

左翼,陈士轩,王昌喜,等.考虑血吸虫影响的大跨斜拉桥施工安全风险评估[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2022,37(2):58-63. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.02.009

ZUO Y, CHEN S X, WANG C X, et al. On the Construction Safety Risk Assessment of Large-span Cable-stayed Bridge Considering the Influence of Schistosomiasis[J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2022,37(2):58-63. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2022.02.009

考虑血吸虫影响的大跨斜拉桥 施工安全风险评估

左翼¹,陈士轩²,王昌喜²,贾文博³,汪建群^{3*}

(1.湖北交投建设集团有限公司,湖北 武汉 430050;2.中交二公局第一工程有限公司,湖北 武汉 430000;
3.湖南科技大学 土木工程学院,湖南 湘潭 411201)

摘要:血吸虫病会对湖沼区大跨桥梁的涉水施工造成影响并导致安全风险.为对该风险量化分级并进行针对性的防控,在建立桥梁施工安全风险体系时需要考虑血吸虫影响.以石首长江公路大桥主桥项目为依托,结合现行施工组织和地域环境特点,将洞庭湖区血吸虫感染纳入风险评价体系,对现行《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南(试行)》进行了补充完善;开展风险源辨识,建立重大风险源指标体系,评价了血吸虫感染风险等级,并提出防控措施.该桥施工过程中无一人感染血吸虫病,也无其他重大伤亡事故.所建立的考虑血吸虫影响的桥梁施工安全风险方法可为同类项目提供参考.

关键词:血吸虫感染;斜拉桥;施工安全;风险评估;洞庭湖区

中图分类号:U442.5 文献标志码:A 文章编号:1672-9102(2022)02-0058-06

On the Construction Safety Risk Assessment of Large-span Cable-stayed Bridge Considering the Influence of Schistosomiasis

ZUO Yi¹, CHEN Shixuan², WANG Changxi², JIA Wenbo³, WANG Jianqun³

(1. Hubei Transportation Investment Construction Group Co., Ltd., Wuhan 430050, China;

2. CCCC-SHEC First Highway Engineering Co., Ltd., Wuhan 430000, China;

3. School of Civil Engineering, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan 411201, China)

Abstract: Chistosomiasis is widely spread in the middle and lower reaches of the Yangtze River, affecting the construction of large-span bridge in lake and marsh area and leading to safety risks. In order to quantify and grade the risk and take targeted prevention and control measures, it is necessary to consider the impact of schistosomiasis and establish a bridge construction safety risk system. Based on the main bridge project of Shishou Yangtze River Highway Bridge, combined with the characteristics of construction organization and regional environment, the current "Guidelines for Safety Risk Assessment of Highway Bridge and Tunnel Construction" is supplemented and improved. The schistosomiasis in the Dongting Lake area is considered in the risk assessment system, the risk source identification is carried out, the major risk source index system is established, the risk level is evaluated, and the prevention and control measures are proposed. During the construction of the bridge,

收稿日期:2022-02-13

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51408218)

*通信作者,E-mail:jqw@hnust.edu.cn

nobody was infected with schistosomiasis and no major casualties occurred. The safety risk method of bridge construction considering the influence of schistosomiasis can provide references for similar projects.

Keywords: schistosomiasis infection; cable-stayed bridge; construction safety; risk assessment; the Dongting Lake area

血吸虫病是公认的全球公共卫生难题,严重危害人类健康,主要流行于亚、非和南美等发展中国家,传播广泛^[1-5]。目前,已发现有19种血吸虫能以感染的方式侵入人体,其中,对人类健康有严重威胁的多达6种。党辉等^[5]统计了2015年—2019年全国血吸虫病监测点的病情监测结果并进行分析,指出全国血吸虫病疫情已进入低度流行阶段,但应注重监测和预防;洪中等^[6]对全球血吸虫病的防控进展及面临的挑战进行了综述,指出目前卫生资源有限,防控措施单一,全球消除血吸虫病的目标仍面临挑战。在我国,血吸虫病主要在长江流域及其以南地区的12个省传播和流行^[7-10]。多年以来,虽然执行了严格的防治策略并取得了显著成效,但血吸虫病仍是危害湖区人民生命安全的重大疾病。

湖区桥梁施工因存在大量的涉水作业,存在血吸虫感染的风险。目前,桥梁施工都追求精细化和标准化管理,安全问题是桥梁施工管理应考虑的首要问题。一般基于《公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南(试行)》(简称《指南》)辨识项目施工过程中各项作业活动的风险等级^[11],并展开针对性的防控,而《指南》评价体系中并未考虑特殊的地域环境影响^[12]。因此,应将环境影响纳入风险评价体系,以便更加客观地评判桥梁施工安全风险等级。李艳哲^[13]以重庆白沙沱长江特大桥为依托,考虑临近铁路对施工安全的影响,并对施工安全风险进行了评估;颜路梦^[14]考虑海洋环境对跨海大桥主塔承台施工的影响,对施工安全风险进行了评估并提出了针对性的防控措施;李颖欣^[15]以广中江高速公路500 kV高压线路共用走廊段工程项目为例,考虑施工现场附近高压电对施工安全的影响,对施工安全风险进行了评估。然而,对于跨越长江的大跨桥梁,未见考虑湖区血吸虫感染对施工安全的影响。

本文以石首长江公路大桥主桥项目为依托,结合施工组织和地域环境特点,将洞庭湖区血吸虫感染纳入致险因子并建立其风险评价体系,开展了风险源辨识、风险分析和重大风险源估测等工作,并提出了防控措施,为大桥的施工安全风险分级预控管理提供了技术依据。相关施工安全评估方法和体系可为同类工程项目提供借鉴。

1 工程背景

石首长江公路大桥是鄂“953”高速网“枣阳—石首”段的跨江咽喉节点。大桥为高低塔单侧混合梁不对称超大跨度斜拉桥,桥跨布置为75 m×3+820 m+300 m+100 m(见图1)。该桥采用倒Y形混凝土主塔,下部结构采用群桩基础+整体式承台。主梁为单侧混合梁不对称体系,其中,北边跨位于陆地,设计采用混凝土箱梁,南边跨和中跨位于长江河堤内,采用钢箱梁,箱梁设计均采用PK断面。全桥设计采用半飘浮结构体系,在桥塔下横梁、各辅助墩、各过渡墩处均安装球型钢支座。项目建设总合同工期为42个月。

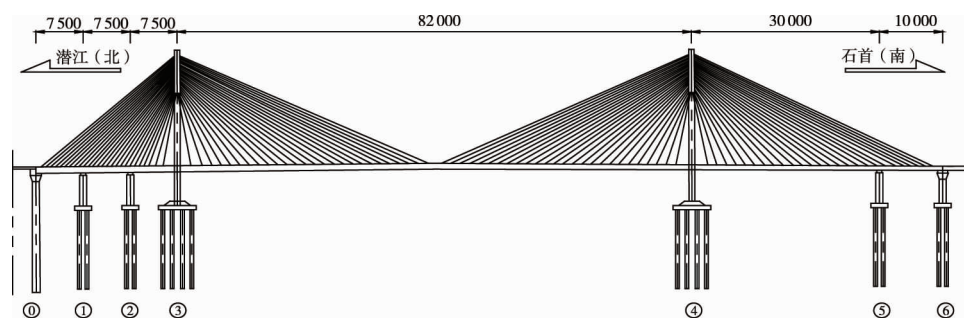


图1 石首长江公路大桥主桥立面布置(单位:cm)

江内施工栈桥和钻孔平台采用钢管桩基础+钢板面板结构体系,利用钓鱼法安装。桥墩桩基采用回旋钻或旋挖钻在枯水期完成施工作业。钢围堰委托企业分块预制,利用浮吊在现场进行拼装并整体下放。承

台施工利用钢围堰作为围挡结构在枯水期完成施工,主塔采用液压爬模法按照每节高度 5.9 m 分节施工,钢锚梁及其底座均采用塔吊直接吊装.南边跨及主跨钢箱梁在加工厂内预制,经水道移运至现场后,采用架桥机对称悬臂拼装.北边跨主梁在现场进行短线匹配预制,利用滑移支架移运拼装.斜拉索为低松弛高强平行钢丝成品索,通过水道移运至现场并在梁上放索,在索塔内单端张拉.

该项目的施工工艺复杂,涉及大量的水下施工、水上施工和高空作业,并历经多次体系转换,施工难度极大.首先搭设钢栈桥和水中平台,进行钢围堰施工;再利用机械钻孔进行桩基施工,浇筑水上灌注桩;之后浇筑封底混凝土,抽水并进行承台施工.其他施工均位于最高水位之上.

桥址江域为 I 级航道,因此,需要考虑施工对通航安全的影响.石首长江公路大桥地处两湖平原(江汉平原、洞庭湖平原)地理中心,属典型的湖沼型地域,水系复杂多变,存在大量的季节性洲滩,土壤肥沃,芦草茂盛,环境非常适合血吸虫的生存和繁殖.该桥涉及大量的涉水作业(涉水施工约占工期的 1/3),血吸虫感染是危及施工安全的风险源之一.因此,有必要结合桥址区域特殊的地理环境对其进行施工安全风险评估,辨识出重大风险源,以期对其采取针对性的防控.

2 施工安全风险评估

2.1 风险识别

2.1.1 施工作业分解

按照 JTG F80/1—2017《公路工程质量检验评定标准》相关规定^[16],对石首长江公路大桥的施工组织设计进行施工作业分解.具体包括:基坑施工;水上、陆上机械钻孔灌注桩;钢栈桥、水中平台和钢围堰安装;承台施工;塔、墩模板法施工;模板、支架安装与拆除;钢筋工程作业;混凝土工程施工;预应力张拉作业;悬臂拼装法作业;浮吊安装作业;斜拉索作业;临时设施(塔吊、龙门架等)安装与拆除;伸缩缝施工;泄水管施工;桥面与人行道铺装;防护栏等其他附属设施施工等环节.由施工作业分解的结果可知:施工组织中涉水作业的施工环节包括水上机械钻孔灌注桩、钢栈桥和水中平台施工、钢围堰施工及承台施工等.

2.1.2 安全事故辨识

参考《指南》,以施工过程为分析对象,综合考虑施工技术与工艺、管理和环境等因素的相互影响,对可能出现的施工安全风险源进行识别和排查.在《指南》的基础上,考虑地域环境的影响将血吸虫感染纳入风险源普查清单.其中,钢栈桥、水中平台、钢围堰施工需要进行水下焊接和拆除作业;水上机械钻孔灌注桩需要在江域内进行桩基成孔与水下混凝土浇筑作业;承台在围堰内浇筑,但部分施工作业点位于江面常水位以下;浮吊安装作业在江面水域上进行.经评估小组讨论,确定这些涉水项目工程在施工过程中可能存在血吸虫感染的风险.为节省篇幅,此处仅给出涉水作业的风险源普查清单如表 1 所示.需要说明的是,浮吊安装作业虽为涉水施工项目,但不会出现作业人员与江水直接接触的情形,故该施工项目不受血吸虫感染的影响.

表 1 风险源普查清单

单位作业(风险源)	坍塌	起重伤害	物体打击	高处坠落	机械伤害	触电	淹溺	车辆伤害	中毒窒息	容器爆炸	血吸虫感染
钢栈桥、水中平台、钢围堰施工	○	○	○		○	○	○				○
水上机械钻孔灌注桩	○	○		○		○	○			○	○
承台施工	○		○	○	○						○
浮吊安装作业		○	○	○							

注:○为有作业风险

2.2 风险估测

2.2.1 一般风险源估测

采用《指南》推荐的 LEC 评价法,对施工人员在有危险性的环境中作业进行半定量性的评估.LEC 评

价法由国际安全专家 K. J. 格雷厄姆和 K. F. 金尼于 1980 年共同提出,该方法操作简单,其评价模型采用与风险有关的 3 个指标,即事故发生的可能性大小 L 、工人暴露于危险环境的频繁程度 E 和事故造成的损失后果 C ,并用这 3 个指标的乘积 D (即 $D=LEC$) 来量化安全风险的大小.综合考虑各影响因素,由评估专家组对 3 种因素分别赋值,再得到 D 以量化危险性大小. D 的大小表征事故类型的危险程度, D 越大,则风险越高.《指南》将风险分为 4 个等级^[11].参考《指南》,将各个单位作业内容潜在的事故类型采用 LEC 评价法进行风险估测,得到各潜在事故类型的风险等级.

对存在血吸虫感染风险的钢栈桥、水中平台、钢围堰施工,水上机械钻孔灌注桩施工,承台施工进行风险估测,具体结果如表 2 所示.由表 2 可知:钢栈桥、水中平台、钢围堰施工需要进行水下焊接和拆除作业,血吸虫感染事故有可能发生;水上机械钻孔灌注桩施工基本在已搭建的平台上施工,血吸虫感染事故发生的可能性不大;承台施工时作业人员在钢围堰内作业,围堰由具备资质的设计单位设计,并经第三方复核和专家论证,其施工基本为干施工,故发生血吸虫感染的可能性极低.故经评估,钢栈桥、水中平台、钢围堰作业可能出现淹溺、坍塌和血吸虫感染的风险;水上机械钻孔灌注桩作业可能出现溺水和坍塌的施工风险;承台浇筑施工可能出现坍塌的安全风险.根据《指南》,对这 3 个作业环节进行重大风险源估测.

表 2 LEC 评价法风险估测

风险源 单位作业内容	潜在的主要事故类型	风险估测				评价等级
		L	E	C	$D=LEC$	
钢栈桥、水中平台、钢围堰	高处坠落	3	3	7	63	2 级
	起重伤害	3	3	7	63	2 级
	物体打击	3	3	3	27	2 级
	触电	1	3	7	21	2 级
	淹溺	3	3	15	135	3 级
	坍塌	1	2	40	80	3 级
	血吸虫感染	6	3	7	136	3 级
水上机械钻孔灌注桩	机械伤害	3	3	7	63	2 级
	溺水	3	3	15	135	3 级
	起重伤害	3	3	7	63	2 级
	容器爆炸	3	2	7	42	2 级
	触电	1	3	7	21	2 级
	坍塌	1	6	15	90	3 级
	血吸虫感染	3	2	7	42	2 级
承台施工	坍塌	1	6	15	90	3 级
	物体打击	3	3	3	27	2 级
	高处坠落	3	3	7	63	2 级
	机械伤害	3	3	7	63	2 级
	血吸虫感染	1	1	7	7	1 级

2.2.2 重大风险源估测

参考《指南》推荐的专家调查法和指标体系法,对所识别的 3 级及 3 级以上的风险源进行重大风险估测.为节省篇幅,以钢栈桥、水中平台、钢围堰作业为例,对其进行重大风险源评估.

评估小组结合现场实际进行专家调查,经讨论,认为钢栈桥、水中平台、钢围堰施工过程中发生事故造成人员伤亡的等级为 2 级(较大),引起的经济损失定为 3 级(重大).因此,该施工环节的事故严重程度参考就高原则定为 3 级(重大).

因《指南》并未给出钢栈桥、水中平台和钢围堰施工事故可能性评估的指标体系,专家组参考水上群桩作业建立其评估指标体系进行评估,具体赋分情况如表 3 所示.

由表 3 可知:该项施工评估总分值 $R=16$,根据施工单位资质情况取折减系数 $\gamma=0.8$,则评分 $P=R\gamma=12.8$.参考《指南》规定可知:发生事故可能性等级为 3 级(可能).根据事故的严重程度及可能性分析结果,

钢栈桥、水中平台、钢围堰施工过程中发生事故的风险等级为Ⅲ级(高度)。

表3 钢栈桥、水中平台、钢围堰施工事故可能性评估

评估指标	分类	标准分值	评估分值	说明
水文条件	水文条件不良,冲刷大	3~6	3	每年的6月—9月为汛期,流速较大,最高水位可达36.5 m,主塔位置最大水深可达13.5~15.3 m,汛期最大水流速度2.5 m/s
	水文条件较好,冲刷小,对施工安全基本无影响	0~2		
气候环境条件	峡谷、沿海等极端气候事件多发区域(强风、暴风雪等)	4~6	2	气候较好,百年一遇的最大风速23.9 m/s,长江若出现大雾天气,导致江面能见度不足,可能发生船撞事故
	气候环境条件一般对施工安全有影响,但不显著	2~3		
	气候环境较好,对施工安全基本无影响	0~1		
河床地质	工程地质条件不良、影响工期	0~1	1	桥址区揭露的地层均为第四系松散沉积物,岩性主要以粉细砂为主
施工期	汛期、高温、严寒等季节	2~3	2	汛期、冬季水上施工
	施工期适宜,基本不影响施工安全	0~1		
临时结构设计	采用以往经验设计	2~3	0	施工单位根据以往经验设计,进行强度、稳定性等结构计算复核
	采用专业设计验证方案,并由具有相关资质的企业制作	0~1		
水域通航条件	航道Ⅰ级,Ⅱ级,Ⅲ级	4~6	6	桥位处长江航道等级为内河Ⅰ级
	航道Ⅳ级,Ⅴ级,Ⅵ级	2~3		
	航道Ⅶ级以外	0~1		
血吸虫感染	存在感染风险高	4~5	2	需要进行水下焊接和拆除作业,血吸虫感染事故有可能发生
	可能存在感染风险	2~3		
	不存在感染风险或者风险很小	0~1		

2.2.3 重大风险源估测汇总

按照上述方法对所有3级以上的风险源进行重大风险估测,可得到所有重大风险源的风险等级,具体结果如表4所示。

表4 重大风险源估测汇总

序号	重大风险源	主要事故类型	事故可能性等级	严重程度等级		风险等级
				人员伤亡	经济损失	
1	钢栈桥、水中平台、钢围堰施工	淹溺、坍塌、血吸虫感染	3级(可能)	2级(较大)	3级(重大)	Ⅲ级
2	水上机械钻孔灌注桩施工	淹溺、坍塌	3级(可能)	2级(较大)	3级(重大)	Ⅲ级
3	塔吊、龙门吊、电梯等施工	高坠、坍塌	3级(可能)	2级(较大)	3级(重大)	Ⅲ级
4	高塔施工	高坠、坍塌	3级(可能)	2级(较大)	3级(重大)	Ⅲ级
5	钢锚梁吊装施工	高坠、起重伤害	3级(可能)	1级(一般)	3级(重大)	Ⅲ级
6	钢箱梁吊装施工	高坠、坍塌、起重伤害	3级(可能)	2级(较大)	3级(重大)	Ⅲ级
7	斜拉索施工	高坠、火灾	3级(可能)	1级(一般)	3级(重大)	Ⅲ级
8	基坑、承台施工	坍塌	3级(可能)	1级(一般)	2级(较大)	Ⅲ级
9	支架现浇施工	坍塌	3级(可能)	2级(较大)	3级(重大)	Ⅲ级
10	托架、支架存梁施工	坍塌	3级(可能)	1级(一般)	3级(重大)	Ⅲ级

由表4可知:钢栈桥、水中平台、钢围堰施工等10个施工单项作业评为Ⅲ级(高度风险);坍塌和高坠是现场施工最主要的事故类型。

由于钢栈桥、水中平台、钢围堰施工过程中存在频繁的涉水作业,主要的事故类型还包括血吸虫感染。现场制订了针对性的防止血吸虫感染的措施:(1)水下作业穿戴防水衣,严禁与江水直接接触,如不慎接触水体及时服药;(2)严禁饮用生水,定期进行体检;(3)在施工区域筑墙进行隔离防护,防止家禽家畜进

入,定期灭杀钉螺;(4)定期邀请专家进行防虫教育,对新进员工进行重点关注,对到现场参观人员进行重点提醒;(5)定期体检,定期服用预防药物,提高抵抗能力.相关措施实施效果良好,在施工期间无一人感染血吸虫病.

3 结论

1)结合洞庭湖区特殊的地域特性,将血吸虫感染病纳入了风险源,补充完善了《指南》的风险源识别清单.经评估可知:钢围堰、栈桥、水中平台作业,水上机械钻孔灌注桩作业和承台施工作业环节可能出现血吸虫感染的风险.

2)考虑血吸虫感染的影响,建立了涉水作业项目的风险等级评价指标体系.经评估,认为钢栈桥、水中平台、钢围堰施工过程中发生血吸虫感染事故的风险等级为Ⅲ级(高度风险).

3)经系统的专项评估,可知有10个施工环节评为Ⅲ级(高度风险).由评价结果可知:坍塌和高处坠物是现场施工最主要的事故类型.依据风险评估结果,建立了包含血吸虫防治在内的所有事故类型的针对性防控措施.该桥目前已建成通车,在现场施工过程中无一人感染血吸虫病,也无其他重大伤亡事故,说明施工安全风险评估及防控取得了良好的效果,相关经验可为同类区域的工程项目施工提供借鉴.

参考文献:

- [1] Patel P, Rose C E, Kjetland E F, et al. Journal Pre-proof Association of schistosomiasis and HIV infections: a systematic review and meta-analysis[J]. International Journal of Infectious Diseases, 2020, 102(49):544-553.
- [2] 曾庆芳,朱朝峰,李以义.三峡工程运行对洞庭湖区钉螺及血吸虫病的影响[J].人民长江,2015,46(15):51-53.
- [3] 张利娟,祝红庆,王强,等.2020年长江流域洪涝灾害后血吸虫病传播风险分析[J].中国血吸虫病防治杂志,2020,32(5):464-468.
- [4] 杨晋如,徐明星,谭晓东.健康中国战略与血吸虫病防控[J].中国血吸虫病防治杂志,2020,32(4):419-422.
- [5] 党辉,李银龙,郭婧怡,等.2015—2019年全国血吸虫病监测点病情监测结果分析[J].中国血吸虫病防治杂志,2021,33(2):120-126.
- [6] 洪中,吴铃铃,王丽萍,等.全球血吸虫病防控进展及面临的挑战[J].中国寄生虫学与寄生虫病杂志,2021,39(4):514-519.
- [7] 黄轶昕.长江江苏段岸线利用对血吸虫病传播影响及对策[J].人民长江,2012,43(s1):213-215.
- [8] 魏望远,朱诗好,石孟芝,等.长江故道废弃集成坑血吸虫病疫情调查[J].国际医学寄生虫病杂志,2006(2):61-62.
- [9] 马秀平,赵红梅,陈远翠.湖北省石首市麋鹿血吸虫病流行现况的调查[J].中国动物传染病学报,2007,15(5):28-30.
- [10] 袁对松,刘炜,张玉山,等.石首市长江故道地区血吸虫病流行情况调查[J].中国兽医寄生虫病,2006(1):20-22.
- [11] 中华人民共和国交通运输部.公路桥梁和隧道工程施工安全风险评估指南(试行)[S].2011.
- [12] 辛望.大跨径公路斜拉桥钢箱梁施工安全风险评价与控制研究[D].重庆:重庆交通大学,2015.
- [13] 李艳哲.受既有线控制的重庆白沙沱长江大桥施工风险控制研究[D].重庆:重庆交通大学,2016.
- [14] 颜路梦.群决策视角下跨海斜拉桥主塔承台施工风险模糊评价与控制[D].舟山:浙江海洋大学,2020.
- [15] 李颖欣.桥梁施工安全风险评估与控制研究——以某500kV高压线路共用走廊段施工项目为例[D].广州:华南理工大学,2017.
- [16] 交通运输部公路科学研究院.公路工程质量检验评定标准:JTG F80/1—2017[S].2018.