

绳索取心用止水栓塞的研究与应用

李守圣, 周 晓, 郭 明, 吕万宏

(黄河勘测规划设计有限公司, 河南 洛阳 471002)

摘 要: 研究与应用了绳索取心专用钻孔压水试验止水栓塞, 解决了水利水电工程勘探中应用绳索取心钻进后不提大钻进行钻孔压水试验的难题, 提高了钻进效率。介绍了该绳索取心专用止水栓塞的材料、膨胀介质、结构设计及其应用情况。

关键词: 绳索取心; 钻孔压水试验; 止水栓塞; 水利水电工程勘探

中图分类号: P634 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2014)02-0070-04

Research and Application of Water Stopping Plug for Wire-line Coring/LI Shou-sheng, ZHOU Xiao, GUO Ming, LV Wan-hong (Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Luoyang Henan 471002, China)

Abstract: The water stopping plug for wire-line coring is researched and applied to solve the difficult problem of water pressure test with no lifting of drill rod for wire-line core drilling wire-line core drilling in water conservancy and hydropower engineering exploration and improve the drilling efficiency. The paper introduces this special water stopping plug about its material, expansion medium, structure design and its application.

Key words: wire-line coring; water pressure test; water stopping plug; water conservancy and hydropower engineering exploration

1 问题的提出

水利水电工程勘察中, 水文地质试验是最直观地获取水文地质参数和查明水文地质条件的技术手段。而钻孔压水试验就是其中最常用的在钻孔内进行的岩体原位渗透试验。其主要任务是测定岩体的透水性, 为评价岩体的渗透特性和设计渗控措施提供基本资料^[1]。钻孔压水试验的主要特点是提取钻具留出一定长度的裸孔, 下入止水栓塞封闭试验段进行试验。频繁的提钻进行钻孔压水试验易造成孔壁失稳出现孔故, 且增加劳动强度。

绳索取心钻进技术具有取心质量好、不需提大钻的优点, 广泛应用于国土资源和煤矿等行业中^[2]。如果解决绳索取心不提大钻进行钻孔压水试验这一难题, 将会大幅度提高水利水电工程勘察的质量与效率。

解决这一难题的关键就是压水方案的研究与配套止水栓塞的研制。

2 绳索取心钻孔压水试验方案

为充分利用绳索取心不提大钻取心的优势, 研究的方案主要有 2 个。先期的方案是全孔钻进双栓塞钻孔压水试验, 改进后的方案是不提大钻钻孔压

水试验^[3]。

2.1 全孔钻进双栓塞试验

基本原理是钻取岩心至一定深度后, 一次性提出全部钻具, 使用双栓塞进行钻孔压水试验。这种方案的优点是钻探工作与试验工作分离, 合并洗孔、测水位等操作步骤, 根据孔内实际情况合理确定试验位置与试段长度。缺点是在孔壁不稳定的情况下, 试验难以进行, 且易发生孔内事故。

2.2 不提大钻钻孔压水试验

基本原理是取心钻进一个试验段后, 提取岩心, 钻具提高孔底 6 m, 使用特制的栓塞通过钻具内通道下入试验段, 封堵试验段与钻具, 进行钻孔压水试验, 如图 1 所示。本方案的优点是最接近常规钻孔压水试验做法, 易被地质人员接受, 不受钻孔地层条件限制。缺点是每次需要提 6 m 的钻具和需要研制专用栓塞。

通过对 2 种方案的对比, 最终确定选择不提大钻钻孔压水试验方案。

3 绳索取心不提大钻止水栓塞研究

3.1 栓塞胶囊材料的选择

栓塞胶囊材料主要有 2 种, 天然橡胶和合成橡

收稿日期: 2013-07-19; 修回日期: 2013-10-28

作者简介: 李守圣(1981-), 男(锡伯族), 辽宁瓦房店人, 黄河勘测规划设计有限公司地质勘探院工程师, 地质工程专业, 博士, 从事勘探技术研发工作, 河南省洛阳市启明西路 34 号, 24303496@qq.com。

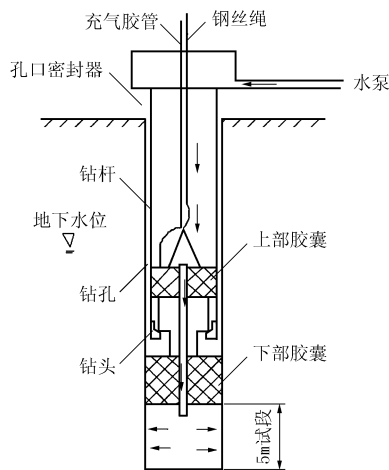


图1 绳索取心不提大钻钻孔水压水试验原理图

胶。天然橡胶具有弹性大,机械强度高,抗折、耐磨、耐挠曲、耐透气性等优点,但是不耐老化,耐热性和热稳定性差^[4]。合成橡胶是由人工合成的高弹性聚合物,一般在整体性能上不如天然橡胶。因此选择天然橡胶。

按照钻孔压水试验规程要求,胶囊膨胀压力需要达到 1.3 MPa,再考虑 3 倍的安全系数,柱塞在无围压的状态下,设计压力应达到 3.9 MPa。而单纯的天然橡胶是难以满足上述要求的,必须对其进行结构上的补强。最终选择使用双层橡胶,在夹层部位缠绕钢丝线的高压胶管。

3.2 膨胀介质的选择

柱塞膨胀介质主要有 2 种,水和气体。不同介质的加压与卸压方式和结构有所不同,要根据所采用的介质对柱塞结构进行设计。

3.2.1 水

水是钻孔和钻孔压水试验过程中必不可少的物质,以水作为膨胀介质最为方便和安全。但是在卸压的过程中存在一定的问题。当达到一定深度后,水压使得柱塞胶囊无法靠胶囊自身的弹性回缩,导致柱塞无法提出。为此,要考虑增加卸压结构来增加柱塞的回弹力。考虑在柱塞下部增加一个弹性拉力装置,用弹簧提供拉力,但由于簧丝的直径受柱塞芯管以及钻具直径的限制,较难提供很大的拉力,在水柱压力超过 80 m 时失效。而其它诸如柱塞顶部卸压、安全阀卸压等方式均效果较差。采用水作为膨胀介质会对柱塞的设计产生很大的麻烦。

3.2.2 压缩气体

考虑到气体质量很轻,在卸压阶段,充气管和胶囊内的气体产生的气柱压力非常小,胶囊很容易收缩,但唯一要考虑的是气源和充气装置的安全性。

气源选择压缩氮气,用高压气瓶做为储存和供压设备。

3.3 柱塞结构的设计

3.3.1 柱塞性能要求

由于柱塞是在孔内使用,且要通过绳索取心钻具内通道,柱塞除去满足正常使用所需的密封和强度要求外,还应满足以下要求:

(1) 柱塞未膨胀时最大外径应小于钻具最小内径;

(2) 柱塞的加压膨胀与卸压复原通过地表设备完成。

3.3.2 柱塞设计

3.3.2.1 单柱塞的设计

以普通钻孔压水试验柱塞为基础进行加长设计,用一根柱塞同时进行钻杆和钻孔内壁的密封,通过长胶管对柱塞进行充气或充水,使柱塞膨胀。但在试验过程中,出现了钻头水口台阶卡在膨胀的胶囊上,将胶囊割破的现象,而且被钻头内台阶束缚的胶囊边缘产生很大的应力集中,很容易被拉裂。要解决这个问题,需要大幅度提高柱塞橡胶的强度和耐磨性,而过高的强度又会造成膨胀率不能满足要求,因此这种结构不能满足技术要求,因此采用双柱塞。

3.3.2.2 气压双柱塞的设计

在充分调研和分析现有双柱塞^[5~8]的基础上,对双柱塞进行优化设计。

(1) 气压双柱塞胶囊长度的设计。根据《水利水电工程钻孔压水试验规程》(SL 31-2003)的要求,柱塞止水长度不小于 8 倍钻孔直径。因此,绳索取心压水柱塞下部胶囊在膨胀后的长度应大于 $96.5 \times 8 = 772$ mm,设定膨胀后长度 1 m,计算自然状态下的长度为 1150 mm。柱塞上部胶囊自然状态下的长度可取 450 mm。

(2) 气压双柱塞卸压结构设计。双柱塞整体结构包括通气孔压盖、芯管、钢套管、滑动柱塞盖和限位圆环等结构。通过反复的试验与改进,研制的双柱塞与常规的双柱塞有如下改进。

改变上下胶囊的胶管连接为钢套管连接,防止胶囊的胶管由于膨胀压力而脱落;并将钢套管加以相应的变化,使柱塞在自然状态下通过钻头后,整体恰好悬挂在钻头内台阶上,解决双柱塞在钻具内定位复杂的问题。

减少通气孔压盖上通气孔数量至一个,以降低柱塞的密封难度以及结构的复杂程度。

增加限位机构,控制胶囊的收缩量,防止胶囊膨胀过度产生类似反包钢套管之类的问题。

最终气压双栓塞的参数为:总长 2730 mm,最大外径 66 mm,上气囊长度 450 mm,下气囊长度 1150 mm,芯管内径 20 mm,实物图如图 2 所示。

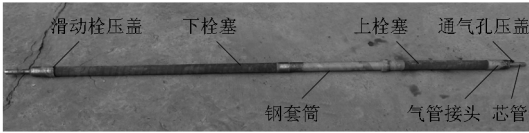


图2 绳索取心止水气压双栓塞

(3) 气压双栓塞受力分析。根据钻孔压水试验规程,栓塞的膨胀压力应比最大试段压力(1 MPa)大 0.2~0.3 MPa,地下水对栓塞造成的初始压力,需要增加相应的气压予以抵消。因此在进行 1 MPa 的钻孔压水试验时,栓塞在孔内膨胀时状态和受力分析如图 3 所示。

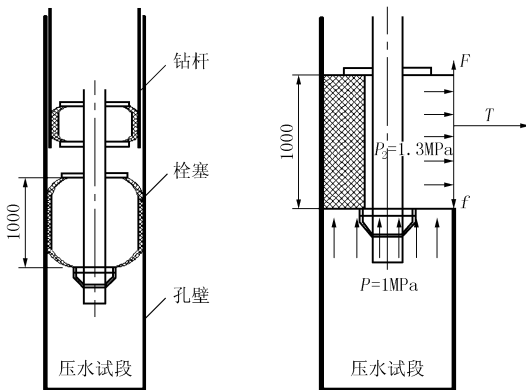


图3 栓塞膨胀时在孔内状态以及受力分析图

其中 F 为试段压力(压强)对栓塞产生的向上的推力:

$$F = P_1 S_1 \quad (1)$$

T 为栓塞膨胀和孔壁贴合后继续增加的压强对孔壁的正压力:

$$T = P_2 S_2 \quad (2)$$

f 为栓塞和孔壁的最大静摩擦力:

$$f = \mu_2 T \quad (3)$$

为判断栓塞是否会整体上移,作如下演算。

①确定试段最大压力对栓塞下部的作用面积:

$$S_1 = \pi d^2 / 4 = 3.14 \times 0.096^2 / 4 = 7.23 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$P_1 = P = 1 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{则: } F = 7.24 \times 10^3 \text{ N}$$

②确定栓塞膨胀和孔壁贴合的作用面积:

$$S_2 = 1 \pi d = 3.14 \times 0.096 = 0.301 \text{ m}^2$$

$$P_2 = 1.3 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$\text{则: } T = 3.91 \times 10^5 \text{ N}$$

栓塞和孔壁的摩擦系数受岩石性质影响变化很大,难以获得具体的数值。参照钢和硬质橡胶的摩擦系数来确定,也就是认为岩石和硬质橡胶的摩擦系数都大于钢和硬质橡胶的摩擦系数。取 $\mu_2 = 0.5$,则:

$$f = 1.955 \times 10^5 \text{ N}$$

根据上述计算可知,试段内的最大水压对栓塞产生的向上的力 F 远小于栓塞和孔壁的摩擦力 f ,因此栓塞整体不会产生向上的位移。并且,由于气压栓塞的变形大,橡胶和孔壁的贴合能力很强,发生绕塞渗流的可能性很小。双栓塞满足试验要求。

(4) 气压双栓塞性能检测。

①膨胀性能检测。膨胀性能测试的主要目的是检测栓塞能否在设计压力下膨胀到预定的直径,栓塞的各连接部位密封是否可靠。首先测定自由状态下的栓塞膨胀性能。将栓塞水平放置于地面,尼龙管作为栓塞膨胀的加压通道。当压力达到 0.4 MPa 时,上下部栓塞直径均膨胀到了 100 mm,将整个栓塞放入水池中未见漏气现象。然后模拟现场工作环境对栓塞的膨胀性能进行试验。将下部栓塞放入 $\varnothing 108$ mm 薄壁套管内,套管壁厚为 4.5 mm,内径为 99 mm,作用是模拟 S96 绳索取心的钻孔;上部栓塞放入 S96 绳索取心钻杆内,采用水压膨胀栓塞,尼龙管作为栓塞膨胀的加压通道。在手压泵提供的压力达到指定值 2 MPa 时,栓塞很好的膨胀起来并充满了管壁。保持压力 1 h(大约一个试段的钻孔压水试验时间)后卸压,栓塞在 8 min 内恢复了原状。此次试验证明栓塞的膨胀率和承压能力满足要求。

②封堵钻孔性能检测试验。将 $\varnothing 108$ mm 套管一端的底部焊接并密封来模拟现场钻孔,在栓塞充分膨胀后进行钻孔压水试验。栓塞膨胀压力为 1.3 MPa,钻孔压水试验压力为 1 MPa,保持压力 1 h(大约一个试段的钻孔压水试验时间),未出现绕塞现象,说明栓塞的密封性能是可靠的。

(5) 气压双栓塞提拉方式设计。初期的试验方案是借鉴绳索取心打捞内管的经验,采用绳索取心钻进配备的卷扬与钢丝绳提放栓塞。但在向孔外提拉栓塞时,与压力传感器电缆线、栓塞的气管发生缠绕。经反复试验研究,最终弃用钢丝绳,采用高强度的电缆线充当主承重绳,高强度气管充当辅承重绳提拉栓塞较好地解决上述问题。

(6) 气压双栓塞的使用。在使用过程中,气压式双栓塞的上气囊依靠钢套管的定位功能,位于钻

头内台阶上部,膨胀后封闭钻杆;下胶囊穿过钻头进入钻孔压水试验段,膨胀后封堵试段。

4 应用效果

气压式双栓塞结合绳索取心钻进技术以及钻孔压水测试仪^[9,10]在古贤水利枢纽工程、东庄水利枢纽工程等多个工程中应用,很好地解决了绳索取心不提大钻进行钻孔压水试验的问题,应用效果非常好。

参考文献:

- [1] SL 31-2003,水利水电工程钻孔压水试验规程[S].
- [2] 汤凤林, A. T. 加里宁, 段隆臣. 岩土钻探学(第二版)[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社, 2009.
- [3] 易学文, 周晓, 李守圣, 等. 水利水电工程钻探绳索取心钻进中

(上接第69页)

7 结语

通过使用孔口定向+螺杆马达定向钻具的方法,很好地完成了云南宣威华泽项目剩余钻孔的定向钻探施工。通过本项目的施工,获得以下体会:

- (1) 做好施工准备是顺利施工的重要前提;
- (2) 施工定向钻孔时,有必要根据钻孔开孔顶角、方位角、钻孔深度、建矿点的垂深及水平位移等要素确定钻孔钻进轨迹;
- (3) 定向钻进时,钻进参数尽量做到统一,交班

压水试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S1): 88-90.

- [4] 杨清芝. 实用橡胶工艺学[M]. 北京:化学工业出版社, 2005.
- [5] 李炳平, 李小杰, 叶成明, 等. 止水栓塞封隔-阀式压水器组合检测技术的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(3): 69-71.
- [6] 郭守志. GPS3型双塞钻孔压水试验设备及其初步应用[J]. 水利水电技术, 1987, (9): 14-18.
- [7] 吴中浩. GPS3型双塞压水试验设备及其初步应用[J]. 水利水电技术, 1989, (10): 21-25.
- [8] 张双. 气压式压水试验器[J]. 水利水电技术, 1983, (2): 35-41.
- [9] 郭明, 李守圣, 易学文, 等. 绳索取心钻进在水利水电勘探中存在的问题及解决思路[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2013, 40(3): 24-27.
- [10] 张成志, 尹丹, 郭明. 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[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(12): 32-35.

时务必充分沟通,参数与操作上尽量保持一致。

参考文献:

- [1] 向军文, 向昆明, 张新刚, 等. 绳索定向造斜及取心技术应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 36(8).
- [2] 吴翔, 杨凯华, 蒋国盛. 定向钻进原理与应用[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社, 2006.
- [3] 吴光琳. 定向钻进工艺原理[M]. 四川成都:成都科技大学出版社, 1991.
- [4] 姚爱国, 高辉, 方小红. 定向钻进技术的发展与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2009, 39(S1).
- [5] 张文庆. 孙家庄铁矿初级定向钻进及防斜措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2011, 38(12).

云南页岩气资源调查评价年内完成

《中国矿业报》消息(2014-01-17) 云南省发改委日前批复了云南省煤田地质局关于云南省页岩气资源调查评价项目资金申请报告,云南页岩气勘探有望加速。

据初步预测,云南省页岩气地质资源潜力达10万亿 m^3 ,可采资源潜力在2万亿 m^3 以上。《页岩气发展规划(2011~2015年)》明确以四川、重庆、贵州、云南等省、市为页岩气资源勘探开发的重点工作目标区,将云南所处的滇黔北与南盘江地区列为开展页岩气资源潜力调查与评价的重点地区,并将云南昭通纳入国家19个页岩气资源勘探开发区之一。

虽然赋存前景较好,但和其他省、区相比,云南针对页岩气开展的地质勘查工作相对滞后,仅有中石油浙江公司在昭通彝良、镇雄、威信等地区探矿权区块内开展勘查工作,限于局部面上调查和个别点上研究,从未开展过系统的页岩气资源基础地质综合研究和调查评价等专项地质工作,真正的资

源家底还不清楚,勘查工作程度极低。

云南省发改委的批复文件中明确:云南省是国家《页岩气发展规划(2011~2015年)》规划的重点省份之一,但页岩气勘查和资源调查评价工作相对滞后,为初步掌握页岩气资源的分布情况和资源现状,同意由云南省煤田地质局开展云南省页岩气资源调查评价工作。

云南省页岩气资源调查评价工作采取省预算内资金补助和企业投资参与合作的方式进行,省预算内资金支持云南省煤田地质局开展全省范围内的页岩气资源调查评价工作,一家不愿透露名称的央企和云南省能源投资集团有限公司利用企业自有资金开展沾益-马龙、宣威热水-沾益德泽和沾益县炎方等3个重点调查区页岩气资源调查工作。

据悉,云南省页岩气资源调查评价工作将于2014年底完成。