

塞尔维亚道路几何设计技术要点

徐达,杨学永,袁英爽,陈东升

(中国铁路设计集团有限公司,天津市 300142)

摘要:随着中国“一带一路”倡议的不断推进,越来越多的中国企业参与中东欧工程项目的建设,这对设计人员在掌握并运用当地规范进行工程设计及咨询方面提出了新的挑战。该文依托匈塞铁路(塞尔维亚段)道路改造设计的具体实践,对塞尔维亚道路几何设计平、纵指标进行了归纳分析。经研究,塞尔维亚道路设计具有完善的设计标准及体系,塞尔维亚规范与中国规范在道路几何设计方面的标准比较接近,规范指标的限定相较中国比较宽泛。其设计理论和体系更加注重路线与地形、环境的配合和协调。在设计中充分强调线形的一致性和连续性,并具有一定的灵活性,给设计者留下充分的设计空间。

关键词:道路设计;匈塞铁路;塞尔维亚标准;几何设计;设计指标

中图分类号:U412.3

文献标志码:A

Technical Essentials of Road Geometric Design in Serbia

XU Da, YANG Xueyong, YUAN Yingshuang, CHEN Dongsheng

(China Railway Design Corporation, Tianjin 300142, China)

Abstract: With the continuous advancement of China's Belt and Road Initiative, more and more Chinese enterprises are participating in the construction of engineering projects in Central and Eastern Europe, which brings some challenges for designers to master and use local codes for engineering design and consultation. According to the concrete practice of road reconstruction design of Hungary-Serbia Railway (Serbia section), the application of horizontal and vertical indexes in road geometric design in Serbian was summarized. It is found that road design in Serbian has perfect design standards and systems. The Serbian code and the Chinese code are relatively close in terms of road geometric design standards, and the specification indexes are more limited than the Chinese ones. Its design theory and system pay more attention to the coordination of route, terrain, and environment. In the design, the consistency and continuity of the line shape are emphasized, with a certain degree of flexibility, leaving sufficient design space for the designer.

Keywords: road design; Hungary-Serbia railway; Serbian standard; geometric design; design index

0 引言

作为中东欧“17+1”合作机制的重大成果,匈塞铁路是“一带一路”倡议下中国铁路走进欧洲的旗舰项目^[1]。项目位于欧洲中东部匈牙利和塞尔维亚共和国境内,线路起点为匈牙利首都布达佩斯,终点为

塞尔维亚共和国首都贝尔格莱德,全长 350 km。其中塞尔维亚境内最高设计速度为 200 km/h,为增建二线扩能改造工程。诺维萨德至苏博蒂察段(以下简称诺苏段),共有 40 条不同等级道路需要平交改立交,包含上跨与下穿等不同形式。根据相关要求,设计技术标准应满足塞尔维亚相关规范、标准和法律要求。

收稿日期:2022-10-18(修改稿)

基金项目:中国与中东欧国家共建“一带一路”重点项目;中国铁设科技研发项目(编号:2021GB102)

作者简介:徐达,男,硕士,高级工程师.E-mail:xuda@crdc.com

塞尔维亚道路设计有该国完善的设计标准及体系^[2]。车辆尺寸及载重的要求遵循欧盟 EU-96/53-ES 及 EU-2002/7-ES 标准^[3];对道路设计各元素及其尺寸的规定很大程度地借鉴了瑞士道路设计标准法规(SVN)^[4];并参考了德国(RAS-L、RAS-Q)与美国及国际组织 PIARC 的一些经验及建议^[5]。塞尔维亚本国的道路设计法规主要有:《规划和建设法》(Sl.Glasnik RS, br.72/09, 81/09 - ispr, 64/10 - odluka US i 24/2011)、《公共道路法》(Sl.Glasnik RS, br.101/05 i 123/07)等^[6]。根据以上法律法规,塞尔维亚最有效的道路规范标准为塞尔维亚共和国道路设计手册(SRDM)^[7]。

1 塞尔维亚道路分类

1.1 按行政分类

- (1) 一级国道:与其他国家相连接,构成欧洲公路网的道路。
- (2) 二级国道:连接两个或多个地区或地区内的主要道路。
- (3) 市政道路:城市内部相互连接的道路。
- (4) 街道:连接街区的道路。

1.2 按功能分类

根据基本功能分为4种道路:长途公路(DP)、连接道路(VP)、集散道路(SP)与服务道路(PP)。各级道路的计算速度见表1。

表1 各级道路的计算速度值 V_r

Table 1 Calculated speed values V_r of roads at all levels

道路类型	$V_r/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$			$V_{r\max}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$
	平原	丘陵	山地	
DP	130	100	80	140(120)
VP	100	80	70	120(100)
SP	90	70	50	100~80
PP	60	50	40	80~60

注:括号内数据为条件受限时的最大速度。

2 道路横断面

2.1 组成形式

道路路基横断面形式应根据道路功能、技术等级、交通量和地形等条件确定^[8]。塞尔维亚道路标准断面形式(GPP)分为:AP、VP、PP3种类型,每种类型又包含多种分类(表2、图1、2)。

表2 标准横断面布置类型

Table 2 Standard cross-sectional layout types

GPP分类	中央分隔带	车道数	硬路肩
AP	有	≥ 4	有
VP	无	2/4	有/无
PP	无	2	无

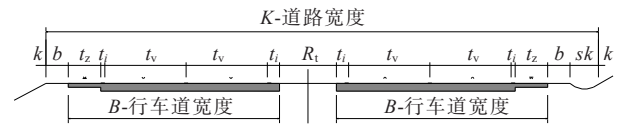
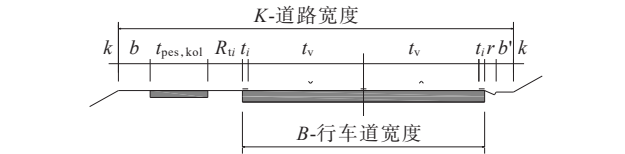


图1 双向四车道标准横断面

Figure 1 Standard cross-section of two-way four-lane road



注: t_v -行车道; $t_{\text{pes, kol}}$ -慢车道; t_r -路缘带; t_z -硬路肩(紧急停车带);
 b -土路肩; k -边坡; R_t -中分带; sk -边沟; R_u -侧分带。

图2 双向两车道标准横断面

Figure 2 Standard cross-section of two-way two-lane road

2.2 车道宽度

车道宽度取决于标准化卡车的宽度和计算速度,应符合表3的规定。

表3 车道宽度

Table 3 Lane widths

计算速度/ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	行驶车道宽度/ m	标准 GPP 和地形特征
$V_{ri} > 100$	3.75	AP(平原)
$80 < V_{ri} \leq 100$	3.50	AP(丘陵,山区)VP、PP
$60 < V_{ri} \leq 80$	3.25	PP
$40 < V_{ri} \leq 60$	3.00	PP
$V_{ri} \leq 40$	2.75	PP

2.3 路缘带

路缘带宽度取值见表4。

表4 路缘带宽度

Table 4 Marginal strip widths

计算速度 $V_{ri}/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	路缘带宽度/m
$V_{ri} \geq 100$	1.00(0.75), (0.50)
$80 \leq V_{ri} < 100$	0.35
$60 \leq V_{ri} < 80$	0.25
$V_{ri} \leq 60$	0.20

注:条件受限时可采用括号内数值。

2.4 路肩

(1) 硬路肩

通常只有在 DP、VP 道路上设置硬路肩,正常宽度为 2.50 m,特殊情况下可以为 2.00 m。在交通量相对较低的双向两车道 VP 道路上可以省略紧急停车带,但每公里须设置一处紧急停车港湾。

(2) 土路肩

土路肩宽度取值见表 5。

表 5 土路肩宽度

Table 5 Road shoulder widths

计算速度 $V_{ri}/$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	没有硬路肩		有硬路肩	
	b_{\max}/m	b_{\min}/m	b_{\max}/m	b_{\min}/m
$V_{ri} > 100$	—	—	1.50	1.25
$80 < V_{ri} \leq 100$	1.50(2.5)	1.25	1.00	0.75
$60 < V_{ri} \leq 80$	1.50	1.25		
$V_{ri} \leq 60$	1.25	1.00		

2.5 路拱坡度

根据路面类型不同,路拱坡度如表 6 所示。

表 6 路拱坡度

Table 6 Road crown slope

路面类型	路拱 $i_{p\min}/\%$
沥青混凝土路面	2.5
水泥混凝土路面	2.0
砂石路面(土路)	4.0

3 道路平面

塞尔维亚道路设计理论和体系注重路线与地形、环境的配合和协调。在设计中充分强调线形的一致性和连续性,强调设计的灵活性。组成平面线形的要素有:直线、圆曲线和缓和曲线^[9]。

3.1 直线

塞尔维亚规范中,直线的长度根据设计速度以及是接同向或反向圆曲线不同而有所变化,不宜过长也不宜过短。

同向圆曲线间直线长度 L_{pr} 要求: $4V_r(\text{km/h}) \leq L_{pr}(\text{m}) \leq 20V_r(\text{km/h})$; 反向圆曲线间直线长度 L_{pr} 要求: $2V_r(\text{km/h}) \leq L_{pr}(\text{m}) \leq 20V_r(\text{km/h})$ 。

3.2 圆曲线

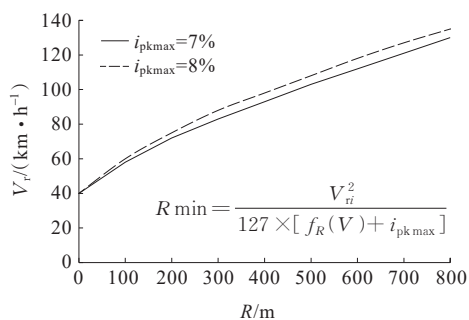
圆曲线半径取值与参照速度的选择相关联,其限定条件见表 7。最大超高下圆曲线半径与速度的关系曲线见图 3。

表 7 圆曲线最小半径和最小长度

Table 7 Minimum radius and minimum length of circular curve

$V_r/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	R_{\min}/m	R_g/m	L_k/m
40	45	180	40
50	75	300	55
60	120	500	70
70	175	700	90
80	250	1 015	115
90	350	1 410	145
100	450	1 810	180
110	550	2 415	215
120	675	3 015	255
130	800	3 620	300

注: R_{\min} 为圆曲线最小半径; R_g 为不设超高的圆曲线最小半径; L_k 为圆曲线的最小长度。



注: f_R 为超高渐变率。

图 3 最大超高下圆曲线半径与速度的关系曲线

Figure 3 Relationship between radius of circular curve under maximum superelevation and speed

3.3 缓和曲线

缓和曲线的视觉及美学效果直接影响驾驶员的心理、生理状况及其决策,对交通安全尤为重要。在表 8 条件下需要设置缓和曲线。

表 8 缓和曲线设置条件

Table 8 Transition curve setting conditions

$V_r/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	R_{\min}/m
≤ 80	$\geq 1\,500(1\,000)$
> 80	$\geq 3\,000$

注: 括号内的值为特殊情况下采用值。

缓和曲线长度应符合表 9 的规定。

3.4 圆曲线超高

圆曲线半径小于表 7 规定的圆曲线最小半径时($R_{\min} < R_i < R_g$),应在圆曲线上设置超高,超高(i_{pi})计算公式为:

表9 缓和曲线最小值 A_{\min} 和推荐值 A_{prep} Table 9 Minimum value A_{\min} of transition curve and recommended value A_{prep}

$V_r/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$A_{\min \text{VD}}/\text{m}$	$A_{\text{prep VD}}/\text{m}$
40	35	35
50	55	60
60	75	85
70	100	115
80	125	150
90	155	190
100	195	220
110	230	250
120	270	290
130	300	310

注: A_{\min} 与 A_{prep} 值为VD标准下计算值。

$$i_{\text{pi}} = 7 \times \left[\frac{R_{\min}(V_i)}{R_i} \right]^{0.74} \quad (1)$$

当 $R_i > R_g$,最小超高应与正常路拱横坡值一致。

最大超高值(i_{pmax})规定如下:

(1) 一般开阔平坦的道路上: $i_{\text{pmax}}=7.0\%$ (特殊情况下 8.0%),最大超高 $i_{\text{pmax}}=8.0\%$ 仅可用于因空间或条件限制而改造和重建的道路。

(2) 在PP和SP等级道路上: $i_{\text{pmax}}=5.0\%$ (普通情况下), 5.0% 的最大超高适用于城镇路段。

(3) 在连续S形掉头曲线段: $i_{\text{pmax}}=9.0\%$ 。

3.5 圆曲线加宽

当圆曲线半径为 $25 \text{ m} < R < 200 \text{ m}$ 需对车道加宽;圆曲线半径 $R \geq 200 \text{ m}$,不需要加宽。单个车道加宽值由式(2)计算:

$$\Delta b_{\text{pp}} = R_{\text{ZU}} - \sqrt{(R_{\text{ZU}}^2 - L_{\text{OP}}^2)} \quad (2)$$

式中: Δb_{pp} 为加宽值; R_{ZU} 为圆曲线半径; L_{OP} 为车辆长度。

4 道路纵断面

道路纵断面设计目的是保证线路的连续性和高程变化的均匀性^[7]。塞尔维亚规范中将地形适应性、交通功能及交通量、设计速度和沿线环境等客观因素进行综合评估,从而得出最优纵断面^[10]。纵断面要素主要包含纵坡与竖曲线等。

4.1 纵坡

在满足排水要求下,规定最小纵坡 i_{Nmin} 可以为0。但一般情况下最小值要求为:水泥混凝土路面为

0.2%,沥青路面为0.3%,砂石路面(土路)为0.5%。

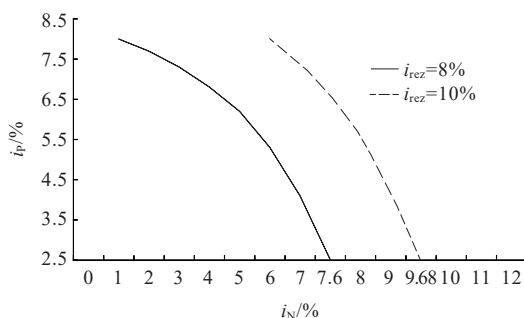
道路最大纵坡与速度的关系如表10所示。

表10 最大纵坡

Table 10 Maximum longitudinal slope

$V_r/(\text{km} \cdot \text{h}^{-1})$	$i_{\text{Nmax}}/\%$	特殊情况 $i_{\text{Nmax}}/\%$
40	10.0	(12)
50	9.0	(10)
60	8.0	(9)
70	7.0	(8)
80	6.0	(7)
90	5.5	(6)
100	5.0	
110	4.5	
120	4.0	
130	4.0	

塞尔维亚规范中为保证行车安全,要求合成坡度 i_{rez} 不超过10%,这是一个经验值^[11]。对于积雪冰冻地区的高等级道路,建议使用8%的较低允许值。 i_{rez} 取10%和8%时道路横坡 i_{p} 与纵坡 i_{N} 对应关系曲线见图4。

图4 i_{rez} 为10%和8%时道路横坡 i_{p} 与纵坡 i_{N} 对应关系曲线Figure 4 Relationship curve of road transverse slope i_{p} and longitudinal slope i_{N} when i_{rez} is 10% and 8%

4.2 竖曲线

道路纵坡变更处应设置竖曲线,竖曲线可采用圆曲线,也可以根据空间条件使用二次或三次抛物线^[12]。塞尔维亚规范中,竖曲线半径最小值如表11所示。

5 平纵组合

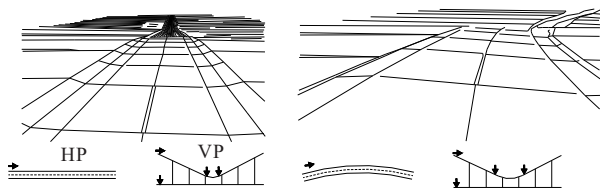
道路是一条空间曲线,为满足更好的视觉美学及驾驶感观,除了需要满足平面及纵断面线形指标外,在设计中应综合考虑平面与纵断面的协调关系,做到线形设计的一致性和连续性。

表 11 竖曲线半径最小值

Table 11 Minimum value of radius of vertical curve

$V_r/(km \cdot h^{-1})$	凸形竖曲线/m	凹形竖曲线/m
40	400	550
50	800	900
60	1 250	1 250
70	2 000	1 800
80	3 500	2 500
90	5 500	3 250
100	8 000	4 250
110	11 500	5 750
120	16 500	8 250
130	22 500	11 250

(1) 为减少驾驶员的视觉疲倦及可能产生的负面情绪而导致的不安全驾驶,在设计中应尽量避免长直线的使用。在空间允许的情况下,尽量采用大半径曲线。且直线或大半径曲线段,应避免因竖曲线太小造成视觉上的断裂(图5)。



注:图中HP表示平面,VP表示纵断面,下同。

图 5 竖曲线半径大小对视觉的影响

Figure 5 Influence of radius of vertical curve on vision

一般情况下平、纵曲线应做到一一对应,半径应符合以下条件: $R_{\text{平}}:R_{\text{竖}} \leq 1:5 \sim 1:10$ 。

(2) 在平纵组合设计中,两条反向竖曲线之间夹直线较短时,应将竖曲线直接相连。同向竖曲线间夹直线较短时,应将两条竖曲线改为一个较大半径竖曲线代替(图6)。

(3) 平纵组合设计中应避免由于错误位置的凸曲线导致的视觉受限(图7)。

6 匈塞铁路道路改造设计指标应用

匈塞铁路为既有单线铁路增建二线,塞尔维亚段设计速度为 $200 \text{ km/h}^{[12]}$ 。根据规范要求,当铁路设计速度 $\geq 200 \text{ km/h}$ 时,相交道路不能与铁路平交。因此,需将既有道路与铁路平交口全部取消,改造为下穿框构或上跨桥梁的公铁立交形式。其中诺苏段

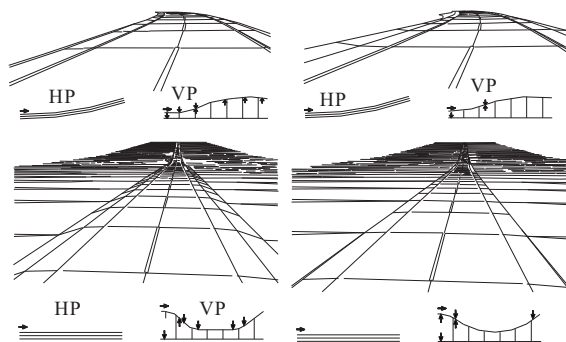


图 6 优化竖曲线对视觉效果的提升

Figure 6 Improvement of visual effects by optimizing vertical curve

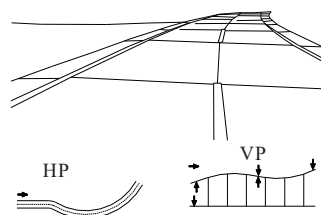


图 7 不利平纵组合示例

Figure 7 Example of unfavorable horizontal and vertical combination

共有 40 条道路需要改造,包含国道、地方道路与乡村道路等,设计速度包含 60 km/h 、 50 km/h 与 40 km/h 。采用的主要几何设计指标见表 12。

表 12 匈塞铁路道路改造主要指标

Table 12 Main indexes of road reconstruction of Hungary-Serbia Railway

$V_r/(km \cdot h^{-1})$	R_{min}/m	$i_{\text{Nmax}}/\%$	竖曲线 r_v/m	
			$\text{konv}r_{v \text{ min}}$	$\text{konk}r_{v \text{ min}}$
40	45	6	400	550
50	75	6	800	900
60	120	5	1 250	1 250

注: $\text{konv}r_{v \text{ min}}$ 为凹形竖曲线最小值; $\text{konk}r_{v \text{ min}}$ 为凸形竖曲线最小值。

通过对主要指标进行归纳分析,在匈塞铁路公铁立交实际设计中,道路改造几何设计指标一般满足塞尔维亚道路设计标准最小值要求,并根据地形、环境等限定条件对指标进行了灵活运用。例如,在 $K140+080$ 道路改造工点中,设计为道路下穿铁路。因为道路起终点为平交口,为了优化进口道坡度,设计师将下穿道路普遍采用的最大 5% 纵坡提高到了 5.5% ,并且为减小对临近教堂的拆迁,设计中缩减了硬路肩宽度,由一般 2.5 m 宽减小到 1.5 m 。设计根据

实际情况,对指标灵活运用,既满足了实际要求,又通过了相关设计审查。

7 结语

塞尔维亚道路规范有完整的设计理论和体系,从道路分级、通行能力、平面、纵断面、横断面、线形设计等多方面都有详细分析和规定。设计理论和体系更加注重路线与地形、环境的配合和协调。在道路几何设计方面与中国规范比较接近,规范指标的限定相较中国国内比较宽泛。比如:相同速度下的圆曲线半径最小值及最大纵坡要求都比中国低。塞尔维亚路线设计中同样追求各线形指标的相互配合协调、高低指标之间的缓和过渡以及线形的均衡。同时塞尔维亚规范对设计指标的运用未完全限制,给设计人员留下了充足的设计空间,体现了设计的灵活性。

参考文献:

References:

- [1] 刘辉. 中外铁路工程建设标准对比及海外应用探讨[J]. 铁道工程学报, 2017, 34(9): 1-8.
LIU Hui. Exploration on the comparison and overseas-project application of railway engineering construction standard in China and foreign countries[J]. Journal of Railway Engineering Society, 2017, 34(9): 1-8.
- [2] 王飞, 黑世强. 浅谈塞尔维亚规范和预制 I 梁结构[J]. 公路, 2016, 61(9): 20-23.
WANG Fei, HEI Shiqiang. Discussion on Serbian code and precast I beam structure[J]. Highway, 2016, 61(9): 20-23.
- [3] 王佐, 李宏斌, 陈波. 欧洲高速公路几何设计规范的技术要点[J]. 公路, 2008, 53(9): 50-53.
WANG Zuo, LI Hongbin, CHEN Bo. Technical points of European highway geometric design code[J]. Highway, 2008, 53(9): 50-53.
- [4] 王佐, 王书伏. 基于欧洲(法国)标准之几何设计指标的运用[J]. 中外公路, 2009, 29(4): 268-275.
WANG Zuo, WANG Shufu. Application of geometric design indicators based on European (French) standards[J]. Journal of China & Foreign Highway, 2009, 29(4): 268-275.
- [5] 辛玉华. 中美公路几何线形设计指标对比研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2016.
XIN Yuhua. Comparative study on the design index of Chinese and American highway geometric alignment[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2016.
- [6] Public Enterprise Roads of Serbia. Serbian road design manual: 4.0 road design elements[S]. Beigrade: PE Roads of Serbia, 2012.
- [7] ANOJUS V, MALETIN M. Technical instructions for design of country roads, part 1. Route(FIP-T/08) [S]. Belgrade: University of Belgrade, 2016.
- [8] 中交第一公路勘察设计研究院有限公司. 公路路线设计规范: JTG D20—2017[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2017.
CCCC First Highway Consultants Co., Ltd.. Design specification for highway alignment: JTG D20—2017[S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2017.
- [9] 上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司. 城市道路路线设计规范: CJJ 193—2012[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd.. Code for design of urban road alignment: CJJ 193—2012[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2013.
- [10] 焦文欣. 中国与塞尔维亚爬坡车道设计对比[J]. 工程技术研究, 2021, 6(4): 213-215.
JIAO Wenxin. Comparison of climbing lane design between China and Serbia[J]. Engineering and Technological Research, 2021, 6(4): 213-215.
- [11] 守继承, 张博昊. 基于中国横抬梁顶推方案的匈塞铁路公铁立交桥建设可行性分析[J]. 交通建设与管理, 2019 (6): 72-73.
SHOU Jicheng, ZHANG Bohao. Feasibility analysis of the construction of the Hungary-Serbia railway highway and railway overpass based on the Chinese horizontal lift beam jacking scheme [J]. Transport Construction & Management, 2019(6): 72-73.
- [12] 赖一飞, 童天亦, 胡小勇. “一带一路”之匈塞铁路工程项目问题与对策[J]. 管理科学与研究, 2021, 10(1): 86-93.
LAI Yifei, TONG Tianyi, HU Xiaoyong. Problems and countermeasures of the Hungary-Serbia railway project in "the Belt and Road"[J]. Management Science and Research, 2021, 10(1): 86-93.