

钻孔压水试验水压式栓塞排水泄压问题研究

裴熊伟

(中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司, 贵州 贵阳 550081)

摘要:压水试验水压式栓塞较其他类型栓塞可靠、灵活,但一直存在试验结束后排水泄压难题,使该类型栓塞使用局限于浅孔及地下水位高的钻孔。本文对该问题进行了研究,提出了解决方案,设计了新型水压式栓塞结构。解决了一直以来水压式栓塞的排水泄压难题,突破了试验孔深限制,使水压式栓塞能得到广泛应用。介绍了该新型水压式栓塞的结构和工作原理以及工程应用效果。

关键词:压水试验;水压式栓塞;胶囊;泄压排水;双塞;水利水电工程

中图分类号:TV131.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2016)03-0056-04

Research on Drainage and Pressure Relief of Hydraulic Plug for Water Pressure Test in Borehole/PEI Xiong-wei
(China Electric Power Group Guiyang Survey and Design Institute Co., Ltd., Guiyang Guizhou 550081, China)

Abstract: Hydraulic plug for water pressure test is more reliable and flexible than other types of plugs, but difficult drainage and pressure relief after the test have been remained, so its usage is confined to shallow holes or holes with high water levels. This problem was studied and the solution was put forward. New type of hydraulic plug structure was designed for drainage and pressure relief of hydraulic plug, by which the limit of hole depth is broke through and the hydraulic plug can be widely used. The paper introduces this new hydraulic plug about its structure, working principle and engineering application effect.

Key words: water pressure test; hydraulic plug; capsule; drainage and pressure relief; double plug; water-conservancy and water-electricity project

0 引言

水利水电工程勘察中,钻孔压水试验是最直观地获取岩体渗透系数的技术手段。其为评价岩体的渗透特性和设计渗控措施提供最基本资料,其重要性不言而喻。

目前水利水电行业中,压水试验设备应用最广泛的是单管顶压式橡胶栓塞隔水,单管顶压橡胶栓塞隔水设备机构简单、易操作,但在工程实践中存在几个重要问题:(1)封隔不理想,尤其是软岩地层或较破碎地层钻孔孔壁不完整的情况下,由于橡胶塞变形有限,易出现封隔不严、漏水的情况;(2)易出现孔内事故,如钻孔深,钻杆过重,操作不当易出现橡胶塞过度变形造成卡死在孔内,处理不易;(3)对破碎地层压水后,出现掉块现象,栓塞容易被卡死。

压水试验规范里建议优先采用水压式或气压式栓塞^[1]。

为了解决上述问题,20世纪60年代初,前辈们就提出了液压式栓塞压水,但水压式栓塞虽然可以解决封隔不理想的问题,若在复杂地层使用还存在

一些缺点,未能得到广泛使用。

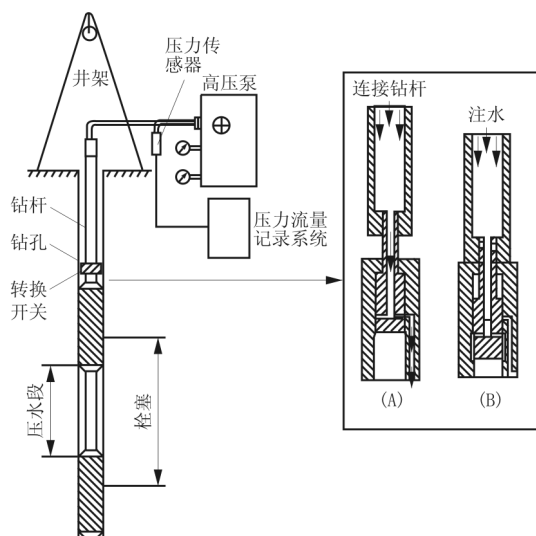
为了解决胶囊排水泄压的难题,气压式栓塞应运而生。但气压式栓塞存在设备不配套或者成本过高的问题(采用气瓶),且气体具有较大的压缩性,需要根据压水试验时试段的水压大小进行气压调整;高压气瓶有一定的安全隐患,操作人员需要培训^[10]。气压式栓塞并不实用。

1 液压式栓塞

1.1 结构原理

通过前期工程实践,水压式栓塞胶囊完全能够满足试验需要,水压式栓塞结构如图1所示。该栓塞工作步骤如下。

(1)利用经高压检验的钻杆,将双栓塞放置到试验的深度上,转换开关在双栓塞和花管自重作用下处于打开状态。此时,地面水泵、钻杆、转换开关和双栓塞形成回路,注入的水只进入双栓塞,当该回路注满水时,启动高压泵向双栓塞内加压5~10 MPa使其膨胀紧贴于孔壁,即完成止水(见图1A)。

图 1 水压式栓塞^[5]

(2) 关闭转换开关(钻杆向下活动), 此时, 地面水泵、钻杆、转换开关和试验段岩层形成回路, 注入的水只进入试验段, 而栓塞内已施加的压力保持不变(见图 1B)^[5]。

通过现场大量实践应用证明, 该设备能够满足压水试验需求。

1.2 优缺点

液压栓塞相比较单管顶压式栓塞及气压式栓塞具有以下优点^[5]。

(1) 加压均匀, 充足, 适应性强, 如遇到软弱夹层、破碎地层或孔壁不平且有小洞穴时, 胶囊能随孔壁形态扩张充填, 达到密封吻合, 止水可靠。

(2) 胶囊加压后沿环向膨胀伸展, 不发生上下位移, 可准确地阻塞在拟定的位置上, 如需更换位置, 只要松开栓塞, 即可上下移动。

(3) 操作轻便迅速, 工作效率高, 工作管一般可用钻杆代替, 提升工作管的过程与升降钻具大体相同。

(4) 结构简单, 除胶筒外其它部件一般加工车间均可制造, 结构紧凑, 体积小而轻便。

(5) 不需要重新配置设备, 成本低。

液压式栓塞综合了单管顶压式橡胶栓塞及气压式栓塞的优点, 但一直未能广泛投入使用, 主要是由于其有一个致命的缺点: 当地下水位达到一定的深度, 根据统计一般为 60 m 左右时, 栓塞就难以复原, 地下水位达到 100 m 左右时, 其基本不能使用^[10]。

2 泄压机构

在水利水电勘察项目中, 地下水位 > 60 m 且需要进行压水试验的钻孔较多, 要想较好地应用液压栓塞, 就必须解决好试验结束后排水泄压问题。

2.1 研究思路

水压式栓塞所用胶囊本身具有弹性, 之所以在地下水较深的钻孔进行压水试验后, 无法恢复原状, 是由于膨胀管路(即钻杆)的水柱较高, 一般为地面至栓塞位置, 地下水位低的情况下, 胶囊外部压力低, 内外形成压差, 压差形成的压力大于胶囊恢复力后, 栓塞无法靠自身弹力恢复原状。

要解决该问题, 则需使钻孔环空与钻杆内形成一个通道, 平衡压力。

2.2 机构结构及工作原理

通过研究, 设计了一款排水泄压机构, 结构如图 2 所示, 该机构简单, 由阀体、阀芯、弹簧及堵头组成, 阀体连接于钻杆即供水水路, 阀芯连接于栓塞。阀芯与下部连接的栓塞依靠弹簧弹力悬挂, 处于阀块上限位, 该处采用 O 型橡胶圈挤压密封。堵头通过细螺杆固定, 阀芯活动距离与正常状态下堵头与阀芯接触面距离相等。部分细节示意图未能体现出来。

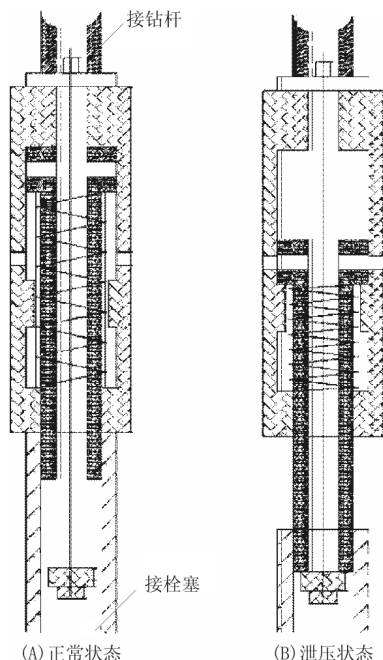


图 2 泄压机构示意

如试验钻孔地下水位低, 则安装该机构连接于液压栓塞与钻杆之间, 此时泄压正常状态如图 2 (A) 所示, 阀块处于上限位, 侧边通道处于关闭状

态,水路畅通。将栓塞放置于试验段需要封隔位置处,水泵供水,水经钻杆、泄压机构、栓塞(图1A状态)进入胶囊内,待胶囊充水到达设定压力时,钻杆下移,此时栓塞转换开关下移,封闭胶囊压力水,水直接进入试验段内,泄压机构阀块仍处于正常状态。

试验结束后,打开水泵回水阀,钻孔试段内卸压,试段压力水泄压完成后,提动钻杆,直至钻杆无法上移(提升力比钻杆等重力稍大)。提动钻杆过程中,栓塞转换开关上移,钻杆至钻孔试段水路关闭,胶囊与钻杆通道打开,但由于钻杆内与钻孔环空水柱压力差大及提动钻杆时间短暂,胶囊无法完全排水泄压,栓塞胶囊由于膨胀变形,仍紧贴于钻孔内壁,无法上下活动,泄压机构阀块行程受阻,进而压缩弹簧,阀块相对下移(如图2B所示),直至阀块处于下限位,此时钻杆与钻孔环空通道打开,同时胶囊与钻杆通道由于堵头堵死处于关闭状态,钻杆内水柱流入钻孔环空内,压力平衡,此时稍微放下钻杆,弹簧恢复,堵头移开,胶囊与钻杆通道重新打开,胶囊由于自身弹力恢复,排出胶囊内压力水,脱离孔壁,完成排水泄压。

如操作过程中对上下行程不熟悉,可以反复操作,直至泄压完成,栓塞脱离孔壁。

2.3 受力分析

水压式栓塞虽然在部分工程中已投入使用,但由于为地下作业不好监测使用情况,对孔内各部件受力情况无经验可循,对各部件是否能在压力情况下工作无从得知,以 $\varnothing 94$ mm 钻孔孔径举例进行计算验证。假设试验段位于孔深100~105 m段,胶囊长度大于8倍孔径,即80 cm,栓塞充水压力大于最大试段压力0.2~0.3 MPa,该试验如地表压力表显示压力1 MPa,则实际试验段压力约为2 MPa,胶囊充压压力宜为2.3 MPa。

通过资料查询,橡胶与湿润混凝土滑动摩擦系数为0.45~0.75,静摩擦力要大于滑动摩擦系数,但为试验保守计算,取胶囊与孔壁一般摩擦系数为0.45。

2.3.1 胶囊锚固力计算

胶囊与孔壁压力:

$$N = PS = Pcl = P\pi dl = 543094.4 \text{ N}$$

式中: N ——胶囊与孔壁压力,N; P ——胶囊压力,取2.3 MPa; S ——胶囊与孔壁接触面积, m^2 ; c ——膨胀后的胶囊外径周长,m; l ——胶囊径向长度,取

0.80 m; d ——膨胀后的胶囊圆柱直径,取0.094 m。

胶囊对孔壁压力采用胶囊内外压力差计算,但实际工作状态时胶囊与孔壁紧贴,实际摩擦阻力要大得多。

胶囊锚固力(即胶囊与钻孔孔壁摩擦力):

$$f = \mu N = 244392.5 \text{ N}$$

栓塞受试验段向上压力:

$$F = PS = \pi r^2 P = 13872.52 \text{ N}$$

式中: f ——胶囊锚固力(即胶囊与钻孔孔壁摩擦力),N; N ——胶囊与孔壁压力,N; μ ——摩擦系数; F ——栓塞受试验段向上压力,N; P ——试验段内压力,Pa; S ——试验段压力对栓塞作用面积, m^2 ; r ——钻孔半径,m。

栓塞受试验段向上推力 F 小于胶囊与孔壁摩擦力 f ,所以胶囊锚固是没有问题的。

2.3.2 泄压机构受力计算

由于泄压机构设计的为弹簧悬挂,压水时泄压机构处于压力状态下,在上述假设工作条件下,此时结构内部压力为2 MPa,活动阀块受到压力与阀块面积有关,根据机构设计尺寸,上部受到的压力为 $F = PS = \pi r^2 P = 2034.72 \text{ N}$,相当于29 m 钻杆重力(钻杆自重7 kg/m),钻杆自重状态下,内部受力为拉应力,受到泄压机构内力后,钻杆阀块以上计算29 m处为应力零点,此时计算模型即为29 m 钻杆自重状态下是变形量。

根据Lubinski先生经过数学力学推导,给出了一次屈曲的临界受压长度:

$$L_1 = 2.04m = 2.04 \sqrt{\frac{EI}{q_m}} = 16.54 \text{ m}$$

二次屈曲的临界受压长度:

$$L_2 = 4.05m = 4.05 \sqrt{\frac{EI}{q_m}} = 32.80 \text{ m}$$

式中: L_1 ——钻杆一次屈曲的临界受压长度,m; L_2 ——钻杆二次屈曲的临界受压长度,m; m ——无因次单位长度; E ——杨氏模量,钻杆为 $20.594 \times 10^{10} \text{ Pa}$; I ——钻杆断面轴惯性矩,通过计算, $\varnothing 50$ mm 钻杆为 $1.81 \times 10^{-7} \text{ m}^4$; q_m ——钻柱在泥浆中每米重力, $\varnothing 50$ mm 钻杆为70 N/m。

通过计算得知,钻杆受力情况下一次屈曲,钻头处角度最大,屈曲角度为:

$$\theta = \tan^{-1}(1.02r/m), \text{ 其中 } r = 0.5(D_H - D_C)$$

式中: θ ——屈曲角度; m ——无因次单位长度;

D_H ——井眼直径, m; D_C ——钻杆直径, m。

钻杆纵向位移值为 $\Delta h = H(1 - \cos\theta) = 0.11$ mm。

计算得出变形量为 0.11 mm, 变形是微乎其微的, 不会由于压力状态导致钻杆弯曲纵向位移, 导致旁通孔打开。

通过计算可知该结构完全可以满足压力情况下对试验无影响。

3 实践应用

该设备在西藏热玉水电站中坝址左右岸坝肩钻孔中得到应用, 为了验证设备可靠性, 在同一试验段中采用原始的单管顶压式橡胶栓塞和液压栓塞进行了试验数据对比, 试验数据基本符合。该钻孔设计孔深 200 m, 地下水位为 164 m, 试验段均为钻孔终孔压水段。2 次试验使用该泄压机构均顺利地完成了胶囊排水泄压。

试验数据见表 1。

表 1 试验成果

试验段	栓塞形式	流量值/(L·min ⁻¹)					备注
		试验段压力/MPa					
		0.3	0.6	1.0	0.6	0.3	
ZKZ-07 (左岸)	单管顶压	6.8	14.3	27.2	15.4	7.5	先压
	液压栓塞	7.3	14.8	24.9	14.7	7.4	
ZKZ-08 (右岸)	单管顶压	5.6	11.7	20.1	11.8	5.6	
	液压栓塞	5.3	11.4	19.2	11.5	5.5	先压

试验结果分析: (1) 总体说来, 2 种栓塞测得的吕荣值基本相符, 说明液压栓塞压水是可靠的; (2) ZKZ-07 液压栓塞测得的流量值接近但略大于单管顶压测得值(0.3 MPa、0.6 MPa), 可能由于前次压水过程中将部分小裂隙压裂或贯通; (3) ZKZ-07 液压栓塞升压 0.3 MPa 流量接近并小于单管顶压降压 0.3 MPa 流量, 说明液压栓塞封隔试验段是相当可靠的; (4) 比较 2 个钻孔(1.0 MPa)压水数据, 地层越破碎, 2 种方式测得流量值相差越大, 单管顶压式偏大, 说明其在破碎地层中的封隔效果不够理想。

4 结语

该机构解决了液压栓塞排水泄压问题, 使得液

压栓塞可广泛用于压水试验中, 并能充分体现出血压栓塞的灵活性。而且结构简单, 一般车间就可进行加工制作, 便于推广应用。

本文着重介绍该机构, 以单栓塞为例, 生产过程中可以根据生产需要自行改装成为双栓塞, 只需要通过小高压管连接两端胶囊, 充排压力水实现就很容易。当实现了双塞压水后, 同时也可实现绳索取心不起大钻压水。

参考文献:

- [1] SL 31—2003, 水利水电工程钻孔压水试验规程[S].
- [2] 杨清芝. 实用橡胶工艺学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [3] 王海忠. 水压式双栓塞止水压水技术的研究与实践[J]. 水文地质工程地质, 2005, (5): 116—120.
- [4] 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.
- [5] 夏永祥, 胡仁岳. 钻孔压水试验的一种新型设备——液压栓塞[J]. 水利水电技术, 1979, (2): 31—35.
- [6] 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.
- [7] 张双. 气压式压水试验器[J]. 水利水电技术, 1983, (2): 35—41.
- [8] 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.
- [9] 李守圣, 周晓, 郭明, 等. 绳索取心用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.
- [10] 易学文, 周晓, 李守圣, 等. 水利水电工程钻探绳索取心钻进中压水试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2012, 39(S1): 88—89.
- [11] 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.
- [12] 马善洲, 韩志勇. 轴力及重力作用下钻杆最大弯曲应力计算[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(2): 6—8, 11.
- [13] 安其美, 赵仕广, 丁立丰, 等. 单回路双栓塞止水压水技术及其应用[J]. 水力发电学报, 2005, 23(5): 50—53, 27.
- [14] 袁艳. 单栓塞止水压水试验常见问题的处理[J]. 江淮水利科技, 2014, (4): 41—42.
- [15] 张国华, 杜学钧, 余侃. 单管压水时水头损失的直接测定法——压力传感器的研制和有关问题的探讨[J]. 水文地质工程地质, 1980, (6): 53—56, 67.
- [16] 杨进, 韩金明. 钻孔压水试验技术的应用与探讨[J]. 甘肃水利水电技术, 2005, (2): 141—142, 144.