

文章编号: 1674—8247(2022)01—0103—05
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2022.01.019

沪昆客运专线岗乌隧道 K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 段 病害原因分析

索 朗 张广泽

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

摘 要:岗乌深埋特长隧道为沪昆客运专线贵州段的重点工程和控制工程,于 2016 年 12 月建成通车。隧道 K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 段先后两次发生上拱变形,严重影响了高速铁路的安全运营。本文在全面梳理勘察设计、施工、运营阶段地质和监测资料的基础上,从混凝土质量、隧底围岩、地下水、地应力、混凝土碱活性等方面对病害段上拱原因进行了深入研究。得到隧道上拱变形的主要原因为:(1)隧底结构内存在局部超静水压力;(2)混凝土中存在较多的水平、竖向裂缝;(3)混凝土骨料局部段落具碱活性。原因分析结果为该段隧道上拱变形的彻底整治提供了依据。

关键词:沪昆客运专线;岗乌隧道;上拱变形;原因分析

中图分类号:U457⁺.2 文献标志码:A

Cause Analysis for Defects in Section K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 of Gangwu Tunnel on Shanghai-Kunming Passenger Dedicated Line

SUO Lang ZHANG Guangze

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

Abstract: Gangwu Tunnel, a deep extra-long long as a key and control work of Guizhou Section of Shanghai-Kunming Passenger Dedicated Line, was completed and opened to traffic in December 2016. Since then, the tunnel section K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 has been arched twice, which seriously affected the operation safety of this railway. On the basis of comprehensively exploration of the geological and monitoring data collected in survey, design, construction and operation, this paper makes an in-depth study on the causes of arching in the defected section from the aspects of concrete quality, surrounding rock at the bottom of the tunnel, groundwater, in-situ stress and alkali activity of concrete. The main reasons for the tunnel arch deformation are: (1) There is local hydrostatic pressure in the tunnel bottom structure. (2) There are many horizontal and vertical cracks in concrete. (3) Local sections of concrete aggregate have alkali activity. The analysis results provide a basis for the thorough treatment of the arch deformation of this tunnel.

Key words: Shanghai-Kunming Passenger Dedicated Line; Gangwu Tunnel; arch deformation; cause analysis

沪昆客运专线岗乌深埋特长隧道在贵州省安顺市境内,隧道全长 13 174.0 m。隧道进口处于岗乌镇弯腰树一带,路肩设计标高 1 177.8 m。出口位于光照

电站下游约 1 km 处,设计路肩标高为 868.9 m,全隧为一单面隧道。隧道设置 4 个横通道,其中一号横洞与正线相交点距离隧道进口 3 572 m,横洞与大里程

收稿日期:2020-12-18

作者简介:索朗(1981-),男,高级工程师。

引文格式:索朗,张广泽.沪昆客运专线岗乌隧道 K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 段病害原因分析[J].高速铁路技术,2022,13(1):103-107.

SUO Lang, ZHANG Guangze. Cause Analysis for Defects in Section K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 of Gangwu Tunnel on Shanghai-Kunming Passenger Dedicated Line[J]. High Speed Railway Technology, 2022, 13(1):103-107.

的夹角为 70° ,全长 $1\,595\text{ m}^{[1-2]}$ 。

隧道于2016年12月建成通车。2017年1月5日,隧道K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 段隧底发生开裂变形,开裂严重段主要集中在K 1953 + 622 ~ K 1953 + 632。轨道上拱最大里程为K 1953 + 625,上行线轨道高程比设计高程最大高出 13.3 mm ,比联调联试期间高程高出 5 mm ;下行线轨道高程比设计高程最大高 7.4 mm ,比联调联试期间高程高出 4 mm ;轨向未见变化。2017年2-5月对病害段进行了工程地质勘察,并从混凝土质量、隧底围岩、地下水、地应力等方面进行了病害原因分析,并根据病害原因分析进行了针对性整治,2017年12月完成整治工程。整治工程完成后,隧底变形监测情况显示,隧底仍在持续上拱,上行线变形大于下行线,至2018年1月,已累计上抬 31.7 mm ,平均变形月速率为 2.8 mm 。为彻底整治该段上拱变形病害,确保高速铁路安全运营,查明该段隧

道隧底上拱变形原因意义重大。

1 隧道所处地质背景

岗乌隧道地处云贵高原,隧址区宏观地貌为侵蚀及构造作用形成的中低山区,具有山高谷深的特点,区内的山脉走势与大的地质构造形态和走向基本保持一致,呈北东~南西向展布。隧道穿越的地层为三叠系中统杨柳井组(T_{2y})、关岭组(T_{2g})及下统永宁镇组(T_{1yn}),岩性为块状白云岩、薄至中厚层状灰岩、泥质灰岩(偶夹角砾状为云岩、石膏假晶和板柱状石膏晶簇)、泥岩、页岩,局部含薄层石膏。隧道洞身位于普安旋扭构造变形区的法郎向斜北翼。隧道区域内发育啦戛-河头上断层、啦戛-纸厂正断层、萝卜坡-旧屋基断层、葫芦井-樱桃窝断层、扒煤断层等多条断裂构造。隧道洞身穿越葫芦井-樱桃窝断层,隧道纵断面如图1所示。

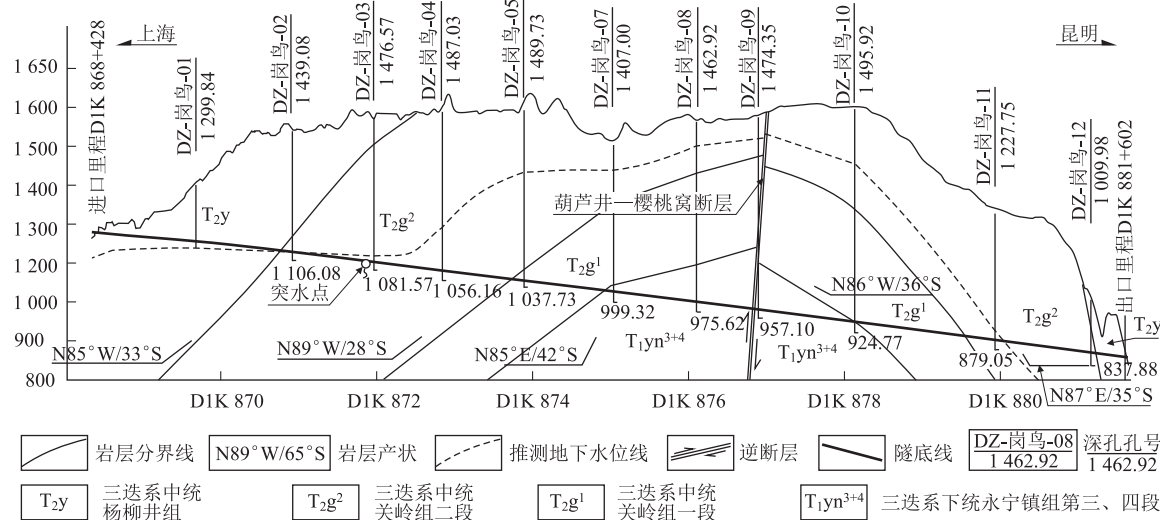


图1 岗乌隧道纵断面图

2 K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 段病害

2.1 原设计情况

K 1953 + 480 ~ K 1953 + 532、K 1953 + 632 ~ K 1953 + 712 段设计为Ⅲb型复合衬砌,K 1953 + 532 ~ K 1953 + 632 段设计采用Ⅳa型复合衬砌,通过地层为三叠系中统杨柳井组白云岩夹角砾状白云岩。

2.2 施工阶段变更设计情况

施工阶段将K 1953 + 480 ~ K 1953 + 532、K 1953 + 632 ~ K 1953 + 712 段衬砌由Ⅲb型复合衬砌调整为Ⅲa型复合衬砌。

2.3 整治前变形情况

2017年1月5日,岗乌隧道K 1953 + 600 ~

K 1953 + 700 段隧底发生开裂变形,开裂段落主要集中在K 1953 + 622 ~ K 1953 + 632 段,中心水沟左、右侧有纵向错台裂纹,长 $5\sim 9\text{ m}$,裂纹宽度 $4\sim 5\text{ mm}$,错台高度 $2\sim 3\text{ mm}$,中心水沟有上窄下宽的变形特征。监测资料显示,上行线轨道高程比设计高程最大高出 13.3 mm ,比联调联试期间高程高出 5 mm ;下行线轨道高程比设计高程最大高出 7.4 mm ,比联调联试期间高程高出 4 mm ;轨向未见变化。

2.4 变形上拱整治情况

2017年1月5日发现该段上拱变形,随后进行了上拱原因勘察,并根据上拱原因提出了整治措施,2017年7-9月完成了该段整治工程,主要措施有:

(1)对K 1953 + 610 ~ K 1953 + 660、K 1953 + 685 ~

K 1953 + 710 段中心水沟进行封闭。

(2)对 K 1953 + 610 ~ K 1953 + 640 段轨道板两侧增设压力型预应力锚杆加固,设计锚固力 200 kN。

(3)对 K 1953 + 610 ~ K 1953 + 640 段隧底开挖轮廓线外不密实的部位进行充填注浆加固。

(4)对 K 1953 + 610 ~ K 1953 + 660、K 1953 + 685 ~ K 1953 + 710 段仰拱及仰拱填充进行充填注浆加固。

(5)对 K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 段增设排水降压孔。

(6)增设泄水洞 1 座,并于 K 1953 + 625 处泄水洞内增设 1 处集水廊道,集水廊道内向正洞方向增设集水钻孔。

2.5 整治后变形情况

本段上拱于 2017 年 12 月完成整治,但整治完成后的监测数据显示,K 1953 + 615 ~ K 1953 + 650 段上拱变形仍在持续,且右线变形大于左线,最大上拱值仍位于 K 1953 + 625 里程处,左线累计上拱 14.9 mm,平均变形月速率为 1.3 mm;右线累计上拱 31.7 mm,平均变形月速率为 2.8 mm。

3 上拱变形段落病害原因

3.1 现场勘探及实验情况

3.1.1 隧底围岩情况

先后对变形段实施了 3 个较深钻孔(深度大于 10 m)和 6 个浅孔(深度小于 2 m,主要用于揭示隧底混凝土情况)。钻探揭示,该段隧底基岩为白云岩夹角砾状白云岩,弱风化,岩体较完整。

3.1.2 地下水情况

2017 年 2 月,终孔 24 h 后孔内采用简易抽水试验抽至孔底,现场观察见岩溶裂隙水在 2.1 ~ 3.3 m 处局

部富集,均有小股状水涌入孔内,孔内恢复稳定水位为 0.9 ~ 1.2 m。2018 年 6 月,K 1953 + 620 ~ K 1953 + 630 段 6 个降压孔补充勘探揭示,地下水位为 0.13 ~ 1.18 m,SDZ-岗 1-2 孔内出水深度为 1.2 m 处、SDZ-岗 1-3 孔孔内出水深度为 1.1 m 和 1.6 m 处、SDZ-岗 1-4 孔孔内出水深度为 1.2 m 处,多位于仰拱填充与仰拱间的施工缝处。分析地下水主要来源于中心水沟及侧沟的常流水补给^[3]。

3.1.3 物探成果

采用地质雷达、井中摄影、声波测井、井间电磁波层析成像和井间地震波层析成像 5 种方法对病害上拱段进行了综合物探。

(1)隧底结构厚度

该段隧底结构厚度(素混凝土厚度 + 钢筋混凝土厚度 + 喷射混凝土厚度)为 1.77 ~ 2.15 m。

(2)欠密实带

在 K 1953 + 520.5 ~ K 1953 + 521.5、K 1953 + 574.5 ~ K 1953 + 575.5、K 1953 + 609.5 ~ K 1953 + 610.7、K 1953 + 726 ~ K 1953 + 727 和 K 1953 + 800.4 ~ K 1953 + 801.4 段基岩与隧底交界面附近的深度范围存在欠密实带,厚约 0.15 ~ 0.25 m。

(3)岩溶

SDZ-GW-01、SDZ-GW-02、SDZ-GW-03 孔对井间电磁波层析成像的成果资料显示,在 K 1953 + 619 深度约 8 m 位置和 K 1953 + 631 深度约 9 m 位置存在溶蚀破碎带。

3.1.4 钻探揭示隧底结构情况

结合施工阶段隧底围岩揭示情况及上拱情况,在该段有针对性地布置了 3 个钻孔,各孔揭示隧底结构情况如表 1 所示。

表 1 深钻孔揭示隧底混凝土情况明细表

钻孔编号	设计为Ⅳa型衬砌	设计衬砌结构及厚度/cm	钻探揭示厚度/cm	混凝土岩芯完整程度	裂缝发育情况	备注
SDZ-GW-1	仰拱填充	125	110	0.25 ~ 1.1 m 竖向贯通裂缝,岩芯从中部断开	0.25 ~ 1.1 m 见 1 竖向缝,1.1 m 施工缝	—
	仰拱	55	75	岩芯呈柱状、短柱状	1.60 m 水平缝	初支不明显
	初支	10				
SDZ-GW-2	仰拱填充	125	115	0.1 ~ 1.0 m 竖向贯通裂缝,岩芯从中部断开	0.1 ~ 0.7 m 见 1 竖向缝	—
	仰拱	55	75	岩芯呈柱状、短柱状	1.15 m 为施工缝、1.58 m 见 1 水平缝	初支不明显
	初支	10				
SDZ-GW-3	仰拱填充	125	120	0.3 ~ 1.2 m 竖向贯通裂缝,岩芯从中部断开	0.3 ~ 1.2 m 竖向缝,1.2 m 为施工缝	—
	仰拱	50	60	岩芯呈柱状、短柱状	无	初支不明显

由表 1 可知,岗乌隧道混凝土厚 1.8 ~ 1.9 m,3 孔均有竖向裂缝发育,深度分别为 0.25 ~ 1.1 m、0.1 ~

1.0 m、0.3 ~ 1.2 m,其贯通性较好,岩芯均从中部断开成两半边状,且 0.95 ~ 1.58 m 深度均有多条水平裂缝

分布。性的浅孔钻探,以揭示隧底混凝土及排水为主要目的,浅孔揭示情况如表 2 所示。

该段病害整治结束后上拱变形仍在继续,且趋势明显,因此在 2018 年 6 月再次对病害段落进行了针对

由表 2 可知,上拱病害段混凝土存在较多的水平、

表 2 K 1953 + 620 ~ K 1953 + 630 段 6 个浅孔揭示混凝土情况汇总表

钻孔编号	设计衬砌结构及厚度	钻探揭示厚度/cm	混凝土岩芯情况	破损岩芯 /%
SDZ-岗 1-1	Ⅳa 型衬砌厚 190 cm 填充:125 m 仰拱:55 cm 初支:10 cm	200	0.4 ~ 1.4 m 岩心较破碎,采取率偏低,多呈块体状	50
SDZ-岗 1-2		200	0.3 ~ 0.5 m,0.8 ~ 1.0 m 及 1.55 ~ 1.65 m 岩心潮湿,含水量较高	25
SDZ-岗 1-3		180	0.3 ~ 1.0 m 岩心潮湿,含水量较高,0.45 ~ 0.8 m 处岩心破损,采取率偏低,表面不光滑;1.15 ~ 1.4 m 岩心破碎	53
SDZ-岗 1-4		200	0.3 ~ 1.1 m 岩心潮湿,含水量较高,采取率偏低,表面不光滑	35
SDZ-岗 1-5		200	0.3 ~ 1.35 m 岩心潮湿,含水量较高,采取率偏低,表面不光滑	52
SDZ-岗 1-6		-	岩心潮湿,含水量较高,采取率偏低,表面不光滑	-

竖向缝缺陷,岩心局部有破损,采取率偏低,钻出岩心成形差、表面不光滑,破损岩芯占比在 25% ~ 53% 不等。

3.1.5 地应力

采用应力解除法对病害段地应力进行了重新测试,测试点位于 1 号横洞泄水洞 K 1957 + 312 左侧约 29 m 右边墙处。测试结果为:最大主应力值为

13.2 MPa,方向为 351°,最大主应力方向与隧道轴线的夹角约为 62°,最大主应力倾角为 29°,以近水平为主,不存在高地应力问题。

3.1.6 混凝土碱活性试验

为了彻底查明上拱变形原因,在 2017 年勘察手段基础上增加了混凝土碱活性实验研究。在该段浅孔中取样进行化学分析,结果如表 3 所示。

表 3 K 1953 + 622 ~ K 1953 + 625 段混凝土碱活性情况表

送样号	取样里程	取样深度 /m	化学成份/%								压汞试验 孔隙率/%
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	
SDZ 右-1-1/2	K 1953 + 622 右 0.4 m	0.15 ~ 1.1	6.62	2.20	3.42	40.30	8.56	0.448	0.097	4.57	28.32
SDZ 右-2-1/2	K 1953 + 622 右 0.4 m	1.6 ~ 2.1	15.84	4.07	2.34	34.92	6.66	1.04	0.142	4.59	27.89
SDZ 左-1-1/2	K 1953 + 625 左 0.4 m	0.8 ~ 1.15	15.91	2.36	3.66	41.21	9.89	0.76	0.14	4.38	29.02
SDZ 左-2-1/2	K 1953 + 625 左 0.4 m	1.4 ~ 1.8	7.12	2.44	4.59	34.94	11.21	0.53	0.142	4.32	28.32

由表 3 可知,混凝土样品中水泥的化学成分稳定性差,水化反应异常,侵蚀性介质对水泥的破坏作用较大。压汞试验结果表明试验样品的孔隙率大于 20%,水泥在水化反应过程中分解流失和收缩作用明显,造成混凝土孔隙率增大,脆性增强,泥化作用明显。混凝土病害为水泥、添加剂和混凝土骨料的碱活性反应^[4-5]。

3.2 隧底分层监测

为验证上拱病害原因,在隧道 K 1953 + 625 处设置了隧底分层沉降观测点,观测点设置深度为 0 m(隧道填充层)、1.3 m(隧道仰拱处)、2.3 m(隧底基岩)。2017 年 2 月 24 日至 2018 年 12 月 16 日的观测数据如图 2 所示。

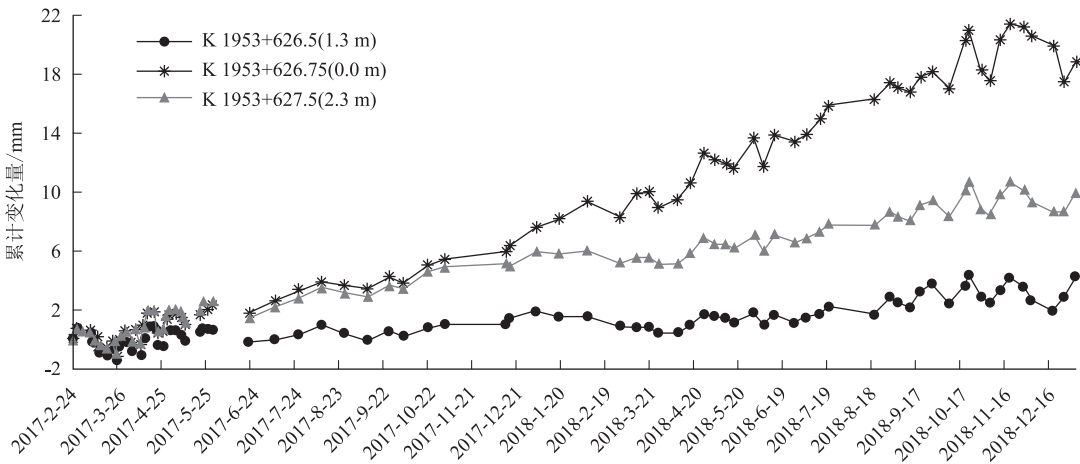


图 2 岗乌隧道 K 1953 + 625 处分层沉降过程曲线图

由图2可知,在观测期间内,仰拱填充层(0 m 观测点)的上拱值一直在持续增加,且从2018年1月20日后仰拱填充层上拱幅度增大,至2018年12月16日累计上拱量达20.4 mm。仰拱顶(1.3 m 处观测点)上拱一直处于波动状态,累计上拱量为3.3 mm,表明仰拱未发生上拱变形,上拱值为误差值。基岩点(2.3 m 观测点)上拱观测值与仰拱顶观测值一致,观测期间一直处于波动变化过程,2018年7月19日后略有增加趋势,但基岩上拱值大于仰拱上拱值属于不合理现象。结合现场分析,该不合理现象可能是由观测误差造成的。故由隧底分层沉降观测可知,该段上拱变形由仰拱填充的持续上拱造成。

3.3 病害原因分析

本段隧道埋深90~155 m,地层岩性为三叠系中统杨柳井组中厚层状白云岩夹角砾状白云岩,属硬质岩,单斜构造,勘探揭示地下水位0.13~1.18 m,隐伏岩溶不发育。在该地质环境下,可能引起轨道抬升的主要因素有:

(1) 隧底结构内存在局部超静水压力

本次 K 1953 + 620 ~ K 1953 + 630 段补充勘探揭示地下水位为0.13~1.18 m,SDZ-岗1-2孔揭示孔内出水深度为1.2 m 处,SDZ-岗1-3孔揭示孔内出水深度为1.1 m、1.6 m 处,SDZ-岗1-4孔揭示孔内出水深度为1.2 m 处,多位于仰拱填充与仰拱间的施工缝中,分析结构中的地下水主要来源于中心水沟及侧沟的常流水补给。

当混凝土存在缺陷时,地下水通过裂缝进入结构中,再通过施工缝进入仰拱与填充层之间,高速铁路运营后,动荷载反复作用下的超孔隙水压力使施工缝逐渐扩展,在地下水的反复抽吸作用下,将泥沙带入裂缝,最终造成无砟轨道抬升,并使仰拱填充层出现纵横向开裂。地下水也同时作用于中心水沟侧壁上,造成局部沟壁向沟心倾斜,沟壁与仰拱填充分离,形成纵向裂缝。

(2) 混凝土存在缺陷

① 结构中存在水平缝、竖向缝

本次 K 1953 + 620 ~ K 1953 + 630 段补充降压孔揭示:混凝土中存在较多的水平、竖向缝等缺陷,岩心局部有破损,采取率偏低,钻出岩心成形差、表面不光滑,破损岩芯占比在25%~53%不等。

② 混凝土骨料局部段落具碱活性

混凝土样品中水泥的化学成分稳定性差,水化反

应异常,侵蚀性介质对水泥的破坏作用较大,混凝土病害为水泥、添加剂和混凝土骨料的碱活性反应,具有综合病害特征。

4 结束语

本文在全面梳理勘察设计、施工、运营阶段地质、监测资料的基础上,从混凝土质量、隧底围岩、地下水、地应力、混凝土碱活性等方面对病害段上拱原因进行了深入分析。认为岗乌隧道 K 1953 + 600 ~ K 1953 + 710 段病害主要原因为隧底结构内存在局部超静水压力和混凝土本身质量存在缺陷造成。本段病害段以硬质岩为主,岩性为白云岩、灰岩、泥质灰岩,基底岩石不会产生变形,但整治后仍持续上拱,且取芯揭示混凝土破损严重,采取率偏低,部分骨料具碱活性,建议根据监测资料确定具体段落,采用换拱处理。

参考文献:

- [1] 喻洪平,张春祥,徐学渊,等.新建铁路沪昆客运专线长沙至昆明段可行性研究报告第四篇-地质[R].成都:中国中铁二院工程集团有限责任公司,2010.
YU Hongping, ZHANG Chunxiang, XU Xueyuan, et al. Feasibility Study Report on Changsha-Kunming Section of Newly-built Shanghai-Kunming High-speed Railway, Part IV-Geology [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2010.
- [2] 郑天池,郑亚飞,乐重,等.新建铁路沪昆客运专线长沙至昆明段可行性研究报告[R].成都:中国中铁二院工程集团有限责任公司,2010.
ZHENG Tianchi, ZHENG Yafei, LE Zhong, et al. Feasibility Study Report on Changsha-Kunming Section of Newly-built Shanghai-Kunming High-speed Railway[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2010.
- [3] 毛邦燕,张广泽,唐兵,等.沪昆客岗乌隧道1#横洞突水机制分析[J].铁道工程学报,2016,33(6):83-87.
MAO Bangyan, ZHANG Guangze, TANG Bing, et al. Analysis of Mechanism of Water-Inrush of the 1# Transverse of Gangwu Tunnel in the Shanghai-Kunming Passenger Special Line[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2016, 33(6): 83-87.
- [4] 甘国权,邵晓妹,李珍.某水电站混凝土骨料碱活性试验[J].地下空间与工程学报,2015,11(S2):545-548.
GAN Guoquan, SHAO Xiaomei, LI Zhen. The Test of Alkali-Activity of Concrete Aggregate from a Hydropower Station[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2015, 11(S2): 545-548.
- [5] 王靖,李固华,周俊杰,等.对混凝土碱活性试验方法的研究[J].建筑科学,2012,28(9):98-100.
WANG Jing, LI Guhua, ZHOU Junjie, et al. Study on Evaluation Method of Alkali Reactivity on the Highly Active Slate[J]. Building Science, 2012, 28(9): 98-100.