

张芹 黄拥军 主编

金属与石材幕墙工程 实用技术



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



金属与石材幕墙工程 实用技术

张 芹 黄拥军 主编



机械工业出版社

本书根据新规范编写而成,重点介绍了金属与石材幕墙的构造设计、性能设计、防火构造设计、防雷构造设计、立柱设计、横梁设计、连接设计等;对金属与石材幕墙工程所依据的理论、概念和设计方法等作了全面、扼要的阐述;对金属与石材幕墙工程所使用的主要材料作了重点介绍;并根据设计计算要求,给出了一部分设计实例。本书的很多资料来自于工程实际,具有很高的参考价值。

本书读者对象为建筑设计单位、建设单位、幕墙企业、建筑施工企业、工程监理单位的工程技术人员。

图书在版编目(CIP)数据

金属与石材幕墙工程实用技术/张芹,黄拥军主编.
—北京:机械工业出版社,2005.1
ISBN 7-111-15728-1

I.金… II.①张…②黄… III.①金属-幕墙-
建筑工程②石料-幕墙-建筑工程 IV.TU227

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第126217号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:赵荣

责任编辑:闫云霞 版式设计:霍永明 责任校对:魏俊云

封面设计:张静 责任印制:洪汉军

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2005年2月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·27.25印张·705千字

0001—4000册

定价:58.00元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010)68993821、88379646

68326294、68320718

封面无防伪标均为盗版

前 言

我国建筑幕墙从20世纪80年代开始起步,经过有关行业从业人员近20年努力,特别是20世纪90年代飞跃发展,到20世纪末,我国已经成为世界建筑幕墙生产和使用大国。21世纪我国幕墙行业进入了一个新的发展阶段——向世界幕墙技术强国进军阶段,即从中国制造向中国创造的新阶段发展。

我国幕墙技术要取世界之长,补中国之短,创中国之新。创新包括理论创新、体制创新、科技创新和其他创新。创新既包括重大科技的突破,同时也包括中等甚至小的技术进步。

我国金属、石材幕墙飞速发展,它已占建筑幕墙面板40%左右,不仅数量发展迅猛,品种、质量上也上了一个新台阶,积累了丰富的经验,也提出了更高的要求。我们需在总结经验的基础上,同时借鉴世界最新技术成果(包括玻璃幕墙技术成果),发展金属与石材幕墙工程技术。建筑幕墙面板材料有玻璃、金属、石材等。实际工程中,尤其是大型幕墙往往采用组合幕墙,即在同一幕墙上同时采用玻璃、金属板材、石材等作为幕墙的面板,单独采用金属板材(石材)作为面板的幕墙占建筑幕墙比例很小。组合幕墙除金属面板与石材面板外均按《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102—2003执行,单独采用金属板材(石材)作为面板的幕墙随之也按《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102—2003执行(除金属面板与石材面板外)。我国建筑工程技术管理采用技术法规与技术标准相结合的管理体制,技术法规是强制性的,是把那些涉及建设工程安全、人体健康、环境保护和公共利益的技术要求用法规形式规定下来,严格贯彻在工程建设中,不执行技术法规就是违法,就要受到处罚;而技术标准除了被技术法规引用部分以外都是自愿采用的,可由双方在合同中约定。建设部规定:“工程建设强制性标准是指直接涉及工程质量、安全、卫生 and 环境保护方面的工程建设标准强制性条文。”GB50009第7.1.1条关于风荷载标准值的规定为强制性条文,是所有规范都应执行的技术法规。建筑幕墙风荷载标准值都应按GB50009第7.1.1条关于风荷载标准值的规定计算(JGJ133—2001关于风荷载标准值的规定2002年12月31日自行废止)。

本书总结了国内外金属、石材幕墙工程技术经验,以《玻璃幕墙工程技术规范》JGJ102—2003为基础,从更高层次理解幕墙技术规范,展望金属与石材幕墙工程技术的发展,讨论金属与石材幕墙技术在实际工程中的应用。

感谢珠海兴业幕墙工程公司、沈阳远大集团、北京江河幕墙装饰工程有限公司、苏州华丽美登装饰装潢有限公司、常州华艺铝型材有限公司、中国斯泰(香港)国际集团、江苏合发集团为本书提供资料。

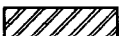
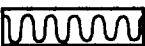
本书由张芹、黄拥军主编,参加本书编写(校阅、绘图)的成员有孟根、罗多、钱东华、翁云莉、余正阳、霍庆晟、周洁、张风、周晔、路荣。

由于作者的水平有限,以及所接触的工程和资料的局限性,本书难免存在错误和不足之处,恳请全国同行及有关专家指正。

张 芹

2004年10月

本书图例

名 称	图 例	备 注
石 材		
金 属	 	1. 包括各种金属 2. 图形小时，可涂黑
玻 璃		包括平板玻璃、磨砂玻璃、夹丝玻璃、钢化玻璃、中空玻璃、加层玻璃、镀膜玻璃等
纤维材料		包括矿棉、岩棉、玻璃棉、麻丝、木丝板、纤维板等
泡沫塑料材料		包括聚苯乙烯、聚乙烯、聚氨酯等多孔聚合物类材料
混凝土		1. 本图例指能承重的混凝土及钢筋混凝土 2. 包括各种强度等级、骨料、添加剂的混凝土 3. 在剖面图上画出钢筋时，不画图例线 4. 断面图形小，不易画出图例线时，可涂黑
钢筋混凝土		

目 录

前言

本书图例

第 1 章 概论 1

第 2 章 材料 5

2.1 钢材 5

2.2 铝合金材料 24

2.3 石材 49

2.4 密封材料 63

2.5 紧固件 75

第 3 章 构造设计 104

3.1 一般规定 104

3.2 幕墙构造设计 108

3.3 防火构造设计 218

3.4 防雷构造设计 220

3.5 幕墙性能设计 224

第 4 章 结构设计 230

4.1 一般规定 230

4.2 荷载和作用 245

4.3 幕墙材料力学性能 274

第 5 章 构件设计计算 286

5.1 一般规定 286

5.2 立柱设计计算 289

5.3 横梁设计计算 297

5.4 胶缝设计计算 298

5.5 金属板设计计算 300

5.6 石板设计计算 317

5.7 连接设计计算 349

第 6 章 加工制作 385

6.1 一般规定 385

6.2 幕墙构件加工制作 385

6.3 石材加工制作 392

6.4 金属板加工制作 394

第 7 章 安装施工 398

7.1 一般规定 398

7.2 幕墙安装施工 399

7.3 面板安装施工 405

7.4 安装施工安全规定 407

第 8 章 工程验收、保养与维修 408

8.1 检验规则 408

8.2 保养与维修 411

附录 A (参考件) 建筑幕墙使用维护

说明书(草案) 418

附录 B 标准中不锈钢牌号与各国不锈钢标准

牌号对照表(参考值) 422

参考文献 425

第1章 概 论

建筑幕墙是由幕墙支承结构体系与幕墙面板组成的建筑外围结构,根据建筑幕墙使用的面板材料,可分为玻璃幕墙、金属幕墙、石材幕墙等。实际应用上,尤其是大型工程项目中,往往采用组合幕墙,即在同一工程中同时采用玻璃、金属、石材等作为幕墙的面板。2003年我国建筑幕墙已达到900万 m^2 ,其中采用玻璃面板的约占60%,即约550万 m^2 左右,金属(石材)面板约占40%,即约350万 m^2 左右。20世纪90年代中期,金属(石材)面板(40万 m^2)占建筑幕墙面板不到10%,2003年上升到40%(10年时间绝对用量翻了近四翻)。而且使用金属(石材)幕墙建筑的高度也在不断提升,一个工程的金属(石材)幕墙的用量纪录也在不断刷新。上海浦东国际金融大厦背栓式花岗石幕墙安装高度(最高点)为139m,深圳时代广场大厦通槽式石材幕墙高达170m,上海交银大厦背栓式花岗石幕墙安装高度(最高点)为196m,广州合银大厦石材幕墙最高点达220m,上海银行更高达230m,东莞行政中心一个工程使用石材幕墙10万 m^2 。用脆性材料做面板的石材幕墙,其自重较大,又是天然材料、材质变化大,对其安全使用人们有种种疑虑,个别人称它为“隐藏在城市上空的重磅定时炸弹”。赵西安教授在答《建筑知识》记者提问时指出:“石材幕墙的设计与施工都比较复杂,但是不能说工作难度大的、复杂的结构就一定不如简单的、容易的安全。”“四川倒塌了几座小桥,与这些小桥相比,长江大桥的设计、施工要复杂得多,但长江上七座大桥都很安全,所以不能简单地认为凡是复杂的东西就一定比简单的东西安全性差。只要我们把握好材料、设计、施工等各个环节的质量,其安全性是完全能够保证的。”

上海中银大厦等工程石材幕墙建成后,都经历了若干次台风考验,未发现损坏。1999年9914号台风在厦门登陆,气象部门测得的瞬时风速为每秒46m,台风中心在厦门地区滞留8h,市区7万株行道树折倒,广告牌几乎全都掉落,公共汽车候车亭近9成损坏,而厦门市的建筑幕墙(含石材、玻璃、金属板等面板)基本完好。只有少数玻璃受外界物体撞击破坏,如税保大厦被从对面中闽大厦、中信惠扬大厦工地刮来的石子、砖块打破几块玻璃,部分开启扇没有关好及锁扣质量问题而被掀落;国贸大厦和电力大厦建筑边角部有几块(2700mm×1100mm和2997mm×1300mm)铝板因固定耳子的螺钉拔出和板孔边撕裂而使铝板卷曲破坏;大华银行39层(130m高)楼顶广告牌上四块复合铝板被撕毁,也是由于螺钉拔出、板孔边撕裂造成的;厦门会展中心工地400t塔式起重机塔身拦腰折断,而几万平方米石材幕墙未发现损坏。

经过近二十年的实践,我们积累了大量的试验资料和施工实践经验,遵照陈云同志“不唯上、不唯书、只唯实”的教导,对经过实践检验证明是正确的东西,我们就要大力宣传,同时对工程实践中提出的问题,通过科学试验来检验它,根据试验结果来评价它,对实验中暴露出的问题和薄弱环节采取措施克服它。上海同济大学颜德姮教授为我们作出了榜样,当20世纪90年代初“隐框玻璃幕墙定时炸弹”论甚嚣尘上时,她和她的研究生马锦明、马彩霞进行了隐框玻璃幕墙抗震性能振动台试验,试验结果证明隐框玻璃幕墙具有良好抗震性能,使“定时炸弹论”失去了市场,为我国幕墙技术的发展作出了重大贡献。

建筑幕墙石材面板安装,最初采用钢销式或槽钩式,钩的型式从T形钩、蝶式钩发展到L形钩(SE形钩),实际工程使用结果表明这些连接方式有一定的可靠性,但也有其局限性,尤

其在水平与垂直交角部位、垂直折线转角部位上不能达到理想的连接。

后切式背栓点连接花岗石幕墙已有二十多年历史,我国在 20 世纪 90 年代开始使用。1998 年建成的上海中银大厦(浦东国际金融大厦)高 235m, +139m 以下采用了后切式背栓点连接花岗石幕墙,复盖主体结构表面 15000m²,花岗石幕墙(其构造型式为凸梯形与凸矩形组合)展开面积 22000m²,使用了约 3 万块花岗石,6 万个背栓,花岗石尺寸为 ($H \times B$) 2.05m $\times$ 0.3m; 1999 年建成的上海交银大厦采用的后切式背栓点连接花岗石幕墙最高标高达 196m; 中组部后切式背栓点连接花岗石幕墙花岗石尺寸为 ($H \times B$) 2m $\times$ 2.7m,单块板重 600kg,全国还有很多工程采用了后切式背栓点连接花岗石幕墙。

“实践是检验真理的唯一标准”,在建造这些幕墙时,除进行风压变形、空气渗透、雨水渗漏三项物理性能检测外,还对背栓和背栓锚固石材的连接部位进行了背栓锚固石材的拉拔试验,背栓拉伸试验,背栓锚固的长期(8500h)静载抗剪、抗拉试验,背栓锚固的疲劳试验,以及背栓点连接花岗石幕墙的抗震性能振动台试验,积累了大量试验参数,证明了背栓点连接花岗石幕墙有很高的可靠性,同时找出了局部构造改进的方向。

1. 锚固件抗拉拔承载能力试验 从试验情况看,背栓与石材的锚固处全部是石材冲切破坏,破坏状态为石材锥度破坏。影响破坏的因素有背栓直径、背栓锚深、石材本身强度,其中锚深影响最直接,而且当锚深等于小于 12mm 时,承载能力破坏的离散性较大。经回归统计,抗拉拔承载能力按锚深的指数 1.5 增长,基材强度对抗拉拔承载能力按指数 0.5 增长,6mm 背栓连接抗拉拔承载能力为 4.5~8kN, $\phi 8$ 背栓抗拉拔承载能力为 5~10kN, $\phi 12$ 背栓抗拉拔承载能力为 6~12kN。

2. 背栓拉伸试验 背栓用 A2—70 不锈钢制造,一颗 $\phi 12$ ($\phi 8$ 、 $\phi 6$) 背栓应力截面积为 84.3mm² (36.6mm²、20.1mm²),其极限拉伸强度为 59kN (25.6kN、14kN) 是背栓锚固石材拉拔力的 2.5~10 倍,也就是说背栓锚固石材只会是石材冲切破坏。

3. 锚固件锚固的长期静载试验 锚固件长期静载试验,测试背栓锚固不同强度的基材在长期静载下的位移松动及徐变性能,设计试验时间为一年(8500h)。试验分长期荷载抗剪试验和抗拉拔试验。抗剪试验是指背栓在承受荷载抗剪作用下经 8500h 后,对受拉试件做极限拉拔力试验与未经长期荷载试验的试件作对比。试验结果说明抗剪性能良好,除加载初期观察到较小因装配间隙位移 (≤ 0.3 mm) 外未见其他破坏,在长期抗拉拔试验中未见破坏和明显位移。

说明背栓与石材的连接即使在长期外荷载下作用也有很大的可靠性。

4. 锚固件锚固的荷载疲劳试验,即反复荷载的疲劳试验 在正压 300 万次、负压 300 万次往复动力载荷耐疲劳试验中,带尼龙塑料套垫的背栓在栓与孔之间起到三向隔震减震效应,在冲击作用下起到缓冲作用,使背栓锚固连接部位在数百万次强劲往复动力荷载耐疲劳试验中未见损坏和明显位移。而单切面背栓由于背栓本身活动,在往复动力的压、拉作用下,最差的在 126 次时负压破坏,因此可以看出背栓最好要带尼龙套垫,并采用双切面背栓。

5. 抗震试验 华南城建学院抗震中心、中国建筑科学研究院、中国水利科学研究院进行多次石材幕墙抗震性能振动台试验。华南城建学院抗震中心 1998 年对钢销式、通槽式、短槽式、背栓式五种连接方式石材幕墙试验,试验结果表明在地震加速度 0.6g (相当于烈度 9.6 度) 以下时,一切正常;在地震加速度 0.6g 时,通槽 T 形钩 2 块有轻微裂缝(图 1-1),短槽 T 形钩 1 块有轻微裂缝(图 1-2);在地震加速度 0.6g 时,背栓有松动迹象;在地震加速度 0.8g 时(相当于烈度 10 度),幕墙一个上部挂钩脱出横梁(图 1-3),经分析,主要是栓孔未达到公

差精度要求,幕墙组件的挂钩与横梁搭接量小于3mm。根据试验中出现的问题,改进挂钩与横梁搭接设计,即增加两者搭接量($\geq 5\text{mm}$) (图3-68b),并用硅酮密封胶填缝(使挂钩可在槽内活动),1999年进行试验,在地震加速度0.9g、位移1/60时,幕墙完好无损。2001年单元式通槽连接石材幕墙试验结果,在地震加速度0.8g、位移1/150时,幕墙完好无损。中组部2m×2.7m后切式背栓点连接花岗石幕墙,在地震加速度1.0g、位移1/100时,后切式背栓点连接花岗石幕墙仍完好无损。而且经过抗震试验的试件背栓与石材锚固处的石材抗拉拔能力与未经抗震试验的试件几乎没有区别。

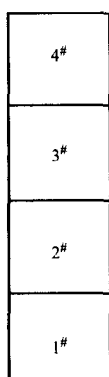


图 1-1 在地震加速度 0.6g 时,
通槽 T 形钩 2 块有轻微裂缝

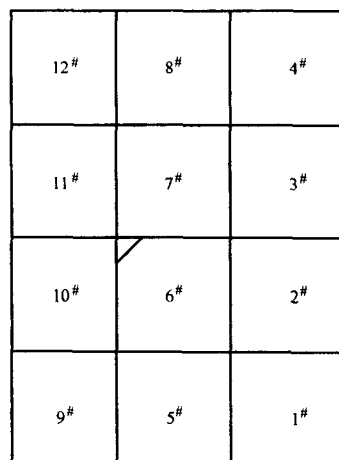


图 1-2 在地震加速度 0.6g 时,
短槽 T 形钩 1 块有轻微裂缝

用后切式背栓点连接花岗石幕墙进行建筑外饰面花岗石施工是建筑外饰面施工技术的重大突破,它开辟了石材幕墙施工工艺的新纪元。使石材幕墙有了广阔的使用领域,即任何建筑物、任何高度、任何部位、任何构造形式都可以采用后切式背栓点连接花岗石幕墙。后切式背栓点连接花岗石幕墙的背栓仅用作石板材与连接件的紧固件,这样的连接件可按需要灵活设计、而钢销式、短槽式、通槽式的钢销(钢钩)既和横梁(立柱)连接,又和石材连接,它的使用部位和方法带有很大局限性。后切式背栓点连接方法为石材幕墙和玻璃(金属)幕墙组合成组合幕墙创造了条件,即在同一立柱上可左面安装玻璃幕墙,右面安装石材幕墙;在同一横梁上,可上面安装玻璃幕墙,下面安装石材幕墙。

天然石材是我国传统外装修材料,且资源丰富。2003年我国出口石材974万吨(13.65亿美元),进口340万吨(5.86亿美元)。现在幕墙石材面板从传统的天然花岗石板,扩大到砂岩、凝灰岩(黄洞石)等低强度天然石材,微晶玻璃和瓷板也已大规模应用。

金属板做建筑幕墙面板有其独特的优势,金属板材料强度高,伸长率大,可以加工成各种形状的面板,且其重量轻、抗变形能力强,具有优良的抗震性能。金属板表面处理方法很多,色彩可以任意挑选,还可做成仿木纹、仿花岗(大理)石纹的表面,代替石(木)材装修外表面。

厦门9914号台风中幕墙金属面板破坏情况与历次风压变形试验结果,都说明金属板面板

与幕墙框架连接细部构造设计是非常重要的,是目前幕墙金属面板设计安装中的薄弱环节,也是导致幕墙金属面板失效的主要原因,幕墙金属面板设计、安装时特别要注意以下两点:

1. 折边、耳子上开孔的位置要保证孔中心至构件边缘的距离:顺内力方向不小于 $2d$ (d 为孔径);垂直内力方向不小于 $1.5d$ 。

2. 耳子用螺栓(螺钉)固定在铝框上(即以铝框作螺母)时,铝材壁厚不小于螺栓(螺钉)直径,并验算螺母抗剪强度,要求螺栓、螺钉和螺母的极限偏差达到 6g (6H) 级;用自攻螺钉时,要严格检查开孔的最大孔径和最小孔径,符合要求后再攻入螺钉,如果开孔直径不符合要求的坚决报废。

也有人担心铝板的防雷性能问题,德国 ALUSUISSESINGEN GMBH 公司在慕尼黑一军事学院国家实验室,对 3mm 纯铝板、4mm 厚 ALUCOBOND 平板、4mm 厚 ALUCOBOND (铣槽后) 折边板、10mm 厚 ALUCORE 全铝蜂窝板进行试验,结果证明,按目前采用的铝板和金属框架连接方法,并且该金属框架与建筑物防雷接地系统有可靠连接,不论单层铝板、复合铝板或蜂窝铝板完全可以防雷击,不用担心复合铝板由于只有 0.5mm 厚的铝面板无法将雷击时产生的巨大电流通过金属框架导入地面。在铝板用于幕墙面板的几十年间也无遭雷击破坏的报告。铝塑复合板应选用防火型铝塑复合板以免火灾时产生有害气体。

金属面板不仅有单层铝板、复合铝板、蜂窝铝板,还可采用不锈钢板、彩色涂层钢板、单体搪瓷板(实际是用搪瓷进行表面处理的钢板或铝板)、复合搪瓷板(实际上是其面板采用搪瓷进行表面处理的钢板或铝板组成的复合板)、钛合金板、铜合金板、锌合金板等。随着时间的推移和各种新材料的出现,建筑幕墙面板材料也会有新的拓展。

展望 21 世纪建筑幕墙的发展,我们相信中国幕墙技术会在现有的基础上实现重大突破,到达世界幕墙技术强国的目标。

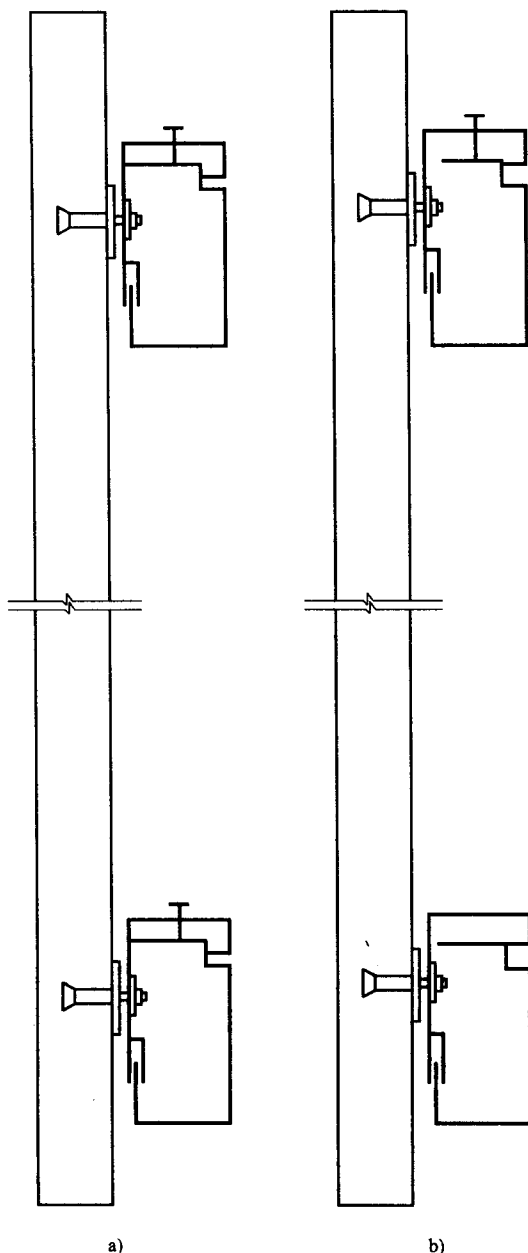


图 1-3

a) 正常状态 b) 抗震试验, 0.8g 振动后,
上部一个挂钩脱出横梁

第 2 章 材 料

2.1 钢材

2.1.1 钢材力学性能和化学成分

《钢结构设计规范》GB50017—2003 第 3.3.3 条规定了用于承重结构的钢材力学性能和化学成分的要求，现分述如下：

1. 抗拉强度 钢材的抗拉强度是衡量钢材抵抗拉断的性能指标，它不仅是一般强度的指标，而且直接反映钢材内部组织的优劣，并与疲劳强度有着比较密切的关系。

2. 伸长率 钢材的伸长率是衡量钢材塑性性能的指标。钢材的塑性是在外力作用下产生永久的变形时抵抗断裂的能力。因此，承重结构用的钢材，不论在静力荷载或动力荷载作用下，以及在加工制作过程中，除了应具有较高的强度外，尚应要求具有足够的伸长率。

3. 屈服强度（或屈服点） 钢材的屈服强度（或屈服点）是衡量结构的承载能力和确定强度设计值的重要指标。碳素结构钢和低合金结构钢在受力到达屈服强度（或屈服点）以后，应变急剧增长，从而使结构的变形迅速增加，以致不能继续使用。所以钢结构的强度设计值一般都是以钢材屈服强度（或屈服点）为依据而确定的。对于一般非承重或由构造决定的构件，只要保证钢材的抗拉强度和伸长率即能满足要求；对于承重的结构则必须具有钢材的抗拉强度、伸长率、屈服强度（或屈服点）三项合格的保证。

4. 冷弯试验 钢材的冷弯试验是塑性指标之一、同时也是衡量钢材质量的一个综合性指标。通过冷弯试验，可以检验钢材颗粒组织、结晶情况和非金属夹杂物分布等缺陷，在一定程度上也是鉴定焊接性能的一个指标。结构在制作、安装过程中要进行冷加工，尤其是焊接结构焊后变形的调直等工序，都需要钢材有较好的冷弯性能。而非焊接的重要结构（如吊车梁、吊车桁架、有振动设备或有吨位起重机厂房的屋架、托架，大跨度重型桁架等）以及需要弯曲成型的构件等，亦都要求具有冷弯试验合格的保证。

5. 硫、磷含量 硫、磷都是建筑钢材中的主要杂质，对钢材的力学性能和焊接接头的裂纹敏感性能都有较大影响。硫能生成易于熔化的硫化铁，当热加工或焊接的温度达到 $800 \sim 1200^{\circ}\text{C}$ 时，可能出现裂纹，称为热脆；硫化铁又能形成夹杂物，不仅促使钢材起层，还会引起应力集中，降低钢材的塑性和冲击韧度。硫又是钢中偏析最严重的杂质之一，偏析程度越大越不利。磷是以固溶体的形式溶解于铁素体中，这种固溶体很脆，加以磷的偏析比硫更严重，形成的富磷区促使钢变脆（冷脆），降低钢的塑性、韧性及可焊性。因此，所有承重结构对硫、磷的含量均应有合格保证。

6. 碳含量 在焊接结构中，建筑钢的焊接性能主要取决于碳含量，碳的合适含量宜控制在 $0.12\% \sim 0.2\%$ 之间，超出该范围的幅度愈多，焊接性能变差的程度愈大。因此，对焊接承重结构尚应具有碳含量的合格保证。

近来，一些建设单位希望在焊接结构中用 Q235A 代替 Q235B，这显然是不合适的。国家标

准《碳素结构钢》GB/T700—1988 及其第 1 号修改通知单（自 1992 年 10 月 1 日起实行）都明确规定 A 级钢的碳含量不作为交货条件，但应在熔炼分析中注明。从法规意义上讲，不作为交货条件就是不保证，即使在熔炼分析中的碳含量符合规定要求，亦只能被认为仅供参考，可能离散性较大，焊接质量就不稳定。也就是说若将 Q235AF 钢用于重要的焊接结构上，发生事故后钢材生产厂在法律上是不负任何责任的，因为在交货单上明确规定碳含量是不作为交货条件的。现在世界各国钢材质量普遍提高，日本最近专门制定了建筑钢材的系列（SN 钢）。为了确保工程质量，促使提高钢材质量，防止建筑市场上以次充好的不正常现象，故建议对焊接结构一定要保证碳含量，即在主要焊接结构中不能使用 Q235A 级钢。

7. 冲击韧

(1) GB50017—2003 第 3.3.4 条规定了需要验算疲劳的结构的钢材应具有冲击韧度合格保证。冲击韧度是衡量钢材断裂时所做功的指标，其值随金属组织和结晶状态的改变而急剧变化。钢中的非金属夹杂物、带状组织、脱氧不良等都将影响钢材的冲击韧度。冲击韧度是钢材在冲击荷载或多向拉应力下具有可靠性能的保证，可间接反映钢材抵抗低温、应力集中、多向拉应力、加荷速率（冲击）和重复荷载等因素导致脆断的能力。钢结构的脆断破坏问题已普遍引起注意，按断裂力学的观点应用断裂韧度 K_{IC} 来表示材料抵抗裂纹失稳扩展的能力。但是，对建筑钢结构来说，要完全用断裂力学的方法来分析判断脆断问题，目前在具体操作上尚有一定困难，故国际上仍以冲击韧度作为抗脆断能力的主要指标。因此，对需要验算疲劳的结构的钢材，规定了应具有在不同试验温度下冲击韧度的合格保证。关于试验温度的划分是在总结我国多年实践经验的基础上，根据结构的不同连接方式（焊接或非焊接），结合我国现行的钢材标准并参考有关的国外规范确定的。

(2) 根据上述原则，GB50017—2003 对 GBJ17—1988 规范中钢材冲击韧度的试验温度作了调整，增加了 0℃ 冲击韧度的要求，并将 Q345 钢和 Q235 钢取用相同的试验温度，理由如下：

1) 关于冲击韧度试验温度的间隔，国外一般为 10 ~ 20℃，并均有 0℃ 左右的冲击性能要求（前苏联除外）。GBJ17—1988 规范温度间隔偏大，达 40 ~ 60℃。现根据新的钢材标准进行调整，统一取 20℃。为使钢结构在不同工作温度下具有相应的抗脆断性能，增加了在 0℃ $\geq t > -20$ ℃ 时对钢材冲击韧度的要求。

2) GBJ17—1988 规范依据的钢材标准与 GB50017—2003 规范不同。不同钢材标准对钢材冲击韧度的要求见表 2-1。

表 2-1 不同钢材标准对冲击韧度的要求

钢 号	试验温度/ ℃	GBJ17—1988 规范	GB50017—2003 规范
3 号 (Q235)	+ 20	$\alpha_{ku} \geq 7 \sim 10 \text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，相当于 $A_{KV} = 31 \sim 44 \text{J}$	$A_{KV} \geq 27 \text{J}$
	0		$A_{KV} \geq 27 \text{J}$
	- 20	$\alpha_{ku} \geq 3 \text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，相当于 $A_{KV} = 13 \text{J}$	$A_{KV} \geq 27 \text{J}$
16Mn (Q345)	+ 20	$\alpha_{ku} \geq 6 \text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，相当于 $A_{KV} = 26 \text{J}$	$A_{KV} \geq 34 \text{J}$
	0		$A_{KV} \geq 34 \text{J}$
15MnV (Q390)	- 20		$A_{KV} \geq 34 \text{J}$
	- 40	$\alpha_{ku} \geq 3 \text{kg} \cdot \text{m}/\text{cm}^2$ ，相当于 $A_{KV} = 13 \text{J}$	$A_{KV} \geq 27 \text{J}$

(3) 由表 2-1 可见，对 Q235 钢常温冲击吸收功的要求，GBJ17—1988 标准高于 GB50017—2003 标准 15% ~ 63%，因此在 $t > -20$ ℃ 时，若仍按 GBJ17—1988 规范只要求常温冲击，显然

降低了对 A_{KV} 的要求, 偏于不安全。看来, 对 Q235 钢增加 0°C 时对冲击吸收功的要求是合适的。在 $t = -20^{\circ}\text{C}$ 时比 GBJ17—1988 规范更安全。而对 Q345 钢冲击吸收功的要求是合适的。在 $t = -20^{\circ}\text{C}$ 时 GB50017—2003 标准的 A_{KV} 值约为 GBJ17—1988 标准的 1 倍, 故当 t 小于 -20°C 时比原规范更安全。而对 Q345 钢冲击吸收功的要求, GB50017—2003 标准普遍高于 GBJ17—1988 标准, 常温时高出约 31%, $t = -40^{\circ}\text{C}$ 时高出约 100%。对基本上属同一质量等级的钢材来说, 试验温度与 A_{KV} 规定值是有一定关系的, A_{KV} 的增大相当于试验温度的降低。根据 GB1591—1979, 16Mn 钢的试验温度相差 60°C 时, A_{KV} 的规定值相差约 100%, 如 Q345D 在 -20°C 时的 A_{KV} 规定值为 34J, 则在 -40°C 试验时, 其 A_{KV} 值估计为 $34\text{J}/1.33 = 25.6\text{J}$, 仍大于 GBJ17—1988 标准的 13J。故一般可不再要求 Q345D 在 -40°C 时的冲击韧度。由此 GB50017—2003 对 Q345D 钢的试验温度与 Q235 钢相同。至于 Q390 钢, 虽然其冲击吸收功的规定值和 Q345 钢一样普遍提高, 但考虑其强度高, 接近于前苏联的 C52/40 钢, 塑性稍差, 使用经验又少, 故仍按 GBJ17 规范不变。而对 Q420 钢, 是新钢种, 应从严考虑, 故与 Q390 钢的试验温度相同。

(4) 对其他重要的受拉和受弯焊接构件, 由于有焊接残余拉应力存在, 往往出现多向拉应力场, 尤其是构件的板厚较大时, 轧制次数少, 钢材中的气孔和夹渣比薄板多, 存在较多缺陷, 因而有发生脆性破坏的危险。国外对此种构件的钢材, 一般均有冲击韧度合格的要求。根据我国钢材标准, 焊接构件应至少采用 Q235 的 B 级钢材 (因 Q235A 的含碳量不作为交货条件, 这是焊接结构所不容许的) 常温冲击韧度自然满足, 不必专门提出。所以, 当采用厚度较大的 Q345 钢材制作此种构件时, 宜提出具有冲击韧度的合格保证 (具体厚度尺寸可参见有关国内外资料, 如《美国钢结构设计规范》AISC1999 和《欧洲钢结构设计规范》EC3 等)。

(5) 至于起重机起重量 Q 大于等于 50t 的中级工作制吊车梁, 则根据已往的经验, 仍按 GBJ17—1988 规范的原则, 对钢材冲击韧度的要求与需要验算疲劳的焊接构件相同。

(6) 关于需要验算疲劳的非焊接结构亦要保证冲击韧度的要求, 这是考虑到既受动力荷载, 钢材就应该具有相应的冲击韧度, 不管是焊接或非焊接结构都是一样的。前苏联 1972 年和 1981 年规范中对这类结构都是要求保证冲击韧度的, 美国关于公路桥梁的资料中对焊接或非焊接桥梁结构亦都要求保证冲击韧度的, 仅是对冲击值的指标略有差别而已。这类结构对冲击韧度要求的标准略低于焊接结构, 这和上述国外规范亦是协调的, 只是降低的方式和量级有所不同而已。如美国公路钢桥的资料中对焊接结构的冲击值有所提高, 而前苏联的规范则基本上是调整冲击试验时的温度, 如前苏联 1981 年规范规定对非焊接结构按提高一个组别 (即降低一个等次) 的原则来选用钢材。因为我国钢材标准中的冲击值是定值, 故建议对需验算疲劳的非焊接结构所用钢材的冲击韧度可提高其试验温度。

2.1.2 钢铁产品牌号表示方法

GB/T 221—2000《钢铁产品牌号表示方法》规定了钢铁产品牌号表示方法。

1. 基本原则

(1) 凡列入国家标准和行业标准的钢铁产品, 均应按本标准规定的牌号表示方法编写牌号。

(2) 产品牌号的表示, 一般采用汉语拼音字母, 化学元素符号和阿拉伯数字相结合的方法表示。

(3) 采用汉语拼音字母表示产品名称、用途、特征和工艺方法时, 一般以代表产品名称的汉字的汉语拼音中选取第一个字母。当和另一产品所取字母重复时, 改取第二个字母或第三个

字母,或同时选取两个汉字的第一个拼音字母。

采用汉语拼音字母,原则上只取一个,一般不超过两个。

2. 牌号表示方法

(1) 碳素结构钢和低合金结构钢。这类钢分为通用钢和专用钢两类。

1) 通用结构钢采用代表屈服点的拼音字母“Q”、屈服点数值(单位为 MPa)、规定的质量等级和脱氧方法等符号表示,按顺序组成牌号,例如:

碳素结构钢牌号表示为:Q235AF, Q235BZ;

低合金高强度结构钢牌号表示为:Q345C, Q345D。

a. 碳素结构钢的牌号组成中,表示镇静钢的符号“Z”和表示特殊镇静钢的符号“TZ”可以省略,例如:质量等级分别为 C 级和 D 级的 Q235 钢,其牌号表示为 Q235CZ 和 Q235DTZ,可以省略为 Q235C 和 Q235D。

b. 低合金高强度结构钢分为镇静钢和特殊镇静钢,在牌号的组成中没有表示脱氧方法的符号。

2) 专用结构钢一般采用代表钢屈服点的符号“Q”、屈服点数值和规定的代表产品用途的符号等表示,例如:压力容器用钢牌号表示为“Q345R”;焊接气瓶用钢牌号表示“Q295HP”;锅炉用钢牌号表示为“Q390g”;桥梁用钢表示为“Q420q”。

耐候钢是抗大气腐蚀用的低合金高强度结构钢,其牌号表示为“Q340NH”。

3) 根据需要,通用低合金高强度结构钢的牌号也可以采用二位阿拉伯数字(表示平均含碳量,以万分之几计)和规定的元素符号,按顺序表示;专用低合金高强度结构钢的牌号也可以采用二位阿拉伯数字(表示平均含碳量,以万分之几计)

(2) 不锈钢和耐热钢。不锈钢和耐热钢牌号采用规定的合金元素符号和阿拉伯数字表示,易切削不锈钢和耐热钢在牌号头部加“Y”。一般用一位阿拉伯数字表示平均含碳量(以千分之几计);当平均含碳量不小于 1% 时;采用二位阿拉伯数字表示;当含碳量上限小于 0.1% 时,以“0”表示含碳量;当含碳量上限不大于 0.03%,大于 0.01% 时(超低碳),以“03”表示含碳量;当含碳量上限不大于 0.01% 时(极低碳),以“01”表示含碳量。含碳量没有规定下限时,采用阿拉伯数字表示含碳量的上限数字。合金元素含量表示方法同合金结构钢。例如:平均含碳量为 0.20%,含铬量为 13% 的不锈钢,其牌号表示为“0Cr13”;含碳量上限 0.08%,平均含铬量为 18%,含镍量为 9% 的铬镍不锈钢,其牌号表示为“Y1Cr17”;平均含碳量为 1.10%,含铬量为 17% 的高碳铬不锈钢,其牌号表示为“11Cr17”;含碳量上限为 0.03%,平均含铬量为 19%,含镍量为 10% 的超低碳不锈钢,其牌号表示为“03Cr19Ni10”,含碳量上限为 0.01%,平均含铬量为 19%,含镍量为 11% 的极低碳不锈钢。其牌号表示为“01Cr19Ni11”。

2000 年以前编制的国家(行业)标准(如 GB1220—1992)的牌号表示方法是按 GB221—1979 的规定采用,不锈钢和耐热钢牌号一般用一位阿拉伯数字表示平均含碳量(以千分之几计),当平均含碳量不小于 0.1% 时,以“0”表示;当含碳量不大于 0.03%,以“00”表示。

2.1.3 钢材的物理性能

钢材的物理性能如表 2-2。

表 2-2 钢材物理性能

弹性模量 E /Mpa	剪切模量 G /MPa	线胀系数 /($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	密度 ρ /(kg/m^3)	泊松比 ν
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850	0.3

2.1.4 碳素结构钢

GB700—1988《碳素结构钢》规定了碳素结构钢的技术条件。

1. 牌号表示方法、代号和符号

(1) 牌号表示方法。

钢的牌号由表示屈服点的字母、屈服点数值、质量等级符号、脱氧方法符号等四个部分按顺序组成。

(2) 符号。

Q——钢材屈服点“屈”字汉语拼音首位字母；

A、B、C、D——分别为质量等级；

F——沸腾钢“沸”字汉语拼音首位字母；

b——半镇静钢“半”字汉语拼音首位字母；

Z——镇静钢“镇”字汉语拼音首位字母；

TZ——特殊镇静钢“特镇”两字汉语拼音首位字母。

在牌号表示方法中，“Z”与“TZ”符号予以省略。

2. 钢的牌号和化学成分（熔炼分析）应符合表 2-3 的规定。

表 2-3 钢的牌号和化学成分（熔炼分析）

牌 号	等 级	化学成分 (%) (质量分数)					脱氧方法
		C	Mn	Si	S	P	
				不大于			
Q195	—	0.06 ~ 0.12	0.25 ~ 0.50	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
Q215	A	0.09 ~ 0.15	0.25 ~ 0.55	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q235	A	0.14 ~ 0.22	0.30 ~ 0.65 [⊖]	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B	0.12 ~ 0.20	0.30 ~ 0.70 [⊖]		0.045		
	C	≤0.18	0.35 ~ 0.80		0.040	0.040	Z
	D	≤0.17			0.035	0.035	TZ
Q255	A	0.18 ~ 0.28	0.40 ~ 0.70	0.30	0.050	0.045	F、b、Z
	B				0.045		
Q275	—	0.28 ~ 0.38	0.50 ~ 0.80	0.35	0.050	0.045	B、Z

(1) 沸腾钢硅含量不大于 0.07%，半镇静钢硅含量不大于 0.17%，镇静钢硅含量下限值为 0.12%。

(2) D 级钢应含有足够的形成细晶粒结构的元素，例如钢中酸溶铝含量不小于 0.015% 或全铝含量不小于 0.020%。

(3) 钢中残余元素铬、镍、铜含量应各不大于 0.30%，氧气转炉钢的氮含量应不大于 0.008%。如供方能保证，均可不做分析。

⊖ Q235A、B 级沸腾钢锰含量上限为 0.60%。

经需方同意，A 级钢的铜含量，可不大于 0.35%。此时，供方应做铜含量的分析，并在质量证书中注明其含量。

(4) 钢中砷的残余含量应不大于 0.080%。用含砷矿冶炼生铁所冶炼的钢，砷含量由供需双方协议规定。如原料中没有含砷，对钢中的砷可不做分析。

(5) 在保证钢材力学性能符合本标准规定情况下，各牌号 A 级钢的碳、硅、锰含量和各牌号其他等级钢碳、锰含量下限可以不作为交货条件，但其含量(熔炼分析)应在质量证书中注明。

(6) 在供应商品钢锭（包括连铸坯）、钢坯时，供方应保证化学成分（熔炼分析）符合表 2-3 规定，但为保证轧制钢材各项性能符合本标准要求，各牌号 A、B 级钢的化学成分可以根据需方进行适当调整，另订协议。

3. 钢材的拉伸和冲击试验应符合表 2-4 的规定，弯曲试验的规定应符合表 2-5 的规定。

表 2-4 钢材的拉伸和冲击试验

牌号	等 级	拉 伸 试 验													冲击试验	
		屈服点 $\sigma_s/(N/mm^2)$						抗拉强度 σ_b $/(N/mm^2)$	伸长率 $\delta_5(\%)$						温度 /℃	V 型 冲击功 (纵向) /J
		钢材厚度(直径)/mm							钢材厚度(直径)/mm							
		≤ 16	> 16 ~ 40	> 40 ~ 60	> 60 ~ 100	> 100 ~ 150	> 150		≤ 16	> 16 ~ 40	> 40 ~ 60	> 60 ~ 100	> 100 ~ 150	> 150		
		不小于							不小于							
Q195	—	(195)	(185)	—	—	—	—	315 ~ 430	33	32	—	—	—	—	—	—
Q215	A	215	205	195	185	175	165	335 ~ 450	31	30	29	28	27	26	—	—
	B														20	27
Q235	A	235	225	215	205	195	185	375 ~ 500	26	25	24	23	22	21	—	—
	B														20	27
	C														0	
	D														-20	
Q255	A	255	245	235	225	215	205	410 ~ 550	24	23	22	21	20	19	—	—
	B														20	27
Q275	—	275	265	255	245	235	225	490 ~ 630							—	—

表 2-5 钢材的弯曲试验

牌 号	试样方式	冷弯试验 $B=2a$ 180°		
		钢材厚度(直径)/mm		
		60	>60~100	>100~200
		弯心直径 d/mm		
Q195	纵	0	—	—
	横	$0.5a$		
Q215	纵	$0.5a$	$1.5a$	$2a$
	横	a	$2a$	$2.5a$
Q235	纵	a	$2a$	$2.5a$
	横	$1.5a$	$2.5a$	$3a$
Q255		$2a$	$3a$	$3.5a$
Q275		$3a$	$4a$	$4.5a$

注：B 为试样宽度，a 为钢材厚度（直径）。

(1) 牌号 Q195 的屈服点仅供参考，不作为交货条件。

(2) 进行拉伸和弯曲试验时，钢板和钢带应取横向试样，伸长率允许比表 2-4 降低 1% (绝对值)。型钢应取纵向试样。

(3) 各牌号 A 级钢的冷弯试验，在需方有要求时才进行。当冷弯试验合格时，抗拉强度上限可以不作为交货条件。

(4) 夏比 (V 型缺口) 冲击试验应符合表 2-4 的规定。

(5) 夏比 (V 型缺口) 冲击吸收功值按一组三个试样单值的算术平均值计算, 允许其中一个试样单值低于规定值, 但不得低于规定值的 70%。

(6) 当采用 5mm × 10mm × 55mm 小尺寸试样做冲击试验时, 其试验结果应不小于规定值的 50%。

GB50018—2002 第 3.0.1 条指出: “在现行国家标准《碳素结构钢》中提出: ‘A 级钢的含碳量可以不作交货条件’, 由于焊接结构对钢材含碳量要求严格, 所以 Q235A 级钢不宜在焊接结构中使用。”

GB50017—2003 第 3.3.3 条指出: “在焊接结构中, 建筑钢的焊接性能主要取决于碳含量, 碳的合适含量宜控制在 0.12% ~ 0.2% 之间, 超出该范围的幅度愈多, 焊接性能变差的程度愈大。因此, 对焊接承重结构尚应具有碳含量的合格保证。故建议对焊接结构一定要保证碳含量, 即在主要焊接结构中不能使用 Q235A 级钢。”

Q235A 级钢在保证钢材力学性能符合 GB/T700—1988 规定情况下, 碳、硅、锰含量不作为交货条件, 各牌号 A 级钢的冷弯试验在需方有要求时才进行, Q235A 级钢不进行夏比 (V 型缺口) 冲击试验, 因此, Q235A 级钢不宜用于焊接结构, 焊接结构采宜用 Q235B 级钢。

2.1.5 合金结构钢

GB/T1591—1994《低合金高强度结构钢》规定了低合金高强度结构钢的牌号和技术要求。

1. 牌号表示方法 钢的牌号由代表屈服点的汉语拼音字母 (Q)、屈服点数值、质量等级符号 (A、B、C、D、E) 三个部分按顺序排列。

例如: Q390A

其中: Q——钢材屈服点的“屈”字汉语拼音的首位字母;

390——屈服点数值, 单位 MPa;

A、B、C、D、E——分别为质量等级符号。

2. 钢的牌号和化学成分 (熔炼分析) 应符合表 2-6 规定。

表 2-6 合金结构钢的牌号和化学成分 (熔炼分析)

牌号	质量等级	化学成分 (%) (质量分数)										
		C ≤	Mn	Si ≤	P ≤	S ≤	V	Nb	Ti	Al ≥	Cr ≤	Ni ≤
Q295	A	0.16	0.80 ~ 1.50	0.55	0.045	0.045	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—		
	B	0.16	0.80 ~ 1.50	0.55	0.040	0.040	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	—		
Q345	A	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.045	0.045	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—	0.15	
	B	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.040	0.040	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	—		
	C	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	0.15		
	D	0.18	1.00 ~ 1.60	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	0.15		
	E	0.18	1.00 ~ 1.60	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.15	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	0.15		
Q390	A	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.045	0.045	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.02 ~ 0.20	—	0.30	0.70
	B	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.040	0.040	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	—	0.30	0.70
	C	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.035	0.035	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	0.15	0.30	0.70
	D	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.030	0.030	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	0.15	0.30	0.70
	E	0.20	1.00 ~ 1.60	0.55	0.025	0.025	0.02 ~ 0.20	0.015 ~ 0.060	0.20 ~ 0.20	0.15	0.30	0.70