

长江水利水电科技史料之一

长江水利水电科学研究院

岩基科研三十年

1956—1986



长江水利水电科学研究院

11223.3
贵州省图书馆

编 者 的 话

长江水利水电科学研究院的岩基试验研究，从一九五六年起至今三十年来，广大岩基科研工作者对长江流域的水利水电工程建设等进行了艰苦的奋斗，积累了丰富的水工岩石力学的经验。

运用辩证唯物主义和历史唯物主义的观点和方法来研究长江水工建设岩石力学发展的规律和特点，分析其科学技术成就，以求达到“存史”、“资政”和“教化”的目的。本史料正是本着这一宗旨进行编写的一个初步尝试。

本史料采用横排竖写体例，依据长科院岩基科研发展的历史状况作了概括与沿革编写；同时兼顾专业学科的特点，分别记述室内岩块、现场岩体的物理力学性质试验研究，岩体初应力场量测研究，弹性波法岩石力学量测研究，原位观测及其反演分析研究，水工建筑物的坝基、边坡和地下工程稳定计算分析研究，坝基与砼坝体的灌

浆材料与灌浆技术的研究；对于具有代表性的工程，例如已建的丹江口水利枢纽、在建的葛洲坝水利枢纽和拟建的三峡水利枢纽等，则扼要记叙其岩基科研的发展和成就；此外，在各专题文末附录了相应的文献资料，以备查考。

“长江水利水电科学研究院岩基科研三十年”，是长江水利水电科学技术史料之一，也是《长江志》的一个组成部分的内容，它是配合长科院三十五周年纪念活动，在院领导下由《长江志》科研编辑室和岩基研究室组织有关人员分头编写，由田野、李迪及陈彦生汇总编辑并经刘大明审阅而成的。在编写过程中，曾得到一些在本院从事过岩基科研人员的支持与帮助，在此一并表示谢意。由于编写水平有限，时间紧迫，史料难免有挂一漏万的缺点或错误，为此，我们诚恳地希望广大读者给予补充，订正。

一九八六年七月 武汉

目 次

编者的话

导 论	董学晟 (1)
岩基试验研究沿革	陈彦生 (7)
室内岩石物理力学性质试验研究	谢元慧、罗淦堂 (26)
现场岩体工程力学性质试验研究	李克林 (37)
岩体的应力场量测研究	刘允芳 (53)
弹性波法岩石力学量测研究	李良安 (66)
岩体变形现场监测	李 迪、汪志明、钟式范 (75)
坝基边坡和地下工程围岩稳定分析研究	
.....	柳赋铮、陈相震 (82)
灌浆材料与灌浆技术的研究	谭日升、薛希亮 (96)
丹江口水利枢纽的岩基试验与基础和坝体灌浆处理研究	
.....	杨智生、陈旭荣、许书俊 (109)
葛洲坝水利枢纽的岩石力学试验研究	林伟平 (125)
三峡水利枢纽的岩石力学试验研究	田 野 (140)

长科院的岩基科研自三峡岩基专题研究组的成立有了独立的组织形式，连同一九五六年四月起材料室岩石组在丹江口进行的工作，迄今已三十年了。三十年来，由一个单纯从事室内试验的小组，发展成为专业技术齐全、全院人数最多的一个大型专业研究室，在满足水电工程设计施工需要，发展测试技术，推进理论计算分析等方面进行了大量的科研工作。现在通过“史料”的编写，收集、整理大量的资料，分项系统地记叙这一段历史发展过程，为今后进一步从中总结经验，分析成功与失误，明辨前进的方向，将打下良好的基础。

根据承担的主要工程任务的变化，试验测试技术，分析计算和理论认识的发展，以及组织机构的变迁几个方面，三十年的发展历史，大致可以分成五个时期。

1. 三峡岩基专题研究组及其以前时期

为研究三峡工程的岩石力学课题，一九五八年经第一次三峡科技研究会研究，国家科委批准，由全国各地许多单位抽调科研人员协同进行大协作，在我院成立了“三峡岩基专题研究组”。这个组连同土工室岩石组，根据国外的资料，学习岩石力学的方法和

理论，试制仪器和设备，结合以前材料室在丹江口等工程进行试验的经验，在三峡南津关、三斗坪、石牌等坝址，丹江口、五强溪等工程，进行了大量的现场和室内岩石力学试验和基础灌浆试验。主要是承压板法岩体变形试验，岩石及岩石与砼胶结面抗剪强度试验，风化岩和破碎带水泥防渗、加固灌浆试验等，地震法试验也作了尝试。在室内，按照土工和材料试验方法，也作了很多岩块物理力学性质测试和适合三峡岩体特点的灌浆材料研究工作。在计算分析方面，按弹性理论作地下洞室围岩应力分析，用土力学方法作岩石高边坡稳定分析。

2. 岩基研究室成立初期

一九六一年至一九六二年前后，鉴于三峡设计推迟及原协作形式的改变，协作单位人员陆续返回原单位，为独立承担三峡工程和长江上游其它工程的岩石力学试验研究工作，我院补充一批科技人员，调整组织，正式成立了“岩基研究室”，包括室内岩块试验，基础灌浆，现场岩体力学试验，爆破振动试验五个专业组和三峡试验站。几年之中，集中力量在三峡石牌坝址，后来还在偏寅子坝址及云南以礼河三级电站和正在施工的丹江口，陆水大坝等处进行了系统的岩石力学和灌浆材料、灌浆技术试验研究工作。首次在石灰岩中，特别是软弱的页岩中，取得了一批岩石力学性质测试资料，提出了对砂砾地基和风化页岩的灌浆材料。作为这一时期标志的是各项常规试验中的技术问题，例如：测试环境的温度影响，测表系统的刚度，岩石试件的边界条件等，都有新的认识和解决，试验设备初步配套，试验技术基本过关。同时，在缺乏适当的机具和系统的参考资料条件下，通过不懈的努力，克服了许多技术难题，在国内最先掌握了岩体表面应力测试技术。在计算分析方面，用弹性理论精确解方法，对三峡、乌

江渡等工程的地下洞室围岩应力状态和稳定性以及试验中的边界条件进行了探讨。在灌浆材料方面，开展了用于大坝砼补强的细水泥浆材和化学材料的研究。

3. 转向长江上游工作时期

因三峡工程推迟设计，长办工作重心转移，开展长江上游、西南地区水利水电工程的工作。与此相应，一九六五年岩基研究室调整了组织机构，以野外现场试验为主体，并适应队伍扩大的情况，成立了第一、第二两个野外试验队和重庆试验站。爆破振动专业分出以后成立了专门用声学方法进行试验的超声组，同时在乌江渡、虎跳峡、宝珠寺三个工程场址进行试验研究。这一时期的标志是：在试验技术上，液压钢枕在国内首先研制成功，取代笨重的千斤顶作为加载工具，促使新试验方法不断出现，国内首次自行研制的长江 500 型岩石专用三轴压力机的投用，改变了岩石试验借用一般的材料试验机的状况。开展了新测试技术的攻关，如浅孔应力测试，声波和超声波测试的应用。初步尝试研制占孔弹模计。在计算分析方面，对岩体的不均匀，不连续的特性的认识。实际工程问题中的复杂边界条件，促使由弹性理论精确解转向运用数值解，近似解的方法。与此同时，针对丹江口工程大坝砼裂缝和基础破碎袋帷幕灌浆问题还积极开展几种化灌浆材的研究和现场试验。通过实际工程的灌浆施工，成功地推出了丙凝、甲凝、和环氧树脂三种化灌材料及配套工艺。

4. 葛洲坝工程等实践时期

一九七二年至一九七三年间，葛洲坝工程停工，复杂的软弱岩基所要求迅速大规模地展开试验，岩基研究室因而重新调整机

构，补充了一批人员到重新组建的岩基一队，专门负责葛洲坝工程，以参加乌江渡工程试验人员为主组成的岩基二队，负责准备三峡太平溪坝址的工作，同时作为机动的现场试验力量，亦承担许多其他工程的任务。为适应电子计算机技术日益发展的需要，成立了计算组，连同室内试验组，基础灌浆组和声学技术组，仍是两队，四组，一站，这一时期，葛洲坝工程是中心，围绕含软弱泥化夹层的坝基稳定性等问题，开展岩体力学试验和灌浆材料研究，并在测试技术上针对软岩、泥化夹层的特点而进行的试验有很多创新。为了回答工程中碰到的一些难题，如坝基抗滑稳定性不足等，发展了一些特殊的、大型的岩体力学试验，如抗力体试验，现场三轴试验等等。与此同时，为研究三峡太平溪坝址风化结晶岩层分带和利用问题，地下厂房围岩稳定性问题，青铜峡大坝裂缝问题处理，为河南青山工程、河北朱庄水库、江西万安工程，四川511工程，葫芦口工程等，也进行了种类繁多，方法各异的岩体力学试验研究，不仅为工程取得了试验成果，获得了工程实践经验，发展了测试技术和计算分析方法，也锻炼了队伍。例如，大型压力钢枕的使用使大型岩体力学试验成为可能，测力枕技术解决了压力钢枕出力不准的问题，利用气液稳压方法进行现场流变试验，浅孔应力测试技术的攻克，多点位移计，占孔弹模计的研制，使用电子计算机和有限单元等方法。为研究葛洲坝坝基，三峡太平溪和511地下厂房编制的许多计算程序，为解决三峡坝址裂隙岩体稳定性寻求专门分析方法所作的努力，甲凝和环氧化灌浆材料改性的研究，对聚氨酯化灌浆新材料的探索，专用自控灌浆泵的研制等方面都在国内处于领先地位。这是岩基研究室第一次大规模的工程实践时期，其特点是，试验研究工作除了为工程设计提供参数外，还开始了对岩体（石）的力学性质的研究。

5. 准备三峡兴建时期

一九七九年在三峡太平溪坝址用改进了的环氧、甲凝及水泥灌浆材料，进行了规模较大的风化岩体灌浆试验。一九八〇年确定三斗坪坝址后，立即在现场建立试验基地，集中全室主要力量全面开展三峡工程的试验研究工作。除了补充、验证过去的成果外，着重研究了风化带和节理面的力学性质，测定坝址岩体应力场，研究坝肩，船闸岩石高边坡开挖的设计，施工优化和弱风化岩作建基岩体等问题。在这些试验研究中，发展和应用了七、八十年代的新技术，如自制占孔多点位移计，占孔弹模计，声波法围岩松动圈测试，软岩剪切流变仪，自控调速、调压专用化学灌浆泵，深部岩体变形性测试，单孔三向岩体深部应力测试，水压破裂法岩体应力测试、声波频谱分析技术，试验数据存贮和处理技术，三维非线性有限元计算程序的研究，裂隙岩体稳定分析方法的研究和块体理论及计算程序的应用，用声波法和断裂力学理论对裂隙岩体力学性质的研究，对化灌材料的毒性、耐用性的研究，防冲耐磨高分子材料的研制等等。与此同时，还开展了乌江彭水、构皮滩、清江隔河岩、赣江万安等工程试验，参加了引滦八一林隧洞和鲁布革工程引水隧洞、地下厂房的监测试验等。

纵观我院三十年来岩基科研的历程，从对研究对象的 认识看，开始把岩石当成类似土壤的松散体对待，随后把它当成一种均质固体材料，进而认识到大体积的岩体不同于小块岩石材料的特点，演变到现在是把测试的岩体当成地质的一部分放到工程场址这样大规模的工程岩体中来考查。从试验研究的方法看，起初主要做小岩块试验，进而以现场岩体试验为主，后来发展到室内、现场试验，动力法、静力法试验相配合寻找相关关系，以及

分解岩体为组成单元分别研究其力学特性，然后在计算分析中加以综合，新近开始的作法是对工程岩体进行性状监测，作反分析以研究大范围岩体的力学性质。就分析理论和计算方法看，最初沿用土力学的松散介质理论，极限平衡方法，后来主要使用弹性理论，随后认识到岩体复杂的应力—应变关系，努力运用连续介质力学理论和方法，再后转而求助于数值解，以致靠电子计算机实现的有限单元法、边界元法和分析节理裂隙切割的岩体的块体的理论。实质上来说，上述的发展过程就是我们对岩体非常不连续性和非均匀性这两大特点的认识深化过程，是岩基科研与水电建设的工程实践越来越紧密结合的过程。

纵观三十年的历程可以看到，正是水利水电工程的实践推动了我院岩基科研的发展，锻炼造就了这样一支队伍，为长江流域的水电建设，包括我国最大的三峡，葛洲坝工程和其它许多岩石工程作出了贡献。在我国岩石力学的发展中，特别是在水电工程应用岩石力学的发展中也是有贡献的。这支队伍在五十年代至六十年代起了先锋作用，在“文革”的浩劫中，起着保留火种的作用，在大干“四化”的今天，在岩石力学正大面积普及、有关行业、水电系统各主要单位都已普遍建立岩基试验研究机构的今天，长科院岩基研究室仍然是他们中间规模大、专业全的一支队伍。

岩基试验研究沿革

陈 彦 生

长江水利水电科学研究院的岩基试验研究工作从一九五六年起至今，走过了整整三十年的历程。在这三十年中，岩基试验研究机构的建立与变化，均是密切联系长江水利水电工程设计、施工中提出的一系列岩石力学课题而设置的；进行每个工程或各项课题研究，采取现场勘察与调查研究，后据工程的地质条件、设计与施工对岩基的要求，从力学的观点和岩体的基本属性出发，试验前先编制试验(研究)大纲及试验规程或操作细则；试验过程中，认真观测并从理论上分析试验中的第一性资料；试验后，分别以“试验成果说明”、“试验报告”向有关部门(单位)送发，有关技术、方法与理论，则以“技术总结”“学术论文”、“研究报告”等在学术刊物或学术讨论会发表或交流。为了总结过去，开拓未来，现将岩基科研三十年沿革记述如次。

一、机构沿革

三十年岩基试验研究机构演变分三个阶段。

1. 一九五六年四月至一九五八年十月

一九五六年四月，根据长江流或规划工作的进程和丹江口水利枢纽勘测设计选点需要，长科院在下属的材料试验室内设立“岩石项目组”，由曾架珊、谢元慧等四人组成。主要作室内岩块材料的物理力学性质实验。

一九五七年，因丹江口水利枢纽工程的初步设计要求现场岩体的变形与强度参数，“岩石项目组”扩大到十七人的“岩石专业组”，由吕忠铨任专业组长，下设室内与现场两个试验项目组。

同年，长江流域规划办公室考虑到丹江口工程主坝疏松岩石对建筑物的安全问题，组织岩石试验与施工设计方面的科技人员成立“丹江口坝基研究小组”，由周思孟、张鸣冬负责，该组受长办总工程师室与长科院双重领导。主要旨在试验研究坝基的第三纪E₁、E₂层，片岩和变质闪长岩的强风化带及第四纪的卵石层等物理力学性质。其室内与现场的岩基试验工作则由“岩石专业组”配合。

2. 一九五八年十月至一九六二年六月

一九五八年六月，第一次长江三峡枢纽科学技术研究会议在武汉召开。由参加会议代表黄文熙教授（中国科学院学部委员）、张光斗教授（中国科学院学部委员）、刘恢先教授（中国科学院土木建筑研究所〈下称土建所〉所长），和长科院副院长李荣梦博士等，在查勘三峡途中的“江峡轮”上，讨论三峡大坝岩基试验研究问题时，提出以“集中一地进行为宜”的全国协作建议，经大会决定，中华人民共和国科学技术委员会同意，七月三十日至八月五日在汉口召开三峡岩基专题研究组筹备工作会议。十月六日在长科院内正式成立“三峡岩基专题研究组”。该组是国家科委三峡组水利大组的一个常设分组（故又称“三峡岩基分组”），在

行政上受长办领导。分组组长由长科院副院长杨贤溢兼任，中国科学院土研所研究员陈宗基博士为副组长，全面负责科技工作，对外称“专业组长”，长科院土工室主任、杜时敏工程师为副组长兼地质分组与土工室共同组成的中共支部书记。

三峡岩基分组由全国十八个（一九五九年后增到二十个）单位按“主持单位”（土建所、长科院、中国科学院、水利电力部水利水电科学研究院〈下称水科院〉、水利电力部水利水电建设总局〈下称水总〉）、“参加单位”（北京矿业学院、建筑工程部建筑科学研究院〈下称建科院〉、中国科学院矿冶研究所〈下称矿冶所〉、清华大学、武汉水利电力学院〈下称武水〉、成都工学院）、“支援单位”（水利电力部长沙勘测设计院、水利电力部成都勘测设计院、湖南大学、水利电力部北京勘测设计院、合肥工业大学）以及“协作单位”（北京钢铁学院、北京大学、北京地质学院）等四种协作攻关形式组成。建组时成员近百名，其中长科院五十七名。

一九六一年长办任命长科院办公室主任黄振浓（副处级）担任三峡岩基分组副组长。

三峡岩基分组下设一个工作组和五个专题组：

（1）工作组、组长梅剑云，副组长席珍国（长科院）、门福祿（土建所）。负责科研计划、任务协调与器材供应等日常专业事务性工作。

（2）第一组、组长先由梅剑云兼任，后由林伟平接任，副组长有门福祿（兼）、陆士强（武水）及陈凤祥（水科院）。负责岩石工程力学性质试验研究。

（3）第二组、组长刘嘉材（水科院）、副组长裘孟辛（土建所），刘继庆（水总）及王幼麟（长科院）。负责灌浆技术试验研究。

（4）第三组、组长李先炜（北京矿业学院）、副组长周思

孟（长科院）、梁桂长（矿冶所）及陆家佑（一九六〇年增补）。负责静、动荷重作用下的地下结构稳定性试验研究。

（5）第四组、副组长李楚（土建所）、负责电子仪器与动力技术试验研究。

（6）第五组、组长先是熊剑（湖南大学）、再是杨植之（中国科学院中南力学研究所），后是彭光宗（后改名为彭光忠，北京地质学院）。负责船闸边坡稳定试验研究。

为了使三峡现场岩体力学性质与灌浆试验所需劳动力与器材的组织供应得以方便，一九五九年，长办在三斗坪成立“三峡试验站”，韩兴禄为主任，副主任梅剑云。该站在行政上受长办三峡指挥部领导，业务上由三峡岩基分组安排。为了协调该站与三峡指挥部的关系，长办任命梅剑云兼任三峡指挥部技术科副科长。

由于三峡岩基分组主要是从事三峡水利枢纽工程的岩基科研，其余如丹江口、葛洲坝、安康和石泉等水利枢纽工程以及地方上一些岩石试验工作仍需同时进行，另外，为统一协调三峡岩基分组与长科院岩石组业务上的工作，一九五八年，长科院一方面抽调人员参加三峡岩基分组，另一方面将材料室的岩石专业组扩充并划属土工室领导。组长仍由吕忠铨担任。这就是一个党支部领导下的三峡岩基分组和土工室岩石组建制形式。

3. 一九六二年六月至今

一九六二年六月四日，长科院根据国家科委三峡组（62）科三峡字第45号“由于三峡设计的推迟”需“改变岩基分组的原协作方式”精神，在院内单独成立“岩基研究室”，杜时敏为第一任室主任，黄振浓为副主任兼任该室第一届中共支部书记。

从一九六二年至今的二十四年期间，岩基研究室的演变可划

分为五个时期：

(1) 一九六二年至一九六五年、

全室由四个专业组和一个试验站构成。

①第一组、组长梅剑云，副组长林天健，负责岩石室内的基本物理力学性质试验研究。

②第二组、副组长欧阳秋、负责灌浆材料和灌浆技术的试验研究。

③第三组、副组长周恩孟、林伟平。负责现场（主要是三峡石牌坝区）的岩体力学性质试验研究。

④第四组、副组长刘宏根和顾再仁、负责动力技术（主要是岩石振动、爆破方面的）试验研究。

另外，三峡试验站调由丁文兴负责，在三峡石牌坝区的平善坝配合第三组的现场工作。

(2) 一九六五年至一九七三年

长办工作重心转向长江上游，岩基科研相应面向西南地区，此时期全室划分为“两队、一站、两组及一个小分队”：

①岩基试验一队、队长田焕彬（后改名为田野）、指导员钟灵英、负责四川偏窗子水利枢纽工程和云南四三三（虎跳峡）水电站的岩基试验工作。

②岩基试验二队。队长丁文兴，副队长董学晟，副指导员杨国君（后改名为杨国钧）。负责贵州乌江渡水电站的岩基试验工作。

③重庆岩基试验站，由凌春茹负责筹建，建站后，行政由胡恒峰负责。技术由任代礼负责。主要承担西南地区的室内岩石物理力学性质试验。

④岩期一组、由夏熙伦、罗淦堂负责，主要承担岩石的室内物理力学性质试验及研究任务。

⑤岩基二组、由许书俊负责、继续进行灌浆材料与灌浆技术

的试验研究。

⑥宝珠寺试验小分队。队负责人为林天健及杨智生，副指导员胥尚华、重点对四川宝珠寺工程进行现场岩体的工程力学性质试验。

由于“文革”干扰，一九六七年后，室原属机构停止活动，在太平溪坝址、清江隔河岩水利枢纽、乌江渡水利枢纽以及葛洲坝水利枢纽等临时形成一些岩基试验小组，诸如“葛洲坝水利枢纽（又称三三〇工程）勘测设计团试验组”，“长江青滩岩崩调查组岩石力学观测小组”、“黄河三门峡改建工程试验小组”、“朱庄水库岩基试验小组”、“河南青山水库试验小组”等等。

（3）一九七三年至一九七九年

葛洲坝水利枢纽工程因“三边”（边勘测、边设计、边施工）问题停工后，据国务院指示，大力开展科学研究工作，为此岩基研究室恢复岩基试验一队，负责葛洲坝工程现场的岩基试验工作，队负责人为林伟平、杨国钧和马英俊。重新组建的岩基二队，负责人为董学晟、夏熙伦负责岩石力学测试技术方法设备的研制和除葛洲坝工程之外的岩体工程力学性质试验研究工作，并配合岩基一队进行试验观测与分析。岩基一组继续岩石的室内物理力学性质试验研究，组负责人先后由林天健、罗淦堂、林智生及谢元慧等担任。岩基二组仍为灌浆材料和灌浆技术的试验研究，组负责人由薛希亮、谭日升和陈旭荣担任。重庆岩基试验站，除西南地区岩石室内物理力学性质试验外，开展部分的现场岩体力学性质试验的筹备工作，其负责人为詹舜阶、明可前。新成立计算分析组，负责人为陈连理、姚慈亮，主要将有限元法应用于岩石力学与工程的稳定分析计算。

（4）一九七九年至一九八五年

为了适应长办“以三峡为中心，葛洲坝工程为重点”的科研工作需要，室调整领导班子，下设岩基试验队，由室副主任田野

兼任队长，杨国钧、马庆松为副队长。常驻宜昌西坝甲街四十四号，承担葛洲坝水利枢纽工程、隔河岩水利枢纽工程及巫峡三斗坪坝址的岩体力学试验任务。重庆岩基试验站除继续西南地区室内试验外，赴四川彭水水利枢纽、云南鲁布革等工地现场进行岩体力学试验。汉口的岩基一、二组未变。成立第三组，组长陈相震、副组长刘允芳（一九八四年任室主任工程师），主要负责地面与地下工程稳定分析计算研究及非常规的诸如岩体应力、边坡位移、隧洞围岩监测等试验研究。第四组由鲁先元（一九八五年任室主任工程师）、聂运钧负责。主要负责声波、超声波与地震波法等岩体动力特性的室内外实测及相应的仪器设备研制。室设技术组由李迪（一九八四年任室主任工程师）负责，主要进行岩石力学科技情报及测试自动化仪器研制等工作。

（5）一九八六年初

岩基研究室在汉口的下属专题（业）组取消，于二月十七日宣布建立八个课题组：

①岩石物理力学性质实验研究课题组。组长夏熙伦（一九八五年任室主任工程师），副组长胡月兰、杨智生。

②岩石（体）声学检测研究课题组。组长鲁先元，副组长聂运钧、沈育民。

③地应力测量及地下洞室稳定研究课题组。组长刘允芳、副组长张启舟、龚壁新。

④岩体工程监测研究课题组。组长李迪，副组长汪志明。

⑤基础灌浆试验研究课题组。组长陈旭荣。

⑥水工化学材料试验研究课题组。组长薛希亮，副组长蒋硕忠。

其中第⑤及第⑥课题组，由谭昇（一九八五年任室主任工程师）兼顾。

⑦坝基及高边坡稳定研究课题组。组长罗淦堂，副组长任放