

DOI: 10.13544/j.cnki.jeg.2014.s1.033

福建省公路铁路建设的重大工程地质问题*

叶龙珍^{①②} 柳侃^{①②} 黄瑛瑛^{①②} 朱涛^③

(^①福建省地质灾害重点实验室 福州 350002)

(^②国土资源部丘陵山地地质灾害防治重点实验室 福州 350002)

(^③福建省地质工程勘察院 福州 350002)

摘要 基础设施建设,尤其公路铁路线性工程建设中易产生众多工程地质问题。“前车之鉴,后事之师”,通过对福建境内高速公路、国省道及铁路若干典型案例总结归纳,分析表明:福建公路铁路工程的主要重大工程地质问题包括滑坡(含古滑坡复活)、隧道突水、软土、特殊岩土体等。加强古滑坡前期辨识及系统勘测,实施监测反馈动态设计,加强立体排水及减载抗滑锚固支挡综合根治滑坡;在前期全面勘测基础上,加强隧道施工期断裂构造、围岩裂隙及岩溶洞隙地质超前预报预警监测和防范,是预防隧道突水关键;通过勘测揭示软土成因、立体分布及物理力学结构特性,针对性进行换填、排水固结、柔性桩、刚性桩以及桩-板、桩-筏、桩-网结构综合软土地基处理。

关键词 线性工程 重大工程 地质问题 福建省

中图分类号:P642 文献标识码:A

THE MAJOR ENGINEERING GEOLOGICAL PROBLEMS OF RAILWAY AND HIGHWAY CONSTRUCTION IN FUJIAN PROVINCE

YE Longzhen^{①②} LIU Kan^{①②} HUANG Yingying^{①②} ZHU Tao^③

(^①Fujian Provincial Key Laboratory of Geohazard, Fuzhou 350002)

(^②Key Laboratory of Geohazard Prevention of Hilly Mountains, Ministry of Land and Resources, Fuzhou 350002)

(^③Fujian Provincial Institute of Geological Engineering Investigation, Fuzhou 350002)

Abstract The highway and railway linear infrastructure construction will produce many engineering geological problems easily. “The past, the future”, by summarizing some typical cases of freeway, national and provincial highway and railway construction in Fujian, results show that: landslides (including ancient landslide resurrection), tunnel water inrush, soft soil are the major engineering geological problems of highway and railway engineering in Fujian province. Landslide problems are solved by strengthening the ancient landslide early identification and system survey, the implementation of dynamic design of monitoring feedback, and comprehensive treatment of three-dimensional drainage, load shedding and anti slip anchor retaining; Base on the comprehensive survey in the early stage, the key of prevention of water inrush in tunnel is early advance geological forecast warning monitoring and prevention of phase faults, rock fissures and karst caves in the tunnel construction; Through the survey reveals of the structure characteristics of the soft soil genesis, three-dimensional distribution and physical me-

* 收稿日期: 2014-04-05; 收到修改稿日期: 2014-07-01.

基金项目:福建省广义地质工作项目(20111201)和国土资源部公益性行业科研专项经费项目课题(201211039-1)资助。

第一作者简介:叶龙珍,男,硕士,高级工程师,主要从事工程地质与地质灾害研究。Email: fjdkeyylz@163.com

chanics, the corresponding treatment are applied in soft soil foundation of replacement, drainage consolidation, flexible pile, rigid pile, or structure of pile-plate, pile-raft and pile-net.

Key words Linear engineering, Major engineering, Geological problems, Fujian

0 引言

工程地质问题指工程建设与工程地质条件(地质环境)相互作用、相互制约而引起的,对建设本身的顺利施工和正常运行或对周围环境可能产生影响的地质问题^[1]。伍法权在 21 世纪之初的第六届全国工程地质大会上概括总结 21 世纪中国大规模的国家建设可能导致的主要工程地质问题,并对中国西部高山峡谷与东部沿海地区主要工程地质问题进行差异化分析^[2]。苏生瑞等开展西北地区重大工程地质问题研究,概述了区域稳定、活动断裂、特殊岩土体、高边坡及深埋长大隧道等西北地区突出工程地质问题^[3]。

线性工程主要包括铁路(含地铁)、公路、石油与燃气管线、管(渠)道、管网、输电线及索道工程等。黄润秋对南水北调西线工程区开展地形地貌及断裂构造、地层与岩性及地下水等复杂地质环境条件分析,结合该线性工程规划建设方案,认为西线工程可能遭遇的重大工程地质问题主要包括新构造及其对洞室稳定影响、特长引水隧洞围岩大变形、隧洞涌水及地表水渗漏及泥石流、岩爆等^[4]。王小军以郑西客运专线为例研究黄土地区高速铁路建设中的重大工程地质问题,并对黄土地区路基、桥梁和隧道中工程地质问题提出具体解决方法^[5]。孟祥连对黄土地区铁路的主要工程地质问题总结并提出常用处理方法^[6]。张永双对滇藏铁路沿线地壳稳定性及重大工程地质问题进行系统调查分析总结^[7]。杜坤乾等对武汉绕城公路东北段主要工程地质问题中特殊岩土及不良地质现象开展研究分析^[8]。前述工作多对中国中西部地区相关问题系统研究,而对福建省丘陵山地线路工程工程地质问题研究较少。

随着经济建设发展,福建省公路、铁路、管网等线性工程呈跨越式的高速发展。公路以 1994 年建成泉厦高速公路为起点,各地市(县)陆续快速建立高速公路网。铁路以 2001 年赣龙铁路为起点,福建快速建立周边江西、广东、浙江省份共 6 条铁路快速出省通道,2014 年底还将增加京台(合福)线第 7 条出省通道^[9]。福州地铁 1 号线、2 号线预计于

2016 年、2018 年通车运行。福建液化天然气 LNG 管线于 2009 年始建,覆盖全省及浙、粤对接西气东输二线管网。大规模的线性工程建设势必局部改造和影响地质环境,在未有效开展工程地质环境条件分析并采取相应防范措施时,易产生系列工程地质问题,突出工程地质问题未加以妥善处置易产生重大的危害后果。福建省山区铁路与高速公路建设中曾产生龙厦铁路象山隧道突水涌泥、泉三高速公路三阳隧道特大涌水事件,以及永武高速公路箭丰尾滑坡、同三高速八尺门滑坡、国道 319 线吊钟岩滑坡、考塘滑坡灾害,在沿海地区公路铁路建设还面临厚层软土等工程地质问题。本文将以前福建境内公路铁路建设或运营中已发生的特大典型工程地质问题事例汇总分析,并结合福建地区地质环境背景条件,提出相应的预防和处理建议,为今后福建的线性工程建设提供借鉴。

1 福建省地质环境背景

福建省位处中国东南沿海,山地丘陵占全省面积 87%,素称“八山一水一分田”。主要山脉有武夷山脉、鹫峰山—太姥山脉、戴云山—博平岭山脉,平原主要分布于河流下游近入海口,主要有福州、莆田、泉州及漳州平原。总体地形特征:山脉蜿蜒曲折、峰峦耸峙、河流纵横、河谷盆地错综其间。

福建省处环太平洋活动欧亚大陆板块东南边缘,地层发育较齐全,分区较明显,北部及西北部以元古代变质岩地层为主,中部及西南部出露浅变质岩、沉积岩及火山岩,以沉积岩地层为主,东部沿海一带以基性火山岩、沉积岩及第四系堆积层为主,碳酸盐岩主要分布于闽西南地区及闽西北局部地区。第四系松散堆积层在山区属陆相沉积、冲洪积、坡积型,沉积厚度薄,沿海地区受海平面升降运动影响,海侵时沉积厚层海相灰黑色淤泥层,在河口平原与海退沉积漫滩相黄色黏土呈竖向互层状交错分布。

福建省北北东—北东东、北西—东西及南—北走向断裂发育,最突出的是南平—宁化(北东)断裂带、政和—大埔(北北东)构造—岩浆带相交汇,将福建省切割为闽西北、闽西南及闽东 3 大地块^[10]。福建主要活动断裂以沿海北东、北西向断裂为主,断

裂近直交,晚更新断以来具较为强烈的张性活动,表现为高角度倾滑型,沿海断陷盆地及海岸、港湾形成、发育和演化,多受北东、北西向断裂控制。

2 福建省公路铁路建设重大工程地质问题典型案例

2.1 滑坡

福建省地质灾害的基本特点是“点多、面广、规模小、突发性强、危害性大”。截至2013年底福建全省村居地质灾害隐患约1.2万处,因公路建设切挖形成高陡边坡数量众多,部分高速公路边坡数量(表1)。因工程建设及降雨诱发的公路铁路边坡失稳形成滑坡、崩塌地质灾害常有发生,多集中公路等级较低的省道、县道及乡村公路,持续强降雨条件下高速公路和铁路局部也产生滑坡,总体规模较小,而社会经济影响较大的大型公路滑坡偶有发生,如箭丰尾公路滑坡等^[11-14]。部分大型滑坡发育过程及特征、地质环境条件、威胁对象及成因初步分析(表2、表3)。

箭丰尾公路滑坡位于福建省三明市永安洪田镇国道205线及永武高速公路K10+500~K12+000段并行路线,规模达 $600 \times 10^4 \text{ m}^3$,是福建省内公路工程上规模最大的滑坡,治理投资约20000万元。

八尺门公路滑坡位于福建省宁德市福鼎白琳镇白岩村古井头自然村居同江—三亚高速公路福鼎市八尺门互通区,规模约 $180 \times 10^4 \text{ m}^3$,治理投资约5000万元。

金斗山公路滑坡位于福建省南平市长深高速公路南平境(浦南高速ZK211+659~ZK211+960段),规模达 $125 \times 10^4 \text{ m}^3$,治理投资约4000万元。

另外,龙长高速公路(国道319线)考塘滑坡因1994年坡脚国扩建后于1995年春夏雨季后引起圈

椅状古滑坡复活;国道319线龙岩新罗区吊钟岩滑坡也是古滑坡局部复活。

2.2 隧道涌水

福建省碳酸盐岩岩性以石灰岩为主,综合厚度300~850m,其中裸露型、覆盖型和埋藏型石灰岩面积分布约 100 km^2 、及大于 2000 km^2 。碳酸盐岩是福建西部主要的含水层之一,当上覆全新统地层时水量可大于 $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$,最大泉流量为可近 $500 \text{ L} \cdot \text{s}^{-1}$ 。其中龙厦铁路象山隧道、泉三高速公路三阳隧道突水涌泥最为典型^[15-17](表4)。

2.3 软土

福建软土主要分布于沿海滩涂及河口平原,由第四系全新世海积或海陆交互相、陆相湖沼沉积而成,其中福州、泉州属盆地型海成溺谷相,一般厚度较大,层理呈带状,水平方向变化不大,厦门、莆田、宁德属滨海型近代海退形成浅湾沉积,常多泥砂混杂,具向海倾斜的大起伏层理。淤泥类软土具高含水量、高孔隙比、高自由膨胀率、弱透水、高压缩性、低抗剪强度和低承载力、具一定结构性特征,福建沿海局部溺谷相淤泥强度极低,最大天然含水量高害90%,次固结变形在使用期内可占主固结沉降的10%以上,易在公路、铁路路基施工后产生显著工后沉降量和差异沉降等问题^[18]。

福建沿海普遍为Ⅶ度抗震设防烈度的强震区,如漳州、厦门、泉州、莆田、福州沿海各县(区),软土在震动动力作用下易产生不均匀压缩沉陷。软土等效剪切波速测试方式近似于地震波传播方式,作为软土震陷与否的重要判据之一。软土沉积年代、埋藏深度及上覆堆积“硬壳”盖层条件,是影响软土等效剪切波速及承载力的重要影响因素,越近地表软土因年低较新,孔隙比大,多呈欠固结状态,等效剪

表1 福建省部分高速公路边坡数量(处)
Table 1 Amount of part highway slopes in Fujian

公路名称	边坡高度 20~30m	边坡高度 30~40m	边坡高度 40~50m	边坡高度 >50m	边坡总数	公路全长	比率/处·km ⁻¹
福宁高速	32	65	34	18	149	141km	1.06
三福高速	104	161	101	48	414	260km	1.59
漳龙高速	47	41	21	11	120	117km	1.03
邵三高速	62	80	54	40	236	132km	1.79
泉三高速	47	124	75	41	287	264km	1.09
永武高速	26	82	1	1	110	195km	0.56
浦南高速	60	80	48	10	198	245km	0.81
龙长高速	69	109	74	18	270	136km	1.99

表2 福建省部分大型高速公路滑坡特征及地质环境条件

Table 2 Characteristic and geological environment of part large-scale highway landslide in Fujian

序号	滑坡特征	地质环境
1 箭丰尾滑坡	滑坡横宽约 400m, 纵长 500~600m, 均厚 30m, 总体积达 600×10 ⁴ m ³ 。受降雨作用, 2009 年 6 月始深部位移监测显示变形, 7 月 3 日横向右区、中区、左区, 纵向坡顶、中部、坡脚国道、高速公路及文川河岸坡、挡墙、锚杆(索)框架、涵洞及翼墙、路基陆续出现拉张剪切错裂、鼓凸, 直至 10 月因处旱季且部分应急工程施工完毕, 滑坡才进入暂时缓慢变形阶段。2010 年 3 月始雨季后滑坡加剧变形, 纵向后缘下错拉张裂缝连通、大批地下位移监测孔剪断、前缘路侧水沟整体内倾, 锚头崩裂等	位处闽西南凹陷带的不对称向斜的东翼, 岩层产状较紊乱, 上覆厚达 15m 坡残积层, 下伏二叠系童子岩组薄层粉砂岩、炭质粉砂岩及其风化层, 风化层深厚。山坡纵向冲沟地表水系发育, 补充坡前近南北向压性断层和右侧北东向张性断层构成滑坡区复杂储水构造及导水廊道, 地下水发育, 但地下水位差异悬殊。依据上陡下缓及中部陡缓相间多级台阶微地貌特点, 结合山脚多漂石集中及坡上“马刀树”发育等特征, 判定箭丰尾滑坡是大型顺层基岩古滑坡
2 八尺门滑坡	滑坡横宽约 160m, 纵长约 750m, 均厚 15m, 总方量约 180×10 ⁴ m ³ 。滑坡新近始于 1993 年后多次滑移, 2000 年 5 月沙吕线改线路基切挖及持续强降雨致沙吕线边坡滑移, 9 月八尺门互通主线 K23+976 路堑切挖致坡上方古井头村民房、蓄水池开裂, 旧沙吕线路基下沉, 最大下错阶坎高约 5m, 坡脚现多处地下水泉点。主体分为 4 个滑坡区块	闽东滨海丘陵坡积裙地貌, 地形高差 60m, 总体呈上陡下缓的下部, 总体坡缓 15°。微地貌呈多处后部圈椅状、前部地形凸出和坡体呈缓坡台阶状, 具古老滑坡特征。处福鼎—霞浦断裂带东侧, 上覆坡积碎石土、残积黏性土, 含较多“孤石”, 下伏石帽山群下组下段英安质晶屑凝灰岩风化岩。钻孔揭露滑面擦痕、镜面, 滑带土厚 0.2~1.6m, 主要分布于上覆土体与风化岩交界面处。地表水系不发育, 地下水丰富, 钻孔简易抽水试验 1.3~24.0t·d ⁻¹ , 排泄泉点流量 0.01~2.20L·s ⁻¹
3	滑坡横宽 340m, 纵长 265m, 均厚 20m, 总体积约 125×10 ⁴ m ³ 。2007 年 7 月边坡开挖过程局部滑坡变更设计, 8~12 月坡顶再现开裂, 最宽约 1m, 下错 2m, 局部坡中及坡脚地下水渗出成泉, 2008 年 9 月完成首次滑坡施工治理; 2010 年 5 月下旬持续强降雨再次复活, 后部果园牵引拉裂, 与路基相对高差 100m, 浅表层坡面塌滑, 坡脚挡墙剪切错裂近 3cm, 外围深部位移监测孔全部剪断, 孔内水位明显抬升	闽北低山丘陵地貌, 后部山坡陡约 40°, 局部发育陡崖, 中部斜坡较缓呈两级缓坡平台, 坡度 15°~25°, 顺坡发育 3 条浅冲沟, 属老滑坡微地貌。位处构造接触带部位, 多见岩脉穿插, 岩层破碎、节理裂隙发育, 上覆表层坡积土夹大量孤石, 结构松散, 厚多 3~10m, 残积土层及土状强风化砂岩层较厚, 强风化层厚达 20~35m

表3 福建省部分大型高速公路滑坡成因及工程治理措施

Table 3 Genesis and engineering measures of part large-scale highway landslide in Fujian

序号	成因简析	危害对象	工程治理措施
1 箭丰尾滑坡	(1) 滑体岩土体结构松散破碎, 地下水发育, 厚层炭质粉砂岩强风化岩长期浸水软化易滑。(2) 滑坡西侧紧邻文川河凹岸, 永武高速公路建设时借用原国道线位, 国道向山侧以挖方路基形式改移。切挖前缘致古滑坡局部复活变形	永安市洪田镇永武高速公路 K10+500~K12+000 段及并行国道 205 线交通干线安全, 而且一旦滑坡整体下滑, 可能淤塞文川河对上游约 2km 的洪田镇区构成重大威胁	(1) 排水工程。对整个滑坡区开展地表截排水系统, 对自然冲沟顺沟砌筑防渗跌排水。滑体中上部内部实施地下水截排水隧洞, 下部前缘实施仰斜排水水平孔。(2) 减重反压工程。中上部主滑体平台部分实施刷方减重, 反填压于两侧自然冲沟出口段, 原沟底段铺设圆管涵。(3) 分级抗滑支挡工程。中后部滑坡平台实施预应力锚索抗滑桩; 结合沟口反压, 滑坡下部近坡脚实施预应力锚索抗滑桩; 刷方减载区实施预应力锚索框架。(4) 补强修复工程。对既有锚固支挡工程检测评估后补强加固。(5) 监测工程。实施地表位移、地下位移、锚固支挡结构应力、应变全方位系统监测
2 八尺门滑坡	(1) 古滑坡滑带土体湿软, 抗剪强度低, 并形成地下水主要渗流通道。(2) 沙吕线改线及八尺门互通路堑切挖形成高陡临空面, 破坏了古滑坡脆弱的应力平衡体系。(3) 缓坡阶状地表及前期不完善的路基排水系统, 持续强降雨地表水入渗下错开裂通道, 地下水软化及静动水压致古滑坡复活	同江—三亚高速公路福鼎市八尺门互通区主线及匝道, 以及白琳镇白岩村古井头自然村居	(1) 刷方减重及坡面防护工程。滑坡上部局部刷方减重, 充填滑坡裂缝。实施衬砌防护植草护坡。(2) 抗滑支挡工程。对滑坡进行分区稳定性判定后开展相应抗滑支挡。坡中上部实施分级预应力锚索地梁结合锚杆混凝土框架方案, 坡下部近坡脚实施抗滑挡墙、预应力锚索抗滑桩方案。(3) 排水工程。实施缓坡地形截排水系统, 中下部实施深长仰斜排水水平孔, 坡脚局部实施支撑渗沟。(4) 监测工程。实施地表变形、地下变菜, 重点构造物变形及锚索、桩侧应力及地下水动态监测
3	(1) 纵向缓阶状斜坡易汇水, 上覆松散古老崩坡堆积物结构松散, 下伏风化岩层深厚, 风化强烈, 断裂构造节理裂隙发育, 滑体易沿长大贯通构造结构面(带)及不同岩性接触面产生滑移。(2) 崩坡积、残坡积层孔隙潜水及风化岩网状孔隙裂隙水以及基岩裂隙水(构造破碎带)地下水均较丰富; 因坡脚挡墙破坏排泄通道, 致地下水位呈后低前高, 具承压性。(3) 坡脚路堑切挖破坏古老滑坡力学平衡, 引发局部复活, 再经持续强降雨诱发更深层大范围复活	长深高速公路南平境(浦南高速 ZK211+659~ZK211+960 段)按期通行及抢险救灾需要	(1) 应急反压与刷方减载工程。应急抢险实施坡脚反压墙, 排水孔疏导排泄地下水及中上部刷方减载。(2) 支挡加固工程。坡中部实施预应力锚索抗滑桩, 坡前缘实施预应力锚索抗滑桩, 对中前部既有门架桩补强加固; 对前缘既有片石混凝土挡墙实施预应力锚索地梁。(3) 排水工程。地表实施截排水工程, 中部实施排水隧洞横穿滑体, 隧洞上曲措布放射状仰斜排水孔。坡中前部实施仰斜排水水平孔。(4) 监测工程。实施地表、地下位移、桩测应力、锚索应力、结构变形、地下水位等系统监测

表4 福建省象山隧道、三阳隧道突水事件

Table 4 Water intrush incident of Xiangshan and Sanyang tunnel in Fujian

序号	灾害特征	地质环境	成因分析
1 象山隧道 涌水	2008年3月31日、4月2~4日和12日,象山隧道1#斜井正洞右线多次涌水;2009年12月23日,地下160m掌子面及后后方支护拱架开裂、掉块直至塌方涌水,初期涌水 $200\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,24日最大达 $7227\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,10d后水位降幅趋稳约 $603\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,截至2010年2月26日共涌水 $122.51\times 10^4\text{m}^3$,洞内总蓄水 $48.94\times 10^4\text{m}^3$ 。突水致新祠盆地地表大面积沉降塌陷,塌穴40余处,最大沉降量621mm,最大影响距1.5km,最大塌坑长20m,宽10m,深2m,27幢民房倒塌,水泥厂建筑物基础变形倾斜和不均匀沉降,溪沟断流。隧道施工延误1个月	新祠岩溶盆地近南北向条带状展布,地形切割强烈,周侧相对高差300m,坡度 $25^\circ\sim 45^\circ$,新祠溪由南向北径枯季流量 $100.8\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。新祠盆地溪侧松散冲洪积砾卵石黏土厚5~15m,东北角二叠系粉砂岩、泥岩、石英细砂岩,两侧三叠系钙质粉砂岩、砂岩夹泥灰岩、灰岩和钙质泥岩,西北角为燕山早期中粗粒花岗岩。盆地中部和东南角发育2条大致平行北东向导水性正断层,破碎带宽50~80m,长约1500m。地下水以第四系孔隙含水岩组富水性好,与下部岩溶水互补,岩溶发育成溶蚀裂隙及小型溶洞,覆盖层岩溶埋深小于100m浅埋段溶蚀强烈,均匀性差,富水性强,基岩裂隙水总量贫乏。盆地地下水天然径流 $244\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$	(1)断裂构造发育,岩层破碎,破碎带连系富水性强的岩溶含水层,岩深区呈现溶洞溶腔溶沟溶槽管道连通,溶腔属深埋富水大型充填型式,形成巨大储水构造;(2)施工揭穿破碎带产生初始岩溶突水,形成断层两侧高30~60m地下水水位落差的跌水陡坎,突水致地下水静储量疏干,形成巨型降落漏斗,漏斗内最大水位落差150m,导致上覆盖层下沉塌陷同时真空负压虹吸扰动刷蚀上部盖层冲洪积堆积物及岩溶通道,于新祠溪一级阶地地表水陷坑下参加剧溪沟地表水补给和地表变形
2 三阳隧道 涌水	2008年5月25日,三阳隧道左洞ZK150+409施工掌子面现涌水、喷水,成孔困难,上午11时涌水量 $1970\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,18时30分始装药,炮孔喷射距6~8m,19时5分响炮后水流湍急,19时14分涌水满洞,洞口水深近1m,20时30分最大涌水 $112086\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,次日12时涌水降至 $16467\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,涌水 $4.3\sim 1.3\times 10^4\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,渐减28日午至30日下午16时30分水量 $5752\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,至7月涌水 $1000\sim 1300\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$,且为清水,8月10日涌水维持 $900\text{m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ 。涌水致隧道施工受阻,冲毁出口农田;隧道上方基岩泉水枯竭,饮用水困难,低洼谷地水田干旱	位处低山丘陵区,地形起伏较大,地表局部山间小洼地,小溪沟发育。地表多坡残积土及较厚强风化岩。隧洞涌水周区为条带状硅质粉砂岩夹条带状灰岩(厚30~50m),断裂构造发育3组,断裂带裂隙宽50~60cm,张开裂面钙、铁残留充填,平面错距2~3m,花岗岩厚80~90cm侵入三叠系溪口组砂岩,受水溶蚀空洞可见延伸大于10m。地下水以富水性很不均匀的基岩裂隙及断裂构造破碎带水,和赋存于灰岩溶隙、溶洞的岩溶水,大小溶腔岩溶富水段集中且储水空间大	(1)断裂构造发育致周侧岩层破碎,为地下水提供储存空间,构造带延入附近透镜状灰岩及不同地层,连通构造裂隙水及岩溶水甚至远距离地下水地表水补给。(2)施工爆破震动促使构造裂隙溶隙扩张,扩大导水通道,加速地下水通过导水构造集中逕流排泄突涌

切波速低,易产生沉陷震害,而埋藏较深软土多处正常固结状态,特别是人类活动致上覆盖层堆积时间较长的老城区,且海陆交互中软土夹砂时多呈微超固结状态,沉陷震害影响作用小^[19]。

因高速公路及铁路建设时均对软土加以重视,福建沿海公路及温福铁路、福厦铁路、厦深铁路建设均针对性地采取处理措施,减弱或消除软土的不利沉降和震陷作用。

3 重大工程地质问题的典型特征及防治建议

3.1 滑坡

受福建丘陵山地限制,福建省内公路铁路等线路工程建设面临数量庞大的边(斜)坡,建设施工开挖路堑引起大型斜坡失稳造成重大的直接和间接经济损失,前述箭丰尾公路滑坡、八尺门公路滑坡和金斗山公路滑坡治理投资额分别达2亿、5000万和4000万元,并导致整条线路“卡脖子”工程,严重影响和制约整条线路总体进展。箭丰尾滑坡、八尺

门滑坡、金斗山滑坡均为古老滑坡的工程活动局部复活,且普遍经历施工治理、变形、再施工治理的多次阶段过程,体现在滑坡地质灾害认知上存在一定困难。

因此线性工程的滑坡防治加强预防是首要环节,特别加强古老滑坡的辨识最为关键,比如总体后陡前缓或近圈椅状洼地、双沟同源、醉汉林微地貌地形、地表上覆崩坡积碎块石黏性土层等特征,但往往古老滑坡后期受人类工程如垦植活动改造,辨识难度大,需要线路工程勘测设计经验丰富的专业技术人员通过多种手段加以验证;其次,对初步认定的滑坡开展经济技术选线比选和设计优化,然后开展详细勘测设计,以满足“彻底治理”的要求。在具体关键技术上,福建省线路大型滑坡普遍具多级滑体多个滑面多次滑动、丰富地下水、地质构造复杂岩石节理裂隙发育等因素,需优先考虑地表截排水和地下排水,如地下排水隧洞、排水盲沟、仰斜排水孔等,并注意后续工程措施对地下渗流通道的不利改造影响,其次采取中后部刷方减载、前部抗滑锚固支挡综合防护,同时加强施工期及运营期的地表位移、地下

位移及支挡结构应力、应变监测,并做好排水、支挡等结构的后续养护。

3.2 隧道涌水

同样受丘陵山地限制,福建在公路、铁路建设中存在数量庞大的长短隧道,在隧道开挖过程中均会面临规模和数量不等的边帮垮塌、渗涌水等问题。与大型公路铁路滑坡相比较,滑坡多发生施工或运营过程中,往往具蠕滑等变形阶段而采取及时防范,造成人员伤亡事件较少,而较大规模的隧道突发涌水事件则多发生施工期间直接造成严重直接经济损失后果,如普遍的地表塌陷、农田干旱、溪沟断流等,隧道涌水往往具有突发性而难以及时避让,甚至危及施工人员和地表建筑物村民的生命安全。

隧道突涌水主要内因是地质环境条件复杂,受经济和技术所限,前期勘测结果难以精准反映隧道开挖掘进中工程地质、水文地质条件,特别是断裂构造及岩溶洞隙分布位置及发育程度等关键因素方面,在前述象山隧道和三阳隧道突水案例均反映前期勘测成果未在突水事故段有断裂构造作用;其次,施工过程中地质超前预报工作待加强应用,相应施工人员对相应预警监测应加以重视,如三阳隧道因前期施工一直顺利,忽视地质预报工作及其成果,象山隧道因前期多局部产生渗水、坍塌而产生“狼来了”型思想麻痹疏于防范;同时险情发生时应急预案及相应处置技术待完善提升。

因此,开展前期较详细周全的勘测,通过既有历史地质资料和施工之前多个勘测阶段成果的解析判定,特别是加强断裂构造、岩溶洞隙及隧洞围岩节理裂隙密集区的研判分析,是开展设计与施工的重要前提。在施工过程中切实加强多样化地质超前预报技术手段以达到相互印证的预报成果,是隧道突水防治的重要环节。

3.3 软土

福建沿海公路铁路建设不可避免面临软土工程地质问题。但因软土分布范围广,往往在施工前期就会依据工程场地实际情况和实践经验采取相应的防范处置措施,因此软土作为特殊岩土体问题在施工期不会产生严重的灾害后果。

不同的软土成因、软土质纯与否、厚度、物理力学性状等存在较大差异,因此通过勘测获知线路工程影响范围软土横向、纵向、垂向三维分布及相应结构特性是影响软土地基处理技术方案的重要因素,

也是影响软土地基处理的经济投资考量的重要前提。其次,针对软土特点采取地基处理适宜性测试试验后推广应用,如塑料排水板堆载预压或真空联合堆载预压排水固结、砂桩、碎石桩复合地基、深层搅拌等柔性桩、钢筋混凝土刚性桩、预应力管桩一板、桩一筏、桩一网结构等^[20,21]。然后,建立软土路基长期沉降观测网,反馈判析并主动预防性控制沉降。相对而言,软土路基处理技术在日益发达的高速铁路建设运营过程中表现更为全面、系统,高速公路软土路基要求工后沉降敏感性和控制标准则较松泛,地基处理技术多以采用传统预压或碎石桩复合地基方法为主。

4 结 论

(1)通过福建境内线性工程典型案例总结福建省公路铁路建设存在重大工程地质问题包括滑坡地质灾害、深长隧道突水涌泥及软土等特殊岩土体。地质构造复杂、岩石节理裂隙发育、地下水丰富是古滑坡复活和隧道突水的内在因素,路堑边坡切挖及外界持续强降雨是古滑坡的局部复活重要外在诱发因素,隧道挖掘致断裂构造联通岩溶、断裂带储水区则是诱发隧道突水的外在因素。

(2)针对福建公路铁路建设中古滑坡的防治,关键在于前期系统勘测辨识和后续全面优化设计施工。充分综合立体排水及减载、支挡抗滑锚固防护方案,加强位移及支挡结构应力、应变监测,做好运营养护。隧道涌水防治应在前期较全面勘测基础上加强施工期地质超前预报和预警监测预案体系,相关各方人员充分重视断裂构造、围岩裂隙及岩溶洞隙的不利作用和有效防范。软土地基处理充分结合勘测成果揭示软土成因、立体分布及物理力学结构特性基础上,结合经济技术和相关建设标准需求,针对性开展传统换填、预压排水固结、碎石柔性桩、混凝土刚性桩以及新型预应力管桩一板、桩一筏、桩一网结构综合地基处理措施,并加强长期沉降观测,反馈判析并主动预防性控制。

(3)福建省公路铁路建设古滑坡复活、隧道突水涌泥和软土三大主要地质问题的案例汇总剖析,可为福建今后规划建设的线性工程提供指导,也可为省内外类似的地质环境条件下其他工程建设提供借鉴。

参 考 文 献

[1] 张威恭,王思敬,张悼元,等. 中国工程地质学[M]. 北京:科技

- 出版社, 2000, 1~13.
- Zhang Xiangong, Wang Sijing, Zhang Zhuoyuan, et al. Engineering geology in China[M]. Beijing: Science press, 2000, 1~13.
- [2] 伍法权. 中国 21 世纪若干重大工程地质与环境问题[J]. 工程地质学报, 2001, **9**(2): 115~120.
- Wu Faquan. Major engineering-geological and environmental problems in China in 21st century[J]. Journal of engineering geology, 2001, **9**(2): 115~120.
- [3] 苏生瑞, 彭建兵. 西北地区重大工程地质问题研究[J]. 工程地质学报, 2003, **11**(1): 105~110.
- Su Shengrui, Peng Jianbing. Research on engineering-geological problems in north-west China[J]. Journal of engineering geology, 2003, **11**(1): 105~110.
- [4] 黄润秋. 西线工程的重大工程地质问题[J]. 四川水力发电, 2006, **25**(S1): 119~124.
- Huang Runqiu. The fateful engineering geology problems on the west line of water transfer from the south to the North[J]. Sichuan Water Power, 2006, **25**(S1): 119~124.
- [5] 王小军. 黄土地区高速铁路建设中的重大工程地质问题研究: 以郑西客运专线为例[D]. 兰州: 兰州大学, 2008.
- Wang Xiaojun. Major problems along railways in loess areas-example of Zhengzhou-Xian special railway[D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2008.
- [6] 孟祥连. 黄土地区铁路的主要工程地质问题及对策[J]. 铁道勘察, 2011, **4**: 47~48.
- Meng Xianglian. Major engineering geology problems and solutions for railways in loess areas[J]. Railway Investigation and Surveying, 2011, **4**: 47~48.
- [7] 张永双. 滇藏铁路沿线地壳稳定性及重大工程地质问题[M]. 北京: 地质出版社, 2009, 1~20.
- Zhang Yongshuan. Earthcrust stability and major engineering problems along Yunnan-Tibet railway[M]. Beijing: Geology press, 2009, 1~20.
- [8] 杜坤乾, 刘术湘, 刘敬先, 等. 武汉绕城公路东北段主要工程地质问题研究[J]. 中国地质大学学报(地球科学), 2001, **26**(4): 368~372.
- Du Kunqian, Liu Shuxiang, Liu Jingxian, et al. Study on main problems of engineering geology for northeast area of Wuhan rounding highway[J]. Journal of China University of Geoscience(Earth Science), 2001, **26**(4): 368~372.
- [9] 叶爽. 福建交通发展促进民生改善[J]. 学术评论, 2012, (6): 368~372.
- Ye Shuang. Development for communication in Fujian province[J]. Academic Review, 2012, (6): 368~372.
- [10] 韦德光, 揭育金, 黄廷金. 福建省区域地质构造特征[J]. 中国区域地质, 1997, **16**(2): 162~170.
- Wei Deguang, Jie Yujin, Huang Tinggan. Regional geological structure of Fujian[J]. Regional Geology of China, 1997, **16**(2): 162~170.
- [11] 赵杰, 廖小平. 箭丰尾滑坡成因分析与治理措施[J]. 路基工程, 2012, **165**(6): 122~126, 129.
- Zhao Jie, Liao Xiaoping. Analysis on Genesis of Jianfengwei Landslide and the Treatment Measures[J]. Subgrade Engineering, 2012, **165**(6): 122~126, 129.
- [12] 陈开良. 箭丰尾超大型滑的工程地质特征及其稳定性评价[J]. 公路, 2011, **4**(3): 91~97.
- Chen Kailiang. Engineering geology characteristics and stability analysis of Jianfengwei landslide[J]. Highway, 2011, **4**(3): 91~97.
- [13] 张亮, 廖小平. 福宁高速公路八尺门滑坡成因与整治对策[J]. 路基工程, 2011, **154**(1): 172~174.
- Zhang Liang, Liao Xiaoping. Causes and Treatment Measures of Bachimen Landslide along Fuzhou-Ningde Expressway[J]. Subgrade Engineering, 2011, **154**(1): 172~174.
- [14] 林希鹤. 长深高速公路金斗山滑坡灾害及其治理工程对策[J]. 福建建筑, 2011, **152**(2): 67~69.
- Lin Xihe. Long deep highway landslide disaster action mountain and treatment project countermeasures[J]. Fujian Architecture & Construction, 2011, **152**(2): 67~69.
- [15] 曾献群. 龙岩象山隧道突水引发岩溶塌陷的成因分析及其治理措施探讨[J]. 安全与环境工程, 2011, **18**(5): 7~10.
- Zeng Xianqun. Research on the Causes and Treatment Measures of Karst Collapse Due to a Tunnel Water-inrush Accident[J]. Safety and Environmental Engineering, 2011, **18**(5): 7~10.
- [16] 颜志伟. 象山隧道岩溶突水涌泥原因分析及处理措施[J]. 铁道标准设计, 2012, **12**(7): 98~102.
- Yan Zhiwei. Cause analysis and treatment measures on water bursting and mud gushing of karst in Xiangshan tunnel[J]. Railway standard design, 2012, **12**(7): 98~102.
- [17] 蔡俊华, 庄燕珍. 三阳隧道特大涌水的环境影响与治理措施[J]. 路基工程, 2010, **148**(1): 195~197.
- Cai Junhua, Zhuang Yanzhen. Environmental Influence and Treatment Measures of Severe Water outburst in Sanyang Tunnel[J]. Subgrade Engineering, 2010, **148**(1): 195~197.
- [18] 刘慧明. 闽东南沿海地区软土物理力学性质研究[D]. 福建福州: 福州大学, 2005.
- Liu Huiming. Physics mechanical characteristics of soft soil in coastal region of southeast Fujian province[D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2005.
- [19] 兰坚强. 福州地区软土震陷分析[J]. 福建建设科技, 2006, (4): 11~14.
- Lan Jianqiang. Analysis on soft soil subsidence in Fuzhou city[J]. Fujian Construction Science and Technology, 2006, (4): 11~14.
- [20] 余雷. 预应力管桩在温福铁路软土路基中的设计与应用[J]. 铁道工程学报, 2007, (S1): 108~112.
- Yu Lei. Design and application of prestressed tubular pile in treating soft soil foundation of Wenzhou-Fuzhou railway line[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2007, (S1): 108~112.
- [21] 顾湘生, 赵新益, 孙宏林. 铁路软土路基工程实践与试验研究[D]. 第十四届中国科协年会第 13 分会场软土路基工程技术研讨会, 2012.
- Gu Xiangsheng, Zhao Xinyi, Sun Honglin. Engineering practice and experimental study of railway over soft soil subgrade[D]. Meeting for soft soil subgrade technique of 14th science association annual meeting in China, 2012.