

文章编号:0451-0712(2006)08-0221-04

中图分类号:U457.5

文献标识码:B

梯子岭隧道防冻隔温层效果现场测试及分析

陈建勋^{1,2}

(1. 北京交通大学土木建筑工程学院 北京市 100044; 2. 长安大学桥梁与隧道陕西省重点实验室 西安市 710064)

摘 要: 对多种防冻隔温材料性能进行了测试及评定,选取硬质聚氨酯(现场发泡)作为防冻隔温材料对梯子岭隧道冻害进行了治理;在施作隔温层后,对隧道温度场进行了现场测试;测试结果表明,防冻隔温层的效果显著,为今后隧道冻害采用防冻隔温层提供了可靠的依据。

关键词: 隧道工程; 防冻隔温层; 温度场; 冻害; 处治

我国已建的寒冷地区隧道很多都发生衬砌开裂、剥落、挂冰和路面(线路)冒水、结冰等病害,大大弱化了隧道的使用功能,严重威胁着行车安全,养护也较困难。为了防患于未然,以免在运营期间长期遭受冻害的困扰,提出在隧道的设计和施工中采用防冻隔温层措施。本文通过对梯子岭隧道防冻隔温层效果的现场测试,分析了防冻隔温层的显著效果,为防治隧道冻害采用防冻隔温层提供可靠依据。

1 工程概况

秦青公路梯子岭隧道位于青龙县,青龙县属半干旱大陆性气候,温差很大,降雨量较少,年最大降雨量 1 128.8 mm,年最小降雨量 414.8 mm,年平均降雨量 291.0 mm。隧道位于青龙县北部山区,冬季气温低,年平均气温 8.9℃,而年最低气温达 -29.2℃。隧道衬砌最大厚度为 0.55 m,而年冻结深度为 0.91~1.09 m。

梯子岭隧道为直线隧道,总长 1 142.72 m,纵坡 4.1%。原梯子岭隧道于 1993 年 8 月开工建设,1994 年 12 月竣工交付使用。隧道因未考虑防排水问题,交付使用后就发生了冻害现象。据 1994 年和 1995 年的 2 个冬季观察,每年 11 月到第二年 4 月,隧道洞内形成大面积的冰柱及冰溜,冰柱直径大多在 0.5~1.0 m 之间,大者可达 1.5 m,高度均在 1 m 左右,小者滴水冻结于洞顶,形成冰溜,倒挂于洞顶或附在侧墙上,最大冰溜直径可达 40 cm 左右,长度 2~3 m;

大部分路面冬季结冰。整个冬季隧道内车辆、行人难以通行。

1997 年 3 月 1 日开始,对隧道进行了改建,增设了防排水设施,同年 8 月 30 日竣工并投入使用。经过 4 年的运营,发现尽管隧道改建时采取了防排水措施,但渗漏问题仍未得到很好地解决。每年逢雨季,在隧道的衬砌表面都会出现大面积的渗漏现象;到了冬季,在衬砌表面的渗漏处仍有结冰现象,所形成的冰溜延伸到路面,拱顶滴水在路面也形成了冰溜,衬砌和排水沟均因冻胀出现了明显的开裂病害,严重地影响隧道的正常运营。

鉴于上述情况,为了彻底根治隧道渗漏,确保其使用功能,提出在隧道原衬砌混凝土外依次增设 2 mm PVC 复合防水板、40 mm 聚氨酯隔温层、25 cm 混凝土衬砌(套衬)的整治方案。该治理工程 2001 年 9 月 15 日开工,2002 年 1 月 15 日完工并交付运营。

2 防冻隔温层材料性能测试及评定

2.1 防冻隔温层材料选定

2.1.1 防火阻燃性能评定

隧道内的防冻隔温材料,既要能隔温又要能防火,对选用材料应进行防火阻燃性能评定,见表 1 所示。

2.1.2 物理指标及热学参数比较

依据表 1 的实测指标与特点,筛选后对材料进行了物理指标及热学参数比较,见表 2。

表 1 防冻隔温材料防火阻燃性能评定

材料名称	测试前样品描述	喷烧中情况描述	喷烧后情况描述	测前样品吸水率/%	烧后样品吸水率/%	烧后样品简易强度	综合评定
PEF45 倍板材	形似海绵	阻燃效果差	变形量大	1.0			阻燃效果差,变形大,不宜采用
硬质聚氨酯(发泡)	密度较高,吸水	喷烧时燃烧	几乎不吸水	1	0.6	有一定的强度	阻燃效果好,隔温效果良好,烧后收缩小,宜采用
石棉材	易吸水,较松散	阻燃效果较好				压缩强度差	成型差,阻燃效果好,但吸水后自重大大,易散,不宜用
硅酸铝纤维板	成型较好,吸水	阻燃效果较好	几乎没有变化	1.5	饱和	有较好的强度	虽燃烧后吸水,但成型较好,阻燃,可用于 UP 材内
铁皮材聚氨酯	强度高,成型好,但反光	铁皮阻燃,发红 UP 着火	铁皮后的 UP 在燃烧	0	0	强度较好	由于退火后铁皮内情况不详,且铁皮反光,采用后其效果不佳
FBT 稀土材料	强度低,吸潮	表面鼓起脱落	脱落			无强度	因吸潮,实验段脱落,不可采用
硬质聚氨酯(喷涂)	表面不平整	喷烧时燃烧	变形小,不吸水	0.4	1.1	有强度	平整度不易控制,即厚度质量控制较难

表 2 物理指标及热学参数测试

材料名称	测试指标
硬质聚氨酯泡沫塑料	①密度 37.6 kg/m ³ ;②吸水率 2.9%;③压缩性能 168 kPa;④水蒸气透湿系数 6.3 ng/(Pa·m·s);⑤导热系数 0.0209 W/(m·k)。
PEF 聚乙烯(45 倍)泡沫塑料	①密度 31.5 kg/m ³ ;②吸水率 1.0%;③压缩性能 16 kPa;④水蒸气透湿系数 0.35 ng/(Pa·m·s);⑤导热系数 0.035 W/(m·k)。
干法硅酸铝纤维板	①密度 188 kg/m ³ ;②导热系数 0.036 W/(m·k);③渣球含量 0.0%;④纤维平均直径 6.5 μm ⑤含水率 0.2%;⑥憎水率 97.3%;⑦有机物 0.8%。

经过比较,决定选用硬质聚氨酯(现场发泡)作为防冻隔温材料。

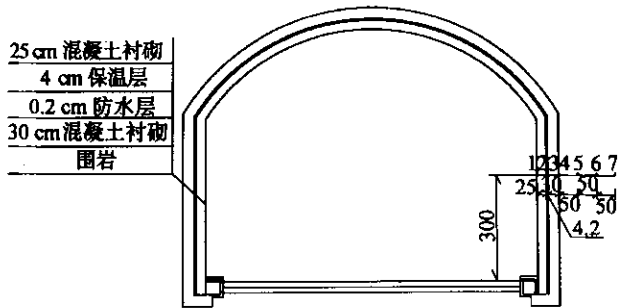
3 防冻隔温层现场效果测试

3.1 测试断面及测点布置

为了检验防冻隔温层的效果,隧道施工期间在洞内 5 个横断面上埋设了测温元件,各测试断面及元件在横断面上的布置情况见表 3 和图 1。

表 3 测温断面位置及元件布置

断面编号	距洞口距离/m	各测点距衬砌表面距离/cm						
		1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	6 号	7 号
9	111.36	0	25	29.2	59.2	109.2	159.2	209.2
14	291.36							
18	491.36							
22	691.36							
24	751.36							



单位:cm

图 1 测温元件横断面布置示意

3.2 隧道温度场测试成果

2002 年 1 月 19 日~2002 年 2 月 28 日和 2003 年 1 月 7 日~2003 年 3 月 31 日,分别对改造后梯子岭隧道防冻隔温层的效果进行了现场实测,测试数据包括洞内外的气温、风速和风向,衬砌表面与内部的温度,保温层和防水板外侧的温度,围岩内部的温度。测试结果如下。

(1)测试断面 22 的温度随时间变化情况见图 2。 (2)典型的隧道温度随深度的变化关系见图 3。

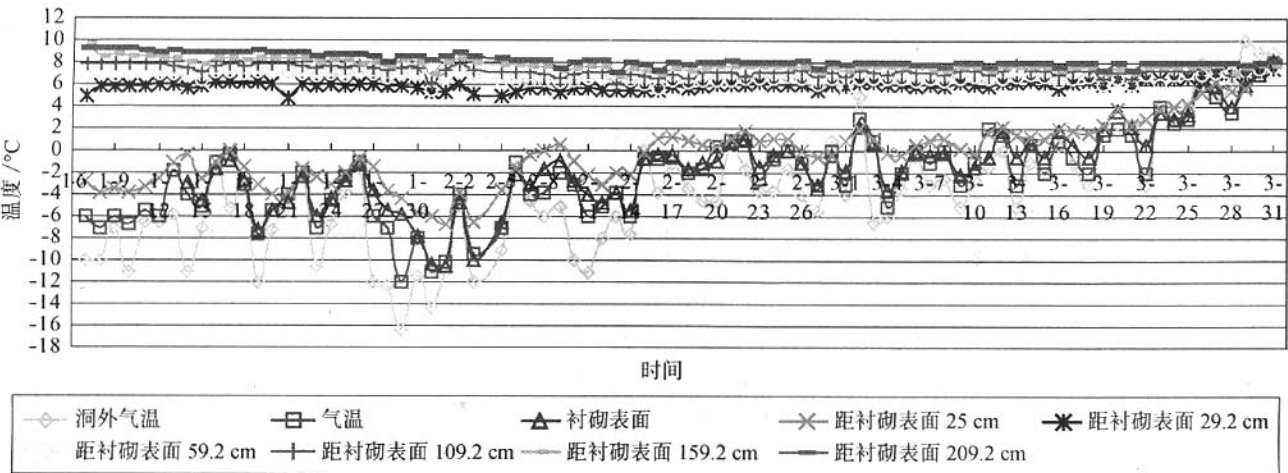


图 2 断面 22 温度~时间曲线(2003 年)

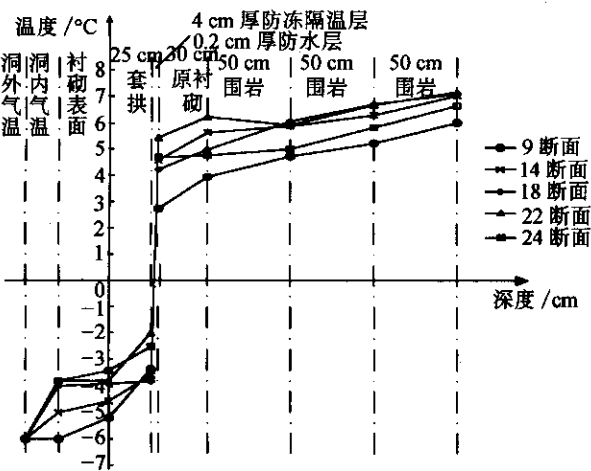


图 3 典型的隧道温度~深度曲线(2003-2-13)

3.3 防冻隔温层效果评价

3.3.1 测试成果评价

(1)由图 2 可明显看出,在不同时期洞内气温、衬砌表面温度、距衬砌表面 25 cm 深处温度随着隧道洞外气温的剧烈变化而变化;由于铺设了防冻隔温层,距衬砌表面 29.2 cm、59.2 cm、109.2 cm、159.2 cm、209.2 cm 深处温度随时间变化都比较平缓。说明防冻隔温层的效果很明显。

(2)图 4 为未铺设防冻隔温层时,隧道典型断面温度随时间的变化情况。将图 2 与图 4 相比较,可明显看出,由于铺设了防冻隔温层,围岩内部各处温度随时间的变化显得平缓得多。进一步说明了防冻隔温层的效果很明显。

(3)图 3 表明,防冻隔温层两侧的温度有剧烈变

化(温度由 -3.35°C 变化到 2.72°C),从而保证了防水板外侧(朝向围岩方向为外侧)的温度大于 0°C ,可以达到围岩中的渗水不会结冰的目的。需要说明的是图 3 所示测试数据(2003-2-13)是整个测试期间(2003-1-7~2003-3-31)防水板外侧温度最低的一天,其他各断面在不同的时期的数据均大于该值。因此,防冻隔温层达到了设计的效果。

3.3.2 现场外观调查

2002 年和 2003 年的 2 个冬季,对梯子岭隧道的运营情况进行了现场详细调查,结果表明,全隧道均无渗漏和冻害现象发生,说明防冻隔温层的效果是显著的。

4 结语

(1)硬质聚氨酯具有阻燃性能好,隔温效果良好,烧后收缩小,物理指标及热学参数优于同等材料的特点,适宜作为隧道防冻隔温材料。

(2)通过比较隧道内设防冻隔温层前后典型断面处温度随时间的变化情况,可以明显看出,由于设了防冻隔温层,围岩内部各处温度随时间的变化平缓得多,说明防冻隔温层的效果很明显。

(3)防冻隔温层两侧的温度有剧烈变化(温度由 -3.35°C 变化到 2.72°C),从而保证了防水板外侧(朝向围岩方向为外侧)的温度大于 0°C ,可以达到围岩中的渗水不会结冰的目的。

参考文献:

[1] 徐惠忠,周明. 绝热材料生产及应用[M]. 北京:中国建

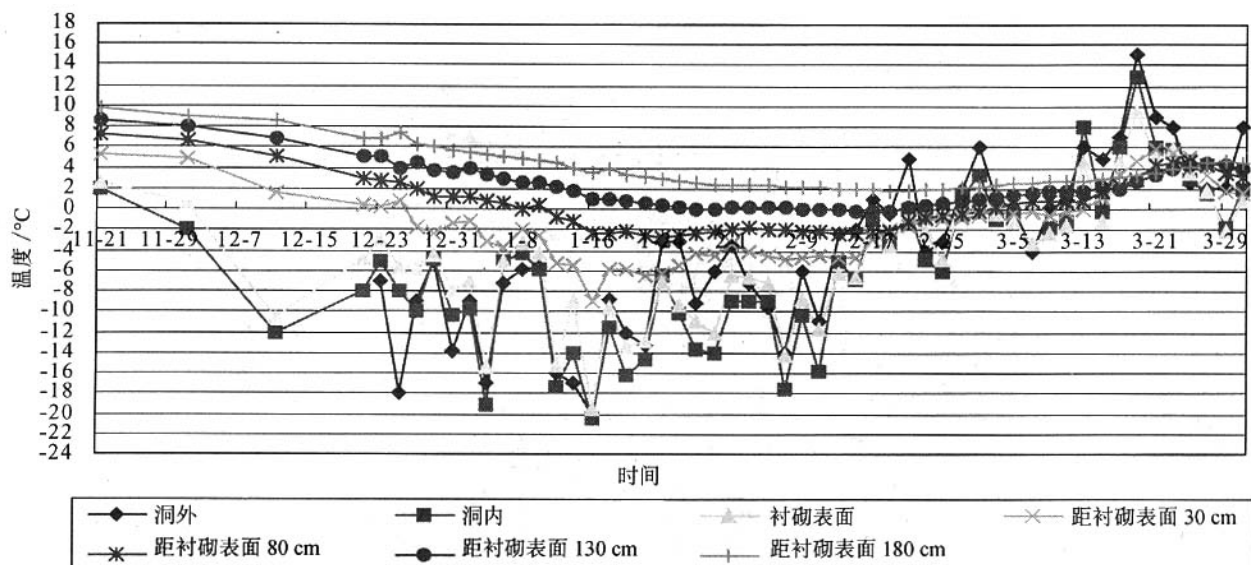


图 4 断面 4 温度~时间曲线(2000—11—21~2001—3—31)

材工业出版社, 2001.

[3] GB 10800—89, 建筑物隔热用硬质聚氨酯泡沫塑料[S].

[2] 陈建勋, 咎勇杰. 寒冷地区公路隧道防冻隔温层效果现场测试与分析[J]. 中国公路学报, 2001, 14(4).

[4] 方禹声, 朱吕民. 聚氨酯泡沫塑料[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.

Field Test and Analysis of Effect of Antifreeze Thermal Insulating Layer in Tiziling Tunnel

CHEN Jian-xun^{1,2}

(1. School of Civil Engineering & Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Key Laboratory for Bridge and Tunnel Engineering of Shanxi Province, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

Abstract: Depending on the performance testing and evaluation conducted on a variety of antifreeze thermal insulating materials, hard urethane foam (field foam) is selected as antifreeze thermal insulating material to treat the frost damage in Tizilin Tunnels. After laying antifreeze thermal insulating layer, field tests for the tunnel temperature fields are carried out. The test results indicate that the effects of antifreeze thermal insulating layer are significant, and a reliable basis is supplied for the future use of the tunnel with antifreeze thermal insulating layer.

Key words: tunnel engineering; antifreeze thermal insulating layer; temperature field; frost damage; treatment