

桑珠岭隧道高地温隔热衬砌施工技术

范 辉

中铁五局集团第一工程有限责任公司, 湖南 长沙 410117

[摘要]新建川藏铁路拉萨至林芝段桑珠岭隧道一号横洞工区主要不良地质为高地温。针对高地温隧道特点, 现场在普通支护体系基础上, 通过增加保温隔热材料及原衬砌表面铺设一层隔热层等施工措施, 以减少隧道围岩的热量向隧道内传递; 其次增加隔热层混凝土防裂钢筋、优化混凝土配合比等措施降低混凝土水化热, 以及适当延长洒水养护时间, 加强混凝土保湿养护等综合施工措施, 减少混凝土裂缝的产生与发展; 达到隔绝岩温, 降低环温, 保障施工质量的目的。通过此段隔热衬砌施工, 探索总结出了高地温隧道隔热衬砌施工有效的技术手段, 取得了良好的施工效果, 为其它高温隧道隔热衬砌施工提供有力的技术支撑和借鉴意义。

[关键词]桑珠岭隧道; 高地温隔热衬砌; 施工技术

DOI: 10.33142/ec.v3i6.2077

中图分类号: U455.4

文献标识码: A

Construction Technology of High Ground Temperature and Heat Insulation Lining in Sangzhuling Tunnel

FAN Hui

Railway No.5 Bureau Group First Engineering Co. Ltd., Changsha, Hunan, 410117, China

Abstract: The main unfavorable geological condition in the No.1 horizontal tunnel of Sangzhuling tunnel in Lhasa Linzhi section of Sichuan Tibet railway is high ground temperature. According to the characteristics of high ground temperature tunnel, on the basis of ordinary support system, the construction measures such as adding thermal insulation materials and laying a layer of thermal insulation layer on the surface of the original lining are adopted to reduce the heat transfer from the surrounding rock of the tunnel to the tunnel. Secondly, it can reduce the hydration heat of concrete by increasing the anti-cracking steel bar of insulating layer concrete, optimizing concrete mix ratio and so on and extend the curing time of sprinkling water properly, strengthen the comprehensive construction measures such as moisturizing and curing of concrete, so as to reduce the occurrence and development of concrete cracks and achieve the purpose of isolating rock temperature and reducing ring temperature and ensuring construction quality. Through the construction of this section of thermal insulation lining, this paper explores and summarizes the effective technical means of heat insulation lining construction of high temperature tunnel, obtains good construction effect and provides strong technical support and reference significance for other high temperature tunnel insulation lining construction.

Keywords: Sangzhuling tunnel; high ground temperature insulation lining; construction technology

1 引言

混凝土结构衬砌长期受到高地温产生的附加应力, 会导致混凝土开裂进而引发受力不均匀, 使得结构安全性和耐久性降低。高地温环境下, 隧道衬砌混凝土存在复杂的热量传递体系。首先, 初期支护及二衬混凝土浇筑成型后, 水泥水化反应释放大量热量造成混凝土温度升高; 此外, 高地温环境下衬砌混凝土与热源(高地温围岩)存在热传导, 使初支混凝土温度迅速升高; 同时, 受隧道内施工降温影响, 衬砌混凝土表面与空气存在热对流, 致使二衬混凝土表面温度迅速下降至接近施工环境温度。由于混凝土是热传递的不良导体, 在内地温环境的复杂导热体系下, 造成衬砌混凝土温度不均匀分布, 从而产生较大的温度应力。混凝土硬化过程中, 其弹性模量、极限拉伸应变等力学性能均未达到设计值, 特别是在早龄期时极限拉伸应变仍处于较小值, 在温度应力作用下, 衬砌表面拉伸变形极易超过混凝土早龄期极限拉伸变形, 致使衬砌混凝土开裂。

2 工程概况

桑珠岭隧道全长 16.449 公里, 位于唐古拉山与喜马拉雅山之间的藏南谷地高山河谷区, 线路沿雅鲁藏布江桑加峡谷旁山而行; 隧址区线位标高 3500m 左右, 最大埋深 1510m。施工揭示 1 号横洞存在高地温长度 778m, 掌子面岩面温度最高达 89.3℃, 为目前国内外交通隧道最高地温; 正洞高地温总长为 7369m, 施工揭示正洞掌子面最高岩面温度达到

69.5℃，最高水温 43℃。

3 地质情况

桑加峡谷段整体位于雅鲁藏布江缝合带北侧（盘），距主断裂带 5~8km。谷口段与南北向展布的沃卡地堑裂谷带近正交，桑珠岭隧道进口段横穿沃卡地堑东侧，并于 D1K175+760~+910 段穿越沃卡地堑东缘活动断裂 F5-2，该断裂带具有富水、导水性，且为地热异常区。本段线路属于高山峡谷地貌，地层岩性以花岗岩、闪长岩等坚硬岩石为主，受区域构造及浅表生改造影响，构造裂隙及卸荷风化裂隙发育。

4 施工方法

4.1 总体施工思路

首先根据开挖后实测岩温，决定是否需要设置隔热衬砌。拉林铁路项目在岩温大于 55℃地段，预留隔热衬砌施工空间。然后根据原二衬施工质量，决定是否实施隔热衬砌支护。隔热衬砌施工工艺流程图如图 1。

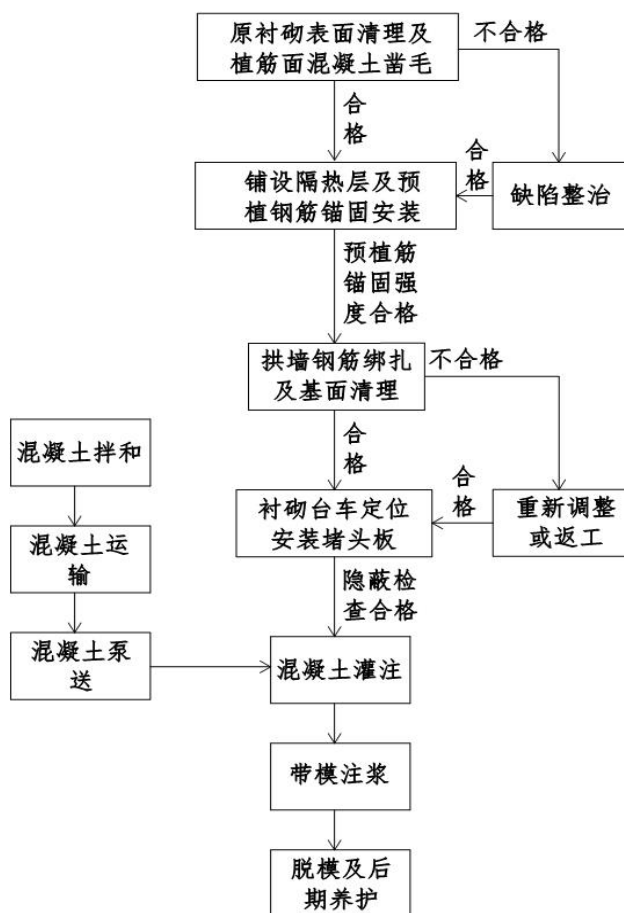


图 1 隔热衬砌施工工艺流程

4.2 具体施工方法

4.2.1 基面处理

- (1) 隔热衬砌施工前需组织对原衬砌断面净空进行测量检查，对侵限部分进行处理，处理完成后进行复测。
- (2) 对原衬砌面灰尘及污染物采用人工、高压风及水洗的方法进行清除，确保隔热层与原衬砌面有效粘结。
- (3) 隔热衬砌底部与既有衬砌交界面应凿毛，凿毛后露出新鲜混凝土面积应不低于总面积的 75%。并冲洗干净。
- (4) 在对原衬砌灰尘及污染物清除或临界面混凝土凿毛过程中，如发现存在混凝土质量及外观缺陷的需进行处理。

4.2.2 铺设隔热层

(1) 隔热层的作用是使通过它的传热量最小。隔热效果的好坏，取决于隔热材料的性能、厚度及防潮措施等。隔热材料应具备导热系数小、轻质、均质、吸水性差、耐火性好等特征，同时针对隧道施工条件，还需综合考虑其力学

性能和经济指标。

(2) 根据综合施工性能评估, 隔热层厚度 5cm, 采用建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料(II类), 性能指标及燃烧性能等级应满足相关要求。

(3) 隔热层按照衬砌轮廓工厂预制成型(尺寸 $1.2\text{m} \times 0.6\text{m} \times 0.05\text{m}$), 洞内由下到上(先两侧边墙后拱部)按照标识的规格拼装粘贴施工, 可以通过设置固定钢筋, 保证拼装平顺, 接缝紧密。隔热层保温板应与原衬砌表面黏贴固定牢固, 避免浇筑混凝土时引起错位或侵入套衬。



图2 隔热层铺设



图3 岩温测量

4.2.3 植筋锚固

(1) 为减少温度裂纹, 隔热衬砌设计增加防裂钢筋。钢筋纵向间距安装间距为 33.3cm, 安装允许误差为 $\pm 5\text{mm}$, 横向排距为 17cm, 安装允许误差为 $\pm 20\text{mm}$; 分布钢筋环向安装间距为 33.3cm, 安装允许误差 $\pm 20\text{mm}$ 。具体布置如图 4 所示。

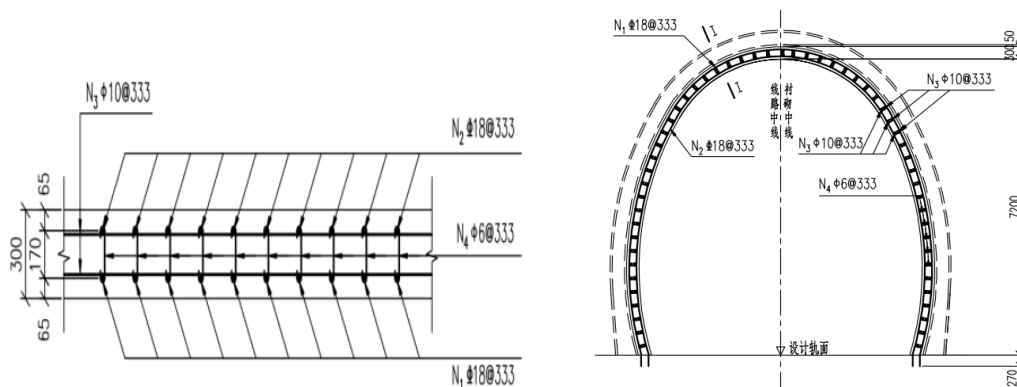


图4 隔热衬砌防裂钢筋设置

(2) 为稳固防裂钢筋, 钢筋与已施工仰拱面采用植筋固定的方式。

(3) 植筋材料采用专门配置的改性环氧树脂胶黏剂或改性乙烯基酯类胶黏剂, 且性能指标应满足相关要求。采用植筋胶施工时应在施工前做植筋锚固强度试验, 钢筋抗力试验值取单根钢筋截面面积乘以钢筋应力, 且试验中不得出现植筋胶破坏及钢筋松动。

(4) 植筋前应对植筋位置进行测量定位, 避免破坏原结构钢筋。孔深和位置应严格按照设计进行钻孔。钻孔结束后需采用压缩空气进行清孔, 确保孔壁无尘, 清孔后采用酒精或丙酮擦拭孔壁, 确保孔内干燥、清洁, 最后应用棉纱或其他柔性材料对钻孔进行封闭, 避免灰尘落入, 禁止采用水冲洗钻孔。

(5) 预植筋采用工厂化集中生产, 生产过程中需严格按照设计图纸轮廓进行控制生产, 确保满足结构受力及保护层厚度要求。

(6) 注胶时应将注胶枪插入至孔底, 由孔底往外均匀注胶, 注满孔深的 $\frac{2}{3}$ 即可。注胶过程中须保持注胶管口一直埋置在胶液中, 确保胶液中不留有气泡。注胶完毕后, 应及时将经除锈处理的钢筋放入孔口, 然后慢慢单向旋入孔底, 保证钢筋位于孔正中位置, 目视表面有少量胶体外溢。

(7) 植筋完毕后, 在固化阶段应对植筋进行保护防止被碰撞变位, 预植筋锚固强度满足要求后方可进行下道工序施工。

4.2.4 拱墙钢筋绑扎

(1) 拱墙钢筋绑扎安装前应确定预植筋锚固强度、纵横向钢筋位置满足要求, 方可进行钢筋绑扎作业。

(2) 拱墙钢筋下料长度在按照设计参数要求的同时, 应考虑预植筋的情况、现场工装配置及实际施工情况严格控制下料。环向受力钢筋下料下料允许误差 $\pm 10\text{mm}$; 分布钢筋下料长度按照台车长度控制, 下料允许误差 $\pm 10\text{mm}$; 箍筋下料长度执行设计要求, 且弯起钢筋的弯折位置允许误差为 $\pm 20\text{mm}$ 、箍筋内径尺寸允许误差为 $\pm 3\text{mm}$ 。

(3) 拱墙钢筋安装应严格按照设计要求进行控制, 钢筋安装前须对钢筋位置进行测量标识。考虑到施工缝(沉降缝)均匀沉降问题, 钢筋在施工缝(沉降缝)位置断开, 不与下一板套衬钢筋进行搭接; 箍筋安装采用梅花形间隔布设, 安装允许误差为 $\pm 10\text{mm}$; 钢筋净保护层厚度内外侧均按 5cm 进行控制。

(4) 钢筋绑扎安装时需按照要求设置保护层垫块(强度 C35), 确保保护层厚度满足要求, 设置数量每平米不少于 4 个。

(5) 钢筋绑扎安装完成后, 须对照设计文件查验预埋件、预留孔洞、接触网槽道及洞室等预留设施是否遗漏。

(6) 钢筋绑扎安装完成后, 须对作业面的垃圾、建筑材料及灰尘等杂物进行清理, 尤其是仰拱曲墙顶面及套衬接触面必须清理干净, 必要时采用高压水进行冲洗。

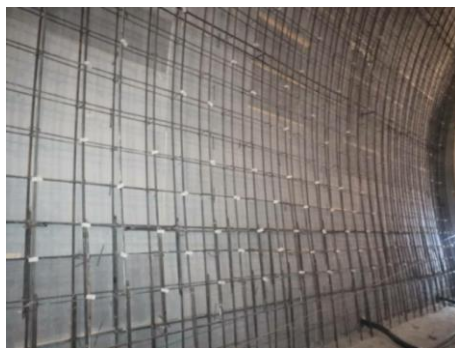


图5 隔热套衬防裂钢筋绑扎

4.2.5 测温元件埋设

为获取施工过程中各项结构物温度变化情况, 验证隔热衬砌隔热降温效果, 需在围岩、原二衬, 隔热层内外以及隔热衬砌中预埋测温元件对各点温度进行监测。测点每两百米埋设一个断面, 埋设于拱顶及两侧边墙、每处 5 个点, 如图 6 所示。

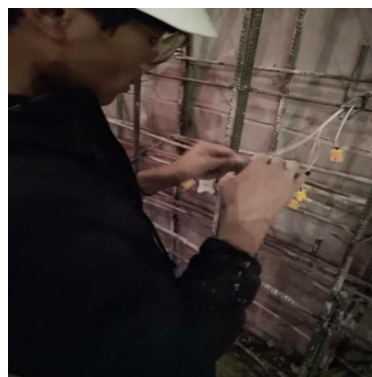
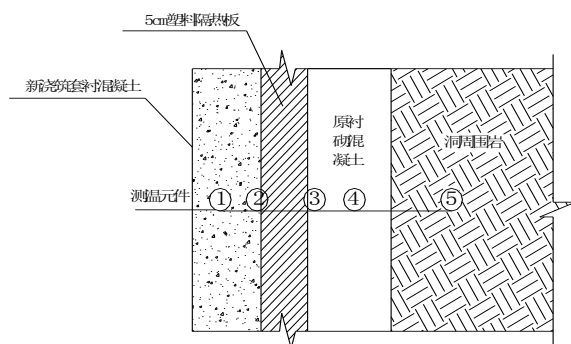


图6 测温元件布置示意以及现场埋设

4.2.6 混凝土施工

高地温隧道隔热衬砌混凝土施工，需对配合比、温度控制、养护作业等方面做出相应要求：

(1) 混凝土配合比

混凝土配合比在保证强度基础上，增加粉煤灰，减少水泥用量来减少水化热。二衬 C35 混凝土设计配合比为水泥：粉煤灰：砂：碎石（5-10mm）：碎石（10-20mm）：碎石（16-31.5mm）：水：减水剂：速凝剂 = 1:0.18:2.42:0.59:1.19:1.19:0.49:0.013。原材料需保持在常温环境，并控制拌和温度，必要时可采用碎冰碴取代部分用水量，以降低混凝土出机温度。

表 1 隧道隔热衬砌混凝土配合比

| 试样 | 混凝土各材料用量 kg/m ³ | | | | | | | |
|-------|----------------------------|-----|-----|------------|-------------|---------------|-----|-----|
| | 水泥 | 粉煤灰 | 砂 | 碎石（5-10mm） | 碎石（10-20mm） | 碎石（16-31.5mm） | 水 | 减水剂 |
| 套衬混凝土 | 340 | 60 | 824 | 202 | 403 | 403 | 168 | 4.4 |

(2) 过程要求

①当混凝土运输距离过长，且受洞内高温环境影响时，对运输混凝土设备进行隔热处理，并将混凝土入模温度控制在 30℃ 以下。

②混凝土浇筑期间，应埋设测温元件，动态监测衬砌混凝土内部温度变化情况，并采用洞内通风或制冷降温措施，使混凝土与钢模、邻接的已硬化混凝土或围岩间的温度差不大于 15℃。

③混凝土终凝前进行带模注浆，一般控制在 1 至 2 小时内进行。

④衬砌拆模时混凝土内部与表层、表层与环境之间的温差不得大于 20℃，结构内外侧表面温差不得大于 15℃；拆模时混凝土的温度不能过高，以免混凝土接触空气时降温过快而开裂。

4.2.7 混凝土养护

衬砌混凝土浇筑完毕后，应及时采取有效的养护措施，并应符合下列规定：

(1) 应在浇筑完毕后及时对混凝土进行保湿潮湿养护。

(2) 浇水次数应能保持混凝土处于湿润状态；混凝土养护用水应与拌和用水相同，水温应与混凝土表面温度之差不得大于 15℃。

(3) 养护时间应满足强度要求。根据气候条件确定最低养护期限，并应符合下表的规定。

表 2 不同环境温度混凝土保湿保温养护的最低期限

| 水胶比 | 洞内 | | 洞口 | |
|-------|-------------|------------|-------------|------------|
| | 日平均气温 T (℃) | 潮湿养护期限 (d) | 日平均气温 T (℃) | 潮湿养护期限 (d) |
| >0.45 | 5≤T<10 | 21 | 5≤T<10 | 28 |
| | 10≤T<20 | 14 | 10≤T<20 | 21 |
| | T≥20 | 10 | T≥20 | 14 |
| ≤0.45 | 5≤T<10 | 14 | 5≤T<10 | 21 |
| | 10≤T<20 | 10 | 10≤T<20 | 14 |
| | T≥20 | 7 | T≥20 | 10 |

说明：高岩温隧道混凝土保湿养护期限 28d。



图7 洒水养护

5 结束语

高地温隧道的施工在国内较为少见,桑珠岭隧道高地温隔热衬砌施工技术得到成功的应用,本文总结了桑珠岭隧道高地温隔热衬砌的技术特点:

(1)现场于2019年5月开始隔热套衬施工,安装测温元件进行温度测量。通过现场温度监测及数据对比,隔热层内外温差 4°C 以上,有效降低了隔热层外混凝土结构以及洞内环境温度。隔热衬砌未出现混凝土强度不足、开裂等现象。

(2)隔热层采用5cm厚建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料(II类)拱墙范围施作,性能指标满足《建筑绝热用硬质聚氨酯泡沫塑料》(GB/T 21558-2008)中II类要求;套衬采用30cm厚C35钢筋混凝土衬砌。

(3)桑珠岭隧道1号横洞正洞D1K175+120~D1K176+980段实施预留的隔热层及套衬。隔热衬砌施工时,现场干扰少,进度快。现场普通段二衬进度为120m/月,隔热衬砌进度为280m/月。

(4)实践证明,采用此种施工技术,有效降低了洞内温度,减弱了高地温影响,二衬混凝土质量明显改善,保障了运营期安全。

【参考文献】

[1]朱宇,周佳媚,赵大权,王帅帅,邹仕伟.高地温隧道施工期降温隔热技术研究[J].现代隧道技术,2019,56(S2):563-571.

[2]白国权,仇文革,张俊儒.高地温隧道隔热技术研究[J].铁道标准设计,2013(02):77-80.

[3]朱亦墨,陈寿根.高地温隧道温度场监测及施工降温技术研究[J].路基工程,2019(03):115-119.

作者简介:范辉(1984.8-),男,中南大学,土木工程专业,中铁五局一公司,拉林指挥部工程部长,中级工程师。