

無筋混凝土及配筋混凝土的 抗 拉 强 度

苏联 Г. Д. 齐斯克烈里著

电 力 工 業 出 版 社

無筋混凝土及配筋混凝土的 抗 拉 强 度

苏联技术科学博士Г.Д.齐斯克烈里教授著

赵 国 藩 译

电 力 工 業 出 版 社

內 容 提 要

本書綜合地闡明混凝土和鋼筋混凝土工作中的受拉問題。本書內容系依照作者和其他學者的實驗資料而編寫的。根據這些研究的結果，提供出計算的公式和圖表，並舉例說明了這些公式和圖表的应用。

本書可供設計工程師、科學工作者及研究生參考之用。

Г. Д. ЦИСКРЕЛИ
СОПРОТИВЛЕНИЕ РАСТЯЖЕНИЮ НЕАРМИРОВАННЫХ
И АРМИРОВАННЫХ БЕТОНОВ

根據蘇聯國立建築與建築藝術出版社1954年莫斯科版翻譯

無筋混凝土及配筋混凝土的抗拉強度

趙 國 藩 譯

416S60

電力工業出版社出版(北京府右街26號)

北京市書刊出版業營業許可證出字第082號

北京市印刷一廠排印 新華書店發行

787×1092¹/₂ 開本 * 7¹/₈ 印張 * 134 千字 * 定價(第10類)1.00 元

1956 年 9 月北京第 1 版

1956 年 9 月北京第 1 次印刷 (0001—5,100 冊)

目 錄

序 言	1
第一章 混凝土的受拉强度	4
§ 1. 影响混凝土受拉强度的因素	4
1. 問題情况的簡述	4
2. 水泥品質的影响	7
3. 水泥膠塊品質的影响	11
4. 粗集料种类的影响	13
5. 混凝土齡期的影响	21
6. 混凝土养护制度的影响	31
7. 混凝土湿度状态的影响	32
8. 混凝土抗拉强度和抗压强度的关系	36
§ 2. 試件形状和尺寸对混凝土抗拉强度的影响	39
1. 一般的問題	39
2. 混凝土撓曲时的抗拉强度	43
3. 混凝土軸心受拉的强度	55
4. 缺槽对混凝土抗拉强度的影响	59
§ 3. 混凝土受拉强度極限的試驗值的散乱性	61
第二章 無筋混凝土受压及受拉的变形	70
§ 4. 混凝土的受压变形	70
1. 一般的問題	70
2. 重集料的混凝土	76
3. 輕集料(低模数集料)的混凝土	84
§ 5. 混凝土的受拉变形	93
1. 水泥品質的影响	93
2. 水泥膠塊品質的影响	97
3. 集料种类的影响	99

4. 混凝土养护条件的影响	103
5. 混凝土齡期的影响	104
6. 混凝土受拉时的彈性模数	105
第三章 配筋混凝土的受拉变形	109
1. 問題情况的簡述	103
2. 配筋混凝土軸心受拉时的工作	122
3. 鋼筋混凝土受撓时裂縫的形成	130
4. 偏心受拉	144
5. 偏心受压	148
6. 計算方法的比較效果的研究	150
結束語	162

序 言

第十九次党代表大会关于苏联在 1951—1955 年發展第五个五年計劃的指示中标示出建筑工程的新的强大的高漲。因之，就在建筑科学面前，特别是在混凝土和鋼筋混凝土的科学面前，產生了一系列新的任务。

苏联的混凝土和鋼筋混凝土的科学，最早是在工業和民用建筑的基礎上發展起來的。这就决定了混凝土工藝学和混凝土及鋼筋混凝土理論發展方面的主導路綫。

研究混凝土的抗压强度曾經是混凝土科学的中心問題。在鋼筋混凝土理論方面，主要是研究了某些構件的極限承載能力的問題，它們的破坏荷重的大小系取決於混凝土的受压强度。对混凝土的其他力学性能的特征值(抗拉强度、抗剪强度、彈性模数等)就沒有作过这样深入的研究，而是將相应的指标作为是由抗压强度導出的数值。

但是，近年來由於水工建設的發展，對於混凝土品質和混凝土工藝的要求大大地擴大了。为了評價用於水工建筑物的混凝土，抗压强度極限已經是一个不够充分的指标。除了强度而外，还必須保証混凝土有高度的耐冻性、不透水性、抗侵蝕作用性。

由於水工建筑物的尺寸很大，就需要解决降低收縮和放热現象的有害影响的复雜問題。顯然，由於初始应力和外加荷重而形成的裂縫，就使得破坏过程加剧，並降低混凝土和鋼筋混凝土的耐久性。在桥梁和道路建設中，同样亦开始對於混凝土中裂縫的出現和擴展問題給予很大的注意。例如，在桥梁建筑中，問題就

在於將裂縫的擴展限制为一个對於鋼筋腐蝕沒有危險的數值。

在研究裂縫的產生和發展時，必須廣泛地討論混凝土的受拉問題，包括強度、極限可伸值、塑性、彈性模數、彈性變形和剩餘變形等問題。

首先，應當研究影響混凝土抗拉強度的因素，這就容許提出這樣一個問題，即如何設計在抗拉強度和抗拉變形性能方面均具有適當性能的混凝土。這時，就產生很重要的但是却完全沒有研究過的結構尺寸比例、加載圖式、強度試驗值散亂性、均質系數、濕度作用等影響的問題。

為了正確地規定混凝土的抗拉強度指標，以及為了弄清楚實驗室研究結果的準確程度和真實意義，就必須解決這些問題。

在這方面，還應當擴大混凝土抗压工作的研究。蘇聯建築技術的發展導致了採用各種各樣的混凝土、不同等級和不同種類的水泥及集料，並且還大大地改變了混凝土製備和搗固的方法。因之，具有指定抗压性能的混凝土的設計就大大地複雜化了。必須更深入地區分混凝土的強度特征值和變形特征值。在某些情況下，已經不能只限於獲得具有指定抗压強度的混凝土；還必須善於規定變形的性能。

無疑地，在實踐中是難於考慮每一個別因素的影響，需要找尋出一些特征值來，這些特征值可以反映某些個別因素的影響並且可以簡化實際問題的解決。因此，在本書中作者就提出一些新的確定混凝土彈性模數和壓縮值的方法。

採用輕質混凝土是近年來在水工建設方面的新的重要成就之一。由於對輕質混凝土抗拉強度和抗拉變形性能所作的研究，輕質混凝土的採用已經是可能的了。將人工集料的輕質混凝土用於造船方面，同樣亦為我們所熟知[1]。

在水工結構中採用輕質鋼筋混凝土的合理性是由於它的高度的抗裂性而決定的。除此而外，由於輕質混凝土的彈性模數之值

較低，亦使得这种混凝土的使用是極為合理的，例如，在压力隧洞的襯砌中就是如此。这种隧洞在計算时，須考慮岩石的彈性抗力。岩石彈性抗力承受一部分內水压力，而使襯砌的荷載減輕[32]。混凝土的彈性模数愈小，傳給岩石的那部分內水压力就愈大，而傳給襯砌的那部分內水压力就愈小。因此，採用輕質混凝土就可以更为經濟地建造压力隧洞的襯砌。由於这些情况，就促使在本書中注意到輕質混凝土变形性能的研究。

研究的目的是根据現代關於混凝土的物理-化学構造的概念來解决上述問題和其他混凝土方面的新的問題；这些研究對於混凝土的科学——混凝土学的发展是有幫助的。

最后，鋼筋混凝土結構按照裂縫出現的計算問題亦还没有完全解决。这方面許多工作的缺点乃是在这些工作中毫無根据地略去混凝土标号和配筋率對於潮湿和水中养护的混凝土可伸值的影响。作者早在1940—1941年所作的研究就已指出，對於不同标号和不同的配筋率，水中养护的混凝土的極限可伸值是不相同的。为了更嚴格地論証这个概念，作者提出了一些补充的試驗，根据这些試驗，就能够拟定新的按照裂縫出現的鋼筋混凝土結構的計算方法。

这样一來，本書所闡明問題的范围是關於建立水工鋼筋混凝土理論方面的基本命題之一。

在研究的过程中，技術科学碩士И. М. 奧瓦陀夫斯基和В. И. 奧西德捷工程师給予作者很大的幫助。

作者認為有必要对技術科学碩士Р. И. 特烈片年柯夫为編輯本書所作的巨大劳动致以謝意。

第一章 混凝土的受拉強度

§ 1. 影响混凝土受拉強度的因素

1. 問題情况的簡述

決定裂縫形成的極限狀態的混凝土受拉強度及其可伸值，對於建造不允許出現裂縫的建築物有很大的意義：在這些建築物中（水工建築物），無論從鋼筋被侵蝕的情由來看，或是從水的滲透的可能性來看，都不許可出現裂縫。

對混凝土抵抗拉力作用的強度和影響於強度的因素研究得還不夠充分。選擇具有指定抗拉強度的混凝土配合比的方法尚未研究出來，在設計和建築的實踐中，混凝土配合比的選擇方法是符合於受壓和受拉的強度特征值之間的經驗關係。然而，在確定混凝土受拉特征值方面的準確性卻有很大的意義，因為所取用的抵抗裂縫形成的安全系數是些不大的數值。

按照所謂階段 I 的計算有很大的假設性，不能促進研究混凝土抗拉強度的問題，因為在這樣近似的計算方法下，使強度特征值更為準確是沒有意義的。

蘇聯學者所創立的鋼筋混凝土結構按照破壞階段和極限狀態的計算理論，乃是研究結構使用可能性喪失瞬間的情況。在這種情況下，計算的基本假設要經得起實驗的校核，因此確定材料物理力學特征值的準確性就有特別重大的意義。同時必須指出，由於大規模地建築主要是受拉的混凝土和鋼筋混凝土結構，因此也非常迫切需要更深入地研究混凝土受拉的作用。

設計膠合料用量最少的混凝土和尋求改善裂縫形成時鋼筋混

凝土中鋼材使用的途徑，是具有重大的國民經濟意義的。

研究混凝土受拉強度的問題時，必須了解主要的影响因素。首要的因素就是膠合料的品質。水泥膠塊具有其自身的抗拉強度，它是與水泥膠塊礦物學的組成及水加入的多少有關係的。

第二個因素是水泥膠塊與集料表面的粘着力，這是因為混凝土可能由於水泥膠塊脫離集料的顆粒而發生破壞。水泥膠塊的品質對粘着力亦有影响，但是在此種情況下，集料顆粒表面的性質是一個附加的條件。

混凝土的齡期、硬結條件以及一些其他的情況對這些因素亦有影响，因而亦就影响混凝土受拉強度的大小。

列寧格勒鐵路運輸工程學院（И. П. 阿列克桑德陵教授和 Н. Г. 柯爾薩克工程師）曾在這方面進行了很多的工作。

從這些研究中，獲得了如下的結論[2]^①。

1. 水灰比的變動對受拉強度 R_p 有影響，這種影響與對受壓強度的影響相類似。

2. 根據水泥的種類， R_p 值約與標準試驗下的水泥砂漿抗拉強度的變動成正比變化。

3. 集料的種類對強度指標的影響較小。

4. 撓曲時受拉強度與軸心受拉強度之比—— $R_{p,n}$ ： R_p 叫做撓曲係數，它不是個常數，在大多數情況下，是大大地超過我們標準中所用的 1.7 這個數值。但是在上述試驗中[2]所獲得的混凝土抗拉強度指標並不符合於其他學者們的資料。

在國外所作的研究中，首先應當提到法國學者 P·費烈的工作，他把砂漿和混凝土的強度與混合物在拌制時的密實度聯繫起來。他所建議的確定混凝土受拉強度的近似公式的形式為：

$$R_p = 0.5K^{2/3} \quad (1.1)$$

① 方括弧中的數字相應於所引用參考文獻的編號。

这个公式给出抗拉强度指标和抗压强度指标之间的平均关系，这个关系在很多情况下是与试验资料有很大出入的。现在这个公式不可以被认为是满意的，因为它没有考虑到原料的性能、混凝土养护的条件等等，而它们对 R_p 之值的影响却不同于对 R 的影响。公式令人不满意之处还因为它指出混凝土抗拉强度提高的途径只是借助于抗压强度的提高，而在这时却是应当找寻混凝土抗拉强度提高的独立的途径，因为抗压强度提高的途径和抗拉强度提高的途径是完全不相吻合的。

瑞典工程科学院实验室的研究，把混凝土抗压强度和抗拉强度与处于固态相物质的体积联系起来[3]。

貢聶尔曼和舒曼研究了水灰比及龄期对混凝土在挠曲时及轴心受拉时承受拉力的强度。但是这些研究没有考虑到水泥和集料的品质、混凝土硬结条件等的影响。

研究混凝土挠曲时受拉作用的试验是比较容易做的，曾有很多学者做过这种试验；在我们巨大的水利建设的实验室中就曾积累了很多有关这些问题的资料。但是由于缺少统一的试件制造和试验的方法以及试验时所发现的试件不同的尺寸和其他方面的差别，就使得结果是多种多样的，而且亦难于将它们进行比较。

还应当指出，上述试验并未说明水泥矿物学的组成对混凝土受拉强度的影响。

A. E. 歇依金、И. П. 阿列克桑德陵、С. Д. 奥柯罗柯夫、С. В. 歇斯托彼罗夫、A. B. 薩塔耳金等人关于水泥矿物学组成对混凝土和砂浆主要技术性能的影响问题的研究，是苏联科学的巨大成就。虽然大多数上述这些作者的著作主要是涉及混凝土抗压的作用，但是亦可以由这些著作中作出有关我们所注意的其他问题的重要结论。

2. 水泥品質的影响

現在，水泥活性和礦物學的組成对混凝土受压强度的影响，~~可~~認為是已有足够的研究[4,5]。

用於選擇混凝土配合比的混凝土抗压强度的公式規定混凝土强度的变化是正比於水泥活性的变化。

水泥礦物學的組成是直接反映在活性的特征值之中，但並不擾乱混凝土抗压强度随水泥活性而变动的一般規律。已經确定，礦物學組成对强度随時間而增長的性質、变形特征值、温度因素作用和侵蝕作用等有着很大的影响。混凝土抗拉强度亦取決於水泥膠塊的品質，但是在这一情況下，应取水泥膠塊或砂漿抗拉的强度作为是原始的特征值。

水泥抗压活性是按照标准測定的結果來表示的，与此相似，水泥抗拉活性应当用受拉的相应标准試件的强度來表示。这个指标直接影响着混凝土的抗拉强度，可以用它作为混凝土抗拉强度和水泥膠塊(或砂漿)抗拉强度之間函数关系的基础。

關於水泥礦物學組成对受拉强度影响的問題，研究得很少。在这种情况下，最重要的問題是在受压和受拉时这种影响是否一样。如果这种影响是一样的話，那么这两个指标將平行地提高，並且在对抗压强度和抗拉强度同时都有提高的要求的情况下選擇配合比时，这种或那种的水泥組成是不应当產生困难的。但是 A. B. 薩塔耳金在道路科学研究院[6]的試驗証明，这种一致性在某些情況下是不存在的(表1)。

我們將28天齡期的混凝土的强度指标作比較。高熟料甲体水泥№8給出的抗压强度与鋁鉄酸四鈣含量較高的中熟料甲体水泥№3的强度是一样的，但是后者的抗拉强度却比前者的大出約50%。水泥№8的 R/R_p 之比約为25，而水泥№3的 R/R_p 之比只有17。标准水泥№3具有很高的抗压强度指标，同时亦給

表 1

水 泥 編 號	含有物， 重量%				配合比为 1:3 的砂漿强度極限 （公斤/公分 ² ）										
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	齡 期										
					3	7	28	3	6	3	7	28	3	6	
					天	天	天	个月	个月	天	天	天	个月	个月	
					受 压					受 拉					
8	75	0	3	18	278	477	506	544	491	22.1	23.1	20.5	22.3	26.9	
7	46	46	14	10	488	537	568	600	664	23.9	25.5	31.3	34.3	33.5	
3	41	33	6	16	360	433	509	672	595	29.3	25.4	29.9	32.5	35.8	
6	16	60	8	12	214	279	344	435	521	17.0	20.0	23.8	31.1	32.4	

出由相对比值 18 所表征的很大的抗拉强度。

熟料乙体的水泥№ 6 的指标是很引人注意的。試件的抗压强度大約只有熟料甲体水泥№ 8 所做試件强度的 70%，但是 前者的抗拉强度却比后者高出 12%。比值 $R/R_p = 14$ 是这些試驗求得数值中之最高者①。

6 个月齡期試件的指标亦是很有意义的。

高熟料甲体水泥№ 8 並未顯示抗压强度的增加，甚至还顯示出比三个月齡期所达到的最大强度还要低些。抗拉强度却比 7 天齡期所达到的最大值增大約 12%。

标准水泥№ 7 有着較高含量的 C_3A 和較低含量的 C_4AF ，顯示出抗压和抗拉强度增高 12%，而 C_3A 含量較低和 C_4AF 含量較高的水泥№ 3 亦顯示抗压和抗拉强度有同样的增高（抗压强度比之三个月齡期的强度稍稍低些），但是 却达到抗拉强度的最大絕對值。

熟料乙体水泥№ 3 顯示出强度增長更为猛烈，赶上了其他高

① 系指 R_p/R 为最高。——譯者

活性的水泥。抗压强度的增長約为 50%，抗拉强度的增長約为 36%。应当指出，如果到一个月的齡期时，比值 R/R_p 的变动范围为 14—25，則到六个月的齡期时，变动范围縮小到 16—20 的限度。

由以上所述可知，鋁鉄酸四鈣含量較高的中熟料甲体水泥對於制备具有很高抗拉能力同时又具有很高抗压能力的混凝土最为適宜。按照 С. Д. 奥柯罗柯夫的圖解[5]，这些水泥的合理礦物学組成可以处在标准水泥的区域之内，但是点子則分布在这个区域的右上方四分之一的范围内。如果可以容許迟些时日达到混凝土的計算强度極限或者是極其希望水泥有高度的抵抗侵蝕作用的能力和低的放热性时，同样亦可以推荐採用熟料乙体水泥。但是为了使結果接近於实际的条件，在作下面所述的混凝土抗拉强度的研究时，是采用普通(标准)組成的水泥，並將它們按照活性和其他的特征加以分类。所獲得的結果可以綜合起來，並且推廣到在組成方面差別不大的所有类似的水泥中。

最早的研究混凝土抗拉强度的試驗是作者在 1940—1941 年所作的。試驗指出， R_p 之值是随水泥抗拉活性 $R_{u.p}$ 而变动的，此处的 $R_{u.p}$ 是配合比为 1:3 的由沃列斯克标准砂所制备的硬練水泥砂漿 8 字形試件的强度極限。

1941 年所發表的列寧格勒鉄路运输工程学院的試驗結果[2] 曾証实了这些結論的正确性，以后的研究是要找尋混凝土抗拉强度 R_p 和水泥抗拉活性 $R_{u.p}$ 之間的有規律的数值关系。

試驗是用 10×10 公分正方形橫截面的試件進行的。同时制备 6 根一模一样的試件。試驗結果是按下述方法整理的：如果最大值及最小值与算術平均值之間的差值不大於 20% 时，則取算術平均值作为結果；如果結果的变动很大时，則將最大值和最小值作为是偶然值而把它們剔除，再由剩下的数值導出算術平均值。

这种整理結果的方法是因下述理由而取用的。

根据經驗規律而求得的抗拉强度極限之值应当用最大的重复出現概率來表示它，在大多数情形下，容許偏差偏於安全的一方。这个要求是以下述情况为根据的，即在鋼筋混凝土水工結構中，抵抗裂縫形成的安全系数是取为 1.2—1.3，因此混凝土抗拉强度的很大的变动只容許偏於高的方面。如果容許这些偏差偏向低的一方时，則这些偏差可能超过安全系数之值，在使用荷重下，結構就可能出現裂縫。因此 R_p 的最大試驗值要从观察值中剔除。

R_p 的最小值是按照这一理由而剔除，即最小值是表示結果顯著的偶然性。

採用只剔除最小值的方法（如像在确定受压强度極限时所推荐的），顯然對於我們这种情况是不合適的。

根据試驗資料所建立起來的經驗規律能保證獲得可靠的 R_p 之值。

为了确定 R_p 与水泥活性 $R_{u.p}$ 之間的关系，曾用五种不同水泥制备的試件作了試驗，这五种水泥的特征值如表 2 所示。

表 2

編號	水 泥 种 类	抗 压 活 性 (公斤/公分 ²)	抗 拉 活 性 (公斤/公分 ²)
1	矽酸鹽水泥 № 1	520	35.0
2	矽酸鹽水泥 № 2	320	23.0
3	矽酸鹽水泥 № 3	350	24.0
4	火山灰水泥 № 4	250	15.7
5	混合水泥(矽酸鹽水泥+石粉)	185	10.0

用符合於相应标准要求的河卵石和河砂作为集料。卵石的最大粒徑限制为 25 公厘。砂子为中等粒徑的砂子，其空隙率为

40%。用这五种水泥制备了同一配合比的混凝土，其灰水比 $U/B = 1.55$ ，圆锥体坍落度为 4—6 公分。

試件在室温 $20-25^{\circ}$ 下养护於潮湿环境中，並在 28 天后加以試驗。

所得試驗結果如下：

$R_{u.p}$ (公斤/公分²) 35 24 23 15.7 10

R_p (公斤/公分²) 27 20.3 18.6 12.5 9.0

在格魯吉亞水能建設托拉斯的實驗室中 [8]，曾在 $U/B = 1.45$ 的情況下求得下述的關係：

矽酸鹽水泥……當 $R_{u.p} = 25$ 公斤/公分² 時， $R_p = 20.6$ 公斤/公分²

火山灰水泥……當 $R_{u.p} = 20$ 公斤/公分² 時， $R_p = 14.5$ 公斤/公分²

在貢聶爾曼和舒曼 公斤/公分²

的試驗中，對於同樣的灰水比，當 $R_{u.p} = 25$ 公斤/公分² 時，求得 $R_p = 18$ 公斤/公分²。

所有以上所述的結果，均表示 R_p 與 $R_{u.p}$ 之間是直綫關係（圖 1），這個關係可用下式表之：

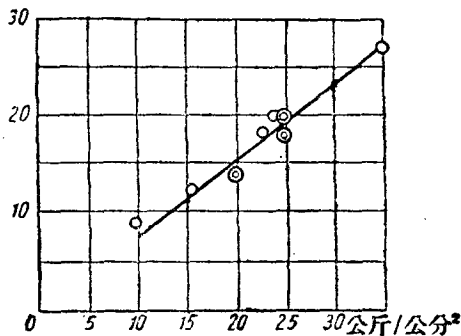


圖 1

$$R_p = \alpha R_{u.p} \quad (1.2)$$

由此可見，混凝土的抗拉強度是正比於水泥的抗拉活性。係數 α 之值隨着灰水比和粗集料表面的性質而變動。在上述的試驗中 $\alpha = 0.77$ 。

3. 水泥膠塊品質的影響

對於混凝土最重要的技術指標起着決定作用的第二個主要因

素就是水泥膠塊的品質，它是由水灰比(或灰水比)來表征的。

在質量方面，膠合料的性能与加水多少的关系是很早就已知道的。古老教堂、要塞、宮殿、桥梁及其他建筑物的建筑师們已經很好地知道：砂漿愈“稠”，它的“硬度”就愈大；他們並且推荐用稠砂漿來砌高牆，塞补縫隙等。現在，則是用水泥或混凝土与膠合料的主要指标之間的經驗数值关系來表述这个規律。

苏联学者和外國學者的多次研究，直到近年來，还只局限於水泥漿对混凝土受压强度影响的研討。而上述因素对混凝土受拉强度的影响还没有作过全面完善的研究。

当混凝土受拉时，不僅僅水泥膠塊自身的强度有意义，而且水泥膠塊与集料顆粒的粘着力强度亦具有意义（在鋼筋混凝土中还有水泥膠塊与鋼筋的粘着力亦有意义）。

确定灰水比的变动与混凝土抗拉强度之間的关系是很重要的。

表 3

类 別	Ц/В	R_p (公斤/公分 ²)	$R_p/R_{ц.п}$
I	1.28	20.7	0.86
	1.56	20.3	0.85
	1.80	23.2	0.97
	2.06	24.2	1.02
	2.70	27.7	1.15
II	1.54	19.75	0.82
	1.80	22.6	0.94
	2.06	23.3	0.97
	2.45	25.0	1.04

附註： $R_{ц} = 350$ 公斤/公分²， $R_{ц.п} = 24$ 公斤/公分²。

第 I 类——用卵石做的混凝土試件。

第 II 类——用碎石做的混凝土試件。