

工程建设国家级工法汇编

(2009~2010年度)

第四分册

本书编委会 编

中国建筑工业出版社

铁路 T 形简支梁现场预制循环流水生产线施工工法

GJEJGF253—2010

中铁十二局集团有限公司 中国土木工程集团有限公司

王立军 范军 王勇 王双卯 张金平

1. 前 言

铁路T形简支梁现场预制循环流水生产线可以实现T形简支梁的工厂化、半自动化大规模批量生产。T形简支梁预制在国内外已经发展多年,施工技术非常成熟,无论是工厂制梁还是现场制梁,多年来一直采用传统的固定制梁台座生产方式,受无砟轨道双块式轨枕环形流水生产线的启发,借鉴相关行业工厂化、流水化、自动化生产经验,中铁十二局集团甘泉制梁场开始研究制梁循环流水生产线施工新方式,成功建设了世界上首条T梁预制循环流水生产线。根据该项技术研发的《铁路T形简支梁现场预制循环流水生产线施工技术》于2009年10月14日通过山西省科技厅成果鉴定,总体达到国际先进水平,获得了2009年度中国铁道建筑总公司科技进步一等奖与2009年度集团公司科技进步特等奖,形成的工法通过了2010年山西省省级工法鉴定,被评为2009年度山西省省级工法,并被评为2009~2010年度铁路建设工程部级工法与2009年度集团公司三级工法,该工法成功应用于包西铁路通道95座桥的T形梁预制,效益显著,推广前景十分广阔。

2. 工 法 特 点

2.1 工厂化、流水化生产:通过动力系统牵引,所有工序集成在底模托架台车上按照制梁的顺序流水作业完成,始端输入原材料,循环中完善,终端输出产品。

2.2 施工方便,提高了工效,流水化生产环环相扣,车间内工人在固定区域进行固定的工作内容,专业化程度得以提升,开发了新型的劳务管理模式。

2.3 梁体在养护车间内恒温养护,在高纬度环境地区养护效果非常显著。

3. 适 用 范 围

3.1 随着铁路建设的飞速发展,大标段成为必然,时速200km/h及以下的铁路,建设大规模T梁预制场成为现场制梁的主要方式,本工法适用于生产总量在1000片以上的所有T梁预制场。生产总量在1000片以下的T梁预制场,使用本工法时需调整生产线总长度、车间数及加强各个车间的功能共用性。

3.2 由于梁体生产的特殊性,使用本工法生产T梁时需注意,大风天气较多、温差较大地区需加强恒温养护后降温过程控制。

4. 工 艺 原 理

制梁生产区共设计4条循环流水生产线,每2条线形成闭合双向循环,每条线分为9个生产车间13个台座,配置8套侧模、12套底模及托架台车。通过动力系统卷扬机的牵引,由专用的移动式底模托架台车在生产线轨道系统上完成各个制梁工序的不断往前推移,实现从原材料到半成品最后到成品梁的循环流水作业。

5. 施工工艺流程及操作要点

5.1 工艺流程

循环流水线制梁作业是将所有工序分解、排列、优化后再组合，所有工序全部集中在生产线的9个车间内进行作业，按工序作业顺序由底模作业车间、底腹板钢筋绑扎车间、模板安装车间、顶板钢筋绑扎车间、混凝土浇筑车间、养护车间、拆模车间、初张拉车间及横移车间组织作业生产。

工艺流程运转如图5.1所示

底模作业车间是负责底模就位，利用移梁机将闭合循环对面的底模吊移到生产线滚轮上，进行底模清理、反拱调整、涂刷脱模剂、安装支座板后，牵引底模拖架至底腹板钢筋绑扎车间。

底腹板钢筋绑扎车间完成梁体底腹板钢筋的原位绑扎，钢筋报检通过后牵引至模板安装车间。

模板安装车间完成端模、侧模及抽拔橡胶棒的安装，利用10t龙门吊安装端模及锚垫板，人工穿入橡胶棒，10t龙门吊安装侧模，安装检验完毕后牵引至顶板钢筋绑扎车间。

顶板钢筋绑扎车间完成桥面顶板钢筋的绑扎，调筋后报检通过牵引至混凝土浇筑车间。

混凝土浇筑车间完成梁体混凝土的入模及预留孔洞、断缝成型，同一生产线上的2片梁同时浇筑，拔除橡胶棒，拆除断缝板、横隔板、梳筋板后牵引相邻2片梁体至相邻的养护车间养护。

养护车间完成梁体混凝土达到拆模强度前的自然养护，同条线的两个养护车间连接一个整体，用篷布、草帘、塑料布密封严实，保证棚内35~40℃的恒温养护效果，以快速增长混凝土强度，满足拆模及初张要求，加快模板循环。

拆模车间完成端模、侧模的拆除，达到强度后的梁体连同模板牵引到位后，在该车间进行模板拆卸作业，拆模采取“上顶下拉、同步平移”的方法，卸下整块钢模后，涂刷脱模剂，通过小龙门吊吊至对面相邻生产线进行安装，从而形成侧模的循环。

初张拉车间完成梁体的初次张拉，满足起吊移梁要求。

梁体横移车间完成梁体横移出生产线到存梁区及底模托架台车的调运，利用160t提梁机提至纵移区，再由2台80t龙门吊吊提吊到存梁区，待提梁机返回到生产线后，将整体底模托架提吊到对面生产线的滚轮上，本次的底模循环完成，进入另一次循环。

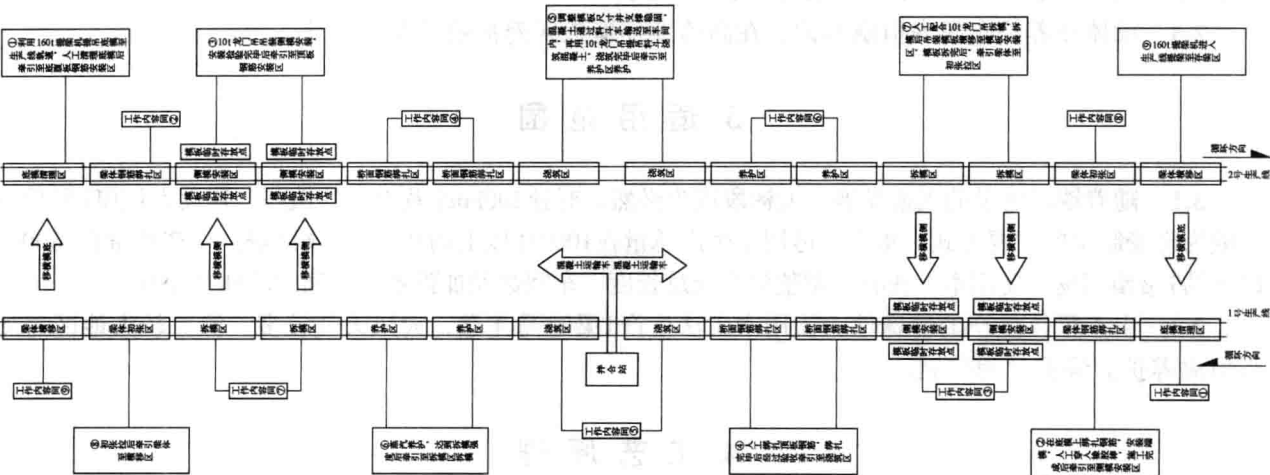


图5.1 T梁循环生产线工艺流程运转图

每条生产线共用一个牵引车间，每次每个台位前移40m后，回送主钢丝绳40m，再次牵引，依次将所有工序牵引前移，在横移车间，梁体预制完成，在存梁区内进行终张拉、压浆、封端、防水层、保护层等工序作业。

5.2 关键工序操作要点

5.2.1 循环流水生产线功能区高度集成

梁场流水生产线共设置4条,1号线与2号线、3号线与4号线分别组成环形流水作业,形成闭合循环。生产线与钢筋加工区、钢构件加工区、拌合站等配套车间平行设置,钢筋加工区对应于生产线绑扎区、拌合站对应于生产线浇筑区横向就近紧密设置。设置固定式养护通道,相对于传统分散式养护,解决了集中养护问题。

5.2.2 循环流水生产线轨道系统

流水线轨道系统分为重载区和轻载区，都采用轮轨式技术，由滚轮和基础两部分组成，重载区设计为整体条形基础，轻载区为两条条形基础，并在基础上均匀布置滚轮。生产线轨道系统断面图见图5.2.2-1。

滚轮加工设计为轮轴式结构，轴与轮的表面要进行热处理且硬度达到55HRC，轮与轴采用间隙配合、两者的配合间隙为0.008 ~ 0.02mm之间且表面光洁度要满足要求；轮两侧各凸起一个3mm高、13mm宽的凸台起导向作用；轴与支架间采用过盈配合，防止轴与支架间相互磨损；支架两侧挡板轴孔要同心，偏差不得超过0.1mm，确保滚轮安装完成后轮顶面与支架底面平行，挡板要高出轮顶面2cm以防止侧滑，牵引时由轮与轴之间滚动完成台车纵移。滚轮构造图见图5.2.2-2。

滚轮安装采用栓接形式,内部填塞干硬砂浆由螺栓将其挤密,四周焊接钢板条进行加固,用电子测微水准仪(精度0.1mm)进行纵向高程测量,框式水平仪进行横向水平测量保证测量滚轮安装精准度,要求不大于1mm;为防止由于滚轮安装误差产生个别滚轮与钢轨不接触情况造成台车挠度过大出现偏向、变形等现象影响产品质量,滚轮布置设计为纵向间距1m。

5.2.3 循环流水生产线底模台车

底模托架台车是循环流水生产线预制T梁必要的工装载体,需要合格的刚度、强度及良好行走性能。台车共设计四道纵梁,纵梁间距为350mm,所用材料为16b号工字钢,纵梁与纵梁之间用小钢板连接,并在底部两侧纵梁加设滑移钢轨,保证了专用底模托架台车的良好的滑动性能。每隔1000mm设置一道横梁,横梁所处位置对应底模横担,横梁用1cm厚30cm宽的钢板,台车的两个端头均设置U形环挂钩,便于牵引时的连接。

底模托架台车经过计算,纵梁及横梁的强度、刚度、抗倾覆性均满足要求,在整体吊装时,最大挠度在允许弹性变形范围内,满足要求。

底模托架台车结构断面如图5.2.3所示。

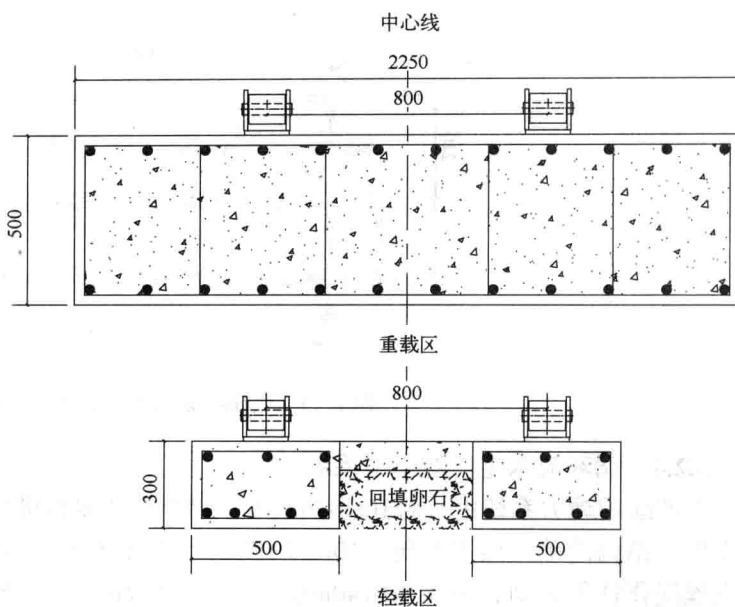


图5.2.2-1 循环流水生产线轨道系统断面图

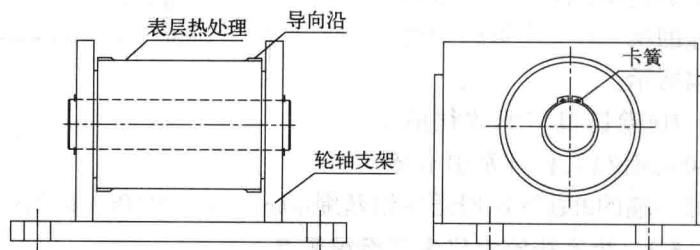


图5.2.2-2 滚轮构造图

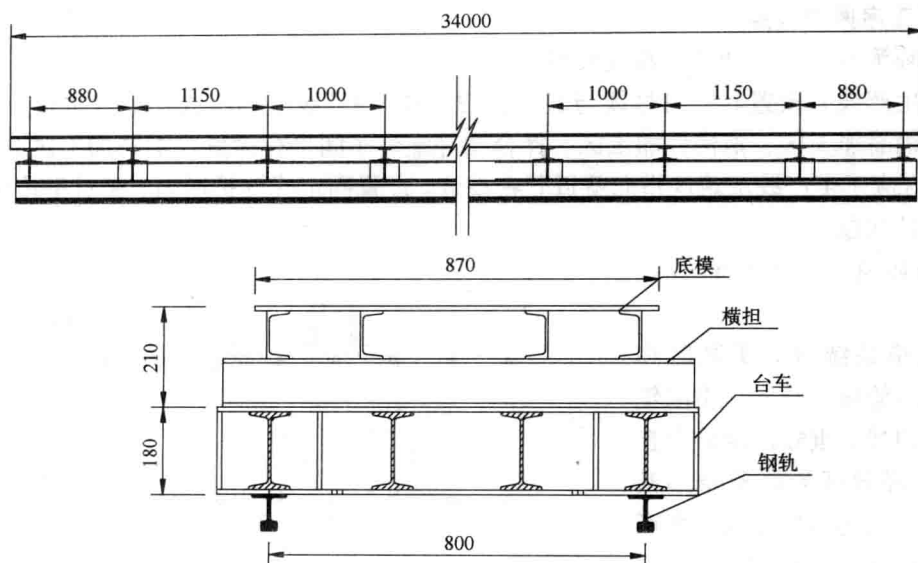


图5.2.3 底模托架台车断面图（单位：mm）

5.2.4 循环流水生产线牵引系统

生产线的动力系统由一台10t卷扬机和一台2t回送卷扬机组成，固定在生产线两端，采用单线往复牵引，结构简单，操作方便，10t卷扬机用于牵引梁体，2t卷扬机用于回送钢丝绳，两台装置联动，使钢丝绳作往复运动，钢丝绳每40m设置一个牵引环，各个车间范围内采用分段牵引。在卷扬机前设置了滑轮组，增大牵引力，控制牵引速度，保证了梁体牵引过程的稳定性。牵引原理如图5.2.4所示。

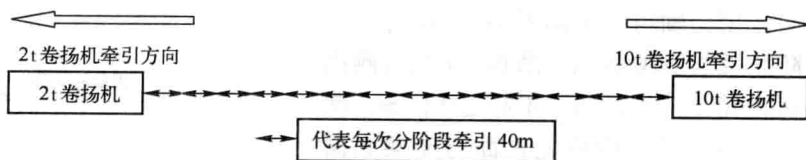


图5.2.4 牵引原理图

10t卷扬机将梁体往前牵引40m到位后，松开牵引卡环，

用另一端的2t卷扬机回送主钢丝绳40m，再次用10t卷扬机牵引，依次将所有工序牵引前移。

5.3 生产线流水化生产组织要点

移动底模托架台车在各个车间之间平移，车间的功能有一定共用性，比如底模作业车间也可以绑扎梁体底腹板钢筋，底腹板钢筋绑扎车间也可以进行模板的安装及顶板钢筋的绑扎，在混凝土浇筑车间，所有的生产线都调整成两套底模托架台车同步移动，同条生产线上两片梁同时浇筑混凝土，同时进入养护车间养护，每16个小时每条生产线出梁2片。

同步推进、工序零接口：流水生产线按固定节拍进行循环。施工要特别防止某道工序对生产线造成拥堵，如果某一道工序未完成或者不合格，势必影响整条生产线的运转，所有的工序完成都必须准时化。工序组织者要合理安排工序衔接，工序完成后，及时牵引到下一车间进行后一道工序的施工，防止各工序之间停顿时间过长，牵引工作要有一定的提前量。同时组织下一道工序做好相关施工准备，保证流水线固定节拍的通畅运行生产，以防发生模板待立或钢筋待绑现象。

物流的准确性：生产流水线的特点决定厂内生产流水线的物流作业必须服从和服务于制梁工艺流程的需要，所以生产流水线的物流具有很强的配合性、动态性、集散性和均衡性。如果生产流水线上物流存在问题，必然会影响整个生产流水线的效率。比如钢筋的运输，由于钢筋运输工人惯性思维的影响，认为“这次多送点，下次便可少送点”，却未考虑生产流水线的节拍性和动态性，多送了钢筋占用了模板存放位置，影响生产线的畅通，增加了生产线的负担，少送了则导致钢筋绑扎无法正常施工，必须要保证配送的准时化、准确。

作业岗位的固定化：工人固定区域作业，专业化程度要求高，每一车间工人均固定作业，为保证工序的准时化、准确率，要求车间工人具有较高的技能水平，如工人频繁流动更换，势必影响生产线运转。

6. 材料与设备

6.1 材料

循环流水生产线预制T形梁所用的原材料与传统制梁方式相同，均需满足相关标准要求，主要材料见表6.1。

主要材料表 表6.1

序号	名 称	规格型号	主要技术指标
1	混凝土	C55、C50	抗冻 F≥200 电通量≤1000 库仑 抗渗≥P20 胶凝材料耐腐蚀系数 K≥1.0
2	钢 筋	Q235、HRB335	《热轧光圆钢筋》GB 1499.1-2007 《热轧带肋钢筋》GB 1499.2-2007
3	钢绞线	1×7-15.2-1860	《预应力混凝土用钢绞线》GB/T 5224-2003
4	压浆剂	M50	《铁路后张法预应力混凝土梁管道压浆技术条件》TB/T 3192-2008
5	防水卷材	L1.5 型	铁道部科技基[2007]56 号发布：《客运专线桥梁混凝土桥面防水层暂行技术条件（修订稿）》

6.2 设备

主要设备见表6.2。

主要设备表 表6.2

序号	名 称	规格型号	数量
1	滚 轮	φ 100mm 自制	4500 个
2	专用底模托架台车	34m 长、自制	48 台
3	提梁机	QLM80/10+80-40A3	2 台
4	牵引卷扬机	10t	4 台
5	回送卷扬机	2t	4 台
6	主牵引绳	400m、φ 28mm	4 条
7	回送牵引绳	200m、φ 12mm	4 条
8	液压式张拉千斤顶	YCW300B-150	10 台
9	滑轮组	10t	4 套
10	静载试验架	32m	1 套

7. 质 量 控 制

7.1 T梁预制各工序工艺严格按《预制后张法预应力混凝土铁路桥T形简支梁技术条件》TB/T 3043-2005要求施工，并遵守相关铁路混凝土施工质量验收标准及耐久性规范。

7.2 轨道系统滚轮安装时，要求同条生产线上所有滚轮顶面高程误差小于1mm。

7.3 生产前对原材料进行严格检验，采用经检验合格的原材料；模板采用整体定型钢模，严格把好模板质量关，同时牵引前要检查模板的紧固性。

7.4 按设计图精确安放预埋件，同时设好保护层垫块，保证位置和几何尺寸准确无误。

7.5 成品梁检验符合《预应力混凝土铁路桥简支梁静载弯曲试验方法及评定标准》TB/T 2092-2003中相关的强度、刚度要求。

8. 安全措施

根据T形简支梁现场预制循环流水生产施工工艺，安全措施主要体现在大型设备使用、用电安全及防火等方面。本工法除严格遵循《建筑机械使用安全技术规程》JGJ 6-86、《施工现场临时用电安全技术规范》JGJ 6-88的规定要求执行外，还在安全管理、技术及现场应急处理等方面采取了如下措施：

1. 针对模板、牵引、吊梁、移梁、预应力等重点工序，安排专职安全员旁站监督。
2. 循环流水生产线采用大型车间化作业，对大型机械，特别是起重设备、拌合站等操作司机专人专机，持证上岗。
3. 建立健全安全组织保证体系，落实安全责任考核制，把安全生产情况与每个人的经济利益挂钩，使安全生产处于良好状态。
4. 贯彻“安全第一，预防为主”的方针，坚持“安全为了生产，生产必须安全”的原则，做到思想保证、组织保证和技术保证，确保施工人身、设备的安全。

9. 环保措施

环境保护是我国的一项基本国策，梁场与当地政府和环保部门联合协作，严格执行国家及地方有关环保法律法规，扎扎实实抓好环境保护工作，坚持“预防为主，综合防治，全面规划”原则，抓住本工程环保工作重点，有针对性地采取措施。

- 9.1 采用循环流水生产线施工，生产区高度集成，节约了大量的土地。
- 9.2 及早施作防护工程、排水工程，防止水土流失；工程完工后，及时进行现场彻底清理，并按设计要求处理。
- 9.3 对有害物质（如燃料、废料、垃圾等）要通过处理后运至指定地点，防止对人员造成损害。
- 9.4 临时工程、配套车间等统一规划，按施工环保的要求进行实施。严格在设计核准的用地界和经相关部门批准的临时用地范围内开展施工作业活动，用地使用完后必须恢复至原有的地形地貌或比原有更改善的状况。
- 9.5 对于施工中废弃的零碎配件，边角料、水泥袋、包装箱等设立清洁工班专门进行打扫，及时收集清理并搞好现场卫生，以保护自然环境与景观不受破坏。

10. 效益分析

10.1 经济效益：初步测算，甘泉梁场共制梁4208片，按传统的制梁模式需要支付工费7313万元，循环流水生产线的制梁模式需支付工费用6450万元，节约费用863万元；循环流水生产线建场费用高，滚轮、底模托架台车等为固定资产周转使用材料，本次梁场建场摊销1390万元，传统模式建场费为1080万元，相比多支出310万元；在平移梁费用上，循环流水生产线模式相比传统模式节约费用55.5万元（已扣除机械摊销增加费用）；在养护费用上，循环流水生产线模式节约费用215万元；综合对比，采用工厂化循环流水生产线施工可累计节约资金823万元，通过分析和比较可看出实行循环流水生产线预制T形简支梁，经济效益显著。

10.2 节能效益：循环流水生产线生产区及制梁工序高度集成，运输距离短，倒置的轮轨式移动方式配合滑轮组牵引系统降低了牵引力，节约了动力，固定式恒温养护车间，提高了养护棚的密封性，降低了热能损失、水资源消耗，节能效益显著。

11. 应用实例

11.1 工程概况

中铁十二局集团甘泉制梁场承担着包西铁路通道（陕西段）BXS-2标段内95座桥，共4208片铁路预应力混凝土T形简支梁的预制任务，属特大型现场制梁场，任务重、工期紧，为按期完成施工任务，为后续工程施工创造条件，根据其多年的制梁经验，汲取高效率的生产流水化、工厂化理念，采用了循环流水生产线预制铁路T形简支梁的施工生产方案。

11.2 施工应用效果

2008年7月循环流水生产线建设完成并投入，预制的梁体内实外美，2008年10月22日顺利通过铁道部产品质量监督检验中心生产许可证实地核查认证，转入批量生产阶段，生产能力可达12片/日，截止2010年8月底，累计生产各类T梁4208片。在冬期施工、确保铺架方面，更是取得了优异成绩。

大跨度变截面栓焊结构钢管桁架拱肋加工制作工法

GJEJGF254—2010

中铁十三局集团第一工程有限公司 中国铁建股份有限公司

刘志 李志辉 刘宏宇 李长武 陶中原

1. 前 言

大跨度变截面栓焊结构钢管桁架拱肋加工制作是钢管桁架拱肋施工的关键技术。中铁十三局集团第一工程有限公司在总结沪蓉西高速公路支井河特大桥、浙江省象山县三门口跨海大桥、东莞水道特大桥等多座钢管混凝土拱桥钢管拱肋加工制作施工技术研究及成功实践的基础上形成本工法。本工法是针对具有结构复杂、管径大、板材厚、部件种类多、施工现场狭小等诸多特点的拱肋施工，宜选择在工厂内加工制作、厂内预拼、工地吊装的施工方案，不仅施工进度快，而且加工后的拱肋线形光滑圆顺，各项技术指标均符合设计和规范要求，将为主拱肋的顺利吊装提供保障，也能够为实现工程的总体目标工期打下坚实的基础。

2008年11月25日由吉林省科技厅组织专家对本工法关键技术进行了鉴定，认为加工制作大跨度变截面栓焊结构钢管桁架拱肋施工技术处于国际领先水平，具有广阔的推广应用前景。

2. 工 法 特 点

2.1 钢管拱肋采用栓焊结合工艺、变截面“5+1”拱肋整体卧拼技术，具有节能、节材、高效、安全等优势。

2.2 可提高大管径，厚板材钢管拱肋加工制造效率。

2.3 在充分保证施工质量前提下节约场地，形成流水作业，提高工作效率。

3. 适 用 范 围

本工法适用于大跨度栓焊结构变截面钢管桁架拱肋加工制作的拱桥加工，对相同类似结构工程可参照借鉴。

4. 工 艺 原 理

在工厂内设置胎架，按照工厂试验的焊接工艺完成拱肋桁片的制作后在胎架上进行节段制作。连续拱肋杆件完成后，通过单肋片组焊、弦管组焊接头法兰、节段组装，利用“栓焊结合”连接方式，“5+1”匹配制造完成全桥单拱肋的卧拼。

5. 施工工艺流程及操作要点

5.1 施工工艺流程（图 5.1）

5.2 操作要点

5.2.1 钢材进厂检验

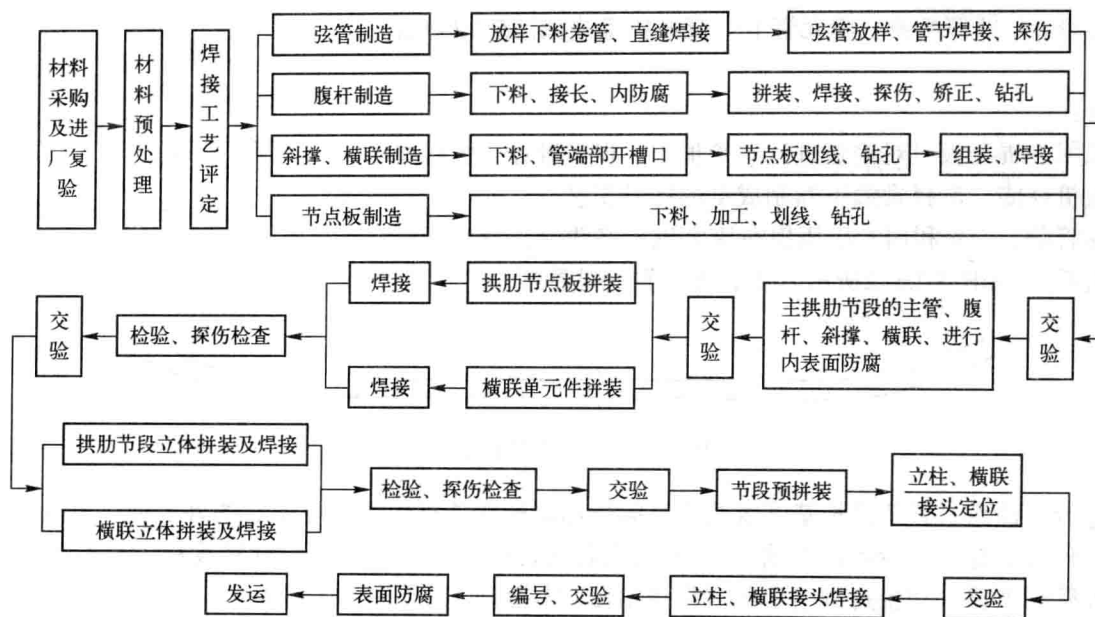


图5.1 工艺流程图

进厂钢材按照规定进行复验，复验结果应满足对钢材化学成分和机械性能的要求，合格后方可使用。

5.2.2 焊接工艺

根据设计要求，主拱各主要焊缝，均要求全熔透焊接，结合工厂的实际制造情况，采用埋弧自动焊、药皮焊条手工电弧焊和CO₂气体保护焊完成主拱的焊接工作。埋弧自动焊用于主弦管直环缝焊接、拱肋腹杆棱角焊缝的焊接和所有钢板接长的对接焊缝焊接。CO₂气体保护焊主要用于工厂内拱肋腹杆的棱角焊缝打底焊及制造时的平位和平角位的其他焊缝焊接。手工电弧焊用于工厂内的立、仰位置的焊缝焊接。

5.2.3 部件制作

按构件相似原理，拱肋部件制作分为弦管制造、腹杆制造、撑杆制造、节点板制造等4部分。在工厂内同时安排多条生产线分道作业，进行专业化生产，以保证构件质量和生产进度。

1. 弦管制造

1) 单元管节制造

号料：

①下料按计算机放出的1:1大样进行划线。包括下料切割线、管节接长的基准线（在两端打样冲眼），并用钢印在两端距端部及直缝边100mm位置打上管节编号。

②划线时要分清钢板的压延方向，使钢板压延方向与卷管方向一致。

③计算机放样时，相邻两管节直缝应错开180°，一节的直缝布置在顶部（使用状态下），其相邻管节则布置在底部，上弦管拱上立柱处尽量布置在下部。每根弦管两端管节，长度各预留30mm焊接收缩量。下料后长宽尺寸允许误差 $\pm 2.0\text{mm}$ 。

下料：

采用半自动气割机进行下料。下料后切口上不得产生裂纹，并不宜有大于1.0mm的缺棱，应清除边缘上的氧化物、熔瘤和飞溅物等。切口或坡口边缘上的缺棱，当其为1~3mm时，可用机械加工或修磨平整；当缺棱或沟槽超过3.0mm时则应用 $\phi 3.2\text{mm}$ 以下的低氢型焊条补焊，并修磨平整。其他部件的下料要求与此相同。

加工焊接坡口：

采用半自动气割机加工焊接坡口。切割后用角磨砂轮机将坡口面及其侧边50mm范围内打磨光洁

并清除锈斑、油污等脏物。单元管节焊接坡口型式如图5.2.3-1所示。

卷管：

①采用三辊卷板机对钢板进行卷管加工，根据管径、板材厚度及卷板机性能，选择常温下卷制成型的冷卷工艺。

②卷管前，首先利用专用压模在压力机上将两端直缝边预压成型（引弧），如图5.2.3-2所示。然后再上卷板机卷管。

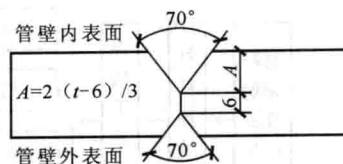


图5.2.3-1 弦管直缝、环缝坡口型式



图5.2.3-2 弦管直缝边压型

③卷管时注意，管节接长基准线及管节编号标识所在的钢板面应是钢管的外表面。另外，钢板喂入角度应保证直缝边与卷板机辊轴平行。卷管直径允许误差为 $\pm 2.4\text{mm}$ ，直缝对接错边量不超过 1.0mm 。

④卷管时严格采用快速进给法和多次进给法，冷卷时，由于钢板的回弹，必须施加一定的过卷量，在达到所需的过卷量后，还应来回多卷几次。

⑤在管节直径较大的情况下，为防止钢板因自重而使已卷过的圆弧部分回直或被压扁，必须有吊车配合。

⑥在卷管过程中，应不断使用内圆样板检查钢板的弯曲度直至达标。

焊接纵缝：

①单元管节卷好后，按要求检查管径和直缝对接错边量允差，对局部超限的管节采用千斤顶、夹具、手拉葫芦等工具进行校正，合格后用手工焊点焊固定。

②采用埋弧自动焊焊接卷管直缝，先焊内侧，然后再清根焊外侧。

矫圆：

管节焊接后会发生变形，所以必须使用卷板机进行二次矫圆，以使管节外形尺寸达到工艺要求。矫正后管节端口失圆度不超过 3.6mm 。

2) 组装节段弦管

当所有的单元管加工好后，下一步工作就是将单元管以折线对接连成所需要的节段弦管。在组装前，要将所有单元管的几何尺寸和焊接质量进行检查，合格后方可进行组装工作。所有组装工作均在专用的平台上进行。

放样：

在平台上放出节段弦管轴线大样，并依此轴线划出弦管轮廓线。对照轮廓线设置管节对接定位靠板。如图5.2.3-3所示。

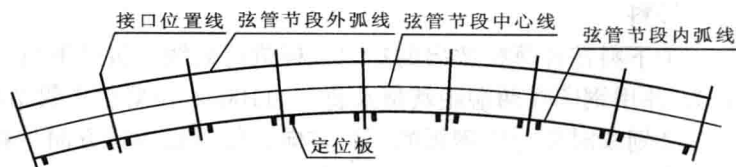


图5.2.3-3 弦管接长定位板设置示意图

组装单弦管：

每根管节的摆放位置和方向是惟一的，在组装时要严格根据管节编号进行排位，为了避免组装时出现错误，在摆放管节前，先在平台上标出每根管节的位置编号以及摆放方向（纵向），两者对照无误后才能摆放。

焊接环缝：

①采用手工定位焊对接各管节。焊缝厚度 $4\sim 6\text{mm}$ ，每段长度及间隔均为 $100\sim 150\text{mm}$ ，自动焊前，采用与定位焊相同的方法，将间隔补焊到与定位焊齐平。管节对接错边量不超过 2mm 。

②采用埋弧自动焊在专用的旋转胎具上进行环缝焊接。先焊接内侧，再清根焊外侧。将焊好的弦管放到平台大样上，检查其弧线精度，并对超差部位采用火焰矫正。矫正后实际弧线与设计弧线偏移

量不超过5mm。弦管节段制造完成后，用钢印在两端距端部及直焊缝100mm位置打上弦管编号。

3) 制造要点

管节对接是进行单肋片和拱肋拼装的基础，其质量直接影响到拱肋的拼装质量。一要放出准确的单弦管对接大样，并经自检、互检和专检确定无误，大样是进行尺寸控制的基础；二要控制好焊接变形，如尺寸超差即采用火焰法进行矫正。

2. 腹杆制造

腹杆为截面尺寸为400mm×600mm的箱形结构，其盖板厚度16mm，腹板厚度18mm。

1) 钢板接长

盖板和腹板尽量采用整板下料，在材料尺寸不满足要求时，允许接长，但不允许帮宽。最小接长长度不小于1000mm。钢板拼接均采用埋弧自动焊，焊后将焊缝余高磨平，拼接错边量不超过1.0mm。先接长，后进行切割下料。

2) 号料及下料

按照施工详图放出腹杆盖、腹板及中间隔板的1:1大样，划出下料切割线。为提高效率，采用多头直条切割机进行下料。下料宽度允差±2mm，盖板、腹板长度方向留30mm焊接收缩及修割余量。腹板的两侧边及中间隔板四周，每边留3~5mm机加工余量。

3) 加工中间隔板、腹板边缘及坡口

用刨边机加工腹板边缘，用铣边机加工腹板坡口，坡口角度50°，钝边2mm。腹板两端各1000mm范围内宽度允差0~1mm，其余部位±2mm。用铣边机加工隔板四边，高、宽允差±1mm，对角线差不超过1mm。用机床对中间隔板、腹板边缘及坡口进行加工，能保证尺寸精度，确保组装质量。

4) 组装与焊接

①盖板、腹板内表面和隔板表面要按要求先进行内防腐，再进行组装。腹杆的组装在专用胎架内进行，如图5.2.3-4所示。先将一块盖板放入胎架内，然后按图纸划出隔板、腹板装配线，依次安装腹板、隔板和腹板。

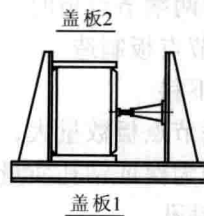
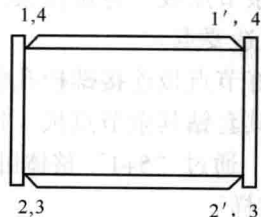


图5.2.3-4 腹杆组装胎架截面示意图

②采用CO₂气体保护焊焊接隔板与腹板、盖板的连接焊缝。

③安装另一块盖板，并按图5.2.3-5所示顺序焊接4条棱角焊缝。棱角焊缝打底焊道（1，1'，2，2'）采用CO₂气体保护焊，盖面焊道（3，3'，4，4'）采用埋弧自动焊。



1 (1')、2 (2') 为CO₂打底，3 (3')、4 (4') 为埋弧焊盖面

图5.2.3-5 钢箱件棱角焊缝焊接次序示意图

5) 矫正焊接变形

腹杆焊接成型后，对各部尺寸进行检测，对超差部位采用火焰法进行变形矫正。

6) 钻连接螺栓孔

在刚性平台上放地样，将腹杆水平放在平台上，对地样划出两端孔群位置线。采用平面覆盖式模板，对线钻两端连接孔。

7) 制造要点

防止腹杆焊后发生扭曲变形是腹杆制造的关键。为此须采取以下保证措施：一为保证组拼质量对腹板及中间隔板的边缘及坡口用刨边机和铣边机进行加工；二是严格按照焊接顺序进行施焊；三是焊后采用火焰法消除焊接应力并进行变形矫正。

3. 撑杆制造

撑杆钢管 $\phi 600 \times 16$ mm，采用直缝焊接钢管，其制造及要求同拱肋弦管。斜撑 $\phi 402 \times 16$ mm采用无缝钢管直接下料。

1) 号料及下料

按照施工详图放出撑杆的1:1大样,划出下料切割线。采用半自动气割机进行下料,长度允差 $\pm 2\text{mm}$ 。

2) 加工焊接坡口

在平台上,划出两端坡口切割线,并采用半自动气割切割坡口。坡口根部宽度 $1\sim 3\text{mm}$ 。切割后用砂轮机打磨坡口,使之光洁,清除锈斑、油污等脏物。

3) 卷管及焊接

利用专用压模,在压力机上将直缝边先压制成型,然后上卷板机卷管。采用埋弧自动焊焊接撑管直缝,先焊内侧,然后再清根焊外侧。对于需进行接长的撑杆,采用埋弧自动焊进行对接环缝的焊接,先焊接内侧,再清根焊外侧。

4) 撑管矫正

撑管管节焊接完成后,应二次上卷板机进行矫正,矫正后管节端口失圆度不超过 1.8mm 。对接长的撑管应放到平台上,检查其弯曲度,并对超差部位采用火焰矫正。矫正后实际弯曲度,不超过 3mm 。

5) 组焊节点板

先将同一端两节点板与填板及加劲板组焊成整体,填板与节点板间加 1mm 薄铁皮调整间隙,保证两节点板间距为正差 $2\sim 3\text{mm}$ 。加劲板与节点板的连接焊缝,非隐蔽部分留待工地安装焊接。撑管制造完成后,用钢印在两端距端部及直焊缝 100mm 位置打上编号。

6) 制造要点

组焊两端节点板时,应严格控制好两端连接螺栓孔群的中心距精度。

4. 节点板制造

1) 下料

本桥节点板数量大,形状尺寸各异,为保证精度提高效率,采用数控气割机下料,不留加工和修割余量。为保证钻孔质量,节点板螺栓孔采用数控钻床钻制。

2) 钻孔

为减轻数控钻床工作量,提高工作效率,对相同型号的节点板,用数控钻床先钻1块,充当模板,再套钻其余节点板。每块模板,只可用于套钻1次。

3) 制造要点

控制好节点板连接螺栓孔的位置精度是关键工序,为此采用数控钻床进行钻孔。先钻一块充当模板,再用其套钻其余节点板。每块模板,只能使用一次。

5.2.4 通过“5+1”整体卧拼进行单肋片的组装

1. 放样

单肋片组拼在刚性的平台上进行。按吊装节段施工图在平台上放出1:1大样:上下弦管外缘轮廓控制线、拱肋中心线、腹杆中心线及拼装线、弦管对接线、横联撑杆的中心线。拱肋宽度加 5mm 的焊接收缩量。地样必须经自检、互检和专检,符合图纸尺寸要求后,用油漆标记,打上样冲眼。在平台上沿上弦管凸边轮廓线、下弦管凹边轮廓线、腹杆侧边轮廓线各设2个定位挡板,并在腹杆两端设置腹杆支承座。如图5.2.4-1所示。

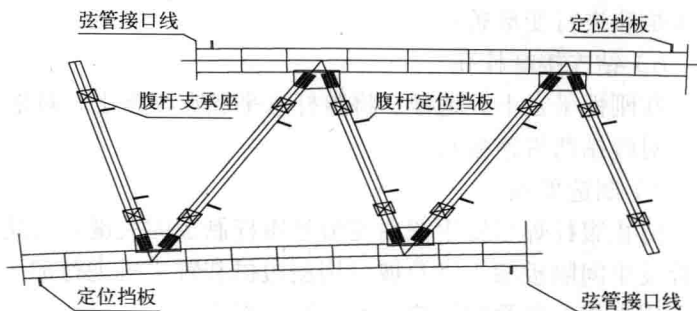


图5.2.4-1 拱肋肋片拼装定位示意图

2. 各部件就位

将上、下弦管分别吊上平台，对地样就位。上弦管控制上凸边轮廓线，下弦管控制下凹边轮廓线，允许偏移5mm，超出范围时用火钳进行矫正。将腹杆吊上平台，对地样就位，两端用支承座支撑，使其中心面与弦管中心在一个水平面内。

3. 安装腹杆节点板

先将下部的节点板栓在腹杆上，并用冲钉定位，接触面间垫1.0mm薄铁皮，然后对线将节点板与弦管点焊固定。当节点板与弦管间隙过大时，采用手工焊方法，先对节点板进行堆焊；节点板与弦管发生冲突时，采用气割的方法，对节点板进行修割。无论是堆焊还是修割，都须对坡口面进行修磨，使其表面光洁。再用相同的方法，组装上部的节点板。

焊接时先焊接节点板上侧坡口焊缝，应尽量使焊缝熔透，以减小背面清根量。焊接采用小线能量，多层多道焊。每焊接一道焊缝，须对焊道表面进行锤击处理。锤击后，焊道表面应有均匀的可见压痕。背面清根及封底焊，在拱肋试装完成，拆下腹杆后进行。

4. 安装横联节点板

横联节点板仅进行点焊固定。注意控制节点板孔群到肋片中心面的高度，和上、下弦管上的两个节点板的相对位置。同一节段中，只组装一个肋片上的节点板，另一个肋片上的节点板栓在横联上，在节段组拼时再进行定位。

5. 上下肋片合样

划出肋片两端弦管的切割线和距切割线100mm位置的切割检查线。切割线按相邻两节段弦管接口中心线确定，不考虑对接坡口的间隙要求，对接坡口在与相邻节段的肋片组装时进行修割。然后将肋片翻身，清根焊接另一面节点板坡口焊缝。按相同工艺组装另一侧单肋片，再将上下两肋片进行合样，检查并矫正使其几何尺寸在允差范围内。依此程序组装出全桥每个单肋片。

6. 单拱肋肋片“5+1”整体卧拼

相邻节段肋片以整体“5+1”单肋卧拼的形式进行合样，组焊节段接头法兰，确定出拱上立柱支座的中心位置。合样分三部分进行，次序分别为1号+2号+3号+4号+5号+6号，6号+7号+8号+9号+10号+11号，11号+12号+13号+14号+15号。

7. 制造要点

大样是进行结构尺寸控制的基础，放出准确的单肋片组拼大样后要经自检、互检和专检；要通过整体“5+1”拱肋卧拼技术对变截面拱肋线形进行控制；要控制好焊接变形，提前采取反变形措施，在拱肋宽度上加5mm的焊接收缩量；要对局部超差采用火焰进行校正。

5.2.5 拱肋预拼装

主拱肋各部件制作完毕后，即开始进行拱肋预拼装。拱肋节段厂内预拼的目的是检验大桥制造是否符合设计线形及尺寸要求，为工地吊装做好准备。

基本流程为：单肋片组焊→弦管组焊接头法兰→节段组装→拱肋拆开→节点板背面焊缝清根焊接→表面喷砂处理→表面喷铝处理→表面油漆→待装车发运。

1. 预拼平台

节段的预拼装必须在单肋片组焊合格后进行。为保证节段接头质量符合要求，肋片间横联撑杆、拱肋间横撑撑杆均能准确定位安装，须在专用的拼装平台上采用立式拼装。每组拼装4个节段（含8个拱肋节段，3道横向风撑），拼装台的长度和宽度要求，如图5.2.5-1所示。

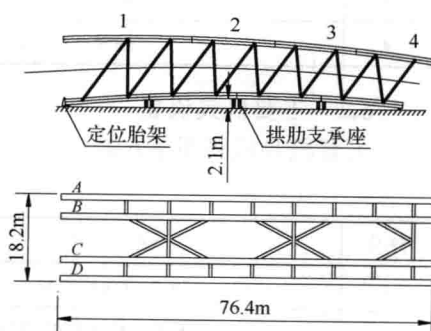


图5.2.5-1 拼装平台布置图

2. 预拼装顺序

节段预拼装工序为：1号+2号+3号+4号，4号+5号+6号+7号，7号+8号+9号+10号，10号+11号+12号+13号，13号+14号+15号。节段预拼顺序见图5.2.5-2。

3. 预拼要点

1) 拱脚段安装定位，以下弦管底端为基准。安装时下弦管底端基准面应进行精确测量、调整，确保4个基准面在同一个平面内，并且底部4个支撑点水平高度（ h ）相同。各支撑座基础应牢靠，应保证在拱肋重量作用下不下沉。如图5.2.5-3所示。

2) 4号+5号+6号+7号，7号+8号+9号+10号，10号+11号+12号+13号，13号+14号+15号节段拼装时，作为基准的4号，7号，10号，13号节段B、C肋片间的横向风撑不可缺少，以保证AB和CD两拱肋相对位置正确。

3) 每组拼装焊接完成后，对各个部件按规定进行编号标识，并对今后的安装基准（样冲眼）采用2mm铁皮点焊遮盖，以便工地安装时对号安装和测量。

4) 拱肋预拼装后只对主弦管上的节点板进行焊接，其他焊缝在工地吊装时进行焊接。

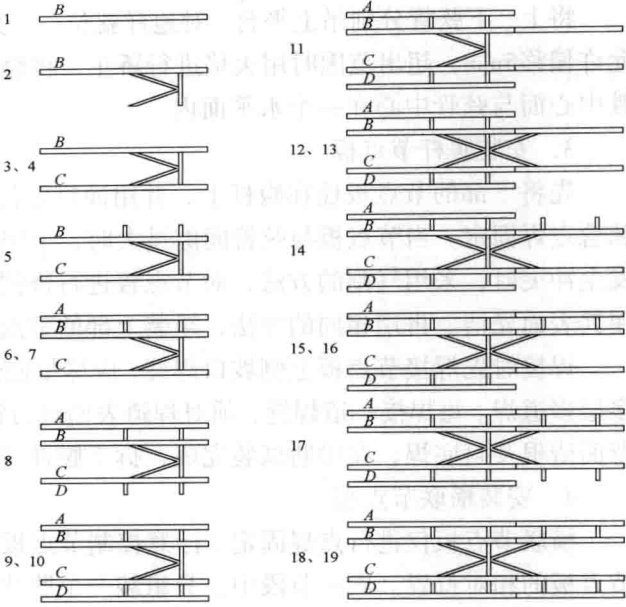


图5.2.5-2 预拼装顺序示意图

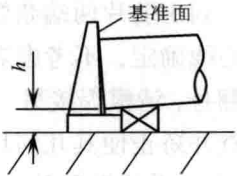


图5.2.5-3 拱脚定位基准

6. 材料与设备

6.1 主要材料

主要材料见表6.1。

主要材料表

表6.1

序号	名 称	型 号、规 格	单 位	数 量
1	Q345C 钢材	16 ~ 35mm	t	5500
2	高强螺栓		t	45
3	铝丝	1070A (L1) $\phi 2 \sim \phi 3$	t	14.5
4	油漆	环氧云铁及脂肪族聚氨酯漆	t	11.2

6.2 主要机具设备

主要机具设备见表6.2。

主要机具设备表

表6.2

序号	名 称	型 号、规 格	单 位	数 量
1	多头直条切割机	CG1-3000A	台	2
2	BCM 等离子精密数控切割机	4m × 18m	台	1
3	吸入式焊剂烘干机	YJJ-A-500	台	1
4	半自动 CO ₂ 气体保护焊机	NBC-400	台	22

续表

序号	名 称	型 号、规 格	单 位	数 量
5	硅整流自动埋弧焊机	MZ-1-1000A	台	16
6	直流手弧焊机	GS-500SS	台	8
7	四柱万能液压机	YA32-500	台	1
8	桥式起重机	30t	台	2
9	龙门吊机	60t	台	1
10	卧式车床	C61125A	台	2
11	双工作台数控钻床	PD30	台	1
12	万向摇臂钻床	Z3732 × 8	台	8
13	双侧铣床	SX-20M	台	1
14	刨边机	B811-20A 12m	台	1
15	超声波探伤仪	CTS-2000	台	4
16	角焊缝磁粉探伤仪	DCT-C	台	1
17	测厚仪	LE-900	台	1
18	全站仪	徕卡 702	台	1
19	经纬仪	T2	台	1
20	冲击试验机	JB-300B	台	1

7. 质量 控 制

7.1 质量标准

7.1.1 进厂钢材应符合设计文件要求和《低合金高强度结构钢》GB 1591的有关规定，除必须有材料质量证明书和合格证外，还应按《铁路钢桥制造规范》TB 10212-98的规定进行复验。

7.1.2 钢管拱肋的加工制作、焊接执行《公路桥涵施工及验收规范》JTJ 041-2000，全熔透焊缝按Ⅰ级验收。

7.1.3 拱肋制造精度要求：下料允差 $\leq 2\text{mm}$ ；卷管直径允许误差为 $\pm 2.4\text{mm}$ ；直缝对接错边量 $\leq 1.0\text{mm}$ 。管节对接错边量 $\leq 2\text{mm}$ 。钢管棱角度 $\leq 1.5\text{mm}$ 。

7.1.4 钢结构外表面采用电弧热喷铝长效防腐涂层。喷涂前，金属表面进行Sa3级喷砂处理。电弧喷铝1道，铝层厚度 $200 \pm 20 \mu\text{m}$ ；环氧云铁封闭漆1道，漆膜厚度 $20 \mu\text{m}$ ；环氧云铁中间漆1道，漆膜厚度 $60 \mu\text{m}$ ；红色脂肪族聚氨酯面漆2道，漆膜厚度 $50 \mu\text{m}$ ；

7.2 质量控制

7.2.1 所有的质量检验应由具有相应资质的单位进行。产品检验用仪器、工具及施工用的定扭扳手等，均应由相应资质的计量单位进行鉴定和标定。

7.2.2 加强对材料的管理与验收。所有的钢材、高强度螺栓、焊接材料和涂装材料，除了有生产厂家出具的产品质量合格证书外，使用前均应按生产的炉号或批号，根据其执行的相应的国家、行业进行材质复验。复验合格后才允许投入使用。材质复验的取样、送检和试验，应报请监理工程师旁站确认。

7.2.3 构件几何形状和尺寸的测量，应注意避免日照的影响。

7.2.4 加强质量控制，实行标准化作业，拱肋的加工从下料、卷管、破口、焊接到组样和预拼装，都要严格按照施工规范、技术标准操作，技术交底明确，配专职质检工程师，通过交接验、互验及监

理检查认证后，才组拼和出厂，上道工序不达标，不允许进行下道工序的施工。

7.2.5 拱肋、撑杆、腹杆及节点板等钢结构均在工厂加工制作，所有钢管管节均采用直缝坡口焊，卷管方向与钢板压延方向一致，管节与构件制作标准及精度要求按照《公路桥涵施工及验收规范》JTJ 041-2000实施。

7.2.6 杆件焊接要严格执行施焊工艺，不得随意变更预定参数；施焊环境温度不应低于5℃，空气相对湿度不应高于80%。环境温度低于5℃时，应进行预热处理。相对湿度高于80%时，焊前应用烤枪对焊区进行烘烤除湿；焊前应清除焊接区的锈尘和油污。多道焊时应将前道熔渣清除干净，并经检查确认无裂纹等缺陷后再继续施焊；型接头的角焊缝和对接接头的平焊缝，两端应配置引弧板和引出板，其材质和坡口型式与被焊工件相同。

7.2.7 焊缝检测

1. 外观检查

1) 所有焊缝均须进行100%外观检查。焊缝外观质量要求成形美观、整齐，不得有裂纹、夹渣、焊瘤、未熔合、未填满弧坑等焊接缺陷。

2) 所有角焊缝焊缝尺寸不低于设计要求，全熔透角焊缝，其焊缝外部焊脚尺寸为 $t/2$ （ t 为腹板板厚）但不大于10mm。

2. 超声波探伤检查

1) 超声波检查应在焊完24h后检查。检查等级符合《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果分级》GB 11345规定的B级要求。

2) 所有钢板接长对接焊缝，钢管纵向和环向对接焊缝，节点板与弦管连接的全熔透角焊缝，拱肋腹杆、拱上立柱、钢盖梁的4条棱角焊缝进行100%超声波探伤。

3) 质量等级：所有钢板接长对接焊缝，钢管纵向和环向对接焊缝，为《公路桥涵施工及验收规范》JTJ 041-2000规定的Ⅰ级焊缝，其他要求超声波探伤的焊缝为Ⅱ级。

3. 射线探伤检查

1) 射线探伤应符合《钢熔化焊对接接头照像和质量分级》GB 3323规定的射线照像质量等级AB级要求，射线探伤焊缝质量等级为Ⅱ级。

2) 焊接钢管环向与纵向对接焊缝，均应按设计要求进行射线探伤，探伤比例为10%。射线探伤不合格的焊缝，要在其附近再选取2个检验点进行探伤，如这2个检验点中又发现1处不合格，则该焊缝必须全部进行射线探伤。

4. 焊缝返修

1) 焊脚尺寸不足或焊缝咬边，应采用手工电弧焊进行补焊返修。

2) 发现有表面气孔或存在内部缺陷时，可采用碳弧气刨，将焊接缺陷清除并进行补焊。

3) 发现裂纹，应先查明原因，制定出预防措施，再用清除缺陷的方法进行补焊。缺陷清除范围为裂纹两端各外延50mm。

4) 焊缝返修后，采用原检验方法的要求进行重新检验，同一部位的焊缝，返修次数不宜超过2次。

7.3 质量保证措施

施工中除执行上述标准外，强调如下措施：

7.3.1 焊工必须持证上岗，高空焊接工人从中择优录用。

7.3.2 坡口打好后，由两人专门负责管口的打磨，工具用电动磨光机，使焊口清洁。

7.3.3 焊工的焊条起弧与收弧时决不允许在焊缝以外发生，应以焊缝端部（约10mm以上处）起弧、收弧，以避免气扎和夹渣现象发生。

7.3.4 对于主拱管的对接，如遇雨天，五级以上风天，停止施焊，雾天待构件表面无水分后，在上午9时以后施焊。

7.3.5 焊后对焊缝进行100%超声波检验，并进行抽探15%射线检查。如出现返工，则必须制定返