

太在能源与工业中的应用

〔美〕 丹尼尔·艾伦 主编

张祖光 辛湘杰 译

周海成 李贤芬 校

机 械 工 业 出 版 社

本书是一本关于钛在能源与工业中应用的技术专著，由各国当代钛技术专家集体编写，内容包括发电、核电、地热能、海洋热能以及氢贮存等能源设备用钛；化工、石油化工、电化学加工、海水淡化、造纸、食品和医药等工业方面用钛；汽车、火车和飞机等交通工程方面用钛；石油钻采、地质勘探和深海勘探等地质海洋工程方面用钛；蒸汽涡轮机、燃气轮机和打印机等机械方面用钛以及人体植入物用法等，本书选题非常广泛，内容十分丰富，反映了当代钛的应用水平和发展趋势，可供有关科研和工程技术人员参考。

**Titanium for Energy and
Industrial Applications**

Daniel Eylon

**A Publication of The Metallurgical
Society of AIME**

1981

• • •

钛在能源与工业中的应用

〔美〕丹尼尔·艾伦 主编

张祖光 李湘杰 译

周海成 李贤芬 校

•

责任编辑：王正琼 责任校对：刘绍曾

封面设计：姚毅 版式设计：霍永明

责任印制：张俊民

•

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印张 $12 \frac{1}{4}$ · 字数 223 千字

1989年9月北京第一版·1989年9月北京第一次印刷

印数 0,00 — 1,385 · 定价：11.50元

•

ISBN 7-111-00800-6/TB·46

译 序

钛元素发现至今已近两个世纪，但作为工程金属应用只有短短的30多年。由于钛的应用解决了许多重大工程技术难题，促进了科学技术进步，同时也带来了明显的经济效益，因此，已引起许多国家科技界和工程界极大的兴趣和关注。

钛及其合金不仅比强度高，有优异的抗腐蚀性能，而且无磁性，耐热与耐低温性能好，疲劳强度高，某些钛合金还具有超导性、记忆效应，高贮氢等特性以及良好的综合工艺性能，因而钛的应用范围不断扩大，钛制机械设备和零件的种类也日益增多。

50年代，钛首先应用于航空工业，制造军用飞机发动机关键部件和其他零部件，以后又用于导弹、人造卫星、宇宙飞船，并大大改善和提高了飞机和各种飞行器的性能，故以“空中金属”而著称。随后，又用钛制成了各种大型化工设备，如合成塔、反应器、容器、贮罐、换热器以及离心机、泵、阀、风机、压缩机的一些零部件，已在化工、石油化工、冶金、电力、炼油、能源、电化学加工、纺织、仪表、食品、医药、染料、制盐、污水处理、核废物处理、车辆制造、地质等30多个部门成功地应用，并解决了一系列工程难题，取得了巨大的经济效益，从而将钛在民用工业中的应用推向高潮。由于这一时期所取得的巨大进步和成就使钛在其发展史上又以“陆用金属”而著称。80年代，钛更以“海洋金属”而崛起，在海洋化工、海水淡化、滨海电厂、海洋能源开发、海洋石油钻采、海底采矿及其他深海工程中显示了优异的性能和巨大潜力，成为难以替代的海洋工程金属。

迄今，钛的应用方兴未艾。“钛在能源与工业中的应用”一书汇集了钛在能源及某些工业工程中最新研究成果和技术进展，尽管它们尚处于不同的研究或开发阶段，但很多新领域的应用开扩

了我们的视野，展示了钛应用的广阔前景。可以看到，钛应用的空前繁荣时代已经到来。

近年来，我国钛机械工业取得了很大进步，已能自行设计制造125MW、200MW这类大型汽轮机全钛冷凝器，在石油化工、氯碱、制盐等工业中也取得很大进展，并且初步形成了钛机械设备制造体系，但是我国的钛机械工业无论在产品的数量、规格、品种方面都较少，一些产品的质量也有待提高。我国是世界上钛资源最丰富的国家，但钛材产量不多，在钛利用开发的深度和广度方面还有大量工作急待进行。这本译著所阐述的大部分内容与我国的经济建设密切相关，如能取其精华，结合国情加以创新，必将极大地推动我国机械工业的发展，促进我国在钛科学和技术方面的进步。希望这本译著的出版能引起能源及工程界同志的关注，希望有更多的同志来推广钛在能源及工业工程中的应用，为我国钛机械工业的发展多作贡献。

国家机械工业委员会总工程师

陆燕荪

译者的话

钛是一种崭新的工程金属，它具有极为优异的性能，例如比强度高、耐腐蚀、无磁性、耐高温、耐低温以及良好的综合工艺性能等。因此，尽管钛的工业化生产只有30余年历史，但它已在宇航、航空、石油、化工、轻工、冶金、机械、能源、地质、电化学加工以及海洋工程等30多个部门几百种流程与装置上得到广泛应用。钛不仅成功地取代了遭到严重腐蚀的不锈钢、铜合金、镍基合金以及不能满意使用的石墨和塑料等金属和非金属材料，而且已成为实现某些新流程、新工艺和新技术的关键。因而钛的应用取得了迅速的发展，获得了显著的经济效益。

目前，实验性和工业性生产的钛合金已达数百种，工业性或半工业性生产的钛合金也已超过100种。同时，由于机械设备的研究和生产达到了新的水平，现已能生产重达200多吨的钛钢复合板压力容器，换热面积为756000ft²的全钛冷凝器，单片面积为2.2m²的板式换热器，多种塔器和换热器，800~1200MW的汽轮机末级叶片和围带，大型焦炉煤气风机，湿氯气压缩机，各种分离机械，泵，阀，管路配件以及各种电极等100多种设备。而且随着钛的熔炼、加工以及设备技术的日臻完善，价格逐渐降低，其应用范围将日益扩大。因此，如果说在本世纪最初25年内由于在工程中大量采用“不锈钢”而开展了一场技术革命的话，那么，可以预期，在本世纪末由于采用钛及钛合金，会在工程界产生另一次更高水平的革命。钛材和钛设备将在技术进步中发挥巨大的作用。

我国钛材和钛设备的研究与生产已有很大的发展，但开发和应用的深度与广度都很不够。为了学习国外的先进技术，进一步推广钛的应用，我们翻译了这本书。该书基本上反映了当代钛的应用水平和发展趋势，可供从事钛技术研究和应用的工程技术人员

员以及有关大专院校师生参考与借鉴。

本书第1章至第10章和第12章至第16章由张祖光翻译，周海成审校。第11章和第17章至第29章由辛湘杰翻译，李贤芬审校。在本书翻译过程中还得到许德成、石玉峰、方树楷、王文治、邓维德、刘润泽、杨晓明、蒋树德及王盛沧等同志的帮助，在此一并表示感谢。

原书的许多计量单位是英制，翻译时未按法定单位进行换算。为此，我们在本书末列出有关计量单位的换算系数，供读者参考。

由于译者水平有限，译文中如有不当之处，敬请读者指正。

译 者

1986年10月

前 言

近年来，钛技术的应用已逐渐从国防转向能源和民用工业部门。这种转变主要是由为了寻找替代能源和建立更有效的能源系统，以节约现有燃料而制订的大量研究计划引起的。目前尽管钛合金一次性投资费用较大，但由于钛材对海水具有特别优异的耐腐蚀性能，在室温与高温条件下具有比强度高等特点，因此，在许多能源和工业系统中仍然喜欢选用这种合金。

在本书中，编者尽可能收集了论述各种非军事用钛的文章。全书共29章，其中有20章与能源的产生和转换有关，有3章介绍钛在控制环境污染方面的应用，其余各章涉及钛在其他工业部门中的应用。

我们根据各章所涉及的学科来物色作者，要求作者介绍本人的工作和经验，以及与其撰写题目有关的其他成果。因此，按照这种编辑方针，需要向读者介绍的非军事用钛的范围就非常广泛。但由于时间所限，本书未能包括钛在下列几个重要方面的应用情况，如聚变反应器用钛、深井采油用钛、海上高速运输用钛（水翼艇）以及文娱和体育器械用钛等。希望在今后再编著有关钛技术评述方面的书籍时，纳入这些题目。希望本书的出版将增加读者对钛的兴趣，并推动钛在有关工业部门中的应用。

Daniel Eylon

1981年11月于俄亥俄州达顿

目 录

前言

第 1 章	钛在能源及其有关工业中的应用·····	1
第 2 章	核电和火力发电用钛·····	8
第 3 章	汽轮机叶片用钛·····	13
第 4 章	钛在海洋热能转换工程中的应用·····	28
第 5 章	钛在地热中的应用·····	39
第 6 章	钛在废热回收中的应用·····	60
第 7 章	钛在海洋石油钻探中的应用·····	67
第 8 章	钛在地质勘探中的应用·····	83
第 9 章	钛在深海勘探中的应用·····	93
第 10 章	2000m 深海探 测船用钛·····	112
第 11 章	钛在海水淡化设备中的应用·····	125
第 12 章	钛合金超导体·····	145
第 13 章	磁浮列车用钛·····	165
第 14 章	飞机机架用钛合金·····	177
第 15 章	高效燃气涡轮机用钛·····	187
第 16 章	竞赛汽车用钛·····	202
第 17 章	钛在化学工业中的应用·····	219
第 18 章	钛在石油化学工业中的应用·····	233
第 19 章	钛在电化学加工中的应用·····	259
第 20 章	钛在食品和医药工业中的应用·····	271
第 21 章	钛在纸浆和造纸工业中的应用·····	279
第 22 章	钛在外科植入手术中的应用·····	287
第 23 章	高速撞击式打印机用钛·····	304
第 24 章	钛在大气污染控制设备中的应用·····	314

第25章	钛在废物处理中的应用.....	321
第26章	钛在核废物长期贮存中的应用.....	343
第27章	钛在贮氢中的应用.....	360
第28章	核反应堆泵用NiTi金属间化合物.....	366
第29章	钛在能源和航空工业中的应用.....	376
计量单位	换算系数.....	383

第1章 钛在能源及其有关工业中的应用

钛曾被称为奇特而神秘的金属，甚至被认为是无用的。实际上却并非如此，也并非难以理解它。本文的主要目的就是要向不熟悉钛的制造者、加工者和使用者介绍钛的实际情况。

虽然 Gregor 在 1791 年就发现了钛，但直到 1937 年才由 Wilhelm Kroll 论证了按工业生产方式从钛矿中分离金属钛的可行方法，最常用的镁还原法就是以他的名字命名的。Kroll 的这种基本方法 40 多年来变化甚微。当时，还采用了另一种钠还原法。钛及其合金的性能只取决于合金成分，而不取决于海绵钛原料。两种加工方法均能得到相同的产品。

从历史上看，采用钛主要有两个理由：①具有结构材料的性能；②具有耐腐蚀性能。正因为钛综合了强度高、比重小、韧性好以及有较好的耐疲劳性能等优点，因此可设计性能优良的构件。在多数或大多数情况下，钛经过退火后都能获得这些性能，这就大大有利于制造。钛在氯化物和氧化物介质中，由于表面上形成了钝化层，因而具有极优良的耐腐蚀性能，能像贵重金属一样地耐腐蚀。

在钛工业兴起的最初 20 年内，钛主要用于航空和航天工业。钛的生产在 1981 年前是不稳定的，大约从 1970 年以后，钛在民用工业市场的销售量才开始上升，并相对稳定，到 1981 年民用工业市场钛的消费量约占工业产量的 20~30%。民用工业市场的波动比航空和航天工业小，这就为钛工业的稳定发展提供了有利条件。

本文目的，除了对钛作简要和比较客观的评述外，还向用户提供一些有关钛的实用资料索引，并纳入本文的参考文献之中。

1 资 源

钛矿石极其丰富。钛在地壳内的蕴藏量处在铁、铝和镁之后，居第四位。钛的蕴藏量比镍或铜多50倍，比钴多200倍。按美国目前的消费水平计算，已查明的北美钛矿蕴藏量足能开采300年以上。而且，除了钛金属以外，已开采的钛矿石约有95%得到应用，特别是用于涂料、造纸和塑料的生产。金红石（氧化钛）和钛铁矿（氧化铁钛）是两种最重要的钛矿石。金红石是高级矿石和钛金属工业的良好原料。冶炼钛所用的大部分金红石是从澳大利亚进口的。

2 经 济 性

钛推广应用的主要障碍是价格昂贵。造成这种情况有以下几种原因。首先，在矿石的构成中钛与氧紧密结合，钛金属在炽热状态下与大部分氧化物以及空气、水、甚至许多金属起反应。所以，钛与其相竞争的材料相比，需要更多的能源、劳力和资金。另外，由于钛具有很强的化学活性，要求在加工制造中必须采用专门工艺，因而提高了价格。从历史上看，价格是衡量结构性能和耐蚀性能的法码，这样，钛的应用就受到限制。

然而，随着燃料价格的上涨，宇宙飞船的昂贵价格可通过降低运行费用进行补偿，这相当于增加了飞船的有效载荷。在这种情况下，用户的费用便成为考虑问题的依据。同样，钛或钛合金的某些优异特性将会开辟新的应用领域，例如用于氢气贮罐、超导体及牙齿修补等。此外，由于把新的深淬硬合金（例如Ti-10V-2Fe-3Al和Ti-17）也列为适用的材料，今后，可用热处理方法全面开发并进一步改进钛的结构性能。目前（1981年）正准备把新型15-3β钛合金轧制成钛带，并用来制造高强度薄壳。因此，一种新型高强度耐蚀钛合金（其标准已得到批准）即将在工业上得到推广应用。由于这种新型钛合金不断投放市场，因而在工业应用中，钛合金向高强度材料方向发展的趋势必将继续进

行下去。在电力工业、核废料贮存、湿法冶金和废物处理工程中，材料强度的影响特别明显。因为采用了较高强度的材料，可以减小设计壁厚，减少钛的用量，有时还可以提高热效率。

为了降低钛的价格，人们一直在进行着不懈的努力，其中主要是迫于航天和航空事业的需要。然而，像铸造半成品部件、粉末冶金以及用浇铸扁锭代替锻造扁锭等新工艺的应用，将可以降低工业产品的价格，而且采用等温锻造以及超塑成型／扩散焊接等新型制造工艺，也有利于降低民用飞机机架和发动机的价格。超塑成型／扩散焊接制造工艺尤其适合在钛材上应用。在许多场合，对现有的Ti-15-3合金可用一般的冷成型工艺代替热成型工艺，这样就能保证钛工业在技术工艺上有良好的发展前景。无论现在和将来，采用钛对能源和能源价格敏感的工业来说都是合适的。

3 韧性和疲劳

钛合金以其能够保持结构的完整性而著称。钛合金能有效地抵抗疲劳破坏和具有极好的韧性，即使存在着缺陷和裂纹，仍需要施加极高的载荷才能使其断裂。这些特点与高强度和耐蚀性相结合，就使钛具有较长的使用寿命。

4 腐 蚀

钛的耐蚀性与不锈钢和铝相似。由于钛是一种活性金属，因此在大部分氧化环境中，它能迅速生成使金属表面钝化的很薄的氧化膜。总的来说，钛的腐蚀有三种：①均匀腐蚀；②缝隙腐蚀；③点蚀。

均匀腐蚀通常发生在还原性介质中，钛在这种介质中不能保持钝化膜。采用添加合金元素，如钯或铂，则可以明显地改变这种状况。含钯的各种级别的钛合金对改变这种状况都是有效的。同样，在溶液介质中，氧化性物质如铁离子或铜离子可大大改变均匀腐蚀，因为这些离子有助于保持钝化膜。还原性介质有

HCl、 H_3PO_4 和 H_2SO_4 等。氟化物离子使钛形成络合物，因而在酸中，即使在稀释的状态下，钛也会被严重腐蚀。

缝隙腐蚀经常发生在密封垫圈或垢层下面。这种腐蚀由于氧集中而引起，所以介质中有氧化性物质存在，就可能引起缝隙腐蚀。用合金化的方法能够有效地防止钛的缝隙腐蚀，如在钛中添加少量的钯合金元素或镍和钼等合金元素，是一种十分有效的防止缝隙腐蚀的方法。含有镍和钼的Ti-Code12具有很强的耐缝隙腐蚀性能，Ti-Pd合金的耐缝隙腐蚀性能则更好。Ti-Pd与纯钛的强度相同，而Ti-Code12的强度则更高些。

点蚀是一种局部腐蚀现象。而且当设备或构件受到点蚀时，其外观似乎像是“新”的，而局部也许已发生腐蚀穿透。统计表明，只有极少量的金属受到损害。由此可见，形成一个穿孔就成为一个泄漏源。铁屑擦损表面也可能引起点蚀。可以证明，至少在中性氯化物中，介质中含有去极化离子，例如二价镍的离子，在垢层下会引起点蚀。当然，垢层不是点蚀的先决条件。一般说来，Ti-Pd和Ti-Code12等钛合金比各种非合金钛的耐点蚀性能更好。

5 关于应用钛的建议

钛在新领域中的应用，将随着研究工作的深入而得到发展。在大多数情况下，研究工作是指样机的模拟或现场试验。这是因为每一种结构的应用都有其独特的载荷范围和腐蚀环境，只要设计合理和处理恰当，钛就能提供高效能的结构。

这些专题和其他许多专题（约80%是讨论钛与能源有关的应用）本书全涉及到。本书作者都是钛方面的专家，每位专家都对钛的某种专门应用提出了独特的见解，这些见解反映出1981年当时的水平。无论何人，在选择能满足结构性能或耐蚀性能要求的材料时，都会对本书感到兴趣。

(H.W.Rosenberg)

参 考 文 献

钛 冶 金 学

- M-1 Open Literature: Acta Met., Scripta Met., and Met. Trans. are among the more useful journals.
- M-2 A.D. McQuillan and M. K. McQuillan, Titanium, Academic Press, New York, NY, 1956. Now out of print but still a useful source of information.
- M-3 The Science, Technology and Application of Titanium, R. I. Jaffee and N. E. Promisel, Eds., Pergamon Press, New York, NY, 1970. Reports the First International Conference on Titanium.
- M-4 Titanium Science and Technology, R. I. Jaffee and H. M. Burte, Eds., Plenum Press, New York, NY, 1973. Reports the Second International Conference on Titanium.
- M-5 Scientific and Technological Aspects of Titanium and Titanium Alloys, J. C. Williams and G. F. Belov, Eds., Plenum Press, New York, NY, 1980. Reports the Third International Conference on Titanium.
- M-6 Titanium '80, Science and Technology, H. Kimura and O. Izumi, Eds., AIM, 345 East 47th St., New York, NY, 1007, Reports the Fourth International Conference on Titanium.
- M-7 Titanium Alloys for Modern Technology, Sazhin et al, Eds., NASA TT P-596 Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Information, Springfield, VA. Translated from Russian.
- M-8 Physical Metallurgy of Titanium, Kornilov et al, Eds., NASA TT P-338, Clearinghouse for Federal Scientific and Technical Information, Springfield, VA. Translated from Russian.
- M-9 Metals and Ceramics Information Center, Battelle-Columbus, Ohio. Center maintains extensive library on titanium and for a fee will perform literature search on specific subject.
- M-10 Trade Brochures, available from titanium producers.

物 理 性 能

- P-1 Thermophysical Properties of Matter(The TPRC Data Series)Y.S. Touloukian, Series Editor, 1973.
- P-2 See also references E1-E4 and E6-E11.
- P-3 Trade brochures available from titanium Producers.

工程方面数据

- E-1 R. A. Wood and R. J. Favor, Editors, "Titanium Alloys Handbook", MCIC-HB-02, Metals and Ceramics Information Center, Battelle, Columbus Laboratories, 505 King Avenue, Columbus, Ohio, 43201, 1972.
- E-2 MIL-HDBK-5 Committee, "MIL-HDBK-5, "Naval Publications and Forms Center", 5801 Tabor Avenue, Philadelphia, PA, 19120.
- E-3 MIL-HDBK-697A Committee, "Naval Publications and Forms Center", 5301 Tabor Avenue, Philadelphia, PA, 19120.
- E-4 J. Wolf, Coordinating Solicitor, "Aerospace Structural Metals Handbook". AFML-TR-68-115 Mechanical Properties Data Center, Belfour Stulen, Inc., Traverse City, Michigan, 49684, 1976.
- E-5 MCIC Staff, "Damage Tolerant Design Handbook", MCIC-HB-01, Metals and Ceramics Information Center, Battelle, Columbus Laboratories, 505 King Avenue, Columbus, Ohio, 43201, 1975.
- E-6 Metals Handbook Committee, "Metals Handbook", American Society for Metals, Metals Park, Ohio, 44173.
- E-7 DMIC Staff, "Aircraft Designer's Handbook for Titanium and Titanium Alloys", AFML-TR-67-142, Defense Metals Information Center (Now MCIC), Battelle Memorial Institute, Columbus, Ohio, 43201, March, 1967.
- E-8 R. F. Muraca and J. S. Whittick, "Materials Handbook", Titanium-6Al-4V, Western Applied Research and Development, NASA Contract No. NAS6-26644, May, 1972.
- E-9 AMS (Aerospace Material Specification), Society of Automotive Engineers, 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA. Specifications cover specific alloy products.
- E-10 Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 1916 Race Street, Philadelphia, PA. Current edition. Parts 8, 9, 10, 11 and 41 are useful in various ways for testing information.
- E-11 ASME Boiler Code.
- E-12 Trade Brochures, available from titanium producers.

腐蚀数据和应用

- C-1 Open literature: Corrosion-NACE and Journal of the Electrochemical Society are important sources of information.
- C-2 NACE Corrosion Engineer's Reference Book, R. S. Treseder, Ed, NACE, 1440 South Creek Drive, Houston, TX, 77084, 1980.
- C-3 NACE Metals Section Corrosion Data Survey, compiled by N. E. Hamner, NACE, 1440 South Creek Drive, Houston, TX, 77084, 1974.
- C-4 ASTM "Special Technical Publications" as follows:
 - STP 202 "Symposium on Titanium", (1957).
 - STP 397 "Stress Corrosion Cracking of Titanium", (1965).
 - STP 432 "Applications Related Phenomena in Titanium Alloys", (1968).
 - STP 556 "Fatigue and Fracture Toughness-Cryogenic Behavior", (1973).
 - STP 651 "Toughness and Fracture Behavior of Titanium", (1978).
 - STP 684 "Corrosion and Degradation of Implant Materials", (1979).
 - STP 728 "Industrial Applications of Titanium and Zirconium", (1981).

C-5 See References M-1-M-6 and M-9.

C-6 Trade Brochures, available from titanium producers.

钛 的 制 造

F-1 See M-9 also E-1, E-6 and E-7.

F-2 Trade Brochures, available from titanium producers.

第2章 核电和火力发电用钛

发电设备，特别是其热循环温度较低的一侧，为钛提供了一个理想的使用环境。大约在1957年，Cotton和Downing在论文中最先公开提出了这个问题，他们估算了钛对海水的耐蚀性，在流动海水中，其腐蚀率为1250年1mil。他们在这篇论文中还指出，钛在海水中具有较高的耐腐蚀/冲蚀性能，在湿蒸汽中也具有较高的耐侵蚀性能，这个论述目前已得到了普遍公认。

由于钛管具有这种性能，所以很早就有人考虑将它用作电厂的表面式冷凝器管，以冷却从汽轮发电机排出的蒸汽。到了50年代末期和60年代初期，有人将钛管样品安装在采用海水冷却的冷凝器上进行工业性试验，数年后将一些管子抽出检查时，立即可以看出钛的良好适用性。大量试验表明：一旦把附着于钛上的沉积物从表面除去后，原来金属的纹痕清晰可见，测不出腐蚀量，但是这些钛管全是无缝管，它们的价格比铜合金管高得多。当焊接管进入市场后，便立即被公认适用于冷凝器。焊接钛管再一次作为试验样品，安装在除气工段和辅助设备的冷凝器上。1972年，第一台全部用钛管制造的发电设备用冷凝器终于开始投入运行。接着，这种冷凝器在核电厂和火电厂中的用量迅速增加。

钛管冷凝器最明显的优点是可靠性高，它可避免因管子泄漏而被迫降低负荷运行，甚至在更坏的情况下，它还可避免因堵管或全部换管而被迫造成的停车。最近，电力研究所的一份研究报告（NP-1467）表明：38%的电厂停产是由于冷凝器管子泄漏造成的。报告中分析其原因，认为是冲蚀/腐蚀、空气析出或汽蚀引起进口端点蚀破坏以及因氯化作用而加速腐蚀等引起的。当采用了钛后，即使水中含有大量泥沙，也可避免冷凝器进口端出现的腐蚀问题。要将钛管上的保护膜冲刷掉，水的流速必须为90ft/s，