

设计经验

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.08.010

## 建筑给排水隔震柔性管道设计方法

李安达, 孙颖慧, 叶烈伟, 徐立波, 师前进, 何晓微  
(中国建筑标准设计研究院有限公司, 北京 100048)

**摘要:** 目前业内隔震建筑技术体系研究主要侧重于建筑结构专业,而各种管道系统在隔震建筑中的研究和应用报道相对较少。为了适应隔震建筑在地震灾害中隔震层的罕遇地震水平位移要求,对隔震层中设置的建筑给排水隔震柔性管道材质类型、设计安装以及位移变形进行了分析和介绍,并以唐山新华文化广场项目为例介绍了几种典型位置的隔震柔性管道设计方法、细部构造做法和应注意的设计事项。还介绍了柔性管道系统的后期维护管理方法,以确保隔震柔性管道能够随时发挥作用、震后建筑物可以正常使用。

**关键词:** 隔震建筑; 隔震层; 柔性管道; 设计做法; 维护管理

**中图分类号:** TU99 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2021)08-0059-06

## Design Method of Flexible Pipeline for Building Water Supply and Drainage Isolation

LI An-da, SUN Ying-hui, YE Lie-wei, XU Li-bo, SHI Qian-jin, HE Xiao-wei  
(China Institute of Building Standard Design & Research Co. Ltd., Beijing 100048, China)

**Abstract:** At present, the research of seismic isolation building technology system is mainly concerning building structure, while the research and application reports of various pipeline systems in seismic isolation building are relatively few. In order to adapt to the requirement of horizontal displacement of isolation layer in earthquake disaster, we analyzes and introduces the material type, design and installation, displacement and deformation of building water supply and drainage isolation flexible pipeline in isolation layer. Taking the project of Xinhua cultural plaza in Tangshan as an example, the design methods, detailed construction method and design matters of several typical locations of isolation flexible pipeline are introduced. The way to strengthen the later maintenance management of the flexible pipeline system is proposed, to ensure that the isolation flexible pipeline can play a role at any time, and the buildings can be used normally after the earthquake.

**Key words:** seismic isolation building; isolation layer; flexible pipeline; design practice; maintenance management

建筑隔震技术通过在建筑物基础或下部与上部结构之间设置由隔震器、阻尼装置等组成的隔震层,有效降低上部结构的水平地震破坏作用,从而实现对建筑本身、内部设施的多方位保护,震后无需修复即可继续使用的目的。

虽然建筑隔震技术是当下建筑抗震工程领域的

研究热点,但目前业内隔震技术体系研究主要侧重于建筑结构专业,而隔震建筑中的另一重要关键元素——柔性管道却往往被忽视。震后管道能否正常工作对于建筑功能和建筑安全均存在重要影响,它关系到隔震建筑的震后整体安全性、可持续使用,避免震时隔震层管道破坏而引起次生灾害。在隔震层

进出建筑的给排水管道类型多、数量大,且相对分散,在隔震建筑中柔性管道的设计与施工面临着巨大挑战。因此需要对柔性管道的设计要求、产品开发及施工技术等进行系统性深入研究,但笔者发现当下建筑隔震研究领域对隔震柔性管道的研究严重不足,一方面各种管道系统在隔震建筑中的研究相对较少,使得工程师在隔震工程设计中缺少系统性的理论参考;另一方面是柔性管道在隔震建筑的实际工程中应用效果不佳。《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010,2016 年版)要求,穿过隔震层的设备管道,应采用柔性连接或其他有效措施以适应隔震层的罕遇地震水平位移。但实际调研中发现很多隔震建筑中管道系统采用的柔性连接,在设计、产品开发及施工技术等方面水平参差不齐,远远达不到地震位移变形要求,甚至严重影响隔震支座效果的发挥,从而使上部结构更容易损坏。

笔者系统性地研究了建筑隔震柔性管道技术体系,包括相关规范要求、产品的正确选型、安装方式以及注意事项等内容,并以唐山新华文化广场项目为例介绍几种典型位置的隔震柔性管道设计方法、细部构造做法和应注意的设计事项。同时阐述如何加强对柔性管道系统的后期维护管理,确保隔震柔性管道能够随时发挥作用,震后建筑物可以正常使用。旨在为今后建筑隔震柔性管道的抗震设计和应用及维护研究提供重要参考,为设计人员提供解决方案,促进建筑隔震体系的完善发展。

## 1 建筑隔震柔性管道技术体系

隔震层构造示意图 1。

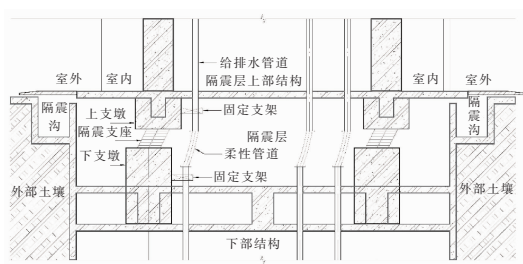


图1 隔震层构造

Fig. 1 Isolation layer structure

隔震建筑所特有的隔震层,多数设在首层与地下室之间,也可设在底部基础之上,是安装隔震支座、阻尼器及相关构件的结构层<sup>[1]</sup>。地震变形主要集中在隔震层,隔震构件位移范围内不允许有障碍物,同时要考虑经常性的检查与维护,需要有一定空

间。隔震层的特殊性导致一般不在其空间设置其他建筑功能。

### 1.1 规范要求

《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2010,2016 年版)第 12.1.3 条、《建筑机电工程抗震设计规范》(GB 50981—2014)第 3.1.8 条、《建筑隔震工程施工及验收规范》(JGJ 360—2015)第 5.4.1 条,均要求穿过隔震层的设备管道应采用柔性连接或其他有效措施。于 2018 年实施的行业标准《建筑隔震柔性管道》(JG/T 541—2017)规定:设备管道穿过隔震层时设置的能满足隔震层相应水平位移要求的柔性管材,称为建筑隔震柔性管道。

### 1.2 隔震柔性管道技术体系

地震时,在隔震层内上部结构与基础之间发生相对水平位移变形,一方面确保设备管道不能阻碍隔震层的位移从而影响减震效果的发挥,另一方面需要避免由于隔震层发生位移导致管道的挤压、扭曲、拉断引起的次生灾害。根据日本国内机构统计,从 1995 年—2012 年间建成的 979 栋隔震建筑,隔震层在地震中最大水平位移平均约为 370 mm<sup>[2]</sup>。这么大的水平位移,需要建筑隔震柔性管道有足够的变形能力。同时,穿越隔震层的各类管道,涉及给水、排水、消防、燃气、医疗供气等系统管道,选择隔震柔性管道产品类型时,不仅需要考虑不同系统对压力、温度以及卫生等的要求,而且要结合隔震层管道综合考虑安装空间的要求。

《建筑隔震柔性管道》(JG/T 541—2017)标准中的三种产品,隔震金属软管、隔震橡胶软管以及隔震 PVC 伸缩管分别能够满足不同系统的特殊要求以及安装空间要求。

#### 1.2.1 隔震金属软管技术分析

外部包裹金属网套的金属波纹管,称作波纹金属软管,也叫金属软管<sup>[1]</sup>,构造见图 2。

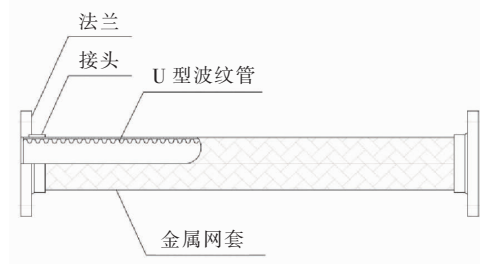


图2 金属软管构造

Fig. 2 Structural drawing of metal hose

与传统伸缩缝、沉降缝位置的金属软管不同,隔震金属软管需要满足水平任意方向 300 ~ 500 mm 左右的变形要求。由于需要满足大变形要求,隔震金属软管的内壁厚度只有零点几个毫米,轴向受力易塑性损伤,因此隔震金属软管不可轴向拉伸和压缩<sup>[3]</sup>。

隔震金属软管通常用在给水、消防等压力管道系统,可以分为水平安装体系和竖向弯曲安装体系。其中水平安装时,为适应地震水平任意方向变形且金属软管轴向不能变形,安装形式必须为水平 L 型,弯头处为滑动固定,水平安装和变形示意如图 3 所示。竖向安装时,隔震金属软管必须为竖向弯曲线型,利用弯曲富余长度来补偿由于水平变形所导致的竖向伸长,竖向安装和变形示意如图 4 所示。图 3、4 中  $L$  为柔性管道长度, $A$  为最大允许位移。

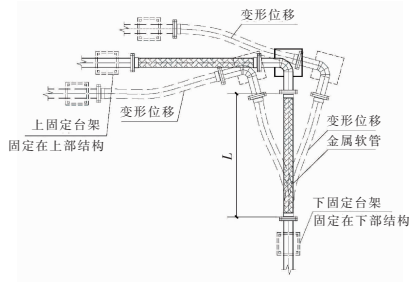


图3 金属软管水平安装和变形示意

Fig.3 Schematic diagram of horizontal installation and deformation of metal hose

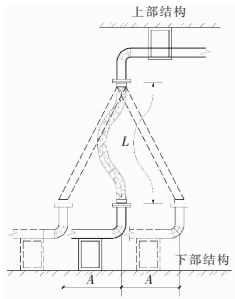


图4 金属软管竖向安装和变形示意

Fig.4 Schematic diagram of vertical installation and deformation of metal hose

### 1.2.2 隔震橡胶软管技术分析

隔震橡胶软管由内胶层(合成橡胶)、补强层和外胶层(合成橡胶)组成,构造见图 5。其中补强层由特殊的合成材料编织构成,通过对补强层材料进行优化设计,隔震橡胶软管可承受不同强度的压力和变形。

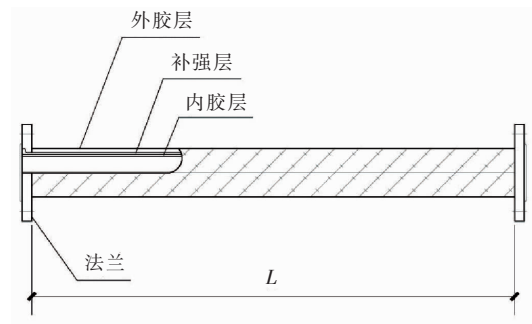


图5 橡胶软管构造

Fig.5 Rubber hose structure

与隔震金属软管不同的是,隔震橡胶软管具有优良的可弯曲性和伸长率,在极小安装空间内即可适应隔震位移要求。根据橡胶软管构造特点,可分为承压和无压两种。承压软管最高工作压力可达 1.6 MPa,主要适用于暖通供水压力管道,采用合成阻燃橡胶材料制作的橡胶软管,满足相应的消防耐火需求时,也可以用于消防供水系统。承压橡胶软管通常采取竖向安装形式,隔震层发生水平任意方向位移时橡胶软管利用本体的伸长来满足变形要求。竖向安装和变形示意图见 6。无压软管主要适用于排水和雨水系统,水平和竖向安装均可。竖向安装时变形原理同承压软管。水平安装时采取单向安装,隔震层发生水平位移时,水平橡胶软管发生相应的压缩和拉伸变形,此时对橡胶软管的伸长率通常要求在 30% 以上,在特殊极小安装空间内伸长率达到 50%。水平安装形式和变形示意图见 7。

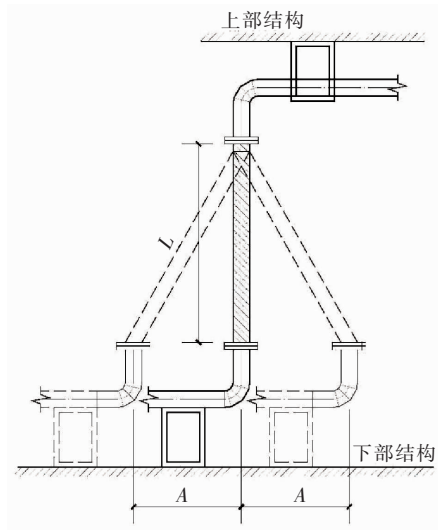


图6 橡胶软管竖向安装和变形示意

Fig.6 Schematic diagram of vertical installation and deformation of rubber hose



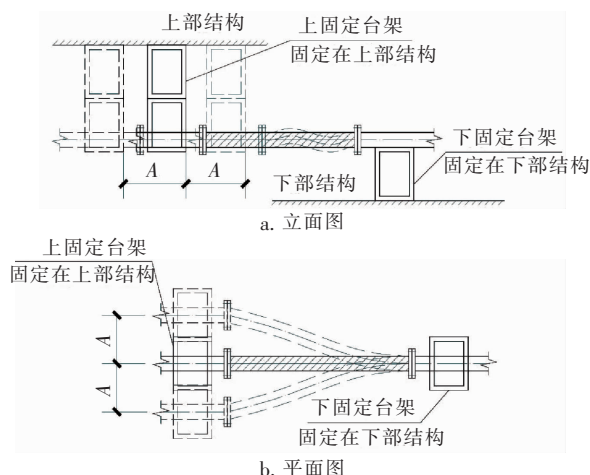


图7 橡胶软管水平安装和变形示意

Fig. 7 Schematic diagram of horizontal installation and deformation of rubber hose

### 1.2.3 隔震 PVC 伸缩管技术分析

由 PVC-U 材质制作的一种两端为密封球头,中间为可伸缩的内外套(管)简组合成的构件,称为隔震 PVC 伸缩管,其构造见图 8。

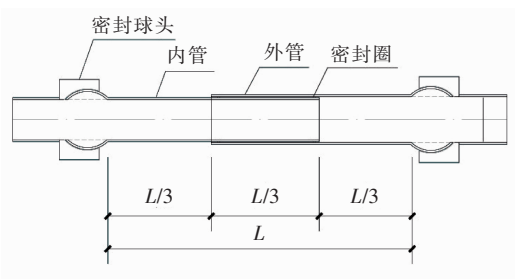


图8 PVC 伸缩管构造

Fig. 8 PVC expansion pipe structure

调节伸缩节长度可满足轴向的伸缩变形量,两端的密封球头,多向角度旋转,可满足径向变形需求。因此基于以上特性,隔震 PVC 伸缩管为水平单向安装,且只适用于排水和雨水系统。PVC 伸缩管两端密封球头与刚性管道连接时,可选择粘接、柔性橡胶圈卡箍连接等方式。隔震 PVC 伸缩管安装形式和变形示意图见图 9。

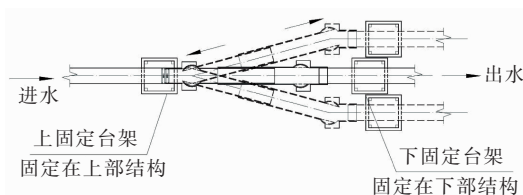


图9 PVC 伸缩管安装和变形示意

Fig. 9 Schematic diagram of PVC expansion pipe installation and deformation

## 2 隔震建筑柔性管道设计案例分析

唐山新华文化广场项目始建于 2013 年,位于地震频发的高烈度地区河北省唐山市中心区域,地下 4 层,地上 29 层,建筑高度(酒店)120 m,总建筑面积 241 257 m<sup>2</sup>,地下二层及以下为车库,地下一层为商业,地上裙房为商业,塔楼为酒店、办公等功能。本项目隔震层设置在 0.00 ~ -2.2 m 之间,采用柱顶隔震的橡胶隔震支座形式,是国内较早采用隔震建筑技术的超高层建筑,也是当时世界上最大的单体隔震建筑。项目鸟瞰效果图见图 10。



图10 鸟瞰效果图

Fig. 10 Aerial view renderings

本项目给排水进出楼管道、机房向上供水管道、地上建筑收集排放雨污水管道等都汇集经过隔震层,隔震层空间狭窄且隔震措施复杂。在有限空间采用隔震柔性管道体系,需合理选择柔性管道和安装空间,以应对隔震层要求的允许最大位移。隔震柔性管道两端所能发生的最大相对水平位移称为最大允许位移。最大允许位移不应小于隔震层在罕遇地震最大水平位移的 1.2 倍<sup>[4]</sup>。

隔震柔性管道设计时要注意:应减少设备管线与上下结构固定支撑的边界变化,甚至是不变,应通过合理设计减少柔性管道的设置,应合理选择柔性连接以简化隔震柔性管道布置。根据柔性管道特性,可适当选择橡胶软管代替金属软管,竖向(水平)单根软管代替水平双向软管设置。

### 2.1 管道进出建筑穿外墙(隔震沟)的设计做法

给水、热水系统等有压管道穿隔震层外墙时,因橡胶软管不适用于给水,金属软管不可轴向伸长,故采用金属软管水平双向 L 型布置的方式解决。消防供水、冷却循环水、压力污水等管道根据简化原则,直接采用水平或竖向单根橡胶软管布置的方式。雨水、污水管道可采用橡胶软管、PVC 伸缩管的水

平单向布置方式。设于地下室外墙附近的立管,进入隔震层不能直接从外墙出户,可考虑平行外墙方向设置柔性管道出外墙,竖向有足够高度时,也可以考虑竖向设置柔性管道解决此问题。采用PVC伸缩管安装时应注意内管一侧与上部结构固定,外管侧与下部结构固定。出户管做法见图11。

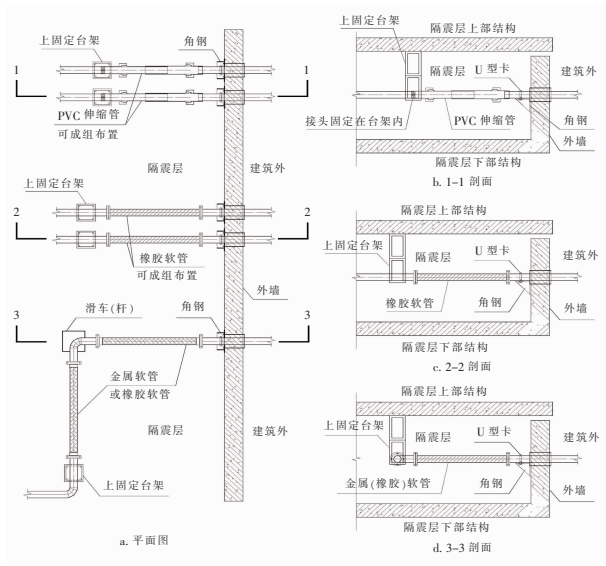


图11 出户管穿墙安装示意

Fig. 11 Installation diagram of exit pipe crossing wall

## 2.2 管道竖向穿越隔震层的设计做法

穿越隔震层连接上下部结构区域的有压供水立管、排水立管,可采用金属软管、橡胶软管满足最大允许位移。普通建筑内给排水管道设计与安装时,为便于安装立管,应尽量靠近墙壁、柱边敷设固定。与普通建筑内不同,穿隔震层的柔性管道靠近墙或柱子敷设安装时,刚性管段不得超过上支墩底标高,不可避免时,设计时应计算管道与墙、柱的净距大于罕遇地震最大水平位移。立管做法见图12。

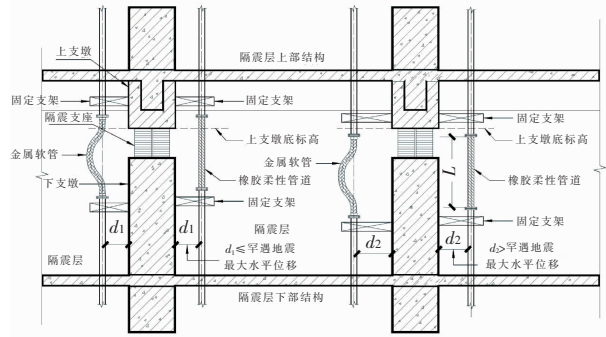


图12 竖向穿越隔震层管道做法示意

Fig. 12 Schematic diagram of vertical pipeline crossing the isolation layer

## 2.3 管道穿越隔墙的设计做法

悬吊敷设于隔震层内的管道,穿越下部隔墙时,需要在隔墙两侧设置柔性管道连接抵抗震时位移的破坏,通常采用金属软管水平双向L型布置或橡胶软管水平单向布置。为减少穿越隔墙而设置柔性管道,管道尽量在隔震缝以上安装,或者隔震缝降低标高至敷设管道下面设置。横穿隔墙管道做法见图13。

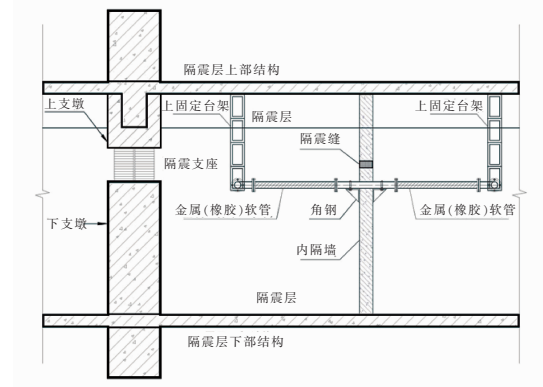


图13 穿越隔墙管道做法示意

Fig. 13 Schematic diagram of pipeline crossing partition wall

## 3 维护管理

### 3.1 维护目的

所有建筑都需要维护管理,尤其隔震建筑构造特殊,必须加强对隔震层、隔震层内柔性管道连接、设备管线及其他构件的定期检查和维修,以确保隔震建筑随时发挥功能,震时建筑物可安全自由晃动,震后正常使用,保障建筑物的安全。

### 3.2 维护方法

根据我国实际情况,总结出一套适用的管理措施。首先,竣工验收时要进行必要的检查。第二,业主或者物业管理单位平时要仔细检查建筑物的使用情况,及隔震部件的变化情况,一般每年2次,如出现异常能及时发现问题,防止危险。第三,需要组织技术专家进行定期检查,发现平时不能确定的异常和故障。竣工后,按照1、3、5年,然后每隔10年进行定期检查,检查隔震层部件老化、失效等问题,必要时进行实验,以确定隔震设备性能变化。第四,发生地震、火灾、水淹等灾害后,应立即进行隔震层的临时检查,以确认隔震柔性管道及其他构件的正常使用<sup>[5]</sup>。此外,建立维护管理体制非常重要,确立负责人制度,由制度管理人员和技术,确保隔震机能正常运行。

#### 4 结论

柔性管道在建筑震后的整体安全性、可持续使用上极为重要,必须进行深入与系统性的研究,在设计阶段就充分考虑柔性管道正确选型、细部构造做法、安装方式以及维护应用等内容。

首先,隔震建筑给排水柔性管道设计,应由专业技术人员进行专项深化设计,同步进行抗震支吊架的深化设计,二者应有机结合。再者,施工时应严格按照深化设计的要求,保证隔震层发生罕遇水平位移时,隔震柔性管道发挥作用,震后建筑物才能正常使用。第三,隔震建筑柔性管道要达到隔震效果,必须建筑、结构、机电设备各专业密切配合,实现隔震建筑技术统一结合才能发挥它应有的作用。

随着国家经济和综合国力的增长以及隔震设备技术的发展和完善,相信震区采用隔震建筑技术体系的隔震建筑会越来越多,隔震柔性管道体系作为隔震建筑不可或缺的一部分,也会发挥它的重要作用。

#### 参考文献:

- [1] 住房和城乡建设部. 建筑隔震柔性管道: JG/T 541—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.  
Ministry of Housing and Urban-Rural Development. Flexible Connections for Seismically Isolated Buildings: JG/T 541—2017[S]. Beijing: Standards Press of China, 2017(in Chinese).
- [2] QU Z, KISHIKI S, NAKAZAWA T. Influence of isolation gap size on the collapse performance of seismically base-isolated buildings[J]. Earthquake Spectra, 2013, 29(4): 1477—1494.
- [3] 全国管路附件标准化技术委员会. 波纹金属软管通用技术条件: GB/T 14525—2010[S]. 北京: 中国标准出版社, 2011.  
China State Technical Committee for Standardization of Pipe Fittings. General Specification for Corrugated Metal Hose Assemblies: GB/T 14525—2010[S]. Beijing: Standards Press of China, 2011(in Chinese).
- [4] 中国工程建设标准化协会工程抗震委员会. 叠层橡胶支座隔震技术规程: CECS 126: 2001[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.  
Committee of Seismic, China Association for Engineering Construction Standardization. Technical Specification for Seismic-Isolation with Laminated Rubber Bearing Isolators: CECS 126: 2001[S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001(in Chinese).
- [5] 日本免震构造协会. 减震建筑设计与细部[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2002.  
Japan Earthquake-Free Tectonic Association. Shock Absorption Architectural Design and Details[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2002(in Chinese).

**作者简介:** 李安达(1979—), 男, 河北安国人, 本科, 高级工程师, 注册公用设备工程师, 所总工程师, 主要从事建筑给排水设计及研究工作, 曾获2019年度北京市优秀工程勘察设计奖水系统工程(建筑给排水)专项奖二等奖、2017年北京市优秀工程勘察设计综合奖二等奖、北京市第16届优秀工程设计二等奖。

**E-mail:** 9468312@qq.com

**收稿日期:** 2020-03-16

**修回日期:** 2020-06-28

(编辑: 孔红春)

科学防御水旱灾害, 有效促进人水和谐