

冶金动力职业技能培训系列教材

气体吸附制取操作指南



河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂 编
李 耀 张 卫 主编

QITI XIFU ZHIQU CAOZUO ZHINAN



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

冶金动力职业技能培训系列教材

气体吸附制取操作指南

河北钢铁股份

有限公司邯郸分公司动力厂 编

主 编 李 耀 张 卫

参 编 陈金英 贾红军

王亚生 朱海琴

杨晓亮



机械工业出版社

本书分两篇,共十一章。第一篇为变压吸附制氧操作与维护,包括第一章至第八章。第二篇为焦炉煤气变压吸附制氢操作与维护,包括第九章至第十一章。附录给出了供读者加深理解的复习题及参考答案。

本书总结了变压吸附制氧、焦炉煤气变压吸附制氢多年的生产经验,从设备的操作、维护、安全生产、故障判断及处理等多个方面,系统性地进行了归纳和整理。适用于相关岗位操作、维护人员及技术人员的学习培训和技术指导,对其他吸附法制取气体设备的操作和维护也具有参考和借鉴作用。

图书在版编目(CIP)数据

气体吸附制取操作指南/李耀,张卫主编;河北钢铁股份有限公司邯郸分公司动力厂编. —北京:机械工业出版社,2011.4

冶金动力职业技能培训系列教材

ISBN 978-7-111-33610-5

I. ①气… II. ①李… ②张… ③河… III. ①焦炉煤气—
气体—吸附—技术培训—教材 IV. ①TQ542.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 033567 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:吕德齐 责任编辑:吕德齐 郑 铨

版式设计:张世琴 责任校对:樊钟英

封面设计:陈 沛 责任印制:乔 宇

三河市国英印务有限公司印刷

2011 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

140mm×203mm·4.75 印张·123 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-33610-5

定价:22.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

策划编辑:(010) 88379772

社服务中心:(010) 88361066

网络服务

销售一部:(010) 68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

丛 书 序

河北钢铁集团邯郸分公司（原邯钢）始建于1958年，邯钢动力厂长期从事氧气、氮气、氩气、氢气和压缩空气的生产输送工作，以及高炉煤气余压发电，220kV、110kV、35kV输变电、继电保护试验，电机、变压器的修理试验等工作。长期的工作实践，使邯钢动力厂积累了雄厚的技术力量和丰富的实践经验。

近年来，伴随着邯钢的产业结构调整、生产规模扩大、装备更新换代，动力厂以实现企业的可持续发展为目标，一手抓装备的更新改造，一手抓员工素质的提高。2002年以来，动力厂始终把员工职业技能的培训和提高作为本单位最重要的工作之一，常抓不懈。本套培训教材就是动力厂70多位工程技术人员和老技师自己编写的，并在动力厂作为长期使用的操作岗位员工职业技能培训专用教材。

本套教材以操作岗位员工为对象，以提高员工的操作技能、安全生产能力和应急处理能力为重点。全套书共有10册，分别是《气体压缩机运行与维护》、《气体深冷分离操作指南》、《气体吸附制取操作指南》、《制氧站辅助系统运行与维护》、《气体生产系统安全》、《余压发电站运行与维护》、《变电站运行与维护》、《常用电气设备的维修》、《实用电气试验技术》、《电气运行维检安全》。

衷心希望本套培训教材能够给同行们提供一定的帮助和借鉴，共同为冶金动力事业做出贡献。

张卫

前 言

吸附法制取气体的方法和种类有多种，国内工业气体行业大量运用吸附法制取氢气、氧气、氮气等多种气体。吸附法产品气体最高纯度可以达到99.9999%。虽然国内广大用户都有一些各自的操作规程或操作要求，但目前国内工业气体行业还没有这方面的专业书籍。为了满足广大用户的需求，我们总结了变压吸附制氧、焦炉煤气变压吸附制氢多年的生产实践经验，编写了本书。

本书以设备操作、维护和故障判断处理为重点，对广大用户有很强的实用性和可操作性。本书还从安全生产的角度，总结了设备建设和生产中的安全注意事项，并列举了一些安全事故案例，对广大用户可以起到启发和借鉴作用。书中针对变压吸附制氧、焦炉煤气变压吸附制氢专业特点编写了一些试题，可以用于操作岗位及相关技术人员的专业培训和实际应用能力考试。

本书由经常深入现场的工程技术人员和岗位班组长共同编写。主编李耀、张卫，参加编写人员有：张彩丽、刘石麟、陈金英、王利霞、宁成方、王亚生、贾红军、任书进、雷文兵、杨晓亮、朱海琴。全书由张彩丽负责统稿。

本书编写过程中，总结了变压吸附制氧、焦炉煤气变压吸附制氢多年的生产经验，并参考了大量国内外相关资料和书籍，谨对所参阅文献作者致以崇高的敬意。本书在编写时还得到了单位各级领导和业内多位专家的指导和帮助，在此，一并致以衷心的感谢。

由于作者写作水平有限，书中内容难免会有不当之处，恳请广大读者和业界同仁批评指正。

编者

目 录

丛书序

前言

第一篇 变压吸附制氧操作与维护

第一章 变压吸附制氧概述.....	1
第二章 真空变压吸附制氧原理与流程.....	3
第一节 真空变压吸附制氧原理.....	3
第二节 真空变压吸附制氧工艺流程.....	8
第三节 真空变压吸附制氧循环步骤	11
第三章 真空变压吸附制氧的主要设备	18
第一节 风机机组	18
第二节 工艺阀	34
第四章 真空变压吸附制氧控制系统	37
第五章 真空变压吸附制氧装置的操作	41
第一节 VPSA 制氧装置的启动	41
第二节 VPSA 制氧装置的工艺调整	44
第三节 VPSA 制氧装置的停车	50
第六章 真空变压吸附制氧装置的维护	52
第七章 真空变压吸附制氧装置常见的故障与处理	55
第八章 变压吸附制氧的安全防护	60
第一节 危险因素	60
第二节 VPSA 制氧装置的安全生产	62

第二篇 焦炉煤气变压吸附制氢操作与维护

第九章 焦炉煤气变压吸附制氢装置	66
第一节 概述	66
第二节 变压吸附制氢工艺原理	70
第三节 变压吸附制氢工艺流程	71
第四节 变压吸附制氢主要技术参数	73
第五节 变压吸附制氢操作与维护规程	75
第六节 变压吸附制氢装置仪控系统的操作与维护	78
第七节 变压吸附制氢装置液压系统的操作与维护	85
第八节 配套煤气压缩机的操作与维护	87
第九节 变压吸附制氢故障的判断与处理方法	94
第十章 氮气净化装置	102
第一节 氮气净化工艺流程	102
第二节 氮气净化主要技术参数	103
第三节 氮气净化装置的操作与维护	104
第十一章 焦炉煤气变压吸附制氢操作安全知识及氢气 事故案例	106
第一节 吸附制氢操作安全知识	106
第二节 变压吸附制氢装置建设与运行中的安全注意 事项	112
第三节 氢气事故案例	114
附录 复习题及参考答案	121
附录 A 变压吸附制氧综合复习题及参考答案	121
附录 B 变压吸附制氧仪表控制复习题及参考答案	125
附录 C 变压吸附制氢综合复习题及参考答案	129
附录 D 变压吸附制氢仪表复习题及参考答案	135
参考文献	141

第一篇 变压吸附制氧操作与维护

第一章 变压吸附制氧概述

变压吸附 (Pressure Swing Adsorption, 简称 PSA) 是一种先进的气体分离技术, 使用分子筛进行加压吸附、减压脱附的循环操作过程。

变压吸附制氧机利用变压吸附技术, 采用专用吸附剂, 在常温下将空气中的氧气富集出来。在 20 世纪 70 年代中期, 美国和德国首先将 PSA 技术应用于空气分离, 并在化工领域得到应用。到 20 世纪 80 年代中期, 化学工业的发展为分子筛的性能提高起到了关键作用, 使设备小型化成为可能。1985 年美国 Praxair 公司研制的第一台小型制氧机问世, 标志着 PSA 技术小型化的开始。20 世纪 90 年代初, 产品意义上的医用小型制氧机开始出现。

根据吸附和解吸压力的不同, 通常可将常温变压吸附分离制氧工艺分成三种不同的工艺方式。

(1) 常压解吸变压吸附制氧 (PSA - O₂) 与空气变压吸附分离制氮流程相似, 一定压力 (0.3 ~ 0.55MPa) 的压缩空气经空气预处理系统除去油、尘及大部分的气态水分后, 洁净空气进入 PSA - O₂ 系统吸附塔, 洁净空气中大部分的氮气、二氧化碳、残余水分被吸附, 氧气则被分离出来。当吸附塔内被吸附的杂质组分达到设定控制值时, 通过常压脱附解吸, 使该吸附塔的制氧吸附剂再生。由两塔组成的吸附分离系统在 PLC 可编程序逻辑

2 气体吸附制取操作指南

控制器系统的控制下，通过程序控制阀门的开闭来循环切换完成连续制氧。该制氧流程通常称为变压吸附常压解吸制氧流程（PSA - O₂）。

（2）真空解吸变压吸附制氧（VPSA - O₂） 经鼓风机鼓风输送低压的原料空气（25 ~ 39kPa），净化除去粉尘后进入 VPSA - O₂ 系统吸附塔。吸附塔为两塔或三塔体系。吸附塔产品气为氧气。空气中的氮气、二氧化碳、水蒸气被吸附达到设定控制值后，由于吸附压力较低，先通过常压解吸，再经过真空泵抽真空达到一定真空度，使吸附塔内吸附剂杂质彻底脱附再生。由两塔或三塔组成的吸附分离制氧系统，在 PLC 或 DCS（数据控制系统）的控制下，程序控制阀循环切换完成连续制氧。该流程通常称真空解吸变压吸附制氧流程（VPSA - O₂）。

（3）真空解吸制氧（VSA - O₂） 鼓风机鼓风输送低压的原料空气（15 ~ 19kPa），净化除去粉尘后进入 VSA - O₂ 系统吸附塔。吸附塔为两塔或三塔体系。吸附塔产品气为氧气。空气中的氮气、二氧化碳、水蒸气被吸附达到设定控制值后，由于吸附压力较低，先经常压解吸，再经真空泵抽真空达到一定真空度进行真空解吸，彻底脱附再生吸附塔内分子筛杂质。由两塔或三塔组成的吸附分离制氧系统、在 PLC 或 DCS 系统的控制下，程序控制阀循环切换完成连续制氧。该流程通常称真空解吸制氧流程（VSA - O₂）。真空解吸制氧的设备规模更大，经济性更强。

第二章 真空变压吸附制氧原理与流程

本章开始将以 $4000\text{m}^3/\text{h}$ VPSA 制氧装置为例，详细介绍两床真空变压吸附制氧的流程原理与工作步骤。

第一节 真空变压吸附制氧原理

一、工业吸附分离流程的确定

在实际工业应用中，吸附分离一般分为变压吸附和变温吸附两大类。从吸附剂的吸附等温线可以看出，吸附剂在高压下对杂质的吸附容量大，在低压下吸附容量小。同时从吸附剂的吸附等压线也可以看到，在同一压力下吸附剂在低温下吸附容量大，在高温下吸附容量小。利用吸附剂的前一性质进行的吸附分离称为变压吸附（PSA），利用吸附剂的后一性质进行的吸附分离称为变温吸附（TSA）。

在实际工业应用中，一般依据气源的组成、压力及产品要求的不同来选择 TSA、PSA 或 TSA + PSA 工艺。

变温吸附工艺由于需要升温，因而循环周期长、投资较大，但再生彻底，通常用于微量杂质或难解吸杂质的净化；变压吸附工艺的循环周期短，吸附剂利用率高，吸附剂用量相对较少，不需要外加换热设备，被广泛用于大气量、多组分气体的分离与纯化。

在工业变压吸附（PSA）工艺中，吸附剂通常都是在常温和较高压力下，将混合气体中的易吸附组分吸附，不易吸附的组分从床层的一端流出，然后降低吸附剂床层的压力至常压状态，使被吸附的组分脱附出来，从床层的另一端排出，从而实现了气体的分离与净化，同时也使吸附剂得到了再生。

但在通常的 PSA 工艺中，吸附床层压力即使降至常压，被

吸附的杂质也不能完全解吸，这时可采用两种方法使吸附剂完全再生：一种是用产品气对床层进行“冲洗”，将较难解吸的杂质冲洗下来，其优点是常压下即可完成，但缺点是会损失部分产品气；另一种是利用抽真空的办法进行再生，使较难解吸的杂质在负压下强行解吸下来，这就是通常所说的真空变压吸附（Vacuum Pressure Swing Adsorption，缩写为VPSA或VSA）。VPSA工艺的优点是再生效果好，产品收率高，但缺点是需要增加真空泵。在实际应用过程中，究竟采用以上何种工艺，主要视原料气的组成条件、流量、产品要求以及工厂的资金和场地等情况而决定。

二、吸附制氧工艺流程

吸附制氧目前普遍采用PSA工艺，利用空气中的氮和氧在沸石分子筛上在不同压力下的吸附性能差异进行选择性的吸附，吸附氮气及其他杂质，产出氧气。

三、变压吸附制氧吸附剂的选择

吸附剂对各气体组分的吸附性能，是通过实验测定静态下的等温吸附曲线和动态下的流出曲线来评价的。吸附剂的良好吸附性能是吸附分离过程的基本条件。

在变压吸附过程中吸附剂的选择还要考虑解决吸附和解吸之间的矛盾。例如对于苯、甲苯等强吸附质就要用对其吸附能力较弱的吸附剂如硅胶，以使吸附容量适当，又有利于解吸操作。而对于弱吸附质如甲烷、氮、一氧化碳等，就需要选用对其吸附能力较强的吸附剂如分子筛等，以期吸附容量大些。选择吸附剂的另一要点是组分间的分离系数应尽可能大。

某种组分吸附平衡时，在吸附床内的总量有两部分：一部分是在死空间中；另一部分被吸附剂所吸附。其总和叫做某组分在吸附床内的存留量。弱吸附组分和强吸附组分各自在死空间中含有的量占吸附床内存留量的比值之比称为分离系数。分离系数越大分离越容易。在变压吸附中被分离的两种组分的分离系数不宜小于2。

另外，在吸附床运行过程中，因床内压力周期地变化，气体

短时间内进入、排出，吸附剂应有足够的强度，以减少破碎和磨损。被分离的气体如果含有像有机润滑油、煤焦油之类的物质，在吸附过程中，这些油性物质会粘附在吸附颗粒的外表面，堵塞吸附剂内的通道，使吸附剂失去吸附能力。粘附有油类物质的任何吸附剂，不管采用升温还是降压抽空的再生方法，都是不能再生的。因此对气体中的含油量必须严格限制，有的场合就需增设除油设施，以免吸附剂在使用中失效。吸附剂是 PSA 制氧设备的核心部分。

PSA 制氧设备选择的是 5A 分子筛或自行研制的吸附剂，它吸附空气中的氮气、二氧化碳、水分等，而氧气不能被吸附，最终得到高纯度的氧气。

四、吸附剂的再生方法

在加压下进行吸附，减压下进行解吸。由于循环周期短，吸附热来不及散失，可供解吸之用，所以吸附热和解吸热引起的吸附床温度变化一般不大，波动范围仅在几度，可近似看做是等温过程。

常用减压吸附方法有以下几种。其目的都是为了降低吸附剂上被吸附组分的分压，使吸附剂得到再生。

1) 降压：吸附床在较高压力下吸附，然后降到较低压力，通常接近大气压，这时一部分吸附组分解吸出来。这个方法操作简单，但是单吸附组分的解吸不充分，吸附剂再生程度不高。

2) 抽真空：吸附床降压到大气压以后，为了进一步减少吸附组分的分压，可用抽真空的方法来降低吸附床压力，以得到更好的再生效果，但此法增加了动力消耗。

3) 冲洗：利用弱吸附组分或者其他适当的气体通过需再生的吸附床，被吸附组分的分压随冲洗气通过而下降。吸附剂的再生程度取决于冲洗气的用量和纯度。

4) 置换：用一种吸附能力较强的气体把原先被吸附的组分从吸附剂上置换出来。这种方法常用于产品组分的吸附能力较强而杂质组分的较弱，可从吸附相获得产品的场合。

在变压吸附过程中采用哪种再生方法，是根据被分离的气体混合各组分性质、产品要求、吸附剂的特性以及操作条件来选择的，通常由几种再生方法配合实施。

应当注意的是，无论采用何种方法再生，再生结束时，吸附床内吸附质的残余量不会等于零，也就是说，床内吸附剂不可能彻底再生。

五、装置的主要技术参数

纯氧气生产能力	4000m ³ /h
产品温度	≤35℃
产品压力	≥20kPa
产品纯度	90%
单位电耗	0.33kW·h/m ³ 氧气

六、4000m³/hVPSA 制氧的主要设备

1. 入口空气过滤器

入口空气过滤器由内、外两层过滤网组成，用于除去空气中的机械杂质。设置的压差计用于显示过滤器是否该进行维护。

2. Dresser - Roots 离心式原料空气风机和真空风机

本套装置采用的原料风机为 2057 - RAS - JV 型罗茨风机，其作用是向吸附床送气。设计流量为 50000m³/h；而真空风机是 2070VJ - V 型罗茨风机，为吸附剂的再生和废气的排出提供真空，设计流量为 65500m³/h。两台风机共同由一功率为 2235kW 的西门子电动机驱动。在真空风机内还设置了密封水系统，起密封、润滑和冷却的作用。

3. 密封水系统

密封水是从设备架送到每级真空风机入口管线的。其压力通过压力调节阀来控制。真空风机运行时，打开截止阀供应密封水，停机时关闭阀。进水阀打开时，排水阀关闭。进水阀关闭时，排水阀打开，为进水阀泄压，并确定没有水送到真空风机。每级的密封水流量由流量调节阀控制。任一级水流量低于流量开关的设定值时都会引起停车。

正常运行时，密封水被废氮气带到真空分离消声器排放。当真空风机停车时，剩余的水分从排放管线回到设备架排放。真空风机运行时，排水阀关闭，风机停车时排水阀打开。

4. 双吸附床

双吸附床内装 13X 和 N-2 两种分子筛吸附剂。13X 和 N-2 分子筛分别用于吸附空气中的水分、二氧化碳、碳氢化合物和氮气。两种吸附剂在床内呈径向分布，减少了轴向气流对分子筛的冲击。分子筛顶部用胶膜密封压紧，防止分子筛上下运动，同时引入压力约 15PSIA (1PSIA = 6.89476kPa) 的保护氧气到保护层。底部用一块钢板将空气挡住使其上升，而后从侧面均匀进入分子筛，钢丝网用于防止分子筛的径向窜动。

5. Neles - Jamesbury (耐莱斯 - 詹姆斯伯雷) 自动切换阀，具有无故障切断 1 500 000 次以上的显著优点。

6. 仪表压缩机系统

VPSA 系统采用英格索兰仪表压缩机及配套干燥器提供仪表气。每套机组的功率为 37kW，可为系统提供 $3.8\text{m}^3/\text{min}$ 的气量。表控制气源系统可以采用工厂的空气管网。

7. Allen - Bradley 可编程序控制 (PLC) 系统

成套的 VPSA 系统装备有 Allen - Bradley SLC - 500 和 DMACS 操作程序，通过 DMACS 操作平台软件可以进入 Allen - Bradley 控制系统的操作界面 (OIU)。该计算机系统在 PC 死机的情况下，也不影响设备运行；而且在通信完善的条件下，可以在全世界任何地方用远程方式与电脑连接进行控制，基本实现无人操作。

8. 风机的辅助设备

风机的辅助设备包括进、出口消声器、真空分离消声器和废气排放消声器。其中分离消声器是用来分离真空风机出口的废气和密封水。废气直接排至大气。密封水则排至集水井内，起氮封的作用。

9. ZW - 86/8 型氧气压缩机系统

根据 VPSA 的产氧量, 选用了立式、二级三列的活塞式压缩机。每台氧气压缩机的排气量为 $5000\text{m}^3/\text{h}$, 额定出口压力是 0.8MPa 。

七、装置的特点

1. 优点

本套变压吸附制氧工艺, 与传统的深冷空气分离法制取氧气相比, 有以下优点:

- 1) VPSA 制氧起动快 (在半小时左右)。
- 2) 建设工期短、投资省, 约为同等产量低温制氧机投资的 75% 左右。
- 3) 占地少。单套 VPSA 净占地约 300m^2 。
- 4) 能耗低。每立方米氧气电耗仅 $0.33\text{kW}\cdot\text{h}$ 。
- 5) 适应负荷变化能力强, 可在 $0\sim 100\%$ 负荷范围内调节。
- 6) 可实现暂停。在用户用氧量减少或短时间内不用氧的情况下可实现暂停, 使设备在节能状态下运行, 大大降低了能耗和电网的波动以及开、停车对设备的损坏。
- 7) 自动化程度高, 氧气生产可基本实现自动化。
- 8) 操作人员少, 比深冷法制氧岗位人员少 50%。

2. 缺点

但本工艺与深冷法制氧相比, 也不可避免地存在其缺点:

- 1) 产品单一, 只能生产氧气, 且氧产品纯度相对较低。
- 2) 由于阀的频繁切换, 维护周期短。
- 3) 设备运行及切换的噪声大。

第二节 真空变压吸附制氧工艺流程

一、空气压缩

1. 过滤

空气进入原料风机之前, 要经过原料空气过滤器。它为两级过滤器, 用于除去空气中的机械杂质。

2. 原料风机

过滤后的空气经入口消声器后进入原料风机。风机将压力达到 63kPa（表压）的空气送往 VPSA 吸附床。

3. 放空和冷却

如果原料风机出口压力超出了设定值，空气将放空，以卸掉多余的压力。同时吸附床不用气的情况下空气也放空。根据需要，可以在 VPSA 吸附床之前设置末端冷却器来冷却原料风机出口空气。

二、抽真空

两个吸附床交替地通过抽真空和氧气冲洗来解析吸附剂中的废气和水蒸气。

1. 真空风机

一台回转式鼓风机提供约 56kPa 的真空度用于解析吸附床。对于一些真空风机，每级入口都设置了密封水以提高风机的效率，并提供冷源。水蒸气和废气通过真空风机排入分离消声器。

2. 废气分离和放空

废气流和水蒸气通过真空风机排入分离消声器。废气从消声器顶部放空；水从底部排走。

三、VPSA 工艺

两床真空变压吸附工艺运用两个工艺床交替地从空气中分离氧气。

1. 氧气分离

当空气通过一个再生吸附床时，通过增压，吸附床从空气中选择性地吸附氮气、水、二氧化碳、碳氢化合物分子而让氧分子通过。在约 56kPa 时吸附最有效。当分子筛内充满被吸附的分子时开始再生。再生是通过停止供气，压力降低到约 56kPa（真空）时进行解析，排出废气。两床交替工作，一个产气、另一个再生。

由于吸附床循环氧气是成批生产的，所以产品氧储存在一个缓冲罐中，压力约为 14 ~ 49kPa。缓冲按照压力要求提供持续稳

定的氧气。

2. 流量平衡

当系统在设计条件下工作时，氧产品和废气的流量平衡状况见表 2-1。

表 2-1 流量平衡状况

项 目		进气	产品气	废气
体积流量 (约)		100%	14%	86%
温度/ $^{\circ}\text{T}$		70	95	95
组成 (%)	$x(\text{O}_2)$	21	90	10.8
	$x(\text{N}_2)$	78	6	88.5
	$x(\text{Ar})$	1	4	0.6
	$x(\text{H}_2\text{O})/10^{-4}$	饱和	1	饱和
	$x(\text{CO}_2)/10^{-4}$	360	0.1	410

四、产品输送

如果产品输送管道压力低于产品缓冲罐压力，控制阀可以稳定地输送氧气；如果管道压力高于产品缓冲罐的压力，缓冲出口氧气必须经过压缩机加压后才可以输送。为了保证用户稳定地用气，可以设置后备氧气源（如氧气罐）。

1. 压缩

用往复式或离心式压缩机提高产品氧的压力，满足用户的要求。

2. 冷却和流量控制

压缩机可以设置后置冷却器来冷却送往用户的氧气。如果用户用量小于压缩机的出力，氧气可自动回流到氧气压缩机入口，减少送氧量，必要时通过放空排掉多余的氧气。