

文章编号: 1674—8247(2021)06—0078—06  
DOI:10.12098/j.issn.1674-8247.2021.06.015

## 中尼铁路过境通道的几点探讨

曾榜荣 杨举明 徐学渊

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘要:**中尼铁路是中尼两国为构建中尼面向发展与繁荣的世代友好战略合作伙伴关系而启动的重大基础设施,是跨喜马拉雅立体互联互通网络的骨干。中尼铁路地处高原、高寒地区,线路位于印度板块与欧亚板块碰撞、拼合带内,穿越喜马拉雅山脉,地形地质条件复杂,因此需深入研究,合理选择过境通道。本文对可能的过境通道方案进行了研究,重点研究了聂拉木(樟木)通道和吉隆通道方案,并从线路长度、工程地质条件、对环境的影响、重点工程条件及风险、口岸站设置条件、口岸开发及贸易条件等方面进行综合分析。结果表明,聂拉木(樟木)通道方案新建长度短,对环境的影响较小,吉隆通道方案的口岸站设置条件相对较好,两方案各有优劣,下阶段需结合详细勘察资料、地方意见等进一步研究。

**关键词:**中尼铁路; 过境通道; 地质条件; 环境影响; 口岸站

**中图分类号:**U212.32 **文献标志码:**A

## Discussion on the Cross-border Passage of China-Nepal Railway

ZENG Bangrong YANG Juming XU Xueyuan

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

**Abstract:** China-Nepal Railway is a major infrastructure initiated by the two governments to build China-Nepal Strategic Partnership of Cooperation Featuring Ever-lasting Friendship for Development and Prosperity, and it is the backbone of the trans-Himalayan three-dimensional interconnection network. China-Nepal Railway is located in the plateau and arctic-alpine area. The line is located in the collision and splicing zone between the Indian Plate and the Eurasian Plate. It crosses the Himalayas, and the terrain and geological conditions are complex. Therefore, it is necessary to conduct in-depth research and reasonably select the cross-border passages. In this paper, the possible plans of cross-border passages are studied, focusing on the plans of Nyalam (Zhangmu) Passage and Gyirong Passage, and comprehensive analysis is made from the aspects of line length, engineering geological conditions, environmental impact, key engineering conditions, and risks, port station setting conditions, port development, and trade conditions, etc. The results show that the newly-built length of the Nyalam (Zhangmu) Passage is short and has little impact on the environment. The port station setting conditions of the Gyirong Passage are relatively good, and both plans have their own advantages and disadvantages. In the next stage, further research is needed in combination with detailed survey data and local opinions.

**Key words:** China-Nepal Railway; cross-border passage; geological conditions; environmental impact; port station

收稿日期:2021-01-06

作者简介:曾榜荣(1974-),男,高级工程师。

引文格式:曾榜荣,杨举明,徐学渊. 中尼铁路过境通道的几点探讨[J]. 高速铁路技术,2021,12(6):78-83.

ZENG Bangrong, YANG Juming, XU Xueyuan. Discussion on the Cross-border Passage of China-Nepal Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2021, 12(6):78-83.

中尼铁路是中尼两国为构建中尼面向发展与繁荣的世代友好战略合作伙伴关系而启动的重大基础设施,是跨喜马拉雅立体互联互通网络的骨干,是打造中尼命运共同体的纽带,是促进西藏地区社会经济发展、稳边富藏的民生工程,建设意义十分重大<sup>[1]</sup>。

中尼铁路项目地处高原、高寒地区,线路位于印度板块与欧亚板块碰撞、拼合带内,穿越喜马拉雅山脉,地形地质条件复杂,建设难度巨大,需在深入研究区域地质环境和工程地质条件的基础上,合理选择本项目的过境通道<sup>[2-5]</sup>。

1 中尼过境通道方案

中尼通道的起点为日喀则,终点为尼泊尔首都加德满都。结合中尼边境地形、地貌情况及传统的口岸分布情况,中、尼之间可利用的过境通道主要有 5 处,分别为普兰通道、里孜通道、吉隆通道、聂拉木(樟木)通道和陈塘通道,过境通道示意如图 1 所示<sup>[6-9]</sup>。



图 1 中尼铁路过境通道方案示意图

里孜通道(线路全长约 1 050 km)和普兰通道(线路全长约 1 525 km)明显远离中尼铁路起、终点航空线,线路行进距离长,不适合作为中尼过境铁路通道,研究后予以舍弃。其余过境通道方案的优缺点比较如表 1 所示。

表 1 中尼铁路过境通道方案优缺点比较表				
项目	聂拉木(樟木)通道(方案 I)	吉隆通道(方案 II)	陈塘通道(方案 III)	优胜方案
经过经济据点	萨迦、定结、定日、聂拉木、加德满都	萨迦、定结、定日、吉隆、加德满都	萨迦、定结	I、II
线路长度/km	478	608	483	I、III
本线与新藏线共线段长度/km	289	414	165	II

陈塘方案经过经济据点少且与新藏线共建段最短,研究后予以舍弃。聂拉木(樟木)通道方案和吉隆

通道方案各有优劣,有必要结合两通道的地形地质条件、环境敏感点等因素,开展详细的技术经济比选。

2 聂拉木(樟木)通道方案

结合研究区域内的经济据点分布、地形地质条件、交通状况及环境敏感区分布等因素,聂拉木(樟木)通道研究了经定结一定日、经拉孜一定日、经拉孜—夏木德 3 个方案,如图 2 所示。

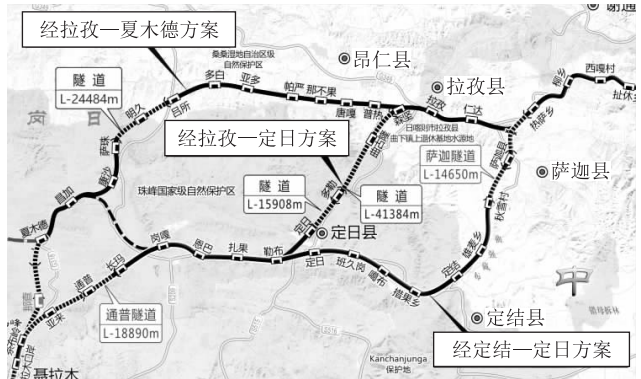


图 2 聂拉木(樟木)通道线路走向方案示意图

2.1 主要工程数量及投资

3 个方案的主要工程数量及投资比较如表 2 所示。

表 2 主要工程数量及投资比较表			
工程项目	经定结一定日方案	经拉孜一定日方案	经拉孜—夏木德方案
本项目新建长度/km	478.4	469.0	482.1
桥隧总长/桥隧比重/(km/%)	296.6/62.0	319.5/68.1	311.1/64.5
新藏线新建长度/km	58	58	0
本项目投资估算/亿元	610.8	625.3	626.7
本项目投资估算差值/亿元	0	+14.5	+15.9
新藏线投资估算/亿元	55.1	55.1	0
新藏线折现投资/亿元	27.9	27.9	0
投资估算总额(本线+新藏线折现)/亿元	638.7	653.2	626.7
投资估算差额(本线+新藏线折现)/亿元	0	+14.5	-12

2.2 优缺点分析

(1)从线路长度及投资分析

仅考虑本项目投资估算,经定结一定日方案线路长度居中,投资最省。结合新藏线共线比较,经定结一定日方案投资居中。

(2)从吸引范围分析

经定结一定日方案较其他两方案覆盖范围更广,服务人口更多,定日设站更靠近喜马拉雅山脉北麓珠峰脚下的珠峰大本营,更有利于带动沿线的经济社会发展和土地资源开发,有利于提高铁路建设的经济效益和社会效益。

(3)从地形地质条件分析

经定结一定日方案大段落沿国道和朋曲河谷走行,地形相对平缓,工程整体相对简单,重大不良地质较少;经拉孜一定日方案线路以 41 384 m 长隧穿越岭拉轨岗日山脉,工程巨大,线路与南北向构造并行,高温热水问题突出;经拉孜—夏木德方案线路约有 100 km 走行于雅鲁藏布江板块缝合带内,岩体破碎,岩爆和软岩大变形问题比较突出。因此,经定结一定日方案的地形地质条件相对较好。

(4)从重点工程分析

经定结一定日方案最长隧道长 18.89 km,洞身岩性以中硬质岩为主,地质条件相对较好,土建工期约为 77 个月;经拉孜一定日方案最长隧道长 41.384 km,辅助坑道设置条件极差,工期不可控;经拉孜—夏木德方案最长隧道长 24.844 km,受构造影响,岩体破碎,岩溶、大变形等问题突出,施工难度较大,土建工期约 95 个月。

(5)从环境影响分析

3 个方案沿线涉及的环境敏感区如表 3 所示。

表 3 线路走向方案涉及环境敏感点分布表		
经定结一定日方案	经拉孜一定日方案	经拉孜—夏木德方案
(1)境内:涉及珠峰国家级自然保护区缓冲区 10.8 km,实验区 113.4 km (2)境外:涉及 Langtang 保护区 41 km;涉及 Gauri-Shankar 保护区 14.5 km;涉及 Shivapuri-Nagarjun 保护区 7 km	(1)境内:涉及雅鲁藏布江中游河谷黑颈鹤国家级自然保护区核心区 3 km,缓冲区 4 km;涉及拉孜县退休基地水源地二级保护区 3 km;涉及拉孜县自来水厂水源地二级保护区 2 km;涉及珠峰国家级自然保护区缓冲区 10.8 km,实验区 121.6 km;涉及日喀则市定日县协格尔镇水源地二级保护区 0.5 km (2)境外:涉及 Langtang 保护区 41 km;涉及 Gauri-Shankar 保护区 14.5 km;涉及 Shivapuri-Nagarjun 保护区 7 km	(1)境内:涉及雅鲁藏布江中游河谷黑颈鹤国家级自然保护区核心区 3.1 km,缓冲区 4 km;涉及拉孜县退休基地水源地二级保护区 3 km;涉及拉孜县自来水厂水源地二级保护区 2 km;涉及珠峰国家级自然保护区缓冲区 10.8 km,实验区 75.8 km (2)境外:涉及 Langtang 保护区 41 km;涉及 Gauri-Shankar 保护区 14.5 km;涉及 Shivapuri-Nagarjun 保护区 7 km
全线穿越 4 处保护区,共计 186.7 km,不涉及核心区	全线穿越 8 处保护区,共计 207.4 km,其中涉及 1 处核心区	全线穿越 7 处保护区,共计 164.2 km,其中涉及 1 处核心区

由表 3 可知,经定结一定日方案涉及环境敏感区个数最少,且不涉及珠峰国家级自然保护区核心区,相较于其他两方案对环境的影响最小。

综上所述,经定结一定日方案投资最省,经过的经济据点较多,地质条件较优,交通便利,施工条件好,故聂拉木(樟木)通道推荐经定结一定日方案。

### 3 吉隆通道方案

根据研究范围内的地形地质条件、环境敏感点分布及经济据点分布情况,吉隆通道方案主要研究了经定日—夏木德、经昂仁—萨嘎和经拉孜沿雅鲁藏布 3 个方案,如图 3 所示。



图 3 吉隆通道线路走向方案示意图

#### 3.1 主要工程数量及投资情况

3 个方案的主要工程数量及投资比较如表 4 所示。

表 4 主要工程数量及投资比较表

工程项目	经定日—夏木德方案	经昂仁—萨嘎方案	拉孜沿雅鲁藏布方案
本项目新建长度/km	455.7	467.3	414.3
桥隧总长/桥隧比/(km/%)	179.7/39.4	315.9/67.6	335.9/81.1
新藏线新建长度/km	63.5	2	51
本项目投资估算/亿元	432.9	473.9	433.6
本项目投资估算差值/亿元	0	+41.0	+0.7
新藏线投资估算/亿元	60.3	1.9	48.5
新藏线折现投资/亿元	30.6	1.0	24.6
投资估算总额(本线+新藏线折现)/亿元	463.5	474.9	458.2
投资估算差额(本线+新藏线折现)/亿元	0	+11.3	-5.3

#### 3.2 优缺点分析

##### (1)从线路长度与工程投资分析

拉孜沿雅鲁藏布方案线路长度最短,经昂仁—萨嘎方案最长;仅考虑本项目工程投资,经定日—夏木德方案投资最省,经昂仁—萨嘎方案最多;考虑新藏线折现投资后,则拉孜沿雅鲁藏布方案投资最省,经昂仁—

萨嘎方案最多。

(2)从工程地质条件分析

经定日—夏木德方案有 39 km 线路大角度穿雅江板块缝合带,影响相对较小,地质条件较好;经昂仁—萨嘎方案有 100 km 线路位于雅江板块缝合带内,以隧道形式两次穿越构造,高地应力问题突出,软岩大变形与岩爆风险较高,地质条件较差;拉孜沿雅鲁藏布方案有 230 km 线路位于雅江板块缝合带内,与构造线平行,岩体破碎,高地应力与高地温问题突出,岩爆和软岩大变形风险极高,地质条件较差。故经定日—夏木德方案地质条件相对最好。

(3)从工程规模与沿线交通条件分析

经定日—夏木德方案沿 G318 与 G219 走行于朋曲河谷,地形平坦,工程简单,桥隧比 36.5%,工程规模相对最低,且沿既有公路通道行进,交通便利施工条件好;经昂仁—萨嘎方案沿 G349 走行于多雄藏布河谷,过萨嘎后进入佩枯错断陷盆地,桥隧比 67.3%,工程规模较大,沿既有公路通道行进,交通便利,施工条件较好;拉孜沿雅鲁藏布方案走行于雅江河谷,段落内河谷狭窄地形较差,桥隧工程相连,桥隧比 81.1%,工程规模相对最大,无既有公路通道,交通与施工条件较差。故经定日—夏木德方案工程规模最低,沿线交通条件最好。

(4)从吸引范围与旅游资源分析

沿线人口及旅游资源统计如表 5 所示。

表 5 方案沿线人口及旅游资源统计表

分析方面	经定日—夏木德方案	经昂仁—萨嘎方案	拉孜沿雅鲁藏布方案
经济据点 (合计人口/ GDP)	萨迦、定结、 定日、吉隆 (15 万人/ 31.8 亿元)	拉孜、昂仁、 萨嘎、吉隆 (16 万人/ 29.7 亿元)	拉孜、吉隆 (8 万人/ 16.8 亿元)
旅游资源	珠峰大本营、 佩枯错	-	佩枯错

由表 5 可知,经定日—夏木德方案与经昂仁—萨嘎方案经过经济据点及覆盖人口较多,吸引客流能力较强。经定日—夏木德方案经过珠峰大本营与日喀则地区最大湖泊佩枯错,旅游资源开发潜力最高。

(5)从对环境敏感区影响分析

各方案对环境敏感区影响统计如表 6 所示。

表 6 方案环境敏感区影响统计表

分析方面	经定日—夏木德方案	经昂仁—萨嘎方案	拉孜沿雅鲁藏布方案
环境保护 (穿越核心区/ 缓冲区长度)	珠峰保护区; (43 km/17 km), 均有明线工程	珠峰保护区; (42 km/17 km), 均有明线工程	珠峰保护区; (34 km/17 km), 均有明线工程

由表 6 可见,3 个方案均穿越珠峰保护区核心区与缓冲区,均存在不同程度的法律障碍。

综合分析,经定日—夏木德方案具有投资省、地质条件好、桥隧比重低、经过经济据点多、国土资源开发与经济带动力强、沿线旅游资源开发潜力高、交通便利、施工条件好等优势,因此,吉隆通道方案推荐采用经定日—夏木德方案。

4 聂拉木通道和吉隆通道方案比选

本文从线路长度及投资、工程地质条件、对环境的影响、工程实施难易程度、口岸站设置条件、对外贸易来往等方面对聂拉木通道和吉隆通道方案进行比选,深入地分析其优缺点,为科学决策提供依据。

4.1 方案综合比选

4.1.1 从线路长度及投资分析

两方案的主要工程数量及投资比较如表 7 所示。

表 7 主要工程数量及投资比较表

工程项目	聂拉木通道方案	吉隆通道方案
本项目新建长度/km	478.4	608.5
桥隧总长/比重/(km/%)	296.6/62.0	348.1/57.2
新藏线新建长度/km	145	0
新藏线新建长度差值/km	0	-145
本项目投资估算/亿元	610.8	752.1
本项目投资估算差值/亿元	0	+141.3
换算工程运营费/亿元	732.6	912.2
新藏线投资估算/亿元	145.5	0
投资估算总额 (本线+新藏线)/亿元	878.1	912.2
投资估算差额 (本线+新藏线)/亿元	0	+34.1

聂拉木通道方案新建线路长 478.4 km,较吉隆通道方案短 130.1 km,投资省 141.3 亿元。考虑规划新藏线的建设,聂拉木通道方案较吉隆通道方案需多建设岗嘎至礼让段,线路长 145 km。考虑换算工程运营费及新藏线投资后,聂拉木通道方案总投资较吉隆通道方案节省 34.1 亿元,节省幅度为 3.7%,聂拉木通道方案略优。

4.1.2 从地形地质条件分析

日喀则、岗嘎至佩枯错位于高原面上,两方案日喀则至岗嘎段的线路走向完全一致,主要工程地质问题为活动断裂、泥石流、风沙、季节性冻土等,其中吉隆通道方案佩枯错一带线路左侧分布有 11 条大小不一的冰川和 2 个冰湖,对线路有一定影响,高原面上吉隆通道方案略差。线路以简单工程通过活动断裂、规避泥石流等,高原面上地质风险可控。



越岭段两方案均穿越喜马拉雅高山峡谷区后进入尼泊尔中、低山区,海拔 700 ~ 5 600 m,地形起伏极大,两方案地形条件相当。聂拉木通道方案越岭段主要工程地质问题为高地应力、高地温、活动断裂、崩塌、危岩落石、雪崩、冰川泥石流等。通过展线、绕行,减少隧道埋深,减少线路与最大水平主应力方向大角度相交段落,最大程度地减轻高地应力下软岩大变形风险,展线后最大埋深 1 860 m。区域地处西南地热带的西南端,隧道施工均存在高地温问题。线路穿 2 条活动断裂,穿 2 次冰川泥石流沟,9 条 V 型沟槽隧道露头存在崩塌、危岩落石问题,1 条沟槽存在雪崩问题。

吉隆通道方案越岭段主要工程地质问题为高地应力、高地温、活动断裂、崩塌、危岩落石、雪崩、冰川泥石流等。通过展线、绕行,减少隧道埋深,最大程度地减轻高地应力下软岩大变形风险,展线后最大埋深 2 200 m。区域地处西南地热带的西南端,隧道施工均存在高地温问题。线路穿 2 条活动断裂,穿 2 次冰川泥石流沟,10 条 V 型沟槽隧道露头存在崩塌、危岩落石问题,4 条沟槽存在雪崩问题。

综上所述,聂拉木通道方案地形地质条件略优于吉隆通道方案。

4.1.3 从对环境影响方面分析

项目所在区域位于珠峰国家级自然保护区范围内,保护区东西长约 350 km,南北宽约 170 km,覆盖范围广,总面积约 30 000 km<sup>2</sup>。中尼铁路通道呈东北至西南走向,线路不可避免穿地越保护区核心区或缓冲区。通过环保选线,聂拉木通道方案线路沿既有道路行进,避免了穿越核心区,并通过优化工程形式以全隧形式穿越缓冲区 10.8 km,穿越实验区 113.4 km,工程建设对自然保护区影响较小。而吉隆通道方案涉及珠峰国家级自然保护区核心区 43 km,缓冲区 76 km,实验区 107 km,工程建设对自然保护区影响大。两方案沿线涉及的环境敏感区如表 8 所示。

表 8 线路走向方案涉及环境敏感点分布表

聂拉木通道方案	吉隆通道方案
(1)境内:涉及珠峰国家级自然保护区缓冲区 10.8 km,实验区 113.4 km (2)境外:涉及 Langtang 保护区 41 km;涉及 Gauri-Shankar 保护地 14.5 km;涉及 Shivapuri-Nagarjun保护区 7 km	(1)境内:涉及珠峰国家级自然保护区核心区 43 km,缓冲区 76 km,实验区 107 km;涉及日喀则市吉隆县吉隆镇水源地一级水源保护区 0.3 km,二级水源保护区 2 km (2)境外:涉及 Langtang 保护区 44 km;涉及 Shivapuri-Nagarjun保护区 7 km
全线穿越 4 处保护区,共计 186.7 km,不涉及核心区	全线穿越 4 处保护区,共计 234 km,涉及核心区 1 处、一级水源保护区 1 处

由表 8 可见,从环境影响方面分析,聂拉木通道方案优于吉隆通道方案。

4.1.4 从重点隧道工程条件及风险分析

聂拉木通道方案大于 10 km 的隧道有 8 座,长 81.055 km。控制性工程为通普隧道,长 18.89 km,设置 3 座斜井+洞身平导,土建工期 77 个月,最大埋深的隧道为曲乡隧道,长 15.7 km,埋深为 1 880 m。通过合理展线使线路方向与最大主应力方向小角度交叉,有效降低了岩爆和大变形的风险。

吉隆通道方案大于 10 km 的隧道有 9 座,长 111.612 km。控制性工程为贝登堡峰隧道,长 20 km,设置 3 座斜井+洞身平导,土建工期 80 个月,埋深为 2 200 m,岩爆和大变形问题相当突出。

因此,从重点隧道工程条件及风险分析,聂拉木通道方案更具优势。

4.1.5 从口岸站设置条件分析

聂拉木通道方案的聂拉木站位于聂拉木县北侧 6.5 km 处,距离国界约 24 km,车站海拔 3 900 m,车站地形条件相对较差;吉隆通道方案的吉隆站位于吉隆镇西北方向 3 km 帮兴台地处,距离国界 15.9 km,车站海拔 2 920 m,车站地形平坦开阔,设口岸站条件较好。

因此,吉隆通道方案的口岸站设置明显优于聂拉木通道方案。

4.1.6 从口岸开发和贸易往来方面分析

吉隆通道方案在吉隆镇设铁路口岸站,公铁口岸都集中在吉隆镇,有利于吉隆口岸做大做强,符合西藏自治区提出的“重点建设吉隆口岸、建设南亚陆路大通道”的工作思路;聂拉木通道方案在聂拉木设铁路口岸站,可与吉隆公路口岸形成优势互补,符合西藏自治区提出的“稳步提升樟木口岸”部署。因此,从口岸开发和贸易往来方面分析,吉隆通道方案略优于聂拉木通道方案。

4.2 综合比选意见

综合分析,吉隆通道方案具有口岸站设置条件更好,符合西藏自治区规划等优点;聂拉木通道方案具有工程地质条件略优、运营长度短、对环境的影响较小等优点;两方案各有优劣,下阶段需结合详细勘察资料、地方意见等进一步研究。

5 结束语

综合考虑沿线经济据点分布、线路长度及投资、工程地质条件、对环境的影响、工程实施难易程度、口岸

站设置条件及对外贸易来往情况等,本文建议吉隆通道采用经定日—夏木德方案;聂拉木(樟木)通道采用经定结—定日方案。综合分析,吉隆通道方案口岸站条件相对较好,符合西藏自治区规划,聂拉木(樟木)通道方案新建长度较短、地质条件略优、对环境的影响较小,两方案各有优劣,下阶段需结合详细勘察资料、地方意见等进一步研究。

参考文献:

[1] 中铁二院工程集团有限责任公司. 中尼铁路日喀则至吉隆口岸段勘察设计方案投标文件 [R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司, 2020.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd. Bidding Documents for Survey and Design Project of Shigatse-Gyirong Port Section of China-Nepal Railway[R]. ChengDu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., 2020.

[2] 何振宁. 区域工程地质与铁路选线[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2004.  
HE Zhenning. Regional Engineering Geology and Railway Location [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 2004.

[3] 沈斌才, 江仕琴. 山区铁路选线[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1987.  
SHEN Bincai, JIANG Shiqin. Railway Location in Mountainous Areas [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1987.

[4] 西南交通大学. 铁路选线设计[M]. 北京: 中国铁道出版社,

1980.  
Southwest Jiaotong University. Railway Location and Design [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1980.

[5] 铁道部第一勘测设计院. 铁路工程地质手册[M]. 2 版(修订版). 北京: 中国铁道出版社, 1999.  
China Railway First Survey & Design Institute Group Co., Ltd. Handbook of Railway Engineering Geology [M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1999.

[6] 宋章, 魏永幸, 王朋, 等. 复杂艰险山区地质灾害特征及减灾选线研究[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(5): 8-12.  
SONG Zhang, WEI Yongxing, WANG Peng, et al. Research on Geological Disaster Characteristics and Location for Disaster Reduction in Complex and Dangerous Mountainous Areas [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(5): 8-12.

[7] TB 10098-2017 铁路线路设计规范[S].  
TB 10098-2017 Code for Design of Railway Line[S].

[8] 黄润秋. 汶川地震地质灾害后效应分析[J]. 工程地质学报, 2011, 19(2): 145-151.  
HUANG Runqiu. After Effect of Geohazards Induced by the Wenchuan Earthquake[J]. Journal of Engineering Geology, 2011, 19(2): 145-151.

[9] 李伟, 毕强, 林世金. 川藏铁路雅安至林芝段最大坡度分析[J]. 高速铁路技术, 2020, 11(3): 97-100.  
LI Wei, BI Qiang, LIN Shijin. Analysis on the Maximum Slope of Ya'an-Linzi Section in Sichuan-Tibet Railway [J]. High Speed Railway Technology, 2020, 11(3): 97-100.



(上接第 51 页)

[6] 刘鑫. 水利水电工程 BIM 族库构建方法的研究[D]. 郑州: 华北水利水电大学, 2018.  
LIU Xin. The Research of BIM Family Library Construction Method of Water Conservancy and Hydropower Project [D]. Zhengzhou: North China University of Water Resources and Electric Power, 2018.

[7] 韩俊. 装配式建筑参数化构件库设计研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2018.  
HAN Jun. Design and Study of Parameterized Component Library for Assembly Building [D]. Wuhan: Hubei University of Technology, 2018.

[8] 刘大园, 姚力, 庞玲. 基于 BIM 的铁路轨道工程三维数字化设计构想[J]. 高速铁路技术, 2013, 4(6): 9-13.  
LIU Dayuan, YAO Li, PANG Ling. Concept of 3D Digital Design for Rail Track Based on BIM [J]. High Speed Railway Technology, 2013, 4(6): 9-13.

[9] 刘厚强, 董凤翔, 杨咏漪. 路基 BIM 构件设计关键技术[J]. 铁路技术创新, 2017(4): 16-18.  
LIU Houqiang, DONG Fengxiang, YANG Yongyi. Key Technology of BIM Component Design for Subgrade [J]. Railway Technical Innovation, 2017(4): 16-18.