

ICS 25.160.20

CCS J 33



CWA

团 体 标 准

T/CWAN 0104—2025

奥氏体不锈钢管道焊接接头质量色差评价方法

Quality color difference evaluation method for welding joints of austenitic stainless steel pipes

2025-05-28 发布

2025-07-01 实施

中国焊接协会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 方法概述 1

5 检测条件 2

6 标准比色卡 2

7 焊接接头要求 3

8 检测步骤 3

9 结果表示 3

10 检测报告 3

附录 A（资料性）奥氏体不锈钢焊接接头颜色变化的主要影响因素 5

附录 B（资料性）氧化膜对奥氏体不锈钢性能的影响 6

附录 C（资料性）化学元素氧化对奥氏体不锈钢颜色的影响 7

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国焊接协会提出并归口。

本文件起草单位：中国特种设备检测研究院、福建省特种设备检验研究院、天津市特种设备监督检验技术研究院、合肥通用机械研究院有限公司、哈尔滨威尔焊接有限责任公司、北京金威焊材有限公司、武汉市润之达石化设备有限公司、哈尔滨工程大学、青山钢管有限公司、福建青拓特钢技术研究有限公司、宁德时代新能源科技股份有限公司、中国石化工程建设有限公司、中国机械总院集团哈尔滨焊接研究所有限公司、华北水利水电大学、中国科学院金属研究所。

本文件主要起草人：赵博、孙明辉、马青军、房务农、王庆江、李伟、束润涛、果春焕、于从龙、江来珠、明金阳、陈鹏、武鹏博、宗瑞磊、王星星、王松伟、王猛、徐亦楠。

奥氏体不锈钢管道焊接接头质量色差评价方法

1 范围

本文件规定了奥氏体不锈钢管道焊接接头质量色差评价方法，内容包括方法概述、检测条件、标准比色卡、焊接接头、检测步骤、结果表示、结果判定和检测报告要求。

本文件适用于奥氏体不锈钢管道焊接接头色差和外观质量评价。非管道类奥氏体不锈钢焊接接头的色差和外观质量评价可参照本文件执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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/T 20878 不锈钢 牌号及化学成分

T/CWAN 0008 焊接术语-焊接基础

T/CWAN 0009 焊接术语-熔化焊

T/CWAN 0010 焊接术语-焊接检验

3 术语和定义

GB/T 20878、T/CWAN 0008、T/CWAN 0009 、T/CWAN 0010界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

颜色级别 color level

用于评判奥氏体不锈钢管道焊接接头颜色的类型和级别指标，本文件使用标准比色卡，将焊接接头颜色分为 10 个级别，不同级别代表了不同氧化程度。

3.2

参比焊接接头 reference welded joints

供需双方商定的，用于限定奥氏体不锈钢焊接接头外观和颜色的焊接接头。

4 方法概述

本方法在既定条件下，采用目视检验方法对奥氏体不锈钢管道焊接接头的颜色级别进行检测，通过标准比色卡确定奥氏体不锈钢管道焊接接头的颜色级别，或与参比焊接接头进行对比，进而可评估焊接接头表面氧化状况及质量，检测时间不宜超过 48h。

5 检测条件

5.1 光源

5.1.1 自然光源：选晴天日出后 3 h 到日落前 3 h 的漫射日光或色温在 5000 K 至 6500 K 之间的自然光。

5.1.2 人造光源：选人造 D65 标准光源或供需双方商定色温在 5000 K 至 6500 K 之间的其他光源，人工照明时的照度应大于 600 lx。背景应选用无光泽的黑色或灰色，不应选用彩色背景。

5.1.3 照明的散射光源应位于观察者的上方。

5.2 观察距离

观察距离一般为 0.5 m。

5.3 视点位置

视线垂直于接头表面，或与接头表面法线成 45°。

5.4 观察人员

正常视力或矫正视力应不低于 5.0，且无色盲和弱视等影响颜色分辨能力的眼科疾病。

6 标准比色卡

标准比色卡见图 1，共计 10 个级别，1 级到 10 级依次表示氧化程度递增。标准比色卡中不同颜色级别对应的氧化程度可参考表 1。当供需双方协商的焊接接头颜色不在标准比色卡内时，应由需方焊接参比焊接接头，供方按参比焊接接头要求供货。



图 1 标准比色卡

表 1 标准比色卡中不同颜色级别对应的氧化程度

颜色级别	颜色	氧化程度参考
1	银亮色或不锈钢原色	表明氧化程度极低。此时，氧化物成分主要是极少量的自然氧化膜，可能以铬的氧化物（如 Cr_2O_3 ）为主，且形成的氧化膜非常薄，几乎可以忽略不计。这通常意味着焊接过程中的保护措施非常有效，抑制了大部分元素的氧化。
2~3	浅黄色	表明氧化程度较轻。此时，铁元素可能开始氧化，形成少量的氧化亚铁（ FeO ），同时铬元素也有一定程度的氧化，生成 Cr_2O_3 。浅黄色主要是由于铁和铬的氧化物颜色混合，并且氧化膜厚度较薄，光的反射和干涉现象使颜色呈现为浅黄色。
3~4	金黄色或淡褐色	表明氧化程度适中。此时，铁元素的氧化程度进一步增加，除了 FeO 外，可能还有部分三氧化二铁（ Fe_2O_3 ）生成。铬的氧化物依然存在，并且其含量和分布也会影响颜色。此外，锰元素可能也开始少量氧化，生成黑色的二氧化锰（ MnO_2 ），但由于含量相对较少，在颜色混合中起到辅助作用，使整体颜色呈现金黄色或淡褐色。
5~7	蓝色或深蓝色	说明氧化程度较高。这一般是由于铁和铬的氧化物在一定厚度下，光的干涉和反射产生了这种颜色效果。此时，铁的氧化物可能在表面占据较大比例，同时铬的氧化物也在不断生长，其厚度和成分的变化导致了颜色向蓝色转变。锰的氧化产物也可能会增强这种蓝色调。

8~10	黑色或深褐色且伴有斑点	表明氧化程度很严重。此时，铁的氧化物（FeO 和 Fe ₂ O ₃ ）大量存在，并且可能由于局部氧化过度，形成了疏松的氧化物堆积。锰的氧化物（MnO ₂ ）也会在这种情况下大量生成，加深黑色调。同时，铬的氧化物膜可能已经部分被破坏，无法有效阻止氧化过程，导致各种氧化物混杂，颜色变深且不均匀。
------	-------------	---

7 焊接接头要求

7.1 表面

焊接接头表面应清洁，无污垢、污渍和其他异物。如有污渍，应采用水或适当的有机溶剂(如乙醇)润湿后，使用干净的软布或类似材料去除，所使用的有机溶剂不能影响检测结果。

7.2 区域

检测的焊接接头应为管子整圈接头，检测区域应包含焊缝区、熔合区及热影响区，管子的内外壁都应检测。

8 检测步骤

8.1 焊接接头的放置

将焊接接头放置在基底上，待检有效表面朝上。如使用参比焊接接头，则应将参比焊接接头与待检接头并排放置。

注：为了能够得到散射光，防止周围的直射太阳光反射的影响，便于观察焊接接头颜色和色差，在焊接接头下面放置灰色无光纸或起相同作用的其他物质作为基底。

8.2 检测

在自然光源(5.1.1)下，观察人员(5.4)按规定的观察距离(5.2)在规定的视点位置(5.3)，观察焊接接头颜色，并与标准比色卡进行比对，确定等级。如使用参比焊接接头，则与参比焊接接头比对。

9 结果表示

9.1 使用标准比色卡

9.1.1 焊接接头呈现单一颜色

焊接接头颜色刚好和标准比色卡的某一级别吻合时，则为该级别。当焊接接头颜色处于两个级别颜色中间时，结果应为高级别。

9.1.2 焊接接头呈现多颜色

应以颜色最高级别作为结果。

9.2 使用参比焊接接头

检测结果应为合格或不合格。

10 检测报告

试验报告至少应包括以下内容：

- a) 焊接接头材料或产品的说明；

- b) 试样尺寸、状态以及表面膜层已知特征及表面处理的说明；
- c) 试验条件；
- d) 参比焊接接头状态（如使用）
- e) 检测结果；
- f) 观察到的异常现象；
- g) 本文件编号；
- h) 检测日期；
- i) 检测人员。

附录 A

(资料性)

奥氏体不锈钢焊接接头颜色变化的主要影响因素

A.1 概述

本附录详述了奥氏体不锈钢焊接接头颜色变化的主要因素。氧化程度是影响颜色的关键因素。随着氧化反应的推进，不锈钢表面形成的氧化膜厚度逐渐增加，较薄的氧化膜可能导致不锈钢表面呈现浅黄色或淡金色，而氧化程度加深、氧化膜变厚后，颜色会逐渐转变为蓝色、黑色等较深的色调。不同厚度的氧化膜对光的干涉、折射等光学现象产生不同的影响，从而导致颜色的变化。

A.2 温度因素

焊接过程中温度的升高以及持续时间的延长，通常会导致氧化程度加剧，颜色变化更为显著。例如，在高温下长时间的焊接热循环作用下，不锈钢表面的铬元素与氧结合，形成不同价态的铬氧化物，进而引起颜色的改变。

A.3 焊接环境中的氧气含量因素

焊接环境中的氧气浓度直接影响氧化反应的程度。在富氧环境下焊接时，接头表面更易发生氧化反应，颜色可能从浅黄到深蓝等多种变化。相对地，在低氧或惰性气体保护焊接环境下，氧化程度会减轻，颜色变化较小。

A.4 冷却速度因素

焊接后的冷却速度对氧化颜色产生影响。快速冷却可能会抑制氧化膜的形成过程，导致颜色相对较浅；而缓慢冷却则能使氧化反应更为充分，产生较深的氧化颜色。

A.5 焊接工艺方法因素

不同的焊接工艺，例如手工电弧焊、钨极氩弧焊、熔化极气体保护焊等，由于热输入量、电弧稳定性等因素的差异，会导致焊接接头氧化情况和颜色变化的不同。例如，手工电弧焊的热输入相对较大，氧化程度可能更高，颜色变化更为复杂。

A.6 焊接材料成分因素

焊接材料中的合金元素含量会影响氧化过程。若焊接材料中含有易氧化的元素，或者其铬、镍等抗氧化元素含量与母材存在差异，将导致焊接接头的氧化行为发生变化，进而影响颜色。

A.7 其他因素

焊接前的烃类、水分和某些表面颗粒会影响变色程度。氩气背衬气中氢气的含量可以显著减少变色量。金属表面的光洁度同样会影响颜色的差异。

附录 B

（资料性）

氧化膜对奥氏体不锈钢性能的影响

B.1 耐腐蚀性

积极影响：不锈钢表面形成的致密氧化膜（主要是铬的氧化物）可以作为一种屏障，阻止氧气、水分和腐蚀性介质（如酸、碱）与不锈钢基体接触。例如在大气环境下，氧化膜能够防止雨水、二氧化硫等腐蚀物质对不锈钢的侵蚀，从而大大提高不锈钢的耐蚀性。

消极影响：如果氧化膜不完整、存在裂纹或者疏松多孔，那么腐蚀性介质就会通过这些缺陷渗透到不锈钢基体，引发局部腐蚀，如点蚀、缝隙腐蚀等，降低不锈钢的耐腐蚀性。

B.2 耐磨性

积极影响：适当的氧化膜可以在一定程度上提高不锈钢的耐磨性能。它能够减少金属表面之间的直接摩擦，起到类似于润滑剂的作用。例如，在一些低载荷、低滑动速度的摩擦环境下，氧化膜可以降低磨损率。

消极影响：然而，在高载荷、高滑动速度或者存在磨粒的恶劣摩擦条件下，氧化膜可能会被轻易磨掉，一旦氧化膜被破坏，不锈钢基体暴露出来，就会加速磨损过程。

B.3 均匀性

良好颜色表现：颜色均匀一致是理想状态。例如，在整个焊接接头表面，颜色没有明显的深浅变化、斑点或条纹，说明氧化过程相对稳定、均匀。均匀的金黄色或淡蓝色氧化膜会被认为是比较好的。

不良颜色表现：如果颜色分布不均，有明显的色差，如局部出现深色斑块或浅色条纹，这可能意味着氧化过程受到干扰。例如，可能是焊接过程中局部温度过高或保护气体覆盖不均匀，导致该区域氧化程度与其他部分不同，这种情况通常是不太好的。

B.4 色泽与预期用途相符性

良好颜色表现：对于不同的应用场景，合适的颜色是不同的。在食品加工设备的不锈钢焊接接头中，表面呈银亮色（表示氧化程度极低）或带有轻微的、均匀的浅黄色是比较好的，因为这符合食品卫生要求，且不会对食品产生潜在的污染风险。而在建筑装饰领域，具有光泽感的金黄色或古铜色氧化膜如果符合设计要求，那就是比较好的颜色。

不良颜色表现：如果颜色不符合预期用途的要求，就是不理想的。例如，在医疗设备不锈钢焊接接头处出现了深色（如深蓝或黑色）的氧化膜，可能会让人怀疑其清洁性和耐腐蚀性，从而不符合医疗行业对设备表面的严格要求。

附录 C

(资料性)

化学元素氧化对奥氏体不锈钢颜色的影响

C.1 锰元素 (Mn)

锰元素在奥氏体不锈钢中能增加材料的强度和韧性。当锰元素被氧化时，会生成不同价态的锰氧化物。例如，二氧化锰 (MnO_2) 是黑色的，它会使焊接接头表面颜色变黑。不过，由于锰元素在不锈钢中的含量相对不是特别高，所以它对颜色变化的影响通常不如铁、铬那么显著，只有在锰含量较高或者氧化条件比较极端时，它对颜色的影响才会更明显。

C.2 钼元素 (Mo)

钼元素氧化对颜色的影响占比最小，大概在1%~5%左右。除非钼元素的含量异常高或者焊接环境非常特殊，否则钼元素其对颜色变化的影响较难察觉。钼元素氧化后会生成钼的氧化物，如三氧化钼 (MoO_3)，其颜色通常为白色或淡黄色。在焊接过程中，钼的氧化会使焊接接头表面出现白色或淡黄色的斑纹，不过这种情况也较少见，因为钼元素在不锈钢中的含量一般不高，而且钼元素本身比较稳定。

C.3 铁元素 (Fe)

影响比例：铁元素由于在不锈钢中含量较高，在焊接过程中如果没有良好的保护措施，其氧化对焊接接头颜色变化的影响通常占比较大，可能达到40%~60%。例如，当铁大量氧化形成黑色的氧化亚铁 (FeO) 或红棕色的三氧化二铁 (Fe_2O_3) 时，焊接接头会明显变黑或出现红棕色的锈迹状颜色。

C.4 铬元素 (Cr)

影响比例：铬元素的氧化对颜色的影响占比相对也较高，大约为20%~40%。因为铬氧化形成的三价铬氧化物 (Cr_2O_3) 呈绿色，这种颜色在焊接接头的颜色变化中比较突出。而且铬氧化物形成的保护膜完整性也会影响整体颜色，比如当保护膜部分破坏后，新的氧化反应可能改变颜色。

C.5 镍元素 (Ni)

影响比例：镍在奥氏体不锈钢中主要起稳定奥氏体结构和提高耐腐蚀性的作用，它相对比较稳定。镍氧化后颜色略微变灰或变暗，其氧化对颜色的影响比例通常在3%~10%左右。