

建设工程施工新技术典型案例分析丛书

桥梁与隧道工程 施工新技术典型案例与分析

TYPICAL CASES AND ANALYSIS OF NEW CONSTRUCTION
TECHNOLOGIES FOR BASEMENT AND FOUNDATION ENGINEERING

《施工技术》杂志社 主编



中国铁道工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

桥梁与隧道工程施工新技术典型案例与分析/《施工技术》杂志社主编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2019. 4
(建设工程施工新技术典型案例分析丛书)
ISBN 978-7-112-23396-0

I. ①桥… II. ①施… III. ①桥梁施工-案例 ②隧道施工-案例 IV. ①U445②U455

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 040226 号

责任编辑: 张礼庆

责任校对: 张颖

建设工程施工新技术典型案例分析丛书
桥梁与隧道工程施工新技术典型案例与分析
《施工技术》杂志社 主编

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京海淀三里河路 9 号)
各地新华书店、建筑书店经销
北京佳捷真科技发展有限公司制版
天津安泰印刷有限公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 13 $\frac{1}{2}$ 字数: 331 千字
2019 年 7 月第一版 2019 年 7 月第一次印刷

定价: 48.00 元 (含增值服务)

ISBN 978-7-112-23396-0
(33700)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

《建设工程施工新技术典型案例分析丛书》 编写委员会

- 主任** 毛志兵：中国建筑股份有限公司总工程师
张可文：《施工技术》杂志社社长、主编
- 副主任** (按姓氏笔画排序)
- 王清勤：中国建筑科学研究院有限公司副总经理
尹伯悦：中国城市科学研究会秘书长助理
叶浩文：中建股份助理总经理、副总工程师，中建科技集团董事长
冯 跃：北京市工程建设质量管理协会会长，北京建工集团有限责任公司总工程师
李清旭：中国施工企业管理协会副会长
杨健康：北京住总集团有限责任公司总工程师
吴 飞：浙江省建设投资集团股份有限公司副总经理
张同波：青建集团股份公司副总裁
张晋勋：北京城建集团有限责任公司总工程师
郝玉柱：山西交通控股集团有限公司总经理
胡德均：天津建工集团原总工程师
郭彦林：清华大学教授
梅 阳：《施工技术》杂志社副社长、执行主编
龚 剑：上海建工集团股份有限公司总工程师
景 万：中国建筑业协会副秘书长
薛永武：陕西省土木建筑学会理事长
- 委员** (按姓氏笔画排序)
- | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 王 军 | 王 胜 | 王 伟 | 王存贵 | 王海云 | 王爱勋 | 王迎春 | 邓明胜 |
| 叶重农 | 令狐延 | 曲 慧 | 曲成平 | 冯大阔 | 田万义 | 刘 杨 | 刘明生 |
| 刘洪亮 | 刘爱玲 | 刘新玉 | 关 军 | 林 冰 | 闫永茂 | 许曙东 | 安占法 |
| 朱建潮 | 李宏伟 | 李 娟 | 李铁良 | 李晨光 | 李景芳 | 杨 煜 | 杨存成 |
| 杨晓毅 | 肖 星 | 肖玉明 | 汪道金 | 宋伟俊 | 张文岭 | 张云富 | 张太清 |
| 张 琨 | 张 静 | 张礼庆 | 张志明 | 张其林 | 陈春雷 | 陈国栋 | 陈 浩 |
| 陈德刚 | 陈春明 | 邵凯平 | 何纯涛 | 余地华 | 余 流 | 邹厚存 | 范 重 |
| 金 振 | 金 睿 | 郑 勇 | 周桂云 | 赵 林 | 赵福明 | 胡正华 | 郝绍金 |
| 段洪涛 | 侯玉杰 | 贾 洪 | 郭正兴 | 郭海山 | 钱增志 | 高秋利 | 周予启 |
| 黄 刚 | 尉家鑫 | 蒋立红 | 蒋金生 | 彭明祥 | 焦安亮 | 葛兴杰 | 韩宇峰 |
| 欧亚明 | 谭立新 | 薛 刚 | 霍文营 | | | | |

本套丛书编写人员名单

- 主 编：**张可文 **副主编：**梅 阳
参 编：王 露 李松山 焦军灵 王晓彤 徐 颖

前言

中国桥梁历史悠久，精湛的桥梁建造技术和艺术在古代就闻名于世，成为中华民族绚丽多姿的文化瑰宝，是中华文明不可分割的重要组成部分。近 30 多年来，随着综合国力的显著提升和交通事业的飞速发展，中国桥梁建设者获得充分展示聪明才智的难得机遇，在神州大地上陆续新建了成千上万座桥梁，跨越江河湖泊、深沟峡谷、海峡岛屿。特别是在大跨度悬索桥、斜拉桥、拱桥等梁桥方面，多座桥梁已跃居世界桥梁跨度前列，有的已居于领先地位。可以毫不夸张地说，我国目前已堪称世界桥梁强国。在铁路桥及公铁两用桥方面，武汉长江大桥、南京长江大桥、九江长江大桥、芜湖长江大桥、天兴洲长江大桥、大胜关长江大桥都是具有当之无愧里程碑意义的桥梁。在公路桥方面，西堠门大桥、苏通长江大桥、重庆朝天门长江大桥、石板坡长江大桥等都在相应的桥型方面名列前茅。新开通的港珠澳大桥更是刷新多项世界第一。

隧道和地下工程所处的地理位置及其建筑结构形式的特殊性决定了其不但能够满足全天候的交通物流，拥有可靠的接纳存储空间等基本使用功能，还有着安全隐蔽、路径便捷、环保节土、低碳节能等突出的优势。随着时代的进步及社会的发展，隧道和地下工程越来越多地得到人们的重视，被广泛运用于交通物流、市政设施、水利水电、资源存储、矿产开发、国防建设等多个领域。近年来我国基建事业异军突起，投资规划空前，工程项目星罗棋布，给隧道技术的崛起和发展带来了难得机遇。一大批新技术、新工艺、新设备、新材料乃至新的工程理论和理念层出不穷，呈现出百花齐放、万象更新的繁荣局面。以隧道和地下工程的建设规模和速度来衡量，我国现居世界首位。某些已建或在建的隧道和地下工程项目的技术水平已跨入世界先进或领先行列。

本书所介绍的各项技术将让大家了解到各个案例实施的技术细节，有利于大家在实践中参照运用，如果对于其中个别案例兴趣浓厚，想与实施团队多交流沟通，您可以直接按照每个案例后列专家联系方式联系沟通，或扫描封底二维码加入“新技术圈”与更多专业人士共同探讨。扫描封底二维码，进入“新技术圈”后您将有更多意外收获，并可作为自己的一个平台，发布更多新技术，我们期待大家的加入，让我们共同打造“新技术圈”。

目 录

前言

第一章 梁式桥桥梁工程	1
第一节 波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁施工技术	1
第二节 成贵铁路菜坝岷江特大桥主桥施工技术	6
第三节 温州大门大桥移动模架尾跨施工技术	11
第四节 三角桁架型挂篮在跨线桥梁悬臂施工中的应用	18
第五节 跨多股既有铁路钢筋混凝土连续梁桥综合施工技术	23
第六节 泽蒙大桥主桥施工控制中卵石混凝土徐变模式选择及分析	29
第七节 小半径曲线混凝土连续梁步履式顶推施工技术	32
第八节 港珠澳大桥组合梁钢主梁大节段制作关键技术研究	37
第二章 悬索桥桥梁工程	43
第一节 钢箱梁步履式顶推施工技术	43
第二节 湟水河自锚式悬索桥缆索系统施工技术	47
第三节 江津中渡长江大桥南锚碇沉井施工技术	52
第四节 驸马长江大桥悬索桥索鞍吊装施工技术	55
第五节 驸马长江大桥猫道承重索架设双吊环法施工技术	60
第六节 多次连续荡移法在驸马长江大桥岸坡区钢箱梁安装中的应用	65
第七节 武汉鹦鹉洲长江大桥人字形钢-混叠合塔施工技术	70
第八节 悬索桥分离式猫道结构设计与分析	75
第三章 斜拉桥桥梁工程	80
第一节 港珠澳大桥九洲航道桥斜拉索安装技术	80
第二节 江顺大桥 Z3 号主墩桥塔施工关键技术	84
第三节 九洲航道桥主塔柱垂直转体安装工艺	92
第四章 组合体桥桥梁工程	98
虎跳门特大桥钢管拱关键施工技术	98
第五章 隧道开挖施工	103
第一节 城市地铁浅埋隧道下穿危房爆破设计及振动区域划分	103
第二节 盾构下穿高速铁路高架桥沉降变形控制技术	107

第三节	盾构在地面局部封闭条件下钢套筒接收技术	111
第四节	富水大粒径砂卵石地层盾构施工适应性研究	115
第五节	富水地层条件下盾构机铰接密封保护技术研究	120
第六节	富水粉细砂地层地铁隧道动态化注浆施工技术	124
第七节	高速铁路隧道下穿京藏高速公路施工技术研究	130
第八节	贵阳地铁多溶腔隧道安全施工技术	134
第九节	三明南铁路隧道下穿高速公路施工关键技术及道路安全防控措施	138
第十节	泥水盾构活塞式密封钢环接收技术	147
第十一节	北京地区典型地层土压平衡盾构渣土改良技术	151
第十二节	强透水砂卵石地层泥水盾构带压与常压进仓技术	154
第六章	地铁车站施工	162
第一节	软土地区地铁车站超深基坑变形控制技术	162
第二节	地铁暗挖隧道下穿既有车站风险控制分析	166
第三节	上海某地铁深基坑工程施工技术	172
第四节	钢支撑在天津某地铁深基坑中的稳定性研究	178
第五节	综合物探技术在跨地铁建筑场地地基勘察中的应用	183
第六节	复杂工况下地铁车站深基坑支护关键技术	188
第七章	BIM 技术在隧道工程中的应用	194
第一节	BIM 技术在铁路隧道设计中的应用	194
第二节	BIM 技术在铁路项目隧道施工中的应用研究	200

第一章 梁式桥桥梁工程

第一节 波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁施工技术

(一) 概述

波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁具有跨度大、质量小、造型美观等特点,常应用于跨径较大的河道、道路桥梁结构。波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁是以波形钢代替传统混凝土梁作为箱梁的腹板受力,其新颖独特的结构形式属于新结构、新技术。

(二) 典型案例

技术名称	波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁施工技术
工程名称	杭州市德胜东路(沪杭高速—文汇路)改造提升工程江干段 02 标
施工单位	中天建设集团有限公司
工程概况	杭州市德胜东路(沪杭高速—文汇路)改造提升工程江干段 02 标,西起九环路东侧,东至久福路西侧,全长 1.69km,位于现状德胜东路上,呈东西走向,全线为高架桥,双向 6 车道,标准桥宽 25m,标准跨径 30m。本工程跨越航海路、九盛路均采用三跨一联的波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁结构,跨径布置为 45m+75m+45m,主梁采用单箱三室截面,混凝土为 C50,波形钢腹板采用 Q345D 钢材,预应力体系采用纵、横双向预应力体系,采用高强度低松弛钢绞线,体外预应力采用无黏结钢绞线,体外束外套采用高密度聚乙烯(HDPE)管。跨航海路箱梁上部结构波形钢腹板波长 1.60m,波高 0.22m,水平面板宽 0.43m,水平折叠角度为 30.7°,跨九盛路段箱梁上部结构设置曲率 1500m 的半径,钢腹板弯折半径为 15 倍波形钢腹板厚度。波形钢腹板厚度采用 14、16、18、20mm 4 种型号,波形钢腹板钢材总量为 750t。

【波形钢腹板加工制作、运输】

波形钢腹板纵向节段的划分经设计方确认后由专业钢结构厂家进行加工制作,涂装完成后再运输至施工现场安装。波形钢腹板加工严格按 GB 50205—2001《钢结构工程施工质量验收规范》、GB 50755—2012《钢结构工程施工规范》和设计图纸要求。

波形钢腹板选用平板车运输,装车时采用卧放方式,底层钢腹板采用废旧型钢与运输车的平板焊接固定,侧边与钢腹板焊接,防止滑移。上层的钢腹板采用钢丝绳或麻绳与底层钢腹板绑扎牢固,上、下两层钢腹板之间必须铺设垫木防止其发生摩擦,波形钢腹板运输、储存时叠放的层数不超过 5 层。

【波形钢腹板安装】

1. 起吊

模板安装验收后即可进行波形钢腹板的吊装,每联箱梁波形钢腹板划分为 76 个节段,最重一节段为 8.925t,最长一节段为 12.005m,最大作业半径为 14m,配置 1 台 90t 汽车

式起重机进行吊装。吊点的设置利用波形钢腹板上翼缘开孔板，2个吊点间距取波形板长度的1/2。吊装如图1-1所示。

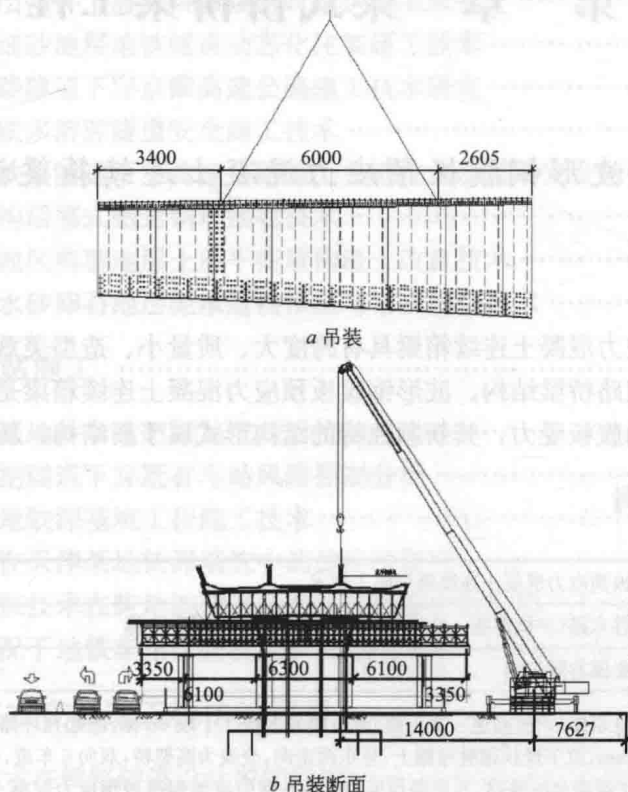


图 1-1 波形钢腹板吊装示意

2. 安装

采用人工配合汽车式起重机的方法安装波形钢腹板，安装顺序从两个中横梁位置向两端及中跨方向推进，先安装中腹板，然后安装边腹板，原则上确保波形钢腹板安装基本平衡，中腹板适当提前但不得多于2个节段。



图 1-2 波形钢腹板简易支架

第1块波形钢腹板安装非常关键，第1块波形钢腹板为中横梁处的中腹板，安装时在中腹板两端部支点处横向各设置1根[16作临时支撑，中腹板两端部设简易支架，与底板钢筋焊接固定，支架顶部型钢的上翼缘标高调整为中腹板端部下翼缘板的标高，并在型钢上标记中腹板轴线位置，简易支架如图1-2所示。

中腹板两端的简易支架安装完成后，起重机将中腹板轻放并缓缓靠在支架上直接就位，中腹板经测量复核无误后立即通过2道[8斜支撑与底部的[16支撑对中腹板进行焊接固定。边腹板安装就位后，采用2道[8斜支撑通过[16与中腹板焊接，顶部采用 $\phi 16$ 钢筋横向拉结，边腹板外侧采用钢管支撑，并在钢管上增加2道横向连接杆，以增强整体

稳定性 (图 1-3)。

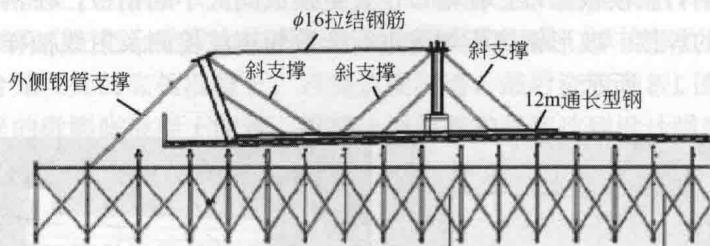
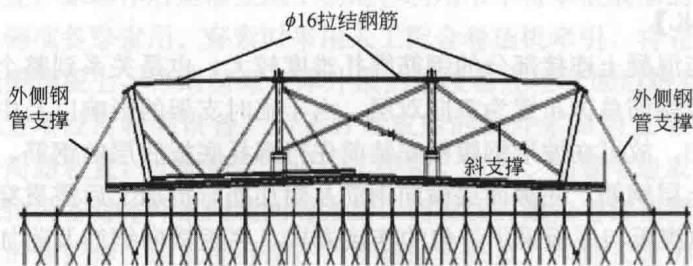


图 1-3 波形钢腹板临时支撑示意

另 1/2 波形钢腹板的中腹板吊装就位后, 采用斜支撑将其固定, 顶部采用 φ16 钢筋横向拉结。边腹板安装就位后, 采用斜支撑与中腹板连接, 顶部采用 φ16 钢筋横向拉结, 边腹板外侧采用钢管支撑。支撑支架如图 1-4 所示。



a 临时支撑支架示意



b 临时支撑支架照片

图 1-4 波形钢腹板临时支撑支架

待以上 4 块波形钢腹板安装固定后, 后续的安装基本上按照以上步骤安装。在横断面上相邻两块腹板之间均采用间距 $\leq 8\text{m}$ 1 道的 [8 剪刀撑作为支撑, 顶部采用 φ16 钢筋横向拉结。在每块板两端 1m 左右位置设置固定拉杆配合花篮螺杆以微调作水平间距, 边腹板外侧采用 3m 1 道的斜钢管支撑。

3. 连接

本工程在杭海路、九盛路设置的三跨一联的箱梁结构施工中, 按照图纸要求每联均设置了 4 个合龙段, 4 个合龙段部分的波形钢腹板节段需在箱梁顶板混凝土浇筑完成后再焊接。箱梁波形钢腹板的中腹板及边腹板模板上部的钢结构节段间、中腹板上翼缘倒 T 形穿孔钢板、翼缘钢板及波形钢腹板下翼缘的底部钢板等均采用气体保护半自动焊全焊透坡口

对接焊缝连接。边腹板底部钢板与模板吻合，在相邻两块边腹板底部钢板焊接连接处根据焊接面积大小切割竹胶模板槽口，在槽口位置更换成同大小的钢板，在钢板上粘贴陶瓷片进行边腹板底板的焊接。波形钢腹板焊缝进行全数超声波检测及射线抽样检测。边腹板连接处槽口设置如图 1-5 所示。

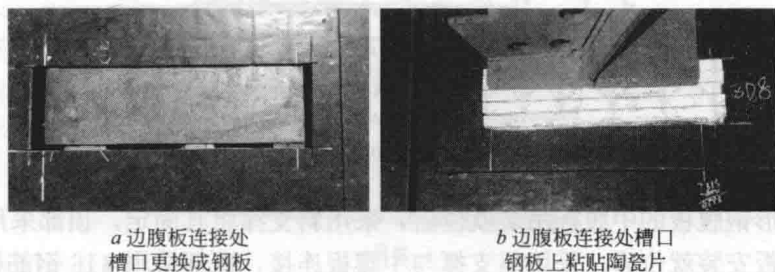


图 1-5 边腹板连接处槽口设置

【箱梁钢筋绑扎】

波形钢腹板与混凝土连接部分的钢筋绑扎难度较大，也是关系到整个箱梁整体性的关键结构。箱梁底板钢筋总体布置为双向双层，由于临时支架的影响以及中腹板的底板部分钢筋安装难度增加，故可在波形钢腹板安装前先行绑扎底板底层的钢筋，波形钢腹板安装后，再绑扎底板上层钢筋。底板面层横向钢筋及附加筋弯折加工后需贯穿中腹板下部设置 2 行 $\phi 60$ 圆孔。边腹板与底板采用外包的连接方式，底板横向钢筋及附加筋与边腹板弯锚连接，纵向钢筋穿过边腹板的横向开孔钢板，开孔直径 50mm，采用贯穿钢筋 $\phi 20$ ，竖向共 4 排。 $\phi 20$ 纵向钢筋穿入波长 1.60m、波高 0.22m、水平面板宽 0.43m、水平折叠角度为 30.70° 的钢腹板是本工程钢筋绑扎的最大难点，这需要钢筋制作加工尺寸精准，同时也需要大量的焊接才能完成这项工作。

钢筋绑扎时，需要考虑合理的施工顺序，必要时先安装贯穿钢筋，然后安装模板，再安装其他钢筋，最后进行贯穿钢筋的定位，可利用普通构造钢筋固定贯穿钢筋，检查对位后，两端与构造钢筋采用双线 $\phi 1.5$ 圆丝十字交叉绑扎固定。贯穿钢筋安装时需按设计要求确保其附近的混凝土保护层厚度在 30~40mm (图 1-6)。

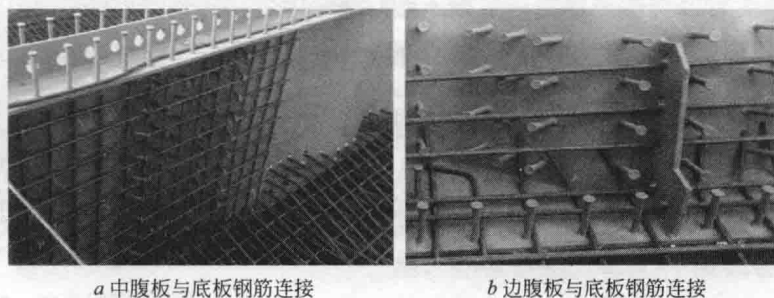


图 1-6 钢筋绑扎

在底板、横隔板、中横梁、端横梁钢筋绑扎时按照设计图纸设置检修孔及埋设锚固块、定位块、转向块，对检修孔及预埋件定位需进行复核无误后才能浇筑混凝土。

【合龙段后浇带施工】

在箱梁顶板混凝土浇筑养护完成，待变形、沉降数据测量复核后，按设计要求施工合龙段后浇带。浇筑前先把合龙段内波形钢腹板节段焊接完成，焊接部位涂刷防锈漆。施工顺序为先浇筑合龙段处的底板混凝土，再浇筑横隔墙，最后浇筑顶板。合龙段后浇带采用高一个强度等级的微膨胀混凝土浇筑，混凝土浇筑养护强度达到设计强度的85%后进行预应力张拉。

【体外索安装】

体外预应力采用无黏结钢绞线，单股钢绞线由7根钢绞线绞成，每根钢丝绳间注有油脂，整股钢绞线外挤压PE（聚乙烯）层的成型钢绞线，单根体外索长168m，重约4t，每联设置18根，其中2根是备用索。体外索采用专用锚具，以方便有效进行体外索的安装、张拉、监测及单根的更换。体外索外套采用HDPE（高密度聚乙烯）管，预埋件均采用无缝钢管成孔。

体外索由专业厂家制作后运输至施工场地，利用吊车将单根成捆的体外索吊装至已施工完成的箱梁一侧准备穿索用。穿索时采用人工配合卷扬机牵引，将卷扬机固定于放置体外索另一侧的箱梁顶板上，将钢丝绳与体外索的连接器连接牢固后进行穿索，中间弯折、预埋管等适当位置增设滑轮等设备。为了方便成捆的体外索牵引及牵引时不产生扭曲变形，需设置一个简易装置，此简易装置可由工字钢、滑轮、钢管等组成。

利用专业张拉设备对体外索两端同时张拉，钢绞线的张拉考虑锚圈口的损失，理论伸长量应按钢绞线的理论弹性模量进行修正，以确保其张拉力和伸长量都满足要求，切割后预应力筋外露长度30~50mm，体外索张拉锚固端如图1-7所示。

为避免体外索在运营过程中索体与梁体发生共振，需安装减振器，减振器安装间距 $\leq 9\text{m}$ ，使索体与梁体的竖向自振频率之比 ≥ 5 ，可有效减少共振。在箱梁混凝土底板浇筑时在指定位置预埋减振器的钢垫板底座，减振器的高强螺杆与钢垫板底座采用焊接的方式进行固定，安装时严格控制螺杆的长度，防止对体外索产生拉力或压力作用。体外索减振器安装如图1-8所示。

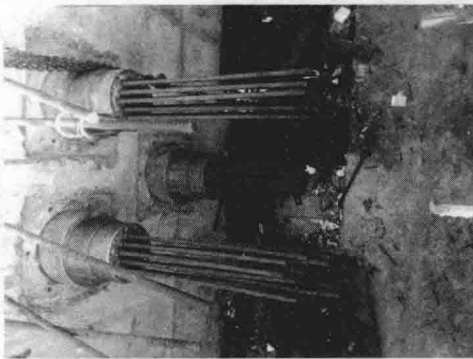


图 1-7 体外索张拉锚固



图 1-8 体外索减振器安装

为了防止体外索张拉端头日久生锈，在端头封锚后需要安装防护罩，防护罩采用涂刷防腐、防锈油漆的桶状铁件，安装后往防护罩内注入专用防腐防锈胶质材料以防止生锈，起到保护作用。

【工程质量控制措施】

1) 用于波形钢腹板的钢梁板材在下料加工前,要做好物理、化学性能和板厚公差合格检查,钢结构加工前做好焊接工艺评定工作。钢结构下料、胎架拼装时应充分考虑纵坡、横坡、预拱度和焊接变形等影响因素。焊接前安排合适的施焊顺序,注意焊接的收缩变形。

2) 波形钢腹板在大规模节段加工前,一般应进行首阶段验收,验收合格后方可进行后续节段的加工制作。波形钢腹板节段出厂前,所有节段经过验收合格后才能运至现场安装。波形钢腹板在出厂前,应对波形钢腹板的成型坐标进行复核,以使波形钢腹板出厂后一次就能顺利安装。

3) 混凝土采用两侧对称的方式浇筑,纵向从梁跨中向墩顶方向对称浇筑,以防止在浇筑过程中墩顶位置出现裂缝,全部浇筑在混凝土初凝前完成。

4) 施加预应力采用张拉力与伸长量双控,按照先长后短的原则,对称张拉体内钢绞线及体外索。同束钢绞线应由两端对称同步张拉,千斤顶顶升、降压速度相近。压浆结束后,立即用高压水对箱梁表面进行冲洗,防止浮浆黏结,影响混凝土质量。

5) 所有的二期恒荷载(包括铺装及防撞护栏)要求沿结构中心线两侧对称施工,防止施工过程中钢结构侧移和倾覆。在施工中,波形钢腹板不能作为受力构件使用。

【专家提示】

杭州市德胜东路(沪杭高速—文汇路)改造提升工程江干段02标波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁部分施工完成后,经检查验收符合规范及设计要求。通过对波形钢腹板预应力混凝土连续箱梁结构的波形钢腹板加工制作、起吊安装、节段连接、箱梁钢筋绑扎、合龙段后浇带施工、体外索安装等主要施工技术进行介绍,经过总结、分析,可以形成一套完整的施工技术方案,为同类结构的箱梁施工提供了施工技术借鉴,同时对波形钢腹板在我国的应用推广具有一定的指导意义。

专家简介:

楼亚东,高级工程师, E-mail: 21953198@qq.com

第二节 成贵铁路菜坝岷江特大桥主桥施工技术

典型案例

技术名称	成贵铁路菜坝岷江特大桥主桥施工技术
工程名称	成贵铁路菜坝岷江特大桥
施工单位	中铁大桥局集团有限公司
工程概况	菜坝岷江特大桥为新建成都—贵阳铁路跨越岷江的一座铁路特大桥,大桥全长1178.58m,位于宜宾菜坝机场西南侧约3km处。桥址北岸为小龙村,南岸为自然村。主桥跨越岷江为(140+224+140)m钢桁连续梁。 桥位处属丘陵地貌,桥址处河谷两岸为丘陵区的岷江残留高阶地,地面高程263.000~347.000m,最大高差84m,自然坡度5°~20°。河谷平坦开阔,江流顺直,水流较湍急。两岸地表基本为旱地、水田、鱼

工程概况	<p>塘,基岩多裸露,地表上覆土层为粉砂、粉质黏土、卵石土,下伏基岩为砂岩夹泥岩。根据桥址上游 12.92km 处的高场水文站收集的资料显示,最近 20 年最高水位出现在 2012 年 7 月 23 日,为 281.92m,当年本月 22 日为 281.88m(最高水位持续时间一般为 2~3d)。如图 1-9 所示。</p> <p>主桥墩号为 16~19 号墩,其中 16 号主桥边墩在北岸河滩上,洪水期淹没于河中,16 号墩钻孔桩直径 2m,桩长 18.5m,承台为 11.6m×19.7m×4m;17 号主墩为水中墩,河床覆盖层为约 5m 厚砂卵石层;18 号主墩位于靠南岸江边的水中,河床为裸露的砂岩夹泥岩,枯水期水最深约 7m。17 号、18 号主墩各 18 根直径 2.5m 钻孔灌注桩,桩长 22.5m,承台结构尺寸为 14.4m×22m×4m,加台 1m。主桥上部为钢桁连续梁,其高度受邻近宜宾菜坝机场的限高要求,钢桁连续梁下弦曲线加劲式连续钢桁梁重约 12600t,共计 36 个节间。主桥钢桁梁采用 N 形桁架,2 片主桁,主桁中心宽 14m,跨中桁高 16m,支点桁高 32m,节间长度 14m。上、下弦杆均采用箱形截面,主桁腹杆采用箱形截面及 H 形截面,主桁节点上弦采用焊接整体节点,节点外拼接,下弦及加劲弦采用散拼节点。主桥施工如图 1-10 所示</p>
------	--

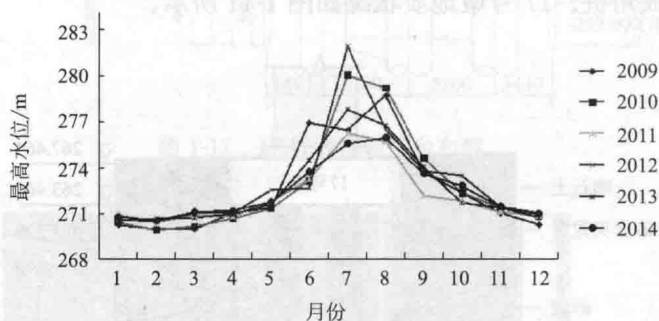


图 1-9 菜坝岷江特大桥桥位水位曲线



图 1-10 主桥施工

【基础施工技术】

1. 高水头筑岛围堰施工技术

16 号承台在枯水期就地取材,利用河滩卵石土筑岛,因考虑枯水期水位波动情况,筑岛面高于水位 1.5m,岛面标高 271.500m,岛面较宽,堰内基坑底口尺寸,考虑承台外留强排水水流通道空间,坑底尺寸较承台尺寸大 160cm,开挖放坡 1:0.85,外筑岛要保证开挖承台基坑后顶宽仍有 10~15m,筑岛外围要有 $\geq 2\text{m}$ 的不透水土内防水层和复合土工膜外围防水层。

复合土工膜在铺设前卷在钢管上,从上成卷下放,一次铺设双层防水复合土工膜,防

水土工膜侧边要做好搭接叠合,外压1层4m厚卵石土。顺坡面沿坡面轴线方向滚铺,在坡脚处向河床延伸 $\geq 32\text{m}$,坡底土工膜在河底展平卵石编织袋压牢,利用潜水员配合作业,坡底铺设至原始河床。采用波浪形松弛方式,坡顶处嵌固1m长土工膜,覆土厚度 $\geq 0.5\text{m}$ 。黏土层为内隔水措施,在填筑时确保黏土厚度 $\geq 2.0\text{m}$,在迎水面黏土要用装载机往下推,并进行初步拍实,防止水流过大将黏土冲刷走。黏土铺设完成后,将坡面修整至设计坡度。开挖过程中需进行排水,基坑开挖完成后,在基坑四周设置低于垫层面的汇水沟槽,通过潜水泵进行排水。基坑开挖到位后,检查基底是否有涌水现象,并设置1层碎石垫层,其上采用汽车泵干封,浇筑50cm厚C30混凝土垫层。

2. 卵岩石地层水上静压植桩围堰技术

17号墩采用单侧栈桥侧面伸出钢平台,冲击钻机成孔,同时平台下水上静压植PU28钢板桩围堰。围堰(26m \times 18m)共用148根拉森VI钢板桩,单根长18m。在4个角桩位置,需要加工改制成角桩。17号墩地质状况如图1-11所示。

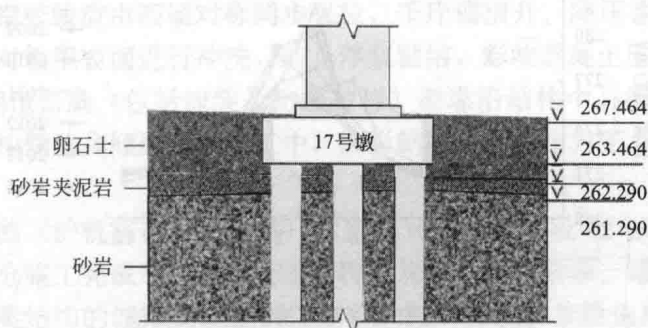


图 1-11 17号主墩地质状况

植桩前,由测量人员在施工平台上放出钢板桩定位轴线,并用红油漆做好标记。为了保证钢板桩能够准确插入指定位置,在插打钢板桩时,需设置由型钢梁组焊成的导向框,焊接在平台管桩上。首先在平台上安装静压植桩机反力基座并加配重,利用反力基座施加的反力进行反力桩施工。待反力桩压入至距离平台顶1.0m左右时停止压入,进行接桩施工。接桩完成后将钢板桩压入至设计深度,用此方法完成4根反力桩施工。待4根反力桩完成后,移开静压植桩机,在平台下面指定位置割除多余的钢板桩,利用起重机将静压植桩机吊放安装在顶面下降的4根反力桩上,利用静压植桩机骑桩,进行平台下水上逐根施工。其技术关键点是采取钻机先钻外围孔,成孔后护筒平台焊连,加大平台刚度,钻其他孔同时植桩,设置泥浆循环和防溅落措施,围堰平台同步推进技术。通过在板桩护筒间焊接临时扶壁,加大已植板桩横向刚度,减小自由长度。采取机械移除孤石、水下固接卵石等技术措施,防止卵石落入钻孔中卡钻。采取扶壁措施控制钻机晃动,选用适合地层钻头以提高工效。17号墩植桩平台布置如图1-12所示。

因需抢在洪水前完成部分墩身,围堰采用2台设备从一边反向环绕施工直至合龙。该工法因需植入卵石层、岩石层,采用克服坚硬地质预掘压入植桩工法,工法原理如图1-13所示。

钢板桩压入施工完成后,要立即安装圈梁及内支撑,其先后顺序为:先安装圈梁然后安装内支撑。从上至下随取土深度满足要求后,逐层安装。17号墩围堰内清基,采用长

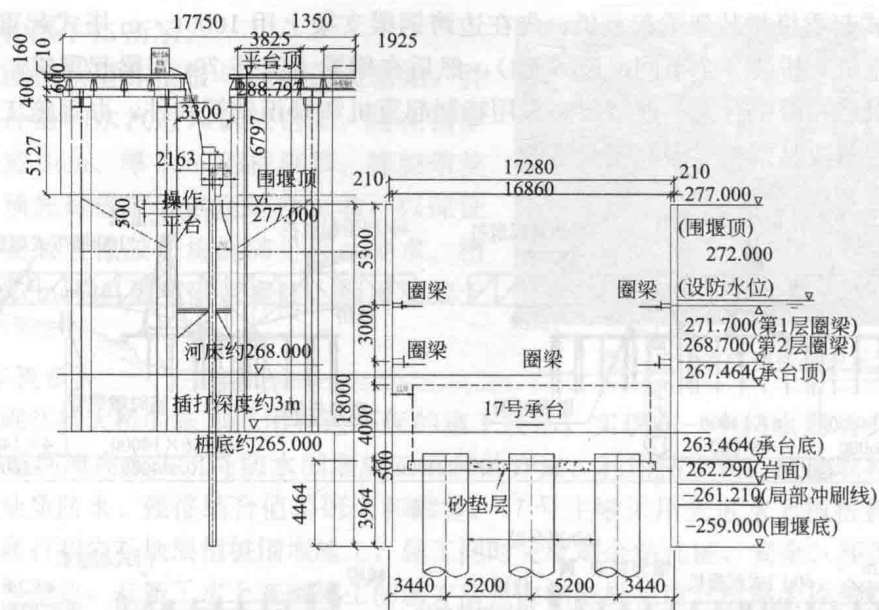


图 1-12 17号墩植桩平台布置

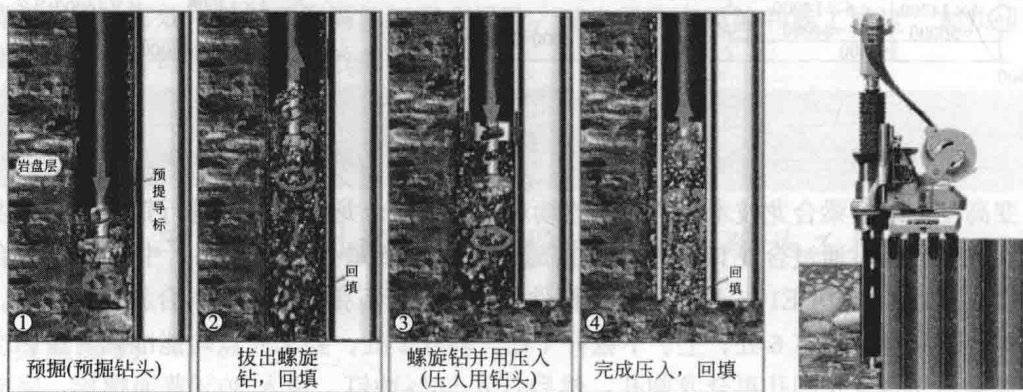


图 1-13 克服坚硬地质预掘压入植桩工法原理

臂挖掘机、伸缩臂挖掘机进行挖土，开挖由破碎锤分区域进行配合，及时根据测量结果进行调整，潜水员水下检查并反馈。围堰挖到位后，打混凝土封底垫层，周边设置汇水沟槽、汇水井，强排抽水，控制水位在垫层混凝土以下约 0.2m，在垫层上凿桩头，承台施工。在洪水上涨前完成承台和一定高度的墩身施工。

【航空限高连续钢桁梁施工技术】

钢桁梁在九江桥中铁九桥厂制造，通过水路运输至施工现场成都侧码头，由北岸码头上 WD120 起重机提梁上栈桥，再由平板车运输至钢桁梁预拼场进行杆件预拼。预拼完成后，成都侧钢梁杆件用平板车运输至栈桥，直接由架梁起重机从栈桥上取梁进行架设；贵阳侧钢梁杆件通过栈桥运输至成都侧码头，通过码头起重机下河，通过运输船运送至贵阳侧栈桥码头，由贵阳侧 180t 履带式起重机提梁上岸，进行贵阳侧钢梁架设。

主桥钢梁架设方向从边跨向中跨进行。钢梁架设方向如图 1-14 所示。北岸架梁起重机采用在钢梁侧面设置 1000t·m 塔式起重机拼装，南岸采用在钢梁下右侧修筑便道，用

180t履带式起重机拼装架梁起重机。先在边跨钢梁支架上用1000t·m塔式起重机（180t履带式起重机）拼装3个节间（E0~E3），然后在钢梁上安装70t架梁起重机，向中跨悬臂拼装，最后在跨中合龙。航空限高采用特制起重机和修正航管软件，办理施工手续，加强作业管控解决悬拼桁梁限高安全难题。

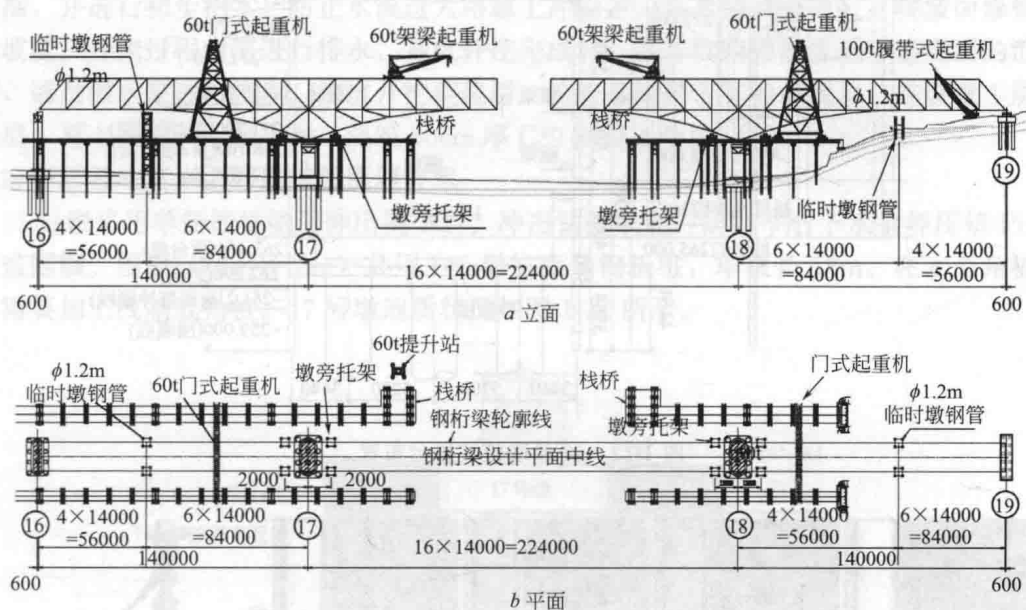


图 1-14 钢梁架设方案

变高度连续桁梁合龙技术：合龙前连续观测并记录合龙口数据，进行钢梁合龙温度的敏感性数据分析，通过合龙口偏差调整措施调整钢梁到最佳合龙状态。中跨设1个合龙段，设在靠近18号墩E17~E18节间。杆件合龙按先合下弦和上弦，再合斜杆的顺序。合龙点多，钢梁合龙点有6处，上、下弦杆4处，斜杆2处。要求6点均能准确对位，空间形态无误，先合龙长圆孔再合龙圆孔，然后打入50%冲钉、穿入30%普通螺栓，完成杆件合龙工作。

合龙口偏差调整措施：①横向调整通过边墩600t级三维千斤顶横向施顶，利用主墩支座间隙对合龙口前端横向偏位做调整。②纵向调整偏差较大时，利用18号墩600t级三维千斤顶做纵向调整；偏差较小时，利用温度做调整。③竖向调整通过边墩落梁进行中跨悬臂端标高调整。

【道砟槽板的预制架设技术】

预制道砟槽板共146块，为完成收缩徐变的要求，预制道砟槽板必须存放6个月才能架设，预制场内设置固定预制台座4个、存放台座30个布置，最高堆放5层。所有道砟槽板的预制均在成都侧道砟槽板预制场内完成。道砟槽板预制技术关键是要采取钢筋定位卡板和加强浇筑前钢筋位置检查，满足预留槽口内钢筋孔位与钢梁剪力钉的精密配合。预制板顶面平整度要在预制时控制好，否则做防水层前还需打磨平整，增加难度和成本。待80m混凝土连续梁合龙后，在13号墩处设置道砟槽板提升站。道砟槽板北岸平板车运至提升站，由提升站提升上桥后，利用30m/120t架桥机从成都侧向贵阳侧架设。道砟槽板