

# 高强度稀土灰铸铁管

北京科技大学 熊仲明 宋维锡

河北机电学院 谭宗勤 李小平

邯郸市铸造厂 刘社龙 赵宝林

**摘要** 用FeSiRE处理的连续灰铸铁管, 管体抗拉强度提高22~55N/mm<sup>2</sup>, 减薄管壁厚度12%以后, 管体的平均抗拉强度达200N/mm<sup>2</sup>, 超过国家标准达到国际标准, 经计算和实际应用表明: 薄壁管与普通灰铸铁管具有相同的承载能力和安全度。

## 一、前言

灰铸铁管应用于给排水工程已有200多年的历史。目前我国城镇输配水工程中仍占主要地位。此外, 它还用于污水管道和煤气管道。

近年来, 我国每年约生产100多万吨铸铁管, 其中90%以上是灰铸铁管。由于管体强度较低, 在运输安装过程中的损坏率达5—10%, 已敷设的管线事故也不少。因此, 研究如何提高灰铸铁管强度具有重要意义。

我国的稀土资源丰富, 居世界第一。试验表明, 稀土具有提高铸铁性能的作用。

“七五”期间, 我们研制了稀土连续灰铸铁管, 用FeSiRE合金处理, 加入量为0.15~0.30%时, 灰铸铁管的管体抗拉强度可提高22~55N/mm<sup>2</sup>, 管环抗弯强度可提高15~54N/mm<sup>2</sup>, 管体共晶团数每厘米可提高448~3223个。

在邯郸市铸造厂对稀土灰铸铁管管壁厚度减薄的试验结果是:

1. 管壁减薄12%以后, 管体的平均抗拉强度达到200N/mm<sup>2</sup>, 管环平均抗弯强度达到386N/mm<sup>2</sup>, 已超过国家标准规定的指标, 达到了国际标准(管体抗拉强度200N/mm<sup>2</sup>)。

2. 用上述减薄的管体强度计算管子的承载能力。稀土薄壁管与普通灰铁管具有相

同的承载能力和安全度。

3. 管壁厚度减薄12%以后, 相应地节约生铁12%, 扣除合金的消耗, 每吨管可节约44.05元。同时, 还可减少运输和安装过程中的破损, 经济效益和社会效益相当可观。

减薄的稀土管现已在邯郸市铸造厂投入批量生产。

## 二、稀土铸铁管的性能

1. 稀土灰铸铁管的管体强度、硬度

(1) FeSiRE加入量对管体抗拉强度的影响见图1。随着FeSiRE加入量的增加, 管体的抗拉强度先增加而后下降, 加入量为0.20~0.30%时, 强度最高。因此, 将此量定为合适的FeSiRE加入量。

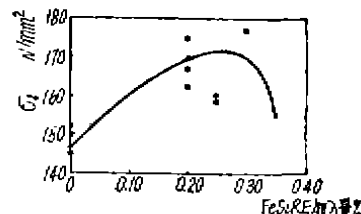


图1 FeSiRE加入量对管体抗拉强度的影响

(2) 管壁厚度减薄12%的稀土管的强度和硬度值如表1所示, 其管体抗拉强度为200N/mm<sup>2</sup>管环抗弯强度为386N/mm<sup>2</sup>, 比普通灰铸铁管分别提高33N/mm<sup>2</sup>和10N/mm<sup>2</sup>, 既超过了普通灰铁管的国家标准, 也超过了砂型离心灰铸铁管的国际标准(180N/mm<sup>2</sup>), 达到了金属型离心灰铸铁管的

表 1

类 别	壁厚 mm	FeSiRE 加入量 %	布氏硬度 N/mm <sup>2</sup> (kg/cm <sup>2</sup> )		布氏硬度 HR
			抗拉强度	抗压强度	
国家标准	13.8*	0	137 (1400)	274 (2800)	≤210△
普通灰铸铁	13.3	0	167 (1700)	376 (3840)	182□
减薄改厚 12%的稀土 管	11.3	0.23~ 0.30	200 (2041)	386 (3939)	178□

注: \* 标准厚度选用A级 ▲表面 □中心

国际标准 (200N/mm<sup>2</sup>)。

稀土灰铸铁管的布氏硬度较普通灰铸铁管稍有降低,但能达到国家标准和国际标准的要求(国际标准规定管壁中心部位的布氏硬度不大于215)。

## 2. 稀土灰铸铁的铸造性能

(1) 稀土灰铸铁的流动性比普通灰铸铁好。当CE=4.4~4.7%,浇注温度为1290~1300℃,FeSiRE加入量为0.20~0.50%时,稀土灰铸铁的平均流动性为633mm,而普通灰铸铁为554mm,流动性增加79mm(14.0%)。

(2) 稀土灰铸铁的体收缩率比普通灰铸铁大。当CE=4.4~4.7%,浇注温度为1290~1310℃,FeSiRE加入量为0.20~0.50%时,稀土灰铸铁的平均体收缩率为3.08%,普通灰铸铁为2.22%,体收缩率增加0.86%。这意味着稀土灰铸铁比普通灰铸铁要致密。

生产实践证明,稀土灰铸铁有较好的综合铸造性能,是一种连续铸铁管的新材质。

## 三、稀土灰铸铁管壁厚减薄的理论依据和实际效果

### 1. 铸铁管的强度

为防止铸铁管在运输、施工及使用时发生破裂,要求铸铁管有一定的强度,即管体的抗拉强度 $\sigma_t$ 和抗弯强度 $[\sigma_{wt}]$ 。设计部门要求铸铁管在使用时,既能承受管内水压力,又能承受复土和地面车辆荷载等外压力,用这种综合荷载作用来对管线进行强度验算。

目前在内水压和外荷载组合作用下的管壁强度国内外一般都沿用施里克(W·J·SCHLICK)公式

$$[\sigma_{wt}] = [R_{wt}] \sqrt{1 - \frac{\sigma_t}{[R_t]}} \quad (1)$$

式中  $[\sigma_{wt}]$ ——在组合荷载作用下,铸铁管的容许弯曲抗拉强度;  
 $[R_{wt}]$ ——铸铁管的极限弯曲抗拉强度;

$\sigma_t$ ——在设计内水压力作用下,管壁截面上的抗拉应力;

$[R_t]$ ——铸铁管的极限抗拉强度。

由公式(1)中,外荷载和内水压之间呈抛物线关系如图2所示。可以看出,提高管体抗拉强度 $[R_t]$ 和抗弯强度 $[R_{wt}]$ ,都可以使抛物线所包围的面积增加,即增大管子的承

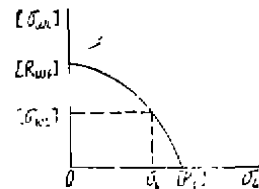


图 2

载能力。图3是普通灰铸铁管和稀土灰铸铁管的外荷载与内水压力的关系。稀土灰铸铁管的管体抗拉强度和抗弯强度都高于普通灰铸铁管,因而抛物线所包围的面积,前者比后者大。根据公式(1)计算结果为:

管 种	抛物线包围的面积
普通灰铸铁管(曲线1)	35619mm <sup>2</sup>
稀土灰铸铁管(曲线2) 冲入法	42613mm <sup>2</sup>
稀土灰铸铁管(曲线3) 喷吹法	47587mm <sup>2</sup>

稀土灰铸铁管的抛物线所包围的面积比普通灰铁管大13.3%(冲入法)或33.6%(喷吹法)。实验结果也表明,稀土灰铸铁管的承载能力比普通灰铸管要大,因此在同样的承载条件下,稀土灰铸铁管管壁可以减薄。

《给水排水工程结构设计规范》GBJ69—84

### 2. 稀土灰铸铁管的壁厚计算

铸铁管在荷载组合中的外压作用下,管

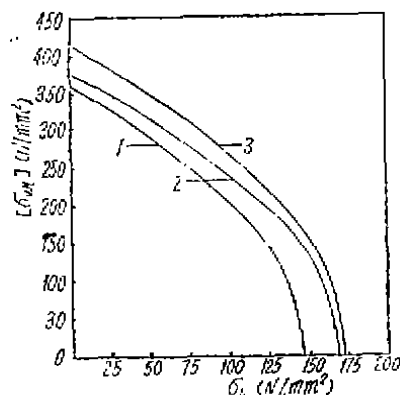


图3 外载荷与内水压的关系(Φ400连续铸管) 曲线1—FeSiRE=0.2~0.13~0.0% 吹氩; 2—FeSiRE=0.2~0.13~0.0% 吹氩; 3—FeSiRE=0.2~0.13~0.0% 吹氩

壁截面上的最大弯曲应力计算公式为:

$$\sigma_{w1} = \frac{6M_{w1}}{bt^2} \leq [\sigma_{w1}] \quad (2)$$

$$M_{w1} = k_{11} P_v + k_{12} p_A D_1 r_c \quad (3)$$

式中  $b$ ——计算宽度 (cm);

$t$ ——计算壁厚 (cm);

$k_{11}$ ——竖向压力作用下最大弯矩系数、在90°土弧基础条件下为0.178 (管底);

$p_v$ ——竖向压力 (kg/cm²);

$k_{12}$ ——水平向侧压力作用下最大弯矩系数为-0.125 (管两侧);

$p_A$ ——水平侧向压力 (kg/cm²), 一般取竖向压力的35%;

$D_1$ ——管外径 (cm);

$r_c$ ——铸铁管的计算半径 (cm)。

又铸铁管在组合荷载作用下的容许弯曲受拉强度 $[\sigma_{w1}]$ 的基本计算公式为:

$$[\sigma_{w1}] = \frac{[R_{w1}]}{K} \sqrt{1 - k \frac{\sigma_t}{R_t}} \quad (4)$$

$$\sigma_t = \frac{p_i r_c}{t} \quad (5)$$

式中  $p_i$ ——设计的内水压力 kg/cm²;

$K$ ——设计安全系数, 取2.3;

当管道公称直径为40cm ( $r^0 = 20.6$ cm), 管顶覆土为300cm, 设计内水压力为7.5kg/cm², 采用90°土弧基础时, 代入公式(2), (4), 经整理后可得壁厚计算式如下:

$$t^3 - (355.35/[R_{w1}])t^2 - (858.0580163/[ \sigma_{w1} ]^2) = 0 \quad (6)$$

应用牛具迭代法求近似根, 用计算机求解, 然后将各相关的管体抗拉强度 $[R_{w1}]$ 和管环抗弯强度 $[\sigma_{w1}]$ 代入, 即得各相应的管壁厚度如表2所列。

表2

管 型	FeSiRE 加入量 %	管体强度N/mm² (kg/cm²)		计算 壁厚 (mm)	计算壁 厚为标 准壁厚 约%
		抗拉强度	抗弯强度 ( $\sigma_{w1}$ )		
HT150-82	0	137 (1400)	274 (2800)	6.20	48.7
HT150-82	0	148 (1510)	361 (3680)	5.54	40.1
HT150-82	0.20~ (吹氩)	150 (1735)	376 (3810)	5.34	38.7
HT150-82	0.15~ (吹氩)	172 (1760)	415 (1230)	5.11	37.0
HT150-82	0	167 (1790)	294 (3090)	5.96	43.2

标准壁厚13.8mm

表2中各类管的计算壁厚还不到标准壁厚(13.8mm)的一半, 说明在内压力和外覆土的组合作用下, 是安全可靠的。

由于稀土煤铸铁管的管体强度提高, 用稀土灰铸铁管管体强度计算出的管壁厚度仅为标准壁厚的37.0~39.0%, 而普通灰铸铁管的计算壁厚为标准壁厚的40.1~43.2%。实验结果也证明了减薄稀土灰铸铁管管壁厚是可行的。

### 3. 稀土灰铸铁管壁厚减薄计算

对公称直径为400mm的连续灰铸铁管的壁厚减薄4.6%和12%后, 通过管环试验, 也证明薄壁管的管体承载能力不但没有降低, 反而有所增加。按公式计算的结果如表3所列。

图4为壁厚减薄4.6%和12%的稀土灰

表 3

管 种	内水压强度 $\sigma_{\text{内}}/\text{N/mm}^2$	外载荷强度 $\sigma_{\text{外}}/\text{N/mm}^2$	$\sigma_{\text{内}}/\text{N/mm}^2$
普通灰铁管 (曲线 1)	107	291	12722
壁厚减薄 4.6% 的稀土管 (曲线 2)	125	312	38180
壁厚减薄 12% 的稀土管 (曲线 3)	200	386	51117

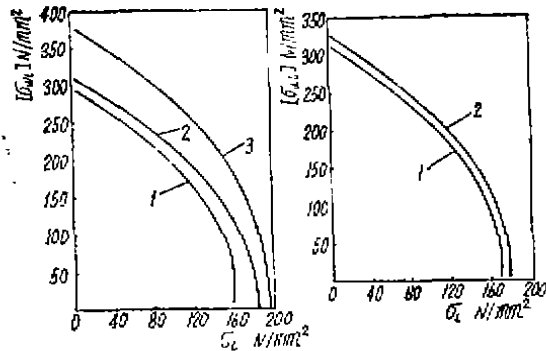


图 4 外载荷与内水压的关系曲线

- 1—FeSiRE=0  
未减薄管  
2—FeSiRE=0.23~0.28%, 减薄 4.6%  
3—FeSiRE=0.25~0.30%, 减薄 12%

图 5 外载荷与内水压的关系曲线

- 1—FeSiRE=0.23%, 冲入法  
2—FeSiRE=0.23%, 喷吹法

铁管, 在外载荷和内水压的作用下其抛物线所包围的面积分别比普通灰铁管大 14.9% 和 36.4%。实验结果也表明, 管壁厚度减薄后的稀土灰铸铁管的承载能力比普通灰铁管要大, 因此, 在同样的荷载作用下, 薄壁稀土灰铸铁管的安全度较高。

图 5 为 FeSiRE 不同的加入方法, 对壁厚减薄 4.6% 的稀土管的影响。图中用喷吹法处理的管体强度高于冲入法, 因而前者的承载能力比后者大, 说明喷吹法处理优于冲入法。

将减薄后的管体强度代入公式 (6), 其

表 4

管 种	FeSiRE 加入量 %	抗拉强度 $\sigma_{\text{拉}}/\text{N/mm}^2$ ( $\text{kg/cm}^2$ )		抗弯强度 $\sigma_{\text{弯}}/\text{N/mm}^2$ ( $\text{kg/cm}^2$ )		计算壁厚为实际壁厚的 %
		实际	计算	实际	计算	
普通灰铁管	0	137 (1430)	274 (2800)	13.8*	6.30	45.7
壁厚减薄 4.6% 的稀土管	0	167 (1700)	376 (3840)	13.3	5.96	44.8
壁厚减薄 12% 的稀土管	0.23~0.28	185 (1890)	312 (3180)	12.4	5.74	45.6
	0.25~0.30	200 (2041)	386 (3919)	11.3	5.17	43.8

\* 计算壁厚采用 A 级 13.8mm

计算壁厚见表 4。

表 4 中各类管的计算壁厚还不到实际壁厚的一半, 其中薄壁稀土管与普通灰铁管的计算与实际壁厚的百分比很接近, 这也说明减薄稀土管在使用中将是安全可靠的。

## 六、结论

经用 0.15~0.30% FeSiRE 合金处理的冲天炉铁水, 浇注公称直径为 400mm 的连续铸管, 得到如下的结果:

1. 稀土灰铸铁管的管体抗拉强度可提高 22~55N/mm<sup>2</sup>, 管体抗弯强度可提高 15~54N/mm<sup>2</sup>。

2. 管壁减薄 12% 以后, 管体抗拉强度达到 200N/mm<sup>2</sup>, 管体抗弯强度达到 386N/mm<sup>2</sup>, 已经超过了国家标准, 达到了国际标准。

3. 用减薄的管体强度, 计算管体在使用时的承载能力, 结果表明: 薄壁稀土管与普通管具有相同的承载能力和安全度。

4. 关于 FeSiRE 加入的方法, 实验证明, 喷吹法优于冲入法。

5. 稀土灰铁的流动性比普通灰铁好, 体收缩率比普通灰铁大。