

地球化学工程学 ——21世纪的环保产业

Simon P. Vriend 等 编

吴传璧 等 译

地质出版社

地球化学工程学

——21 世纪的环保产业

Simon P. Vriend 等 编 著

吴传璧 等 译

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书英文版是由 Elsevier Science 于 1998 年出版的《勘查地球化学杂志》特刊, 登载了约 30 篇地球化学在环境保护与治理方面应用的经典论文。这些论文涉及工业、农业、矿业、文物保护与考古等诸多领域, 是欧洲后工业化社会面临的“头疼问题”的解决之道。这些方法和技术大多数利用自然物理化学过程的规律解决环境保护问题, 无不闪耀着科技智慧的光芒, 对我国环保工作者有极高的参考借鉴价值。

本书主要适用于工业、环保行业的行政领导人、环保和应用地球化学科研人士, 以及高等学校有关专业的师生。

本书中文版由 Elsevier Science 授权全球发行

原著信息如下:

Journal of Geochemical Exploration, Volume 62, Nos. 1-3, June 1998, special issue. S. P. Vriend and J. J. P. Zijlstra (ed.) GEOCHEMICAL ENGINEERING: CURRENT APPLICATIONS AND FUTURE TRENDS.

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2001-5165 号

图书在版编目(CIP)数据

地球化学工程学: 21 世纪的环保产业 / 吴传璧等译编. - 北京: 地质出版社, 2001. 12

ISBN 7-116-03535-4

I. 地... II. 吴... III. 微量元素 - 污染土壤改良 - 环境工程 - 文集 IV. X53-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 096831 号

责任编辑: 张新元 谭惠静 王学明

责任校对: 黄苏晔

出版发行: 地质出版社

社址邮编: 北京海淀区学院路 31 号, 100083

电 话: (010)82324508(邮购部); (010)82324571(编辑部)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

电子邮箱: zhs@gph.com.cn

传 真: (010)82310759

印 刷: 北京印刷学院实习工厂

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.5 铜版: 1 页

字 数: 495 千字

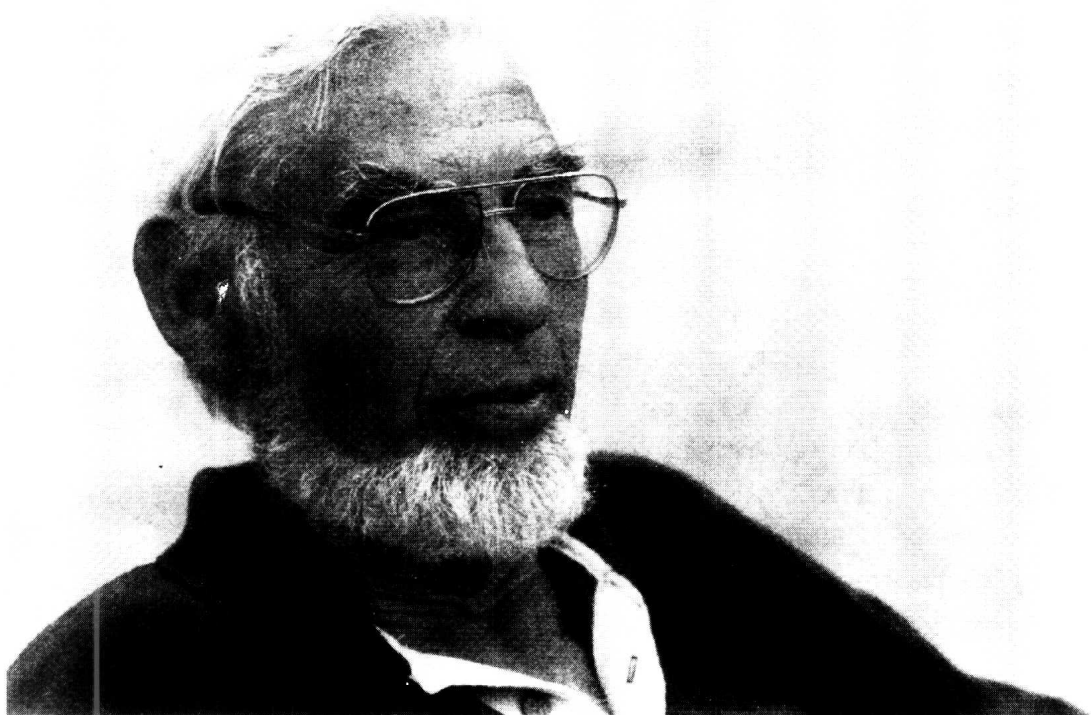
印 数: 1—1000 册

版 次: 2001 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价: 60.00 元

ISBN 7-116-03535-4/P · 2253

(凡购买地质出版社的图书, 如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行处负责调换)



Olaf R. D. 修林博士,教授.

地球化学工程学

——21 世纪的环保产业

(中文版译者的话)

十年前,原中国地质矿产信息研究院方法技术研究室,在情报系统监视过程中率先报道了国外“地球化学工程学”萌生、兴起的信息。此后,原地质矿产部科技管理部门和许多专家,如谢学锦院士,对地球化学工程学的社会意义及发展状况给予了殷切关注。在原地质矿产部的地质科技发展趋势研究和相关规划中,都把地球化学工程学列入应注意发展的方向。然而,由于这一学科兴起不久,文献中的报道较为零散,难以对她形成全面、系统的概念,一直未能向国内作较为完整、切实的介绍。

1997 年 8 月 22 日—23 日,在地球化学工程学的发源地——荷兰乌德勒支大学地球科学研究所,举行了题为“地球化学工程学:目前应用与未来趋势”的学术讨论会,《勘查地球化学杂志》1998 年第 62 卷第 1—3 期以专刊形式系统报道了这次会议的论文。国土资源部信息中心(原中国地质矿产信息研究院)与物探化探研究所和岩矿测试技术研究所协力,决定全文翻译出版这期专刊,以推进我国地球化学工程学的发展。地质出版社给予全力支持。

本书英文版“前言”和“序言”,以及本学科创始人 Schuiling 教授的综述《地球化学工程学:历数家珍》和应译编者约请为本书撰写的《温室效应:地球化学工程学的解决方法》,已明确而全面地阐述了地球化学工程学的要义、基本概念及理论方法,足以引导读者阅读本书。作为中译本编者,亦愿就译编心得和研究工作所知,发表一些不成熟的议论,权充中译本之前言,姑尽译编者之责任,供读者参考。

一、地球化学工程学:顺社会环保的需要而产生,依自然本身的规律而研发

在社会经济的发展中,求得人口、资源、环境的协调发展,实行可持续发展战略,已成为世界各国的共识。20 世纪科学技术迅猛发展,工业化进程加速,“改造自然,人定胜天”,一度被作为激励口号。然而,全球变化和环境恶化的严酷事实,教育了社会民众和管理者,惊醒了产业界和科技界:人类社会必须与自然环境协调发展,科学技术有责任探寻顺应自然规律的技术工艺途径。地球化学工程学正是在这一社会发展背景中产生的。

从地球化学的角度看,现代人生活在两个环境中。一是天然固有的地球化学环境,通常称之为“第一环境”。在此环境中,对生理有害元素的富集区和生理必需元素的贫化区,都会给生物健康发育带来不利影响,甚至构成威胁。二是人为活动叠加在自然环境上的地球化学环境,通常称之为“第二环境”。各种废弃物、排放物的污染,资源利用过程的附害,工程建设的负效应等,皆可属第二环境的影响。就化学元素在地球各圈层中的循环而论,不论在第一环境中,还是在第二环境中,元素的分离、迁移、富集、固定都服从地球化学规律。环境污染的防治,仅从生产工艺入手是不够的,须通盘考虑矿物、场地、区域和全球规模的相关地球

化学规律。依自然固有的规律保护和治理自然环境,是地球化学工程学方法论先进性的特质,是勘查地球化学从矿产研究进入环境研究的生长点。地球化学工程学的发展,定会补充和完善环保产业的现有技术武库,进而形成在理论-技术上独具特色的产业。从这个意义上说,地球化学工程学会成为 21 世纪新兴的环保产业。

二、地球化学工程学:认知环境内在规律的基本手段,防治环境问题的新型工艺

治理环境,首先要认识环境。地球化学工程学起码可从以下三方面作出贡献。

(1) 环境调查与监测:这里不仅指以污染源管理为目的的局部环境监测,还须包括对整个环境系统的调查与监测。20 世纪 70 年代从英国发起的区域地球化学调查,90 年代在俄罗斯出现的多目标地球化学填图及在中国实施的超低密度泛滥平原沉积物地球化学调查,皆属这种类型的工作。其作用在于,针对环境系统查明包括第一环境和第二环境在内的元素分布现状和/或基准值,为环境宏观管理和治理提供科学依据。

(2) 研究和认识自然营力的地球化学规律:例如,风化作用与自然界 CO_2 循环的研究,“化学定时炸弹”形成机理的研究,火山喷发气体呈固相沉淀的研究,元素含量及赋存形式对人类健康允许极限的研究,等等。这类工作可为环境治理措施和环境法规制定(如允许极限值确定)提供科学依据,也为地球化学工程师改进治理工艺提供“自然楷模”。

(3) 调查成果的应用:地球化学工程学调查研究成果重在应用。生态环境的保护和治理是一项系统工程,需在不同规模、不同环节上运用地球化学的资料和知识,相互联系起来解决面临的环境问题。上述成果为一些总体性问题的解决提供了依据和着手点。例如,利用微量元素的区域分布资料研究地方病的形成机理和防治措施,与预防医学相结合已形成新的学科方向;研究元素区域丰度和组合与农产品产量和品质的关系,制定合理种植规划和增产措施,成为农业地质的重要基础;等等。

这些方面的应用,只有建立在认识环境的基础上才成为可能。总体说来,上述工作应属基础性、公益性的范畴。

地球化学工程学在研制和改进环境治理工艺方面的应用,涉及的课题很多,解决的途径各异。本书相当一部分论文属于此类,但仍有不少方法途径未能收纳其中。在此,只指出几个特点以描画其轮廓。

(1) 利用自然条件解决污染治理问题:利用严寒气候通过结冰处理克里沃罗格铁矿排放咸水的方案,利用特殊的水文地质条件解决 Armyansk 化工厂废水的处理问题,可视为这种思路的典型案列。这告诉我们,地球化学工程师与一般工艺工程师不同,要把眼界从工厂的流程作业线扩展到大自然中去。

(2) 利用地球化学反应原理解决相关环境治理问题:如向海滨灰岩层灌注工业废酸,利用生成的石膏体积膨胀的原理构筑防护堤岸的思路;将不同废弃物并置在一起,利用其间的地球化学反应使之相互固定和/或相互破坏,以低成本、高效益地取得环境效益。这是“以废攻废,收益去害”的办法。

(3) 利用天然物料作反应剂,兼收环境和产品双重效益:如利用树皮回收工业废液中重金属离子,用橄榄石处理废酸液回收硅石产品,用煤飞灰合成沸石的方案,等等。这是“降低成本,变废为宝”的处理思路。

(4) 扩展地球化学工艺应用范围:不仅限于“三废”处理,而且用于建筑物风化的研究、考

古和文物保护等方面,并根据地球化学原理提出新思路,如对古代沉船保护的最好措施,是将其重新沉入水底淤泥。

这些方面的应用,其前景寄于真正降低总成本和便于推广。总的说来,要做到这一点,需在政府的环境保护总政策支持下,在经济活动中求发展。

三、地球化学工程学:现状估计与前景展望

地球化学工程学是一门年轻的学科,她萌生于 20 世纪 80 年代末 90 年代初,于 90 年代中期才被作为一门学科肯定下来。她的产生及其着重应用的发展思想,为世界环保产业增加了一支新军。其先驱者 Schuiling 教授的初衷,更偏重于在发展中国家推广地球化学工程学,担忧“西方国家走痛苦之路懂得的教训,即清除污染比事先避免污染要昂贵得多,在这些国家基本上未受到重视”。他认为,中国坚持的是经济和环境同步协调发展的政策,地球化学工程学的研究和应用,在中国拥有良好的条件。

关于地球化学工程学的发展现状和应用前景,笔者得出以下粗浅认识。

关于认知环境的区域性地球化学调查,我国已有很好基础,1:20 万和 1:50 万水系沉积物扫面已完成 600 万 km^2 。从 20 世纪 80 年代起,就开始利用这套资料研究环境问题(童霆等);90 年代开展了用超低密度泛滥平原沉积物采样,建立全国环境地球化学监控网络的试验(谢学锦、程杭新等);利用化探扫面资料进行微量元素分布与地方病关系的研究(李家熙等);局部地区土壤污染监测及耕地微量元素含量与农作物品质关系的研究(朱立新等);等等。但是,化探扫面主要是针对矿产普查进行的,所选择的采样介质、分析项目及检测精度,尚不能都满足环境问题的要求。近两年来,中国地质调查局专门安排了环境地球化学调查项目,取得了新的进展。总的说来,这类工作具有基础性和公益性的特征,应由政府通盘考虑,予以加强。一是纳入国家整体规划,制定全国性和地区性目标任务,分步实施;二是广筹资金,在统一规划下,通盘安排国土资源、环境保护、科学技术等部门以及地方政府的投资,避免零打碎敲和投入不足;三是在规划安排上把实况监测与地球化学过程的专项研究结合起来,以求基础资料的获取与资料解释和环境问题的解决相互配套,发挥最佳效益。我国社会主义制度的优越性,有条件使我国的基础性环境地球化学调查和研究走在世界前列。

关于防治环境问题的地球化学工艺,是地球化学工程学开拓的主要方向,是发展经济,提高效益,保护环境的重要实施方面。总体说来,可作如下概括。

(1)许多国家的研究和实践表明,地球化学工程学已在工业“三废”处理、矿山环境治理、城镇生活垃圾处置、农业生产环境效应防治等方面,提出或实施了各种各样的工艺方案,尤其在工业排放物的处理方面,已显示了低成本、高效益、充分利用和回收资源的优越性。本书收容的具体方案,只可视为案例,展示基本思路,远未发掘完地球化学工程学的潜力。但它们已证明,地球化学家们沿此方向不懈努力,结合实际,因地制宜,定会丰富和发展这类工艺,开拓出地球化学工程学产业化的新局面。

(2)近 10 年来,地球化学工程学在朝产业化方向的发展中,在技术工艺上进行了大量研究和开发,从工艺流程中对元素含量和赋存状态作分析的手段,到工艺过程中技术参数的系统采集和控制,工艺条件和状态的实验研究,直到地球化学工程的经济管理和成本核算。同时,一些工艺已进行过中间性和生产性试验。现有的成果可供类似的工艺开发参考,同时也展示了地球化学工程学工艺的效益效率及其产业化的前景。

(3) 地球化学工程学真正实现产业化,尚有一段艰难的路程要走。首先,产业界和管理部门应对这类新技术的特点和优点有较深的了解,对其社会效益和经济效益应有实事求是的要求。地球化学工程学的“产品”,不单是利用被废弃资源生产的“商品”,还必须考虑其环境效益“产品”。所以,如一些西方国家的规定,要求她象一般新技术那样在三年内收回投资,是不太现实的,会制约她的发展。第二,要形成产业,不讲成本、效益是没有活力的。因此,地球化学工程师必须抓住环境治理中的紧迫课题,发挥自身的优势,创造与其他工艺相比更为突出的成本效益和环境效益,即开发出明显的“比较效益”,才能推进地球化学工程学的产业化进程。

总之,我们推出本书是为了向科技界、产业界、管理部门介绍地球化学工程学的现状与前景。在可持续发展总方针指引下,在环境保护科技政策和相关产业政策的支持和扶持下,有志于这一方向的科技人员与产业界和政府部门密切合作,锲而不舍地研究创新,发掘潜力,相信一定能够推动地球化学工程学发展,使之成为 21 世纪的新兴环保产业。

四、致谢

本书的翻译工作由国土资源部信息中心、中国地质科学院物探化探研究所和国家地质实验测试中心的一批老专家和年轻同志分别承担。参加翻译的人员有:吴传璧,张肇元,崔霖沛,王贵安,项仁杰,石宏仁,程席法,邱郁文,施俊法,吴其斌,张丽君,李树枝,骆团结,周国华,田中平,刘庆成,葛晓立。吴传璧研究员负责全书文稿的校订;施俊法博士和邱郁文译审做了大量组织和编辑校对工作。地质出版社谭惠静、张新元同志为本书出版做了大量艰难而细致的后台工作。信息中心主任汪民同志和原中国地质矿产信息研究院总工程师肖庆辉同志都十分关心本书的译编,给予有力的支持。在此一并致以衷心的感谢。

吴传璧
2000 年 12 月

英文版前言

本文集荣幸地以名誉教授 Olaf (R. D.) Schuiling 博士的名义出版。1997 年 8 月 22 ~ 23 日,在荷兰乌德勒支大学地球科学研究所举行了题为“地球化学工程学:目前应用与未来趋势”的学术讨论会,本书论文由与会的同仁们提供。近数十年来,乌德勒支大学的地球化学家 Olaf Schuiling 教授把他的大部分时间和精力投入地球化学的新学科——地球化学工程学的开发研究和改进完善。

在地球化学工程学中,把对矿物性质和地球化学作用进程的基础性研究与自然性方法的开发研究融为一体,以保持或改善我们的生息环境。

随着地球化学工程学这一分支学科的产生,Olaf Schuiling 率先实行了大学与应用技术研究所之间必要的协作。他感到需要用应用结果来证实基础性地球化学研究的正确性,使之公众所理解,并将其用于荷兰环境法规的完善。

当发展中国家正在力求达到后工业社会的现代化生活水准时,他是最先认识到摆在我们面前的重大环境问题的人士之一。他以极大的热情给来自发展中国家的学生讲授地球化学工程学,建议当地的工业界和政府注意解决他们的环境污染问题。

为本文集撰稿的是有成就的地球化学家和理学博士研究生;他们的论文在地球化学工程学的不同方面放出光彩。我们感谢各位作者为本文集作出的贡献。我们还要感谢发起者 Fugro, Geochem Research, Grontmij, IWACO, Koninklijke Hoogovens, Micromass, NAM, NITGT-NO, NWO-GOA, Philips, Shell, Tauw Milieu, Vissers Milieutechniek, Vereniging van Afvalverwerkers 和 Witteveen & Bos 的慷慨资助。此外,我们要感谢《勘查地球化学杂志》主编 E. M. Cameron 和 Elsevier Science B. V. 的 Herman Engelen 在本文集筹备期间的建议和协助。最后,我们感谢 Jeroen de Graaff, Ronald Jonckbloedt, Thijs Noordewier, Patrick Speck 和 Arian Steenbruggen,他们对学术讨论会的组织工作做出了重要贡献。

客座编辑

Simon Vriend, Hans Zijlstra

乌德勒支,1997.

英文版序言

地球化学涉及对地球中和地球上天然化学物质及其反应的调查研究。一个地球化学工程师要运用这种知识,通过设计一些方法,去最有效地把不如意的化学环境转变成合乎要求的环境。

尽管地球化学工程学与化学工程学及民用工程学密切相关,但其明显区别在于,地球化学工程学除了利用工业材料外还利用天然物料;除了研究开发小规模、短期限的工业流程外,还研究开发大规模、长期限的流程。

地球化学工程学是地球化学家的一种取势,因为他们认清了需要充分地利用有限的资源,开发替代资源;需要设计与天然地球化学循环相匹配的封闭的生产过程和再循环的或开放的生产过程。

地球化学工程学需要地球化学家与工程师密切协作,地球化学家能理解自然过程与工业的内在关联,而工程师也乐于以自然为楷模来改善工业流程的设计。

本文集的论文覆盖了对地球化学工程学具重要性的所有学科。我们按下列标题对这些论文进行收编:总况,模拟,资料收集,自然实例,天然物料和应用。

1 总况

为了造就一个成功的地球化学工程师,他不得不研究由矿物的熔融、溶解和风化,化学物质的搬运、分散和浓集,新矿物的固化、沉淀和自生等作用过程组成的地球化学循环。其次,他不得不努力了解化学物质的工业加工过程,以及附带产物的释放对环境的影响。再者,他不得不致力于基础科学与应用科学的结合,以设想改善生产流程或介于生产与环境之间的流程。这类被改善的流程必须经过调查,并以实验室、试点工厂或试验场规模进行检验;最后,这种流程必须是符合法规、公诸于世、能有销路且可供实施的。Schuiling 就地球化学工程学这一年轻学科提供了一篇内容广泛的述评,可使读者通晓基本概念,并讨论了现行实例和未来趋势。Förstner 和 Haase 阐述了地球化学工程学的代表性实例,较详细地介绍了饮用水的净化。Salomons 侧重论述了地球化学工程学的未来趋势:对土壤和沉积物等大范围储积介质中存在的化学物质,就其长期而缓慢的释放作用进行处理的问题。

2 模拟

在地球化学工程学中,需要对作用过程有定性和定量的认识,以使用必要的精确度预测过程的输出效应。用专业化的规范语言来说,是需要建立能对地球化学工程学所研究的复杂作用过程作出描述的强有力的模型。Van Gaans 就现今常用的各种方法提出了一篇综合述评。他用自己实践的几个实例阐明了这些问题,给读者提供了有关建模的广泛的参考文献,这对(工程)地球化学家是很重要的。常被科学家们忽视的一种特殊的建模工作,涉及地球化

学工程学作用过程的经济估算问题。Hahn 考虑了这些方面,并从预期获利的投资者的观点出发,对这些过程作了评论性的分析。

3 资料收集

对工业生产和环境介质所进行的大范围和长时期(地球化学工程学的特点)的监测,包括着通过取样来收集资料。Mol 等着重探讨了取样策略和监测网络对预测土壤污染的分布及演变趋势的影响。Swennen 等的另一文章也侧重探讨了规范取样的重要性。该文关注了在动态性较强的河流环境中对天然污染与人为污染的区分。快速而集成性地收集资料,需要对范围非常大的环境的化学成分进行分析。De Meijer 提出了一种革新的方法,包括对天然放射性作能谱分析,以定量地测定重矿物的浓集度,并确定砂矿的位置。近来,有许多分析技术可供利用,它们能快速而精确地测定样品的化学成分和物理结构。Van der Laan 和 Van Vliet 以铝生产过程的红泥和副产品为例,说明了现代分析技术和分析策略。Joosten 等一直在用地球化学工程学的分析技术,来再造荷兰史前的铁生产过程;Kars 则着重研讨了地球化学工程学在保护我们古文化遗产方面能够发挥的作用。

4 自然实例

地球化学工程学的各种原理,如浓集、固定、稀释等,都是大自然地球化学循环的组成部分。大范围长时期的循环,包括火山产生二氧化碳和矿物风化对二氧化碳的消耗。Varekamp 和 Thomas 就 CO_2 的总量对全球地球化学循环的重要性进行了广泛的探讨。可以作为地球化学工程学范例的另一种自然地球化学现象,是火山的产酸作用。其硫酸和盐酸流会被天水稀释,与河水混合,它们对环境的影响与酸性矿山排水类似。Sriwana 等阐明了这类酸性水被河水越来越稀释时其化学成分的变化。Shmulovich 和 Churakov 提出了一个实例,论及流体在不同的高温低压条件下搬运时,通过固相的沉淀作用使流体净化的问题。他们的关于火山喷发气体冷却时发生固相沉淀作用的实例,为净化工业熔炉中放出的气体提供了一个类似的参照物。Schmidt 提供了另一个从排放流体中沉淀固相的实例,讨论了在天然气田开发中从甲烷中沉淀金属铅的问题。最后, Schoonen 等对用天然矿物作光催化剂的问题进行了讨论。

5 天然物料

用天然物料作为工业流程中的反应物,正在变成一种普通的实践。Arvanitidis 讨论了希腊的地质情况,就工业矿物及其产地和利用提供了一篇内容广泛的述评。Benito 等提供了一个西班牙的变质火山灰的案例,它由沸石、丝光沸石和粘土矿物组成,在工业上已经找到了广泛的用途。

6 应用

近几十年来,已经研制出了相当数目的地球化学工程学方法,并已在工业界和环境管理中应用。在本文集中收集和发表的,是很少的一些实例。Gaballah 和 Kilbertus 提出,借助树皮中的螯合有机分子从被污染流体中提取重金属,是一种有效的流程。Hage 等讨论了借助纤维素的还原作用从蒸压釜的流体中移离金属的方法。Zevenbergen 等研究了城市废弃物焚烧时产生的人工玻璃质经自然风化变成粘土矿物的过程,以及这种风化过程与重金属淋滤的联系。Meima 和 Comans 阐明了新生产物、共沉淀作用和吸附作用对 Sb 从焚灰中淋滤的影响。Steenbruggen 和 Hollman 探讨了沸石的人工生产及其用作分子筛和过滤器的问题。Broekmans 以与砂岩的天然成岩作用相对应,讨论了因砂岩砾的风化使混凝土退化变质问题。Ding 等人一直在研究通过将多种类型的活性废弃物并置,引发固相沉淀并充填孔隙空间,而使废物堆自封闭的课题。De Graaff 讨论了工业废水流地下回灌的几个实例。Speck 等讨论了通过将废硫酸灌入地下灰岩体使之中和的可能性,该方法会造成体积庞大的石膏,并可能导致地下岩石的膨胀,使地面隆起。Jonckbloedt 证明,废硫酸也可用镁质硅酸盐(橄榄石)充分地中和,同时可产生非晶硅石等有用的产品。Liefink 和 Geus 提出一种方法,可控制用这种办法生产出的硅石的性质,并制备出使之适合工业用途(例如作催化剂)的硅石。

7 后记

可以认为,本文集是一本地球化学工程学教科书,涉及从基础研究到应用研究的文章,为读者提供了这一年轻学科的基本概念。事情已变得十分清晰,特别是在污染已经遍及自然环境的时候,应该优先将自然过程和天然物料用于这些污染物的转化,使之成为无害的化合物。地球化学工程师的任务在于改进这种转化的速率和这些自然方法的效率。进一步努力的方向是制订协议书,使地球化学家能够依据其对自然过程和天然物料性质的基础知识,开发出新的地球化学工程学方法。

目 录

地球化学工程学——21 世纪的环保产业(中文版译者的话)

英文版前言

英文版序言

温室效应:地球化学工程学的解决方法——为中文版的出版而作	(1)
地球化学工程学:历数家珍	(5)
消除固体废物中金属污染物的地球化学活动性——关于水厂污泥中的砷	(31)
受污染沉积物和土壤的生物地质动力学:未来研究的前景	(38)
综述:建模在地球化学工程学中的作用	(42)
地球化学工程学项目经济评价的某些准则	(54)
用土壤监测网可检测的未来趋势	(59)
河漫滩沉积物和高级次水系沉积物的地球化学:一种评价	
环境污染的途径(以比利时和卢森堡为例)	(65)
重矿物:放射性探测法的应用	(76)
用于废水处理技术的简要分析策略	(99)
地球化学与昔日历史:荷兰 - 日耳曼人炼铁点的产量估计	(121)
就地保护我们的考古学遗产:对地球化学工程学的挑战	(129)
火山和人类活动对全球风化总量的贡献	(137)
印尼西爪哇 Ciwidey 河一线酸性水流造成的火山污染	(146)
高温低压条件下的天然流体	(166)
天然气生产设施中铅的沉淀	(175)
地质催化作用导论	(183)
希腊北部的工业矿物:生产量及环境技术的开发	(195)
西班牙阿尔梅里亚 Los Escullos 地区的丝光沸石 - 蒙脱石凝灰	
岩层的矿物学和地球化学及其用途	(204)
用改性树皮消除合成液和工业废液回收重金属离子	(215)
在蒸压釜中用悬浮纤维素还原无机化合物	(261)
以玻璃质组分为重点论城市固体废弃物焚烧炉底灰的风化	(265)
添加吸附性矿物以降低城市固体废物焚化炉底灰的 Sb 沥滤量	(270)
由飞灰合成沸石及沸石产品的性质	(276)

不纯砂岩中的硅溶作用:在混凝土中的应用	(281)
界面沉淀作用影响成层黄钾铁矾/飞灰中的迁移阻力	(288)
采用地下灌注法处理酸废液	(293)
灰岩硫酸灌注过程的最优化处理	(297)
温度升高条件下橄榄石在硫酸中的溶解——橄榄石流程废酸中和替代流程的意义 ...	(301)
用橄榄石流程制备硅石及其用作催化剂载体的可能性	(310)

温室效应:地球化学工程学的解决方法^①

——为中文版的出版而作

R. D. Schuiling^②

1 引言

在科学界,一种普遍的共识正在增长,即化石燃料的大量燃用必然招致大气圈内 CO_2 的增多,将引起世界气候的明显变化。尽管有些变化,特别是高纬度地区的变化实际上是有利的,像在加拿大、俄罗斯北部和西伯利亚,或许还有格陵兰的广袤区域,这些变化将会导致适耕土地增加,然而,所预测变化的基本效应很可能是有害的。最严重的后果之一可能是海平面快速上升,这是由于格陵兰和南极冰盖部分融化而造成的,加之大洋水整体变暖和风暴预计更频繁发生,更是助纣为虐。海平面的这种上升尤其将对海岸低平区产生危害,这里人口密度最高,世界上最有文化价值的一些遗产也在这里。问题可以用一句话来概括:大气圈中 CO_2 的数量和大洋中水的数量都应减少。在本文中,我们将不谈温室效应的预防方面,而集中讨论利用地质和生物系统及自然作用的特性来解决 CO_2 和 H_2O 问题的方法。

2 抬升陆地?

在进入本文主题之前,即讨论能否在大气圈之外的其他储体中保存 CO_2 和在大洋之外的其他储体中保存水的问题之前,我们将简要地论及局部地与可能的海平面上升相抗争的另一种方法。许多低平的国家构成沉积盆地的一部分,在其沉积剖面中含有灰岩层。如果我们把硫酸灌注到这些灰岩中去,它们会局部地转变成石膏。石膏的体积是它所借以生成的方解石的两倍,为调整体积的这种增大,反应位置之上的地面势必上升。这种效应或许可用于海岸防御,途径是在潮汐带造成浅滩,使潮水退离原海岸,并往滩后部位提供沙子。因为这个过程可以通过钻孔数量和位置、酸的强度及灌注速率的选择来优化调节,摸索如何能达到颇为精确的隆升几何要求。顺便可提及的是,这种办法也开辟了抬升受到海面威胁的现存建筑(从生产平台到文化古迹)的可能性。

至于因致密石膏岩的形成使钻孔周围渗透性丧失的问题,可以用先灌注 HCl 再使硫酸穿过 CaCl_2 浆体的办法来克服。

所提出方法的主要优点是能够利用工业废酸,使之在此过程中被中和;所含的任何金属

① 此文是 R. D. Schuiling 教授为中文版的出版特别写作的。

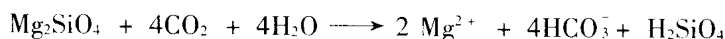
② 通信地址: Faculty of Earth Sciences, Utrecht University, P. O. Box 80. 021, 3508 TA Utrecht, Netherlands

都会在石膏与灰岩的反应锋面上被固定下来,因为在此 pH 骤然升高。就所担心的 CO₂ 聚集来说,这应该是有利的。搁置在地表附近的任何一种酸,都将置换某个当量的弱碳酸排入大气。如果我们让释放 CO₂ 的酸反应在地下发生,集存在那里的 CO₂ 将会对大气圈中的 CO₂ 聚集量产生正向影响。

3 CO₂

当 CO₂ 存在于大气圈中时,它只能促进温室效应。任何防止 CO₂ 进入大气圈或从大气圈移离 CO₂ 的方法,都将减弱温室效应。在一些国家,正在研究往陆上储水层或废弃气田中以及深冷洋水中存储 CO₂ 的计划。这些方案一般都需要额外的能量来捕获、传运和压缩 CO₂。CO₂ 的地下储存,要求它不应在短时期内返回地表,甚至呈 CO₂ 驱动的“喷泉”以灾变的方式返回地表,这使人想起喀麦隆的尼奥斯 (Nios) 湖灾难,那时,1700 人罹难于该湖的 CO₂ 灾难性释放。然而,在某些情况下,将 CO₂ 灌入部分报废的气田,可以作为保持储层压力的手段来使用,以开发用其他方式已无经济价值的残留天然气。经地下风化反应呈碳酸盐形式被固定下来的任何 CO₂,在此后的地质时期内都会被安全地储存起来。

额外的二氧化碳也能被地上的快速风化作用储存起来。随着酸雨引发的 pH 值降低,风化速率已在增大,导致许多古迹和塑像加速蚀损。为抵消这种效应,给土壤施用石灰的农业措施,就二氧化碳的平衡而论,是大体上保持预计的中性。从另一方面说,用施加橄榄石粉的办法缓冲土壤 pH 值的增大,将对二氧化碳的平衡真正具有纯正向的影响,因为生成 CO₂ 的效应可能维持在很小程度上。相应的反应可以写成:



在荷兰,大约有 120 000hm² 农田打算退耕,在今后 20 年内还为林地。为了提供足够的中期缓冲容量以抵消酸雨影响,需要大约每公顷 1 ~ 1.5 t 粉碎橄榄石用量。在 120 000 hm² 土地上使用这一数量的橄榄石,将会吞置掉大约 150 000 ~ 250 000 t CO₂, 与 CO₂ 的年产量相比,这是一个小数目。如果我们把固定在陆上森林生物体中的 CO₂ 数量大致取定为 2 × 10⁴ t/km², 那么,通过退耕还林而产生的生物量要大两个数量级左右,相当于 2400 × 10⁴ t CO₂。就上面提及的小面积而论,这仍然是一个不起眼的数目,但是它说明,以生物量的形式储存 CO₂ 是一种可行方案,而且它是维持全球平衡的最循自然的途径,让我们策划全球规模的生物量方案吧!

由于采伐、粘制板材、燃烧和腐损,以及沙漠侵袭,每年有大片森林正在消失。这不仅引起生态系统的严重损害,而且如我们所见,也加剧了温室效应。因而,急迫应办之事是,我们要在世界范围内加倍努力保护森林,执行积极的造林计划,对防止沙漠化给予更大的关注。像中国这样的国家,在其抵抗沙漠扩展方面,应当接受来自国际社会的每一份可能支持。在下面关于水的一节中,我们将讨论尚且遥远的用水充填沙漠中砂粒间隙的可能性。这也将造成植被,用这种办法也会提供额外的 CO₂ 沉降。木材的更大量产生,还将尽量减少我们对化石燃料的依赖,因而还将对尽量减少外加温室效应作出贡献。

如果我们能迫使沙漠后退 100 × 10⁴ km², 我们会把 2 × 10¹⁰ t 的 CO₂ 储存起来,这会使

大气圈的 CO_2 水平与现在相差近 3×10^{-6} 。可以设想,与此同时,与之相当的草原面积将会转变成稀树草原,而稀树草原会转变为森林。

较陆地生物量为次,海洋生物量构成了另一个大型 CO_2 库。尽管海洋生物量的估计值还不十分可靠,我们推测在活的海洋生物总量中相当的 CO_2 量为 6×10^{12} t。海洋生物量限制于光照带内,亦受营养的限制。根据可溶性磷酸盐与海洋深度的关系,很清楚,在许多情况下磷酸盐是一种有限的营养物。大部分生物量是由浮游植物再加上浮游动物组成的。较高级的生物占生物总量的不到 1%。有证据表明,已采用的限制使用磷酸盐和向河流排放磷酸盐的环境措施,已开始鱼类捕获量的减少中显示出成效。

由于海流循环,巨大区域的海洋表层水几乎完全没有磷酸和其他营养物质。这种区域被称之为“生物荒漠”。而在有磷酸盐含量高的深洋水向上翻涌的其他地方,则有丰富的鱼群。这清楚地说明,如果我们采用施加肥料的办法,以补偿海洋生物荒漠中磷酸盐的亏损,海洋的生物量便能大大增加。但是,奇怪的是,显然环境保护主义者和决策者们似乎对我们往地球系统中加点什么比从中去掉点什么更加害怕。几年前提出的把荷兰的一部分超量牲畜粪便运往海洋生物荒漠的建议,一直遇到激烈的反对。然而,且不说这种办法与其他处置超量粪便的办法相比要便宜得多的事实,该建议的重大优点是,如果我们把含磷酸盐的物质加入海洋,有十分巨大的多重效应。C: N: P 的平均比例[所谓的红田比(Redfield ratio)]为 106: 16: 1,这意味着加进 1 kg 磷酸盐 P,我们将储存起 106 kg C,相当于以生物体的形式储存 390 kg CO_2 。荷兰用罐形船向海洋生物荒漠每年可以运送出 1000×10^4 t 含 P_2O_5 仅 0.51% 的超量粪便。应该把它们分撒在磷酸盐含量低于海洋的磷平均含量水平的地方。这种作业将增加海洋中 CO_2 的数量,它会以每年 860×10^4 t 生物量的形式被固定下来。这一数量中极可能有数万吨会成为商业鱼货。这种规模的试验应该由海洋生物学家、海洋化学家和海洋地球化学家组成的国际小组监察实施,但是,即使是在严密的监察下,往海洋抛撒粪便的工作在最近的将来似乎也不会获准。另一方面,往局部的鱼类养殖区(海水养殖场)加施肥料以提高产量,好像却很快会被推广。

4 水

如果我们想防止冰盖融水进入海洋,就必须找到替代的储藏库。对地球系统而言,最有的是把这种超量水以生物体的形式在陆上储存起来。可以被用这种方式固定下来的水,仅仅是很有限的一部分。但是,因为这同时涉及 CO_2 的存储,它确实有纯的正向效应(见上文)。如果没有任何防范措施,没有严格的减少化石燃料燃用的措施,预计到 2050 年海平面会上升 60 cm。这相当于 $360 \times 10^6 \text{ km}^2 \times 0.6 \text{ m} = 216 \times 10^{12} \text{ m}^3$ 的水量。除生物体外,基本上只有两种可以确认未被使用的潜在的水储存库,即低于海面的所谓干凹地和沙漠的砂粒间隙。

我们试图估算的干凹地(死海、Danakil 低地和许多其他凹地)的总体积达到 8000 km^3 左右。如果我们让充填这些凹地的水面再抬高一些,把诸如咸海等凹地也补充进来,这个数字还能增大一些。将 8000 km^3 的体积分给整个海洋面($360 \times 10^6 \text{ km}^2$),可算出海平面大约降低 2 cm 多一点。这意味着,即使将充灌这些干凹地的政治问题和技术问题放在一边,这样做对解决海面上升问题的贡献也只是微乎其微的。就温室效应而言,主要的好处是可利用海面与凹地水面的高差,使水通过水电站灌入凹地,从而节省化石燃料。遗憾的是,所考虑的