

球 墨 铸 铁 管

山东省职工技术协作委员会 王振宇 编著

冶 金 工 业 出 版 社

前 言

球墨铸铁管壁薄、强度高，韧性好，节约金属材料，便于运输和安装，减少了管道维修费用，所以在工业发达的国家里，已将其广泛应用于给水和煤气输送管线中。而我国目前使用的主要是采用较落后的连续铸管法生产的灰口铸铁管，这种管子壁厚、强度低，没有韧性，在施工和使用过程中由于管体破裂给国家造成的损失是巨大的。现在我国正处于一个以球墨铸铁管代替灰口铸铁管的更新换代的新时期。为了促进我国球墨铸铁管技术的开发和知识的普及，笔者将工作中积累的资料编成此书，以供铸造工程技术人员和工人，大专院校有关专业师生，科研、设计以及有关决策部门参考。书中较广泛地介绍了国外的球墨铸铁管生产技术及其发展概况；较为详尽地介绍了球墨铸铁管生产的工艺过程；论述了有关球墨铸铁管生产的理论；介绍了国内外关于球墨铸铁管的新的研究成果以及一些试验研究方法，并对球墨铸铁管生产的关键设备——离心铸管机和退火炉作了重点阐述。

在编写过程中，得到哈尔滨工业大学林柏年、陈洪升教授提供的许多宝贵资料；在铁水炉外脱硫等方面得到东北工学院李永镇教授的指教；全书由东北工学院官克强教授审阅并提出宝贵意见。在本书出版过程中，得到山东省总工会领导和济南市、淄博市、潍坊市、莱阳市、滕州市、济南铁路局、青岛汽轮机厂、国家机械委员会济南铸造锻压机械研究所等职工技协组织的大力支持，在此一并致谢。

由于笔者水平有限，书中难免有不妥或失误之处，欢迎读者批评指正。

王振宇

一九八九年五月

目 录

第一章 概 论	1
§ 1-1 关于球墨铸铁管需求情况的调查	2
一、灰口铸铁管破裂损坏情况及原因	2
二、球墨铸铁管与灰口铸铁管的比较	4
§ 1-2 球墨铸铁管的规格	7
一、耐压管线的球墨铸铁直管国际标准	7
二、灰口铸铁管国家标准	10
三、球墨铸铁管规格的制定	19
四、铸铁管的柔性接口	20
§ 1-3 国内铸铁管的生产概况	26
第二章 铸管生产技术和国外球墨铸铁管生产概况	29
§ 2-1 铸管生产技术的发展	29
一、重力砂型铸管法	29
二、离心铸管法	30
三、连续铸管法	36
§ 2-2 国外的球墨铸铁管生产概况	38
一、日本、美国的球墨铸铁管生产	39
二、欧洲的球墨铸铁管生产	45
第三章 球墨铸铁管的生产工艺	52
§ 3-1 鞍钢砂型离心球墨铸铁管生产工艺	52
一、冲天炉熔化	52
二、铁水处理	52
三、离心铸造	54
§ 3-2 日本的球墨铸铁管生产工艺	55
一、久保田的生产工艺	55
二、日本铸铁管株式会社的生产工艺	56
§ 3-3 美国的球墨铸铁管生产工艺	64

一、熔炼	64
二、离心铸管工艺	64
三、热处理	67
四、承口砂芯	67
五、水压试验及水泥涂衬	68
六、质量控制	68
§ 3-4 法国木松桥公司的球墨铸铁管工艺	69
一、铁水预处理	69
二、离心浇注	70
三、热处理	70
四、精整	70
五、水泥涂衬与喷涂沥青	72
§ 3-5 西德的球墨铸铁管生产工艺	74
一、韦茨勒厂的球墨铸铁管生产工艺	74
二、沙尔克厂和路易脱普尔特厂的生产工艺	80
§ 3-6 英国大口径球墨铸铁管生产工艺	88
一、铁水处理	88
二、离心浇注	89
三、热处理与精整	89
§ 3-7 适合于我国的球墨铸铁管生产工艺的探讨	90
一、球墨铸铁离心铸管工艺流程图	90
二、工艺流程说明	90
第四章 球化和孕育理论	96
§ 4-1 状态图	98
一、铁碳合金状态图	98
二、铁碳硅三元合金状态图	98
三、球化元素对状态图的影响	100
§ 4-2 球状石墨的析出温度	102
§ 4-3 球状石墨的形核	104
一、石墨的晶格结构	104
二、球状石墨的晶核	105
§ 4-4 球状石墨的生长	111

一、石墨按球状生长的结晶学条件	111
二、球化元素对球状石墨生长的影响	114
三、球状石墨的生长机制	118
四、球状石墨生长过程的三个阶段	121
§ 4-5 球墨铸铁的孕育理论	125
一、孕育处理的实质	125
二、孕育衰退	126
三、孕育对球化的影响	128
第五章 球墨铸铁管用铁水的制备	130
§ 5-1 生产球墨铸铁管用铁水的基本要求	130
一、选择化学成分的一般原则	130
二、国外球墨铸铁管铁水成分	134
三、铁水成分的调整方法	135
§ 5-2 高炉冶炼对铁水成分的控制	136
§ 5-3 炉外脱硫	140
一、炉外脱硫原理	140
二、炉外脱硫工艺	142
§ 5-4 球墨铸铁中的微量元素	152
§ 5-5 冲天炉熔化铸铁	155
一、冲天炉的基本结构	155
二、酸性冲天炉熔化	158
三、碱性冲天炉熔化	160
§ 5-6 感应电炉	161
一、感应炉发展概况	161
二、感应炉的分类和特点	163
三、无芯工频感应炉	164
四、有芯工频感应熔炼炉	168
五、工频炉的容量选择	169
§ 5-7 高炉—工频炉双联工艺	171
一、铁水质量	172
二、能源消耗	172
三、成本比较	172

§ 5-8 球化处理	173
一、球化元素	173
二、球化剂	180
三、球化处理工艺	185
§ 5-9 孕育处理	192
一、孕育剂	192
二、孕育处理工艺	194
第六章 离心铸造理论与离心铸管机	197
§ 6-1 离心铸造的基本理论	197
一、离心铸造原理	197
二、液体金属自由表面的形状	199
三、液体金属中异相质点的径向移动	201
四、离心铸件的凝固特点	203
§ 6-2 离心铸管质量	210
一、有效重度对铸管质量的影响	210
二、离心铸管的优越性	211
§ 6-3 铸型转速的选择	212
一、保证液体金属成型的铸型转速	212
二、保证铸件致密度的铸型转速	213
§ 6-4 离心铸管机	217
一、水冷金属型离心铸管机的结构类型及冷却方式	217
二、水冷金属型离心铸管机的设计	222
三、金属铸型	227
四、承口砂芯	230
§ 6-5 离心铸管的缺陷	231
一、离心浇注工序	231
二、金属型离心铸铁管的缺陷及其形成机理	234
第七章 球墨铸铁管的热处理及金相检验	242
§ 7-1 球墨铸铁的热处理特点	242
一、共析转变	242
二、化学成分对临界点的影响	243
三、奥氏体含碳量的变化	246

四、渗碳体的分解	247
五、碳的扩散的影响	247
六、化学成分微观偏析	247
§ 7-2 球墨铸铁在连续加热时的组织转变	247
一、在 A_{c1}^s 点以下加热	248
二、在共析转变温度范围 ($A_{c1}^s \sim A_{c1}^z$) 内加热	251
三、在 $A_{c1}^z \sim A_c$, 点范围内加热	254
四、在 A_c , 点以上加热	258
§ 7-3 球墨铸铁在连续冷却时的组织转变	258
一、在 A_r , 点以上冷却	258
二、在 $A_{r1} \sim A_r^s$, 点范围内冷却	259
三、球墨铸铁在 $A_{r1}^s \sim A_r^z$, 范围内冷却时的组织转变	261
四、在 A_r^z , 点以下冷却时的组织转变	264
五、临界点的测定	264
§ 7-4 球墨铸铁管的退火工艺	265
一、高温退火	265
二、球铁管铸态组织与高温石墨化退火时间的关系	269
三、低温退火	276
四、球墨铸铁管的退火工艺	278
五、对球墨铸铁管退火工艺的研究	279
§ 7-5 球墨铸铁管的金相检验	297
一、球墨铸铁金相试样的选取及制备方法	297
二、球墨铸铁中石墨的检验	300
三、球墨铸铁金属基体组织的检验	307
四、球墨铸铁的牌号	326
第八章 球墨铸铁管退火炉	328
§ 8-1 国内外球墨铸铁管退火炉概况	328
一、卧式铸管退火炉	328
二、立式铸管退火炉	329
三、步进式炉	330
四、带旋转托辊的台车式炉	330
§ 8-2 退火炉的燃料	333

一、重油	333
二、气体燃料	333
三、发生炉煤气	335
四、退火炉燃料的选择	337
§ 8-3 退火炉设计	339
一、主要技术条件	339
二、退火炉设计	342
三、主要技术措施	342
四、主要技术参数	343
§ 8-4 投资估算及主要技术经济指标	344
一、炉子投资估价	344
二、热处理成本估价	344
三、主要技术经济指标	344
第九章 涂料金属型球墨铸铁管生产	346
§ 9-1 国外涂料金属型球墨铸铁管的生产及研究	346
一、东德的热模球墨铸铁管生产	347
二、日本对铸态球墨铸铁管的研究	347
三、捷克斯洛伐克的无热处理球墨铸铁管生产	353
§ 9-2 用金属型铸造球墨铸铁异型管	354
一、球化剂种类及加入量的影响	355
二、浇注温度及金属型温度的影响	357
三、铁水化学成分的影响	358
§ 9-3 金属型用涂料性能的研究	360
一、对金属型离心铸管用涂料性能的要求	360
二、涂料性能的测试	361
三、涂料的配制及其效果分析	363
第十章 球墨铸铁离心铸管车间设计	367
§ 10-1 生产纲领	367
一、车间工作制度及年时基数	367
二、离心铸管机生产率的确定	367
三、生产纲领的计算	368
§ 10-2 车间平面布置	368

一、L形布置	369
二、长方形方案	373
§ 10-3 工艺计算与设备选型	373
一、铁水处理工部	373
二、离心浇注工部	383
三、退火工部	386
四、铸管表面处理工部	387
五、检验工部	390
六、运输工部	393
七、工艺设备表	393
§ 10-4 生产组织与劳动定员	393
§ 10-5 投资和产品成本估算	400
一、投资估算	400
二、产品成本估算	401
三、简单收益率	401
§ 10-6 车间主要技术经济指标	402
参考文献	403
附：常用单位及换算	405

第一章 概 论

我国是铸铁管生产较早的国家之一。在1953年修复南京市武庙闸渠管道时发现朱洪武称帝(1368~1399年)时埋设的铸铁管,至今已有600年左右的历史了^[1]。解放后我国大量生产铸铁管也有30多年了,但是到目前为止,几乎都是用连续铸管法生产的普通灰口铸铁管,与国外生产的球墨铸铁管相比,是大大地落后了。

球墨铸铁是50年代发展起来的新型金属材料。是以镁或稀土镁合金等球化剂在浇注前加入铁水中,使石墨球化,同时加入一定量的硅铁或硅钙合金等作孕育剂,以促进石墨析出球化。石墨呈球状时,对铸铁基体的破坏程度减轻,应力集中大大降低。因此,球墨铸铁管具有较高的强度和延伸率。而普通灰口铸铁中石

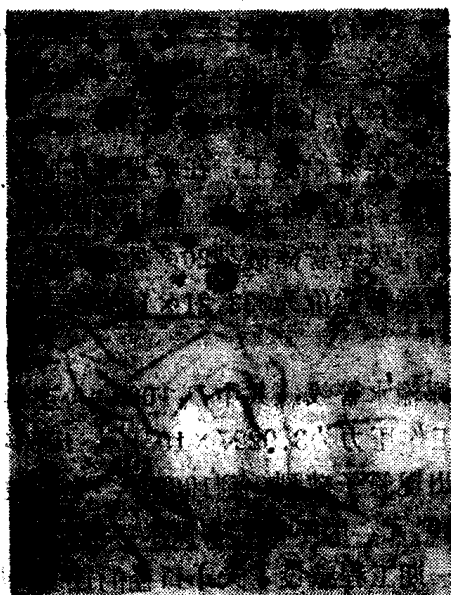


图 1-1 球墨铸铁(上)和灰口铸铁(下)组织的差异
(放大倍率相同)

墨呈片状析出，它对铸铁基体的“割裂”作用比球墨大得多，片状石墨与基体组织之间极易造成应力集中，所以片状石墨铸铁的机械性能远低于球墨铸铁。球墨铸铁和灰口铸铁的显微照片见图1-1。

§ 1-1 关于球墨铸铁管需求情况的调查

一、灰口铸铁管破裂损坏情况及原因

1. 灰口铸铁管破裂损坏情况

由于灰口铸铁管抗拉强度低 ($1.3729 \times 10^8 \text{Pa}$)，性脆，所以在施工和使用过程中，适应不了高压、震动、冲击和管身不均匀沉降等恶劣环境的使用要求，管体破裂损坏较为突出，严重地影响了工程速度和使用安全，给国家造成了巨大的损失。通过下面几例，即可略见一斑。

1) 某厂 $D_g 600\text{mm}$ 管线，长 7.5km ，采用连续灰口铸铁管。1972年施工，在运输、装卸、敷设、试通水过程中，先后破裂损坏了100多根管子，没有达到交工要求。最后全线报废，另换质量较好的离心铸管。这一工程损失约 150×10^4 元。

2) 某市水源三厂 $D_g 1200\text{mm}$ 输水干线，长 5.8km ，采用连续灰口铸铁管。1975年开始施工，在敷设试压时，发现承口破裂35处，管身破裂2处。1977年试水，水压为 $2.942 \times 10^5 \text{Pa}$ 时，多处漏水，挖开检查，发现管体破裂20多处。为保证供水，改换成钢管。这条管线铸铁管造价为 333.21×10^4 元，改用钢管又耗投资 530×10^4 元。

3) 某厂水源输水管线，其中 $D_g 1000\text{mm}$ 连续灰口铸铁管约 2km ，该段最高工作压力为 $3.9227 \times 10^5 \text{Pa}$ 。1973年开始施工，1974年试压时就出现管子破裂，到1980年，先后破裂50余次，仅检修费就达 10×10^4 元。因不能正常供水，现已换成钢管。

4) 某厂第一期工程敷设了大小口径的连续铸铁管 70km 。从1976年到1980年底，共发生大小事故76次(大都为管体破裂)。其中最大一次给生产造成的损失，初步估算为 1700×10^4 元。

以上资料已经表明铸铁管破裂损坏的问题是很严重的，它给有关部门的生产和人民生活造成了巨大的损失。管线直接浪费的人力、物力、财力其价值已相当可观。至于因铸管破裂损坏，工厂延期投产，人们长期得不到生活用水，以及管子在输水时破裂，影响生产造成的损失就更大了。

2. 灰口铸铁管的破坏原因

综合许多管道工程所出现的问题，灰口铸铁管的破坏主要是管体爆裂和管子的承口部分断裂。这一方面是由于灰口铸铁材料本身机械性能达不到要求，另外在铸造过程和运输安装过程中也都存在一些问题。

连续铸造法铸管的凝固是在水冷结晶器中进行的。铸管的内外表面都受水的强制冷却。这种铸管方法使铁水中的夹渣、气泡等很难排出，因而管体中往往会有夹渣、气孔和疏松等缺陷。由于管子是在较短的内外结晶器里冷却凝固成型的，激冷、收缩不均、残余应力在所难免。由于上述种种原因，再加材质硬脆，所以很易损坏。

灰口铸铁管中的有害元素硫和磷含量通常控制不严格，强烈恶化了其机械性能〔2〕。

硫以FeS等形式溶解于铁水中，它能降低碳在铁中的溶解度，当铸铁中含锰量较低时，S除与Mn形成MnS之外，还以FeS的形式与Fe形成低熔点共晶Fe-Fe₃C-FeS三元共晶体。当铸铁中Mn量较高时，S与Mn形成高熔点的MnS或富锰的硫化物(MnFe)S。这些共晶体或化合物都能使铸铁变得又硬又脆，对灰口铸铁管承受较高的水压作用十分不利。冷却速度越快、碳硅含量越低时，硫阻碍石墨化的作用越显著。

磷在铸铁中含量超过0.3%以后，将以磷共晶的形式出现。由于磷共晶是硬而脆的相，且分布在晶界上，故亦降低灰铁管的机械性能。

灰口铸铁管在生产过程中，不可避免地要出现一些微裂纹（片状石墨实际上就是一种微小裂纹源）、夹渣、气孔、疏松和

氧化物等缺陷，这些都会造成应力集中，大大地降低管子的机械性能。

灰口铸铁管是脆性材料，在运输过程中稍受碰撞就有破裂损坏的可能。在安装操作中打、砸、碰等，使裂纹不断产生和发展。铸铁管成线投入使用后，表面上看只承受静力作用，实际上承受的是复杂的动载荷。当裂纹发展到一定程度后，材料就会出现破裂。一些不符合操作规程的安装方法，更加剧了上述缺陷的发展和破坏作用。

二、球墨铸铁管与灰口铸铁管的比较

(一) 机械性能的比较

作为输送液体或气体的管材一般有球墨铸铁管、灰口铸铁管以及焊接钢管，其机械性能的比较见表1-1。

管子机械性能的比较

表 1-1

项 目	球墨铸铁管	灰口铸铁管	钢 管
抗拉强度, Pa	4.2×10^8	1.3729×10^8	4.0207×10^8
水压试验, Pa	3.9227×10^8	1.9613×10^8	3.9227×10^8
延伸率, %	10	0	24
耐腐蚀性	好	好	差

注：1. 球墨铸铁管数据取自球墨铸铁管国际标准ISO2531—79；

2. 灰口铸铁管的水压试验值取自GB3422—82中连续铸铁管LA级 $D_g \leq 450$ mm的试验压力数值。

由表1-1可以看出，球墨铸铁管的抗拉强度是灰口铸铁管的三倍；球墨铸铁管的水压试验承压能力是灰口铸铁管的二倍；球墨铸铁管具有较高的延伸率，而灰口铸铁管为脆性材料，延伸率为零。球墨铸铁管的机械性能可与焊接钢管相媲美，可承受较高的压力，便于敷设和检查维修，而且球墨铸铁管抗腐蚀性能好，埋设使用寿命比焊接钢管高一倍以上。

(二) 球墨铸铁管与灰口铸铁管壁厚及质量对比

球墨铸铁管与灰口铸铁管壁厚及质量对比见表1-2〔3,4〕。

球墨铸铁管与灰口铸铁管壁厚及质量的比较

表 1-2

管子规格 mm	球墨铸铁管				灰口铸铁管			
	壁厚 mm	直部1m 质量 kg	承口凸 部质量 kg	总质量 kg	壁厚 mm	直部1m 质量kg	承口凸部 质量kg	总质量 kg
$D_g 300 \times 6000$	7.2	50.3	18.6	323	13	91.1	28.3	575
$D_g 350 \times 6000$	7.7	63.2	23.7	403	14	114.0	34.01	718
$D_g 400 \times 6000$	8.1	75.5	29.3	482	15	139.3	42.31	878

注：1. 计算中球墨铸铁密度按7050kg/m³计，灰口铸铁按7200kg/m³计；

2. 总质量=直部1m质量×6+承口凸部质量。

由表1-2可知，球墨铸铁管与灰口铸铁管对比（以 $D_g 400$ mm管子为例），壁厚减薄6.9mm(46%)，质量减小近400kg(45%)。

(三) 球墨铸铁管的竞争能力

如上所述，球墨铸铁管与灰口铸铁管相比，不仅强度高，韧性好，而且质量小，便于运输和安装。其机械性能接近钢管，但其耐腐蚀性能却远超过钢管。所以就性能来说，球墨铸铁管是具有很强生命力的。

另从售价方面看：国际市场上球墨铸铁管价格约为660美元/t。但在国内通过试验研究采用高炉铁水直接生产球铁管，估算价格为250美元/t，折合人民币750元左右〔5〕。

鞍钢试制的砂型离心球墨铸铁管成本为475.38元/t，连续球墨铸铁管成本为662.05元/t，售价为720元/t。

首钢铸管厂试制的 $D_g 400 \times 6000$ mm连续球墨铸铁管，成本较高，经北京物价局批准，售价为800元/t。

由于球墨铸铁管单位成本较高，所以每吨管子价格高于灰口铸铁管。但由于球墨铸铁管壁薄、质量小，所以就管线单位长度的价格却比灰口铸铁管低许多。也就是说，用同样多的资金所购买的球墨铸铁管总长度比灰口铸铁管长许多，见表1-3。

由表1-3可看出，虽然每吨球墨铸铁管价格比灰口铸铁管高150元，但每米的价格球墨铸铁管却比灰口铸铁管低28元（即使与

灰口铸铁管中管壁最薄的砂型离心铸铁管中P级相比每米价格也低9元)。每吨球墨铸铁管可敷设12.552m, 而灰口铸铁管只能铺设6.834m。因此球墨铸铁管是一种价廉物美、具有很强的竞争能力的新产品。

球墨铸铁管与灰口铸铁管售价对比

表 1-3

项 目		离心球墨铸铁管	连续灰口铸铁管
售 价	元/ t	750	600
	元/m	60	88
吨管敷设长度, m		12.552	6.834

注: 表中比较所用之灰口铸铁管为性能最好的B级, $D_g 400 \times 6000$ mm, 其价格采用济南地区价格。

如前所述, 由于灰口铸铁管强度低、韧性差, 适应不了国家现代化建设对管材提出的越来越高的要求。笔者曾到有关的生产、设计部门了解管子的使用情况。据石油和煤炭设计部门介绍, 由于灰口铸铁管强度低, 目前在油田和矿山设计中的输油、输水管线一般采用钢管。而由于钢管耐腐蚀性能差, 经30年左右需重新更换, 会留下很大的隐患。所以, 国家一些重要管道工程需要进口强度高、韧性好、耐腐蚀的球墨铸铁管。如在上海宝山钢铁厂的建设中用的就是日本进口的球墨铸铁管, 法国也出售过球墨铸铁管给我国。由于进口球墨铸铁管价格相当高, 所以急需国内生产的球墨铸铁管来解决。

鞍钢铸管厂从1978年开始试制输水用球墨铸铁管。生产的管子经鞍山、营口、贵阳、长春、上海、北京、广州等地的使用情况看, 最长管线为47.2km, 在载压 9.8067×10^5 Pa、转角 4° 、管道埋设纵坡达 $20^\circ \sim 30^\circ$ 的情况下, 没有发现管子破裂。而且普遍认为球墨铸铁管在运输与施工中不必担心破损, 接口质量好, 施工不受季节限制, 安装容易, 减轻了劳动强度、提高了施工速

度，管道施工费用降低约5%。

虽然鞍钢铸管厂试制的球墨铸铁管受到国内用户的欢迎，但由于生产工艺落后，管子机械性能还低于国际标准。鞍钢是利用现有旧设备，用砂型离心法试制球墨铸铁管的。厂房占地面积大，设备笨重，需要造型，制砂型，劳动强度高，劳动条件差，生产率低。由于没有进行铁水的炉外脱硫处理及退火处理，故延伸率 δ 仅为1~5%。

§ 1-2 球墨铸铁管的规格

一、耐压管线的球墨铸铁直管国际标准

国际标准ISO2531—79对耐压管线的球墨铸铁直管有关技术条件和规格尺寸进行了规定。

(一) 技术条件总则

球墨铸铁的密度按 7050kg/m^3 计算。

增加或减小管件的壁厚可通过改变内径或外径的办法来获得。

表面硬度不应超过HB230。

管壁厚度公差： $-(1.3+0.001D_g)$ ，mm。

制造长度：

$D_g \leq 450\text{mm}$ ，标准长度为4m、5m、5.5m、6m；

$D_g > 500\text{mm}$ ，标准长度为4m、5m、5.5m、6m、7m。

在提供的每一种口径的承插直管的总数中，制造者可以供给小于10%的短于标准长度的管子，减少的长度为0.5m。

离心铸管的平直度公差： $f_m < 1.25L$ 。

对于 D_g 大于200mm的管子，标准质量公差 $\pm 5\%$ 。

试棒性能：

抗拉强度 $4.2 \times 10^8 \text{Pa}$

延伸率10%。

(二) 承插直管标准

国际标准ISO2531—79对球墨铸铁承插直管和法兰管等都有

规定, 现将承插直管的有关标准摘录如下, 以供参考。

图1-2为用于在压力下输送或分配水、其它液体或气体的承插直管, 也可以适用于双插头直管。表1-4为其尺寸规范。

球墨铸铁直管的壁厚 T 按公称直径 D_g 的一次函数式计算, 对于公称口径小于及等于200mm的直管 (D_g 80~200mm), 其壁厚采用下列公式:

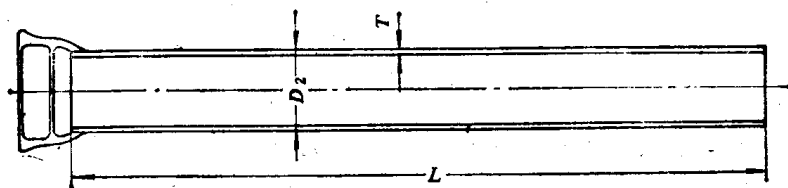


图 1-2 球墨铸铁承插直管

球墨铸铁承插直管尺寸规范

表 1-4

公称口径 D_g , mm	管 体			承口质量 kg	有效长度 L 的总质量, kg				
	D_2 , mm	T , mm	每米质量 kg		4m	5m	5.5 m	6m	7m
80	98	6	12.2	3.4	52	64.5	70.5	76.5	—
100	118	6.1	15.1	4.3	64.5	80	87.5	95	—
125	144	6.2	18.9	5.7	81.5	100	110	119	—
150	170	6.3	22.8	7.1	98.5	121	133	144	—
200	222	6.4	30.6	10.3	133	163	179	194	—
250	274	6.8	40.2	14.2	175	215	235	255	—
300	326	7.2	50.8	18.6	222	273	298	323	—
350	378	7.7	63.2	23.7	277	340	371	403	—
400	429	8.1	75.5	29.3	331	407	445	482	—
500	532	9	104.3	42.8	460	564	616	669	—
600	635	9.9	137.1	59.3	608	745	813	882	1019
700	738	10.8	173.9	79.1	775	949	1036	1123	1296
800	842	11.7	215.2	102.6	963	1179	1286	1394	1609
900	945	12.6	260.2	129.9	1171	1431	1561	1691	1951
1000	1048	13.5	309.3	161.3	1399	1708	1862	2017	2326

$$T = 5.8 + 0.003D_g, \text{ mm} \quad (1-1)$$

对 D_g 250~1000mm的直管, 其壁厚采用下式计算: