

井斜新论

童法治 著

316

地质出版社

井 斜 新 论

董 法 治 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书系由一位老钻井工作者积多年经验撰写而成。书中对井斜问题的传统理论做出质疑,并提出了一些新论点,论据较充分,望能给人以启迪。

图书在版编目(CIP)数据

井斜新论/董法治著.-北京:地质出版社,1996.2

ISBN 7-116-01989-8

I. 井… I. 董… III. 钻探-倾斜-保护-研究 IV. P634.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 18676 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:戴鸿麟

*

唐山市胶印厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张:3.5 字数:78000

1996 年 2 月北京第一版·1996 年 2 月北京第一次印刷

印数:1—1000 册 定价:5.00 元

ISBN 7-116-01989-8

P·1508

小 序

这本小册子能与读者见面，是笔者始料所不及的。这完全是王子源同志的热情帮助，大力支持的结果。他还对原稿作了认真修改和润色。

王子源同志与笔者素不相识，仅在十多年前的一次会议上闲聊时，偶然见过一面。是时，听说他们曾请鲁宾斯基来华讲学之事，乘机向他要了一本讲学资料。地质矿产部石油局的领导及钻井同行们对工艺技术的严肃、认真、求实的精神，给笔者留下了深刻印象。

我算是吃钻井饭的一名老兵，以前从未搞过井斜工作。“文革”后，在推广扶正器的应用时，才不得不涉及井斜问题。十年前，本人虽已提出过一些有关井斜的论点，但支离破碎，不成系统。前后经历了15年的漫长岁月，总算有了这一成果。

笔者不是研究人员（根本不是研究人员的料），也不是一名合格的钻井工程师。书本知识原本没学好，而且又忘了不少，也没有看过钻一口井的全过程。因此，实践经验少得可怜。就这样，自己不自量力，却搞了业余“研究”，又尽说些离经叛道的话。自己时时感到，苦海无边，回头无岸，只待灭顶，才能解脱。王子源同志的帮助犹如一枝救命仙草，使笔者得救了。由于文字表达能力欠佳，日后可能要苦了读者。在此，先说一句：“对不起！”

殷国民同志帮助绘图，先后好几位同志帮助计算，谨致谢

意。

钻井是我们老祖宗对人类文明的一大贡献。若能使读者在井斜问题的概念上有所更新,那笔者就可含笑了。

董法治

1994年5月10日于70周岁前

目 录

第一章 “浮力不能使钻柱弯曲”说似属误会	(1)
一、浮力能使钻柱弯曲	(1)
1. 斜直井眼中的浮力	(1)
2. 垂直井眼中的浮力	(2)
3. 实际井眼中的浮力	(5)
二、考虑稳定力的作用,浮力仍能使钻柱弯曲	(6)
三、形成浮力迷宫的历史背景	(8)
第二章 浮力迷宫中的钻柱中和点	(10)
一、混乱的钻柱中和点定义	(10)
二、各种中和点的定义、位置及特点	(12)
三、四种中和点的比较	(18)
第三章 新摆斜原理与井眼方向	(20)
一、新摆斜原理	(21)
二、钻柱的力学模式	(24)
三、井眼方向	(25)
四、摆斜钻具控斜能力标志	(27)
第四章 钻柱增减稳斜控斜机理寓于摆杆弯曲形状之中	(29)
一、摆杆静态弯曲形状	(30)
二、钻铤柱的静态弯曲形状	(38)
三、摆杆与钻铤柱间弯曲关系的推想	(40)
四、钻柱控斜机理	(43)

1. 扶正器摆斜钻具的控斜机理	(43)
2. 增斜和刚性满眼钻具的控斜机理	(46)
3. 方位变化的控制	(48)
4. 减压控斜是摆斜钻具的特性	(48)
第五章 扶正器的跷跷板原理及其他	(50)
一、扶正器的跷跷板原理	(50)
二、扶正器的功能	(55)
三、扶正器的基本技术性能	(57)
第六章 地层综合造斜力——地层对井斜的总影响 ...	(60)
一、研究成果简介	(61)
二、地层不均匀性与地层综合造斜力 F	(63)
三、地层方位力 F_{ϕ}	(65)
四、地层造斜力 F_f	(68)
第七章 井斜原因与控斜误区	(72)
一、井斜原因	(72)
二、控斜误区	(74)
第八章 直井井身剖面与井斜标准	(80)
一、井斜危害	(80)
二、井斜指标	(81)
三、井身剖面	(83)
四、井斜标准	(85)
第九章 控斜理论与实践	(91)
一、控斜理论与实践关系的回顾	(91)
二、控斜理论的三个环节	(93)
三、新控斜理论的实践检验	(98)
四、特大地层造斜力的控斜措施	(100)

第一章 “浮力不能使钻柱弯曲”说似属误会

浮力能否使钻柱弯曲,是历史遗留的怪问题。怪就怪在:凡力都能做功,“浮力不能使钻柱弯曲”,就意味着此浮力不能做功。钻井现场工作者只使用浮力系数就解决了遇到的一切浮力问题,并无浮力问题的困扰;而钻井理论工作者却时有议论。学者们在讨论浮力的文献中不喜欢用浮力一词,而喜欢用静水压力。这为偷换概念创造了条件:垂直井眼等径钻柱条件下的稳定力不等于相应的浮力,而只及其一半。这种怪现象遂形成了钻柱上的浮力之谜。

这个浮力之谜,从发生到现在,似乎都是误会的产物。

由于浮力之谜的影响,钻柱中和点歧义迭出,对某些工艺理论也投下一层令人生疑的阴影。因此,有必要正本清源,予以澄清。

一、浮力能使钻柱弯曲

井斜条件和钻柱结构是决定钻柱上浮力分布状态的重要条件。其中,井斜条件最为重要。

1. 斜直井眼中的浮力

在这种井眼中,钻柱结构变化无关重要。钻柱上的浮力分布为图 1—1 所示的均布状态。人们据此得出:任一单位长度

钻柱在泥浆中的浮重 q_m , 等于单位长度钻柱在空气中的重力 q 和浮力系数 k 的乘积。即:

$$q_m = kq$$

对这种认识, 也有不同看法。如有人认为: “当管柱处于垂直位置时, 浮力将集中作用其底部端面; 处于水平位置时, 浮力将均布于整个管柱上; 当管柱处于任一中间位置(即非垂直又非水平位置——译注)时, 浮力既有集中作用, 也有均匀分布作用”^[1]。这种看法, 无疑是错误的。钻柱是等径、均匀光滑的管柱。当斜度不变时, 在钻柱垂向上取任一单元

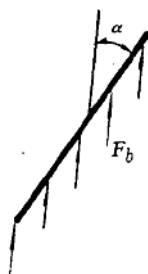


图 1—1

体, 它的浮力都应相等。浮力只能是图 1 的均布状态。由于浮力分布状态与重力分布状态完全一致, 重力能使钻柱弯曲, 那么, 浮力也当然能使钻柱弯曲。

2. 垂直井眼中的浮力

垂直井眼中, 钻具结构对浮力分布状态起着决定性的作用。如等径钻柱、塔式钻柱、倒塔式钻柱, 其底端面上的浮力值及分布状态就应有差异。它们的浮力分布状态应和重力分布状态完全一样, 具有集中力的特点。学者们常用等径钻柱的浮力论述其对钻柱弯曲的作用, 就足以说明我们讨论的问题的存在了。

设钻压为 P_b , 钻柱末端的总浮力为 F_b , 钻柱末端的总压力为 P_T , 钻柱临界弯曲压力为 P_C , 则有:

$$P_T = P_b + F_b$$

根据 P_T 和 P_C 的关系, 以下分三种情况讨论。

(1) $P_T < P_C$ 时: 在这种情况下, 无论 P_b 和 F_b 如何变化,

都如图 1—2 所示, 钻柱不会弯曲。图中 N 为通称的中和点。

这里, P_b 和 F_b 对钻柱弯曲的作用毫无不同之处, 也没有浮力系数的位置。由此得出结论: 浮力系数与垂直井眼不相容。

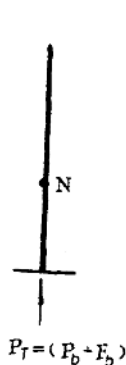


图 1—2

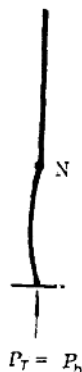


图 1—3

(2) $P_T = P_C$, 且钻柱已经弯曲:

a. 当 $P_b = P_C$, $F_b = 0$ 时: 钻柱弯曲如图 1—3 所示。其特点为弯曲形状固定不变。

b. 当 $P_b = 0$, $F_b = P_C$ 时: 钻柱弯曲为图 1—4 所示的直、弯交替互变形态。当 F_b 恰恰达到 P_C 而钻柱尚未弯曲时, 其形状如图 1—4a 示。N 点以下, 由于承受压应力而弯曲成图 1—4b 状。弯曲后, 浮力分布状态发生改变: 弯曲部分有均布浮力 (图中带点弯曲部分), 其余浮力, 即 N 以上未弯钻柱的浮力 F'_b , 仍为集中力作用于直、弯界面 N 处。此时, 钻柱末端的 P_T 等于零。N 以下钻柱, 由原来受压应力转化为受拉应力, 使钻柱伸直成图 1—4a 状; 而末端的 P_T 又等于 F_b 。旧的过程结束,

新的过程又开始,周而复始,循环不已。这种直、弯交替互变形态是浮力能使钻柱弯曲,而又不同于钻压引起弯曲的一大特点。

c. 当 P_b 或 F_b 小于 P_c 时: 钻柱弯曲仍为直、弯交替互变形态。

(3) $P_T > P_c$ 时:

a. 当 $P_b > P_c, F_b < P_c$ 时: 钻柱弯曲如图 1—5 所示。弯曲部分由钻压引起, 作用有均布浮力。其余浮力 F'_b 作用于直、弯界面 A 处, AN 段不弯曲。

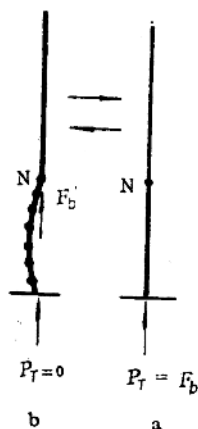


图 1—4



图 1—5

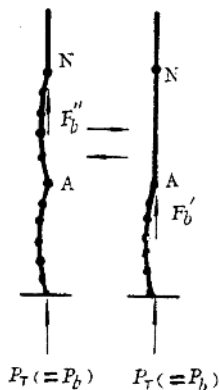


图 1—6

b. 当 $P_b > P_c$, 而 $F_b > P_c$ 时: 钻柱弯曲如图 1—6 所示的直、弯交替互变形态。A 点以下为钻压引起的弯曲, 弯曲形状固定不变。AN 段为浮力引起的直、弯交替互变段。

c. 当 $P_b < P_c, F_b$ 为任意值时: 弯曲为直、弯交替互变形态, 仅 P_T 有所不同。

由以上分析可以得出,垂直井眼中的浮力仍可使钻柱弯曲。

需要讨论的是直、弯界面位置。从图 1—6 看,有两个直、弯界面:一为由钻压引起的直、弯界面 A,A 以下弯曲形状固定,有均布浮力,可使用浮力系数;另一为由浮力引起的直、弯界面 N,AN 段直、弯互变,浮力时有时无,就不能理所当然地使用浮力系数了。

图中把通称中和点 N 作为直、弯界面,只是为了方便而假设的。因此,两个界面何时出现,各自位置究竟在何处?都不能简单地确定。也就是说,即使在直、弯界面以下的钻柱可使用浮力系数,也难确定使用的恰当范围。好在垂直井眼仅供逻辑思维之用,没有钻井实践价值。忽略直、弯界面下的均布浮力不会引起什么谬误,并可省去许多麻烦。这似乎是明智之举。因此可说:除计算总浮力外,垂直井眼与浮力系数不相容。

3. 实际井眼中的浮力

实际井眼是由若干不同曲率的曲线井段组成的。方位角与浮力分布状态无关,可撇开不谈。不同曲率的曲线井段,可简化为不同斜率的斜直井段,这不影响浮力的分布状态。

需要讨论的是,实际井眼中有无垂直井段。从现场测斜记录来看,每口直井都有一个垂直井口段,已发现有 2400m 的垂直井口段的记录。然而,由于测斜仪的误差,很难说它们都是理论上的垂直井段。鉴于井口段的特殊条件,或长或短的垂直井口段是可能存在的。但由于其下为斜直井段,钻柱在垂直井口段并不居中。钻柱不居中,而它在井口的位置又是固定的,这样在垂直井口段它就变为曲线状。对浮力分布而言,垂直井口段就转化为斜直井段。

除井口段外,出现垂直井段的机率很小。就是真有一段垂

直钻柱,也只是这一段钻柱的浮力为集中力作用其底端,其影响小,可略而不计。

总之,实际井眼可服从斜直井眼的浮力规律。这就是现场钻井人员仅使用浮力系数就解决了他们遇到的所有浮力问题的奥秘。

综上所述,在任一井眼中浮力都可使钻柱弯曲。

二、考虑稳定力的作用,浮力 仍能使钻柱弯曲

当钻柱沉没在泥浆中时,其径向作用着数量不等的静水压力。在不考虑其轴向力的作用时,此径向静水压力使钻柱变细、伸长,此伸长相当于一个轴向拉力作用的结果。此相当的轴向拉力被称为“稳定力”。由于它是内力,又被称做“虚拟力”或“虚力”。

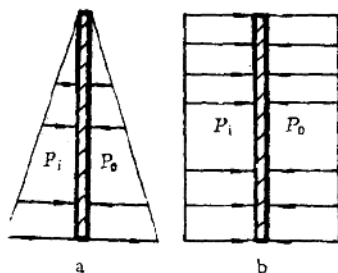


图 1—7

学者们多年来研究的结论是:在垂直井眼等径钻柱的条件下,稳定力恰等于浮力。由于稳定力和浮力二者的合力为零,钻柱轴向不受力,自然就不会弯曲了。

推导稳定力的方法有二:一为兰姆(Lame)公式法⁽²⁾;一为最小势能法⁽³⁾。两种方法的力学模式都是管柱内、外压力(P_i, P_o)相等,而实际上钻柱的管内、外压力不相等,仅压力梯度相等。两种受压情况的差异如图 1—7 所示。此差异如此明显,是不可以忽略的。那么,

图 1—7a 表示的钻柱的稳定力只有图 1—7b 的稳定力的一半,另一半浮力在数量足够大时,必能使钻柱弯曲。

由于与稳定力概念有着某种联系,人们从“不弯”的信念出发,以想象的事实为论据,确能给人造成一定的错觉。图 1—8 所示躺在海底的钻铤柱就是一个较典型的例子。此想象似符合逻辑,但重力和浮力应标出,不应省略。根据图 1—8 中钻铤柱两端作用的总压力达到 2067kN(合 210.8t)而不弯的想象,推论说:“既然两端受力不会弯曲,一端受力(液压)的钻柱当然更不会弯曲了⁽²⁾”。钻柱底端的浮力与钻柱重力相互作用,

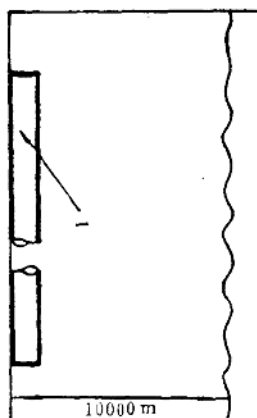


图 1—8

1—7 英寸钻铤柱

恐怕不能当作一端受力对待。又如“测井电缆在超深井中也将保持垂直状态⁽³⁾”。“下入深海底部的细长杆,即使给它一个大的压缩载荷,也不会由于静液压力而弯曲⁽⁴⁾”。客观上讲,没有垂直的超深井眼。海洋环境也非理想,海面下有海流,海面上无风三尺浪,并不是死水一潭。重要的是,这些都不是事实,没有说服力。也有人说:“常识及试验证明”,7 英寸(177.8 mm)钻铤柱在 6000m 的垂直深井中,承受的浮力为临界压力的 26.8 倍时仍不会弯曲⁽³⁾。人们的常识各有不同;试验是科学,自应实事求是,至今还未见到文献上有过钻垂直井的报导。

三、形成浮力迷宫的历史背景

简要地回顾一下形成浮力迷宫的历史背景,对澄清问题也许是有益的。

早年,钻井者没有井斜概念,自以为所钻的井都是垂直井。在分析井下情况时,通常都采用垂直井眼示意图的办法。这已相沿成习,至今想改变它都不大容易。20年代末,证实了井斜的存在,认为井底钻柱弯曲是造成井斜的主要原因。钻柱弯曲是由于受压,而压力源于钻压和浮力。钻压使钻柱弯曲,自然无异议;但浮力能否使钻柱弯曲,却发生了分歧。一方从力的概念出发,认为集中作用在钻柱末端的浮力,如同钻压一样能使钻柱弯曲。另一方从经验出发,认为浮力不能使钻柱弯曲。其根据大约是调节钻压可控制井斜,而这与浮力无关。那么,如何使集中在钻柱末端的浮力不妨碍他们的观点呢?办法是使用浮力系数,使钻柱末端的集中浮力分布到钻柱全长。这样,似乎就没有矛盾了。

这样,垂直井眼、浮力系数和浮力不能使钻柱弯曲这三个要素就构成了连环套式的浮力迷宫。它们扭结在一起,相互矛盾,使后来的人们伤透了脑筋。

40年代末,鲁宾斯基开始研究钻柱弯曲问题,迎面就遇到了这个浮力迷宫。他同任何钻井者一样,很自然地接受了垂直井眼示意图。至于浮力能否使钻柱弯曲,一时也难理得清楚,只好说它是个“辩论不清”的问题。在垂直井眼中使用浮力系数,显然与理无据,不使用浮力系数就使泥浆与钻柱弯曲没有瓜葛了。别人都使用浮力系数,他也只好跟着用⁽⁵⁾。

鲁宾斯基是誉满全球的钻井界学者。50年代中期,他发

现早年的一些观点是错的,就勇敢地放弃了垂直井眼模式,改用斜直井模式进行研究。这就消除了浮力系数与垂直井眼的矛盾,找到了迷宫的出口。使用浮力系数的实质是使用浮重概念,而浮重是重力与浮力的合力。只要使用了浮力系数就已包含了浮力对钻柱的作用,再谈浮力对钻柱的作用就重复了。但在垂直井眼示意图上却显示不出浮力系数反映的均布浮力,所显示的则是重复了的作用在钻柱末端的集中浮力。因此,早年钻井者说这个重复了的浮力不能使钻柱弯曲。鲁宾斯基完全可以捅破这层窗户纸,彻底地走出迷宫。不知什么原因,他没有这样做。这也许是智者千虑必有一失吧。

综上所述,浮力不能使钻柱弯曲说似属误会,误会的根源是垂直井眼示意图。

参 考 文 献

- [1] D·J·哈默林德尔著,辛俊和摘译,液压对井下管柱的基本作用力,玉门石油科技动态,1982年,2期。
- [2] 韩志勇、高德利,关于钻柱稳定力等问题的探讨,石油钻采工艺,1986年,第5期。
- [3] 龚维安,液压下的管柱弯曲问题,石油钻采工艺,1988年,第3期。
- [4] 周凤石等译,应用钻井工艺,第一编第五章,石油技术,1981年,特集四。
- [5] 鲁宾斯基著,陈如恒译,旋转钻杆柱的弯曲,钻井防斜理论和方法,1965年。

第二章 浮力迷宫中的钻柱中和点

关于钻柱中和点的含义,钻井现场工作者认为简明扼要,通俗易懂;钻井理论工作者却认为内涵丰富,机理深奥。两者认识反差如此之大,恐怕是钻井界中唯一罕见的特例吧!

国内钻井界从 1981 年开始,陆陆续续地对钻柱中和点问题进行了讨论。除阐述了讨论者的观点外,也反映了国外钻井界在这个问题上的认识,更展示了人们认识上的严重分歧。这种讨论对确定一个公认的中和点定义是极为必要的。

本文仅以普通钻柱为对象进行讨论,其他概不涉及。

笔者曾参与过讨论,议论中确有“不妥提法”。这里,仍想做些议论。

一、混乱的钻柱中和点定义

早年,钻井者提出了钻柱中和点的概念,这不仅有文献^[1]可资证明,就在鲁宾斯基(以下简称鲁氏)的论文^[2]中也清楚地表明还有一个通称中和点。为了避免混乱,他在给中和点以新定义时特别提到了原有的定义。这是极为必要的。文中并没有明指或暗示通称中和点是他提出的。但不知出于什么原因,一些人把中和点的提出一再地归功于鲁氏^[3,4,5]

至今,人们仍普遍地使用通称中和点的概念,但它受到了严重干扰。中和点定义之多,可称得上五花八门。这种名同实