

概念加固思想及工程应用

段敬民^{1,2}, 钱永久¹, 张方¹, 曾宪桃²

(1. 西南交通大学桥梁及结构工程系, 成都 610031;

2. 河南理工大学土木建筑工程系, 河南焦作 454000)

[摘要] 提出了工程结构加固中新的思路——概念加固。概念加固是运用人的思维和判断, 从宏观上决定工程加固中的基本问题、基本概念及基本原则, 并阐述了基于“概念加固”思想指导下的整体预应力加固技术, 介绍了在工程加固中的应用实例。

[关键词] 工程结构; 概念加固; 整体预应力加固技术

[中图分类号] TU502; TD823.83 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2005)08-0022-04

1 问题的提出

在工程结构加固研究及实践中, 人们积累了大量有益的工程经验, 并体现在加固规范、加固手册等中。随着计算机技术和计算方法的发展, 计算机及其结构程序在工程结构加固中得到大量的应用, 它给部分结构工程师造成一种错觉, 觉得结构加固很简单, 只需遵循规范、手册, 使用计算机去完成它, 自己只不过是充当了一位东拼西凑的计算机绘图者而已, 这不仅不能有效地运用他们的知识、精力及时间, 对工程结构加固本身也存在很多隐患。提出概念加固的目的是帮助结构工程师把握全局, 正确处理工程实际问题。

2 概念加固及其基本原则

2.1 概念加固及其基本概念

“概念”是指事物的一般规律性特征、主要属性及其与其他事物联系的最本质的表述, 是思维的基本形式之一, 反映了客观世界一般的本质特征。概念加固是根据事物的本质特征, 按一定的目的要求, 运用人的思维和判断, 从宏观上决定工程加固中的基本问题、基本概念及基本原则, 进而制定方

案及实施措施。对结构工程师而言, 概念加固就是对工程结构的受力特征进行分析, 掌握工程结构受力的规律及其真实情况, 用正确的概念指导工作和把握重点, 并有意识地发挥和利用总结构体系与各基本分体系之间的力学关系及特征, 使加固设计的总体结构体系及构造处理符合结构实际受力情况, 构思出高水平的结构加固方案, 创造出优秀的工程加固成果, 达到技术先进, 经济合理, 安全适用。这首先要对结构进行定性分析或称概念分析, 然后进行计算, 对结构进行定量分析。掌握概念加固思想, 使结构工程师不拘泥于现有的结构体系和结构模式, 有了更广阔的创作思路。^[1, 2]

2.2 工程结构概念加固的原则及思路

工程结构概念加固的原则, 是人们根据对力学、结构、材料以及施工技术的认识, 对建筑、结构和设备功能需求的理解, 以及对设计、施工和使用实践的领会, 在总结长期工程加固经验的基础上得到的一些基本要求, 它对做好结构概念加固具有重要的指导作用。概念加固主要有以下几个原则:

1) 三维构思原则 对工程结构实施概念加固, 首先要对其所涉及问题的各个方面作全面的考虑。它包括工程结构和施工方面的考虑及使用、功能、

[收稿日期] 2004-08-26; 修回日期 2004-10-25

[基金项目] 高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划资助项目(A0110719950102); 河南省自然科学基金资助项目(0311051600)

[作者简介] 段敬民(1966-), 男, 河南洛阳市人, 河南理工大学副教授, 国家注册结构师, 西南交通大学博士生, 研究方向建筑结构

技术、经济、美观方面的考虑，以及整体、局部和它们之间关系方面的考虑。这三方面的考虑组成了工程结构概念加固时的三维构思。工程结构方面指结构整体和关键部位受力、变形的合理性，主要结构构件间连接、构造的牢固性、耐久性，所选择结构体系、型式的可靠性、经济性，以及结构所用材料在长期使用环境下的耐久性。施工方面指取材的现实性、成型的可能度、做法的合理性及采取新的施工工艺、施工组织和施工技术。

此外，还要正确对待整体、局部和它们之间的关系。一般先从整体入手，进而考虑一些关键的局部（如主要受力构件类型和连接关系），再回到整体（如结构的整体稳定性、可靠性、耐久性等）上来加以修正，这是一个唯物辩证法的思维过程。

2) 合理受力原则 在对工程结构进行概念加固时，要运用力学原理来处理结构及其构件的受力分析问题。从受力和变形看，均匀受力比集中受力好，空间作用比平面作用好，刚性连接比软连接好，超静定的受力体系比静定的受力体系好，张力简捷比张力曲折好，要避免不明确的受力状态、传力途径，尽量利用结构的对称性、刚度的相对性、变形的连续性和协调性。既要分析整体结构的宏观受力情况，也要分析各部分结构构件的直接受力状态，要善于抓住主要的受力状况及其发生的变形。

从抗力及材料看，尽可能选用以轴向应力为主的受力状态，尽可能增加构件和结构的截面惯性矩和抗弯刚度、抗剪切能力和抗剪刚度，并合理选用材料及构件的截面，做到“因材施用，材尽其用。”

从结构构件自身看，如砌体结构要注意设置好圈梁和构造柱、芯柱，以保证砌体结构的延性和承受不均匀沉降的能力；砼构件要保证弯曲破坏先于剪切破坏，钢筋屈服先于砼压溃，构件自身破坏先于钢筋与混凝土的粘结破坏，以避免发生脆性失效；钢结构构件应避免局部失稳及整个结构构件失稳，以确保钢结构的承载能力和变形能力；构件间的连接应使节点和预埋件的破坏不先于连接件，以便充分发挥构件自身的作用。

3) 空间作用原则 在进行工程结构的概念加固时，应考虑工程结构内各部分结构的空作用，有意识地利用或构造构件间的空间关系，这会使所设计的工程结构加大刚度、减小内力、受力效果好。依其有效性需做到以下几点：a. 加强结构构件的平面外刚度（如在砌筑墙体内设置砼圈梁和构

造柱）；b. 加强平面结构与平面外结构构件的联系（如平面屋架与屋架间支撑的联系）；c. 考虑结构构件间的相互作用（如板与梁间的相互作用）；d. 采用空间结构体系。

4) 减轻自重的原则 结构所承受的荷载包括竖向荷载和水平荷载。其中工程结构自重占竖向荷载的85%以上，水平荷载中的地震荷载与工程结构自重直接相关。所以减轻工程结构自重是概念加固的一条重要原则。它不仅可以减轻结构承受的荷载，而且可以降低工程造价，节约建筑材料。减轻自重可采取的措施有：a. 采用轻质高强材料，如轻集料砼、高性能砼、高强度钢材、冷弯薄壁型钢、多孔或空心砌块、塑料制品等；b. 选择合理的结构布置。

5) 变形协调原则 工程结构概念加固时，应该尽可能做到结构构件各部分的变形协调。

6) 实事求是原则 工程结构概念加固时必须从实际出发处理所遇到的各种问题，要认真考虑当地固有的自然条件、当地当时的资源条件、当地历史形成的人文条件。所以，概念加固时要对当地实际情况进行全面了解和分析，所采取的各种条件要符合当地当时实际可能，所做的概念加固方案必须充分满足未来使用时的实际需要。

3 整体预应力加固技术及工程应用

3.1 整体预应力加固技术

3.1.1 整体预应力加固技术的概念及特点 整体预应力加固技术是基于概念加固思想指导下的预应力加固技术与方法，它是把被加固的对象看做整体，然后施加预应力（通过钢拉杆或钢绞线等）对被加固对象（结构整体）进行加固的方法。通过整体预应力加固，使后加的部分（如钢拉杆或钢绞线等）强迫原结构产生内力重分布，并降低原结构应力水平，致使一般加固结构中所特有的应力应变滞后现象得以消除，因此，后加部分与原结构能较好地共同工作，结构的总体承载能力可显著提高。整体预应力加固法具有卸荷、加固、改变结构内力分布的三重效果，适用于大跨结构加固，以及采用一般方法无法加固或加固效果很不理想的较高应力应变状态下的大型结构加固。

3.1.2 整体预应力加固技术的施工要点 预应力装置（拉杆或撑杆）的锚固件，应用乳胶水泥或铁屑砂浆，并通过膨胀螺栓锚固在坚实的混凝土基层

上, 结合面应进行粗糙和清洁处理。预应力施加方法应根据施工条件及预应力值大小确定。预应力较大时, 宜用机械法张拉或电热法张拉, 预应力值较小时, 可用横向张拉、竖向张拉及花篮螺栓等张拉方法, 对于预应力撑杆还可以采用钢楔楔顶法。

电热法、横向张拉、竖向张拉及楔顶法等预应力施加方法, 其变形控制量 Δ , 应以拉杆或撑杆真正开始受力时的值作为张拉的起始点 (零点)。多点横向张拉及竖向张拉, 各点张拉螺栓应同步进行拧紧。预应力撑杆加固柱, 撑杆与构件之间宜采用环氧树脂灌浆湿式连接, 此时, 缀板 (连接箍板) 宜紧贴构件结合表面与角钢平焊连接。另外, 预应力拉杆、撑杆、缀板、及各种锚固连接件, 均应采用有效的防腐、防火等耐久性保护措施。

3.2 地下开采引起的民用房屋的工程加固实例

3.2.1 工程概况 该工程位于河南某矿区, 由于地下开采引起地表的移动和变形, 将会使地表发生不均匀沉降, 引起地表村庄部分建筑物墙体开裂。为了保护地表村庄的建筑物, 使之免遭地下开采而引起墙体开裂及其他破坏, 采取了基于概念加固的整体预应力加固技术。

3.2.2 加固方案的优选 针对地下开采引起地表的移动和变形, 应根据建筑物的破坏情况具体分析: a. 对于尚未受到采动影响, 还未开裂的建筑物, 建议预先采用整体预应力加固 (或称采前整体预应力加固), 防患于未然; b. 对于已经受到采动影响而引起开裂的建筑物, 采取整体预应力加固, 使之加固后的墙体裂缝不再增大或者通过施加预应力使之变小。

3.2.3 预应力损失的计算^[3] 根据实际情况, 预应力损失包括以下3部分。

1) 张拉端锚具变形和钢筋松动引起的预应力损失

$$\sigma_{l1} = aE_s/l,$$

其中 a 为张拉端锚具变形和钢筋内缩值 (mm), l 为张拉端与锚固端之间的距离 (mm), E_s 为预应力钢筋的弹性模量。

2) 钢筋松弛引起的预应力损失

$$\sigma_{l4} = 0.4\psi(\sigma_{com}/f_{ptk} - 0.5)\sigma_{com},$$

其中 ψ 为张拉系数, 取 $\psi = 1.0$; σ_{com} 为预应力钢筋的张拉控制应力 (N/mm^2); f_{ptk} 为预应力钢筋强度标准值 (N/mm^2)。

3) 混凝土收缩、徐变引起的预应力损失

$$\sigma_{l5} = (45 + 280\sigma_{pc}/f'_{cu})/(1 + 15\rho),$$

$$\rho = (A_p + A_s)/A_o,$$

其中 σ_{pc} 为受拉区预应力钢筋在合力点处混凝土法向压应力 (N/mm^2), f'_{cu} 为施加预应力时的混凝土立方体抗压强度 (N/mm^2), ρ 为受拉区预应力钢筋和非预应力钢筋的配筋率, A_p 为受拉区预应力钢筋截面面积 (mm^2), A_s 为受拉区非预应力钢筋截面面积 (mm^2), A_o 为混凝土的总换算截面面积 (mm^2)。

加固计算按当时的《混凝土结构设计规范》(GBJ10-89) 中预应力混凝土结构有关计算公式进行。

3.2.4 整体预应力加固工艺 该类建筑物平面形式以矩形三个开间者居多, 以三开间的房屋为例进行说明, 平面图如图1所示, 施工工艺如下: a. 先施工加固四角的构造柱, 墙体与构造柱的连接构造做法如图2所示, b. 然后在房屋的 ± 0.000 处及

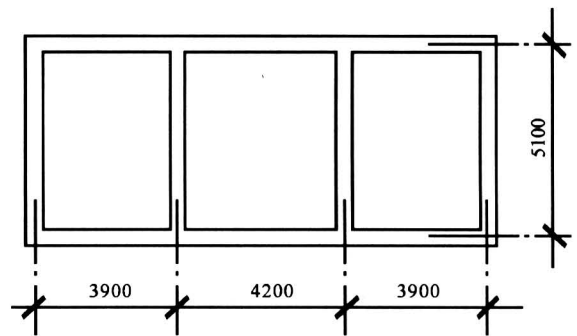


图1 平面示意图

Fig.1 Plane sketch figure

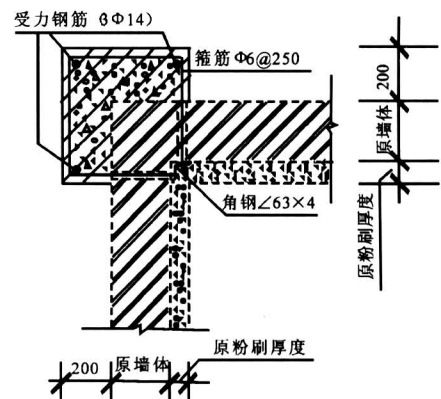
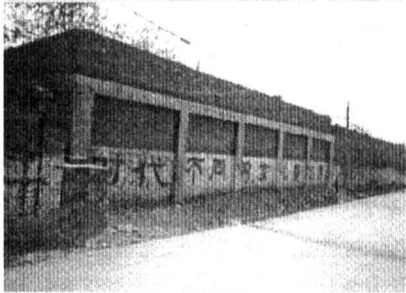


图2 构造柱与墙体的结合

Fig.2 Combination of constructional column and wall

在房屋顶部位置施加预应力混凝土圈梁进行加固。



a. 采前加固的房屋



b. 采前未加固的房屋

图3 加固效果对比图

Fig.3 Reinforcement result contrast figure

具体做法：先张拉预应力钢筋，然后再浇筑普通混凝土圈梁，混凝土的作用起到普通混凝土圈梁的作用和预应力钢筋保护层的作用。

3.2.5 加固后的效果及分析 加固的效果如图 3a 所示，墙体尚未发现裂缝，使用效果良好。图 3b 为其邻近的建筑物，采前未进行加固，可见其受地表移动和变形后的墙体开裂情况，裂缝宽度达 80 mm。

4 结语

概念加固能为结构工程师拓宽思路，指点迷津，提高效率，能帮助结构工程师把握全局，正确处理工程实际问题。工程加固问题应立足于工程结构加固的基本概念、基本理论及长期工程结构加固经验的总结。掌握概念加固方法，能使结构工程师不拘泥于现有的结构体系和模式，使工程结构加固工作适应时代的要求，变得富有创造性。

参考文献

- [1] 林同炎 [美], S·D·斯多台斯伯利. 结构概念和体系 (第2版) [M]. 高立人, 方鄂华, 钱稼茹译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999
- [2] 罗福午编著. 建筑结构概念设计及案例 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2003
- [3] 吴培明主编. 混凝土结构(上), 第2版 [M]. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003

The Thought of Conception Reinforcement and Its Engineering Application

Duan Jingmin^{1, 2}, Qian Yongjiu¹, Zhang Fang¹, Zeng Xiantao²

(1. Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

2. Henan Polytechnic University, Jiaozuo, Henan 454000, China)

[Abstract] The paper puts forward a new thought in engineering structural reinforcement—conception reinforcement. In this thought, the basic question and basic principle of engineering structural reinforcement is determined macroscopically, using human being's thinking and judgment. The paper describes the whole prestressing reinforcement technology, and expounds an engineering example.

[Key words] engineering structure; conception reinforcement; whole prestressing reinforcement technology