

磁铁在库房文物防震保护中的设计应用

赵守江¹, 戴君武²

(1.故宫博物院, 北京 100009; 2.中国地震局工程力学研究所, 哈尔滨 150080)

摘要: **目的** 探究磁铁吸附这一传统文物防震方法, 解决库房文物防震工作薄弱、措施单一等问题。**方法** 筛选出钕铁硼和橡胶磁 2 种磁体, 根据它们自身特性并借鉴硬囊与软囊的防护理念, 分别设计文物防震保护方案, 并理论分析其可行性。**结果** 2 种方案均具有可行性, 如外径 30 mm、厚度 3 mm、剩磁为 1.19 T 的钕铁硼能吸起 25 kg 左右的重物, 可直接用来支固较重文物; 橡胶磁剩磁约 0.2 T, 可间接固定密度为 0.03 g/cm³ 的 EPE 缓冲泡沫, 防止文物碰撞。两者相辅相成。**结论** 利用磁性能提出的磁铁在库房文物防震保护中的 2 种应用方案具有制作成本低廉、操作灵活等优点, 依据文物情况合理设计即可达到防震要求。磁铁在库房文物的防震保护中具有较高的应用价值。

关键词: 钕铁硼; 橡胶磁; 防震; 措施; 文物; 库房

中图分类号: TB482.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)19-0080-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.19.015

Design Application of Magnet on Shock Protection of the Cultural Relics in Storerooms

ZHAO Shou-jiang¹, DAI Jun-wu²

(1.Palace Museum, Beijing 100009, China; 2.Institute of Engineering Mechanics,
China Earthquake Administration, Harbin 150080, China)

ABSTRACT: The work aims to study the shockproof measure of magnet (a traditional cultural relic) adsorption to solve such problems as weak shockproof work and unitary measures for the cultural relics in the storerooms. Nd-Fe-B magnet and rubber magnet were screened. According to their own characteristics and in reference to the protection ideas of hard packing and soft packing, the shockproof schemes of the cultural relics were respectively designed and the theoretical analysis on their feasibility was carried out. The two schemes were feasible. For example, a Nd-Fe-B magnet ($B_r=1.19$ T) with 30 mm in diameter and 3 mm in thickness could absorb the weight of 25 kg and be used to support the heavier cultural relics. The rubber magnet ($B_r=0.2$ T) could indirectly fix EPE cushioning foam with density of 0.03 g/cm³ to prevent the collision of cultural relics. Both magnets supplemented each other. The two application schemes for the shock protection of cultural relics in the storerooms by the magnet put forward based on magnetic property are featured by low production cost and flexible operation. The reasonable design made according to the conditions of the cultural relics can reach the shockproof requirements. The magnet has higher application value in the shock protection of cultural relics in the storerooms.

KEY WORDS: Nd-Fe-B; rubber magnet; means of shockproof; cultural relic; storeroom

磁性材料是功能材料的重要分支, 其品种繁多, 应用也非常广泛。以静磁特性——矫顽力来分类的话, 可将其简单分为 3 类: 软磁材料、硬磁材料、半硬磁材料^[1]。硬磁材料和软磁材料的主要区别是硬磁材料的矫顽力大, 经技术磁化到饱和后去除外磁场,

仍能长期保持很强的磁性, 因此硬磁材料又通常被称作永磁材料。硬磁材料在日常生活中较为常见, 一般被俗称为磁铁。

现代工业与科学技术广泛应用的永磁材料有铸造永磁材料、铁氧体永磁材料、稀土永磁材料和其它

收稿日期: 2018-05-29

作者简介: 赵守江 (1984—), 男, 硕士, 主要研究方向为可移动文物防震保护。

永磁材料四大类^[2]。在人类寻找性能更高的永磁材料的同时,其应用领域也在不断扩大。由于具有强磁性,能够通过磁场对附近的金属(铁、钴、镍等)产生磁力作用,因此,在文物保护中,磁铁通常被用来固定文物,其功能类似于胶粘,但又相对灵活和可逆。作为一种传统的文物防震保护措施,磁铁的应用在很多文献^[3-5]中均有所提及,但都没有更深入的探讨具体使用方法。

防震是文物预防保护的一项重要内容,而文物库房是防震工作的重点区域。近年来,我国发生的多起强震给当地以及周边地区的库房文物造成了巨大破坏^[6-8],促使文物保管部门必须提前做好文物防震保护措施。库房内文物往往种类繁多,造型各异,很难统一采用囊匣保存的方式,因此,文物防震须根据现状权衡利弊,合理选择防震措施。文中尝试借助磁铁对库房内的文物进行保护,不仅有利于扩充库房文物的防震手段,而且还能有效地解决一些文物保存难题,在文保领域拥有较高的借鉴价值。



a 无防震措施



b 简易防震措施

图1 库房文物存储状况

Fig.1 Storage status of cultural relics in storeroom

文物防震的关键在于如何避免物体倾覆以及如何减轻或阻止碰撞。目前,博物馆可移动文物的传统防震方法有:降低重心法,降低文物的重心或增大文物与台面接触面积;固定法,将藏品采用栓、卡、粘、吸、支等方式与台面固定;减震法,适当添加柔性减震材料;装箱、匣法,将文物收藏于具有减震效果的软匣、箱内,或稳固的框架支撑内。相较于展陈文物,库房内的文物没有观赏性的要求,采用囊匣包装是较为稳妥的一种防震方式。故宫博物院曾在中国建筑科学研究院抗震实验室进行过密集柜与囊匣地震模拟试验。试验验证了囊匣包装的可靠性。传统囊匣的制作工艺较为复杂,耗时耗力,而且博物馆库房的文物藏品由于种类较为庞杂,形态各异,也很难采用一刀切的囊匣包装方法,亟需根据现实情况灵活选择防震措施。

鉴于此,可转变思路——把文物储藏柜作为“大囊匣”,采用栓、卡、粘、吸、支等方式将文物固定

1 库房文物的防震现状

博物馆文物,除用于展陈外,剩余几乎都保存在库房内。据国家文物局公布数据显示,我国博物馆文物展出率平均不足2.8%,最低的仅有1.2%。一旦库房文物没有采取有效的防震措施,后果将极为惨重。如汶川地震中,四川省文博单位受损的可移动文物4379件(套),库房受损文物就有4280件(套),占受损文物的97.7%。

现今,博物馆对库房文物的保存环境如温湿度、空气质量等都有了一定认识,但防震意识依旧比较淡薄,防震措施欠缺——文物大多被简单地裸放于隔板之上,没有稳固措施。高宽比大的文物极易在地震下摇摆或倾倒;密集摆放的文物也容易彼此碰撞,甚至与柜体内壁碰撞而造成损坏,尤其是脆性文物(陶器、瓷器、玻璃等)。后期在文物之间零星塞入的一些缓冲材料(如棉垫、海绵、EPE泡沫等)也无法达到令人满意的防震效果(图1)^[9]。

在“大囊匣”内。由于铁质金属柜被越来越广泛地用作博物馆的文物存储柜,这也使得磁铁在库房中的应用成为可能。

2 磁铁在文物防震中的方案设计

选用2种市面上常见的磁体:一种是Nd-Fe-B系永磁体,该磁铁是第三代稀土永磁材料,磁性能高,且不含有战略金属钴与镍,相对价格较低;另一种是橡胶磁,它一般由铁氧体磁粉和天然橡胶粉经挤出、压延、注射等工艺而制成的,具有柔软性、弹性及可扭曲性。2种磁体在家庭、学校、办公等场合都极为普遍,是较理想的磁性材料。

设计方案从2个方向扩展思路:一种是利用磁体提供支撑力,用杆件支固文物,类似于传统的硬囊防护理念;另一种是储藏柜内加缓冲材料,并用磁铁固定住。这种方法类似于囊匣的软囊设计。

2.1 设计方案 1

磁铁保护方案的第 1 种设计思路,关键在于磁铁吸附力的大小。选用的 NdFeB 永磁体在 1983 年被发现,经历了 30 多年的历程,其磁性能也在逐年提高。做为现阶段拥有最强磁力的永磁体(表 1^[2]),在空气隙产生相同磁场,需要 NdFeB 磁铁的体积是铁氧体的 1/6, AlNiCo 永磁体的 1/5, 马氏体磁钢的 1/60。这使得磁铁能够实现小型化和轻型化,更便于在文物保护中推广应用。

表 1 NdFeB 与其他永磁材料性能参数
Tab.1 Performance parameters of Nd-Fe-B and other permanent magnet materials

永磁材料	B_r/T	$H_{cb}/(kA \cdot m^{-1})$	$H_{cj}/(kA \cdot m^{-1})$	$(BH)_m/(kJ \cdot m^{-3})$	μ_{rec}	α_{Br}
NdFeB (46BH)	1.36	1035	1114	358	1.05	-0.11
2:17 型 Sm-Co	1.12	533	549	247	1.05	-0.03
铁氧体	0.44	223	231	36.0	1.10	-0.18
AlNiCo	1.15	127	127	87.6	1.30	-0.02

导磁材料所在区域的磁场分布很复杂,使得直接依据经典电磁理论^[10]积分求解磁场力比较困难。实际使用中,一般假设磁场在导磁材料所在区域分布均匀一致,又因导磁材料磁导率较大(即 $\mu_r \gg 1$),这样根据磁路设计,磁场力公式简化为:

$$F = \frac{\mu_r - 1}{2\mu_0\mu_r} \nabla B^2 \approx \frac{\mu_r - 1}{2\mu_0\mu_r} B^2 S \approx \frac{1}{2\mu_0} B^2 S = \frac{1}{2} BHS \quad (1)$$

式中: μ_r 为磁介质相对磁导率; μ_0 为真空磁导率; B 为磁场与导磁材料作用面处的磁感应强度; H 为磁场与导磁材料作用面处的磁场强度; S 为磁场与导磁材料作用面的面积。公式采用 SI 单位制,即式中 F, B, H, S 单位分别为 N, T, A/m, m^2 。

由于导磁材料所在区域磁场分布并非均匀一致,而且磁体与导磁材料所构成的磁路存在漏磁,因此,式(1)误差较大,仅用于简单的磁力估算。借助于有限单元法不仅可以分析更复杂的情形,而且结果也更加准确。

取一规格为外径 30 mm,内径 4 mm,厚度 3 mm,牌号为 N35 的 NdFeB 磁体 ($B_r=1.19$ T),放置于外径 90 mm,厚度 1.5 mm 的铁板上(见图 2),用虚功原理和 Maxwell 应力法计算磁吸力约为 18.7 N。该吸力相当于能吸起 1.9 kg 的物体。

为了充分利用永磁材料的性能,并减弱永磁材料的周围磁感应强度,通常可以进行一些简单的磁路设计——选用磁导率较高的铁磁材料(如硅钢、坡莫合金等)将永磁体半包裹。由于铁磁材料的磁导率远高于空气,磁通将主要集中在由铁磁材料(包括吸附的

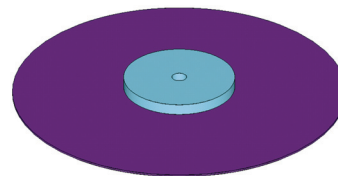


图 2 分析模型
Fig.2 Analysis model

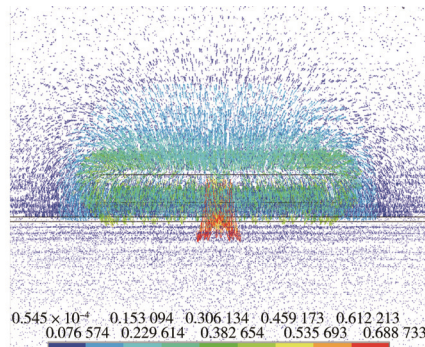


图 3 改进前磁感应强度分布
Fig.3 Distribution of magnetic induction intensity before improvement

铁板)构成的闭合路径内,使得磁力也大大增加。现将上例中的磁铁用 1.5 mm 厚 Q235 碳素结构钢半包裹(图 4)。在其它条件相同的情况下,用虚功原理计算的磁吸力为 245.5 N,用 Maxwell 应力法计算磁吸力为 221.7 N。该磁力相当于能吸起 25 kg 左右的重物,比上例裸放磁铁的结果提高了近 13 倍。在磁铁背面相同高度某点处,磁感应强度也由上例的 8.9×10^{-2} T (见图 3)降低到 3.1×10^{-2} T (见图 5)。

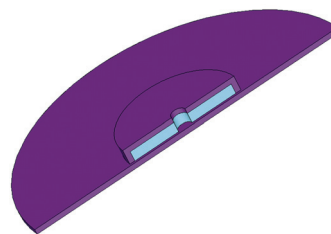


图 4 模型剖面
Fig.4 Model profile

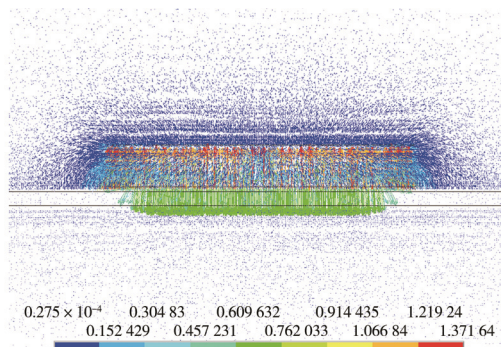


图 5 改进后磁感应强度分布
Fig.5 Distribution of magnetic induction intensity after improvement

由于烧结 NdFeB 永磁体耐腐蚀，其表面都经过抗腐蚀处理，镀上了一层附加隔离物（锌、镍、锡等）。文物储藏柜出于防腐、美观等要求，也都涂刷了一层光滑的漆面，因此，两者之间摩擦因数较低，容易发生错动。为了使磁体能成为一个可靠的支撑点，在实际应用中，磁铁与铁板之间可铺一层薄薄的硅胶垫以增大摩擦力。

经过上面的分析与设计，钕铁硼磁铁能够提供足够的磁吸力，成为一个可靠的支撑点。基础构造由 4 部分组成，见图 6。为增强安装的便利性，磁铁部位可以加装带锁紧功能的万向球头（附带定位销），类似于球形云台的构造装置。操作过程中，首先将磁铁吸附在储藏柜上，旋松万向球头；然后将支杆调整到合适角度，绑定住文物；最后旋紧万向球头。经过上述步骤，文物被固定在柜内，地震作用下不易发生滑动或倾覆。若储藏柜后期需要腾空或变换用途，磁铁装置也可拆卸下来，简单快捷。

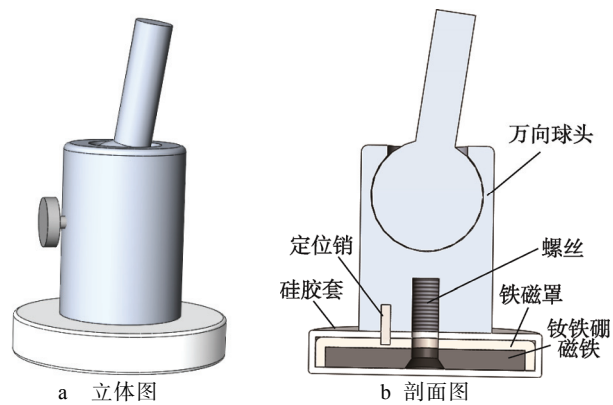


图 6 磁铁支撑点设计模型
Fig.6 Design model of magnet supporting point

钕铁硼的应用原则如下所述。

1) 考虑文物的特性及摆放特点，合理制作支架，并尽量减少磁铁支点的数量。由于文物种类繁多，造型各异，可借助 3D 打印技术制作复杂支架，从而使磁铁与文物（如盆景、钟表等）的连接更合理。对一些外形简单、摆放规则的器物可用支杆固定。文物支

固方式见图 7，分别采用了单支点和双支点构造，而体型较大、结构复杂的文物可用多支点固定。

2) 钕铁硼的磁性强，在使用时应注意安全，避免伤人或者伤物，且不得将磁铁用于存放铁质文物的库房。

3) 合理选用地震强度进行支固方案设计。每个磁铁与铁板之间的磁力都有一个固定上限，若地震作用超出该限值，磁铁就会发生滑移或者脱离。在对文物做方案制定时，宜按照当地设防烈度提高一度进行地震计算，选配出合适的磁铁与支架；再用罕遇地震强度进行验算，确保磁铁仅可出现轻微滑动，但不拔脱。这样能保证文物在大震情况下既不失稳又可利用摩擦耗能，达到最优的防震效果。

2.2 设计方案 2

磁铁保护方案的第 2 种设计思路，其关键点在于缓冲材料和磁体的选用上。市面上的缓冲材料众多，常见的有：EPE（聚乙烯）发泡材料、PU（聚氨酯）发泡材料、聚氯乙烯（PVC）泡沫和聚苯乙烯（PS）泡沫等。用于文物包装的发泡材料主要为前 2 种。

EPE 俗称珍珠棉，其复原性略差于 PU 发泡材料^[11]，但是珍珠棉具有不易老化、闭孔结构隔水防潮、可循环再造等优点，是目前提倡使用的一种环保型缓冲材料^[12]。市面上可以购买到不同密度和厚度的珍珠棉产品，满足不同缓冲性能的要求。PU（聚氨酯）发泡材料（海绵）虽然性能优异，也曾 在博物馆库房广泛应用，但它容易老化，与氧气发生氧化反应而变成黄色^[13]，现已逐步淘汰。在对样品进行测试后发现，EPE（聚乙烯）发泡材料未发现含有氯元素、挥发性酸和挥发性醛，仅含有微量的硫元素，须避免直接接触银质文物^[14]，因此，从材质和物理性能来看，EPE 是文物包装中一种相对适宜的缓冲材料。

储藏柜每层的空间都较大，不能像囊匣一般用缓冲材料完全塞满，这样既浪费空间也造成文物取用困

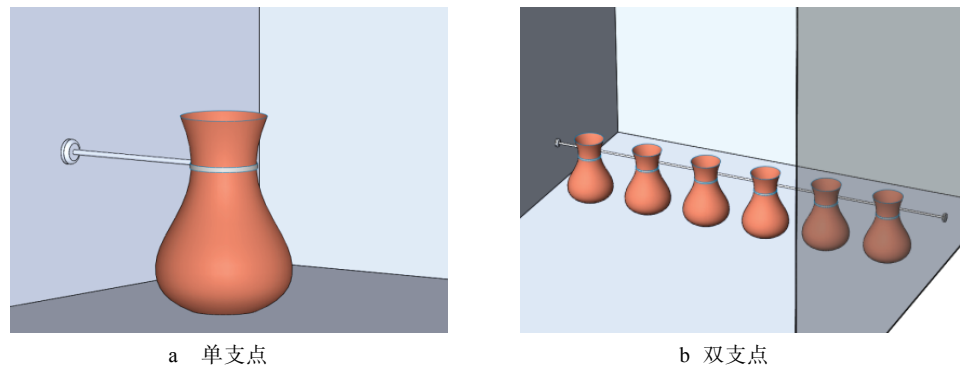


图 7 安装效果
Fig.7 Installation rendering

难。通常柜内缓冲物主要起支护和阻隔作用,也能减少冲击能量。若 EPE 材料被浮搁在柜内(图 1),地震发生时会同文物一起摇晃,达不到应有的防护效果,因此,需采取措施将其固定。

橡胶磁,通俗称软磁条,主要是磁粉($\text{SrO} \cdot 6\text{Fe}_2\text{O}_3$)、氯化聚乙烯(CPE)和其他添加剂等制成。磁力比钕铁硼弱,安装过程中也更安全。它可以生产成条状、片状及各种复杂形状,也可任意弯曲、裁剪,其应用灵活,适用面很广^[15]。一侧表面覆有双面胶,可粘接 EPE 缓冲材料,另一侧根据需要吸附在铁柜表面(图 8)。

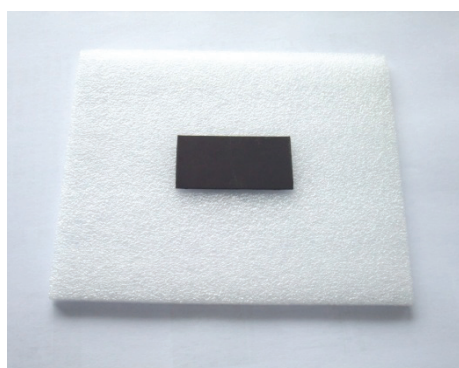
软磁条的主要作用是固定 EPE 缓冲材料,防止其轻易移位。显然,相较于 EPE 缓冲材料的密度(约

$0.02 \sim 0.03 \text{ g/cm}^3$),橡胶磁的吸力能够满足要求(表 2^[16]),例如 $2 \text{ cm} \times 2 \text{ cm} \times 0.1 \text{ cm}$ 的 T6 软磁条能吸附住 $67 \text{ cm} \times 67 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ 的 EPE 缓冲泡沫。

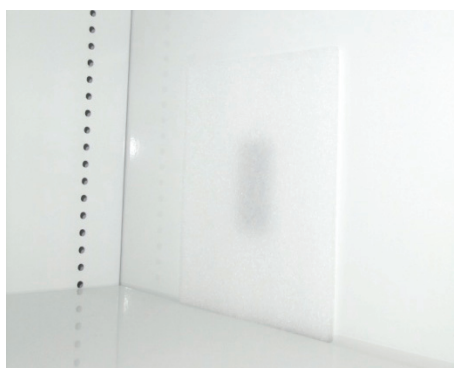
具体操作时,可按照防震设计要求将一定厚度 EPE 缓冲垫吸附在柜内壁(包括柜门)上。为防止柜内文物相互碰撞,可选用较宽的 EPE 缓冲垫(楞部黏贴软磁条)侧放于文物之间。也可根据文物情况制作出不同造型的 EPE 缓冲垫来包裹或阻隔文物。该方法比免钉胶(或其他强力胶)粘接更灵活而且省事,保管人员自身就可完成。若采用胶粘方式,首先保管人员需将库房内文物全部腾空,工人才可进场,费时费力。其次胶粘的 EPE 较难去除,后期不利于柜内文物的调整。

表 2 橡胶磁性参数
Tab.2 Performance parameters of rubber magnet

牌号	B_r/Gs	H_{cb}/Oe	H_{cj}/Oe	$(BH)_m/\text{MGOe}$	厚度 1 mm 磁吸力/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)	厚度 2 mm 磁吸力/($\text{g} \cdot \text{cm}^{-2}$)
T6	1830	1450	2200	0.75	33.73	73.73
T8	2100	1800	2100	1.00	41.18	90.20
Y10	2200	1900	2700	1.20	47.06	105.10
Y12	2500	2000	2800	1.45	78.04	137.25



a 制作



b 安装

图 8 橡胶磁方案效果
Fig.8 Rendering of rubber magnet scheme

3 某瓷器的防震设计案例

故宫博物院库房内某一瓷瓶高约 32 cm,质量 1.2 kg。现拟采用图 7 中的单支点方案进行防震设计。首先对方案的计算模型进行简化——瓷瓶所受到的地震作用按最不利情况考虑,全部作用在支杆端部,见图 9。其次,北京属于八度抗震设防区,按照九度设防地震($0.4g$)进行计算。

根据防震要求,设计方案应进行抗倾覆、抗滑移和抗拔离验算,即需要满足式(2—4)。

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq \frac{F}{A} \quad (2)$$

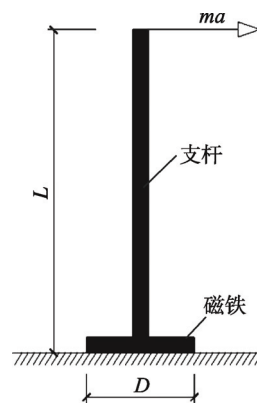


图 9 方案计算简图
Fig.9 Schematic diagram of the scheme calculation

式中: σ 为抗拉强度; M 为磁铁所受弯矩; W 为磁铁的截面模量; F 为磁铁与铁板之间的吸力; A 为磁铁底面积。

$$f = \mu F \geq ma \quad (3)$$

$$F \geq ma \quad (4)$$

式中: f 为磁铁与铁板之间的静摩擦力; μ 为静摩擦因数; m 为物体的质量; a 为水平地震加速度。

通常情况下, 静摩擦因数 $\mu < 1$, 磁铁的抗拔离可忽略验算。

由于磁体及支杆尺寸均未知, 因此, 先尝试选用上例中的磁铁 (外径 30 mm, 厚 3 mm) 和 10 cm 长的支杆进行九度设防地震 (0.4g) 计算。根据式 (2—3) 得。

$$\sigma = \frac{M}{W} = 4.53 \times 10^4 \leq \frac{F}{A} = 31.3 \times 10^4 \quad (5)$$

$$f = \mu F = 88.68 \geq ma = 4.8 \quad (6)$$

两者均满足要求。随后又用九度罕遇地震 (0.62g) 进行验算, 方案同样符合设计要求。经过上述计算可知, 采用方案的瓷器将被稳固在储藏柜内, 即使发生九度罕遇地震也不会发生移动和倾覆。该措施起到了很好的防震效果, 保证了文物的安全。

4 结语

针对现在博物馆库房普遍采用的铁质储藏柜, 借鉴硬囊、软囊防护理念, 选取磁铁吸附这一种传统的防震措施设计出 2 种文物保护方案。2 种方案均具有较强的可行性。

第 1 种方案选用钕铁硼磁铁。它的磁性强, 能提供足够的吸力。利用磁体作为着力点并用杆件支撑的方式, 文物被紧固在储藏柜内, 地震发生时也不容易倾覆或碰撞。相比于浮放, 文物破损的概率大大降低。

第 2 种是储藏柜内填充缓冲材料, 用橡胶固定缓冲材料。措施简单灵活, 省时省力, 有效地降低保管人员的工作量。

该研究不仅扩大了磁铁的应用范围, 而且有效地解决了一些库房保存难题, 在文保领域拥有较高的借鉴价值。

参考文献:

- [1] 钟文定. 铁磁学(中册)[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1998.
ZHONG Wen-ding. Ferromagnetics (Volume 2)[M]. Beijing: China Railway Publishing House, 1998.
- [2] 周寿增, 董清飞, 高学绪. 烧结钕铁硼稀土永磁材料与技术[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
ZHOU Shou-zeng, DONG Qing-fei, GAO Xue-xu.

- Sintered Nd-Fe-B Rare-earth Permanent Magnetic Materials and Technology[M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2011.
- [3] 钮泽葵. 陈列文物抗震措施实验研究[J]. 工程抗震与加固改造, 1992(2): 28—31.
NIU Ze-zhen. Experimental Study on Aseismic Measures of Display Cultural Relics[J]. Earthquake Resistant Engineering and Retrofitting, 1992(2): 28—31.
- [4] 吴来明, 王忠良, 高华平, 等. 博物馆文物的防震保护研究-传统抗震措施与现代隔震技术[J]. 文物保护与考古科学, 2001, 13(2): 46—53.
WU Lai-ming, WANG Zhong-liang, GAO Hua-ping, et al. Research on Protection from Earthquake of Cultural Relics in Museum(1): Traditional Anti-shock Methods and Modern Isolating Techniques[J]. Sciences of Conservation and Archaeology, 2001, 13(2): 46—53.
- [5] 周乾, 闫维明, 周锡元, 等. 我国博物馆陈列文物防震技术现状研究[J]. 灾害学, 2010, 25(S1): 201—206.
ZHOU Qian, YAN Wei-ming, ZHOU Xi-yuan, et al. Present Status of Aseismic Techniques for Domestic Museum Cultural Relics[J]. Journal of Catastrophology, 2010, 25(S1): 201—206.
- [6] 韦荃, 陈显丹. 5.12 汶川大地震对四川可移动文物的损坏与启示[J]. 四川文物, 2008(4): 10—13.
WEI Quan, CHEN Xian-dan. Experiences from Damages of Movable Cultural Relics by Wenchuan Earthquake on May 12th[J]. Sichuan Cultural Relics, 2008(4): 10—13.
- [7] 唐飞, 黄静. 4.20 芦山地震四川文物保护单位受损情况调查报告[J]. 四川文物, 2013(3): 3—8.
TANG Fei, HUANG Jing. Seismic Damage Investigation and Report of Ancient Building in "4.20" Lushan Earthquake[J]. Sichuan Cultural Relics, 2013(3): 3—8.
- [8] 夏吾李加. 玉树地震灾区文化遗产受灾状况调查研究[J]. 西南民族大学学报(人文社科版), 2011, 32(11): 55—58.
XIA Wu-li-jia. Investigation and Study on Disaster Situation of Cultural Heritage in Yushu Earthquake Stricken Area[J]. Journal of Southwest Minzu University(Humanities and Social Science), 2011, 32(11): 55—58.
- [9] 李闻. 市领导对我市文物保护工作进行调研[DB/OL]. (2012-04-12). http://www.lhk.gov.cn/publish/cbnews/20124/12/cb23414_1.shtml.
LI Wen. The Leaders of Our City investigated The

- Work of Cultural Relics Protection[DB/OL]. (2012-04-12). http://www.lhk.gov.cn/publish/cbnews/20124/12/cb23414_1.shtml.
- [10] 邹继斌, 刘宝廷. 磁路与磁场[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- ZOU Ji-bin, LIU Bao-ting. Magnetic Circuit and Magnetic Field[M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1998.
- [11] 刘乘, 任亚东. 几种常用缓冲材料的性能研究[J]. 包装工程, 2010, 31(7): 85—86.
- LIU Cheng, REN Ya-dong. Research on Properties of Several Cushion Materials[J]. Packaging Engineering, 2010, 31(7): 85—86.
- [12] 李俊. 发泡聚乙烯缓冲性能的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- LI Jun. Studies of Buffer Performance for Expanded Polyethylene[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2010.
- [13] 向洵. 聚氨酯软泡海绵的抗黄变解决方案[J]. 塑料助剂, 2005(4): 37—39.
- XIANG Xun. Anti-yellowing Solution Scheme of Flexible Polyurethane Foams[J]. Plastics Additives, 2005(4): 37—39.
- [14] DANIELS V, WARD S. A Rapid Test for The Detection of Substances Which Will Tarnish Silver[J]. Studies in Conservation, 1982, 27(2): 58—60.
- [15] 宋正海. 利用软磁贴制作生物学模型[J]. 实验教学与仪器, 2015(1): 53.
- SONG Zheng-hai. Using Soft Magnetic Patch to make Biological Model[J]. Experiment Teaching and Apparatus, 2015(1): 53.
- [16] 汪小明, 林珊, 饶钦盛. 吸附用铁氧体橡胶磁体吸力探讨[J]. 南方金属, 1997(6): 12—13.
- WANG Xiao-ming, LIN Shan, RAO Qin-sheng. A Study on the Attraction Force of Rubber-Ferrite Magnets for Adhesion[J]. Southern Metals, 1997(6): 12—13.