



团 体 标 准

T/ZZB 1967—2020

免焊装配式建筑幕墙支承结构

Solderless assembled curtain wall supporting structure



2020 - 11 - 27 发布

2020 - 12 - 01 实施

浙江省品牌建设联合会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和符号	1
4 分类、型号、标记、规格	6
5 基本要求	9
6 技术要求	30
7 试验方法	33
8 检测规则	34
9 标志、包装、运输和贮存	35
10 质量承诺	36
附录 A （规范性） 免焊装配式支承结构构造与设计的要求	37
附录 B （规范性） 装配式紧固件体型波横向振动试验与评定	52
附：条文说明	57

前 言

本文件按照GB/T 1.1给出的规则起草。

本文件的某些内容可能涉及专利，本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本文件由浙江省品牌建设联合会提出并归口管理。

本文件由方圆标志认证集团浙江有限公司牵头组织制定。

本文件主要起草单位：浙江斯泰新材料科技股份有限公司、浙江大学、浙江省建筑装饰行业协会建筑幕墙分会。

本文件参与起草单位（排名不分先后）：中国建筑设计研究院有限公司、华东建筑设计研究总院、清华大学建筑设计研究院有限公司、德国 ROA 隆恩建筑事务所、世界中联丝绸之路城市联盟、免焊装配式结构产学研发展联盟、浙江外国语学院“一带一路”学院、意大利意中发展基金、恒通国际建筑设计咨询(香港)有限公司、江苏省装饰装修行业协会幕墙工程分会、浙江省建筑设计研究院有限公司、浙江大学建筑设计研究院有限公司、汉嘉设计集团股份有限公司、浙江省建工集团股份有限公司、中国建筑东北设计研究院有限公司、中国建筑西南设计研究院有限公司、中国建筑西北设计研究院有限公司、中国美术学院风景建筑设计研究总院、东南大学建筑设计研究院有限公司、上海同大规划建筑设计有限公司、太原理工大学建筑设计研究院、浙江省建设投资集团股份有限公司、深圳建筑设计研究总院有限公司、四川省建筑科学研究院有限公司、天津市钢结构和幕墙门窗协会、安徽省建筑设计研究总院股份有限公司、山西八建集团有限公司、浙江中南幕墙股份有限公司、浙江亚厦幕墙有限公司、浙江宝业幕墙装饰有限公司、中哲创建科技股份有限公司、杭州市建筑设计研究院有限公司、现代幕墙系统技术(苏州)有限公司、华汇工程设计集团股份有限公司、浙江东华规划建筑园林设计有限公司、锐建工程咨询有限公司、宁波市建筑设计研究院有限公司、浙江省现代建筑设计研究院有限公司、浙江勤业建筑设计有限公司、杭州加多建筑设计咨询有限公司、浙江华之建筑设计有限公司、中德被动式建筑科技发展(上海)有限公司、普康泰克(北京)建筑技术有限公司。

本文件主要起草人（排名不分先后）：陈水福、徐跃华、肖志斌、申永刚、徐洁媛、方浩、张俊杰、孙洲、马晓东(清华)、刘长龙、梁方岭、林娜、杨德林、曾军辉、杜东新、刘鹏飞、殷兵利、杨王坤、刘光祥、马晓东(东南)、张蕾、蹇继学、米艳平、王旭华、韩纪升、吴松、马世明、雍本、邱科、张天平、梁曙光、苏笋然、阿其拉图、朱志雄、汤金宣、徐亮、李德生、李小乐、肖祥毅、严颖斌、张嵩、蒋传星、姚华明、童天佑、周国峰、钟家良、温海洲、孙红平、路德维西·隆恩(德国)、施佩君(香港)、厉峻超(德国)、宋荣华、施浦强(意大利)、沈芳君。

本文件为首次发布。

本文件评审专家组长：蒋建平。

本文件由方圆标志认证集团浙江有限公司负责解释。

引 言

本文件总结国内外建筑幕墙的研究与发展。浙江制造的建筑幕墙支承结构体系产品已被应用于中央组织部大楼、中组部全国组织干部学院、中央纪委大楼、全国人大、上海中心、广州新电视塔、上海环球金融中心等数以千计的重点工程。浙江制造的高端幕墙用紧固件产品经过20多年的发展，背栓已从手工装配式-混合装配式-压铆装配式，发展到免电焊装配化、防板材开裂、防咬死、防初始滑移、防松防退的雷峰锁固装配式背栓副新技术，背挂系统从单块板用2道横梁向单道梁、无梁新技术发展。锚栓也已从手工装配式-混合装配式-压铆装配式，发展到免电焊装配化、免清孔、全寿命期、防咬死、防位移、防松防退的雷峰锁固装配式锚栓副新技术。在国家大力提倡在建筑行业推行免焊装配式和既有建筑防火安全性的背景下，制订《免焊装配式建筑幕墙支承结构》“品字标浙江制造”团体标准，非常有必要性、迫切性，以及通过产业升级积累大量的制造和应用性技术经验为本文件编制奠定基础。

免焊装配式建筑幕墙支承结构体系自2013年由南太湖领军人才项目立项开始，经历了8年的发展，演变为成熟的免焊装配式三维可调的倒榫结构体系。浙江制造的建筑幕墙支承结构已形成成套系统化，在基于耐大气腐蚀Corten钢和不锈钢基础上的超高性能耐蚀钢新钢种技术，参考美国材料与试验协会标准ASTM G101标准的试验和计算公式，和通过应用、多次足尺地震测试的水平加速度均达1.0g、紧固件横向振动试验、电化学试验、防咬死试验等积累了大量的技术经验和数据，为标准制定提供科学依据。

在本文件编制过程中，得到国内外的业界权威、专家的参加编制和提出宝贵的建议，使本文件的制订在理论确立、试验方法、数据公式、应用结合得到完善。通过本文件制定的技术要求和检测指标，为行业解决建筑幕墙支承结构全寿命期、安全可靠起到重大作用。

本文件获全球知名的埃尔福特大学建筑学院院长、德国ROA隆恩建筑事务所建筑大师、德国联邦默克尔总理府顾问、德国联邦的氢能委员会成员、德国联邦环境基金赞助的被动式技术气候项目创始人路德维西·隆恩(Ludwig Rongen)教授的大力支持，并提出建议：“中国免焊装配式系统技术+德国被动式超低能耗技术”的结合，是建筑业走向工业化、系统集成化、精细施工的行业未来趋势，符合中德双方的共同利益。隆恩教授期待尽快完成免焊装配式系统ZB标准的英文版，在中国应用的同时，为欧盟、“一带一路”的全球化市场提供标准依据。

原中国建筑科学研究院院长、住建部总工、中国建筑业协会会长、德国工学博士王铁宏先生就“免焊装配式系统”标准，提出了三个结合“结合行业发展大背景，替代现有施工中的焊接体系，通过多方合作，展示全栓接体系能更好、更省、更快、更耐久、更安全的实际效果，发挥示范项目的示范效应；结合产品转型升级，免焊装配式系统符合中央提出的大力发展装配式建筑，解决施工中的劳动力短缺，建筑质量、建筑寿命的一系列问题；结合标准从产品标准到体系标准的提升，在免电焊全栓接上实现‘装配式+BIM技术、装配式+EPC管理、装配式+超低能耗被动式’科技跨越的重大突破”。并提出更高的目标性建议“免焊装配式螺栓产品标准是推广免焊装配式建筑（包括全钢结构全装配式，结构—机电—装修全装配式，以及钢结构桥梁）的重要基础，希望加快研究螺栓连结体系问题，是连接体系科研标准示范，如果成功，将极大的推动装配式，特别是免焊全钢结构全装配式（结构—机电—装修全装配式）建筑的高质量发展，实现中国制造、中国创造、中国建造全面发展”。

世界中联丝绸之路城市联盟宋荣华执行主席为免焊装配式系统标准进入“一带一路”沿线国家推广应用提出建议性意见：“免焊装配式系统和雷峰栓是‘中国制造’的优秀代表，符合建筑工业化的发展方向。建议免焊装配式系统浙江制造系列团体标准中英文版本尽快出版，为建设绿色‘一带一路’提供更多中国方案”。

免焊装配式建筑幕墙支承结构

1 范围

本文件规定了免焊装配式建筑幕墙支承结构的术语、定义和符号，分类、型号、标记、规格，基本要求，技术要求，试验方法，检验规则，标志、包装、运输和贮存，质量承诺。

本文件适用于建筑幕墙的支承结构系统。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB 50017 钢结构设计标准
- GB 50018 冷弯薄壁型钢结构技术规范
- GB 50068 建筑结构可靠度设计统一标准
- GB 50429 铝合金结构设计规范
- GB/T 41 I型六角螺母 C级
- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 193 普通螺纹直径与螺距系列
- GB/T 3098.1 紧固件机械性能螺栓、螺钉和螺柱
- GB/T 6728 结构用冷弯空心型钢
- GB/T 5267.4 紧固件表面处理 耐腐蚀不锈钢钝化处理
- GB/T 10431 紧固件横向振动试验方法
- GB/T 14436 工业产品保证文件
- GB/T 15748 船用金属材料电偶腐蚀试验方法
- GB/T 18575 建筑幕墙抗震性能振动台试验方法
- GB/T 18583 室内装饰装修材料胶粘剂中有害物质限量
- GB/T 21086 建筑幕墙
- GB/T 21804 急性经口毒性固定剂量试验方法
- JGJ 102 玻璃幕墙工程技术规范
- JGJ 133 金属与石材幕墙工程技术规范
- JGJ 255 采光顶与金属屋面技术规程
- JGJ 336 人造板幕墙工程技术规范
- T/ZZB 1968—2020 免焊装配式锚栓副、埋件组件
- T/ZZB 1966—2020 免焊装配式背栓背挂系统

3 术语、定义和符号

本文件规范性引用文件中和下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全寿命期 total life cycle

建筑结构、建筑幕墙与建筑主体连接结构、建筑幕墙支承结构、建筑幕墙面板、既有建筑改造的设计寿命期。

3.2

免焊装配式 solderless assembled type

采用非焊接或电焊辅助装配，符合全寿命期设计要求的建筑支承结构、外围护支承结构，包括连接件、挂件、螺栓、背栓、螺钉、锚栓、埋件，可持久防松防滑措施的三维可调节铰接体系。

3.3

超高性能耐蚀钢 super high performance corrosion-resistance steel

建筑支承结构及其连接件、挂件、螺栓、螺钉、锚栓、埋件在免涂裸钢、或高温渗入合金、或涂层条件下，以绝小腐蚀量实现全寿命期设计要求的特殊钢种。

3.4

绿色植物幕墙 green plant curtain wall

依附在建筑外墙、阳台等，具有支承结构体系组成，以自动智能灌溉、盆植、绿色植物形成绿色植物、有机蔬菜的建筑幕墙，简称绿幕。对产生的负氧离子具有与被动式新风系统配合控制功能。

3.5

雷峰螺纹 “Thunder and Peak” screw thread

由多道闪雷旋槽和多段旋状外螺纹尖峰组成，具有与内螺母作用时防咬死功能和螺纹均载性啮合功能的新式螺纹结构。

3.6

装配式埋件系统 assembled system of the embedded parts

适用于混凝土结构与支承结构的采用免电焊装配化的连接系统。由装配式板槽埋件(斜面齿槽预埋件)、装配式转接螺栓副、装配式倒榫转接件、装配式螺栓副等组成。

3.7

免焊装配式插芯连体立柱 solderless assembled integrated mullion with inserting core

铝合金或者钢材制作的立柱一端经本体缩管工艺制成，立柱下端内壁插入另一立柱有凸肋状连体插芯头，无需螺栓固定形成半刚性连接插芯。超高性能耐蚀钢

3.8

免焊装配式横梁连接 solderless assembled transom connection

横梁与竖向支承结构通过免电焊装配式连接。

3.9

铰接式横梁连接 transom connection by connectors or screws

铝型材、型钢通过冲有倒榫槽孔连接件、雷峰螺纹锁固螺栓或者螺钉的防松固定，和满足热冷作用滑动的横梁连接件。

3.10

可拆卸锁销式横梁连接 detachable transom connection by lockpins

采用冷镦制造高精度防电偶腐蚀措施的锁销，尾部设有B环旋鼓弹簧段的膨胀弹簧，通过B环压紧拖拉进横梁C型槽内，放开B环即可胀锁，锁销头进入立柱孔固定和满足热冷作用的铝型材横梁连接方式，当需要拆卸时只需向减压方向拖动B环即可。

3.11

装配式击扩防退螺钉副 assembled impacting and expansion anti-loosening screw set

由雷峰螺纹击扩杆的击扩式顺退螺纹齿套组成的防双金属电偶腐蚀专用的击扩防退螺钉。

3.12

装配式槽用防松螺栓 assembled anti-loosening bolt for nut's slot

由外六角螺母、防退和弹性限位片簧、雷峰螺纹螺杆组成，具有防电偶腐蚀措施的幕墙铝型材螺母槽专用螺栓。

3.13

装配式可拆卸锁销 assembled detachable lockpin

由冷镦制成的锁销、配有B形弹簧组成，具有防电偶腐蚀措施的可拆卸锁销。

3.14

防扭滑块螺钉副 anti-twisting sliding aluminum block with screw set

由可装入铝型材横梁螺母槽的铝材滑块、弹性限位片簧、防松螺钉组成。

3.15

装配式机械锚栓 assembled mechanical anchor bolt

利用锚栓与钻孔之间的可防止位移的嵌入作用或锁键作用锚固在混凝土基材上，配有调偏垫片的机械组件锚固产品。

3.16

装配式紧固件副 assembled fasteners set

由雷峰螺纹杆、调偏锁固垫片、锁簧防退螺母组合成免用电焊辅助的装配式紧固件副。

3.17

装配式面板槽(扣)式系统 assembled slot and hanging system for panel

对挂装板材通过开槽方式连接的免焊装配式金属槽(扣)式组合挂件。

3.18

装配式背挂系统 assembled back bolt hanging system

对挂装板材通过以单块板材的悬挂小单元体，可调节高低、防滑脱的满足热冷作用滑动、连接背栓孔、挂钩于连接底座的机械连接组件。

3.19

UHPC面板连接系统 conjunction system for UHPC panel

满足大于100年建筑全寿命期的高强纤维水泥板，具有可靠防止开裂、变形的功能，通过装配式自切底(旋切)机械双固锚栓副或者埋入式背栓连接于挂件，将挂件挂于带限位的挂件座，挂件座连接于金属横梁并用锁固螺栓进行锁固，形成可靠的连接。具备免除焊接的装配式机械调偏和抗风振、抗地震防松锁固功能。可具有可靠气密水密性和超低能耗背动式功能。

3.20

装配式轻量化高强水泥空心结构板连接系统 assembled connection system for lightweight high strength cement hollow panel

满足大于100年建筑全寿命期的高强纤维多孔水泥厚板通过装配式自切底(旋切)机械双固锚栓副或者埋入式背栓连接于挂件，将挂件挂于带限位的挂件座，挂件座连接于金属横梁并用锁固螺栓进行锁固，形成可靠的连接。具备免除焊接的装配式机械调偏和抗风振、抗地震防松锁固功能。具有可靠气密水密性和超低能耗背动式功能。

3.21

装配式轻量化水泥结构板连接系统 assembled connection system for lightweight cement structural panel

满足大于50年全寿命期的采用高强水泥、纤维(可加钢筋网)、陶粒或其它填充的材料组成的高强度高韧性水泥装饰结构板，通过装配式自切底(旋切)机械双固锚栓副、或者埋入式背栓连接于挂件、或者内置支撑系统，将挂件挂于带限位的挂件座，挂件座连接于金属横梁并用锁固螺栓进行锁固，形成可靠的连接。具备免除焊接的装配式机械调偏和抗风振、抗地震防松锁固功能。具有可靠气密水密性、嵌入门窗、超低能耗背动式功能。

3.22

自动化安装背栓工具 automated assembling tool for back bolt

采用电动或气动安装背栓的工具

3.23 符号

下列符号适用于本文件。

f_{stk} ——极限抗拉强度标准值；

f_{vk} ——屈服强度标准值；

$f_{S,0.2k}$ ——屈服强度标准值；

T_p ——试验预夹紧力；

R_m ——抗拉强度；

S_p ——保证应力；

K_p ——紧固件保证荷载值；

A_s ——螺纹截面积；

t_{ne} ——材料厚度设计值；

t ——碳钢、超高性能耐蚀钢材料初始厚度标准值；

t_{log} ——碳钢、超高性能耐蚀钢材料工业大气使用时间累计腐蚀厚度标准值；

K_{Cl} ——螺纹设计年限电偶腐蚀后螺纹高度；

K_{CO} ——螺纹标准高度；

K_C ——电偶平均腐蚀速度的数值；

K_l ——设计使用年限；

K_C ——电偶平均腐蚀速度；

W_{CO} ——阳极组元偶联试样试验前重量；

W_{Cl} ——阳极组元偶联试样试验后重量；

W_C ——阳极组元对比试样试验前重量；

W_l ——阳极组元对比试样试验后重量；

S ——阳极组元试样试验表面积；

δ_5 ——伸长率；

E_S ——弹性模量；

θ ——材料密度系数；

γ_q ——大气分类系数；

a_f ——紧固件可靠抗震防松功能条件等级；

η ——调正系数；

Δ ——双面螺纹牙尖体型折减。

4 分类、型号、标记、规格

4.1 分类

4.1.1 装配式幕墙支承结构

4.1.1.1 代号

本文件中幕墙支承结构的连接、插联取L；钢性、半钢性取G；机械性螺栓绞接取J，代号为LGJ。

4.1.1.2 型式分类

P——装配式插芯连体立柱。

B——装配式横梁。

C——装配式连接系统。

4.2 型号表示方法

产品型号由英文大写字母和阿拉伯数字组成，其表示方法见图1。

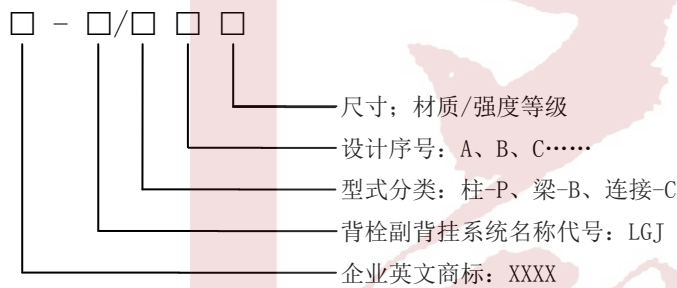


图1 型号表示方法

示例: XXXX-LGJ/PA60×100×2.5×300 SCR-S/Q345。

4.3 规格

4.3.1 插芯连体立柱通用规格

连体插芯立柱分圆管、矩型管，规格应按表1执行。

表1 连体插芯立柱通用规格表

名称	规格	厚度	长度
连体插芯 圆管立柱	59、75、88、114、140、 165、219	2.5、3.0、3.5、 4.0、5.0、6.0	300、310、320、330、350、360、600
连体插芯 矩型立柱	50×70	2.5、3.0、3.5、 4.0、5.0、6.0	300、310、320、330、350、360、600
	50×120	2.5、3.0、3.5、 4.0、5.0、6.0	300、310、320、330、350、360、600
	50×160	2.5、3.0、3.5、 4.0、5.0、6.0	300、310、320、330、350、360、600
	50×200	2.5、3.0、3.5、 4.0、5.0、6.0	300、310、320、330、350、360、600
	60×80 60×100	2.5、3.0、3.5、 4.0、5.0、6.0	300、310、320、330、350、360、600

表 1 (续)

名称	规格	厚度	长度
连体插芯 矩型立柱	80×120	2.5、3.0、3.5、	300、310、320、330、350、360、600
	80×150	4.0、5.0、6.0	
	100×300	4.0、5.0、6.0、8.0	根据图纸

注：特殊规格和长度可定制。

4.3.2 横梁及梁柱连接件通用规格

横梁及梁柱连接件分为横梁倒榫连接件、角钢专用外挑插式连接件、角钢专用柱平插式连接件，规格应按表2、表3执行。

表2 横梁及梁柱连接件通用规格表

单位为mm

名称	规格 (mm)	长度 (mm)
插装式角钢	L40×40×4	根据图纸加工生产
	L50×50×4	
	L50×50×5	
防火管梁(套)	38×60×2.5	根据图纸加工生产
	42×60×2.5	
	60×60×2.5	
	60×80×3.0	

表3 横梁及梁柱连接件通用规格表

单位为mm

名称	规格	适配螺栓、钉	适配横梁
横梁倒榫连接件	L38×38×50×3	M6、M8、M10	L40 角钢
	L38×38×60×4	M6、M8、M10	L40 角钢
	L50×50×50×4	M6、M8、M10	L50 角钢
	L50×50×65×5	M6、M8、M10	L50 角钢
角钢专用梁柱齐平插式连接件	48×64×35×3	M6、M8、M10	L40 角钢
	48×64×35×4	M6、M8、M10	L40 角钢
	53.5×64×35×4	M6、M8、M10	L50 角钢
	53.5×64×35×5	M6、M8、M10	L50 角钢
角钢专用外挑插式连接件	68×82×30×3	M6、M8、M10	L40 角钢
	80×93.5×30×3	M6、M8、M10	L50 角钢
	80×93.5×35×4	M6、M8、M10	L50 角钢
	80×93.5×35×5	M6、M8、M10	L50 角钢

4.3.3 雷峰锁固装配式螺钉、螺栓副通用规格

分滑块螺钉副、装配式击扩防退螺钉、装配式槽用倒装防退螺栓副，装配式槽用顺装防退螺栓副、装配式穿柱螺栓副、装配式连接螺栓副(螺钉)，规格应按表4执行。

表4 螺钉、螺栓副通用规格表

单位为mm

名称	规格 (mm)	长度 (mm)
滑块螺钉副	M5	20、25、30、35、40
	M6	
	M8	
装配式击扩防退螺钉	M5	20、25、30、35、40
	M6	20、25、30、35、40
	M8	25、30、35、40、50
	M10	30、35、40、50、60
装配式槽用倒装防退螺栓副	M5	20、25、30、35、40
	M6	20、25、30、35、40
	M8	25、30、35、40、50
	M10	30、35、40、50、60
装配式槽用顺装防退螺栓副	M5	20、25、30、35、40
	M6	20、25、30、35、40
	M8	25、30、35、40、50
	M10	30、35、40、50、60
装配式穿柱螺栓副	M6	40、45、50、55、60、65、70
	M8	50、55、60、65、70、75、80、90
	M10	60、65、70、75、80、85、90、95、100
	M12	80、85、90、95、100、110、120、130
装配式连接螺栓副	M6	30、35、40、45、50、55、60、65、70
	M8	40、45、50、55、60、65、70、75、80
	M10	30、35、40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、
	M12	110、120、130
	M16	40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、110、
	M20	120、130、140、150
装配式防松螺钉	M6	30、35、40、45、50、55、60、65、70
	M8	40、45、50、55、60、65、70、75、80
	M10	40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、110、
	M12	120、130、140、150
	M16	40、45、50、55、60、65、70、75、80、85、90、95、100、110、
		120、130、140、150

注：特殊规格和长度可定制。

5 基本要求

5.1 产品设计

5.1.1 制造生产企业应具备产品设计研发和产品自检能力。

5.1.2 幕墙外挂墙板产品及配件等集成产品，应满足建筑设计要求寿命。

5.1.3 幕墙外挂墙板产品及配件等集成产品，具有免电焊焊接的功能，应满足采用持久锁固工艺形式实现安全固定。

5.1.4 幕墙外挂墙板产品及配件等集成产品，设计应考虑被连接结构的类型、受力状况、荷载类型及锚固连接的安全等级等因素。

5.1.5 装配式建筑幕墙支承结构的产品及配件等集成产品，产品设计使用年限应满足应满足 GB/T 20186、JGJ 133、JGJ 336、JGJ 321 相同寿命；与主结构连接的锚栓、预埋件、后置埋件及配件产品，产品设计使用年限应满足新建建筑相同寿命，既有建筑寿命 30 年的要求。

当装配式建筑幕墙、外挂墙板产品及配件等集成产品用超高性能耐蚀钢，表面具有非晶体耐蚀层，在不影响美观下时可实现免于涂装裸钢耐蚀。超高性能耐蚀钢的镍、铜、铬、钒、铝、钼及其它主要元素，应符合表 5 和表 6 的要求，对使用的涂料或防火涂料具有较高附着力和提高免维护周期。设计寿命为 50 年、70 年、100 年的结构(含支承结构)连接用锚栓、预埋件、后置埋件及配件产品选用可增加耐蚀、冲击韧性、减少伸长率等性能的超高性能耐蚀钢，其中形成非晶态耐蚀钒镍氧化层的钒、铬、镍、铜、钼、铝元素总含量，SCR-I 不小于 1.2%，SCR-S 不小于 1.5%，SCR-T 不小于 2.0%。锚栓承力锁键厚度应 ≥ 2.5 mm，承力锁键强度不得低于锚栓标定的等级值，锚栓应考虑施工人员敲弯或地震风振等因素，故锚栓螺杆选用超高性能耐蚀钢或具有高韧性钢材制造，应增加冲击 $>30^\circ$ 弯度不得出现裂缝或者断裂的试验。碳素钢和合金钢、超高性能耐蚀钢等生产的紧固件性能等级应按所用钢材的极限抗拉强度标准值 f_{stk} 及屈服比 f_{yk} / f_{stk} 确定，相应的力学性能指标应按表 7、表 8 要求。

表5 超高性能耐蚀钢主要化学成分表

钢种	镍 Ni %	铜 Cu %	铬 Cr %	钒 V %	铝 Al %	钼 Mo %
SCR-I	0.12~3.0	0.20~0.58	0.30~1.1	0.009~0.019	0.3~1.8	—
SCR-S	0.12~3.0	0.20~0.58	0.30~1.1	0.009~0.019	0.3~1.8	—
SCR-T	0.68~3.0	0.20~0.58	1.0~1.23	0.011~0.019	0.3~0.8	0.2~0.8

注1：各钢种中 C：0.08%~0.4%；Si：0.10%~0.80%；Mn：0.20%~1.8%；P：≤0.05%；S：≤0.01%。
注2：超高性能耐蚀钢不应单看化学成分，其冶炼工艺复杂，各元素之间的投放时间与方法直接影响韧性、强度、晶体密度性能，通常需要多年反复研制，故必须进行耐蚀性、附着力、可焊性、产品应用等论证。

表6 超高性能耐蚀钢力学性能表

牌号	钢板、型钢				螺栓用盘条、圆钢	
	下屈服强度 R_{eL}^a (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)	延伸率 A %	-20℃冲击功 ^b (J)	下屈服强度 R_{eL}^a (N/mm ²)	抗拉强度 R_m (N/mm ²)
SCR-I/235	≥ 235	360~510	≥ 25	≥ 34	≥ 200	340~490
SCR-I/295	≥ 295	430~560	≥ 24		≥ 250	400~560
SCR-I/355	≥ 355	490~630	≥ 22		≥ 270	450~600
SCR-I/420	≥ 420	520~680	≥ 21			

表6 (续)

牌号	钢板、型钢				螺栓用盘条、圆钢		
	下屈服强度 R_{eL}^a (N/mm^2)	抗拉强度 R_m (N/mm^2)	延伸率 A %	-20 °C 冲击功 ^b (J)	下屈服强度 R_{eL}^a (N/mm^2)	抗拉强度 R_m (N/mm^2)	
SCR-I/460	≥460	570~730	≥20	≥34	≥280	480~630	
SCR-I/500	≥500	600~760	≥18				
SCR-I/550	≥550	620~780	≥16				
SCR-S/235	≥235	360~510	≥25	≥34	≥200	340~490	
SCR-S/295	≥295	430~560	≥24		≥250	400~560	
SCR-S/345	≥345	490~630	≥22		≥270	450~600	
SCR-S/420	≥420	520~680	≥21		≥280	480~630	
SCR-S/460	≥460	570~730	≥20				
SCR-S/500	≥500	600~760	≥18				
SCR-S/550	≥550	620~780	≥16				
SCR-T/235	≥235	360~510	≥25		≥34	≥200	340~490
SCR-T/295	≥295	430~560	≥24			≥250	400~560
SCR-T/345 ^c	≥345	490~630	≥22			≥270	450~600
SCR-T/420 ^c	≥420	520~680	≥21	≥280		480~630	
SCR-T/460 ^c	≥460	570~730	≥20				
SCR-T/500 ^c	≥500	600~760	≥18				
SCR-T/550 ^c	≥550	620~780	≥16				

SCR-I为耐城乡大气/工业大气/潮湿地下工程(含隧道、涵洞)腐蚀;
SCR-S为耐海岸20 km内/温带海岛/有渗漏地下工程(含隧道、涵洞)腐蚀;
SCR-T为热带/亚热带海岛大气级/有土壤污染或海底地下工程(含隧道、涵洞)腐蚀。
注: 拉伸采用横向试样, 冲击采用纵向试样。

^a 当带钢厚度大于 16 mm, 屈服强度允许降低 10 N/mm^2 。
^b 冲击试样采用 10 mm×10 mm×55 mm, 如采用其他厚度尺寸, 最小冲击功按比例递减。
^c 自身带耐火性能, 600 °C 高温拉伸试验, 规定塑性延伸强度 $R_{P,0.2}$ 不小于室温下拉伸强度的 0.66 倍, 当用于防火时必须要有防火认证报告

表7 碳素钢及合金钢锚栓、螺栓的力学性能指标

性能	普通级		高强度级	
	5.8	6.8	8.8	9.8
极限抗拉强度标准值 f_{stk} (N/mm^2)	500	600	800	900
屈服强度标准值 f_{yk} 或 $f_{s,0.2k}$ (N/mm^2)	400	480	640	720
伸长率 δ_5 %	10	8	12	12

表8 超高性能耐蚀钢锚栓、螺栓的力学性能指标

性能	高强度				
	8.8	9.8	10.9	11.9	12.9
极限抗拉强度标准值 f_{stk} (N/mm ²)	800	900	1000	1100	1200
屈服强度标准值 f_{yk} 或 $f_{s,0.2k}$ (N/mm ²)	640	720	900	990	1080
伸长率 δ_5 %	12	12	12	12	10

5.1.6 奥氏体不锈钢锚栓的性能等级应按所用钢材的极限抗拉强度标准值 f_{stk} 及屈服强度标准值 f_{yk} 确定，相应的力学性能指标应按表 9 要求。

表9 奥氏体不锈钢锚栓的力学性能指标

等级	螺纹直径 (mm)	极限抗拉强度标准值 f_{stk} (N/mm ²)	屈服强度标准值 f_{yk} 或 $f_{s,0.2k}$ (N/mm ²)	伸长值 δ
50	≤39	500	210	0.6 d
70	≤24	700	450	0.4 d
80	≤24	800	600	0.3 d

5.1.7 与主体结构连接部分免焊装配式锚栓、埋件及配套产品，设计参照 T/ZB 1968—2020 中的装配式防松防退规定。

5.1.8 背栓及配套产品，设计应符合 T/ZB 1966—2020 中规定的免焊装配式防松防退、可调可拆的连接方式。

5.1.9 免焊装配式连接结构体系、碳钢立柱与铝合金型材结合幕墙免焊装配式连接结构体系、碳钢立柱与横梁免焊装配式连接结构体系等幕墙支承构件可采用铝合金型材、冷弯薄壁型钢、轧制或焊接钢型材，也可采用铝合金型材和钢型材组合而成。优先采用插芯连体立柱和免焊装配式防松防退、可调可拆的连接方式。

5.1.10 横梁和立柱之间的连接产品设计，应符合下列规定：

- 横梁和立柱之间可通过连接件、锁固螺栓、双锁固螺钉或销钉与立柱连接；
- 连接件应能承受横梁传递的剪力和扭矩，连接件的截面厚度应经过计算确定且应小于 3mm；角码和横梁采用不同金属材料时，应采取措施防止双金属腐蚀；
- 连接件与立柱之间的连接锁固螺栓、双锁固螺钉或销钉应满足抗拉、抗剪、抗扭承载力的要求。锁固螺栓、双锁固螺钉或销钉应采用奥氏体型不锈钢、超高性能耐蚀钢制品，与铝合金材料双金属连接时应采用超高性能耐蚀钢和防电偶腐蚀措施；锁固螺栓、双锁固螺钉的直径，不应小于 5mm；销钉的承力销径直径不应小于 5mm；锁固螺栓、双锁固螺钉和销钉的数量，均不得少于 2 个。

5.1.11 插芯连体立柱产品设计，应符合下列规定：

- 插芯连体立柱截面主要受力部位的厚度，应符合：
 - 铝型材截面开口部位的厚度不应小于 3.0 mm，闭口部位的厚度不应小于 2.5 mm；

- 2) 铝型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受拉、压连接时,应进行螺纹受力计算,其螺纹连接处的型材局部加厚部位的壁厚不应小于螺纹直径,宽度不应小于 13 mm;铝型材锁销连接孔处在考虑竖向承载时对型材局部加厚时,宽度不应小于 13 mm;
 - 3) 冷成型薄壁型钢截面主要受力部位的厚度不应小于 2.5mm,为确保型材不受折弯隐裂等安全隐患和焊接应力变形,型材应采用圆变方(矩型)工艺成型,且型材通过圆变方冷挤成型强度有所提高,当选用超高性能耐蚀钢时,强度通过测试确定;
 - 4) 当采用型材通过连接时,应进行螺纹承力计算;
 - 5) 对偏心受压立柱和偏心受拉立柱的杆件,其有效截面宽厚比应符合相关规范的规定。
- b) 幕墙立柱的布置,应符合:
- 1) 在楼层内独立布置时,其上、下端均与主体结构铰接,选用上端悬挂方式;
 - 2) 在多层或高层建筑中跨层布置时,立柱的长度应大于 3 个层高,立柱与主体结构的连接支承点每层不应少于一个,选用上端悬挂方;支承点的设计,应满足立柱变形;
 - 3) 在混凝土实体墙面或钢结构上分段布置时,每段立柱的支承点不应少于 2 个,上支承点选用圆孔,中部和下支承点选用长圆孔;
 - 4) 立柱支承点可能产生较大位移时,应采用与位移相适应的支承装置。
- c) 上、下立柱的连接应符合端部设置长度不小于 60 mm 的连体缩颈制作芯柱,芯柱一端与立柱应紧密滑动配合。采用超高性能耐蚀钢芯柱时,柱一端与立柱的插入量不小于 50 mm,设计时考虑热胀冷缩系数后,可按层高考虑每层连体缩颈段加长 10 毫米~20 毫米,以使批量生产后无需再次破坏涂层加工;
- d) 立柱构件截面的抗弯强度、抗剪强度和稳定性,应满足相应的幕墙规范要求。

5.1.12 绿色植物盆免焊接装配式连接结构体系的设计时,有护栏的阳台、女儿墙处、底层垂直安装高度不超过 4 m 或 40 %坡度以下不超过 6 米的,可以采用卸式植物盆装配化结构,其余墙面均采用锁固方式可靠连接。

5.1.13 建筑幕墙使用不锈钢螺栓副紧固件时,设计有钝化要求的,表面应符合 GB/T 5267.4 的规定的钝化处理;与超高性能耐蚀钢连接时应使用超高性能耐蚀钢螺栓副紧固件;与铝合金材料连接的应使用经高温渗入合金处理电位量相近的超高性能耐蚀钢螺栓副紧固件。

5.1.14 双金属、多金属连接的产品设计时,应考虑电偶腐蚀,具体产品设计要求:铝合金型材与超高性能耐蚀钢之间,表面未经高温渗锌合金时,应设防电化学绝缘层;铝合金材料与经表面高温渗锌合金的超高性能耐蚀钢螺钉之间,形成螺纹副时,应进行设计寿命和使用区域的双金属电偶腐蚀进行试验认证和公式进行计算,也可按本文件表 10 取值,产品生产商应提供符合表 10 取值条件的超高性能耐蚀钢合金材质、表面合金层电位量认证报告。铝合金型材为母螺纹时,不应使用自攻自钻螺钉(含双金属摩擦焊)的连接螺纹副。宜采用电位量相近处理的表面高温渗锌合金的超高性能耐蚀钢装配式击扩防退螺钉,或铝合金经攻丝后采用电位量相近处理的表面高温渗锌合金的超高性能耐蚀钢螺钉连接。产品不得用铝螺母和不锈钢螺杆组成双金属螺纹副。

铝型材与螺钉组合的螺纹副设计使用寿命年限电偶腐蚀后螺纹高度 K_{Cl} 计算公式按式(1),并应当满足公式(2)。

$$K_{Cl} = K_{CO} - K_C \cdot K_l \cdot \Delta / \eta \dots\dots\dots (1)$$

$$\min = K_{Cl} / K_{CO} \geq 0.9 \dots\dots\dots (2)$$

式中:

K_{Cl} ——螺纹设计年限电偶腐蚀后螺纹高度;

K_{CO} ——螺纹标准高度(依据GB/T197普通螺纹公差);

K_C ——电偶平均腐蚀速度的数值，单位为毫米每年（mm/a），按公式（3）取值；

K_I ——设计使用年限，与建筑主体连接结构取50、70、100；建筑幕墙支承结构取25、50、100；面板系统25年；

Δ ——双面螺纹牙尖体型折减，公制、美标30°取2.0，英标29°取2.06；

η ——修正系数，框架式玻璃幕墙取1.0；开放式幕墙1.1；石材、金属、人造板等封闭腔幕墙（混凝土湿热碱气氛）和单元式幕墙取1.2；

$$K_C = \frac{(W_{CO} - W_{CI}) - W_C - W_I}{St} \theta \cdot \gamma_q \dots\dots\dots (3)$$

式中：

K_C ——电偶平均腐蚀速度，g/(m²·h)；

W_{CO} ——阳极组元偶联试样试验前重量，g；

W_{CI} ——阳极组元偶联试样试验后重量，g；

W_C ——阳极组元对比试样试验前重量，g；

W_I ——阳极组元对比试样试验后重量，g；

S ——阳极组元试样试验表面积，m²；

t ——试验时间，h；

θ ——材料密度系数，铜1.0、钢材1.1、铝合金3.2；

γ_q ——大气分类系数，内陆城镇1.0、工业及沿海1.1、海岸线20km内和温带海岛1.2、热带及亚热带海岛1.4。

表10 铝合金与超高性能耐蚀钢螺钉双金属螺纹副电偶腐蚀对应表

使用年限 t_n (年)	表面高温锌合金层合金深度 (μm)							
	内陆城镇		沿海及工业		海岸线和温带海岛		热带及亚热带海岛	
	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B
25	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60
30	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60
50	≥50	≥60	≥50	≥70	≥60	--	≥70	--
70	≥60	≥70	≥70	≥85	≥70	--	≥85	--
100	≥70	≥85	≥85	≥95	≥85	--	≥95	--

注1：本表超高性能耐蚀钢螺钉为SCR-I、SCR-S、SCR-T钢种；表中锌指含铝量0.1%~10%的锌粉末，表中锌铝指含铝量10.1%~25%的锌铝粉末。

注2：由镍、铜、铬、钒、铝、钼及其它主要元素特殊工艺合金和表面高温渗入合金（接近被连接材料电位值）应具备较高的浸透性，和较好的高附着力和耐磨损性。

注3：表面合金层深度锌A不小于50 μm ，锌B不小于60 μm 。

5.1.15 对使用于建筑幕墙或建筑外围护的锚栓、埋件、立柱、横梁及配件的产品，普通碳素钢、超高性能耐蚀钢原材料厚度不得小于2.5mm。设计材料厚度和承力强度计算时，应考虑使用时间累计腐蚀厚度标准值 t_{log} ， t_{ne} 材料厚度设计值应按公式(4)规定计算，对应本文件表 11，按所需使用年限计算所得余值厚度应低于2.0mm。

$$t_{ne} = (t - t_{log}) / \gamma_q \geq 2.0 \dots\dots\dots (4)$$

式中：

t_{ne} ——材料厚度设计值；

t ——碳钢、超高性能耐蚀钢材料初始厚度标准值；

t_{10g} ——碳钢、超高性能耐蚀钢材料工业大气使用时间累计腐蚀厚度标准值(mm)；

γ_q ——大气分类系数，内陆城镇框架式玻璃幕墙1.0、沿海及工业框架式玻璃幕墙1.1、海岸线20km内及温带海岛框架式玻璃幕墙1.2、石材、人造板石材、金属、人造板、单元式等幕墙(除亚热带及热带海岛)取1.2、热带及亚热带海岛各类幕墙1.4。

表11 使用时间腐蚀速度对应表

使用年限 t_0 年	碳素钢腐蚀厚度 C mm	SCR-I 钢腐蚀厚度 C mm	SCR-S 钢腐蚀厚度 C mm	SCR-T 钢腐蚀厚度 C mm
1	热浸锌 衰减期	0.027	0.025	0.022
5		0.058	0.053	0.048
10		0.080	0.072	0.066
20	0.25	0.110	0.100	0.090
30	0.50	0.129	0.117	0.106
50	1.00	0.167	0.152	0.137
70	1.50	0.193	0.175	0.158
100	2.25	0.231	0.210	0.189

注1：本表碳素钢按规范规定的热浸锌厚度为80 μm ，有认证报告的按参考报告，无报告按本表执行；
 注2：本表超高性能耐蚀钢为裸钢，产品生产厂商需提供满足本表的认证报告；
 注3：超高性能耐蚀钢表面设有锌合金用于电偶腐蚀按5.1.15执行，用于大气防腐时有认证报告的按参考报告，无报告按本表裸钢执行；
 注4：超高性能耐蚀钢表面设有涂料、防火涂料时，有认证报告的按参考报告，无报告按本表裸钢执行。

5.1.16 免焊装配式背栓副、螺栓副、螺钉紧固件产品等材质选择、加工制作应符合设计要求。当选用超高性能耐蚀钢和不锈钢紧固件时，其防咬死螺纹应由多道闪雷槽和多段旋状螺纹峰状刃，在锁簧防退螺母或防退阴螺纹组合成螺纹副(简称雷峰栓、雷峰螺钉)，具有满足电动工具安装要求的连续6次防咬死功能。由螺杆、偏调垫片、弹簧垫、锁簧防退螺母等组合的免焊装配式螺栓副产品设计时，在偏调垫片与八字倒榫槽孔配合下，形成两个方向的左右上下调节间距差后，具有持久锁固的调差功能；所涉锁簧防退螺母，可利用螺母设有的锁簧舌与螺杆上雷峰螺纹的旋切槽形成持久锁固，确保轴向疲劳延长率或风振、地震下的防松防退功能，在维修或拆卸时用专用工具轻压锁簧即可解锁。

5.1.17 由建筑支承结构、外围护支承结构及其连接件、挂件、螺栓、背栓、螺钉、锚栓、埋件等形成的免焊装配式三维可调节的铰接体系，在免于电焊焊接、电焊辅助下，通过连接件上倒榫槽(含齿槽)、机械偏调垫片、防松动紧固件等组合，在滑移、轴芯疲劳、风振、地震下具有防松防退功能的螺纹副。所述锚栓产品应细化到螺纹、扩张件最薄弱点的耐腐蚀计算和耐持久疲劳等，满足建筑设计寿命期。

5.1.18 免焊装配式紧固件产品可在免于电焊辅助下，满足装配化安装要求，确保永久锁持不松动，由足尺地震测试和横向振动测试认证确定，满足可靠抗震防松防退功能条件等级值 af 要求。同时还应满足附录B的测试与评定要求，夹紧力衰退不应小于初始值 $85\% \pm 5\%$ 。

5.2 材料

5.2.1 所有原材料，应符合现行相关标准和相关幕墙规范要求，并检查产品合格证、相关性能的检测报告，对进厂原材料进行实验室检测合格方可使用。

5.2.2 装配式支撑结构、连接件、螺栓、螺钉及零部件，选用免表面处理的高环保超高性能耐蚀钢(SCR)级时，主要化学成分和力学性能应符合表 5、表 6 规定。

5.2.3 材料表面涂层，应符合现行相关标准规定。

5.3 工艺与装备

5.3.1 “免焊装配式埋件系统、免焊装配式幕墙支承结构、免焊装配式幕墙面板连接系统”等产品，加工所采用的设备、机具应保证构件加工精度的要求，量具应定期进行计量检定，并在有效期内使用。

5.3.2 紧固件拉力载荷变异系数应不大于 0.05；涉及背栓副、螺栓副时，应由同一厂家、同一模具加工完成。

5.3.3 可拆卸弹性锁销，为防止小厂回炉劣质不锈钢使用(有仪表车床加工的痕迹)，锁销必须为冷镦产品。

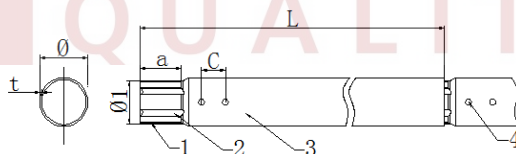
5.3.4 埋件和转接件表面采用热浸锌或者粉末渗锌防腐时，热浸锌或者粉末渗锌层厚度 $80\mu\text{m}$ 以上，应进行镀层抽样检查，合格后方可入库；紧固件表面防腐，热浸锌或者粉末渗锌，热浸锌或者粉末渗锌厚度 $45\mu\text{m}$ ，应进行镀层抽样检查，合格后方可入库。

5.3.5 与主体结构连接的免焊装配式埋件系统产品加工制造工艺，应按 T/ZB 1968—2020 中的规定执行，面板背挂系统产品加工制造工艺应按 T/ZB 1966—2020 中的规定执行。

5.3.6 装配式连体插芯立柱产品，连体插芯缩颈前先检查薄壁钢管对角度、内外径与模具是否一致，突起肋头部应设有导入口确保不损伤钢管壁(保证不影响热冷作用伸缩顺畅)，缩颈处的突起肋尺寸与另一侧内壁尺寸紧配(木质榔头轻敲或人工用力可插入，应保证紧配和平直精度)，需表面涂装的应加工时应扣除涂层厚度。装配式连体插芯立柱尺寸允许偏差除执行 GB/T 6728 外，应满足 5.3.8 条、5.3.9 条规定的尺寸允许偏差。

5.3.7 装配式螺栓、螺钉、锁销等紧固件、倒榫连接件等材质选择、加工制作应符合设计要求。钢板制件外观应平整，不得有裂纹、毛刺、凹凸、翘曲、变形等缺陷；铝型材倒榫连接件外观应平整，不得有毛刺等缺陷。应满足 5.3 条所涉产品的尺寸允许偏差。紧固件未列入加工尺寸允许偏差的尺寸公差应符合相关现行标准。

5.3.8 连体插芯圆管立柱(图 2)，加工尺寸允许偏差应符合表 12 的要求。



标引序号说明：

1——连体插芯；2——插芯肋；3——芯柱一体圆柱；4——转接孔。

图2 连体插芯圆柱示意

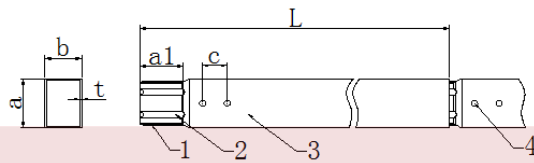
表12 连体插芯圆柱尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
柱材料长 L	+5.0 mm -2.0 mm	插芯肋导入段 h_2	-0.1 mm -1.5 mm
柱断面直径 Φ	± 1 mm	壁厚 t	± 0.5 mm

表12 (续)

项目	允许偏差	项目	允许偏差
柱管插芯长 a	+5.0 mm 0 mm	孔间距 c	±1 mm
插芯肋高 h_1	与管内径紧配	拉伸孔直径 d	+0.5 mm 0 mm

5.3.9 连体插芯矩型立柱（图3），加工尺寸允许偏差应符合表13的要求。



标引序号说明：

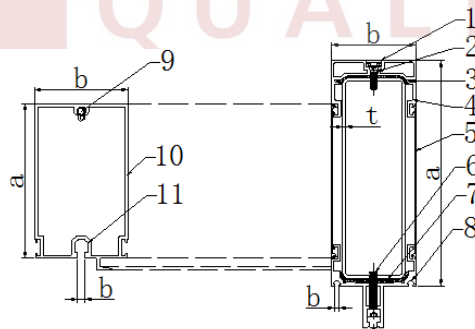
1——连体插芯；2——插芯肋；3——芯柱一体矩型立柱；4——转接孔。

图3 连体插芯矩型立柱示意

表13 连体插芯矩型立柱尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
立柱材料长 L	+5.0 mm -2.0 mm	插芯肋导入段 h_2	-0.1 mm -1.5 mm
立柱断面宽 b	±1 mm	壁厚 t	±0.5 mm
立柱断面长 a	±1 mm	孔间距 c	±1 mm
立柱插芯长 a_1	+5.0 mm 0 mm	拉伸孔直径 d	+0.5 mm 0 mm
插芯肋高 h_1	与管内径紧配		

5.3.10 连体插芯矩型大跨度立柱外包铝材，其加工尺寸（图4）允许偏差应符合表14的要求。



标引序号说明：

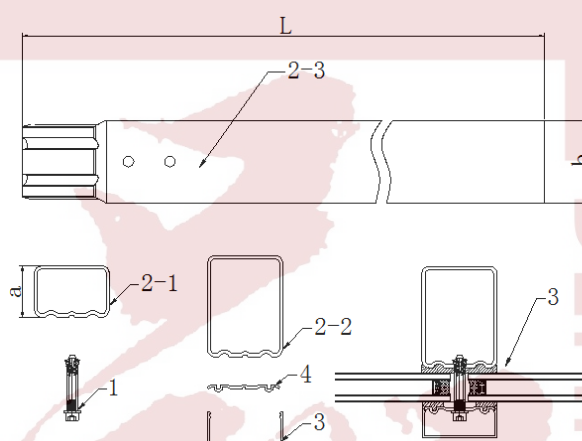
1——铝材盖板；2——沉头雷峰钉；3——防电偶腐蚀垫；4——后包铝材；5——梁位铝材压板；
6——内六角雷峰钉；7——防电偶腐蚀垫；8——前面铝材；9——B环锁销；10——横梁；11——螺母、滑块槽；
12——连体插芯立柱。

图4 外包铝材连体插芯立柱

表14 外包铝材连体插芯立柱尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
材料长 L	± 5.0 mm	插芯肋外高度 h_1	与管内径紧配
断面宽 b	± 1 mm	插芯肋导入段 h_2	-0.1 mm -1.5 mm
断面长 a	± 1 mm	壁厚 t	± 0.5 mm
拉伸孔直径 d	+0.5 mm 0 mm	孔间距 c	± 1 mm
外包铝材配合公差	实样配合约定	外包铝材尺寸公差	按现行型材标准

5.3.11 防火用插芯连体钢立柱、横梁，钢制承压板（图5），加工尺寸允许偏差应符合表15的要求。



标引序号说明：

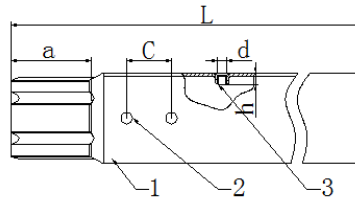
1——装配式击扩防退螺钉；2——防火梁、柱；3——铝装饰条；4——压板；5——组装。

图5 防火用插芯连体钢立柱、横梁，钢制承压板

表15 防火用插芯连体钢立柱、横梁，钢制承压板尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
材料长 L	± 5.0 mm	插芯肋外高度 h_1	与管内径紧配
断面宽 b	± 1 mm	插芯肋导入段 h_2	-0.1 mm -1.5 mm
断面长 a	± 1 mm	壁厚 t	± 0.5 mm
拉伸孔直径 d	+0.5 mm 0 mm	孔间距 c	± 1 mm
压板、扣板配合公差	紧配		—

5.3.12 连体插芯矩型立柱与横梁倒榫连接件连接的拉伸螺纹孔（图6），加工尺寸允许偏差应符合表16的要求。



标引序号说明:

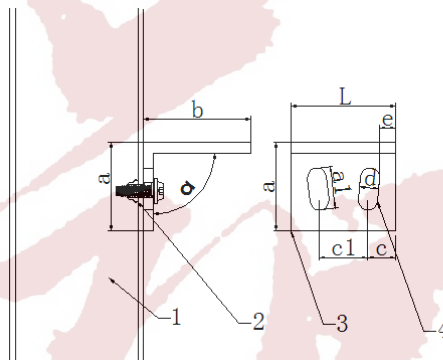
1——连体插芯矩型立柱; 2——钻孔; 3——拉伸孔。

图6 立柱连接的拉伸螺纹孔

表16 立柱连接的拉伸螺纹孔尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
孔间距 c	$\pm 1.0 \text{ mm}$	拉伸孔直径 d	$\pm 0.5 \text{ mm}$
钻孔直径 d	$\pm 0.5 \text{ mm}$	拉伸深度 h	+2 mm -1.0 mm

5.3.13 横梁倒榫连接件（图7），加工尺寸允许偏差应符合表17的要求。



标引序号说明:

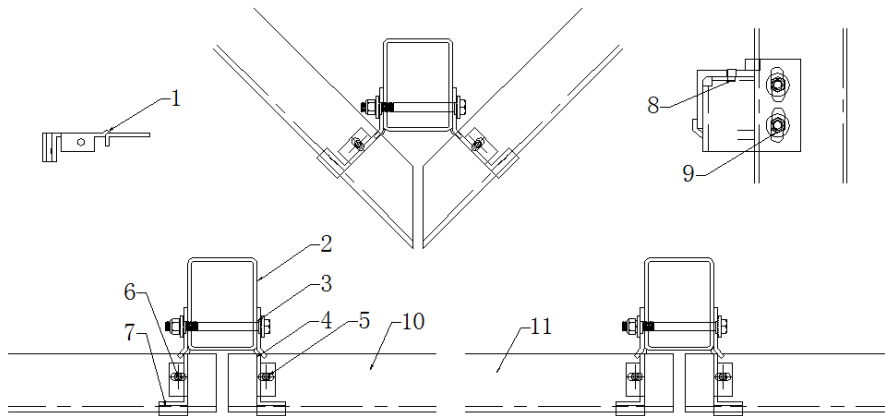
1——立柱连接件; 2——雷峰栓/钉; 3——连接件; 4——八字倒榫。

图7 横梁倒榫连接件

表17 横梁倒榫连接件尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
连接件断面高 a	$\pm 0.5 \text{ mm}$	连接件断面宽度 b	$\pm 0.5 \text{ mm}$
连接件材料长度 L	+2.0 mm -1.0 mm	孔间距 c	+1.0 mm 0 mm
孔宽度 d	+0.5 mm -0 mm	孔边距 e	$\pm 0.5 \text{ mm}$
孔长度 $a1$	$\pm 1.0 \text{ mm}$	弯曲角度 α	$\pm 2^\circ$
倒榫孔角度 α	$\pm 2^\circ$		—

5.3.14 角钢专用外挑插式连接件（图8），加工尺寸允许偏差应符合表18的要求。



标引序号说明:

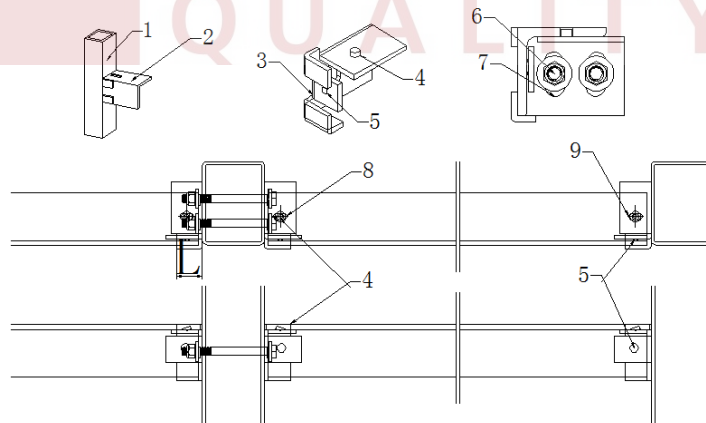
1——外挑插式连接件；2——立柱；3——穿柱雷峰栓；4——锁卡；5——活动槽孔；6——锁定圆孔；
7——厚度公差调节凸点；8——定位销钉；9——八字倒榫槽孔；10——L横梁断开；11——L横梁通常连接。

图8 角钢专用外挑插式连接件

表18 角钢专用外挑插式连接件尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
连接件材料长 L	$\pm 0.5 \text{ mm}$	连接件宽 b	$\pm 0.5 \text{ mm}$
连接件断面长 a	+2.0 mm -1.0 mm	孔间距 c	+1.0 mm 0 mm
孔宽度 d	+1.0 mm -0 mm	孔边距 e	$\pm 1.0 \text{ mm}$
孔长度 a_1	$\pm 1.0 \text{ mm}$	弯曲角度 α	$\pm 2^\circ$
倒榫孔角度 α	$\pm 2^\circ$		

5.3.15 角钢专用柱平插式连接件（图9），加工尺寸允许偏差应符合表19的要求。



标引序号说明:

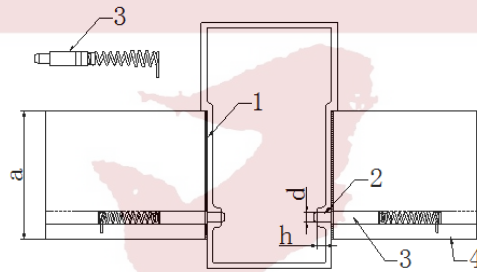
1——立柱；2——L 横梁；3——齐平插式连接件；4——定位销钉；5——厚度公差调节凸点；6——穿柱雷峰栓；
7——八字倒榫槽孔；8——锁定孔；9——活动孔。

图9 角钢专用梁柱齐平插式连接件

表19 角钢专用梁柱齐平插式连接件尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
连接件材料长 L	$\pm 0.5 \text{ mm}$	连接件宽 b	$\pm 0.5 \text{ mm}$
连接件断面长 a	+2.0 mm -1.0 mm	孔间距 c	+1.0 mm 0 mm
孔宽度 d	+1.0 mm -0 mm	孔边距 e	$\pm 1.0 \text{ mm}$
孔长度 a_1	$\pm 1.0 \text{ mm}$	弯曲角度 α	$\pm 2^\circ$
倒榫孔角度 α	$\pm 2^\circ$		—

5.3.16 可拆卸锁销式横梁连接的锁销与薄壁钢管立柱连接的拉伸孔（图 10），加工尺寸允许偏差应符合表 20 的要求。



标引代号说明：

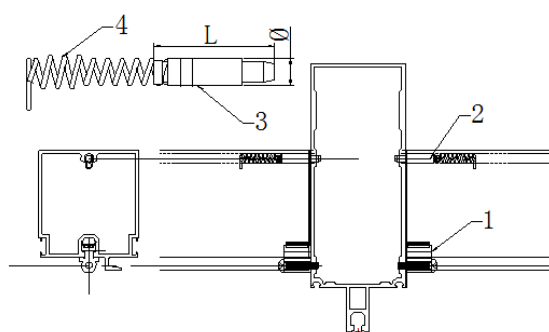
1——立柱；2——锁销孔；3——锁销；4——横梁。

图10 立柱连接的拉伸孔

表20 立柱连接的拉伸孔尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
立柱限位 a	$\pm 0.5 \text{ mm}$	锁销孔直径 d	+0.5 mm 0 mm
锁销孔边距 e	$\pm 1.0 \text{ mm}$	锁销孔拉伸高 h	+1.0 mm 0 mm

5.3.17 B环可拆卸弹簧锁销加工尺寸（图 11），允许偏差应符合表 21 的要求。采用超高性能耐蚀钢冷镦制造公差为 0.2 mm 高精度锁销，尾部设有 B 环旋鼓弹簧段的不锈钢膨胀弹簧，通过 B 环压紧拖入横梁 C 型槽内，放开 B 环即可胀锁，锁销头进入立柱孔固定和满足热冷作用的铝型材横梁连接方式，当需要拆卸时只需向减压方向拖动 B 环即可。



标引序号说明:

1——装配式滑块螺钉；2——B环可拆卸弹簧锁销；3——高精度锁销；4——B环弹簧。

图11 B环可拆卸弹簧锁销

表21 B环可拆卸弹簧锁销尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
锁销总长 L	$\pm 0.5 \text{ mm}$	锁销头直径 ϕ	0 mm -0.2 mm
锁销头长 a	$\pm 0.5 \text{ mm}$	B环弹簧线径 ϕ	$\pm 0.05 \text{ mm}$
锁销直径 ϕ	0 mm -0.05 mm	B环弹簧外径 ϕ	0 mm -0.5 mm

5.3.18 铝型材锁销槽孔尺寸（图12），允许偏差应符合表22的要求

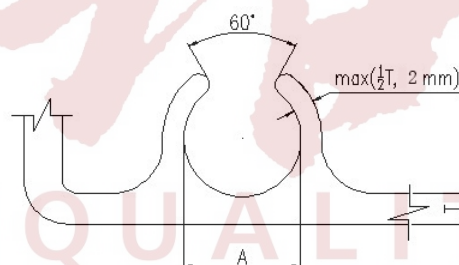
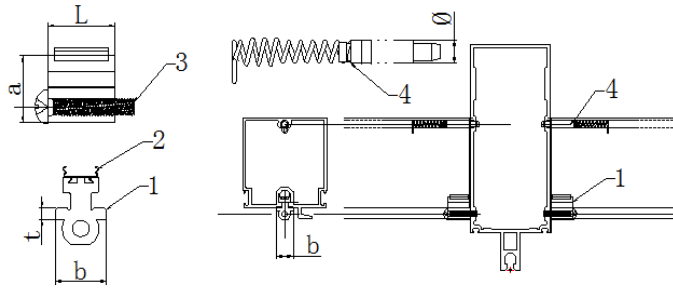


图12 铝型材锁销槽孔图

表22 铝型材槽孔与锁销配合公差带表

锁销规格	锁销	A
07	6.78 mm~6.8 mm	6.85 mm~7.0 mm
08	7.78 mm~7.8 mm	7.85 mm~8.0 mm

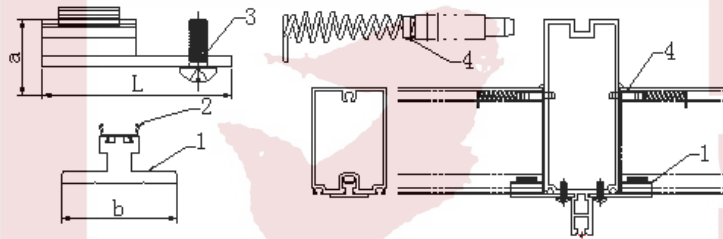
5.3.19 滑块螺钉副，螺钉采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺，当用于铝合金型材螺纹副连接时，超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透合金处理，加工尺寸（图13、图14）允许偏差应符合表23的要求。



标引依据说明:

1——测装滑块; 2——弹簧锁片; 3——防松螺钉; 4——B环弹簧锁销。

图13 装配式侧装滑块螺钉副与 B 环可拆卸弹簧锁销组合



标引序号说明:

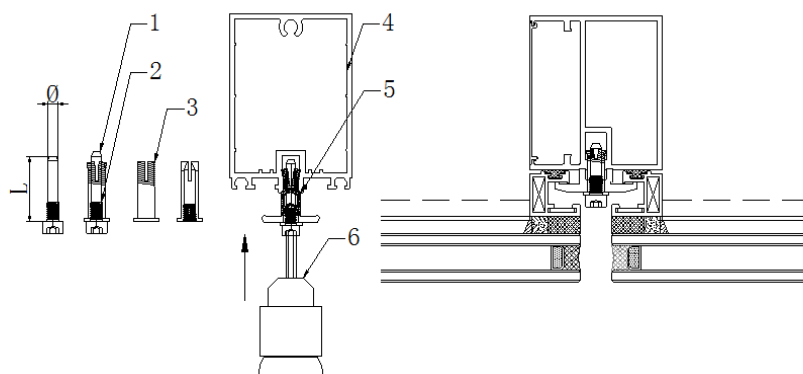
1——平行滑块; 2——弹簧锁片; 3——防松螺钉; 4——B环弹簧锁销。

图14 装配式平行滑块螺钉副与 B 环可拆卸弹簧锁销组合

表23 装配式侧装、平行滑块螺钉尺寸允许偏差

项目	允许偏差	项目	允许偏差
滑块总长 L	$\pm 0.5 \text{ mm}$	弹片厚度	+0.1 mm 0 mm
滑块截面长 a	$\pm 0.5 \text{ mm}$	弹片长度	+0.2 mm 0 mm
滑块截面宽 b	0 mm -0.2 mm	弹片宽度	0 mm -0.2 mm
滑块铣切	+0.2 mm 0 mm	弹片冲折	+0.1 mm 0 mm
滑块冲孔	+0.5 mm 0 mm		—

5.3.20 装配式击扩防退螺钉，采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺，当用于铝合金型材光孔、螺母槽连接时，超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透合金处理，加工尺寸（图 15）允许偏差应符合表 24 的要求。



标引序号说明:

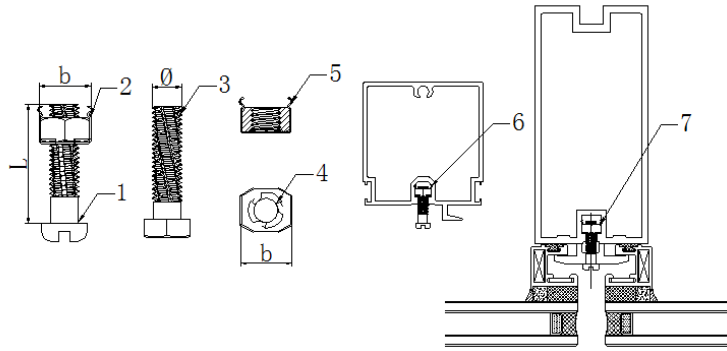
- 1 —— 击扩防松退螺钉；2 —— 均载螺纹；3 —— 防电位拆卸倒螺纹套；4 —— 柱/梁；5 —— 断热卡条；
6 —— 微冲击扭矩安装。

图15 装配式击扩防退螺钉

表24 装配式击扩防退螺钉尺寸允许偏差

部件	项目	允许偏差	部件	项目	允许偏差
击扩防松螺钉	均载螺纹	6g	防电位螺纹套	内螺纹	6H
	螺杆直径	0 mm -0.3 mm		内径	+0.3 mm 0 mm
	螺杆长度	±0.5 mm		外径	0 mm -0.3 mm
	击扩头尺寸	0 mm -0.3 mm		连接长度	0 mm -0.5 mm
尼龙垫片	孔径	+0.2 mm 0 mm		倒齿螺纹	0 mm -0.3 mm
	厚度	±0.2 mm		切割缝	0 mm -0.2 mm
	外形尺寸	0 mm -0.2 mm		双曲内锥	±0.2 mm

5.3.21 装配式槽用倒装防退螺栓副，采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺，当用于铝合金型材光孔、螺母槽连接时，超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透合金处理，加工尺寸（图16）允许偏差应符合表25的要求。



标引序号说明:

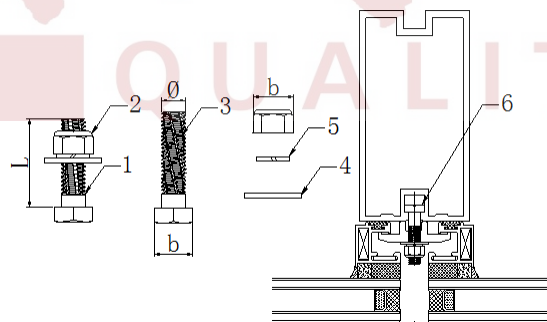
1——防退螺钉; 2——锁簧防退螺母; 3——雷峰螺纹; 4——防退锁簧; 5——弹性定位; 6——螺母槽弹性定位; 7——立柱弹性定位。

图16 装配式槽用倒装防松防退螺栓副

表25 装配式槽用倒装防退螺栓副尺寸允许偏差

部件	项目	允许偏差	部件	项目	允许偏差
雷峰螺纹螺杆	雷峰螺纹	6g	锁簧防退螺母 (带弹性定位)	内螺纹	7H
	螺杆直径	0 mm 0.3 mm		锁片尺寸	0 mm -0.2 mm
	螺杆长度	±0.5 mm		外形尺寸	0 mm -0.3 mm

5.3.22 装配式槽用顺装防退螺栓副, 采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺, 当用于铝合金型材光孔、螺母槽连接时, 超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透合金处理, 加工尺寸(图17)允许偏差应符合表26的要求。



标引序号说明:

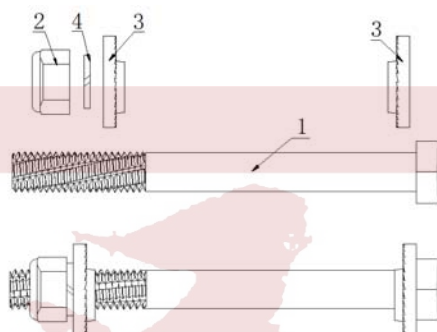
1——防退螺钉; 2——锁簧防退螺母; 3——雷峰螺纹; 4——垫片; 5——弹簧垫片; 6——螺母槽安装。

图17 装配式槽用顺装防退螺栓副

表26 装配式槽用顺装防退螺栓副尺寸允许偏差

部件	项目	允许偏差	部件	项目	允许偏差
雷峰螺纹螺杆	雷峰螺纹	6g	锁簧防退螺母	内螺纹	7H
	螺杆直径	0 mm 0.3 mm		锁片尺寸	0 mm -0.2 mm
	螺杆长度	±0.5 mm		外形尺寸	0 mm -0.3 mm

5.3.23 装配式穿柱螺栓副，加工尺寸（图 18）允许偏差应符合表 27 的要求。



标引序号说明：

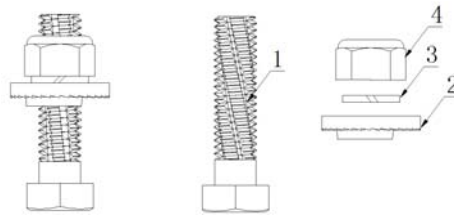
1——雷峰螺纹螺杆；2——锁簧防退螺母；3——偏调锁固垫片；4——弹簧垫片。

图18 装配式穿柱螺栓副

表27 装配式穿柱螺栓副尺寸允许偏差

部件	项目	允许偏差	部件	项目	允许偏差
雷峰螺纹螺杆	雷峰螺纹	6g	偏调锁固垫片	厚度	±0.3 mm
	螺杆直径	0 mm -0.3 mm		内径	+0.3 mm 0 mm
	螺杆长度	±0.5 mm		外径	0 mm -0.3 mm
锁簧防退螺母	内螺纹	7H	月牙榫	0 mm -0.3 mm	
	锁片尺寸	0 mm -0.2 mm		—	

5.3.24 装配式连接螺栓副(螺钉)，采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺，当用于铝合金型材光孔、螺母槽连接时，超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透处理，加工尺寸（图 19）允许偏差应符合表 28 的要求。



标引序号说明:

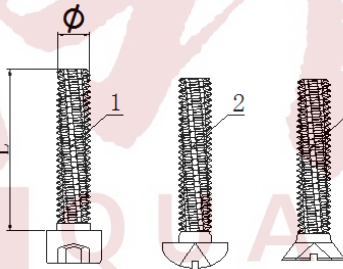
1——雷峰螺纹螺杆; 2——弹簧垫片; 3——锁簧防退螺母。

图19 装配式连接螺栓副

表28 装配式连接螺栓尺寸允许偏差

部件	项目	允许偏差	部件	项目	允许偏差
雷峰螺纹螺杆	雷峰螺纹	6g	偏调锁固垫片	厚度	±0.15 mm
雷峰螺纹螺杆	螺杆直径	0 mm 0.3mm	偏调锁固垫片	内径	±0.05 mm
	螺杆长度	±0.5 mm		外径	±0.2 mm
锁簧防退螺母	内螺纹	7H		月牙榫	±0.05 mm
	锁片尺寸	0 mm -0.2 mm		—	

5.3.25 装配式防松螺钉, 采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺, 当与铝合金型材形成螺纹副时, 超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透合金处理, 加工尺寸(图 20)允许偏差应符合表 29 的要求。



标引序号说明:

1——内六角防松螺钉; 2——圆头防松螺钉; 3——沉头防松螺钉。

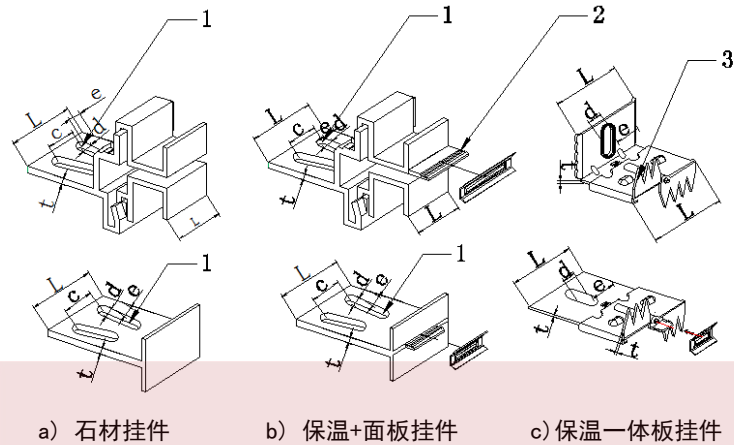
图20 装配式防松螺钉

表29 装配式防松螺钉尺寸允许偏差

部件	项目	允许偏差
雷峰螺纹螺钉	雷峰螺纹	6g
	螺杆直径	0 mm 0.3 mm
	螺杆长度	±0.5 mm

5.3.26 免焊装配式金属槽(扣)式组合挂件的加工精度应符合下列规定:

- a) 挂件外观应平整，不得有裂纹、毛刺、凹凸、翘曲、变形等缺陷；
 b) 挂件加工尺寸（图 21）允许偏差应符合表 30 的规定；
 c) 用于挂件的装配式锁簧防脱螺栓副时，应选用奥氏体不锈钢材料进行加工。



标引序号说明：

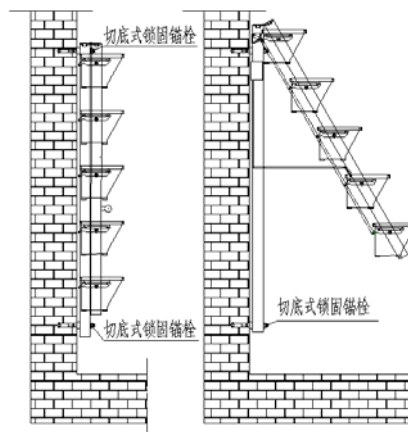
1——八字倒榫槽孔；2——复合板倒齿锁卡；3——保温板扣齿。

图21 金属槽(扣)式组合挂件

表30 金属槽(扣)式组合挂件尺寸允许偏差

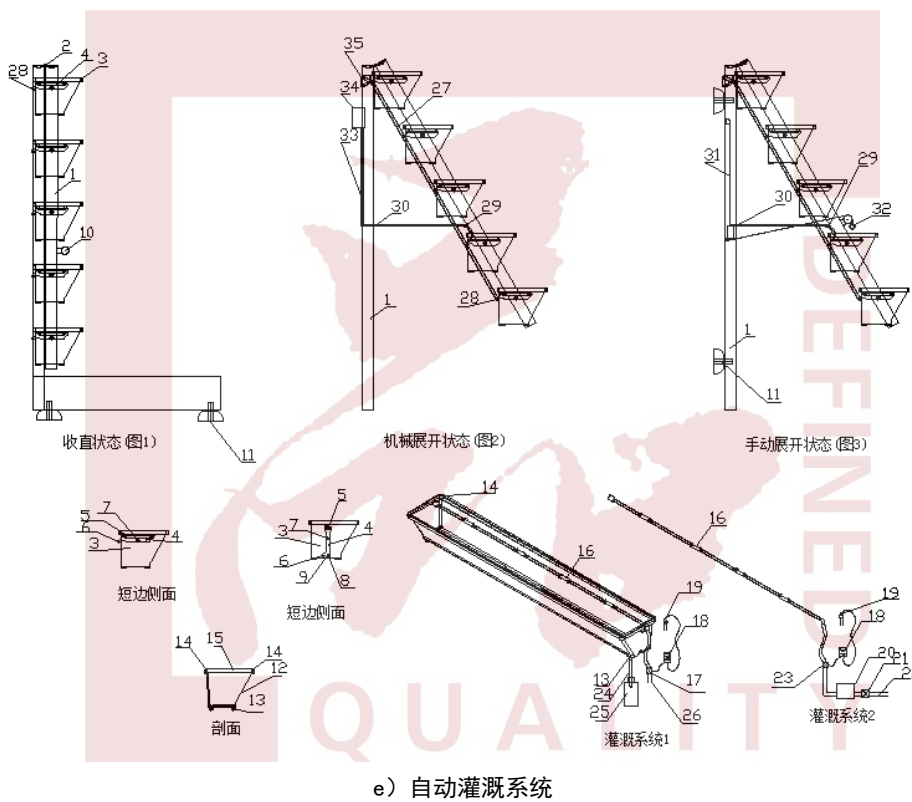
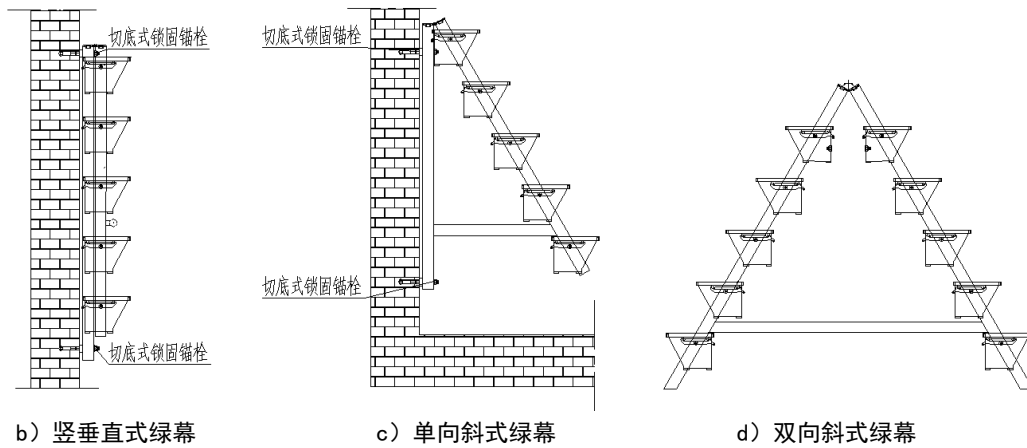
项目	允许偏差	项目	允许偏差
连接件宽度 a	+2.0 mm 0 mm	孔边距 e	+1.0 mm 0 mm
连接件长度 b	+2.0 mm -2.0 mm	壁厚 t	+0.5 mm 0 mm
孔间距 c	+1.0 mm 0 mm	孔宽度 d	+1.0 mm 0 mm

5.3.27 免焊装配式绿幕种植机采用装配式螺栓和防松螺钉固定（图 22），加工尺寸允许偏差应符合表 31 的规定。具备免除焊接的装配式抗风振、抗地震、防松锁固功能和拆卸功能。



a) 活动支承式绿幕

图22 免焊装配式绿幕种植机



标引代号说明:

- | | | | |
|-----------------|---------------|----------------|----------------|
| 1 —— 立柱支撑杆; | 2 —— 封盖; | 3 —— 长槽盆; | 4 —— 长槽盆支座; |
| 5 —— 长槽盆支点; | 6 —— 连杆安装孔; | 7 —— 长槽盆转动孔; | 8 —— 长槽盆止转孔; |
| 9 —— 长槽盆止转螺丝; | 10 —— 附杆连接点; | 11 —— 花架固定座; | 12 —— 长槽盆加强筋; |
| 13 —— 长槽盆废水排出孔; | 14 —— 防虫网卡点; | 15 —— 防虫网安装孔; | 16 —— 滴水装置; |
| 17 —— 湿度检测器; | 18 —— 电源控制开关; | 19 —— 电源插头; | 20 —— 增压水泵; |
| 21 —— 进水阀; | 22 —— 进水管; | 23 —— 出水阀; | 24 —— 废水管; |
| 25 —— 废水收集盆; | 26 —— 湿度感应插头; | 27 —— 长槽盆统一联杆; | 28 —— 联杆连接孔; |
| 29 —— 附杆连接绞链; | 30 —— 撑杆绞链; | 31 —— 钢索; | 32 —— 附杆钢索固定点; |
| 33 —— 电动联杆; | 34 —— 展开控制开关; | 35 —— 绞链; | |

图22 (续)

表31 免焊装配式绿幕种植机尺寸允许偏差

部件	项目	允许偏差	部件	项目	允许偏差
碳素盆	长度	0 mm -5 mm	自动滴灌	迷宫	±2 mm
	上下宽	±2 mm		滴控	+0.5 mm 0 mm
	高度	±2 mm		闭合	0 mm -0.2 mm
	厚度	+0.5 mm 0 mm		管接	0 mm -0.2 mm
盆挂件	挂钩	盆挂点配合	湿度感应插头	黄金层	±0.1 mm
	厚度	0 mm -0.5 mm		外形尺寸	±0.5 mm
盆挂件	外形尺寸	±2 mm	湿度感应插头	线径	+0.5 mm 0 mm
活动铰接	插件	型材紧配	控制器外壳	电路板孔	+0.5 mm 0 mm
	销钉	配合可转		显示位尺寸	与显示屏配合
	外形尺寸	±2 mm		外形尺寸	±1 mm

注：电源控制、增压水泵、进水管、废水收集盆等外购件按相关标准执行和检测。

5.4 检验检测

5.4.1 实验室或测试中心应配置检测设备

生产制造企业应设有实验室或测试中心，具备原材料进厂、产品生产和出厂环节的外观质量、尺寸要求、材料化学成分、力学性能、内外螺纹、涂层厚度的检测能力。应配置检测设备如下：

- a) 直读光谱仪；
- b) 万能液压拉力测试仪；
- c) 盐雾试验箱；
- d) 高温试验箱；
- e) 洛氏硬度仪；
- f) 便携式液压拉力测试仪；
- g) 扭矩测力仪；
- h) 静载测试台；
- i) 涂层测厚仪；
- j) 电化学工作站或者恒电位仪(含 0 阻电流)；
- k) 常用测量工具(螺纹通规止规、卷尺、游标卡尺、千分卡)；
- l) 背栓、螺栓、埋件、支承结构组件试验夹具。

5.4.2 实验室或测试中心建议配置检测设备

进行紧固件防松防退性能，以及所涉产品高低温循环性能、低温性能、镀层渗透金相、金属品成分与组织金相、力学性能试件金相、冲击弯性能的高质量检测分析能力，具体适配检测设备：

- a) 电液式紧固件体型波横向振动试验台；
- b) -40℃冷冻箱；
- c) 金相检测仪；
- d) 摆锤冲击试验机。

5.4.3 生产制造常规进厂出厂检验

5.4.3.1 原材料进厂应进行外观质量、尺寸要求、材料化学成分、力学性能、涂层厚度的检验。

5.4.3.2 生产制造流程中，应对产品的外观质量、尺寸要求、材料化学成分、机械性能、内外螺纹、涂层厚度，按生产批次进行检验。

5.4.3.3 产品出厂合格证是生产制造企业对所生产产品检验检测流程的结果，生产制造企业应具备通过 9001 质量体系认证的“产品设计、生产工艺、生产设备、检测设备”条件，检验员在具备原材料、成品的严格检验合格后，方可在合格证上加盖检验出厂合格章。

5.4.3.4 对不合格产品应销毁商标、标志标记，对可能出现废品回收环节流入市场的产品应进行必要处理后，才可废品出售。

5.5 其它要求

5.5.1 制造企业应具有固定的生产场所，严格执行工业品制造要求，生产型营业执照中应符合本文件所涉及相对应产品的允许经营条件，并在有效期内生产制造经营范围内生产销售本文件产品。

5.5.2 产品包装、产品钢印或印刷品严格执行本文件标志、标记制度。

5.5.3 产品生产，必须严格执行相关环境保护，满足环保要求，具备排污许可证和经过环保验收许可。

5.5.4 涉及安全要求较高的背栓副、螺栓副及配套背挂件的螺母、螺杆、锁键、偏心垫片、倒榫孔件应严格控制可靠配合性能，应是同一厂家制造生产。

6 技术要求

6.1 外观质量

所生产支承结构件的外观质量，产品表面光洁无毛刺，除允许有凹坑、突起、压痕、发纹、擦伤、拉伸痕迹的轻微瑕疵外，表面不得有气泡、裂纹、结疤、折叠、夹杂、断面分层。

6.2 尺寸公差

所生产支承结构件的尺寸公差，除允许有的冲压或拉伸形成的尺寸变化外，应符合5.3工艺允许公差要求，不得有影响使用的瑕疵。

6.3 机械性能

6.3.1 锚栓、埋件、结构的力学机械性能，符合 T/ZB 1968—2020 中的规定；背栓及背挂系统力学机械性能符合 T/ZB 1966—2020 中的规定。

6.3.2 插芯连体立柱组成的支承结构系统应符合现行 GB/T 21086、JGJ 133、JGJ 336、JGJ 255 中执行的国家标准 GB/T 6728 力学机械性能要求。

6.3.3 有电动工具装配化要求的不锈钢、超高性能耐蚀钢锚栓副、螺栓副、螺栓、螺钉紧固件产品，应符合 GB/T 3098.13 的试验要求和表 32 的要求下，具有防咬死功能。

表32 不锈钢、超高性能耐蚀钢紧固件防咬死试验用加载扭矩、反弹力负荷表

公称直径	最低保证荷载		轻荷载		标准荷载		重荷载	
	扭矩 N·m	负荷 N	扭矩 N·m	负荷 N	扭矩 N·m	负荷 N	扭矩 N·m	负荷 N
M6	9.0	137	10.0	191	11.0	284	12.0	421
M8	21.0	205	24.0	343	27.0	500	30.0	755
M10	42.0	313	48.0	657	54.0	784	60.0	1 176
M12	80.0	490	90.0	823	100.0	1 225	110.0	1 833
M16	190	961	220.0	1 620	250.0	2 402	280.0	3 599

6.3.4 支承结构系统连接用紧固件产品，应依据 GB/T 10431，符合本文件给定的振幅参数(表 33)、夹紧力(表 34)、可靠抗震防松防退功能条件(表 35)、试验与评定方法(见附录 B)，进行紧固件防松防退试验。

紧固件横向振动试验振幅，应符合表33要求。

表33 碳钢/不锈钢(超高性能耐蚀钢)标准螺纹紧固件试验振幅参数表

试件名称	试验振幅/mm				
	70级	8.8(80)级	9.8级	10.9级	12.9级
M5	±0.38	±0.38	±0.42	±0.46	±0.5
M6	±0.45	±0.45	±0.5	±0.55	±0.6
M8	±0.6	±0.6	±0.66	±0.73	±0.8
M10	±0.75	±0.75	±0.83	±0.91	±1.0
M12	±0.9	±0.9	±1.0	±1.1	±1.2
M14	±1.05	±1.05	±1.16	±1.28	±1.4
M16	±1.2	±1.2	±1.33	±1.46	±1.6
M18	±1.35	±1.35	±1.5	±1.64	±1.8
M20	±1.39	±1.39	±1.54	±1.73	±1.85
M22	±1.42	±1.42	±1.58	±1.78	±1.9
M24	±1.5	±1.5	±1.67	±1.83	±2.0
M27	±1.5	±1.5	±1.67	±1.83	±2.0
M30	±1.5	±1.5	±1.67	±1.83	±2.0

注1：本表依据GB/T 10431附录B给出的12.9级紧固件振幅，增加8.8级、9.8级10.9级，和不锈钢70级、80级。
注2：低强度紧固件的轴芯疲劳伸长率较大，故不推荐抗拉强度 $R_{m,min}$ 小于700 MPa的紧固件进行本防松防退试验项目。

紧固件横向振动试验夹紧力，应符合表34要求。当试验用预夹紧力值取自于GB/T 3098的保证荷载值 K_p 预夹紧力按公式(5)计算；当试验用预夹紧力值取自于GB/T 3098的抗拉强度 $R_{m,min}$ 时，预夹紧力按公式(6)计算。

$$T_p = \frac{K_p}{\eta} \dots\dots\dots (5)$$

$$T_p = \frac{A_s \times R_m}{S_p} / \eta \dots\dots\dots (6)$$

式中

- T_p ——试验预夹紧力, N;
- K_p ——紧固件保证荷载值, N;
- A_s ——螺纹截面积, mm²;
- R_m ——抗拉强度, min/N;
- S_p ——保证应力, MPa;
- η ——调正系数, 取 2.0。

表34 碳钢/不锈钢(超高性能耐蚀钢)标准螺纹紧固件试验夹紧力参数表

试件名称	试验预夹紧力 T_p				
	N				
	70 级	8.8(80)级	9.8 级	10.9 级	12.9 级
M5	4 470	4 115	4 615	5 900	6 900
M6	5 287	5 800	6 550	8 350	9 750
M8	9 600	10 600	11 900	15 200	17 750
M10	15 225	16 850	18 850	24 050	28 150
M12	22 129	24 450	27 400	35 000	40 900
M14	30 188	33 350	37 800	47 750	55 750
M16	41 250	45 500	51 000	65 000	76 000
M18	50 250	57 500	64 800	79 500	93 000
M20	64 500	73 500	82 688	101 500	119 000
M22	79 500	91 000	102 263	126 000	147 000
M24	92 625	106 000	119 138	146 500	171 000
M27	120 488	137 500	154 913	190 500	222 500
M30	147 262	168 500	189 338	233 000	272 000

注1: 本表依据GB/T 10431附录B给出的12.9级紧固件夹紧力, 增加8.8级、9.8级10.9级, 和不锈钢70级、80级。
注2: 低强度紧固件存在的轴芯疲劳伸长率较大, 故不推荐抗拉强度 $R_{m, min}$ 小于700 MPa的紧固件进行本防松防退试验项目。

紧固件横向振动试验次数, 应符合表35要求。

表35 紧固件可靠抗震防松防退功能条件 af

适用条件	紧固件适用条件类别			
	A 级	B 级	C 级	D 级
6 度地震设防	√	√	√	√
7 度地震设防	√	√	√	—
8 度及 8 度以上地震设防	√	—	—	—

表35 (续)

适用条件	紧固件适用条件类别			
	A级	B级	C级	D级
9级及9级以下季风区域	√	√	√	√
10级及10级以上季风区域	√	√	—	—
台风区域	√	—	—	—
龙卷风区域	√	—	—	—
有振动建筑	√	√	√	√
高于5m室内装饰	√	√	√	√
通过地震试验认证和经体型波横向振动试验建筑钢结构为15 000次、建筑幕墙为12 500次认证, 等级: A; 通过地震试验认证和经体型波横向振动试验建筑钢结构为12 000次、建筑幕墙为10 000次认证, 等级: B; 通过地震试验认证和经体型波横向振动试验建筑钢结构为9 000次、建筑幕墙为7 500次认证, 等级: C; 通过地震试验认证和经体型波横向振动试验建筑钢结构为6 000次、建筑幕墙为5 000次认证, 等级: D。 注: √表示紧固件适用的应用条件。有振动建筑包括受车辆、列车、轨道交通等制动、振动影响的沿街建筑、车站、码头等。				

6.3.5 支承结构系统产品应符合 GB 50011 要求, 并依据 GB/T 18575 或 JGJ 101 要求, 进行足尺地震试验, 试验地面加速度应符合不小于建筑幕墙 1/180 的层间位移, 取脆性板材连接, 符合不小于表 36 基本地震加速度要求, 进行结构模型设计、试件设计、试验数据分析、结论的抗震专业认证。

表36 设计抗震设防烈度与基本地震加速度对照表

抗震设防烈度	6度	7度	8度	9度	9度以上
基本地震加速度	0.10 g	0.15 g	0.30 g	0.40 g	0.6 g

7 试验方法

7.1 产品检验

支承结构系统产品外观质量检验, 通过目测或样品比对的方法进行检验。

7.2 尺寸公差

支承结构系统产品的尺寸、形位公差, 通过精度为0.02 mm的游标卡尺或其它计量器具进行检验; 螺纹用螺纹通止规、塞规进行检验。

7.3 机械性能

7.3.1 锚栓、埋件、锚固(植筋)胶力学机械性能, 按 T/ZZB 1968—2020 中的规定进行检验; 背栓及背挂系统力学机械性能, 按 T/ZZB 1966—2020 中的规定进行检验。

7.3.2 对插芯连体立柱的支承结构系统产品力学机械性能, 按现行幕墙规范要求和国家标准 GB/T 6728。进行模拟三个楼层的挠度和应变值机械性能试验, 采用专用试验支架进行试验(图 23)。

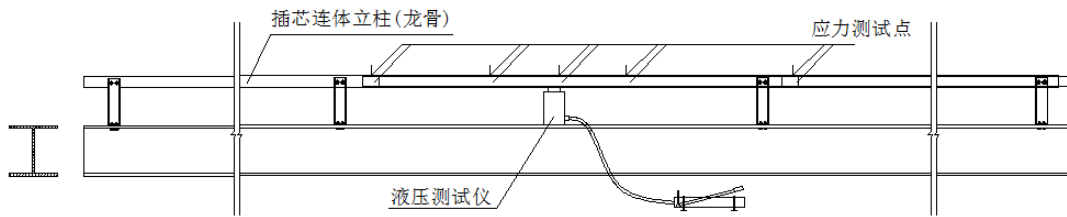


图23 插芯连体立柱的支承结构系统专用试验支架示意图

7.3.3 有电动工具装配化要求的不锈钢、超高性能耐蚀钢紧固件产品，按现行国家标准 GB/T 3098.13 中规定的试验方法，采用扭转试验机，输入表 32 的所需数据。其中室内装饰工程用的紧固件产品应符合表 32 中在施加弹簧的最低保证荷载下，速度 1250 转/min，进行正反转连续循环不小于 6 次的防咬死试验；对应用于建筑幕墙和外装饰用的紧固件产品应符合表 32 中在施加弹簧的轻荷载或标准荷载下，进行不小于 6 次防咬死连续循环试验。

7.3.4 支承结构系统用紧固件产品，按 GB/T 10431 中的规定，采用可输入风压体型波的横向振动试验设备，按表 33 中规定的试验振幅、表 34 中规定的试验夹紧力、表 35 中规定的试验振动次数，进行检验。

7.3.5 支承结构系统产品按现行 GB 50011 要求，并按 GB/T 18575、JGJ 101，进行足尺地震试验认证（针对企业产品的至少一次专业认证试验）。

8 检测规则

8.1 检验分类

检验分为出厂检验、型式检验。

8.2 出厂检验

8.2.1 抽样方法以批次随机抽样，紧固件外观质量、尺寸公差各抽 30 件；支承结构件外观质量、尺寸公差各抽 10 件。

8.2.2 出厂检验项目及检验规则按表 37 规定。

表37 出厂检验项目及检验规则

检验项目	技术要求	试验方法
外观质量	6.1	7.1
尺寸公差	6.2	7.2

8.2.3 出厂检验组批，由相同批次原材料、相同生产工艺，连续生产或同一班次生产的均匀一致的产品为一个生产批次。

8.2.4 出厂检验判定规则为表 37 中项目全部合格，判定为合格。如不符合，应在原样中加倍取样复验，复验结果全部合格，则判该批次产品合格。如复验结果仍有试验不合格，则判该批次产品不合格。

8.3 型式检验

8.3.1 当遇到下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品鉴定；

- b) 正式生产后，产品的设计、材料、工艺、生产设备、管理等方面有较大改变；
- c) 正常生产后，每隔 5 年进行定期性检验；
- d) 出厂检验结果与上次型式检验有较大差异；
- e) 老产品转厂生产或产品停产一年以上恢复生产；
- f) 产品质量监督机构要求进行检验。

8.3.2 型式检验项目包括：

- a) 外观质量，按本文件的 6.1、7.1 检验。
- b) 尺寸公差，按本文件的 6.2、7.2 检验。
- c) 机械性能，按本文件的 6.3、7.3 检验。

8.3.3 型式试验样品数量为外观质量抽 3 件~5 件；尺寸公差抽 3 件~5 件；机械性能抽 3 件~5 件。

8.3.4 型式试验判定规则为所检项目全部合格，判为合格。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

9.1.1 标签

由包装盒上的标签标明，标签应标志下列内容：

- a) 规格或代号；
- b) 材料类别；
- c) 制造厂的有效商标(OEM、ODM 委托制造用商标，应在合同中注明和委托方提供注明商标使用范围的授权书)；
- d) 生产日期或批识标志；
- e) 有国家、行业、省级绿色认证的印上绿色认证标志；
- f) 有国家、行业、省级建设工程推广、新产品推广认证的印上推广认证标志。

9.1.2 包装件

包装件按订单或客户需求，无特殊要求时，包装上应顺序标志以下内容：

- a) 执行标准编号；
- b) 制造厂的名称或有效商标(OEM、ODM 委托制造用名称、商标，应在合同中注明和委托方提供注明名称、商标使用范围的授权书)；
- c) 产品的名称；
- d) 材料级别；
- e) 批识标志；
- f) 数量；
- g) 包装日期。

9.2 包装

检验合格的产品包装按该产品客户对产品包装的具体要求包装，其包装标志应符合GB/T 191《包装储运图标志标准》包装储运图示标志的规定。

9.3 贮存

贮存产品的场所应通风，周围禁止酸、碱物堆放，应标志堆放货物的高度界限。

9.4 运输

包装件允许用任何方式运输，但应按外包装件规定的包装储存图示标志要求搬动、堆放、运输。

10 质量承诺

10.1 一般要求

在规定的存储、运输、使用条件下，对采用符合本文件生产的产品，严格执行GB/T 14436规定。

10.2 产品主控项保证

10.2.1 本文件中涉及安全要求较高的可靠配合性能产品的主控项目按表 38，承诺 100%为企业(含子公司)生产。

表38 主控项目表

序号	紧固件	备注	序号	支承结构	备注
1-1	螺杆	冷镦、滚牙	2-1	芯柱连体钢管	制管、缩管、冲孔
1-2	螺母	冷镦、攻牙、压片	2-2	横梁	冲孔、折弯
1-3	承力锁件	冷镦锻造	2-3	连接件	冲孔、折弯
1-4	偏心垫片	冷镦锻造			

10.2.2 出具产品质量承诺保证书。包含紧固件产品“防咬死措施”，“防松防退”，适用气候环境条件和区域环境条件的等级，满足全寿命期且在保证书中明确。

10.2.3 为产品提供注明工程名称的保险公司质量保险承诺 15 年。

10.3 售前售后服务

10.3.1 为监管、建设、设计、监理、施工等客户，免费提供售前的产品构造设计、计算、使用等应用性技术培训。对产品售后提供免费技术培训和现场应用性指导。

10.3.2 对销售的产品保证在 5 年内保留制造模具备用。

附录 A

(规范性)

免焊装配式支承结构构造与设计要求

A.1 一般要求

A.1.1 免焊装配式幕墙支承结构应具有规定的承载能力、刚度、稳定性和适应主体结构的位移能力。采用紧固件等连接的幕墙构件，应有可靠的防松防退、防滑、防长期轴力疲劳、防不锈钢螺栓螺纹破坏性咬死措施，应采用免电焊具有防松、防滑、可调可拆、锁持的紧固件和连接方式固定。

A.1.2 免焊装配式连体插芯的钢型材与铝型材立柱，与铝型材组合形成的横梁、立柱，采用锁销、滑块连接时，采用抗弯矩结构计算。

A.1.3 免焊装配式幕墙支承结构应根据传力途径对幕墙面板、支承结构、连接件与锚固件等依次进行结构设计，确保幕墙的结构安全。幕墙面板与其支承结构、幕墙支承结构与主体结构之间均应具有相对位移能力和防止疲劳性滑移、松动的锁持能力。

A.1.4 免焊装配式幕墙支承结构构件应按各效应组合中的最不利组合进行结构设计。

A.1.5 免焊装配式幕墙支承结构及构造应进行抗震设计和计算分析，抗震设防的幕墙，在满足抗风设计要求的基础上，还应符合现行国家标准GB 50011中对建筑非结构构件的抗震设计要求。

A.1.6 免焊装配式幕墙支承结构，应按下列规定进行承载力验算和挠度验算：

a) 持久设计状况、短暂设计状况：

$$\gamma_0 S \leq R \dots\dots\dots (A.1)$$

b) 地震设计状况：

$$S_E \leq R / \gamma_{RE} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

S ——荷载按基本组合的效应设计值；

S_E ——地震作用和其他荷载按基本组合的效应设计值；

R ——构件抗力设计值；

γ_0 ——幕墙结构构件重要性系数，可取1.0；

γ_{RE} ——幕墙结构构件承载力抗震调整系数，可取1.0。

c) 挠度应符合下式要求：

$$d_f \leq d_{f,lim} \dots\dots\dots (A.3)$$

式中：

d_f ——构件在风荷载标准值或永久荷载标准值作用下产生的挠度值；

$d_{f,lim}$ ——构件挠度限值。

d) 双向受弯的杆件，两个方向的挠度均应符合本条中c)的规定。

A.1.7 当面板相对于横梁有偏心时，支承结构设计时应考虑重力荷载偏心产生的不利影响。

A.1.8 建筑幕墙使用不锈钢螺栓副紧固件时，设计有钝化要求的，表面应经符合GB/T 5267.4的规定的钝化处理；与超高性能耐蚀钢连接时应使用超高性能耐蚀钢螺栓副紧固件；与铝合金材料连接的应使用经高温渗入合金处理电位量相近的超高性能耐蚀钢螺栓副紧固件。

A.1.9 双金属、多金属连接的产品设计时，应考虑电偶腐蚀，具体产品设计要求：铝合金型材与超高性能耐蚀钢之间，表面未经高温渗锌合金时，应设防电化学绝缘层；铝合金材料与经表面高温渗锌合金的超高性能耐蚀钢螺钉之间，形成螺纹副时，应进行设计寿命和使用区域的双金属电偶腐蚀进行试验认证和公式进行计算，也可按本文件简化表A.1取值，产品生产商应提供符合表9取值条件的超高性能耐蚀钢合金材质、表面合金层电位量认证报告。铝合金型材为母螺纹时，不应使用自攻自钻螺钉(含双金属摩擦焊)的连接螺纹副产品。宜采用电位量相近处理的表面高温渗锌合金的超高性能耐蚀钢装配式击扩防退螺钉，或铝合金经攻丝后采用电位量相近处理的表面高温渗锌合金的超高性能耐蚀钢螺钉连接。产品不得用铝螺母和不锈钢螺杆组成双金属螺纹副。

铝型材与螺钉组合的螺纹副设计使用寿命年限电偶腐蚀后螺纹高度 K_{Cl} 按公式(A.4)计算，并应当满足公式(A.5)。

$$K_{Cl} = K_{Co} - K_C \cdot K_l \cdot \Delta / \eta \dots\dots\dots (A.4)$$

$$\min = K_{Cl} / K_{Co} \geq 0.9 \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

K_{Cl} ——螺纹设计年限电偶腐蚀后螺纹高度；

K_{Co} ——螺纹标准高度（依据GB/T197普通螺纹公差）；

K_C ——电偶平均腐蚀速度的数值，单位为毫米每年（mm/a），按公式（A.6）取值；

K_l ——设计使用年限，与建筑主体连接结构取50、70、100；建筑幕墙支承结构取25、50、100；面板系统25年；

Δ ——双面螺纹牙尖型折减，公制、美标30°取2.0，英标29°取2.06；

η ——调正系数，框架式玻璃幕墙取1.0；开放式幕墙1.1；石材、金属、人造板等封闭腔幕墙（混凝土湿热碱气氛）

和单元式幕墙取1.2。

$$K_C = \frac{(W_{Co} - W_{Cl}) - W_C - W_l}{St} \theta \cdot \gamma_q \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

K_C ——电偶平均腐蚀速度，g/(m²·h)；

W_{Co} ——阳极组元偶联试样试验前重量，g；

W_{Cl} ——阳极组元偶联试样试验后重量，g；

W_C ——阳极组元对比试样试验前重量，g；

W_l ——阳极组元对比试样试验后重量，g；

S ——阳极组元试样试验表面积，m²；

t ——试验时间，h；

θ ——材料密度系数，铜1.0、钢材1.1、铝合金3.2；

γ_q ——大气分类系数，内陆城镇1.0、工业及沿海1.1、海岸线20km内和温带海岛1.2、热带及亚热带海岛1.4。

表A.1 铝合金与超高性能耐蚀钢螺钉双金属螺纹副电偶腐蚀对应表

使用年限 (t_n) (年)	表面高温渗锌合金层合金深度 (μm)							
	内陆城镇		沿海及工业		海岸线和温带海岛		热带及亚热带海岛	
	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B
25	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60
30	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60	≥50	≥60
50	≥50	≥60	≥50	≥70	≥60	—	≥70	—

表A.1 (续)

使用年限 (t_n) (年)	表面高温锌合金层合金深度 (μm)							
	内陆城镇		沿海及工业		海岸线和温带海岛		热带及亚热带海岛	
	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B	锌 A	锌 B
70	≥ 60	≥ 70	≥ 70	≥ 85	≥ 70	—	≥ 85	—
100	≥ 70	≥ 85	≥ 85	≥ 95	≥ 85	—	≥ 95	—

注1: 本表超高性能耐蚀钢螺钉为SCR-I、SCR-S、SCR-T钢种; 表中锌指含铝量0.1%~10%的锌粉末, 表中锌铝指含铝量10.1%~25%的锌铝粉末。

注2: 表面合金层深度锌A不小于50 μm , 锌B不小于60 μm 。

A.1.10 曝露于空气中的锚栓扩张件、预埋件、后置埋件及配件的产品使用于建筑幕墙或建筑外围护时, 普通碳素钢、超高性能耐蚀钢原材料厚度不得小于2.5 mm, 设计材料厚度和承载力计算时, 应考虑使用时间累计腐蚀厚度标准值 t_{10g} , t_{ne} 材料厚度设计值应按公式(A.7)计算, 按表A.2所需值, 对应使用年限计算所得余值厚度不应低于2.0 mm。

$$t_{ne} = (t - t_{10g}) / \gamma_q \geq 2.0 \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

t_{ne} ——材料厚度设计值;

t ——碳钢、超高性能耐蚀钢材料初始厚度标准值;

t_{10g} ——碳钢、超高性能耐蚀钢材料工业大气使用时间累计腐蚀厚度标准值(mm);

γ_q ——大气分类系数, 内陆城镇框架式玻璃幕墙1.0、沿海及工业框架式玻璃幕墙1.1、海岸线20km内及温带海岛框架式玻璃幕墙1.2、石材、人造板石材、金属、人造板、单元式等幕墙(除亚热带及热带海岛)取1.2、热带及亚热带海岛各类幕墙1.4。

表A.2 使用时间腐蚀速度对应表

使用年限 t 年	碳素钢腐蚀厚度 C mm	SCR-I 钢腐蚀厚度 C mm	SCR-S 钢腐蚀厚度 C mm	SCR-T 钢腐蚀厚度 C mm
1	热浸锌 衰减期	0.027	0.025	0.022
5		0.058	0.053	0.048
10		0.080	0.072	0.066
20	0.25	0.110	0.100	0.090
30	0.50	0.129	0.117	0.106
50	1.00	0.167	0.152	0.137
70	1.50	0.193	0.175	0.158
100	2.25	0.231	0.210	0.189

注1: 本表碳素钢按规范规定的热浸锌厚度为80 μm , 有认证报告的按参考报告, 无报告按本表执行。

注2: 本表超高性能耐蚀钢为裸钢, 产品生产厂商需提供满足本表的认证报告。

注3: 超高性能耐蚀钢表面设有锌合金用途于电偶腐蚀按5.1.15执行, 用途于大气防腐时有认证报告的按参考报告, 无报告按本表裸钢执行。

注4: 超高性能耐蚀钢表面设有涂料、防火涂料时, 有认证报告的按参考报告, 无报告按本表裸钢执行。

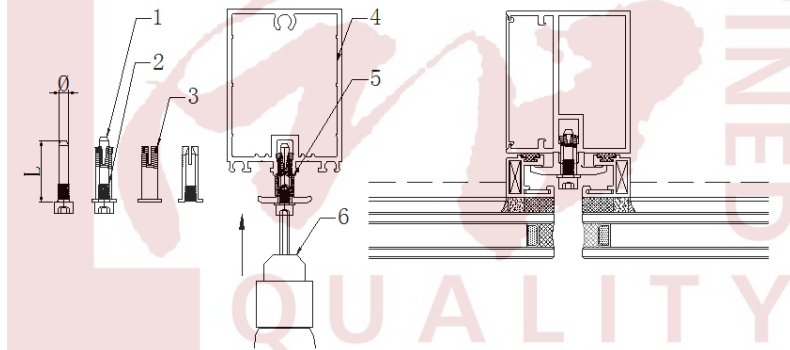
A. 1. 11 绿色植物盆免焊装配式连接结构体系的设计时,有护栏的阳台、女儿墙处、底层垂直安装高度不超过4 m或40 %坡度以下不超过6米的,可以采用卸式植物盆装配化结构,其余墙面均采用锁固方式可靠连接。

A. 2 免焊装配式横梁构造

A. 2. 1 免焊装配式横梁构造设计,在免于电焊或者无电焊辅助下,通过紧固件及榫接原理,实现持久性可靠连接,使支承结构免遭施工过程外加的腐蚀伤害,并在设计使用年限内具有良好的锁持防松,螺钉具有相近的电位值,可防双金属、多金属电位的腐蚀。

A. 2. 2 横梁截面主要受力部位的厚度应符合下列规定:

- a) 截面的宽厚比应符合国家现行标准 GB 50017、GB 50018 和 GB 50429 的有关规定;
- b) 当横梁跨度不大于 1.2 m 时,铝合金型材截面主要受力部位的厚度应不小于 2.0 mm;当横梁跨度大于 1.2 m 时,其截面主要受力部位的厚度应不小于 2.5 mm。铝合金型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受拉、压连接时,应进行螺纹受力计算。型材作为螺纹副连接时,型材的螺纹副处局部加厚部位的壁厚不应小于螺杆直径,宽度不应小于 13 mm,并且应采用防松防退的相近电位值的超高性能耐蚀钢螺钉;
- c) 碳钢型材截面主要受力部位的材料厚度不应小于 3.5 mm,超高性能耐蚀钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于 2.5 mm;
- d) 当钢型材、铝型材低螺母槽、光孔等连接为受拉、受压连接时,应采用装配式超高性能耐蚀钢击扩防退螺钉副连接,超高性能耐蚀钢紧固件表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌合金处理(图 A. 1);



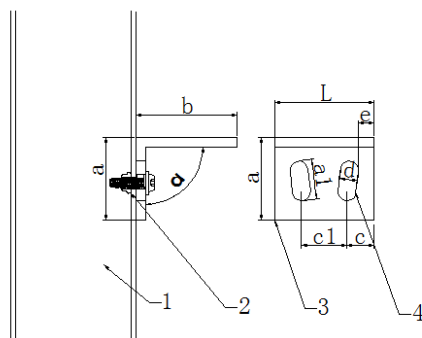
标引序号说明:

- 1 —— 击扩防松螺钉; 2 —— 均载螺纹; 3 —— 防电偶腐蚀拆卸倒螺纹套; 4 —— 柱/梁; 5 —— 断热压条;
6 —— 微冲击扭矩安装。

图A. 1 装配式击扩防退螺钉副

A. 2. 3 幕墙横梁采用免焊装配式倒榫槽连接件时,应符合下列要求:

- a) 免焊装配式倒榫槽连接件,应设有牢固、倒榫槽应配带有偏调垫片的锁固螺栓,满足无电焊辅助下可持久受力,不下滑的可靠连接(图 A. 2);



标引序号说明:

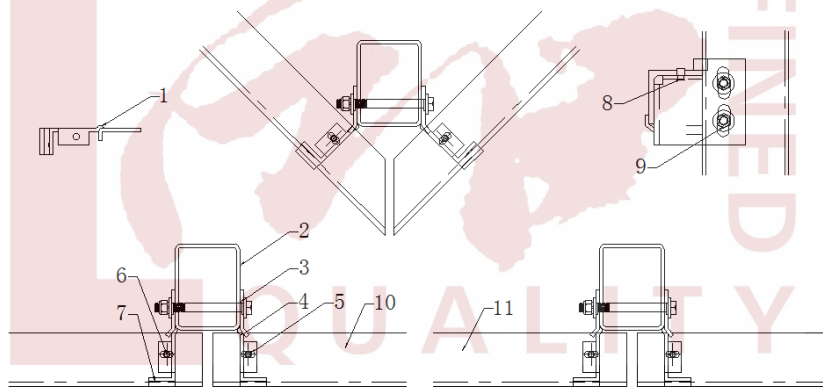
1——立柱连接件；2——雷峰栓/钉；3——连接件；4——八字倒榫。

图A.2 横梁倒榫连接件

- b) 横梁与立柱的连接采用免焊装配式锁固螺栓或螺钉连接时，其每个连接点应不少于 2 个，当横梁为开口型材时不少于 3 个；
- c) 当受拉、受拉剪的螺钉与厚度小于 3.5 mm 的薄壁钢管立柱连接安装时，应采用拉伸内螺纹孔方式安装，采用增加螺纹圈数连接，提高可靠度；当采用免焊装配式盲孔偏调锁固型螺栓时，设计时应注有采用专用电动扭矩扳手安装。

A.2.4 角钢横梁采用角钢专用外挑插式连接件，应符合下列要求：

- a) 应设有牢固、倒榫槽应配带有偏调垫片的锁固螺栓，满足无电焊辅助下可持久受力，不下滑的可靠连接(图 A.3)；



标引序号说明:

1——外挑插式连接件；2——立柱；3——穿柱雷峰栓；4——锁卡；5——活动槽孔；6——锁定圆孔；

7——厚度公差调节凸点；8——定位销钉；9——八字倒榫槽孔；10——L横梁断开；11——L横梁通常连接。

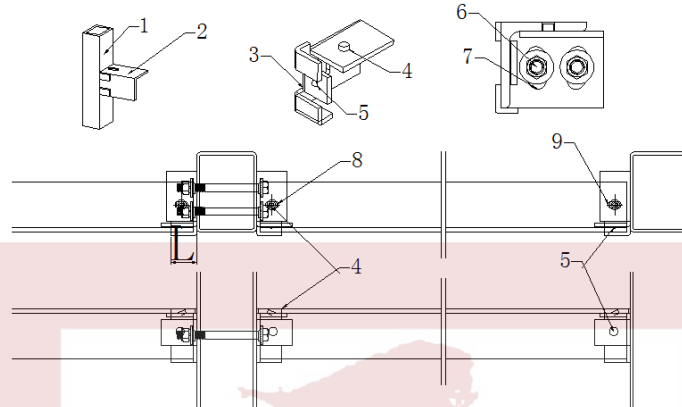
图A.3 角钢专用外挑插式连接件

- b) 横梁与立柱的连接采用免焊装配式锁固螺栓或螺钉连接时，其每个连接点应不少于 2 个，并设有提高强度的防侧风压的加强肋；
- c) 当受拉、受拉剪的螺钉与厚度小于 3.5 mm 的薄壁钢管立柱连接安装时，应采用拉伸内螺纹孔方式安装，采用增加螺纹圈数连接，提高可靠度；当采用免焊装配式盲孔偏调锁固型螺栓时，设计时应注有采用专用电动扭矩扳手安装；
- d) 设有材料线膨胀系数的活动定位孔，定位孔至少有一处为固定；当外挑插式横梁为中间固定，单侧长度不大于 3 000 mm，往两侧伸展段设有可伸缩滑动限位；

- e) 连接件设有扳弯防跳、固定的锁卡时，应采用有高韧性的超高性能耐蚀钢；
- f) 连接件设有可调节角钢厚度公差措施，保证插入口紧配；
- g) 连接件应设有以立柱外侧作依靠的防倾斜措施。

A.2.5 角钢横梁采用角钢专用柱平插式连接件，应符合下列要求：

- a) 应设有牢固、倒榫槽应配带有偏调垫片的锁固螺栓，满足无电焊辅助下可持久受力，不下滑的可靠连接(图 A.4)；



标引序号说明：

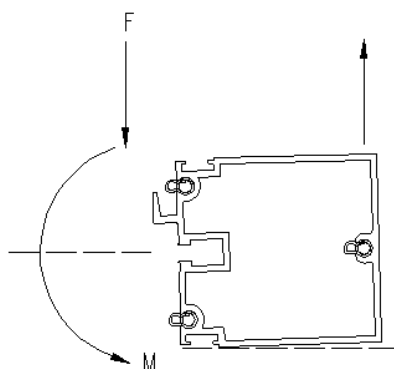
- 1——立柱；2——L 横梁；3——齐平插式连接件；4——定位销钉；5——厚度公差调节凸点；6——穿柱雷峰栓；
- 7——八字倒榫槽孔；8——锁定孔；9——活动孔。

图A.4 角钢专用梁柱齐平插式连接件

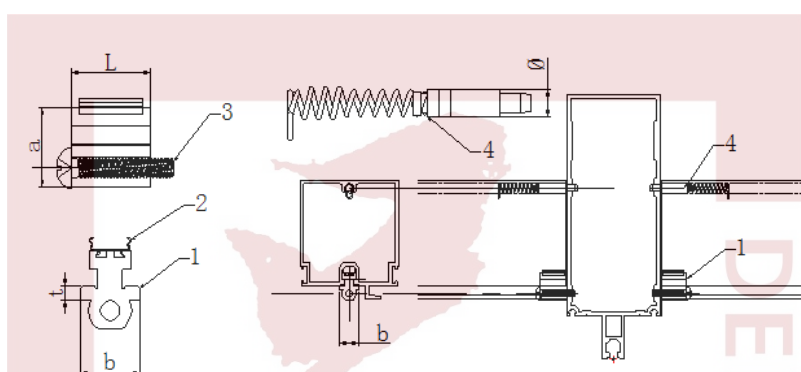
- b) 横梁与立柱的连接采用免焊装配式锁固螺栓或螺钉连接时，其每个连接点应不少于 2 个；
- c) 当受拉、受拉剪的螺钉与厚度小于 3.5 mm 的薄壁钢管立柱连接安装时，应采用拉伸内螺纹孔方式安装，采用增加螺纹圈数连接，提高可靠度；当采用免焊装配式盲孔偏调锁固型螺栓时，设计时应注有采用专用电动扭矩扳手安装；
- d) 应采用有高韧性的超高性能耐蚀钢，连接件设有可调节角钢厚度公差措施，保证外侧齐平的插入口紧配；
- e) 设有材料线膨胀系数的活动定位孔，定位孔至少有一处为固定。

A.2.6 幕墙横梁用可拆卸弹簧锁销，不应采用全锁销连接(图A.5)，应选用可拆卸锁销辅助+弹力定位型可拆卸滑块锁固螺钉组合(图A.6、A.7)设计，并应符合下列要求：

- a) 当对可拆卸锁销设计时，横梁上非荷重力区每侧连接点应不少于 1 个，可选用 B 环弹簧的可拆卸锁销；当横梁与立柱间荷重面板区另有滑块螺钉连接的不少于 1 个，其中滑块螺钉不少于 1 颗，可选用带弹簧片的防扭滑块；
- b) 当可拆卸滑块螺钉与立柱连接安装时，应选用防松螺钉；
- c) 可拆卸锁销的销钉部直径不应小于 5.0 mm，应采用不锈钢冷镦制造，公差为 0.2 mm 高精度锁销；
- d) 滑块螺钉副，螺钉采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺，当用于铝合金型材螺纹副连接时，超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌合金处理。



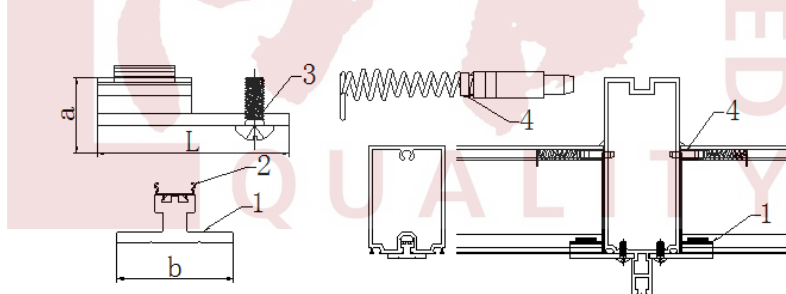
图A.5 全锁销连接倾斜示意



标引序号说明:

1——侧装滑块; 2——弹簧锁片; 3——防松螺钉; 4——B环弹簧锁销。

图A.6 装配式侧装滑块螺钉副与B环可拆卸弹簧锁销组合

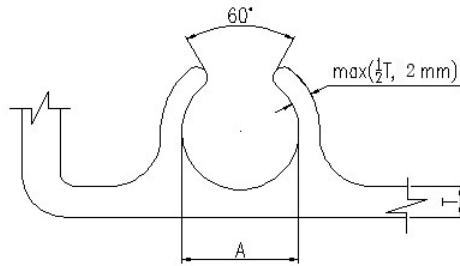


标引序号说明:

1——平行滑块; 2——弹簧锁片; 3——防松螺钉; 4——B环弹簧锁销。

图A.7 装配式平行滑块螺钉副与B环可拆卸弹簧锁销组合

A.2.7 采用超高性能耐蚀钢冷锻制造公差为0.2 mm高精度锁销,尾部设有B环旋鼓弹簧段的膨胀弹簧,通过B环压紧拖拉进横梁C型槽内,放开B环即可胀锁,锁销头进入立柱孔固定和满足热冷作用的铝型材横梁连接方式,当需要拆卸时只需向减压方向拖动B环即可。铝型材锁销槽孔尺寸设计应符合公差带(图A.8、表A.3)。



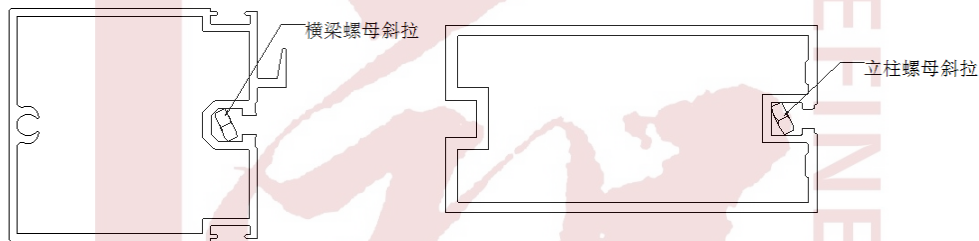
图A.8 铝型材锁销槽孔尺寸图

表A.3 铝型材槽孔与锁销配合公差带表

锁销规格	锁销	A
Ø7	6.78 mm~6.9 mm	6.85 mm~7.0 mm
Ø8	7.78 mm~7.8 mm	7.85 mm~8.0 mm

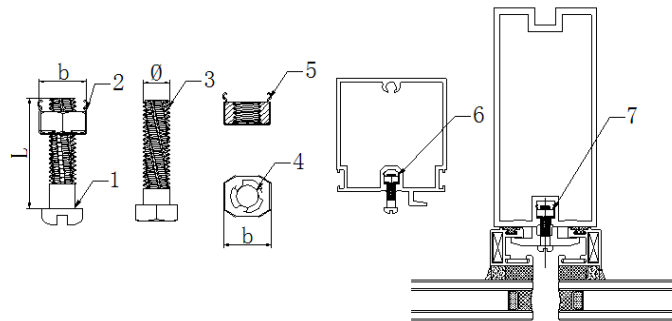
A.2.8 面板在横梁上偏置使横梁产生较大的扭矩时，应进行横梁抗扭承载力计算，并采取相应的构造措施。

A.2.9 幕墙横梁与玻璃、金属、石材、人造板面板连接设计时，应考虑防止螺母掉落，和螺母倾斜硬连接导致螺纹破坏和咬死(图A.9)；铝型材的横梁螺母槽宜选用免焊装配式弹力定位型锁固螺栓设计。



图A.9 螺母槽螺母倾斜示意

A.2.10 装配式槽用倒装防退螺栓副，采用超高性能耐蚀钢冷镦制造，当用于铝合金型材光孔、螺母槽连接时，超高性能耐蚀钢紧固件表面应进行防双金属电偶腐蚀的高温渗锌处理的要求(图A.10)。

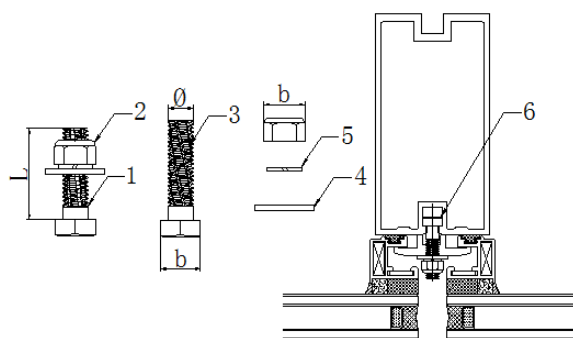


标引序号说明：

- 1——防退螺钉；2——锁簧防退螺母；3——雷峰螺纹；4——防退锁簧；5——弹性定位；6——螺母槽弹性定位；
- 7——立柱弹性定位。

图A.10 装配式槽用倒装防松防退螺栓副

A. 2. 11 装配式槽用顺装防退螺栓副，采用超高性能耐蚀钢冷镦制造，当用于铝合金型材光孔、螺母槽连接时，超高性能耐蚀钢紧固件表面应进行防双金属电偶腐蚀的高温渗锌处理的要求(图A. 11)。



标引序号说明：

1——防退螺钉；2——锁簧防退螺母；3——雷峰螺纹；4——垫片；5——弹簧垫片；6——螺母槽安装

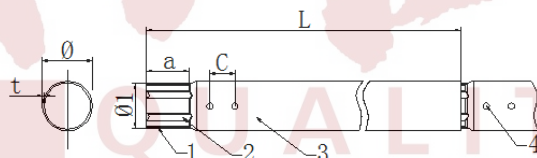
图A. 11 装配式槽用顺装防退螺栓副

A. 3 免焊装配式立柱构造

A. 3. 1 免焊装配式插芯连体立柱构造设计，在免于电焊或者无电焊辅助下，采用无需紧固件铰接的超高性能耐蚀钢紧配榫接原理，实现持久性可靠连接，使结构免遭施工过程中外加的腐蚀伤害，并在25~100年内具有良好的锁持防松。

A. 3. 2 幕墙立柱及其支座除传递荷载外，应能适应主体结构的变形。

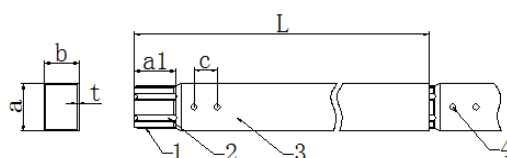
A. 3. 3 免焊装配式连体插芯钢管立柱，上、下立柱的连接应符合端部设置长度不小于60 mm的连体缩颈制作芯柱，芯柱一端与立柱应紧密滑动配合。采用超高性能耐蚀钢芯柱时，柱一端与立柱的插入量不小于50 mm，设计时考虑热胀冷缩系数后，可按层高考虑每层连体缩颈段加长10 mm~20 mm，以使安装时无需二次切割再次破坏涂层加工(图A. 12、图A. 13)。



标引序号说明：

1——连体插芯；2——插芯肋；3——芯柱一体圆柱；4——转接孔。

图A. 12 连体插芯圆柱



标引序号说明：

1——连体插芯；2——插芯肋；3——芯柱一体矩形立柱；4——转接孔。

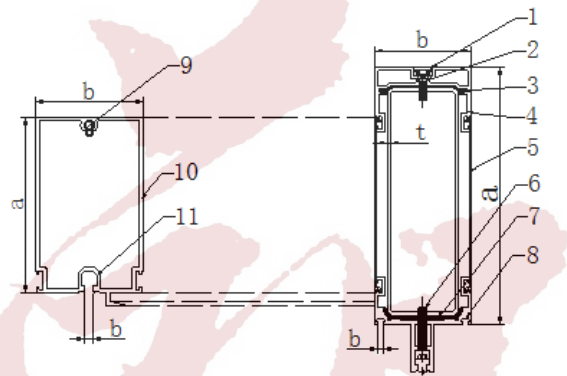
图A. 13 免焊装配式连体插芯立柱示意

A. 3.4 幕墙立柱的布置，应符合下列规定：

- a) 在楼层内单独布置立柱时，其上、下端与主体结构铰接，采用上端悬挂方式；
- b) 立柱下端支承时，应作压弯构件设计，对受弯平面内和平面外作受压稳定验算；
- c) 在多层或高层建筑中跨层布置时，立柱的长度不大于 3 个层高，立柱与主体结构的连接支承点每层不少于一个，宜采用上端悬挂方式；支承点的设计，应满足变形要求；
- d) 在混凝土实体墙面或钢结构上分段布置时，每段立柱的支承点不少于 2 个，上支承点采用圆孔，中部和下支承点采用长圆孔；
- e) 当柱支承点可能产生较大位移时，应采用与位移相适应的支承装置。

A. 3.5 幕墙的免焊装配式插芯连体立柱，包括大跨度外包铝合金型材的免焊装配式插芯连体立柱、和铝合金横梁配套的铝钢组合免焊装配式插芯连体立柱等设计，应符合下列要求：

- a) 免焊装配式插芯连体立柱，应采用立柱钢材本体缩颈完成；
- b) 材料为超高性能耐蚀钢制造的插芯连体立柱，与主体结构埋件上的倒榫槽转接件角码连接，应通过免焊装配式穿柱锁固螺栓固定，穿柱螺栓的两边均设有偏调垫片锁持；
- c) 设计采用大跨度外包装装饰性的铝型材或不锈钢等材料的连体插芯钢立柱与横梁连接时，应做好连接构造设计横梁应直接传力于钢立柱。外包铝合金型材与钢立柱之间应设有防电腐蚀措施(图 A. 14)。

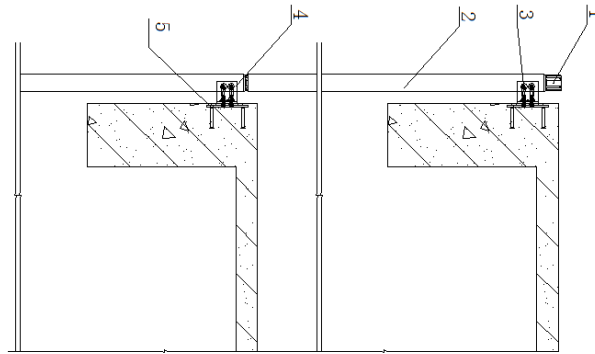


标引序号说明：

- 1——铝材盖板；2——沉头雷峰钉；3——防电偶腐蚀垫；4——后包铝材；5——梁位铝材压板；
- 6——内六角雷峰钉；7——防电偶腐蚀垫；8——前包铝材；9——B环锁销；10——横梁；11——螺母、滑块槽；
- 12——连体插芯立柱。

图A. 14 大跨度外包铝合金型材连体插芯钢立柱示意

A. 3.6 免焊装配式插芯连体立柱的连接见下图。

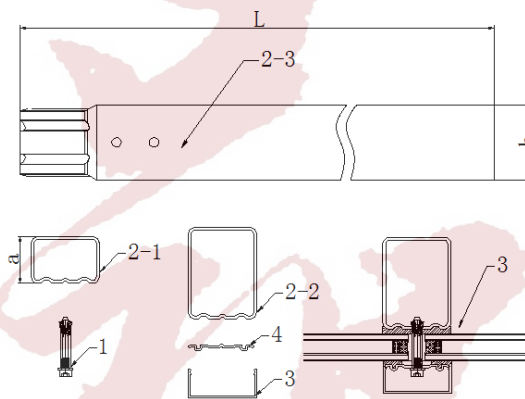


标引序号说明:

1——连体插芯；2——立柱；3——穿杆螺栓；4——转接件；5——埋件。

图A.15 插芯连体立柱示意

A.3.7 免焊装配式防火用插芯连体钢立柱、横梁，钢制承压板的要求（图A.16）。



标引序号说明:

1——装配式击扩防退螺钉；2——防火梁、柱；3——铝装饰条；4——压板；5——组装。

图A.16 防火用插芯连体钢立柱、横梁，钢制承压板

A.3.8 免焊装配式上、下立柱之间互相连接时，连接方式应与计算简图一致，并应符合下列要求：

- 采用铝合金闭口截面型材的立柱，设置长度不小于 250 mm 的芯柱连接。芯柱一端与立柱应紧密滑动配合，另一端与立柱采用机械连接方式固定；芯柱承受弯矩时，芯柱的材质应与立柱一致，其强度设计值应大于结构设计要求；
- 采用超高性能耐蚀钢连体插芯的立柱，设置长度不小于 50 mm 插入上一立柱的柱腔内。

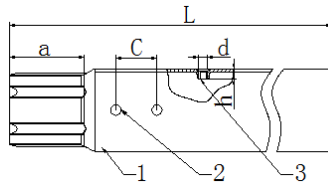
A.3.9 立柱截面主要受力部位的厚度，应符合下列要求：

- 铝型材截面开口部位的厚度不应小于 3.0 mm，闭口部位的厚度不应小于 2.5 mm；
- 铝型材孔壁与螺钉之间直接采用螺纹受拉、压连接时，应进行螺纹受力计算，其螺纹连接处的型材局部加厚部位的壁厚不应小于螺杆直径，宽度不应小于 13 mm；
- 碳钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于 3.0 mm，超高性能耐蚀钢型材截面主要受力部位的厚度不应小于 2.5 mm。当连接为受拉、受压连接时，采用套入具有阻尼型止退防松的不锈钢螺母式、盲孔防松螺栓等方式，当采用攻丝螺纹时应进行螺纹受力计算。

A. 3. 10 立柱的支点应置于主体结构允许受力的部位，如需在主体结构非受力构件部位设支点时，应作必要的结构处理并经验算、现场试验确定。

A. 3. 11 立柱与主体结构的连接件应有足够的承载力。铝合金连接件材料厚度应不小于8 mm，钢连接件材料厚度应不小于6 mm，每一连接处的螺栓应不少于2个，螺栓直径不小于10 mm。

A. 3. 12 薄壁钢管立柱与横梁倒榫连接件连接的拉伸螺纹孔（图A. 17）。

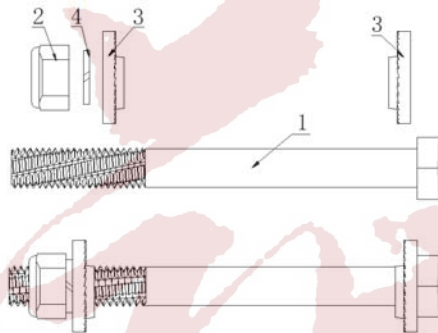


标引序号说明：

1——连体插芯矩型立柱；2——钻孔；3——拉伸孔。

图A. 17 立柱连接的拉伸螺纹孔尺寸示意

A. 3. 13 装配式穿柱螺栓副(图A. 18)。

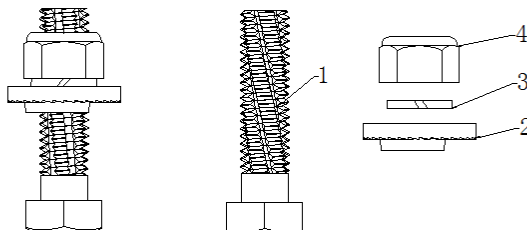


标引序号说明：

1——雷峰螺纹螺杆；2——锁簧防退螺母；3——偏调锁固垫片；4——弹簧垫片。

图A. 18 装配式穿柱螺栓副

A. 3. 14 装配式连接螺栓副(螺钉)，采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺，当用于铝合金型材光孔、螺母槽连接时，超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透合金处理（图A. 19）

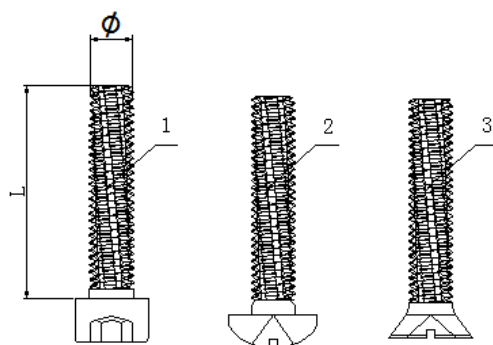


标引序号说明：

1——雷峰螺纹螺杆；2——偏调锁固垫片；3——弹簧垫；4——锁簧防退螺母。

图A. 19 装配式连接螺栓副

A. 3. 15 装配式防松螺钉, 采用不锈钢、超高性能耐蚀钢冷镦制造工艺, 当与铝合金型材形成螺纹副时, 超高性能耐蚀钢表面应进行防双金属电偶腐蚀的锌渗透合金处理(图A. 20)。



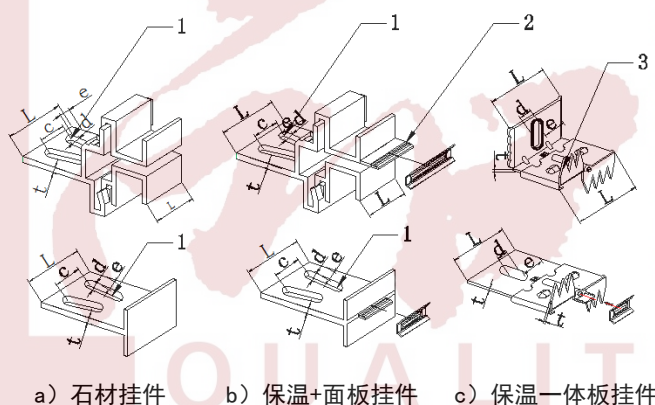
标引序号说明:

1——内六角防松螺钉; 2——圆头防松螺钉; 3——沉头防松螺钉。

图A. 20 装配式防松螺钉

A. 3. 16 免焊装配式金属槽(扣)式组合挂件(见下图A. 21)的加工精度应符合下列规定:

- 挂件外观应平整, 不得有裂纹、毛刺、凹凸、翘曲、变形等缺陷;
- 用于挂件的装配式锁簧防脱螺栓副时, 应选用奥氏体不锈钢材料进行加工, 铝材通过倒榫连接。T型挂件适用于辅助件。

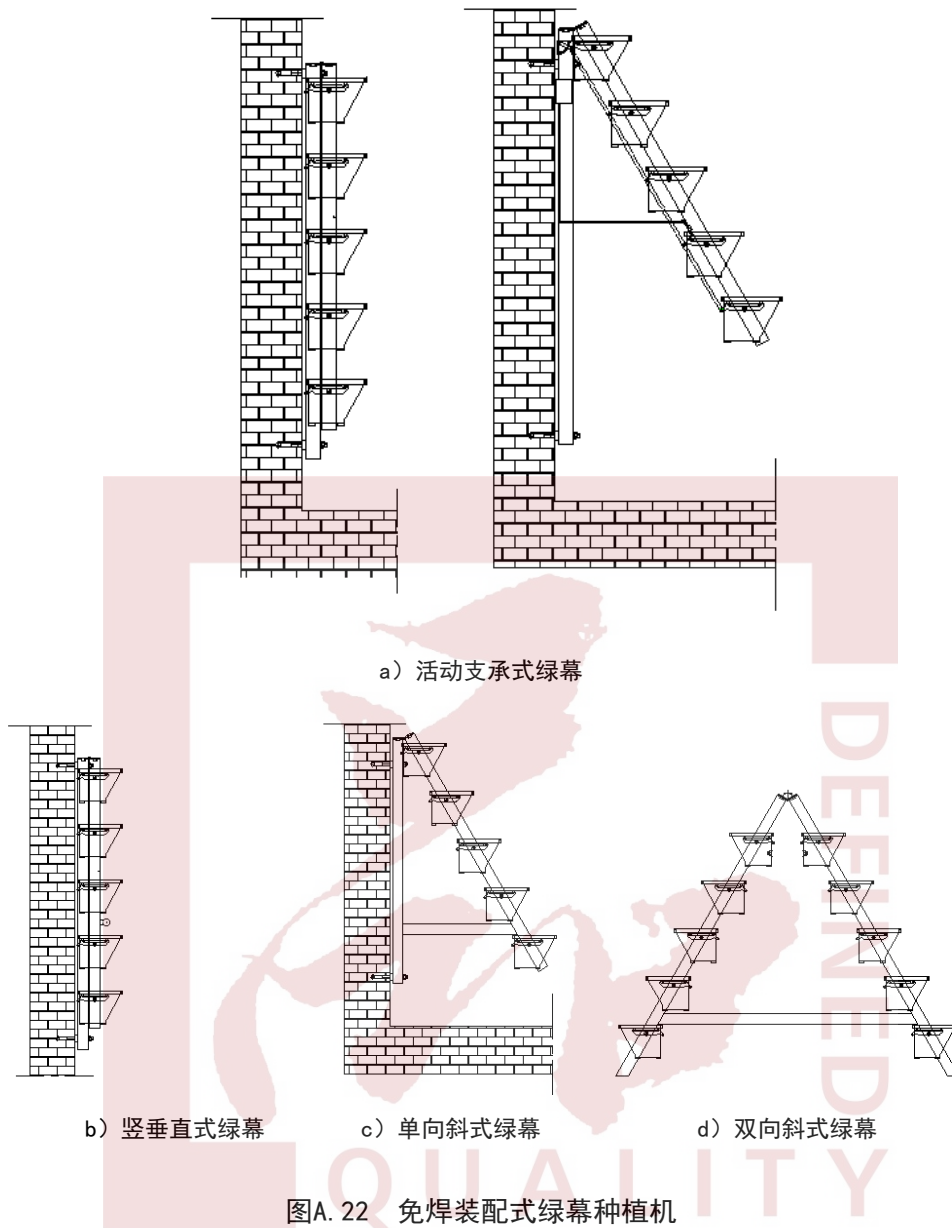


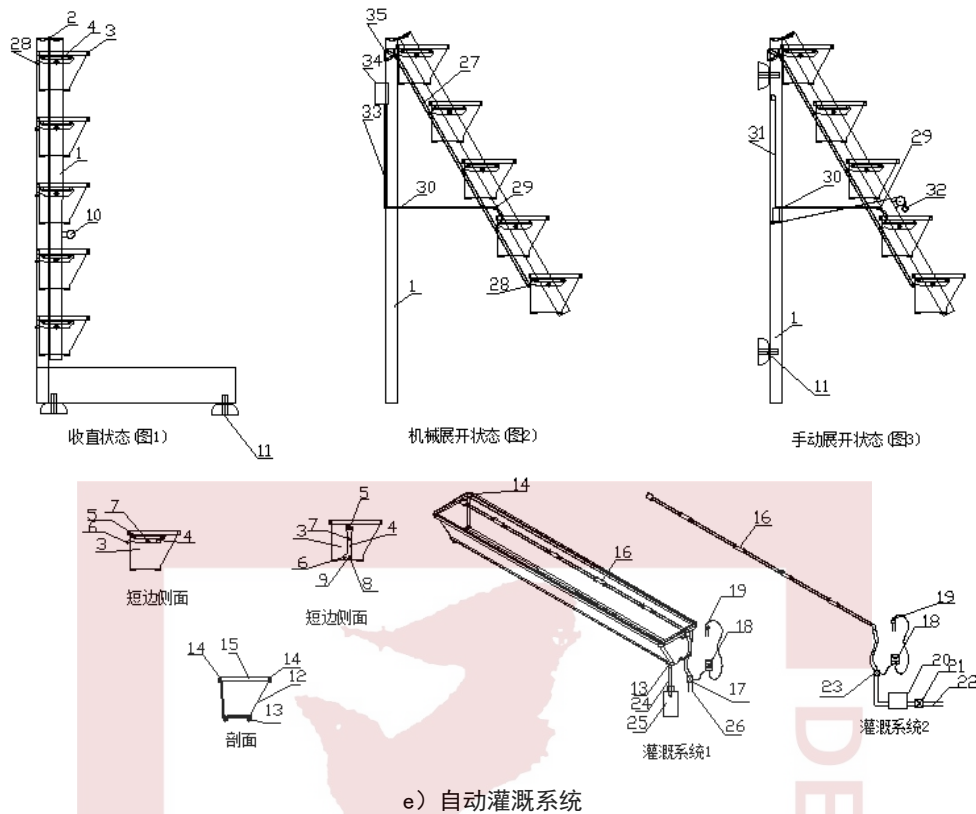
标引代号说明:

1——八字倒榫槽孔; 2——复合板倒齿锁卡; 3——保温板扣齿。

图A. 21 挂件尺寸示意

A. 3. 17 免焊装配式绿幕种植机采用装配式螺栓和防松螺钉固定。具备免除焊接的装配式抗风振、抗地震、防松锁固功能和拆卸功能(图A. 22)。





e) 自动灌溉系统

标引序号说明:

- | | | | |
|----------------|--------------|---------------|---------------|
| 1 ——立柱支撑杆; | 2 ——封盖; | 3 ——长槽盆; | 4 ——长槽盆支座; |
| 5 ——长槽盆支点; | 6 ——连杆安装孔; | 7 ——长槽盆转动孔; | 8 ——长槽盆止转孔; |
| 9 ——长槽盆止转螺丝; | 10 ——附杆连接点; | 11 ——花架固定座; | 12 ——长槽盆加强筋; |
| 13 ——长槽盆废水排出孔; | 14 ——防虫网卡点; | 15 ——防虫网安装孔; | 16 ——滴水装置; |
| 17 ——湿度检测器; | 18 ——电源控制开关; | 19 ——电源插头; | 20 ——增压水泵; |
| 21 ——进水阀; | 22 ——进水管; | 23 ——出水阀; | 24 ——废水管; |
| 25 ——废水收集盆; | 26 ——湿度感应插头; | 27 ——长槽盆统一联杆; | 28 ——联杆连接孔; |
| 29 ——附杆连接绞链; | 30 ——撑杆绞链; | 31 ——钢索; | 32 ——附杆钢索固定点; |
| 33 ——电动联杆; | 34 ——展开控制开关; | 35 ——绞链。 | |

图A.22 (续)

附录 B

(规范性)

装配式紧固件体型波横向振动试验与评定

B.1 范围

B.1.1 本规范性附录依据GB/T 10431，增加可适用体型波的高精度电液式紧固件横向振动试验机，实现智能化数字化，获得更精确的数据；通过比对实践，在GB/T 10431中附录B的单一的12.9级紧固件振幅、夹紧力基础上获得700 MPa~1 200 MPa全覆盖延伸，作为本文件的试验和评定。

B.1.2 本规范性附录适用于测定新建建筑、既有建筑改造的全寿命期工程装配化建设的建筑钢结构、幕墙用紧固件的防松防退性能，且在体型波横向振动试验和数据处理方法，按本文件进行进行试验所得结果进行评定。涉及振动的国防建设、轨道交通、隧道、车辆、机械制造等应用，在输入所需体型波时可参照本规范性附录。

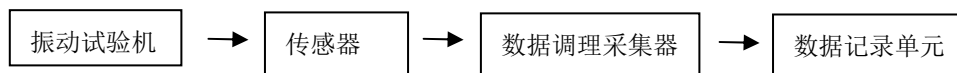
B.2 试验原理

试验在高精度电液式紧固件横向振动试验机上进行。将被试紧固件拧紧在试验装置上，使之产生满足不同外径、不同强度所给定的夹紧力，输入不同的建筑体型所得的经人工修正的体型风振波和不同外径、不同强度所给定的振幅值，经过借助于试验机在被夹紧两金属板之间产生的交变横向位移，使连接松动，导致夹紧力减小甚至完全丧失。连续记录夹紧力的瞬时值，根据记录数据的分析比对评定值，依据协议给定等级判定紧固件的防松防退性能是否合格。在试验过程中，夹紧力减小得越慢，防松防退性能越好，反之，夹紧力减小得越快，防松防退性能越差。

B.3 试验设备和仪器

B.3.1 试验结构

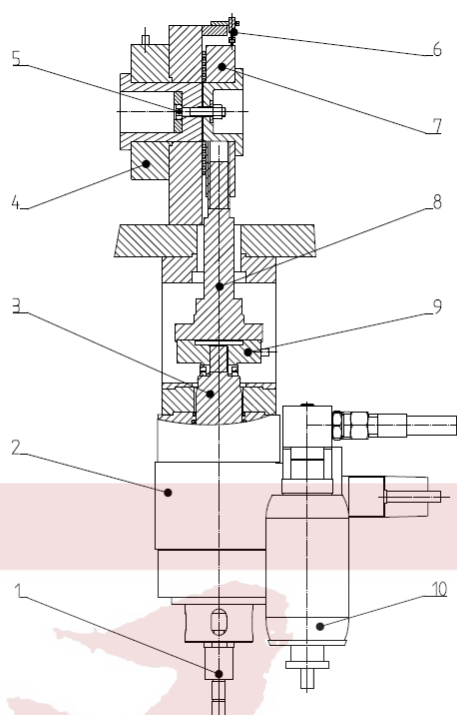
本试验的高精度电液式紧固件横向振动试验机，试验结构框图如图B.1所示。



图B.1 试验结构框图

B.3.2 振动试验机

本试验所用振动试验机应能满足试验频率和试验振幅的要求，横向振动波形应为建筑体型类别的体型风振波或者协议要求的，特定体型波的高精度电液式紧固件横向振动试验机(见图B.2)。本示意不限于其它结构在配置B.4.3试验频率后，经校正达到可获得相等同数据的试验机。



说明：

- 1——横向位移传感器；2——作动器；3——活塞；4——夹紧力传感器；5——试验螺栓；
6——震动位移传感器；7——滑移板；8——连杆；9——横向力传感器；10——蓄能器。

图B.2 高精度电液式紧固件横向振动试验机构造原理示意图

B.3.3 设备精度

- B.3.3.1 夹紧力测量误差应在 $\pm 1\%$ 以内。
B.3.3.2 横向位移测量误差应在 $\pm 0.5\%$ 以内。
B.3.3.3 螺钉或螺母的松退转动测量误差应在 $\pm 1.0^\circ$ 以内。

B.4 试验条件

为了使试验结果具有可比性，应选择相同的试验条件。

B.4.1 环境条件

试验应在常温、常压、清洁的环境中进行。

B.4.2 润滑

在装夹试件时，应在螺纹及支承面上添加润滑剂，以免产生划伤螺纹和支承面或因摩擦热产生咬死现象，影响试验结果的准确性。

B.4.3 试验频率

试验频率按建筑体型风振波类别频率或协议约定试验所需其它体型波，包括按GB/T 10431的正弦波；建筑体型风振波由浙江大学在风动实验中，所获得的复杂风动试验波形，经有限圆比对、电脑运算、人工修饰、试验所完成试验频率，任意一种或多种组合。

B.4.4 试验振幅

试验振幅在自由状态(夹紧力为零)下的振幅应保证螺栓试件不受剪切;紧固件试验振幅,依据GB/T 10431附录B,根据不同紧固件强度等级试验验算,获得试验振幅,其碳钢/不锈钢(超高性能耐蚀钢)标准螺纹紧固件的试验振幅按表B.1的执行。

表B.1 碳钢/不锈钢(超高性能耐蚀钢)标准螺纹紧固件试验振幅参数表

试件名称	试验振幅				
	mm				
	70级	8.8(80)级	9.8级	10.9级	12.9级
M5	±0.38	±0.38	±0.42	±0.46	±0.5
M6	±0.45	±0.45	±0.5	±0.55	±0.6
M8	±0.6	±0.6	±0.66	±0.73	±0.8
M10	±0.75	±0.75	±0.83	±0.91	±1.0
M12	±0.9	±0.9	±1.0	±1.1	±1.2
M14	±1.05	±1.05	±1.16	±1.28	±1.4
M16	±1.2	±1.2	±1.33	±1.46	±1.6
M18	±1.35	±1.35	±1.5	±1.64	±1.8
M20	±1.39	±1.39	±1.54	±1.73	±1.85
M22	±1.42	±1.42	±1.58	±1.78	±1.9
M24	±1.5	±1.5	±1.67	±1.83	±2.0
M27	±1.5	±1.5	±1.67	±1.83	±2.0
M30	±1.5	±1.5	±1.67	±1.83	±2.0

注:低强度紧固件存在的轴芯疲劳伸长率较大,故不推荐抗拉强度 $R_{m,min}$ 小于700 MPa的紧固件进行本防松防退试验项目。

B.4.5 试验夹紧力

紧固件试验夹紧力,参考GB/T 10431附录B,碳钢/不锈钢(超高性能耐蚀钢)标准螺纹紧固件试验试验夹紧力按表B.2执行。当试验用预夹紧力值取自于GB/T 3098的保证荷载值 K_p 时,预夹紧力按公式(B.1)计算;当试验用预夹紧力值取自于GB/T 3098的抗拉强度 $R_{m,min}$ 时,预夹紧力按公式(B.2)计算。

$$T_p = \frac{K_p}{\eta} \dots\dots\dots (B.1)$$

$$T_p = \frac{A_s \times R_m}{S_p} / \eta \dots\dots\dots (B.2)$$

式中:

- T_p ——试验预夹紧力, N;
- K_p ——紧固件保证荷载值, N;
- A_s ——螺纹截面积, mm^2 ;
- R_m ——抗拉强度, min/N;
- S_p ——保证应力, MPa;
- η ——修正系数, 取 2.0。

表B.2 碳钢/不锈钢(超高性能耐蚀钢)标准螺纹紧固件试验夹紧力表

试件名称	试验预夹紧 T_P				
	N				
	70 级	8.8(80) 级	9.8 级	10.9 级	12.9 级
M5	4 470	4 115	4 615	5 900	6 900
M6	5 287	5 800	6 550	8 350	9 750
M8	9 600	10 600	11 900	15 200	17 750
M10	15 225	16 850	18 850	24 050	28 150
M12	22 129	24 450	27 400	35 000	40 900
M14	30 188	33 350	37 800	47 750	55 750
M16	41 250	45 500	51 000	65 000	76 000
M18	50 250	57 500	64 800	79 500	93 000
M20	64 500	73 500	82 688	101 500	119 000
M22	79 500	91 000	102 263	126 000	147 000
M24	92 625	106 000	119 138	146 500	171 000
M27	120 488	137 500	154 913	190 500	222 500
M30	147 262	168 500	189 338	233 000	272 000

B.4.6 试件数量

每组试件的数量为每组取3或5件；在试验中发现振动特性、安装或拆卸力矩等方面有较大差异时，则应补加至3倍(9或15件)。

B.5 试件准备

B.5.1 试件抽取

如无特殊要求，对于从产品中抽取的试件一般不需进行任何加工，应保持试件表面清洁。

B.5.2 试验机调整

步骤如下：

- 按使用说明书要求接好电路，确认无误后接通电源；
- 输入所需设定的预夹紧力、振幅、体型振动波、次数等数据；当建筑钢结构、幕墙用紧固件防松防退试验时，按 B.4.3 输入所需体型振动波和按表 B.3 预输入 A 级振动测试次数值，或按协议值输入；
- 在空载条件下开动试验机，使之达到预定的空载频率（转速）；
- 空载调试正常，停机。

B.5.3 装夹试件

步骤如下：

- 松开防护罩螺丝；
- 试件相应尺寸的垫套片准备；
- 将被试零件和垫套片，装夹在试验装置上，用自动扭距扳手拧紧到预定的扭矩或夹紧力，自动记录扭矩和夹紧力原始数据；

d) 防护罩就位，上好保险。

B.5.4 开机

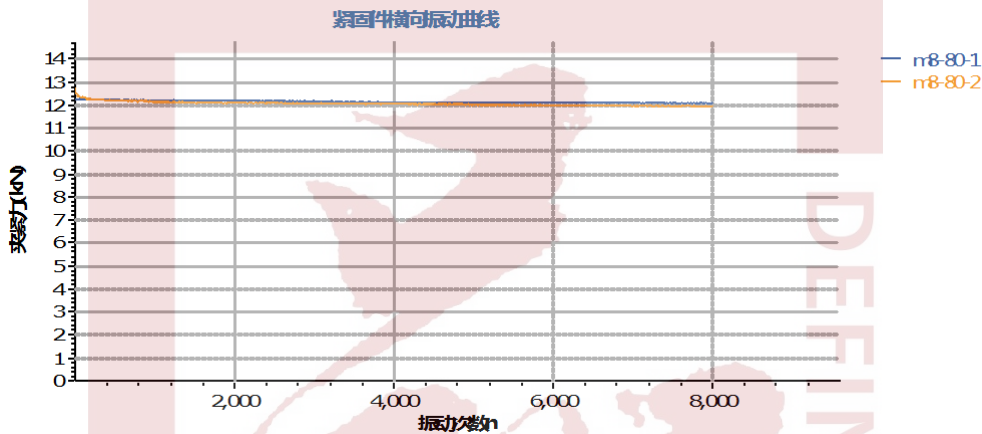
检查安全防护罩是否就位，上好保险。

按下振动试验机启动按钮，试验开始，观察显示仪表，至夹紧力丧失到预定的80%下限数值或达到设定振动次数时停机。

B.6 试验分析

B.6.1 试验曲线

振动试验中夹紧力的变化曲线，横坐标代表时间和振动次数，纵坐标代表夹紧力和衰减值。它描述了试验过程中夹紧力、体型波、振幅的整个变化过程(见图B.3)。



图B.3 试验记录曲线图

B.6.2 数据分析与结果评定

建筑钢结构、幕墙用紧固件防松防退试验评定，按实际建筑体型风振波类别频率进行测试的振动次数，采取预紧力曲线、衰退百分比、次数的特定点数据或进行数据处理后，得出防松防退性能试验结果，参照表B.3判定合格与不合格。其它则按协议约定振动次数得出的防松防退性能试验结果进行评定。

表B.3 建筑钢结构、幕墙用紧固件防松防退试验等级评定表

试件名称	试验振动 次			
	A级	B级	C级	D级
建筑幕墙	12 500	10 000	7 500	5 000
建筑钢结构	15 000	12 000	9 000	6 000

注1: 试件的夹紧力、扭矩的衰减率范围 $\geq 80\%$ ，当单件的低于衰减率范围 $\geq 80\%$ 的-0.05时，该组被判定不合格。

注2: 当试件振断时的次数大于70%时，衰减率范围 $> 80\%$ ，可直接进入批次总次数的平均值合格评定，当批次中有振断，总次数平均值不满足时，可按4.6加大3倍测试量进行试验。

注3: 每组试件应满足本表次数总和的95%以上，预紧力衰减率范围 $\geq 80\%$ 总和的0.97以上，判定为合格；反之则判定为不合格。

注4: 整个试验过程中螺钉、螺母的松退转动量不得超过1/3圈(120°)。

条文说明

本条文说明不具备与文件正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握本文件规定的参考。

5 基本要求

5.1.6 紧固件的设计应重视伸长率、敲击和震动脆断问题，普通级的0.6屈服值存在强度低和延长率过大，而0.8屈服值时就容易脆断；高强度中8.8、9.8级为最适合用于锚栓，在通过淬火退火调质后强度增加，伸长率合理，调质后轴心和表面硬度获得均质使敲击和震动时脆断减少，尤其是具有较高韧性的超高性能耐蚀钢制紧固件抗冲击弯性能优越。另外对于现有建筑幕墙支承结构、和与混凝土主结构连接用锚栓、螺栓、螺钉的寿命要求大于50年而言，很难满足相关规范要求，故应对锁键、螺纹副的关键原材料从锁键厚度、耐候性、韧性上作相应提高，宜采用低成本的金属化学成分原理防腐和增加韧性，原材料金属化学成分应符合5.1.6条中表5，力学性能指标按认证报告取值符合表6、表7、表8。

免焊装配式埋件系统有别于传统电焊产品，每个设计、试验、原材料、生产、检验等环节都必须严格把关，才能在免焊装配化达到不小于50年锁持不松不退。

非不锈钢的锚栓、螺栓、螺钉的承力锁键和螺纹，是使用寿命最薄弱点。对于满足50年的结构的使用寿命而言，普通钢筋是很难保证，所以应选择可增加耐蚀、冲击韧性、提高强度减少伸长率等性能的超高性能耐蚀钢，其金属中的耐蚀元素会形成非晶态锈色氧化钒镍层，延续保持承载的有效性。锚栓承力锁键是结构连接的重要元件，承力锁键厚度 ≥ 2.5 mm，是依据JGJ102(修编送审稿)、JGJ133(修编送审稿)、JGJ336中结构钢材厚度不小于2.5mm的规定。一般来讲，锚栓都会打上如8.8级的字样，但是市场上许多锚栓只是螺杆有等级，其它如螺母、承力锁键的强度都较低，不匹配，故提出这一要求。

5.1.12 原规范中铝合金型材中有芯柱型材，本文件所涉是立柱本体，通过缩颈形成的插芯头，故称插芯连体立柱。

5.1.14 一般来讲不锈钢在耐碱方面会弱于耐酸，如石材幕墙的腔间的气氛中存在一定浓度的碱含量、海岸线的空气中氯离子通常PH值略高于中性。超高性能耐蚀钢体现了建筑幕墙全寿命期的耐蚀优点，在与超高性能耐蚀钢连接时应使用超高性能耐蚀钢螺栓副紧固件；与铝合金材料连接的应使用经高温渗入合金处理电位量相近的超高性能耐蚀钢螺栓副紧固件。

5.1.15 随着幕墙不锈钢螺钉的电偶腐蚀问题的不断发生，业内对电化学腐蚀也越来越重视，尤其是用于幕墙支承结构与面板连接的受拉、受弯矩、或受拉受剪共同作用的不锈钢、超高性能耐蚀钢螺栓副，应考虑双金属电偶腐蚀，这也是铝材的特征性腐蚀形态的弱项，对作为母螺纹副的铝材其自然电位非常负，当铝材与其它金属接触时，铝材总是在阳极内加速腐蚀，尤其是幕墙它涉及气候湿度、幕墙雨水、渗漏水、间隔区混凝土碱气氛、海洋气候下都会加大电位和电流量；故提出应当考虑气候湿度、幕墙雨水、渗漏水、幕墙与墙间隔区混凝土碱气氛对双金属螺纹副电偶腐蚀影响，并应取消铝螺母。

编制组针对连接的螺纹副的双金属腐蚀，参考了GB/T 15748试验方法，通过收集大量文献和对比试验，制定出针对铝合金作为阳极的电化学试验方法，通过试验为设计提供计算依据：

1. 螺栓、钢板盐雾比对试验：

超高性能耐蚀钢进行表面合金的各组螺栓(这里要求螺栓的外表面全部通过高温渗入锌合金层的处理，其中锌A中铝含量为9.4%，锌B中铝含量为23.8%)，分别进行盐雾试验，采用5%NaCl溶液，以高温渗锌合金时间分别为15 d和30 d测试为例，进行以下试验：

表C.1 螺栓、钢板盐雾比对试验

比对试验钢种	表面处理	结构件	360 h	720 h
304 不锈钢	未钝化	螺栓	96 h 见少量锈蚀点, 360 h 锈蚀点连接	—
	钝化	螺栓	见少量锈蚀点	—
SCR-I 组	锌 A	螺栓	未见锈蚀点	未见锈蚀点
	锌 B	螺栓	未见锈蚀点	未见锈蚀点
SCR-S 组	锌 A	板材	未见锈蚀点	未见锈蚀点
	锌 B	螺栓	未见锈蚀点	未见锈蚀点
SCR-T 组	锌 A	板材	未见锈蚀点	未见锈蚀点
	锌 B	螺栓	未见锈蚀点	未见锈蚀点

在该试验中, 引入了304不锈钢螺栓的对比试验。

经过上述比对试验可知, 上述各组板材和螺栓的表面镀层均经过720 h的盐雾试验后, 表面镀层没有变化, 而不锈钢螺栓96 h出现少量黄迹初始的腐蚀点, 已经发生腐蚀, 360 h腐蚀点连成片状的堆积, 发生严重腐蚀, 即使经过表面钝化处理的不锈钢在360h的盐雾试验下, 也已经发生腐蚀。因此, 采用本实施方式的螺栓具有良好的合金亲和力, 表面进行高温渗透的锌A和锌B合金层具有良好的耐蚀性能, 可见超高性能耐蚀钢的钒、镍、铜、铬、钼、铝氧化层与表面渗入锌形成二次合金后的耐蚀性优于304不锈钢, 具有更长的使用寿命, 较适合全寿命期免维护或较少维护的结构件和紧固件使用。

上述各组试验的螺栓进行条状碰伤后, 经存放30 d自修复期, 进行试验: 高温渗透的锌A合金螺栓的条状碰伤处未现条状锈斑点, 判定表面锌A合金层具有自修复功能; 高温渗透的锌B合金表面所设条状碰伤处有明显条状黄色迹, 未见锈斑点, 判定表面锌B合金层也具有自修复功能, 但略低于锌A。

2. 电偶腐蚀比对试验:

超高性能耐蚀钢与铝合金型材进行双金属电化学腐蚀性试验, 还引入了经过表面钝化处理的不锈钢和316不锈钢与铝合金型材进行双金属电化学腐蚀性的对比试验。试验应用GB/T 15748的试验步骤, 对锌A处理的板材与经过表面钝化处理的不锈钢和316不锈钢板材作为阴极组, 铝合金板材(试样工作面用砂纸打磨去除氧化层, 并依次使用去离子水、无水乙醇、丙酮擦洗并晾干)作为阳极组, 试样背面焊接铜导线, 除工作面外的其余表面用环氧树脂进行密封。阴极组、阳极组统一尺寸100 mm×30 mm×2 mm, 间隔30 mm, 浸入3.5%NaCl溶液(PH值为7.0, 溶液电阻110 KΩ), 绝缘涂料区以下溶液段总面积为5.184 mm², 实验温度为35℃, 在零阻电位下进行试验15 d, 所得到的数据如下表:

表C.2 电偶腐蚀比对试验

比对试验钢种	试组	3.5%NaCl 溶液双金属电化学试验					
		钢种 阴极电位 (mV)	铝合金 阳极电位 (mV)	阳极失重比			
				试前	15 d	mm ²	K _C (mm/a)
SCR-I235 (表面锌 A)	偶联	-1 379	-1 385	98.716	98.716	5.184	0
	比对	-1 379	-1 385	98.719	98.719	5.184	0
SCR-I345 (表面锌 A)	偶联	-1 379	-1 385	98.717	98.717	5.184	0
	比对	-1 379	-1 385	98.722	98.722	5.184	0
SCR-S345 (表面锌 A)	偶联	-1 379	-1 385	98.718	98.718	5.184	0
	比对	-1 379	-1 385	98.723	98.723	5.184	0

表C.2 (续)

比对试验钢种	试组	3.5%NaCl 溶液双金属电化学试验					
		钢种 阴极电位 (mV)	铝合金 阳极电位 (mV)	阳极失重比			
				试前	15 d	mm ²	K_c (mm/a)
SCR-S460 (表面锌 A)	偶联	-1 379	-1 385	98.720	98.718	5.184	0.000 4
	比对	-1 379	-1 385	98.761	98.761	5.184	0
SCR-I420 (表面锌 A)	偶联	-1 379	-1 385	98.716	98.715	5.184	0.000 2
	比对	-1 379	-1 385	98.723	98.723	5.184	0
SCR-I500 (表面锌 A)	偶联	-1 379	-1 385	98.732	98.731	5.184	0.000 2
	比对	-1 379	-1 385	98.715	98.715	5.184	0
304 不锈钢 (表面纯化)	偶联	-383	-1 385	98.723	97.907	5.184	0.816
	比对	-383	-1 385	98.727	98.692	5.184	0.006 8
316 不锈钢 (表面纯化)	偶联	-197	-1 385	98.718	97.515	5.184	1.113
	比对	-197	-1 385	98.719	98.677	5.184	0.008 1

上表中偶联组为按照 GB/T 15748 中的试验方法步骤将阴极组合阳极组进行连接，对比组在同样条件下同时进行未偶联状态下的腐蚀试验。

上述数据表明，表面锌A合金的6组板材表面的电位值，与铝合金板材阳极值较接近，阴极金属材料锌A合金层表面未见明显电化学腐蚀点和失重，阳极铝合金失重量不明显；阳极铝合金表面初始见极少量水泡，形成的氧化膜平均膜厚达21 μm 。

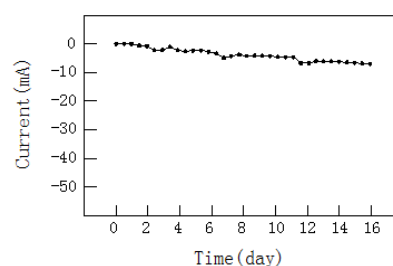
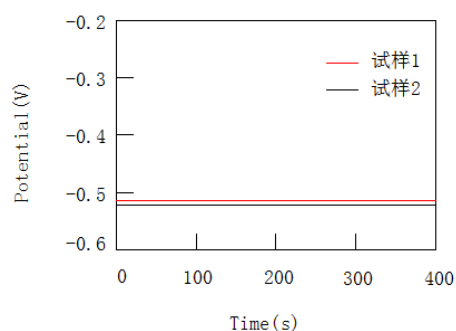
为了进一步证实SCR钢表面渗入的锌合金层自身修复功能，进行了比对性试验：

——A 组铝合金板材（工作面用砂纸打磨去除氧化层，并依次使用去离子水、无水乙醇、丙酮擦洗并晾干）为试样 1，SCR-I345(表面锌 A)为试样 2；

——B 组铝合金板材（工作面用砂纸打磨去除氧化层，并依次使用去离子水、无水乙醇、丙酮擦洗并晾干）为试样 3，SCR-I345(工作面的表面锌 A 合金层经用砂纸打磨破坏镀层)为试样 4。

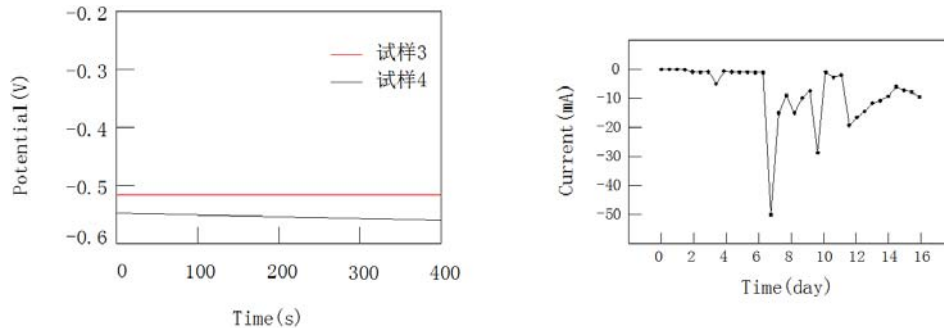
实验条件：统一尺寸100 mm×30 mm×2 mm，间隔50 mm，浸入3.5%NaCl溶液（PH值为7.0，溶液电阻110 K Ω ），绝缘涂料区以下溶液段总面积为5.184 mm²，实验温度为35 $^{\circ}\text{C}$ ，电偶腐蚀的测试实验在1 000 mL的烧杯中进行，试样固定在一块塑料板上，并放置在烧杯上；烧杯用塑料板加封，以减少实验过程中电解质溶液的蒸发，电偶对间距为5 cm，实验进行过程中始终保持电偶对处于导线连接状态。在零阻电位下进行试验16 d。

A组试验结果：



图C.1 A组试验结果

B组试验结果:



图C.2 B组试验结果

结论:

A组试样1开路电位为0.52 V左右, 试样2的开路电位约为0.51 V, 在16 d的试验中电偶电流处于一个稳定状态, 在电偶腐蚀中, 未见试样2受蚀, 观察到试样1表面有明显钝化膜生成。

B组试样3开路电位为0.55 V左右, 试样4的开路电位约为0.51 V, 可见试样3在电偶电流随时间的变化曲线, 表明电流从试样3流向试样4。从图中可以看出, 开始6天内, 电偶电流处于一个稳定状态, 第6.5天时, 电偶电流急剧增大至50 mA, 表明在这个时间段中, 阳极(即试样3)电偶腐蚀速度迅速增大, 这可能是试样4的锌合金层因砂纸打磨损伤处作用导致试样3表面钝化膜无法形成, 在NaCl溶液中试样3表面的局部位置从而产生微量点蚀, 由于钝化膜的修复能力弱于产生的腐蚀行为, 所以随着反应的进行电偶电流增大。同时在试样4锌层不断自修复过程中, 引起电偶电流的波动, 实验过程中观察到试样3表面有一层较浅黄色的钝化膜生成, 未见试样4有点蚀, 可见SCR钢表面渗入的锌合金层损伤后有自修复功能, 进一步佐证超高性能耐蚀钢在高温渗锌的抗电偶腐蚀的作用。

根据所得的大量数据研究, 进行了适合不同材质的调正, 通过失重和密度等验算, 专门制定适合陆基大气的幕墙铝合金的电化学电偶腐蚀量设计计算方法, 下面结合具体示例对比该计算方法进行说明。

示例1: 本示例为采用本实施方式中的金属材料制成的螺栓的电化学电偶腐蚀量设计计算, 其中, 试验件为采用SCR-S460组金属材料制成的M8螺钉(表面锌A合金), 其与5 mm铝板螺纹连接成螺纹副。在螺纹副的设计中, 其使用寿命年限电偶腐蚀后螺纹高度 K_{Cl} 应当满足 K_f 取50年(建筑设计寿命为50年、70年、100年), η 取1.2, γ_q 取1.4, M8螺纹高度取0.6 mm, 计算如下:

$$K_{Cl} = K_{CO} - K_C \cdot K_f \cdot \Delta / \eta$$

$$\min = K_{Cl} / K_{CO} \geq 0.9$$

$$K_{Cl} = 0.6 \text{ mm} - [0.00000096 \times 50 \times 2 / 1.2] \text{ mm}$$

$$= 0.6 \text{ mm} - 0.00008 \text{ mm}$$

$$= 0.59992 \text{ mm}$$

$$\min = 0.59992 \div 0.6$$

$$= 0.9999 \geq 0.9$$

故该螺纹高度满足设计要求。

式中:

K_{Cl} ——螺纹设计年限电偶腐蚀后螺纹高度;

K_{CO} ——螺纹标准高度(依据GB/T197普通螺纹公差);

K_C ——电偶平均腐蚀速度的数值，单位为毫米每年（mm/a）；

K_I ——设计使用年限，与建筑主体连接结构取50、70、100；建筑幕墙支承结构取25、50、100；面板系统25年；

Δ ——双面螺纹牙尖体型折减，公制、美标30°取2.0，英标29°取2.06；

η ——修正系数，框架式玻璃幕墙取1.0；开放式幕墙1.1；石材、金属、人造板等封闭腔幕墙（混凝土湿热碱气氛）和单元式幕墙取1.2。

代入上式：

$$\begin{aligned} K_C &= \frac{(W_{CO} - W_{Cl}) - W_C - W_I}{St} \theta \cdot \gamma_q \\ &= \frac{(98.72 - 98.718) - (98.723 - 98.723)}{5.184 \times 360} \times 3.2 \times 1.4 \\ &= 0.0004/1866.24 \times 3.2/1.4 \\ &= 0.00000096 \end{aligned}$$

式中：

K_C ——电偶平均腐蚀速度，g/(m²·h)；

W_{CO} ——阳极组元偶联试样试验前重量，g；

W_{Cl} ——阳极组元偶联试样试验后重量，g；

W_C ——阳极组元对比试样试验前重量，g；

W_I ——阳极组元对比试样试验后重量，g；

S ——阳极组元试样试验表面积，m²；

t ——试验时间，h；

θ ——材料密度系数，铜1.0、钢材1.1、铝合金3.2；

γ_q ——大气分类系数，内陆城镇1.0、工业及沿海1.1、海岸线20km内和温带海岛1.2、热带及亚热带海岛1.4。

示例2：采用示例1中的公式对表面进行钝化处理后的304不锈钢螺钉电化学电偶腐蚀量设计计算， K_I 取50年， η 取1.2， γ_q 取1.4，M8螺纹高度取0.6mm，进行设计验算：

$$K_{Cl} = K_{CO} - K_C \cdot K_I \cdot \Delta / \eta$$

$$\min = K_{Cl} / K_{CO} \geq 0.9$$

$$\begin{aligned} K_{Cl} &= 0.6 \text{ mm} - [0.002 \times 50 \times 2 \times 1.2] \text{ mm} \\ &= 0.6 \text{ mm} - 0.24 \text{ mm} \\ &= 0.36 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min &= 0.36 \div 0.6 \\ &= 0.6 < 0.9 \end{aligned}$$

故该螺纹高度不满足设计要求。

代入上式：

$$\begin{aligned} K_C &= \frac{(W_{CO} - W_{Cl}) - W_C - W_I}{St} \theta \cdot \gamma_q \\ &= \frac{(98.723 - 97.907) - (98.727 - 98.692)}{5.184 \times 360} \times 3.2 \times 1.4 \\ &= 0.816/1866.24 \times 3.2 \times 1.4 \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

示例3：采用示例1中的公式对表面进行钝化处理后的316不锈钢螺钉电化学电偶腐蚀量设计计算， K_I 取50年，

η 取1.2, γ_q 取1.4, M8 螺纹高度取0.6 mm, 进行设计验算:

$$K_{Cl} = K_{CO} - K_C \cdot K_I \cdot \Delta / \eta$$

$$\min = K_{Cl} / K_{CO} \geq 0.9$$

$$\begin{aligned} K_{Cl} &= 0.6 \text{ mm} - [0.0027 \times 50 \times 2 \times 1.2] \text{ mm} \\ &= 0.6 \text{ mm} - 0.324 \text{ mm} \\ &= 0.276 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \min &= 0.276 \div 0.6 \\ &= 0.46 < 0.9 \end{aligned}$$

故该螺纹高度不满足设计要求。

代入上式:

$$\begin{aligned} K_C &= \frac{(W_{CO} - W_{Cl}) - W_C - W_I}{St} \theta \cdot \gamma_q \\ &= \frac{(98.718 - 96.915) - (98.719 - 98.677)}{5.184 \times 360} \times 3.2 \times 1.4 \\ &= 1.1049 / 1866.24 \times 3.2 \times 1.4 \\ &= 0.0027 \end{aligned}$$

综上, 采用SCR的6组金属材料制成的螺钉, 其表面经高温渗入锌合金后, 防止电化学腐蚀的性能好, 具有更高的使用寿命。

编制组还采用恒电位仪在输入电流88 mA螺纹副电偶测试法来评估金属材料制成螺钉的电化学腐蚀性能。

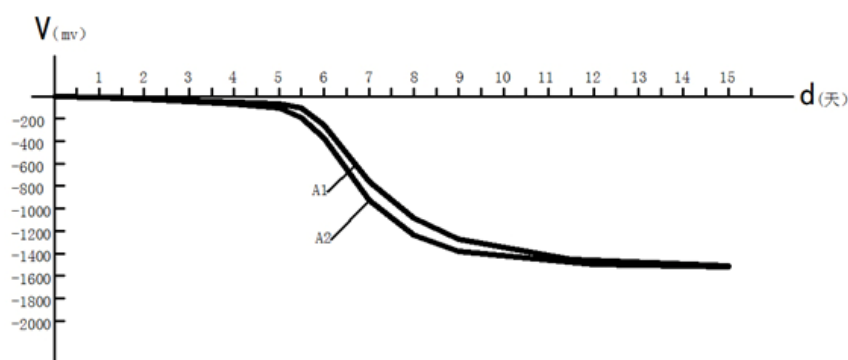
在3.5%NaCl溶液(pH值7.0), 阴极组分别取表面钝化的304不锈钢M8螺钉为A组、表面锌A合金的SCR组金属材料M8螺钉为B组, 这两个螺钉分别拧入厚度为5mm的表面经阳极氧化铝合金板材的M8螺纹孔中, 氧化铝合金板材作为阳极组, 通过恒电位仪在输入电流88 mA下进行试验。

试验结果: 304不锈钢A组的螺钉电位量从基础的-2.0 mV以-1.5 mV/d~-2.0 mV/d的增大, 72 h内螺纹副处电偶反应强烈气泡量不断, 72 h后出现向铝合金表面的外部成圆周状发展的电偶腐蚀的游离黄锈色沉淀层, 5 d~13 d为电化学腐蚀高峰期, 8 d~15 d分别进入腐蚀分离后平缓期, NaCl溶液(电位最大达-1512 mV/15 d)腐蚀, 游离黄锈色沉淀层扩大到整个试验杯底; SCR组的螺钉未见破坏, 铝合金螺纹副表面形成氧化膜。另外还对合金钢头的不锈钢自攻自钻螺钉(头部硬质合金钢、螺杆为304不锈钢)与铝合金型材连结, 由于三种金属电池效应加大了电偶活性导致腐蚀加速, 显示更为严重。

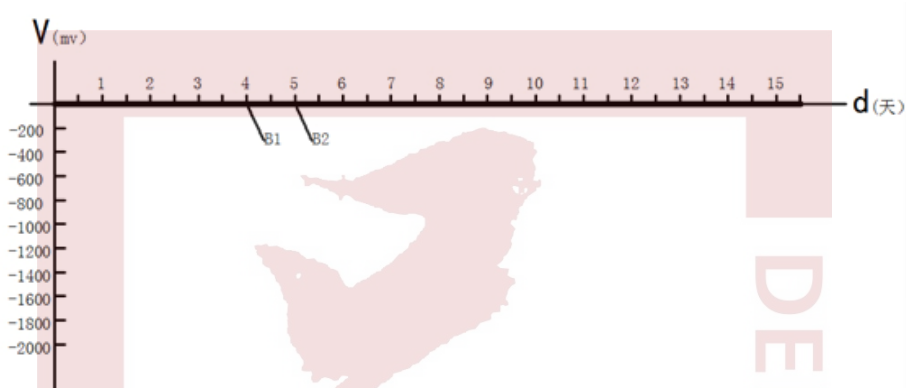
编制组还采用零阻电流恒电位螺纹副电偶测试法来评估金属材料制成螺钉的电化学腐蚀性能。

在3.5%NaCl溶液(pH值7.0), 阴极组分别取表面钝化的304不锈钢M8螺钉为A组、表面锌A合金的SCR组金属材料M8螺钉为B组, 这两个螺钉分别拧入厚度为5mm的表面经阳极氧化铝合金板材的M8螺纹孔中, 氧化铝合金板材作为阳极组, 通过恒电位仪在在零阻电位下进行试验。

试验结果: 304不锈钢A组的螺钉电位量从基础的-2.0 mV以-1.5 mV/d~-2.0 mV/d的增大, 72 h内螺纹副处电偶反应强烈气泡量不断, 72 h后出现向铝合金表面的外部成圆周状发展的电偶腐蚀的游离黄锈色沉淀层, 5 d~13 d为电化学腐蚀高峰期, 8 d~15 d分别进入腐蚀分离后平缓期, NaCl溶液(电位最大达-1512 mV/15 d)腐蚀, 游离黄锈色沉淀层扩大到整个试验杯底; SCR组的螺钉未见破坏, 铝合金螺纹副表面形成氧化膜。如图所示的 A_i 和 B_i 曲线分别为304不锈钢螺钉A组和SCR的B组金属材料制成的螺钉试验组中NaCl溶液电位随时间的变化曲线, 从图中也可以看出304不锈钢螺钉A组电位呈现较大的变化, 而SCR组金属材料制成的螺钉电位基本没有变化。



图C.3 A1、A2试件15D电位变化



图C.4 B1、B2试件15D电位变化

通过上述两种方法的试验也可以说明，采用SCR的B组金属材料制成的螺钉，其表面渗入锌合金后，防止电化学腐蚀的性能好，具有更高的使用寿命。并进一步证实不锈钢与铝合金存在较大的电化学反应的电偶活性。

由于现行幕墙规范中把不锈钢排除电化学腐蚀外，而试验结果不锈钢在电偶腐蚀中较其它金属严重。所以编制组从慎重起见，委托浙江工业大学电化学中心进行复核性试验，结果基本相同，进一步证明经高温渗入锌合金超高性能耐蚀钢与铝合金具有较好的防止电化学腐蚀功能。

5.1.16 现有幕墙规范中均没设碳钢、耐候钢材料的使用时间累计腐蚀厚度计算，且由各设计院根据各自的经验值取值，缺乏科学的统一标准值，尤其是碳钢制造混凝土用锚栓的锁键厚度、螺纹副的螺纹厚度等存在很难满足设计寿命。

耐大气腐蚀钢的研制起始于欧美，20世纪初欧美的科学家发现了Cu可以改善钢铁在大气中的耐蚀性能，1933年美国的U. S. Steel公司首先研制成功了耐腐蚀高抗拉强度的耐大气腐蚀钢——Corten钢，于60年代不涂漆直接应用于建筑和桥梁结构中，并进行了工业大气腐蚀试验。中国的幕墙规范中均有耐候钢(JGJ 133—2001中40米以上为高耐候钢)，高耐候钢GNH级为非电焊级；耐候钢NH级为电焊级，但导热较小线膨胀系数较大，和幕墙支承构件尺寸较小，且多为单侧焊接，加上施工现场多为普通电焊机焊，所以导致48h内变形过大，以及中长期的应力变形量问题也较突出，故一直未被采用，限于该困扰。另外现有国内耐候钢主要应用于受涂料保护的集装箱而开发，由于受条件影响目前国内开发的耐候钢耐大气腐蚀性较差，在GB/T 4171的附录可以证明不能依靠裸钢防腐蚀，明显落后于欧美、日本的耐大气腐蚀钢，另外日本的“不锈钢”名称也叫耐大气腐蚀钢，该钢种在日本被列入“不锈钢”系可以证明它具有较好的耐蚀性能。现有幕墙多是采用Q235、Q345钢材热浸镀锌防腐工艺，提高其耐腐蚀性能，且热浸

镀锌工艺投资大、成本高、危害健康、污染环境，另外焊接工艺还会导致火灾事故发生，以及既有幕墙改造也将面临不能动火问题。

免电焊的装配式连接方式、连体插芯立柱等幕墙支系结构体系、免焊装配式埋件组件、面板背挂系统的开发，解决了长期困扰超高性能耐蚀钢在幕墙结构上应用性问题。可满足建筑50年、70年、100年全寿命期轻量化的超高性能耐蚀钢装配式幕墙结构体系是其它普通结构钢不具备的特性。无需涂装的产品无论是在生产、运输、安装和使用维护等环节无需担心表面损伤，其耐蚀性能始终保持不变，给施工带来了极大的方便，提高产品的使用寿命，年损耗量较微小可减轻结构的重量，减少因为腐蚀而造成的钢材浪费，同时可以减少污染，带来很好的社会效益。由于我国耐大气腐蚀钢起步较晚，并且缺乏各类钢材的科学试验数据，在本文件的编制过程中，通过与大型钢厂技术研究部门的紧密接触，和收集国外科技信息，认为美国的材料与试验协会的试验成果较近似建筑用新钢种的超高性能耐蚀钢(SCR)裸钢：

1. 超高性能耐蚀钢与ASTM耐蚀钢机械性能实验数据基本相同。

SCR耐蚀钢是耐大气腐蚀钢简称，该产品基于美国材料与试验协会标准ASTM G101的耐大气腐蚀Corten钢和不锈钢基础上，根据建筑钢结构、幕墙免焊装配式需要的“高强度、高韧性、高耐蚀、免涂装、抗电偶蚀、耐高低温、涂层高附着力、可焊性”等功能，研究成功高于Corten钢的超高性能耐蚀钢，简称SCR钢，新钢种分3级：其中SCR-I为耐城乡大气/工业大气级/潮湿地下工程(含隧道、涵洞)；SCR-S为耐海岸20km内/温带海岛/有渗漏地下工程(含隧道、涵洞)；SCR-T为热带/亚热带海岛大气级/有土壤污染或海底地下工程(含隧道、涵洞)，具有钢结构自身耐火大于1.0小时性能和幕墙较高耐火蠕变性能。

超高性能耐蚀钢中主要合金成分为Ni(镍)、Cu(铜)、Cr(铬)…等元素与美国ASTM基本近似，增加V(钒)、Al(铝)、Mo(钼)…等成分后大大改善钢的特性，其SCR-I345与ASTM A588；SCR-I450与ASTM A871机械性能比对也相近(见表C.3)。

表 C.3 超高性能耐蚀钢与 ASTM 耐蚀钢机械性能比对

牌号	交货状态	厚度 mm	屈服点 σ_E MPa 不小于	抗拉强度 σ_b MPa 不小于	伸长率 δ_5 % 不小于	180 °C 冷弯试验	V 型纵向冲击功 J
SCR-I345	热轧	≤6	≤16=355	490~630	22	d=a	≥27~48 +20 °C~-40 °C
		6~16	>16~40=345			d=2a	
		≥16				d=3a	
ASTM A588	热轧	≤12	345	>485	21	—	≥27(21 °C)
		12~50					
SCR-I450	热轧	≤6	≤16=460	560~730	18	d=a	≥20~39 +20 °C~-40 °C
		6~16	>16~40=450			d=2a	
		≥16				d=3a	
ASTM A588	热轧	≤12	450	>550	17	—	≥20(29 °C)
		12~50					

从表C.3可以看出，超高性能耐蚀钢的机械性能与普通的低合金钢相仿或略高，从机械性能角度来看，完全能够满足各种建筑幕墙的要求。

2. 试验数据所得公式、简化年限最大100年与建筑寿命50年~100年基本相同。

建筑幕墙支承结构和与主结构连接的使用寿命要求一般在50年~100年，在这么长的时间里超高性能耐蚀钢的腐蚀程度如何，怎样来计算，显得较为重要。

从美国材料与试验协会的试验看，耐蚀钢的腐蚀速度递减比其它两种钢要快，10 年以后的腐蚀速度趋近于零，已经是处于一种相对稳定的状态。致密的锈层起到了保护本体的作用，使钢材的腐蚀速率大大降低，达到了耐候的效果。本文件根据美国材料与试验协会标准ASTM G101中给出了详细而科学的计算方法。ASTM A588耐蚀钢耐蚀试验数据见表C. 4。

表 C. 4 ASTM A588 耐蚀钢大气试验数据

试验周期 t (年)	平均腐蚀量 C (μm)	logt	logC	(logt)(log C)	(logt) ²
1.5	33	0.176	1.518	0.267	0.031
3.5	49	0.544	1.690	0.919	0.296
7.5	70	0.875	1.845	1.614	0.766
15.5	97	1.190	1.987	2.364	1.412
合计		<u>2.785</u>	<u>7.040</u>	<u>5.164</u>	<u>2.505</u>

注：1. 试验地点美国；2. 试验材料——ASTMA588；3. 试验环境——工业大气。

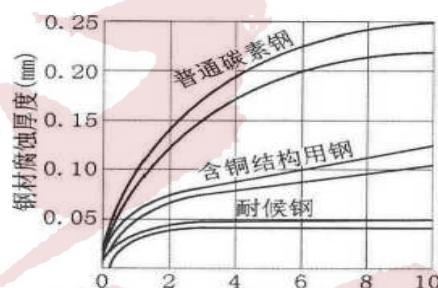


图 C. 5 ASTM 对 A588 耐蚀钢与其它二种钢材进行大气试验数据

本文件根据美国材料与试验协会标准ASTM G101中给出了详细的试验结果，普通碳钢、含Cu结构用钢和耐蚀钢的腐蚀量对照曲线(注：同组钢材中的两条曲线为统计数据的上下包络线，代表钢材腐蚀量的上下限值，可以看出，普通碳素钢腐蚀速度较快，并且腐蚀变化不明显；ASTM A588耐蚀钢腐蚀速度对应数据可以看出，第10年到第20年的时间段内，年平均腐蚀厚度仅为0.003 mm/年。耐蚀钢经过10年时间后，表面的锈层逐渐稳定，腐蚀的发展速度逐渐减慢。

根据对大量实验数据的统计分析，耐蚀钢的腐蚀量与时间之间始终存在以下的等式关系：

$$\log C = \log A + B \log t$$

式中：

C ——耐蚀钢的腐蚀量 (μm)；

t ——时间 (年)；

A、B ——腐蚀系数。

ASTM的使用年份和腐蚀量计算：

$$B = \frac{N \sum [(10 \log C)(\log t)] - (\sum 10 \log C)(\sum \log C)}{[N \sum (\log t)^2 - (\sum \log t)^2]}$$

式中：

N ——样本采集次数(取 $n=4$)，并将以上数据代入上式，可求得腐蚀系数 $B=0.463$ ； $10G_a = 1/n(\sum \log C) - B \sum \log t$ ， $A=27.35$ 。

ASTM A588耐蚀钢最终的腐蚀方程为： $\log C = \log A + B \log t = 1.437 + 0.463 \log t$ 。

在参照美国材料与试验协会的数据；以及综合参考了《耐大气腐蚀钢的研究概况. 防腐》科学与防腐技术2003-03；《试验钢在不同大气环境下的腐蚀性能研究》钢铁研究2009的研究成果。给出采用简化查表方式计算(见表11)。

在大气分类系数中，大气分类系数，内陆城镇1.0、工业及沿海1.1、海岸线20 km内和温带海岛1.2、热带及亚热带海岛1.4。

5.1.17 所述“雷峰螺钉”由多道闪雷槽和多段旋状螺纹峰状刃组成而得名，与锁簧防退螺母组合时俗称“雷峰螺钉”；不锈钢、超高性能耐蚀钢制成导热较差的螺栓，在弹簧、弹簧垫、施加重力、电动或气动工具安装时会出现“咬死”的拧断或者螺纹撕裂堆叠破坏性咬死，尚存在接近拧紧的螺纹撕裂堆叠破坏性咬死的未被发现隐患风险。“防咬死螺纹”需满足在电(气)动工具安装时 ≥ 6 次连续循环不被咬死。

6 技术要求

6.3.1 一般来讲新建建筑混凝土结构的锚栓寿命应不小于50年，尽管本文件中装配式自扩底(旋切)机械双固锚栓副所用的环氧锚固胶产品作为机械连接的辅助，但是其性能也得满足不小于50年，根据现有中低端的不饱和聚脂树脂、乙烯基树脂、环氧树脂类锚固胶很难满足寿命要求，故本文件对所指的环氧锚固胶产品提出应满足环保和寿命的以下要求：

- a) 国家标准 GB/T 18583 中 VOC 挥发性有机物总量 ≤ 700 g/kg，本文件不挥发固体容量要求为 $\geq 99\%$ ，这不但是严格控制环保要求，主要是控制寿命较低的含有甲醛、苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯的聚脂类(不饱和聚脂树脂或乙烯基树脂)、环氧类的锚固胶的混入；
- b) 国家标准 GB/T 18583 “苯”的许用量为 ≤ 5 g/kg，欧美标准中考虑“苯”为致癌物质故不允许有检出，本文件对“苯”的判定未检出为合格；依据《急性经口毒性固定剂量试验方法》GB/T 21804 标准，应对环氧锚固胶进行毒性试验；
- c) 环氧锚固胶为防止低温下长时间不固化流淌减效，故对初期固化时间提出要求： $+5^{\circ}\text{C}$ 及以上 ≤ 20 min， $(-0\sim 5)^{\circ}\text{C}$ 可以使用，固化时间 ≤ 30 min；
- d) 环氧锚固胶应满足 B 级阻燃要求；当用于防火幕墙等时，应满足防火要求。

6.3.4 对于本文件中埋件及配套螺栓等幕墙用紧固件，存在正负风压振频、地震导致锁件变形滑移，以及长期轴芯疲劳导致夹紧力减弱等问题，所以不得采用防松垫片来替代原幕墙用紧固件用电焊辅助防松，应采用具有可靠的在紧固件发生轴芯疲劳位移时，尚有保持防退功能的装配式紧固件副，应当进行紧固件横向振动试验。

对振动有要求的高铁紧固件会在0时以后用高科技检修车查验防松，对重大结构可采用芯片或导线跟踪测试防松，本文件在编制中对于幕墙采用免电焊铰接非常慎重，通过比对试验如下：

取现有常见的8.8级的M16螺栓(考虑不容易振断)：

- A组：标准螺杆/平垫/螺纹胶/标准螺母；
- B组：标准螺杆/平垫/弹垫/标准螺母；
- C组：标准螺杆/平垫/弹垫/锁紧螺母；
- D组：标准螺杆/平垫/标准螺母。

按GB/T 10431横向振动试验标准试验得出曲线，68 kN预紧力衰减80%的失效点54.4 kN时，A、B、D组1秒~3秒(10次~30次)；C组4秒(53次)。(图C.6)

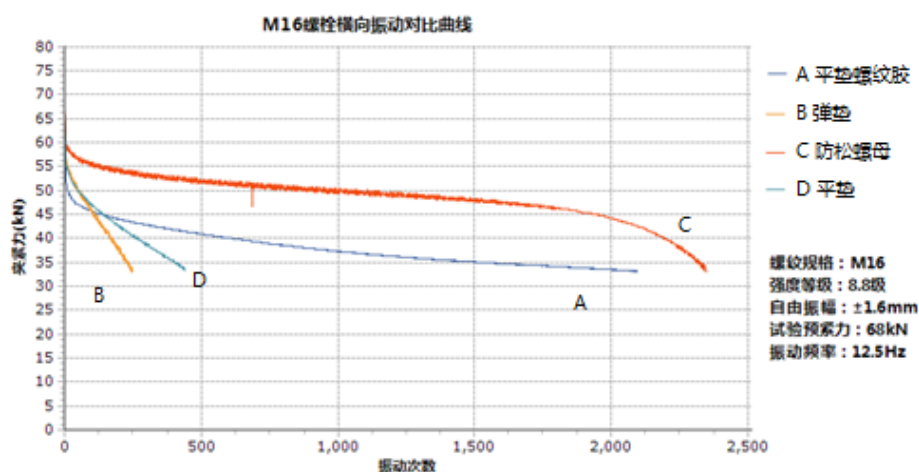


图 C.6 M16 螺栓横向振动试验得出曲线

取现有常见的8.8级的M20螺栓(考虑不容易振断):

- 1组: 标准螺栓/平垫/弹垫/双螺母;
- 2组: 标准螺栓/平垫/弹垫/标准螺母;
- 3组: 标准螺栓/单层带齿防松垫/带齿垫螺母;
- 4组: 标准螺栓/平垫/标准螺母;
- 5组: 标准螺栓/双层带齿防松垫/带齿垫螺母。

按GB/T 10431横向振动试验标准试验得出曲线, 112(5组149)kN预紧力衰减80%的失效点90(119)kN时, 1、2、3、4、5组1s~4s(10次~50次)。(图C.7)

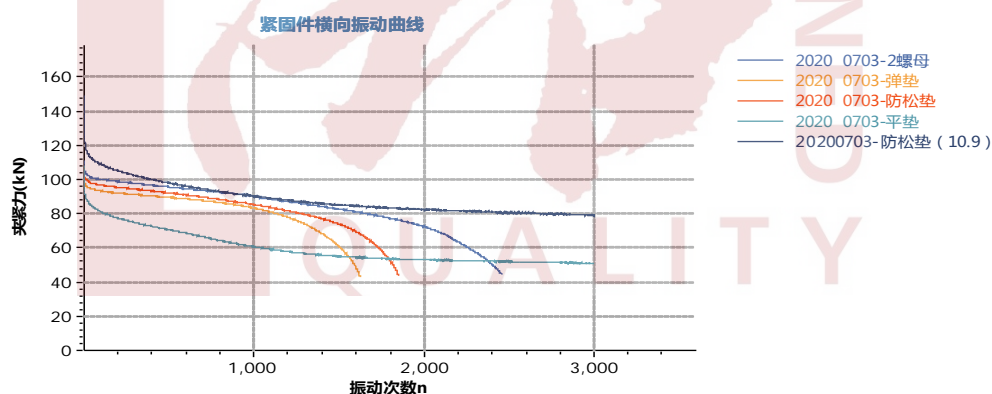


图 C.7 M20 紧固件横向振动试验得出曲线

取幕墙用M12×120-70级“装配式穿柱螺栓副”, 按GB/T 10431横向振动试验标准试验, 取12.5Hz, 振幅±1.2mm测试, 在10000次~15000次时螺杆被振断, 其预紧力有效(图C.8)。按在编标准振幅取值时达50000次未坏, 其预紧力有效, 故所设是试验预紧力、振幅值符合试验条件, 其“装配式紧固件副”具备满足幕墙持久防松防退功能。

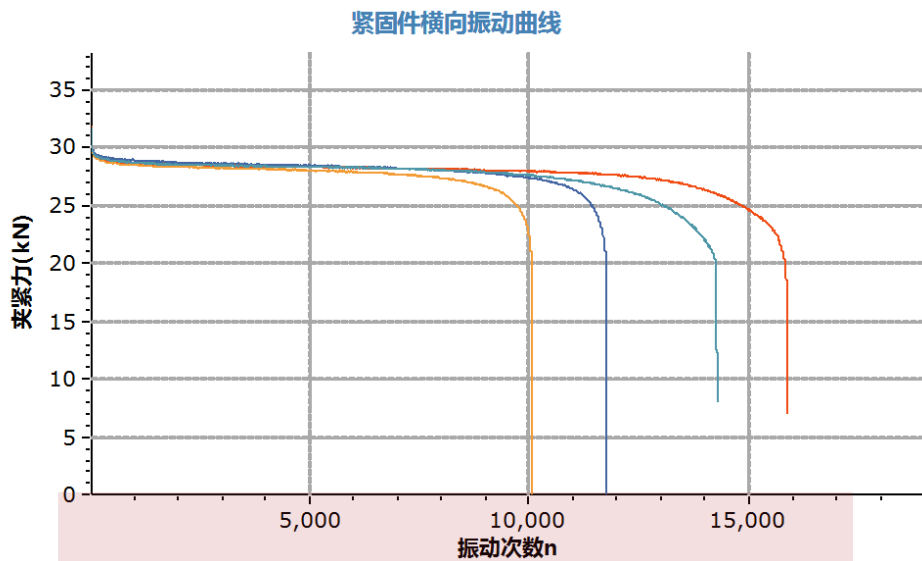
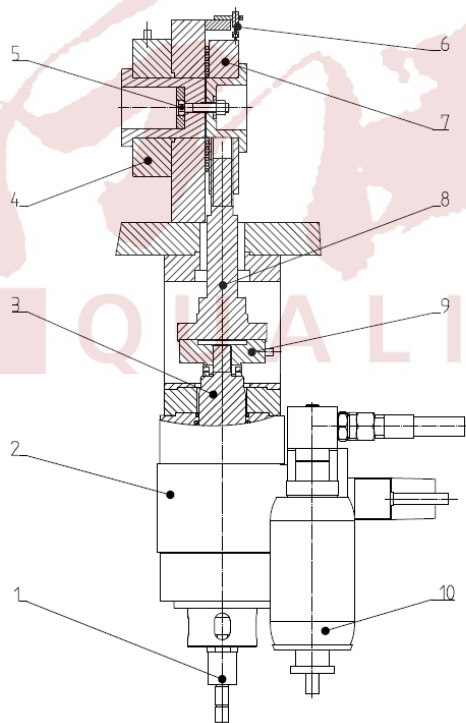


图 C.8 M12×120-70 级装配式穿柱螺栓副 振幅±1.2 mm 测试

考虑到GB/T 10431试验方法进行防松试验对12.9级紧固件给出建议夹紧力为保证荷载扭矩夹紧力试验值的50%，主要考虑在长期振动疲劳下的防松防退性能。鉴于大部分地区的风振破坏率远高于地震危害，正弦波的紧固件横向振动，且无法模拟建筑风振波的试验结果。现有的振动台分机械式和液压式，机械式振动值与获得值有一定差异，故提出宜采用非机械振动的高精度输入经人工修正的体型风振波的电液式振动台进行试验(图C.9)。



说明:

- 1——横向位移传感器；2——作动器；3——活塞；4——夹紧力传感器；5——试验螺栓；
6——震动位移传感器；7——滑移板；8——连杆；9——横向力传感器；10——蓄能器。

图 C.9 电液式振动台

本文件表33中0.8高强度碳钢(合金)、不锈钢、超高性能耐蚀钢紧固件级振幅值是通过试验得出振幅与次数关系比对获得,在对浙江某品牌的70级雷峰螺纹防松防退螺栓产品试验中,首批设定20 000次/振幅1.2时出现10 000次、12 000次、14 000次、16 000次等在夹紧力未见衰减状态下振断,故进行比对和调正,M10(80级)永不松动雷峰栓(单螺母,图C.10)50000次/4000s剩余夹紧力92%,100000次/8000s剩余夹紧力87%,夹紧力有效,未见破坏和失效(图C.11);与日本某称之为“永不松动”的紧固件图C.12比对,日本某所称的“永不松动”M10(80级)螺栓(双螺母)2935次/235s,剩余夹紧力19.2%(图C.13);通过放大的次数后获得更精确的数据,同时也证明本文件涉及的装配式紧固件在没有电焊辅助下,可以满足永久性防松防退。

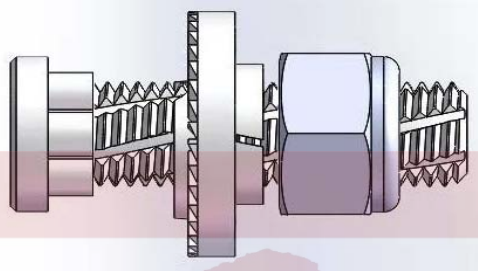


图 C.10 浙江某品牌

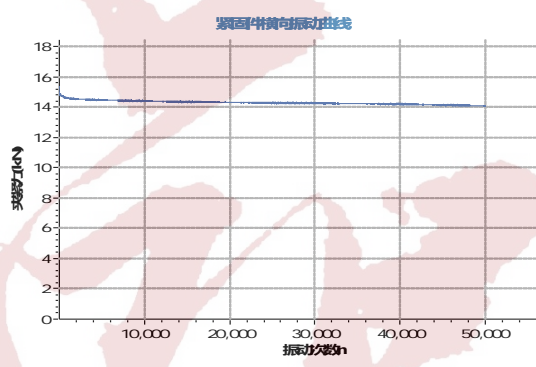


图 C.11 浙江某品牌 M10 螺栓 50000 次/4000s 剩余夹紧力 92%试验曲线



C.12 日本“永不松动”通过 2000 余次/3 分钟失效

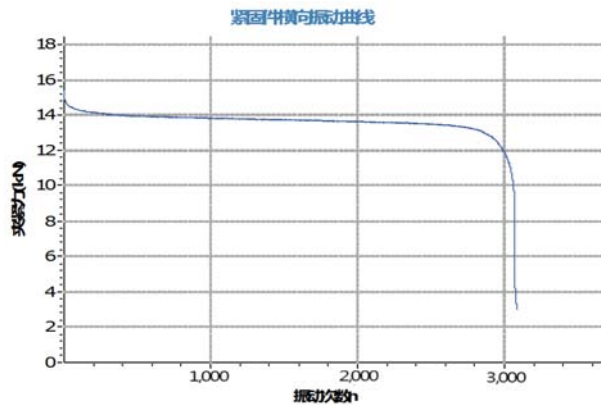


图 C.13 日本某所称的“永不松动”M10 螺栓 2935 次/235s，剩余夹紧力 19.2%试验曲线

6.3.5 抗震性能振动台试验费用昂贵，故不推荐型式测试，但是如锚栓、埋件产品与混凝土关键连接点，各家的尺寸形状都不相同，生产工艺也有差异，没有可比性，所以至少一次抗震性能是有必要的。

10 质量承诺

10.2.1 主控项目的品质是确保使用寿命的关键，列入主控项目的必须保证为本厂自产，非本厂生产必须向客户说明外协来源，见表38。

10.2.2 不锈钢螺栓紧固件具有抗腐蚀性能好、经久耐用、经济美观等优点，在建筑、交通、水利、机械、能源、航空航天等领域中有着广泛的应用。不锈钢材料特有的耐腐合金材质使其呈现出与普通碳素钢诸多不同的物理、力学特性以及工程应用体验。不锈钢螺栓在使用过程中遇到的一个突出问题是，其在装配或拆卸过程中常出现俗称的“咬死”现象，造成螺栓无法进一步拧进或退出。“咬死”发生后往往只能采用切割、拧断等破坏性方式破解，严重影响了部件组装及整个项目的进度，若误将“咬死”当作拧紧还会在拼装结构中留下安全隐患。

现有针对螺栓咬死现象的研究几乎都是针对手动安装且仅施加扭矩而无轴向反弹力的情况。然而当前工业化和装配式建筑的兴起亟需大规模电动、气动快速装配手段的应用；在螺纹副中具有防松弹簧垫片以及背栓安装等情况下，装配过程中均需同时施加轴向抵压力。但是，无论是快速电动安装还是抵压力的施加都将显著增加不锈钢连接副的咬死风险，这给免焊装配式结构的大规模推广应用提出了新的课题。

一种新型的具有均载旋切螺纹的装配式螺栓副，近年来已大量应用于各类实际工程，应用中全部采用电动工具安装，但均未发现此类螺栓发生咬死现象。为探讨这种新型螺栓在扭矩和附加轴向压力共同作用下的抗咬死功能的有效性及其内在作用机理，并提出简便实用的抗咬死试验检验方法，浙江大学建筑工程学院对新型不锈钢均载旋切螺栓和常规的标准螺栓进行了抗咬死对比试验研究。

一、试验结果分析：

1. 无反弹力钝扭咬死试验：

选取70级M12/A2不锈钢标准螺栓试件10件，编号分别为Z1-1、Z1-2、…、Z1-10；同时选取70级M12/A2不锈钢均载旋切螺栓试件10件，编号分别为S1-1、S1-2、…、S1-10。采用电动扳手在无反弹力情况下拧紧至设定扭矩，再立刻退出，重复该过程直至发生咬死，或直至拧紧退出最多40次。试验采用的电动扭矩扳手型号为PID-TYD-230，设定最大扭矩为100 N·m。

拧进退出过程中若发生咬死现象，则记录进退次数，并锯开螺母，观察螺纹锁死现象及其损伤变形或破坏情况。此次试验结果如表C.5所示；通过观察发现不同试件螺纹咬死的损伤状况基本相同，图C.14

给出了典型试件螺纹咬死分离后的外观形貌，图C. 15则给出了将螺栓和螺母对半剖切后的螺纹锁死形貌。

表 C. 5 70 级 M12 不锈钢螺栓咬死试验结果

螺栓类型	试件编号	扳手扭矩 (N·m)	进退次数	螺纹损伤
标准螺栓	Z1-1	100	3	螺纹副第 3、4 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-2	100	6	螺纹副第 2~4 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-3	100	2	螺纹副第 2、3 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-4	100	5	螺纹副第 2、3 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-5	100	2	螺纹副第 3 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-6	100	4	螺纹副第 2、3 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-7	100	13	螺纹副第 2~4 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-8	100	2	螺纹副第 2、3 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-9	100	9	螺纹副第 2~4 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
	Z1-10	100	5	螺纹副第 2、3 道螺纹破坏，磨屑堆积黏连
旋切螺栓	S1-1~S1-10	100	40	未咬死，未见明显损伤



图 C. 14 典型 70 级 M12 标准螺栓咬死分离后螺纹形貌

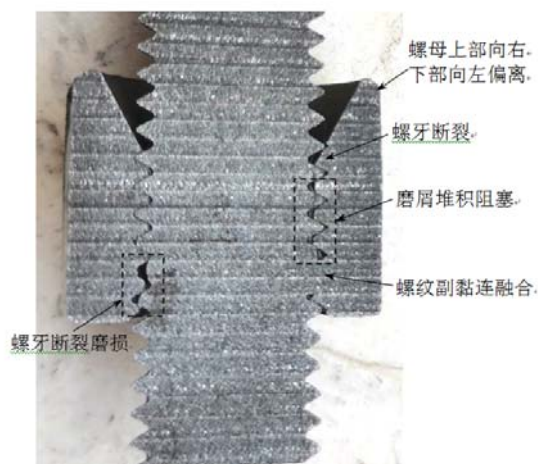


图 C. 15 典型 70 级 M12 标准螺栓咬死剖切后螺纹副状况

由表C.5可见:

1) 该组标准螺栓试件全部发生了咬死故障,发生咬死的拧紧退出次数为2~13次,其中达到或超过6次的仅占30%,平均拧紧退出次数为5.1次;

2) 咬死故障的螺纹损伤破坏主要发生在螺纹副由前向后的第2~4道螺纹中的一道(参见图C.14)或多道螺牙(参见图C.15)之上,其中一道螺牙破坏的占比10%,多道螺牙破坏的占比90%。

3) 该组均载旋切螺栓试件在限定拧紧退出次数(40次)内均未发生咬死故障,也未见螺纹出现明显的损伤变形缺陷,表明均载旋切螺栓具有更优越的综合抗咬死功能。

对于典型的标准螺栓试件,由图C.14可明显看到,其局部螺牙发生了严重磨损,产生的残屑在螺母的部分螺纹之间形成了堆积;由图C.15可见,左下侧螺纹副中的第2、3道螺牙和螺母右上侧的部分螺牙出现了明显的磨损和断裂、变形现象,右侧的螺纹副中出现了磨屑堆积,使得螺母上半部相对于螺杆明显向右侧偏离,而下半部则向左侧偏离,右侧中部的螺纹副发生了磨屑堆积阻塞,右下部的第2、第3道螺纹副发生了相互黏连和融合现象。

由此可见,螺牙局部损伤破坏形成残屑堆积,并随拧动使螺纹副彼此不对称偏离,而偏离后的强制拧动又进一步扩大和加剧了螺纹的损伤、堆积及偏离现象,最终导致了彻底锁死。

试验中发现,螺栓拧动过程中,螺纹的损伤变形主要是从螺纹副第2道以内的局部螺牙开始的。然而从螺纹副的轴向荷载分担比例看,第1道螺纹的压力和摩擦力是最大的,理应最先损伤变形,但实际并非如此,这说明初始摩擦力并非起主导作用。摩擦生热致使螺牙温度迅速增高,但边缘一道(第1道)摩擦副的散热较快,故内侧升温仍明显快于边缘升温,发热后一对摩擦副基体金属急剧膨胀并紧密接触和相互挤压,同时在强大扭转剪力作用下发生剪切损伤或局部断裂,是引起螺牙磨损、变形和撕裂的主要原因,磨屑和断裂碎粒随着旋转发生堆积、阻塞、螺纹副偏离是螺栓咬死的直接原因。

表C.6给出了直径较小的70级M6/A4螺栓试件(编号分别为Z2-1~Z2-10、S2-1~S2-10)的咬死试验结果,所用电动扳手的设定最大扭矩为11 N·m;图C.16给出了典型试件螺纹咬死分离后的形态。

表 C.6 70 级 M6 不锈钢螺栓咬死试验结果

螺栓类型	试件编号	扳手扭矩 (N·m)	进退次数	螺纹损伤
标准螺栓	Z2-1	11	3	螺纹副第2道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-2	11	6	螺纹副第2、3道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-3	11	1	螺纹副第2、3道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-4	11	17	螺纹副第2~4道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-5	11	1	螺纹副第3道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-6	11	8	螺纹副第2~4道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-7	11	5	螺纹副第2~4道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-8	11	7	螺纹副第2~4道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-9	11	4	螺纹副第2、3道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
	Z2-10	11	4	螺纹副第2~4道螺纹破坏,磨屑堆积黏连
旋切螺栓	S2-1~S2-10	11	40	未咬死,未见明显损伤



图 C.16 典型 70 级 M6 标准螺栓咬死分离后螺纹形貌

由上述图表可见，这组70级M6标准试件也全部发生了咬死现象，咬死前拧紧退出次数达到或超过6次的占40%，咬死前所经历的平均拧紧退出次数为5.6次；导致咬死的螺纹破坏、堆积、阻塞现象主要发生在螺纹副前后端起的第2~4道螺牙之中。例如在图C.16中的试件中，螺杆上有两道螺牙发生了明显磨损，而螺母在对应的中部位置有2~4道螺纹出现了损伤和磨屑局部堆积。

由此可进一步推断，本次试验的不锈钢螺栓咬死故障的发生基本呈现如下过程：螺纹摩擦副随拧动快速升温→螺牙膨胀→螺纹副无缝接触挤压→强制拧动致螺牙剪切撕裂→磨屑碎粒移动堆积阻塞→螺纹副偏离→堆积阻塞与偏离加剧→完全锁死。这一过程大多在0.5 s~2 s内完成。

对于均载旋切螺栓，该组试验的10个试件在无附加反弹力的纯电动扳手扭矩作用下，在限定拧紧退出次数内均未出现咬死故障以及明显的螺纹损伤现象，这表明对于直径更小、螺纹间距更密的旋切螺栓，其同样具有良好的综合抗咬死性能。

2. 带反弹力拧动咬死试验：

在建设工程的很多紧固件连接中，施加预紧扭矩时需同时抵抗防松弹簧垫片的反弹力作用，背栓安装时需同时施加轴向抵压力，才能确保螺栓不至滑动而实现有效预紧。从上一节的无反弹力预紧咬死试验中看到，均载旋切螺栓试件均未出现咬死现象。为进一步考察不锈钢均载旋切螺栓的抗咬死性能，我们对其进行了扭矩和反弹力共同作用下的咬死破坏试验。

选择80级M12/A4不锈钢均载旋切螺栓试件10件，编号分别为S3-1、S3-2、…、S3-10。采用电动扭矩扳手拧动，设定5个等级的螺母拧入扭矩值，该型号螺栓的拧入扭矩值为：

- 1) 80 N·m（对应最低保证荷载工况，取最低保证扭矩65 N·m的约1.2倍）；
- 2) 90 N·m（对应标准轻荷载工况）；
- 3) 100 N·m（对应标准中荷载工况）；
- 4) 110 N·m（对应标准重荷载工况）；
- 5) 120 N·m（对应超限重荷载工况）。

螺母拧动过程中同时施加反弹力，反弹力设计为随螺母向前拧入而逐渐增大、随之向后拧出而减小，拧紧时的最大反弹力与扭矩对应也分5级设计。对于M12型号螺栓，其反弹力为：

- 1) 490 N（最低保证荷载工况）；
- 2) 823 N（标准轻荷载工况）；
- 3) 1 225 N（标准中荷载工况）；
- 4) 1 833 N（标准重荷载工况）；
- 5) 2 401 N（超限重荷载工况）。

此次试验为咬死破坏试验，即在扳手扭矩和轴向反弹力共同作用下不间断拧进退出，直至出现锁死而无法拧动，并记录相应的进退次数。

表C.7列出了各试件在不同设定扭矩和反弹力作用下发生咬死前的拧进退出次数以及该组试件的平均次数；图C.17给出了该组螺栓试件发生咬死的平均进退次数随最大反弹力的变化曲线。

表 C.7 80 级 M12/A4 均载旋切螺栓咬死进退次数

扳手扭矩 (N·m)	最大反弹力 (N)	进退次数										
		S3-1	S3-2	S3-3	S3-4	S3-5	S3-6	S3-7	S3-8	S3-9	S3-10	均值
80	490	30	27	19	33	52	56	63	42	37	43	40.2
90	823	39	20	31	41	28	36	36	25	35	31	32.2
100	1225	30	18	23	13	21	29	25	33	26	23	24.1
110	1833	10	13	18	8	17	14	16	12	22	15	14.5
120	2401	7	8	9	9	7	10	8	10	11	8	8.7

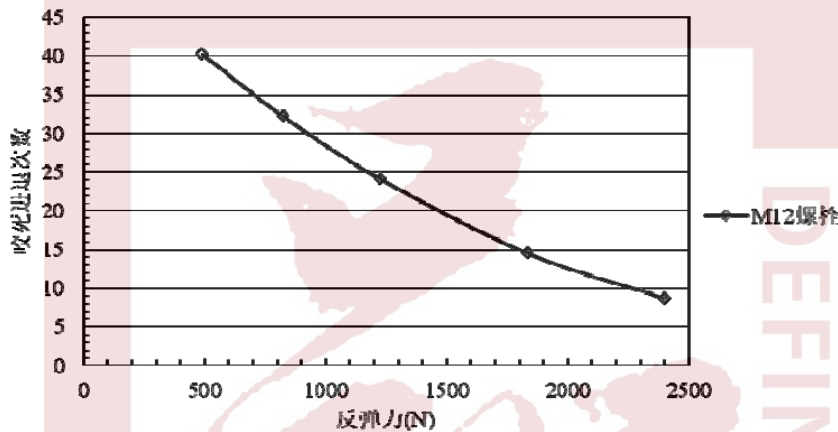


图 C.17 80 级 M12 旋切螺栓咬死平均进退次数随反弹力变化曲线

由表C.7和图C.17可见，随着反弹力增加，螺栓发生咬死的拧进退出次数明显减小，表明增大反弹力将明显加剧螺栓咬死故障的发生。其原因在于加大反弹力，螺纹副的摩擦力随之增大，螺牙升温、膨胀、挤压、剪切、残屑堆积和阻塞现象将明显加剧，致使螺纹副更易锁死。

但是，该组均载旋切螺栓试件即使在相应超限重荷载的反弹力作用下，其发生咬死所经历的拧进退出次数均大于6次，因而可判定其仍能满足连接件正常使用的要求。在建筑工程领域，正常使用状态下结构中不锈钢螺栓紧固件的拧紧退出次数通常在3次以内，如取2倍的安全系数，这里将6次拧进退出而不发生咬死，作为螺栓满足抗咬死性能的要求是合适的。

切割并分离部分旋切螺栓咬死试件并观察发现，其导致咬死的内在原因与标准螺栓基本相同。图C.18给出了典型旋切螺栓试件咬死分离后的螺纹形貌，可以看到螺杆纵向旋槽间的局部螺牙出现了较严重的断裂、磨损，大片残屑堆积在螺母的两道螺纹之间，从而造成螺纹副牙槽阻塞并相互偏离，直至完全锁死。

由此可见，均载旋切螺栓发生咬死的内在原因和机理与标准螺栓基本一致，在扭矩以及较大反弹力和摩擦力作用下螺纹副快速升温，螺纹基体金属急剧膨胀，进而接触、挤压甚至局部黏连融合，同时在较大扭矩作用下发生磨损、剪切、断裂等损伤破坏，进而出现磨屑或碎粒堆积、阻塞、螺纹副偏离，直至最终咬死。



图 C.18 典型 80 级 M12 旋切螺栓咬死分离后螺纹形貌

但是与标准螺栓相比，均载旋切螺栓在无反弹力情况下基本不发生咬死故障，在较大反弹力情况下只有经历足够多次的连续拧紧退出才可能出现咬死现象，显示出十分优越的抗咬死性能。究其原因，主要在于以下几个方面：

- 1) 这类螺栓纵向顺时针旋槽的设置使得螺纹副各道螺牙能够均匀受力，峰值摩擦力较小，升温膨胀速度和程度均得到减缓，因而不易发生咬死；
- 2) 纵向旋槽有利于散热，确保螺栓在拧进退出过程中不致迅速升温而咬死；
- 3) 纵向顺时针旋槽有利于清除逆时针螺纹牙槽中的部分残屑，有效减缓堆积阻塞和螺纹副偏离锁死。

归结起来，均载旋切螺栓的特殊旋切构造是其具有更优越的抗咬死性能的本质原因和关键因素。

3. 表面涂层对咬死故障的影响：

选取80级M12标准螺栓，分别对三种表面涂层处理方法进行咬死试验研究。三种处理方法分别是：表面黑钛金封闭处理、表面钝化封闭处理、特氟龙乳液层处理。对每一种处理方法及每一个对比工况，各选取100件×3组=300件标准螺栓试件，采用电动扭矩扳手，设定螺母拧入扭矩值为110 N·m，反弹力取用标准重荷载的反弹力1833N。对各试件进行咬死通过率试验：连续拧紧退出共6次，若未发生咬死，则认为通过咬死试验，可满足正常使用的抗咬死要求。对于不同类型的不锈钢螺栓，该通过率试验可推广作为螺栓抗咬死性能的一种实用检验方法。

(1) 表面黑钛金封闭处理：

表面黑钛金封闭处理包括无机黑钛金超声波激振研磨、水性环保封闭液涂层以及高温干燥固化等工序，处理后可使不锈钢表面成为亮灰黑色。为考察该表面处理方法对螺栓咬死故障的影响，对三种品牌的不锈钢标准螺栓紧固件进行了咬死通过率试验，试验结果如表C.8所示。

表 C.8 黑钛金处理 80 级 M12 标准螺栓咬死试验通过率

螺栓品牌	表面处理	扳手扭矩 (N·m)	最大反弹力 (N)	试件数	通过数	通过率
浙江某厂 A	未经处理	110	1 833	100	0	0 %
				100	0	0 %
				100	0	0 %
浙江某厂 A	黑钛金处理	110	1 833	100	6	6 %
				100	13	13 %

				100	7	7 %
台资某厂	未经处理	110	1 833	100	0	0 %
				100	0	0 %
				100	0	0 %
浙江某厂 B	未经处理	110	1 833	100	0	0 %
				100	0	0 %
				100	0	0 %

由表C. 8看到, 未经表面处理的浙江某厂A不锈钢标准螺栓试件以及其他两个品牌的同类试件均未通过连续反复6次的拧紧退出咬死试验, 即通过率全为0%; 经黑钛金封闭处理的浙江某厂A标准螺栓只有少数通过咬死试验, 三组试件通过率分别为6%、13%和7%。这表明不锈钢标准螺栓经黑钛金封闭处理后, 能在一定程度上提高其抗咬死性能, 但提高程度十分有限, 在电动扳手拧动和较大反弹力作用下仍不具备足够的抗咬死能力, 不能满足正常使用的要求。

(2) 表面钝化封闭处理和特氟龙涂层处理:

表面钝化封闭处理包括表面钝化、水性环保封闭液涂层和高温干燥固化等处理工序; 特氟龙涂层处理是在不锈钢表面喷涂聚四氟乙烯(特氟龙)乳液层, 以达到润滑、防锈防污的目的。对每种处理方法, 仍选取100件×3组=300件标准螺栓试件, 进行咬死通过率试验, 试验结果如表C. 9所示。

表 C. 9 表面钝化和特氟龙处理 80 级 M12 标准螺栓咬死试验通过率

螺栓品牌	表面处理	扳手扭矩 (N·m)	最大反弹力 (N)	试件数	通过数	通过率
浙江某厂 A	钝化+封闭处理	110	1 833	100	3	3 %
				100	5	5 %
				100	9	9 %
	特氟龙处理	110	1 833	100	5	5 %
				100	7	7 %
				100	13	13 %

由表C. 9可见, 与未经表面处理的试件相比(参见表C. 8), 经表面钝化封闭处理和特氟龙涂层处理的试件有少数能够通过连续反复6次的拧紧退出咬死试验, 但通过率仍比较低, 基本在10%上下, 且多数低于10%。说明这两种表面处理方法与黑钛金封闭处理类似, 虽能在一定程度上改善不锈钢螺栓的抗咬死性能, 但在有较大反弹力情况下其改善程度不大, 经处理的标准螺栓仍不具备足够的抗咬死功能, 不能满足正常使用的要求。

(3) 咬死通过率对比试验:

对两种强度等级和材质(70级A2和80级A4)、五种型号(M6、M8、M10、M12、M16)的不锈钢标准螺栓和新型均载旋切螺栓, 在五种荷载工况的扳手预紧扭矩和最大反弹力共同作用下各选取10个试件, 分别进行不间断、反复6次的拧紧退出咬死试验, 分别记录其未发生咬死现象的通过件数, 计算通过率。

分析附录中的对比试验结果可见, 标准螺栓仅一组M6试件在最低标准荷载工况下有1个试件通过了试验, 通过率为10%, 该型号在其余工况以及其余型号在所有工况下的试件均出现了咬死, 通过率为0%, 表明标准螺栓不能满足螺纹副在反弹力条件下正常使用的抗咬死性能要求。但是, 均载旋切螺栓所有型

号的试件在全部五种工况下均通过了试验，通过率全部为100%，表明均载旋切螺栓即使在超出正常使用荷载数倍的反弹力共同作用下仍具备良好的抗咬死能力，满足正常使用的抗咬死性能要求。

通过对不同型号、不同等级的不锈钢标准螺栓和均载旋切螺栓试件，在不同荷载工况下进行反复拧紧退出的咬死试验，并对咬死现象、锁死机理、检验方法、咬死通过率等进行统计、分析和对比，可以获得以下结论：

1) 不锈钢螺栓发生咬死的内在原因是螺纹副在压力和摩擦力作用下快速升温，致使螺纹基体金属快速膨胀，进而接触挤压甚至局部黏连融合，同时在强制拧动下发生磨损、剪切、撕裂等损伤破坏，损伤残屑随旋转迁移、堆积和阻塞，并使牙槽偏离，直至最终锁死。这当中摩擦生热和膨胀挤压起到决定作用。

2) 不锈钢标准螺栓在无反弹力情况下，多数试件（M12试件70%，M6试件60%）经历不到6次的拧紧退出就发生了咬死；而在有反弹力情况下，仅一组试件在最低保证荷载工况下有10%达到6次拧紧退出而不发生咬死。这表明不锈钢标准螺栓的抗咬死性能较差，在有反弹力情况下不能满足正常使用的抗咬死要求。

3) 不锈钢均载旋切螺栓试件在无反弹力情况下，经历40次拧紧退出均未就发生咬死；在有反弹力情况下，即使在超限重荷载工况的反弹力作用下，其发生咬死的拧进退出次数均达到或超过6次。这说明均载旋切螺栓紧固件具有优越的抗咬死性能，能够满足不同反弹力情况下的正常使用要求。

4) 均载旋切螺栓的特殊旋切构造是其具有更优越抗咬死性能的关键所在。纵向顺时针旋槽的设置既使螺纹副承载和摩擦生热更趋均衡，又有利于散热和清除牙槽残屑，能够有效避免螺纹副急剧摩擦升温 and 变形锁死现象。

5) 轴向反弹力对螺栓咬死故障具有显著影响。随着反弹力增加，螺栓发生咬死的拧进退出次数明显减小。其原因在于反弹力增大，螺纹副的摩擦生热、膨胀挤压，以及螺牙损伤变形、残屑堆积和阻塞程度将随之加剧，更易导致锁死。

6) 表面黑钛金封闭处理、表面钝化封闭处理、特氟龙乳液层处理等表面处理方法，在具有反弹力的情况下并不能有效改善不锈钢标准螺栓的抗咬死性能，处理后的试件的咬死通过率仍较低，不能满足螺栓正常使用的抗咬死要求。

7) 在有反弹力情况下，同时考虑拆装过程中的其他不利因素，将6次拧进退出而不发生咬死，作为不锈钢螺栓满足抗咬死性能的要求是合适的。由此提出不锈钢螺栓抗咬死性能的检验方法：足够数量的随机样本在不同等级荷载工况的反弹力和电动扳手作用下，全部达到6次拧紧退出而不发生咬死，即认为通过咬死试验，满足正常使用的抗咬死要求。

附录 A

A.1.1 低强度紧固件在长期轴力疲劳中延长率较大，而常规过高强度紧固件在长期轴力疲劳中延长率较小但容易脆断，设计时应选择适合要求的具有延长率较小又不容易脆断的紧固件型号。不锈钢螺栓螺纹破坏性咬死不是新问题，在工程实践中经常会碰到咬死无法进退，螺径较小的会出现“咬死”后继续拧的断裂，如安装时工人为了控制转动而施加压力容易发生咬死后拧断，和电动工具更容易发生咬死，另外未发生咬死的因螺纹破坏而强行拧到位存有安全隐患，所以设计时更换大一螺径的紧固件不是解决办法，而是应规范操作方式，或者选择防咬死的产品。采用螺栓连接时，除承载力和变形验算外，尚应采取必要的措施，防止连接部位松动、脱落。

A.1.2 单一锁销连接，无法保证横梁与立柱两者之间连接公差，产生杠杆作用下的弯矩导致扭曲，在计算和设计时应考虑滑块固定。

A.1.3 幕墙支承结构设计应为整个幕墙体系的完整设计，荷载传递途径中的各构件及连接部位均应进行结构设计及验算，包括幕墙面板、面板与支承结构的连接、支承结构、支承结构间的连接、支承结构

与锚固件的连接、锚固件（预埋件或后置锚固）、锚固件与主体结构的连接等。对所连接的部位应采取防止疲劳性滑移、松动措施。

A. 1.5 幕墙设计应区分是否考虑抗震。对非抗震设计的幕墙，需要考虑风荷载、永久荷载以及温度作用；对抗震设计的幕墙，必须考虑地震作用，进行抗震设计。

幕墙属于非结构构件，根据国家标准GB 50011的规定，抗震设防烈度为6度及以上的地区，要采用等效侧力法，对幕墙自身及其与主体结构的连接进行抗震设计计算。

由于建筑幕墙自重较轻，幕墙承受的荷载和作用中，以风荷载为主，地震荷载远小于风荷载作用，因此，无论是否抗震设计，均应以抗风设计为主。但是，地震是动力作用，并且直接作用于连接节点，对连接节点会产生较大的影响，使连接发生震害甚至使建筑幕墙脱落、倒塌。因此，抗震设计的幕墙，不仅要以抗震设计和抗风设计中最不利的荷载和作用效应组合进行结构设计，还必须加强构造措施。

A. 1.6 免焊装配式连体插芯及其连接的安全性都有较大的提高，在免焊装配式埋件和面板系统同时使用下，随着高耐候高韧性钢使用，以及螺钉的双金属电位量的解决，幕墙的结构或结构构件完全可以实现满足设计寿命25年、50年、70年、100年。但是从结构或结构构件的重要性系数 γ_0 看，GB 50068规定中，主要考虑因素是结构或结构构件破坏后果的严重程度，应按结构构件的安全等级、设计使用年限和不同结构的工程经验确定。幕墙属于建筑的外围护结构，其重要程度和破坏后果的严重程度通常低于主体结构。除预埋件之外，其余幕墙构件的安全等级一般不高于二级。而幕墙大多用于大型公共建筑，正常使用中不允许发生破坏，尤其对于石材面板而言，其破坏后坠落的后果还是比较严重的。因此，对幕墙结构的重要性系数 γ_0 取值不小于1.0是比较妥当的。

现有幕墙结构均有要求按抗震设计，但其地震作用效应相对风荷载效应是比较小的，即便对于重量较大的石材幕墙通常也不会超过30%。如果采用小于1.0的系数 γ_{RE} 对抗力予以放大，对幕墙结构设计是偏于不安全。故提出幕墙构件承载力抗震调整系数 γ_{RE} 宜取1.0。其 γ_0 取1.0和 γ_{RE} 宜取1.0，主要考虑与免焊装配式结构配套，同时提升安全可靠性能。

A. 1.7 当面板偏离横梁截面形成偏心时，面板的重力偏心作用会使横梁产生扭转变形。当采用自重较大的面板（如石材）或偏心距较大时，需要考虑其不利影响，必要时应进行横梁的抗扭承载力验算。具体的计算和设计方法，可参照材料力学及有关规范的规定。

A. 2.2 一般来讲，幕墙与主体结构连接，即至少50年，幕墙支承结构至少25年。如按5.1.10的50年设计寿命计算热浸锌碳钢型材为1.0 mm，考虑建筑幕墙厚度不小于2.5 mm，所以取不小于3.5 mm；而超高性能耐蚀钢为10年以上~100年间变化不大，所以取不小于2.5 mm。

为了保证螺纹连接的可靠性，防止螺钉拉脱，在采用螺纹进行受拉、受压连接时，提出宜采用装配式击扩防退螺钉副方式连接，它的最大优点是无需攻螺纹，在防电位螺纹套在不转动下，螺纹套端部通过击杆段的利用冲击和螺纹拧入形成挤压使第二圆锥面、第二圆锥面相继张开，将螺纹套上的外螺纹挤压进型材形成螺纹和在背面张开撑开凸部，使得栓套与型材固定连接。使表面渗透于钢体内的锌形成合金层不会受损，使铝材与外螺纹几乎相同电位不产生电位腐蚀。当幕墙的玻璃、石材、人造板、金属等面板是需要维修和更换的，在需要拆卸时，如果按常理来要拆除双重防松的螺钉确实不可想象，但装配式击扩防退螺钉副，且把外齿螺纹与拧出方向设反，所以只需带有旋击的功能的电动工具，利用冲击的反向动力下，就可轻松拧出螺杆，而螺纹套不会转动。然后反向拧动螺纹套，在外螺纹与型材安装孔形成的螺纹副作用下退出型材安装孔，解决如拉铆栓钉在变形连接后不可实现非破坏方式的拆卸技术问题。

螺纹套进行表面降低电位量的锌合金层，外接螺纹与外螺纹段旋向相反，在安装时螺纹套不转动，从而使表面降低电位量的处理后的锌合金不受破坏，有效防止螺纹套与型材之间出现的电化学腐蚀，避免其电化学腐蚀后出现安全隐患。

A. 2.4 根据多年的销钉的工程实践，单独的销钉连接存有影响面板平整度等问题，而用角码铰接需要一侧可通过长槽孔滑动，且不说成本较高，同样存在螺栓松弛问题，因此采用在靠面板侧利用螺母槽增设滑块，并用雷峰螺纹的防松螺钉的作用下，可以实现可靠性非常高的有效连接，并且不会发生扭动。

A. 2.7 一般情况下立柱和横梁螺母槽中螺母较小，不容易调正，应注意螺母倾斜硬连接发生而出现螺母倾斜硬连接或者咬死问题，当设计采用不锈钢普通螺纹紧固件，应图画标注：严禁使用电动工具安装，手工拧入速度不超过2转/s。

A. 2.8 装配式槽用倒装防退螺栓副，应采用具备防咬死功能、锁持防松动、弹力定位的产品。一般情况下在幕墙加工时，就可以通过弹力定位将螺母定在立柱和横梁螺母槽内，实现工厂化预装配完成，可以使立柱和横梁在运输、搬运、安装过程中不会掉落，现场安装时只用螺丝刀滑拨调正螺母位，即可通过电动工具安装面板连接锁固螺钉，由于内置有导入的锁片与螺纹处具有精准定位，所以不会发生(图A. 8)的现象提高隐蔽工程的品质和管理，有效防止安全隐患。

A. 2.9 装配式槽用顺装防退螺栓副，应采用具备防咬死功能、锁持防松动的产品。一般情况下在幕墙加工时，就可以通过将锚栓杆件确定将立柱和横梁螺母槽连接，实现工厂化预装配完成，即可通过电动工具安装面板时，采用槽用顺装防退螺栓副，所以不会发生(图A. 9)的现象，提高隐蔽工程的品质和管理，有效防止安全隐患。

A. 3.3 幕墙结构的立柱相对于其横梁截面较强大，较主体结构还是很小，立柱安装电焊时，主体结构的各种变形还未完成或未发生。所以立柱和主体结构的连接必须能适应主体结构在施工阶段和施工完成后的应力和各种变形，如：伸缩、扭转和应力等。超高性能耐蚀钢导热性较差，收缩较小，故柱一端与立柱的插入量不小于50mm，设计时考虑热胀冷缩系数后，可按层高考虑每层连体缩颈段加长10~20毫米，以使批量生产后无需再次破坏涂层加工；

A. 3.4 一般情况下，立柱不宜设计成偏心受压构件，宜按偏心受拉构件进行截面设计，因此，在连接设计时，应使柱的上端挂在主体结构上。

承受轴压力和弯矩作用的立柱，其长细比不大于150。

立柱的布置应满足建筑设计要求，确保结构安全，并根据建筑主体的形状、类型和幕墙构造确定。将立柱设计为偏心受拉的简支梁或多跨梁，可使立柱受力更加合理。

立柱设计为多跨梁时，应考虑立柱的变形，除了上支点采用圆孔定位外，其余的支点均应采用长圆孔，利于立柱伸缩变形，消除温度效应产生的附加作用。

立柱在层间断开，通过滑动接头连接，这一接头可以承受水平剪力，但只有当芯柱的惯性矩与外柱相同或较大且插入足够深度时，才能认为是连续的，否则应按铰接考虑，按铰接多跨梁来进行结构计算。

每层两个支承点时，宜采用计算机软件按铰接多跨梁计算，求得较准确的内力和挠度；手算时可以近似按双跨梁考虑。

A. 3.6 一般情况下横梁分段与立柱连接，横梁之间应留有足够的间隙，或采用有足够压缩变形能力（一般不低于20%~35%）的弹性橡胶垫，以适应结构可能的变形或横梁因温度变化而产生的伸缩变形。免焊装配式的连接，对横梁两端与立柱连接，可采用倒榫槽连接件+可以偏心调节偏差的锁固螺栓或螺钉连接，至少有一端采用可以适应横梁伸缩变形的连接方式；也可采用更优化的弹簧锁销+插件式螺栓组合固定。

A. 3.8 铝合金立柱插芯一端与立柱固定连接，另一端应能滑动伸缩，插芯单端与立柱的结合长度应不小于型材长边边长，且不小于120 mm。插芯应有足够的刚度，壁厚应不小于立柱的壁厚。

超高性能耐蚀钢连体插芯的立柱，由于一头是立柱本体为刚性，并且接近无收缩，所以只需考虑套入不小于50 mm。

幕墙在平面内应有一定的活动能力，以适应主体结构的侧移。立柱每层设活动接头后，就可以使立柱有上、下活动的可能，从而使幕墙在自身平面内能有变形能力。此外，活动接头的间隙，还要满足以下的要求：

- 立柱的温度变形；
 - 立柱安装施工的误差；
 - 主体结构承受竖向荷载后的轴向压缩变形。
- 综合以上考虑，上、下柱接头空隙不小于15 mm。

A. 3. 9 为了保证螺纹连接的可靠性，防止螺钉拉脱，在采用螺纹进行受拉、受压连接时，提出宜采用套入具有阻尼型止退防松的不锈钢螺母式、盲孔防松螺栓等方式连接，当采用攻丝螺纹时应进行螺纹受力计算。

A. 3. 10 主体结构的非受力构件部位，未考虑传递幕墙的集中荷载，如在此部位设置幕墙与主体的连接时，应按幕墙实际受力予以验算，作必要的加固，并进行现场试验，且征得主体设计单位认可。

附录 B

锚栓、螺栓连接受风振时，连接件在外界循环剪切载荷作用下，螺杆轴芯疲劳延长所导致的螺母或防松垫片自松弛，通过实验研究振动螺栓自松弛，发现防松垫片不适合建筑锚栓、螺栓上应用。个别螺杆轴芯疲劳延长还会导致螺母自松弛，造成受力不均的纽扣效应，发生连续性螺栓迸断的安全事故，例：中国建材报报道的广州大运会顶棚倒塌事故。本附录B的编制，主要考虑到我国引用美国、德国、日本等紧固件振动试验方法，如应用于航天航空的有国家军用标准GJB 715. 3A—2002，该标准则将紧固件穿入长夹套中，穿入振动台上的长孔，放入短夹套后拧紧螺母，通过长孔中上下振动作比对性试验，只适合M5~M12紧固件，紧固件长度限制，无法真正实现紧固件模拟如建筑钢结构、建筑幕墙、轨道交通、车辆、机械行业的主要为单侧被连接件冲切疲劳状态延长导致松动用，并且无法测量和量化试验过程中的夹紧力变化数据，其所涉的试验振频、振压、振幅均无定量指标，均由委托人自己设定振动要求，因此出来的报告有数百次~几百万次不等，根本无法作评价用；国家标准GB/T 10431—2008的试验机，标准中“按本文件进行试验所得结果只作为在特定条件下的比对评价依据，无绝对定量指标”和“一般情况下，建议每组取10件，如果在验验中发现振动特性、安装或拆卸力矩等方面有较大差异时，则应补加15件”，以及中国专利CN104655379A带有激光测螺母松弛度数，为偏心轮机械联动，还是无法实现评定。随着工程建设的装配化的推行，使用紧固件连接的建筑钢结构、幕墙装配化越来越多，但因无法判定紧固件防松退性能，设计时采用电焊加固，如幕墙而言，大多为不锈钢螺栓更是因“在压力下机械性咬死”无法通过试验判定。为了满足建筑紧固件横向振动试验方法与评定要求，通过与试验机企业合作，通过研制和大量比对性试验，和技术分析，最终完成本附录。