

苏丹大坝勘察岩体压水试验存在问题浅析 及试验成果分析研究

段伟强¹, 何金生², 李石雷¹

(1. 华北有色工程勘察院, 石家庄 050021; 2. 河北省电力勘察设计研究总院, 石家庄 050031)

摘要: 在大坝地质勘察中, 压水试验是检测岩体渗透性的关键实验。随着科技的发展, 利用电脑和人工智能仪器进行压水试验的新方法日益成熟。本文通过介绍新型压水试验仪器, 理论计算和操作过程中存在的问题及解决方法, 同时结合苏丹 Dagash 大坝 032 号钻孔岩体的压水试验结果, 分析了吕荣值和岩体完整度之间的关系, 总结了利用吕荣值判断岩体裂隙发育情况的经验, 为类似工程提供一定的参考。

关键词: 大坝勘察; 压水实验; 吕荣值, 岩体裂隙

中图分类号: P641.73

文献标识码: A

Analysis and study of problem s and results in Lugeon test in dam investigation project in Sudan

Duan Weiqiang, He Jinsheng, Li Shilei

(1. North China Engineering Geo - Investigation Institute, Shijiazhuang 050021, China;

2. Hebei Electric Power Design & Research Institute, Shijiazhuang 050031, China)

Abstract: Lugeon test is the key method testing the rock permeability in dam investigation projects. With the development of science and technology, the new method that using computer and artificial intelligent apparatus for Lugeon test is increasingly maturity. This article introduces the new Lugeon test apparatus, theory and problems happening during operation as well as solutions thereof. In the meanwhile, using the Lugeon test data of borehole 032 in Dagash dam investigations project in Sudan as example, this article analyses and researches the relationship between Lugeon values and soundness of rock, summarizes the experiences that judging the joints by Lugeon value, and provides some references for similar project in future.

Key words: dam investigation; water pressure test; Lugeon value; rock joints

0 序言

压水试验理论虽然早就提出, 但受社会科技条件的限制, 试验方法以及试验结果经常差强人意。随着科技的发展, 尤其是电脑技术和人工智能技术的应用, 为压水试验方法自动化、精确化带来新契机。采用电脑智能系统自动记录数据、监控试验过程和处理压水试验数据的新方法比过去人工手动记录、处理数据的旧方法减少了人为误差, 提高了压水试验成果的准确性和可靠性。

1 压水试验

1.1 试验原理

压水试验或吕荣试验是量测在压力作用下原位岩体接受水多少的实验。此试验最初由吕荣 (Lugeon) 提出, 作为灌后岩体不透水性的测量标准, 压水试验广泛应用于测量坝基岩体的透水性。实质上是测量在给定压力下、给定时间内无套管孔段的漏水量。此试验用于评价岩体的吸浆量, 检验灌浆效果, 获取有关岩体破裂面的发育程度, 或用来估算钻孔附近岩体的渗透性^[1]。

试验结果通常用吕荣单位表示。岩体透水性为 1 吕荣的含义是在地下水位以上 100m 高的水头作

收稿日期: 2009-02-05; 修订日期: 2009-06-03

作者简介: 段伟强 (1983 -), 男 (汉族), 陕西宝鸡人, 硕士, 助理工程师。

用下, 每 1m 试验段每分钟的吸水量为 1 升。

1.2 吕荣值 (Lugeon) 计算公式

使用计算机和数据记录仪记录实验过程中每分钟岩体的吸水量和施加的最大压力, 参照下列公式 (1) 计算岩体的吕荣值^[1]。

$$L_u = \frac{Q}{PL} \quad (1)$$

式中: L_u ——吕荣值; Q ——压入流量 (m^3/s); P ——施加压力 (MPa); L ——试验段长度 (m)。

把吕荣单位换算成渗透系数, 即 1 吕荣相当于渗透系数 10^{-7}m/s 。渗透系数的近似值还可以用下面的公式计算^[1]。

$$k = \frac{Q}{2HL} \lg \frac{L}{r} \quad (2)$$

式中: k ——渗透系数 (m/s); Q ——压入流量 (m^3/s); H ——试验水头 (m); L ——试验段长度 (m); r ——钻孔半径 (m)。

2 试验仪器

GMS2008 智能灌浆记录仪在灌浆过程中可实时显示各种灌浆参数、记录和曲线, 使采集的灌浆数据自动生成要求的各级曲线和数据成果、图表。



图 1 GMS2008 智能灌浆自动记录系统

利用 GMS2008 智能灌浆自动记录系统 (图 1), 配合压水实验管路, 可以准确有效的记录并计算出岩体的吕荣值, 对岩体的渗透性做出正确的判断。

3 压水试验存在问题及解决方法

综合设备故障、人为失误及自然环境的影响, 压水试验一般存在以下 5 个方面的问题。

3.1 电脑存在问题及解决方法

(1) 电脑系统

GMS2008 智能灌浆记录系统所用电脑必须安装 Microsoft windows XP 系统, 记录软件不兼容其他操作系统。

(2) 电脑 USB 插口

检测仪器连接时, 有时候检测软件会显示仪器没有连接。此时, 关闭记录软件, 拔出连接记录仪的数据线, 仔细清理电脑 USB 插口和数据线中的灰尘和异物, 重新插入 USB 插口, 再次检测连接, 如此重复几次, 直到电脑显示仪器连接成功为止。

(3) 连接记录仪的数据线

检测仪器连接显示仪器连接成功后, 但是软件显示没有压力和流量数据。此种情况下, 检查连接记录仪的数据线, 及时更换新数据线, 再次检测如果显示有数据, 说明旧数据线被损坏。

(4) 水晶插线

软件显示的的压力和流量数值为系统默认数值, 则证明连接压力计、流量计和记录仪的水晶插线连接有误, 重新检查线路连接或更换新水晶插线。

3.2 记录软件存在问题及解决方法

(1) 记录软件

GMS2008 系统记录软件有旧版的 902 和新版的 908。旧版软件必须使用旧版记录仪 (黑白字体), 软件安装时不需要驱动程序, 安装后只要注册就可直接使用; 而新版软件必须使用新版记录仪 (彩色字体), 需要安装驱动程序, 注册后方可使用。

(2) 数值测量量程范围

压力值的量测范围一般为 $0 \sim 1.5 \text{MPa}$, 而流量值的量测范围一般为系统默认的 $0 \sim 150 \text{L}/\text{min}$ 。

(3) 记录软件误差调整

进行压水试验时, 软件记录的的压力值和压力表显示的的压力值存在偏差。在试验进行之前, 测试在各段试验压力下误差值大小, 确定和修改偏移值。

(4) 数据记录

试验进行时, 有时候软件记录压力值会出现微小变化, 必须通过调整回水管旁路阀门控制流量以确保压力值保持稳定不变。

3.3 仪器设备故障及解决方法

(1) 压力计和压力表

试验进行时, 记录的的压力值变化很大, 难以达到稳定, 可能是压力计中的液压油不足和老化所造成的, 对液压油进行更换可以解决压力不稳定现象, 压力计中的液压油一般一个星期更换一次。如果电脑软件显示没有压力, 可能压力计损坏, 更换新的压力计重新试验。压力计必须密封保存, 防止生锈。

有时候压力表读数和软件显示压力值偏差很大, 说明压力表存在问题, 必须定期对压力表进行校准和保养, 保证压力表清洁、准确。

(2) 流量仪

流量仪安装在管路中时, 应该按流量仪上标示的水流方向安装, 流量仪的电源必须在管路满水的状态下方可接通。

软件记录显示流量值为 0 时, 在检查线路连接没有问题的情况下, 流量仪出现了如下问题:

如果流量仪内电源指示灯未亮, 说明 0.1A 电源保险或者电源线出现问题, 可用万用表测试, 更换新的电源保险或者电源线。

在电源正常情况下, 还是没有流量值, 可能是 0.1A 和 0.3A 的信号保险或流量仪信号输出线出现问题, 可用万用表测试, 更换新的信号保险或信号输出线。

上述两种情况都正常条件下, 说明流量仪硬件出现问题, 应及时更换新的流量仪。

(3) 三相水泵

由于五点法试验时要求的最大压力为 0.7MPa, 所以试验时必须采用三相大泵量水泵, 以确保试验压力。如果试验进行时, 在流量不大的情况下, 试验压力上不去, 达不到试验要求压力, 说明水泵存在问题, 可能是三相水泵电源连接错误, 要及时切断电源并检查线路连接, 防止损坏水泵。

(4) 止浆塞和管路连接

在试验进行一段时间后, 孔口出现返水现象, 主要有 4 个原因: 止浆塞损坏, 没有起到止水作用, 应及时更换配套的新止浆塞; 管路、钻杆之间的连接不密封造成漏水, 应重新安装管路和钻杆, 钻杆接头之间加装胶垫, 确保连接密封; 手动试压泵压力不够, 止浆塞胶套与孔壁之间不密封造成漏水, 手动试压泵压力一般为 2MPa; 岩体裂隙发育, 止浆塞正好处于岩石破碎带上, 起不到止水作用, 应改变止浆塞位置, 使止浆塞位于完整岩石中。

(5) 手动试压泵

手动试压泵不能正常加压, 压力表读数不正常。应及时检查并确保手动试压泵内部活塞清洁, 注入清水进行加压, 定期校正压力表, 确保高压管接头密封。

(6) 管路涡流

试验管路形状应为“一”字形, 确保管路内部水流稳定, 减少涡流形成, 严禁管路形状为“T”形、“凹”形等容易形成管路涡流的形状。

3.4 技术类问题及解决方法

(1) 水头压力计算^[2]

压水试验水头压力分为以下三种情况计算:

试验段位于地下水位以上。水头压力为试验段中点位置深度压力;

地下水位位于试验段之间。水头压力为试验段顶端到地下水位中点位置压力;

试验段位于地下水位以下。水头压力为地下水位位置压力。

(2) 止浆塞位置选取

根据英国场地勘察规范 (BS5930) 和合同要求, 完整基岩中间隔 5m 做一次压水试验, 止浆塞应处于完整岩体中, 才能起到止水作用。如果试验时流量超过 100L/min, 应要求降低试验段, 降低试验段原则为: 不能漏试验段, 每个流量超过 100L/min 的试验, 至少记录 5 个以上的数据方可停止试验并降低试验段, 每次降低 1m 试验段, 直到能够正常进行试验为止, 试验段最终长度不小于 1m^[1]。

(3) 开始试验、保存及处理数据

开始试验时, 首先建立工程帐套, 其次设置试验孔的工程参数, 调整数据记录时间为 1min, 打开水泵, 连接电源, 点击开始记录, 软件会自动记录数据, 依照五点法试验要求进行试验。

压水试验完成后, 应先停止压水试验, 然后关闭压水试验软件, 必要时可另存试验数据表。

每段压力下, 必须采取 10 个连续、稳定的流量值, 求取平均值。吕荣值可依据公式 (1) 计算。

3.5 其他外部因素影响及解决方法

(1) 环境因素

苏丹共和国北部全年干旱, 最高温度可达 50℃, 沙尘暴肆虐, 南部多雨潮湿。这样恶劣的自然环境对 GMS2008 智能灌浆记录系统的电子设备损害极大。进行试验时, 应尽量选取阴凉通风的位置放置仪器设备, 降低仪器温度或安装空调降低仪器温度, 保证电子设备正常工作。

(2) 人为损坏

使用 GMS2008 智能灌浆记录系统的电子设备和仪器均应, 依照操作规范进行。试验时电子设备应尽可能远离水箱和钻机。

4 工程实践

Dagash 大坝位于尼罗河中游, 苏丹共和国境内。从 2008 年 3 月到 12 月对该地区地质情况进行了勘察, 本文选取 Dagash 勘察工程中 032 号孔压水试验结果进行分析研究。032 号孔位于大坝轴线上, 孔深 20.05m。

4.1 压水试验及原始数据采集和处理

压水试验仪器及其连接见图 2。采用 GMS2008

智能灌浆自动记录系统记录了 032号孔四段压水试验的流量值和压力值，使用公式（1）计算出岩体的吕荣值见表 1。

032号孔最大压力下岩体吕荣值				表 1
段号	深度 (m)	压力 P (MPa)	流量 Q (L/min)	吕荣值 L_u
1	3.87 ~ 7.3	0.36	22.72	18.46
2	7.20 ~ 12.65	0.40	2.62	1.20
3	12.60 ~ 17.60	0.64	1.31	0.41
4	17.60 ~ 20.05	0.65	26.87	16.75

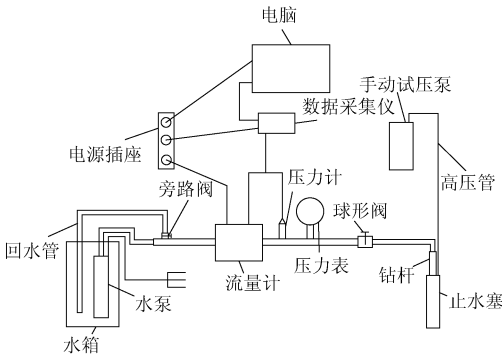


图 2 压水试验仪器连接示意图

由表 1 可以看出：在最大压力作用下，第一、第四段吕荣值大，第二、三段吕荣值小，说明钻孔周围地层表层和深层岩体破碎，裂隙发育，岩石质量较差；中间岩体完整，裂隙闭合，岩石质量较高。

4.2 岩体渗透性分析

通过压水试验得到的吕荣值（图 3），可以定量判断 032 钻孔岩体的渗透性。

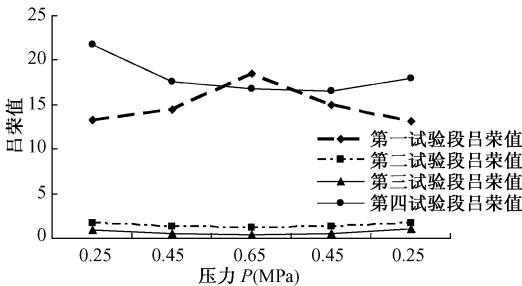


图 3 032号孔各段吕荣值

从图 3 中可以看出，在压力相等的条件下，第一、第四试验段最大吕荣值超过 15，而第二、第三试验段最大吕荣值接近 1，可以初步判断出：在 3.87m ~ 7.30m、17.60m ~ 20.05m，岩体比较破碎，强度不高，岩体间空隙较大，岩体裂隙发育；而在 7.20m ~ 17.60m，岩体较完整，裂隙较少。

4.3 压水实验结果和钻孔岩芯比较

采用回转钻机在地层中采取岩芯（图 4），通过观察岩石的种类、岩芯完整程度、裂隙发育情况和充填物的种类及密实程度，可以粗略判断出岩体渗透率范围以验证压水试验所得岩体渗透率的准确性^[3]。

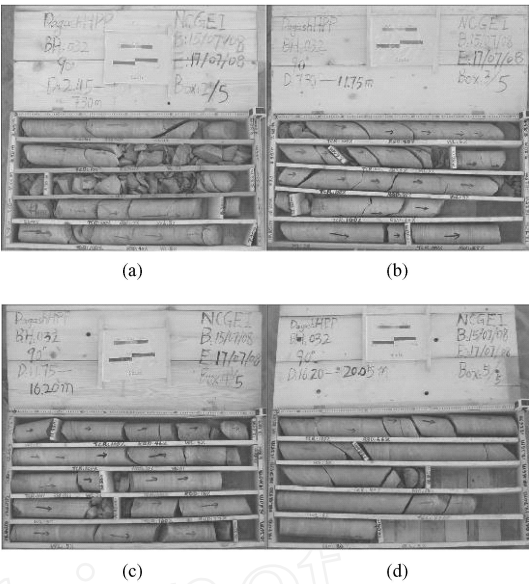


图 4 032号孔钻孔岩石岩芯照片

由图 4 可以看出：该区域岩石为花岗片麻岩，图 4（a）岩芯破碎，裂隙发育；图 4（b）、图 4（c）中岩芯较完整，没有闭合裂隙，岩石强度高，和表 1、图 3 压水试验结果进行比较，可以看出吕荣值和岩体裂隙发育情况一致。图 4（d）岩体完整，全部为新鲜岩石，而表 1、图 3 所示压水试验所得第四段岩石吕荣值较大，这是由于此段岩石虽然完整，但是存在很多闭合裂隙，且闭合裂隙较宽，闭合裂隙充填物为碳酸盐、高岭土和绿泥土，强度很低，在外加 0.5MPa 压力作用下，闭合裂隙张开，充填物随水流流失，导致岩体吕荣值较大。

由吕荣值判断所得结果与钻探所得岩芯的完整程度和裂隙发育情况基本一致。存在的个别差别是由于：

（1）压水试验是现场原位试验，由于受条件限制，不可能完全满足试验对场地条件的要求，因而存在一定的误差。

（2）钻探取芯虽然可以直接、客观的判断地层和裂隙发育情况，但是在实际钻探取芯过程中，受使用设备、操作人员经验、现场实际条件等的限制，有可能在钻进的过程中，造成岩芯的人为破坏，丢失，把本来存在于地层中的闭合裂隙人为

（下转第 56 页）

布广，它对于分布在各地的缺水单位的水源地勘察，更具实际意义。

从第 5 旋回层的热水开发情况不难看出，其他各旋回层更有利于形成热储层，由于可能形成热储层的地层埋藏更深，从而形成地热的范围更广，选择地热开发地段的余地更大，开采的深度选定更随意，水温有可能更高。因此，推测其他各旋回层均有着地热开发的美好前景。

参 考 文 献

- [1] 孙启堂. 鲁中南山区各岩石类型的含水特征 [J]. 工程勘察, 1996, (4): 37~42.
- [2] 孙启堂, 苗本胜. 泥灰岩岩溶裂隙类型及其富水性 [J]. 山东师大学报 (自然科学版), 1991, 6 (1): 69~73.
- [3] 李舒. 山东土门喀斯特洞穴的发育演化及其意义 [J]. 中国岩溶, 1986, 5 (3): 208~212.

(上接第 51 页)

扭开，造成闭合裂隙充填物的流失。而且由于使用的是水钻，长时间的钻探也可能使岩体处于饱和状态，影响岩体吕荣值。

把吕荣值和钻探取芯结合起来判断岩体的完整程度、裂隙发育程度以及岩石的强度，可以在极大程度上消除二者之间的误差，互相印证，提高勘察结果的准确性。

5 小结

通过介绍压水试验的理论、计算方法、设备安装及操作过程中存在的问题和解决方法，结合实际

的工程实践，使用吕荣值判断岩体的完整性和裂隙发育程度，并用实际钻探取芯来验证吕荣值的准确性，分析了二者之间存在差异的原因，为类似的工程实践提供参考。

参 考 文 献

- [1] BS5930, Code of practice for site investigations (英国场地勘察实施规范) [S].
- [2] ASTM 规范, American Society of Testing Materials (美国材料试验协会) [S].
- [3] 徐九华, 谢玉玲. 地质学 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2007: 54~60.