目　录

前　言

绪　论 …… 1

第一章　锚杆组件 …… 4

锚杆钢材 …… 4

支承垫钣 …… 6

锚条、钢丝托网及洞顶拉条 …… 14

第二章　第I类锚杆——速支（施工支护）锚杆 …… 16

IA　楔缝式锚杆 …… 16

IB　聚酯树脂锚固锚杆 …… 18

IC　胀壳式锚杆 …… 21

第三章　第II类锚杆——永久支护锚杆 …… 26

IIA　多孔管砂浆灌注锚固法 …… 27

IIB　比利时喷浆锚固法 …… 28

IIC　灌注砂浆锚固法 …… 30

IID　聚酯树脂灌浆锚固法 …… 31

第四章　第III类锚杆——快速支护与永久支护相结合的锚杆 …… 32

IIIA　附有抗锈蚀胀壳的不锈钢或热镀锌钢锚杆 …… 32

IIIB　用树脂或砂浆锚固，由不锈钢或热镀锌钢制作的钢筋和圆钢浆形锚杆 …… 33

IIIC　胀壳式空心锚杆 …… 34

IIID　树脂锚固的普通变形钢筋锚杆 …… 34

第五章　第IV类锚杆——模板锚固螺栓 …… 36

IVA 带胀壳的模板拉条……36
IVB 树脂锚固的模板拉条……38
第六章 第V类锚杆——变形锚杆……39
VA 开缝钢管式锚杆……39
VB GD变形锚头锚杆……41
第七章 锚杆的预张拉……43
活络扳手张拉……44
扭力扳手张拉……45
风动扳手张拉……46
液压张拉器张拉……48
第八章 锚杆长度及布置形式的选定……50
有限松动块……50
不张拉锚杆的系统布孔支锚……51
预张拉锚杆的系统布孔支锚……53
岩壁与开挖边坡的支锚……55
锚杆的布置形式……58
第九章 锚杆的工作原理……62
片状和层状岩石……66
块状岩石……67
破碎岩石……69
夹泥裂隙与挤压破碎带……71
山岩压力问题……73
第十章 特种锚杆体系……80
桁架式锚杆……80
玻璃纤维锚杆……80
超前锚杆……81
塑料胀壳锚杆……82
玻璃纤维树脂灌浆锚杆……83

绪　论

本书目的在于介绍采矿和隧洞开挖中岩石锚杆支护的实践知识和理论问题。在采矿和隧洞开挖两项作业上存有十分显著的差别，使读者了解到这一点是很重要的。前者关心的是矿石开挖的数量，而开挖后所形成的洞室则居次要地位；尽管如此，矿石开采仍然把洞室的最优化作为目标，以便得到最多的矿石获取率。可是在隧洞开挖中则不是这样，其首要目标是挖洞，而对石碴的开挖数量是不感兴趣的；只有在很少场合，如当石碴要用于筑堤或铺路时才有所例外。

在采矿中，开挖过程须随矿脉分布而转移，没有选择地质条件的余地。这就经常带来了许多岩石稳定问题。在隧洞工程中，为了适应地形地质特性，客观环境允许我们在选择洞线和断面形式上可能有较大的选择余地。这时我们就可以获得优良的洞址和走向，以减少诸如剪切破碎带等所引起的麻烦问题。

岩石锚杆支护特别在采矿业中应用最多，起先主要是用在通常具有层状地质构造的煤矿里。

1872年，首批锚杆在英国北威尔士的一家板岩采石场中投入使用。约在本世纪初，锚杆支护技术传进了美国，不过人们对接受这种新型的岩石支护技术并不很感兴趣。这主要是同矿业公司的保守性有关；也由于当时对锚杆究竟如何工作缺乏了解。

经历了五十多年后，锚杆已成为一种支护手段而为人们

所采纳。在挪威，苏利吉玛是最早使用锚杆矿区的先驱之一。在战后初期，人们以所谓“悬壁缀合”法加以介绍，锚杆被视为一种既经济又实用的支护方法。1950年至1955年，锚杆支护使美国的一大批采矿企业发生巨大变革。到了1951年，锚杆应用范围扩大到500个矿，其中煤矿占了450个，它取代了坑道支撑。

随着锚杆支护的广泛采用和传播，西弗吉尼亚州煤矿的事故显著减少，随之煤产量则大幅度上升。再则，由于取消了支撑体系等，通风条件也得到了很大的改善。

无用置疑，倘若没有引进锚杆技术，则势必会有大批矿区因安全和经济上的问题而被迫关闭。

美国和南非一直是锚杆支护的先驱者。南非矿区每年大约要用850万根锚杆；而美国的锚杆年消耗总数已达1.2亿根。

今天，锚杆支护已成为一种十分有效又经济的支护手段而为人们所普遍采用，早先普遍使用的坑道支撑几乎已被淘汰。在各种矿山，尤其是煤矿中，很少有别的措施能代替锚杆支护；但在隧洞开挖中，则可以使用喷射混凝土和衬砌混凝土支护。在挪威，总的来说，钢木结构的坑道支护已十分鲜见。

纵然锚杆支护对采矿行业最关紧要；但这种支护手段现今也已在厂房、隧道、公路和铁路的路堑以及水坝基础等领域得到了应用。在这些支护体系中，有一部分是属于永久性支护，且为保护锚杆不致锈蚀和维持预先施加的张拉力，通常对锚杆进行灌浆；另一部分是采用锚杆作为快速临时性支护，然后再用其他支护措施予以补强。

作为一种支护手段的锚杆支护与传统的木架支撑、钢拱

架支撑以及其他各种形式的现浇混凝土等在支撑方法上有着根本性的区别。传统式支撑往往是一种被动式支撑，当岩石开始变形时才开始支撑荷载。

因此，被动式支撑允许大小裂缝有少量的发展和张开，支撑体系必须承受松动岩石的一部分重量。

把锚杆视作一种支撑手段，因为它们是一种安装在钻孔里、因而成为与岩石结为一体的内部组成部分，能承受所发生的力及变形，并阻止力与变形的发生。未经张拉的锚杆处于被动工作状态，即便如此，它与其他被动式支撑体系仍有区别。

当锚杆被张拉后就成为主动式支撑了，因此从安装后它就产生功效。岩石的变形就可减少或防止，裂缝受到遏制。作用在岩石缝隙面上的正压力一加大，自然摩擦力就可被利用来产生更大的效果。无论哪一种锚杆，都存在着锚杆与岩石两者之间的相互作用。这一特性对那些悬壁面必须受到支撑，而且撑柱的沉陷量也很大的煤矿带来了特有的好处。因为就地维持悬壁面稳定不动只需要相对较小的力量，但撑柱的挤压力却常会超荷并导致支撑的破坏。

第一章 锚 杆 组 件

从本章开始至第五章，我们致力于对现有的各种锚杆类型及其特性作一系统分类和描述，同时也论及锚杆的每个组成元件。一根完整的锚杆虽然有多个组成元件，而不同型式、尺寸、并由许多制造厂家制造出的各种锚杆也是五花八门，但是在理论上可供选用的锚杆的基本类型并不是那么多。

因此，可能的装配组合方案是很多的，但在实用上，由于受技术条件和经济因素的限制，组合类型的可用数量并没有那么多。

不过，在目前现有的那些在技术上经济上都较优越的锚杆类型，其可供利用的各种可能性却尚未被使用者充分利用。

锚 杆 钢 材

经常用于岩石锚杆的圆钢常采用标准质量产品，其直径为19mm，两端车有螺纹，并与各种类型的胀壳配合使用。

从世界各国锚杆研制的演变情况来看，已朝着高强度、小直径的方向发展。

与过去不同，现阶段锚杆绝大部分采用直径为16mm和18mm的规格，抗拉强度❶为60～70kg/mm²、屈服应力为

---

❶ 原文为kp/mm²，疑为kg/mm²之误，原文的后文中多次出现这种情况，均同此处理，不再特别注明；与法定计量单位关系，1kg/mm² = 9.8×10⁶Pa。——译者

40～50kg/mm²的圆钢制作。但人们可以看出材料比过去强度高、质量轻和廉价，同时采用滚压螺纹，这几点就是导致锚杆与过去不同的地方。

除了热镀锌钢锚杆，近几年来它已有一批可观数量被安装使用之外，不锈钢锚杆也已研制成功，并在北欧斯堪地纳维亚市场上销售。这种不锈钢叫铬铝合金钢；其品质近乎西德工业标准DIN1.4021的规定，最低含铬量为13.5%，有光泽，拉断应力65～80kg/mm²、相对伸长15～18%，供应的标准直径为ϕ16mm。

此外，具有抗盐水和抗酸侵蚀的铬、镍合金钢锚杆亦已问世，其拉断荷载和相对伸长率与铬铝合金钢相同。

对变形钢筋●锚杆，主要供应直径为20mm者，但直径为24、30甚至36mm的，也已有供应，单根破坏荷载已可达50t●。

变形钢筋车制螺纹前需先去掉齿纹或凸节后才可加工，因而增加了费用。这类锚杆大都作为通孔灌注砂浆或端头用聚酯树脂锚固的锚杆。用作临时性支护时用不镀锌的钢锚杆；用作永久性支护时用热镀锌钢或不锈钢锚杆。变形钢筋也有用不锈钢制作的，叫铬铝合金变形钢，其性能同不锈圆钢。

岩石锚杆所用钢材及其生产制作过程都经受严格的质量控制。所有交货需附有钢厂的质量检验证书。

普通锚杆的承载能力示于表1。

● 变形钢筋即竹节钢筋、螺纹钢筋、异型钢筋等的通称，一般多用竹节钢筋。

● 原文为50MP(Tons)，其中MP疑为Mg之误。——译者

表 7　　变形钢锚杆及圆钢锚杆的屈服、破坏荷载❶

锚杆直径 (mm)		钢筋 KS 40S (t)	钢筋 KS 50S (t)	竹节钢60 (t)	圆钢 ST 70m (T)
16	屈服				14
	破坏				18
18	屈服				18
	破坏				23
20	屈服	12	15	19	22
	破坏	18	22	24	28
24	屈服			39	
	破坏			34	
25	屈服	18	23		
	破坏	28	35		
32	屈服	30			
	破坏	45			

支承垫钣

往年，已有多种型式的支承垫钣供应，最早用于岩石的是方形平钣，后来便是圆形钣、三角形钣、矩形圆球面钣以

❶ 联邦德国工业标准(DIN)中有三种表示钢号的方法，其中的一种是按材料强度的表示方法。表中最上端表头中的第二行即是用这种方法表示的钢号。这种钢号的主体部分用强度表示，如st40表示钢的抗拉强度为40kg/mm²，主体部分前的字母表示这种钢的冶炼方法或原始特征的缩写字母，如K表示磷或(和)硫含量低，S表示可熔焊的，主体符号后面用表示保证范围的数字代号及处理方法的缩写字母，如钢号末尾的S表示经消除应力退火的，但表中的钢号都把st省略，如KS40S为KSst40S之略。——译者

及冲压成球面而上开槽孔的平钣，直至著名的最新式样——圆锥形钣（名为“富士”式），见图1。我们并不打算对所有各种过去和现在的垫钣的用途和类型加以一揽子描述。

作为临时支护或临时支护与永久支护相结合的岩石锚杆均需装上支承垫钣。

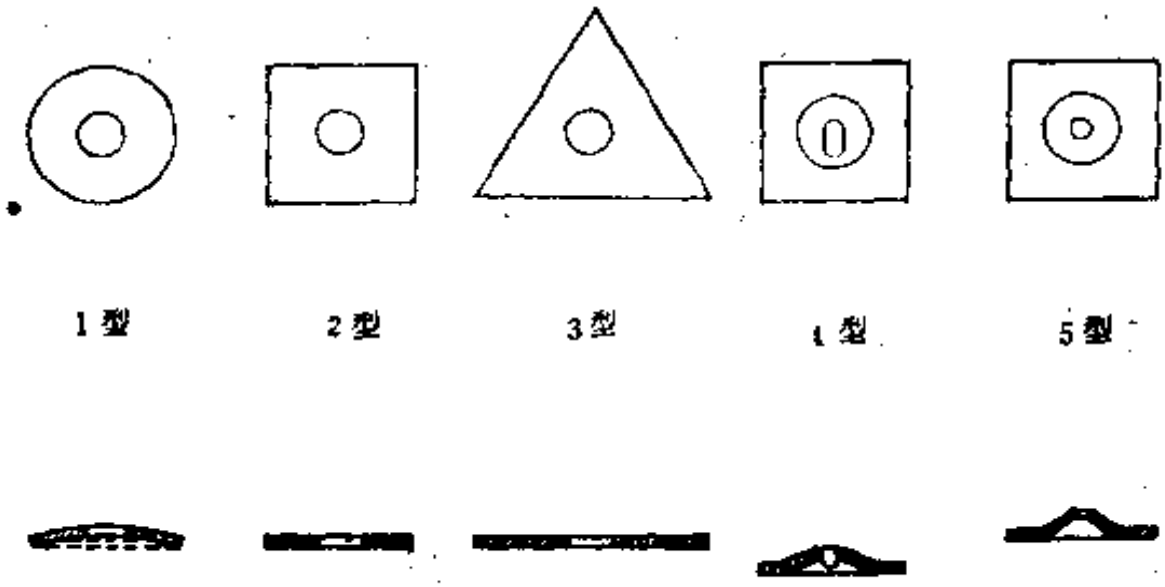


图 1　支承垫钣类型

用作永久性支护，用不锈钢或热镀锌钢制作的钢筋锚杆，若采用树脂锚固或全孔用掺有速凝剂的砂浆灌封锚固时也须装上支承垫钣。

如今，工程实用上对所有这些锚杆都要或多或少地进行张拉或施加预应力。无疑，在大多数场合下，垫钣型式的选择具有十分重要的意义。

对锚杆施加预张拉或预应力的原理即是把岩内锚固端到岩面垫钣之间这段锚杆拉紧。当采用系统布孔支锚来防止松动岩石脱离稳固岩体而滑移时，需要装上支承垫钣。支承垫钣的性能与锚杆的性能应该相符合。可是直到现在，能把垫

钣的承载能力和变形的重要意义充分估计到的人还不多见。

比如，使锚杆持有30～40t的锚着力而支承垫钣却在10～15t荷载时就告破坏，为什么要这样干呢？

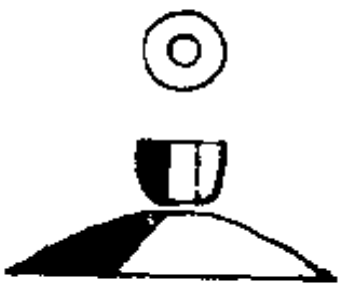


图 2　1型球面支座

当垫钣的角出现向上翘曲时就预示着破坏的发生，如拼方。平面垫钣与岩石表面呈点状接触，常导致岩石被压碎而使锚杆失去荷载。若垫钣太薄则易随锚杆被拉进孔内，产生边角离开岩面而上翘，参见图3。试验和实践都表明，圆盘形垫钣是很合适的形式。

安装时，垫钣凹面反扣在岩面上；当锚杆张拉力达5～6t时盘形钣就被压平了，见图2、3、4所示。这样的结果是垫钣与岩面的接触好，表面的压应力也低。

表2给出了在锚杆受到10t张拉力时每种类型垫钣下岩面的压应力值。在岩质较软的地方，要避免使用三角形垫钣，因为尖角易压碎其下的岩石，并陷入岩石中去；而在岩质较硬时，其使用情况就好得多了。当附近有爆破时，不同形式状态的锚杆会产生不同程度的轻微弹跳，但在垫钣与岩石接触面上的压力却如此之大，以致它能导致岩石受到过度的挤压而破坏，最终导致锚杆张力下降，其下降程度视岩石的坚硬程度而定。

关于锚杆的张拉见第七章。为确保维持锚杆的张拉力，对于用胀壳式锚头和平垫钣的锚杆，爆破地点距已锚部位应大于20m。

若采用圆形有球面突起的垫钣，则相应的爆破安全距离

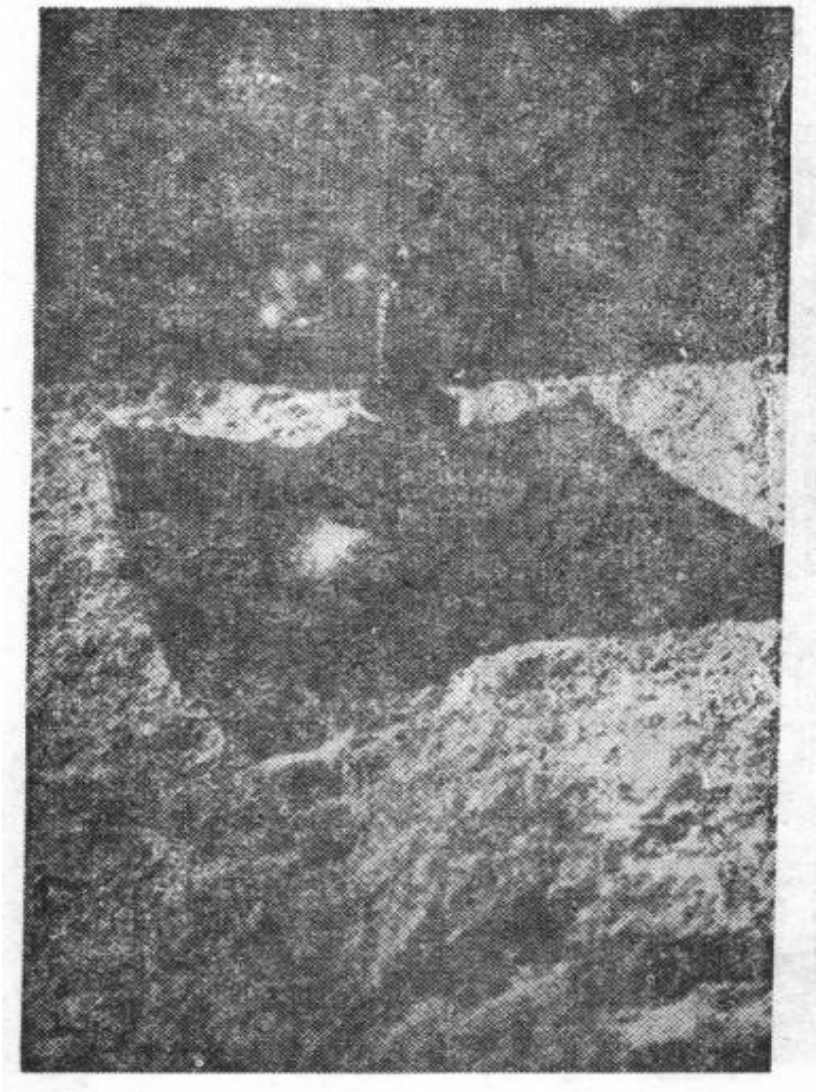


图 3　四角翘起的薄弱垫钣

可缩小到10m。

若采用聚酯树脂锚固，则平垫钣与圆形带球形突起垫钣的爆破安全距离分别为8m和3m。

上述安全距离系由挪威岩石爆破技术学会试验得出。不过，上述安全距离还与岩石的坚硬程度及锚杆的尺寸有关。当然，锚杆可以而且经常直接拉紧在岩面上就算了事，可是爆破后理应对锚杆进行再次张拉才是。

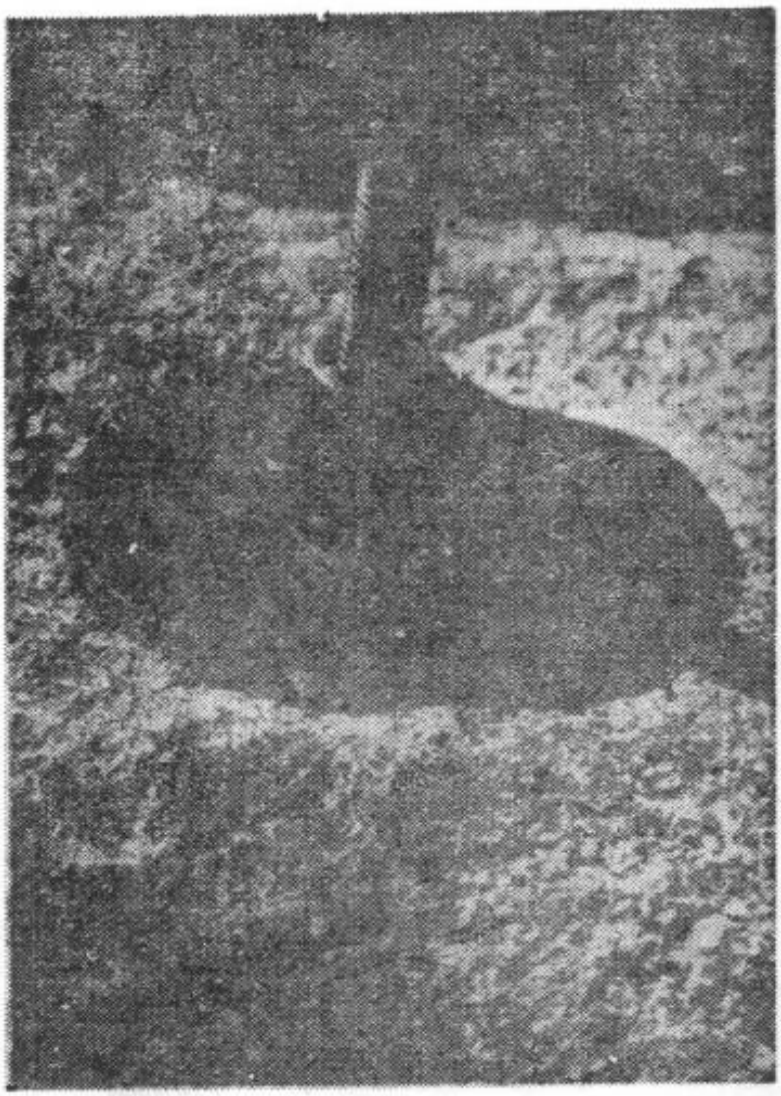


图 4　张拉适度的圆盘形垫钣

当洞内发生严重坍方时，可用边长达 60cm 的三角形大垫钣锚杆，见图 5 。这样，即使用普通布孔型式锚杆也能确保洞顶有很大一部分面积被垫钣所覆盖。这种大垫钣支锚形式的本身就已经显示出是一种有效的支护方法。这也是在盘形垫钣不适用的条件下，少数几种可供选择的方法之一。

图 6 所示为奥地利的一种新型垫钣，它最初在新奥法支

表 2　　各种垫板承载能力的差别

垫板型号	单　位	1	2	3	4	5
垫板尺寸	mm	φ125	125×125	350×350×350	125×150	125×150
垫板厚度	mm	6	7	7	7	7
接触面积	cm^2	28.48	23.57	23.57	40.25	44.76
压 应 力	kg/cm^2	351	424	424	248	223
推荐的荷载	t	10	8	8	14	18
垫板变形情况		垫板内部边缘出现裂缝，半球形螺垫被压入垫板内	垫板四角翘起离开岩面	垫板三[①]只角翘起离开岩面	垫板四角翘起离开岩面	垫板四角仍紧贴岩面，螺帽及锥座均无变异

① 原书中此处为“四”，显系“三”之误。——译者

护中应用。这是一种方形垫板，中间冲压出一个球面，面上又开一槽孔，螺帽下设置一个螺垫。

图 7 所示为一种1978年 5 月在市场中出销的最新式垫板，名为“富士”垫板。

这是一种正方形或长方形钢垫板，中心冲压出一个圆锥面，面心设一锥形孔座。

螺帽的承压面大致为一半球面，以使螺母与锥形孔座接触严密无隙。这种垫板对圆钢和棱形钢锚杆都同样适用。

同时，锚杆的端头螺纹采用锻压制作，使锚杆不仅能为螺纹所固定，而且也被摩擦力所固定。

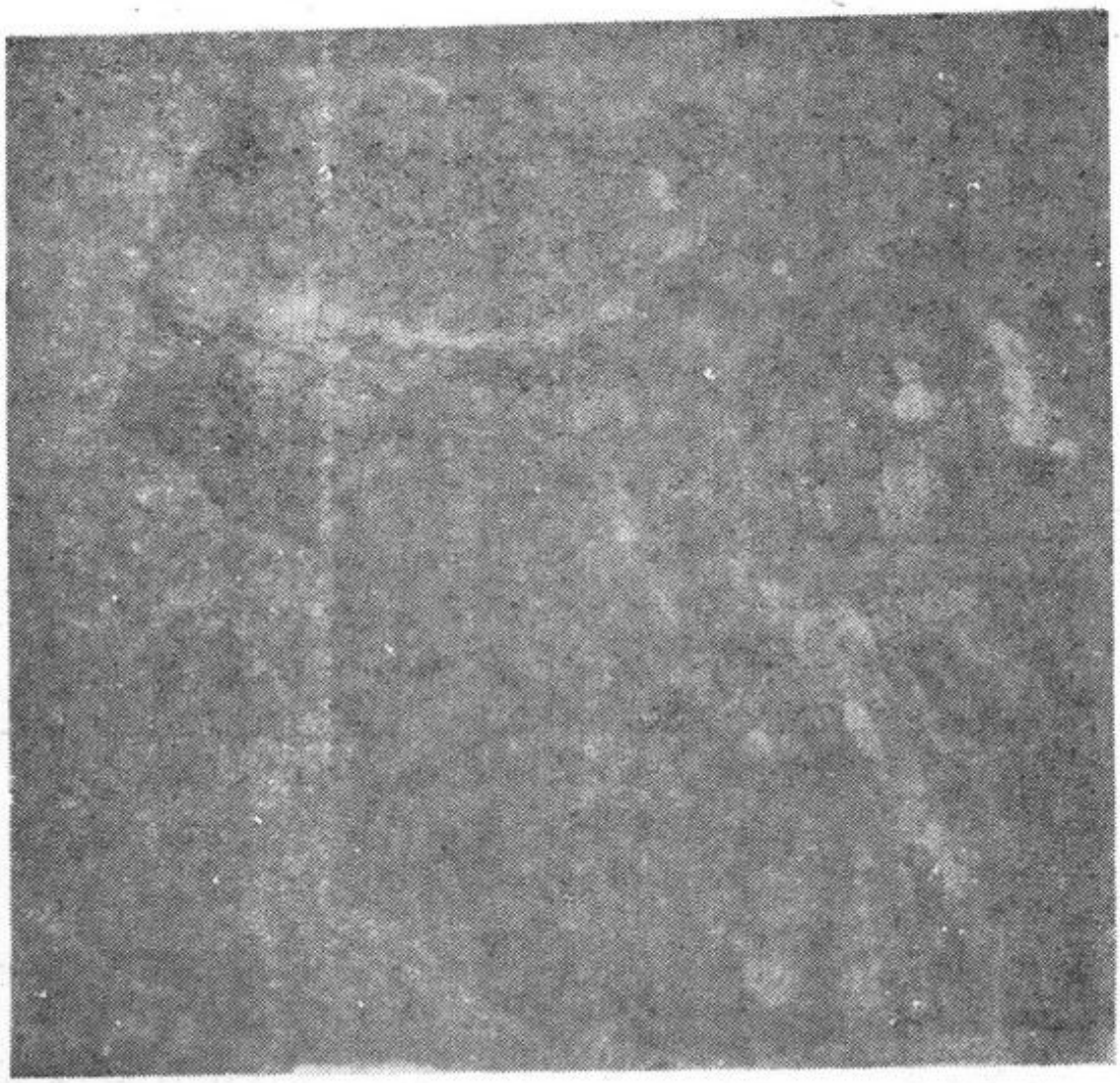


图 5　用三角形大垫钣支护坍方区

用锥形垫钣与同厚度的其它垫钣相比较，它可获得更大的承载能力。

螺帽高度的加高也同样可提高承载能力，见图 7。

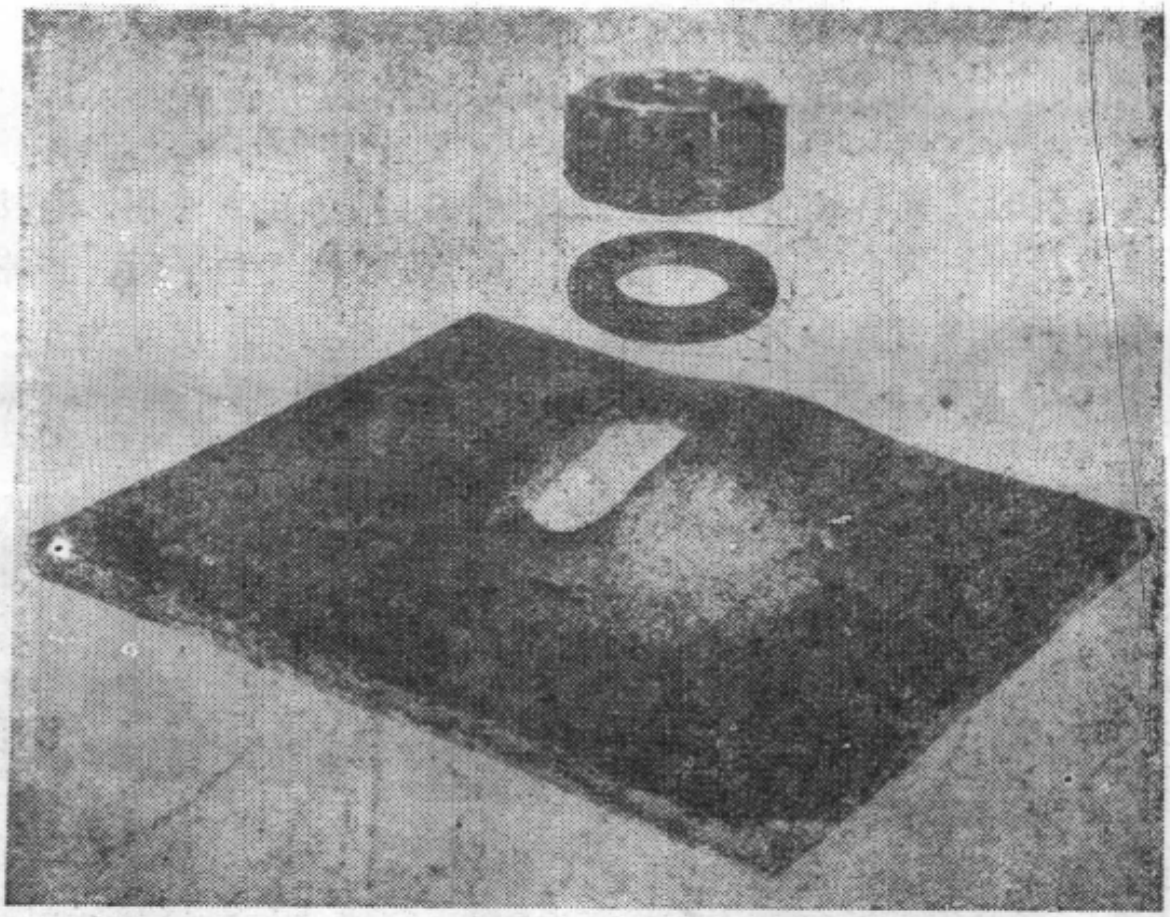


图 6　GD型垫钣

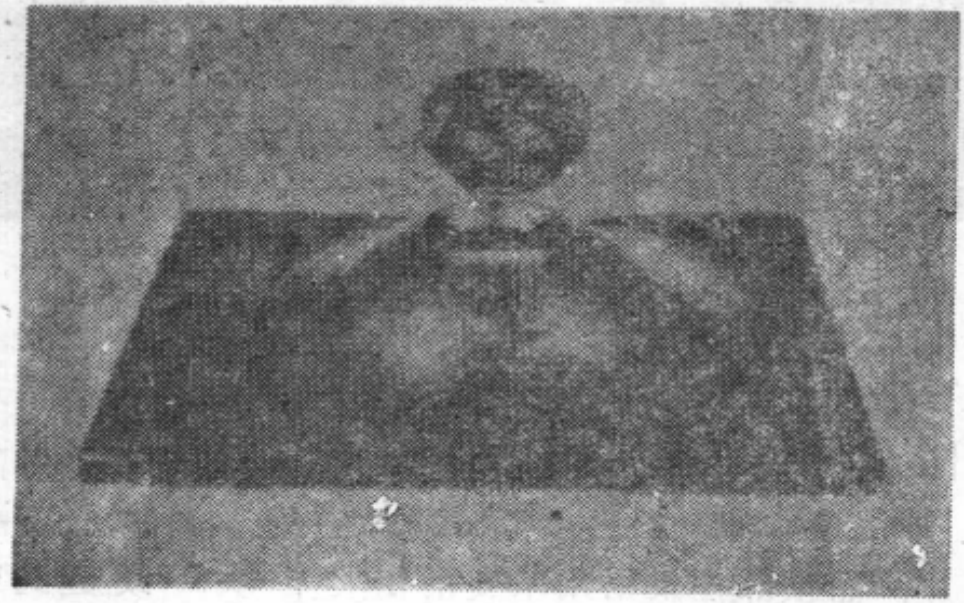


图 7　GD锥形垫钣（“富士”式）

锚条、钢丝托网及洞顶拉条

有时，锚杆还要和锚条、钢丝托网结合起来使用，直接铺设在岩石表面作为一种常用的施工临时性支护手段。最常用的钢丝网由直径为2.7mm的粗钢线织成。网眼尺寸为5×5 cm，见图8所示。

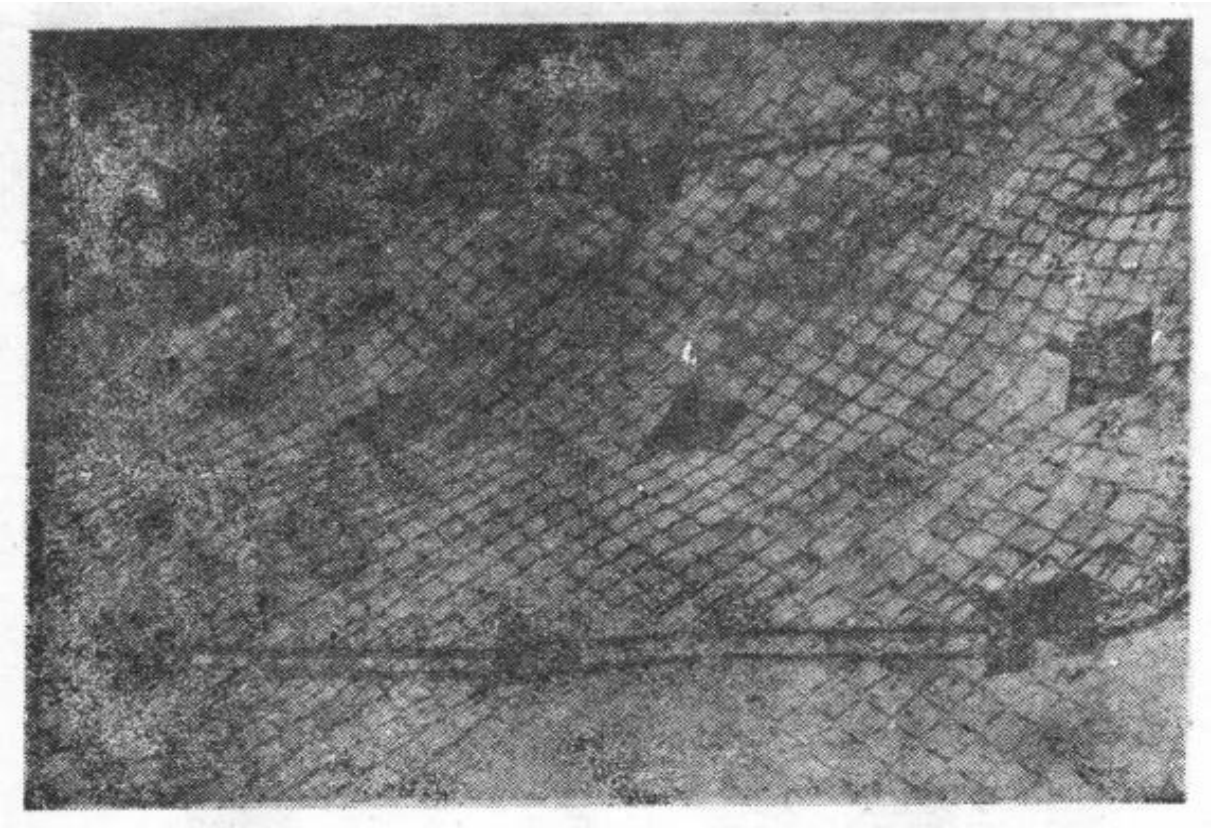


图 8　洞顶拉条和钢丝托网

岩石锚条，一般为长2 m、宽10cm、厚5 mm的钢条制成，见图9。沿长度方向每隔15cm（中心到中心）开一个7.5×2.5cm的槽孔。钢丝托网主要是用来兜住下落的小石块或石片；而顶部拉条则用来支吊住大石块；或起到所谓“缀合”的作用，见图10。

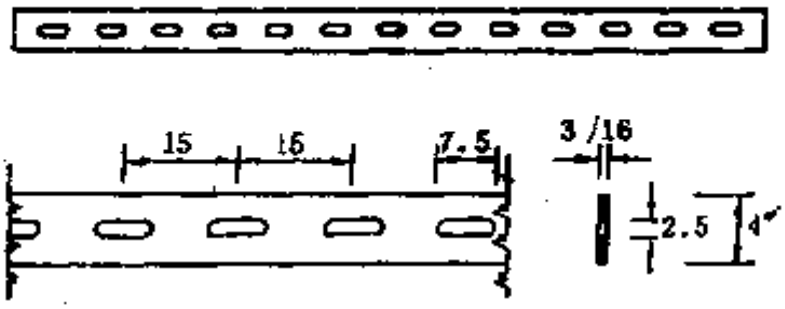


图 9　岩石锚条



图 10　GD顶部拉条

第二章　第I类锚杆——速支（施工支护）锚杆

本章将按照技术原理的不同对锚杆进行分类。

对于起快速支护的锚杆须具有实用、操作简便、并一经装上就能立即发挥其支护功能的特点。这种施工支护锚杆常要考虑到用在紧靠要继续开挖的邻近工作面上时，承受以后爆破时传来的附加作用力。

所有这类锚杆都配有支承垫钣，并在锚杆内端装有一个快锚结构，通常，尚应对锚杆施加张拉力。这类锚杆各种型式之间的相互差别，就在于用什么型式的锚头上。基于这类锚杆有被锈蚀的危险，故这类锚杆仅考虑作为临时性支护。

IA　楔缝式锚杆

第I类锚杆中的一种型式便是楔缝式锚杆，如图11所示。这种锚杆是在杆的一端沿杆身纵向开一条数厘米长的缝口，缝内插上一只铁楔。锚杆插抵孔底后，用铁锤打击锚杆的上端部，孔底迫使铁楔进一步嵌入缝口内，张开劈口卡紧孔壁。由于这种锚固作用不甚可靠，现在这种型式的锚杆已很少使用了。只在某些特定场合，如孔眼螺栓、地脚螺栓及吊杆等还有少量使用这种锚固法。

图12表示一种叫“基拉那”（Kiruna）的锚杆。这是

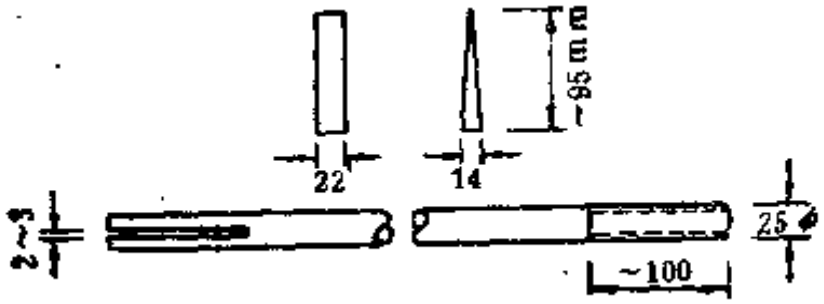


图 11　楔缝式锚杆

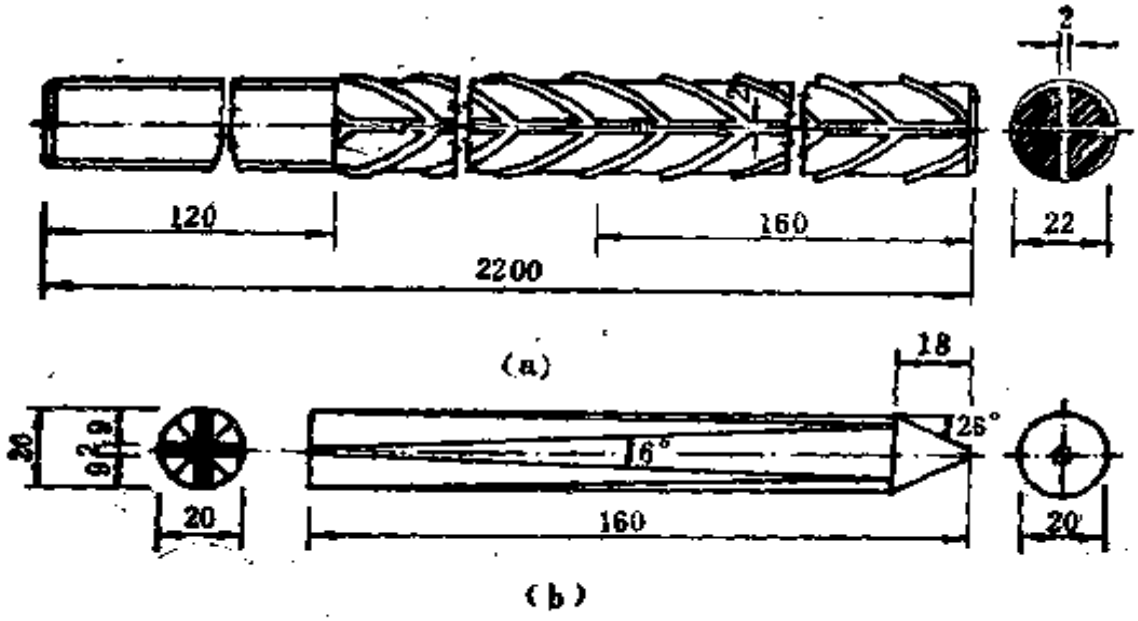


图 12　基拉那锚杆

一种特殊的楔缝式锚杆，其用途仍十分广泛。它有一个十字形缝口，并配有相应的双向楔子，能使杆端劈口在两个平面上张开，因而优于单楔式。纵然如此，这种锚杆的工作可靠性仍不如后面要介绍的其它锚杆优越。

IB　聚酯树脂锚固锚杆

在挪威，目前有德国产和英国产两种包装型式的树脂包装锚杆出售。德国出售的是用一只玻璃管包装；英国出售的是用一只塑料管囊包装，见图13所示。

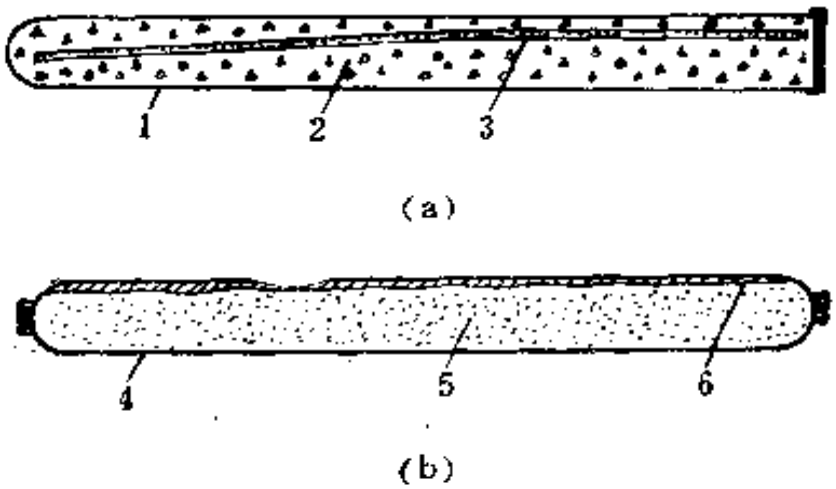


图 13　聚酯树脂包装

(a)德国型；(b)英国型

1—玻璃管；2—树脂及石英砂；3—玻璃管内装固化剂；4—塑料管囊薄膜；5—固化剂；6—树脂及岩粉

德国型的包装，玻璃管内装有聚合树脂及石英砂，固化剂则装在外管里面的另一根密封薄玻璃内管内。当锚杆插入孔底时，便将预先装在那里的玻璃内外管捅碎。为防止钻孔中玻璃碎片垂直方向飞出伤人，还需设一橡皮挡圈。这种德制玻璃管装树脂的固化时间在10min以上。玻璃管装树脂存放的有效期可达数年。

英制的薄塑料管囊，树脂内满装着岩粉和树脂的混合物，固化剂则放在树脂和塑料袋内壁之间，并紧贴在内壁上。

由于在树脂和固化剂的交界面上发生化学反应，便生成

固化膜而将树脂和固化剂两种成分隔离。这种英国式包装的树脂固化时间在 2 min以上，保存期约 6 个月 左右。由于它的反应速度和温度有关，故宜在低温下储存。最近，又有一种包装的树脂已在市场上出售，它的固化剂被装在一只插在树脂中间的塑料薄膜管内。这种包装的树脂的有效存放期可达一年左右。

树脂锚固法的原理，是先借助圆钢或变形钢制作的锚杆将包装树脂推入锚孔底部，然后开动与锚杆外端相联接的钻机，在锚杆旋转时一面向内钻进，一面将树脂包装搅破并使树脂、填料及固化剂拌和起来。锚杆转速应 控制在120r/min。锚杆推至孔底后须继续转动20～30s。待树脂 达 到所需的固化时间之后，即可装上垫钣拧紧螺帽并对锚杆施加张拉。树脂的硬化过程亦能在水湿环境下进行，以致此法能适用于水下作业。试验表明，为加强树脂与锚杆间的握裹力，常需在锚杆端部表面车设齿槽或螺纹以形成起嵌键作用的表面。

由于树脂包装须在锚杆转动中将它压在孔底搅破，故孔深与锚杆长度必须配合准确。锚杆落底的端部需加工成凿形刃口，以确保树脂包装能被充分搅碎。试验表明，若锚杆端部为齐头，那末，树脂包装的塑料薄膜就会搅不碎而缠绕到杆上，从而严重妨碍树脂与锚杆间的粘结。如果锚杆采用车有螺纹的圆钢，那末，螺纹必须是左旋式的或者锚杆作左旋式转动，这样才可使树脂不致溢出孔口。钻机与锚杆连接的最简单形式是把一个螺母焊在一根直径为 10mm的钢筋上。通过对树脂锚固锚杆的试验表明，尤其是在软岩条件下，树脂锚固力要比胀壳的机械锚固力大，见图14。需要指出，锚杆的锚着长度在软岩中应比在硬岩中长一些。

为使树脂粘住锚杆获得最佳效果，锚孔直径应比锚杆直

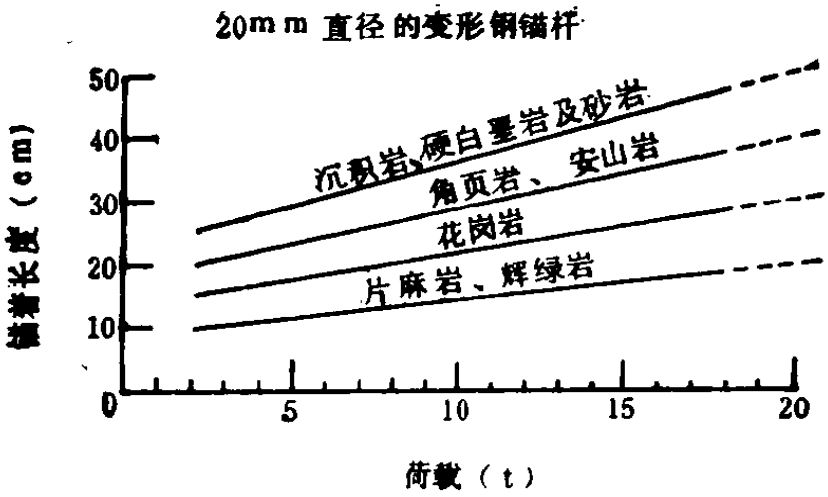


图 14　树脂锚着长度与承载能力关系

径大 8～12mm。还有一点也很重要，即在安装前要将孔内的钻屑清理干净。

现场荷载试验表明，在达到规定的固化时间后观测，钢筋锚杆用英、德两种包装树脂锚固时，在未屈服前均可承荷到13.5t。破坏荷载可达18.5～20t，破坏断面发生在螺纹段，见图15。

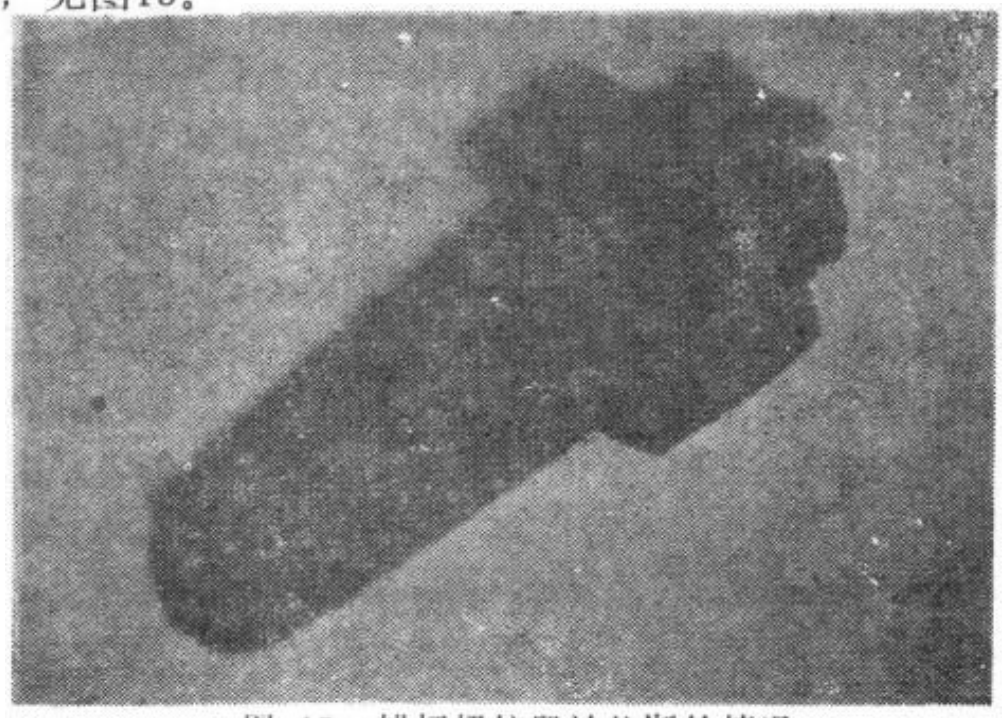


图 15　锚杆螺纹段被拉断的情况

在允许使用单根树脂锚杆锚固的条件下，其费用大致与一只胀壳锚杆相同。

灌注砂浆的GD型锚杆的预应力采用GD-TOPAC法施加。

GD-TOPAC包装是一根两头封闭的玻璃管，内部装有瞬时硬固的速凝剂。这是一种特为锚固砂浆加陶粒而研制的产品。使用时先将该管送入锚孔底部，然后灌入这种砂浆，待孔内灌满后，再将锚杆用力推入，将底部玻璃管击碎。

速凝剂与周围的砂浆混合，数秒钟内便能在杆端凝固。

GD型锚杆在数小时内即可施加预应力，见图16。

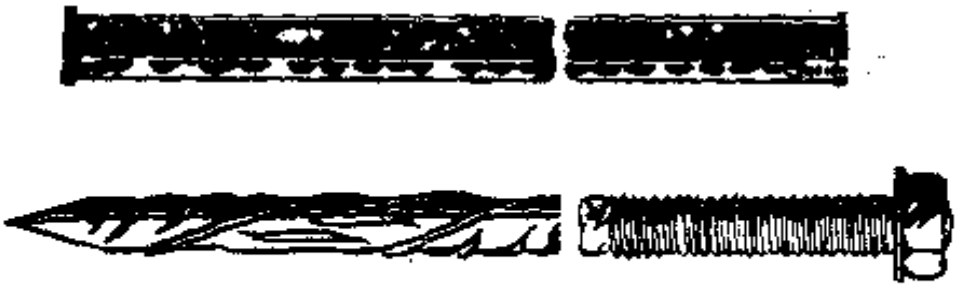


图 16 GD-TOPAC锚杆

IC 胀壳式锚杆

无论在挪威还是在其它国家，用于施工支护的岩石锚杆，最常用的要算胀壳式锚杆了。胀壳是一种既简单又可靠的机械装置。纵然胀壳的型式及制造厂家很多，但归纳起来，其构造无非是两大类型——瓣壳型与套筒型（图17）。该图仅为这两种型式的原理示意，因为各种锚杆直径和孔径不同，每种胀壳型式又有多种尺寸，不能详细示出。

胀壳的制作材料可以是铸铁或钢材，并有不同的长度及

不同的其他尺寸。

上述两种胀壳的工作原理都是一样的，都是因位于两个带有板牙纹的瓣壳之间的锥形螺母被推挤向下，以便压紧孔壁的。

因此，它与前面介绍过的楔缝式锚固方式基本相同。它们之间仅有一个重要区别——锥形螺帽（楔）总是被锚杆上的螺纹啮住的，以致当锚杆承受荷载时，螺帽就被瓣壳挤紧得更结实了，这就使瓣壳不会超荷打滑，而且，随着锚杆拉力的增加，瓣壳会锚固得越紧。从图17可以看出，瓣壳型胀壳的下端有一箍环，而瓣的上端是可以张开的。

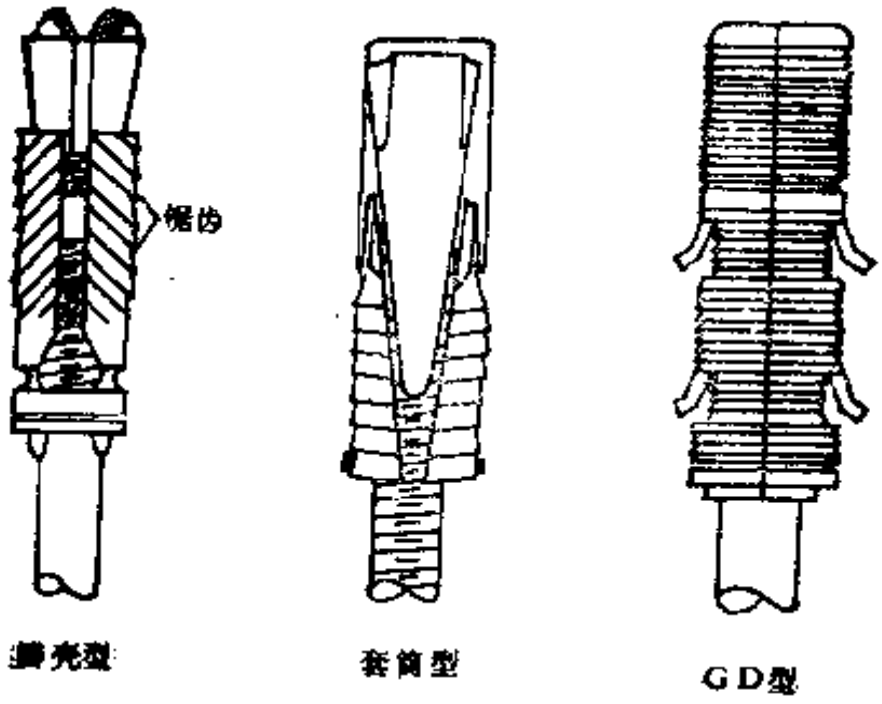


图 17　胀壳式锚头

瓣壳靠箍环箍住；或由锚杆上锻出两只爪耳顶住，以防止瓣壳从杆上下滑，二者都是定位用的。锥形螺帽有两条突出的侧刃正好卡在两个瓣壳之间的缝隙里，因此，螺帽与瓣

壳可一起旋转。安装前，在孔外用手旋转螺帽与瓣壳，螺帽就沿螺纹下行，当瓣壳落到箍环上被顶住时，锥形螺帽也正好落入瓣内。用这样的方法，就可根据孔眼的大小，预先调节好瓣壳的张开程度使之适合于孔径，以便将锚杆恰好插入孔内。插入后还要进一步张开瓣壳以卡紧孔壁，则可用下述三种方法：

（1）使螺帽上的两只凸齿顶压在孔底上，当锚杆转动时，螺帽就在孔底固定不动；而瓣壳则受挤压顶着螺帽上移并逐渐张开而卡紧孔壁。

（2）若锚杆不插到孔底，则在未插之前要用手先将瓣壳适当张开使之正好能与孔壁接触产生一定的摩擦力。这样转动锚杆时螺帽与瓣壳就能固定不转了。

（3）在瓣壳上的锯齿纹之间装有薄弹簧片，见图17中的锯齿纹。弹簧片的外端能卡住孔壁，把螺帽与瓣壳固定在某一位置上。这时，情况就与第2种相同。

当用上述方法中的一种，使瓣壳贴紧孔壁后，则瓣壳的进一步张紧就得借张拉锚杆来实现。如果插孔不成问题，那末，若采用瓣壳型锚杆时，宜采用带钢弹簧片的锚头。瓣壳本身也要与锚孔直径配合得当。这就是说，即使遇上用多级变径深孔或旧钻头钻出来的钻孔●时，也要使它能卡紧孔壁。反之，若孔径过大，则会使锚杆的插装发生困难和锚固作用不牢靠。

套筒式锚头如图17所示。它由两片被钢套箍住的活瓣组成，钢套也把锥形螺帽的尾端套在一起。插入钻孔时，可先将活瓣稍微张开，使锚杆插入时能不受妨碍地沿孔壁滑动

● 旧钻头被长时间磨损使其直径减小，因而钻孔变细。——译者

（图18）、待锚头插入孔内就位后，就可旋转锚杆，此时，螺帽被钢套筒箍住，而套筒又被卡在孔壁上的活瓣所固定。随着锚杆的旋转，活瓣就进一步张开。当锚杆插孔就位，螺帽已被挤入活瓣时，通过对锚杆的直接张拉而不转动锚杆也能使活瓣进一步张开。

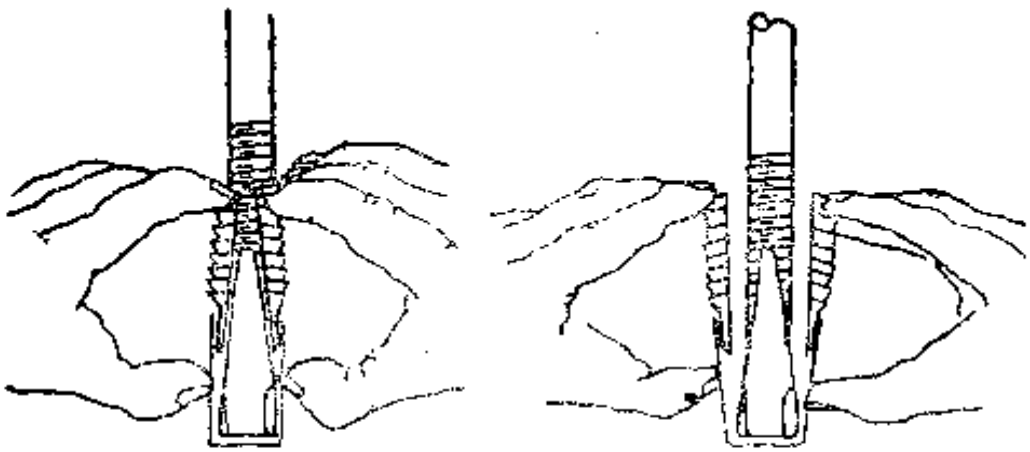


图 18　套筒式胀壳插孔前端与活瓣开度

还有一些特殊型式的胀壳式锚头，如串联式锚头，它由两个胀壳串联而成，用于锚固特别破碎的岩石（图19）。诚然，在标准锚头中，还有一些更适合于某些特殊条件的标准型式。但我们事先难以确定究竟用哪种型式最为有效。最好的选择办法是到现场做直接的拔拉试验。一般情况下，所有标准型式锚头都是广泛适用的。但实际上，往往不是单纯从技术观点去进行选择。

用可锻铸铁制造的特种型式的胀壳对不良岩体或大口径钻孔来说具有很高的承载能力，它有一个张开度可达20mm的胀壳，并在最大张开度时胀壳也能卡得住而不会从锥形楔子上滑脱（图19）。

另一种特殊型式的胀壳——GD型岩石锚杆。它由塑料

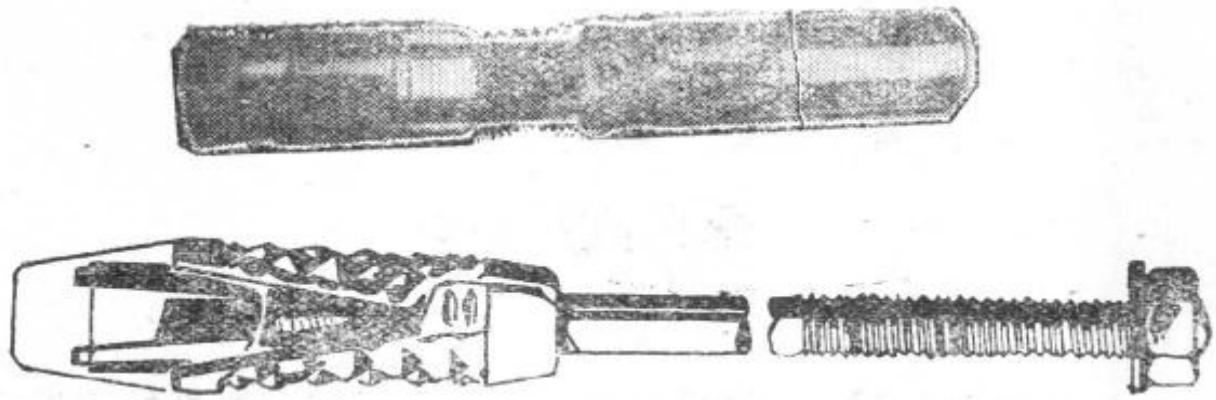


图 19　大锚孔胀壳式串联锚头



图 20　GD型锚杆

复合物制作(图20)。所用楔子与一只箍圈和一个锥形锚头在锚杆上面锻在一起。这种锚杆的优点在于安装简便，不需转动杆身，且承载力大；只要将锚杆稍微拉紧，胀壳就会张开。因此，它能在短锚杆、悬吊通风管道的吊钩锚杆等方面获得应用（见图21）。

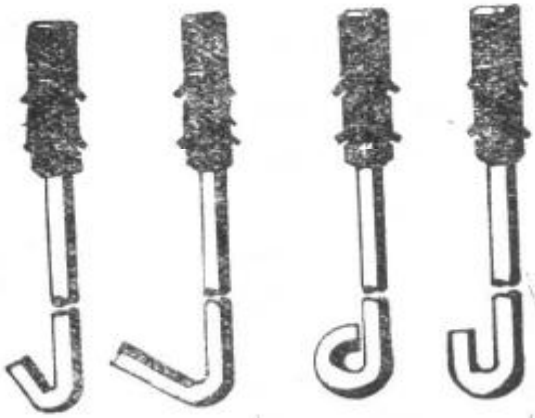


图 21　端钩型式

第三章　第II类锚杆——永久支护锚杆

取决于人们设想锚杆有多长的使用时间和锚杆被锈蚀破坏的快慢这两个方面来考虑采用永久性锚杆或非永久性锚杆。遗憾的是这方面几乎没有什么详细资料可供借鉴。倒是有些未作防锈蚀保护的锚杆反而数年后仍完好无损的事例；却也有另一些例子与此恰恰相反。很显然，锚杆的锈蚀条件随地点变化很大。实践表明，永久性锚杆的意义就是灌注了水泥砂浆的锚杆。

所用砂浆建议采用装在密封防水袋里的预配干拌砂浆，临使用时再加上规定用水量调制而成。不同型式锚杆的主要不同点在于其砂浆的灌注方法不同。锚杆通常是采用变形钢筋制作的，只采用砂浆锚固而不用其他任何锚固方式，甚至不使用垫钣都可以。即使对配有垫钣的砂浆锚杆，通常也不予张拉。由于水泥灌浆需要较长养护期，故这种锚杆不能用于需要立即支护的地方；另外，砂浆锚杆，特别是在养护期内极易受附近的爆破振动而遭损坏。在美国的工程投标文件中往往列有这样的条款——灌注水泥沙浆锚杆的地点距离爆破工作面要在40～50m以上。

使用快硬水泥或外加速凝剂能使砂浆的硬化时间大为缩短。尽管如此，若爆破地点离砂浆锚杆位置太近，则无论如何处理，依然还会破坏砂浆对锚杆的握裹力。

由于岩石自由面的运动并不沿整根锚杆长度分布，而是集中在裂缝或岩石自身表面上，故灌浆锚杆承受爆破冲击荷载时就可能超荷破坏。即使锚杆本身未被破坏，但由于这种原因，砂浆常遭破坏。

配有垫钣螺帽但仅靠水泥砂浆锚固的锚杆是不允许张拉的。这是因为张拉力仅在靠近孔口很有限的长度范围内传递，易导致砂浆的松动或开裂。这也将使孔口岩石表层发生拉力而导致岩石受拉而出现开裂。任何可行的张拉须使拉力沿整根锚杆分布，这就需在锚杆内端装有锚头。而且，张拉须在灌注的砂浆尚未硬化之前进行。

通常灌注砂浆的砂灰比为50/50～60/40，砂浆必须搅拌均匀，砂子最大粒径为2mm，且级配良好。使用时先将灰砂拌匀，然后再加水拌和，对加水量务必仔细认真，这里有一个秘密窍门，就是加进重量为水泥用量2%的膨润土，就能拌制出塑性砂浆。另外也可购买预先包装配好的具有膨胀性能的制浆材料(Befokem EXM Embeco或其同类产品)。对垂直向上孔眼灌注的砂浆，为满足泵灌的要求，其加水量须严格控制。倘若拌和物太稀，则砂浆又会从孔内流出来。

IIA 多孔管砂浆灌注锚固法

此法系使用一个薄壁多孔金属管，管径略小于锚孔直径，并沿长度方向对开成两半。操作时先将这二半分别填满砂浆，然后合起来并用细软丝捆牢两头，如图22所示。继而，将这个填满砂浆的多孔管插入孔内，当钢筋锚杆从管中插进去时，砂浆就从孔壁里被挤出，填塞在管壁与孔壁间的环形断面中去。这种锚杆可配上垫钣、螺帽，用于岩石表面

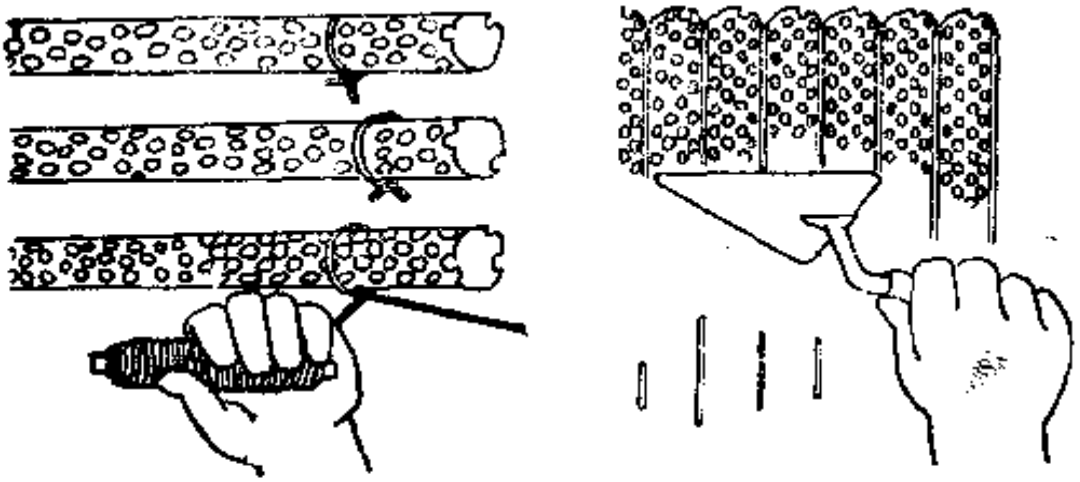


图 22　多孔管中砂浆填灌操作图

支护。若锚杆钢筋无螺纹，则有时亦可用钢丝夹将垫钣卡住。

IIB　比利时喷浆锚固法

比利时喷浆锚杆，顾名思义系由一套比利时喷浆设备往锚孔里喷入水泥浆而得名，见图23、24、25。这套设备装置，由一个锥尖朝下、上部呈半球形的锥形容器构成。半球体内有一朝上的顶盖盖住进口，其周边设有橡皮密封垫圈，借压缩空气顶压保持密封。压缩空气从贮料器上部通入，通常压力保持在2～4kg/cm²。从压力表上读数，并通过一只减压阀来进行压力调节。贮料器底部设有一只带有接头的出料肘管❶。接上软管就可送料到锚孔底部。贮料器内装入砂浆后，借压缩空气把料压向运料软管。软管插入孔底后，再回拉一点以使孔底留一小间隙俾能保持出口始终与填充的浆体表面接触。待孔内砂浆灌到适当数量，即估计锚杆体积加

❶ 原文此处为albow，疑应为elbow(弯头、肘形弯管)之误。——译者

上砂浆体积与锚孔体积差不多相等时，将压缩空气关掉并拔出软管，然后插入锚杆使之就位。这样，安装就算完成。待砂浆凝固后，锚杆就能工作。对那些垂直向上的锚孔灌浆时，为防止锚杆从孔眼向下蠕动，最好在孔口打上楔子，并用棉纱或石棉将孔口堵塞，以防砂浆流下（图27）。

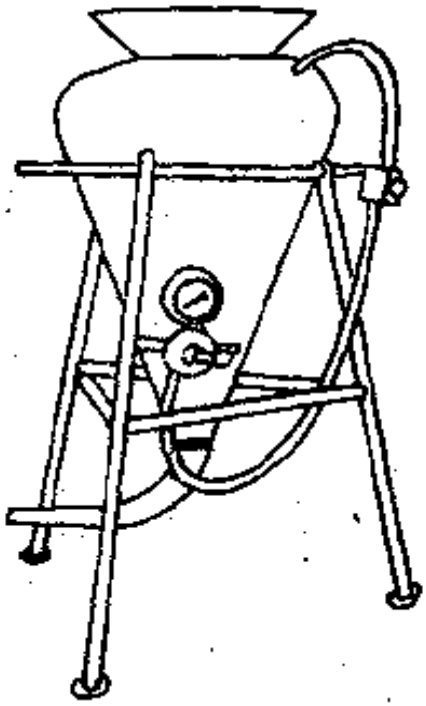


图 23　比利时喷浆泵

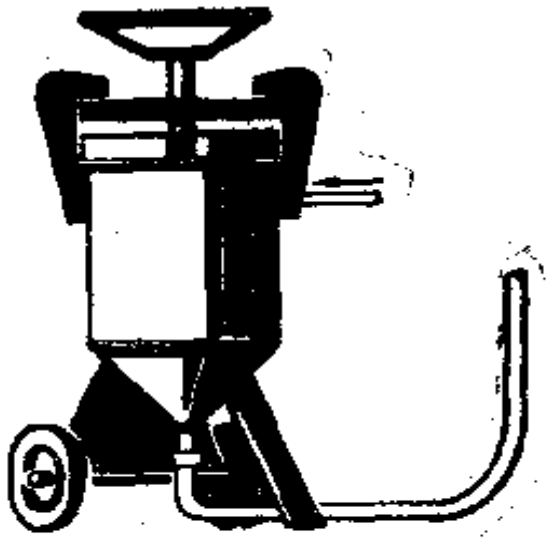


图 24　GD型砂浆泵

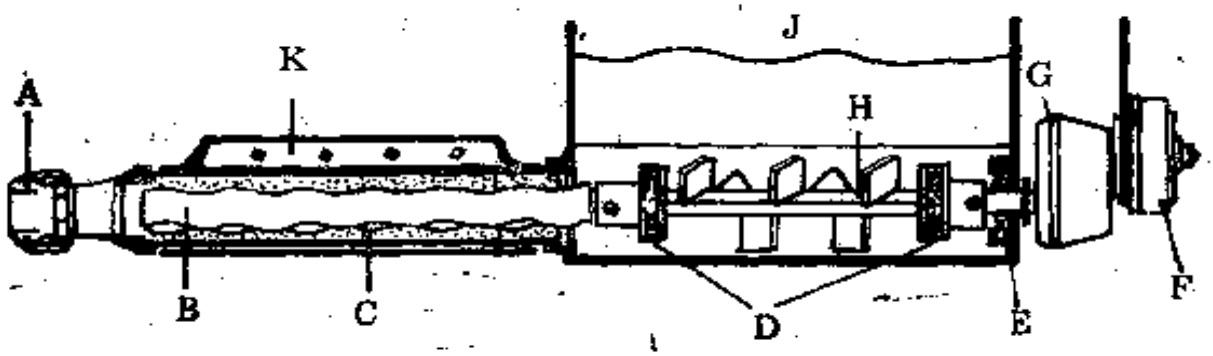


图 25　普茨梅斯特砂浆泵

A—快速接头；B—螺杆；C—可调换的内衬定子；D—驱动轴软联轴节；E—轴封；F—带离合器的皮带轮；G—齿轮箱；H—搅拌器；J—砂浆喂料器；K—可调夹紧装置

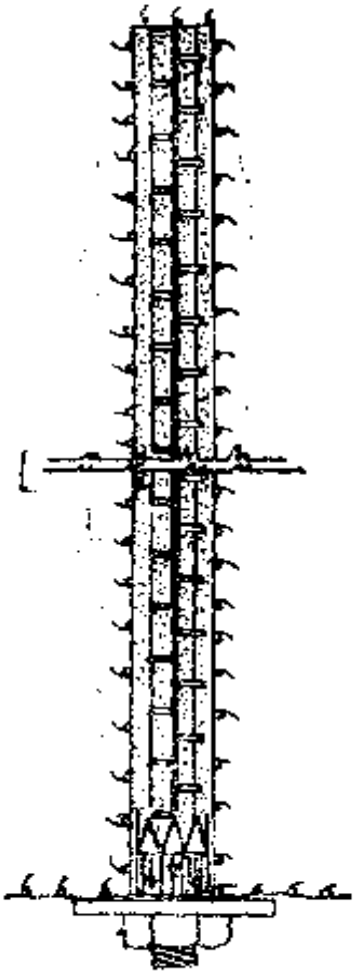


图 26　灌注砂浆锚杆

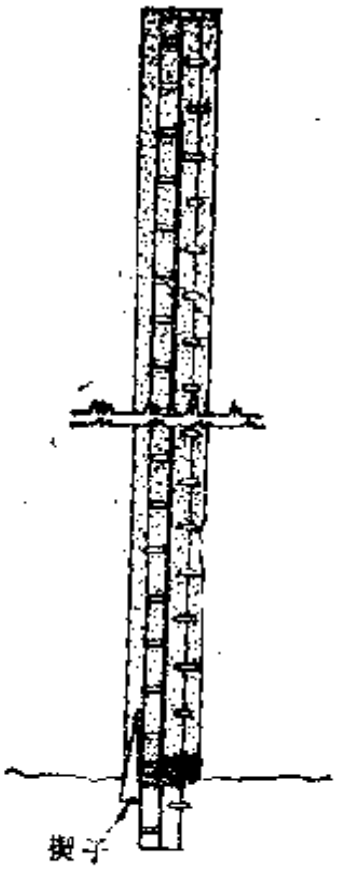


图 27　比利时喷浆锚杆

IIC　灌注砂浆锚固法

上节介绍的喷射砂浆法中，砂浆是靠压缩空气通过插入孔眼底部的软管来灌注的。而本节介绍的灌注砂浆法，则是将软管通过一只薄铁皮接头仅插入孔口10～15cm即可灌注砂浆，见图26所示。注浆前需先将一根半硬的薄塑料管插入孔底，以便注浆时排出孔内空气。当确认砂浆灌满时，拔掉输浆软管，随即插入锚杆。本法所使用的砂浆稠度较前喷射法所使用的要稀一些。

倘若采用GD-TOPAC锚固法，通过预先放入孔底装在玻璃管内的砂浆速凝剂能使底部砂浆迅速结硬，这时其余部分砂浆仍处于软塑状态就能对安装不久的锚杆施加预应力。这样，就能获得有预应力的砂浆灌注锚杆（图28）。这种型式的锚杆特别适用于后面将要介绍的隧洞前部支撑挡板或板桩处。

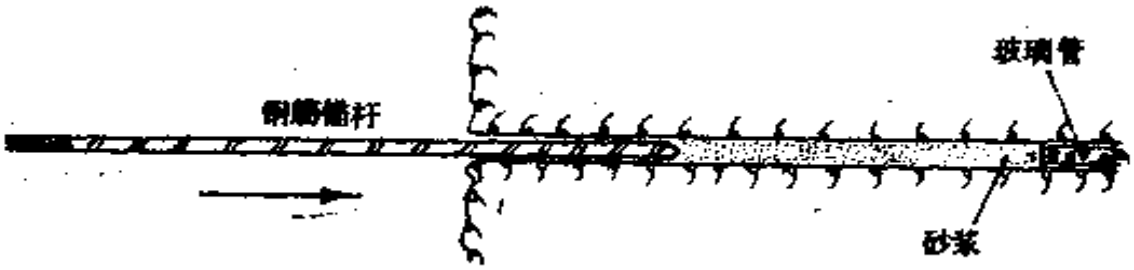


图 28　GD-TOPAC砂浆锚固法

IID　聚酯树脂灌浆锚固法

从技术角度看，用聚酯树脂作为锚固材料和防护锚杆锈蚀是十分可取的办法（参见前IB节所述）。但若全孔段都用树脂灌满，则在目前即使能用较便宜的特大型慢硬性包装树脂，仍感其费用太贵。再则，要将一根转动着的锚杆穿进一根长长的树脂管囊，确实也是一个实用上的困难。故目下的制造商都致力于研制一种粘度低、固化慢的树脂管囊，以使锚杆的安插更趋方便。这种树脂锚杆是为人们所期待的。

第四章　第III类锚杆——快速支护与永久支护相结合的锚杆

这类锚杆必须具有工作安全可靠和快速支护的功能，并配有支承垫钣。通常，这类锚杆还应当可以张拉。有多种方案都能满足锚杆具有永久性支护功能，施工采购人员应从所提出的要求着眼，从多种可能的方案中选择一种比较适当的方案。

如所周知，目下对这类锚杆的知识和经验尚很不足。有许多施工实例记录表明，它们是用不加防蚀保护的锚杆作为施工临时锚杆，而永久支护锚杆则完全不与施工锚杆同时施工而另行安装。这种做法给营建者造成费用增加，对承包者造成工期延误等许多问题。

虽然这第III类锚杆的单根价格通常比I类和II类锚杆的单根价格要贵，但它却比这I、II类锚杆的单价之和要便宜。

显然，这类锚杆也能作为纯永久性支护，用于远离开挖掌子面以外的地方。

最近，这类锚杆已有用不锈钢或热镀锌钢制作的圆钢或钢筋供应，用以代替普通钢的产品。当采用挂网喷混凝土支护方案时，则仍可采用普通钢的锚杆。

IIIA　附有抗锈蚀胀壳的不锈钢或热镀锌钢锚杆

这种类型的锚杆既在施工过程中用作快速支护，以后又

需在原位置兼作永久性支护。这种锚杆通过张拉就能起快速支护功能，安装时配有垫钣和螺帽（图17）。

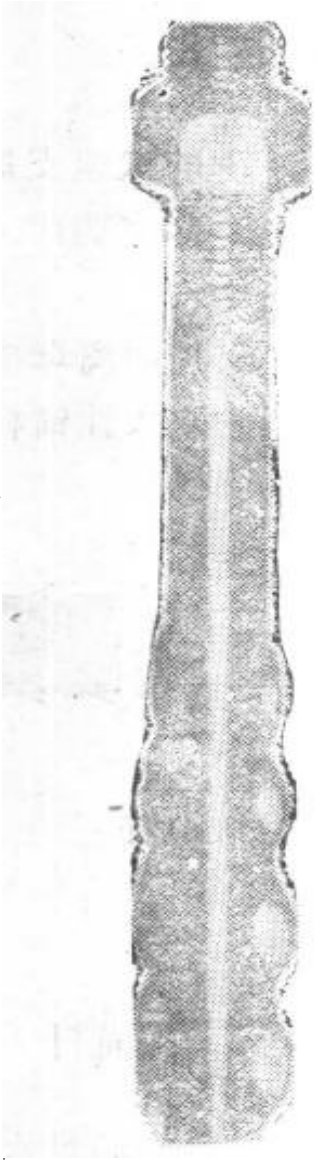


图 29　浆形圆钢锚杆

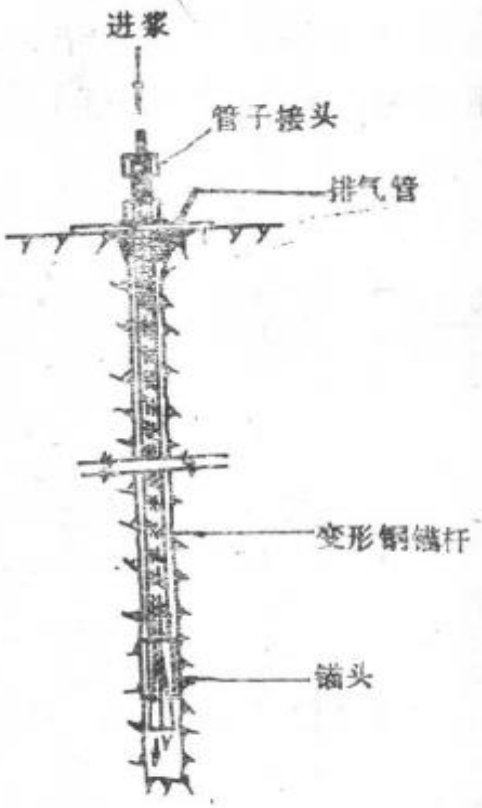


图 30　胀壳式空心锚杆

IIIB　用树脂或砂浆锚固，由不锈钢或热镀锌钢制作的钢筋和圆钢浆形锚杆

这种杆头用树脂锚固的不锈钢锚杆，其杆身完全不需再

作防护措施。若杆头用水泥砂浆锚固，则建议在孔底放置速凝剂，如图28、29所示。

IIIC 胀壳式空心锚杆

这种锚杆常用于破碎岩石、作施工中的快速支护而以后又需作永久性支护的地方。这种锚杆具有双重功能。用作快速支护时可进行张拉。

锚杆安装中须配有垫饭和螺帽。当支护面离爆破区有适当距离时，便可灌浆并随后张拉使之成为永久性锚杆，见图30、31。



图 31 孔径为45mm的双功能空心锚杆
（空心为灌浆时用）

IIID 树脂锚固的普通变形钢筋锚杆

如前IB所述的用树脂锚固的锚杆，它也能满足永久性支护的要求，即如11D中所述的锚杆。这种锚杆在锚孔底部用速硬性包装树脂，其余部位用慢硬性包装树脂。这样，整根锚杆安装好后就全被树脂包裹，起到防锈作用。慢硬性树脂的固化时间约2h左右。待孔底速凝树脂硬固后就可对锚杆用所需拉力张拉，这样就完成了一根既有预拉应力，又能防锈蚀、又是永久性的锚杆。

前面述及配有胀壳的锚杆是用灌浆管灌浆、排气管排气的锚杆（图32），以及楔缝式锚杆，安装中是灌注砂浆的锚杆（图12的基拉那锚杆）。

安装这类锚杆若同本章所介绍的那些安装省时的锚杆相竞争时，就显得太贵了。

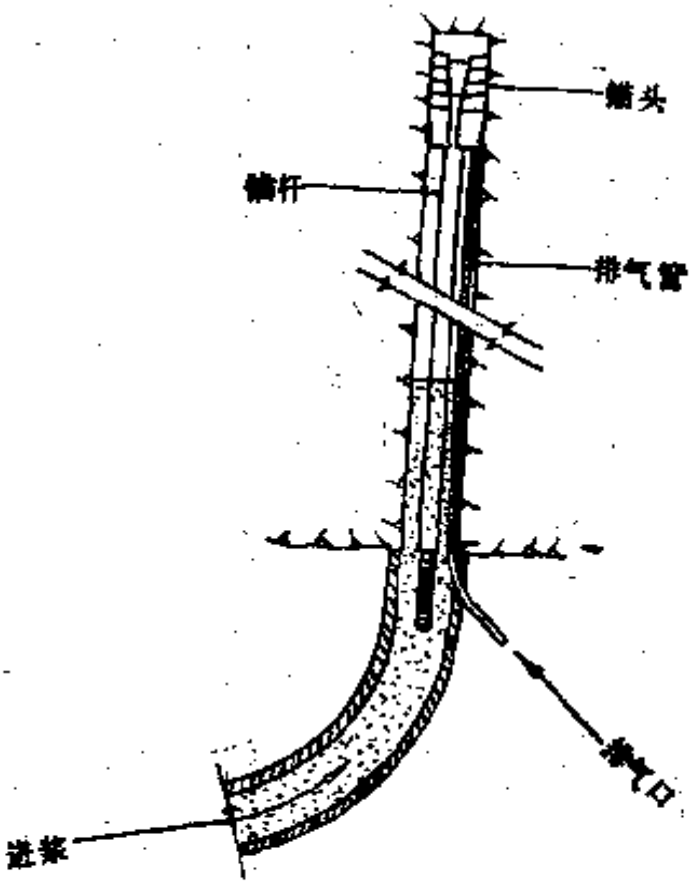


图 32　普通胀壳式锚杆的灌浆

第五章　第IV类锚杆——模板锚固螺栓

在多数地下大型洞室开挖中，由于技术设备需要安装在比较干燥的房间里，需对岩壁进行混凝土衬砌。承包施工人员虽然对模板固定各有自己的办法，但最为广泛采用的是那种在岩壁上钻孔再灌注砂浆的变形钢筋锚固螺栓，而价格较贵的模板拉条❶即焊接在螺栓上，两者在混凝土浇筑后都不能回收。还有一点，锚筋插孔后至少要等上两天时间，让水泥砂浆硬固，才能使锚筋承受荷重。这种方法通常用于隧洞及地下发电厂房衬砌混凝土的立模上。

目前，已发明了数种可以把费用较高的模板拉条回收或部分回收，并能立即承受荷载的方法。

IVA　带胀壳的模板拉条

为使拉条在锚孔中获得张紧，在拉条头上装一个带螺纹锥楔的箍筒式胀壳。其插装情况如下（图33、34）。

先将拉条旋入胀壳，然后插入锚孔，再用手拉紧拉条，至胀壳卡住孔壁为止。

每根拉条约需施加3t左右的拉力，才能使锥形楔子充分

---

❶ 原文此处为expansive shuttering bar，应译为较宽的模板拉条，但疑为是expensive shuttering bar之误。此处按此译为价格较高的模板拉条。——译者

挤入胀壳而使胀壳进一步张紧孔壁。若达不到这一要求，则在混凝土侧压力作用下，模板将被拉出 1～2cm。最好用一种适当型式的螺杆，作用在蝶形螺帽上，以便充分拉紧螺杆。

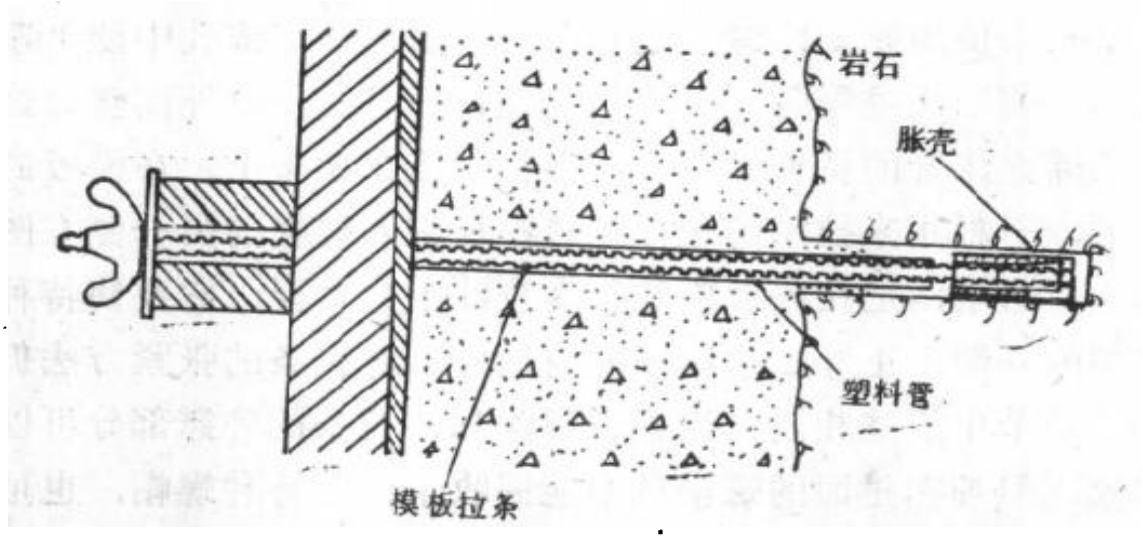


图 33　带胀壳的模板拉条

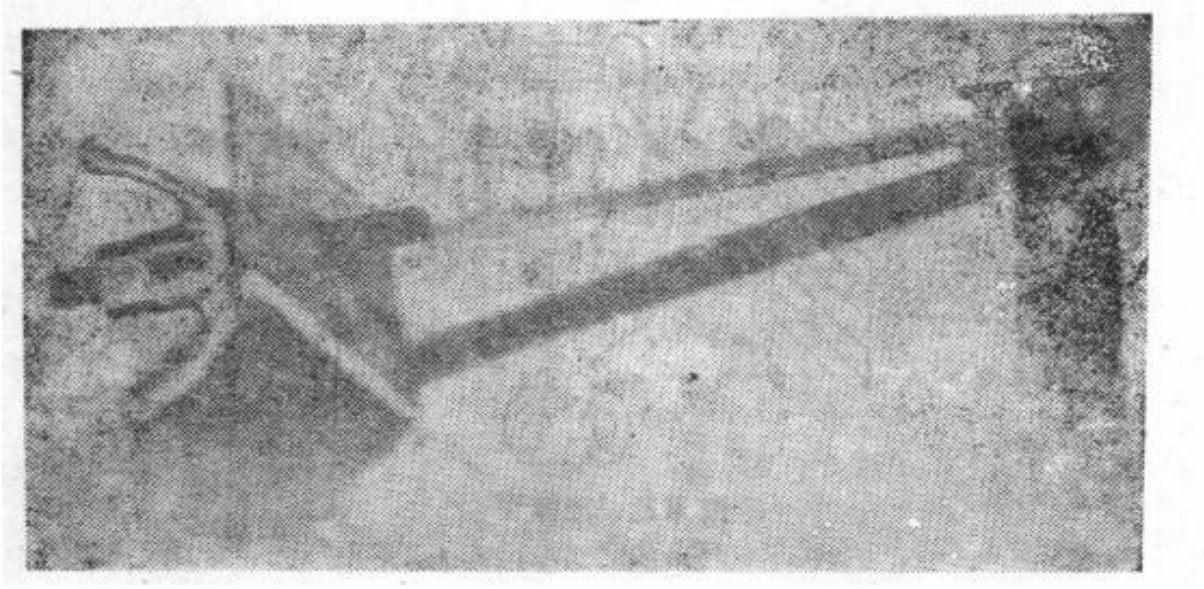


图 34　带胀壳的模板拉条例样

立模前，拉条先用硬纸管或塑料管套起来，这样可使拉条得以回收再用。试验表明，拉条荷载在达到10t的情况下，

仍可用手拧下蝶形螺帽，拔出拉条。因此，这种方法是最简单、最经济的。

IVB 树脂锚固的模板拉条

本法使用速凝性树脂包装，使锚固螺栓在锚孔中能迅速锚固。其安装过程同IB节中所介绍的一样。一只外面套有聚苯乙烯泡沫管的特种螺帽有一半长度旋在拉条上。在模板的外侧，一根用来拉紧的螺杆穿透模板旋入螺帽的另一侧（图35）。这里，把拉条螺栓的长度校准十分重要：它要使特种螺帽的外端面正好贴紧模板的内侧面。对拉条的张紧方法仍与IVA节中所述相同。当模板拆除后，拉条的外露部分可以回收，但埋在里面的螺帽就不能回收了。对特种螺帽，也可用一把特配的钥匙卸出而回收（图35）。

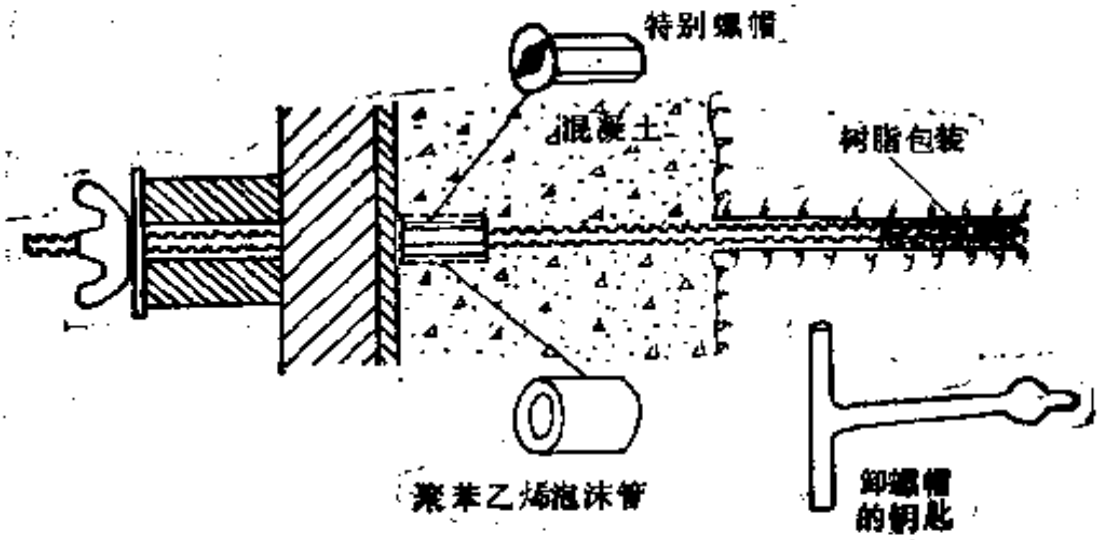


图 35 用水泥或树脂锚固的变形钢筋组合模板拉条

第六章　第V类锚杆——变形锚杆

在采矿及隧洞开挖中，为确保施工安全，人们一直期望有一种锚杆：当杆身从孔眼中往外滑动时仍能保持其一定的锚着张拉力。

通常所用的岩石锚杆屈服后，拉伸率到18%时即告破坏。

在某些场合，尤其是筑路工程中，例如在做控制性加固时●，希望有一种延伸性更大的锚杆。

下面介绍的两种锚杆型式可以解决这些问题。

VA　开缝钢管式锚杆

这是一种靠摩擦力锚固的洞顶锚杆，它是一根沿长度方向从头到尾开出一条长缝的钢管（图36）。

开缝钢管的直径略大于锚孔孔径，因此，安装时要用力打进去。实际上，钢管发生塑性变形，锚孔的作用好似一只定形的模子，迫使钢管最终按它定形于洞顶内部。钢管挤入孔眼后就始终压紧孔壁，产生径向分布荷载。这个径向荷载产生了防止岩块滑移的摩擦阻力。开缝钢管还有两个附加装置：一个是下端孔口上的挡圈；另一个是上端孔底处的扩张锚头。

● 请参阅图37及VB节。——译者

这种摩擦洞顶锚杆的外径为 $1\frac{1}{2}$ 英寸，通常安装在孔径为 $1\frac{3}{8}$ 英寸的锚孔里。这种锚杆的锚着力取决于孔壁的光滑度、孔径的均匀度、孔直度和摩擦系数的大小；一般情况下，这种锚杆可产生 0.75～0.5t/英尺的初始锚着力（摩擦力）。

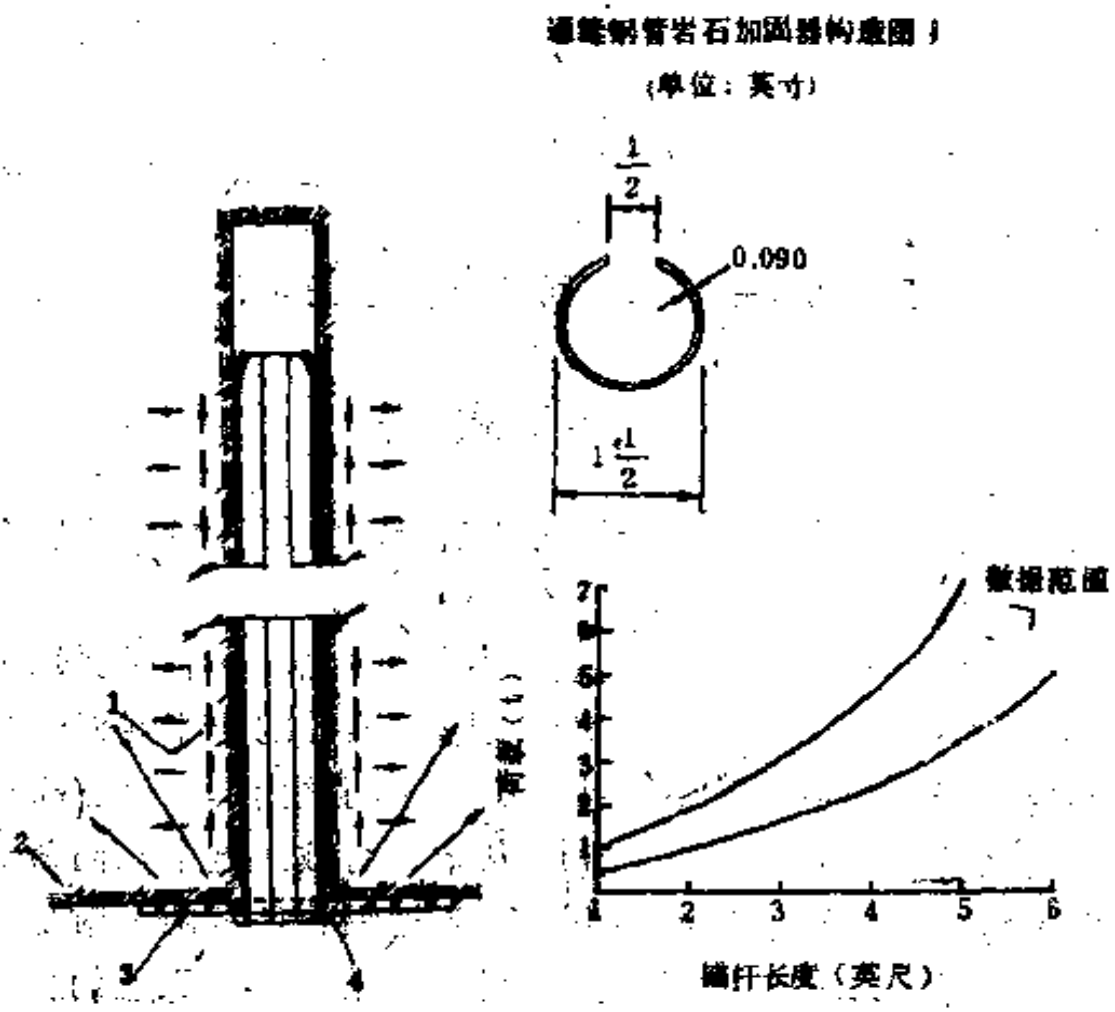


图 36　开缝钢管式锚杆构造及滑动荷载

1—箭头表示通缝钢管及垫板作用在岩石上的力；2—岩石；3—钢质垫板；4—螺圈

VB　GD变形锚头锚杆

这种型式的锚头是由一根直径为24mm 的竹节变形钢筋配上一只钢碗和一只带有螺纹可旋入碗内的挡帽组成。钢碗和挡帽中心穿有一个圆孔，孔径29mm。碗内装 64粒钢珠。当挡帽旋紧在钢碗上时，钢珠就在钢筋与碗壁之间挤紧而将钢筋卡住，形成一个锚头。钢筋受拉时，锚头能承受住钢筋断裂荷载的90%，并能沿着钢筋向外滑出而始终保持拉力不变。

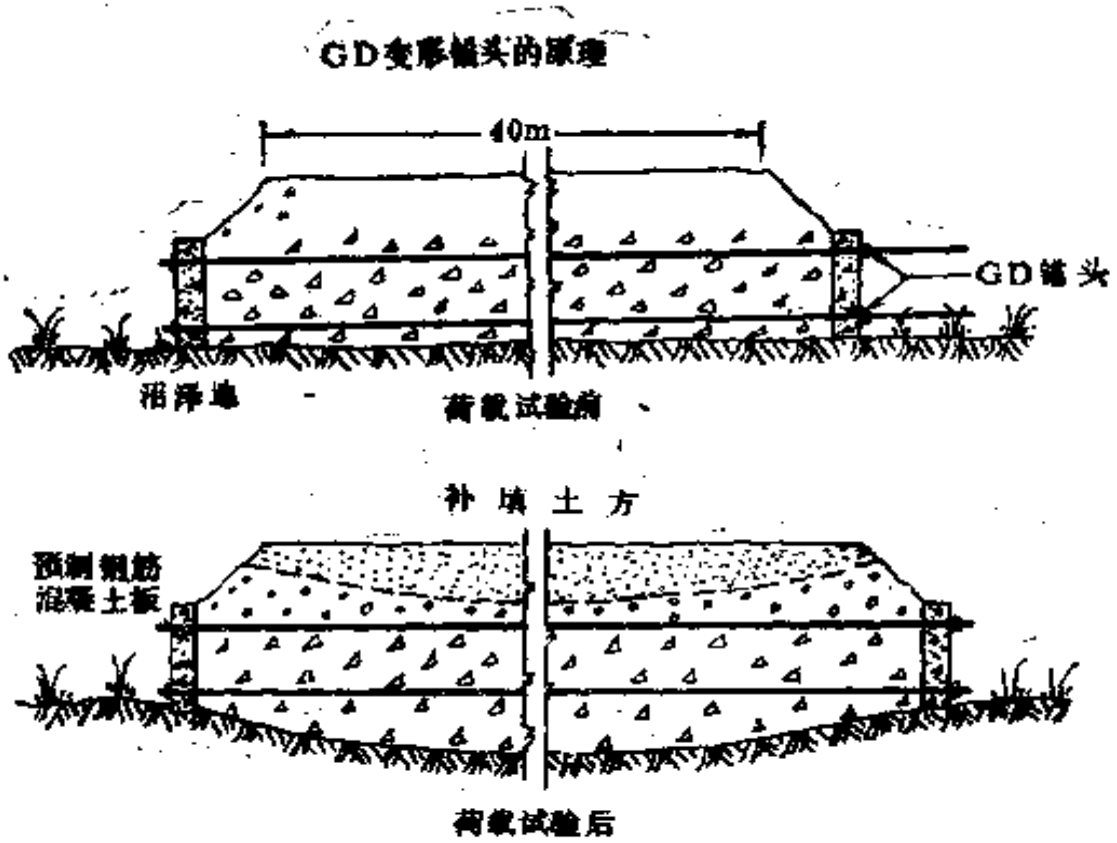


图 37　GD型变形锚头

图37所示的两幅示意图说明了这种锚头如何得到成功的应用。一条通过松软沼泽地带的公路需要修建，而又不可能把桩打到岩石承重层。因此，使用钢筋混凝土预制侧板和变形锚筋将两侧板拉结起来。钢筋一端锚死，另一端用变形锚头锚固，并留出 1m 长一段自由端作为锚头向外滑动时用。在侧板间填上碎石和砾石，并用载重卡车来回碾压数次以使道碴稳固密实。3 个月后，公路建成了。观测结果表明，路基的沉陷量极小。

第七章　锚杆的预张拉

锚杆的预张拉原理是指从岩石中的锚固点到孔口岩面垫板之间的这段锚杆进行拉伸。利用系统布孔的锚杆能在洞顶产生一个预压带而起拱的作用，并能承受来自上部的大量荷载，见图38所示。对于布孔合理、安装正确的单根锚杆，则能起到将松动岩块锚固在坚实岩体上和将软弱的岩石铆在一起成为叠合梁的作用，见图39。图40表示怎样才能使单根锚

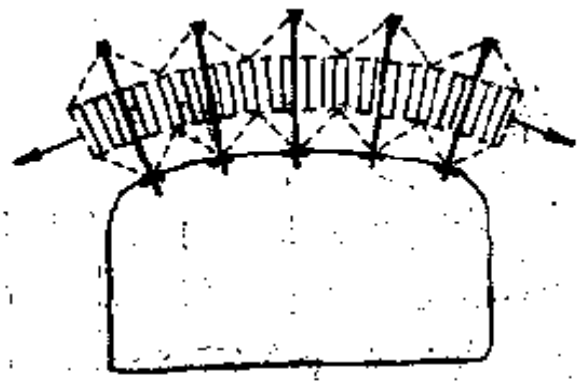


图 38　锚杆张拉后形成的受压带

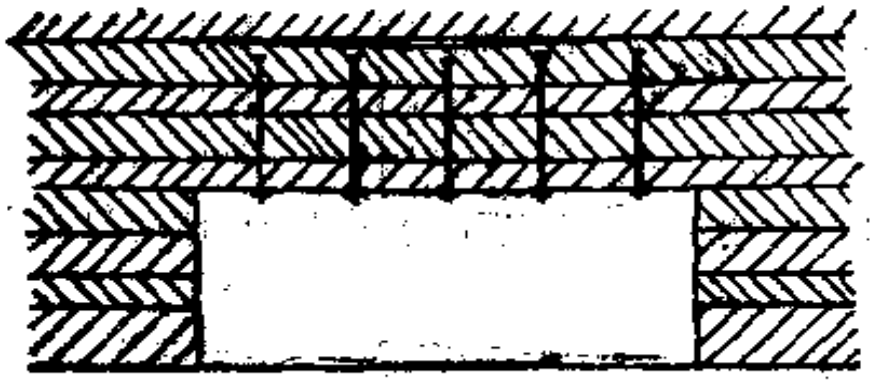


图 39　叠合梁效应

杆产生最佳的效能。在一般情况下，对永久支护锚杆施加的张拉力为其屈服强度的50%；而对于施工临时锚杆则为70%。在实际操作中，直径19mm的标准钢锚杆（极限强度为37kg/mm²）永久支护的张拉力为4t，临时支护时为5.2t。

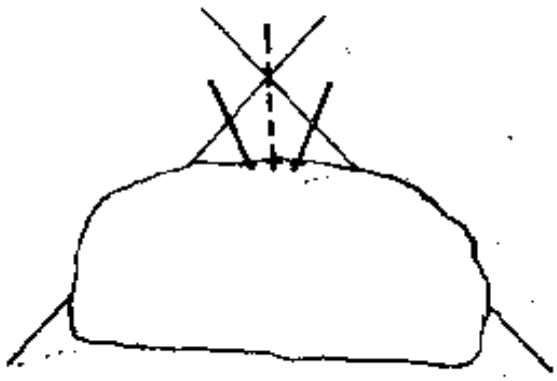


图 40　单独锚杆支护

活络扳手张拉

用大号活络扳手张拉锚杆是一种最常用的方法。使用此法张拉仅能使有限的扭矩施加至螺帽上。这个扭矩限值，与操作人员同锚杆的相对位置有关系。因而，常用一段套管来增加扳手的力臂长度，使获得15～20kg·m❶的扭矩。相当于锚杆获得3～4t的张拉力。如果要求所有的锚杆都具有相等的张拉力，那么这种张拉方法就显得不够精确了。

通过对这种活络扳手张拉锚杆实际张拉力的测定，得知其值在1.6～3.5t之间。这种锚杆间张拉力大小的差异，主要是由于杆头螺纹上的摩擦力不同及螺母与球座间的摩擦力

❶ 原文此处为kPm，应译为千磅米，显然太大，而且与图42中曲线中单位不符，显疑为kgm之误，此处译为千克米或公斤米。本章下文仍有此误处，一律予以改正。——译者

不同所引起。

扭力扳手张拉

用扭力扳手张拉是一种较好的办法。扭矩能以千克米或磅英尺作单位直接从扳手上读出来。因此，使用这一工具就能给每只螺帽施加相等的扭矩。但由于螺纹上摩擦力不同及

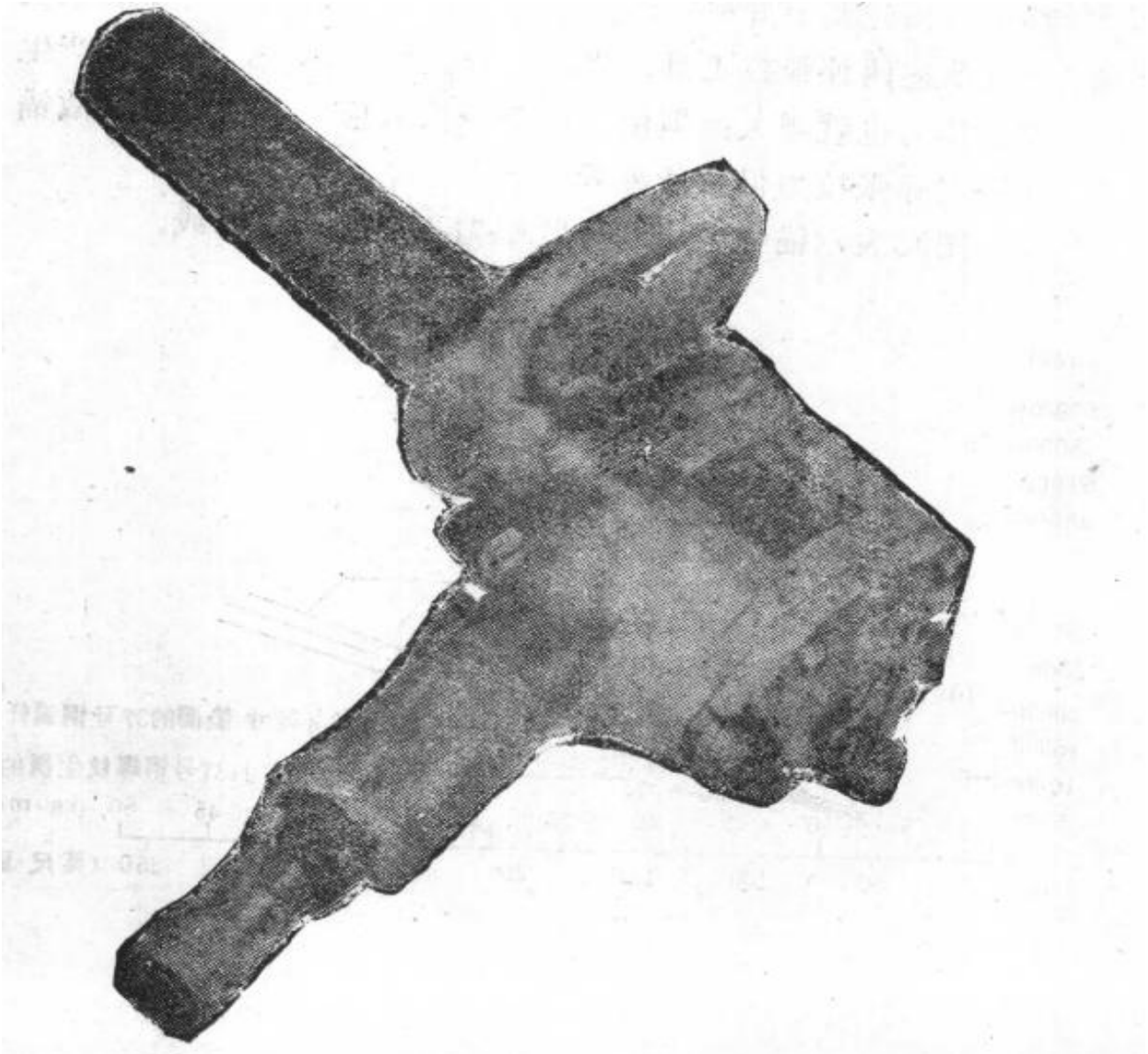


图 41　风动扳手

螺帽与支座间的摩擦力不同，每根锚杆实际所受的张拉力仍有差异。然而，各锚杆之间张拉力差值毕竟比用活络扳手时所产生的要小。

风动扳手张拉

有数种风动扳手可用来拧紧螺母，见图41。这种工具大都可以预先调节好所需的拧紧扭矩，并在精度控制水准上也超过前述两种张拉工具。当然，拧紧扭矩越大，对锚杆产生的张拉力也就越大；但由于内部摩擦效应仍不能消除，故锚杆间实际张拉力仍有所差异。

图42表示锚杆张力与拧紧螺帽扭矩的关系曲线。

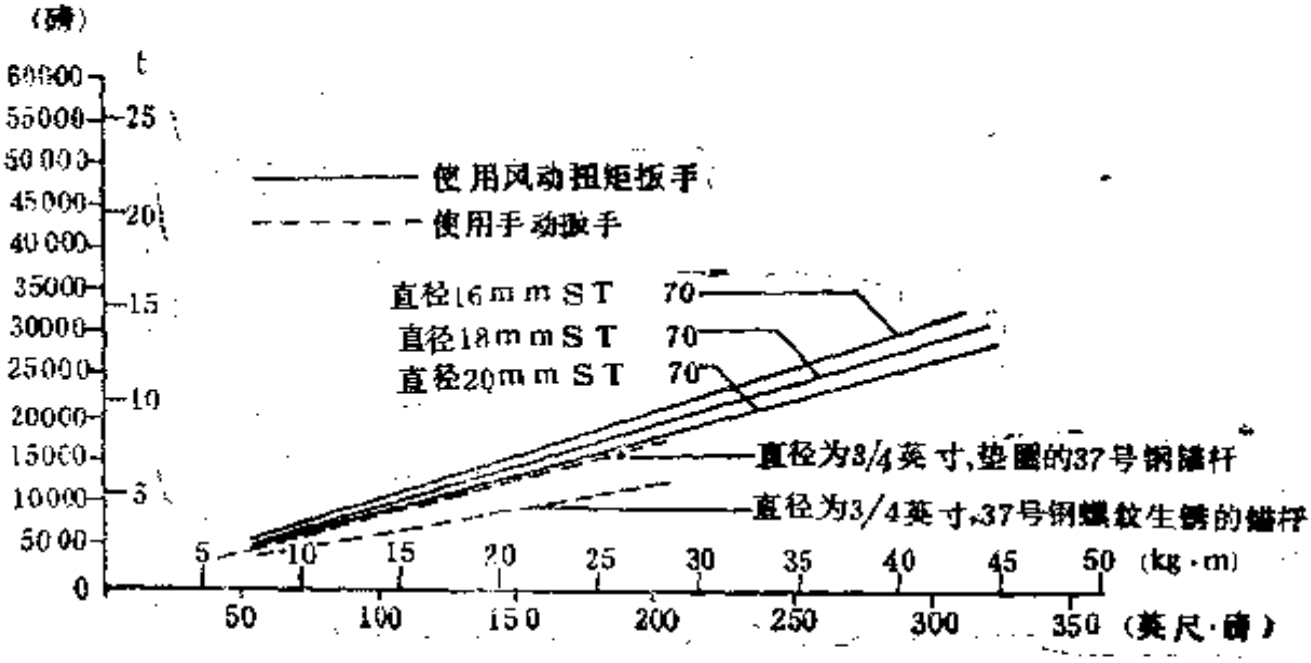


图 42　张力-扭矩关系曲线

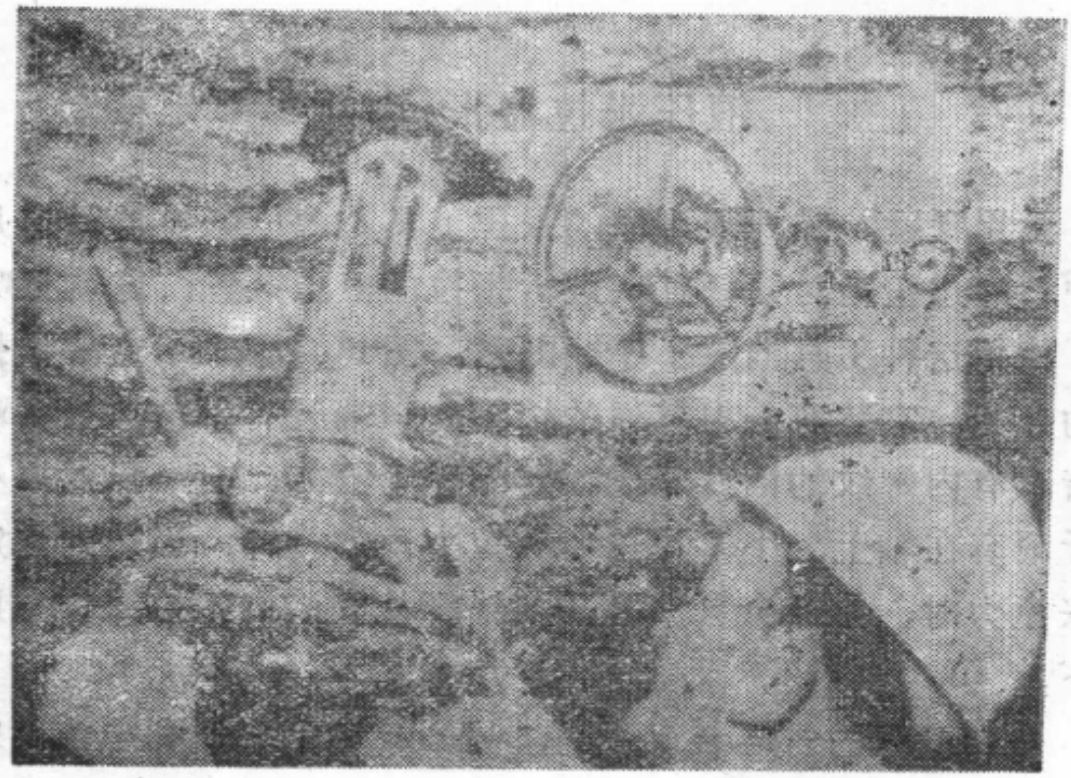


图 43　锚杆液压张拉器



图 44　锚杆液压张拉器详图

液压张拉器张拉

无用置疑，锚杆最可靠的张拉工具是液压张拉器。这是一种不通过扭矩对锚杆直接进行张拉的液压装置。这就意味着，使用这种工具消除了摩擦因素。图43、44表示这种张拉器的外貌。它装有一根贯通的长轴，一端装有手轮；另一端装着车有内螺纹的锚杆轧头。紧靠手轮上方，有一只液压小千斤顶套在轴上，小千斤顶装有拉力读数指针，当达到预定的张拉力时，指针会自动跳开。锚杆从安装到张拉操作程序如下：

先将锚杆的一端装上胀壳，另一端套上垫钣和螺帽。螺帽外留出1cm长的螺杆，以便与张拉器连接。为确保沿锚杆的轴线方向张拉，需采用带球面支座的垫钣。锚杆与张拉器连接并插入锚孔。若锚杆系采用套筒式胀壳，则在插孔前需将胀壳先适当张开，以使插入后能卡住孔壁，这一点在垂直的顶孔中显得尤为要紧。转动手轮使尚存的松弛状态结束，使胀壳进一步张开卡紧孔壁。转动最后一圈手轮时需用两手用力拧紧。

关闭泵阀，开动千斤顶油泵，锚杆就受到拉伸而未张紧。当拉力表指针跳开后，即用手指将螺帽拧紧，顶牢在垫钣或支座上。然后用一种带手柄的组合管式扳手拧紧螺帽。最后，打开泵阀并反向转动手轮，将张拉器从锚杆端部卸下。

拉力表的指针通常由制造厂家调整在6t位置上。当泵阀打开后，张拉力便下降500kg左右，锚杆的张拉力就剩下5.5t。若有需要，指针可调整至10t，见图43。

液压张拉器使用简便，而且对所有锚杆的张拉力几乎相等。我们也可用它去鉴定已经安装的锚杆中的张拉力数值。随着表盘上荷载的张拉力不断增加，当螺帽出现松动时读取的最大读数即为该锚杆的实际张拉力数值。

上面所介绍的液压张拉器系爱勃劳克的 8 号岩石螺杆端头张拉器，其设计张拉力为 10t；较大型的 10 号，张拉力可达30t。

第八章　锚杆长度及布置形式的选定

有限松动块

从功能的角度上看，这是锚杆应用的一种最简单支护问题。通常，可由观测得到的岩块节理面走向和位置来确定松动岩块的大小。对大岩块，宜用罗盘测斜仪测定岩块和节理面的倾角，然后画出草图。在观测分析的基础上我们就能定出锚杆的长度。

用锚杆支护的锚杆应深入坚固岩床1～2m。确定锚杆长度时，还需考虑到我们对松动岩块尺寸估计的准确程度的影响。在钻设锚孔时，若有可能，我们应对观测到的节理面实际位置加以控制。钻孔深度（图45）L为：

$$L \geqslant D+1.0 \qquad (L、D以m计)$$

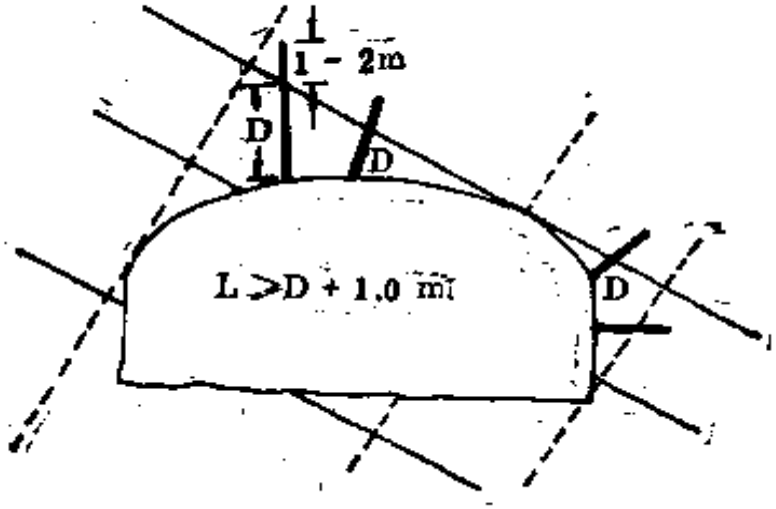


图 45　有限松动块的锚杆长度

这里，锚杆布置形式和数量就取决于松动岩块的重量。当已知岩块尺寸，我们就可算出其体积，体积乘上岩石比重（一般取2.6～2.8）就可算出岩块重量。

一般情况下，我们常假定节理面的抗剪强度为零，这样就暂把实际上或多或少存在的抗剪强度作为安全余量。锚杆型式一旦选定，锚杆根数就可算出。不过我们常假定只有一半数量的锚杆起支护作用，因此，实际采用的锚杆数量应是计算值的两倍，即乘上安全系数2。在特殊场合下，也应该考虑所要求的安全系数和基本假定的准确性。锚杆安装过程中的质量控制也十分重要。例如，当采用胀壳式锚杆时，若用液压张拉器张拉则有效锚杆的数量就比用活络扳手张拉的多。

上述松动岩块，有时因太大或很不稳定以致不能直接在岩块上安全钻孔。此时，就必须沿岩块的周边布置锚杆，并用金属条将岩块兜络起来。锚杆数量的估算方法仍如前述，但因锚杆方向变化及荷载的不均匀性，故应增加安全系数。

不张拉锚杆的系统布孔支锚

如图46所示那样的隧洞洞顶需作全面系统支锚。洞顶钻孔方向（断面的中心处）的锚杆长度可用下列挪威爆破技术协会公式（I.F.F公式）粗略计算：

$$L=1.40+0.184B \qquad (1)$$

式中B为洞宽，以m计。在上式推导过程中，我们假设洞顶为一圆弧形或半圆弧形。

还假设洞内爆破将能调整应力分布，如此，在顶部形成一个跨洞抛物面承载拱圈。拱内岩石只受压应力作用。而位于拱下的不稳定岩石须由锚杆将它悬吊在拱上；锚杆深入拱

圈至少1m。锚杆长度逐渐向边墙两侧方向递减。实际应用中，较短锚杆仅用在隧洞的边墙附近。图47的曲线，是某些学者得出的关于系统布孔中锚杆长度与洞宽的关系，而图48则为灌浆锚杆系统支锚布置的样例。

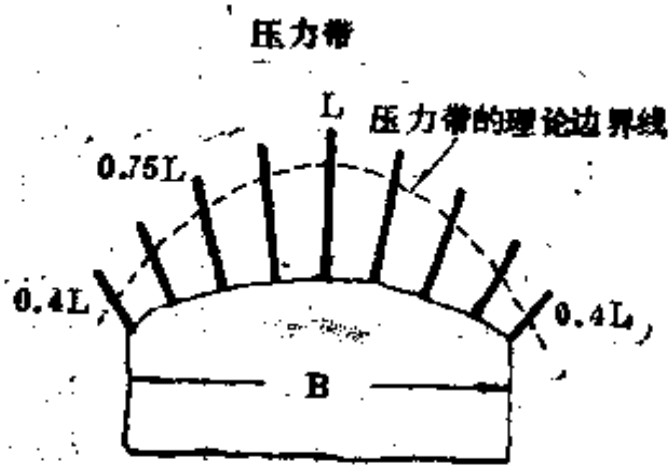


图 46　锚杆长度的递减

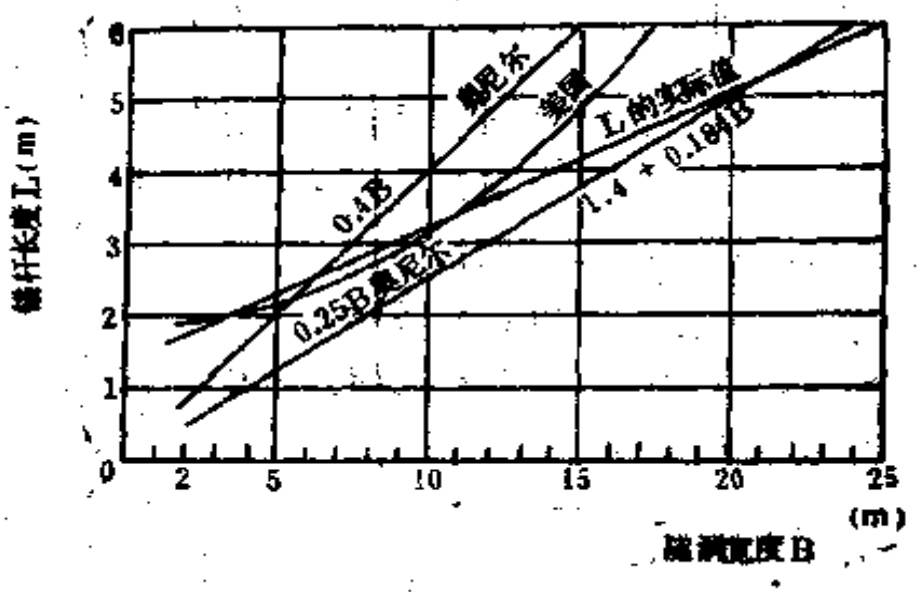


图 47　锚杆长度尺寸选定曲线

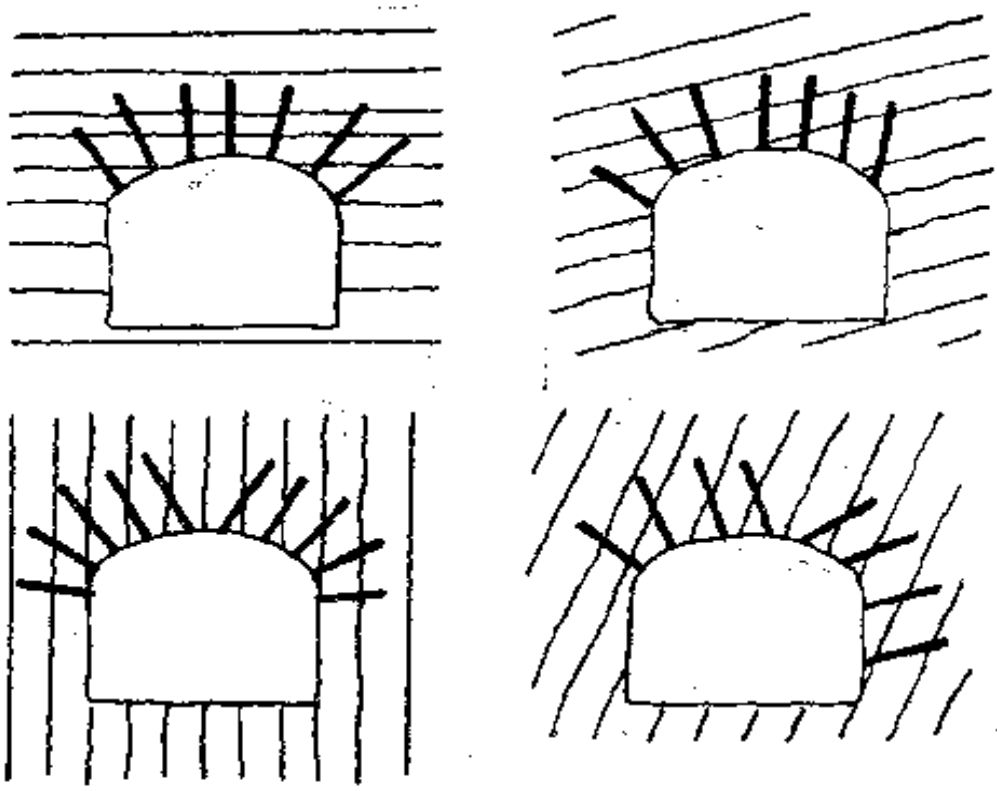


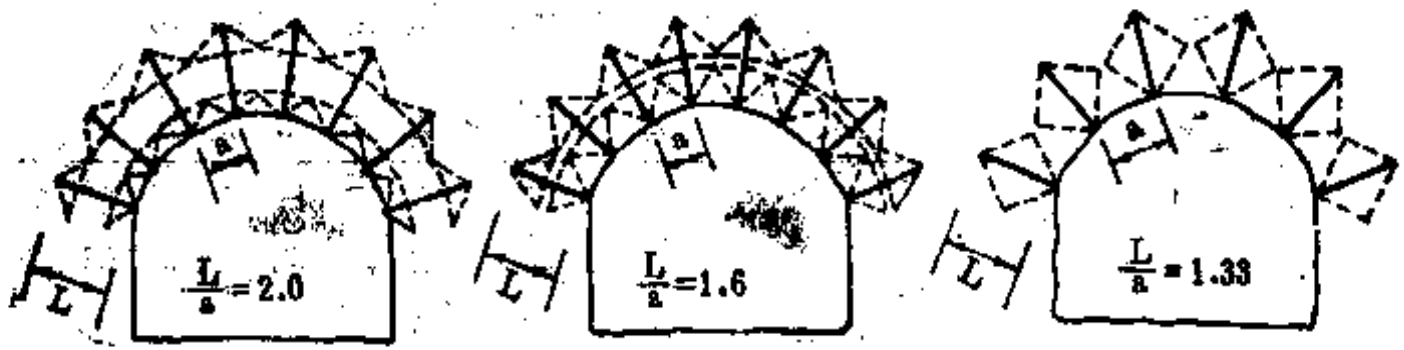
图 46　系统布孔支锚样例

预张拉锚杆的系统布孔支锚

在许多场合，人们期望能在隧洞顶部建立起一个应力拱或应力梁。现今在挪威，通常使用的锚杆经过良好的张拉，就可能给岩石造成大约0.5kg/cm²的压应力。这是假定原先岩面中无初始应力的情况；如果有初始应力，那末锚杆张拉后所产生的应力须与它相叠加。这样一来，锚杆应力能使原应力圈形产生显著变化的可能性就很少。因此，使用锚杆建立应力区仅仅局限在应力已释放的岩体中或层状、片状岩体中。

对于锚杆长度的确定，可按图46、公式(1)或下式计算：

$$L = 1.60 + \sqrt{1.0 + 0.012B^2} \qquad (2)$$



高受压带　　准受压带　　未形成受压带

图 49　建立压力拱

所有锚杆的长度应该是相同的，然而，从公式（1）、（2）及图47，我们可以看出随采用公式的不同，得出的锚杆长度却有所差异。

这是由于建立公式的试验方法不同、理论基础不同及各专家的论点不同所产生的。公式（1）、（2）是从大量现有的锚杆长度计算公式中挑选出来的，用以示出用大量公式计算出锚杆长度结果是相近似的，可以认为在其变化范围内取值是可供选用的。本章将在原理上进一步给出在具体应用时锚杆的长度应如何选定的资料。

在锚杆的各种具体应用上，锚杆长度L与锚杆间距a之间的关系有变化，其后果十分重要。

为建立受压区，需使比值L/a接近于2。这是一个应当始终满足的准则。除非有时由于节理面间距等局部条件的影响，这个指标也可能难以达到，必须作出特别的考虑，如图49所示。

L/a=2这个准则已被一些地方的试验所发现。试验的根据是在光弹塑性板上体现出的锚杆的张拉效应，而锚杆是插入板内的。张拉应力效应是藉偏振光照射下，观察板上等色条纹应力图形得出来的。

岩壁与开挖边坡的支锚

在大洞室爆破开挖作业中，高边坎与高岩壁是经常遇到的。它们的稳定问题给工程带来可观的工作量，当然，岩石的结构及其裂隙密度不同，其工作量也不同。解决这些稳定问题经常需用大直径的长锚杆。下面几节给出了一些示例，来说明采用锚杆作为支护手段维持高边坎稳定时，需要计算的

内容和应该考虑的问题。

例子中都假定存在一个坡度较陡的薄弱滑裂面，其走向平行于边坡的纵轴方向。计算中，考虑了光滑面与粗糙面两种情况，其摩擦系数分别假定为0与0.5，并假定锚杆为直径26mm的螺纹钢灌浆锚杆，工作荷载为破坏荷载的一半。

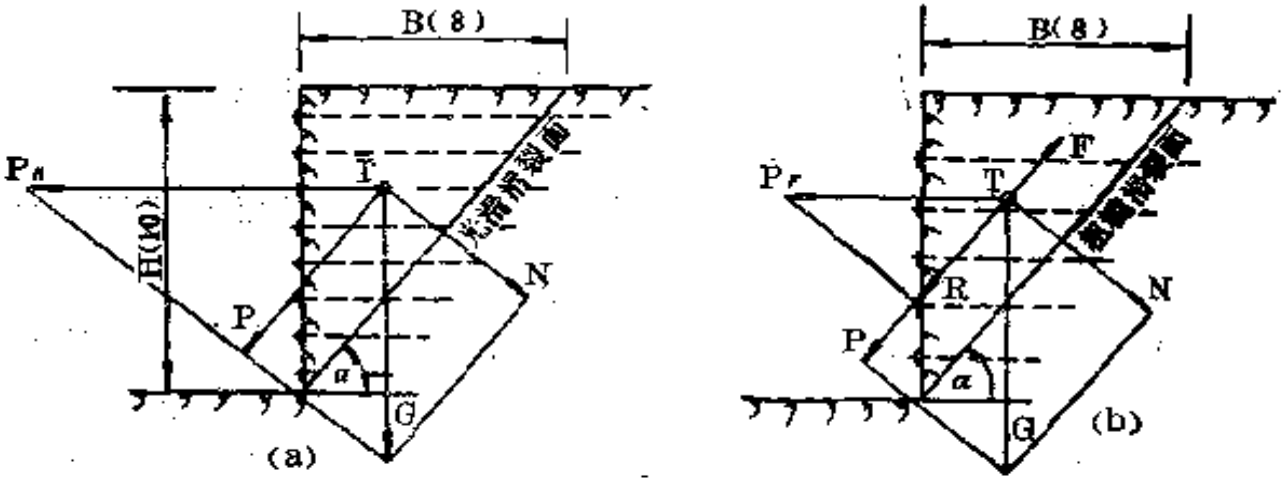


图 50　用灌浆锚杆支护边坡
（第一种情况）

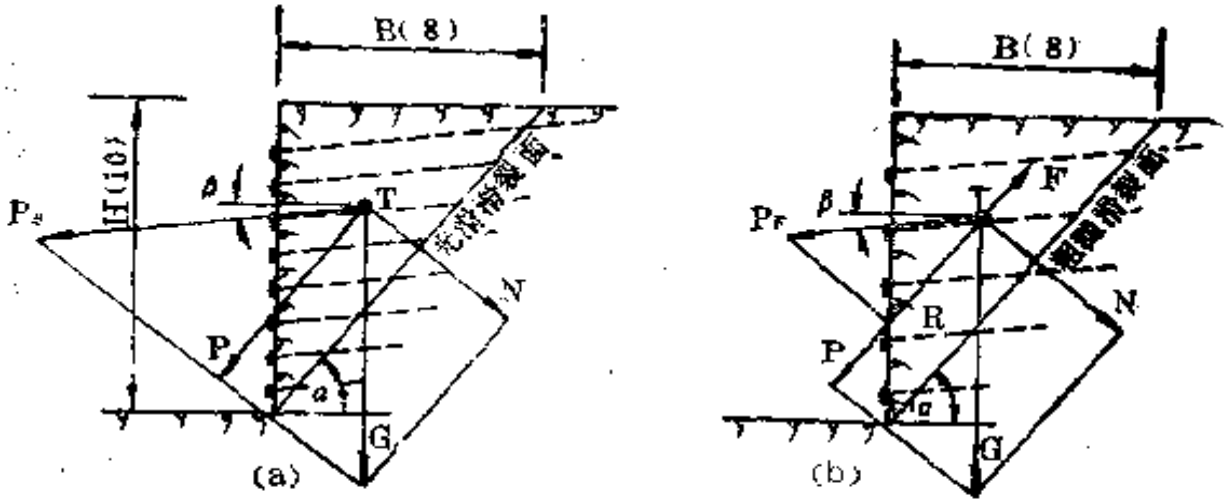


图 51　用灌浆锚杆支护边坡
（第二种情况）

第一种情况，如图50所示，用的是水平锚杆；第二种情况，如图51所示，锚杆以一定倾斜角插入。滑裂面外侧的岩石

楔体的重心为T。如上两图所示，重力G分解为平行及垂直于滑裂面的两个分力。平行于滑裂面的分力P进一步分解为沿锚杆方向的P_H或P_B。在假定滑裂面存在摩擦的情况下，由于摩擦力F，使力P减小为R。同前，再将R分解为平行于锚杆方向的P_F。图中括号里的数值是计算锚杆需用数目的实际例子。

图50、51中符号意义（括号内数字为一实例）：

α——边坎倾角，（57°）

β——锚杆倾角，（6°=1:11）

s——安全系数，（2）

f——摩擦系数，（0.5）

γ——岩石比重，t/m³ （2.8）

$$G=\frac{1}{2}HB\gamma,\ t/m \quad (112.0)$$

$$N=G\cos\alpha,\ t/m \quad (70.0)$$

$$P=G\sin\alpha,\ t/m \quad (87.36)$$

$$P_H=P/\cos\alpha,\ t/m \quad (139.77)$$

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

$$F=Nf,\ t/m \quad (35.0)$$

$$R=P-F,\ t/m \quad (52.36)$$

$\sin 57°=0.780$

$\cos 57°=0.620$

$\cos 51°=0.696$

假定锚杆的抗剪强度等于其抗拉强度，则如图50（α），在无摩擦的情况下：

$$P_H=\frac{P}{\cos\alpha}=G\cdot\frac{\sin\alpha}{\cos\alpha}$$

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

如图50(b)，在滑裂面上有摩擦的情况下：

$$R=P-F=G\cdot\sin\alpha-Nf$$

$$=G\cdot\sin\alpha-G\cdot\cos\alpha\cdot f$$

$$=\frac{1}{2}H\cdot B\cdot\gamma\cdot\sin\alpha-\frac{1}{2}H\cdot B\cdot\gamma\cdot\cos\alpha\cdot f$$

$$P_r=R/\cos\alpha$$

如图51(a)，在无摩擦的情况下：

$$P_s=\frac{P}{\cos(\alpha-\beta)}=\frac{G\cdot\sin\alpha}{\cos(\alpha-\beta)}$$

$$=\frac{\frac{1}{2}H\cdot B\cdot\gamma\cdot\sin\alpha}{\cos(\alpha-\beta)}$$●

如图51(b)，在滑裂面上有摩擦的情况下：

$$R=P-F=G\cdot\sin\alpha-Nf$$

$$=G\cdot\sin\alpha-G\cdot\cos\alpha\cdot f$$

$$=\frac{1}{2}H\cdot B\cdot\gamma\cdot\sin\alpha-\frac{1}{2}H\cdot B\cdot\gamma\cdot\cos\alpha\cdot f$$

$$P_r=R/\cos(\alpha-\beta)$$

锚杆的布置形式

锚杆布置形式包括锚杆间距、锚杆布置的几何形式及其插入方向。在明确为松散块体的情况下，应该确定出锚杆的长度，并在岩面上标出每个锚孔位置，也要示出孔向，见图52。在系统布孔支锚时，钻孔前，最好对每个锚孔都标上它

● 原文中式末的分母为$\cos(\alpha+\beta)$，是为$\cos(\alpha-\beta)$之误。——译者

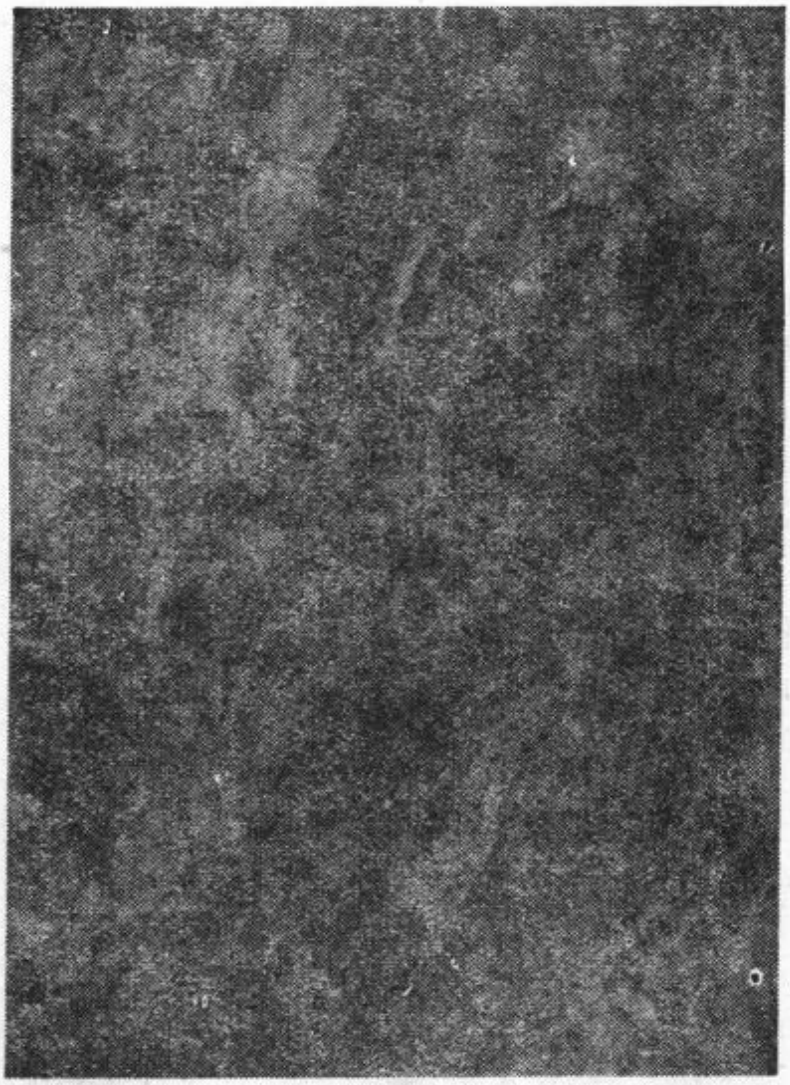


图 52　锚杆标志样例

的位置与孔向，以便于钻孔，见图53。

在拟定一个系统布孔支锚的总体形式时，首先要确定锚杆间距。这是在已知洞顶块体的平均尺寸（它为裂隙密度的函数）与块体的一般形状（如立方形、长方形等等）的基础上进行。锚杆间距在各个方向都需调整到小于主要节理系统中节理面的平均距离。

因为锚杆间距决定了锚杆的数目，故其费用与可能承受的荷载也应该考虑。假使节理裂隙密度表明锚杆的间距应小

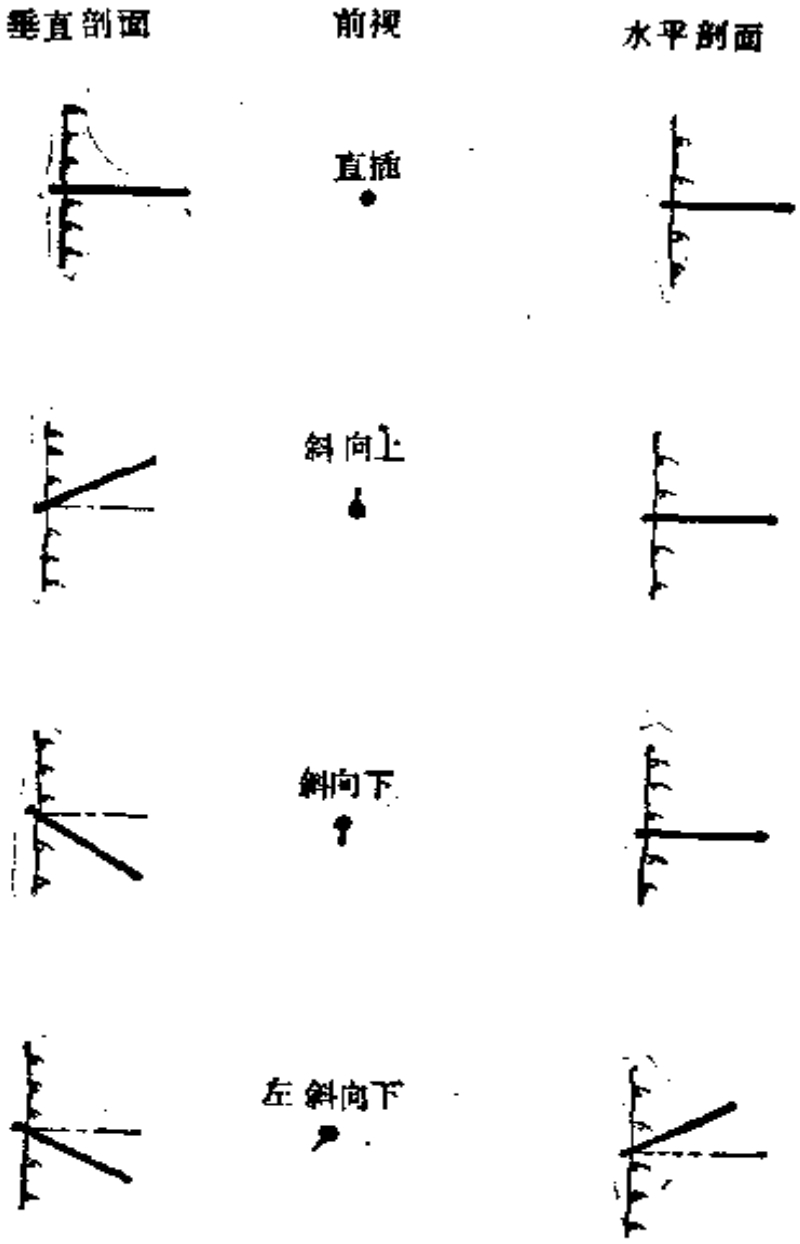


图 53 锚杆标志法

于1.0m，那就应该考虑采用岩石锚条或（及）钢丝托网了。

实际工程中，大多数地下洞室总是直线洞身占大部分，所以，一般只需确定在这个方向上锚杆的排距（垂直于掘进方向）以及每排锚杆的数目或每排中的锚杆间距；再者，锚

孔的布置形式应选择方格形或梅花形，见图54；同时，也需说明这些锚杆是否垂直或斜交于岩面。一份完整的说明书应当包括锚杆型式的准确说明，还应该包括锚杆的尺寸与安装程序。

例如：

锚杆排距r：2.0m。

锚杆间距b：1.2m。

布置形式：梅花形。

锚杆长度：2.0m。

锚杆型式：3/4英寸胀壳型套筒式锚头，配球形支座垫钣。

锚杆安装方向：垂直岩面。

锚杆张拉力：5.5t。

安装程序：两圈/施锚周期。

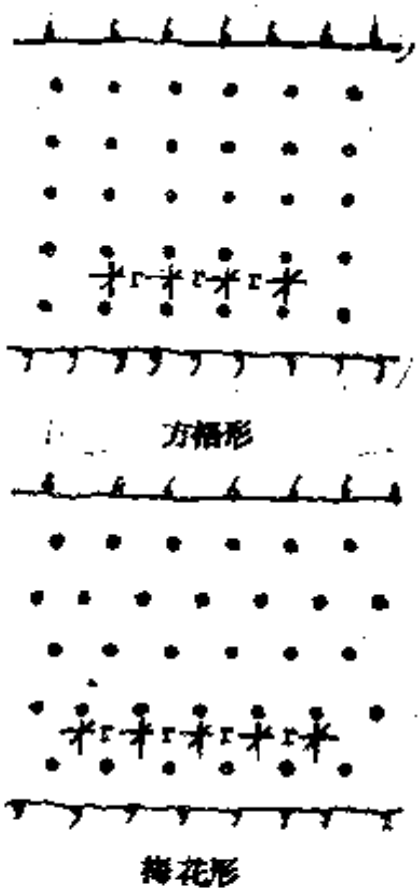


图 54 锚杆的布置形式

第九章　锚杆的工作原理

这一章，我们将更为详细地讨论岩石锚杆支护的基本原理，直到能够用它来解决每个具体支护问题的程度为止。有关这方面的许多理论的论述●，大部分都不在本手册内加以讨论，请参阅有关文献。

岩石锚杆支护法，在选用何种锚杆型式上会碰到若干理论问题。对于采用预张拉锚杆的洞顶系统布孔支锚，常常考虑锚杆是把层状岩石拉结在一起形成一根自体支撑的岩石叠合梁。这种方法，尤其是用在相当平顺的层状岩层中更为明显，其实际发生的情况正如理论所说的一样，锚杆没有承受大于其张拉力的荷载，张拉力增加了各层间的摩擦力，因而岩体就能像梁一样承受其自重。这样的考虑更为经常，即把锚杆作为在岩石中形成一个受压带的手段，使这种压力拱起承载结构的作用。

上述二种方法的差别并不怎么大。在局部地段，单独地使用单根锚杆也可视为一种方法，它将表层开裂的岩片或岩块锚固到内部的坚实岩体上去。

假使锚杆不作张拉，但孔内灌注砂浆，则是用作破碎岩石的加固，以维持其原已存在的内部摩擦力和稳定性，即防止了可能与时间有关的某些因素，导致岩体失稳。

张拉胀壳式锚杆，则在锚着端与垫板上均会产生集中应

● 原文为discertation，疑为dissertation之误。——译者

力。当胀壳式锚杆用在系统布孔时，模型试验与原型试验的结果都表明，在不利条件下，在锚固点之间会产生裂缝。这种情况特别容易发生在洞室为平顶、锚杆长度都相同、并且有水平的软弱夹层或呈薄片状的岩石中。在垫钣与锚固端之间所形成的受压带，其压应力为0.5kg/cm²级；甚至当锚孔布置形式为1m×1m、张拉力达5～6t时压应力也是这个数值。可以看到，在这种常见的压力带中，压应力值是比较小的。当选择一个支锚系统时，可以采用载于文献的许多不同的公式来计算锚杆长度与锚杆间距。这些公式，大多是根据洞室的开挖跨度与所观测到的裂缝间距来进行计算的。在某些场合，部分公式只给出在某些情况下的极限值，因而还必须运用经验和常识并结合具体情况来判定。

当从理论和实践方面考虑一个支锚系统时，还有一点应该注意的是防止岩石随时立即开裂的安全系数。如这种开裂在多数情况下不会发生的，且在岩石上钻孔时也有足够的稳定性，则其安全系数为1.0或者稍大。先打的锚杆支护能提高防止岩石随时坍落的安全因数。锚杆支护作用的时效研究将在后面讨论。

以上这些关于用锚杆进行岩体支护理论基础的导论，实际上指出，我们还不能给出一个有关锚杆使用方法的通用模式或完整理论。有关理论的研究只能作为实际工程或评价锚杆实际情况的根据或参考。而大多数的实际锚杆支护问题，尚须考虑一些附加因素，而这些因素对一个既定部位的具体支护系统来说，往往还是以后的决定性因素。所以，我们将要在能从隧洞观测到实际情况的基础上，并从实际应用与岩石力学的角度来讨论锚杆支护问题，一般都会得出解决问题的办法，如本书所论就是这样。

当面对一个岩石洞室的稳定问题时，首先必须确定问题的性质：是岩石崩裂？是粘土夹层？还是分割的块状岩体？等等。这里，重要的是为了获得最佳成果，应该花费的时间以及必须使用的适当设备是必须花费的，因为这是对所有各种问题作进一步考虑的基础。为了进行充分的检查，一定要坚持洞口的高度与洞顶的高度一致，或具有足够的照明条件，这决不能含糊。经常仔细观察岩石的剥落情况是极有用的。在某些困难的情况下，有必要用水龙软管冲洗岩面以便检查岩面性状。锤子与撬棍，是探测松散岩片或岩块的有用工具。在钻锚杆孔眼过程中，还须继续观察岩石情况，以核对原先的判断根据是否正确。若有必要，在施工程序上应及时进行调整。另外，对于从事这项工作的人员应具有一定的锚杆施工知识，并对本地区的岩石性质、地形、软弱带以及在岩石支锚方面有尽可能好的经验，这一点也很重要。有时，问题可能是简单而明显的，但是，也应该提醒，在一般的岩石支护中，问题往往是困难而复杂的，需要有丰富的实践经验，错误的结论会引起一系列不经济和危险的后果。因此，推荐尽可能地向专家咨询。

要建立一个关于稳定问题的基本概念，需要熟悉各种有关影响稳定因素的知识，并需知这些因素怎么表现出来、以及如何进行观测、每一种因素对于所考虑的特定条件的应用影响到什么程度等。对所有因素进行讨论不属于本手册的范围。必须明确说明，下面的分类与稳定问题的讨论已经大大的简化，因而也是不全面的。本书的论述是寄托于能够在洞室中进行的最简单观测，及据此而得出的简单的结论上；并不依赖详细的工作和特殊的变化。

在考虑用锚杆支护的地方，关于稳定问题的分类，我们

选择了五个主要类型：片状和层状岩石；块状岩石；破碎岩石；夹泥裂缝和挤压破碎带和岩石压力问题。

分别地掌握每种类型，庶可把问题简化以便对处理的方法给予指导。然而，交错重叠是不可避免的，因为大多数稳定问题往往是某一类或者几种类型的情况加上其他因素——如水的条件等联合产生的结果。从原则上讲，决定一个稳定问题的主要变化因素有四个：

（1）岩石压力：在任何时间内，岩石中所产生的应力是由于重力作用、地层运动、温降应力、开挖爆破等等所致。

（2）材料性质：广义上说，岩石的性质是指颗粒的大小、胶结材料、抗压和抗拉强度、弹性以及力学性质上的各向异性等等。后者的意思包括裂隙与断层的密度及走向、接触面的糙度、裂隙填充物与挤压破碎带的性质。

（3）水文条件：孔隙水压力及爆破造成的压力与流线的变化、岩石的干燥与浸润、较大的地下水流入情况、裂缝填充物被冲走的情况等。

（4）几何条件：这里指洞室的掘进方向与影响稳定因素的其他各个方向上之间的相互作用。例如，粘土夹层穿过洞室的角度或主应力方向与破碎带中洞室开挖轮廓的夹角等都很重要。

现在，当我们进一步分别考虑各种岩石类型的稳定条件时，类型是早就明确的。必须明白，在上述1～4个主要因素中，还存在着某些变动了的特殊情况。因此，我们应该牢记并研究这一点，在各种情况中，这些因素是如何随着时间而变化着的。

片状和层状岩石

这种岩石的产状是，岩体中有一组方向基本平行的层面系统。这种现象会在许多情况中发生，例如在具有黑白层理的片麻岩中，有黑云母的层理面就成为一个滑动面或者劈理面。这种劈理面也能在板状绿泥岩、页岩等岩石中发现。

这一类型的其他典型岩石是千枚岩和云母片麻岩。这种岩石不能定为板岩●，但是，它有一个明显的平面劈理系统，就稳定因素讲，这个劈理系统能用相同的方法进行处理。

通常型式的锚杆特别适用于这种岩石条件。这种岩石中的稳定问题，如上面所述，是由于岩石性质结合几何因素造成的，亦即薄弱面的方向平行于或近乎平行于洞室的轮廓线所致，见图48和图55。这些因素，如洞室的宽度、岩石劈理的开裂程度、软弱面的密集程度、岩石的弹性等等对岩石稳定问题都有重要影响。假使我们把岩石压力撇开不谈而另作处理，那末，这种岩石的支护是把数层岩石锚固在一起，使它不致剥离与崩溃。这种情况下，采用预张拉锚杆常被为有利，它能保持裂隙之间的摩擦力，甚至还会使其有所增加。

在这种场合下，各种锚杆型式都能满足要求。决定锚杆的型式以及采用的工作方式，都是实际工作中考虑的因素，例如在开挖工作面上采用胀壳式锚杆，对永久性支护采用比利时喷浆锚杆。锚杆长度与锚杆支护的布置形式可通过前已论述过的计算公式或已经积累的经验来确定。假使用这种型

● 原文此处为slatey，疑为slaty或slate之误。——译者

式的锚杆去解决地质情况单一而不复杂的问题时，则常常容许采用比计算值更短的长度与更大的间距。

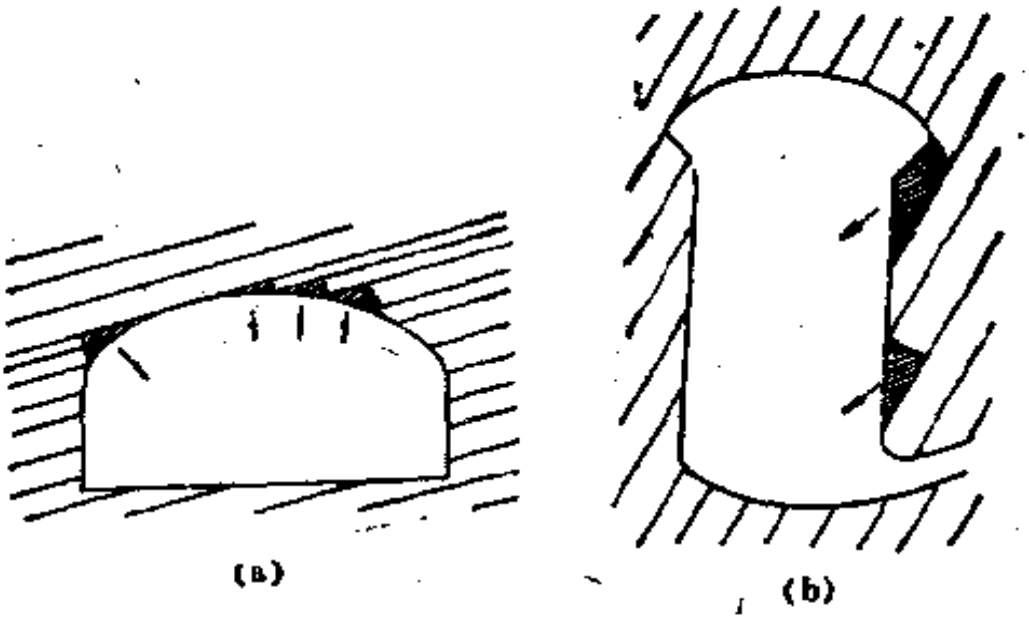


图 55　无支锚情况下的岩石塌落

单独板块岩石的弹性，可能存在的附加裂隙系统或软弱夹层，都是决定是否可能增加锚杆间距与（或）缩短锚杆长度的因素；或者只变动二者中之一；或二者都变动。

块 状 岩 石

在第八章里确定锚杆长度与型式时，我们是从考虑单独的有限松动块开始的。现在，当我们考虑块状岩体的时候，将会碰到困难得多的环境，这是由于不能再按一个个孤立岩块考虑的缘故。我们也可以说，这种岩体的材料性质已经改变，已经不是上一节中所讨论的片状和层状岩石，而是在块状岩体中存在着数个不同性质的滑裂面。这些使岩石成为块状结构并使其产生不稳定的滑裂面有1～4个。这些滑裂面

可以是薄片状的岩石面，也可以是夹有粘土矿物的狭窄裂缝，或夹有绿泥石或有石墨覆盖的滑裂面。所有这些滑裂面可以多种方式结合起来。在这阶段中，我们虽然有意地忽略了山岩压力，但应该说明，块状岩石中的稳定问题几乎总是在较小的山岩压力下发生的。不稳定的原因，是由于单独岩块得不到足够的约束，即使垂直作用于边界面上的力很小，个别岩块就有可能会掉下来，并随着导致更多的岩块松动、坍落。这种情况在埋藏很浅的洞室开挖中会经常遇到，例如在岩石露头地带。

当岩块尺寸变化不太大，而且各个滑裂面的厚度小于2～3cm时，我们就把这种岩石归为块状岩石类。主要节理面之间的距离在1m以上，滑裂面的厚度超过2～3cm的将在后面另作讨论（请看第四节）。

块状岩石地区的支护方式与第八章中所述单独松动块的支护方式相同。在估计块体的平均尺寸和选择锚杆长度时，应考虑伸入到稳定岩体内1～2m。特别对宽度很大的洞室，有必要与公式建议的锚杆长度进行比较后选择。

为了估计每根锚杆承受的荷载，锚杆的布置形式是在假定块状岩石的体积及重量的前提下进行的。也应该确定，是按荷载体系还是按每一块岩石至少需要一根锚杆这样的事实来决定锚杆布置的型式。这里，锚杆强度的选择是一个决定性因素。还必须考虑几何条件，即裂缝与洞室的相对方位，因为往往有这样的情况，对某些关键性岩块的支锚，会足以使整个岩体得到稳定，这样的一些机会是不应忽视的。

另一种极端情况是，沿着洞身方向存在着一组倾角很陡又十分发育的裂隙系统，在垂直于洞身方向又有一组倾角更陡的裂隙系统，还横切过一个水平的、极易开裂的软弱节理

面。在这种条件下，也能考虑采用锚杆支护。

破 碎 岩 石

假使岩石性质的变化更坏一点，即岩石裂隙的间距小于1.0m，这种类型的岩石可称为破碎岩石。选择这样的分类是因为通常的实际锚杆支护形式中，只有在特殊情况下，锚杆布置的间距才小于1.0m。

前几节中大多数建议每一块岩石中应该有一根锚杆。这种条件在块状岩石中是能满足的，但是，在破碎岩石中，裂缝间距减小了，锚杆布置的正确度及实用性立即受到限制。

为了确定锚杆间距的标准，已不必进行过去所做过的那些详细试验与分析，已经很清楚，在大多数情况下，锚杆间距能增加到裂缝间距的3～4倍仍不致使安全系数减少很多。因此可以假定，作为选定破碎岩石分类的标准，裂缝间距不应该是1m，而应该是0.3m，以便与正常情况下实际采用的最小锚杆间距为1m相协调。然而，在实际工程中发现，以3～4倍裂缝间距作为锚杆间距的一般规则是行不通的。因为在岩石的中间地带，裂缝间距在0.3～1.0m的情况常会遇到，这些裂缝中，由于未充填绿泥石或粘土，缝间摩擦力很小，所以就不能凭常规行事了。

对于裂缝间距在0.3～1.0m之间的岩石，锚杆的间距能减小到1.0m。当裂缝间距很小，并存在有减小摩擦力的夹层时，常有必要使锚杆支护与其他支护方法结合使用。

这种岩石中之所以产生稳定问题，常常是由于在一组或几组裂隙系统中存在的一层或多层摩擦力很小的夹层单独地或联合地起作用，使约束力降低的缘故。在破碎岩石中，与

几何条件即裂隙系统的相对方位，对洞室开挖面支护的难度影响是很大的，但对决定锚杆布置形式是不很重要的。这是因为一般总是需要用锚条与钢丝托网来支护破碎岩石，而它们的尺寸要求在一定程度上限制了锚杆支护型式的灵活性。锚杆布置形式中应该允许有一定数量的锚杆重叠布置，并且，可以使用整片的钢丝托网及金属锚条的整个长度。当采用编织钢丝网时，通常最好用锚杆固定，固定的范围至少与托网展开范围一样大，网布上后，再用垫钣与螺帽把它固定在每一根锚杆上。支承垫钣宜采用较为廉价的型式。

当锚杆用作破碎岩石支护时，必须非常谨慎小心。很清楚，通常用的锚杆布置形式只能加固锚杆周围一部分很小的岩体。在锚杆上部及锚杆之间的大部分破碎岩石，几乎不受预张拉锚杆所产生的应力的影响。因此，单独进行锚杆支护或者与编织钢丝网一起使用，都必须只在当有一根或数根锚杆穿过的大块破碎岩石没有坍落危险的情况下才能进行。这样，锚杆将把较大的块石锚固住，而钢丝网则兜住一些零散坍落的小石头。假使一根或几根锚杆周围的整个岩体有与锚杆一起坍落的危险，那么，不如使用岩石钢锚条以减少这种危险性为宜。因为钢锚条不易被拉进岩石表面，所以，锚条不会产生任何主动支护作用，这种支护方式会使岩石开始发生一些最初的位移；但在较大的坍落发生以前，这种位移也能被遏止住。况且，这种位移也很容易观测到，且能加以修复。若情况特别困难，则锚条与托网可以联合使用；此外，也可用锚杆结合喷射混凝土固定；也可用钢筋加固或不用。应该理解这种支护方式的选用须与永久性支护、随时间变化的因素、安全系数的要求等结合起来考虑。

对不同锚杆间距所建议采用的锚杆长度，可以通过前面

的有关公式计算出来。但是，对于那些只用锚杆或者仅与编织钢丝托网结合起来使用的情况，则宜采用比公式建议的数值更大的锚杆长度。

夹泥裂隙与挤压破碎带

我们前面已经研究了在某个地区的岩质都很差，需要加以支护这样的情况。在某些为夹泥裂隙发育带或挤压破碎带的集中区，可以单独考虑使用锚杆支护而不用其他支护方法，但这些地带必须具备许多明确肯定的条件。条件之一是，这些裂隙带或挤压破碎带的宽度必须小于3m。它们的边界线实际上不可能辨别得如上面所指出的那么明确，但它清楚说明，在这种条件下，使用锚杆支护的限制条件却是非常严峻的。我们自己也可以这样地划分出断层破碎带的界限，即在使用锚杆支护的地带，其周围邻接的岩质应该是良好的、不破碎的和无粘土充填的。

夹泥裂隙及粘土夹层的特性变化很大，对它们不可能作出完整的描述。但是，对最主要的特性需加以说明。当考虑粘土夹层情况时，粘土性质各处却不同。某些地带可含有很高比例的粘土矿物，而其他地方则可能夹有像方糖那样大小的块状新鲜岩石，小块岩石的全部表面还覆盖有2～3mm厚的一层粘土泥皮。还有另外的情况发生在有4～5个10～20cm厚的互相平行的滑裂面，其彼此之间又夹杂着同样厚度的一些相对完整的岩层的地方。因此，确定夹层中现存的粘土材料的大致比例（份量）是很重要的。

知道粘土本身的组成也很重要，特别要搞清粘土中是否还含有膨胀性矿物。通常，膨胀性矿物质的百分比是很小

的，但是，假使含有相当高百分比的蒙脱土矿物（膨胀性矿物），那么，我们可以从这个夹层中取出一块比较干燥的土料，把它浸入水中后，就能在几分钟或几秒钟之内变成稀浆。若有必要，还可用简单的显色试验来鉴定膨胀性矿物的含量。

即使我们忽略了会引起岩石崩裂的很大的山岩压力，而山岩压力的影响总会导致粘土的固结。压实良好的土料常比松散的更为稳定。

潮湿的环境对粘土夹层的性能有很大影响。假使现场条件是潮湿的，则粘土的抗剪强度将很低，容易外流；假使环境条件干燥或者设法使其干燥，那么粘土通常是稳定的。膨胀土只有在吸收水分时才会膨胀，即一团已被搞湿的土体却能够包含膨胀性矿物而不会构成危险；但是，同样的一团土体在干燥条件下会仅仅由于通风不畅，空气中湿度的增加反而会开始膨胀。

在这种粘土夹层中的膨胀性土料，假使其体积的膨胀受到约束，会产生很高的压力。因此，如果可能，在支撑承受荷载以前，让土体胀出百分之几的体积是有利的。

很简明地归纳这些因素，即是当粘土夹层具有以下情况时将会出现非常困难的问题：粘土含量百分比很高；膨胀性矿物质含量百分比很高；固结度很高；环境条件干燥。

假使我们在一个洞室开挖中发现了这样的一种不利地质条件，一般说来，危险并不会立即发生。然而，假使在这样情况下使用不允许有任何体积增大而又需浸在水中（例如淹没）工作的刚性支撑系统，那么，只有全部采用混凝土衬砌才是可靠的支撑。

对粘土夹层地带，几何条件也很重要。正如前面所叙述

的，一个平行于洞室纵轴的陡立的夹层，处理起来总会引起一系列工程难题和非常昂贵的花费。

在粘土中使用锚杆，锚杆本身难以得到满意的握裹力。即使采用水泥灌浆或树脂灌浆——可以说是一种最好的方法，但也远远不能得到可靠的锚固，纵然竭尽努力，也是枉然。这就是我们规定必须用锚杆将粘土夹层岩带锚固到邻接的坚实岩体上的原因。对于临时性支撑，锚杆可以单独用来支护边墙，一直到安装好永久性支撑为止。在粘土夹层岩带的每一边上打一排或者两排锚杆。应该估计到会有一些粘土从上面掉下来，为防止这种情况，可铺设编织钢丝网托住。粘土夹层岩带的永久性支护，已经用锚杆及喷射加筋混凝土加以解决，对于填缝或用类似的方法在许多场合中也取得同样良好的结果。

由于粘土夹层岩带中夹层的物质很复杂，在情况尚未搞清或者安全度要求很高的地方，使用上述方法更应谨慎小心。

山岩压力问题

一个洞室中的山岩压力，会以各种方式表现出来，其发生原因又各不相同。一般情况是，当作用力及岩石应力超过岩石所能承受的荷载强度时，就产生山岩压力问题。确定是否产生山岩压力问题的因素有以下几个：主应力的绝对值；主应力比；岩石的强度性质；强度性质在不同方向上的变化；洞室的几何形状和上述各因素间的相对方位。

另外，还有一些与时间有关的因素以及其他实际情况，如风干、水分吸收、附近的爆破、温度变化等等。

上述的这些影响稳定的因素变化情况，均以山岩压力的

形式反映出来。在一个洞室中，我们可以观测到岩石特性变化的幅度很大，从开始时几乎是塑性材料的压缩，最后发展到急剧的破坏性岩爆，爆裂处，岩石的碎片会以尖锐的爆裂声与很大的能量从岩石表面飞出去。

若要论述山岩压力怎样发生？评论山岩压力的危险性怎么样？以及为了减小山岩压力，洞室应布置在什么位置？怎样定向等等，那就篇幅太长了。因此，我们假定这些因素都已经确定，我们所面临的是一些隧洞中所显示出来的山岩压力现象及洞身需要怎样的支护。

为搞清针对山岩压力进行支护的原则，让我们观测一些简单而典型的原因和现象。图56表示出一个在隧洞爆破前的横断面及断面上的主应力大小和方向。对那些不懂得应力分析理论基础的人，应该说明所有的应力都是压应力。对块体中心点某些方向上的岩石应力是能被测量出来的。最大的压

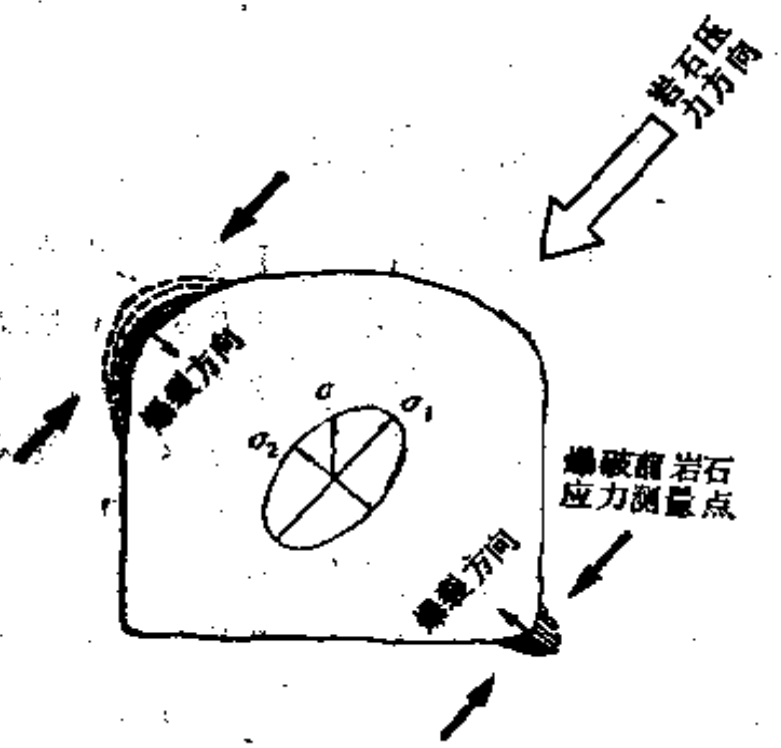


图 56 岩石爆裂

应力沿着σ_1的方向，最小的压应力沿着σ_2的方向。为了使问题简化，假定$\sigma_3=\sigma_2$（σ_3垂直于书平面）。在其他中间方向的某些地方，能测量得应力σ●，其应力值介于σ_1●与σ_2之间。

典型的爆裂位置一般发生在σ_1远大于σ_2的地方，并且此处的岩石为脆硬性的，抗拉强度低，性质较为均匀。山岩压力大得足以发生爆裂的情况，一般先在洞身左肩部位发生，这里的主应力σ_1与岩石表面相切。一系列现象表明，断面轮廓线对角点也会受到影响。当σ_2和σ_3相似时，如在上例中，若岩石性质各向同性，那末，在断面对角点上的岩面也要发生爆裂。发生这种爆裂的原因是因为沿着已知方向的压应力很大，以致在与其垂直的方向上产生很高的拉应力，从而导致薄形碎屑与石片（铁饼状）向洞内爆出。由于各种原因，压应力固然集中在岩石表面，但它诱发的拉应力则集中在一个更大的范围内。每一块释放了拉应力的岩片爆裂后，应力

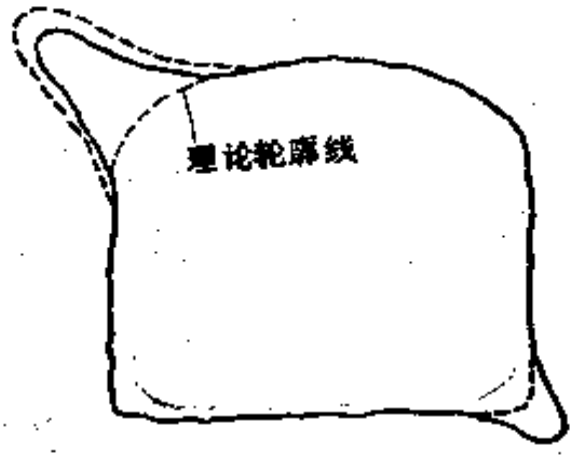


图 57　爆裂的无限扩展

● 原书中此处为σ_1，显似σ之误，而下面σ亦显为σ_1之误，译文中已改过来。——译者

则又集中在新暴露的岩面上，从而又进一步造成新的爆裂。

在情况严重时，这种爆裂能产生一种锥形效应，见图57。从这里可以看到，这种爆裂是一种险工，并且没有什么积极的措施能够防止岩爆。假使我们剥挖掉仍然残留在岩面上的松动岩片，由于岩面的应力集中，又会产生新的爆裂危险。然而，对于岩应力较适中的情况下，这种爆裂反倒有利，且常有足够的安全保证。

为了防止非常严重的爆裂，通常对该部位使用胀壳式锚杆进行垂直于岩面的支锚。这种锚杆虽不能防止变形及岩片的爆裂，但能防止碎片的崩落，并对诱发的拉应力起到一定的限制作用。这种方法可迫使应力向岩体内部扩展，从而降低了岩体表面的应力，使岩表的应力达到一个表层岩石能承受得住的水平。

为防止岩石爆裂而采用锚杆支护，无法给出选择锚杆长度及间距的公式。但其应力则可以测量并计算出来，但是，若为安全而必须获得稳定的岩面，用这种测算的办法是太繁琐了。为此，对爆裂的支锚是借判断与经验来进行的。在隧洞顶拱圆角发生岩爆时，在发生崩落之前，常有一定的“稳定时间”。因而，若有可能，锚杆应在这个时间内插入。锚杆长度可用前面介绍的公式计算，但很少有短于1.5m的，以便使应力向岩体内部有足够的扩展。锚杆布置形式的采用，是以如何防止锚杆之间岩石的崩塌为最主要的依据。通常采用的支锚形式常常是锚条与托网联合使用。若爆裂范围很长，则会占去大量时间，此时，使用小间距（0.7m×0.7m以下）、大垫板（边长大到60cm）锚杆从来都能获得良好的效果。用这种方法可稳定一个使人放心的区域范围。

为了缓和岩石一旦发生爆裂的严重程度，在锚杆全部承

受荷载以前，允许岩体有一定量的变形是有利的。已经发现，假使胀壳式锚杆被充分张拉，那末，这些锚杆会因超荷载而导致断裂。在这种情况下，常宜采用手拧螺帽张拉即可。这样，在锚杆承受荷载前，岩石会有少量的变形，这足以使锚杆承受住全部荷载。在这种极端的条件下，在永久性支撑安装前，让岩石得到一定的变形是我们所希望的。这时，建议采用在拉断时具有较高屈服点的钢锚杆；若采用刚性的钢筋混凝土结构垂直岩面直接支撑，则常会遭到破坏。

以上所述的是最坏的爆裂情况，实际上，并不一定是如同可能出现的情况那么危险。这种问题是听得见与看得到的，可以及时采取相应的措施。山岩压力的问题也常常表现为距岩石表面很深的内部发生松动碎片的开展，这种现象也可能在爆破后一段相当长的时间之后才发生出来。崩塌发生前，这种情况常常不易被察觉，因而是很危险的。采用撬挖剥离和进行锚杆支护，在通常的情况下，常是一种相当合适的解决办法。在各向异性十分显著的岩石中，例如页岩，千枚岩，片麻岩等等，要很注意这样的情况，即岩石层理方向会发生改变。在隧洞延伸得很长时，岩石层理就可能被隧洞穿割。若山岩压力适中，这种延伸一般不会有什么问题，这是一种情况。第二种情况是假使洞身的方向改变了，例如岩石的层理与隧洞洞壁相切，那末，就可能发生潜在危险的情况，因为经过几个星期甚至数月之后，剥离与崩塌就会出现。在洞壁与层理相切部位发生这种集中剥裂的原因是由于岩石层理的横向抗拉强度大大小于岩石顺层理方向的抗拉强度所致。

在上述第一种情况下，山岩压力较小，不足以引起剥裂；而在层理方向与洞壁相切的第二种情况下，山岩压力就

足够大，从而引起了剥裂。在弹塑性岩石中，例如多脂千枚岩等，可以无声响地发生这种剥裂。

在所有隧洞、水电站地下厂房及其他大型洞室中，由于山岩压力及岩石条件的种种变化而产生的特殊情况就不在这里讨论了。对于因山岩压力造成的稳定上难题的支护，几乎总是需要采用对于支护非常合适的工具即锚杆来解决。重要的是要认识到我们难以期待使锚杆去防止发生岩体变形，因此，一般需根据锚杆承受的荷载来确定锚杆的尺寸。经验已经表明，安置足够数量和一定长度的锚杆会得到令人满意的结果。我们允许岩石有一定数量的在控制范围内的变形，以便使荷载卸减到锚杆能承受的数值，这样，就能保证锚杆正常工作。换句话说："发生在其表面濒临失稳危险的层状岩体上的这些力量，会通过岩石的变形而减小，应力被传递到岩石表面以内的所需范围内"。

总而言之，在采用锚杆支护的考虑中，不但要包括纯粹技术问题，还要包括人及其心理方面的因素。常有这样的情况，在施工现场，由于对岩石性质心中无底而使工人提心吊胆，情绪低落。难处理的岩体及其所带来的问题，给隧洞施工队伍带来更多更繁重的工作量、相应的劳动报酬即变得较低了、以及可能的普遍不安全的感觉等。最初发生这类问题的时候是在危难问题业已出现了一段时期之后或者可能已经有过坍方或初次发生偶然坍方的时候。

虽然对这类区域做了支护，或用锚杆及可能采用的辅助措施作了成功的支护，但仍然会碰到某些对锚杆持怀疑态度的人表示出不满意。也能遇到这样的人，认为锚杆支护难以或甚至不能用来支护岩石。

在险情发生前，必须首先进行支护以避免出现严重情

况。也应该提醒，进行这种施工是带有危险性的，因而，有必要采用较好的施工设备。这里，我们要指出，假使用手工操作的机械进行锚眼钻孔，那么，这是施工中最危险的工作。若在极困难的施工条件下只能用手握风钻钻孔，那么，必须从一个安全的洞顶下先开始，并必须循序依照定位一钻孔一安装锚杆一张拉这样的工序逐步进行。然后，第二根锚杆继续按以上程序重复进行，逐步向岩质差的区段推进。

若施工条件很差，连手工风钻设备都不能使用。在这种情况下，唯一的办法是用特制的专用液压式钻机。这种钻机各方面的性能都很好，并随着钻机额定功率的增大，工作安全性也大大增加。因此，在大型工程施工中，有这样的钻机是很理想的。

也会有人怀疑锚杆本身，例如他们说："胀壳在这种岩石中是卡不住的！"这时，若有能测量应力的张拉设备并让人们自己去进行校验，这对问题的认识是有帮助的。前面介绍过的液压张拉式锚杆张拉器，就是一种理想的装置。

假使锚杆支护的整套钻具与张拉装置同时使用并遵守规范，那么，支护系统中的把握性是很少发生问题的。这一点的先决条件是，需要采用正确的锚杆型式；其特殊的稳定问题能适合于采用岩石锚杆及辅助加固手段，从而形成切实有效的解决办法。

第十章　特种锚杆体系

桁架式锚杆

这种锚杆体系的原理见图58。两根斜插锚杆用一根水平拉杆连结，这根水平拉杆的中央有一个用以张拉的花篮螺丝，这样就能在锚杆之间形成一个受压带。相互平行的安装这样一些装置，沿洞身方向的受压带长度就能增加。本法由英国伯明翰锚杆公司研制，并享有专利权，专用在煤矿坑道中。在挪威，据我们所知，还只在勃列维克（Breivik）的达伦（Dalen）煤矿中使用。

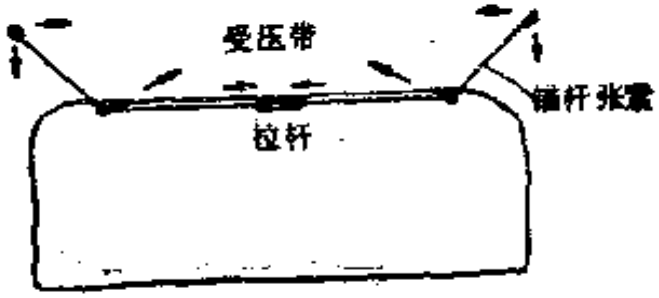


图 58　桁架式锚杆

玻璃纤维锚杆

在美国矿务局的斯伯岗（Spokane）采矿研究中心，已经研制成一种新型锚杆，见图59。这种锚杆由一束玻璃纤维丝及聚酯树脂灌浆液与硬化剂组成。玻璃纤维索盘绕在一个卷筒上，一面插入锚孔，同时立即灌注树脂。锚孔不一定要求很直，孔深也可以变化，因为孔口外的玻璃纤维可以割

断。试验表明，对于34mm直径的潮湿锚孔，树脂与孔壁间的粘结强度为5.2t/m，而干燥锚孔的粘结强度约可达37t/m。一根1m长锚杆的材料费用，按照目前的价格约为1.5美元，但是，安装锚杆所需的复杂而昂贵的设备将大大增加其总费用。

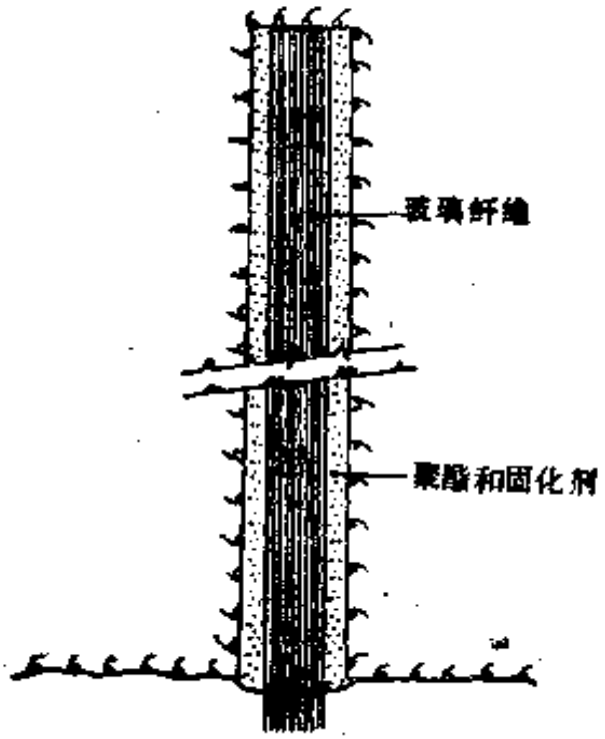


图 59　泵灌玻璃纤维锚杆

超　前　锚　杆

此法需要深孔（10～15m）钻进，钻孔与掘进方向形成一个很小的仰角，在洞身爆破前插入钢筋锚杆并进行灌浆，见图60。

在洞口陡坎处岩石覆盖很薄、或隧洞部分岩层很薄弱且破碎，同时又处于松散材料覆盖之下这样的劣质岩层等处，采用这种超前锚杆支护，便能减少进口边坎的开挖长度。当隧洞爆破时，用这种方法支护就能在爆破影响的理论

轮廓线外0.5～1.0m厚的洞顶上，沿洞身形成一个加固层。根据锚杆的长度与直径以及所采用的灌浆型式，用比利时喷浆泵灌浆或者用注射法灌浆安装锚杆，见图27。

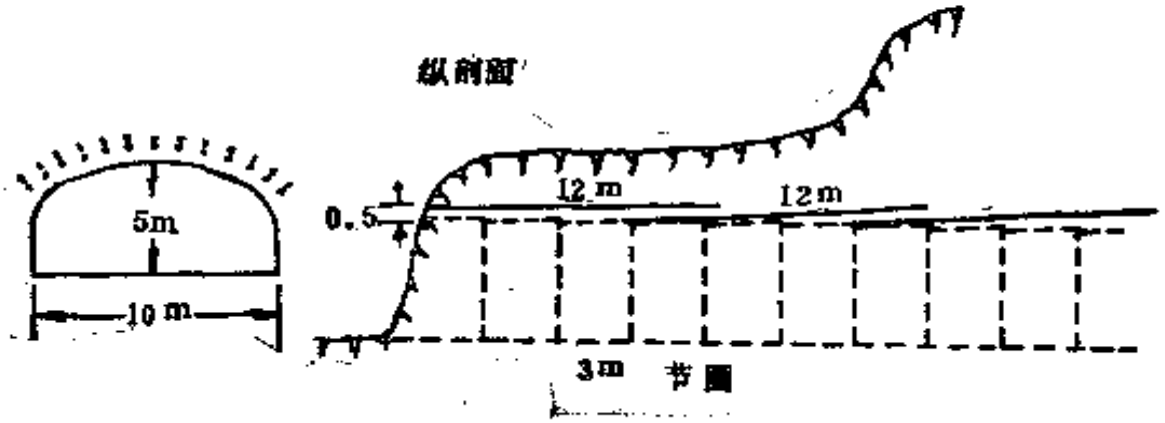


图 60　超前锚杆

塑料胀壳锚杆

一种新型塑料（Delrin100）胀壳锚杆已经在瑞典研制成功。这种胀壳由四个具有双锥形截面的活瓣构成。如图61所示，胀壳由两个锥形部分，这样就使得胀壳能平行胀开。较小的那个锥体头上有一个端部止口，使胀壳的胀开受限。活瓣在靠近顶部和底部各有一个凹槽，以便套入坚实的橡皮环（O形环）。例如锚杆已经用作悬挂一根通风管道，需要拆卸回收时，可将锚杆先拧出一点，再用力一敲，这样，胀壳松脱，锚杆与胀壳能从孔中卸出来待作他用。试验表明，

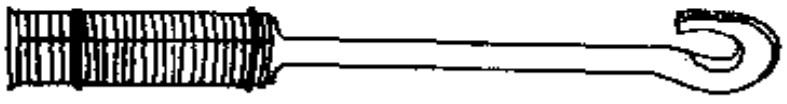


图 61　带塑料胀壳的悬吊锚杆

塑料胀壳在花岗岩中开始脱滑的荷载达5.5t。

玻璃纤维树脂灌浆锚杆

新研制的玻璃纤维锚杆（玻纤代号为Celtite Moon）已在某些矿区用作施工临时支护，这种地方的岩石要过一段时间再开挖掉。通常的岩石钢锚杆，在爆破后，有原封不动炸不掉的缺点，而在煤矿中，它们就会损坏挖煤机具。而玻璃纤维锚杆则在爆破后便损坏了。这种锚杆的头部切成45°，以使得聚酯树脂包装内的混合更为均匀。锚杆外端有一个长

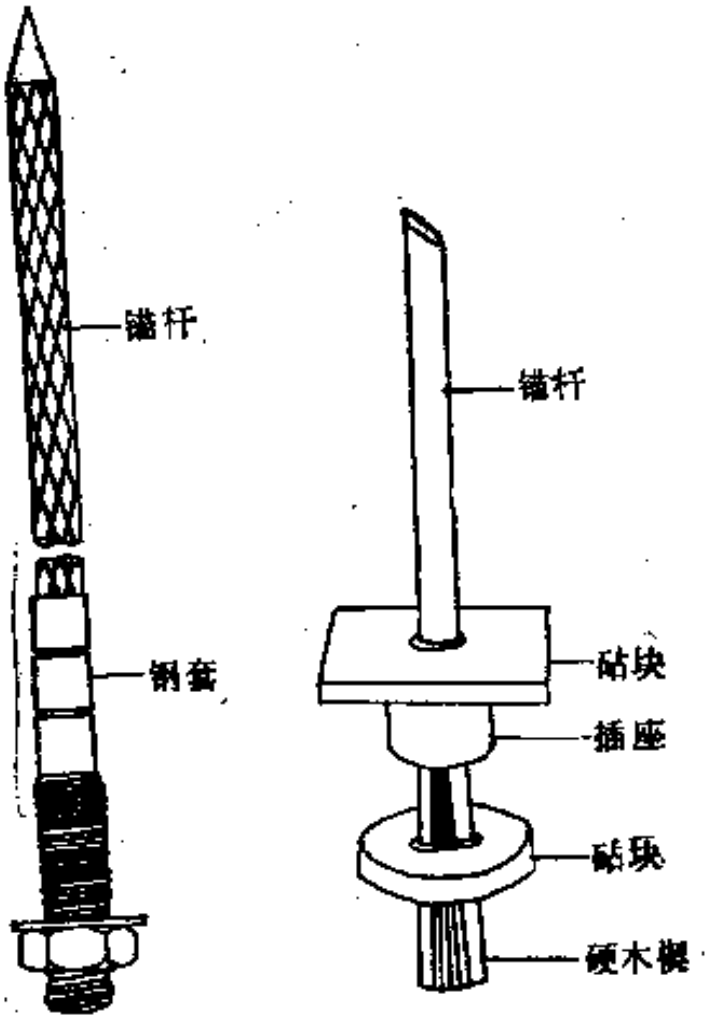


图 62　玻璃纤维树脂灌浆岩石锚杆

10～15cm的楔体，上面套着一个砧块及插座。楔体是硬木，由制造厂家套装在锚杆上。锚杆含73%的玻璃纤维，其余是聚酯树脂。直径有18、20和22mm。破坏强度、抗剪强度及抗弯强度分别为6200kg/cm²、3000kg/cm²、7500kg/cm²。破坏荷载还随锚杆的握裹长度而定。

最新的玻璃纤维岩石锚杆已在奥地利制成，锚杆端部装置为车有螺纹的钢套，可以张拉，见图62。

由于锚杆支护领域的迅速发展，新型岩石锚杆源源不断地流向市场，故实在难以保持最新水准。因此，当实际使用各类锚杆时，最重要的是须按照制造厂家的说明书及安装程序施工。

当支锚作业完成后，对其总的要求是必须符合有关的安全规程并对人身安全有充分的保证。