

Development and Application of Steel-Concrete Composite Structure under New Materials

Hongxian Li, Dianzhong Liu

College of Civil Engineering, Jilin University of Architecture, Changchun Jilin
Email: 2062903454@qq.com

Received: June 30th, 2019; accepted: July 15th, 2019; published: July 22nd, 2019

Abstract

The advantages of new materials and the current development of new materials mainly introduce steel fiber reinforced concrete, FRP fiber reinforced composite materials, alloy steel in foam concrete and new steel materials, ultra-low yield point steel and fire-resistant steel, SN steel, light welded H-beam and other new steel. This paper prospects for the future application of new materials in steel-concrete composite structures, further expounding the relationship between new materials and composite structures.

Keywords

New Materials, Composite Structure, Steel Fiber Reinforced Concrete, FRP Fiber Reinforced Composites, Foam Concrete, Alloy Steel, Ultra-Low Yield Point Steel, Fire-Resistant Steel, SN Steel, Light Welded H-Beam

新材料下钢 - 混凝土组合结构的发展与应用

李红现, 刘殿忠

吉林建筑大学土木工程学院, 吉林 长春
Email: 2062903454@qq.com

收稿日期: 2019年6月30日; 录用日期: 2019年7月15日; 发布日期: 2019年7月22日

摘要

针对新材料的优点以及新材料当下的发展概况, 本文主要介绍了新型混凝土材料中的钢纤维混凝土、FRP

纤维增强复合材料、泡沫混凝土和新型钢材中的合金钢、超低屈服点钢材、耐火钢、SN钢、轻型焊接H型钢等新型钢材, 以及对未来新材料在钢-混凝土组合结构应用前景进行了展望, 进一步阐述新材料与组合结构的关系。

关键词

新材料, 组合结构, 钢纤维混凝土, FRP纤维增强复合材料, 泡沫混凝土, 合金钢, 超低屈服点钢, 耐火钢, SN钢, 轻型焊接H型钢

Copyright © 2019 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

进入 21 世纪之后, 随着科学技术的不断发展, 世界范围内掀起新一轮的科学革命浪潮, 伴随着一些新发明新发现的不断涌现, 推动着材料科学与技术也在不断地发展进步, 一些轻质高强的材料不断被人们所发明、发现和应用[1]。同样由于我国社会经济进步的进步和需要, 传统的四大结构形式越来越难以满足人们对美好物质生活文化的需求, 组合结构的出现, 打破了传统结构的束缚, 推动了建筑结构科学与技术的发展, 使得传统结构无法完成的事情变为可能[1]。组合结构是由两种及以上不同的结构组成, 而结构本身是由材料构成的, 新材料的出现进一步推动了组合结构的发展, 使得组合结构建筑和桥梁朝着高度更高、跨度更大、结构形式越来越复杂的趋势发展。

2. 新材料的介绍以及在组合结构中的应用

2.1. 新型混凝土材料

对于混凝土这种材料, 我们并不会感到陌生, 自问世的那天起一直到现在, 几百年来已经被广泛地应用在工业与民用建筑行业、基础设施行业、水利大坝港口等行业领域[2]。但是, 混凝土这种材料在发展与应用的过程中也出现过不少问题, 我们知道混凝土材料具有良好的抗压能力, 但是它的抗拉能力不强, 所以要和钢筋在一起工作才能保持构件的可靠性, 但是这在无形之中又增加了工程成本。所以为了克服混凝土的一些不足, 人们开始尝试各种方法来提高混凝土自身的强度, 其中一些学者是通过研究控制混凝土的水胶比或者在混凝土中添加一些改性剂来提高混凝土的承载力和耐久性, 由此催生出来很多强度等级比较高的混凝土, 比如国外研发的新型混凝土材料强度达到 100 MPa 及以上[1]。另外一些学者, 试图通过研究既可以降低混凝土的自重还可以在一定范围内增加混凝土的承载力的要求, 发明了一些质量较轻但强度满足要求的轻型混凝土材料, 像泡沫混凝土、加气混凝土等[2]。还有一些学者, 通过研究在混凝土中加入一些基体或者增强体以此来弥补混凝土自身抗拉承载力不足的缺点。比如可以在混凝土中加一些钢纤维、玻璃纤维、碳纤维等复合纤维物[2]。

2.1.1. 新型混凝土材料——钢纤维混凝土

先以钢纤维混凝土材料为例, 这种方法的优点是: 一方面, 不仅提高了钢材的可重复利用率降低了造价、减少了对环境所造成的污染, 促进了资源的可持续发展。另一方面, 由于钢纤维自身是由各种不同的金属材料构成的, 具有良好的延性, 如果把钢纤维按照一定比例加入到混凝土中会提高混凝土的抗

拉承载力[3]。为了更好的凸显出钢纤维混凝土的优点与普通混凝土相比。下面用一组实验数据表格来具体说明, 如表 1 所示通过对相同强度等级下的普通混凝土与钢纤维混凝土比较, 我们可以发现, 钢纤维混凝土自身的抗拉、抗压、极限抗弯刚度、初裂强度和混凝土自身的防水能力比普通混凝土显著提高[3]。

Table 1. Comparison of various strength indexes of ordinary concrete and steel fiber concrete under the same strength class
表 1. 相同强度等级下的普通混凝土与钢纤维混凝土各种强度指标比较

项目名称	C30 普通混凝土	钢纤维 C30 混凝土
抗拉强度	3.5 MPa	5.39~7 MPa
抗压强度	31.2 MPa	32.5~40 MPa
极限抗弯强度	5.5 MPa	9.18~13.75 MPa
初裂抗弯强度	4.88 MPa	7~8 MPa
初裂强度	8.85 N·m	23~53N·m
冲击疲劳强度	5.96/cm ²	53.3~91/cm ²
抗渗等级	P4	P6~P12

目前在我国的许多组合结构桥梁和建筑中应用比较广泛, 比如, 四川雅安的“干海子”特大桥, 该大桥为钢-混凝土组合结构, 是世界上第一座主体工程结构全部采用钢纤维混凝土的桥梁, 如今已经成为世界桥梁建筑史中的一大奇迹。

2.1.2. 新型混凝土材料——FRP

再以 FRP 纤维增强复合材料为例: 通过图 1 所示[4], FRP 纤维增强复合材料与普通混凝土材料相比, 具有质量轻、强度大、承载力高、在等荷载外力作用下, 变形小等优点。把 FRP 纤维增强复合材料和组合结构中的钢管组合在一起形成一种新的钢管-FRP 管混凝土组合结构, 既可以有效约束核心混凝土的变形还可以增加结构自身的抗侧移刚度[4]。目前在建筑和桥梁工程中, FRP 常常被用于旧有建筑或桥梁中梁、板、柱等构件的修补及加固, 对于靠近大海的港口海洋组合结构和近海组合结构, 利用 FRP 代替原有的混凝土, 可以大大提高组合结构的耐腐蚀性, 对组合结构发展的重要性不言而喻。

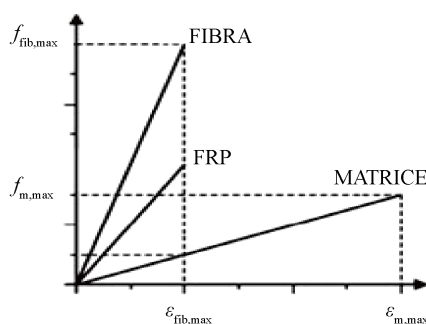


Figure 1. σ - ε change graph under the same load
图 1. 相同荷载作用下的 σ - ε 变化图

2.1.3. 新型混凝土材料——泡沫混凝土

最后以泡沫混凝土为例, 泡沫混凝土又被称为轻骨料混凝土。指的是利用机械设备进行物理力学性质的发泡处理或者少数采用化学技术处理的发泡, 它与加气混凝土相比发泡分布更加均匀、成孔大小、间距也比较一致, 可以有效减少发泡过程中应力不均匀的现象[5]。如图 2 所示, 发泡之后其内部形成多

孔结构, 在同等密度体积下其重量大约只有普通混凝土的 1/5~1/8, 导热系数在 0.06~0.28 W/(M·K) 之间, 可以看出, 导热系数比普通混凝土明显要低且普通混凝土的电热阻只有泡沫混凝土 1/5~1/8 [5]。所以与普通混凝土相比具有质量轻、耐火性能好、保温隔热能力比较强、节能环保等优点。新型混凝土材料技术对推动我国房屋建筑装配式建筑结构的发 展, 以及建设资源节约型社会发挥着非常重要的作用。



Figure 2. Foam concrete

图 2. 泡沫混凝土

2.2. 新型钢材料

2.2.1. 新型钢材——传统钢材碳素钢的现代化改进

同样对于钢材料我们也很熟悉, 比如我们所熟知的碳素钢, 依据含碳量的大小可以分为低碳钢、中碳钢、高碳钢等传统钢材料。但是这些传统的钢材由于耐腐蚀性、耐火性比较差, 需要经常性维护的特点, 难以满足当代组合结构建筑发展的需要[6]。所以有些学者提出了一些改进的方法, 一方面, 可以通过调整钢材中碳、硅, 锰、铁、铬、铜、硫、磷、镍等元素的含量比例以及设法减少钢材中有害元素硫、磷等方法, 以此来提高碳素钢的强度和耐久性, 也可以采取在其表面镀一层氧化物薄膜的方法来增加钢材的耐腐蚀性[6]。另一方面, 通过控制炼钢过程中温度(升温、冷却)的变化来提高钢材自身的强度, 现在以控制碳素钢钢材温度为例, 如图 3、图 4 所示[7]超快速冷却后温度对钢材强度及硬度变化的影响, 当温度上升达到 650℃至 700℃之间超快速冷却时时钢材的抗拉强度和屈服强度下降比较明显, 同样当温度上升达到 650℃左右超快速冷却时钢材自身的硬度下降明显。这说明温度对控制钢材后期冷却阶段强度、硬度及延性的增长来说非常重要。

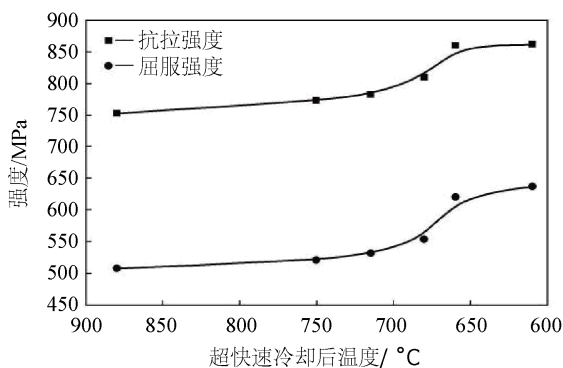


Figure 3. Effect of temperature change on yield strength and tensile strength of carbon steel

图 3. 温度变化对碳素钢的屈服强度和拉伸强度影响曲线

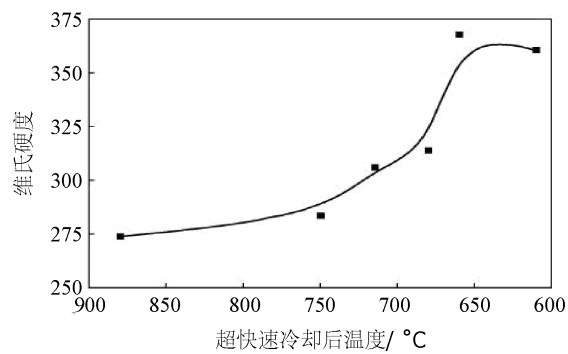


Figure 4. Vickers hardness influence curve of temperature change carbon steel

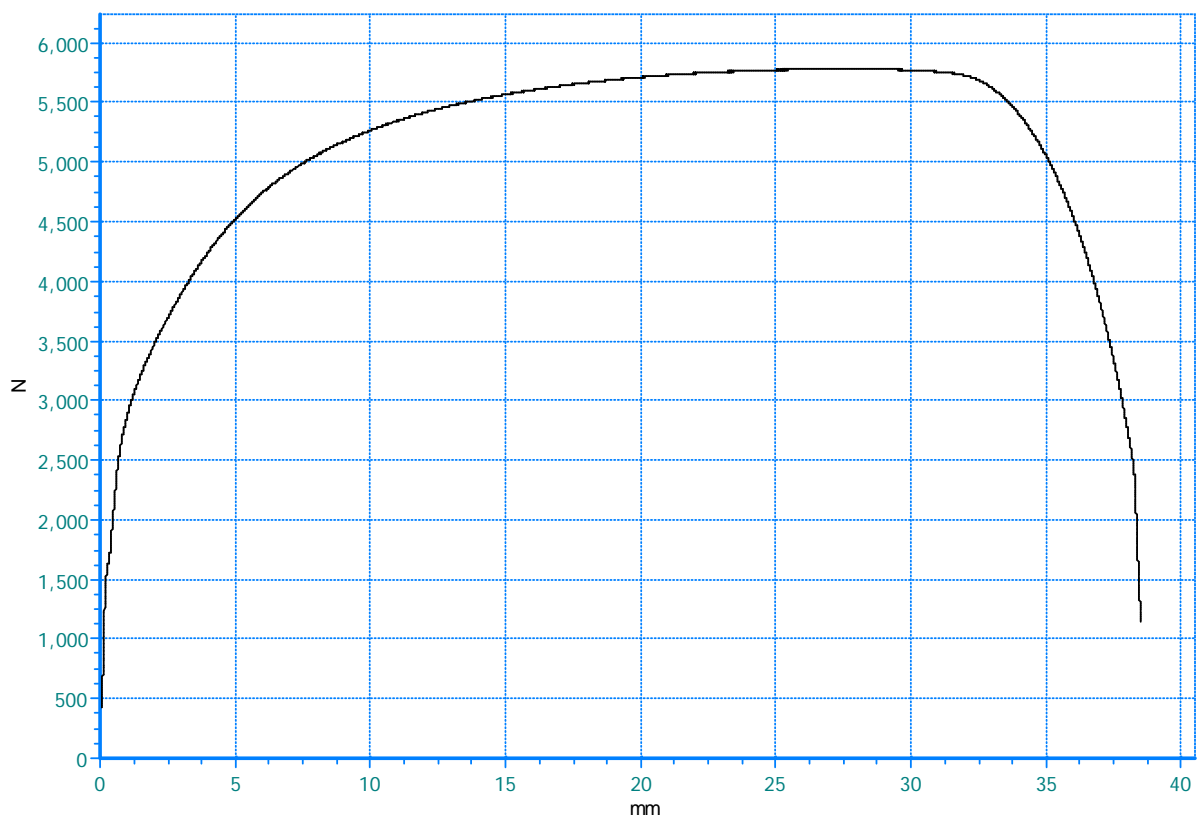
图 4. 温度变化碳素钢的维氏硬度值影响曲线

2.2.2. 新型钢材——合金钢

另一方面,人们也一直在积极地寻求普通碳素钢材料的替代者,比如,合金钢(特种钢)、超低屈服点钢、耐火钢、SN 钢、轻型焊接 H 型钢等新型钢材料。

首先介绍的是合金钢[8],这种新型钢材的优点是与传统碳素钢钢材相比质量比较轻,强度比较高,承载力比较大,而且它的耐腐蚀性能和耐火性、韧性和基本强度都比碳素钢钢材要更好,适合于层数不多的多层住宅或轻钢别墅。目前,合金钢在我国和全世界范围内已经被广泛的应用到轻钢住宅和工业厂房建筑当中。

负荷-位移曲线



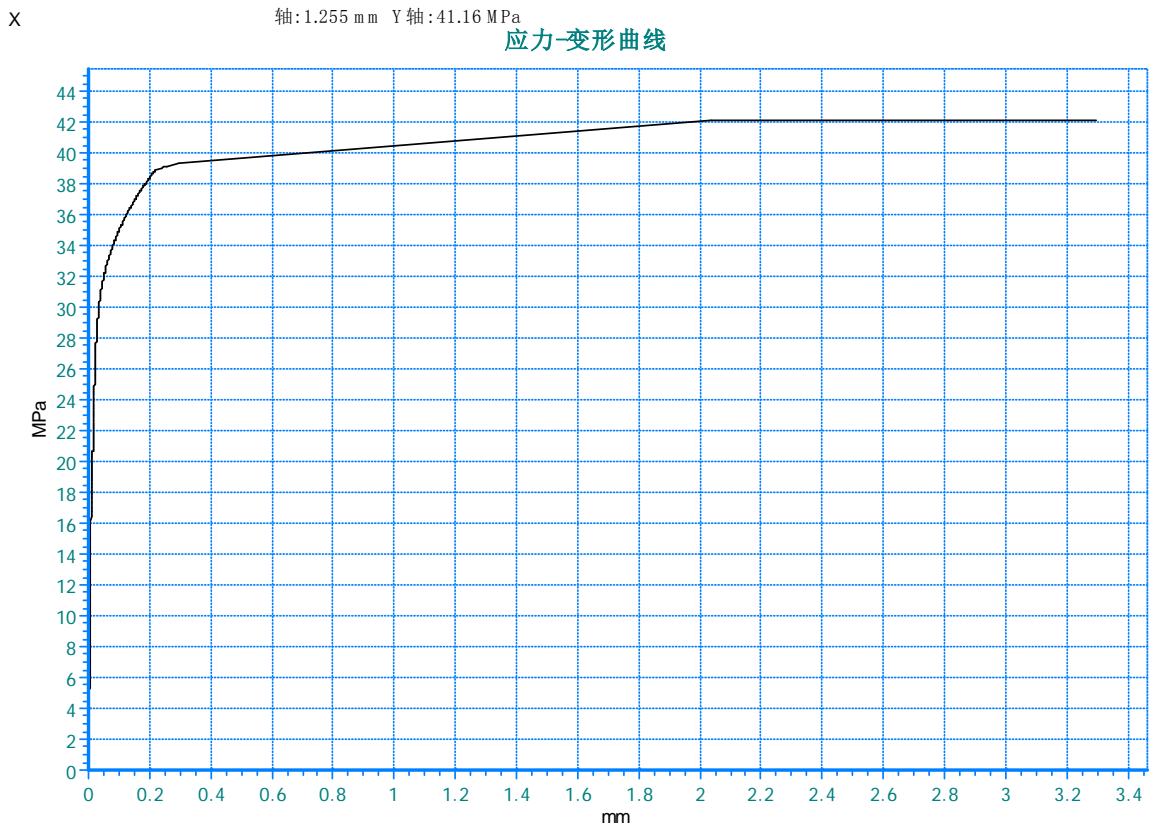
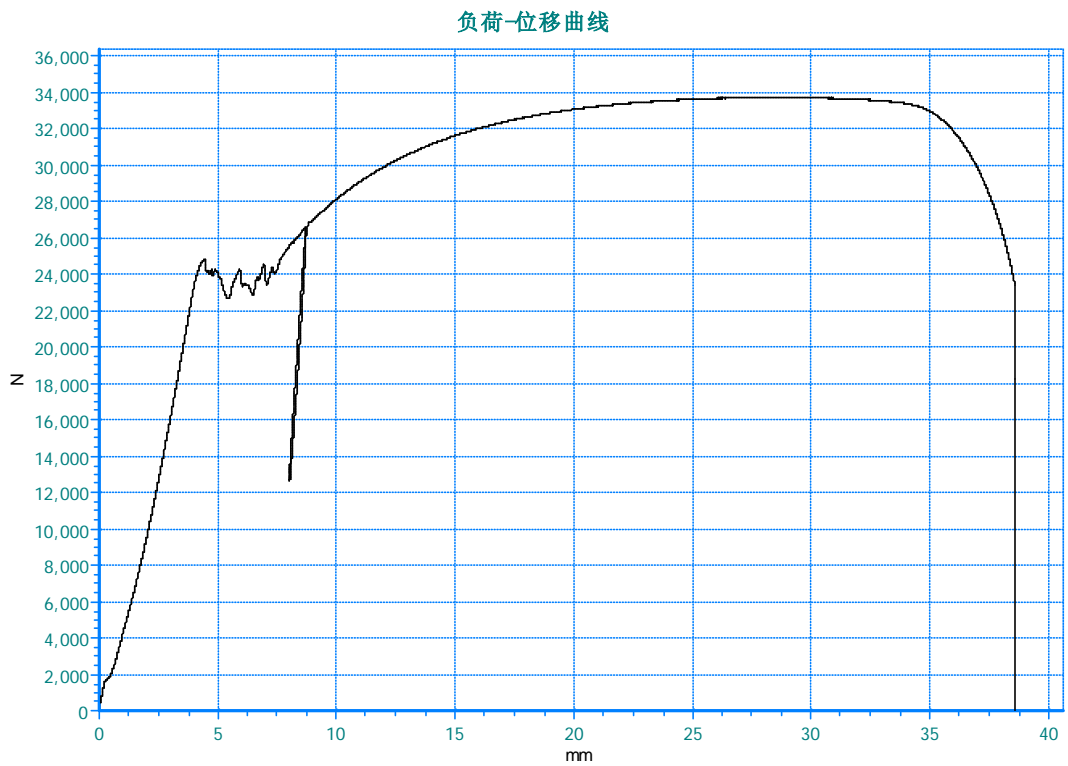


Figure 5. Tensile load displacement curve and tensile stress-strain curve of alloy steel
图 5. 合金钢拉伸负荷位移曲线、拉伸应力应变曲线



X

轴: 313.99 S Y轴: 423.41 MPa

应力-应变曲线

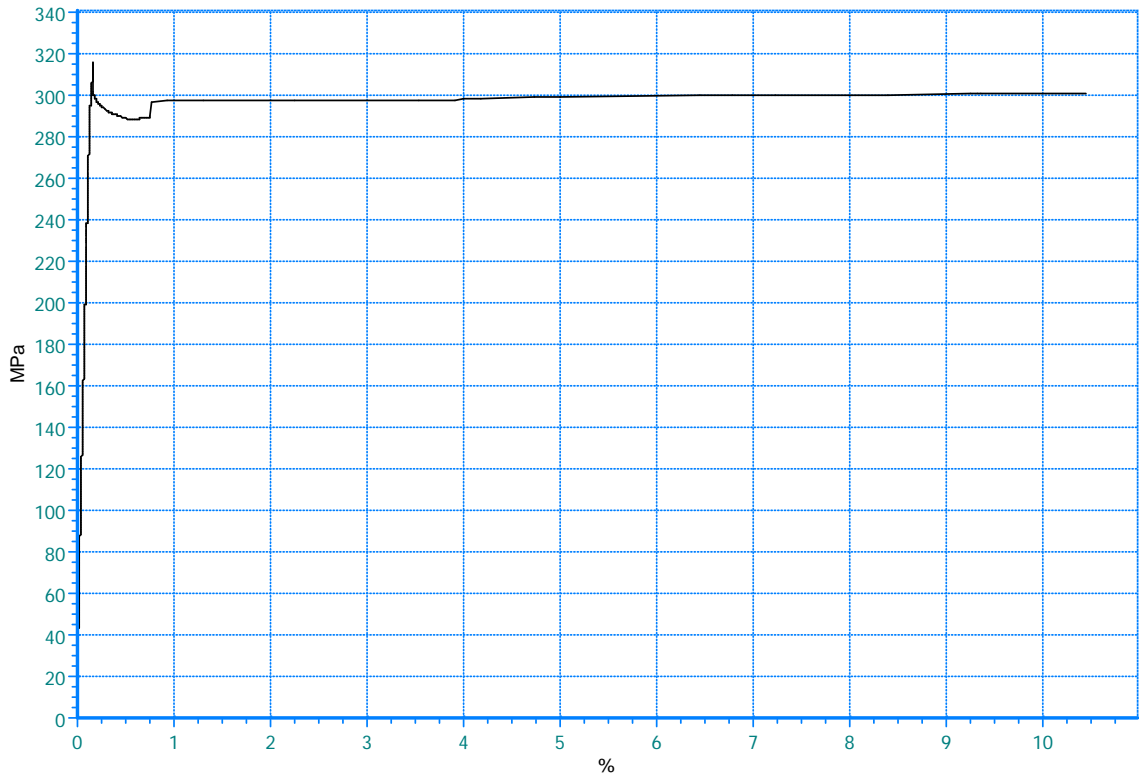


Figure 6. Tensile load displacement curve and tensile stress-strain curve of low carbon steel

图 6. 低碳钢拉伸负荷位移曲线、拉伸应力应变曲线

如图 5、图 6 所示[8], 通过比较低碳钢和合金钢的在相同负荷作用下的位移、应力应变曲线可知, 在等负荷作用下, 虽然合金钢要早于低碳钢先发生屈服, 其屈服强度比低碳钢要低, 但是在后期合金钢的发生破坏时的极限强度要比低碳钢要高。而且在等负荷作用下合金钢位移曲线要比碳素钢的更加平缓, 斜率较小, 这说明合金钢的延性变形能力要比低碳钢好。

2.2.3. 新型钢材——超低屈服点钢

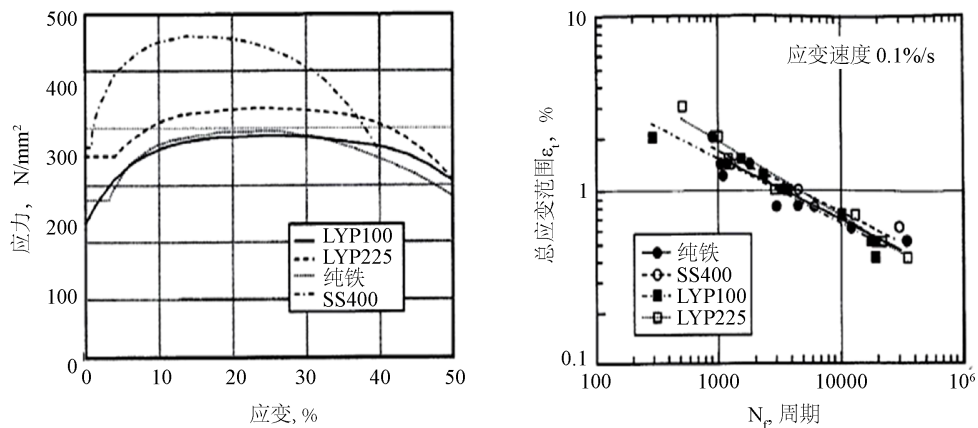


Figure 7. Stress-strain curve of ultra-low yield point steel and ordinary steel

图 7. 超低屈服点钢与普通钢材应力应变曲线

在对抗震有特殊要求的钢结构或者组合结构房屋建筑中, 起到抗震及减震作用的构件, 可以采用超低屈服点的钢材[9]。其优点是, 当地震来临时, 首先让这种超低屈服点的钢材先屈服, 然后再依靠反复荷载作用形成滞后效应, 吸收地震波所传来的能量, 与其他减震隔震措施相比, 具有造价成本低、可靠性强和耐久性好等优点, 因而现在被广泛应用到地震多发地区和抗震设防烈度要求比较高的地区。

为了更好的阐述超低屈服点的优点, 如图 7。所示在等荷载作用下, LY100 和 LY225 两种强度等级的超低屈服点钢与 SS400 比较, 屈服点要低 30%~40%左右, 具有良好的塑性变形性能[9]。而且超低屈服点钢的低周期疲劳特性与普通钢基本一致, 在正常使用范围和期限内, 不影响钢材的使用寿命。

2.2.4. 新型钢材——耐火钢

我们知道传统钢材对大火的抵抗能力比较差, 虽然传统钢材一般具有一定承受耐热的能力, 但是耐火性不好, 传统钢结构建筑如果一旦发生火灾, 在短时间内火势就会扩大蔓延, 这是因为其构成钢结构自身的材料对大火的抵抗力不足造成的。当温度小于 150℃时, 钢自身内部的性质会发生一些微小的变化, 但此时变化不明显。但是当钢材表面受到热辐射为 150℃上下的温度辐射时, 需要对钢材表面进行隔热保护处理, 防止钢材因热辐射作用导致其内部结构的晶体组织发生无序变化, 从而导致钢结构自身失稳发生破坏。当温度接近在范围为 300℃以上 400℃以下时, 钢材自身所具有的各种强度、稳定性和弹性模量等物理和力学指标均有不同程度的下降。如果再进一步加热到温度达到 600℃及以上时, 钢材自身的承载力基本趋于消失[10]。这就要求我们, 在一些对防火有特殊要求地区中的钢结构或者组合结构建筑物和构筑物, 要对钢材表面进行镀隔火涂料层处理或者采用耐高温、耐火材料加以覆盖进行隔热保护, 以提高其耐火等级。

随着近些年来材料科学与技术的不断发展, 发明了一种新型的耐火钢材, 名叫耐火钢, 耐火钢顾名思义就是在钢材里面添加一些在高温大火状态下其自身内部晶体组织表现比较有序且稳定的微量元素或者纤维聚合物等材料。通过图 8 和图 9 我们可以得出结论[10], 与传统钢材相比, 它的耐火性较好, 因为在大火高温作用下它的强度折减系数仍然比较大, 而延伸率变化比较小, 这也就意味着在高温状态下, 耐火钢拥有比普通碳素钢更好的力学性能以及更好的抵抗温度变形的能力。

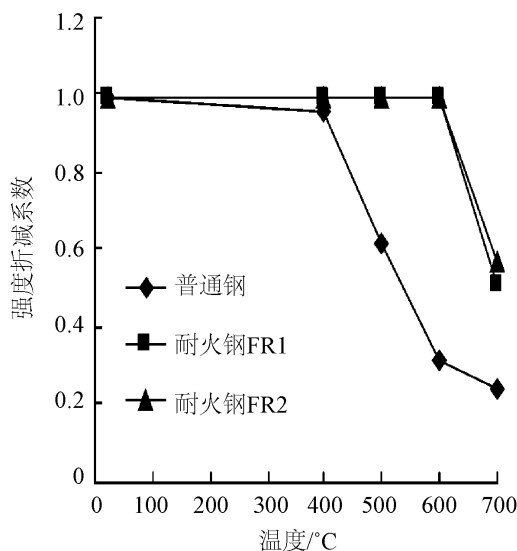


Figure 8. Strength reduction factor as a function of temperature

图 8. 强度折减系数随温度变化

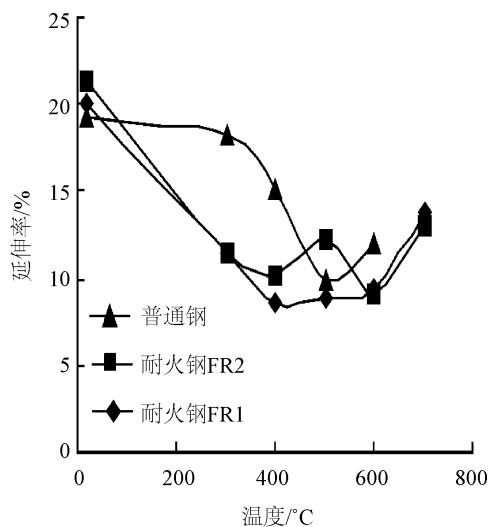


Figure 9. Elongation changes with temperature
图 9. 延伸率随温度变化

2.2.5. 新型钢材(国外)——SN 钢

SN 钢是日本制造发明的一种新型钢材。日本这个国家处于环太平洋地震带上, 由于地理位置的特殊原因, 长期以来遭受地震和海啸等自然灾害影响。又因为 SN 钢由于其自身良好的耐震性能所以在日本被广泛的应用, 它是在钢结构以及组合结构建筑中应用比较广泛的钢材种类之一, 它的优点是: 第一, 能确保钢材的延性变形能力, 确保充分发挥钢材的延性且具有良好的焊接性能; 第二, 确保沿不同板厚方向, 所传递的荷载尽可能均匀一致, 充分利用材料的截面尺寸; 对于不同的构件、不同的节点部位处选用不同的钢材品种。其力学性能和钢材品种的划分根据屈服点的上下限、沿厚度方向的拉伸值、冲击韧性、碳的当量来综合确定[8]。目前在我国, SN 钢应用在超高层建筑或者大型公共建筑中的比较多, 其发展前景被人们普遍看好。

2.2.6. 新型钢材(国外)——轻型焊接 H 型钢

近年来在欧美、日本等发达国家, 轻型 H 型钢搭配预制混凝土梁、板构件几乎都被应用在组合结构民用与工业房屋建筑的各个方面, 由于应用范围比较广, 导致此种钢材的每年的消耗量非常大, 比如, 在日本平均每一年会有超过 100 万户的新建民用住宅中, 大约有将近 15% 的居民用户选择采用轻型焊接 H 型钢装配式工业化轻钢组合结构建筑。而且据统计, 日本是现在使用和生产轻型焊接 H 型钢最多的国家之一。目前在我国, 轻型焊接 H 型钢正在被越来越多的推广和应用, 比如, 应用在对使用有特殊要求的多层钢结构或者组合结构住宅与工业建筑。

3. 新材料与组合结构发展的关系

根据我国中长期发展规划纲要和住建部近年来所倡导发展绿色建筑的要求, 我国未来建筑业的发展会朝着更加节能环保、资源节约、可重复利用的几个大方向前进。这就需要我们不断地探索创新, 新型材料科学与技术的研究和开发工作。一方面, 新材料技术的出现将会推动组合结构的创新和发展, 为组合结构设计和施工提供材料方面的理论计算基础和技术支撑。另一方面, 组合结构的创新发展也会反过来促进新材料的发明创造, 推动未来建筑新材料科学与技术的发展。总之, 组合结构的创新发展离不开背后新材料科学与技术的支撑, 建筑新材料的发明创造也离不开组合结构设计的创新, 二者相辅相成。

4. 组合结构中应用的新材料技术及总结

新材料特别是在一些大跨度组合结构桥梁中应用比较广泛, 新型混凝土材料特别适用于在交通工程中的路基路面施工、大跨度组合结构桥梁桥面混凝土铺装、超高层建筑施工中应用比较多。新型钢材材料在轻钢别墅住宅以及对环境有特殊要求的地方适用。

新材料的出现必然会推动组合结构的发展, 其所具有的优点轻质高强, 正是组合结构未来发展的需要, 组合结构的发展在未来离不开新材料技术的支撑, 新材料的出现会把组合结构中一些设计或者施工方面的不足加以改进和完善。未来随着国家对新材料的研发和投入会越来越多, 新材料种类的发明创造也会不断涌现。组合结构作为一种新型的结构形式, 将会在新材料的推动下朝着经济合理化、资源节约化、人工智能化的方向发展。在我国住房与城乡建设、基础设施建设等各方面发挥着重要的作用。

参考文献

- [1] 住房与城乡建设部. 建筑业 10 项新技术[Z]. 2017.
- [2] 过镇海. 钢筋混凝土原理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [3] 高丹盈. 钢纤维混凝土设计与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.
- [4] 晋霞. 纤维增强复合材料(FRP)的研究与应用[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2017.
- [5] 鞠杨, 孙红彬, 孙华飞. 活性粉末混凝土的制备与物理力学性能[M]. 北京: 科学出版社, 2017.
- [6] 牛秀艳, 刘伟. 钢结构基本原理[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2018.
- [7] 戴起勋. 金属材料学[M]. 北京: 化学工业出版社, 2015.
- [8] 潘建农, 朱智文. 金属材料与热处理[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 2016.
- [9] 施刚, 高阳, 王珣, 张勇. 低屈服点钢疲劳性能研究[J]. 土木工程学报, 2019, 52(1): 20-26+52
- [10] 徐文毅, 李焕群, 彭天国. 耐火钢与普通结构钢高温强度的比较试验[J]. 建筑结构, 2008, 38(10): 27-28.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网首页: <http://cnki.net/>, 点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”, 跳转至: <http://scholar.cnki.net/new>, 搜索框内直接输入文章标题, 即可查询;
或点击“高级检索”, 下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/> 顶部“旧版入口”进入知网旧版: <http://www.cnki.net/old/>, 左侧选择“国际文献总库”进入, 搜索框直接输入文章标题, 即可查询。

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org