

# 四极电测深在查明覆盖层厚度的应用

叶明

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.12238/hwr.v6i9.4557

**[摘要]** 在库尔干水利枢纽勘探中为查明库尔干水利枢纽中坝址区等的覆盖层厚度,结合工程实例介绍了物探工作四极电测深查明覆盖层的实际应用。结果表明,四极电测深能够准确查明覆盖层厚度,物探解释精度在85%以上。可为类似工程问题提供参考依据。

**[关键词]** 四极电测深; 覆盖层; 电阻率; 解释精度

**中图分类号:** P631.3+22 **文献标识码:** A

## Application of Quadropole Electrical Sounding to the Determination of Overburden Thickness

Ming Ye

Xinjiang Water Resources and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd

**[Abstract]** In order to ascertain the thickness of overburden in the dam site area of the Kurgan water control project, the practical application of quadropole electrical sounding in geophysical prospecting to ascertain overburden is introduced with an engineering example. The results show that the quadropole electrical sounding can accurately determine the thickness of overburden and the geophysical interpretation accuracy is above 85%. It can provide reference basis for similar engineering problems.

**[Key words]** quadropole electrical sounding; overburden; resistivity; interpretation accuracy

### 1 工程概况

库尔干水利枢纽工程位于库山河下游峡谷河段,两岸山峰高程2700~3000m,相对高差大于500m,总地势南高北低,为中高山河谷侵蚀地貌。库坝区河谷走向近南北,呈宽“U”型,河谷底宽约300~500m,两岸基岩裸露,发育I、II、IV级阶地。坝址区河段地形较为开阔,河流两岸发育II~III侵蚀堆积阶地,两岸阶地发育不对称。

工程区位于恰尔隆-库尔浪优地槽褶皱带背斜区,主要出露白垩系克孜勒苏群和英吉沙群地层,第四系地层广泛分布于现代河床、冲沟、坡脚及阶地处。坝址区主要出露的岩性主要有砾岩、砂岩、泥质粉砂岩等。

依据初步设计阶段的勘察任务书及设计方的要求:查明坝址区坝轴线、趾板线和上游围堰覆盖层厚度。

### 2 四极电测深工作原理、资料解释及测线布置

#### 2.1 工作原理

携带WDDS-2B型数字电阻率仪进行四极电测深测试<sup>[1]</sup>,采用四极对称装置<sup>[2]</sup>(见图1)。AB/2:MN/2=10:1,测试最小AB/2=1.5m,最大极距以充分反映目的层和曲线完整为原则,一般为150m,受地形布极影响,个别点不够完整,但是不影响曲线的定性、定量解释。根据物探测试结果,测试区各坝址曲线类型<sup>[3]</sup>主要为KHK、HKQ、HK。野外测量方法采用单次读数法,为保证曲线质量,对曲

线畸变点进行重复观测,重复观测的相对误差小于3.5%,检查测试均方相对误差小于2.7%,测试技术符合《水利水电工程勘探规程 第1部分:物探》SL/T291.1-2021<sup>[4]</sup>的要求。

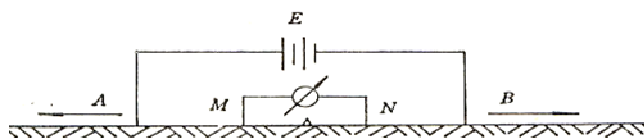


图1 对称四极电测深排列示意图

#### 2.2 资料解释

四极电测深资料解释工作,首先依据测深点电阻率值绘制等 $\rho_s$ 断面图,结合地质资料对岩层进行大致分层处理,再在对数坐标纸上绘制 $\rho_s$ -AB/2关系曲线,根据曲线类型选择二层量板理论曲线D型、G型及辅助曲线Q型、A型、H型、K型,对曲线进行定量解释。

#### 2.3 测线布置

在中坝址区分别布置如下剖面:沿中坝线轴线布置一条垂河物探剖面,长度531m,方向为20°;沿中坝线趾板布置一条垂河物探剖面,长度693m,方向分别为54°、20°、5°、337°;沿中坝址下坝线布置一条垂河物探剖面,长度662m,方向50°;沿中坝址下坝线趾板布置一条垂河物探剖面,长度442m,方向分

别为 $59^\circ$ 、 $64^\circ$ 、 $31^\circ$ 、 $59^\circ$ ；沿上游围堰布置一条物探剖面，长度167m，方向 $2^\circ$ ；沿中坝址发电引水隧洞轴线布置一条物探剖面，长度317m，方向分别为 $22^\circ$ 、 $67^\circ$ ；沿中坝线溢洪道出口轴线布置一条物探剖面，长度191m，方向 $290^\circ$ ；沿中坝线泄洪冲沙兼导流洞出口轴线布置一条物探剖面，长度206m，方向 $290^\circ$ ；沿中坝线泄洪冲沙兼导流洞轴线进口布置一条物探剖面，长度152m，方向 $330^\circ$ ；沿下坝线溢洪道轴线布置一条物探剖面，长度330m，方向 $307^\circ$ ；沿比选泄洪排沙洞布置一条物探剖面，长度182m，方向 $3^\circ$ ；沿比选发电洞布置一条物探剖面，长度269m，方向分别为 $22^\circ$ 、 $306^\circ$ 。

### 3 综合物探成果分析

根据可研阶段及本次物探测试结果：砂砾石层电阻率在 $100\sim 1800\ \Omega\cdot m$ ，砾岩电阻率在 $100\sim 450\ \Omega\cdot m$ ，砂岩电阻率在 $100\sim 300\ \Omega\cdot m$ ，泥质粉砂岩地层电阻率在 $10\sim 90\ \Omega\cdot m$ 。工程区内地层电阻率差异<sup>[5]</sup>较大，上覆地层与底部基岩电阻率差异明显；由于工程区覆盖层厚度较大，地震测试效果差，故采用四极电测深测试。

#### 3.1 中坝址中坝线剖面测试结果

中坝址中坝线剖面：剖面基岩界面整体呈“U”型，剖面0+000~0+291桩号位于坝轴线左岸，基岩岩性为砂质泥岩，基岩埋深由山坡的小桩号至河床逐渐变深，最浅处埋深位于小桩号，基岩埋深35m，最深处位于河床岸边的大桩号，基岩埋深67m；覆盖层电阻率为 $70\sim 250\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率为 $13\sim 50\ \Omega\cdot m$ ；0+291~0+382桩号位于河床，基岩岩性为砾岩，河床覆盖层砂砾石厚度在 $44\sim 60\text{m}$ 左右，其电阻率为 $100\sim 300\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率为 $30\sim 60\ \Omega\cdot m$ ；0+382~0+531桩号位于河床右岸，基岩岩性为砾岩，基岩埋深由河床至大桩号的山边逐渐变浅，最深处在0+382处，基岩埋深为51m，基岩在0+496处出露，覆盖层的电阻率为 $130\sim 450\ \Omega\cdot m$ ，基岩的电阻率为 $300\sim 760\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.2 中坝址中坝线趾板剖面测试结果

中坝址中坝线趾板剖面：基岩岩性为砂质泥岩，剖面0+000~0+100桩号位于趾板线左岸陡坡处，基岩埋深在 $4\sim 13\text{m}$ ，覆盖层电阻率为 $54\sim 280\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率为 $63\sim 140\ \Omega\cdot m$ ；剖面0+100~0+319桩号位于趾板线左岸缓坡处，基岩埋深由小桩号至大桩号逐渐变深，其基岩埋深为 $13\sim 44\text{m}$ ，覆盖层电阻率为 $54\sim 280\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率为 $63\sim 140\ \Omega\cdot m$ ；剖面0+319~0+559桩号位于趾板线左岸较平坦处，其基岩埋深为 $44\sim 69\text{m}$ ，覆盖层电阻率为 $90\sim 400\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率为 $10\sim 80\ \Omega\cdot m$ ；剖面0+559~0+693桩号位于趾板线右岸，基岩由小桩号至大桩号0+660逐渐出露，其基岩埋深最深处为51m，覆盖层电阻率为 $85\sim 500\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率为 $20\sim 100\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.3 中坝址下坝线剖面测试结果

中坝址下坝线剖面：剖面基岩界面整体呈“U”型，基岩界面由山坡至河床逐渐变深，河床部分基岩界面由左向右缓慢变深；桩号0+000~0+036段基岩出露；桩号0+036~0+367段基岩岩性为砂质泥岩，山坡段基岩埋深在 $10\sim 30\text{m}$ ，河床部分基岩埋

深在 $30\sim 54\text{m}$ ，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $70\sim 240\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $20\sim 70\ \Omega\cdot m$ ；桩号0+367~0+662段基岩岩性为砾岩，河床部分基岩埋深在 $49\sim 64\text{m}$ ，山坡段基岩埋深在 $6\sim 28\text{m}$ ，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $70\sim 300\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $44\sim 200\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.4 中坝址下坝线趾板剖面测试结果

中坝址下坝线趾板剖面：桩号0+000~0+235段基岩岩性为砂质泥岩，基岩埋深在 $39\sim 62\text{m}$ ，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $100\sim 300\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $10\sim 50\ \Omega\cdot m$ ；桩号0+235~0+442段基岩岩性为砾岩，基岩界面由河床至山坡逐渐变浅，基岩埋深在 $10\sim 66\text{m}$ ，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $80\sim 300\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $60\sim 240\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.5 上游围堰剖面测试结果

上游围堰剖面：基岩岩性为砂质泥岩，剖面基岩界面由山坡向河床倾斜呈陡降状，推测最大基岩埋深在85m，右岸浅部基岩埋深在 $5\sim 30\text{m}$ ，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $90\sim 960\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $8\sim 60\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.6 中坝址发电洞引水隧洞轴线剖面测试结果

中坝址发电洞引水隧洞轴线剖面：基岩岩性为泥质粉砂岩，剖面基岩界面由山坡向河床逐渐变深，河床段基岩埋深在 $52\sim 69\text{m}$ ，斜坡段基岩埋深在 $9\sim 52\text{m}$ ，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $100\sim 200\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $15\sim 38\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.7 中坝线溢洪道出口剖面测试结果

中坝线溢洪道出口剖面：基岩岩性为砂质泥岩，剖面基岩界面由山坡向河床逐渐变深，最大基岩埋深48m，最小基岩埋深9m，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $100\sim 200\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $100\sim 240\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.8 中坝线泄洪冲沙兼导流洞轴线出口剖面测试结果

中坝线泄洪冲沙兼导流洞轴线出口剖面：基岩岩性为砂质泥岩，剖面基岩界面由山坡向河床逐渐变深，最大基岩埋深32m，最小基岩埋深5m，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $100\sim 200\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $100\sim 240\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.9 中坝线泄洪冲沙兼导流洞轴线进口剖面测试结果

中坝线泄洪冲沙兼导流洞轴线进口剖面：桩号0+000~0+086段基岩岩性为砾岩，基岩埋深在 $28\sim 53\text{m}$ ，覆盖层为砂砾石层，电阻率 $46\sim 204\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $80\sim 85\ \Omega\cdot m$ ；桩号0+086~0+152段基岩岩性为泥岩，基岩埋深在 $11\sim 28\text{m}$ ，覆盖层为碎石土，电阻率 $30\sim 100\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $10\sim 15\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.10 下坝线溢洪道轴线剖面测试结果

下坝线溢洪道轴线剖面：基岩界面由山坡至河床逐渐变深，桩号0+000~0+062段基岩出露；桩号0+062~0+265段基岩岩性为砂岩，基岩埋深在 $14\sim 40\text{m}$ ，覆盖层为碎石土层，电阻率 $40\sim 60\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $120\sim 160\ \Omega\cdot m$ ；桩号0+265~0+330段基岩岩性为泥质粉砂岩，基岩埋深在 $40\sim 54\text{m}$ ，覆盖层为碎石土层，电阻率 $50\sim 70\ \Omega\cdot m$ ，基岩电阻率 $10\sim 20\ \Omega\cdot m$ 。

#### 3.11 比选泄洪排沙洞剖面测试结果

比选泄洪排沙洞剖面：基岩岩性为泥质粉砂岩，基岩界面

由山坡至河床逐渐变深;最大基岩埋深在49m,最小基岩埋深10m;覆盖层为砂砾石层,电阻率100~230 Ω·m,基岩电阻率20~60 Ω·m。

### 3.12比选发电洞剖面测试成果

比选发电洞剖面:基岩岩性为泥质沙岩,基岩界面由山坡至河床逐渐变深,基岩埋深在14~28m,覆盖层为砂砾石层,电阻率80~300 Ω·m,基岩电阻率30~70 Ω·m。

## 4 结论与评价

### 4.1结论

中坝址中坝线河床段基岩界面起伏不大覆盖层厚度44~65m,两岸山坡覆盖层厚度6~33m;中坝址中坝线趾板山坡陡坡处覆盖层厚度4~13m,缓坡处覆盖层厚度13~44m,河床段覆盖层厚度44~69m;中坝址下坝线河床段基岩界面由左向右缓慢变深,河床段覆盖层厚度30~64m,两岸山坡覆盖层厚度6~30m;中坝址下坝线趾板桩号0+000~0+235段基岩岩性为砂质泥岩,桩号0+235~0+442段基岩岩性为砾岩,河床段覆盖层厚度39~66m,山坡段覆盖层厚度6~66m;上游围堰剖面基岩界面由山坡向河床倾斜呈陡降状,河床段覆盖层厚度推测最厚处达85m,右岸浅部覆盖层厚度在5~30m;中坝址发电洞引水隧洞轴线河床段覆盖层厚度在52~69m,斜坡段覆盖层厚度在9~52m;中坝线溢洪道出口覆盖层最厚处48m,最薄处9m;中坝线泄洪冲沙兼导流洞轴线出口覆盖层最厚处32m,最薄处5m;中坝线泄洪冲沙兼导流洞轴线进口覆盖层厚度11~53m;下坝线溢洪道轴线基岩界面由山坡至河床逐渐变深,覆盖层厚度14~54m;比选泄洪排沙洞覆盖层厚度14~49m;比选发电洞覆盖层厚度14~28m。

### 4.2评价

本次工作对部分在物探剖面线上的钻孔所揭露的基岩深度与物探成果的关系进行了统计,物探成果的精度在85%以上,符合《公路工程物探规程》JTG C22—2009<sup>[6]</sup>中探测精度的要求,

见表1。

表1 物探资料解释精度

序号	孔号	钻探揭露基岩埋深(m)	物探测试基岩埋深(m)	精度
1	ZK46	25	28	88%
2	ZK48	30	26	87%
3	ZK34	50	48	96%
4	ZK35	60	58	97%
5	ZK37	6	7	84%
6	ZK69	54	56	96%
7	ZK70	52	50	96%
8	ZK71	64	66	95%

测试成果表面四极电测深在电性差异明显,覆盖面埋深较浅的探测中效果明显,能够快速有效的解决工程问题,既经济又实惠,可为类似工程问题提供参考。

### [参考文献]

- [1]张於祥.电测深法在新疆某水利工程中的应用探讨[J].广西水利水电,2020,(04):20-23.
- [2]冉军林,刘俊岩.组合激电测深装置的应用与研究[J].物探与化探,2018,42(06):1259-1263.
- [3]代方园,郭长恩,姜巧巧,等.基于CAD与Excel的电测深曲线类型图的绘制[J].安徽地质,2021,31(04):336-339.
- [4]SL/T291.1-2021,水利水电工程勘探规程第1部分:物探[S].
- [5]肖敬瑞,丁彦礼,刘良.地面高密度电阻率法在人工湿地堵塞区域探测研究[J].工程地球物理学报,2022,19(02):183-191.
- [6]JTGC22—2009,公路工程物探规程[S].

### 作者简介:

叶明(1989—),男,汉族,江西赣州人,本科,工程师,从事于地质勘探工作。