

文章编号: 1674—8247(2018)04—0050—07

# 莫斯科至喀山高速铁路桥涵统一跨构通用图设计

郭建勋 陈 列 刘 伟 宋晓东 姚 南

(中铁二院工程集团有限责任公司, 成都 610031)

**摘 要:**莫斯科至喀山高速铁路为最高设计速度 400 km/h 的宽轨距铁路,其所在国家法律法规、技术规范、建设程序完善,因此需要在充分考虑俄罗斯国情的基础上对中国高速铁路技术进行创新和发展。文章对莫斯科至喀山高速铁路项目所采用的预制混凝土简支箱梁、简支钢混结合梁、预应力混凝土连续梁、钢筋混凝土连续刚构、桥墩、桥台、框架涵等通用图设计内容、类型、构造做了详细介绍,并分析了与中国设计的不同之处,对其他海外项目具有现实意义和较好的借鉴作用。

**关键词:**莫斯科至喀山; 高速铁路; 400 km/h; 桥梁; 涵洞; 标准图设计

**中图分类号:**U442.6      **文献标志码:**A

## Standard Drawing Design on Bridge and Culvert of Moscow-Kazan High-speed Railway

GUO Jianxun CHEN Lie LIU Wei SONG Xiaodong YAO Nan

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

**Abstract:** Moscow-Kazan high-speed railway is a broad-gauge railway with the maximum design speed of 400km/h. Since Moscow has complete laws, technical codes and construction procedures, the national conditions of this country need to be taken into account to have further innovation and development on Chinese high-speed railway techniques. This article gives a detailed introduction to the design contents, types and structures of the standard drawings including the precast concrete simple-supported box girder, steel-concrete composite simple-supported girder, prestressed concrete continuous girder, reinforced concrete continuous rigid frame, bridge pier and abutment that used in Moscow-Kazan project. At the same time, it analyzes the difference between foreign and domestic designs, has practical significance and good reference for other overseas projects.

**Key words:** Moscow-Kazan; high-speed railway; 400 km/h; bridge; culvert; standard drawing design

统一跨构通用图设计是指桥涵常用的不同跨度、结构形式、墩台型式及其附属构件或设施的通用图设计。为了提高设计效率和质量,便于标准化、规模化生产,在中国高速铁路桥梁建设中,大量推行标准化设计,广泛编制通用图。但是在俄罗斯以及部分欧洲国家,由于高速铁路建设规模不大,以及设计理念的不同,一般按工点设计,编制通用图的做法相对中国要少得多。

要在严寒地区建设超过我国高速铁路设计标准的时速 400 km 宽轨高速铁路,需要对中国高速铁路技术进行创新和发展,同时充分考虑俄罗斯国情。结合莫斯科至喀山高速铁路项目地形地貌、气候条件、桥梁分布等,以及中国高速铁路桥梁设计经验,最终采用单独编制莫喀高速铁路项目桥涵统一跨构通用图设计方案。

收稿日期:2017-08-21

作者简介:郭建勋(1973-),男,教授级高级工程师。

引文格式:郭建勋,陈列,刘伟,等. 莫斯科至喀山高速铁路桥涵统一跨构通用图设计[J]. 高速铁路技术,2018,9(4):50-56.

GUO Jianxun, CHEN Lie, LIU Wei, et al. Standard Drawing Design on Bridge and Culvert of Moscow-Kazan High-speed Railway[J]. High Speed Railway Technology, 2018, 9(4): 50-56.

# 1 项目概况及技术标准

## 1.1 项目概况

莫斯科至喀山高速铁路为俄罗斯规划高速铁路 2 号线(莫斯科至叶卡捷琳堡)的重要一段,线路西起

俄罗斯首都莫斯科市库尔斯克车站,经莫斯科州、弗拉基米尔州、下诺夫哥罗德州、楚瓦什共和国、马里埃尔共和国,东至鞑靼斯坦共和国首府喀山市喀山站,如图 1 所示。线路全长 767.7 km。桥梁 249 座,总长度为 154.7 km,占线路总长度的 20.3%;涵洞 407 座。



图 1 莫斯科至喀山高速铁路线路走向示意图

地形地貌:线路穿过东欧(俄罗斯)平原,沿线地形分别为莫斯科高地、梅谢尔斯基低地、高尔基-马里低地、沿伏尔加丘陵。

地质构造:线路穿过俄罗斯台地,包括莫斯科向斜地段和伏尔加-乌拉尔背斜段。莫斯科向斜段,地质结构上有石炭系,二叠系,三叠系,侏罗系和白垩系的基岩,表面是第四纪沉积层覆盖。第四纪沉积层表现为莫斯科河、顿河、奥卡河冰川作用冰水生成和冰碛作用形成的综合体。基岩为粘土-砂土杂岩,包含砂岩,粉砂岩(白垩纪和侏罗纪)夹层,包含粘土,粉砂岩,带砂岩夹层的泥板岩(三叠纪和二叠纪),石灰岩,白云岩,泥灰岩,带杂色的粘土夹层(石炭纪)。伏尔加-乌拉尔背斜段,地质构造上有位于第四纪沉积层表面

的二叠基岩。第四纪沉积层主要表现为冰水沉积层,和冰川构造。冲积层形成河谷底部。基岩表现为粘土;粉砂岩;含泥灰岩,灰岩,白云岩,泥岩夹层的砂岩;含泥灰岩,粘土夹层的石灰岩,白云岩。

地震烈度:区域的地震性是根据 OCP-97-B 图判定的。从西边到东边土壤平均条件范围是从 5.2~6.4( $T$ 平均=1 000 年, $PI=50=5\%$ )。

不良地质:复杂的地质结构,水文条件,多样化的生态条件使得该区域发育着多样化的地质进程:沼泽化,淹没段,滑坡,岩溶,潜蚀岩溶进程;侧性和线性侵蚀;风力进程;冻胀。其中占主要的是岩溶和滑坡进程。

表 1 沿线主要城市气象参数表

内容	莫斯科	弗拉基米尔	维亚兹尼基	下诺夫哥罗德	雷斯科沃	切博克萨雷	喀山
多年平均气温/℃	5.8	4.6	4.1	4	4.1	3.7	4.7
极端最低气温/℃	-32.4	-47.5	-44	-41.4	-45.4	-44.3	-46.8
极端最高气温/℃	38.2	37.1	39.3	38.2	38.9	39.9	39
年均降雪量/mm	233	204	201	224	188	160	135
年均降雨量/mm	471	407	424	420	380	371	373
平均最大积雪厚度/cm	-	100	92	76	76	45	52
最大风速/(m/s)	-	24	25	28	27	40	28

## 1.2 技术标准

- (1)设计速度:400 km/h。
- (2)轨道型式:无砟轨道。
- (3)轨距:1 520 mm;线间距:5.0 m。
- (4)限界:构筑物接近限界应符合建筑限界 C400,如图 2 所示。

### (5)设计活载

运营列车:HSLM-A1~A10、7 种欧洲真实列车、5 种俄罗斯现行列车、CR400 高速列车轴力组作为设计活载,或者上述列车的等效荷载作为活载,如图 3、图 4 所示。

养护列车:等效荷载对应 8 级的 CK 列车(简称

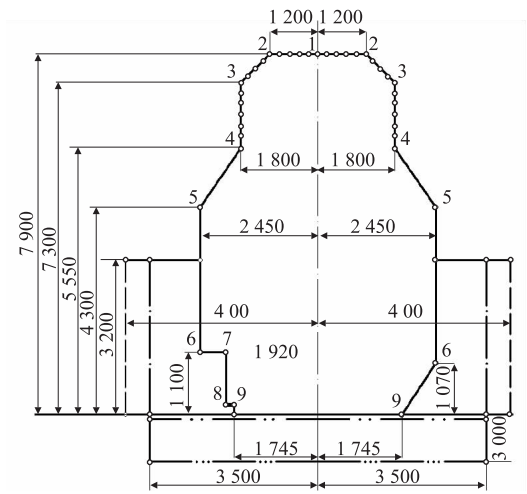


图2 C400 建筑限界示意图(mm)

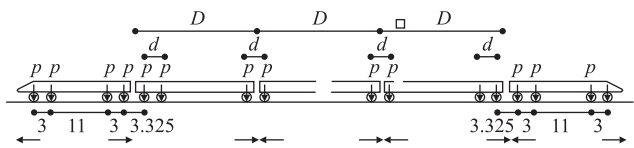


图3 HSLM-A1 ~ A10 轴力模型

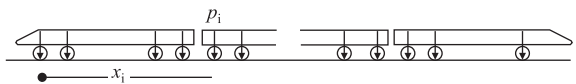


图4 欧洲真实列车和俄罗斯现列车轴力模型

C8 活载)。养护时其他高速列车不上桥。

(6)采用洪水频率

桥梁、涵洞设计洪水频率:1/100;检算洪水频率:1/300,对涵洞来说允许半有压水流通过。

2 桥涵统一跨构设计

2.1 简支梁

俄罗斯既有铁路桥梁中,小跨度简支结构梁一般采用钢筋混凝土板梁、多片式梁,计算跨度为12 m (12.5 m)、16 m (16.5 m)、18.2 (18.8 m);跨度稍大的则采用钢箱梁(钢板桥面),计算跨度为23 m (23.6 m)、27 m (27.6 m)、33.6 m (34.2 m);跨度大于40 m 则采用钢桁结构,计算跨度为44 m (45.5 m)、55 m (56.5 m)、66 m (67.5 m)、88 m (89.5 m)、110 m (111.5 m)。

莫斯科至喀山高速铁路项目桥梁规模大,因此借鉴了中国高速铁路简支梁的设计、施工经验,尽量采用混凝土箱梁,梁场集中预制、架梁机架设,少量中等跨度混凝土箱梁采用移动模架现浇施工。同时,设计了

钢混结合梁,用于距离梁场较远,有吊装条件的桥梁选用。梁体长度沿用俄罗斯既有铁路简支梁的设计习惯。由于莫斯科至喀山高速铁路项目沿线冬季气温低、四季温差大,因此设计时考虑了冬季预制梁场材料保温和蒸汽养护措施,对桥面排水、预埋件的设置等进行特别的设计和要求,防止局部裂纹的产生,以及出现水汽进入裂纹后出现冻胀开裂现象,影响桥梁的耐久性。

简支梁统一跨构类型及参数如表2所示。不论是混凝土箱梁,还是钢混结合梁(如图5所示),其桥面布置与中国高速铁路桥梁的桥面布置相比,大体相同,但具有以下不同点:

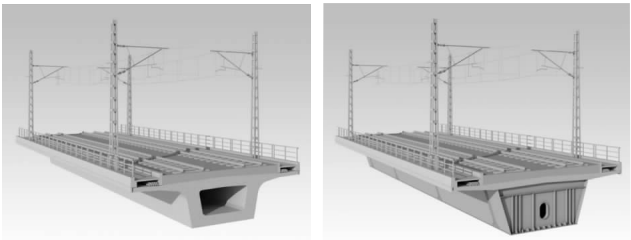


图5 混凝土简支箱梁、钢混结合梁效果图

(1)排水坡不同。莫喀高速铁路桥梁桥面采用双向排水(即在防护墙内侧设排水孔),防护墙内为3%的人字坡,坡度在预制时通过顶板变高度形成,翼缘板为2%的单向坡,坡度在预制时通过翼缘板变厚度形成。横向排水坡采用3%是为满足强降雨时桥面积水迅速排走的需要,也为满足高寒地区桥面雪融水迅速排走减少集冰的需要,在俄罗斯规范中也做了明确规定。

(2)桥面板宽度不同。桥面板宽度为13.8 m,桥面遮板外侧总宽14.06 m。

(3)设置护轮轨。根据《莫喀高速铁路项目特殊技术条款》规定,无砟轨道桥面,也应铺设护轮轨。

2.2 连续结构

莫喀高速铁路线路多次跨越河流、M7 公路及既有铁路。因此,将刚度大、经济性好、施工工艺成熟的小跨度钢筋混凝土连续刚构和预应力混凝土连续梁纳入统一跨构目录。跨度种类:(16 + 22 + 16) m 钢筋混凝土连续刚构,(40 + 66 + 40) m、(48 + 88 + 48) m、(58 + 110 + 58) m 预应力混凝土连续梁。连续结构类型及参数如表3所示。

2.3 墩台

2.3.1 桥墩

桥墩设计首先必须满足功能要求,主要包括承受

表 2 简支梁统一跨构类型及参数表					
梁长/跨度/m	结构类型	顶板宽度/m	结构高度/m	数量/重量/(m <sup>3</sup> /t)	断面示意/mm
23.6/22.5	混凝土箱梁 (预制架设)	13.8	2.6	239/633	
23.6/22.5	混凝土箱梁 (预制架设)	13.8	3.2	256/678	
34.2/33.1	混凝土箱梁 (预制架设)	13.8	3.2	357/946	
50.0/48.9	混凝土箱梁 (模架现浇)	13.8	4.8	638/1 691	
34.2/33.6	钢-混结合梁 (吊装/现浇)	13.8	3.62	混凝土 190.2 m <sup>3</sup> 钢 116.3 t	
50.0/49.0	钢-混结合梁 (吊装/现浇)	13.8	2.017	混凝土 277.4 m <sup>3</sup> 钢 195.0 t	

表 3 连续结构类型及参数表					
跨度/m	顶板宽度/m	箱宽/m	结构高度/m	梁部数量及每延米指标/m <sup>3</sup>	断面示意/cm
16 + 22 + 16	13.8	10.0	1.638	987/17.95	
40 + 66 + 40	13.8	6.2	3.34 ~ 6.14	2 099/14.27	
48 + 88 + 48	13.8	6.2	4.14 ~ 7.14	3 140/16.96	
58 + 110 + 58	13.8	6.2	5.14 ~ 8.64	4 255/18.73	

上部结构的受力要求、支座布置及检查维修空间要求；其次必须满足经济性、可实施性以及外部景观要求。莫斯科至喀山高速铁路位于东欧平原,其人口总数占俄罗斯人口总数的 85% 以上,沿线城市莫斯科、弗拉基米尔、下诺夫哥罗德、喀山具有深厚的历史文化底蕴,也是旅游的黄金线路,因此桥梁的景观设计就显得格外重要。

桥墩选型根据桥梁的分布,对沿线环境进行了分析,将环境类型分为城市、乡村、田园、森林四类,最终确定了 3 种墩型,供本项目桥梁工点设计选用,如图 6 所示。

(1)纵、横向均收坡,并采用圆弧过渡,流线型好,

正面开槽,整体景观效果好,且混凝土用量最省,墩高适用范围 4 ~ 25 m,可用于上述四类环境。(2)横向收坡,并采用圆弧过渡,纵向直坡,正面开槽,墩高适用范围 4 ~ 15 m。(3)纵、横向均直坡,侧面、正面均开梯形槽,墩高适用范围 3 ~ 15 m,如表 4 所示。(2)和(3)混凝土用量较(1)大,经济性稍差,主要用于桥墩较矮或者城市环境中较为特别的建筑附近。

### 2.3.2 桥台

简支箱梁桥台设计采用刚度大、整体性好的矩形空心桥台,设计中充分考虑《莫喀高速铁路特殊技术条款》要求和俄罗斯铁路桥台的设计习惯,如图 7、图 8 所示。与中国普遍采用的空心桥台相比,作了改进和



图 6 三种墩型不同墩高透视图

表 4 三种墩型不同墩高桥墩混凝土数量表

墩顶至墩底高 $H$ /m	混凝土土量/ $\text{m}^3$			
	墩型一: 纵、横向收坡	墩型二: 横向收坡	墩型三: 纵横向直坡	
	$(22.5+22.5)\text{m}$	$(33.1+33.1)\text{m};$ $(22.5+33.1)\text{m}$	$(22.5+22.5)\text{m};$ $(33.1+33.1)\text{m};$ $(22.5+33.1)\text{m}$	
3	—	—	—	51.7
4	53.6	58.2	66.3	70.1
5	63.8	69.4	80.6	88.5
6	74.0	80.6	94.8	106.9
7	84.2	91.8	109.1	125.3
8	94.4	103.0	123.3	143.7
9	104.6	114.2	137.6	162.1
10	114.8	125.4	151.8	180.5
11	125.0	136.6	166.1	198.9
12	135.2	147.8	180.3	217.3
13	145.4	159.0	194.6	235.7
14	155.6	170.2	208.8	254.1
15	165.8	181.4	223.1	272.5
16	—	221.3	—	—
17	—	239.6	—	—
18	—	258.0	—	—
19	—	276.3	—	—
20	—	294.7	—	—
21	—	313.0	—	—
22	—	331.4	—	—
23	—	349.7	—	—
24	—	368.1	—	—
25	—	386.4	—	—

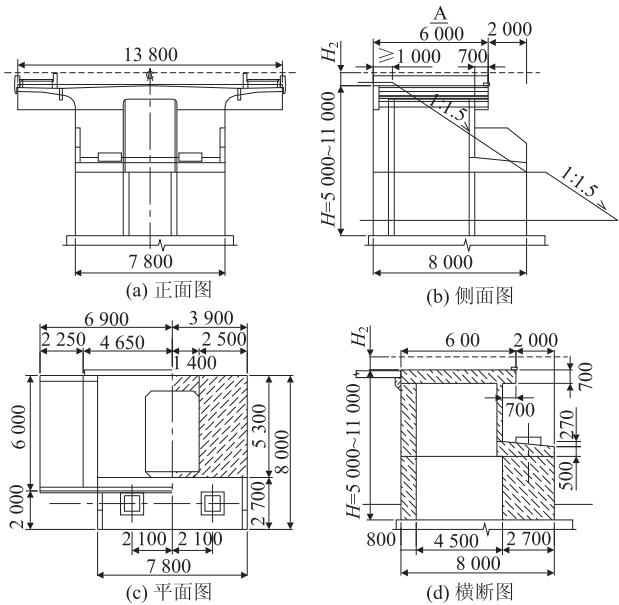


图 7 桥台构造示意图 (mm)

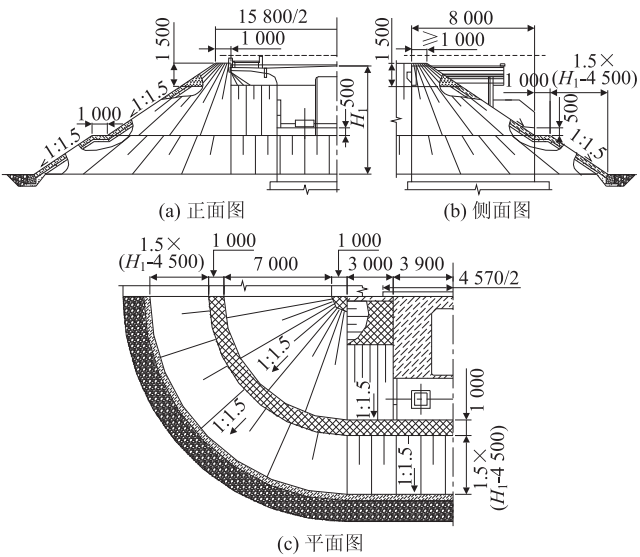


图 8 桥台锥体构造示意图 (mm)

优化,主要有以下几方面:

(1)台身高度范围。为了减少投资,地质较好地路段路桥分界增加到 10 ~ 12 m,因此台身高度范围确定为 5 ~ 11 m。

(2)检查平台位置不同。锥体坡脚延伸到桥下,将检查平台设置在墙身前方的锥体填土之上,从而取消设置吊篮,方便检查维修。



(3)顶帽两侧增加挡土板,台身长度为6 m 定值。由于锥体坡脚可延伸到桥下,因此台身长度可不随台身高度变化,为缩短台身长度,顶帽两侧增加设置了挡土板。

(4)台后增加钢筋混凝土牛腿。为了使路桥刚度过渡更平顺,台后轨道基座下方设置了搭板,因此台后增加了放置搭板的钢筋混凝土牛腿。

(5)空心部分回填细沙。为防止积水或动物进入,台顶前端封闭,空心部分回填细沙。

(6)台后增设混凝土挡土块。为方便锥体填土,在台顶后端悬臂板范围增设了混凝土挡土块。

2.4 框架涵

莫喀高速铁路沿线地形较为平坦,森林、湖泊、洼地多,覆盖层厚,地质条件差,因此排洪涵采用整体性好的框架结构。结合全线排洪涵洞的分布及主要孔径类型,将1.5 m、2.0 m、3.0 m、4.0 m 四种孔径纳入通用图设计,轨底至板顶最小为1.5 m,最高为13.0 m,线路与涵轴交角按90°、75°~85°、65°~75°、55°~65°、45°~55°五种设计。框架结构净空针对不同孔径以0.5 m 晋级,从2.0~5.0 m,最多分为6 档,以适用不同填土高度时灵活选用,如表5 所示。框架涵设计借鉴了中国高速铁路框架涵的设计经验,沉降缝设置在两线中间,涵身分节长一般为5.0 m,出入口节2.0 m,同时结合《莫喀高速铁路特殊技术条款》、项目所处的气候条件、俄罗斯的设计习惯,对框架设计进行了优化,主要有以下几个方面:

(1)涵顶断面布置形式。由于路基标准断面中,将电缆槽移至坡脚外,遇到涵洞时,电缆槽将从涵顶通过,因此必须加长涵身长度并在出入口顶板附近增设

1.5 m 宽放置电缆槽的平台,如图9 所示。

(2)出入口八字翼墙结构形式。为减少混凝土用量,采用了轻型的钢筋混凝土八字翼墙土,且斜交框架涵出入口八字翼墙与正交框架涵一样正作,中间涵身节段平面为平行四边形,沉降缝沿线路方向设置,出入口段通过异型框架节段将沉降缝改变为与涵轴垂直设置。

表5 框架涵孔径类型

孔径 /m	结构净空高 /m	轨底~板顶距离 /m	线路与涵轴线交角
1.5	2.0	$H_{min} < H \leq 3.0$	90° 75°~85° 65°~75° 55°~65° 45°~55°
		$3.0 < H \leq 7.0$	
		$7.0 < H \leq 11.0$	
2.0	2.5	$H_{min} < H \leq 3.0$	
		$3.0 < H \leq 7.0$	
		$7.0 < H \leq 10.5$	
3.0	2.0	$H_{min} < H \leq 3.0$	
		$H_{min} < H \leq 3.0$	
	3.0	$H_{min} < H \leq 3.0$	
		$3.0 < H \leq 7.0$	
		$7.0 < H \leq 9.5$	
4.0	2.5	$H_{min} < H \leq 3.0$	
		$H_{min} < H \leq 3.0$	
	3.0	$H_{min} < H \leq 3.0$	
		$H_{min} < H \leq 3.0$	
	4.0	$H_{min} < H \leq 3.0$	
		$300 < H \leq 800$	

2.5 其他附属设施

作为系统的通用图,还将支座、伸缩缝、桥面防水、竖墙、遮板、栏杆等桥面附属设施纳入统一跨构目录,本文不再详细赘述。

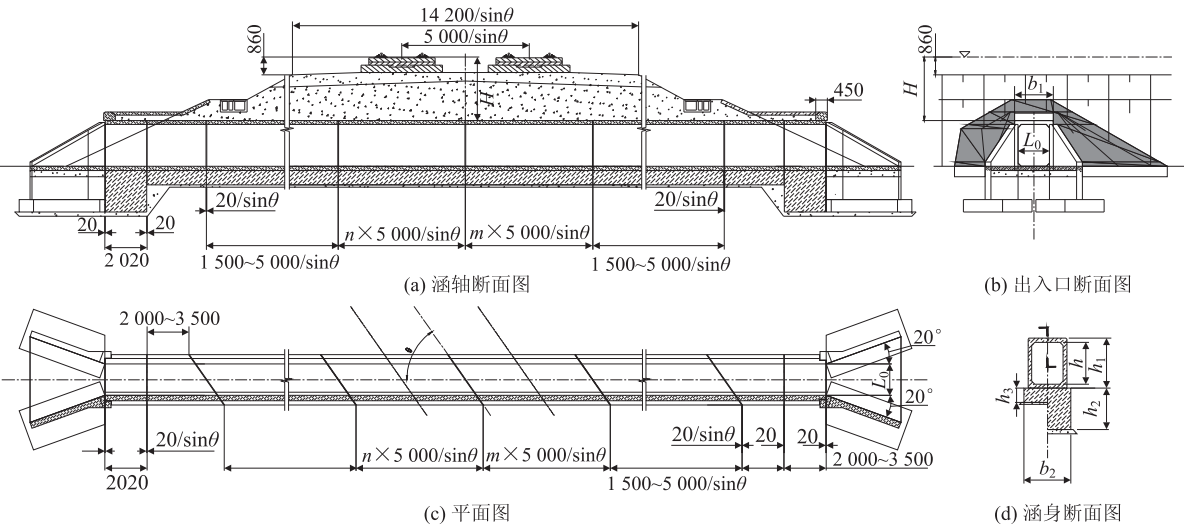


图9 斜交框架涵(mm)

3 结束语

莫斯科至喀山高速铁路项目是“一带一路”通往欧洲的陆路交通中的重要一环,是中国高速铁路技术真正走出去的标杆。其设计标准高、纬度高,温差大,宽轨铁路,而且所在国家法律法规、技术规范、建设程序完善,因此其难度可想而知。必须真正了解、熟悉当地法律法规、技术规范、建设程序,以及文化背景和设计习惯,才能将中国高速铁路桥梁的设计经验,应用到海外项目,同时进行创新和发展,莫喀高速铁路项目桥涵统一跨构通用图设计严格按照俄罗斯法律法规、建设程序编制,做到既输出了中国高速铁路桥梁设计核心技术,同时又满足俄罗斯现行的技术规范、设计习惯。本文详细介绍了桥涵统一跨构通用图设计内容以及与国内设计中的不同,在我国倡导“一带一路”、“中国高速铁路技术走出去”的当下,对其他海外项目,具有现实意义和较好的借鉴作用。

参考文献:

[1] 《关于设计文件各章节组成及其内容要求的决议》(俄罗斯联邦政府 2008 年 2 月 16 日颁布的第 87 号决议)2014 年修订版。  
RF Government Decree № 87 on February 16, 2008, Composition of the Sections of the Project Documentation and the Requirements for their Content.

[2] 中铁二院工程集团有限责任公司,俄罗斯国家桥梁设计研究院. 莫斯科至喀山高铁项目桥涵统一跨构初步设计文件[R]. 成都: 中铁二院工程集团有限责任公司,俄罗斯国家桥梁设计研究院, 2016.  
China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Russia's National Design and Research Institute of Bridge. Culverts and Frame

Structures for the Moscow-Kazan High-speed Railway[R]. Chengdu: China Railway Eryuan Engineering Group Co., Ltd., Russia's National Design and Research Institute of Bridge.,2016.

[3] 《最高设计速度 400 km/h,莫斯科-喀山-叶卡捷琳堡高速铁路,莫斯科-喀山段设计·特殊技术条款》第№1 修订版, 2016 年 1 月 13 日,俄罗斯联邦建设和住房公用事业部,批准号: 5-p.,  
“Special Technical Requirements for the Design of the Moscow-Kazan Section of the Moscow-Kazan-Ekaterinburg High-speed Railroad with a Speed of up to 400 km / h”. Amended №1. Approved by the Deputy Minister of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federati on August 3, 2016.

[4] 俄罗斯联邦地区发展部[2011]第 635 号令,СИ46. 13330. 2012 建筑标准与规范:桥涵[S].  
No. 635 Order from the Ministry of Regional Development of the Russian Federation [2011]. СИ46. 133330. 2012 Builbding Standards and Kegnlations: Bridges and Culverts[S].

[5] 俄罗斯铁路股份公司[2014]第 3036p 号令,铁路养护与维修手册[S].  
No. 3036p of JSC Russian Railways [2014] Amending for the Instruction on the Maintenance and Reparation of the Railway Track [S].

[6] TB 10002-2017 铁路桥涵设计规范[S].  
TB 10002-2017 Code for Design on Railway Bridge and Culvert [S].

[7] TB 10092-2017 铁路桥涵混凝土结构设计规范[S].  
TB 10092—2017 Code for Design of Concrete Structures of Railway Bridge and Culvert[S].

[8] GB 50917-2013 钢-混凝土组合桥梁设计规范[S].  
GB 50917-2013 Code for Design of Steel and Concrete Composite Bridge[S].

(编辑:车晓娟 苏玲梅)