

中国坡缕石

郑自立 宋绵新 易发成 李虎杰 田 煦 著



地质出版社

中国地质学

中国科学院地质研究所 编



— 1 —

石 缕 坡 国 中

5406/23

郑自立 宋绵新 易发成 李虎杰 田煦 著

地 质 出 版 社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书比较全面、系统地论述了我国坡缕石粘土矿床地质学、坡缕石矿物学及应用矿物学,着重论述了坡缕石矿物晶体化学、晶体结构和物化性能,并探讨了彼此间相互关系,同时对坡缕石的应用研究也作了介绍。

本书可供从事矿床学、矿物学、矿物材料学,特别是从事粘土矿物学、粘土矿床学理论研究,以及非金属矿物材料开发应用研究的科技人员和高等院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国坡缕石/郑自立等著. -北京:地质出版社, 1997. 11

ISBN 7-116-02443-3

I. 中… II. 郑… III. 坡缕石-研究-中国 IV. P578.94

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 19291 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:张新元

责任校对:黄苏晔

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 1/16 印张: 8.125 图版: 4 页 字数: 200 千

1997 年 11 月北京第一版·1997 年 11 月北京第一次印刷

印数: 1—500 册 定价: 20.00 元

ISBN 7-116-02443-3

P·1819

前 言

坡缕石在矿物学分类上隶属于海泡石族，为含水的层链状镁质硅酸盐。

1862年俄国学者隆夫钦科夫最早于乌拉尔矿区的热液蚀变产物中发现这一矿物并将其命名为坡缕石(Palygorskite)。法国学者拉巴朗特(J. D. Laporent)于1935年又在美国佐治亚州凹凸堡(Attapulays)和法国莫摩隆(Mormoriron)沉积岩层中发现了此种矿物，并命名为凹凸棒石(Attapulgit)。1982年世界矿物命名委员会认为坡缕石和凹凸棒石两者的晶体结构和晶体化学成分相同，属同一矿物种，并规定为统一的坡缕石。近年来，在国内外地质文献中，把“坡缕石”和“凹凸棒石”仍视为同义语互用，并且在我国有人根据其晶体形貌的差异，把沉积成因的呈土状者称作凹凸棒石，把热液成因的呈绒状、纤维状的称作坡缕石。依据对两者矿物学及应用矿物学系统研究获得的结果，并结合它们的形态特点，本书定义沉积成因的宏观上呈土状的坡缕石为土状坡缕石，热液成因的宏观上呈纤维状的为纤维状坡缕石。

自Bradley(1942)提出坡缕石的理想晶体化学式 $\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_2(\text{H}_2\text{O})_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 及层链状晶体结构模式以来，坡缕石矿物化学及晶体结构的研究一直是国际粘土学界的热门课题。由于其晶体细小(长约 $100\sim 10\mu\text{m}$ ，宽约 $0.02\sim 0.05\mu\text{m}$)，因此无法获得适合单晶X射线晶体结构分析的单个晶体，和高分辨率电镜下的纵向及横断面晶格像。前人关于其晶体结构的确定一直仅限于粉晶X射线衍射数据的推测计算和讨论(B. F. Jones和E. Galan, 1991; Chisholm, 1991)，并提出(a)斜方晶系： $Pnmb$ (Preisinger, 1963)， Pn (Christ, 1969)；(b)单斜晶系： $A2/m$ (Bradley, 1940; Drits和Sokolov, 1971)， $P2/a$ (Zvyagin *et al.*, 1963; Christ *et al.*, 1969; Gard和Follet, 1968)的两种结构模式，以及八面体位中广泛存在Al和 Fe^{3+} (Drits和Sokolova 1971; Galen *et al.*, 1969; L. Heller-K. Allai, 1981; 江绍英, 1985)及 Fe^{2+} (Serna, 1977; Lmai *et al.*, 1969; 方盘, 1987; 贺玉珉, 1986等)的认识。Serna(1975)、Hermosin(1986)和Galan(1987)等人还系统地研究了坡缕石的比表面积、吸附性等物化性能。

坡缕石矿物一般在高碱度($\text{pH}=8\pm$)、适当盐度、一定温度及介质 SiO_2 、 Al_2O_3 和 MgO 三组分比例适当的环境下才能生成。目前世界上仅有极少数国家或地区产出该类矿床。坡缕石粘土已成为世界性稀缺资源，它具有优良的胶体性能、吸附性能和催化性能。在国外，特别是美国，已开发了从石油钻井泥浆到太阳能储热等众多领域的几千种用途。我国广泛产出有土状及纤维状两种坡缕石矿床，拥有这一矿产资源的优势。但是，由于国内对该矿物的成分、结构及物理化学性能等方面的系统研究很少，所以，仅开发出钻井泥浆，吸附剂等几种产品。因此，坡缕石的晶体化学、晶体结构、物化性能及其彼此间的相互关系，特别是晶体结构的研究，不仅为国际粘土矿物学界的难题之一，而且也已成为我国急待开发利用这一矿产资源的制约前提。

结合国家建材局行业基金资助项目“中国坡缕石矿石类型及其物化性能研究”、西南工

学院院科研基金资助项目及中加合作(CIDA)项目“苏皖凹凸棒石粘土成矿带矿床地质及成矿地球化学”、地矿部矿物岩石材料开发应用国家专业实验室开放基金资助项目“透射电镜下坡缕石矿物学研究”和中国建材地勘中心科研基金资助项目“川黔纤维状坡缕石成矿带找矿远景及应用开发研究”等课题的研究成果,本书系统地进行了我国坡缕石矿床学、地球化学、矿石类型和矿物共生组合、坡缕石晶体化学及晶体结构的研究以及矿物的物化性能与成分结构间相互关系的研究,采用对比分析法研究了两种坡缕石在上述方面的差异,并为该矿物的进一步开发利用奠定了基础。

(一) 在坡缕石矿床地质学方面

1. 通过大量的野外地质工作及对前人资料的总结,提出苏皖土状坡缕石粘土成矿带和川黔纤维状坡缕石成矿带的观点,探讨了坡缕石矿床的地质特征、矿床学及矿物地球化学和成矿环境与成矿机制,进行了中国坡缕石粘土矿床成因类型的划分。

2. 通过系统的矿石成分及矿石结构的研究,进行了坡缕石矿石类型的划分。

3. 详细研究并探讨了共生矿物的矿物学及其与坡缕石间的相互关系。

(二) 在坡缕石的化学组成研究方面

1. 对实测及收集的坡缕石化学成分进行了系统数理统计分析,结合电镜下观察结果,提出 Fe_2O_3 与 MgO 、 Al_2O_3 为坡缕石的自身氧化物成分,而 CaO 、 K_2O 和 Na_2O 等为主要以吸附状态存在的非自身氧化物成分。

2. 通过坡缕石穆斯堡尔谱的研究,确定了坡缕石中 Fe^{3+} 的唯一存在形式。

3. 基于阴离子数等于 21,计算了不同坡缕石的晶体化学式,指出坡缕石晶体化学式为:
 $(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe}, \square)_5 \text{Si}_8 \text{O}_{20} (\text{OH})_2 4 (\text{H}_2\text{O}) \cdot n \text{H}_2\text{O}$ 。

4. 结合红外光谱特征探讨了八面体层中阳离子占位,提出了坡缕石八面体中阳离子的占位形式为: $\text{M}_2 \text{M}_1 \text{M}_3 \text{M}_1 \text{M}_2$; $\text{M}_2 = (\text{Fe}^{3+}) (\text{Mg}^{2+})$; 中间八面体 $\text{M}_3 = \text{Al}^{3+}$; $\text{M}_1 = \text{Al}^{3+}$ (缺 Fe^{3+} 情况下); 或 $\text{M}_1 = (\text{Fe}^{3+} + \text{Al}^{3+})$ 或 (Fe^{3+}) 和空位($\square$)。

5. 通过热失重分析、差热分析和差式扫描量热法分析,系统研究了坡缕石中水含量及水类型、动态过程中的脱水作用、坡缕石中水的结合能以及坡缕石中水与八面体阳离子间的关系,提出了坡缕石中结晶水(H_2O)与结构水(OH)的复合脱水作用,含 Al 高的纤维状坡缕石结构水脱失温度比土状坡缕石高约 100°C 。

6. 结合以往的研究,再次进行了坡缕石红外吸收光谱振动吸收带的归属划分。

7. 通过对坡缕石样聚类分析的组群分类,以及 Mg^{2+} - Al^{3+} - Fe^{3+} 组分的三角形图解,笔者成功地进行了坡缕石的成分成因分类,即将坡缕石分为外生沉积成因为主的短纤维土状坡缕石和热液交代蚀变作用成因的纤维状坡缕石两类。

8. 坡缕石晶体八面体位中 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 组分含量研究结果显示了存在着 Mg^{2+} - Al^{3+} 、 Fe^{3+} 异价类质同像替换的坡缕石新种,这有待进一步工作。

(三) 在坡缕石晶体结构研究方面

1. 详细研究了坡缕石粉晶 X 射线衍射特征,结合理论计算结果,提出坡缕石粘土中可能存在着两个坡缕石矿物相。它们分别具有原始格子和底心格子两种结构类型。我们肯定地指出: $20^\circ < 2\theta < 30^\circ$ 和 $34^\circ < 2\theta < 45^\circ$ 衍射区的衍射峰差异唯有可能是坡缕石晶体结构格子类型的变化所致而非由斜方晶系变为单斜晶系时 (121) 及 (161) 衍射峰分裂所致。同时讨论了坡缕石 X 射线衍射峰的不对称弥散现象及坡缕石样品的定向性研究。

2. 进行了大量的透射电镜下坡缕石电子衍射花样图的观测,并通过对电子衍射花样图几何图形及其对称性的分析和晶面间距的测定,得出如下四点结论。

(1)电子衍射花样图显示的衍射斑点具有一般层状硅酸盐的假六方对称分布的特征,说明了坡缕石晶体结构中确实存在有硅氧四面体六方环结构单元。

(2)电子衍射花样图衍射斑点反映的衍射强度的 L^2 对称以及普遍有心矩形格子特点,揭示了坡缕石晶体对称不应为 L^2mm 对称,亦即相应的晶体结构不属于斜方晶系。

(3)电子衍射花样图反映出电子束主要沿 $[100]$ 方向入射时的电子衍射斑点,且实测的 $d(040)$ 、 $d(002)$ 和 $R(040) \wedge R(002)$ 值与理论计算结果及 X 射线衍射数据基本一致。

(4)电子衍射花样图中表现的衍射斑点的弥散漫反射现象提示了坡缕石中特别是土状坡缕石中可能存在着晶体结构的无序或缺陷。

3. 首次引用植物学界采用的包埋制样法制样并获得成功。通过 50 余张超高倍电子显微照片的拍摄以及约 500 张放大照片的处理,分别获得了前人未及的土状坡缕石和纤维状坡缕石的横断面及纵断面形貌像及晶格条纹像。

4. 通过对土状坡缕石晶格条纹像的深入分析,结合晶体化学研究的结果,指出对应于八面体带晶格条纹像(020)的均匀或不均匀分裂的结果可能为坡缕石八面体层中不同的占位空缺所致。晶体条纹分裂即发生于八面体空缺位。空缺位主要为 M_1 位。

5. 研究了晶格条纹像反映的纳米级显微弯曲穹隆构造特征及纤维晶体受力后的晶面位错。

6. 通过坡缕石晶格像分析得出坡缕石实际晶体结构与 Brandly (1940)提出的理论晶体结构是一致的结论。

7. 基于坡缕石的晶格条纹像和电子衍射花样图的测定,结合粉晶 X 射线衍射数据,进行了坡缕石晶格类型及晶胞参数的直接确定,判定其空间群为 $C2/m$ 。晶胞参数: $\beta=100^\circ$, $a\sin\beta=(12.94\sim13.40)\times10^{-10}\text{m}$, $b=2d(020)=18.0\times10^{-10}\text{m}$, $c=5.27\times10^{-10}\text{m}$ 。

8. 进行了大量坡缕石粉晶 X 射线衍射数据的拟合分析及晶胞参数计算及两种坡缕石晶胞参数特征的对比研究,同时讨论了晶胞参数与晶体化学成分间的关系,指出纤维状坡缕石的 β 值大多数趋向于接近 90° 至 $91^\circ30'$,土状坡缕石的 β 角多集中于 $93^\circ\pm$,两者都有较宽分布范围: 90° 至 96° 。晶胞参数的 a 值具有随八面体中 $\text{Al}^{3+}+\text{Fe}^{3+}$ 取代 Mg^{2+} 量的增加而减少的线性关系。

9. 通过坡缕石晶格像分析,提出坡缕石 X 射线衍射弥散效应及相应的电子衍射花样图衍射斑点的弥散效应是晶体结构缺陷造成的结果,并为一种无序的大密度的点缺陷。

(四) 在坡缕石的形态及物化性能研究方面

1. 进行了大量的扫描电镜及透射电镜下坡缕石单晶及集合体形貌观察,获得纤维状坡缕石纤维横断面形态为:

- (1) 棱角混圆的多边形(六边形)或假六边形;
- (2) 似圆的椭圆形;
- (3) 近菱形。

其中以假六边形及近菱形为主。结合晶体结构研究结果,提出坡缕石除一般规则的针状、纤维状之外,常见的树枝状、节瘤状为由晶格缺陷点(晶体生长缺陷点)构成的新生长点上进一步生长发育的结果的认识。

2. 通过系统的 X 射线衍射曲线、红外吸收光谱特征的研究, 提出加压 ($p > 490\text{MPa}$) 作用后的晶体结构变化是稳定的而非亚稳定相。加热作用下坡缕石晶体结构发生折叠变化, 变化温度点为 $450\text{ }^{\circ}\text{C}$; $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时晶体发生非晶质化相变, $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时发生以生成方石英为主的晶化作用。土状坡缕石物相转变温度较纤维状坡缕石提前 $150\sim 200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3. 进行了坡缕石热膨胀性能的研究, 提出坡缕石的热膨胀性表现为热膨胀与收缩交替发生, 且以收缩作用为主的单一的热膨胀或热收缩过程。

4. 系统地进行了酸、碱活化作用下坡缕石晶体形貌与晶体结构变化研究, 探讨了坡缕石酸化作用的影响因素 (温度、时间、酸浓度和晶体化学成分) 及酸化机理, 提出坡缕石具有较强的耐酸、耐碱性能。由酸化过程中坡缕石金属阳离子 Mg^{2+} 、 Al^{3+} 、 Fe^{3+} 析出的先后及难易程度的研究, 提出了坡缕石八面体层内的占位机制。

5. 进行了大量的坡缕石脱色力及对阳离子和极性分子的吸附作用研究, 以及酸化作用对其脱色力影响的研究, 提出了坡缕石具有表面电负性吸附及微孔分子筛吸附的物化吸附作用。

6. 由系统的坡缕石吸附-解吸附等温线分析, 研究了两种坡缕石的孔结构特征, 探讨了孔结构与吸附间的相互关系, 提出晶格缺陷及晶体生长缺陷的发育可能是土状坡缕石较纤维状坡缕石具有大比表面积和微孔体积的根本所在。

(五) 在坡缕石粘土的开发应用方面

结合经省、部级检测质量达到和超过国内同种产品——新型 SM 复合硅酸盐保温涂料的研制, 系统地对比、研究了复合硅酸盐保温材料的性能和特点, 分析了其传热保温原理, 提出了坡缕石孔道晶体结构具有的低固相热导性、网状分散凝集体结构决定其在 SM 复合硅酸盐保温材料中作为特殊粘接剂和高强分散剂作用的认识。

本书的编写得到了中国地质大学 (北京) 王濮教授、蔡克勤教授、霍承禹教授, 昆明工学院李志鹄教授的精心指教和帮助, 在此表示衷心的感谢。同时, 还要感谢加拿大 Laurentian 大学 R. Whitehead 教授、A. McDonald 教授和 J. Huang 教授的帮助和支持; 感谢西南工学院非金属矿研究所、国家建材地质勘查中心和中南工业大学地质系等单位所有给予关怀、帮助和支持的各位老师、同学和朋友。

全书共分五章, 具体编写分工如下: 前言由郑自立和田煦执笔; 第一章由郑自立和田煦执笔; 第二章由宋绵新、郑自立执笔; 第三章由郑自立、宋绵新执笔; 第四章由郑自立、李虎杰和易发成执笔; 第五章由郑自立和易发成执笔。全书最后由郑自立整理与定稿。

由于我们水平有限, 书中会有许多不足之处, 敬请同仁们给予指正。

作 者

1997 年 6 月

目 录

前 言

第一章 中国坡缕石粘土矿床类型及矿石类型	(1)
第一节 中国坡缕石粘土矿床类型	(1)
一、坡缕石粘土矿床分布及矿床类型	(1)
二、火山岩区沉积型坡缕石粘土矿床	(3)
三、火山风化型坡缕石粘土矿床	(9)
四、陆相碎屑沉积型坡缕石粘土矿床	(10)
五、内陆半咸-咸化湖盆沉积型坡缕石粘土矿床	(12)
六、火山蚀变交代型坡缕石粘土矿床	(13)
七、接触交代蚀变型坡缕石粘土矿床	(13)
八、裂隙充填型坡缕石粘土矿床	(13)
第二节 中国坡缕石粘土矿石类型及矿物共生组合	(16)
一、坡缕石矿石类型的划分	(16)
二、坡缕石矿石特征及化学成分	(16)
三、坡缕石共生矿物的矿物学特征	(20)
四、坡缕石与共生矿物间的相互关系	(23)
第二章 坡缕石矿物化学	(26)
第一节 坡缕石的化学组成	(26)
一、坡缕石的化学成分	(26)
二、聚类分析研究	(28)
第二节 坡缕石矿物晶体化学式	(31)
一、铁的存在形式	(31)
二、晶体化学式计算	(31)
三、电荷的平衡	(33)
第三节 坡缕石八面体阳离子的占位机制	(34)
一、八面体类型的理论推测	(34)
二、红外吸收光谱特征	(34)
三、酸淋滤结果	(34)
四、穆斯堡尔谱特征	(35)
五、晶格像特征	(37)
第四节 坡缕石的脱水作用及其与八面体阳离子间相互关系	(38)
一、坡缕石中水的类型及其特征	(39)
二、动态过程中的脱水作用	(41)
三、坡缕石中水的结合能研究	(41)
四、坡缕石中水特征与八面体阳离子间相互关系研究	(41)
第五节 坡缕石成分成因分类	(43)

一、坡缕石样聚类分析的组群分类	(43)
二、坡缕石 Mg^{2+} - Al^{3+} - Fe^{3+} 组分三角形图解	(44)
三、讨论	(45)
第三章 坡缕石的晶体结构研究	(47)
第一节 坡缕石粉晶 X 射线衍射特征	(49)
一、坡缕石粉晶 X 射线衍射一般特征	(49)
二、坡缕石衍射峰的不对称弥散现象	(51)
三、坡缕石样品的定向性研究	(51)
第二节 坡缕石电子衍射花样图特征及指标化	(53)
一、样品的制备及测试条件	(53)
二、电子衍射花样图的几何图形及其对称性	(54)
三、晶面间距的测定	(55)
四、电子衍射花样图的指标化	(55)
五、漫反射衍射斑点	(57)
六、讨论	(57)
第三节 坡缕石的晶格像	(57)
一、样品制备	(58)
二、坡缕石晶格像特征	(58)
三、坡缕石晶格像分析	(59)
四、讨论	(60)
第四节 坡缕石微细晶体结构	(61)
一、坡缕石晶格类型及晶胞参数的直接法确定	(61)
二、坡缕石 X 射线粉晶衍射数据拟合分析及晶胞参数计算	(61)
三、坡缕石晶胞参数与化学成分间的关系	(63)
四、坡缕石晶格缺陷及晶体生长缺陷	(67)
五、坡缕石晶体结构模式问题	(67)
第四章 坡缕石的物化性能	(70)
第一节 坡缕石的一般物性特征及形貌特征	(70)
一、坡缕石的一般物性特征	(70)
二、坡缕石的形貌特征	(71)
三、坡缕石纤维横断面形貌特征	(72)
四、坡缕石纤维细度	(73)
第二节 坡缕石耐压性及相变特征	(73)
一、压力作用下坡缕石的相变特征	(73)
二、不同压力下坡缕石的相变特征	(74)
三、不同坡缕石样品加压下的相变特征	(74)
四、讨论	(75)
第三节 坡缕石的耐热性及相变特征	(76)
一、加热过程中的坡缕石吸热与放热效应	(76)
二、坡缕石的热膨胀性研究	(77)
三、加热过程中坡缕石晶体结构的变化	(80)
第四节 坡缕石的耐酸碱性及其酸化作用机理	(86)

一、坡缕石的耐酸碱腐蚀性	(87)
二、酸化作用下坡缕石晶体形貌及晶体结构变化	(88)
三、影响坡缕石活化作用的因素及酸化机理探讨	(88)
第五节 坡缕石的吸附作用、微孔结构及比表面	(94)
一、坡缕石的吸附作用	(94)
二、坡缕石的微孔结构与比表面	(97)
三、坡缕石孔结构与吸附作用间的相互关系	(103)
第五章 坡缕石粘土的开发应用	(107)
第一节 坡缕石的物化性能与应用概述	(107)
一、坡缕石的流变性	(107)
二、坡缕石的吸附性	(108)
三、坡缕石的催化性	(108)
四、坡缕石的耐热性	(108)
第二节 坡缕石的耐热性及 SM 复合硅酸盐保温材料	(108)
一、SM 复合硅酸盐保温材料的性能特点	(109)
二、SM 复合硅酸盐保温材料在热电厂等部门使用的效果及评价	(110)
三、SM 复合硅酸盐保温材料的传热分析及保温原理	(111)
四、坡缕石在 SM 复合硅酸盐保温材料中的作用探讨	(112)
主要参考文献	(114)
图版说明及图版	(119)

第一章 中国坡缕石粘土矿床 类型及矿石类型

第一节 中国坡缕石粘土矿床类型

一、坡缕石粘土矿床分布及矿床类型

我国自从在江苏六合小盘山第三纪碱性橄榄玄武岩系的粘土质沉积物夹层中发现坡缕石（许翼泉，1979）以来，沿苏北—皖东一带第三系玄武质火山岩分布区相继又发现 20 多个坡缕石粘土矿床（点），它们构成了我国苏皖凹凸棒石粘土（土状坡缕石）成矿带；在具类似地质条件的河北涿鹿、内蒙古察哈尔右翼前旗、山西天镇等地及甘肃天水盆地和青海西宁盆地等第三系陆源碎屑沉积层中也发现了类似的矿床（点）。此外，在我国西南地区发现了一系列产于二叠系或三叠系灰岩裂隙或溶洞中的坡缕石矿床（点），包括贵州的大方、织金、纳雍、盘县和四川的奉节吐祥、珙县等坡缕石矿，它们总体呈北东-南西向分布，构成我国特有的川黔纤维状坡缕石成矿带。在安徽全椒等地还发现产于接触交代蚀变带中的坡缕石粘土矿床（点），图 1-1 示意了我国至今已发现的坡缕石矿床（点）分布。

世界上坡缕石按产出环境划分有蒸发岩建造中的坡缕石粘土、碳酸盐建造中的坡缕石粘土、陆源碎屑沉积物岩建造中的坡缕石粘土、深海沉积物中的坡缕石粘土、表生土壤中坡缕石粘土及碳酸盐裂隙或溶洞中的坡缕石粘土，它们分别具有下列产出特征。

1. 蒸发岩建造中的坡缕石粘土

西班牙 Tajo 盆地是该类型粘土的主要产地，盆地内沉积了厚达 1800m 的第三纪内陆沉积物，从盆地边缘到中心依次发育砾石和长石砂岩相：砂质粘土夹白云岩相，其中含两层海泡石粘土——红色含石膏粘土、灰岩和钠盐亚相及泥灰质-钙质亚相，坡缕石及伊利石矿物存在于后两个亚相中。该类型粘土一般与海泡石共存，一起构成工业矿体，主要形成于干旱气候区的大陆沉积盆地内的化学蒸发岩相中。

2. 碳酸盐建造中的坡缕石粘土

指在泻湖环境或边缘海环境中形成的碳酸盐建造中的坡缕石粘土。该类型粘土分布广、规模大、坡缕石含量高、质纯，是最主要的矿床工业类型，如墨西哥尤卡坦半岛的坡缕石粘土呈透镜状产在白云岩中；西班牙 Lebrija 坡缕石-海泡石粘土矿床位于瓜达尔基维尔盆地中，坡缕石-海泡石产于由下部泥灰质-钙质层及上部坡缕石粘土矿层两个岩性单元组成的第三系上新统陆相地层中。该类矿床的共同特点是：（1）坡缕石粘土产在碳酸盐夹层中呈透镜状与石灰岩互层；（2）共生矿物除碳酸盐外，还有伊利石、蒙皂石；（3）普遍含石英或蛋白石，它们产在坡缕石粘土层的上、下部或相变为坡缕石粘土。

3. 碎屑岩建造中的坡缕石粘土

以西班牙 Torritejon 盆地内产出的坡缕石粘土为代表，盆地第三系岩层由基底板岩或蚀变板岩，砂、砾互层的粘土-碎屑层及上部的淡红色中砾石英岩的扇砾岩构成。粘土-碎屑岩又分为两个矿物组合带，下带：坡缕石±伊利石±蒙皂石±海泡石；上带：伊利石+坡缕石±蒙皂石±绿泥石±海泡石。其它的矿物有石英、长石和白云石。

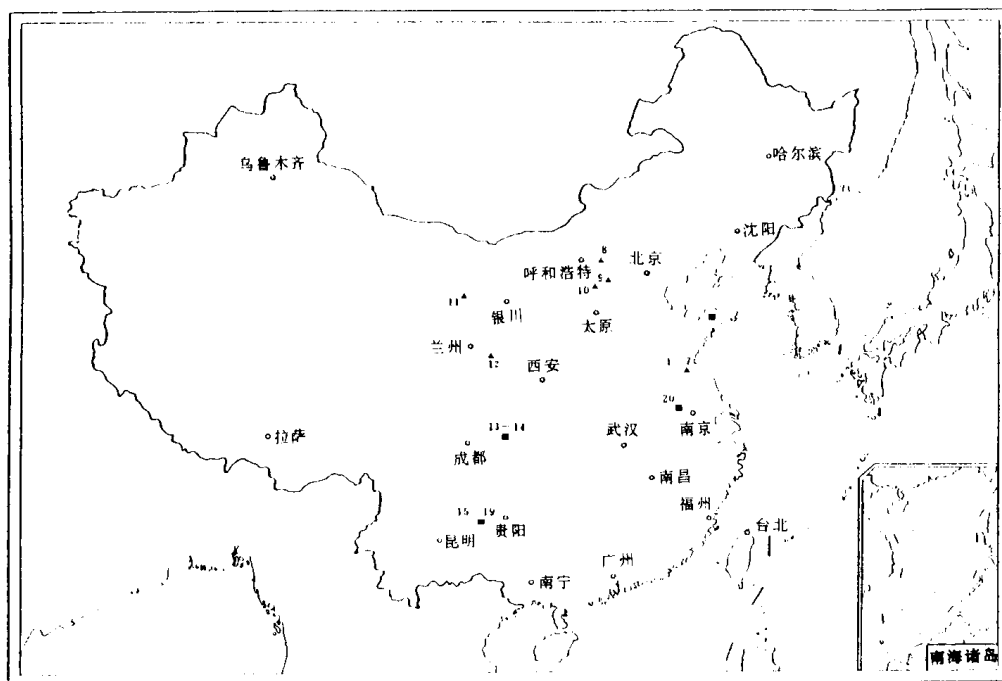


图 1-1 中国主要坡缕石矿床（点）分布图

▲—土状坡缕石； ■—纤维状坡缕石

1~7—苏皖坡缕石粘土成矿带；1—江苏六合白土山坡缕石粘土矿床；2—江苏六合小盘山坡缕石粘土矿床；3—江苏盱眙龙王山坡缕石粘土矿床；4—江苏盱眙雍小山坡缕石粘土矿床；5—江苏盱眙黄泥山坡缕石粘土矿床；6—安徽嘉山官山坡缕石粘土矿床；7—安徽嘉山清明山坡缕石粘土矿床；8—内蒙古察哈尔右翼前旗坡缕石粘土矿（点）；9—河北涿鹿坡缕石粘土矿（点）；10—山西天镇坡缕石粘土矿（点）；11—青海西宁坡缕石粘土矿床；12—甘肃天水坡缕石粘土矿床；13~19—川黔坡缕石成矿带；13—四川奉节坡缕石矿床；14—四川珙县坡缕石矿床；15—贵州大方坡缕石矿床；16—贵州织金坡缕石矿床；17—贵州纳雍坡缕石矿床；18—贵州盘县坡缕石矿床；19—云南镇雄坡缕石矿点；20—安徽全椒坡缕石矿床

4. 深海沉积物中的坡缕石粘土

含坡缕石的深海沉积物主要产在超深水下（600m）的海底，一般产在海沟附近，产出时代主要为白垩纪—新第三纪。坡缕石主要产在沸石质粘土沉积物中，粘土由斜发沸石、蒙脱石、伊利石组成，并通常含有火山物质。

5. 表生土壤中的坡缕石粘土

Singer (1980) 得出结论说，坡缕石是干旱和半干旱土壤的典型代表，是粘土矿物中几个有用的古气候标志之一。坡缕石为新生作用而不是成岩作用形成的产物，含坡缕石粘土的土壤可以是现代土壤、古土壤，为钙质的和弱碱性的，而且是高盐度的，共生矿物除粘土矿物——蒙皂石、伊利石、伊利石-蒙皂石混层矿物外，还常见有石膏、方解石和白云石。

6. 裂隙填充式坡缕石粘土

指产于断层、岩石裂隙和接触变质带中的脉状坡缕石。围岩多为碳酸盐岩，特别是白云质灰岩及白云质大理岩。接触变质带常常发生不同程度的蛇纹石化。坡缕石常呈纤维状集合体，含量高，经常与白云石、方解石、蛋白石、石英等共生，该类型坡缕石粘土很少有构成具工业价值的矿床。如原苏联的外贝加尔、外高加索和中亚地区的一些与夕卡岩型多金属矿床有关的坡缕石以脉状、囊状和壳状产出，仅仅具有矿物学意义。再如，产在克里米亚 Symferopol 附近的风化闪长岩碎块中坡缕石，呈山树皮状夹层。

在研究国外坡缕石粘土成因分类的基础上，笔者结合我国坡缕石产出的地质条件和成因将我国坡缕石粘土矿床成因类型概分为以下几类：（1）火山岩区沉积型；（2）火山风化型；（3）火山蚀变交代型；（4）陆相碎屑沉积型；（5）湖盆化学沉积型；（6）接触交代蚀变型；（7）裂隙及溶洞充填型。它们的各自特征见表 1-1。

表 1-1 我国坡缕石粘土矿床成因类型及其特征

成因类型	成矿环境	成矿作用	成矿实例
沉积 风化型 坡缕石粘土矿床	火山岩区沉积型	火山岩区浅水盆地	源于基性玄武岩、火山碎屑风化分解形成的成矿组分于异常水体温度下，化学沉积形成
	火山风化型	火山岩区浅水盆地内玄武岩风化壳	玄武岩流及火山碎屑于水下或原地风化分解转化
	陆相碎屑沉积型	内陆湖盆	源自陆相（可能与火山物质有关）成矿物质与碎屑物质一道于湖盆中沉积、转化
	内陆半咸化-咸化湖盆沉积型	内陆咸水湖盆	成矿物质于沉积盆地内化学沉积形成
热液 充填交代型 坡缕石粘土矿床	火山蚀变交代型	火山岩分布区	火山物质低温热液下交代蚀变
	接触交代蚀变型	富镁碳酸盐岩与酸性侵入岩的内外接触带	岩浆热液在接触带交代填充
	裂隙、溶洞充填型	碳酸盐岩裂隙或溶洞内	成矿溶液（表生地下水）于围岩裂隙或溶洞中充填

二、火山岩区沉积型坡缕石粘土矿床

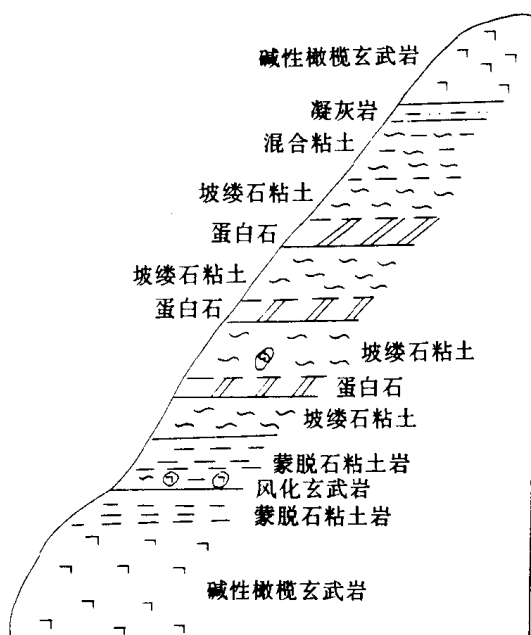
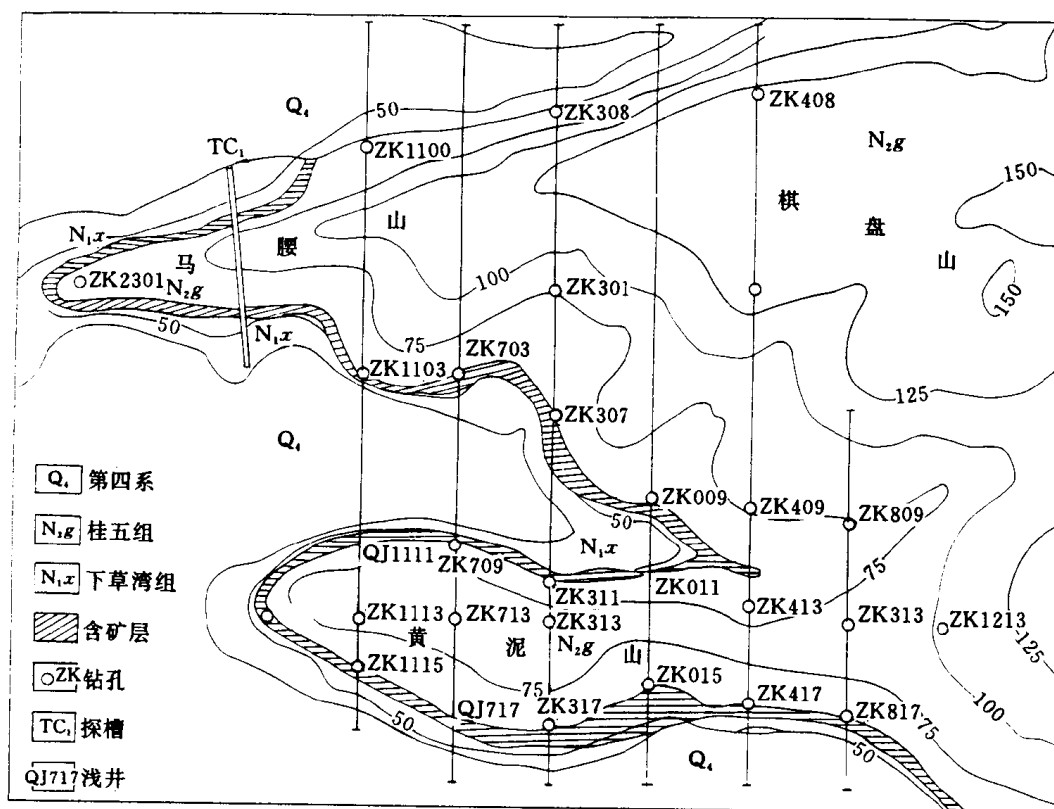
火山岩区沉积型坡缕石粘土矿床发育于火山岩分布区，粘土矿层多产于火山喷发间隙期的粘土质沉积层中，坡缕石呈土状，含量高，为我国最主要的坡缕石粘土矿床类型。该类矿床主要分布于我国苏皖坡缕石粘土成矿带，成矿带东起江苏金坛茅山，西止安徽嘉山，沿苏北拗陷 NW 向次级方山-女山断裂带分布（图 1-2）。产于浅色岩系中的坡缕石粘土，代表矿区有江苏盱眙黄泥山、龙王山、雍小山、六合白土山、安徽明光官山等坡缕石粘土矿；产于红色岩系中的坡缕石粘土，代表矿区有江苏金坛坡缕石粘土矿。该类矿床的成矿环境

为火山岩区内发育的沉积盆地，水体温度普遍较高（约 50℃），并与火山喷发区的远近关系密切。成矿物质源于区内早先玄武岩及火山碎屑的风化分解产物。它们经水体搬运迁移分异，分别构成富 $\text{SiO}_2\text{-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-FeO-H}_2\text{O}$ 的硅酸盐相为主的硅质坡缕石粘土成矿地球化学环境和富 $\text{SiO}_2\text{-CaO-MgO-CO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 体系的碳酸盐岩型坡缕石粘土成矿地球化学环境。矿石矿物组成简单，除坡缕石外，还有石英、白云石及蒙脱石。特征标志层为硅质蛋白石层，呈层状、似层状与坡缕石粘土互层，蛋白石层底部平整，界线清晰，顶部渐变为坡缕石。此外，坡缕石粘土中普遍发育硅质球、团块，其中心为硅质，向外渐变为坡缕石，白云石为自生（或准同生）白云石。在分别以硅质坡缕石粘土及碳酸盐质坡缕石粘土为特征的两含矿岩系之间发育岩性过渡带，并且表现水下隆起（或障壁岛）的存在。该类型矿床的另一显著标志为坡缕石粘土中含有半风化细小球粒状玄武岩残碎，并产有中华河狸、陆兔等化石或化石碎片。该类矿床主要分布于我国苏皖坡缕石粘土成矿带，代表矿区有江苏盱眙黄泥山、龙王山坡缕石粘土矿，安徽明光官山坡缕石粘土矿及六合白土山坡缕石粘土矿。

典型矿床：江苏盱眙黄泥山坡缕石粘土矿床

1. 矿床地质特征

黄泥山坡缕石粘土矿位于苏皖坡缕石粘土成矿带的西南边缘，为矿带内典型的矿床之一。矿区内构造简单，岩层产状主要呈 SE 向缓倾斜的单斜构造，断裂构造不发育。地表出露及钻孔揭露的地层包括第三系渐新统三垛组、中新统下草湾组及上新统桂五组。三垛组为一套泥质粉砂岩、粉砂岩及泥质碳酸盐岩，岩层顶部普遍发育一层厚约数十厘米的砂砾岩。桂五组由一套厚层碱性橄榄玄武岩及间夹 3~4 层紫红色凝灰岩，火山沉积粘土岩组成。玄武岩为区内第三纪火山喷发作用第二旋回产物。下草湾组由玄武岩及沉积粘土岩、碳酸盐岩及风化粘土岩、火山沉积碎屑岩等组成，岩层厚度大于 52m，于矿区西部出露较好，矿区东部埋深较大，按照上部火山沉积粘土岩，下部玄武岩的组合为一火山-沉积韵律。该组地层自下而上可划分为三个韵律，各韵律玄武岩的岩石结构，岩石化学成分均反映它们为区内新第三纪火山第一喷发旋回内的不同喷发阶段的产物。其中，第三韵律上部粘土层与区域内第 V 层粘土相当，为矿区内坡缕石粘土含矿层。矿层由弱风化玄武岩、蒙脱石粘土岩、坡缕石粘土岩、含坡缕石、蒙脱石粘土岩（混合粘土岩）及晶屑凝灰岩等组成。顶板为桂五组玄武岩，呈截然接触关系，底板为气孔状、杏仁状玄武岩，其顶部多已发生强烈粘土化蚀变，与含矿层蒙脱石粘土岩呈过渡接触关系。蒙脱石粘土岩主要由蒙脱石、绿泥石、蛋白石、亚显微结晶质二氧化硅类组成。坡缕石粘土岩层为含矿层的主体，由坡缕石粘土岩、硅质坡缕石粘土岩、硅质岩、白云石坡缕石粘土岩、含白云石坡缕石、蒙脱石粘土岩及含坡缕石白云岩等组成。沿水平方向，岩性具有下列变化特征：矿区西部以前三种岩石组合为主，广泛发育似层状、透镜状并与坡缕石粘土互层的硅质岩层。硅质岩层的底部界线清晰，上部渐变为坡缕石粘土，缺乏碳酸盐成分，表现为典型的沉积岩结构特征。矿区东部主要发育以白云石矿物成分为主的后三种粘土岩组合，硅质岩层消失。上述具不同岩石组合类型的东西部分别代表了远岸相碳酸盐型和近岸相硅质型两类坡缕石粘土含矿层剖面结构类型（如图 1-3 所示）。两者间为岩性混合过渡带，并表现出矿层厚度减薄、底板标高上升的典型水下隆起（或障壁岛）的存在。



硅质型坡缕石粘土含矿层剖面示意图

层位	序号	岩性柱	岩性
N _{2g}	1	碱性橄榄玄武岩	碱性橄榄玄武岩
	2	凝灰岩	凝灰岩
	3	蒙脱石粘土	蒙脱石粘土
E _{3x}	4	白云石坡缕石粘土	白云石坡缕石粘土
	5	含白云石混合粘土	含白云石混合粘土
	6	含白云石坡缕石粘土	含白云石坡缕石粘土
	7	白云石坡缕石粘土	白云石坡缕石粘土
	8	含白云石混合粘土	含白云石混合粘土
	9	风化玄武岩	风化玄武岩
	10	蒙脱石粘土岩	蒙脱石粘土岩
	11	碱性橄榄玄武岩	碱性橄榄玄武岩

碳酸盐型坡缕石粘土含矿层剖面示意图

图 1-3 苏皖坡缕石成矿带黄泥山坡缕石粘土矿床地质略图