

# 青藏铁路昆仑山隧道洞内气温及地温分布 特征现场试验研究

张先军<sup>1,2</sup>

(1. 兰州大学 资源与环境学院, 甘肃 兰州 730000; 2. 中铁十六局集团有限公司, 北京 100018)

**摘要:** 在昆仑山隧道洞内设置了地温及气温观测断面。根据实测资料, 初步分析了昆仑山隧道洞内气温、地温及隔热层内外侧温度分布特征, 得出的结论对多年冻土区隧道工程建设及冻害防治有一定的指导意义。

**关键词:** 隧道工程; 昆仑山隧道; 气温; 地温; 隔热层

**中图分类号:** U 45

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6915(2005)06-1086-04

## FIELD EXPERIMENT ON DISTRIBUTION CHARACTERS OF AIR TEMPERATURE AND GROUND TEMPERATURE IN KUNLUNSHAN TUNNEL OF QINGHAI—TIBET RAILWAY

ZHANG Xian-jun<sup>1,2</sup>

(1. *Institute of Resources and Environment, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China;*

*2. China Railway 16th Group Co., Ltd., Beijing 100018, China)*

**Abstract:** Several sections were set up to observe the air temperature and ground temperature in Kunlunshan tunnel. Based on the observed data, the distribution characters of the air temperature, ground temperature, and temperature on two sides of an insulation layer in this tunnel, were analyzed. It is found that (1) air temperature on the top is higher than that on the bottom of the tunnel, and air temperature is lower at the end of tunnel than that in the center of the tunnel. The influence of air temperature outside tunnel gradually becomes weaker as the distance from entrance and exit increasing; (2) ground temperature linearly decreases with the depth along surrounding rocks increasing and it becomes negative at a certain depth; (3) the thawed areas appear in the rocks surrounding the tunnel after excavation and the thickness of thawed areas is mainly influenced by air temperature; and (4) the effect of thermal insulation of insulation layer is good for tunnel in cold regions.

**Key words:** tunneling engineering; Kunlunshan tunnel; air temperature; ground temperature; insulation layer

## 1 引 言

青藏铁路昆仑山隧道全长 1 686 m, 线路高程 4 666 m。该隧道地处昆仑山北麓低、中高山区, 气

温、气压低, 年平均气温 -3.6℃, 最高气温 23.7℃, 最低气温 -27.7℃, 年平均降雨量 220.9 mm, 年平均蒸发量 1 469.8 mm, 主导风向西风。该区冻土上限 3 m, 冻土下限 110 m, 隧道埋深 3~106 m, 隧道进口山坡为阴坡, 出口山坡为阳坡, 年平均地温

**收稿日期:** 2004-03-30; **修回日期:** 2004-04-23

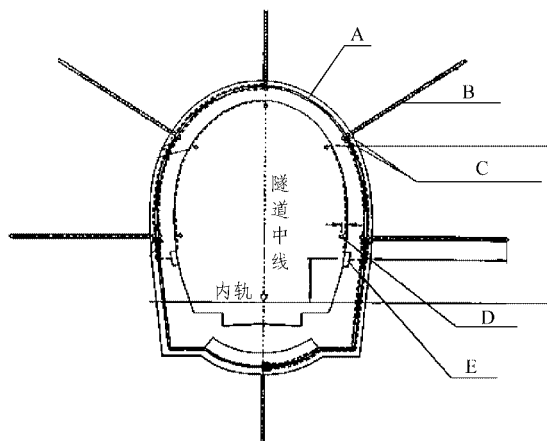
**作者简介:** 张先军(1971-), 男, 1996年毕业于石家庄铁道学院, 现为兰州大学博士研究生, 主要从事铁路勘测及设计等方面的研究工作。E-mail: zxianjun@vip.sina.com。

-1.81 ~ -2.65 , 属低温稳定冻土区或低温基本稳定区。

多年冻土区隧道洞内围岩地温的分布和变化规律, 对隧道设计及冻害防治有重要意义。文[1~11]通过数值分析、室内模型试验及现场测试等手段开展了大量研究, 取得了很多重要的研究成果。为掌握昆仑山隧道洞内地温的分布及变化规律, 以及验证隔热层的保温效果, 作者在隧道内的 11 个断面布置了测温元件, 对洞内围岩地温及隔热层内外温度进行了观测。根据 2002 年 6~10 月部分断面的实测资料, 本文对隧道内气温、地温及隔热层内外侧温度分布特征进行了分析。

### 2 测温断面及元件布设

昆仑山隧道共设置了 11 个测温断面。其中在隧道进出口两端的洞口段设置 3 个断面, 洞身设置 5 个断面, 各断面具体里程为: DK976+280, +292, +304, +410, +670, DK977+090, +430, +850, +906, +916, +926。每个断面测试系统的设置如图 1 所示。在每个测试断面布置 5 m 深测温孔 6 个(拱顶 1 个, 拱腰 2 个, 边墙 2 个, 仰拱 1 个), 测温孔内埋入电缆, 每根电缆按一定间距集成了 16 个地温测试元件。衬砌外侧布置气温测试元件 5 个(拱顶 1 个, 拱腰 2 个, 边墙 2 个)。隔热层布置测温元件 12 个, 内外侧各 6 个。本试验现场测试时间持续到隧道衬砌完成后 3 a。隧道施工期间每 3 d 观测 1 次。隧道建成后, 每年 7~9 月, 3 d 观测



A—隔热层; B—测温孔及测温元件;  
C—隔热层内外测温元件; D—气温测试元件; E—电缆箱

图 1 观测断面测试元件布置图

Fig.1 Schematic diagram for installation of the monitoring elements

1 次;10 月至第 2 年 3 月, 10 d 观测 1 次;4~6 月, 5 d 观测 1 次。

### 3 测试结果及分析

#### 3.1 隧道洞内气温分布特征

图 2 为不同月份洞口气温分布图。由图 2 可以看出, 5~8 月份洞口边墙和拱腰的气温逐渐升高, 8 月过后气温开始下降, 到 10 月份边墙和拱腰均为负温。图 3 为不同月份洞内气温分布图。由图 3 可以看出, 7~9 月份洞内边墙、拱腰及拱顶的气温逐渐下降, 到 10 月份边墙出现负温, 而拱腰和拱顶仍为正温。整个隧道内气温分布特征为上高下低, 洞内气温高于洞口气温, 并且由洞口至洞内上下气温的差异程度逐渐减弱。这说明随着距洞口距离的增大, 洞内气温受洞外气温影响逐渐减弱, 气温分布也逐渐均匀。

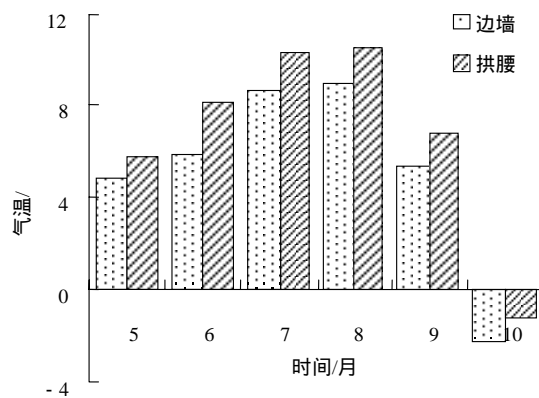


图 2 不同月份洞口气温分布图

Fig.2 Distribution of air temperature at the entrance of the tunnel in different months

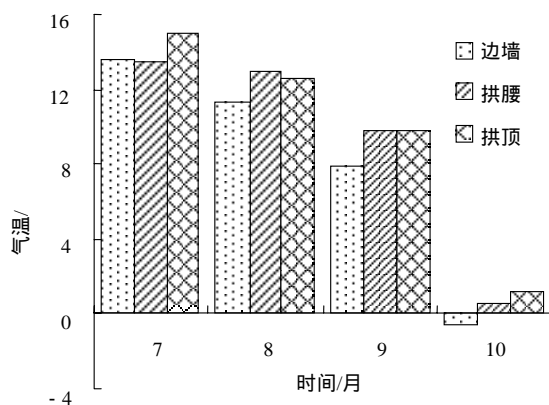


图 3 不同月份洞内气温分布图

Fig.3 Distribution of air temperature inside the tunnel in different months

#### 3.2 隧道洞内地温分布特征

根据测试数据, 隧道周边地温沿深度分布主要

特征如图 4 所示。由图 4 可见，隧道衬砌后围岩的地温随着深度增加大致以  $-0.1$  /m 线性降低。测温孔的孔口处(岩面)温度变化受洞内气温变化影响较大，孔口处温度在 8 月份达到最高，此后逐渐降低。洞内地温随着深度增加受气温影响逐渐减弱，当距孔口深度大于 2 m 时，在观测期间的温度始终低于  $0$  。

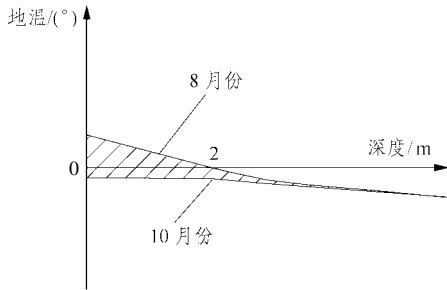


图 4 隧道周边地温沿深度分布形态图

Fig.4 Distribution of ground temperature along depth surrounding the tunnel

图 5 为隧道周边  $0$  地温等值线的分布图。其中， $0$  线的内侧为正温，外侧为负温。由图 5 可看出：在 8 月份，距洞口 30 m 处，正温层分布极不规则；距洞口 40 ~ 50 m 处，正温层厚约 1.3 m；距洞口 150 m 处，正温层约厚 3.0 m。在 10 月份，距洞口 30 m 处，正温层完全消失；距洞口 40 ~ 50 m 处，正温层厚度减小到约 0.8 m；距洞口 150 m 处正温层厚度有所减小，但不明显。

由此可见，隧道开挖后周边围岩有一定范围的融化圈，融化圈的厚度受洞内气温影响较大，洞内融化圈厚度比洞口融化圈厚度大。

### 3.3 隔热层内外侧温度分布特征

图 6 为昆仑山隧道隔热层内、外侧温度随时间变化曲线。由图 6 可以看出：在 6 ~ 8 月份，隔热层内侧温度逐渐升高，到 8 月份达到最高，然后开始下降，其温度变化梯度很大；隔热层外侧温度变化规律与内侧一致，但温度变化梯度要小很多；隔热层内、外侧的温差是逐月变化的，在 8 月份温差最大，然后降低，到 10 月份内、外侧曲线交汇。

由此可见，隔热层外侧围岩温度随季节变化的幅度远小于内侧，且两侧存在较大温差，这表明隔热层起到了保温效果。

## 4 结 论

综合以上分析，可以初步得出如下结论：

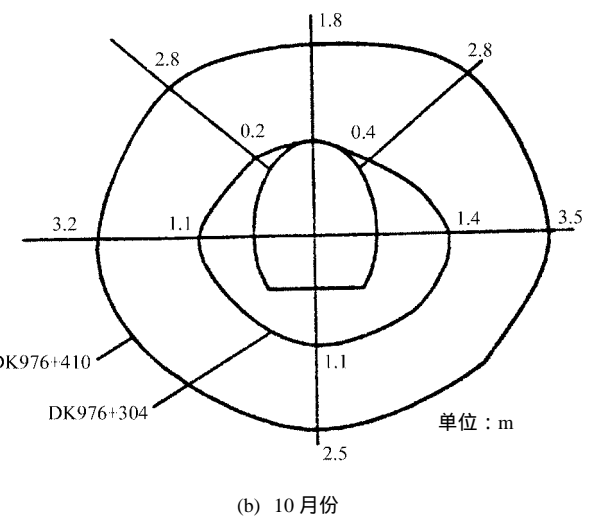
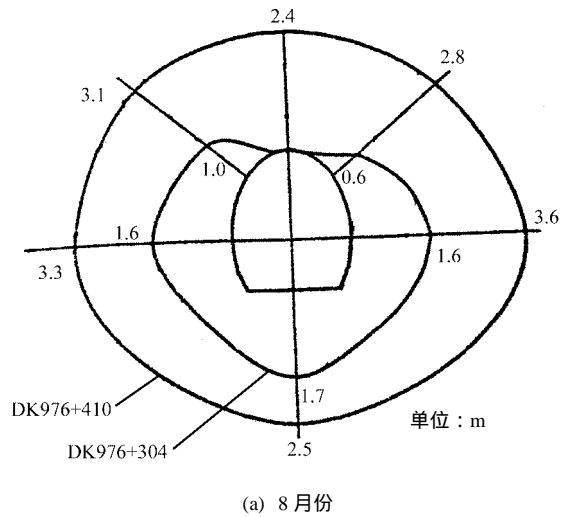


图 5 隧道周边零度地温等值线分布图

Fig.5 Distribution figures of the ground temperature isolines with  $0$  surrounding the tunnel

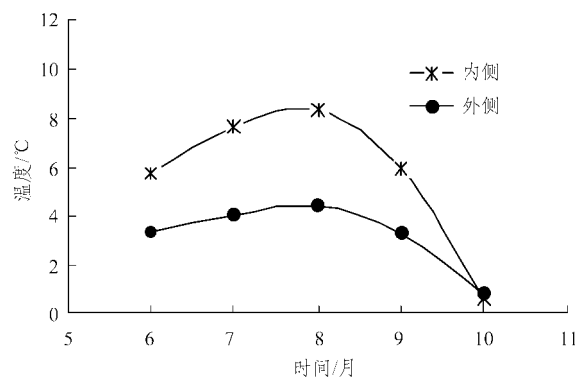


图 6 隔热层内、外侧温度随时间变化曲线

Fig.6 Curves of the temperature inside and outside of insulation layer vs. time

(1) 隧道内气温的分布特征为上高下低，洞内气温高于洞口气温。随着距洞口距离的增大，洞内气温受洞外气温影响逐渐减弱，气温分布也逐渐均

匀。

(2) 隧道洞内地温随深度增加呈线性降低,并在一定深度地温变为负值。洞内气温对隧道周边围岩地温的影响随围岩深度的增加而减弱。

(3) 隧道开挖后,周边围岩有一定范围的融化圈,融化圈厚度受气温影响较大,洞口融化圈厚度小于洞内融化圈厚度。

(4) 隧道内的隔热层具有良好的保温效果。因此,在寒区隧道建设中铺设保温材料是减少冻害发生的有效方法。

### 参考文献(References) :

- [1] 七凤鸣. 寒冷地区隧道气温状态[J]. 冰川冻土, 1988, 10(4) : 450 - 453.(Nie Fengming. The air temperature situation in cold-region tunnels[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 1988, 10(4) : 450 - 453.(in Chinese))
- [2] 米海珍. 高山隧道冻土预报的数值模拟[A]. 见: 陈明编. 地层冻结工程技术和应用——中国地层冻结工程 40 年论文集[C]. 北京: 煤炭工业出版社, 1995. 78 - 93.(Mi Haizhen. Numerical simulation of frost soil forecast in height altitude tunnels[A]. In Chen Ming ed. Ground Freezing Technique and Its Application — Proceeding of 40th Year on China Ground Freezing Engineering[C]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1995. 78 - 93.(in Chinese))
- [3] 何春雄, 吴紫汪. 大坂山隧道围岩冻融状况变化趋势的初步分析预测[A]. 见: 第五届全国冰川冻土大会论文集(上)[C]. 兰州: 甘肃文化出版社, 1996.(He Chunxiong, Wu Ziwang. The primary analysis and forecast for the freezing-thawing change direction of the rock surrounding Dabanshan tunnel[A]. In: Proceeding of the Fifth Chinese Conference on Glaciology and Geocryology (Vol.1)[C]. Lanzhou: Gansu Culture Press, 1996(in Chinese))
- [4] 何春雄, 吴紫汪, 朱林楠. 严寒地区隧道围岩冻结状况分析的导热与对流换热模型[J]. 中国科学(D 辑), 1999, 29(1) : 1 - 7.(He Chunxiong, Wu Ziwang, Zhu Linnan. The model of thermal conductivity and convection of rock surrounding freezing situation analysis in cold-region tunnels[J]. Science in China(Series D), 1999, 29(1) : 1 - 7.(in Chinese))
- [5] 赖远明, 吴紫汪, 朱元林等. 寒区隧道温度场、渗流场和应力场耦合问题的非线性分析[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5) : 529 - 533.(Lai Yuanming, Wu Ziwang, Zhu Yuanlin, et al. Nonlinear analysis for the coupled problem of temperature, seepage and stress fields in cold-region tunnels[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(5) : 529 - 533.(in Chinese))
- [6] 黄涛, 杨立中. 隧道裂隙岩体温度 - 渗流耦合数学模型研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(5) : 554 - 558.(Huang Tao, Yang Lizhong. A study of mathematical model on coupling between temperature-seepage in fractured rock mass surrounding tunnel[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 1999, 21(5) : 554 - 558.(in Chinese))
- [7] 水伟厚, 高广运, 韩晓雷等. 寒区隧道围岩导热系数及其冻深分析[J]. 地下空间, 2002, 22(9) : 343 - 346.(Shui Weihou, Gao Guangyun, Han Xiaolei, et al. Analysis on thermal conductivity and frost depth of enclosing rock of tunnel in cold region[J]. Underground Space, 2002, 22(9) : 343 - 346.(in Chinese))
- [8] Lai Y M, Liu S Y, Wu Z W, et al. Approximate analytical solution for temperature fields in cold regions circular tunnels[J]. Cold Regions Science and Technology, 2002, 13(4) : 43 - 49.
- [9] 张学富, 赖远明, 杨风才等. 寒区隧道围岩冻融影响数值分析[J]. 铁道学报, 2002, 24(4) : 92 - 96.(Zhang Xuefu, Lai Yuanming, Yang Fengcai, et al. Numerical analysis for the freezing-thawing situation of the rock surrounding tunnel in cold regions[J]. Journal of the China Railway Society, 2002, 24(4) : 92 - 96.(in Chinese))
- [10] 张学富, 赖远明, 喻文兵等. 寒区隧道三维温度场数值分析[J]. 铁道学报, 2003, 25(3) : 184 - 190.(Zhang Xuefu, Lai Yuanming, Yu Wenbing, et al. Numerical analysis for the three-dimension temperature fields in cold region tunnels[J]. Journal of the China Railway Society, 2003, 25(3) : 184 - 190.(in Chinese))
- [11] 赖远明, 吴紫汪, 张淑娟等. 寒区隧道保温效果的现场观测研究[J]. 铁道学报, 2003, 25(1) : 81 - 86.(Lai Yuanming, Wu Ziwang, Zhang Shujuan, et al. In-situ observed study for effect of heat preservation in cold regions tunnels[J]. Journal of the China Railway Society, 2003, 25(1) : 81 - 86.(in Chinese))