

文章编号:1006-1355(2021)01-0235-05

通过噪声的分析评价实现电极切削参数的优化

李东亚, 魏明, 苏家兵, 赵欣桥

(苏州大学应用技术学院, 江苏 苏州 215000)

摘要:针对超高速切削铜材料电极产生的噪声问题,通过用INV3018G型噪声仪采用多因素正交试验方法进行数控切削噪声实验,采用大数据分析的方法,对实验数据进行极差和方差分析,得出各因素对切削噪声的贡献大小依次为装夹高度、主轴转速、进给速度和背吃刀量,显著性大小依次为装夹高度、主轴转速、进给速度和背吃刀量,其中装夹高度对环境噪声的影响最大。通过数控加工电极切削参数的合理选择,可达到降低工作环境噪声的目的。

关键词:声学;超高速切削;电极;切削参数;噪声

中图分类号:TB535

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2021.01.043

Electrode Cutting Parameters Optimization Based on Noise Analysis and Evaluation

LI Dongya, WEI Ming, SU Jiabing, ZHAO Xinqiao

(College of Applied Technology, Suzhou University, Suzhou 215000, Jiangsu, China)

Abstract: Aiming at the noise problem caused by ultra-high-speed cutting of copper-material electrodes, the numerical control cutting noise experiments are carried out by using the INV3018G noise meter and the multi-factor orthogonal test method. Using the method of large data analysis, the extreme analysis and the variance analysis are done for the experimental data. The contributions of various factors to the cutting noise are analyzed. The clamping height has the largest contribution to the cutting noise, and followed by spindle speed, feed speed and back-feeding amount. Of them the clamping height has the largest effect on the environment noise. Through a reasonable selection of the cutting parameters for the CNC machining of the electrode, the noise of the working environment can be appropriately reduced.

Key words: acoustics; ultra-high-speed cutting; electrode; cutting parameters; noise

超高速切削机床和刀具的出现,加快了现代制造技术的发展^[1],尤其在电火花加工中电极材料的切削,实现了电极在一次装夹中完成所有工序,大大提高了零件精度和加工效率^[2]。电火花主要用于加工一些深槽、孔类零件,电极的高度差决定了加工的范围,因此装夹高度是决定电极高度的一个重要因素。本文以电火花加工所使用的电极为研究对象对切削加工中的切削参数、零件的装夹高度与所产生噪声的大小进行研究,以确定切削参数中切削速度、进给速度、背吃刀量和装夹高度对噪声的影响大小^[3]。

采用 $L_{25}(5^4)$ 多因素正交试验方法,进行切削噪

声试验^[4],完成切削噪声的采集,研究切削参数及装夹高度对切削噪声的影响,其原理见图1所示。为超高速机床加工电极合理选择切削参数和装夹高度提供参考依据,同时还可以为作业人员提供舒适的工作环境(承受噪声)作为依据。

1 模型建立

高速切削过程中,切削参数的大小是通过切削力进行反馈,转化为振动与噪声之间的关系,依据有源振动控制中有限结构振动动能的有源最小化原理来控制噪声的大小,结构表面横向位移用有限个振动模态叠加表示,有:

$$w(x, y, \omega) = \sum_{n=0}^N A_n(\omega) \varphi_n(x, y)$$

式中: $A_n(\omega)$ ——第 n 阶简正模态的复幅度;

$\varphi_n(x, y)$ ——模态的空间分布函数,不同阶段的模态函数之间满足正交性;

收稿日期:2020-02-28

基金项目:江苏省高等学校自然科学研究面上资助项目
(18KJD460005)

作者简介:李东亚(1984-),男,江苏省苏州市人,工程硕士,实验师,目前从事刀具切削加工产生噪声的控制研究。

E-mail: lidongya@suda.edu.cn

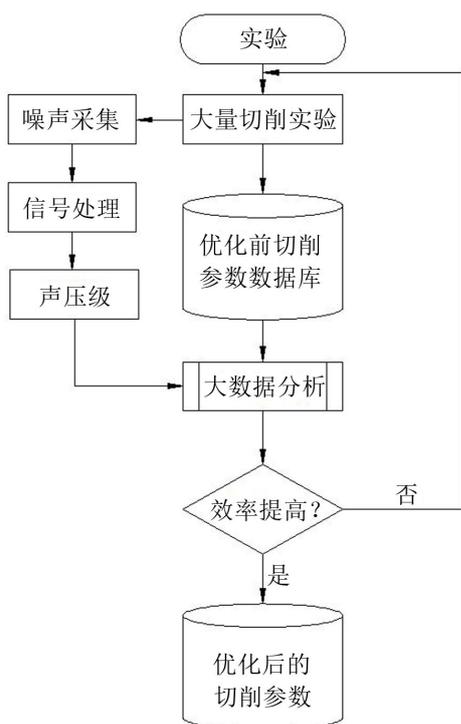


图1 实验数据分析原理图

模态幅度与激扰力之间的关系可近似地看做噪声大小与切削振动之间的关系,通过实验数据来分析它们之间的函数关系,为模型的建立提供理论参考^[5]。

2 实验设计

2.1 实验系统介绍

(1) 实验材料

实验选用的电极材料为铜,形状为标准的长方体,用标准专用夹具(电极座)夹持,可以实现快速更换,可直接安装在电火花机床上使用。

(2) 实验条件

采用GT-66V-S24B数控高速型加工中心进行切削实验,其控制系统为FANUC 0i-MD,主轴转速为0~24 000 r/min,切削方式为顺铣,不加切削液。

(3) 数据采集系统

在超高速数控机床电极切削的过程中,噪声主要分为空转噪声和切削噪声,我们主要对切削噪声进行数据采集并分析,因此采用INV3018G 20通道并行采集仪、声级计和DASP平台软件组成的测试系统,此测试系统可以进行虚拟信号发生、信号示波数据采集和基本信号分析;通过DASP软件平台进行数据统计。由于声压法原理简单、方法简便,测量仪器已经比较成熟,而且声压是标量,不需要考虑方向,可以实时采集数据并分析。

2.2 测点布置

根据声级计的使用要求和采集信号的方便性将

测点布置在距工件300 mm的工件高度中间正前方处,同时测点的底座不与机床接触,防止加工时机床的振动传递给测试装置,测点布置及数据采集原理如图2所示。整个测试车间的噪声来源主要是机床本身运作的噪声,无其他噪声源^[6]。

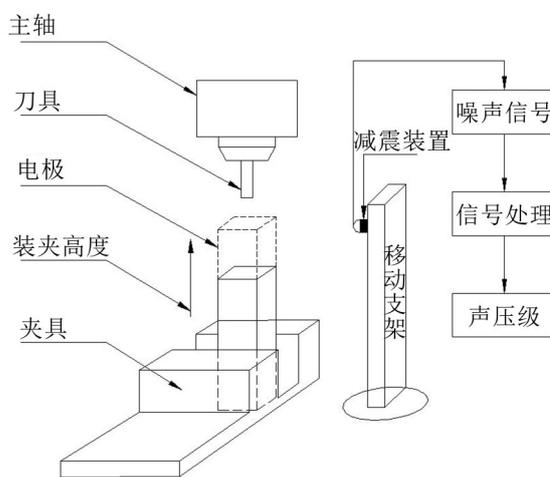


图2 测点布置及原理图

通过公式 $f_0=n/60(\text{Hz})$,可得到刀具切削时相应转速的基频,切削加工采用的转速为10 000 r/min~22 000 r/min。根据基频的公式可以计算出刀具的旋转频率在160 Hz~370 Hz之间,可以对DASP软件进行参数设置,选择宽频100 Hz~500 Hz通道进行测试,采样频率最高为1 000 Hz,每隔200 μs 采集一个数据,采样时间设定为20 s。

2.3 实验方案设计

为了研究切削铜材料的电极产生的噪声与切削参数以及装夹高度的关系,设计多因素正交实验,根据切削加工的要素以及实验设备和刀具的条件,选定影响切削噪声的4个影响因素,主轴转速 n 、进给速度 f 、背吃刀量 a_p 和装夹高度 d 的5个水平,设计 $L_{25}(5^4)$ 正交实验,水平表见表1所示。其中切削参数的选取是根据电极加工的特点、超高速机床性能、切削刀具、电极精度、以往经验参数等多方面因素综合考虑确定的。

表1 水平表

	水平1	水平2	水平3	水平4	水平5
d/mm	30	50	70	90	110
a_p/mm	0.05	0.08	0.11	0.14	0.17
$n/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	10 000	12 000	14 000	16 000	18 000
$f/(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$	1 000	1 100	1 200	1 300	1 400

实验步骤如下:

(1) 测量每种条件下的切削噪声和切削参数对应数据及主要参数分析图;

(2) 对切削时产生的背景噪声进行数据处理;

(3) 对切削噪声进行极差和方差分析^[7], 得出所需要结论。

3 实验结果分析

3.1 切削噪声实验方案及实验结果

切削噪声实验方案及实验结果见表2所示。

表2 实验方案及数据

实验号	d / mm	a_p / mm	n / min	f mm// min	声压级/ dB
1	30	0.05	10 000	1 400	81.7
2	30	0.08	12 000	1 300	82.1
3	30	0.11	14 000	1 200	84.2
4	30	0.14	16 000	1 100	85.4
5	30	0.17	18 000	1 000	87.6
6	50	0.05	12 000	1 300	84.6
7	50	0.08	14 000	1 200	85.2
8	50	0.11	16 000	1 100	86.1
9	50	0.14	18 000	1 000	89.3
10	50	0.17	10 000	1 400	83.1
11	70	0.05	14 000	1 200	87.8
12	70	0.08	16 000	1 100	88.1
13	70	0.11	18 000	1 000	90.2
14	70	0.14	10 000	1 400	86.3
15	70	0.17	12 000	1 300	85.9
16	90	0.05	16 000	1 100	89.2
17	90	0.08	18 000	1 000	90.6
18	90	0.11	10 000	1 400	86.7
19	90	0.14	12 000	1 300	87.2
20	90	0.17	14 000	1 200	89.2
21	110	0.05	18 000	1 000	92.6
22	110	0.08	10 000	1 400	91.5
23	110	0.11	12 000	1 300	90.4
24	110	0.14	14 000	1 200	87.6
25	110	0.17	16 000	1 100	87.3

根据实验结果得到的数据画出装夹高度与声压级规律如图3所示。通过对测试结果分析可以看出随着装夹高度的逐渐增大所产生的噪声声压级也呈现递增的趋势, 当装夹高度到达70 mm时, 则噪声声压级的增加变缓, 按照曲线的变化规律继续增加则噪声的声压级出现基本不再变化的趋势, 因此实验参数设置是根据此前大量的实验经验得出, 采用大数据分析的方法合理选取实验数据进行分析, 为后续的极差和方差分析提供了可靠的数据源, 同时此高度对设计人员设计电极的高度有一定的指导作用。

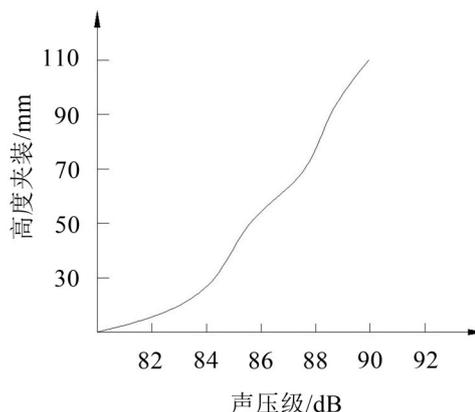


图3 装夹高度与声压级变化规律图

3.2 背景噪声及数据处理

通过数据采集系统测试得出, 背景噪声主要是刀具高速旋转的固有噪声和机床本身振动产生的固有噪声。选用加速度传感器采集振动频率、幅度等前端信息, 然后通过同步共模抑制、对数滤波放大方法实现背景噪声的消除, 得到整个切削过程信号, 最后送入频谱采集卡进行频谱分析^[8]。选用音频传感器拾取噪声信息, 然后由多通道频谱采集卡完成频谱采集; 先由信号发生器模拟切削噪声、模拟振动信号, 验证信号采集系统正确性, 然后通过实际切削实验, 进行实际测试、合理分析, 反复纠错改进, 逐步改进信号采集系统。

3.3 极差分析

该方法简单易行、直观、计算量少, 应用比较普遍。通过该方法分析可以解决哪些因素对指标有影响以及影响的大小次序, 哪些因素影响较小或没有影响; 根据因素对指标影响的大小次序, 来选择对指标有利的因素。

极差法的数据处理方法是把与各因素有关的结果相加得出之和或者平均值, 以单个水平为单位, 分别填入对应的数据表中, 然后每个因素下不同水平的和或者平均值进行极差 R , 对比极差数据进行比较分析, 得出各因素对切削噪声的影响大小并按大小进行顺序排列, 按照此数据处理的方法, 根据实验测得的数据进行极差处理如表3所示。

表3 极差分析表

	水平1	水平2	水平3	水平4	水平5	极差 R
d	421	428.3	438.3	442.9	449.4	28.4
a_p	435.9	437.5	437.6	435.8	433.1	4.5
n	425.1	427.4	436.8	440.3	450.3	25.2
f	441.8	441.3	436.1	429.1	431.6	12.7

从极差分析表3中可以得出 $R_d > R_n > R_f > R_{a_p}$, 因此

各因素对切削噪声的贡献大小依次为装夹高度、主轴转速、进给速度和背吃刀量。

3.4 方差分析

方差分析又称F检验,用于推断多个总体均数有无差异,我们采用多因素方差分析不仅能够分析多个因素对观测变量的独立影响,更能够分析多个控制因素的交互作用能否对观测变量的分布产生显著影响,进而最终找到利于观测变量的最优组合。其中F的计算为:因素差方和比因素自由度($Q_{\text{因}}/f_{\text{因}}$)与试验误差差方和比试验误差自由度(Q_e/f_e)。

如果正交表各列上均有因素,没有空白列,此时进行方差分析需要遵循当正交表中没有一个偏差平方和明显偏小时,可将正交表各因素中几个最小的偏差平方和相加作为误差平方和,将他们所对应的自由度相加作为误差平方和的自由度。

对因素进行显著性检验,给出检验水平 α (置信度),从F分布表中查找临界值 $F_{\alpha}(f_{\text{因}}, f_e)$,将其与上述计算出的F值比较,数差越大说明显著性越大,一般的规律为: $F > F_{0.01}$,说明影响高度显著记为***; $F_{0.01} > F > F_{0.05}$,说明影响显著记为**; $F_{0.05} > F > F_{0.1}$,说明有影响但不显著记为*; $F < F_{0.1}$ 说明没有影响但不做记号。

实验为4因素5水平正交实验 $L_{25}(5^4)$,由表4可

表4 方差分析

方差来源	偏差平方和Q	自由度f	F值	F临界值	显著性
装夹高度d	516.75	4	121.88	16	***
背吃刀量 a_p	13.27	4	3.13		
主轴转速n	416.4	4	98.2	9.72	**
进给速度f	128.7	4	30.35	4	*
总和	1 075.12				16

按照原有的切削参数进行测试实验,通过与原来的噪声进行对比,可以得出,噪声在一定范围内有所降低,跟之前工件本身的高度对比基本上没有太大变化,可通过多次切削实验找到装夹高度与振动之间的关系,利用模态函数进行关联,为找出其线性关系提供参考^[10]。

5 结语

采用 $L_{25}(5^4)$ 正交实验在主轴转速吃刀量10 000 r/min~18 000 r/min、进给速度1 000 mm/min~1 400 mm/min、背0.05 mm~0.17 mm和装夹高度30 mm~110 mm下对电极加工进行噪声测试,研究上述四个参数对噪声的影响,在保证零件精度的同时对加工环境进行评价,为作业人员创造一个舒适的工作环境;同时还为数控加工切削参数的合理选择

以得出正交表中有一个平均偏差平方和明显偏小,则用背吃刀量 a_p 偏差平方和作为误差平方和,其所对应的自由度作为误差平方和的自由度^[9]。

由方差分析得 $F_d > F_n > F_f$,各因素对切削噪声影响的显著性大小依次为装夹高度、主轴转速和进给速度,背吃刀量在该实验中对切削噪声基本没有影响。

4 优化设计及实验验证

根据实验分析可以得出各个因素对噪声大小的影响,根据模态幅度与激扰力之间的近似模态函数关系,假设将装夹高度与振动关联在一起,在装夹高度上进行优化设计,电极的装夹高度跟夹具高度、刀具伸出长度和毛坯本身长度有关系,其中夹具高度可以用更换夹具的方法改变。利用优化后的电极专用夹具进行实验,如图4所示。

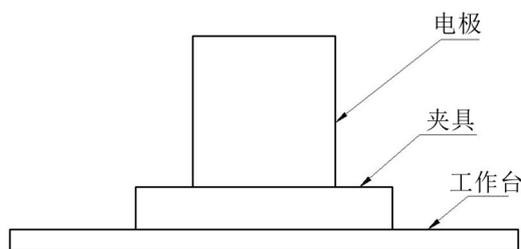


图4 电极装夹示意图

提供一定的依据,对实验数据进行分析得出以下结论:

(1) 对实验数据进行极差分析得出随着各参数值的增大切削噪声都有所增大,对切削噪声的影响大小依次是装夹高度、主轴转速、进给速度和背吃刀量。

(2) 对实验数据进行方差分析得出各个参数对切削噪声影响的显著性大小依次为装夹高度、主轴转速和进给速度,其中背吃刀量在该实验中对切削噪声基本没有影响。

(3) 工件的装夹高度是决定电极加工范围的重要因素,它对整个切削环境的影响也最大:装夹高度越高,产生的噪声值越大,工件的表面质量越差,反之越好,通过大数据分析得出在保证设计要求的条件下优先选择装夹高度,再根据切削噪声值大小选

择合理的切削参数。

通过对超高速切削加工电极产生的噪声进行分析,后续研究可以建立噪声数值与影响电机加工参数建立相应的线性关系,根据噪声数值大小来判断切削参数是否合理,从而实现切削参数的快速优化,为技术人员合理选择参数提供参考。

参考文献:

- [1] 艾兴. 高速切削加工技术[M]. 北京:国防工业出版社, 2003.
- [2] 黄健,谭强. 数控电火花高速高精度加工[J]. 模具技术, 2010,1:51-54.
- [3] 储召良,赵万生,顾琳. 高速抬刀窄槽电火花加工性能实验研究[J]. 电加工与模具, 2013(1):26-29.
- [4] 黄信,刘莉,赵立. 数控加工的铣削噪声建模[J]. 机床与液压, 2010,38(19):36-39.

- [5] CHUN HUI JI, ZHAN QIANG LIU. Aeroacoustic performance evaluation of milling cutters based on the flow field on the cutter surface[J]. Advanced Material Research, 2011, 188: 398-403.
- [6] 吉春辉,刘战强,刘鲁宁. 高速面铣刀气动噪声计算与分析[J]. 机械工程学报, 2011,41(1):63-68.
- [7] 刘振学,黄仁和,田爱民. 实验设计与数据处理[M]. 北京:化学工业出版社, 2004:39-75.
- [8] 刘稳善,惠记庄,张天明. 铣床振动和噪声测试[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2004(6):80-83.
- [9] 颜克辉. 薄壁塑件注塑成型特性的实验与数值模拟研究[D]. 大连:大连理工大学, 2006:55-68.
- [10] KARTHIKEYAN, SAMPATH, SHIV G KAPOOR. Modeling and prediction of cutting noise in the face-milling process[J]. Journal of Manufacturing Science and Engineering, 2007, 129(3): 527-530.

(上接第117页)

输出测点振幅共振峰值为 $2\ 041\ \text{rad/s}^2$,离合器参数改进后变速器输出测点振幅共振峰值为 $1\ 026\ \text{rad/s}^2$,下降了49.7%。在其它挡位下,离合器扭转减振器参数改进后的传动系振动峰值均比改进前降低,则改进主减振级参数的解决方案可大大降低传动系振动幅值。

6 结语

为研究车辆的扭转振动特性,对传动系扭振进行道路实车试验,通过扭振测试系统,获得各挡位下传动系关键测点处的振动情况。通过建立扭转振动系统模型进行仿真分析,根据仿真结果对离合器扭转减振器参数进行改进。再次进行道路实车试验,得出改进方案可有效减少传动系扭振波动问题。主要结论如下:

(1) 通过分析传动系各测点的瀑布图与阶次切片图,确定车辆传动系出现的明显振动是由发动机2阶激励引起的传动系扭转振动。

(2) 通过分析各挡位的扭振特性,确定传动轴和后桥是扭振产生的主要部位。

(3) 通过扭振仿真分析,发现在所取值范围内,离合器扭转减振器主减振级刚度越低和主减振级阻尼力矩越大,传动系各测点在共振时的扭振响应幅值越低。

(4) 为降低传动系扭转振动,本文提出解决方案即改进离合器扭转减振器主减振级参数。通过对该改进方案进行试验测试,发现该方案可有效解决传动系扭振问题,改善车内驾乘的舒适性。

参考文献:

- [1] 王媛文,董大伟,鲁志文,等. 传动系扭振引起的车内轰鸣声实验[J]. 振动、测试与诊断, 2016(1):160-168.
- [2] KIM Y D. Driveline vibration reduction of fr (front engine rear wheel drive) vehicle at rapid acceleration[J]. Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2014, 24(8): 592-599.
- [3] 吴光强,栾文博. 汽车传动系相关NVH问题的动力学研究论述[J]. 机械工程学报, 2013,49(24):108-116.
- [4] 吕振华,冯振东,程维娜,等. 汽车传动系扭振噪声的发生机理及控制方法述评[J]. 汽车技术, 1993(2):1-4.
- [5] 刘国政,史文库,商国旭. 某客车车内轰鸣与传动系扭振试验研究[J]. 汽车工程, 2018,40(4):431-433.
- [6] 郭惠乐,邵成,冯振东. 汽车动力传动系统扭转振动的研究[J]. 汽车工程, 1983(4):23-29.
- [7] 赵骞,邓江华,王海洋. 传动系部件扭转刚度对后驱传动系扭振模态的影响[J]. 噪声与振动控制, 2011,31(5):49-51.
- [8] 焦娇. 某前置后驱型MPV动力传动系扭振研究[D]. 合肥:合肥工业大学, 2017.
- [9] 蔡芸. 前置后驱汽车传动系统扭振特性研究及优化[D]. 成都:西南交通大学, 2018.
- [10] SÉRGIO J I, FLACH F L, LEMES D. Modeling of nonlinear torsional vibration of the automotive powertrain[J]. Journal of Vibration and Control, 2016, 24(9): 1774-1786.
- [11] Guzzomi A L, Sharman A, Stone B J. Some torsional stiffness and damping characteristics of a small pneumatic tyre and the implications for powertrain dynamics[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part D Journal of Automobile Engineering, 2010, 224(2): 229-244.

科技论文中有量量、单位和符号使用的一般规则

(参照GB3101-1993)

1 关于量符号和数字印刷方面的规定

- 1.1 量的符号通常是单个拉丁或希腊字母,有时带有下标或其他的说明性标记。无论正文的其他字体如何,量的符号都必须用斜体印刷,符号后不附加圆点(正常语法句子结尾标点符号除外)。
- 1.2 单位名称和单位符号都应该用正体印刷,也不得加圆点(正常语法句子结尾的标点符号除外)。如果单位名称来源于人名,则其第一个字母用大写,如磁通量 W_b 。
- 1.3 数的印刷一般应当正体印刷。为使多位数字便于阅读,可将数字分成组,从小数点起,向左和向右每三位分成一组,组间留1/4空隙,但不得用逗号、圆点或其他方式。数的相乘记号是“ \times ”或居中圆点 \cdot ,不要用*号。
- 1.4 量的表示方法:表示量值时,单位符号应当置于数值之后,数值与单位符号间留一空隙。如5 m; 10 kg。5与m之间要留1/4格,同样,10与kg之间也要留1/4空格。

2 关于正斜体使用原则

2.1 正体:

- (1) 增量符号 Δ
- (2) 变分符号 δ
- (3) 全微分符号 d
- (4) 求和符号 Σ
- (5) 自然对数底 e 或 \exp
- (6) 圆周率 π
- (7) 函数符号 \sin 、 \cos 、 \lim 等
- (8) 转置符号的上角^{T、H}
- (9) 虚数符号 i 、 j

用于如下场合:

- (1) 所有计量单位、词头和量纲符号
- (2) 数学式中要求正体的字母:
 - ① 有固定定义的函数
 - ② 其值不变的数学常数符号
 - ③ 某些特殊算子符号
 - ④ 运算符号
 - ⑤ 有特定意义的缩写字
 - ⑥ 特殊函数符号
 - ⑦ 特殊的集合符号,要使用空心正体或黑正体
- (3) 量符号中除表示量和变动性数字及坐标轴的下标字母
- (4) 化学元素、粒子和射线符号
- (5) 仪器、元件、样品、机具等的型号或代号
- (6) 不表示量符号的外文缩写字
- (7) 生物学中拉丁学名的定名人和亚族以上(含亚族)的学名
- (8) 地球科学中的地质年代和地质学符号
- (9) 酸碱度、硬度等特殊符号
- (10) 表示序号的连续字母
- (11) 公式中的括号等

2.2 斜体:

所有变量用斜体,尤其是一些希腊字母符号,如 α 、 β 、 δ , 以及重力加速度 g 等

用于如下场合:

- (1) 量符号、代表量和变动性数字及坐标轴的下标符号;
- (2) 物理量中的系数、因数、因子、参数、参量、比、比率、

特征数、级、常量等,用斜体。如雷诺数 Re ; 马赫数 Ma ;

- (3) 描写传递现象的特征数符号;
- (4) 数学中要求使用的斜体字母:
 - ① 变数、变动的附标及函数;
 - ② 在特殊场合为常数的参数;
 - ③ 几何图形中表示点、线、面、体的字母;
 - ④ 坐标系符号;
 - ⑤ 矢量、张量和矩阵符号用黑斜体。
- (5) 生物学中属以下(含属)的拉丁学名;
- (6) 化学中表示旋光性、分子构型、构象、取代基位置等。

3 长公式须在运算符后转行

4 关于外文字母的大小写规定

4.1 大写外文字母用于:

- (1) 来源于人名的计算单位符号的首字母
- (2) 化学元素符号的首字母
- (3) 量纲符号
- (4) 表示的因数等于大于 10^6 的SI词头符号
- (5) 名词术语的外文缩写字
- (6) 外国人名字、父名和姓的首字母
- (7) 国家、组织、学校、机关以及报刊、会议文件等名称的每一词的首字母
- (8) 地质时代及地层单位的首字母

4.2 小写外文字母用于:

- (1) 一般计量单位
- (2) 表示的因数等于小于的词头符号
- (3) 法国人、德国人等姓名中的附加词
- (4) 附在中译名后的普通名词原文(德文除外)

5 下标印刷方面的规则

- (1) 表示物理量符号的下标用斜体;
- (2) 其他下标用正体;
- (3) 用作下标的数应当用正体印刷,表示数的字母符号一般都应当用斜体印刷。

例:

转速 n_i ——其中 i 表示连续数,所以要用斜体。

声级 $L_{P(A)}$ ——其中 A 表示 A 声级,所以要用正体。

动能 E_k ——其中 k 表示动的,说明性质,所以要用正体。

压力 P_1 ; P_2 ——其中数字1、2表示第一点和第二点压力,应该用正体,而其压力符号 P , 因是变量,应用斜体。

6 不应使用的计量单位有

(1) 非法定计量单位,如:

- ① sec 这是英文词秒的缩写,作为时间单位应采用 s 。
- ② hr 这是英文词的缩写,作为时间单位应采用 h 。
- ③ kg/m^2 这是有关压力的非法定计量单位,应采用 Pa 。
- ④ 平面角的“分”“秒”不能作为时间单位 h , min , s 来用。
- ⑤ 温度 $^{\circ}K$ 应采用 K 。
- ⑥ hp 这是英制马力,应采用 W 。
- ⑦ rpm 这是转速的英文缩写,应采用 r/min 。
- ⑧ 所有市制单位、英制单位。

(2) 不规范名称,如:

- ① 重量,要用质量 m 来表示。
- ② 容重,要用密度 ρ 来表示。
- (3) 计量单位不能用中文符号。