

浅谈油气长输管道冻土管沟开挖 技术措施

李洪亮

西藏青藏石油管道有限公司, 西藏 拉萨

收稿日期: 2023年7月3日; 录用日期: 2023年8月16日; 发布日期: 2023年8月31日

摘要

随着我国经济的快速发展,国内石油、天然气需求量的逐步增大,高寒冻土地区长输管道施工不可避免。但是高寒冻土地区管沟开挖始终是管道施工的难题,首先是爆破施工手续办理困难,其次一般液压镐对冻土开挖效率也较低。本文对普通冻土开挖方式进行了分析,论证了矿山高频破碎锤进行管沟冻土破碎开挖的可行性,该施工工艺解决了冻土开挖困难,施工周期长,并行在役管道安全风险大等难题,有效缩短了施工周期,降低施工成本,具有较大的推广价值。

关键词

长输管道, 冻土管沟开挖, 高频破碎锤, 降低成本

A Discussion on the Excavation Techniques for Frozen Soil Trenching in Oil and Gas Long-Distance Pipeline Construction

Hongliang Li

Tibet Qingzang Petroleum Pipeline Co., Ltd., Lhasa Tibet

Received: Jul. 3rd, 2023; accepted: Aug. 16th, 2023; published: Aug. 31st, 2023

Abstract

With the rapid development of China's economy, the domestic demand for oil and natural gas is

gradually increasing, and the construction of long-distance pipelines in cold and frozen soil areas is inevitable. However, the excavation of pipeline trenches in cold and frozen soil areas has always been a problem in pipeline construction. The first is the difficulty in handling blasting construction procedures, and secondly, the efficiency of ordinary hydraulic picks for frozen soil excavation is also low. This paper analyzes the common methods of frozen soil excavation and demonstrates the feasibility of using vibro ripper to break and excavate frozen soil in pipeline trenches. This construction technology solves the difficulties of frozen soil excavation, long construction period, and high safety risks of pipelines in service. It effectively shortens the construction period and reduces construction costs, and has significant promotional value.

Keywords

Long-Distance Pipeline, Frozen Soil Trench Excavation, Vibro Ripper, Construction Cost

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

随着我国经济的快速发展,国内石油、天然气需求量的逐步增大,高寒地区长输管道施工不可避免。根据地理学划分,我国黑龙江省北部、青藏高原、新疆、甘肃、内蒙古部分地区海拔高、常年低温、冻土常年不化,属于高寒地区,最低气温可达 -53°C ,冻土深度 $5\text{ m}\sim 200\text{ m}$ 以上不等。该地区冻土开挖十分困难,施工效率较低,严重影响工期和质量。传统工艺主要为爆破法、液压镐、单钩开挖。爆破法适用于较厚的坚硬冻土层,效率较高,但是爆破手续办理困难,火工品管控严格,安全环保风险较大,方案实施受限因素较多。液压镐对于石方破碎开挖效果较好,对多年冻土破碎效率相对较低,单机日均开挖进度为 18 m 。单钩主要用于季节性冻土开挖效率较高,对多年冻土开挖困难,效率极低,单机开挖日均不足 10 m 。

近几年来,中国石油管道局工程有限公司参与承建了多个大型长输管道建设项目,在高寒地区冬季施工过程中,通过技术与攻关,创新应用矿山高频破碎锤进行管沟冻土破碎开挖,配合挖掘机进行管沟清理的新工艺,该施工工艺解决了冻土开挖困难,施工周期长,并行在役管道安全风险大等难题,有效缩短了施工周期,降低施工成本,具有较大的推广价值。

2. 高频振动破碎冻土技术

冻土通常是指在 0°C 或在 0°C 以下环境下,在含水的土壤中出现结晶状态或者形成结胶松散颗粒[1]。冻土开挖过程中,动强度决定着土体开挖的难易程度,动强度和残余应变主要受温度、含水量、加载频率、振动次数以及加载速率的影响。冻土动强度和破坏应变随温度的降低而增大,随含水量的增加而减小,加载频率、振动次数以及加载速率对动强度和微观变形的影响最为显著[2]。通过试验研究,冻土在轴向振动荷载作用下颗粒呈定向排列,导致冻土破坏应变和蠕变强度减小。随着破碎设备振动频率的提高,其动强度大幅下降,从而破坏冻土结构,使冻土段管沟开挖难度降低。

高频破碎锤(见图1)是基于以上原理设计的新型物理破碎设备,由配套挖掘机液压动力源传递液压能给液压马达,带动振动箱内的偏心齿轮转动,进而产生离心力,其处置分量为周期性变化的干扰力,使轴产生径向受迫振动的高频激振力。再由激振器箱体传递给振动刀排斗齿进行冻土破碎作业(见图2)[3]。

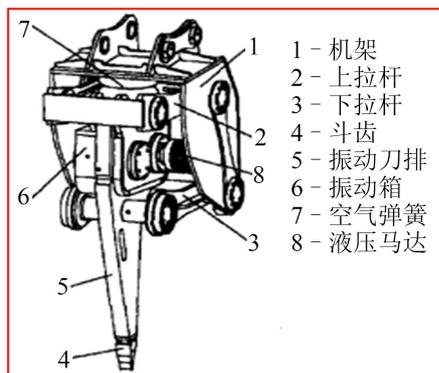


Figure 1. Schematic diagram of high-frequency vibro ripper
图 1. 高频破碎锤结构图



Figure 2. Site construction
图 2. 现场施工

3. 楔形角冲头冻土贯入技术

高频破碎锤采用 30° 楔形角刀排斗齿冲头(见图3)比圆柱形冲头(见图4)更易贯入冻土,在冲击过程中,楔形刀具尖端有应力集中现象。应力波在垂直于楔形面的方向上向外传递最快,使冻土更容易沿着楔形刃的方向最先开裂,从而提高开挖效率高。同时,采用齿靴保护刀排本体,延长使用寿命,降低设备成本。



Figure 3. Wedge-shaped cutting tools of vibro ripper
图 3. 高频破碎锤楔形刀具

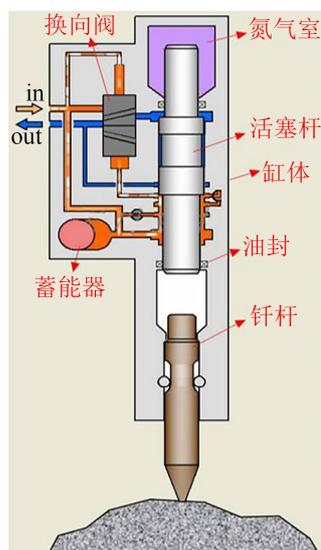


Figure 4. Conventional low-frequency vibro ripper with cylindrical shank and striking head
图 4. 常规低频破碎锤，圆柱形钎杆冲头

4. 高频破碎锤振频调节技术

在恒定的动荷载(最大应力及最小应力恒定)作用下,冻土的破坏时间及破坏变形随振动频率的加快而减小,即冻土破坏变形及破坏时间随频率加快而减小。当频率小于 8 Hz 时,频率的影响较大,频率大于 8 Hz 时,影响较小。冻土破坏振次与频率的关系取决于冻土的温度,冻土在 -2°C 时,破坏振次随频率加快存在最小值,在 -15°C 时,则存在最大值,在 -10°C 时,随频率加快而增大[4]。

高频破碎锤振动频率调整范围为 1300~1800 bpm,在正式开挖冻土前,应组织开挖试验,已确定当前冻土温度所需要的震动频率。根据试验成果,采用调节挖掘机液压泵转速、增加流量控制阀对高频破碎锤振动频率进行调节,使设备能够对不同含冰量及不同地质类别的多年冻土、季节性冻土进行有效的破碎开挖。

5. 操作要点

5.1. 作业带清理

在高含冰量多年冻土分布地段,植被清理在冬季进行,以减少对多年冻土的扰动,对于低含冰量多年冻土分布地段,由于冻土融化后压实沉降较小,植被清理不受季节限制,但林区林木砍伐宜在冬季进行。

5.2. 管沟冻土一次破碎及清理

1) 复核管沟线位

开挖前,由施工员依照设计图纸,对开挖段的控制桩和标志桩、管线中心线、边线进行验收和核对,缺认无误后方可进行管沟开挖,防止返工。

2) 设备站位

如图 5 所示,高频破碎锤设备采用正向破碎施工,即沿设备行走方向进行作业,冻块破碎挖出后进行平整保证设备站位。配合清理的挖掘机在破碎锤开挖一段距离后,采用后退法清理施工,为破碎锤二次破碎清理作业面。



Figure 5. Schematic diagram of equipment positioning and construction direction

图 5. 设备站位及施工方向示意图

3) 冻土一次破碎

以管沟深度 3 m、管道直径 D 813 mm，多年冻土管沟开挖为例，挖掘机(PC450)履带宽度为 3.5 m，配重高度为 1.32 m，最小回转半径 3.645 m。多年冻土管沟坡度按照设计标准不低于 0.2，季节性冻土需要现场开挖试验，考虑设备规格的影响，管沟上口开度为 5.0 m，管底宽度为 2.0 m，多年冻土一次破碎厚度为 1.5 m。对于季节性冻土地段，冻深一般为 0.8~1.4 m，一次破碎时，直接将冻土凿穿，不再进行二次破碎。

4) 冻土一次清理

为保证挖掘机行走和旋转不受限制，一次清理深度为 1.3 m。一次清理后的管沟宽度为 3.7 m。一般施工地段，需要将挖出的冻土堆放在焊接施工对面一侧，堆土距沟边 1.5 m。

挖掘机清理时先将表层腐殖土冻块(熟土)清理放置到作业带边缘，表层腐殖土一般厚度为 0.5 m 左右，土质呈黑褐色，与下层黄色生土界限比较明显，易于区分。表层腐殖土冻块清理完成后，再清理生土较大冻块放置外侧并与腐殖土冻块保持一定距离，最后清理较小冻土块及土方放置在管沟旁安全位置，作为后续管沟细土粉碎原料。

对于季节性冻土，在一次破碎凿穿后，采用挖掘机直接清理开挖至沟底，达到设计埋深。

5.3. 管沟冻土二次破碎及清理

1) 二次破碎

管沟冻土一次清理深度达到 1.3 m 后，使用高频破碎锤对底层冻土进行二次破碎，破碎锤采用正向破碎施工。二次破碎深度需达到管沟设计要求并需超挖 300 mm，为铺垫细土做好准备，然后采用挖掘机进行清理。

2) 二次清理

高频破碎锤与管沟清理挖掘机间距不得小于 50 m，挖掘机采用后退法进行冻块清理施工，冻土二次清理需将破碎完的冻土清理至超深 300 mm。直线段管沟应顺直；曲线段管沟应圆滑过渡，并应保证设计要求的曲率半径。

6. 检查验收

- 1) 直线段管沟应顺直,曲线段管沟应圆滑过渡,曲率半径应满足设计要求。
- 2) 管沟中心线、沟底标高、沟底宽度、变坡点位移的允许偏差应符合表 1 的规定。
- 3) 冻土段管沟沟壁不得有欲坠的冻土块，沟底不应有冻土块。
- 4) 开挖后应及时检查验收，不符合要求时应及时修整[5]。

5) 管沟验收数据合格后尽快进行管道下沟及回填作业。

Table 1. Values for trench deviation in pipeline construction

表 1. 管沟偏差取值表

项目	允许偏差(mm)
管沟中心线偏移	<150
沟底标高	+50~-100
沟底宽度	-100
变坡点位移	<1000

7. 施工专业设备说明

矿山高频破碎锤：高频破碎锤改变了使用活塞冲击式的破碎原理，一种以马达驱动的一种利用离心力上下往复运动产生破坏力的新型的挖掘机附件产品。是集机械液压力学及数字信号、数字化监控为一体的物理破碎设备。是常规配套于挖掘机上的破碎属具，有强于常规单钩松土器的作业优势，更优于常规破碎锤破碎作业效率的装置。

矿山高频破碎锤的斗齿可在激振器的作用下对冻土产生冲击，进而实现破碎。工作原理是由液压动力源或能够独立运行的液压设备传递液压能给液压马达，带动振动箱内的偏心齿轮转动，进而产生离心力 F ，其处置分量 $F\sin(\omega t)$ 为周期性变化的干扰力，使轴产生径向受迫振动的压力，称为激振力。再由激振器的箱体将振动传递给斗齿进行破碎作业。设备参数详见表 2：

Table 2. Basic parameters of high-frequency vibro ripper

表 2. 高频破碎锤基本参数

序号	项目	单位	参数	备注
1	液压挖掘机	t	35~45	配套主机
2	破碎器重量(包括上支架)	kg	3300	
3	破碎器重量(不包括上支架)	kg	2800	
4	工作压力	MPa	22~24	
5	回油压力	MPa	1	
6	马达泄油压力	MPa	0.4	
7	流量	L/min	240	
8	频率	1/min	1300~1800	
9	尺寸 $L \times W \times H$	cm	280 × 93 × 180	
10	蓄能器压力	MPa	0.5	

8. 结束语

石油管道在高寒冻土地区施工，如何能够低成本高效率的开挖管沟是一项广泛的技术难题，在目前火工品管控及其严格的情况下，非爆破开挖逐渐成为了冻土开挖的首选技术措施。但是如果开挖设备及开挖方法选择不当，将严重影响施工进度并增加成本。因此，从施工方法和装备上不断的创新，是提高施工效率，降低成本的关键。中国石油管道局工程有限公司在中俄原油管道、中俄天然气管道等工程施

工过程中, 经过对多种设备的试验、调整, 最终确定采用矿山高频破碎锤配合大型挖掘机开挖管沟, 每个开挖机组配备 10 台挖掘机, 其中 5 台挖掘机(配高频破碎锤), 日开挖进度达到 300 m 左右(深度 3 m 以内)。该方法提高了施工效率, 降低了成本, 为今后类似工程的施工积累了经验。中国是全球工程机械最大的生产制造国和最大的应用市场, 对于新型工程机械的需求也十分迫切, 高频破碎锤一经问世, 就引起了国内市场的重视, 目前国内主要生产厂商有安徽惊天液压智控股份有限公司、上海上鸣机械科技有限公司、赣州力剑液压机械有限公司等[6]。

参考文献

- [1] 刘志增. 浅谈多年冻土区管道敷设施工技术[J]. 理论前沿, 2017(4): 74.
- [2] 李蒙蒙, 牛永红, 江聪, 慕青松, 李振萍. 冻土开挖破碎方法研究现状与展望[J]. 力学与实践, 2016, 38(2): 126-133, 143.
- [3] 尹从富, 杨译, 申荣光, 杨英明, 蒋华林. 非爆破破岩方法综述[J]. 中国科技信息, 2015(21): 93-94.
- [4] 何平, 张家懿, 住院林, 吴紫汪. 震动频率对冻土破坏之影响[J]. 岩土工程学报, 1995(3): 78-81.
- [5] 魏国昌, 王鲁君, 王明宇, 等. GB 50369-2014. 油气长输管道工程施工及验收规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [6] 童小冬, 王亚军, 朱志昊, 张元元. 高频破碎器国内外发展概况[J]. 凿岩机械气动工具, 2014(3): 1-7.