

青藏高原移动冰丘引起输油管道拱曲的数值模拟

王连捷 吴珍汉 胡道功 王 薇 孙东生

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘要:青藏高原北部常年冻土区沿活动断裂发育有移动冰丘, 其对输油管道、桥梁、涵洞等工程设施具有破坏作用。应用 ANSYS 有限元通用程序, 对移动冰丘引起的输油管道的破坏进行了三维非线性有限元数值模拟计算, 揭示了移动冰丘冻胀产生的应力场、位移场与塑性变形, 给出了移动冰丘冻胀导致输油管道拱曲变形及应力分布。移动冰丘导致输油管道拱曲变形, 在管道内部产生的应力超过管道的强度, 使管道产生塑性弯曲变形和破坏, 导致输油管道局部报废。移动冰丘导致输油管道拱曲变形的三维有限元数值模拟能够为管道工程设计和地质灾害防治提供依据。在数值模拟的基础上, 提出了灾害防治措施。

关键词:移动冰丘; 输油管道; 数值模拟; 常年冻土; 地质灾害

中图分类号: P512.4; P642.14 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-3657(2007)04-0675-07

青藏高原是地质灾害的高发地带^[1], 不仅有地震、滑坡、崩塌和泥石流, 常年冻土区的活动断裂还能够产生移动冰丘、引起不均匀冻胀变形, 造成冰丘地质灾害^[2,3]。青藏铁路沿线发现的移动冰丘包括不冻泉移动冰丘、楚玛尔河移动冰丘、雅玛尔河南移动冰丘、83 道班移动冰丘、85 道班移动冰丘与 86 道班移动冰丘^[4]。沿乌丽活动断裂 2002 年 2 月发育的 86 道班移动冰丘长 15 m, 宽 8~10 m, 高约 2.0 m (图 1-a), 在最寒冷的 1 月观测到移动冰丘的高度达到 2.5 m, 导致地下输油管道在长 15 m 的范围内发生高达 1.6 m 的拱曲变形; 2002 年 5 月冰丘消融后, 遭受拱曲变形的输油管道暴露于地表 (图 1-b)。移动冰丘还会引起道路、桥梁和涵洞等工程的变形和破坏^[4]。

移动冰丘冻胀产生的应力场和形变场的数值模拟, 可为移动冰丘引起输油管道变形和破坏的机理分析和工程设计提供参数, 为移动冰丘的灾害防治提供科学依据。移动冰丘的冻胀对工程建筑和设施的破坏是一个复杂的力学过程, 是工程设计中一个新的重要问题。冰丘冻胀对工程影响的研究过去做的很少。类似的问题, 如冻土的工程影响, 虽然作过, 但也不多^[5-7]。对这类问题, 过去有一种作法是先确定冻土的冻胀力, 然后将这些冻胀力施加于工程建筑物上, 计算建筑物的变形和应力。这种方法忽略了它们之间的相互作用, 计算结果与实际相差较大。笔者的做法是将冰丘与建筑物作为

一个整体, 统一在一个地质工程模型中。应用 ANSYS 有限元通用程序进行三维大变形非线性计算, 分析移动冰丘的位移场、应力场以及移动冰丘膨胀引起输油管道的弯曲变形、应力分布与破坏。

1 本构方程和数值模拟参数

1.1 本构方程

一般物体在受热时膨胀, 变冷时收缩; 但是水在降温结冰后, 会出现相反的现象, 表现为降温膨胀, 称为冻胀。青藏高原移动冰丘便是富含地下水的断裂破碎带因冬季降温、冻土膨胀而造成的丘状隆起。

在冻土温度变化过程中, 冻土膨胀或冰丘冻胀会受到周围介质或建筑物的约束, 并且冻土各部分之间也会相互制约, 从而产生应力, 称为温度应力, 这个应力又将按照物理方程引起形变。于是, 温度变化引起的应变方程为^[8,9]。

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \mu (\sigma_y + \sigma_z)] + \alpha T \quad (1)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \mu (\sigma_x + \sigma_z)] + \alpha T \quad (2)$$

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \mu (\sigma_x + \sigma_y)] + \alpha T \quad (3)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{xy} \quad (4)$$

收稿日期: 2006-11-24; 收回日期: 2007-02-22

基金项目: 中国地质调查局地质大调查项目 (1212010541403) 与科技部国际科技合作重点计划 (2001CB711001) 子项目资助。

作者简介: 王连捷, 男, 1933 年生, 研究员, 从事地应力测量、构造应力场数值分析及其在地质和工程中的应用研究;

E-mail: wanglj01@sina.com。

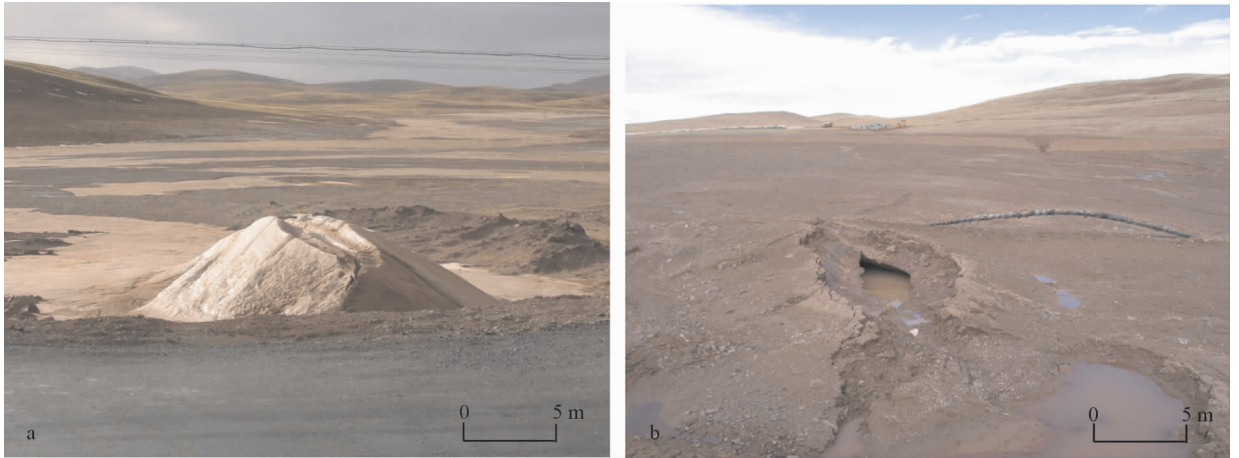


图 1 青藏高原北部乌丽 86 道班移动冰丘导致输油管道拱曲变形野外照片

a—2002 年 2 月移动冰丘(镜头向东);b—2002 年 5 月部分消融的移动冰丘(镜头向东)

Fig.1 Field photos of oil pipeline bending caused by migrating pingos at the 86th highway station of Wuli on the Qinghai-Tibet Plateau

a—Migrating pingo in February 2002 (looking eastward);b—Partially ablated migrating pingo in May 2002 (looking eastward)

$$\gamma_{yx} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{yz} \quad (5)$$

$$\gamma_{zx} = \frac{2(1+\mu)}{E} \tau_{zx} \quad (6)$$

温度变化引起的应力方程为:

$$\sigma_x = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \left(\epsilon_x + \frac{\mu}{1-\mu} \epsilon_y + \frac{\mu}{1-\mu} \epsilon_z \right) - \frac{E\alpha T}{1-2\mu} \quad (7)$$

$$\sigma_y = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \left(\frac{\mu}{1-\mu} \epsilon_x + \epsilon_y + \frac{\mu}{1-\mu} \epsilon_z \right) - \frac{E\alpha T}{1-2\mu} \quad (8)$$

$$\sigma_z = \frac{E(1-\mu)}{(1+\mu)(1-2\mu)} \left(\frac{\mu}{1-\mu} \epsilon_x + \frac{\mu}{1-\mu} \epsilon_y + \epsilon_z \right) - \frac{E\alpha T}{1-2\mu} \quad (9)$$

$$\tau_{xy} = \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \gamma_{xy} \quad (10)$$

$$\tau_{yz} = \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \gamma_{yz} \quad (11)$$

$$\tau_{zx} = \frac{1-2\mu}{2(1-\mu)} \gamma_{zx} \quad (12)$$

式中, $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 为正应变, $\gamma_{xy}, \gamma_{zx}, \gamma_{yz}$ 为剪应变; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 为正应力, $\tau_{xy}, \tau_{zx}, \tau_{yz}$ 为剪应力; α 为温度膨胀系数, T 为温度变化, μ 为泊松比。

1.2 移动冰丘发育地区的温度分布

对冰丘的形成及其灾害的模拟,必须知道地层的温度分布情况,刘永智等^[9]对青藏公路沿线可可西里地区冻土层温度进行了多年的现场观测,得到了全年冻土层的温度资料(图 2)。

从该地区全年温度最低的 1 月份的温度分布曲线(图 2),可以看出,在冬季(1 月份)该地区地表温度最低可达 -15℃。笔者参考这些温度资料,进行冰丘冻胀灾害的模拟。

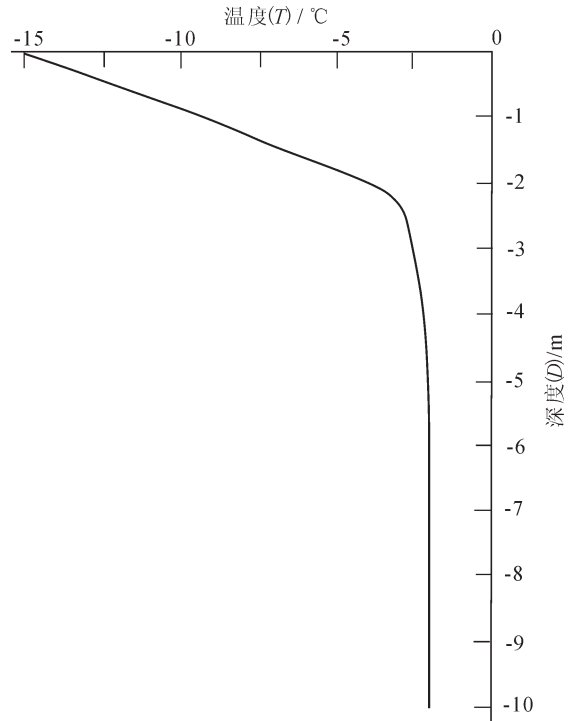


图 2 可可西里地区 1 月份冻土温度垂向分布曲线图^[9]
Fig.2 Diagram showing vertical change in temperatures of the permafrost in the Hoh Xil area in January^[9]

在模拟计算中,温度随深度变化,但沿水平方向温度是均匀分布的。

1.3 冰丘冻土的成分和冻胀率

剖面观测与钻探资料表明,冰丘主要由一定含量的地下

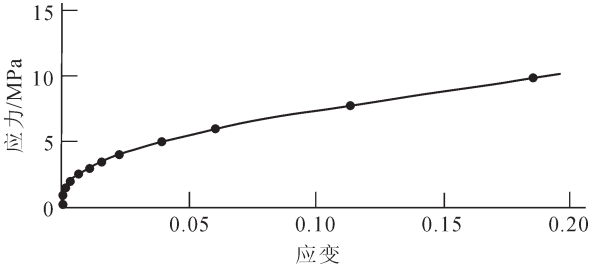


图 3 冻土的应力应变曲线(据参考文献[6]绘制)
Fig.3 Stress-strain curve of the permafrost

表 1 数值模拟选用的介质参数

Table 1 Mechanical properties of the pingo and bridge used in numerical modeling

介质	弹模 (Mpa)	泊松比	冻胀率 (%)	直径 (cm)	壁厚	温度系数
冰丘	1580	0.22	1.8~3.6			
输油管道	210000	0.27		30	10mm	1×10^{-5}

注:资料引自参考文献[6,7,11,14]。

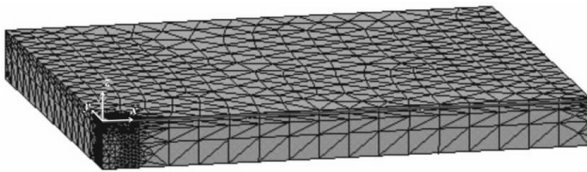


图 4 移动冰丘和输油管道模型及单元网格
Fig.4 Model of a migrating pingo and oil pipelines and finite element mesh

冰与砂岩、砂石土、砂土、粉土、卵砾石等成分组成,地下冰分布于岩石裂隙与砂、土、砾石之间,地下冰膨胀导致冰丘冻土膨胀。对冰丘冻土,采用冻胀率(η)描述冻土的冻胀程度。冻胀率(η)的定义为:温度变化 1°C 时,冻土体高度($h1$)与冻土体温度变化前高度(h)之差与高度(h)之比的百分数,即 η (%)= $(h1-h)/h \times 100$ 。

据冻土分类^[9],不冻胀土的冻胀率 $\eta < 1$,微冻胀土的冻胀率 $1 < \eta < 3.5$,冻胀土的冻胀率为 $3.5 < \eta < 6$ 。青藏高原北部移动冰丘主要发育于第四纪细砂与粉砂互层,故笔者选取微冻胀土和冻胀性土之间的冻胀率(1.8~3.6)进行移动冰丘的数值模拟及相关的计算分析。

1.4 冰丘冻土的弹性模量及应力-应变曲线

冰丘冻土为非线性材料,其弹性模量与应力大小有关系,应力越大,弹性模量越小^[6,7]。根据温度为 -5°C 冻土层的岩石力学实验资料^[9],当应力 $\leq 2 \text{ MPa}$ 时,应力与应变近于线性关系;当应力大于 2 MPa 时,应力与应变呈现显著的非线性关系(图 3)。冻土的弹性模量还与温度存在一定关系,温度不同时,弹性模量不同^[6,7,12]。为便于计算,笔者不考虑温度对冻土弹性模量的影响。

1.5 介质的其他参数

格尔木—拉萨输油管道,其直径为 30 cm ,壁厚 10 mm 。输油管道和冰丘的弹性模量、泊松比、冻胀率、温度系数等如表 1 所示。冰丘的弹性模量是线性部分的弹性模量,其非线性部分按图 3 计算。

2 移动冰丘产生的三维应力和应变

2.1 地质-工程模型与单元划分

根据野外冰丘的形状和尺寸(图 1-a),取平面上为椭圆形的冰丘进行分析,冰丘长轴为 15 m 、短轴为 10 m ,冰丘高度为 2.5 m 。考虑到冰丘的对称性,在模型中取冰丘的四分之

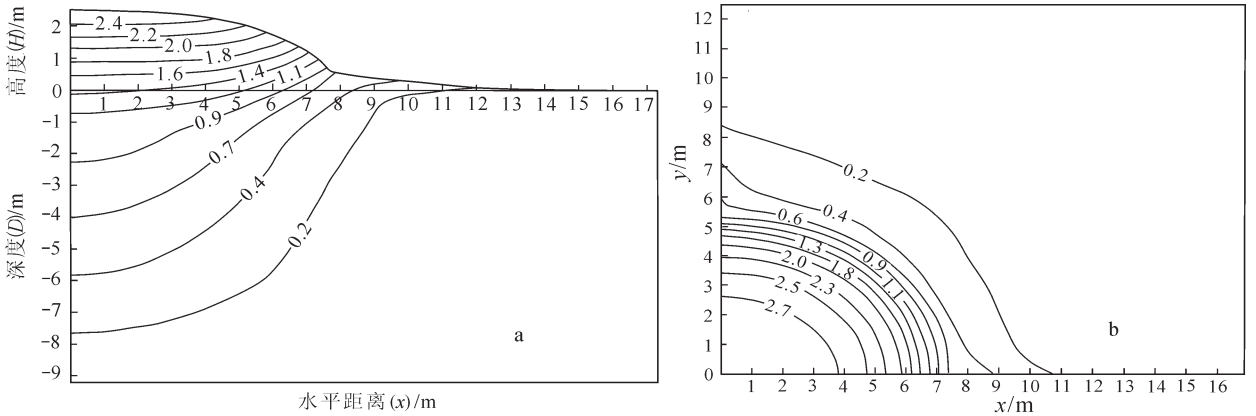
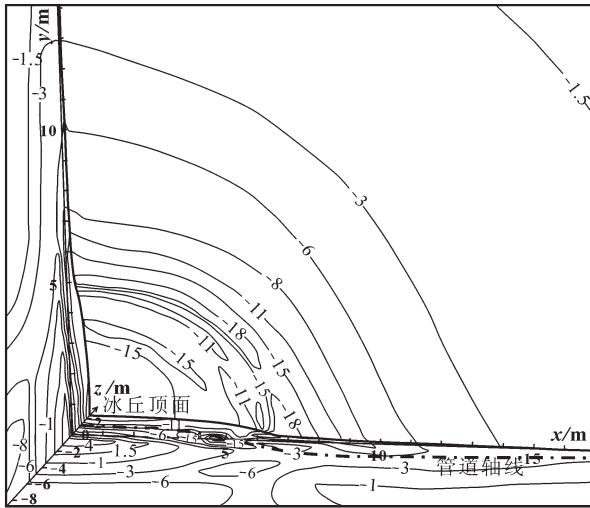


图 5 86 道班移动冰丘的变形位移分布

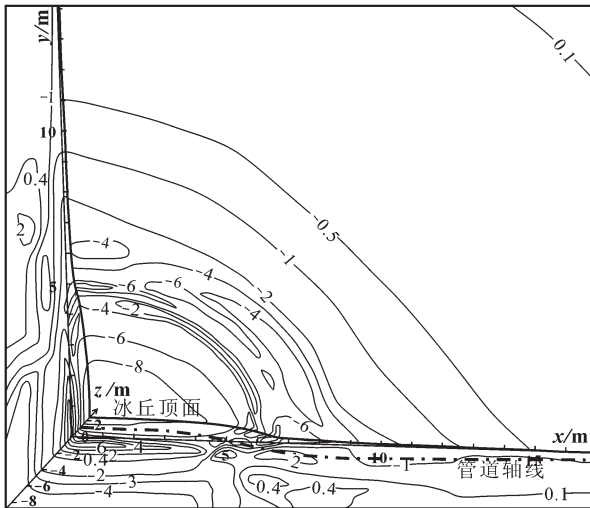
a—剖面上冰丘垂向位移等值线/m;b—平面上冰丘垂向位移等值线/m

Fig.5 Displacement distribution of a migrating pingo at the 86th station of the highway

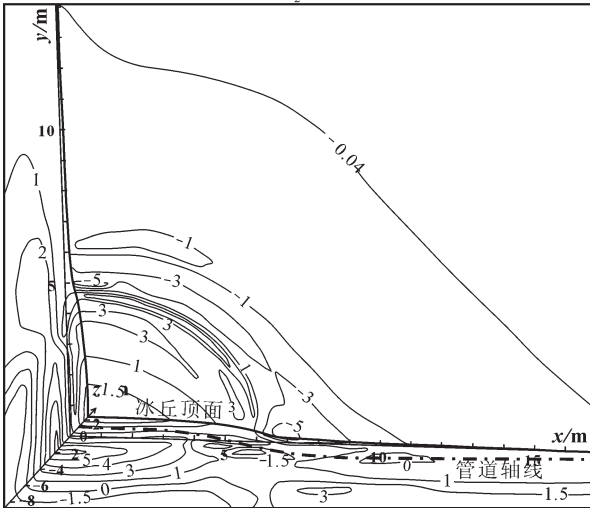
a—Contour (m) of vertical displacement of the pingo in section;b—Contour (m) of vertical displacement of the pingo in plan view



主应力 σ_1 等值线



主应力 σ_2 等值线



主应力 σ_3 等值线

图6 移动冰丘主应力三维等值线(单位:MPa)

Fig.6 3D contours of the principal stress and strain fields of the migrating pingo (unit: MPa)

一进行计算,这样可以节省单元,提高计算精度。为了消除边界效应的影响,取总体模型的大小为东西长100 m,南北宽80 m,模型的范围远大于冰丘的范围。输油管道沿X轴方向埋设,管道通过冰丘中心,直到模型的边界;管道埋深0.5 m。

由于管道壁厚(尺寸为毫米级)与模型总体尺寸(百米级)相差较大,如统一采用三维实体元,网格划分有困难,因此采用混合单元,即冰丘采用三维实体单元,管道采用线单元(管道单元),这样便于网格划分和计算。通过给定实常数体现管道的直径和壁厚。模型划分为54700个三维实体单元,40个管道单元;在移动冰丘的发育部位,单元加密,以便得到更精确结果。模型单元网格划分如图4。

2.2 模拟结果

2.2.1 移动冰丘的范围和升高的幅度

模拟结果显示冰丘为椭圆形,长轴为15 m,短轴为12 m,升高幅度为2.7 m(图5)。冰丘的形状、隆起幅度与实际观测到的86道班移动冰丘(图1)十分一致。

2.2.2 移动冰丘的应力分布

从图6给出了3个主应力 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 等值线在三维空间(XY,YZ,ZX 3个平面)的表示可以看出:主应力 σ_1 主要分布范围为7.9 MPa(张应力)到-5.3 MPa(压应力)之间。张应力最高值大致分布在3~8 m的深处,表层应力较低,其范围在1.2 MPa到-0.9 MPa。

主应力(σ_2)主要在7 MPa(张应力)到-15 MPa(压应力)之间,张应力主要分布在3~8 m的深处,地表主要为压应力,大小为-1.8 MPa到-15 MPa,靠近冰丘中心压应力最大,为-15 MPa,远离中心应力降低。

主应力(σ_3)主要在4 MPa到-21 MPa,3~6 m的深处有局部张应力,其大小在4 MPa以下。地表主要为压应力,冰丘中心压应力最大为-18 MPa到-21 MPa。

2.2.3 移动冰丘产生的塑性变形

移动冰丘膨胀产生的塑性变形主要分布于冰丘的顶部,应变可达0.6。在远离移动冰丘的部位,塑性应变逐步减小。冰丘以外的地区塑性应变趋于0。

3 管道的弯曲变形和应力、应变

3.1 输油管道弯曲变形

随着冰丘的隆起,埋设在地下的输油管道发生上拱弯曲。拱曲变形的挠度曲线如图7。考虑到移动冰丘引起的输油管道变形的对称性,图7仅给出了埋设于冰丘右半边管道变形的挠度曲线。在冰丘的中心部位,挠度最大,输油管道的拱曲变形高度达1.6 m,随着远离移动冰丘中心,挠度变小,输油管道的挠度逐步变为0,管道恢复正常,没有发生变形(图7)。

移动冰丘引起的输油管道的弯曲变形与管道埋深和管道走向存在密切关系。输油管道的埋深越浅,管道拱曲变形越大,输油管道埋深越大,管道拱曲变形越小,挠度曲线越缓(图8)。由图8可见,当输油管道埋深10 m时,则移动冰丘不会导致输油管道的拱曲变形,管道挠度为0。输油管道走向不

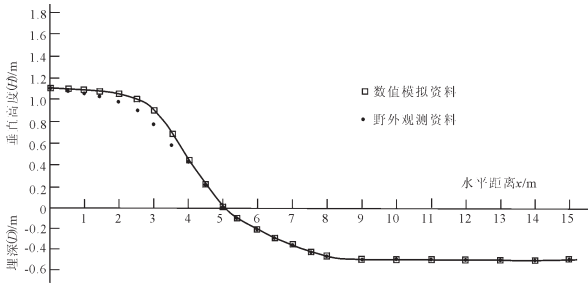


图 7 86 道班移动冰丘引起的输油管道弯曲的挠度
Fig.7 Flexure of oil pipeline bending at the 86th station of the highway

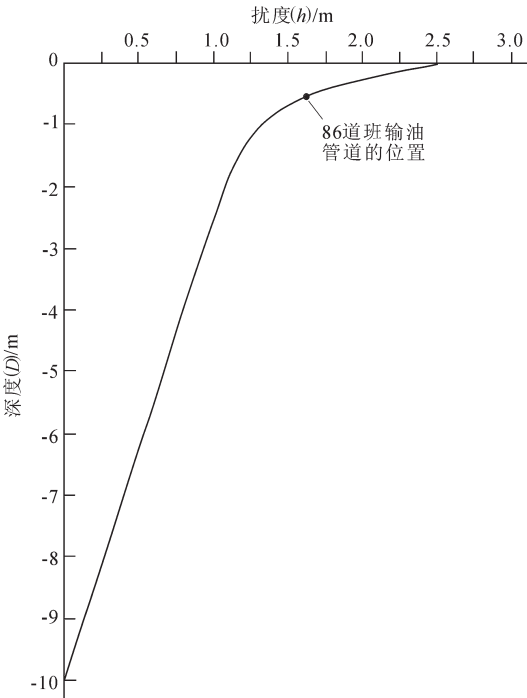


图 8 输油管道挠度随埋深的变化
Fig.8 Change in flexure of oil pipeline bending with depth

同,弯曲变形的挠度也不同,如沿移动冰丘长轴和短轴方向铺设的输油管道,其弯曲变形的挠度就存在很大差异。

3.2 管道应力

管道应力是由管道弯曲变形所引起。在冰丘模拟中,管道是线单元,得到的是管道的弯曲变形。在管道的弯曲变形的基础上,进一步计算管道弯曲应力和应变。为此,需要将管道作为三维实体进行单元划分(图 9)。使用四面体单元,共划分单元 8154 个。使用 Von Mises 塑性屈服准则和 ansys 软件提供的双线性等向硬化准则,进行管道的三维塑性应力分析。管道的塑性屈服应力取 450 Mpa,计算结果见图 10 和表 2。

由图 10 和表 3 可以看出轴向应力 σ_x 的(x 轴方向与管道轴线方向一致)分布范围主要在(张应力)487 Mpa 到(压应力)-489 Mpa 之间。主应力 σ_1 的分布范围(张应力)主要在

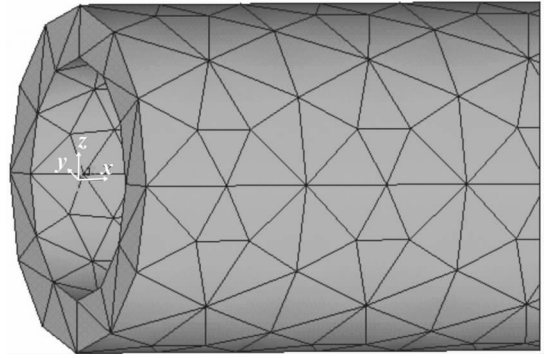


图 9 管道单元网格(局部放大)
Fig.9 Finite element mesh of bending oil pipelines (partially enlarged)

表 2 输油管道的应力分布

Table 2 Distribution of stresses of bending oil pipelines caused by the migrating pingo

应力类别	轴向应力	主应力	主应力	主应力
	σ_x (MPa)	σ_1 (MPa)	σ_2 (MPa)	σ_3 (MPa)
最大张应力值	487	520	140	5
最大压应力值	-489	-20	-140	-515

520 Mpa 到(压应力)-20 Mpa,主应力 σ_2 的分布范围(拉应力)主要在 140 Mpa 到(压应力)-140 Mpa 之间,主应力 σ_3 的分布范围(拉应力)主要在 5 Mpa 到(压应力)-515 Mpa。管道弯曲的压应力最大为-515 Mpa,拉应力最大为 520 Mpa。

3.3 管道塑性应变

管道轴向塑性应变分布见图 10-d。从图 10-d 中可见,轴向塑性应变 (ϵ_x) 主要分布在(张应变)0.08 到(压应变)-0.08 之间;塑性主应变 ϵ_1, ϵ_2 和 ϵ_3 的范围如表 3 可以看出,管道进入了塑性弯曲。一个明显的特点是塑性张应变最大值位于弯曲度最大的外侧,压应变在内侧。这种情况与弯曲应力分布的一般规律是一致的。由于塑性应变的出现,使输油管道产生永久性变形和破坏,影响了管道的正常使用,导致移动冰丘及两侧的输油管道被迫报废。

4 灾害的防治措施

可采取下列措施减轻和防治移动冰丘对工程设施造成的灾害:

- (1)工程设施避开断裂破碎带,避让移动冰丘,防止移动冰丘对工程设施产生灾害效应;
- (2)沿断裂破碎带开挖一定深度的沟槽,填埋粗大石块和砾石,铲除断裂破碎带顶部堆积的隔水土层,疏通地下泉水的上涌通道,避免上涌泉水在断裂破碎带局部富集,这种措施收到良好效果;
- (3)在冰丘区加大输油管道的埋深,可减少输油管道的弯曲破坏。

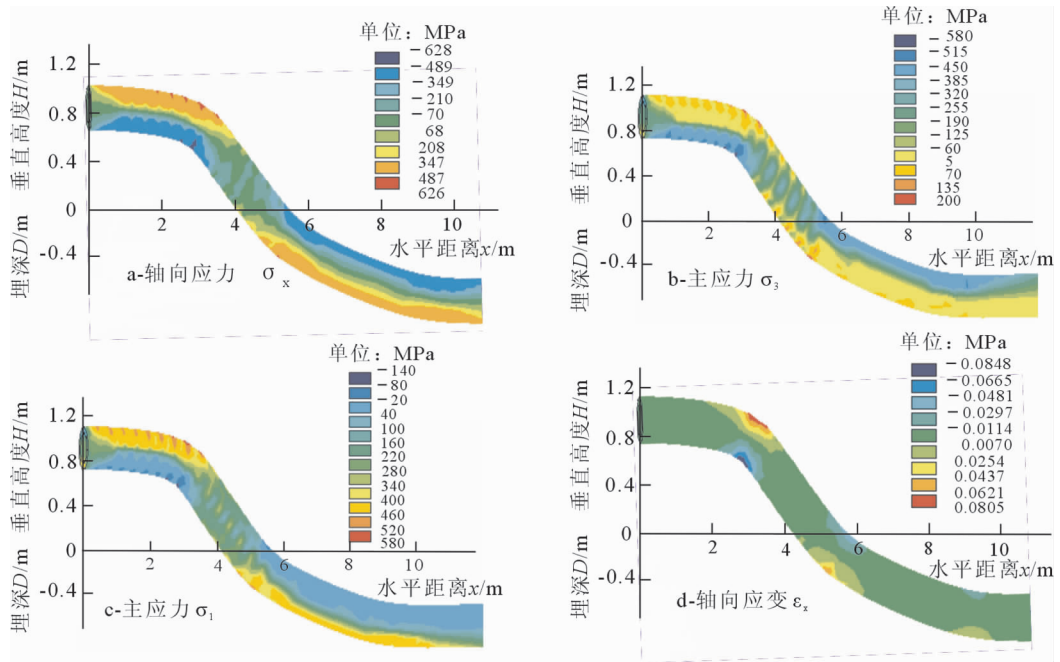


图 10 输油管道弯曲变形后的应力和应变分布

Fig.10 Distribution of stress and strain after bending of oil pipelines

表 3 输油管道塑性应变

Table 3 Plastic strains within bending oil pipelines

应变类型	轴向塑性 应变 ϵ_x	塑性主 应变 ϵ_1	塑性主 应变 ϵ_2	塑性主 应变 ϵ_3
张应变最大值	0.08	0.08	0.03	0
压应变最小值	-0.08	0	-0.03	-0.08

5 结论

(1) 模拟结果表明, 断裂破碎带泉水通道冬季不均匀冻胀能够产生高 2.5 m 的椭球形移动冰丘, 并使输油管道发生显著的永久性塑性拱曲变形破坏。

(2) 冰丘与输油管道是统一的整体, 在变形过程中, 它们的位移是连续的。因此, 随着冰丘的隆起, 管道相应发生拱曲变形。但应力是不连续的, 冰丘中的应力远低于输油管道中的应力, 这是两者的刚度不同造成的。冰丘的应力虽然很低, 但引起输油管道的变形却较大, 因而造成输油管道的应力较高, 引起输油管道的破坏。

(3) 冰丘引起的管道变形破坏程度与管道的位置有关。管道埋深越浅, 引起的上拱弯曲越大。

(4) 采取所提出的防治措施可减少和避免移动冰丘对输油管道的破坏。

参考文献(References):

[1] 孟晖, 张岳桥, 杨农. 青藏高原东缘中段地质灾害空间分布特征

分析[J]. 中国地质, 2004, 31(2):218-224.

Meng Hui, Zhang Yueqiao, Yang Nong. Analysis of the spatial distribution of geohazards along the middle segment of the eastern margin of the Qinghai-Tibet plateau [J]. Geology in China, 2004, 31 (2):218-224(in Chinese with English abstract)

[2] 吴珍汉, 叶培盛, 吴中海, 等. 青藏铁路沿线活动断裂的灾害效应[J]. 现代地质, 2003, 17(1):1-7.

Wu Zhenhan, Ye Peisheng, Wu Zhonghai, et al. Hazards by active faults along the Golmud-Lhasa railway route, Tibetan Plateau [J]. Geoscience, 2003, 17(1):1-7(in chinese with English abstract).

[3] Zhenhan Wu, Patrick J. Barosh, Daogong Hu, et al. Hazards posed by active major faults along the Golmud-Lhasa railway route, Tibetan Plateau, China [J]. Engineering Geology, 2004, 74 (3-4): 163-182.

[4] Zhenhan Wu, Patrick J. Barosh, Daogong Hu, et al. Migrating pingos in the permafrost region of the Tibetan Plateau, China and their hazard along the Golmud-Lhasa railway [J]. Engineering Geology, 2005, 79:267-287.

[5] 曹东伟, 胡长顺. 多年冻土区路基融沉变形的附加应力分析[J]. 重庆交通学院学报, 2001, 20(3):57-61.

Cao Dongwei, Hu Changshun. Analysis for additional stress in pavement due to thawing settlement of permafrost subgrade [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University, 2001, 20 (3):57-61(in chinese with English abstract).

[6] 王正中, 张长庆, 沙际德. 冻土和扩大台基相互作用的有限元分析[J]. 西北农业大学学报, 1998, 26(5):9-14.

Wang Zhengzhong, Zhang Changqing, Sha Jide, A finite element

- analysis on the coaction between frozen ground and spread wall foundation[J]. Acta of Agriculture University, 1998, 26(5):9-14(in chinese with English abstract).
- [7] 王正中, 沙际德, 蒋允静, 等. 正交各向异性冻土与建筑物相互作用的非线性有限元分析[J]. 土木工程学报, 1999, 32(3):55-60.
Wang Zhengzhong, Sha Jide, Jiang Yunjing, et al. Nonlinear finite element analysis of interaction of orthotropic frozen ground and construction[J]. China Civil Engineering Journal, 1999, 32(3):55-60(in chinese with English abstract).
- [8] 蒋泳秋, 穆霞英. 塑性力学基础 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1981:29-31.
Jiang Yongqiu, Mu Xiaying. Plastic Mechanics [M]. Beijing: Industrial Publishing House, 1981:29-31 (in Chinese with English abstract).
- [9] 张允真. 弹性力学及其有限元法 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1988:245-249.
Zhang Yunzhen, Cao Fuxin,. Elastical Mechanics and Finite Element Modelling [M]. Beijing:China Railway Publishing House, 1988:245-249(in chinese with English abstract).
- [10] 刘永智, 吴青柏, 张建民, 等. 高原多年冻土地区公路路基温度场现场实验研究[J]. 公路, 2000, 8(2):5-8.
Liu Yongzhi, Wu Qingbai, Zhang Jianmin, et al. Field monitoring of temperature field within highway embankment in permafrost region of the Tibetan Plateau [J]. Highway, 2000, 8 (2):5-9(in chinese with English abstract).
- [11] 鲁国威, 徐敦祖, 童长江, 等. 冻土工程地质勘察规范—中华人民共和国国家标准 GB50324-2001[S]. 北京:中国计划出版社, 2001:75-77.
Lu Guowei, Xu Xuezu, Tong Changjiang, et al. Code for engineering geological investigation of frozen ground GB50324-2001[S]. Beijing:China Architecture and Building Press, 2001:75-77(in chinese with English abstract).
- [12] 张长庆,于志秋. 正交各向异性冻土的力学参数实验[J]. 冰川与冻土, 1996, 18 (增刊):40-46.
Zhang Changqing, Yu Zhiqiu. Testing mechanical properties of orthotropic and heterogeneous frozen soils[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1996, 18(supp.):40-46(in chinese with English abstract).
- [13] 沙际德, 张长庆, 王正中. 粉土自由冻胀参数的实验研究[C]//第五届全国冻土学术会议文集, 北京:科学出版社, 1996:1201-1207.
Sha Jide, Zhang Changqing, Wang Zhengzhong. Testing parameters of frozen soil [C]//Proceedings of the 5th Permafrost Congress of China. Beijing:Science Publishing House, 1996:1201-1207(in chinese with English abstract).
- [14] 尉希成. 支挡结构设计手册 [M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1995:26-27.
Wei Xicheng. Guide Book for Design of Support Structures [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1995:26-27 (in chinese with English abstract).

Numerical modeling of oil pipeline bending caused by migrating pingos in the permafrost on the northern Qinghai-Tibet Plateau

WANG Lian-jie, WU Zhen-han, HU Dao-gong, WANG Wei, SUN Dong-sheng

(Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100081, China)

Abstract: Migrating pingos are developed along active faults in the permafrost area on the northern Qinghai-Tibet Plateau. They may destruct oil pipelines, bridges and culverts in the area. 3D nonlinear finite-element numerical modeling is performed of the destruction of oil pipelines by using the ANSYS finite element general procedure. It reveals the stress field, displacement field and plastic deformation caused by freezing and expansion of the migrating pingo and presents the oil pipe bending deformation caused by the migrating pingo and stress distribution. Bending of pipes produces compressive stresses of -515 MPa and tensional stress of 520 MPa inside the pipes, which exceed the yield strength of 450 MPa for the pipes, thus leading to plastic deformation and destruction of the buried oil pipes. The modeling of oil pipeline bending caused by the migrating pingo may provide an important basis for pipeline engineering design and prevention and control of geohazards produced by the migrating pingos in the study area. Finally measures of prevention and control are proposed.

Key words: migrating pingo; oil pipeline; numerical modeling; permafrost; geohazard

About the first author: WANG Lian-jie, male, born in 1933, professor, engages in the in-situ stress measurements and stress field modeling and its application in geology and engineering; E-mail: wanglj01@sina.com.