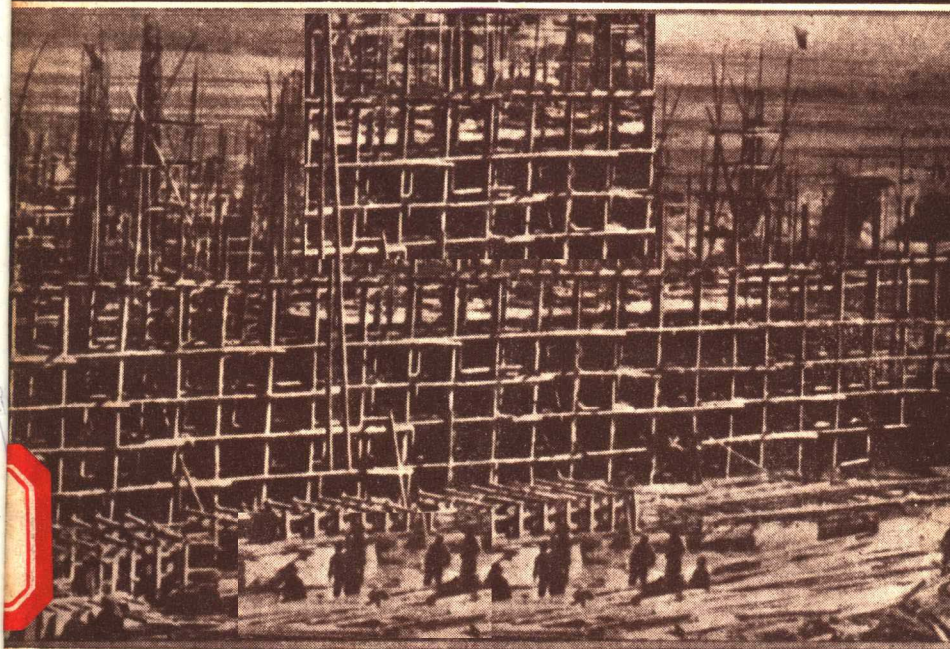


建筑工程中节约钢材 和水泥的途径

吴 世 鹤



科学普及出版社

本書提要

随着国家社会主义建設的不斷發展，基本建設的工程量大大地增加了，單从工程部門所担负的任务来看，1956年完成的工作量要比1955年增加60%以上，这一增長率已大大地超过了許多材料增加的速度，假如不采取節約措施和提高产量，今后材料供应的情况将要越發緊張起来。因此，国家要求我們在保証提高質量的条件下，更要不断地節約建筑材料，尤其是鋼材、水泥和木材。这本书主要地介紹了在建筑工程中節約鋼材和水泥的一些方法，包括施工中的—些節約方法和設計中的一些節約方法。

总号：470

建筑工程中節約鋼材和水泥的途径

著 者： 吳 世 鶴

責任編輯： 郑 汉 民

出版者： 科 学 普 及 出 版 社

(北京市西便門外郵政局)

北京市書刊出版營業許可證出字第091号

發行者： 新 华 書 店

印刷者： 北 京 市 印 刷 一

(北京市西便門南大街乙1号)

开本： 787 × 1092 $\frac{1}{32}$

1957年5月第1版

1957年5月第1次印刷

印張：

字數：

印數：

統一書号：15051·40

定 价：(10) 1角8分

693.5
W492

随着国家社会主义建設高潮的到来，基本建設工程大大地增加了。1956 年全国的基本建設投資要比 1955 年增加 62%，單从建筑工程部所担負的任务来看，1956 年完成的工作量要比 1955 年增加 60% 以上，这一增長率已經大大超过了許多材料产量的增加速度。这些材料包括主要的建筑材料如鋼材、水泥等。因此在 1956 年第一次出現了建筑材料的緊張狀況。由于工業建設的不断增長，这种緊張狀況，將來可能还会繼續下去。因此国家要求我們今后在保証提高質量的条件下，要不断地節約建筑材料。而節約鋼材、水泥、木材，尤其是其中的中心任务。

施工方面節約鋼材和水泥的措施

一、節約鋼材

誰都知道，鋼材是最寶貴的一种建筑材料，建設一个鋼鐵基地来增加鋼的生产量，不是一件輕而易舉的事情。随着国家建設的进展，各种工業对鋼的需要也一天天地增加着，例如：沒有鋼，什么汽車啦、拖拉機啦、动力機啦、双輪双鐮犁啦，都不能生产出来。因此節約鋼材不但是建筑工程部門的任务，也是每一个企業的任务。

1956 年下半年以来，随着鋼材供应的緊張，我們对于節約鋼材的認識和節約鋼材的知識都有很大的提高。我們已經摸出了不少的有效办法。可以說，如果我們采取适当的措施，就完全有可能在現有的預算基础上，節約出 1/4 数量的鋼材来。这將是一个很大的数字，这也將是我們建筑工程人員的庄严任

务。

現在談談節約鋼材的办法：

(一)用鋼筋混凝土結構，或者用預应力鋼筋混凝土結構，代替鋼結構。

在 1954—1955 年間，我們在工業建筑上，所有 12 米以上的屋架、行車架，几乎都采用鋼結構，个别車間的檩条甚至也采用鋼材。我們看看下面的比較表，就可以知道这是多么浪費的事情呀！

从下表看出，用鋼筋混凝土結構及預应力鋼筋混凝土結構代替鋼結構，可以節約鋼材 50—75%。用高强度鋼絲配筋的預屋面承重結構及吊車架用鋼数量比較表(公斤数只供参考)

屋架或屋架梁	跨 度 (公尺)				
	12	15	18	24	30
1. 預应力鋼筋混凝土結構	200—380	296—496	382—588	667—1310	882—1977
2. 普通鋼筋混凝土結構	395	612			
3. 組合桁架			590		
4. 鋼桁架	840	1190	1630	2790	4200
預应力鋼筋混凝土結構耗鋼量和他种結構耗鋼量比較：					
1. 以鋼結構耗鋼量作 100%	24—45%	25—42%	24—36%	24—47%	21—47%
2. 以普通鋼筋混凝土結構耗鋼量作 100%	51—96%	48—81%	65—99%		

跨度 6 公尺 的吊車梁	載 重 (T)				
	5T	10T	15T	20T	30T
1. 預應力鋼筋混凝土結構	133—135	139—161	157—272	165—303	223—594
2. 普通鋼筋混凝土結構	261	314	370	428	
3. 鋼結構					1443
預應力鋼筋混凝土結構耗鋼量和其他結構耗鋼量比較:					
1. 以鋼結構耗鋼量作100%					15—41%
2. 以鋼筋混凝土結構耗鋼量作100%	51—52%	44—51%	41—72%	50—71%	

附注: 預應力鋼筋混凝土構件中, 耗鋼量的前一個數字是采用高強度鋼絲配筋設計的, 後一個數字是采用 25TC 配筋設計的。

應力鋼筋混凝土結構代替普通鋼筋混凝土結構, 也能節約鋼材 35—50%。

(二) 對鋼筋進行冷加工提高它的強度和利用冷加工過程中產生的伸長度。

我們知道鋼材所具有的一般力學性能, 如比例極限、彈性極限、屈服點 (或稱流限) 以及極限強度等 (圖 1)。其中屈服點對結構來講是最重要的, 也是我們設計的主要依據。所有構件的應力, 都不允許超過這一限度; 否則結構物發生過度的變形而至破損。因此, 設法提高屈服點就有可能提高設計的計算強度從而節約用鋼的數量。

我們也知道鋼材經過不同的處理以後, 它的晶體排列會發生變化, 因而引起了它的物理性能的变化。處理方法很多, 如

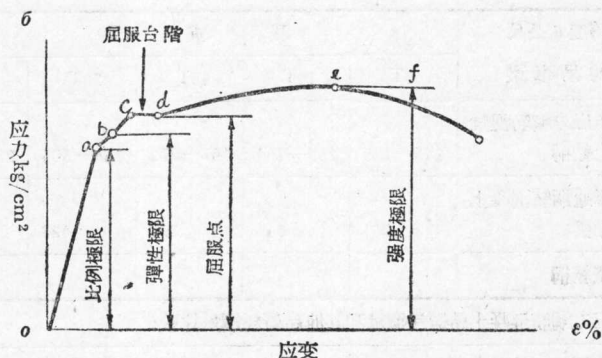


圖 1 低碳鋼經過一次拉伸后的应力应变圖。

热鍛、热轧、淬火、退火、冷拉、冷拔、冷轧……等。不同的处理方法，会产生不同的效果。目前在建筑施工方面所采用的处理方法，就是对鋼筋进行冷加工。这些方法，都能把鋼筋的各种極限提高，使我們在設計的时候提高它們的計算强度，从而

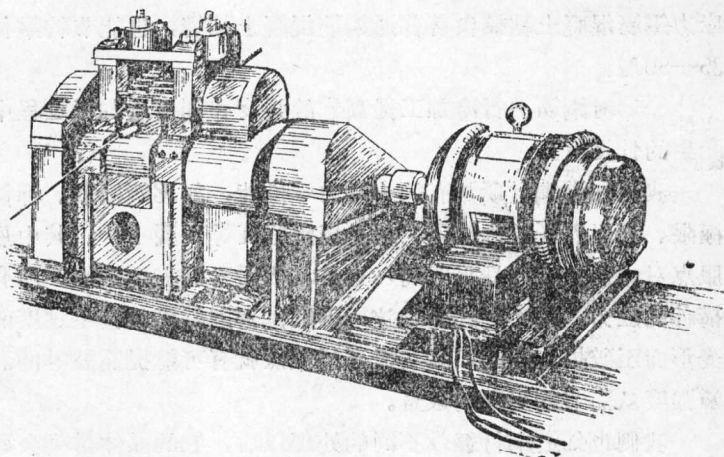


圖 2 冷軋机。

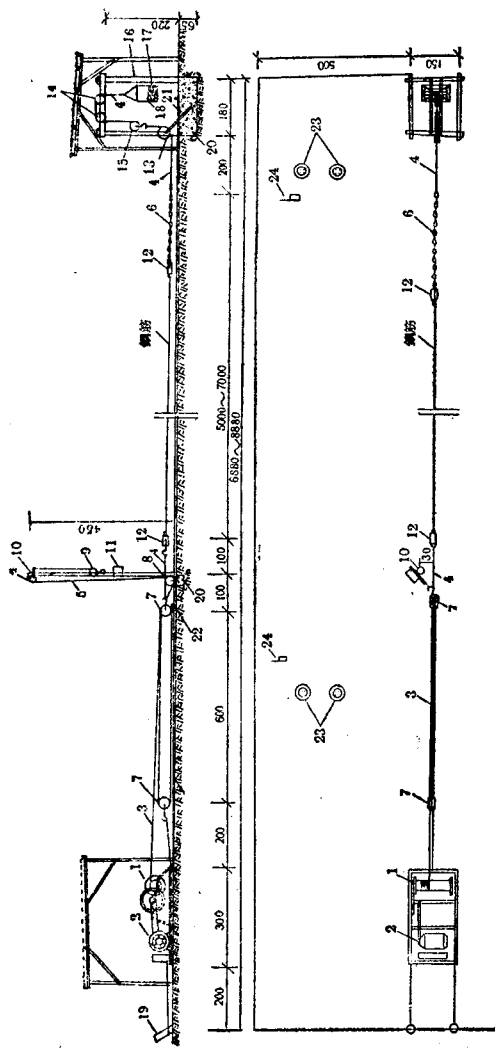


圖 3 冷拉鋼筋布置示意图

1. 卷揚機牽引力為 750—2000kr
2. 10 匹馬力電動機
3. 鋼絲繩 13—16mm $\varnothing$
4. 鋼絲繩 19mm $\varnothing$
5. 鋼絲繩 10mm $\varnothing$
6. 5/8" 鋼繩或 19mm $\varnothing$ 電焊鋼筋鏈
7. 5 噸的雙連或三連滑輪一對
8. 4"—6" 無鈎滑輪 (起重量 500kr)
9. 4"—6" 有鈎滑輪 (起重量 500kr)

10. 13cm $\varnothing$ 尾徑杉木
11. 60—100 公斤平衡重 (鉄塊或混凝土)
12. 鋼筋夾鉗或楔形夾頭
13. 14" 無鈎滑輪 (起重量 6 噸)
14. 10" 無鈎滑輪 (起重量 3 噸)
15. 8" 有鈎滑輪 (起重量 5 噸)
16. 木架
17. 荷重鉄塊
18. 荷重座

19. 錨固木樁
20. 混凝土基礎
21. 鋼筋錨鉤
22. 3' 鉄管端予小車
23. 打開整個鋼筋的轉動木架
24. 手工切斷鋼筋機

节省了用鋼的数量。下面簡單地介紹一下三种冷处理的方法。

第一种是冷轧。把元鋼筋通过阿瓦可夫冷轧机（圖2）冷轧成有一定規律的变形鋼筋。这种操作非常簡單，每分鐘大約可軋15米，每台班可軋7—10吨。

現在用的冷轧机有兩種型号，一种是MA-50，可以軋6—12mm的元鋼。一种是BA-49，它有兩個軋道，一个軋道軋制14—20mm元鋼；另一軋道軋制20—32mm元鋼。

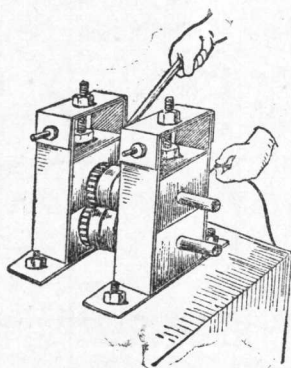
第二种是冷拉。就是把鋼筋用張拉設備拉長5—8%（一般拉長6%）。目前冷拉12mm以下的鋼筋都用卷揚機和控制荷重（圖3）。冷拉直徑更大的鋼筋時，就多使用30吨的滑輪式冷拉機。它可以冷拉32mm以下的 $t-0$ $t-3$ 圓鋼筋，或28mm以下的 $t-5$ 羅紋鋼筋。

第三种是冷拔。冷拔加工，一般用于6mm以下的鋼筋。冷拔時，把鋼筋通过硬質合金鋼制成的型孔模，用強力冷拔。因為型孔模入口較大，出口逐漸縮小，所以拔出的鋼筋直徑就比原来的小，每拔一次直徑可以縮小0.5—1.0mm。鋼筋冷拔，一般經過去銹、酸洗、皂水中和、清水漂洗、晾干、軋頭、冷拔等几个过程。目前这些工艺过程还都是用很簡單的手工操作来进行，沒有进一步很好地把它們串連起来（圖4）。

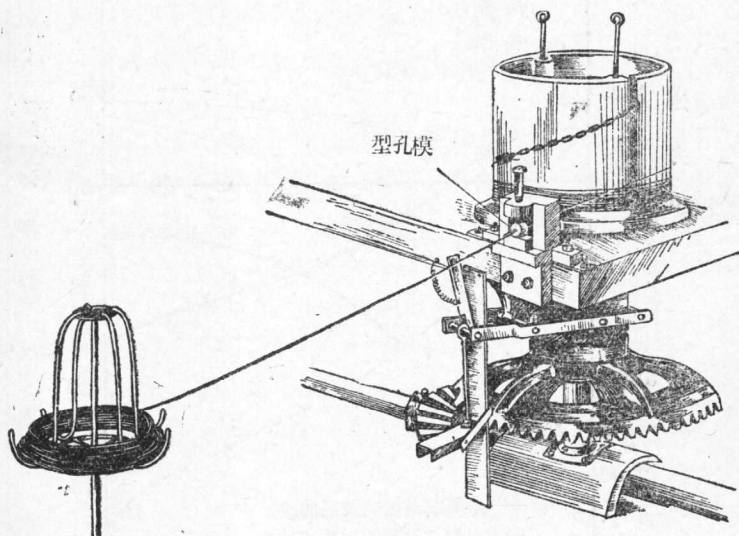
以上是鋼筋冷加工的簡單介紹。鋼筋經過冷加工后，强度有了显著提高。

从后面几个圖上可以看出經過冷加工的鋼筋，强度有了显著提高，屈服点已不明显存在。但是也必須注意，鋼筋的脆性也增加了。例如从圖7上就可以看出，冷拉鋼筋随着拉長率的增大，流限、極限强度都有了增加，但是延伸率却下降了。

由于冷加工后，鋼筋的强度可以提高，按破損阶段設計



- (1) 先把鋼筋的头
在左面这个軋
头机上軋細
后,再穿过冷
拔机的型孔模
去拔



(2) 冷拔机

圖 4

时,在設計規範內,就規定出提高的計算强度。如:

1. 6—32 mm 鋼筋經過冷轧后,受拉受压計算强度可采

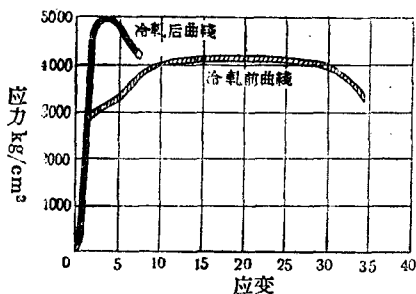


圖 5 $\varnothing 16\text{mm}$ “3号”光面鋼筋
冷軋前后的应力应变圖。

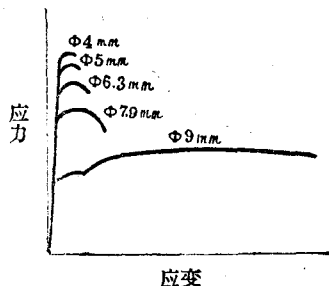


圖 6 $\varnothing 9\text{mm}$ 鋼筋拔成各种不同直
徑后的应力应变圖。

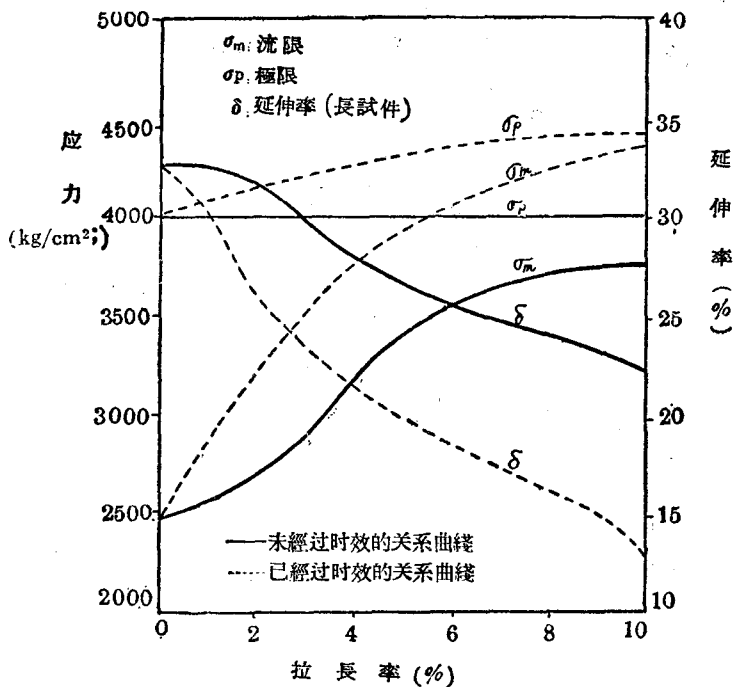


圖 7 在不同控制应力下，冷拉鋼筋的流限、極限、延伸率的关系示例圖。

用 $3,500\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

2. $t-0$ 及 $t-3$ 鋼筋冷拉后, 直徑 12mm 及 12mm 以下的受拉鋼筋, 在焊接骨架和焊接網內計算強度, 可以採用 $3,500\text{kg}/\text{cm}^2$; 大于 12mm 的可以採用 $3,000\text{kg}/\text{cm}^2$ (受壓鋼筋不能提高, 只允許採用 $2,500\text{kg}/\text{cm}^2$)。

3. 5.5mm 以下的冷拔鋼絲, 在焊接網內, 計算強度可以採用 $4,500\text{kg}/\text{cm}^2$ 。

这就給了節約鋼筋提供了很大可能性, 例如, 按照破損階段設計時, 未經處理的普通 $t-3$ 號元鋼計算強度至多只能採用 $2,850\text{kg}/\text{cm}^2$, 而用冷軋鋼筋計算強度就可以提高 22.8% ($3,500 - 2,850 = 650\text{kg}/\text{cm}^2$ 相當於 $650/2,850 = 22.8\%$)。經過冷軋之后, 鋼筋的長度要增加約 7.5% , 此外還可以免用彎鉤, 估計又能節約 5% 。這幾個數合起來, 就可以節約鋼筋耗用總數的 27% 。

冷拉鋼筋照拉長 6% 計算在焊接骨架里, 就可以節約 24% 左右; 冷拔鋼筋在焊接骨架里就可以節約 36% 左右。

如果按照極限狀態理論設計, 節約效果也是很大的, 以 $t-3$ 型鋼筋為例, 未加工前它的標準強度是 $2,400\text{kg}/\text{cm}^2$, 計算強度是 $2,100\text{kg}/\text{cm}^2$, 加工后如下表:

冷加工方法	冷軋	冷拉	冷拔
標準強度 kg/cm^2	4,500	2,800	$\varnothing < 5.5$ 5,500 $\varnothing 6-10$ 4,500
計算強度 kg/cm^2	3,600	2,500/2,100	$\varnothing < 5.5$ 4,500 $\varnothing 6-10$ 3,600

从表上数值可以計算出, 冷軋 $t-3$ 比一般 $t-3$ 元鋼計算強度要提高 71% , 乘上工作条件系数 0.65 并加上冷軋后的其他

節約因數，節約效果可以達到20—21%。在焊接骨架中，使用12mm及12mm以下的冷拉鋼筋節約效果也可以達到20%。

雖然一個構件內，不是每根鋼筋都能達到同樣的節約效果（因為每根鋼筋不一定都能達到應有計算強度），但總起來估計，如果各種冷加工措施都能實現，我們可以說，節約15—20%的鋼筋是完全可能的。

除了冷加工外，合理配料，採用電焊接頭，也是節約鋼筋的重要措施之一。焊接不但節約了搭接長度，同時還允許冷拉、冷拔，讓鋼筋充分發揮它們的作用。

但是這方面的工作是做得不夠好的。儘管冷加工的效果很好，沒有冷加工設備還是不行。這正是目前急需解決的問題。

以上介紹提高普通鋼筋的強度來節約鋼筋的辦法。

（三）在設計上採用高強度的鋼材減少用鋼數量。

由於冶金技術的提高，我們國家在1956年已經開始生產t-5羅紋鋼，並生產少量高強度的鋼絲，估計今年起可以生產低合金鋼25ГC。在目前國內的條件下，冷拉後的t-5羅紋鋼，使用強度可以達到 $5,000\text{kg}/\text{cm}^2$ ，25ГC合金鋼，可以達到 $6,500\text{kg}/\text{cm}^2$ ，鋼絲可以達到 $11,000—14,000\text{kg}/\text{cm}^2$ 。隨著技術發展，這些強度數值還能提高。採用高強度的鋼材，是節約鋼筋的一個重要方法，因為採用的強度越高，用鋼的數量也就越少。但是在普通鋼筋混凝土中，如果鋼筋受拉強度高了，混凝土就會出現裂縫，因此使一般鋼筋受拉強度受到了限制，也不能採用高強度的鋼。預應力鋼筋混凝土發展以後，這一限制，已被消除。因為在預應力鋼筋混凝土內，鋼筋的作用，是光叫混凝土受壓，不用怕裂縫出現，任何高強度的鋼絲就都能使用。因此發展高強度的鋼絲及預應力鋼筋混凝土，是節約鋼筋上十分重要的措

施。用預应力鋼筋混凝土代替普通鋼筋混凝土，可以節約鋼筋20—30%。

(四)采用竹筋混凝土代替鋼筋混凝土。

在建筑工程上利用竹筋混凝土，已經有很久的历史。在广州我們可以找到38年前做的竹筋混凝土建築物，这些建築物中，混凝土里有些竹筋还很好，有的竹筋却已蛀成粉末。这說明了一个問題，就是竹筋代替鋼筋是存在着可能性的；同时也說明使用竹筋混凝土还有一些問題需要研究解决。資本主义国家也有过一些研究工作，其中以日本的研究历史为最長。我們的系統研究工作到1954年才开始。建筑工程部的建筑科学研究院，同济、清华、哈爾濱工業大学等很多高等学校，也参加了研究工作。虽然这方面还存在一些基本理論問題，不能很快的解决，但是几年来的試驗和实践，也获得了一些可以应用的經驗。例如：建筑工程部除提出鋼竹筋空心板定型設計外，还采用拱板和小梁楼板結構，每平方公尺只需要鋼筋1.8kg，比原設計節約60%左右。这种設計采用在民用建筑的楼板上，結構上是完全可以保証質量的，估計建筑10,000m²的楼板可以節約鋼筋20—25吨。

除了楼板之外，竹筋混凝土还可以在工業建筑中許多不是主要的承重構件上，如天窗側板、管道盖板、陰溝盖板等地方使用。

二、節約水泥

1956年因为水泥供应緊張，促使我們去學習、研究、節約水泥的方法，半年多来已經获得了不少的成就，節約成績最好的一些單位，在1956年下半年度節約量預計可以达到20%。但这还不能說我們已經做到了最大限度的節約，節約的潜在力还

很大，如果節約的一切办法都得到采用，需要的設備也能获得很好的解决，節約的数量就有可能达到 25%，条件特别好的地区，甚至还可以增加。拿建筑工程部来講，这个数字相当于建設两个大型工厂所需用的水泥用量。这在国民經济方面的重要性，是用不着解釋的了。

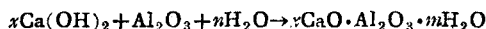
節約水泥方法，可以归納成下面几大类：

(一)采用水泥代用材料和水泥掺合料。

1. 采用無熟料水泥及少熟料水泥(無熟料水泥中掺5—10%熟料水泥就成了少熟料水泥)代替熟料水泥。

無熟料水泥是采用地方的活性材料，同生石灰、生石膏一同研磨制成的。

所謂活性材料，是指某些地方材料、工業廢料，它們含有大量氧化硅、氧化鋁，这些成分和氫氧化鈣在一起时能通过化学作用产生含水鋁酸鈣或含水硅酸鈣，成为水硬性材料。它的化学反应是：



这里石膏并没有直接参加化学作用，但是它起着調济作用。

国内現在开始采用的無熟料水泥，已有下列各种：

(1) 粉煤灰無熟料水泥。粉煤灰是煤中所含的粘土物質，經過高温燃燒后的产物。粘土中的氧化硅、氧化鋁經過高温产生了活性，它和 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 在一起就能起硬化作用。据目前采用比例：北京是 65 (粉煤灰) : 30 (石灰) : 5 (石膏)，上海是 75 (粉煤灰) : 20 (石灰) : 5 (石膏)，适当的比例数应根据各地材料的成分，經過試驗确定。

用这种無熟料水泥制成的混凝土，經過蒸汽养护后可以达

到 140 号以上的强度。

(2) 頁岩無熟料水泥: 頁岩無熟料水泥已在东北地区大量采用, 其中使用的頁岩有下面几种:

赤頁岩: 含油極少的頁岩, 經過自然燃燒后形成。

廢頁岩: 油母頁岩, 經過干餾后的工業廢品。

綠頁岩: 油母頁岩上面不含油質的岩層。

这些頁岩都含有相当数量的活性氧化硅和氧化鋁, 因此都能制成無熟料水泥。

頁岩無熟料水泥配制的成分是: 頁岩粉 (60—75%), 石灰粉 (20—35%), 石膏 (5%)。

采用頁岩無熟料水泥制成的混凝土, 根据东北建筑工程局的試驗, 有下面的强度:

标准养护	可达 80—110号
12小时湿热养护	可达140—200号
8个大气压 174°C 高压蒸汽养护	曾获得500号以上(土建研究所資料)。

(3) 赤泥硫酸鹽水泥: 赤泥是煉鉛的廢渣。赤泥水泥是赤泥加矿渣、石膏和石灰制成的, 水泥标号可以达到 400—500 号, 山东水泥厂已开始生产也正式在工程上使用了。

(4) 其他無熟料水泥: 除了上面介紹的無熟料水泥外, 还有许多含活性材料的地方材料可以制成無熟料水泥。如石灰渣無熟料水泥, 一般配合比例是: 70—85 (矿渣): 15—30 (石灰): 3—5 (石膏)。冶金工業部所屬鞍鋼工地已經大量采用。

磨細燒粘土無熟料水泥, 普通粘土經過高温 (600—700°C) 焙燒后, 其中氧化硅和氧化鋁取得活性, 就可配制这种無熟料水泥。一般配合比例是: 50—80 (燒粘土): 25—70 (生石灰):

2—3 (石膏)。

石灰煤渣水泥，一般配合比例是：50—80 (煤渣)：30—50 (生石灰)：3—5 (石膏)*。

無熟料水泥的使用范围和节约效果：

(1) 代替普通水泥拌制适当标号的混凝土；

(2) 代替水泥制造泡沫水泥保温材料 (蒸汽养护)；

(3) 代替水泥拌制砌体砂浆。

建筑工程中的这些方面采用無熟料水泥以后，估计可以代替水泥用量25%左右。

無熟料水泥的制造——主要用粉磨设备，如磨球机、滚磨机，将各种原料磨到一定细度 (80%以上通过4,900眼的筛)

* 这些材料的化学成分举例：

材 料 名 称	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	燒失量
上海电厂粉煤灰	46.67	29.35	5.38	2.89	1.49	0.15	10.13
石景山电厂粉煤灰	49.46	29.06	4.48	3.74	1.78	0.27	
諸暨凝灰岩	57.7	21.73	3.8	0.31	0.07	0.1	7.96
長春汽車厂电厂粉煤灰	53.76	35.65		0.25	0.94	0.71	2.75
重庆电厂粉煤灰	38.84	28.73	12.01	3.51	0.90	1.93	15.7
赤頁岩 (撫順)	62.32	22.76	10.61	1.79	0.96		2.32
廢頁岩	55.73	20.97	8.97	1.6	1.37		10.46
綠頁岩	46.05	20.15	8.35	6.15	4.75		12.23
赤泥	21—25	8—13	10—12	41—45	1—2		6—10

燒失量是在焙燒試驗时損失的重量

(粉煤灰本身的細度已能滿足要求，所以不用研磨)混合均勻而成，制造成本較低，例如利用撫順頁岩制的無熟料水泥，運到沈陽工地每噸的價錢只20元左右，如果使用當地材料，成本可以更低。因此使用無熟料水泥不但是節約水泥的措施，也是減低成本的重要措施。

2. 水泥中加入摻合料，減低水泥用量。

建筑中对水泥使用有着不同的强度要求。我們要配制100号以上的混凝土和100号以下的混凝土，也要配制25号的砌体砂漿。而对制造水泥的工厂來講，生产高标号水泥是比較有利的(由于生产量不因标号高而減少，成本虽高些，总起来看生产高标号水泥是有利的)，今后水泥生产也要走这一方向。为了經濟地使用水泥，我們已学会采用在水泥中加摻合料的办法。这不但節約了水泥，而且利用地方材料作摻合料，也可以減低混凝土的成本。

摻合料可分为兩種：

(1)活性摻合料：活性摻合料不但起填充作用，同时也起着硬化作用。摻含量最高可以达到80% (例如碱性高爐矿渣)。我国生产的400号矿渣水泥就摻有50%的碱性矿渣。但为了調整水泥需要的标号，还可以在摻含量的总限度內，在工地上使用的时候，再加入适当数量的摻合料。

(2)惰性摻合料：惰性摻合料主要起冲淡作用和填充作用。因为有时水泥标号太高了，拌制低标号混凝土不恰当，或者造成浪費；同时为了保持一定的和易性及密实度，必須保證水泥的最低使用量，采用摻合料就能滿足这一要求。

最經濟的惰性摻合料是粘土摻合料。采用粘土摻合料，可以就地取材，不需粉磨。粉煤灰是低活性的摻合料，在常温下