

# Application of Comprehensive Test Method in Grouting Effect at Huangdeng Hydropower Station Dam Project

Qianbing Yu<sup>1</sup>, Zhuoliang Mao<sup>2</sup>, Shenlin Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Huaneng Lancang River Hydropower Inc, Kunming Yunnan

<sup>2</sup>Zhejiang Huadong Engineering Safety Technology Co. Ltd, Hangzhou Zhejiang  
Email: 405731239@qq.com

Received: Dec. 18<sup>th</sup>, 2018; accepted: Jan. 9<sup>th</sup>, 2019; published: Jan. 16<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

The effect of grouting for the dam foundation rock could influence the overall quality of the rock. The inspection of the rock before and after grouting by comprehensive measurement techniques shows the crack development in the rock before grouting. It could provide the guidance for construction and the design proposal modification. It also could judge the effect of grouting based on the comprehensive measurement at the after-grouting stage.

## Keywords

Dam Foundation Rock, Foundation Grouting Treatment, Inspection Effect, Inspection Methods

---

# 综合测试方法在黄登水电站工程大坝灌浆效果检测中应用

于欠兵<sup>1</sup>, 毛卓良<sup>2</sup>, 李森林<sup>2</sup>

<sup>1</sup>华能澜沧江水电股份有限公司, 云南 昆明

<sup>2</sup>浙江华东工程安全技术有限公司, 浙江 杭州  
Email: 405731239@qq.com

收稿日期: 2018年12月18日; 录用日期: 2019年1月9日; 发布日期: 2019年1月16日

---

## 摘 要

坝基岩体灌浆效果的好坏直接影响到岩体的整体质量, 在灌浆前和灌浆后采用多种综合的测试手段和方

法对岩体进行检测, 可提供灌前岩层裂隙的发育情况, 为指导施工及变更设计方案提供科学依据, 在灌后可根据综合检测成果来客观评价灌浆效果, 为施工质量提供有利保障。

## 关键词

坝基岩体, 基础灌浆处理, 效果检测, 检测方法

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 前言

黄登水电站位于云南省兰坪县境内, 采用堤坝式开发, 是澜沧江上游曲孜卡至苗尾河段水电梯级开发方案的第六级水电站, 开发任务以发电为主, 兼有防洪、灌溉、供水、水土保持和旅游等综合效益。电站正常蓄水位高程 1619 m, 相应库容 15.49 亿  $\text{m}^3$ , 死水位高程 1586 m, 调节库容 8.28 亿  $\text{m}^3$ , 具有季调节性能。电站装机容量 1900 MW, 多年平均发电量 85.78 亿 kWh。

黄登水电站为一等大(1)型工程。枢纽工程由碾压混凝土重力坝、坝身溢流表孔、泄洪放空底孔、左岸地下引水发电系统等组成。坝顶高程 1625 m, 最大坝高 203 m; 3 孔溢流表孔孔口尺寸 15 m × 21 m (宽 × 高), 堰顶高程 1598 m, 左右两岸泄洪底孔进口底板高程 1540 m, 孔口尺寸 5 m × 8 m (宽 × 高)。左岸引水发电系统采用“单机单管”引水及“两机一室一洞”尾水的布置格局; 地下厂房安装 4 台单机额定功率 475 MW 的立轴混流式水轮发电机组[1] [2]。

坝址区出露的地层主要为三叠系上统小定西组( $T_3xd$ )、侏罗系中统花开左组( $J_2h$ )及第四系(Q)。其中: 三叠系上统小定西组( $T_3xd$ )为坝址区出露的主要地层, 为一套变质火山岩系, 总厚度大于 1000 m, 岩性主要为变质玄武岩、变质火山角砾岩、变质火山细砾岩夹变质凝灰岩。变质玄武岩、变质火山角砾岩、变质火山细砾岩岩石坚硬, 岩体完整, 一般呈块状~整体状; 变质凝灰岩岩石相对较软弱, 为薄层状, 岩体相对较破碎, 劈理和顺层挤压面发育; 侏罗系中统花开左组下段( $J_2h$ ): 为紫红色、灰绿色板岩夹变质砂岩及灰黑色泥灰岩。与下伏三叠系上统小定西组八层( $T_3xd^8$ )呈假整合接触, 测区未见顶[1] [2]。

根据大坝基础工程地质条件, 本工程基础处理施工主要进行了坝基固结灌浆; 上游帷幕灌浆及排水基础灌浆廊道帷幕灌浆; 下游帷幕灌浆及排水廊道帷幕灌浆; 左右岸灌浆平洞帷幕灌浆、衔接帷幕灌浆; 左右岸岸坡 FUKO 管接触灌浆; 1#、2#导流洞封堵段固结、回填、接缝、接触灌浆; 左右岸缆机基础固结灌浆。

灌浆效果的好坏直接影响到岩体的整体质量, 而灌浆施工是地下隐蔽工程, 如何确定岩体灌浆施工的技术参数和对灌浆效果有效检测, 需要在灌浆前和灌浆后采用相应的测试手段和方法对岩体进行检测。即利用灌前检测成果来提供岩层裂隙的发育情况, 为指导施工及变更设计方案提供科学依据, 利用灌后可根据综合检测成果客观评价灌浆效果, 为施工质量提供有利保障。

帷幕灌浆的效果如何, 主要依据检测孔的钻孔取芯和钻孔压水试验方法来进行检验。随着物探技术的发展与进步, 现在全孔壁数字成像、声波测井(单孔和跨孔)、钻孔弹模测试、弹性波 CT 等多种物探测试方法也可用于灌浆效果检测, 且物探方法以其简便、快速、经济等优点, 受到广大工程技术人员的青睐和重视, 并在工程质量检测中, 得到愈来愈广泛的应用。

每种测试技术和方法有着各种的特点,反映不同的岩体特性指标或力学参数。要全面、客观、有效地评价岩体的灌浆效果和质量,靠单一的测试方法不行的,需要采用综合的测试方法,取得多种直观、定量和定性的测试成果。

本文就综合测试方法在黄登水电站工程灌浆效果检测的应用和成果做简要介绍。

## 2. 灌浆效果检测方法

本工程灌浆效果检测方法是结合工程不同灌浆项目和内容,综合采用了钻孔取芯、全孔壁数字成像、声波测井(单孔声波检测、跨孔声波测试)、弹性波 CT 测试、钻孔变模检测和钻孔压水试验等多种测试方法,综合评价坝基灌浆质量。

### 2.1. 钻孔取芯

采用地质钻机对帷幕灌浆岩体进行钻孔取芯,通过钻取芯样采取率和芯样外观质量及水泥结石在裂隙充填情况,直观地检查评价灌浆效果。

钻芯法检测使用 HGY-200 型回转式钻芯机,采用金钢石钻头钻取芯样,钻孔直径为 76 mm; 钻孔冲洗和压水试验设备保证在所有压力下都有足够的供水量,保证压力稳定、出水均匀、工作可靠。钻孔倾斜控制 KXP-3A1 型测斜仪。

钻机安装平整稳固,钻孔方向按要求确定,钻孔时必须保证孔向准确。钻机主轴方向与设计方向一致时方开钻,开钻时采用慢速低压钻进[3]。

检查孔钻取岩芯按取芯次序统一编号,填牌装箱,并绘制钻孔柱状图和进行岩芯描述,拍摄彩色照片。

### 2.2. 全孔壁数字成像

采全孔壁数字成像测试技术,是依靠光学原理能直接观测到钻孔的内部。通过实时接收由井下探头摄录的图像信息,图像处理系统会以每一幅图像所包含的方位信息将其依 N-E-S-W-N 方位顺序进行展开,然后将所有的展开的数字化图像拼接起来,就形成钻孔全孔壁柱状剖面图和岩芯柱状图。通过观察裂隙中水泥结石的充填情况来辅助判断灌浆效果。

### 2.3. 声波测井

以岩土体的弹性特征为基础,通过测定岩土体的声波传播速度及其它声学参数(如声波幅度、频率及衰减等),根据测试结果,分析不同地段波速及其它声学参数的变化规律,从而达到研究岩土体特性的目的。通过灌浆前后声学参数的比对可以辅助判断灌浆效果。主要分单孔声波检测和跨孔声波检测两种方法。

1) **单孔声波检测:**是将一发双收声波换能器放入孔中,利用一只发射换能器发射声波,两只换能器接收声波,根据声波到达两接收换能器的旅行时差计算孔壁混凝土或岩体的声波速度,其测试原理示意如图 1; 根据声波速度及其变化评价混凝土或基岩的质量。

2) **跨孔声波测试:**是将收、发换能器分别置于两个钻孔中,发射换能器 F 激发的声波穿透岩体到达接收换能器 S,通过声波仪读出首波的到达时间 t。由于 F、S 在孔中的位置已知,根据 F、S 点坐标,算出两点间的空间距离,便可得出两点之间岩体的声波速度,其测试原理示意如图 2,然后再根据声波速度评价两孔之间的岩体质量。以下的 CT 法即跨孔声波法[3]。

### 2.4. 弹性波层析成像(CT)

以岩土体的弹性特征为基础,通过对观测到的弹性波各种震相的运动学(走时、射线路径)和动力学(波形、振幅、相位、频率)资料的分析,进而反演地下介质的结构、速度分布及其弹性参数等重要信息的一

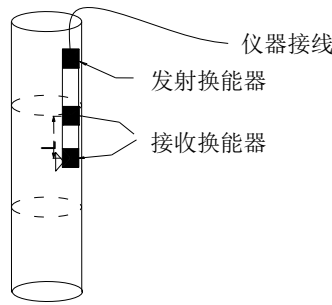


Figure 1. Single hole ultrasonic method  
图 1. 单孔声波法

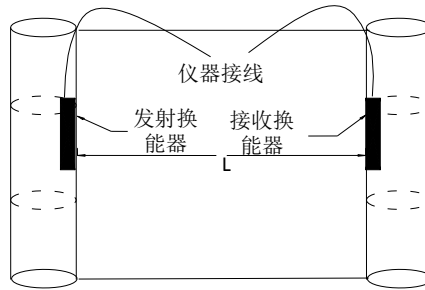


Figure 2. Trans-hole ultrasonic method  
图 2. 跨孔声波法

种地球物理方法。即通过弹性波走时和衰减的观测，把所有的投影函数依 Radon 反变换的关系组成方程组，经反演计算重建出地质体内部结构弹性波速度的二维分布图像。也就是说通过测定孔间岩土体的弹性波传播速度，进行弹性波 CT 成像分析，达到对孔间岩土体的研究和评价之目的。

弹性波层析成像(CT)现场工作原理是在一个钻孔内放置发射机(发射点)，而在另一个钻孔内放置接收机(接收点)，从发射点发射出的弹性波经介质折射后到达接收点。按一定射线密度对孔间剖面进行扫描，结果在两钻孔间形成如图 3 所示的一系列扇形射线网络。反演出的两个检查孔之间断面岩体弹性波层析成像(CT)测试成果色谱图，由此可以分析钻孔间不同弹性波速度的介质分布情况[3]。

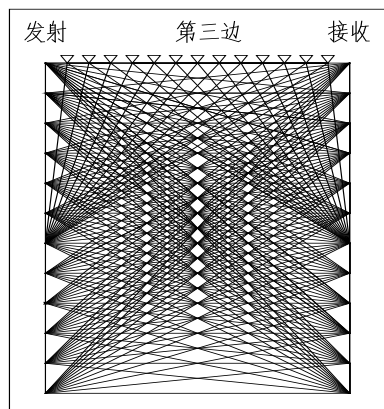


Figure 3. schematic diagram of elastic wave CT observation system  
图 3. 弹性波 CT 观测系统示意图

## 2.5. 钻孔弹模测试

钻孔变模主要应用于坝基开挖检测、固结灌浆效果检测。

钻孔变形模量检测采用钻孔径向加压法。试验时利用仪器内部的四个千斤顶活塞推动两块刚性承压板对钻孔壁岩体施加一对称的条带载荷在承压板上装有 LVDT 线性差动变压器式位移传感器，用来测量钻孔孔壁岩体在加载时的径向变形；或者通过圆柱形径向膨胀对钻孔壁岩体施加圆柱状载荷，通过量测探头总体积变化来确定变形。用安装在活塞上的测力计直接测定出力。根据岩体压力与变形关系曲线求出岩体的弹性模量、变形模量等[4]。是评价岩体固结灌浆效果的一种方法。

## 2.6. 钻孔压水试验

用栓塞将钻孔隔离出一定长度的孔段，并向该孔段压水，根据一定时间内压入水量和施加压力大小的关系来确定岩体透水性的一种原位渗透试验。根据试验测定压力和流量值进行整理，绘制各深度试段的压力~流量关系图(P~Q 曲线图)和深度~透水率关系图(H~q 关系图)，确定曲线类型，计算各试验孔段的岩体透水率。压水试验是评价岩体帷幕灌浆效果的一种主要方法。

试段透水率采用最大压力阶段的压力值和流量值按下式计算[5]：

$$q = \frac{Q}{L \times P}$$

式中  $q$ ——试段的透水率(Lu)；

$L$ ——试段长度(m)；

$Q$ ——压入流量(L/min)；

$P$ ——作用于试段内的全压力(MPa)。

## 3. 检测成果与分析

### 3.1. 钻孔取芯

黄登水电站工程大坝帷幕灌浆共进行了 1745 个孔的钻进和灌浆施工，均采用钻孔取芯方式钻进，其中，在灌后的的钻孔取芯法灌浆效果检测中，施工方自检孔共进行有 204 个孔，第三方检测孔共进行有 103 个孔。

通过岩芯及采取率可以直观的判定岩体灌浆前的完整性和裂隙发育情况，试验区 SY-1 和 SY-2 孔典型破碎带岩芯照片见图 4 和图 5，以及灌浆后裂隙充填水泥结石情况见图 6。

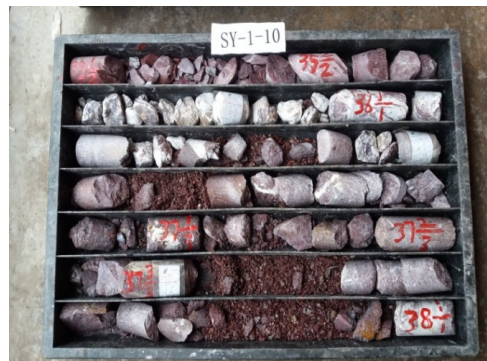


Figure 4. The core of No. SY-1 at the depth 54.1 - 60.3 m

图 4. SY-1 孔深 54.1~60.3 m 段岩芯



Figure 5. The core of No. SY-2 at the depth 52.3 - 59.8 m

图 5. SY-2 孔深 52.3~59.8 m 段岩芯

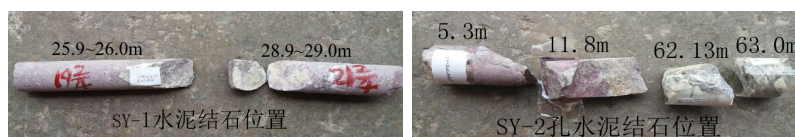


Figure 6. The cement stone picture of SY-1 and SY-2 after grouting

图 6. 灌后孔 SY-1 和 SY-2 水泥结石图片

### 3.2. 全孔壁数字成像

1) 黄登水电站大坝基固结灌浆区域共对各坝段灌浆前后的 508 个物探孔和检查孔进行了全孔壁数字成像, 获取了清晰的钻孔岩壁图像, 其中: 4#~20#坝段灌后共检测 477 个物探孔和检查孔, 共 3157 条裂隙, 其中充填良好的有 986 条, 占 31.23%; 局部充填裂隙 1258 条, 占全部裂隙的 39.85%; 未见结石充填裂隙 913 条, 占全部裂隙的 28.92%。完全充填或局部充填所占比例为 71.08% [1]。

2) 黄登水电站大坝帷幕灌浆区域共对各坝段灌浆前后的 56 个孔物探孔和检查孔进行了全孔壁数字成像。其中, 右岸 EL.1625 m 灌浆平洞及试验区共测试 19 个孔, 共 534 条裂隙, 充填良好裂隙 87 条, 占 16.29%; 局部充填裂隙 206 条, 占 38.58%; 未见结石充填裂隙 241 条, 占 45.13%; 主帷幕共测试 21 个孔, 共 534 条裂隙, 充填良好裂隙 147 条, 占 27.53%, 局部充填裂隙 197 条, 占 36.89%, 未见结石充填裂隙 190 条, 占 3%; 下游封闭帷幕共完成 16 个检查孔, 共 520 条裂隙, 充填良好裂隙 157 条, 占 29.40%; 局部充填裂隙 160 条, 占 29.96%; 未见结石充填裂隙 203 条, 占 38.01% [1]。

黄登水电站试验区 SY-1 和 SY-2 孔典型破碎带及结构面灌后孔壁数字成像见图 7。

### 3.3. 声波测井

1) 黄登水电站大坝基固结灌浆区域共对各坝段灌浆前后的 510 个物探孔和检查孔进行单孔声波测试。其中: 4#~20#坝段固结灌浆前后检测成果为: 灌前单孔波速平均值在 4.81 km/s~5.15 km/s 之间, 灌后单孔波速平均值在 5.02 km/s~5.23 km/s 之间, 灌后波速达标率分布在 95.9%~99.1%之间, 各坝段零星分布或没有小于设计标准的 85% 的波速测点, 所占比例均小于 0.4%, 灌浆后波速值以及波速分布情况满足设计要求 [1]。

2) 黄登水电站大坝帷幕灌浆区域共对各坝段灌浆前后的 56 个孔物探孔和检查孔进行了单孔声波测试。其中: 右岸 EL.1625 m 灌浆平洞试验区灌后单孔波速集中分布在 5.0 km/s 以上, 11#坝段试验区灌后单孔波速集中分布在 4.50 km/s 以上, 4.00 km/s~4.50 km/s 之间的波速测点少量分布, 4.00 km/s 以下的波速测点零星分布; 主帷幕 9#坝段灌后单孔波速集中分布在 4.8 km/s~5.5 km/s 之间, 10#坝段 4.6 km/s~5.5

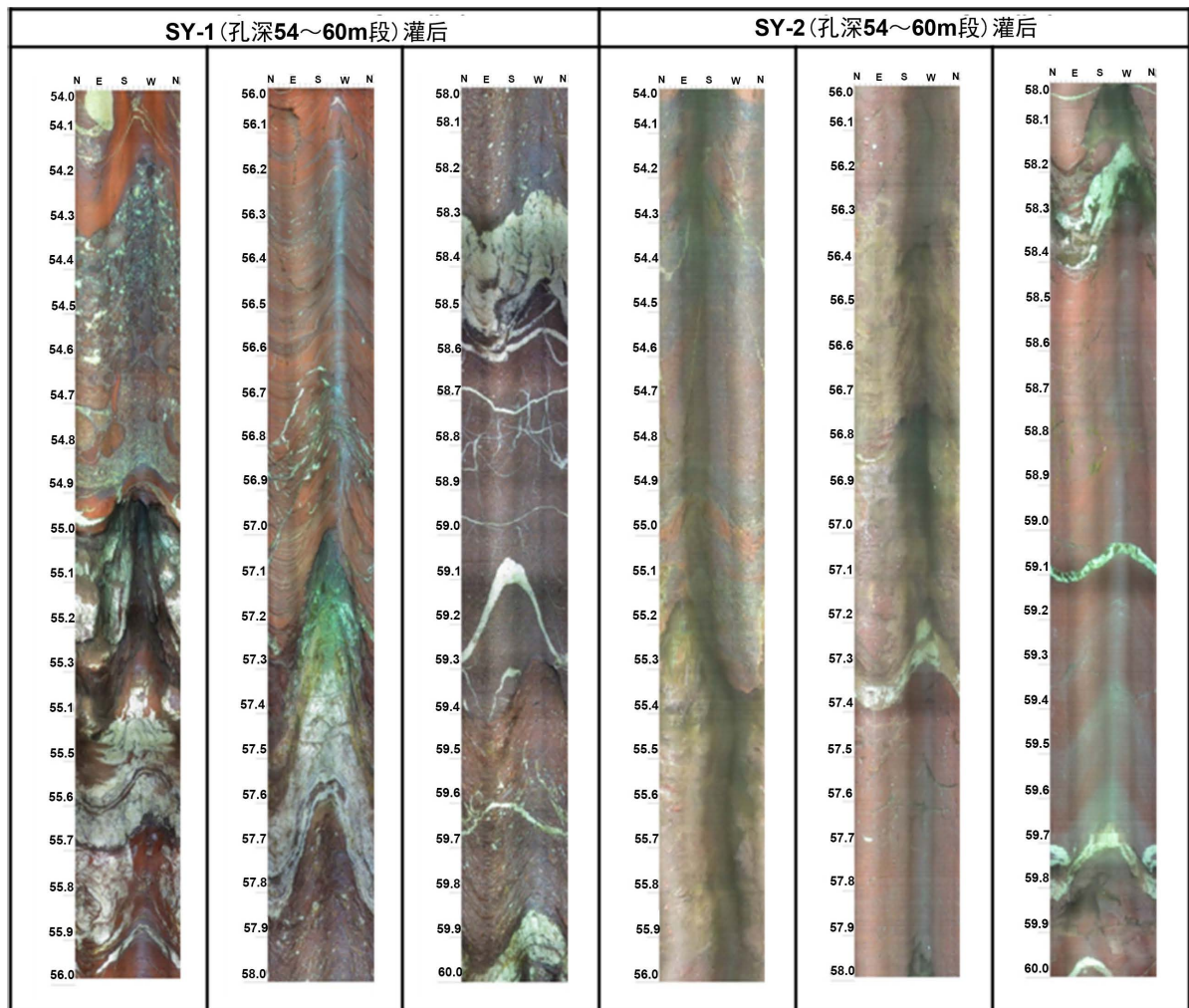


Figure 7. SY-1 and SY-2 hole wall digital imaging display after grouting  
图 7. SY-1 和 SY-2 孔灌后孔壁数字成像展示图

km/s 之间, 12#坝段 4.03~5.81 km/s 之间局部区域存在相对低波速段; 下游封闭帷幕灌浆 9#坝段灌后单孔波速集中分布在 4.80 km/s~5.60 km/s 之间, 10#坝段 5.00 km/s~5.80 km/s 之间, 11#坝段 4.80 km/s~5.60 km/s 之间, 4.00 km/s 以下的波速测点零星分布[1]。

SY-1 和 SY-2 孔单孔岩体声波与深度关系曲线见图 8, 可以看出: SY-1 孔深 0.6~52 m 段岩体波速在 4.03 km/s~5.81 km/s 之间, 平均波速 5.32 km/s; 孔深 52~56 m 段(破碎带)岩体波速在 4.17 km/s~5.68 km/s 之间, 平均 4.78 km/s; 孔深 56~76 m 段岩体波速在 4.10 km/s~5.60 km/s 之间, 平均 4.92 km/s。SY-2 孔深 0.6~50.4 m 段岩体波速在 4.17 km/s~5.68 km/s 之间, 平均波速 5.23 km/s; 孔深 50.4~57.6 m 段(破碎带)岩体波速在 3.01 km/s~5.00 km/s 之间, 平均 4.11 km/s; 孔深 57.6~70 m 段岩体波速在 4.55 km/s~5.56 km/s 之间, 平均 5.07 km/s。

### 3.4. 弹性波层析成像(CT)

帷幕灌浆试验区完成 1 个剖面的弹性波层析成像(CT)测试(发射孔 SY-2: 70 m, 接收孔 SY-1: 74 m), 弹性波 CT 测试成果色谱图见图 9。

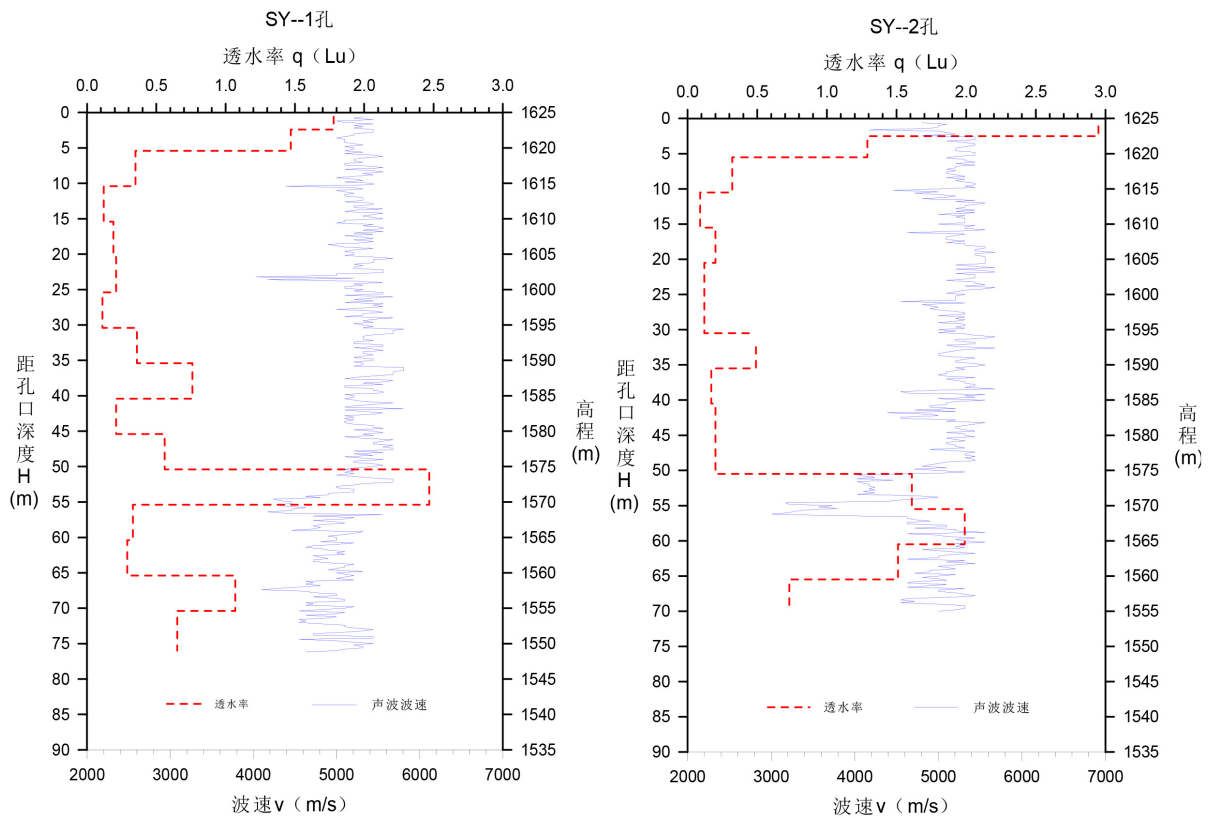


Figure 8. SY-1 and SY-2 hole absorption rate and velocity relating ship curve with depth  
 图 8. SY-1 和 SY-2 孔透水率和声波波速随深度分布曲线

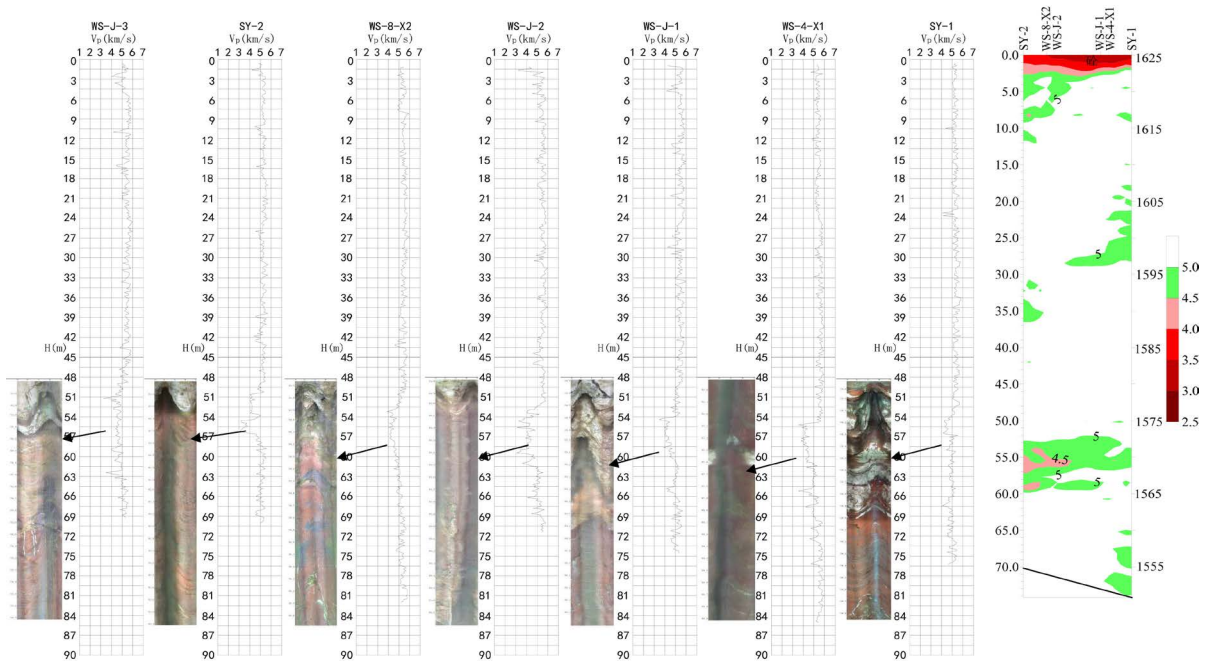


Figure 9. Comparison of CT results of elastic waves in SY-1 - SY-2 boreholes with digital imaging results of acoustic waves and local whole borehole walls  
 图 9. SY-1~SY-2 钻孔弹性波 CT 成果与声波、局部全孔壁数字成像成果对比图



从图中可以看出弹性波波速值介于 3.0 km/s~3.5 km/s 的区域位于孔口表层的混凝土层；弹性波波速值介于 3.5 km/s~4.0 km/s 的区域分布于距孔口约 2 m 的范围内；弹性波波速值介于 4.0 km/s~4.5 km/s 的区域主要分布于距孔口 53 m~60 m 的范围内，SY-2、WS-8-X2、WS-J-2、WS-J-1、WS-4-X1 以及 SY-1 六个孔在该段处单孔声波波速异常、孔壁破碎；弹性波波速值介于 4.5 km/s~5.0 km/s 的区域主要分布于 3 m~11 m、17 m~21 m、53 m~59 m 以及 SY-1 一侧底端 67 m~73 m 的部位；SY-1~SY-2 剖面中弹性波波速值小于 4.5 km/s 的波速点占 5.75%，且无低于 3.0 km/s 的波速点；波速值大于等于 4.5 km/s 的波速点占 94.27% [1]。

### 3.5. 钻孔弹模测试

黄登水电站大坝基 4#~20#坝段固结灌浆区域共对灌浆后的 42 个检查孔进行钻孔弹模测试。各坝段变模平均值分布在 13.49 GPa~19.23 GPa 之间，平均 17.26 GPa；各坝段弹模平均值分布在 20.11 GPa~30.75 GPa 之间，平均 27.08 GPa，基本满足设计要求[1]。

### 3.6. 钻孔压水试验

钻孔压水试验是评价岩体帷幕灌浆效果的主要方法，采用施工单位自检和第三方单位检测相结合的办法来控制试验质量，其中：

1) 在坝区帷幕灌浆施工单位自检压水试验共进行了 202 个孔，完成压水试验 2508 段，各段最大透水率在 0.19~2.46 Lu 范围，一段为 3.68 Lu。

2) 第三方检测单位共完成压水试验孔 57 个。其中：上游帷幕共完成 31 个检查孔，压水试验 433 段，透水率范围为 0~6.68 Lu，其中 4 段不符合设计要求，经参建各方会议决定，由施工单位采取相应补强措施，再由第三方检测，直至满足设计要求；下游封闭帷幕共完成 26 个检查孔，压水试验 232 段，透水率为 0.02 Lu~5.26 Lu；其中 4 段不符合设计要求，经参建各方会议决定，由施工单位重新补灌，之后第三方复检，直至满足设计要求[2]。

SY-1 和 SY-2 孔钻孔岩体透水率与深度关系曲线见图 8，可以看出：SY-1 孔深 0.4~5.4 m 段岩体透水率在 1.47 Lu~1.78 Lu 之间；孔深 5.4~50.4 m 段岩体透水率在 0.11 Lu~0.76 Lu 之间；孔深 50.4~55.4 m 段(破碎带)岩体透水率为 2.47 Lu；孔深 50.4~76.0 m 段岩体透水率在 0.29 Lu~1.07 Lu 之间。SY-2 孔深 1.1~5.5 m 段岩体透水率在 1.29 Lu~2.95 Lu 之间；孔深 5.5~50.5 m 段岩体透水率在 0.09 Lu~0.49 Lu 之间；孔深 50.5~65.5 m 段(破碎带)岩体透水率在 1.51 Lu~1.99 Lu 之间；孔深 65.5~69.9 m 段岩体透水率为 0.73 Lu。

### 3.7. 综合分析

1) 由于灌浆钻数量巨大，需要的钻机数量和人员也较多，受钻探人员素质和技术的影 响，钻孔的取芯质量也差异较大。特别是受岩性和裂隙影响，有些岩芯会出现机械破碎，会影响对岩体地质条件的准确判断。而通过孔内电视图像能客观准确的判定岩体破碎的厚度和性状，如岩芯破碎段，钻孔电视图像显示完整或较完整；可以通过孔内电视图像来量测岩体中裂隙和结构面的宽度和产状，以及灌前灌后裂隙的充填情况对比，判断灌浆效果，见图 4~图 7。

2) 通过对坝基岩体钻孔进行声波测试和断面 CT 测试，得到岩体一项定量的指标，可以分析不同地段波速及其它声学参数的变化规律，从而达到研究岩土体特性的目的。通过灌浆前后岩体声波波速变化规律，结合岩芯和孔内电视图像，客观准确的评价灌浆效果，见图 8 和图 9。

3) 通过对坝基岩体的钻孔弹模测试，可以确定岩体的力学参数，是破碎、较破碎岩体固结灌浆后的一项重要评价指标，结合钻孔岩芯、孔内电视图像和声波波速，来准确地确定坝基岩体固结灌浆的位置，以及灌浆后的是否满足设计要求。

4) 岩体透水率是评价岩体的渗透特性的一个重要指标, 是通过钻孔压水试验取得, 有施工方自检和第三方检测单位检测。同样受现场场地、机械和地质状况等客观条件, 以及人员素质、技术、经济利益等主观条件影响, 岩体压水试验成果也随之受到影响。将岩体透水率随钻孔深度变化曲线与钻孔声波波速随深度变化曲线进行叠加, 同时通过与钻孔岩芯和孔内电视图像对比, 可以客观准确评价坝基岩体的灌浆效果, 消除认为影响因素, 见图 4~图 9。

#### 4. 结束语

黄登水电站工程大坝灌浆效果采用了钻孔取芯、全孔壁数字成像、声波测井(单孔声波检测、跨孔声波测试)、弹性波 CT 测试、钻孔变模检测和钻孔压水试验等多种测试方法。

综合检测结果显示, 检测孔的取芯资料、全孔壁数字成像、声波测井、CT 及压水试验的检测成果可以相互验证, 确保坝基灌浆效果检测结果更加客观、准确。

黄登水电站在大坝蓄水至 1619.00 m 水位后, 坝基帷幕渗压折减效果明显, 坝基扬压力在设计范围内, 坝体混凝土层间基本处于无水压状态, 大坝基础廊道内总排水量 6.53 L/s, 与国内同类坝同水头相比处于较小渗流量水平, 各绕坝渗流观测孔基本处于无水压状态, 大坝混凝土及坝基帷幕防渗效果较好。黄登电站下闸蓄水以来, 未发现集中渗漏点, 大坝总渗漏量均小于 10.0 L/s, 一举打破了水电行业碾压混凝土大坝渗漏的魔咒, 为碾压混凝土大坝可持续发展作出了贡献。

通过黄登水电站工程实践证明, 在大坝基础灌浆施工过程中, 应用合理、有效的测试手段, 不仅可以提供坝基比较准确的岩体地质信息, 为指导施工及变更设计方案提供科学依据, 也可以快速、准确地检测施工质量。在具备条件的情况下, 选用多种测试方法同时对大坝基础复杂岩体进行综合应用, 对灌浆施工方案及质量提出综合性评价, 确保施工结果能达到质量最优, 既能保障大坝的安全稳定运行, 又能带来潜在的社会效益。

#### 参考文献

- [1] 马国凯, 许德运, 等. 云南澜沧江黄登水电站枢纽工程蓄水安全鉴定自检报告[R]. 昆明: 中国电建集团昆明勘测设计研究院有限公司, 2017.
- [2] 李森林, 毛卓良, 等. 云南澜沧江黄登水电站第二阶段蓄水验收帷幕灌浆第三方检测报告[R]. 杭州: 中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 2018.
- [3] 水电水利工程钻探规程[S]. DL/T 5013-2005.
- [4] 水电水利工程物探规程[S]. DL/T 5010-2005.
- [5] 水电水利工程岩石试验规程[S]. DL/T 5368-2007.
- [6] 水电水利工程钻孔压水试验规程[S]. DL/T 5331-2005.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>  
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2329-7301，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>  
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[me@hanspub.org](mailto:me@hanspub.org)