



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103409699 A

(43) 申请公布日 2013. 11. 27

(21) 申请号 201310400956. 6

(22) 申请日 2013. 09. 06

(71) 申请人 陕西华威锻压有限公司

地址 710000 陕西省西安市未央区石化大道
西段 80 号

(72) 发明人 王璋

(51) Int. Cl.

C22C 38/48 (2006. 01)

C21D 8/00 (2006. 01)

C21D 1/18 (2006. 01)

权利要求书2页 说明书7页 附图5页

(54) 发明名称

超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件
及其制造方法

(57) 摘要

本发明涉及一种超高强度超高低温冲击韧裂泵阀箱体钢锻件及其制造方法,其解决了现有钢材料机械性能不强、耐腐蚀性差、使用寿命短、成本高的技术问题,该锻件钢的化学成分按重量百分比计为:C:0.25~0.3%,Si:0.15~0.35%,Mn:0.6~0.9%,Cr:1.8~2.2%,Ni:4.05~4.25%,Mo:0.46~0.6%,V:0.12~0.18%, $P \leq 0.01\%$, $S \leq 0.01\%$, $Nb \leq 0.12\%$, $Re \leq 0.12\%$, $Cu \leq 0.2\%$, $H \leq 0.00016\%$, $O \leq 0.0035\%$, $N \leq 0.0065\%$,余量为Fe和不可避免的杂质。本发明可用于石油、页岩气开采领域。

1. 一种超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件,其特征在于,该锻件钢的化学成分按重量百分比计为:C:0.25~0.3%,Si:0.15~0.35%,Mn:0.6~0.9%,Cr:1.8~2.2%,Ni:4.05~4.25%,Mo:0.46~0.6%,V:0.12~0.18%, $P \leq 0.01\%$, $S \leq 0.01\%$, $Nb \leq 0.12\%$, $Re \leq 0.12\%$, $Cu \leq 0.2\%$, $H \leq 0.00016\%$, $O \leq 0.0035\%$, $N \leq 0.0065\%$,余量为Fe和不可避免的杂质。

2. 一种权利要求1所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,包括如下步骤:

- 1) 炼钢;
- 2) 加热保温;
- 3) 锻造;
- 4) 锻造后热处理。

3. 根据权利要求2所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,所述炼钢步骤为:电弧炉冶炼-炉外精炼-真空脱气-浇注电极坯-电渣重熔-扩散退火。

4. 根据权利要求2所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,所述加热保温步骤采用三段加热法进行,所述三段加热法为:在 $500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温7h;升温至 $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 保温5h;升温至 $850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 保温5h;升温至 $1180^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 均温3h;在 $1180^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温8h。

5. 根据权利要求4所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,在保温之前先将常温下的钢锭放入 200°C 以下的加热炉,对炉内的温度按照 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速度升至 $500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;升温至 $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$;升温至 $850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$;升温至 $1180^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $80^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

6. 根据权利要求2所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,所述锻造步骤包括第一火次锻造和第二火次锻造,每次的墩粗比控制在2~2.5、拔长锻比控制在比2~2.5,总锻比控制在8~12;拔长变形采用宽砧径向压实法;整个在采用径向压实法锻造过程中钢锭坯料芯部温控制在 $1050^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ 。

7. 根据权利要求2所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,所述锻造后热处理过程为:将锻造过程输出的锻件以水雾空冷方式冷却至 450°C ,再放入加热炉进行正火+回火处理。

8. 根据权利要求7所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,所述正火+回火处理包括如下步骤:

- 1) 将冷却至 450°C 的锻件放入加热炉在 $450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温6h;
- 2) 升温至 $860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 均温3h,保温7h;
- 3) 把锻件从炉中取出后以水雾空冷方式均匀冷却至 320°C ;
- 4) 将冷却至 320°C 的锻件放入加热炉在 $320^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 下保温7h;
- 5) 升温至 $660^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$,均温、保温72h;
- 6) 停炉,锻件随炉冷却至 150°C 时,把锻件从炉中取出后入坑堆冷却至常温状态。

9. 根据权利要求8所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其

特征在于,所述锻造过程输出的锻件的终锻温度 $> 850^{\circ}\text{C}$;升温至 $860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $80^{\circ}\text{C}/\text{h}$;升温至 $660^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$;随炉冷却至 150°C 的降温速度是 $\leq 30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

10. 根据权利要求 2-9 任意一项所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,所述炼钢步骤完成后,对制成的钢锭进行检验,检验合格后的产品再进入加热保温过程中,具体检验步骤是:首先对钢锭的化学成分进行全分析;其次做金相分析保证钢中非金属单项夹杂物小于等于 1 级,氧化物和硫化物夹杂物总和小于等于 2 级,锭型偏析、中心疏松小于等于 1 级,不允许有一般点状偏析和边缘点状偏析存在;再次做超声波无损探伤检验,检验是否存在冶金缩孔、裂纹或粗晶缺陷。

11. 根据权利要求 2-9 任意一项所述的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,其特征在于,对完成锻造后热处理的锻件进行粗加工及超声波无损探伤,并进行外观检验、尺寸检验、划线、锯切两端余料和粗铣;再次划线、锯切,然后在锻件本体上取样进行调质处理,对调制后的样品做力学性能试验和金相检验,检验合格后对锻件进行标记、包装、入库。

超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件及其制造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及石油、页岩气开采领域的设备用材料及其制造方法,特别是涉及一种超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件及其制造方法。

背景技术

[0002] 目前,在石油、页岩气开采领域,压裂技术能够有效的提高石油、页岩气的开采量,压裂泵是压裂开采过程中的关键设备。根据国家经济和社会发展规划第十二个五年规划纲要对改造提升制造业、优化结构、改善品种质量、提高基础工艺、提高基础材料研发水平、实现关键零部件技术自动化等方面的有关要求,特别是国家对石油油气井提升产能、增加产量的要求越来越高,对压裂泵的技术要求也越来越高。

[0003] 压裂泵的性能、质量和可靠性直接影响压裂实施过程的质量和进度,因为压裂泵的使用工况很恶劣,要求压裂泵有更高的泵压和更大的排量,要求其能够承受高压、循环载荷作用,还要求其能输送高压带磨砺、腐蚀的介质,更要求其能再恶劣的工况下可靠运行并保持更高的使用寿命。尤其对于压裂泵阀箱体有着相对较高的要求,要求泵阀箱体不但要承受超高的压力,而且要承受较高的交变载荷冲击力和耐酸碱腐蚀力。此外,由于在高寒地区冬天的气温在零下40℃左右甚至更低,故要求泵阀箱体能够承受低温冲击。所以,要符合上述要求,就要对泵阀箱体的材料的选择、加工制造工艺进行改进,攻克技术难题。

[0004] 目前普遍使用的压裂泵阀箱体材料是沿用国产40CrNiMoA、俄罗斯38CrNi2MoV和美国4330牌号材料,经锻造加工而成,其使用寿命仅在250~300h,且不能满足在高寒地区的正常使用。而且现有锻造加工工艺方法生产出来的材料机械性能不强、耐腐蚀性差。此外,在常温工况下使用时,耐腐蚀力较差、使用寿命短、成本高,不能满足石油增产和页岩气压裂开采的需求。所以研制出超高压、超高强度、耐腐蚀、超低温冲击韧性、超细晶、无冶金缺陷的压裂泵阀箱体材料已经是亟待解决的技术问题。

发明内容

[0005] 本发明就是为了解决上述技术问题或者至少之一,提供一种超高强度、耐腐蚀性更强、超高冲击韧性、超细晶、无冶金缺陷、成本低的超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件及其制造方法。

[0006] 本发明提供一种超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件,该锻件钢的化学成分按重量百分比计为:C:0.25~0.3%,Si:0.15~0.35%,Mn:0.6~0.9%,Cr:1.8~2.2%,Ni:4.05~4.25%,Mo:0.46~0.6%,V:0.12~0.18%,P≤0.01%,S≤0.01%,Nb≤0.12%,Re≤0.12%,Cu≤0.2%,H≤0.00016%,O≤0.0035%,N≤0.0065%,余量为Fe和不可避免的杂质。

[0007] 本发明还提供一种超高强度超高低温冲击压裂泵阀箱体钢锻件的制造方法,包括如下步骤:

[0008] 1) 炼钢;

[0009] 2) 加热保温；

[0010] 3) 锻造；

[0011] 4) 锻造后热处理。

[0012] 优选地,其炼钢步骤为:电弧炉冶炼-炉外精炼-真空脱气-浇注电极坯-电渣重熔-扩散退火。

[0013] 优选地,加热保温步骤采用三段加热法进行,三段加热法具体为:在 $500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温 7h;升温至 $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 保温 5h;升温至 $850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 保温 5h;升温至 $1180^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 均温 3h;在 $1180^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温 8h。

[0014] 优选地,在保温之前先将常温下的钢锭放入 200°C 以下的加热炉,对炉内的温度按照 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速度升至 $500^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$;升温至 $650^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$;升温至 $850^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$;升温至 $1180^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $80^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

[0015] 优选地,锻造步骤包括第一火次锻造和第二火次锻造,每次的墩粗比控制在 $2 \sim 2.5$,拔长锻比控制在 $2 \sim 2.5$,总锻比控制在 $8 \sim 12$ 。

[0016] 优选地,锻造后热处理过程为:将锻造过程输出的锻件以水雾空冷方式冷却至 450°C ,再放入加热炉进行正火+回火处理。

[0017] 优选地,正火+回火处理包括如下步骤:

[0018] 1) 将冷却至 450°C 的锻件放入加热炉在 $450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温 6h;

[0019] 2) 升温至 $860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 均温 3h,保温 7h;

[0020] 3) 把锻件从炉中取出后以水雾空冷方式均匀冷却至 320°C ;

[0021] 4) 将冷却至 320°C 的锻件放入加热炉在 $320^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 下保温 7h;

[0022] 5) 升温至 $660^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$,均温、保温 72h;

[0023] 6) 停炉,锻件随炉冷却至 150°C 时,把锻件从炉中取出后入坑堆冷却至常温状态。

[0024] 优选地,锻造过程输出的锻件的终锻温度 $> 850^{\circ}\text{C}$;升温至 $860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $80^{\circ}\text{C}/\text{h}$;升温至 $660^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 这个过程的升温速度是 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$;随炉冷却至 150°C 的降温速度是 $\leq 30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

[0025] 优选地,炼钢步骤完成后,对制成的钢锭进行检验,检验合格后的产品再进入加热保温过程中,具体检验步骤是:首先对钢锭的化学成分进行全分析;其次做金相分析保证钢中非金属单项夹杂物小于等于 1 级,氧化物和硫化物夹杂物总和小于等于 2 级,锭型偏析、中心疏松小于等于 1 级,不允许有一般点状偏析和边缘点状偏析存在;再次做超声波无损探伤检验,检验是否存在冶金缩孔、裂纹或粗晶缺陷。

[0026] 优选地,对完成锻造后热处理的锻件进行粗加工及超声波无损探伤,并进行外观检验、尺寸检验、划线、锯切两端余料和粗铣;再次划线、锯切,然后在锻件本体上取样进行调质处理,对调制后的样品做力学性能试验和金相检验,检验合格后对锻件进行标记、包装、入库。

[0027] 本发明的有益效果是:

[0028] 1、耗费大量的人力、物力和财力经过长时间的实验,研制出了超高强度、耐腐蚀性更强、超高冲击韧性、超细晶、无冶金缺陷的新材料和制造方法。采取调整钢中化学成分元素比例、冶炼方法、去除有害元素等工艺,在锻造中使用 WRF 法即中心强压锻造法的特殊

锻造工艺和锻后热处理工艺,完全解决了压裂泵材料的抗拉强度和屈服强度,保证了其在100~150MPa下的超高压工况条件,保证了其在-40℃工作环境抗交变载荷的冲击力,保证了其耐酸碱腐蚀和耐高温,彻底解决了压裂泵阀箱体寿命短,能够长时间在高压工况下工作,特别是在-40℃工况下工作,超过了欧美国家对压裂泵阀箱体的设计要求。

[0029] 2、在炼钢过程中,减少钢中的碳含量 $\leq 0.3\%$,提高钢的塑性和韧性;提高钢中的镍含量 $\geq 4\%$,从而提高了材料的抗晶间腐蚀能力;提高了钢中的铬含量 $> 1.8\%$,从而提高了钢的强度、耐磨性和防腐性能;提高了钢的钼含量 $> 0.45\%$,从而提高了钢的耐磨和抗冲击性能,提高了材料的淬透性和强度;在钢中加入适量铌和稀土等微量元素,有效地消除钢中其它有害物质及夹杂物的形态和分布,改善钢中的铸态组织,提高材料的抗氧化作用和耐酸、耐腐蚀作用,由于细化了钢的晶粒,提高了钢的低温冲击韧性,降低了钢的脆性转折点,增强了钢的蠕变强度,能够防止氧化介质对钢的晶间腐蚀,同时提高了钢的综合强度;在钢中加入 $> 0.12\%$ 钒,提高了材料的低温冲击韧性和耐磨性,提高了钢的蠕变和持久强度,大大提高了钢的抗高温、高压及氢腐蚀能力,较大的提高了材料的使用寿命;控制了P、S $\leq 0.010\%$ 的含量,避免了钢的严重偏析,回火脆性及低温条件下冷脆敏感性,同时也避免了钢的热脆及气孔和疏松的产生,材料能够在不同高温、低温工况条件工作时有效的防止材料自身冷、热裂造成的不良力学性能影响;控制了H $\leq 1.6\text{ppm}$ 、O $\leq 35\text{ppm}$ 、N $\leq 65\text{ppm}$,降低了钢中的氢含量,预防了钢中的白点的产生,避免了冷裂的发生,降低和控制氧含量,能消除氧化夹杂物存在,提高钢的塑性和韧性,降低氮含量,可以避免残余氮导致的时效脆性有效的控制了钢中有害气体的残余量;采取了电渣重熔工艺冶炼,进一步对钢中的夹杂物进行了控制,从而达到了材料的纯洁度,为下一步锻造打好基础。

[0030] 3、在锻造过程中,第一火次采用上下大截面宽板锻粗法和WRF法进行径向压实,两次镦拔,总锻比 > 8 ,即焊合了材料的内部残余缺陷,又增加了锻件的密度,同时更进一步细化了晶粒;第二火次继续增加了一次镦粗,径向压实过程,使总锻比 > 12 ,使纤维组织成方格状态,完全满足了设计要求,锻后采用直接过冷至450℃,充分利用锻件锻造后余热快冷细化晶粒,降低了燃料消耗,提高了生产效率。采用本发明生产、制造的压裂泵阀箱体锻件,抗拉强度 $R_m > 1200\text{MPa}$,屈服强度 $R_{p0.2} > 1100\text{MPa}$,延伸率 $A > 1.5\%$,断面收缩率 $Z > 50\%$,夏比冲击 $AKV(-40^\circ\text{C}) > 78\text{J}$,晶粒度 > 8 级。完全满足了石油、页岩气开采中在不同工况条件下,对压裂泵的使用寿命的设计要求。

[0031] 4、锻造后热处理中,直接冷却至450℃,能够充分利用锻件锻造后预热快冷细化晶粒,降低了燃料消耗,提高了生产效率。

[0032] 5、增加了成分全分析、金相检验和超声波无损探伤检验,筛选出材料成分、夹杂物和无损探伤等各项质量指标合格的材料。

[0033] 本发明进一步的特征,将在以下具体实施方式的描述中,得以清楚地记载。

附图说明

[0034] 图1是加热保温过程的温度-时间关系图;

[0035] 图2是锻造后热处理过程的温度-时间关系图;

[0036] 图3是本发明内部纤维组织结构示意图;

[0037] 图4是钢锭镦粗前的状态图;

- [0038] 图 5 是锻粗后的状态图；
 [0039] 图 6 是用 WRF 法强压的四方坯料的状态图；
 [0040] 图 7 是上、下平砧拔八方坯料的状态图；
 [0041] 图 8 是锻造完后的毛坯状态图。

具体实施方式

[0042] 第一、二、三和四实施例

[0043] 选用常规原材料,经过电弧炉冶炼-炉外精炼-真空脱气-浇注电极坯-电渣重熔-扩散退火这几个步骤把原材料制成如表 1 所示的化学成分的钢锭。该化学成分钢锭符合 Q/HWG-QW07010-2011 标准中规定的“C ≤ 0.30、Si :0.15-0.35、Mn :0.6-0.9、S ≤ 0.010、P ≤ 0.010、Cr :1.80-2.20、Ni > 4.00、Mo > 0.45、V :0.12-0.18、Cu ≤ 0.20、Nb、Re :适量、H ≤ 1.6ppm、O ≤ 35ppm、N ≤ 65ppm”的要求。

[0044] 表 1 实施例中钢锭化学成分 (wt%),余量为 Fe 和不可避免的杂质。

[0045]

成分	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	V	P	
实 施 例	1	0.25	0.15	0.6	1.8	4.05	0.46	0.12	0.002
	2	0.26	0.19	0.7	1.9	4.15	0.51	0.15	0.004
	3	0.28	0.31	0.8	2.1	4.20	0.57	0.17	0.008
	4	0.3	0.35	0.9	2.2	4.25	0.6	0.18	0.01
成分	S	Nb	Re	Cu	H	O	N		
实 施 例	1	0.003	0.08	0.08	0.06	0.00004	0.0006	0.0009	
	2	0.006	0.09	0.09	0.12	0.00009	0.0011	0.0024	
	3	0.007	0.10	0.11	0.16	0.00012	0.0024	0.0053	
	4	0.01	0.12	0.12	0.2	0.00016	0.0035	0.0065	

[0046] 第五实施例

[0047] 1. 炼钢：

[0048] 选用常规原材料,经过电弧炉冶炼-炉外精炼-真空脱气-浇注电极坯-电渣重熔-扩散退火这几个步骤把原材料制成如表 1 所示的化学成分的钢锭。该化学成分钢锭符合 Q/HWG-QW07010-2011 标准中规定的“C ≤ 0.30、Si :0.15-0.35、Mn :0.6-0.9、S ≤ 0.010、P ≤ 0.010、Cr :1.80-2.20、Ni > 4.00、Mo > 0.45、V :0.12-0.18、Cu ≤ 0.20、Nb、Re :适量、H ≤ 1.6ppm、O ≤ 35ppm、N ≤ 65ppm”的要求。

[0049] 2. 检验：

[0050] 对电渣重熔钢锭进行成分全分析、金相检验和超声波无损探伤检验,筛选出材料成分、夹杂物和无损探伤等各项质量指标合格的钢锭。

[0051] 具体过程是首先对钢锭的化学成分进行全分析,保证各成分的含量在标准要求范

围内；其次做金相分析保证钢锭中非金属单项夹杂物不大于 1 级，氧化物和硫化物夹杂物总和不大 于 2 级，锭型偏析、中心疏松不大于 1 级，不允许有一般点状偏析和边缘点状偏析存在；再次做超声波无损探伤检验，检验是否存在冶金缩孔、裂纹或粗晶缺陷。保证进入下一道工序的产品是符合标准要求的产品。

[0052] 3. 加热保温：

[0053] 如图 1 所示，将检验合格的钢锭进行加热保温，将常温下的钢锭放入 200℃ 以下的加热炉中。按照三段加热法进行加热保温，先对炉内的温度按照 50℃ /h 的升温速度升至 500℃ ±10℃，在 500℃ ±10℃ 的温度下对钢锭保温 7h，再以 60℃ /h 的升温速度升至 650℃ ±10℃ 并保温 5h，然后以 60℃ /h 的升温速度升至 850℃ ±10℃ 保温 5h，再然后以 80℃ /h 的升温速度升至 1180℃ ±10℃ 均温 3h，最后在 1180℃ ±10℃ 下保温 8h。

[0054] 4. 锻造：

[0055] 该步骤分为第一火次锻造和第二火次锻造，下述过程中的附图中 D 表示直径，H 表示高度。

[0056] (1) 第一火次锻造：

[0057] ①如图 4 和图 5 所示，将完成加热保温的钢锭从加热炉中取出后放在压机镦粗台上，采用上下大截面镦粗法，进行大压力镦粗，镦粗比为 2 ~ 2.5 时停锻，把镦粗比控制在 2 ~ 2.5 的范围内；

[0058] ②如图 6 和图 7 所示，再将完成镦粗的钢锭用操作机夹持沿径向放在镦粗台上，采用宽砧径向压实法 (WRF)，把大镦粗板放在钢锭上顺着钢锭径向进行强压，压下量为 23%，停锻 180 秒后将钢锭旋转 90°，采用同样方法重复强压至四方坯料后停锻 180 秒，用上下平砧拔八方坯料，把拔长锻比控制在 2 ~ 2.5 的范围内；

[0059] ③将八方坯料继续立放在镦粗台上，采用上下大截面镦粗法进行大压力镦粗，镦粗比 2 ~ 2.5 时停锻，把镦粗比控制在 2 ~ 2.5 的范围内；

[0060] ④将完成第③步的坯料沿径向放在镦粗台上，采用宽砧径向压实法 (WRF)，把大镦粗板放在坯料上顺着坯料径向进行强压，压下量为 23%，停锻后旋转 90°，采用同样方法重复强压，压下量为 23%，压至四方后拔八方坯料，把拔长锻比控制在 2 ~ 2.5 的范围内。强压终锻温度 900℃ ±10℃，锻造过程中钢锭坯料芯部温控制在 1050℃ ~ 1100℃；

[0061] ⑤最后将完成强压的坯料放入加热炉加热至 1100℃ ±10℃ 保温 3h。

[0062] 该第一火次锻造的镦粗比控制在 2 ~ 2.5，拔长锻比控制在比 2 ~ 2.5，总锻比控制在 8 ~ 12。

[0063] (1) 第二火次锻造：

[0064] ①将完成第一火次锻造的坯料从加热炉中取出放在镦粗台上，采用上下大截面镦粗法，进行大压力镦粗，镦粗比为 2 ~ 2.5 时停锻，把镦粗比控制在 2 ~ 2.5 的范围内；

[0065] ②将完成镦粗的钢锭沿径向放在镦粗台上，采用宽砧径向压实法 (WRF) 对坯料进行强压，压下量为 20%，停锻 180 秒后将坯料旋转 90°，采用同样方法重复强压，压下量为 20%，压至成四方坯料后停锻 180 秒；

[0066] 上述镦粗和强压过程中钢锭坯料表面温度控制在 880℃ ~ 920℃，该温度控制的目的是给下一步精锻、整形留有足够剩余锻造比，以防止锻造粗晶，精整棱角时防止角裂；

[0067] ③如图 8 所示，用上下平砧精锻、整形、校直至毛坯，终锻温度 850℃ ±10℃。

[0068] 第二火次锻造的镦粗比控制在 2 ~ 2.5, 拔长锻比控制在比 2 ~ 2.5, 总锻比控制在 8 ~ 12。

[0069] 至此, 整个锻造过程完成, 输出锻件。在整个锻造过程中, 每次的镦粗比控制在 2 ~ 2.5、拔长锻比控制在比 2 ~ 2.5, 总锻比控制在 8 ~ 12 控制镦粗比 ≥ 2 , 其目的是为了 保证钢锭芯部处理三项压应力状态, 并根据工艺要求能满足拔长时的锻造比, 进一步分散 定型偏析等微小缺陷。整个锻造过程中的坯料尺寸可能会发生不可避免的适当偏差, 但是 不影响锻造效果。

[0070] 5. 锻造后热处理:

[0071] 锻件以水雾空冷方式冷却至 450°C, 再放入加热炉进行正火 + 回火处理。

[0072] 如图 2 所示, 具体过程是: 第一步, 将终锻温度 $> 850^{\circ}\text{C}$ 的锻件在炉外进行鼓风、水 雾强冷至 450°C; 第二步, 将锻件放入加热炉在 $450^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的温度下保温 6h; 第三步, 把炉 温以 $80^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速度升温至 $860^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 均温 3h, 保温 7h; 第四步, 把锻件从炉中取出 后将锻件以水雾空冷方式均匀快冷至 320°C; 第五步, 将锻件放入加热炉在 $320^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ 的 温度下保温 7h; 第六步, 将炉温以 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速度升至 $660^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$, 均温、保温 72h; 第七步, 停炉, 随炉按 $\leq 30^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的降温速度冷却至 150°C 时, 把锻件从炉中取出后入坑堆冷 却至常温状态。

[0073] 直接冷却至 450°C, 目的是充分利用锻件锻造后预热快冷细化晶粒, 降低了燃料消 耗, 提高了生产效率。

[0074] 6. 粗加工及超声波无损探伤:

[0075] 对完成锻造后热处理的锻件进行粗加工; 对锻件进行外观检验、尺寸检验、超声波 无损探伤、划线、锯切两端余料、粗铣。

[0076] 7. 调制热处理:

[0077] 再次划线、锯切, 然后在锻件本体上取样进行调质处理, 对调制后的样品做力学性 能试验和金相检验, 检验合格后对锻件进行标记、包装、入库。

[0078] 如图 3 所示为本发明锻件钢的内部纤维组织结构示意图。

[0079] 如表 2 所示为本发明锻件钢的力学性能表。

[0080] 表 2 力学性能表。

[0081]

抗拉强度 Rm(Mpa)	屈服强度 Rp0.2(Mpa)	延伸率 (A%)	断面收缩率 (Z%)	夏比冲击 AKV (-40°C) (J)	晶粒度
1200—1250	1100—1150	15—17	50—56	78—88	8—9.5 级

[0082] 第六实施例

[0083] 本实施例的实施方式同第五实施例, 其中第 3 步骤加热保温过程中, 按照三段加 热法进行加热保温, 先对炉内的温度按照 $50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速度升至 510°C , 在 510°C 的温度下 对钢锭保温 7h, 再以 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速度升至 660°C 并保温 5 小时, 然后以 $60^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 的升温速

度升至 860℃并保温 5h,再然后以 80℃/h 的升温速度升至 1190℃均温 3h,最后在 1190℃下保温 8h。

[0084] 其中第 5 步锻造后热处理过程中,第一步,将终锻温度 > 850℃的锻件在炉外进行鼓风、水雾强冷至 450℃;第二步,将锻件放入加热炉在 460℃下保温 6h;第三步,把炉温以 80℃/h 的升温速度升温至 870℃均温 3h,保温 7h;第四步,把锻件从炉中取出后将锻件以水雾空冷方式均匀快冷至 320℃;第五步,将锻件放入加热炉在 330℃下保温 7h;第六步,将炉温以 60℃/h 的升温速度升温至 670℃,均温、保温 72h;第七步,停炉,随炉按 ≤ 30℃/h 的降温速度冷却至 150℃时,把锻件从炉中取出后入坑堆冷却至常温状态。

[0085] 第七实施例

[0086] 本实施例的实施方式同第五实施例,其中第 3 步骤加热保温过程中,按照三段加热法进行加热保温,先对炉内的温度按照 50℃/h 的升温速度升至 500℃,在 500℃的温度下对钢锭保温 7h,再以 60℃/h 的升温速度升至 650℃并保温 5h,然后以 60℃/h 的升温速度升至 850℃并保温 5h,再然后以 80℃/h 的升温速度升至 1180℃均温 3h,最后在 1180℃下保温 8h。

[0087] 其中第 5 步锻造后热处理过程中,第一步,将终锻温度 > 850℃的锻件在炉外进行鼓风、水雾强冷至 450℃;第二步,将锻件放入加热炉在 450℃下保温 6h;第三步,把炉温以 80℃/h 的升温速度升温至 860℃均温 3h,保温 7h;第四步,把锻件从炉中取出后将锻件以水雾空冷方式均匀快冷至 320℃;第五步,将锻件放入加热炉在 320℃下保温 7h;第六步,将炉温以 60℃/h 的升温速度升温至 660℃,均温、保温 72h;第七步,停炉,随炉按 ≤ 30℃/h 的降温速度冷却至 150℃时,把锻件从炉中取出后入坑堆冷却至常温状态。

[0088] 第八实施例

[0089] 本实施例的实施方式同第五实施例,其中第 3 步骤加热保温过程中,按照三段加热法进行加热保温,先对炉内的温度按照 50℃/h 的升温速度升至 490℃,在 490℃的温度下对钢锭保温 7h,再以 60℃/h 的升温速度升至 640℃并保温 5h,然后以 60℃/h 的升温速度升至 840℃并保温 5h,再然后以 80℃/h 的升温速度升至 1170℃均温 3h,最后在 1170℃下保温 8h。

[0090] 其中第 5 步锻造后热处理过程中,第一步,将终锻温度 > 850℃的锻件在炉外进行鼓风、水雾强冷至 450℃;第二步,将锻件放入加热炉在 440℃下保温 6h;第三步,把炉温以 80℃/h 的升温速度升温至 850℃均温 3h,保温 7h;第四步,把锻件从炉中取出后将锻件以水雾空冷方式均匀快冷至 320℃;第五步,将锻件放入加热炉在 310℃下保温 7h;第六步,将炉温以 60℃/h 的升温速度升温至 650℃,均温、保温 72h;第七步,停炉,随炉按 ≤ 30℃/h 的降温速度冷却至 150℃时,把锻件从炉中取出后入坑堆冷却至常温状态。

[0091] 以上所述仅对本发明的优选实施例而已,并不用于限制本发明,本发明不限于用在石油、页岩气开采领域,对于本领域的技术人员来说,本发明可以有各种更改和变化。凡是在发明的权利要求限定范围内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应在本发明的保护范围之内。

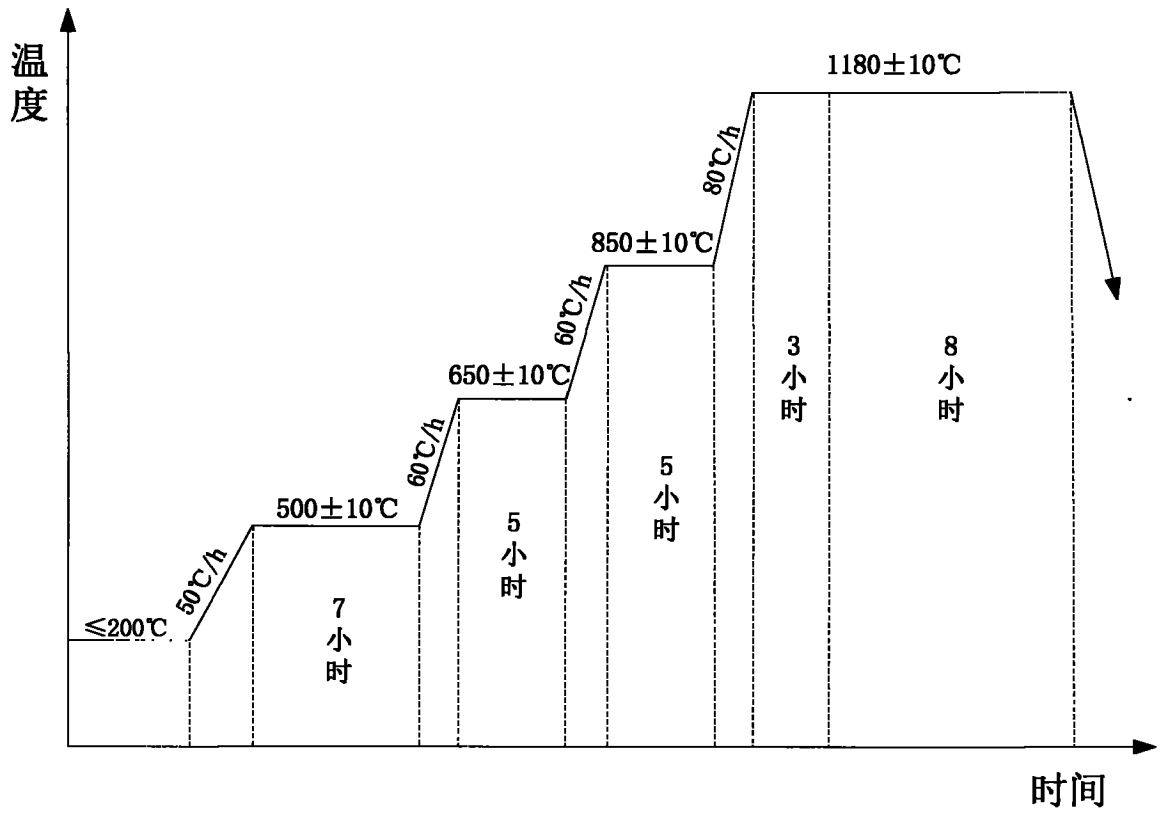


图 1

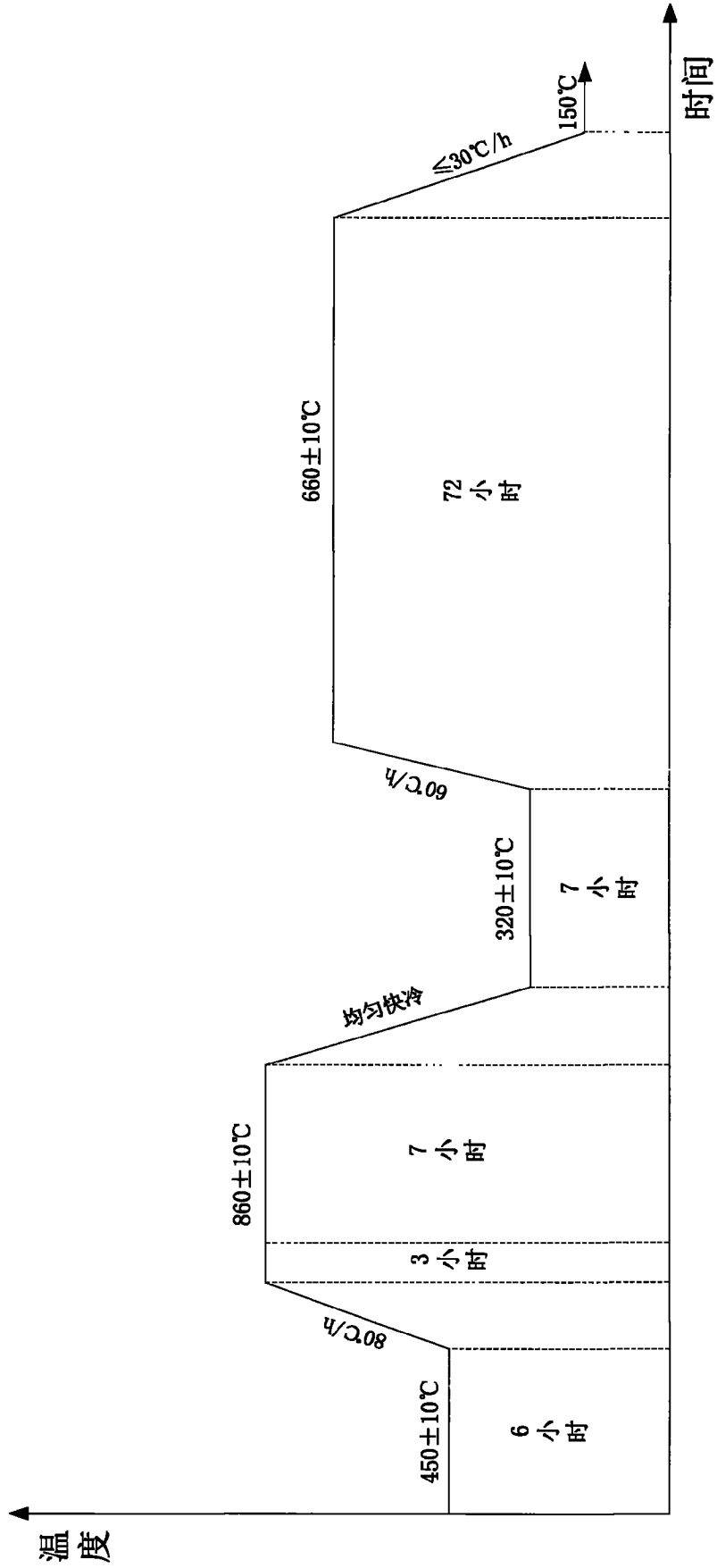


图 2

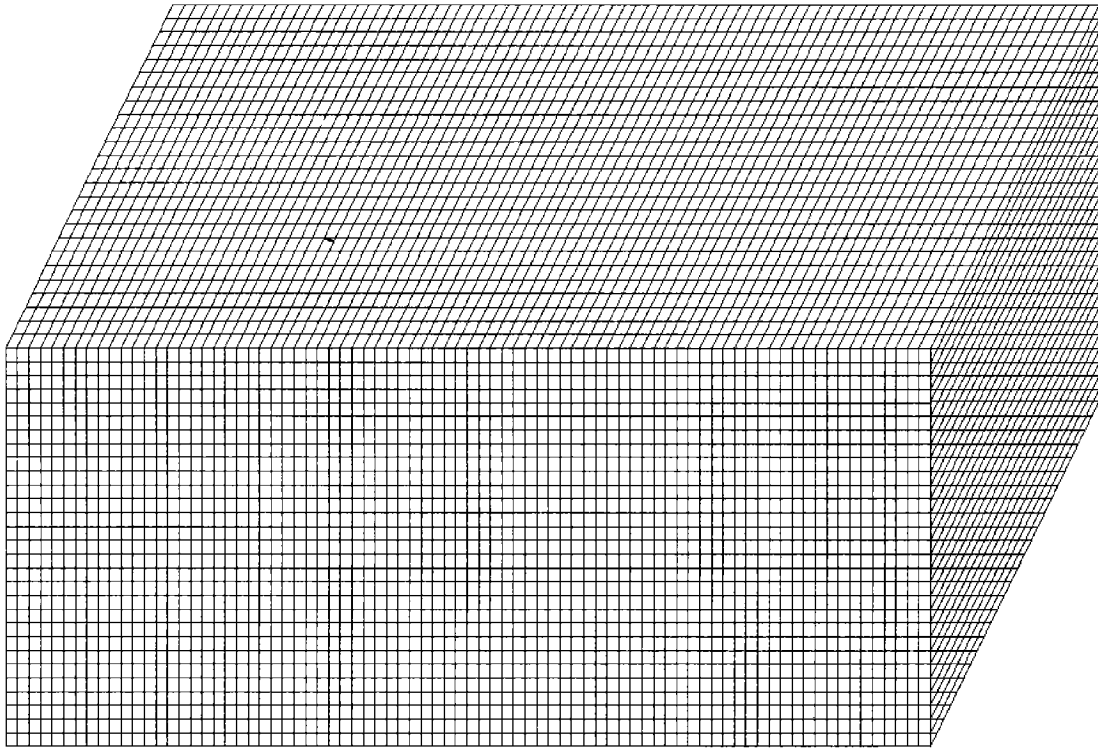


图 3

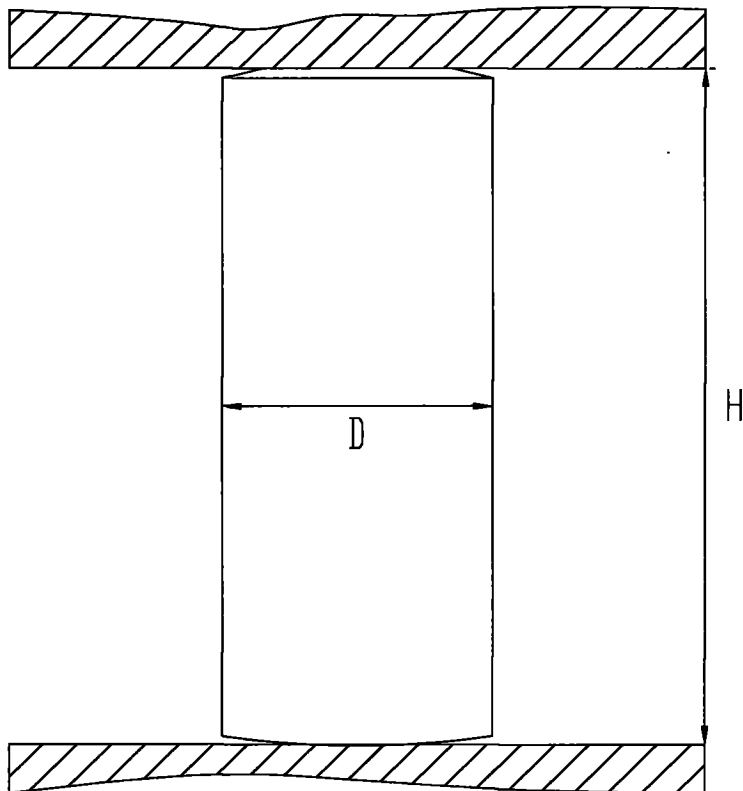


图 4

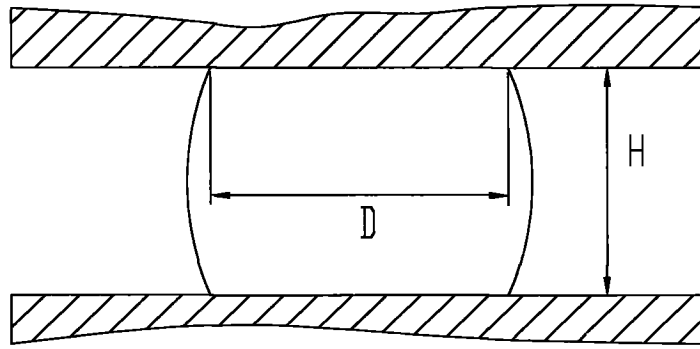


图 5

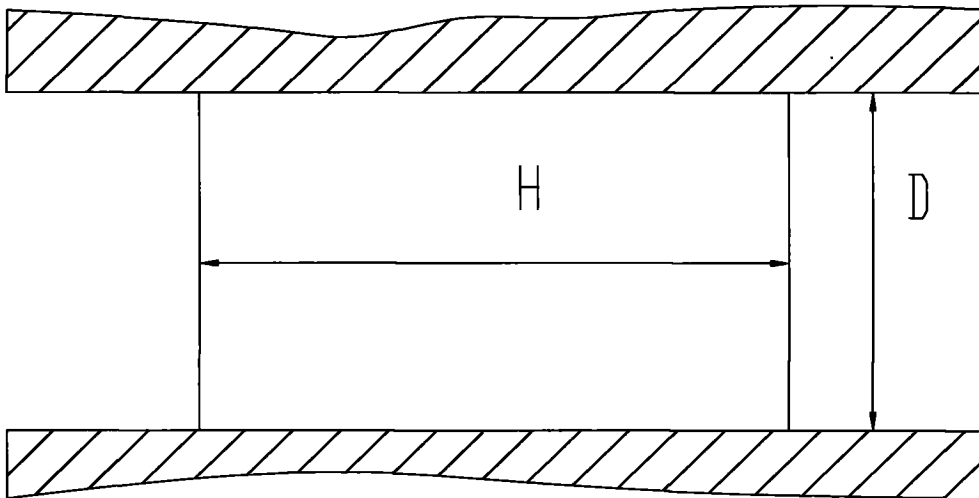


图 6

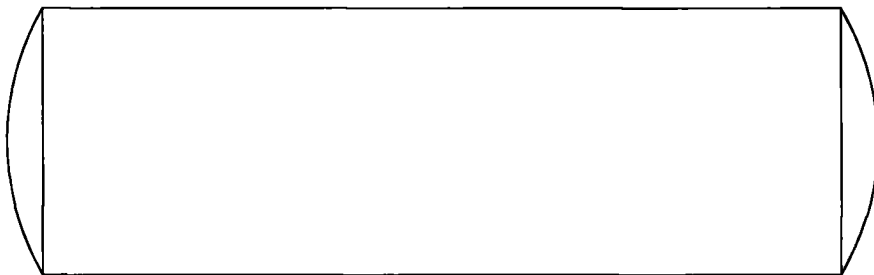


图 7

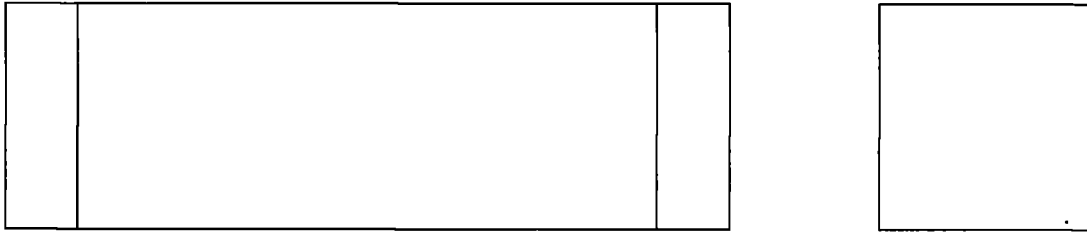


图 8