

PGS. Phan Quang Minh (HUCE)

**THIẾT KẾ SÀN
BÊ TÔNG ỨNG LỰC TRƯỚC**

Hà nội 2007

Chương I

KẾT CẤU BÊ TÔNG ỨNG SUẤT TRƯỚC

I.1 Khái niệm chung về bê tông ứng suất trước:

Bê tông ứng lực trước (BT ULT) là bê tông, trong đó thông qua lực nén trước để tạo ra và phân bố một lượng ứng suất bên trong phù hợp nhằm cân bằng với một lượng mong muốn ứng suất do tải trọng ngoài gây ra. Với các cấu kiện BT ULT, ứng suất thường được tạo ra bằng cách kéo thép cường độ cao.

Bê tông thường có cường độ chịu kéo rất nhỏ so với cường độ chịu nén. Đó là nhân tố dẫn đến việc xuất hiện một loại vật liệu hỗn hợp là “bê tông cốt thép” (BTCT).

Việc xuất hiện sớm của các vết nứt trong BTCT do biến dạng không tương thích giữa thép và bê tông là điểm khởi đầu cho việc xuất hiện một loại vật liệu mới là “bê tông ứng suất trước”. Việc tạo ra một ứng suất nén cố định cho một vật liệu chịu nén tốt nhưng chịu kéo kém như bê tông sẽ làm tăng đáng kể khả năng chịu kéo vì ứng suất kéo xảy ra sau khi ứng suất nén đã bị vô hiệu. Sự khác nhau cơ bản giữa BTCT và bê tông ULT là ở chỗ trong khi BTCT chỉ là sự kết hợp đơn thuần giữa bê tông và cốt thép để chúng cùng làm việc một cách bị động thì bê tông ULT là sự kết hợp một cách tích cực, có chủ ý giữa bê tông cường độ cao và cốt thép cường độ cao. Trong cấu kiện bê tông ULT, người ta đặt vào một lực nén trước tạo bởi việc kéo cốt thép, nhờ tính đàn hồi, cốt thép có xu hướng co lại và sẽ tạo nên lực nén trước, lực nén trước này gây nên ứng suất nén trước trong bê tông và sẽ triệt tiêu hay làm giảm ứng suất kéo do tải trọng sử dụng gây ra, do vậy làm tăng khả năng chịu kéo của bê tông và làm hạn chế sự phát triển của vết nứt. Sự kết hợp rất hiệu quả đó đã tận dụng được các tính chất đặc thù của hai loại vật liệu, đó là trong khi thép có tính đàn hồi và cường độ chịu kéo cao thì bê tông là vật liệu dòn và có cường độ chịu kéo rất nhỏ so với cường độ chịu nén của nó. Như vậy ứng lực trước chính là việc tạo ra cho kết cấu một cách có chủ ý các ứng suất tạm thời nhằm tăng cường sự làm việc của vật liệu trong các điều kiện sử dụng khác nhau. Chính vì vậy

bê tông ULT đã trở thành một sự kết hợp lý tưởng giữa hai loại vật liệu hiện đại có cường độ cao.

So với BTCT thường, BTCT ứng suất trước có các ưu điểm cơ bản sau:

- Cần thiết và có thể dùng được thép cường độ cao.

Ứng suất trong thép thông thường giảm từ 100 đến 240Mpa, như vậy, để phần ứng suất bị mất đi chỉ là một phần nhỏ của ứng suất ban đầu thì ứng suất ban đầu của thép phải rất cao, vào khoảng 1200 đến 2000Mpa. Để đạt được điều này thì việc sử dụng thép cường độ cao là thích hợp nhất.

Cần phải sử dụng bê tông cường độ cao trong BTCT ULT vì loại vật liệu này có khả năng chịu kéo, chịu cắt, chịu uốn cao và sức chịu tải cao. Bê tông cường độ cao ít xảy ra vết nứt do co ngót, có mô đun đàn hồi cao hơn, biến dạng do từ biến ít hơn, do đó ứng suất trước trong thép sẽ bị mất ít hơn. Việc sử dụng bê tông cường độ cao sẽ làm giảm kích thước tiết diện ngang của cấu kiện. Việc giảm trọng lượng của cấu kiện, vượt nhịp lớn hơn sẽ làm tăng hiệu quả kinh tế và kỹ thuật.

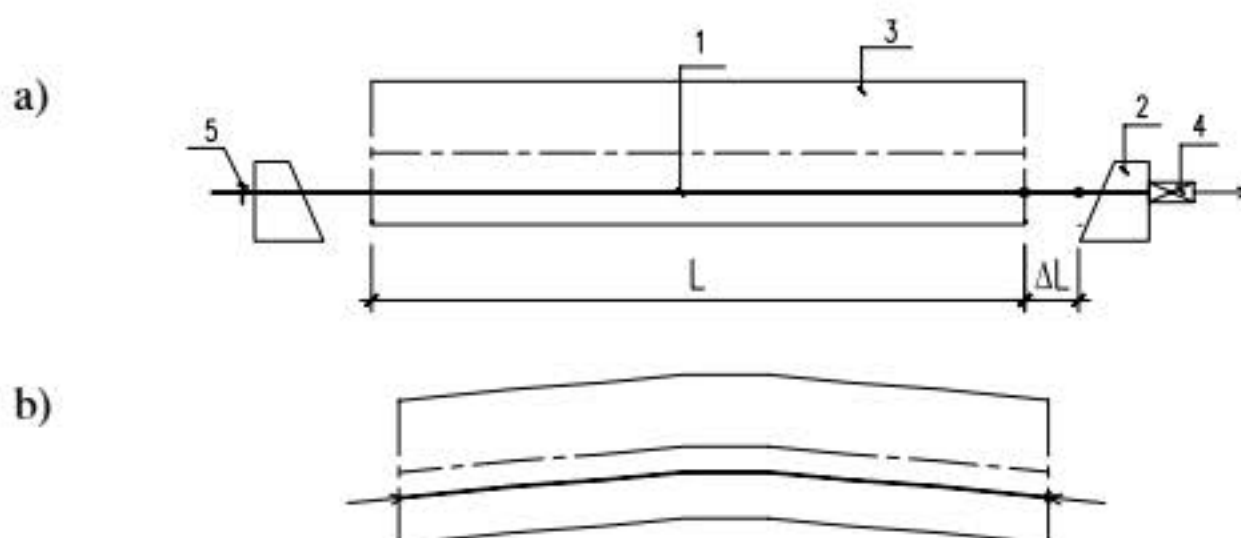
- Có khả năng chống nứt cao hơn (do đó khả năng chống thấm tốt hơn). Dùng BTCT ULT, người ta có thể tạo ra các cấu kiện không xuất hiện các khe nứt trong vùng bê tông chịu kéo hoặc hạn chế sự phát triển bề rộng của khe nứt khi chịu tải trọng sử dụng.
- Có độ cứng lớn hơn (do đó có độ võng và biến dạng bé hơn).

I.2 Các phương pháp gây ứng suất trước:

I.2.1 Phương pháp căng trước:

Phương pháp này thường sử dụng cho quy trình sản xuất các cấu kiện đúc sẵn. Cốt thép ULT được neo một đầu cố định vào bệ còn đầu kia được kéo ra với lực kéo N. Dưới tác dụng của lực N, cốt thép được kéo trong giới hạn đàn hồi và sẽ giãn dài ra một đoạn, tương ứng với các ứng suất xuất hiện trong cốt thép. Khi đó, đầu còn lại của cốt thép được cố định nốt vào bệ. Đổ bê tông, đợi cho bê tông đông cứng và đạt cường độ cần thiết thì buông cốt thép. Như một lò xo bị kéo căng, các cốt thép này có xu hướng co ngắn lại và thông qua lực dính giữa thép và bê tông, cấu kiện sẽ bị nén với giá trị bằng lực N đã dùng khi kéo cốt thép. Ưu điểm của phương pháp

căng trước là có thể phân bố lực nén đều đặn trong cấu kiện. Nhược điểm của phương pháp này là phải lắp đặt bộ tỳ phức tạp.



Hình I.1: Sơ đồ phương pháp căng trước

a- Trước khi buông cốt thép ULT; b- Sau khi buông cốt thép ULT

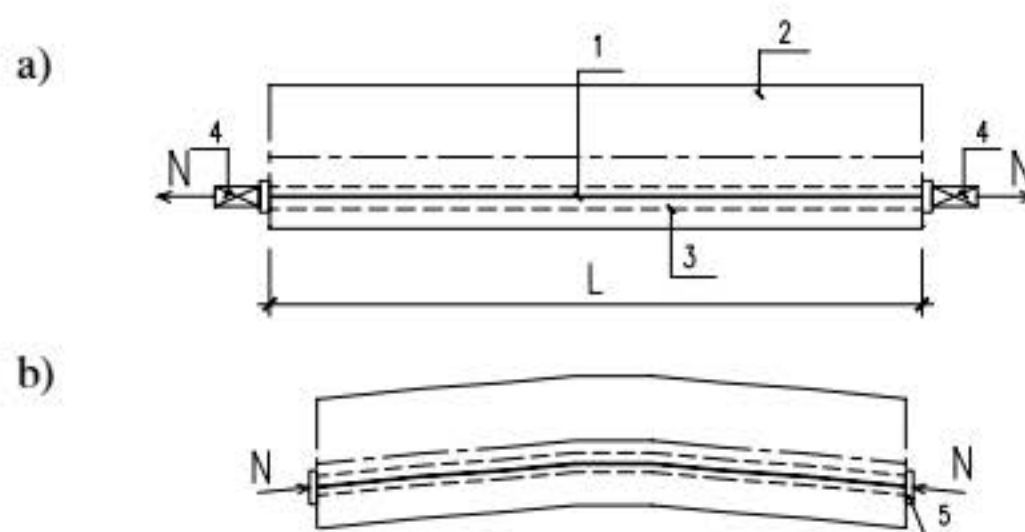
1- Cốt thép ULT; 2 - Bộ căng; 3 - Ván khuôn;

4 - Thiết bị kéo thép; 5 - Thiết bị cố định thép.

I.2.2 Phương pháp căng sau:

Phương pháp này thường sử dụng cho kết cấu bê tông đổ tại chỗ. Trước hết đặt thép ULT và cốt thép thông thường rồi đổ bê tông. Khi bê tông đạt đến cường độ nhất định thì tiến hành căng cốt thép với ứng suất quy định. Sau khi căng xong, cốt thép ULT được neo chặt vào đầu cấu kiện, thông qua các neo đó, cấu kiện sẽ bị nén bằng lực đã dùng khi kéo căng cốt thép. Trong phương pháp căng sau, kết cấu BTCT ULT được chia làm 2 loại: kết cấu bê tông ULT dùng cáp dính kết và kết cấu bê tông ULT dùng cáp không dính kết. Loại kết cấu bê tông ULT dùng cáp dính kết, khi thi công phải đặt sẵn ống gen để luồn cáp, sau khi kéo căng cốt thép, tiến hành bơm phụt vữa xi măng mác cao để chèn lấp khe hở giữa cáp thép và ống gen. Đầu cáp thép được neo chặt bằng nệm vào bê tông và trở thành các điểm tựa truyền lực nén vào bê tông.

Ưu điểm của phương pháp căng sau là không cần bộ tỳ riêng, có thể dễ dàng thi công kéo căng thép tại vị trí kết cấu tại công trình như thân xi lô, ống khói, dầm, sàn...



Hình I.2: Sơ đồ phương pháp căng sau

a - Trong quá trình căng; b- Sau khi căng

1- Cốt thép ULT; 2 - Cấu kiện BTCT; 3 - ống rãnh;

4 - Thiết bị kích; 5 - Neo.

I.2.3 Một số công nghệ khác tạo ứng suất trước:

Ngoài 2 phương pháp căng trước và căng sau, trong BTCT ứng suất trước còn sử dụng một số phương pháp sau:

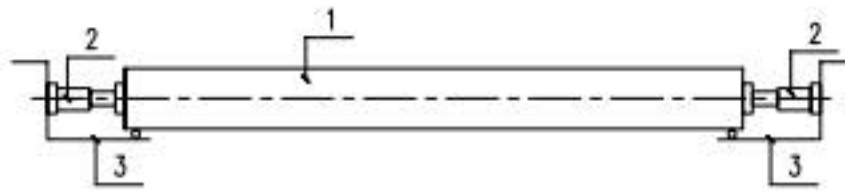
I.2.3.1 Sử dụng xi măng nở tạo ứng suất trước trong bê tông:

Theo phương pháp này, trong quá trình ninh kết và phát triển cường độ, xi măng nở làm tăng thể tích, các cốt thép trong bê tông sẽ ngăn cản sự giãn nở của xi măng, kết quả là trong bê tông có một lực nén khoảng 600-700Mpa.

Người ta có thể sử dụng loại xi măng đặc biệt cho sự trương nở này. Song, thực tế cũng có thể biến xi măng Pooclang thông thường thành loại xi măng đặc biệt này bằng cách trộn thêm phụ gia aluminat và thạch cao. Loại xi măng trương nở tự tạo ứng suất trước này dùng để chế tạo các kết cấu như bể chứa, cầu tàu, cọc, dầm, panen mái che cho nhà công nghiệp. Phương pháp này còn gọi là phương pháp hoá học để tạo ULT.

I.2.3.2 Dùng kích ép ngoài để tạo ứng suất trước:

Khác với 2 phương pháp căng trước và căng sau, kích đặt ở 2 đầu kết cấu không dùng để kéo căng cốt thép ra mà dùng để ép chặt cấu kiện bê tông lại, cấp hoặc cốt thép được neo vào các gối tựa. Sau khi bỏ kích ra, tạo ra trường ULT luôn được duy trì trong kết cấu.



Hình I.3: Sơ đồ tạo ULT bằng kích ép ngoài
1 - Cấu kiện BTCT ULT; 2 - Kích; 3 - Bệ đỡ

I.3 Vật liệu sử dụng cho bê tông ứng suất trước:

I.3.1 Bê tông cường độ cao:

Bê tông ứng suất trước yêu cầu sử dụng bê tông đạt cường độ chịu nén cao trong thời gian ngắn với cường độ chịu kéo tương đối cao hơn so với bê tông thông thường, độ co ngót thấp, tính từ biến thấp nhất và giá trị mô đun đàn hồi lớn. Theo tiêu chuẩn Ấn Độ IS:1343-1980, cường độ chịu nén của khối lập phương tại 28 ngày tuổi là 40Mpa đối với cấu kiện căng trước và 30Mpa đối với cấu kiện căng sau. Theo tiêu chuẩn ACI318, bê tông đạt cường độ chịu nén tại 28 ngày tuổi từ 27.58 đến 68.95 Mpa.

I.3.1.1 Ứng suất cho phép trong bê tông theo tiêu chuẩn ACI 318-2002:

Ứng suất cho phép trong bê tông được quy định và khống chế tùy theo từng tiêu chuẩn. Theo tiêu chuẩn ACI 318-2002 được quy định như sau:

I.3.1.1.1 Ứng suất trong bê tông ngay sau khi truyền lực ứng suất trước (trước khi xảy ra tổn hao ứng suất) không được vượt quá các giá trị sau:

+ Ứng suất nén lớn nhất: $0.60f_{ci}'$.

+ Ứng suất kéo tại 2 đầu mút của cấu kiện có gối tựa đơn giản: $0.5\sqrt{f_{ci}'}$

+ Ứng suất kéo tại các vị trí khác: $0.25\sqrt{f_{ci}'}$

Nếu ứng suất kéo vượt quá các giá trị trên thì cần bố trí thêm thép chịu kéo (thép thường hoặc thép ứng suất trước) vào vùng chịu kéo để chịu tổng lực kéo trong bê tông được tính toán với giả thiết tiết diện không bị nứt.

I.3.1.1.2 Ứng suất ứng với tải trọng làm việc (sau khi đã xảy ra tổn hao ứng suất):

+ Ứng suất nén lớn nhất do tải trọng dài hạn: $0.45f_c'$.

- + Ứng suất nén lớn nhất do tổng tải trọng: $0.60f_c'$.
- + Ứng suất kéo lớn nhất với tiết diện không cho phép nứt: $0.5\sqrt{f_c'}$
- + Ứng suất kéo lớn nhất với tiết diện cho phép nứt: $\sqrt{f_c'}$

Ứng suất có thể vượt quá ứng suất cho phép nếu phân tích và kiểm tra chứng tỏ được kết cấu không bị hư hỏng.

1.3.1.2 Mô đun đàn hồi của bê tông:

Đặc trưng ứng suất - biến dạng của bê tông khi chịu nén không phải là tuyến tính nhưng với tải trọng không vượt quá 30% cường độ phá hoại thì có thể giả thiết biến dạng là tuyến tính. Cần xác định đặc tính biến dạng của bê tông dưới tác dụng của tải trọng ngắn hạn và tải trọng dài hạn để xác định cường độ chịu uốn và mô đun đàn hồi, từ đó tính toán độ võng của cấu kiện ứng suất trước. Mô đun đàn hồi của bê tông tăng lên cùng với cường độ chịu nén trung bình của bê tông nhưng với tốc độ chậm hơn. Theo tiêu chuẩn ACI 318-2002, mô đun đàn hồi của bê tông: $E_c = 4730\sqrt{f_c'} \text{ (Mpa)}$.

1.3.2 Thép cường độ cao:

Thép ứng suất trước có thể là sợi, cáp hoặc thanh thép hợp kim.

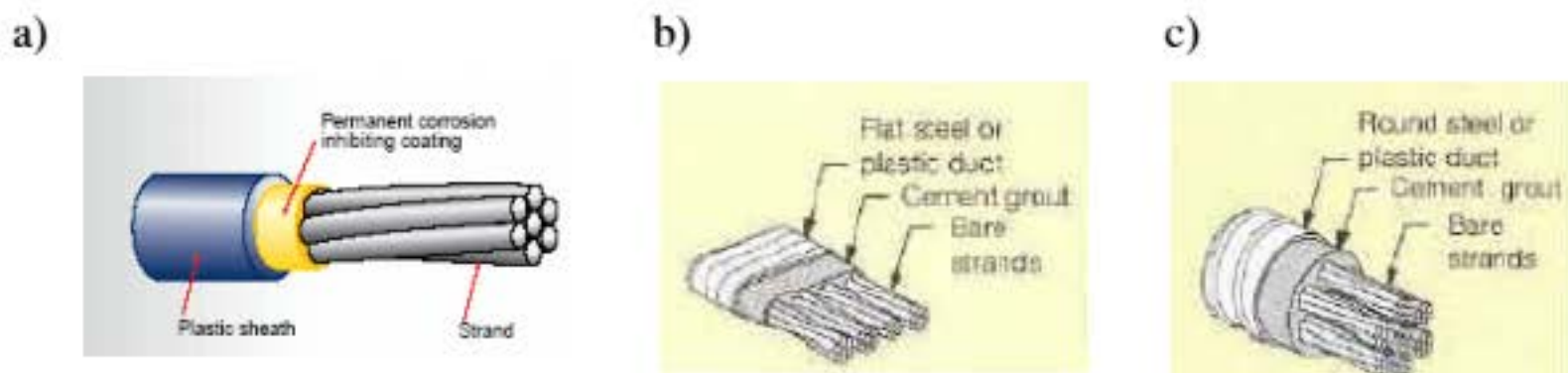
- Thép sợi sử dụng cho bê tông ULT nói chung tuân theo tiêu chuẩn ASTM A-421. Sợi thép được quấn thành cuộn và được cất và lắp ở nhà máy hay tại hiện trường. Trước khi thi công, sợi thép cần được vệ sinh bề mặt để tăng lực dính kết với bê tông.
- Cáp ứng suất trước phổ biến nhất là loại cáp 7 sợi, có cường độ chịu kéo tới hạn f_{pu} là 1720Mpa và 1860Mpa, kết dính hoặc không kết dính.

Hiện nay, ngoài loại cáp đơn 7 sợi còn có loại cáp bao gồm nhiều cáp đơn kết hợp với nhau. Loại cáp này có ưu điểm là mỏng, nhẹ và dẻo.

- Thép thanh sử dụng cho bê tông ULT tuân theo tiêu chuẩn ASTM A-322 và A-29, với yêu cầu có ứng suất phá hoại đạt tới 90% cường độ giới hạn. Mặc dù cường độ giới hạn thực tế thường đạt tới 1100 MPa, nhưng giá trị tiêu chuẩn nhỏ nhất thường lấy là 1000 MPa. Hầu hết các tiêu chuẩn thường đưa ra giới hạn chảy nhỏ

nhất là 896 MPa mặc dù giá trị thực tế còn cao hơn. Độ giãn dài nhỏ nhất tại lúc phá hoại ở vị trí chiều dài bằng 20 lần đường kính là 4%, với độ giảm nhỏ nhất của tiết diện tại lúc phá hoại là 25%.

Thép cường độ cao được sản xuất từ hợp kim bao gồm mangan, silic, cacbon,...bằng phương pháp cán nguội hoặc bằng phương pháp cán nóng và được tôi, làm cho cứng.



Hình I.4: Các loại cáp ứng suất trước

a-Cáp 7 sợi(cáp đơn)

b-Cáp dẹt

c-Cáp nhiều sợi

Ứng suất kéo cho phép trong thép theo ACI:

+ Ứng suất lớn nhất do căng thép (trước khi truyền ứng suất) không được vượt quá số nhỏ hơn của: $0.80f_{pu}$ và $0.94f_{py}$

+ Ứng suất kéo lớn nhất ngay sau khi truyền lực ứng suất trước không được vượt quá số nhỏ hơn của: $0.74f_{pu}$ và $0.82f_{py}$

+ Ứng suất lớn nhất trong thép căng sau tại vùng neo ngay sau khi neo thép: $0.70f_{pu}$

Bảng I.1 Một số đặc tính của cáp ứng suất trước

Loại cáp		13mm		15mm	
		EN318 hoặc	ASTM A416	EN318 hoặc	ASTM A416
		BS 5896 super	Grade 270	BS 5896 super	Grade 270
Đường kính danh định	mm	12.9	12.7	15.7	15.2
Diện tích danh định	mm ²	100	98.7	150	140
Khối lượng danh định	kg/m	0.785	0.775	1.18	1.1
Cường độ chịu cắt	Mpa	1580	1670	1500	1670
Cường độ chịu kéo	Mpa	1860	1860	1770	1860
Tải trọng phá hoại nhỏ nhất	kN	186	183.7	265	260.7
Mô đun đàn hồi	GPa	195			
Độ giãn dài	%		lớn nhất	2.5	

I.3.3 Các vật liệu khác:

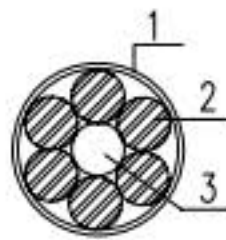
Ngoài 2 vật liệu chính là bê tông cường độ cao và thép cường độ cao còn có một số vật liệu khác:

I.2.3.1 Ống gen:

Đối với bê tông ULT căng sau dính kết thì cần đặt sẵn ống gen trong bê tông. Có 2 loại ống gen thường dùng:

- Loại bằng tôn mỏng 0.2 - 0.3mm có pha chì để làm giảm ma sát cuộn mép và cuộn theo kiểu xoắn ruột gà.
- Ống gen bằng các loại ống kim loại, ống tròn trơn có bề dày 2 - 4mm.

Yêu cầu ống gen là phải chống thấm tốt để giữ cho nước xi măng không thấm vào ống trong quá trình đổ bê tông và bảo vệ cáp, ống phải bền không bị hư hỏng biến dạng trong quá trình thi công. Tuy nhiên, ống lại phải mềm để đặt cong theo thiết kế và ma sát giữa ống gen với cáp không được quá lớn.



Hình I.5: Cấu tạo ống gen

1-ống gen; 2- bó cáp; 3- lỗ phụt vữa

I.2.3.2 Vữa phụt:

Sau khi căng cáp và neo, cần lấp đầy kẽ hở trong ống gen bằng vữa xi măng. Vữa được phụt vào ống gen dưới áp lực khoảng 6atm. Cường độ của vữa sau 7 ngày ít nhất phải đạt 2000Mpa.

I.4 Thiết bị sử dụng tạo ứng suất trước:

I.4.1 Phương pháp căng trước:

Hệ thống tạo ULT bao gồm hai khối neo đặt cách nhau một khoảng cách nào đó, thép ULT được căng giữa hai khối neo này trước khi đổ bê tông, lực căng được tạo bởi các kích thủy lực hoặc kích vít lớn.

I.4.1 Phương pháp căng sau:

Các thiết bị cần thiết đối với phương pháp căng sau bao gồm:

- Bơm và kích tạo ULT
- Neo
- Máy luôn cáp
- Thiết bị cắt cáp
- Hỗn hợp vữa và bơm vữa

Máy luôn cáp và thiết bị để bơm vữa chỉ cần thiết đối với cấu kiện bê tông ULT sử dụng cáp dính kết. Cáp có thể được luôn vào ống dẫn trước khi đặt ống dẫn vào vị trí hoặc sau khi đặt ống dẫn vào vị trí. Nếu cáp ngắn thì không cần sử dụng máy luôn cáp.

Neo được thiết kế để cố định cáp ở cả hai đầu cáp. Đối với cáp không dài lắm (dưới 30m), có thể bố trí một đầu neo cố định và một đầu neo công tác. Khi cáp quá dài thì bố trí neo công tác tạo ULT ở cả hai đầu để tránh tổn hao ứng suất do ma sát. Cấu tạo neo đơn giản, cáp cần phải dài quá đầu neo một đoạn và sẽ được cắt ngắn sau khi truyền lực ứng suất. Hiện nay neo công tác được sử dụng phổ biến nhất là hệ neo Freyssinet dùng nêm hình côn để kẹp chặt sợi cáp. Neo bao gồm bản đệm bằng thép có lỗ để cáp luôn qua, nêm hình côn và lò xo để tránh ứng suất cục bộ trong bê tông vùng neo. Nêm hình côn sẽ tự động dịch chuyển về phía bản đệm để khoá cáp và có tác dụng như một bộ phận truyền ứng suất tự động. Neo được chế tạo để thuận lợi cho việc đo độ dẫn dài của cáp và gia tải ULT.

Có 4 dạng thiết bị căng thép

- Căng bằng thiết bị cơ khí: thiết bị này thường bao gồm các khối nặng có hoặc không có bộ truyền lực đòn bẩy, bộ truyền lực bánh răng kết hợp với khối ròng rọc có hoặc không có bánh răng và máy cuốn sợi. Thiết bị này được sử dụng chủ yếu để sản xuất các thành phẩm bê tông ULT trong nhà máy với quy mô lớn.
- Căng bằng thiết bị thuỷ lực: đây là thiết bị đơn giản nhất để tạo ra lực ULT lớn, được sử dụng rộng rãi. Các kích thuỷ lực thông dụng có lực căng từ 5-100 tấn. Các kích thuỷ lực lớn có lực căng từ 200-600 tấn. Khi sử dụng kích thuỷ lực, quan trọng nhất là phải đo chính xác lực căng trong suốt quá trình căng.