

338389

86.583
P JY

栓焊钢桥 的研究

shuan han gang qiao de yan jiu



中国铁道出版社

栓焊钢桥的研究

铁道部

下

研究室编写组

主编 潘 际 炎

主要编写人

潘际炎	李利庆	徐承炉
刘桂云	程季青	乌通儒
余振生	史永吉	杨妍曼
沈家骅	张鸿亮	

中 国 铁 道 出 版 社

1983年·北京

内 容 简 介

本书主要介绍栓焊钢桥的试验研究成果，提出大量的试验研究资料和关于技术规范方面的见解，对实际兴建栓焊钢桥很有参考价值。

读者对象：桥梁工程技术人员，大专院校师生。

栓焊钢桥的研究

铁道部科学研究院铁建所桥梁室编写组

主 编 潘际炎

中国铁道出版社出版

责任编辑 陈保兴

新华书店北京发行所发行

各 地 新 华 书 店 经 售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张：12.625 字数：274 千

1983年1月 第1版 1983年1月 第1次印刷

印数：0001—2,000册 定价：1.90 元

目 录

第一章	栓焊钢桥简介	1
第二章	桥梁用钢材	6
一、	国产钢材	6
	(一) 我国桥梁钢的发展情况	6
	(二) 我国桥梁钢的标准	6
	(三) 强度要求	8
	(四) 塑性要求	10
	(五) 冲击韧性要求	12
	(六) 钢材的缺陷和断口检验	18
二、	国外桥梁用钢情况	21
第三章	16锰桥梁钢焊接	30
一、	可焊性	30
	(一) 16锰桥梁钢的热裂倾向	31
	(二) 16锰桥梁钢的淬硬倾向和过热倾向	42
	(三) 抗裂试验	51
	(四) 16锰桥梁钢焊接接头物理力学性能	52
	(五) 结论	56
二、	焊接材料的选择	56
	(一) 焊条选择	57
	(二) 熔剂选择	58
	(三) 焊丝选择	58
三、	焊接工艺的研究	63
	(一) 手工焊打弧对钢板的影响	63
	(二) 自动焊与半自动焊施焊规范选择	63

(三) 对接接头中的夹渣	65
(四) 各种焊接接头的机械性能	69
(五) 箱形截面杆件焊接的研究	75
四、有断口缺陷钢板的焊接	78
(一) 试验钢板的材质	78
(二) 焊接抗裂试验	82
(三) 焊接接头的强度和冲击韧性	84
五、焊接钢梁制造	85
(一) 生产准备	85
(二) 制造工艺	85
(三) 钢板表面处理	91
第四章 高强度螺栓和高强度螺栓连接	92
一、高强度螺栓连接	92
(一) 高强度螺栓、螺母、垫圈的形式与尺寸	92
(二) 高强度螺栓接头的强度	98
(三) 高强度螺栓连接的设计	99
(四) 高强度螺栓设计预拉力值的确定	100
二、高强度螺栓、螺母、垫圈制造	103
(一) 40硼高强度螺栓制造及验收	103
(二) 45号优质碳素结构钢高强度螺栓制造及验收	110
(三) 高强度螺母的制造	111
(四) 高强度垫圈的制造	114
三、高强度螺栓接头的钢板表面处理	114
(一) 除锈打毛	115
(二) 喷涂防锈层	117
四、栓接摩擦系数	120

(一) 钢板经工地喷砂处理后摩擦系数·····	121
(二) 工厂喷砂后喷锌的钢板摩擦系数·····	122
(三) 喷砂或喷铁砂后, 涂两次固化无机富锌漆的摩擦系数·····	125
(四) 酸洗除锈后, 涂两次固化无机富锌漆摩擦系数·····	125
(五) 不同板面处理工艺的摩擦系数汇总·····	125
五、栓接表面处理工艺的近期研究·····	128
(一) 酸洗、酸洗后涂两次固化无机富锌漆·····	129
(二) 抛丸、抛丸后涂两次固化无机富锌漆·····	129
(三) 喷铁砂、喷铁砂后涂两次固化无机富锌漆·····	129
(四) 对处理工艺及摩擦系数的分析·····	133
(五) 板面质量检查·····	134
六、国外栓接钢板处理工艺及摩擦系数·····	134
七、高强度螺栓接头的静载受力情况·····	135
(一) 螺栓群传力情况·····	135
(二) 摩擦力的分布·····	142
(三) 高强度螺栓预拉力损失·····	143
(四) 拉力接头各截面应力分析·····	144
(五) 受拉杆件的扣孔问题·····	146
(六) 压力接头·····	151
八、高强度螺栓的延迟断裂·····	157
(一) 氢脆和应力腐蚀·····	157
(二) 断裂螺栓的检查·····	158
(三) 国外试验结果·····	158

九、国外高强度螺栓连接的科研情况	160
(一) 精制高强度螺栓	160
(二) 打入式高强度支承螺栓	161
(三) 平头高强度螺栓	161
(四) 扭剪型高强度螺栓	162
(五) 特制凸型垫圈	162
(六) 高强度螺栓与焊缝或铆钉在同 一节点上使用	162
(七) 检算疲劳强度用毛面积还是 净面积	164
(八) 高强度螺栓连接的抗滑安全系数	164
(九) 不降低摩擦系数的漆	165
(十) 螺栓直径向大尺寸发展	166
十、高强度螺栓安装	166
(一) 施工准备	166
(二) 高强度螺栓施拧方法	167
(三) 施拧试验	175
(四) 扭角法施工工艺规定	186
第五章 16锰铁路钢桥疲劳计算	189
一、与钢材疲劳强度有关的因素	189
(一) 疲劳强度 σ_s	189
(二) 影响疲劳强度的参数	189
二、16锰桥梁钢疲劳试验	202
(一) 疲劳试验	202
(二) 试验资料的分析	207
三、疲劳图的表示法及疲劳强度公式	219
(一) 疲劳图的表示方法	219
(二) 安全系数	221

(三) 疲劳强度公式的推导	223
四、铁路钢桥疲劳计算	233
(一) 16锰桥梁钢各种连接的疲劳容 许应力计算公式及疲劳图	233
(二) 疲劳容许应力计算公式说明	236
(三) 计算荷载	240
(四) 计算面积	244
(五) 桥规所取的安全系数	245
(六) 疲劳计算公式的使用说明	246
(七) 算例	248
第六章 承压杆件及板件的稳定	253
一、承压杆件的稳定	253
二、承压杆件的压屈强度	255
(一) 压杆的三个工作阶段	255
(二) 中心压杆的弹性压曲	257
(三) 中心压杆的弹塑性压曲	260
(四) 承受偏心轴向荷载压杆的屈曲	264
(五) 特殊安全系数和承压的容许设 计应力	271
三、承压杆件的压溃强度	274
(一) 原始数据	275
(二) 计算方法	278
(三) 16锰桥梁钢H形截面压杆的计 算结果	287
四、16锰桥梁钢焊接压杆稳定试验	290
(一) 残余应力测定	290
(二) 整体稳定试验	295
五、压杆板件的局部稳定	297

六、箱形钢梁受压加劲板稳定	305
(一) 上、下盖板	305
(二) 腹板	315
第七章 栓焊钢桥的设计和维修养护	336
一、设计	336
(一) 钢桥结构发展的动向	336
(二) 几个设计问题	340
(三) 现有栓焊钢梁的结构形式	353
二、模型试验	353
(一) 结构模型用实际结构相同的 材料制成	353
(二) 结构模型与实物用不同的材料制成	364
(三) 组合结构模型试验	365
(四) 跨度 112 米系杆拱结构模型试验	369
三、跨度 112 米系杆拱桥应力调整及测试	384
(一) 拼装顺序	384
(二) 内力调整	384
四、栓焊钢梁维修养护	388
(一) 运营中出现的问题	389
(二) 维修及养护	390

第一章 栓焊钢桥简介

第二次大战后焊接技术的兴起，给钢桥技术增添了新的内容。焊接，改变了结构的连接方法，随之也改变了结构的细节。由于使用焊接方法能比较容易地将钢板焊成任何形状，过去认为制造复杂的箱形钢梁、正交异性板等新型结构，目前在各国广泛采用了。这种结构形式的改变，至今还在继续发展。焊接代替铆接还可免去大量的钻孔与铆合工作，能节约工时，节约材料，提高生产效率，缩短生产周期。

但大跨度钢桥，在工地高空组装时如采用焊接，对保证质量、焊后整形和施工组织的安排，都有一定的困难；而采用高强度螺栓连接，这些问题就容易解决。工地高强度螺栓连接比工地铆钉连接，施工速度快，对安装工人技术要求低，工人劳动条件也得到了改善。不仅如此，铆钉连接是靠铆钉抗剪和板的承压传力，在钉孔附近有较大的应力集中，而高强度螺栓连接则是靠钢板间的摩擦传力，力的分布比较均匀，应力集中现象没有铆接严重，故栓接比铆接接头的疲劳强度高，从而改变了结构连接的受力情况，可以节约钢材。根据我国设计经验，栓焊梁比铆接梁能节约钢材约10~15%。

把工厂焊接和工地高强度螺栓连接的优点结合起来，应用于钢桥，这就是当前广泛采用的栓焊钢桥。焊接块件的大小，取决于施工起重设备的能力。

1951年美国旧金山金門桥横撑加固时，首次正式使用高强度螺栓。英国自1952年，西德与日本自1954年，也相继在

铁路上使用。高强度螺栓代替铆钉，最初是用一个高强螺栓代替一个铆钉，随后逐步提高了高强螺栓的预紧力，并增大了栓接表面的摩擦系数，一个高强度螺栓就可以代替 1.2 至 1.5 个铆钉，从而进一步提高了栓接的优越性。

国外钢桥各种结构的最大跨度现状大致如下，其中除修建得比较早的外，近期建造的都采用了栓焊新技术。

简支梁

美国 切司妥 (Chester №2860) 公路桥，最大跨度 227.5 米，1973 年建成。

美国 麦妥波里斯 (Metropolis) 铁路桥，最大跨度 219.0 米，1917 年建成。

悬臂式桁梁

加拿大 魁北克 (Quebec) 公铁两用桥，最大跨度 549 米，1917 年建成。

英国 福厄斯 (Forth) 铁路桥，最大跨度 518 米，1889 年建成。

桁式连续梁

美国 亚斯托利亚 (Astoria) 公路桥，最大跨度 376 米，1966 年建成。

美国 塞托非尔 (Seiotoville) 铁路桥，最大跨度 236 米，1918 年建成。

拱桥

美国 新河 (New River) 公路桥，最大跨度 518 米，1976 年建成。

澳大利亚 悉尼港 (Sydney Harbor) 公铁两用桥，最大跨度 503 米，1932 年建成。

吊桥

英国 恒伯 (Humber) 公路桥，最大跨度 1410 米，

1976年建成。

葡萄牙 塔古斯 (Taquis) 公铁两用桥, (铁路尚未使用), 最大跨度1013米, 1966年建成。

箱型梁桥

巴西 里约热内卢 (Rio-Niteroi) 公路桥, 最大跨度300米, 1973年建成。

西德 莱茵河 (Rhine River) 铁路桥, 最大跨度113米, 1961年建成。

斜拉桥

法国 圣·纳泽尔 (St·Nazaire) 公路桥, 最大跨度404米, 1975年建成。

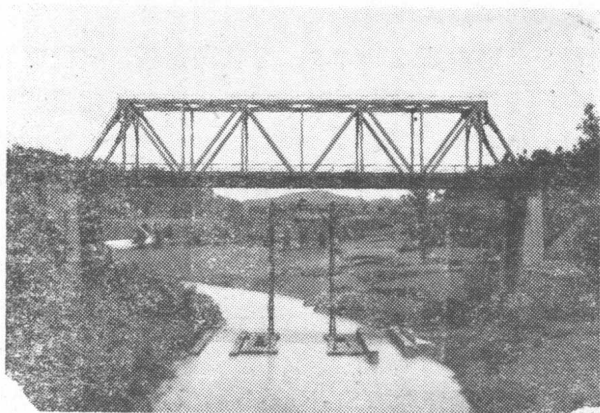
阿根廷 扎拉 (Zarate-Braze) 公铁两用桥, 最大跨度340米, 1975年建成。

斜腿刚构

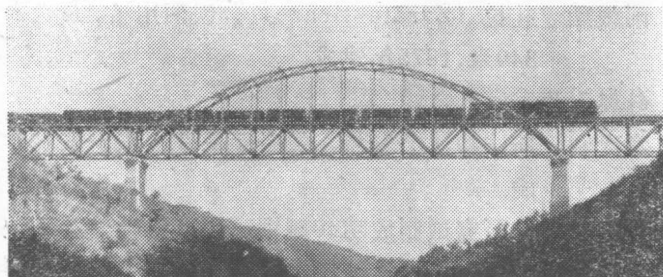
意大利 斯法拉法公路桥, 铰趾距离376米, 1972年建成。

我国1958年研究试制成功40硼钢高强度螺栓, 给工地连接提供了方便条件, 使焊接钢桥在我国开始向大跨度发展。1961年试建完成跨度为41.62米的锥容桥。1964年试验建造的跨度为61.44米的浪江桥 (照片1-1) 是一孔下承式栓焊桁梁。这两座桥都在柳州附近, 是发展栓焊结构的试验性工程, 是研究、设计、施工三方面很好结合的成果。这两座桥至今运营状态良好, 承担着西南干线上的繁重运输任务。

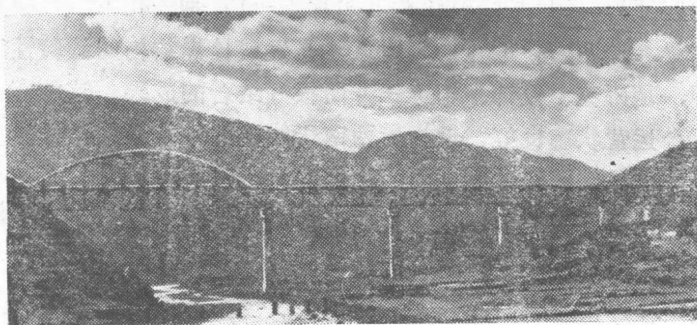
成昆铁路经过我国西南山区的深山峡谷, 桥隧相连, 有的地段桥梁工程成了控制性的工程, 需要预先建造。若采用预制预应力混凝土桥梁, 因运输困难, 受到了一定限制; 而采用栓焊钢梁, 杆件轻便, 能用解放牌汽车运输, 而且安装简易, 符合加快施工速度的要求。因此, 栓焊钢梁在成昆线得



照片 1—1 浪江桥 (跨度61.44米)



(a) 迎水村桥



(b) 铜模桥



(c) 拉归桥

照片 1—2 跨度为112米刚性梁柔性拱桥

到了推广。成昆线上使用的栓焊钢梁共十三种，跨度分别为32米、48米、64米、80米及112米，其中有代表性的是跨度为112米的刚性梁柔性拱桥，见照片1—2。

成昆线之后，栓焊钢梁又有了新的发展，1976年又建成了 3×128 米连续栓焊桁梁桥，见照片1—3。以往栓焊钢梁使用的材料是16Mn，这座桥使用的材料是15MnVN钢。

照片 1—3 跨度为 3×128 米连续桁梁桥

第二章 桥梁用钢材

一、国产钢材

(一) 我国桥梁钢的发展情况

建国初期，我国只能生产屈服点24公斤/毫米²级的普通三号碳素钢，主要供制造铆接桥梁用。后来，为了修建南京长江大桥，冶制成功了16Mn低合金桥梁钢，极限强度为52公斤/毫米²，屈服点为34公斤/毫米²。这种钢材是在普通碳素钢的基础上，加入了少量锰及硅合金元素熔炼而成的，综合性能好，而且我国有此矿产资源，成本低廉。16Mn桥钢的生产有力地促进了我国栓焊钢桥这一新技术的发展，目前这一钢材已成为铁路钢桥的主要用料。本书内容，主要介绍应用这种钢材兴建铁路栓焊钢桥的试验研究资料。我国目前80米以下的标准桁梁已全部采用了栓焊结构。个别特殊设计跨度已超过了100米，如1966年建造的112米系杆拱桥。为了进一步满足栓焊结构向更大的跨度发展，1966年我国又开始试制研究15锰钒氮正火桥梁钢，屈服点为45公斤/毫米²，极限强度为60公斤/毫米²。这种钢材是在16锰钢的基础上，加入了适当的钒铁和氮化锰铁炼成的，氮与钒合成氮化钒，强化了钢。但热轧的15锰钒氮钢，强度虽高，而塑性和韧性较差，需要予以常化处理，提高钢的综合性能。经过基材的基本性能及焊接等一系列试验表明，经常化处理后的15锰钒氮钢是综合性能良好的高强度低合金钢，已于1976年用这种钢材制造成功了3×128米连续桁梁桥一座。

(二) 我国桥梁钢的标准

桥梁钢标准 GB714—65规定的桥梁建筑用热轧碳素钢技术条件中只有两个钢号，铆接桥用甲3桥，焊接桥用16桥。事实上在新建的桥梁中，已很少采用这两种钢，特别是甲3桥。

普通低合金钢标准，目前只有YB13—69普通低合金钢钢号和一般技术条件。其内容要求用于桥梁建设已很不适应。

1970年颁发的YB-168-70桥梁用碳素钢及普通低合金钢技术条件（试用稿），对上述两个标准作了修改和补充，取消了目前桥梁建设中已经不使用的甲3桥，增加了几个强度较高的低合金钢钢种，这就是屈服强度30公斤/毫米²级的12锰桥，35公斤/毫米²级的12锰钒桥和16锰桥，以及45公斤/毫米²级的15锰钒氮桥等五个钢号。

1973年冶金部提出的GB714—73桥梁用碳素钢及普通低合金钢技术条件的讨论稿，对70年的试用标准又作了修改，列了三个钢号，即16桥、16锰桥及15锰钒桥。15锰钒桥曾被用来制造一些专用桥梁，但使用部门对这种钢种没有进行过全面的试验研究工作，同时这种钢种与16锰钢比较，屈服点相差只有5公斤/毫米²，级差小，从对栓焊梁向较大跨度发展这一要求来讲，设计上效果不大。所以，在待订的桥梁钢标准中，应除去15锰钒桥而列入15锰钒氮桥。后者曾经过了较全面的试验研究，与16锰桥比较，级差10公斤/毫米²，设计效果较大。这样，从整个桥梁钢标准来说，初步形成了系列，屈服点分别为25、35、45公斤/毫米²三级。将来待研究有了成果，还可以增加一级60公斤/毫米²的。这样，钢号简单适用，有利于生产上的管理，可减少混料及投料上的差错。也有利于桥梁抢修。

国产16桥、16锰桥及15锰钒氮桥钢的化学成分及机械性能见表2—1，表2—2。

16桥、16锰桥、15锰钒氮桥钢化学成分 表 2—1

钢 号	碳 C	硅 Si	锰 Mn	钒 V	氮 N	硫 S	磷 P
16q	0.12~ 0.20	0.12~ 0.25	0.40~ 0.70			≤0.040	≤0.040
16Mnq	0.12~ 0.20	0.20~ 0.60	1.20~ 1.40			≤0.040	≤0.040
15MnVNq	0.12~ 0.20	0.20~ 0.60	1.20~ 1.70	0.10~ 0.20	0.10~ 0.20	≤0.040	≤0.040

16桥、16锰桥、15锰钒氮桥钢机械性能 表 2—2

钢 号	抗拉强度 σ_b (公斤/毫米 ²)	屈服点 σ_s (公斤/毫米 ²)	延伸率 δ_5 (%)	冲击值 (公斤-米/厘米 ²)			冷 弯 180°
				常温	低温 (-40℃)	时效	
16q	38	23	26		3.5	3.5	$d = 1.5a$ 完 好
16Mnq	48~52	28~35	19~21		3.5	3.5	$d = 2a, 3a$ 完 好
15MnVNq	58~60	43~45	19		3.5	3.5	$d = 3a$ 完 好

注：(1) 表中 d = 弯心直径， a = 板厚；

(2) 16Mnq冷弯板厚小于和等于16毫米时 $d = 2a$ ，大于16毫米时 $d = 3a$ 。

15MnVNq中的V与N之比应大于10，含碳量不宜大于0.18%，含硫量不宜大于0.030%。

(三) 强度要求

强度性能是表示钢对塑性变形和破坏的抵抗能力，主要指标是屈服点及抗拉极限强度，钢的强度性能是通过拉伸试验测定的，可以在拉伸时的应力-应变图上表示出来。

桥梁在使用时，不仅要求在承受规定的荷载时不会破坏，而且不允许产生过大的变形。钢的弹性极限及屈服点越