

中国公路学会桥梁和结构工程分会

2015年

全国桥梁学术会议
论文集

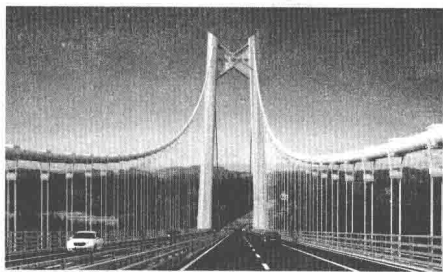


人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

中国公路学会桥梁和结构工程分会

2015年

全国桥梁学术会议 论文集



主办单位 中国公路学会桥梁和结构工程分会

贵州省交通运输厅

贵州省公路学会

协办单位 贵州中交贵瓮高速公路有限公司

中交第二公路工程局有限公司

中交二公局第三工程有限公司

贵州高速公路集团有限公司

贵州交通建设集团有限公司

贵州路桥集团有限公司

贵州省公路工程集团有限公司

贵州省交通规划勘察设计研究院股份有限公司

贵州桥梁建设集团有限责任公司

贵州省交通科学研究院股份有限公司

贵州中南交通科技有限公司

贵州黔通智联科技产业发展有限公司

贵州交通物流集团有限公司



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

内 容 提 要

本书为中国公路学会桥梁和结构工程分会 2015 年全国桥梁学术会议论文集。论文集分为规划与设计;施工与控制;结构分析与试验研究;养护管理、检测与加固四部分。其中包括我国近年来在建、已建有代表性桥梁所采用的新技术、新方法、新材料,值得业界学者和工程技术人员参考和借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

中国公路学会桥梁和结构工程分会 2015 年全国桥梁学术会议论文集 / 中国公路学会桥梁和结构工程分会主编
—北京:人民交通出版社股份有限公司, 2015. 10

ISBN 978-7-114-12509-6

I. ①中… II. ①中… III. ①桥梁工程—学术会议—文集 IV. ①U44-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 224673 号

Zhongguo Gonglu Xuehui Qiaoliang he Jiegou Gongcheng Fenhui 2015 Nian Quanguo Qiaoliang Xueshu Huiyi Lunwenji

书 名:中国公路学会桥梁和结构工程分会 2015 年全国桥梁学术会议论文集

著 作 者:中国公路学会桥梁和结构工程分会

责任编辑:张征宇 赵瑞琴

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:880 × 1230 1/16

印 张:54.75

字 数:1620 千

版 次:2015 年 10 月 第 1 版

印 次:2015 年 10 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-12509-6

定 价:180.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

中国公路学会桥梁和结构工程分会
2015 年全国桥梁学术会议论文集

编 委 会

主 编 张喜刚 王秉清

副 主 编 逯一新 罗 强 许德友 赵君黎

谭昌富 杨志刚

审稿专家 王永珩 曾宪武 雷俊卿

工 作 组 魏巍巍 杨红玲 廖 玲

责任编辑 张征宇 赵瑞琴

目 录

I 规划与设计

1. 清水河大桥总体设计和关键技术创新 彭运动 张胜利 郭俊礼(3)
2. 清水河大桥钢桁梁设计关键技术 侯 满 刘 波 彭运动(8)
3. 贵瓮高速公路清水河大桥锚碇设计 王茂强 曾 宇(13)
4. 清水河大桥索塔大直径挖孔嵌岩桩设计 门永斌 彭运动 曾 宇(18)
5. 清水河大桥引桥高墩设计 陆从飞 曲春升 刘 波(22)
6. 毕都线北盘江大桥设计及关键技术特点 刘 波 侯 满 彭运动(26)
7. 大跨钢桁梁斜拉桥总体计算分析 王茂强 侯 满(34)
8. 贵州大跨径斜拉桥建设发展与展望 杨万林 刘建军 丁作常 杨 健 杨鸿波(40)
9. 普宣高速公路普立特大桥方案研究 汪 宏 王 鹏 童 韬 陈骑彪(45)
10. 大跨径悬臂浇筑混凝土拱桥的应用与发展研究 蒋建军 牟廷敏 蒋劲松(56)
11. 开创大跨度公铁两用拱桥新体系 刘长卿(62)
12. 浙江奉化浒溪线四明大桥的设计与分析 李志勇 王松林 周立平(65)
13. 汶川至马尔康高速公路(A9 标段)桥梁设计 姚玉强 杨 俊(69)
14. 悬挑桥梁结构在山区公路建设中的探索应用 刘维栋 陈仁普 蒋自强(81)
15. 公路桥梁工程设计阶段风险评估理论与实践 张 杰 冯 莧 赵雪枫 李 雪 李文杰(85)
16. 风险评估体系在禹门口黄河大桥设计方案比选中的应用 钟 元 宋 宁(89)
17. 基于风险转化和触发条件的桥梁运营安全风险评估技术 马军海(95)
18. 公路桥梁设计的昨天、今天和明天 颜文晖 魏巍巍 赵君黎 赵雪枫(102)
19. 红水河特大不对称混合梁斜拉桥设计与计算 刘建军 周 潇 蒲国富 叶洪平(106)
20. 曲线部分斜拉桥设计 刘立民 杨 健 韦定超 陈应高(112)
21. 香火岩特大桥的设计与施工 陈冠桦 万 麟 赵 凯 杨 健 韦定超(117)
22. 一跨 81m 上承式钢筋混凝土拱桥设计 张志涯 刘超豪(123)
23. 思南岩头河大桥桥型方案比选 高 丽(126)
24. 剑河县仰阿莎大桥抗推力墩设计及计算分析 高 丽(130)
25. 山区高速公路 T 梁桥高墩结构优化研究 吴怀义 罗晓瑜 陈艾荣(135)
26. 山区 T 梁桥下部高墩类型的比较和认识 吴胜燕(140)
27. 大跨度斜拉桥阻尼器参数分析 娄 锋(144)

28. 大跨径缆索支承桥梁梁端限位措施研究 孔海霞 吴明远(149)
29. 桥梁模数式伸缩装置耐久性设计研究 唐志 杜镔 方园 易金刚(154)
30. 对我国预应力混凝土连续刚构桥梁设计规范完善的建议 吴国松(158)
31. 山区大跨连续刚构桥审查咨询要点 郭晓东 黄绍槟(162)
32. 波形钢腹板矮塔斜拉桥的设计计算分析 邓文琴 张建东 刘朵 胡隽(165)

II 施工与控制

33. 毕都高速公路北盘江大桥钢桁架梁顶推方案研究 曲春升 侯满 彭运动(171)
34. 大跨度钢桁梁斜拉桥主梁“多点拖拉式”连续顶推施工 廖万辉 刘骁凡 段武兵(175)
35. 毕都高速公路北盘江大桥主塔承台大体积混凝土温控技术 段武兵 刘骁凡 廖万辉(179)
36. 毕都高速公路北盘江大桥主塔下横梁斜拉支架施工技术 刘骁凡 段武兵 廖万辉(184)
37. 红水河大桥主塔下横梁现浇支架预压方案设计 陈林(187)
38. 红水河特大桥高墩爬模系统安全管控重点分析 刘晨(191)
39. 双塔预应力混凝土斜拉桥索塔施工探索 黄盛(194)
40. 斜拉桥索塔上横梁现浇施工 李建 范志新(197)
41. 望安高速公路北盘江特大桥主墩桩基施工监理控制要点 伍华刚(200)
42. 镇胜高速公路北盘江大桥缆吊系统及钢桁加劲梁安装关键技术研究 郭吉平(208)
43. 毕都高速公路抵母河特大桥创新施工方法简介 陈历焕(213)
44. 主缆悬挂尼龙吊带组合吊具安装主梁施工方法——PC 加劲梁悬索桥主梁安装方法 张胜林(219)
45. 高墩大跨度空腹式刚构桥空腹区施工方法研究 应松 秦林 陶路(226)
46. 290m 空腹式刚构桥三角区施工技术 韩洪举 黄坤全(231)
47. 空腹式连续刚构桥施工过程受力特性分析 黄坤全 陶路 彭旭民(234)
48. 290m 空腹式刚构桥三角区箱梁施工支架受力分析 韩洪举(239)
49. 大吨位、倾斜行走挂篮施工技术 刘小飞(244)
50. 水盘高速公路北盘江大桥合龙顶推技术研究 刘小飞(248)
51. 水盘高速公路北盘江大桥 8 号墩承台大体积混凝土施工 彭泽鸣 邢应发(254)
52. 贵州深“V”形山区连续刚构桥梁施工研究 付浩(256)
53. 赫章特大桥超高墩施工自动化测量控制技术 雷乃金(262)
54. 平溪特大桥主墩墩身施工技术 毛旭 刘险峰(267)
55. 平溪特大桥箱梁挂篮施工技术 毛旭(270)
56. 连续刚构桥梁悬臂箱梁施工监理 廖文龙(276)
57. 桥梁挂篮施工技术 陶永俊 孙瑞华(280)
58. 山区连续刚构桥梁高墩边跨现浇段施工方案研究 龚玉华 陶路 刘经建(285)
59. 河头 1 号特大桥大跨度缆索吊设计 卢旭东(290)
60. 山区连续刚构桥高墩边跨不对称施工技术研究 孙建平 杨立军(295)
61. 浅谈桥梁后张法预应力张拉工艺控制技术 项海燕(304)

62. 预应力箱梁混凝土制备与施工 黄 盛(309)
63. 高耐久性混凝土与普通混凝土高耐久性实现途径 杨胜江(311)
64. T 梁架设施工存在的潜在安全事故与防控措施 殷玉青(313)
65. 不同养护制度对 RPC 混凝土力学性能的研究 杨胜江(316)
66. 混凝土耐久性的影响因素分析 杨胜江(319)
67. 复掺矿物掺合料大体积混凝土研究浅析 黄 盛(322)
68. 水泥及掺合料对混凝土可泵性的影响试验 杨胜江(324)
69. 配合比参数对混凝土可泵性的影响试验 杨胜江(328)
70. 硅灰—粉煤灰—矿渣体系复合掺合料研究概述 段武兵 刘骁凡 廖万辉(330)
71. 高速公路桥梁薄壁空心高墩施工技术 郑先奇(333)
72. 大跨度箱形拱桥悬臂浇筑挂篮的设计与验算 冉茂学 郭吉平(338)
73. 一种新型扣挂系统设计 郭吉平 韩洪举(343)
74. 拱桥主拱圈混凝土浇筑长度分析探讨 杨 杰(347)
75. 悬拼拱架现浇工法在贵州省拱桥施工中的应用 杨政武(353)
76. 浅谈施工便道钢便桥及漫水桥施工 吴梁楷(357)
77. 高速公路桥梁、涵洞施工平面钢模板受力分析 安 航(362)
78. 山区薄层软基路堤填筑破坏分析及其处治措施研究 杨 杰(367)
79. 探讨高速公路桥梁施工技术的不足及改进措施 雷青松(374)
80. 钢绞线斜拉索防护体系技术研究 张 恒 陈炜锋(376)
81. 内蒙古景家湾大桥波形钢腹板 PC 组合箱梁施工关键技术研究 刘利军 李春盛 卢明智(380)
82. 长预应力束自动连续同步张拉技术的研究与应用
..... 罗意钟 肖 云 唐祖文 周爱蓉 吴松霖 冯达康 曾世荣 李建兰 玉进勇(388)
83. 大跨径悬浇拱桥拱圈施工技术 叶 健 余 洋 张 涛 王 芹(396)
84. 系杆拱桥施工索力测试实践与体会 白植钦(400)
85. 下承式系杆拱桥系杆悬浮张拉施工 田浚宏 李 静(406)
86. 拱桥施工中的新型隧道锚技术 杨国强 岳文军 张 峰 张鹏勃 姚 晨(408)
87. 南宁良庆大桥缆载吊机主桁架有限元分析 陈小涛 邓年春 张 毅(413)
88. 浅谈现浇箱梁混凝土桥面平整度控制 杨忠玉(417)
89. 木蓬特大桥施工方案研究 李银斌 张世娟 杨鸿波 邓晓红 王玲丽(419)
90. 仁怀市茅台 4 号大桥(人行桥)茅台岸锚碇基础工程建设关键技术
..... 马 坤 杨 健 韦定超 陈应高(423)
91. T 梁桥连接系施工弊端总结 田复之(426)
92. 实体高墩液压爬升模架施工技术 田复之(429)
93. 小直径钢管桩在采空区桥梁基础处理中的应用 娄 锋(433)
94. 浅析施工中钻孔灌注桩的风险 谢 峰 蒲德龙 向 红(436)
95. 四川省涪江五桥斜拉桥混凝土主梁索道管定位方法探讨 杨 辉(442)
96. 陡山坝大桥菱形挂篮设计与施工 余 周 霍凯荣 白 杨(445)

97. 浅谈山区高速公路刚构桥挂篮施工组织与管理
..... 霍凯荣 谢永林 余周 白杨 陈波涛(451)
98. 山区高墩大跨度刚构桥箱梁施工中预压方案探讨 白杨 余周 霍凯荣 刘峰峰(460)
99. 高性能快速施工的多梁式钢—混组合小箱梁桥研究 项贻强 郭树海(464)
100. 特殊水文地质条件下咬合桩施工工艺探索 金广谦 周晓华 艾声(470)
101. 浅谈山区超长大直径人工挖孔桩施工工艺 刘峰峰 余周 白杨(475)
102. 清水河大桥散索鞍焊接工艺技术 李鲤 黄安明(480)
103. 波形钢腹板 PC 组合箱梁桥施工质量控制 李春盛(488)

III 结构分析与试验研究

104. 基于节段和全桥试验研究稳定板对桁架梁颤振性能的影响 刘君 廖海黎 李明水(495)
105. 清水河大桥山区风场数值模拟 于舰涵 李明水 廖海黎(500)
106. 板—桁组合结构中钢桥面板合理设计方案研究 侯满 王建新(509)
107. 高强钢筋混凝土梁受弯性能试验研究 王文彪 王君杰 刘波 梅世龙(516)
108. 集中荷载作用下高强箍筋混凝土梁剪切试验研究 王文彪 王君杰 石大维 彭运动(522)
109. 钢筋混凝土桥墩纵筋屈曲长度简化计算模型 陈炜 王文彪 门永斌(528)
110. 配置高强度钢筋的矩形混凝土桥墩抗震性能试验研究 张平 王君杰 王建新(537)
111. 配置高强度钢筋的圆柱形混凝土桥墩抗震性能试验研究 何荷 戴李春 苏俊省(547)
112. 钢箱提篮拱桥自振特性的体系分析 刘雪峰 田仲初(557)
113. 基于遗传算法的多重组体系拱桥结构优化 李扬俊 刘雪峰 杨勇 贾进 何远义(562)
114. 顶板支撑型桩基体系应力与变形特征研究 朱大权(570)
115. 分幅 T 梁桥共用护栏对荷载横向分布影响分析 曹文婷(573)
116. 大挑臂单索面钢箱结合梁斜拉桥几何非线性分析 孙全胜 高红帅(579)
117. 塑性铰对桥梁抗震性能的影响研究 孔令俊 曹志峰 金杰 张银喜 刘振光(589)
118. 大跨度部分地锚式斜拉桥动力特性和抗风稳定性的设计参数分析
..... 张新军 李张轩 姚美(593)
119. 大跨度斜拉桥地震响应分析 王建利(599)
120. 斜拉索耐腐蚀性能评估方法研究 陈林 胡星宇 刘发 谢发祥 吉伯海(603)
121. 钢桥面板构造对其疲劳性能的影响 陈祥 王益逊 李坤坤 傅中秋 吉伯海(609)
122. 高阻尼隔震橡胶支座对桥梁抗震性能的影响分析 蒋建军 刘振宇(615)
123. 桥梁横向分布系数空间实体模型有限元算法 常皓程 吕建鸣 康世飞 陈云海(621)
124. 大直径嵌岩桩承载机理与设计理论探讨 龚维明 霍少磊(627)
125. 两种碳纤维板锚夹具的锚固性能对比试验 陈海波(633)
126. 考虑结构体系刚度影响的高墩计算长度精细化分析
..... 翁雅谷 高宝 马越峰 戴显荣 史方华(638)
127. 山区桥梁墩柱防磨蚀措施的 CFD 仿真研究 刘维栋 蒋自强(642)

128. 山区铁路桥梁某图号混凝土梁的刚度特性调查与研究 刘 楠(649)
129. 斜拉桥 π 形主梁恒载剪力滞效应 杨 健 付朝雷 杨俊新 阮 欣(657)
130. 红水河特大斜拉桥叠合梁顶推施工过程仿真分析
..... 张世娟 周远智 胡 靖 刘远坤 郑戈瑞(663)
131. 曲率变化对曲线部分斜拉桥结构主要参数的敏感性分析
..... 杨 健 杨 昀 刘立民 胡晓明(668)
132. 香火岩特大桥结构稳定分析 赵 凯 杨 健 韦定超 万 麟(673)
133. 钢箱梁第一体系计算分析 丁作常 蒲果富(676)
134. 红水河特大桥索梁锚固区局部精细化分析研究
..... 周 潇 马 坤 朱金波 张微斯 赵 凯(680)
135. 红水河特大桥索塔锚固区受力性能有限元分析 刘建军 叶洪平 周 潇 胡晓明(685)
136. 弯箱梁自重偏心对单梁模型的影响分析 王文龙(691)
137. 山区高墩连续刚构桥零号块局部应力分析 蒋 铮 杨 露 杨朝江(694)
138. 龙井河大桥抗滑键设计与足尺模型试验 杜 斌 刘立民 唐 志 易金刚 方 园(696)
139. 大钝角双向受力在役桥梁荷载试验分析 郭 伟(703)
140. 桥墩参数变化对赫章特大桥地震响应的影响 杨 健 杨光强 鄢 霞 周水兴(707)
141. 红水河大桥主桥结构抗震性能优化研究 杨鸿波 余远程 吴怀义(712)
142. 大跨斜拉桥多点反应谱法地震响应分析 刘 辉(718)
143. 山区双塔斜拉桥抗风性能研究 杨 健 刘建军 王达磊(724)
144. 多股成品索式预应力锚固系统研究 吴明远 梅 刚 陈占力(727)
145. 纵向弧形独塔单索面斜拉桥索梁钢锚箱局部应力分析 段 政 吴臻旺 余永汉(731)
146. 人行索道桥人桥耦合振动控制研究 安永日 刘 龙 梁 磊(735)
147. 机制砂混凝土抗裂性能试验研究 李银斌 余远程 阮 欣(741)
148. 桥梁健康监测的模态识别与损伤识别软件集成开发及应用
..... 梁 鹏 王晓光 马旭明 贺 敏 张 超(746)
149. 超大跨组合梁斜拉桥静力性能影响因素分析 杨 旭 张永涛 刘玉擎(756)
150. 山区高墩桥梁墩顶位移超限成因分析 杨 栋 刘玉擎 雷 波(762)

IV 养护管理、检测与加固

151. 高速公路桥梁养护管理工作的优化策略探索 胡 乾(769)
152. 西部山区钢桁梁悬索桥养护技术研究 姜震宇 李 湛 孟 云(772)
153. 有关公路桥梁技术状况评定的几个问题 楼庄鸿 郭 佳(775)
154. 考虑多级性能水准要求的桥梁维护策略优化模型及应用
..... 项贻强 赵 荐 张 翔 周 斌(777)
155. 预应力混凝土箱梁桥腹板斜裂缝成因及相关问题研究综述
..... 郑开启 刘 钊 秦顺全 孟少平(785)

156. 桥梁混凝土裂缝分析与控制措施 王万通(792)
157. 山区长大桥梁的全寿命养护管理 李 涵 袁万城 田圣泽 党新志(794)
158. 现浇空心板梁桥病害现状及加固方案比选 张 舒 周礼平 卓 静(799)
159. 倾斜桥墩的安全性评估 王建利(804)
160. 大跨径 PC 梁桥的常见病害成因分析及设计对策 赵 通(807)
161. 贵州省某高速公路桥梁应急抢险维修加固方案设计与分析 周礼平(812)
162. 某运煤特载桥梁简支变减跨连续加固方案受力分析 曾 爱 向 红(816)
163. 大跨度预应力 T 梁病害分析及其防治措施 刘 辉(821)
164. 高速公路加宽改造桥梁加宽方法探讨 邬贵全(824)
165. PLC 控制液压同步顶升系统在桥梁整体顶升施工中的应用 杨 辉 刘长卿(828)
166. 公路钢桥面铺装建养一体化建设模式研究 胡德勇 吕奖国 王 民 向文凤(832)
167. 钢桥面板疲劳机理、评估与维护技术 王春生 翟慕赛 段 兰(835)
168. 简支连续梁桥建设后评估 向中富 李海鹰 李德郁 李 民 刘祥宇(844)
169. 波形钢腹板 PC 箱梁桥的精细化分析和配筋设计
..... 徐 栋 雷 俊 Jose Turmo Coderque 陆元春 蔡建中(853)
170. 虎门二桥坭洲水道桥抗震性能及减震措施研究 李贞新 邬 都(860)

I 规划与设计

1. 清水河大桥总体设计和关键技术创新

彭运动¹ 张胜利² 郭俊礼²

(1. 中交公路规划设计院有限公司; 2. 贵州中交贵瓮高速公路有限公司)

摘要 本文介绍了清水河大桥的项目概况、主要技术标准、总体设计概况、技术特点和难点、关键技术和设计创新。

关键词 清水河大桥 总体设计 关键技术创新

一、项目概况

贵阳至瓮安高速公路(简称“贵瓮高速”)连接黔中和黔北旅游和矿产资源富集地区,是国家规划的黔中经济区主要通道和贵阳向外辐射的9条高速路之一,也是贵州县县通高速的重点项目。

清水河大桥是贵瓮高速跨越贵阳市开阳县与黔南州瓮安县的界河(乌江水系一级支流)清水河的重要节点工程,桥位处峡谷两岸地势陡峭,地形变化急剧,起伏很大,河谷深切达350~450m。

清水河大桥为双向四车道高速公路,桥梁标准宽度24.5m,计算行车速度80km/h。桥梁设计荷载为公路I级。桥梁结构的基准期为100年,地震基本烈度6度,按50年10%和100年5%两水准设防,设计基本风速29.4m/s,大桥无通航要求。

二、总体设计概况

清水河大桥的全桥总体布置左幅为:9×40m 预应力混凝土T梁+1130m 钢桁梁悬索桥+16×42m 预应力混凝土T梁,桥长合计2171.4m。

清水河大桥为主跨1130m的单跨简支钢桁梁悬索桥,主缆分跨为258m+1130m+345m,主缆垂跨比为1/10,主缆横桥向间距为27.0m,吊索顺桥向间距为15.2m。在主跨跨中处,主缆与钢桁架之间设置3对柔性中央扣。

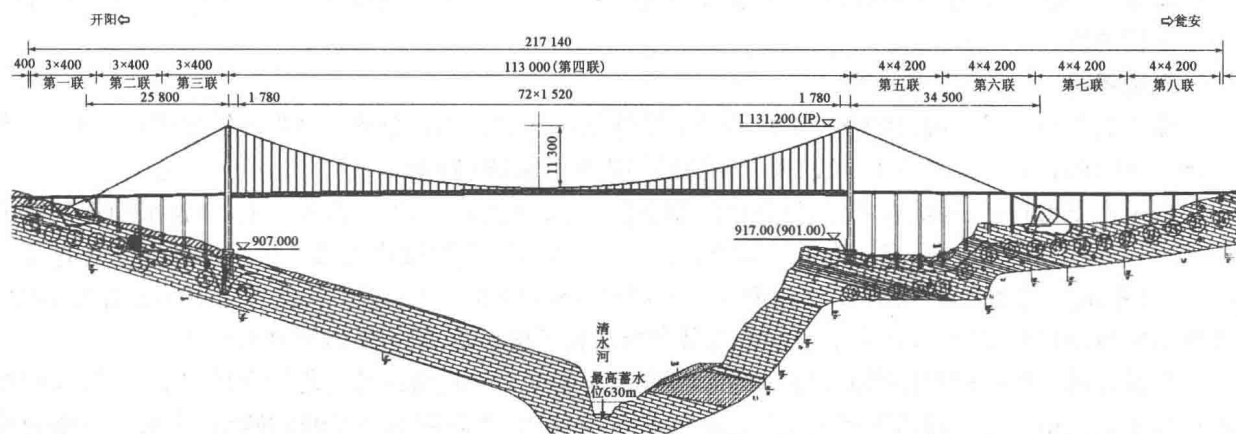


图1 桥型布置(尺寸单位:cm)

1. 锚碇

开阳岸锚碇采用扩大基础结构形式,以中风化灰岩作为持力层。锚碇平面尺寸为71.5m×48m,高度为47.5m,底面设置两级平台。

瓮安岸锚碇采用扩大基础结构形式,以中风化灰岩作为持力层。锚碇平面尺寸为 $77\text{m} \times 48\text{m}$,高度为 52m ,底面设置两级平台。

锚固系统由索股锚固连接构造和预应力拉索锚固构造组成。索股锚固连接构造由拉杆及其组件、连接器组成,拉杆上端与索股锚头相连接,另一端与被预应力拉索锚固于前锚面的连接器相连接。预应力拉索锚固构造由预埋管道、钢绞线拉索、锚头及防护帽等组成。

索股锚固连接构造包括单索股锚固单元和双索股锚固单元两种类型。对应于单索股锚固单元采用 15-12 规格锚固钢绞线拉索,对应于双索股锚固单元采用 15-25 规格锚固钢绞线拉索。

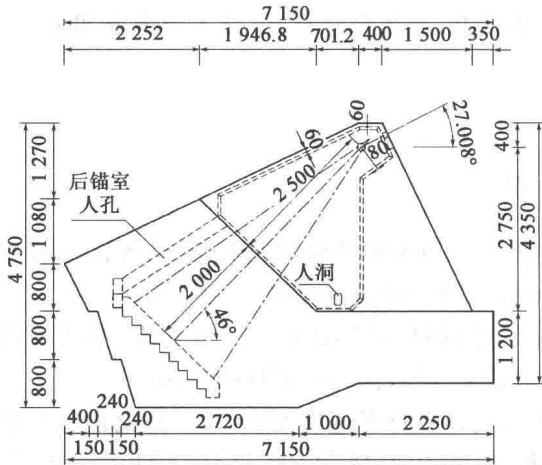


图2 开阳锚碇构造(尺寸单位:cm)

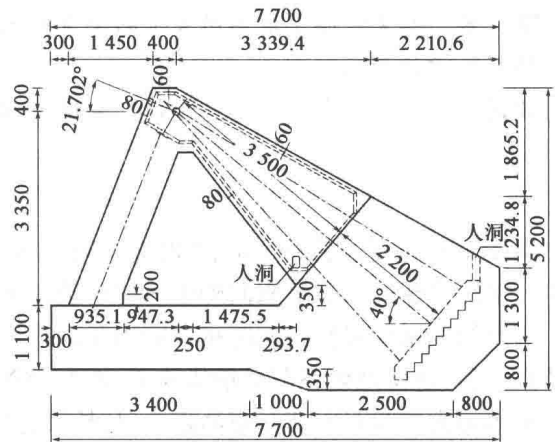


图3 瓮安锚碇构造(尺寸单位:cm)

2. 索塔及基础

索塔为塔柱、横梁组成的钢筋混凝土框架结构,塔柱为普通钢筋混凝土结构,横梁为预应力混凝土结构。开阳岸索塔高度 230m ,瓮安岸索塔高度 $236\text{m}/220\text{m}$ 。

索塔两塔柱横桥向内倾,倾斜率内侧为 $1/26.170$,外侧为 $1/17.535$ 。塔柱断面为八边形空心截面,开阳岸塔底为 11.5m (顺桥向) $\times 11.5\text{m}$ (横桥向),线性变化至塔顶 9m (顺桥向) $\times 7\text{m}$ (横桥向)。瓮安岸左幅塔底为 11.391m (顺桥向) $\times 11.312\text{m}$ (横桥向),右幅塔底为 11.565m (顺桥向) $\times 11.613\text{m}$ (横桥向),均线性变化至塔顶 9m (顺桥向) $\times 7\text{m}$ (横桥向)。

两岸索塔基础均采用 18 根直径 3.5m 的桩基础,行列式布置,嵌岩桩设计,桩尖进入中风化岩层深度不小于 3 倍的桩径。

3. 缆索系统

主缆预制平行钢丝索股(PPWS)由 91 根直径为 5.25mm 的锌铝合金镀层高强度钢丝组成,钢丝标准强度 $\geq 1770\text{MPa}$ 。通长索股有 179 股,开阳侧边跨另设 8 根索股(背索)。

根据吊索受力特点,并综合考虑材料性能、制造加工、安装维护、后期更换等因素,本桥采用钢丝绳吊索,每一吊点设 2 根吊索。吊索与索夹为骑跨式连接;与加劲梁为销铰式连接。吊索钢丝绳公称直径为 $\phi 60\text{mm}$,公称抗拉强度为 1770MPa ,结构形式为 $8 \times 55\text{SWS} + \text{IWR}$ 。对于悬吊长度大于 20m 的吊索,在悬吊长度的中央设置减振架,以将一个吊点两根吊索的四肢互相联系,减小吊索的风致振动。

经与设置阻尼器进行对比研究,为了抵抗地震、汽车制动力和风荷载等引起的纵桥向的位移,本桥在跨中设置了柔性中央扣。可以避免设置阻尼器的昂贵的费用,和后期养护维修的麻烦,中央扣拉索的检修和更换非常简单。中央扣拉索构造与吊索相似,采用钢丝绳拉索。中央扣拉索与中央扣索夹为骑跨式连接,与加劲梁为销铰式连接。中央扣拉索钢丝绳公称直径为 $\phi 64\text{mm}$,公称抗拉强度为 1870MPa ,结构形式为 $8 \times 55\text{SW} + \text{IWR}$ 。

4. 钢桁梁加劲梁

主桁架采用带竖腹杆的华伦式结构,桁高 7.0m ,标准节间长 7.6m 。两片主桁架弦杆中心间距 27.0m 。

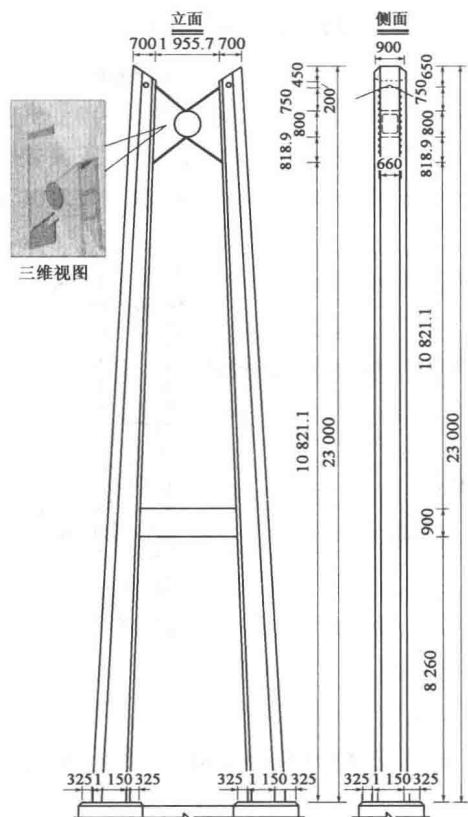


图4 开阳索塔构造(尺寸单位:cm)

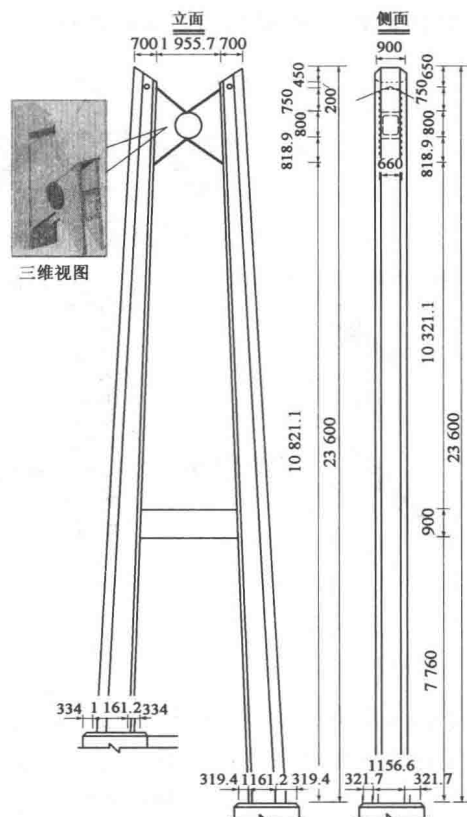


图5 瓮安索塔构造(尺寸单位:cm)

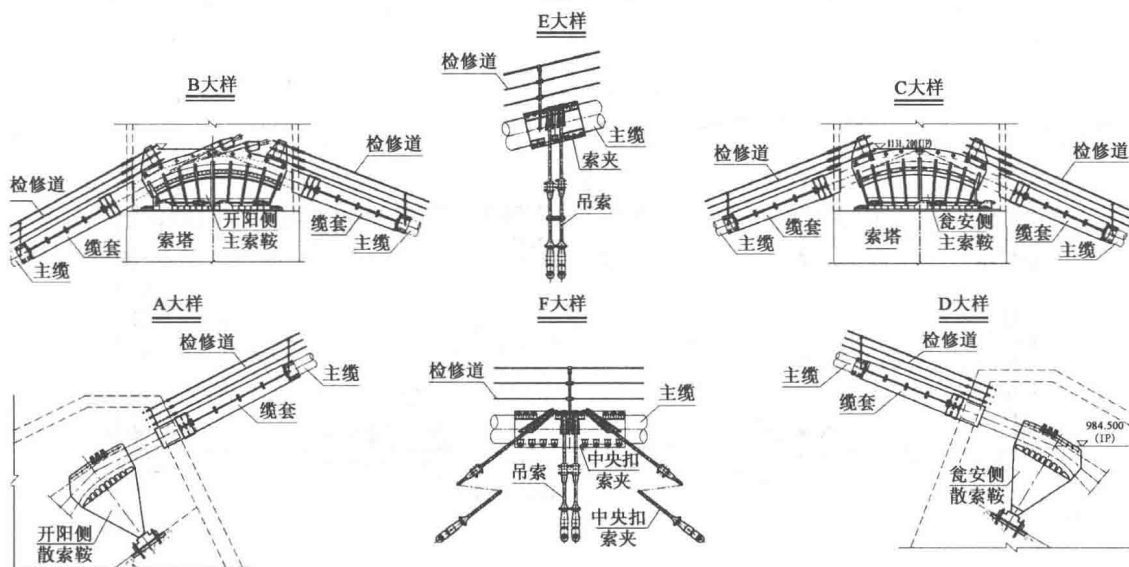


图6 缆索系统示意(尺寸单位:mm)

在钢桁梁主桁架端部下弦杆底面对应端竖腹杆的位置各设置一个竖向支座,全桥共计4个。在端主桁架上下弦杆的外侧,对应端主横桁架的上、下横梁处各设一个横向抗风支座,全桥共计8个。

钢桁梁包括钢桁架和正交异性钢桥面板两部分,板桁结合。钢桁架由主桁架、主横桁架和下平联组成。

主桁架采用带竖腹杆的华伦式结构,由上弦杆、下弦杆、竖腹杆和斜腹杆组成,桁高7.0m。上弦杆、下弦杆选用闭口箱形断面,斜腹杆、竖腹杆除在梁端竖向支座附近采用闭口箱形断面外,余均采用工字形断面。主桁架杆件均为焊接构件。

主横桁架采用单层桁架结构,由上横梁、下横梁、外侧斜腹杆、竖腹杆和内侧斜腹杆组成。上横梁除梁端采用闭口箱形断面外,其他均采用焊接工形断面,下横梁采用闭口箱形断面,腹杆均选用工形断面。

主横桁架上横梁、下横梁均为焊接构件；外侧斜腹杆、竖腹杆和内侧斜腹杆均采用热轧 H 型钢。

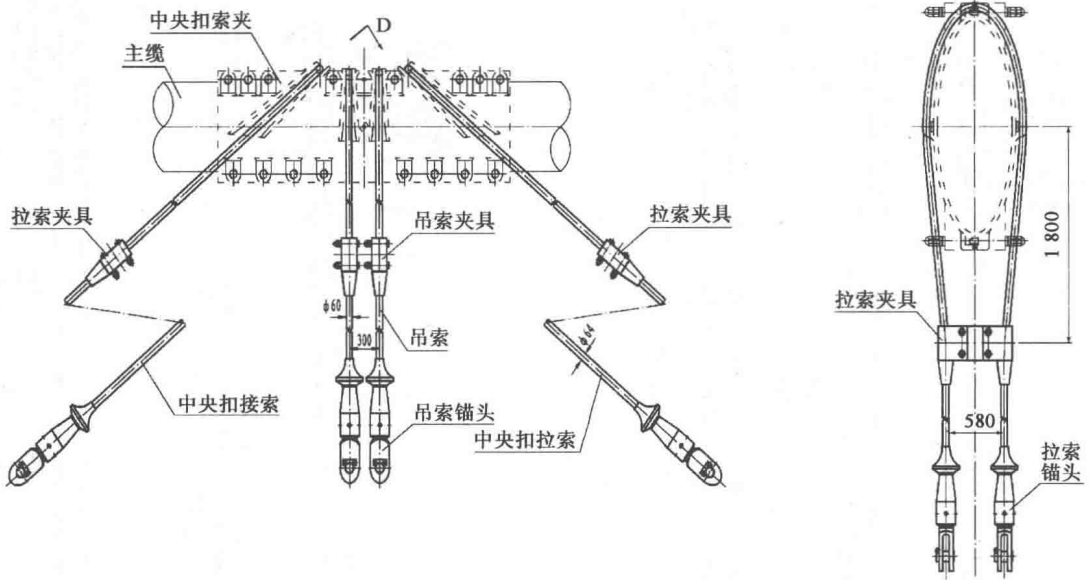


图 7 中央扣拉索构造(尺寸单位:mm)

下平联采用 K 形结构,采用焊接工形断面。

正交异性钢桥面板由桥面板、U 肋、三道纵梁和两道次横梁组成,桥面板厚 16mm。桥面板与主横桁架上横梁顶面平齐。正交异性钢桥面板均为焊接结构。

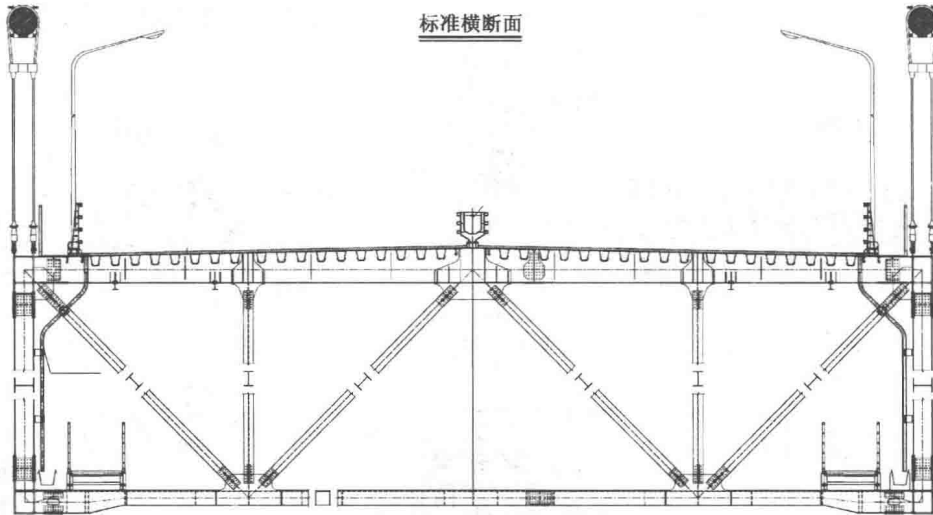


图 8 钢桁梁构造示意

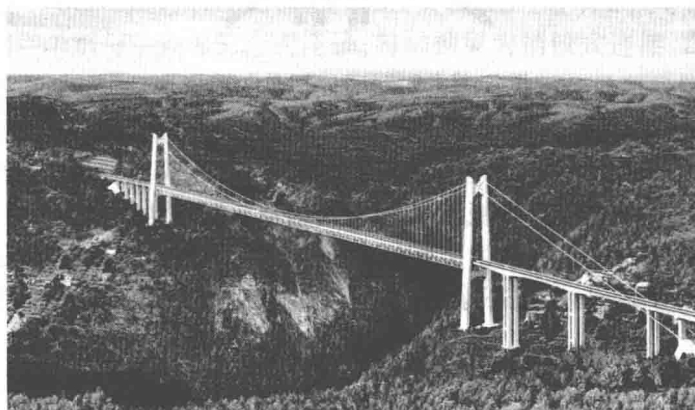


图 9 清水河大桥建成效果图

三、设计关键技术创新

贵州受喀斯特地貌影响,桥位建设条件艰巨,需跨越大峡谷,且桥位处岩溶高度发育,给桥梁设计和施工均带来了一系列的难题,贵州近几年建成的钢桁架悬索桥较多,如坝陵河大桥、北盘江大桥等,这些特大桥基本均面临峡谷桥梁的风环境和抗风措施、岩溶地区的勘察设计和施工防护、跨越大峡谷桥梁的施工技术等。

在清水河大桥的勘察设计中,除了针对上述提到的关键技术展开一系列的科研工作,特别针对以下两个方面进行了设计技术创新。

1. 山区板桁结合加劲梁悬索桥建设关键技术研究

(1)大变形下板桁协同工作特性和受力和传力机理分析及关键构造、山区板桁结合体系桥面板制造和连接工艺。

板桁分离体系传力路径明确,上部荷载通过桥面系支座传给主横桁架,再由主横桁架传给主桁架。板桁结合体系中传力路径不再这么明确,荷载作用于桥面板上一部分传到主横桁架,再由主横桁架传给主桁架,另一部分直接传到主桁架上弦杆。板桁结合体系中正交异形板同时发挥桥面板、桥面系和主桁架平面纵向联系等多种作用,有效地参与主桁架的弯曲,部分参与主桁架的受剪,使主桁受力有所改变。国内学者研究发现,主桁弦杆的弯曲应力占总应力33%,曲线桥占40%;而桥面可承受弦杆轴力的30%。尽管板桁结合体系增加了计算难度,但是这种板桁结合体系结构受力合理,传力路径通畅,能较好满足行车要求。

板桁桥梁把正交异形板桥面和桁架的优点充分组合起来。在全跨范围内,桥面和桁架采用刚性连接。与传统的桁架桥相比,由于结构杆件具有复合作用功能,因此,不能照搬铰接桁架结构进行设计计算。尤其是正交异形板桥面及与其连接的构件,需要精确计算结构的次应力。弦杆除必须计算轴力产生的应力外,还需要计算弯矩产生的应力,由此设计计算难度大大增加。

板桁桥梁结构连接复杂,近年来,常采用整体节点和全焊桥面,焊接顺序、焊接方法都将直接影响结构次内力的分布。桁—板焊接连接构造省去了高强度螺栓及拼接板,较为经济。通过对大量实测不同焊接条件(约束状态、焊缝断面、焊接输入线能量、施焊顺序等)下的焊接变形量进行数理统计分析,确定其分布规律,并以此研究减少焊接收缩变形的有效措施,同时通过焊接变形模拟计算分析,评估焊接收缩变形对桥面板和主桁受力的影响。

(2)提升山区大跨悬索桥板桁结合加劲梁颤振稳定的气动措施。

(3)千米级、大吨位缆索吊机的研制。目前缆索吊,主索较小、少,牵引和起重绳都较少,绕线较为简单,其风险相对较小。在千米级同时大吨位的情况下,系统风险较大,如何保证其可靠性。

2. 山区特大桥自行式主缆检修车研制

(1)为了适应山区风力大的环境,检修设备要具有较强的抗偏载和抗风能力。

(2)检修设备能够实现在主缆上 26° 角的爬升,这就要求检修设备能提供足够大的爬升力,同时在切断动力源时,检修设备要能够稳定地驻车。

(3)检修设备能实现自动过吊索功能,这就要求对检修设备的行走轮、拉杆和压紧轮进行优化设计,并设计合理的控制系统,保证过吊索时动作机构的准确执行。

通过上述关键技术的科研和设计创新,给清水河大桥的建设提供了有力的技术支撑,确保了大桥建设方案的经济合理性和施工可行性。

四、结 语

清水河大桥是贵阳至瓮安高速重要节点工程。桥位处峡谷两岸地势陡峭,地形变化急剧,大桥主跨1130m,为目前世界规模最大的跨越山区峡谷的板桁结合加劲梁悬索桥。

清水河大桥结构受力行为复杂、施工难度大、养护管理要求高。其设计将打破国内外已建的大跨径