

椎体保温式出水口及其热力状态分析

李恩英 何杰

(铁道部第三设计院冻土队)

为适应多年冻土地区严寒的气候和复杂的地质条件,1964年在嫩林线加格达奇车站附近的路堑排水工程中第一次采用了椎体保温式出水口。投入使用以后,曾进行了系统的观测,证实它的使用情况良好,泄水通畅。以后,椎体保温式出水口在嫩林线路堑、隧道排水工程中广为应用。本文将对路堑排水工程(以下称试验排水工程)的热力状态作一分析。

一、试验排水工程简介

该排水工程位于大兴安岭东坡丘陵地带,属岛状多年冻土分布区。年平均气温为 -2.5°C ,最冷月平均气温为 -23.2°C (据加格达奇1967年资料)。该处地质情况为风化花岗岩,季节冻结深度为4.0米。渗沟铺设在路堑的一侧,长740米,埋深4.8米左右。渗沟结构采用高0.35米,宽0.30米,矩形截面,由砼预制块拼装而成。顶盖拼接处,每0.5米留有一个 0.3×0.03 米渗水孔。路堑以外部分则采用内径为0.35米的砼圆管长240米。图1、2、3示出了该排水工程的平剖面示意图。图4是渗沟设置后地下水位的变化情况。

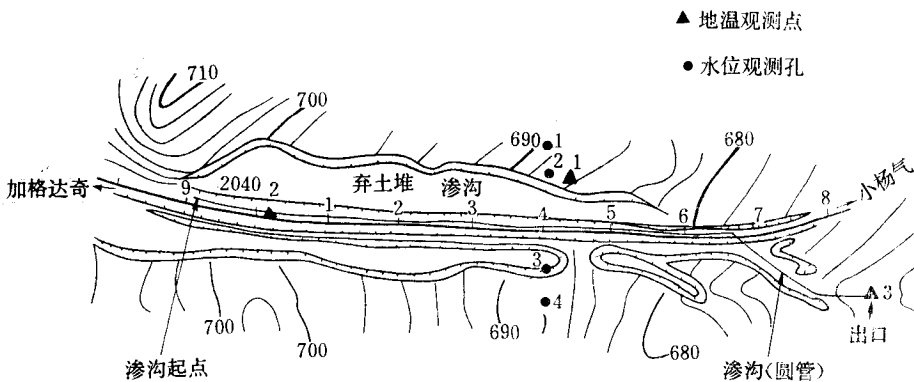


图1 渗沟平面示意图

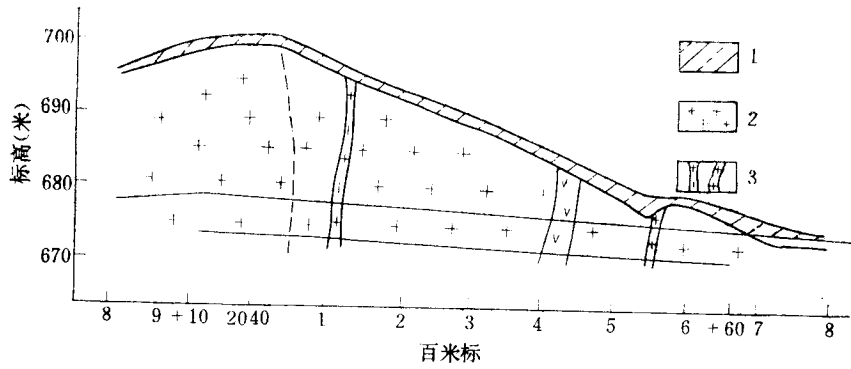


图2 渗沟纵断面示意图
1. 砂粘土; 2. 风化花岗岩; 3. 岩脉

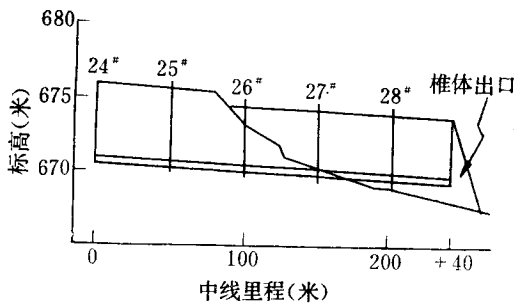


图3 渗沟出口纵断面图

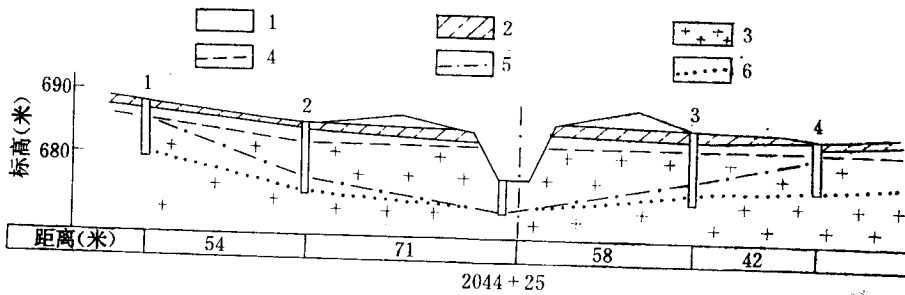


图4 地下水观测断面图
1. 弃土; 2. 砂粘土; 3. 风化花岗岩;
4. 施工前地下水位; 5. 雨季地下水位; 6. 枯水期地下水位

排水管口部分采用锥体保温式出水口，它的构造特点是：管口被埋设于干砌片石之中，片石高出管顶0.5米，其上填筑卵石、草皮，然后填筑普通土，最外侧填筑塔头作为保温层，各层累积厚度从管顶至填土顶面为3.5米，其边坡为1:2（见图5）。

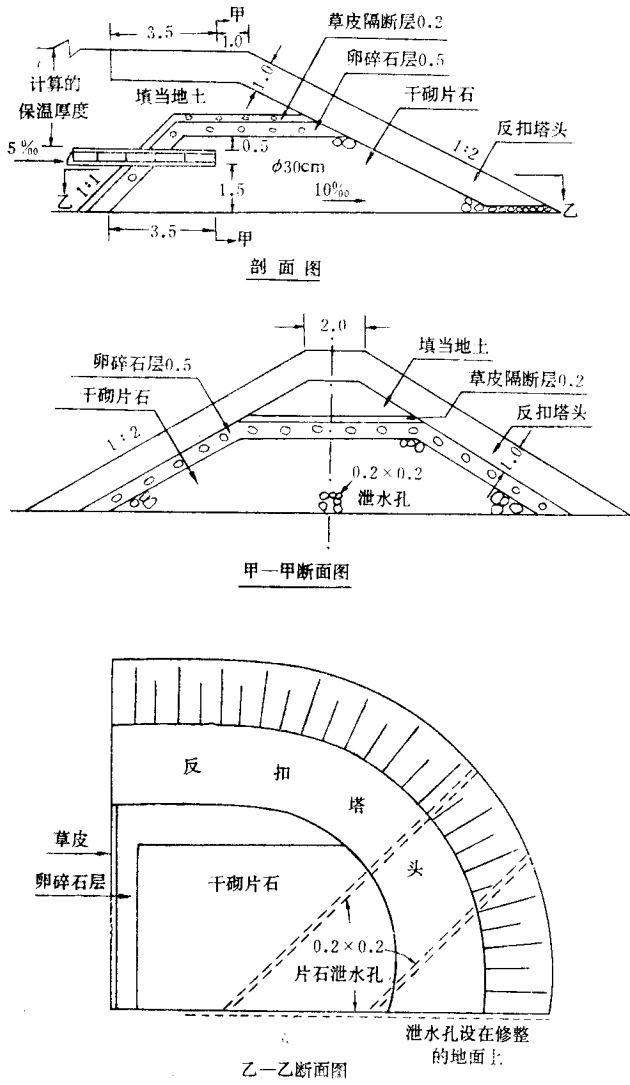


图 5 椎体保温式出口图(图中单位:米)

为了解它在运营中的状况,对该处的天然地温、渗沟及椎体填土中的地温变化,以及排水口的水温及流量进行了系统观测,这些资料见表 1、2 及图 6、7、8。

表 1 地下水流出椎体后水温

1965年	日期(日/月)	17/1	5/3	19/3	13/4		
	水温(℃)	1.4	0.5	1.6	2.5		
1966年	日期(日/月)	28/12					
	水温(℃)	2.2					
1967年	日期(月)	1	2	3	4	5	6
	水温(℃)	2.0	1.6—2.0	1.7—2.0	1.8	1.8	2.0

注: 1965年 3 月在 11 号检查井(位于 2044+20)测得的水温为 1.8℃。

表 2 排水口流量观测

日 期	方 法	流量 (吨/日)	附 注
1963年			
5月7日	施工期间侧沟内测量	1051	东铁五处二段测
9月6日	" "	1637	"
9月27日	" "	996	"
11月2日	" "	648	"
11月5日	" "	518	设计小组测
1964年			
1月10日	路堑内积水11000立方米	353	按积冰日估算
1月28日	" 16500立方米	376	"
4月4日	" 24000立方米	151	因已融化故偏小
1965年			
5月10日	11—12号检查井间	443—964	两次测量
1967年			
8月15日	出口管道部位浮标法	567—749	"

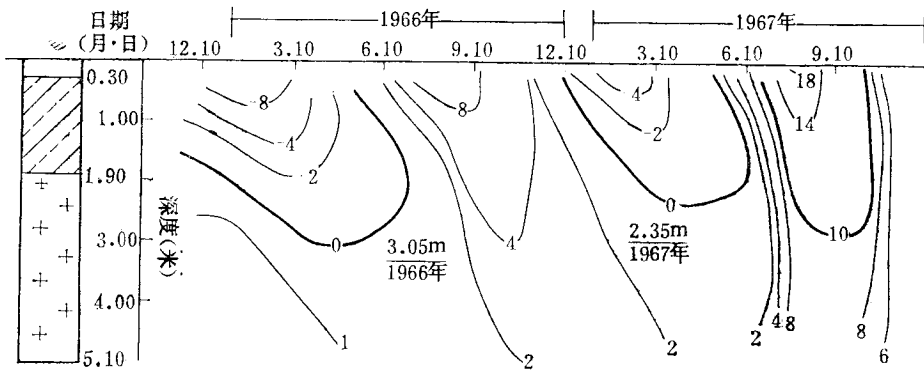


图 6 天然地温孔等温(°C)线图
(2044+40左70米)

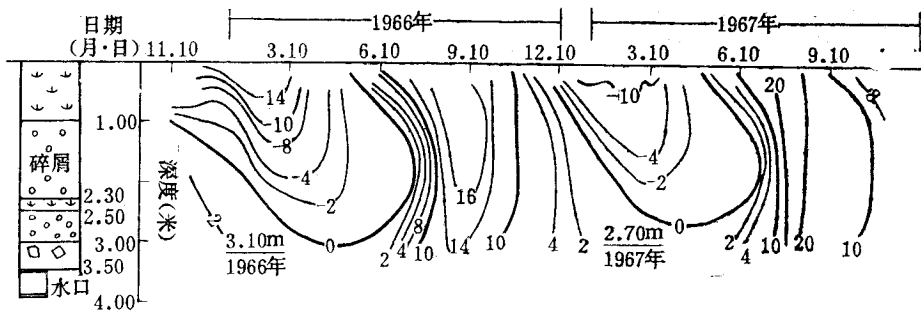


图 7 渗沟出口堆体处等温(°C)线图

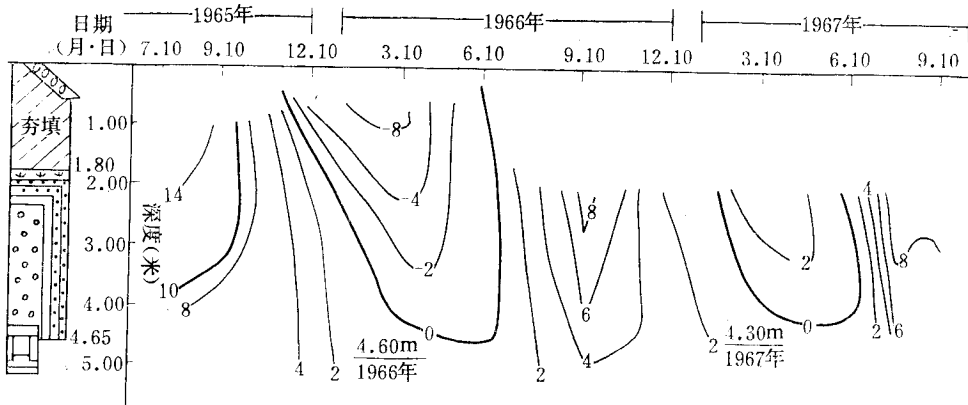


图 8 2040 + 15 渗沟处等温(°C)线图

二、椎体保温式出水口热力状态分析

冬季运营时，由于排水管内气温与大气温度的差值极大，且排水管的始端与末端存在着高程差，所以在排水管的始末两端产生了位差热压。在它的作用之下，冷空气由椎体四周通过填料的孔隙进入排水管，并以排水管起始端进入渗水沟，形成了一个自然的空气循环体系。同时，在管口处排出的水渗入管口附近的填料中，沿着填料的孔隙汇集在底部的泄水沟中，然后由椎体坡脚泄出。因为管口处充水填料的温度高于椎体表面温度，在温差作用下，这部分充水填料像是一个热源，不断地向大气散发热量，同时也加热了进入排水管的冷空气，因此椎体本身又是一个散热体系。

对于空气循环体系来说，椎体的作用有两个：一是增加了空气进入排水管时的阻力，因而显著的减少了空气的循环量；二是由于管口被填料所保护，消除了自然风压的影响，也起到了减少空气循环量的作用。在散热体系中，填料为充分利用排水本身所含的热量提供了条件。由于管口附近充水填料的存在使管口始终处于正温环境，而且椎体填料层又是冷空气的预热装置，进入填料层内的冷空气通过填料孔隙逐渐升温，当汇集到排水管口时，它的温度已经接近于水温。

根据观测数据，我们得到了以下计算结果：空气在排水管内流动速度 $V_n = 0.209$ 米/秒，空气流量 $W = 57.6$ 立方米/时，由椎体散失的热量 $q_1 = 262$ 千卡/时，冷空气吸收的热量 $q_2 = 444.2$ 千卡/时，水在椎体内的降温为 0.03°C 。实测的管口处的填料温度为 1.6°C ，椎体内外的水温均为 1.8°C ，与计算结果相符。

如果没有椎体保护，情况就会大不一样。这时促使冷空气循环的压力不仅是热位差热压，而且还有风在管口造成的自然风压。由于排水管直接暴露于大气中，空气在循环过程中遇到的阻力大为减少，使得空气循环量显著增加。冷空气侵入管内与管壁进行换热，在管口部分换热强度最大，使管口部分发生过冷却现象，以致造成冻害。

根据观测数据计算，无椎体保护时空气在管内的流速 $V_n = 0.505$ 米/秒，空气流量 $W = 139.4$ 立方米/时，冷空气所吸收的热量达 $q = 1079.3$ 千卡/时，管壁放热系数

$\alpha = 2.16$ 千卡/米·时·度, 管壁与冷空气的换热过程将在距管口45.8米范围内进行, 而二分之一以上的热交换是在距管口16米范围内进行的。图9表示管壁温度和空气温度沿管道纵向的变化, 图中实线代表冷空气开始循环的初始状态, 虚线则表示随着冷空气的不断循环, 管壁温度、空气温度的变化趋向。

计算中所引用的公式及各项参数值均列在附录中。

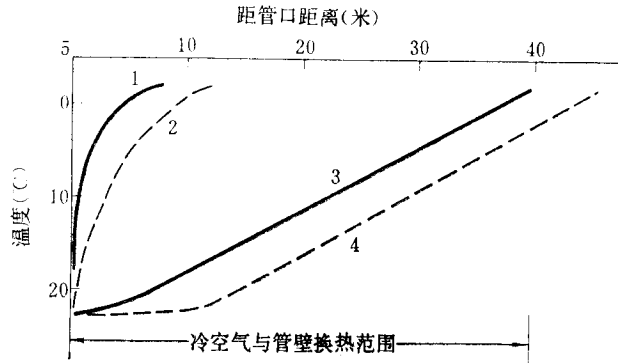


图9 无椎体保温的排水管口的冷却过程

1. 冷空气未侵入管内时的管壁温度; 2. 冷空气侵入后管壁温度变化趋向;
3. 冷空气侵入前管内气温; 4. 管壁逐渐冷却时管内气温变化趋向

三、结 论

根据上面的分析可以确认: 椎体保温式出水口的结构形式是合理的和必要的。它不仅解决了排水管口冻结问题, 也避免了普通出水口常常遇到的端墙冻胀问题。排水管口的埋深和椎体尺寸, 应随当地季节冻结深度和填料的导热系数经计算后确定, 并适当地考虑安全系数(一般可采用1.2)。目前所使用的椎体保温式出水口的尺寸已有减小。

附录: 主要计算公式及引用的数据

1. 位差热压:

$$h_1 = z(r_1 - r_2) = 0.1805 \text{ (毫米水柱)} \quad (1)$$

式中: z ——排水管起点及终点的高差(1.41米);

r_1 ——气温为 -23.2°C 时的空气容重(1.413公斤/立方米);

r_2 ——管内温度为 1.8°C 时的空气容重(1.285公斤/立方米)。

2. 自然风压:

$$h_2 = \frac{\gamma_1}{2g} V^2 \cdot \cos^2 \theta = 0.072 \text{ (毫米水柱)} \quad (2)$$

式中: g ——重力加速度;

V ——风速(1米/秒);

θ ——风向与过流断面的法平面夹角(=0度)。

3. 空气在管内的流速及流量:

$$\text{流速 } V_n = 4.43 \sqrt{\frac{h_1}{r\left(\frac{\lambda l}{d} + \Sigma \xi\right)}} = 0.209 \text{ (米/秒)} \quad (3)$$

式中： r —— 1.8°C 时空气容重（1.285公斤/立方米）；

λ ——排水管摩擦阻力（0.014）；

d ——排水管通气部分的当量直径（0.31米）；

l ——空气循环体系的计算管长（270米）；

$\Sigma \xi$ ——局部阻力系数，对于有椎体保护的排水管取50.8。

$$\text{流量 } W = V_n \cdot A = 57.7 \text{ (立方米/时)} \quad (4)$$

式中： A ——通气面积（0.0767立方米）。

4. 无椎体保温的排水口空气在管内的流速及流量，公式同（3）和（4）， $\Sigma \xi$ 取3。

流速 $V_n = 0.505$ （米/秒）

流量 $W = 139.4$ （立方米/时）

5. 管内壁放热系数：

$$\alpha = \frac{Nnf \cdot \lambda}{d} = 2.11 \text{ (千卡/平方米} \cdot \text{时} \cdot \text{度)} \quad (5)$$

式中： Nnf ——努谢尔特准则数（由热相似准则方程 $Nnf = 0.018 \times R_e^{0.8} = 32.5$ ）；

R_e ——雷诺指数（11723.2）；

λ ——空气导热系数（ -10°C 时 2.03×10^{-2} ）。

参 考 文 献

〔1〕 铁道部第二设计院主编，铁路工程设计技术手册，隧道，303—334页。人民铁道出版社，1978。

〔2〕 M·A·米海耶夫著，王补宣译，传热学基础，99、415页。高等教育出版社，1959。

（1981年3月19日收到）

THE CONE SHAPE INSULATED OUTLET AND ITS THERMAL CONDITION ANALYSIS (A DIGEST)

Li Anying, He Jie

(3rd Design Institute of Railway)

Abstract

In order to prevent the outlet of drainpipe from freezing, the cone shape insulated outlet was developed in 1964, and the performance in its operation was desirable.

This paper represents the outlet structure of this type, and analyses its thermal regime as well as its basic principles, so that the proof of its reasonableness is completed.