

云南地球物理文集(二)

主编 谢应齐
云南省地球物理学会编



云南大学出版社

云南地球物理文集

(二)

云南省地球物理学会编

主 编	谢应齐			
副主编	阚荣举	王宝禄	段永康	
编 委	(按姓氏笔划排列)			
	王曰道	王永臣	王兴理	王宗兰
	王宝禄	庄林佑	刘家骏	孙家骢
	许昭永	张 森	张光典	罗葆荣
	姜 葵	段永康	晏凤桐	倪亦元
	傅竹武	谢应齐	阚荣举	
编 辑	傅竹武	(组长)		
	欧国栋	王永臣		

云南大学出版社

责任编辑:周永坤

封面设计:谢志昆

内容简介

本书是继 1992 年 10 月出版的《云南地球物理文集》之后又一本研究与应用成果专集。书中收集了工程地球物理、资源地球物理、环境与灾害、固体地球物理、天地交叉等方面的学术研究与科技应用成果论文 60 篇。

本文集可供从事地球物理及相关学科的科技人员和大专院校师生参考。

云南地球物理文集(二)

云南省地球物理学会 编

谢应齐 主编

*

云南大学出版社出版发行

(云南大学北院)

昆明银河印刷厂印装

开本:787×1092 1/16 印张:22 字数:563.2 千字
1997 年 10 月第 1 版 1997 年 10 月第 1 次印刷

印数:1-1050

ISBN 7-81025-844-3/P·10 定价:35.00 元

發展地球物理

科技事業

和志強

一九九二年八月廿日

雲南省地球物理學會十年紀念

發展中國地球物理事業
為國民經濟建設服務

九七年夏月

尹光鼎

祝地球物理科学研究

取得新的進展

苏君红敬賀

一九九七年八月廿六日

前 言

今年正值中国地球物理学会成立 50 周年、云南地球物理学会成立 10 周年，为了庆祝，理事会决定编辑出版《云南地球物理文集（二）》。其总的目的是为了“记载学会、宣传社会、动员会员和地球物理工作者积极投入发展学科、服务两个文明建设。”

1992 年，受中国地球物理学会委托，云南地球物理学会承担了在昆明举行第八届全国综合年会的任务。为了向国内地球物理同行介绍云南地球物理工作的进展，为了使地球物理学家注目和理解云南这片地学研究的热土，促进云南地球物理工作的加速发展，当时曾编辑出版了一本《云南地球物理文集》，它的出版受到了专家同行的好评和广大学会会员的欢迎。

从上一本文集出版至今又过了 5 年。这 5 年，是我们国家在邓小平同志建设有中国特色社会主义理论指导下改革发展的五年。也是云南地球物理学会紧紧围绕经济建设这个中心，不断解放思想，转变观念、深化改革、在改革中求发展的五年。在这 5 年中，我们逐步形成了一条适应市场经济的学会发展思路：主动与社会主义市场经济体制相适应，不被动等待；坚持与社会和经济需要热点紧密结合，解决社会急需实际问题；多层次、多渠道灵活开展适应市场技术开发、技术服务工作；以经济效益养科技发展，以科技发展引导经济效益提高。其中，面对市场经济大潮，如何开展好学会的学术活动是学会改革中必须认真处理好的一个大问题。这 5 年来，我们一直十分重视这一工作。我们认识到：重视是关键；多层次、多形式、交叉联合，才能使学术活动富有生机；针对社会科技需要，选准重点研究项目和学术活动中心内容是使学术活动质量不断提高的保证。可以说，摆在读者面前的这本文集，就是近五年来学术活动成果的检阅和缩影。

本文集收录的 60 篇论文中，包含了云南地球物理工作者们近五年来，在工程地球物理、资源地球物理、环境与灾害、固体地球物理及天地交叉等方面的学术研究与科技应用成果，其中也有贵州地球物理同行们的工作。不难看出，文集中突出了地球物理科学技术为云南经济建设服务所获得的成果。这正是近几年来学会工作改革的体现，是值得充分肯定的。

云南省省长和志强、中国地球物理学会理事长刘光鼎院士、云南省科协主席苏君红院士应邀为本文集题辞，这对云南地球物理工作者是极大的鼓励。我们一定要树立决心深化改革、主动适应社会主义市场经济发展的观念，树立社会效益与经济效益相统一的观念，树立自我发展的观念，树立开拓创新的观念，为实施科教兴国战略和可持续发展战略、实现“九五”计划和 2010 年远景目标作出应有的贡献！

谢应齐

1997 年 8 月 5 日

目 录

前言	谢应齐
地球物理勘探在云南水电站建设中的应用	王宗兰 (1)
高频多波地震勘探在工程地质中的应用	许昭永 杨润海 赵晋明 王 彬 姚 峰 段永康 胡毅力 胡家富 温一波 傅竹武 (7)
浅震勘探技术在高等级公路勘察中的应用	方向池 (12)
浅层地震勘探反射波方法在滑坡勘查中的应用	杜荣光 (19)
地质雷达在工程中的应用	高才坤 曾宪强 (24)
无损检测技术在砼工程中的应用	王国滢 曾宪强 任恕仁 (28)
地下微重力测量技术及其运用	李建英 (34)
地震跨孔 CT 法走时成像效果的超声模拟与数值模拟研究	温一波 傅竹武 段永康 胡毅力 (38)
地下跨孔 CT 振幅反演的数值模拟与物理模拟	傅竹武 温一波 段永康 胡毅力 梁 勇 (44)
数值计算方法在电阻率测深中的应用	杜荣光 (50)
用物探方法探测水库隐患	邱体伟 (56)
工程物探在水库隐患探测中的应用	吕维新 (62)
水库隐患的地震波检测方法初探	许昭永 王 彬 韩 明 赵晋明 杨润海 华培忠 (67)
嵩明县八家村水库扩建工程中的地球物理探测	王鸿武 余仕富 王宝禄 (72)
关于压缩试验试件上仪微压回弹调零的校正方法与步骤	励民华 (77)
云南哀牢山变质带部分岩石弹性波速测量及地质意义	李玉文 周文戈 谢鸿森 赵志丹 郭 捷 许祖鸣 (81)
1GPa 室温至 1100℃ 条件下岩浆岩岩石的弹性波速特征	周文戈 谢鸿森 赵志丹 郭 捷 谢祖鸣 (85)
综合物探在岩溶地区找水的效果	高德尧 (89)
钻孔电磁波层析成像技术及应用	翟联超 吴宗宇 (90)
弹性应力波在水电站锚杆质量检测中的应用研究	李柏明 (91)
弹性波测试技术在漫湾水电站帷幕灌浆工程中的应用	王国滢 (92)
云南区域化探工作及找矿效果	王宝禄 (93)
试论云南地震带与矿产集中区的相关性	曹显光 梁秉强 (97)
区域化探在滇西北铜、银多金属矿带的找矿效果	王周云 李光军 (104)
地震法预测碳酸盐岩储层及其在赤水 GD 构造中的应用	蒲 勇 郑志军 (111)

“三江”中段某推覆构造中金鱼群状异常地球化学特性·····	仲安武	王铨宇	(118)
地质过程中的原电池及分类·····	李和平	谢鸿森	何绍勋 (123)
超临界水的物理化学性质及意义·····	苏根利	谢鸿森	丁东业 张月明 郭捷 (129)
云南大气臭氧研究进展·····	谢应齐	王卫国	(136)
中国泥石流学科的建设与未来发展方向·····	唐川	刘洪江	(142)
保护滇池地质环境,造福子孙后代·····	王永臣	张忻	(147)
云南个旧城区突出的几个环境地质问题·····	谈树成	薛传东	(153)
昆明近百年气候变化的诊断研究·····	曹杰	谢应齐	陶云 (161)
区域旱灾经济损失评估方法研究·····	田敏	谢应齐	(165)
震灾保险新制式相关技术经济社会问题的内部讨论·····	巫孟还		(174)
滇西地震预报实验与1996年丽江7.0级地震预测·····	刘祖荫		(182)
龙陵地震区孕震构造型式厘定及现今构造应力场数值模拟·····	孙家骥		(191)
腾冲火山地区深部构造的地球物理条件·····	阙荣举	赵晋明	阙丹 (199)
“腾冲火山活动监测、预测及对策”课题研究总体设计			
科学思路及进展·····	姜朝松	姜葵	皇甫岗 (204)
腾冲热海热田地球物理推论模型·····		吕维新	(211)
云南及邻区现代构造应力场与大震震源特征·····	王绍晋	龙晓帆	(217)
云南昆明地区地震各向异性·····		李白基	(224)
华南地区地壳上地幔升降运动与稳定性的研究·····	傅竹武	吕梓龄	温一波 李海松 (232)
滇西实验场区的数字地震学研究·····		秦嘉政	(238)
场地响应与震源定标律·····	叶建庆	李立平	(247)
当代地震研究中的几个物理问题·····	张世杰	杨家禾	赵洪声 (256)
应变固体潮振幅因子的地震异常特征及其判别方法·····		何翔	(260)
高阶起潮力场的性质及其特征·····		苏其辉	(265)
三阶潮汐因子的一些分析结果·····		苏其辉	(269)
云南孟连西、武定、丽江强震孕育过程中波速比突变的时空			
演化特征·····	蔡静观	张喜玲	李永莉 雷素华 王兴辉 (273)
澜沧—耿马双主余震型地震与块体旋转·····	王洋龙	覃玉玺	邓瑞生 (280)
云南陇川瓦德龙断裂断层泥中石英碎砾表面形态特征及断裂活动研究·····	俞维贤	王晋南	(288)
弥渡地区第四纪活动特征与红河断裂分段性研究·····	张建国	徐煜坚	汪良谋 韩源 (293)
滇20井地下水位动态映震分析与单台单井地震预报探索·····	杨仁华	宋雄	谢阳 (301)
云南强震的天地综合研究·····	阙荣举	吴铭蟾	李杰森 (307)
地震与太阳活动相关规律的检验和讨论·····		罗葆荣	(313)
太阳冕洞的长期和短期地磁效应·····	罗葆荣	段长春	(319)
公元2000年前云南地区大震趋势初步预测·····	胡辉	李晓明	(325)
小行星撞击地球的数量和后果分析·····	吕梓龄	傅竹武	李海松 温一波 (327)
应用地球物理方法研究撞击坑·····		林文祝	(332)

CONTENTS

Preface	Xie Ying - qi
Application of Geophysical Exploration in Construction of Hydropower	
Station in Yunnan	Wang Zong - lan (1)
Application of High - frequency Multi - wave Seismic Exploration	
to Engineering Geology	Xu Zhao - yong , Yang Run - hai et . al . (7)
Application of Shallow Earthquake Exploration Technology to	
the Reconnaissance of High - grade Highway	Fang Xiang - chi (12)
Application of the Method of Shallow Earthquake Exploration by Reflection	
Wave to the Exploration and Investigation of Slipped slopes ...	Du Rong - guang (19)
Application of Geologic Radar to Engineering	
.....	Gao Chai - kun , Zheng Xian - qiang (24)
Application of Non - damaging Inspection Technology to Concrete	
Engineering	Wang Guo - ying , Zheng Xian - qiang et . al . (28)
Measure Technology of Underground Microgravity and Its Application	
.....	Li Jian - ying (34)
Study on Ultrasonic Modeling and Numerical Simulating of Imaging Effect of	
Seismic Cross - hole Tomography	Wen Yi - bo , Fu Zhu - wu et . al . (38)
Numerical and Physical Simulating of the Amplitude Inversion of	
Underground Crossing Hole Tomography	Fu Zhu - wu , Wen Yi - bo et . al . (44)
Application of Numerical Computing Method to the Crust Deep Measured	
by Geo - electricity	Du Rong - guang (50)
Exploration of Reservoir Hidden - danger by Geophysical Exploring Method	
.....	Qiu Ti - wei (56)
Application of Engineering Geophysical Exploration to Reservoir Hidden - danger	
.....	Lu Wei - xing (62)
Preliminary Research of Inspection Method of Reservoir Hidden Dangers	
by Seismic Wave	Xu Zhao - yong , Wang Bin et . al . (67)
Geophysical Exploration of Extend Engineering of the Bajiachun Reservoir	
in Songmin County	Wang Hong - wu , Yu Si - fu et . al . (72)
On A Correct Method and Its Step of the Instrument Micro - pressure	
Adjust - to - Zero on Compressed Test Samples	Li Ming - hua (77)

Measurement of P - wave Velocity of Some Rocks in Metamorphic Belt of the Ailao Mountain in Yunnan Province and Its Geological Meaning	Li Yu - wen , Zhou Wen - ge et . al . (81)
Characteristics of Elastic Wave Velocity in Igneous Rock at 1Gpa and Room - temperature to 1100℃ Condition	Zhou Wen - ge , Xie Hong - sen et . al . (85)
An Effect of Synthetically Geophysical Exploring Method to Water Found from Rock Dissolved Areas	Gao De - yao (89)
Technology of Hole Eletromagnetic Tomography and Its Application	Zhai Lian - chao , Wu Zhong - yu (90)
Study of Elastic Wave Applying Quality Detection of Hydropower Station Anchor - pole	Li Bu - ming (91)
Application of Elastic Wave Testing Technology to the Heavy Curtain Grout of the Manwan Hydropower Station	Wang Guo - ying (92)
Outline of Chemical Exploration and Its Effect in Yunnan Region	Wang Bao - lu (93)
A Primary Study on the Correlation Between Seismic Zone and Mineralized Area	Gao Xian - guang , Liang Bin - qiang (97)
Applied Effect of Regional Chemical Exploration to Multi - wire Mineral Belts of Copper and Silver in North - western Yunnan Province	Wang Zhou - yun , Li Guang - jun (104)
Seismic Prediction of Carbonate Reservoir and Its Application in the Chishui GD Structure Area	Pu Yong , Zheng Zhi - jun (111)
Geo - Chemical Characteristics of Goldfish Group Anomaly in the Intermediate Sector of "Three River" and Its Reappraisal	Zhong An - wu , Wang Quan - yu (118)
Old Cell in Geology Process and Its Classification	Li He - ping , Xie Hong - sheng et . al . (123)
Physicochemical Property of Supercritical Water and Its Meaning	Shu Geng - li , Xie Hong - sheng et . al . (129)
Advanced Development of Researches in Atmospheric Ozone in Yunnan	Xie Ying - qi , Wang Wei - guo (136)
Construction of the Debris Flow Discipline in Chian and Its Developmental Direction in the Future	Tang Chuan , Liu Hong - jiang (142)

Protecting Geology Environment in the Yunnan Pool in Order to Benefit

- Future Generations Wang Yong - cheng, Zhang Yi (147)
- The Eminent Environmental Geology Problems of Gejiu City in Yunnan Province
..... Tan Shu - cheng, Xue Chuan - dong (153)
- Diagnostic Study on the Kunming Climate Change for the Period of 1900 - 1990
..... Gao Jie, Xie Ying - qi et . al . (161)
- Study on An Economic Loss Evaluated Method of Regional Drought
..... Tian Ming, Xie Ying - qi (165)
- Internal Discussion to the Technical, Economic and Social Problems Related
to the New System of Earthquake - Disaster Insurance Wu Meng - huan (174)
- Experiment of Earthquake Prediction in West Yunnan and Prediction of
Lijiang Earthquake of $M = 7.0$ in 1996 Liu Zu - yin (182)
- Identification of Earthquake - pregnant Structural Type and Mathematic Simulation
of Present Tectonic Stress Field for Longling Seismic Area Sun Jia - cong (191)
- Geophysical Condition of Deep Structure in Tengchong
Volcano Area Kan Rong - ju, Zhao Jin - ming et . al . (199)
- General Design, Scientific Thinking and Development on Topic of Tengchong
Volcano Activity Monitoring, Forecast and Countermeasures
..... Jiang Chao - song, Jiang Kui et . al . (204)
- Geophysical Model on Hot Sea and Hot Field in Tengchong Lu Wei - xin (211)
- Modern Tectonic Stress Field and Features of Great Earthquakes in Yunnan and
Neighboring Areas Wang Shao - jin, Long Xiao - fan (217)
- Seismic Anisotropy in Kunming Area of Yunnan Li Bai - ji (224)
- Study on the Rising and Sinking Movement and Stability of the Crust and Upper
Mantle Beneath South China Fu Zhu - wu, Lu Zi - ling et . al . (232)
- Digital Seismological Studies in Earthquake Prediction Study Area in West Yunnan
..... Qin Jia - zheng (238)
- Site Response and Scaling Law for Seismic Source Ye Jian - qing, Li Li - ping (247)
- Several Physical Problems in Current Earthquake Studies
..... Zhang Shi - jie, Yang Jia - he et . al . (256)
- Seismic Anomaly Features and Its Distinguishing Method for Amplitude Factor
of Strain Solid Tide He Xiang (260)
- Property and Features of Higher Order Field of Tide Force Generating
..... Su Qi - hui (265)
- Some Analysing Results on Tide Factors with Three Order Su Qi - hui (269)

Time – space Evolution Characteristics of Drastic Variation of Wave Volocity Ratio in the Seismogenic Process of West Menglian, Wuding, Lijiang Strong Earthquake in yunnan Area	Cai Jing – guan, Zhang Xi – ling et . al . (273)
Lancang – Gengma Earthquakes of Douple Major – and – Aftershock Type and Block Rotation	Wang Yang – long, Qin Yu – xi et . al . (280)
Surface Form Features of Quartz Debris in Gouge from Wadelong Fault in Yunnan Longchuan and Its Activity Studies	Yu Wei – xian, Wang Jin – nan (288)
Activity Characteristics in the Quaternary Period in Midu Area and Segment Studies on Red River Fault	Zhang Jian – guo, Xu Yu – jian et . al . (293)
Analysis of Reflecting Earthquake of Underground Water Dynamics in Yunnan Well No.20 and Earthquake Prediction Exploration by Single Station and Single Well	Yang Ren – hua, Song Xiong et . al . (301)
Synthetical Research Between Astronomy and Geophysics for Strong Earthquake	
Occurred in Yunnan	Kan Rong – ju, Wu Ming – chan et . al . (307)
Check and Discussion of Correlation Pattern between Earthquake and Solar Activities	Luo Bao – rong (313)
The Geomangnetical Effect of the Coronal Holes	Luo Bao – rong, Duan Chang – chun (319)
Preliminary Prediction for Major Earthquake Tendency before 2000 in Yunnan Area	Hu Hui, Li Xiao – ming (325)
Quantity and Influence Analysis of Minor Planets Colliding the Earth	Lu Zi – ling, Fu Zhu – wu et . al . (327)
Application of Geophysics to Impact Craters Investigation	Lin Wen – zhu (332)

地球物理勘探在云南水电站建设中的应用

王宗兰

(电力工业部昆明勘测设计研究院 昆明 650041)

云南省水力资源非常丰富,可开发的装机容量达 9000 万千瓦,约占全国可开发容量的 20%,居全国第二位。到 1995 年底,全省水电装机容量 406 万千瓦,约占全省电力装机容量的 73%,水电在电网中的比重居全国之首。尽管如此,全省的水电装机总容量占全省可开发的水电装机容量还不足 5%,远未开发。因此,在一个相当长的时期内,云南的水电建设事业还大有作为,并有着广阔的前景。

地球物理勘探方法,由于它具有轻便、经济、效率高等许多独特的优点,因此在大、中型水利水电工程建设中得到越来越多的应用,为加速云南的经济发展起到了积极作用。本文结合漫湾水电站建设过程中运用物探的实例,浅谈地球物理勘探在云南水电建设中的作用。

一、地质勘探阶段物探的作用

1. 利用水上电测深法和地震折射波法探明了电站上游围堰至下游围堰间河床冲积层的厚度

探明坝址区河床冲积层的厚度是必不可少的勘探工作,因为它直接关系到大坝和厂房的设计方案与造价。漫湾水电站上游围堰至下游围堰长约 720 米,在该河段内打了不少钻孔,其中大部分钻孔布置在河中心,而其他部分较少。为了查清上述河段是否有冲积层巨厚的深槽存在,决定用物探的电测深法和地震法探明。通过物探工作证明,在上述探测范围内没有冲积层巨厚的深槽存在,且河床冲积层厚度也不大。但在河段的不同部位,其厚度略有变化:上游围堰部位冲积层较厚,一般在 10 米左右;坝址上游河床拐弯部位冲积较薄,一般为 1~3 米;其余部位一般为 5~7 米。

2. 利用地震波穿透法为选择隧洞轴线位置提供依据

漫湾水电站泄洪洞近似南北方向布置,当隧洞南面出口部位的探洞竣工后,发现洞内岩石相当破碎,满足不了工程地质要求,因此急需了解探洞两侧岩体的变化情况,以便为是否变更隧洞轴线位置提供依据。

物探采用地震波穿透法,即在泄洪隧洞所在的平切面上,利用现有的勘探工程(探洞与钻孔),测量它们彼此之间的地震波传播速度。一般来说,岩体中弹性波传播越快,则反映相应的岩体完整、坚硬和致密,也就是说岩体工程地质条件较好;反之,岩体中弹性波速度传播慢,则反映相应的岩体破碎,完整程度差。在该工程部位测试结果:泄洪隧洞出口部位探洞洞内波速为 2.2km/s,探洞东侧为 3.1~4.5km/s,西侧为 2.1km/s。从这一测量结果清楚地看出:①探洞洞

内波速很低,说明该岩石相当破碎,这与地质结论一致;②探硐东侧波速明显增高,因此可以认为东侧岩体的完整性相对较好,其工程地质条件有所改善,从而为选择泄洪隧洞轴线位置提供了依据。

3. 在隧洞开挖以前利用地震波穿透成果为分段评价隧洞工程地质条件提供依据

漫湾水电站导流隧洞所在高程为 890~910 米附近,隧洞通过地段岩性比较单一,均为中三迭统忙怀组流纹岩。地震波穿透是沿隧洞轴线利用现有勘探工程,在 900 米高程进行分段测试。测试结果是:绝大多数测段纵波速度大于 4.0km/s ,其中大约 57% 的洞段波速值在 0.5km/s 以上,这说明隧洞所通过的部位岩体完整性较好。我们借助于通常反映岩体相对于岩块破碎程度的完整性系数,即岩体的波速与岩块波速之比的平方来评价测段内岩体的完整状况。根据漫湾水电站的实测资料,流纹岩岩块波速为 6.0km/s 。参照一般推荐的指标分五级评价,即完整性系数在 $0.7\sim 0.9$ 间为岩体完整性好;在 $0.6\sim 0.7$ 之间为较好,在 $0.2\sim 0.45$ 之间为中等;小于 0.2 为完整性差的岩体。根据上述指标,对漫湾水电站导流隧洞岩体完整状况的评价结果与地质分析基本一致,从而为隧洞工程地质分段进一步提供了依据。

4. 利用综合测井资料为确定坝基开挖深度提供依据

坝基钻孔综合测井成果表明,当裂隙不发育时,波速在 5.5km/s 以上,视电阻率大于 $7.0\text{k}\Omega\cdot\text{m}$,其曲线跳动不大,是工程地质条件较好的部位。但是,在上部风化弱偏强部分,或节理发育成密集带,或回弹裂隙集中的强卸荷带、声波曲线和视电阻率曲线剧烈跳动,很不规则,它反映出这一岩带的软硬不均,风化强弱差别较大,显然,这一部分岩石其工程地质条件较差,应该挖掉。根据测井曲线的变化规律,间接为确定坝基开挖深度提供了依据。

5. 通过综合测井资料的统计可以了解坝区主要岩石的物理性质

漫湾水电站在勘测过程中,有近 70 个钻孔做了声波和视电阻率等方法的综合测井工作。通过大量的测井资料统计分析,对坝区主要岩石(流纹岩、蚀变流纹岩和压碎蚀变流纹岩)的物理性质可以得出如下概念:①新鲜流纹岩纵波速度大于 5.2km/s ,视电阻率大于 $7.0\text{k}\Omega\cdot\text{m}$;②未经风化的蚀变流纹岩纵波速度为 5.0km/s ,视电阻率在 $2.0\sim 7.0\text{k}\Omega\cdot\text{m}$;③压碎蚀流纹岩纵波速度小于 5.0km/s ,视电阻率小于 $2.0\text{k}\Omega\cdot\text{m}$ 。

二、施工阶段物探的作用

1. 坝基开挖前确定爆破震动对基础岩体的影响深度

由于爆破震动不可避免地使坝基遭到不同程度的影响和破坏,因此在坝基开挖施工前必须进行现场爆破试验。漫湾水电站坝基开挖前的爆破试验,按不同地质条件分别在多个坝段上进行,下面仅以 10 坝段 I 试区的测试结果为例说明。

I 试区布置在有高岭土充填的 II b 类流纹岩上,是坝基中相对软弱的岩体。I 试区的爆破参数选择如下:爆破孔呈网格状布置,孔距 1 米,排距 1.5 米,孔径 42 毫米,孔深 2 米,单孔药量为 0.97kg 。声波测试孔 3 个,呈三角形布置,孔径 90 毫米,孔深 6 米,孔距分别为 1.67 米、1.68 米和 1.81 米。测试方法为水平同步穿透,测试仪器采用国产 SYC-2 声波仪,工作频率为

25kHz。爆破前、后分别测出两孔间水平穿透的纵波速度，因爆破影响表层松动，爆破后所测的穿透纵波速度与爆破前所测的速度相比，浅部明显降低，随着孔深加大而影响减小，到一定深度后爆破前、后所测速度基本相近，即认为该处岩体未受到影响。这个深度，实际上就是在上述爆破参数条件下爆破震动对基础岩体的影响深度。由于现场测试条件、仪器精度、点位误差以及人为干扰等多种因素影响，即使是未受爆破影响的部分，爆破前、后所测波速也不可能完全相等。因此在确定爆破影响深度时，一般不采用这种爆破前后波速基本相近的方法，而是以爆破前后速度的变化率来确定，即从装药底部高程起算，取变化率大于10%的深度作为爆破影响深度。10坝段I试区测试资料分析整理结果列于表1。由表1可见，最大影响深度为1.2米，最小0.6米，平均影响深度0.86米。

表1 10坝段I试区爆破影响深度统计

测试孔号	装药底部高程 (m)	声速变化率大于 10%的高程 (m)	爆破影响深度 (m)
1-2	881.7	880.9	0.8
2-3	881.7	881.1	0.6
1-3	881.7	880.5	1.2

2. 坝基开挖后建基面的检测

坝基开挖后是否达到建基面要求是以岩体的风化卸荷程度以及岩体结构作为主要依据，同时参考波速和点荷载强度指标，即建基面岩体要求声波速度为4.0km/s以上，地震波速度为3.5km/s以上。坝基建基面的检测采用两种方法：一是用地震法以2m×2m测网在坝基开挖平台上测量，以了解坝段波速的平面分布情况；二是打检测孔进行声波水平同步穿透，以了解一定深度范围内岩体波速的分布情况。现以11坝段测试结果为例说明。

11坝段开挖后呈直线布置了12个声波检测孔，孔间距离最大1.98米，最小0.79米，孔深6米。测试方法采用相邻两孔水平同步穿透，按点距0.2米测纵波速度。在测到的329点波速值中，满足建基面要求即声波速度大于4.0km/s的点占92.3%。检测成果说明，11坝段开挖后经过清面撬挖基本上能满足建基面要求，这与设计提供的地质结论一致。

3. 灌浆效果检测

灌浆效果检测包括固结灌浆效果检测和帷幕灌浆效果检测两部分，检测方法除钻孔压水试验外，就是利用单孔声波测井和双孔地震波穿透两种，通过观测灌浆前、后波速的变化来综合评价灌浆效果的好坏。

(1) 固结灌浆效果检测

坝基开挖至弱风化岩体后，因开挖、卸荷和地质等原因，使建基面下一定深度范围内的岩体相对松散破碎、强度降低，因而在施工过程中，必须对这部分岩体进行固结灌浆处理以提高强度。

表2 固结灌浆后不同波速段点数占总点数的百分比 %

测试部位	测试阶段	声波测试		地震波测试	
		$V_p < 4.0\text{km/s}$	$V_p \geq 4.0\text{km/s}$	$V_p < 3.5\text{km/s}$	$V_p \geq 3.5\text{km/s}$
1~7 坝段	灌前	16.0	84.0	23.8	76.2
	灌后	5.5	94.5	8.0	92.0
8~14 坝段	灌前	10.5	89.5	35.2	64.8
	灌后	4.8	95.2	10.3	89.7
15~17 坝段	灌前	31.5	68.5	30.8	69.2
	灌后	6.2	93.8	3.3	96.7
厂房	灌前	16.2	83.8	43.2	56.8
	灌后	5.6	94.4	13.3	86.7

根据漫湾水电站坝基开挖技术要求,对17个坝段及厂房部位的岩体进行了灌浆效果检测,检测孔144个,并将灌浆前后所测的8500个声波和地震波速值进行了统计整理汇总成表2。由表2可以清楚地看出:

①灌浆前后,无论是单孔声波测井还是双孔地震穿透,所测的波速值变化较大,灌浆后所测的高波速段即满足坝基要求的部分所占比例有大幅度提高,如15坝段至17坝段,单孔声波测井由灌浆前的68.5%提高到93.8%,双孔地震波穿透由灌前的69.3%提高到96.7%。与此相反,低波速段所占比例明显下降,这说明灌浆效果是显著的。

②灌浆前波速值愈低即为岩体质量差的部分,灌浆后波速值提高愈大,如15坝段至17坝段灌浆前声波成果 $V_p < 4.0\text{km/s}$ 的测点占总测点数的比例为31.5%,灌后降到6.2%。同样,地震波成果 $V_p < 3.5\text{km/s}$ 灌浆前为30.8%,灌浆后降到3.3%。

③一般情况下,在同一坝段,灌后岩体波速的提高幅度随孔深的增大而减小。这说明开挖后表层岩体受爆破影响大,致使岩石松散,因而灌浆效果明显,波速提高幅度大。随深度的增加,岩体完整性趋好,故灌浆效果不显著,波速变化不大。

(2) 帷幕灌浆效果检测

帷幕灌浆主要是对防渗性较差的岩体,通过帷幕灌浆胶结破碎、松散岩体,堵塞渗漏通道,以减小渗流,提高防渗能力。检测方法同固结灌浆,表3是通过对154个检测孔近万余声波和地震波速度值统计整理的结果。由表3可见,单孔声波测井和地震波穿透,灌后的波速值均有所提高,其中满足设计要求即声速值大于等于 4.0km/s 的测点占总测点的93.3%以上,地震波穿透波速值大于 3.5km/s 的测点占总测点数的97.7%以上,这说明通过灌浆后坝基岩体的防渗性能得到了明显的改善。

表3 帷幕灌浆前后不同波速段点数占总点数的百分比 %

测试部位	测试阶段	声波测试		地震波测试	
		$V_p < 4\text{km/s}$	$V_p \geq 4.0\text{km/s}$	$V_p < 3.5\text{km/s}$	$V_p \geq 3.5\text{km/s}$
2~7 坝段	灌前	24.2	75.8	1.6	98.4
	灌后	5.7	94.3	0.4	99.6
8~14 坝段	灌前	4.5	95.5	0.0	100.0
	灌后	3.6	96.4	0.0	100.0
15~19 坝段	灌前	14.3	85.7	6.2	93.8
	灌后	3.0	97.0	2.3	97.7
厂 房	灌前	14.2	85.8	—	—
	灌后	6.7	93.3	—	—