



T/CECS ××××—202×

中国工程建设标准化协会标准

铁路钢结构高强度螺栓连接施工标准

（铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接施工技术规范）

Code for construction of High-Strength Bolt Connection of
Railway Steel Structure

（Technical Specification for construction of High-Strength Bolt
Connection of Railway Bridge Steel Structure）

（征求意见稿）

××××出版社

中国工程建设标准化协会标准

铁路钢结构高强度螺栓连接施工标准

（铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接施工技术规范）

Code for Construction of High-Strength Bolt Connection of
Railway Steel Structure

（Technical Specification for construction of High-Strength Bolt
Connection of Railway Bridge Steel Structure）

T/CECS ××××—20××

主编单位：中国铁道科学研究院集团有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20××年××月××日

××××出版社

20×× 北 京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《2021 年第二批协会标准制订、修订计划》的通知（建标协字〔2021〕20 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，结合我国实际情况，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程系首次编制，共分 8 章和 1 个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、安装、拧紧、质量检查、密装和腻封、安全防护和环境保护等。

本规程由中国工程建设标准化协会铁道分会归口管理，由中国铁道科学研究院集团有限公司负责具体技术内容的解释。在执行本规程过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。执行过程中如有意见或建议，请寄送中国铁道科学研究院集团有限公司（地址：北京市海淀区大柳树路 2 号，邮政编码：100081）。

主编单位：中国铁道科学研究院集团有限公司

参编单位：中国铁路经济规划研究院有限公司
中铁大桥局集团有限公司
中铁工程设计咨询集团有限公司
中国铁路设计集团有限公司
中国铁建大桥工程局集团有限公司

主要起草人：陶晓燕 王凯林 沈家华 高 策 史志强
黄绍桥 高静青 周勇政 程冠之 郭 辉
李彬洋 戴福忠 马 广 程季青 金 令
苏永华 潘永杰 班新林 赵欣欣 石 龙
侍 刚 江 淦 赵 健 季伟强 张 程
彭志川 赵体波 荣 乔

主要审查人：

目 次

1 总 则.....	1
2 术语和符号.....	2
2.1 术 语.....	2
2.2 符 号.....	3
3 基本规定.....	5
3.1 一般规定.....	5
3.2 高强度螺栓连接副.....	5
3.3 构件.....	8
3.4 施拧工具及数控系统.....	9
4 安 装.....	10
4.1 一般规定.....	10
4.2 连接部位.....	11
4.3 安装过程.....	11
5 拧 紧.....	13
5.1 一般规定.....	13
5.2 施拧工艺.....	14
5.3 施工记录.....	16
6 质量检查.....	17
6.1 一般规定.....	17
6.2 检查内容.....	17
6.3 检查资料.....	18
7 密封和涂装.....	19
7.1 密封.....	19
7.2 涂装.....	20
8 安全防护和环境保护.....	21
8.1 一般规定.....	21
8.2 安全防护.....	21
8.3 环境防护.....	22
附录 A 高强度螺栓安装过程检查记录表.....	23
附录 B 高强度螺栓施工记录表.....	24
本规程用词说明.....	27
引用标准名录.....	28
条文说明.....	29

CONTENTS

1	General provisions.....	1
2	Terms and symbols.....	2
2.1	Terms.....	2
2.2	Symbols.....	3
3	Ground Rules.....	5
3.1	General regulations.....	5
3.2	High Strength Bolt Assemblies.....	5
3.3	Members.....	8
3.4	Twisting tool and Numerical Control System.....	9
4	Installation.....	10
4.1	General regulations.....	10
4.2	Connection Joint.....	11
4.3	Installation process.....	11
5	Tightening.....	13
5.1	General regulations.....	13
5.2	Twisting Process.....	14
5.3	Construction Records.....	16
6	Quality Inspection.....	17
6.1	General regulations.....	17
6.2	Inspection Content.....	17
6.3	Inspection Data.....	18
7	Sealing and Painting.....	19
6.1	Sealing.....	19
6.2	Painting.....	19
8	Safety and environmental Protection.....	17
8.1	General regulations.....	17
8.2	Safety Protection	17
8.3	Environmental Protection.....	18
Appendix A	Inspection record form of high strength bolt installation process.....	23
Appendix B	Construction record form of high strength bolt.....	24
	Explanation of wording.....	27
	List of quoted standards.....	28
	Addition:Explanation of provisions.....	29

1 总 则

1.0.1 为统一铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工，使其符合安全可靠、技术先进、经济适用的要求，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于铁路桥梁钢结构摩擦型高强度螺栓连接的施工。对采用新材料、新技术、新工艺的铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工，可参照本规定执行。

1.0.3 高强度螺栓连接副的施拧应采用扭矩法。

1.0.4 铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接建设各方应加强管理制度、人员配备、现场管理和过程控制等标准化管理工作，实现质量、安全等建设管理目标。

1.0.5 从事铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工和质量检查人员应经过专项技术培训，合格后方可上岗。

1.0.6 高强度螺栓连接的施工应制定相应的安全技术、职业健康和劳动保护措施，严格执行相关标准。

1.0.7 铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工，除应符合本规程外，尚应符合现行国家、行业标准的有关规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 摩擦型连接 slip resistant connection

通过紧固高强度螺栓连接副，使被连接件间产生摩擦阻力以传递内力的连接方式。

2.1.2 高强度大六角头螺栓连接副 high strength bolt with large hexagon head assemblies

由一个高强度大六角头螺栓、一个高强度大六角螺母和两个平垫圈组成的一副连接紧固件，简称高强度螺栓连接副。

2.1.3 栓接板面 contact surface in slip resistant connection

摩擦型高强度螺栓连接中，被连接件板层之间经过特殊处理的接触面。

2.1.4 扭矩法 torque method

通过控制施拧扭矩值使被紧固高强度螺栓连接副的预拉力达到要求值的施拧方法。

2.1.5 设计预拉力 design preloading force

铁路桥梁钢结构设计规范中规定的高强度螺栓连接副预拉力设计值。

2.1.6 施工预拉力 construction preloading force

施工时所用的预拉力值，其值为设计预拉力与预拉力损失之和。

2.1.7 初拧 initial tightening

使拼接处板束密贴并能承受部分荷载的一道施拧工序。

2.1.8 复拧 re-tightening

拼接处高强度螺栓全部初拧完成后，用原初拧扭矩值重复施拧一道施拧工序。

2.1.9 终拧 final tightening

使拼接处高强度螺栓预拉力达到施工预拉力的一道施拧工序。

2.1.10 抗滑移系数 slip factor

摩擦型高强度螺栓连接中，使连接件栓接板面产生滑动时的外力与试件滑动侧高强度螺栓试验前预拉力实测值总和乘以摩擦面数之积的比值。

2.1.11 数控伺服电动扳手 numerical control servo electric wrench

通过伺服电机驱动，集成扭矩传感器，可设定、显示、控制和记录施拧扭矩并能发送有关信息的电动扳手。

2.1.12 设定扭矩 set torque

数控伺服电动扳手的扭矩设定值。

2.1.13 输出扭矩 output torque

数控伺服电动扳手的扭矩输出值。

2.1.14 扭矩校准仪 torque calibrator

用于数控伺服电动扳手、手动扳手输出扭矩校准的仪器。

2.2 符 号

N —— 高强度螺栓的设计预拉力(kN);

N_C —— 高强度螺栓的施工预拉力(kN);

K —— 高强度螺栓连接副的扭矩系数;

$\overline{K}$ —— 每批高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值;

L —— 高强度螺栓的公称长度(mm);

d —— 高强度螺栓的公称直径(mm);

d_0 —— 螺栓孔的直径(mm);

P —— 高强度螺栓螺纹螺距(mm);

m —— 高强度螺母公称厚度，其值为相应高强度螺栓的公称直径(mm);

h —— 高强度垫圈公称厚度(mm);

T_c —— 高强度螺栓终拧扭矩(N·m);

n —— 高强度螺栓连接部位板的层数

L' —— 高强度螺栓连接板层总厚度 (mm)

ΔL —— 高强度螺栓的附加长度 (mm)

3 基本规定

3.1 一般规定

3.1.1 桥梁使用的高强度大六角头螺栓连接副，由一个 10.9S 高强度大六角头螺栓、一个 10H 高强度大六角螺母、两个 35~45HRC 高强度垫圈组成。

3.1.2 高强度大六角头螺栓连接副的型式尺寸与技术条件应符合国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》（GB/T1228）、《钢结构用高强度大六角螺母》（GB/T1229）、《钢结构用高强度垫圈》（GB/T1230）、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》（GB/T1231）的规定。

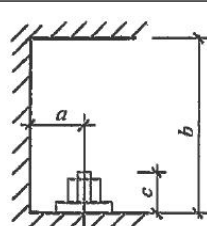
3.1.3 栓接板面应平整、无焊接飞溅物、无油污，孔边及孔内、板边应无毛刺和飞边及油漆流挂，严禁在栓接板面（工作面）上做任何标记。

3.1.4 铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接施工宜采用数控伺服电动扳手。

3.1.5 施拧空间的要求：

设计布置螺栓时，应考虑工地专用施工工具的可操作空间要求。常用扳手可操作空间尺寸宜符合表 3.1.4 的要求。

表 3.1.4 施工扳手可操作空间尺寸

扳手种类		参考尺寸（mm）		示意图
		a	b	
手动扭矩扳手		1.5 d ₀ 且不小于 45	140+c	
数控伺服	M24 及以下	50	450+c	
电动扳手	M24 以上	60	500+c	

注：c 为螺母、垫圈的公称厚度与螺栓外露丝扣长度三者之和。

3.2 高强度螺栓连接副

3.2.1 高强度螺栓连接副的订货和包装应符合国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》（GB/T1228）、《钢结构用高强度大六角螺母》（GB/T1229）、《钢

结构用高强度垫圈》（GB/T1230）、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》（GB/T1231）的要求，并应符合下列规定：

1 高强度螺栓连接副订货前应对拟选择的生产企业进行考察和评估，考察和评估要点有：企业规模、生产能力、原材料及其供应渠道、产品质量保证体系、高强度螺栓生产工艺等。应选择产品性能优良、质量稳定、有同类型工程供货业绩的生产企业。

2 高强度螺栓连接副应由生产厂家按批配套供货，生产厂家供货时应提供相应的产品质量检验报告书、合格证和所用原材料的检测报告。

3 同一工程项目的高强度螺栓连接副，其表面处理应采用同一种工艺。螺栓生产厂家根据现场环境条件，制订相应的表面处理工艺，以减少由于温度、湿度的变化对扭矩系数的影响。

4 当对高强度螺栓连接副有特殊要求时，应在订货合同中予以明确。

5 高强度螺栓的长度 L 应符合设计要求或按下式计算确定：

$$L = L' + \Delta L$$

式中： L ——高强度螺栓长度（mm）

L' ——高强度螺栓连接板层总厚度（mm）

ΔL ——附加长度（mm）

$$\Delta L = m + 2h + 2P$$

式中： m ——高强度螺母公称厚度，其值为相应高强度螺栓的公称直径(mm)

h ——高强度垫圈公称厚度（mm）

p ——螺纹的螺距（mm）

根据公式计算所得值，可按螺栓长度以 5mm 为一个规格的规定，将其个位数全部进入的原则，计算出使用长度。

6 高强度螺栓连接副的包装箱应牢固、防潮。箱内螺栓、螺母、垫圈应用塑料袋分别包装，螺栓丝扣应有螺纹防护小套，不同批号的连接副不得混装。

7 高强度螺栓连接副的包装箱外应标有生产厂家、产品名称、标准编号、批号、规格、数量、毛重等明显标记，除文字标注外，箱外宜粘贴包含以上信息的二维码。

3.2.2 高强度螺栓连接副的进场复验应符合国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》（GB/T1228）、《钢结构用高强度大六角螺母》（GB/T1229）、《钢结构用高强度垫圈》（GB/T1230）、《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》（GB/T1231）的要求，并应符合下列规定：

1 高强度螺栓连接副每批均应复验，复验合格后方可使用。

2 高强度螺栓连接副进场复验后如对产品质量有异议，应在产品质量保证期内向生产厂家提出，进行仲裁试验。

3 高强度螺栓连接副的复验应选择有资质能力的检测单位进行。复验项目包括连接副的扭矩系数和实物机械性能（螺栓楔负载、螺母保证载荷、螺母硬度和垫圈硬度），复验结果宜扫描上传至系统。

4 高强度螺栓连接副扭矩系数保证期为6个月，超过6个月应重新检验扭矩系数，合格后方可使用，若不符合要求应返厂重新进行表面处理。

3.2.3 高强度螺栓连接副的储存和运输应符合以下规定：

1 高强度螺栓连接副库房应建立在地势较高、干燥的地带，库房的大小应能满足存放要求，库房内应通风良好或配备通风设备，保持干燥与空气流通。

2 高强度螺栓连接副入库时应清点检查，按包装箱上注明的规格、批号进行分区、分类存放，并作好防潮、防尘工作。室内架空存放，底层应垫高通风，垫高高度至少10cm，离墙至少20cm，堆放不得超过6层，防止高强度螺栓连接副包装及表面状况改变和锈蚀。入库后要建立库存明细表和发放登记表，加强储备管理。

3 应根据高强度螺栓连接副用量、钢梁架设进度分批供货，不同供货批次的高强度螺栓连接副分类存放，并在醒目位置设立明显挂牌标志，注明高强度螺栓的规格、批号、检验状态、生产及进场日期等信息。

4 高强度螺栓连接副应尽可能保持其原有表面工艺处理状况。保管期内不得随意开箱，若遇开箱检查时，应事后及时还原裹好，防止高强度螺栓生锈和沾染污物。

5 高强度螺栓连接副在保管、搬运过程中，应防雨、防潮，轻装轻卸，防止冲击造成螺纹损伤。

3.3 构件

3.3.1 构件的螺栓孔应成采用钻孔工艺钻成正圆柱形，孔壁表面粗糙度 Ra 不得大于 $25\mu m$ ，孔的边缘平整，无损伤，无刺屑。

3.3.2 螺栓孔径允许偏差应符合表 3.3.2 的规定。

表 3.3.2 螺栓孔径允许偏差 (mm)

序号	螺栓直径	螺栓孔径	允许偏差	
			孔径	孔壁垂直度
1	M22	24	+0.7 0	板厚 ≤ 30 时，不大于 0.3； 板厚 > 30 时，不大于 0.5
2	M24	26		
3	M27	29		
4	M30	33		

3.3.3 所有螺栓孔在试装时必须用试孔器进行检查，桁梁主桁和结合梁的螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 0.75mm 的试孔器；桥面系和连接系的螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 1.0mm 的试孔器；板梁主梁腹板拼接螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 0.75mm 的试孔器，板梁其他螺栓孔应 100%自由通过较设计孔径小 1.5mm 的试孔器。

3.3.4 构件出厂时应提供栓接板面抗滑移系数试验报告，试件设计制作和试验方法应符合《铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法》TB/T 2137 的规定，且还应符合下列要求：

- 1 抗滑移系数试件与钢梁应为同一材质、同批制造、同一栓接面处理工艺，并在相同条件下运输、试验、存放。
- 2 抗滑移系数试件以钢梁制作批为单位，每批三组。
- 3 钢梁跨度小于 64m 时，每两孔为一批，如仅有单孔钢梁也视作一批。钢梁跨度为 64~100m 时，每一孔钢梁为一批。钢梁跨度大于 100m 时，可按 2000t 为一批，或按设计要求办理。
- 4 当构件栓接板面采用一种以上摩擦面处理工艺时，则每种摩擦面处理工艺均应按批制作抗滑移系数试件。当构件采用多种材质时，则每种材质均宜制作

抗滑移系数试件。

5 当设计文件对抗滑移系数试件的材质、数量、设计和表面处理有要求时，应按设计文件执行。

3.3.5 栓接板面按设计要求进行处理。出厂栓接板面抗滑移系数最小值应 ≥ 0.550 ，进场复验（架设前检验）栓接板面抗滑移系数最小值应 ≥ 0.450 ，满足要求后方可架设。

3.3.6 钢梁生产厂家应对栓接板面做单独防护，以防止在吊装、运输、存放过程中栓接板面出现磨损、沾染脏物和油污。

3.4 施拧工具及数控系统

3.4.1 高强度螺栓连接副的初拧、复拧和终拧宜采用数控伺服电动扳手施拧。在使用数控伺服电动扳手空间不足时，可采用具备数字显示功能的手动扭矩扳手，施拧过程中应有相应的备案记录。

3.4.2 拧紧工具应存放于工具箱内或专用货架上。存放环境宜保持干燥和通风，避免阳光直晒、污染腐蚀、结露冰冻等。

3.4.3 数控伺服电动扳手和手动扭矩扳手班前班后应采用校准仪进行检验。数控伺服电动扳手输出扭矩、手动扭矩扳手显示扭矩与校准仪显示扭矩的误差应控制在 $\pm 3\%$ 以内。

3.4.4 扭矩校准仪应经有资质的计量单位检定后使用。扭矩校准仪检定周期不超过 12 个月，精度应控制在 $\pm 1\%$ 以内，工点更换时应重新检定。

3.4.5 高强度螺栓连接施拧数控系统应能对施拧过程关键信息进行感知、采集、传输、存储和处理分析，为施拧质量、进度与管理决策提供依据或追溯，并具备下列功能：

1 具备制定施拧计划，生成人员二维码、派工单，采集存储施拧数据和环境温度湿度信息，形成记录单等功能。

2 具备超拧和欠拧报警功能。

3 具备施拧进度展示、螺栓库存提醒、资料文档管理等功能。

4 安 装

4.1 一般规定

4.1.1 高强度螺栓连接副安装不应在雨、雪和大雾天气作业，宜避开极端温度时段。

4.1.2 高强度螺栓连接副、施拧工具和各类辅助设施应安排专人进行保管和维护，并填写相关记录。

4.1.3 螺栓、螺母及垫圈在安装前应逐个进行外观检查，有裂纹或丝扣损坏者不应用于安装。

4.1.4 高强度螺栓连接副的安装应在结构构件位置调整准确后进行。高强度螺栓连接副应按生产厂家提供的批号配套使用，不应改变其出厂状态。高强度螺栓连接副只应一次使用，不应重复使用或兼做工具螺栓。

4.1.5 现场使用的高强度螺栓连接副应按规格分别放置，使用前方可开箱。当天未用完已开箱的剩余高强度螺栓连接副应装箱妥善保管。在安装过程中，不应碰伤螺纹和沾染脏物。

4.1.6 拼装采用的冲钉可选用 35 号碳素结构钢或同等硬度钢制造，并经过热处理方能使用。冲钉公称直径宜小于设计孔径 0.1mm~0.3mm（悬臂拼装时应取上限）。冲钉圆柱部分长度应大于板束厚度。安装前应检查冲钉的直径，如发现冲钉直径偏小时，应及时更换。冲钉使用时应穿保险销，防止掉落。

4.1.7 构件拼装时，根据安装时可能承受的荷载计算确定冲钉的数量（至少 2 个），每个节点均应穿入足够数量的冲钉和适当的工具螺栓。不应用高强度螺栓兼作工具螺栓。

4.1.8 同一连接部位使用多种规格高强度螺栓连接副时，安装前宜用醒目颜色标示出不同规格高强度螺栓连接副的使用区域线，并分别注明规格、数量。标示线不应侵入高强度螺栓垫圈的范围。

4.2 连接部位

4.2.1 拼装前应对随构件的抗滑移系数试件进行检验，试验方法应符合《铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法》TB/T 2137 的相关规定。每批试件抗滑移系数的最小值不得小于 0.450。

4.2.2 栓接板面应平整，无焊接飞溅物和油污，栓孔边、板边应无毛刺和飞边，栓接板摩擦面上不应有任何标记。

4.2.3 构件拼装前，应除去毛刺、飞边、焊接飞溅物，并用普通尼龙刷或毛刷、干净棉丝除去栓接面和栓孔内的脏物，对沾有油污处，应用汽油或丙酮擦净。栓接板面必须干燥，严禁在雨中作业。

4.2.4 拼装时应检查连接部位的外形尺寸，当出现摩擦面间隙时，可按下述方法处理：

- 1 当间隙 $\delta < 1.0\text{mm}$ 时，可不处理。
- 2 当间隙 $1.0 \leq \delta \leq 3.0\text{mm}$ 时，应将厚板一侧磨成 1:10 的缓坡，使间隙小于 1.0mm。打磨后应及时按原摩擦面工艺处理。
- 3 当间隙 $\delta > 3.0\text{mm}$ 时，应加垫板处理，垫板材质和摩擦面处理工艺应与构件相同。

4.3 安装过程

4.3.1 高强度螺栓连接副的安装应按图 5.1.6 进行，螺栓穿入方向应一致，并应符合下列规定：

- 1 主桁节点、箱形构件四面连接部位、工形构件翼缘板连接部位的高强度螺栓，其螺母应安装在外侧。
- 2 纵梁上翼缘的螺栓，螺母应安装在下侧。

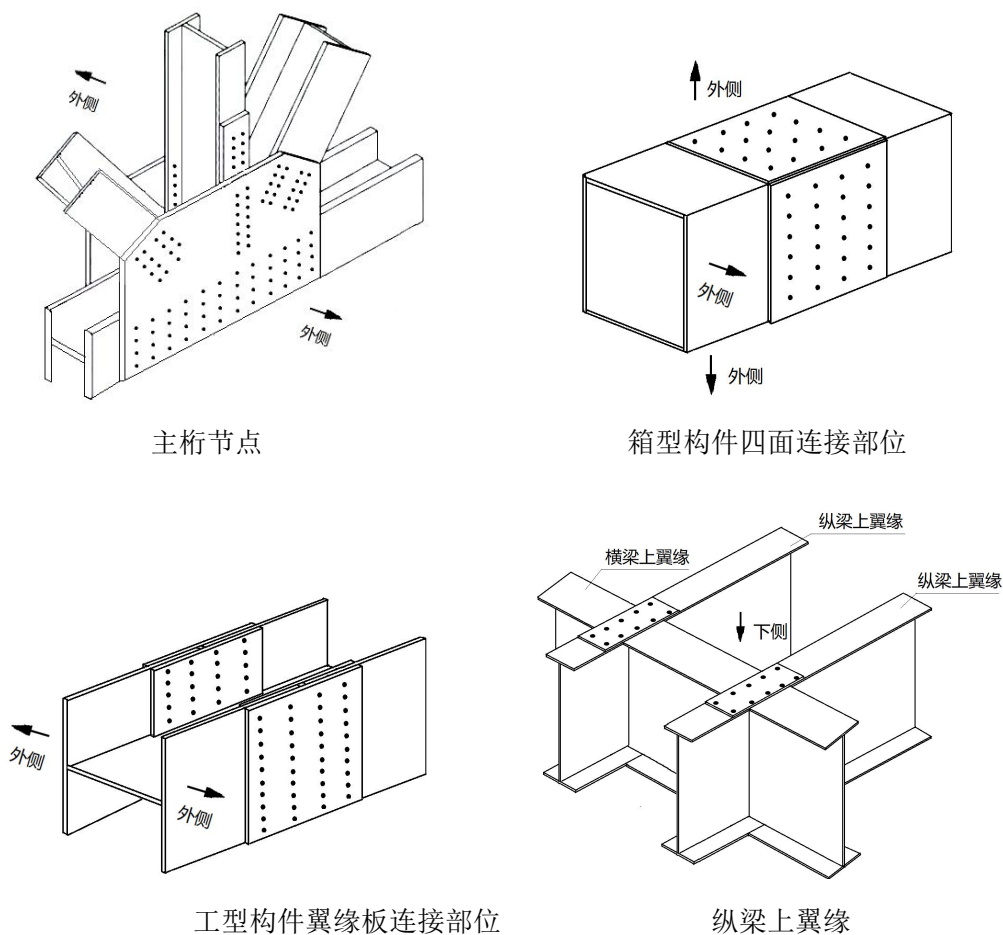


图 4.3.1 高强度螺栓穿入方向示意图

4.3.2 组装时螺栓头一侧及螺母一侧应各置一个垫圈，垫圈有内倒角的一侧应朝向螺栓头、螺母支承面。

4.3.3 安装时严禁强行穿入螺栓。对于螺栓不能自由穿入的栓孔，应经设计单位同意采用与栓孔直径相同的工具或钻头进行铰孔修整。严禁气割扩孔。为防止钢屑落入板缝中，修孔前应将该孔四周螺栓拧紧使板缝密贴。对于经修整的构件及孔眼位置，应有施工备案记录，并在系统中进行存档。

4.3.4 每个拼接节点高强度螺栓应从中部向四周的顺序、对称安装，先安装剩余螺栓孔并初拧，再替换工具螺栓并初拧，最后分次替换冲钉，一次拆卸替换冲钉的数量应根据安装方法计算确定。初拧时电动扳手的反力臂不应作用在未施拧的高强度螺栓上。

5 拧 紧

5.1 一般规定

5.1.1 高强度螺栓的设计应符合《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091 的规定，预拉力取值按表 5.1.1 的规定。

表 5.1.1 高强度螺栓预拉力 10.9S

螺纹规格	M22	M24	M27	M30
设计预拉力 N (kN)	200	230	300	370
施工预拉力 N_{C1} (kN)	220	253	330	407
施工预拉力 N_{C2} (kN)	210	242	315	389

注： N_{C1} ——预拉力损失为 10%时的施工预拉力

N_{C2} ——预拉力损失为 5%时的施工预拉力

5.1.2 高强度螺栓连接副的拧紧步骤为初拧、复拧和终拧，初拧、复拧和终拧宜在同一工作日内完成。

5.1.3 当被连接的板层数 $n=2$ 且螺栓数量较少不超过 4 个时，可采用初拧和终拧二步完成。

5.1.4 高强度螺栓连接副的拧紧应在螺母上施拧。

5.1.5 高强度螺栓的拧紧顺序，应从节点中刚度大的部位向不受约束的边缘进行，对大节点（板层数 $n \geq 3$ ）螺栓数量比较多时，应自拼接接头缝中央向两边，自中排向边排上下层对称进行，如图 5.1.5 所示。

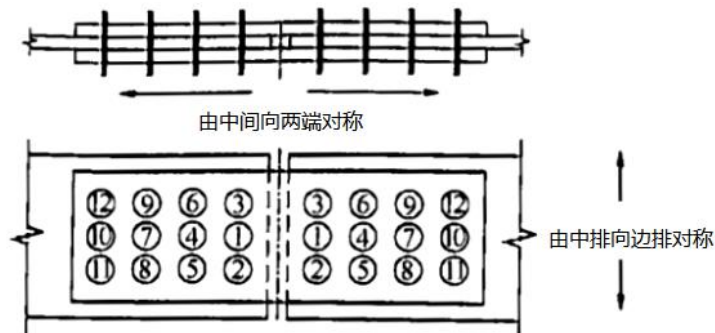


图 5.1.5 高强度螺栓连接副的施拧顺序示例

5.2 施拧工艺

5.2.1 施工扭矩的确定：施拧前，在施工现场应根据生产厂家提供的批号，尽可能模拟工地的环境情况，按每批不少于 8 套分批测定高强度螺栓连接副的扭矩系数，并记录测试环境温度、湿度。实测扭矩系数的平均值应为 0.110~0.150，其标准偏差应小于等于 0.0100。施工时应考虑环境温度、相对湿度对扭矩系数的影响。测试扭矩系数用扳手和轴力计分别不低于《扭矩扳子检定规程》JJG707 和《工作测力仪检定规程》JJG455 中规定的 2 级。

5.2.2 每批高强度螺栓连接副的终拧扭矩由下式确定：

$$T_c = K \times N_c \times d$$

式中：T_c—终拧扭矩（N•m）；

$\bar{K}$ —每批高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值（见 5.2.1 条）；

N_c—高强度螺栓施工预拉力（见表 5.1）；

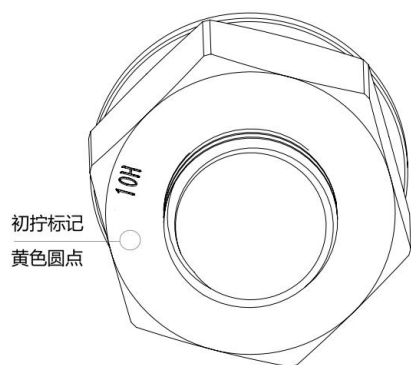
当被连接的板层数 n=2 时，N_c 用 N_{c2} 值，其余 N_c 用 N_{c1} 值。

d—高强度螺栓公称直径（mm）。

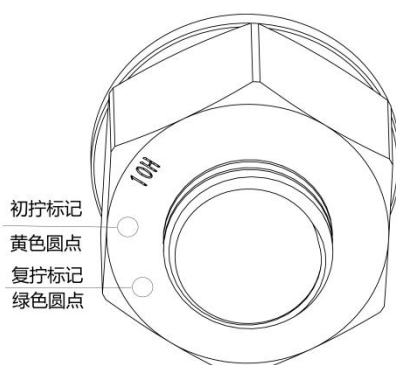
5.2.3 高强度螺栓拧紧应分为初拧、终拧，对于大型节点应分为初拧、复拧、终拧，宜在一天内完成。初拧扭矩应为终拧扭矩的 50%，复拧扭矩等于初拧扭矩，终拧扭矩由 5.2.2 条确定。

5.2.4 初拧前应先按附表 A.1 进行检查，然后采用安装用扳手对高强度螺栓连接副进行预拧，并在螺母侧垫圈与钢板之间划标记线。初拧、复拧、终拧过程中应用工具卡住螺栓头，采用“先卡后拧”的规则进行，防止螺栓跟转。施拧时待扳手套筒全部套入螺母后方可进行，施拧应连续、平稳。垫圈与钢板标记线不得发生错动，如发生错动，应更换高强度螺栓连接副，按操作程序重新进行。

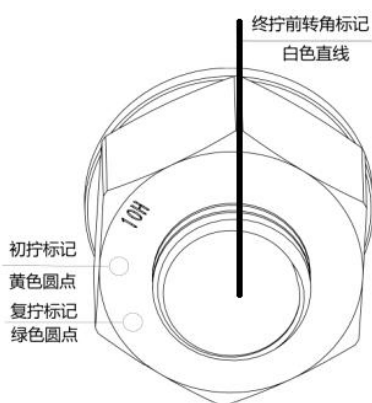
5.2.5 初拧、复拧过程中应逐一在螺母上做不同颜色的标记。复拧后的高强度螺栓连接副经检查合格后，应在螺杆尾部端面和螺母相对位置划连续的标记直线后方可终拧。终拧后应记录每个螺栓的终拧扭矩值，并在螺栓尾部端面做终拧标识，防止漏拧和方便检查，具体见图 5.2.5。终拧时数控伺服电动扳手的输出扭矩应在施工扭矩±5%范围内，如超出该范围，应及时记录备案，调整数控伺服电动扳手的设定扭矩以便达到施工扭矩的要求。



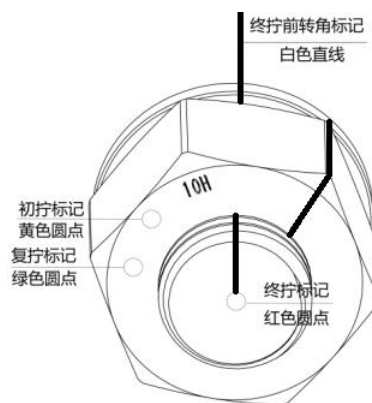
初拧标记（黄色圆点）



复拧标记（绿色圆点）

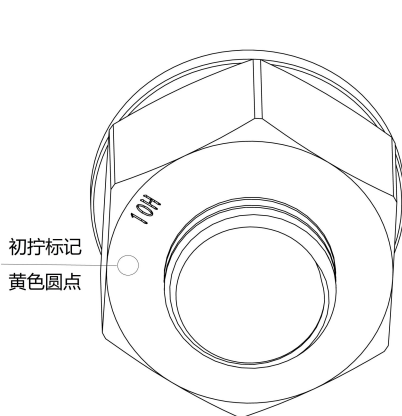


终拧前转角标记（白色直线）

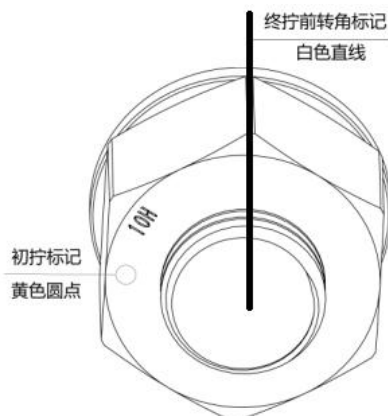


终拧标记（红色圆点）

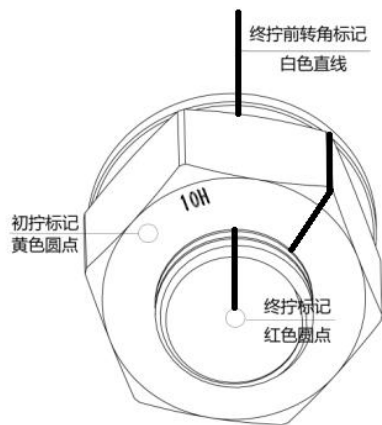
a) 初拧、复拧、终拧三个步骤施拧标记方法示意



初拧标记（黄色圆点）



终拧前转角标记（白色直线）



终拧标记（红色圆点）

b) 初拧、终拧两个步骤施拧标记方法示意

图 5.2.5 高强度螺栓连接副施拧标记方法示意

5.2.6 施拧空间无法使用数控伺服电动扳手时，可采用手动扭矩扳手施拧，对该处施拧的螺栓应有备案记录。

5.3 施工记录

5.3.1 安装过程控制检查内容应按附录 A 表 A.1 记录。

5.3.2 施拧工具的检验应按附录 B 表 B.0.1-1 和 B.0.1-2 记录。

5.3.3 采用初拧、复拧、终拧三个步骤施拧时，应记录复拧和终拧过程的相关数据及影像资料；采用初拧、终拧两个步骤施拧时，应记录初拧和终拧过程的相关数据及影像资料。相关数据应按附录 B 表 B.0.2-2 和表 B.0.2-3 记录。

6 质量检查

6.1 一般规定

6.1.1 大六角头高强度螺栓连接施工紧固质量检查应由专职质量检查员进行。

6.1.2 质量检查分为安装控制检查、施拧过程检查和终拧质量检查，且应符合相应规定，检查中如发现不符合规定的螺栓，应立即更换并重新安装。

6.2 检查内容

6.2.1 安装控制检查：检查螺栓长度、性能等级、螺母垫圈是否按规定安装。

6.2.2 施拧过程检查：初拧（复拧）过程中逐一检查初拧、复拧的标记，以防漏拧以及施拧中无过程的直接拧紧到位。

6.2.3 终拧质量检查

1 观察全部终拧后的高强度螺栓连接副的外观，按表 6.2.3 对标记和划线进行检查。

表 6.2.3 外观检查

序号	检查内容	技术要求
1	螺栓头部标记	螺栓头部有“10.9S”标记
2	螺母标记	螺母有“10H”标记
3	螺栓头处垫圈数量	螺栓头处垫圈数量为 1 个
4	螺母处垫圈数量	螺母处垫圈数量为 1 个
5	螺栓尾部端面标记	螺栓尾部端面有终拧标记
6	螺杆尾部端面、螺母、垫片和连接板面相对位置连续贯通的标记直线	①垫圈与连接板面的划线无错动 ②螺栓尾部端面与连接板面的划线无错动 ③螺栓与螺母的划线有错动 ④螺母与垫圈的划线有错动
7	外露丝扣长度	外露丝扣长度约 1~4 扣

2 检查施工记录，每个螺栓的终拧扭矩是否在施工扭矩的 $\pm 5\%$ 以内。

6.3 检查资料

6.3.1 高强度螺栓连接检查资料包括高强度螺栓连接副、栓接板面和施拧工具的检查资料，以及施工记录资料（见 5.3 节）。

6.3.2 高强度螺栓连接副、栓接板面和施拧工具的检查资料应包括以下内容：

- 1 高强度螺栓出厂质保书；
- 2 高强度螺栓连接副的复验数据；
- 3 栓接板面抗滑移系数试验数据；
- 4 手动扭矩扳手（如有使用）的检验记录；
- 5 数控伺服电动扳手的检验记录；
- 6 校准仪的检定证书；
- 7 其他相关资料。

7 密封和涂装

7.1 密封

7.1.1 高强度螺栓连接副经终拧检查合格后，应及时对高强度螺栓连接接头板束的板缝进行密封处理。

7.1.2 高强度螺栓连接部位栓接板的搭接缝隙不大于 0.3mm 时，可采用涂料密封处理；缝隙大于 0.3mm 时，应采用钢结构连接板缝密封胶处理。

7.1.3 密封胶的性能应满足表 7.1.2 的要求。

表 7.12 钢板连接缝密封胶的主要技术要求

序号	项目		技术要求
1	弹性恢复率（定伸 150%）		≥85 %
2	100%拉伸模量	温度条件：23℃	≤0.5 MPa
		温度条件：-30℃	≤2 MPa
3	拉伸强度	温度条件：23℃	≥1 MPa
		温度条件：-30℃	≤3.0 MPa
		热老化（80℃）336h 后	≥1 MPa
		碱处理 336h 后	≥1 MPa
		人工加速老化后 ^a	≥1 MPa
4	断裂伸长率	温度条件：23℃	≥600 %
		温度条件：-30℃	≥200 %
		热老化（80℃）336h 后	≥600 %
		碱处理 336h 后	≥600 %
		人工加速老化后 ^a	≥300 %
5	定伸粘结性 （定伸 150%）	温度条件：23℃	无破坏
		温度条件：-30℃	无破坏
		热老化（80℃）336h 后	无破坏
		浸水 192h 后	无破坏

6	冷拉—热压后粘结性（拉伸-压缩幅度±50%）	无破坏
7	拉伸—压缩循环后粘结性（定伸 100%）	无破坏

^a 人工气候加速老化试验时间按节 6.0.4 与节 6.0.5 内容确定

7.1.4 对于涂装桥梁钢结构，有机硅类密封胶的人工加速老化试验时间应与相应涂装体系面漆的时间要求一致。

7.1.5 对于免涂装桥梁钢结构，有机硅类密封胶的人工加速老化试验应达到 6000 小时。

7.2 涂装

7.2.1 高强度螺栓连接部位防腐蚀涂装的耐久性应按设计文件要求进行，并与桥梁基本构件一致。

7.2.2 并应按照以下步骤对螺栓部位外露底涂层、螺栓及相邻部位进行防腐蚀涂装。

1 涂装前应首先用有机溶剂清除螺栓的油污，用水洗清除螺母和垫片上的皂化膜。

2 对螺栓头部进行打磨。

3 在栓接区域先刷涂 1~2 道环氧富锌底漆或环氧磷酸锌底涂层，总膜厚 50~60μm。

4 对栓接区域涂装环氧云铁中间漆 1~2 道，总膜厚 80μm。

5 按相邻部位配套体系整体对栓接及相邻衔接部位进行中涂层和面涂层涂装，中涂层亦可采用弹性环氧或弹性聚氨酯涂料。

8 安全防护和环境保护

8.1 一般规定

8.1.1 铁路桥梁钢结构高强度螺栓施工应制定相应的安全技术措施，严格执行安全技术规程和相应劳动卫生标准。跨越或下穿既有铁路、公路施工时应按照有关要求设置安全防护设施。

8.1.2 铁路桥梁钢结构高强度螺栓施工应根据国家节约能源、减少排放、环境保护等有关法规和技术标准，结合工程特点、施工环境编制并实施施工节能减排技术措施。

8.1.3 在营业线或者有可能影响营业线运行安全的地方进行铁路桥梁钢结构高强度螺栓施工时，必须严格执行有关营业线安全管理规定的规定。

8.1.4 从事铁路桥梁钢结构高强度螺栓施工的各类人员应经过专门培训，合格后方可上岗。

8.2 安全防护

8.2.1 钢梁安装开始前，对架梁使用的材料、工具、吊具、脚手板、梯子、安全带、安全网等应经有关人员验收合格后方能使用，并应配足、配齐数量，机械应经过试运转并试吊认可后使用。

8.2.2 各操作人员必须严格遵守有关安全规程，提高安全意识，进入施工现场必须戴安全帽，穿防滑鞋，消除不安全因素。

8.2.3 施拧小工具、扳手、冲钉、螺栓等物要用工具袋装好，严禁上抛下掷，多余料具要及时清理干净，留用的要堆放在安全可靠的位置。

8.2.4 杆件拼装对孔时，应用冲钉和拼装撬棍的尖端探孔，严禁用手指伸进孔眼内检查，严禁用大锤猛击单个冲孔过孔，造成螺栓孔变形。平面拼装孔眼应用安全冲钉，防止冲钉坠落伤人。

8.2.5 打冲钉时不要用力过猛，对面不准站人，防止冲钉飞出伤人。每班要清

除一次脚手架，冲钉及时回收交库。在锤击更换冲钉时应向钢梁箱体内部锤击，并应使用双层布袋或者麻袋在另一端进行阻挡及回收，以防高空坠落伤人。平面拼装孔眼应用安全冲钉。

8.2.6 钢梁上各种电动机械的动力电缆和照明线路应保证绝缘良好，有专人值班，手持电动工具电源处应加漏电保护器，电器设备如出现故障应及时修理。

8.2.7 进行夜间施工时，照明设施应满足夜间施工的要求。

8.3 环境保护

8.3.1 高强度螺栓表面涂装时，操作人员应采用适当防护措施进行防护。涂装油漆不得污染操作平台。没有用完的油漆应回收集中处理，禁止随意倾倒。

8.3.2 将施工噪声控制到最低程度，施工人员休息场所尽量远离有噪声的地方。

8.3.3 施工和生活中产生的废弃物要集中处理，不得随意丢弃，避免江河环境受到污染。

附录 A 高强度螺栓安装过程检查记录表

表 A.1 安装过程检查记录

工程名称		工程部位	
拼接面或螺栓部位编号			
检查项目	检查内容		检查结果
螺栓	规格是否与设计一致，外观有无缺陷，安装方向是否正确。		
螺母	外观有无缺陷，安装方向是否正确。		
垫圈	垫圈数量，外观有无缺陷，安装方向是否正确。		
栓接板面	板面是否平整、干燥、洁净，涂层是否损坏。		
板层密贴	板层间隙是否符合要求，大于间隙要求的是否已经处理。		

检查员：

施工负责人：

日期：

附录 B 高强度螺栓施工记录表

B.0.1 数控伺服电动扳手检验记录、手动扭矩扳手检验应分别按表 B.0.1-1 和 B.0.1-2 记录。

表 B.0.1-1 数控伺服电动扳手检验记录

工程名称		数控伺服电动扳手 型号	
数控伺服电动扳手编号		校准仪编号	
设定扭矩 (N•m)	输出扭矩 (N•m)	校准仪显示扭矩 (N•m)	相对误差 (%) (相对误差 = $\frac{\text{输出扭矩} - \text{校准仪显示扭矩}}{\text{输出扭矩}} \times 100\%$)
检验时间	年 月 日		

检验:

记录:

日期:

表 B.0.1-2 手动扭矩扳手检验记录表

工程名称		手动扭矩扳手型号	
手动扭矩扳手编号		校准仪编号	
扳手显示扭矩 (N•m)	校准仪显示扭矩 (N•m)	相对误差 (%) (相对误差 = $\frac{\text{扳手显示扭矩} - \text{校准仪显示扭矩}}{\text{扳手显示扭矩}} \times 100\%$)	
检验时间	年 月 日		

检验:

记录:

日期:

B.0.2 施工采用的终拧扭矩值应按表 B.0.2-1 计算。高强度螺栓复拧扭矩（初拧扭矩）应按表 B.0.2-2 记录，高强度螺栓终拧扭矩应按表 B.0.2-3 记录。

表 B.0.2-1 施工采用的终拧扭矩值计算表

工程名称：

工程部位：

环境温度：

环境湿度：

扭矩系数测试值								
螺栓批号规格	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7	K_8
扭矩系数平均值和标准偏差	$\bar{K} = \quad \quad \quad \sigma =$							
终拧扭矩值 (N·m) $T_c = \bar{K} \times N_c \times d$								

测试计算：

复核：

日期：

批准：

表 B.0.2-2 高强度螺栓复拧扭矩（初拧扭矩）记录表

工程名称：

工程部位：

拼接面区域编号：

环境温度：

环境湿度：

螺栓总套数：

螺栓编号	螺栓批号	螺栓规格	扳手编号	复（初）拧扭矩值 (N·m)	扭矩设定值 (N·m)	扭矩输出值 (N·m)

记录：

复核：

日期：

注：①初拧、复拧、终拧三个步骤施拧时，记录复拧扭矩。

②分初拧、终拧两个步骤施拧时，记录初拧扭矩。

表 B.0.2-3 高强度螺栓终拧扭矩记录表

工程名称:

工程部位:

拼接面区域编号:

环境温度:

环境湿度:

螺栓总套数:

螺栓编号	螺栓批号	螺栓规格	扳手编号	终拧扭矩值 (N•m)	扭矩设定值 (N•m)	扭矩输出值 (N•m)	是否合格

记录:

复核:

日期:

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……执行”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

引用标准名录

国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓》GB/T 1228

国家标准《钢结构用高强度大六角螺母》GB/T 1229

国家标准《钢结构用高强度垫圈》GB/T 1230

国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈技术条件》GB/T 1231

行业标准《扭矩扳子检定规程》JJG 707

行业标准《工作测力仪检定规程》JJG 455

行业标准《铁路桥梁钢结构设计规范》TB 10091

行业标准《铁路钢桥栓接板面抗滑移系数试验方法》TB 2137

中国工程建设标准化协会标准

铁路钢结构高强度螺栓连接施工标准

（铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接施工技术规范）

Code for Construction of High-Strength Bolt Connection of
Railway Steel Structure

（Technical Specification for construction of High-Strength Bolt
Connection of Railway Bridge Steel Structure）

T/CECS ××××—20××

条文说明

目 次

1 总 则.....	31
3 基本规定.....	32
3.2 高强度螺栓连接副.....	33
3.3 构件.....	33
3.4 施拧工具及数控系统.....	34
4 安 装.....	36
4.1 一般规定.....	36
4.2 连接部位要求.....	36
4.3 安装要求.....	36
5 拧 紧.....	38
5.1 一般规定.....	38
5.2 拧紧工艺.....	39
6 质量检查.....	41
6.1 一般规定.....	41
6.2 质量检查.....	41
7 密封和涂装.....	43
7.1 密封.....	43
7.2 涂装.....	43

1 总 则

1.0.1 我国铁路桥梁钢结构自 60 年代初期开始用高强度螺栓代替铆钉连接,建设初期关于高强度螺栓连接的施工在《铁路桥涵施工规范》中有些规定,但不够完整、具体,难以指导施工。随后针对这种情况,原铁道部制定了《铁路钢桥高强度螺栓连接施工规定》TBJ214-92,该规定自实施以来,一直是铁路钢桥高强度螺栓连接施工,质量检查的依据。但随着科学技术的进步,施工工具的改进等,有必要对 TBJ214-92 进行补充和完善,做到技术先进、经济合理、安全可靠,制定本技术规程,用以指导铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接施工和质量检查。

1.0.3 铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工早期采用扭角法。扭角法在现场试验工作量大,步骤繁琐,施工质量受人为因素影响大,不易于把控。由于扭矩法施工便捷,易于操作,目前铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工均采用扭矩法,故本条规定高强度螺栓连接副的施拧采用扭矩法。

1.0.5 在进行铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工前,需要对相关施工和质量检查人员进行培训,其培训内容一般包括相关引用标准,施工前的准备工作,安装、施拧、密封、涂装等具体工序及相应的质量控制要求,以及有关施工安全方面的注意事项等。

3 基本规定

3.1.1 本条文规定了铁路桥梁钢结构所使用的高强度大六角头螺栓连接副的组成。

3.1.2 为了确保铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的安全、可靠，首先应保证所使用的高强度螺栓连接副质量符合国标的规定。因此，施工单位在订货时，要求高强度螺栓连接副的组成、形式尺寸、技术条件均应符合国标中有关规定。

3.1.3 在摩擦型高强度螺栓连接中，栓接面的抗滑移系数是影响构件连接强度的主要因素之一。影响抗滑移系数因素主要有构件的材质、除锈工艺、表面处理工艺以及板面的平整度、清洁度等。本条文对栓接板面的平整度、清洁度做了明确规定。

3.1.4 目前在铁路桥梁钢结构高强度螺栓连接的施工中，普遍使用的是上世纪80年代研发的电流型电动扳手，它是通过测量电机的电流，间接地测量和控制输出扭矩。电流的变化，标定和施拧对象的差异都会直接影响其输出扭矩的精度。在切断电源后电流型电动扳手的电机由于惯性继续转动，导致输出扭矩继续增加，这个扭矩增加值不是定值，会随高强度螺栓连接部位的刚度变化而变化，无法通过提前停机来控制，所以其输出扭矩的精度比较低。

数控伺服电动扳手通过伺服电机及减速器来提供高强度螺栓的施拧扭矩，通过扭矩和转角传感器来分别测量拧紧过程中施加在螺栓上的扭矩和转角，通过数控系统来预置拧紧工艺参数、处理扭矩及转角信号、控制拧紧的工作过程，在施拧完成后存储相关的施拧数据，并且可以实时上传，实现整个施工过程的信息化、数字化和智能化。依据相关试验研究结果显示，数控伺服电动扳手复拧精度误差在-0.1%~3.6%之间，远小于电流控制型电动扳手 59.5%~71.9%的复拧精度误差。数控伺服电动扳手可以显著提高施拧的扭矩精度，降低施工中因超拧或欠拧引起的高强度螺栓连接副断裂脱落问题，同时可以省去班前班后标定、采用紧扣法或松扣法的终拧扭矩现场检查等工序，故它的施工和质量控制方法与基于传统电流型电动扳手编写的现有相关标准存在很大差异，所以应按照本标准进行施工

和质量控制。传统电流型电动扳手的施工和质量控制方法仍然依据现有相关标准执行即可。

3.1.5 高强度螺栓的预拉力是通过拧紧螺母来实现的，如果螺栓拧紧工具空间不足，无法施拧来满足螺栓预拉力的要求。本条文是考虑拧紧用施工工具所占用的最小空间，供设计人员参考。

3.2 高强度螺栓连接副

3.2.1 由于温度、湿度对高强度螺栓连接副的扭矩系数有影响，且不同的表面处理工艺受其影响的程度不同，同一工程项目的高强度螺栓连接副采用同一种表面处理工艺，根据现场环境条件选用温度和湿度变化对扭矩系数影响小的表面处理工艺，有助于减小高强度螺栓连接副扭矩系数的离散性。

过短的高强度螺栓影响其受力性能，过长的高强度螺栓浪费材料，增加施拧难度，易造成预拉力达不到设计要求，因此需要根据实际工程情况对高强度螺栓长度 L 进行计算。计算中连接板层总厚度 L' 应考虑钢板订货时厚度公差的影响，因生产厂家都能做到高强度螺栓长度以 5mm 为规格单位，所以计算公式以安装后露出 2 扣螺纹为准，以 5mm 规格分档，个位数全部采用进位原则，确定高强度螺栓长度。

为了便于信息化施工管控，所以要求在高强度螺栓连接副的包装箱外标明生产厂家、产品名称、标准编号、批号、规格、数量、毛重等文字信息和以上信息的二维码。

3.2.3 高强度螺栓连接副的扭矩系数是保证施工时高强度螺栓预拉力准确的因素之一，在储存和运输过程中应尽可能保持高强度螺栓连接副出厂时的表面处理状态。保管期内保持原有密封状态并采取防潮、防尘措施，可防止高强度螺栓连接副生锈或沾染污物，保证扭矩系数。

3.3 构件

3.3.1 由于孔边的刺屑和飞边会影响摩擦面板层的密贴和栓接板面的抗滑移

系数，对制孔工艺做了明确规定。

3.3.4 钢梁生产厂家在发送构件时，必须提供出厂时测试的栓接板面抗滑移系数试验数据，以确认其栓接面处理是否符合要求。为了使试验数据具有代表性，本条对抗滑移试件的设计、制作和试验方法作了规定。

3.3.5 抗滑移系数是高强度螺栓连接结构设计的重要参数，目前是通过栓接板面抗滑移系数试验来保证。将出厂时栓接板面的抗滑移系数最小值小数点后的有效数位变为三位，从 0.55 变为 0.550，可以减小在计算过程中进位带来的误差。规定最小值 0.55 时，实际试验最小值只要不小于 0.545 时都可以通过进位达到合格要求；现将最小值改为 0.550，则实际试验最小值必须不小于 0.5495 时，才可以通过进位达到合格要求。

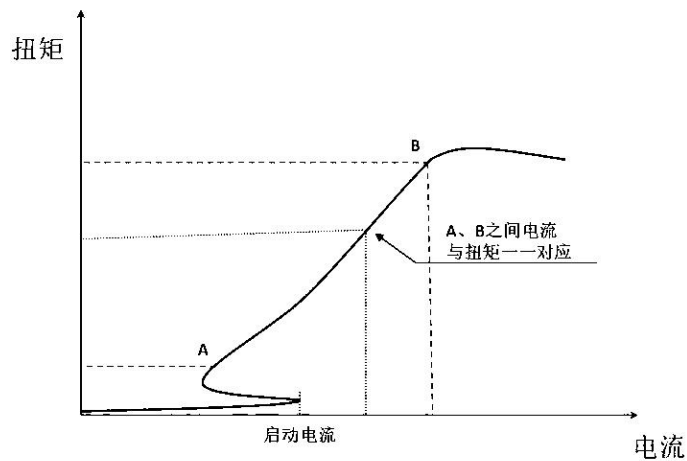
3.3.6 构件在吊装、运输、存放过程中，应对栓接板面做单独防护以防止其磨损、沾染脏物和油污，以保证不降低栓接面的抗滑移系数值。

3.4 施拧工具及数控系统

3.4.1 高强度螺栓是靠电动扳手施拧来实现的，故规定了使用的电动扳手为内置扭矩传感器，能设定、控制、显示和记录的数控伺服电动扳手。

3.4.2 由于数控伺服电动扳手内部有较精密的电器元件，而且施工现场使用很频繁，为了减少对拧紧工具的损坏，对拧紧工具的储存提出了要求。

3.4.3 传统的电流型电动扳手的工作原理是基于扳手电机的电流和输出扭矩之间的函数关系，具体见说明图 3.4.2，通过测量电机电流来间接测量和控制输出扭矩。它的工作原理决定其只能在某个时段的特定条件下满足使用要求，所以需要不断通过标定重新确定输出扭矩。为保证施拧质量，施工中要求配电源稳压装置，且每天班前班后必须各标定一次，扳手使用前需要预热等。



说明图 3.4.3 电流型电动扳手工作原理

数控伺服电动扳手是通过扭矩器传感器来控制输出扭矩，所以不需要配电源稳压装置，也不需要进行班前班后标定，但为防止施工中扭矩传感器意外失效而影响终拧扭矩的准确性，同时为便于施拧后进一步确认高强度螺栓的扭矩值，需要班前班后进行检验。检验时需要重复进行 3 次，每次都应符合误差要求。检验时采用的高强度螺栓连接副应与施拧时采用的高强度螺栓连接副同规格，可重复使用。

3.4.5 为实现高强度螺栓连接施工精细化管理，系统应能对施工过程关键信息进行感知、采集、传输、存储和处理分析。在系统中制定施工计划，施工计划以派工单形式下发，派工单上二维码承载施拧计划、施拧扭矩等信息，通过扫描人员二维码，进而实现施拧人员、信息等的关联与追溯。系统中设置超欠拧报警阈值，一旦报警出现，应由经过培训的现场技术人员进行处置和解警处理，超欠拧报警功能便于施拧过程中的控制。系统的施拧进度展示、螺栓库存提醒及资料文档管理等功能可辅助现场管理。

4 安 装

4.1 一般规定

4.1.1 施拧现场温度和湿度的变化会对高强度螺栓连接副的扭矩系数产生影响，高强度螺栓连接副安装不应在雨、雪和大雾天气作业，施拧现场环境尽量与终拧扭矩的扭矩系数测试模拟环境保持一致，夏季宜避开每日高温时段，冬季宜避开每日低温时段。

4.1.4 为了保证板面密贴，拼装时还需用适量的工具螺栓对其拧紧。工具螺栓拧紧可以将板面密贴，由于多次使用会改变施拧扭矩系数。施工单位在测试高强度螺栓连接副扭矩系数时，是按螺栓生产厂家提供的高强度螺栓连接副批号进行的。高强度螺栓连接副一经使用后，扭矩系数就会发生变化，所以不能重复使用或兼做工具螺栓。

4.1.6 拼装冲钉的大小应理论尺寸与生产构件尺寸相结合，冲钉直径应与孔径相匹配，不应冲钉过大而造成难退出用“气割扩孔”或冲钉过小用手“放进拿出”不安全操作且起不到定位的作用。

4.1.7 构件拼装时，冲钉除起到承受荷载外，还能起到定位的作用，要根据安装时可能承受的荷载计算确定冲钉的数量。

4.2 连接部位要求

4.2.1 在钢梁架设前，施工单位必须对抗滑移系数试验进行试验，确保抗滑移系数的最小值应大于设计值 0.450，以保证其连接的可靠性。如不符合要求，本条还对其处理方法作了规定。抗滑移系数是桥梁钢结构设计的关键参数，为了确保桥梁钢结构的安全性，对抗滑移系数取值为三位有效数字。

4.3 安装要求

4.3.1 主桁节点、箱形构件四面连接部位、工形构件翼缘板连接部位的高强度

螺栓，其螺母一律安装在外侧，主要是施拧方便和便于检查。螺栓头的高度比螺母一侧的高度小，为使枕木刻槽深度尽可能小一些，对于纵梁上翼缘的螺栓，规定螺栓头在上面，螺母安装在下侧。

4.3.2 我国的高强度螺栓用垫圈在内径处设有一 45° 倒角，以与螺栓头下的过渡圆弧相配合，所以在安装时不得装反。由于高强度螺栓连接副在测定扭矩系数时，规定了垫圈内有倒角一侧朝向螺母支承面，所以在安装时不能装反。

4.3.3 安装时强行穿入螺栓会损伤螺纹，造成大幅度改变连接副的扭矩系数，因此当螺栓不能自由时，应查明原因。如确认由于加工公差过大而致，可按本条规定处理。

4.3.4 因为高强度螺栓连接副在未拧紧的情况下，数控伺服电动扳手的反力臂作用在其上会造成螺栓螺纹的磕碰，影响它的扭矩系数，造成该高强度螺栓连接副施拧时预拉力控制不准，所以初拧时反力臂避免作用在未施拧的高强度螺栓连接副上。

5 拧 紧

5.1 一般规定

5.1.1 高强度螺栓的设计预拉力按现行《铁路桥涵设计规范》TB 10091 中的规定取用。施工预拉力需要在设计预拉力基础上考虑一定的预拉力损失。日本、德国、英国等国家规范都是考虑 10% 的预拉力损失，即施工预拉力的取值是在设计预拉力的基础上增加 10%。我国铁路经大量实桥连接螺栓群的试验测试显示，高强度螺栓终拧 24 小时后预拉力损失的范围在 4.6~8.2% 以内，故预拉力损失也考虑为 10%，施工预拉力取值为设计预拉力的 1.1 倍。后续经试验研究发现预拉力的损失与连接板的层数，板层面密贴程度、栓群部位螺栓数量等因素密切相关。经 16+16mm 栓接接头的实测试验发现，24 小时后高强度螺栓的预拉力损失在 2~3% 之间。目前两层板的栓接在铁路桥梁钢结构中主要用于联结系部位的连接，列车建筑界限上方的上平联就是采用这种两层板的栓接方式，该部位高强度螺栓的断裂对行车安全影响最大。所以本标准对预拉力损失进行细分，当连接板的层数为 2 层，如桁梁桥的上、下平联的连接等，预拉力损失按 5% 考虑。在板层较多螺栓数量较多的连接部位，预拉力损失取 10%，由此施工预拉力分别取为设计预拉力的 1.1 倍和 1.05 倍。

5.1.2 为了克服先拧与后拧的高强度螺栓连接副在拧紧预拉力方面的差别，高强度螺栓连接副的拧紧步骤为初拧、复拧和终拧。初拧可以使连接板密贴，复拧的主要目的是对初拧后预拉力可能产生的不均匀性进行调整，使所有高强度螺栓连接副受力均匀，以提高预拉力的精度。在初拧和复拧后再进行终拧，可以使群栓中各个高强度螺栓连接副的预拉力均匀。初拧、复拧和终拧在同一工作日内完成，可以尽可能减少扭矩系数变化对高强度螺栓连接副预拉力的影响。

5.1.3 正常情况下，高强度螺栓连接副的拧紧分为初拧、复拧和终拧 3 个步骤，但对高强度螺栓连接副板层和螺栓数量较少的连接部位，在保证初拧质量的前提

下，则可以省略复拧这一步骤，以提高施工效率。所以规定当被连接的板层数 $n=2$ 且螺栓数量 $i \leq 6$ 时，可以采用初拧和终拧两步完成。

5.1.4 由于高强度螺栓连接副在测试扭矩系数时，是在螺母上施加扭矩测得的，所以在施拧时，也应在螺母上施加扭矩。

5.1.5 为了使连接板束密贴，栓群中各螺栓预紧力均匀，高强度螺栓拧紧时应按本条规定的顺序施拧。

5.2 拧紧工艺

5.2.1 在扭矩法施拧中，影响高强度螺栓预紧力的主要因素是高强度螺栓连接副的扭矩系数和施拧扭矩，而扭矩系数和施工现场的温度、湿度等环境因素有关，为此在施拧前必须测定高强度螺栓连接副的扭矩系数，确认其平均值和标准偏差是否符合要求，并以此扭矩系数平均值来确定终拧扭矩值。

5.2.3 为了克服先拧与后拧的高强度螺栓紧预拉力的差别，高强度螺栓连接副的施拧分为初拧、复拧和终拧。初拧和复拧是为了使板缝密贴。只有在初拧、复拧后再进行终拧，才能使整个连接节点中高强度螺栓连接副拧紧预紧力较为均匀。通过大量试验和实桥验证，当初拧扭矩为终拧扭矩的 50% 时，已能将连接板束达到密贴。为了尽可能使高强度螺栓连接副扭矩系数不致发生变化，本条规定了高强度螺栓连接副的拧紧工作应在当天内完成。

5.2.4 施拧之前应用工具卡住螺栓头，可以防止高强度螺栓随螺母同时转动。跟转会导致螺母施拧过程中角度增加而扭矩不增加，严重影响预紧力的精度。在终拧过程中，如果垫圈与栓接板面标记线发生错动，则表明垫圈跟随螺母一起转动，如螺栓尾部端面与栓接板面的标记线发生错动，则表明螺栓跟随螺母一起转动，出现这两种情况之一则说明高强度螺栓连接副的扭矩系数与施拧前测定的扭矩系数情况不符。

5.2.5 本条文主要是要求施拧人员对初拧和复拧的高强度螺栓要“逐一”做标记，并在复拧后沿着螺栓、螺母、垫圈画一线段，便于检查。并随时观察终拧时数控伺服电动扳手的输出扭矩。当输出扭矩超出本条规定时，技术人员要对数控

伺服电动扳手的扭矩设定值进行调整，以获得准确的终拧施工扭矩。

5.2.6 施工过程中如果出现个别高强度螺栓施拧空间无法满足时，可以采用手动扭矩扳手进行施拧，但必须进行相关信息备案。

6 质量检查

6.1 一般规定

6.1.1 高强度螺栓连接施工的质量检查，目前只能在施工期间随时进行，因为经过一段时间后，由于环境和涂装的影响，所画标记线会被覆盖，就很难再进行准确的检查了。高强度螺栓连接施工质量检查十分必要，应由专职质量检查员及时进行，这是确保高强度螺栓连接安全、可靠的重要措施。

6.2 质量检查

6.2.1 高强度螺栓连接安装控制检查主要看螺栓是否过长或过短，所使用的性能等级是否符合要求，螺母和垫圈的安装方向是否符合要求。

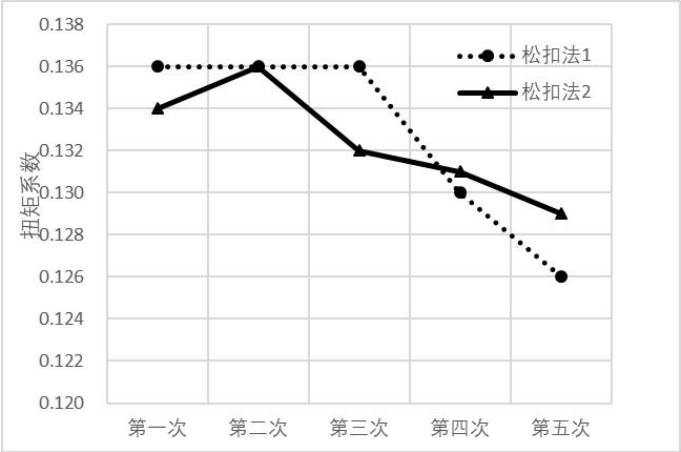
6.2.2 逐一检查复拧和初拧的标记可以避免施拧中无过程的直接一次拧紧到位，减小先拧与后拧的高强度螺栓预拉力差别。

6.2.3 对于电流型电动扳手，现行相关规范中规定在每个拼接面抽取一定比例的高强度螺栓，采用松扣法或紧扣法现场进行终拧扭矩检查。在铁路桥梁施工过程中，出现了要求施工单位使用检查扳手对每个螺栓进行扭矩检查，监理单位再对 10% 的高强度螺栓进行扭矩检查，第三方检测单位再对 10% 的高强度螺栓进行扭矩检查，且均检查相同部位螺栓的情况，这种做法产生了下列问题：①每个螺栓使用松扣法或紧扣法反复进行扭矩检查时，会导致扭矩系数或预拉力发生变化。②桥梁的高强度螺栓数量一般均在 20 万套以上，每个都使用检查扳手进行检查，工作量庞大，增加不必要的时间和经济成本。

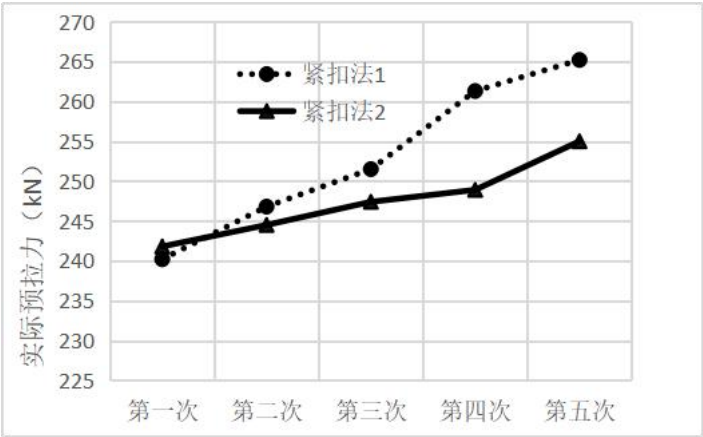
铁科院在承担的国铁集团研究课题《铁路钢结构用大直径高强度螺栓应用研究》中，通过试验模拟多次松扣法和紧扣法检查对高强度螺栓的扭矩系数和实际预拉力影响情况，见说明图 6.2.3-1~2。由图可以看出，使用松扣法进行检查时，随着检查次数的增多，螺母松动 30° 后，再用检查扳手把螺母重新拧紧至原来位置时测得的扭矩系数明显减小。使用紧扣法进行检查时，则随着检查次数增多，

测得螺母和螺栓发生微小相对转角时的实际预拉力明显增大。因此在现场实际施工中，若施工单位、监理单位、第三方检测单位及质量监督单位对高强度螺栓反复进行多次检查时，会引起高强度螺栓的扭矩系数和实际预拉力发生明显变化。

数控伺服电动扳手施拧扭矩精度高且具有在施拧过程中随时记录和发送施拧扭矩的功能，在施拧过程进行严格质量控制的情况下，终拧扭矩的检查只需核验施工记录即可，不再需要采用松扣法或紧扣法进行现场的终拧扭矩检查。由于核验施工记录工作量小，不需要户外作业，且不会影响高强度螺栓的扭矩系数，所以规定高强度螺栓施工质量验收对全部高强度螺栓连接副的外观和数据记录进行检查。



说明图 6.2.3-1 松扣法多次检查时扭矩系数变化情况



说明图 6.2.3-2 紧扣法多次检查时实际预拉力变化情况

7 密封和涂装

7.1 密封

7.1.1 强度螺栓连接副终拧检查合格后，必须立刻进行腻缝，腻缝的目的是为了防止雨水进入板层中腐蚀高强度螺栓连接副和钢板。

7.1.3 钢板连接缝密封胶属于高弹体密封材料，目前尚无国家标准、行业标准或国铁集团企业标准对该项产品的技术指标进行明确规定。在参考相关标准规范并结合研究成果的基础上，将钢板连接缝密封胶的主要技术要求列入表 7.1.3。由于免涂装钢结构有免养护维修的要求，因此免涂装钢结构桥梁用钢板连接缝密封胶的耐久性要求更为严苛，耐人工加速老化试验时间按目前最高标准 6000 小时限定，具体试验数据见说明表 7.1.3。实际测试数据显示测试样品可满足表 7.1.3 的主要技术要求，且密封胶的功能性保持良好。

说明表 7.1.3 免涂装钢结构桥梁用钢板连接缝密封胶的人工气候加速老化测试结果

老化时间/h	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	光泽度
0	2.33	730	18.42
500	1.70	664	17.48
1000	1.53	561	15.84
3000	1.49	611	8.08
5000	1.58	631	7.59
6000	1.54	590	7.21

7.2 涂装

7.2.1 为保证整个桥梁涂装耐久性体系的一致性，高强度螺栓连接部位涂装的耐久性应与桥梁基本构件一致。

7.2.2 高强度螺栓连接副在工厂制造时，虽经表面防锈处理，有一定的防锈能力，但不能满足长期的防腐要求，故在高强度螺栓连接处不仅要对钢板进行涂装，对高强度螺栓连接副也要按照设计要求进行涂装。