

设备固定到基础 上的先进方法

[苏] И.Г.柳德柯夫斯基

В.И.沙斯图克

刘文亮 译

中国铁道出版社

目 录

第一章	工业建筑用的锚固螺栓的构造及其计算	1
第二章	钢筋混凝土科学研究院设计的自锚式螺栓	19
	锥形螺栓最优结构的选择	19
第三章	埋固在混凝土中的自锚式螺栓的强度计算	30
	短时轴向静荷载	30
	持续作用荷载	44
	剪力作用	52
	动荷载	54
	拧紧锚固接头的应力重新分布	58
	锥形锚固件的应力随时间的降低	64
	自锚式螺栓紧固件的计算方法	67
第四章	自锚式螺栓紧固件的选择	73
	选用螺栓介绍及螺栓的安装工艺	73
	弹性卡头式锥形螺栓在振动荷载作用下的安装特点	81
	自锚式螺栓使用的技术经济效益	82

第一章 工业建筑用的锚固螺栓 的构造及其计算

机器制造厂每年生产上万台各式机床、机器和工艺设备，其中大部分是用各种结构的锚固螺栓埋设到深度为螺栓直径30倍及以上的混凝土基础中予以固定。为此要使用数百万个锚固螺栓，所以锚固螺栓固定设备采用合理的方法具有十分重要的意义。

设备基础由机器制造厂根据土建设计条件进行设计。设备基础设计图纸与设备说明书一起交付。

有许多种类型的设备，它们的基础深度是由埋固螺栓的长度确定的。螺栓过长则需要做深基础，还需要使用起到更为有效的作用的锚板和框架构件。

此外，按照传统方法来固定设备，不但费工也不经济。方法规定预先要在基础内安装好地脚螺栓或锚固件。如果施工的是钢筋混凝土构件，则规定在浇灌混凝土以前，要使用螺栓的固定架，因而在这方面每年需无偿地耗费掉上千吨的轧制钢材。

设备说明书提出的主要技术要求（螺栓的埋入深度、锚固螺栓的数量、长度和直径）往往缺乏充分的依据。很多情况下，土壤的标准强度相同，而在同一种机器下面，基础和锚固螺栓的高度却相差十分悬殊。

各机器制造厂对设备基础设计的高度和锚固螺栓的埋设深度，以车床为例，其变化幅度如下：基础高为700~3000

毫米，锚固螺栓埋设深度为 500~1400 毫米。自然，上述差值并非由于工艺上的需要，大部分是由于没有统一的设计方法而造成的。

在大多数情况下，通过地脚螺栓传到基础上的应力是个未知数。这样，锚固螺栓的截面积就不是根据结构上的要求进行计算而采用的。由于运转荷载及其它有关的荷载加到锚固螺栓上的应力不超过 10~20 兆帕，许多设备证明锚固螺栓的截面是不正确的，甚至固定机身用的突缘板也没有锚固螺栓的强度高。

在规定螺栓之间的距离方面，机器制造厂并未遵照已规定的间距模数。而这一原则既规定用于一切设备，也适用于设备中的个别型号和组别。因此，上述情况使解决设备基础的合理结构的设计工作复杂化，特别是装配式结构，与上述原则不能求得统一。

螺栓的分布精确度多按毫米以下的单位计算，由于安装技术的复杂性，需要使用特制的螺栓固定架。即使是用这种固定架，也往往不能保证要求的精度，因而经常要把螺栓就地煨弯进行调整。

由于支承部件没有划一和不能互换，不仅在设计方面，而且主要在现有车间设备的定型化工作方面，耗用大量的劳动。在上述情况下，不得不拆掉已有的基础，因为新安装的机器的锚固螺栓与旧有的机器不一致。

综上所述证明：设备基础的构造与往基础上固定的方式，有必要向简化的方向重新予以考虑，使不但在降低基础成本方面，而且在工厂现有的设备管理方面均能取得显著的经济效益。

目前，设备固定到基础上是使用死螺栓、可卸式螺栓及

安裝到螺栓孔內的錨固螺栓。

一直在使用的帶鉤的或帶彎的死錨固螺栓，其埋設深度等於螺栓直徑的30倍。比較先進的方法是在端部裝有墊圈的錨固螺栓，其埋設深度是螺栓直徑的12~15倍（圖1）。

可卸式錨固螺栓的特點是可以把螺桿與錨板脫離連接而從固定件上取下來。螺桿與錨板採用螺紋連接，或採用套接（圖2）。

死螺栓與可卸式錨固螺栓在澆灌混凝土前用固定架安裝定位，然而使用固定架安裝這類螺栓並不總是能安裝得很準確。所以，在基礎上安裝這類螺栓時，通常要預留調整孔，當安裝的螺栓產生不太大的偏差時，可以把螺栓向這一边或那一边彎曲以進行糾正。由於採用這種調整孔，使螺栓的埋設深度又增加了螺栓直徑的10倍左右。

用於固定輕型設備（只需要定位）的螺栓孔，錨固螺栓只占用螺栓孔的一半深度。實際上，螺栓的埋設深度差別很大，在10~35倍螺栓直徑的範圍以內（圖3）。

近年來，設備固定到基礎上採用了更為經濟有效的辦法。

把設備固定到钢筋混凝土基礎上的最先進的方法，是預先把錨固螺栓安裝到已施工好的車間地坪基礎上或層間樓板的基礎上。

在這類方法中，一種就是在已施工完的基礎上先鑽螺栓孔裝入螺桿，然後灌入以環氧樹脂為基料的膠劑（圖4）。

根據哈爾科夫工業建築設計院的資料，基礎螺栓的澆灌深度計算值等於螺栓直徑的10倍。

在蘇聯和其它一些國家使用最廣的另一種方法是錨固法，就是把螺桿在基礎已開好的螺栓孔內楔住的方法。楔式

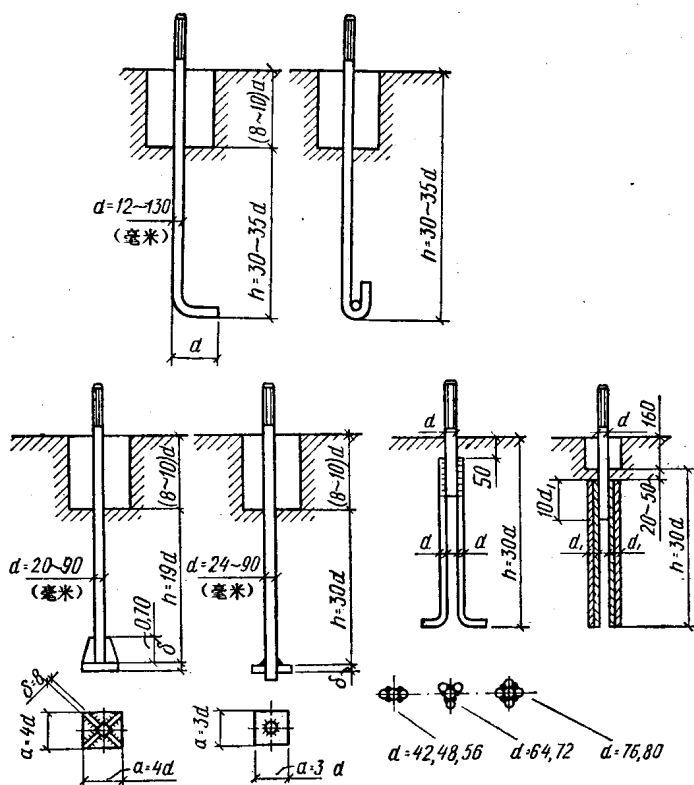


图 1 死锚固螺栓

锚固螺栓可用在把设备固定到基础上，也可以把栽入件和各种器件（如灯具、管道等）固定到钢筋混凝土构件上。这种楔式锚固螺栓还可以在运输和安装混凝土和钢筋混凝土构件时用作起吊装置。

楔形连接与锥形连接在机器制造业的各个部门应用很广。在要求经常拆装的组合件上，这两种连接头是不可替代

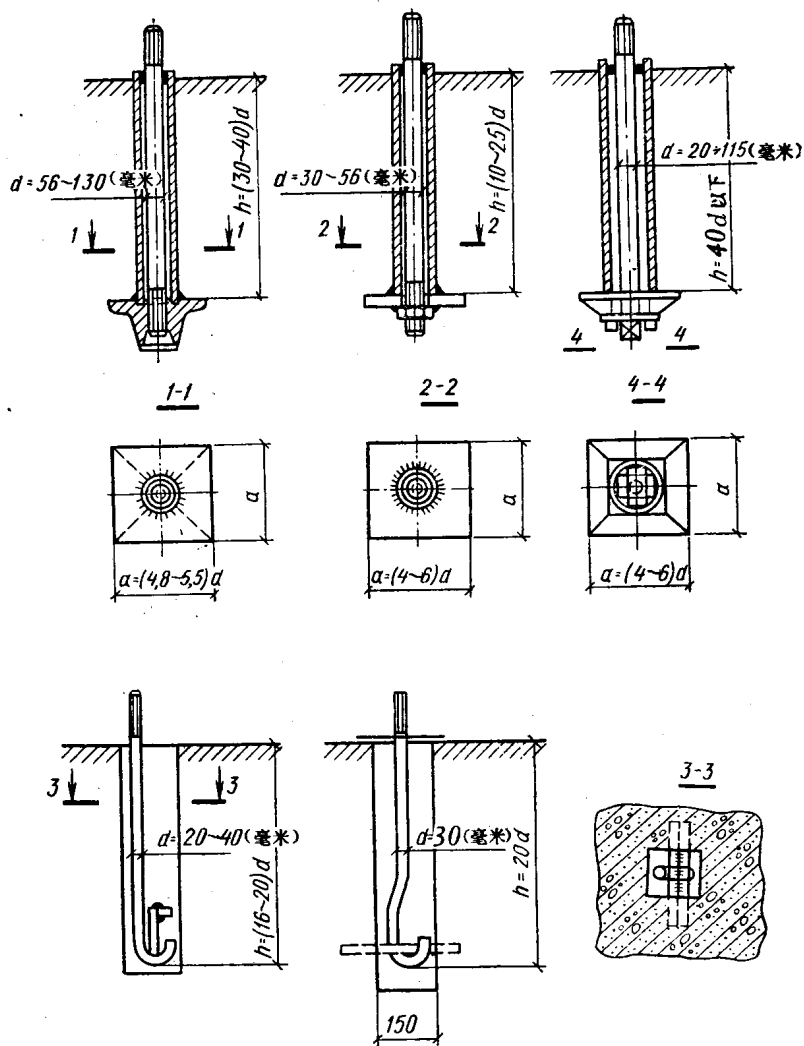


图 2 可卸式锚固螺栓

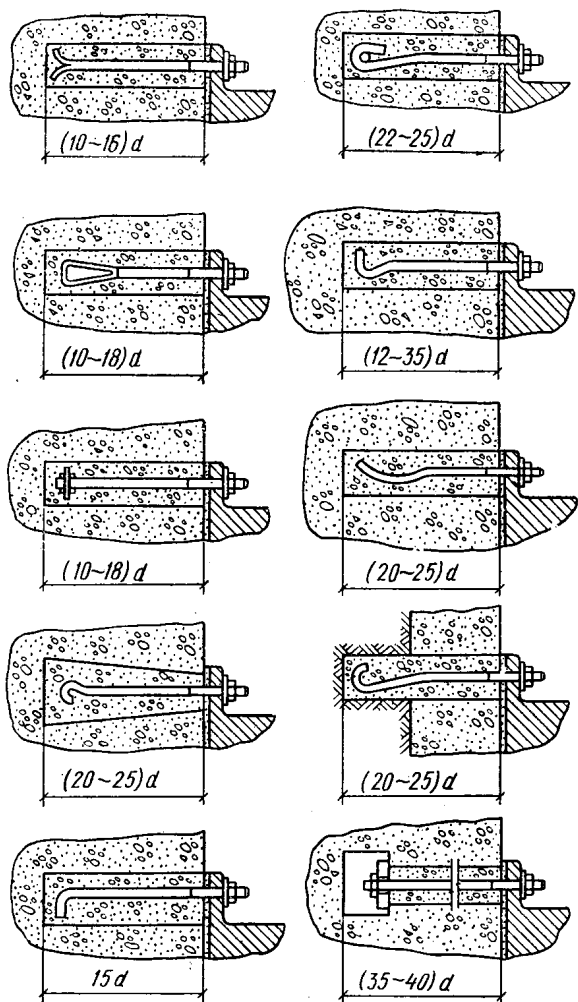


图 3 埋到螺栓孔内的锚固螺栓

的结构。在建筑施工部门，楔形连接也得到广泛采用，例如固定张拉器件用的夹头等。

锥形连接较其它连接方法的实际优点是自行定心，可承受较大的单位荷载，固定件结构体积小又经济。

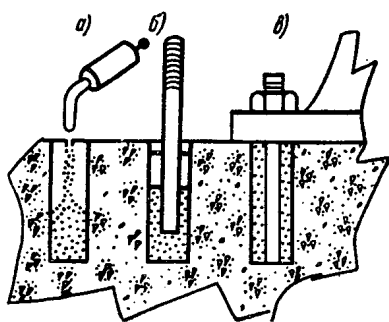


图 4 用环氧胶浇灌锚固螺栓

同时，设计人员打算在机械、仪表与各种

a—往螺栓孔内浇灌环氧胶；b—安装螺栓；
c—安装设备

机件上更广泛地使用楔形连接，然而由于缺少必要的关于设计、制造与质量检验的综合经验的参考资料而受到阻碍。在已发表的文章中，只有关于工具式锥体、锥形固定件、检验的典型方法和检验工具等方面的零星介绍，其中有关锥形接头的强度、刚度、计算公差、牢度等方面的资料则很少。

虽然已有大量的使用楔形螺栓固定件连接的构件，然而有关这种锚固在混凝土中的楔形螺栓的专门研究工作情况，不论在外国或是在国内（苏联）的文献中，刊载数量都有限。

实践证明：楔形螺栓比直接浇灌在混凝土内的螺栓的埋设深度可大大减少，并且不需要固定架。

同时，在选用这种楔形螺栓时，要详细了解它的几何特点，以及混凝土标号、到构件边缘的距离、埋设深度等。

在外国，楔形锚固螺栓使用很广，用在各式各样的设备上。外国公司供给苏联的许多设备是用楔形锚固螺栓固定到基础上的。例如，萨拉托夫市的“尼特朗”（Нитрон）厂

的设备，以及沃洛日汽车厂中的大部分设备是用英国“轧制螺栓”厂的松紧式锚固螺栓固定的。而以列宁共青团命名的汽车厂的新车间内的设备则是用法国“德利兰柯尔”（Дриланкер）型自行钻入式楔型螺栓固定的。下面还有更为详细的例子可资说明。

外国公司并未说明安装松紧式锚固螺栓的混凝土标号，但注明螺栓须安装在坚固的混凝土中^①。这种螺栓的埋设深度为5~10倍的螺栓直径值。

在外国所使用的自锚式螺栓的经验当中，上面已提到的由英国“茹尔布拉格有限公司”（Rowlplug Co.L）制造的“罗尔伯尔特”（Ролболты）螺栓值得注意，这种螺栓既可用于固定机床和其它设备，又可用于安装管道。

“罗尔伯尔特”螺栓安装到预先在基础上或坚固的地坪上开好的孔内。这种螺栓的构造原理是在拧紧螺栓时把松紧片（圆缺片）楔住，并能在必要时很快地投入使用。这种螺栓制成的直径为5~25毫米。

“罗尔伯尔特”螺栓是个圆柱形的壳体，沿纵向可分成4片（图5）。在楔形扩张器的压力作用下，圆缺片可以张开。扩张器处于圆筒内，在螺杆或螺母的拉力作用下可作上下的移动。圆缺片是用优质的铸铁制作，每个圆缺片的外表面上都刻有锯齿状的牙纹，且其周边也是锯齿状，使混凝土与圆缺片能啮合得很牢，并且在开始拉紧的瞬间防止螺杆在孔内转动。圆缺片的外端用异型钢环收紧，把各个圆缺片收拢在一起。圆缺片的下部用弹簧圈压紧，以减轻螺栓固定到螺栓孔上的力量。

① “坚固的混凝土”的意思是说明松紧式锚固螺栓主要用于300号以上的高标号混凝土中。

“罗尔伯尔特”螺栓有两种型式：自由固定式和突出式（图5）。

自由固定式螺栓上的螺母就是扩张零件。调节螺丝在什么时候都可以从扩张器中拧出来。这种型式的螺栓对于设备经常需要移动则是很方便的。那种突出型螺栓，锥形的扩张件就是调整螺栓用的不可分割的部分。

“罗尔伯尔特”螺栓在坚固的混凝土中的埋设深度是螺栓直径的8~10倍，用来固定不会产生动荷载的设备。

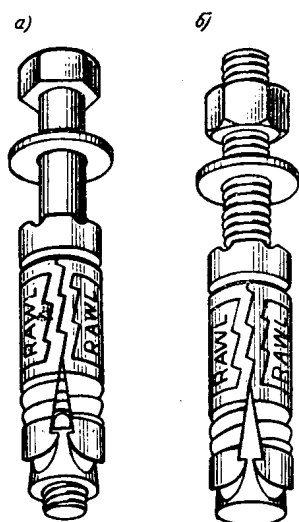


图5 “罗尔伯尔特”型楔式螺栓

a—自由固定式螺栓；b—突出式螺栓

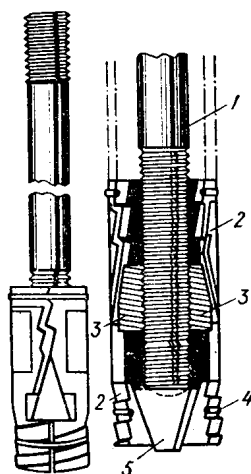


图6 “杜布莱森凯尔”型楔式螺栓

1—螺杆；2—两个圆缺片；3—扩张用螺母；4—弹簧环；5—扩张锥头

工序太多和结构复杂是“罗尔伯尔特”型螺栓的缺点。这种螺栓的使用性能不很明确，因为不能知道圆缺片与混凝土之间的接触面积。由于扩张件与圆缺片的接触面积不太

大，在混凝土面上可能产生较大的压力，因而发生混凝土的早期破坏。

为了克服这一缺陷，该公司又设计了一种所谓的“杜布莱克森凯尔”（Дуплексанкер）型螺栓（图6）。

这种螺栓的构造包括有一个移动颚板式的理想的扩大接触面，通过颚板把压力传布到混凝土上，并且在颚板的接触面上可以减少破坏混凝土的可能性，但却使螺栓的构造过于复杂（装有两个锥形的活动颚板和锥形部件）。

在向锥形螺母（3）内拧入螺杆（1）时，锥头（5）或锥形螺母（3）与螺杆一起移动，并且强使其构件楔在孔壁上，这也是本型螺栓与“罗尔勃尔特”螺栓的不同特点。

这种型式的固定件，当螺杆直径超过20毫米时，由于结构复杂不好制作，因此，这种型式的固定件只在有限的范围内使用。

英国“阿尔姆斯特朗格”（Армстронг）公司设计的螺栓结构，也是按楔子原理使用的（图7）。这种螺栓的构造复杂，工序较多（在螺杆上还要开槽）。但是这种螺栓能保证固定牢靠，因为压在混凝土上的压力可传布到盾板的整个表面，而且只传布到两侧。这种螺栓适于安装到靠近基础的边缘处，为了加大承载能力，作用在该处混凝土上的应力必须垂直地传布到混凝土上。这种螺栓的优点是混凝土上开的孔和设备部件上的孔可以和螺栓直径一样。

法国、英国、东德、意大利和其它一些国家广泛采用锚固螺栓固定，即所谓的膨胀螺栓，把膨胀螺栓安装到钻好的孔内，依靠向下方挤压锥形塞体使其扩张开来（图8）。

“德利兰克尔”型锚固螺栓更是特别使人感兴趣，它与其它类型的固定件的不同点是螺栓本身就能够钻孔，起到单

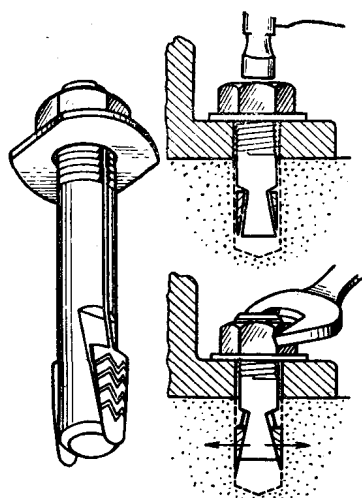


图 7 楔式螺栓

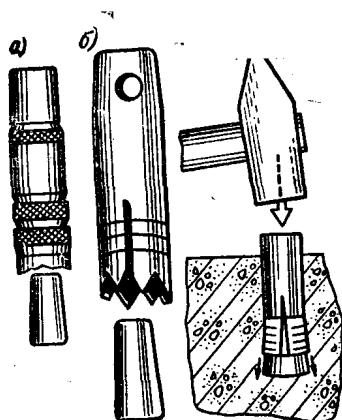


图 8 锚固膨胀螺栓

a—“德利兰克尔”自钻式膨胀螺栓；
b—装到钻孔内的膨胀螺栓；
c—打入的膨胀螺栓

螺旋线钻头的作用，因此在管筒的前端有齿。螺栓零件用优质钢制成，并经过热处理。

这种型号的螺栓的安装过程如下：把这种回转式锚固螺栓代替钻头安装到钻床上，用它来钻孔，一直钻进到螺栓本身的长度为止，然后把管筒从孔内抽出来，并将锥形塞头填装到螺栓的切削部分，然后把装好塞头的圆管筒再放到孔内，并锤打到与基础平面取齐为止。由于从切削齿到圆管筒的中心开有四条纵向切口，所以圆管筒能比较容易地扩张开来。

这种螺栓的缺点是制作成本高，不能钻割混凝土中的钢筋，只能安装到高强度的混凝土中，装入的螺栓直径不大（16毫米以下）。由于对这种螺栓的圆周面作用在混凝土上

的情况还不明确，所以这种螺栓的使用受到限制。

还有一种所谓的“密封式锚固螺栓”（图9）也很有意思。这种螺栓的直径小于32毫米，适宜用在高含湿率的部位。在高强度混凝土中的埋设深度等于螺栓直径的10倍。这种螺栓是用淬过火的钢圆缺片与圆柱形铅头组合成的，用铅头把各钢圆缺片连成一体。这两个元件上都有定心孔，以便于穿入螺栓；它们的外径是相同的。由于铅块的辗平导致圆缺片扩张并嵌入到孔壁内，因而使承压式螺栓在孔内固定。加拧紧力时，则加到圆缺片上的荷载使其更紧地嵌到混凝土上。圆缺片的截面是楔形的，铅块被辗平后形成垫料，可防止潮气向上穿越进入固定件的区域。在有腐蚀性介质的环境中，可以用黄铜料制作这种型式的螺栓。

为了增大固定的牢度，螺栓上可装配几层密封式的元件（图9.6）。

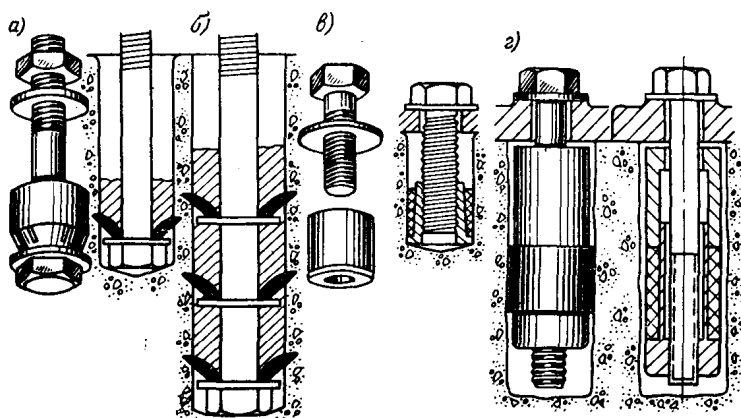


图9 密封式螺栓

а—有一节圆柱管筒的； б—有数节圆柱管筒的； в—带锥形螺母的；
г—有橡胶管筒的

这种固定螺栓的其它类型还有端部带法兰的用高强度金属制成的锥形螺母（图 9.6）。螺母的外部是圆柱形，内部为用铅合金制作的锥面，具有所需的硬度和韧性。

这类螺栓的特点是可以安装在设备安装就位后再装螺栓。它的缺点是成本高，要使用稀有金属材料。

有些国家还使用一种带橡胶管筒的螺栓（图 9.7）。当拧入螺杆时，橡胶管筒可以横向扩张。这种螺栓可以随意自孔内取出，这是该型螺栓的实有优点。但是这种固定件构造十分复杂，制作工序多，而且要使用专门品种的不老化橡胶。

苏联的楔式锚固螺栓构件也是在1910年提出的，螺杆的尾端做成燕尾状（图10）。

最初苏联使用较广的楔式螺栓是在亚文斯基国营区域发电厂的主厂房施工时，把墙板、管道支架、金属平台和其它构件固定到主厂房的钢筋混凝土的框架上（图11）。

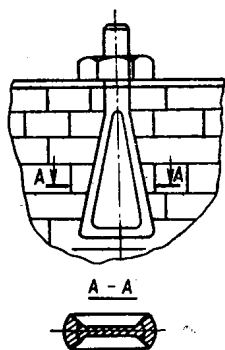


图 10 尾部成燕尾状的锚固螺栓

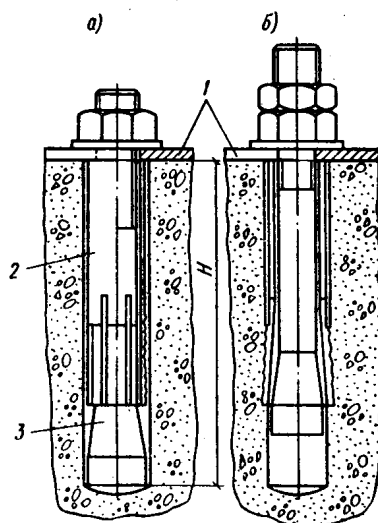


图 11 楔式锚固螺栓

a—楔入前的样式；b—楔入后的样式
1—固定的设备；2—短管；3—螺栓

这种型式的螺栓是由苏联国家工业热力设计院设计的。

螺栓由带锥头的螺杆和端部有切口的楔形管构成。短管的外

皮车有螺纹，以便于和混凝土面良好咬合。安装这种螺栓时，先取下螺母，用木桩头把楔式短管轻轻打进孔内，然后拧上螺母并拧紧。此时，（依靠锥头）把管端胀开压到混凝土表面上并嵌入混凝土内。热力电工设计院乌拉尔分院和基耶夫分院对这种型式的螺栓进行过研究。热力电工设计院设计的这种螺栓，也有和“罗尔伯特”型螺栓的相同缺点。

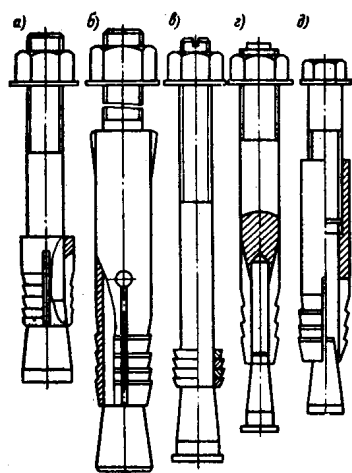


图 12 全苏安装与特种建筑工程科学研究院设计的楔式锚固螺栓

a、b—锥形螺杆与带切口的扩张短管；
c—锥形螺杆与带切口的圆环；
d、e—圆柱短管与锥体

图12.a、b所示螺栓由带锥头的螺杆及开口扩张管构成。

图12.c所示螺栓是由带锥头的螺杆和代替扩张

短管的有切口的成套圆环组成。

图12. d 表示的螺栓构件，实际上就是前面已介绍过的套装到锥形塞头上的螺栓。这种螺栓与外国的锚固螺栓的区别是锥头的倾角不同。根据钢筋混凝土科学研究院对锚固螺栓构件的研究结果（后面将作介绍），其倾角为 $5^{\circ} \sim 7^{\circ}$ 。

全苏国家建造部混凝土与钢筋混凝土科学研究院已推荐两种型式的楔式螺栓：

“a”型——有弹性卡头的锚固螺栓；

“B”型——鳌头式锚固螺栓（图13）。

图13所示螺栓由下部带锥头的螺杆与由4个变厚度的曲线形片状弹性卡头构成。弹性卡头的内表面与垂线也形成同样的倾角。这种型式的螺栓，沿着弹性卡头的整个面积，把力传递到各个方向，使螺栓与其四周的混凝土在受力时呈现稳定性和牢固性。这种螺栓在安装后即可投入使用，而且在必要时可以从孔内取出，并可重复使用。改变弹性卡头的片数及其对螺栓中心线分布的相对位置，就可调节传布到基础上力的方向和大小，因此特别适用于在基础的边缘固定设备，或是在安装钢筋混凝土建筑构件时，用这种螺栓作为装配式工具。

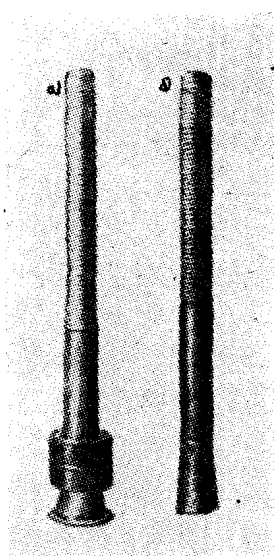


图13 钢筋混凝土科学研究院设计的楔式锚固螺栓构件

a—有弹性卡头的锚固螺栓；

B—鳌头式锚固螺栓

这种螺栓的缺点，如前所述，要求螺栓孔十分精确（允差在直径方向为0.5~2毫米）。但是当大批生产这种螺栓时，可以取得显著的经济效果。

鳌头式螺栓（图13.B）是一头有螺纹另一头是锥头的螺杆。这种螺栓与弹性卡头式螺栓除了以水泥鳌头代替外，没有什么两样。

这种螺栓的安装程序如下：把螺栓放进已预先开好的混凝土孔内（孔直径比螺栓的锥形鳌头稍大），然后用水泥鳌