

卫生标准制（修）订项目 20110201

# 工作场所空气中人造矿物纤维绝热棉 （玻璃棉、岩棉、矿渣棉） 职业接触限值

Occupational Exposure Limits for the Man-made mineral fibres  
insulation wools (glass wool, rock wool, slag wool)  
in the air of workplace  
(报 批 稿)

## 编 制 说 明

中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所

# 目 录

1 编制过程 .....	3
2 制定标准的主要依据 .....	5
2.1 生产使用状况 .....	5
2.2 理化性质和生物学性质.....	8
2.3 毒理学研究.....	9
2.4 职业接触水平评定 .....	10
2.5 对职业人群的健康影响 .....	14
3 不同国家（地区）和组织卫生标准.....	31
4 职业接触限值建议值及可行性分析.....	35
5 参考文献 .....	36

## 1 编制过程

石棉具有良好的抗拉强度和良好的隔热性与防腐蚀性，广泛应用于建材、摩擦和密封领域。但是，科学证明当人体吸入石棉后可导致肺部纤维化，甚至引起肺癌、胸膜和腹膜的间皮瘤，国际癌症研究中心已将石棉列为肯定的致癌物。世界上已经有 50 多个国家全面禁止使用石棉，这就为新的、安全的替代品的开发、使用提供了广泛的需求。玻璃棉、岩棉和矿渣棉合称为人造矿物纤维绝热棉，是一组无机类、非晶体结构的纤维状、硅酸盐物质，由于具有良好的保温和隔声性能，已作为石棉的主要代用品大量应用于工业、建筑、交通运输以及农业等领域，特别是工业设备管道及建筑物的保温、隔热、吸声、防火等<sup>[1]</sup>。

作为新兴的节能材料，人造矿物纤维绝热棉在我国发展迅速、生产量大、应用广泛，对促进国民经济的发展具有重要的作用。据中国绝热节能材料协会统计，目前我国玻璃棉、岩棉和矿渣棉的总产量约占绝热节能材料的 35%左右<sup>[2]</sup>，其产量和职业接触人数仍有进一步扩大的趋势。但我国绝热棉生产企业以中小型企业居多，不同水平生产工艺交错并存，职业危害问题较为严重。

既往的实验研究和流行病学研究认为人造矿物纤维绝热棉的毒性较石棉低，但对人体健康仍有一定的负面影响。为了保护劳动者的健康，很多国家（地区）和组织都制定了相应的职业接触限值，我国也制定了人造矿物纤维绝热棉的总粉尘容许浓度。从 20 世纪 60 年代以来，国际上就已经以纤维计数浓度作为纤维类物质限值的主流类型，并广泛采用计数法测定工作场所空气中石棉和其他纤维的接触水平，而我国目前采用的人造矿物纤维绝热棉总粉尘容许浓度，规定的容许接触水平较为严格，也由于缺乏充分的健康风险评估依据，所以现行限值既不能全面、客观地反映人造矿物纤维绝热棉的健康损害特征，也不利于基于其健康损害特征制定相应的防控措施。因此，研制以纤维计数浓度表示的玻璃棉、岩棉和矿渣棉的职业接触限值并建立相应的检测方法，既符合我国职业病防治工作需要，有利于保护劳动者的健康和促进该产业的健康发展，也有利于实现与国际职业卫生标准的协调。

为此，中国疾病预防控制中心职业卫生与中毒控制所向原卫生部职业卫生标准专业委员会申请立项并获原卫生部政法司的批准，标准名称：工作场所空气中人造矿物纤维绝热棉（玻璃棉、岩棉、矿渣棉）职业接触限值及检测方法；编号：20110201。参加标准研制的单位还有：镇江市疾病预防控制中心、江苏省疾病预防控制中心、南京市栖霞区疾病预防控制中心、上海市疾病预防控制中心、北京市疾病预防控制中心、华中科技大学同济医学院公共卫生学院、中国绝热节能材料协会。本标准主要起草人为李涛、朱晓俊、陈永青、张敏、徐岚、葛琴娟、刘丽萍、张恒东、韩恩龙、韩磊、贾晓东、王如刚、杨磊、张德信、许妍。

本标准在研制过程中，对 7 家企业（玻璃棉生产企业 2 家、岩棉和矿渣棉生产企业 2 家，对照组企业 3 家）进行了现场职业卫生学调查，对劳动者接触人造矿物纤维绝热棉的水平、人体健康损害的流行病学特征进行了分析评估，探讨了职业接触人造矿物纤维绝热棉与健康效应之间的剂量-反应关系，并通过系统文献分析和国内、外人造矿物纤维绝热棉职业接触限值的比较，参考国内、外公开发表的毒理学实验研究资料等，提出了我国玻璃棉、岩棉、矿渣棉纤维浓度限值的建议值和总粉尘浓度限值的调整建议值。

## 2 制定标准的主要依据

### 2.1 生产使用状况

目前我国人造矿物纤维绝热棉年产 140 万吨左右，约为石棉产量的 4 倍，在工业和建筑业用于设备管道及建筑物墙体的保温绝热、吸声隔声和防火，岩棉制品还可在农业上用于果蔬和花卉的种植与培养，在交通领域用于轨道防振等。

玻璃棉的商业化生产始于 20 世纪 30 年代末期<sup>[1]</sup>，我国则是在 50 年代末开始研制，并在 60 年代至 70 年代开始生产，早期主要采用蒸汽立吹法和火焰喷吹法进行生产。改革开放以后，逐步采用了离心法生产工艺和生产线。2007 年我国玻璃棉及其制品产量约 33 万吨左右，2009 年年产量约 40 万吨。目前生产和加工企业有 100 家左右，接触人数约 1.5 万人。生产品种主要有玻璃棉、粒状棉，制品有毡、半硬板、管壳、吸声制品、减振制品等，适宜于在 400℃ 温度以下使用<sup>[3]</sup>。

离心法生产玻璃棉工艺是根据一定的配比将石英砂（或碎玻璃）、钠长石、石灰石（或方解石）、白云石、纯碱、硼砂等原料进行混合，投料进入池窑高温熔化，熔液流入纺丝机内，在高速旋转的离心机作用下形成玻璃棉纤维，将粘结剂喷吹在纤维上，使玻璃棉具有一定的粘结性，再由棉分布器均匀地铺在集棉机网带上，通过调节集棉机的速度生产出不同厚度、不同密度的玻璃棉，根据需要送入固化炉固化、干燥成一定厚度的玻璃棉制品，经纵、横切边制成不同规格的毡或板，进行打包或深加工（图 1，图 2）。

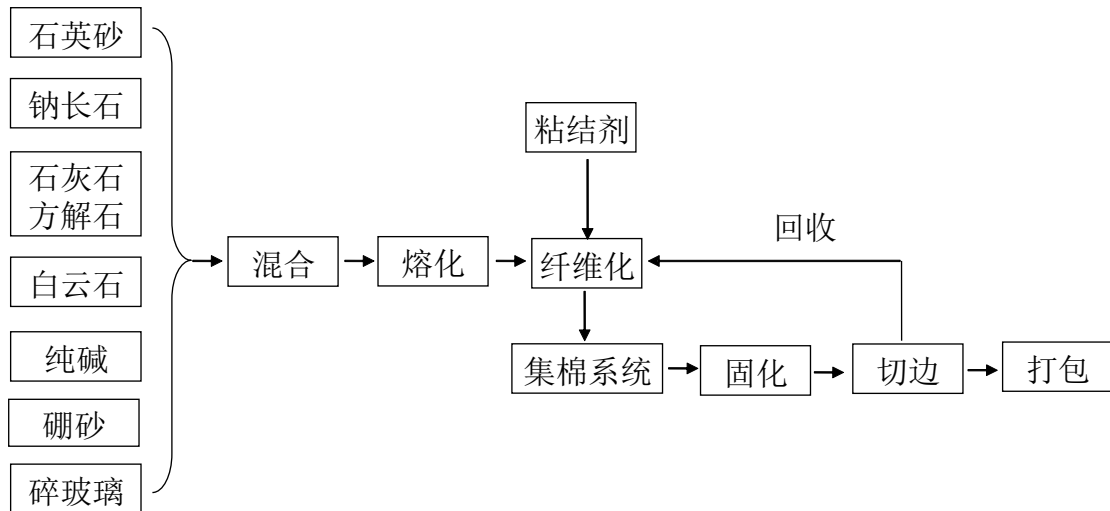
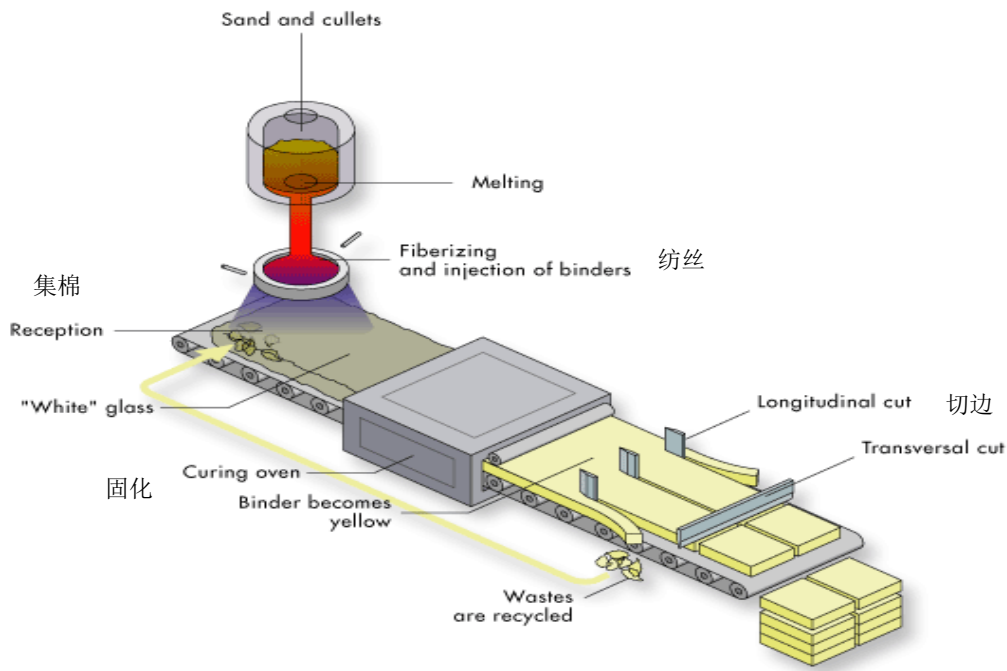


图 1 玻璃棉生产工艺流程图



（资料来源：欧洲绝热生产商协会 Eurima）

图 2 玻璃棉生产工艺示意图

玻璃棉生产企业产生和存在玻璃棉粉尘的工作场所有纺丝机旁、集棉系统入口、固化炉入口和出口、切边处、打包处。

岩棉和矿渣棉始于 1840 年英国的威尔士<sup>[1]</sup>，1885 年后投入商业化生产，但我国一直发展缓慢，直到 20 世纪 80 年代末期，岩棉和矿渣棉的产量才得到快速增长。目前主要采用离心法的生产工艺。2009 年我国岩棉和矿渣棉产量已接近

100 万吨。现有生产和加工企业约 200 多家，接触人数约 3 万人。品种主要有岩棉矿渣棉、粒状棉，制品有毡、半硬板、管壳、消声器等，可在 600℃-900℃温度使用。

岩棉纤维采用离心法生产工艺，将玄武岩、矿渣、焦炭等原料配比后投入冲天炉进行熔化，熔液在离心机作用下纺丝成岩棉纤维，施酚醛树脂胶收集成团块状并经集棉机堆积成一定厚度后送入固化炉成型，通过切边机切成不同宽度和长度的岩棉制品，最后进行包装或深加工（图 3，图 4）。

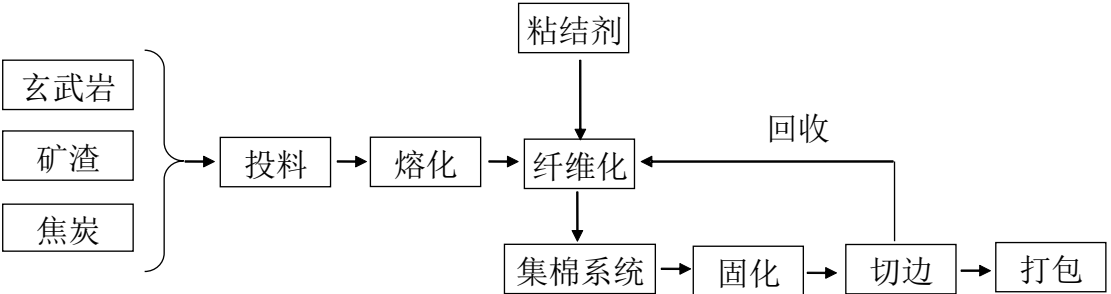
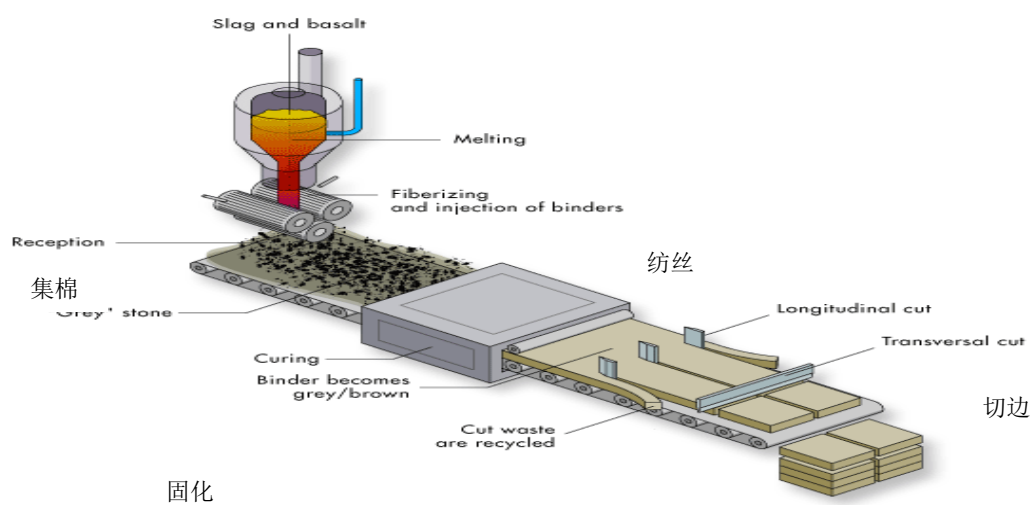


图 3 岩棉生产工艺流程图



（资料来源：欧洲绝热生产商协会 Eurima）

图 4 岩棉生产工艺示意图

本标准研制所选择的岩棉生产企业，亦生产矿渣棉，两者的工艺相同，生产原料相似。矿渣棉的主要原料为矿渣，其余同岩棉。两者的差异在于产品的酸度系数，即 $[(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) / (\text{CaO} + \text{MgO})]$ 不同，岩棉的酸度系数 $>1.5$ ，矿渣棉的酸度系数 $\leq 1.3$ <sup>[4]</sup>。因此，本标准所研究的“岩棉”实际上也包含了矿渣棉。

岩棉生产企业产生和存在岩棉粉尘的工作场所有纺丝机旁、集棉机旁、固化炉入口和出口、切边处、包装处、深加工处。

## 2.2 理化性质和生物学性质

玻璃棉、岩棉和矿渣棉化学组成较为相似，其碱金属和碱土金属的氧化物（氧化钠  $\text{Na}_2\text{O}$ +氧化钾  $\text{K}_2\text{O}$ +氧化钙  $\text{CaO}$ +氧化镁  $\text{MgO}$ +氧化钡  $\text{BaO}$ ）组分的质量含量大于18%，但岩棉和矿渣棉中碱土金属氧化物（ $\text{MgO}$  和  $\text{CaO}$ ）的含量高于玻璃棉，碱金属氧化物（ $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{K}_2\text{O}$ ）的含量低于玻璃棉<sup>[5]</sup>（表1）。

表1 玻璃棉、岩棉和矿渣棉化学组成表<sup>[6]</sup> (%)

组分*	玻璃棉	岩棉（玄武岩）	岩棉（玄武岩和其它矿物）	矿渣棉
$\text{SiO}_2$	55-70	45-48	41-53	38-52
$\text{Al}_2\text{O}_3$	0-7	12-13.5	6-14	5-15
$\text{B}_2\text{O}_3$	3-12	—	—	—
$\text{K}_2\text{O}$	0-2.5	0.8-2	0.5-2	0.3-2
$\text{Na}_2\text{O}$	13-18	2.5-3.3	1.1-3.5	0-1
$\text{MgO}$	0-5	8-10	6-16	4-14
$\text{CaO}$	5-13	10-12	10-25	20-43
$\text{TiO}_2$	0-0.5	2.5-3	0.9-3.5	0.3-1
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0.1-0.5	—	—	—
$\text{FeO}$	—	11-12	3-8	0-2
$\text{Li}_2\text{O}$	0-0.5	—	—	—
$\text{SO}_3$	0-0.5	—	—	—
$\text{S}$	—	0-0.2	0-0.2	0-2
$\text{F}_2$	—	0-1.5	—	—
$\text{BaO}$	—	0-3	—	—
$\text{ZrO}_2$	—	—	—	—
$\text{P}_2\text{O}_5$	—	—	0-0.5	—
$\text{Cr}_2\text{O}_3$	—	—	—	—
$\text{ZnO}$	—	—	—	—

\*注：组分大多以氧化物形式报告，纤维中实际并不存在这样的晶体物质。

玻璃棉的最高使用温度为 400℃，岩棉为 820~870℃，矿渣棉则为 600~650℃<sup>[4]</sup>。岩棉、矿渣棉的密度（2.7-2.9 g/cm<sup>3</sup>）较玻璃棉（2.40-2.55 g/cm<sup>3</sup>）高<sup>[6-7]</sup>，三者的公称直径为 1-10 $\mu\text{m}$ （大部分在 3 $\mu\text{m}$  以上）<sup>[8-9]</sup>，岩棉的生物耐久性（ $T_{1/2}$ ，5-60d）高于玻璃棉（2-35d）和矿渣棉（9d）<sup>[5]</sup>。在外力作用下均是横向断裂成与原纤维直径相同的短纤维，而不会沿着轴向开裂成更细的纤维，这与石棉纤维轴向开裂成更细的纤维有本质的区别。致癌性分类大致相同，IARC<sup>[1]</sup>将其



归为第 3 组，ACGIH<sup>[9-10]</sup>将其归为 A3 组，德国科学研究会（DFG）将玻璃棉、岩棉归为第 2 组，将矿渣棉归为 3B 组<sup>[11]</sup>（表 2）。

表 2 玻璃棉、岩棉和矿渣棉理化和生物学性质

性质	玻璃棉	岩棉	矿渣棉
理化性质			
最高使用温度（℃） <sup>[3]</sup>	~400	820~870	600~650
密度（g/cm <sup>3</sup> ） <sup>[6]</sup>	2.40-2.55	2.7-2.9	2.7-2.9
公称直径 <sup>a</sup> （μm） <sup>[9]</sup>	1-10	1-10	1-10
折射率 <sup>b[8]</sup>	1.51-1.54	1.6-1.8	1.6-1.8
外力作用 <sup>[1]</sup>	横向断裂	横向断裂	横向断裂
耐久性（T <sub>1/2</sub> , d） <sup>[5]</sup>	2-35	5-60	9
致癌性分类			
IARC <sup>c[1]</sup>	3	3	3
ACGIH <sup>d[9-10]</sup>	A3	A3	A3
DFG <sup>e[11]</sup>	2	2	3B

注：<sup>a</sup> 公称直径（Nominal Diameter，即直径的中位数）；<sup>b</sup> 纤维对光的折射率与选择纤维计数测定的预处理方法有关；<sup>c</sup> IARC 致癌性分类：3=对人及动物致癌性证据不足；<sup>d</sup> ACGIH 致癌性分类：A3=确定的动物致癌物但与人类的相关性未知；<sup>e</sup> DFG 对玻璃棉致癌性分类的依据是动物吸入实验（inhalation）、气管灌注实验（intratracheal instillation）、腹腔注射实验（intraperitoneal injection）以及胸腔注射实验（intrapleural injection）均为阳性；对岩棉的分类依据为胸腔注射实验阳性；对矿渣棉的分类依据为缺乏数据。

## 2.3 毒理学研究

### 2.3.1 玻璃棉的动物和细胞实验

#### 2.3.1.1 动物吸入实验

Bunn 等<sup>[12]</sup>曾对使用玻璃棉进行的长期动物吸入实验进行了综述，结果表明与空白对照组相比，长期吸入玻璃棉不会增加肺纤维化或肺癌。Hesterberg 等<sup>[13]</sup>开展了为期 2 年、多剂量水平的玻璃棉长期吸入实验，将 140 只大鼠分为 3 组，经鼻吸入，6 小时/天，5 天/周，剂量分别为 3、16、30mg/m<sup>3</sup>（即 27、174、222f/cc），玻璃棉纤维平均直径 1μm、平均长度 20μm，与空白对照组相比，暴露组肺纤维化和肺癌未见明显增加。

#### 2.3.1.2 动物气管内灌注实验

使用大剂量的气管内灌注实验可产生肺组织纤维化，但大部分未诱发肿瘤<sup>[14-16]</sup>。德国的 2 项研究中虽有大鼠和仓鼠诱发肿瘤的报道，但该效应未在其它研

究中得到重复<sup>[9]</sup>。

### 2.3.1.3 胸腔和腹腔注射实验

虽有在胸腔和腹腔内直接注射玻璃棉后诱发肿瘤的结果报道<sup>[14, 17-23]</sup>，但这些研究被认为不足以证明通过吸入途径也能导致肿瘤。

### 2.3.1.4 细胞培养

玻璃棉在多种不同的细胞体系中培养的研究结果变异较大<sup>[24]</sup>。一般说来，玻璃棉纤维的剂量较其化学组成与相应的生物学效应关联性大。

## 2.3.2 岩棉和矿渣棉的动物和细胞实验

### 2.3.2.1 动物吸入实验

使用大鼠和仓鼠长期吸入实验均没有显示产生肿瘤的证据<sup>[14, 19, 25-26]</sup>，仅部分研究显示高剂量组岩棉可能会在后期出现纤维化的效应。

与玻璃棉类似，亦对岩棉和矿渣棉开展了为期2年、多剂量水平的岩棉长期动物吸入实验。将140只大鼠分为3组，经呼吸道吸入岩棉和矿渣棉，6小时/天，5天/周，剂量分别为3、16、30mg/m<sup>3</sup>（即34、145、247f/cc），纤维平均直径1μm、平均长度20μm，与对照组相比，矿渣棉暴露组未见肺组织纤维化和肺癌的增加，而高剂量组岩棉则在后期观察到轻微的纤维化效应<sup>[26]</sup>。

### 2.3.2.2 胸腔和腹腔内注射实验

对大鼠胸腔和腹腔内注射岩棉和矿渣棉能诱导间皮瘤发生<sup>[18-19]</sup>，但这些研究亦被认为不足以证明经呼吸道吸入也能导致肿瘤发生。

## 2.4 职业接触水平评定

### 2.4.1 方法

#### 2.4.1.1 对象

选择具有一定生产历史、生产连续性较好的2家玻璃棉企业（A和B）、2家

岩棉和矿渣棉企业（C 和 D）作为研究现场并进行职业卫生学调查，测定劳动者的实际接触水平。A、B、C 企业连续测定 3 个班次，D 企业限于条件仅测定 1 个班次。

#### 2.4.1.2 采样与测定

对于工作地点相对固定的岗位采用定点采样方式，对流动性较大的岗位则采用个体采样方式。分别测定纤维计数浓度和总粉尘质量浓度。

（1）纤维计数浓度测定 以 WHO 推荐的纤维计数浓度测定方法为基础，用混合纤维素酯滤膜采集工作场所空气中人造矿物纤维绝热棉纤维，用相差显微镜对纤维的大小和数量进行观测，将长度 $>5\mu\text{m}$ ，直径 $<3\mu\text{m}$ ，长径比 $>3:1$ 的纤维纳入计数范围。

（2）总粉尘质量浓度测定 用称重法对平行采集样品的总粉尘质量浓度进行测定。

对纤维计数浓度和总粉尘质量浓度进行相关和回归分析。

#### 2.4.1.3 浓度计算

根据劳动组织、作息制度和工时记录结果，分别以 8h 工作班和 40h 工作周为单位，估算不同岗位的日接触浓度（ $C_{TWA, 8h}$ ）和周接触浓度（ $C_{TWA, 40h}$ ）。

日接触浓度按公式（3）计算。

$$C_{TWA, 8h} = C_s \times \frac{t_s}{8} \dots\dots\dots (3)$$

$C_{TWA, 8h}$ ——日接触浓度

$C_s$ ——代表性样品的浓度

$t_s$ ——每班实际接触时间

周浓度按公式（4）计算。

$$C_{TWA, 40h} = C_s \times \frac{t_w}{40} \dots\dots\dots (4)$$

$C_{TWA, 40h}$ ——周接触浓度

$C_s$ ——代表性样品的浓度

$t_w$ ——每周实际接触时间

## 2.4.2 结果

### 2.4.2.1 玻璃棉的职业接触水平

与国外玻璃棉的纤维浓度限值（1f/ml）比较，所有岗位日和周接触的纤维计数浓度水平均较低（<1f/ml）；与我国总粉尘容许浓度（3mg/m<sup>3</sup>）相比，只有打包工岗位的日和周接触的总粉尘质量浓度水平均>3mg/m<sup>3</sup>（表3）。

表3 接触玻璃棉的岗位分布及其总粉尘浓度和纤维浓度水平

岗位	班制	样 品 数	工作时间 (h)		总粉尘浓度 (mg/m <sup>3</sup> )		纤维浓度 (f/ml)	
			每日	每周	日浓度	周浓度	日浓度	周浓度
A 企业								
成品仓管及搬运工	日班	2	8	40	1.40	1.40	0.003	0.003
打包工	三班二运转	4	12	56	7.20*	6.72*	0.080	0.074
电工	三班二运转	2	12	56	1.50	1.40	0.021	0.020
固化炉工	三班二运转	4	12	56	2.32	2.17	0.043	0.040
成品检验工	三班二运转	2	12	56	1.75	1.63	0.031	0.029
清扫工	日班	2	8	40	1.50	1.50	0.012	0.012
维修工	三班二运转	2	12	56	2.50	2.33	0.021	0.020
B 企业								
成品仓管及搬运工	日班	2	8	40	0.25	0.30	0.004	0.005
打包工（棉）	四班三运转	3	8	42	0.53	0.56	0.005	0.006
成纤工	四班三运转	2	8	42	0.83	0.88	0.008	0.009
打包工（毡）	四班三运转	6	8	42	3.00	3.15	0.020	0.021
成品检验工	日班	2	8	48	0.42	0.50	0.012	0.015
坑道捞棉工	四班三运转	4	4	21	0.56	0.58	0.017	0.017

注：\*—超出目前我国玻璃棉总粉尘容许浓度 3mg/m<sup>3</sup>。

### 2.4.2.2 岩棉的职业接触水平

与国外岩棉的纤维浓度限值（1f/ml）相比，仅 D 企业 2#线翻板工的日和周接触的纤维计数浓度水平>1f/ml，其余岗位均<1f/ml。与我国总粉尘容许浓度（3mg/m<sup>3</sup>）相比，几乎所有的一线操作岗位的日和周接触的总粉尘质量浓度水平

均 $>3\text{mg}/\text{m}^3$ （表 4）。

表 4 接触岩棉的岗位分布及其总粉尘浓度和纤维浓度水平

岗位	班制	样品数	工作时间(h)		总尘浓度(mg/m³)		纤维浓度(f/ml)	
			每日	每周	日浓度	周浓度	日浓度	周浓度
C 企业								
1#线操作工	三班二运转	2	12	56	10.68*	9.96*	0.078	0.072
1#线包装工	四班三运转	1	8	42	0.98	1.02	0.024	0.026
1#线中控	四班三运转	1	8	42	0.43	0.46	0.010	0.010
2#线操作工	三班二运转	3	12	56	8.32*	7.77*	0.053	0.050
2#线中控	四班三运转	1	8	42	0.63	0.66	0.007	0.007
成品仓管	日班	1	8	40	2.38	2.38	0.011	0.011
电工	日班	3	8	40	4.42*	4.42*	0.484	0.484
维修工	日班	3	8	40	1.41	1.41	0.050	0.050
清扫工	日班	2	8	40	1.88	1.88	0.184	0.184
叉车工	日班	3	8	40	1.30	1.30	0.068	0.068
小线班缝毡工	日班	4	8	40	12.97*	12.97*	0.460	0.460
小线班开条工	日班	2	8	40	18.12*	18.12*	0.120	0.121
质检工	日班	1	8	40	1.02	1.02	0.088	0.088
D 企业								
1#线包装工	三班二运转	1	12	56	3.15*	2.94	0.335	0.313
1#线翻板工	三班二运转	2	12	56	4.64*	4.33*	0.562	0.524
1#线贴铝箔工	三班二运转	1	12	56	53.50*	49.93*	0.801	0.748
2#线包装工	三班二运转	2	12	56	8.60*	8.03*	0.973	0.908
2#线翻板工	三班二运转	2	12	56	12.85*	11.99*	1.157**	1.080**

注：\*—超出我国岩棉总粉尘容许浓度（ $3\text{mg}/\text{m}^3$ ），\*\*—超出国外主要的纤维浓度限值大小（ $1\text{f}/\text{ml}$ ）<sup>[60]</sup>。

#### 2.4.2.3 总粉尘质量浓度与纤维计数浓度的相关性研究

玻璃棉、岩棉的总粉尘质量浓度与纤维计数浓度均呈正相关关系（ $P<0.05$ ），分别拟合两种浓度之间的线性回归、对数曲线、多项式、幂函数和指数曲线模型，决定系数（ $R^2$ ）均较低。玻璃棉决定系数最高的是指数曲线模型  $y = 0.0051e^{0.5659x}$ （ $R^2=0.4189$ ，图 5），岩棉决定系数最高的是幂函数模型  $y=0.0146x^{1.0237}$ （ $R^2=0.5069$ ，图 6）。

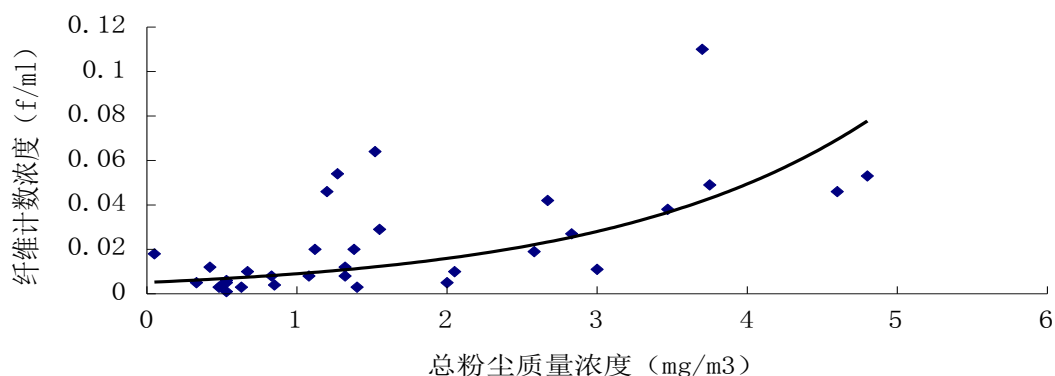


图 5 玻璃棉总粉尘浓度与纤维浓度的指数曲线图

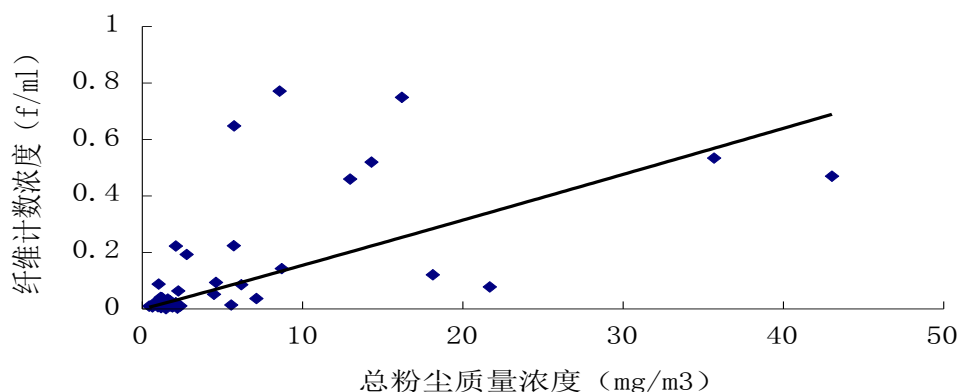


图 6 岩棉总粉尘浓度与纤维浓度的幂函数图

对不同岗位劳动者的职业接触水平进行测定和评估，2 家玻璃棉生产企业总体呈现纤维计数浓度低、总粉尘质量浓度也低的特点，而 2 家岩棉和矿渣棉生产企业总体呈现纤维计数浓度低、总粉尘质量浓度高的特点。综上，当以直径 $<3\mu\text{m}$ ，长度 $>5\mu\text{m}$ ，长径比 $>3:1$ 作为纳入条件时，对于人造矿物纤维绝热棉这类粗直径纤维，虽然所测得的纤维计数浓度水平较低，但总粉尘质量浓度仍可能较高。玻璃棉、岩棉的纤维计数浓度虽与总粉尘质量浓度呈正相关，但两种浓度之间并无固定的回归关系，两者的定量换算关系不明确；对于玻璃棉、岩棉，联合应用纤维计数与总粉尘质量浓度测定可更客观地反映人造矿物纤维绝热棉的实际接触水平。

## 2.5 对职业人群的健康影响

### 2.5.1 调查设计

采用回顾性队列研究设计和横断面研究设计相结合的方式，回顾性地收集调

查对象的职业接触和健康效应资料,探讨累积的接触水平与长期或慢性健康效应之间的关系,以及当前的接触水平与短期或急性健康效应之间的关系。

### 2.5.1.1 研究对象

#### (1) 样本量估算

以队列研究样本量的估算方法进行样本量估算,见公式1。

$$n = \frac{(z_{\alpha}\sqrt{2pq} + z_{\beta}\sqrt{p_0q_0 + p_1q_1})^2}{(p_1 - p_0)^2} \dots\dots\dots \text{(公式 1)}$$

其中  $P_1$  与  $P_0$  分别代表接触组与对照组的预期发病率,  $\bar{p}$  为两个发病率的平均值,  $q=1-p$ ,  $z_{\alpha}$  和  $z_{\beta}$  为标准正态分布下双(单)侧尾部面积为  $\alpha$  或  $\beta$  时对应的正态变量  $Z$  界值(0.05 和 0.10 时  $Z$  分别为 1.96 和 1.282)。以肺功能作为主要指标,参考文献取  $P_1=15\%$ ,  $P_0=5\%$ ,  $\alpha$  取 0.05,  $\beta$  取 0.01, 则  $n \approx 180$  人,即接触组和对照组中工龄  $\geq 1$  年者各需 180 人。

#### (2) 纳入和排除标准

探讨长期接触人造矿物纤维绝热棉对呼吸系统以及鼻、咽部健康影响时,接触组的纳入对象为连续接触且工龄  $\geq 1a$  的劳动者,并排除接触石棉和其他纤维、可能损害呼吸系统的粉尘和化学物质,患有慢性支气管炎和哮喘、最近一周患有感冒的工人;接触组按照接触工龄分为 1~5a 组、6~10a 组、>10a 组等亚组并进行分析。探讨职业接触人造矿物纤维绝热棉对皮肤和眼睛的健康影响时,接触组的纳入对象为目前处于接触状态的劳动者;接触组按照每周接触的总粉尘质量浓度,分为低接触组 ( $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{w}$ )、中接触组 ( $5 - \leq 10 \text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{w}$ )、高接触组 ( $> 10 \text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{w}$ ),按照接触工龄分为  $\leq 1a$  组和  $> 1a$  组,进行亚组分析。

以工龄作为主要匹配因素选择地域相近、仅接触噪声的作业工人作为外对照,对照组除不接触玻璃棉、岩棉和矿渣棉外,其余排除条件均与接触组相同。

目前国内大部分玻璃棉、岩棉和矿渣棉生产企业建厂时间短,对直接接触工人的技术要求不高,因此,普遍存在工人流动性大和接触工龄短等问题。而加工或使用企业的材料来源广泛,工人并不一定单纯接触玻璃棉、岩棉和矿渣棉,还可能接触耐火陶瓷纤维、石棉、聚氨酯泡沫等保温材料。因此,在研究对象的选

择上受到一定的限制，存在样本量不够大的问题。

#### 2.5.1.2 问卷调查

回顾性地收集玻璃棉、岩棉和矿渣棉生产企业尘肺病、肺癌、恶性间皮瘤和其它肿瘤的发病以及既往职业健康检查资料，并追踪所有病例的发病情况。

对所有研究对象进行问卷调查，内容包括：人口学信息（性别、民族、婚姻状况、教育程度），职业史和职业病危害接触史，工作班制、工作内容和时间，个人使用的防护用品及佩戴情况，吸烟，既往史、家族史、现患疾病，以及呼吸系统、鼻咽部、皮肤和眼部的症状。调查采取一对一询问方式，问卷各项内容均由经过统一培训的调查员填写。

#### 2.5.1.3 职业健康检查

按照 GBZ 188-2007《职业健康监护技术规范》（附录 B）的要求，对接触工人进行鼻咽部、皮肤和眼科常规检查以及肺通气功能测定，观察的效应指标和目标疾病主要有：限制性通气功能障碍、慢性鼻炎、慢性咽炎、接触性刺激性皮炎、结膜炎和角膜炎等。肺通气功能测定指标有用力肺活量（FVC）、第一秒用力呼气量（FEV1.0）以及一秒率（FEV1.0 /FVC），各项指标均以实测值占预计值的百分比表示并进行分析，以消除年龄、性别、身高和体重的影响，当 FVC% < 80% 时判定为限制性通气功能障碍，FEV1.0% < 70% 时判定为阻塞性通气功能障碍；FVC% < 80% 和 FEV1.0% < 70% 时判定为混合性通气功能障碍<sup>[27]</sup>，其余指标按照《耳鼻咽喉头颈外科学》<sup>[28]</sup>、参照 GBZ 20-2002《职业性接触性皮炎诊断标准》<sup>[29]</sup>、《眼科学》<sup>[30]</sup>进行判定。

#### 2.5.1.4 统计分析

调查结果用 EpiData 3.1 进行数据录入，用 SAS 9.1 软件进行统计学分析；定量资料的集中趋势和离散趋势分别采用均数（ $\bar{x}$ ）和标准差（ $s$ ）进行描述，组间均数比较采用  $t$  检验或方差分析；定性资料中的频率型指标采用构成比进行描述，组间比较采用  $\chi^2$  检验，采用 Logistic 回归进行多因素分析，分组变量单向有序的资料采用  $\chi^2$  趋势检验，指标变量单向有序的资料采用秩转换的非参数



检验,其中两组间比较采用 Wilcoxon 秩和检验,多组比较时采用 Kruskal-Wallis  $H$  检验。采用逐步法对自变量进行筛选时取  $\alpha=0.1$ 、 $\beta=0.1$  作为界值,其余均取  $\alpha=0.05$  作为界值。

## 2.5.2 结果

### 2.5.2.1 致纤维化作用和致癌作用

收集到尘肺病 I 期病例 5 例,均由取得相应诊断资质的职业病诊断机构诊断,其中混合尘肺 2 例、石棉肺 1 例、“矿岩棉尘肺” 2 例,“矿岩棉尘肺” 的“发病” 工龄均在 10 年以上 (表 5)。未收集到肺癌、恶性间皮瘤以及其它肿瘤病例。

表 5 尘肺病病例信息

病例	性别	年龄* (y)	职业危害接触史	诊断结论	诊断时间
病例 1	男	44	缝纫机厂车工 11 年 岩矿棉厂车工 3 年 岩矿棉厂机修工 9 年	矿岩棉尘肺 I 期	200711
病例 2	男	55	机械厂车工 3 年 水泥厂司炉工 11 年 岩矿棉厂司炉工 5 年 岩矿棉厂机修工 16 年	混合尘肺 I 期	200709
病例 3	男	52	岩矿棉厂机修工 10 年 岩矿棉厂缝毡工 1 年 仓库保管员 6 年	矿岩棉尘肺 I 期	200711
病例 4	男	50	硅酸盐制品厂轨粒工 10 年 石棉制品厂翻瓦工 12 年 岩矿棉厂叠板工 9 年	混合尘肺 I 期	200710
病例 5	女	41	湿切工 4 年 石棉制品厂电焊工 6 年 岩矿棉厂电焊工 9 年	石棉肺 I 期	200608

注: \*—年龄指被初次诊断时的年龄。

尽管玻璃棉、岩棉和矿渣棉尘肺尚未明确列入我国职业病名单,且对“矿岩棉尘肺” 亦无定论,但国内、外新近均有关于绝热棉致肺纤维化的零星病例报道 [31-32]。本文收集到的 2 例“矿岩棉尘肺” 病例胸片均表现为 p/s 小阴影,总体

密集度 1 级，分布 3 个肺区，诊断机构对照《尘肺病诊断标准》，经支气管肺活检组织病理学检查，并排除其他肺部疾病后将其诊断为“矿岩棉尘肺”<sup>[32]</sup>。由于玻璃棉、岩棉和矿渣棉在我国大规模商业化生产时间尚短，工人流动性大，接触工龄普遍较短，且缺乏职业健康检查资料或不全，因此，本研究无法采用队列研究的设计方式从人群水平上验证人造矿物纤维绝热棉职业接触与致纤维化作用之间的因果关系，国内亦未见相应人群的职业流行病学研究报道。

国外已开展的一些流行病学调查由于存在着未设对照、职业接触水平低或缺乏检测资料、以及受到协变量（如石棉）影响等设计缺陷；且数据大多来自胸片，而胸片被认为具有灵敏度和特异度均较低，因此，在人群水平上职业接触绝热棉致尘肺和胸膜病变的证据尚不充分<sup>[33]</sup>，但本次调查结果为进一步观察人造矿物纤维致纤维化作用提供了线索。

玻璃棉、岩棉和矿渣棉作为石棉的主要代用品，在形态、性能和用途等方面与石棉较为相似，其致癌作用曾一直是国际社会高度关注的热点，我国虽然对其研究和报道较少，但欧美国家均开展了致癌作用的大规模的队列研究，结果提示人造矿物纤维绝热棉对人的致癌性证据不足<sup>[33]</sup>。因此，国际癌症研究中心（IARC）虽在 1988 年曾将玻璃棉、岩棉和矿渣棉列为 2B 类（可疑人类致癌物）<sup>[34]</sup>，但在 2002 年又将其重新分类为 3 类（对人及动物致癌性证据不足）<sup>[1]</sup>。

## 2.5.2.2 对呼吸系统的影响

岩棉接触组 FVC%、FEV1.0%和 FEV1.0 /FVC%的均数均低于对照组，且差异均具有统计学意义（ $P < 0.05$ ，表 6）。但接触组中 3 个不同接触工龄组 FVC%、FEV1.0%和 FEV1.0 /FVC%均数比较，差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ，表 7）。

表 6 岩棉接触组与对照组肺通气功能实测值与预计值比值比较（ $\bar{x} \pm s$ ）

组别	受检人数	FVC%	FEV1.0%	FEV1.0 /FVC%
接触组	99	84.15±9.09*	89.75±11.57*	111.45±11.98*
对照组	141	91.75±10.86	95.74±12.28	127.40±9.67

注：经  $t$  检验，与对照组比较，\* $P < 0.05$ 。

表 7 岩棉接触组不同工龄亚组肺通气功能实测值与预计值比值比较 ( $\bar{x} \pm s$ )

接触工龄	受检人数	FVC%	FEV1.0%	FEV1.0 /FVC%
1~5a	56	85.11±10.07	89.04±11.74	108.71±11.18
6~10a	33	83.15±7.34	92.21±10.28	116.52±10.23
>10a	10	82.10±8.60	85.60±13.97	110.10±16.84

岩棉接触组限制性通气功能障碍检出率 28.3%，提示限制性通气功能障碍是岩棉致肺通气功能损害的主要类型（表 8），与吸烟未显示有关联性（ $P>0.05$ ）、吸烟与岩棉亦未显示具有联合作用（ $P>0.05$ ，表 9），与接触工龄呈线性趋势关系（ $P<0.05$ ，表 10）。

表 8 岩棉接触组和对照组肺通气功能障碍检出率和吸烟率

组别	受检人数	吸烟*		限制性		阻塞性		混合性	
		人数	吸烟率(%)	异常人数	检出率(%)	异常人数	检出率(%)	异常人数	检出率(%)
接触组	99	55	55.6**	28	28.3**	4	4.0	4	4.0
对照组	141	59	41.8	14	9.9	3	2.1	3	2.1

注：\*—吸烟指每天 1 支烟至少 1 年以上，或者吸烟量已超过 20 包，下同。经  $\chi^2$  检验，与对照组比较，\*\* $P<0.05$ 。

表 9 岩棉接触工人限制性肺通气功能障碍影响因素的非条件 Logistic 回归分析

变量	Wald 检验				似然比检验		
	<i>b</i> 值	<i>S<sub>e</sub></i> 值	Wald $\chi^2$ 值	<i>P</i> 值	$\chi^2$ 值	$\gamma$	<i>P</i> 值
变量未筛选的模型					17.1018	3	0.0007
常数项	-2.2246	0.3722	35.7289	<.0001			
吸烟	0.0461	0.5692	0.0066	0.9355			
岩棉	0.8613	0.5027	2.9359	0.0866			
吸烟*岩棉	0.8182	0.7299	1.2567	0.2623			
变量筛选后的模型					13.4258	1	0.0002
常数项	-2.2051	0.2816	61.3169	<.0001			
岩棉	1.2746*	0.3593	12.5848	0.0004			

注：\*— $OR=3.577$ ,  $95\%CI=1.769\sim7.235$ 。

表 10 限制性通气功能障碍与岩棉接触工龄的关系

接触工龄 (a)	受检人数	检出人数	检出率 / %
0*	141	14	9.9
1~5	56	14	25.0**
6~10	33	9	27.3**
>10	10	5	50.0**

注：\*—对照组接触工龄视为 0；经  $\chi^2$  趋势检验，\*\* $P < 0.05$ 。

岩棉接触组哮喘、呼吸困难、感冒引起的肺部疾病症状的发生率均高于对照组，差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ，表 11)。

表 11 岩棉接触组与对照组呼吸系统症状比较

组别	受检人数	咳嗽		咯痰		周期性咳嗽或咳痰	
		阳性人数	发生率 (%)	阳性人数	发生率 (%)	阳性人数	发生率 (%)
接触组	99	9	9.1	10	10.1	3	3.0
对照组	141	9	6.4	8	5.7	2	1.4

组别	受检人数	喘息		呼吸困难		感冒致胸部疾病	
		阳性人数	发生率 (%)	阳性人数	发生率 (%)	阳性人数	发生率 (%)
接触组	99	14	14.1*	25	25.2*	25	25.2*
对照组	141	2	1.4	19	13.5	19	13.5

注：经  $\chi^2$  检验，与对照组比较，\* $P < 0.05$ 。

岩棉接触组慢性鼻炎的检出率 (7.1%) 高于对照组 (2.8%)，但差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )；接触组慢性咽炎的检出率 (31.3%) 高于对照组 (5.7%)，差异具有统计学意义 ( $P < 0.05$ ，表 12)，除岩棉因素外，还可能受吸烟等其它因素影响 (表 13)。

表 12 岩棉接触组与对照组慢性鼻炎和慢性咽炎检出率分析

组别	受检数	慢性鼻炎		慢性咽炎	
		检出数	检出率 (%)	检出数	检出率 (%)
接触组	99	7	7.1	31	31.3*
对照组	141	4	2.8	8	5.7

注：经  $\chi^2$  检验，与对照组比较，\* $P < 0.05$ 。

表 13 岩棉接触工人慢性咽炎影响因素的非条件 Logistic 回归

变量	Wald 检验				似然比检验		
	<i>b</i> 值	<i>S<sub>e</sub></i> 值	Wald $\chi^2$ 值	<i>P</i> 值	$\chi^2$ 值	$\gamma$	<i>P</i> 值
常数项	-3.6889	0.7159	26.5519	<0.0001	34.1760	3	<0.0001
吸烟	1.5103	0.8355	3.2680	0.0706			
岩棉	3.1583	0.7694	16.8514	<0.0001			
吸烟*岩棉	-2.1082	0.9475	4.9505	0.0261			

岩棉接触组鼻干、鼻塞症状的发生率均低于对照组，差异具有统计学意义（ $P < 0.05$ ，表 14）。

表 14 岩棉接触组与对照组鼻、咽部症状的组间分布

组别	受检数	鼻干			鼻塞			流鼻涕			咽喉疼痛		
		没 有	偶 尔	经 常	没 有	偶 尔	经 常	没 有	偶 尔	经 常	没 有	偶 尔	经 常
接触组	99	96*	3*	0*	94*	5*	0*	87	11	1	76	20	3
对照组	141	124	4	13	116	22	3	123	15	3	112	27	2

注：接触组与对照组比较，经 Wilcoxon 秩和检验，\* $P < 0.05$ 。

玻璃棉接触组 FVC% 和 FEV1.0% 的均数均高于对照组，FEV1.0 / FVC% 的均数低于对照组，差异均具有统计学意义（ $P < 0.05$ ，表 15）。接触组中 3 个不同接触工龄亚组 FVC%、FEV1.0% 均数比较，差异均无统计学意义（ $P > 0.05$ ）；（1~5a）组 FEV1.0 / FVC% 均数低于（6~10a）组和（>10a）组，差异有统计学意义（ $P < 0.05$ ，表 16）。

表 15 玻璃棉接触组与对照组肺通气功能实测值与预计值比值比较（ $\bar{x} \pm s$ ）

组别	受检人数	FVC%	FEV1.0%	FEV1.0 / FVC%
接触组	98	99.43 ± 17.78*	105.61 ± 20.28*	115.06 ± 8.87*
对照组	100	92.11 ± 11.37	96.86 ± 13.66	128.94 ± 10.85

注：经 *t* 检验，与对照组比较，\* $P < 0.05$ 。

表 16 玻璃棉接触组中不同工龄亚组肺通气功能实测值与预计值比值比较（ $\bar{x} \pm s$ ）

接触工龄	受检人数	FVC%	FEV1.0%	FEV1.0 / FVC%
1~5a	27	102.26 ± 17.40	98.74 ± 19.92	108.85 ± 9.33
6~10a	12	95.33 ± 13.41	104.92 ± 20.72	116.92 ± 9.47*
>10a	59	98.97 ± 18.75	108.90 ± 19.89	117.52 ± 7.12*

注：经方差分析，与（1~5a）组比较，\* $P < 0.05$ 。

接触组限制性通气功能障碍检出率 14.3%（表 17），与玻璃棉、吸烟、玻璃

棉与吸烟的交互项均无关联性 ( $P>0.05$ , 表 18), 与接触工龄未呈线性趋势关系 ( $P>0.05$ , 表 19)。

表 17 玻璃棉接触组和对照组肺的通气功能障碍检出率和吸烟率

组别	受检人数	吸烟		限制性		阻塞性		混合性	
		人数	吸烟率(%)	异常人数	检出率(%)	异常人数	检出率(%)	异常人数	检出率(%)
接触组	98	40	40.8	14	14.3	4	4.1	4	4.1
对照组	100	49	49.0	8	8.0	4	4.0	3	3.0

表 18 玻璃棉接触工人限制性通气功能障碍影响因素的非条件 Logistic 回归分析

变量	Wald检验				似然比检验		
	<i>b</i> 值	<i>S<sub>b</sub></i> 值	Wald $\chi^2$ 值	<i>P</i> 值	$\chi^2$ 值	$\gamma$	<i>P</i> 值
变量未筛选的模型					3.9182	3	0.2704
常数项	-3.1987	0.7214	19.6606	<0.0001			
吸烟	1.2292	0.8428	2.1272	0.1447			
玻璃棉	1.2128	0.8264	2.1538	0.1422			
吸烟*玻璃棉	-0.7939	1.0227	0.6026	0.4376			
变量筛选后的模型							
常数项	-2.0794	0.2261	84.5597	<0.0001			

表 19 限制性通气功能障碍与玻璃棉接触工龄的关系

接触工龄 (a)	受检人数	检出人数	检出率 (%)
0*	100	8	8.0
1~5	27	3	11.1
6~10	12	2	16.7
>10	59	9	15.2

注: \*一对照组接触工龄视为 0。

玻璃棉接触组喘息、呼吸困难、感冒致胸部疾病的检出率高于对照组, 差异均具有统计学意义 ( $P<0.05$ , 表 20)。

表 20 玻璃棉接触组与对照组呼吸系统症状比较

组别	受检人数	咳嗽		咯痰		周期性咳嗽或咯痰	
		阳性人数	检出率 (%)	阳性人数	检出率 (%)	阳性人数	检出率 (%)
接触组	98	9	9.2	15	15.3	3	3.1
对照组	100	7	7.0	7	7.0	1	1.0

组别	n	喘息		呼吸困难		感冒致胸部疾病	
		阳性人数	检出率 (%)	阳性人数	检出率 (%)	阳性人数	检出率 (%)
接触组	98	12	12.2 <sup>*</sup>	44	44.9 <sup>*</sup>	46	46.9 <sup>*</sup>
对照组	100	2	2.0	19	19.0	19	19.0

注：经  $\chi^2$  检验, 与对照组比较, <sup>\*</sup> $P<0.05$ 。

玻璃棉接触组慢性鼻炎的检出率 (7.1%), 高于对照组 (2.8%), 差异无统计学意义 ( $P>0.05$ , 表 21); 接触组慢性咽炎的检出率 (52.0%), 高于对照组 (5.8%), 差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ , 表 21), 除玻璃棉因素外, 还可能受吸烟等其它因素影响 (表 22)。

表 21 玻璃棉接触组与对照组慢性鼻炎和慢性咽炎检出率分析

组别	受检数	慢性鼻炎		慢性咽炎	
		检出数	检出率 (%)	检出数	检出率 (%)
接触组	98	7	7.1	51	52.0 <sup>*</sup>
对照组	100	4	2.8	6	6.0

注：经  $\chi^2$  检验, 与对照组比较, <sup>\*</sup> $P<0.05$ 。

表 22 慢性咽炎影响因素的非条件 Logistic 回归

变量	Wald 检验				似然比检验		
	<i>b</i> 值	<i>S<sub>e</sub></i> 值	Wald $\chi^2$ 值	<i>P</i> 值	$\chi^2$ 值	$\gamma$	<i>P</i> 值
变量未筛选的模型					61.5864	3	<0.0001
常数项	-3.9117	1.0098	15.0060	0.0001			
吸烟	1.7370	1.1146	2.4283	0.1192			
玻璃棉	3.7736	1.0435	13.0761	0.0003			
吸烟*玻璃棉	-1.1933	1.1899	1.0058	0.3159			
变量筛选后的模型					60.3999	2	<0.0001
常数项	-3.1667	0.4887	41.9966	<0.0001			
吸烟	0.7294	0.3795	3.6938	0.0546			
玻璃棉	2.9547	0.4795	37.9795	<0.0001			

玻璃棉接触组鼻干、鼻塞、流鼻涕、咽喉疼痛症状的发生率均高于对照组，

但差异均无统计学意义 ( $P>0.05$ , 表 23)。

表 23 玻璃棉接触组与对照组鼻咽部症状的组间分布

组别	受检数	鼻干			鼻塞			流鼻涕			咽喉疼痛		
		没 有	偶 尔	经 常	没 有	偶 尔	经 常	没 有	偶 尔	经 常	没 有	偶 尔	经 常
接触组	98	85	7	6	79	14	5	83	12	3	71	18	9
对照组	100	90	9	1	83	14	3	89	8	3	80	19	1

综上, 长期接触岩棉和矿渣棉对呼吸系统有一定的负面影响, 可导致肺通气功能损害, 特征是限制性通气功能障碍; 接触者可出现呼吸道症状, 还可能具有一定的致纤维化作用。当纤维计数浓度低时, 长期接触总粉尘质量浓度较高的岩棉, 可损害劳动者的肺通气功能, 主要表现为限制性通气功能障碍, 提示接触总粉尘浓度累积水平高的岩棉对肺通气功能损害的效应比接触累积水平低的玻璃棉更为明显。

### 2.5.2.3 刺激作用

在岩棉接触组, 接触性刺激性皮炎检出率为 10.1%, 与总粉尘接触水平呈线性趋势关系 ( $P<0.05$ , 表 24), 与接触工龄无关联性 ( $P>0.05$ , 表 25)。

表 24 接触性刺激性皮炎与岩棉接触水平的线性趋势分析

接触水平	受检人数	检出数	检出率 (%)
低接触组	40	2	5.0
中接触组	50	4	8.0*
高接触组	19	5	26.3*
合计	109	11	10.1

注: 经  $\chi^2$  趋势检验, \* $P<0.05$ 。

表 25 接触性刺激性皮炎与岩棉接触工龄的关联性

接触工龄	受检人数	检出数	检出率 (%)
$\leq 1a$	31	2	6.4
$> 1a$	78	9	11.5

在岩棉接触组, 皮肤瘙痒症状的发生率 (54.1%) 高于对照组 (11.5%), 差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ , 表 26), 但 3 个接触水平亚组和 2 个接触工龄亚



组分别比较，组间分布的差异均无统计学意义（ $P>0.05$ ，表 27）。

表 26 岩棉接触组与对照组皮肤瘙痒症状比较

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触组	50*	45.9	31*	28.4	28*	25.7	109	100.0
对照组	92	88.5	9	8.6	3	2.9	104	100.0

注：接触组与对照组比较，经 Wilcoxon 秩和检验， $*P<0.0001$ 。

表 27 岩棉接触组皮肤瘙痒症状的亚组分析

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触水平亚组								
低接触组	19	47.5	10	25.0	11	27.5	40	100.0
中接触组	21	42.0	15	30.0	14	28.0	50	100.0
高接触组	10	52.6	6	31.6	3	15.8	19	100.0
接触工龄亚组								
$\leq 1a$	16	51.6	8	25.8	7	22.6	31	100.0
$> 1a$	34	43.6	23	29.5	21	26.9	78	100.0

岩棉接触组的眼结膜炎检出率（12.8%）高于对照组（2.8%），差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ，表 28）。

表 28 岩棉接触组与对照组结膜炎和角膜炎检出率分析

组别	受检数	结膜炎		角膜炎	
		检出数	检出率 (%)	检出数	检出率 (%)
接触组	109	14	12.8*	1	0.9
对照组	104	3	2.8	0	0

注：经  $\chi^2$  检验，与对照组比较， $*P<0.05$ 。

岩棉接触组眼痒的发生率（42.9%）高于对照组（26.5%），差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ，表 29），但 3 个接触水平亚组和 2 个接触工龄亚组分别比较，差异均无统计学意义（ $P>0.05$ ，表 30）。

表 29 岩棉接触组与对照组眼痒症状比较

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触组	61*	57.1	33*	30.8	13*	12.1	107**	100.0
对照组	75	73.5	20	19.6	7	6.9	102**	100.0

注：接触组与对照组比较，经 Wilcoxon 秩和检验，\* $P<0.05$ 。\*\*—排除了沙眼和过敏性结膜炎等可能引起眼痒的病例。

表 30 岩棉接触组眼痒症状的亚组分析

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触水平								
低接触组	18	47.4	15	39.5	5	13.2	38	100.0
中接触组	29	58.0	15	30.0	6	12.0	50	100.0
高接触组	14	73.7	4	21.0	1	5.3	19	100.0
接触工龄								
≤1a	16	55.2	10	34.5	3	10.3	29	100.0
>1a	44	56.4	23	29.5	11	14.1	78	100.0

在玻璃棉接触组，接触性刺激性皮炎检出率 6.7%，与玻璃棉总粉尘接触水平无关联性（ $P>0.05$ ，表 31），与接触工龄亦无关联性（ $P>0.05$ ，表 32）。

表 31 接触性刺激性皮炎与玻璃棉总粉尘接触水平的关联性

接触水平亚组	受检人数	检出数	检出率 (%)
低接触组	81	4	4.9
中接触组	38	4	10.5
合计	119	8	6.7

表 32 接触性刺激性皮炎与玻璃棉接触工龄的关联性分析

接触工龄亚组	受检人数	检出数	检出率 (%)
≤1a 组	28	2	7.1
>1a 组	91	6	6.6

玻璃棉接触组的皮肤瘙痒症状的发生率 (38.6%) 高于对照组 (6.7%), 差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ , 表 33), 且中接触组 (60.5%) 高于低接触组 (28.4%), 差异具有统计学意义 ( $P<0.05$ , 表 34), 但不同接触工龄组间的差异无统计学意义 ( $P>0.05$ , 表 34)。

表 33 玻璃棉接触组与对照组皮肤瘙痒症状比较

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触组	73*	61.4	28*	23.5	18*	15.1	119	100.0
对照组	111	93.3	6	5.0	2	1.7	119	100.0

注: 接触组与对照组比较, 经 Wilcoxon 秩和检验,  $*P<0.0001$ 。

表 34 玻璃棉接触组皮肤瘙痒症状的亚组分析

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触水平亚组								
低接触组	58	71.6	16	19.8	7	8.6	81	100.0
中接触组	15*	39.5	12*	31.6	11*	28.9	38	100.0
接触工龄亚组								
≤1a	17	60.7	8	28.6	3	10.7	28	100.0
>1a	56	61.5	20	22.0	15	16.5	91	100.0

注: 低接触组与中接触组比较, 经 Wilcoxon 秩和检验,  $*P<0.05$ 。

玻璃棉接触组的眼结膜炎检出率 (5.0%) 高于对照组 (2.5%), 但差异无统计学意义 ( $P>0.05$ , 表 35)。

表 35 玻璃棉接触组与对照组结膜炎检出率分析

组别	受检数	检出数	检出率 (%)
接触组	119	6	5.0
对照组	119	3	2.5

接触组眼痒的发生率（37.0%）高于对照组（21.8%），差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ，表 36），且中接触组发生率（55.3%）高于低接触组（28.4%），差异具有统计学意义（ $P<0.05$ ，表 37），但不同接触工龄组间的差异无统计学意义（ $P>0.05$ ，表 37）。

表 36 玻璃棉接触组与对照组眼痒症状比较

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触组	75*	63.0	25*	21.0	19*	16.0	119	100.0
对照组	93	78.2	18	15.1	8	6.7	119	100.0

注：接触组与对照组比较，经 Wilcoxon 秩和检验，\* $P<0.05$ 。

表 37 玻璃棉接触组眼痒症状的亚组分析

组别	没有		偶尔		经常		合计	
	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)	人数	构成比 (%)
接触水平								
低接触组	58	71.6	15	18.5	8	9.9	81	100.0
中接触组	17*	44.7	10*	26.3	11*	28.9	38	100.0
接触工龄								
≤1a	20	71.4	5	17.9	3	10.7	28	100.0
>1a	45	55.5	20	24.7	16	19.8	91	100.0

注：低接触组与中接触组比较，经 Wilcoxon 秩和检验，\* $P<0.05$ 。

综上，接触人造矿物纤维绝热棉对皮肤和眼有机械性刺激效应，接触者可出现皮肤瘙痒和眼痒等症状，可引起接触性刺激性皮炎和眼结膜炎。接触低纤维计数浓度、高总粉尘质量浓度岩棉的劳动者，接触性刺激性皮炎和眼结膜炎的发病明显高于接触低纤维计数浓度、低总粉尘质量浓度玻璃棉的劳动者，提示接触总

粉尘质量浓度高的岩棉对皮肤和眼结膜的刺激作用比接触总粉尘质量浓度低的玻璃棉的效应更为明显。

#### 2.5.2.4 健康效应的选定

如上所述，接触人造矿物纤维绝热棉对呼吸系统具有负面影响，对皮肤和眼结膜具有短期的机械性刺激效应。因此，确定在制定人造矿物纤维绝热棉职业接触限值时依据的关键效应主要是呼吸道影响、皮肤以及眼结膜的刺激作用。

对呼吸道影响主要与直径 $<3\mu\text{m}$ ，长度 $>5\mu\text{m}$ ，且长径比 $>3:1$ 的纤维有关，而刺激作用则与直径 $>4\mu\text{m}$ 的粗直径的纤维关系更为紧密。

考虑到人造矿物纤维绝热棉这类粗直径纤维的健康损害主要是对皮肤和眼结膜的机械性刺激作用，可将总粉尘质量浓度作为人造矿物纤维绝热棉职业接触限值的主要类型。由于结膜炎病例较少，无法探讨其与职业接触水平的剂量-反应关系；相对于皮肤瘙痒和眼痒症状，接触性刺激性皮炎受主观因素影响小，特异性相对较好，因此，在针对人造矿物纤维绝热棉机械刺激效应制定职业接触限值时，选择接触性刺激性皮炎作为确定人造矿物纤维绝热棉职业接触控制水平的依据。根据每周接触的总粉尘浓度水平，将接触人员划分为低接触组（ $\leq 5\text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{周}$ ）、中接触组（ $5 - \leq 10 \text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{周}$ ）和高接触组（ $> 10 \text{mg}/\text{m}^3 \cdot \text{周}$ ），结果高接触组的接触性刺激性皮炎效应明显，其中岩棉接触组接触性刺激性皮炎还与岩棉总粉尘浓度水平呈线性趋势关系，两者具有接触剂量-反应关系，当总粉尘质量浓度控制在 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 以下时，其发病率可控制在5%以内。据此，提出我国人造矿物纤维绝热棉总粉尘容许浓度的建议值 $5\text{mg}/\text{m}^3$ 。

本研究收集到与岩棉和矿渣棉职业接触相关的尘肺病例4例，其中2例被诊断为“矿岩棉尘肺”，但在人群水平上职业接触绝热棉致尘肺和胸膜病变的证据尚不充分。限于目前发病的病例数较少，且致纤维化作用的科学证据尚不充分，因此未将致纤维化作用作为提出人造矿物纤维绝热棉职业接触控制水平的依据。

本研究探讨了长期接触人造矿物纤维绝热棉对肺通气功能、呼吸系统症状以及鼻、咽部的慢性健康影响。因呼吸系统症状（咳嗽、咯痰、周期性咳嗽和咯痰、

喘息、呼吸困难、感冒致胸部疾病)和鼻咽部症状(鼻干、鼻塞、流鼻涕、咽喉疼痛)可能受到接触组与对照组教育程度不同以及主观因素等的影响,而慢性鼻炎和慢性咽炎可能受到职业性有害因素和非职业性因素的影响,因此,这些效应指标的特异性不够理想。研究还发现,虽然限制性通气功能障碍特异性较好,但由于缺少既往详细的职业卫生监测资料和职业健康检查资料,无法获得出现肺通气功能障碍的准确的观察终点,也无法估算劳动者的累积接触水平,且还存在劳动者流动性大等问题。因此,无法按照队列研究设计那样采用寿命表法、接尘量回归法等拟合人造矿物纤维绝热棉职业接触水平与限制性通气功能障碍的关系模型<sup>[35-36]</sup>。此外,我国已就尘肺病提出了明确的控制目标,即接尘工龄 30 年~35 年,发病概率控制在 1%或 0.5%以下,但若以肺通气功能损害作为指标尚缺乏类似的控制目标。因此未将肺通气功能损害作为提出人造矿物纤维绝热棉职业接触控制水平的依据。

### 3 不同国家（地区）和组织卫生标准

收集国际劳工组织（ILO）、世界卫生组织（WHO）、国际癌症研究中心（IARC）、国际化学品安全规划署（IPCS）、欧盟（EU）、美国毒物与疾病登记署（ATSDR）等国际组织或权威组织对人造矿物纤维尤其是绝热棉纤维的研究报告，国内、外职业接触限值及其编制说明等文献资料。对与限值相关的纤维定义及纤维浓度限值、粉尘分类及粉尘浓度限值、所依据的健康效应等进行分析。

研究表明，玻璃棉、岩棉和矿渣棉理化性质和生物学性质较为相似，虽存在一定的差别，但三者在同一国家（地区）或组织制定的标准中使用相同大小的限值。纤维计数浓度限值是国际上普遍采纳的人造矿物纤维绝热棉限值的主要类型，限值大小范围为 0.5-3f/ml，主要集中在 1f/ml。澳大利亚、新西兰、英国、美国均制定了粉尘浓度限值并作为重要补充。限值依据的关键效应是纤维对皮肤和粘膜的机械刺激作用。

不同国家（地区）和组织对纤维大小的定义存有差异，WHO 对呼吸性纤维的定义，即直径 $<3\mu\text{m}$ ，长度 $>5\mu\text{m}$ ，且长径比 $>3:1$ 的纤维，美国职业安全卫生研究所（NIOSH）检测方法中的“A”规则将长度 $>5\mu\text{m}$ ，长径比 $\geq 3:1$ 的纤维纳入计数范围，“B”规则将直径 $<3\mu\text{m}$ ，长度 $>5\mu\text{m}$ ，且长径比 $\geq 5:1$ 的纤维纳入计数范围。除了 NIOSH 采用 10h-TWA 进行计算外，其余均采用 8h-TWA。

绝热棉纤维的职业接触限值在我国最近的 4 版的标准中均沿用总粉尘容许浓度形式，尽管限值在形式（时间加权平均容许浓度 PC-TWA、短时间接触容许浓度 PC-STEL、最高容许浓度 MAC）上有所不同，但总体趋势趋于严格，目前我国绝热棉纤维的总粉尘容许浓度为  $3\text{mg}/\text{m}^3$ （PC-TWA）（表 3）。

表 3 国、内外玻璃棉、岩棉、矿渣棉职业接触限值

No	国家（地区）或组织	参考文献	纤维浓度限值 (f/ml)	粉尘浓度限值 (mg/m <sup>3</sup> )	说明
1	澳大利亚 <sup>a</sup>	NOHSC:1004(1990) <sup>[37]</sup> 、 NOHSC:1003(1995) <sup>[38]</sup> 、 NOHSC 3008(1995) <sup>[39]</sup>	0.5 (WHO 纤维 <sup>c</sup> )	2 (可吸入性粉尘)	①均为 8h-TWA；②纤维浓度限值是主体限值。③粉尘浓度限值是补充限值，适用于空气中几乎均为纤维状的气溶胶物质，依据非呼吸性纤维对上呼吸道的刺激效应。
2	新西兰	WES2010 <sup>[40]</sup>	1 (长度≤5 μm、≥100 μm， 宽度<3 μm，长径比≤3:1 的 纤维)	5 (可吸入性粉尘)	①均为 8h-TWA；②纤维浓度限值制定依据为对眼、皮肤、鼻、呼吸道的刺激效应。
3	英国 <sup>a</sup>	EH40/2005 <sup>[41]</sup>	2 (WHO 纤维)	5 (可吸入性粉尘)	均为 8h-TWA
4	德国	MAK2010 <sup>[11]</sup>	—	—	未制定限值与致癌性分类有关 <sup>f</sup>
5	瑞典 <sup>a</sup>	AFS2005:17 <sup>[42]</sup> 、 NR2005:7 <sup>[43]</sup>	1 (WHO 纤维)	—	为 8h-TWA，依据的关键效应对呼吸道的刺激（持续咳嗽）
6	美国职业安全卫生管理局（OSHA）	29CFR 1910.1000 <sup>[44]</sup> 29CFR 1915.1000 <sup>[44]</sup> HSPP(1999) <sup>[44-45]</sup>	— — 1(NIOSH “B” 纤维 <sup>d</sup> )	15 (总尘)，5 (呼尘) 15 (总尘)，5 (呼尘) —	①均为 8h-TWA；②HSPP 为北美绝热生产商协会 NAIMA 与 OSHA 合作项目，该限值为行业自愿遵守，受到 OSHA 认可。
	美国政府工业卫生师协会（ACGIH）	ACGIH(2006) <sup>[10]</sup> 、 Documentation(2001) <sup>[9]</sup>	1(NIOSH “A” 纤维 <sup>e</sup> )	—	①均为 8h-TWA；②均为推荐性限值；③依据对皮肤和粘膜的刺激效应制定。
	美国职业安全卫生研究所（NIOSH）	NIOSH(1977) <sup>[46]</sup>	3 (直径≤3.5 μm、长度≥ 10 μm 纤维)	5 (总尘)	①均为 10h-TWA；②均为推荐性限值；③纤维浓度限值用于控制小直径纤维对皮肤和呼吸道刺激以及长期的不良健康效应；④粉尘浓度限值用于控制大直径纤维对皮肤、眼睛和呼吸道的刺激。
7	加拿大阿尔伯达省	Chemical Hazards Regulation(2011) <sup>[47]</sup>	1 (WHO 纤维)	—	8h-TWA



	加拿大不列颠哥伦比亚省	Table of exposure limits (2010) <sup>[48]</sup>	1 (NIOSH “A”纤维)	—	8h-TWA, 参考美国 ACGIH 的阈限值标准。
	加拿大安大略省	REGULATION 833 (2010) <sup>[49]</sup>	1 (NIOSH “A”纤维)	—	8h-TWA, 参考美国 ACGIH 的阈限值标准。
8	日本	Recommendation of OELs (2009 - 2010) <sup>[50]</sup>	1 (WHO 纤维)	—	8h-TWA, 推荐性限值
9	马来西亚	LIST OF PELs (2000) <sup>[51]</sup>	1 (WHO 纤维)	—	8h-TWA
10	中国香港	李涛等 (2009) <sup>[52]</sup>	1 (WHO 纤维)	—	8h-TWA
11	中国	GBZ2.1-2007 <sup>[53]</sup>	—	3 (总尘, PC-TWA)	适用于玻璃棉、岩棉、矿渣棉
		GBZ2-2002 <sup>[54]</sup>	—	3 (总尘, PC-TWA) 5 (总尘, PC-STEL)	适用于玻璃棉、岩棉、矿渣棉
		GB17052-1997 <sup>[55]</sup> 、 邢春生等 (1995) <sup>[56]</sup>	—	10 (总尘, MAC) 5 (总尘, PC-TWA)	适用于岩棉粉尘, 依据对大鼠肺的致纤维化作用和现场劳动卫生调查制定。
		TJ36-79 <sup>[57]</sup>	—	5 (总尘, MAC)	适用于玻璃棉和矿渣棉粉尘

注: <sup>a</sup>澳大利亚、英国、瑞典等国以及欧盟明确规定玻璃棉、岩棉、矿渣棉中碱金属和碱土金属氧化物的质量含量达 18%以上。 <sup>b</sup>为编制说明; <sup>c</sup>WHO 纤维, 即呼吸性纤维, 指长度>5μm, 直径<3μm, 且长径比>3: 1 的纤维<sup>[9]</sup>; <sup>d</sup>NIOSH “B” 纤维指按照 NIOSH7400 方法中“B”规则计数, 即长度>5μm, 直径<3μm, 且长径比≥5: 1 的纤维<sup>[58]</sup>; <sup>e</sup>NIOSH “A” 纤维指按照 NIOSH7400 方法中“A”规则计数, 长度>5μm, 长径比≥3: 1 的纤维<sup>[58]</sup>; <sup>f</sup>德国对致癌性分类为第 1 类、第 2 类的物质不指定 MAK (最大容许浓度, 实质为 TWA 浓度), 对物质本身或其代谢物不具有遗传毒性的第 3 类物质以及第 4 类、第 5 类物质可指定 MAK。

综上，纤维计数浓度限值是人造矿物纤维绝热棉职业接触限值的主流类型。但我国目前仅制定了总粉尘容许浓度（ $3\text{mg}/\text{m}^3$ ），且明显严于大多数国家。因此，应补充制定人造矿物纤维绝热棉的纤维计数浓度限值，以实现与国际标准相协调；也应重视总粉尘质量浓度限值的理论意义和实用价值，并进一步探讨其限值大小的科学性和合理性。尽管玻璃棉、岩棉和矿渣棉理化性质和生物学性质有一定的差别，但在同一个标准中均使用相同大小的限值值。

#### 4 职业接触限值建议值及可行性分析

关于人造矿物纤维绝热棉职业接触限值的类型，由于人造矿物纤维绝热棉这类粗直径纤维的健康损害主要是对皮肤和眼结膜的机械性刺激作用，因此，将总粉尘质量浓度作为人造矿物纤维绝热棉职业接触限值的主要类型。参考大多数国家的通行做法以及人造矿物纤维绝热棉对呼吸系统的长期影响，将纤维计数浓度作为补充性限值，联合应用两种表示单位浓度以客观地检测、评估劳动者的职业接触状况。

关于人造矿物纤维绝热棉职业接触限值的大小，根据浓度表示单位的不同可分别予以考虑：

1. 鉴于粗直径人造矿物纤维绝热棉纤维的健康损害主要是对皮肤和眼结膜的机械性刺激作用，经过适当休息或脱离岗位可以得到恢复，结合大多数国家总粉尘质量浓度限值普遍比我国宽松的实际，**建议将我国总粉尘质量浓度从原来的  $3 \text{ mg/m}^3$  修改为  $5 \text{ mg/m}^3$ ，并将降低工作场所空气中的总粉尘质量浓度作为关键控制重点。**

2. 考虑到人造矿物纤维绝热棉生产企业大多数岗位人造矿物纤维绝热棉的纤维计数浓度已经得到控制，结合大多数国家人造矿物纤维绝热棉职业接触限值普遍采纳  $1\text{f/ml}$ ，**建议我国等同采用该标准作为我国人造矿物纤维绝热棉纤维计数浓度的容许值。**

## 5 参考文献

- [1] IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Man-Made Vitreous Fibers. Lyon: IARC-Press, 2002.
- [2] 中国绝热节能材料协会. 2009 年绝热节能材料行业经济运行分析. 保温材料与节能技术, 2010, 23 (2): 15-19.
- [3] 曲通馨, 张德信主编. 绝热材料与绝热工程. 中国建材工业出版社, 1998: 11-88.
- [4] 宋世林. 岩棉和矿渣棉性能差异研究[J]. 非金属矿. 2001, 24 (1): 12-14.
- [5] NRC. Review of the U. S. Navy's Exposure Standard for Manufactured Vitreous Fibers. Washington D.C.: National academy press, 2000:28-29.
- [6] ATSDR. Toxicological profile for synthetic vitreous fibers. Atlanta, Georgia: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2004:164-167.
- [7] IPCS. Environmental Health Criteria 77- Man-Made Mineral Fibres. Geneva: International Programme on Chemical Safety, World Health Organization, 1988.
- [8] WHO. Determination of Airborne Fibre Number Concentrations: A Recommended Method, by Phase Contrast Optical Microscopy (Membrane Filter Method). Geneva: World Health Organization, 1997.
- [9] ACGIH. Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices (7th edition), Synthetic vitreous fibers. Cincinnati, Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 2001.
- [10] 张敏, 王丹, 杜燮玮, 等. ACGIH 有关化学因素的 TLVs. 国外医学卫生学分册, 2007, 34 (1) :4-24.
- [11] DFG. List of MAK and BAT Values 2010. Federal Republic of Germany: 73-160.
- [12] Bunn WB, Bender JR, Hesterberg TW, etc. Recent studies of man-made vitreous fibers. Chronic animal inhalation studies. J Occup Med, 1993, 35(2):101-113.
- [13] Hesterberg TW, Miiller WC, McConnell EE, etc. Chronic inhalation toxicity of size-separated glass fibers in Fischer 344 rats. Fundam Appl Toxicol, 1993, 20(4):464-476.
- [14] Smith DM, Ortiz LW, Archuleta RF, etc. Long-term health effects in hamsters and rats exposed chronically to man-made vitreous fibres. Ann Occup Hyg. 1987, 31(4):731-754.
- [15] Mohr U, Pott F, Vonnahme FJ. Morphological aspects of mesotheliomas after intratracheal instillations of fibrous dusts in Syrian golden hamsters. Exp Pathol, 1984, 26(3):179-183.

- [16]Renne RA, Eldridge SR, Lewis TR, etc. Fibrogenic potential of intratracheally instilled quartz, ferric oxide, fibrous glass, and hydrated alumina in hamsters. *Toxicol Pathol*, 1985, 13(4):306-314.
- [17]Stanton MF, Wrench C. Mechanisms of mesothelioma induction with asbestos and fibrous glass. *J Natl Cancer Inst*, 1972, 48(3):797-821.
- [18]pott F. New results from implantation experiments with mineral fibres. WHO/IARC conference, Copenhagen, Denmark, 1984.
- [19]Wagner JC, Berry GB. Animal experiments with MMM(V)F-effects of inhalation and intrapleural inoculation in rats. WHO/IARC conference, Copenhagen, Denmark, 1984.
- [20] Stanton MF, Laynard M, Tegeris A, etc. Carcinogenicity of fibrous glass: pleural response in the rat in relation to fiber dimension. *J Natl Cancer Inst*, 1977 , 58(3):587-603.
- [21]Stanton MF, Layard M, Tegeris A, etc. Relation of particle dimension to carcinogenicity in amphibole asbestoses and other fibrous minerals. *J Natl Cancer Inst*, 1981, 67(5):965-975.
- [22]Davis JM. The fibrogenic effects of mineral dusts injected into the pleural cavity of mice. *Br J Exp Pathol*, 1972, 53(2):190-201.
- [23]Mohr U, Pott F, Vonnahme FJ. Morphological aspects of mesotheliomas after intratracheal instillations of fibrous dusts in Syrian golden hamsters. *Exp Pathol*, 1984, 26(3):179-183.
- [24]IARC. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans: Man-made Mineral Fibres and Radon (Volume 43). Lyon: IARC-Press, 1988.
- [25]Le Bouffant L, Daniel H, Henin JP, etc. Experimental study on long-term effects of inhaled MMMF on the lungs of rats. *Ann Occup Hyg*, 1987, 31(4B):765-90.
- [26]McConnell EE, Kamstrup O, Musselman R. etc. Chronic Inhalation Study of Size-Separated Rock and Slag Wool Insulation Fibers in Fischer 344/N Rats. *Inhal Toxicol*, 1994, 6(6):571-614.
- [27]李德鸿. 尘肺病 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2010:128-130.
- [28]田勇泉. 耳鼻咽喉头颈外科学. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2011:15-136.
- [29]GBZ20-2002. 职业性接触性皮炎诊断标准[S].
- [30]赵堪兴, 杨培增. 眼科学. 7 版. 北京: 人民卫生出版社, 2011:83-107.
- [31] Guber A, Lerman S, Lerman Y, et al. Pulmonary fibrosis in a patient with exposure to glass wool fibers. *Am J Ind Med*, 2006, 49(12):1066-1069.

- [32]周韶炜, 毛翎, 施瑾, 等. 矿岩棉致肺纤维化病例的探讨. 环境与职业医学, 2009, 26 (5): 506-508.
- [33]朱晓俊, 陈永青, 李涛. 人造矿物纤维绝热棉对人体健康效应的研究进展. 中华劳动卫生职业病杂志, 2011, 29 (7): 553-556.
- [34]Bernstein DM. Synthetic vitreous fibers: a review toxicology, epidemiology and regulations. Crit Rev Toxicol, 2007, 37(10):839-886.
- [35]GBZ/T210. 2—2008 职业卫生标准制定指南 第2部分: 工作场所粉尘职业接触限值[S].
- [36]田凤调主编. 粉尘容许浓度的现场调查研究方法. 人民卫生出版社, 1985: 30-80.
- [37]The National Occupational Health and Safety Commission. National Standard for Synthetic Mineral Fibres [NOHSC:1004(1990)]. Canberra: AGPS Press, 1990: 3.
- [38]The National Occupational Health and Safety Commission. Adopted national exposure standards for atmospheric contaminants in the occupational environment [NOHSC:10003(1995)]. Canberra, 1995.
- [39]The National Occupational Health and Safety Commission. Guidance note on the interpretation of exposure standards for atmospheric contaminants in the occupational environment [NOHSC:3008(1995)] (3rd Edition). Canberra: AGPS Press, 1995.
- [40]Department of Labour. Workplace Exposure Standards and Biological Exposure Indices (5th Edition). Wellington, 2010.
- [41]Health and Safety Executive. EH40/2005 Workplace exposure limits. 2005.
- [42]Swedish Work Environment Authority. Occupational exposure limit values and measures against air contaminants (AFS 2005:17). 2005.
- [43]National Institute for Working Life. Scientific Basis for Swedish Occupational Standards xxv (NR 2005:7). Stockholm, 2005:44-66.
- [44]OSHA. Exposure Limits for Synthetic Mineral Fibers [EB/OL]. [2011-06-19]. <http://www.osha.gov/SLTC/syntheticmineralfibers/table.html>.
- [45]Marchant GE, Amen MA, Bullock CH, etc. A synthetic vitreous fiber (SVF) occupational exposure database: implementing the SVF Health and Safety Partnership Program. Appl Occup Environ Hyg, 2002, 17(4): 276-285.
- [46]NIOSH. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Fibrous Glass. Cincinnati: NIOSH-Press, 1977.
- [47]Alberta. Chemical Hazards Regulation[EB/OL]. [2011-06-19]. <http://www.canlii.org/en/ab/laws/regu/alta-reg-393-1988/latest/alta-reg-393-1988.html>.

- [48]British Columbia. Table of exposure limits for chemical and biological substances [EB/OL]. [2011-06-19].  
[http://www2.worksafebc.com/PDFs/regulation/exposure\\_limits.pdf](http://www2.worksafebc.com/PDFs/regulation/exposure_limits.pdf).
- [49]Ontario. Control of exposure to biological or chemical agents (regulation 833) [EB/OL]. [2011-06-19].  
[http://www.e-laws.gov.on.ca/html/regs/english/elaws\\_regs\\_900833\\_e.htm](http://www.e-laws.gov.on.ca/html/regs/english/elaws_regs_900833_e.htm).
- [50]The Japan Society for Occupational Health. Recommendation of Occupational Exposure Limits(2009 - 2010). J Occup Health, 2009, 51: 454 - 470.
- [51]Malaysia. List of permissible exposure limits (2000) [EB/OL]. [2011-06-19]. [http://www.ilo.org/safework/info/lang--en/WCMS\\_151534/index.htm#P117\\_8716](http://www.ilo.org/safework/info/lang--en/WCMS_151534/index.htm#P117_8716).
- [52]李涛, 张敏, 王丹, 等. 香港化学物质职业接触限值及其应用. 国外医学卫生学分册, 2009, 36 (6) : 337-344.
- [53]GBZ2. 1-2007. 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分: 化学有害因素[S].
- [54]GBZ2-2002. 工作场所有害因素职业接触限值[S].
- [55]GB17052-1997. 车间空气中岩棉粉尘卫生标准[S].
- [56]邢春生, 方玉香, 韩名禄. 车间空气中岩棉粉尘卫生标准的研究. 中华劳动卫生职业病杂志, 1995, 21 (3) : 153-155.
- [57]TJ36-79. 工业企业设计卫生标准[S].
- [58]NIOSH. NIOSH manual of analytical methods 7400: asbestos and other fibers by PCM. Cincinnati: NIOSH-Press, 1994.