

ICS 75.020
P 72
备案号: J232-2016



中华人民共和国石油化工行业标准

SH/T 3041—2016
代替 SH/T 3041—2002

石油化工管道柔性设计规范

**Specification for design of piping flexibility in
petrochemical industry**

2016-01-15 发布

2016-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 基本规定	1
4 分析方法和范围	2
5 计算参数	4
6 评定标准	5
附录 A（资料性附录） 钢材平均线膨胀系数和钢材单位线膨胀量	8
附录 B（资料性附录） 钢材弹性模量	10
附录 C（资料性附录） 常用钢管许用应力	11
附录 D（规范性附录） 柔度系数和应力增强系数	14
本规范用词说明	19

Contents

Foreword	III
1 Scope	1
2 Normative references	1
3 General Requirement	1
4 Design method	2
5 Calculation parameters.....	4
6 Evaluation standard	5
Annex A (Informative) Steel mean coefficient of linear thermal expansion and total linear thermal expansion.....	8
Annex B (Informative) Elastic modulus of steel	10
Annex C (Informative) Allowable stress of common steel pipe.....	11
Annex D (Normative) Flexibility and Stress Intensification Factors	14
Explanation of wording in this specification.....	19

前 言

根据国家工业和信息化部《2013年第二批行业标准计划》（工信厅科[2013]102号）的要求，规范编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订本规范。

本规范共分6章和5个附录。

本规范的主要技术内容是：规定了石油化工非埋地碳素钢、合金钢及不锈钢管道的柔性设计方法、计算参数和评定标准。

本规范是在SH/T 3041—2002《石油化工管道柔性设计规范》的基础上修订而成。修订的主要技术内容是：

- 基本规定中增加了动荷载的影响；
- 计算参数的确定中删除了三个方向的冷紧比不同时，冷紧值的计算；
- 评定标准中增加了一次应力的校核条件，修改了二次应力的校核条件；删除了设备或固定点上的推力和力矩的计算；
- 附录A中增加了钢材单位线膨胀量；
- 附录D中增加了对焊法兰、平焊法兰、承插焊法兰、松套法兰以及螺纹法兰等管件的柔度系数和应力增强系数。

本规范由中国石油化工集团公司负责管理，由中国石油化工集团公司配管设计技术中心站负责日常管理，由中国石化工程建设有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送管理单位和主编单位。

本规范日常管理单位：中国石油化工集团公司配管设计技术中心站

通讯地址：北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码：100101

电 话：010-84877282

传 真：010-64949514

本规范主编单位：中国石化工程建设有限公司

通讯地址：北京市朝阳区安慧北里安园21号

邮政编码：100101

本规范主要起草人员：马金国 唐永进 张发有

本规范主要审查人员：李永红 葛春玉 丘 平 王金富 汪建羽 岳志波 雷云周 杨平辉

丛 林 袁 灿 康久常 张德姜 张宝江 陈永亮 杨 青 安 威

许 丹 张 波 张奉忠 胡晓应 吴英敏 高进中 王晓伟

本规范1991年首次发布，2002年第1次修订，本次为第2次修订。

石油化工管道柔性设计规范

1 范围

本规范规定了石油化工非埋地碳素钢、合金钢及不锈钢管道的柔性设计方法、计算参数和评定标准。本规范适用于石油化工非埋地碳素钢、合金钢及不锈钢管道的柔性设计。

2 规范性引用文件

下列文件对于本规范的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规范。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

GB 3087 低中压锅炉用无缝钢管

GB/T 3091 低压流体输送用焊接钢管

GB 5310 高压锅炉用无缝钢管

GB 6479 高压化肥设备用无缝钢管

GB/T 8163 输送流体用无缝钢管

GB 9948 石油裂化用无缝钢管

GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管

GB/T 14976 流体输送用不锈钢无缝钢管

SH/T 3039 石油化工非埋地管道抗震设计通则

API Std 610 石油、石油化工和天然气工业用离心泵（Centrifugal Pumps for Petroleum, Petrochemical and Natural Gas Industries）

API Std 617 石油、化工和气体工业用轴流、离心压缩机及膨胀机-压缩机（Axial and Centrifugal Compressors and Expander-compressors for Petroleum, Chemical and Gas Industry Services）

ASME B 16.5 管法兰和管件（Pipe Flanges and Flanged Fittings）

ASME B 16.9 工厂制造的锻钢对焊管件（Factory-Made Wrought Butt Welding Fittings）

ASME B 16.11 承插焊式和螺纹式锻造管件（Forged Fittings, Socket-Welding and Threaded）

ASME B 31.3 工艺管道（Process Piping）

NEMA SM 23 用于机械驱动的汽轮机（Steam Turbines for Mechanical Drive Service）

3 基本规定

3.1 管道系统在各种工况下应具有足够的柔性，不得因热胀冷缩、端点附加位移、管道支承设置不当等造成下列问题：

- a) 管道应力过大或金属疲劳引起管道破坏；
- b) 管道连接处产生泄漏；
- c) 管道推力和 / 或力矩过大，使与其相连接的设备产生过大的应力或变形，影响设备正常运行；
- d) 管道推力和 / 或力矩过大引起管道支吊架破坏。

3.2 在管道柔性设计中，应计及下列管道端点的附加位移：

- a) 静设备热胀冷缩对连接管道施加的附加位移；
- b) 转动机器热胀冷缩对连接管道施加的附加位移；
- c) 加热炉对连接管道施加的附加位移；

- d) 储罐等设备基础沉降对连接管道施加的附加位移;
 - e) 支管不与主管一起分析时, 主管对支管施加的附加位移。
- 3.3 对于复杂的管道系统可用固定点将其划分成几个形状较为简单的管系, 再进行分析计算。
- 3.4 确定管道固定点位置时, 应使两固定点间的管道能够满足柔性要求。
- 3.5 管道设计宜利用改变管道走向增加柔性。当受条件限制时, 可采用补偿器增加柔性。
- 3.6 有毒介质或可燃介质管道不得采用填料函式补偿器。
- 3.7 采用II形补偿器时, II形补偿器宜设置在管道两固定点中部。
- 3.8 与转动机器连接的管道不得采用冷紧。
- 3.9 管道采用冷紧时, 冷紧有效系数宜取三分之二。
- 3.10 在管道柔性设计中, 应计及支架摩擦力的影响, 摩擦系数应按表 3.10 的规定选取。

表 3.10 摩擦系数

摩擦类型	接触面	摩擦系数 μ
滑动摩擦	钢-混凝土	0.6
	钢-钢	0.3
	聚四氟乙烯-不锈钢	0.1
滚动摩擦	钢-钢	0.1

- 3.11 当采用吊杆或弹簧吊架承受管道荷载时, 可不计及摩擦力的影响。
- 3.12 往复式压缩机和往复泵的进出口管道除应进行柔性设计外, 还应进行振动分析。
- 3.13 管道柔性设计应计及下列动荷载:
- a) 水力冲击、流体流速变化和柱塞流等情形产生的冲击力;
 - b) 露天布置的管道受到的风荷载;
 - c) 地震荷载;
 - d) 流体排放产生的反作用力。

4 分析方法和范围

- 4.1 管道柔性设计包括简化分析方法和计算机分析方法。分析方法应根据管道所连接的设备类型、管道操作温度和公称直径等条件确定。
- 4.2 下列管道宜采用计算机分析方法进行柔性设计:
- a) 操作温度高于等于 400℃或低于等于-70℃的管道;
 - b) 进出加热炉及蒸汽发生器的高温管道;
 - c) 进出反应器的高温管道;
 - d) 进出汽轮机的蒸汽管道;
 - e) 进出离心压缩机、往复式压缩机的工艺管道;
 - f) 与离心泵连接的管道, 可根据设计要求或按图 4.2 确定柔性设计方法;
 - g) 设备管口有特殊受力要求的管道;
 - h) 利用简化分析方法分析后, 表明需要进一步详细分析的管道。

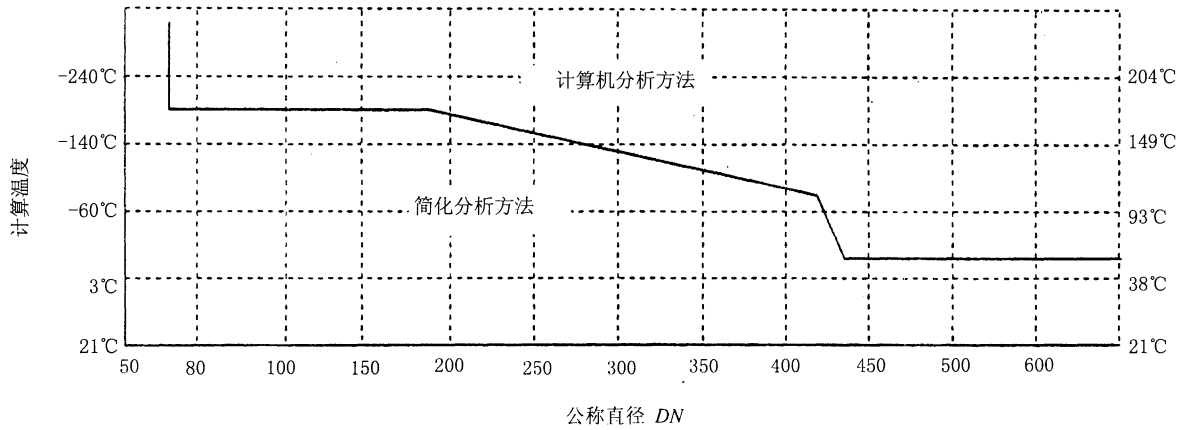


图 4.2 离心泵柔性设计方法的选择

4.3 下列管道可不进行柔性计算：

- a) 与运行良好的管道柔性相同或基本相当的管道；
- b) 和已分析的管道比较，确认有足够柔性的管道；
- c) 对具有同一直径、同一壁厚、无支管、不多于两个固定点、无中间约束并能满足公式 4.3-1~公式 4.3-3 要求的非极度危害和非高度危害介质管道，且不适用于下列管道：
 - 1) 在剧烈循环条件下运行，有疲劳危险的管道；
 - 2) 管件应力增强系数大于或等于 5 的大直径薄壁管道；
 - 3) 不在连接固定点方向的端点附加位移量占总位移量大部分的管道；
 - 4) 不等腿“U”形弯管，或近似直线的锯齿状管道。

$$\frac{D_o Y}{(L-U)^2} \leq K_1 \quad \dots\dots\dots (4.3-1)$$

$$Y = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2} \quad \dots\dots\dots (4.3-2)$$

$$K_1 = 208000 \frac{S_A}{E_a} \quad \dots\dots\dots (4.3-3)$$

式中：

- D_o —— 管道外径，mm；
 Y —— 管道总线位移全补偿值，mm；
 L —— 管道在两固定点间的展开长度，m；
 U —— 管道两固定点间的直线距离，m；
 K_1 —— 判断系数；
 ΔX —— 管道沿坐标轴 X 方向的线位移全补偿值，mm；
 ΔY —— 管道沿坐标轴 Y 方向的线位移全补偿值，mm；
 ΔZ —— 管道沿坐标轴 Z 方向的线位移全补偿值，mm；
 S_A —— 允许位移应力范围，MPa；
 E_a —— 冷态的弹性模量，MPa。

5 计算参数

5.1 管道计算温度应根据工艺条件及下列规定确定：

- a) 对于无绝热层管道，介质温度低于 65℃时，计算温度应取介质温度；介质温度等于或高于 65℃时，计算温度应取介质温度的 95%；
- b) 对于有绝热层管道，除另有计算或经验数据外，计算温度应取介质温度；
- c) 对于夹套管道，计算温度应取内管或套管介质温度的较高者；
- d) 对于外伴热管道，计算温度应根据具体条件确定；
- e) 对于衬里管道，计算温度应根据计算或经验数据确定；
- f) 对于安全泄压管道，计算温度应取排放时可能出现的最高或最低温度；
- g) 进行管道柔性设计时，计算温度的选取应计及正常操作温度，还应计及开车、停车、除焦、再生及蒸汽吹扫等工况的温度。

5.2 除另有规定外，管道安装温度宜取 20℃。

5.3 管道计算压力应取计算温度下对应的压力。

5.4 当管道端点无附加角位移时，管道线位移全补偿值应按下列公式计算。

$$\Delta X = \Delta X^B - \Delta X^A - \Delta X_t^{AB} \quad \dots\dots\dots (5.4-1)$$

$$\Delta Y = \Delta Y^B - \Delta Y^A - \Delta Y_t^{AB} \quad \dots\dots\dots (5.4-2)$$

$$\Delta Z = \Delta Z^B - \Delta Z^A - \Delta Z_t^{AB} \quad \dots\dots\dots (5.4-3)$$

$$\Delta X_t^{AB} = \alpha_t (X_B - X_A) (T - T_0) \quad \dots\dots\dots (5.4-4)$$

$$\Delta Y_t^{AB} = \alpha_t (Y_B - Y_A) (T - T_0) \quad \dots\dots\dots (5.4-5)$$

$$\Delta Z_t^{AB} = \alpha_t (Z_B - Z_A) (T - T_0) \quad \dots\dots\dots (5.4-6)$$

式中：

- ΔX^B ——管道的末端 B 沿坐标轴 X 方向的附加线位移，mm；
- ΔX^A ——管道的始端 A 沿坐标轴 X 方向的附加线位移，mm；
- ΔX_t^{AB} ——管道 AB 沿坐标轴 X 方向的热伸长值，mm；
- ΔY^B ——管道的末端 B 沿坐标轴 Y 方向的附加线位移，mm；
- ΔY^A ——管道的始端 A 沿坐标轴 Y 方向的附加线位移，mm；
- ΔY_t^{AB} ——管道 AB 沿坐标轴 Y 方向的热伸长值，mm；
- ΔZ^B ——管道的末端 B 沿坐标轴 Z 方向的附加线位移，mm；
- ΔZ^A ——管道的始端 A 沿坐标轴 Z 方向的附加线位移，mm；
- ΔZ_t^{AB} ——管道 AB 沿坐标轴 Z 方向的热伸长值，mm；
- α_t ——管道材料在安装温度与计算温度间的平均线膨胀系数，mm/mm℃；
- X_B ——管道末端 B 的 X 坐标值，mm；
- X_A ——管道始端 A 的 X 坐标值，mm；
- T ——管道计算温度，℃；
- T_0 ——管道安装温度，℃。
- Y_B ——管道末端 B 的 Y 坐标值，mm；
- Y_A ——管道始端 A 的 Y 坐标值，mm；
- Z_B ——管道末端 B 的 Z 坐标值，mm；
- Z_A ——管道始端 A 的 Z 坐标值，mm；

- 5.5 钢材平均线膨胀系数和钢材单位线膨胀量参见本规范附录 A。
 5.6 钢材弹性模量参见本规范附录 B。
 5.7 计算位移应力范围时，管道材料的弹性模量应取安装温度下钢材的弹性模量。

6 评定标准

- 6.1 常用钢管材料的许用应力参见本规范附录 C。
 6.2 持续荷载作用下一次应力应符合下列规定：
 a) 管道组成件的壁厚包括补强符合相关要求时，由内压产生的应力是安全的；
 b) 管道组成件的壁厚及其刚度符合相关要求时，由外压产生的应力是安全的；
 c) 管道系统由于压力、重力等持续荷载产生的应力之和，不应超过材料在对应循环工况最高温度下的许用应力，应力应按下列公式计算和评定。

$$S_L \leq S_h \quad \dots\dots\dots (6.2-1)$$

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \quad \dots\dots\dots (6.2-2)$$

$$S_a = \frac{I_a F_a}{A_p} \quad \dots\dots\dots (6.2-3)$$

$$S_b = \frac{\sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2}}{Z} \quad \dots\dots\dots (6.2-4)$$

$$S_t = \frac{I_t M_t}{2Z} \quad \dots\dots\dots (6.2-5)$$

式中：

- S_L —— 持续荷载如压力和重力产生的应力，MPa；
 S_h —— 材料在对应循环工况最高金属温度下的许用应力，最大取 138 MPa，MPa；
 S_a —— 持续纵向力产生的应力，MPa；
 S_b —— 持续弯矩产生的应力，MPa；
 S_t —— 持续扭矩产生的应力，MPa；
 F_a —— 持续荷载如压力和重力产生的纵向力，N；
 I_a —— 持续纵向力指标，在缺少更多应用数据时，取 1.0；
 A_p —— 名义壁厚减去壁厚裕量的管子横截面积，mm²；
 I_i —— 平面内持续力矩指数，在缺少更多应用数据时，取 0.75 倍平面内应力增大系数 i_i 和 1.0 两者中的较大值；
 M_i —— 由持续荷载如压力和重力产生的平面内的弯矩，N·mm；
 I_o —— 平面外持续力矩指数，在缺少更多应用数据时，取 0.75 倍平面外应力增大系数 i_o 和 1.0 两者中的较大值；
 M_o —— 由持续荷载如压力和重力产生的平面外的弯矩，N·mm；
 Z —— 名义壁厚减去壁厚裕量的管子截面模量，mm³；
 I_t —— 持续扭矩指标，在缺少更多应用数据时，取 1.0；
 M_t —— 由持续荷载如压力和重力产生的扭矩，N·mm。

6.3 偶然荷载与持续荷载共同作用下一次应力的校核条件应符合下列规定:

- a) 管道在工作状态下, 由内压和自重等持续荷载以及风或地震等偶然荷载所产生的纵向应力之和, 当偶然荷载作用时间每次不超过 10h, 且每年累计不超过 100h 时, 可取材料许用应力的 1.33 倍, 当偶然荷载作用时间每次不超过 50h, 且每年累计不超过 500h 时, 可取材料许用应力的 1.2 倍;
- b) 管道地震验算应符合 SH/T 3039 的规定;
- c) 风荷载和地震荷载不需同时计及。

6.4 位移应力范围的校核应符合下列规定:

- a) 管道由于热胀、冷缩和其他位移受约束而产生的最大的计算位移应力范围 S_E 不得大于按公式 6.4-6 计算的允许位移应力范围 S_A ;

$$S_E \leq S_A \quad \dots\dots\dots(6.4-1)$$

$$S_E = \sqrt{(|S'_a| + S'_b)^2 + (2S'_t)^2} \quad \dots\dots\dots(6.4-2)$$

$$S'_a = \frac{I_a F'_a}{A_p} \quad \dots\dots\dots(6.4-3)$$

$$S'_b = \frac{\sqrt{(I_i M'_i)^2 + (I_o M'_o)^2}}{Z} \quad \dots\dots\dots(6.4-4)$$

$$S'_t = \frac{I_t M'_t}{2Z} \quad \dots\dots\dots(6.4-5)$$

$$S_A = f (1.25 S_c + 0.25 S_h) \quad \dots\dots\dots(6.4-6)$$

式中:

- S_E ——最大的计算位移应力范围, MPa;
- S_A ——允许位移应力范围, MPa;
- S'_a ——由位移应变产生轴向应力的范围, MPa;
- F'_a ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的轴向力的范围, N;
- S'_b ——合成弯曲应力的范围, MPa;
- M'_i ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的平面内弯矩的范围, N·mm;
- M'_o ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的平面外弯矩的范围, N·mm;
- S'_t ——扭转应力的范围, MPa;
- M'_t ——在任意两种工况之间, 由位移应变产生的扭矩的范围, N·mm;
- f ——应力范围系数;
- S_c ——材料在对应循环工况最低金属温度下的许用应力, 最大取 138 MPa, MPa。

- b) 当 S_h 大于 S_L 时, 其差值可以加到公式 6.4-6 中的 $0.25 S_h$ 项上, 在此情况下, 许用应力范围可按公式 6.4-7 计算;

$$S_A = f [1.25 (S_c + S_h) - S_L] \quad \dots\dots\dots(6.4-7)$$

- c) 公式 6.4-6 和公式 6.4-7 中的应力范围系数 f 可按公式 6.4-8 至公式 6.4-10 计算或通过图 6.4 查得。

$$f = 6.0 [N]^{-0.2} \leq f_m \quad \dots\dots\dots(6.4-8)$$

$$N = N_E + \sum_{i=1}^n (r_i^5 N_i) \quad \dots\dots\dots (6.4-9)$$

$$r_i = S_i / S_E \quad \dots\dots\dots (6.4-10)$$

式中：

f_m —— 应力范围系数的最大值。对于规定最小抗拉强度小于或等于 517 MPa 且循环条件下最高金属温度小于或等于 371℃ 时，铁基材料应力范围系数的最大值为 1.2；其他情况应力范围系数的最大值为 1.0；

N —— 管道系统在预期寿命期内全部位移循环当量数；

N_E —— 最大位移应力范围 S_E 的循环次数；

N_i —— 位移应力范围 S_i 的循环次数；

r_i —— 应力范围的比值；

S_i —— 小于最大位移应力范围 S_E 的第 i 次计算位移应力范围，MPa。

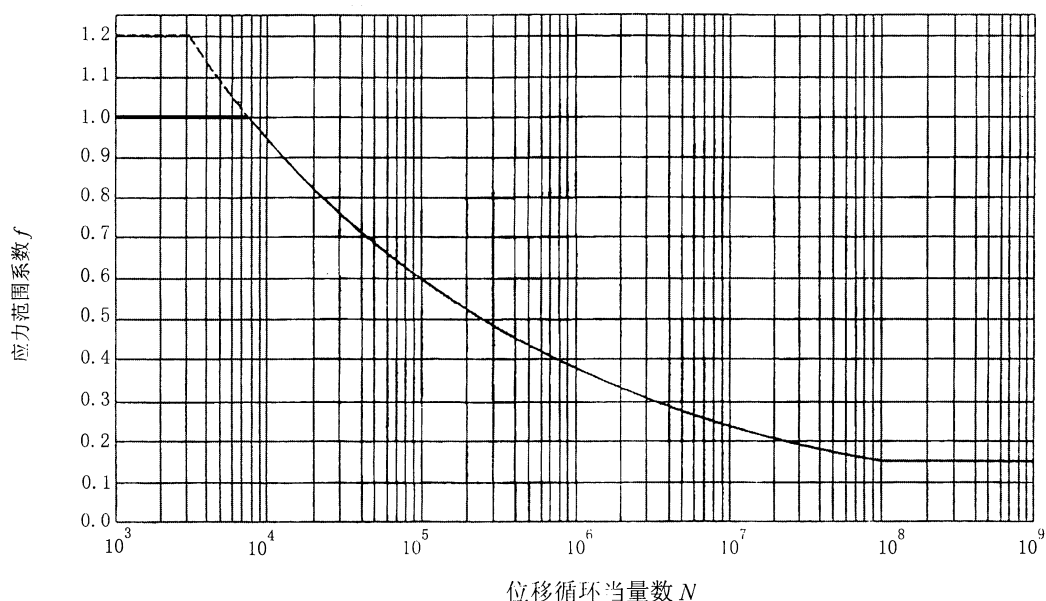


图 6.4 应力范围系数 f 与位移循环当量数 N 之间的关系

6.5 对弯头、三通等连接处应考虑柔度系数和应力增强系数，柔度系数和应力增强系数的计算应符合本规范附录 D 的规定。

6.6 对于剧烈循环工况和极度危害介质的管道，当管道法兰连接承受较大附加外荷载时，应校核法兰的承载能力。

6.7 压力容器管口的允许推力和力矩应由压力容器设计单位提出，否则，管道施加在压力容器管口允许推力和力矩应由压力容器设计单位确认。

6.8 加热炉接管的允许推力和力矩应由加热炉设计单位提出，否则，管道施加在加热炉接管允许推力和力矩应由加热炉设计单位确认。

6.9 转动机器管口的允许推力和力矩应由制造厂提出，当制造厂无数据时，可按下列规定进行核算：

- a) 离心泵管口的允许推力和力矩应符合 API Std 610 的规定；
- b) 蒸汽轮机管口的允许推力和力矩应符合 NEMA SM23 的规定；
- c) 离心压缩机管口的允许推力和力矩应符合 API Std 617 的规定。

附录 A

(资料性附录)

钢材平均线膨胀系数和钢材单位线膨胀量

A.1 钢材平均线膨胀系数可按表 A.1 的规定选取。

表 A.1 钢材平均线膨胀系数

温 度 ℃	在下列温度与 20℃ 之间的平均线膨胀系数 $10^{-6}/^{\circ}\text{C}$				
	碳素钢 碳钼钢 低铬钼钢 (至 Cr3Mo)	中铬钼钢 (Cr5Mo~Cr9Mo)	奥氏体不锈钢 (Cr18Ni9~Cr19Ni14)	高铬钢 (Cr13~Cr17)	Cr25Ni20
-196	—	—	14.67	—	—
-150	—	—	15.08	—	—
-100	9.89	—	15.45	—	—
-50	10.39	9.77	15.97	8.95	—
0	10.76	10.16	16.28	9.29	—
50	11.12	10.52	16.54	9.59	—
100	11.53	10.91	16.84	9.94	15.84
150	11.88	11.15	17.06	10.20	15.98
200	12.25	11.39	17.25	10.45	16.05
250	12.56	11.66	17.42	10.67	16.06
300	12.90	11.90	17.61	10.96	16.07
350	13.24	12.15	17.79	11.19	16.11
400	13.58	12.38	17.99	11.41	16.13
450	13.93	12.63	18.19	11.61	16.17
500	14.22	12.86	18.34	11.81	16.33
550	14.42	13.05	18.58	11.97	16.56
600	14.62	13.18	18.71	12.11	16.66
650	—	—	18.87	—	16.91
700	—	—	18.97	—	17.14

A.2 钢材单位线膨胀量可按表 A.2 的规定选取。

表 A.2 钢材单位线膨胀量

温 度 ℃	在下列温度与 20℃ 之间的线膨胀量 mm/m				
	碳素钢 碳钼钢 低铬钼钢 (至 Cr3Mo)	中铬钼钢 (Cr5Mo~Cr9Mo)	奥氏体不锈钢 (Cr18Ni9~Cr19Ni14)	高铬钢 (Cr13~Cr17)	Cr25Ni20
-196	-1.96	-1.84	-3.18	-1.69	—
-150	-1.62	-1.53	-2.58	-1.39	—
-100	-1.20	-1.13	-1.88	-1.03	—
-50	-0.74	-0.71	-1.15	-0.64	—
0	-0.23	-0.21	-0.34	-0.20	—
50	0.33	0.31	0.48	0.28	0.46
100	0.91	0.86	1.33	0.78	1.25
150	1.53	1.44	2.20	1.32	2.07
200	2.19	2.04	3.09	1.87	2.87
250	2.88	2.67	3.99	2.45	3.68
300	3.60	3.32	4.91	3.05	4.48
350	4.35	3.99	5.86	3.67	5.30
400	5.15	4.69	6.81	4.32	6.11
450	5.97	5.43	7.80	4.98	6.93
500	6.79	6.15	8.79	5.65	7.81
550	7.62	6.89	9.82	6.34	8.76
600	8.47	7.64	10.84	7.01	9.66
650	9.28	8.39	11.87	7.69	10.64
700	10.11	9.15	12.88	8.36	11.63

附录 B
(资料性附录)
钢材弹性模量

钢材弹性模量可按表 B 的规定选取。

表 B 钢材弹性模量

温 度 ℃	弹 性 模 量 10 ³ MPa				
	碳素钢 (C≤0.3%)	碳钼钢 低铬钼钢 (至 Cr3Mo)	中铬钼钢 (Cr5Mo~Cr9Mo)	奥氏体不锈钢 (至 Cr25Ni20)	高铬钢 (Cr13~Cr17)
-196	—	—	—	210	—
-150	—	—	—	207	—
-100	—	—	—	205	—
-20	194	208	191	199	203
20	192	206	189	195	201
100	191	203	187	191	198
150	189	200	185	187	195
200	186	198	182	184	191
250	183	194	180	181	187
300	179	190	176	177	181
350	173	186	173	173	175
400	165	180	169	169	165
450	150	174	165	164	156
475	133	170	163	162	153
500	—	165	161	160	—
550	—	153	156	155	—
600	—	138	150	151	—
650	—	—	—	147	—
700	—	—	—	143	—

附录 C
(资料性附录)
常用钢管许用应力

C.1 碳素钢管许用应力可按表 C.1 的规定选取，中间温度的许用应力可按表中的应力值用内插法求得。

表 C.1 碳素钢管许用应力

钢号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	常温强度指标		在下列温度 (°C) 下的许用应力 MPa													使用 温度 下限 °C	备注					
				σ_b MPa	σ_s MPa	≤ 20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525			550	575	600		
							110	115	115	115	115	109	105	—	—	—	—	—			—	—	—	—	—
焊接钢管																									
Q235A	GB/T 3091		≤ 16	375	235	115	115	115	115	115	115	115	115	109	105	—	—	—	—	—	—	—	-10	—	
Q235B	GB/T 3091		≤ 16	375	235	125	125	125	125	125	125	125	125	119	114	—	—	—	—	—	—	—	-10	—	
无缝钢管																									
10	GB 9948	热轧、正火	≤ 16	330	205	110	110	110	110	110	110	110	110	104	100	73	65	56	47	—	—	—	—	—	—
10	GB 6479	热轧、正火	≤ 16	335	205	112	112	112	112	112	112	112	112	104	100	73	65	56	47	—	—	—	-20	—	
			17~40	335	195	112	112	112	112	112	110	99	95	70	62	53	45	—	—	—	—	—			
10	GB 3087	热轧、正火	全部	335	195	112	112	112	112	110	99	95	70	62	53	45	—	—	—	—	—	—	—	—	—
20	GB/T 8163	热轧、正火	≤ 16	410	245	137	137	137	137	137	137	137	137	122	116	89	76	62	49	—	—	—	-20	—	
			> 16	410	235	137	137	137	137	129	119	114	87	74	61	48	—	—	—	—	—				
20	GB 3087	热轧、正火	< 15	410	245	137	137	137	137	137	137	137	122	116	89	76	62	49	—	—	—	—	—	—	
20	GB 9948	热轧、正火	≥ 15	410	225	137	137	137	137	137	137	137	124	114	109	83	71	58	46	—	—	—	-20	—	
			≤ 16	410	245	137	137	137	137	137	137	137	137	122	116	89	76	62	49	—	—	—			
20G	GB 5310	正火	≤ 16	410	245	137	137	137	137	137	137	137	122	116	89	76	62	49	—	—	—	—	-20	—	
			17~40	410	245	137	137	137	137	137	137	137	137	122	116	89	76	62	49	—	—	—			

C.2 低合金钢管的许用应力可按表 C.2 的规定选取，中间温度的许用应力可按本表中的应力值用内插法求得。

表 C.2 低合金钢管许用应力

钢号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	常温强度指标		在下列温度(°C)下的许用应力 MPa													使用 温度 下限 °C	备注			
				σ_b MPa	σ_s MPa	≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525			550	575	600
15CrMo	GB 6479	正火+回火	≤16	440	235	147	128	124	121	119	116	111	105	104	100	91	82	63	42	—	—	-20	—
15CrMo	GB 6479	正火+回火	>16~40	440	225	147	128	124	121	119	116	111	105	104	100	91	82	63	42	—	—	-20	—
15CrMoG	GB 5310	正火+回火	全部	440	235	147	128	124	121	119	116	111	105	104	100	91	82	63	42	—	—	-20	—
15CrMo	GB 9948	正火+回火	≤16	440	235	147	128	124	121	119	116	111	105	104	100	91	82	63	42	—	—	-20	—
15CrMo	GB 9948	正火+回火	>16~40	440	225	147	128	124	121	119	116	111	105	104	100	91	82	63	42	—	—	-20	—
12Cr2MoG	GB 5310	正火+回火	≤16	450	280	150	150	150	150	149	148	146	143	140	136	113	92	65	46	31	—	-20	—
12Cr2MoG	GB 5310	正火+回火	>16~40	450	270	150	150	147	145	144	143	141	138	135	132	109	92	65	46	31	—	-20	—
12Cr2Mo	GB 6479	正火+回火	≤16	450	280	150	150	150	150	149	148	146	143	140	136	113	92	65	46	31	—	-20	—
12Cr2Mo	GB 6479	正火+回火	>16~40	450	270	150	150	147	145	144	143	141	138	135	132	109	92	65	46	31	—	-20	—
10MoWVNb	GB 6479	正火+回火	≤16	470	295	157	157	157	156	153	147	141	135	130	126	121	97	—	—	—	—	-20	—
10MoWVNb	GB 6479	正火+回火	>16	470	285	157	157	156	150	147	141	135	129	124	119	111	97	—	—	—	—	-20	—

C.3 高合金钢管的许用应力可按表 C.3 的规定选取，中间温度的许用应力可按本表的应力值用内插法求得。

表 C.3 高合金钢管许用应力

钢号	钢管标准	使用状态	壁厚 mm	在下列温度(°C)下的许用应力 MPa																	使用温度 下限 °C	备注			
				≤20	100	150	200	250	300	350	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625			650	675	700
				06Cr19Ni10	GB/T 12771 GB/T 14976	固溶	—	137	137	137	130	122	114	111	107	105	103	101	100	98			91	79	64
06Cr18Ni11Ti	GB/T 12771 GB/T 14976	固溶或 稳定化	—	138	138	138	130	122	115	111	107	105	103	101	100	97	90	78	63	61	41	33	27	—	
06Cr17Ni12Mo2	GB/T 12771 GB/T 14976	固溶	—	138	138	138	133	125	119	114	111	110	108	107	106	106	103	95	81	65	51	39	30	—	
06Cr18Ni11Nb	GB/T 12771 GB/T 14976	固溶	—	138	138	138	133	125	119	114	111	110	108	107	106	106	103	95	81	65	51	39	30	—	
022Cr19Ni10	GB/T 12771 GB/T 14976	固溶	—	115	115	115	109	103	98	94	92	90	88	84	73	61	49	41	33	27	22	18	15	—	
022Cr17Ni12Mo2	GB/T 12771 GB/T 14976	固溶	—	115	115	115	107	101	95	90	87	86	84	82	80	78	76	73	68	58	44	33	25	—	
07Cr18Ni11Nb	GB 5310 GB 9948	固溶	—	138	138	138	138	137	134	130	128	127	126	125	124	124	121	111	92	70	54	42	32	—	
			—	138	138	138	138	137	134	130	128	127	126	125	124	124	121	111	92	70	54	42	32	—	

附录 D
(规范性附录)
柔度系数和应力增强系数

D.1 柔度系数和应力增强系数的计算应符合表 D.1 的规定。

表 D.1^a 柔度系数和应力增强系数

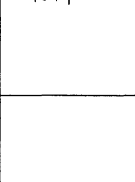
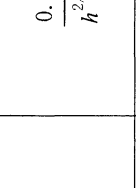
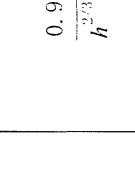
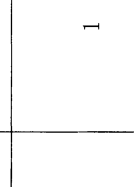
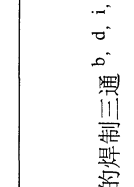
类型	柔度系数 k	应力增强系数 ^{b, c}		柔度特性 h	简图
		平面外 i_o	平面内 i_i		
焊接弯头或弯管 ^{b, d, e, f, g}	$1.65 \frac{1}{h}$	$0.75 \frac{1}{h^{2/3}}$	$0.9 \frac{1}{h^{2/3}}$	$\frac{\bar{T}R_1}{2r_2}$	
窄间距斜接管 ^{b, d, e, g} $s < r_2(1 + \tan\theta)$	$1.52 \frac{1}{h^{5/6}}$	$0.9 \frac{1}{h^{2/3}}$	$0.9 \frac{1}{h^{2/3}}$	$\frac{\cot\theta}{2} \left(\frac{s\bar{T}}{r_2} \right)$	
单节斜接管或宽间距斜接管 ^{b, d, g} $s \geq r_2(1 + \tan\theta)$	$1.52 \frac{1}{h^{5/6}}$	$0.9 \frac{1}{h^{2/3}}$	$0.9 \frac{1}{h^{2/3}}$	$\frac{1 + \cot\theta}{2} \left(\frac{\bar{T}}{r_2} \right)$	
符合 ASME B16.9 的对焊三通 ^{b, d, f, h, i}	1	$0.9 \frac{1}{h^{2/3}}$	$3 \frac{1}{i_o} + \frac{1}{4}$	$3.1 \frac{\bar{T}}{r_2}$	
带补强板的焊制三通 ^{b, d, i, j, k}	1	$0.9 \frac{1}{h^{2/3}}$	$3 \frac{1}{i_o} + \frac{1}{4}$	$\left(\frac{1 - \bar{T}_r}{\bar{T}} \right)^{5/2} \frac{1}{r_2^{3/2}}$	

表 D.1^a 柔度系数和应力增强系数 (续)

类型	柔度系数 k	应力增强系数 ^{b, c}		柔度特性 h	简图
		平面外 i_o	平面内 i_i		
不带补强板的焊制三通 b, d, i, k	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\frac{\bar{T}}{r_2}$	
挤压成型的对焊三通 b, d, i $r_x \geq 0.05 D_o$ 且 $T_c < 1.5 \bar{T}$	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$\left(1 + \frac{r_x}{r_2}\right) \frac{\bar{T}}{r_2}$	
嵌入式焊接管座 b, d, h, i	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{3}{4}i_o + \frac{1}{4}$	$3.1 \frac{\bar{T}}{r_2}$	
焊接管座 (整体加强) b, d, k, l	1	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$\frac{0.9}{h^{2/3}}$	$3.3 \frac{\bar{T}}{r_2}$	

表 D.1^a 柔度系数和应力增强系数 (续)

类型	柔度系数 k	应力增强系数 ^{b, c}		柔度特性 h	简图
		平面外 i_o	平面内 i_i		
对接焊的接头、异径接头或对焊法兰	1	1.0	—	—	—
双面焊的平焊法兰	1	1.2	—	—	—
角焊缝或承插焊缝	1	1.3 ^m	—	—	—
符合 ASME B16.5 带翻边短节的松套法兰	1	1.6	—	—	—
螺纹管接头或螺纹法兰	1	2.3	—	—	—
带波纹的直管或带波纹或折皱的弯头 ⁿ	5	2.5	—	—	—

^a 当无直接可用的数据时, 应力增强系数和柔度系数可取表 D.1 中的数据, 该数据仅适用于管道直径 D 与其壁厚 T 之比小于或等于 100 的情况。

^b 表中的柔度系数 k 适用于平面内和平面外弯曲。柔度系数 k 和应力增强系数 i 在弯头和斜接弯管的有效弧长 (表中粗中心线表示) 上以及三通交点上均适用。

^c 如果需要, 平面外应力增强系数 i_o 和平面内应力增强系数 i_i 均可取 $0.9/h^{2/3}$ 。

^d 可从图 D.2 中按表 D.1 公式计算得到的柔度特性 h 值直接查取 k 值和 i 值。

表中符号含义如下:

D_b ——支管外径;

R_1 ——焊制弯头或弯管的弯曲半径;

r_x ——在主管和支管轴线平面上测得的支管台外缘曲率半径;

r_2 ——主管的平均半径;

s ——斜接弯管中间短节的中心距;

\bar{T} ——对于弯头和斜接弯管, 指管件的名义壁厚; 对于三通, 指主管的名义壁厚;

T_c ——图示中在三通交叉处测得的壁厚;

\bar{T}_r ——补强圈或鞍式补强板的厚度;

θ ——斜接角度的二分之一;

表 D.1^a 柔度系数和应力增强系数 (续)

类型	柔度系数 k	应力增强系数 ^{b, c}		柔度特性 h	简图
		平面外 i_o	平面内 i_i		
<p>^e 当管件的一端或两端与法兰连接时, 表中的 k 值和 i 值应利用系数 C_1 来修正。系数 C_1 可由计算得到的 h 值从图 D.2 上直接查取。</p> <p>^f 需要注意的是铸造成形的对焊管件的壁厚大很多, 如不考虑大壁厚带来的影响, 柔度系数和应力增强系数可能会有很大的误差。</p> <p>^g 对于直径大、管壁薄的弯头和弯管, 内压对 k 值和 i 值会产生显著的影响, 因此, 对表中的 k 值和 i 值应分别除以下列公式计算的数值进行修正:</p> <p style="text-align: center;">对 k 值除以</p> $\left[1 + 6 \left(\frac{r_2}{T} \right)^{7/3} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{1/3} \right]$ <p style="text-align: center;">对 i 值除以</p> $\left[1 + 3.25 \left(\frac{P_j}{E_j} \right) \left(\frac{r_2}{T} \right)^{5/2} \left(\frac{R_1}{r_2} \right)^{2/3} \right]$ <p>式中:</p> <p>P_j —— 对应工况下的压力 (表压), kPa, $j = 1, 2, 3, \dots$;</p> <p>E_j —— 对应工况下的弹性模量, MPa, $j = 1, 2, 3, \dots$。</p> <p>^h 如果 $r_s \geq 1/8 D_o$ 并且 $T_o \geq 1.5\bar{T}$, 柔度特性可取 $4.4\bar{T}/r_2$。</p> <p>ⁱ 三通的应力增强系数是基于在三通两侧连接至少两倍直径长度的直管进行试验得到的。相邻两支管距离较近时 (小于两倍直径长度) 需特殊考虑。</p> <p>^j 当 $\bar{T}_i > 1.5\bar{T}$ 时, $h = 4\bar{T}/r_2$。</p> <p>^k 支管与主管直径比在 0.5 与 1.0 之间时, 其平面外应力增强系数也许并非保守。外形为内凹且平滑过渡的焊缝可降低平面外应力增强系数。该情况下, 平面外应力增强系数的选取由设计人员负责。</p> <p>^l 设计人员须保证这种管件的压力额定值与直管的压力额定值相当。</p> <p>^m 对于与承插焊管件连接的焊缝, 应力增强系数是基于假定管子和管件与 ASME B16.11 相匹配, 且管子和管件的角焊缝符合 ASME B31.3 图 328.5.2C。对于与承插焊法兰连接的焊缝, 应力增强系数的确定是基于其焊缝外形符合 ASME B31.3 图 328.5.2B (3), 且已囊括了管子与承插焊管件连接的试验结果中。角焊缝的焊角与管壁圆滑过渡并呈外凹形, 如 ASME B31.3 图 328.5.2A 所示, 这种结构可以改善焊缝的疲劳性能。</p> <p>ⁿ 所示的柔度系数和应力增强系数适用于弯曲; 对于扭曲其柔度系数为 0.9。</p>					

D.2 柔度特性 h 与柔度系数 k 及应力增强系数 i 的关系见图 D.2。

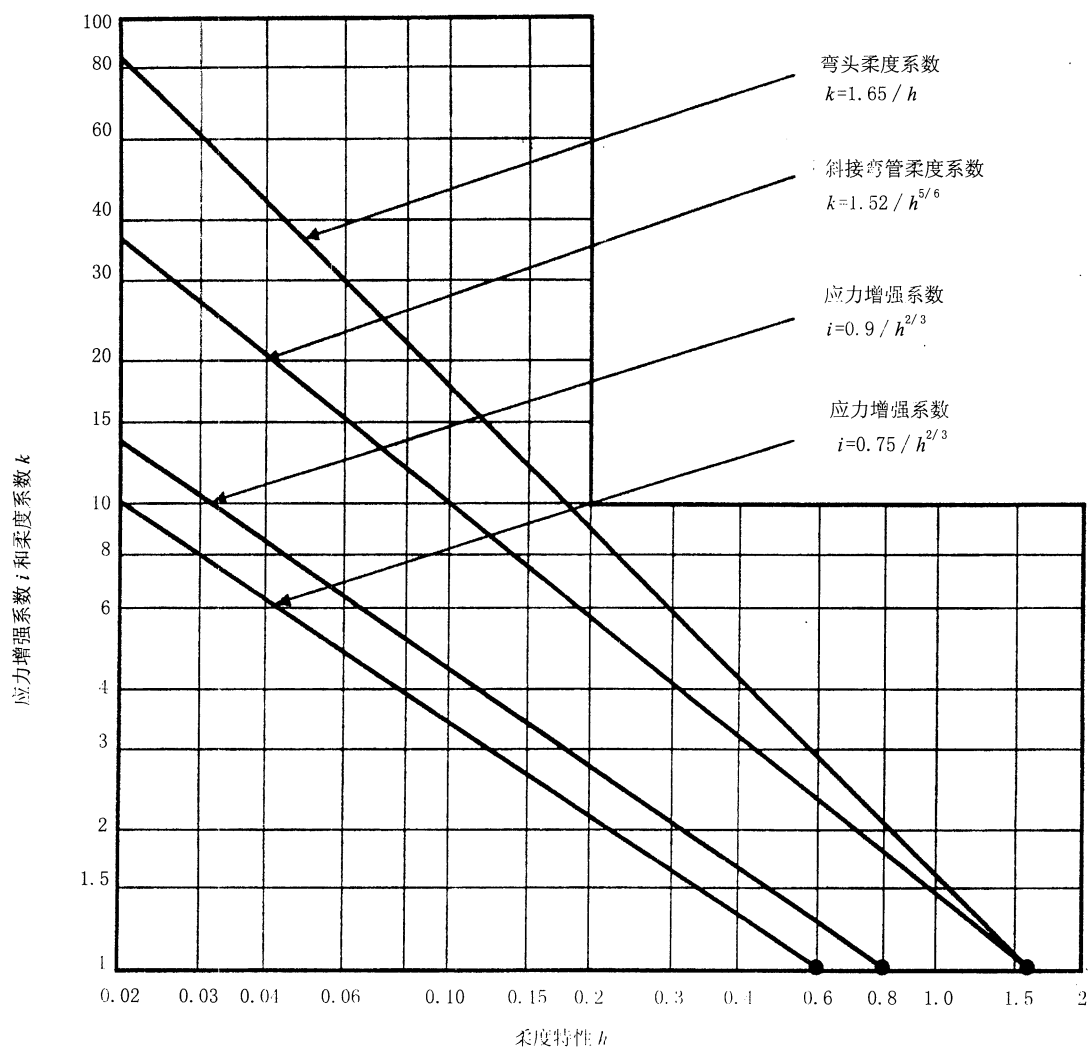


图 D.2 柔度特性与柔度系数及应力增强系数的关系

D.3 修正系数 c_1 见图 D.3。

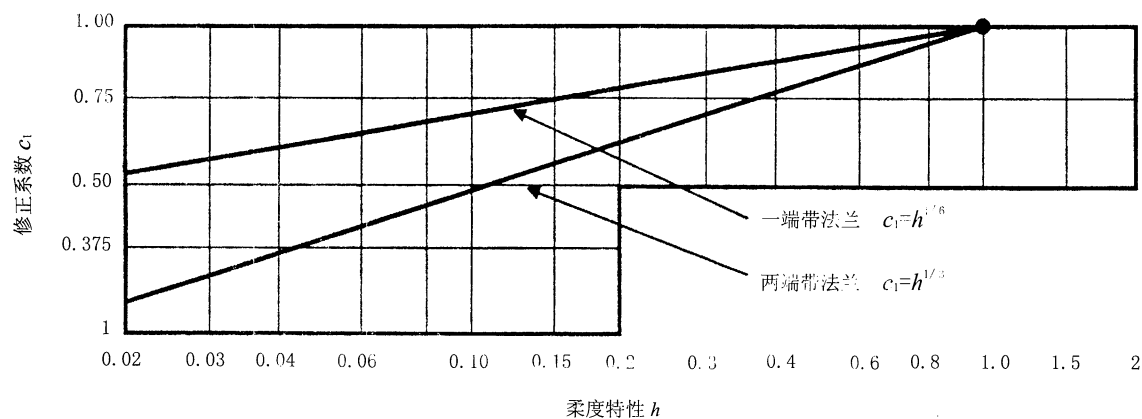


图 D.3 修正系数

本规范用词说明

- 1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：
 - 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
 - 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
 - 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
 - 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。
- 2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。