

中央人民政府高等教育部推薦
中等專業學校教材試用本

鋼筋混凝土結構學

上 冊
(校訂本)

A. M. ИВЯНСКИЙ 著

章 守 恭 譯



龍門聯合書局

龍門

中央人民政府高等教育部推薦
中等專業學校教材試用本



鋼筋混凝土結構學

上 冊

(校訂本)

A. M. 依維揚斯基著

章 守 恭 譯
趙 國 藩 等 校 訂

龍 門 聯 合 書 局



本書係根據蘇聯國營建設書籍出版社(Государственное издательство строительной литературы)出版的依維揚斯基(А. М. Ивянский)著“鋼筋混凝土結構學”(Железобетонные конструкции) 1950年修正增訂第二版譯出的。原書經蘇聯重工業部教育處審定為建築工程技術學校用教科書。

本書有系統地敘述了鋼筋混凝土結構構件最新的計算及構造方法的原理。據蘇聯建設書籍出版社的說明：本書供建築工程技術學校學生用作教科書外，亦可作建築工程學院學生及工程技術工作人員設計鋼筋混凝土結構的參考用書。

本書經大連工學院土木工程教研室鋼筋混凝土教學小組 趙國藩、高俊陞、唐辛德、孔超羣四同志校訂。由龍門聯合書局重排，分上下兩冊出版。

鋼筋混凝土結構學

上 冊

ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ

А. М. ИВЯНСКИЙ 著

章 守 恭 譯

趙 國 藩 等 校 訂

★ 版權所有 ★

龍 門 聯 合 書 局 出 版

上海南京東路61號101室

新華書店華東總分店總經售

上海南京西路一號

啓 智 印 刷 廠 印 刷

上海自忠路239弄28號

1952年10月東北教育出版社四版

1953年3月龍門聯合書局五版

1954年6月龍門聯合書局校訂本五版

印數16,501—21,500冊 定價¥15,000

上海市書刊出版業營業許可證出029號

序 言

在第一版“鋼筋混凝土結構學”課本出版以後的過去九年中，鋼筋混凝土結構構件的構造及計算方面有了許多變動。爲着符合這些變動，第二版是重寫過了。除此以外，爲了符合重工業企業建設部教育處批准的建築工程技術學校課程大綱起見，本書內容方面亦有若干變動。

與第一版相較，第一章擴充很多，其中敘述了關於組合材料對鋼筋混凝土結構的構造計算及作用等影響的基本知識，因爲在目前如果沒有關於混凝土特性的知識，就不可能產生質量優越的設計。

當敘述標準的資料及計算方法時，基本上採用重工業企業建設部 1948 年的設計鋼筋混凝土結構的標準及技術規範(Н П ТУ-3-48)。爲符合這個規範，在計算構件受彎、偏心受壓及偏心受拉時，混凝土內的壓應力圖形採用長方形。

內容的敘述使能與實際設計時所用的公式圖表相結合。爲了掌握這種計算公式及圖表，在課本的各別章節中均有例題。本書最後一章，並載有肋形鋼筋混凝土樓蓋的詳細計算例子，這個例子的基本計算法，是以考慮因塑性變形內力重分佈而算出的。

著 者

目 錄

緒 論	1
第一章 混凝土及鋼作為鋼筋混凝土結構中的材料	5
I. 混 凝 土	
§ 1. 應用於鋼筋混凝土結構中的混凝土的成份	5
§ 2. 混凝土的受力性能	7
§ 3. 混凝土的彈性	16
§ 4. 混凝土的徐變	18
§ 5. 收縮及膨脹	20
II. 鋼 筋	
§ 6. 鋼筋的型式	23
§ 7. 彎鉤、彎轉及接頭	27
§ 8. 鋼筋用鋼的強度及號碼	30
III. 鋼筋混凝土的單位體積重量	
第二章 計算鋼筋混凝土構件的基本原理	33
§ 9. 按破損階段計算的基本原理	33
§ 10. 安全因數	35
§ 11. 結構設計暫行規範標準草案所用的基本原理	37
第三章 中心受壓	40
§ 12. 一般的說明	40
§ 13. 有受力縱鋼筋的柱	40
§ 14. 有縱向及螺旋受力鋼筋的柱	51
§ 15. 有勁性鋼筋的柱	56
第四章 彎曲	59
I. 鋼筋混凝土結構構件受彎的計算	
§ 16. 一般的說明	59
§ 17. 受彎時應力狀態的階段及應力的計算圖形	61
§ 18. 單筋受彎構件的計算	63
§ 19. 雙筋受彎構件的計算	83
§ 20. T 形截面受彎構件的計算	92
§ 21. 關於勁性鋼筋受彎構件的基本知識	104

II. 計算受彎構件的切力

§ 22. 一般的說明	105
§ 23. 受拉主應力的數值及其計算圖形	108
§ 24. 鋼箍及斜鋼筋的計算與構造	112

III. 鋼筋混凝土板及梁

§ 25. 求計算彎矩及切力	125
§ 26. 梁式板的計算及構造	134
§ 27. 梁的計算及構造	140
§ 28. 切力及彎矩疊合圖形與材料圖形的繪製	155

第五章 梁式板的肋形樓蓋 162

§ 29. 肋形樓蓋草圖的選擇	162
§ 30. 求載荷	165
§ 31. 求彎矩及切力	168
§ 32. 構造	173

第六章 四邊支持板的肋形樓蓋(井式樓蓋) 176

§ 33. 求單孔板中的彎矩	176
§ 34. 求多孔板中的彎矩	177
§ 35. 截面選擇及構造	181
§ 36. 四邊支持板的肋形樓蓋中梁計算的特殊性	186

所採用的符號 191

附 錄

1. 當均佈載荷及對稱位置相等的集中載荷時,等跨度連續梁中的跨度彎矩、支座彎矩及支座截面處的切力	194
2. 按支座彎矩等量於指定載荷情形的均佈載荷	202
3. 均佈載荷時等跨度連續梁的彎矩及切力	203
4. 集中載荷時等跨度連續梁的彎矩及切力	206
5. 當均佈載荷在全部格子面積上時,為計算四邊支持式板的表	210
6. 求 T 形截面慣性矩的曲線	216
7. 橢圓截面軋製鋼筋的種類	217
8. 壓扁鋼筋的種類	217
9. 為鋼筋混凝土中鋼筋用的第一型及第二型竹節形軋壓鋼	218
10. 在各種鋼筋間距下板寬每公尺上的鋼筋截面積表	219
11. 圓鋼筋截面面積及重量表(附鋼筋排成一行時梁的最小寬度)	220

緒 論

在蘇聯，混凝土及鋼筋混凝土在計算、構造及施工方面的巨大成就，保證了鋼筋混凝土在建築界的廣泛應用。斯大林五年計劃時，巨大的鋼筋混凝土建築物建造起來了；包括有各種工業部門所用的多層房屋，裝有吊車設備的巨大單層工廠，鐵路及公路橋樑、水工結構物，各種液體的大規模儲庫，以及水泥煤炭穀物等的倉廩等。

各種型式鋼筋混凝土橋樑的建造，在蘇聯已大有成效。公路及鐵路上建造了許多大跨度的拱橋，此種橋樑非但在跨度上可以誇耀，並且在結構型式上亦甚為特出。

蘇聯的工程師們，用混凝土及鋼筋混凝土在水工結構上，亦獲得了很大的成就，特別是將其建立在鬆軟的地基上，以及作為板樁沉箱結構等的用處上。

在蘇聯混凝土及鋼筋混凝土工作的季節性，亦經消滅，冬季澆混凝土在理論與實際上，以及在冬季澆混凝土工作的數量上，蘇聯均佔世界首位。應用電熱、蒸汽等冬季澆混凝土的先進技術，使許多重要的企業，均在短時期及嚴寒的條件下，建造成功。

在蘇聯用裝配式鋼筋混凝土的建築，已有相當的推廣。建築界事實上已有了此類新型的裝配式鋼筋混凝土結構，作為工廠的建築物。住宅及公共建築物方面，此種用個別鋼筋混凝土構件來配裝建造的方法，亦已被採用。此種裝配式鋼筋混凝土結構的應用，特別是工業建築物，在數量上蘇聯遠超過其他國家。

蘇聯的科學工作，對於鋼筋混凝土結構的計算及構造等問題，得到了很廣泛的展開，成立了許多科學研究機構，並且都很有成效地在工作着，在那裏很廣泛地進行了鋼筋混凝土建築、理論及實驗方面的研究工作。此種機構為中央工業建築科學研究院(ЦНИИПС)、交通部中央科學研究院(ЦНИИ МПС)、機器製造工業建設部建築科學研究院、烏克蘭建築物科學研究院(ЮЖНИИ)等等。

預應力鋼筋混凝土的理論方面，及其在建築上的應用，蘇聯科學亦有很偉大的成就。蘇聯的科學研究及設計機關，在最初的理論與實驗的研討中，表現了對預應力混凝土科學上很有價值的貢獻，在這些研究基礎上，蘇聯學者們將預應力混凝土的計算及結構方法，較其他國家進行得更為有成效。建立了鋼筋混凝土構件(樑、軌枕、樑板等)中鋼筋連續加應力的原理。產生了新型的大跨度的預應力鋼筋混凝土結構，並在橋樑建築方面，這種結構

的研究、設計及應用，亦做了很巨大的工作。在蘇聯爲了廣泛的應用預應力結構，已經有了必要的一切前提。

無數蘇聯學者如 А. Ф. 羅蘭特 (Лолейт), А. А. 格復斯捷夫 (Гвоздев), М. Я. 施塔也爾曼 (Штаерман), П. Л. 派司欠爾那克 (Пастернак), Я. В. 司督略羅夫 (Столярков), В. М. 開爾代希 (Келдыш), В. И. 摩拉顯夫 (Мурашев), Л. И. 啞尼喜克 (Онищук), Б. Г. 司克拉姆泰也夫 (Скрамтаев), И. С. 拍獨爾司基 (Подольский) 等教授的研究，對混凝土及鋼筋混凝土這一門建築科學，大大地豐富起來了。他們建立了許多指示，使按照破損階段，計算鋼筋混凝土構件這種更成功方法的工作，代替了在此以前始終在應用的，按照資用應力的計算方法。因此可知，在社會主義國家的條件下，並不依靠別的國家的學者，蘇聯的科學研究院、工程技術界、學者與施工人員們共同地以創造性的勞動成果出色地建立了這個理論。

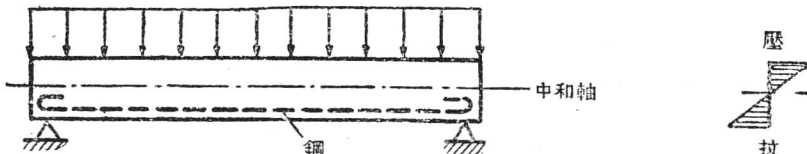
基於按照破損階段的計算方法，蘇聯 1938, 1946 及 1948 年的標準及技術規範，實爲全世界最先進的。

現在正在研究按照限界狀態計算的設計規範，這個規範使各種材料（鋼、木、鋼筋混凝土、石）的結構物的計算方法在轉變至更進步的基礎上，亦即在按照限界狀態的計算基礎上，統一規定起來。這樣將使建築結構的計算方法，有更進一步的成就。

在進行鋼筋混凝土理論的說明以前，先簡短地將其主要的特點略加敘述：

鋼筋混凝土是由混凝土與鋼兩種材料所組成的，在外力或其他可能引起內應力的因素作用下，他們將如整體一般的在同時工作着。

混凝土是一種人工石材，亦像天然石材一樣，抵抗壓力很好，抵抗拉力則很壞。這樣就使沒有鋼筋的混凝土，其應用大受限制。如在第 1 圖所示的樑內，中和軸下部應受拉應力，中和軸上部應受壓應力。當載荷增加，拉應力即很快的超過了混凝土在彎曲時受拉強度的限值，在受拉區域內發現裂縫，樑亦隨着破損，雖然在受壓區域內的混凝土強度，此時還離充分的利用尚遠。



第 1 圖 受彎構件的工作草圖

所以當結構物或其構件受拉或受彎時，不加鋼筋的混凝土應避免使用，否則此種構件的尺寸必然將非常的大。爲了免除此種不合理的結構，在混凝土構件的受拉區域內置有

鋼筋，使其支持拉力。壓力則通常仍由混凝土支持。中心受壓的構件在很多情形時，混凝土加鋼筋亦屬有利。

這樣，兩種在受力及物理性能上均大不相同的材料（鋼及混凝土），其同時合力工作的可能，是由於下列的理由：

（1）當混凝土結硬時，將與鋼筋很堅強地黏結，結果成為整體的鋼筋混凝土構件，當受力而工作時，此構件中鋼與混凝土相鄰的纖維，得到相同的變形。

（2）鋼與混凝土約有相同的溫度膨脹係數（混凝土內，此值約為 0.00001 至 0.000014，而鋼筋內，則等於 0.000012），所以溫度的變遷，不致破壞鋼筋混凝土的整體性。

（3）混凝土包住鋼筋後，可很好的並且很可靠的防止鋼筋銹蝕。

鋼筋混凝土作為建築材料，確有許多性能上的優點：

耐火性 在建築結構中，鋼筋混凝土是耐火的，因為混凝土是比較不良的傳熱體，也就是可以保護其內部的鋼筋，不致很快地因燃燒而即到達鋼鐵的危險溫度。甚致經較長時期的燃燒，鋼筋混凝土的損毀，亦僅屬表面性質。

耐久性 鋼筋混凝土結構中，混凝土的強度在若干時日後，非但不減小，反而增加。除此以外，上面亦已提到，水泥漿包住鋼筋，可保護它們不致生銹。著者曾考察過留存在海水中五年以上的鋼筋混凝土樁的殘餘，露出的鋼筋兩端均被銹蝕，而位置在混凝土內部的鋼筋，則完全未受影響。但若混凝土有裂縫，或鋼筋上水泥漿並未全部蓋沒時，鋼筋的銹蝕危險，即不能免除。

整體性 由於其本身的整體性，鋼筋混凝土能很好的抵抗震動力量。鋼筋混凝土的整體性，對於地震區域的建築物，更有其特殊重大的意義。當強烈的地震時，鋼筋混凝土建築表現了很大的穩定性。除此以外，對於暴風浪的作用，亦同樣很為可靠。

剛性 鋼筋混凝土結構的高度剛性，可被有效地應用在要求最小變形的各種重要建築物上，如像精密機器製造業的房屋建築等等。鋼筋混凝土結構在載荷下，僅發生極小的撓度。

可模性 用鋼筋混凝土可澆成任何形狀的結構物，及任何建築上的花樣。

利用就地材料 鋼筋混凝土的優點，即為其可能利用就地材料：石子或卵石與沙，在鋼筋混凝土的體積方面，佔主要的地位，因此在運輸上，以及其保存待建的特別設備上，這種費用均可減除。

修理費用甚小 鋼筋混凝土建築物的修理費用，幾與石材建築物同樣的少，而與鋼材或木材建築物的修理費用相較更屬微小。

除鋼筋混凝土上述顯著的優點外，另一方面亦有若干缺點：

費工大 建造整體的鋼筋混凝土建築，需要化費很多的工數。但當機械化操作，或裝配式鋼筋混凝土，其各個構件係在工廠製造時，則在工地僅為裝配工作，所需的勞動力，自大為減小。

費木料多 在建造鋼筋混凝土建築時，必須建立支承架及模板，化費木料甚多。這個缺點在應用裝配式鋼筋混凝土時，亦可同樣的避免一部份。

整體鋼筋混凝土所費木料，在擬訂正確的建造計劃時，如能容許逐段進行，即可利用移動及水平移動的模板，使其減至最小，如像煤塔、煙囪、穀庫、長隧道、工廠房屋等等建築物。又應用標準或儲備的支承架及模板，化費木料同樣亦可減少。

本身重量大 鋼筋混凝土的本身重量甚大，所以應用在大跨度的結構上，顯屬不利。但須指出：由於空間結構如折版屋蓋及薄殼結構等，現時已被廣泛採用，且有應用輕質材料如浮石、凝灰岩等的鋼筋混凝土，以及預應力鋼筋混凝土結構等，此缺點的去除，亦已有相當成就。

必須維持結構物在模板內 必須維持結構物在模板內的缺點，主要為降低建造速率。適當的混凝土工作法，及採用特製水泥，亦已使此缺點減輕。應用裝配式鋼筋混凝土，則此缺點幾被全部免除。

傳熱傳聲性 鋼筋混凝土性質中其他缺點，是傳熱性及傳聲性很大，同時在改正、修理及拆除已成建築物，亦很困難等等。逐漸發達的蘇聯熱絕緣及聲絕緣材料工業，以及在恢復偉大衛國戰爭時期被破壞的鋼筋混凝土建築物時，建築家所積累的偉大經驗，已可有充分的信心，使這些缺點減至最小。

須指出：鋼筋混凝土技術加速的前進、建築業的工業化以及廣泛的貫徹了先進的斯達哈諾夫式的工作法，幾乎使不久以前認為鋼筋混凝土不可避免的那些缺點，完全消除。

第 一 章

混凝土及鋼作為鋼筋混凝土結構中的材料

I. 混 凝 土

§ 1. 應用於鋼筋混凝土結構中的混凝土的成份

(a) 結 合 料

混凝土在建築材料中佔有特殊的地位，因為混凝土普通均在工地由結合料及粒料拌製而成（很少在中央的或區域的調製廠製成）；其結合料及粒料的品質與特性，常有很大範圍的差異，所以混凝土的品質與特性，亦非常不同。

鋼筋混凝土結構中所用的混凝土，應以波特蘭水泥及其同類（鎂性及混合性時，其號碼不低於 200）、普查蘭水泥（即火山灰水泥）、爐渣波特蘭水泥及礬土水泥製成。

波特蘭水泥須合乎國定全蘇標準 ГОСТ 970-41 “水泥：波特蘭水泥，普查蘭波特蘭水泥，爐渣波特蘭水泥”一條的規定。礬土水泥須合乎 ГОСТ 969-41 “礬土水泥”一條的規定。

其中最常用的為波特蘭水泥。

在選擇水泥的種類及號碼時，通常須依據下列的條文：

(1) 波特蘭水泥及礬土水泥的號碼至少為混凝土號碼的 1.8 倍，普查蘭及爐渣波特蘭水泥，則至少為 2 倍。如波特蘭水泥的號碼為混凝土強度 2.5 倍以上，則為了水泥的經濟起見，混凝土內可加入細磨的水凝加料，甚至在個別情形下，用細磨而不起化學作用的加料。

(2) 重要的建築物所用的混凝土，其使用時期的應力既高，並處在普通濕度的環境時，應指定用高號碼的波特蘭水泥及礬土水泥；不重要的建築物，使用時期的應力不大，但仍屬普通濕度的環境時，則可指定用低號碼的波特蘭水泥及爐渣波特蘭水泥。

(3) 規定使用於對波特蘭水泥有害的海水、礦泉水、沼澤水、冷凝水等侵蝕作用條件下的建築物，應採用普查蘭波特蘭水泥或礬土水泥。在工業用水或廢水（日常污水）所引起的侵蝕作用特別厲害時，混凝土表面須加以特別保護層。

受水壓的水工建築物如蓄水庫、聚水池等，及地下建築與結構物，常處在高濕度但並無高温度的條件下，同樣亦宜採用普查蘭波特蘭水泥。

(4) 爐渣波特蘭水泥的應用，與波特蘭水泥相同，但同時在水工及污水工建築物時，亦可同樣代替普查蘭波特蘭水泥。爐渣波特蘭水泥亦可應用在炎熱的工廠車間，如鑄工場熱處理場鍛工場等等。

(5) 當混凝土的設計強度，必須於短時期內（三至六天）獲得時，宜用礬土水泥。又建築物承受含硫酸鹽的水的作用，或製造耐火混凝土時，亦應採用礬土水泥。

結構物如與鹼性溶液相接觸時，礬土水泥不宜應用。

為了避免有害的收縮影響，因其隨水泥數量的增加而增加，同時從配合某一號碼混凝土的經濟觀點而論，均要求含水泥量最可能的減少。

鋼筋混凝土的結構物，水泥的用量不應小於一顯著的最小限，以保證混凝土有足夠的密度，而使鋼筋不致生銹。此最小限因結構物所處的條件，及澆混凝土時所用的搗實方法而異。

在鋼筋混凝土結構物中，如水泥號碼與混凝土號碼的比值小於 2.5 時，一立方混凝土的含水泥量不應小於第 1 表所示的各值^①：

第 1 表 鋼筋混凝土結構物中 1m³ 混凝土的最小結合料用量(kg)

結 構 物 的 性 質	澆 製 混 凝 土 時	
	用 震 動 器	不 用 震 動 器
不受氣候影響的鋼筋混凝土結構物	200	220
受氣候影響的普通鋼筋混凝土結構物	220	250
直接與水接觸及承受經常的冰凍的結構物	240	265

當水泥號碼與混凝土號碼的比值大於 2.5 時，混凝土內含水泥量與所加入的磨細加料總數，同樣亦不得低於第 1 表所示的數值。此時波特蘭水泥與加料的混合體內，水泥含量應佔不少於 70% 混合體的總重。

(6) 粒 料

粒料因其粒子的大小，可分為粗粒料與細粒料。

用砂、卵石及用堅硬耐久石材所製成的碎石，尚有碎磚，均可作為普通混凝土粒料。

輕質鋼筋混凝土可用天然或人工來源的粒料，如浮石砂、凝炭岩砂及其碎石，碎磚及

① 重工業企業建設部，“一般土建工程及特殊工程的施工與驗收的技術規範”第一冊，建設出版局，1947。

燒土結塊，但均須滿足強度的條件。此外如已證明不易碎的煤渣、鼓風爐或酸性渣粒及鹼性與酸性爐渣的爐渣沙等等。

混凝土的粒料應滿足國定全蘇標準 ГОСТ 2779-44 條“普通混凝土卵石料的技術規範”，ГОСТ 2781-44 條“普通混凝土天然沙料技術規範”；ГОСТ 2780-44 條“普通混凝土天然石材的碎石技術規範”，ГОСТ 2778-44 條“普通混凝土礦質粒料——卵石、碎石及沙”，ОСТ НКДН 6819/390 條“建築用浮石沙”及 ГОСТ 3192-46 條“普通混凝土碎磚”。

拌和混凝土用的水必須清淨，不含油、酸、鹼類及其他有害物質，其數量以不對混凝土有不良影響為度。

海水亦容許作為和混凝土用，但須計算及其可能將混凝土強度減低到 20%。

第 2 圖上表示已結硬混凝土的放大切面照相片。在此片上顯然可見膠合石材內，各種大小形狀的粒料粒子——沙及卵石——相互嵌入的情形。

混凝土內粒子本身的位置是很隨便的，而各粒料粒子及膠合石料的性質亦各不同，所以混凝土照其結構形式而言，不可能為勻質體。判斷這種非勻質體的性質，僅可能由大量試驗及實驗室的研究，到達可確信的近似值。這種數值的求得，即可能得出關於混凝土性質的結論，並應用它作為計算鋼筋混凝土結構物構件的資料。



第 2 圖 結硬混凝土的放大切面

§2. 混凝土的受力性能

(a) 受壓強度

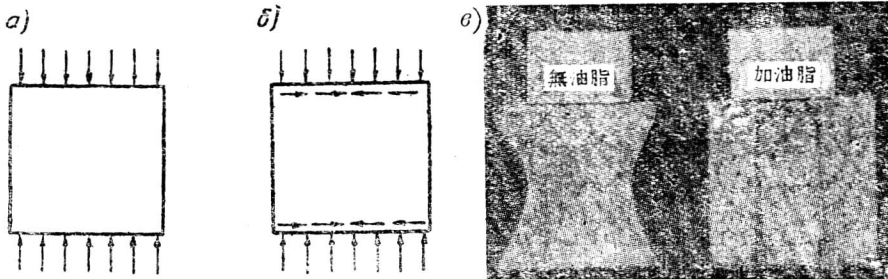
立方強度 混凝土的受壓強度是最應研究的對象。為了明瞭這種強度，立方形或長直(稜柱)形的試件，須在特別壓力機下加以試驗。

今擬較詳細地考察一下混凝土立方體的試驗過程：

在壓力作用下，立方體的垂直面均將縮短，同時立方體在橫向亦開始擴展。但由於與壓力機上枕塊相接觸的表面，將發生摩擦阻力，抵抗此種立方體橫向自由擴張的現象。所以立方體的實際載荷情形，將與計算的情形(第 3 圖，a)不同，而成為第 3 圖，b 所示的情形。

立方體在破損時，其普通形式為兩截錐體，以較小底面彼此相聯在中部上(第3圖，a左)。

若在混凝土表面與壓力機上枕塊間，加一層油脂，則摩擦力將非常微小，不能阻礙試件橫向的變形。試件破損的形式，將如第3圖，a右所示。此時所得的破損載荷，將較有摩擦力時小甚多。



第3圖 混凝土立方試驗時計算的(a)與實際的(b)載荷情形及破損情形(c)

立方強度係採用立方體表面間無油脂(亦即有摩擦力)的強度限值，即將其破損載荷除以截面積，得

$$R = \frac{N_p}{F}$$

試件絕對尺寸的影響 由試驗可知，試件的尺寸確實是能影響試驗的結果。當以28天的立方體，組成成分相同，但各邊的尺寸——15, 20及30公分——均各不相同，在工業建築中央科學研究院混凝土實驗室試驗時，得出各種相應的強度限值為160, 140及129 kg/cm²。較小試件的強度增加，乃由於其支持表面的摩擦力較大所致。

對此可以簡單的說明如下：試件的上下兩表面上，其摩擦力的影響，假設即為增加混凝土受壓強度的原因。支承邊界對於面積的比例愈小，其摩擦力的影響亦愈小。對於立方體此種關係等於

$$4a : a^2 = \frac{4}{a},$$

亦即試件增大，上式的數值減小，而摩擦力的影響亦愈小。

立方體強度試驗時試件的標準尺寸，據標準及技術規範的規定，應為20×20×20 cm，如屬非標準的立方體試件，其試驗結果應化成20×20×20 cm立方體的強度，如邊為15 cm的立方體，應乘以係數0.9，而邊為30 cm的則乘以係數1.1。

長直強度 試驗的式樣主要的影響了試驗的結果。

試件高度增長，亦即長方體高度與截面邊比 h/a ，或圓柱體高度與直徑比 h/d 增加

時，試件的強度減弱。

此處亦有相當程度可說是支承摩擦力的作用。試件的高度增加，支承摩擦力的影響即小，試件橫向的伸張，亦將更其自由，而材料在較小的載荷下，即可能達到強度限值，此值稱為長直強度 R_{np} 。因此 h/a 或 h/d 比值增加，支承摩擦力的作用減小，而當 h/a 比值取約等於 7.5 時，摩擦力即對試驗結果不再有任何影響。

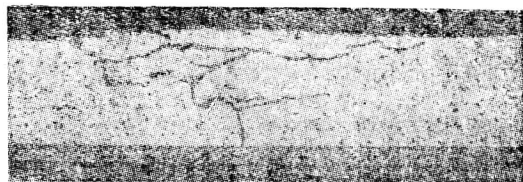
在無數的試驗基礎上，可確認混凝土的長直強度，應比立方強度小甚多，而 $\frac{R_{np}}{R}$ 比值不僅隨 h/a 或 h/d 比值的增長而減低，且在相同高度的長直體或圓柱體時，增加混凝土的號碼，亦將減低 R_{np}/R 比值。

1946 年的標準及 1948 年的標準及技術規範，均採用長直強度的意義，依照 A. A 格復斯捷夫教授的經驗公式得出，即

$$R_{np} = \frac{1300 + R}{1450 + 3R} R.$$

此處標準及技術規範對於長直強度 R_{np} 的意義，為高度至少等於三倍方形基邊的混凝土長直體的受壓強度限值。

彎曲時的受壓強度 第 4 圖表示用鋼筋百分率很大的梁，破損時的情形。此時梁的強度，僅依混凝土彎曲時的受壓強度而異。破損特性表現在混凝土受壓區域發生裂縫，成與梁邊平行的形式。據此可知彎曲時混凝土對於受壓所呈的特殊作用，與其為立方體或長直體受壓時，並不相似。



第 4 圖 鋼筋百分率很大的鋼筋混凝土梁，其受壓區域破損的特性

很早已經證明，彎曲時混凝土受壓強度 R_n ，高於長直強度 R_{np} 。中央工業建築科學研究院，對梁及偏心受壓柱的試驗，證明了用中低號碼的混凝土時，代入立方強度計算公式與所觀察得的結果，頗為相符，而用高號碼的混凝土時，如代入其立方強度試驗中較低的數值，則更屬相符。

為了聯繫上述關係，標準及技術規範制定：彎曲、偏心受壓及偏心受拉時，混凝土受壓區域的強度限值，與其長直強度成比例，且可用經驗公式決定如下：

$$R_u = 1.25 R_{np}.$$

事實上，中低號碼的混凝土，此值即等於立方強度，而高號碼的混凝土則略小。

長直強度與彎曲時受壓強度的關係，尚未充分的研究出。但標準及技術規範所採用

的公式，很符合於按破損階段計算的結果，因此在實際應用時，已可稱完全正確。

由上可知，混凝土受壓時受力強度的概念，應為有條件的，如正根據所選試件進行的試驗來估計建築物中混凝土的強度一樣。

(6) 受拉強度及混凝土的引伸性

中心受拉 混凝土受拉時的強度限值 R_p ，較受壓時的強度限值 R 小甚多。建立受拉強度的真實限值極為複雜，因連繫到很大的困難，各個試驗結果常彼此大不相同。幾乎全部影響混凝土壓力抵抗的因素，此處亦屬適合。除此以外，材料的不勻質性，亦有很大的差別，如重力作用軸線的位置，因各截面石子的位置而不同，可能並不與其幾何軸相符合，因此又發生了由於偏心作用力的外加應力。

在試驗結果的基礎上，1948 年的標準及技術規範採用了下列混凝土受拉與受壓間強度的關係，即

$$R_p = \frac{1}{2} \sqrt[3]{R^2}.$$

照此公式計算，與無數試驗結果，都能很好的相符合。

為了增高混凝土受拉的強度限值，應要求混凝土組成最緊密的結構，如正確的選擇粒料的粒度大小的配合數量；同樣在準備及澆製方法方面，亦應保證有很好的搗實。

彎曲時受拉 此種形式的強度，以混凝土梁受彎曲時來決定，是非常有條件性的。當混凝土試件受彎時，同時發生壓應力及拉應力，而混凝土的受拉區域最先破損。在受拉區域開始出現裂縫時，中和軸即很快的向受壓的邊緣移動，梁也就很快的被破損。

如彎曲應力依照材料力學上的普通公式

$$\sigma = \frac{M}{bh^2} \frac{1}{6}$$

求得，則由試驗所得的彎曲時混凝土受拉強度限值，將比混凝土受純拉強度限值大甚多（約 1.7 至 2.3 倍）。實際上，彎曲時受拉強度限值，應與中心受拉時相同。所以實在並非強度不同，而係普通材料力學公式，應用於混凝土材料並不正確，因為沒有計及混凝土的塑性特質。

B. Γ. 司克拉姆泰也夫教授研究關於梁的問題時^①，曾得出了如下的結論，即彎曲時混凝土受拉強度的限值，與混凝土受純拉的強度限值，兩者間平均比值應等於 1.7。

^① B. Γ. 司克拉姆泰也夫，“混凝土混合物的塑性及混凝土強度的研究”建設出版局，1936。

所以當計算混凝土受彎構件時，若仍應用材料力學上的普通公式，則彎曲時受拉強度限值 R_{pu} 應取直接受拉強度限值的 1.7 倍^①，即

$$R_{pu} = 1.7 R_p.$$

混凝土的引伸性及鋼筋混凝土結構中的裂縫。 混凝土受拉時的變形，比受壓時小甚多。混凝土的引伸限度亦即在破損時的引伸值甚小，約較混凝土的壓縮值小 15 倍。根據工業建築中央科學研究院的資料，混凝土的引伸限度為每公尺 0.1mm (即 0.0001 公尺)。

混凝土內有了鋼筋，由於其與混凝土的黏着力，可使其拉力的分佈更為均勻。因此裂縫的開展，亦較無鋼筋的混凝土為晚，在相當時間內不易發現。

受拉構件內鋼筋百分率小時，出現的裂縫數目不多，裂縫間的距離較大，但開展較為厲害。當鋼筋百分率增加，顯著的裂縫出現較晚，裂縫間距離減小，數目增加，而開展則較小。

鋼筋百分率與裂縫開展程度間的關係，可以解釋如下：鋼筋百分率愈小，產生裂縫時受拉鋼筋的應力愈大。鋼筋的應力增加，其變形亦增，因此裂縫的開展亦大。經 M. C. 波立夏斯基 (Боршанский) 在中央工業建築科學研究院的實驗，已得證實。

混凝土內鋼筋分佈的均勻度，對於裂縫開展的減小有很大的影響。若以截面積相等而數目較多的細鋼筋，代替了粗鋼筋，交通部中央科學研究院的實驗結果^②，已證實了裂縫的開展，開始較晚，而開展量亦小。

裂縫出現的時候，及其開展的大小，與鋼筋表面的性質很有關係。用表面不平的鋼筋品質，如竹節或扭扁鋼筋，可延遲出現顯著裂縫的時候，並且亦減小了其開展。

因為混凝土的髮縫現象，尚不致損害其不滲水性，故上述鋼筋尺寸及形式的影響，是很有實際意義的。

在受彎構件中，鋼筋至受拉區域邊緣的距離，是很重要的，鋼筋位置愈近梁的受拉邊緣，顯著裂縫的出現亦愈遲，而當其出現時的混凝土引伸值亦較大。

(B) 受切強度

由實驗證明，混凝土的受切強度限值，約為受拉強度限值的 1.5~2 倍，而為 $\frac{1}{6}$ — $\frac{1}{4}$ 受壓強度限值。

① 1948 年水工結構設計標準及技術規範 (ГОСТ 4286-48) 根據混凝土的號碼取 R_{pu} 等於 $1.6 R_p$ 至 $1.7 R_p$ 。

② О. Я. 別爾格 “鋼筋混凝土受拉構件承受往復荷重受力情況的研究。鋼筋混凝土結構實驗與理論的研究” ЦНИИ НКПС, 1940。О. Я. 別爾格, 及 А. В. 阿列克塞耶琴克, “鋼筋混凝土的受拉”《鐵路建設及線路經濟》第四期, 1941。