

云顶山一号隧道隧道钢拱架施工

彭卫东 叶英强 蒋明禹

四川蜀道养护集团有限公司 四川成都 610000

[摘要] G8516 (原 S2) 巴中—成都高速公路为中国国家高速公路网银川—昆明高速公路 (国家高速 G85) 的联络线之一, 是原《四川省高速公路网规划》的第二条成都放射线—成都至巴中至川陕界高速公路出川通道中的一段, 云顶山一号特长隧道位于成都市金堂县, 横穿龙泉山脉, 最大埋深 338 米, 是一座上、下行分离的四车道高速公路特长隧道, 左线 (巴成向) 长 3574m, 右线 (成巴向) 长 3577m。随着运营时间累积, 车流量增加, 自 2015 年起该隧道就陆续出现路面裂缝、错台、隆起等病害, 两侧检修道也逐渐产生倾斜和破坏, 受地质和 2020 年青白江地震灾害等综合因素影响, 加剧了隧道病害的发展, 严重影响隧道运营安全。

[关键词] 隧道病害; 钢拱架

随着交通事业不断发展, 对隧道病害处治是养护工程的一个重点问题, 本次浅谈衬砌结构存在掉块风险的区域进行钢拱架养护施工处治。云顶山隧道建成至今已 10 余年, 自 2015 年以来, 云顶山一号隧道随着车流量的增加, 成德南高速公路管养单位在隧道养护巡查中发现隧道部分段落出现衬砌开裂, 路面开裂、隆起及错台, 检修道倾斜、破损等问题。2020 年 2 月 3 日凌晨, 四川成都市青白江区发生 5.1 级地震, 震中距四川成德南高速公路云顶山一号特长隧道约 7.6km。震后成德南高速公路有限责任公司工程技术人员对隧道现场进行排查, 发现隧道衬砌及路面结构出现开裂病害。

一、云顶山衬砌结构掉块成因

本次发现云顶山一号隧道左、右线衬砌存在大量的斜向裂缝、纵向裂缝和环向裂缝, 且部分区段衬砌拱部开裂密集, 多条长纵向、斜向、环向裂缝交叉成网状、月牙状, 以及拱顶存在长纵裂缝, 衬砌结构存在一定的安全隐患; 路面存在大量的隆起、开裂及错台, 部分区段集中且较严重, 对应区段检修道有倾斜及侧壁破损; 路面排水边沟存在淤积阻塞; 内装饰存在局部脱落根据云顶山一号隧道检测结果及前期设计、病害处治等信息, 推测病害产生原因有如下几方面:

(一) 围岩及地质条件影响

隧址区围岩主要为以泥岩为主的极软岩~软岩和以砂岩为主的软岩~较软岩两类, 泥岩长时间暴露后发生蠕变, 强度更低, 受裂隙水、孔隙水以及汛期地表强降水的影响, 导致墙角基础软弱, 底部泥岩软化膨胀, 隧底结构承受侧向和竖向压力。在仰拱施工存在缺陷的情况下, 极易诱发病害或加剧病害的发展。

(二) 地震影响

2020 年 2 月 3 日, 四川成都市青白江区发生 5.1 级地震, 震中距云顶山一号隧道仅 7.6km, 地震会改变围岩的应力状

态和结构的受力状态, 可能诱发病害的产生或发展。

(三) 施工工艺影响

月牙状开裂可能是混凝土养护时间不够且脱模时机控制不当, 导致衬砌在强度较低的情况下受二衬台车顶推冲击, 形成拉裂缝, 也可能是衬砌厚度过薄, 且拱顶端头模板部位混凝土浇筑易形成空洞, 承载能力不足, 在外界扰动后产生开裂; 衬砌厚度不足可能由于防水板松弛度过小, 导致防水层绷紧, 侵占二衬空间, 或防水板松弛度过大, 形成褶皱堆积, 侵占二衬空间。

(四) 不良车流因素

隧道的使用情况也会对衬砌掉块病害产生一定的影响。车流量较大、车速较快, 会给隧道衬砌带来较大的冲击力, 导致衬砌松动甚至掉块。

二、处治原则

保证运营安全和预防拱部掉块为主要目标, 重点针对有掉块风险段落进行处治; 路面结构以改善行车条件为主要目标, 本次主要针对严重病害, 路面严重隆起段落进行处治。

三、处治区段划分

云顶山一号隧道衬砌结构存在掉块风险的区段可分为 3 类特征:

(一) 拱部密集开裂

拱部纵向、环向与斜向交叉开裂, 裂缝较密集;

(二) 拱部月牙开裂

拱部施工缝位置存在月牙形开裂;

(三) 拱部开裂且厚度严重不足

拱部存在纵向、斜向或环向开裂, 且衬砌厚度严重不足区段划分详见表 3-1 所示, 其中左线 350m, 右线 428m, 合计长度 778m。

表 3-1 云顶山一号隧道衬砌结构主要处治区段

衬砌病害特征	病害区段	长度 (m)	
		左线	右线
拱部密集开裂	ZK35+040~ZK35+058 (18m)、ZK35+164~ZK35+198 (34m)、ZK36+616~ZK36+650 (34m)、ZK36+672~ZK36+702 (30m)、ZK36+743~ZK36+765 (22m)、ZK36+948~ZK36+960 (12m)、ZK37+267~ZK37+284 (17m)、ZK37+315~ZK37+326 (11m)、K34+850~K34+860 (10m)、K36+452~K36+479 (27m)、K36+559~K36+795 (236m)、K37+219~K37+241 (22m)	左线	178
		右线	295
拱部月牙开裂	ZK34+641~ZK34+651 (10m)、ZK35+447~ZK35+451 (4m)、ZK35+572~ZK35+577 (5m)、ZK36+398~ZK36+417 (19m)、K34+257~K34+261 (4m)、K34+736~K34+737 (1m)、K35+204~K35+207 (3m)、K35+903~K35+906 (3m)、K37+060~K37+075 (15m)	左线	38
		右线	26
拱部开裂且厚度严重不足	ZK35+862~ZK35+872 (10m)、2ZK35+881~ZK35+893 (12m)、ZK36+364~ZK36+375 (11m)、ZK36+495~ZK36+505 (10m)、ZK36+580~ZK36+588m)、ZK36+791~ZK36+820 (29m)、ZK37+435~ZK37+459 (24m)、ZK37+475~ZK37+505 (30m)、K36+218~K36+224 (6m)、K36+328~K36+339 (11m)、K36+402~K36+414 (12m)、K36+929~K36+940 (11m)、K36+952~K36+960 (8m)、K37+410~K37+469 (59m)	左线	134
		右线	107

四、处治方案

采用柔性钢丝网+工字钢架加固进行处治。钢架基础采用钢管桩支撑方案实现衬砌结构快速加固, 该方案可有效预防衬砌拱部混凝土掉块, 同时该方案可避免因喷射砼造成洞内粉尘污染, 经后场预制, 运至施工现场后进行钢结构拼装, 可有效提高施工效率, 降低工程造价, 缩短工期。钢管桩支撑可有效解决钢拱架落底问题, 无需钢架落于电缆沟底部, 减少了电缆沟内机电设施拆除与恢复工程量以及电缆沟壁恢复工程量等不必要的工序, 加快了施工进度, 节约了造价。

五、施工工艺

场地外工字钢预制与涂装→封闭交通→机电设施迁移与保护→对局部内空富余不足的位置, 适当凿除→施作钢管桩→裂缝处理→铺设柔性钢丝网→现场布设工字钢→施作墙脚锚栓→损伤位置钢架防腐涂装处理。

存在掉块风险的区段, 左线 350m, 右线 428m, 合计长度 778m。环向架设 I14 工字钢, 主洞纵向间距 100cm, 加宽带纵向间距 80cm。拱部月牙开裂段落工字钢架加固以预防掉块为主要原则, 纵向间距可适当加密 (即增加一榀工字钢架), 加密工字钢架应支撑于月牙开裂部位, 加密工字钢架位置为左线 ZK34+645, ZK35+449, ZK35+575, ZK36+405, ZK37+457, 右线 K34+258, K34+736, K35+204, K35+903, K37+066。

(一) 施工准备

1、工字钢临时支撑施作时宜采用专用支架或简易台车的搭设措施。

2、工字钢支撑施作前应拆除加固段落内可能影响施工的电缆管线和机电设施, 并做好保护, 待套衬施工完成后进行恢复。

3、施工时应注意测量套衬后内轮廓断面, 并控制内轮廓断面不侵入建筑限界。

(二) 钢拱架工厂预制

钢拱架由 I14 工字钢及角钢在场地外分段加工, 按两榀为一个组合焊好并做好防腐涂装处理, 运到现场可减少一半工作量。钢材表面涂装工艺流程如下: 表面清理→清洗油污→喷砂除锈→底漆涂装→面漆涂装。

(三) 钢管桩施工

首先在边墙与电缆沟侧墙的交汇处间隔打设锁脚钢管桩, 钢管桩顶部中心的连线必须与道路中线平行。钢管桩设计采用 $\phi 108 \times 7.0$ 的 Q235 无缝钢管, 长度 2m, 纵向间距为 1.0m。钻机采用潜孔钻机, 钻头直径为 148mm 进行施工。因钢拱架锁脚钢管桩钻孔易产生粉尘, 未防粉尘过多造成环境污染和影响施工作业, 现场对每台钻孔设备配备淋水设施, 同时使用多台移动雾炮不间断对洞内进行降尘处理。

(四) 垫脚槽钢安装

钢管桩顶部沿隧道纵向安装 [22a 垫脚槽钢, 垫脚槽钢与钢管桩端头采用焊接连接。钢管顶焊槽钢用于支撑工字钢架。

(五) 衬砌裂缝及渗漏水处理

采用喷砂机或砂轮机清理混凝土表面, 露出坚实平整的混凝土, 清除表面浮尘, 清理范围以裂缝中心位置向两侧拓宽不小于 50mm 为原则。采用高压风清除裂缝内的灰尘及杂物。采用注射法对衬砌裂缝进行处治。

(六) 铺设柔性钢筋网

钻 $\phi 16$ 孔, 纵向间距为 0.8m、环向间距为 1.0m, 孔深 15cm, 然后植筋, 植筋长 20cm, 灌注强力植筋胶, 待植筋达到一定强度后, 铺设钢筋网。

(七) 钢拱架安装施工

省内首次将多功能拱架台车用于隧道养护施工, 增加作

业空间, 作业人员减少 50%, 作业效率提高 1 倍; 工字钢架使用双臂拱架台车, 台车施工只占用一条车道, 保证施工路段畅通, 如采用传统搭架施工法, 混凝土罐车等稍高的施工车便无法通行。拱架台车机械臂可将 2 榀工字钢组合穿过拱顶灯架位置。

架设顺序为: 先人工架立左边墙角一个单元-机械臂夹持一个单元穿过电缆线架-另一支机械臂架拱顶单元-支撑后机械臂夹持一个单元穿过电缆线架-右侧拱脚一个单元现场调节长度后架设-连接所有螺栓和植筋后完成。

环向架设 I14 工字钢 (纵向 100cm 间距, 月牙开裂加一榀), 工字钢焊接在 C12 植筋上, 通过 $\angle 50 \times 5$ 角钢纵向连接, 在每榀钢架拱脚设置 4 根倒锥锚栓, 左右各 4 根, 补刷钢架防腐涂装。

(八) 机电设施管线施工

在处治施工过程中, 对隧道内既有机电设施管线造成的影响, 机电专业人员按如下方式进行处理:

1、洞顶有一组线盒和已废弃灯具, 线盒内有感温光缆和电缆线, 架设工字钢位置拆除线盒, 拆除感温光缆和电缆线, 取掉干涉位置灯具, 钢丝网和钢拱架施工完成后, 将线盒固定在钢拱架表面, 恢复感温光缆和电缆线, 干涉位置灯具不能原位恢复的, 在前后合适位置安设。

2、隧顶两侧的金属线盒及照明配电网缆离洞壁 200mm 左右, 架设工字钢位置拆除线盒, 电缆线用 PVC 管保护好后悬垂下来, 取掉干涉位置支架, 钢丝网和钢拱架从电缆线与洞壁之间位置穿过安设, 钢丝网和钢拱架施工完成后, 将线盒原位恢复。照明系统保持开启状态, 用于施工照明。

(九) 清理场地

完成上述施工步骤, 现场施工撤离后, 清理施工中产生的废渣、废水, 做到人走场清。

六、效益分析

(一) 经济效益

工程中采用“钢丝网-钢拱架组合处治隧道衬砌病害施工”, 可有效预防衬砌拱部混凝土掉块, 同时该方案可避免因喷射砼造成洞内粉尘污染, 现场主要进行钢结构拼装, 可有效提高施工效率, 降低工程造价, 缩短工期。钢管桩支撑可有效解决钢拱架落底问题, 无需钢架落于电缆沟底部, 减少了电缆沟内机电设施拆除与恢复工程量以及电缆沟壁恢复工程量等。研发了研发了柔性钢丝网+钢拱架组合修复结构, 提高了隧道衬砌加固效果。研发了研发了钢拱架快速安装技术, 增加作业空间, 作业人员减少 50%, 作业效率提高 1 倍, 降低了施工成本。

综合来看, 本工法相比传统施工方法节约工时 10%, 同时与传统施工方法相比综合节约相应施工部位造价 12% 左右。

(二) 社会效益

“钢丝网-钢拱架组合处治隧道衬砌病害施工工法”在隧道工程中具有显著的社会效益, 不仅改善了施工环境、提高了施工效率和工程质量, 还推动了技术创新和产业升级, 为隧道工程领域的可持续发展做出了积极贡献。

结束语:

造成隧道衬砌脱落掉块的原因有很多, 而对衬砌脱落掉块的防治问题是重点, 贯穿整个隧道养护始终, 施工过程中的质量控制直接影响隧道使用水平, 关乎施工方的经济利益。为解决隧道的衬砌脱落掉块, 相关人员需要综合分析, 认识产生的原因, 结合实际经验, 采取有效的施工措施, 提高隧道养护工程建设质量, 实现高标准施工, 为交通事业发展作出一定贡献。