

Research on the Method of Sulfur Analysis and Detection in Solid Waste

Zhaokun Zeng^{1,2} Rong Zou^{1,2*} Lin Yang^{1,2} Linxi Zhang^{1,2} Jingjing Chen^{1,2}

1. Experimental Test Group, Jiangxi Geological Bureau, Nanchang, Jiangxi, 330002, China

2. Jiangxi Nuclear Industry Environmental Protection Center Co., LTD., Nanchang, Jiangxi, 330002, China

Abstract

The construction principle of high-speed railway is "fast passing, short tunnel, high elevation and close to the river". The high-speed railway will inevitably pass through the mountain containing granite during the construction process of crossing the mountainous area. Through the measurement of the surface γ radiation dose rate of the mountain environment during the excavation process, the measurement of radionuclides (^{238}U , ^{232}Th , ^{40}K) in the surface rock and soil, the measurement of air radon concentration, the measurement of radon exhalation rate, and the measurement of uranium, thorium, radium concentration, total α and total β in the tunnel water, surrounding surface water and groundwater; the measurement and analysis of waste slag sampling. Advanced portable γ dose rate meter, radon meter and other equipment are used to basically find out the radiation level of the tunnel and surrounding residential areas, determine the scope and degree of the high-dose area of radioactivity level in the tunnel and surrounding areas, and put forward corresponding protection suggestions. It escorts the rapid construction of the high-speed railway and the personal safety of the construction workers. At the same time, it also further avoids the impact of the construction process on the production and life of the surrounding residents.

Keywords

high-speed railway; tunnel; construction; radioactivity; monitoring; evaluation

龙龙高速铁路某花岗岩段隧道放射性监测与评价

曾昭崑^{1,2} 邹融^{1,2*} 杨林^{1,2} 张麟熹^{1,2} 湛靓靓^{1,2}

1. 江西省地质局实验测试大队, 中国·江西 南昌 330002

2. 江西核工业环境保护中心有限公司, 中国·江西 南昌 330002

摘要

高速铁路在建设过程中遵循“快通过、短隧道、抬标高、靠河边”的建设原则。高速铁路在穿越山区的建设过程中不可避免的会经过含有花岗岩的山体。通过对开挖过程中的山体环境地表 γ 辐射剂量率测量, 地表岩、土中放射性核素(^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K)测量, 空气氡浓度测量, 氡析出率测量以及隧道涌水、周边地表水、地下水中铀、钍、镭浓度、总 α 、总 β 测量; 弃渣取样测量及分析。使用先进的便携式 γ 剂量率仪、氡测量仪等设备基本查明隧道及周边居民点的辐射水平, 确定了隧道及周边区域放射性水平高剂量区的范围及程度, 同时提出了相应的防护建议。为高速铁路的快速建设以及施工人员的人身安全保驾护航。同时也进一步避免了施工过程对周边居民的生产生活产生影响。

关键词

高速铁路; 隧道; 施工; 放射性; 监测; 评价

1 引言

高速铁路在建设过程中遵循“快通过、短隧道、抬标高、靠河边”的建设原则。为了不影响人们的日常生活, 高速铁路的铺设往往选择在荒无人烟的山区。而在山区的铁路建设中, 开山搭桥是必不可少的。伽马剂量率过高、氡浓度过大均会不同程度上对人体产生危害, 同时影响到整个工程的施工和运营维护^[1]。

本文主要针对新建广东龙川至福建龙岩龙龙铁路段的某

花岗岩隧道以及新建车站进行放射性调查评价, 针对开挖完前后、弃渣场、施工人员居住场所、周边居民区等地区的放射性水平监测以及隧道开挖的岩石取样分析, 综合评估其对铁路施工期间以及运营期间相关人员以及周边公众的影响。

2 调查区基本情况

2.1 调查范围

调查区位于新建广东龙川至福建龙岩龙龙铁路梅州至龙川段, 属于广东省河源市境内。根据对铁路区域资料的收集、地质调查和工程地质勘察资料以及前期花岗岩隧道放射性影响评价显示, 新建梅州至龙川铁路正线段有15座隧道(整段或局部段)洞身穿越燕山期花岗岩或混合花岗岩(变质砂

【作者简介】曾昭崑(1973-), 男, 中国江西吉安人, 高级工程师, 从事实验测试、地质环境等研究。

岩)。本文的研究对象隧道进口里程为 DK 79+004.0, 轨面标高 178.1 m, 出口里程为 DK 80+293.0, 轨面标高 174.3 m, 全长 1289 m, 整隧洞身穿越基岩为燕山期花岗岩 (γ)。

2.2 调查区域气象水文情况

调查区地处广东省梅州市至河源市范围, 该区域属于亚热带季风气候, 其主要特点是夏潮湿多雨, 冬无严寒; 年平均气温 $21^{\circ}\text{C}\sim 21.5^{\circ}\text{C}$, 最热月 7 月平均气温为 $28.5^{\circ}\text{C}\sim 30.1^{\circ}\text{C}$, 最冷月 1 月平均气温为 $7^{\circ}\text{C}\sim 12^{\circ}\text{C}$, 极端最高气温 39.6°C , 极端最低气温 -3.6°C , 年平均降雨量约 1476.3 mm, 年最大降雨量 2530.0 mm, 年平均蒸发量达 1599.4 mm, 年平均风速 1.6 m/s, 最大风速 15 m/s。降雨多集中在夏季节, 冬、春干旱, 雨旱分明, 雨季主要集中在 5—9 月。调查区域隧道范围未见明显涌水, 未见地表水。水文情况较为简单^[2]。

2.3 地形地貌及地质构造

调查区隧址区属于剥蚀丘陵区, 地形稍有起伏, 自然坡度 $15^{\circ}\sim 30^{\circ}$, 海拔标高一般为 191~238m, 相对高差 47 m, 表层植被发育, 主要以杂草、灌木为主。调查区处于华南褶皱系内, 为欧亚大陆板块东南缘, 是环太平洋中、新生代巨型构造-岩浆带的陆缘活动带的一部分, 是全球构造-岩浆活动最活跃的地区之一, 中酸-酸性火山岩、侵入岩广泛出露。出露地层表层主要为第四系全新统冲洪积层 (Q4al+pl) 粉质黏土, 第四系全新统残坡积层 (Q4el+dl) 粉质黏土、第四系全新统残积层 (Q4el) 粉质黏土, 下伏燕山期 (γ) 花岗岩。调查区隧址断层地质构造不发育, 地下水主要为基岩裂隙水, 主要赋存于岩层全风化带, 含水量一般, 主要靠大气降水和地表水入渗补给, 地下水位受降雨影响较大, 富水程度中等。值得注意的是, 调查区隧址地块的土质较软, 常出现小范围塌方情况。

3 监测内容与方法

3.1 监测内容

整个监测工作分为两个阶段: 施工监测期以及贯通后监测。施工监测期主要为施工中影响和可能影响范围, 包括弃渣场、隧道开挖区周边及周边人居环境、施工人员居住场所、隧道和斜井工程 (含现场和岩石取样分析)、地下、地表水; 隧道贯通后监测主要为拟投入隧道主体监测。主要监测项目有: 环境地表 γ 辐射剂量率测量; 地表岩、土中放射性核素 (^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K) 测量; 空气氡浓度测量; 氡析出率测量; 周边地表水、地下水中铀、钍、镭浓度、总 α 、总 β 测量; 弃渣取样测量及分析^[3]。

3.2 工作方法

3.2.1 γ 辐射剂量率、地面伽马能谱测量

测量方法严格执行 HJ 1157—2021《环境 γ 辐射剂量率测量技术规范》标准规范, 使用 FD-3031H 智能化 X- γ 辐射仪沿隧道轴线间隔 5 m 进行布点测量 γ 辐射剂量率。监测时仪器离地高 1m, 计数时间 100s。按 10s 时间间隔, 连续读数 10 次, 取其平均值。同时详细记录测点地理坐标, 测量结果和环境地质条件。

地面伽马能谱测量采用 HD-2002 四道 γ 谱仪。测量方法严格执行 DZ/T0205—1999《地面 γ 能谱测量技术规程》, 进行 U、Th、K 及总量测定。测点定位后, 测量时间为 300 s, 连续测量两次, 要求两次测量结果的偏差在允许范围内, 然后将测量结果填入原始记录在本上, 并详尽记录测点的地质环境条件。点位布设与 γ 辐射剂量率相同。

3.2.2 空气氡浓度测量

本次空气中氡浓度测量仪器为 RAD-7, 环境空气中氡的测量严格按照国标 GB50325—2020《民用建筑工程室内污染控制规范》的有关规定进行。项目开工前, 经核工业放射性勘查计量站检定, 检定合格后方可使用。

3.2.3 土壤氡析出率

氡析出率的测量严格按照国标 GB 50325—2020《民用建筑工程室内环境污染控制规范》的有关规定进行。本次土壤氡析出率测量仪器为 RAD-7, 对弃渣场、车站定期开展氡析出率测量。

3.2.4 土壤、岩石取样

对开挖过程中产生的土壤、岩石弃渣进行取样分析, 土壤、岩石取样分析 (^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K) 50m/次。在实验室对土壤、岩石进行 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{226}Ra 、 ^{40}K 放射性核素含量精确测量。具体分析弃渣的去处问题, 提出相应的防护建议。

3.2.5 放射性水文地质工作

根据区内地质及水文地质特征, 对开挖过程中产生的涌水进行取样分析, 水中 (涌水) 总 α 、总 β 、天然铀、天然钍、 ^{226}Ra 、 ^{210}Po 、 ^{210}Pb 的含量测量; 周边地表水系, 地下水 (民用水井为主) 定期进行水中总 α 、总 β 、铀、镭测量, 如水中放射性测量指标测量较高则采集水样测量水中氡。

3.2.6 辐射剂量评价

在铁路工程施工过程中工人年获得照射剂量主要由在隧道所受到的 γ 辐射所决定的, 工人年受到照射剂量具体计算公式如下:

$$\text{He}=\text{Dr}\cdot\text{K}\cdot\text{t}$$

式中: He—有效剂量当量 (Sv);

Dr—实测环境地表 γ 辐射剂量率 (Gy/h);

K—有效剂量当量率与环境地表 γ 辐射剂量率比值 (0.7 Sv/Gy);

t—公众在环境中停留的时间 (h)。

根据 TB 10027—2022《铁路工程不良地质勘察规程》, 年有效剂量当量限值为 1 mSv/a, 以正常公众停留时间 (每天工作 8h, 每年工作 250 天, 合计 2000 h) 进行反算, 扣除本地区地表辐射剂量率的本底值 75.9 nGy/h (据《中国环境天然放射性水平》, 潘自强), 即 53.13nSv/h。通过公式换算限值约为 0.553 $\mu\text{Sv/h}$ 。

采集的隧道岩土样品放射剂量评价则根据 GB 50325—2020《民用建筑工程室内污染控制规范》, 民用建筑工程所使用的主体材料, 材料内、外照射应符合以下要求:

内照射 $IRa \leq 1.0$; 外照射 $Ir \leq 1.3$

岩土中天然放射性核素所致内照射指数和外照射指数由下式计算:

外照射指数: $I\gamma = CRa/370 + CTh/260 + CK/4200$

内照射指数: $IRa = CRa/200$

式中: CRa、CTh、CK 为岩石中 ^{226}Ra 、 ^{238}U 、 ^{232}Th 、 ^{40}K 的浓度, Bq/kg; 200、370、260、4200 分别为各核素各自单独存在时标准中规定的限量, Bq/kg。

4 结果及评价

4.1 隧道测量结果分析

通过对隧道调查区域的现场测量与采样分析,基本查明了该隧道区域范围的天然辐射水平。隧道的地表放射性调查结果显示。隧道在开挖期间的地表空气氡浓度在 $29.7 \sim 300.3 Bq/m^3$ 之间,统计平均值为: $68.71 Bq/m^3$; 各隧道监测范围内空气氡浓度均满足 WS/T 668—2019《公共地下建筑地热水应用中氡的放射防护要求》低于 $400 Bq/m^3$ 的限值要求。

贯通后隧道监测范围 γ 辐射剂量率在 $0.02 \sim 0.41 \mu Sv/h$, 统计平均值为: $0.245 \mu Sv/h$, 合计 $0.49 mSv/a$ 。隧道监测范围内空气氡浓度在 $50.25 \sim 76.46 Bq/m^3$ 之间,统计平均值为: $62.77 Bq/m^3$; 隧道内的辐射水平有明显下降。隧道开挖前后的 γ 辐射剂量率及空气氡浓度变化趋势。

根据以上监测数据、变化趋势图等分析得出隧道监测范围的总体水平偏低,没有超过限值。但是仍然有部分的 γ 剂量率水平偏高之处,主要集中在隧道两头。通过高背景值隧道的 ^{238}U 比活度等值线与 γ 剂量率分布对比可知,高剂量率的隧道与前期背景调查的高背景区基本一致。满足公共地下建筑建设工程中施工辐射安全要求,异常路段施工人员工作期间要加强防护、尽可能把受照剂量降低,必要时减少暴露时长来减少受照射剂量。其余施工人员仍需注意个体防护与通风,减少内照射剂量的产生来源。

4.2 弃渣场测量结果分析

弃渣场监测范围 γ 辐射剂量率在 $0.02 \sim 0.42 \mu Sv/h$ 之间,统计平均值为: $0.251 \mu Sv/h$; 合计 $0.502 mSv/a$ 。弃渣场监测范围内空气氡浓度在 $45 \sim 76.2 Bq/m^3$ 之间,统计平均值为: $60.27 Bq/m^3$; 弃渣场监测范围内土壤表面氡析出率在 $0.026 \sim 0.039 Bq/(m^2 \cdot s)$ 之间,统计平均值为: $0.03 Bq/(m^2 \cdot s)$; 均未超过标准所规定的限值。可不采取相关防护工程措施。担仍需保持通风适当浇水减少扬尘的产生^[4]。

4.3 地表水地下水结果分析

本次所采集的水样为隧道裂隙不正常涌水。该水出水量大,颜色较为清澈。若以污水排放标准来判断其污染程度。根据 GB 8978—1996《污水综合排放标准》第 4.2.1 条及 4.2.2 条规定,不分行业及污水排放方式,也不分受纳水体的功能类别,放射性最高允许排放浓度为总 α 为 $1 Bq/L$,总 β 为 $10 Bq/L$,该隧道涌水远远低于这一限值,符合污水排放标准;若以 GB 5749—2006《生活饮用水卫生标准》、GB/T 14848—2017《地下水质量标准》、GB 3838—2002《地

表水环境质量标准》、GB 18871—2002《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》等标准,线路经过地区根据地下水水质量及对人体健康的影响,分为五类:该水体达到 II 类—地下水化学组分含量较低,适用于各种用途,放射性指标为总 α 放射性为 $\leq 0.1 Bq/L$,总 β 放射性 $\leq 1 Bq/L$ 。

考虑到隧道中涌水形成条件以及最终流向。得出结论:该隧道的放射性活度达到 II 类水标准,可不经处理向外排放,但需注意不要流经高放射性废渣区,以免携带部分放射性核素;隧道周边地表水、地下水的放射性结果满足 II 类水标准,化学组分含量较低,适用于各种用途。表明隧道的施工对周边水系的放射性几乎没有影响。

4.4 隧道岩石结果分析

根据检测数据结果表明,隧道岩石的平均内外照射指数 IRa , 为 0.47 , Ir 为 1.10 , $IRa \leq 1.0$, $Ir \leq 1.3$, 符合 (GB 6566—2010《建筑材料放射性核素限量》) 中空心率大于 25% 的建筑主体材料以及 A 类装饰装修材料标准。但是仍有部分岩石的外照射指数 Ir 大于 1.3 , 主要集中在隧道两头,这表明该隧道两头存在部分辐射较高的区域。建议不要作为建筑主体材料使用。用于 B 类装饰装修材料使用。

5 结论与建议

5.1 研究结论

经过监测检测及估算,该段隧道的施工人员平均所受剂量为 $0.73 mSv/a$, 贯通后的施工人员平均所受剂量为 $0.49 mSv/a$ 。弃渣场的年有效剂量为 $0.502 mSv/a$, 均未超过施工人员的个人有效剂量限值 $1 mSv/a$ 。同时空气氡浓度分别为 $68.71 Bq/m^3$ 、 $62.77 Bq/m^3$ 、 $60.27 Bq/m^3$ 。均未超过 $400 Bq/m^3$ 的限值要求。隧道的天然辐射水平较为安全,不会对施工人员产生影响。

隧道涌水、周边地表水、地下水的放射性结果均满足 II 类水标准。隧道岩石的平均内外照射指数 IRa , 为 0.47 , Ir 为 1.10 , 满足 A 类装饰装修材料要求,可用于建筑的装饰装修材料使用。隧道产生的废渣不会对周边环境造成明显影响,且隧道在开挖过程中不会对周边居民点的日常生活造成影响。

5.2 建议

加强施工人员的个人防护,穿戴防护设备,避免施工过程中造成粉尘吸入而产生的内照射。施工过程中注意通风降尘,降低隧道内的空气氡的累积。同时尽可能减少施工人员隧道内的停留时间。

参考文献

- [1] 侯爱军.长大铁路隧道通过放射性地段的施工防护[J].西部探矿工程,1999(6):98-100.
- [2] 熊川宝,杨悦,刘自超,等.铁路隧道放射性全周期监测方法与评价[J].世界核地质科学,2023,40(4):1056-1064.
- [3] 段贵明,谭建祖.某新建铁路隧道放射性调查及评价[J].西部探矿工程,2014,26(3):184-187.
- [4] 李翔.铁路工程放射性影响评价方法研究[J].铁道工程学报,2010,27(8):41-46.