

职业性钡化合物中毒 105 例临床分析

黄简抒¹, 严蓉², 宣丹丹³, 闫永建⁴, 邹和建³, 万伟国³

(1. 复旦大学附属金山医院职业病科, 上海 201508; 2. 上海市职业病医院职业中毒科, 上海 200433; 3. 复旦大学附属华山医院职业病科, 上海 200040; 4. 山东省职业病防治院职业病科, 山东 济南 250062)

关键词: 职业性; 钡化合物; 中毒

中图分类号: R135.1 **文献标识码:** C

文章编号: 1002-221X(2016)03-0233-04

DOI: 10.13631/j.cnki.zggyyx.2016.03.029

钡 (Barium, Ba) 是一种柔软的、具银白色光泽的碱土金属, 钡以毒重石 (碳酸钡, BaCO_3) 和重晶石 (硫酸钡, BaSO_4) 的形式存在于自然界。钡化合物广泛应用于陶瓷、玻璃工业、钢材淬火、医用造影剂、农药、化学试剂制作等, 常见的钡化合物有氯化钡、碳酸钡、醋酸钡、硝酸钡、硫酸钡、硫化钡、氧化钡、氢氧化钡等。金属钡几乎无毒, 钡化合物的毒性与其溶解度有关, 可溶性钡化合物有剧毒, 碳酸钡几乎不溶于水, 但溶于盐酸形成氯化钡而具毒性。钡中毒实质是指可溶性钡化合物中毒。

生活性钡化合物中毒包括误服、自杀或蓄意投毒, 主要经消化道吸收中毒, 在我国常作为突发公共卫生事件来处理^[1]; 职业性钡化合物中毒发生频率相对较低, 主要经呼吸道、皮肤吸收, 或经消化道吸收。结合《职业性急性钡中毒的诊断》修订工作, 我们对文献报道以及临床收集的職業性钡化合物中毒进行总结分析, 以期为标准修订工作提供依据。

1 材料与方法

1.1 检索方法

利用生物医学全文期刊 (OVID)、中国生物医学文献数据库 (CBMDisc)、中国科技期刊数据库、中国知网、万方数据资源系统等数据库, 检索 1979 年至 2015 年国内公开发表的职业性钡化合物中毒的中文、英文文献, 检索词“钡”+“中毒”, 剔除生活性中毒、重复报告、综述、实验研究及其他非病例报道等文献, 剔除既往史中严重心、肝、肾等疾病的文献, 共获得文献 23 篇, 合计病例 96 例。生活性钡化合物中毒不计入本组病例的统计分析, 由于病例数远大于职业性中毒, 作为参考。

1.2 收集国内职业病医院诊治的职业性钡化合物中毒

病例资料来自国内职业病医院诊治的职业性钡化合物中毒病例, 排除资料严重不全、非职业性因素、患严重心、肝、肾既往史病例, 结合调查资料, 共收集职业性钡化合物中毒

病例 9 例。

1.3 统计学分析

所有数据录入 SPSS18.0 统计软件包, 对 105 例中毒发生的时间、地点、人数、性别构成、年龄范围、中毒原因、现场劳动卫生学调查、症状、体征、实验室检查、临床经过、预后以及钡中毒确诊依据进行统计分析。

2 结果

2.1 一般资料

本组 105 例职业性钡化合物中毒病例中, 男性 94 例 (89.52%)、女性 11 例 (10.48%), 年龄 17~62 岁。45 例描述了年龄范围: 其中, 18~56 岁 39 例 (37.14%), 23~46 岁 6 例 (5.71%)。51 例有明确年龄, 其中, ≤ 20 岁 5 例 (4.76%); $>20 \sim \leq 30$ 岁 22 例 (20.95%); $>30 \sim \leq 40$ 岁 18 例 (17.14%); $>40 \sim \leq 50$ 岁 4 例 (3.81%); $>50 \sim \leq 60$ 岁 1 例 (0.95%), >60 岁 1 例 (0.95%)。

2.2 中毒发生时间

50 例提供了明确的中毒时间, 1990 年前 22 例 (20.95%), 1990~1999 年 22 例 (20.95%), 2000~2009 年 5 例 (4.76%), 2010 年以后仅 1 例 (0.95%)。

2.3 中毒发生地点

51 例提供了明确的中毒地点, 美国 2 例, 我国 49 例。我国病例分布: 山东省 11 例、天津市 8 例、黑龙江省 7 例、河北省 7 例、湖南省 7 例、上海市 3 例、广东省 2 例、河南省 2 例、江苏省 1 例、贵州省 1 例。

2.4 钡化合物种类

本组病例中的钡化合物包括, 氯化钡 65 例 (61.90%), 碳酸钡 44 例 (41.90%), 其中氯化钡合并碳酸钡 21 例 (20.00%), 硫化钡 9 例 (8.57%), 硬脂酸钡 8 例 (7.62%)。

2.5 中毒涉及厂家和工种

所涉及的厂家包括氯化钡和碳酸钡生产企业、塑料厂、弹簧厂、军工厂以及化工厂等。有 47 例明确了工种, 包括过筛工 9 例、维修工 9 例、造粒工 8 例、卸运工 8 例、操作工 6 例、热处理工 3 例、淬火工 3 例、包装工 1 例。

2.6 工艺流程

44 例对工艺流程进行了具体描述, 包括高温氯化钡熔浆灼伤后导致中毒 16 例; 碳酸钡过筛、包装、搬运或卸运过程中接触碳酸钡粉末导致中毒 11 例; 聚氯乙烯鸡槽生产过程中接触稳定剂——硬脂酸钡所致中毒 7 例; 装载过硫化钡的车皮未经清洗导致中毒 7 例; 清理硫化钡沉渣中毒 1 例; 掉入硫化钡沉淀罐中毒 1 例; 硬脂酸钡爆炸后灼伤伴中毒 1 例。现场空气检测钡浓度为 $200 \sim 6\,500 \text{ mg/m}^3$ 。

收稿日期: 2015-11-24

基金项目: 国家卫生和计划生育委员会法制司《职业性急性钡中毒的诊断》修订 (20140714); 国家自然科学基金青年基金 (81202160); 上海市卫计委青年科研项目 (20124y167); 上海市青年医师培养资助计划 (2012-31)

作者简介: 黄简抒 (1978—), 女, 副主任医师, 主要从事职业病临床及相关研究。

通讯作者: 万伟国, 主任医师, E-mail: wgw1969@sina.com。

2.7 吸收途径

高温接触钡化合物（特别是氯化钡）灼伤后经皮肤吸收中毒在本组病例中构成比最高，合计 67 例（63.81%）；其次是经呼吸道吸入钡化合物粉尘（主要是氯化钡、碳酸钡），合计 66 例（62.86%），其中部分病例皮肤或口腔沾有钡化合物粉尘，考虑呼吸道联合皮肤和消化道（18 例，17.14%）吸收，或呼吸道联合消化道吸收（4 例，3.81%），或呼吸道联合皮肤吸收（2 例，1.90%）。

2.8 潜伏期

除了 11 例潜伏期不详以外，急性中毒潜伏期波动于 10 min~6 h，8 例<0.5 h（7.62%），77 例波动于 0.5~4 h（73.33%），1 例 5 h（0.95%），1 例 6 h（0.95%）；另有 7 例患者亚急性或慢性起病，均为硬脂酸钡接触者，其中 2 例患者的潜伏期为 1 个月（1.90%），1 例为 1.5 个月（0.95%），1 例为 6 个月（0.95%），2 例为 9.5 个月（1.90%），1 例为 10 个月（0.95%）。

2.9 临床表现

由表 1 可见，恶心、呕吐、头晕、腹痛（部分表现为脐周绞痛）、乏力、胸闷、四肢麻木、头痛、心悸、呼吸困难、口周麻木是本组病例最突出的症状，构成比都在 20% 以上，2 例脱发见于硫化钡中毒。中毒早期可出现咽干、咽痛，随着病情进展出现胸闷、心悸、脐周隐痛甚至剧烈绞痛、腹泻、口周或四肢麻木，重者出现呕吐。肌力减退是本组病例最突出的体征，其中 17 例对肌力分级进行了描述，5 例Ⅳ级、5 例Ⅲ级、5 例Ⅱ级、1 例Ⅰ级、1 例 0 级；其他重要的体征包括腱反射减弱、灼伤、心率减慢、心律不齐、血压升高、呼吸肌麻痹等。24 例对灼伤程度进行了具体描述，浅Ⅱ度 2 例（1.90%）、Ⅱ度 16 例（15.24%）、深Ⅱ度 3 例（2.86%）、Ⅲ度 3 例（2.86%）；灼伤面积<10% 12 例（11.43%）、10%~30% 12 例（11.43%）。

2.10 辅助检查异常

低钾血症构成比最高（59 例，56.19%），范围 0.4~3.5 mmol/L；其中 27 例提供了明确的血钾数值：13 例 3.0~3.5 mmol/L，3 例 2.5~2.9 mmol/L，11 例<2.5 mmol/L；另有 29 例就诊时血清钾浓度正常（27.62%）。其次是心电图异常（45 例，42.86%），包括低钾心电图改变：T 波低平 24 例（22.85%），U 波增高 20 例（19.05%），ST 段下移 14 例（13.33%），QT 间期延长 14 例（13.33%）；心律失常 18 例（17.14%）：包括Ⅱ度文氏窦房阻滞、房性期前收缩、频发室性期前收缩、多源室性期前收缩、室速（包括尖端扭转型室性心动过速）、心室颤动、心室扑动等，其中恶性心律失常（多源室性期前收缩或心室颤动）3 例，构成比 2.86%。生活性中毒病例中，心律失常尚包括Ⅰ度、Ⅱ度、Ⅲ度房室传导阻滞、心室内传导阻滞、心房颤动、心房扑动、尖端扭转型室速等。其余异常包括粪便潜血试验（+）1 例，肌钙蛋白Ⅰ（+）1 例。

2.11 治疗

（1）阻止毒物继续吸收。及时脱离现场，反复漱口，清洗头发，对皮肤进行彻底冲洗，冲洗液包括硫酸钠、20% 硫代硫

表 1 职业性钡化合物中毒临床表现

症状	例数	构成比(%)	体征	例数	构成比(%)
恶心	79	75.24	肌力减退	52	49.52
呕吐	75	71.43	腱反射减弱	40	38.10
头晕	50	47.62	灼伤	24	22.85
腹痛/脐周绞痛	44/7	41.90/6.67	灼伤深度浅Ⅱ度	2	1.90
乏力	47	44.76	Ⅱ度	16	15.24
胸闷	37	35.24	深Ⅱ度	3	2.86
四肢麻木	34	32.38	Ⅲ度	3	2.86
头痛	29	27.62	灼伤面积<10%	12	11.43
心悸	29	27.62	10%~30%	12	11.43
呼吸困难	26	24.76	心率减慢	13	12.38
口周麻木	23	21.90	心律不齐	12	11.43
肢体活动障碍	18	17.14	呼吸肌麻痹	12	11.43
腹泻	17	16.19	血压升高	11	10.48
咽干	7	6.67	心率增快	9	8.57
四肢肌肉抽动	4	3.81	腱反射消失	8	7.62
耳鸣	2	1.90	心音低钝	7	6.67
脱发	2	1.90	肌张力减弱	3	2.86
四肢酸痛	2	1.90	昏迷	3	2.86
少尿	1	0.95	大汗淋漓	2	1.90
胸痛	1	0.95	腱反射活跃	2	1.90
黑便	1	0.95	血压降低	2	1.90
大便失禁	1	0.95	腱反射亢进	1	0.95
记忆力减退	1	0.95			
吞咽困难	1	0.95			
发音困难	1	0.95			

酸钠、大量流动清水、生理盐水等。（2）补钾。积极补充氯化钾。（3）特殊解毒药的应用。硫酸钠（洗胃、口服导泻、保留灌肠、静滴），硫酸镁（湿敷皮肤创面、口服导泻、静滴），硫代硫酸钠（静脉推注、滴注）。（4）对症支持治疗。

2.12 预后

97 例提供了预后，其中 79 例恢复（75.24%），疗程 7~42 d；18 例死亡（17.14%），死亡原因均为呼吸衰竭或恶性心律失常，其中 10 例为病程中突发呼吸或心跳骤停，抢救无效死亡，根据《职业性化学源性猝死诊断标准》（GBZ78—2010），可诊断为职业性化学源性猝死。

3 讨论

我国钡化合物中毒以生活性中毒为主，据统计 1993 年至 2006 年我国发生钡化合物中毒事件 32 起，职业性中毒仅占 3 起^[1]。本组职业性钡化合物中毒病例近年来发病呈逐渐下降趋势，大部分病例在 2000 年之前，2010 年以后仅 1 例，病死率达 17.14%（18/105），提示职业性钡化合物中毒是一种相对少见、却可能危及生命的疾病。

高温接触钡化合物（氯化钡为主）灼伤，经皮肤吸收是本组病例最主要的吸收途径（63.81%），其次是经呼吸道吸入钡化合物（氯化钡或碳酸钡）粉尘（62.86%），部分病例合并皮肤、呼吸道或消化道吸收（22.86%），与生活性钡中毒主要经消化道吸收有所不同。生活性钡中毒潜伏期多在进食后 0.5~2 h，摄入量大的患者可在 10 min 内出现中毒症状，以消化道症状为主；本组职业性钡中毒潜伏期多波动于 0.5~4 h（73.33%），8 例接触硬脂酸钡的工人，除 1 例为硬脂酸

钡爆炸后皮肤灼伤急性起病以外^[2], 7例呈亚急性或慢性起病, 潜伏期1~10个月^[3]。

氯化钡和碳酸钡是本组职业性钡中毒构成比最高的钡化合物, 其次还包括硫化钡和硬脂酸钡。氯化钡和硫化钡是可溶性钡化合物; 碳酸钡不溶于水, 经消化道吸收时可被胃酸溶解形成氯化钡; 经呼吸道吸收时, 从呼吸道进入的碳酸钡除少量被肺组织吸收外, 绝大部分被支气管黏膜纤毛摆动排到咽部, 与沉积在咽部的碳酸钡一起吞咽入胃, 被胃酸溶解形成氯化钡导致中毒^[4]。硬脂酸钡又名十八酸钡, 工业上用于聚乙烯塑料制品的耐光耐热稳定剂, 不溶于水, 本身无毒, 进食后和胃酸反应, 生成硬脂酸和氯化钡导致中毒。季文锋曾报道一起误将硬脂酸钡粉面当作面粉掺入饺子皮中, 导致群发性钡中毒事故^[5]; 职业中毒的原因可能是以粉尘形式通过呼吸道吸入, 或者工人不注重个人卫生, 存在经消化道吸收的可能, 由于吸收的量相对较低, 故呈亚急性或慢性起病^[3]。

钡中毒的临床表现与钡离子对机体产生的两种效应机制相关。(1) 低钾血症: 可继发肌肉无力、低钾心电图改变、心律失常和呼吸肌麻痹, 是钡中毒的特征性临床表现。在本组病例中表现为肌力下降(乏力、四肢麻木、口周麻木、肢体活动障碍、吞咽困难、发音困难、肌力减退、腱反射减弱、腱反射消失、肌张力减弱), 低钾心电图改变(ST段压低、T波振幅减小、双相、倒置、U波增高、T—U融合、Q—T间期延长、QRS波幅增宽)^[6], 心律失常(传导阻滞、期前收缩、室性心动过速), 呼吸肌麻痹(胸闷、呼吸困难)。低血钾导致的恶性心律失常(多源室性期前收缩、尖端扭转型室性心动过速、心室颤动)和呼吸肌麻痹是本组病例的主要死亡原因。徐昌盛认为钡中毒死亡多于24 h内发生, 死于呼吸肌麻痹/恶性心律失常, 与本文结论一致^[1]。低钾血症可分为轻度低钾血症(钾离子浓度3.0~3.5 mmol/L)、中度低钾血症(钾离子浓度2.5~2.9 mmol/L)、重度低钾血症(钾离子浓度<2.5 mmol/L), 当发生重度低钾血症时, 易发生呼吸肌麻痹等严重并发症并致死亡^[6,7]。钡中毒所致低钾血症主要由于钡离子与钾离子空间结构相近, 可竞争性抑制细胞膜上的钾离子通道, 阻止钾离子从细胞内转运至细胞外; 同时, 钡离子可刺激肾上腺髓质分泌儿茶酚胺, 活化腺苷酸环化酶, 促进ATP转化为第二信使cAMP, 增进细胞膜上的Na⁺-K⁺-ATP酶活性, 加速细胞外钾离子主动转运, 持续由胞外泵至胞内^[8-10]; 钡中毒时伴发的胃肠道刺激症状, 如恶心、呕吐、腹泻可致钾离子从胃肠道丢失, 进一步降低血清钾离子浓度。(2) 肌肉毒作用: 本组患者29例就诊时血清钾浓度正常(27.62%), 但仍出现头晕、恶心、呕吐、腹痛、血压升高等不适主诉, 提示血钾浓度与临床症状不平行。一些学者发现, 肌力与血清钡离子浓度、而不是血清钾离子浓度有很好的相关性, 补充钾离子并不能纠正钡中毒所致高血压, 提示钡离子对肌纤维有直接毒性。钡离子还可以通过对心肌和平滑肌的直接刺激作用导致心律失常和胃肠道表现, 本组病例表现为恶心、呕吐、腹痛/脐周绞痛(胃肠道平滑肌刺激)、血压升高(血管平滑肌刺激)、四肢肌肉抽动(骨骼肌刺激)等^[11,12]。

因此, 当患者出现胃肠道刺激症状、低钾血症以及相关的低钾心电图改变、心律失常、肌肉无力、呼吸肌麻痹时, 需高度怀疑钡中毒的可能, 应立即详细询问钡接触史。中毒早期的胃肠道症状, 如恶心、呕吐、腹绞痛、水样泻, 需要与食物中毒进行鉴别; 肌力下降需要与格林-巴利综合征、周围神经病、重症肌无力等疾病进行鉴别。

钡中毒诊断一旦确立, 需立即采取积极有效的综合治疗措施。(1) 阻止钡离子进一步吸收: 及时脱离现场, 灼伤患者按照化学性灼伤处理, 并给予2%~5%硫酸钠局部冲洗创面; 呼吸道吸入者, 反复漱口, 口服适量硫酸钠; 考虑存在消化道途径吸收者, 2%~5%硫酸钠洗胃, 再给予硫酸钠20~30 g导泻。若无硫酸钠储备, 可予以20%硫代硫酸钠冲洗创面, 或者25%硫酸镁湿敷, 25%硫酸镁20 ml导泻。(2) 特殊解毒药——硫酸盐: 硫酸盐与钡离子形成不溶性硫酸钡而解毒, 首选10%硫酸钠10~20 ml静脉注射, 或5%硫酸钠500 ml静脉滴注, 视病情可重复使用, 若无硫酸钠储备, 可使用硫代硫酸钠。不溶性硫酸钡形成后通过肾脏排泄, 同时需要加强补液利尿以保护肾脏。(3) 补钾: 及时纠正低钾血症是抢救钡中毒所致严重心律失常和呼吸肌麻痹的关键, 危重患者可同时通过口服和静脉内补钾, 常用口服剂量是60~100 mmol/d, 分次口服; 静脉内补钾常规浓度20~40 mmol/L, 速度不超过10~20 mmol/h。出现严重的危及生命的低钾血症时, 可使用微量泵进行高浓度大剂量补钾, 浓度可达每100 ml溶液含钾40 mmol, 速度可达40 mmol/h^[13], 含钾液体对血管刺激性较大, 为避免钾离子对血管的刺激作用, 可通过中心静脉补钾, 必须保证经专用通道输注, 并警示“严禁经此通道推药”, 停止高浓度补钾时, 先用空针将中心静脉管道内液体抽出, 再输注其他补液^[14], 而且必须在心电监护下进行, 监测血钾q1h~q2h, 以避免发生高血钾所致心跳骤停。虽然部分病例就诊时血清钾浓度正常(29例, 27.62%), 但病程中出现肌力进行性下降、低钾心电图改变、频发室性期前收缩、呼吸肌麻痹^[4], 提示急性钡化合物中毒即使初诊时血清钾浓度正常, 病情仍可能迅速恶化, 因此仍需积极补钾, 并监测血钾浓度。经充分补钾病情缓解后, 在Na⁺-K⁺-ATP酶作用下, 钾离子向细胞内转移可能再次发生, 应维持补钾治疗或改为口服。(4) 控制心律失常: 对病史不详而出现低钾心电图改变(ST段压低、T波振幅减小、双相、倒置、U波增高、T—U融合、Q—T间期延长、QRS波幅增宽)的患者, 应即刻检测血钾, 各种抗心律失常药物难以控制的异位节律(室性)在快速补钾后可立即消失, 因此钡中毒所致严重心律失常抢救的关键在于及时诊断、足量补钾。缺镁时单纯补钾常不能奏效, 应注意同时补镁, 补镁对Q—T延长发生尖端扭转型室性心动过速有较好终止作用^[15]。(5) 机械通气: 呼吸肌麻痹是钡中毒的主要死亡原因, 一旦发生口唇、肢端发绀及意识不清、呼吸节律不规整, 需立即经口插管机械通气, 必要时气管切开, 机械通气是帮助患者度过呼吸肌麻痹的有效措施。(6) 血液净化治疗: 在迅速大量补钾治疗后, 部分病例可见进行性四肢软瘫, 提示钡离子对肌肉细胞仍持续作用, 此时可考虑血液净化治疗, 建议使用高浓度钾离子的透析液^[16]。

连续血液灌流 (CVVHP) 清除血液中硫酸钡的能力为肾脏的 3 倍, 具相当治疗价值^[16]。(7) 对症支持治疗: 心搏骤停者及时行心肺复苏, 注意保护心肌、维持酸碱平衡等治疗。

急性钡中毒的诊断离不开准确、高效、及时的理化检测, 我国工作场所钡及其可溶性化合物职业接触限值 PC-TWA 0.5 mg/L、PC-STEL 1.5 mg/L。我国成人钡占体重百分比为 $6.70 \times 10^{-5} \%$, 成人全血中含钡 $70 \mu\text{g/kg}$ ^[17]; 美国人血钡浓度为 $1 \sim 60 \mu\text{g/L}$, 尿液浓度为 $1.0 \sim 7.0 \mu\text{g/L}$ ^[18], 但我国目前对钡的检测方法、血钡正常值范围尚无统一标准。郭瑞娣等应用石墨炉原子吸收光谱法 (GFAAS) 或电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 对钡元素进行定量分析, GFAAS 灵敏度低, 但准确性高, 可作为筛选方法, 低含量时应用 ICP-MS 测定^[19]。

综上所述, 职业性钡中毒虽然发生相对较少, 但是起病凶险, 进展迅速, 在病程中可能出现猝死, 其发生与钡化合物的储存、加工、使用、运输、防护不当有关。加强危险化学品相关知识和安全意识是重中之重, 一旦发生钡中毒, 及时迅速的诊断和治疗是关键。

参考文献:

- [1] 徐昌盛, 刘文革. 我国钡中毒的流行病学特征 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2008, 26 (12): 745-746.
- [2] Jacobs I A, Taddeo J, Kelly K, *et al.* Poisoning as a result of barium styphnate explosion [J]. Am J Ind Med, 2002, 41 (4): 285-288.
- [3] 陈长清, 鲁锡荣, 石佳贵, 等. 职业性急性钡中毒 4 例 [J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 1998, 16 (4): 241-242.
- [4] 张怡如, 庄文英. 职业急性碳酸钡中毒抢救治疗体会 [J]. 化工劳动保护 (工业卫生与职业病分册), 1995, 16 (3): 113-114.
- [5] 季文锋, 周华海. 硬脂酸钡中毒 8 例报告 [J]. 临床荟萃, 1999, 14 (8): 357.
- [6] 吴友林, 陈红英. 低血钾致严重心律失常的病因分析及抢救 [J]. 江西医药, 2005, 40 (10): 638-639.
- [7] 王丹红, 周娟, 李菊秀, 等. 低钾血症发病机制及临床治疗

[J]. 医药前沿, 2013, (30): 98-99.

- [8] Nagel W. Inhibition of potassium conductance by barium in frog skin epithelium [J]. Biochem Biophys Acta, 1979, 552: 346-357.
- [9] Bhoelan B S, Stevering C H, van der Boog A T, *et al.* Barium toxicity and the role of the potassium inward rectifier current [J]. Clin Toxicol (Phila), 2014, 52 (6): 584-593.
- [10] Park W S, Han J, Earm Y E. Physiological role of inward rectifier $K(+) channels$ in vascular smooth muscle cells [J]. Pflugers Arch, 2008, 457 (1): 137-147.
- [11] Phelan D M, Hagley S R, Guerin M D. Is hypokalaemia the cause of paralysis in barium poisoning [J]. Br Med J (Clin Res Ed), 1984, 289 (6449): 882.
- [12] Gosselin R E, Smith R P, Hodge H C, *et al.* Clinical toxicology of commercial products [M]. 5th ed. Baltimore: Williams and Wilkins, 1984: 61-62.
- [13] 陈灏珠, 林果为, 王吉耀. 实用内科学 [M]. 14 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 948-949.
- [14] 谢先会, 刘茂英, 钟红玲, 等. 微量泵高浓度大剂量补钾抢救重度低钾血症 56 例 [J]. 第三军医大学学报, 2003, 25 (13): 1215.
- [15] 王平, 王世襄. 大剂量补钾、起搏抢救严重缓慢性心律失常伴低钾血症 [J]. 交通医学, 1999, 13 (1): 28-29.
- [16] Koch M, Appoloni O, Haufried V, *et al.* Acute barium intoxication and hemodiafiltration [J]. J Toxicol Clin Toxicol, 2003, 41 (4): 363-367.
- [17] GBZ/T 200.5—2014, 辐射防护用参考人 第 5 部分: 人体的元素组成和主要组织器官的元素含量 [S].
- [18] Nordberg G, Fowler B, Nordberg M, *et al.* Handbook on the Toxicology of Metals [M]. 3rd edition. USA: Academic Press, 2007: 407-414.
- [19] 郭瑞娣, 吉钟山, 朱醇. 钡中毒事件相关样品中钡的检测 [J]. 环境与健康杂志, 2008, 25 (12): 1104-1105.

(上接第 223 页)

式均与本项目类似; 不同之处是类比工程的锅炉间安装了通风机进行通风除尘。该类似工程的监测数据表明, 锅炉间人员操作位加装局排风机后, 能够使工作场所粉尘浓度 (呼尘 $C_{TWA} 0.52 \text{ mg/m}^3$, 超限倍数 1.6) 降低到职业接触限值以下, 人员接触的噪声声级 [8 h 等效声级 93.4 dB(A)] 升高。

综上所述, 锅炉间和输煤栈桥通过加装局排设施能够明显降低司炉工和输煤工接触的粉尘浓度, 使其符合职业接触限值的要求; 但是, 加装局排设施会使人员接触的噪声声级升高, 司炉工和输煤工佩戴适宜的耳塞后, 预计工作人员接触的噪声声级能够符合职业接触限值的要求。

燃煤锅炉房加装通风设施对保护工作人员的健康而言利弊共存, 有利的方面是燃煤锅炉的脱硫除尘装置和通风设施协同作用, 才能保证工作人员接触的粉尘浓度在职业接触限值以下; 存在的弊端是通风设施的运行会造成人员接触的噪声声级增强。因此, 在设置燃煤锅炉房通风设施时, 除了考虑控制风速应满足除尘效率的需求且尽量小以外, 还需要对风机类型、安装位置、隔声措施, 风管的材质、形状、管径

及布局, 风口的形式、位置进行综合考虑。若已无法改变风机、风管、风口和控制风速时, 可通过佩戴合适的防噪耳塞, 将人员实际接触的噪声声级控制在职业接触限值以下。根据现场工作人员的反映, 佩戴耳塞有诸多不确定性, 人员忘记佩戴等主观因素影响较大, 所以, 根本上还是应从风机、风管、风口本身考虑降低场所的噪声危害。

企业应充分认识到通风系统的重要性, 在调研和设计阶段应对脱硫除尘装置和通风设施的效果进行评估, 确定脱硫除尘装置和通风设施的各主要参数。同时, 企业还应加强职业卫生管理, 对工作人员进行职业卫生培训, 增强人员的自我保护意识, 加强对人员佩戴个人防护用品的监督, 以降低噪声的危害。

参考文献:

- [1] GBZ2.1—2007, 工作场所所有害因素职业接触限值 第 1 部分: 化学有害因素 [S].
- [2] GBZ2.2—2007, 工作场所所有害因素职业接触限值 第 2 部分: 物理因素 [S].
- [3] 卫法监发 [1999] 第 620 号, 工业企业职工听力保护规范 [Z].
- [4] 徐健峰, 王健, 安钢, 等. 某化工集团热电工程项目职业病危害控制效果评价 [J]. 中国工业医学杂志, 2011, (24) 6: 223-224.