

计算和补偿管道系统中的热力学位移

所有材料都会因温度发生变化而导致尺寸变化。由于环境温度的变化以及管道系统、安装温度和工作温度之间的温差，管道系统既会发生膨胀，也会发生收缩。如果在设计阶段不考虑管道系统的膨胀和收缩，可能会造成损坏。本报告介绍了使用 Victaulic（唯特利）产品处理管道系统膨胀和收缩时的注意事项。除了管道热运动外，还必须考虑由其他原因（例如：地震、沉降等）引起的管道移动。

温度变化可能会让管道处于受力状态，对组件或设备施加潜在的破坏性反作用力和/或力矩。可以通过使用 Victaulic（唯特利）产品和各种管道设计方法来减少或消除这些应力。使用 Victaulic（唯特利）产品，有以下四种方法来补偿由于温差或温度变化而引起的管道移动。

- 1) 利用单个 Victaulic（唯特利）挠性卡箍的线性移动能力。请注意，线性移动是沿着管道的轴线方向进行的。
- 2) 利用 Victaulic（唯特利）膨胀节的线性移动功能。
- 3) 在方形补偿器上利用 Victaulic（唯特利）挠性卡箍的角偏转能力。
- 4) 在管道偏转或者转向结构中利用 Victaulic（唯特利）卡箍的角偏移能力。

如何选择以上方法取决于管道系统布局、管道系统设计要求、管道材料、管道直径和设计人员的偏好。许多管道系统通常需要采用多种管道热位移补偿方法。由于无法预测所有管道系统的布局和设计，因此本文的目的是介绍沟槽管道连接方法的优点，以及它带给管道系统设计人员的益处。本文中结合 Victaulic（唯特利）挠性产品使用的示例介绍了各种设计方法。这些示例旨在激发思考，不应视为对特定管道系统设计的建议。

计算热膨胀

补偿热膨胀的第一步是计算管道系统相关部分在线性长度上的准确变化。计算热膨胀或收缩的公式如下：

$$\Delta L = L \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

ΔL = 直管段相对于原始管道长度的线性长度变化。

L = 直管段的原始长度。

α = 特定管道材料的热膨胀系数。

ΔT = 管道系统的材料温度变化（通常是安装时的环境温度与最低和/或最高系统运行温度之间的差值）

热膨胀系数是管道材料所特有的。表 1 列出了常用管道材料的热膨胀系数。

管道材料	In/ft ° F	mm/m ° C
碳钢	8.0×10^{-5}	12.1×10^{-3}
不锈钢	11.5×10^{-5}	17.3×10^{-3}
铜	11.2×10^{-5}	16.7×10^{-3}
聚氯乙烯 (PVC)	34.8×10^{-5}	52.2×10^{-3}
CPVC	44.4×10^{-5}	66.7×10^{-3}

表 1

从不同来源获取的膨胀系数可能会有所不同。在计算时应将这种差异考虑进去。此外还应当采用由系统设计人员确定的适当安全系数，以弥补预测极端操作等方面的任何误差。

下面举例说明表 1 的用法：

请务必参考本文档末有关产品安装、维护或支持的任何通知。

示例:

240 英尺长的碳钢管长度。

最高运行温度 = 220°F (104°C)

最低运行温度 = 40°F (4°C)

安装温度 = 80°F (26°C)

膨胀计算示例:

根据表 1，碳钢管道的膨胀系数为
 $8.0E^{-5}$ in/ft°F, ΔT 为 220°F (104°C) – 80°F (26°C)
 = 140°F (60°C), L = 240 英尺。应用等式 1:

$$\Delta L = (240\text{ft}) \cdot (8.0E^{-5} \text{ in/ft}^\circ\text{F}) \cdot (140^\circ\text{F})$$

$$\Delta L = 2.69 \text{ 英寸} / 68.33 \text{ 毫米}$$

收缩计算示例:

根据表 1，碳钢管道的膨胀系数为
 $8.0E^{-5}$ in/ft°F, ΔT 为 80°F (26°C) – 40°F (4°C)
 = 40°F (4.5°C), L = 240 英尺。应用等式 1:

$$\Delta L = (240\text{ft}) \cdot (8.0E^{-5} \text{ in/ft}^\circ\text{F}) \cdot (40^\circ\text{F})$$

$$\Delta L = 0.77 \text{ 英寸} / 19.56 \text{ 毫米}$$

因此，管道在最高工作温度下将膨胀 2.69 英寸
 (68.33 毫米)，在最低工作温度下将收缩 0.77 英寸
 (19.56 毫米)。

补偿管道热膨胀

用于补偿管道热位移（即膨胀和收缩）的 Victaulic
 （唯特利）方法提供了经济高效的解决方案。以下部分
 提供了产品信息和建议，显示了沟槽式管道施工方法的
 机械优势。

Victaulic（唯特利）挠性卡箍介绍

如果在设计管道系统时也使用了 Victaulic（唯特利）挠
 性卡箍，则有必要将这些卡箍的特性考虑进去。真正
 了解唯特利卡箍的特性后，管道系统的设计人员可以充
 分利用这些卡箍的优势。Victaulic（唯特利）挠性卡箍
 具备线位移能力和角偏移能力。但请注意，挠性卡箍的
 最大线位移和最大角偏移不能同时发生。如果两种移动

都需要，则应为管道系统设计足够多的卡箍来满足这一
 要求。接头处的角偏移和可能发生的旋转应在支吊架的
 设计中考虑到。推荐的吊架间距在 Victaulic（唯特利）
 I-100 现场安装手册和设计数据的第 26.01 节中列出。
 在将 Victaulic（唯特利）挠性卡箍添加到系统中以补
 偿热移动时，还应考虑适当的固定支架和导向架。这将在
 以下方法中进行阐述。

1. 利用 Victaulic（唯特利）挠性卡箍的线性移动能力

本节将介绍如何用 Victaulic（唯特利）挠性卡箍来补偿
 线性移动。每个挠性卡箍的线位移能力都在其发布的
 技术文档中列出。Victaulic（唯特利）挠性卡箍允许接
 头内的两个管端之间留有很小的间隙。安装时 Victaulic
 （唯特利）挠性卡箍时可以按照需求，留出适当的
 间隙。对于热流体系统，管道的长度将会膨胀。在这种
 情况下，安装接头时应留出允许的最大管端间隙，为管
 端膨胀提供空间。对于冷流体系统，管道的长度将会
 收缩。在这种情况下，安装接头时应留出允许的最小管
 端间隙，为管端收缩提供空间。对于既会发生膨胀也会
 发生收缩的管道系统，管端间隙应在上述最大和最小间
 隙之间进行适当调整。有关挠性卡箍内管端间隙的详细
 信息，请参见下图。

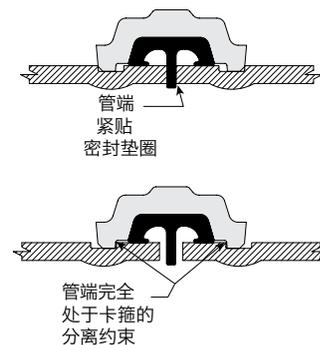


图 1

当使用 Victaulic（唯特利）挠性卡箍补偿线性移动时，
 应考虑压力推力载荷。管道的两端应设置锚固支架来将
 位移导入挠性卡箍中，以引导卡箍内的所有移动。

使用 Victaulic（唯特利）挠性卡箍补偿线性移动时，
 应该设定合理的导向支架。对于由挠性卡箍连接的管
 道，每隔一段都应放置管道导向支架，以防止管道屈曲
 对卡箍的线性移动能力产生负面影响。

应安装足够的挠性接头来补偿预期的移动。下面是使用挠性卡箍进行线性补偿的计算示例。

示例:

240 英尺长的碳钢管道
 最高工作温度 = 220°F (104°C)
 最低工作温度 = 40°F (4°C)
 安装温度 = 80°F (26°C)。

在前面计算中，管道系统的膨胀为 2.69 英寸，收缩为 0.77 英寸。计算所需挠性卡箍接头数量的公式为：

$$\text{接头数量} = \Delta L / \text{DVL}$$

ΔL = 计算得出的热移动总值

DVL = 挠性卡箍所允许的线性移动设计值

在本例中，我们将使用 4 英寸 Victaulic（唯特利）177N 型卡箍的数据。（参考 Victaulic（唯特利）技术文件 06.24）

膨胀所需的接头数量
 = (2.69 英寸 + 0.77 英寸) / (每卡箍 0.18 英寸)
 接头数量 = 19.22 个卡箍

因此，需要 20 个 Victaulic（唯特利）177N 型 4 英寸卡箍。

本示例中，我们可以看到计算出的用于补偿管道线性移动总量的挠性接头的数量为 19.22 个。由于无法只提供卡箍的一部分，因此得出的数字应向上取到相邻的整数。因此，本例中用于补偿移动总量的挠性接头的数量应为 20 个。

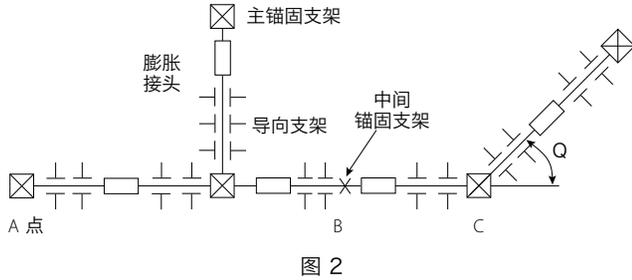
2. 利用 Victaulic（唯特利）膨胀节的线性移动功能

Victaulic（唯特利）可供应不同类型的膨胀节。相较于在整个管道管路安装的接头处使用单独的 Victaulic（唯特利）挠性卡箍，膨胀节可以在更小的空间内提供更大的移动量。Victaulic（唯特利）膨胀节采用多种管道材料制成，包括碳钢、镀锌钢、不锈钢和氯化聚氯乙烯（CPVC）。每个膨胀节可以补偿的位移量将根据管道尺寸和管道材料而有所不同。请参考 Victaulic（唯特利）膨胀节产品技术文件，了解特定的膨胀节可以补偿的位移量。Victaulic（唯特利）膨胀节无需任何维护，可以在管道系统的整个生命周期内使用。相较于需要定期维护的传统膨胀节产品，这些功能具有显著优势。

使用任何一款膨胀节，设计人员都会预防这些膨胀节无法适应的破坏性情况，例如温度压力超出产品的能力或者位移量超出产品范围。为了膨胀节正常工作，应该将管道上的膨胀或者收缩拆分成独立的部分，每一部分都应合理的设置支吊架，导向架和锚固支架来控制管道轴向位移。为了分析锚固支架作用力，可将锚件分类为主锚固支架和中间锚固支架。主锚固支架安装在终点处、重要的支管接头处和管道方向变化处。作用在主锚固支架上的力主要由压推力、流速，以及直导向架和吊架的摩擦力形成。中间锚固支架安装在长段管道上，以将长段管道分为数个较小的膨胀段，从而有利于减少复杂膨胀节的应用。作用于中间锚固支架的作用力主要是由导向件处的摩擦力、支架或吊架的重量、挤压或者扩张膨胀节所需要的激活力形成。

应采取适当的导向措施以防止管道系统不对中和弯曲，确保膨胀节仅发生线性移动而不会角偏移。可能需要为整个系统安装额外的中间导向支架，以防管道偏离。如果膨胀节的位置不靠近锚件点，则应在膨胀节两端都安装导向支架。有关如何正确进行管道导向，可以参考 Victaulic（唯特利）技术文件 09.06 或单独的产品技术文件。

此外，对于长管道、低压力应用，如果所需的导向支架很少，则必须充分支撑管道重量以及管道中的液体重量。有关如何正确支撑 Victaulic（唯特利）膨胀节，请参见 Victaulic（唯特利）技术文件 09.06 或单独的 Victaulic（唯特利）产品技术文件。图 2 展现了膨胀节、锚固支架和导向支架的典型应用。



膨胀节会在锚固支架处产生额外的反作用力，设计锚固支架时应将这点考虑进去。这种额外的力称为激活力，是移动膨胀节所需的力。Victaulic（唯特利）膨胀节所需要的挤压或者拉伸的激活力相当于 15psi 乘以横截面积。

示例：

国际管道标准 (IPS) 4 英寸管道的激活力：

$$F(a) = \frac{4 \cdot \pi \cdot OD^2}{\pi \cdot 4.500 \text{ 英寸}^2} \cdot 15 \text{ psi}$$

$$F(a) = 4 \cdot 15 \text{ psi}$$

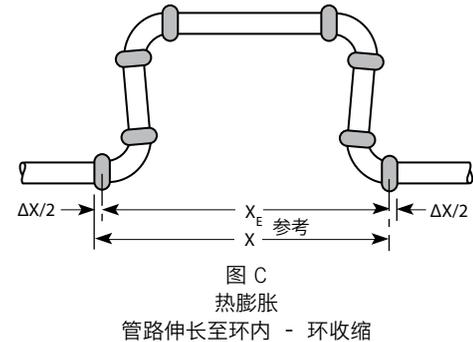
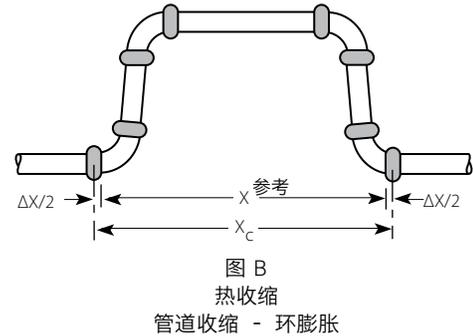
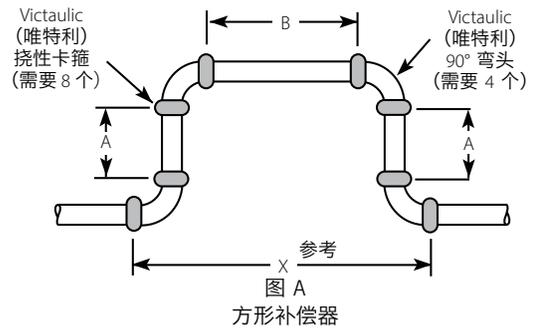
$$F(a) = 238.57 \text{ Lbs}$$

3. 在方形补偿器上利用 Victaulic（唯特利）挠性卡箍的角偏转能力

Victaulic（唯特利）挠性卡箍为方形补偿器的设计带来优势，使用唯特利挠性卡箍可以减少甚至彻底消除管道系统中的应力。Victaulic（唯特利）挠性卡箍的角偏转能力可以在管道系统内改变方向时补偿卡箍内的热膨胀

和/或收缩。

下面举例说明：



如图 A 所示，完成一个方形补偿器总共需要八（8）个 Victaulic（唯特利）挠性卡箍、四（4）个带沟槽的 Victaulic（唯特利）90° 弯头和三（3）个短管。随着管道系统温度的降低和管道收缩（见图 B），环路扩张，卡箍的挠曲能力可以补偿这种移动。而随着管道系统温度升高（见图 C），则会出现相反的现象。管道管路膨胀时，方形补偿器会收缩，卡箍会补偿相反方向的挠曲。

每个 Victaulic（唯特利）挠性卡箍的角偏转是卡箍尺寸和样式所固有的设计特征。环路垂直支路的长度（尺寸“A”）由预期的管线膨胀/收缩量（ΔL）和 Victaulic（唯特利）挠性卡箍的综合挠曲度决定。方形补偿器中 Victaulic（唯特利）挠性卡箍的挠曲度取决于卡箍对数。由于方形补偿器上有八（8）个 Victaulic（唯特

利) 挠性卡箍, 是四 (4) 对卡箍, 因此在方形补偿器上使用的 Victaulic (唯特利) 挠性卡箍的挠曲能力应乘以 4。方形补偿器两侧的尺寸 “A” 应相同。方形补偿器的平行支路 (尺寸 “B”) 的长度由 ΔL 决定, 并且它必须足够长, 以防止管道路径上的下部弯头在热膨胀过程中相互阻碍。

如果适用, 还应考虑绝缘厚度。

$$A = \Delta L / 4 \cdot DV_D$$

$$B_{\text{最小值}} = 2 \text{ 英寸} + \Delta L + 2 \text{ (绝缘厚度)}$$

在确定平行支管尺寸 (尺寸 “B”) 之前, 必须清楚公称管道尺寸和热膨胀设计值 (ΔL) 或垂直支管的长度 (A)。

为使方形补偿器正常工作, 需在系统中合理设定锚固点。方形补偿器的导向要求由系统设计人员确定。

示例:

使用上一节的示例中建立的参数来补偿热膨胀; 4 英寸 (150 毫米) 的标称管道尺寸和 2.69 英寸的预期总移动量, 我们可以使用上面的公式计算出补偿这一移动量所需的方形补偿器的尺寸。

在本例中, 我们将使用 4 英寸 Victaulic (唯特利) 177N 型卡箍的数据。参考 Victaulic (唯特利) 技术文件 06.24 我们也会使用 2 英寸的绝缘厚度。

$$A = 2.69 \text{ 英寸} / 4 = 0.6725 \text{ 英寸 (每个支脚)}$$

$$A = 1.40 \text{ 英尺 (0.43 米)}$$

$$B = 2 \text{ 英寸} + 2.69 \text{ 英寸} + 2 \text{ (2 英寸)}$$

$$B = 8.69 \text{ 英寸或 } 0.71 \text{ 英尺 (0.22 米)}$$

(注: 应参考 Victaulic (唯特利) I-100 现场安装手册, 以确定开槽时允许的最小短管长度)

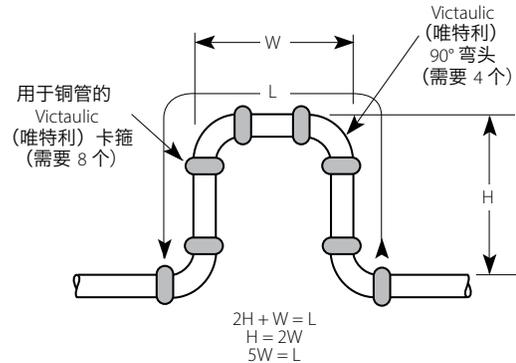
从示例中我们可以看出, 为了补偿 2.69 英寸的移动, 使用 4 英寸 Victaulic (唯特利) 177N 型卡箍的方形补偿器需要 1.40 英尺的最小尺寸 (A) 和 0.71 英尺的最小尺寸 (B)。

方形补偿器也可用于补偿铜管上的移动。Victaulic (唯特利) 不应用于铜管的挠性卡箍, 但可以使用 Victaulic (唯特利) 用于铜质材料的刚性卡箍制作方

形补偿器, 并像硬管一样调整方形补偿器的尺寸。铜管方形补偿器的必要长度可使用以下公式计算:

$$L = \sqrt{\frac{3 E D e}{S}}$$

L = 方形补偿器长度, 单位为英寸, 如下图所示



E = 铜的弹性模量, 单位为 psi

= 15,600,000 psi (107,546,400 kPa)

S = 材料弯曲时的许用应力, 单位为 psi

= 6000 psi (41,364 kPa)

D = 铜管的外径, 单位为英寸

e = 要吸收的膨胀长度, 单位为英寸

简化公式:

$$L = 88.32 \sqrt{D e}$$

参考:

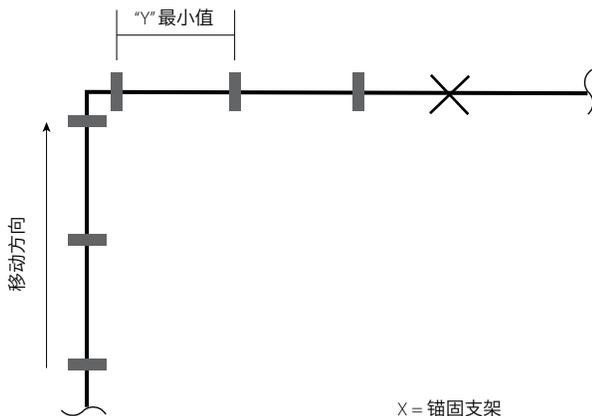
(1) 铜/黄铜/青铜产品手册, 铜业发展协会

(2) 铜和铜合金资料手册, 美国金属学会

4. 在管道方向转变中使用 Victaulic (唯特利) 挠性卡箍的角偏移能力

与方形补偿器类似, Victaulic (唯特利) 挠性卡箍的角偏转功能可用于系统偏离和方向变化, 以补偿热膨胀和收缩。虽然方形补偿器有时需要在系统中使用额外的管道, 但此方法通常使用管道系统设计中已有的系统偏离和方向变化。通过在系统偏离和方向变化时战略性地将成对的 Victaulic (唯特利) 挠性卡箍放置在弯头上, 可以在较小的占地面积内吸收热膨胀和收缩。这种方法还可以减少使用专用膨胀节产品的系统所需的锚件和导轨的数量。与方形补偿器一样, 卡箍也需要成对使用。一对卡箍之间的距离, 即“Y”尺寸, 与卡箍所允许的挠曲相结合, 决定了卡箍在任何位置可以吸收的移动量。“Y”尺寸越大, 挠性卡箍可以吸收的移动量就越多。偏离的角度也会影响可以吸收的移动量。可以使用下面的公式来计算补偿特定移动量所必需的“Y”尺寸。

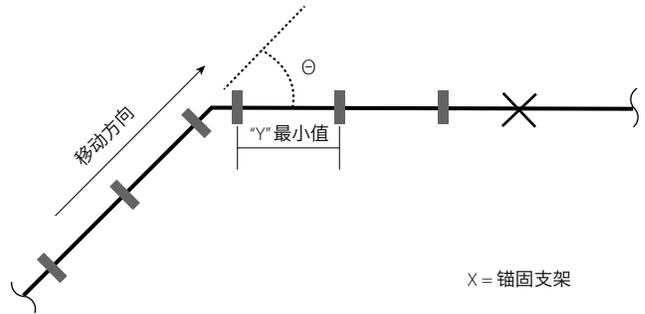
$$Y = \Delta L / (DV_D)$$



这里的 ΔL 是预期的热膨胀或收缩量, DV_D 是所用卡箍的挠曲度。这一计算公式适用于垂直于变化管道的方向可以提供的最大移动量。对于非 90 度的系统偏离和方向变化, 必须考虑实际的管道角度。不同角度的“Y”尺寸的计算公式如下所示:

$$Y = (\Delta L / DV_D) / \sin(\Theta)$$

Θ = 偏离角度



下面是 90 度偏离和 45 度偏离的计算示例。

示例:

使用上一节的示例中建立的参数, 即 4 英寸 (100 毫米) 的标称管道尺寸和 2.69 英寸的预期总移动量, 我们可以使用上面的公式计算出补偿这一移动量所需的“Y”尺寸。

在本例中, 我们将使用 4 英寸 Victaulic (唯特利) 177N 型卡箍的数据。参考 Victaulic (唯特利) 技术文件 06.24

对于 90 度偏离

$$Y = \Delta L / (DV_D)$$

$$Y = 2.69 \text{ 英寸} / 0.48 \text{ 英寸, 每英尺}$$

$$Y = 5.60 \text{ 英尺 (1.71 米)}$$

对于 45 度偏离

$$Y = (\Delta L / DV_D) / \sin(\Theta)$$

$$Y = (2.69 \text{ 英寸} / 0.48 \text{ 英寸, 每英尺}) / \sin(45)$$

$$Y = 7.93 \text{ 英尺 (2.42 米)}$$

通过这个例子, 我们可以看到 90 度偏离需要 5.60 英尺的“Y”尺寸来补偿移动量, 而 45 度偏离则需要 7.93 英尺的“Y”尺寸来补偿同等数量的热移动。

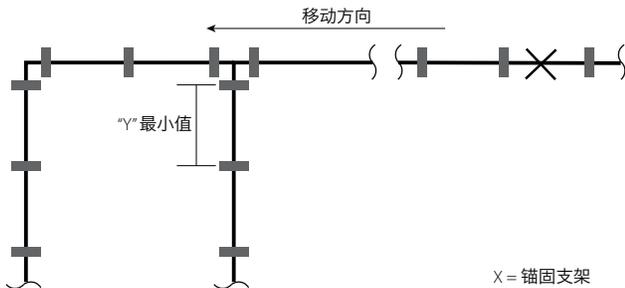
如果管道系统中没有足够的空间来放置适当长度的管道来补偿预期的移动量, 则可以增加 Victaulic (唯特利) 挠性卡箍的对数。通过增加唯特利挠性卡箍的对数, 可以缩短所需要的 Y 长度。可补偿的移动量与偏离处使用的卡箍对数直接相关。如果使用两对卡箍, 可补偿的偏转量将是原来的两倍, 而补偿移动量的总“Y”尺寸将是仅使用 1 对卡箍 (两个卡箍) 所需长度的一半。通过继续添加卡箍对, 可以进一步缩短“Y”尺寸,

直到达到所需的尺寸。使用多对卡箍时计算必需“Y”尺寸的公式如下。

$$Y = \Delta L / X \cdot DV_D$$

X = 卡箍对的数量

当主管系统膨胀或收缩时，支管也会受到主管移动的影响。如果无法补偿支管的位移，则可能会损坏支管或它们连接的设备。如果支管发生移动，本节所介绍的计算方法也同样适用。可以将支管视为偏转/方向变化而使用相同的公式。



利用这种方法来补偿热膨胀的好处之一就是：系统中需要安装的锚固支架数量可以降至最低。在可能发生偏转时使用 Victaulic（唯特利）挠性卡箍，通常只在不希望移动发生的位置上使用锚固件，例如建筑物中水平管道连接到立管的位置，或者管道靠在墙壁或横梁上而无法移动的区域。这种方法也可用于“自由浮动”系统，这种系统中没有安装锚件，管道可以随意膨胀/收缩，所有偏转和方向变化而导致的移动都通过 Victaulic（唯特利）挠性卡箍来补偿。

总结

Victaulic（唯特利）沟槽系统产品为系统设计人员提供了多种不同的管道热位移补偿方法。组合使用这些方法，可为特定管道系统内的热移动补偿提供最佳解决方案。请联系您当地的 Victaulic（唯特利）代表，帮助您选择最合适的方法，满足您特有的管道热膨胀要求。

用户对于产品选择和适用性的责任

每位用户应根据行业标准 and 项目规格以及 Victaulic（唯特利）性能、维护、安全和警告说明，全权负责自行决定 Victaulic（唯特利）产品是否适合其最终特定用途。本文件或任何其他文件以及来自 Victaulic（唯特利）员工的任何口头建议、意见或主张均不得被视为是对 Victaulic（唯特利）公司标准销售条件、安装指南或本免责声明中任何规定的改变、变更、替代或弃权。

知识产权

本声明中有关可能或推荐使用材料、产品、服务或设计的任何陈述不表示或不得被解释为授予许可使用 Victaulic（唯特利）公司或其任何子公司或关联公司的任何包含该使用或设计的专利或其他知识产权，也不得在侵犯任何专利或其他知识产权的情况下推荐使用材料、产品、服务或设计。术语“已取得专利”或“专利申请中”是指在美国和/或其他国家的发明专利、实用新型专利和外观设计专利。

说明

该产品应由 Victaulic（唯特利）制造或按照 Victaulic（唯特利）规格制造。所有产品按照现行 Victaulic（唯特利）安装/装配指导安装。Victaulic（唯特利）保留不经通告改变产品规格、设计和标准设备的权利，且不对此承担任何责任和义务。

安装

请务必参考适用于您正在安装产品的 Victaulic（唯特利）安装手册或安装说明。Victaulic（唯特利）产品的包装中附赠安装手册，以提供全面的安装资料，您还可在我们的网站 www.victaulic.com 上下载安装手册的 PDF 版本。

担保

有关担保细节，请参阅现行价格表的担保一节，或与 Victaulic（唯特利）联系。

商标

Victaulic（唯特利）和所有其他 Victaulic（唯特利）标志均为 Victaulic（唯特利）公司和/或其附属实体在美国和/或其他国家的商标或注册商标。