大跨度钢结构临时桥梁应急施工方案

马 军 林， 李 军
（中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司，贵州 贵阳 550081）

摘 要：抢险应急桥梁安装一般存在场地条件较差、工期要求较紧、施工安全风险较大等特点，在规划布置时应充分考虑上述因素，必要时请行内专家进行咨询、指导，选用合理、可行的布置方案是关键。在桥梁安装过程中，按照设计及规范要求加强监测，缆风绳、斜拉扣绳等应及时安装到位，确保结构整体稳定。叶巴滩水电站“11·03”临时桥的成功实施，在大江大河防洪度汛，以及在应急恢复交通等方面具有一定的借鉴意义。

关键词：跨度钢结构；桥梁设计；施工进度；保障措施
中图分类号：TU393.3；U448；U445　　**文献标识码**：B　　**文章编号**：1001-2184(2019)05-0128-05

Emergency Construction Scheme of Temporary Bridge of Large Span Steel Structure

MA Junlin, LI Jun
(Guiyang Engineering Co., LTD, Guiyang, Guizhou, 550081)

Abstract: The emergency bridge installation generally has the characteristics of poor site conditions, tight construction period requirements and high construction safety risks, which shall be fully considered in layout planning. If necessary, professional experts shall be invited for consultation and guidance, and the selection of reasonable and feasible layout plan. During the process of bridge installation, the monitoring shall be strengthened according to the design and specification requirements and the hawser and cable-stayed buckle rope shall be installed in place in time to ensure the overall stability of the structure. The successful implementation of the "11·03" temporary bridge of Yebatan Hydropower Station can be used for reference in flood control and emergency traffic recovery.

Key words: span steel structure; bridge design; construction progress; guarantee measures

0 引 言

2018 年 10 月 11 日凌晨，西藏江达县波罗乡以下约 10 km 处金沙江发生山体滑坡事件，阻断金沙江干流并形成堰塞湖，至 10 月 13 日 7 时 50 分堰塞湖溃坝叶巴滩段下泄流量达到 7 770 m^3/s，超过 300 年一遇洪水标准。2018 年 11 月 3 日 17 时 00 分，白格滑坡体原主槽部位再次垮塌，阻断金沙江干流，至 11 月 13 日 19 时 50 分堰塞湖溃坝叶巴滩段下泄流量达到 28 300 m^3/s，超过万年一遇标准(10 600 m^3/s)。两次堰塞湖超标洪水将叶巴滩水电站金沙江两岸低高程(2 730～2 740 m)前期已完成的道路、桥梁全部冲毁(超标洪水达到高程 2 763 m)，导致金沙江右岸 4#、6#、8#交通洞等部位的交通完全中断，所有工作面全部被迫停止施工。

收稿日期：2019-07-24

为尽快打通金沙江左、右岸连接通道，经建设各方对比分析，决定恢复原上下游 4#、6# 临时桥(布置在左、右岸导流洞进出口)外，在大坝下游合适位置增加一座临时钢结构桥梁(“11·03”应急临时桥)，作为堰塞湖洪灾应急抢险项目尽快完成，尽早投入使用恢复两岸交通。

1 优化桥梁设计

参照公路工程钢结构桥梁相关规范[1]，“11·03”应急临时桥由两跨连续梁(27 m＋72 m)组成，采用开口式桁架钢结构形式，全部采用特种钢材，总重量 135 t，桥梁总体布置(图 1)。该桥梁在设计和布置时，充分考虑了以下因素：

(1)结合现场地形及地质条件，选定最优的桥梁位置。桥梁位置选择在大坝下游，接近厂房交通洞(4#、6# 交通洞)及右岸通往缆机平台交通洞(8# 交通洞)等关键部位，桥梁架设完成后便于尽

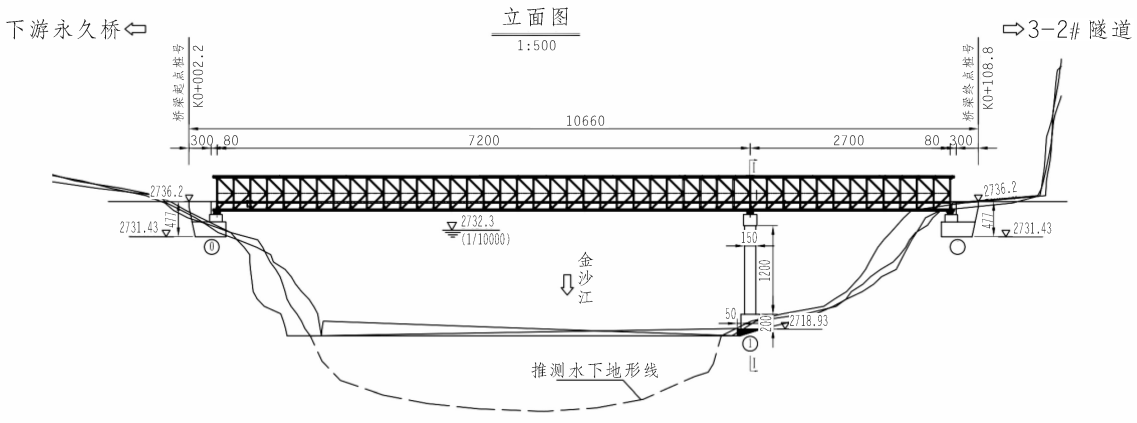

图 1　“11・03”临时桥布置图

快恢复交通洞施工。同时该部位河床相对较窄,两岸出露岩石较完整,有利于两岸桥台施工,最终选定的桥梁全长为:3.8 m＋72 m＋27 m＋3.8 m＝106.6 m。

(2)合理设计桥梁荷载,满足工程运输需要。该桥梁主要用于洞挖出渣,以及钢筋、水泥等材料运输,选定荷载为 50 t 单车。

(3)充分考虑防汛及上游堰塞湖洪水风险,提高防汛标准。金沙江主汛期主要集中在 6 月至 9 月,为满足防汛要求。同时充分考虑上游白格堰塞湖仍然存在的风险,桥梁防汛标准提高为百年一遇。

(4)尽量选用成品材料,加快现场施工进度。本桥主桁架采用 K 形桁架,主桁桁高 5 m,节间长度 2.25 m,横梁间距 4.5 m,弦杆长度 9 m,轴线间距 8.516 m,行车道两侧布置波形护栏,定型钢桥面板,通行净宽为 7.35 m。主桁全部杆件均为工厂制备,采用高强螺栓连接。绝大部分材料为成品件,进场后即可组装,加快桥梁安装进度。

(5)利用场内其他桥梁桥面材料,节省工程建设投资。电站坝址上游至进水口设计规划有一座钢结构桥梁(7# 临时桥),为节省投资,“11・03”应急临时桥上部结构绝大多数采用 7# 临时桥构件,“11・03”应急临时桥完成使命后,上部结构再用于 7# 临时桥,可节省工程投资 400 万元。

2　加快施工进度

该桥梁安装从桥位实际地形、地质特点、桥梁形式及跨径,以及施工方便性等综合因素考虑,现场采用起重机吊装、钢扁担锚拉法悬臂拼装、配重加斜拉扣挂、滚筒拖拉等几种安装方案。整个安装过程分为四个阶段,其中阶段一为左岸回填施工平台用 50 t 汽车起重机安装 27 m 跨;阶段二为钢扁担锚拉法悬臂拼装 27 m;阶段三为钢扁担锚拉法加斜拉扣挂拼装 18 m;阶段四为滚筒拖拉法,汽车起重机落梁安装 27 m 节段。

2.1　一阶段安装措施

一阶段先安装 27 m 跨,安装前在左岸回填一吊装平台,平台靠 1 号桥墩侧放坡,坡度满足安全规范要求[2],1# 桥墩处坡脚设置钢筋石笼与桥墩分隔开,避免对桥墩产生侧压力。

该 27 m 跨采用汽车起重机,按照起重机相关操作要求[3]在回填平台上吊装安装下弦杆、横梁、腹杆、上弦杆及桥面板,依次安装完成该跨钢桁架梁。

2.2　二阶段安装措施

二阶段安装 27 m 跨,采用钢扁担锚拉法悬臂拼装,用 50 t 汽车起重机悬臂拼装该段。

抗倾覆稳定由 2# 桥台处预设钢扁担提供对桁架支座节点的拉力来实现,参照钢结构相关规范要求[4],经复核计算设计抗倾覆钢扁担 2 个,每个由 2 根 40a 槽钢组成,长度 1.8 m。钢扁担与预埋型钢(Q345B) HW200×200×8×12 螺栓连接。预埋型钢埋入混凝土深度 2.5 m,外露长度 1.34 m。为了牢靠锚固预埋型钢,桥台在原设计尺寸的基础上做了加大处理。

本跨设置 4 道缆风绳,缆风绳与地面夹角不大于 30°,与桥轴线夹角不小于 50°。二阶段安装如图 2 所示:

2.3　三阶段安装措施

三阶段安装 18 m 跨,采用斜拉扣挂法,用 50 t 汽车起重机悬臂拼装该段。

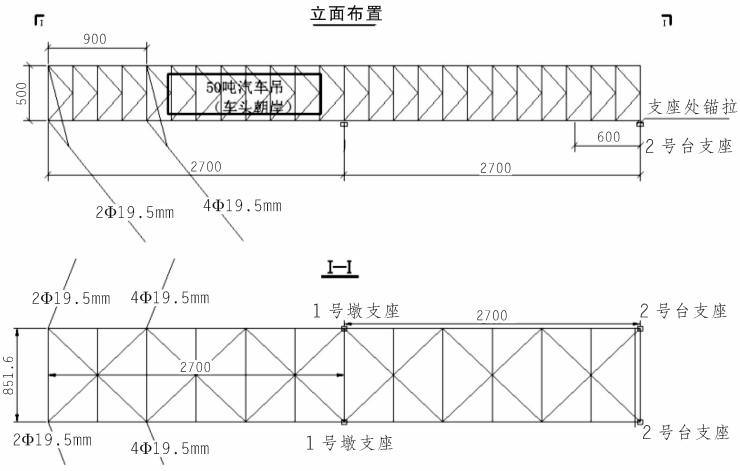

图 2　“11・03”临时桥二阶段安装示意图

2.3.1　斜拉扣挂系统

在左岸 1# 桥墩上设置塔架，塔架采用外径 600 mm、壁厚 12 mm 的 Q345B 钢管，塔架高度(包含柱头及柱脚)25 m，横向净距 5 m，通过法兰螺栓连接而成双柱式结构，每根立柱采用 2 根钢管，全桥共 4 根。塔架立于 1＃墩处的钢横梁上，塔脚采用铰接方式。塔架设置前后缆风和横向缆风，前后缆风各 2 道，上下游各 1 道，每道选用 6×φ19.5 mm 钢丝绳。横向缆风上下游各 1 道，每道选用 4×φ19.5 mm 钢丝绳。前缆风锚于右岸岩石上，后缆风锚于左岸锚桩上。

该桥 9 m 桁架节段重量为 12.267 t，27 m 桁架片安装节重量为 36.8 t。本段设置四道斜拉扣挂索，上下游各 2 道。根据钢丝绳相关规范要求[5]，经计算分析每道拉索选用 2×φ52 mm 钢丝绳，每道拉索设置一组收放滑车组，拉索锚固于左岸 4 根钢筋混凝土锚桩上。

2.3.2　左岸主锚碇

左岸主锚碇设置 4 根 φ1.6 m 钢筋混凝土锚桩，每根桩长 6.5 m，对称于桥轴线布置。桩身全为坚硬岩石，采用 C40 钢筋混凝土浇筑。

本跨安装共设置 4 道缆风绳，上下游各两道，每道缆风绳选用 2×φ19.5 mm 钢丝绳。三阶段安装如图 3 所示：

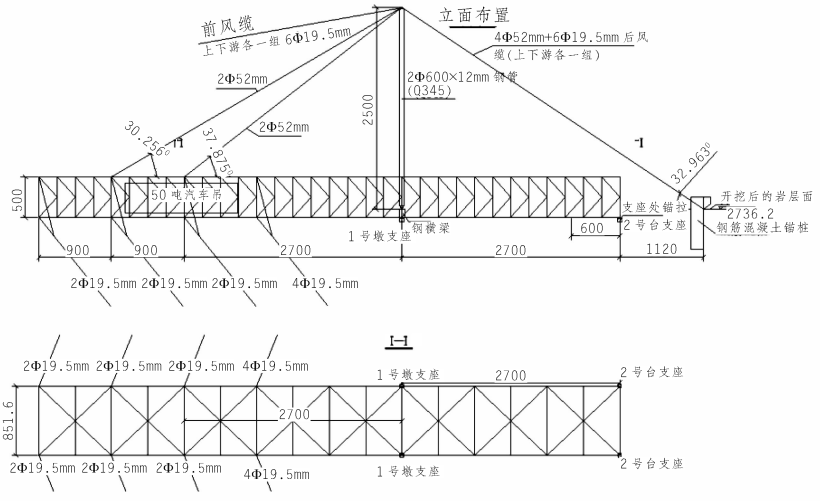

图 3　“11・03”临时桥三阶段安装示意图

2.4　四阶段安装措施

四阶段安装右岸 27m 跨，采用滚筒拖拉法纵移梁、汽车起重机落梁方式。

2.4.1　右岸锚固系统

本跨安装前先在右岸 0# 桥台部位，正对上下游弦杆轴线设置锚环锚碇，锚环上下游各设置 4 个，用 HPB300(φ32 mm)圆钢制作。锚环埋入岩石 2 m 深，孔内灌注 M20 水泥浆。

2.4.2　最后 27 m 跨安装

27 m 节段拼装位置位于 1# 桥墩两侧,靠河侧先拼装,边拼装汽车起重机边后退,最后停留在左岸 27 m 跨桥上,桁架片移运滚筒采用 φ60 mm 钢棒。

桁架片拼装和移运过程中,设置可靠的防侧倒支撑。移运过程中设置 1 根 φ52 mm 制动索,制动索利用 2# 桥台上的预埋锚环固定,尾部设置 1 道 φ52 mm 捆绑索,捆绑索两端固定于上下游已安装桁架的下弦,中间捆压住移运桁架的上弦,以防止移运桁架的纵向倾覆。移运过程中,桁架始终保持前端标高不低于后端,即在桥面上的桁架底部不脱离滚筒。移运至尾部尚有 2 m 在桥面上时停止移运,利用 50 t 汽车起重机落梁。落梁时的横移在整个梁体呈悬空状态后操作,前端由上下游拉索的收紧和松放(一侧收紧的同时另一侧放松)并结合横向风缆进行控制,后端由汽车起重机的操作来实现。

本跨设置 4 道缆风绳,上下游各两道,每道缆风绳选用 2×φ19.5 mm 钢丝绳。缆风绳锚固于右岸岩石,用于保持安装桁架片的横向稳定。四阶段安装如图 4 所示:

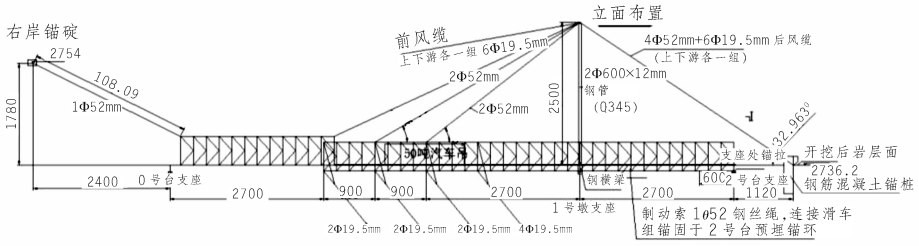

图 4　"11·03"临时桥四阶段安装示意图

2.5　**斜拉挂扣系统拆除**

在桥梁所有吊装任务完成后开始逐步拆除斜拉挂扣系统,拆除的顺序与安装顺序基本相反。

2.5.1　斜拉挂扣索拆除

上下游对称逐级松索,松索完成后解除捆绑绳索。

2.5.2　塔架拆除

拆除按照"自上而下"的基本顺序进行操作,先拆除塔顶横梁及斜撑,在拆除过程中,注意保持所拆除结构与整体结构的关系,注意观察重要受力杆件的变形情况,防止出现整体倾覆和局部屈曲等不利情况。现场塔架采用 50 t 汽车起重机拆除。

3　安全保障措施

3.1　安装监测

根据本桥梁特点,在现场安装过程中及时开展了如下监测工作,并对偏差值超出设计要求的立即暂停施工,查明原因,采取措施,确保桥梁安装整体稳定和施工安全。

桥梁轴线控制;塔架在安装过程中的偏移控制;桁架片各扣点在各阶段的标高控制;扣索各阶段索力观测;锚碇位移变形观测;最后 27 m 段安装时的重点观测。桥梁悬臂安装倾覆安全是关键,因此,标高测量是整个观测工作的重中之重,安装过程中悬臂最前端标高下降值始终控制在 L/300 之内(L 为悬臂长度)。

3.2　安全管控措施

本桥梁安装前,经全面分析,现场主要危险源包括:左岸塔架及风缆系统;两岸锚碇系统;斜拉扣挂索系统;汽车起重机;钢桁架风缆系统及最后 27 m 段安装等。针对各危险源按照安全作业相关规定[6],分别制定安全专项措施,并安排专职安全人员进行全过程指导、检查及纠偏,顺利实现安全生产目标。

4　本桥施工的体会

叶巴滩水电站"11·03"应急临时桥实际施工工期为 70 d,其中土建施工 20 d、钢结构及附属设施安装 50 d,较同类型钢结构桥梁的施工工期相比提前较多,切实发挥了应急抢险作用。结合本桥梁实际实施情况,小结以下几点体会:

(1)抢险应急桥梁安装一般存在场地条件较差、工期要求较紧、施工安全风险较大等特点,在规划布置时应充分考虑上述因素,必要时请行内专家进行咨询、指导,选用合理、可行的布置方案是关键。(2)大跨度钢结构桥梁安装应以科学、可行的技术方案为基础,充分结合现场实际条件及

工期要求，可综合采用多种便于操作、安全快速的安装措施，以加快施工进度。(3)大跨度桥梁安装相对技术复杂、标准严格，应选择专业队伍进行规范化、精细化作业，确保一次安装到位。(4)桥梁安装现场安全危险源相对较多、风险较大，施工前应制订详细的安全专项措施，对危险源进行全面辨识、管控。现场配置有经验、责任心强的技术和安全人员进行全过程、全方位指导和管控，确保施工安全。(5)针对应急抢险项目的现场施工组织，可充分利用、整合现场资源优势，如两岸桥台土建项目可安排提前实施，避免占用直线工期。所用材料、设备尽量选用正规厂家生产制作的成品件，在保证质量的基础上加快现场施工进度，争取尽早投入使用。(6)在桥梁安装过程中，按照设计及规范要求[7]加强监测，缆风绳、斜拉扣绳等应及时安装到位，确保结构整体稳定。另外桥梁安装所用钢丝绳较多，必须按照规范要求[8]及时进行检查、保养、更换。

叶巴滩水电站“11·03”临时桥的成功实施，在大江大河防洪度汛，以及在应急恢复交通等方面具有一定的借鉴意义。

参考文献：

[1] 《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64－2015[S].中华人民共和国交通运输部发布，2015－12－01 实施.

[2] 《公路工程施工安全技术规范》JTG F90－2015[S].中华人民共和国交通运输部发布，2015－05－01 实施.

[3] 《起重机械安全规程》GB6067.1－2010[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会发布，2011－06－01 实施；《起重吊装常用数据手册》，2002 年 2 月，人民交通出版社.

[4] 《钢结构设计标准》GB50017－2017[S].中华人民共和国住房和城乡建设部、中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局发布，2018－07－01 实施.

[5] 《重要用途钢丝绳》GB8918－2006[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会发布，2006－09－01 实施.

[6] 《公路工程施工安全技术规范》(JTG F90－2015)[S].中华人民共和国交通运输部发布，2015－05－01 实施；《危险性较大的分部分项工程安全管理规定》，中华人民共和国住房和城乡建设部令第 37 号，2018－06－01 施行.

[7] 《公路钢结构桥梁设计规范》JTG D64－2015[S].中华人民共和国交通运输部发布，2015－12－01 实施；《公路桥涵施工技术规范》JTG/T F50－2011[S].中华人民共和国交通部发布，2011－08－01 实施.

[8] 《起重机钢丝绳保养、维护、检验和报废》GB/T 5972－2016[S].中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局、中国国家标准化管理委员会发布，2016－06－01 实施.

作者简介：

马军林(1978-)，男，汉族，甘肃通渭人，高级工程师，国家注册监理工程师，现就职于中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司，从事水电水利工程施工及监理工作.

(责任编辑：卓政昌)

(上接第 119 页)

加。随着通水时间的增长，最大拉应力随之减小，在一定的时间内，随着通水时间的增加，最小安全系数会增加，但超过一定的时间会导致拉应力的增长过快，降低安全系数，使的最小安全系数反而下降。

参考文献：

[1] 叶更强，方丹，江亚丽，黄可.钱军，白鹤滩水电站地下厂房位置及轴线选择设计[J]. 浙江水利科技，2015，43(6)：46－51.

[2] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京：中国电力出版社，1998.

[3] 康迎宾，贾小刚，王亚春，鲁其灿.大体积混凝土温度应力场的仿真分析[J].中国农村水利水电.2009，(3)：83－86.

[4] 丁兵勇，杨忠良，唐瑜莲，陈守开，安晓伟.水电站厂房大体积混凝土温度应力分析与防裂措施[J].南水北调与水利科技.2015，(2)：362－365.

[5] 何建平，涂传林.向家坝水电站大体积混凝土温度应力与温度控制[J].人民长江.2009，40(11)：20－23.

作者简介：

赵修龙(1989-)，男，江苏扬州人，工程师，硕士，主要从事水电站厂房设计工作；

万祥兵(1978-)，男，江西南昌人，教授级高级工程师，本科学历，主要从事电站厂房设计工作；

方　丹(1980-)，男，安徽黄山人，教授级高级工程师，硕士，主要从事电站厂房设计工作；

李良权(1981-)，男，湖北武汉人，高级工程师，博士，主要从事水电站厂房设计工作.

(责任编辑：卓政昌)

四川省正式同意开展乌东德水电站蓄水验收工作

在国家能源局、四川省能源局高度重视下，经三峡集团上下共同努力，乌东德水电站蓄水验收工作取得了重要进展。2019 年 10 月 16 日，四川省能源局正式印发《四川省能源局关于金沙江乌东德水电站工程蓄水验收工作有关事项的函》(川能源水电〔2019〕113 号)，同意开展乌东德水电站蓄水验收工作，并委托水电总院根据相关规定组织实施。至此，作为两省界河电站，乌东德水电站蓄水验收工作已得到四川、云南两省的正式批准，为顺利实现 2020 年 7 月首批机组投产发电目标又迈出了实质性的重要一步。