

绳索取心钻孔堵漏新工艺研究

王志祥, 欧涛, 韩庆

(四川省第七地质大队, 四川乐山 614099)

摘要:绳索取心钻进技术在地质勘探领域得到了广泛应用,然而钻孔漏失影响施工效率和安全的问题仍然突出。分析现有绳索取心钻孔堵漏特点,提出了3种安全快速堵漏新工艺:钻孔堵漏小球工艺、内管投放抗分散速凝水泥工艺以及孔口投放疏水化学胶凝材料工艺。钻孔堵漏小球工艺在不提钻条件下,利用捣孔尖锥将研制的堵漏小球挤压变形破碎,强行填充地层缝隙,旨在解决惰性材料堵漏“大颗粒难进缝隙、小颗粒难承压”的矛盾,实现“进得去、留得住、承得起”的安全快速堵漏目的。内管投放抗分散速凝水泥工艺充分利用绳索取心绞车投放内管实现堵漏,将研发的改性水泥浆液装入内管,配合到位泄浆阀,无需提钻即可实现浆液的精准投放,孔底自流平后快速凝固,能最大程度避免水侵污染与埋钻风险。孔口投放疏水化学胶凝材料工艺采用聚氨酯聚脲复配生石灰和聚乙烯亚胺搅拌成浆,孔口投放并伴随清水流入孔内,能穿越长距离有水孔段到达孔底,自流平后快速凝固实现堵漏。本文详细介绍各工艺的制备原理、操作步骤、现场测评及优缺点,努力实现绳索取心更安全、便捷、高效、低污染堵漏,为技术人员提供参考。

关键词:钻孔堵漏小球;内管投放抗分散速凝水泥;孔口投放疏水化学胶凝材料;捣孔尖锥;到位泄浆阀;聚氨酯聚脲;绳索取心钻进

中图分类号:P634.5 **文献标识码:**A **文章编号:**2096-9686(2025)S1-0193-06

Research on new techniques for borehole leakage plugging in wireline core drilling

WANG Zhixiang, OU Tao, HAN Qing

(The 7th Geological Brigade of Sichuan, Leshan Sichuan 614099, China)

Abstract: Wireline coring technology has been widely used in the field of geological exploration, but the problem of drilling leakage affecting construction efficiency and safety is still prominent. Analyzing the characteristics of the existing wireline core drilling and plugging, three new safe and fast plugging processes are proposed: drilling plugging ball process, internal pipe injection of anti dispersion rapid setting cement process, and hole injection of hydrophobic chemical cementitious material process. The drilling and plugging ball technology uses a pounding cone to compress, deform, and break the developed plugging ball without lifting the drill, forcibly filling the formation gaps, aiming to solve the contradiction of “large particles difficult to enter the gaps and small particles difficult to bear pressure” in inert material plugging, and achieve the safe and rapid plugging goal of “entering, retaining, and bearing”. The process of injecting anti dispersion rapid setting cement into the inner pipe fully utilizes the wireline core winch to inject the inner pipe to achieve leak sealing. The modified cement slurry developed is loaded into the inner pipe and matched with the slurry release valve in place to achieve precise injection of the slurry without lifting the drill. After self leveling at the bottom of the hole, it quickly solidifies, which can minimize the risk of water invasion pollution and buried drilling. The process of adding hydrophobic chemical cementitious materials through the orifice adopts a mixture of polyurethane

收稿日期:2025-05-23; **修回日期:**2025-07-16 **DOI:**10.12143/j.ztgc.2025.S1.029

基金项目:四川省第七地质大队科研项目“地质找矿深孔钻探作业指导研究”(编号:QDKY2025-03);四川省地质矿产勘查开发局2025年度科技项目“钻探安全快速堵漏工艺研究”(编号:SCDZ-KJXM202509)、“四川省会理市白云山铜矿普查”(编号:N5134112024000404)

第一作者:王志祥,男,汉族,1983年生,正高级工程师,勘查技术与工程专业,硕士,长期从事钻探技术研发及服务,四川省峨眉山市峨九街87号,182352585@qq.com。

引用格式:王志祥,欧涛,韩庆.绳索取心钻孔堵漏新工艺研究[J].钻探工程,2025,52(S1):193-198.

WANG Zhixiang, OU Tao, HAN Qing. Research on new techniques for borehole leakage plugging in wireline core drilling[J]. Drilling Engineering, 2025,52(S1):193-198.

polyurea, quicklime, and polyethyleneimine to form a slurry. The material is added through the orifice and accompanied by clean water flowing into the hole. It can pass through a long distance of water filled holes to reach the bottom of the hole, and after self leveling, it quickly solidifies to achieve leak sealing. This article provides a detailed introduction to the preparation principles, operating steps, on-site evaluation, and advantages and disadvantages of each process, striving to achieve safer, more convenient, efficient, and low pollution leak prevention for wireline coring, and providing reference for technical personnel.

Key words: drilling plugging ball; injecting anti dispersion rapid setting cement into the inner pipe; injecting hydrophobic chemical cementitious materials into the orifice; punching the hole with a pointed cone; in place discharge valve; polyurethane polyurea; wireline core drilling

0 引言

钻孔漏失问题在钻探施工中极为常见,特别是在西南地区,“十孔九漏”的情况屡见不鲜。钻孔漏失程度、影响大小和治理难度不同,给钻探工程带来了诸多挑战,如材料消耗增加、孔壁稳定性下降、冲洗液质量变差、钻机负荷增大等问题,严重时甚至会影响施工安全^[1-5]。绳索取心技术因其钻进效率高、辅助时间短、劳动强度低、取心质量优良等显著优点,在钻探工程中得到了广泛应用。因此,基于绳索取心研究钻孔堵漏新工艺对于保障钻探工程的顺利进行具有重要现实意义。

1 钻孔堵漏特点与技术研发方向

1.1 钻孔堵漏特点

钻孔漏失情况在不同地区和地层中表现各异,但普遍存在“看不到、摸不到、操作空间窄小、潮湿甚至水下固结难、深孔承压能力要求高”等特点,完全不同于简单可控的地表环境,钻孔堵漏操作难观察、难处理、难评定。

1.2 技术研发方向

目前,传统钻孔堵漏材料主要包括惰性材料类、水泥浆液类和化学浆液类等,配套合适的堵漏工艺可发挥最优效果。由于钻孔条件不同,堵漏方案适应性不同:惰性材料类堵漏,如801、803等应用广泛、操作安全,但承压能力偏小、用量偏大,深孔成功率偏低;水泥浆液类堵漏取材方便、应用广泛、固结强度高,但灌注工序繁琐、埋钻风险较大、易受地下水体污染、消耗时间偏长;化学浆液类堵漏固结强度高、固结时间短,但材料成本和技术要求相对较高,某些方案需要配套专用灌注器,市场推广难度较大。

绳索取心与提钻取心、全面钻进等工艺钻具配置差异大。绳索取心属于满眼钻进,更易破坏惰性

材料堵漏时在孔壁凸起形成的承压“封堵墙”,若采用同径灌注固结浆液埋钻风险也更大。绳索取心堵漏具有起下钻劳动强度大、钻孔口径小、环状间隙小、成本预算低等不利因素,也具有内管提送方便等有利因素,如何权衡利弊将堵漏材料以更安全、便捷、高效、低污染的方式送到预定孔段,并在短时间内形成承压能力,是现阶段绳索取心钻孔堵漏技术研发的重要方向。

2 钻孔堵漏小球工艺

2.1 堵漏小球结构与原理

堵漏小球由骨架颗粒、玻璃纤维和PVC油膏热混后挤压成球,并经石膏造壳而成^[6-8],总结为“防冲刷挤压破碎绕阻架桥堵漏原理”。

(1)防冲刷:堵漏小球造壳定型后长期保存不变形,投放过程和挤压破碎后均能有效防水,不宜被冲洗液污染带走,易于停留在孔壁缝隙一定深度范围;

(2)挤压破碎架桥:骨架颗粒被挤入缝隙,或破碎后强行挤入缝隙,容易形成强有力的架桥承压能力;

(3)挤压绕阻架桥:长玻璃纤维不仅能减缓PVC油膏流淌且增加强度外,还能通过其无序缠绕,使骨架颗粒挤入缝隙时发生翻滚或不同步,增加接触架桥概率。

2.2 堵漏小球制备方法

堵漏小球直径为42 mm,适用于钻头内径>42 mm的N、H、P、S等绳索取心系列,其制备步骤如下。

(1)选材:骨架颗粒采用粒径1~10 mm碎石,玻璃纤维长度介于40~80 mm之间,PVC油膏体积与骨架颗粒的间隙空间相当,以防止PVC油膏过量导致骨架颗粒呈现“悬浮状态”,玻璃纤维的重量为骨架颗粒与PVC油膏总重量的0.6%~0.8%;

(2)混料:将PVC油膏放入加热搅拌炉,在200℃下充分融化降黏,逐步添加玻璃纤维和碎石,搅拌均匀得到混合料,见图1所示;



图1 堵漏小球混合料制备

(3)成型:将未完全冷却的混合料敲入不锈钢网格刀,切割形成等体积的圆柱体,如图2所示,圆柱体放入成型模具中冲压成球,如图3所示;



图2 混合料被网格刀切割成等体积圆柱体



图3 成型模具冲压圆柱体成球

(4)造壳:将冲压成型的小球放入造壳模具中,倒入石膏浆液包裹小球,待1~2 h后凝固取出,如图4所示。



图4 石膏包浆造壳

2.3 堵漏操作流程

(1)孔口投放:回次取心结束,在不提钻条件下,从孔口逐个投入与堵漏孔段体积相当的堵漏小球,其会穿过钻头落入孔底;

(2)挤压捣孔:内管上的卡簧座更换为捣孔尖锥,内管投放到位后尖锥前端将伸出钻头,如图5所示。冲洗液循环状态下,采用正常钻压低速捣孔,使堵漏小球在“钻具挤压力+液柱压力”双重作用下强行进入地层缝隙,冲洗液将逐步返出口口。

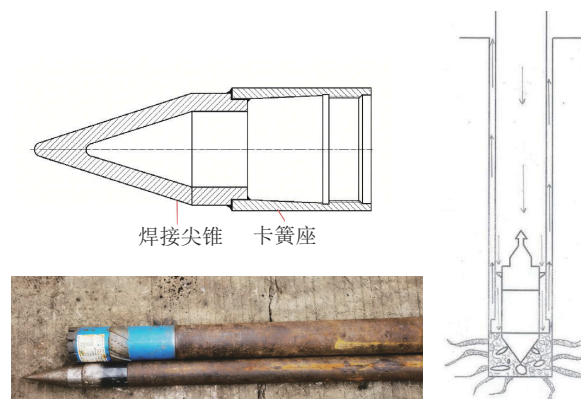


图5 捣孔尖锥结构示意图和钻具配套

2.4 现场测评

近期在四川白云山和梨子坪项目的两个钻孔进行了应用测评,捣孔过程中冲洗液即从孔口返出,将捣孔尖锥更换回卡簧座,扫掉部分未进入缝隙的材料,即可恢复正常钻进,相关情况如图6所示。

2.5 工艺优缺点

2.5.1 优点

(1)两次试验在百米孔深内均采用便携式全液压钻机成功堵漏,给进能力更强的立轴式钻机捣孔应该更容易,适用几乎所有主流钻孔口径,说明该



图6 钻孔堵漏小球现场应用测评

工艺从设想到应用具有广泛可行性;

(2)堵漏操作无需提钻,与一个回次钻进时间相当,尤其深孔可节省大量时间和劳动力;

(3)堵漏小球属于惰性材料堵漏,无需候凝固结,配套相应规格捣孔尖锥,操作简单安全,无埋钻风险;

(4)堵漏小球具有明显抗水侵污染能力,对封堵涌水缝隙应该适用,有待试验验证。

2.5.2 缺点

(1)堵漏小球虽然原材料成本低,但制作相对复杂,批量商业化生产是该工艺快速推广的先决条件;

(2)便携式全液压钻机因给进能力较低,单次堵漏小球堆填高度建议 ≥ 1 m,否则下部压实紧密程度会欠佳,必要时采用分段投放、分段压实的方式;

(3)降低内管总成单动性,包括将单动轴承更换为垫片并拧紧弹簧,同时捣孔尖锥前端镶焊合金块,可争取一次性捣孔到底。

3 内管投放抗分散速凝水泥工艺

3.1 投放装置结构与原理

内管投放抗分散速凝水泥工艺充分利用内管作为抗分散速凝水泥浆液的容腔,采用绳索取心绞车下放内管实现浆液定点投放堵漏^[9],其原理如下:

(1)内管前端连接“到位泄浆阀”,钢绳下放时阀为闭合状态,浆液受内管保护不受孔内水体污染,当接触钻头时,阀才因级配关系被迫开启;

(2)“到位泄浆阀”开闭由泄浆管和滑档配合完成,泄浆管外径小于钻头内径,可穿出钻头,滑挡外

径大于钻头内径,接触钻头时被迫上移使阀打开,结构和配合关系如图7所示。

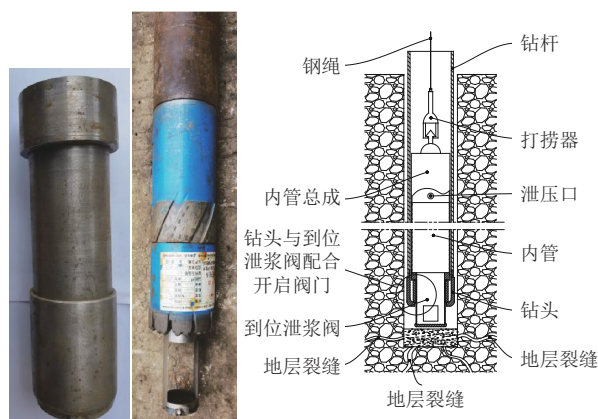


图7 到位泄浆阀及钻具配套

3.2 水泥浆液制备

抗分散速凝水泥浆液的制作方法:水灰比取0.45~0.55,取水泥质量0.1%~0.5%的抗分散剂,取水泥质量2%~8%的固体氯化钙作为早强剂,抗分散剂为聚环氧乙烷、非离子聚丙烯酰胺、羟丙基甲基纤维素的一种或多种。氯化钙先在清水中溶解,随后加入水泥和抗分散剂的混合料,低速搅拌均匀,有条件时可加入1‰~2‰的B13水泥消泡剂,密度可达1.5~1.8 kg/L。地表测试浆液可流经8 m深度的有水管道的且水质清澈,到底自流平后凝固无浮浆,强度测试达到预期,如图8所示。



图8 有水管道的抗分散和凝固强度测试

3.3 堵漏操作流程

(1)装料:内管前端连接“到位泄浆阀”并使其关闭,从内管另一端灌入调配好的浆液,取出内管总成单向阀中的钢珠,连好内管总成;

(2)投放:上提钻杆使钻头高出拟灌孔段1~2

m,控制绞车用钢绳下放内管,到达钻头位置后自动向外泄料待凝,反复多次投放达到设计用量。不同规格钻孔采用3 m内管投放浆液,单次理论填充高度见表1所示。

表1 3 m内管投放浆液单次理论填充高度

规格	NQ	NTW	HQ	HTW	PQ	SQ
单米钻孔容积/ m^3	4.53	4.53	7.23	7.23	11.68	17.66
3 m内管容积/ m^3	4.98	7.39	9.65	11.87	17.01	24.50
单次填充高度/m	1.20	1.60	1.40	1.60	1.50	1.40

3.4 现场测评

该工艺现在四川白云山项目某钻孔220 m终孔后进行了初次测评,钻孔未漏失,试验用以测评该工艺操作可行性及改性水泥在水下凝固特点,现场情况如图9所示。



图9 内管投放抗分散速凝水泥工艺堵漏及形成的固结体

3.5 工艺优缺点

3.5.1 优点

(1)内管投放抗分散速凝水泥工艺测试基本成功,适用几乎所有主流钻孔口径,说明该工艺从设想到应用具有广泛可行性;

(2)无需提钻再下管泵送水泥浆液进行堵漏,尤其深孔可节省大量时间和劳动力;

(3)该工艺可充分利用现有绳索取心器具,并配套相应规格“到位泄浆阀”使用,浆液污染少且用量少,无灌注埋钻风险,更适合孔内水位高且孔深大的钻孔堵漏。

3.5.2 缺点

(1)为简化方案,首次使用仅加入了0.1%的聚环氧乙烷,抗分散剂用量和品种均少,造成凝固状态不佳,两次内管投放理论灌注深度3.2 m,实际探底深度3.2 m,取出柱状水泥心2 m,高强度水泥心仅1 m,后期可复配抗分散剂并增加用量以改善固结效果;

(2)地表装料因内管口过小而造成浪费,后期可配置歪嘴漏斗使用;

(3)候凝时间较长,在抗分散剂用量达标后,可增加氯化钙用量尽可能缩短候凝时间。

4 孔口投放疏水化学胶凝材料工艺

4.1 胶凝材料性能要求

满足孔口投放疏水化学胶凝材料需达到以下性能要求:

(1)孔内冲洗液或清水密度通常在1.0~1.1 kg/L之间,要保证胶凝材料在含水孔段能自由下落,应具有更高的密度;

(2)胶凝材料不易与水体混溶污染,不发生明显化学反应,不易降低密度和固结强度,则利于穿过长距离含水孔段;

(3)胶凝材料达到孔底能够自流平,自适应填充各类缝隙容腔,在较短时间固结并达到承压强度;

(4)浆液能在非固结孔段的井壁和套管内壁残留少,有防黏附措施。

4.2 胶凝材料配方

通过大量实验筛选,最终选择胶凝材料由GRT1308聚氨酯聚脲、200目生石灰粉和聚乙烯亚胺搅拌混合而成^[10]。案例配方质量比如下:GRT1308的A液+GRT1308的R液+生石灰粉+聚乙烯亚胺=20:80:60:1,相关强度、密度测试数据如表2所示,测试情况如图10所示。生石灰粉质量可适当调整以满足必要的流动性;聚乙烯亚胺作为抑泡剂可不添加或少添加,在钻孔要求不高时以简化方案、节约成本。

表2 胶凝材料凝固强度和密度测试

间隔测试固结强度/Mpa			密度	备注
6 h	10 h	24 h	kg/L	
3.5	8.5	10.6	1.53	添加聚乙烯亚胺
2.0	3.2	3.2	1.27	无添加聚乙烯亚胺

4.3 堵漏操作流程

(1)定量制备:根据钻孔规格和拟固孔段长度确定材料用量,按配方现场搅拌制备堵漏胶凝材料。

(2)孔口投放:全部提钻或提钻到拟固结孔段以上,从孔口投放胶凝材料并伴随清水流入孔内,其能穿越长距离有水孔段到达孔底,自流平后快速



(a) 添加聚乙烯亚胺配方



(b) 无添加聚乙烯亚胺配方

图10 胶凝材料倾倒、自流平及凝固定型测试

凝固,接入清水可避免浆液在无水孔段黏附孔壁和套管内壁,候凝4~10 h后可进行扫孔工作。

4.4 现场测评

该工艺现在四川白云山2个钻孔进行了测评,孔深分别为27和185 m,分别穿越有水孔段长度为7和140 m,固结状态良好,现场情况如图11所示。

4.5 工艺优缺点

4.5.1 优点

(1)本次孔口投放疏水化学胶凝材料工艺测试



图11 孔口投放疏水化学胶凝材料堵漏及形成的固结体

基本成功,适用几乎所有主流钻孔口径,说明该工艺从设想到应用具有广泛可行性;

(2)胶凝材料从孔口投放,约4 h可达到扫孔强度,无需下管泵送灌注,可节省大量时间和劳动力;

(3)孔口投放工艺简单,胶凝材料有能力穿过长距离有水孔段到达孔底,抗污染能力远高于传统堵漏浆液。

4.5.2 缺点

(1)生石灰粉保管不善容易受潮,测评时第1次使用效果好,第2次使用时则产生大量 CO_2 气泡,被迫重新更换材料。

(2)引进聚氨酯聚脲并改性作为孔口投放的堵漏材料,创新了堵漏工艺,但聚氨酯聚脲、聚乙烯亚胺等购置成品偏高,现场测评时未使用聚乙烯亚胺。

5 结论

本文介绍了3种绳索取心钻孔堵漏新工艺,现从实验室转到现场应用测评阶段,拟逐步优化提升适应性和可靠性。实际钻探工程中,技术人员应根据具体钻孔情况和漏失特点,选择合适的堵漏工艺,才能实现更安全、便捷、高效、低污染的钻孔堵漏。

参考文献:

- [1] 鄢捷年. 钻井液工艺学[M]. 北京: 中国石油大学出版社, 2018:387.
- [2] 曾祥熙,陈志超,何玉明. 钻孔护壁堵漏与减阻[M]. 北京: 地质出版社,1981:319-322.
- [3] 鄢泰宁. 岩土钻掘工程学[M]. 武汉: 中国地质大学出版社,2008.
- [4] 全国自然资源与国土空间规划标准化技术委员会(SAC/TC 93). 地质钻探护壁堵漏技术规程: DZ/T 0410—2022[S]. 北京: 地质出版社,2022.
- [5] 张晓西,鄢泰宁,杨凯华,等. 岩土钻掘系列课程实验指导书[M]. 武汉: 中国地质大学出版社,2008:58.
- [6] 王志祥,欧涛,韩庆,等. 一种钻孔堵漏小球及其制备方法: CN113863892B[P].2023-02-24.
- [7] 郑力会. 防漏堵漏理论与技术进展[R]. 任丘: 华北油田,2011.
- [8] 庞惠龙,韩辉. 漏失地层沥青堵漏的工艺实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2015,42(6):1-5.
- [9] 王志祥,许非,欧涛,等. 一种堵漏胶凝材料便捷投放装置及方法: 202410400825.6[P].2024-06-28.
- [10] 王志祥,郭文彦,欧涛,等. 一种孔口倾倒钻孔堵漏胶凝材料及其制备方法和使用方法: 202411313578.2[P].2024-12-27.

(编辑 王文)