

地电井下观测装置技术指标的测试与认定讨论 ——井下观测设施构建与测试技术

马可兴, 安海静, 王 康, 张 磊

(甘肃省地震局, 甘肃 兰州 730000)

摘要:观测技术系统的设施构建技术指标认定是观测技术的核心所在, 本文结合地电井下观测设施构建工程^[1], 着重讨论针对观测装置测试的需求、技术指标测试的方法以及认定的过程。文中以具体工程参数为例, 给出 4 项测试结果, 讨论了认定依据和认定过程, 希望本讨论能对地电井下观测设施建设、指标的认定起到参考作用。

关键词:地电井下观测装置; 技术指标; 指标测试与认定

中图分类号: P319.3 **文献标志码:** B **文章编号:** 1000-0844(2013)增刊-0143-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2013.增刊.0143

Test and Identification of Technical Index of Geoelectrical Borehole Observation Equipments

——Establishment and Test Techniques of Borehole Observation

MA Ke-xing, AN Hai-jing, WANG Kang, ZHANG Lei

(Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou Gansu 730000, China)

Abstract: As the identification of technical index of observation system establishment is the core of observation technology, combing with establishment projects of geoelectrical borehole observation, we focused on requirements for test on observation devices, test methods of technical index and the identification process. By taking the specific engineering parameters as an example, four test results were summarized and the basis and process of identification were discussed. It is hoped that the discussion can play a reference role on the identification of index of geoelectrical borehole observation.

Key words: geoelectrical borehole observation equipments; technical index; test and identification of index

0 引言

武都(汉王)地电阻率观测台始建于 1974 年, 布设三个测量道, 布极方位依次为: N85°E、N54°W 和 N73°W, 观测仪器为 ZD8B, 建台以来运行状况良好, 产出优良的观测资料, 提别是 1976 年松潘 7.2 级震群, 取得了良好的震例, 被列为地电监测震例, 为地电学科的发展做出了贡献。

近年以来, 随着我国城乡基础建设、大型电力设施建设, 就武都地电台来说, 特别是武罐(武都一罐

子沟)电气铁路的建设, 带来日益严重的电磁干扰, 观测环境遭到严重破坏, 观测资料的质量每况愈下, 传统方式的地面电极、架空线路观测方式在强干扰地区已不能产出合格、有效的观测资料。事实上, 就全国来说, 这是一个带有普遍性的严峻问题。

甘肃省地震局十分重视这一倾向性问题, 早在 2001 年, 针对地电观测现实状况, 将技术改造工作列入议事日程, 若干年以来, 从未间断对观测技术改

收稿日期: 2013-11-30

作者简介: 马可兴(1973-)男(汉族), 工程师, 现从事地电观测和观测数据的处理工作. E-mail: kexing_ma@163.com

造的探索。

2010 年 10 月对原有的天水地电观测装置进行了改造,实行在原观测场地缩短极距的井下观测改造,电极埋深 100 m,电极使用新研制的 JX-2010 型地电井下观测专用电极,全地埋线路,2011 年 3 月产出资料。

两年来资料表明,观测资料的质量指标(年变化率 $F \leq 1\%$,也称分辨率系数)达到了较高的水平(2012 年为例,其它一些地面台站 $F \leq 3\% \sim 10\%$);汉王干扰更大,期望改造后年变化率能达到 $F \leq 5\%$ 的水平。

介质的电阻率(ρ_s)是物理含义清楚、量纲明确的物理量,它的本构关系决定了它是一个稳定的地球物理参数,没有外界因素扰动的前提下,连续观测值理当稳定基本不变(除观测系统的噪声外),也有研究认为:年度变化 $F \leq 0.6\%$ 。

干扰区的地面观测结果由于强干扰能的存在,年度变化率 $F \geq 10\%$,甚至更大,我们期望井下观测的 $F \leq 3\%$ 。

井下观测的重要问题是井下装置的构建,包括场地规划,布极方式。核心点是井下设施的制备、井下设施的安装两个方面。

所以,井下观测设施的构建是“地电井下观测的命脉”。大量事实表明井下观测设施的构建并不是容易办到的事件。早在上世纪 80 代人们就开始探索井下观测,在山东等地先后建立一定数量的地电井下观测台站,要取得长期优质观测资料是困难的;近年以来,一些省局再次尝试井下观测,构建了不同方式的井下观测设施,近三年来甘肃省地震局先后在天水、武都、平凉构建了三个台站的地电井下观测装置。

如何测试、量化、认定这些观测实施的完好性是本文讨论的内容,本文以汉王 2012 年新建的地电井下观测设施为例,用四个指标来认定新建设施的完整性。认为这四个指标是量化和认定地电井下观测系统完整性、完好性的必须功课。

笔者要指出的是,无数事实揭示了井下观测设施构建的种种困难和潜在风险。地电井下观测设施建设的投资大(每个工程数百万元),风险高(钻孔安装完成一次性回填,瑕疵不可修复),我们尽管完成天水、武都、平凉地电井下观测工程,并协助浙江省地震局完成长兴地电井下观测设施建设,但并不代表绝对的成熟,必将在实践中得到再优化、再完善,希望本讨论能对地电井下观测设施建设、指标的认

定起到抛砖引玉的作用。

1 电缆绝缘指标的测试结果与认定

在地面上观测中可以直观地查看每条线路,判断绝缘状态,也能够用仪表直接查验每条线路的绝缘指标,然后根据《地电观测规范》中有关线路绝缘的指标来界定是否达标。具体测试时借助电极端的“断线器”装置断开电缆与电极的连接,在观测室一端用兆欧表来测试,当实测结果大于《地电观测规范》中的指标($\geq 10\text{ M}\Omega$)时,界定为合格,地面线路的绝缘指标测试容易操作,而井下电缆的绝缘界定相对要困难很多,我们针对这一测试需求,在井下工程中安排了如下的测试措施:

(1) 每个电极独立接一条 4 芯电缆,每条井下电缆的屏蔽网或者 4 根芯线中的其中一根在电极端做绝缘,在地面端作为该条电缆的绝缘测试替代线,这样就具备了井下电缆绝缘测试的条件;

(2) 以在地面一端实现了对电缆绝缘测试的汉王地电井下观测设施为例,表 1 为 2013-10-19 绝缘测试结果。

表 1 2013-10-19 电缆对地绝缘测试结果

电缆序号	绝缘测试结果/MΩ	认定结论	
地面电极	1	600	合格
	2	400	合格
	3	500	合格
	4	500	合格
	5	500	合格
	6	500	合格
	7	500	合格
	8	500	合格
井下电极	11	300	合格
	12	400	合格
	13	400	合格
	14	400	合格
	15	400	合格
	16	400	合格
	17	500	合格
	18	400	合格
井下垂向	9	500	合格
	10	500	合格
	19	8	合格

注: 1、合格的认定依据:《地电观测规范》中绝缘指标:
 $\geq 10\text{ M}\Omega$,测试结果大于等于该值界定为合格;
2、19 为继电器线包与触点之间的绝缘值,触点连着电极;线路绝缘合格

武都汉王地电井下综合观测工程由 8 口孔钻组成电极安装,每孔在地面 5 m 深度、井下 155 m 深度各安装 1 只电阻率电极,每只电极用独立的 1 条 4 芯电缆引出地面,电极序号与电缆的序号一对一。汉王布极全部在台站院子内,布极在垂向有 150 m

较长极距的优势。

地面电极序号见图 1(a),井下电极序号见图 1(b)。

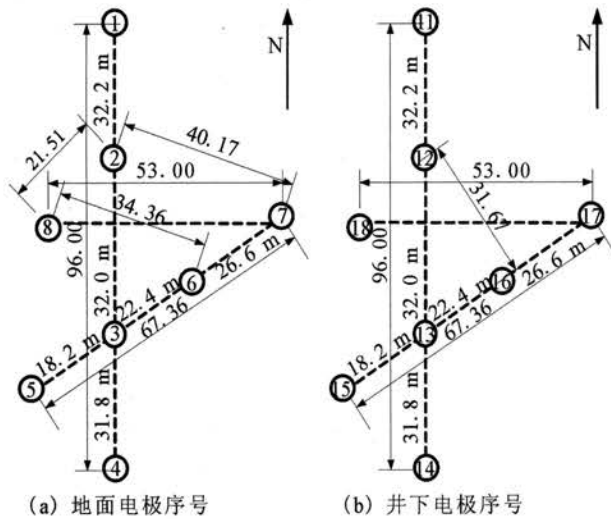


图 1 地面电极序号与井下电极序号

Fig. 1 Sequence number of ground electrodes and borehole electrodes

由表 1 可见,每条线路绝缘实测值>《规范》指标,故认定绝缘合格,指标优秀。

2 电缆通断指标的测试结果与认定

在通常的地面观测中线路布局看得见,通断状态相对比较好检查,但在井下观测中线路的通断状态是看不到的,只能借助仪表在地面测试和判定。那么,这就需要井下电极、电缆具有恰当的通断测试功能来满足地面测试的需求。

我们在设计、实验这一功能时还统筹考虑了一些其它因素,电极具备双引线功能测试,利用电缆的两根芯线可实现电缆的通断测试,满足测试需求。

每条线路的通断状态可以在地面的“测试箱”中完成,借助数字万用表很方便地实现通断测试。

表 2 中的“电极引电阻”一栏就是汉王井下观测装置电缆通断测试的一个实例,数字万用表为优利德 61B 型万用表,分辨率为 0.1 Ω,虽然分辨率低了一点,但对于判断井下线路的通断状态测试已经足够,测试结果见表 2,要说明的是测试结果分辨率为 0.1 Ω,它是双线的导线电阻,表 2 给出的是单线的导线电阻,计算得到分辨率为 0.05 Ω。

表 2 的通断测试结果表明,汉王井下观测设施的每条线路是良好的。

3 电极耦合状态稳定性的测试与认定

电极稳定性是观测设施中的一个重要指标,它除了取决于电极自身的性能之外,还取决于电极的耦合状态——即电极的接地电阻。

表 2 2013-10-19 电缆通断、导线电阻测试结果

电缆序号	绝缘测试结果/MΩ	认定结论
地面电极	1	0.65 合格
	2	0.55 合格
	3	0.35 合格
	4	0.55 合格
	5	0.45 合格
	6	0.2 合格
	7	0.35 合格
	8	0.4 合格
井下电极	11	1.7 合格
	12	1.6 合格
	13	1.4 合格
	14	1.6 合格
	15	1.55 合格
	16	1.3 合格
	17	1.4 合格
	18	1.45 合格
井下垂向	9	0.75 合格
	10	1.05 合格
	19	1.95 合格

在通常的地面观测中,电极的接地电阻可用接地电阻测试仪来测量,进而判断电极与大地的耦合状态。在《地电观测规范》中也给出了相应的接地电阻指标要求。而在井下观测中不具备用接地电阻测试仪直接测量的条件,井下线路也不可作断开后在测试。那么,电极耦合状态如何界定呢?我们将采用两种方式:

(1) 直接用数字万用表测量电极之间的自然电位差,着重观察该测值的稳定性,并且绝对电位差不应该过大;相反,当电极与地下介质接触不良时,测值漂移,绝对值也较大,这是由高输入阻抗的仪表自身的特性所决定的。

2013-10-19 汉王井下观测装置的实测值见表 3,据测试状态认定,每个电极的耦合良好,测值稳定。

(2) 借助稳流源直接给被测试回路供电,计算回路电阻,从而估算电极的接地电阻,这种方式实际得到两个电极的接地电阻与介质电阻的串联值。具体方法是:稳流供电时用万用表测出两个井下电极之间供电电压 V ,供电电流 I ,即可求得回路电阻 R 。

$$R(\text{回路电阻}) = V / I$$

事实上,回路电阻 R = 两根导线的电阻 + 两个电极的接地电阻 + 回路中介质的电阻。减去两根导

线的电阻后就是两个电极的接地电阻和回路中介质电阻的串联值,从中同样可以估算两个电极的接地电阻会不会超过《规范》指标。

汉王的实测结果表明,井下观测设施中每个电极的接地电阻均小于 $6\ \Omega$ 。满足《观测规范》中 $\leq 30\ \Omega$ 的指标要求,认定合格。

表 3 2013-10-19 电极接地电位差、稳定性测试结果

电极号	1 号电极与其它电极间的电压/mV
1	公共极,红表笔
4	-47.9
5	64.7
7	6.5
8	70.0
AB 电极	11
	14
	15
	17
	18
	19
	2
	3
MN 电极	6
	12
	13
	16
	10
ABMN	9

4 井下电极电缆序号的测试与认定

同样,井下观测设施中电极和电缆序号对应的准确性是十分重要,以免出现张冠李戴引起混乱,况且井下观测装置中电极、电缆的数量较多,例如天水井下工程 20+12(地电场)个电极,汉王井下观测 19 个电极,平凉井下观测 29 个电极)。如何验证数量较大的电极、电缆序号的准确性、获取准确的证据是个很实际的问题。笔者认为没有这个准确性界定,不能投入观测使用。

本文以汉王井下观测设施的构建为例来讨论电极、电缆序号准确性的认定过程。

图 1 的观测装置可以构成地面、井下 4 个环路,如图 2 中的红线所示。每个环路在物理结构上是独立的,并且独立处在地下介质中,由介质构成环路,任意一环路中每两个电极之间必然存在电位差,而环路的电位差之和恒等于零,但由于测量积累误差的原因,必然存在少量误差。

这一原理是验证电极与电缆序号对应的准确性的一个有效的手段。现以来讨论验证过程和结果。

图 2 中在红线旁标注的数值为 2013 年 1 月 19

日现场测试得到的两电极之间的电位差值,计量单位为 mV,图中省略了测值的正负号。4 个环路依次为:

(1) 图 2 左侧电极①、⑦、④、⑤、⑧构成地面外环,取绝对值后也可以是半环之和等于另半环之和:即 $224+20.5+14.1$ 近似等于 $145.8+104.3$,二者之间差 8.5 mV,属于测试累计误差。

(2) 图 2 左侧电极②、⑥、③构成地面内环,取绝对值后得 $165.2+32=197.2$ 二者一致。

(3) 图 2 右侧电极 11、17、14、15、18 构成井下外环,取绝对值后得到上半环等于下半环 $46.7+221.7=183.8+44.4+35.7,268.4、263.9$ 二者差 5.5 mV,属测试累计误差。

(4) 图 2 左侧电极 12、16、13 构成井下内环,取绝对值后得 $48.1+139.1=187$ 二者差 0.2 mV,吻合。

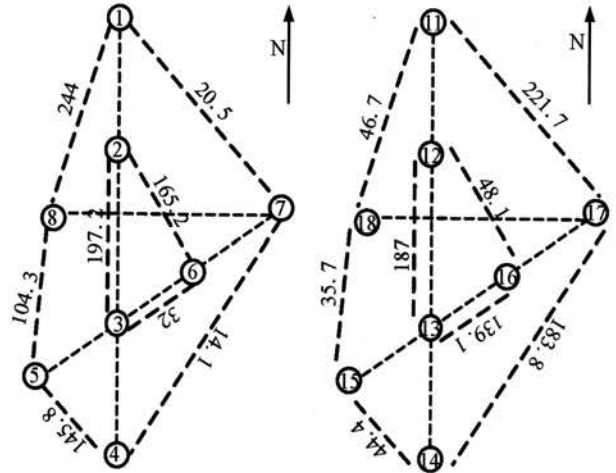


图 2 用于界定电极、电缆序号准确性的环路
Fig. 2 Ring circuit used to define the sequence number accuracy of electrodes and cables

以上 4 个环路的测试差值分布为 8.5、0、5.5、0.2 mV,均小于任意两个电极间的电位差,符合环路电位差之和恒等于零的原理,因此认定每个电极与电缆序号的对应序号准确无误。

5 人工测量与仪器测量结果的对比和认定

这项测试的目的在于界定观测系统中仪器设备的完好性,由于井下观测道数多(汉王 13 个测道),人工测量、计算的要量大一些,需要较长的时间来测试。

具体做法是完全脱离观测仪器,沿用各测道装置系数 K,用稳流源供电、用数字万用表分别测量自然电位、供电电流、求取人工电位差,计算得到各个测道的视电阻 ρ_s ;然后用仪器自动观测,得到各个

测道的视电阻 ρ_a ,二者相比即可,测值应该比较一致,当然数字万用表的精度要低一些,测值不可能完全相同。

汉王通过上述方式界定了仪器设备的完好性,同时也检验了测量参数设置的完好性。

6 总结

本文总结了 2013 年 10 月 19 日汉王现场测试过程和结果。这是针对新建观测设施、观测仪器完好性的 5 项测试,本测试请赵家骝老师现场指导,整体测试工作步步到位,关注到新建观测系统的每一个细微环节,测试目标清晰,测试原理清楚,测试方

法完善,测试工具简洁易行,非常适合检验新建设施。

深感本方法有必要在新建地电井下观测系统的指标界定中推广应用。

致谢:感谢赵家骝老师的现场指导!

汉王地电井下观测系统,通过上述五项现场查验,用指标佐证了观测系统构建的完好性。

参考文献

[1] 康云生,等.天水地电阻率地表与井下多种观测方式的试验分析[J].地震工程学报,2013,35(1):190-195.