

## 团体标准

T/CASE 008.2—2026

### 高海拔低氧环境

### 第2部分：预适应训练

Hypoxic environments at high altitudes

Part 2: Pre-adaptation training

(发布稿)

2026-01-15 发布

2026-01-15 实施



版权保护文件

版权所有归属于该标准的发布机构，除非有其他规定，否则未经许可，此发行物及其章节不得以任何形式或任何手段进行复制、再版或使用，包括电子版、影印版，或发布在互联网及内部网络等。使用许可可与发布机构获取。

## 目次

前 言	1
引 言	2
1 范围	3
2 规范性引用文件	3
3 术语和定义	3
4 总则	5
4.1 编制目的	5
4.2 编制依据	6
4.3 基本原则	6
5 适用人群与风险场景	6
5.1 适用人群	6
5.2 风险场景	6
6 训练目标	6
7 预适应训练方法	7
7.1 被动预适应方法	7
7.1.1 间歇性低氧暴露（IHE）	7
7.1.2 常压低氧舱/帐篷居住	7
7.2 主动预适应方法（低氧训练）	7
7.2.1 常压低氧环境下的体力训练	7
7.2.2 高原实地分阶段适应训练	7
7.3 组合方法	7
8 预适应训练计划	7
8.1 方案制定要素	7
8.2 训练周期与进度	8
8.3 训练强度	8
9 预适应训练方案	8
9.1 低氧模拟房训练方案	8
9.1.1 设备要求	8
9.1.2 初期适应阶段（1~3天）	8
9.1.3 强度提升阶段（4~7天）	8
9.1.4 强化适应阶段（8~14天）	9
9.1.5 安全措施	9
9.2 阶梯式适应方案	9
9.3 综合训练方案	9
10 效果评估与监测	9
10.1 生理指标监测（训练中/后）	9
10.2 主观症状评估	10
10.3 体能测试	10
10.4 效果判定	10
附录 A（资料性） 预适应训练效果评估指标及方法	11

附录 B (规范性) 每日低氧预适应训练数据记录表.....	13
附录 C (规范性) 每日饮食计划与记录表.....	15
附录 D (规范性) 应急演练记录表.....	17
附录 E (资料性) 训练前健康体检要求.....	18
附录 F (资料性) 预适应训练期间饮食参考.....	19
参考文献.....	22

# 前 言

T/CASE 008—2026《高海拔低氧环境》分为4个部分：

- 第1部分：风险评估；
- 第2部分：预适应训练；
- 第3部分：健康管理指导规范；
- 第4部分：急性高原反应预警模型应用规范。

本部分为T/CASE 008—2026的第2部分。

本文件按照GB/T1.1—2020《标准化工作导则》第1部分：标准化文件的结构和起草规则的规定起草。

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到附录E（资料性附录）训练前健康体检要求-E.2 生化指标（甲状腺激素）涉及发明专利：一种急性高原反应的预警方法及相关设备[专利号：ZL 2024 1 1507419.6.]（授权公告日2025年1月21日）有关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。

该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：专利持有人姓名：北京大学第三医院（北京大学第三临床医学院） 地址：100191 北京市海淀区花园北路49号。

本文件由深圳市元气技术科技有限公司提出，中国科学探险协会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：深圳市元气技术科技有限公司、北京大学第三医院、中国石油集团安全环保技术研究院有限公司、西藏自治区卫生健康委员会、阿里欧威科技集团有限公司、中国科学院海洋研究所、贵州风雷航空军械有限责任公司、上海七零一所杨园高压氧舱有限公司、山东第一医科大学、天津森罗科技股份有限责任公司、西藏润富空气处理工程技术有限公司

本文件主要起草人：李俊辉、祖凌云、舒沛瑶、解东方、郭厚华、郭子文、李冬梅、邱伟豪、刘冰、范媛媛、王金友、肖晗、吴岑岑、张戎、蔡嘉庚、孔祥宇、陈露、庄泽昊、王志达、路其中、李冠天、李航、王箫笛、龙建勇、陈卫国、宋娟、周华华、周山清、谭磊

本文件为首次发布。

# 引 言

在高原高海拔条件下，低压低氧环境是各类人员面临的主要挑战之一。随着海拔升高，空气中的氧分压显著减少，致使相关人员易出现高山头痛、脑水肿、肺水肿等急性高原反应人体健康问题。低压低氧环境对人体的氧气消耗机理造成紊乱，引发以低氧血症为代表的健康危机，触发从分子层面、细胞层面、体质层面、精神层面等多维度的代偿机制，从而增加个体在高海拔低氧环境发生的健康风险，引发社会管理成本的激增。

因此，科学、系统、全面构建高海拔低氧环境下的风险评估、预适应训练、健康管理、高原反应预警四级联动机制，成为保障高海拔探险、高原旅游、工程建设、应急管理等工作的重要举措。通过规范风险分级类型、预适应训练模式、健康管理指导规范、急性高原反应预警模型，可为相关厂商及机构开发高原反应预警产品提供参考，依据预警信息，相关人员及团队可及时采取措施，防止高海拔低压低氧引发的健康风险。此外，针对低压低氧应对的安全措施和应急预案的合理制定，可提升高海拔活动的安全性和科学性，减少低压低氧环境带来的潜在危险。

本文件由 4 部分组成：

第 1 部分：风险评估。目的在于规定低氧环境的风险识别、评估方法及管理措施，旨在通过系统分析和预防策略，降低低氧环境对探险者健康的威胁。

第 2 部分：预适应训练。旨在为低氧环境预适应训练提供风险评估与健康管理指导规范，以降低在高原或模拟低氧条件下进行活动时的健康风险。强调个体差异、健康评估先行及综合策略应用。

第 3 部分：健康管理指导规范。聚焦为健康而暴露于低氧环境的管理要求，包括氧气设备使用规范、环境氧气含量监测、急性低氧应对措施、应急预案制定及健康管理策略，旨在通过科学管理降低健康风险，充分发挥低氧训练的健康益处。

第 4 部分：急性高原反应预警模型应用规范。建立了一个可动态调整、非线性多权重指标、量化的急性高原反应预警模型，以及应用该模型的流程、方法与产品开发策略、规范等，从而为风险管理、预适应训练、健康管理提供应用参考指导。

# 高海拔低氧环境

## 第2部分：预适应训练

### 1 范围

本文件规定了高海拔（海拔>2500米）低氧环境下的探险活动、体育活动、施工作业、高原旅游，包括氧气设备的使用与管理、环境氧气浓度的实时监测、急性低氧反应的应对措施、应急预案的制定与实施、低氧环境下的健康管理策略。

本文件适用于高海拔科学（户外）探险人员、高海拔作业人员、高海拔应急救援人员、高海拔旅游人员、高海拔运动人员、高海拔援藏干部的高原预适应训练。

注：本文件不适用于以下情况

- a) 孕妇、心血管疾病患者、严重肺部疾病患者或其他慢性病患者，除非经医生个性化评估；
- b) 非探险活动（如日常高海拔居住）的健康管理；
- c) 药物治疗的具体处方（需由医疗专业人士指导）。

### 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 8958-2006 缺氧危险作业安全规程

GB/T 27948-2020 高原地区健康管理规范

DB65/T 4756-2024 急进高原低压缺氧环境急性高原病筛查技术规范

T/ZGTX 10-2022 户外探险活动人员伤亡事故处理指南

WS/T 650-2019 高原健康保障技术指南

ISO 80601-2-55:2018 医用电气设备

ISO 14155:2020 医疗器械临床研究 良好临床实践

### 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

#### 3.1

**低氧环境** hypoxic environment

空气中氧分压低于15.2 kPa（标准大气压下相当于氧气浓度低于19.5%）的环境条件。

#### 3.2

**缺氧** oxygen deficiency atmosphere

作业场所空气中的氧含量低于19.5%的状态。

[修改自GB 16993-2021，定义3.1]

#### 3.3

**氧气供给设备** oxygen supply equipment

在低氧环境下为人体提供额外氧气的设备，包括便携式氧气罐、氧气面罩和氧气浓缩器等。

### 3.4

#### 氧气补给点 oxygen supply station

探险活动中设置的专门供氧设施或地点，探险者可以在此处补充氧气以应对低氧环境的影响。通常设置在高风险区域或营地中。

### 3.5

#### 防护设备 protective equipment

探险者用于保护自己免受低氧环境伤害的装备，包括呼吸设备（如氧气面罩、便携式氧气罐）、防护服、健康监测仪器等。

### 3.6

#### 适应性训练 acclimatization training

探险者在正式进入低氧环境前，通过模拟低氧条件进行的训练，以增强身体对低氧的适应能力，降低急性高原反应和其他低氧症状的风险。

### 3.7

#### 紧急撤离 emergency evacuation

在低氧环境中出现急性缺氧症状时，探险者按照预定的撤离路线，快速离开危险区域至安全的氧气供应区域的程序。

### 3.8

#### 高原 plateau

海拔高度高于2500 m，具有低压低氧等环境特点的地域。

[DB65/T 4756-2024，定义3.1]

### 3.9

#### 急进高原 plunge into the plateau

通过各种方式在短时间72 h内，进入海拔高度差超过2500 m的地域。

[DB65/T 4756-2024，定义3.2]

### 3.10

#### 急性高原病 acute mountain sickness

低海拔地区人群快速进入高原地区时或者由高海拔地区快速进入更高海拔地区，由于机体不能快速适应高海拔地区的低压、缺氧的气候条件时，机体发生以头痛、恶心、呕吐、呼吸困难和睡眠障碍等症状为主要表现的临床症状。

[DB65/T 4756-2024，定义3.3]

### 3.11

#### 探险活动 adventure activities

在自然、半自然或人工环境中进行的带有探险性、竞技性或休闲性的挑战体验活动。

[T/ZGTX 6-2021，定义3.1]

### 3.12

#### 户外探险 outdoor adventure

一组在自然环境举行的带有探险或体验探险的运动项目群。

### 3.13

#### 科学探险 scientific expedition

以科学研究为目的，使用专业设备和技术，在自然环境中进行的系统性探险活动。

### 3.14

#### 氧气分压 partial pressure of oxygen

氧气在气体混合物中的压力，通常用于描述氧气在大气、血液或呼吸气体中的浓度。

### 3.15

**氧气浓度 oxygen concentration**

氧气在气体混合物中的百分比，通常表示为体积百分比。在大气中，氧气浓度约为20.94%，即空气中每100升气体中约有20.94升是氧气。

### 3.16

**血氧饱和度 oxygen saturation**

血液中被氧气饱和的血红蛋白占总血红蛋白的百分比，是评估血液携氧能力的重要指标，通常通过脉搏血氧仪无创测量，以百分比表示。正常值在海平面为95%~99%。

### 3.17

**氧气传感器 oxygen sensor**

用于检测和测量环境中氧气浓度的设备，能够实时监测空气或气体中的氧气含量，并将数据转换为电信号进行处理。

### 3.18

**校准气体 calibration gas**

一种具有已知成分和精确浓度的气体混合物，用于校准气体检测设备和传感器，以确保其读数准确可靠。

### 3.19

**预适应 pre-acclimatization**

指在进入目标高海拔地区之前，通过模拟低氧或阶段性暴露于低氧环境，激发机体产生生理代偿与适应，从而提高后续实际高海拔暴露耐受能力的过程。

### 3.20

**低氧训练 hypoxic training**

为达到预适应目的而主动实施的、在低氧环境下进行的系统性身体训练。

### 3.21

**间歇性低氧暴露 intermittent hypoxic exposure; IHE**

在常压环境下，通过呼吸设备周期性、短时地吸入低氧气体（通常氧浓度11%~16%，相当于海拔2500~4500米）的训练方法。

### 3.22

**常压低氧舱 normobaric hypoxic chamber**

能模拟特定海拔大气氧分压（通过降低氧浓度，但不改变气压）的密闭空间。

### 3.23

**高原训练 high-altitude training**

直接在自然高海拔地区进行的阶段性驻训和训练。

### 3.24

**习服 acclimatization**

机体长期或反复暴露于低氧环境后，所产生的生理、生化及形态结构的持久性、适应性改变。

## 4 总则

### 4.1 编制目的

本文件旨在为高海拔低氧环境下的探险活动、体育运动、施工作业、高原旅游、应急管理 etc, 提供科学、系统的高海拔预训练规范, 通过规范预训练目标与方法、制定预训练计划与方案、效果评估等, 降低健康风险, 提升高海拔探险活动、高海拔施工、高海拔旅行、高海拔救援等安全性, 确保高海拔低氧环境暴露者能够在低氧环境中安全开展活动。

## 4.2 编制依据

- a) 国内外低氧环境健康防护的研究成果和实践经验编制;
- c) 高海拔低氧环境 第1部分: 风险管理;
- d) 高海拔低氧环境 第3部分: 健康管理指导规范;
- e) 高海拔低氧环境 第4部分: 急性高原反应预警模型应用规范。

## 4.3 基本原则

- a) 本文件遵循“预防为主、风险分级、科学管理、持续改进”的基本原则, 科学、系统、全面构建高海拔低氧环境下的风险评估、预适应训练、健康管理、高原反应预警四级联动机制。
- b) 科学性原则: 训练方案基于低氧环境生理适应机制, 如通气量增加、红细胞生成及氧利用效率提升。
- c) 个体化原则: 根据个体健康状况、高原反应史及体能水平制定个性化训练方案。
- d) 安全性原则: 通过健康筛查和实时监测优先保障健康, 降低风险。
- e) 渐进性原则: 逐步增加低氧暴露强度和时间, 确保安全适应。
- f) 综合性原则: 结合多种训练方法、健康监测、心理准备及应急预案, 优化适应效果。

## 5 适用人群与风险场景

### 5.1 适用人群

- a) 科学考察和户外探险人员;
- b) 高海拔工程建设作业人员;
- c) 高原应急救援人员;
- d) 高原旅游人员;
- e) 高原体育训练运动员;
- f) 进藏援建干部及其他高原工作人员。

### 5.2 风险场景

- a) 急进高原: 48小时内从低海拔(<500米)上升至高海拔( $\geq 3000$ 米);
- b) 高强度作业: 在高原地区进行中高强度体力活动;
- c) 长期驻留: 在高原地区连续停留超过7天;
- d) 既往高反: 曾有急性高原反应史或高原不适症状;
- e) 特殊人群: 老年人、中小學生或慢性病患者进入高原。

## 6 训练目标

- a) 减轻或预防急性高原反应（AMS）症状。
- b) 改善高海拔低氧环境下的心肺功能、血液携氧能力及组织氧利用率。
- c) 稳定心理状态，提升探险、作业、运动等自信心。
- d) 维持或提高在高海拔低氧环境下的体力与脑力作业能力。

## 7 预适应训练方法

### 7.1 被动预适应方法

#### 7.1.1 间歇性低氧暴露（IHE）

- a) 主要训练方法：使用低氧呼吸仪，每日1-2次，每次吸入低氧气体30~90分钟（可采用吸5-10分钟，间歇5分钟的周期），连续进行7~21天。
- b) 模拟海拔建议：初始阶段2500~3000米，逐步提升至3500~4500米。
- c) 主要目的：激发机体低氧通气反应（HVR）、促进促红细胞生成素（EPO）分泌等生理适应。

#### 7.1.2 常压低氧舱/帐篷居住

- a) 主要训练方法：每日在模拟海拔2500~3500米的低氧舱/帐篷内休息或睡眠6~10小时，持续7~28天。
- b) 主要目的：模拟高原睡眠环境，促进深度生理适应。

### 7.2 主动预适应方法（低氧训练）

#### 7.2.1 常压低氧环境下的体力训练

- a) 主要训练方法：在低氧舱或使用低氧面罩，在模拟中海拔（2000~3000米）环境下进行中等强度的有氧运动（如跑步、骑行），每周3~5次，每次30~60分钟。
- b) 训练目的：在低氧负荷下强化心肺功能和运动经济性。

#### 7.2.2 高原实地分阶段适应训练

- a) 主要训练方法：在实际进入目标高海拔前，安排在中海拔（2000~3000米）地区进行为期1~2周的渐进性训练和生活适应。“爬高睡低”原则（白天到更高处训练，夜晚返回较低处休息）是有效手段。
- b) 核心目的：获得最接近实战的综合性生理习服。

### 7.3 组合方法

将被动与主动方法结合（如白天进行低氧运动，夜间进行低氧睡眠），可取得更佳的综合预适应效果。

## 8 预适应训练计划

### 8.1 方案制定要素

开展训练前，应制定详细的个性化方案，包括：

- 目标海拔；
- 预计停留时间；
- 活动强度；
- 个人年龄；
- 健康状况；
- 体能基础；
- 既往高原经历；
- 饮食计划；
- 应急措施等。

注：详见附录B、C、D、E、F。

## 8.2 训练周期与进度

- a) 短期方案（7-14天）：适用于进入海拔2500~4000米，进行短期（<2周）活动。
- b) 中长期方案（3-4周）：适用于进入海拔4000米以上，进行中长期作业或高强度活动（如登山、重体力劳动）。

## 8.3 训练强度

训练强度（模拟海拔、运动负荷、低氧暴露时长）应遵循“起始缓和、逐步递增”的原则。

# 9 预适应训练方案

## 9.1 低氧模拟房训练方案

### 9.1.1 设备要求

- a) 宜使用符合安全标准的低氧模拟房，氧气浓度控制范围10%~21%，精度 $\pm 0.5\%$ 。
- b) 配备实时监测系统（心率、血氧饱和度、氧气浓度），温湿度控制（18~24℃，40~60%湿度），空气净化确保环境洁净。
- c) 应定期维护设备（每天校准一次），检查制氮系统及通风功能。

### 9.1.2 初期适应阶段（1~3天）

- a) 模拟海拔：2000~2500米（氧气浓度约15.8%~14.1%）。
- b) 训练时间：1~2小时/次，每天1~2次，间隔3~4小时。
- c) 活动内容：静坐、缓慢踱步，观察身体反应（如心率、血氧饱和度、AMS症状）。
- d) 训练目标：初步适应低氧环境，评估个体耐受性。

### 9.1.3 强度提升阶段（4~7天）

- a) 模拟海拔：3000~3500米（氧气浓度约14.1%~12.8%）。
- b) 训练时间：3~4小时/次，每天1~2次。

- c) 活动内容：轻度运动（如瑜伽、低强度健身操），促进通气量和心肺功能适应。
- d) 训练目标：进一步刺激低氧适应机制，增强耐受性。

#### 9.1.4 强化适应阶段（8~14 天）

- a) 模拟海拔：4000~4500 米（氧气浓度约 12.8%~11.6%）。
- b) 训练时间：4~6 小时/次，每周 5~6 天，1 天休息。
- c) 活动内容：中等强度运动（如快走、功率自行车），刺激红细胞生成及心肺功能提升。
- d) 目标：巩固适应效果，准备真实高原环境。

#### 9.1.5 安全措施

- a) 训练前完成健康筛查，排除心肺疾病、高血压等禁忌症，宜有应急方案。
  - b) 实时监测心率（目标<120 次/分钟）、血氧饱和度（>90%）及 AMS 症状（Lake Louise 评分<4）。
  - c) 若出现头晕、呼吸困难加剧、胸闷等症状，立即终止训练，恢复正常氧气浓度并休息。
  - d) 训练后确保充足水分（1.5~2 L/天）及营养补充，记录生理指标及主观感受。
- 注：详见附录 D。

#### 9.2 阶梯式适应方案

- a) 初期（3~5 天）：停留 2000~3000 米海拔，日常活动为主，避免剧烈运动。
  - b) 中期（5~7 天）：逐步升至 3500~4000 米，适当增加轻度活动（如短途徒步）。
  - c) 后期（>7 天）：根据行程升至目标海拔，保持低强度活动，监测症状。
- 注：每日海拔增高<500 米，避免酒精及过度劳累，保持充足水分摄入。

#### 9.3 综合训练方案

- a) 结合方法：整合阶梯式适应、模拟低氧训练、体能训练及心理准备。
- b) 示例：出发前 4 周进行低氧模拟房训练（每周 5 天），结合每周 3 次有氧运动（跑步、游泳，30~60 分钟/次）及心理放松训练（每日 10 分钟冥想）；抵达高原后采用阶梯式适应。
- c) 个性化调整：根据个体反应（如 AMS 症状、血氧水平）调整训练强度和ación。

### 10 效果评估与监测

#### 10.1 生理指标监测（训练中/后）

- a) 静息与运动心率、血氧饱和度（SpO<sub>2</sub>）：监测低氧反应和适应程度。
  - b) 血压：警惕血压异常升高。
  - c) 肺功能（可选）：如最大摄氧量（VO<sub>2max</sub>）低氧条件下的变化。
  - d) 血液指标（可选）：如血红蛋白（Hb）、红细胞压积（Hct）、EPO 水平。
- 注：具体见附录 A。

## 10.2 主观症状评估

- a) 宜使用“急性高原病（AMS）评分表”定期自评。
- b) 宜记录睡眠质量、疲劳感、头痛、食欲等主观感受。

## 10.3 体能测试

在常氧和低氧环境下进行标准化的亚极量运动测试（如固定功率自行车测试），对比运动前后心率、血氧饱和度及主观疲劳度（RPE）的变化。

## 10.4 效果判定

训练后，在同等低氧刺激下，若静息及运动后血氧饱和度下降幅度减小、心率增幅降低、AMS 症状评分显著下降或消失、体能与认知测试表现改善，则判定预适应训练有效。

## 附录 A（资料性） 预适应训练效果评估指标及方法

### 预适应训练效果评估指标及方法

评估指标	测试方法	正常范围	评估频率	数据解读	注意事项
血红蛋白浓度	血常规检测（实验室静脉血或指尖血分析，使用全自动血液分析仪）	男性：120~160 g/L 女性：110~150 g/L	训练前、训练中期（第7~10天）、训练结束（第14天或结束时）、高原后1~3周	训练后血红蛋白浓度增加5~10 g/L表明血液携氧能力提升。 持续异常（低于或高于正常范围）可能提示贫血或红细胞增多症。	检测需在标准化实验室进行，采血前避免剧烈运动及脱水。 女性需考虑月经周期影响，必要时重复检测。
红细胞计数	血常规检测（实验室血液分析，配合血红蛋白检测）	男性：4.0~5.5×10 <sup>12</sup> /L 女性：3.5~5.0×10 <sup>12</sup> /L	同上	红细胞计数增加0.3~0.5×10 <sup>12</sup> /L反映低氧刺激促红细胞生成素分泌有效。 异常升高需警惕血液黏稠度增加风险。	采血前保持空腹（至少4小时），避免饮食干扰。 异常结果需结合血红蛋白综合分析。
血氧饱和度	脉搏血氧仪（无创指夹式或腕式设备，测量动脉血氧饱和度）	平原：95%~100% 低氧环境：随训练逐渐提高（如2500米从85%升至90%）	训练前、每次训练前后（每1~2小时）、训练后1周	训练后血氧饱和度在低氧环境下提高3~5%表明适应能力增强。 持续<85%提示缺氧风险，需立即应对。	确保设备校准，测量时保持手部温暖、静止，避免指甲油或低温影响。 记录测量时的模拟海拔或氧气浓度。
心肺功能（肺活量）	肺功能测试（使用电子肺活量计或便携式肺功能仪）	因年龄、性别、身高差异，参考同龄人正常值（男性约3.5~5.5L，女性约2.5~4.0L）	训练前、训练结束（第14天或结束时）	肺活量增加5~10%表明呼吸肌力量和通气效率提升。 未见改善可能提示训练强度不足或存在肺部问题。	测试前避免剧烈运动或进食（至少2小时）。 需专业人员指导，确保测试姿势正确（坐位或站位）。
最大摄氧量	运动心肺功能测试（跑台测试、功率自行车测试或间接估算法，如Cooper测试）	健康成人：男性35~50 mL/kg/min，女性25~40 mL/kg/min（因年龄、体能差异）	训练前、训练结束（第14天或结束时）	VO <sub>2</sub> max增加5~15%表明有氧能力显著提升，耐力增强。 无明显变化需调整训练强度或延长周期。	测试需在专业机构进行，测试前充分休息（24小时无剧烈运动）。 高强度测试需排除心肺疾病风险。
耐力水平	6分钟步行测试（平坦地面测量6分钟步行距离）	健康成人：400~700米（因年龄、性别差异）	训练前、训练中期（第7~10天）、训练结束	步行距离增加10~20%表明耐力提升。 结合主观疲劳感（Borg量表）评估运动耐受性。	测试在标准环境（平坦、无风）进行，记录心率及主观疲劳感。 避免测试前过量运动或疲劳状态。
心率（静息及运动后）	心率监测（使用心率带、脉搏血氧仪或智能手表）	静息心率：60~100次/分钟 运动后10分钟恢复至静息水平	训练前、每次训练前后（每1小时）、训练后1周	静息心率降低5~10次/分钟或运动后恢复时间缩短表明心血管适应改善。 持续心率异常（>100或<60次/分钟）	测量时保持平静，避免咖啡因、压力或环境温度影响。 记录训练强度及环境条件（如模拟海

				需排查心脏问题。	拔)。
<b>主观症状 (AMS 评分)</b>	急性高原反应评分 (Lake Louise Score, 评估头痛、恶心、眩晕、乏力等)	0~3: 无或轻度 AMS 4~6: 中度 AMS >6: 重度 AMS	训练前、每次低氧暴露后 (每日)、训练结束	Lake Louise Score 评分降低 (如从 4 降至 2) 表明 AMS 风险减小。 中重度症状 (>3) 提示需暂停训练或采取应对措施。	记录症状时确保受试者充分表达主观感受。 评分需结合生理指标 (如血氧饱和度) 分析。

### 1) 实施要求:

- a) 评估需在专业机构或医疗人员指导下进行, 使用校准设备, 确保测试标准化。
- b) 测试前告知受试者避免剧烈运动 (至少 24 小时)、饮酒或摄入咖啡因 (至少 12 小时), 以确保结果可靠性。
- c) 记录测试时的环境条件 (模拟海拔、氧气浓度、温度、湿度) 及受试者状态 (疲劳、饮食、睡眠)。

### 2) 异常处理:

- a) 若血氧饱和度持续 <85%、心率异常 (如静息 >100 次/分钟或 <60 次/分钟)、LLS 评分 >3 或出现胸闷、意识模糊等重症征兆, 立即暂停训练, 启动急性低氧应对措施 (参考第 3 部分第 5.5 节), 并咨询医生。
- b) 异常指标需重复检测, 排除测试误差或临时因素 (如脱水、疲劳)。

附录 B（规范性） 每日低氧预适应训练数据记录表

每日低氧预适应训练数据记录表

日期	时间	模拟海拔 (m)	氧气浓度 (%)	训练时长 (小时)	心率(次/ 分钟)	血氧饱和 度(%)	血压 (mmHg)	Lake Louise 评 分(0~12)	水分摄入 (L)	主观症状 描述	活动类型	睡眠时长 (小时)	体重(kg)	备注

1) 填写说明:

日期: 记录训练当天日期(如 2025-08-24)。

训练时间: 记录具体训练开始时间(如 08:00-10:00)。

模拟海拔(m): 记录低氧模拟房或实际环境的模拟海拔高度(如 2500 米)。

氧气浓度 (%): 记录环境氧气浓度 (如 14.1%), 由监测设备提供。

训练时长(小时): 记录单次训练持续时间 (如 2 小时)。

心率 (次/分钟): 记录静息心率及训练中最高心率 (如静息 70, 最高 110), 每小时测量 1 次。

血氧饱和度 (%): 记录训练前后血氧饱和度 (如训练前 95%, 训练后 90%), 使用脉搏血氧仪测量。

血压 (mmHg): 记录训练前后血压 (如 120/80), 使用电子血压计测量。

水分摄入 (L): 记录训练期间摄入的水分 (如 2.0L, 含淡盐水或运动饮料)。

Lake Louise 评分 (0~12): 根据 Lake Louise 评分标准, 评估头痛、恶心、眩晕、乏力等症状 (0~3 无/轻度, 4~6 中度, >6 重度)。

主观症状描述: 记录具体不适症状 (如轻微头痛、呼吸急促) 或无症状。

活动类型: 记录训练内容 (如静坐、瑜伽、快走、功率自行车)。

睡眠时长(小时): 记录前一晚睡眠时间 (如 8 小时)。

体重 (kg): 记录每日晨起空腹体重 (如 70.5 kg), 监测脱水或体重变化。

备注: 记录其他信息, 如异常反应、药物使用 (乙酰唑胺等) 或特殊情况。

## 2) 注意事项:

填写要求: 每日训练后立即填写, 确保数据准确; 异常数据 (如血氧<90%、Lake Louise 评分>3) 需标记并报告教练或医生。

数据用途: 用于评估适应进程、调整训练强度及识别健康风险。

保存与审查: 记录表由参与者保存, 每周提交专业人员审查, 存档分析。



备注：记录异常情况（如“避免辛辣食物”，“轻微消化不良”）。

## 2) 注意事项：

填写要求：每日训练后填写，计划部分参考第 10 节饮食指导（如优先复合碳水、优质蛋白），实际部分记录真实摄入；无需精确计算营养素，描述主要食物即可。

数据用途：用于评估饮食是否满足低氧训练需求（如能量充足、避免油腻），识别问题（如食欲下降、脱水）并调整计划。

审查机制：营养师或教练每周审阅，若体重下降 $>2\%$ 、饮食感受差或睡眠不足（ $<7$  小时），需调整饮食或训练强度。

## 3) 安全提示：

确保饮食符合第 10 节要求（如增加碳水、蛋白，限制酒精、咖啡因）。

特殊人群（如糖尿病患者、老年人）需医生或营养师指导填写。

若出现持续消化不良、疲劳加重或体重异常波动，暂停训练并咨询医生。

**附录 D（规范性） 应急演练记录表**  
**应急演练记录表**

日期:	地点:
触发事件:	触发指标:
应对设施:	
设备使用:	演练结果:
问题反馈:	
改进建议:	
执行人员签名:	
记录员签名:	
备注:	

**填写说明:**

日期: 记录演练日期 (如 2025-08-24)。

演练地点: 记录演练场所 (如“低氧模拟房”或“高原训练基地”)。

触发事件: 描述模拟的应急事件 (如“参与者血氧饱和度低于 90%”或“突发严重头痛”)。

触发指标: 记录触发应急的具体指标 (如“血氧饱和度 88%”, “LLS 评分 6”)。

应对措施: 记录采取的应急措施 (如“提供氧气吸入, 调整至 2L/min”, “暂停训练, 恢复正常氧气浓度”)。

设备使用: 记录使用的应急设备 (如“氧气瓶”、“脉搏血氧仪”)。

演练结果: 评估演练效果 (如“成功恢复血氧至 95%”或“撤离流程顺畅”)。

问题反馈: 记录演练中发现的问题 (如“氧气瓶压力不足”或“人员响应时间过长”)。

改进建议: 提出优化建议 (如“增加氧气瓶储备”或“加强撤离流程培训”)。

执行人员签名: 参与应急演练的人员签名。

记录人签名: 填写记录人姓名或签名, 确认记录真实性。

备注: 记录其他信息, 如特殊情况或后续安排 (如“计划下周复测设备”)。

## 附录 E (资料性) 训练前健康体检要求

### E.1 生理指标

参与预适应训练前应检测以下生理指标:

- a) 静息心率: 正常范围 60-100 次/分钟;
- b) 血压: 收缩压 90-140 mmHg, 舒张压 60-90 mmHg;
- c) 血氧饱和度 (SpO<sub>2</sub>): 海平面静息状态下 ≥95%;
- d) 肺活量: 应达到同年龄段正常水平的 80%以上;
- e) 心肺功能: 通过运动负荷试验评估, 无明显异常。

### E.2 生化指标

参与预适应训练前宜检测以下生化指标:

- a) 血常规: 血红蛋白、红细胞计数、白细胞计数等;
- b) 肝肾功能: 谷丙转氨酶、谷草转氨酶、肌酐、尿素氮等;
- c) 血糖: 空腹血糖、糖化血红蛋白 (糖尿病患者);
- d) 血脂: 总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白等;
- e) 甲状腺功能: TSH、FT3、FT4 等 (推荐检测项目);
- f) 电解质: 钾、钠、氯、钙、镁等。

### E.3 异常指标处理

检测发现以下异常情况时, 应按相应要求处理:

- a) 贫血 (血红蛋白 <110 g/L): 应治疗后再评估是否适合训练;
- b) 高血压 (收缩压 ≥140 mmHg 或舒张压 ≥90 mmHg): 需心内科医生评估;
- c) 心律失常: 需心电图检查和专科医生评估;
- d) 肝肾功能异常: 需专科医生评估和治疗;
- e) 血糖异常: 糖尿病患者需内分泌科医生制定管理方案。

### E.4 特殊人群检测要求

以下人群应增加相应的专项检测:

- a) 老年人 (≥60 岁): 增加心脏彩超、颈动脉超声检查;
- b) 既往心血管病史: 增加运动平板试验或负荷超声心动图;
- c) 呼吸系统疾病史: 增加肺功能检查、胸部 CT;
- d) 女性: 排除妊娠, 评估月经周期影响。

## 附录 F（资料性） 预适应训练期间饮食参考

### F.1 能量补充

#### F.1.1 总能量需求

预适应训练期间的每日总能量摄入应根据训练强度调整：

- a) 低强度训练：30-35 kcal/kg 体重/天；
- b) 中等强度训练：35-40 kcal/kg 体重/天；
- c) 高强度训练：40-45 kcal/kg 体重/天。

#### F.1.2 碳水化合物

- a) 占总能量的 55-65%；
- b) 优先选择复合碳水化合物：全谷物、燕麦、糙米、红薯等；
- c) 训练前 1-2 小时适量摄入，避免空腹训练；
- d) 训练后 30 分钟内补充，促进恢复。

#### F.1.3 蛋白质

- a) 每日摄入量：1.2-1.5 g/kg 体重；
- b) 优质蛋白来源：瘦肉、鱼类、蛋类、豆制品、乳制品；
- c) 分配到三餐中均衡摄入；
- d) 训练后及时补充，支持肌肉修复。

#### F.1.4 脂肪

- a) 占总能量的 20-30%；
- b) 优先选择不饱和脂肪：橄榄油、坚果、深海鱼等；
- c) 限制饱和脂肪和反式脂肪摄入；
- d) 避免油炸和过度烹调的高脂食物。

### F.2 维生素与矿物质

#### F.2.1 重点补充的维生素

- a) B 族维生素：支持能量代谢，推荐食物包括全谷物、瘦肉、蛋类；
- b) 维生素 C：抗氧化，增强免疫，推荐食物包括新鲜蔬果、柑橘类；
- c) 维生素 E：抗氧化，推荐食物包括坚果、植物油；
- d) 维生素 A：维护上皮组织，推荐食物包括胡萝卜、深色蔬菜。

#### F.2.2 重点补充的矿物质

- a) 铁：预防贫血，推荐食物包括红肉、动物肝脏、深色蔬菜；
- b) 钙：维持骨骼健康，推荐食物包括乳制品、豆制品；
- c) 镁：支持肌肉功能，推荐食物包括坚果、全谷物；
- d) 锌：增强免疫力，推荐食物包括海产品、瘦肉。

### F.3 水分摄入

### F. 3.1 日常饮水

- a) 基础饮水量：30-40 ml/kg 体重/天；
- b) 训练日增加：额外补充 500-1000 ml；
- c) 分次饮用，避免一次大量饮水；
- d) 观察尿液颜色，浅黄色为宜。

### F. 3.2 训练期间补水

- a) 训练前 2 小时：补充 300-500 ml；
- b) 训练中每 15-20 分钟：补充 100-200 ml；
- c) 训练后：根据体重下降补充（每减少 1kg 体重补充 1.5L）；
- d) 可适量饮用电解质饮料。

### F. 4 饮食禁忌

训练期间应避免或限制以下食物：

- a) 高脂肪食物：油炸食品、肥肉、奶油制品等；
- b) 高盐食物：腌制食品、加工肉类、咸菜等；
- c) 辛辣刺激性食物：辣椒、芥末、浓咖啡等；
- d) 酒精饮料：影响训练效果和恢复；
- e) 高糖食物：糖果、甜饮料、精制糕点等；
- f) 产气食物：豆类、洋葱、卷心菜等（训练前避免）。

### F. 5 饮食时间与频率

#### F. 5.1 一日三餐安排

- a) 早餐：占全天能量的 25-30%，训练前 2-3 小时进食；
- b) 午餐：占全天能量的 30-40%，距离下午训练至少 2 小时；
- c) 晚餐：占全天能量的 25-30%，睡前 3 小时完成；
- d) 加餐：根据训练安排，可在上午和下午各加餐一次。

#### F. 5.2 训练前后进食

- a) 训练前 1-2 小时：少量碳水化合物+少量蛋白质；
- b) 训练后 30 分钟内：碳水化合物+蛋白质（3:1 或 4:1）；
- c) 训练后 2 小时：正常饮食，注重蛋白质摄入。

### F. 6 特殊人群饮食调整

#### F. 6.1 老年人（≥60 岁）

- a) 增加优质蛋白摄入：1.5 g/kg 体重/天；
- b) 补充钙和维生素 D：预防骨质疏松；
- c) 食物宜软烂易消化；
- d) 少食多餐，避免一次进食过多。

#### F. 6.2 中小學生（12-18 岁）

- a) 保证充足能量摄入，支持生长发育；

- b) 增加钙、铁、锌等矿物质；
- c) 避免过度限制饮食；
- d) 在家长或营养师指导下进行。

#### F. 6.3 女性

- a) 注意铁的补充，预防缺铁性贫血；
- b) 经期适当增加蛋白质和铁摄入；
- c) 孕期和哺乳期不宜进行预适应训练。

#### F. 6.4 慢性病患者

- a) 糖尿病：控制碳水化合物总量和餐后血糖；
- b) 高血压：严格限盐，增加钾摄入；
- c) 高脂血症：限制脂肪和胆固醇；
- d) 在专科医生和营养师指导下制定方案。

#### F. 7 营养补充剂（需医生指导）

在均衡饮食的基础上，可考虑以下营养补充剂：

- a) 复合维生素：补充日常饮食可能不足的维生素；
- b) 铁剂：贫血或缺铁者在医生指导下补充；
- c) 蛋白粉：蛋白质摄入不足时适量补充；
- d) 支链氨基酸（BCAA）：高强度训练时可考虑；
- e) 肌酸：提高运动表现（需专业指导）。

注：营养补充剂不能替代均衡饮食，使用前应咨询医生或营养师。

#### F. 8 恢复支持

训练后的营养支持对恢复至关重要：

- a) 及时补充：训练后 30 分钟内摄入碳水化合物和蛋白质；
- b) 补充电解质：通过运动饮料或淡盐水补充；
- c) 抗氧化食物：新鲜水果、蔬菜，减少训练引起的氧化应激；
- d) 充足睡眠：保证每晚 7-9 小时睡眠，支持身体恢复。

#### F. 9 注意事项

- a) 饮食计划应个性化制定，考虑个人口味、饮食习惯和文化背景；
- b) 避免在训练期间尝试新食物，以免引起不适；
- c) 保持饮食记录，评估营养摄入是否充足；
- d) 出现消化不良、食欲下降等问题应及时调整；
- e) 特殊人群应在营养师指导下制定饮食方案。

## 参考文献

- [1] LUKS A M, HACKETT P H, GRISSOM C K, et al. Wilderness Medical Society clinical practice guidelines for the prevention and treatment of acute altitude illness: 2019 update [J]. *Wilderness & Environmental Medicine*, 2019, 30: S3–S18.
- [2] WEST J B. *High altitude medicine and physiology* [M]. 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2013, 45–78.
- [3] RICHALET J P, LHUISSIER F J. Aging, tolerance to high altitude, and cardiorespiratory response to hypoxia [J]. *High Altitude Medicine & Biology*, 2015, 16(4): 278–285.
- [4] FULCO C S, ROCK P B, CYMERMAN A. Maximal and submaximal exercise performance at altitude [J]. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 1998, 69(8): 793–801.
- [5] CHAPMAN R F, STRAY-GUNDERSEN J, LEVINE B D. Individual variation in response to altitude training [J]. *Journal of Applied Physiology*, 1998, 85(4): 1448–1456.
- [6] ROACH R C, HACKETT P H, OELZ O, et al. The 2018 Lake Louise acute mountain sickness score [J]. *High Altitude Medicine & Biology*, 2018, 19(1): 4–6.
- [7] LEVINE B D, STRAY-GUNDERSEN J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance [J]. *Journal of Applied Physiology*, 1997, 83(1): 102–112.
- [8] BÄRTSCH P, SWENSON E R. Acute high-altitude illnesses [J]. *New England Journal of Medicine*, 2013, 368(24): 2294–2302.
- [9] MAGGIORINI M, BUHLER B, WALTER M, et al. Prevalence of acute mountain sickness in the Swiss Alps [J]. *BMJ*, 1990, 301(6756): 853–855.
- [10] MUZA S R, FULCO C S, CYMERMAN A. Altitude acclimatization guides training and performance at altitude [J]. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2004, 18(3): 508–518.
- [11] 杨建明, 郑志龙, 李屹南. 海拔低氧低温环境下新能源建设人员的安全健康管理 [J]. *中国安全科学学报*, 2025, 35: 256–262.