

文章编号: 1006 - 2106( 2012) 01 - 0040 - 05

# 超高压电线低空跨越下桥梁安装的安全技术<sup>\*</sup>

覃文元<sup>\*\*</sup>

( 中铁二十二局集团有限公司, 北京 100043)

**摘要:** 研究目的: 在 500 kV 超高压线路低空跨越公路大桥条件下桥梁架设施工的风险高、难度大, 研究桥梁架设可靠的专项安全防护技术措施, 以便保证作业人员、设备和高压电力设施的安全, 让桥梁架设施工成功通过超高压线路下空。

**研究结论:** 对高压电线下空的公路大桥桥梁架设施工方案做出比选, 并以采用架桥机架梁方案为基础, 对 500 kV 超高压电线低空跨越下的架梁工况条件、高压感应电场的强度和电流进行计算与分析, 对作业人员和设备的伤害状况做出了分析, 提出了保证作业人员、设备和电力设施安全的防护技术措施。

**关键词:** 超高压线路; 低空跨越; 公路桥梁; 安装; 安全技术

**中图分类号:** X9; U44 **文献标识码:** A

## Safe Technology for Erecting Bridge Crossing Extra - high Voltage Power Transmission Line in Low Altitude

QIN Wen - yuan

( China Railway 22nd Engineering Group Co. Ltd , Beijing 100043 , China)

**Abstract: Research purposes:** It is dangerous and difficult to erect the bridge under condition of the 500 kV high voltage transmission line crossing highway bridge in low altitude , so it is necessary to study the technical measures for safely erecting the bridge in order to ensure the safety of the operational person , device and high voltage power facilities and make the bridge construction successfully under - passing the high voltage line.

**Research conclusions:** The selection of the plan for erecting bridges is made. The working condition and the strength and current of the high voltage induction field under condition of 500 kV power line crossing in low altitude are calculated and analyzed on the base of the plan for erecting the bridge with bridge girder erection machine. The harm situation of the operational person and equipments is analyzed. The protective technical measures for ensuring the safety of the person , equipments and power facilities are offered.

**Key words:** extra - high voltage line; crossing in low altitude; highway bridge; erection; safety technology

陆渔公路一标段渔洋河大桥上空有 500 kV 超高压线路交叉跨越。经测量, 在气温 35 ℃ 条件下, 该高压线路弧垂最低点与桥面的最小垂直距离为 13.45 m, 如果桥梁架设施工期间处理不当, 极有可能发生区域停电、人身伤亡和设备损坏的事故。为保证该工程顺利实施, 保证作业人员、设备和高压电力设施的安全, 施工单位会同监理单位对 500 kV 超高压线低空跨越

公路大桥的条件下架梁施工可靠的安全技术措施进行专项研究, 在经过审查后严格实施该措施, 桥梁架设施工成功通过超高压线路下方, 实现了预期的目标。

### 1 工程概述

陆渔公路是湖北省鄂西南地区的重要经济干线公路, 渔洋河大桥为陆渔公路横跨渔洋河的第一座大桥。

\* 收稿日期: 2011 - 05 - 01

\*\* 作者简介: 覃文元, 1968 年出生, 男, 高级工程师、注册一级建造师。

该桥处于长江与清江交汇口,全长 208 m,桥面宽 20 m,线路里程桩号 K 2 + 181 ~ K 2 + 389,全桥平面布置为直线斜桥,最大纵坡为 0.8%。由于地形条件限制,大桥上空有 500 kV 超高压输电线路跨越。该桥上部结构为 6 × 20 m + 4 × 20 m 预应力混凝土箱梁,采用先简支后结构连续型式。桥梁中心线与预应力箱梁的端部、墩顶盖梁中线斜交 60°。桥面在桥台和 6<sup>#</sup>桥墩设置伸缩缝,支座采用滑板式橡胶支座和板式橡胶支座。桥墩为 3 柱式墩,直径 1.3 m。桥墩盖梁顶面与桥梁中线位置已架设梁面的设计高差为 1.65 m。

跨越渔洋河大桥上空的高压输电线电压为 500 kV。该线路的 92<sup>#</sup> ~ 93<sup>#</sup>塔与本项目渔洋河大桥 6<sup>#</sup> ~ 8<sup>#</sup>桥墩之间交叉跨越,跨越平面夹角约为 51°。在 2010 年 11 月 24 日至 2011 年 4 月 16 日期间不同气温情况下,测得在 30℃ 时高压导线弧垂最低点与已架设梁面最小垂直距离为 13.57 m,在 35℃ 时高压导线弧垂最低点与已架设梁面最小垂直距离为 13.45 m。该超高压线路 92<sup>#</sup> ~ 93<sup>#</sup>塔之间弧垂最低点在主要气温下的高度数据如表 1 所示。

表 1 不同气温下超高压导线与桥墩盖梁、已架设梁面的高差

监测时的气温	21℃		30℃		35℃	
测点位置	高压导线弧垂最低点与桥墩盖梁顶面最小垂直距离/m	高压导线弧垂最低点与已架设梁面最小垂直距离/m	高压导线弧垂最低点与桥墩盖梁顶面最小垂直距离/m	高压导线弧垂最低点与已架设梁面最小垂直距离/m	高压导线弧垂最低点与桥墩盖梁顶面最小垂直距离/m	高压导线弧垂最低点与已架设梁面最小垂直距离/m
6 <sup>#</sup> ~ 3 <sup>#</sup> 墩柱位置	15.43	13.76	15.24	13.57	15.13	13.45
6 <sup>#</sup> ~ 1 <sup>#</sup> 墩柱位置	16.05	14.40	15.87	14.22	15.75	14.13
7 <sup>#</sup> ~ 2 <sup>#</sup> 墩柱位置	15.98	14.33	15.80	14.15	15.67	14.05

注:表中桥墩盖梁顶面与桥梁中线位置已架设梁面的设计高差为 1.65 m。

大桥工程地处北亚热带大陆性季风气候,全年降雨多集中在 5 至 9 月,降雨量占全年的 60% 以上,特别是 6 月、7 月多为大雨或暴雨。高压线下空架梁施工期间为 5 月,白天气温在 20℃ ~ 35℃ 之间。渔洋河因上游水库不定期泄洪、发电等影响,桥址段河道四季水位变动较大,每年 5 月中下旬水位开始快速上涨,6 至 9 月为高水位期。

2 桥梁架设施工方法

本桥 6<sup>#</sup> ~ 8<sup>#</sup>桥墩处在 500 kV 超高压送电线路下方,受高压线影响的桥墩区间内桥梁上部结构应采用安全、适宜和经济的架设安装方案,以便切实保证施工人员、设备和高压送电线路的安全。施工方案选择上考虑了“单导梁桁架配合桥下吊装落梁法”和“公路双导梁架桥机架梁法”两种施工方案的技术经济比选,综合考虑两个方案的优缺点和现有设备距离工地的远近等条件,最终选择使用“公路双导梁架桥机架梁法”对受 500 kV 超高压导线影响的 6<sup>#</sup>桥墩 ~ 10<sup>#</sup>桥台之间的桥梁进行安装。

方案的主要工艺要点为:在桥头路基或在 3<sup>#</sup> ~ 5<sup>#</sup>桥墩已安装的桥面完成 30 m/80 t 的公路双导梁架桥机拼装,利用公路双导梁架桥机的横移和纵移轨道、双导梁桁架、电机、吊梁桁车等部件的功能将箱梁完成纵移和横移,并使梁体准确落到桥墩盖梁顶面的支座上。在完成一孔箱梁架设后再用同样的方法将架桥机的双导梁桁架纵移到下一桥跨,实现架桥机的过跨作业。

该方案所有吊装作业均由架桥机完成,具有工艺成熟、架梁速度相对较快、不受河道水位高低和汛期的影响等优点,但是存在架桥机顶端与 500 kV 超高压线弧垂最低点的最小垂直距离为 6.45 m,远不能满足设备与高压导线的距离大于 8.5 m 的安全要求等问题,并且方案不经济。

3 高压感应对人员及设备影响分析

3.1 500 kV 架空线下安全距离分析

《施工现场临时用电安全技术规范》(JGJ 46—2005)规定“起重机在外电架空线路附近吊装时,起重机的任何部位或被吊物体在最大倾斜时,起重机与 500 kV 架空电线路边线的最小安全距离为:沿垂直方向 8.5 m、沿水平方向 8.5 m。”按照现行《电业安全工作规定(线路部分)》的有关规定,排除恶劣天气影响,500 kV 超高压架空线带电操作最小安全操作距离为 3.4 m,即人体在距离 500 kV 超高压导线 3.4 m 之外不受高压线闪络电击,这是不停电工作的人员最小安全距离;机械设备在距离 500 kV 超高压导线 5 m 之外不受闪络电击的影响,这是机械设备不发生闪络电击的最小安全距离。

本桥工况条件保证了架桥设备和作业人员不在闪络电击的距离内,但垂直净距不能满足《施工现场临时用电安全技术规程》(JGJ 46—2005)要求的“起重机与 500 kV 架空电线垂直距离不小于 8.5 m”的安全距离。500 kV 超高压线路对桥梁架设施工人员、设备

和电力设施自身安全产生较大影响,反过来,高压线路下方架梁作业也会对高压送电线路安全产生较大影响。该工况下的架梁安装施工存在较大的危险源,必须采取可靠有效的人员、设备安全防护和外电防护措施。

### 3.2 高压电场感应对作业人员和设备的影响

#### 3.2.1 高压电线周围静电感应原理

高压送电线路周围存在着比较强大的电磁场,位于此电磁场内的导体会因静电感应出现感应电压,当人触及带有感应电压的物体时,就会有感应电流通过人体流向大地而使人受到电伤害。人体对高压、超高压电磁场下的静电感应电流更加灵敏,当  $0.1 \sim 0.2 \text{ mA}$  的感应电流通过人体时,就有明显的针刺感,而当工频电流( $50 \text{ Hz}$ )通过人体时,通过成年男性的电场感应电流为  $1 \text{ mA}$ 。

#### 3.2.2 电场强度和人体感应电流计算与分析

电场强度公式:  $E = KQ/R^2$ 。由此公式及感应电流计算公式得知:电场强度等级和感应电流由带电体向大地逐级降低。在单相高压导线正下方和 2 相高压导线中间垂直下方的电场强度影响较大。高压线的单相导线正下方主要受到单相导线电磁场的影响,高压线路的 2 相导线中间垂直下方受到该 2 相导线电磁场的综合影响。根据国家和行业规范规程和桥梁架设安装的工况条件,分别计算高压导线下方  $3.4 \text{ m}$ 、 $5 \text{ m}$ 、 $6.5 \text{ m}$ 、 $7 \text{ m}$ 、 $8.5 \text{ m}$ 、 $9 \text{ m}$ 、 $11.7 \text{ m}$ 、 $13.4 \text{ m}$ 、 $14.3 \text{ m}$  等多个距离的电场强度值和人体感应电流值,如表 2 所示。

表 2 高压导线下方不同距离的电场强度和人体感应电流计算

导线相数和位置	单相导线正下方		2 相导线中间垂直下方	
计算参数	电场强度 / (kV/m)	人体感应电流 / mA	电场强度 / (kV/m)	人体感应电流 / mA
导线垂直下方 $3.4 \text{ m}$	145	1.10	94	0.71
导线垂直下方 $5 \text{ m}$	67	0.50	68	0.51
导线垂直下方 $6 \text{ m}$	47	0.35	56	0.42
导线垂直下方 $6.5 \text{ m}$	40	0.30	50	0.38
导线垂直下方 $7 \text{ m}$	34	0.26	46	0.34
导线垂直下方 $8.5 \text{ m}$	23	0.17	34	0.26
导线垂直下方 $9 \text{ m}$	21	0.15	32	0.24

续表 2 高压导线下方不同距离的电场强度和人体感应电流计算

导线相数和位置	单相导线正下方		2 相导线中间垂直下方	
计算参数	电场强度 / (kV/m)	人体感应电流 / mA	电场强度 / (kV/m)	人体感应电流 / mA
导线垂直下方 $11.7 \text{ m}$	12	0.09	20	0.16
导线垂直下方 $13.4 \text{ m}$	9	0.07	16	0.12
导线垂直下方 $14.3 \text{ m}$	8	0.06	14	0.10

#### 3.2.3 高压电场感应对作业人员和设备的伤害分析

由于架桥机顶部的吊梁桁车顶面与高压导线的最小垂直距离仅为  $6.45 \text{ m}$ ,处于桥面和桥墩盖梁顶面的作业人员都不可避免地接触架桥机的金属构件,会承受由架桥机吊梁桁车顶面位置传递的感应电流,该电场感应电流大于与高压导线垂直距离为  $11.7 \text{ m}$  和  $13.4 \text{ m}$  的电场感应电流;当架桥机检修人员处于与高压线的最小垂直距离  $6.45 \text{ m}$  时,经计算人体感应电流最大为  $0.38 \text{ mA}$ 。因此,所有架梁作业人员和检修人员均有受到感应电流伤害的风险,作业检修人员与高压线的最小安全距离应设置在  $14 \text{ m}$ 。

## 4 保证施工和电力设施安全的防护措施

### 4.1 加强架梁设备的检验,确保设备安装符合安全要求

在架梁设备完成安装后,施工单位自检合格后,报特种设备检验检测机构对架梁机进行整体检验,检验合格后才允许使用。

### 4.2 保证架桥机的平衡和整体稳定性

采用枕木将前端横移轨道牢固支垫在桥墩盖梁顶面,支垫高度超过垫石顶面  $10 \sim 20 \text{ cm}$ ;前端和中部横移轨应保持严格平行;后固定支腿应采用枕木支垫牢固;在架梁设备的前端和中部横移轨道的两端处焊接金属阻车头,将金属阻车头焊接牢固。防止因横移轨道不平行、支垫不平稳、运行超过限制而出现架桥机脱轨、倾覆和滑倒等问题。

### 4.3 对架桥机顶端设置高压电场的绝缘隔离等安全屏蔽设施

由于架桥机顶端的桁车顶面与高压导线的最小垂直距离为  $6.45 \text{ m}$ ,架桥机的双导梁桁架与高压线的最小垂直距离为  $9 \text{ m}$ 。因此,在架桥机顶部的 2 台桁车和桁车轨道梁设置两个绝缘隔离屏蔽罩来屏蔽高压电场感应,降低感应电场干扰,防止遭受意外电击。绝缘隔离屏蔽罩的隔离防护等级达到 IP30 级。屏蔽罩设

置在架桥机的桁车顶面以上 0.1~0.6 m 位置,保证屏蔽罩顶面与高压导线的距离大于 6 m。屏蔽罩材料采用厚 10 mm 的橡胶绝缘板,要求抗电场强度大于 50 kV/m,耐电压值大于 30 kV。每个屏蔽罩设置两层,两层间距 0.5 m,每层长度 8.0 m、宽度 3.3 m。在 2 条桁车横梁上用高强塑料杆搭设牢固支架支撑 2 层绝缘板,在桁车顶端四周下垂 0.6 m 形成围护,将架桥机顶端的 2 台桁车和桁车轨道梁完全屏蔽。橡胶绝缘板之间用塑料绳、强力胶水连接,不宜用铁丝、钢丝、螺栓、铁钉等金属物连接。安设该隔离屏蔽设施时,在与高压线路边线水平距离 15 m 外的桥头安设隔离屏蔽设施应做到牢固、稳定。安设隔离屏蔽设施时,应将架梁机设备安放在与高压线路边线水平距离 15 m 外的位置进行安设,安设过程安排电气工程技术人员和专职安全人员监护,在安设完成后再将架梁设备进入高压线影响范围。隔离屏蔽设施应做到牢固、稳定,有抗 5 级以上大风的能力。

#### 4.4 对架桥机设置可靠有效的接地和防雷装置

架桥机的 16 台电机和 2 台桁架的卷扬机总功率为 86 kVA,按照 JGJ 46—2005 规程第 5.3.1 条的规定,架桥机采用同一接地装置并联运行方式接地方式,总接地电阻不应大于 10  $\Omega$ ,为尽量降低电流伤害,总接地电阻按照小于 4  $\Omega$  考虑。但由于架桥机在高压线静电电场环境下的电场强度很大(感应电流很小),为防止发生意外电击,因此,架桥机的总接地电阻按照不大于 4  $\Omega$  考虑。接地设计如下:架桥机计划由 4 处接地装置并联组成,每处接地装置设置 1 组接地体,每组接地体由 2 根长度为 2.5 m 的等边角铁组成,等边角铁断面规格为 [70 mm  $\times$  10 mm。接地线采用 25 mm<sup>2</sup> 多股铜芯绝缘导线,每一处接地装置采用 2 根接地导线做连接,每条接地线不短于 2 个桥孔的长度,总长度需求 200 m。为保证架桥机走行的同时做到有效接地,接地体必须做到动态更换,在大桥 5<sup>#</sup>、7<sup>#</sup>、9<sup>#</sup> 桥墩底部的河床地各预做 2 组接地体,埋深 0.5 m(即接地体顶面覆土厚度),架桥机每移动 2 跨位置,就更换连接 4 组接地体。接地线与架桥机金属结构之间加设防静电连接件,接地系统电阻应采用专用仪器检测。在架桥机顶部桁车轨道梁上设置 2 处防雷针。防雷针用直径 40 mm 的圆钢制作,防雷针高度 1.8 m,并焊接在桁车轨道梁的侧面。

#### 4.5 控制高压线下架桥机的运行速度

为防止增大静电感应,发生意外电击,架梁作业进入高压导线影响范围后,控制架桥机的双导梁过跨、吊梁桁车纵横移动的运行速率,用低档速进行施工作业,

桁车和导梁运行速率不大于 0.3 m/s。

#### 4.6 合理安排高压线下架梁工作时间

架梁作业安排在晴好天气作业,在雨雾天、雷天、5 级以上大风状况下禁止施工。每天的工作时段按照空气湿度控制,在 5 月份的傍晚和清晨等湿度大的时间段不进行高压导线下方架梁施工。

#### 4.7 加强临时用电和易爆物品的管理

在高压线下空,做好架梁施工临时配电线路的电气设备漏电保护、接地保护和临时用电管理。架桥机的电源安排架梁施工队现场指挥专业管理,并由专业电工专人负责监控。在高压导线下方空的桥面上,将乙炔瓶和氧气瓶等易燃易爆物分开放置,距离不小于 10 m,并保持乙炔瓶、氧气瓶与电焊机、配电箱、开关箱的间距不小于 10 m。

#### 4.8 对作业人员做可靠的安全防护和劳动保护

在对架桥机设备做安全防护基础上,进入高压导线下方的桥面、桥墩盖梁顶面的作业人员(包括操作、指挥和安全监控人员)与高压导线垂直距离为 8.5~14 m,应穿高压绝缘鞋,戴绝缘手套。在架桥机双导梁桁架以上负责检修的人员与高压导线垂直距离为 6.5~8.5 m,应穿高压绝缘鞋,穿绝缘衣裤,戴绝缘手套。严禁作业人员赤手或身体裸露部位接触架桥机的金属构件和电线电缆。要求绝缘衣裤、鞋、手套的耐电压值为 30~50 kV,抗电场强度为 50 kV/m,熔断电流不小于 30 A。在桥墩盖梁顶面测量放线、安装临时支座的高空作业人员,应佩戴“三宝”(安全系带、安全帽、防滑鞋),保证高空作业安全。

#### 4.9 确保不发生闪络电击,防止意外感应电流伤害

在高压线下空,严禁作业人员、设备、材料进入发生闪络电击的安全距离内,严禁将长大的金属杆件伸到架桥机上方,严禁作业人员随意攀爬架桥机、临时电线和吊梁桁车,预防发生闪络电击。在与高压导线的垂直、水平距离小于 14.0 m 的范围内,严禁作业人员使用手机、对讲机等通讯工具,对现场作业人员的通讯工具强制关闭,防止意外增强感应电流而导致伤害发生。在已经架设好的桥面上要将短小或零碎的钢筋、铁件、钢板清理干净,更不能带上架桥机。

#### 4.10 保证已架梁体的稳定和运梁通道安全

在一片梁体架设完成后,立即采用短枕木支撑起梁端横隔板和翼缘板。在每 2 片箱梁完成架设后,立即将 2 片梁体之间横向湿接缝、连续段现浇段的纵向钢筋进行焊接,保证已架梁体在桥墩盖梁上的稳定,再进行梁体的运梁和架设。在运梁车进入高压导线下方空桥面上前,在运梁车行走路线的已经安装梁体顶面梁

体预留工作孔和连续端现浇段上搭设钢板(厚度 25 mm),或在梁体预留工作孔内用短枕木搭设牢固支撑,用竹夹板或木板铺面(厚度不小于 20 mm),作为运梁车和其它设备的行走通道。并用石灰线或安全警示带作出运梁车行走路线标示,保证行走设备重量直接落在已经架设箱梁的中部,不允许直接落在梁体横向湿接缝内。

#### 4.11 按照规范设置桥面的临边安全防护措施

在已经架设的桥面边侧,采用直径 48 mm 钢管牢固焊接在护栏预留钢筋上,作为安全防护栏。钢筋间距 1 m,并挂 1.8 m 高的密目安全防护网。安全防护栏钢管高度不大于 2.0 m,防止安全栏钢筋伸入高压导线下方的不安全距离内。

### 5 措施实施效果

施工单位于 4 月 12 日在施工监测和研究的基础上制定了《500 kV 超高压线低空跨越条件下渔洋河大桥架梁专项施工方案和安全技术组织措施》上报业主单位。经过市安全生产监督管理局、市交通费管理局、中国超高压电建公司、地方电力管理部门等方面的专家审核,获得通过并获准实施。安全防护措施自 4 月 22 日起实施,5 月 6 日完成渔洋河大桥受到 500 kV 超高压线路影响的 6<sup>#</sup>桥墩~10<sup>#</sup>桥台的全部桥梁的架设施工。在桥梁架设施工期间,没有发生作业人员、起重设备遭受电击和高压输电线过载、漏电保护器跳闸停电等生产安全事故,没有出现大面积作业人员明显的麻电、刺痛感应,只有 2 名在桥面的作业人员有轻度头晕、不适的感觉。架梁施工成功通过超高压线区域,顺利实现安全保障目标,保证了关键工程的工期,降低了工程投资。

### 6 结论

(1) 成功实施的实践表明:架梁施工安全技术与组织管理措施数据资料准确,针对性较强,措施可靠有效,使架梁施工成功通过超高压线区域,顺利实现安全

保障目标和控制关键工程工期的目标。保证架桥起重设备横移轨道之间严格平行、横移轨道与架桥起重设备轴线的夹角准确以及架桥机支腿与轨道支垫牢固是保证架设斜桥桥梁、不发生脱轨甚至倾覆的必要条件之一。

(2) 架梁起重设备顶面与 500 kV 超高压电线最小垂直距离大于 6 m、小于 8.5 m 时,应该采取可靠有效的人员、设备和电力设施安全防护技术措施和组织管理措施,尤其在高压线垂直距离小于 8.5 m 的架梁设备顶面必须采取高压电场屏蔽设施、可靠接地保护等安全防护技术措施。

### 参考文献:

- [1] 黄文韬,王卓敏,刘永康. 架空输电线路故障测距的方法及应用[J]. 广东电力, 2005(1): 23-25.  
Huang Wentao, Wang Zhuomin, Liu Yongkang. Methods and Applications of Overhead Transmission Line Fault Location [J]. Guangdong Electric Power, 2005(1): 23-25.
- [2] JGJ 46—2005 施工现场临时用电安全技术规范[S].  
JGJ 46—2005, Construction Site Temporary Electrical Safety Specifications [S].
- [3] DL/T 741—2010 架空输电线路运行规程[S].  
DL/T 741—2010, Overhead Transmission Lines Running Order [S].
- [4] 国家电网公司. 电业安全工作规定(线路部分) 第一版[M]. 北京: 中国电力工业出版社, 2009.  
State Grid Corporation. Electrical Safety Requirements (Line Section) First Edition [M]. Beijing: China Electric Power Industry Press, 2009.
- [5] 冯怀. 500 kV 高压线下架桥机过孔的安全防护措施[J]. 百度文库, 2010(18): 1-5.  
Hong Huai. Security Measures for the Bridge Machine Through the Hole under 500 kV High-voltage Lines [J]. Baidu Library, 2010(1): 1-5.