

# Research on Method of Performance-Based Seismic Design for Electric Apparatuses

Jun Xin<sup>1</sup>, Quanjun Zhu<sup>2</sup>, Xiyang Fan<sup>3</sup>, Hao Wang<sup>1</sup>, Xinfeng Dong<sup>1</sup>, Jianxing Ren<sup>1</sup>

<sup>1</sup>School of Energy and Mechanical Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai

<sup>2</sup>Global Energy Interconnection Research Institute, Beijing

<sup>3</sup>State Grid Shanxi Economic Research Institute, Taiyuan Shanxi

Email: xinjun1103@163.com

Received: Mar. 8<sup>th</sup>, 2017; accepted: Mar. 26<sup>th</sup>, 2017; published: Mar. 29<sup>th</sup>, 2017

---

## Abstract

Performance-based seismic design has been the hot issue of seismic design at home and abroad. The high-voltage electrical apparatuses are mainly based on the existing seismic design codes, but they are always subjected to huge damage under the strong earthquake. And this will lead to huge investments in the post disaster reconstruction. The performance-based seismic design for electrical equipment is proposed. The necessity of the electric equipment of performance-based seismic design is elaborated. Then the detailed procedure and matters needing attention of the performance-based seismic design for electrical equipments are provided. According to the seismic design standards and the characteristics of electrical equipments, electrical equipments including transformer and electric porcelain type electric equipments are suitable for performance-based seismic design; at the same time, electrical equipment brackets and isolation devices are also suitable for performance-based seismic design, and finally it is proposed that the bracket and isolation devices of the electrical equipment can be considered as a whole for the integration of performance-based seismic design.

## Keywords

Performance-Based, Seismic Design, Electric Apparatus, Performance-Based Design

---

# 基于性能的电气设备抗震设计方法研究

辛 军<sup>1</sup>, 朱全军<sup>2</sup>, 樊习英<sup>3</sup>, 王 昊<sup>1</sup>, 董新峰<sup>1</sup>, 任建兴<sup>1</sup>

<sup>1</sup>上海电力学院能源与机械工程学院, 上海

<sup>2</sup>全球能源互联网研究院, 北京

<sup>3</sup>国网山西省电力公司经济技术研究院, 山西 太原

Email: xinjun1103@163.com

收稿日期：2017年3月8日；录用日期：2017年3月26日；发布日期：2017年3月29日

## 摘要

基于性能的抗震设计已成为国内外建筑抗震研究的热点问题。高压电气设备的抗震主要依据现行的抗震设计规范设计而成，但在地震作用下仍然会遭受巨大破坏，特别是灾后重建需要巨大投入。因此，提出了电气设备基于性能的抗震设计方法。阐述电气设备进行性能化抗震设计的必要性，给出了基于性能的电气设备抗震设计具体步骤及注意事项。根据抗震设计标准及电气设备的特点，在电气设备中提出变压器、电瓷型电气设备适于基于性能的抗震设计；同时还提出电气设备支架、减隔震装置也适用于基于性能抗震设计；最后提出将电气设备、支架及减隔震装置考虑为一个整体，进行一体化基于性能的抗震设计。

## 关键词

基于性能，抗震设计，电气设备，性能化设计

Copyright © 2017 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

“小震不坏、中震可修和大震不倒”的三水准准则是各国建筑界奉行多年的抗震设计准则，已经在建筑的抗震设计中发挥了重要作用。但从本质上看，保护生命安全是三水准设计的唯一目的，因此该设计主要用于在地震的时候保护人的生命安全，而往往不会考虑对其它破坏的控制。现代地震的灾害调查情况表明，很多地震的情况下，会导致巨额的财产损失。有鉴于此，人们希望在对建筑进行抗震设计时，既需要考虑人身安全，又需要考虑经济性，这样既能避免建筑物破坏，又可以对其破坏状态进行控制。正是在这种情况下，基于性能的抗震设计受到广泛关注，并且被认为是未来建筑抗震设计的重要发展方向。简单来说，基于性能的抗震设计的目的就是在发生不同强度的地震时，能够可靠且有效地控制建筑物的破坏状态，使建筑物体现明确的、不同的性能水平，使得在建筑物在遭受各种地震的情况下，成本趋于最小[1]。

地震往往会对在国计民生中占有重要地位的电力系统构成巨大威胁，会形成极其严重的破坏。在这些破坏性强震中，尤以高压变电装置的破坏最为严重[2]。由于电气设备的破坏一般不会导致比较重大的人员伤亡，但是电气设备的破坏所造成的电网的直接损失、间接损失惨重，后期的重建费用也非常巨大。

在我国，目前电气设备的抗震设计依据主要来源于《电力设施抗震设计规范 GB50260-2013》和《建筑抗震设计规范 GB50011-2010》。这种电气设备抗震设计，仅仅考虑生命安全的性能水平进行电气设备的抗震设计，已经不能满足现代电气设备将来的发展需求，对地震所造成的巨大的间接损失及重建费用已经无能为力，因此，必须考虑新的电力设备抗震设计方法。基于性能的抗震设计在建筑工程及地震工程等方面已经得到了比较广泛的应用[3][4]，但在电气设备的抗震设计方面未见文献报道，因此，将对基于性能的电气设备抗震设计方法进行研究。

## 2. 基于性能的电气设备抗震设计的必要性

### 2.1. 电气设备的破坏

电力系统在强震作用下,会造成非常严重的破坏。变压器是变电站的重要电气设备,在强震作用下,由于体积大、质量大的特点易产生较大的地震力;由于顶部的瓷套管较长、重心较高的特点易产生较大的位移,从而造成变压器损坏,严重威胁变压器的运行安全,以致于造成重大的直接或间接的经济损失[5]。此外,在地震中,变电站中的电瓷型高压电气设备也极易受到破坏[6] [7]。

正是由于这些特点,近年来,国内外发生了多次强烈地震中,各种电压等级的变电站电气设备遭严重破坏[2]。例如:电力系统在 2008 年汶川特大地震中造成了严重的破坏,高压变电站受损百余座,各种开关类电气设备,更是遭到大量破坏。汶川地震造成四川电网直接经济损失 106.5 亿元,重建将超过 313 亿元[8]。

由于在变电站及电气设备在进行了抗震设计,再加上变电站中人员本来就比较少的原因,在地震中由于变电站的破坏所导致的人员伤害比较少。为了减少由于变电站破坏所造成的其他影响,必须对现有的“三水准”抗震设计方法提出改进。

### 2.2. 基于性能的电气设备抗震设计的必要性

我国现行 GB50260-2013 和 GB50011-2010 仅对“三水准”,也就是基本抗震设防目标进行了详细的说明。这些规范中,对电气设备抗震设计的规定较为简单和笼统,未曾提及性能化抗震设计方面[9] [10]。

而对于基于性能的抗震设计,美国最新的电气设备抗震设计规范 IEEE693 [11]和日本的电气设备抗震设计规范 JEAG5003 中,已经对此提出了详细的设计要求。

为了推行抗震性能化设计方法,2004 年,我国公布《建筑工程抗震性能化设计通则(试用)》CECS160-2004。并且,在 2010 年新版建筑抗震设计规范 GB50011-2010,新增了抗震性能化设计原则,着重指出应根据设备抗震设防类别及烈度、现场条件、设备类型及特点、功能要求、成本情况、直接及间接损失和重建费用等,对抗震目标性能进行性能和经济性方面的综合考虑[10]。

但是,迄今为止,国内还没有学者对电气设备的基于性能抗震设计进行过研究。为了加快追赶美国、日本的电气设备抗震设计的步伐,电气设备的基于性能的抗震设计迫在眉睫,必将在电气设备抗震设计中占有一席之地。

## 3. 基于性能的电气设备抗震设计方法

由于基于性能的电气设备抗震设计,目前在我国尚未启用。因此,将根据 CECS160-2004 和 GB50011-2010 的相关规定,以建筑抗震性能化设计为基础,提出基于性能的电气设备的抗震设计方法。

总体来说,基于性能的电气设备抗震设计,应根据设备特点、工程设计要求、受灾情况,选择需要建立性能目标的设备或者部件,然后逐一确定地震等级、性能目标、性能设计指标和性能评估方法等。此外,GB50011-2010 的附录 M 给出了“实现抗震性能设计目标的参考方法”[10],可以直接为基于性能的电气设备抗震设计提供指导。

### 3.1. 基于性能的电气设备抗震设计步骤

与建筑的性能化抗震设计相似,可以认为基于性能的电气设备抗震设计,主要包括如下步骤:

(1) 确定设备或部件。选择的余地比较大,可以是电气设备整体、关键零部件或者是电气设备的支架、减隔震装置等,可以根据设计需要进行选择。

(2) 确定地震等级：设备进行性能化抗震设计的地震等级可以和 GB50011-2010 中的所规定的小震、中震和大震的相对应，对于电气设备的设防地震的加速度和地震最大影响系数，至少应该满足 GB50011-2010 的规定。

(3) 确定性能目标：性能指标标志着电气设备的破坏程度或使用性能，在性能化抗震设计中起着重要作用，应该保证在不同地震等级的情况下应不低于基本抗震设防目标。

(4) 确定性能设计指标：电气设备的抗震设计选定的设计指标一般来说有两种，一种指标用于提高电气设备的抗震承载能力，另一种指标用于提高电气设备的抗变形能力。在实际操作中，上述两种设计指标可以单独选择，也可以同时选择以提高电气设备的综合能力，特别要注意要对考虑对抗震设计留有安全裕度[12]。对于不同的电气设备，性能设计指标的选择往往具有自己的特点。

(5) 确定性能评估方法：有两种选择方法：一种是借鉴传统的抗震设计方法，但是需要考虑明确且量化的不同等级的性能水平，采取先进行强度设计，然后进行变形校核的步骤。另一种是根据电气设备的具体情况，借鉴建筑设备的性能化抗震设计方法，以选择合适的设计方法。例如：直接基于位移、基于能力谱法、位移影响系数法、损伤性能评估法、能量分析方法、基于投资一效益准则法等[12] [13]，性能评估方法在选择的时候，务必要根据电气设备的自身特点，以及在地震中的易损情况进行选择。

### 3.2. 基于性能的电气设备的抗震设计注意事项

在进行具体的性能化抗震设计时，需要注意如下事项：

(1) 关于模型：电气设备的抗震设计分析模型应正确合理，在对实际工况进行假设和简化的时候，特别注意是否合理，采取多种方法对分析模型的正确性和合理性进行调整和验证。

(2) 关于线性分析阶段：电气设备抗震分析中经常会遇到线性分析阶段及非线性分析阶段，对于线性分析阶段，可直接采用线性方法进行计算分析，但是需要全面考虑抗震设计过程中所碰到的各种影响因素。

(3) 关于非线性分析阶段：根据性能目标及性能设计指标所预期的不同状态的非线性等级，可以采用两种分析方法，一种是等效线性化方法，需要考虑电气设备中的阻尼效应，此外，还可以使用静力非线性分析法或者动力非线性分析法。

(4) 关于线性分析阶段和非线性分析阶段的关系：与线性分析阶段模型需要全面考虑影响因素相比，非线性分析模型可有所简化，仅仅针对其中最重要因素。但是对设备模型进行简化的同时需要保证非线性分析在计算多遇地震时，其分析结果应与的多遇地震的线性分析结果保持一致性。非线性分析在计算时应考虑重力二阶效应、考虑合理的非线性参数[12]。在进行相应的承载力计算时应根据电力设备的实际截面、加强筋等具体情况，并且可通过与理想假定计算结果的对比分析，以便发现设备可能破坏的部位及其非线性变形水平。

## 4. 基于性能的变压器抗震设计

强震往往会造成了变压器的严重破坏，并且变压器的破坏往往也是导致其顶部瓷型电气设备破坏的主要原因。希望在不同的地震等级下，变压器具有不同的抗震性能等级，故可以考虑对变压器进行性能化的抗震设计。对变压器进行基于性能的抗震设计时除了需要关注变压器本体的抗震，还需要对变压器顶部瓷型电气设备的抗震予以足够的重视。

变电站抗震设计最重要的设计标准是美国电气设备抗震设计规范 IEEE693，为三种等级的地震分别提供了计算荷载，也提供了性能鉴定的标准和方法。

中国、美国、日本的电气设备抗震设计规范对于变压器本体都是采用静力设计法进行抗震设计。对

于套管的设计，三国标准就有所区别了，美国采用动力时程加载或者静拉力加载；日本采用拟共振动力设计方法；而中国采用动力设计方法[14]。

关于变压器顶部的高压瓷套管，规范规定变压器箱体动力放大系数为 2 [9]。此规定非常笼统，根本没有考虑各种不同的工况。由于变压器内部结构及组成非常复杂，对其进行基于性能抗震设计非常复杂，需要考虑众多的因素。

初步考虑基于性能的变压器抗震设计过程如下：

(1) 变压器性能目标：与一般的建筑物类似，但是考虑到变压器的重要性，要求应该高于基本的抗震设防目标。

(2) 变压器性能设计指标：根据变压器本体重要性和以及对顶部瓷套管的影响，建议考虑两种性能设计指标。一种是变压器自身性能指标，如底部位移等，并且根据底部位移在不同地震等级下所对应的具体量值进行明确分组，以作为性能设计指标。另一种选取变压器的动力放大系数作为性能指标，这是由于在根据现有的建筑抗震设计规范，考虑变压器的动力放大系数的时候，没有考虑到地震等级、变压器电压等级以及变压器动力特性等具体情况的影响，特别是没有对变压器动力放大系数进行明确、详细的划分。当然，对变压器的性能设计指标进行选择的时候，也可同时选择上述两种指标作为性能设计指标。

(3) 变压器抗震性能评估方法：位移相关类的性能评估方法可以直接使用，同时，也可以考虑损伤性能评估法。

## 5. 基于性能的电瓷型电气设备抗震设计

电瓷型高压电气设备如隔离开关、互感器、断路器以及变压器顶部的瓷套管等，在各种不同等级的电力系统内得到广泛应用。但由于材料性能以及设备的特殊形状，电瓷型电气设备在地震作用下，非常容易破坏。虽然不一定造成人身伤亡和太大的直接损失，但是所造成的间接损失和后期的重建费用比较大。因此，对于电瓷型电气设备，必须对现有的抗震设计方法进行改进，对其进行基于性能的抗震设计。

目前，瓷座是这类电气设备最易损坏的部件，特别是瓷柱底部，由于在地震中所收到的应力最大，极易受到破坏，因此这类电气设备的根部剪力已经成为衡量其破坏程度的重要指标[15]，与此同时，在实际工程应用中还发现，这类电气设备的顶端位移，特别是通过母线与其它设备相连的设备的顶端位移，也可以用来衡量设备的破坏程度的不同等级。

建议对于电瓷型电气设备，可以采用顶部位移、根部剪力或者二者相结合作为性能设计指标，而性能目标及性能评估方法可以参考基于性能的变压器抗震设计。由于基于性能的电瓷型电气设备的抗震设计还几乎没有，研究人员还需要作出重要的努力。

## 6. 基于性能的电气设备支架设计

电气设备在安装的时候，大多需要安装在支架上，因此支架也起到比较重要的作用，支架的动力反应放大系数在各国标准中均加以考虑。

我国 GB 50260-2013 规定，当电气设备有支架时，应充分考虑支架的动力放大作用。若仅作电气设施本体的抗震设计时，地震输入加速度应乘以支架的动力反应放大系数。当支架设计参数确定时，或支架参数缺乏时，以及安装在不同位置时的支架的动力反应放大系数均作出规定[9]。

与此同时，美国和日本的电气设备的抗震设计规范中，也对动力反应放大系数做出了具体的规定。日本 JEAG5003-1998 指出支架动力放大系数为 1.2。美国 IEEE Std 693. 2005 指出支架动力放大系数应取 1.1 [16]。尽管电气设备的抗震设计中，考虑了动力反应放大系数，但是在实际情况下，动力反应放大

系数往往和标准及规范中的有所出入。特别是需要支架的电气设备进行抗震性能评估时，其支架动力放大系数是否准确与合理将直接影响到设备抗震性能评估结果的准确性。

程永峰等人不同参数的取值范围对特高压支架动力放大系数的影响规律[16]。陈巍等人对高压电器设备的动力方法系数的取值进行了研究，得到支架的变截面和变高度情况下的动力放大系数的变化规律[17]。

考虑到支架一般在电力设备的抗震设计和工程实际中占有不可忽视的地位。当支架上面安装的电气设备固定的情况下，可以通过对支架进行设计从而达到不同的动力反应放大系数。因此，建议对电气设备的支架进行基于性能的抗震设计。根据现行 GB50011-2010 和 GB50260-2013 建立适合于电气设备支架的性能目标、性能设计指标以及性能评估方法。

建议以动力放大系数作为支架的抗震性能设计指标，严格明确地划分不同的动力放大系数等级，并且全面考虑影响支架动力反应放大系数的各种参数，如：地震等级、高电压等级、安装位置、材料、重量、结构形状、截面、几何尺寸、连接情况、地表情况等。希望通过基于性能的抗震设计，在复杂的工况情况下，为支架提供确定的且等级划分明确的动力反应放大系数，从而兼顾支架的抗震性能、经济性。

## 7. 基于性能的电气设备减隔震装置抗震设计

对变压器和电瓷型电气设备而言，前文已经表明其在强震中容易受到破坏，对这些设备进行减隔震设计已经成为一种非常重要的解决方案。GB50011-2010 指出：采用隔振或消能减震设计的建筑，当遭遇到本地区的多遇地震、设防地震和罕遇地震影响时，可按高于基本设防目标进行设计。经过减隔震处理的电气设备可以承受更强的地震[10]。

对电气设备进行减隔震的原理是借助于减隔震装置改变电气设备的固有频率，使得与地震波的卓越频率错开[18]。与变压器和电瓷型电气设备相比，电气设备的减隔震装置往往重视程度不够，因此尽管人们已经认识到减隔震装置的重要性，但是在电气设备中真正的应用并不多。现有的可以借鉴的研究成果都是和建筑减隔震有关的。由于常用的减隔震器，主要性能参数数量较少，且非常明确，因此便于实现性能化设计以有效控制设备的地震反应。

刘鹏飞等人对基于性能的基础隔震结构设计进行了探讨，建立了基础隔震结构的性能水准和设防目标及主要流程[19]。韩建平[20]指出减震器在设计时，应该尽可能在不改变原结构的同时，利用减震器的减震作用提高设备的综合性能。胡继友[21]对摩擦摆结构进行性能化设计，提出了摩擦摆性能化抗震设计中的性能水准、设防目标和设计性能指标。

关于减隔震器的基于性能的抗震设计方法也可以参考日本建筑界的作法[22]。日本在基于性能的建筑设计中，非常重视隔震设计，曾经在建设省公告第 2009 号(隔震建筑设计安全技术标准)中指出：隔震材料是指能够降低作用于建筑物地震力的建筑材料，并且通过时程反应分析进行性能评估，隔震建筑应以基本性能目标为依据，但是具体应满足的性能指标应根据性能评估机构的评估标准确定。

可见，考虑到减隔震装置具有比较广泛的科学研究和工程应用背景，基于性能的电气设备减隔震装置抗震设计同样具有重要的研究和应用需求。

## 8. 基于性能的电气设备、支架及减隔震装置一体化抗震设计

为了对高压电气设备进行稳定可靠的抗震设计，建议可以将基于性能的抗震设计与减隔震设计结合起来，或者直接将电气设备及减隔震装置的组合进行基于性能的抗震设计。由于变压器的重要地位，可以考虑将变压器与减隔震装置系统作为一体进行基于性能的抗震设计。考虑减震器与设备体系的基于性能的抗震设计在 GB50011-2010 中已经多次提及[10]，在建筑方面已有应用。

对于包含支架的电气设备，也可以把电气设备、支架及减隔震装置三者为一体，进行一体化的基于

性能的抗震设计。例如,考虑隔离开关的实际情况,在进行隔离开关的抗震设计时,将隔离开关、支架和减隔震装置统一进行考虑,以顶部位移作为性能指标,进行基于性能的抗震设计。考虑基于性能的电气设备、支架和减隔震装置整个系统,进行一体化的抗震设计,将成为电气设备抗震设计将来的发展方向之一。

## 9. 结论

鉴于强烈地震会造成电力系统巨大的直接损失、间接损失及重建费用,现有电气设备抗震设计方法急需改进,提出了基于性能的电气设备抗震设计方法,主要结论如下:

- (1) 总结了基于性能的电气设备抗震设计的必要性,并在 GB50011-2010 和 GB50260-2013 的基础上,提出了基于性能的电气设备抗震设计的方法。
- (2) 考虑到在强震中容易破坏,并造成巨大的损失及重建费用,提出了变压器及电瓷型电气设备可以采用基于性能的抗震设计方法,以之作为将来的研究重点。
- (3) 考虑到在电气设备的抗震设计占有重要地位,提出了基于性能的电气设备支架抗震设计、基于性能的电气设备减隔震装置抗震设计以及基于电气设备、支架及减隔震装置一体化抗震设计。
- (4) 建议我国在现行抗震设计的基础上,参考美国、日本的电气设备性能化抗震设计规范,尽快建立适合于我国电气设备实际的“基于性能的电气设备抗震设计规范”,以缩小与美、日之间的差距。

## 基金项目

国家电网科技项目(SGRI-WD-71-15-010)。

## 参考文献 (References)

- [1] 马宏旺,吕西林. 建筑结构基于性能抗震设计的几个问题[J]. 同济大学学报, 2002, 30(12): 1429-1434.
- [2] 谢强. 电力系统自然灾害的现状与对策[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 126-131.
- [3] Ghobarah, A. (2001) Performance-Based Design in Earthquake Engineering: State of Development. *Engineering Structures*, **23**, 878-884.
- [4] Zameeruddin, M. and Sangle, K.K. (2016) Review on Recent Developments in the Performance-Based Seismic Design of Reinforced Concrete Structures. *Structures*, **6**, 119-133. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2016.03.001>
- [5] 刘彦辉,谭平,周福霖,等. 大型变压器的汶川地震及其隔震技术研究[J]. 广州大学学报(自然科学版), 2014, 13(6): 36-41.
- [6] 于永清,李光范,李鹏,等. 四川电网汶川地震电力设施受灾调研分析[J]. 电网技术, 2008, 32(11): 5-10.
- [7] 张大长,赵文伯,刘明源. 5·12 汶川地震中电力设施震害情况及其成因分析[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2009, 31(1): 44-48.
- [8] 张星海,吴广宁,蒋伟,等. 汶川特大地震对四川电网的影响[J]. 现代电力, 2009, 26(4): 4-9.
- [9] GB50260-2013. 电力设施抗震设计规范[S]. GB50260-2013.
- [10] GB50011-2010. 建筑抗震设计规范[S]. GB50011-2010.
- [11] IEEE Std-693-2005. Recommended Practice for Seismic Design of Substations. (In Chinese)
- [12] 姚谦峰,常鹏,主编. 工程结构抗震分析[M]. 北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2012.
- [13] 唐玉,郑七振,楼梦麟. 基于“投资-效益”准则的抗震性能目标优化决策[J]. 同济大学学报, 2012, 40(11): 1613-1619.
- [14] 谢强,朱瑞元. 大型变压器抗震性能研究现状与进展[J]. 变压器, 2011, 48(1): 25-31.
- [15] 李旭,鞠彦忠,李霞. 高压断路器的抗震性能分析[J]. 华东电力, 2009, 37(4): 0618-0620.
- [16] 程永锋,卢智成,邱宁,等. 特高压支柱类瓷质电气设备支架动力放大系数研究[J]. 高电压技术, 2015, 41(11): 3651-3658.

- 
- [17] 陈巍, 高政国. 高压电气设备支架动力放大系数取值研究[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(6): 182-186.
- [18] 柏文, 戴君武, 周惠蒙, 等. 基于 MRTMD 的瓷柱型电气设备减震技术研究[J]. 地震工程与工程振动, 2016, 36(3): 111-117.
- [19] 刘鹏飞, 刘伟庆, 王曙光, 等. 基于性能的基础隔震结构设计基本框架[J]. 四川建筑科学研究, 2010, 36(4): 153-157.
- [20] 韩建平, 阎茹, 李慧. 基于性能的黏弹性阻尼器减震结构抗震设计[J]. 地震工程与工程振动, 2008, 28(1): 175-181.
- [21] 胡继友. 基于性能的摩擦摆基础隔震结构抗震性能研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2011.
- [22] 日本地震工学会, 编. 基于性能的抗震设计——现状与课题[M]. 王雪婷, 译. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.

**期刊投稿者将享受如下服务:**

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

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

期刊邮箱: [jee@hanspub.org](mailto:jee@hanspub.org)