

聚丙烯酰胺 不分散低固相泥浆

王果庭 张春光 编著

地质出版社

聚丙 烯 酰 胺
不 分 散 低 固 相 泥 浆

王 果 庭 编 著
张 春 光

地 质 出 版 社

聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆

王果庭 编著
张春光

*

地质部书刊编辑室编辑

地质出版社出版

(北京西四)

地质印刷厂印刷

(北京安德路47号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本：850×1168¹/₃₂·印张：4.1875·字数：113,000

1980年4月北京第一版·1980年4月北京第一次印刷

印数1—3,690册·定价0.60元

统一书号：15038·新500

前 言

不分散低固相泥浆，被誉为本世纪七十年代钻井工艺中的三大技术改进之一。受到国内外钻井工作者的重视。我国自1973年开始研究与使用以来，已迅速在各油田和地质勘探单位中推广，取得了很大成绩。我校在1975—1978年曾举办了四期聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆的短训班和一期研究训练班，并为地质部门进行了几次专题讲座。在这些活动中，广大钻探工人和技术人员给我们讲述了大量现场经验和出现的问题，使我们对这种泥浆体系的特点有了新的认识。同时，我们也收到许多来自各探区的电、函，希望索取讲义和讲稿。热情地鼓励我们把这些资料整理出来。最后，在地质部的关怀和支持下，使我们终于获得了勇气，整理出这一本小册子。因此，与其说是作者所写，不如说是广大钻探工人与工程技术人员的集体创作。而且数年来，石油部科技情报研究所、石油规划院情报室、地质部的领导单位和情报部门，各石油与地质院校、北京大学胶体化学教研室以及各油田和地质单位的广大工程技术人员，给我们提供过不少国内外资料。山东大学化学系表面与胶体化学教研室（原石油会战组）全体教师数年来的研究工作及集累的资料，使这本小册子具备了丰富的素材。所以，这本小册子的问世与以上同志们的工作是无法分开的。在此谨向这些同志们致以衷心的感谢。

本书基本上是以我校1976年3月的讲义为纲要，综合补充了手头现有的国内外资料改写成的。内容主要由三部分组成，第一部分（第一章）介绍聚丙烯酰胺及不分散低固相泥浆的由来、优点及标准。第二部分（第二章—第五章）介绍了聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆的一般性能特点。第三部分（第六章—第九章）介绍聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆的使用方法。关于一系列测试

的方法（包括聚丙烯酰胺分子量、水解度、浓度以及泥浆固相含量、搬土含量、絮凝能力和流变性质等）均收入我校编写的“聚丙烯酰胺泥浆研究法”一书中，本书不再重复。由于作者水平所限，时间也比较仓促，很难避免在资料收集中的片面性和写作中的错误。因此，诚恳地希望读者给予批评与指正，以便在今后的工作中得以更正。

作者

1979年于济南山东大学

目 录

第一章	绪论	1
第一节	不分散低固相泥浆的发展史	1
第二节	聚丙烯酰胺泥浆的优点	6
第三节	不分散低固相泥浆的标准	14
第二章	聚丙烯酰胺的基本知识	17
第一节	聚丙烯酰胺及其衍生物	17
第二节	聚丙烯酰胺的配制与水解	21
第三章	聚丙烯酰胺泥浆中固相含量和粒度分布的控制	31
第一节	泥浆中的固相控制	31
第二节	聚丙烯酰胺的絮凝与选择性絮凝作用	36
第四章	聚丙烯酰胺泥浆的流变性	53
第一节	流体的基本流型	53
第二节	泥浆的剪切稀释作用及其对钻井工程的意义	62
第三节	紊流、层流和改型层流	67
第五章	聚丙烯酰胺泥浆的失水量和造壁性	74
第一节	泥浆的失水量及其影响因素	74
第二节	聚丙烯酰胺泥浆的失水量及其控制	77
第六章	聚丙烯酰胺淡水泥浆	81
第一节	聚丙烯酰胺清水钻井液	81
第二节	不分散低固相搬土泥浆	84
第三节	聚丙烯酰胺普通泥浆	88
第七章	聚丙烯酰胺盐水泥浆	92
第一节	电解质对泥浆稳定性的影响	92
第二节	聚丙烯酰胺盐水泥浆	98
第八章	深井聚丙烯酰胺泥浆	103

第一节	聚丙烯酰胺泥浆的耐温性	104
第二节	不分散重泥浆的使用	108
第九章	聚丙烯酰胺泥浆的防塌和堵漏作用	114
第一节	聚丙烯酰胺泥浆的防塌作用	114
第二节	聚丙烯酰胺的堵漏作用	125
主要参考文献		128

第一章 绪 论

第一节 不分散低固相泥浆的发展史

钻井不仅是地质勘探和石油开发的最重要手段之一，而且在矿产采掘和一些大型的现代化施工中，也不乏其应用。钻井的效率往往决定了勘探和开发的速度。因此，对于如何提高钻井效率，加快钻井速度的研究，一直被人们所重视。近十几年来，这项研究取得了突破性的进展。

影响钻井效率的因素很多。但在这些因素中，有一些是无法改变的。例如，钻井所处的地理环境、气候条件、地层的分布、地温梯度的大小等自然条件。还有一些因素，不可能在短期内进行多次性改变。例如，人员条件、所使用的钻机类型及其它大型固定设备等。作为一个施工单位，对以上这些因素，只能认识它们，适应它们，发扬有利条件，防止或尽量减少不利条件所造成的损失。但是，还有一类因素，允许我们根据需要不断地改变，以便使我们的钻井效率达到最高，使我们的钻井工艺达到最经济、最合理的水平。这一类因素是我们探讨的重点。归纳起来，主要有以下几个方面：

1. 钻头因素。包括使用钻头的类型、规格与质量。
2. 泥浆因素。包括使用泥浆的类型和它们的性能。
3. 水力因素。它往往决定于施工过程中的泵压、排量、流速和钻头的水眼尺寸。
4. 最合理的钻压和转速。

对于这些因素，我们称它们为可变因素。多年来，对这些可变因素的认识在不断提高，调整它们的方法也都有不少的改

进。但是，在这些因素之间究竟存在怎样的关系呢？各个因素又各占多大的份量呢？这正是我们所要研究的问题。近代的科学手段，不断为我们提供了较为有力的数据，特别是电子计算机的运用，使我们得到了比较可靠的依据。1970年，美国推广最优化钻井法，就是利用电子计算机控制系统，使钻井参数达到最优化，以取得尽可能高的钻井效率。表1—1系1971年公布的一组实验数据。

表 1—1 在井深3435米处，通过调整可变因素，所取得的钻井效率数据

项 目 \ 可变因素	控制钻头	调整泥浆	调 整 水力因素	同时调整泥 浆和水力因素
钻头进尺 (米)	50	66	57	73
机械钻速 (米/小时)	1.7	2.1	1.9	2.4
钻井成本 (美元/米)	52.00	39.34	44.85	35.21

从这组数据中，我们可以看出，搞好泥浆是有重要意义的。它证明，泥浆是提高钻井效率十分重要的因素，而且还是最大限度地发挥水力因素的基础。目前，在石油钻井中的高压喷射式钻进，也只有搞好泥浆，才能发挥出它们的威力。1973年，D. B. 安德逊等指出：实践证明，泥浆体系是最重要的钻井变数中的一个，其它可变因素都依赖于泥浆体系。因此，钻井泥浆的研究工作日益扩大，地位越来越重要，所取得的成果也越来越显著。与此同时，泥浆的重大改革推动了泥浆流变学和水力学的研究，并促使整个钻井工艺前进了一步。1971年，在第八届世界石油会上，美国代表G. 小罗伯特作了一个关于钻井新技术的报告。在其“钻井工艺中最重要的进展”一节中，他指出：虽然钻井设备有新的发展，现有的许多钻井工具和技术也都不断的有改进，但是近四年来，对降低钻井成本最有影响的新进展主要是：

1. 低固相不分散聚合物泥浆的成功发展。
2. 镶嵌硬合金齿钻头的设计和钻头轴承寿命的改进。

3. 钻井最优化技术的应用。

在这里，把低固相不分散聚合物泥浆成功地开发列为七十年代初钻井工艺最有影响的新进展之首。

为什么这样的泥浆能大幅度地提高钻井效率呢？在这里我们有必要回顾一下关于泥浆与钻井速度关系的研究历史。

对于钻井泥浆，究竟什么因素影响钻井速度呢？早在1950年就曾有研究资料指出：正是泥浆的固体含量，而不是泥浆的重量（比重）、粘度以及失水量等性能，对钻速产生影响。这里的固体含量应指体积百分含量，即是由低密度固体的含量起主要作用的。但在当时，人们无法立即按这个研究结论来提高钻井效率。因为那时，除了加水之外，还没有降低泥浆固相含量的手段。直到1958年，完全絮凝剂用于钻井后，实现了清水钻井。就是使用一种处理剂能使泥浆中的固体全部絮凝，在地面沉除之后再让清水返回井底。但因考虑到井壁安全和携带钻屑的能力，清水钻进只能适用于某些地层和一定的深度。而不能广泛使用。与此同时，人们试图在地面配制低固相泥浆，但是随着钻井的进行，钻屑不断混入，低固相变成了高固相。人们对此变化无能为力，所以叫它是“无法控制的低固相泥浆”。经过进一步地研究，在1960年，发现有两类高聚物对搬土和对钻屑具有不同的絮凝能力，也就产生了选择性絮凝的概念。它告诉人们，泥浆有可能用化学处理的方法，保留优质的造浆粘土，而絮凝除去劣质的钻屑。这两类高聚物是：

1. 部分水解的聚丙烯酰胺。并发现不同分子量和不同水解度的产品对搬土的作用不同。

2. 醋酸乙烯和顺丁烯二酸酐的共聚物。

从此，有关选择性絮凝剂的制造专利不断涌现，使不分散低固相泥浆的研究工作取得了突破。很快，搬土—高聚物体系的淡水不分散低固相泥浆就出现了。但是，这种新型的泥浆体系并没有立即被人们认识并得到广泛采用。直到1966年，才在加拿大西部油田第一次系统地使用，取得了成效，并总结了它的优越性

和性能特点。因此至 1968 年,这个油田 3500 米左右的中深井中,有 90% 都使用了这类泥浆,取得了大面积使用的经验。1970 年,北美德拉湾盆地油田一个调查报告中指出,该油田目的层深度,一部分地区平均为 4572 米,另一部分地区平均深度为 7620 米,几乎全部属于深井。在这种情况下,三年中泥浆类型发生了很大的变化。见表 1—2。

表 1—2 北美德拉湾盆地油田泥浆类型的变化

年 度	1967	1968	1969
调查井数(口)	34	49	59
使用铬木质素磺酸盐泥浆井数(口)	29	26	8
使用油基泥浆井数(口)	1	5	9
使用加重盐水泥浆井数(口)	3	3	1
使用不分散低固相泥浆井数(口)	1	15	41
不分散低固相泥浆钻井比例数(%)	1	30	70

1972 年有人曾统计了 1160 只 8 $\frac{1}{2}$ —11 英寸的钻头,发现用不分散泥浆比用分散泥浆,机械钻速提高 17%,钻井费用下降 20%。1975 年我国统计了自 1973 年以来在九个油田、124 个井队用聚丙烯酰胺泥浆打的 263 口井,机械钻速平均提高 20% 以上,有的甚至提高 40—50%。1978 年,地质系统中在安徽、江西和宁夏等省,在小口径钻机上试用聚丙烯酰胺泥浆,也取得了可喜的效果,台月效率有的提高一倍以上。至此,国内外对不分散低固相泥浆能提高钻井效率,取得了一致的认识。它经历了不同地区、不同井深与不同泥浆比重的考验,证明它是一个有生命力的完全新型的先进泥浆体系。1974 年,国外对不分散的盐水加重泥浆体系试验又获得相当成功的效果。通过四口井的试验,比重范围在 1.32—2.15,深度均为 11000 英尺(3348.3 米),使用同一台钻机和辅助设备以及 9 $\frac{1}{2}$ 英寸的钻头,每天的维持费用均为 4200 美元。其中两口使用不分散泥浆的井比另外两口使用分散泥浆的井,总费用节省了 33 万美元,平均钻速提高 28%。最近几年,又发展

了聚合物与无机盐（氯化钾最好）配合的泥浆体系，对水敏性地层的防塌方面取得了相当满意的效果。这样，不分散低固相泥浆经过短短十年时间，迅速发展与完善起来了，在提高钻井效率方面发挥了巨大的效益。

对泥浆的认识必然体现到处理剂的发展上，而处理剂的发展又是泥浆发展的先决条件。在本世纪 20 年代之前还没有泥浆处理剂，人们只会用清水和在钻井过程中混入的岩屑而形成的“自然泥浆”。后来又认识到胶体稳定性好的泥浆能保证钻井的安全，于是发展了泥浆分散剂如烧碱、丹宁等。这个时期认为泥浆中的粘土分散得越细越好，因此可称为“细分散泥浆”阶段。进一步实践又发现，细分散泥浆遇到地层中的石膏、岩盐等无机盐类的侵染，性能很容易受到破坏。而预先用水泥或石灰处理过的泥浆，如果能再用分散剂调整好性能，就可以大大提高其抗石膏与抗盐侵的能力。因此，就进入了所谓的“粗分散泥浆”阶段。出现了新的一类泥浆处理剂—无机絮凝剂，主要为一些含钙离子的电解质，如石灰、水泥、石膏、氯化钙等。经过絮凝的泥浆需要更强的稀释剂和降失水剂才能有效地控制泥浆的流动性和失水量。因此，铁铬木质素磺酸盐、CMC 钠盐相继出现，使粗分散泥浆迅速发展，陆续出现了“石灰泥浆”、“石膏泥浆”、“氯化钙泥浆”和“饱和盐水泥浆”等。粗分散泥浆从 1943 年出现一直用到六十年代末期。“不分散泥浆”的出现是对钻井效率进行科学研究的一项成果，而选择性絮凝剂的问世使这类泥浆变成了现实。因此，泥浆处理剂的研究工作是推动泥浆发展的动力。

目前，不分散低固相泥浆的处理剂品种已相当繁多，但从其主要类型来说，仍可归为上述的两大类高聚物及其衍生物。不过还有一类值得提及的就是生物聚合物及其化学交联物的应用。它使泥浆体系向无粘土相方向发展，而且具有更好的流变性，使钻井效率进一步提高。同时它还有耐盐和稳定井壁的优点。不过这类聚合物因耐温性差，成本也较高从而影响了它的使用范围。根据各种处理剂的特点，针对我国的现实情况，使用聚丙烯酰胺及

其衍生物，似乎更加合理些。其主要原因是：

1. 原料丰富，价格便宜。
2. 生产工艺简单，工业投资少。
3. 便于改性，使处理剂配套比较容易。

鉴于这三点，醋酸乙烯和顺丁烯二酸酐的共聚物和生物高聚物，在目前的国内条件下，都不及聚丙烯酰胺优越。因此，自1973年以来，前两种聚合物尚未大规模使用，而聚丙烯酰胺都基本普及于全国各个油田及一些勘探单位。因此，本书着重以聚丙烯酰胺为主要线索来介绍不分散低固相泥浆的特点，而且也按照现场同志的习惯，叫做聚丙烯酰胺不分散低固相泥浆。但是本书所介绍的不分散低固相泥浆的一些规律性，却不限于使用聚丙烯酰胺，其它两类聚合物的泥浆体系也应当是一致的。故具有普遍的意义。

第二节 聚丙烯酰胺泥浆的优点

我国自1973年以来，经历了由试验到推广的阶段，使用水平在不断提高。虽然有些试验井并不符合不分散低固相泥浆的标准（标准见本章第三节）。总的来说，这类泥浆的优越性已一再地显示出来。1975年，对这类泥浆的优点曾总结为八个方面。尽管其中有一些是普遍存在的，也有一些是个别情况下取得的，但这正说明了在不同的使用条件下，这类泥浆所具有的不同特点，对于我们正确认识与使用这类泥浆，有一定的作用。今仍以这八个优点为线索，并结合后来收集的一些资料，叙述如下：

1. 提高了钻井速度

从前节已经知道，不分散低固相泥浆的主要优点就是提高了钻井速度。对于不使用加重材料的泥浆，比重和固相含量大约是成正比例的。因此，在使用聚丙烯酰胺泥浆以后，各油田的泥浆比重在逐年下降，而钻速在逐年上升。许多单位通过大面积地统计，把一个井队或者一个指挥部乃至一个油田一年中全部的钻井

资料加以分析比较，取得了很有说服力的资料。表1—3，1—4和1—5是我国西部某油田规划院矿机研究所的统计资料。

表 1—3 不同类型泥浆的比重控制范围(1977—1978.6)

泥浆 比重	普通泥浆		钙处理泥浆		聚丙烯酰胺泥浆	
	井数	%	井数	%	井数	%
1.20以上	31	58.49	17	15.04	3	3.89
1.16—1.20	18	33.96	50	44.2	—	—
1.11—1.15	4	7.55	28	24.77	18	23.38
1.06—1.10	—	—	13	11.50	31	40.26
1.05以下	—	—	5	4.42	25	32.47
合计	53		113		77	

表 1—4 泥浆类型与钻井效率的关系(1977—1978.6)

泥浆 类型	项 目	统计井数 (口)	平均井深 (米)	平均机械钻速		平均钻头进尺	
				米/小时	%	米/只	%
普通泥浆		53	1628	5.19	100	61.88	100
钙处理泥浆		113	2049	6.41	123.5	82.86	133.9
聚丙烯酰胺泥浆		77	1801	9.23	177.8	107.03	173.0
合计		243					

从这些资料可见，即使是在相同比重情况下，聚丙烯酰胺泥浆也比钙处理泥浆钻井速度高出16%左右，钻头进尺提高19%。而加上比重降低的因素，机械钻速就提高45%左右。对于更深的井亦是如此，如我国某油田1978年统计了该油田所钻的三口五千米以上的深井，其机械钻速的对比见表1—6。

为什么聚丙烯酰胺泥浆能大幅度提高钻井效率呢？多年来，对于泥浆的性能和钻速的关系，进行了大量的研究工作，取得了许多宝贵资料。影响钻速的因素是很多的，大体可用下式表示：

表 1-5 比重相同的泥浆，泥浆类型与钻井效率的关系
(1977—1978.6)

泥浆类型 项目 泥浆比重	钙处理泥浆				聚丙烯酰胺泥浆			
	统计井数(口)	平均井深(米)	机械钻速(米/小时)	钻头进尺(米/只)	统计井数(口)	平均井深(米)	机械钻速(米/小时)	钻头进尺(米/只)
1.16—1.20	50	2158	5.75	72.85	3	2070	7.00	87.81
1.11—1.15	28	2060	7.19	89.13	18	1849	8.15	104.74
1.06—1.10	13	1990	8.92	102.88	31	1994	9.25	115.45
1.05以下	5	1887	9.64	122.48	25	1886	12.19	149.83
合计	96				77			

表 1-6 三口五千米深井机械钻速统计表

井号	潜参一井	红深二井	广深一井
深度(米)	使用了大量聚丙烯酰胺	未用高聚物	未用高聚物
3000	3.5 米/小时	2.5 米/小时	0.67 米/小时
3500	3 米/小时	2.01 米/小时	0.545米/小时
4000	2 米/小时	1.87 米/小时	0.39 米/小时
4500	1.5—1.88米/小时	1.10 米/小时	1.47 米/小时
5000	1—1.6 米/小时	0.693米/小时	0.93 米/小时

$$R = \frac{KN^{\lambda}(W - W_0)(R_0 - \alpha \Delta P)}{R_0 DS^2(1 + CH)} \left(\frac{Q \rho}{d \mu} \right)^{\alpha} \quad (1-1)$$

式中：R为钻井速度；K是可钻性常数；N是钻具的转数；λ是指数常数；W为钻压；W₀是初始破碎钻压；R₀是当压差为零时的钻速；α是常数；ΔP表示压差（泥浆柱压力与地层孔隙压力之差）；D为钻头直径；S表示岩石的可钻强度；C是常数；H为钻头牙齿的磨损系数； $\left(\frac{Q \rho}{d \mu}\right)$ 表示钻头部位泥浆的雷诺数，

其中 Q 表示泥浆流速, ρ 是泥浆比重, d 是水眼直径, μ 为泥浆在水眼处的粘度; a 是常数。

在这些因素中,有三部分是与泥浆有直接关系的。它们是 ΔP (压差); S^2 (岩石的可钻强度,它随着压差 ΔP 的增大而增大); 和 $\left(\frac{Q\rho}{d\mu}\right)^a$ (泥浆在钻头处的雷诺数)。 ΔP 和 S^2 均使钻速降低,而它们又都随泥浆的比重增加而增加。所以,降低泥浆比重是提高钻速的重要途径,这一点已得到实验的证明,见图 1—1;

正由于压差能提高岩石的可钻强度,所以近代钻井都在尽量降低泥浆的比重,尽量不使用加重泥浆。泥浆钻头部位的雷诺数对钻速是有利的。但是提高雷诺数却决不能通过提高泥浆的比重来达到,而是通过提高泥浆的泵压、降低泥浆的塑性粘度和减小钻头水眼的直径来达到。

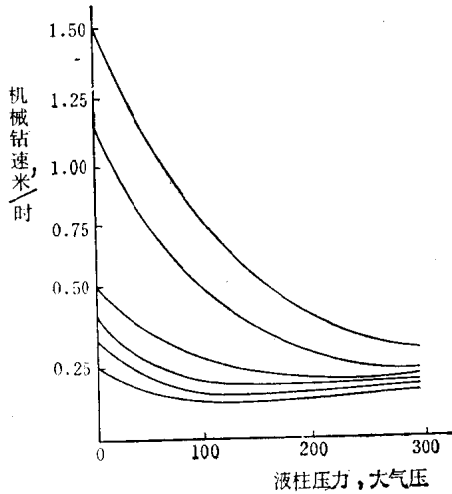


图 1—1 泥浆比重对钻速的影响

以上我们讨论泥浆的比重对钻速的影响,只能是对于同类泥浆而言。否则就可能不正确。例如,有两种比重完全相同的泥浆,但是它们的固相种类不同,一种是由纯粘土配成的,另一种却是用少量粘土和大量重晶石配成。实践证明这两种泥浆,虽然比重相同,但钻速却大不相同。后一种比前一种钻速要高得多。也就是说,低密度粘土含量对钻井速度的影响起主要作用。图1—2是统计了大量井上资料后得出的一个关系示意图。从图中可见,泥浆中的固相含量(体积%)的增加使钻井效率大幅度降低。

但是，对固相含量（体积%）影响钻速的讨论，也必须是指同一泥浆体系，不同的泥浆体系对钻速的影响也大不相同。例如

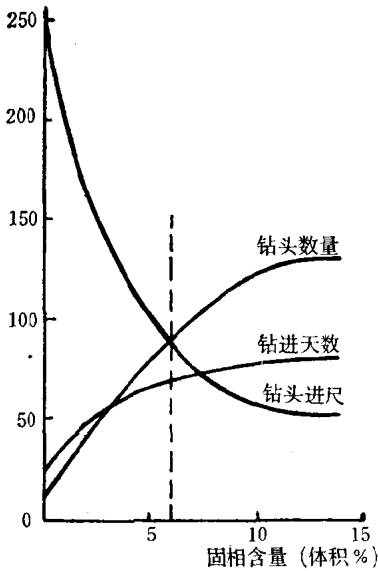


图 1—2 泥浆固相含量对钻头进尺，钻井天数及钻头数量的影响
(纵座标没有绝对数值意义)

粘土品种、固相含量都完全相同的两种泥浆，只是处理方法不同，一种用聚丙烯酰胺类高聚物把泥浆处理成为不分散体系，而另一种却用木质素磺酸盐或丹宁酸钠等把泥浆处理成分散体系的泥浆。大量试验证明不分散体系的泥浆钻速要比分散体系的泥浆高得多，如图1—3。有的试验资料指出了分散剂对搬土泥浆胶体固相比的影响：用超速离心机测定搬土泥浆中有13%的颗粒小于1微米，用高聚物处理后，这种颗粒降到6%，而用分散剂木质素磺酸盐

处理，这种小于1微米的颗粒就上升到80%。由于小于1微米比

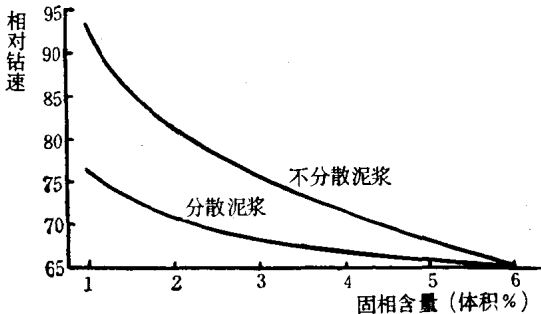


图 1—3 固相含量对钻速的影响