

团 体 标 准

T/CMES XXXX—202X

气力输送行业管道设计通用要求

General requirements for pipeline design of pneumatic conveying industry

（征求意见稿）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

中国机械工程学会 发 布

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主楼国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

前言 IV

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 符号 3

5 设计条件和设计基准 4

 5.1 设计条件 4

 5.2 设计基准 5

4.3 气力输送管道主要类型 5

6 材料 6

 6.1 一般要求 6

 6.2 性能指标 6

 6.3 常用材料选用 6

7 管道组成件的选用 7

 7.1 管道 7

 7.2 管件 8

 7.3 阀门 9

 7.4 物料输送管道连接件 10

 7.5 物料输送管道支吊架 10

8 焊接及无损检测设计要求 11

 8.1 焊接要求 11

 8.2 焊接结构与坡口设计 11

9 技术要求 11

 9.1 尺寸与公差 11

 9.2 耐压强度 12

 9.3 密封性能 12

 9.4 力学性能与管道柔性 12

 9.5 安全与环保 12

 9.6 耐磨与防磨要求 13

 9.7 防堵与通畅性要求 13

10 上下游设备接口设计要求 13

 10.1 基本要求 13

 10.2 通用接口结构基础要求 13

 10.3 上游设备接口专项要求 14

 10.4 下游设备接口专项要求 14

10.5 附属接口设计要求 15

10.6 工况适配要求 15

10.7 安装验收要求 15

参考文献 16

中国机械工程学学会标准征求意见稿

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国机械工程学会提出并归口。

本文件起草单位：浙江软控智能科技股份有限公司、海金申德粉体工程有限公司、南京翔瑞智能装备技术股份有限公司、北京国电富通科技发展有限公司、青岛云纵智能科技股份有限公司、山东龙诚气力输送工程设备有限公司、河南工业大学粮油食品学院、汉瑞普泽粉粒体技术（上海）有限公司、细川密克朗（上海）有限公司、国际绿色经济协会、启东春鼎机械有限公司。

本文件主要起草人：李学奎、吴亚峰、姜姝、高天宝、马飞育、部聪令、华中利、吴秀文、吴建章、严向群、李相博、赵伟、张春光、陈长捷、朱志超、张海华。

本文件首次制定。

气力输送行业管道设计通用要求

1 范围

本文件界定了气力输送行业管道设计的术语，规定了符号、设计条件和设计基准、材料要求、管道组成件选用、焊接及无损检测、技术要求和上下游设备接口设计要求等内容。

本文件适用于一般粉体行业的气力输送管道设计，其他粉料、颗粒料气力输送相关行业可参照执行，特殊行业的除外。

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 9124.1 钢制管法兰 第1部分：PN系列
GB 12158 防止静电事故通用要求
GB/T 12459 钢制对焊管件 类型与参数
GB/T 13401 钢制对焊管件 技术规范
GB/T 13663 给水用聚乙烯（PE）管道系统
GB/T 17116.1 管道支吊架 第1部分：技术规范
GB/T 17116.2 管道支吊架 第2部分：管道连接部件
GB/T 17116.3 管道支吊架 第3部分：中间连接件和建筑结构连接件
GB/T 17395 钢管尺寸、外形、重量及允许偏差
HG/T 20553 化工配管用无缝及焊接钢管尺寸选用系列
HG/T 20592~20635 钢制管法兰、垫片和紧固件
GB/T 20801.1 压力管道规范 工业管道 第1部分：总则
GB/T 24259 石油天然气工业管道输送系统
GB/T 32270 压力管道规范 动力管道
GB 50316 工业金属管道设计规范
GB 50517 石油化工金属管道工程施工质量验收规范
HG/T 20606 钢制管法兰用非金属平垫片（PN系列）
HG/T 20613 钢制管法兰用非金属平垫片（Class系列）
HG/T 20627 钢制管法兰用缠绕式垫片（PN系列）
HG/T 20634 钢制管法兰用缠绕式垫片（Class系列）
HG/T 21629 管架标准图（化工行业管架选型图集）
JB/T 13188 正压气力输送机
NB/T 47008 承压设备用碳素钢和合金钢锻件
NB/T 47010 承压设备用不锈钢和耐热钢锻件
NB/T 47014 承压设备焊接工艺评定
NB/T 47018.1-7 承压设备用焊接材料订货技术条件
SH/T 3010 石油化工设备和管道绝热工程设计规范
SH/T 3040 石油化工管道伴热及夹套管设计规范
SH/T 3043 石油化工设备管道钢结构表面色和标志规定
SH/T 3073 石油化工管道支吊架设计规范
SH/T 3097 石油化工静电接地设计规范

SH/T 3405 石油化工钢管尺寸系列
ISO 2852 食品工业用不锈钢卡箍式卫生管接头（快装卡盘接头）
ISO 5031 散状物料连续搬运设备 气力输送用软管及接头 安全规范
ISO 15848 工业阀门 逸散排放标准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

气力输送 **pneumatic conveying**

利用气体的动能或静压差，在封闭管道内实现粉料、颗粒料等散装物料输送的工艺方式。

3.2

气力输送管路系统 **pneumatic conveying piping system**

由散料输送管路、吹堵、助推装置、物料输送弯头、管路伸缩节等组成的系统。

3.3

管件 **fittings**

与管子一起构成管道系统本身的零部件的总称，包括弯头、弯管、三通、异径管、活接头、支管座、堵头、封头等。

3.4

管道承件 **pipe-supporting elements**

用于将管道荷载，包括管道的自重、输送流体的重量、由于操作压力和温差所造成的荷载以及振动、风力、地震、雪载、冲击和位移应变引起的荷载等传递到结构上去的组件。

注1：管道支承件分为固定件和结构附件两类。

注2：固定件包括悬挂式固定件如吊杆、弹簧支吊架、斜拉杆、平衡锤、松紧螺栓、支撑杆、链条、导轨等。以及承载式固定件，如鞍座、底座、滚柱、托座和滑动支座等。

注3：结构附件指用焊接、螺栓连接或夹紧方法附装在管道上的组件。如吊耳、管吊、卡环、管夹、U形夹和夹板等。

3.5

管道支吊架 **pipe supports and hangers**

用于支承管道或约束管道位移的各种结构的总称，但不包括土建的结构。

3.6

输送量 **conveying capacity**

单位时间所输送的散料质量。

3.7

输送距离 **conveying distance**

输送管路进料口输送管路与出料口之间的几何长度。

3.8

设计压力 **design pressure**

在设计温度下，管道系统正常工作时所能承受的最大工作压力，是管道强度设计、密封设计的压力基准。

3.9

管道柔性 **pipe flexibility**

管道在外力、温度变化等因素作用下，产生弹性变形以补偿位移的能力。

3.10

二次应力 **secondary stress**

由管道变形约束、热胀冷缩等引起的正应力和剪应力，属于自限性应力。

3.11

压损 **pressure loss**

气体流经气力输送管道时，由于沿程摩擦、局部阻力和物料能量交换产生的总压力降。

3.12

磨损率 **wear rate**

单位时间内管道内壁因物料冲刷、碰撞产生的质量磨损量或壁厚磨损量。

3.13

公称压力 nominal pressure

由字母 PN 或 Class 和无因次数字组成，代表管道组成件压力等级的参数。

3.14

公称直径 nominal diameter

由字母 DN 和无因次整数数字组成，代表管道组成件规格的参数。

4 符号

本行业管道设计常用的符号及其含义见表1。

表 1 符号及其含义

符号	单位	含义
Q_m	t/h	设计输送量
L	m	总输送距离
L_h	m	水平输送距离
L_v	m	垂直输送高度
D	mm	管道公称内径
R	mm	弯管曲率半径
R/D	/	弯管曲率半径与管道内径比值
ΔP	Pa	管道总压损
ΔP_f	Pa	沿程压损
ΔP_j	Pa	局部压损
λ	/	沿程阻力系数
ρ_g	kg/m ³	气体密度
ρ_s	kg/m ³	物料真密度
d_s	mm	物料平均粒径
δ	mm	管道壁厚

符号	单位	含义
v	mm/a	输送气流速度
P_1	MPa	管道入口压力
P_2	MPa	管道出口压力
A	m ²	管道横截面积
Q_g	m ³ /min	气体体积流量
ε	/	管道壁面粗糙度

5 设计条件和设计基准

5.1 设计条件

5.1.1 总则

气力输送管道设计前，应明确下列设计输入条件，做为管道选型、计算、布置与强度校核的依据，参数取值应结合工程实际工艺需求、介质特性及使用环境综合确定。

5.1.2 工艺工况条件

工艺工况条件如下：

- 输送工艺类型：明确是正压、负压、稀相、密相或混合式输送等工艺类型；
- 输送能力：单位时间内的物料额定输送量与最大输送量，作为管径与流速设计的基础依据；
- 设计压力：管道正常工作时的工作压力（或负压时真空度），根据输送介质特性、输送能力、输送距离、工艺设备参数综合确定，并预留合理的安全余量；
- 设计温度：管道运行全周期内可能出现的最高与最低工作温度，应同时覆盖输送介质温度、环境温度及工况波动范围；
- 输送介质：明确输送的粉料/颗粒料的种类、真实密度/堆积密度、粒径分布、含水率、磨蚀性、自然安息角等物性参数，以及输送载气类型与其物性参数；
- 输送流速：根据介质特性、输送工艺、输送距离等因素合理选取；
- 固气比：设计工况下物料与载气的质量比，作为输送流速、压力损失计算的主要参数；
- 压力损失：沿程阻力与局部阻力的总损失控制在工艺允许范围内，沿程阻力应根据输送流速、管径、摩擦系数、管道长度及物料特性计算核定。

5.1.3 环境与安装条件

环境与安装条件如下：

- 安装区域的环境温度极值、相对湿度、大气腐蚀等级；
- 安装场地的空间约束、管道走向限制、上下游设备接口的位置、尺寸与载荷限值；
- 管道支撑基础条件、抗震设防要求；
- 高海拔、严寒、高温、强腐蚀等特殊环境条件。

5.1.4 安全与环保约束条件

安全与环保约束条件如下：

- 输送介质的危险等级（易燃易爆、有毒有害、腐蚀性等）；
- 防爆区域划分与防爆等级要求；

c) 粉尘排放、噪声控制、泄漏管控等环保与职业健康限值要求。

5.2 设计基准

5.2.1 基本原则

管道设计应遵循安全可靠、技术先进、经济合理、节能环保、便于施工维护的原则，并符合本文件及相关国家、行业标准的规定。

5.2.2 压力管道要求

5.2.2.1 压力管道指利用一定的压力，用于输送气体的管状设备，其范围规定为最高工作压力大于或者等于 0.1MPa（表压），介质为气体、液化气体、蒸汽或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体，且公称直径大于或者等于 50mm 的管道。公称直径小于 150mm，且其最高工作压力小于 1.6MPa（表压）的输送无毒、不可燃、无腐蚀性气体的管道和设备本体所属管道除外。

5.2.2.2 气力输送系统管道若同时满足最高工作压力 $\geq 0.1\text{MPa}$ （表压）、公称直径 $>150\text{mm}$ ，则纳入特种设备监管范畴，必须由具备压力管道设计资质的单位进行设计。

5.2.2.3 满足最高工作压力 $\geq 0.1\text{MPa}$ （表压）、公称直径 $>150\text{mm}$ 的输送固体物料管道，其载体为气体介质，按照特种设备监管规则，以承压介质属性判定管道类型。

5.2.2.4 纳入特种设备监管的压力管道，其设计单位必须取得省级市场监督管理部门核发的《特种设备生产许可证》，在证书上注明“压力管道设计”许可子项目（对应 GC 类工业管道），图纸加盖压力管道设计许可章。

5.2.2.5 纳入压力管道范畴的气力输送管道，其设计图纸必须由取得相应级别压力管道设计许可的单位出具，并接受特种设备监管机构监督。管道图纸目录、管道平面布置图必须加盖设计单位的特种设备设计许可印章（压力管道资质章），复印章无效，已加盖竣工图章的图样不得用于制造和安装报审。

5.2.3 设计寿命

管道设计使用寿命应依据物料硬度、磨蚀性、腐蚀性等物特性核算管壁厚度裕量，保证设计寿命内的安全运行。

5.2.4 系统整体性

管道设计应统筹管道系统整体性，兼顾与上下游设备的连接匹配性、运行协调性。

5.2.5 绿色与智能化导向

管道设计宜契合智能化、绿色化、融合化产业发展要求，优先选用节能、耐磨、环保型材料与工艺，可预留智能化监测元件的安装接口。

5.2.6 管路布置基准

结合固体物料气力输送的两相流特性，布置应符合 8.7 要求。

5.2.7 荷载与强度基准

管道强度、刚度与稳定性设计宜考虑内压荷载、自重荷载、物料荷载、热胀冷缩荷载、振动荷载、风荷载等组合工况，按最不利工况进行校核。

5.2.8 标准化与通用化

设计应优先选用标准化、系列化的管道组件，提高管件的通用互换性，降低施工与运维成本。

4.3 气力输送管道主要类型

气力输送管道主要类型见表 2。

表 2 气力输送管道主要类型

序号	管道分类	类型	备注
A	按材料类别	金属材料 非金属材料 复合材料	铝、不锈钢、等 PP, PE, 橡胶等 内衬, 烧结或粘贴陶瓷
B	按压力形式	一般气力输送管道 压力输送管道	DN150 以下, <0.1MPa DN150 以上, ≥0.1MPa
C	按使用工况	正压输送管道 负压输送管道 正负压循环输送管道	
D	按使用功能	纯气流管道 物料输送管道	气管 料管
E	按管道伸缩及软硬程度	硬管 软管 波纹管 伸缩管	金属和非金属 包含内衬钢丝 膨胀节 包含吸粮机伸缩臂
F	按管道内部处理形式	普通和标准 抛光处理 喷涂特殊材料 麻面处理	一般抛光, 镜面抛光 防腐、耐磨、隔离、 防止拉丝, 滑移
G	按输送管道结构类型	标准管道 内旁通管 外旁通管 成件物料输送管	控制流态和防堵 控制流态和防破碎、防堵 输送管道容器, 样品
H	供货方式	工厂预制 现场制作 其他	

6 材料

6.1 一般要求

- 6.1.1 管道用材应具备良好的力学性能、耐腐蚀性能; 焊接管道还应具备良好焊接性能, 满足设计工况使用要求, 并附有生产单位出具的质量合格证明文件。
- 6.1.2 材料选用综合考量介质磨蚀性、腐蚀性、设计压力、设计温度及使用环境, 优先选用标准化、通用化材料。
- 6.1.3 材料进场时应开展外观检查与质量证明文件核查, 必要时进行理化性能复验。

6.2 性能指标

6.2.1 许用应力

管道材料的许用应力应符合对应材质国家标准或行业标准的规定; 设计时依据材料牌号、设计温度选取许用应力值, 不应超应力设计。

6.2.2 耐腐蚀与耐磨性能

- 6.2.2.1 依据输送介质腐蚀类别, 材料应满足对应防腐等级要求。
- 6.2.2.2 输送磨蚀性较强的粉料、颗粒料时, 宜选用耐磨合金管、陶瓷复合管、带耐磨涂层管材, 或对管道采取局部耐磨防护措施。

6.3 常用材料选用

- 6.3.1 钢管优先选用符合 GB/T 14976 的不锈钢无缝钢管、符合 GB/T 12771 的不锈钢焊接钢管; 也可根据工况选用符合标准要求的碳素钢管、合金钢管。
- 6.3.2 管件宜选用符合 GB/T 12459、GB/T 13401 的钢制对焊管件, 管件材质应与主管管体保持一致。

6.3.3 法兰、垫片和紧固件应符合 HG/T 20592～20635 的规定；密封垫片根据输送介质特性选用耐温、耐压、耐腐蚀的类型。

7 管道组成件的选择

7.1 管道

7.1.1 钢管、铝合金管尺寸选用应优先符合 GB/T 17395、HG/T 20553、SH/T 3405 的规定，优先选用尺寸详见表 3。

表 3 钢、铝合金管外径尺寸

序号	公称通径		钢（铝合金）管外径（mm）		序号	公称通径		钢（铝合金）管外径（mm）	
	DN	NPS	OD1	OD2		DN	NPS	OD1	OD2
1		2"	60.3		10		10"	256.0	
	50		60.3	57.0		250		256.0	
2		2-1/2"	76.1		11		10"	273.0	
	65		76.1	76.0		250		273.0	273.0
3		3"	88.9		12		12"	306.0	
	80		88.9	89.0		300		306.0	
4		4"	114.3		13		12"	323.9	
	100		114.3	108.0		300		323.9	325.0
5		5"	139.7		14		14"	355.6	
	125		139.7	133.0		350		355.6	377.0
6		6"	168.3		15		16"	406.4	
	150		168.3	159.0		400		406.4	426.0
7		7"	193.7		16		18"	457.0	
	175		193.7			450		457.0	480.0
8		8"	219.1		17		20"	508.0	
	200		219.1	219.0		500		508.0	530.0
9		9"	236.0						
	225		236.0						

7.1.2 塑料管道尺寸可参考 GB/T 13663 的规定，选用塑料管道时需要考虑管道材质的耐温、耐压及对被输送介质的耐磨蚀性。

7.1.3 其他材质管道尺寸可根据生产商产品规格进行选择。

7.1.4 末端输料管径根据输送流量、输送流速、末端压力、末端温度等工艺参数计算确定见公式（1），末端输料管之前的管径根据压损、最小输送速度等参数进行计算见公式（2）。

$$D_{end} = 1000 \sqrt{\frac{Q_a P_0 T_{fend}}{15\pi P_{end} T_0 v_{fend}}} \dots\dots\dots (1)$$

$$D_i = 1000 \sqrt{\frac{Q_a P_0 T_{fi}}{15\pi (P_{end} + \Delta P_i) T_0 v_{fi}}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

- D_{end} ——末端输料管计算内径，单位为毫米（mm）；
- D_i ——从末端数，第 i 段输料管计算内径，单位为毫米（mm）；
- Q_a ——输送耗气量，单位为立方米每分钟（Nm³/min）；
- P_0 ——标准大气压， $P_0=101\text{kPa}$ ；
- P_{end} ——输送末端大气压，单位为千帕（kPa）；
- ΔP_i ——从末端数，第 i 段输料管至输料管末端之间的压损，单位为千帕（kPa）；
- T_0 ——输送气体在标准状态下绝对温度，单位为开尔文（K）；
- T_{fend} ——输送末端气体绝对温度，单位为开尔文（K）；
- v_{fend} ——设计输送末端风速，单位为米每秒（m/s）；
- v_{fi} ——从末端数，第 i 段输料管内的输送风速，单位为米每秒（m/s）。

7.1.5 管道壁厚按照 GB 50316 规定的强度计算公式，选用壁厚结合设计压力、管道材料设计温度下许用应力、焊接接头系数等计算确定；输送腐蚀性或磨蚀性介质时，应增设腐蚀或磨蚀附加壁厚。

7.1.6 气力输送压力管道。是否属于压力管道及压力管道分级需根据输送流体介质的压力以及输送流体和被输送介质的毒性、易爆性和腐蚀性参考 GB/T 20801.1 进行判定。

7.1.7 非爆炸危险工况，通常不在物料输送管道上设置泄压阀、安全阀；涉及易燃易爆粉尘时，应按照 GB15577 设置泄爆、隔爆、阻爆装置。

7.2 管件

7.2.1 弯头、异径管、三通等管件规格应与钢管匹配；输送管道上的弯头转弯半径根据输送介质特性合理选取，优先选用大曲率半径弯头，降低局部阻力与物料磨损。

7.2.2 大曲率半径弯头分为 90° 弯头和角度为 α （ $<90^\circ$ ）的非 90° 弯头，示意图见图 1。大曲率半径弯头规格优先采用表 4 大曲率半径弯头尺寸规格。

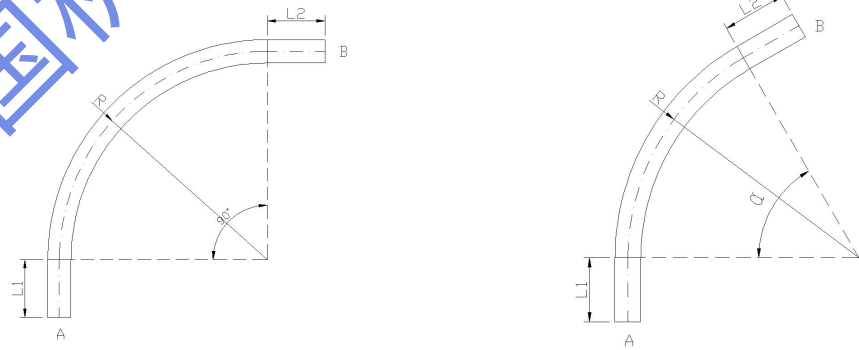


图 1 大曲率半径弯头

表 4 大曲率半径弯头尺寸规格

序号	公称通径		弯曲半径/mm					直管段长度/mm		端部形式	
	DN	NPS	R1	R2	R3	R4	R5	L1	L2	A	B
1	50	2"			300	400	500	100	100	PE	PE
2	65	2-1/2"			390	520	650	100	100	PE	PE
3	80	3"		400	480	640	800	100	100	PE	PE
4	100	4"		500	600	800	1000	100	100	PE	PE
5	125	5"		600	750	1000	1250	150	150	PE	PE
6	150	6"		750	900	1200	1500	150	150	PE	PE
7	175	7"		875	1050	1400	1750	150	150	PE	PE
8	200	8"	750	1000	1200	1600	2000	150	150	PE	PE
9	225	9"	750	1250	1500	2000	2500	150	150	PE	PE
10	250	10"	750	1250	1500	2000	2500	150	150	PE	PE
11	300	12"	1000	1500	2000	2500	3000	200	200	PE	PE
12	350	14"	1500	2000	2500	3000		200	200	PE	PE
13	400	16"	1500	2000	2500	3000		200	200	PE	PE
14	450	18"	1500	2000	3000			200	200	PE	PE
15	500	20"	2000	2500	3000			200	200	PE	PE

7.2.3 大曲率半径弯头的管壁厚度不应小于同规格主管壁厚；磨蚀工况下，管件应适当增加壁厚。

7.2.4 对于特殊耐磨弯头，曲率半径可不按照表 4 大曲率半径弯头尺寸规格。

7.2.5 对于水平物料输送管线上的变径点，可采用 GB/T 12459 中的 RE 或 WRE 偏心异径管，对于竖直物料输送管线上的变径点，可参考 GB/T 12459 中的 RC 或 WRC 同心异径管，异径管示意图见图 2。

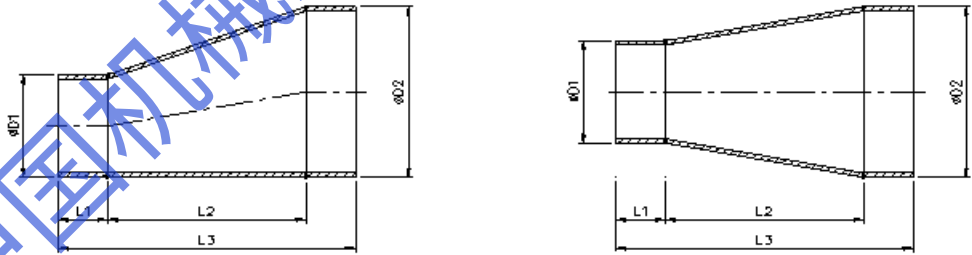


图 2 异径管

7.2.6 输送管线上的三通（料靴、加速室、文丘里除外）通常用于特殊工况下的输送管道的换向，如现有气力输送专用换向阀无法满足工艺要求，在直通管路和换向管路上分别安装满足工况的全通径切断式开关阀，起到控制被输送介质流向的作用的情况下会被使用。三通形式为一个进料口两个出料口或两个进料口一个出料口，两个出料口之间或两个进料口之间的夹角建议不大于 45° 。

7.3 阀门

7.3.1 选用密封性能优良、流道通畅、耐磨性好、操作灵活的阀门，适配气力输送工艺使用要求。

7.3.2 阀门的公称压力、公称直径应与管道系统匹配，耐高温性能满足工况要求。

7.3.3 输送磨蚀性介质的管道，应选用耐磨型阀门，不应因阀门内流道磨损造成密封失效、阻力增大。

7.3.4 输送管线上改变被输送介质流向的阀门通常采用换向阀。换向阀的形式、偏转角度、物料接触部位材质、密封结构与密封材质等需要根据被输送介质物理特性、输送压力、换向阀安装位置等设计条件进行选型。采用气动换向阀时，气动控制电磁阀需采用双线圈电磁阀。

7.3.5 对于特殊工况下的输送管道的换向，如现有气力输送专用换向阀无法满足工艺要求，也可通过在直通管路和换向管路上分别安装满足工况的全通径切断式开关阀起到控制被输送介质流向的作用，切断式开关阀的安装位置尽可能靠近阀门上游的三通。该种换向方式会在三通和阀门之间有少量积存物料，积存物料对系统工艺无影响的情况下才能使用。

7.4 物料输送管道连接件

7.4.1 法兰连接方式

根据设计压力、设计温度、卫生等级要求、使用地区和使用工况选取管道连接件方式，气力输送系统物料输送管道连接方式通常选用法兰、卫生级卡箍等连接方式。不管采用何种连接方式，要求连接处无台阶。

7.4.2 法兰连接形式

法兰连接形式要求如下：

a) 除法兰厚度外，法兰尺寸、法兰密封面粗糙度、法兰密封面缺陷允许尺寸可参考HG/T 20592或HG/T 20615，法兰密封面形式优选FF及RF，对于压力管道标准规范执行的管道的法兰厚度，可按照HG/T 20592或HG/T 20615规定的特定压力等级下的法兰厚度，对于不按压力管道标准规范执行的管道的法兰厚度，需要满足工况下强度及密封要求，法兰压力等级要满足管道设计压力需求；

b) 垫片优先按HG/T 20606或HG/T 20627标准执行，材质需满足输送流体和被输送介质的温度、压力和腐蚀性要求；

c) 不应使用石棉材质垫片；

d) 螺栓优先按HG/T 20613或HG/T 20634标准执行。

7.4.3 卫生卡箍连接形式

对于卫生级物料输送管道，要求可快速拆卸安装，在满足输送工况的情况下，可选用ISO 2852标准要求的卫生级卡盘连接方式。

7.4.4 其他管道连接形式

满足ISO 5031规范要求的其他管道连接形式也可用于气力输送管道的连接。

7.5 物料输送管道支吊架

7.5.1 设计标准

物料输送管道的支吊架设计标准可参考SH/T 3073及GB/T 17116.1~3的相关规定，管道支架结构及形式可参考HG/T 21629。

7.5.2 支吊架载荷

物料输送管道支吊架的载荷来源为物料输送管道所收到的载荷。物料输送管道主要受到的载荷为轴向载荷和径向载荷，当管道为水平布置时，轴向载荷为水平方向，径向载荷为垂直方向；当管道为垂直布置时，轴向载荷为垂直方向，径向载荷为水平方向。轴向载荷主要由运动的物料对弯头或阀门的动量冲击及运动方向的摩擦阻力造成；径向载荷主要由管道、管件、管道中物料重量、阀门重量及其他附件（夹套及夹套内介质、保温材料、防烫材料等）重量、风载荷造成。

7.5.3 支吊架分布

支吊架分布要求如下：

- a) 沿物料输送方向，合理设置固定支架及导向支架，支架间距设计计算可参考GB/T 17116.1；
- b) 对于固气比比较高、系统振动比较大的输送系统，必要时至少在弯头前后、换向阀前后安装减震支架；

7.5.4 支吊架材料

支吊架材料要求如下：

- a) 与管道直接接触的支吊架零部件的材料，按管道设计温度选用；
- b) 支吊架材料的选用须考虑环境温度；
- c) 当管道材质与支架材质不一致时，管道与支架之间需采用非金属或不差于管道材质的隔离材料将管道与之间进行隔离；
- d) 铸铁等韧性相对较差的材料不适用于振动比较大的输送系统的支吊架。

8 焊接及无损检测设计要求

8.1 焊接要求

8.1.1 本节规定气力输送钢质管道坡口、组对、焊接结构、焊后热处理、外观检验、无损检测的设计基本要求，适用于正压、负压、浓相、稀相气力输送金属输送管道。

8.1.2 焊接工艺评定按 NB/T 47014(承压)或 GB 50236(现场设备工业管道)；无损检测按 NB/T 47013。

8.2 焊接结构与坡口设计

8.2.1 管道对接焊缝宜采用 V 型坡口；壁厚 $\geq 10\text{mm}$ 采用 U 型或双 V 型坡口；薄壁小管径采用单面焊带垫板结构。

8.2.2 管道内壁焊缝应平齐，根部无未焊透、焊瘤、内凹、错台，避免物料冲刷积料磨损焊缝。

8.2.3 三通、弯头、异径管支管开孔补强焊缝采用全焊透结构，接管坡口连续圆滑过渡。

8.2.4 耐磨衬管、陶瓷内衬段焊接不得损伤内衬层，内衬对接处设置过渡台阶，焊缝避开高速冲刷区域。

8.2.5 振动频繁、交变载荷管段减少现场固定焊，优先工厂预制转动焊。

8.2.6 临时工装、支架垫板割除后打磨平整，不应损伤母材基体。

9 技术要求

9.1 尺寸与公差

9.1.1 管道

管道要求如下：

- a) 管道内径偏差：取 $\pm 1.5\%d$ 、 $\pm 0.75\text{mm}$ 两者中的较大值（d为钢管公称内径）；
- b) 管道壁厚偏差：负偏差不大于10%名义壁厚，正偏差不限。输送强磨蚀性介质时，管道实际壁厚不得小于“计算壁厚+腐蚀余量+磨蚀余量”的总和；
- c) 管道弯曲度：热轧管弯曲度为 $\leq 3.0\text{mm/m}$ ，冷拔管为 $\leq 1.5\text{mm/m}$ 。

9.1.2 法兰

法兰密封面粗糙度为 $3.2\mu\text{m}\sim 6.3\mu\text{m}$ ；密封面不应存在划痕、凹坑、锈蚀等影响密封性能的缺陷。

9.1.3 管件

管件的尺寸公差、形位公差应符合GB/T 12459、GB/T 13401对应产品标准的规定，与钢管配合部位的对口错变量不得大于管道壁厚的10%，且最大不超过2mm。

9.1.4 配套组件

阀门、补偿器、支吊架等管道组件的外形尺寸、安装几口公差应与管道匹配，满足现场装配精度。

9.2 耐压强度

9.2.1 管道壁厚计算应综合考虑设计压力、材料许用应力、焊缝系数、腐蚀裕量及磨蚀裕量，保证管道在设计压力、设计温度工况下的强度要求，严禁超应力设计。

9.2.2 气力输送管道系统安装后应进行强度试验和气密性试验，安装完成的管道系统应能承受 1.15 倍设计压力的强度试验，试验过程中管道应无可见的塑性变形、无泄漏、无异常声响。

9.2.3 所有管道组件的公称压力等级不得低于管道设计压力，设计温度下的允许工作压力应满足全工况要求。

9.3 密封性能

9.3.1 系统泄漏率不大于 0.1%，法兰泄漏率不大于 $1 \times 10^{-5} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ ；

9.3.2 输送易燃易爆、有毒有害介质的管道，密封等级应提升至 A 级，泄漏率不大于 $1 \times 10^{-6} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$ 。

9.3.3 在设计压力下保压 15min，系统压降不大于 0.05MPa，且无肉眼可见渗漏。

9.3.4 垫片、阀门密封部位在设计工况下不应出现渗漏、吹脱、密封失效现象。

9.3.5 可拆连接件的密封结构应适配气力输送压力波动与物料冲刷特性，防止因物料磨损导致提前失效。

9.4 力学性能与管道柔性

9.4.1 管道柔性设计应补偿热胀冷缩、设备振动、基础沉降产生的位移，管道二次应力应控制在材料许用应力范围内。

9.4.2 长距离直管道应按计算设置固定支架与导向支架，支架间距与承载能力应符合管道刚度、强度要求，防止管道挠度过大、振动失稳。

9.4.3 管道固有振动频率应避开相连设备的共振频率，防止管道产生疲劳损坏；振动较大的管段应采取减振、固定措施。

9.4.4 管道与设备连接的管口载荷，不得超过设备管口的允许承受载荷，必要时通过柔性连接。

9.5 安全与环保

9.5.1 防静电与防爆

防静电与防爆要求如下：

a) 气力输送管道采用导电材质；法兰、软连接两端应做等电位跨接，全管路应实现等电位并可靠接地。

b) 系统起止点应设置接地极，非金属管道外或管道中应缠绕连续导电铜带；

c) 输送易燃易爆粉尘介质的管道，防静电设计应同时符合 GB 12158 与对应行业粉尘防爆的标准的要求，管道材质、连接方式不得产生静电积聚与机械火花。

9.5.2 防腐与涂装

防腐与涂装要求如下：

a) 碳钢管道外防腐执行 GB/T 50726、HG/T 20679，大气腐蚀等级为 C3；基材表面处理等级为 Sa2.5 级，粗糙度 $50 \mu\text{m} \sim 80 \mu\text{m}$ ；

b) 防腐涂层体系推荐采用环氧富锌底漆 $60 \mu\text{m}$ +环氧云铁中间漆 $100 \mu\text{m}$ +聚氨酯面漆 $70 \mu\text{m}$ ，干膜总厚度不小于 $230 \mu\text{m}$ ；

c) 管道主体涂漆执行业主规定或项目规定；

d) 埋地管道、强腐蚀环境管道应根据工况提升防腐等级，增设阴极保护等额外防腐措施。

9.5.3 安全防护

安全防护要求如下：

a) 输送有毒、有害、易燃易爆介质的管道，应装设泄漏检测装置、安全放空与泄压装置。

b) 泄漏物料应设置专用收集、处理设施，避免环境污染与人员伤害。

- c) 高压、危险介质管道的危险部位应设置规范的安全警示标识。
- d) 管道上需维修的部件周边应预留安全操作与检修空间，危险部位应设置安全警示标识。

9.6 耐磨与防磨要求

- 9.6.1 输送磨蚀性物料的管道，应根据物料磨蚀等级采取对应的耐磨措施，耐磨层厚度应满足设计寿命内的磨损余量要求。
- 9.6.2 弯头、三通、变径管等物料冲刷严重的局部部位，应采取加厚管壁、内衬耐磨陶瓷、堆焊耐磨合金等强化措施。
- 9.6.3 设计磨蚀裕量应结合物料硬度、颗粒粒径、输送流速与设计寿命综合确定，强磨蚀介质的磨蚀裕量不应小于 2mm。

9.7 防堵与通畅性要求

- 9.7.1 管道布置应避免设置向下垂直输送管段，减少倾斜管段；同时避免倾斜向上管段，如无法避免，其倾角应大于物料的自然安息角，同时降低固气比，防止物料沉积堵塞。
- 9.7.2 管道变径应采用同心异径管或偏心异径管平缓过渡，避免管径突变造成物料沉积死角。
- 9.7.3 易堵塞管段应设置检修口、清堵口；长距离输送管道可根据工艺需求设置防堵结构。
- 9.7.4 物料输送管线上的阀门应选用全通径、流道无凸起结构的类型，避免流道突变形形成物料堆积区。

10 上下游设备接口设计要求

10.1 基本要求

- 10.1.1 适用于气力输送输料管道与上游气源设备、供料设备，下游料仓、分离器、除尘器、收料装置等设备的对接接口设计，覆盖正压输送、负压吸送、浓相/稀相全工况。
- 10.1.2 接口设计应同时满足气流平顺无积料、密封防漏灰漏气、减振释热胀、拆装检修、安全防爆五项核心要求，管道与设备内孔无台阶、无突变死角。
- 10.1.3 所有设备标准接口法兰统一执行 GB/T 9124.1，压力等级不低于系统最高设计工作压力。

10.2 通用接口结构基础要求

10.2.1 内径对中与流道平顺

内径对中与流道平顺要求如下：

- a) 管道与设备接口公称内径保持一致；变径过渡采用同心渐缩 / 渐扩异径管，渐变段长度 ≥ 5 倍管径差，禁止直角突变扩缩。
- b) 法兰、快速接头内孔完全对平，错边量 $\leq 1\text{mm}$ ，内部无凸起、无缝隙台阶，避免涡流冲刷、物料沉积堵管。
- c) 设备进出口直管段预留：
 - 上游供料器出料口后：加速直管段 $\geq 20D$ (D 为管道内径)；
 - 下游设备进料口前：稳流直管段 $\geq 10D$ ；
 - 两个弯头之间直管段 $\geq 10D$ 。

10.2.2 连接型式选用规则

10.2.2.1 法兰连接（主流设备接口）

风机、旋转供料器、仓泵、除尘器、料仓进出口统一采用带颈平焊法兰，密封面突面 / 凹凸面；高磨损、正压浓相系统选用凹凸面法兰防垫片挤出。

10.2.2.2 卡箍快装接头

仅用于短检修段、易堵易磨损弯管，设备本体接口不单独采用卡箍。

10.2.2.3 禁止设备与管道刚性直连

所有振动设备（风机、旋转阀、振动料仓）进出口必须增设柔性补偿段，杜绝共振撕裂壳体、拉裂焊缝。

10.2.3 密封与垫片设计

10.2.3.1 垫片材质按工况匹配如下：

常温普通粉料：EPDM 橡胶垫；

高温 $\leq 150^{\circ}\text{C}$ 、耐磨：石墨复合垫片；

腐蚀、粘壁粉料：四氟包覆垫片；

防爆、粉尘涉爆工况：阻燃耐静电电线密封垫。

10.2.3.2 法兰螺栓均匀对角紧固，正压系统接口外部可增设密封胶辅助防微漏；负压系统接口严禁外部进气。

10.2.4 柔性补偿/减振接口

10.2.4.1 适用位置

风机进出口、旋转供料器、振动料仓、布袋除尘器仓顶进料口。

10.2.5 型式选型

常温稀相、低磨损：橡胶柔性软接头（长150 mm~300mm）；高温、高磨损、防爆：非金属织物补偿器（JB/T 12235）；高温高压金属粉料：不锈钢波纹金属膨胀节。

10.2.5.1 补偿能力

同时吸收轴向热胀、横向振动、安装角偏移；软接头内置导流内衬筒，内衬筒顺气流安装，防止物料冲刷软接本体。

10.2.5.2 其他

软接两端就近设置固定支架，管道重量不应由设备壳体承载。

10.3 上游设备接口专项要求

10.3.1 气源设备接口

10.3.1.1 风机、空压机等气源设备应独立设置基座，不得与输送管道、储料设备共用基座。

10.3.1.2 气源设备出口依次配置柔性接头、压力检测接口、止回阀、放空旁路接口。

10.3.1.3 柔性接头后应预留不小于5D的稳流直管段，不得直接连接弯头。

10.3.2 供料设备接口

10.3.2.1 旋转卸料阀、仓泵、喷射供料器出料接口与管道内径匹配，内腔过渡平滑无积料台阶。

10.3.2.2 仓泵出料口应设置渐扩加速管结构，高磨损工况应设置耐磨衬套。

10.3.2.3 浓相输送供料接口法兰应加厚设置，具备快速拆卸、清堵条件。

10.4 下游设备接口专项要求

10.4.1 储料仓接口

10.4.1.1 储料仓进料管道宜侧向接入仓体上部，仓内设置缓冲导流结构。

10.4.1.2 管道穿仓壁位置应设置柔性补偿结构，适配设备沉降与振动位移。

10.4.1.3 进料管口宜向下倾斜 $10^{\circ} \sim 15^{\circ}$ ，防止物料回流。

10.4.1.4 涉爆粉尘储料仓进料接口应配套隔爆、泄爆装置安装接口。

10.4.2 分离与除尘设备接口

10.4.2.1 旋风分离器进口接口角度应与设备设计要求一致，严禁强行对口安装。

10.4.2.2 除尘器进料管道与壳体之间必须设置柔性连接结构。

- 10.4.2.3 除尘设备进口宜设置扩散稳流结构，降低进气流速。
- 10.4.2.4 设备排气回风接口应独立设置，不得与主输料管道共用接口。

10.4.3 分流阀类设备接口

- 10.4.3.1 管道分流夹角不应大于 45° ，严禁直角分流结构。
- 10.4.3.2 分配阀、三通阀进出口流道平滑无死角，易磨损部位设置耐磨结构。
- 10.4.3.3 各分流支管应独立设置隔断阀门及压力检测接口。

10.5 附属接口设计要求

- 10.5.1 管道与设备接口上下游关键位置应预留压力检测接口，取压口设置于管道上半部。
- 10.5.2 易堵、易积料管段及设备接口邻近位置应设置吹扫、检修手孔接口。
- 10.5.3 涉爆、高压工况系统应预留安全泄压、火花探测、温度监测等安全附件安装接口。
- 10.5.4 设备法兰两侧 1.5m 范围内应设置管道导向支架，限制管道位移。

10.6 工况适配要求

- 10.6.1 高磨损粉体输送工况，设备接口应设置耐磨衬里或堆焊耐磨结构。
- 10.6.2 潮湿粘性粉体输送工况，接口低点应设置吹扫排凝接口，采用防粘密封垫片。
- 10.6.3 负压输送系统全部接口应采用高气密结构配置。
- 10.6.4 高温输送工况应采用耐高温补偿结构、耐温低逸散密封组件，按材料热胀量预留热膨胀间隙。

10.7 安装验收要求

- 10.7.1 管道与设备对接不应强行对口、强制纠偏安装。
- 10.7.2 系统安装完成后应按设计压力开展气密性试验，正压系统保压无压降，负压系统抽真空无压力回升。
- 10.7.3 设备试运行后，应对所有接口紧固件进行复检紧固。

参 考 文 献

- [1] GB/T 191 包装储运图示标志
- [2] GB/T 2102 钢管的验收、包装、标志和质量证明书
- [3] GB/T 12771 流体输送用不锈钢焊接钢管
- [4] GB/T 14976 输送流体用不锈钢无缝钢管
- [5] GB 17440 粮食加工、储运系统粉尘防爆安全规范
- [6] GB/T 38650 管道元件 标志
- [7] NB/T 47013.2 承压设备无损检测 第2部分：射线检测
- [8] GB 50235 工业金属管道工程施工规范
- [9] SH/T 3545 石油化工管道工程无损检测标准

中国机械工程师学会标准征求意见稿