非标矮牙爱克母螺纹的计算方法及互换性分析

中海油能源发展管道工程钻采管材分公司　（天津　300452）　叶玉乐　董文平　林　郁　赵　宇

摘要：为了解决各厂家的非标准单线矮牙爱克母螺纹互换性差的问题，本文介绍了标准系列以及非标准单线矮牙爱克母螺纹的公式推导和基本尺寸计算，通过对标准和非标准螺纹的对照，分析非标准螺纹计算过程中产生的误差，从而解决同种规格不同厂家的非标准单线矮牙爱克母螺纹互换性差的问题，提高了生产质量和生产效率。



爱克母（ACME）螺纹（一般用途爱克母螺纹和对中爱克母螺纹）出现于1895年前，1941年美国颁布了爱克母螺纹标准ASA B1.3。1942年，为了满足二战中对飞机的大量需求，美国政府要求紧急制定专门的爱克母螺纹战争标准（American War Standard）。此标准于1945年完成，发布为ANSI B1.5。战争需求是爱克母螺纹标准迅速出台的强大动力。1952年美国发布了矮牙爱克母螺纹标准ASA B1.8。随后此标准经历了1973年、1977年和1988年的三次修订改版，得到不断的完善。

由于爱克母螺纹具有综合机械性能好、装配不容易发生咬扣、不易与密封面发生干涉以及装配速度快等诸多优点，不仅在国内外飞机、船舶以及精密机械等行业大量应用，同样在国内石油行业尤其是测井行业采用或仿制爱克母螺纹的产品越来越多。而ASME/ANSI B1.8—1988[R2001]标准中只规定了1/4～5in（1in=25.4mm，下同）范围内的标准系列矮牙爱克母螺纹的基本参数、尺寸及公差，但在实际运用中，在此尺寸范围之外的非标准单线矮牙爱克母螺纹应用也较为广泛，特别是在美制产品中，广泛采用了该种系列的非标准单线矮牙爱克母螺纹。但由于我国没有统一的标准化规范，因此在对该类产品中所使用的的矮牙爱克母螺纹进行替换设计时，很容易造成该种螺纹设计参数不够准确，进而导致相关产品之间的互换性不强，同时更有可能造成该类产品使用时的安全及可靠性下降。

在石油生产作业中，矮牙爱克母螺纹被大量应用于井下工具。因井下作业的未知性和复杂性，井下工具经常会产生局部损坏。在确定工具结构完整且可回收重复利用的情况下，为降低成本，减少作业周期，可将工具损坏部件修复后重新装配，实现再

利用。但实际装配中，不同厂家加工的螺纹配件或产品，以及修复或重新加工的螺纹与未损坏原部件的螺纹不能精密配合，即互换性差，使整套工具不能使用，再次加工一套新工具则会拖延工期和增加作业成本，而使用互换性差、配合不精密的产品也容易导致井下工具损坏、脱落和漏压等严重事故的发生。

基于以上原因，本文参照矮牙爱克母标准系列的有关规定，通过相关的计算推导，确定非标准系列单线矮牙爱克母螺纹的基本尺寸、偏差及公差值的计算方法以及产生误差的原因。

1. 爱克母螺纹种类、特点及标记方法

目前使用的爱克母螺纹有3种：一般用途爱克母螺纹、对中爱克母螺纹和矮牙爱克母螺纹。通常情况下应用一般用途爱克母螺纹。如果使用一般用途爱克母螺纹有困难，如内外螺纹经常出现卡死的场合，则选用对中爱克母螺纹。矮牙爱克母螺纹仅适用于空间受限制的极特殊场合。

一般用途爱克母螺纹与米制一般用途梯形螺纹（Tr）在牙形和公差带分布方面较接近。米制梯形螺纹没有与对中爱克母螺纹和矮牙爱克母螺纹相对应的标准。

矮牙爱克母英文表示为STUB ACME，牙形角度为29°。该螺纹标识由外径尺寸、每英尺牙数和公差代号组成。此螺纹应用于空间有限的场合，工作牙形高度较矮，且每英寸牙数较多，能够在空间受限制的设备上使用。但它不适用于对传动精度有较高要求的精密传动螺纹。

矮牙爱克母螺纹标记由螺纹尺寸代号、特征代号、公差带代号、检验体系代号及旋向代号组成。单线矮牙爱克母螺纹的尺寸代号为：公称直径-牙数，公称直径的单位为英寸。多线梯形螺纹的尺寸代号为：公称直径-螺距P-导程L，公称直径、螺距和导程的单位为英寸。

矮牙爱克母螺纹特征代号为“Stub Acme”。公差带代号为2G。如果采用特殊公差带，例如3G和4G，则公差带需要在螺纹特征代号后标注出来。螺纹特征代号与公差带之间用“-”分开。左旋螺纹应在公差带代号之后标注“LH”代号。右旋螺纹不标注旋向代号。

现行的矮牙爱克母标准是ASME/ANSI B1.8—1988[R2001]。

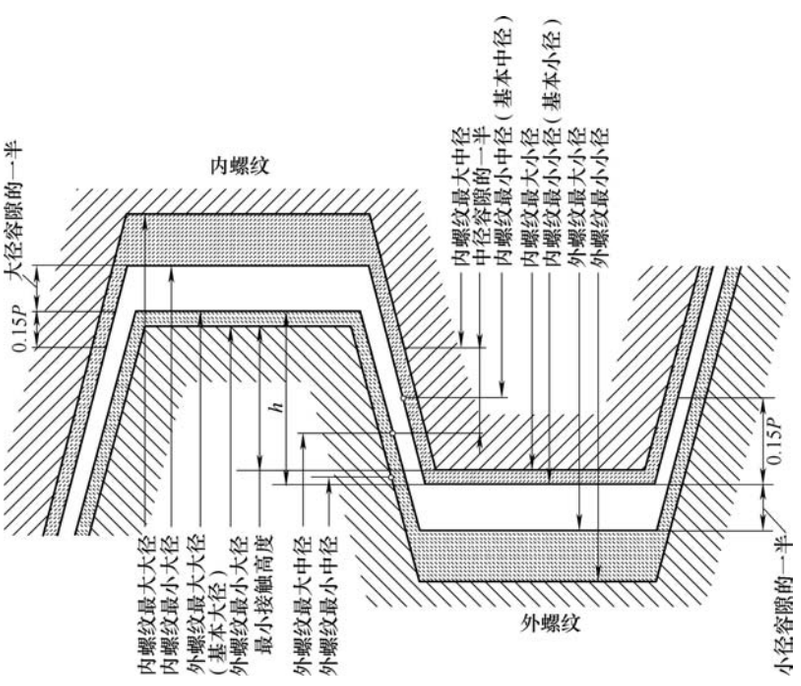
2. 矮牙爱克母基本牙型

螺纹公称直径D、螺距P，螺纹牙高$h=0.3P$。内螺纹平牙顶的基本宽度$F_{CN}=0.422\ 4P$，内螺纹平牙底的宽度$F_{RN}=0.422\ 4P-0.259\times$内螺纹大径容隙；外螺纹平牙顶的宽度$F_{CS}=0.422\ 4P-0.259\times$外螺纹中径容隙，外螺纹平牙底的宽度$F_{RS}=0.422\ 4P-0.259\times$（外螺纹小径容隙－外螺纹中径容隙）。

矮牙爱克母的基本牙型如附图所示。

3. 公差

（1）公差等级。对于一般用途，矮牙爱克母螺纹仅有一个公差等级，对应于爱克母螺纹美国国家标准ASME/ANSI B1.5的2G级公差；如果希望较小的配合轴向牙间隙，可选用一般用途爱克母螺纹ASME/ANSI B1.5的3G或4G级公差和容隙来决定配合螺纹



矮牙爱克母的基本牙型图

的极限尺寸。

（2）公差带及公差带位置的确定。矮牙爱克母螺纹的内螺纹大径D_{min}、中径D_{2min}和小径D_{1min}的公差带位置为H，基本偏差$EI=0$；外螺纹的大径d_{max}和小径d_{1max}的公差带位置为h，基本偏差$es=0$；外螺纹的中径d_{2max}基本偏差为负值，2G级基本偏差$es=0.008\sqrt{D}$，3G级基本偏差$es=0.006\sqrt{D}$，4G级基本偏差$es=0.004\sqrt{D}$。

（3）中径公差。对已给定的公差等级，内外螺纹的中径公差值相同。中径公差为螺距项增量与直径项增量之和，计算公式如表1所示。

表1　中径公差

公差等级	计算公式
2G	$0.03\sqrt{P}+0.006\sqrt{D}$
3G	$0.014\sqrt{P}+0.002\,8\sqrt{D}$
4G	$0.01\sqrt{P}+0.002\sqrt{D}$

（4）大径和小径公差。计算公式如表2所示。

表2　内外螺纹的大径和小径公差

内螺纹		外螺纹	
大径公差	小径公差	大径公差	小径公差
1.0×中径公差	0.05P	0.05P	1.0×中径公差

4. 容隙

容隙（allowance）术语是美制螺纹和英制螺纹标准内的重要参数，但米制螺纹标准不适用此术语，我国技术人员对此术语的翻译名称也不统一。在爱克母螺纹标准内，容隙对应米制梯形螺纹的外螺纹中径基本偏差。

中径容隙（值的大小）取决于大径，为$0.008\sqrt{D}$。当螺纹每英寸牙数≤10时，大径、小径容隙$2a_c=0.02$in；当螺纹每英寸牙数≥10时，$2a_c=0.01$in。

5. 内螺纹计算

（1）大径计算公式。最小大径$D_{min}=D+2a_c$，最大大径$D_{max}=D_{min}+T_D$。

（2）中径计算公式。最小中径$D_{2min}=D-h$（基本中径），最大中径$D_{2max}=D_{2min}+T_{D2}$。

（3）小径计算公式。最小小径$D_{1min}=D-2h$（基本小径），最大小径$D_{1max}=D_{1min}+T_{D1}$。

6. 外螺纹计算

（1）大径计算公式。最大大径$d_{max}=D$（基本大径），最小大径$d_{min}=d_{max}-T_d$。

（2）中径计算公式。最大中径$d_{2max}=D_{2min}-0.008\sqrt{D}$，最小中径$d_{2min}=d_{2max}-T_{d2}$。

（3）小径计算公式。最大小径$d_{1max}=D_{1min}-2a_c$，最小小径$d_{1min}=d_{1max}-T_{d1}$。

7. 标准单线矮牙爱克母螺纹1-5-Stub Acme-2G参考计算

1-5-Stub Acme-2G为矮牙爱克母螺纹美国国家标准ASME/ANSI B1.8—1988[R2001]中的标准系列螺纹，通过对此标准系列螺纹基本尺寸和公差的计算，来验证计算方式的正确性。

（1）基本尺寸。$D=1$in，$P=1/5$in$=0.2$in，$h=0.3P=0.06$in，$2a_c=0.02$in。$F_{CN}=0.422\ 4P=0.084\ 48$in，$F_{RN}=0.422\ 4P-0.259\times$内螺纹大径容隙$=0.422\ 4\times0.2-0.259\times0.02=0.079\ 3$in，$F_{CS}=0.422\ 4P-0.259\times$外螺纹中径容隙$=0.422\ 4\times0.2-0.259\times0.008\sqrt{1}=0.082\ 408$in，$F_{RS}=0.422\ 4P-0.259\times$（外螺纹小径容隙－外螺纹中径容隙）$=0.422\ 4\times0.2-0.259\times(0.02-0.008\sqrt{1})=0.081\ 372$in。

（2）公差。螺纹相关尺寸的公差值及偏差计算如表3所示。

（3）设计尺寸。$D_{min}=D+2a_c=1+0.02=1.02$in，$D_{max}=D_{min}+T_D=1.02+0.019\ 4=1.039\ 4$in，$D_{2min}=D-h=1-0.06=0.94$in，$D_{2max}=D_{2min}+T_{D2}=0.94+0.019\ 4=0.959\ 4$in，$D_{1min}=D-2h=1-0.12=0.88$in，$D_{1max}=D_{1min}+T_{D1}=0.88+0.01=0.89$in，$d_{max}=D=1$in，$d_{min}=d_{max}-T_d=1-0.01=0.99$in，$d_{2max}=D_{2min}-0.008\sqrt{D}=0.94-0.008=0.932$in，$d_{2min}=d_{2max}-T_{d2}=0.093\ 2-0.019\ 4=0.912\ 6$in，$d_{1max}=D_{1min}-2a_c=0.88-0.02=0.86$in，$d_{1min}=d_{1max}-T_{d1}=0.86-$

表3　螺纹相关尺寸的公差值及偏差计算表　（单位：in）

	内螺纹			外螺纹		
	大径公差T_D	中径公差T_{D2}	小径公差T_{D1}	大径公差T_d	中径公差T_{d2}	小径公差T_{d1}
公差	1.0×中径公差	$0.03\sqrt{P}+0.006\sqrt{D}$	$0.05P$	$0.05P$	$0.03\sqrt{P}+0.006\sqrt{D}$	1.0×中径公差
	0.019 4	0.019 4	0.01	0.01	0.019 4	0.019 4
公差带	H	H	H	h	–	h
偏差	$EI=0$ $ES=0.019\ 4$	$EI=0$ $ES=0.019\ 4$	$EI=0$ $ES=0.01$	$ei=0$ $es=-0.01$	$ei=-0.008$ $es=-0.027\ 4$	$ei=0$ $es=-0.019\ 4$

0.019 4＝0.840 6in。

（4）尺寸标注。螺纹计算基本尺寸如表4所示。

表4　示例螺纹计算基本尺寸　（单位：in）

	大径	中径	小径
内螺纹	$1.02^{+0.0194}_{0}$	$0.94^{+0.0194}_{0}$	$0.88^{+0.01}_{0}$
外螺纹	$1^{0}_{-0.01}$	$0.94^{-0.008}_{-0.0274}$	$0.86^{0}_{-0.0194}$

计算结果与矮牙爱克母标准ASME B1.8—1988参数相比较，数值完全相同，因此计算方法无误。

8. 非标准单线矮牙爱克母螺纹 ϕ 92-8-Stub Acme-2G的设计计算

（1）基本尺寸。$d=D=92\text{mm}=3.622\ 05\text{in}$，$P=1/8\text{in}=0.125\text{in}$，$h=0.3P=0.037\ 5\text{in}$，$2a_c=0.02\text{in}$，$F_{CN}=0.422\ 4P=0.422\ 4\times0.125=0.052\ 8\text{in}$，$F_{RN}=0.422\ 4P-0.259\times$内螺纹大径容隙$=0.422\ 4\times0.125-0.259\times0.02=0.047\ 62\text{in}$，$F_{CS}=0.422\ 4P-0.259\times$外螺纹中径容隙$=0.422\ 4\times0.125-0.259\times0.008\sqrt{3.62205}=0.048\ 856\ 6\text{in}$，$F_{RS}=0.422\ 4P-0.259\times$（外螺纹小径容隙－外螺纹中径容隙）$=0.422\ 4\times0.125-0.259\times$（$0.02-0.008\sqrt{3.62205}$）$=0.051\ 563\ 364\ 9\text{in}$。

（2）公差。螺纹相关尺寸的公差值及偏差计算如表5所示。

（3）设计尺寸。以下计算按照1in＝25.4mm进行公英制转换。$D_{min}=D+2a_c=3.622\ 05+0.02=3.642\ 05\text{in}=92.508\ 07\text{mm}$，$D_{max}=D_{min}+T_D=3.642\ 05+0.022\ 025\ 6=3.664\ 075\ 6\text{in}=93.067\ 520\ 2\text{mm}$，$D_{2min}=D-h=3.622\ 05-0.037\ 5=3.584\ 55\text{in}=91.047\ 57\text{mm}$，$D_{2max}=D_{2min}+T_{D2}=3.584\ 55+0.022\ 0256=3.606\ 575\ 6\text{in}=91.607\ 020\ 2\text{mm}$，$D_{1min}=D-2h=3.622\ 05-0.037\ 5\times2=3.547\ 05\text{in}=90.095\ 07\text{mm}$，$D_{1max}=D_{1min}+T_{D1}=3.547\ 05+0.006\ 25=3.553\ 3\text{in}=90.253\ 82\text{mm}$，$d_{max}=D=3.622\ 05\text{in}=92\text{mm}$，$d_{min}=d_{max}-T_d=3.622\ 05-0.006\ 25=3.615\ 8\text{in}=91.841\ 32\text{mm}$，$d_{2max}=D_{2min}-0.008\sqrt{D}=3.584\ 55-0.015\ 225\ 35=3.569\ 324\ 65\text{in}=90.660\ 846\ 11\text{mm}$，$d_{2min}=d_{2max}-T_{d2}=3.569\ 324\ 65-0.022\ 025\ 6=3.547\ 299\ 05\text{in}=90.101\ 4\text{mm}$，$d_{1max}=D_{1min}-2a_c=3.547\ 05-0.02=3.527\ 05\text{in}=89.587\ 07\text{mm}$，$d_{1min}=d_{1max}-T_{d1}=3.527\ 05-0.022\ 025\ 6=3.505\ 024\ 4\text{in}=89.027\ 619\ 76\text{mm}$。

表5　螺纹相关尺寸的公差值及偏差计算表　（单位：in）

	内螺纹			外螺纹		
	大径公差T_D	中径公差T_{D2}	小径公差T_{D1}	大径公差T_d	中径公差T_{d2}	小径公差T_{d1}
公差	1.0×中径公差	$0.03\sqrt{P}+0.006\sqrt{D}$	$0.05P$	$0.05P$	$0.03\sqrt{P}+0.006\sqrt{D}$	1.0×中径公差
	0.022 025 6	0.022 025 6	0.006 25	0.006 25	0.022 025 6	0.022 025 6
公差带	H	H	H	h	–	h
偏差	$EI=0$ $ES=0.022\ 025\ 6$	$EI=0$ $ES=0.022\ 025\ 6$	$EI=0$ $ES=0.006\ 25$	$ei=0$ $es=-0.006\ 25$	$ei=-0.015\ 225\ 35$ $es=-0.037\ 250\ 95$	$ei=0$ $es=-0.022\ 025\ 6$

（4）尺寸标注。螺纹计算基本尺寸如表6所示。

此非标准单线矮牙爱克母螺纹参数的计算结果由标准矮牙爱克母螺纹计算公式推导得出，符合矮牙爱克母标准ASME B1.8—1988的设计理念，且此计算公式符合一般用途非标准单线矮牙爱克母螺纹的设计计算。

9. 误差分析

由以上对照计算可以看出，1988年版的矮牙爱克母螺纹标准中的基本尺寸计算公式可以套用在非标准规格的矮牙爱克母螺纹计算中，非标准单线矮牙爱克母螺纹的尺寸在替换设计时设计参数不准确的原因是由于基本尺寸的公英制单位转换。矮牙爱克母螺纹标准中的设计计算公式所使用的单位为英制单位，而在个别公式中，该系列公式并不适合直接套用公制单位的数据进行计算。在进行公制单位规格的非标准单线矮牙爱克母螺纹设计计算时，应先将公制单位转换为英制单位再套入公式进行计算。

例如，计算代号为1-5-Stub Acme-2G螺纹的中径公差，中径公差公式$T_{d2}=0.03\sqrt{P}+0.006\sqrt{D}$。用此公式应直接套用英制单位数据进行计算：$T_{d2}=0.03\sqrt{P}+0.006\sqrt{D}=0.03\sqrt{1/5}+0.006\sqrt{1}=0.019\ 4\text{in}=0.492\ 76\text{mm}$；若直接使用公制单位数据进行计算，则结果变为：$T_{d2}=0.03\sqrt{5.08}+0.006\sqrt{25.4}=0.097\ 86\text{mm}$。

通过对两者计算结果进行对比，其误差约为0.39mm，如再继续使用计算错误的中径公差进行极限尺寸的计算，将会放大误差值，使螺纹的互换性受到很大影响。

诸如此类的三级运算公式，必须使用英制单位数据进行运算，否则将会影响非标准单线矮牙爱克母螺纹设计计算的最终结果。正是因为这类问题，导致不同厂商的非标准矮牙爱克母螺纹产品互配精度差，不能达到良好的互换性。

其次，中径容隙按公式$0.008\sqrt{D}$计算和按ASME B1.8—1988标准中的中径容隙推荐值计算也会导致计算误差，为减小计算误差，应采用公式进行计算；公差等级（2G、3G和4G级别）选取得不同，也会对结果产生影响；在公式计算过程中取近似值也会影响最终结果。

最后，在实际加工非标准单线矮牙爱克母螺纹时，随着非标准螺纹的公称直径和螺距的变化，其螺纹升角也会有所不同，须注意刀具的合理选用（如螺纹底部圆角、螺纹肩部修光刃及刀具工作角度等），尤其是螺纹升角设计都存在微量变化，具有不统一性，也是导致螺纹加工误差和缺陷的原因之一。

综上所述，由于非标准单线矮牙爱克母螺纹在国内没有统一化、规范化，设计人员在计算时选择公、英制单位转化的先后顺序，和对中径容隙按公式计算或按标准推荐值计算的选取，以及加工螺纹时选择同型号不同厂商的刀具等因素，都可能会影响同种规格不同厂商制造的非标准单线矮牙爱克母螺纹的互换性。

表6 示例螺纹计算基本尺寸　　（单位：mm）

	大径	中径	小径
内螺纹	$92.51^{+0.56}_{0}$	$91.05^{+0.56}_{0}$	$90.10^{+0.16}_{0}$
外螺纹	$92^{0}_{-0.16}$	$91.05^{-0.39}_{-0.95}$	$89.59^{0}_{-0.56}$

10. 结语

对于非标准单线矮牙爱克母螺纹，本文在参照国内、国外相关标准的尺寸、公差体系的基础上，整理出一套快速可行的计算方法，可以准确地计算出非标准单线矮牙爱克母螺纹的相关参数，并分析出造成非标准螺纹出现误差和缺陷的原因，从而在矮牙爱克母螺纹的设计上为广大设计人员提供了一定便利，并在一定程度上避免了产生较大误差和缺陷而导致同型号产品互换性不好的问题。

参考文献：

[1] 李新勇，赵志平. 非标准系列一般用途爱克母螺纹尺寸的设计计算[J]. 石油矿场机械，2010，39（3）：56-58.

[2] 全国螺纹标准化技术委员会. 公制、美制和英制螺纹标准手册[M]. 3版. 北京：中国标准出版社，2009.

[3] AN AMERICAN NATIONAL STANDARD. ASME B1.8—1988[R2001][S]. Stub Acme Screw Threads，1988.

[4] AN AMERICAN NATIONAL STANDARD. ASME B1.5—1997[R2004][S]. Acme Screw Threads，1999.

MW（收稿日期：20170209）