

# 浅谈中国大陆 钢材材料化学元素的 标准分析方法

文 / 冯琴



**钢**铁材料是紧固件使用量最大的金属材料，约占消耗量的90%以上。作为可持续发展的紧固件而言，关注中国大陆金属材料标准分析方法，是十分必要的。近年来，中国大陆金属材料标准分析方法的制定、修订有长足的进步，本文拟通过对中国大陆国家标准试验方法的最新进展进行简述，以期对行业人士有所帮助。

中国大陆国家标准对于钢铁材料的分析方法标准上主要体现在GB/T 223中，迄今为止共86个方法，涉及36种元素，其中2000年以前发布的方法标准有78个。这些分析方法主要集中在重量法、滴定法、分光光度法、火焰原子吸收光谱法（FAAS）、气体容量法等传统测试手段，都是单一元素分析方法，所用仪器相对简便，但分析步骤往往较为繁琐，检测周期较长，劳动强度较大，对分析人员的从业经验要求很高，工作效率较低。这一时期，标准的制定、修订工作也不太正常，许多标准数10年不变。

进入21世纪，特别是中国大陆加入世界贸易组织（WTO）以后，标准被列为中国大陆国家基础战略，标准化工作得到前所未有的快速发展，除了对GB/T 223进行扩充外，冠以其他标准号的方法也不少，与国外先进标准的差距也日渐缩小。具体体现在以下几个方面：

①各国标准之间的相互借鉴和相互融合，中国大陆国家标准在制定、修订时采用国际标准的趋势非常明显。如GB/T 20066-2006《化学成分测定用试样的取样和制样方法》等采用了ISO14284:1996，对原标准

（GB/T 222-1984）进行了大幅度修改，比先前更为详尽严密。2008年对GB/T 223中锰、矽、铝、铬、镍、硼等16种元素的24种方法进行了修订，其中GB/T 223.5-2008矽、GB/T 223.31-2008硼、GB/T 223.64-2008锰和GB/T 223.67-2008硫的测定方法等同采用或修改采用了相应的国际标准。在气体元素分析方面，这种现象更为普遍。

②由于历史的原因，在GB/T 223中间一元素往往有几种方法，采用不同的序号，年号也各不相同。2008年修订的标准中将部分元素的同类分析方法进行了整合，使用起来更为方便，如铝、镍、铝、铋的光度法，高含量锰、铬的测定增加了电位滴定法等。

③现代工业对纯净钢的需求不断上升，超低碳、超低硫的分析非常迫切，目前看来，采用红外线吸收法是最佳选择。高频燃烧或惰气熔融的红外线吸收光谱法和热导法在测定气体元素（碳、硫、氧、氢）方法已确定了主导地位，作为一种相对分析方法，分析结果的准确性高度依赖于标准值准确、可靠的超低碳硫的标准样品或基准物，而后者本身的制备难度很高，这是技术难点之一。

④电感耦合等离子体原子发射光谱（ICP-AES）技术可以进行多元素同时分析，已应用于低合金钢和铸铁中镁、镧和铈等元素的测定，分析灵敏度与工作效率大大提高。

⑤光电直读光谱法（OES）、X射线荧光光谱法（XRF）已经建标，可用于材料逐层分析的辉光放电-原子发射光谱法（GD-AES）测定低合金钢也列为标准分析方法。但此类方法都属于相对分析方法，测定结果的准确度和检测范围与所用的标准样品息息相关。

⑥中国大陆还首创性地建立了原位统计分布分析方法，规定了用金属原位统计分布分析法测定碳、矽、锰、磷、硫、铬、镍、铜、钛、钼、钒和铝等成分的分佈。

⑦在优化常规元素和常量元素分析的同时，痕量元素对材料性能的影响也引起广泛重视，特别是应用于高端制造业，如核电、超临界发电、航空航太等领域的高温合金材料的痕量元素。其中要进行成分控制的元素众多、含量又极低，常规方法的检出限无法满足其要求。B/T 20127.1~GB/T 20127.13-2006规定了高温合金中16种痕量光谱法元素的分析方法。许多先进技术或高灵敏度方法被采用，石墨炉原子吸收光谱法（GFAAS）、氢化物发生-原子荧光光谱法（HG-AFS）、电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）、示波极谱法、萃取分离高灵敏度显色光度法等，最低的可以测定至0.00001%。这是最先进的水平。

2000年以来，中国大陆国家标准中钢铁材料化学分析测试方法的最新制、修订情况见表1。

表1 国家标准中钢铁化学分析方法制、修订情况

标准号	标准或分析内容	测定元素	备注
GB/T 223.4-2008	钢铁及合金锰含量的测定；电位滴定或可视滴定法	锰	增加电位滴定法
GB/T 223.5-2008	钢铁酸溶矽和全矽含量的测定	矽	增加全矽含量的测定
GB/T 223.9-2008	钢铁及合金铝含量的测定；铬天青S分光光度法	铝	酸溶铝、铝含量的测定，代替GB/T 223.9-2000和GB/T 223.10-2000
GB/T 223.11-2008	钢铁及合金铬含量的测定；可视滴定或电位滴定法	铬	增加电位滴定法
GB/T 223.23-2008	钢铁及合金镍含量的测定；丁二酮肟分光光度法	镍	代替GB/T 223.23-1994和 GB/T 223.24-1994
GB/T 223.26-2008	钢铁及合金钼含量的测定；硫氰酸盐分光光度法	钼	代替GB/T 223.26-1989和GB/T 223.27-1994
GB/T 223.29-2008	钢铁及合金铅含量的测定；载体沉淀-二甲酚橙分光光度法	铅	无实质性修改
GB/T 223.31-2008	钢铁及合金砷含量的测定；蒸馏分离-钼蓝分光光度法	砷	等同采用ISO 17058:2004
GB/T 223.40-2007	钢铁及合金铌含量的测定；氯磺酚S分光光度法(0.01~0.50%)	铌	代替GB/T 223.39-1994和GB/T 223.40-1985
GB/T 223.43-2008	钢铁及合金钨含量的测定；重量法和分光光度法	钨	代替GB/T 223.43-1994
GB/T 223.55-2008	钢铁及合金碲含量的测定；示波极谱法	碲	代替GB/T 223.56-1987和GB/T 223.57-1987
GB/T 223.59-2008	钢铁及合金磷含量的测定；铋磷钼蓝分光光度法	磷	增加铋磷钼蓝光度法
GB/T 223.64-2008	钢铁及合金锰含量的测定；火焰原子吸收光谱法	锰	等同采用ISO 10700:1994
GB/T 223.67-2008	钢铁及合金硫含量的测定；次甲基蓝分光光度法	硫	等同采用ISO 10701:1994
GB/T 223.69-2008	钢铁及合金碳含量的测定；管式炉内燃烧后气体容量法	碳	无实质性修改
GB/T 223.70-2008	钢铁及合金铁含量的测定；邻二氮杂菲分光光度法	铁	适用高温合金和精密合金
GB/T 223.72-2008	钢铁及合金硫含量的测定；重量法	硫	代替GB/T 223.72-1991
GB/T 223.73-2008	钢铁及合金铁含量的测定；三氯化钛-重铬酸钾滴定法	铁	代替GB/T 223.73-1991
GB/T 223.75-2008	钢铁及合金硼含量的测定；甲醇蒸馏-姜黄素光度法	硼	代替GB/T 223.73-1991，采用硫磷混合酸分解硼化物测定全硼
GB/T 223.78-2000	钢铁及合金化学分析方法；姜黄素直接光度法测定硼含量	硼	等同采用ISO 10153:1997
GB/T 223.79-2007	钢铁多元素含量的测定；X-射线荧光光谱法（常规法）	多元素	测定低合金钢中矽、锰、磷、铜、铝、镍、铬、钼、钒、钛、钨、铌等
GB/T 223.80-2007	钢铁及合金铋和砷含量的测定；氢化物发生-原子荧光光谱法	铋、砷	测定范围：0.00005%~0.010%
GB/T 223.81-2007	钢铁及合金总铝和总硼含量的测定；微波消解-电感耦合等离子体质谱法	铝、硼	总铝和总硼
GB/T 223.82-2007	钢铁氢含量的测定；惰气脉冲熔融热导法	氢	测定范围：0.00002%~0.0030%
GB/T 223.83-2009	钢铁高硫含量的测定；感应炉燃烧红外吸收法	高硫	等同采用ISO 13902:1997
GB/T 223.84-2009	钢铁钛含量的测定；二安替比林甲烷光度法	钛	等同采用ISO 10280:1991

标准号	标准或分析内容	测定元素	备注
GB/T 223.85-2009	钢铁硫含量测定；感应炉燃烧后红外吸收法	硫	等同采用ISO 4935:1989
GB/T 223.86-2009	钢铁碳含量测定；感应炉燃烧后红外吸收法	总碳	等同采用ISO 9556:1989
GB/T 11261-2006	脉冲加热惰气熔融红外线吸收法测定氧量	氧	测定范围：0.0005%~0.020%
GB/T 20123-2006	高频感应炉燃烧后红外吸收法（常规方法）	碳、硫	等同采用ISO 15350:2000；总碳、硫含量
GB/T 20124-2006	惰性气体熔融热导法（常规方法）	氮	等同采用ISO 15351:1999
GB/T 20126-2006	感应炉（经预加热）内燃烧后红外吸收法	低碳	非合金钢
GB/T 20125-2006	电感耦合等离子体发射光谱法	多元素	低合金钢
GB/T 24520-2009	电感耦合等离子体原子发射光谱法	铜、镁	铸铁和低合金钢
GB/T 20127.1~ GB/T 20127.13-2006	痕量元素的测定；GFAAS；FAAS；HG-AFS；ICP-AES；萃取光度法；示波极谱法；ISP-MS等	多元素	高温合金

总之，钢铁材料分析方法是材料试验中最重要的部分之一，通常可以分为权威分析方法、标准分析方法和现场分析方法。其中标准分析方法使用最为广泛，它是经过充分试验、广泛认可、逐渐建立的，不需要额外工作即可获得精密度、准确度和干扰等知识整体。中国大陆的国家标准分析方法都是按规定的格式（GB/T 20001.4-2001）进行编写，方法的成熟性得到公认；通过协作试验确定了方法的误差范围；由权威机构（国家质检总局）审批和发布的。