

沈国良 编著

喷丸清理技术



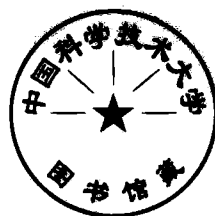
Chemical Industry Press



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

喷丸清理技术

沈国良 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

喷丸清理技术/沈国良编著. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7

ISBN 7-5025-5890-X

I. 喷… II. 沈… III. 喷丸清理 IV. TG234.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 079569 号

喷 丸 清 理 技 术

沈国良 编著

责任编辑: 陈志良

文字编辑: 王清颖

责任校对: 陈 静 宋 玮

封面设计: 于 兵

*

化 学 工 业 出 版 社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 18 $\frac{3}{4}$ 字数 354 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5890-X/TB·57

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

京朝工商广临字 (2004) 年第 007 号

致 读 者

感谢你阅读《喷丸清理技术》!

这本《喷丸清理技术》是我从事喷丸清理行业工作和学习二十多年的总结,希望对你的工作和学习有所帮助。

由于本人涉及的领域和知识面有限,如果你所关心的内容和你多年积累的经验 and 体会在《喷丸清理技术》一书中找不到相应的篇幅,那就请你原谅。如果你认为书中的有些内容并不是你所了解的那回事,我很希望有机会与你沟通、交流,向你学习。我热切地希望,在本书再版时能贡献你的知识和经验,为提高我国喷丸清理事业的水平服务。

联系方式:

上海市中山南二路 851 号 (船舶工艺研究所), 200032

电话: 021—64684569 (O)

021—64557895 (H)

电子邮箱: richard_shen69@hotmail.com

感谢中国腐蚀与防护学会张钦京副秘书长、卡特彼勒公司萧始伟先生、上海三欣涂装环保工程设备有限公司总经理朱冰先生为本书的出版所给予的关心、帮助和支持,也感谢西门子公司的沈隆先生为本书的图像处理提供了帮助。

说明:希望读者在使用本书中的技术资料时能够充分考虑到与喷丸清理有关的多种因素,以获得最佳的效果和效益。

沈国良

2004 年 6 月

前 言

喷丸清理是一门既古老又年轻的技术，早在 19 世纪 80 年代初期，就有人发明了将砂喷射到零件表面达到清理目的的技术，当时及以后相当长的一段时间内大家都习惯地把这门技术叫做喷砂 (sand blasting)。在我国的有些地方将这种技术称为打砂、吹砂等。如今，用于喷丸清理的磨料中，砂所占的比例已经很小，代之而起的是各种各样人造的或副产品磨料。另外，砂对人们健康的有害影响人所共知，在许多国家被明令禁止使用。因此，用喷丸清理 (abrasive blast cleaning) 代替喷砂是符合现今喷丸清理行业的实际的。

喷丸清理从 20 世纪 40 年代起发展很快，新技术、新工艺、新材料、新装备层出不穷，在材料保护和表面工程中发挥着重要的作用。特别是高性能涂料的出现，极大地促进了喷丸事业的快速发展。

喷丸清理技术除了广泛地应用于钢结构件涂覆涂层前的表面预处理以外，还广泛地应用于机械零件的强化、精饰、蚀刻等领域。在国民经济的各行各业中，喷丸清理技术是一项基础性的技术，既为各行各业服务，又从各行各业的实际需要中获得发展的方向和动力。

喷丸清理技术是随社会和工业化水平的发展而发展的，我国全面实施改革开放政策以前，喷丸清理技术发展停滞不前，研究开发更是无从谈起，专业书籍难觅踪影，偶尔见到一些相关的文字，也只是片言只语。

20 世纪 70 年代末、80 年代初，我国严重落后的喷丸清理技术对我国造船工业发展的严重制约显得非常突出，当时的原第六机械工业部第十一研究所的有关技术人员在严重缺少有关技术资料的情况下，以所能收集到的国外杂志为教科书，开始了喷丸清理技术研究的艰苦探索，决心为我国喷丸清理事业的发展做出努力。在充分认识我国和发达国家在喷丸清理技术领域的差距的基础上，他们提出了引进国外先进喷丸清理设备和技术的建议，并很快得到原六机部高层的肯定，从此开始了真正意义上的喷丸清理技术和设备的系统研究。

经过我国广大喷丸清理技术研究和开发人员二十多年的努力，我国的喷丸清理现状有了很大的改观，但与国外先进水平相比，差距还很大。要赶上发达国家目前的喷丸清理技术、装备和材料的水平，难度很大，路还很长。

希望本书的出版能有助于我国喷丸清理事业更快地发展。

本书可作为涂装、材料保护和防腐蚀、表面工程等领域工程的技术人员、管理人员、设备操作人员进行技术和装备开发、质量保证、工程和设备管理使用的参考书，也可作为大专院校相关专业教学、技术培训讲座的讲义。

编 者

2004年6月

目 录

第 1 章	引言	1
第 2 章	钢材表面的喷丸清理质量	5
第 3 章	压缩空气和空气压缩机	20
第 4 章	压缩空气输送管道	45
第 5 章	喷丸清理机具	53
第 6 章	喷丸清理的安全与卫生	81
第 7 章	喷砂软管和喷砂软管接头	106
第 8 章	喷嘴	115
第 9 章	磨料	127
第 10 章	高压喷丸清理	174
第 11 章	人员培训	178
第 12 章	喷丸间	185
第 13 章	喷丸箱	218
第 14 章	以磨料为介质的其他清理方法	231
第 15 章	喷丸清理和环境保护	263
第 16 章	喷丸清理词汇	277
附录	英制-公制度量单位换算	282
致谢		286
参考文献		292

第 1 章 引 言

钢铁是现代社会的支柱，是各行各业赖以生存和发展的重要基础。

钢铁从其生成之时起就有返回其先前存在状态的倾向，即我们通常所说的生锈。钢铁生锈会使钢铁构件的力学性能丧失，从而导致失效。

钢铁生锈是一种电化学腐蚀的过程，是一种在电解质存在的条件下发生的破坏作用。

钢铁腐蚀无处不在，无时不有，由此而造成的损失相当惊人。

为了防止钢铁的腐蚀，人类做出了不懈的努力，发明了许多行之有效的保护方法。

出现最早、应用最普遍的是采用涂层保护钢铁构件，使其免遭外界物质的破坏。保护钢铁构件的涂层分为金属涂层和非金属涂层两大类。

使涂层长期有效地保护好钢铁构件的首要条件，就是涂层与钢铁构件基体之间结合牢固，否则，再好的涂层材料，再好的施工工艺、再好的施工机械、再优秀的施工人员也无法保证涂层对钢铁构件的长期保护性能。

涂层与钢铁构件基体结合牢固要有两个基本条件。第一，涂层与基体之间的间隙要小而又小。据资料介绍，涂层与基体表面之间的间隙在 0.5nm （相当于 3 个氧原子直径之和）之内时才能牢固地结合。第二，涂层和基体表面之间要有足够大的接触面，这除了提高表面粗糙度以外没有其他更好的办法。

由此，可以得出这么一个结论，要想获得涂层对钢铁构件的保护，对钢铁构件表面进行处理是必须的。处理的目的是有两个：一是要尽可能彻底地清除工件表面上的杂质，尽可能彻底地暴露工件的基体；二是使表面生成一定程度的粗糙度，扩大工件表面的实际表面积，增加工件表面单位面积上涂层的结合力。

要达到上述目的，在所有的表面处理方法中，磨料作为清理介质的清理方法最有效。以磨料为清理介质的清理方法有两种，一种是以高速旋转的叶轮推动磨料颗粒，使其获得相当高的速度后冲击工件表面，达到清理的目的，通常称其为抛丸，这是 20 世纪 30 年代出现的工作效率很高的清理方法。另一种是用压缩空气（或高压水）使磨料颗粒加速到很高的速度后清理工件表面的方法，这种方法首先出现于美国的底特律，用于清理汽车零件，是 Benjamin Chew Tilghman 在 1870 年发明的。

用压缩空气推动磨料颗粒清理表面的方法叫做喷丸清理。在喷丸清理技术出现的初期，砂是惟一可以使用的磨料，因此，在当时以及后来相当长的一段时间内，喷丸清理一直被称为喷砂。时至今日，在许多场合，还有许多人把这项清理技术叫做喷砂。

从 20 世纪 30 年代起，磨料有了很大的发展，出现了成百种的新磨料，每年还不断有新的磨料问世。因此，再把这种清理技术称为喷砂就不合理了。同时，喷砂是被许多国家的法律所禁止的，因为游离硅会使接触喷丸清理的人员患上可怕的硅沉着病。喷砂还往往与恶劣的环境联系在一起。因此，本书使用“喷丸清理”一词。其中的“丸”泛指磨料。

现今的喷丸清理可以作如下的定义。

用压缩空气、高压水、蒸汽等推动一股磨料流对一个表面进行清理、切削、铲刮、磨蚀或改变其外表或状态的作业过程。

喷丸现象普遍存在，大自然里，砂子、碎石和尘土在一刻不停地冲击着山脉，将其缓慢地磨蚀掉，只是这种过程相当缓慢，不易为我们觉察到罢了。

著名的美国大峡谷就是由于水流夹着泥沙和碎石长年累月地冲刷而形成的，其宽度和深度还在年复一年地扩大。

在各种表面预处理方法中，喷丸清理（抛丸清理的作用和效果与喷丸清理相同，不另作说明）的效果最彻底，适应性最强，应用最广，这是因为：清理钢材表面最快、最彻底；只有喷丸清理可以用业已制定的 4 种大家都接受的清理等级来评定；喷丸清理可以清理通常难以清理的表面，有些专用工具可以清理管道的内表面（见图 1-1）；喷丸清理成本最低。

喷丸清理可以使被清理表面同时获得使工件表面获得所需的清洁度和使表面获得一定程度的粗糙度，提高涂层在基体表面上的附着力两种效果。再好的涂料也不可能良好地附着在未作适当处理的表面上。表面预处理的作用就是要清洁表面并在表面上生成用来“锁住”涂层所需的粗糙度。经喷丸清理的工件表面涂覆性能良好的工业性涂料后，涂层寿命可以比其他方法处理后表面上的同一品质的涂层高出 3 倍以上。

喷丸清理的另一个优点是表面粗糙度可以事先确定，并在清理过程中容易达到。

正因为如此，船舶、储罐、桥梁、电站、卡车和拖挂车、机车、火车车辆、化工厂、炼油厂、造纸厂、钢结构件厂、军事装备、飞机、宇宙飞船及其地勤设施等千百种产品和行业都要用喷丸方法来作涂漆前的表面处理。

喷丸清理还有如下许多不同的用途。

混凝土制件在防风化处理前要用喷丸方法清除隐患。混凝土预制板用喷丸方法来暴露装饰性颗粒。

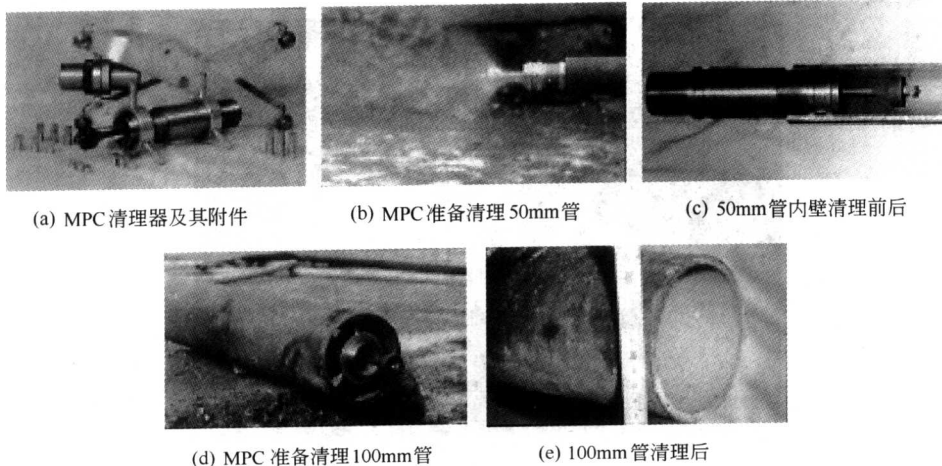


图 1-1 MPC 喷丸清理器

(图片来源：上海八达涂装设备厂)

MPC 喷丸清理器

特点：能对内径 50~300mm 的管道内壁进行喷丸清理，效率高，质量好，操作简单。

不足：只能选用于直管的内壁清理。

许多精密元器件和质地比较脆弱的零部件，如电子组件、飞机机身、假牙托架、电机、喷气发动机和活塞、发动机零件、玻璃钢船、机车、塑料件、赛车上的齿轮发动机及传动零件、外科手术器械、饮料车储罐等也常用喷丸方法清理表面。

最笨重的钢结构到最为脆弱的零部件都可以用喷丸方法来处理其表面，但其目的并不一定是为了涂漆。如活塞和曲轴的去毛刺、飞机起落架零件的表面强化、玻璃门的毛化处理、墓碑刻字及精致木质标志牌的雕刻等（见图 1-2）。喷丸处理涉及千百种不同的用途及我们生活的方方面面。

本书要讨论一个效率高、安全性好的喷丸系统所必需的设备，每一种设备都是不可缺少的，这些设备的规格和容量都要足够的大，还要相互匹配。如果有一件设备不符合要求，整个系统就不能令人满意地发挥其效能。

图 1-3 为我们相当清楚地展示了一个安全、高效的喷丸清理作业场所必不可少的基本条件。

全身防护的喷丸工人居于图 1-3 的中间，喷丸工人的左上角是两台空气压缩机，一台为喷丸清理提供主气源（1），另一台（2）为喷丸工人提供呼吸用压缩空气。通常只用一台空气压缩机。喷丸工人的左侧是呼吸用压缩空气过滤器，将压缩空气净化后供喷丸工人呼吸。呼吸用压缩空气过滤器旁边是一台专用的低压呼吸用压缩空气泵，可直接为喷丸工人供气。喷丸工人的右侧是喷丸机和磨料。



图 1-2 经喷丸处理后的玻璃制品
(图片来源: GUYSON 公司)

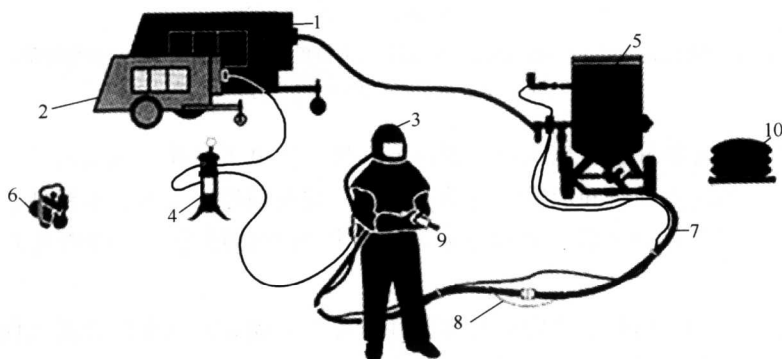


图 1-3 喷丸清理作业场所需的基本条件
(图片来源: CLEMCO 公司)

1—空气压缩机; 2—呼吸用空气压缩机; 3—NIOSH 认可的充气式头盔; 4—空气过滤器; 5—符合 ASME 要求的喷丸机; 6—为低压充气式头盔供气的空气泵; 7—喷砂软管; 8—喷砂软管快速接头和安全索; 9—正确选择的喷嘴; 10—磨料

喷丸工人和喷丸机之间是喷砂软管、喷砂软管和安全索。喷丸工人手中的是喷嘴, 头上戴的是充气式头盔。

第2章 钢材表面的喷丸清理质量

我们讨论钢材表面喷丸清理质量的出发点是为了获得良好的、能达到涂装设计确定寿命的金属涂层或非金属涂层。金属涂层和非金属涂层与钢材基体的结合属于机械性结合，两者之间不发生化学反应。因此，涂漆前表面清洁度的重要性及其等级很早就被人们所认识，一些国家为此制定了相应的标准。国际标准化组织在一些国家标准的基础上制定了与喷丸清理有关的标准，是喷丸清理质量评定的基本工具。

根据国际标准化组织发布的 ISO 8501-1 标准 (见图 2-1)，钢材表面喷丸清理质量分成以下四个等级：

- 最彻底清理级 Sa3；
- 很彻底清理级 Sa2.5；
- 较彻底清理级 Sa2；
- 非彻底清理级 Sa1。

我国标准局采用“等效采用”的办法直接将 ISO 8501-1 国际标准转变为 GB 8923—88 国家标准，国家标准将这四种清理等级分别称为“使钢材表面洁净的喷射或抛射除锈”、“非常彻底的喷射或抛射除锈”、“彻底的喷射或抛射除锈”和“轻度的喷射或抛射除锈”。

四种清理等级无法用量化的办法来区分，也难以用语言和文字来表达。因此，ISO 8501-1 标准是一种利用专门的照片进行直观评定的标准，每一种清理等级都有一张对应的 1:1 的照片，评定时，将清理后的表面与标准提供的照片进行对照，确定清理质量是否达到了涂装设计规定的要求。

作为标准的主要部分，用来评定清理质量高低的照片是不许褪色或有色差

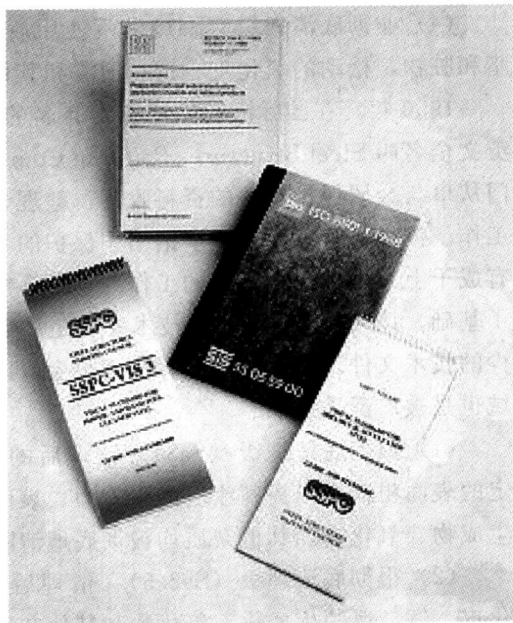


图 2-1 表面清洁度标准
(ISO 8501-1、SSPC、BS7079)
(图片来源：ELCOMETER 公司)

的，因此，ISO 8501-1 标准中的照片是用专门技术印刷在特殊材料上的，永不褪色。用以普通的印刷技术印刷在纸张上的照片来评定清理质量的高低就缺乏公正性和权威性，难以被大家所接受。

ISO 8501-1 标准对四种清理等级分别作了如下的文字说明。

(1) 最彻底清理级 (Sa3) 不使用放大镜观察，整个被清理表面呈现完全一致的金属本色。清理后的表面上不存在油脂和脏物，也不存在氧化皮、锈、旧漆和杂质。

(2) 很彻底清理级 (Sa2.5) 不使用放大镜观察，清理后的表面上不存在油脂和脏物，也不存在氧化皮、锈、旧漆和杂质。未被清除彻底的杂质只是以依稀可见的片状或条状存在。

(3) 较彻底清理级 (Sa2) 不使用放大镜观察，大部分的氧化皮、锈、旧漆和其他杂质被清除。残留在表面上的氧化皮、锈和旧漆与基体结合牢固。

(4) 非彻底清理级 (Sa1) 不使用放大镜观察，清理后的表面上不存在油脂和脏物，松动的氧化皮、锈、旧漆和其他杂质被全部清除。

1950 年，在国际涂装领域非常有名的钢结构涂漆委员会在美国成立，它的英文全名叫 Steel Structures Painting Council，简称 SSPC。钢结构涂漆委员会专门从事与金属保护有关的资料收集、整理、研究、鉴定、测试、文件制定和分发工作。该委员会由长期从事钢结构保护的专家学者组成，并在美国和世界各地拥有成千上万的会员，他们的工作为委员会制定表面处理和防护涂层技术要求奠定了基础。该委员会的 SSPC 技术要求是从事钢结构表面处理和涂漆工作所必不可少的技术文件。美国钢结构涂漆委员会对四种清理等级的文字说明在国际涂装领域也是被广泛采用的。

(1) 最彻底清理级 (Sa3) 清理后的钢材表面呈完全一致的银灰色，有一定的表面粗糙度以提高涂层的附着力。表面上的油脂、污垢、氧化皮、锈、腐蚀生成物、氧化物和其他杂质均被彻底地清除干净。

(2) 很彻底清理级 (Sa2.5) 清理后的钢材表面上不存在油脂、污垢、氧化皮、锈、腐蚀生成物、氧化物和其他杂质，允许存在由于清理不彻底而出现的阴影或色差，但每平方英寸上至少要有 95% 以上的表面达到最彻底清理级的水平，其余部分仅出现轻度的阴影和色差。

(3) 较彻底清理级 (Sa2) 清理后的钢材表面上不存在油脂、污垢、锈皮和其他杂质，锈、氧化皮和旧漆被清除。允许存在由于锈和氧化皮清除不够彻底而出现轻度的阴影或色差，其面积在每平方英寸上不超过 33%。如果钢材表面已经发生点蚀，蚀点深处允许有少量的锈或旧漆存在。

(4) 非彻底清理级 (Sa1) 表面经全面清理，油脂、污垢、松动的氧化皮和松动的漆皮被清除，与基材结合牢固、不能用非常锋利的铲刀清除的氧化皮、

锈、油漆和涂层允许在清理后残留在表面上。表面上出现大量分布均匀的金属斑点。

达到上述 4 种清理等级的表面状态不但受制于清洁程度的高低，还与工件表面的原始状态有关。ISO 8501-1 标准为此将清理前的钢材表面原始状态分成四个等级，分别用大写英文字母 A、B、C、D 表示（见图 2-3）。四种表面原始状态和清洁度等级如下（见表 2-1）。

表 2-1 四种表面原始状态和清洁度等级

清洁度等级	表面原始状态			
	A	B	C	D
最彻底清理级 (Sa3)	ASa3	BSa3	CSa3	DSa3
很彻底清理级 (Sa2.5)	ASa2.5	BSa2.5	CSa2.5	DSa2.5
较彻底清理级 (Sa2)	—	BSa3	CSa2	DSa2
非彻底清理级 (Sa1)	—	BSa1	CSa1	DSa1

- A 致密氧化皮全面覆盖，几乎未发生锈蚀的表面。
- B 锈蚀业已开始，氧化皮已开始剥落的表面。
- C 氧化皮由于锈蚀而开始脱落或可被铲除，尚未出现清晰可见的腐蚀坑的表面。
- D 氧化皮由于锈蚀而脱落，已出现全面腐蚀坑的表面。

如图 2-2 所示为钢材表面喷丸清理后清洁度等级照片（见书后彩图），系根据 ISO 8501-1 标准中的照片扫描获得，不能用作评定钢材表面喷丸清理质量的依据。

如图 2-3 所示为钢材表面原始状态级照片（见书后彩图）。

A 级表面原始状态的钢材表面在清理前有致密的氧化皮保护，因此，不存在较彻底清理级和非彻底清理级的表面状态。

涂装工程的设计和施工过程中的表面清洁度等级要求要由腐蚀工程师确定。确定表面清洁度等级要求的主要依据是：被涂装对象的腐蚀环境；涂层配套和被涂装对象的预期使用寿命。

对于工业性涂装，非彻底清理级（Sa1）不推荐使用。

较彻底清理级（Sa2）适用于轻度腐蚀环境中使用的钢结构件或涂装设计规定的场合。

很彻底清理级（Sa2.5）是工业性涂装中使用得相当普遍的清理等级要求，使用高性能涂料的涂装设计和施工大多规定选用这种等级要求。船舶、化工设备、海上工作平台、港口机械、码头设施、冶金机械、采油设备、市政工程、航天航空等都会要求涂漆前的表面达到很彻底清理级。

最彻底清理级（Sa3）是最高级别的清理等级要求，清理成本最高，只有在一些使用特殊材料的场合和特别重要的工程和零部件涂装施工中得到采用，例如核电站、汽轮机和海上平台的重要部件。使用无机锌涂料和金属喷涂的工件也往往会要求表面清理达到最彻底清理等级。

达到同一清洁度等级的不同工件的表面由于清理条件的不同会有不同的外观特征，有很多因素会影响到清理后表面的外观特征。颜色并不是评定表面清洁度等级的必要条件。氧化皮、锈和旧漆等有害物质被清理的程度才是评定清理等级时不可忽视的。

钢结构件原材料、加工或处理和其他一些因素会影响清理后表面的外观特征，这些因素包括钢材的种类、硬度、化学成分、钢结构件的成型和处理、磨料的种类和粒度、喷嘴至被清理表面的距离及其与表面的夹角、磨料颗粒撞击表面时的速度等。表面清洁度检查时应根据表面上有害物质的清除程度而不是仅根据颜色来判断表面清洁度是否已经达到技术条件所规定的质量要求。

用于制作 ISO 8501-1 国际标准表面清洁度照片的是用石英砂进行干喷砂清理后的钢板表面。不能完全代表其他不同条件下造成的表面状态。使用采用不同磨料清理后的清洁度标准样板会有助于正确评定清洁度等级。

清洁度样板用钢板制成，用透明的塑料封装防潮。使用不同磨料会产生不同的表面清洁度状态，清洁度评定用样板就有不同的种类，要根据使用的磨料选用不同的清洁度样板。清洁度样板要妥善保管，封装用的塑料一旦开裂，样板就失效了。

清理等级要求越高，清理效率就越低，清理成本也越高。实际上，清理等级高低是以消耗人力、能源、材料和时间的多少为代价的。因此，清理等级定得过低果然不可取，但清理等级要求偏高也是不恰当的，这会使清理成本大幅度提高，造成不必要的经济损失。一般来说，涂料的使用和施工说明书中都会对表面处理提出要求，这是规定清理等级的主要依据之一。

表 2-2 列出了喷丸清理等级与清理效率、磨料消耗的关系及不同等级的相对费用。

表 2-2 喷丸清理等级与清理效率、磨料消耗的关系及不同等级的相对费用

喷丸清理等级	清理效率/ $\text{m}^2 \cdot \text{d}^{-1}$	磨料消耗/ $\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$	相对费用
非彻底清理级 (Sa1)	483	3180	1
较彻底清理级 (Sa2)	232	3630	2+
很彻底清理级 (Sa2.5)	139	4536	5
最彻底清理级 (Sa3)	93	5670	9+

注：清理条件：2 支 9.5mm 喷嘴；3 人作业；0.56MPa 工作压力。工件原始表面状态：B。磨料粒度：30~80 目（0.18~0.6mm）。每天工作 8h。

喷丸清理的效率和清理成本还与钢材表面的原始状态有关。致密氧化皮覆盖的新钢材清理效率就要低一些，清理成本也就要高一些。作者曾经看见过清理一个趸船的场面，趸船表面上锈垢的厚度大概有 10mm 左右，清理这样的表面效率肯定是很低的，代价必然是很高的。

曾有这种做法：用一定浓度的氯化钠（食盐）溶液泼洒在致密氧化皮覆盖的钢板表面，加速钢材表面的锈蚀，喷丸清理的效率就可以提高一些。作者以为该方法不宜推广，因为，喷丸清理难以把钢材表面上的氯化钠清除彻底，残留的氯化钠会使涂层提前失效。

对于长期暴露于工业大气、污染或锈蚀相当严重的钢材或钢结构件以及在空气含盐浓度高的环境中清理的工件，除了要用表面清洁度标准来评定清理等级以外，还要测定表面上残留的可溶性盐类的浓度。ELCOMETER 公司的 BRESLE PATCH 就是专门为此而开发的（见图 2-4）。



图 2-4 测定表面上残留的可溶性盐类浓度的贴片和注射用针
(图片来源：ELCOMETER 公司)

贴片的四周涂有黏性材料，使用时，将贴片粘贴在待测试的表面上，其中间部分与被测试表面间保持一定的间隙。然后用注射器向间隙内注入一定量的蒸馏水（溶剂）并反复吸出/注入多次，使贴片所包围的面积上的盐类全部溶解在蒸馏水中。最后用注射器将溶液全部吸出，用电计测定该溶液的含盐浓度，从而得出被测表面单位面积上可溶性盐类的浓度（见图 2-5）。

熟悉 4 种清洁度等级之间的差别并能根据需要制定正确的清洁度技术要求，

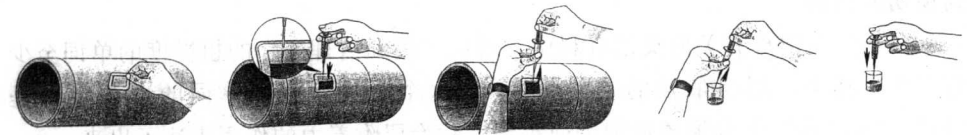


图 2-5 施工现场测定表面可溶性盐度的步骤
(图片来源：ISO 8502-6 标准)

只是喷丸清理工作的一部分。为了获得性能良好的涂层，钢材表面不但要达到技术要求规定的清洁度，还要求表面具有一定程度的粗糙度，使涂层在钢材表面上具有更好的附着力。

确定适当的表面粗糙度值与确定正确的清洁度要求同样重要。如果表面没有足够的粗糙度，涂层就不能很好地附着在清理后的表面上，涂层就会提前失效。

钢材表面喷丸清理时，不论达到何种清洁度等级，表面清洁度和表面粗糙度都会同时产生，但表面粗糙度值很可能没有达到与涂层配套所规定的要求。

分配任务或工程招标时，忽略对粗糙度的要求是一个很大的错误。这个现象目前还很普遍。制定涂装技术要求的技术人员在处理涂层失效事故时往往会罗列出清洁度方面的各种各样原因，就是不会想到对粗糙度值提出具体的要求。要知道，涂层提前失效的许多事例中，粗糙度值不当可能是更为直接的原因。

有些学者甚至认为，表面粗糙度对涂层附着力的作用甚至大于表面清洁度的作用，这足以说明表面粗糙度在保证涂层寿命中的重要性。

什么是表面粗糙度？表面粗糙度是怎样形成的？表面粗糙度怎么控制？粗糙度值多大为好？表面粗糙度怎样确定？怎样利用正确的设备和磨料来获得恰当的粗糙度？这些问题都将在下文中逐一讨论，使读者理解表面粗糙度在保证涂层质量中的重要性。

通常把喷丸清理时磨料颗粒作用于工件表面而产生的表面不平整度叫做表面粗糙度。磨料颗粒在被处理表面（特别是钢材表面）上的切削、撞击和冲刷作用使表面产生大量的凹陷和隆起，我们把凹陷部分称为波谷，把隆起部分称为波峰。每一个磨料颗粒都会在被清理表面上造成一个波峰和一个波谷。

表面粗糙度值和涂层厚度一样，都用微米表示。粗糙度值是最低波谷的底部与最高波峰的峰顶之间的垂直距离。表面粗糙度的评定用标准粗糙度样板，粗糙度计及拓片可用来评定和记录表面粗糙度值的大小。

高性能涂料问世前，涂料使用说明书往往对需要涂装的表面只提出喷丸清理的清洁度要求。高性能涂料问世后，美国的涂料商、喷丸清理和油漆工程的承包商与美国钢结构涂漆委员会（SSPC）和腐蚀工程师协会（NACE）等机构合作，经过大量的实验和应用实际，发布了许多很有实用价值的指导性技术资料，使表面处理和涂漆的设计、施工和质量检查有一个统一的依据，使涂层的保护性能达到预期的目的。

在与喷丸清理有关的英语资料中，对应于喷丸清理产生的粗糙度的单词至少有三个，其中，用得最妙的是“anchor”这个单词。这个单词的主要意思是“锚”，“anchor”十分形象地把表面粗糙度对涂层附着力的作用表达了出来。

表面粗糙度至少还有另外三个作用。

（1）使涂层与工件表面间的实际结合面积增加，有利于提高涂层结合力，见表 2-3。