



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

球墨铸铁管自锚接口系统 自锚长度计算方法

Restrained joint systems for ductile iron pipelines
calculation rules for lengths to be restrained

(ISO 21052:2021,MOD)

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

球墨铸铁管自锚接口系统 自锚长度计算方法

1 范围

本文件规定了管线在有压状态输送不同用途、不同类型介质时，球墨铸铁管自锚接口系统用于平衡水力推力的自锚长度设计方法，包括一般规定、管道上的作用、自锚长度计算、工程设计要求。

本文件给出的计算方法考虑了包括直径改变和管线末端的盲端在内的常见管线路径变化、管道外径、系统试验压力(用来估算推力)、覆土深度、管周土体特性、管沟回填方法等。但自锚接口的特性不在本标准范围内，但在确定自锚长度时，可通过合适的方法使其成为一项考虑因素。

本文件中的方法适用于压力等级或壁厚等级符合 GB/T 13295、GB/T 26081 或 GB/T 43492 的各种自锚接口类型。

注：GB/T 36173给出了各种工作压力下管道自锚接口的具体设计规则。

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。

GB/T 13295 水及燃气用球墨铸铁管、管件和附件（GB/T 13295—2019, ISO 2531:2009, MOD）

GB/T 26081 排水工程用球墨铸铁管、管件和附件（GB/T 26081—2022, ISO 7186:2011, MOD）

GB/T 43492 预制保温球墨铸铁管、管件和附件（GB/T 43492—2023, ISO 9349:2017, MOD）

3 术语和定义

GB/T 13295界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

系统试验压力 system test pressure

管线或管段试验用压力。

3.2

水力推力 thrust force

当管道直径或管线方向发生变化时在管道局部产生的不平衡的静水压力。

3.3

侧向承载力 bearing resistance

因为管线的分离趋势而使得管线挤压土体而产生的一种被动压力。

3.4

摩擦阻力 frictional resistance

管线与工程具体选用的和管线铺设遇到的土之间相互作用产生的阻力。

3.5

被动土压力

在一定深度时，土体可向结构体施加的最大压力。

注：被动土压力受土体的压实度影响。

3.6

自锚长度

为了平衡水力推力（3.2）以防止管线分离所需要的最小锚固长度。

4 符号

下列符号适用于本文件。

A ：管的截面积。

A_b ：支管的截面积。

A_p ：有效作用面积。

A_1 ：渐缩管较大口径处的截面积。

A_2 ：渐缩管较小口径处的截面积。

C ：管土界面粘聚力。

C_s ：土体粘聚力。

DE ：公称外径。

F_f ：单位摩擦阻力。

F_{f1} ：渐缩管较大口径段所受单位摩擦阻力。

F_{f2} ：渐缩管较小口径段所受单位摩擦阻力。

F_s ：单位摩擦力。

$(F_s)_a$ ：弯头的单位摩擦力。

$(F_s)_b$ ：三通、盲端、渐缩管的单位摩擦力。

f_c ：管土界面粘聚力与土体粘聚力之比。

f_ϕ ：管土界面摩擦角与土体内摩擦角之比。

H_c ：被动土压力所处水平面（管的中心线）到地面的平均深度。

K_n ：沟槽修正系数。

L ：自锚长度。

L_b ：支管的自锚长度。

L_r ：主管线上与三通相邻的两个接口之间的总长。

L' ：组合弯头间距的一半。

N_ϕ ：朗肯被动土压力系数。

P ：系统试验压力。

P_p ：被动土压力。

P_1 ：管段1的系统试验压力。

P_2 ：管段2的系统试验压力。

R_s ：单位侧向承载力。

S_f ：安全系数。

T ：水力推力。

- W : 单位法向力。
 W_e : 单位土重。
 W_p : 单位管重。
 W_w : 单位水重。
 γ : 回填土密度。
 δ : 管土界面摩擦角。
 θ : 弯头度数。
 φ : 土体内摩擦角。

5 一般规定

5.1 水力推力可通过设置支墩或设计一定长度自锚接口管道来抵消。

注1: 水力推力产生原理见附录B。

注2: 抵消管线水力推力的重力式支墩设计不包括在本标准中。支墩的设计参见国家标准图集10S505。

注3: 采用支墩或自锚接口管道, 水力推力会传递到周围的土体或支墩中。本文件通过研究并用工时计算得出用于平衡水力推力所需的自锚管数量。

注4: 通过管道自身抵消水力推力的方法是使用自锚接口。自锚接口系统的功能与支墩类似, 能通过自锚管道与土体的摩擦阻力实现平衡水力推力的目的。

5.2 水力推力通过自锚管和周围土体的相互作用力加以抵消或平衡时, 应考虑下列条件:

- 自锚管与土体间的摩擦阻力;
- 沿管件两边方向的侧向回填土对自锚管形成的约束支撑。

注: 与管件形成自锚连接的管道, 相当于增加了管件的臂长。

5.3 当采用自锚接口抵消水力推力时, 应通过第6章和第7章给出的设计公式, 计算出所需的自锚管数量。计算时应考虑以下参数: 管的截面积(见附录C), 产生水力推力的管线方向变化(见6.1), 管的公称外径(见附录C), 覆土深度(见附录D), 管周土体特性和沟槽回填类型(见附录D), 管道外涂层(普通装饰层、环氧和丙烯酸涂料或外覆聚乙烯膜、聚氨酯涂层、预制保温层及其他挤塑涂层, 见7.1.5)。设计计算时, 应考虑制造商关于自锚接口类型的选择建议。

注1: 水力推力作用点的每一侧所需要的自锚长度, 是需要根据每一侧所有管道部件产生的不平衡力之和来计算的。自锚接口系统设计的目的, 是在管件两侧安装自锚管, 使得管件上不平衡力传递到管线周围土体中。

注2: 本文件给出了最常见情况水力推力值的计算方法, 以及通过自锚接口系统来平衡水力推力的设计方法。根据公认的土力学规范, 本标准推荐的设计方法为安全保守的设计方法。

注3: 本文件提供的计算方法是基于有效的假设条件, 在计算过程中, 各种假设都是比较安全、保守的。

6 管道上的作用

6.1 水力推力

6.1.1 一般规定

水力推力应选用系统试验压力计算, 系统试验压力应符合设计要求, 安全系数推荐取1.5。

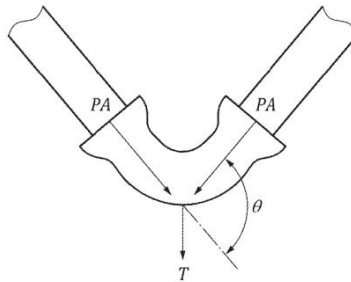
6.1.2 弯头

弯头的水力推力T见图1，应按公式（1）计算：

$$T = 2PA \sin \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- T——水力推力，单位为千牛（kN）；
- P——系统试验压力，单位为千牛每平方米（kN/m²）；
- A——管的截面积，单位为平方米（m²）；
- θ——弯头度数，单位为度（°）



作用在弯头每一侧的轴向力PA是不平衡的。这些力的矢量和用T表示，即为水力推力。为防止接口分离，应提供一个与T相等且方向相反的反作用力。

图 1 弯头水力推力示意图

6.1.3 三通

三通的水力推力T见图2，应按公式（2）计算：

$$T = PA_b \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- A_b——支管的截面积，单位为平方米（m²）；

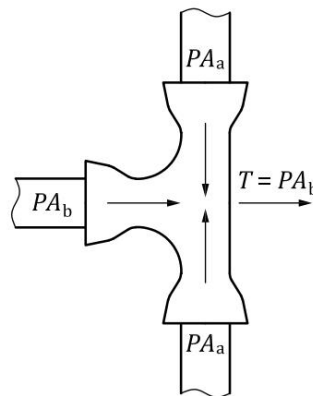


图 2 三通水力推力示意图

6.1.4 渐缩管

渐缩管的水力推力T见图3，应按公式（3）计算：

$$T = P (A_1 - A_2) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A_1 ——渐缩管较大口径处的截面积，单位为平方米（ m^2 ）；

A_2 ——渐缩管较小口径处的截面积，单位为平方米（ m^2 ）；

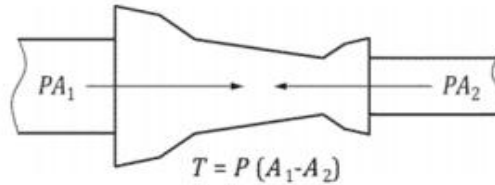


图 3 渐缩管水力推力示意图

6.1.5 盲端

盲端的水力推力T见图4，应按公式（4）计算：

$$T = PA \dots\dots\dots (1)$$

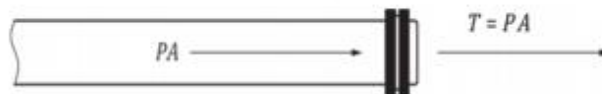


图 4 盲端水力推力示意图

6.1.6 关闭的阀门

关闭的阀门处水力推力T见图5，应按公式（5）计算：

$$T = A (P_1 - P_2) \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P_1 ——管段1的系统试验压力，单位为千牛每平方米（ kN/m^2 ）；

P_2 ——管段2的系统试验压力，单位为千牛每平方米（ kN/m^2 ）。

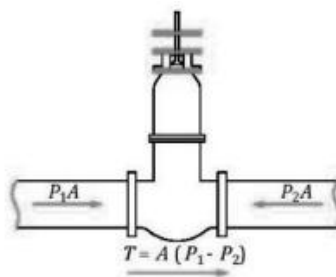


图 5 关闭的阀门水力推力示意图

6.1.7 斜三通

斜三通的水力推力 T 见图6，应按公式（6）计算：

$$T = PA_b \dots\dots\dots (1)$$

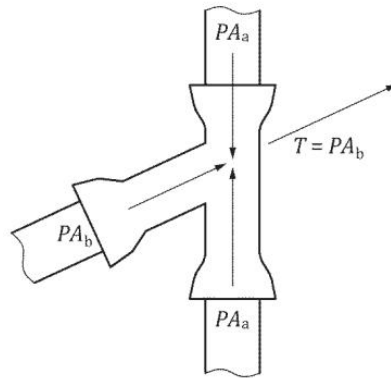


图6 斜三通水力推力示意图

6.2 单位摩擦力

6.2.1 单位摩擦力 F_s 应按公式（7）计算：

$$F_s = A_p C + W \tan \delta \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A_p ——有效作用面积，单位是平方米每米（ m^2/m ）

C ——管土界面粘聚力，单位是千牛每平方米（ kN/m^2 ）；

W ——单位法向力，单位为千牛每米（ kN/m ）；

δ ——管土界面摩擦角，单位为度（ $^\circ$ ）。

注：作用在物体上的静摩擦力与所施加的力的最大值在量级上是相同的，且存在最大值。在传统的分析中，最大静摩擦力与接触面间的荷载是成正比的。这个比例常数，我们称为摩擦系数，它取决于摩擦界面的情形。同时已有的经验也表明，对于管道与土体之间的摩擦力，也与土体的粘聚力有关。

6.2.2 有效作用面积，对于弯头应按公式（8）计算，对于三通、盲端、渐缩管应按公式（9）计算：

$$A_p = \frac{\pi DE}{2} \dots\dots\dots (2)$$

$$A_p = \pi DE \dots\dots\dots (3)$$

式中：

DE ——公称外径，单位为米（ m ）。

注：对于弯头，假设有一半的外表面上有摩擦力，对于三通、盲端、渐缩管，假设整个外表面上都有摩擦力。

6.2.3 管土界面粘聚力应按公式（10）计算：

$$C = f_c C_s \dots\dots\dots (4)$$

式中：

f_c ——管土界面粘聚力与土体粘聚力之比，无量纲；

C_s ——土体粘聚力，单位是千牛每平方米（ kN/m^2 ）（见表1）。

6.2.4 单位法向力应按公式（11）计算：

$$W = 2W_p + W_e + W_w \dots\dots\dots (5)$$

式中：

W_p ——单位管重，单位为单位为千牛每米（ kN/m ）；

W_e ——单位土重，单位为单位为千牛每米（ kN/m ）；

W_w ——单位水重，单位为单位为千牛每米（ kN/m ）；

注：式中的土体荷载 W_e 视为均匀荷载，因为土体荷载同时作用于管的顶部和底部（见图7），所以计算时要加倍。
管与水的单位重量之和（ W_p+W_w ）见附录C。

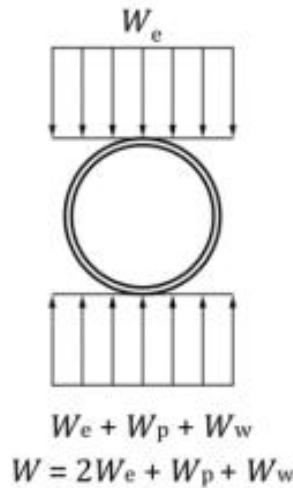


图 7 作用于管身上的单位法向力

6.2.5 管土界面摩擦角应按公式（12）计算：

$$\delta = f_\phi \phi \dots\dots\dots (6)$$

式中：

f_ϕ ——管土界面摩擦角与土体内摩擦角之比，无量纲；

ϕ ——土体内摩擦角，单位为度（ $^\circ$ ）（见表1）。

6.2.6 应根据具体工程的土体情况，获得或保守估算出土体粘聚力 C_s 和土体内摩擦角 ϕ 的值。 f_c 和 f_ϕ 与土体类型和管道材料有关。表 1 列出了七种土体大体分类，以及这些参数的保守取值。

6.2.7 联立公式（7）、公式（8）、公式（11），可知对于弯头的单位摩擦力 $(F_s)_a$ 应按公式（13）计算：

$$(F_s)_a = \frac{\pi DE}{2} C + (2W_p + W_e + W_w) \tan \delta \dots\dots\dots (7)$$

6.2.8 联立公式（7）、公式（9）、公式（11），可知对于三通、盲端、渐缩管的单位摩擦力 $(F_s)_b$ 应按公式（14）计算：

$$(F_s)_b = \pi DE \cdot C + (2W_p + W_e + W_w) \tan \delta \quad (8)$$

6.2.9 一些特殊的安装方式可能导致管子所受的荷载和摩擦力要比公式(13)和公式(14)计算得出的(如图7所示)荷载和摩擦力要小。如果存在这种情况,应在设计中给予考虑。

6.3 侧向承载力和被动土压力

6.3.1 一定土体条件下的被动土压力可由公式(15)计算(朗肯公式):

$$P_p = \gamma H_c N_\phi + 2C_s \sqrt{N_\phi} \quad (1)$$

式中:

P_p ——被动土压力,单位为千牛每平方米(kN/m^2);

γ ——回填土密度,单位为千牛每立方米(kN/m^3) (见表1);

H_c ——阻力所处水平面(管的中心线)到地面的平均深度,单位为米(m);

C_s ——土体粘聚力,单位为千牛每平方米(kN/m^2) (见表1);

N_ϕ ——朗肯被动土压力系数, $=\tan^2(45^\circ + \phi/2)$;

ϕ ——土体内摩擦角,单位为度($^\circ$) (见表1)。

注1:弯头处的单位侧向承载力 R_s 具有有限的最大值,不会超过呈均匀分布的被动土压力 P_p , P_p 通常小于土体能抵抗管子位移的实际能力。通常,被动土压力的定义是:土体结构在不发生剪切破坏的情况下所能承受的最大水平压力。水平地基的承载力来自于土体结构的变形,地基承载力会随着土体变形或随着那些小于被动土压的相关压力增大而增大。

注2:对于密度足够大,使得孔隙比超过临界孔隙比的土体(这种情况通常是指稳定的原状土或者回填压实至80%或更高的压实度),在被动土压力逐渐升高到最大值时,土体本身的位移或变形量相对于滑入式或机械式自锚管系统中弯头允许的位移量来说,是非常小的。

6.3.2 最大(朗肯)被动土压力 P_p ,是通过压实土体的轻微变形而产生的。对于球墨铸铁管的几类典型敷设情况(见图D.2),被动土压力的设计值应乘以一个沟槽系数 K_n ,防止出现过大变形。单位侧向承载力应按公式(16)计算:

$$R_s = K_n P_p DE \quad (2)$$

式中:

R_s ——单位侧向承载力,单位为千牛每米(kN/m);

K_n ——沟槽修正系数(见表1);

P_p ——被动土压力,单位为千牛每平方米(kN/m^2);

DE ——公称外径,单位为米(m) (见附录C)。

6.4 设计参数值

K_n 等设计参数经验值见表1。在本文件中, K_n 的取值,与沟槽的压实度、回填料和原状土有关。沟槽回填类型见附录D。

表 1 土体参数和沟槽系数 K_n 的推荐值

土体类型	土体成分描述 ^a	φ °	f_φ	C_s kN/m ²	f_c	回填土 重度 γ kN/m ³	K_n			
							回填 类型2	回填 类型3	回填 类型4	回填 类型5
粘土1	黏土，塑性中到低级， $w_L^b < 50$ ，粗颗粒 < 25% (CL&CL-ML) ^c	0	0	14.37	0.80 (0.50 ^d)	14.139	0.2	0.4	0.6	0.85
粉土1	黏土，塑性中到低级， $w_L^b < 50$ ，粗颗粒 < 25% (ML&ML-CL) ^c	29	0.75 (0.50 ^d)	0	0	14.139	0.2	0.4	0.6	0.85
粘土2	含有砂或砾石的黏土，塑性中到低级， $w_L^b < 50$ ，粗颗粒 25%-50% (CL) ^c	0	0	14.37	0.80 (0.50 ^d)	14.139	0.4	0.6	0.85	1
粉土2	含有砂或砾石的粉土，塑性中到低级， $w_L^b < 50$ ，粗颗粒 25%-50% (ML) ^c	29	0.75 (0.50 ^d)	0	0	14.139	0.4	0.6	0.85	1
粘粒土	黏性粒状土，粗颗粒 > 50% (GC&SC) ^c	20	0.65 (0.40 ^d)	9.58	0.4	14.139	0.4	0.6	0.85	1
砂土	含有土的砂或砾石，粗颗粒 > 50% (GM&SM) ^c	30	0.75 (0.50 ^d)	0	0	14.139	0.4	0.6	0.85	1
砂或砾石	纯砂或砾石，粗颗粒 > 95% (SW, SP&GW) ^c	36	0.80 (0.75 ^d)	0	0	15.71	0.4	0.6	0.85	1

^a 见 8.2。
^b 液限，见 GB/T 50145-2007。
^c 见 GB/T 50145-2007。
^d 适用于回填类型 2。
注：回填类型1（见附录D）需要对整个管道进行自锚，本表中不包含这种情况。

7 自锚长度计算

7.1 总则

7.1.1 设计时，应确保各段都能抵抗作用在其上的不平衡力分量，同时满足接头的整体平衡。因此，管件每侧的自锚长度宜满足下列条件：

- 为了避免接口拔脱，沿管件一侧的管段方向上，水力推力宜沿管土界面安全的传递到土体中；
- 不平衡的水力推力合力宜通过管土界面的摩擦阻力和被动土压力安全地传递到土体中。

7.1.2 当采用自锚接口抵消水力推力的设计过程中，应根据 5.1.1 选择安全系数。在设计中，特别是当设计者想要组合利用土体粘聚力和被动土压力进行自锚长度计算时（第 5 章），应谨慎选择土体参数。

注：自锚接口系统的主要目的是，在不使管壁过度受力的情况下，将不平衡力传递到周围土体中，确保接口不分离。为了实现不平衡力的传递，需要依赖于管土摩擦力和被动土压力。

7.1.3 针对管线的各种基本水力推力类型及它们的组合，本文件给出了具体的自锚长度计算公式。常

见情况及对应条款的相关信息见表 2。

注：对垂直弯头、三通、渐缩管及盲端等的设计公式（18）至（38），是将许多方面加以假设从而推导出来的，与推导水平弯头公式（17）时使用的设计公式类似。本标准不包括对所有管件和推力结构的详细推导分析。

表 2 管线变化常见情况及对应条款

种类	具体类型	条款
基本类型	水平弯头	7.2
	竖直向下弯头	7.3
	竖直向上弯头	7.4
	三通	7.5
	渐缩管	7.6
	盲端	7.7
基本类型的常见组合	等角度竖直偏移 (θ)	7.8.2
	等角度水平弯头组合 (θ)	7.8.3
	非等角水平组合弯头	7.8.4
	障碍物下方穿越时的等角度竖直偏移 (θ) 组合	7.8.5
	障碍物上方穿越时的等角度竖直偏移 (θ) 组合	7.8.6

7.1.4 当工程设计或业主有要求时，公式中的所有参数应根据具体现场情况进行确认。

7.1.5 当球墨铸铁管使用聚乙烯套、聚氨酯涂层、预制保温层及其他挤塑有机涂层时，摩擦阻力 F_f 宜为单位摩擦力 F_s 乘以系数 0.7。

7.2 水平弯头

水平弯头受力情况见图8。水平弯头单侧的自锚长度 L 应公式（17）计算：

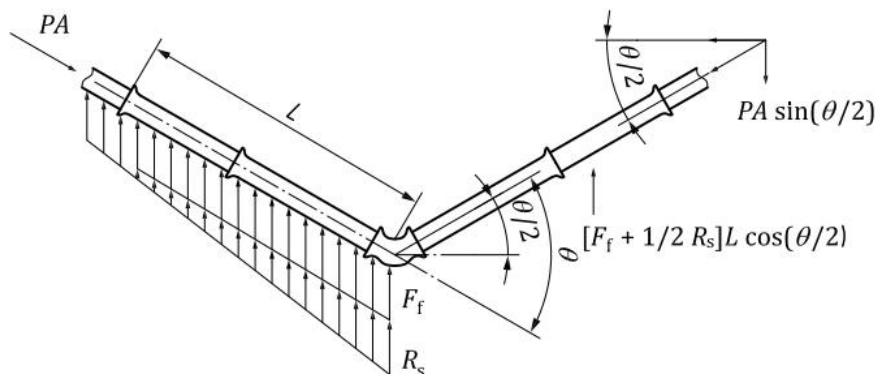
$$L = \frac{S_f P A \tan \frac{\theta}{2}}{F_f + \frac{1}{2} R_s} \dots \dots \dots (1)$$

式中：

F_f ——单位摩擦阻力，单位为千牛每米（kN/m）；

S_f ——安全系数（通常取1.5）；

θ ——弯头角度，单位为度（°）。



注1：单位摩擦阻力为单位面积上均匀分布的力，用 F_f 表示。则弯头每侧的摩擦阻力的合力为 $F_f L \cos(\theta/2)$ 。

注2：最大单位土体侧向承载力 R_s 位于弯头处。它是一个分散分布的力，在 L 上（从弯头向两侧）线性递减至0。这一

假设是基于土体侧向承载力（被动土压力）是跟土的变形量或位移成正比。当自锚接口承受载荷时，最大位移发生在弯头处。在弯头每一侧，土体侧向承载力的合力可认定为 $1/2R_sL\cos(\theta/2)$ 。

注3：对于标准终饰层、环氧树脂或丙烯酸涂层球墨铸铁管， $F_f = (F_s)_a$ ；对于外覆聚乙烯膜、聚氨酯涂层、预制保温层及其他挤塑涂层管， $F_f = 0.7(F_s)_a$ 。

注4：弯头的受力平衡见公式（18），乘以安全系数后，推导出了L的计算公式（17）。

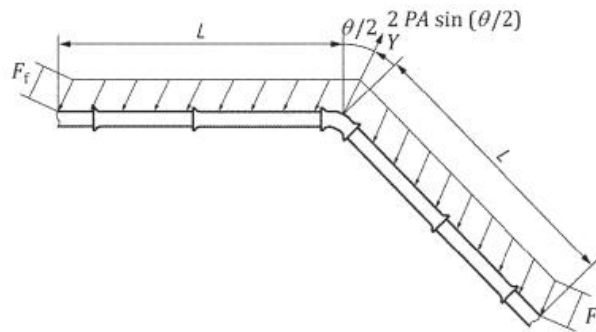
$$PA \sin \frac{\theta}{2} = F_f L \cos \frac{\theta}{2} + \frac{1}{2} R_s L \cos \frac{\theta}{2} \dots\dots\dots (2)$$

图 8 水平弯头（或竖直向上弯头）受力示意图

7.3 竖直向下弯头

水平弯头受力情况见图8。水平弯头单侧的自锚长度L应公式（19）计算：

$$L = \frac{S_f P A \tan \frac{\theta}{2}}{F_f} \dots\dots\dots (1)$$



注1：保守起见，与水力推力方向相反的重力，如土重、管重和水重被忽略不计；然而在计算单位摩擦力 F_f 时，这三者需要加以考虑。

注2：对于标准终饰层、环氧树脂或丙烯酸涂层球墨铸铁管， $F_f = (F_s)_a$ ；对于外覆聚乙烯膜、聚氨酯涂层、预制保温层及其他挤塑涂层管， $F_f = 0.7(F_s)_a$ 。

注3：使Y方向上合力为零， $\sum F_y = 0$ ，弯头的受力平衡见公式（20），乘以安全系数后，推导出了L的计算公式（19）。

$$2PA \sin \frac{\theta}{2} - 2F_f L \cos \frac{\theta}{2} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

图 9 竖直向下弯头受力示意图

7.4 竖直向上弯头

7.4.1 竖直向上弯头受力情况和水平弯头类似，见图 8。竖直向上弯头单侧的自锚长度 L 应公式（21）计算：

$$L = \frac{S_f P A \tan \frac{\theta}{2}}{F_f + \frac{1}{2} R_s} \dots\dots\dots (1)$$

7.4.2 在这种情况下，弯头系统将有沿水力推力方向移动的倾向并会抵住沟槽底部。选取沟槽系数 K_n 时应假设管下方沟槽底部上有相应的承口工作坑。但由于沟底基础通常不会被扰动，多数情况下沟槽系数 K_n 可按照回填类型 4 或回填类型 5 来选取。

7.5 三通

7.5.1 三通受力情况见图 10。支管的自锚长度 L_b 应公式 (22) 计算：

$$L_b = \frac{S_f P A_b - \frac{1}{2} R_s L_r}{F_f} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

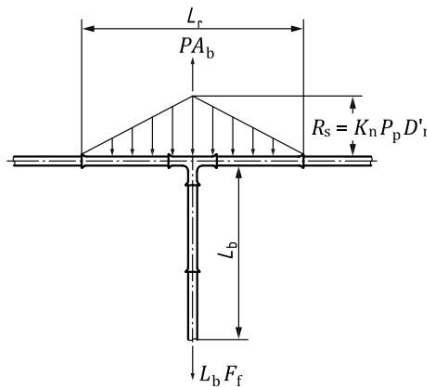
R_s ——等于 $K_n P_n D_r'$ ；

A_b ——支管的截面积，单位为平方米 (m^2)；

L_b ——支管的自锚长度，单位为米 (m)；

L_r ——主管线上与三通相邻的两个接口之间的总长，单位为米 (m)；

D_r' ——主管线的公称外径，单位为米 (m)。



注1：对于标准终饰层、环氧树脂或丙烯酸涂层球墨铸铁管， $F_f = (F_s)_b$ ；对于外覆聚乙烯膜、聚氨酯涂层、预制保温层及其他挤塑涂层管， $F_f = 0.7 (F_s)_b$ 。 $(F_s)_b$ 的计算见6.2.8。

注2：三通的受力平衡见公式 (23)，乘以安全系数后，推导出了L的计算公式 (22)。

$$P A_b = L_b F_f + \frac{1}{2} R_s L_r \dots\dots\dots (2)$$

图 10 三通受力示意图

7.6 渐缩管

渐缩管受力情况见图11。支管的自锚长度 L_1 应公式 (24) 计算：

$$L_1 = \frac{S_f P (A_1 - A_2)}{F_{f1}} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

A_1 ——渐缩管较大口径处的截面积；

A_2 ——渐缩管较小口径处的截面积；

F_{f1} ——渐缩管较大口径段所受单位摩擦阻力。

注：如果 L_2 小于两支管的长度，且渐缩管小口径一端的直管段长度超过了 L_2 ，那么就不需要使用自锚接口。 L_2 的计算见公式 (25)

$$L_2 = \frac{S_f P (A_1 - A_2)}{F_{f2}} \dots\dots\dots (2)$$

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/268054071001007005>