

钻探工程技术及钻孔技术要点探讨

梁继军 李田周 张林梦

商洛西北有色七一三总队有限公司 陕西 商洛 726000

摘要：钻探工程技术及钻孔技术是矿产资源勘探与开发的关键技术。本文探讨了钻探技术的重要性，分析了我国固体矿产钻探技术的现状，包括空气钻探、水力反循环钻探、无岩心钻探以及绳索取心和冲击回转等技术，还详细阐述了钻孔技术的要点，如钻孔设计、钻进工艺以及孔壁稳定技术等。这些技术和要点对于提高矿产资源勘探效率、降低勘探成本具有重要意义。

关键词：钻探工程技术；钻孔技术要点；探讨

引言

钻探工程技术及钻孔技术为矿产资源勘探的关键环节。面对资源减少与勘探难度提升的双重挑战，提升钻探效率、降低勘探成本变得尤为重要。本文深入剖析钻探技术的重要性，并审视我国固体矿产钻探技术的现状。并详细解析钻孔技术的核心要点，旨在为矿产资源勘探与开发领域提供宝贵的参考与指导，助力实现高效、低成本的勘探目标，推动矿产资源的可持续开发与利用。

1 钻探技术的重要性

钻探工程技术，它在多个领域都发挥着至关重要的作用。首先，钻探工程技术是地质调查和资源勘探的核心手段，通过钻探，我们可以直接获取地下的实物信息，包括地质结构、岩性、地层分布等，为地质研究和资源勘探提供基础数据，这对于矿产资源的开发利用、油气资源的勘探开发以及地热资源的利用都具有重要意义^[1]。其次，钻探工程技术在水文地质勘察中也扮演着重要角色。通过钻探，我们可以了解地下水的分布、水位、水质等信息，为水资源的开发利用和保护提供科学依据。这对于解决水资源短缺问题、保障人民生活和工农业生产用水需求具有重要意义。钻探工程技术还在工程地质勘察、岩土与地基工程等领域得到广泛应用。通过钻探取样、孔内原位测试等手段，我们可以查明影响工程建筑物的地质构造、岩性、物理力学性质及稳定性等地质条件，为工程设计和施工提供可靠依据。钻探工程技术在地质调查、资源勘探、水文地质勘察、工程地质勘察等多个领域都具有不可替代的重要性。它不仅是打开地下资源宝藏的钥匙，也是保障人民生活和工农业生产用水需求的重要手段。因此，我们应该不断加强对钻探工程技术的研究和应用，推动其不断发展和创新。

2 我国固体矿产钻探技术的现状分析

2.1 空气钻探技术

空气钻探技术在我国固体矿产钻探领域占据重要地位，尤其以中心取样为关键特色。我国对该技术积极改进，致力于国产化、小型化与配套化发展，并收获了丰硕成果。（1）在空气钻探技术改进过程中，含水样品快速分离装置的研发成果显著，达到国际领先水平。这一装置极大地提高了对含水样品的处理效率和准确性，为后续的分析测试提供了优质样本，在矿产资源勘探中发挥了关键作用。（2）在复杂地层钻探方面，长春科技大学展现出卓越的科研实力。通过巧妙融合反循环钻进技术和空气潜孔锤钻进技术，成功研制出GQ100/40型贯通式潜孔锤和SBC89/44或SBC73/44外平钻杆。GQ100/40型贯通式潜孔锤具有高效的钻进能力，能够在复杂地层中有效地破碎岩石，提高钻进效率。而SBC89/44或SBC73/44外平钻杆则与潜孔锤良好配合，保证了钻进过程的稳定性和连续性。这些成果使得我国在复杂地层的空气钻探技术有了更可靠的装备支持，有力地推动了我国固体矿产钻探在复杂地质条件下的勘探工作，为发现和开发更多的固体矿产资源奠定了坚实的技术基础。

2.2 水力反循环钻探技术

自上个世纪八十年代起，我国地矿部门在水力反循环钻探技术领域积极探索，研发出了成套的钻探器具。这些器具在钻探实践中展现出了卓越的性能，尤其在钻进松软岩层方面表现突出，松软岩层的特性使得传统钻探技术往往面临诸多难题，而水力反循环钻探技术凭借其独特的原理和优势，有效克服了这些困难，它能够深入松软岩层达三百米以上，这样的钻探深度为获取更全面、更准确的地质信息提供了有力保障^[2]。该技术的台月效率可达数千米，这一高效的钻探速度大大提高了工作效率，减少了钻探周期，为矿产资源勘探等相关工作节省了大量的时间和成本。不仅如此，中硬岩石水力反

循环连续取心钻探技术也被纳入攻关项目。中硬岩石的钻探相较于松软岩层更具挑战性，对钻探技术的要求更高。在科研人员的不懈努力下，这一技术取得了重大进展。连续取心功能使得地质人员能够获得完整的岩心样本，对于分析岩石的物理性质、化学成分以及地质构造等信息至关重要。这些技术的发展进一步完善了我国的水力反循环钻探技术体系，使其在面对不同硬度岩石的钻探任务时都能发挥出独特的作用，提升了我国固体矿产钻探技术在国际上的竞争力，也为我国的矿产资源勘探事业注入了强大的动力。

2.3 无岩心钻探技术

无岩心钻探技术是针对中坚硬地层钻进的有效手段。它以地勘牙轮钻头为核心构建了一套完善的技术体系。在我国四川、河南等地的试验中，该技术大放异彩。在钻孔作业过程中，无岩心钻探工作量在总工作量中的占比高达46%，展现出其广泛的应用潜力。其最突出的优势在于钻速，与同孔取心技术相比，钻速能够提高50%，这极大地提高了钻探工作的效率。台月效率可提高212%，意味着在单位时间内能够完成更多的钻探任务。而且，该技术在成本控制方面表现卓越，单位成本可降低68%，这为钻探工程节省了大量资金。这种高效且经济的特点，使得无岩心钻探技术在中坚硬地层的钻探作业中具有很强的竞争力，为我国在相关地区的地质勘探和资源开发等工作提供了有力支持，有助于更快速、低成本地获取地层信息和开发矿产资源。为适应新技术的需求，我国地矿部门开始重点研发岩心钻探设备。其中，中心取样钻探技术、水力反循环钻探技术、高精度受控定向钻探技术等是当时的先进技术。研发的成果主要有FD-300型液压传动顶驱式车装钻机（用于中心取样钻进）、XY型地质岩心钻机（功能为不停车倒杆）以及BW型泥浆泵（具有排量大、压力较高、结构简单、拆装方便等特点）。

2.4 绳索取心和冲击回转技术

在绳索取心技术方面，我国地矿系统开发出的S系列主要应用系统成为行业典范，其中，NQ、PQ系列的绳索取心钻具更是展现出卓越的性能和价值。这些钻具不仅在国内广泛应用，还受到了欧美国家的高度关注，它们对这些钻具进行仿制并在本国的勘探工作中大量使用，这充分证明了我国绳索取心钻具技术的先进性和国际认可度，这些钻具能够高效地获取岩心样本，减少了对岩心的扰动，保证了岩心的质量，为地质分析提供了更准确的数据^[1]。我国还积极研发创新，成功开发出绳索加

重式取心钻具系统。该系统是针对复杂地层钻探难题而设计的。复杂地层往往具有地层结构不稳定、岩石硬度变化大等特点，普通钻具在这些地层中作业时容易出现卡钻、岩心获取困难等问题。而绳索加重式取心钻具系统通过特殊的加重设计和结构优化，能够更好地适应复杂地层条件，提高钻具在复杂地层中的稳定性和钻进能力，保障钻探工作进行顺利，进一步丰富了我国在钻探技术领域的手段，提升了我国应对不同地质条件下固体矿产勘探的能力。

3 钻孔技术要点

3.1 钻孔设计

（1）孔位的选择需要紧密围绕勘探目的，并结合地质资料。在地质勘探寻找矿产资源时，要将孔位设置于成矿有利地段，综合考量地质构造以及地层岩性变化等多种因素。若某区域的地质构造显示有矿脉的可能走向，或者地层岩性分析表明某些岩石类型与成矿关系密切，那么这些都是确定孔位的重要参考。而对于水文地质钻探而言，地下水的径流方向、补给区和排泄区的位置是关键因素。合理的孔位能更准确地获取地下水的相关信息，如水位、水质和水量等。必须避开已有的建筑物、地下管线这些障碍物，否则不仅钻探工作难以顺利开展，还可能对周边环境造成诸如地面塌陷、管线破裂等破坏。（2）孔径设计与钻探目的和后续作业紧密相关。在一般地质勘探中，若只是为了获取岩芯用于地质分析，较小的孔径即可满足需求。当涉及到在钻孔内进行测井、下套管等操作时，就需要增大孔径。以石油钻探为例，为了能够顺利下入油层套管以及开展各种测井作业，钻孔直径常常需要达到几百毫米，这样才能保障后续工作的顺利实施。（3）孔深设计要依据勘探目标的深度和地层情况来确定。在矿产勘探中，如果对矿体大致深度范围有所了解，孔深应确保能够穿透矿体，从而获取充足的信息。在进行深部地质构造研究时，孔深可能达到数千米之巨。由于钻孔在施工过程中可能出现倾斜，这会使实际孔深与设计孔深产生偏差，所以在设计阶段要预留一定的余量，以保证钻探目标的实现。

3.2 钻进工艺

第一，回转钻进作为常用的钻进方法，靠钻机驱动钻杆和钻头旋转来切削或破碎岩石。在软土地层，螺旋钻头是不错的选择，其螺旋叶片能将土屑沿钻杆带出孔外，而在硬岩地层，牙轮钻头或金刚石钻头更为适用，针对像花岗岩这种硬度较高但研磨性一般的岩石，可适当提高转速、降低钻压，这样能提升钻进效率，同时减少钻头磨损，延长钻头使用寿命，保障钻进工作持续稳

定地进行^[4]。第二，冲击钻进则是利用冲击器产生的冲击力破碎岩石，特别适用于硬岩和砾石地层。比如在山区基岩水井钻探中，遇到大量硬度大的岩石和砾石时，冲击钻进就发挥出巨大优势，能有效破碎岩石并穿过砾石层。冲击频率和冲击能量的调整至关重要，需要依据地层条件来操作。若频率过高或能量过大，钻具容易受损，严重影响钻探工作；而频率过低或能量不足，又无法有效破碎岩石，导致钻进困难。第三，振动钻进是通过振动器使钻具振动，让周围岩土体液化或松动，从而便于钻进。它主要用于砂土、粉土等松散地层。这种钻进方式能快速在松散地层钻进，并且对孔壁扰动较小。在实际应用中，可以根据地层的密实度和颗粒大小来灵活调整振动频率和振幅，以此提高钻进效率，更好地完成钻探任务，获取准确的地质信息。

3.3 孔壁稳定技术

孔壁稳定技术对于钻探工程至关重要，其中泥浆护壁和套管护壁是两种关键的方法。（1）泥浆护壁是保障孔壁稳定的关键手段。泥浆的各项性能参数对护壁效果有着深远影响，密度、粘度和失水率等参数都需要精准控制。在容易出现坍塌的地层，比如松散砂土和破碎岩层，提高泥浆密度极为关键。通过增加密度，泥浆能够对孔壁施加更大的压力，就像为孔壁穿上了一层坚固的铠甲，有效抵御坍塌的风险。粘度也不能忽视，适宜的粘度能让泥浆更好地附着在孔壁上。当泥浆附着在孔壁后，会形成一层泥皮，这层泥皮是阻止地下水渗透和防止孔壁剥落的关键防线。例如在钻孔穿越流沙层这种极具挑战性的作业中，必须调配出密度大、粘度高的泥浆，而且要严格把控失水率。因为若失水率失控，泥浆在孔壁形成厚泥饼，就会引发缩径问题，给钻探工作带

来严重阻碍。（2）套管护壁则适用于复杂地层以及需要长期维持孔壁稳定的情况。在钻孔时，随着孔深逐渐增加，要逐段下入套管。套管与孔壁之间的间隙必须恰到好处，这是保障护壁效果的重要环节。通常会向这个间隙注入水泥浆之类的填充材料，以此来固定套管，同时增强护壁效果。在石油钻探中，下入多层套管，像表层套管、技术套管和油层套管等，它们分别守护着不同深度的孔壁，满足开采的复杂要求。而套管的材质和强度要依据地层压力、孔深等因素来慎重选择，只有这样，套管才能承受住外部压力，避免变形，为钻探工作的顺利进行保驾护航。

结语

钻探工程及钻孔技术是矿产资源勘探开发的基石，其重要性不言而喻。随着技术进步与实践积累，我们已能显著提升钻探效率并降低成本，为资源可持续利用奠定了坚实基础。展望未来，持续深化钻探技术研究，拓宽其应用领域，将是推动矿产资源勘探开发事业迈向新高度的关键。我们应携手共进，不断突破技术瓶颈，为矿产资源的科学开发与高效利用贡献力量，共创行业繁荣新篇章。

参考文献

- [1]朱晓君.钻探工程技术体系与钻探技术现代化浅谈[J].砖瓦世界,2021(15):117,120.
- [2]刘中阳.资源勘查中钻探工程技术的应用研究[J].世界有色金属,2022(15):187-189.
- [3]薛倩冰,梁楠,韩丽丽,等.大陆科学钻探工程技术发展动态及趋势分析[J].钻探工程,2021,48(12):1-6.
- [4]温继伟,刘星宏,白坤晓,等.工程勘察钻探技术发展现状探讨[J].岩土工程技术,2023,37(5):505-517.