

Dynamic Design and Construction of Emergency Parking Belt in Zhawo Tunnel

Bohuai Yuan

China Jiaotong First Highway Survey, Design and Research Institute Co., Ltd., Xi'an, Shaanxi, 710075, China

Abstract

With the “Western Development” and “Traffic Power” continued to advance, the development of China’s transportation foundation, will inevitably encounter a large number of extra-long, long tunnels. Due to the long and extra-long tunnel because of the failure of vehicles in the tunnel emergency escape and other reasons, every certain distance to build an emergency stop belt, for emergency parking. When the excavation section increases, the surrounding rock stress of the variable section will also become complex, especially in the construction process of the soft rock tunnel, the obvious asymmetric deformation of the surrounding rock occurs, it affects the stability of surrounding rock and support structure. This paper describes the experience of widening the emergency parking zone in Zhahong Road Soft Rock Tunnel, providing experience for the design and construction of similar soft rock highway tunnel emergency parking zone.

Keywords

soft rock tunnel; emergency stop belt; deformation control

扎窝隧道紧急停车带动态设计施工纪实

袁博怀

中交第一公路勘察设计研究院有限公司，中国·陕西 西安 710075

摘 要

随着“西部大开发”和“交通强国”的持续推进，中国的交通基础发展中，不可避免地会遇到大量的长、特长隧道。因长、特长隧道因隧道内故障车辆紧急避险等原因，每隔一定距离需修建应急停车带，用于应急停车。在开挖断面增大的同时，变断面的围岩应力也会变得复杂，特别在软岩隧道施工过程中，围岩发生明显的非对称变形，对围岩的稳定性与支护结构造成影响。论文通过记述扎红路软岩隧道拓宽应急停车带的经验，为类似软岩公路隧道的应急停车带设计施工提供经验。

关键词

软岩隧道；紧急停车带；变形控制

1 工程概况

1.1 工程简介

扎窝隧道位于阿坝州黑水县境内，隧道为单洞双向 2 车道设计，隧道全长 2667m。隧道最大埋深 404.43m，属深埋隧道、长隧道。隧道设计时速 40km，采用二级公路标准设计。建筑限界净高 5m，建筑限界宽度正常地段为 9m，最大开挖宽度为 11.4m；应急停车带限界 12.25m，最大开挖宽度 14.57m。

隧道区属旱、雨季分明、阳光充足、气温年差小、日差大、夏无酷暑、冬无严寒的季风高原型气候区。项目区是阿坝州降水最多的地区之一，雨量分布不均，夏季集中，秋季阴雨绵绵，日雨量变化较大，夜间降雨量占全年总降雨量

的 70.2%，年均降雨量 620.2mm。无霜期平均 166.1 天，谷地低洼 230 天左右，属中熟无霜期。年平均气温为 9.5℃，最低极端气温 -14.4℃。

1.2 工程地质情况

根据工程地质调绘、钻探及工程物探等成果，隧址区上覆第四系崩坡积（Q4col+dl）碎块石土、第四系全新统冲积物（Q4al）、第四系上更新统，冰碛物（Q3gl）次生黄土、碎块石土，下伏为三叠系上统侏倭组（T3zh）砂岩薄-中厚层板岩。

隧道围岩是由砂岩与板岩互层结构构成，为较硬-较软岩组合结构，受构造应力影响，裂隙发育，砂岩相对于板岩的完整性稍好，隧道围岩较差，岩体以块状、碎块为主，岩体含粉细砂较多，粘性土粒（细粒物质）较多，由于岩体内部粘性较强，因此隧道围岩相对于板岩的完整性较好。

隧址区位于鲜水河断裂带与龙门山断裂带所挟持的川青断块区（也称色达—松潘断块区）东南部。边界处构造活

【作者简介】袁博怀（1991-），男，中国浙江杭州人，本科，工程师，从事土木工程隧道工程研究。

动强烈，内部主要为以紧密线状弧形褶皱，断裂构造不甚发育。受岩性、地形、气候的影响和控制，在谷坡缓坡地带，常因岩层受到强烈的风化和卸载作用而形成较厚的风化壳，堆积起来形成巨大厚实的松散堆积体，一般由大气降水渗透到坡体的坡体中，在地表暂时性水流和古冰川的作用下，在坡脚排泄，由于岩层受风化和卸载作用而形成较厚的风化壳不断改变坡体岩层水动力特性的是地下水的活动，这是坡体失稳的一个重要影响因素。根据区域地形特征和部分钻孔证实，河道谷岸坡地下水位埋藏较深，地下水位基本与河道水位相当或略高，反映出不同方向、不同方向具有渗水特点的滑坡体垂直下渗能力较强。地下水位动态是地下水补给活动加剧的主要时期，主要受 7—9 月降水渗透、初春融雪和雨季影响，且呈季节性变化，易形成水位短、下渗压力大的短时间高现象，不利于岩体稳定。隧址区位于毛尔盖水库库区，蓄水使得隧址区的地下水容易积存在岩石裂隙和地下水道之间，隧道富水，隧道单日最大出水量在 4900m^3 ，隧道施工期间经常伴有淋雨状出水，洞内出水有明显的结节性特征，雨季时洞内水量变大，常出现股状涌水。

1.3 原设计隧道支护与工法情况

原设计隧道紧急停车带采用 CD 法开挖，正常段采用三台阶环形开挖留核心土法施工，隧道支护采用复合式衬砌结构，原设计支护形式如下：紧急停车带预留变形量为 15cm ，双排长 4.0m 的 $\Phi 42$ 超前注浆小导管，环向间距 40cm ，外插角 $\alpha=10^\circ$ 。 4.0m 长 $\Phi 22$ 药卷锚杆， $100\text{cm}\times 100\text{cm}$ 梅花形布置。架 I20b 型钢拱架，纵向间距 60cm 。挂 $\Phi 6.5$ 钢筋网，网格间距 $20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 。喷 26cm C25 早强混凝土， 60cm 厚 C30 钢筋混凝土拱圈做二次衬砌；正常段预留变形量为 15cm ，双排 3.5m 长 $\Phi 42$ 超前注浆小导管，环向间距 40cm ，外插角 $\alpha=10^\circ$ 。 3.5m 长 $\Phi 22$ 药卷系统锚杆， $100\text{cm}\times 100\text{cm}$ 梅花形布置。架 I20a 型钢拱架，纵向间距 60cm 。挂 $\Phi 6.5$ 钢筋网，网格间距 $20\text{cm}\times 20\text{cm}$ 。喷射混凝土结合钢拱架，采用 26cm C25 早强混凝土，二次衬砌使用 50cm 厚 C30 钢筋混凝土。

在该隧道正常段施工期间，发生多次塌方、大变形事故。随着开挖进度的推进，原设计结构已不能满足施工需求，实际施工中已经对支护结构进行了调整。

2 动态设计情况

2.1 动态设计启动

隧道开挖施工至 4# 紧急停车带时，在正常段变截面至紧急停车带加宽带转换工法时，拱顶位置发生大变形，造成已施工完成的初期支护从拱部至右侧拱腰突然发生钢拱架折断、初支垮塌，塌腔内松散碎石土、孤石伴随着少量裂隙水从塌腔口持续滑落，塌方将整个隧道进口封堵。塌方稳定后，对 K2+360~K2+386.6 段初期支护进行监控量测，发现塌方已造成喷射混凝土开裂、掉块，钢拱架变形、拱腰内移，

实测该段初期支护局部突变已侵限在 $7\sim 31\text{cm}$ 。清理塌方后，对变形、塌方段进行了反压回填、管棚支护、重新开挖、换拱等措施。经历 70 余天处置方才通过变形段落。严重影响了施工和安全进度。

施工至 3# 紧急停车带时发现地质情况与 4# 紧急停车带相似，判断若该处采用原方案施工存在较大的施工风险为保障施工安全，提高工程质量，防止出现类似事故，决定对 4# 紧急停车带支护及施工方案进行进一步优化设计。保障工程顺利实施。

2.2 前期地质资料准备

结合已有的地质资料、掌子面解释情况及超前地质预报手段，对预施工紧急停车带段落地质情况进行探明，同时留有一定调整空间，使预施工紧急停车带位置可以进行微调。满足使用功能的前提下选择围岩较好位置施工，为紧急停车带施工提供一个较好的先天条件。

为进一步细化设计，对拟施工紧急停车带段落（K2+751~K2+871）进行超前地质预报。超前地质预报采用 TSP 技术地质探测数据图像分析，分析结果见表 1。

根据超前地质预报探明的地质情况，K2+821~K2+871 段岩性较好，选择该段作为紧急停车带位置。

2.3 隧道支护及工法调整

采取工程类比法，结合正常段处置经验和 4# 紧急停车带处置经验，对紧急停车带的施工工法、支护参数进行细化调整，尽量避免施工过程中因工法、支护强度不足产生的施工问题。吸取 4# 紧急停车带施工经验，变截面处发生工法转换风险较高，采用 CD 法施工时，由于开挖净空过高，在导洞开挖完成后易对临时拱架处有发生大变形的破坏风险，因此将开挖工法调整为三台阶环形开挖留核心土法，减小开挖净高，同时采用短开挖强支护形式，降低大变形风险。

由于开挖宽度增加，隧道拱顶渐进式塌方风险增加^[2]。为降低塌方风险，超前支护采用 $\Phi 76$ 注浆钢管短管棚，结合 $\Phi 42$ 超前注浆小导管结构，在开挖前对拱顶塌方风险区进行预加强，同时将临空面分解成多段，减小塌方发生时的规模，降低损失。根据超前地质预报，结合往期监控量测资料，将预留变形量增大为 60cm ，并且加强监控量测，防止侵限。拱架支护需要增强刚度，将拱架调整为双层 HW200 $\times$ 200 型钢^[3]，配合 $\Phi 76$ 注浆锁脚钢管，加强拱架薄弱处强度，减小初期支护位移。二衬增强为 60cm C30 模筑钢筋混凝土结构，进一步加强结构刚度，防止使用期间发生开裂变形。变截面处采取渐变断面，防止截面突变产生应力突变对岩体扰动。

2.4 监控量测

最后加强该段监控量测工作，加密监控量测密度，并依据监控量测资料调整支护参数、施工工法。同时预备了后注浆、临时钢拱架等临时加固措施，发现大变形预兆第一时间对大变形位置措施，使变形趋于收敛。

表 1 4# 紧急停车带段超前地质情况表

序号	里程段落	长度（m）	地质解译内容
1	K2+751~K2+766	15	根据破碎状况分布图、纵波波速分布图和含水推断图、开挖风险等级图分析，推断该区域围岩以强风化板岩、千枚岩为主，呈碎裂状结构，节理裂隙极发育，岩体破碎，结构松散，层间结合差，开挖后拱顶易发生小坍塌，掌子面出水以点滴状为主
2	K2+766~K2+776	10	根据破碎状况分布图、纵波波速分布图和含水推断图、开挖风险等级图分析，推断该区域围岩以强风化板岩、千枚岩为主，呈碎裂状结构，节理裂隙发育，岩体破碎，结构松散，层间结合差，开挖后拱顶易发生小坍塌，掌子面出水可能以淋雨状为主
3	K2+776~K2+796	20	根据破碎状况分布图、纵波波速分布图和含水推断图、开挖风险等级图分析，推断该区域围岩以强风化板岩、千枚岩为主，呈碎裂状结构，节理裂隙极发育，岩体破碎，结构松散，层间结合极差，岩体遇水易泥化，开挖后拱顶易发生坍塌，掌子面出水可能以点滴状为主
4	K2+796~K2+808	12	根据破碎状况分布图、纵波波速分布图和含水推断图、开挖风险等级图分析，推断该区域围岩以强风化板岩、千枚岩为主，呈碎裂状结构，节理裂隙极发育，岩体破碎，结构松散，层间结合极差，开挖后拱顶易发生坍塌，掌子面出水可能以点滴状为主
5	K2+808~K2+821	13	根据破碎状况分布图、纵波波速分布图和含水推断图、开挖风险等级图分析，推断该区域围岩以强风化板岩、千枚岩为主，呈碎裂状结构，节理裂隙极发育，岩体破碎，结构松散，层间结合极差，含裂隙发育带，开挖后拱顶易发生坍塌，掌子面出水可能以点滴状为主
6	K2+821~K2+866	45	根据破碎状况分布图、纵波波速分布图和含水推断图、开挖风险等级图分析，推断该区域围岩以强风化板岩、千枚岩为主，呈碎裂状结构，节理裂隙极发育，岩体破碎，结构松散，层间结合极差，含裂隙发育带，开挖后拱顶易发生坍塌，掌子面出水可能以淋雨状为主
7	K2+866~K2+871	5	根据破碎状况分布图、纵波波速分布图和含水推断图、开挖风险等级图分析，推断该区域围岩以强风化板岩、千枚岩为主，呈碎裂状结构，节理裂隙极发育，岩体破碎，结构松散，层间结合极差，含裂隙发育带，开挖后拱顶易发生坍塌，掌子面出水可能以点滴状为主

3 施工情况

紧急停车带段于 2022 年 11 月开始施工，经过施工工法和支护参数改进，3# 紧急停车带顺利实施，未出现工程事故。虽然依然存在大变形情况，但总体可控。

4 经验总结

隧道工程在设计施工的先期勘察中，由于其特殊性，无法准确探明其全部的工程地质情况。然而隧道工程又与其穿越地层的工程性质息息相关。因此，动态设计工作在隧道工程中极为重要，需要设计人员在隧道施工全程跟踪，结合揭示掌子面情况，监控量测、超前地质预报等工具，通过理论计算及工程类比法等方法，对隧道施工工法、支护形式进行进一步细化，不断优化设计才能形成精品工程。

该隧道地质主要为炭质灰岩板岩互层，同时夹杂少量千枚岩，属于软岩隧道。软岩隧道在工程中隧道变形情况下，隧道施工过程中，岩体性质与一般隧道不同，其变形难以收敛，存在变形加速情况^[4]。同时该隧道属于高地应力互层，在开挖后，原本中风化的围岩会迅速风化为强风化岩体。因此，需要采用短台阶法及时施作初期支护^[5]。此外，由于大部分荷载均有初期支护承受，所以也要加强初期支护刚度。

紧急停车带结构作为隧道中变截面结构，其开挖总高

度和宽度都有所增加，同时开挖断面突变引起应力集中，是隧道施工中的要点。施工使用超前支护及系统导管加固对预开挖土体进行强化，同时改善开挖断面受力模式，减小扩大断面产生的影响。

5 结语

随着工程建设需要和技术的发展，隧道工程向着长隧道、困难地质隧道方向发展。论文通过分享扎窝隧道紧急停车带设计施工经验、问题的分析和思考方式希望能为隧道同类工程提供经验，也为相关方面研究提供参考资料。

参考文献

[1] 郭会杰,陈丽俊,张立鑫,等.软岩公路隧道紧急停车带变截面段变形特征及加固方法[J].科学技术与工程,2022,22(35):15765-15774.

[2] 李奥,张顶立,黄俊,等.软弱破碎围岩深埋隧道拱顶渐进性塌方机理及控制[J].工程科学与技术,2022,54(6):85-96.

[3] 于家武,郭新新.木寨岭公路隧道复合型大变形控制技术与实践[J].隧道建设(中英文),2021,41(9):1565-1576.

[4] 张洋.隧道工程软弱围岩大变形控制体系研究[D].成都:西南交通大学,2007.

[5] 韩学论,董云鹏.软弱围岩隧道施工中大变形的产生及对策[J].铁道技术监督,2009,37(7):21-23.