

第二代环氧建筑结构胶的研制及应用

简介：本文通过对第一代环氧建筑结构胶的回顾并针对现代建筑加固的需要，开发研制了第二代环氧建筑结构胶。同时从研制理论上区别两代环氧建筑结构胶的不同特征，从而印证“青出于蓝而胜于蓝”的哲理，必将不断地更新换代，促进新的环氧建筑结构胶体系有更大的发展。

关键词：第一代、第二代环氧建筑结构胶；海岛结构；复合增韧固化剂

一、历史的回顾：（第一代环氧建筑结构胶产生的背景）

1、我国采用环氧建筑结构胶是在二十世纪八十年代初。一九七八年由法国援建的辽阳化纤总厂一座变电站承载梁，因设计配筋不足，楼房建成后有几根横梁出现裂纹。后经法国方面采用法国西卡杜尔 31[#]环氧建筑结构胶，将钢板粘贴在梁底部进行补强，修补了裂纹，达到了原设计强度，恢复了正常使用功能。一九七七年武汉钢铁公司四号高炉扩产改造，也是采用日本的环氧建筑结构胶，用钢板粘贴对原有的梁柱进行补强，提高了工效，加快了扩建速度，使四号高炉不但未停产而且缩短了施工工期。至此之后，许多在改革开放初期的一些大中型企业，为了恢复扩大生产，在厂房改造中纷纷效法粘接加固技术，采用国外的环氧建筑结构胶以提高承载能力，延长使用寿命。在当时引起了一个小高潮。国外的加固技术及建筑结构胶也涌进中国，占领了国内市场。据笔者所知，武汉钢铁公司、武汉重型机床厂、武汉锅炉厂、武汉长江大桥等大型工程都曾先后引进美国、瑞士、日本的不同类型建筑结构胶（如植筋胶用于锚固大型设备的螺栓，粘钢胶用于房屋梁柱的补强，灌缝胶用于混凝土裂纹的修补等。）

为了适应社会主义建筑事业发展的需要，也为了打破国外的垄断及封锁，一九八〇年建设部正式下达了“建筑结构胶研制及应用技术推广”课题，由中科院大连化物所与辽宁建科院共同攻关，其攻关组负责人就是大连化物所研究员，建筑加固的资深专家贺曼罗担当。

他在分析了国外各种建筑结构胶的性能特征之后，针对我国国情，在一九八三年完成了我国第一个实用型建筑结构胶，填补了国内空白。这就是以 JGN 型为代表的第一代环氧建筑结构胶。虽然之后近 11 年间，有不少型号的建筑结构胶问世。但其基础理论、配艺等均是以 JGN 为基础的衍生物，故而本文对类似 JGN 的环氧建筑结构胶均称为第一

氧建筑结构胶。下文简称第一代建筑结构胶。

2、第一代环氧建筑胶的基础理论及配方设计与特性。

①第一代建筑结构胶的理论基础

根据资料分析，第一代建筑结构胶是以低粘度环氧树脂为主剂，室温固化的胺类改性固化剂为辅剂，以聚硫橡胶或丁腈橡胶为增韧剂，加上填料、其它助剂组成。现举参考配方如下：

E-51	100 份
EPG660	10-15 份
SiO ₂	50-150 份
593	15-20 份
650	25-30 份
聚硫橡胶或丁腈橡胶	10-25 份
KH-550	适量
其它助剂	适量

从这个参考配方中可以看出采用低粘变环氧及活性稀释剂是便于施工，硅微粉为填料既可以增加强度又可降低成本。593 和 651 固化剂复合是既能常温固化，又有较好的固化时间及固化强变，延缓操作时间。加入聚硫橡胶或丁腈橡胶是以橡胶作增韧剂，降低收缩应力，增加粘接强度。

它的理论基础是以具有极性成份的橡胶作增韧剂时，因为极性大的增韧剂会提高胶粘剂对极性材料的吸引，而且在固化后具有弹性的橡胶成份会吸收固化时的收缩应力，从而达到提高强度的目的。

众所周知，胶粘剂在粘接材料时所产生的粘接力=粘附力+应力。粘附力可是机械力，电子吸附力或范德华力，它们是粘附材料所需的，而应力则是由缺陷应力和收缩应力组成。它的作用与粘附力相反，因而它是负值，也就是说缺陷应力和收缩应力越大，其粘接强度就越小，所以尽量减少缺陷应力和收缩应力就是提高粘接强度的一种行之有效的方法。在配方设计中某些材料的加入会增加应力，如胶粘剂加入可挥发的溶剂会产生缺陷应力。加入发热量大的固化剂会增大收缩应力，而加入一些弹性材料如聚硫，丁腈等橡胶或其它弹性体则会在固化收缩过程中吸收收缩应力，这样可以大幅度提高粘接强度。这就是建

构胶中需要加入一定数量的增韧剂的重要理论所在。正因为 JGN 等第一代建筑结构胶

入了这些橡胶增韧剂，所以它们的强度就达到了一个较高的水平，提高粘接强度对建筑物的加固改造是必须的，这就是建筑规范中要求：钢对钢的剪切强度必须大于或等于 18MPa 的重要依据。否则，不加入增韧剂，在常温下固化的钢与钢剪切强度是很难达到 18MPa 的，这就是 JGN 等第一代建筑结构胶中必须选用合适的橡胶增韧剂的重要配方设计理论依据。

②第一代建筑结构胶的基本性能特征：

物理机械性能：

检测项目	JGN— I 型	JGN— II 型
胶自身拉伸强度/MPa	32.5	18.5
胶自身压缩强度/MPa	61.5	46.1
胶自身拉伸弹性模量/MPa	6800	7120
钢—钢剪切强度/MPa	19.5	22.4
钢—钢拉伸强度/MPa	38.0	33.0
钢—混凝土压剪强度	≥6.0 混凝土破坏	≥6.0 混凝土破坏
钢—混凝土拉伸强度	≥6.0 混凝土破坏	≥6.0 混凝土破坏

事实上，JGN 等第一代建筑结构胶的基本性能都达到或超过了法国、瑞士汽巴的建筑结构胶的指标。也超过了建设部“混凝土结构加固技术规范”《ECS25.90》的标准。

二、第二代建筑结构胶的开发及应用

1、开发的依据：

尽管第一代建筑结构胶在我国开创了一个加固技术的新局面，但在廿年来，其配方体系仍未作过多的改进，随着建筑科学技术的不断发展，新技术、新材料也在不断涌现，环氧树脂应用领域也出现突飞猛进的新局面，新颖的固化剂，具有独特性能的增韧剂等都被用于高强结构胶上。它可以完全取代原有的固化剂和增韧剂，其性能更高、应用更简单方便，价格更便宜。

笔者针对这种发展趋势和潮流，在第一代建筑结构胶创始人贺曼罗老师的启发和指点下，也在清华大学高分子研究所赵世琦老师帮助下，采用奇士公司生产的新型增韧剂上本人自行研制的脂环胺类改性固化剂，形成了新的增韧固化体系用于建筑结构胶中

其粘接强度大幅度提高，性价比更趋优秀。先后协助上海回天化工新材料公司、武汉大筑科技公司、湖北固城特种建筑技术公司等单位开发了具有新型增韧固化体系的建筑结构胶。都取得了较好的评价和丰厚的经济效益。为了和第一代建筑胶区别，故上述厂家生产的建筑结构胶称之为第二代建筑结构胶。

2、第二代建筑结构胶的配方理论基础及技术特征：

①第二代建筑结构胶的配方理论基础从原理上讲是一样的。都是采用复合胺固化增韧体系来提高粘接强度的，所不同的是 a、本体系采用脂环族复合胺；b、增韧剂是采用具有海岛结构奇士增韧剂。

脂环族复合胺固化剂具有粘度低、固化速度可调节、固化强度高、放热峰平稳持久、固化度高、固化物耐热性、耐水耐药品性好、耐湿热老化更好。它既可在 40℃ 下平稳固化，也可以调整到 0℃ 左右固化，特殊品种甚至可以在 -10℃ 下固化，扩大了应用范围。由于粘度低可以不加或少加非活性稀释剂，作灌缝胶，粘接强度可达 12-14MPa。作为粘钢胶，可以多加一些填料（第一代可多加 50%）而粘度相当、施工性能好，粘接强度也很高。

奇士增韧剂是一类由不同柔性链段嵌段而成的带有活性基团的液体聚合物，在固化过程中会分相，形成“海岛结构”，此结构能在固化过程中抵抗收缩应力，且稳定持久，结构胶固化物本体的断裂韧性比不加奇士增韧剂体系提高近十倍，比采用聚硫橡胶的体系也提高数倍以上，使用得当粘接强度会大幅度提高，同时不降低耐热性。又由于该增韧剂是低粘度液体与环氧树脂及固化剂相容性好，且没有聚硫橡胶或丁腈橡胶的粘滞性。故施工时顺畅，用胶量也减少近四分之一。既节约了成本，又提高了性能。

由于已有专家对此作了深层次研究，本文不再赘述，请参见有关论述。

另外，在制备工艺上，第二代建筑结构胶和第一代建筑结构胶也有相当大的区别。第一代建筑结构胶的制备是采用强力搅拌加低真空抽汽泡，以减少胶液中的汽泡，避免缺陷应力，但是因胶粘剂粘度较大，汽泡难以抽尽且时间长、耗能大，效果不理想且设备投资大。第二代建筑结构胶采用的是分段搅拌，后用三辊机碾压脱汽泡工艺，表面看工艺复杂些，事实上采取此工艺，速度快、效果好。脱汽泡是采用碾压方法，凡是通过碾压的胶液经过研磨机时，汽泡很快压破，总体加工时间反而缩短。而且不用复杂的强力搅拌装置及高功率的抽真空设备，在同等生产能力下，设备投资可减少一半以下。

所以正因有了新的固化剂及增韧剂组成的固化增韧体系，加上新颖的制备工艺就促使第二代建筑结构胶应运而生了。

②技术特性（以 WDZ 粘钢胶为例）

检 测 项 目	WDZ
胶自身拉伸强度/MPa	35.6
胶自身压缩强度/MPa	72.3
胶自身拉伸弹性模量/MPa	17000
钢/钢剪切强度	26.7
钢/钢拉伸强度	42.5
钢/混凝土压剪强度	≥6.0（混凝土破坏）
钢/混凝土拉伸强度	≥6.0（混凝土破坏）
其它	略

第二代建筑结构胶（以 WDZ 胶为代表）的性能优点是如此明显，超过了几乎目前现有的建筑结构胶，故在二 00 一年十二月在湖北省建设厅召开的鉴定会上一致认定“具有国内领先水平”。第二年就获得了建设部“推广项目”、“省建设厅科技成果二等奖”、“武汉市新产品新技术二等奖”。且当年投产（二 00 四年四月正式投产）当年赢利。第二年产值达七百余万，纯利近二百四十万。且用户普遍反映使用效果好，操作应用十分简便且能降低工程造价。又因为采用新材料后，其制造成本比现有的第一代建筑胶要低得多，故有相当强的竞争力。这也是第二代建筑结构胶快速发展的原因之一。

三、第二代建设结构胶应用实例：

1、上海松江自来水公司的钢板加固工程。

上海松江自来水厂在设备改造时，加大了抽水能力，使厂家不能承受较大振动，需要用粘钢法对厂房模具进行补修。笔者此时正在上海回天新材料公司任技术顾问，使带领该公司技术人员开发了第二代建筑结构胶，对十八条模具进行粘接，同时在现场作模块粘接试验。结果全部是混凝土破坏。至今已有三年多效果良好，缩短了工程工期，降低了成本。

2、二 00 二年武汉新华结构体育场改造工程中大量采用了 WDZ 型第二代建筑结构胶（约有近五十吨）使五十年代初建成了混凝土结构，承重能力提高了许多，达到改造后的设计能力，创产值近四百万元。

3、上海回天化工新材料公司研制的石材建筑干挂胶其也是采用新型复合胺增韧固系的第二代建筑结构胶。其表现性能和操作性能与汽巴的建筑结构胶几乎一模一样，

接强度却大于汽巴的强度（剪切强度大于 15MPa，而汽巴干挂胶只有 10MPa 左右）。

4、二 00 二年十二月，河北省某路桥公司邀请笔者到石家庄协助解决此处一立交桥梁穿性裂缝修复工艺，采用碳纤维布进行补强。当时气温在-10℃ 左右，且下着大雪。笔者采用超低温固化的第二代建筑结构胶现场做修补试验。九天后，现场试样做破坏性试验。结果是混凝土破坏。修复该大桥已有两年多，裂缝没有继续扩大。

5、笔者与长沙交通学院合作研制的混凝土快速修复胶，经过近一年多的试验，达到了预计指标：准备在高速公路上应用。

6、上海大舞台加固改造工程。

此工程事关重大，采取招投标制，武汉的 WDZ 胶在众多的建筑胶的竞争中独树一帜，工程方订货十几吨，正在修复中。

7、九江长江大桥路面和桥墩的修复。

也是采用 WDZ 建筑结构胶（含有锚固胶、粘钢胶、碳纤维胶、灌缝胶等），已用一年多，反映良好。

总之，近二、三年来仅武汉大筑公司就已生产销售应用了近三百吨各种类别的第二代建筑结构胶，普遍认为性能好、操作工艺方便、价格低、成本降，正在全国推广使用。其它如上海回天及湖北固城公司也在加固或建筑领域中，大力推广应用第二代建筑结构胶，其发展速度之快，令人瞩目。

四、结语：

第二代建筑结构胶开发应用已有近三年多的时间了，虽然从配方到工艺，从理论到材料的选用已日趋完善和成熟，发展也很快。但是仍有许多需要完善和改进的地方，特别是现代社会竞争日趋激烈，新工艺、新材料也日益涌现，我们还需要不断努力、不断提高、不断推广应用，以满足日新月异发展的需要。开发出更新、更强、更便于使用、更价廉的新型建筑结构胶来。正如俗话说说的“长江后浪推前浪”，我相信在不远的将来，第三代、第四代建筑结构胶将会大量出现，形成一股热潮，为社会主义祖国的建设作出更大的贡献。

[参考文献]：

- 1、贺曼罗.建设结构胶施工应用技术.化工出版社，2001
- 2、杨玉琨等.合成胶粘剂.科学出版社，1980
- 3、武汉大筑建筑科技公司 WDZ 建筑结构胶鉴定报告.2001.12
- 4、混凝土加固技术规范（CECS25.90）.中国计划出版社，1991