期间,我们将在“六五”科技攻关的基础上,对覆盖层金刚石钻进过程中架空层和大漏失地层的综合治理、厚砂层取样技术、综合测试技术

的开发和利用、堆石坝离心模型试验材料模拟和边界条件处理等作更进一步研究;对部分新工艺、新技术还要继续推广应用。为深厚覆盖层上建高土石坝储备技术力量为加速水电建设发挥更大的作用。

参 考 文 献

- [1] J. D. 卡明、A. P. 威克伦德著, 吴光琳、杨礼贵译: 金刚石钻探手册, 冶金工业出版社, 1983年3月
- [2] R. 德尔维希著, 孙国兴译: 探矿工程译丛, 1985年第3期。
- [3] 曾祥熹、葛仁雄著: 魔芋胶无固相冲洗液的研究和应用, 地质与勘探, 1982年第2期。
- [4] 陈孝钦、袁罗生著: 魔芋胶无固相适度交联液的试用结果, 地质与勘探, 1983年第7期。
- [5] 郭庆国著: 关于粗粒土工程特性及其分类的探讨, 水利水电技术, 1979年6月。
- [6] 刘杰著: 缺乏中间粒径砂砾石的渗透稳定特性, 水利水电科学研究院科学论文集, 第1集, 1963年8月。
- [7] 郑人龙著: 离心模型试验在土工上的应用, 郑州工学院水利系, 1982年3月。
- [8] 朱维新、陈绪禄著: 土工离心模型试验探索, 南京水利科学研究院, 1983年10月。
- [9] И. М. Тершанович: Гидрогеологические исследования в важинах Методом Расходомерии, Издательство «Недра», МОСКВА 1981.
- [10] 部级专家组: 15-1-2“深厚覆盖层建坝研究”技术评审证书, 水利电力部, 1985年12月。

《水利经济》征订启事

《水利经济》系中国水利经济研究会会刊, 为理论与实践相结合、普及与提高相结合的综合性学术刊物。本刊目的是在水利工程规划、设计、施工和经营管理等各个环节进行水利经济的理论研究和实践经验交流, 刊登有关水利经济(包括防洪、灌溉、发电、航运、水产、工业和城市供水等方面)的学术论文、工作研究、经验总结、学术讨论、调查报告、专题讲座、问题解答、名词解释、文摘、动态简讯等稿件。

本刊为16开本, 季刊, 每期64页, 1983年创刊, 经国家科委批准1986年开始公发行。现已开始1987年征订工作。本刊每期定价0.30元, 全年1.20元(包括邮寄费)。订阅者请邮汇南京市西康路一号河海大学《水利经济》编辑部。本刊征订单函索即寄

《水利经济》编辑部

1986.11

(上接第36页)

文件不足之处和《四川水力发电》的办刊方向等提出了不少建设性意见。

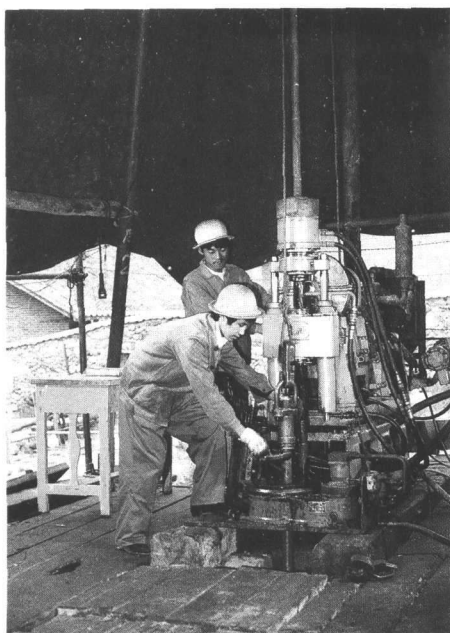
代表们以无记名投票选举产生了第二届理事会理事四十三名, 并经第二届理事会第一次会议推选了常务理事、理事长和秘书长。

大会对从事水力发电工作四十一年以上的廿八位老同志、老专家授予了荣誉证书, 表彰他们在发展四川水电建设事业中所作出的重要贡献。同时对我会十六个学会工作先进集体和四十七名学会工作积极分子颁发了奖状和奖品。

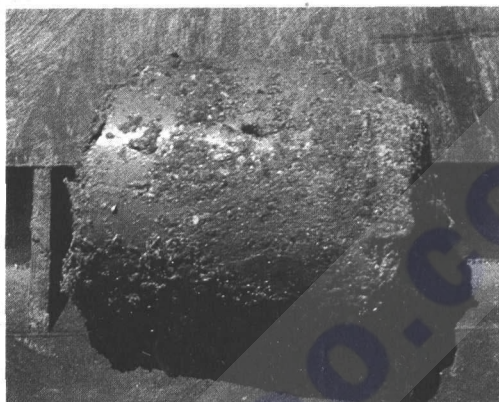
在闭幕式上, 第二届副理事长吴持恭致闭词, 并通过了陈家远副秘书长代表“二大”宣读的决议和曹秉铨顾问代表“二大”提出的紧急建议。最后在热烈的掌声中第二次会员代表大会, 圆满闭幕。

(唐)

图版I



1 覆盖层钻进新工艺——
SM植物胶配合金刚石
钻头钻进正提钻取芯

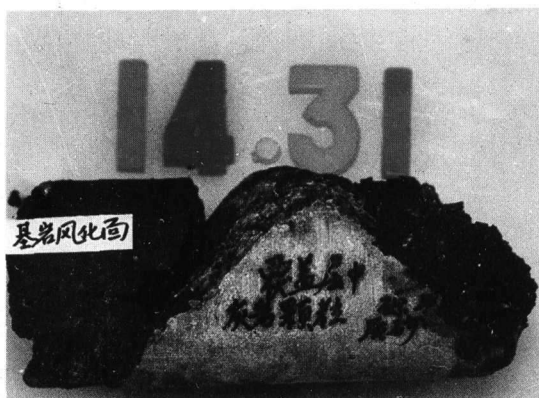


2 应用新工艺从一钻孔15.50~16.20
米深处，将70厘米厚的细砂层全部
取出，岩芯采取率100%

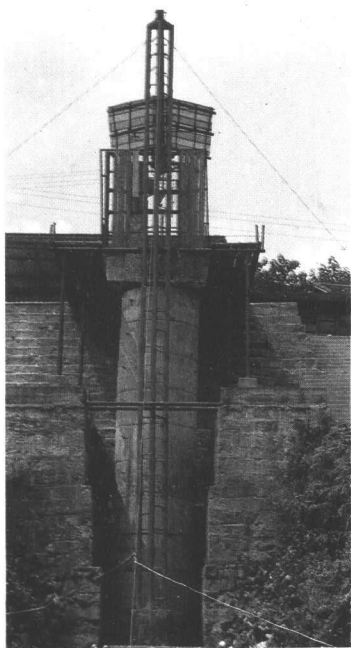


3 应用新工艺在一孔深
22.65~22.94米孔段
取出漂卵石夹砂，岩
芯采取率75%

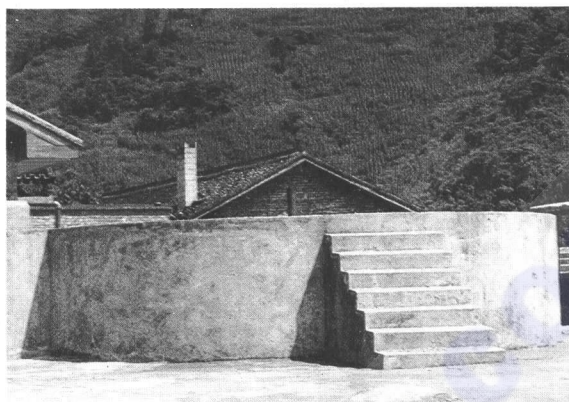
4 应用新工艺从钻
孔中取出的覆盖
层与基岩接触带



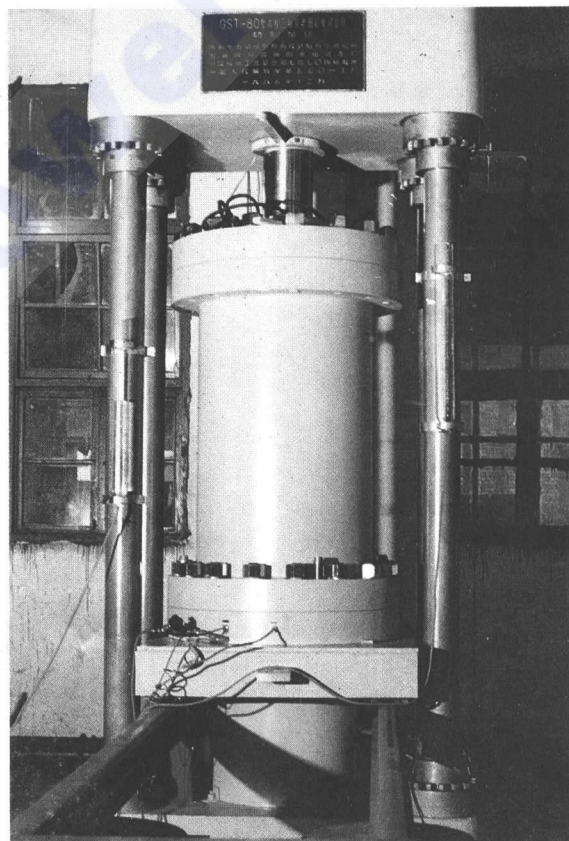
图版II



5 组合式大型模拟井
(高10米, 内径2米)

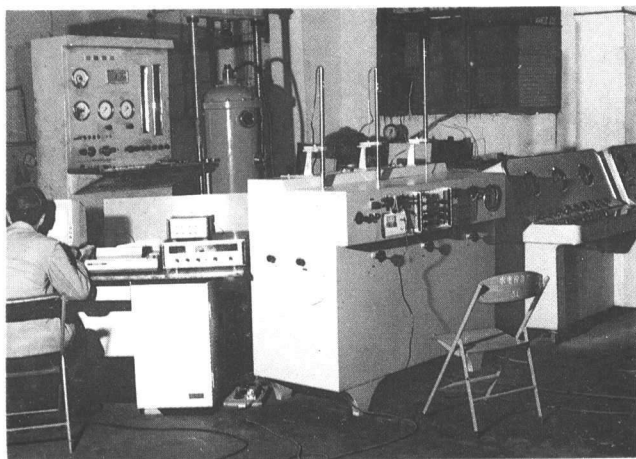


6 水文地质试验模拟井
(井深4米, 内径6.8米)

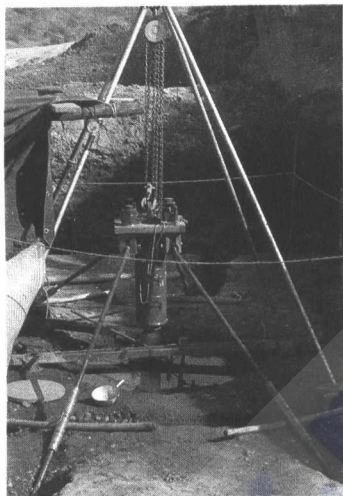


7 GST—80型高压大三轴仪——
围压7.85MPa,
反压2.45MPa,
是目前国内最先进的设备

图版III

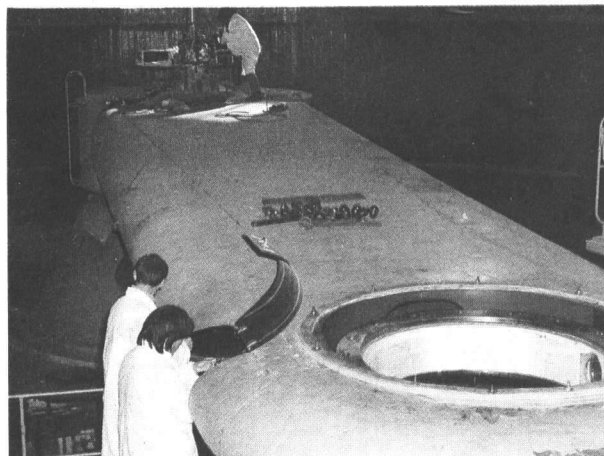


8 GST—80型高压
大三轴仪应用微机
采集和处理数据的
测试系统



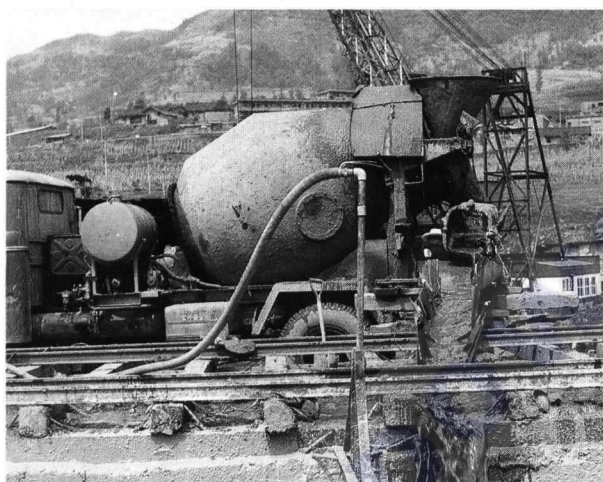
9 地槽拉杆式荷载试验设备

10 左深槽堆石坝离心
模型试验正在组装，
巨型离心机有效半
径10.8米，加速度
90g



图版IV

11 离心模型在试验中



12 我国第一道固化灰浆防渗墙正在浇注水泥砂浆

13 “深厚覆盖层建坝研究”得到国家计委、经委、科委和财政部的表彰和奖励

