

文章编号: 1674—8247(2019)05—0082—05  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2019.05.017

## 广元至阆中段浅层天然气发育区工程地质选线研究

王崇艮

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**兰渝铁路广元至阆中段,长约90 km,是国内第一条主要以隧道工程长距离穿越红层地区浅层天然气发育区及其浸染区的铁路,浅层天然气影响并控制线路走向,选择适宜方案通过,难度极大。文章通过分析区域内含油气构造、油气田相关资料,采用地质调绘、钻孔、现场测试、室内检测、岩石试验等手段,对区域浅层天然气发育进行研究,研究表明:(1)浅层天然气发育程度与油气田及含油气构造相对位置有关,距离越远,影响越小;还与岩性组合、构造情况相关,岩石孔隙比大、地表穹隆构造(背斜)、断裂构造发育区域,浅层天然气发育程度相应高;(2)分析区域内浅层天然气对各线路方案中隧道工程的影响,进行线路方案比选,结果表明中线方案浅层天然气风险最小;(3)本区域浅层天然气发育特征规律、选线原则亦值得在四川盆地浅层天然气发育区工程设置时推广。

**关键词:**地质选线;红层;浅层天然气;油气构造;浸染区

**中图分类号:**U212.32 **文献标志码:**A

82

### Study on Engineering Geological Route Selection for Shallow Natural Gas Development Zone in Guangyuan-Langzhong Section of Lanzhou-Chongqing Railway

WANG Chonggen

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

**Abstract:** Guangyuan-Lanzhou section of Chongqing-Lanzhou railway, which is about 90 km, is the first railway in China passing through shallow natural gas development zone in the red layer area and its dipping area. The railway line selection is very difficult because the shallow natural gas influences and controls the alignment. Through analyses on oil and gas structure, oil and gas field data, the shallow gas development is studied by adopting the means of geological annotation, borehole, on-site test, indoor detection and rock test. The research shows: (1) The development degree of shallow natural gas is related to the relative position of oil and gas fields and hydrocarbon-bearing structures, the farther the distance, the smaller the impact. It is also related to lithologic assemblages and tectonic conditions. The development of shallow natural gas is correspondingly high in areas with large pore ratio of rocks, surface dome structure (anticline) and fault structure; (2) The influence of shallow natural gas on tunnel engineering in each line scheme is analyzed, and the line scheme comparison is made. The result shows that the risk of shallow natural gas in the middle line scheme is the smallest; (3) The characteristics of shallow gas development in this region are also worth popularizing in the engineering setting of shallow gas development areas in Sichuan Basin.

收稿日期:2019-03-20

作者简介:王崇艮(1974-),男,高级工程师。

引文格式:王崇艮. 广元至阆中段浅层天然气发育区工程地质选线研究[J]. 高速铁路技术, 2019, 10(5): 82-86.

WANG Chonggen. Study on Engineering Geological Route Selection for Shallow Natural Gas Development Zone in Guangyuan-Langzhong Section of Lanzhou-Chongqing Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2019, 10(5): 82-86.

**Key words:** geological route selection; red bed; shallow natural gas; oil and gas structure; disseminated area

兰州至重庆铁路,为客货共线大能力运输铁路,是“渝新欧”、“蓉新欧”通道的重要组成部分。广元至阆中段(长度约90 km)线路位于龙门山脉和秦岭山脉的结合部,地处中、低山区,地形困难,地势起伏大,线路基本以桥隧工程通过,隧道工程约占总长度的85%<sup>[1]</sup>。本段出露侏罗系(J)、白垩系(K)红层砂泥岩地层,岩层平缓,厚度大于2 000 m,是典型的红层地质条件。深部埋藏三叠系中统雷口坡组( $T_2l$ )、上统须家河组( $T_3xj$ )地层,是区内主要生烃层(含凝析油),二叠系梁山组、龙潭组亦是重要的产气层,区域内形成川西北油气区<sup>[2]</sup>。对于本段线路而言,浅层天然气是指储存于侏罗(J)、白垩系(K)地层中、工程建设中可能揭示并对工程产生威胁的天然气。浅层天然气发育程度控制本段线路走向。结合沿线地形、地质情况,本段线路主要研究了东线方案、中线方案、西线方案。

## 1 油气构造特征

广元至阆中段区域构造上属扬子准地台四川中台坳(即新华夏系第三沉降带四川沉降带川西北坳陷区,也是中生代主要坳陷区),北西为龙门山主断裂下盘前缘褶皱带,东北为摩天岭-米苍山台缘凸起,两区变形强,构造线走向为南北向及东西向,在广元一带交汇,地表及地腹构造均受这两个主构造控制。

### 1.1 地面构造

区域内地表广泛分布白垩系(K)及侏罗系(J)地层,岩层缓倾,发育宽缓褶皱或鼻状构造,无断裂构造。为典型红层地质条件。自北向南依次展布走马岭向斜、河湾场背斜(气田),射箭河向斜、潼梓关鼻状构造,新场向斜、麻家湾鼻状构造,梓潼大向斜、九龙山背斜,褶皱核部宽缓,一般大于1 km,两翼岩层平缓。总体上东北部褶皱发育,构造变形较强,数量多而规模相对较小。南部数量少、变形弱,其构造分布如图1所示。从深部地震物探成果看,三叠统上统须家组( $T_3xj$ )以上构造特征与地面构造形态相吻合<sup>[3]</sup>。深部油气在长期地质作用下向地表运移,在侏罗系(J)、白垩系(K)地层裂隙、构造中形成聚集气囊,虽然不具有工业开采价值,但对工程造成影响,此区域即为油气浸染区。背斜构造有利于浸染区油气聚集。

### 1.2 潜伏构造

本区域地腹构造指下伏于侏罗系(J)、三叠系(T)的二叠系、奥陶系地层中构造。其构造强烈,褶皱、断

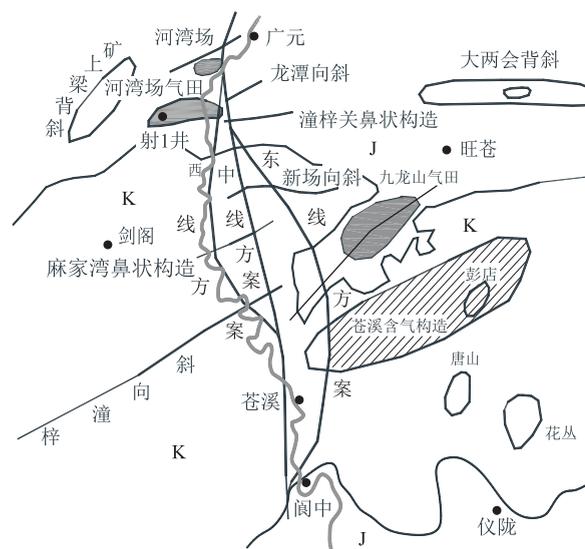


图1 铁路沿线地面构造分布示意图

层极发育。区域位于米苍山台缘凸起与龙门山断裂下盘前缘褶皱交汇带,各构造受不同地质年代主应力大小、方向差异等影响,其类型、规模、方向、性质、形迹组合均有差异。特别在应力重叠区,彼此影响、改造、融合,形成不同构造形迹,褶皱、断层彼此交错。区域内各期构造主应力近南北向,造成的构造迹线总体近东西向,局部表现为弯曲变化。潜伏构造是最主要的油气储存区域。主要潜伏构造有东北向、东西向构造,如向家沟、刘家坎、巫家坝、牟家山、苍溪含气等潜伏构造,如图2所示。

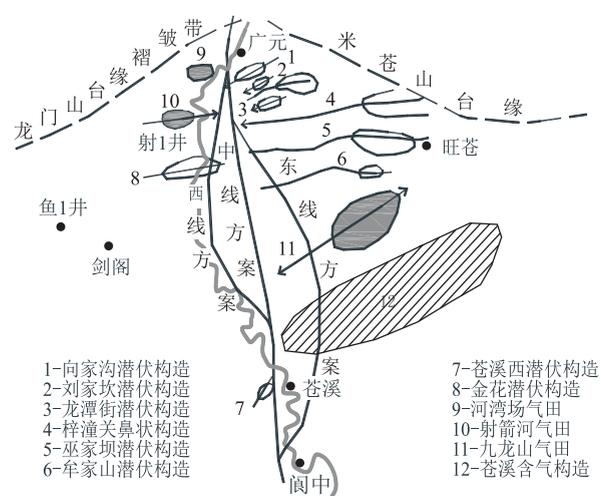


图2 铁路沿线潜伏构造分布示意图

区域内地腹断层主要有两组,呈近北东向、东西向展布,均为逆断层。受区域构造主应力控制,断层走向

与地腹构造走向基本一致,多位于褶皱轴部及两翼,如牟家山、吴家坝、潼梓观、吴家坝潜伏构造等,在构造两翼或轴部均发育逆断层。向北倾斜断层规模较大、数量较少;向南倾斜断层规模较小、数量居多,其潜伏断层剖面如图3所示。从立面上看,地表至三叠系中统顶部未见断裂发育,三叠系中统顶部及以下二叠系、奥陶系地层断层发育。发育于生烃地层的深部断层,存在连续贯通裂隙,使油气上移成为可能。上覆地层中岩层受到油气浸染,在岩石裂隙或构造中局部形成气囊,给铁路施工、运营带来危害。



图3 铁路沿线附近潜伏断层剖面示意图

含油气构造是指油气聚集的有利构造,主要指背斜构造,相对其它构造油气丰度要高的多。部分构造由于不圈闭、盖层不好、储集条件原因或构造遭到断裂破坏等种种原因未聚集形成工业油气藏,成浅层油气释放源,对地表油气显示也有一定的影响。断裂是油气输导系统方式之一,对油气扩散起到重要作用。

## 2 油气田

区域内生烃层主要为三叠系须家河、二叠系茅口、长兴组地层,油气储层主要为三叠系、二叠系砂岩、灰岩地层,埋藏最浅在3300m。储集空间为粒间孔、粒间溶孔、粒内溶孔。四川盆地储集层无论是砂岩、碳酸盐岩物性(孔隙度、渗透率)都很差,必须有裂缝搭配才能形成工业性油气藏。

### 2.1 河湾场气田

位于广元市利州区西南盘龙乡,属川西北坳陷区东北部、紧临龙门山推覆体前缘断褶带。地表为白垩系、侏罗系地层,地腹为二叠系、志留系、奥陶系地层。该地腹构造是龙门山前缘褶皱带向川西北坳陷区过渡的箱状或似箱状背斜构造,呈北东东走向,构造主轴线与龙门山断裂平行,东南翼接触射箭河向斜,西北翼连接走马岭向斜。背斜轴部约北65°东,两翼平缓,西北翼8°~10°,东南翼约17°,倾没角西南端8°,东北端9°。背斜主轴长度大于15km,宽度大于2km,闭合面积约80km<sup>2</sup>。

井区共钻探14口井,气藏埋藏深度大于3000m,地质储量为2.43×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。储气层为长兴组和飞仙关

组地层,投产气井6口,按探明地质储量计算采出程度分别为89.42%和57.56%。油气田分布,如表1所示<sup>[5]</sup>。

表1 油气田分布表

名称	编号	深度/m	完井层位	油气显示地层及深度						
				J <sub>3p</sub>	T <sub>3x</sub>	T <sub>2i</sub>	T <sub>1j</sub>	T <sub>1f</sub>	P <sub>2c</sub>	P <sub>1m</sub>
河湾场	河1井	3305	P <sub>2</sub>	-	-	-	-	-	2648	-
	河6井	4033	D	-	-	-	-	2907	-	-
	河12井	3806.22	P <sub>1i</sub>	-	-	-	-	2882.9	-	-
	河15井	4300	S	-	-	-	-	-	3821	-
射箭河	射1井	5400	P <sub>1m</sub>	3960	-	-	5013	-	-	5274
九龙山	龙4井	6026	P <sub>1m</sub>	-	-	-	-	5882	-	-
	龙7井	3890	T <sub>2i</sub>	-	-	3767	-	-	-	-
	龙15井	3306	T <sub>3s</sub>	-	2629	-	-	-	-	-

### 2.2 射箭河气田

位于广元市元坝区大朝乡,北距河湾场油气田约10km,区域构造属川西北坳陷区东北端,地面出露上侏罗统砂岩、泥岩不等厚地层,构造变形微弱,岩层产状平缓,微向南东倾斜,地面未发现明显构造。根据射1井录井资料可知,三叠系下统嘉陵江组、二叠系下统茅口组地层为射箭河气田主要储层,最浅储层埋深3900m左右。

### 2.3 九龙山气田

位于苍溪县东北部九龙江乡,区域构造属川西北坳陷带北部的米苍山台缘凸起梓潼-通江凹陷中坝、九龙山北东向构造群。该构造群北为吴家坝构造,南至东兴场,东起白果林、高坡子,西至左家坡、龙王场<sup>[4]</sup>。

九龙山气田上覆侏罗系(K)地层,发育一短轴背斜。潜伏三叠系上统须家河组二段为储气层,厚280~310m。储层埋深约3200m,为浅灰色中细粒长石砂岩、石英砂岩、岩屑长石石英砂岩,含气面积为18.6km<sup>2</sup>。九龙山气田完成钻井13口,投产9口,累计产气1.57×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup>。

### 2.4 苍溪气田

位于苍溪县东北3个乡镇,地表出露白垩系砂、泥岩地层,岩层单斜、产状平缓,未见区域构造痕迹。该区北侧为九龙山背斜,东有彭店背斜及唐山背斜,为低幅度穹隆构造。根据综合处理的区域地震资料,表明“苍溪含气构造”是一个具有勘探潜力的含油气圈闭,预测天然气远景储量达8753×10<sup>8</sup>m<sup>3</sup><sup>[4-5]</sup>。目前气田已布井36口,完井19口,正钻井9口,钻前井5口,测试井3口。根据钻探资料,气藏埋深在6240~6950m,测试产量超百万立方米天然气。重新评估天然气储量达5000×10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>。

## 3 浅层天然气发育规律

根据天然气规范,埋深小于1500m的天然气的称

为浅层气<sup>[6]</sup>。对于铁路工程,浅层气指施工可能揭示并对工程建设、运营存在威胁的有害气体。

### 3.1 测试方法

测试采用地质调绘、钻孔、现场测试、室内检测、岩石试验等手段进行。

地质调绘主要确定区域内地层岩性、地质构造、岩性组合特点。钻探编录过程中,重点研究岩芯岩性组合、构造特征、裂隙发育程度等特征,特别对钻进过程中循环液漏失、产生气泡等现象重点分析。野外现场测试选用高灵敏度瓦斯检测仪测定深孔瓦斯浓度,其最低检测瓦斯浓度为5 ppm。采用封闭钻孔以聚集气体、泵抽吸入钻孔内聚集气体进行检测,能检测到存在的微量瓦斯。现场测定钻孔内有无瓦斯溢出、瓦斯溢出浓度。对钻进中循环液气泡产生段、测试有瓦斯显示段、隧道洞身高程附近段取岩样进行室内试验,重点测试岩石的岩性、孔隙率、渗透率以及荧光性。

### 3.2 测试结果

对中线方案、西线方案主要隧道进行钻孔、开展瓦斯现场测试。钻孔34个,最大钻孔深度430 m;有瓦斯显示钻孔19个,最大气体浓度9 740 ppm,天然气显示最浅深度28 m。钻孔瓦斯显示段落岩性为砂岩、泥质砂岩,少量为裂隙发育的泥岩。

区域内油气田为背斜及裂缝性油气田,对隧道工程影响明显。轩盘岭隧道靠近河湾场气田,实测天然气最大浓度值为7 500 ppm,而南侧的将军岭隧道及罗家咀隧道则无天然气显示;九龙山气田对肖家梁隧道影响最大,其最大浓度为8 730 ppm,而向北侧的四方山隧道最大浓度减小为6 500 ppm,再向北玄真观隧道浓度仅有3 820 ppm,中线方案主要隧道钻孔气测显示、钻孔天然气最高浓度曲线如图4、图5所示。可以看出油气田对浅表地层天然气有直接影响,随着距油气田距离增加天然气浓度也逐渐减少。

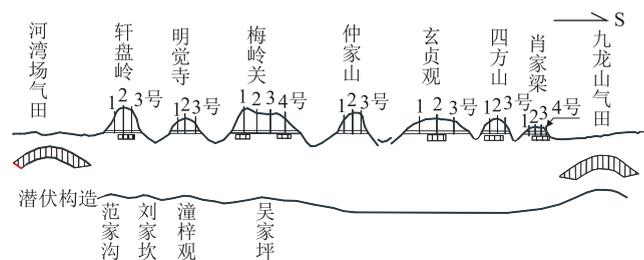


图4 中线方案主要隧道钻孔气测显示示意图

### 3.3 发育规律

根据上述研究,浅层天然气发育具有以下规律:浅层天然气发育程度主要取决于所处区域与含油气构造

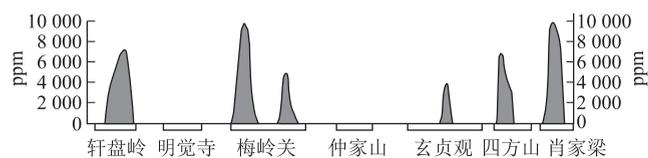


图5 中线方案主要隧道钻孔天然气最高浓度曲线图

的位置关系。在油气田、储气构造、地表穹隆构造(背斜)、断裂分布区及邻近区域浅层天然气相对发育,距离越近,越发育。在油气区及其浸染区,浅层天然气发育具有不均匀性,主要以气囊形式赋存于上盖地层(侏罗系、白垩系地层)裂隙中,向斜、鼻状构造范围隧道深孔易检测出瓦斯。其发育与岩性组合有关,密实度较好的岩性上盖孔隙比大的岩性,发育程度较高;如上覆厚层泥岩、下伏厚层砂岩,砂岩中易储存天然气;岩性组合以泥岩为主地层,岩石密实,裂隙发育程度低,检测出瓦斯概率低。

## 4 方案比选

通过研究,区域内浅层天然气发育程度与油气田及含油气构造相对位置有关,距离越远,影响越小;还与隧道工程洞身岩性组合、构造情况相关。

线路应避免油气田区。线路应绕避储气构造、以及与油气有关的地表穹隆构造(背斜)、断裂构造。对于不能绕避的地表穹隆构造(背斜)、断裂构造,线路宜以大角度穿越。线路以隧道穿越时,应考虑穿越地层的岩性组合特征,走行于岩石密实、裂隙不发育的岩体中。

本段线路区域内分布有河湾场、射箭河和九龙山气田,苍溪含气构造;沿嘉陵江线路方案距离河湾场气田、射箭河气田最近,隧道工程受影响明显。东线方案穿越九龙山气田,受其影响最大。对已探明的油气田,中线方案受影响程度最低。对苍溪含气构造,东线方案正穿该含气构造,受影响最大;沿嘉陵江和中线方案从其边缘通过,受影响程度相当。地腹潜伏构造,范家沟、刘家坎潜伏构造对各方案影响相当;西线方案正穿金花潜伏构造,受影响最大;梓潼观、吴家坝、牟家山潜伏构造对东线方案有一定影响;总体上中线方案受潜伏构造影响最小。地表穹隆构造,潼梓关鼻状构造,各方案受其影响相当;沿嘉陵江和中线方案正穿麻家湾鼻状构造,受影响最大,东线方案受影响最小,如图6所示。岩性组合上,东线方案以侏罗系砂岩、泥岩互层为主,较易于油气存储;中线和西线方案以白垩系泥岩为主,岩层较致密,不易于油气储存。

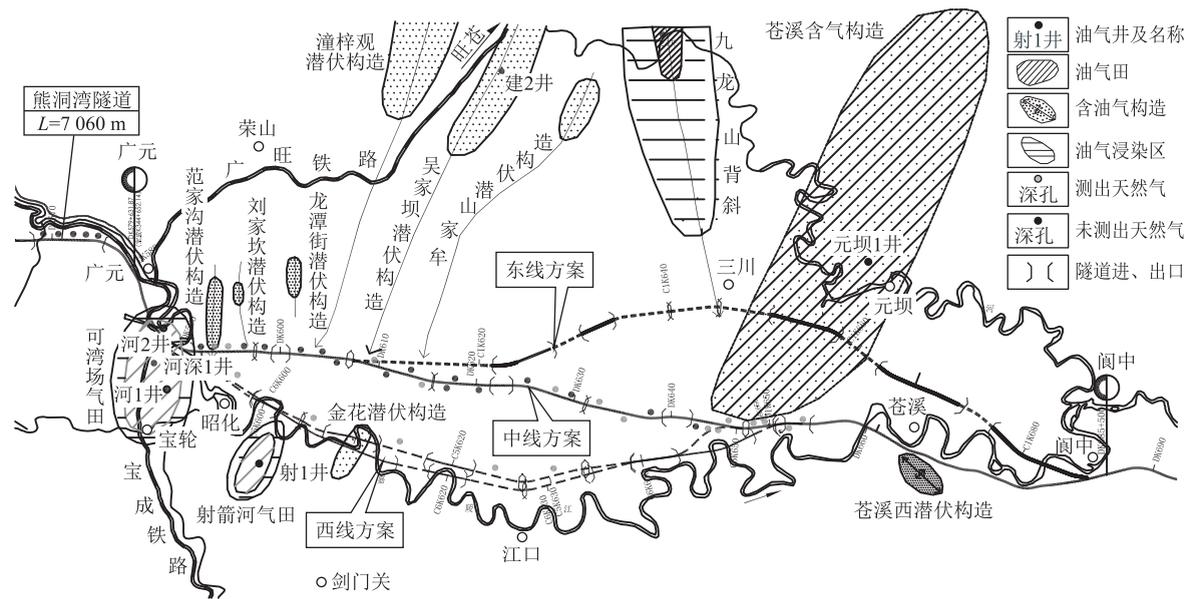


图6 油气构造及隧道天然气检测深孔位置分布图

## 5 结论

(1) 红层地区浅层天然气发育程度与油气田及含油气构造位置、岩性组合、构造类型相关。线路应避免油气田区,绕避储气构造、以及与油气有关的地表穹隆构造(背斜)、断裂构造。不能绕避的地表穹隆构造(背斜)、断裂构造,宜以大角度穿越。以隧道工程穿越时,应考虑穿越地层的岩性组合特征,走行于密实、裂隙不发育岩体中。

(2) 东线方案位于深层油气田、含气构造核心区,浅层天然气极发育。方案穿越部分潜伏构造、地表向斜构造,岩性组合较易于油气储存,隧道施工瓦斯风险极大。

(3) 西线方案紧邻深层油气田、含油气构造区,浅层天然气发育。方案穿越部分潜伏构造、地表鼻状构造,岩性组合较不利于油气储存,隧道施工瓦斯风险大。

(4) 中线方案距离深层油气田有一定距离,紧邻含气构造区,属浸染区,浅层天然气较发育。方案靠近潜伏构造、穿越地表鼻状构造,岩性组合较不利于油气储存,隧道施工瓦斯风险较大。

综合比较,中线方案浅层天然气风险最小,推荐中线方案。

## 参考文献:

[1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 兰州至重庆铁路广元至重庆段

工程地质勘察总报告[R]. 成都:中铁二院工程集团有限责任公司,2009.

China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. General Report on Engineering Geological Survey of Guangyuan-Chongqing of Lanzhou-Chongqing Railway [R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2009.

[2] 赵裕辉. 川东地区高陡构造成因机制及含油气性分析[D]. 北京:中国地质大学,2005.

ZHAO Yuhui. Genetic Mechanism and Oil-gas Analysis of High and Steep Structure in East Sichuan [D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005.

[3] SU Peidong. Prediction of the Toxic and Harmful Gas along the Sichuan-Tibet Railway[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011, 93(10): 2025-2032.

[4] 苏培东,阳旭东,王茂靖. 兰渝铁路广南段浅层天然气对隧道影响研究[J]. 路基工程, 2009,27(2):48-49.

SU Peidong, YAGN Xudong, WANG Maojing. Research on Influences on Tunnel from Shallow Natural Gas in Guangnan Section of Lanzhou-Chongqing Railway [J]. Subgrade Engineering, 2009, 27(2): 48-49.

[5] 邓军桥. 兰渝铁路浅层天然气蕴藏区综合选线研究[J]. 高速铁路技术, 2018, 9(3): 63-66.

DENG Junqiao. Route Selection Study of Lanzhou - Chongqing Railway in Shallow Gas Reservoirs Area [J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(3): 63-66.

[6] 刘杨,姚海波. 天然气高瓦斯山岭隧道地质灾害的特点与预报[J]. 铁道工程学报, 2011, 28(3): 69-71.

LIU Yang, YAO Haibo. Characteristics and Prediction of Geological Disaster of High Gas Mountain Tunnel [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2011, 28(3): 69-71.

(编辑:赵立红 白雪)