



# 高寒高海拔地区制氧供氧技术与应用 案例

中国恩菲工程技术有限公司

汇报人：王振华

2025年12月

## 目录 TABLE OF CONTENTS

- 01/高海拔矿山现状与缺氧危害
- 02/缺氧生理机理及人体代偿
- 03/供氧政策依据及技术路径
- 04/主流制氧工艺简介及选择
- 05/制氧机组类型及适配场景
- 06/矿区供氧方式及应用实践
- 07/高海拔矿山弥散供氧设计
- 08/现存问题及总结



# 一、高海拔矿山现状与缺氧危害

## 1.1 高寒高海拔矿山现状及发展

- “十四五”以来，我国在青藏高原及周边**高海拔区域**的**矿产资源勘探**取得**突破性进展**。
- 以有色金属为例：在青藏高原形成了4个千万吨级铜矿资源基地，预测铜矿资源潜力达1.5亿吨；发现长达2800千米的西昆仑－松潘－甘孜区域世界级锂成矿带，该成矿带横跨四川、青海、西藏、新疆四个省区，累计探明650余万吨，资源潜力超3000万吨。这些进展凸显了高海拔地区在国家战略矿产保障中的地位。
- 目前，在产高海拔矿山有：西藏玉龙铜矿、新疆大红柳滩锂矿、新疆火烧云铅锌矿、云南普朗铜矿、青海夏日哈木镍钴矿等。同时，还有一些高海拔矿产处于**待开发阶段**。
- 未来高海拔矿山将呈现“**数量增加、规模扩大**”的趋势，将逐步成为我国战略性矿产资源开发的重要增长极。

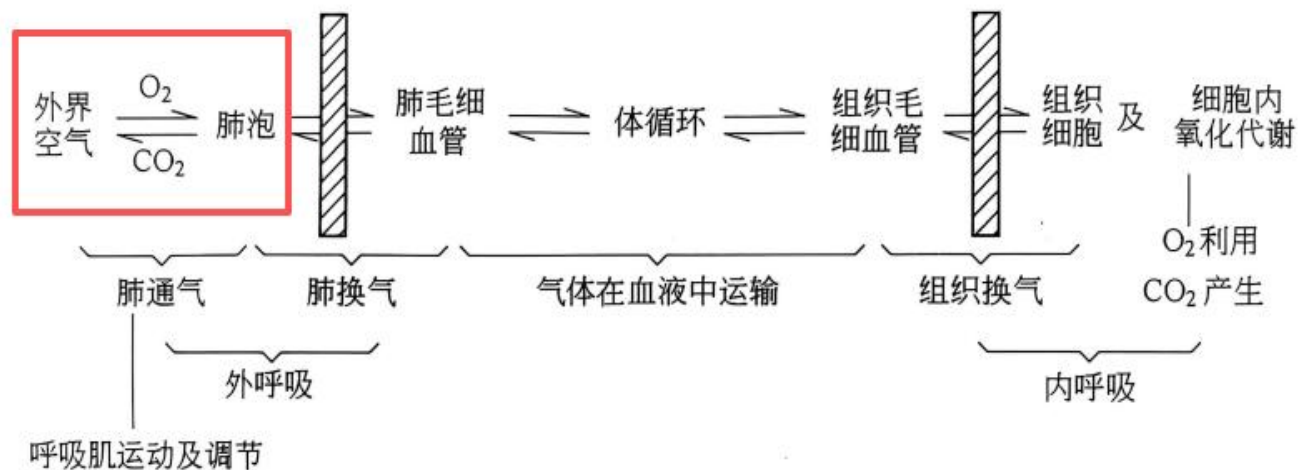
## 1.2 高原缺氧环境对人体机能的影响

- **缺氧**：指人体组织器官因**氧气供应不足**或利用障碍，导致**机能、代谢及形态结构**发生异常改变的**病理**状态。
- **工作效率影响**：据相关文献，与平原地区相比，海拔 3000 米处人体劳动能力下降 29.2%，海拔升高至 4000 米时，劳动能力下降 39.7%。
- **急进高原人员健康风险**：据相关文献，未适应高原环境的急进人员，极易引发**急性高原反应**。在海拔 3600 米左右区域，**急性高原反应**发病率达 20%~50%；其中 1%~2% 的患者可能进展为**高原肺水肿、高原脑水肿**等严重急性高原病。
- **久居高原人群健康损伤**：易患**高原心脏病、高原红细胞增多症**等慢性疾病。

## 二、缺氧生理机理及人体代偿

## 2.1缺氧机理

➤ **缺氧机理**：体内氧气的输送围绕 “**氧的摄取-运输-利用**” 这一连续生理链条展开。首先,环境中的氧气通过**肺泡**进入肺动脉毛细血管,溶解在动脉血中,然后经体循环输送至组织毛细血管处。最后,进入组织细胞,在细胞内完成氧化代谢。代谢后产生的二氧化碳再经过相反的过程排出体外。



➤ **缺氧的原因**：高原缺氧的核心诱因是海拔升高导致的**大气氧分压下降**，而非氧体积分数的改变（约为21%，不同于密闭空间的**低氧浓度缺氧**）。大气氧分压的下降导致了肺泡氧分压的下降。**肺泡氧分压水平**直接决定机体由外界摄取氧的数量以及缺氧的严重程度。

## 2.2缺氧程度与血氧饱和度

### ➤血氧饱和度

- 肺泡氧分压不易监测。为便捷、实时了解缺氧程度，生活中一般采用**测血氧饱和度**的方式。氧合血红蛋白占总血红蛋白的百分比，称为血氧饱和度。
- 氧气在血液中运输时，**97%与血红蛋白结合**的方式，只有**3%以物理溶解**的方式。
- 血氧饱和度是表征**健康人员**缺氧程度的直观指标。**血氧饱和度与血氧分压成氧解离曲线的特性。**

海拔高度 /m	大气压 /mmHg	氧分压 /mmHg	肺泡氧分压 /mmHg	血氧饱和度 /%	缺氧程度及对人体影响
0	760	159	105	98	不缺氧
1000	680	140	90	96	不缺氧
2000	600	125	72	94	夜航时降低视觉，产生弱视
3000	530	110	62	90	少数人有轻度缺氧反应，对功能无明显影响
4000	460	98	50	85	中度缺氧，呼吸循环一般代偿
5000	405	85	45	80	中度缺氧，多功能障碍，反应强烈难受
6000	355	74	40	70	缺氧极限，多功能障碍，反应更为强烈难以忍受



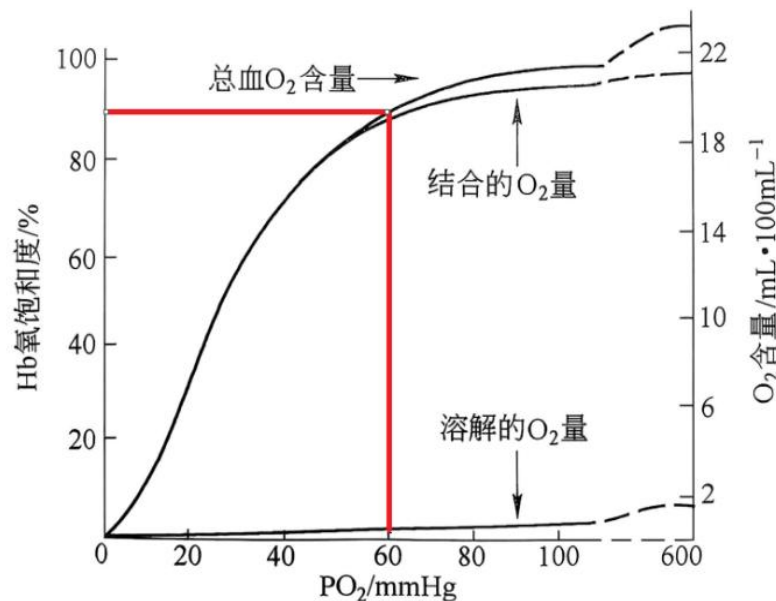
## 2.3氧解离曲线及人体代偿机制

### ➤氧解离曲线

- 氧与血红蛋白结合能力通过氧解离曲线来分析。**该曲线定量的表征血氧分压和血氧饱和度关系**。该曲线上段坡度平缓，血氧分压在此区间波动时，血红蛋白氧饱和度变化仅约 10%。
- 只要吸入气或肺泡气血氧分压**不低于 60mmHg (8kPa)**，血氧饱和度就能稳定维持在 **90% 以上**。这使得肺泡气或吸入气的氧分压在较大范围变化时不影响氧气的输送。
- 健康人群、静息状态下，在**海拔约3000米处血氧饱和度约为90%**。该海拔以下人体多能通过自身调节维持正常氧运输功能。这也是“3000 米以上矿山”需重点关注缺氧风险的重要生理依据。

### ➤人体对缺氧环境的习服

- 主要通过呼吸加深加快、血流加速、心率增加等**器官功能代偿**来获取更多氧气，同时伴随组织细胞酶活力、神经体液的变化及**器官结构性调整**。



项目	氧分压/kPa			
	海平面	1524m	3048m	4267m
空气中氧 (干燥)	21.3	17.6	14.5	12.4
气管中氧	19.9	17.6	13.3	11.2
肺泡中氧	14.5	12.3	8.0	5.9

### 三、 供氧政策依据及技术路径

## 3.1 政策依据

- 党和国家推出多项举措提升高寒高海拔地区群众的生活水平与质量，“**稳妥推进供氧工程试点**”便是其中的关键举措。
- 为改善高原人居环境、保障群众健康，多部门协同发力提供政策与技术支撑。
- 国家卫生健康委员会在《高原病防治指南》中明确**高原供氧的重要性及供氧设施建设的必要性**；
- 科技部通过国家重点研发计划等渠道支持**高原供氧技术研发应用与创新突破**；
- 生态环境部将供氧工程作为改善高原生态环境的一部分，**纳入高原生态环境保护整体规划**；
- 国家发展和改革委员会在推动区域协调发展中，重点支持西藏等边疆民族地区，为供氧工程**提供政策与资金支持**；
- 住房和城乡建设部在推动城乡基础设施建设中，特别强调了高原地区**供氧设施的建设**，将其作为提升居民居住环境的重要内容。

## 3.2 供氧技术路径

### ➤ 供氧技术路径一：加压供氧方式

- 加压供氧是改善缺氧环境的重要技术路径，其原理是通过机械增压设备**提高密闭空间总气压**，间接提升氧分压。
- 无需改变空气中的氧体积分数，即可满足人体供氧需求。
- 典型应用：飞机机舱加压，飞机常规巡航高度为 10000–12000 米，此时外界大气压力仅 30kPa ~ 40kPa，为适配人体生理需求，机舱会被加压至模拟海拔 2400 米左右的气压水平（约75kPa–80kPa），以此保障乘客和机组人员的供氧。
- 举例：海拔5000米密闭房间加压至模拟海拔3000米时，房间内需承压约20kPa（需结合当地条件）。

## 3.2 供氧技术路径

### ➤ 供氧技术路径二：增氧供氧方式

- 增氧供氧是另一类技术路径，原理是**直接提高密闭空间的氧分压**，从而满足人体供氧需求。
- 为对比**不同总压力**气体环境的供氧效果，需引入“**生理等效高度**”概念：若两种或多种气体环境的**总压力、气体组成虽不同**，但**氧分压**数值接近，其供氧效果即可视为“**等效**”。
- 根据吸入气氧分压（气管气氧分压）可推算出近似的生理等效关系。在有两种海拔时（大气压分别为 $PB'$  及 $PB''$ ，氧浓度分别为 $FIO_2'$  及 $FIO_2''$ ），若能满足 $(PB' - 47) \times FIO_2' = (PB'' - 47) \times FIO_2''$  关系，两者供氧效果即可认为是近似等效的。上述公式47代表37℃体温下的饱和水蒸气压为47mmHg。
- “**生理等效高度**” 的确定，需同时兼顾人体适应性与应用经济性。
- 密闭空间增加**1%**的氧浓度，相当于使**海拔高度下降300m**（估算值）。
- 举例：海拔5000米密闭房间加氧至模拟海拔3000米时，房间内氧气浓度估算为27.5%。

## 四、主流制氧工艺介绍及选择

## 4.1 制氧工艺简介

### ► 低温法

- **制氧原理**：先将空气**压缩冷却至液化**状态，再利用氧气（沸点 - 183℃）与氮气（沸点 - 196℃）的**沸点差异**，通过精馏塔**分离**，最终获得高纯度氧气与氮气。
- **系统构成**：由制冷系统与精馏系统组成，涵盖空气压缩、净化、换热、制冷、精馏、安全防爆、氧气压缩输送、加热解冻、仪表自控及电控十大系统。
- **主要特点**：优势在于**产量大、纯度高、电耗低，适合大规模生产**，且能同步产出氧、氮、氩等多种高纯度气体。劣势为**结构复杂、占地大，基建投资高，安装要求严苛且周期长**。与同规格 PSA 装置相比，其投资规模高出 20%~50%（3500Nm<sup>3</sup>/h 及以下），氮副产品销路有限、液氧管理与运输要求严格。
- **主要应用场所**：用于民用时，应用于地区**大规模的集中供氧、医用供氧**。工业上一般应用于铜冶炼等**大型工业用氧**领域。

## 4.1 制氧工艺简介

### ➤ 分子筛变压吸附法 (PSA)

- **制氧原理**：利用**分子筛**等吸附剂对氧、氮的**吸附容量随压力变化**的特性，通过“**加压吸附 – 常压解吸**”的循环过程实现分离。**加压时，氮气被分子筛强力吸附**，氧气因吸附量少在气相中富集并流出；当分子筛吸附**氮气接近饱和**，便停止通空气并**降压**，使**氮气解吸、分子筛再生**，通过两个及以上吸附床轮流工作，实现连续产氧。吸附压力0.6MPa~0.8MPa；解吸压力：常压。
- **系统构成**：由空气压缩机、压缩空气净化组件、缓冲罐、氧氮分离系统、储氧罐、过滤器、氧气分析计量装置及机组运行控制系统等组成。
- **主要特点**：**氧气纯度高、环境适应性强、运行成本低**的优势，尤其**适合现场制氧需求**。
- **主要应用场所**：目前已广泛应用于**医院供氧、高原地区居民供氧**等场景。



## 4.1 制氧工艺简介

### ➤ 分子筛真空变压吸附法 (VPSA)

- **制氧原理**：通过罗茨鼓风机向吸附塔输送空气，利用 VPSA 专用**分子筛**，选择性**吸附空气中的氮气**，使氧气在分子筛末端聚积并收集；待吸附饱和后，通过**真空泵抽真空**，实现分子筛**解吸再生**，循环制得纯度 90%~95% 的氧气。
- **通过“加压吸附 – 真空解吸”的循环过程实现分离**。压力范围：-0.06MPa ~ 0.05MPa。
- **系统构成**：罗茨鼓风机、程控切换阀门、吸附器、真空泵、氧气贮罐及电控、仪表控制系统等组成。
- **主要特点**：优势为**运行压力低、能耗小、成本可控**，且系统结构简单。**适配中大型产能需求**，设备规模越大，单位产气量能耗与投资成本越低，经济性更优。
- **主要应用场所**：最初多用于**工业助燃**等场景。目前已拓展至人员供氧、医疗保健领域，但应用较少。

## 4.1 制氧工艺简介

### ➤膜分离法

●一类是利用空气中氮气和氧气在一定压力下通过**膜的渗透速率差**实现氮、氧分离：相对于氮气，氧气在膜中的渗透速率更大，更容易透过膜，从而在膜的另一侧得到富氧空气。这种方法制得的**氧浓度一般低于40%**，通常所用膜材料为**有机材料**，制氧规模偏小。目前主要适用于**富氧养殖业、高原火车供氧**等场景。

●另一类是利用离子-电子混合导体**陶瓷材料**制成的致密**无机膜**：在高温下，当膜两侧氧分压不同时，氧气会在膜表面离解成氧离子，并以氧离子的形式从高氧分压侧传导到低氧分压侧，随后在低压侧膜表面重新结合成氧分子，实现从空气中分离制取氧气的目的，可制备高浓度氧气。目前大中型致密陶瓷透氧膜分离空气**制氧技术尚不够成熟**。

### ➤电解纯水法

●制氧原理：在电解液中插入两根电极，电极之间给予充分的电位后，在每根电极周围发生化学反应，在阳极因**氧化反应产生氧气**，在阴极**因还原反应产生氢气**。

●系统构成：核心设备为电解槽，由槽体、阳极、阴极组成，多数配备隔膜分隔阳极室与阴极室。

●主要特点：存在明显短板，**能耗高**且产量偏低；同时会伴生氢气，若收集处置不当，氢气在空气中聚集并与氧气混合，极易引发剧烈爆炸，**安全隐患突出**。

●主要应用场所：潜艇供氧；空间站供氧

## 4.2 制氧工艺的选择

### ➤ 目前高原制氧工艺应用实例

- **变压吸附制氧系列成果**推广应用至青藏铁路建设全线，确保了青藏铁路建设的顺利进行。
- 那曲市全市干部职工用氧系统建设运营项目，将覆盖3.5万人，其中**液氧供氧**占比 59%，**制氧机供氧**占比 41%，将形成 “集中供氧 + 分散保障” 的立体网络。
- 阿里地区干部职工用氧工作实施方案，方案计划实施7个县城供氧设施建设，供氧方式优先采取**液氧集中供氧**，对不符合布置液氧集中供氧的场所采取**变压吸附法制氧**设备供氧或瓶装供氧。

### ➤ 高海拔矿区适宜的制氧工艺

结合现有制氧工艺、综合考虑供氧安全性、经济性等因素。对高海拔矿山来说，鉴于其**制氧规模小、位置偏远**等特点，**变压吸附制氧工艺**是高海拔矿山制氧的适宜工艺。

## 五、变压吸附制氧机组类型及适配场景

## 5.1 小型制氧机组简介

### ➤家庭小型制氧机

- 医疗功能**：通过给患者供氧，配合治疗心脑血管、呼吸系统、慢性阻塞性肺疾病，以及煤气中毒等各类严重缺氧病症。
- 保健功能**：通过适度给氧改善身体供氧状况，达到补氧保健的目的。适用于中老年人，体质较差者等存在不同程度缺氧的人群，也可在重体力或脑力消耗后，用于消除疲劳，恢复身体机能。
- 适用于城市、乡村、边远地区、山区、高原等中小型医院、诊所、卫生站等。同时也适用于疗养院、家庭氧疗、体育训练中心、高原兵站等。
- 家用制氧机的产氧量一般在3L/min~5L/min，重量介于20~30kg，噪声在40dB~50dB，功率为300W~500W。
- 氧浓度监测、累计时长、报警、湿化、雾化等功能。

## 5.1 小型制氧机组简介

### ➤ 便携式制氧机

- **移动场景供氧**，适配移动场景供氧，携带方便，可满足战地救援、事故现场急救、野外旅行保健等不同人群的即时供氧需求
- 大致分为**穿戴式便携**和**转运式便携**。穿戴式便携为挎包式背在身上或是戴在腰上。转运式便携多为车居两用。
- **脉冲供氧**，可由**电池供电**。某型号参数：等效流量约为4L/min，重量约为3kg，功率约40W。

### ➤ 车载制氧机

- 车内富氧环境营造（高原反应预防、长途驾驶），可在海拔 5000m 以下范围正常连续工作。
- 体积小、重量轻、功耗低。
- 满足高原**人体正常呼吸**2L/min~3L/min的需要。
- 操作简便，使用汽车点烟器电源即可，采用面罩与吸氧管供氧。

## 5.2 高原弥散制氧机组及配套设备

### ➤大型分子筛制氧机

- 核心定位：适用于办公楼、学校、居住建筑、中小型医疗机构、高原宿舍区等场所的**集中供氧需求**，可满足多人同时用氧（支持按需扩容）。
- 核心设计：采用**组合式模块化设计**，各模块独立运行，支持**灵活扩容与分期建设**；单模块检修时不中断整体供氧，保障连续供氧稳定性，适配对供氧可靠性要求高的场景。
- 核心优势：**高效稳定**：采用进口高效锂基分子筛，吸附性能强、再生效率高，使用寿命长。
- 安全可靠：配备低氧浓度报警、压力过载保护、断电自动停机、气体泄漏检测等**多重安全装置**。
- 出氧流量 $1\text{Nm}^3/\text{h} \sim 50\text{Nm}^3/\text{h}$ （参考）。

### ➤一体式小型分子筛制氧机

- 出氧流量 $10\text{L}/\text{min} \sim 60\text{L}/\text{min}$ ；出氧浓度：90%；重量 $50\text{kg} \sim 350\text{kg}$ （参考）。
- 安装方式：室外外挂于墙面或者支架安装于楼顶或者地面（配遮雨棚），**无需建设专用机房**。

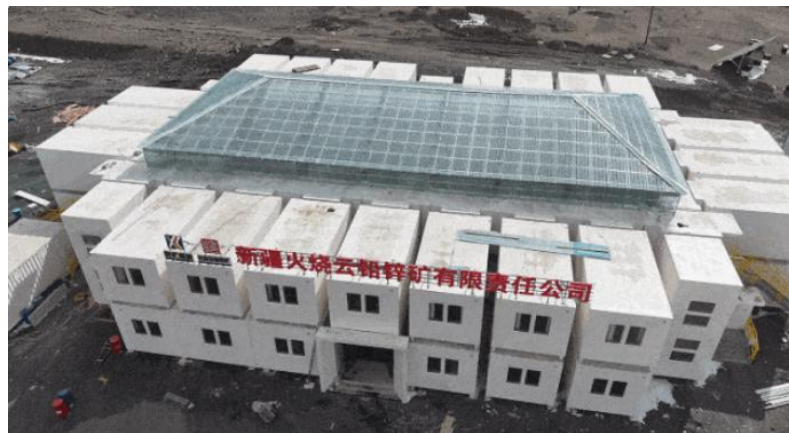
## 六、矿区供氧方式及应用实践



## 6.1 加压供氧方式的应用

### ➤ 加压供氧方式的应用 —— 增压式宜居建筑

- **增压原理**：通过机械增压设备主动提升**密闭建筑**室内相对空气压力，间接提高空气中的氧分压，无需改变氧气体积分数。**压力与氧分压同步提升。**
- **系统配置与功能**：通常由增压系统、环境控制系统、结构系统、智能化系统、生活设施及安全系统等组成。
- **核心特点**：供氧效果直接：**通过气压调节快速降低等效海拔**，人体无需额外适应；设计**集成化**：**模块化成品供货**，安装便捷，可快速投入使用；**成本与维护**：因需特殊承压结构和专用设备，**建设成本相对较高**；日常需定期检查增压系统、安全装置等，确保设备运行稳定与室内环境达标。
- **适用场景**：适配**超高海拔矿区**、边疆驻地等缺氧严重区域，作为长期居住或办公的宜居空间。



## 6.2 增氧供氧方式的应用

### ➤ 鼻吸供氧终端

- 组成部件：主要由流量计、湿化杯、鼻吸管及输氧管道组成，其中鼻吸管包含**耳麦式**、**鼻氧管式**、**面罩式**三种类型，适配不同使用需求。
- 安装要求：供氧终端需布置在距地面 **1.3~1.5m** 处。
- 工作流程：氧气经输氧管道输送至流量计，调节至设定流量后，通过湿化杯加湿处理，最终由鼻吸管定向输送至人体呼吸道。
- 供氧参数：正常人呼吸通气量约 6L/min。吸氧浓度=21%+4 吸氧流量 (L/min) 设备供氧浓度%。吸氧浓度**不应高于 35%**。避免长期大流量高浓度吸氧引发**呼吸抑制**。
- 使用特点  
优势：**供氧精准度高**，能直接向个体定向补氧，补氧效果明确，适配单人精准供氧场景；局限：需佩戴鼻导管或鼻塞，可能对鼻腔黏膜产生轻微刺激；输氧管路会限制活动自由度，长时间佩戴易出现鼻干、口干等不适症状。
- 使用场所：**宿舍供氧**、**小型办公区**供氧。



## 6.2 增氧供氧方式的应用

### ➤微压氧舱

#### ●增压原理

通过**加压供氧与增氧供氧联合作用**，增压0~40KPa可调，增温15℃~30℃可调，增湿20%~60%可调，供氧流量可达40L/min，可供多人同时使用。

#### ●系统配置与功能

舱体具备完善的配套设施，兼顾舒适性与实用性：

基础配置：专用氧舱座椅、电源接口、视频接口，满足使用过程中的基础需求；

环境调控：配备电热膜取暖系统与照明系统，营造舒适的舱内环境；

安全保障：**集成医疗救治系统**，为采场作业人员提供必要的健康保障支持。

●**核心特点**：移动性较强，使用灵活；单次使用人数有限，需维护。

●**适用场景**：远离生活区的采场工业场地



## 6.2 增氧供氧方式的应用

### ➤ 气膜房

**供氧原理：**以气密性优良的建筑膜材为**柔性外壳**构建密闭空间，整合采暖与精准供氧模块，经加压、加热处理的空气通过送风软管定向输送至人员活动核心区，并在运动核心区布置弥散供氧终端，实现**增压、增氧、采暖一体化**保障。通常室内外的气压差约为250Pa~500Pa。

**系统配置与功能：**核心组件包括气密性建筑膜材外壳、加压设备、采暖机组、制氧机、送风管道及送风软管；可同步实现空间**密闭增压、富氧空气制备、温度调节**三大功能。

**核心特点：****集成化程度高**，柔性外壳适配性强，空间搭建灵活便捷。

**适配场景：****生活区综合运动场馆。**





## 6.2 增氧供氧方式的应用

### ➤ 高压氧舱

●**供氧原理**：人在高压氧舱中**溶解**在血液中的氧随着氧舱的压力增高而增加（不依赖血红蛋白结合，直接提升血氧分压）。在 2 个绝对大气压的氧舱里吸纯氧后溶解在血里的氧气增加了 14 倍。

●**系统配置与功能**：通常由舱体、供排气（氧）系统、空调系统和控制系统等组成。

●**核心特点**：属性明确为**医疗设备**，执行严格的临床使用标准与安全规范；不涵盖日常缺氧缓解或保健场景。需由**具备高压氧医学执业资质的专业医护人员**操作与监护。如果工作人员操作不当，可产生严重后果。

1. **氧中毒**：高于 0.3 MPa 压力或者常压下长时间吸入浓度高于 50 % 的氧是氧中毒的常见原因。

2. **气压伤**：常见的有中耳气压伤、副鼻窦气压伤和肺气压伤。

3. **减压病**：减压速度过快，幅度过大，使气体在组织中的溶解度降低，在血液和组织中游离出形成气泡，造成血管气栓，组织受压的一种高危情况。

●**适配场景**：部分地区仅限**二级及以上医院、专业高压氧治疗中心**等具备相应资质的专业医疗机构。



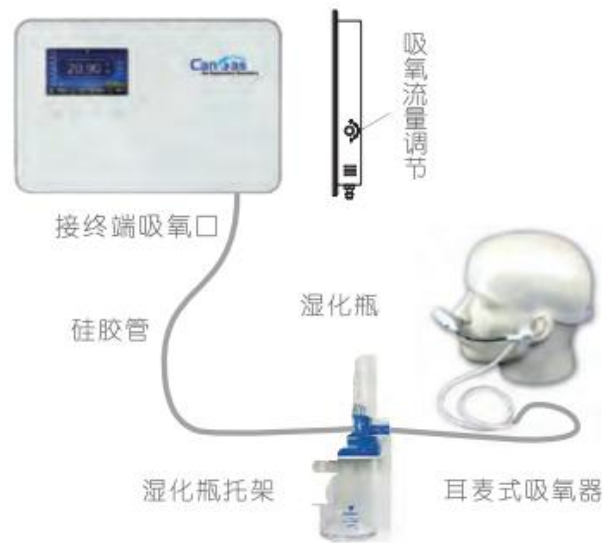
## 6.2 增氧供氧方式的应用

### ➤ 弥散式供氧终端

- **组成部件：集成化设计**，具有遥控功能、测氧功能、数显功能。
- **工作流程：**弥散终端释放高纯度氧气至室内，让用户在自然呼吸状态下获取富氧空气。
- **安装要求：**弥散式供氧终端应布置在距离地面 2~2.4 m 且距顶不小于 0.3 m 范围内。
- **供氧参数：**流量调节范围为  $0.5 \sim 2.5\text{m}^3/\text{h}$ ，供氧浓度为90%。
- **功能要求：**可**自主设定氧浓度指标**，可在线监测室内氧浓度。具有**预约定时设定**功能，环境氧含量上、下限等控制设定功能。**可根据室内氧气含量自动通断供氧。**
- **适配场景：**办公楼、宿舍等人员集中或长期停留的室内空间。



弥散供氧终端-吸顶式



## 七、高海拔矿山弥散供氧设计

## 7.1 设计依据

### ➤高原弥散供氧系统设计规范（参考）

### ➤供氧工程专项规范、医用气体工程规范、氧气站设计规范、建筑与防火规范、室内环境与舒适规范

- GB/T35414-2017 《高原地区室内空间弥散供氧(氧调)要求》
- DJB 540004-2018 《西藏自治区民用供氧工程设计标准》
- DJB 540005- 2018 《西藏自治区民用供氧工程施工及验收规范》
- GB50751-2012 《医用气体工程技术规范》
- GB50030-2013 《氧气站设计规范》
- GB 55037-2022 《建筑防火通用规范》
- GB/T18883-2022 《室内空气质量标准》
- GB22337-2008 《社会生活环境噪声排放标准》
- GB50019-2015 《工业建筑供暖通风与空气调节设计规范》
- GB50736- 2012 《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》



## 7.2 室内氧浓度的确定

### ►室内氧浓度的确定

●《高原地区室内空间弥散供氧（氧调）要求》，给出了不同功能弥散供氧房间、不同类型人员（急进高原、短居高原、久居高原）**氧调级别**。

●为保障人员的安全，满足供氧要求的同时，需对火灾和爆炸风险进行控制，避免人员长时间暴露于高浓度氧气环境所造成的中毒发生，供氧空间的**最大氧气浓度不得超过允许最大氧气浓度**。

●室内等效绝对海拔**不应低于1000m**。

海拔高度 m	大气压力		A 级		B 级		C 级	
	mmHg	kPa	氧气浓度%	生理等效高度 m	氧气浓度%	生理等效高度 m	氧气浓度%	生理等效高度 m
3000	525.8	70.1	>24.3	<1800	23.2~24.3	1800~2200	22.3~23.2	2200~2500
3500	493.2	65.8	>24.7	<2200	24.3~24.7	2200~2600	22.3~23.4	2600~3000
4000	462.2	61.6	>25.0	<2600	23.6~25.0	2600~3100	22.3~23.6	3100~3500
4500	432.9	57.7	>25.3	<3000	23.8~25.3	3000~3500	22.4~23.8	3500~4000
5000	405.2	54	>25.5	<3500	23.9~25.5	3500~4000	22.4~23.9	4000~4500
5500	378.7	50.5	>27.3	<3500	25.5~27.3	3500~4000	23.9~25.5	4000~4500

海拔高度 m	大气压力		允许最大氧气浓度%
	mmHg	kPa	
3000	525.8	70.1	25.7
3500	493.2	65.8	26.3
4000	462.2	61.6	26.8
4500	432.9	57.7	27.5
5000	405.2	54.0	28.1
5500	378.7	50.5	28.7

## 7.3 设计简介

### ➤ 建筑概况

选厂办公楼，建筑海拔约4600m，需向人员办公区域供氧。

### ➤ 供氧参数

弥散供氧房间氧调的级别为B级，室内目标氧气浓度约为25.3%，此时生理等效高度约为3000m。弥散终端输出氧气浓度为90%。

### ➤ 维持富氧环境所需富氧量

根据房间换气次数法计算（0.5次/h），考虑稳态计算及房间同时使用率，计算设计需氧量。

### ➤ 建立富氧环境所需富氧量

- 传统稳态供氧量计算未考虑启动初期的浓度提升效率，仅适用于长期稳定供氧场景，无法适配“人走机停”的节能模式。
- 对稳态计算的供氧量进行动态修正，通过**增大弥散末端瞬时供氧量**（或采用“启动模式”流量），加快氧浓度上升速率，以实现在**规定时间内达到室内目标氧浓度**的要求。

## 7.3 设计简介

### ➤制氧方案

●本工程采用**制氧+储氧**方式。制氧配置：采用**3套100Nm<sup>3</sup>/h分子筛制氧机组（PSA）**，可满足持续使用时富氧需求。储氧配置：氧气站内设置**2台20m<sup>3</sup>的氧气储罐**。制氧系统包括螺杆式空压机、制氧机组、供氧管道、供氧终端、自动化控制系统、供电系统。

### ➤设计要点

#### ●机站选择和布置

安装场地应选择在室内，地面平整干净，有较好的自然通风和采光，室内氧气浓度应小于23%；周围不能有易燃、易爆、易挥发物质，并避开明火、油脂、可燃性以及易爆炸性气体与热源等。并布置在有害气体和固体尘粒散发源的全年最小频率风向的上风侧。

**供氧基站和供氧管路应满足《氧气站设计规范》GB50030中区域、厂区架空氧气管道、管架与建筑物、构筑物、铁路、道路等之间的最小净距的要求。**

#### ●建筑设计要求

制氧机房属**乙类生产建筑物，其耐火等级应不低于二级；**

制氧机房不应设置在地下室或半地下室；

氧气贮气囊间、氧气压缩机间、氧气灌瓶间、氧气实瓶间、氧气贮罐间、液氧贮罐间、氧气汇流排间、氧气调压阀间等房间相互之间应采用耐火极限不低于2.0h的不燃烧体隔墙和乙级防火门窗进行分隔。

## 7.3 设计简介

### ●负荷等级

依据《供配电系统设计规范》GB50052，各供氧设备按**三级负荷**设计；根据**工程实际情况考虑是否增加备用电源**。积聚液氧、液体空气的各类设备、氧气压缩机、氧气灌装台和氧气管道应设导除静电的接地装置，设计要求接地电阻不应大于 $10\Omega$ 。

### ●氧气管道材料及安装

供氧系统管道及零配件需采用经**脱脂处理的不锈钢管或紫铜管**；室内氧气分支管道应使用**医疗级透明无味硅胶管**，**严禁采用PU管**等对人体有害的材料。

**氧气管道的连接应采用焊接**，但与设备、阀门连接处应采用法兰或螺纹连接。螺纹连接处应采用聚四氟乙烯带作为填料，**不得采用涂铅红的麻或棉丝，或其他含油脂的材料**。

氧气管道应敷设在**不燃烧体支架上**。

除氧气管道专用的导电路路外，其他**导电路路不得与氧气管道敷设在同一支架上**。

**严禁氧气管道与油品管道、腐蚀性介质管道和各种导电路路敷设在同一地沟内**，并不得与该类管线地沟相通。

管道不得穿过高温作业及火焰区域。当必须穿过时，应在该管段增设隔热措施，其管壁温度不应超过 $70^{\circ}\text{C}$ 。



## 7.4 照片



## 八、现存问题及总结

## 8.1 现存问题

### ➤ 基础研究不足

- 高原供氧减缓缺氧损伤的**分子生物学机制**尚未明确；**人体长期适应规律**等问题未形成统一认知；**动态场景需氧量计算及修正**缺乏理论支撑；
- 对于高原井下采矿，空气稀薄导致的“**低氧分压缺氧**”与有害气体挤占导致的“**低氧浓度缺氧**”，**联合作用**对人体的影响研究不足。

### ➤ 行业标准不完善

- 工业标准/环境标准/医学标准，**执行依据模糊**；
- 供氧量科学**动态计算方法**缺失；
- 供氧与建筑**协同标准未成体系**，系统适应性差。

### ➤ 制氧设备性能不适配

- 适用于高原环境的**分子筛制氧机**开发不足
- 分子筛制氧机在高海拔场景下的**性能参数修正数据**匮乏
- 分子筛制氧系统**动力设备**能力不足，未充分适配高原实际环境；
- 供氧末端的**节氧控制技术**研究不足；

## 8.2 总结

- 我国高海拔矿区蕴藏着丰富的矿产资源，**缺氧**严重威胁工作人员健康：不仅导致劳动效率显著下降，也使得**急慢性高原病高发**，给生产安全带来**挑战**。
- 目前,高海拔矿山已形成以**加压供氧（增压建筑）**和**增氧供氧（弥散供氧）**为主的两大技术路径，并依托**变压吸附（PSA）**法制氧工艺，构建起覆盖矿区宿舍、办公楼、运动馆、采场区等多场景的灵活**供氧体系**。
- 当前高海拔矿区供氧体系仍面临**挑战**，包括基础研究薄弱、行业标准缺失、建筑与供氧系统适配性不足、制氧设备高原性能有待提升等。
- 未来应始终坚持“**以人为本，卫生保障先行**”的指导思想和“**预防为主、防治结合**”的原则，着力突破上述瓶颈，进一步完善供氧系统，全面保障作业人员身心健康，为高寒高海拔矿山稳定高效生产**筑牢坚实的健康防线**。





感谢聆听