

铁路长大隧道双高箱改造加固技术研究

文 / 王成奎 中铁十四局集团第五工程有限公司

摘要: 随着物流需求的不断增长,传统的铁路运输方式已经无法满足市场需求。为了提高运输效率和满足更高、更重的集装箱运输需求,铁路双高箱应运而生。本文围绕铁路长大隧道双高箱适应性改造项目,深入探讨加固技术的应用与优化策略。通过对金华至宁波铁路工程先期开工段千石岩隧道的案例分析,详细阐述加固前后的结构变化、施工过程中遇到的问题及解决方案,以及加固工程带来的经济效益与社会效益。

关键词: 铁路长大隧道; 双高箱适应性改造; 加固技术; 隧道结构稳定性; 经济效益

【DOI】 10.12254/j.issn.2096-6539.2025.06.058

引言

新建金华至宁波铁路工程先期开工段是双高箱适应性改造的典型案例。该项目涉及千石岩隧道长大隧道的改造。千石岩隧道全长14684m,为单洞双线隧道。千石岩隧道最大埋深约742m,进口至某一段位于右偏曲线上,曲线半径4500m,其余段位于直线上,隧道内设置人字坡。隧道的改造均涉及仰拱填充降低、底板拆除及加固等关键工序,施工难度较大。改造项目完成后,双高集装箱列车重心高度最大增加到2521mm,当安全系数取3时,轨道最大允许超高为148.75mm,全线均在允许范围内。

一、工程概况

新建金华至宁波铁路工程先期开工段千石岩隧道起于浙江省奉化市溪口镇寺前自然村附近,止于浙江省嵊州市金庭镇官田村黄龙水库附近。隧道设计起讫里程DK53+731~DK68+415,全长14684m,双线单洞,最大埋深约为742m。隧址区为剥蚀低山区,山体陡峻,流水侵蚀切割剧烈,地形起伏较大,自然坡度约为 $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$,局部 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。植被较发育,主要为果树及灌木丛。隧道进出口均通有道路,交通较便利。隧道进口山体地形较平缓,自然坡度为 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$,隧道出口山体地形较缓,自然坡度一般为 10.53° 。

二、千石岩隧道双高箱适应性改造中加固技术的应用

(一) 仰拱填充及底板降低方案

1. 拆除方法

在千石岩隧道双高箱适应性改造中,仰拱填充及底板的拆除是关键步骤。为确保拆除工作的顺利进行,需采用科学合理的拆除方法。^[1]对于隧道内的仰拱填充,可首先采用人工配合风镐进行初步破除,以减小对周围结构的扰动。利用铣刨机进行精细化拆除,确保拆除面的平整度和精度。对于底板部分,若其结构较为坚固,可采用机械法施工,如使用挖掘机配备破碎锤进行拆除。在拆除过程中,应严格控制拆除力度和范围,避免对隧道主体结构造成损伤。^[2]

2. 降低尺寸与特殊处理

为满足双高箱的通行需求,隧道仰拱填充及底板需进行降低处理。根据工程实际情况,降低尺寸需精确计算,以确保双高箱在隧道内的安全通行。^[3]在降低过程中,需特别注意对隧道排水系统的保护和处理。对于中

心水沟等排水设施,应同步进行降低处理,并保持其排水功能不受影响。^[4]对于隧道内的特殊部位,如电缆槽、侧沟等,需进行特殊处理,以确保其结构稳定性和使用功能。在处理过程中,应注重细节处理,确保改造后的隧道结构满足设计要求和使

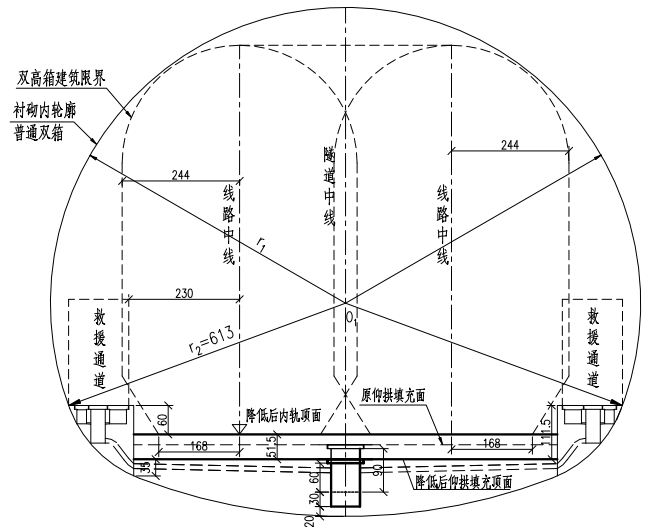


图1 拆除仰拱填充结构示意图

(二) 加固方案

1. III级围岩加固

(1) 加固材料与方法

在III级围岩加固中,选用 $\phi 25\text{mm}$ 的自钻式中空注浆锚杆作为主要加固材料,这种锚杆不仅具有较高的材料强度,而且耐腐蚀性能优异。注浆材料则选用了优质水泥浆,通过注浆机将其注入锚杆孔中,确保注浆饱满度达到90%以上。加固方法上,采用锚杆钻孔、清孔、注浆等工艺,实现对仰拱结构的有效加固,提高隧道整体的稳定性和承载能力。

(2) 布置方式与间距

锚杆的布置方式需考虑隧道的结构特点和受力情况。在线路中线及两侧各1.5m处,分别布置了锚杆,每个断面共设置6根锚杆。纵向间距设置为2m,以确保锚杆之间的连接紧密,形成稳定的加固体系。这样的布置方式既考虑了加固效果,又兼顾了施工成本。

(3) 施工工艺流程与质量控制

施工工艺流程包括钻孔、清孔、安装锚杆、注浆、

养护等步骤。在质量控制方面，严格控制钻孔的深度、孔径和倾斜度，确保锚杆安装位置准确。注浆过程中，实时监测注浆压力和注浆量，确保注浆饱满且注浆材料分布均匀。养护期间，加强对加固区域的监测和维护，确保加固效果达到预期。

2. IV、V级围岩加固

(1) 加固材料与方法

针对IV、V级围岩的加固，采用了 $\phi 50\text{mm}$ 的钢花管注浆技术。钢花管前端为尖锥形，便于钻孔和注浆；尾

部焊接有加劲箍，提高了钢花管的抗弯能力。注浆材料选用1:1的水泥浆，注浆压力大，能够有效填充围岩裂隙，提高隧道的整体稳定性。

(2) 布置方式与间距

钢花管的布置方式与III级围岩相同，但在数量上有所增加。每个断面共设置8根钢花管，分别位于线路中线及两侧各2m处。纵向间距仍为2m，以确保加固效果的连续性。这样的布置方式充分考虑了围岩的力学性能和施工难度，确保加固效果的最大化。

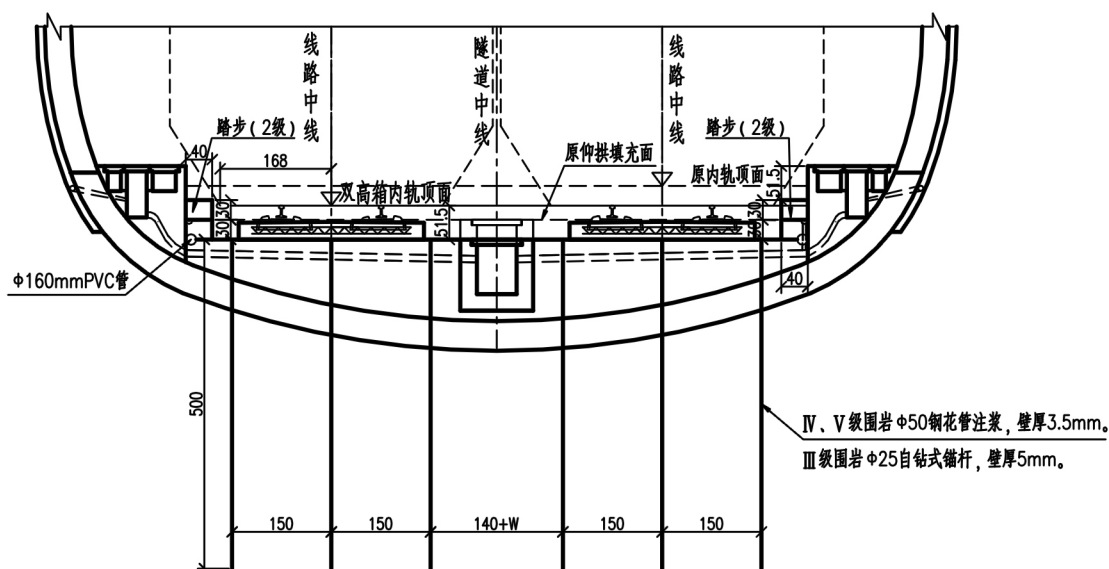


图2 仰拱填充拆除方案加固示意图 (尺寸单位: cm)

(3) 施工工艺流程

在IV、V级围岩加固的施工中，流程涵盖钻孔、清孔、管道安装、注浆及养护等关键环节。利用高精度的钻孔设备与技术，确保孔洞的准确性和深度。清孔环节后，对孔壁进行细致检查，确保其表面光滑且无裂缝，以保证注浆材料的顺畅填充。安装管道时，严格控制钢花管的垂直与位置精确。注浆作业中，严格监控注浆压力与注浆量，确保注浆均匀且充实。养护阶段，加强加固区域的监控与维护，以保证加固效果符合预期标准。

(4) 质量要求与保证措施

在IV、V级围岩加固中，严格遵循国家相关标准和规范要求，确保加固材料的质量符合设计要求。注浆压力控制在2-3MPa之间，注浆量达到设计注浆量的90%以上。为确保加固质量，加强了施工过程监控和检测工作。在施工过程中，定期对加固区域进行监测和检查，及时发现和处理潜在问题。建立完善的质量保证体系，确保加固工作的顺利进行和加固效果的达到预期。

3. 附加加固措施

(1) 钢筋网与钢带的铺设

在凿除后的仰拱填充表面，铺设了一层 $\phi 6$ 的钢筋网，间距为 $20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 。钢筋网采用绑扎连接，确保连接牢固。在钢筋网顶部横向设置了钢带，钢带间距为1m，以增强整体稳定性。钢筋网和钢带的铺设有效提高了仰拱填充的强度和刚度，为隧道的长期稳定运行提供

了有力保障。

(2) 填充面预留混凝土与无砟道床的施工衔接

为确保填充面预留混凝土与无砟道床之间的施工衔接顺畅，采取了以下措施：首先，在填充面预留了5cm厚的混凝土层，该混凝土层的标号与无砟道床相同，确保了两者之间的材料性能一致性。其次，在施工过程中，严格控制了预留混凝土层的浇筑质量和养护条件，确保其达到设计强度要求。最后，在无砟道床施工时，注意保持其与预留混凝土层之间的平整度和标高一致性，确保了两者之间的无缝衔接。

4. 千石岩隧道加固前后的对比

千石岩隧道在双高箱适应性改造中，加固技术应用显著。加固前，隧道仰拱填充及底板设计未满足双高箱列车通行要求，存在安全隐患。加固后，通过降低仰拱填充面高程30cm，并重新浇筑处理底板及垫层，显著增强了隧道结构稳定性。同时，采用自钻式中空注浆锚杆和钢花管注浆加固技术，提高了仰拱结构的承载能力。加固后，隧道结构更加坚固，满足了双高箱列车的通行需求，确保了行车安全。

三、千石岩隧道双高箱适应性改造中加固技术的优化

(一) 施工效率提升

1. 拆除与加固流程的并行与协调

在千石岩隧道双高箱适应性改造项目中，为了最大

化施工效率，拆除与加固流程需紧密并行与协调。仰拱填充的拆除工作可分段进行，每段拆除后立即转入加固阶段。仰拱填充降低30cm后，可迅速采用自钻式中空注浆锚杆或钢花管注浆进行加固，每个断面设置6根锚杆或钢花管，纵向间距2m。通过精确的测量与标记，确保拆除与加固工作无缝衔接，减少等待时间，提升整体施工节奏。加强现场指挥与协调，确保各工序之间的紧密配合，从而显著提升施工效率。

2. 设备与人员的优化配置

依据具体施工需求，科学调配维特根W2000铣刨机、220型挖掘机等核心设备，并确保其性能稳定，降低故障发生率。根据工作量及施工复杂性，合理分配施工人员，包括领工人员、普通工人以及钢筋切割工等，确保人力资源得到有效利用，既不过剩也不匮乏。施工期间，重视人员培训和技能增强，以提升操作技巧和工作效率。

3. 施工段落的合理划分与衔接

在千石岩隧道双高箱适应性改造中，可根据隧道长度、地质条件、施工难度等因素，将施工段落划分为多个工作区段。每个工作区段内，按照拆除、加固、清理等工序进行流水作业，确保各工序之间的紧密衔接。注重各工作区段之间的协调与配合，避免施工冲突与资源浪费。通过合理的施工段落划分与衔接，不仅提升了施工效率，还确保了工程质量的稳定性与可靠性。

(二) 质量控制与安全保障

1. 拆除作业中的防尘与通风措施

在拆除作业中，防尘与通风是确保施工质量和人员安全的关键。采用路面切割机和风镐进行作业时，需配置高压水枪进行湿法作业，有效减少粉尘产生。洞内应配备足够的通风设备，如通风机，确保空气流通，降低洞内粉尘浓度。实际施工中，每个作业面配置一台维特根W2000铣刨机和若干风镐，配合8m³水车进行洒水降尘，确保洞内空气质量达到安全标准，保护施工人员呼吸系统健康。

2. 加固材料的质量检验与配比控制

加固材料的质量直接影响改造效果。对于自钻式中空注浆锚杆和钢花管等关键材料，需严格进行质量检验，确保其规格、强度和耐腐蚀性满足设计要求。注浆材料的配比同样重要，1:1的水泥浆配比需经过精确计算与试验验证。施工中，监理单位需对配合比进行见证试验，确保每批材料的质量稳定可靠，为加固工程提供坚实基础。

3. 注浆过程中的压力与注浆量监控

注浆是加固技术的核心环节，注浆压力和注浆量的监控至关重要。注浆过程中，需采用专用注浆泵进行压注，注浆压力控制在2-3MPa范围内，确保浆液能够充分渗透到岩石裂隙中。实时监测注浆量，当注浆量达到设计注浆量的80%以上，且注浆压力稳定10-15分钟时，方可结束注浆。这一过程中，需做好详细记录，以便分析注浆效果，及时调整施工参数。

4. 施工安全管理与应急处理机制

施工中，应建立健全的安全管理制度，明确各级人员的安全职责。作业现场需设置明显的安全警示标志，

配备必要的安全防护设备。制定详细的应急处理机制，包括人员疏散、设备停机、事故报告等流程，确保在突发情况下能够迅速、有效地应对。此外，还需加强对施工人员的安全培训和教育，提高其安全意识和应急处理能力。

(三) 环保与可持续性

1. 施工废水的处理与排放控制

千石岩隧道双高箱适应性改造过程中，施工废水的处理至关重要。为确保水质安全，施工现场每个作业面均配置一座三级沉淀池，并配备污泥净水剂和污泥降解剂，配比为10:1，以有效去除废水中的悬浮物和有害物质。设置气浮池，对沉淀后的污水进行进一步处理，去除油类物质并中和水质，确保排放水质达到环保标准。

2. 洞内粉尘的减少与洞内空气质量的改善

为降低洞内粉尘浓度，采取了多种防尘措施。一方面，在拆除作业时，使用高压水枪进行洒水降尘，有效减少了粉尘的飞扬；另一方面，加强通风机的使用，确保洞内空气流通，加速粉尘的扩散和沉降。定期对洞内空气质量进行检测，确保施工人员呼吸到的空气符合健康标准。

3. 对地表水和地下水水质的监测与保护

为确保水质安全，项目加强了地表水和地下水水质的监测工作。配合当地环境监测部门，定期对沿线水体进行取样检测，及时掌握水质变化情况。采取一系列措施保护水资源，如设置围堰、沉淀池等，防止施工污水直接排入河流。加强对施工人员的环保教育，提高他们的环保意识，确保施工活动不对周边环境造成破坏。

4. 经济效益与社会效益分析

千石岩隧道加固技术的应用，不仅提高了隧道结构的安全性和稳定性，还带来了显著的经济效益和社会效益。加固后，隧道通行能力得到提升，降低了运输成本，促进了区域经济发展。加固技术的应用也提升了铁路系统的整体运行效率和服务质量，增强了公众对铁路交通的信任和满意度。加固过程中采取的环保措施，也减少了对周边环境的影响，体现了可持续发展的理念。

结语

铁路长大隧道双高箱适应性改造中的加固技术应用与优化，是提升铁路运输能力与安全性的的重要途径。科学的加固方案与精细的施工控制，能够显著提升隧道的承载能力，满足双高箱列车的通行需求。未来，随着铁路交通的不断发展，我们应继续探索更加高效、环保的加固技术，不断优化施工方案，为铁路运输的安全与高效提供有力支撑。

参考文献

- [1] 桑亮亮. 铁路隧道施工安全管理与控制措施探讨[J]. 工程建设与设计, 2024, (14): 245-247.
 - [2] 李贵超. 复杂地质环境下铁路隧道施工关键综合技术[J]. 建设科技, 2024, (11): 63-65.
 - [3] 施攀. 铁路双层集装箱运输通道规划方案[J]. 中国铁路, 2023, (5): 52-58.
 - [4] 李东阳. 既有单线隧道双高箱运输接触网悬挂方案浅析[J]. 建材与装饰, 2020, (11): 242-243.
- 作者简介: 王成奎, 1990年12月, 男, 汉, 江苏徐州, 本科, 工程师, 研究方向: 隧道施工技术。