

第五章 岩土锚固施工技术

第一节 概 述

锚固技术是将受拉杆件的一端固定在边坡或地基的岩层或土层中，另一端与工程结构物相联结，用以达到有效的调用和提高岩土的自身强度和自稳能力的技术。这种受拉杆件工程上称为锚杆，它所起的作用就是锚固。

锚固工程是应用数学、力学和工程材料等科学知识来解决岩土工程中的锚固计算、设计、施工和监测等方面的技术和工艺。岩土锚固技术是当前岩土工程领域的一个重要分枝。由于这项技术能够主动调用并提高岩土的自身强度和自稳能力，大大减轻结构物自重，节约工程材料，并确保施工安全与工程稳定，具有显著的经济效益和社会效益，因而世界各国都在大力开发这门技术。

三、锚杆的分类

目前国内外使用的锚杆种类已有数百种之多，众多的锚杆品种，可满足在不同的岩土条件、工程对象和工作状态下，得心应手地选择、设计和采用不同承载能力要求的锚杆。

锚杆分类方式也很多，有按应用对象分为：岩石锚杆、土层锚杆和海洋锚杆；按是否预先施加应力分为：预应力锚杆和非预应力锚杆；按锚固部分大小分：全长锚固式锚杆、端部锚固式锚杆；按锚固机理分为：粘结型锚杆、摩擦型锚杆；端头锚固型锚杆和混合型锚杆；按锚固体传力方式分为：压力型锚杆、拉力型锚杆和剪力型锚杆；按锚固体形态分为：圆柱型锚杆、端部扩大型锚杆和连续球体型锚杆。按锚杆杆体材料分为：金属锚杆、木锚杆、竹锚杆、钢筋锚杆、钢丝束锚杆、钢绞线锚杆等。

随着岩土锚固技术的快速发展，新型锚杆不断涌现，某些品种已被淘汰，在工程中常用的锚杆种类还是有限的。大致可归纳成锚杆分类图，如图 5—5。

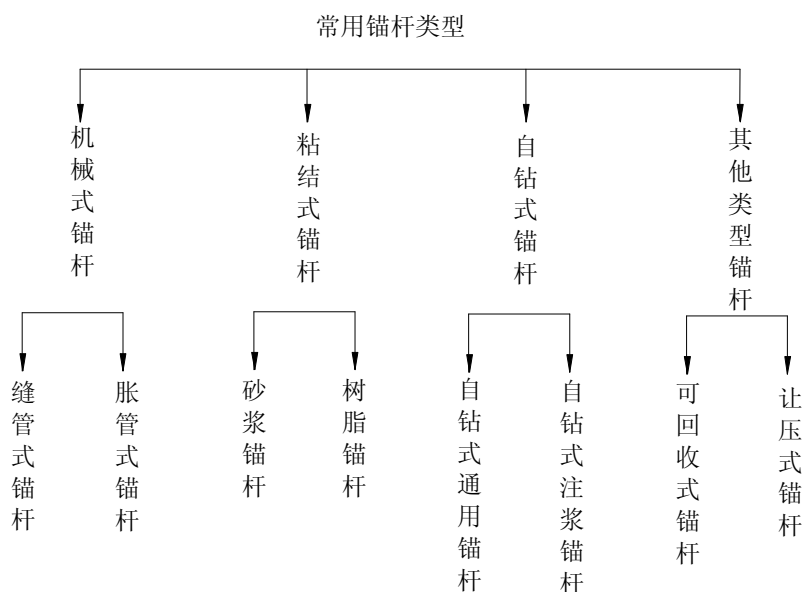


图 5—5 常用锚杆分类

对各种锚杆的类型、技术特征和使用范围分述如下：

1. 管缝式锚杆

这种锚杆加工多采用 45 号钢或低合金钢钢板卷压成型法，如图 5—6 所示。

缝管式锚杆一般长度 1.2~1.5m，最长为 1.8~2.0m。 钻孔直径通常为 34.9mm。因管径大于孔径，需用风钻(前端用特制顶具)或其他专用机具强行挤入钻孔中依靠优质钢管的弹性变形恢复力而与孔壁紧紧挤压，在杆体全长产生锚固力。锚固力可达 70~90kn。随时间而增长。在普通岩体中使用效果也较好。

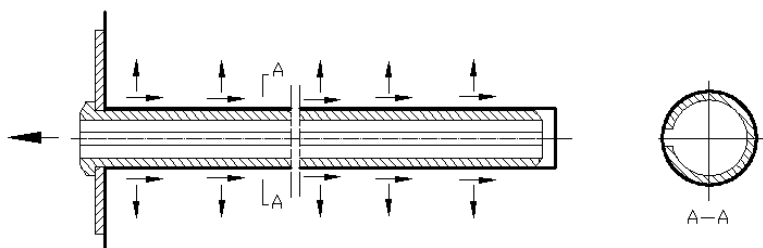


图 5—6 管缝式锚杆

2. 胀管式

胀管式锚杆为一异形断面的无缝钢管，两端密封，借助于高压水将异形钢管鼓胀并贴紧孔壁而锚固岩石如图 5—7 所示。安装时先将托板套在管体端，然后放入孔内。接上接头和高压水泵并注入高压水(30MPa)，使异形管胀大并紧贴孔壁。

胀管式锚杆的特点是安装方便迅速能及时承载，对孔径孔深无特殊要求，抗震性好。缺点是价格贵，安装需专用泵，易锈蚀，不宜作永久支护。

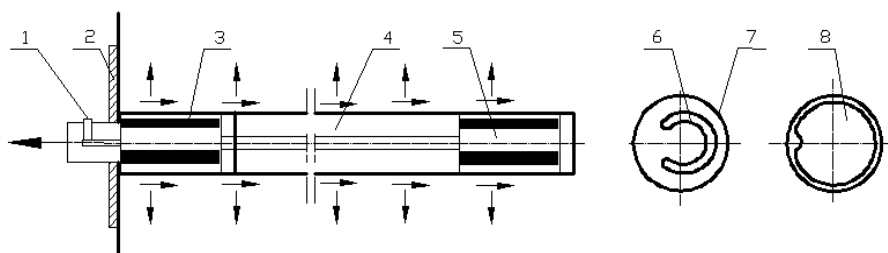


图 5—7 胀管式锚杆

1—高压水注入孔, 2—承压板, 3—尾端密封套, 4—异形管, 5—顶端密封套, 6—
一胀开前异形管, 7—锚杆孔, 8—胀开后异形管

3. 楔缝式锚杆

楔缝式锚杆的工作原理与金属膨胀钉相同如图 5—8 所示。拉杆直径通常为 22~28mm, 长度不超过 3m 为宜。楔缝长 140mm, 锥度 7°。钻孔直径与锚杆直径差不大于 7mm。

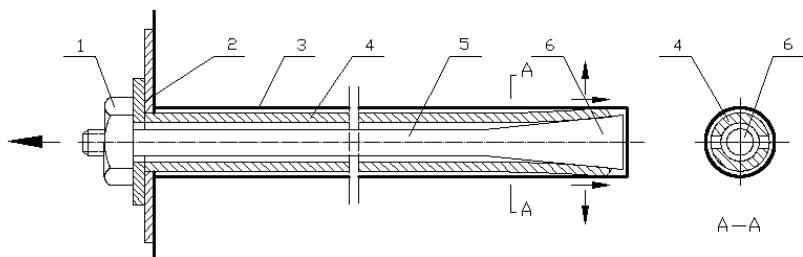


图 5—8 楔缝式锚杆

1—螺母, 2—承压板, 3—锚杆孔, 4—衬管, 5—拉杆, 6—楔体

4. 楔管式锚杆

楔管式锚杆如图 5—9。它综合了楔缝式锚杆和楔块式锚杆的优点, 锚杆长度可达 6m。

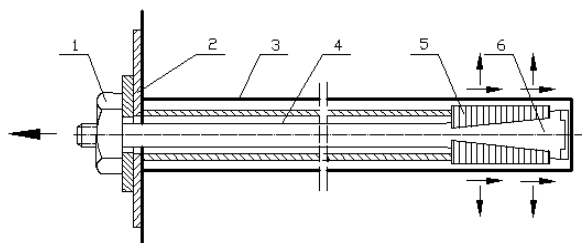


图 5—9 楔管式锚杆

1—螺母, 2—承压板, 3—锚杆孔, 4—拉杆, 5—卡瓦, 6—锥形楔体

5. 灌浆

锚杆

灌浆锚杆是采用水泥砂浆或树脂将拉杆胶结在钻孔中, 利用固结后浆液与锚杆的粘结力和浆液与岩层的粘结力而达到锚固岩层。常用的灌浆锚杆按锚固体形状有圆柱型、端部

扩大型、连续球体型粘结式锚杆三种。

(1) 圆柱型锚杆(图 5—10)

粘结材料通常为水泥或砂浆,适用于粘性土、砂土、粉砂土等相对密度较大而含水量小、抗剪强度相对较高的土层或者设计承载力不大的岩层。这种锚杆具有结构简单、制造安装方便等特点。

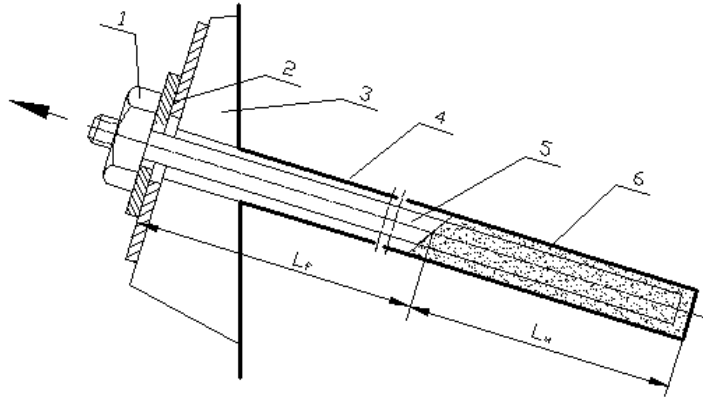


图 5—10 圆柱型锚固体锚杆

1—锚具, 2—承压板, 3—台座, 4—锚孔, 5—拉杆, 6—圆柱形锚固体,
 L_f —自由段长度, L_u —锚固段长度

(2) 端部扩大头型锚杆(图 5—11)

端部扩大头型锚杆的结构特点是在锚孔底部把孔径扩大,形如一倒埋的销钉形。由于它除了可提供粘结力外,其端头肩部还增加了岩土体对锚杆抗拔的阻力,从而提高了锚杆的锚固力和极限抗拔力。此类锚杆主要适用于松软土层,而且要求有较高承载力的情况。

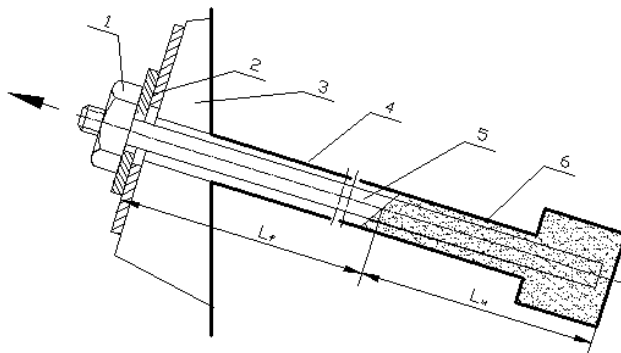


图 5—11 端部扩大型锚杆

1—锚具, 2—承压板, 3—台座, 4—锚孔, 5—拉杆, 6—圆柱形端部扩大锚固体,
 L_f —自由段长度, L_u —锚固段长度

(3) 连续球体型锚杆(图 5—12)

是通过分段扩张法或分段高压注浆法使锚杆锚固段形成一连串球状体，使之与周围土体有更高的嵌固强度。此类锚杆适用于淤泥、淤泥质土层，并要求较高锚固力的情况。

灌浆锚杆的拉杆可以是单根，也可以是多根。多根拉杆又可以根据组合形式不同，构成复杂的受力状态，从而调动更大的锚固力。

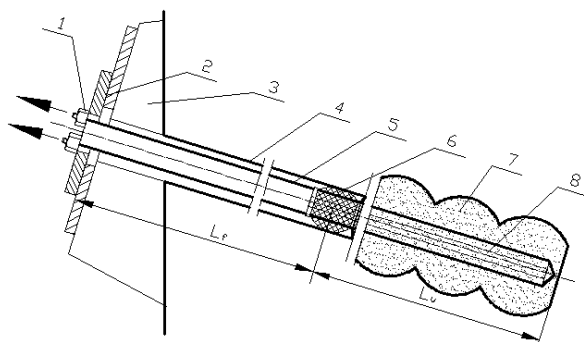


图 5—12 连续球体型锚杆

1—锚具，2—承压板，3—台座，4—钻孔，5—拉筋，6—止浆密封装置，
7—连续球体型锚固体，8—注浆套管， L_f —自由段长度， L_u —锚固段长度

6. 自钻式锚杆

自钻式锚杆也称自进式锚杆，它是一种将钻孔、锚杆安装、注浆锚固合而为一的锚杆。

自钻式系列锚杆是一个根据不同的现场、地质和使用情况精心设计的配套的系统，具有高效、可靠、施工方便等特点，能保证在各种不同的复杂地层中的锚固效果。自钻式系列锚杆的种类和特点见表 5—1。

自钻式系列锚杆的种类和特点

表 5—1

序号	系列	特点与用途
1	自钻式通用锚杆	杆体直径 $\Phi 16\text{mm}$ ，配有塑料胀壳头，负荷大于 10KN，主要用于挂网支护。
2	自钻式胀壳锚杆	杆体直径 $\Phi 16 \sim \Phi 22\text{mm}$ ，配有塑料或金属胀壳头，适于 $\Phi 30 \sim \Phi 50\text{mm}$ 钻孔。
3	自钻式注浆锚杆	锚杆杆体为中空式，可连接接长，可通过中空杆体注浆。
4	自钻式注浆胀壳锚杆	在胀壳锚杆基础上，采用中空式杆体，可通过中空杆体注浆。
5	自钻式注浆钻进锚杆	配有一次性钻头，可通过中空杆体注浆。用于成孔困难的复杂地层锚固。

7. 屈服锚杆

屈服锚杆的原理是：当被加固结构受到强烈的冲击(如爆炸、地震等)荷载时，锚杆可

在保持一定承载力(最大屈服荷载)的情况下产生较大的变形(最大屈服长度)而不致破坏。它是靠设置在锚固段(或外锚头)的屈服装置来实现的, 屈服装置主要有摩擦屈服和剪切屈服。图 5—13 和图 5—14 显示了两种典型的屈服装置。

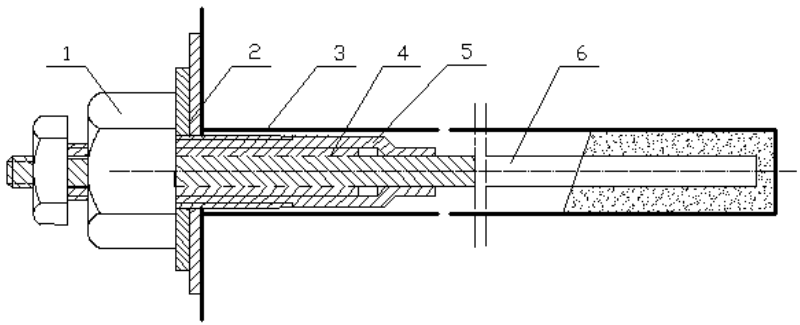


图 5—13 螺纹剪切型屈服锚杆

1—锚具, 2—承压板, 3—钻孔, 4—螺纹, 5—套管, 6—拉杆

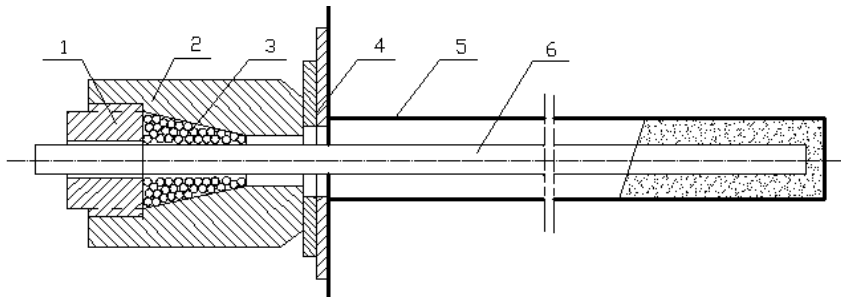


图 5—14 钢球摩擦型屈服锚杆

1—堵头, 2—锚具, 3—钢球, 4—承压板, 5—钻孔, 6—拉杆

在使用时, 屈服锚杆的最大屈服荷载和最大屈服长度要根据工程具体情况并在严格的试验条件下确定。这种锚杆特别适用于允许被加固结构产生一定程度变形的工程。如地下抗爆工程使用普通锚杆可能承受不了这种强烈冲击荷载, 而使用屈服锚杆的结果可使硐室的断面积部分减小但不会坍塌。这主要是由于硐室在变形过程中吸收了部分瞬时冲击能量, 这在国内外使用屈服锚杆加固的抗爆结构试验中已得到证实。

8. 可回收锚杆

可回收锚杆是指用于临时性工程加固的锚杆, 在工程完成后可回收。可回收锚杆施工与普通锚杆并无很大的差异, 只不过是使用了经过特殊加工的张拉材料、注浆材料和承载体。

目前这种锚杆在国外正处于发展阶段, 而国内还未见使用的报道。按其结构可分为如下三类:

(1) 机械式可回收锚杆: 是将锚杆体与机械式联结器联结起来, 在回收时施加与紧

固方向相反的力矩，使锚杆体与机械的联结器脱离后取出。

(2) 化学式可回收锚杆：是先锚杆的锚固段安装发热装置或爆破装置，在回收时使用点火装置把锚杆从锚固段与自由段处切断，然后将其收回。

(3) 力学式可回收锚杆：是使用特殊被复的钢丝作为锚杆体，使钢丝与注浆体隔离，回收时对每一根钢丝进行张拉，直到钢丝被一根根抽出。

五、锚杆的承载机理

图 5—16 表示一根灌浆锚杆中的砂浆锚固段，如将锚固段的砂浆作为自由体，则可对其受力状态作如下的分析：

当锚固段受力时，拉力 T_i 首先通过拉杆周边的砂浆握固应力 u 传递到砂浆中，然后再通过锚固段钻孔周边的地层摩擦阻力 τ 而传到锚固地层中。因此，拉杆如受到拉力的作用，除了钢筋本身需要足够的截面积 A 承受拉力外，即 $T_i = P_i \times A$ (P_i 为钢筋单位面积上的应力)，锚杆的抗拔作用还必须同时满足以下三个条件：

- (1) 锚固段的砂浆对于拉杆的握固力需能承受极限拉力；
- (2) 锚固段的地层对于砂浆的摩擦力需能承受极限拉力；
- (3) 锚固的土体在最不利的条件下需能保持整体稳定性。

锚固体类型结构无论是灌浆或非灌浆，其基本作用原理是相同的，都是依靠锚杆周围地层的抗剪强度来传递构筑物的拉力或者保持地层的自身稳定，为具有针对性和设计工作方便，常根据锚固体内部拉杆与灌浆材料之间的传力方式不同分为拉力型，压力型和复合型三种类型。

1. 拉力型锚杆基本原理

外锚头上的拉力通过拉杆将力传递到锚固段，拉力 T 首先通过锚固段内拉杆周边固结浆液握固力 U 将拉力 T 传递到固结浆液中，使固结浆液内部形成剪应力，并传递到固结浆液与孔壁间，然后再通过锚固段砂浆与孔壁间摩擦阻力 τ 而将 T 传递到地层中，并形成地层内部剪切应力。

再分析锚固体首尾部的受力情况，由于锚固体的弹塑性变形，形成首尾部受力不一致： $T_{\text{首}} > T_{\text{尾}}$ ，轴向力 T 随锚固段向孔底延伸而递减。拉力型锚杆依靠锚固段首尾部的不均匀变形来带动与锚固段相结合的岩土体变形，以此调用岩土体的抗剪强度。这种锚杆的锚固体易被拉裂，抗拉能力较小，防腐性差。亦即锚固体的支承机理是：摩擦力 (F) 远远大于支承力 (Q)。

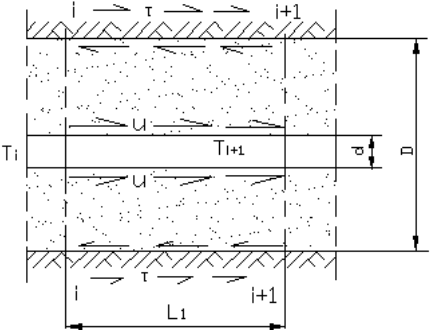


图 5—16 灌浆锚杆锚固段受力状态

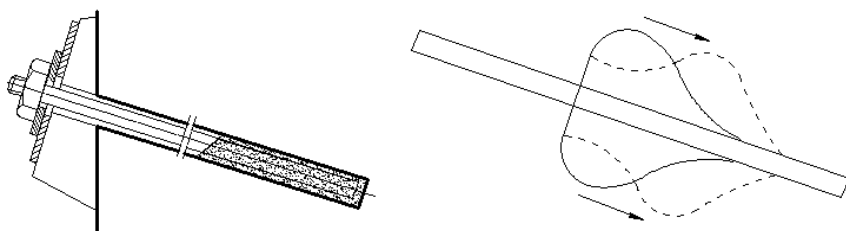


图 5—17 拉力型锚杆在外力作用下结合应力分布形态及发展规律

2. 压力型（承压型）锚杆基本原理

锚固体有一个支承的面，承压型的锚固体一部分或大部分是局部扩大，所以锚杆的拉力与其说是依靠锚固体与土之间的摩擦，不如说是依靠作用于锚固体的被动土压力来获得支承，亦即锚固体的支承机理是：摩擦力 (F) 远远小于支承力 (Q)。

为了形成承压面，可由几种不同的途径得到。在天然地层中可采用扩底工艺，将端部的孔段扩大，或采用注浆塞加压灌浆扩大锚固体直径。如图 5—18 所示。

压力型（承压型）锚杆沿拉筋全长涂以油脂（黄油或沥青）并上塑胶管使之与胶结材料（砼）分离，锚杆受力后通过无粘结拉筋直接传递到锚固体根部，将拉筋的拉力转变为对锚固体的压力，再通过锚固段首、尾部不均匀压缩变形带动与其结合的岩土体发生变形，从而调用岩土体的抗剪强度。由于受力结构上的特点，压力型可以制成可拆心锚杆，可延长使用年限，在一定程度上推动了锚杆的应用。

但是也应指出，压力型锚杆的承载力还受到锚杆横截面内灌浆体抗压强度的限制，因此在钻孔内仅采用一个承载体的集中压力型锚杆，不可能被设计成有较高的承载力。

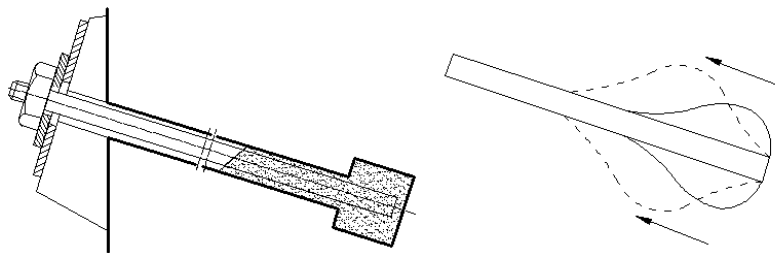


图 5—18 压力型锚杆在外力作用下结合应力分布形态及发展规律

3. 复合型（剪力型）锚杆基本原理

复合型锚杆有单头型和多头型。单头型常用于软弱地层，如采用将若干个剪力管用环氧树脂粘结于拉杆上，再用油脂和塑料管将拉杆与砂浆隔离。或者在软弱地层中施工扩孔灌浆锚杆，使之成为类似连续球形锚杆。每个剪力管便对锚固体产生一个压力区，整个锚固体便呈现多个压力区，即压力分散型。

多头型锚杆常用于岩层，由多组单体锚杆组成，如图 5—19 所示。

当拉杆与砂浆锚固体隔离时，每一头便产生一个压力区，整个锚固体便呈现多个压力

区，即多头型压力分散型。

当拉杆与砂浆锚固体粘结时，每一头的拉杆产生拉力区，而拉杆端部的托盘又对锚固体产生一个压力区，整个锚固体便呈现多个拉力区和压力区，即多头拉压复合型锚杆。

复合型锚杆的支承方式比较复杂，实际上是摩擦力及支承力两者兼而有之，共同承担。可以认为，摩擦力与支承力的大小近似相等($F \approx Q$)。作用于锚杆上的总拉力被分解为若干个分力，分别作用于锚固体的不同部位，使整个锚固体均匀受力， $T_{\text{首}} \approx T_{\text{尾}}$ 。并产生较为均匀的变形，从而带动岩土体变形，调动更大范围内的岩土体强度。

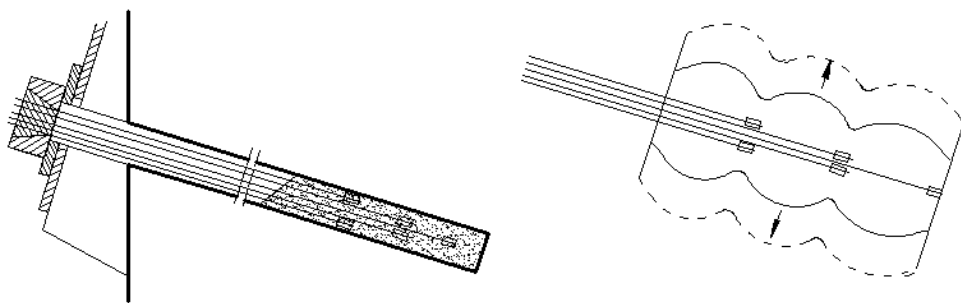


图 5—19 复合型（剪力型）锚杆在外力作用下结合应力分布形态及发展规律

从对锚杆的传力分析和对锚固体应变变量实测表明：在外力作用下，拉力型、压力型和剪力型锚固体与岩土体的结合应力分布与发展规律是有明显区别的。拉力型和压力型锚杆，存在明显的应力集中现象，只能使与锚固体相结合的岩土体局部地，先后地进入屈服状态，而不能充分地调用整个与锚固段相结合的岩土体的潜在强度，而剪力型锚杆的结合应力分布较均匀，既有受拉区，又有受压区。可以认为剪力型锚杆克服了拉力型与压力型锚杆固有的缺陷。

第二节 锚杆的施工技术

锚杆施工质量，直接影响锚杆的锚固能力。在各种不同地层条件下，只有在机械设备选用合适，施工工艺采用得当，锚杆技术才能发挥其较大的经济效益。只有施工质量有了保证，才能提高对锚固技术使用的可靠性。为此，根据工程条件和地质条件，选择适宜的施工方法，对提高施工效率和取得良好的经济效益至关重要。必须事先对施工方法和所使用的材料进行充分研究，并认真组织施工。

锚杆的施工主要包括施工准备、锚杆孔钻凿、锚杆的制作与安放、注浆、锚杆的张拉和锁定等。锚杆施工工序见图 5—20。

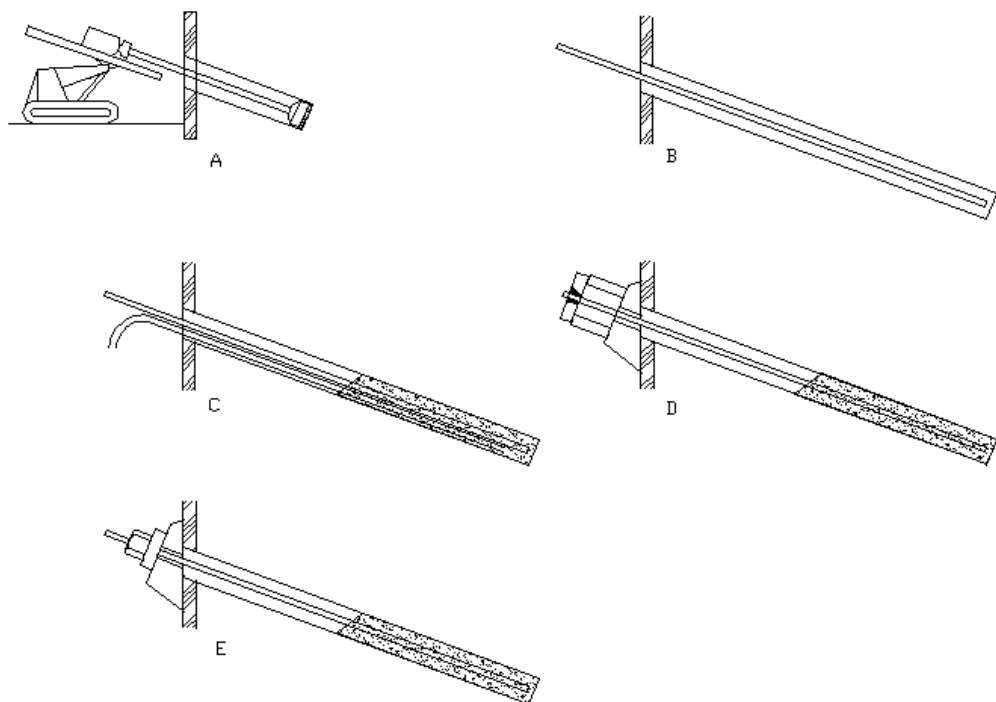


图 5—20 锚杆施工程序

A—成孔，B—拉杆安放，C—注浆，D—张拉，E—锁定锚固

一、锚

杆施工要求

通常锚杆孔的成孔是锚固工程中费用最高和控制工期的作业，因而也是影响锚固工程经济效益的主要因素。

锚杆的成孔应满足设计要求的孔径、长度和倾向，采用适宜的钻孔方法确保精度，使其后续杆体插入和注浆作业能顺利进行。

1. 在钻孔过程中，对锚固区段的位置和岩土分层厚度进行验证，如计划的锚固地层过分软弱，则应采取注浆加固或变更锚固地层。

2. 根据不同的岩土条件，应选用不同的钻机和钻孔方法，以保证在杆体插入和注浆过程中孔壁不至于坍塌；钻孔直径符合设计要求，以使孔壁不至于过分扰动。

3. 钻孔以清水为好，膨润土悬浊液和泥浆水都会减弱锚杆的锚固力，应避免使用。钻孔用水对周边地基和锚固地层地基有不良影响时，有条件时应考虑无水钻孔法。

4. 锚固段内的孔壁有沉渣或粘土附着时会使锚杆锚固力下降，下锚前应进行清孔。

5. 施工过程中若有地下水从钻孔内流出，必要时采取注浆堵水，以防止锚固段浆液流出而影响锚杆的锚固力。

6. 对于滑坡整治和斜坡稳定等工程，钻孔水会产生不良影响，可采用固结灌浆以改

良地层，或采用无水钻孔法。

7. 钻孔精度视构筑物的重要程度和使用目的有所不同。钻孔过程中，应经常检查钻孔的直线度，一般偏离钻孔轴线的允许误差为钻孔长度的 2%。

二、锚杆孔成孔工艺

锚杆钻机是锚杆施工的主要设备。锚杆钻机分类方法较多，按锚杆钻机的整体结构可分为单体式、钻车式和综合式；按锚杆钻机工作原理可分为回转式、冲击式、冲击回转式；按锚杆钻机所用动力可分为液压、电动和气动；按适用条件可分为岩巷锚杆钻机和煤巷、半煤(岩)巷锚杆钻机。

（一）锚杆孔成孔设备

目前国内外锚固工程中采用的钻机主要有：

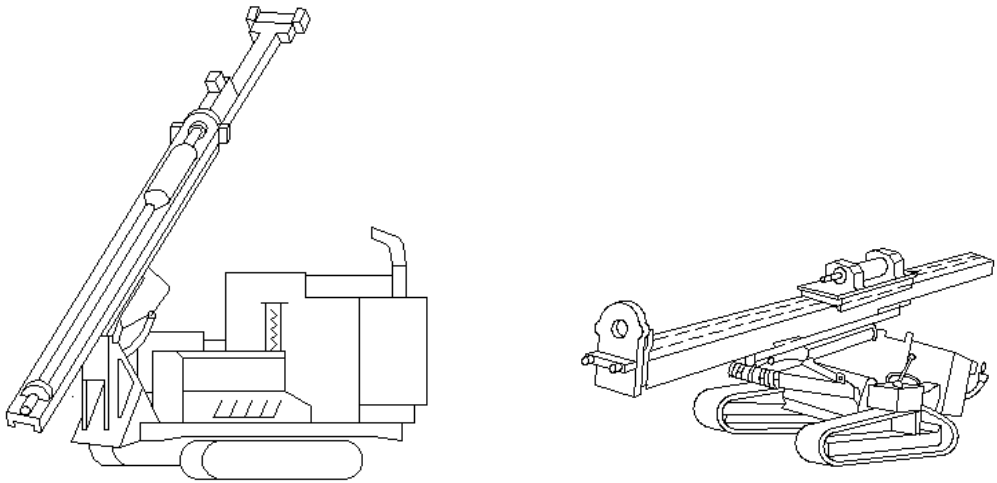


图 5—21 日本矿研株式；图 5—22 德国 DHR80A 钻机

此外，国内的一些土锚工程还使用地质

钻机和自制干螺旋钻机，如 XY—1 型、SQ—100 型、东风—30 型和 SGZ—1 型等钻机。

（二）锚杆孔的成孔方法

锚杆孔的成孔一般分为两类，一类是荷载较小的短锚杆钻孔，另一类是传递较大拉力的长锚杆钻孔。

1. 小直径短锚杆的钻孔

在岩石上钻凿短锚杆的钻孔，一般采用气动冲击钻机。用于加固地下大型硐室的锚杆孔的钻凿，也可使用高效移动式单臂或多臂凿岩台车。在土层中钻凿锚杆孔，则一般采用气动冲击钻、螺旋钻和普通回转钻。国内目前已研制并使用有多种专门用作锚杆成孔、安装的机具。

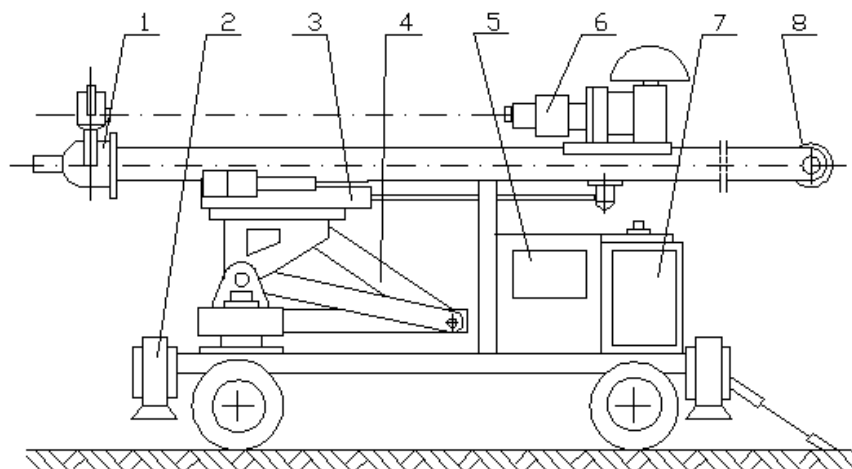


图 5—24 YTM87 型土锚钻机

1—卡头，2—液压支腿，3—主梁伸缩油缸，4—主梁俯仰油缸，
5—配电箱，6—动力头，7—液压油箱，8—给进液压马达

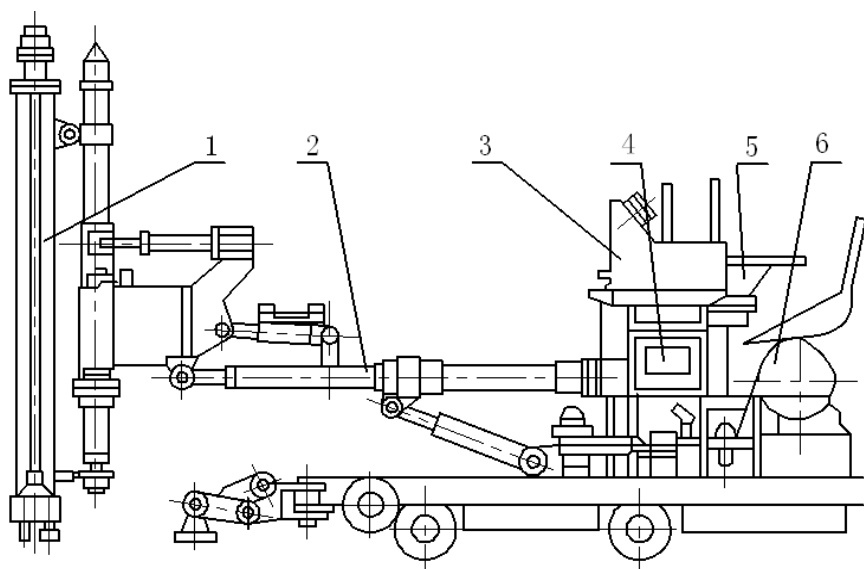


图 5-25 GGM40 型全液压锚杆台车结构示意图

1—转架，2—钻臂，3—操作台，4—电气系统，5—注浆罐，6—液压系统

2. 大直径长锚杆的钻孔

承载力大的锚杆一般要求采用大直径的深孔钻机钻进成孔。选择成孔方法时，应当根据岩土类型、钻孔直径和长度、接近锚固工作面的条件、所用冲洗介质的种类以及锚杆类型和所要求的钻进速度来选择合适的钻机。

3. 锚杆孔的扩孔方法

为了增大锚杆的承载力，有时需要对钻孔深处的端部进行扩孔处理。可通过专门的扩孔机具或在孔内放入少量炸药进行扩孔，扩孔的方法有：机械扩孔、爆炸扩孔、水力扩孔和压浆扩孔。

(1) 机械扩孔

机械扩孔需用专门的扩孔装置。该扩孔装置是一种扩张式刀具置于一鱼雷形装置中，能通过机械方法随着鱼雷式装置缓慢地旋转而逐渐张开，直到所有切刀都完全张开完成扩孔为止。如英国 Fondedile 公司生产的一种专门用于粘土层的扩孔设备，该设备能在钻孔中同时形成几个扩大的铃状体。该机由一系列铰刀组成，操作时铰刀能连续开启，在孔中形成与扩孔点数量相同的连续球形体。与此同时，被铰刀切削下来的破碎物料则通过冲洗液带至钻孔外。

机械扩孔方法适用于密实土和粘土的扩孔作业。

(2) 爆炸扩孔

爆炸扩孔是把计算好的炸药放入钻孔内引爆，把土向四周挤压形成球形扩大头。此法一般适用于砂性土。对粘性土，爆炸扩孔扰动大，易使土液化，有时反而使承载力降低。即使用于砂性土，也要防止扩孔坍落。爆炸扩孔在钻孔灌注桩施工中已有成熟的经验，但在锚杆施工中我国尚缺乏完整的经验。

(3) 水力扩孔

水力扩孔在我国已成功用于土层锚杆施工。用水力扩孔，当土层锚杆钻进锚固段时，换上水力扩孔钻头，它是将合金钻头的头端封住，只在中央留一直径为 10mm 的小孔，而在钻头侧面按 120° 角，与中心轴线成 45° 角开设三个直径为 10mm 的射水孔。水力扩孔时，保持射水压力为 0.5~1.5MPa，钻进速度为 0.5m/min，用改装过的直径为 150mm 的合金钻头即可将钻孔扩大为直径 200~300mm，如果钻进速度再减小，钻孔直径还可以增大。

在饱和软粘土地区用水力扩孔，如果孔内水位低，由于淤泥质、粉质粘土和淤泥质粘土本身呈软塑或流塑状态，易出现缩颈现象，甚至会出现卡钻，使钻杆提不出来。

(4) 压浆扩孔

在国外广泛采用，我国多采用在孔内安装封隔器二次灌浆法来达到扩大锚固段直径的目的。其压浆扩孔的工艺过程，参见锚杆注浆工艺。

三、锚杆杆体的制作与安放

(一) 锚杆杆体的制作

锚杆材料的确定取决于锚固工程对象、锚杆承载力、锚杆长度、数量及现场提供的施加应力及锁定的设备。锚杆材料可用普通钢筋、精轧螺纹钢和高强钢丝、钢绞线。

在施工方面，短锚杆的制备、安放就位和施加预应力都是较简单的，而长锚杆处理起来就比较困难，因此制作长锚杆最好使用钢丝或多股钢绞线。特别是使用钢绞线，柔性好，便于运输，可以插入钻孔达数十米，即使在较小的操作平台上，不管钻孔的方向如何，都可采用这种锚杆。

1. 棒条锚杆的制作

棒条锚杆的制作，一般按锚杆要求的长度切割钢筋，并在杆体外端加工成螺纹以便安放螺母，在杆体上每隔 2~3m 安放导中器，以使杆体在孔内居中，保证有足够的保护层。国内生产的精轧螺纹钢，屈服强度达 750MPa，可用套筒连接钢筋及锁定预应力，使用方便。目前国内生产的 $\phi 32$ 和 $\phi 25$ 两种规格的精轧螺纹钢，是制作极限拉力值小于 600kN 的棒条锚杆的理想材料。

2. 多股钢绞线锚杆的制作

国内常用的锚杆钢绞线为 7 $\phi 4$ 和 7 $\phi 5$ 两种，钢绞线结构见图 5-26。钢绞线分为有粘结钢绞线和无粘结钢绞线，有粘结钢绞线锚杆制作时应在锚杆自由段的每根钢绞线上施作防腐层和隔离层。临时性锚杆防腐层可用黄油或防腐油脂，而永久性锚杆应采用专用防腐油脂；隔离层通常采用 PVC 软管，每根钢绞线涂油后均应设置隔离层，对防腐要求较高的锚杆还应在组装好的锚杆体上再套直径较大的 PVC 软管形成双层保护层。锚杆自由段钢绞线每隔 1.0~2.0m 需设对中支架(也称隔离架)并将绞线牢固绑扎在支架上，对中支架通常采用具有一定强度和刚度的材料制成，如塑料管加工而成或注塑成型或用钢材焊接成型，支架的尺寸以保证绞线有足够的保护层、易于安设注浆管为控制标准。

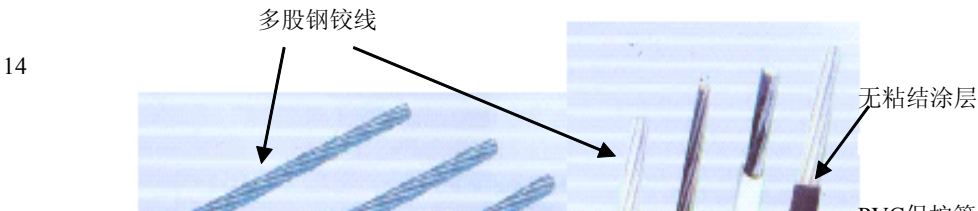


图 5-26 钢绞线结构

多股钢绞线制作的锚杆构造见图 5-27。预应力锚杆(索)的构造,其锚固段的钢绞线呈波浪形,是通过夹紧环与扩张环(隔离环)的交替设置而成的。经常使用的隔离环的构造如图 5-28A 所示,它同时具有两种功能,既能使钢绞线分离,使之周边有足够的水泥浆粘附,又能保证所需的保护层厚度不小于 20mm。隔离环的间距为 1.0~1.5m。

3. 多根钢丝锚杆的制作

首先将钢丝校直并切割成要求的长度(要留有余地,一般实际长度应大于计算长度 0.3~0.5m)。其次借助带孔的金属分线板将钢丝按层次用尼龙绳或 20 号不镀锌铁线像编竹帘一样分层编织钢丝帘,平铺帘子中心放置带有扩张环的衬管,然后卷起帘子并逐层捆扎,在两扩张环之间扎紧(夹紧环)。直至锚固段成为波纹状锚束。制作过程中,最重要的是钢丝就位,因为放置的钢丝若在全长上不是相互平行的,就不能利用钢丝的截面,而且会降低钢丝的强度。用钢丝组成大型锚索不仅费时而且需要占用较大的加工场地。

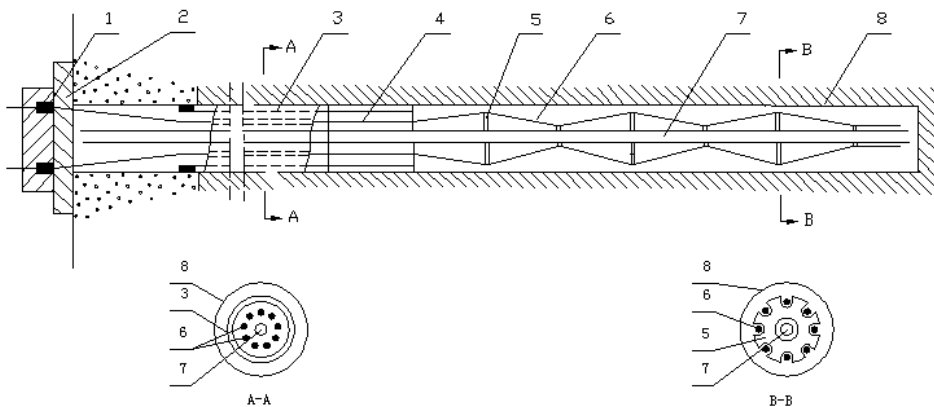


图 5-27 多股钢绞线锚杆的构造

1—锚头, 2—承压板, 3—光滑套管, 4—密封段, 5—隔离环, 6—钢绞线, 7—注浆管, 8—钻孔

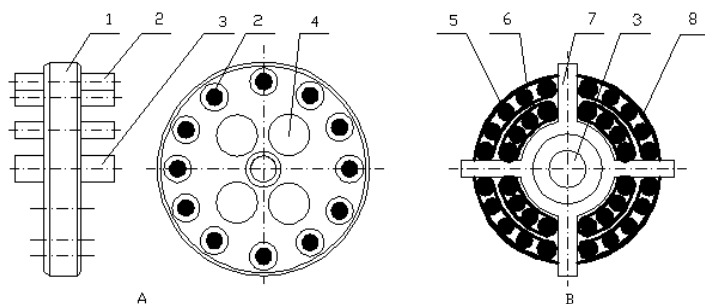


图 5—28 对中支架（隔离环）构造示意图

A—钢绞线对中支架（扩张环） B—多根钢丝隔离支架

1—隔离环，2—钢绞线，3—注浆管，4—减重孔，5—钢丝，
6—扎帘铁线，7—隔离架体，8—扎束铁线

（二） 杆 杆 的安放

锚 体

在一般情况下锚杆杆体与灌浆管同时插入钻孔底部，尤其对于土层锚杆，要求钻孔完后立即插入杆体。插入时将锚杆有支架一面向下方，若钻孔时使用套管，则在插入杆体灌浆后再将套管拔出。若是用风钻钻出的小口径锚杆孔，则要求灌浆后再插入杆体。安放锚杆时应做好以下工作：

1. 插入锚杆时要求顺直，如采用的杆体为两根以上需要焊接时，焊接可采用对焊或帮焊。帮焊应满足规范 GBJ—65 钢筋焊接技术要求。
2. 安装锚杆前应对钻孔重新进行检查，对塌孔、掉块应进行清理或处理。
3. 锚杆安装前应对锚索体进行详细检查，对损坏的防护层、配件、螺纹应进行修复。
4. 推送锚杆时用力要均匀一致，应防止在推送过程中损伤锚杆配件和防护层。
5. 推送锚杆时不得使锚杆体转动，并不断检查排气管和注浆管，应确保将锚杆体推送至预定深度后排气管和注浆管畅通。
6. 当推送锚杆困难时，应将锚杆抽出，对抽出的锚杆应仔细检查，并对配件安放固定的有效性、防护层的损坏程度、钻孔的清洁度及排气管和注浆管的状况进行观察。当发现锚杆体配件有移动、脱落或锚杆体上粘附的粉尘和泥土较多时，应加强配件的固定措施，并对钻孔的清洁程度进行检查，必要时应对钻孔重新进行钻进和清洗。

四、注浆材料与工艺

锚杆通常用水泥浆或水泥砂浆将锚杆与地层固定并对锚杆加以保护。锚杆的粘结强度和防腐效果在很大程度上取决于拌合料的成分及其注入方式。

（一）注浆材料

锚杆灌浆一般使用水泥砂浆，并要求砂浆的强度一般 7d 不应低于 20MPa，28d 不应低于 30MPa。水泥浆应采用新鲜的不低于 P32.5 号的普通硅酸盐水泥。水泥必须具有抵制水和土的侵蚀的化学稳定性。为了防止钢质杆体的腐蚀，氯盐的总含量不应超过 0.1%（永久锚杆）和 0.15%（临时锚杆）。

拌合水也应符合要求，硫酸盐含量超过 0.1%，氯盐含量超过 0.05%，并且含有糖分或有悬浮物有机质的水是不适用的。一般情况下，凡适合于饮用的水均可作为拌合水。

砂一般选用中砂，在拌料前要过筛，以免较粗的砂粒混入。

水灰比对水泥浆起着特别重要的作用。过量的水会使拌合料发生泌水并降低其强度，同时也会产生较大的收缩，结果将降低硬化砂浆的耐久性。经验表明，固定锚杆所用的砂浆的最适宜的水灰比为 0.4~0.5，灰砂比为 1:1 或 1:0.5（重量比）。

为了增加砂浆的流动度，降低硬化后的收缩，提高强度，可在砂浆中加入非引气型外加剂。但应注意，外加剂不能对拉杆材料有腐蚀作用。

（二）注浆工艺

注浆方法有一次注浆法和二次注浆法两种。我国一般采用一次注浆法，即利用注浆泵通过注浆管将砂浆泵入锚孔，待浆液流出孔口时，封闭孔口，再以较高压力进行补灌，稳压数分钟，灌浆即告结束。注浆管一般用 $\phi 30\text{mm}$ 左右的钢管或胶管做成，一端与压浆泵连接，另一端与锚杆拉杆同时送入孔内，管端距孔底应预留 0.5m 左右的空隙。注浆管如采用胶管，使用时应用清水洗净内外管，开动注浆泵将搅拌好的砂浆注入钻孔底部，自孔底向外灌注。

随着砂浆的泵入，应逐步将注浆管向外拔出直至孔口。这样灌注可将孔内的水和空气挤出孔外，以保证注浆质量。

1. 一次低压注浆法：

不封闭孔段：注浆管用内径 $\phi 12 \sim \phi 25$ 的 PVC 塑料管，随着锚杆体一起下入孔内（距孔底 100mm）然后泵入浆液，注浆压力取决于管路流动阻力和对浆柱的上托力与泵量，注浆管直径，浆液粘度和孔深，锚孔顶角有关，一般为 0.1~0.8MPa。

2. 一次高压注浆法：

用隔离塞封闭孔段，并从隔离塞中插入一小排气管，首先通过注浆管孔底进行低压注浆，使封闭段内的空气从排气管排出，直到无气泡浆液也从排气管排出时封闭排气管，用 1.5~2.5MPa 高压灌浆 20 分钟，保证浆液有效渗入地层或挤密孔壁，高压灌浆比低压可提高锚固力 0.5~0.7 倍。

3. 二次注浆法：

二次注浆法是将锚杆的锚固段与非锚固段分两次进行灌注。首先通过注浆管向孔底锚固段注入高强度锚固体水泥砂浆，待固结后，对锚固段进行张拉，然后再向非锚固段灌注低强度浆液（防腐）。二次注浆法也称为预应力注浆法。二次注浆法可使锚固段与非锚固段

界限分明，还便于在锚固段用质量好的水泥砂浆进行压力注浆，而在非锚固段可用一般水泥砂浆不加压力进行灌注。

4. 可重复高压注浆锚杆的制作

可重复高压注浆锚杆结构上的特点是采用环轴管原理设置注浆套管和特殊的密封及注浆装置，可重复实现对锚固段的高压灌浆处理，大大提高锚杆的承载力。可重复灌浆锚杆结构构造如图 5—29 所示，密封袋用来分隔锚杆自由段和锚固段，通常采用无纺布制作，长 1.0~2.0m，直径 $\phi 300 \sim \phi 500\text{mm}$ ，采用滑动方法套在锚杆锚固段与自由段的分界处，袋的两端紧固在预应力筋上，当预应力筋插入钻孔后，以低压注入灰浆的密封袋将挤压孔壁并把锚固段与自由段分开。

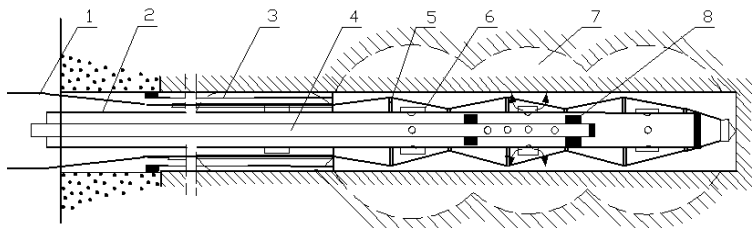


图 5—29 可重复高压注浆锚杆结构

1—钢绞线，2—注浆管，3—密封袋，4—注浆钢管（枪），5—隔离环，6—橡胶圈，7—球体型锚固体，8—密封塞

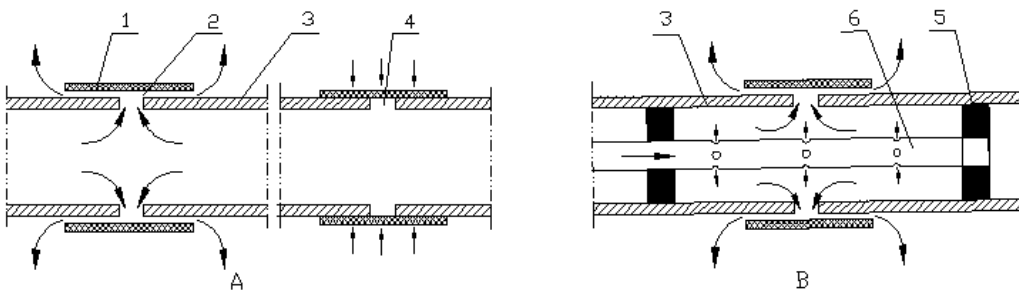


图 5—30 可重复高压注浆管结构原理示意图

A—注浆套管结构 B—注浆钢管结构示意图

1—橡胶圈，2—注浆时，3—注浆管，4—注浆后，5—密封塞，6—注浆（枪）钢管

注浆套管是一根直径较大的塑料管，其侧壁每隔 1.0m 开有环向小孔，孔外用橡胶环圈盖住(图 5—30A)，使浆液只能从该管内流入钻孔，但不能反向流动。一根小直径的注浆钢管插入注浆套管，注浆钢管前后装有限定注浆区段的密封装置，当其位于一定位置的注浆套管的橡胶圈处，在压力作用下即可向钻孔内注入浆液(图 5—30B)。

可重复高压灌浆工艺复杂，作业时间长，设备、工具性能要求可靠，技术难度较高。

注浆压力影响锚杆的承载能力，因为锚杆的承载力与锚固体外围土层的抗剪强度直接有关，注浆压力愈高，孔壁周边土压应力 σ 值愈大，锚固体与周边土结合得愈紧密， ϕ 、 c

值也随之提高，结果，锚杆承载力值显著增大。如果注浆压力很低或无压力灌浆，锚固体与外围土层抗剪强度 τ 则取决于原状土的物理力学性能和土层的静压力。

注浆时要注意，对于靠近地面的土层锚杆，注浆时如压力过大，可能引起地表面膨胀隆起，或者影响附近原有的地下构筑物和管道的使用。在确定注浆压力时，每米厚度的注浆压力可按 2.2MPa 来考虑。

第三节 锚杆防腐保护

一、基本防护措施

目前经常采用的防护办法，有如下几种：

(1) 拉杆自身质量要有保证，自身没有质量缺陷。如预应力筋可采用非金属材料制作，利用非金属材料抗腐蚀性强的优点，彻底解决腐蚀问题。但此种办法受到材料本身强度、造价等问题制约，应用较少。

(2) 在锚索周围一定范围内，建立区域性的高碱环境，使预应力筋钝化，而不被腐蚀。例如，采用优质水泥浆对预应力筋全封闭包裹，进行永久防护；或将预应力筋放入饱和石灰水中，进行临时防护。为了提高防护工作的耐久性，往往还要采取围岩固结灌浆、有压循环灌浆、控制预应力筋保护层厚度等一系列具体措施。这种办法应用较为普遍。水泥浆体防护是锚索永久防护的基础手段。

(3) 用高分子材料，在预应力筋表面(或之外)一定区域，建立非金属覆盖层、防护套等。此种技术利用非金属材料良好的抗腐蚀性，阻断有害离子侵入、接触钢材的通道，而使钢筋免受腐蚀，这往往是防护技术的重要组成部分。经常使用的非金属材料有：环氧树脂、高压聚乙烯，聚丙烯、防腐专用油脂，及其相关制品，如护套、大直径光滑或波纹状管材等。临时工程可在现场用人工制作保护层(涂环氧树脂、缠塑料带等)；永久性工程可直接购买已制作好防护层的预应力筋(无粘结筋、环氧喷涂钢绞线，或其复合产品)或大直径套管，以方便施工。采用这种方法时，还要将锚索周围所有空间用油脂或水泥浆注满，以保证防护的可靠性。

(4) 控制材料强度的使用系数，降低发生应力腐蚀(氢脆)的风险，例如水电系统锚索的材料使用系数一般为 0.6。

(5) 采用可以减少内锚段应力集中状况的锚索结构、增大内锚段安全系数的办法，防止内锚段浆体开裂，提高防护效果。目前可供选用的锚索结构形式有：拉力分散型、压力分散型、拉压复合型等。

二、常用防护方法

（一）锚头防护

大多数锚杆的腐蚀破坏都出现在锚具附近未予保护的预应力筋，因此对锚头附近的保护极为重要。永久暴露在空气中的所有预应力锚头，均应设置防护钢罩，其内充填防腐油膏或水泥浆，对于重复张拉型锚头，必须采用防腐油膏。埋入混凝土内的锚头，如混凝土保护层厚在 50mm 以上，则不需要防护罩。过度管与支承板应密封，并使过度管与自由张拉段的防腐保护部位搭接至少 100mm。过度管应有足够的长度，以便在试验和张拉时能适应结构和预应力筋的位移。过度管内完全充满防腐油膏或水泥浆。重复张拉型锚头必须采用防腐油膏。防腐油膏可在施工期内注入。可重复张拉的锚头防护构造见图 5—31。

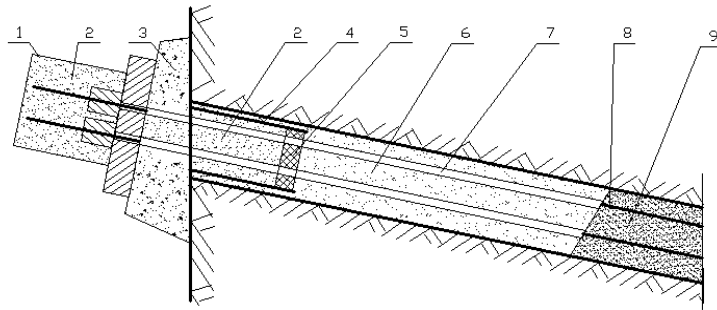


图 5—31 可重复张拉的钢绞线锚杆的锚头防护

（二） 1—钢罩，2—润滑油，3—台座，4—过度钢管，5—密封装置，6—二次补浆， 自
由张 7—无粘结钢绞线， 8—剥去外包层的钢绞线，9—第一次灌浆 拉
段的防护

永久性预应力锚杆的自由段处在侵蚀性地层中，是仅次于锚头附近区域易受腐蚀的最薄弱环节。对束体自由段一般采用油脂、套管。塑料套管宜选用聚乙烯或聚丙烯软塑料管分别对每一根钢绞线或钢筋进行防护。对于拉力型锚杆，套在自由张拉段的防腐蚀保护护套应足以延伸至过度管段，但在试验时不得与锚具接触。此外，自由段与锚固段防腐蚀保护过度部位的设计和施工，应保证其连续性而免遭侵蚀。

（三）预应力筋锚固段的防护

Ⅱ级防护：当预应力筋的安装方法能保证水泥浆完全包裹住预应力筋时，在无侵蚀性的地层中可采用水泥浆来保护预应力筋的锚固段，但水泥浆与自由张拉段的护套搭接至少

应为 0.3m。此外，对中支架及灌浆工艺应保证锚固段水泥浆保护层厚在 12mm 以上。

I 级防护：对于侵蚀性地层或其侵蚀性未知的地带，均应采用 I 级防护。I 级防护可采用压力分散型锚杆，也可采用套管作为拉力型锚杆锚固段的附加及可控制性的防腐蚀保护层，具体方式为采用注浆的波纹管塑料管或波纹钢管。在预应力筋插入锚孔前或将预应力筋安装后，可对预应力筋灌浆(水泥浆注入套管内)。同样，对中支架或灌浆工艺应保证套管的水泥浆保护层在 12mm 以上。

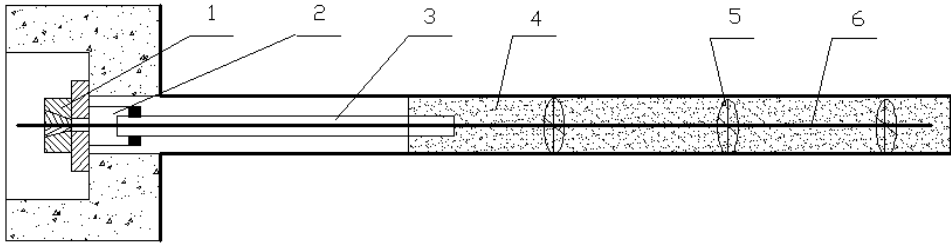


图 5—32 拉力型锚杆的 II 级防护构造(灌浆保护锚杆)

1—锚具，2—过渡管（密封），3—注入防腐剂的保护套管， 4—锚杆灌浆，
5—对中支架，6—预应力拉筋

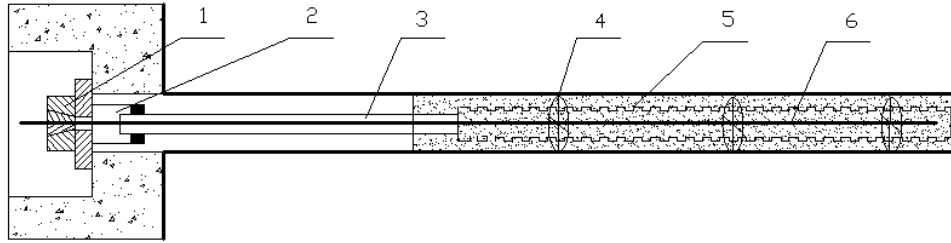


图 5—33 拉力型锚杆的 I 级防护构造(波纹管保护锚杆)

1—锚具，2—过渡管（密封），3—注入防腐剂的保护套， 4—对中支架，
5—波纹管，6—预应力拉筋

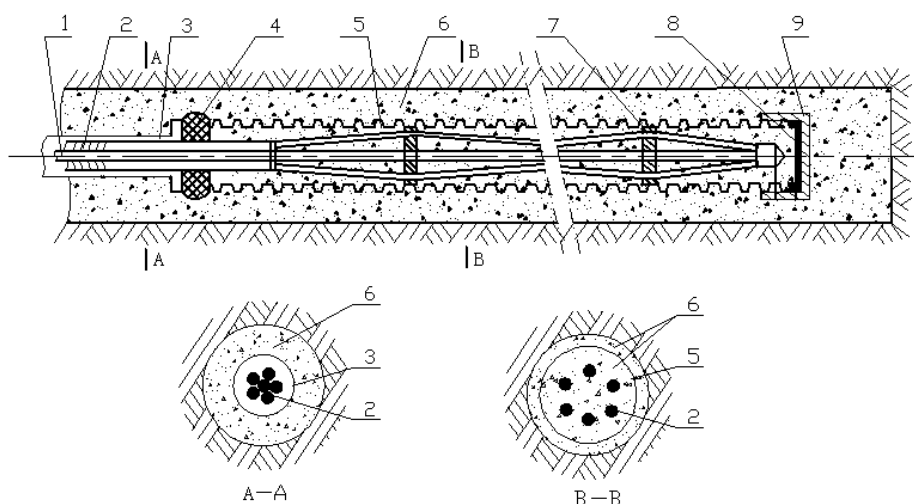


图 5-34 采用波纹管护的锚固段

1—灌浆管，2—钢绞线，3—外套管，4—沥青密封剂，5—波纹管，
6—注浆体，7—隔离架，8—沥青密封，9—导向帽

实际工程中采用的防护办法很多，如在锚索外锚头防护方面，采用编织 LD 约束环(保证预应力筋的保护厚度)；在孔口管外缠玻璃丝布；涂环氧树脂并按常规设置混凝土保护层等一系列防护措施，对提高外锚头防护质量，很有实际意义。一个好的防护设计，一般是在充分调查研究后得出的，经常是多种办法有机结合的结果，并能经受住时间的考验。

第四节 锚杆的锚具与张拉

在预应力锚杆结构体系中，锚头是对构筑施加预应力，实现锚固的关键部位，通常锚杆预应力筋的品种决定了锚头的形式。

一、常用锚具类型

1. OVM 锚具

OVM 锚具是柳州市建筑机械总厂生产的新型系列锚夹具，用于锁定预应力钢绞线。由张拉(或固定)端锚具(包括夹片、锚盘、垫板及加强筋)、联结器和波纹管组成。按钢绞线的直径可分为 OVM13、OVM15、OW18、OVA 股 2、OVM28、BM13、BM15，适用于标准强度 1860~2000MPa 及以下级别的 $\phi 12.7\text{mm}$ 、 $\phi 12.9\text{mm}$ 、 $\phi 15.24\text{mm}$ 、 $\phi 15.7\text{mm}$ 钢绞线和标准强度 1670MPa 的 5mm、7mm 的钢丝束。该系列锚固体系可选择性广泛，可根据需要适用于 1~55

根钢绞线，具有良好的自锚性能，锚固效率高，性能稳定，施工方便，是目前应用较多的主力锚具。

OVM13 型锚具适用于 $\phi 12.7\text{mm}$ 钢绞线、OVM15 型锚具适用于 $\phi 15.24\text{mm}$ 钢绞线，其构造见图 5—35。

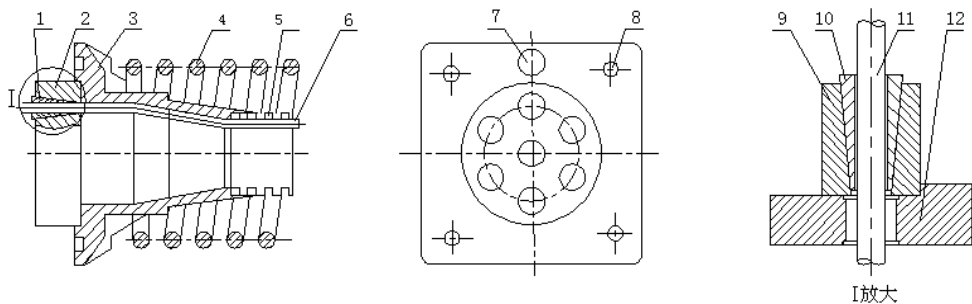


图 5—35 OVM 型锚具结构图

1—夹片，2—锚板，3—垫板，4—弹簧，5—波纹管，6—预应力筋，7—灌浆孔，8—安装孔
9—锚板，10—夹片，11—垫板，12—预应力筋

2. QM 型锚具

QM 型锚具同夹片式锚具，由锚板与夹片组成，共有 4 个系列。每一系列的锚具又分单孔和多孔两类。多孔锚具称群锚，根据钢绞线的根数配置不同孔数。同一束中的每根钢绞线都分开锚固，即由一副楔形夹片夹紧，各自独立安放在锚板的一个锥形孔中。在楔形作用下，钢绞线越拉越紧：任何一副夹片滑移、碎裂或钢绞线拉断，都不会影响同束中的其他钢绞线的锚固，这种锚具具有锚固可靠，互换性好，自锚性强的特点。

QM 锚具由带锥形孔的锚板和三片式直开缝斜向细齿的夹片组成(图 5—37)。

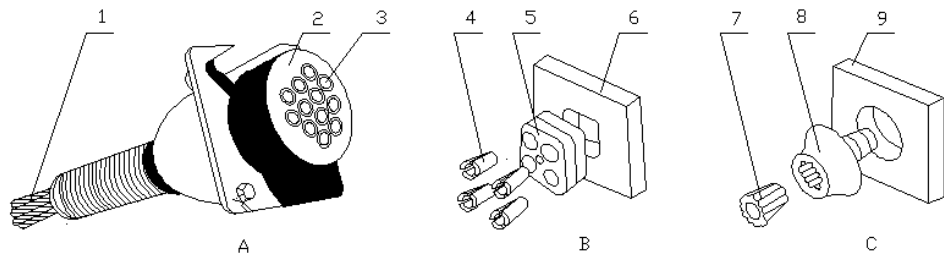


图 5—36 多根钢束锚具结构图

A—小圆锥楔形夹具， B—分片楔形夹具， C—整体锥形夹具
1—钢绞线，2—承载板，3—圆锥楔块，4—楔形夹片，5—锚枕，6—支承板，
7—整体锥楔，8—锚枕，9—支承板

QM 锚具与 OVM 锚具一样，喇叭形垫板和螺旋筋是为了解决锚头混凝土承受大吨位局部压

力和锚杆孔与端头边板垂直、锚具位置正确而采取的锚下构造措施(图 5—38)。垫板上还设有灌浆孔,各部位尺寸是按照 1860MPa 钢绞线在张拉时锚头混凝土强度不小于 35MPa 设计的。当实际所用钢绞线的强度低于上述值时,垫板的平面尺寸可减少;张拉时锚头混凝土强度偏低时,应对锚头局部承压能力进行校核。

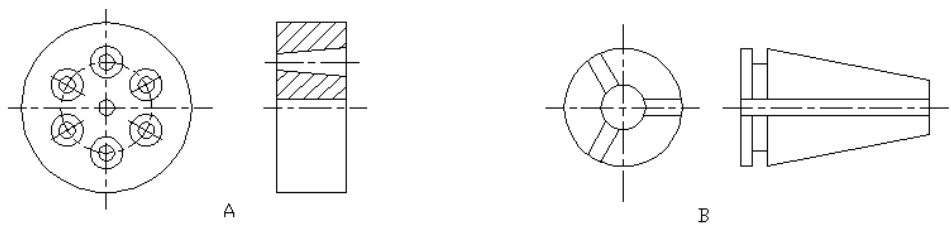


图 5—37 QM 锚具结构图

A—锚板

B—夹片

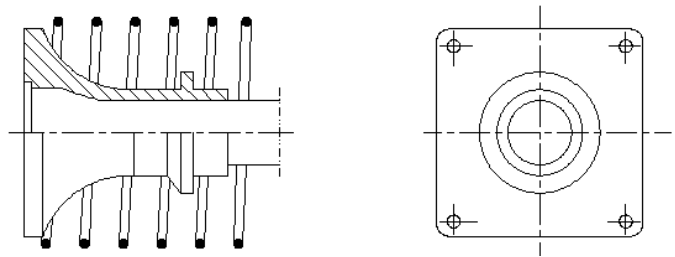


图 5—38 QM 锚具锚下结构

3. LM 螺丝杆锚具

LM 螺丝杆锚具可锚固热轧钢筋、冷拉钢筋、其结构构造见图 5—39A。

4. 精轧螺纹钢筋锚具

JLM 型锚具主要用于直径 $\Phi 25\text{mm}$ 和 $\Phi 32\text{mm}$ 的精轧螺纹钢筋的张拉锚固,其构造见图 5—39B 所示。

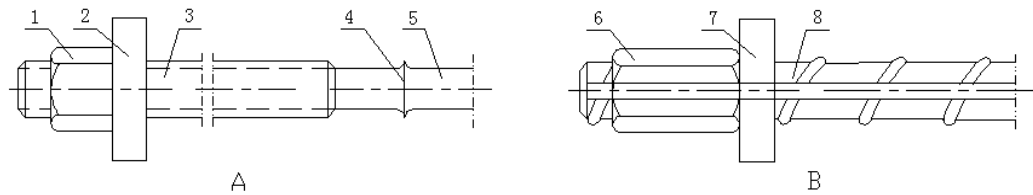


图 5—39 LM 型、JLM 型锚具结构图

A—LM 型普通螺纹钢筋锚具

B—JLM 型精轧螺纹钢筋锚具

1—螺帽, 2—垫板, 3—螺丝杆, 4—对焊连接, 5—普通螺纹钢筋(拉杆),

6—精轧螺纹钢筋专用螺帽, 7—承压板, 8—精轧螺纹钢筋(拉杆)

二、锚杆的张拉与锁定

锚杆的张拉,就是通过张拉设备使锚杆杆体的自由段产生弹性变形,从而对锚固结构产生所要求的预应力值,以达到加固锚固结构的目的。与此同时也是对锚杆进行一次试验,这种试验在某种程度上可以判定锚杆的适用性,预测锚杆的长期工作性能,揭示出锚杆设计和施工中的缺陷。

1. 张拉设备

锚杆张拉的设备包括一台液压油泵、一台千斤顶和一根高压油管以及量程和精度适宜的油压表,有时还包括准确测定拉力的压力传感器和准确测定锚头位移的百分表(图 5—40)。

张拉必须用相当精确的仪器测定作用于锚杆预应力筋上的拉力,通常情况下,采用校准的油压表即可,但使用测力计测定更为准确可靠。使用固定在千斤顶上的毫米量尺可获得锚头位移的近似值,要获得锚头位移的精确值,应将百分表装在与千斤顶无接触的支承结构上,把张拉引起的位移准确地记入百分表。为了获得张拉荷载位移关系曲线,通常要求位移测定值精确到 0.1mm。钢筋锚杆与钢绞线锚杆张拉装配图见图 5—41。

2. 张拉方法

锚杆张拉的最适当方法是直接拉拔,有时对低承载力的钢筋锚杆、自钻式锚杆也可采用扭力扳手拧紧螺母张拉,但这种张拉的方法存在许多不确定性。锚杆张拉的方法取决于锚杆的种类、锚具的类型和要施加的预应力的大小,极其重要的是必须使拉力始终作用在锚杆轴线方向且不得让预应力筋产生任何弯曲。为此需在锚固结构或岩土层表面设置承载板,使张拉荷载方向与锚杆轴线方向保持一致。

对钢丝或钢绞线用的锚具采用千斤顶、工具锚板、夹片及限位板进行张拉,工作锚夹片的回缩锚定了预应力筋,通常限位板的设计回缩变形为 2~4mm,这一变形会引起锚杆预应力值的损失,在实际操作过程中应考虑其损失带来的影响。通常对锚夹具式锚杆张拉的步骤如下:

(1) 应清洗干净锚杆的预应力筋(特别是无粘结钢绞线的 PVC 外包层和油脂)、工作锚板和夹片、工具锚板及夹片、限位板和承压板等张拉用部件;

(2) 将工作锚板套置在预应力筋上,并紧贴承压板,放入夹片并固定,注意应使自由段内预应力筋相互平行,不得交叉缠绕;

(3) 把限位板、千斤顶和工具锚板依次套在预应力筋上,在工具锚板的楔形孔内放入涂有润滑油脂(专用的卸锚灵或黄油)的工具锚夹片并预紧。为了张拉卸荷后方便拆下工具锚夹片,要求张拉开始前千斤顶预伸出 30mm 以上;

(4) 将高压油管与高压油泵和千斤顶相连,并安装好位移测量装置后即可施加预应

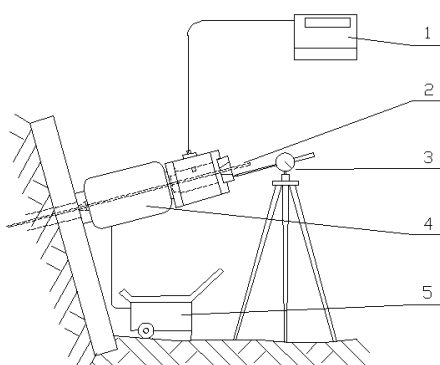


图 5—40 锚杆张拉装置示意图

1—测力读数仪, 2—锚杆拉杆,
3—百分表, 4—千斤顶, 5—油泵

力；

(5) 随着千斤顶进入工作状态，预应力筋被固定在工具锚板上。这时限位板就会使工作锚夹片就位，预应力筋被拉伸；

(6) 千斤顶的拉力按荷载分级逐渐增大至所要求的张拉荷载，认真记录每级荷载作用下的张拉油压和锚头位移；

(7) 千斤顶卸压，工作锚夹片回缩并自锁，保持住锁定荷载。锚夹具式锚杆张拉示意图见图 5—41A。重复以上过程，可施加下一根锚杆的预应力。

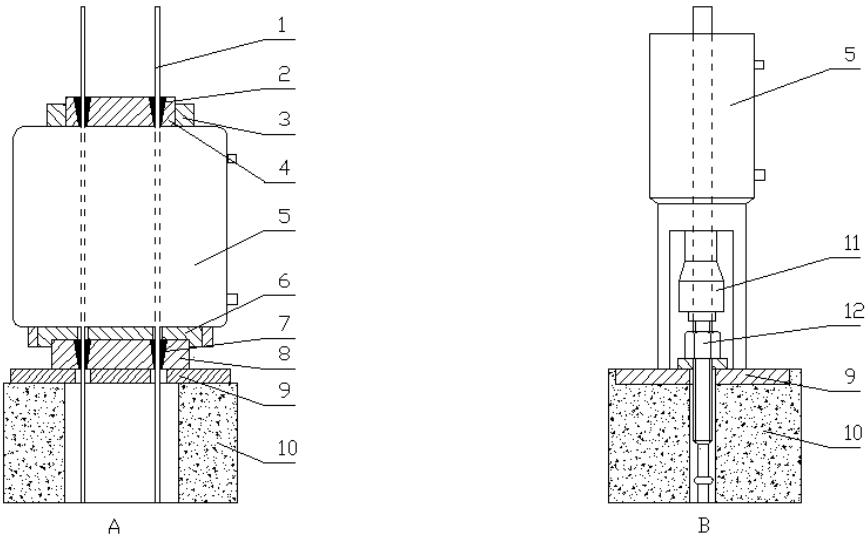


图 5—41 钢绞线及螺纹钢筋锚杆张拉示意图

A—钢绞线锚杆张拉装配图，B—螺纹钢筋锚杆张拉装配图

1—钢绞线，2—工具卡瓦，3—垫环，4—工具锚板，5—千斤顶，6—限位板，
7—工作卡瓦，8—工作锚板，9—承压板，10—锚墩，11—张拉杆，12—紧固螺母

对螺纹锚具采用千斤顶张拉至所要求的荷载之后，用扳手拧紧螺母来保持施加的拉力(通过千斤顶前面的支腿开口可接触到螺母)，当千斤顶上的压力稍有下降时，就表示螺母已完全作用于承压板上，随后可卸压完成张拉作业。螺纹钢筋锚具张拉作业如图 5—41B 所示。

采用前长式千斤顶进行单根预应力筋的张拉则相对简单一些，它不需要工具锚板和夹片，且所需预应力筋的张拉长度较小，能保证每根预应力筋受力均等，也是理想的卸锚千斤顶和二次补偿张拉用千斤顶。

对锚杆施加预应力即进行张拉锁定的过程与验收试验基本相同，初始荷载一般取设计荷载的 0.1 倍(单孔复合锚固型锚杆除外)，逐级加荷至最大张拉荷载(一般为设计荷载的 1.1~1.2 倍)，记录每级荷载作用下锚头的位移。锚杆张拉荷载分级及观测时间见表 5—6。

通常，锚杆在最大张拉荷载作用下锚头的位移达到稳定状态且不超过计算的容许位移，视为锚杆合格，可将锚杆张拉荷载降至初始荷载，记录锚头的变形量，得出总变形中的弹性变形和塑性变形。然后对锚杆再张拉至锁定荷载进行锁定。如果锚杆不合格，应查

明原因，或作废或降低使用荷载。