

钢筋混凝土强度问题新论

[苏] A. A. 格沃兹杰夫 等著

K. B. 米哈依洛夫 审编

张祖光 朱政奎 陆继赞 叶 翔 译

蒋 仁 敏 校

中国建筑工程出版社

6639

TU371

1

钢筋混凝土强度问题新论

[苏] A.A.格沃兹杰夫 等著

K.B.米哈依洛夫 审编

张祖光 朱政奎 译

陆继贇 叶翔

蒋 仁 敏 校

中国建筑工业出版社

本书为苏联钢筋混凝土理论、钢筋混凝土结构及建筑力学等领域著名学者 A.A. 格沃兹杰夫教授学派最近十多年在钢筋混凝土结构强度理论的研究成果。全书主要包括：在分析混凝土及钢筋受力变形特点的基础上，详细阐述了受弯、受压等构件正截面破坏的全过程；全面分析了斜截面破坏时的实际应力状态和受力工作特点，提出了斜截面抗剪强度新的理论计算；分析了能更好地反映平面结构实际受力工作情况的、考虑裂缝影响的强度计算；分析研究了柱、梁等钢筋混凝土构件在一次动荷载作用下的强度计算，这对进一步研究结构抗震、抗爆性能有重要意义。

本书可供从事混凝土和钢筋混凝土材性理论研究、制订钢筋混凝土结构设计规范、工程结构设计的科技人员参考，也可供高等院校土建系有关师生和研究生参考。

НОВОЕ О ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

Авторы: А.А. Гвоздев и ДР.

Под редакцией Д-ра техн. наук,

проф. К.В. Михайлова

Стройиздат 1977 Москва

* * *

钢筋混凝土强度问题新论

张祖光 朱政奎 译

陆继贇 叶翔

蒋仁敏 校

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市顺义县印刷厂印刷

*

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 8⁵/₈ 字数: 231千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数: 1—9,900册 定价: 1.40元

统一书号: 15040·4237

译 者 的 话

本书反映了苏联混凝土与钢筋混凝土研究所在 A.A. 格沃兹杰夫指导下, 近年来在钢筋混凝土强度计算理论方面所取得的一些新的研究成果。

钢筋混凝土不但是当代应用最广泛的一种工程结构材料, 而且有着很大的发展前途。但是它本身所具有的一些特性必须在设计中很好地得到考虑才能保证结构的可靠性及经济性。由于钢筋混凝土材料内部结构的复杂性, 故到目前为止在钢筋混凝土结构的强度计算方面, 还存在有很多急待解决的问题。本书中所阐述的四个方面的内容都是当前所迫切需要加以研究解决的重大问题。书中各章的理论研究都建立在大量试验的基础上, 有较大的参考价值, 为此将该书译出以供我国从事于这方面工作的同志们参考。

本书前言、绪论、第四章由张祖光译, 第一章由朱政奎译, 第二章由陆继贇译, 第三章由叶翔译。

全书由蒋仁敏校订, 吉金标教授重点审阅了前言和绪论。

限于译者的水平, 在译文中难免有错误不当之处, 希望读者们批评指正。

1981年8月

前 言 (摘译)

本书引入了苏联国家建委混凝土和钢筋混凝土研究所 (НИИЖБ), 在А.А.格沃兹杰夫教授指导下, 对混凝土和钢筋混凝土所进行的多年试验研究的成果。

阿列克谢伊·阿列克谢耶维奇·格沃兹杰夫 (Алексей Алексеевич Гвоздев) 是一位在钢筋混凝土理论、钢筋混凝土结构及建筑力学领域内有名望的学者。由于混凝土和钢筋混凝土材料的固有特性, 因此采用古典的弹性和塑性理论, 就不能正确地判断混凝土和钢筋混凝土的结构性状。虽从三十年代开始, 就对钢筋混凝土结构的计算方法进行了重大的修改, 但至今, 在研究所的钢筋混凝土理论中心实验室内, 在А.А.格沃兹杰夫的 指导下, 还进行着大规模的、多方面课题的试验研究。这些试验研究给建立钢筋混凝土结构设计和计算的苏联学派奠定了基础。

可以认为, А.А.格沃兹杰夫是这个学派的奠基者。他又是本国历次钢筋混凝土结构设计规范的主要制订者之一。根据他的建议, 在1938年的规范中, 列入了А.Ф.洛列伊特 (Лалейт) 教授所提出的按破坏阶段计算钢筋混凝土结构的方法。经 А.А.格沃兹杰夫进一步发展, 这种方法可应用于各种基本受力状态, 并达到了实用的地步。他曾积极地参与了: 制定结构按极限状态计算的方法, 解决建筑工业化的问题, 创建生产钢筋混凝土构件工厂, 运用高效能钢筋和高强混凝土等工作。

新的混凝土和钢筋混凝土结构设计规范 (СНиП II-21-75), 是在А.А.格沃兹杰夫直接参与及指导下制订的。А.А.格沃兹杰夫在建筑力学 (刚架体系和薄壳)、塑性理论、徐变理论等领域内的著述。是世界闻名的。

提供本专题学术著作的目的, 是为了向读者介绍混凝土和钢

钢筋混凝土的某些特性。这些特性，我们的建筑工作者很少知道，或者虽已知道但到目前为止未被用于设计和计算。

本专题学术著作能帮助读者更好地掌握混凝土和钢筋混凝土结构设计规范（СНП II -21-75）中的一些原则，给理解一些还未臻完善的计算方法作些准备。在本著作中，还探讨了一些理论问题。这些理论问题，研究者必须特别注意，可把它作为探索某些与传统不同的结构方案的依据。

在A.A.格沃兹杰夫所写的绪论中，对本书作了一个总的介绍，并指明了书中所阐述的各个问题的互相关系。

目 录

绪 论	1
第一章 钢筋混凝土结构杆件的强度和变形	11
第一节 轴心受压时有关混凝土变形和内部结构变化的 一些数据	11
第二节 梁的强度和接近破坏阶段时的变形	24
第三节 间接配筋受压构件的强度和变形	42
第四节 短期超载对短柱和柔性柱承载能力的影响	55
第二章 钢筋混凝土梁的抗剪强度	71
第一节 破坏前的应力状态	71
第二节 预应力和构件的构造特点对斜截面强度的影响	87
第三节 剪力作用区内建立梁的新强度理论的尝试	108
第三章 带裂平面结构的计算	132
第一节 用有限差分法计算墙体	132
第二节 用有限元法计算墙体	159
第三节 垂直荷载作用下板中的剪力与弯矩	170
第四章 一次性动力荷载作用下钢筋混凝土 结构构件的强度	191
第一节 偏心受压	191
第二节 钢筋混凝土受弯构件的抗剪强度	216
第三节 推力对钢筋混凝土梁受力性能的影响	238
参考文献	265

绪 论

在建筑工程中所采用的混凝土品种的多样性，以及大量的有关它们的力学性能的资料，都为重新审查钢筋混凝土理论中过去和现在被广泛地采用的一些概念提供了依据。这些概念中，有关于混凝土极限压缩性及极限伸长性的概念。它们过去被理解为材料的恒量，即材料在受压和受拉作用下，其强度耗尽时的变形值。然而，实际上即使是同一种混凝土，在单轴受压或受拉作用下，即将破坏时的变形值也会受到一系列因素的影响而有显著的变化。即使对混凝土的龄期、硬化条件、随后的环境介质的作用等一些影响其内部结构变化的因素都不予以重视的话，那么最起码的也必须考虑加载的过程、量测变形的标距、比例尺寸等因素对某极限变形的影响。

由于混凝土内部结构的不均匀性，其变形场即使在加载的最初阶段就很复杂且不均匀。这种不均匀性随着微裂缝的发展而明显地增长着，特别是在承载能力趋于耗尽的阶段更为突出。对同一个轴心受压的棱柱体，用几种小标距量测到的变形值之间的差别，随着荷载的增加而加大。在最后的几级加载中，在试件的预期破坏区段量测变形时，用小标距量得的变形值要比用大标距量得的大得多，尤其是在破坏区一侧更大。

在拉伸试验中，若用小的量测标距又恰好跨越过一条发展到试件表面的微裂缝时，上述现象就表现得更为明显。

根据需用混凝土极限变形值的情况不同，起作用的有时是较长区段范围内的平均值，或者有时是较小区段的局部变形。例如对接近于破坏阶段的挠度来说，起作用的是较长区段（约等于截面高度）的混凝土平均压缩值；而对正截面的承载力来说，起作

用的仅是开裂截面附近受压混凝土的局部变形。

混凝土的不均匀性是其变形不均匀的原因，甚至在轴心压缩（或拉伸）试验中，不仅在沿试件的长度方向上，而且在截面的范围内变形都是不均匀的。不过仍可以认为，沿截面（或沿试件长向的某一区段）变形的近似规律为线性函数。因此，所谓均匀的或不均匀的变形，指的正是这函数值的不变性或变化性。

就上述含义的均匀变形来说，其极限值取决于加载方式；因为，由于徐变的发展，其值随着加荷时间的增长而逐渐加大（与某些最小值相比较）。同时，由于徐变变形受尺寸因素的影响，故小试件的极限变形大于同样条件的大尺寸试件。而且当加载过快时，徐变还来不及出现；这时由于材料的动力强化，极限压缩也会随着变形速度的增长而加大。

以上谈的是针对内力逐渐加大的加载方式。如果试验是按照试件的恒定变形速度（拉伸或压缩）进行，那么应力-应变图的下降区段就会显现出来，在区段内变形会有很大的增长。混凝土变形图的下降区段对超静定问题起着很大的作用。属于这方面的还有下列问题，例如在不均匀变形条件下混凝土截面的承载能力和应力分布以及在均匀或不均匀变形条件下钢筋混凝土构件截面的承载能力和应力分布问题。

在论及混凝土应力分布时，一定应当联想到混凝土的不均匀性及在构件中复杂的实际很不均匀的应力状态。故上述应力分布是指在微小面积上的平均应力而言。例如，直微条上的平均应力与线性变形为常数关系。

在混凝土非均匀变形，且截面边缘纤维达到最大应力值时，混凝土强度并不意味着耗尽。随着变形的继续增加，内力可以继续加大，这是由于截面上变形较小区域中应力的继续增大；而在变形最大点处的应力却按照下降段规律而逐渐变小。因而在非均匀变形时，最大压缩值（或伸长值）能大大超过均匀变形时的相应最大值。因此可以解释，为什么混凝土受弯构件可采用受压区为三角形，受拉区为矩形的计算应力图形；而受拉区边缘伸长值

为轴心受拉时与强度极限相对应的伸长值的两倍。

在钢筋混凝土轴心受压构件中，如果在混凝土达到受压强度极限时钢筋达到或者超过屈服点，则构件的截面强度为混凝土及纵筋最大强度之和。当采用较高强度的钢材时（如图 1 所示），截面强度的耗尽须经历较大的变形，该变形在下降区段内。因此

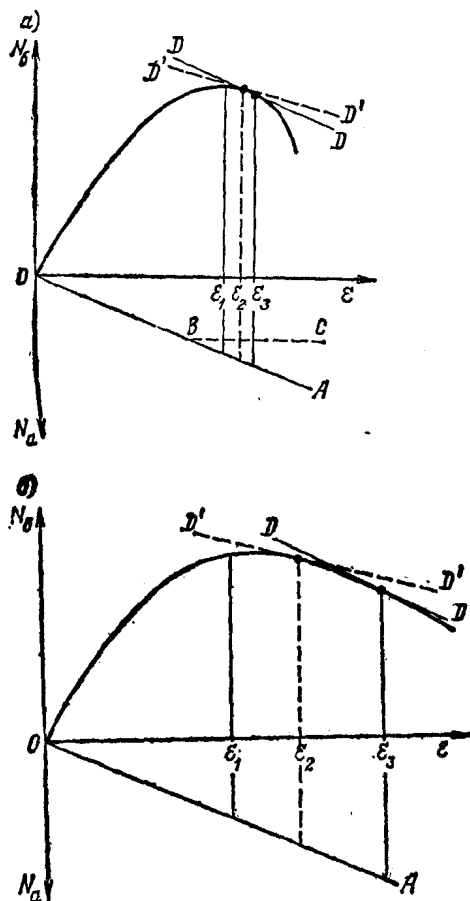


图 1 下降区段对受压钢筋混凝土构件极限变形的影响

a) 较陡峭的下降段；б) 较平缓的下降段

DD' —与 OA 平行的切线； $D'D'$ —相应于配筋率较低的切线； OBC —缩短率小于 ϵ_1 情况下钢筋达到屈服点时的强度

受压钢筋的使用,不应受其变形等于素混凝土极限压缩变形的限制。有关此问题在文献[68]中有所论述。文中引用试验数据来证明,可以更充分地利用受压钢筋。根据文献[68]及[64、25],苏联1975年颁发的建筑法规第Ⅱ部分第21章^①(СНП II-21-75)建议,在所采用钢筋的力学性能所允许的条件下,纵筋抗压强度,在短期荷载作用时取为400兆帕^②(代替 СНП II-B·1-62*^③中的360兆帕),当长期荷载作用时甚至可取为500兆帕。此时为了考虑混凝土强度降低的可能性,可引入材料工作条件系数 $m_{\sigma_1} < 1$ 来考虑。

由图1中可看到,当下降段较平缓、延伸较长,且截面采用高强钢筋配筋时,则纵筋配筋率愈高,与强度最大值相应的压缩变形值就愈大。在本书讨论间接配筋受压构件强度的第一章第三节中,阐述了关于这方面的有意义的重要实例。间接配筋柱保证了出现较长的而且较平缓的下降区段,故导致上述的效果。在以普通箍筋作为横向配筋的柱中下降段较陡,为了使极限压缩有明显的增长,只有加强纵筋。

混凝土 σ - ϵ 图的下降段概念,使我们能理解并定性地说明一些重要的现象。但从我们在这方面所掌握的知识来看,距能可靠地进行数值计算还相差很远,因而只有更多地依赖于试验结果。实际上,对同一品种混凝土来说,下降段的形状,在很大程度上还与变形的过程有关。

目前,对混凝土徐变,主要是在应力不高的范围内研究得较好;在应力较高但又不超过长期强度的范围内,研究得很差。在应力超过长期强度时,对徐变规律就研究得更少了;此时,徐变的发展多半是伴随着破坏过程。对下降段的研究,最好在能实现各种预计变形程序的设备上进行。但在同样加载过程中,下降段

-
- ① 此章内容为混凝土及钢筋混凝土结构设计规范。——译者
 - ② 兆帕 (MPa)——应力的国际单位,俄文符号为 МПа (Мегапаскаль), 1兆帕 = 10^6 帕 = 10^6 牛顿/米² $\approx$ 10公斤/厘米²。——译者注
 - ③ СНП II-B·1-62* 为苏联1962年颁发的《混凝土及钢筋混凝土结构设计规范》的1970年版本。——译者注

会随材料性能的不同而有较大的变异。例如一般配筋的与间接配筋的混凝土就有所不同；另外水泥石和骨料的宏观结构、强度、变形等不同的各种混凝土也有所不同。很有必要扩大我们在这个领域内的一些知识。

在钢筋混凝土结构的强度计算中，一般仅以强度值来表征混凝土的性能。但是众所周知，不同的混凝土——低强度的或高强度的，普通骨料的或多孔轻骨料的，有粗骨料的或无粗骨料（细粒）的——由于它们的弹性变形与非弹性变形之间的比值不同而具有不同的特性，特别是在接近破坏的阶段。显然，这种不同可能是与混凝土宏观的不均匀程度有关。低强度的普通混凝土，因其水泥石的强度远低于粗骨料的强度，故与水泥石强度相同的多孔轻骨料混凝土或高强度普通混凝土相比，会有更大的不均匀性。有粗骨料的混凝土比无粗骨料的混凝土具有更大的不均匀性。不均匀性较大的混凝土具有较早形成裂缝的特点，但它们对于已形成的裂缝的发展及合并现象具有较大的阻力。因此，对较均匀的混凝土来说，其 $\sigma-\varepsilon$ 曲线弯曲程度较大，破坏具有明显脆性特点，与不均匀混凝土相比下降段较陡峭。

在新的钢筋混凝土结构设计规范的正截面强度计算中，各种混凝土的变形特点通过参数 ξ 尽可能地反映出来。 ξ_0 可解释为因简化而用矩形图形代替混凝土受压区曲线应力图形的饱满系数。这些问题在第一章第二、三节中都会涉及到。在计算公式中，除了混凝土的一些强度特征外，还引入了参数 ξ_0 ；这样做虽未能如期望那样充分反映出混凝土变形性能的特点，但在不失去矩形应力图形实用上较简便的前提下，在强度计算中足够近似地反映了各种混凝土的变形特点。

混凝土的破坏过程不但在加载时出现，而且还在减小或完全卸载的情况下出现（见第一章第一节），这显然是与水泥石受拉残余变形有关；这种变形是由于粗骨料颗粒要恢复其体积与外形所致。这里还应顺便指出，文献[52、67]中所揭示的在长期受压后混凝土的抗拉强度有所降低也是由于同样的原因造

成。

在第一章第四节中阐述柔性柱在有周期性超载的长期荷载情况下，与没有周期性超载的长期荷载作用下相比，其强度有某些降低。这主要是由于另一种原因造成的。这种降低现象与其说是因多次超载在混凝土中引起了微观裂缝的继续发展，不如说是由于在受拉区宏观裂缝的形成与发展使柱子刚度降低与侧向挠曲增大所造成。但从所引用的数据可以看出，这种降低量并不很大。按照文献[19]所阐述的方法，对柔性柱在长期荷载作用下的计算表明，在荷载持续时间很长时，按建筑法规（CHHΠ）设计的柔性受压构件应当具有一定的强度储备。因此可以认为，这些柱子在使用期间在不降低可靠性的条件下，能经受住有一定限度的、次数不多的超载。

第二章是阐述有关钢筋混凝土梁的抗剪强度问题。这是一项很难的课题。为了克服 CHHΠ II-B·1-62* 规范对使用高标号混凝土的结构斜截面抗剪强度的估计过高的现象，新规范对此做了相应的修正。但是利用这方法计算仅应视为一种临时措施，因为这个计算方法仍然是根据一些经验的特征关系而建立的，而且有些影响因素仍未考虑进去。

在第二章第一节中，对斜裂缝破坏区段内的应变、应力及内力分布情况，作了比以往所能做的更为详细的分析。这一节虽未解决改进梁的抗剪计算问题，但却为此计算提供了许多有用的数据。

在第二章第二节中，分析了目前在规范中暂还未考虑的由于预加应力对抗剪强度的影响问题。这种影响总是有利的，这是由于以下原因：加载后纵筋变形的减少，裂缝扩展受到限制，若裂缝区段内纵筋的预加应力还未完全被抵消则使斜裂缝以上的受压区高度有所增加等。这一节还指出了一些暂时还不能通过计算来加以考虑的，但设计时必须保证的一些构造要求。

在第二章第三节中，作者们试图在新的基础上建立斜截面的强度计算。在补充了过去发表过的建议^[37]的同时，他们对别人

试验过的许多梁进行了计算，在将计算结果与试验结果进行了对比。从中可看出，在多数情况下，对比的结果是令人满意的。计算方法同样适用于普通钢筋混凝土梁与预应力梁、T形与矩形梁、承受集中荷载与均布荷载梁。但不能认为这方面的工作已做得差不多了，因为在某些情况下，计算的结果过高地估计了梁的斜截面强度，并且计算的过程还很复杂。

显然，从所介绍的计算方法中是能够找到一些规律来简化计算的过程，使之达到能用手算而不必借助于电子计算机的地步。只有在克服了上述缺点的情况下，这种新的计算方法才能被广泛地应用。从试验的结果及与新规范（СНП II-21-75）计算结果的对比中可得出如下结论（这在第二章中未充分反映出来）：按新规范计算，一般是低估了斜截面强度，至于过高估计的情况如有的话也很少遇到，且其超出承载能力的数值不大。第四章中，在阐述关于抵抗一次性动力荷载作用下构件强度的研究结果的同时，还研究了斜截面强度静力试验的一些结果，也得出了与上面相同的结论。

最近这些年来，正截面强度的计算方法有了进一步改进，并扩大到适用于各类水泥的混凝土及各种形式的钢筋（包括高强度钢筋）。斜截面强度的计算方法预计会有较大的改进。现在已经有了在弯矩、扭矩及剪力共同作用下钢筋混凝土杆件的强度计算方法。但这些计算方法还不能达到这样程度：各种内力相应改变时，彼此之间能连续转化。但可以期望，对于矩形截面构件来说，在与其一个边平行方向的外荷载作用下，上述各类强度计算方法之间的转化问题，在较短的时间内将会得到解决。但是，在斜弯曲及其它更复杂的情况下，会产生更多的困难。

第三章是研究带裂缝的钢筋混凝土平面结构，荷载作用于该结构的平面内或垂直于平面。其中第一个问题具有很大的迫切性。除墙梁外，在近代的高层建筑中，联系体系占有很重要的位置。在联系体系中，水平荷载主要是由刚性剪力墙和刚性筒体来承受。对这些结构的计算如不考虑钢筋混凝土的特点（特别是因

开裂而产生的刚度特性方面的变化)，就不能很充分地反映出结构的实际工作情况。有关钢筋混凝土平面结构的计算理论，在有些著作（例如文献[46]中专有论述，但计算的方法及技巧还需进一步加以完善。在本书第三章第一节中对这个问题用一个墙梁的实例来分析，而在第二节中用一个两端刚性锚固于墙内的深过梁，在垂直于梁轴方向发生相对位移的实例来分析。这时，在第一节中是用差分法求解，而在第二节中则是用有限元法求解。对这两种方法都必须全面地掌握，因为每一种方法针对不同的具体问题，各有它的优点。经过对一些简单实例的计算方法和技巧更加完善的研究之后，应进一步朝着解决更为复杂问题的方向努力，使之更接近于实际需要。

在第三章第三节中研究了板在垂直于其表面的荷载作用下的计算。与一般计算板的方法及前些年发表的文献[44]有所不同，在计算中除了考虑弯矩、扭矩作用外，与在薄壳结构计算中相似，进一步考虑了法向力和顺剪力的作用。这样地分析钢筋混凝土板的受力工作，不仅是因为随着挠度的增长，法向力及顺剪力的作用会增加，更重要的是，考虑了这些内力有可能使板的配筋更为合理。因为有的区域可视如圆拱结构那样地工作，而推力可由布置于这些区域外的钢筋来承受。对较厚的板，特别是基础板来说，这样的配筋可能是很合理的。

出现弯矩与轴力组合作用的平面结构还有各种料斗与矩形贮槽的侧壁，以及承受风荷载的墙板等。

在第三章第三节中对配有单筋板的例子得出了计算方程式及其解法。分析表明，在荷载值还远小于破坏数值的情况下，法向力及顺剪力对板的应力状态已表现出明显的影响。

第四章阐述在一次性动力荷载作用下钢筋混凝土结构的强度问题。过去已发表的这方面著作，主要是研究有关混凝土与钢筋的动力强化以及受弯构件的正截面强度问题。作为对它们的补充，本章进而研究偏心受压强度，斜截面的动力强度，及推力对受弯结构承载能力的影响。对上述每一问题的试验研究都进行了

介绍及分析。推力的影响除在计算中考虑外，还将其计算结果与试验数据进行了比较，最后还给出了简化计算的建议。

现在我们注意一下在剪力作用下梁的斜截面强度的某些特点方面。当梁内配有足够数量的横向钢筋时，在动力荷载作用下，观察到的斜截面破坏特征与静载作用下相似，但其破坏内力因材料的动力强化，却有一定程度的增大。假如在梁中不配箍筋，则情况会有很大变化：破坏是脆性的，而破坏荷载值与静载相比将减少很多。因此针对于有可能承受较强的动力荷载作用的结构的剪力区，给出了必须遵守的一些设计原则。

在一次性动力荷载作用下，从试验梁实测到的波形曲线图中，同样显示出外力与位移关系的下降段，按它可以来衡量破坏时的脆性程度。对钢筋混凝土结构构件来说不但在动力加载时，而且在静力加载时，都具有这个特点。下降段可通过一种专门的与试件平行的弹性变形装置来发现。换句话说，要使试件处在一种人为的超静定体系中工作。在实际的超静定结构中，其组成构件的下降段特点，往往决定着结构的承载能力及其破坏特点。

有许多钢筋混凝土结构构件犹如理想塑性体那样工作，例如当它们的受拉钢筋到达屈服点后，可经历较大的变形而不破坏。在另外一些结构构件中，当截面到达强度极限状态时，会出现不同程度的较陡的下降段，此时如其它构件（或截面）还有潜力可进行内力重分配的话，则还不意味着结构的破坏。但是重要的是要使下降段必须有足够的长度而且较为平缓。

从上面的这种想法出发，可以认为，抗震的或有可能承受较强的动力荷载作用的房屋结构，在节点附近上下柱端部及框架节点内部采用间接配筋是合理的。这可以解释为：当柱端出现塑性铰时在框架中有进行足够充分的内力重分配的可能性。但是为了可靠地估计结构的这种特性，还需掌握更多更全面的有关下降段的数据。况且对超静定体系构件的应力状态的特点，不仅仅是取决于一个参变量：对平面框架的正截面——轴力及弯矩；而当空

间工作时——轴力及两个方向的弯矩。

在这种情况下，产生的不仅是曲线下降段而是更为复杂的形式（空间曲面或多维空间曲面）；这样问题就大为复杂化了。当然，这不应当成为拒绝进一步研究的借口。

A·A·格沃兹杰夫