

高原隧道衬砌骑缝锚杆（管）施工技术

叶德斌

中铁五局二公司，西藏 山南 856000

[摘要]随着国内铁路建设的发展，高原地区的铁路建设项目越来越多。高原地区，铁路在人们生活中扮演着越来越重要的角色，而隧道衬砌施工技术也逐渐被重视起来。通过对国内外铁路隧道工程建设状况进行分析比较发现：我国目前已经建成了相对完整和较为规范化、系统化以及科学性较高并且具有一定规模与水平等级的铁路。但从整体上来看仍然存在一些问题有待解决比如施工人员素质不高、机械化程度低等等这些方面都需要加强，特别是建在高原含氧量低的高海拔山区隧道衬砌施工技术上还需要完善提高。

[关键词]高原地区；隧道；骑缝锚杆；施工技术

DOI: 10.33142/sca.v5i5.7319

中图分类号: U453.4

文献标识码: A

Construction Technology of Cross Seam Bolt (Pipe) for Plateau Tunnel Lining

YE Debin

The Second Company of China Railway No. 5 Engineering Group, Shannan, Tibet, 856000, China

Abstract: With the development of domestic railway construction, there are more and more railway construction projects in plateau areas. In plateau area, railway plays a more and more important role in people's life, and tunnel lining construction technology is gradually paid attention to. Through the analysis and comparison of the construction status of railway tunnel projects at home and abroad, it is found that China has built a relatively complete and standardized, systematic and scientific railway with a certain scale and level. However, on the whole, there are still some problems to be solved, such as low quality of construction personnel, low degree of mechanization, etc. These aspects need to be strengthened, especially the construction technology of tunnel lining built in high-altitude mountain areas with low oxygen content in the plateau needs to be improved.

Keywords: plateau area; tunnel; cross joint bolt; construction technology

隧道衬砌裂纹是常见的隧道病害，该类型病害主要存在不良荷载、温差过大等外界因素条件产生的衬砌裂纹、伸缩缝、错台，以及沉降缝、产生的形变。衬砌裂纹严重的话会引起结构承载力下降，不及时处理会导致衬砌内部结构突然失稳或塌垮。

1 工程概况

新建川藏铁路拉萨至林芝段位于西藏自治区东南部，是西藏自治区对外运输通道的重要一段，也是川藏、滇藏铁路的重要组成部份。本隧道是全线的控制性工程之一，本隧道，为单线铁路隧道，全长 1715 m，隧道最大埋深 276m，线路纵坡为 10.3%/105m、3%/750m、-8.7%/860m 的人字坡，隧道进口端 542.081m 位于 R=1600m 的右偏曲线上，洞身 840.986m 位于直线上，出口端 331.933m 位于 R=2500m 的右偏曲线上。

1.1 地形及地质概况

本隧道位于青藏高原东南部雅鲁藏布江右侧，属于冈底斯山与念青唐古拉山、喜马拉雅山之间的藏南谷地。山高谷深，气候极端恶劣，地表植被不发育，海拔 3550m；谷深山高，气候变化迅猛昼夜温差较大，地表植被不发育，海拔 3550m；最大埋深约 120m。

1.2 隧道设计概况

本隧道按行车速度 160Km/h，单线隧道设计，洞身衬砌为曲墙式复合衬砌；主体隧道结构设计使用年限为一级，设计使用年限为 100 年；洞身段环境作用类别为碳化环境，环境作用等级为“T2”；结构混凝土强度等级为 C30 砼或 C35 钢筋砼，抗渗等级 \geq P8，混凝土抗冻等级(56d) \geq F300；隧址区所处地段地震动峰值加速度 0.15g，地震基本烈度值 VII。

隧道 VI 级围岩，最大开挖跨度 8.44m、高 10.39m，最大开挖面积 73.63m²，轨道按有砟轨道碎石道床结构设计，内轨顶至道碴底高度为 76cm。

2 隧道裂纹的分类

根据工程实践，裂纹在隧道工程施工中是比较常见的病害，而且形式多种多样，根据裂纹种类不一，处理方法各有不同，处理难度也不同。裂纹主要有以下三类：结构干缩裂纹；温度变化裂纹；施工缝裂纹。

①结构干缩裂纹：钢筋混凝土在浇筑时因浇筑时间、参料、外加剂用量质量、浇筑方量、养护用水、脱模等原因造成混凝土收缩，这些因素使混凝土产生变形，造成干缩裂纹。

②温度变化裂纹：温差裂纹，温差裂纹走向无一定规律，纵横交错中间较密。裂纹宽度大小不一致，在0.5mm以下。多发生在施工期间，受昼夜温差变化影响较明显，冬季较宽，夏季较窄。

③施工缝裂纹：隧道二衬混凝土一般按照每台车长度（一般12米或9米）进行分段浇筑，每段二衬端头有两处施工缝，即新浇筑端、原有上段旧混凝土施工缝。施工缝因受拉力压力影响，容易造成施工缝周边开裂，称为施工缝裂纹。施工缝周边裂纹一般深度较深已掉块。

3 裂纹成因分析

3.1 干缩裂纹成因分析

在结构施工过程中，由于环境、材料、施工工艺不合理，所产生的裂缝。①施工中，模板支设不严实导致水分流失形成的表面龟裂；②混凝土振捣不密实，出现蜂窝，麻面或空洞，修补后因所用水泥型号与原有水泥不同产生裂纹；③混凝土运输过程搅拌时间过长，水分蒸发过多，引起混凝土塌落度过低，使得在混凝土表面出现不规则的收缩裂缝；④混凝土初期养护用水及覆盖材料不对，致使浇筑后的混凝土其表面急剧干燥，使得混凝土与大气接触而出现不规则的收缩裂缝；⑤水灰比较大，导致混凝土凝结硬化时收缩量增加，砼表面出现不规则裂缝；⑦使用早强剂，致使水泥水化热集中在早期，产生温度裂缝。

3.2 温差裂纹成因分析

温差裂纹，多由于内外温差较大引起的。混凝土结构构件，隧道大体积混凝土基础浇筑后，未能及时养护导致混凝土在硬化期间水化热较大，使混凝土表面和内部温差较大。当养护时导致混凝土表面急剧降温，产生较快的降温收缩，此时混凝土内外温度不均匀，将产生很大的内应力，混凝土早期硬化时释放内应，从而出现裂缝，但这种温差仅在表面出较大，离开表面就很快减弱，因此，裂缝只在接近表面较浅的范围内出现，表层以下的结构仍保持完整。

3.3 施工缝裂纹成因分析

混凝土分段浇筑时，接头位置处理不好，在新旧混凝土的施工缝之间出现裂缝。地基地质差别较大，由上部荷载对地基土产生较大压力时，地基由于压缩性能不同引起沉降不均产生的裂纹。

4 裂纹处理方案

现根据多年隧道工程实践中所遇到的情况进行各类裂缝的处理，并提出应如何进行裂缝处理技术措施。

4.1 结构干缩裂纹处理办法

根据裂缝宽度及深度注入高渗透改性环氧树脂及聚氨酯混合物。确保灌注饱满，保证隧道整体结构质量稳定。

4.2 温度裂纹处理办法

(1) 表面处理法：包括表面涂抹和表面贴补法两种。表面涂抹适用范围是细而浅的裂缝，深度未达到钢筋表面的发丝裂缝，不漏水的缝，不伸缩的裂缝以及结构稳定的

裂缝。表面贴补法适用于大面积漏水的防渗堵裂缝。

4.3 施工缝裂纹处理

二衬施工缝不规则裂纹摆动弧度较小，可以纵向顺着原有施工缝进行切割，保证切割线性，再清除施工缝两侧混凝土碎块，再打磨圆滑即可。

4.4 沉降缝裂纹处理技术

根据现场裂纹长度，选择几个观测点，做好标记，按周期对裂纹进行观测，观测裂纹在周期内无任何变化，若发生变化，可另外选择施工方案进行处理；若未发生变化，可按上述结构干缩裂纹施工方法进行处理。

5 处理措施的确定

本项目首先对裂纹产生的原因及产生的位置做了标记及分析，采用裂纹探测仪探测了裂纹的宽度、深度。并定时定点观测裂纹是否有变化，观测了3个月，对比了裂纹在重载列车运行前后的变化。

在观测结束后根据观测数据又采用钻芯取样法，在外表宽度大于2mm、裂纹交叉点上钻取了芯样，后对所钻取的芯样采用压强法检测了本段二衬的混凝土强度，并用尺量了裂纹深度，本段二衬砌强度符合设计要求。但因个别裂纹深度较深，因此根据规范要求决定在距轨道顶面4m以下范围内施做骑缝锚杆。

6 施工流程

施工流程，如图1：

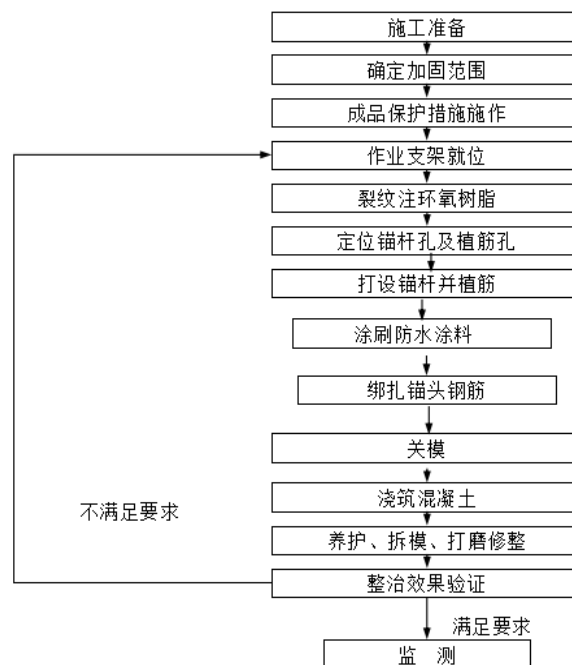


图1 施工流程图

7 施工准备施

7.1 内业准备

①施工前首先制定了施工作业方案、安全保障措施及

应急预案；

②技术人员应对施工方案及相关的缺陷处理指导性意见和规范认真阅读、熟悉掌握缺陷处理施工作业的设计要求和验收标准；

③因营业线施工必须对施工作业人员进行班前技术、安全培训和考核，合格后方可上岗；

④根据现有需处理衬砌台账，制定缺陷处理计划，确定专业缺陷处理队伍及人员、工装机具。

7.2 外业准备

①根据已发现的隧道二衬缺陷里程，测量人员在隧道内放样出缺陷里程并对缺陷位置进行标记；

②施工过程所需各类材料应提前准备齐全并检测合格，缺陷处理所需机械设备及支架材料已准备就位；

③严格按照施工方案及技术交底搭设高空作业平台并配备安全绳且对所有涉及进洞的工机具粘贴反光标识，确保开通后的行车安全；

④物资部根据缺陷处理段落及时将缺陷处理所用的物资材料采购，满足现场施工需要。

⑤当日作业前应做好水沟电缆槽及钢轨轨道的成品保护，使用“彩条布+棉被+砂袋”对水沟电缆槽及钢轨轨道进行覆盖，防止作业机具将成品破坏。

8 主要工序施工

8.1 作业支架搭设就位

目前铁路全线已铺架完成，接触网等设备亦安装完成。根据西藏铁路建设有限公司总体安排，2021年5月3日18:00之后至2021年5月5日18:00，铁路接触网统一断电，进行全线封锁施工。

施工前，根据西藏铁路建设有限公司要求，首先站前施工单位应与“四电”单位签订施工安全协议，明确双方责任和义务。然后待2021年5月3日18:00之后，接触网专业技术人员停电并接地放电后，才能进行支架就位。支架就位后由站后单位各专业对各自物品进行安全防护。站前施工单位全力配合，确保施工过程中所有已安装设备的安全。

进行此段过程施工，必须制作简易施工支架进行工程线施工。计划制作1个简易支架，作为锚杆钻机及钢筋模板安装的作业平台，平台周边设置围栏及安全防护栏。

支架采用Φ42花钢管，宽度不应小于0.8m，且不宜大于1.2m。作业层高度不应小于1.7m，且不宜大于2.0m。间距及尺寸符合《建筑施工脚手架安全技术统一标准》GB51210-2016。

8.2 锚杆安装

施作前用红油漆标出需要加固的位置和范围，然后由人工使用28风钻在布置好的锚杆孔位上打设Φ22砂浆锚杆、锚杆纵向间距1m、单根长4m、搭设角度上仰10°沿裂纹上下约0.5m处设置。锚杆打设的同时用冲击钻打设

锚头封堵植筋孔。

8.3 锚头封闭砼与既有混凝土之间植筋

在锚杆打设的同时用冲击钻打设锚头封闭植筋孔。锚头封闭混凝土与既有混凝土之间植Φ22钢筋连接，间距50×50cm，植筋采用A级胶锚于既有二衬上，伸入既有二衬长度不小于20cm。锚固胶性能应符合《混凝土结构工程用锚固胶》(GB/T 37127-2018)的相关规定。

8.4 防水处理

骑缝锚杆及植筋施作完成后，对锚头封闭砼覆盖范围内既有二衬喷涂或刷涂渗透型环氧树脂防水涂料，用量不应小于0.5kg/m²，涂刷次数不小于2遍，且厚度不应小于1.0mm，性能指标满足《环氧树脂防水涂料》(JC/T 2217-2014)相关要求。

8.5 钢筋安装

锚头封闭混凝土，钢筋为内外双层布置，主筋采用Φ12的螺纹钢，间距20cm层距6.6cm，二衬钢筋保护层厚度为6.7cm。

8.6 模板安装

模板安装前应对既有二衬混凝土面清理，模板缝不得有杂物、积水。模板采用定五分板+竹胶板组成，木板内铺竹胶板确保衬砌面平整。顶部不封闭留窗口，便于混凝土下料及捣固，并用横撑+斜撑固定以确保混凝土浇筑在振捣不跑模并能振捣密实。

8.7 混凝土浇筑

将拌制好的混凝土从拌合站运送到隧道进口区间。混凝土轨上运输采用轨道平板车+料斗的方式运送混凝土至施工现场。首先将轨道平板车停靠在洞门口然后将1m³混凝土料斗(单斗重量约2-3T)通过25T吊车调至平板车上固定牢固(吊装前与电气化局提前联系申请停电、接地放电等)，固定控制主要为料斗防溜及防倾覆，采用车轮底部垫方木及倒链固定料斗等方式固定，然后，使用轨道平板车将混凝土运送至加固段位置；最后，使用地泵泵送至加固区域模板内。加固段落共计约5m³混凝土，加固区域距洞口距离较近(约400M)地泵底部做好“土工布+棉絮+砂袋覆盖”的轨道成品保护工作。混凝土捣固采用50振捣棒振捣，距模板表面15cm，要快插慢拔，每次振捣时间控制20~25s，边墙浇筑混凝土不易过快，缓慢浇筑，确保无空洞或振捣不迷失。

8.8 混凝土养护

混凝土浇筑完毕后拆除模板并及时喷洒养护剂进行养护，养护时间不得少于14天。

8.9 打磨及检测验收

处理完成后，对新浇筑的混凝土面进行打磨，不得有薄层、错台等现象，达到光滑、平整的效果。

混凝土龄期到期并对缺陷部位进行强度回弹合格后，请监理及第三方检测单位对拆换部位进行检测验收，出具

验收报告。

8.10 长期监测

对缺陷段 12m 范围进行监测,隧道净空变化测点位于拱顶、两侧拱腰共 3 处;监测断面纵向间距按 3m 考虑,不足 3m 的也按一处布设。同时应重点观测全隧是否还有裂纹、变形、掉块、渗漏水等病害。对有发展的病害,要加大监测频次。每次监测的成果必须详细记录保存;同时定期分析监测数据,评价结构安全性,根据评价结果来调整监测频率及制定处理措施。监测期从混凝土浇筑完成至铁路运营前。检测频率及周期见表 2 ;

表 2 隧道衬砌质量缺陷段监测频率表

检测期限		检测周期	备注
联调联试	联调联试前	1 次/d	
	联调联试期间	1 次/7d	

9 各工序验收

(1) 缺陷段落的确定及划线标识(施工、监理现场确认后方可施工,留影像资料);

(2) 锚杆打设孔深及锚杆规格长度(通知监理报验,留影像资料);

(3) 锚头封闭砼与既有混凝土之间植筋(通知监理报验,留影像资料);

(4) 衬砌钢筋安装(通知监理报验,留影像资料);

(5) 模板安装(通知监理报验,留影像资料);

(6) 第三方检测(通知监理、第三方报验,留影像

资料);

(7) 重新编制检验批(施工单位、监理工程师签字确认);

(8) 缺陷销号(施工单位、第三方、监理单位、建设单位签字确认)。

10 结语

新建川藏铁路拉萨至林芝段,因地处高原,施工条件极其恶劣,同行业在高原地区隧道方面没有过多施工经验可以借鉴,作者作为参与高原隧道现场施工的技术管理人员,参与制定了该隧骑缝锚杆施工方案为今后此类隧道缺陷的施工提供了参考资料。

[参考文献]

[1]赵静媛.混凝土装配式住宅建筑施工技术优势研究[J].陶瓷,2022(7):161-163.

[2]胡君鹏.浅谈如何提升建筑工程现场管理水平与优化施工技术[J].房地产世界,2022(13):118-120.

[3]张开久.浅谈高层建筑外墙保温施工技术要点[J].中国住宅设施,2022(6):157-159.

[4]张玉宏.建筑施工技术管理水平有效提升策略[J].居业,2022(6):155-157.

[5]何霞.钢筋混凝土结构施工技术在房屋建筑施工中的应用[J].居舍,2022(14):32-34.

作者简介:叶德斌(1992.5-),男,陕西商洛,本科,工程部长,工程师,运营铁路隧道裂纹处理骑缝锚杆施工技术。