

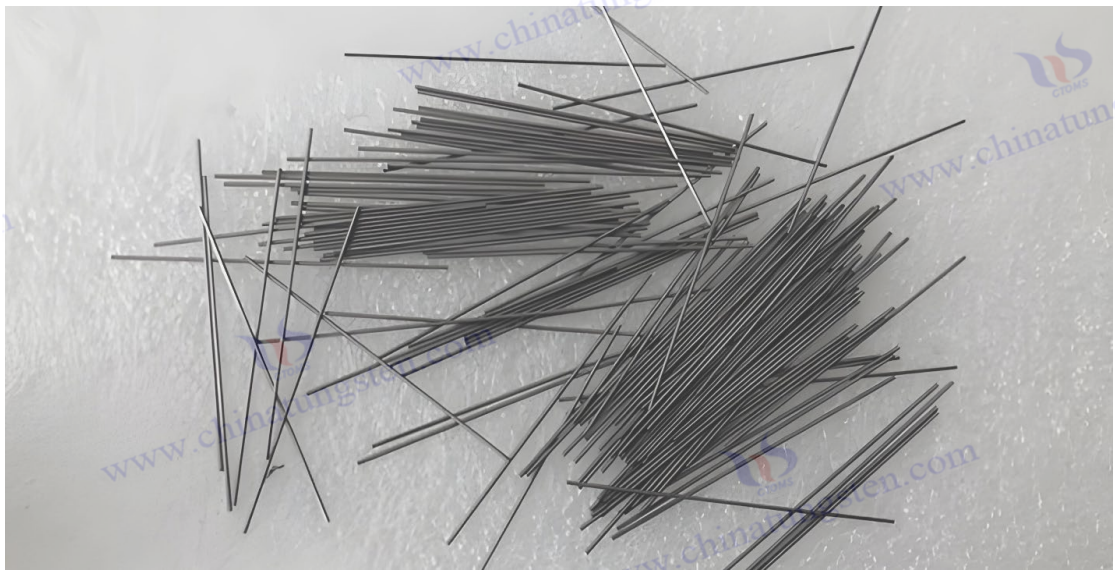


20 个关于钨电极常见问题的深度解答

中钨智造科技有限公司

钨电极看似只是氩弧焊系统中的一种小型耗材，但其背后涉及难熔金属材料学、电子发射理论、电弧物理学、流体力学、焊接冶金学以及焊接工艺控制等多个学科。对于高端装备制造、压力容器、核电、航空航天、半导体装备和精密自动化焊接而言，一支准备充分、选型合理、状态稳定的钨电极，往往决定着焊接质量的上限。

真正优秀的焊工不仅会焊，更懂钨极；真正优秀的焊接工程师，也不仅关注焊缝结果，更关注决定结果的每一个工艺细节。正是这些看似微小的准备工作，共同构成了高质量 TIG 焊接的技术基础。



问题 1: 钨电极到底是什么? 为什么不用普通金属电极?

钨电极是以高纯钨或掺杂稀土氧化物钨为主体制成的非熔化电极, 主要用于 TIG (GTAW) 焊接、等离子焊接以及部分精密自动焊设备中。

钨 (W) 属于难熔金属, 其最突出的特点是: 熔点 3422°C , 沸点 5555°C , 密度 19.25 g/cm^3 , 热导率约 $173\text{ W/(m}\cdot\text{K)}$, 电子逸出功: $4.5\sim 5.2\text{ eV}$ 。

在 TIG 焊接中, 电弧中心温度通常达到 $6000\sim 20000^{\circ}\text{C}$ 。普通钢材熔点约 1500°C , 铜约 1085°C , 铝约 660°C , 都无法作为长期稳定电极使用。而钨即使处于极高温电弧环境中, 也能保持形状和尺寸基本稳定。

从材料科学角度看, 钨具有体心立方 (BCC) 晶体结构, 高温强度保持能力远高于常见金属, 因此成为目前工业上最成熟的非熔化电极材料。钨电极的作用并不是形成焊缝, 而是 (1) 建立和维持稳定电弧; (2) 将焊接电流输送至工件; (3) 提供稳定的热源分布; (4) 保证熔池受热均匀。因此, 钨极质量直接决定电弧稳定性、焊缝成形、焊接缺陷发生率、自动焊一致性。

需要注意的是关于钨电极的常见误区是, 钨极不熔化, 所以永远不会消耗。但实际上是钨极虽然不参与焊缝形成, 但仍会因蒸发、烧损、污染和磨削而逐渐缩短。



问题 2：为什么叫“非熔化电极”？它真的不会熔化吗？

钨电极被称为非熔化电极，是相对于焊条电弧焊和熔化极气体保护焊中的焊丝而言的，指其在正常焊接过程中不作为填充金属参与焊缝形成，而仅承担导电、引弧和维持电弧稳定的作用。

从电弧物理学角度看，TIG 焊接的热量主要来源于电弧放电过程。焊机输出的电流通过钨极，在钨极与工件之间形成稳定电弧，电子在电场作用下高速运动，其动能转化为热能，从而熔化母材和焊丝。

在这一过程中，钨极主要承担四项功能：（1）提供稳定的电子发射源；（2）建立焊接电流回路；（3）约束电弧形态和能量分布；（4）控制熔池热输入的集中程度。由于钨具有 3422℃ 的熔点和优异的高温强度，在合理工艺参数下，钨极温度通常低于其熔点，因此不会像焊条或焊丝一样熔化进入焊缝。

但非熔化并不意味着绝对不会熔化。在以下情况下，钨极仍可能发生局部熔化：① 焊接电流严重超过推荐范围；② 交流、直流极性选择错误；③ 焊枪冷却能力不足；④ 保护气失效导致氧化烧损；⑤ 钨极直接接触熔池。

钨极一旦熔化进入焊缝，会形成夹钨缺陷。夹钨不仅影响焊缝外观，更会造成应力集中、降低疲劳寿命，并可能导致射线探伤不合格。

在航空航天、核电设备和压力容器制造领域，夹钨通常被视为严重缺陷。一旦发现，往往需要彻底打磨缺陷区域并重新施焊。

关于钨电极最常见的误区是认为非熔化电极永远不会损耗。实际上，钨极虽然不参与焊缝形成，但仍会因蒸发、烧损、污染以及反复磨削而逐渐缩短，其本质属于慢消耗型电极，而非永久性电极。



问题 3: 钨极颜色到底代表什么?

很多初学者认为钨极颜色只是生产厂家为了区分产品而设计的标识。实际上,颜色对应的是国际通行的钨电极分类体系,其本质反映的是不同氧化物掺杂体系所赋予钨极的性能差异。

纯钨虽然具有极高熔点,但存在起弧困难、电流承载能力有限以及电弧稳定性不足等问题。因此,工业上通常在高纯钨中加入微量稀土氧化物,以改善电子发射性能。这些氧化物包括:氧化钍(ThO_2)、氧化铈(CeO_2)、氧化镧(La_2O_3)、氧化锆(ZrO_2)等多种稀土复合氧化物。其作用机理在于降低钨极表面的电子逸出功,使电子更容易脱离电极表面进入电弧区域,从而改善起弧性能,提高电弧稳定性,并延长使用寿命。

常见钨极颜色及特点

钨电极种类	颜色	特点
纯钨	绿色	不含任何添加剂,焊铝易成规则球头,起弧性能较差,主要用于老式工频交流焊机。
钍钨	红色	含约 2%氧化钍,具有优异的直流承载能力和深熔透特性,但存在放射性争议。
铈钨	灰色	低电流性能优异,起弧灵敏,适用于薄板精密焊接。
镧钨	蓝色	含 2%氧化镧,兼具交流和直流焊接性能,是目前应用最广泛的通用型钨极。
锆钨	白色	耐交流球化能力强,传统铝焊应用较多。
复合稀土钨	紫色	综合性能最佳,电弧稳定性和寿命优势明显,多用于机器人自动焊接系统。

对于普通制造企业而言，如果只能采购一种钨极，蓝色 2% 钍钨通常是最合理的选择。它兼具优秀的起弧性能、较高的电流承载能力、良好的环保特性和广泛的工艺适应性。

关于钨极颜色的常见误区是认为颜色越特殊性能越好。事实上，颜色并不存在等级高低之分，而是针对不同焊接场景进行优化设计。真正科学的选型原则是根据母材类型、焊接电流、焊接方式以及设备特性进行匹配。



问题 4：哪种钨极最好？

这是钨电极领域被提问频率最高的问题之一。然而，从焊接工程角度来看，并不存在绝对意义上的“最好钨极”，只有最适合具体应用场景的钨极。

钨极性能需要从多个维度综合评价，包括：起弧性能、电流承载能力、电弧稳定性、抗烧损能力、自动焊一致性、环保性、使用成本等多方面考虑。不同钨极在上述指标上各有优势。例如，红色钍钨具有优秀的高电流稳定性和深熔透能力，长期以来一直是工业直流焊接的标准配置；灰色铈钨在低电流精密焊接中表现突出；蓝色钍钨兼顾交流与直流性能；紫色复合稀土钨则在机器人自动焊接领域具有明显优势。

如果从综合性能进行评价，大致可以归纳如下：

- 起弧性能：紫色≈蓝色>灰色>红色>绿色；
- 自动焊稳定性：紫色>蓝色>灰色；
- 环保性：蓝色>灰色>紫色>绿色>红色；
- 高电流承载能力：红色≈紫色>蓝色>灰色>绿色。

因此，不同行业通常形成不同的选择偏好。
普通机械制造和维修行业，多选择蓝色钨钍；
自动化焊接生产线，更倾向于紫色复合稀土钨；
传统直流焊机用户，仍有部分采用红色钍钨；
交流铝焊，则常选用蓝色钨钍或白色钍钨。

从行业发展趋势看，钨极已经经历了明显的代际演进：二十年前是红色钍钨时代；当前已进入蓝色钨钍时代；未来随着自动化、智能化焊接的发展，紫色复合稀土钨有望成为高端制造的主流选择。关于“哪种钨极最好”的最大误区，是盲目追求所谓高端型号，而忽略实际需求。对于绝大多数焊工而言，稳定适用、易于采购且参数匹配的钨极，往往比性能最强但价格昂贵的产品更具实际价值。



问题 5：红头钨极为什么越来越少？

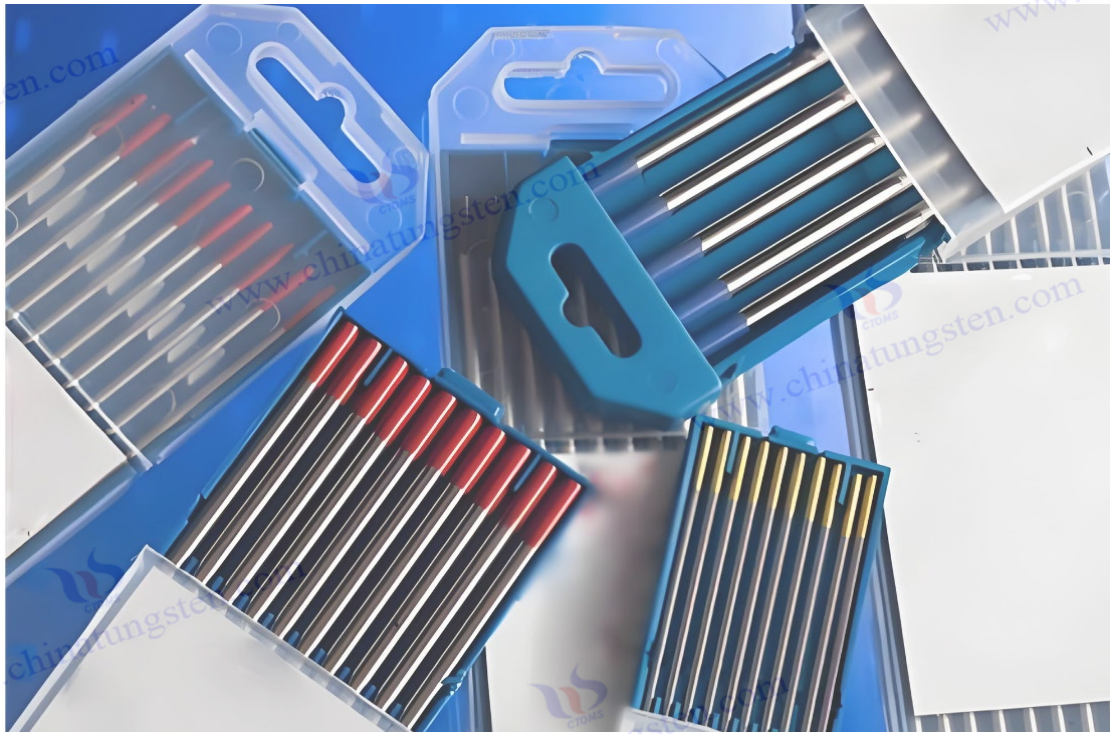
红头钨极是指含约 2%氧化钍 (ThO_2) 的钍钨电极。凭借优异的电子发射性能、高电流承载能力以及稳定的直流焊接表现，红头钨极曾长期占据工业焊接领域的主导地位。在很多老焊工的记忆中，红头钨极几乎等同于高品质 TIG 焊接的代名词。然而，近年来红头钨极的市场占有率却持续下降，其核心原因并非性能退化，而是职业健康与环保要求的不断提高。氧化钍属于天然放射性物质。正常焊接过程中，钍钨产生的辐射剂量通常极低，对操作者影响有限。但真正的风险主要来源于钨极磨削过程。

磨削时产生的细微粉尘如果被长期吸入，可能在人体肺部沉积，从而增加职业暴露风险。因此，欧美许多企业已禁止在普通作业区域现场磨削钍钨，并逐步推动非放射性钨钍替代。需要强调的是，红头钨极并非被全面禁用。目前在许多国家和地区，钍钨仍属于合法产品，只是使用条件更加严格。规范使用通常要求：

- (1) 采用专用钨极磨削设备；
- (2) 配置局部排风或粉尘收集系统；
- (3) 佩戴符合要求的个人防护用品；
- (4) 建立职业暴露管理制度。

即便如此，许多企业仍逐步转向蓝色钨钨、灰色钨钨和紫色复合稀土钨等替代产品。值得注意的是，至今仍有部分资深焊工坚持使用红头钨极。这主要是因为其在高电流直流焊接条件下具有电弧集中、熔深较大和操作习惯成熟等优势。因此，红头钨极退出主流市场并不意味着其性能落后，而是焊接行业在职业健康、环保法规与工艺性能之间重新平衡后的结果。

关于红头钨极最常见的误区，是将其简单理解为“有放射性所以绝对不能使用”。实际上，科学的观点应当是：钨钨可以使用，但必须规范使用；如果存在性能相近且风险更低的替代方案，则优先选择非放射性稀土钨电极。



问题 6：为什么钨极总是烧成球？

钨极尖端烧成球状，是 TIG 焊接中最常见的现象之一。很多初学者认为这是钨极质量不好，实际上，球化既可能是正常工艺现象，也可能是参数设置错误所导致的异常表现，其关键在于理解球化产生的机理以及判断其是否处于合理范围内。从材料与电弧物理角度看，所谓球化，是指钨极尖端在高温作用下局部熔融，并在表面张力驱动下重新凝固形成近似半球形结构的过程。钨虽然熔点高达 3422°C ，但电弧中心温度可达到 $6000\sim 20000^{\circ}\text{C}$ ，在局部热输入过大的情况下，尖端仍可能发生重熔。

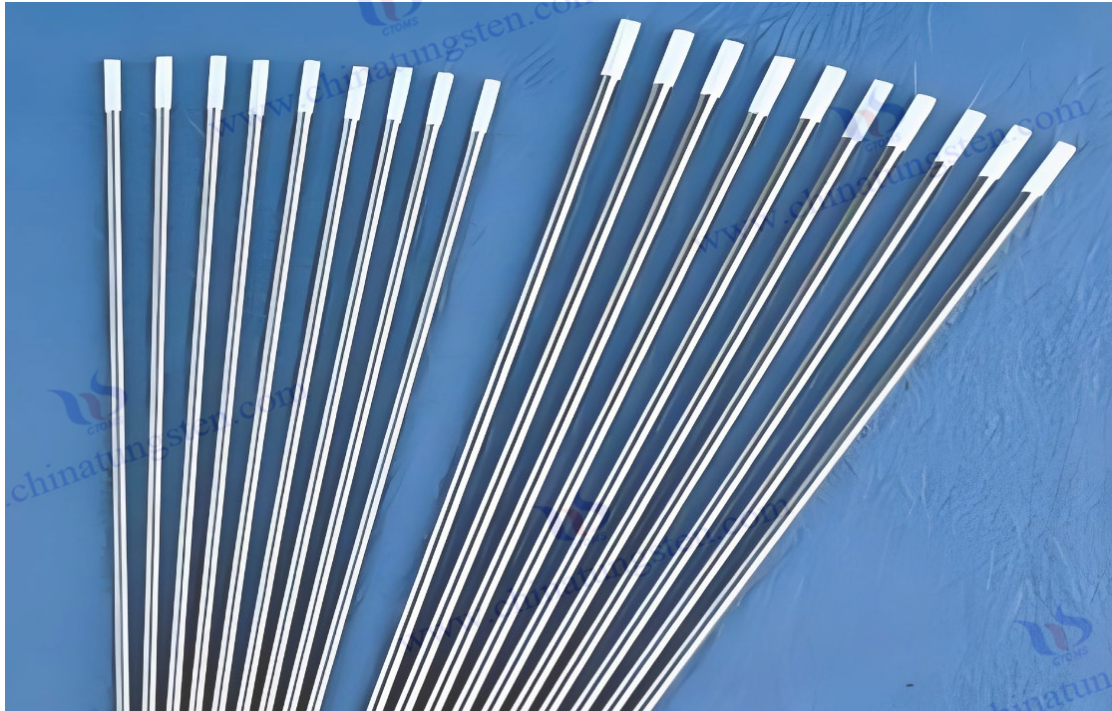
钨极球化主要由以下几个因素引起：

- (1) 焊接电流超过该规格钨极的承载能力；
- (2) 直流极性使用错误，例如将 DCEN 误设为 DCEP；
- (3) 交流焊接时 EP 比例过高；
- (4) 钨极直径过小；
- (5) 焊枪冷却能力不足或保护气失效。

需要特别指出的是，球化并不一定意味着工艺错误。在传统工频交流铝焊中，纯钨或钍钨通常允许形成规则、均匀的小球头。这种球头有利于稳定交流电弧，曾是经典铝焊工艺的重要特征。然而，在现代逆变交流焊机上，由于交流平衡和波形控制能力显著提高，越来越多的工艺推荐采用磨尖或微球化钨极，以获得更加集中的电弧和更高的熔深。

从工程角度看，异常球化会带来一系列问题：电弧发散、熔深降低、焊缝宽度失控、起弧困难、钨极寿命缩短。因此，当发现球头直径明显超过钨极本体直径 1.5 倍以上时，应及时调整参数。正确的处理方法包括：降低焊接电流、更换较粗规格钨极、优化交流平衡比例以及检查焊枪冷却与气体保护状态。

关于钨极球化最大的误区，是认为尖端越圆越稳定。实际上，现代 TIG 焊接的发展趋势恰恰相反，在保证稳定性的前提下，尽可能减小球化程度，以提高电弧集中性和焊接质量。



问题 7：钨极到底应该磨多尖？

钨极尖端的形状决定了电弧形态，而电弧形态又直接影响焊缝熔深、熔宽和成形质量。因此，钨极磨尖并不是简单的打磨动作，而是一项具有明确理论依据的工艺准备工作。从电弧物理学角度看，钨极尖端实际上是电子发射区域。尖端越尖，电子越集中，电流密度越高，形成的电弧越细、越稳定、穿透能力越强；尖端越钝，电流分布越分散，电弧则趋于发散，焊缝宽而浅。

工程上通常采用“磨尖长度为钨极直径 2~3 倍”的经验原则。

例如：

2.4 mm 钨极

磨尖长度宜控制在 5~7 mm 左右；3.2 mm 钨极，则宜控制在 6~10 mm 左右。除了磨尖长度外，尖角角度同样重要。

约 20° 尖角

电弧高度集中，适用于深熔透和窄焊道。

约 30° 尖角

综合性能均衡，是最常用的通用角度。

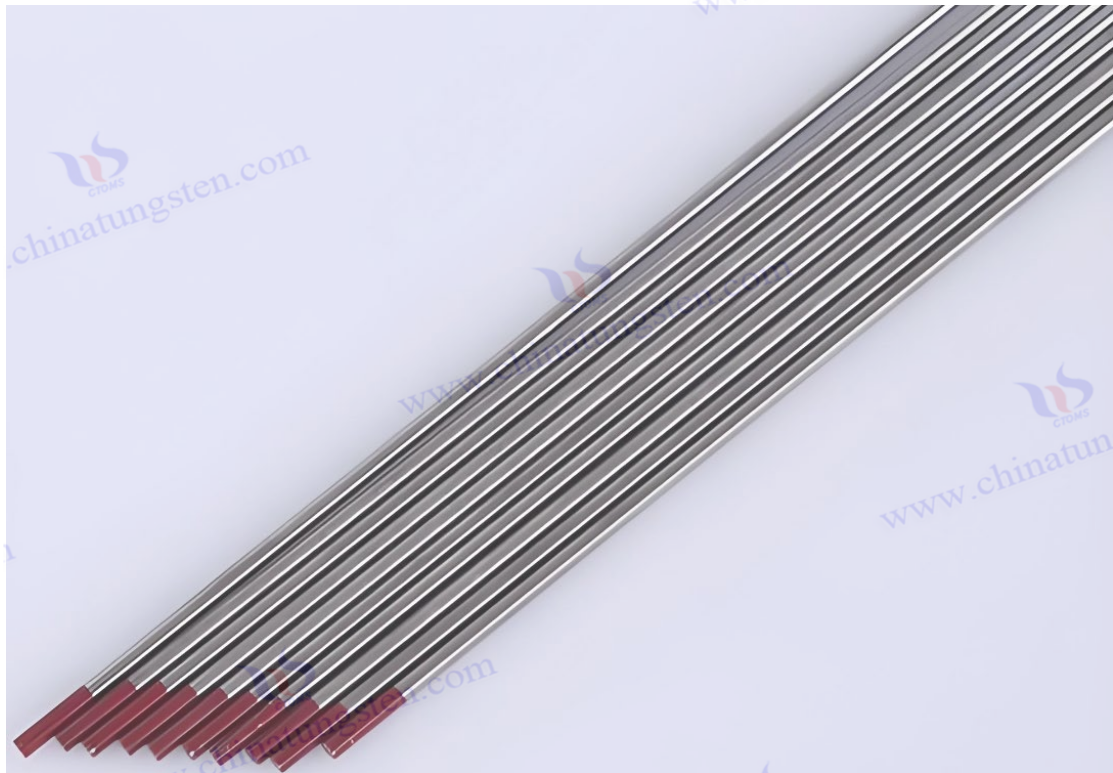
约 60° 尖角

电弧较宽，适用于薄板和宽焊缝。

在自动焊和机器人焊接中，通常推荐采用 25° ~35° 尖角，以兼顾一致性和稳定性。

从工程实践看，很多焊接质量问题实际上源于磨尖不规范。例如：尖端过长，会导致尖端机械强度不足、烧损加剧；尖端过短，则会使电弧发散、熔深不足。正确做法是根据材料厚度、焊接位置和热输入要求选择合适的尖角，而不是机械地套用固定尺寸。

关于磨尖最大的误区，是将钨极磨得像铅笔一样越尖越好。事实上，过度尖锐虽然能够提高电弧集中性，但极尖容易熔损、崩裂和污染，反而降低稳定性。优秀的焊工追求的不是“最尖”，而是“最适合”。



问题 8：为什么钨电极必须纵向打磨？

钨极打磨方向看似只是一个细节，却是影响电弧稳定性的关键因素之一。许多初学者忽视这一点，导致出现偏弧、焊缝蛇形甚至自动焊失败等问题。

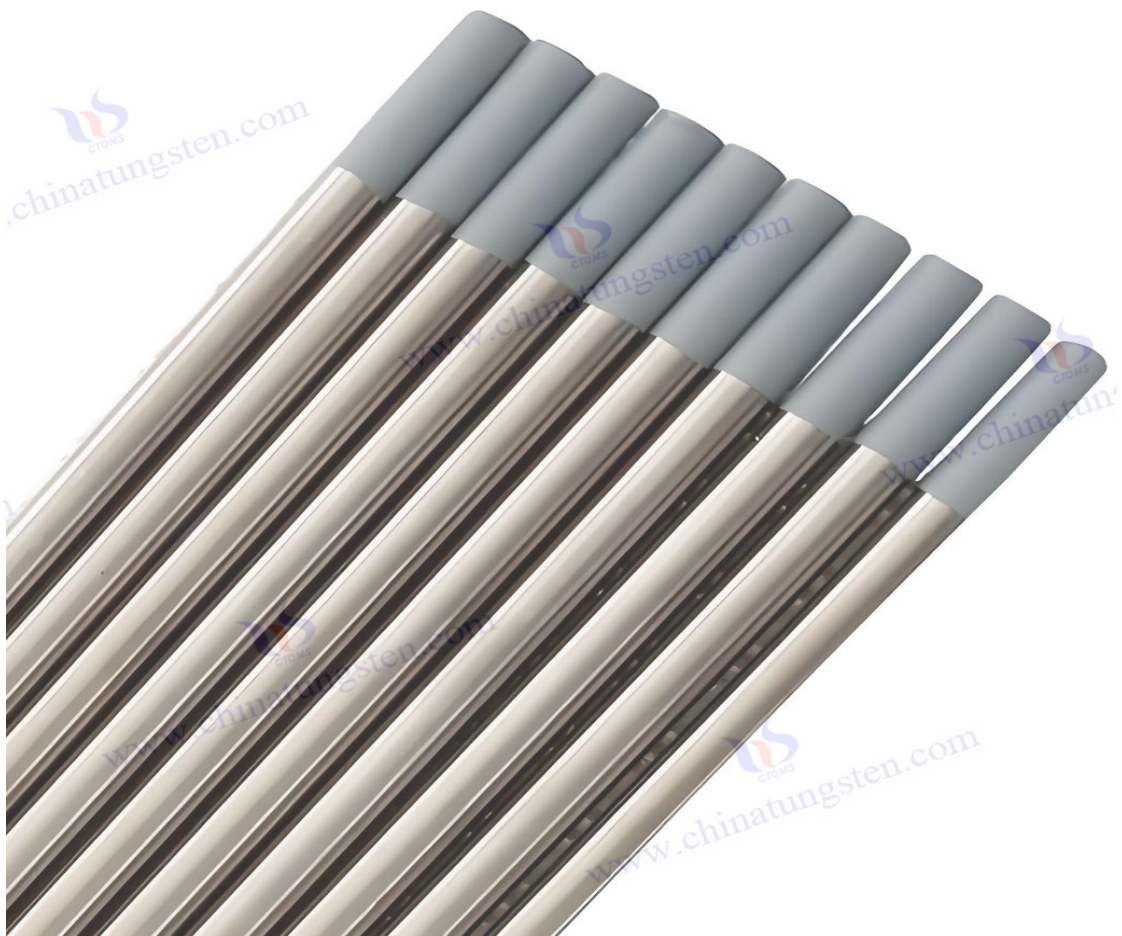
从微观角度看，砂轮在钨极表面留下的磨痕会形成电子发射导向通道。电在电场作用下倾向于沿磨痕方向逸出，因此磨削方向实际上决定了电弧的稳定性。纵向磨削时，磨痕平行于钨极轴线，电子沿轴向均匀发射，电弧能够稳定集中于尖端中心位置。而环向磨削时，磨痕围绕钨极呈同心圆分布，电子发射方向随机变化，容易形成多个发射中心，使电弧不断漂移。这种现象被称为偏弧（Arc Wander）。

偏弧会导致：焊缝成形不均、熔深左右波动、起弧位置不稳定、自动焊轨迹偏移、焊接一致性下降。在核电、航空航天以及机器人自动焊接领域，纵向磨削甚至被写入工艺规范，属于必须遵守的标准操作要求。

正确的磨削方式应满足以下原则：

- (1) 沿钨极轴线方向打磨；
- (2) 采用专用砂轮或钨极磨削机；
- (3) 保持磨痕连续均匀；
- (4) 避免局部凹坑和烧伤。

关于纵向打磨最大的误区，是认为只要磨尖即可，方向无所谓。实际上，磨削方向比尖角本身对电弧稳定性的影响更直接。对于高质量 TIG 焊接而言，“磨对方向”往往比“磨得很尖”更加重要。



问题 9：钨极伸出多长最合理？

钨极伸出长度，是指钨极尖端超出陶瓷喷嘴端面的距离。虽然这一尺寸往往只有几毫米，但却同时影响保护效果、观察视野和焊枪可达性，是 TIG 焊接中极易被忽视的重要参数。从流体力学角度看，保护气体离开喷嘴后会逐渐扩散。如果钨极伸出过长，尖端可能脱离最佳保护区域，暴露于空气中发生氧化；如果伸出过短，则焊工观察熔池困难，限制焊枪进入深窄坡口。

工程上通常推荐以下范围：

普通喷嘴：钨极伸出 3~5 mm；

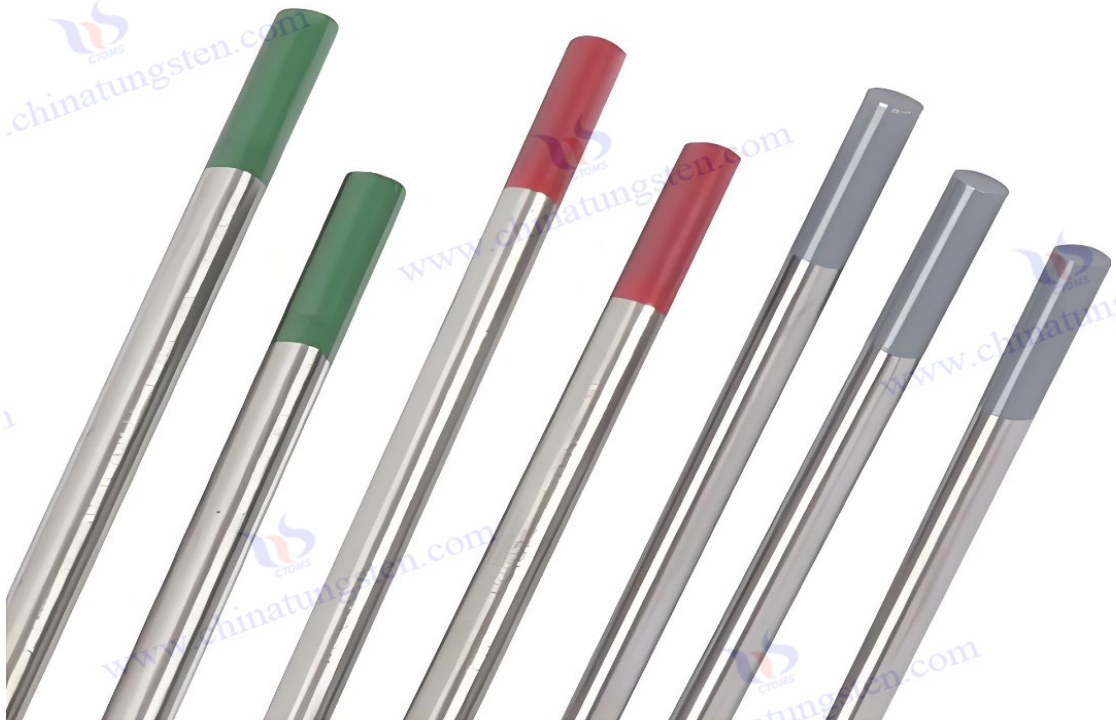
配备气体透镜的喷嘴：钨极伸出 6~10 mm；

深窄坡口、管道根焊等特殊工况：可延长至 10~15 mm，但需同步优化保护气流。

伸出长度不合理会带来明显后果。伸出过长时，容易出现钨极氧化发黑、烧损加剧、气孔增加以及保护失效；伸出过短时，焊工视线受阻、送丝困难、操作姿态不自然。

因此，伸出长度并不存在固定最佳值，而应根据喷嘴结构、母材形状和焊接位置综合确定。在自动焊接中，伸出长度通常被严格标准化，偏差往往控制在±0.5 mm 以内，以保证热输入一致性。

关于伸出长度最大的误区，是认为伸得越长越容易观察。事实上，过长的伸出会显著削弱保护效果，高水平焊工追求的是“在保证保护的前提下，获得最佳视野”。



问题 10：为什么钨极总是碰到熔池？

钨极碰触熔池，是 TIG 初学者最常见的问题之一，也是导致钨极污染和焊缝夹钨缺陷的主要原因。钨极与熔池之间通常保持一定弧长。当焊工无法稳定控制这一距离时，尖端便容易与液态金属接触。

造成碰池的原因主要包括：

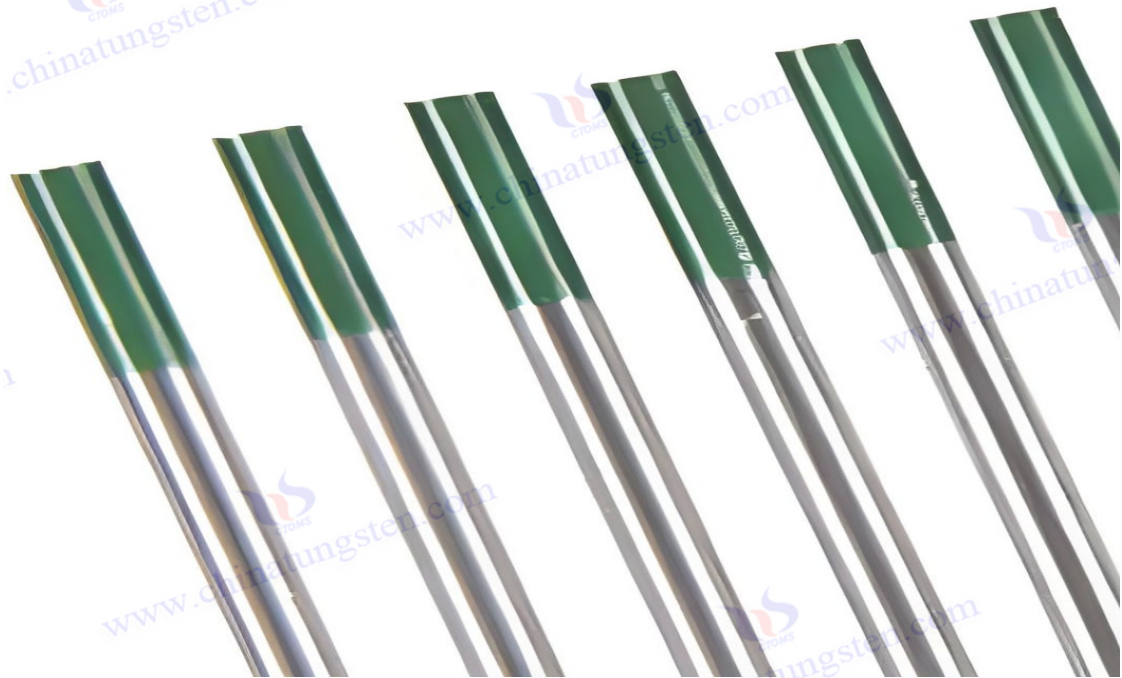
- (1) 手腕缺乏支撑，焊枪抖动；
- (2) 弧长控制能力不足；
- (3) 送丝动作与焊枪运动不同步；
- (4) 焊接姿势不合理；
- (5) 观察视野受限。

其中，送丝时焊丝顶到钨极，再将钨极推入熔池，是新手最典型的失误。

钨极一旦碰池，其表面会附着母材金属或焊丝成分，导致电子发射特性改变，引发偏弧、起弧困难和焊缝夹杂等问题。在压力容器、核电和航空焊接中，夹钨通常被判定为不可接受缺陷，需要彻底返修。正确的处理流程应为：(1) 立即停焊；(2) 检查污染情况；(3) 切除污染端 3~5 mm；(4) 重新进行纵向磨削；(5) 确认保护气正常后重新起弧。

从训练角度看，避免碰池最有效的方法并非单纯提高注意力，而是建立稳定的操作习惯，包括利用手指支撑焊枪、缩短手臂悬空距离、保持适当弧长以及规范送丝节奏。

关于碰池最大的误区，是认为“轻轻碰一下没关系”。事实上，即使极短暂的接触也可能造成污染。优秀焊工的习惯是：只要碰池，就立即停焊重磨，而不是抱有侥幸心理继续焊接。



问题 11: 钨极污染了怎么办? 为什么必须重新打磨?

钨极污染是 TIG 焊接过程中最常见、也是最容易被忽视的问题之一。很多焊工在发现钨极尖端发黑、附着金属后, 往往习惯继续焊接, 希望通过高温电弧将污染物烧掉。然而, 从焊接质量控制角度看, 这种做法不仅错误, 而且可能直接导致焊缝缺陷和返工。钨极污染是指原本纯净的钨极尖端附着了非钨成分, 使其电子发射特性发生改变。污染物来源主要包括四类。

第一类是母材金属污染。

这是最常见的情况, 通常发生在钨极碰触熔池时。污染物可能来自碳钢、不锈钢、铝合金、镍基合金以及钛合金等母材。

第二类是焊丝污染。

例如 ER70S-6、ER308L、ER4043 等焊丝在送丝过程中误碰钨极, 会在尖端形成附着层。

第三类是氧化物污染。

当保护气体覆盖不足、喷嘴漏气或焊后保护时间不足时, 高温钨极表面容易生成氧化钨及其他金属氧化物, 表现为尖端发黑、失去金属光泽。

第四类是杂质沉积, 包括油污、润滑剂残留、切削液、锈蚀产物以及表面涂层等。

从电弧物理学角度看, 纯净钨极能够形成均匀稳定的电子发射区域, 使电弧集中且方向明确。而污染后的钨极表面会形成多个电子发射中心, 导致电子逸出不均匀, 电弧在不同发射点之间随机跳动。

钨极污染的其直接后果包括: (1) 起弧困难; (2) 电弧漂移和偏弧; (3) 熔深不均; (4) 飞溅增加; (5) 焊缝夹钨; (6) 焊缝表面成形恶化。

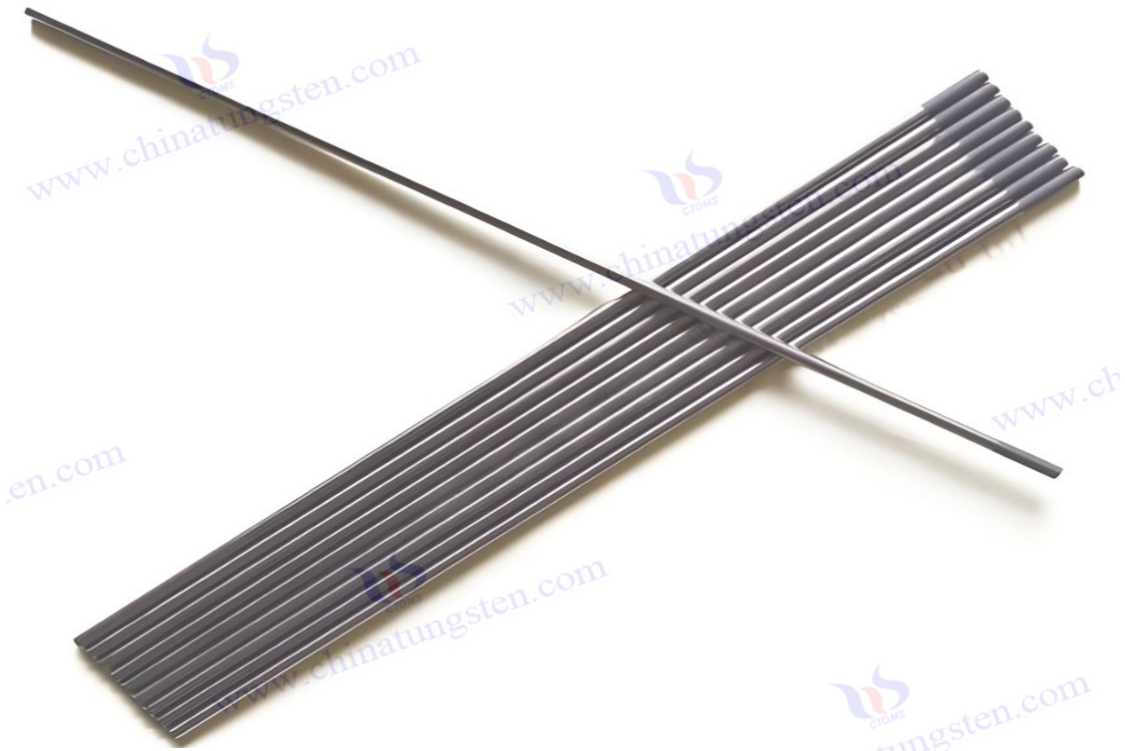
对于航空航天、核电设备、压力容器和高纯管道等高要求领域, 夹钨通常被视为不可接受缺陷, 一旦发现往往需要彻底返修。

正确的处理流程应当是:

发现污染→立即停止焊接→切除污染端约 3~5 mm→重新进行纵向磨削→检查保护气系统是否正常→重新起弧焊接。

需要强调的是, 重新打磨不仅是恢复尖端形状, 更重要的是彻底去除污染层, 恢复钨极原有的电子发射特性。

关于钨极污染最大的误区, 是认为只要烧掉黑色部分就能继续使用。事实上, 许多污染物已经扩散进入尖端微观组织, 仅凭电弧无法完全清除。真正专业的做法是: 只要污染, 就必须重磨。



问题 12：为什么电弧总是乱跑（偏弧）？

偏弧（Arc Wander）是 TIG 焊接中典型的电弧稳定性问题，表现为电弧无法沿钨极轴线稳定燃烧，而是出现左右摆动、起弧位置漂移甚至焊缝呈蛇形分布的现象。对于手工焊而言，偏弧会降低焊接质量；而对于自动焊和机器人焊接系统，偏弧甚至可能导致整条焊缝报废。从本质上看，偏弧是电弧中心偏离理想轴线的结果，其形成与电子发射不均匀、电磁场干扰以及保护气流异常等因素密切相关。导致偏弧的原因主要包括以下五类。

首先是环向磨削。这是最常见的原因。环向磨痕会形成多个电子逸出方向，使电弧无法稳定集中于尖端中心。

其次是钨极污染。污染层会产生多个随机发射点，使电弧不断跳动。

第三是磁偏吹。当采用大电流直流焊接厚板、工件接地位置不合理或回路线布置不当时，焊接区域会形成不均匀磁场，导致电弧偏转。

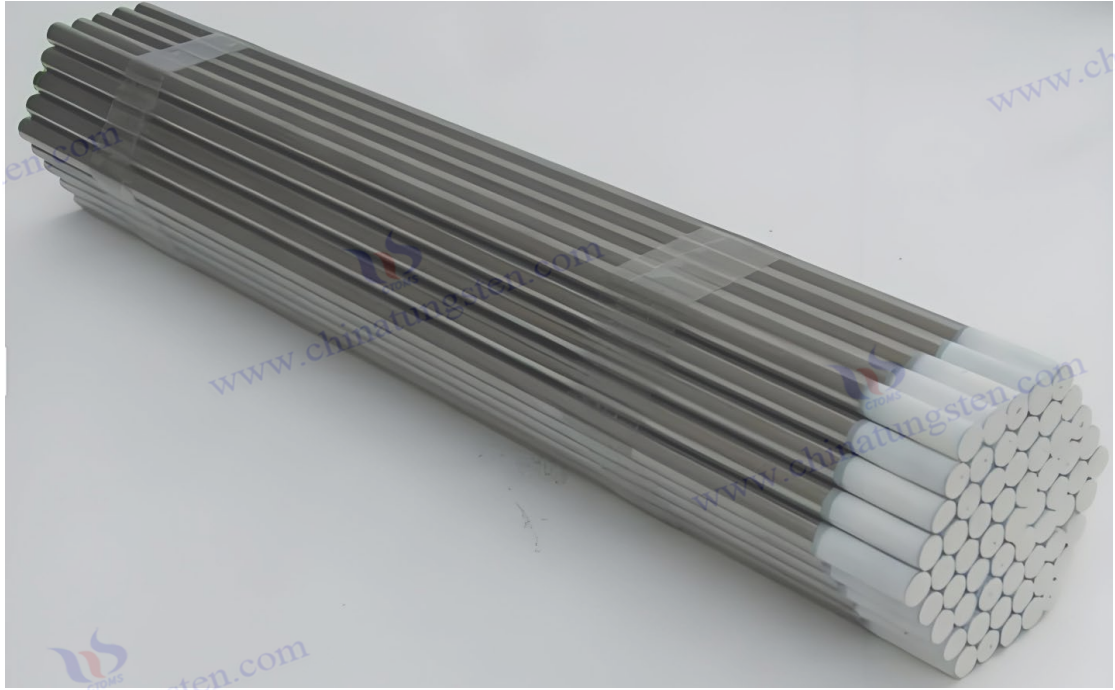
第四是保护气紊流。当气体流量过大、喷嘴损坏、气体透镜缺失或周围存在强风时，气流扰动会推动电弧发生偏移。

第五是钨极规格选择错误。钨极过粗时，电流密度不足；钨极过细时，尖端烧损严重，两者都可能降低电弧稳定性。

偏弧不仅影响焊缝外观，更会造成：（1）熔深波动；（2）焊缝宽度不一致；（3）焊道偏离中心；（4）自动焊重复精度下降；（5）返修率增加。工程上通常采用以下顺序排查偏弧：重新

磨削钨极→检查污染情况→检查保护气流量及喷嘴状态→优化接地位置→核对焊接参数与钨极规格。

在航空航天和核电制造领域，电弧稳定性常被视为过程能力的重要指标，因此偏弧问题必须在工艺验证阶段得到解决。关于偏弧最大的误区，是将所有问题归咎于焊机性能。事实上，大量现场案例表明，超过 70% 的偏弧问题都与钨极准备和保护气系统有关，而非焊机本身故障。



问题 13：钨极直径如何选择？

钨极直径的选择，是 TIG 焊接工艺制定中最基础也最关键的参数之一。钨极并非越粗越耐用，也不是越细越容易操作，而必须与焊接电流、母材厚度以及焊接方式相匹配。从热平衡角度看，钨极在工作过程中需要同时满足两项要求：

既能够承受电弧热输入而不发生过度烧损，又能够维持足够高的电流密度以保证电弧集中。

如果钨极过细，其散热能力不足，容易出现球化、烧损、尖端熔化和污染。

如果钨极过粗，则电子发射区域扩大，电流密度下降，导致起弧困难、电弧发散以及熔透不足。

常用钨极直径与推荐电流范围如下：

常用钨极直径与推荐电流范围

钨极直径 (mm)	推荐电流范围 (A)
1.0	10~70
1.6	50~120
2.4	80~200
3.2	150~250
4.0	200~350
4.8	300~500

在实际应用中，1.0 mm 和 1.6 mm 钨极主要用于薄板、精密焊接以及低电流工况；2.4 mm 钨极适用范围最广，可满足绝大多数手工 TIG 焊接需求；3.2 mm 以上规格则更多应用于厚板、大电流及自动焊接系统。从工程经验来看，很多制造企业的钨极库存中，2.4 mm 规格通常占比超过 70%，因此被称为万能规格。钨极直径不仅影响电弧稳定性，还会影响焊缝形貌、焊接效率和耗材成本。因此，在工艺评定时，应将钨极规格作为重要控制参数进行记录。关于钨极选型最大的误区，是认为越粗越耐用。实际上，过粗钨极虽然不易烧损，但会牺牲电弧集中性和焊接质量。正确原则是：在满足电流承载要求的前提下，优先选择较细规格，以获得最佳电弧控制能力。



问题 14：为什么焊铝必须用交流（AC）？

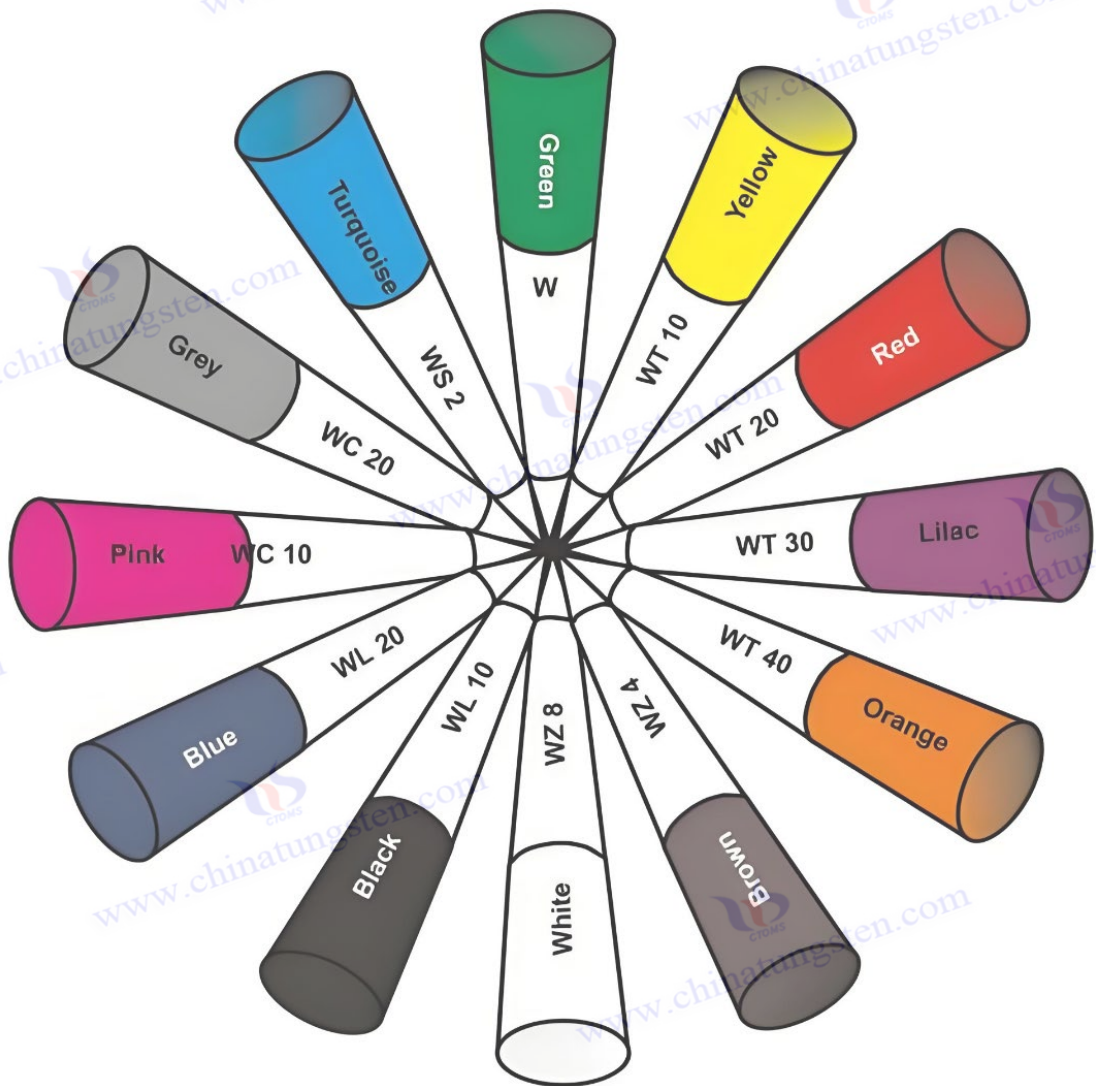
铝及铝合金是 TIG 焊接的重要应用领域，但与钢材相比，其焊接难度明显更高。很多人认为这是因为铝导热快、熔点低，实际上，铝焊接真正的难点来自其表面的氧化膜。

铝的熔点约为 660°C，但暴露于空气中的铝表面会迅速形成致密的氧化铝（ Al_2O_3 ）薄膜，而氧化铝的熔点高达 2050°C。这意味着，当母材已经熔化形成熔池时，氧化膜仍然可能保持固

态存在，阻碍熔池融合，导致未熔合、夹渣以及焊缝成形不良。传统直流焊接难以有效清除氧化膜，因此交流（AC）成为铝焊接的经典解决方案。在交流电周期中，存在两种极性状态。电极正极（EP）阶段，电子由工件流向钨极。高速离子轰击母材表面，破坏氧化膜，产生所谓的阴极清理作用。电极负极（EN）阶段，电子由钨极流向工件。此时热量主要集中于工件，实现母材熔化和熔深形成。正是由于交流电不断在 EP 和 EN 之间切换，铝焊接才能同时实现氧化膜清理和有效熔透。

现代逆变交流焊机进一步提升了这一能力。通过调节交流平衡比，例如：EP: 30%，EN: 70% 既能够保证充分清理氧化膜，又能够提高热效率和熔深。此外，逆变焊机还能够调整交流频率，使电弧更加集中，显著改善焊缝成形。在钨极选择方面，传统铝焊多采用纯钨或钨钨形成规则球头，而现代交流逆变焊机则越来越多地采用蓝色铜钨磨尖使用，以获得更稳定、更集中的电弧。

关于铝焊最大的误区，是认为所有铝焊都必须使用交流。事实上，在特殊工艺条件下，例如氩气保护的大电流直流焊接，也存在例外情况。但对于绝大多数工业 TIG 铝焊而言，交流仍然是最成熟、最可靠的选择。



问题 15: TIG 一定用 100%氩气吗?

提到 TIG 焊接, 很多人的第一反应就是使用纯氩气保护。事实上, 100%氩气虽然是应用最广泛的保护气体, 但并不是唯一选择。不同保护气体会直接影响电弧特性、熔深、焊接速度以及最终成本。氩气 (Ar) 属于惰性气体, 具有密度大、化学性质稳定、电离电压适中等特点。采用 100%氩气时, 具有以下优势: (1) 起弧容易; (2) 电弧稳定; (3) 保护效果好; (4) 成本相对较低; (5) 适用材料范围广。因此, 绝大多数不锈钢、碳钢、镍基合金以及普通铝合金 TIG 焊接都采用纯氩保护。除了纯氩之外, 氩氦混合气也得到广泛应用。

氦气具有更高的电离电位和更高的热导率。加入氦气后, 电弧电压提高, 热输入增加, 可获得更大的熔深和更快的焊接速度。因此, Ar-He 混合气常用于: (1) 厚铝板焊接; (2) 铜及铜合金焊接; (3) 高导热材料焊接。纯氦气保护虽然能够实现极高热输入, 但由于成本较高、起弧困难, 对操作者技术要求较高, 因此应用范围有限。

需要特别强调的是, TIG 焊接通常不使用 CO₂保护气。这是因为 CO₂在高温电弧作用下会分解产生氧, 导致: 钨极氧化、尖端烧损、焊缝增氧、飞溅增加、保护失效。

从工艺角度看, 保护气流量同样重要。普通喷嘴推荐流量通常为 6~12 L/min; 配备气体透镜时, 推荐 5~10 L/min; 特殊大喷嘴可适当提高。需要注意的是, 保护气并非越大越好。流量过高会形成紊流, 反而将空气卷入保护区, 增加氧化和气孔风险。

关于保护气最大的误区, 是认为所有 TIG 焊接都只能使用纯氩气。实际上, 优秀的焊接工程师会根据母材导热性能、板厚和生产效率要求, 合理选择保护气体系, 在焊接质量与经济性之间取得最佳平衡。



问题 16：钨极多久需要更换？

钨电极属于典型的非熔化、慢消耗型焊接耗材。许多初学者经常提出这样一个问题：一支钨极究竟能够使用多久？事实上，与焊丝、焊条等按照重量消耗的材料不同，钨极并不存在统一固定的使用寿命，其更换周期主要取决于使用状态而非使用时间。从材料消耗机理来看，钨极虽然不会像焊丝一样熔入焊缝，但在长期工作过程中仍会发生蒸发损耗、氧化烧蚀、污染截除以及反复磨削等现象，导致长度逐渐缩短、尖端形貌发生改变。

影响钨极寿命的主要因素包括：

- (1) 焊接电流大小。电流越高，钨极承受的热负荷越大，烧损速度越快；
- (2) 焊接极性。DCEP 和交流 EP 阶段对钨极热负荷明显高于 DCEN；
- (3) 钨极材质。复合稀土钨和钍钨通常比纯钨具有更长寿命；
- (4) 操作水平。频繁碰池和污染会显著缩短使用寿命；
- (5) 保护气质量。气体纯度不足或保护失效会加速氧化；
- (6) 自动化程度。自动焊因参数稳定，寿命通常高于手工焊。

从工程管理角度看，钨极更换通常采用两种方式。

第一种是状态判定法，即根据钨极实际状态决定是否报废。当出现以下情况时，应及时更换：

- ① 长度明显不足；
- ② 尖端出现裂纹或崩缺；
- ③ 球化严重且无法修复；
- ④ 多次污染后反复磨削；
- ⑤ 电弧稳定性明显下降；
- ⑥ 起弧性能持续恶化。

第二种是定额管理法，主要应用于自动焊接和机器人焊接生产线。例如，部分企业规定每完成 300~500 次起弧后必须更换钨极，以确保焊接一致性和过程能力稳定。

需要强调的是，钨极的使用寿命不应以节约耗材为唯一目标。对于高附加值产品而言，因钨极状态不良导致的返修成本远高于钨极本身价格。

关于钨极寿命最大的误区，是认为只要还能点弧就能继续使用。实际上，当尖端形貌和电子发射特性发生变化时，即使能够起弧，也可能已经无法满足高质量焊接要求。优秀焊工关注的不是钨极是否完全报废，而是其是否仍处于最佳工作状态。



问题 17: 钨电极焊接中气体透镜 (Gas Lens) 到底有什么用?

气体透镜 (Gas Lens) 是现代 TIG 焊枪中一种重要但经常被低估的辅助部件。很多焊工将其视为可有可无的附件, 而实际上, 在高品质焊接尤其是不锈钢、钛合金和自动焊接领域, 气体透镜往往是提升焊接质量最具性价比的升级方案之一。传统 TIG 喷嘴内部通常依靠简单通道导出保护气体。由于流道结构限制, 气体在喷嘴出口附近容易形成紊流, 使保护范围不均匀。气体透镜的核心结构由多层精密金属网组成, 其作用类似于流体整流器。当保护气通过金属网时, 原本无序的紊流被分割、减速并重新排列, 最终形成速度分布更加均匀的层流气体。

从流体力学角度看, 层流保护具有以下优势:

第一, 保护效果更加均匀。

层流能够稳定覆盖熔池和钨极尖端, 减少空气卷入, 提高抗氧化能力。

第二, 允许钨极伸出更长。

普通喷嘴通常推荐钨极伸出 3~5 mm, 而气体透镜可将伸出长度增加至 6~10 mm, 特殊情况下甚至达到 15 mm。这对于深窄坡口、管道根焊和复杂结构焊接尤为重要。

第三, 提高焊缝外观质量。

均匀保护有助于获得更加清晰、连续的鱼鳞纹, 焊缝表面颜色更亮、更稳定。

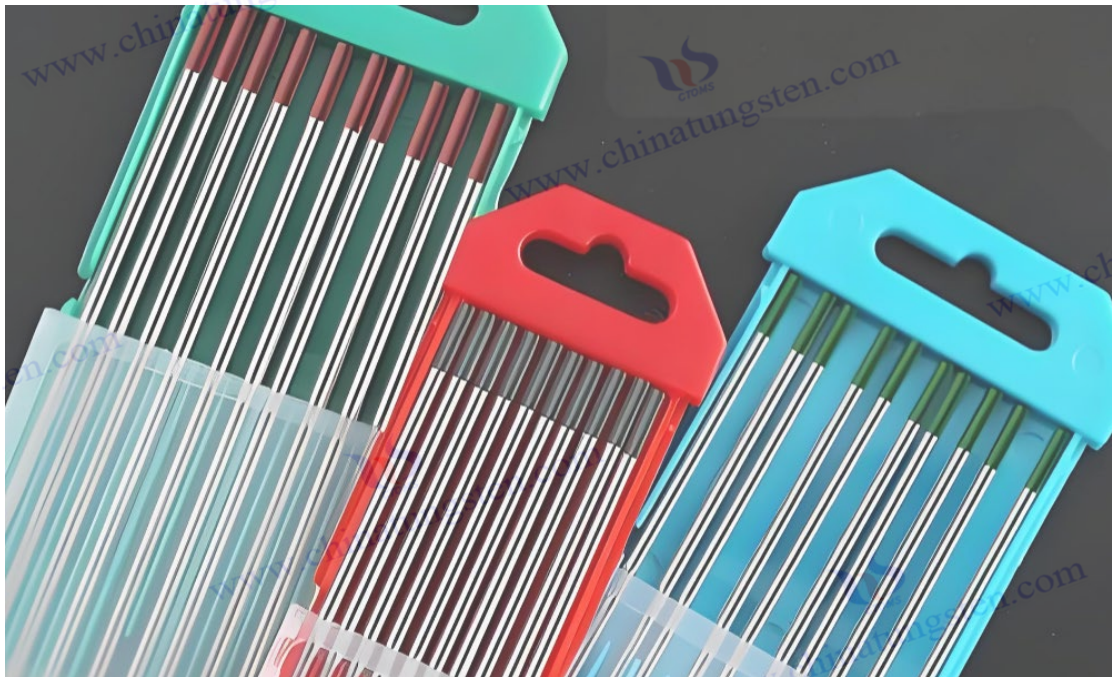
第四, 降低气孔发生率。

稳定的保护区域能够减少氧、氮和水蒸气侵入熔池的可能性。

第五, 提高自动焊一致性。

自动化焊接对气流稳定性要求极高, 气体透镜有助于降低批次间波动。虽然气体透镜成本高于普通导流体, 但其价格远低于返修成本, 因此在高品质焊接中具有明显经济价值。

关于气体透镜最大的误区，是认为其作用仅仅是“让焊缝更漂亮”。事实上，其本质是改善保护气流场，提高焊接过程稳定性，是一种典型的工艺优化装置，而不仅仅是外观升级配件。



问题 18：钨极磨削可以用普通砂轮吗？

钨极磨削是 TIG 焊接准备工作的重要组成部分。很多中小企业出于成本考虑，习惯使用车间普通砂轮磨削钨极。从理论上讲，这种做法并非完全不可行，但从高质量焊接要求来看，并不推荐长期采用。普通砂轮最大的风险在于交叉污染。在机械加工车间，普通砂轮通常同时用于碳钢、不锈钢、铸铁等多种材料磨削。金属颗粒会嵌入砂轮表面，当用于打磨钨极时，这些杂质可能附着于钨极尖端。尤其是铁元素污染，会改变电子发射状态，引发偏弧、起弧困难和焊缝夹杂等问题。此外，普通砂轮还存在以下缺点：

- (1) 难以保证磨削角度一致；
- (2) 容易形成环向磨痕；
- (3) 磨削效率低；
- (4) 粉尘扩散严重；
- (5) 重复性较差。

因此，在航空航天、核电以及自动焊生产线上，通常采用专用钨极磨削机。专用设备具有以下优势：固定磨削角度；自动保持纵向磨削方向；配备粉尘收集系统；磨削质量一致；提高生产效率。

对于含钍红色钨极而言，专用磨削设备的意义更加突出。钍钨磨削过程中产生的粉尘可能含有放射性氧化钍颗粒。因此，规范要求通常包括：局部排风、密闭收集、佩戴符合要求的呼吸防护用品、定期清理粉尘。

关于钨极磨削最大的误区，是认为磨尖即可。实际上，磨削不仅决定尖端形状，更决定电子发射特性。对于高端焊接而言，磨削质量本身就是焊接质量控制的重要组成部分。



问题 19: 焊缝为什么会出现气孔?

气孔是 TIG 焊接中最常见的内部缺陷之一,也是导致射线探伤不合格的重要原因。其本质是在熔池凝固过程中,气体未能及时逸出而滞留于焊缝内部形成空洞。根据形成机理,气孔可表现为单个气孔、密集气孔、链状气孔以及针孔状缺陷,不仅影响焊缝外观,更会降低接头致密性、强度和疲劳寿命。造成气孔的原因主要包括以下几个方面。

首先是保护气问题。

这是现场最常见的原因,包括:保护气纯度不足、流量设置不合理、气路漏气、喷嘴堵塞;穿堂风干扰、焊后保护时间不足。

其次是母材污染。

油污、水分、氧化层、切削液残留以及防锈剂等杂质在高温作用下分解产生气体,容易形成气孔。

第三是焊丝污染。

受潮、锈蚀或存放不当的焊丝会将氢和氧带入熔池。

第四是钨极污染。

污染后的钨极会导致电弧不稳定,破坏保护区域,间接增加气孔风险。

第五是工艺参数不合理。

焊速过快、热输入不足以及熔池停留时间过短,都可能导致气体来不及逸出。

从工程角度看,气孔排查应遵循由外到内、由易到难的原则:检查保护气系统→检查喷嘴和导流体→检查钨极状态→检查焊丝质量→检查母材清洁度→核对焊接参数。

预防气孔的关键措施包括:(1)焊前彻底清理母材;(2)使用高纯保护气;(3)合理设置流

量；（4）避免环境气流干扰；（5）规范磨削钨极；（6）加强焊材储存管理。

关于气孔最大的误区，是将其简单归因于“气体不好”。事实上，气孔是保护系统、焊材状态、母材准备和工艺参数共同作用的结果。只有建立系统性的缺陷分析思路，才能真正降低气孔发生率。



问题 20：新手应该买什么钨极？

对于刚接触 TIG 焊接的人而言，面对市场上颜色繁多、规格各异的钨电极，往往会感到无从下手。事实上，新手选型并不需要追求最昂贵或最特殊的产品，而应优先考虑通用性、稳定性和易获得性。钨极选择主要取决于以下因素：（1）焊接材料种类；（2）焊接电流范围；（3）交流或直流焊接方式；（4）手工焊还是自动焊；（5）使用成本与采购便利性。

对于不同应用场景，可参考以下推荐方案。

家庭 DIY 及初学练习：

推荐蓝色 2% 钍钨，直径 2.4 mm。其兼具良好的起弧性能和较宽的电流适用范围，对设备适应性强，是最容易掌握的通用选择。

薄板不锈钢精密焊接：

推荐灰色铈钨，直径 1.6 mm。其低电流稳定性优异，适合薄板和精细焊接。

普通维修和机械制造：

推荐蓝色 2% 钍钨，直径 2.4 mm。既可焊接碳钢、不锈钢，也能够兼顾部分铝合金工况。

铝合金焊接：

推荐蓝色钍钨 2.4 mm，或白色铈钨 3.2 mm。前者适用于现代逆变交流焊机，后者更适合传统交流设备。

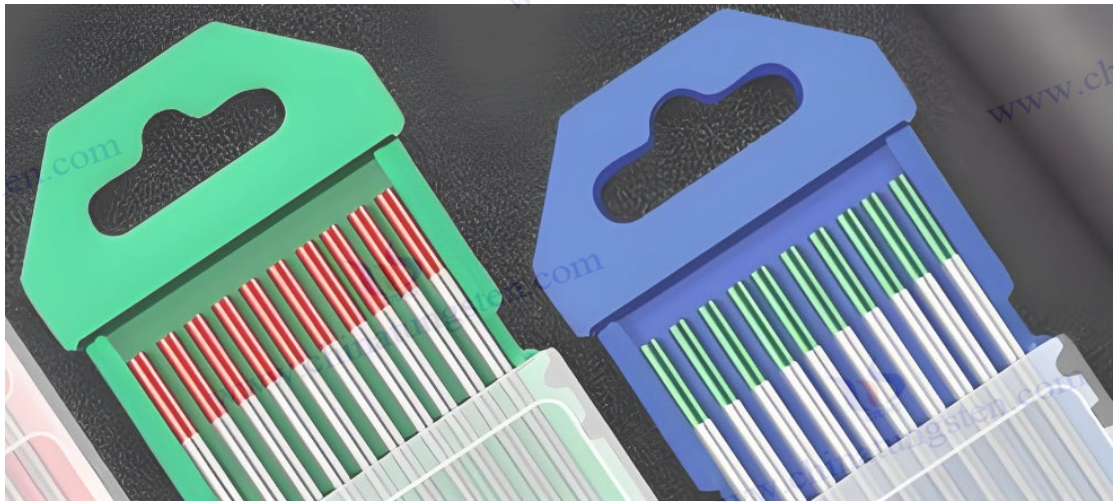
机器人及自动焊：

推荐紫色复合稀土钨。其电弧稳定性和寿命优势明显，更有利于保持一致性。

如果只能采购一种钨极，那么对于绝大多数用户而言，蓝色 2% 钍钨（2.4 mm）是综合性能

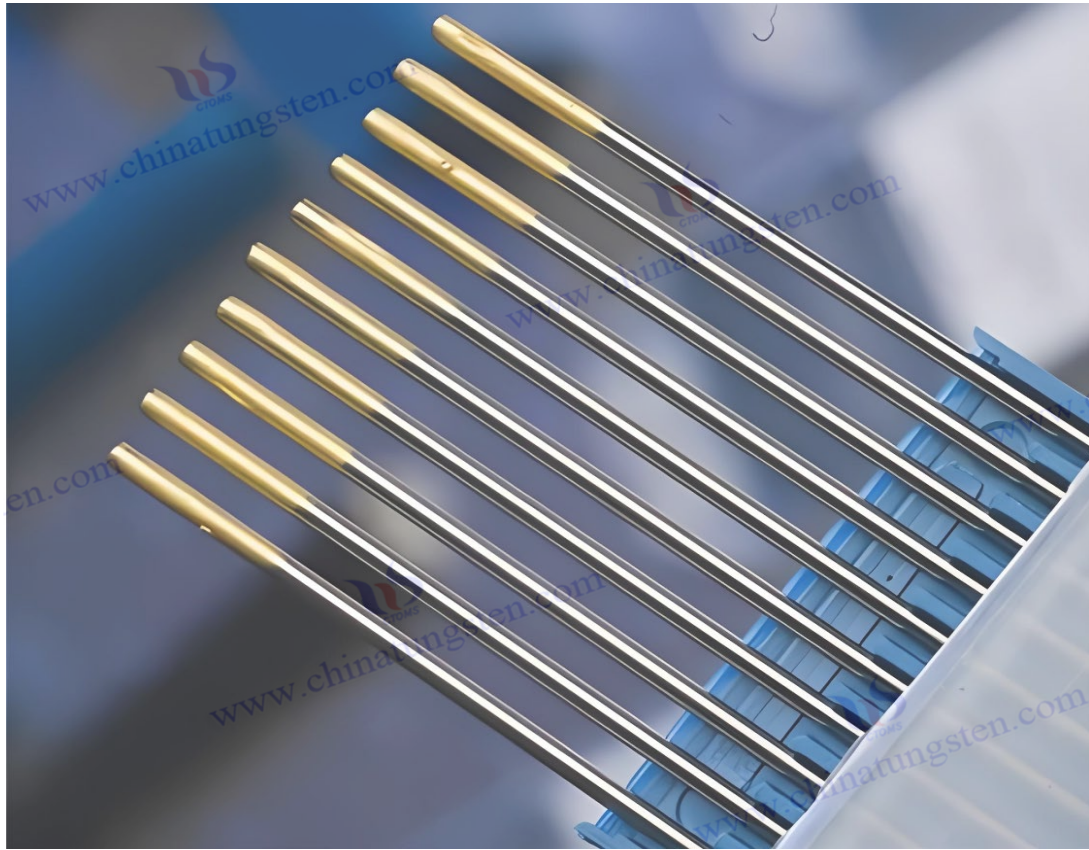
最均衡的选择。其主要优势包括：起弧性能优秀、AC/DC 通用、无放射性、自动焊兼容性好、市场供应充足、性价比高。对于新手而言，更重要的并不是追求所谓顶级钨极，而是通过规范磨削、正确参数设置和反复练习掌握电弧控制能力。

关于选型最大的误区，是认为焊接质量完全由钨极决定。事实上，钨极只是焊接系统中的一个组成部分。优秀焊缝的形成依赖于设备、材料、工艺和操作人员技能的共同作用。选对钨极固然重要，但真正决定焊接水平的，始终是对工艺细节的理解与执行。



工程师们关于钨电极十大黄金经验是什么？

- (1) 钨极一旦污染，必须停止焊接并重新磨削，不可抱有侥幸心理继续使用。
- (2) 钨极必须采用纵向磨削，环向磨削是造成偏弧的主要原因之一。
- (3) 蓝色 2%钕钨（2.4 mm）是目前适用范围最广、综合性能最均衡的通用规格。
- (4) 钨极直径应与焊接电流匹配，过粗或过细都会影响焊接质量。
- (5) 保护气流量并非越大越好，过高流量同样可能导致氧化和气孔。
- (6) 自动焊优先考虑复合稀土钨，以提高过程稳定性和一致性。
- (7) 现代交流铝焊强调控制交流平衡比，而非单纯依赖大球头钨极。
- (8) 气体透镜是提升保护效果和焊缝品质最具性价比的工艺升级件之一。
- (9) 起弧困难、电弧不稳时，应优先检查钨极状态和保护系统，而不是首先怀疑焊机故障。
- (10) 优秀的 TIG 焊工，往往将大量精力投入到钨极准备和工艺细节控制之中。很多高质量焊缝，并不是焊接过程中“补救”出来的，而是在起弧之前就已经被决定了。



老电焊师傅关于钨电极十大黄金经验

1. 污染后必须重磨，不可继续使用；
2. 永远纵向打磨，不可环向打磨；
3. 2.4 mm 蓝钨是最万能规格；
4. 电流不要超过推荐范围；
5. 气体流量并非越大越好；
6. 自动焊优先使用复合稀土钨；
7. 铝焊交流平衡比决定成形质量；
8. 气体透镜是提升焊接品质最划算的升级件；
9. 起弧不稳先检查钨极，而不是先怀疑焊机；
10. 优秀的 TIG 焊工，80% 的功夫在于钨极准备。