

轻便式气囊隔离随钻压水试验器的研制与应用

周治刚, 黄帆, 丁晔, 黄炎普, 夏骏, 王昶宇

(长江岩土工程有限公司, 湖北武汉 430010)

摘要: 水利水电工程勘察中, 经常要进行钻孔压水试验。为提高压水试验效率, 研发了一种可配合绳索取心钻具使用的轻便式气囊隔离随钻压水试验器。试验过程中, 在不全部提钻的情况下, 从绳索取心钻杆内快速下入试验器, 通过使用橡胶气囊及气水分流的手段进行钻孔压水试验。本文对其工作原理、结构组成和关键技术进行了详细介绍, 并在云南某水电工程项目上进行了现场试验。结果表明, 采用该试验器结构简单, 可靠性高, 制造成本低, 试验过程中可显著降低劳动强度、提高生产效率, 且可根据实际需要制作成 $\varnothing 75$ mm、 $\varnothing 91$ mm等多种规格, 与绳索取心钻进做压水试验配套使用, 从而解决绳索取心技术在水利水电行业的推广难题。

关键词: 水利水电勘察; 随钻压水试验; 绳索取心钻进; 气囊隔离; 轻便式

中图分类号: P634.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-9686(2024)S1-0258-05

Development and application of a portable pump-in tester while drilling with airbag isolation

ZHOU Zhigang, HUANG Fan, DING Ye, HUANG Yanpu, XIA Jun, WANG Changyu

(Changjiang Geotechnical Engineering Corporation, Wuhan Hubei 430010, China)

Abstract: In the investigation of water resources and hydropower engineering, the pump-in test is often carried out. In order to improve the efficiency of pump-in test, a portable pump-in tester with airbag isolation was developed, and the tester can be used with wire-line core drill tool. During the testing process, without lifting all drill string out of hole, the portable tester can be quickly lowered down to the hole bottom from the hollow of the wire-line core drill string, and the pump-in test was conducted by using rubber airbag and air-water diversion device. In this paper, the working principle, structure compositions and key techniques of the portable tester are introduced in detail, and the field test is conducted in a hydropower project in Yunnan Province. The field test results show that the tester structure is simple, high reliability, low manufacturing cost, and it can significantly reduce labor intensity, improve production efficiency during the test. Furthermore, it can be made out to $\varnothing 75$ mm, $\varnothing 91$ mm and other specifications according to the practical application, which solves the challenge of wire-line core drilling technology promoted in water resources and hydropower industry.

Key words: water resources and hydropower engineering investigation; pump-in test while drilling; wire-line core drilling; airbag isolation; portable

0 引言

水利水电工程地质勘察中, 利用钻孔开展必要的孔内试验与测试是获取围岩工程特性的重要手段, 做到“一孔多用”^[1-2]。钻孔压水试验是水利水电工程勘察中的常见孔内试验之一, 通常是将钻杆从

钻孔中全部提出, 然后下入压水试验器进行压水试验^[3-5]。为此, 每累计钻进一个试验段(一般为5 m)就要洗孔、提钻, 然后下入压水试验器进行试验。由于起下钻具频繁, 纯钻进时间少, 辅助时间多, 存在钻孔越深试验效率越低的工程实践问题。

收稿日期: 2024-07-12 DOI: 10.12143/j.ztgc.2024.S1.039

第一作者: 周治刚, 男, 汉族, 1977年生, 高级工程师, 硕士, 主要从事钻探工艺与机具方面的研究, 湖北省武汉市江岸区解放大道1863号, 15271864951@163.com。

引用格式: 周治刚, 黄帆, 丁晔, 等. 轻便式气囊隔离随钻压水试验器的研制与应用[J]. 钻探工程, 2024, 51(S1): 258-262.

ZHOU Zhigang, HUANG Fan, DING Ye, et al. Development and application of a portable pump-in tester while drilling with airbag isolation[J]. Drilling Engineering, 2024, 51(S1): 258-262.

近年来,便携式岩心钻机和绳索取心钻进工艺在水利水电工程勘察中逐渐得到推广应用^[6-7]。绳索取心是一种不提钻取心的钻进技术,可以显著节省辅助钻进时间,提高钻进效率,最早用于石油钻井,现在广泛用于固体矿产勘查行业。采用绳索取心钻进时,当内岩心管装满岩心或岩心堵塞时,不需要把孔内全部钻杆提出地表,而是借用专门的打捞器和钢丝绳将岩心管从钻杆柱内捞取上来,只有当钻头失效需要更换时才提出全部钻杆柱。然而,在水利水电行业,因钻孔压水试验要求及试验器具的限制,绳索取心技术在国内一直得不到推广^[8-13]。当采用绳索取心钻进工艺钻进至某一深度需要开展钻孔压水试验时,若能不提全部钻杆柱即可开展压水试验,将能显著提高施工效率。

为此,本文研发一种轻便式气囊隔离随钻压水试验器。压水试验过程中,不需要完全提钻,只需要上提少量钻杆,以满足测试空间需求,并在此基础上从钻杆内下入试验器进行压水试验,通常称为随钻压水试验。

1 随钻压水试验器的结构设计

1.1 工作原理

常规压水试验器的工作原理如图1(a)所示,通过钻杆自重压力和钻机调压使橡胶柱塞(或球塞)膨胀与孔壁形成相对密封,然后从钻杆往试验段压水。为了使橡胶柱塞(或球塞)能够压缩变形实现密封效果,需要在其下端设置顶杆(通常为钻杆,长度与试验段长度相当)。其缺点:(1)试验前必须提出全部钻杆、钻具,然后下入压水试验器进行试验,而一个压水试验单元的下钻、起钻次数不低于6次,因此测试效率低、劳动强度大;(2)下入试验器前,试验段长度及橡胶柱塞(或球塞)在孔内位置已经通过配置试验器下面的顶杆(钻杆)确定,如果因橡胶柱塞(或球塞)所处位置不当不能止水,必须将试验器从孔内提出在地面进行调整后重新下入。

轻便式气囊隔离随钻压水试验器的工作原理如图1(b)所示,在不全部提钻情况下,从绳索取心钻杆内快速下入试验器,通过使用橡胶气囊及气水分流的手段进行钻孔压水试验。试验器总体由上、下二个气囊隔离系统组成,中间由定位接头连接。气囊从绳索取心钻杆(相当于从孔口至试验段上端的全孔为套管)下入,下气囊定位于钻头下端,上气

囊定位于绳索取心钻杆内,定位接头(锥形台阶)通过钻头内台阶悬挂定位。上气囊膨胀后与绳索取心钻杆内壁形成密封,保证钻杆内高压水通过导水管流往试验段,否则水流会从孔壁与钻杆间隙流出地表;下气囊膨胀后与孔壁形成密封,保证试验段顶部相对密封。

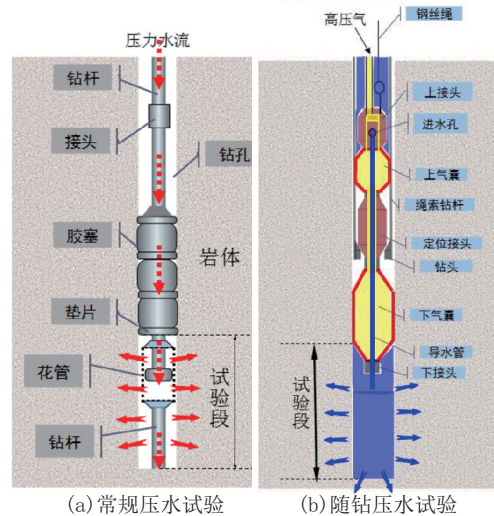


图1 压水试验原理

具体而言,气流通路为:高压气泵→高压气管→阀门及压力表→气管穿过孔口封堵接头→气管穿过钻杆内→气管连接压水试验器上接头水管→高压气进入分气室→通过接头进入气水分流接头→从接头通孔与导水管间环状间隙进入上气囊总成→从中间定位接头与导水管环状间隙进入下气囊总成→持续送气升压使气囊膨胀→防止高压水从钻杆内(与上气囊间)往下漏失、防止试验段水从孔壁(与下气囊间)往上漏失。

水流通路:高压水泵→高压水管→阀门及压力表、流量计→孔口封堵接头→高压水进入钻杆→高压水从气水分流接头孔(通孔)进入接头内“T”型连接的导水管→导水管从中间穿过二个气囊、二个接头→高压水进入压水试验段→往地层渗透(或少量绕渗漏失)。

1.2 结构组成

轻便式气囊隔离随钻压水试验器由6个部分组成,包括2个气囊、3个接头、1根导水管,从上往下依次为:上接头总成、导水管、上气囊总成、中间定位接头、下气囊总成、下接头。结构原理如图2所

示,实物结构组成如图3所示。

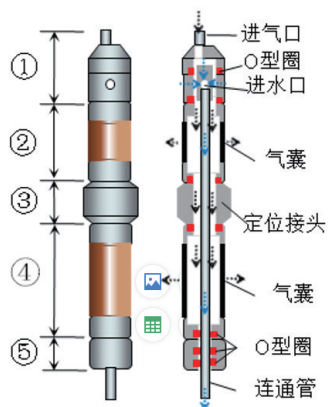


图2 随钻压水试验器结构原理

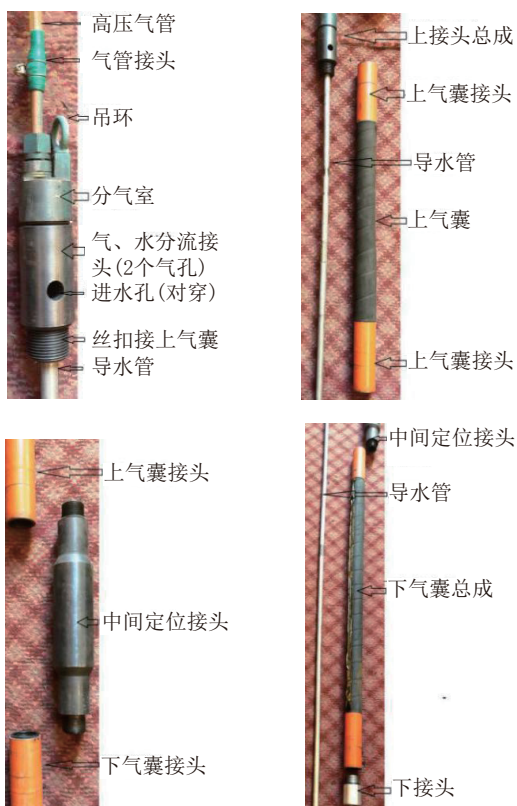


图3 轻便式气囊隔离随钻压水试验器实物结构组成

轻便式气囊隔离随钻压水试验器其它配套设备及构件主要包括送气、送水及提升3个部分。送气部分:高压气泵、高压气管(直径10 mm,耐压2 MPa以上)及绞车系统、压力表、阀门、接头连接件、卡子(与钢丝绳绑定),高压气泵也可用高压水泵代替,不影响气囊膨胀效果。送水部分:高压水泵、压力表、孔口分水、分气接头(亦称孔口封堵接头)。

提升部分:钢丝绳(直径4~6 mm)及绞车、绳卡等。

2 随钻压水试验器的关键技术

采用随钻压水试验器进行压水试验的方法适用于绳索取心钻进,当绳索取心钻具内管和岩心提出后,不需提出绳索取心钻具外管和钻头,直接将压水试验装置下入钻孔内,对钻孔试验段进行密封,并进行压水试验。随钻压水试验器有以下关键技术需要解决。

2.1 关键部位的密封、止水技术

(1) 孔口三通的止水与密封。孔口三通(亦称孔口封堵接头)是水、气进入钻杆的共同通道,高强度软管(同时可以上下牵引、悬挂试验器)连接气泵与试验器的气囊。如果软管不能与三通形成密封,高压清水会从软管处泄露,导致水流无法升压,不能完成压水试验。

(2) 钻杆内部及试验段的止水。采用国内成熟的橡胶气囊止水技术,气囊可以采用气压或水压方式。止水长度、气囊大小、额定压力根据不同要求可以在专业厂家定制。

(3) 试验器总成间各连接部位的密封。试验器总成间各连接部位采用橡胶密封圈密封,根据重要性不同,采用不同形式的密封圈。

2.2 高压水、气分流技术

高压水、气分流是随钻压水试验器最关键的技术,它是通过构建合理的结构措施使水、气在有限的空间内畅流且互不干扰渗漏,要求结构简洁、可靠,故障率低,便于加工、操作、维护、维修。主要结构件包括:(1)气、水分流接头(上接头);(2)绳索取心钻杆密封气囊(上气囊);(3)定位接头(依托金刚石钻头定位);(4)试验段密封气囊(下气囊);(5)气、水隔离密封接头(下接头)。

3 随钻压水试验器的现场应用

某引水工程位于云南省中北部,地处金沙江、南盘江、澜沧江、红河四大水系分水岭地带。该引水工程是从金沙江虎跳峡以上河段引水,以解决滇中地区严重缺水问题的特大型引水工程。工程区地质构造复杂,出露的岩性主要有:泥质板岩、砂质板岩、绢云英微晶片岩、绢云母石英片岩、绢云英千枚岩、白云岩、大理岩、砂岩、泥岩,及安山岩、玄武岩等。

随钻压水高压压水试验基本按照《水利水电工

程钻孔压水试验规程》(SL 31—2003)、《水工建筑物水泥灌浆施工技术规范》(DL/T 5148—2001)、《水电水利岩土工程施工及岩体测试造孔规程》(DL/T 5125—2001)等规范执行,主要包括确定测试段、座封、注水加压、压力和流量观测,以及解封等 5 个步骤。针对该工程勘探试验孔深度大、岩体破碎、地应力环境复杂、孔内地下水位低、钻探工艺与孔深差异大等特点,采用深孔双塞高压压水试验系统。该系统适用于深孔、干孔等情况,可进行千米级的高压压水试验。现场试验情况如图 4 所示,试验钻孔情况如图 5 和表 1 所述,两个试验孔的测试结果分别如表 2 和表 3 所示。



图 4 云南某引水工程随钻压水试验现场

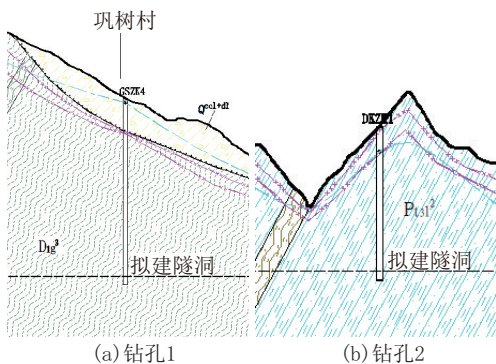


图 5 压水试验钻孔剖面

表 1 压水试验钻孔情况一览

钻孔编号	地层岩性	隧洞埋深/m	压水试验段/m	试验压力/MPa	地下水埋深/m
钻孔 1	泥盆系下统格绒组上段 (D _{1g} ³)千枚岩、片岩	586	504~605	常规压水试验 (P _{max} =1 MPa)	4.54
钻孔 2	巨甸岩群陇巴组上段 (Pt ₃ ^{l2})绢云母石英千枚岩夹石英微晶片岩	350	243~365	261~265 m 和 270~275 m 两段进行了 2.15 MPa 高压压水试验,其余段为常规压水试验	65.0

表 2 钻孔 1 压水试验成果

序号	试验起止深度/m	试验段长/m	P-Q 曲线类型	透水率/Lu
1	504~509	5	E(充填)型	0.71
2	510~515	5	E(充填)型	0.71
3	516~521	5	E(充填)型	0.68
4	522~527	5	E(充填)型	0.68
5	528~533	5	E(充填)型	0.71
6	534~539	5	E(充填)型	0.72
7	540~545	5	E(充填)型	0.66
8	546~551	5	E(充填)型	0.68
9	552~557	5	E(充填)型	0.74
10	558~563	5	E(充填)型	0.72
11	564~569	5	E(充填)型	0.78
12	570~575	5	E(充填)型	0.72
13	576~581	5	B(紊流)型	0.70
14	582~587	5	B(紊流)型	0.74
15	588~593	5	B(紊流)型	1.16
16	594~599	5	E(充填)型	0.26
17	600~605	5	A(层流)型	0.22

注:(1)孔内稳定水位基本在孔口;(2)压水试验合计 17 段。

试验结果表明,钻孔 1 和钻孔 2 两孔压水试验 P-Q 曲线多为充填型,少量的为层流、紊流或冲蚀型。其中钻孔 2 浅部的两个较高压力的压水试验曲线为冲蚀型,说明不同压力条件下,受围岩性质与地应力环境等因素的影响,压水试验岩体的渗流机理有所差异。

钻孔 1 透水率多在 0.1~1 Lu 之间,属微透水岩

表3 钻孔2压水试验成果

序号	试验起止深度/m	试验段长/m	P-Q曲线类型	透水率/ Lu	备注
1	243~248	5		>15	孔口不起压
2	261~265	5	D(冲蚀)型	0.81/1.02	$P_{\max}=2.15$ Mpa
3	270~275	5	D(冲蚀)型	0.91/1.33	
4	276~281	5	E(充填)型	0.76	$P_{\max}=2.15$ Mpa
5	282~287	5	E(充填)型	1.07	
6	291~296	5	A(层流)型	1.3	
7	297~302	5	E(充填)型	2.15	
8	303~308	5	E(充填)型	1.82	
9	312~317	5	E(充填)型	2.3	
10	318~323	5	E(充填)型	2.58	
11	324~329	5	E(充填)型	4.68	
12	330~335	5	E(充填)型	4.93	
13	336~341	5	B(紊流)型	1.4	
14	342~347	5	E(充填)型	2.5	
15	348~353	5	E(充填)型	2.28	
16	354~359	5	E(充填)型	2.16	
17	360~365	5	E(充填)型	1.1	

注:(1)孔内稳定水位为65m;(2)压水试验合计17段;(3)第15和第16段进行了高压压水,最大压力均为2.15 MP,透水系数分布给出了孔口压力为1 MPa最大试验压力下的测值。

层;钻孔2透水率除局部破碎段较高外,其余为1~3 Lu,属弱透水岩层。可见两类岩体虽为千枚岩、片岩类岩层,但因受到构造、裂隙发育等因素影响,透水率均有一定差异。

4 结论

(1)研制的压水试验器结构简单,可靠性高,制造成本低。压水试验器采用内缠丝软塑管作为送气管,将送气管和提吊绳索一体化设计;并利用各个接头连接上下气囊,形成一个整体,提供良好的封闭隔离效果;此外,还取消了传统的孔底专用的孔底送水管设计,而巧妙地直接利用了绳索取心钻杆作为送水管,简化了结构设计,使得加工制作更加容易、成本更低。

(2)降低劳动强度,提高生产效率。采用绳索

取心钻杆+随钻压水试验,利用送气管将压水试验器送至钻孔试验段,进行充气后,即可有效完成封闭工作,可大为减少起下钻次数,极大降低工人劳动强度,减少辅助工作时间,提高生产效率。

(3)该轻便式气囊隔离随钻压水试验器适用性广,可根据实际应用,制作成 $\varnothing 75$ 、91 mm等多种规格,与绳索取心钻进做压水试验配套使用。

(4)解决了绳索取心技术在水利水电行业的推广难题。绳索取心技术在地质勘探行业早已得到广泛应用,而在水利水电行业因钻孔压水试验要求及试验器具的限制在国内一直得不到推广,随钻压水试验器的研制成功,可为绳索取心技术在水利水电工程勘察行业中的应用提供解决之道。

参考文献:

- [1] 司富安,贾国臣,高玉生. 水利水电工程深埋长隧洞勘察技术方法[J]. 中国水利, 2010, (20): 69-71, 58.
- [2] 王刚,李明超,周四宝. 水利水电工程多源地质数据集成处理与分析[J]. 水利水电科技进展, 2015, 35(2): 73-76, 84.
- [3] 陈富,李东军,诸葛爱军,等. 高压旋喷桩防渗墙钻孔注水和压水试验检测对比研究[J]. 水运工程, 2019(10): 197-203.
- [4] 刘明明,李博勇,熊泽斌,等. 基于钻孔压水试验的渗透系数取值方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2021(5): 183-187.
- [5] 杨光,胡宁,刘时琦,等. 水利水电工程中钻孔压水试验管路压力损失实用性分析[J]. 水利水电工程设计, 2019, 38(4): 45-47.
- [6] 肖冬顺,马明,项洋. 水利水电钻探技术进展及发展趋势[J]. 钻探工程, 2021, 48(1): 103-111.
- [7] 王光明. 绳索取心钻孔不起大钻压水试验技术[J]. 云南水利发电, 2023, 39(12): 310-314.
- [8] 金水源,张红纲,傅克登,等. 绳索取心和液压式压水试验技术在水利工程地质勘探中的联合应用[C]//中国建筑学会工程勘察分会,全国建筑工程勘察科技情报网,全国建工勘察科技情报网华北站. 2018年全国工程勘察学术大会论文集, 2018: 6.
- [9] 谢玉萍,王颂,杨鸣,等. 绳索取心钻进技术在深埋隧道勘察孔中的应用[J]. 人民长江, 2015, 46(21): 58-60.
- [10] 张正雄. 绳索取心钻进工艺在水利水电工程地质勘探中的应用研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2015, 42(2): 60-64.
- [11] 李守圣,周晓,郭明,等. 绳索取心止水栓塞的研究与应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2014, 41(2): 70-73.
- [12] 周晓,易学文,李守圣,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.
- [13] 林华虎,甘杰,林大明. 绳索取心钻进技术在水利水电超深孔钻探中的应用[J]. 水利水电工程设计, 2012, 31(2): 49-51.

(编辑 王文)