

ICS 73.020

CCS D 10

NB

中华人民共和国能源行业标准

NB/T 11152—2023

地热钻井钻头使用基本规则和 磨损评定方法

Basic rule for the use of geothermal drilling bits
and the evaluation method for bit wear

行业标准信息服务平台

2023-02-06 发布

2023-08-06 实施

国家能源局 发布

目 次

| | |
|----------------------------|----|
| 前言 | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 钻头使用基本规则 | 3 |
| 5 钻头磨损评定方法 | 6 |
| 附录 A（规范性） 钻头的直径及公差 | 12 |
| 附录 B（规范性） 起钻原因及代码 | 13 |
| 附录 C（规范性） 金刚石钻头及复合钻头的保径块长度 | 14 |
| 附录 D（规范性） 钻头分类号 | 15 |
| 附录 E（规范性） 钻头的连接螺纹及上紧扭矩 | 18 |
| 附录 F（规范性） 钻头钻压、钻速和排量的推荐范围 | 19 |
| 附录 G（规范性） 钻头井下复杂情况处理技术措施 | 21 |
| 附录 H（规范性） 钻头的磨损特征及代码 | 23 |
| 参考文献 | 24 |

行业标准信息服务平台

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中国石油化工集团有限公司提出。

本文件由能源行业地热能专业标准化技术委员会归口。

本文件起草单位：西南石油大学、中石化江钻石油机械有限公司、四川川石.克锐达金刚石钻头有限公司、中国石油集团长城钻探工程有限公司、四川宝石机械石油钻头有限责任公司、中国地质大学（武汉）、中石化胜利石油工程有限公司钻井工艺研究院、中石化集团新星石油有限责任公司。

本文件主要起草人：杨迎新、全兵、范晓勒、任海涛、张召峰、王霞、刘晓波、段隆臣、解巧云、况雨春、郑家伟、陈炼、窦斌、许友斌、于洪波、李斌、高清春、周学军、赵丰年。

本文件为 2023 年首次发布。

行业标准信息服务平台

地热钻井钻头使用基本规则和磨损评定方法

1 范围

本文件规定了钻头使用基本规则和磨损评定方法。

本文件适用于地热钻井全面钻进钻头和取心钻头，也可用于石油天然气等其他钻井工程中作为钻头选择、使用和磨损评定的借鉴和指导。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- DZ/T 0260 地热钻探技术规程
- SY/T 5164 牙轮钻头
- SY/T 5217 金刚石钻头
- SY/T 5234 钻井参数优选基本方法
- SY/T 5426 石油天然气钻井工程 岩石可钻性测定与分级

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

钻头 **drill bit & rock bit**

钻井中直接接触并破碎井底岩石形成井眼的工具。结构类型包括固定切削齿钻头、牙轮钻头、复合钻头和潜孔锤钻头等。按功用可分为全面钻进钻头、取心钻头和特殊工艺用钻头。

3.2

切削元件/切削齿 **cutter**

钻头上与井底岩石直接接触以破碎岩石的元件，也称切削齿或牙齿。

3.3

固定切削齿钻头 **fixed cutter drill bit**

全部切削齿均固定在钻头体上的钻头。主要有刮刀钻头、金刚石钻头、潜孔锤钻头三类。

3.4

牙轮钻头 **roller cone drill bit**

通过牙轮的滚动带动其上的切削齿以冲击、压入和刮削作用破碎岩石的钻头，由牙轮、牙掌、轴承和喷嘴等部分组成。按钻头牙齿类型可分为钢齿钻头和硬质合金镶齿钻头两类。按轴承类型主要分为滚动轴承钻头和滑动轴承钻头两类。

3.5

金刚石钻头 **diamond drill bit**

以金刚石或金刚石制品作为切削元件的固定切削齿钻头，是金刚石全面钻进钻头、金刚石取心钻头和金刚石扩眼钻头的统称，包括聚晶金刚石复合片钻头（PDC 钻头）、热稳定聚晶金刚石钻头（TSP 钻头）、天然金刚石钻头和孕镶金刚石钻头类型。

3.6

聚晶金刚石复合片钻头 PDC bit

以聚晶金刚石复合片为主要切削元件的金刚石钻头，简称 PDC 钻头。按钻头体材料及制造工艺的不同可分为胎体式 PDC 钻头和钢体式 PDC 钻头两类。聚晶金刚石复合片也称为 PDC 齿或复合片。

3.7

孕镶金刚石钻头 impregnated diamond bit

以孕镶块或孕镶齿作为主要切削元件的金刚石钻头。

3.8

PDC-牙轮复合钻头 PDC and roller-cone hybrid bit

同时包含 PDC 刀翼和牙轮两种切削结构的钻头，也称 PDC-牙轮混合钻头，简称复合钻头或混合钻头。复合钻头采用钢体式结构，牙轮牙掌部件通常采用焊接方式连接在钻头体上。

3.9

取心钻头 coring bit

用于钻取岩心的钻头。

3.10

双心钻头 bi-center bit & eccentric bit

随钻扩孔金刚石钻头或工具的一种，包括领眼部分和扩眼部分，能通过套管内孔下入，并实现边钻边扩孔的功能。也称偏心钻头。

3.11

外排齿 outter rows

金刚石钻头外排齿是指钻头 $2/3$ 半径以外区域的切削齿。牙轮钻头外排齿是指各牙轮上接触井壁的齿圈上的切削齿。PDC-牙轮复合钻头的外排齿包括刀翼外排齿和牙轮外排齿两部分：刀翼外排齿是指从钻头中心至钻头 $2/3$ 半径以外区域内的 PDC 齿；牙轮外排齿是指各牙轮上距离井壁最近的齿圈上的切削齿。

3.12

内排齿 inner rows

金刚石钻头内排齿是指从钻头中心至钻头 $2/3$ 半径区域内的切削齿。牙轮钻头内排齿是指各牙轮上不接触井壁的齿圈上的切削齿。PDC-牙轮复合钻头的内排齿包括刀翼内排齿和牙轮内排齿两部分：刀翼内排齿是指从钻头中心至钻头 $2/3$ 半径区域内的 PDC 齿；牙轮内排齿是指各牙轮上除外排齿之外的其余齿圈上的切削齿。

3.13

保径结构 gauge preserving structure

用于延缓钻头直径因磨损而缩小的结构称为保径结构。金刚石钻头的保径结构也称保径块或保径瓣，保径块与井壁相对的面为保径工作面，简称保径面。设置在保径结构上的切削齿称为保径齿。

3.14

规径结构/规径齿 gauge/gauge cutter

钻头冠部表面上直接决定或形成钻头直径的切削结构称为规径结构，简称规径。规径结构中的切削齿称为规径齿。

3.15

刀翼号 serial number of blade in drill bit

指金刚石钻头和 PDC-牙轮复合钻头上各个刀翼的编号。1 号刀翼是指最接近钻头回转中心的切削齿所在的刀翼。其余刀翼的编号规则为：观察者面对钻头工作端面，自 1 号刀翼起，按照顺时针方向，其后的刀翼依次为 2 号刀翼、3 号刀翼等。

3.16

牙轮号 serial number of cone in drill bit

指牙轮钻头和 PDC-牙轮复合钻头上各个牙轮的编号。

三牙轮钻头 1 号轮，是指含有最接近钻头回转中心的牙齿的牙轮；2 号轮、3 号轮的编号规则为：观察者面对牙轮钻头工作端面，自 1 号轮起，按照顺时针方向，其后的牙轮依次为 2 号轮、3 号轮。

复合钻头 1 号轮，是指在面对钻头工作端面时，位于 1 号刀翼前方的第一个牙轮。其他牙轮按照顺时针方向依次为 2 号轮、3 号轮等。

3.17

钻头修复 bit repair

将使用后已经发生一定程度磨损的钻头，通过更换切削齿等方式，使钻头恢复工作能力的制造过程。钻头修复通常只针对 PDC 钻头进行。

3.18

钻头的可修复性 bit repairability

依据出井后钻头的磨损程度，对钻头作出的是否可修复以及修复难易度的评价。

3.19

热磨损 thermal wear

PDC 齿等金刚石切削齿在工作过程中，由于高温使金刚石材料内应力增加，或使金刚石材料发生石墨化，从而导致切削齿工作寿命显著下降的现象。

3.20

复合片脱钴 cobalt removal of Polycrystalline Diamond Compact

通过酸蚀等方法将聚晶金刚石复合片金刚石聚晶层中的触媒金属钴除去，以提高复合片抗热磨损能力的方法。

4 钻头使用基本规则

4.1 钻头选择

4.1.1 应结合邻井地质资料、钻头使用资料和钻井工艺，在保证功能性要求的前提下，全面分析所钻进的地层、钻井工艺和钻井设备等条件，根据综合成本最低的原则优选钻头。

4.1.2 牙轮钻头、金刚石钻头（含金刚石取心钻头）以及 PDC-牙轮复合钻头参考表 1 进行钻头分类号的选择。

4.1.3 根据地层岩石选择钻头的一般原则

4.1.3.1 深部地层，应优先选用固定切削齿钻头，特别是 PDC 钻头，以保障深部井段的钻井安全性。

4.1.3.2 极软～软地层，应优先选用 PDC 钻头和钢齿牙轮钻头。

4.1.3.3 中硬及中硬以上地层，牙轮钻头宜优先选用密封滑动轴承镶齿钻头。

4.1.3.4 地层温度高于 150℃ 的高温井段，PDC 钻头、PDC-牙轮复合钻头应优先选用脱钴复合片，牙轮钻头或 PDC-牙轮复合钻头应优先选用耐高温橡胶密封或金属密封的产品。

- 4.1.3.5 硬地层、高研磨性地层和严重不均质地层，宜优先选用镶齿牙轮钻头或 PDC-牙轮复合钻头。
- 4.1.3.6 超硬地层和超强研磨性地层，宜优先选用孕镶金刚石钻头。
- 4.1.3.7 易泥包地层，宜优先选用优化水力参数的宽、深水道钢体 PDC 钻头。
- 4.1.3.8 在井段中有易卡钻地层时，应选用有倒划眼齿的钻头。

表 1 钻头类型与地层级别对应关系表

| 地层级别 | | I ~ III | III ~ IV | IV ~ VI | VI ~ VIII | VIII ~ X | > X |
|--------------|-----------------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 地层可钻性级值 | | <3 | 3 ≤ ~ <4 | 4 ≤ ~ <6 | 6 ≤ ~ <8 | 8 ≤ ~ <10 | ≥10 |
| 代表性地层 | | 强黏土，黏土，泥灰岩 | 泥灰岩，盐岩，石膏岩，页岩，砂岩 | 页岩，砂岩，白垩岩，大理岩，白云岩 | 页岩，砂岩，灰岩，白云岩，片麻岩，火成岩 | 砂岩，页岩，灰岩，花岗岩，片麻岩，火成岩 | 火成岩 |
| 牙轮 钻头分类号 | 钢齿牙轮 钻头 | 1-1 | 1-2 | 1-3 1-4 2-1 2-2 | 2-3 2-4 3-1 3-2 | 3-3 3-4 | |
| | 镶齿牙轮 钻头 | 4-1 4-2 4-3 | 4-4 | 5-1 5-2 5-3 5-4 | 6-1 6-2 6-3 6-4 | 7-1 7-2 7-3 7-4 | 8-1 8-2 8-3 8-4 |
| 金刚石钻头 分类号 | PDC 钻头 | 1-1 1-2 | 2-1 2-2 | 2-2 2-3 | 3-2 3-3 | 4-2 4-3 | |
| | 天然金刚石 钻头、TSP 钻头和孕镶 金刚石钻头 | | | 6-1 6-2 | 6-3 7-1 | 7-2 7-3 8-1 8-2 | 8-2 8-3 8-4 |

注 1：牙轮钻头的分类号遵照 SY/T 5164 的规定；金刚石钻头及金刚石取心钻头的分类号遵照 SY/T 5217 的规定。

注 2：牙轮钻头分类号只计表征地层类别的前两位代码。例如：“4-1”表示地层系列号为 4，分级号为 1。

注 3：金刚石钻头分类号只计表征切削齿密度的地层系列号和表征切削齿直径的分级号。例如：“3-2”表示地层系列号为 3（软到中），分级号为 2（PDC 齿直径为 14-24）。

注 4：PDC-牙轮复合钻头的分类号以钻头上的 PDC 齿切削结构为依据，按照 PDC 钻头的分类号来确定。例如：“3-2”表示复合钻头上 PDC 齿切削结构的地层系列号为 3（软到中），分级号为 2（PDC 齿直径为 14-24）。

4.1.4 根据钻井工艺选择钻头的一般原则

- 4.1.4.1 根据钻井工艺选择钻头时，应优先考虑钻井工艺对钻头的功能性要求，其次考虑钻头的破岩性能。
- 4.1.4.2 针对采用气体或泡沫循环介质的欠平衡地热钻井条件，PDC 钻头应优先选用胎体式钻头，或强化抗冲蚀性能的钢体式钻头。
- 4.1.4.3 针对定向钻井工艺条件，宜优先选择工作扭矩低、侧向切削能力强的钻头。
- 4.1.4.4 金刚石钻头、复合钻头的保径块长度的选用原则和推荐范围见附录 A。
- 4.1.4.5 在地层可钻性较差的定向钻井条件下，宜优先选择牙轮钻头或 PDC-牙轮复合钻头。
- 4.1.4.6 针对小井眼钻井条件，牙轮钻头中宜优先选择单牙轮钻头。

4.1.4.7 针对随钻扩孔钻进工况，宜优先选择双心钻头。

4.1.4.8 牙轮钻头与金刚石钻头的分类号见附录 B。

4.2 检查井眼、钻头

4.2.1 检查井眼情况，确定前一只钻头是否有牙齿、喷嘴等井底落物。必要时应进行打捞作业。

4.2.2 检查前一只钻头的直径磨损情况。如果前一只钻头直径明显缩小，则应考虑通井，或在下钻过程中根据需要进行划眼。

4.2.3 检查待入井钻头。

4.2.3.1 测量钻头直径是否符合要求。钻头的直径及公差规范见附录 C。

4.2.3.2 核实连接螺纹规格，并检查有无损伤。钻头连接螺纹的规格见附录 D。

4.2.3.3 检查钻头切削齿是否完好。新钻头切削齿应无裂纹、崩损等损伤，旧钻头切削齿无脱落，且其镶固结构无严重冲蚀。

4.2.3.4 对于牙轮钻头和 PDC-牙轮复合钻头，应检查各牙轮转动是否正常。

4.2.3.5 检查钻头水道是否通畅，钻头内是否有异物。

4.2.3.6 确认各喷嘴安装正确。

4.2.3.7 检查钻头的保径结构，金刚石钻头和复合钻头需测量保径块长度。

4.3 上卸钻头

4.3.1 清理钻头连接螺纹并涂抹螺纹密封脂。

4.3.2 上卸钻头应使用卸扣器。

4.3.3 钻头的上紧扭矩应符合附录 D 中的要求。

4.3.4 上卸扣时不得用大钳夹持金刚石钻头、复合钻头的保径块。

4.4 下钻

4.4.1 钻头缓慢通过转盘、防喷器。

4.4.2 钻头通过井眼中的套管鞋、台阶、高井眼曲率、缩径段时，应放慢下钻速度。

4.4.3 若下钻遇阻需要划眼，划眼时应在低转速、低钻压和较大的流量条件下进行。

4.4.4 下最后一个单根时，宜缓慢开泵，逐渐加大排量，低转速缓慢下放，冲洗井底。

4.5 井底造型/磨合

4.5.1 当钻头接近井底时，观察显示仪表。钻压和扭矩增加时，表明钻头已经到达井底。

4.5.2 以低于每毫米钻头直径 90N 的钻压，进行井底造型 0.3m 以上。

4.5.3 井底造型完成后，应及时调整钻井参数以获得最佳钻井参数组合。

4.6 钻进

4.6.1 确定钻压、转速和排量

4.6.1.1 选择钻井参数一般应按照直接钻井成本最低原则。

4.6.1.2 附录 E 中列出了各种类型、常用尺寸规格钻头的钻压、转速和排量的推荐范围，以及相关注意事项。钻头在正常钻进过程中的钻压、转速和排量一般应在推荐参数范围内选择，但不得同时使用高转速、高钻压。

4.6.1.3 当设备能力和钻具强度不足时，应优先保障安全性需要，适当降低钻压和转速推荐范围的低限和高限。

4.6.1.4 在确定具体型号钻头的钻压、转速和排量时，如果厂家的推荐范围与附录 E 有明显差异，应优先参照厂家的推荐范围。

4.6.1.5 要提高牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头的钻速，宜优先增大钻压；要提高 PDC 钻头在中硬以下均质地层的钻速，宜优先提高转速。

4.6.2 钻进过程

4.6.2.1 钻进中加压应均匀，匀速下放钻具，避免出现溜钻。

4.6.2.2 在正常钻进期间，应对钻进情况进行观察与分析，判断井下情况，并采取相应的技术措施。

4.6.2.3 若出现异常情况，应及时修正钻头的预期使用寿命。

4.6.2.4 钻进过程中与钻头相关的常见复杂情况处理措施见附录 F。

4.7 起出钻头

4.7.1 正常情况下，根据邻井资料初步确定新钻头下井的预期使用寿命。

4.7.2 若出现以下异常情况，考虑起出钻头：

- a) 泵压异常变化，地面未发现原因。
- b) 顿钻、溜钻。
- c) 蹩跳现象严重，扭矩增大。
- d) 处理井下事故，钻头在深井高温高压下长时间浸泡。

4.7.3 钻头起至复杂井段，应采用低速上提。

4.7.4 钻头起出后，进行磨损分级描述，并对钻头的整体磨损状态和主要磨损特征拍摄照片，作为磨损分析的辅助说明。

5 钻头磨损评定方法

5.1 钻头磨损分级

用字母及数字复合代码来记录钻头的切削结构、轴承/密封、直径的磨损，以及起钻原因、可修复性等共 13 项内容，以综合反映钻头使用后的磨损情况，见表 2。

表 2 钻头磨损分级表

| 钻头结构 | 切削结构磨损 | | | | 轴承/密封 | 直径 (mm) | 其他 磨损特征 | 起钻 原因 | 可修复性 |
|------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|------------|------------|--------------|
| | 内排齿 | 外排齿 | 磨损特征 | 位置 | | | | | |
| 固定齿 | I_F (a) | O_F (b) | D_F (c) | L_F (d) | B (i) | G (j) | O (k) | R (l) | R_p (m) |
| 牙轮 | I_C (e) | O_C (f) | D_C (g) | L_C (h) | | | | | |

对牙轮钻头，对应于固定切削齿钻头的 4 个表项无意义，即 I_F 、 O_F 、 D_F 、 L_F 四栏为空白。

对 PDC 齿等固定切削齿钻头，对应于牙轮切削结构和轴承的 5 个表项无意义，即 I_C 、 O_C 、 D_C 、 L_C 、 B 五栏为空白。

对 PDC-牙轮复合钻头，全部 13 个表项均有意义，其中 I_F 、 O_F 、 D_F 、 L_F 四栏对应于复合钻头的固定刀翼，而 I_C 、 O_C 、 D_C 、 L_C 、 B 五栏则对应于复合钻头的牙轮。

用于表达钻头磨损的 13 项内容分别为：

I_F ——固定切削结构内排齿磨损级值（固定切削齿钻头、PDC-牙轮复合钻头）；

- O_F ——固定切削结构外排齿磨损级值（固定切削齿钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- D_F ——固定切削结构磨损特征代码（固定切削齿钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- L_F ——固定切削结构磨损位置代码（固定切削齿钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- I_C ——牙轮内排齿磨损级值（牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- O_C ——牙轮外排齿磨损级值（牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- D_C ——牙轮磨损特征代码（牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- L_C ——牙轮磨损位置代码（牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- B ——轴承/密封磨损代码（牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头）；
- G ——钻头直径磨损量数值（单位 mm）；
- O ——钻头上的其他磨损特征代码；
- R ——起钻原因代码；
- R_p ——钻头的可修复性分级代码。

5.1.1 固定切削结构的磨损分级

5.1.1.1 内排齿 I_F

a) 固定切削齿磨损：以旧钻头上崩齿、断齿、掉齿及脱层 PDC 齿的总数与新钻头总齿数比值的 8 倍，以及其余齿磨损高度与新齿高度比值的 8 倍，作为分级依据。按公式 (1) 计算：

$$C_1 = \frac{8 \times N}{N_0} + \frac{8 \times (N_0 - N)(H_0 - H)}{N_0 \cdot H_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- C_1 ——切削齿磨损比值；
- N ——旧钻头上崩齿、断齿、掉齿及脱层 PDC 齿的总数，单位为个；
- N_0 ——总齿数，单位为个；
- H ——切削齿磨损后的平均高度，单位为毫米 (mm)；
- H_0 ——新钻头切削齿平均高度，单位为毫米 (mm)。

b) 根据公式 (1) 计算结果，切削齿磨损分级见表 3。

表 3 切削齿磨损分级

| | | | | | | | | | |
|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 齿磨损比值 C_1 或 C_2 | 0 | (0, 1] | (1, 2] | (2, 3] | (3, 4] | (4, 5] | (5, 6] | (6, 7] | (7, 8] |
| 齿磨损分级 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 注：表中 (0, 1]，表示齿磨损比值 $0 < C_1 \leq 1$ 或 $0 < C_2 \leq 1$ ，以此类推。0 表示切削结构无磨损，8 表示切削结构全磨损，以此类推。 | | | | | | | | | |

c) 表 2 中的 (a) 处记录钻头内排齿磨损级值 0~8。

5.1.1.2 外排齿 O_F

- a) 磨损级值计算同内排齿。
- b) 表 2 中的 (b) 处记录钻头固定切削结构外排齿磨损级值 0~8。

5.1.1.3 磨损特征 D_F

- a) 指钻头使用后固定切削结构上发生的主要磨损或失效形式，用字母表示的特征代码。
- b) 表 2 中 (c) 处只需记录钻头固定切削结构磨损特征中最严重的一项。钻头磨损特征代码及其含义见附录 G。

5.1.1.4 位置 L_F

a) 用于说明钻头上固定切削结构主要磨损特征所在位置的代码,用字母或数字表示。位置代码及其含义见表 4。

表 4 钻头切削结构磨损特征位置

| 切削结构类型 | 位置代码 | 英文全称 | 位置 | 切削结构类型 | 位置代码 | 英文全称 | 位置 |
|---------------|------|------------|-----|----------------|------|-----------|----|
| 牙轮(牙轮钻头、复合钻头) | 1 | Con#1 | 1号轮 | 刀翼(金刚石钻头、复合钻头) | C | Cone | 内锥 |
| | 2 | Con#2 | 2号轮 | | N | Nose | 鼻部 |
| | 3 | Con#3 | 3号轮 | | T | Taper | 外锥 |
| | N | Nose Row | 顶排齿 | | S | Shoulder | 肩部 |
| | M | Middle Row | 中排齿 | | G | Gage | 保径 |
| | G | Gage Row | 外排齿 | | A | All Areas | 全部 |
| | A | All Row | 全部 | | | | |

b) 表 2 中 (d) 处记录固定切削结构主要磨损特征的位置。

5.1.2 牙轮切削结构的磨损分级

5.1.2.1 内排齿 I_C

a) 钢齿牙轮切削齿磨损:以切削齿磨损、折断的高度与新齿高度比值的 8 倍作为分级依据。按公式 (2) 计算:

$$C_2 = \frac{8 \times (H_0 - H)}{H_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

C_2 ——钻头切削齿磨损比值;

H_0 ——新钻头切削齿平均高度,单位为毫米 (mm);

H ——旧钻头切削齿磨损、折断后的平均高度,单位为毫米 (mm)。

根据计算结果,钢齿牙轮钻头切削齿磨损分级见表 3。

b) 镶齿牙轮切削齿磨损:以旧钻头牙轮上崩齿、断齿、掉齿的总数与新钻头牙轮总齿数比值的 8 倍,以及其余齿磨损高度与新齿高度比值的 8 倍,作为分级依据。按公式 (1) 计算:

c) 根据公式 (1) 或公式 (2) 计算结果,切削齿磨损分级见表 3。

d) 表 2 中 (e) 处记录钻头上牙轮内排齿磨损级值 0~8。

5.1.2.2 外排齿 O_C

a) 磨损级值计算同内排齿。

b) 表 2 中 (f) 处记录钻头外排齿磨损级值 0~8。

5.1.2.3 磨损特征 D_C

a) 指钻头使用后牙轮上发生的主要磨损或失效形式,用字母表示的特征代码。

b) 表 2 中 (g) 处只需记录磨损特征中最严重的一项。牙轮钻头磨损特征代码及其含义见附录 G。

5.1.2.4 位置 L_C

a) 用于说明钻头上牙轮主要磨损特征所在位置的代码,用字母或数字表示。位置代码及其含义见表 4。

b) 表 2 中 (h) 处记录牙轮主要磨损特征的位置。

5.1.3 轴承/密封 B

5.1.3.1 非密封轴承

用数字 0~8 表示轴承寿命使用程度，0 表示新轴承，1 表示使用时间达到轴承寿命的 1/8，以此类推，8 表示轴承寿命使用完，包括轴承咬死和牙轮脱落。非密封轴承磨损分级和现场评价规定见表 5。

表 5 非密封轴承磨损分级和现场评价规定

| 非密封轴承磨损分级 | 磨损程度 | |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|
| | 使用时间 | 现场评价 |
| 0 | 新轴承 | 新钻头 |
| 1 | $0 < \text{轴承已用掉} \leq 1/8$ | 转动灵活，轴承不旷动 |
| 2 | $1/8 < \text{轴承已用掉} \leq 2/8$ | 转动灵活，轴承基本不旷动 |
| 3 | $2/8 < \text{轴承已用掉} \leq 3/8$ | |
| 4 | $3/8 < \text{轴承已用掉} \leq 4/8$ | 转动灵活，稍有旷动 |
| 5 | $4/8 < \text{轴承已用掉} \leq 5/8$ | 轴向旷动小于 1mm； 径向旷动小于 2mm |
| 6 | $5/8 < \text{轴承已用掉} \leq 6/8$ | 轴向旷动小于 1~2mm； 径向旷动小于 2~3mm |
| 7 | $6/8 < \text{轴承已用掉} \leq 7/8$ | 轴向旷动大于 2mm； 径向旷动大于 3mm |
| 8 | 轴承寿命已用完 | 轴承完全失效 |

5.1.3.2 密封轴承

用一个字母表示轴承密封情况。E 表示密封有效，F 表示密封无效，N 表示不能做出评价。

5.1.3.3 固定切削齿钻头

用字母 X 表示无此项评价内容。

5.1.3.4 评价记录

表 2 中 (i) 处记录牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头使用后的轴承/密封情况。

5.1.4 直径 G

5.1.4.1 用于表示钻头直径的磨损量。磨损量按照四舍五入法圆整到最近的整数，单位为毫米 (mm)。0 表示直径无磨损。

5.1.4.2 表 2 中 (j) 处记录钻头直径磨损量。

5.1.5 其他磨损特征 O

5.1.5.1 指钻头上除主要磨损特征 D_F 、 D_C 之外的次要磨损或失效形式，用字母表示的特征代码。其他磨损特征可记录钻头整体的磨损特征，也可以进一步描述切削结构的第二磨损特征。其他磨损特征代码及含义见附录 G。

5.1.5.2 表 2 中 (k) 处记录钻头使用后的其他磨损特征。

5.1.6 起钻原因 P

5.1.6.1 起钻原因用字母代码表示，起钻原因代码及含义见附录 H。

5.1.6.2 表 2 中 (l) 处记录钻头起钻原因。

5.1.7 可修复性 R

5.1.7.1 可修复性用字母代码表示，可修复性代码及含义见表 6。

5.1.7.2 表 2 中 (m) 处记录钻头的可修复性。

5.1.7.3 为保障修复钻头的质量和工作可靠性，同一只 PDC 钻头的最多修复次数为：胎体钻头 3 次；钢体钻头 5 次。

表 6 钻头的可修复性分级及说明

| 序号 | 分级代码 | 英文全称 | 含义 |
|----|------|--------------------------|---------------------|
| 1 | I | Low repairing cost | PDC 钻头：易于修复 |
| 2 | II | Medium repairing cost | PDC 钻头：可以修复，修复难度中等 |
| 3 | III | High repairing cost | PDC 钻头：可以修复，修复难度高 |
| 4 | IV | Irreparable | PDC 钻头：不可修复 |
| 5 | V | Unsuitable for repairing | 除 PDC 钻头以外的其他钻头：不修复 |

注 1：只有 PDC 钻头的切削结构具有可修复性，PDC 钻头的可修复性分级代码为 I、II、III、IV，分别用以表示“易于修复”、“修复难度中等”、“修复难度高”、“不可修复”四种难度级别。

注 2：钻头修复通常包括针对切削结构磨损（含冲蚀）的修复、连接螺纹的修复、钻头体的修复等内容。本文件中关于可修复性及分级的内容主要针对切削结构（包括保径结构）磨损的修复。因为各种除切削结构磨损以外的因素导致钻头无法通过修复重新恢复工作能力的情况，如钻头体裂纹、局部损坏、过度磨损、严重冲蚀等，均应直接判定钻头为不可修复，钻头的可修复性分级代码为 IV。

注 3：牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头以及除 PDC 钻头以外的其他种类的金刚石钻头，不适于做修复，可修复性分级代码均用 V 表示。

注 4：对 PDC 钻头可修复性分级的具体说明：

(1) 钢体 PDC 钻头

I 级：刀翼体——无磨损；内、外排齿——可将原齿转换工作位置后焊接修复，不需要更换新的切削齿；钻头直径——仍处于钻头直径公差范围之内。

II 级：刀翼体——无磨损；内、外排齿——需更换新切削齿的数量不大于修复切削齿总数的 1/3；钻头直径——钻头直径的磨损量不大于规径齿直径的 1/2。

III 级：刀翼体——有轻度磨损，需修补；内、外排齿——需更换新切削齿的数量大于修复切削齿总数的 1/3；钻头直径——钻头直径的磨损量不大于规径齿的直径。

IV 级：刀翼体——严重磨损，不可修复，或修补难度大，无法保证钎焊固齿质量；内、外排齿——至少 1 枚切削齿的磨损分级评定超过 4 级；钻头直径——钻头直径的磨损量大于钻头规径齿的直径。

(2) 胎体 PDC 钻头

I 级：刀翼体——无磨损；内、外排齿——可将原齿转换工作位置后焊接修复，不需要更换新的切削齿；钻头直径——仍处于钻头直径公差范围之内。

II 级：刀翼体——无磨损；内、外排齿——需更换新切削齿的数量不大于修复切削齿总数的 1/3；钻头直径——仍处于钻头直径公差范围之内。

III 级：刀翼体——有轻度磨损，能保证钎焊固齿质量；内、外排齿——需更换新切削齿的数量大于修复切削齿总数的 1/3；钻头直径——仍处于钻头直径公差范围之内。

IV 级：刀翼体——严重磨损，无法保证钎焊固齿质量；内、外排齿——至少 1 枚切削齿的磨损分级评定超过 4 级；钻头直径——小于钻头直径公差下限。

(3) 除 PDC 钻头以外的其他种类钻头（含牙轮钻头、PDC-牙轮复合钻头等），均不适于修复，分级代码为 V 级。

5.2 钻头磨损测定

5.2.1 切削结构磨损测定

5.2.1.1 钢齿牙轮

用深度游标卡尺，将主尺尺头插入牙齿根部，副尺端面贴紧齿顶，读出的数值为磨损、折断后的齿高（齿高是齿顶相对于齿根处垂高）。然后以齿高的算术平均值作为公式（2）中的 H 值，计算齿磨损比值 C_2 。

5.2.1.2 镶齿牙轮和固定切削结构

观察记录旧钻头上崩齿、断齿、掉齿以及脱层 PDC 齿的总数 N ，并用 5.2.1.1 的方法测量切削齿磨损后的高度的算术平均值 H ，然后用公式（1）计算齿磨损比值 C_1 。

5.2.2 非密封轴承旷动值测定

5.2.2.1 非密封轴承轴向旷动值

用手将牙轮沿轴线方向向外移动至极限，测量出牙轮底平面与牙掌最后加工面间的间隙值；再将牙轮沿轴线方向向钻头中心推动至极限，同样测量出其间隙值，两间隙值之差即为轴向旷动值。

5.2.2.2 非密封轴承径向旷动值

用手将牙轮沿轴线的垂直方向向下移动至最下端，在牙轮底平面与牙掌接触处划一条线，再将牙轮沿牙轮轴线的垂直方向向上提至最高点，测量出牙掌与刻线之间的距离，即为径向旷动值。

5.2.2.3 直径磨损测定

钻头工作端面向上，用钻头规贴紧钻头最大直径处，保持与钻头轴线垂直，读出该钻头直径。新旧钻头直径之差为钻头直径磨损量。

5.3 钻头使用与磨损记录

钻头使用与磨损记录内容及格式见表 7。

表 7 钻头使用与磨损记录

| 钻头使用记录 | | | | | | | | |
|--------------|--------------|------------|-------------|---------------|------------|----------------|-------------|--------------|
| 生产厂商 | 钻头直径 (mm) | 钻头型号 | 钻头序列号 | IADC 分类代码 | 连接螺纹 | 喷嘴直径组合 (mm) | 井斜度 (°) | 地层岩性 |
| | | | | | | | | |
| 入井深度 (m) | 起钻深度 (m) | 总进尺 (m) | 纯钻时间 (h) | 机械钻速 (m/h) | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 泵压 (MPa) | 排量 (L/s) |
| | | | | | | | | |
| 井底温度 (°C) | 钻具组合 | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 钻头磨损记录 | | | | | | | | |
| 钻头结构 | 切削结构磨损 | | | | B | G | 说明 | |
| | 内排齿 | 外排齿 | 磨损特征 | 位置 | 轴承/密封 | 直径 | 其他磨损特征 | 起钻原因 可修复性 |
| 固定齿 | | | | | | | | |
| 牙轮 | | | | | | | | |

附录 A
(规范性)
钻头的直径及公差

表 A.1 牙轮钻头直径及公差

| 牙轮钻头 | | 公差 (mm) |
|----------------------------------|--------------|-----------|
| 直径代号 | 钻头直径 (mm) | |
| $3\frac{1}{2}\sim 13\frac{3}{4}$ | 88.9~349.2 | +0.8 0 |
| 14~17 $\frac{1}{2}$ | 355.6~444.5 | +1.6 0 |
| $\geq 17\frac{5}{8}$ | ≥ 447.7 | +2.4 0 |

注：如用户所需的钻头直径不在此表范围内，公差可由用户和制造厂协商确定。

表 A.2 金刚石钻头、复合钻头直径及公差

| 金刚石钻头、复合钻头 | | 公差 (mm) |
|-------------------------------------|--------------|------------|
| 直径代号 | 钻头外径 (mm) | |
| $< 6\frac{3}{4}$ | < 171.4 | 0 -0.38 |
| $6\frac{25}{32}\sim 9$ | 172.2~228.6 | 0 -0.51 |
| $9\frac{1}{32}\sim 13\frac{3}{4}$ | 229.4~349.2 | 0 -0.76 |
| $13\frac{25}{32}\sim 17\frac{1}{2}$ | 350.0~444.5 | 0 -1.14 |
| $\geq 17\frac{17}{32}$ | ≥ 445.3 | 0 -1.60 |

注：如用户所需的钻头直径不在此表范围内，公差可由用户和制造厂协商确定。

表 A.3 金刚石取心钻头内径尺寸及公差

| 钻头内径 (mm) | 公差 (mm) |
|------------|------------|
| 66, 70, 82 | 0 -0.38 |
| 101 | 0 -0.51 |
| 105, 133 | 0 -0.76 |

注：如用户所需的钻头直径不在此表范围内，公差可由用户和制造厂协商确定。

附录 B
(规范性)
起钻原因及代码

表 B 起钻原因及代码

| 序号 | 代码 | 英文全称 | 起钻原因 |
|----|-----|----------------------------|----------|
| 1 | BHA | Change Bottomhole Assembly | 改变井底钻具组合 |
| 2 | CM | Condition Mud | 处理钻井液 |
| 3 | CP | Core Point | 到达取心井深 |
| 4 | DP | Drill Plug | 钻完水泥塞 |
| 5 | DMF | Downhole Motor Failure | 井下马达失效 |
| 6 | DTF | Drill Toll Failure | 井下工具失效 |
| 7 | DSF | Drill String Failure | 钻柱失效 |
| 8 | DST | Drill Stem Test | 钻杆测试 |
| 9 | FM | Formation Change | 地层变化 |
| 10 | HP | Hole problems | 井眼有问题 |
| 11 | HR | Hours On Bit | 已到钻头使用寿命 |
| 12 | LIH | Left In Hole | 井下落物 |
| 13 | LOG | Run Logs | 测井 |
| 14 | PP | Pump Pressure | 泵压问题 |
| 15 | PR | Penetration Rate | 机械钻速低 |
| 16 | RIG | Rig Repair | 钻机修理 |
| 17 | TD | Target Depth | 钻达目标井深 |
| 18 | TQ | Torque | 扭矩变化 |
| 19 | TW | Twist Off | 钻具扭坏 |
| 20 | WC | Weather Condition | 天气异常 |
| 21 | WO | Washout Drill String | 钻柱冲蚀 |

附录 C

(规范性)

金刚石钻头及复合钻头的保径块长度

表 C 金刚石钻头及复合钻头的保径块长度

| 钻头直径 | | PDC 钻头、复合钻头 | | 孕镶金刚石钻头、TSP、天然金刚石钻头 | |
|---------|---------|-------------|------------|---------------------|------------|
| 英寸 (in) | 毫米 (mm) | 英寸 (in) | 毫米 (mm) | 英寸 (in) | 毫米 (mm) |
| 4 1/8 | 104.8 | 0.5~3 | 12.7~76.2 | 0.5~6 | 12.7~152.4 |
| 5 7/8 | 149.2 | 0.5~4 | 12.7~101.6 | 0.5~8 | 12.7~203.2 |
| 6 | 152.4 | 0.5~4 | 12.7~101.6 | 0.5~8 | 12.7~203.2 |
| 6 1/2 | 165.1 | 0.5~4 | 12.7~101.6 | 0.5~8 | 12.7~203.2 |
| 8 1/2 | 215.9 | 1~6 | 25.4~152.4 | 1~10 | 25.4~254.0 |
| 9 1/2 | 241.3 | 1~6 | 25.4~152.4 | 1~10 | 25.4~254.0 |
| 12 1/4 | 311.2 | 1~7 | 25.4~177.8 | 1~12 | 25.4~254.0 |
| 16 | 406.4 | 1.5~7 | 38.1~177.8 | 1.5~12 | 38.1~304.8 |
| 17 1/2 | 444.5 | 1.5~7 | 38.1~177.8 | 1.5~12 | 38.1~304.8 |
| 26 | 660.4 | 2~8 | 50.8~203.2 | 2~15 | 50.8~381.0 |

注 1: 表中钻头保径块长度的范围较宽, 基本能满足常规钻具组合、定向钻具组合以及带各类提速工具的钻具组合等工况对钻头保径的要求, 在设计或选用时可参考表中数据, 根据实际需要确定钻头的保径块长度, 必要时可以超出推荐范围。

注 2: 表中仅列举了部分典型尺寸钻头的保径块长度, 对其他直径的钻头, 可以参考表中相近直径钻头的数据做选定。

注 3: 中硬以下、研磨性中等以下的地层, 钻头的保径块长度可取中等或中等以下数值。

注 4: 硬地层、高研磨性地层对钻头保径能力要求较高, 钻头的保径块长度宜取中等以上数值。

注 5: 定向造斜用钻头, 宜选择较短的保径块长度。

注 6: 孕镶金刚石钻头、TSP 钻头、天然金刚石钻头转速在 300r/min 以上的工况, 应在高值范围选择保径块长度。

注 7: 特殊钻头 (如双心钻头、取心钻头) 的保径块长度, 亦可以表中数据作为参考。

附录 D
(规范性)
钻头分类号

表 D.1 牙轮钻头分类号

| 钻头类别 | 适用地层 | | | 结构特征 | | | | | | | | |
|------|------|-----------------------|----|-------------|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|--|--|
| | 系列 | 岩性 | 分级 | 普通滚动轴承 1 | 空气冷却滚动轴承 2 | 滚动轴承 3 | 密封滚动轴承 4 | 密封滚动轴承 5 | 密封滑动轴承 6 | 密封滑动轴承 7 | | |
| 钢齿钻头 | 1 | 低抗压强度 高可钻性的 软地层 | 1 | | | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | | | |
| | 2 | 高抗压强度 的中等到中 硬地层 | 1 | | | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | | | |
| | 3 | 半研磨性及 研磨性的 硬地层 | 1 | | | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | | | |
| 镶齿钻头 | 4 | 低抗压强度 高可钻性的 软地层 | 1 | | | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | | | |
| | 5 | 低抗压强度 的软到中等 地层 | 1 | | | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | | | |
| | 6 | 高抗压强度 的中硬地层 | 1 | | | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | | | |

表 D.1 牙轮钻头分类号 (续)

| 钻头类别 | 适用地层 | | | 结构特征 | | | | | | |
|------|------|-----------|----|-------------|---------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 系列 | 岩性 | 分级 | 普通滚动轴承 1 | 空气冷却滚动轴承 2 | 滚动轴承 3 | 密封滚动轴承 4 | 密封滚动轴承 5 | 密封滑动轴承 6 | 密封滑动轴承 7 |
| 镶齿钻头 | 7 | 半研磨性的硬地层 | 1 | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | |
| | 8 | 高研磨性的极硬地层 | 1 | | | | | | | |
| | | | 2 | | | | | | | |
| | | | 3 | | | | | | | |
| | | | 4 | | | | | | | |

示例：8¹/₂ZT536 钻头型号中的钻头分类号为“536”，其含义为：钻头为镶齿钻头，适用于钻进低抗压强度的软到中等第3级地层，采用密封滑动轴承。

表 D.2 金刚石钻头分类号

| 钻头体材料 | | 适用地层 | | | 切削元件代号 | | | 冠部轮廓代号 | | | | | | | |
|-------|----|------|------|---------------|--------|-------|---------|---------|------------|----------------|------------|---|---|---|---|
| 胎体 | 钢体 | 系列 | 岩性 | 切削元件密度 | 分级代号 | 类型 | 直径 (mm) | 鱼尾形/扁平型 | 短 ≤1/4D | 中 1/4D~1/2D | 长 ≥1/2D | | | | |
| M | S | 1 | 极软 | ≤0.139D | 1 | PDC 齿 | >24 | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| | | | | | 2 | PDC 齿 | 14~24 | | | | | | | | |
| | | | | | 3 | PDC 齿 | <14 | | | | | | | | |
| | | 2 | 软 | 0.139D~0.185D | 1 | PDC 齿 | >24 | | | | | | | | |
| | | | | | 2 | PDC 齿 | 14~24 | | | | | | | | |
| | | | | | 3 | PDC 齿 | <14 | | | | | | | | |
| | | 3 | 软到中 | 0.185D~0.232D | 1 | PDC 齿 | >24 | | | | | | | | |
| | | | | | 2 | PDC 齿 | 14~24 | | | | | | | | |
| | | | | | 3 | PDC 齿 | <14 | | | | | | | | |
| | | 4 | 中到中硬 | >0.232D | 1 | PDC 齿 | >24 | | | | | | | | |
| | | | | | 2 | PDC 齿 | 14~24 | | | | | | | | |
| | | | | | 3 | PDC 齿 | <14 | | | | | | | | |
| | | 5 | — | — | — | — | — | | | | | — | — | — | |
| | | 6 | 中硬 | <3SPC | 1 | 天然金刚石 | — | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | | | 2 | TSP | — | | | | | | | | |
| | | | | | 3 | 混合金刚石 | — | | | | | | | | |

表 D.2 金刚石钻头分类号 (续)

| 钻头体材料 | | 适用地层 | | | 切削元件代号 | | | 冠部轮廓代号 | | | |
|-------|----|------|----|--------|--------|-------|---------|---------|------------|----------------|------------|
| 胎体 | 钢体 | 系列 | 岩性 | 切削元件密度 | 分级代号 | 类型 | 直径 (mm) | 鱼尾形/扁平型 | 短 ≤1/4D | 中 1/4D~1/2D | 长 ≥1/2D |
| M | S | 7 | 硬 | 3~5SPC | 1 | 天然金刚石 | — | 1 | 2 | 3 | 4 |
| | | | | | 2 | TSP | — | | | | |
| | | | | | 3 | 混合金刚石 | — | | | | |
| | | 8 | 极硬 | >7SPC | 1 | 天然金刚石 | — | | | | |
| | | | | | 2 | TSP | — | | | | |
| | | | | | 3 | 混合金刚石 | — | | | | |
| | | | | | 4 | 孕镶金刚石 | — | | | | |

注 1: 表中的“切削元件密度”, 对 PDC 钻头来说为“当量切削元件数”, 即除规径外的 PDC 齿以及第一个规径 PDC 齿按直径 $\phi 12.7\text{mm}$ (1/2in) 折算后的 PDC 齿数量。具体折算公式如下:

$$Z = \sum_{i=2}^n Z_i d_i / 12.7$$

式中:

Z——钻头的当量 PDC 齿数;

n——钻头上 PDC 齿的直径规格数 (相同直径的 PDC 齿归入一类);

$Z_i d_i$ ——第 i 种 PDC 齿的数量和直径 (不包括规径面上的和不参与切削的后排 PDC 齿)。

注 2: 表中的字母“D”为钻头直径, 其前的系数表示与 IADC[11]钻头分类法给定的基准钻头直径 215.9mm 的比值。

注 3: 对天然金刚石钻头及 TSP 等钻头来说, “切削元件密度”采用每克拉中切削元件的粒数 (SPC)。

注 4: 当同一只钻头上出现多种尺寸的切削元件时, 切削元件直径的确定应以数量最多的为依据。

行业标准信息服务平台

附 录 E
(规范性)
钻头的连接螺纹及上紧扭矩

各种直径钻头对应的 API 连接螺纹规格和相应的上紧扭矩要求见表 D.1 和表 D.2。

表 E.1 牙轮钻头的连接螺纹及上紧扭矩

| 连接螺纹代号 (in) | 上紧扭矩 (kN·m) | |
|-----------------------------------|-------------|-------|
| | 推荐值下限 | 推荐值上限 |
| 2 ³ / ₈ REG | 4.1 | 4.7 |
| 2 ⁷ / ₈ REG | 6.1 | 7.5 |
| 3 ¹ / ₂ REG | 9.5 | 12.2 |
| 4 ¹ / ₂ REG | 16.3 | 21.7 |
| 6 ⁵ / ₈ REG | 38.0 | 43.4 |
| 7 ⁵ / ₈ REG | 46.1 | 54.2 |
| 8 ⁵ / ₈ REG | 54.2 | 81.3 |

注：如所使用钻头连接螺纹不在此表范围内，则上紧扭矩推荐值与制造厂协商确定。

表 E.2 金刚石钻头和复合钻头的连接螺纹及上紧扭矩

| 连接螺纹代号 (in) | 上紧扭矩 (kN·m) | |
|-----------------------------------|-------------|-------|
| | 推荐值下限 | 推荐值上限 |
| 1 REG | 0.25 | 0.27 |
| 1 ¹ / ₂ REG | 0.90 | 0.99 |
| 2 ³ / ₈ REG | 2.5 | 4.5 |
| 2 ⁷ / ₈ REG | 4.2 | 6.9 |
| 3 ¹ / ₂ REG | 7.1 | 11.4 |
| 4 ¹ / ₂ REG | 16.9 | 26.4 |
| 6 ⁵ / ₈ REG | 50.3 | 57.4 |
| 7 ⁵ / ₈ REG | 65.5 | 90.7 |

注：如所使用钻头连接螺纹不在此表范围内，则上紧扭矩推荐值与制造厂协商确定。

附录 F

(规范性)

钻头钻压、钻速和排量的推荐范围

F.1 推荐范围

牙轮钻头的钻井参数推荐范围见表 E.1。

PDC 钻头、PDC-牙轮复合钻头的钻井参数推荐范围见表 E.2。

孕镶金刚石钻头、TSP 钻头和天然金刚石钻头的钻井参数推荐范围见附表 E.3。

取心钻头的钻井参数推荐范围见附表 E.4。

表 F.1 牙轮钻头的钻井参数推荐范围

| 钻头直径 | | 三牙轮钻头 | | | 单牙轮钻头 | | |
|---------------|-------------|---------|------------|----------|---------|------------|----------|
| 英寸 in | 毫米 mm | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) |
| 3 1/2~4 | 88.9~101.6 | 10~30 | 40~500 | 6~10 | 10~40 | 40~500 | 6~10 |
| 4 1/8~4 1/2 | 104.8~114.3 | 10~40 | 40~500 | 8~12 | 10~50 | 40~500 | 8~12 |
| 4 5/8~5 1/2 | 117.5~139.7 | 10~50 | 40~500 | 8~12 | 10~80 | 40~500 | 8~12 |
| 5 7/8~6 3/4 | 149.2~171.5 | 35~140 | 40~280 | 12~20 | 35~150 | 40~500 | 8~16 |
| 7 1/2~8 3/4 | 190.5~222.3 | 55~240 | 40~300 | 25~35 | — | — | — |
| 9 1/2~9 7/8 | 241.3~250.8 | 60~270 | 40~300 | 25~45 | — | — | — |
| 10 5/8~11 5/8 | 269.9~295.3 | 65~320 | 40~300 | 25~45 | — | — | — |
| 12 1/4~13 3/4 | 311.2~349.3 | 75~350 | 40~300 | 25~45 | — | — | — |
| 14 3/4~16 | 374.7~406.4 | 90~440 | 40~300 | 30~70 | — | — | — |
| 17~17 1/2 | 431.8~444.5 | 90~480 | 40~300 | 30~70 | — | — | — |
| 18~26 | 457.2~660.4 | 90~400 | 40~200 | 30~70 | — | — | — |
| 27~36 | 685.8~914.4 | 50~250 | 40~200 | 30~70 | — | — | — |

表 F.2 PDC 钻头、PDC-牙轮复合钻头的钻井参数推荐范围

| 钻头直径 | | PDC 钻头 | | | PDC-牙轮复合钻头 | | |
|---------------|-------------|---------|------------|----------|------------|------------|----------|
| 英寸 in | 毫米 mm | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) |
| 4 1/2 | 114.3 | 10~60 | 50~350 | 6~16 | — | — | — |
| 5 7/8~6 1/2 | 149.2~165.1 | 20~80 | 50~260 | 10~20 | 30~80 | 50~260 | 10~20 |
| 8 3/8~8 3/4 | 212.7~220.7 | 30~120 | 50~260 | 25~35 | 40~120 | 50~260 | 25~35 |
| 9 1/2~9 7/8 | 241.3~250.8 | 30~120 | 50~240 | 25~45 | 50~150 | 50~240 | 25~45 |
| 10 5/8~11 5/8 | 269.9~295.3 | 30~140 | 50~220 | 25~45 | 60~170 | 50~220 | 25~45 |
| 12~13 1/8 | 304.8~333.4 | 30~140 | 50~220 | 25~70 | 80~220 | 50~200 | 30~70 |
| 15 1/2~17 1/2 | 393.7~444.5 | 30~200 | 50~200 | 30~70 | 100~240 | 50~200 | 30~70 |
| 26 | 660.4 | 30~250 | 50~150 | 40~100 | 30~250 | 50~150 | 40~100 |

表 F.3 孕镶金刚石钻头、TSP 钻头和天然金刚石钻头的钻井参数推荐范围

| 钻头直径 | | 孕镶金刚石钻头 | | | TSP、天然金刚石钻头 | | |
|--|--------------|---------|------------|----------|-------------|------------|----------|
| 英寸 in | 毫米 mm | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) |
| 4 ¹ / ₂ | 114.3 | 10~80 | 50~1000 | 10~20 | 20~75 | 80~500 | 8~16 |
| 5 ⁷ / ₈ ~6 | 149.2~152.4 | 20~100 | 50~1000 | 10~25 | 20~90 | 80~500 | 8~16 |
| 6 ¹ / ₂ | 165.1 | 20~120 | 50~1000 | 10~25 | 25~100 | 80~500 | 10~20 |
| 8 ³ / ₈ ~8 ³ / ₄ | 212.7~220.7 | 30~160 | 50~1000 | 25~40 | 45~135 | 80~500 | 15~30 |
| 9 ¹ / ₂ ~9 ⁷ / ₈ | 241.30~250.8 | 30~160 | 50~1000 | 25~45 | 45~160 | 80~500 | 20~35 |
| 10 ⁵ / ₈ | 295.3 | 30~180 | 50~1000 | 30~70 | 45~160 | 80~500 | 20~45 |
| 12~12 ¹ / ₄ | 304.8~311.2 | 30~200 | 50~1000 | 30~70 | 45~208 | 80~500 | 25~50 |
| 15 ¹ / ₂ ~16 | 393.7~406.4 | 30~220 | 50~1000 | 30~80 | 50~220 | 80~500 | 30~70 |
| 17 ¹ / ₂ | 444.5 | 30~220 | 50~1000 | 30~90 | 60~240 | 80~500 | 30~70 |

表 F.4 取心钻头的钻井参数推荐范围

| 钻头外径 | | PDC 取心钻头 | | | 孕镶金刚石、TSP 以及天然金刚石取心钻头 | | |
|--------------------------------|-------|----------|------------|----------|-----------------------|------------|----------|
| 英寸 in | 毫米 mm | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) | 钻压 (kN) | 转速 (r/min) | 排量 (L/s) |
| 4 | 101.6 | 9~68 | 40~150 | 6~16 | 9~60 | 40~200 | 6~12 |
| 5 ⁷ / ₈ | 149.2 | 9~68 | 40~150 | 6~16 | 9~60 | 40~200 | 6~16 |
| 6 | 152.4 | 9~68 | 40~150 | 6~16 | 9~60 | 40~200 | 6~16 |
| 8 ¹ / ₂ | 215.9 | 23~90 | 40~150 | 11~20 | 20~90 | 40~200 | 11~22 |
| 12 ¹ / ₄ | 311.2 | 45~115 | 40~150 | 11~20 | 45~130 | 40~200 | 22~32 |

F.2 注意事项

- (1) 硬地层宜按推荐钻压参数范围的较大值选择使用，软地层宜按较小值推荐使用。
- (2) 在高温、超硬、严重不均质地层条件下，宜选较低转速，钻头的转速可低于推荐范围的低限。
- (3) 26in 及以上尺寸的钻头一般用于钻表层，钻压和转速宜取较低数值，必要时可以低于推荐范围的低限。
- (4) 钻头高转速使用时，钻压参数应取适当的较低值。
- (5) 在高温地层以及高研磨性地层、硬地层和严重不均质地层使用 PDC 钻头或 PDC-牙轮复合钻头时，应尽量避免高转速。若需使用螺杆钻具，应优先选择工作转速低的产品。
- (6) 孕镶金刚石钻头、TSP 钻头和天然金刚石钻头主要用于超硬、强研磨性等极难钻地层，应在设备能力、钻具性能许可的条件下优先选用较高转速，宜配合井底动力钻具高转速钻进。
- (7) 金属密封钻头可按转速推荐范围的较大值使用，橡胶密封产品可按较小值推荐使用。
- (8) 牙轮钻头排量超出推荐范围时，宜选用带中心喷嘴的钻头，18in 及以上尺寸带中心喷嘴钻头的最高使用排量可推荐至 80L/s。
- (9) 取心钻头钻压转速的确定还需参考取心工艺和取心工具的性能。

附 录 G
(规范性)

钻头井下复杂情况处理技术措施

表 G 钻头井下复杂工况及处理技术措施

| 序号 | 井下复杂情况的地面表现 | 可能原因 | 处理措施 |
|----|-------------|--|---|
| 1 | 扭矩增加 | 地层变硬 非最佳钻压、转速 钻头保径磨损 井斜增加 泥饼增加 钻具刺漏 | 钻头泥包的处理措施： 1. 上提钻头脱离井底，大排量循环钻井液 10min~15min，加强水力冲洗效果。 2. 高速旋转钻头，利用离心力甩掉黏附在钻头表面的泥块。 若反复处理无效，则应起钻。 |
| 2 | 扭矩减小 | 地层变软 非最佳钻压、转速 井斜降低 泥饼减少 钻头泥包 | 钻头蹩、跳的处理措施： 1. 对于地层原因引起的蹩跳现象，可以通过改变钻井参数加以克服，如果改变钻井参数后无好转，且机械钻速大大降低，可以考虑起钻。 2. 使用牙轮钻头和复合钻头时，若出现连续蹩跳钻现象，且不是地面设备的问题，应立即起钻，避免掉牙轮。 3. 对于小的井底落物（如断齿、掉齿等）引起的蹩跳现象可以采用以下处理方法： (a) 将钻头提起至距离井底 0.5m 左右，大排量循环钻井液，同时低转速（40r/min~60r/min）转动钻头 5min 左右； (b) 继续大排量循环钻井液，同时将低速旋转的钻头缓慢下放至井底； (c) 将钻头重新提起，重复上述操作步骤数次，然后以低转速（40r/min~60r/min），小钻压（5kN~10kN）钻进 0.5m 左右，将落物等挤至井壁； (d) 钻头蹩跳现象消除后，可继续钻进，否则考虑起钻打捞。 |
| 3 | 扭矩波动 | 钻压波动 地层垮塌、掉块 地层岩性不均质 钻柱黏滑 托压导致钻头进给不稳定 钻具摩阻动态变化 | |
| 4 | 立管压力增加 | 流量增加 井筒堵塞 钻头环磨或出芯 钻井液密度或黏度增加 钻头泥包 | |
| 5 | 立管压力降低 | 钻具刺漏 流量降低 钻井液密度或黏度下降 钻井液内冲入空气 气体“井涌” 破碎性地层钻井液流失 | |

表 G 钻头井下复杂工况及处理技术措施（续）

| 序号 | 井下复杂情况的地面表现 | 可能原因 | 处理措施 |
|-------------------------------------|-------------|---|--|
| 6 | 机械钻速降低 | 地层变硬 钻头磨损 钻井液密度增加或性能恶化 非最佳钻压、转速 清洗效果降低 钻头泥包、钻具刺漏 | 钻遇硬夹层、研磨性或硬泥砂岩的处理措施： 1. 如果预测夹层厚度较薄，用低转速缓慢穿过夹层，以延长钻头使用寿命。 2. 如果预测夹层厚度较厚，可在夹层或研磨性硬地层形成井底后，重新寻找新最佳钻井参数组合 |
| 7 | 机械钻速不稳定 | 层状地层 软硬夹层 破碎性地层 钻头泥包 | |
| 8 | 钻头蹩跳 | 不均质及软硬交错地层、裂缝性地层、破碎性地层等引起蹩跳 牙轮钻头、复合钻头轴承过度磨损使牙轮蹩卡从而导致蹩跳 牙轮脱落、金刚石钻头断刀翼、喷嘴脱落、钻头断齿或掉齿等因井底落物引起蹩跳 | |
| 注：井下复杂事件应根据实际情况进行综合分析判断，采取适宜处理措施解决。 | | | |

行业标准信息服务平台

附录 H
(规范性)
钻头的磨损特征及代码

表 H 钻头的磨损特征及代码

| 序号 | 特征代码 | 英文全称 | 磨损特征 | 适用钻头种类 |
|----|------|-----------------------------|------------|--------------------|
| 1 | BC | Broken Cone | 牙轮破裂 | 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 2 | BF | Bond Failure | 切削齿联结失效 | PDC 钻头, 复合钻头 |
| 3 | BT | Broken Teeth/Cutters | 断齿 | PDC 钻头, 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 4 | BU | Balled Up Bit | 钻头泥包 | 各种钻头 |
| 5 | CC | Cracked Cone | 牙轮裂纹 | 牙轮切削结构磨损特征 |
| 6 | CD | Cone Dragged | 牙轮卡死 | 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 7 | CI | Cone Interference | 牙轮干涉 | 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 8 | CR | Cored | 钻头心部磨凹 | 各种全面钻进钻头 |
| 9 | CT | Chipped Teeth/Cutters | 切削齿崩损 | 各种钻头 |
| 10 | ER | Erosion | 切削齿和基体冲蚀 | 各种钻头 |
| 11 | FC | Flat Crested Wear | 齿顶磨平 | 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 12 | HC | Heating Checking | 热裂纹 | 各种钻头 |
| 13 | JD | Junk damage | 落物损坏 | 各种钻头 |
| 14 | LC | Lost cone | 掉牙轮 | 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 15 | LN | Lost nozzle | 掉喷嘴 | 各种钻头 |
| 16 | LT | Lost Teeth/Cutters | 掉齿 | PDC 钻头, 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 17 | NO | No dull characteristics | 无主要或其他磨损特征 | 各种钻头 |
| 18 | NR | Not rerunnable | 不可再用 | 各种钻头 |
| 19 | OC | Off center wear | 偏心磨损 | 牙轮钻头 |
| 20 | PB | Pinched bit | 钻头缩径 | 各种钻头 |
| 21 | PN | Plugged nozzle/flow passage | 喷嘴堵塞 | 各种钻头 |
| 22 | RG | Rounded gage | 保径结构磨圆 | 牙轮钻头 |
| 23 | RO | Ring out | 钻头环磨 | 金刚石钻头 |
| 24 | RR | Rerunnable | 可再用 | 各种钻头 |
| 25 | SD | Shirttail damage | 掌尖损坏 | 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 26 | SS | Self sharpening wear | 自锐磨损 | 钢齿牙轮钻头 |
| 27 | TR | Tracking | 轨迹磨损 | 牙轮钻头 |
| 28 | WO | Washed out bit | 钻头焊缝冲蚀 | 牙轮钻头, 复合钻头 |
| 29 | WT | Worn Teeth/Cutters | 切削齿磨损 | 各种钻头 |
| 30 | DD | Broken blade | 断刀翼 | 金刚石钻头, 复合钻头 |
| 31 | DY | Broken Leg | 断牙掌 | 牙轮钻头, 复合钻头 |

参 考 文 献

- [1] 《钻井手册（第二版）》编写组. 钻井手册(第二版). 北京: 石油工业出版社, 2013
 - [2] IADC/SPE 16145 Application of the NEW IADC dull grading system for fixed cutter bits
 - [3] IADC/SPE 16146 Application of the 1987 IADC roller bit dull grading system
 - [4] IADC/SPE 23937 The IADC roller bit dull classification system
 - [5] IADC/SPE 23938 The IADC roller bit dull grading system
 - [6] IADC/SPE 23939 First revision of the IADC fixed cutter dull grading system
 - [7] IADC/SPE 23940 Development of a new IADC fixed cutter drill bit classification system
 - [8] Drill Bit Classifier, OCTOBER 2015
 - [9] API Spec7-1 Specification for rotary drill stem elements, 2021
 - [10] "IADC drilling manual" (12th edition) Copyright©2014, International Association of Drilling Contractors
-

行业标准信息服务平台

中华人民共和国
能源行业标准
地热钻井钻头使用基本规则和磨损评定方法
NB/T 11152—2023

*

中国石化出版社出版发行
地址：北京市东城区安定门外大街 58 号
邮编：100011 电话：(010) 57512500
石化标准编辑部电话：(010) 57512477
发行部电话：(010) 57512575
<http://www.sinopec-press.com>
E-mail: press@sinopec.com
北京艾普海德印刷有限公司印刷
版权专有 不得翻印

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 38 千字
2023 年 6 月第 1 版 2023 年 6 月第 1 次印刷

*

书号：155114·2064 定价：40.00 元