

文章编号: 1674—8247(2018)06—0037—07

莫斯科喀山高速铁路沿线主要工程地质问题 及防治研究

王茂靖 江 凯

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:拟建的莫斯科至喀山高速铁路地处东欧平原,沿线地形平坦,地质构造运动轻微,工程地质条件简单。文章结合莫斯科至喀山高速铁路初步设计工作,利用沿线工程地质勘察成果数据,系统介绍了莫斯科至喀山高速铁路沿线工程地质条件,指出对铁路工程影响较大的主要工程地质问题是季节性冻土、软弱地基土、隐伏岩溶及地面塌陷三大问题,此外,沿线路堤合格填料相对贫乏,对高速铁路投资也存在一定影响。在工程设计中,针对岩溶及地面塌陷工程地质问题采取了绕避岩溶强烈发育及严重地面塌陷地段,多序次地表钻孔注浆加固浅表层岩溶塌陷地段、桥梁工程跨越岩溶发育及塌陷地段,清除换填、复合地基加固处理软弱地基土,采用换填、土体改良、保温及防排水等措施,减轻冻融对高铁工程危害。对于影响高铁投资的合格路堤填料,研究后采用远运合格填料措施。

关键词:莫斯科至喀山; 高速铁路; 工程地质问题; 防治研究

中图分类号:P642.14

文献标志码:A

Main Engineering Geological Problems along and Countermeasures for Moscow-Kazan High-speed Railway

WANG Maojing JIANG Kai

(China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Chengdu 610031, China)

Abstract: The proposed Moscow-Kazan High-speed Railway is located in the Eastern European Plain where the topography is flat, the geotectonic movement is slight and the geological condition is simple. Based on the preliminary design for Moscow-Kazan High-speed Railway and engineering geological investigation achievement data along Moscow-Kazan High-speed Railway, this paper systematically introduces the engineering geological conditions along the line and points out that main engineering geological problems which have great influence on railway engineering are seasonal frozen soil, soft foundation soil and hidden karst and ground subsidence, in addition, the lacking qualified filler for embankment along the line also has a certain influence on the investment of high-speed railway. In engineering design, For karst and ground subsidence geology problems, in case of the strongly developed karst and heavy ground subsidence, avoidance measure is taken, in case of shallow-surface karst subsidence, the multi-sequence surface borehole grouting measure is used for reinforcement of the ground, the bridge is also built to cross the developed karst section and subsidence section; for soft ground soil, replacement after removal and composite foundation reinforcement measures are usually used; the soil replacement, soil improvement, heat preservation and water proof and drainage measures are taken to alleviate the hazards of freezing and thawing on high-speed railway. For lack of qualified embankment filling materials, it is decided to transport the qualified filling material from long-distance place.

Key words: Moscow-Kazan; High-speed railway; engineering geological problems; countermeasures research

收稿日期:2018-05-28

作者简介:王茂靖(1964-),男,教授级高级工程师。

引文格式:王茂靖,江凯. 莫斯科喀山高铁沿线主要工程地质问题及防治研究[J]. 高速铁路技术,2018,9(6):37-43.

WANG Maojing,JIANG Kai. Main Engineering Geological Problems along and Countermeasures for Moscow-Kazan High-speed Railway [J]. High Speed Railway Technology,2018,9(6):37-43.

1 工程概况^[1-2]

莫斯科-喀山高速铁路(简称莫喀高铁)为俄罗斯规划高速铁路2号线莫斯科至叶卡捷琳堡高速铁路的重要一段,为俄罗斯计划先期开工段落。

本线西起俄罗斯首都莫斯科库尔斯克亚车站,自

西向东经 Moscow(莫斯科)、Moscow(莫斯科)地区、Vladimir(弗拉基米尔)地区、Nizhny Novgorod(下诺夫哥罗德)地区、Chuvash(楚瓦什)共和国、Mari El(马里埃尔)共和国,东至 Tatarstan(鞑靼斯坦)共和国首府喀山,线路全长 767.766 km,线路示意如图 1 所示。



图1 莫斯科至喀山高速铁路线路示意图

桥梁总长为 151.7 km,桥隧比 19.7%,全线设车站 15 个,调度站 7 个,其中新建车站 12 个,改建车站 3 个。

莫喀高铁为宽轨(1 520 mm)双线电气化铁路,设计速度 350 km/h,部分地段达到 400 km/h,且允许货车上线运行(利用夜间 23:00~6:50 时间段扣除 4 h “天窗”后的时间开行集装箱列车)。

项目建成后莫斯科至喀山的运营时间缩减为原来的 1/4,从 14 h 缩短至 3.5 h。

2 工程地质条件简述^[3-4]

莫喀高铁沿线位于高纬度寒冷地区,属于温带大陆性湿润气候,冬季漫长寒冷,极端最低温度 -42.1℃,一月份平均气温 -6℃~-16℃。雨季为 5~9 月,年平均降雨量为 500~700 mm,夏季降水量体现为雨水(经常是短时间的暴雨),秋季和春季降水量为细雨和雨夹雪,冬季降水量体现为雪,稳定的积雪覆盖层形成于 11 月末和 12 月中旬,积雪通常覆盖 150~160 d,厚 30~60 cm,最大可达 1.5 m。积雪完全融化通常在四月中旬。

沿线地处东欧平原中部,海拔高程 50~260 m,经过莫斯科丘陵、梅晓拉低地、高尔基-马里低地、伏尔加河流域丘陵 4 个地貌单元,地形大部分平坦开阔,略微波状起伏,地表多为第四系冰水沉积物、洪积层、湖积层、沼泽沉积层覆盖,岩性主要为粘土、冰砂粘土、粉砂、黏砂土、砾石、卵石等,厚度几米到 70 m 不等,下伏基岩主要为白垩系和侏罗系砂岩、泥岩、砾岩、灰岩,三叠系和二叠系石灰岩、白云岩、泥灰岩、砂岩,石炭系杂色泥岩等。区内较大河流有莫斯科河、顿河、奥卡河和

伏尔加河,其中线路途经下诺夫哥罗德、喀山均位于伏尔加河畔,支流、湖泊较多分布其间。区域大地构造属于稳定的东欧地台,构造运动轻微,线路主要穿越莫斯科向斜和伏尔加-乌拉尔背斜,地震烈度为 5~7 度。

3 主要工程地质问题^[3-4,6]

沿线对拟建高速铁路工程存在较大影响的主要不良地质及特殊岩土工程地质问题有岩溶塌陷、潜蚀、季节性冻土、软土、砂土液化、滑坡、黄土、膨胀土等,其中滑坡、砂土液化、黄土及膨胀土仅局部分布,影响较小。本文主要讨论对工程影响较大的季节性冻土、岩溶及地面塌陷、软弱地基土及路基填料问题。

3.1 季节性冻土

3.1.1 概述

莫喀高铁沿线地处东欧平原,地表普遍被第四系冰水、冰川及冲积成因的松散粉土、粉沙、粉质黏性土、砂卵砾石层覆盖,由于地处高纬度高寒地带,冬季地表为积雪覆盖,稳定的积雪覆盖层形成于 11 月中下旬至 12 月中旬,在冬季末期积雪覆盖层的厚度达 30~60 cm,最大达 1.1 m。积雪完全融化通常在四月中旬,个别年份在四月末。根据俄罗斯这种气候及地形地质条件,拟建铁路沿线广泛分布季节性冻土,冬季冻结,夏季融化,冻土类型及厚度分布如图 2 所示。

高速铁路穿越季节性冻土区将面临路基冻胀与融化压缩变形,路堑边坡融坍、溜泥;桥梁、涵洞基础冻拔及其造成的变形破坏;站房地基冻胀与融化压缩变形、结构开裂等工程地质问题。寒冷气候造成地基土的反复冻融过程对高速铁路的施工、运营危害严重,尤其是地基土经历多个冻融循环与列车动载耦合作用下引起

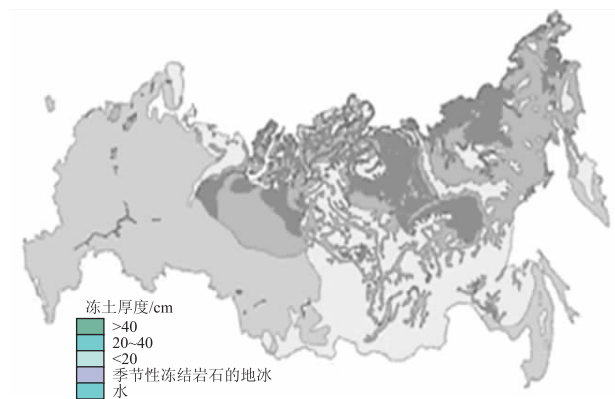


图2 俄罗斯冻土类型及厚度分布示意图

的高速铁路工程地质问题需引起重视。

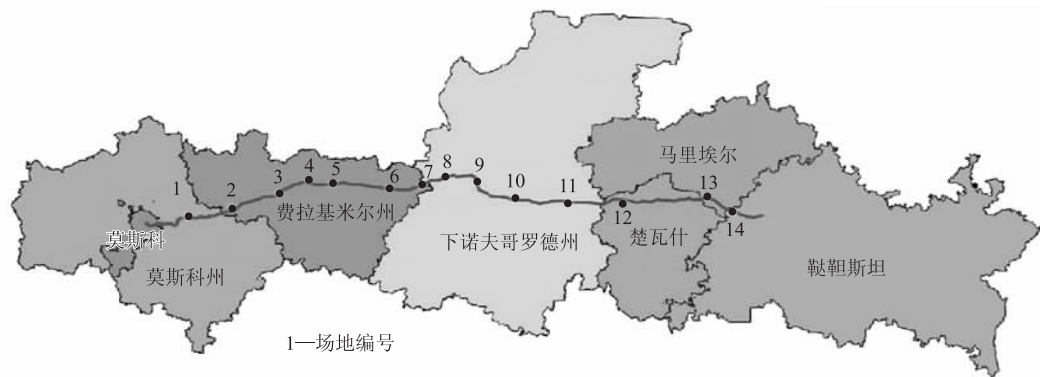


图3 莫喀高铁沿线监测场地分布图

野外监测测试工作由莫斯科大学冻土实验室完成,开始于2016年9月,共完成监测钻孔112孔289 m,在孔内安装了感应仪器、温度计等仪器设备,对沿线地下水位、降雪厚度及密度、季节性冻深、土层温度、冻胀量等参数进行观测测试,观测测试频率10 d/次,比较完整地采集了2016年10月-2017年3月一个冬季7个月的数据。同时,各试验场地还按不同深度取样进行试验,试验内容包括颗粒级配、含水率、湿密度、干密度、颗粒密度、饱和湿度、孔隙率。渗透系数、饱和系数、液塑限、盐渍度、有机物含量、导热系数、体积比热、冻胀等,共完成196处试样的相关试验,编制冻土阶段性数据分析报告4册,同时中铁西北科学研究院在国内开展了室内模型试验、数值模拟试验等冻土研究项目。本科研项目已经于2017年度完成。

本项科研主要成果如下:^[8]

(1)通过现场调查和长期监测,确定了莫喀高铁沿线季节冻土的分布特征。季节冻土在莫喀高铁沿线均有分布,根据2016-2017年寒季实测资料,有雪条件下沿线最大冻结深度总体偏小,均小于1 m,其中8~10号场地最大冻结深度超过50 cm,其余场地低于

3.1.2 冻土研究^[8]

鉴于季节性冻土对高速铁路存在严重危害,在莫喀高铁勘察设计工作开展的同时,中铁二院立项“莫喀高铁沿线季节性冻土工程特性及工程影响研究”科研项目,联合中铁西北科学研究院、莫斯科大学冻土研究室共同研究,其研究目的在于解决高速铁路工程冻胀问题,特别是要解决地基土经历多个冻融循环与列车动载耦合作用下引起的高铁工程地质问题,确保高速铁路安全运营。

根据莫喀高铁沿线气象、气候条件,结合莫喀高铁沿线地形及微地貌单元建立了16个野外监测场地,其中9-2、13-2两个监测点为无雪场地,莫喀高铁沿线监测场地,分布如图3所示。

50 cm。根据查表计算求得各场地的标准冻深,标准冻深明显高于最大冻深,均大于50 cm,最大为1.39 m,如表1所示。并根据各测试点数据,统计分析了莫喀高铁沿线分段季节性冻土最大冻深及计算的标准冻深如表2所示。

(2)根据试验结果,1号、2号、4号、5号、8号和9号场地内5 m深度范围内的土体为弱冻胀;6号、7号、11号、12号、13号和14号场地内5 m深度范围的土体属于中等和强冻胀土;3号和10号场地内5 m深度范围的土体属于强冻胀和特强冻胀土。设计铁路沿线存在着不同的冻胀危险程度。需要根据现场实际冻胀情况采取不同的防冻胀(防变形)措施。

(3)根据现场长期监测资料,季节冻土开始冻结时间为11月末-12月初,达到最大冻深时间为2月上旬,完全融化时间为3月-4月。冻结速率范围0.2~1.1 cm/d,融化速率则普遍高于冻结速率,范围为0.3~1.9 cm/d。

(4)沿线的季节冻土区,雪盖在形成初期和消融末期保温与降温效果并存,但主要以降温效果为主;而在积雪稳定期,主要以保温效果为主,雪盖减小了土体的冻深,在平均雪盖厚度为26.1~28.6cm的情况下,

表 1 莫喀高铁沿线季节性冻土实测冻深与计算冻深

序号	岩性描述	地下水位/m	积雪厚度/m	实测最大冻深/m	计算标准冻深/m	冻胀等级
1	砂质亚砂土	0.8~1.05	0.25	0.19	0.82	弱冻胀土
2	亚砂土	1.4~1.7	0.34	0.38	1.05	弱冻胀土
3	有机质亚砂土	0.5~0.8	0.31	0.19	0.92	强冻胀土
4	砂质黏土	1.7~2.96	0.5	0.35	0.61	弱冻胀土
5	亚砂土	0.6~5.0	0.36	0.30	1.39	弱冻胀土
6	有机质砂质黏土	1.0~1.7	0.60	0.25	0.74	中等冻胀土
7	有机质亚砂土	>5.0	0.45	0.29	1.21	中等冻胀土
8	亚砂土	1.73~1.9	0.45	0.58	1.09	弱冻胀土
9~1	亚砂土	>5	0.40	0.90	0.78	弱冻胀土
10	有机质砂质黏土	>5	0.43	0.7	0.75	强冻胀土
11	有机质砂质黏土	0.25~1.2	0.46	0.39	0.65	中等冻胀土
12	有机质砂质黏土	>5	0.6	0.38	0.93	中等冻胀土
13~1	有机质砂质黏土	2.46~2.05	0.5	0.43	0.73	中等冻胀土
14	有机质亚砂土	>5	0.57	0.17	0.81	弱冻胀土
9~2	亚砂土	>5	—	1.10	0.78	弱冻胀土
13~2	有机质砂质黏土	2.46~2.05	—	0.57	0.73	弱冻胀土

表 2 沿线季节冻土实测最大冻结深度(标准冻深)分区

起迄里程	最大冻深/cm	标准冻深/cm	区域地形	微地貌
K 000+000~K 078+375	19	82	莫斯科高地	森林
K 078+375~K 357+750	38	105	弗拉基米尔低地	草原、森林、河流阶地
K 357+750~K 499+650	90	78	下诺夫哥罗德低地	森林、田野
K 499+650~K 567+400	39	65	下诺夫哥罗德低地	草原
K 567+400~K 770+000	43	73	伏尔加河沿岸高地	草原、河流阶地

雪盖可以使季节最大冻深减小 22.2%~32.6%。雪盖对季节冻土热状况的影响深度和程度取决于土体含水率的大小,土体含水率越大,雪盖的影响深度和程度就越小,反之则亦然。

(5)影响冻胀的主要因素包括土体的性质、水、温度、含盐量和雪盖。根据研究,沿线冻胀强度高的土体主要是粉粒含量高的亚砂土和砂质粘土;水对土体冻胀的影响很大,课题给出了最大季节冻深和地下水最高水位的最小距离;温度是形成冻胀的主要因素,各场地土的冻胀发生和负温天气持续呈对应关系;沿线场地土体盐渍化程度均为非盐渍土或弱盐渍土(小于1%),含盐量对冻胀的影响效果有限;雪盖对保持土体温度、抑制土体冻结具有良好的效果,能有效缩短冻结融化过程的时间,减小最大冻结深度。

(6)高速铁路属于冻胀敏感性工程,以 4 mm 和 15 mm 为总冻胀量指标提出了新的冻胀分级标准, $h < 4\text{ mm}$ 为弱冻胀, $4\text{ mm} \leq h \leq 15\text{ mm}$ 为冻胀, $h > 15\text{ mm}$ 为强冻胀。根据此标准,沿线观测场地弱冻胀共有 5 处,冻胀 8 处,强冻胀 1 处。弱冻胀场地冻胀产生的路基变形可以通过维修调整,但冻胀和强冻胀则比较困难,需要采取相应的工程对策以消除冻害影响。

(7)通过研究,提出了沿线季节冻土的工程对策,

主要包括换填法、填料和地基土的改良、路基保温和排水。实际应用时应根据具体的工程地质条件综合采用以上几种方法进行冻害防治。

3.2 岩溶及地面塌陷^[3-4,6-7]

3.2.1 岩溶及地面塌陷分布

莫喀高铁可溶岩主要分布在 DK 25~DK 40, DK 150~DK 430 段内,长度约 270 km,主要为石炭系、二叠系的碳酸盐岩和硫酸盐岩,石灰岩为易溶岩石、白云岩为较难溶性岩石,石膏和硬石膏为中等溶解性岩石,总体岩溶中等发育,属于埋藏性岩溶。根据全线地质钻探揭示:岩溶埋藏在第四纪和二叠纪非可溶岩沉积物厚层下方,深度介于 0.3~73.5 m 之间。

最发育的岩溶形态发育在地层的接触面上——覆盖粘土和喀山阶石灰岩(白云岩)、喀山阶石灰岩(白云岩)和萨克马尔阶石膏界面之处。岩溶发育区的厚度在 10~30 m 范围内变化,且不会超过萨克马尔阶硬石膏的顶板(最大值 50 m)。岩溶形态存在以下三种类型:

①空溶洞:深埋岩溶地段钻探揭示 96 个未充填的岩溶洞穴,洞穴埋深介于 14.1~79.0 m 之间,大小在 0.1~7.4 m 之间变化,平均大小为 0.8 m。

②充填性溶洞:钻探揭示 74 个岩溶洞穴为充填型

溶洞,洞穴埋深介于 20.1 ~ 71.0 m 之间,大小在 0.1 ~ 7.2 m 之间变化,平均大小为 1.1 m。

③溶蚀破碎带:溶蚀破碎带具有岩体破碎、多裂隙及严重风化特点,岩性为泥灰岩、白云岩、石灰岩、石膏和硬石膏。溶蚀破碎带厚度在 0.1 ~ 35.5 m 之间变化,平均值为 3.1 m,发育深度介于 4.1 ~ 87.1 m 之间。

地下岩溶发育直接导致地面产生岩溶塌陷,其地表表现形态岩溶漏斗、洼地、湖泊等负地形。莫喀高铁线路方案选线已经大部分绕避地表塌陷坑,但通过可溶岩覆盖层地段仍存在较大的岩溶地面塌陷风险。

3.2.2 岩溶及地面塌陷典型地质断面分析

DK 369 ~ DK 401 地质断面如图 4 所示,本段覆盖层为第四系冲积层,主要为粉状到颗粒状的砂土,含有机质,并含砾石卵石颗粒,局部夹有软塑状亚黏土层,湿润至饱水状态,厚 21.0 ~ 43.1 m。下覆基岩为二叠系上统半坚硬状至坚硬状黏土岩,含泥灰岩和亚黏土夹层,最大深度为 67.9 m,厚度 14.7 ~ 26.2 m;下部为二叠系下统低强度、多孔的、有缝隙的泥灰岩,埋深 44.7 ~ 67.9 m,未揭穿该层底部。本段地下水为潜水埋深 1.8 ~ 8.0 m。在 DK 396 + 000 处钻孔揭示两处较大溶洞,一处发育于二叠系上统灰岩层中,深度为 37.3 ~ 44.7 m,洞径为 7.4 m。另一处发育于下统泥灰岩地层中,深度为 44.9 ~ 48.8 m,洞径为 3.9 m。

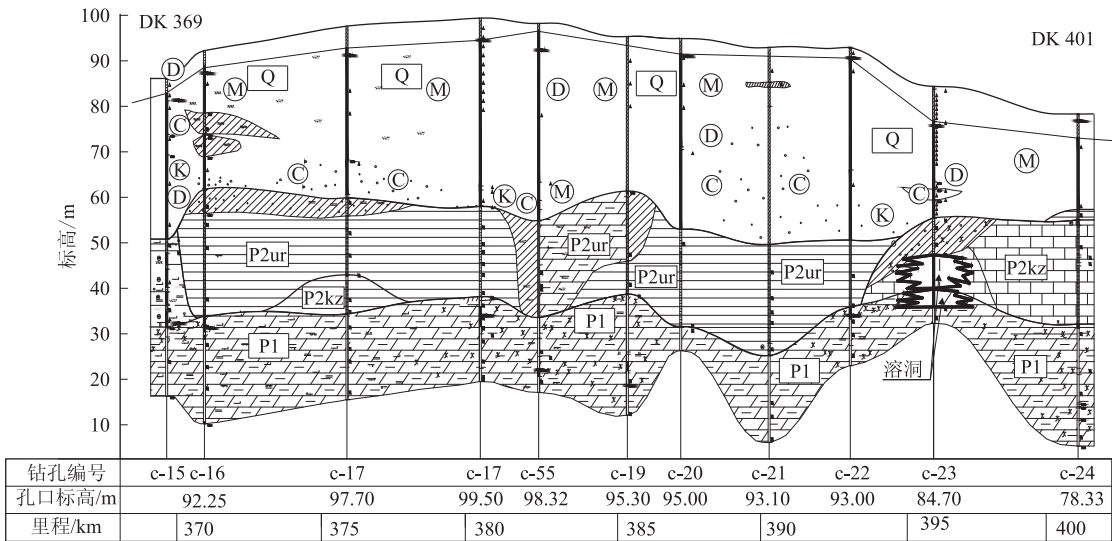


图 4 典型可溶岩溶洞、土层地层结构地质纵断面

3.2.3 地面塌陷机理^[5-6]

根据莫喀高铁沿线地质调绘及钻探揭示,形成地面塌陷的机理主要为土体潜蚀及溶洞塌陷两类地面塌陷成因。其中土体潜蚀是莫喀高铁沿线地面塌陷最主要的原因,由于沿线第四系土层多为黏土质亚砂土、砂土,地下水的波动极易造成土体中细小颗粒随着地下水流动带走,或流于下伏可溶岩溶洞之中或排泄与河谷、低地中,大量细小颗粒流水,土体中产生空洞或极为疏松,从而在地面形成塌陷坑。

另一类塌陷机理则是可溶岩中岩溶洞穴在地下水不断溶蚀作用下,溶洞顶板发生坍塌,当这种岩溶洞穴发生在土石界面附近时,上覆土体失去顶托,从而产生由下往上的陷落,直至地表发生地表,这种发生在可溶岩土石界面附近的溶洞顶板坍塌引起的地表陷落、塌陷往往是突发性。

3.3 软弱地基土^[6]

沿线软土、松软地基土主要分布于河谷低地、湖泊

沼泽及洪泛区地段,沼泽及洪泛区在莫喀高铁沿线区域断续出现。

3.3.1 莫斯科 ~ 弗拉基米尔(含)段

CK 23 ~ CK 200 段厚度超过 0.5 m 的软土、沼泽地段长度约 26 km。主要分布于克利亚齐玛河沿岸及沿线湖泊 ~ 沼泽区域。多为有机质土、泥炭,厚度 0.3 ~ 2.7 m,局部达 3.5 m,其次为含泥炭杂质的亚黏土和黏土,软塑至流塑状。沼泽占据了梅晓拉洼地范围内的大范围空间,主要是在较低台地和分水岭表面上。成因为湖泊 ~ 沼泽的泥炭,平均深度为 0.7 ~ 1.5 m,少数为 2 ~ 4 m。

3.3.2 弗拉基米尔 ~ 下诺夫哥罗德段

聂尔林斯克 ~ 克利亚济马洼地区域内在奥卡、克利亚济马和它们支流的河谷中沼泽是很常见的,在大多数的沼泽中是寸步难行的,且为含有泥炭的洼地类型。泥炭的厚度为 3 ~ 4 m,有时达到 7 m。CK 200 ~ CK 420 段软土主要分布于 CK 213、CK 225、CK 287 ~

CK 288、CK 294、CK 349、CK 350 ~ CK 352、CK 356 ~ CK 357、CK 360 ~ CK 362、CK 365 ~ CK 368、CK 376、CK 377 ~ CK 378、CK 380 ~ CK 384、CK 403 ~ CK 414段。其中不同深度夹层状分布的有机质亚黏土厚0.3~0.6 m,最大7.1 m。湖泊沼泽形成的泥炭平均厚度0.7~1.5 m,少数为3~5 m。

3.3.3 下诺夫哥罗德~切博格萨雷段

沼泽存在于沿线狭长地带、河谷和沟谷中,在伏尔加河右岸低平面分水岭的单独区域中,在左岸台地的水平面上是很常见。泥炭的平均厚度为1~3 m,部分地段达到18 m。

CK 420 ~ CK 630 段软土主要分布于CK 420 ~ CK 430、CK 470 ~ CK 485、CK 540 ~ CK 560 段,厚度1.5~18 m不等,为有机质土、泥炭;此外还有埋藏在不同深度以夹层状分布的有机矿物土、含有机质杂质且液性指数不同的亚砂土和亚黏土。

3.3.4 切博格萨雷~喀山段

CK 630 ~ CK 770 段软土、松软地基土主要为人工填土、有机土和有机矿物土。人工填土分布在道路交叉填方处及居住点处,有机土和有机矿物土分布在什涅尔波斯河和大齐维利河河谷漫滩处,主要为强腐化的泥炭和泥炭含量中等的黏土。

高速铁路对路基沉降要求较高,根据中国标准,无砟轨道的路基沉降不应大于15 mm,因此,在上述涉及到的软弱地基土分布地段,都不应直接在地基土填筑路堤,应进行地基处理,提高地基土强度,充分控制路堤填筑后的沉降变形,满足高速铁路技术标准要求。

4 预防及整治

4.1 岩溶及地面塌陷严重段方案绕避^[5-7]

隐伏岩溶强烈发育及严重地面塌陷对高速铁路稳定性存在极大危害,首先高速铁路线路方案要绕避隐伏岩溶强烈发育及地面严重塌陷地段。为此,中俄双方工程师通力合作,在(岩溶)地面塌陷严重段落,进行了多方案线路方案比选工作,基本绕避了地表岩溶塌陷严重地段。在针对莫喀高铁线路进行岩溶调查研究过程中,划分出了2段地面塌陷相对强度为II级的岩溶潜在危险路段进行了岩溶改线绕避。分别是皮沃瓦洛娃区域和捷尔任斯克区域。

(1) 皮沃瓦洛娃岩溶改线段

CK 289 ~ CK 294 段内发育有高密度的岩溶潜蚀坍塌坑、大型漏斗坑(直径超过20 m)和岩溶湖泊,也发现有新形成的坍塌坑(直径5~20 m),段内石灰岩,白云岩,石膏硬石膏位于黏土层以下40~50 m。除潜蚀坍塌外、常规的喀斯特溶洞塌陷形成机理也可能出

现,即当可溶岩溶洞空腔直径达到一定限度以后,溶洞顶层发生坍塌陷入洞腔,地表形成了塌陷坑。

由于该段岩溶发育及地面塌陷严重,对铁路工程及今后列车运行构成直接威胁,因此决定绕避此段危险区域。初期研究共有4个绕避方案,南北方各2个,后经过对获取的资料进行详尽分析以后,选择了以北3 km的绕避方案。绕避方案的迫切性体现在,2017年10月12日发现位于离线路初始方案附近不远处的萨坎齐湖再次发生了岩溶塌陷现象,湖水全部渗入地底。

(2) 捷尔任斯克区域

CK 370 ~ CK 410 段广泛发育有岩溶湖、凹地、漏斗坑和其它岩溶潜蚀现象。该段可溶岩埋藏深度60~70 m,覆盖层厚。多数岩溶~潜蚀现象表现为局部湿陷,沉降,塌陷。其形成的过程为:地下水位变动导致潜蚀、细颗粒通过石灰岩裂缝流失,黏土中碳酸盐杂质发生溶解。常规的喀斯特形成机理在该段也时常出现,即当可溶岩溶洞空腔直径达到一定限度以后,顶板发生坍塌陷入洞腔,地表形成了塌陷坑洞。根据调查和研究结果,决定绕避潜在岩溶危险区域。

4.2 工程整治

4.2.1 岩溶及地面塌陷地段^[6]

线路难以绕避的可溶岩及易于产生地面塌陷地段,对于覆盖土较薄地段,一般来说小于20~30 m,工程设计中采用地表多序次钻孔注浆方式封闭土石界面,阻止地下水流动潜蚀,减少地面岩溶塌陷对高铁工程带来危害。

对于覆盖土厚度大于30 m、易于产生地表塌陷地段,工程设计采用抬高线路纵坡,增设桥梁工程,以桩基础形式通过岩溶易塌陷地段,确保高铁工程安全。

4.2.2 软弱地基土

对全线软弱地基土,为满足高铁对地基土沉降标准要求,对于小于3 m的薄层松软地基土,设计采用挖出换填处理措施,对于厚层松软地基土,一般采用复合地基加固处理,提高地基土承载能力。在莫喀高铁初步设计中,中俄工程师主要采用了挖出换填、铺设高强度土工布、挤密砂桩、CFG桩等工程措施加固软弱地基土,提高地基土强度。

4.2.3 季节性冻土^[6,8]

由于特殊的地理环境及土质特点,季节性冻土在莫喀高铁沿线均有分布,为减轻土体冻融对高铁工程危害,在初步设计中,路堤结构一般由沥青混凝土封闭层、第一保护层、第二保护层、保护层以下由路堤、边坡防护、排水系统等组成,设计断面如图5所示,防冻胀采用“防排疏渗”的防冻胀结构型式:(1)设置全断面沥青混凝土封闭层;(2)保护层采用渗透性好的非冻

胀填料,厚度不小于冻结深度;(3)电力通信电缆槽移出路肩;(4)线间排水通过轨道基座伸缩缝实现。

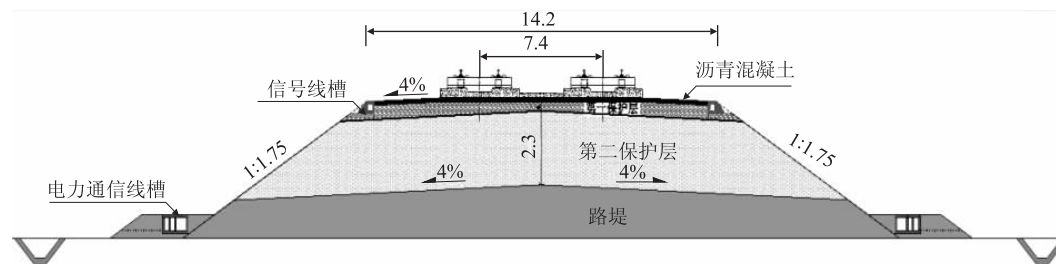


图5 典型路堤防冻胀设计断面(m)

路堑地段采取了挖除换填、增设渗水盲沟、天沟等防排水措施,边坡采用种植草皮、保温板等保温措施。路堑结构一般由沥青混凝土封闭层、第一保护层、第二保护层、中粗砂防水层、边坡防护、排水系统、支挡结构

等组成。设计断面如图6所示。防冻胀结构型式主要为:(1)设置全断面沥青混凝土封闭层。(2)基底铺设一层15 cm中粗砂加复合防排水板、两端铺设排水纵向盲沟。

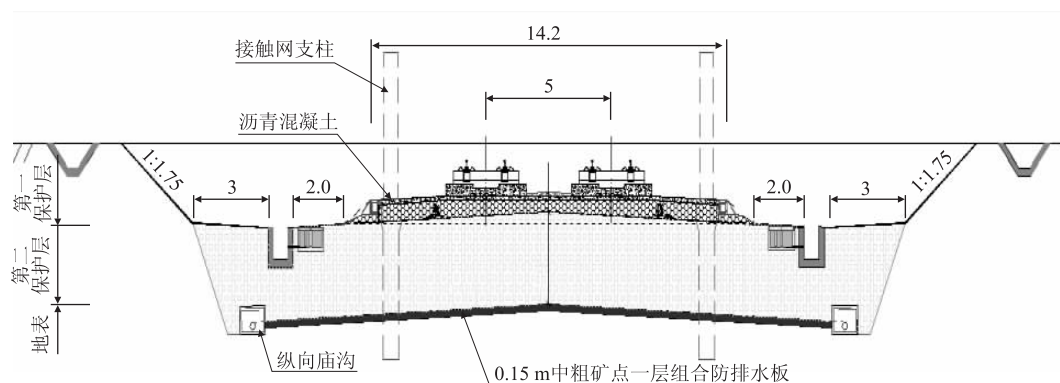


图6 典型路堑防冻胀设计断面(m)

除此以外,严格控制填料中细颗粒含量,结合中国高铁标准及科研成果,填料中细颗粒含量控制在15%以下,如果填料细粒含量较高,为防止冻胀,设计中采用了添加水泥等对填料进行改良后再行填筑。这些措施可有效减轻季节性冻融对路基工程危害。

5 结论

(1)莫喀高铁地处东欧平原,沿线地形平坦开阔,工程地质条件简单,沿线主要工程地质问题是季节性冻土、隐伏岩溶及地面塌陷、软弱地基土,路堤填料也是影响工程建设的关键问题。

(2)季节性冻土全线均有分布,根据专项科研成果,冻结深度小于1 m,与标准冻结深度存在差异,这与全球气候变暖有一定关系。设计中可采用换填、土体改良、保温及防排水等措施减轻冻融对高铁工程危害。

(3)隐伏岩溶及地面塌陷对高铁工程存在较大影响,初步设计中,对于地表存在较多塌陷坑的严重地面塌陷地段采取了绕避的线路方案;对于不能绕避的其余隐伏岩溶及易于产生地面塌陷地段,结合土层厚度

采用多序次注浆、抬坡设桥等工程处理措施。

(4)软弱地基土主要分布于沿线洪泛区、低洼谷地、沼泽区,对于厚度较小地段的软弱土层,初步设计至采用挖除换填工程处理措施,对于厚度较大地段,设计中采用复合地基加固等工程整治措施,较好满足高铁对工程沉降的标准要求。

(5)莫喀高铁全线约80%为路基工程,但是路基合格填料相对较少,初步设计中采用外运合格路基填料的方案。

参考文献:

- [1] 中俄联合体. 工程地质勘察和岩土工程勘察总体技术要求[R]. 莫斯科:中俄联合体,2015.
China - Russia Joint Venture. General Technical Requirements for Engineering Geological and Geotechnical Survey [R]. Moscow: China - Russia Joint Venture, 2015.
- [2] 中俄联合体. 工程地质和岩土工程勘察管理方案[R]. 莫斯科:中俄联合体,2015.
China - Russia Joint Venture. Management Scheme for Engineering Geological and Geotechnical Investigation [R]. Moscow: China - Russia Joint Venture, 2015.

(下转第74页)

Design, 2013, 57(9):9-12.

[4] 朱浩,徐浩,谢铠泽,等. CA 砂浆离缝对 CRTS II 型板式轨道的影响研究[J]. 铁道标准设计,2013,57(12):35-39.

ZHU Hao, XU Hao, XIE Kaize, et al. Influence on CRTS - II Slab Track Caused by the De-bonding of Emulsified Cement Asphalt Mortar [J]. Railway Standard Design,2013,57(12):35-39.

[5] 杨明华. 桥上纵连板式无砟轨道结构的温度翘曲变形及整治[J]. 中国铁路,2012,29(4):78-81.

YANG Minghua. Temperature Warping Deformation and Treatment of Longitudinal Connected Ballastless Track Structure on Bridge [J]. Chinese Railways, 2012, 29 (4): 78-81.

[6] 王雪松,曾志平,元强,等. 抑制 CRTS II 型轨道板与水泥砂浆离缝的技术措施研究[J]. 铁道科学与工程学报,2014,36(1):43-48.

WANG Xuesong, ZENG Zhiping, YUAN Qiang, et al. Study of Technical Measures to Restrain the Gap between CRTS II Slab and Cement Asphalt Mortar [J]. Journal of Railway Society and Engineering, 2014, 36(1): 43-48.

[7] 谭社会. 高温条件下 CRTS II 型板式无砟轨道变形整治措施研究[J]. 铁道建筑,2016,56(5):23-27.

TAN Shehui. Study on Deformation Treatment Measures for CRTS II Slab - type Ballastless Track in High Temperature Condition [J]. Railway Engineering, 2016,56(5): 23-27.

[8] 韩志刚,孙立. CRTS II 型板式轨道轨道板温度测量与变形分析[J]. 铁道标准设计,2011,55(10):41-44.

HAN Zhigang, SUN Li. Temperature Measurement and Deformation Analysis for CRTS II Ballastless Track Slabs [J]. Railway Standard Design, 2011, 55(10): 41-44.

[9] 颜华,胡华锋,曾晓辉,等. 静水作用下板式无砟轨道 CA 砂浆力学性能变化[J]. 高速铁路技术,2014,5(4):7-10.

YAN Hua, HU Huafeng, ZENG Xiaohui, et al. Studies on Mechanical Changes of CA Mortar for Slab Track Under Hydrostatic Effect [J]. High Speed Railway Tehnology, 2014, 5(4): 7-10.

[10] 汪力,王平,吴仁义. CRTS II 型板砂浆层的常见劣化现象及其对轨道结构的影响分析[J]. 铁道标准设计,2012,56(11):11-14.

WANG Li, WANG Ping, WU Renyi. Common Deterioration Phenomena and Effect Analysis of Mortar Bed on CRTS II Track Structure [J]. Railway Standard Design, 2012, 56(11): 11-14.

[11] 刘钰,赵国堂. CRTS II 型板式无砟轨道结构层间早期离缝研究[J]. 中国铁道科学,2013,21(4):1-7.

LIU Yu, ZHAO Guotang. Analysis of Early Gap between Layers of CRTS II Slab Ballastless Track Structure [J]. China Railway Science, 2013, 21(4): 1-7.

[12] 赵虎. 高速铁路 CRTS II 型板式无砟轨道高温变形及损伤机理研究[J]. 铁道标准设计,2017,61(9):46-50.

ZHAO Hu. High Temperature Deformation and Damage Mechanism of CRTS II Ballastless Slab Track on High Speed Railway [J]. Railway Standard Design,2017,61(9):46-50.

[13] 林超. 持续高温对 CRTS II 型板式无砟轨道温度场影响的试验研究[J]. 铁道建筑,2016,56(5):15-18.

LIN Chao. Experimental Study on Influence of Sustained High Temperature on Temperature field of CRTS II Slab - type Ballastless Track [J]. Railway Engineering, 2016, 56(5):15-18.

(编辑:苏玲梅 张红英)

(上接第 43 页)

[3] 莫斯科交通设计院研究院. 各类工程地质勘察成果报告[R]. 莫斯科:莫斯科交通设计研究院,2016.

Moscow Transportation Design Institute. Report on the Achievements of Various Engineering Geological Survey [R]. Moscow: Moscow Transportation Design Institute, 2016.

[4] 下洛夫哥罗德地铁设计院. 各类工程地质勘察报告[R]. 莫斯科:下洛夫哥罗德地铁设计院,2016.

Nizhny Novgorod Metro Design Institute, Report on Various Engineering Geological Investigation [R]. Moscow: Nizhny Novgorod Metro Design Institute, 2016.

[5] TB 10012-2007 铁路工程地质勘察规范[S].

TB 10012 - 2007 Code for Geology Investigation of Railway Engineering[S].

[6] TB 10027-2012 铁路工程不良地质勘察规程[S].

TB 10027 - 2012 Code for Unfavorable Geological Condition Investigation of Railway Engineering [S].

[7] TB 10621-2014 高速铁路设计规范[S].

TB 10621 - 2014 Code for Design of High Speed Railway[S].

[8] 中铁二院工程集团有限责任公司,中铁西北科学研究院,莫斯科大学. 俄罗斯莫斯科至喀山高速铁路季节性冻土特征及工程影响研究[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司,中铁西北科学研究院,莫斯科:莫斯科大学. 2017.

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., China Railway Northwest Research Institute Co., Ltd., Moscow State University. Study on Engineering Characteristics of Seasonal Frozen Soil and Influence of It on Engineering of Moscow-Kazan High-speed Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., China Railway Northwest Research Institute Co., Ltd., Moscow: Moscow State University, 2017.

(编辑:刘会娟 张红英)