钻孔压水试验测试仪及其在古贤水利枢纽工程中的试验应用

张成志, 尹 丹, 郭 明
(黄河勘测规划设计有限公司地质勘探院, 河南 洛阳 471002)

摘 要: 工程地质勘察中进行干深孔的常规性压水试验是长期困扰水利水电钻孔压水试验的技术难题, 为解决该问题, 自行研制了钻孔压水试验测试仪, 并在古贤水利枢纽工程中进行了试验应用, 取得了很好的效果。结合工程实践, 综合分析了钻孔压水试验测试仪在古贤水利枢纽中的试验应用情况。

关键词: 干深孔; 压水试验测试仪; 原位渗透试验; 古贤水利枢纽
中图分类号: TU41 文献标识码: A 文章编号: 1672-7428(2010)12-0032-04

Experimental Application of Borehole Water Pressure Test Instrument in Guxian Hydro-junction Project/*ZHANG Cheng-zhi, YIN Dan, GUO Ming* (Geological Survey Institute of Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Luoyang Henan 471002, China)

Abstract Conventional water pressure test in dry deep hole of engineering geological investigation has been a technical problem in water pressure test for water conservancy and hydropower borehole. To solve the problem, borehole water pressure test instrument was developed and experimentally applied in Guxian hydro-junction project with good results. Based on the engineering practice, the paper made the comprehensive analysis on the application situation.

Key words dry deep hole; water pressure test instrument; in-situ permeability test; Guxian hydro-junction

钻孔压水试验是工程地质勘察中最常用的原位渗透试验之一, 其主要目的是测定岩体的透水性, 为岩体渗透特性的评价提供基本资料。目前在国内水利水电钻孔压水试验方法中, 流量数据观测采用流量表, 压力数据观测采用压力表。流量表和压力表均布置在孔外, 试验压力的得出需综合考虑多方面因素并经过繁琐的计算, 且在各个操作环节中人工误差和设备误差较为明显, 得出的数据不够精确。特别是在干深孔中, 只能通过提升压力阶段来完成压水试验。而根据压水规范的规定可知, 三级压力的值宜分别为 0.3、0.6和 1.0MPa。压力过高容易产生地层抬动, 不能准确的反应地层的实际渗透情况。而双管循环法不用考虑压力损失问题, 可以完成干深孔三级压力 5个阶段的压水试验, 但是需要下两套管子, 对小口径金刚石钻孔不适用, 且操作过程复杂费时, 钻孔较深时尤其如此。

鉴于此, 我院自行研制了钻孔压水试验测试仪, 并在古贤水利枢纽工程项目建议书阶段的地质勘察工作中试验应用。

1 工程概况

1.1 工程概述

黄河古贤水利枢纽工程位于黄河北干流的晋、陕峡谷下段南部, 左岸为山西省吉县文城乡古贤村, 右岸为陕西省宜川县阁楼乡南庄村。距离举世闻名的黄河壶口瀑布上游约 10 km。该水利枢纽电站规划装机 256万 kW, 具有防洪、减淤、供水、发电、调水、灌溉等综合效益。该工程的建设不仅对晋陕两省发展引水灌溉、促进地区经济发展具有重大现实意义, 而且对实现水资源的可持续利用, 支持经济社会的可持续发展具有极其深远的影响。

1.2 工程地质条件

坝址区河水面高程 465 m, 河谷底宽 455 m。河床覆盖层厚度为 1~7 m; 右岸高程 470~475 m 处残存 I级阶地, 顺河带状分布, 宽度 20~30 m。两岸谷坡不对称, 高程 625 m以上为黄土覆盖, 以下基岩裸露。

根据已获得的地质资料, 古贤水利枢纽工程地质情况比较复杂, 勘探任务书中的坝肩压水试验孔绝大部分为干深孔, 在保证压水试验成果质量的前

收稿日期: 2010-05-05; 修回日期 2010-10-19

作者简介: 张成志 (1982-), 男 (汉族), 安徽淮北人, 黄河勘测规划设计有限公司地质勘探院助理工程师, 勘查技术与工程专业, 从事水利水电工程勘察工作, 河南省洛阳市启明西路 34号, fengyun52@163.com。

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

提下如何进行正常的 五点法 压水试验, 是需要解决的问题。

1.3 技术要求

古贤水利枢纽工程的项目建议书阶段地质勘察任务书规定, 钻孔终孔孔径不小于 75 mm, 压水试验按三级压力、5个阶段进行。定出了 P_3, 其余两级压力 (P_1、P_2) 应分别为 $1/3P_3$、$2/3P_3$。三级压力值宜分别为 0.3、0.6和 1.0 MPa。

2 钻孔压水试验测试仪

2.1 钻孔压水试验测试仪结构原理

钻孔压水试验测试仪严格按照 水利水电工程钻孔压水试验规程 (SL 31-2003)研制, 为全汉化菜单操作, 具有标定、参数设置、回零、数据采集、数据存储、$P-Q$ 曲线绘制、数据处理、输出等功能。它主要包括: 数据采集与处理系统、流量传感系统、压力传感系统等。流量传感系统和压力传感系统分别将流量、压力信号传输到数据采集系统, 然后在数据处理系统中进行运算并以数字形式显示到操作界面。整体结构及工作原理如图 1、图 2所示。

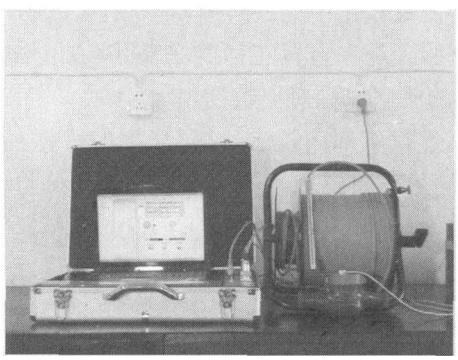

图 1 钻孔压水试验测试仪整体结构示意图

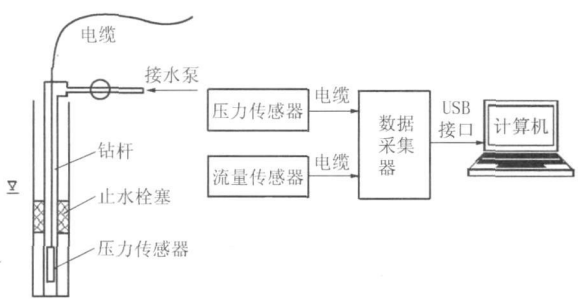

图 2 工作原理示意图

2.2 钻孔压水试验测试仪的操作方法

地面管路及信号传输通道按要求连接完毕后, 选择塞位安装栓塞, 压力传感探头从钻杆内管下至试段内 (注: 由于压力传感器直径稍大, 不能完全下至试段中, 只能下至栓塞上部位置), 安装孔口密封器, 整套压水试验测试系统则连接完毕。

仪器的使用操作步骤可概述如下:

仪器设备准备及检查 试验管路连接 试验仪器连接 地下水位测量 压力置零 开泵试压、管路检查 五点法压水试验 试验数据保存及打印输出 管路卸压、停泵 程序退出、线路拆除 管路拆除。

3 工程应用

3.1 试验概况

2008年底, 我院承担了古贤水利枢纽项目建议书阶段的勘探工作, 其中有不少压水试验孔。根据前期勘测资料分析, 此次压水试验钻孔大多为干深孔。

在此次勘探工作中, 由于该仪器尚处于试验阶段, 因此试验过程采用常规方法与压水测试仪器同时工作的方式, 即把 2套测量仪器的地面管路系统串联起来。同时记录常规仪器和钻孔压水试验测试仪的测量数据, 并把 2组数据进行比对。

仪器首先在右岸坝肩孔压水试验中使用。在开始阶段, 试验过程中硬件、软件都出现了一些问题, 如硬件的牢固性不够, 采集到的流量数据波动较大, 软件的人性化操作需完善等。技术研发人员及时跟进, 对相应问题做了改进。到了勘探工作的中期, 该仪器的各项功能得到基本完善, 机组操作人员经过简单的培训后均可熟练的掌握整套仪器的操作方法和日常维护事项。

该仪器的数据采集程序操作界面如图 3所示, 压力和流量窗口显示均为瞬时值, 由现场操作人员通过调节地面管路系统中的进水、回水阀门进行控制, 界面左侧的数据栏为采集到的压力、流量值。在数据满足该阶段的结束标准后, 操作人员再通过调节阀门控制流量进入下个试验阶段, 最终按要求完成该试段压水试验。

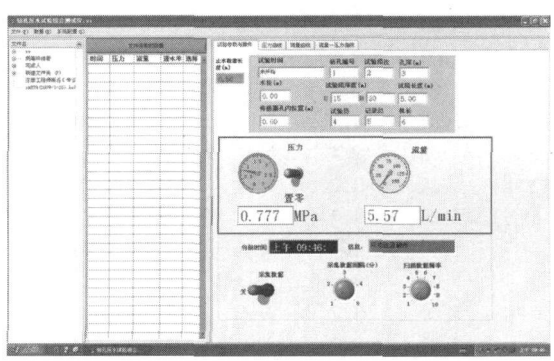

图 3 钻孔压水试验测试仪电脑操作界面

3.2 效果分析

通过 3个多月的试验应用, 钻孔压水试验测试

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

仪表显出了良好的性能,很好地完成了古贤水利枢纽工程项目建议书阶段的压水试验工作。

(1)压力传感系统性能稳定,且可测量地下水位。

水利水电工程钻孔压水试验规程 (SL 31-2003)规定,下栓塞前应首先观测 1次孔内水位,试段隔离后,再观测工作管内水位。水位观测应每隔 5 min进行 1次,当水位下降速度连续 2次均小于 5 cm/min时,观测工作方可结束。

地下水位观测的常规方法是采用测绳结合万用表来测定,人为因素对于数据的准确性影响很大,误差在所难免且相对误差常常较大。利用钻孔压水试验测试仪测量地下水位是在地面管路系统连接好后,压力传感端头下入孔内并固定安装,通过压力传感器测出净水头压力,压力值即时反应到系统操作界面,利用简单的水柱压力计算公式可反推计算出地下水位。该方法相较于传统的测绳更方便准确,所见即所得 的操作界面方式使得操作人员能够更直观地了解地下水位的变化过程,也在很大程度上减少了常规方法中由于孔内情况复杂导致的试验者对于真实水位主观性判定带来的误差。水位测量结束后,相较于常规观测,无需进行测绳提取、长度测量等辅助工作,可直接进行下一步的压水试验,在一定程度上提高了工作效率。

(2)压力数据的采集过程简洁明了,无需考虑管路压力损失和水柱压力的影响。

常规压水试验中,为了保证压水试验数据的精确性,试段压力值应综合考虑压力计指示压力,水柱压力以及管路压力损失。水柱压力要通过计算压力计中心至压力计算零线的垂直距离来获得。管路压力损失要综合考虑管路长度、接头个数和瞬时流量等因素的影响,计算相当复杂且存在一定的误差。

钻孔压水试验测试仪压力采集系统的传感探头置放在试段中间,首先通过压力传感器置零操作消除了地下水位对试段产生的水柱压力影响,试验进行中传感探头反映到操作界面上的瞬时压力示值即为试段所承受的真实压力,无需再考虑水柱压力和管路压力损失的影响,免去了繁复的计算,不仅保证了数据的准确性,也提高了工作效率。

(3)流量传感系统工作效果良好,相对误差小。

通过大量的现场对比试验论证,钻孔压水试验测试仪的流量传感系统性能稳定,采集到的流量数据真实可靠。

表 1为现场采集到的古贤工区某钻孔压水试验的流量对比资料。相应对比数据均为每一压力阶段下 5个流量数据中的最终值。

试验人员在古贤工区共采集了 13个试验孔计 237段的压水试验对比数据。

经过权威部门检定,仪器采集的数据相对误差较小,满足试验要求。图 4为现场压水试验现场。

表 1 压水试验流量数据比对表 /(L·m·min^{-1})

段次	段长/m	0.30 MPa		0.60 MPa		1.00 MPa		0.60 MPa		0.30 MPa		透水率/Lu	
		人工	机读	人工	机读	人工	机读	人工	机读	人工	机读	人工	机读
1	5.00	10.5	10.14	17.7	17.53	40.2	39.68	22.0	22.07	13.5	13.62	8.04	7.94
2	5.00	13.5	13.78	24.4	24.67	40.0	40.32	25.3	25.34	15.0	14.85	8.00	8.06
3	5.00	3.5	3.44	9.5	9.20	17.8	17.73	9.5	9.52	2.9	2.97	3.56	3.55
4	5.00	1.7	1.44	4.8	4.62	9.1	8.82	4.9	5.01	1.5	1.38	1.82	1.76
5	5.00	2.2	2.06	4.5	4.21	10.3	10.15	4.3	4.27	2.0	1.89	2.06	2.03
6	5.00	0.7	0.73	2.2	2.06	5.4	5.28	2.2	2.14	0.8	0.65	1.08	1.06
7	5.00	1.1	0.98	3.0	2.81	4.7	4.57	2.4	2.57	1.2	1.01	0.94	0.91
8	5.00	9.0	9.41	12.7	13.19	19.5	19.70	12.5	12.86	8.8	8.97	3.90	3.94
9	5.00	2.1	1.84	4.0	3.75	10.7	10.40	3.6	3.40	2.0	1.66	2.14	2.08
10	5.00	1.1	0.91	3.7	3.44	7.6	7.65	3.0	2.87	1.6	1.45	1.52	1.53
11	5.00	2.4	2.44	4.6	4.57	10.4	10.29	4.4	4.28	2.2	2.06	2.08	2.06
12	5.00	1.2	1.05	3.9	3.97	8.5	8.34	3.8	4.00	1.3	1.22	1.70	1.67
13	5.00	1.2	0.86	2.2	1.86	3.9	3.71	1.9	1.64	0.7	0.57	0.78	0.74
14	5.00	1.8	1.81	4.9	5.00	9.9	9.91	5.4	5.19	2.2	2.32	1.98	1.98
15	5.00	1.4	1.43	2.6	2.72	6.1	6.10	3.1	3.00	1.2	1.50	1.22	1.22
16	5.00	1.7	2.19	3.5	4.07	7.4	7.98	3.8	4.12	1.5	1.87	1.48	1.60
17	5.00	1.2	0.91	3.0	2.74	4.8	4.57	3.2	2.74	1.2	0.88	0.96	0.91
18	5.00	1.0	0.85	4.8	4.73	9.0	8.81	5.2	5.14	0.9	1.10	1.80	1.76
19	5.00	1.3	1.00	4.1	3.98	5.8	5.61	4.0	3.79	1.5	1.35	1.16	1.12
20	5.00	1.8	1.83	4.1	4.00	8.3	8.22	3.3	3.68	1.9	2.14	1.66	1.64
21	7.60	1.9	1.61	3.2	2.94	7.3	7.31	3.1	3.03	2.0	1.88	0.96	0.96

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图 4　现场采集对比数据

(4)数据记录反映真实, 自动完成数据分析与输出, 数据保存便利。

钻孔压水试验测试仪的数据均采用传感技术自动采集、识别, 采集后的数据通过信号传输通道直接进入操作电脑的程序面板进行显示。数据精度高, 且避免了人工读取数据过程中的不及时、不精确、不均匀及随意性等缺陷, 从而对地层情况的反映更真实、更可靠。

数据采集程序将采集到的数据通过处理后, 可直接将记录的数据、自动生成的曲线通过普通打印机进行打印输出, 而无需人工填表、绘制曲线, 从而可直接进行统计分析, 减省了对每个孔段的数据计算和曲线绘制, 大大提高了工作效率。图 5、6为电脑自动生成的古贤工区某一试段压水试验的相关参数和曲线。

钻孔压水试验测试仪在古贤水利枢纽坝肩压水试验孔的应用过程中, 自身性能得到了很好的检验, 同时也通过不断的改进与完善, 数据采集更趋稳定, 操作界面的人性化设计也得到很好的提高, 并考虑

zk111 号钻孔压水试验记录表

试段编号: 8　自 65.00m 至 70.00m　段长 5.00m　日期: 2009-5-8 14:31:39

时间(时:分)	压力(MPa)	流量(L/min)	透水率(Lu)
2:41	0.330	2.59	1.57
2:42	0.330	2.62	1.59
2:43	0.320	2.51	1.57
2:44	0.320	2.44	1.52
2:45	0.320	2.40	1.50
2:49	0.600	4.04	1.35
2:50	*0.610*	4.19	1.37
2:51	0.620	4.35	1.40
2:52	0.640	4.52	1.41
2:53	0.640	4.29	1.34
3:08	0.970	11.45	2.36
3:09	0.990	11.37	2.30
3:10	0.980	11.52	2.35
3:11	0.970	11.44	2.36
3:12	0.980	11.49	2.34
3:15	0.610	6.16	2.02
3:16	0.600	6.11	2.04
3:17	*0.620*	*6.01*	1.94
3:18	0.610	5.91	1.94
3:19	0.610	5.81	1.90
3:21	0.310	2.54	1.64
3:22	0.300	2.41	1.61
3:23	0.310	2.49	1.61
3:24	0.310	2.46	1.59
3:25	0.310	2.42	1.58

图 5　仪器自动生成的试验数据图

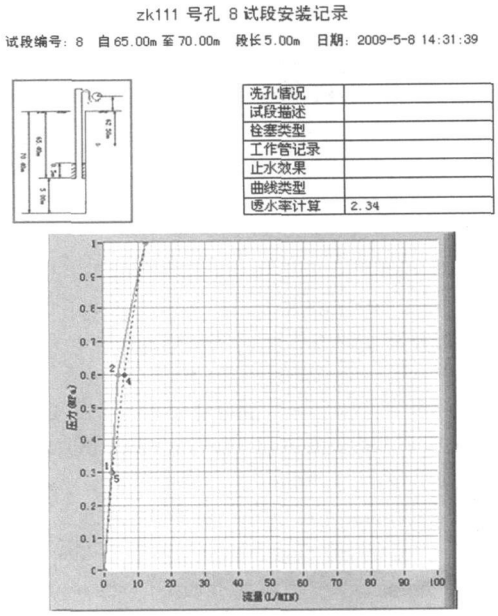

图 6　仪器自动生成的 $P-Q$ 曲线

到外业施工环境的制约, 设备硬件结构上更密闭牢固。钻孔压水试验测试仪符合压水试验规程的规定, 很好的完成了古贤水利枢纽项目建议书阶段的地质勘察工作, 解决了 干深孔压水试验三级压力五个阶段压力量测 的技术难题。

4　结论

钻孔压水试验测试仪可以在干深孔中, 不需提高压力而进行常规性压水试验, 测定的数据精确、可靠。其结构轻巧、携带方便, 能够适应野外恶劣的工作环境, 且功能齐全, 操作简单, 数据采集稳定, 不用考虑管路压力损失及水柱压力对真实结果的影响, 免去了繁琐的计算与甄别。此外还可方便准确地测量孔内地下水位。通过此次试验应用, 证明该仪器采集数据准确便捷, 相比于人工读数的误差大大减小, 降低了劳动强度, 提高了工作效率。

钻孔压水试验测试仪能够很好的应用于各种地层情形中的钻孔压水试验, 在钻孔压水试验中具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1]　SL 31-2003, 水利水电工程钻孔压水试验规程 [S].
[2]　彭程, 钱钢粮. 21世纪水电发展前景展望 [J]. 水力发电, 2006, (2).
[3]　梁智权. 流体力学 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2002.
[4]　李念军. 论钻孔压水试验参数选择及成果计算方法 [J]. 云南水力发电, 2008, (1).
[5]　赵玉刚, 邱东. 传感器基础 [M]. 北京: 北京大学出版社、中国林业出版社, 2006.

© 1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net