

综述·专论

搪瓷(喷瓷)管道及其连接技术国内外研究现状

陈玉华¹, 刘颖²

(1. 南昌航空大学材料科学与工程学院, 江西 南昌 330063; 2. 南昌航空大学图书馆, 江西 南昌 330063)

[摘要] 搪瓷涂层具有优异的综合耐蚀性, 不老化, 使用寿命长, 是有机涂层的替代产品。介绍了搪瓷管道及喷瓷管道的国内外发展现状和搪瓷(喷瓷)管道的连接技术。俄罗斯率先将搪瓷技术应用于管道防腐, 大大提高了管道的耐蚀性, 但设备投资巨大、工序繁多、生产效率低, 成本相对较高。中国将热喷涂技术应用于搪瓷管道的生产诞生了喷瓷管道, 简化了工艺, 降低了成本。搪瓷(喷瓷)管道焊接时会破坏接头处瓷层, 需要补口。国内外发展了焊接接头内壁牺牲阳极保护法、用综合冶金治理代替焊后补口技术、不锈钢工艺接头连接法、瓷层自熔覆防护法等方法, 实现了搪瓷(喷瓷)管道的连接, 解决了焊接接头补口问题。

[关键词] 搪瓷管道; 喷瓷管道; 焊接; 接头防护

[中图分类号] TG174.452

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)06-0074-04

Present Status of Researching on the Enameling (Sprayed Porcelain) Pipe and Its Joining Technology

CHEN Yu-hua¹, LIU Ying²

(1. School of Materials Science and Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China;

2. Library of Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China)

[Abstract] Enameling coating has excellent corrosion-resistance, aging-resistance and long service life, and can be the succedaneum of organic coating. The present status of researching on the enameling (sprayed porcelain) pipe and its joining technology are introduced. Russia takes the lead in applying enameling technology to pipe anticorrosion. The erosion resistance of enameling pipe is enhanced but the equipment is expensive, the procedure is complex, the production coefficient is low and the cost of enameling pipe is high. China applies thermal spraying to the production of enameling pipe and creates sprayed porcelain pipe. The procedure of sprayed porcelain pipe is simpler and the cost is lower than enameling pipe. Enameling coating on the welded joint of enameling pipe and sprayed porcelain pipe can be damaged and repaired mouth is needed. The methods of sacrificial anode on inwall of welded joint, using integrated metallurgy treatment replacing internal repaired mouth after welding, using stainless steel technology joints, self-deposition of the enamel are developed to join enameling pipe (sprayed porcelain pipe) and solve the problem of repaired mouth.

[Key words] Enameling pipe; Sprayed porcelain pipe; Welding; Protect of welded joint

0 引言

管道是继铁路、公路、海运、航空之后的第五大运输方式, 承担着各种能源、热力及物料的输送任务, 并以其独特优势得到了充分的发展, 在国民经济中的地位日益重要^[1]。在管道运输中, 金属管道又以其无法替代的机械性能而被广泛采用。但金属管道置身于各种各样的环境介质之中, 存在着严重的腐蚀问题^[2], 造成了巨大的经济损失甚至灾难性的事故, 同时也限制了其更加广泛的应用^[3]。目前, 我国油田大多处于中后开采

期, 油田管道的腐蚀极为严重, 因而石油工业中因管线腐蚀破坏而造成的经济损失甚为严重。因此解决金属管道的腐蚀问题, 延长其使用寿命, 已成为国内外亟待解决的问题。目前, 世界范围内的管道防腐主要还是采用有机涂层防护技术, 有机涂层材料对金属管道的防腐起到了一定的作用, 但都存在着不同的缺陷, 不是十分理想。有机涂层最突出的问题是耐冷、耐热性差, 易老化, 使用寿命短, 这种先天不足常导致灾难性的管道事故(如泄露、火灾、爆炸及环境污染等), 后患无穷。

搪瓷是金属制品与无机材料经特殊工艺构成的金属-搪瓷-玻璃体复合材料。因而搪瓷制品不仅具有金属体的物理性能和金属制品的功能, 而且还具有瓷层的各种物理化学性能^[4]。瓷层优良的耐腐蚀性能已为大家所熟知和认识, 它可以耐各种浓度的有机酸和无机酸, 也可以耐各种碱和盐, 现在查到的国内外文献及实践证明, 除了氢氟酸外, 其它介质都可以承受。因此,

[收稿日期] 2008-07-27

[作者简介] 陈玉华(1979-), 男, 湖北武穴人, 讲师, 工学博士, 主要从事先进材料及其连接技术方面的教学和科研工作。

搪瓷的综合防腐性能是其它材料所不能比拟的,用搪瓷对钢制管道进行防腐,无疑将会使钢制管道的防腐水平得到极大提高。双面搪瓷的管道内壁光滑,所以基本上不沉积石蜡、聚合物和其它沉积物,同时保证不污染被输送的产品。此外,由于内壁瓷面光滑,摩擦因数小,所以在相等的输送动力作用下,大大地增强了管道的通过能力,降低了输送成本。

中国和古埃及在一千多年前就开始运用搪瓷技术制造景泰蓝、镶嵌宝石戒指了,搪瓷(搪玻璃)工业也有上百年的历史,有着成熟的生产工艺。但直到 20 世纪 60 年代,前苏联才率先将搪瓷技术应用于管道防腐。因而,搪瓷管道是近几十年来发展起来的新兴的无机非金属防腐涂层管道,搪瓷涂层是有机涂层的替代产品。目前,世界范围内将搪瓷涂层应用于管道防腐方面的研究方兴未艾,俄罗斯、中国、美国、德国、意大利、乌克兰、哈萨克斯坦等国家有不少学者都在从事这方面的研究,搪瓷管道在这些国家得到了不同程度的应用。

1 俄罗斯的搪瓷管道技术

俄罗斯对搪瓷管道生产技术的研究起步于 20 世纪 60 年代,到 80 年代已研制开发了可以连续生产的流水生产线。该生产线的生产过程基本延续了传统搪瓷技术,其过程为:将管道内外表面喷砂除锈;涂搪釉浆;在烘干室烘干釉浆;管道整体进入窑炉焙烧,釉浆熔融烧结而成搪瓷涂层;整体出炉冷却。其生产线简图如图 1 所示^[5]。涂搪桶、烘干桶、烧成桶、冷却桶均为在地面以下深挖的桶形构造,里面分别盛放釉浆、烘干设备、加热器等材料和设备。这种流水生产线可对直径为 110~426mm,长为 10m 以上的钢管进行单面或双面搪瓷,年产量可达 500~1 000km(与管径有关)。俄罗斯采用这种生产线生产的搪瓷管道已广泛地应用于各工业部门,诸如石油、天然气部门用于输油、输气、输送商业性成品油(汽油、煤油、航空煤油和柴油等)的管线、土壤改良工程中的输水、城市公用供水系统中的输水管道以及其它部门用于转送腐蚀性介质的管道^[6]。捷克、德国等国家均有类似的生产线,只是规模没有俄罗斯的大,应用方面也不及俄罗斯广泛。

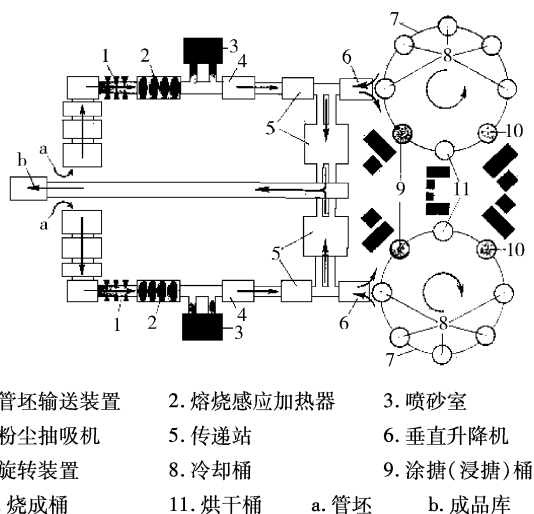


图 1 俄罗斯搪瓷管道生产线示意图

Figure 1 Production line of enameling pipe in Russia

俄罗斯的这种搪瓷管道生产技术在世界上首次将搪瓷技术应用于管道防腐,取得了重大突破,但和传统的搪烧技术类似,设备投资巨大、工序繁多、能耗太大、生产效率低,成本相对于有机涂层较高,大部分企业难以大量应用。

2 搪瓷管道新进展——喷瓷管道

针对俄罗斯搪瓷管道生产线的弱点,20 世纪 90 年代初,我国学者邵文古、王礼泉成功地将热喷涂技术应用于搪瓷管道的生产,采用氧气-石油天然气火焰将玻璃(釉)料经过高温喷枪喷熔在金属管道内外表面形成一种无机非金属复合瓷层^[7]。该瓷层是一种不老化的硅酸盐玻璃熔体,瓷层致密,其耐磨、耐腐蚀性能优异,预计使用寿命在百年以上,大大提高了管道的使用寿命。而且,瓷层耐高温、耐严寒、抗氧化、抗紫外线辐射等功能突出,在 -50~300℃ 温度范围下长期使用,瓷层无变化,为任何有机防腐涂料所莫及。由于是采用火焰喷熔的方法制备搪瓷涂层管道,因此这种管道被称为“喷瓷管道”,是古老的搪瓷技术和新兴的热喷涂技术相结合的新产品。喷瓷管道生产示意图如图 2 所示。

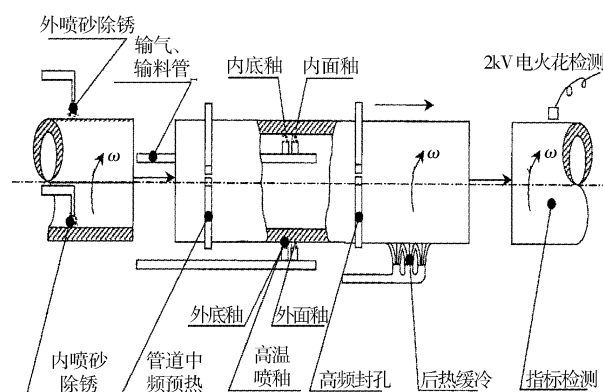


图 2 喷瓷管道生产线示意图

Figure 2 Production line of sprayed porcelain pipe

喷瓷管道技术一改传统的搪瓷焙烧工艺,而采用火焰局部加热,同时向加热面依次喷涂面釉、底釉,将涂搪釉浆、烘干及搪烧等流程合为一体,实现连续化生产,简化了传统搪瓷生产工序。其操作简单、自动化程度高、设备简单,而且管道内外壁可同时涂覆,因而生产效率高,成本较搪瓷管道大为下降,一般不超过进口环氧粉末制作的防腐管的平方米造价,用此项技术处理的管道可以代替部分不锈钢管道使用,且造价仅为不锈钢的 1/5 左右。

喷瓷管道技术可以说是传统搪瓷技术的一次革命,但和其它火焰喷涂方法一样,喷枪的喷嘴必需和管壁保持一定的喷涂距离,否则影响瓷层质量,甚至会导致火焰回火、熄灭,因而在较小管径的内喷涂时受到限制。针对这一问题,采用热熔敷法制备玻璃(搪瓷)涂层管道应运而生^[8]。热熔敷玻璃涂层是火焰热喷玻璃涂层工艺的改进,放弃了火焰的使用,改用中频感应加热装置预先将管道加热到一定温度,然后用压缩空气直接将釉料喷撒在管壁上,利用玻璃釉料遇热即熔的特点,借助管壁自身的热量和加热装置的热量使釉料熔化,在管壁上流敷、润湿、扩散、密着而形成涂层,其生产工艺流程较为简单。

3 搪瓷(喷瓷)管道焊接性

目前,在国内外管道施工领域中接口的连接主要是通过电弧焊的方法,有焊条电弧焊、埋弧焊、钨极氩弧焊(TIG)、熔化极氩弧焊(MIG)、 CO_2 气体保护焊等。搪瓷(喷瓷)管道瓷层的软化点为 700°C 左右,而且具有脆硬的特点,电弧焊焊接热源的高温作用会使焊口附近管道表面的瓷层熔化、开裂、脱落。研究搪瓷(喷瓷)管道焊接性,解决管道接口的连接与防护是推广搪瓷(喷瓷)管道应用的基础。

研究发现^[9],搪瓷(喷瓷)管道焊后接头的表面瓷层变化分3个区:焊缝区、瓷层重熔区和易脱瓷区。在焊缝区,由于打底焊接时,焊接电弧直接与管道钝边处的瓷层接触,瓷层在这里被烧损,打底焊缝金属裸露在外面,没有瓷层保护。瓷层重熔区加热温度在 $750 \sim 1450^\circ\text{C}$ 之间,经过焊接热循环作用后,瓷层得以重熔,原先瓷层中存在的应力消失,面釉层与底釉层界面消失,底釉层与基体金属进一步作用、密着,但在靠近焊缝的过热区,瓷层与基体金属界面上产生了大量气泡。易脱瓷区加热温度在 $650 \sim 750^\circ\text{C}$ 之间,瓷层未发生重熔,与金属界面产生大量微裂纹,瓷层密着性下降,易脱瓷。焊接线能量越大,瓷层热影响区宽度越大,焊接热作用对瓷层的影响越严重。

4 搪瓷(喷瓷)管道的连接技术

如前所述,焊接热的高温作用会对搪瓷(喷瓷)管道焊口附近的瓷层造成破坏,因而如何避免这种破坏,或焊后对破坏的瓷层,特别是内表面瓷层进行补口,也即对焊接接头进行防护就成为搪瓷(喷瓷)管道连接技术的关键。目前,带内涂层管道焊接接头的防护主要有焊后补口技术和无内补口技术两大类。焊后补口技术主要是采用管内自动涂料补口机在管道焊接完成后进入管道向接头区喷涂有机涂料覆盖焊缝和附近被烧损、破坏的涂层。管内自动涂料补口机近2年应用较普遍,但是也存在明显不足,如:对于中、小口径管线,特别是小口径焊口,补口小车无法进入;不能进行弯管、弯头焊接区补口。而且目前一般采用有机涂料补口,对搪瓷(喷瓷)管道来说,其耐蚀性远比瓷层差,因而接头区的寿命与整条管线的寿命不匹配。显然,采用自动涂料补口机对搪瓷(喷瓷)管线进行焊后补口是不合适的。近几年来国内外针对管道接头防护,特别是喷瓷管道接头的防护进行了大量的探索,从防护材料、防护方法等方面均作了一些改进,发展了焊后无内补口技术。

4.1 焊接接头内壁牺牲阳极防护法

该方法是制备内瓷层时,在管端预留一段采用热喷涂技术喷涂铝涂层,铝涂层作为阳极保护焊缝不被腐蚀,如图3所示。俄罗斯对这种方法进行了深入研究^[10],研究了焊接热循环对铝涂层的影响、铝对焊缝性能的影响以及铝涂层的防护效果。研究结果指出,铝涂层的宽度足够大(超出焊缝裸露部分宽度的10倍)时才能起到很好的防护效果;为了避免Al向 Al_2O_3 转化和Al对焊缝性能的影响,在管道端面留出 $2 \sim 3\text{mm}$ 空间不喷铝。

4.2 用综合冶金治理代替焊后补口技术

综合冶金治理法是在管端内壁预先喷焊一层耐蚀金属材料,

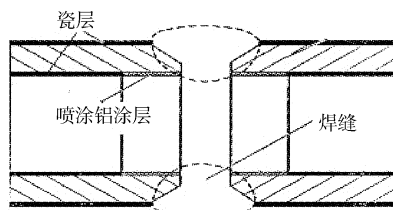


图3 焊接接头内壁牺牲阳极防护法示意图

Figure 3 Protection method with sacrificial anode on inwall of welded joint
料,两边宽度 $5 \sim 7\text{cm}$,再进行管道搪瓷(喷瓷),然后用与之匹配的耐蚀焊条完成管接头打底焊缝^[11]。这样,管接头内表面就由耐蚀喷焊层和与之匹配的耐蚀打底焊缝组成一层可靠、稳定的内防腐层,现场管子焊后无须再进行内防腐(如图4所示)。用此项技术施工,工艺简单可靠,施工时可按照原石油管道焊接施工工艺标准进行。

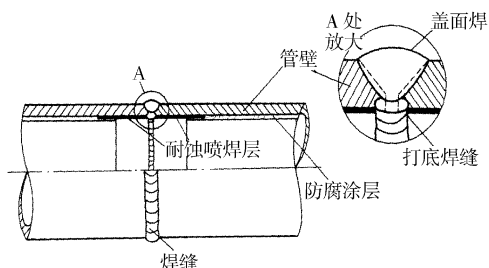


图4 用综合冶金治理代替焊后补口技术示意图^[11]

Figure 4 Technology of using integrated metallurgy treatment replacing internal repaired mouth after welding

通过现场实际应用,证明以上材料及工艺进行管端处理及打底焊后,所获得的焊接接头在焊后无内补口的条件下,仍具有良好的耐蚀性,可比普通焊接接头的耐蚀性提高8.54倍(按失重法测定)。

4.3 不锈钢工艺接头连接法

该方法是用一段与基管口径相同的不锈钢环和基管焊接在一起,如图5所示,然后进行搪瓷(喷瓷)处理,焊接时不锈钢焊条将不锈钢环焊在一起。这一方法的优点是有效地解决了接头的耐腐蚀问题,即使不锈钢环焊口处出现崩瓷也不会影响整体管道的耐蚀性及使用寿命。整条管线相当于不锈钢管线,但造价远低于不锈钢管线。俄罗斯很多埋地搪瓷管线均采用这种连接方法。但这种方法也存在着明显的不足:焊完不锈钢环再搪瓷,焊缝处需进行清理,对小直径管来说难度较大;由于焊接残余应力的影响,焊缝附近还会出现掉瓷开裂的现象。另外,由于使用了不锈钢套环,且工艺工序增加,其成本相对一些常规防腐方法大幅度提高。

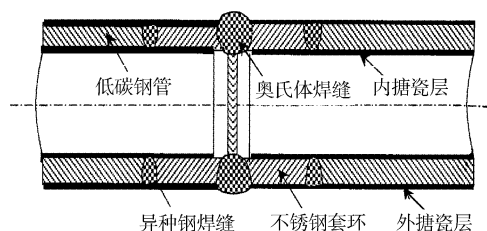


图5 不锈钢工艺接头连接法示意图

Figure 5 Joining method by using stainless steel technology joints

4.4 瓷层自熔覆防护法

由于瓷层是耐高温的无机材料,其软化温度为 700 ~ 800℃,如果采用合适的焊接工艺,瓷层非但不会像有机涂层那样被焊接电弧烧损,反而会在焊接热作用下软化并向焊缝流动、覆盖焊缝,焊接完成后在接头区形成覆盖层,焊后不用补口。瓷层在焊接热作用下软化,向焊缝流动,在整个接头区形成完整无缺陷的防护层的性能称为瓷层的自熔覆性能。利用瓷层的自熔覆性能可达到焊后无内补口的目的,而且接头区与管道内壁均为瓷层防护,其寿命相当,提高了整条管线的使用寿命。为了增加焊缝区瓷层的厚度,在焊前可在管端内壁预先粘上一些釉料,焊接时这些釉料熔化,向焊缝区流布,焊接完成后形成瓷层并与管道内壁瓷层成为一体。整个焊口焊接完成后还可利用环形管口加热器从管道外壁对接头区进行加热,使瓷层重熔、进一步流布,消除焊接时瓷层产生的一些缺陷,提高瓷层质量。笔者在实验室内利用瓷层的自熔覆性能,通过焊前管端添加釉料,焊后重熔处理等方法对搪瓷管道的焊接接头进行了防护,焊后不用补口,获得了性能优良、保护效果良好的接头^[12]。该技术是传统补口技术的一次创新,尤其适合无机防护涂层管道和一些小口径、无法进行焊后内补口的管道。不过虽在实验室取得了很好的效果,但要在现场大规模应用还需要进一步完善。

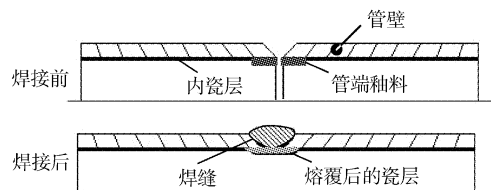


图 6 瓷层自熔覆防护法示意图
Figure 6 Protection method by self-deposition of the enamel

5 结 语

搪瓷涂层具有优异的耐蚀性,其耐冷、耐热性能好,永不老化,寿命长,是有机涂层的替代产品。将传统搪瓷生产技术应用用于管道防腐产生了搪瓷管道。搪瓷管道还具有瓷面光滑,摩擦因数小,增强了管道的通过能力,降低了输送成本,不沉积石蜡、聚合物和其它沉积物等优点。随着表面改性和热喷涂技术的发展,

热喷涂技术和搪瓷管道生产相结合诞生了喷瓷管道技术。喷瓷管道技术将涂搪釉浆、烘干及搪烧等流程合为一体,实现连续化生产,简化了传统搪瓷生产工序。其操作简单、自动化程度高,设备简单,而且管道内外壁可同时涂覆,因而生产效率高,成本较搪瓷管道大为下降。可以预见,喷瓷管道将会替代有机涂层管道,广泛应用于石油化工、能源、化学等工业。

与有机涂层管道类似,搪瓷(喷瓷)管道焊接时会破坏接头处瓷层,国内外发展了焊接接头内壁牺牲阳极防护法、用综合冶金治理代替焊后补口技术、不锈钢工艺接头连接法、瓷层自熔覆防护法等方法实现搪瓷(喷瓷)管道的连接,解决焊接接头补口问题。

[参 考 文 献]

- [1] 王志昌. 输气管道工程[M]. 北京:石油工业出版社,1997.1-5
- [2] 陈洪玉,刘兴,教立新. 埋地煤气管道局部腐蚀原因分析[J]. 表面技术,2006,35(4):80-81
- [3] 张晔,孟立新. 金属热喷涂防腐技术在管道运输业应用展望[J]. 表面技术,2000,29(6):23-25
- [4] Bouchet J. SEM, EDS and waxd microstructural characterizing of a new enamel used as a protecture and thermal barrier[J]. Sci. Technol, 2001, 15 (3): 345-369
- [5] 吴国华. 俄罗斯的搪瓷管道生产技术概况[J]. 中国搪瓷,1996,17(6):20-25
- [6] Кирсанов В М, Кармазин В Я, Лвриненко Л Н. Эмалирование внутреннеповерхности труб[J]. Met. Oct., 1996, (10): 17-18
- [7] 邵文古,王礼泉. 金属-玻璃(釉)热喷复合防腐管道[P]. 中国专利:CN1051075A, 1991-05-01.
- [8] 陈玉华,王勇,韩涛. 玻璃涂层管道的生产及性能研究[J]. 石油工程建设,2003,29(1):25-27
- [9] 王勇. 喷瓷管道及其焊接性能试验[J]. 石油工程建设,1997,23(5):12-14
- [10] Гаочао Л И, Стеклов О И, Сюй Шпро, et al. Технология протекторной защиты сварных соединений эмалированных трубопроводов[J]. Защита Металлов, 1999, 35(3):250-254
- [11] 王勇,吴开源. 管道焊后无内补口焊接新技术[J]. 新技术新工艺,1999,(5):26-27
- [12] 陈玉华,王勇,韩涛,等. 喷瓷管道焊接接头的自熔覆防护[J]. 焊接学报,2005,26(2):49-51

3) 通过单因素试验验证了最优回归方程,建立了微秒级高频窄脉冲电流电化学抛光的数学模型,为今后铝合金电化学抛光技术的研究和推广提供了参考借鉴。

[参 考 文 献]

- [1] 陈祖秋,方炳福,胡肆福,等. 铝制品无铬酸电化学抛光技术[J]. 表面技术,2002,31(4):48-50
- [2] 焦树强,周海晖,陈金华,等. 铝及铝合金的表面抛光[J]. 电镀与涂饰,2001,20(6):32-35
- [3] 安军,周锦进. 脉冲电化学光整加工的机理及影响因素[J]. 中国机械工程,2002,13(14):1189-1192
- [4] 周锦进,翟小兵,庞桂兵,等. 脉冲电化学光整加工表面微观形貌的研究[J]. 农业机械学报,2004,35(3):150-153

(上接第 65 页)

5 结 论

1) 采用正交试验的方法可以用较少的试验次数得到比较全面的试验数据,采用极差分析可以对抛光的工艺规律作定性的分析:各因素对表面粗糙度 R_a 的影响由主到次顺序为 $t_p \rightarrow U \rightarrow \delta \rightarrow t \rightarrow t_p/t_s$; 较优的抛光参数为:脉宽 50 μs 、脉冲占空比 1:2、电压 18V、时间 120s、间隙 1mm。

2) 根据正交试验的试验数据,采用逐步回归分析的方法,可以得到表面粗糙度 R_a 的最优回归方程(置信度 $\alpha = 0.25$)。根据最优回归方程,可以对各自变量参数与 R_a 值的关系作定量分析。