

锚杆支护 实用手册

(鄂昆) R. 施克亮 等



煤炭工业出版社

封面设计：高广春

科技新书目：219—152

ISBN 7-5020-0519-3/ID·298

书号：3114 定价：1.30元

锚杆支护实用手册

〔挪威〕R.施查克 等著

张卫国 吴 红 译

王 继 良 校

煤炭工业出版社

责任编辑：伊 烈

R.SCHACH K.GARSHOL A.M.HELTZEN
ROCK BOLTING
A practical Handbook
PERGAMON PRESS 1979

★
锚杆支护实用手册

〔挪威〕R.施查克 等著
张卫国 吴 红 译

★
煤炭工业出版社 出版

（北京安门内太平门北街21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787×1092mm¹/₃₂ 印张2¹/₂

字数49千字 印数1—2,200

1990年1月第1版 1990年1月第1次印刷

ISBN 7-5020-0319-3/TD·298

书号 3134 定价 1.30元

译 者 的 话

《锚杆支护实用手册》是挪威1979年出版的。本书内容包括了我国目前正在推广的管缝式锚杆、树脂锚杆等支护形式，也有一些我国尚未应用的锚杆支护形式。它简明地介绍了各种锚杆支护原理、锚杆构成、应力分析、支护成本、经济效益等，既有科学论证、理论分析，又有计算公式、实际应用结果，是我国从事岩石巷道支护工作的工程技术人员和管理人员非常需要的技术参考书。尽管是70年代的书籍，但其技术在我国还是比较先进的，涉及了一些我国尚未开发的新技术、新工艺、新材料等领域，对我国岩石巷道支护具有一定参考价值。

目前，我国煤矿支护改革有两个主攻方向，一个是工作面单体液压支柱代替摩擦金属支柱和木支护的更新换代，另一个是巷道大力推广锚喷支护。锚喷支护生产效率高、安全可靠、成本低、综合效益好，是巷道支护发展方向。然而，锚喷支护的基础是锚杆支护，在什么样的岩层中，选择什么样的锚杆，如何布置等是至关重要的。我国锚喷支护之所以发展的较慢，与人员素质差、技术水平低以及技术装备落后是分不开的。要在这些方面有所提高，就需要有专业书籍。据了解，目前国内这种书籍还很少。因此，这本书适应我国实际情况的需要，有必要和广大读者见面。

本书的翻译出版，原煤炭工业部教授级高级工程师王继良同志给予了热情支持，并对全书进行了审阅，在此表示感谢。

4B 02/06

前 言

挪威岩石爆破技术研究院 (IFF) 把岩石巷道支护作为他们的一项研究课题，而岩石锚杆支护则是课题的重要部分。这项研究工作的部分成果有的已经以技术论文的形式提交给岩石爆破年会，有的写入课题的技术说明书。但是在实际工作中，人们非常需要这样一本《锚杆支护实用手册》。

《手册》的写作和编辑主要由 Schach 和 Garshol 来完成的，其中图是由 Schach 绘制的。

《手册》内容在一定期间是新颖的，但我们仍非常希望读者能对手册内容提出意见，并欢迎把您们掌握的实践经验或新型锚杆等方面的详细情况介绍给我们。

挪威IFF院长 A.M.Heltzen

概 述

本书是想介绍一下在采矿和隧道作业过程中，岩石锚杆支护的原理和实际操作。重要的是读者能够意识到在采矿和隧道作业中所存在的需要考虑的差别。在采矿作业中，所感兴趣的是挖掘矿床，成形好坏是次要的，目的是获得最佳空间以求最高的回采率。在隧道作业中，主要目的是开凿成形，而挖掘矿床则是次要的，当然挖掘的岩石用作筑堤、筑路料石等少数情况例外。

在采矿时，必须沿着岩层推进，经常会开采上山，有稳定性问题。在开掘隧道时，可根据地貌和地质情况选择隧道的掘进方向和断面。而开出的隧道和岩硐的位置和方向能令人满意，可以减少由于断层带来的麻烦等等。

特别在采矿方面，岩石锚杆已经发挥了巨大作用，首先是在标准的层状地质构造的煤矿中起到了重要的作用。1872年，在N·Wales的采石场第一次应用了锚杆支护。锚杆支护大约在20世纪初才引入美国，当时这种新的岩石支护方法还没有得到人们极大的关注。这主要是对锚杆支护如何操作还难以理解，一些采矿公司又持保守态度。

过去了50年，锚杆支护才被承认是一种支护方法。挪威A/Ssulitjelma煤矿是最先使用锚杆支护者之一，他们在战后几年里，把锚杆支护作为经济实惠的支护方法，称为“悬岩的缝合”。从1950年到1955年，锚杆支护在美国大部分采矿工业中普遍使用。1951年，锚杆在大约500个矿取代了支

柱，其中有450个是煤矿。

普遍采用锚杆支护后，美国西部弗吉尼亚州的煤矿事故减少，产量增加，消除了支柱，通风状况也得到了改善。

如果没有引入锚杆支护，可以断定，许多煤矿将因为安全和经济的原因被迫关闭。

锚杆支护先行者是美国和南非。在南非的煤矿，每年大约使用锚杆850万根，而美国使用锚杆总量在1.2亿根左右。

今天，锚杆支护已经被认为是非常有效、相当经济的支护方式，以前通常使用的支柱已几乎看不见了。在矿井中，特别是煤矿，很少有其他支护形式能替换锚杆。但在隧道中，喷射混凝土和现浇混凝土则被应用。在挪威通常钢和木支柱很少使用。

锚杆支护不仅在采矿中非常重要，而且可以应用在大厅、隧道、公路和铁路开凿以及大坝基础等方面。在这些支护系统中，有的可以成为永久性支护，此时锚杆常涂上防腐剂，保证能保持锚杆原有的预应力。另一方面，可考虑先使用临时支护，最后再补上锚杆。

锚杆支护作为一种支护方式，与其他常用的支护方式，如木支柱、金属支架、各种类型现浇混凝土等，有着根本区别。普通支护方法常常是被动式支护，在这种情况下，当岩石开始变形时，它们才承受载荷。然而，如果岩石很少断裂和破碎是允许的，支护系统必须承受住松动岩石的重量。

锚杆作为支护工具被安放在钻孔里，成为岩层中基点，控制着岩石，对突然压力和变形起着预应力作用。尽管锚杆支护与其它被动式支护系统有区别，但如果锚杆没有预张力，也是处于被动支护状态。

当锚杆有预张力，支护才是有效的，而且是根据锚杆安

装的时间起作用，使岩石的变形减小或避免，断裂受到限制。在断面上的正交力增加，自然摩擦力起到较大的作用。不管哪种类型锚杆，在锚杆和岩石之间都有一个相互作用力。这对煤矿来说十分有利，煤矿进行房柱式开采有许多垮落现象，悬帮必须支护，也就是需要一定的力来维持。但是，房柱变形常常会引起过负荷以致破坏支护。

目 录

前 言

概 述

第一章 锚杆部件	1
一、钢锚杆杆体	1
二、托板	2
三、岩石带、金属网和顶板锚链	6
第二章 及时支护	10
一、管缝及楔块	10
二、聚酯树脂锚杆	11
三、胀壳	14
第三章 永久支护	19
一、套管钻孔法	20
二、喷射法	21
三、注入法	22
四、聚酯灌浆	23
第四章 快速和永久联合支护	24
一、镀锌不锈钢外壳和镀锌膨胀锚杆	24
二、安装于树脂或砂浆中的不锈钢或镀锌叶片的环形锚杆	24
三、扩孔膨胀式锚杆	25
四、树脂锚固的变形钢锚杆	25
第五章 背板锚杆	27
一、胀壳式背板支护	27
二、树脂锚固式背板支护	28

第六章 塑性变形锚杆	30
一、管缝式锚杆	30
二、塑性锚固锚杆	30
第七章 锚杆预应力	33
一、用可调扳手张拉	34
二、用扭矩扳手张拉	35
三、用风动扳手张拉	35
四、用液压拉力器张拉	37
第八章 锚杆长度和布置方式的确定	39
一、限定松动岩块	39
二、无张力的系列锚杆	40
三、预应力系列锚杆	41
四、工作面和掘进巷道支护	43
五、锚杆布置方式	47
第九章 原理	50
一、叶片状和层状岩石	53
二、块状岩石	54
三、破碎岩石	56
四、粘土充填带和破碎带	57
五、岩石应力问题	59
第十章 特殊锚杆系统	66
一、桁架锚杆	66
二、玻璃纤维锚杆	66
三、超前支护锚杆	67
四、塑料胀壳锚杆	68
五、树脂灌注的玻璃纤维岩石锚杆	68

第一章 锚杆部件

在这章和以下四章中，我们将给出系统的构想，描述锚杆类型和它们的特性，还要涉及到锚杆的零部件。根据使用原理，可供选择的锚杆类型并不是很多。但是，就完整的锚杆来说，由于类型和尺寸的不同，大部分零部件却出自许多制造厂家。这些厂家联合的可能性很大，实际上由于技术和经济的原因，联合的厂家却不多。

目前就已有的可能性和技术经济可行性，锚杆支护还不能被用户全部采用。

一、钢锚杆杆体

圆钢常被用作岩石锚杆。圆钢采用标准材质，直径 $\phi 19\text{mm}$ ，一端套出螺纹，与各种类型膨胀套一起使用。目前世界上锚杆已经有新的发展，趋向材质更好，直径更小的钢锚杆。

作为更新换代的锚杆，最常见的直径是 $\phi 16\text{mm}$ 和 $\phi 18\text{mm}$ ，屈服应力在 $40\sim 50\text{kg/mm}^2$ 。具有较高的破坏负荷、较低重量和可接受的价格，螺纹是被辊压而成的，这些都得到了公认。

第二种是镀锌锚杆，这种锚杆最近几年安装了相当一部分，并有新发展，已出现在北欧市场。提供的不锈钢称为Cromoround，质量接近德国标准，含铬1.4021%，最少1.35%，并抛光。断裂强度极限 $65\sim 80\text{kg/mm}^2$ ，相应膨胀15~18%。提供的标准件直径 $\phi 16\text{mm}$ 。

第三种是电镀铝或电镀镍的钢锚杆，这种锚杆耐盐水和酸，也是很有效的，断裂极限和膨胀系数与Cromoround相同。

第四种是变形加固锚杆，主要尺寸为直径 $\phi 20\text{mm}$ ，也有 $\phi 24$ 和 $\phi 30\text{mm}$ 的，直径 $\phi 30\text{mm}$ 的在市场上也可买到。断裂负荷达50t。由于螺纹机在切削螺纹之前必需改变螺纹梳刀的方向，所以又增加了变形加固锚杆的成本。

这些锚杆在软质黑色页岩临时支护中，大多安装在灰浆（整个岩层）或聚酯（在一端锚固）中；在永久支护中，则采用镀锌或不锈钢锚杆。目前变形加固锚杆可采用称为Cromorib的不锈钢，质量与圆形不锈钢一样。

岩石锚杆产品和使用的钢材要严格质量控制。所提供的全部钢材由钢厂质量检验合格证来保证。

普通锚杆载荷量见表1。

二、托 板

能有效地使用多年的托板有许多种，有四方托板（岩石上初次使用）、圆形托板、各种三角形托板、矩形托板、压制球形和长圆孔的圆球形托板和最近发展的锥形托板（叫做Fuji）如图1所示。这里不必描述过去和现在使用所有托板的种类和适用性。

临时支护的岩石锚杆和临时与永久支护组合的岩石锚杆都要与托板配套安装。

为永久支护提供的不锈钢或镀锌钢加固锚杆，如果锚在聚酯或全部埋入灰浆中，用速凝剂催化，也要备置托板。

在现代的实践中，所有这些锚杆都要膨胀、施加预应力，不过有的范围大，有的范围小。在多数情况下，选择好托板

表 1 加固锚杆和圆钢屈服载荷和断裂载荷

圆钢直径 (mm)		加固锚杆 KS 40S (t·m)	加固锚杆 KS 50S (t·m)	Rippentor 60 (t·m)	圆 钢 ST 70M (t·m)
16	屈 服 断 裂				14 18
18	屈 服 断 裂				18 23
20	屈 服 断 裂	12 18	15 22	19 24	22 28
24	屈 服 断 裂			29 34	
25	屈 服 断 裂	18 26	23 35		
32	屈 服 断 裂	30 45		-	

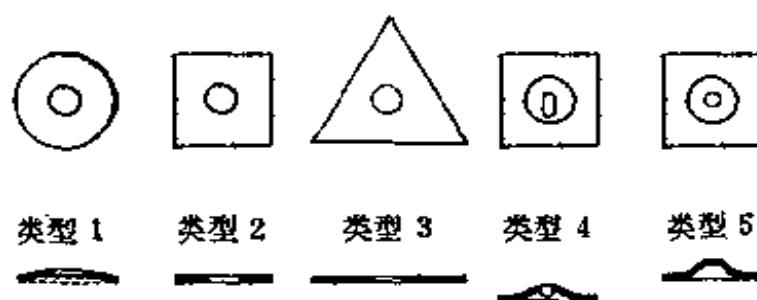


图 1 托板类型示意图

是非常重要的。

锚杆产生预膨胀或预应力是由岩石中锚固器和岩石表面的托板之间拉紧锚杆完成的。进行系统锚杆支护,防止松动岩石移动和稳定岩石松动,必须使用托板。托板的特性与锚杆

特性很接近。目前，很少估计负载能力的重要程度和托板变形程度。

弯曲角的托板已经示出破坏的警告，例如，开始剥落。平板可以与岩石产生点接触，这样导致岩石碎裂，降低载荷。太薄的托板容易被拉进锚杆一侧的岩石中，板角趋向翘起，离开岩石表面，如图 3 所示。

在试验和实践中，已经证实圆碟形托板是非常令人满意的一种类型。

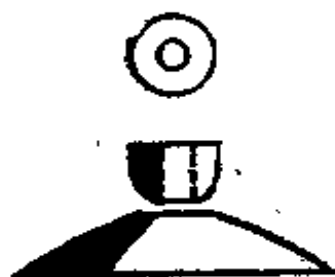


图 2 球形底座 I 型

在安装托板时，中凹一侧朝岩石表面放置，在锚杆拉紧期间，托板对岩石以大约 65kN 的压力被压平，如图 2、图 3、图 4 所示。结果是接触良好，具有较低的表面压力。

图 5 所示为这些类型的托板，在锚杆拉力达到 100kN 时，给出精确的表面压力。三角形托板不能用在软岩中，以防板角在岩石压力作用下而压进岩层。然而，在较硬岩层中，它们使用效果较好。当在附近放炮时，只是稍有变形，而接触表面的压力还很大，出现一些破碎现象，使锚杆拉力有所降低，最终还是取决于岩石的硬度。

根据锚杆张拉情况，为了保证膨胀力能维持在膨胀锚杆和平面托板锚固断面上，放炮的最小距离应为 20m 左右。

如果使用圆形中凹托板，相应的距离可以减小到 10m。如果使用聚酯锚固，对于以上两种类型托板，距离可以分别减少到 8m 和 3m。

以上这些数值都是从挪威岩石爆破技术研究院进行的试

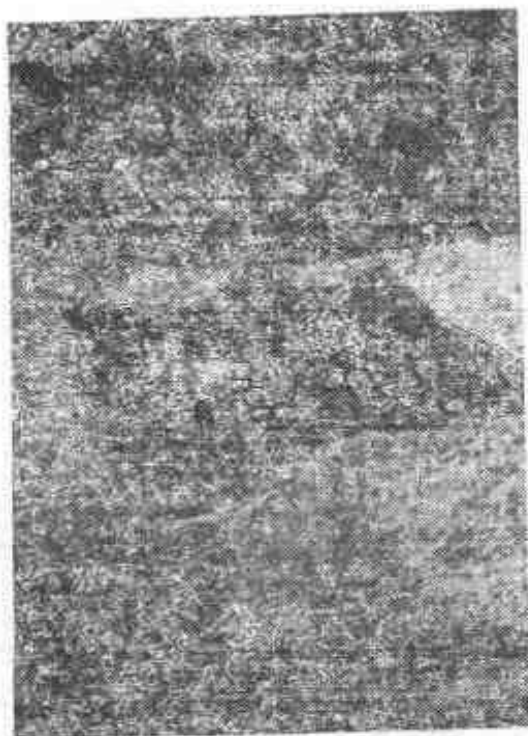


图 3 角被压弯的较软托板

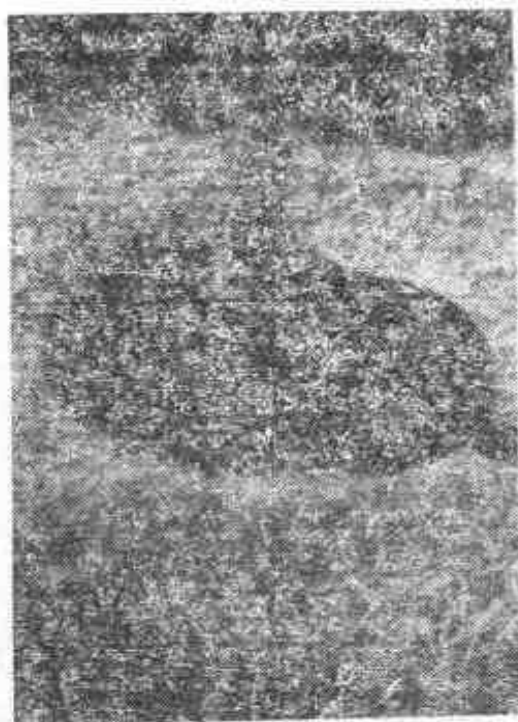


图 4 有圆蝶形托板的正常
拉伸锚杆

验中得到的。而这个距离取决于岩石硬度和圆钢尺寸。

当在巷道中发生较大剥落时,需使用大量的边长为60cm的三角形托板,如图6所示,这就保证了顶板重要部位被托板覆盖,采用标准的锚杆支护形式。这种方法十分有效,是蝶形托板不适应的少数条件之一。

图7所示是一种新型托板,澳大利亚最初用在新式澳大利亚隧道作业中(NATM)。这种托板是四方形的,中间压出一个球形凸起,再开一个槽孔,安装中拧螺帽时必须使用垫圈。

还有一种新型托板,称为富士山(Fuji)托板,如图8所示。

这种托板是方形或矩形钢板(ST.37M),中间压成圆

托板种类	1	2	3	4	5
尺寸 (mm)	$\phi 125$	125×125	$350 \times 350 \times 350$	125×150	125×150
板厚 (mm)	6	7	7	7	7
接触面积 (cm^2)	28.48	23.57	23.57	40.25	44.76
压力 (MPa)	35.1	42.4	42.4	24.8	22.3
建议载荷 (t)	10	8	8	14	18
备 注	在内圈 周围破碎、 半区压入 托板	四角都 离开岩石， 自由翘曲	四角都 离开岩石， 自由翘曲	四角都 离开岩石， 自由翘曲	四角都 与岩石接 触，在螺 帽或圆锥 座上没 有区别

图 5 在100kN载荷作用下各种托板性能

锥形，并开一个圆锥形孔。

对于具有倾斜角度的锚杆，为了获得螺帽和托板圆锥孔周围完全接触，螺帽的接触面应为半球形。同时，螺纹要塑压（锻造），以便锚杆不仅靠螺纹拉紧，也靠其摩擦力。

用圆锥形托板，比用同样厚度其他类型托板可获得较高的最大载荷能力。增加螺母厚度，也可以提供较高承载能力，如图 8 所示。

三、岩石带、金属网和顶板锚链

金属网和金属带或金属链有时与锚杆配合使用作为工作

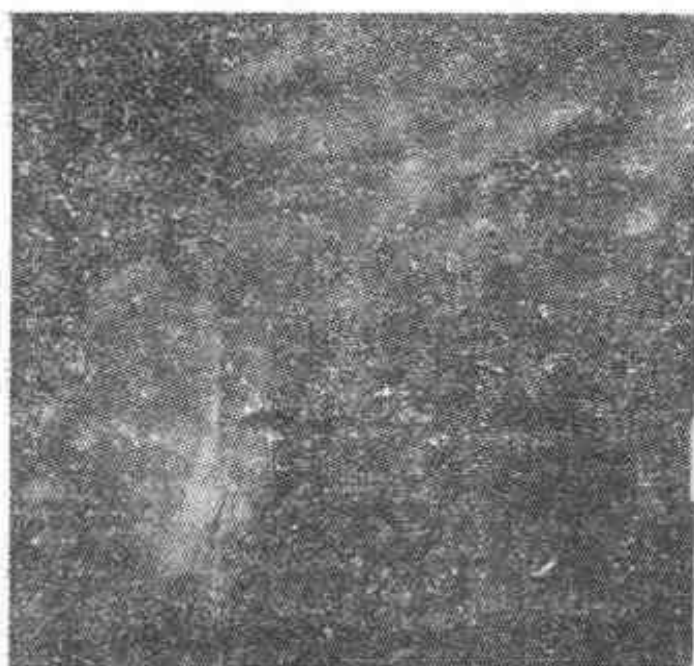


图 6 岩层剥落采用大量托板

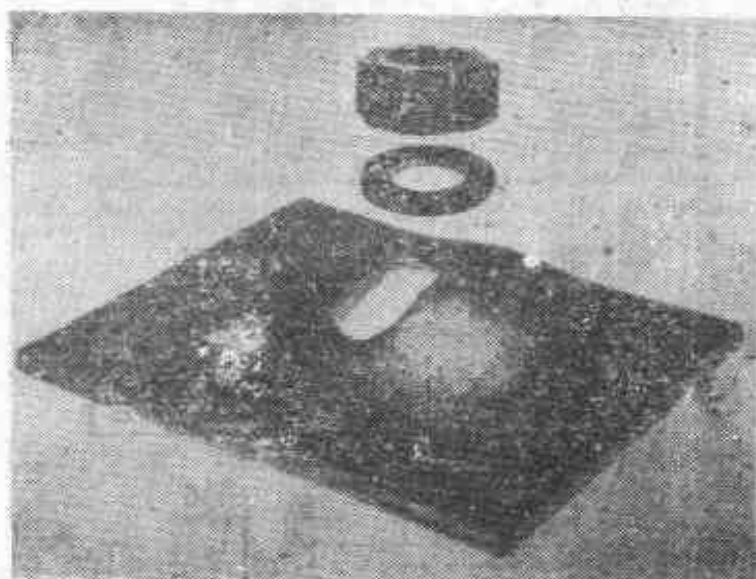


图 7 锚固托板

面支护。最常用的金属网是用 $\phi 2.7\text{mm}$ 铁线编成间隔 5cm 的网，如图 9 所示。

岩石金属带有有效长度为 2m ，宽为 10cm ，厚为 5mm ，有一串槽孔，槽孔沿长度分布，中心距为 15cm ，槽孔尺寸为

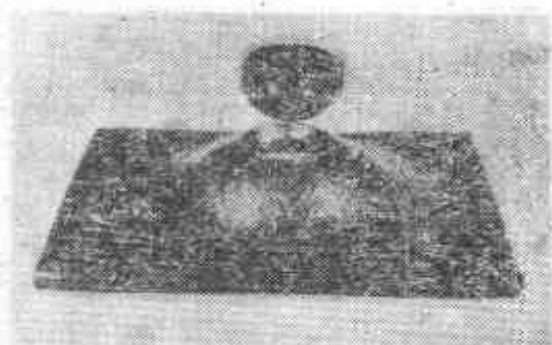


图 8 圆锥形托板 (Fuji)

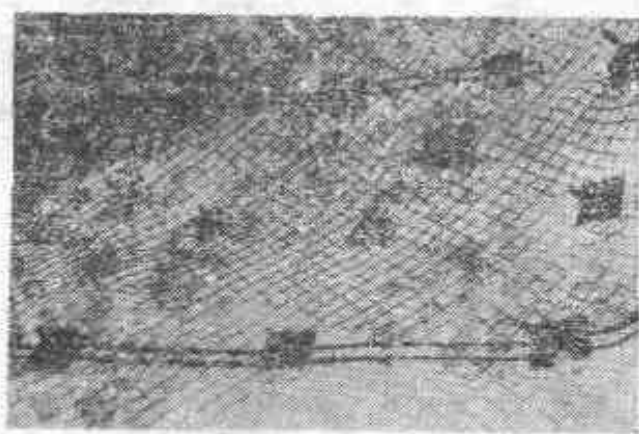


图 9 顶板锚链和金属网

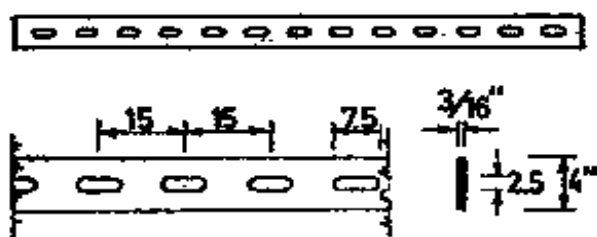


图 10 岩石金属带

7.5×2.5cm，如图10所示。

金属网主要用来拦挡小的冒落岩石和薄片剥落，而顶板锚链可以用于所谓“缝合”，也就是处理悬挂的大块岩石，如

图11所示。



图 11 顶板锚链

第二章 及时支护

对于这一类型锚杆，也是采用按工艺原理的方法划分的。

作为及时支护锚杆，必须在安装后很快起作用，而且要实用，安装容易简便。锚杆用于及时支护常常意味着锚杆安装在紧靠工作面部位，这里容易受到爆破所产生的附加压力的影响。

这一类锚杆都带有托板，在里端有一个快速实用锚固器，能被张拉。目前使用的各类锚固器各有区别。由于可能腐蚀，这类锚杆一般只考虑用于及时支护。

一、管缝及楔块

第一类锚杆之一为裂缝及楔块式，如图12所示。锚杆一端纵向裂开几厘米，钢楔插入裂缝。对着钻孔底部锤击锚杆，把钢楔打入锚杆，然后锚杆膨胀，压紧孔壁。由于这种锚杆在操作中有些不稳定，实际很少使用。

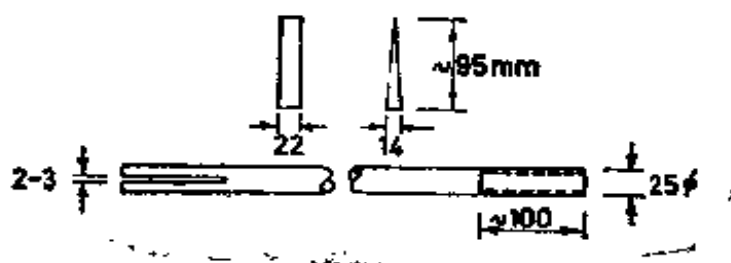


图 12 裂缝及楔块锚杆

在一定程度上,这种锚杆用于普通有眼螺栓、地脚螺栓和悬挂等方面。

图13所示Kiruna锚杆,是一种仍在大量使用的特殊形式的裂缝楔块式锚杆。这种锚杆有十字裂缝和双面楔,这样可以两个方向膨胀,比单方向要好。就安全而论,它的性能不比其它类型好。

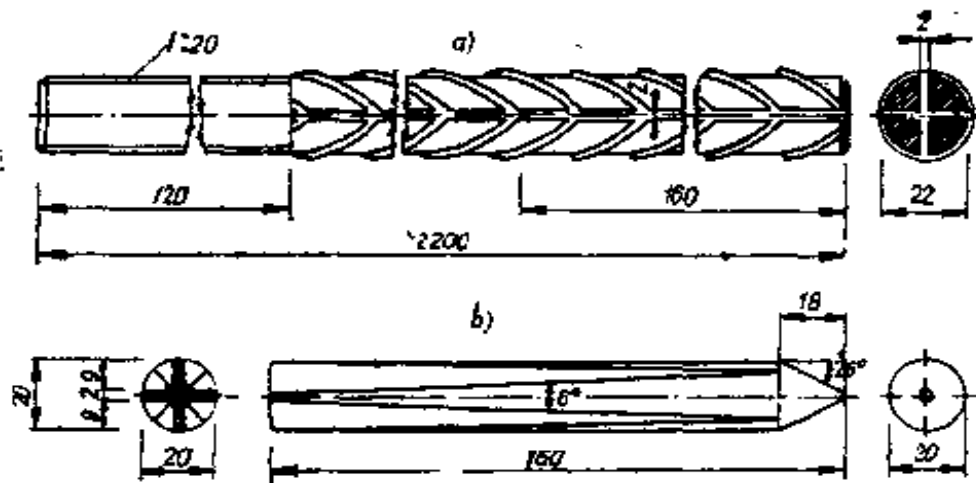


图 13 Kiruna锚杆

二、聚酯树脂锚杆

这类锚杆目前在挪威使用的有两种,一种是联邦德国的,一种是英国的。联邦德国的是采用玻璃管,而英国的是采用塑料筒,如图14所示。

玻璃管用聚酯和粉碎的石英颗粒充填,另外在一个封闭的细玻璃管里装着硬化剂,放入装有聚酯和粉碎石英的玻璃管内。在楔入锚杆时,玻璃被压碎,为了防止操作人员脸上被玻璃碴碰着,在垂直向上钻锚时,采用一个橡胶圈保护着,联邦德国聚酯树脂筒硬化时间10min以上,储存期可达几年。

塑料筒是用岩石粉末和聚酯充填的,硬化剂放在聚酯物

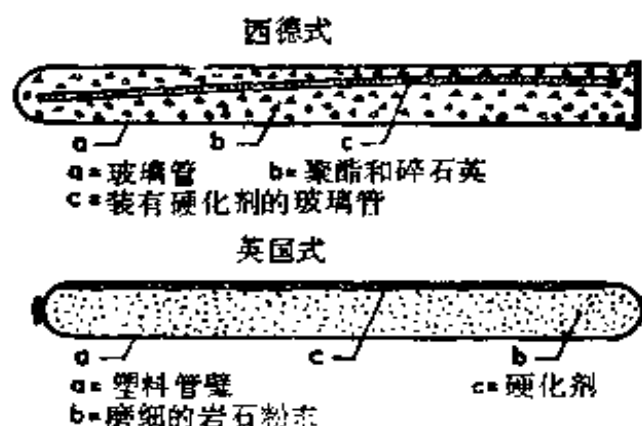


图 14 聚酯树脂筒

和塑料筒皮之间。由于在聚酯和硬化剂之间有一个交接面，在此进行反应形成坚硬外壳，将聚酯和硬化剂分成两部分。英国聚酯树脂筒硬化时间2min以上，储存期大约半年。这主要取决于较低的温度。在市场上最近流行的一类聚酯，在薄塑料的外壳中间比较硬，这样储存期可达一年。

这些聚酯树脂筒的使用原理是借助锚杆把筒推入钻孔底部，锚杆可以是圆钢或变形钢制成的。一个钻头安装在锚杆外部，在锚杆推进的同时旋转，以便混合各部分充填料。旋转速度大约120r/min，旋转持续大约20~30s后，到达钻孔底部。在硬化时间过后，安装托板和螺母，张拉锚杆。硬化过程也可在潮湿条件下进行，因此这种方法可以水中作业。试验表明，为了保证较好的锚固效果，锚杆以梳齿或螺纹等方式可以满足插入聚酯表面的要求。

由于在旋转期间，必须对着钻孔底部加压力于聚酯树脂筒，所以钻孔深度必须与锚杆长度相一致。锚杆的顶端也可以制成横刃，保证聚酯树脂筒被均匀地破碎。用平头锚杆进行的试验可以看出，塑料壳不是被穿破，而是包在锚杆上，

阻止锚杆与聚酯粘接。如果使用螺纹圆钢，螺纹或旋转应是左旋；这样聚酯不会转出孔外。钻头与锚杆连接最简单的形式是一个螺母焊接到直径10mm的圆钢上。试验证明，树脂锚固的锚杆比胀壳锚杆性能要好，特别是在较软岩层，如图15所示。然而需要注意的是，在较软的岩层中比在较硬的岩层中的锚固长度要长。

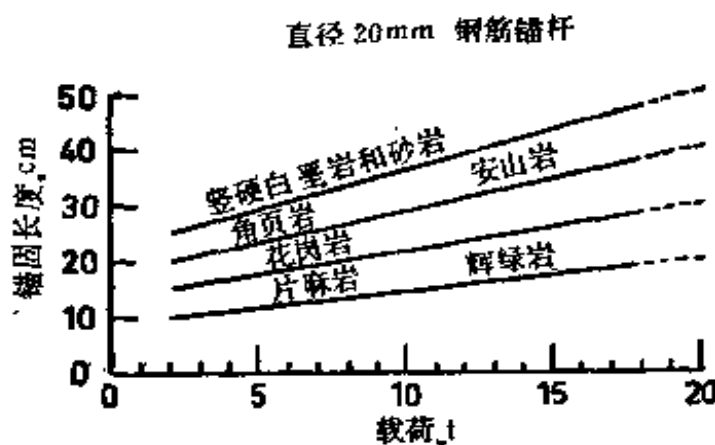


图 15 聚酯树脂锚固长度

为了获得聚酯筒的最佳效果，钻孔直径要比锚杆直径大 8~12mm，更重要的是钻孔在安装锚杆之前，要清洗孔内所有的粘粉。

现场试验证实，如果观察硬化时间的记录，就会看到英国和联邦德国聚酯与加固锚杆配合使用，在锚杆达到屈服点之前可获得13.5t的承载力。当承载18.5~20t时，在螺纹处发生断裂，如图16所示。

这里的情况允许使用单个聚酯筒锚固，成本和胀壳大致一样。

还有一种完全用砂浆埋入的锚杆，称为GD锚杆。这种锚杆是用GD-TOPAC方法施加预应力的。聚酯筒是两端被

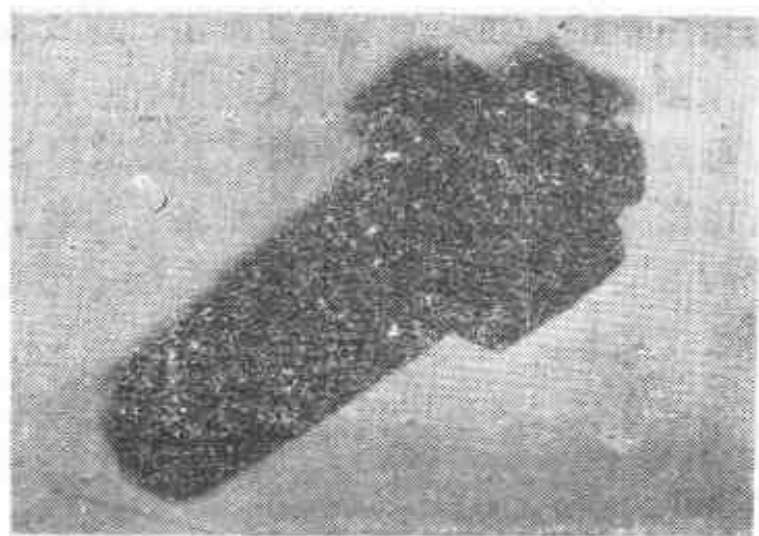


图 16 在螺纹处断裂情况

封好的玻璃筒，里面还装了瞬间有效速凝剂，速凝剂是专门为固结砂浆和陶土研制的。聚酯筒被放在钻孔底部，并埋入砂浆。灰浆完全充满钻孔后，锚杆推入孔内，把聚酯筒搅碎。速凝剂与周围的灰浆混合后，几秒钟，砂浆便开始硬化。

GD锚固器在几小时内便能施加预应力，如图17所示。

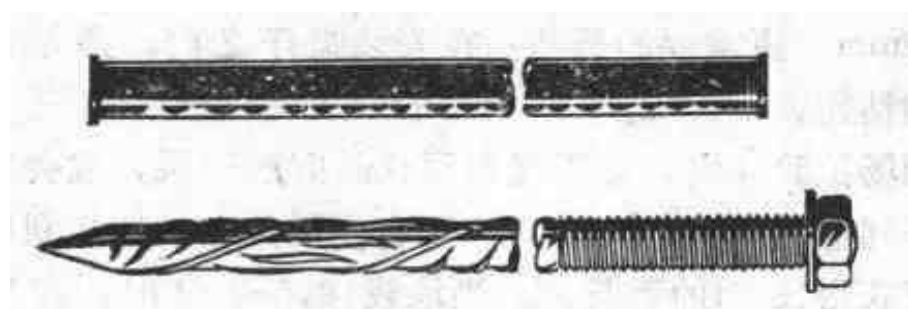


图 17 GD锚固器

三、胀壳

对于岩石进行锚杆支护，胀壳锚杆是在挪威和其他国家

使用最多的类型。这种机械装置简单而且可靠。它有许多种类型和供应厂家，但可集中为两大类，即胀壳和U形环，如图18所示。图中所示两类的基本原理，在许多不同的锚杆和钻孔尺寸情况下都是有效的。它们可用铸铁或钢来制造，也可以制成不同长度或尺寸。

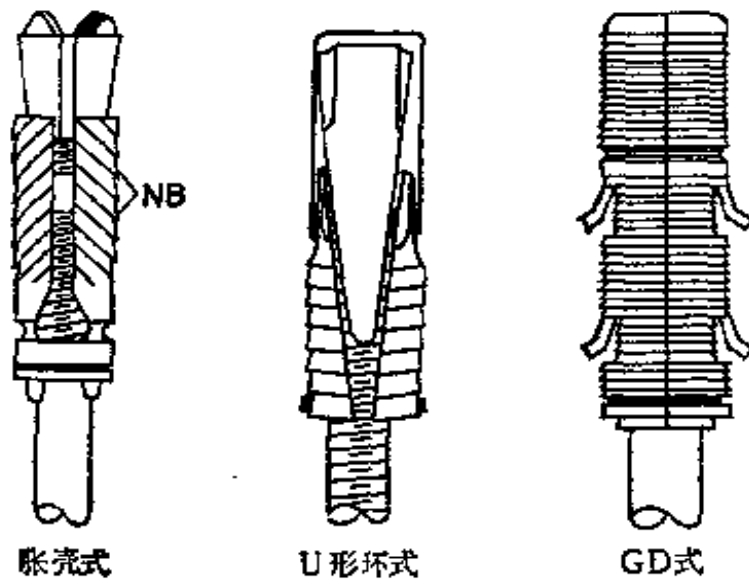


图 18 胀壳

两种类型的原理是，圆锥形螺母在齿形叶片中间加压，这些叶片膨胀压向孔壁。

目前，这种方法与劈楔式是一样的，但重要的区别是圆锥螺母（楔块）紧扣在锚杆螺纹上，因此螺母在叶片之间拉力较大。这样，使用的胀壳不过负荷，随着增加锚杆的拉力，张力也有所增强。如图18所示，胀壳在较低处有一个套环，而叶片在顶部打开。

叶片位于胀壳式锚杆上一对锻造耳上，锻造耳是防止叶片退出锚杆。螺母有两个棱边，正好插进叶片之间空档，这样

胀壳与螺母一起旋转。用手把螺母和胀壳拧在一起，螺母沿螺纹推进，当胀壳在套环上停止时，螺母进入叶片中间。这样可以相对孔径产生适当的膨胀，并把锚杆插入钻孔中。进一步膨胀和张拉可以通过三种方法来实现：

1. 用螺母扳手向孔底加压，当锚杆转动时，螺母保持不动，螺母向上对胀壳加压，胀壳向孔壁膨胀。

2. 锚杆不到达孔底，胀壳在插入之前必须用手能打开，以便叶片接触孔壁产生摩擦。这样锚杆旋转，而螺母和胀壳保持不动。

3. 胀壳可有一个较细的弹性簧片放在叶片之间，如图18的NB处。簧片端头抓住孔壁，把胀壳和螺母固定在两点上。

当胀壳用上述方法之一与岩石接触时，进一步膨胀靠锚杆张拉来实现。如果使用胀壳式膨胀锚杆，在嵌入不成问题的情况下，使用弹簧钢片是必要的。胀壳本身尺寸完全取决于钻孔直径。这种依赖关系是因为当使用较长钻杆或磨损的钻头打孔时，孔径变小，锚杆插入困难。如果孔径太大，操作不稳定。

图18所示U形环式锚固器是由两个松动叶片组成，叶片紧固在刚性U形环上，U形环超出圆锥螺母端头。为了插入，叶片能稍有弯曲，如果锚杆插入不受阻，叶片将沿着孔壁劈开，如图19所示。这时可以开始转动锚杆，螺母靠U形环固定。U形环则沿钻孔壁放置的叶片保持在原来位置，从而使叶片进一步膨胀。在锚杆放入孔中之后，可以不用旋转就直接张拉，此时螺母被拉入叶片中。

还有一些特殊类型的锚栓胀壳，例如串联胀壳，也就是串联的两个胀壳，计划用于特别松动的岩层，如图20所示。当

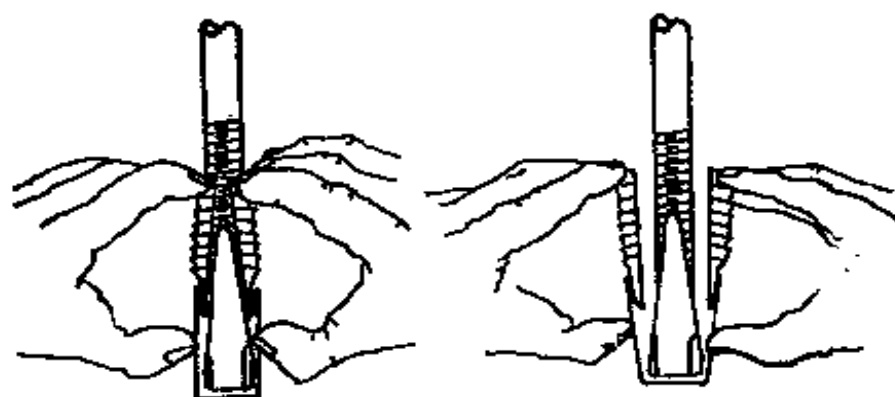


图 19 安装前U形环式膨胀壳

然,在标准类型中要有一些比较适合的特殊条件,可是事先确定是困难的。找到最合适类型的最佳方法是现场进行直接胀拉试验。原则上,所有标准类型都可以采用,常常正是靠这些非技术因素确定类型。

特殊类型可锻铁胀壳对复杂的岩层和较大钻孔有较好的使用性能,可膨胀+20mm。胀壳被固定在最大膨胀位置,不能滑过楔块(圆锥形),如图20所示。

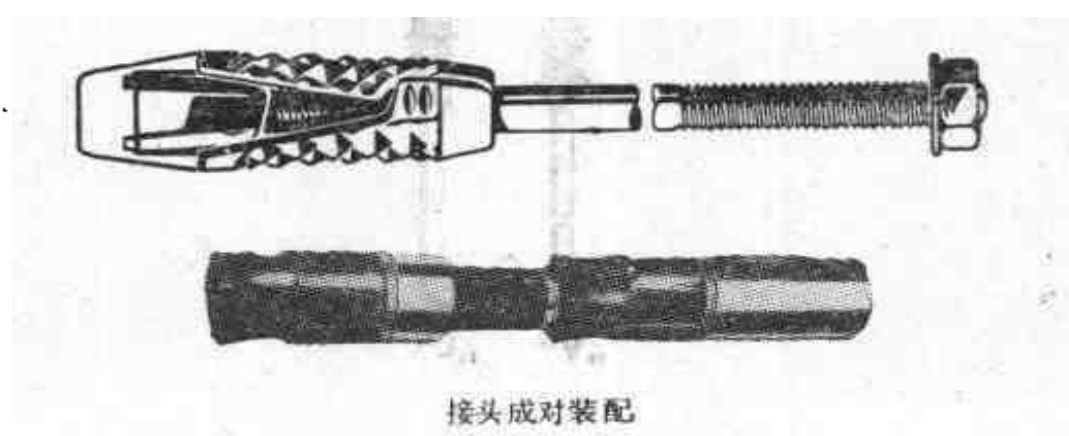


图 20 大孔锚栓胀壳

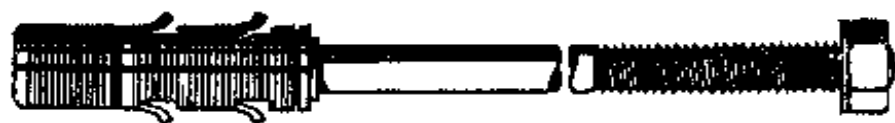


图 21 GD锚杆

有一种特殊类型胀壳（用于GD岩石锚杆），它由塑料部件组成，如图21所示。楔块与圆环和锚杆上的圆锥头锻造在一起。这胀壳的优点是不用旋转锚杆，安装简单，有较大负载能力，少量张拉就可以膨胀胀壳，这样便为使用短锚杆提供了条件。它可用作悬挂风筒的端钩等等，如图22所示。



图 22 端钩

第三章 永 久 支 护

锚杆是不是作为永久支护，主要取决于使用时间和在使用期间是否很快腐蚀破坏。这方面，很少有现代的经验，但是却有既未进行保护，几年之后锚杆也没被腐蚀的例子，当然也有相反方面的例子。很清楚，锚杆使用的地点不同，腐蚀的条件也不同。现实的发展证实，作为永久支护锚杆是用水泥砂浆灌注的锚杆。

建议使用干燥备用混合砂浆，用水封袋传送，添加预先定好的水量。根据砂浆的充填方法确定砂浆类型。使用的锚杆是变形加固锚杆，除了砂浆和托板（或没有托板）外，不用任何其它锚固装置。注浆锚杆即使有托板，也不是标准张拉，这样的锚杆不能用在需要快速支护的地方，因为水泥浆很长时间才能凝固。水泥注浆也很有可能因附近爆破而被破坏，尤其是正在凝固时期。美国提供的资料中，经常包括距离工作面40~50m之内不准使用水泥注浆锚杆的要求。

使用速凝水泥或添加催化剂，硬化时间能相应减少，但是水泥浆与锚杆之间的粘接仍然会由于爆破距离太小而被破坏。

由于无支撑岩石移动不是沿着锚杆全长分布的，而是集中在断面或表面。因此，受爆破负荷影响的注浆锚杆处于超负荷状态。即使锚杆本身没有破坏，砂浆在这些点也会损坏。

只用水泥浆锚固，并带有托板和螺母的锚杆不能拉紧。

这是因为负荷只能转换到岩石表面附近锚杆非常有限的长度上，导致水泥浆松动或破碎。这又增大了表面附近岩石的张力，容易引起张力裂隙的形成。实际要求，所有可能产生的张力都必须分布在锚杆整个长度上，在水泥浆开始变硬前从内端锚固张拉。

使用的标准水泥浆是砂子和水泥，混合比在50:50至60:40之间。混合时必须特别注意，砂子要很好地分筛，最大粒度2mm。砂子和水泥充分混合后，再加入水，要求必须认真去做。在此，我们给出能得到较好工作方法的方法。为了获得塑料水泥浆，可以添加2%水泥重量的膨润土。另一方面，可以使用预先包装好的有一定膨胀比例的商业砂浆。在垂直向上的孔中，水量要从严控制。如果混合水分过大，砂浆会跑出孔外。

一、套管钻孔法

这个方法是使用一个穿了孔的细金属管，纵向劈开，直径比钻孔小一点。两个半剖金属管分别用灰浆充添，然后用软铁线在两端捆上合在一起，如图23所示。穿了孔的金属管

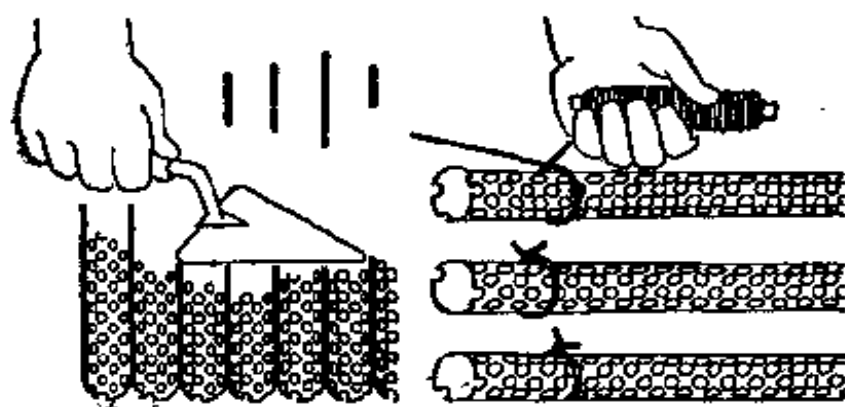


图 23 套管的充填

被插入钻孔，当加固锚杆通过孔被伸展时，它用砂浆充填了在管与钻孔壁之间的环形空间。这种类型的锚杆可以与托板和螺母配合使用，进行岩石表面支护。如果加固锚杆不是螺纹，有时可以使用钢丝绳夹的托板。

二、喷射法

喷射法锚杆是从为了把水泥浆泵入钻孔的冰山喷射器（Berg-Jet）装置而得名的。如图 24、图 25、图 26 所示。装置为一个顶端制成半球形倒圆锥的容器。在半球体中，有一个内部盖子，这个盖子在压缩空气作用下，对带有橡胶密封垫的开口处进行密封。压缩空气作用在容器的顶端，压力大约在 $2 \sim 4 \text{ kg/cm}^2$ 。空气压力可以用减压阀调节，压力大小从压力表中读出。在容器的底部有一个弯头，带有连接器，与一个可供料到达钻孔底部的软管连接。容器里充满砂浆，然后靠压缩空气压出进入软管。软管推进钻孔底部和拉出来时

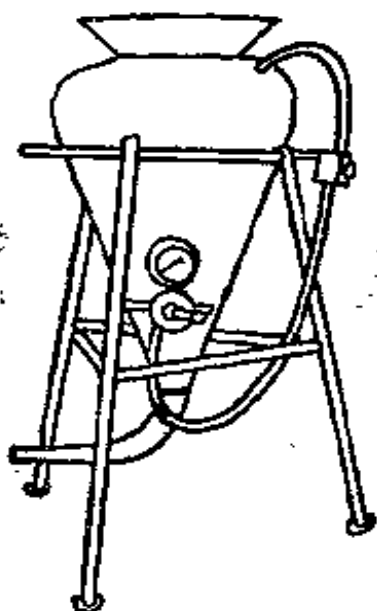


图 24 喷射泵

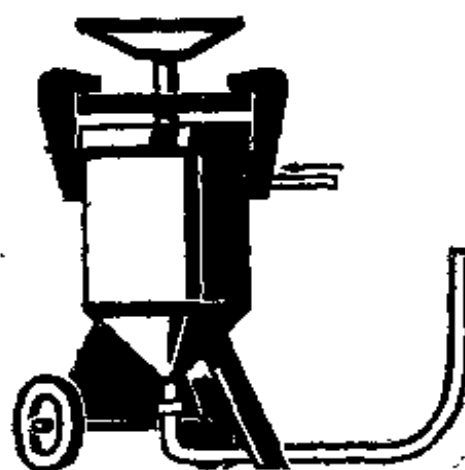


图 25 灰浆泵

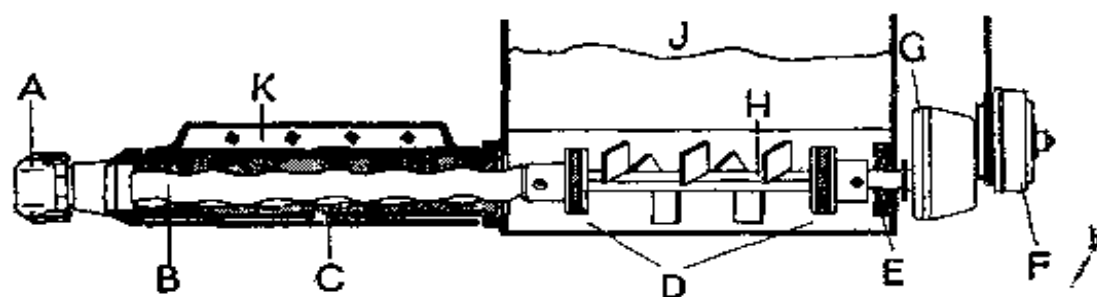


图 26 灰浆泵

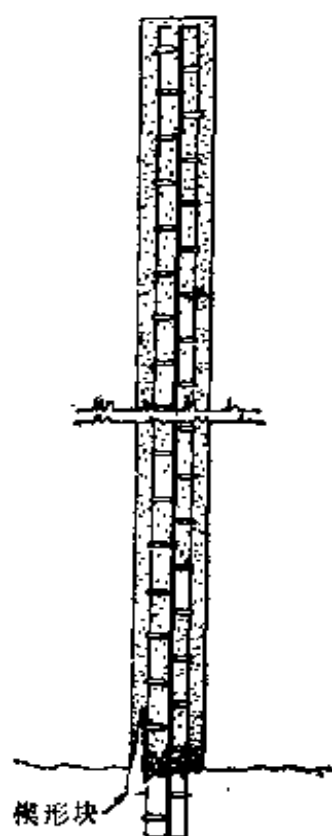


图 27 喷射锚杆

要迅速，以便它总处于充填砂浆状态中。当钻孔充满砂浆，使砂浆和锚杆一起填入孔中时，空气排出，抽出软管，把锚杆推向底部。这时，锚杆安装完毕，随着砂浆变硬开始生效。在垂直孔中，张拉带楔锚杆是有效的，可以防止锚杆向下滑动，同时还要用废棉纱、石棉等填塞在周围，如图27所示。

三、注入法

在喷射法中，压缩空气装置的软管推到钻孔的底部。而在注入法中，软管通过一片细薄的金属零件推入孔中10~15cm，一个细小半刚性塑料管被插入孔底用于排放空气，如图28所示。当确认有足够量的砂浆泵入时，软管撤出，插入

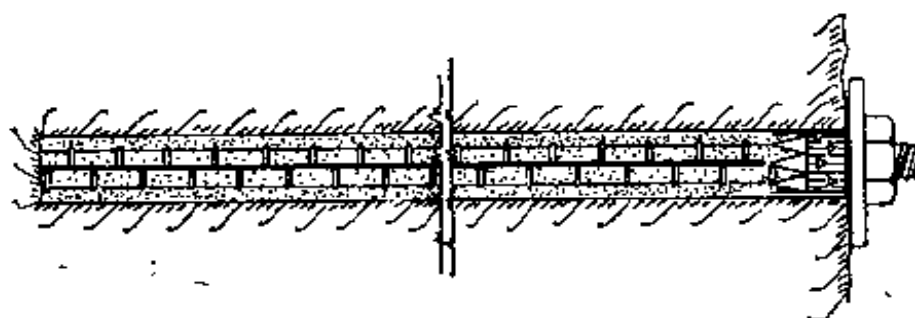


图 28 注入锚杆

锚杆。这种方法比喷射法使用的砂浆浓度要低一些。

用GD-TOPAC方法,放在钻孔端部玻璃管中的速凝剂使砂浆迅速硬化,而在其余长度上,砂浆还是软的,锚杆安装后稍有预应力。因此,我们把锚杆全部埋藏到砂浆里,求得预应力,如图29所示。这种类型特别适合超前支护。

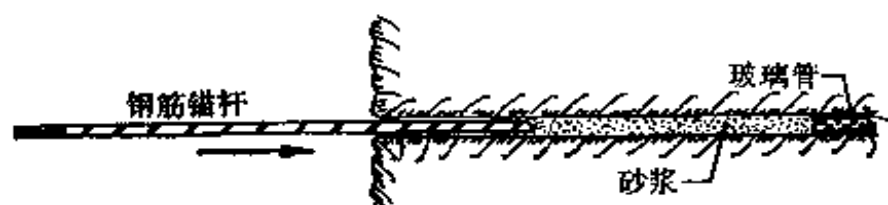


图 29 GD-TOPAC法

四、聚 酯 灌 浆

为了锚固和防锈使用聚酯,技术上是合理的。虽然使用特定尺寸、缓慢硬化筒稍便宜点,而且可行,但整个锚杆长度都灌注聚酯,目前还是太贵了。还有一个实际问题,就是通过聚酯筒转动锚杆的问题。制造厂家尽可能减少缓慢硬化筒的粘滞性,以求达到理想值,使安装工艺容易些。

第四章 快速和永久联合支护

这一组锚杆必须具有快速和可靠的性能，与托板一起安装。通常要进行张拉。为了满足永久支护的需要，有许多可行办法，用户的责任是根据提出的要求来进行选择。

很明显，这一组锚杆没有多少新技术。许多例子已经在无保护锚杆作业支护方面介绍了。在作业后，永久支护锚杆再重新全面安装。这对用户来说加大了成本，对经营者来说也要积压资金，是个难点。

虽然这一组锚杆比前面介绍使用的那些标准锚杆贵一些，但是安装后成本之和要比其他的要低。

这一组锚杆离开工作面应用，作为纯永久支护。开始使用黑色钢，后来使用不锈钢、圆形和环形镀锌钢。当使用金属网并喷射混凝土时，采用黑色钢就可以了。

一、镀锌不锈钢外壳和镀锌膨胀锚杆

这种类型锚杆用来快速支护，而且用在锚杆支护被希望的永久支护的结构中。这些锚杆由张拉完成快速支护。锚杆与托板和螺母一起安装，如图18所示。

二、安装于树脂或砂浆中的不锈钢或

镀锌叶片的环形锚杆

由于这类销点锚固锚杆在聚酯树脂中，当使用不锈钢时，根本不需要锚杆保护。如果锚杆销点锚固在砂浆中，我们

建议在孔的底部加速凝剂。如图29、图30所示。



图 30 圆叶片锚杆

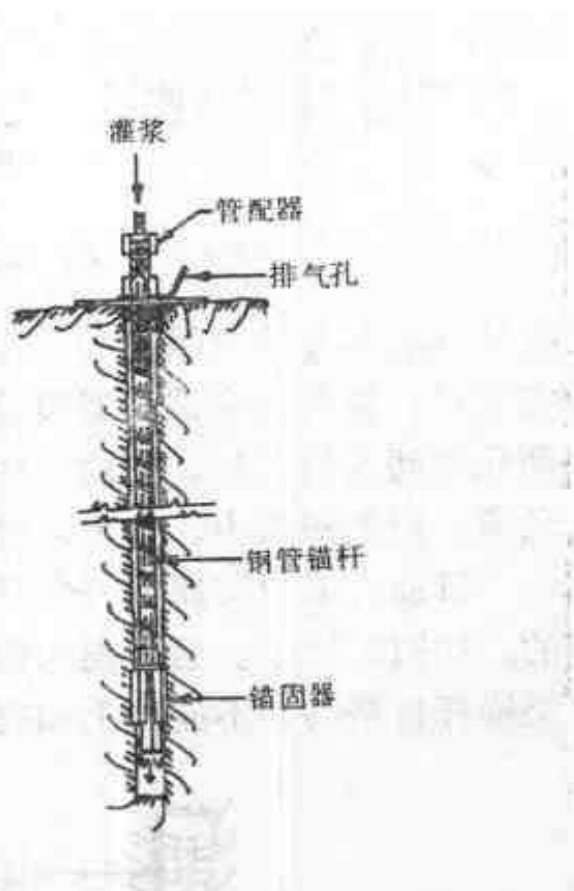


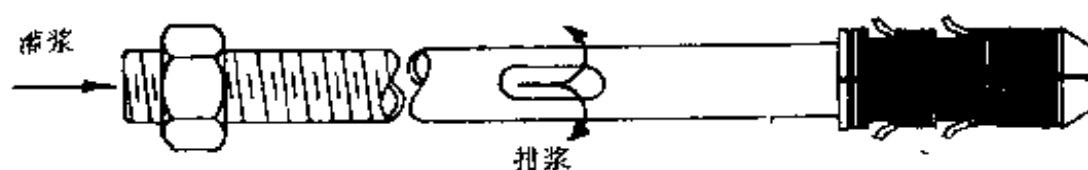
图 31 扩孔膨胀式锚杆

三、扩孔膨胀式锚杆

这种类型锚杆也用来快速支护，可用在岩层条件不好的结构中，锚杆支护是永久性的。锚杆兼有两种功能，即完成快速支护，并能被张拉。锚杆与托板和螺母一起安装。当工作面推进一个合适距离后，锚杆由灌浆变成永久性，后加拉力。如图31、图32所示。

四、树脂锚固的变形钢锚杆

聚酯树脂锚杆也能满足在孔底使用快速硬化砂浆筒，在

图 32 $\phi 45\text{mm}$ 扩孔灌浆锚杆

孔的其余部分使用缓慢砂浆筒等永久支护的要求。这样，当安装时，锚杆完全被聚酯覆盖，因而得到保护。缓慢砂浆筒硬化时间大约 2 h。在内部砂浆筒硬化后，锚杆张拉到理想负荷，产生预张力，加上防腐保护，成了永久锚杆。

目前，联合膨胀锚杆是使用灌浆管和空气导管来灌浆的。如图33所示。劈裂楔入锚杆安装在砂浆中（图13）。这类锚杆价格高，不能与上面提及的锚杆竞争。

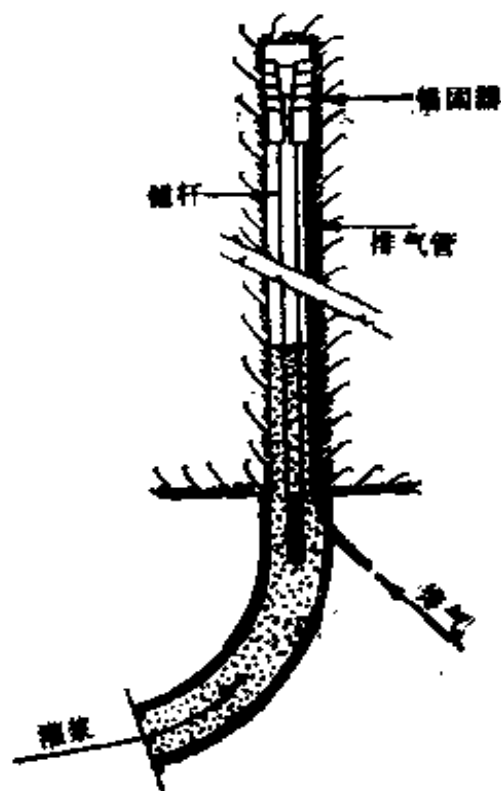


图 33 标准膨胀锚杆灌浆

第五章 背板锚杆

在井下掘进中，装备需要相对干燥的硐室，因而常常对岩壁喷射混凝土。各地都有自己的一套张拉模板的方法，但是最常用的是变形钢筋锚杆，水泥灌入孔中渗入岩石，从锚杆安装后，到水泥灌浆前，最多延缓 2 d。这个方法常用在隧道和电站大厅的墙壁上。

近年来，已经引入几个系统，消除或减少贵重的模板棒的磨损，让锚杆立即承载。

一、胀壳式背板支护

为了在孔中张拉，可使用 U 形环式胀壳，胀壳成圆锥形，穿过特殊系杆钢。如图 34、35 所示。

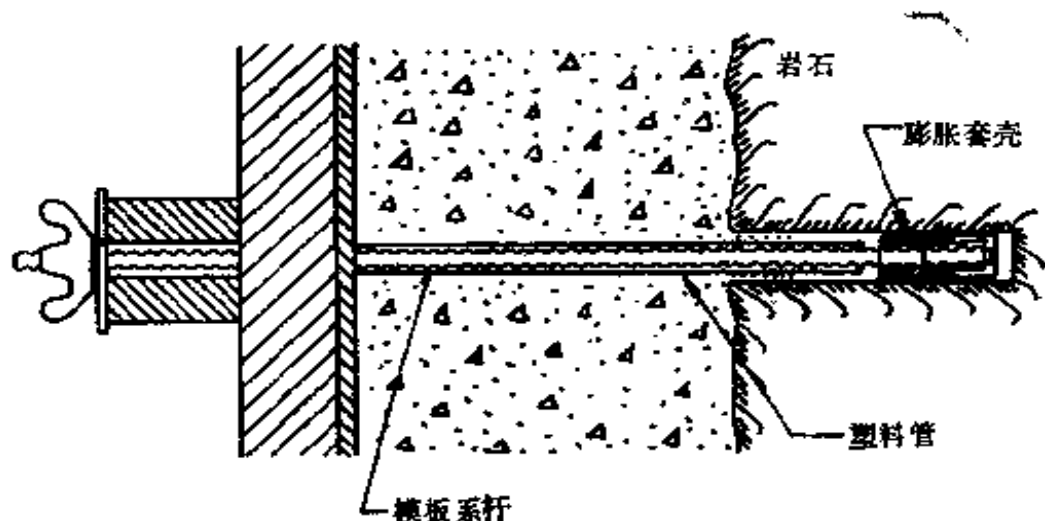


图 34 模板与胀壳联结

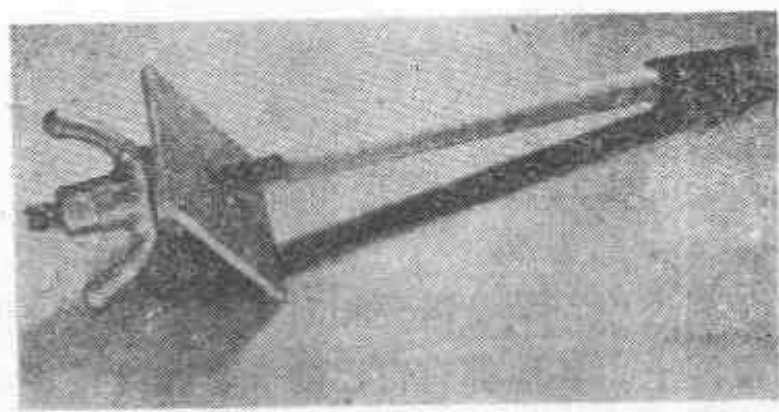


图 35 模板与胀壳联结样板

系杆靠螺纹拧入胀壳，然后嵌入孔中，系杆用手张拉到拉紧为止，大约产生 3 t 的张力。这时圆锥体拉入胀壳，使胀壳紧紧压住孔壁。如果不这样做，模板在混凝土压力下给定厚度 1 ~ 2 cm。张拉最好用适合蝶形螺母操作的操作杆来完成。当模板垂直安装之前，系杆要和卡纸板或塑料管配合安装，以便系杆能在后期回收复用。试验证明，系杆负载 10 t，能用手折掉，这种方法最简单，而且最经济。

二、树脂锚固式背板支护

在这种方法中，使用快速硬化聚酯筒来张拉钻孔中的锚杆。安装如前所描述，由聚苯乙烯泡沫管套着的螺母拧入锚杆的一半长度。另一方面，通过模板，短联接拧入特殊螺母另一端。从这点上来看，锚杆的长度是重要的，因为特殊螺母外表而是在模板的内表面。系杆的张拉是用第五章介绍的同样方法进行的。当模板被去掉时，外部系杆被回收，而在里面的螺母丢掉了。特殊螺母可以用专用工具收回，如图36所示。

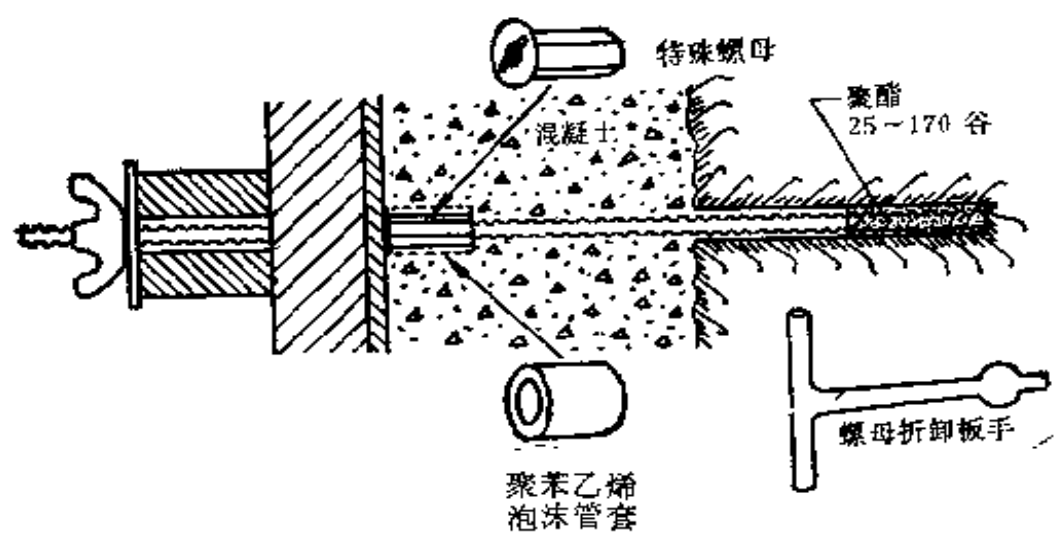


图 36 模板与变形锚杆联结，用水泥或聚酯树脂固定

第六章 塑性变形锚杆

在采矿和隧道安全作业中，常常希望采用一种能够从钻孔内向外滑出，同时又保持其张力的锚杆。

普通岩石锚杆塑变延伸18%后破坏。

在特定情况下，尤其是巷道结构，考虑加大延伸率是比较理想的。有两类锚杆能解决这些问题。

一、管缝式锚杆

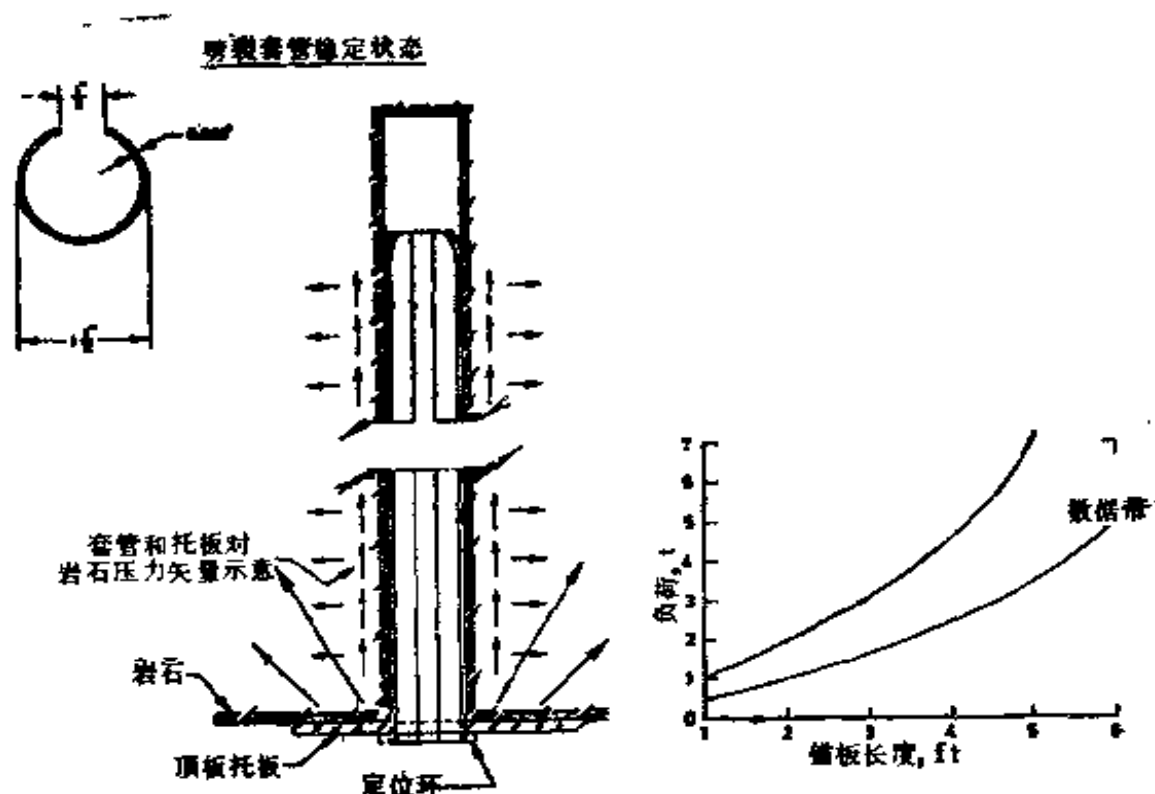
管缝式锚杆是一种摩擦式顶板锚杆，它由一个全长开有裂缝的长钢管制成，如图37所示。

管缝式锚杆被压入比管径小的钻孔内。事实上，管子产生塑性变形，随着钻孔在顶板中形成正确的形状。锚杆管体与孔壁保持密切接触，强迫产生径向负荷。这个径向负荷给岩石移动提供了摩擦阻力。锚杆的附加部分包括了在底端的凸缘和在顶部的膨胀锚固管。

摩擦式顶板锚杆外部直径 $1\frac{1}{2}$ in，安装到直径 $1\frac{3}{8}$ in 的孔中。根据孔壁光滑程度、孔全长直径变化、平直度和摩擦系数，最初可以获得每ft长度3/4至1.5t的锚固力。

二、塑性锚固锚杆

这类锚杆是一根直径 24mm 的钢筋，和一个带有套帽的轴套用螺纹连接起来。套帽上有一个孔，轴套直径 29mm。



在轴套内侧有64个钢球。当把套帽在轴套上拧紧时，钢球压紧钢筋和轴套壁，把钢筋固定到锚杆上。当加载时，锚杆能承受钢筋破断负荷的90%，能够以恒定力向外张拉钢筋。

两个草图（图38）表示锚杆如何能成功地被采用。公路通过沼泽地段铺设，根本不可能采用打桩方法到达岩石段。而是把预制加固混凝土路面用钢筋加固锚杆连在一起，锚杆一端有固定锚固器，在另外一米的自由端有塑性变形锚固器。在两端之间充填破碎岩石，和充填砂砾，然后载重卡车来回跑一段时间，以稳定和压实路基。在三个月后，路基压实，只有极小的下沉发生。

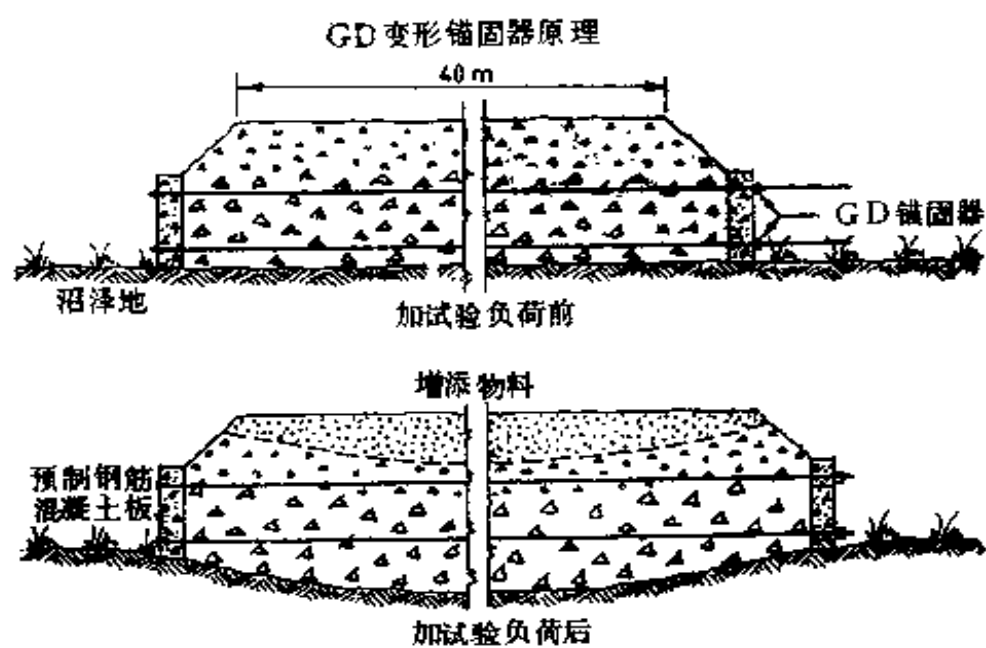


图 38 塑性锚固锚杆

第七章 锚杆预应力

使锚杆产生预应力的原理是在岩石里的锚固器和岩石表面托板之间张拉锚杆，有次序地锚固，使巷道周围产生预负荷带。巷道做成拱型，能够承受来自上面所考虑到的负荷，如图39所示。靠一个放置在正确位置，安装也正确的单个锚杆，松动的岩块能被联结成稳定的岩层。数层较薄的成层岩石能被锚接在一起形成一层，如图40所示。图41表示出怎样才能获得单独锚杆最好的效果。在正常条件下，对于永久支护，锚杆被张拉到塑性变形强度的50%长度，对于临时支护，则张拉到70%长度。在实践中，使用标准质量的锚杆，直径19mm钢筋， 37kg/mm^2 的应力，永久支护产生张力4t，临时支护产生张力5.2t。

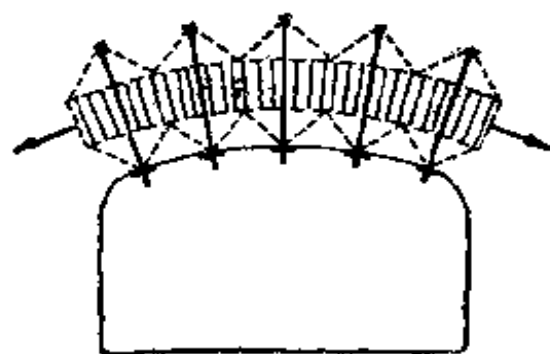


图 39 张拉锚杆形成的压力带

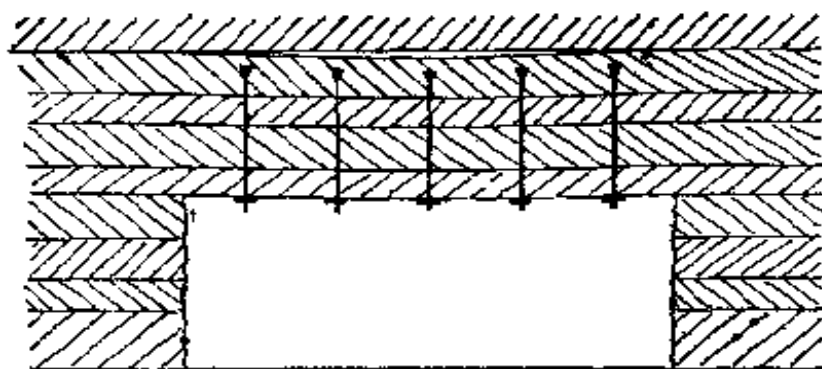


图 40 成层作用效果

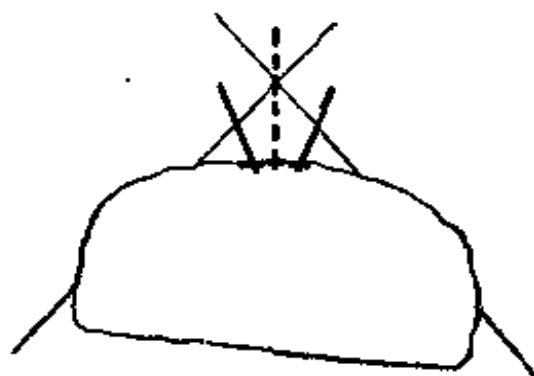


图 41 单个锚杆支护

一、用可调扳手张拉

最常用的张拉锚杆的方法是用一个大的可调扳手张拉。用这种方法，限定力矩只作用在螺母上，取决于操作者锚杆相对的位置。然而，常常使用一个套管来增加杠杆的长度，可提高力矩 $15 \sim 20 \text{ kg} \cdot \text{m}$ ，相当于获得大约 $3 \sim 4 \text{ t}$ 的张力。如果按照所有锚杆都有相同的张力的要求，这种方法不是很准确的。

用可调扳手张拉锚杆的试验取得1.6~3.5 t 张力值，区别主要是螺纹摩擦力和在螺母与球面托板之间摩擦力变化不一。

二、用扭矩扳手张拉

使用扭矩扳手张拉是比较好的办法，扭矩能以 kg·m 或 lbf·ft 读出。这意味着所有螺母都能给定同样的扭矩。但是由于在螺纹中和对托板的摩擦力不同，锚杆张力还是不一样。然而，这个变化范围比使用可调扳手要小。

三、用风动扳手张拉

扳转螺母的几种压缩空气扳手是有效的，如图42所示。扳手能预先调整到理想的扭矩，机器就能给定比上述两种方法更高的水平。较高的扭矩自然会得到较高的锚杆张力，但是由于摩擦力影响，张力的变化还是不能排除。

例如：下列三种为岩石锚固设计的扳手，并给出扭矩：

1. Ingersoll-Rand冲击扳手

IR-5340-TO型， 扭矩 20~76kg·m

2. Gardner-Denver冲击扳手

W-6型 扭矩 20~45kg·m

3. Atlas Copco 冲击扳手

LMS44-HR-01型 扭矩 10~45kg·m

-04型

随着冲击扳手的使用，扳手会有磨损，因而预先调整值也会有滑差。这样每使用大约 200 次后，便需要校正一次。图43所示给出扭矩和张力的曲线关系。

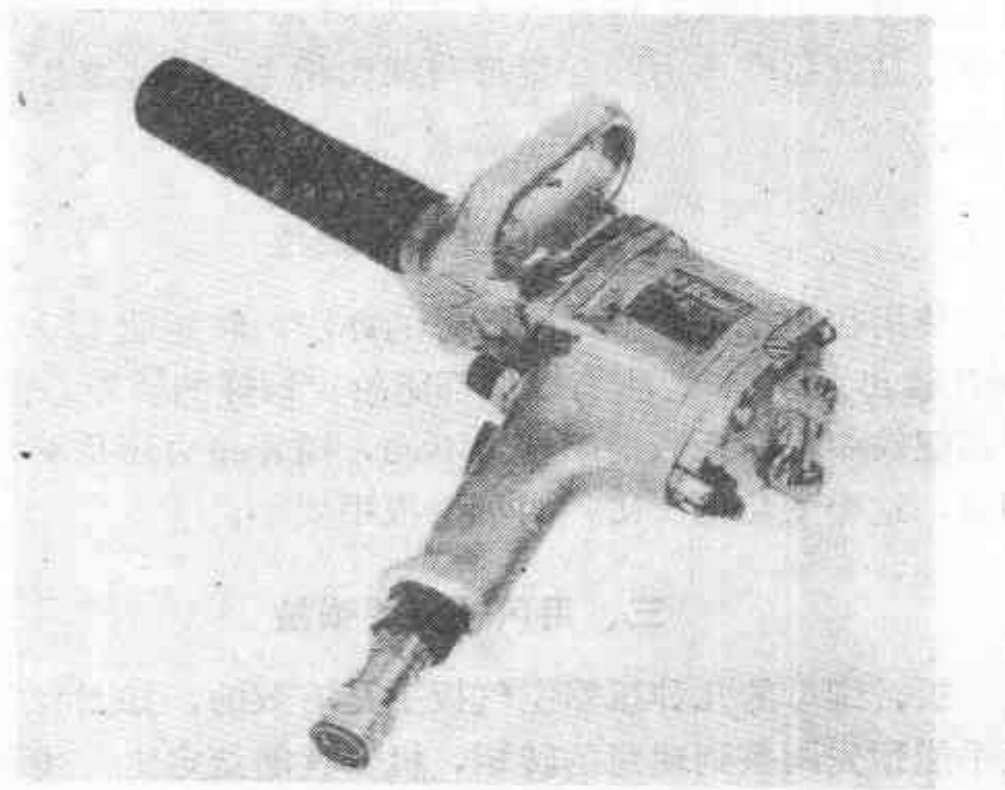


图 42 风动扳手

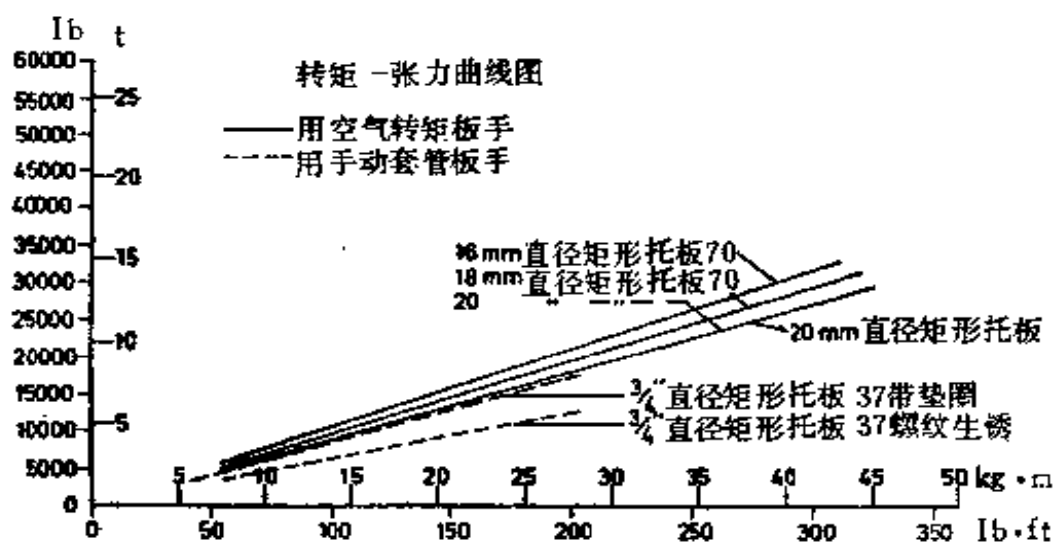


图 43 张力示意图

四、用液压拉力器张拉

最可靠的张拉方法无疑是液压拉紧装置。这种装置不产生扭矩，直接张拉锚杆，这意味着没有摩擦。拉紧装置如图44、45所示，这种装置称为液压拉力器，有一个通轴，在一端有一个手轮，另一端有一个内螺纹夹头。一个小液压千斤顶套在手轮的轴上。千斤顶上安装一个指针，当达到预先调整拉力时就自动跳闸。锚杆插入和张拉按下列步骤进行：

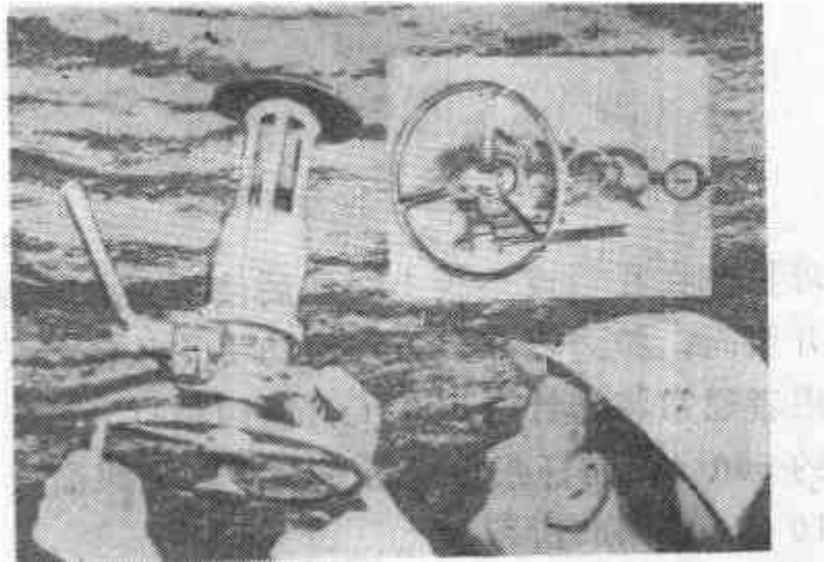


图 44 液压锚杆拉力器

胀壳安装在锚杆的一端，另一端装上托板和螺母，螺纹露出螺母以外大约 1 cm。为了获得轴向拉力，使用一个球面垫板。然后锚杆连接到拉力器上，放入孔中。如果使用的是 U 型环式胀壳和在插入前稍有膨胀的胀壳的话，锚杆就悬挂在孔中。这对于垂直孔是非常重要的。靠转动手轮可以消除孔中存留的岩碴，直到膨胀壳紧紧压住孔壁，最后需要双手转动。

泵上阀门关闭，千斤顶抬起，锚杆被张拉。当指针跳闸



图 45 液压锚杆拉力器详图

时，螺母拧靠在托板或垫板上，然后使用组合管扳手拧紧螺母，打开泵阀，拉力器靠反方向转动手轮从锚杆上卸下来。

使用者通常将指针调到 6 t，当阀被打开时，锚杆张力减少大约 500kg，锚杆张力只有 5.5t 了。如果需要，指针可以调到 10 t，如图 44 所示。

拉力器使用简便，能使所有锚杆处于相同的张力。它还能用来确定预先安装锚杆的张力，能在表中以吨位显示负荷，当螺母松动时，读出最大值。图示和叙述的拉力器是 Elbroc 岩石螺纹拉力器 8 号，设计张力 10 t。更大类型的 10 号拉力器张力发展到了 30 t。

第八章 锚杆长度和布置方式的确定

一、限定松动岩块

就功能来说，限定松动岩块是使用锚杆最简单的支护问题。通常可以靠观察限定岩块的断面位置和方向来确定岩块的大小。对于大岩块，有效的方法是用倾斜仪记录岩块尺寸和断面倾斜程度，划一个范围，草拟一个图。在观察的基础上，锚杆的长度能够确定了。

锚杆应该进入坚固岩石 1~2 m 深。其长度确定要考虑所确定岩块尺寸的特定情况。如果可能，在钻孔时，就要控制观察断面的实际位置。其计算公式为： $L \geq D^* + 1.0 \text{ (m)}$ 如图46所示。

在这种情况下，锚杆布置形式或锚杆数量都取决于岩石重量。掌握岩块尺寸，能计算出体积来，再与特定比重（通常2.6~2.8）相乘，就得到了它的重量。

通常，断裂的抗剪强度假定是零。因此，如果它存在，就增加了安全程度。当锚杆类型确定后，锚杆数量也能计算出来。假定只有一半锚杆起作用，因此，锚杆数量增加一倍，安全系数达到2.0。对于特殊用途，要考虑满足安全要求，提高原来假设的精确程度。锚固过程的质量控制也是很重要的。例如，使用胀壳锚杆时，采用锚杆张拉装置，发挥作用锚杆的数量就比采用可调扳手要大得多。

* D ——松动岩块的厚度。

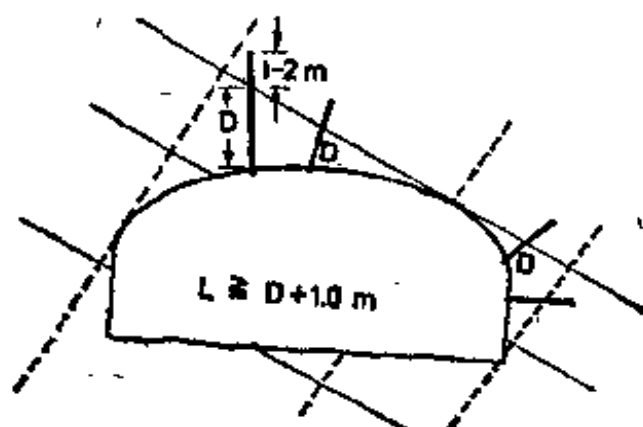


图 46 限定松动岩块锚杆长度

在变化不稳定，以至直接钻孔都不安全的大岩块条件下，锚杆必须靠岩块旁边安装，金属带紧贴岩层十字拉紧。由于锚杆安装方向的变换，难以平衡负荷，安全系数应增加，方法与上述是一样的。

二、无张力的系列锚杆

如图47所示的隧道中，发现必须采用系列锚杆支护，隧道中心锚杆长度根据下列公式（称为IFF）近似确定：

$$L = 1.40 + 0.184B$$

这里， B 是隧道宽度(m)。在这个公式推导中，顶板圆弧或半圆弧拱是假设的。

再假设，隧道爆破应力重新分布，自身抛物线承载拱将跨越隧道断面，岩石只受到压缩应力。在这压力区域下的不稳定岩石，必然是借助锚杆被悬挂在拱上，然而锚杆必须至少延伸到拱内1m深。以后，锚杆向两壁逐渐减小长度。实践中，在非常宽的隧道中，较短的锚杆只用于接近两壁。图48所示曲线图为几个系列锚杆建议长度。而图49所示为砂浆

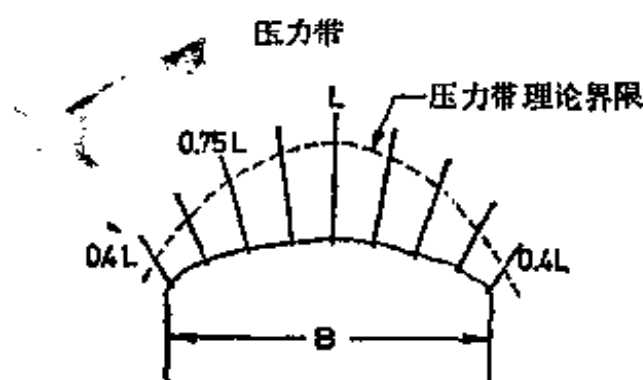


图 47 锚杆长度的变化

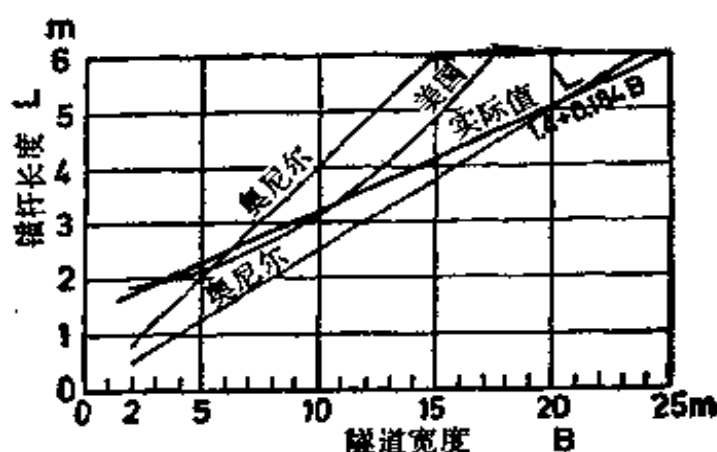


图 48 锚杆长度尺寸曲线

系列锚杆支护的例子。

三、预应力系列锚杆

在许多情况下，都希望在隧道上方能够形成一个应力拱或应力层。现在挪威通常使用的锚杆有较好的拉力，能给定岩石压应力大约为 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ 。这是预先假定岩石几乎没有应力，如果不是这样，锚杆产生的应力必须叠加到已有数值

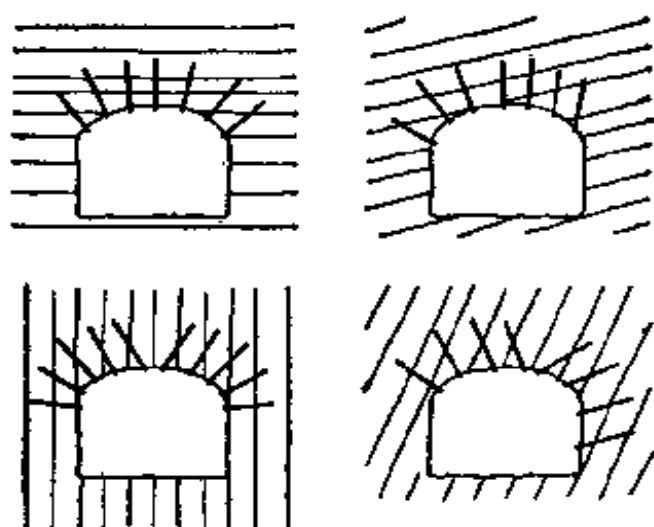


图 49 系列锚杆支护举例

上。这使锚杆有重要变化反映到压力图表的可能性非常有限。因此，使用可产生压力带的锚杆仅被限定使用在应力缓和岩层或层状岩石。

确定锚杆长度如图47所示，或使用下列公式计算：

$$L = 1.40 + 0.184B \quad (\text{I.F.F.公式})$$

$$\text{或} \quad L = 1.60 + \sqrt{1.0 + 0.012B^2} \quad (\text{Jorstad公式})$$

这是由于不同的试验方法、公式的理论基础，不同作者的解释所至。为了给出我们操作中能感觉到锚杆长度的近似变化，两个公式已经从许多比较有效的公式中选择出来。

对于锚杆支护，锚杆长度(L)和锚杆之间距离(a)的相互关系变化的影响是非常重要的。

为了建立一个压力带，必须使 L/a 的比例接近2。这将是不变的数值，但是断层空间的位置条件等必须给予特别注意，否则达不到最终目的，如图50所示。

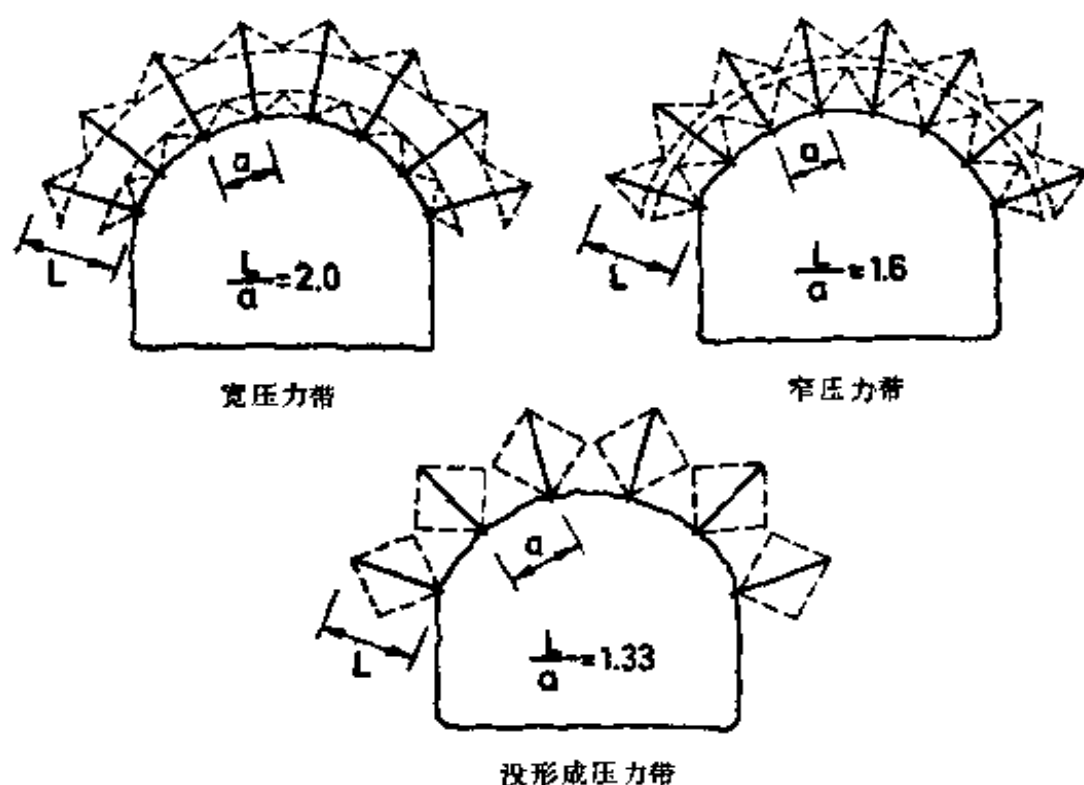


图 50 建立的预应力拱

L/a 为 2 的标准已经被多次试验所证实。试验原理是在光弹性的塑料板中插入锚杆进行张拉，在塑料板上，等色条纹在板上以偏振光形式绘出应力图。

四、工作面和掘进巷道支护

在爆破作业中，常常会有上山掘进和上山巷道壁的支护问题。这些情况下围岩的稳定性需要根据岩石构造和断层多少来考虑，必须使用大直径的长锚杆。下面举出一些例子，说明对于上山掘进岩石锚杆稳定性要进行必要的计算，并多加注意。

在所有的例子中，都假设相对急剧下倾最小抗力面与掘

进纵向轴心线平行存在。光滑和粗糙的上山都在计算中考虑，两种条件摩擦系数分别假定为 0 和 0.5。锚杆假定为直径 26mm 的灌浆变形加固锚杆，工作负荷为断裂负荷的一半。

第一种情况，如图 51 所示采用水平安装锚杆。第二种情况则以一定角度插入锚杆。在有最小抗力面外侧岩石的楔块上有一个重心，在图中 T 点上。如图 52 所示，力被分解为与最小抗力面平行和成直角的分力。平行方向的力 P 又进一步分解为锚杆插入方向的力 F_H 和 P_B 。在假定平面摩擦的情况下，力 P 由摩擦力 F 抵消，减少到 R ， R 再进一步分解为 P_F 。数值在图上括号中给出，以便使锚杆数量的实际计算能够进行。

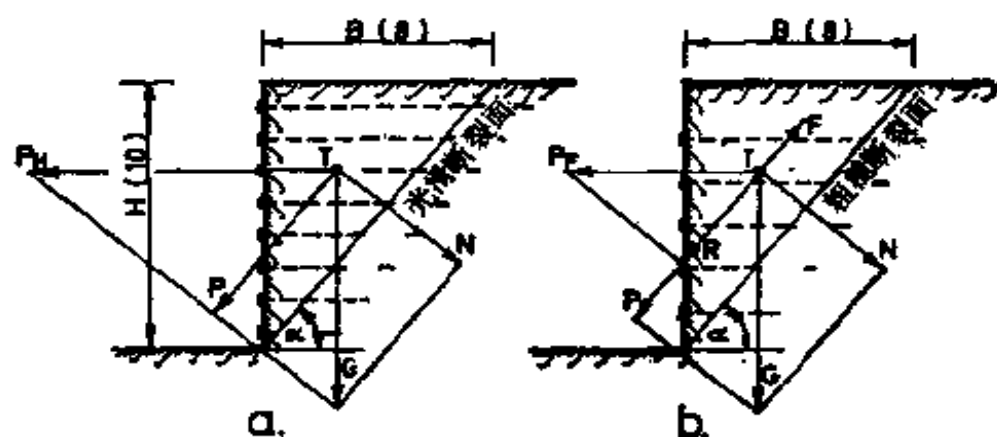


图 51 用灌浆锚杆进行掘进巷道支护

通常假定（括号中举例）：

最小拉力面倾角 α (57°)

锚杆倾向 β (6°, 即 1:11)

安全系数 $s = 2$

摩擦系数 $f = 0.5$

岩石比重 γ t/m³ (2.8)

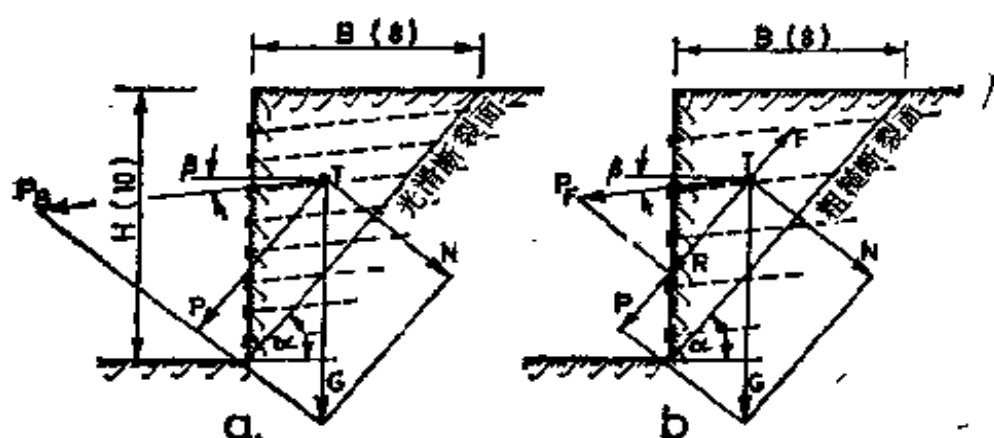


图 52 用灌浆锚杆进行掘进巷道支护

$$G = \frac{1}{2} H B \gamma \quad \text{t/m (112)}$$

$$N = G \cos \alpha \quad \text{t/m (70)}$$

$$P = G \sin \alpha \quad \text{t/m (87.36)}$$

$$P_H = P / \cos \alpha \quad \text{t/m (139.77)}$$

$$P_B = P / \cos (\alpha - \beta) \quad \text{t/m (125.51)}$$

$$F = N \cdot f \quad \text{t/m (35)}$$

$$R = P - F \quad \text{t/m (52.36)}$$

$$\sin 57^\circ = 0.78$$

$$\cos 57^\circ = 0.625$$

$$\cos 51^\circ = 0.696$$

还能假设锚杆具有和它的拉伸强度一样的剪切强度。

1. 如图51a所示, 没有摩擦力:

$$P_H = \frac{P}{\cos \alpha} = G \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \frac{1}{2} \cdot \frac{H \cdot B \cdot \gamma \sin \alpha}{\cos \alpha}$$

2. 如图51b所示, 在倾斜面上有摩擦力:

$$\begin{aligned} R &= P - F = G \sin \alpha - N f \\ &= G \sin \alpha - G \cos \alpha \cdot f \\ &= \frac{1}{2} H B \gamma \sin \alpha - \frac{1}{2} H B \gamma \cos \alpha \cdot f \\ P_F &= P / \cos \alpha \end{aligned}$$

3. 如图52a所示, 没有摩擦力:

$$P_b = \frac{P}{\cos(\alpha - \beta)} = \frac{G \sin \alpha}{\cos(\alpha - \beta)} = \frac{\frac{1}{2} H B \gamma \sin \alpha}{\cos(\alpha - \beta)}$$

4. 如图52b所示, 在倾斜面上有摩擦力:

$$\begin{aligned} R &= P - F = G \sin \alpha - N f \\ &= G \sin \alpha - G \cos \alpha \cdot f \\ &= \frac{1}{2} H B \gamma \sin \alpha - \frac{1}{2} H B \gamma \cos \alpha \cdot f \end{aligned}$$

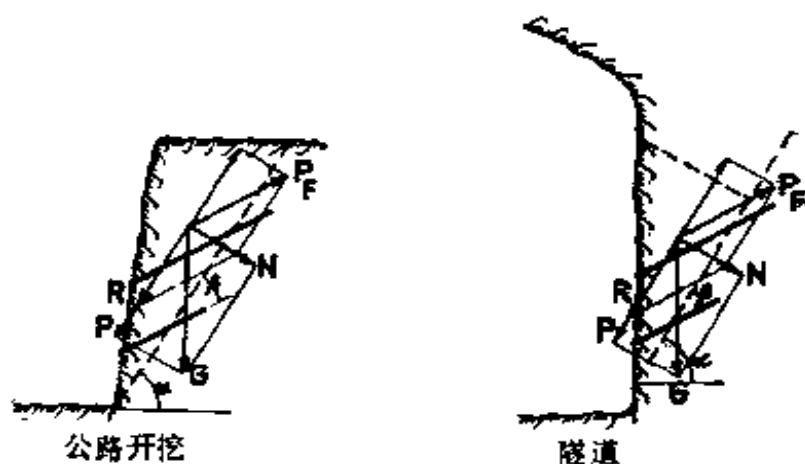


图 53 支护举例

$$P_F = \frac{R}{\cos(\alpha - \beta)}$$

公路和隧道开挖的例子如图53所示。

五、锚杆布置方式

锚杆布置方式包括锚杆之间的距离、安装锚杆的几何图形和锚杆方向。在明显的限定松动岩块的情况下，锚杆长度可以确定，各个锚杆布置要标定在岩层表面，还要指出锚杆方向，如图54所示，在系列锚杆支护中每个钻孔在开钻之前都标定位置和方向，这常是操作者所希望的，可以简化钻工的作业程序，如图55所示。

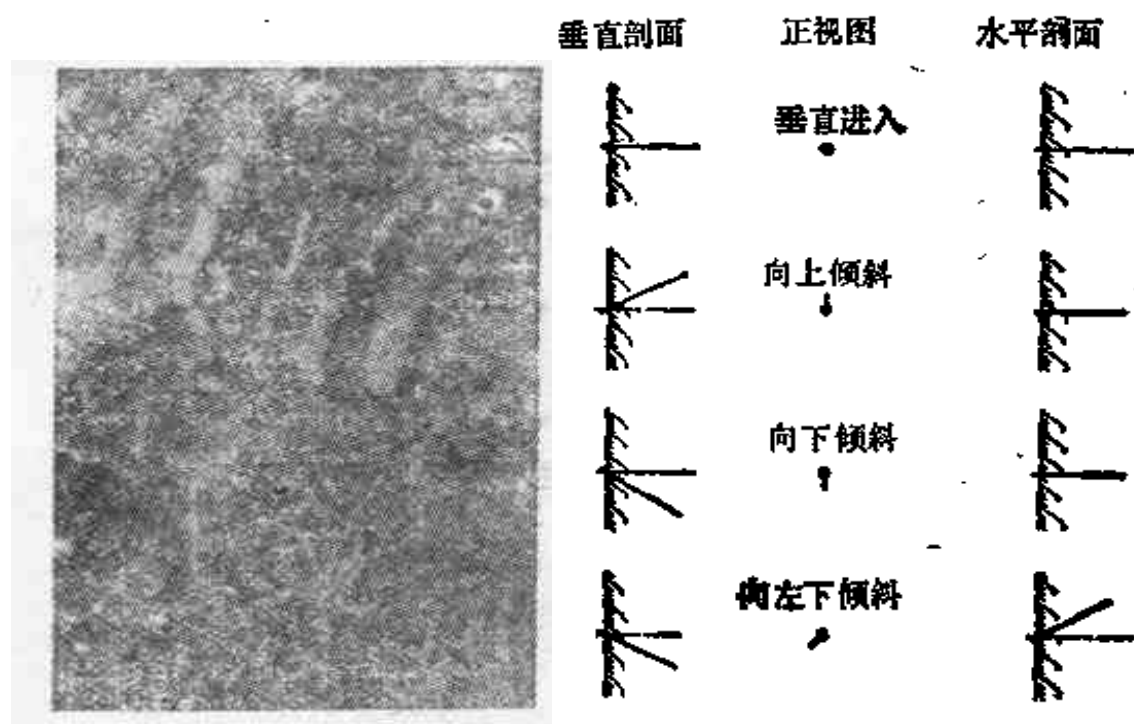


图 54 锚杆标定举例

图 55 锚杆标定

在确定系列锚杆支护通常布置方式后，第一件事是确定锚杆之间的距离。这是根据顶板岩层平均尺寸（断层变化的函数）和岩层特定形状（方形、细长条等）来确定的。对主

要断层体系，锚杆间距在各个方向上可以调整到比平均断层距离小。

随着锚杆间距的确定，锚杆的数量、成本和可能达到的负荷也要考虑。如果断层变化表明锚杆间距要小于 1m，那么，就需要使用岩石带和金属网。

实践中，井下掘进锚杆支护大都是在一个方向上比其它方向考虑得多一些，原则上确定锚杆排间距（与纵向轴线成直角）和锚杆数量，以及每排中锚杆的间距。进一步选定矩形或对角线的布置，如图 56 所示。还要控制锚杆是否与岩石表面垂直，其它方面是否需要有不同的方向。作为全面选择，包括锚杆种类、尺寸和安装程序等。

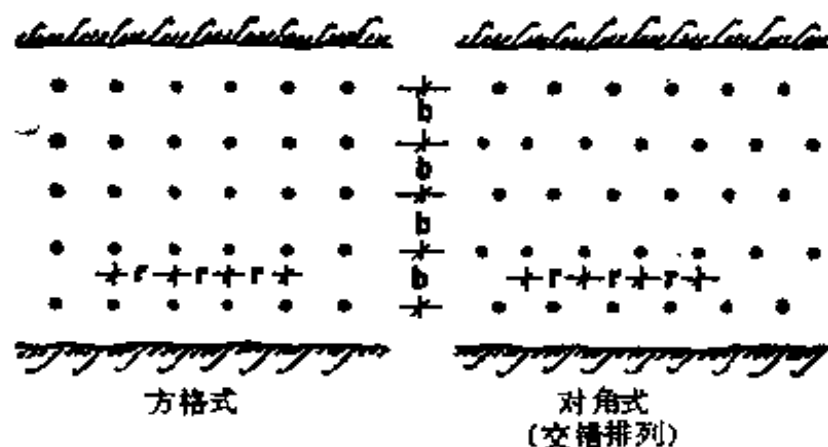


图 56 锚杆布置

例如：

锚杆排距 r	2m
锚杆间距 b	1.2m
布置形式	对角线式
锚杆长度	2m
锚杆种类	U形环胀壳式

	圆球面座垫
	蝶形托板
安装方向	与岩层表面垂直
锚杆拉力	5.5 t
Rythm	2 圈/锚固一周

第九章 原 理

在这一章里，必须考虑解决特殊支护问题，我们将更加仔细探讨用锚杆进行岩石支护的基础原理。然而，许多关于锚杆支护课题的理论分析大部分都没有记录在这本手册中，只是把对课题有较大关系的一些写出来供参考。

锚杆用作岩石支护的方法，根据涉及到的锚杆类型，有几种理论。对于用永久支护锚杆进行的顶板系列锚杆支护，常常考虑锚杆要把岩层固定在一起，形成岩石自我支护层。特别是在规整平卧岩层要这样做，因为理论上锚杆不会承受比预张力更大的负荷。另一方面，锚杆增加了各层间的摩擦，就能各自承受岩层本身的重量。人们常常更多地关注锚杆支护是由于在岩层中能形成一个压力拱，这个压力拱是作为负荷承载结构来工作的。

两种解释实际上没有多大区别。在隔离区使用单个锚杆进行岩层或岩块断裂表面的锚固，其后是基岩或稳定岩石。

如果锚杆不张拉，而是灌浆，它们就能加固断裂岩层并保持已经具备的摩擦稳定条件。以便防止因时间关系引起的不稳定。

张拉胀壳锚杆在锚杆和托板处形成集中应力，当这些锚杆系列应用时，由模型研究和大规模试验已经得出，在不理想的条件下，锚杆之间碎裂和断裂跨度会形成。特别当顶板是较平的时候，会发生这种情况。这时所有锚杆都是一样长，岩层有一个片状平面或最小抗力面。锚杆和托板之间得

到的压力带相当于 $0.5\text{kg}/\text{cm}^2$ ，在 $1 \times 1\text{m}$ 布置方式中安装的锚杆，可以有 $5 \sim 6\text{t}$ 的预张力。据我们所见，在原始压力带中，应力相对要小。当选择了锚杆系统，许多不同的公式可在手册中找到，用来计算锚杆的长度和间距。这些公式大多情况下都基于掘进跨度和可见的断层空间。在一些情况下，这些公式中一部分能给出极值，以便一些经验和以往体会在各个情况下得到运用。

当考虑锚杆支护方案的理论和实践时，要记住更重要一点是岩石瞬时剥落的安全因素。在多数情况下剥落不会发生，岩石非常稳定，能够钻孔。这样安全系数可以定为1.0或再大一点。开始锚杆支护对岩石瞬间剥落可增加安全系数，而时间相关作用的讨论可以在以后考虑。

这些关于用岩石锚杆支护理论基础所介绍的要点，目的主要是指出锚杆操作方法的通用模式和操作理论无法统一给出定义。理论探讨作为实验工作的基础和参考，也可评价实用锚杆，但是大部分实用锚杆支护问题需要另行研究。这些问题对于那些现场使用的特殊系统的锚杆是重要的。因此，我们将讨论实践中锚杆支护问题，讨论关于我们在隧道中见到的岩石结构交叉的支护问题，对存在的这些问题提出解决的办法。

当遇到岩石巷道的稳定性问题时，必须先确定发生问题的类型，是片落岩石，还是粘土带，或者是块状岩石等等。由于这些是进一步研究的基础，因此，需要有足够的时间和采用有效的设备来确定，以便获得最佳效果。一端有一个锤头一端有尖头的榔头是有用的工具，用它检查出松动层和松动块。在钻锚杆孔期间，应该作一些观察，检查所确定的基础。如果有必要，当时就要做些程序变化。从事这类工

作的人员要有构造、区域岩石、地质和最小抗力面的基本知识，有岩石支护的最可行的经验，这也是重要的。在某些场合，问题是简单明了的，但人们意识到，通常岩石支护是非常困难和复杂的问题，需要有经验。而错误的推断会导致严重的经济损失和危险，因而建议请一些专家进行可行性研究。

要描绘强度问题的基础原理图需要熟悉各相关因素，如怎样自身表达，怎样能够被观察，并在什么程度上，每种因素起到的可能的特殊作用等。讨论所有这些因素，超出了本手册的范围。然而，必须清楚地指出，下列强度问题的范围和讨论可能是简化和不全面的。处理方法可以是在岩石空洞中进行最简单的观测，并且从这些观测中得到简单的结论，不涉及细节和变化。

根据锚杆支护，所考虑到的稳定性问题的主要区别，我们确定下列五种类型：

- A. 叶片状和层状岩石；
- B. 块状岩石；
- C. 破碎岩石；
- D. 粘土充填带和破碎带；
- E. 岩石应力问题。

为了简化问题，以便给出着手解决问题的方法，对这些类型分别进行讨论。由于多数稳定性问题是一个某一类型或更多类型附加因素的综合问题，例如水文条件。因此，重复不可避免会发生。原则上，有四个主要变化因素是确定稳定性的因素。

1. 岩石应力。即由地心引力作用、地层运动、冷却应力、掘进爆破等因素产生的各种时期岩石中的应力。

2. 材料性能，广义地说是岩石性能。如岩石粒度、粘合材料、压缩和拉伸强度、机械非均质性现象等。机械非均质性包括断面和断层出现频率和方向、粗糙程度和可能内充填的断面。还有断面和破碎带性质等。

3. 水文条件。孔隙水压和流向因爆破产生的改变，岩石的干燥或潮湿程度，较大内水流。冲洗岩石断面的内充填等等。

4. 几何形状条件。这里意指在巷道定位和所有影响稳定性的方向作用之间的变化。能够举例说明的就是粘合剂充填带的角度很重要，可横跨巷道，与在断裂地层掘进断面的定向主应力相垂直。

当我们现在进一步考虑分类条件时，已经确定A~E五种，我们必须意识到，在主要四个因素中有特殊变化情况。因此，我们在思想上要有准备，要考虑随着各种情况的变化去适应。

一、叶片状和层状岩石

这种岩石具有这样的材料特性，即在岩石中，岩层具有与定向平面体系平行的主要特性。这种岩石以许多形式出现。例如，带有暗、亮条纹的片麻岩，在特定平面上产生的暗云母能产生滑动面或解理面。这种解理也能在板状绿泥石、页岩等岩层中找到。

这种类型其它岩层是千枚岩和云母片岩，不能定为板岩。但具有主要水平解理体系的岩层可以视同样稳定性来对待。

标准类型锚杆通常特别适合这种条件，如上面概述，稳定性问题是根据岩石特性提出的，同时要结合所表示出最小

抗力面与巷道断面平行定向或近似平行定向的几何形状条件，如图49和图57所示。巷道宽度，岩石如何裂开，最小抗力面变化幅度，岩石可伸缩性等因素都是重要的。如果我们忽略分别涉及到的岩石压力，岩层的支护就是把一些岩层锚固在一起，不剥落也不破碎。使用预拉伸锚杆常常是很优越的，这样断面中的摩擦力能够保留，甚至增加。

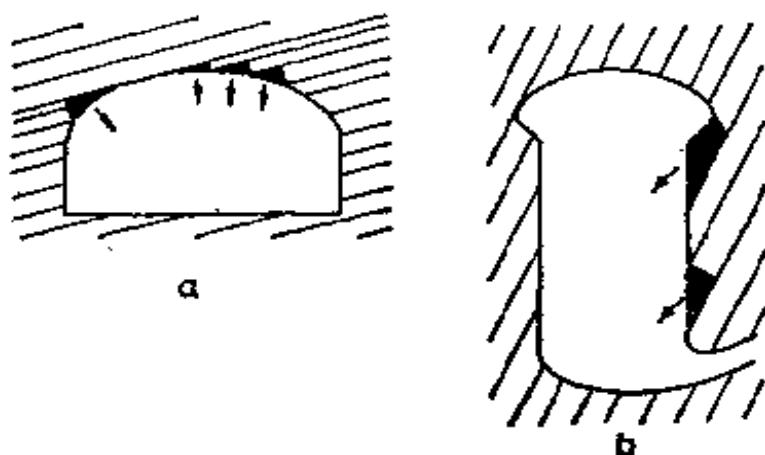


图 57 缺少支护条件下岩石的塌落情况

在安装过程中，所有类型锚杆都是合适的，这要在实际使用中考虑确定采用的锚杆类型和工作方法。例如，工作面采用胀壳锚杆，永久支护采用喷射锚杆。锚杆长度和布置方式可根据公式和以前讨论的经验来选择。但是，如果问题是这类锚杆独有的，常常允许使用比计算值短一点的锚杆和较大的锚杆间距来解决。

板岩特有的可伸缩性，可能附加的断层体系或最小抗力面都是确定是否能够减小锚杆长度和增加锚杆间距的因素。

二、块状岩石

在这一节里，对于确定锚杆长度和锚固间距的问题，我

们从只考虑限定松动岩块入手。由于研究块状岩石不再分别考虑每个块，因此有许多困难。块状岩石的特性与上一节中列举的叶片状岩石和层状岩石有所区别。具有块状结构和不稳定的滑移面只有在1~4个断面中才能找出。这些滑移面可以是平坦的叶片状，可以是充满粘接矿物的狭窄裂缝，或者是带有绿泥石或石墨层的滑移面。所有类型都能用多种方法来结合，虽然我们在这段故意忽略了岩石压力，但可以确定在块岩中的稳定性问题常常是出于压力较低的岩石中。不稳定的原因是单独的岩块不适合被限定，对于边界面正常的力较小。一块岩石掉下来，使更多的岩块松动。这样的问题常常在距地表较浅的巷道中遇到，例如在露头地带。

我们已经确定，当岩石块的尺寸变化不太大时，把岩石划成块岩一类。这里无论什么类型，单独滑移面的厚度都要小于2~3cm。在主要断面之间的距离要超过1m，大于2~3cm宽的滑移面要分别处理。

块岩区域的支护与在特殊松动块岩方面的支护同样对待，如图53所示。我们估算块岩的平均尺寸，选择锚杆长度进入基岩达1~2m。特别对非常宽的巷道，必须把选择的锚杆长度与公式计算建议数相比较。

锚杆布置方式取决于体积和重量这两个前提，以便估算每根锚杆的负荷。确定布置方式还要看是否是负荷系统，是否每块岩石至少需要一根锚杆。选择锚杆强度在此是一个确定因素。还必须考虑几何形状，也就是在某些拱顶处锚固比较适合断面和巷道的相应定位，足以使整个支护比较稳定，这些机会不能忽视。

在另一方面，我们具有较好的发展沿巷道纵向倾斜较大断面系统的适应能力，特别是在垂直角度和容易按解理水平

分层的情况下，锚杆支护可以考虑。

三、破碎岩石

如果我们进一步接触岩石特性变换，岩石断面间距较小，即不超过1m，我们就遇到了破碎岩层。这种划分是因为实际标准锚杆支护形式，小于1m的间距是特殊给出的。

前面大概地介绍了在每块岩石中有一个锚杆，象在块岩中能获得一定条件，而且减少断面间距一样，精确的控制和实用性都可取得。

如果没有进行研究，为了确定锚杆间距的技术条件而做的详细试验和分析，在多数情况下，间距能增加到平均断面间距的3~4倍，并稍微减小一点安全系数。然而，可以假定，选定破碎岩石分类技术条件不是以断面间距1m为准，而是与通常实践中最小的锚杆间距1m相对应的0.3m。实践中，发现锚杆间距通常是断面间距的3~4倍。在中间地带，1~0.3m断面间距情况发生在断面摩擦力较低的地方，相应的是绿泥石或无泥浆充填岩层，因而必须与通常规律有所区别。

低于1m的锚杆间距可以用在断面间距0.3~1m之间的岩层。当断面间距较小，出现降低岩层间的摩擦力时，常需要把锚杆与其它支护方式做比较。

在这种岩石中，稳定性问题常常是由于在一个或多个断层系统中减少层间摩擦力而产生的。在破碎岩石中。几何形状条件，即断层系统相应定向，也是掘进支护中最重要的困难。而几何形状在确定锚杆布置形式中并不非常重要，这是因为我们最近总是需要使用护顶板或金属网。在一定范围内，这些将限制锚杆布置形式的灵活性。锚杆布置形式是这

样的，允许合理的重叠，采用全部滚网和全长护顶板。当使用金属网时，通常最好的锚固防护是滚网搭接，以便把金属网连接到下一根锚杆托板和螺母上。连接板最好是比较便宜的。

当锚杆用来支护破碎岩石时，必须十分注意。很清楚，标准锚杆布置方式不能固定锚杆周围较小体积的岩石。可能会有破碎岩石不受预拉锚杆影响。因而，只有当觉得一块带有一个或更多锚杆的大块岩石没有冒落危险的时候，才能使用单独锚杆或与金属网配合使用，这样锚杆将固定住较大体积的岩石，金属网则托住冒落的较小的石块。如果在一个或几个锚杆周围整个一块岩石有与锚杆一块垮落的危险，那么，使用岩石护顶板将减少这种危险。如果护顶板只是稍微被拉进岩石里，就没有实际支护效果，滑移可能发生，但这可以在较大垮落之前来防止。已经发生的滑移也容易查觉并能够修整。如果条件特别不好，锚杆护顶板和金属网可以一起使用，交替锚固和喷射混凝土。这些选定必须与永久支护、可以考虑的时间变化因素和理想的安全系数一起联系起来考虑。

对于不同跨距，建议的锚杆长度可以根据以前给定的公式来计算，但对于单独使用锚杆或与金属网一起使用必须注意锚杆长度要比公式计算出的更长一些。

四、粘土充填带和破碎带

前面我们已经涉及到了一个地段条件很不好，需要支护的普通材料性能的适应性问题。锚杆支护只能考虑在一些明显限定条件下集中粘土充填断层裂隙带或破碎带。这些条件之一是岩带的宽度必须小于3m。这个界线对于确定在这种

条件下锚杆支护的限定是严格的。我们也能自己限定岩带，在这个岩带里，相邻岩石相当好，不破碎或被粘土充满。

粘土充填断面和岩带有非常易变的特点，全部描述它并不重要，而最重要的是要记载。当考虑粘土带时，重要的是从一种情况到另一种情况所产生变化的材料性能。一些岩带包括占百分比非常高的粘土矿物，还包括在表面带有2~3mm粘土覆盖层的新形岩石。其它情况发生在4~5条10~20cm宽的平行裂隙，在裂隙之间有相对完整岩石的等宽的夹带。因此，重要的是确定粘土材料的大概比例。

掌握粘土本身组成也是重要的，特别是包括膨胀矿物。通常只有很小比例的粘土是膨胀矿物，但是如果有合适比例的高岭石矿物（膨胀矿物）存在的话，一块相对干燥的矿物从这样岩石带拿出，几分钟之内将变成泥，或者浸在水里数秒钟就变成泥。如果需要，借助于简单色彩试验就可能获得矿物种类的显示。

即使我们忽略了高压使岩层剥落增加的情况，岩石压力对导致粘土固结也有一定作用。比较好的充填矿物常常比松动的粘土更稳定。

环境湿度对粘土带的动态有很大影响，如果现场条件潮湿，粘土剪切强度就低，容易流出来，如果干燥或被干燥，它将稳定。膨胀粘土吸收水就膨胀，就是一团已经潮湿的粘土也能膨胀，不构成危险。但是干燥条件下的同样粘土由于通风停止，空气湿度增加，也能开始膨胀。

如果防止体积增加，这种岩带的膨胀材料便能产生高压。如果可能，这将有利于使粘土在支护承受负荷之前，增加百分之几的体积。

以最简单的方法叙述这些可考虑的因素，可以说最困难

的问题发生在下列情况下的粘土带：

1. 有较高百分比的粘土；
2. 有较高百分比的膨胀矿物；
3. 固结程度较高；
4. 干燥条件。

如果我们在巷道中面临上述情况，问题通常不会立刻发生。如果我们在上述情况下使用刚性支护，不许压缩也不许体积扩大，也不许水分过大（如浸在水里），那么唯一可靠的支护是混凝土砌碇。

对于粘土带，几何形状条件也是重要的。如前所述，一个与巷道纵向轴线平行的不合理地带，总要提高很多巷道的掘进和维修费用，带来很难处理的问题。

在粘土带中，锚杆不能获得理想的锚固效果，即使是使用最好的水泥灌浆锚杆或是聚酯灌浆锚杆，也距达到完全锚固有较大差距。因此，对此尝试没有价值。这就是我们对围岩较好的粘土带限定考虑锚杆支护的原因。然而这种锚杆可以安装在粘土带巷壁上，对于临时支护，锚杆可以单独进行巷壁支护，直到进行永久支护。在粘土带每一侧有一两排锚杆。人们预料粘土带可能剥落一些粘土，为了避免剥落，金属网可以横着铺上。粘土带在许多情况下用锚杆与钢筋混凝土浇注或类似的方法进行永久支护，已经获得成功，效果较好。

由于在粘土带地质条件复杂，因此，在不稳定的条件中使用这样的方法要非常小心，安全程度要求较高。

五、岩石应力问题

岩石巷道中的岩石应力能以许多方式显现出来，也有许

多原因。通常，岩石应力问题发生在外力、自身应力超过岩石承受能力的情况下。决定发生岩石压力问题的因素有许多：

1. 理想应力的绝对值。
2. 理想应力的比例。
3. 岩石的拉伸性能。
4. 拉伸性能方向上的变化。
5. 巷道的几何形状。
6. 上述因素的相对定位。

另外，还有一些取决时间的因素和其他实际发生的情况。如：烘干、吸水率、附近爆破、温度变化等等。

对稳定性有影响的这些因素的变化以岩石压力本身显示的方式反映出来。在巷道中，我们能观察到一系列这种现象。把几乎都是塑性物质挤压出裂隙，直到有非常明显的开裂、剥落，岩石表面剥落各种岩体，并带有强烈破裂声和很大的压力。

分析岩石应力产生的原因，如何估计岩石应力问题的危险程度和为了减少危险怎样布置和定向巷道，需要花费时间太长，无法进行。但是，我们假定有一些已经确定的因素，另外我们面临一些隧道中岩石压力的显现，需要对隧道进行支护。

为了清楚对岩石进行支护的原理，我们分析一些简单、典型的起因和现象。如图58所示为隧道的断面和在隧道爆破之前断面理想应力的方向和大小。对于那些没有理论基础的人，应力分析要从把所有应力综合在一起开始。岩石应力可以从物体中心点向几个方向测量。最大的合应力是在 σ_1 的方向，最小的合应力是在 σ_2 的方向。为了方便起见，我们假定

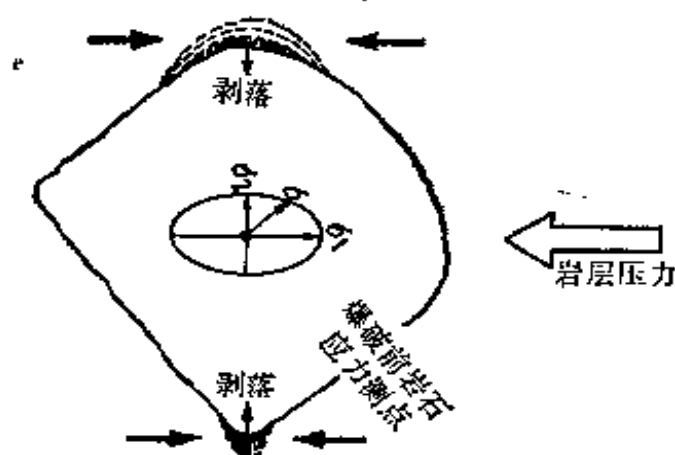


图 58 剥落情况

σ_3 (这是与纸平面垂直的应力) 与 σ_2 相等。在中间方向, 我们将测得一个 σ 应力, σ 数值位于 σ_1 和 σ_2 之间。

对于典型的剥落情况, 产生的 σ_1 常常比 σ_2 要大得多, 岩石也是易碎的、刚性的、有较低的拉伸强度, 并且是相对均匀的。当压力足够大时, 剥落常常发生在左上角, 主应力 σ_1 是沿着岩石表面的切线方向的。在严重情况发生时, 对角也将受到影响。在这个例子中, 当 σ_2 和 σ_3 一样时, 如果岩石性能各个方向都是一样的, 表面也将发生剥落。也许沿着给定方向的综合应力变得很大, 足以引起垂直方向上的高拉伸应力, 薄的剥落岩体 (铁饼状) 掉到巷道内。根据不同情况, 综合应力被集中在岩石表面, 引起的拉伸应力集中到相对应的较大范围。因为每一片岩层脱落, 应力便集中在新的裸露表面, 并将进一步剥落。

在困难的条件下, 这种情况可形成锥体效果, 如图59所示。从这里我们可以看出, 这样条件下的剥落是危险作业, 也是很少见的地质构造。如果我们剥掉还留在那里的浮岩



图 59 剥落无限制的发展

片，由于应力再次集中在表面，我们还处在重新剥落的危险之中。然而，对于中等程度以上的岩石应力，剥落可能是有用的，使我们经常有防范的准备。

对于非常大的剥落，通常是用膨胀锚杆支护整个工作面。这些锚杆不能防止变形岩石片的剥落，但是它们可以防止岩石冒落下来，提供一些对拉伸应力的限制。靠这一方法，应力扩散到岩石里面，从而减少岩石能够承受的表面应力。

对剥落岩层进行锚杆支护计算的公式无法给出。但应力能被测量和计算，如果尝试这种解法、花费时间太长，不能改进工作面为了安全必须稳定的环境。因此，剥落岩层的锚杆支护要靠判断能力和经验来完成。当一个循环爆破后，在剥落开始前，通常有一定的岩石活动停顿时间。如果可能，可以利用这一段时间插入锚杆。锚杆长度可以使用以前介绍的公式计算，但是锚杆长度很少短于1.5m，以获得扩散应力到岩石中去的满意结果。锚杆布置形式主要取决于如何防止锚杆之间岩石垮落。常用的锚杆布置形式都是和岩石带及金属网

一起使用的。在较长一段剥落岩层的巷道中，已经采用的较小的锚杆间距（ $0.7 \times 0.7 \text{ m}$ ）、大托板（边长60cm）获得较好效果，但需要较大的劳动量。用这个方法，支护的覆盖区域是令人满意的。

为了减轻强烈剥落情况下岩石的压力，在锚杆承受全部负荷前允许有一定量的变形是有作用的。已经发现，如果胀壳锚杆全部张拉，它们处于超负荷状态而发生断裂。在这种条件下，用手拧紧螺母就足够了。在锚杆承受负荷之前，岩层将有一点变形，这就足以使锚杆承受全部负荷了。在这些极端条件下，永久支护安装前的变形是合乎要求的。推荐具有相当大屈服极限的钢锚杆用于这些场合。对岩层直接支护的钢筋混凝土结构，如果与工作面垂直安装，经常遭到破坏。

如上描述的非常严重的剥落情况，事实上并不是象可能出现的那么危险。由于在工作面后面或放炮后较长一段时期，松动岩片不断发展，因此，岩石应力问题也能发生，并经常表现出来。如在垮落发生期间不采取保护措施，这种情况常常是危险的。常规的剥落和锚杆支护通常是合适的解法。在特殊的各向异性岩层中，象页岩、千枚岩、片麻岩等等，要很好注意当成层方向变化时发生的情况。人们能把隧道延伸很长，穿过层状岩石。在中等稳定岩石中，这些延伸将可能不成问题。然而如果定向变化，成层是沿着隧道表面切线方向，那么，潜在的危险可能在一周或一个月以后，以局部冒顶和垮落的形式出现。局部冒顶集中在这样条件的原因可以认为在与纵向成层相垂直的成层方向上，岩石的拉伸强度较低。

岩石的压力在第一种情况下太低，不能引起局部冒顶，但是在切线情况中，压力太高，就足以引起冒顶。在象

滑腻的千枚岩这样的富有弹性、可塑性岩石中，局部冒顶发生时没有一点噪声。

在隧道中，可以遇到岩石压力和岩石条件变化的所有特殊情况，因此，发电站大厅和其他大的硐室，都不在此讨论。普遍认为岩石压力是支护稳定性的难点，必须应用锚杆这种非常合适的支护器材来解决。重要的是要知道，我们很少想到锚杆要防止变形，然而锚杆常常在它承受基本负荷时就产生了变形。常常是安装足够合适长度的锚杆，实践经验已经证实，安装合适长度的锚杆效果比较好。这种锚杆保证我们把岩石变形控制在一定程度，负荷减少到锚杆能支护的数值。换句话说，就是发生在临界表面层的力可以借助于变形来减弱，应力在一定范围内能转换到表面内的岩石中去。

最后，我们还应该清楚，锚杆支护的研究还将包括生理估算和人员素质问题，以及纯技术问题。实践中经常会出现由于对岩层条件不明确，现场工作人员的信心不足等问题。对于从事繁重隧道工作的人员，条件差的岩层所带来的问题也许是报酬低，尤其是通常可能有不安全感。这样的问题最初提到时，可能是岩层在一个周期里条件不好，或是有可能垮落，发生事故。

即使对这样地段进行支护，或是用锚杆和辅助部件进行较好的支护，人们还是对锚杆支护有些怀疑，有不满意的感觉。也可能发生人们对锚杆支护工作感到困难，认为不可能实现的情况。

人们最初企图靠支护来避免条件的恶化。人们知道所作的工作会有危险，采用较好的装备是必要的。这里，我们认为最危险的工作，是用手抱机器打锚杆孔。如果在困难情况下，手抱机器是有效的，但操作必须在安全的顶板下开始，

必须按着划线——钻孔——安装锚杆——张拉的顺序连续操作。这样,操作能与下一个锚杆接上,按步就班进入空顶区。

条件很差情况下,手持设备不能使用。在这种情况下,可以使用代替人工的特制的专门钻架。这种钻架从各方面来看是有效的,它们随着能力增加大大地增加了工作的安全程度,在大的结构中,更要有这样有效的装备。

也许有人对锚杆本身产生怀疑,例如:“胀壳不能紧固岩石”。在这种情况下,可求助于张拉装置,它给出人们自己能检查的测量应力。液压锚杆拉力器是处理这些关系的理想装置。

如果锚杆钻架和合适的张拉装置与必要的仪表一起使用,将增加在支护系统中的可靠程度。当然,还要采用正确的锚杆布置形式,合适的岩石锚杆和辅助装置来解决特殊的稳定性问题。

第十章 特殊锚杆系统

一、桁架锚杆

这个系统原理如图60所示，两个倾斜锚杆用一个水平杆联接，为了拉紧，水平杆上有一个中心转动扳手，压缩区域在锚杆之间形成。靠安装大量互相平行的这种锚杆，被支区

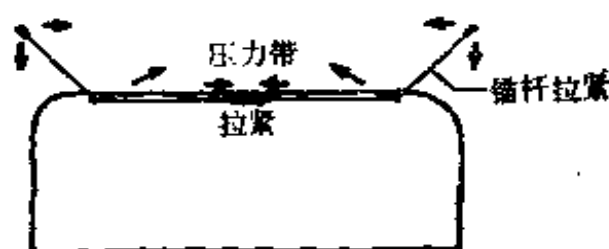


图 60 桁架锚杆支护

域能增加长度。这种方法由英国Birmingham锚杆公司研制并获得专利，特别适合煤矿应用。在挪威目前只有Brevik的Dalen煤矿在应用。

二、玻璃纤维锚杆

在美国矿业局Spokane采矿研究中心，研制了一种新型锚杆，如图61所示。锚杆是由纤维玻璃丝与灌注聚酯和速凝硬化剂组成的。纤维玻璃环绕在卷轴上，在聚酯灌注同时送进孔中。钻孔不需非常直，深度随着纤维玻璃束在孔外切断情况来变化。试验证明，在聚酯和直径为34mm孔的孔壁之

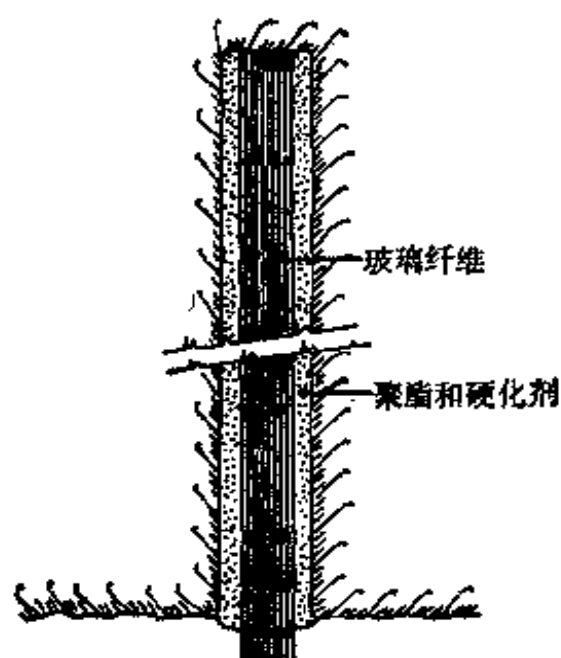


图 61 可泵纤维玻璃锚杆

间的紧固强度是，湿孔 5.2t/m ，干孔大约 37t/m 。按现行价格计算，每米锚杆的材料成本大约 1.5 美元。但是计入安装用的复杂和昂贵的设备，将增加总成本。

三、超前支护锚杆

这种方法要求在隧道爆破之前，与巷道掘进轴线成小角度钻一长孔（ $10\sim 15\text{m}$ ），如图62所示。

在很少有岩石顶板的地方或在很松动岩层情况下，很少有岩石顶板或岩石顶板不好的隧道断面。这种超前支护的方法可以用来减少入口切割的长度。当隧道爆破时，这种方法可以依靠锚杆的长度和断面尺寸，以及采用的灌注形式，使巷道（隧道）的理论轮廓之外 $0.5\sim 1\text{m}$ 之间的顶板得到纵向

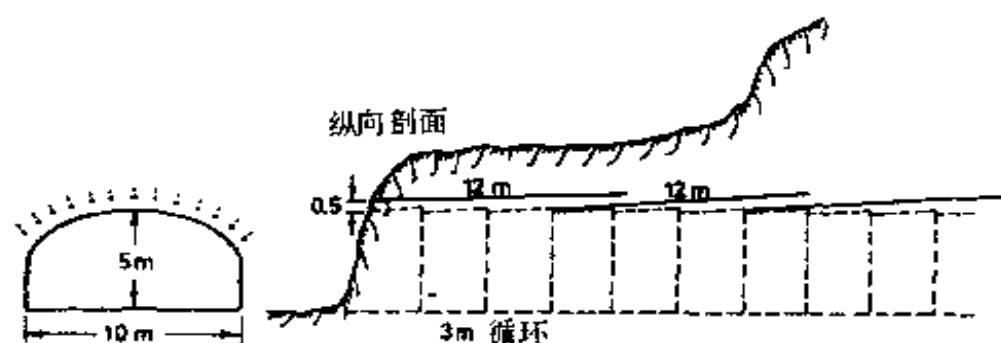


图 62 超前支护

加固。锚杆可以使用喷射原理或注入原理进行安装，详细见图29所示。

四、塑料胀壳锚杆

一种新型塑料 (Del rin 100) 胀壳已经在瑞士研制出来。胀壳由 4 个带有两个圆锥面的叶片组成，如图63所示。胀壳有两个圆锥面，膨胀是平衡的。较小的圆锥面有一止端，使膨胀有所限制。叶片在顶部和底部都有一个环槽，嵌有硬橡胶圈 (O型圈)。例如，当锚杆悬挂通风管用完时，

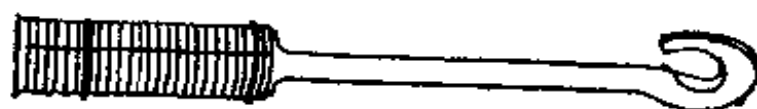


图 63 带有塑料胀壳的悬挂锚杆

锚杆拧出一点并打一下。胀壳收缩，锚杆和胀壳可从孔中一起取出以便再用。试验证明，塑料胀壳在花岗岩中胀裂负荷为5.5 t。

五、树脂灌注的玻璃纤维岩石锚杆

如图64所示，一种最新研制出的玻璃纤维锚杆 (Celtite、

Moon) 已在一些煤矿用于支护, 被其支护的岩层以后还要去掉。通常钢的岩石锚杆有着爆破之后遗留着原封不动的缺点, 在煤矿中, 它们损坏截齿。而玻璃纤维锚杆爆破时被破坏, 克服了上述缺点。锚杆的内端沿 45° 角割下, 使聚酯树脂容器更好混合。在外端有一个长 $10\sim 15\text{cm}$ 的劈楔部分, 配合使用方块料和套筒。劈楔是硬木的, 在制造厂配备在锚杆上。锚杆含有73%玻璃纤维, 其余是聚酯。直径分别有18、20和22mm。断裂、剪切和弯曲应力分别是 6200 、 3000 和 7500kg/cm^2 。然而, 断裂负荷取决于紧固长度。

最新的玻璃纤维锚杆是在澳大利亚制造的, 锚杆一端有螺纹钢套管, 能使锚杆扩张, 如图64所示。

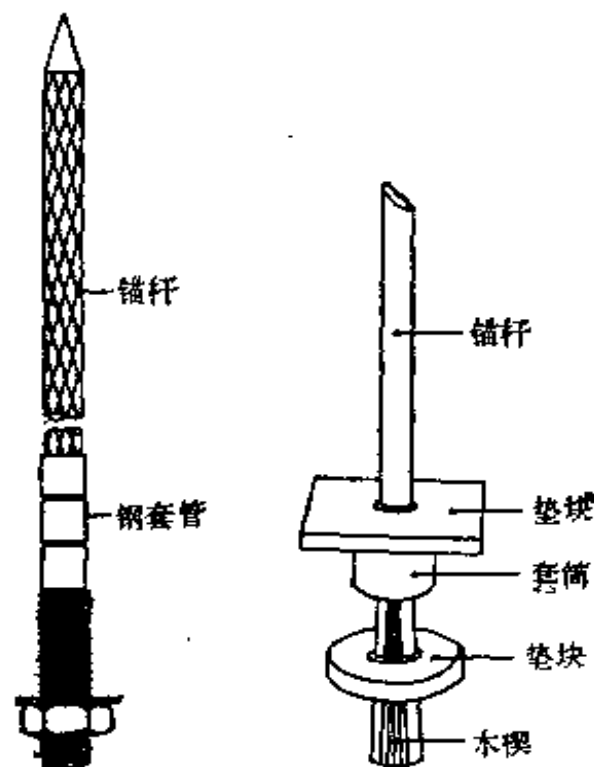


图 64 玻璃纤维树脂灌浆岩石锚杆

由于锚杆支护领域迅速发展和新型锚杆不断涌入市场，维持现状是不可能的。因而，重要的是正在应用的实用锚杆，要遵照制造厂的说明和作业程序来操作。

当完成锚杆支护后，必须与安全规程相一致，保证满足安全方面的要求。

6246-400
6246-400

633034