

团 体 标 准

T/QME 0101 - 2022

矿用远距离供液系统 沟槽式管道连接件 技术规范

Technical Specification for Grooved Pipe
Connector of Mine Long-distance Liquid Supply System

(发布稿)

2022-05-05 发布

2022-05-10 实施

青岛市机械电子工程学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类	2
5 技术要求	2
6 试验方法	6
7 检验规则	9
8 产品标志、使用说明书	10
9 包装标志、要求、运输和贮存	11
附录 A（规范性） 橡胶密封圈非密封面的缺陷表	12
附录 B（规范性） 沟槽尺寸	13
附录 C（规范性） 弯矩计算示例	15

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》的规定编写。

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这些专利的责任。

本文件由青岛市机械电子工程学会标准工作委员会提出。

本文件由青岛市机械电子工程学会归口。

本文件主要起草单位：青岛同创管道系统有限公司、青岛市产品质量检验研究院、中国机械总院集团青岛分院有限公司、青岛大学机电工程学院、青岛市机械工业协会、青岛易和威管道科技有限公司、青岛京达瑞通机械科技有限公司。

本文件主要起草人：熊文涛、胡家琨、王力平、李亚坤、孙艳妮、付春霞、李洪春、杨凯、程联军、唐修涛、张鹏飞、孙彦文、王学勋、王宗华、王天成、王晓虎、贾景雷、邢羽、刘娜、苗秀会。

本文件 2022 年 05 月 05 日首次发布。

矿用远距离供液系统 沟槽式管道连接件技术规范

1 范围

本标准规定了沟槽式管道连接件的技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存等。

本部分适用于工作介质为乳化液或水，额定工作压力为 16 MPa~40 MPa 的矿用远距离供液系统中使用的沟槽式管道连接件。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款经引用将成为本标准中的条款，下列条款中，凡是标注引用日期的，后期修改或更新时，均不适用于本标准；未标注引用日期的，后期修改后或更新时，本标准与之对应的条款相应修改或更新。

GB/T 191 包装储运图示标志

GB/T 528 硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定 (GB/T 528-2009, ISO 37:2005, IDT)

GB/T 531.1 硫化橡胶或热塑性橡胶 压入硬度试验方法 第 1 部分:邵氏硬度计法 (邵尔硬度) (GB/T 531.1-2008, ISO 7619-1:2006, IDT)

GB/T 1348 球墨铸铁件

GB/T 1690 硫化橡胶或热塑性橡胶 耐液体试验方法 (GB/T 1690-2010, ISO 1817:2005, MOD)

GB/T 3098.1 紧固件机械性能 螺栓、螺钉和螺柱 (GB/T 3098.1-2000, idt ISO 891-1:1999)

GB/T 3098.2 紧固件机械性能 螺母 粗牙螺纹 (GB/T 3098.2-2000, idt ISO 898-2:1999)

GB/T 3103.1 紧固件公差 螺栓、螺钉、螺柱和螺母

GB/T 3512 硫化橡胶或热塑性橡胶 热空气加速老化和耐热试验 (GB/T 3512-2014, ISO 188:2011, IDT)

GB/T 5611 铸造术语

GB/T 7759.1 硫化橡胶或热塑性橡胶压缩永久变形的测定第 1 部分:在常温及高温条件下 (GB/T 7759.1-2015, ISO 815-1:2008, IDT)

GB/T 17107 锻件用结构钢牌号和力学性能

GB/T 17604 橡胶 管道接口用密封圈制造质量的建议 疵点分类与类别

MT/T 76 液压支架用乳化油、浓缩油及其高含水液液

3 术语和定义

GB/T 5611、GB/T 17107 和 GB/T 17604 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

沟槽式管道连接件 grooved pipe connector

主要包括沟槽式管接头和沟槽式管件。

3.2

沟槽式管接头 grooved coupling

用拼合式卡箍件、橡胶密封圈和紧固件组成的快速拼装接头。

3.3

沟槽式管件 grooved fitting

沟槽式连接管道系统上采用的弯头、三通、四通、异径管等管件的通称。其平口端的接头部位均加工成与管材接头部位相同的环形形状。

3.4

刚性（沟槽）接头 rigid coupling joint

在接头处，相邻管端不允许有相对角变位和轴线位移的沟槽式管接头。

3.5

挠性（沟槽）接头 flexible coupling joint

在接头处，相邻管端允许有一定量的相对角变位和相应的轴向挠动，允许角变位与管径有关，但不允许有轴向线位移。挠性接头是一种柔性接头。

3.6

密封圈 pressure responsive gasket

通过压力来提高系统密封性能的橡胶圈。或者说，通过附加压力可以使垫圈和密封面之间产生附加比压。

3.7

额定工作压力 rated working pressure

沟槽式管道连接件在工作状态下允许的最大工作压力。

4 分类

沟槽式管道连接件按结构形式分类：

4.1 沟槽式管接头

主要有刚性沟槽式管接头、挠性沟槽式管接头等。

4.2 沟槽式管件

主要包括弯头、正三通、异径三通、转换器、分流器、过滤器、快插三通等系列。

5 技术要求

5.1 外观、标志、型号编制和沟槽尺寸

5.1.1 外观

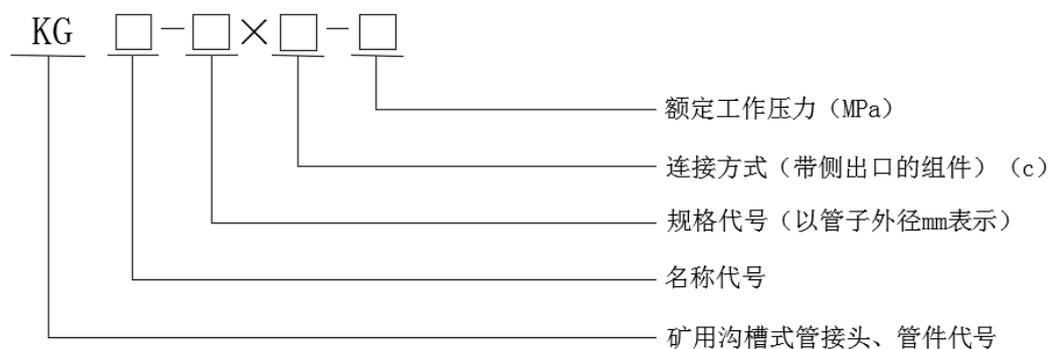
沟槽式管道连接件表面应平整光洁，无加工缺陷及磕碰损伤，无裂纹缩孔、冷隔、夹渣、气孔、疤痕等现象；涂层均匀牢固，无气泡或漆块堆积。

橡胶密封圈不应有割口、龟裂、气孔、针孔，疏松，缺料、料不熟、过度修边等缺陷。在自然放置状态下形状规则无变形。标志齐全清晰。密封面不应有气泡、杂质、裂口和凹凸不平等缺陷。非密封面外观标准应符合附录 A 的规定。

5.1.2 标志

沟槽式管道连接件的壳体标志和密封圈标志应符合 8.1 的规定。

5.1.3 型号编制



沟槽式管道连接件的型号编制应符合以下要求：

- a) 名称代号由生产企业自行规定；
- b) 连接方式：侧出口沟槽连接，直接标出公称直径；螺纹式连接，直接标出螺纹代号及螺纹尺寸；其他的连接方式，用相应的标志符号和公称直径表示。

5.1.4 沟槽尺寸

沟槽全部采用车加工，尺寸见附录 B 的表 B.1，B.2 的规定。

5.2 基本参数

5.2.1 额定工作压力

沟槽式管道连接件的额定工作压力应符合 16 MPa、20 MPa、25 MPa、32 MPa、40 MPa 等系列压力等级。

5.2.2 公称直径

沟槽式管道连接件的公称直径为 25 mm、32 mm、40 mm、50 mm、65 mm、80 mm、100 mm、125 mm、150 mm 等。

5.3 卡箍件材料和性能要求

材质为球墨铸铁或锻钢，性能应满足 GB/T 1348 或 GB/T 17107 中相应牌号的要求。

5.4 螺栓和螺母

5.4.1 螺栓

螺栓的机械性能不应低于 GB/T 3098.1 中规定的 8.8 级要求，螺纹公差符合 GB/T 3103.1 中的 6g 等级，螺栓应镀锌，或用其他具有相同耐腐蚀的材料制造。

5.4.2 螺母

螺母的机械性能应符合 GB/T 3098.2 中螺母规定的 8 级要求，螺纹公差符合 GB/T 3103.1 中的 6H 等级。螺母应镀锌，或用其他具有相同耐腐蚀的材料制造。

5.5 橡胶密封圈物理机械性能

橡胶的物理机械性能应符合表 1 和表 2 的规定，若使用其他橡胶材料，则其物理机械性能应满足相应标准的规定。

表 1 氟橡胶密封圈的物理机械性能

试验项目	单位	技术要求
硬度（邵尔 A）	度	70±5
拉伸强度	MPa	≥13
拉断伸长率	%	≥200
热空气老化 200℃×70h 硬度变化（邵尔 A） 拉伸强度变化率（最大） 拉断伸长率变化率（最大）	度 % %	0~+10 -10 -30
压缩永久变形，B 型试样 200℃×22h	%	≤20
耐 HFAE40-5 乳化液 ^[注] 70℃，24h 体积变化率	%	-4~+8

表 2 三元乙丙橡胶密封圈的物理机械性能

试验项目	单位	技术要求
硬度（邵尔 A）	度	70±5
拉伸强度	MPa	≥15
拉断伸长率	%	≥300
热空气老化 125℃×70h 硬度变化（邵尔 A） 拉伸强度变化率（最大） 拉断伸长率变化率（最大）	度 % %	0~+10 -20 -40
压缩永久变形，B 型试样 125℃×70h	%	≤30
耐 HFAE40-5 乳化液 ^[注] 70℃，24h 体积变化率	%	-4~+8

[注]：HFAE40-5 乳化液应符合 MT/T 76 标准的要求

5.6 性能要求

5.6.1 密封性能

沟槽式管道连接件按 6.3.2.1 的规定进行试验, 试验压力为额定工作压力, 保持 5 min, 应无渗漏。

5.6.2 耐压强度

沟槽式管道连接件按 6.3.2.2 的规定进行试验, 试验压力为 2 倍额定工作压力, 保持 5 min, 应无泄漏和损坏。

5.6.3 承载力矩

沟槽式管接头照 6.3.3 的规定进行试验, 在表 3 规定的力矩作用下, 不得出现泄漏和断裂现象。

表 3 承载力矩

管件外径×壁厚	施加力矩/ (N.m)	管件外径×壁厚	施加力矩/ (N.m)
Φ60×6	3508	Φ89×7	6654
Φ60×8	4216	Φ89×9	7776
Φ76×7	5348	Φ108×8	9450
Φ76×9	6270	Φ108×10	10834

注: 新增管接头规格按附录 C 中的弯矩计算公式进行计算。

5.6.4 耐冲击性能

沟槽式管接头按 6.3.4 的规定进行试验, 应可承受 150000 次冲击而不发生泄漏。试验后, 应按照 6.3.2 的规定进行试验, 试验结果应符合 5.6.1、5.6.2 的规定。

5.6.5 抗振动性能

沟槽式管接头按 6.3.5 的规定进行试验, 应无泄漏和损坏。试验后, 应按照 6.3.2 的规定进行密封和耐压强度试验, 结果应符合 5.6.1 和 5.6.2 的规定。

5.6.6 气密封性能

沟槽式管道连接件按 6.3.6 的规定进行试验, 在充气压力达到 0.3 MPa 时, 保持 5 min, 试件表面应无气泡渗漏。

5.6.7 挠性接头偏转角

挠性沟槽式管接头按 6.3.7 的规定进行试验, 接头可沿轴向偏转, 在管道公称直径小于 DN200 时, 提供大于等于 1° 的偏转角, 在管道公称直径大于等于 DN200 时, 提供大于等于 0.5° 小于 1° 的偏转角, 试验后检查管路, 应无渗漏和损坏。

5.6.8 负压密封性

沟槽式管接头按 6.3.8 的规定进行试验, 在表压达到-0.08 MPa 时, 保持 5 min, 应无压力损失。

5.6.9 最大伸长间隙

沟槽式管接头按 6.3.9 的规定进行试验, 管接头管端允许最大间隙应≤3.2 mm。

6 试验方法

6.1 外观、标志、沟槽尺寸和橡胶密封圈检验

使用目测和专用量具测量沟槽式管道连接件和橡胶密封圈的外观、标志、结构尺寸及铸件质量等。检查结果应符合 5.1、5.2、5.3 的规定。

6.2 橡胶密封圈材料试验

- 6.2.1 硬度按 GB/T 531.1 的规定进行试验。
- 6.2.2 拉伸强度和拉断伸长率按 GB/T 528 的规定进行试验。
- 6.2.3 热空气老化按 GB/T 3512 的规定进行试验。
- 6.2.4 压缩永久变形按 GB/T 7759.1 的规定进行试验。
- 6.2.5 耐 HFAE40-5 乳化液按 GB/T 1690 的规定进行试验。

6.3 性能试验

6.3.1 性能试验所需样本的沟槽尺寸应满足附录 A 的要求，承压能力应满足试验的压力要求。试验用管道可重复使用，每次使用前应检查管道沟槽尺寸的符合性。

6.3.2 密封和耐压强度试验

6.3.2.1 如图 1 所示，试验组件应充满水并排除空气，管路内的压力以不超过 20 MPa/min 的速率递增，直至达到试件的额定工作压力，试验结果应符合 5.6.1 的规定。

6.3.2.2 如图 1 所示，试验组件应充满水并排除空气，管路内的压力以不超过 20 MPa/min 的速率递增，直至达到 2 倍试件的额定工作压力，试验结果应符合 5.6.2 的规定。

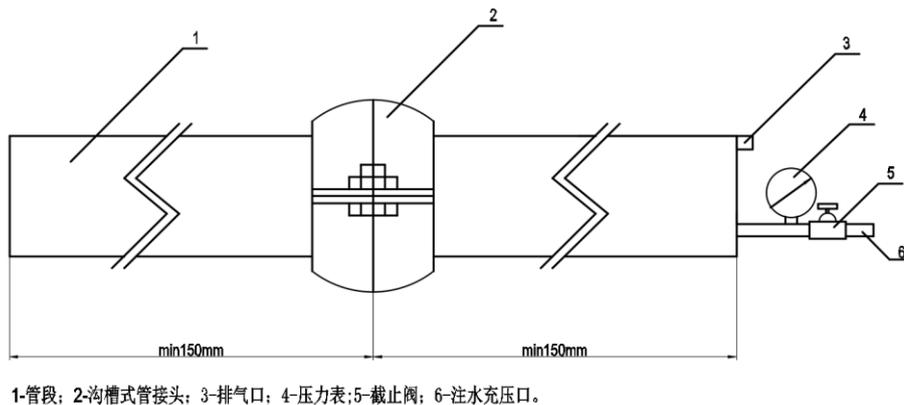


图 1 密封和耐压强度试验装置图

6.3.3 承载力矩试验

6.3.3.1 如图 2 所示，试验组件包括连接沟槽管接头的两段长度不小于 400 mm、末端封闭的管路，一端装配精度为 1.5 级的压力表。

6.3.3.2 试验组件应充满水并排除所有空气，内部在试验期间应保持额定工作压力的静水压。

6.3.3.3 按表 3 选择与公称直径对应的力矩加载到侧面出口管处，保持 1 min，试验结果应符合 5.6.3

的规定。

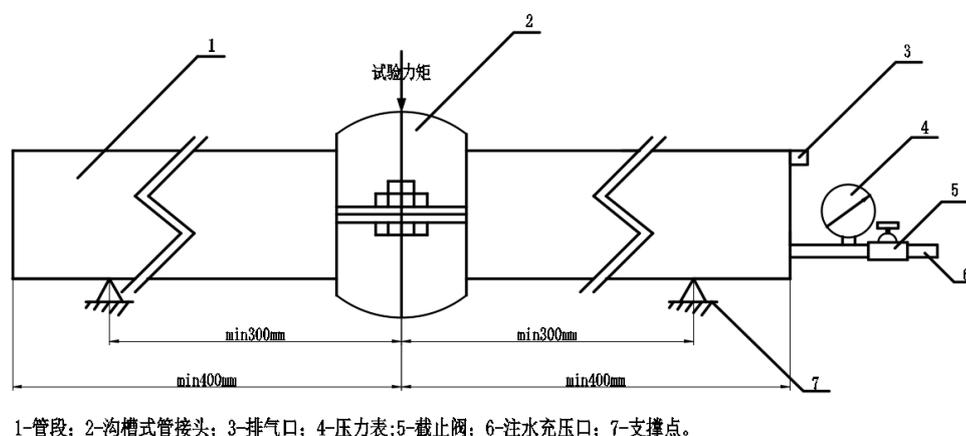


图 2 承载力矩试验装置图

6.3.4 耐冲击性能试验

试验介质：（1）水；（2）抗磨液压油

按图 1 所示组装好试验组件，试验组件将承受从 0 到额定工作压力的 150000 次冲击压力作用，采用正弦波形，频率为 1Hz。

6.3.5 抗振动试验

从试样中选取最小口径的沟槽式管接头进行振动试验。试件与管路的安装如图 2 所示，试验管路的单管长度为 305 mm，将连接好的管路一端固定在机械振动台的水平工作台上，沟槽式管接头和另一段管路向外伸出振动试验台，振动平面为垂直振动，试验条件如表 4 所示。在振动试验前，将试验管路内加压至额定工作压力。

表 4 振动试验条件

振幅/mm	频率/Hz	时间/h
0.25	28	5
0.51	28	5
1.90	28	5
0.51	18-37*	5
0.89	18-37*	5

注：“*”表示可变

6.3.6 气密封试验

按图 1 所示组装好试验组件，试验组件应装配精度不低于 1.6 级的压力表，以显示实际压力值。试验应在 20℃±5℃的环境温度下进行。

试验前试验组件应预先全淹没在水中，给试样内部加压至 0.1 MPa，保持一段时间，清除表面气泡，

然后逐渐将压力增加到 0.3 MPa, 保持 5 min, 试验结果应符合 5.6.6 的规定。

6.3.7 偏转角试验

如图 3 所示, 试验组件包括连接沟槽式管接头的两段长度不小于 400 mm、末端封闭的管路, 一端装配精度为 1.6 级的压力表。

试验组件应充满水并排除所有空气, 内部在试验期间应保持额定工作压力的静水压。用相应量具 (角度尺) 测出挠性沟槽式管接头轴线与水平直管的夹角 α_1 ($\alpha_1=180^\circ$)。

根据表 3 对其施加力矩, 用相应量具 (角度尺) 测出其偏转角 α_2 。

如图 3 所示, 偏转角 $\Delta \alpha = \alpha_1 - \alpha_2$, 试验结果应符合 5.6.7 的规定。

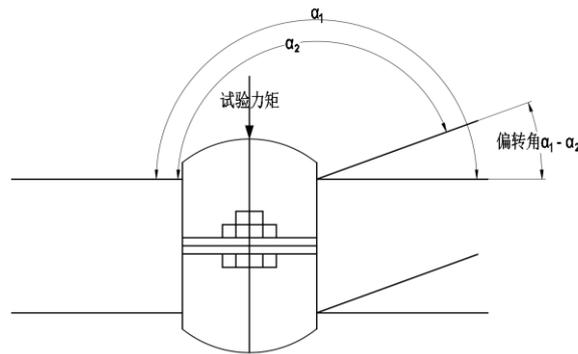


图 3 偏转角示意图

6.3.8 负压密封性试验

如图 4 所示, 试验组件应装配一个真空计量仪或精度不低于 1.6 级的真空表, 以显示实际真空度。选择合适的真空泵抽气, 当安装试样的管内达到 -0.08 MPa 的表压时, 关闭试样与真空泵之间的阀门, 使试样单独封闭, 试验结果应符合 5.6.8 的规定。

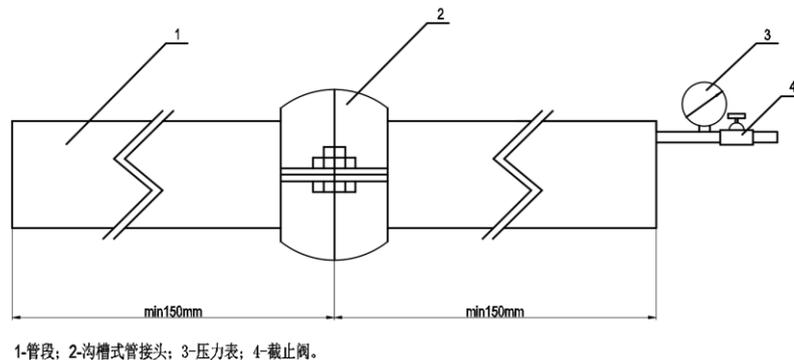


图 4 负压密封性试验装置图

6.3.9 最大伸长间隙试验

试验组件包括连接沟槽管接头两端封闭的管路, 在两管端最小时测得 L_0 , 然后充水排除空气, 升至额定工作压力, 此时测量两管端长度 L 。最大伸长间隙按下式计算:

$$\Delta L = L - L_0$$

式中：

L_0 ——两管端最小时测得的长度，单位为毫米（mm）；

L ——两管端最大时测得的长度，单位为毫米（mm）。

ΔL 的结果应符合 5.6.9 的规定。

7 检验规则

产品制造应制定并遵守质量管理规程，确保每批产品都符合本标准规定。

7.1 检验分类

7.1.1 出厂检验

沟槽式管道连接件出厂前应按表 5 的规定进行检验。

7.1.2 型式检验

型式检验的项目为第 5 章的全部项目。有下列情况之一者，应进行型式检验：

- a) 新产品试制定型鉴定；
- b) 正式生产后，产品的结构、材料、工艺、重要部件中任何一项有较大改变，可能影响产品性能时；
- c) 产品停产超过 1 年恢复生产时；
- d) 产品转厂生产或者异地搬迁时；
- e) 国家质量监督机构或管理部门提出进行型式检验要求。

7.2 抽样

采用随机抽样方法，抽样基数 100 只，抽样数量沟槽式管道连接件 15 只，橡胶标准试样 10 只或提供相同材料的标准试验胶料。

7.3 检验结果判定

7.3.1 沟槽式管道连接件按相应的技术要求和试验方法进行试验，全部合格，则判该批产品为合格。

7.3.2 沟槽式管道连接件 A 类检验项目（见表 5）中有一项不合格，则判为不合格。

7.3.3 沟槽式管道连接件 B 类检验项目中只有一项不合格，可判定为合格，其余判为不合格。

表 5 检验项目

检验项目	型式检验	出厂检验		A 类项	B 类项
		全检项目	抽检项目		
沟槽式 管接头	外观、标志、结构尺寸	★	★		★
	基本参数	★	★		★
	材料	★		★	
	螺栓和螺母	★		★	
	橡胶密封圈材料性能	★		★	
	密封性能	★		★	

	耐压强度	★		★	★	
	承载力矩	★		★	★	
	耐冲击性能	★			★	
	抗振动性能	★				★
	气密封性能	★		★		★
	挠性接头偏转角	★		★		★
	负压密封性	★		★		★
	最大伸长间隙	★		★		★
沟槽式 管件	外观、标志、沟槽尺寸	★	★			★
	基本参数	★	★			★
	材料	★		★	★	
	密封性能	★		★	★	
	耐压强度	★		★	★	
	耐冲击性能	★			★	

8 产品标志、使用说明书

8.1 产品标志

8.1.1 卡箍件标志

应在明显位置清晰、永久性标注下述内容：

- a) 型号规格；
- b) 生产单位名称或商标；
- c) 额定工作压力。

8.1.2 密封圈标志

应在明显位置清晰、永久性标注下述内容：

- a) 生产单位名称或商标；
- b) 型号规格；
- c) 密封圈材质代号，见表 6；
- d) 生产日期。

表 6 密封圈材质代号

材质	天然橡胶	丁腈橡胶	乙丙橡胶	氟橡胶	氯丁胶	硅橡胶	其他材料
代号	N	D	E	F	C	S	相应代号

8.2 使用说明书

沟槽式管道连接件在其包装中应附有使用说明书，使用说明书中应至少包括产品名称、规格型号、

使用的环境条件、贮存的环境条件、生产日期、生产依据的标准、必要的使用参数、安装操作说明及安装示意图、注意事项、生产厂商的名称、地址和联系信息等。

9 包装标志、要求、运输和贮存

9.1 包装标志

外包装标志内容：

- a) 制造厂名称、地址、电话；
- b) 产品名称、型号和规格；
- c) 出厂日期；
- d) 产品数量；
- e) 商标；
- f) 外形尺寸、毛重；
- g) 包装储运图示标志应符合 GB/T 191 的规定。

9.2 要求

9.2.1 沟槽式管道连接件在包装箱应单件包装，若不是单件包装，箱内各件之间应有隔层或其他防护措施。

9.2.2 产品包装中应附有使用说明书和合格证。

9.2.3 在包装箱外应标明放置方向、堆放件数限制、贮存防护条件等。

9.3 运输

沟槽式管道连接件在运输过程中，应防雨减震，装卸时防止撞击。

9.4 贮存

沟槽式管道连接件应存放在通风、干燥的库房内，避免与腐蚀性物质共同贮存，贮存温度-10℃~+40℃。

附录 A (规范性) 橡胶密封圈非密封面的缺陷表

序号	缺陷名称	指标		
		公称直径 mm		
		50~200	225~500	600~1000
1	气泡	气泡长、宽不大于 2mm, 深度不大于 0.5mm, 不得多于 2 处。	气泡长、宽不大于 2mm, 深度不大于 1mm, 不得多于 3 处。	气泡长、宽不大于 2mm, 深度不大于 1mm, 不得多于 4 处。
2	杂质	杂质长不大于 2mm, 宽不大于 1mm, 深度不大于 1mm, 不得多于 3 处。	杂质长、宽不大于 2mm, 深度不大于 1mm, 不得多于 3 处。	杂质长、宽不大于 2mm, 深度不大于 2mm, 不得多于 4 处。
3	凹凸缺陷	凹凸深度或高度不大于 1mm, 长度不大于 4mm, 不得多于 3 处。	凹凸深度或高度不大于 1mm, 长度不大于 5mm, 不得多于 4 处。	凹凸深度或高度不大于 1mm, 长度不大于 5mm, 不得多于 5 处。
4	损伤	长度不大于 2mm, 宽不大于 1mm, 深度不大于 0.5mm, 不得多于 3 处。	长度不大于 3mm, 宽不大于 1mm, 深度不大于 1mm, 不得多于 4 处。	长度不大于 5mm, 宽不大于 1mm, 深度不大于 1mm, 不得多于 5 处。
5	裂口	不允许		

附录 B（规范性） 沟槽尺寸

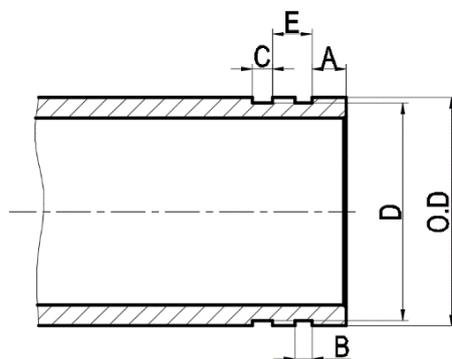


图 B.1 双沟槽车削加工尺寸规格图

表 B.1 双沟槽车削加工尺寸表

钢管尺寸(Size)		外径(O.D)	密封宽度 A ±0.5	车槽宽度 ±0.5mm		槽底直径 D	沟槽间距 E +0.1
通径(mm)	外径(mm)	mm	mm	B	C	mm	mm
50	60	59.5±0.2	15.8	8	9.5	55.5 0/-0.2	18.5
65	76	75.5±0.2	15.8	8	9.5	71.5 0/-0.2	18.5
80	89	88.5±0.2	15.8	8	9.5	84.5 0/-0.2	18.5
100	108	107.5±0.2	15.8	8	9.5	102.5 0/-0.2	18.5
125	133	132.5±0.2	15.8	8	9.5	127.5 0/-0.2	18.5
150	159	158.5±0.2	15.8	11	11	153.5 0/-0.2	23.0

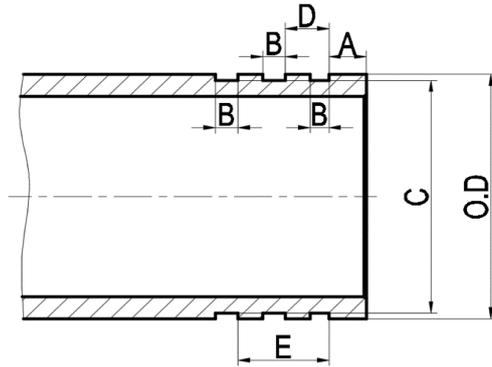
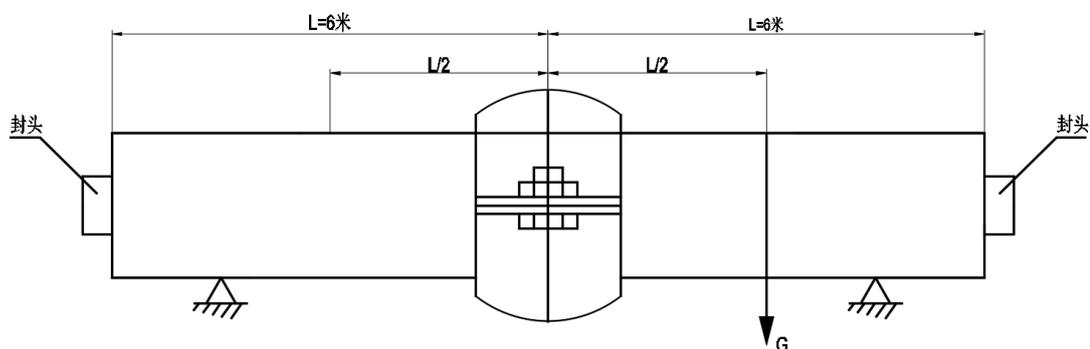


图 B. 2 三沟槽车削加工尺寸规格图

表 B. 2 三沟槽车削加工尺寸表

钢管尺寸		外径(O.D) mm	密封宽度 A ± 0.5 mm	槽宽 B mm	槽底直径 C mm	沟槽间距 $+0.1\text{mm}$	
通径(mm)	外径(mm)					D	E
50	60	59.5 ± 0.2	15.8	11	$55.5 \ 0/-0.2$	23	46
65	76	75.5 ± 0.2	15.8	11	$71.5 \ 0/-0.2$	23	46
80	89	88.5 ± 0.2	15.8	11	$84.5 \ 0/-0.2$	23	46
100	108	107.5 ± 0.2	15.8	11	$102.5 \ 0/-0.2$	23	46
125	133	132.5 ± 0.2	15.8	11	$127.5 \ 0/-0.2$	23	46
150	159	158.5 ± 0.2	15.8	11	$153.5 \ 0/-0.2$	23	46

附录 C (规范性) 弯矩计算示例



D_1 -钢管外径; D_2 -钢管内径; T -钢管壁厚; G -重量; g -10 N/kg; L -钢管长度
 钢的密度: 7.8 g/cm³; 水的密度: 1.0 g/cm³; λ -安全系数 (取值为 2)

图 C.1 示例

计算长度为 L 的钢管的弯矩, 如下:

$$\text{钢管内径: } D_2 = D_1 - 2 \times T$$

$$\text{钢管面积: } S_{\text{钢}} = \pi (D_1^2 - D_2^2) \div 4$$

$$\text{水的面积: } S_{\text{水}} = \pi \times D_2^2 \div 4$$

$$\text{钢管质量: } m_{\text{钢}} = S_{\text{钢}} \times L \times 7.8$$

$$\text{水的质量: } m_{\text{水}} = S_{\text{水}} \times L \times 1.0$$

$$\text{总质量: } m = m_{\text{钢}} + m_{\text{水}}$$

$$\text{总重量: } G = mg = (m_{\text{钢}} + m_{\text{水}}) \times 10$$

$$\text{力矩: } M = \lambda G \times L/2$$

$$M = 2 \times (122.4 \pi D_1 T + 4.5 \pi D_1^2 - 122.4 \pi T^2) \times 10^{-2}$$