

一种中碳低合金钢材料、输送管、其制备方法和混凝土泵车

相关申请的交叉引用

本申请要求享有于 2022 年 11 月 25 日提交的名称为“一种中碳低合金钢材料、输送管、其制备方法和混凝土泵车”的中国专利申请 202211490716.5 的优先权，该申请的全部内容通过引用并入本文中。

技术领域

本申请涉及工程机械材料领域，具体涉及一种中碳低合金钢材料、输送管、其制备方法和混凝土泵车。

背景技术

输送管是混凝土泵车的易损件，主要用于混凝土物料的输送。输送管在工作过程中，承受混凝土的高压和高速冲击，要求输送管具有高耐磨性、良好的强度和抗冲击性能。爆管和磨损是输送管主要失效形式，直接影响使用寿命。输送管使用寿命不足，频繁更换，不仅影响工期，同时增加使用成本，影响产品在市场中的竞争力。

输送管主要分单层管、双层管，其中双层管根据内管材质不同又可分为合金钢管、高铬铸铁管以及陶瓷管。双层管因具有较高耐磨性，主要被用于 40 米以上泵车输送管。单层管耐磨性不及双层管，但因价格低，制备工艺简单，被广泛用作 40 米以下泵车输送管。

行业内单层输送管由中碳锰钢（40Mn2、50Mn、NM55、NM62）无缝钢管经内壁感应淬火制备而成，淬硬层深度 2.8mm 左右，内壁硬度在 55-60HRC 之间，整体抗拉强度约 800MPa，冲击功约 20J，泵送 C30 混凝土使用寿命约 3 万方。

现用单层管虽然经感应淬火处理，内壁表面可以获得较高硬度，但也存在以下缺点：（1）输送管经感应淬火喷水冷却，内部存在较大的残余应力，易产生变形和开裂。（2）输送管强度和冲击功相对较低，抵抗混凝土冲击变形能力较弱，导致输送管入口端在混凝土强力冲击下，磨损较快。（3）输送管内壁到外壁存在硬度梯度，一旦淬硬层磨损，基体就会因硬度低而导致快速磨损。（4）输送管直管 1’和端部法兰 2’采用焊接形式连接，耐磨套 3’设置在端部法兰内，如图 1 所示，而直管材质采用中碳锰钢，碳当量高，焊接易开裂，引起早期失效。

发明内容

本申请提供了一种中碳低合金钢材料、输送管、其制备方法和混凝土泵车，以解决输送管磨损较快的问题。

本申请的第一方面提供了一种中碳低合金钢材料，由以下质量分数的化学成分组成：

C: 0.55%-0.60%, Mn: 0.80%-1.40%, Si: $\leq 0.3\%$, Cr: 0.2%-0.4%, Ni: 0.2%-0.4%, P: $\leq 0.020\%$, S: $\leq 0.020\%$, Ti: 0.04%-0.10%, V: 0.05%-0.15%, Re: 0.001%-0.003%, 余量为 Fe。

进一步地, 上述 Re 选自钼、铈、镨、钕中的任意一种或多种的组合。

- 5 本申请的第二方面提供了一种输送管, 包括管体, 该管体采用上述第一方面的任意一种中碳低合金钢材料一体成型制备而成。

进一步地, 上述管体的硬度在 40-45HRC、和/或抗拉强度 $\geq 1300\text{MPa}$ 、和/或冲击功 $\geq 50\text{J}$ 、和/或显微组织为回火马氏体。

- 10 进一步地, 上述管体包括直管和两个端部法兰, 两个端部法兰与直管一体成型, 且一一对应地设置在直管的两端。

进一步地, 上述输送管还包括耐磨套, 耐磨套设置在端部法兰的内腔且与端部法兰过盈配合。

- 15 本申请的第三方面提供了一种上述任一种的输送管的制备方法, 该制备方法包括: 由以下质量分数的化学成分组成的原材料制备中碳低合金钢材料: C: 0.55%-0.60%, Mn: 0.80%-1.40%, Si: $\leq 0.3\%$, Cr: 0.2%-0.4%, Ni: 0.2%-0.4%, P: $\leq 0.020\%$, S: $\leq 0.020\%$, Ti: 0.04%-0.10%, V: 0.05%-0.15%, Re: 0.001%-0.003%, 余量为 Fe, 中碳低合金钢材料为无缝钢管; 对无缝钢管依次进行定尺锯切、端部法兰成型加工和热处理, 得到输送管, 热处理包括依次进行的加热、保温、一次冷却和二次冷却, 其中一次冷却的冷却速度为 25~35°C/s, 二次冷却的冷却速度小于一次冷却的冷却速度。

- 20 进一步地, 上述端部法兰成型加工的步骤包括依次进行的镦粗处理和切削加工形成端部法兰。

进一步地, 上述镦粗处理包括将无缝钢管的端部加热至 1100-1200°C 后镦粗至目标厚度。

- 25 进一步地, 上述镦粗处理包括: 将无缝钢管的端部感应加热至 1100-1200°C 后利用液压机镦粗至目标厚度。

进一步地, 上述热处理包括: 将端部法兰成型处理得到的工件加热至 850-880°C 并保温 1~2 小时; 保温结束后进行一次冷却, 优选采用强制冷却实现一次冷却, 优选强制冷却为风冷或油冷; 当一次冷却至 200-150°C 后进行二次冷却, 在二次冷却中利用余温自回火; 优选二次冷却为空冷。

- 30 进一步地, 上述输送管还包括耐磨套, 制备方法还包括在热处理后得到的工件两端压装耐磨套的过程。

进一步地, 上述在压装耐磨套后制备方法还包括抛丸和喷粉涂装的过程, 优选喷粉涂

装的温度为 150-200°C。

进一步地，上述制备中碳低合金钢材料的过程包括将原材料进行熔炼、浇铸、穿孔、轧管、定径、矫直的过程。

根据本申请的第四方面，提供了一种混凝土泵车，包括输送管，该输送管为本申请第 5 第二方面的任意一种的输送管。

本申请中，C 的存在可以提高钢的强度，但碳过量会使钢质硬度大幅增加进而使得加工难度增加，当 C 的质量分数在 0.55-0.60%之间时，可以提高钢的强度并使硬度在适于后续加工的范围内。Si 是有效的脱氧元素，但是硅含量过高又会降低钢的韧性，选择 Si 质量分数 $\leq 0.3\%$ 。Mn 的质量分数在 0.80%-1.40%范围内可以同时提高强度和韧性。Cr 的质量分数控制在 0.2%-0.4%可以提高钢的淬透性，进而提高所形成的输送管的硬度均匀性，降低硬度梯度。V 具有析出强化和细化晶粒的作用，可显著提高强度和韧性。Ti 在钢中与碳、氮形成 Ti(CN)，能细化晶粒，同时可显著提高淬透性，提高钢的强度和韧性。稀土元素 Re 可细化晶粒，净化晶界，提高韧性。P 和 S 为杂质元素控制二者含量均不超过 0.020%。因此，本申请的中碳低合金材料在控制 C、Mn、Si、Cr 和 Ni 这些主化学成分含量的基础上，通过进一步使用微量合金元素 Ti、V 和 Re 并控制各自的用量，实现了提高材料韧性和耐磨性的目的，进而提升利用该材料形成的输送管的抗冲击性能，并缓解其磨损。

附图说明

为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案，下面将对本申请实施例中所需要使用的附图作简单地介绍，显而易见地，下面所描述的附图仅仅是本申请的一些实施例，对于本 20 领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据附图获得其他的附图。

图 1 示出了现有技术的输送管的剖面结构示意图。

图 2 示出了本申请一种实施方式的输送管的剖面结构示意图。

图 3 示出了本申请实施例 1 的输送管的金相组织图。

图 4 示出了本申请对比例 10 的输送管的金相组织图。

25 在附图中，附图并未按照实际的比例绘制。

附图标记说明：

1'、直管；2'、端部法兰；3'、耐磨套。

1、管体；11、直管；12、端部法兰；2、耐磨套。

具体实施方式

30 下面结合附图和实施例对本申请的实施方式作进一步详细描述。以下实施例的详细描

述和附图用于示例性地说明本申请的原理，但不能用来限制本申请的范围，即本申请不限于所描述的实施例。

如本申请背景技术所分析的，输送管强度和冲击功相对较低，抵抗混凝土冲击变形能力较弱，导致输送管入口端在混凝土强力冲击下，磨损较快。为了解决该问题，本申请尝试从优化元素组成的角度提升输送管的抗冲击性能，进而缓解其磨损，基于此本申请提供了一种中碳低合金钢材料、输送管、其制备方法和混凝土泵车。

在本申请一种典型的实施方式中，提供了一种中碳低合金钢材料，由以下质量分数的化学成分组成：C：0.55%-0.60%，Mn：0.80%-1.40%，Si：≤0.3%，Cr：0.2%-0.4%，Ni：0.2%-0.4%，P：≤0.020%，S：≤0.020%，Ti：0.04%-0.10%，V：0.05%-0.15%，Re：0.001%-0.003%，余量为Fe。

C的存在可以提高钢的强度，但碳过量会使钢质硬度大幅增加进而使得加工难度增加，当C的质量分数在0.55%-0.60%之间时，可以提高钢的强度并使硬度在适于后续加工的范围。Si是有效的脱氧元素，但是硅含量过高又会降低钢的韧性，选择Si质量分数≤0.3%。Mn的质量分数在0.80%-1.40%范围内可以同时提高强度和韧性。Cr的质量分数控制在0.2%-0.4%可以提高钢的淬透性，进而提高所形成的输送管的硬度均匀性，降低硬度梯度。V具有析出强化和细化晶粒的作用，可显著提高强度和韧性。Ti在钢中与碳、氮形成Ti(CN)，能细化晶粒，同时可显著提高淬透性，提高钢的强度和韧性。稀土元素Re可细化晶粒，净化晶界，提高韧性。P和S为杂质元素控制二者含量均不超过0.020%。因此，本申请的中碳低合金材料在控制C、Mn、Si、Cr和Ni这些主化学成分含量的基础上，通过进一步使用微量合金元素Ti、V和Re并控制各自的用量，实现了提高材料韧性和耐磨性的目的，进而提升利用该材料形成的输送管的抗冲击性能，并缓解其磨损。

在一些实施方式中，上述稀土元素Re可以选自镧、铈、镨、钕中的任意一种或多种的组合，进而更好地细化晶粒，净化晶界，提高钢的韧性。

在本申请另一种典型的实施方式中，还提供了一种输送管，包括管体，该管体采用上述任一种中碳低合金钢材料一体成型制备而成。

如前所述，由于本申请的中碳低合金材料在控制C、Mn、Si、Cr和Ni这些主化学成分含量的基础上，通过进一步使用微量合金元素Ti、V和Re并控制各自的用量，实现了提高材料韧性和耐磨性的目的，进而提升利用该材料形成的输送管的抗冲击性能，并缓解其磨损。

在一些实施方式中，上述管体的硬度在40-45HRC、和/或抗拉强度≥1300MPa、和/或冲击功≥50J、和/或显微组织为回火马氏体。

其中，当管体的硬度在40-45HRC之间时，一方面管体整体硬度较高，另一方面管体整体不存在明显的硬度梯度，因此不会因为表面淬硬层的磨损导致管体的快速磨损问题。

当管体的抗拉强度≥1300MPa时，提高了管体的可加工性，因此不必依赖焊接工艺将端部法兰与直管连接，利用一体成型工艺在端部制作法兰，进而避免了焊接开裂导致的输

送管早期失效问题。

当管体的冲击功 $\geq 50\text{J}$ 时,输送管抵抗混凝土冲击变形能力较强,从而有效提升了输送管入口端的耐磨损能力,使得输送管的使用寿命可达到5万方以上。

当显微组织为回火马氏体时,该管体的硬度和耐磨性较高,且由于回火马氏体组织的内应力较低,因此管体的韧性有所提高。

在本申请一些实施方式中,如图2所示,上述管体1包括直管11和两个端部法兰12,两个端部法兰12与直管11一体成型,且一一对应地设置在直管11的两端。

利用一体成型工艺在端部制作端部法兰,进而避免了端部法兰和直管以焊接方式连接时焊接位置开裂导致的输送管早期失效问题。

在本申请的一些实施方式中,如图2所示,上述输送管还包括耐磨套2,耐磨套2设置在端部法兰12的内腔且与端部法兰12过盈配合。耐磨套的设置提高了入口处的耐磨损能力。

在本申请另一种典型的实施方式中,提供了一种上述任一种的输送管的制备方法,该制备方法包括:

由以下质量分数的化学成分组成的原材料制备中碳低合金钢材料: C: 0.55%-0.60%, Mn: 0.80%-1.40%, Si: $\leq 0.3\%$, Cr: 0.2%-0.4%, Ni: 0.2%-0.4%, P: $\leq 0.020\%$, S: $\leq 0.020\%$, Ti: 0.04%-0.10%, V: 0.05%-0.15%, Re: 0.001%-0.003%, 余量为Fe, 中碳低合金钢材料为无缝钢管; 对无缝钢管依次进行定尺锯切、端部法兰成型加工和热处理, 得到输送管, 所述热处理包括依次进行的加热、保温、一次冷却和二次冷却, 其中一次冷却的冷却速度为 $25\sim 35^\circ\text{C/s}$, 二次冷却的冷却速度小于一次冷却的冷却速度。

如前所述, 由于本申请的中碳低合金材料在控制C、Mn、Si、Cr和Ni这些主化学成分含量的基础上, 通过进一步使用微量合金元素Ti、V和Re并控制各自的用量, 实现了提高材料韧性和耐磨性的目的, 进而提升利用该材料形成的输送管的抗冲击性能, 并缓解其磨损。进一步地, 根据设计尺寸要求, 采用锯床等对无缝钢管进行定尺锯切; 利用端部法兰成型加工在端部制作端部法兰, 进而避免了端部法兰和直管以焊接方式连接时焊接位置开裂导致的输送管早期失效问题。同时, 控制热处理的一次冷却的冷却速度, 使内部残余应力充分释放, 降低输送管变形和开裂几率。

在本申请一些实施方式中, 上述端部法兰成型加工的步骤包括依次进行的镦粗处理和切削加工形成端部法兰。采用镦粗处理和切削加工实现端部法兰和直管的一体成型, 操作简单, 易于实现。

为了更好地控制法兰成型过程中的尺寸和机械性能, 优选地, 镦粗处理包括将无缝钢管的端部加热至 $1100\sim 1200^\circ\text{C}$ 后镦粗至目标厚度。进一步优选镦粗处理包括: 将无缝钢管的端部感应加热至 $1100\sim 1200^\circ\text{C}$ 后利用液压机镦粗至目标厚度。将无缝钢管的端部加热至 $1100\sim 1200^\circ\text{C}$, 使钢管具有良好的可锻性; 利用液压机镦粗至目标厚度保证了加工的稳定性的,

并提高了加工效率。

5 为了进一步去除输送管的内部残余应力，在一些实施方式中，上述热处理包括：将端部法兰成型处理得到的工件加热至 850-880℃并保温 1~2 小时；保温结束后进行一次冷却，优选采用强制冷却实现一次冷却，优选强制冷却为风冷或油冷；当一次冷却至 200-150℃后进行二次冷却，在二次冷却中利用余温自回火；优选二次冷却为空冷。工件在保温后以 25~35℃/s 的速度冷却，冷却速度适中，使工件的内部残余应力显著降低，整体硬度更均匀，所得到的输送管的变形和开裂倾向显著降低。优选采用风冷或油冷的方式实现 25~35℃/s 的冷却速度，以实现低成本降温。

10 在一些实施方式中，上述输送管还包括耐磨套，该制备方法还包括在热处理后得到的工件两端压装耐磨套的过程。以进一步提高输送管的耐磨性。比如将耐磨套与端部法兰为过盈配合，采用专用压装设备，将耐磨套压入端部法兰中。

在压装耐磨套后，一些实施方式的制备方法还包括抛丸和喷粉涂装的过程。抛丸的目的是去除输送管外壁的氧化皮等杂质，喷粉涂装是指在输送管外表面喷粉末涂料，以提高输送管品质。为了提高涂装稳定性，优选喷粉涂装的温度为 150-200℃。

15 利用上述原材料制备中低碳合金钢材料的方式可以采用本领域常规的工艺，比如在一些实施方式中，上述制备中低碳合金钢材料的过程包括将原材料进行熔炼、浇铸、穿孔、轧管、定径、矫直的过程。其中的熔炼、浇铸、穿孔、轧管、定径和矫直的具体操作可以参考现有中低碳合金钢材料的对应操作流程和条件，本申请不再赘述。

20 在本申请又一种典型的实施方式中，提供了一种混凝土泵车，包括输送管，该输送管为上述任一种的输送管。由于本申请的输送管的耐磨性较好，使用寿命较长，使得具有其的混凝土泵车输送管更换频率减少，工作稳定性和工作效率更好。

为进一步理解本发明，结合下面给出的实施例，对本发明提供的输送管及其制备方法进行具体描述。

实施例 1

25 1) 无缝钢管制备：无缝钢管化学成分组成：C：0.55%，Mn：0.9%，Si：0.25%，Cr：0.2%，Ni：0.4%，P：0.010%，S：0.010%，Ti：0.05%，V：0.10，Re(钼、铈、镨和钕)：0.001%，余量为 Fe。按上述合金成分进行熔炼、浇铸、穿孔、轧管、定径、矫直、水压试验，得到 φ133×4.5mm 的热轧无缝钢管。

2) 无缝钢管定尺锯切：采用锯床对无缝钢管进行定尺锯切。

30 3) 端部法兰成型加工：采用镦粗和切削加工方式成型，即先将定尺锯切后的无缝钢管端部长度 100mm 区域感应加热至 1100℃，迅速转移至液压机模腔内，镦粗到 10mm，再采用切削加工方法加工出端部法兰结构。

4) 热处理：将上述步骤 3) 得到的工件加热至 880℃，保温时间 2h，出炉迅速转移至风冷室，以 35℃/s 的冷速冷却至 180℃，转移出风冷室空冷至室温并利用余温自回火。

5) 耐磨套压装：将耐磨套与端部法兰为过盈配合，采用压装设备，将耐磨套压入法兰环中。

6) 抛丸：采用抛丸设备去除输送管外壁氧化皮等杂质。

7) 喷粉涂装：输送管外表面喷聚酯型低温粉末涂料，喷粉温度 150°C，得到实施例 1 的输送管。图 3 为金相显微镜测得的实施例 1 的输送管的金相组织图，显示金相组织为回火马氏体。

实施例 2

1) 无缝钢管制备：无缝钢管化学成分组成：C：0.57%，Mn：1.2%，Si：0.25%，Cr：0.3%，Ni：0.3%，P：0.010%，S：0.010%，Ti：0.10%，V：0.15，Re(镧、铈、镨和钕)：0.002%，余量为 Fe。按上述合金成分进行熔炼、浇铸、穿孔、轧管、定径、矫直、水压试验，得到 $\phi 133 \times 5\text{mm}$ 的热轧无缝钢管。

2) 无缝钢管定尺锯切：采用锯床对无缝钢管进行定尺锯切。

3) 端部法兰成型加工：采用镦粗和切削加工方式成型，即先将定尺锯切后的无缝钢管端部长度 90mm 区域感应加热至 1150°C，迅速转移至液压机模腔内，镦粗到 10mm，再采用切削加工方法加工出最终法兰结构。

4) 热处理：将上述步骤 3) 得到的工件加热至 850°C，保温时间 1h，出炉迅速转移至风冷室，以 25°C/s 的冷速冷却至 180°C，转移出风冷室空冷至室温并利用余温自回火。

5) 耐磨套压装：将耐磨套与端部法兰为过盈配合，采用压装设备，将耐磨套压入法兰环中。

6) 抛丸：采用抛丸设备去除输送管外壁氧化皮等杂质。

7) 喷粉涂装：输送管外表面喷聚酯型低温粉末涂料，喷粉温度 150°C，得到实施例 2 的输送管。

实施例 3

1) 无缝钢管制备：无缝钢管化学成分组成：C：0.60%，Mn：1.4%，Si：0.25%，Cr：0.4%，Ni：0.2%，P：0.010%，S：0.010%，Ti：0.08%，V：0.05，Re(镧、铈、镨和钕)：0.003%，余量为 Fe。按上述合金成分进行熔炼、浇铸、穿孔、轧管、定径、矫直、水压试验，得到 $\phi 133 \times 5.5\text{mm}$ 的热轧无缝钢管。

2) 无缝钢管定尺锯切：采用锯床对无缝钢管进行定尺锯切。

3) 端部法兰成型加工：采用镦粗和切削加工方式成型，即先将定尺锯切后的无缝钢管端部长度 82mm 区域感应加热至 1200°C，迅速转移至液压机模腔内，镦粗到 10mm，再采用切削加工方法加工出最终法兰结构。

4) 热处理：将上述步骤 3) 得到的工件加热至 850°C，保温时间 1h，出炉迅速转移至

风冷室，以 25°C/s 的冷速冷却至 180°C，转移出风冷室空冷至室温并利用余温自回火。

5) 耐磨套压装：将耐磨套与端部法兰为过盈配合，采用压装设备，将耐磨套压入法兰环中。

6) 抛丸：采用抛丸设备去除输送管外壁氧化皮等杂质。

5 7) 喷粉涂装：输送管外表面喷粉末涂料，喷粉温度 150°C，得到实施例 3 的输送管。

实施例 4

与实施例 1 的区别在于步骤 4) 的热处理条件不同，本实施例的热处理过程如下：将步骤 3) 得到的工件加热至 900°C，保温时间 1h，出炉迅速转移至风冷室，以 40°C/s 的冷速冷却至 180°C，转移出风冷室空冷至室温并利用余温自回火。

10 实施例 5

与实施例 1 的区别在于步骤 4) 的热处理条件不同，本实施例的热处理过程如下：将步骤 3) 得到的工件加热至 830°C，保温时间 1h，出炉迅速转移至风冷室，以 20°C/s 的冷速冷却至 180°C，转移出风冷室空冷至室温并利用余温自回火。

对比例 1

15 与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同，具体为：C：0.55%，Mn：0.9%，Si：0.25%，Cr：0.2%，Ni：0.4%，P：0.010%，S：0.010%，Ti：0.02%，V：0.10%，Re(钨、铈、镨和钕)：0.001%，余量为 Fe。其余与实施例 1 相同。

对比例 2

20 与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同，具体为：C：0.55%，Mn：0.9%，Si：0.25%，Cr：0.2%，Ni：0.4%，P：0.010%，S：0.010%，Ti：0.12%，V：0.10%，Re(钨、铈、镨和钕)：0.001%，余量为 Fe。

对比例 3

25 与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同，具体为：C：0.55%，Mn：0.9%，Si：0.25%，Cr：0.2%，Ni：0.4%，P：0.010%，S：0.010%，V：0.10%，Re(钨、铈、镨和钕)：0.001%，余量为 Fe。其余与实施例 1 相同。

对比例 4

与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同，具体为：C：0.55%，Mn：0.9%，Si：0.25%，Cr：0.2%，Ni：0.4%，P：0.010%，S：0.010%，Ti：0.05%，V：0.03%，Re(钨、铈、镨和钕)：0.001%，余量为 Fe。其余与实施例 1 相同。

30 对比例 5

与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同, 具体为: C: 0.55%, Mn: 0.9%, Si: 0.25%, Cr: 0.2%, Ni: 0.4%, P: 0.010%, S: 0.010%, Ti: 0.05%, V: 0.17%, Re(钨、铈、镨和钕): 0.001%, 余量为 Fe。其余与实施例 1 相同。

对比例 6

- 5 与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同, 具体为: C: 0.55%, Mn: 0.9%, Si: 0.25%, Cr: 0.2%, Ni: 0.4%, P: 0.010%, S: 0.010%, Ti: 0.05%, Re(钨、铈、镨和钕): 0.001%, 余量为 Fe。其余与实施例 1 相同。

对比例 7

- 10 与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同, 具体为: C: 0.55%, Mn: 0.9%, Si: 0.25%, Cr: 0.2%, Ni: 0.4%, P: 0.010%, S: 0.010%, Ti: 0.05%, V: 0.1%, Re(钨、铈、镨和钕): 0.004%, 余量为 Fe。其余与实施例 1 相同。

对比例 8

- 15 与实施例 1 的区别在于无缝钢管的化学成分不同, 具体为: C: 0.55%, Mn: 0.9%, Si: 0.25%, Cr: 0.2%, Ni: 0.4%, P: 0.010%, S: 0.010%, Ti: 0.05%, V: 0.1%, 余量为 Fe。其余与实施例 1 相同。

对比例 9

与实施例 1 的区别在于热处理过程, 对比例 9 的热处理过程如下: 将步骤 3) 得到的工件加热至 880°C, 保温时间 2h, 出炉迅速转移至急冷室, 以 60°C/s 的冷速冷却至 180°C, 转移出风冷室空冷至室温并利用余温自回火。其余与实施例 1 相同。

- 20 对比例 10

与实施例 1 的区别在于热处理过程, 对比例 9 的热处理过程如下: 将步骤 3) 得到的工件加热至 880°C, 保温时间 2h, 出炉迅速转移至冷却室空冷至室温并利用余温自回火。其余与实施例 1 相同。图 4 为金相显微镜测得的对比例 10 的输送管的金相组织图, 显示金相组织为铁素体+珠光体。

- 25 对比例 11

与实施例 1 的区别在于, 没有进行实施例 1 的步骤 4) 的热处理过程, 直接端部法兰成型加工后进行耐磨套压装。

对各实施例和对比例获得的输送管进行力学性能检测, 检测方法如下:

抗拉强度: 参照 GB/T 228.1 标准, 加工弧形拉伸试样, 利用拉伸试验机测试抗拉强度。

- 30 冲击功: 参照 GB/T 229 标准, 加工 V 型缺口试样, 利用摆锤冲击试验机测试试样室

温冲击功。

整体硬度：参照 GB/T 230.1 标准，利用数显洛氏硬度计测试钢管内壁硬度。

耐磨性：参照 ASTM G105-16 标准，利用湿砂橡胶轮磨损试验机测试样件磨损前后的重量，以磨损失重来评价耐磨性。

5 结果记录在表 1 中。

表 1

	金相组织	抗 拉 强 度 /MPa	冲击功/J	整 体 硬 度 /HRC	耐磨性/g
实施例 1	从表面至 心部均为 回火马氏 体组织	1350	65	40-43	0.0232
实施例 2		1400	60	41-44	0.0229
实施例 3		1450	55	42-45	0.0221
实施例 4		1460	52	43-46	0.0235
实施例 5		1330	66	40-42	0.0240
对比例 1		1300	55	38-41	0.0371
对比例 2		1310	50	39-42	0.0351
对比例 3		1200	45	37-40	0.0380
对比例 4		1180	46	37-40	0.0376
对比例 5		1360	55	40-43	0.0266
对比例 6		1025	70	38-41	0.0271
对比例 7		1250	50	40-43	0.0275
对比例 8		1180	45	39-42	0.0315
对比例 9		1500	40	44-47	0.0332
对比例 10	铁素体+珠 光体	810	120	200-220HBW	0.0625
对比例 11		650	110	180~200HBW	0.0758

在中碳低合金钢材料基础上，通过添加适当微量合金元素 Ti、V 和 Re 并控制各自的用量，结合热处理工艺，实现了提高钢强韧性和耐磨性的目的，进而提升利用该材料形成

的输送管的抗冲击性能，并缓解其磨损，使得输送管的使用寿命可达到 5 万方以上。

- 需要说明的是，本申请不限于上述实施方式。上述实施方式仅为示例，在本申请的技术方案范围内具有与技术思想实质相同的构成、发挥相同作用效果的实施方式均包含在本申请的技术范围内。此外，在不脱离本申请主旨的范围内，对实施方式施加本领域技术人员能够想到的各种变形、将实施方式中的一部分构成要素加以组合而构筑的其它方式也包含在本申请的范围内。
- 5

权 利 要 求

1. 一种中碳低合金钢材料，其特征在于，由以下质量分数的化学成分组成：C：0.55%-0.60%，Mn：0.80%-1.40%，Si：≤0.3%，Cr：0.2%-0.4%，Ni：0.2%-0.4%，P：≤0.020%，S：≤0.020%，Ti：0.04%-0.10%，V：0.05%-0.15%，Re：0.001%-0.003%，余量为Fe。
2. 根据权利要求1所述的中碳低合金钢材料，其特征在于，所述Re选自钼、铈、镨、钕中的任意一种或多种的组合。
3. 一种输送管，包括管体，其特征在于，所述管体采用权利要求1或2所述的中碳低合金钢材料一体成型制备而成。
4. 根据权利要求3所述的输送管，其特征在于，所述管体的硬度在40-45HRC、和/或抗拉强度≥1300MPa、和/或冲击功≥50J、和/或显微组织为回火马氏体。
5. 根据权利要求3所述的输送管，其特征在于，所述管体包括直管和两个端部法兰，所述两个端部法兰与所述直管一体成型，且一一对应地设置在所述直管的两端。
6. 根据权利要求5所述的输送管，其特征在于，所述输送管还包括耐磨套，所述耐磨套设置在所述端部法兰的内腔且与所述端部法兰过盈配合。
7. 一种权利要求3至6的任一项所述的输送管的制备方法，其特征在于，所述制备方法包括：

由以下质量分数的化学成分组成的原材料制备中碳低合金钢材料：C：0.55%-0.60%，Mn：0.80%-1.40%，Si：≤0.3%，Cr：0.2%-0.4%，Ni：0.2%-0.4%，P：≤0.020%，S：≤0.020%，Ti：0.04%-0.10%，V：0.05%-0.15%，Re：0.001%-0.003%，余量为Fe，所述中碳低合金钢材料为无缝钢管；

对所述无缝钢管依次进行定尺锯切、端部法兰成型加工和热处理，得到所述输送管，所述热处理包括依次进行的加热、保温、一次冷却和二次冷却，其中所述一次冷却的冷却速度为25~35°C/s，所述二次冷却的冷却速度小于所述一次冷却的冷却速度。

8. 根据权利要求7所述的制备方法，其特征在于，所述端部法兰成型加工的步骤包括依次进行的镦粗处理和切削加工形成端部法兰；

优选地，所述镦粗处理包括将所述无缝钢管的端部加热至1100-1200°C后镦粗至目标厚度；

进一步优选所述镦粗处理包括：

将所述无缝钢管的端部感应加热至1100-1200°C后利用液压机镦粗至目标厚度。

9. 根据权利要求7所述的制备方法，其特征在于，所述热处理包括：

将端部法兰成型处理得到的工件加热至 850-880°C 并保温 1~2 小时；

保温结束后进行所述一次冷却，优选采用强制冷却实现所述一次冷却，优选所述强制冷却为风冷或油冷；

当一次冷却至 200-150°C 后进行二次冷却，在二次冷却中利用余温自回火；

优选二次冷却为空冷。

10. 根据权利要求 7 至 9 中任一项所述的制备方法，其特征在于，所述输送管还包括耐磨套，所述制备方法还包括在热处理后得到的工件两端压装耐磨套的过程。
11. 根据权利要求 10 所述的制备方法，其特征在于，在压装耐磨套后所述制备方法还包括抛丸和喷粉涂装的过程，优选所述喷粉涂装的温度为 150-200°C。
12. 根据权利要求 7 至 11 中任一项所述的制备方法，其特征在于，所述制备中碳低合金钢材料的过程包括将原材料进行熔炼、浇铸、穿孔、轧管、定径、矫直的过程。
13. 一种混凝土泵车，包括输送管，其特征在于，所述输送管为权利要求 3 至 6 中任一项所述的输送管。