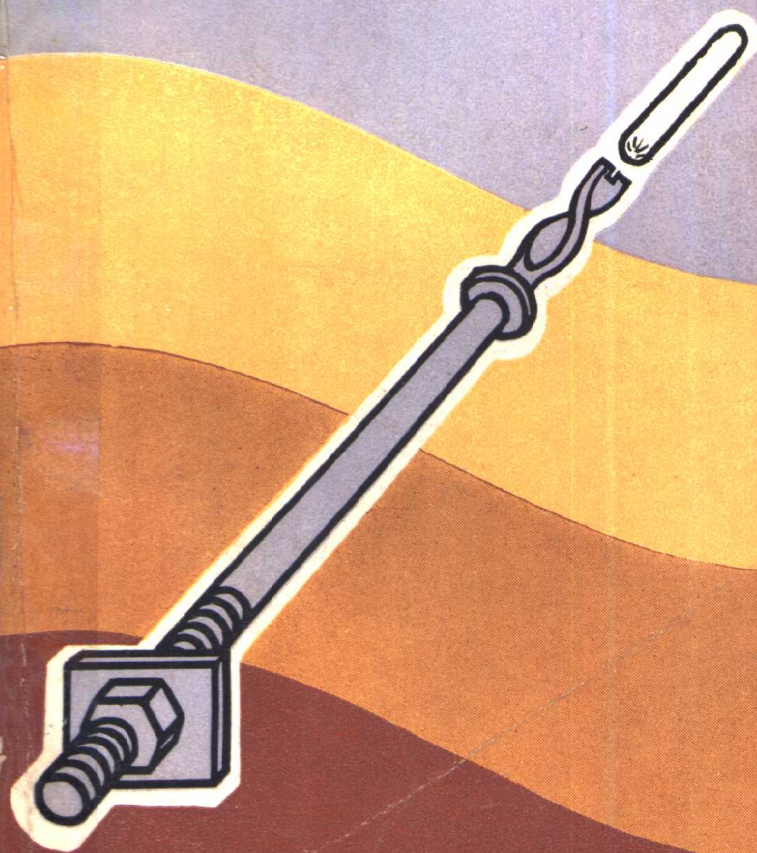


树脂锚杆及锚固剂

郑重远 黄乃炯 编著



煤炭工业出版社

树脂锚杆及锚固剂

郑重远 黄乃炯 编著

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了树脂锚杆(包括树脂锚栓)的类型、结构、原理、设计计算、制造与安装工艺,以及安全技术,详细介绍了各种树脂锚固剂的材料、配方、性能及反应机理;列举了在各种巷道、硐室的支护,以及在井筒装备、设备基础、建筑物抗震、采煤工作面的安装、加固、锚固等方面的工程应用实例。

本书可供采矿与井巷工程、土木建筑、设备安装等有关的生产、设计、施工部门技术人员和院校师生参考。也可供制造合成树脂、树脂锚固剂工厂的技术人员参考。

责任编辑:施修诚

树脂锚杆及锚固剂

郑重远 黄乃炯 编著

*

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平北路16号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

*

开本 $787 \times 1092^{1/32}$

印张 $8^{3/8}$

字数 183 千字

印数1—3,820

1983年4月第1版

1983年4月第1次印刷

书号15035·2531 定价0.90元

前 言

树脂锚杆（包括树脂锚栓）是一种新型锚杆与锚栓。它采用合成材料（树脂）作为锚固剂（粘结剂）。这种锚杆具有快速支护与良好锚固效果。十多年来，树脂锚杆使用日趋广泛，发展迅速，具有广阔的前景。本书是根据近年来对树脂锚杆、树脂锚栓，特别是树脂锚固剂的试验研究和使用情况，并结合国外有关资料编著的。

本书主要阐述各种树脂锚杆的类型、结构、原理、设计计算、制造与安装工艺，以及有关安全技术；详细介绍各种树脂锚固剂材料、配方、性能与反应机理；列举在矿山巷道与硐室的支护，立井井筒装备的安装，机器基础的锚固，井下管道、电缆和装备（胶带输送机）的吊挂，以及建筑物抗震与采煤工作面煤、岩加固等工程中应用树脂锚杆与树脂锚栓的实例。本书以介绍树脂锚杆为主，同时也包括了树脂锚栓。

树脂锚栓实质上是一种短树脂锚杆，主要承受外部载荷，受力情况与结构比较简单。树脂锚杆受力情况十分复杂，故在类型、结构、原理、安装工艺方面也较复杂。但是两者有许多相似之处，即均采用树脂锚固剂把杆体或螺栓锚固在围岩或混凝土中，也就是锚头均靠树脂粘结来固定。因此我们把树脂锚栓看为树脂锚杆的一个特定情况。

本书可供采矿与井巷工程、土木建筑、设备安装、抗震加固等工程有关的生产、施工、设计技术人员和院校师生

参考。

本书经段振西同志审阅、周菊兴、戴长春、吴大立、江天林同志也审阅了有关章节并提出了宝贵意见。书中部分插图系陈才明同志绘制。淮南矿务局、冶金建筑研究总院等许多单位提供了宝贵资料。在此，表示衷心感谢。

由于我们水平所限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概论	1
第一节 一般锚杆支护概述	1
第二节 树脂锚杆发展简况	7
第二章 树脂锚杆的分类、结构及其特点	14
第一节 树脂锚杆的分类	14
第二节 药卷式树脂锚杆结构	15
第三节 灌注式树脂锚杆结构	18
第四节 树脂锚杆的特点	21
第三章 树脂锚固剂的材料、配方及反应机理	23
第一节 不饱和聚酯树脂的组成、配方及合成工艺	23
第二节 不饱和聚酯树脂的辅助材料	35
第三节 不饱和聚酯树脂锚固剂的固化机理	41
第四节 不饱和聚酯树脂锚固剂的配方	44
第五节 环氧树脂锚固剂及其配方	54
第六节 聚氨酯树脂锚固剂及其配方	59
第四章 药卷式锚固剂的包装与制造	66
第一节 包装材料和包装形式	66
第二节 药卷式锚固剂重量的确定	68
第三节 国内外主要厂家制造的药卷式锚固剂规格及特性	71
第四节 药卷式锚固剂制造及包装工艺	77
第五节 质量控制及出厂标准	85
第六节 贮存条件和运输	87
第五章 树脂锚杆的杆体与附件	89
第一节 金属杆体	89

第二节	木杆体	96
第三节	玻璃钢杆体	98
第四节	托板	102
第六章	树脂锚杆的力学性能	106
第一节	概述	106
第二节	锚固剂的一般力学性能	108
第三节	锚固力与粘结力	117
第四节	锚固力特性曲线及影响因素	125
第五节	老化性能	137
第六节	疲劳和蠕变	149
第七节	耐热性能	154
第七章	树脂锚杆的设计与计算	156
第一节	锚固段应力分析	156
第二节	锚固长度的确定	170
第三节	在锚杆承载下围岩中的应力状态	175
第四节	树脂锚杆的参数选择与设计要点	178
第八章	树脂锚杆的安装和安全技术	181
第一节	药卷式树脂锚杆安装工艺	181
第二节	灌注式树脂锚杆安装工艺	190
第三节	质量检查和安全技术	201
第九章	树脂锚杆应用实例	212
第一节	岩巷和硐室支护	212
第二节	半煤岩和煤巷中应用	218
第三节	采煤工作面煤、岩加固	227
第四节	固定立井井筒装备	233
第五节	平巷和斜井中吊挂设备	245
第六节	锚固设备基础	248
第七节	建筑物抗震加固和抢险工程	253

第一章 概 论

第一节 一般锚杆支护概述

锚杆或锚杆-喷射混凝土联合支护（简称锚喷支护）是各种矿山、隧道及其他地下工程中之有效的支护方法之一。实践证明，它们在许多条件下都能可靠地发挥支护与加固作用，一般比其他支架（如料石和混凝土碇、钢拱支架等）的支护能力更强，技术经济效果亦较好。

一、锚杆发展简史

一百多年前，锚杆支护就在矿山出现。1872年英国就采用过金属锚杆；1900年，美国使用过木锚杆。工程上大量采用锚杆是在四十年代末期。美国在1949年有200个煤矿采用锚杆支护，1952年锚杆消耗量达2500万根；同时，西欧各国、苏、日、澳大利亚、加拿大等国也开始研制、引进与推广锚杆支护技术。我国煤矿于1956年开始使用锚杆。在使用锚杆过程中，英、法等国出现过反复。例如英国煤矿在1957年使用了50万根，法国当时用量也较大，但到六十年代初，锚杆使用量大幅度下降。出现反复的主要原因是：胀壳式锚杆对不同岩层的锚固力变化太大；安装工艺未机械化；缺乏对锚杆特征与参数的了解。后来由于树脂锚杆的研制成功，锚杆专用打眼安装机的出现，同时在隧道、地下电站等重大工程中，把锚杆和喷射混凝土两种技术相互结合取得良好的效果，新奥地利施工方法（新奥法）的问世等，使锚杆与锚

喷支护引起人们越来越大的兴趣，并得到进一步推广与发展。随着对锚杆及锚喷作用机理的大量研究，人们对锚杆重要性的认识正在不断深入。因此，目前美国锚杆年使用量为9千万至1亿根，至1973年英国煤矿的锚杆年使用量上升到89万根。1976年法国煤矿年使用量达128万根。苏联煤矿1970年用锚杆支护的准备巷道为200公里，1976年又增长至837公里。我国煤矿近年来发展也很快，采用锚杆、喷射混凝土支护的巷道每年均在1000公里以上。我国冶金矿山、铁路隧道、地下电站以及其它地下工程采用锚杆、锚喷支护数量也在迅速发展。

二、锚杆使用范围

锚杆的使用首先用于巷道、硐室、采场的围岩加固与支护，然后扩大到边坡、路堑等工程加固。利用短锚杆（建筑上称为锚栓、螺栓）可承受外载荷（设备、机器的重量与荷载），用于安装工程；也可以把新、旧建筑物的构件联系在一块，用于建筑物的抗震加固与一般加固。随着锚杆使用范围的不断扩大，进一步促使锚杆的品种、结构、工艺技术的完善与发展。

三、锚杆品种与结构

最早出现的是楔缝式锚杆，随后是涨壳式金属锚杆、爆固式锚杆、水泥砂浆锚杆和压缩木锚杆。特别是树脂锚杆出现以后，使锚杆支护技术得到进一步提高。国际著名采矿专家P·斯塔森教授认为“树脂锚杆的应用，使锚杆支护技术产生了一个飞跃”。近十多年来，树脂锚杆在各主要产煤国家发展迅速，有取代其他各类锚杆的趋势，有的国家树脂锚杆已占绝对优势。除树脂锚杆外，七十年代还出现了其他一些新型锚杆，如美国英格索兰（Ingersoll-Rand）公司生

产的缝管式锚杆。这种锚杆又称裂口式装置 (Split Set), 它被楔入锚孔内, 利用与孔壁产生的摩擦力来锚固岩石。这种锚杆目前主要在美国铀矿及铅、锌有色金属矿山中应用。正在研制的还有水泥灰浆锚杆和可伸性锚杆。水泥灰浆锚杆为美国矿业局组织研制的, 它是一种Hydrocal石膏水泥并添加硫酸钾作速凝剂的快凝灰浆, 采用泵注及药卷式安装工艺。可伸性锚杆为西德组织研制。它的受力特性与可缩性液压支柱的特性曲线有相似之处, 不过, 受力与位移方向正相反, 在恒定拉力作用下, 能产生较大位移。从1978年以来, 西德试验了三种方案, 目前认为比较理想的一种可伸性锚杆, 也是一种树脂锚杆。最近, 瑞典又出现一种胀管式锚杆。它利用高压水使异型钢管膨胀, 并对孔壁产生挤压摩擦作用。

四、锚杆的分类

除可伸性锚杆外, 其他各种锚杆基本上可按表 1-1 进行分类。

五、锚杆的作用原理

由于岩石性质、岩体结构、地质构造、水文条件的复杂性, 人们对锚杆的作用原理提出了许多理论与计算方法, 但总的来看, 锚杆对岩层的作用基本上可归纳为三种, 即悬吊作用、组合作用、加固作用。悬吊作用是用锚杆把围岩表面危石或强度较低的伪顶、直接顶悬吊在围岩深部坚硬稳定的岩层中, 锚杆主要起联结元件的作用。组合作用是把锚杆与被锚固部分的岩层视为一种组合加固的结构物, 即所谓组合梁或挤压拱, 由该组合结构物来承受上部岩石荷载, 锚杆与围岩共同起组合作用。加固作用则具有更广泛概念。当然组合作用也可属于一种加固作用, 但它是把围岩加固成为一种“结构物”, 人为地把深部未加固岩石视为外载荷, 按传统的

锚杆分类表

表 1-1

锚固方式	锚固原理	锚杆的型式	
		基本型	实 用 型
端部锚固	机械锚固	楔紧式	楔缝式 倒楔式
		涨壳式	涨壳式 异型涨壳式
		爆固式	炸药爆破锚固式
	粘结锚固	树脂式	环氧树脂粘结式 不饱和聚酯树脂粘结式
全长锚固	粘结锚固	砂浆式	混凝土粘结式 水泥砂浆粘结式 快固石膏水泥灰浆粘结式
		树脂式	环氧树脂粘结式 不饱和聚酯树脂粘结式 聚氨酯树脂粘结式
		混合式	树脂-水泥砂浆粘结式
	摩擦锚固	摩擦式	缝管式
		膨胀式	压缩木式、胀管式
	混合锚固	复合式	机械-粘结式

结构力学方法来分析锚杆的作用。这里所指的加固作用，是从分析巷道的整体性与稳定性出发，考虑到整个地层由于开挖巷道而引起巷道周边围岩的变形（即巷道收敛）以及锚杆立即安装后对围岩进行加固与约束作用，最后使巷道变形（收敛）达到平衡与稳定。众所周知，在巷道开挖后，如果及时进行锚杆支护，就能很好地控制围岩的力学形态变化，

提高岩体抗剪能力与刚度,改善围岩应力重分布,限制围岩的膨胀、变形、移动和裂隙的发展,充分利用围岩的固有强度及自撑作用,而使巷道保持了整体性与稳定性,锚杆的这种作用就是加固作用。“新奥法”、“用收敛-约束法分析硐室稳定性”均考虑了锚杆的这种加固作用。

锚杆的这几种作用,要根据巷道与围岩的具体条件进行分析,一般往往是一种作用为主,有时也可能同时存在几种作用。在某些情况下,开始时锚杆起加固作用,但随着时间推延,围岩的流变性与变形,锚杆又起其他的作用。煤矿中的巷道由于受附近采煤工作面的影响,地层的应力变化复杂,造成围岩的支承压力与变形很大,岩石的裂隙发育。在这种恶劣条件下(一般为将要报废的巷道),由于锚杆能把岩块悬吊嵌合在一起,形成自然平衡拱的作用,因此使用锚杆支护也能使巷道保持稳定。

在选择锚杆支护形式与支护参数时,必须结合实践经验和工程类比法(煤矿每年均需掘进与报废大量巷道,最有条件积累相同条件下巷道的支护效果进行采用),必要时需对锚杆的作用,进行一些理论计算与分析,最后确定锚杆形式及相应参数。

六、锚杆及锚喷支护优越性

通常,采用锚杆或锚喷支护可以取得以下几方面效果:

1. 掘进速度快、劳动强度低、效率高。可以缩小掘进断面,减少岩石开挖量,少出矸石;而且锚杆体积小、重量轻,运输与安装方便。煤矿中采用单一锚杆支护,与一般支架相比可提高工效1~3倍。锚喷支护与砌碹相比,可以一次成巷,支护速度快2~3倍,工效提高3~4倍,工时减少75~80%。如用料石砌碹,工人的劳动强度更大。目前,许多煤

矿创造的快速掘进成绩,凡需要支护的巷道均采用锚喷支护。

2. 质量好、强度高、安全可靠。例如开滦煤矿受强烈地震后对巷道支护效果调查表明:采用锚喷支护巷道震后完好率为95%;砌碛巷道完好率为85%。其中破坏严重,必须马上翻修的锚喷支护巷道为1.7%;砌碛巷道为4.5%。又如鹤壁矿务局22条巷道,全长4800米,使用维护已四年,分别经受1~8次动压(附近工作面采动)影响下的锚喷支护巷道调查表明:其中巷道完好无损的占32.2%,不需修理尚能使用的占67.2%,破坏的仅占0.6%。而在同样地质条件下,用木支架、水泥支架、金属支架与砌碛的巷道则受到严重损坏。这充分说明锚喷支护具有良好质量与可靠性。

3. 节约材料、降低成本。例如徐州矿务局自1973年以来,锚杆及锚喷支护逐步从岩巷发展到半煤巷、煤巷,已支护各类巷道约200公里,据统计可节约木材两万立方米,钢材五千多吨,资金三千万元。一般情况下,与木支架巷道相比可节约坑木85~95%;与金属支架相比可节约大量钢材;与砌碛巷道相比,除省去临时支护所需钢材或木材外,成本可降低30%左右。

此外,采用锚杆或锚喷支护与各种支架相比,可降低通风阻力,改善通风条件,还便于巷道修理与维护,减少矿井运输与提升量。

锚杆或锚喷支护是一种先进支护方法。但在一些复杂地质条件下,还应配合其他支架或注浆进行综合支护与加固。特别是在煤矿中,巷道种类繁多,地质条件变化很大,故必须针对实际情况选择合理的支护方式。在一般情况下,应考虑巷道在整个服务期间的掘进、支护、维修费用,以及巷道报废后支架的回收复用效果,使其总的技术经济指标最好,

成本最低。

第二节 树脂锚杆发展简况

树脂锚杆的研制是在1958年从西德开始的，经过一年多时间的试验室试验，埃森采矿研究中心制作了第一批药卷式树脂锚固剂，于1959年9月由埃森的费得里希·克虏伯采矿公司在阿玛里煤矿进行试验，1961年取得成功。此后，引起世界各采煤国家的重视，并逐步得到发展。

从树脂锚杆的发展历史来看，大致可分为三个阶段。

第一阶段约从五十年代末至六十年代中，为端锚树脂锚杆阶段。当时发现涨壳式金属锚杆的锚头锚固力与杆体本身抗拉强度不相适应，在杆体承受不大的载荷下，便出现锚头周围岩石组织的破坏。在较松软围岩中，锚固效果更差，锚头很易滑动。为了保证锚固可靠性，最初是在涨壳部分加入树脂锚固剂一起进行端部锚固，结果发现树脂锚固剂性能良好，锚固力可靠，这就产生了树脂锚杆。由于当时锚杆孔眼直径为38~45毫米，树脂的价格也较高，故均仿照机械式金属锚杆采用端部锚固的树脂锚杆。

第二阶段约从六十年代中至七十年代中，为小锚杆孔眼的全锚树脂锚杆阶段。全长锚固可以大大地提高锚杆可靠性，但树脂消耗太大，价格太高。所以出现打小锚杆孔眼（孔径在22~30毫米），以减少树脂用量，降低成本。法、西德及美国均对此进行了广泛研究，并取得成功。同时他们还改进锚固剂的配方、固化速度与包装也取得新的进展。因此，全锚树脂锚杆促进了树脂锚杆发展，使用量大幅度地增加。

第三阶段开始于七十年代，为树脂锚注结合阶段。在复

杂的地质条件下，除采用药卷式树脂锚杆，还同时采用树脂注浆工艺，共同加固围岩。此外，泵注式树脂锚杆亦开始发展与应用。使树脂锚杆在采煤工作面（特别是综采工作面）的煤壁加固与顶板处理、松软围岩的巷道掘进中扩大了使用范围，促使树脂锚杆又有进一步发展。

现分别叙述一下各国树脂锚杆发展的具体情况。

一、西德

西德于1961年由马克斯-郎恩西平公司承担锚固剂的制造任务，生产的树脂药卷命名为奥伯特（Upat）药卷。至

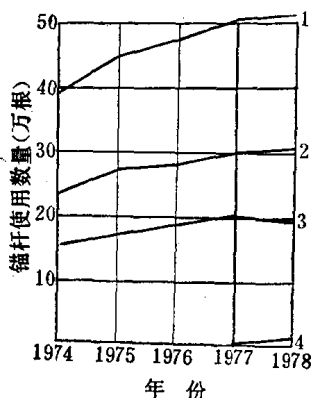


图 1-1 西德萨尔与鲁尔矿区锚杆使用情况

1—锚杆总数；2—树脂锚杆；3—涨壳式锚杆；4—水泥砂浆锚杆

1968年，共生产了50万个药卷，大部分运往其他国家。后来又经改进，研制了小直径锚孔的全锚树脂锚杆，对药卷与杆体进行系列化工作，并把树脂锚杆作为锚栓，应用于安装工程。锚杆规格由M24缩小到M8型，大规格发展到M56型（“M”字母后数字表示杆尾螺纹外径，以毫米为单位）。目前树脂锚杆大部分在萨尔地区煤矿使用，自1976年起鲁尔地区也开始使用。近年来，西德

煤矿锚杆使用情况见图1-1。

由图中可知，1978年西德树脂锚杆使用量为31万根，锚杆总使用量为51.9万根，树脂锚杆占锚杆总量60%。

七十年代以来，西德又研制一种聚氨酯树脂加固煤、岩新工艺。聚氨酯树脂固化时，发泡膨胀，对岩壁与裂隙可起

挤压作用，已由拜耳（Bayer）公司生产。它既可以制成药卷式锚固剂与一般药卷式树脂锚杆一样进行安装，又可象注浆工艺一样，用双液泵把聚氨酯树脂通过锚孔眼压入需加固的围岩裂隙中。它主要用于采煤工作面、工作面与巷道联接处及围岩十分松软破碎的巷道掘进中进行加固与支护。该工艺已在西德煤矿中大量应用，1976年共使用了9500吨聚氨酯树脂，其中部分树脂用于制造药卷式锚固剂，计90万个。树脂药卷由采矿联合会（BWV）的工厂制造。

二、法国

法国于1964年首先在铁矿开始试验与使用树脂锚杆。然后，北方煤田也试验树脂锚杆与金属支架混合支护法，至1968年用它支护的煤巷长度由2.5公里增加到18公里。洛林煤田树脂锚杆主要用于支护后退式工作面的上下顺槽。从1967年起又在前进式采煤工作面的宽顺槽中（巷道宽为6.5米）试验成功，使树脂锚杆使用量得到迅速发展。到1971年，其中50%煤巷使用了树脂锚杆。此外，在岩巷交岔点及石门中亦广泛使用这种锚杆，以代替拱形金属支架。

自1972年以来，法国煤管局的树脂锚杆年消耗量比较稳定地保持在100万根左右，大约占各类锚杆总量的90%。1976年锚杆总使用量为128万根，其中树脂锚杆约120万根，占总数93%。由于该国煤炭产量逐年减少，故吨煤消耗锚杆量增加了。1970年每生产1000吨煤消耗锚杆23根，1976年就增加到55根。近年来，法国煤矿各种锚杆使用量见图1-2。

法国铁矿树脂锚杆使用量亦很大，1969年使用了47.6万根，1972年增加到87.5万根，至1974年使用量达145.3万根。树脂锚杆除在采矿部门使用外，也在其它土木工程中大量使用。

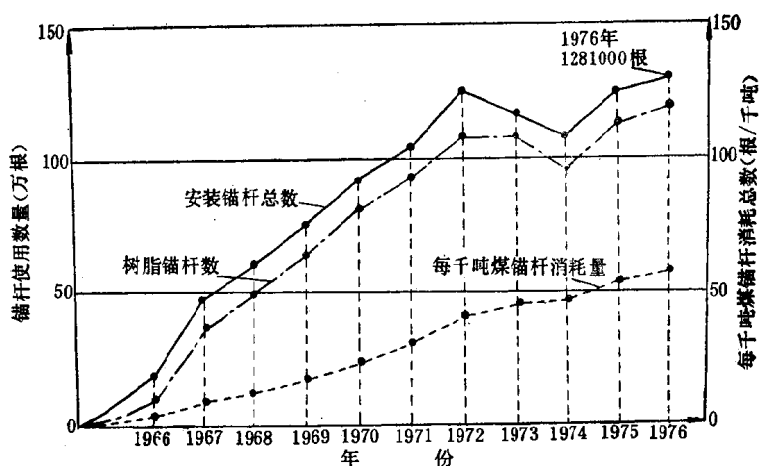


图 1-2 法国煤矿历年锚杆使用量

该国主要有两个厂家专门生产树脂锚固剂，一个是塞尔泰特 (Celtite) 公司，生产塞尔菲克斯 (Selfix) 牌号树脂药卷。药卷有三大类型，品种齐全，质量良好。同时，还生产玻璃钢杆体、各种金属杆体、树脂锚栓、塑料胶泥及注浆材料。近年来，该公司不断扩大与发展，在美、英、澳大利亚、西班牙及南非均设有分公司、产品销售世界各地。法国另一个厂家为迪坦尼特 (Titanite) 公司，生产迪坦 (Titan) 牌号树脂药卷。

法国树脂锚杆安装机械化程度较高。塞科马 (Secoma) 公司生产的一种锚杆安装机只需两名操作工人，每工效率为 100 根。锚杆孔眼直径已缩小到 22 毫米，由于孔眼小，机械化程度高，大大地降低了树脂锚杆支护成本，也促使树脂锚杆有更大发展。

三、英国

英国煤矿于六十年代中期开始引进与研制树脂锚杆。从