

关于水文地质钻探技术的研究

李少波 姚文永 邢小杰

河北省地质矿产勘查开发局国土资源勘查中心（河北省矿山和地质灾害应急救援中心） 河北 石家庄 050081

摘要：水文地质钻探是获取地下水相关资料的重要技术手段，通过钻孔探明地下水分布、水质水量等特征。它涉及多种关键技术，如多工艺空气钻探、多介质反循环钻探、金刚石绳索取芯钻探和定向钻探等。这些技术在应用中面临地层复杂、钻孔难度大等挑战。未来，水文地质钻探将向着更高效、智能化、精细化的方向发展，以满足经济社会对清洁能源和地下水资源的需求。

关键词：水文地质；钻探；关键技术

引言

随着经济社会的发展，对地下水资源和清洁能源的需求日益增加，水文地质钻探技术在此背景下显得尤为重要。该技术通过钻孔直接探明地下水分布、水质水量等关键信息，为地下水资源评价和合理开发提供基础资料。本文将深入探讨水文地质钻探的基本概念、关键技术、面临的挑战及未来发展趋势，以期对相关领域的研究和实践提供参考。

1 水文地质钻探的基本概念

水文地质钻探，作为一种专业的地质勘探技术手段，旨在获取合理开发及利用地下水所需的详细资料。它是继水文地质测绘与水文地质物探之后的重要勘测方法，能够直接探明地下水赋存状态及相关规律，为地下水资源评价及其它水文地质计算提供基础数据。水文地质钻探的特点在于其钻孔直径相对较大，钻进工艺和成井工艺较为复杂，且所用设备能力要求较高。钻孔类型多样，通常包括水文地质普查孔、勘探孔及探采结合孔等，以适应不同勘探目的和需求。在钻探过程中，需根据含水层的具体特性选择合适的钻进方法和设备，确保钻孔质量和勘探效果。水文地质钻探还涉及抽水试验孔的布设与观测，通过抽水试验测定水文地质参数，如渗透系数、导水系数等，以进一步了解含水层的富水性和水力性质。长期水文观测孔则用于定期测定地下水水位、水质和水温，观测地下水动态，为地下水资源管理提供科学依据。在钻探实施过程中，需严格遵循相关技术规范 and 操作要求，确保钻孔的封闭止水效果，避免含水层间的水互相串通，保护地下水不受污染。还需注重钻孔资料的记录与整理，确保提交的资料真实、准确、可靠，为后续的地下水资源开发和利用提供坚实的数据支撑。水文地质钻探在地下水资源的勘探、开发与管理中发挥着至关重要的作用。

2 水文地质钻探的关键技术

2.1 多工艺空气钻探技术

多工艺空气钻探技术是一种先进的钻探方法，它主要利用压缩空气或压缩空气混合气体作为钻探过程中的循环冲洗介质。这种技术通过介质循环为岩石破碎机提供动力，并辅助钻头在冲洗介质的帮助下进行旋转作业。随着科学技术的飞速发展，气体钻探技术已经取得了显著进步，形成了包含多种循环介质、钻探方式、岩石破碎手段及应用场景的综合性技术体系。在实际应用中，低密度流体作为钻探介质展现出了独特的优势，它能够有效地冷却钻头，确保钻头在钻探过程中保持较高的机械能量，从而提高钻进速度。低密度流体还能有效去除岩屑，确保钻探作业的顺利进行，并快速完成地质判定。对于岩屑等易在孔壁部位聚积或易造成堵塞的情况，低密度流体能够很好地保护孔壁，防止孔壁坍塌和钻探事故。多工艺空气钻探技术还具有环保优势。它能够防止钻探作业对环境的污染，对含水层和低压油气层形成良好的保护。在含水层或低压油气层进行钻探时，该技术能够显著减少对地层的破坏，提高采收率，特别是在寒冷的冻结层和干燥区域，多工艺空气钻探技术更有利于矿产资源的开采。随着钻压的增大，该技术还可以采用压裂法来扩大钻探直径，这种方法能够增大钻头与岩石间的相互作用力，增加摩擦阻力，同时影响泥浆的浓度、黏度和渗透系数。这些特点使得低密度连续型流化床钻机成为钻探领域的重要发展方向之一。未来，随着技术的不断进步和创新，多工艺空气钻探技术有望在矿产资源勘探和开发中发挥更加重要的作用^[1]。

2.2 多介质反循环钻探技术

多介质反循环钻探技术是在钻探施工过程中采用的一种特殊钻探方式。相较于传统钻探技术，其循环介质是反向流动的，这一特性使得该技术具有显著的优势。

反循环钻探通常配备双层钻具，以液态和压缩空气作为主要成分，在钻探作业中发挥着关键作用。在实际钻探过程中，该技术采用了双壁式主动钻具、双壁气动龙头以及双壁钻杆内、外套管环缝等结构，形成了独特的循环介质通道。孔底的破岩器作为动力源，通过钻芯的中央通路，有效地将孔底的岩石样品和岩芯采集上来，这种特殊的钻探方式无需频繁地将钻具从钻探孔中取出，从而大大提高了采样效率。反循环钻探技术的优势在于钻进速度快、耗时少、劳动强度低，并且洗井效果好，孔底保持干净。该技术还能够实现钻进与采样的同步进行，确保了勘探数据的高质量和高效率，这些优势使得反循环钻探技术在国内外各大油田得到了广泛的应用，并取得了显著的成效。根据循环介质的不同，反循环钻探技术主要分为水力反循环和气体反循环两种类型。水力反循环主要利用水流作为介质，而气体反循环则主要依赖压缩空气。这两种类型各有特点，适用于不同的钻探环境和地质条件。除了上述优势外，多介质反循环钻探技术还可以结合其他先进技术，如液压冲击旋转钻探技术、绳索取芯钻探技术等，进一步提升勘探开发过程中石油、天然气、地热资源以及水井地下水等各种资源的开采效率。这些先进技术的应用，不仅提高了资源开采的效率和质量，也为能源勘探和开发领域带来了新的发展机遇。

2.3 金刚石绳索取芯钻探技术

金刚石绳索取芯钻探技术是一种高效且先进的钻探工艺，它特别适用于深孔钻探、复杂地层勘探以及硬岩地层的深入探测。这一技术利用金刚石钻头进行钻进作业，金刚石的高硬度和出色的耐磨性，使其能够轻松应对地质构造复杂、岩石硬度高的区域，从而显著提升钻探效率。在钻进过程中，金刚石绳索取芯钻探技术结合了绳索式取芯工具，实现了在不中断钻进作业的前提下，通过绳索系统将内管及岩芯提出地表。这种方式有效避免了传统钻探方法中频繁提钻所导致的效率损失，同时保持了钻孔的连续性和稳定性。这不仅提高了取芯质量，还显著减少了钻杆的磨损，进一步延长了钻具的使用寿命。金刚石绳索取芯钻探技术的另一大优势在于，其绳索取芯方式极大地减少了提升和下放钻具的次数，这不仅降低了钻探过程中的能耗，还显著减少了人工成本，使得钻探作业更加经济高效。因此，这一技术在深部找矿、地热资源勘探等领域得到了广泛应用，成为这些领域不可或缺的重要技术手段。金刚石绳索取芯钻探技术还具有高度的灵活性和适应性，它能够适应不同地质条件下的钻探需求，无论是在坚硬的岩石地层，

还是在复杂的地质构造中，都能发挥出优异的钻探性能。这使得该技术在地质勘探、矿产资源开发等领域具有广阔的应用前景。金刚石绳索取芯钻探技术以其高效、先进、经济的特点，在地质勘探和矿产资源开发领域发挥着越来越重要的作用。它不仅能够提高钻探效率和取芯质量，还能降低能耗和人工成本，是深部找矿、地热资源勘探等领域的重要技术手段，具有广阔的应用前景和深远的发展意义^[2]。

2.4 定向钻探技术

定向钻探技术是一种高度专业化的钻探方法，它具备按照预定轨迹进行钻探作业的能力，因此在多个领域得到了广泛应用。在石油天然气勘探中，定向钻探技术能够深入地下，精确寻找油气藏；在地热资源开发方面，它则能够准确抵达富含地热的岩层；在矿产资源勘探以及地下水调查中，定向钻探同样发挥着不可替代的作用，该技术通过精心设计的钻具组合，结合井下动力工具如螺杆钻具的使用，实现了对钻孔方向的精确控制。这种控制不仅体现在对钻孔倾斜角和方位角的调整上，还体现在对钻孔轨迹的连续监测和修正中。定向钻探技术能够穿越复杂的地质构造，如断层和褶皱带，有效应对钻探过程中的各种挑战。在实际应用中，定向钻探技术还展现出了出色的灵活性和安全性，它能够避开地表障碍物，如建筑物、水体等，确保钻探作业不会对周围环境造成不良影响。该技术还允许在一个钻孔中完成多个不同方向或深度的勘探任务，从而大大提高了勘探效率和资源利用率。随着随钻测量（MWD）和随钻测井（LWD）技术的不断发展，定向钻探技术已经实现了对地质参数的实时监测和地层评价。这些技术能够获取钻孔周围的地质信息，包括岩石类型、孔隙度、渗透率等关键参数，为精确资源评估和高效开发提供了强有力的技术支持。定向钻探技术以其精确的控制能力、出色的灵活性和安全性，以及高效的地质参数监测能力，在多个领域展现出了广泛的应用前景和巨大的发展潜力。随着技术的不断进步和创新，定向钻探技术将在未来继续发挥重要作用，为资源勘探和开发提供更加高效、精确和可靠的技术支持^[3]。

3 水文地质钻探的挑战与未来发展趋势

3.1 面临的挑战

水文地质钻探在实施过程中面临的挑战具有多维度和复杂性的特点。第一，地质条件的复杂性是水文地质钻探面临的首要挑战，不同地区的地质构造差异显著，岩石类型多样，地下水分布复杂，使得钻探过程中可能遭遇坚硬岩层、破碎带、溶洞等特殊地质现象。这些特

殊地质条件不仅增加了钻探的难度，还提升了钻探作业的风险。地下水位的变化、含水层的性质以及地下水化学成分复杂性，都对钻探技术的选择和应用提出了更高要求，要求钻探人员具备丰富的经验和深厚的专业知识，以应对钻探过程中的各种突发情况。第二，环境保护与资源开发的矛盾日益加剧，给水文地质钻探带来了新的挑战。在钻探过程中，如何有效减少对环境的破坏，保护含水层和地下水资源，成为亟待解决的问题，钻探过程中产生的废渣、废水等废弃物若处理不当，将对周边环境造成污染，进而影响生态平衡。实现绿色钻探、环保钻探，确保钻探作业与环境保护相协调，是水文地质钻探领域面临的重要课题。第三，钻探技术的不断更新迭代对人员培训和设备投入提出了更高要求。随着科技的进步，定向钻探技术、多介质反循环钻探技术等新技术不断涌现，这些新技术的应用需要钻探人员不断学习新知识，掌握新技能，以适应技术发展的需求。新设备的购置和维护也需要大量的资金投入，这不仅对钻探单位的经济实力提出了考验，也对钻探单位的技术实力提出了更高要求。因此，如何有效应对技术更新迭代带来的挑战，是水文地质钻探领域需要深入思考的问题。

3.2 未来发展趋势

水文地质钻探在未来将呈现出智能化、自动化、绿色化的发展趋势。第一，智能化与自动化技术的融合将成为水文地质钻探的重要发展方向。随着物联网、大数据、人工智能等技术的不断成熟，水文地质钻探将实现更为精准的钻探控制 and 数据分析。通过实时监测钻探过程中的关键参数，如钻压、转速、扭矩以及地质信息，结合丰富的钻探经验，系统能够智能地调整钻探策略，从而显著提升钻探效率和成功率。这种智能化的钻探方式不仅能够优化钻探路径，还能有效避免地质灾害的发生，确保钻探作业的安全进行。第二，绿色钻探将成为

水文地质钻探领域的主流趋势。面对日益严峻的环境保护压力，采用环保型钻探材料、优化钻探工艺、加强废弃物处理等环保措施将成为必然。推广使用可再生能源和清洁能源，如太阳能、风能等，以降低钻探作业的能耗和碳排放，减少对环境的污染和破坏。这将有助于实现钻探活动与生态环境的和谐共生，推动水文地质钻探的可持续发展。第三，水文地质钻探的应用领域将不断拓展。随着全球水资源和地热资源需求的不断增加，水文地质钻探将在更广泛的领域发挥重要作用。从传统的水资源勘探和开发，到新兴的地热能源利用、地下空间开发等领域，水文地质钻探都将提供关键的地质信息和数据支持。随着城市化进程的加快，地下空间的合理开发和利用将成为未来城市发展的重要方向，水文地质钻探将在这一过程中发挥不可替代的作用^[4]。

结语

综上所述，水文地质钻探技术在水资源勘查与开发中占据重要地位。随着科技的不断进步，多工艺空气钻探、多介质反循环钻探等关键技术将不断提升钻探效率和精度。面对复杂地质条件和环境保护的双重挑战，未来水文地质钻探技术将更加注重技术创新和绿色勘查。这将有助于实现地下水资源的可持续开发与利用，为经济社会发展提供有力支撑。

参考文献

- [1]胡启锋,陈浩习.关于水文地质钻探技术的探讨[J].中国金属通报,2020(15):267-268.
- [2]王红.水文地质钻探综述[J].内蒙古石油化工,2023,49(05):22-25.
- [3]经闯.水文地质钻探技术在地下水环境监测井成井中的应用[J].地下水,2024,46(1):139-140,154.
- [4]崔文杰.关于水文地质钻探技术的探讨[J].建筑工程技术与设计,2021(5):198.