

王一咪, 谭 潇. 群体涵洞的地震灾害影响评价方法 [J]. 华南地震, 2018, 38(3): 79-83. [WANG Yimi, TAN Xiao. Seismic Disaster Impact Assessment Method for Group Culverts [J]. South China journal of seismology, 2018, 38(3): 79-83]

群体涵洞的地震灾害影响评价方法

王一咪¹, 谭 潇²

(1. 广州南粤地震工程勘察有限公司, 广州 510070; 2. 中冶建筑研究总院(深圳)有限公司, 广东 深圳 518055)

摘要: 区别于采用评定破坏等级的经验公式计算量大面广的群体涵洞易损性指数, 涵洞的地震灾害影响评价方法侧重于涵洞工程资料尚不齐备的情况下, 根据其震害现象快速评估其破坏等级, 依此结果即可用于修正群体涵洞震害指数的统计回归模型, 与该方法形成有效补充, 也可作为震害预测的补充方法。基于推演经验公式的 100 道涵洞资料反复论证该方法的适用性和合理性, 给出打分制和震害等级评定, 进一步得出群体涵洞震害影响评价方法。

关键词: 涵洞; 震害; 地震易损性; 影响评价

中图分类号: P315.9

文献标志码: A

文章编号: 1001-8662(2018)03-0079-05

DOI: 10.13512/j.hndz.2018.03.012

Seismic Disaster Impact Assessment Method for Group Culverts

WANG Yimi¹, TAN Xiao²

(1. Guangzhou Nanyue Seismic Engineering Surveys Co., Ltd, Guangzhou 510070, China;

2. Central Research Institute of Building and Construction (Shenzhen) Co., Ltd, Shenzhen 518055, China)

Abstract: Difference from the empirical formula used to assess the degree of damage grade to calculate the seismic vulnerability index of the group culvert, the impact assessment method for earthquake disaster focuses on the incomplete data. The damage level is evaluated quickly according to its seismic damage phenomenon. The results can be used to modify the statistical regression model of the damage index of culverts, which can be used as an effective supplement to this method, and can also be used as a supplementary method for earthquake disaster prediction. Based on the data of 100 culverts which have deduced empirical formula, the applicability and rationality of the method are proved repeatedly, and the scoring system and the evaluation of seismic damage level are given, and the method of impact for seismic disaster for group culverts is obtained.

Keywords: Culverts; earthquake disaster; Seismic vulnerability; Impact assessment

收稿日期: 2018-04-17

基金项目: 国家地震科技星火计划资助项目(XH13020Y)

作者简介: 王一咪(1988-), 女, 助理工程师, 硕士, 主要从事地震工程工作。

E-mail: 867036900@qq.com.

0 引言

涵洞作为交通系统工程的节点因素,在公路交通中的比重不容忽视,其地震易损性直接关系到震后该路段的通行概率、连通可靠性和功能可靠性,在“公路涵洞震害分析与破坏等级划分”^[1]一文中,依据汶川 8.0 级地震后陇南公路总段所辖两百道涵洞的现场震害调查情况,对比唐山地震中涵洞的震害分类,总结归纳了涵洞的震害等级划分,成为后续涵洞震害影响评价方法研究的根本。

群体涵洞地震易损性分析方法研究^[2]利用陇南公路所辖 100 道涵洞震害资料,采用最小二乘法原理建立用于计算群体涵洞震害指数的统计回归模型,研究成果不仅给出了经验公式、建议系数值和等级划分临界值,相应地也给出了修正系数参考值,为群体涵洞的地震易损性分析提供了量化计算方式,该方法适用于基础数据齐备的大规模群体涵洞震害预测。

本文根据以上部分研究成果,结合实际震例,进一步对震后快速判别涵洞工程震害等级做了一定的研究,建立了群体涵洞地震灾害影响评价方法,该方法可用于震后破坏等级的快速判别,计算震害指数的推演,对比和校验。

1 涵洞震害统计

1.1 涵洞工程简介

涵洞是公路或铁路与沟渠相交处,设于路基下方的排水构筑物,通常由洞身、洞口建筑和附属设施组成。按结构型式分为:盖板涵、拱涵、圆管涵、箱涵、倒虹吸涵及钢波纹管涵等。按建筑材料分类,涵洞可分为砖涵、石涵、混凝土涵及钢筋混凝土涵等。

洞身形成过水孔道的主体,它兼具宣泄水流和承受荷载压力功能。洞身通常由承重结构(如盖板、拱圈)、涵台、涵墩以及防水层、伸缩缝等部分组成。而钢筋混凝土箱涵及圆管涵为封闭结构,涵台、盖板、基础联成整体。

洞口建筑是洞身、路基、河道三者的连接构造物,由进水口、出水口和沟床加固三部分组成,其型式有八字式、一字式(端墙式)、扭坡式、平头式、走廊式、流线型及跌水井式,其作用是:一是顺接河道,二是稳定路基边坡。

(1) 拱涵。拱涵洞身呈拱形,有石拱涵、混凝土拱涵及木拱涵等,因其易于砌筑,承载力大等优

点,深沟、高路堤时都适用等特点被普遍采用。

(2) 盖板涵。盖板涵的特点是受力明确,构造简单,施工方便。它主要由盖板、涵台及基础等部分组成,类似小跨径的简支梁桥。有石盖板、钢筋混凝土盖板等。

(3) 圆管涵。管身常为钢筋混凝土结构,主要由管身、基础、接缝组成。建设于软弱地基、黏土或砂土地基及岩石地基上时分别采用混凝土及浆砌片石基础、砂砾石垫层基础及垫层混凝土基础。圆管涵的适应性和受力性较好。

(4) 箱涵。箱涵的盖板、涵身、基础是整体钢筋混凝土闭合式结构,截面为正方形或长方形。因其整体性强,适用于软土地基,但造价较高。

(5) 倒虹吸涵。倒虹吸涵主要由进口段、水平段和出口段组成。其中进口段由进水河沟、沉淀池和接缝组成;水平段为主体,由基础、管身和接缝组成;出口段则有出水井和出水河沟组成。

1.2 震害调查实录

四川汶川 8.0 级地震后,科考人员沿陇南公路总段各条线路展开震害调查,建立了包含 275 道涵洞震害描述的数据样本资料,资料包含各涵洞的里程编号、涵洞类型、建筑材料、跨径、长度、洞身主体震害描述、基础以及附属设施震害描述等。据分类统计,该地区涵洞以盖板涵、拱涵为主,少量管涵,洞口建筑以八字墙、端墙和跌水井洞口为主。

例如,在 S205 线成县段,共收集受损涵洞 16 道,其中板涵 9 道,拱涵 7 道,总体震害较重。板涵震害呈现出盖板裂缝、断裂;八字墙裂缝,倾斜;急流槽破损;涵洞沉陷等震害现象。拱涵呈现出拱圈裂缝、拱顶开裂、涵墩涵台开裂、八字墙震裂、附属设施破坏等震害现象。

相比之下,S205 徽县段总体震害较轻,共收集受损涵洞 11 道,其中板涵 9 道,拱涵和木涵各 1 道。板涵震害仍为开裂,局部露筋,边块破损;石拱涵拱底网裂;木拱涵腐朽断裂彻底毁坏。

再如,G212 线和 X484 线的文县段破坏较为严重,在统计的 71 道涵洞中,65 道板涵分别出现了基础外露,盖板断裂,横竖及通缝,板底露筋,钢筋锈蚀,接缝处混凝土严重脱落松散,洞口建筑物移位,悬空甚至垮塌,洞口淤塞等。6 道拱涵出现了涵墩基础外露,拱圈开裂形成空洞,落拱等震害。

武都段 115 道涵洞,包括板涵 71 道,拱涵 43

道同样也发生了较为严重的破坏,其中1道管涵出现管节处脱开,出口急流槽断裂的严重破坏。总体来说涵洞的震害较为严重。

1.3 样本涵洞的易损性分析

1.3.1 分类统计

通过对多条线路各类样本涵洞易损现象的归类总结,将震害分为五类,分类统计如表1^[1,3]:

- (1) 一类震害:涵台、涵墩折断、倒塌,造成涵洞盖板断裂、落拱。
- (2) 二类震害:涵台、涵墩倾斜、开裂,造成涵洞顶板或拱圈严重开裂。
- (3) 三类震害:涵洞进出口八字墙、端墙倒塌,铺砌等附属工程严重损坏,但主体震害较轻;

表1 汶川地震陇南公路部分涵洞震害分类统计
Table 1 Culvert damage classification statistics along Longnan road in Wenchuan earthquake

震害分类	数量	数量百分比/%
一类	126	45.8
二类	72	26.2
三类	40	14.5
四类	21	7.6
五类	16	5.8

- (4) 四类震害:八字墙、端墙及衬砌损坏;
- (5) 五类震害:地震地质灾害,如山体的崩塌、滑坡、泥石流等引起的破坏。

1.3.2 成因分析

- (1) 汶川地震震级大,烈度高,破坏力强。
- (2) 结构材料实际强度低致使结构的地震抗力不足。
- (3) 除洞身结构设计^[4-5]与洞口构造设计^[6]外,连接处未做抗震考虑。
- (4) 基础的不均匀沉降等。
- (5) 地震地质灾害影响,如山体滑坡,崩塌等。
- (6) 震前出现病害^[7-8],导致震害更为严重。

1.3.3 震害等级划分

涵洞的震害划分为基本完好、轻微破坏、中等破坏、严重破坏和毁坏5个等级^[9],具体破坏现象见表2。

2 涵洞震害程度评价

该方法在震害等级研究基础上,考虑忽略涵洞结构的详细尺寸,针对震后现场调查及震害评估提出,可以较为直观地给出震害程度评价,作为易损性指数计算分析的对比或补充。

表2 涵洞震害等级划分
Table 2 Seismic damage classification of culvert

震害程度	破坏现象描述
基本完好	无震害,涵身,拱圈,涵台裂缝宽度小于0.2 mm,正常使用。
轻微破坏	涵身,拱圈,涵台出现轻微裂缝,宽度介于0.2~0.5 mm之间,主体和功能完好,短期简单修复或不修复即可使用。
中等破坏	涵身、拱圈、涵台以及嵌口出现中度裂缝,宽度介于0.5~0.8 mm之间,主体构件出现空洞,轻微露筋,涵墩、涵台部分裂缝,有倾斜变形现象,上覆路基土有下沉现象,洞口建筑物出现变形、移位,但均不损坏主体与功能的发挥,需采取相应措施维修加固。
严重破坏	涵身,拱圈,涵台出现贯通裂缝,宽度介于0.8~1.2 mm之间。出现主体构件局部断裂,露筋甚至钢筋变形锈蚀,基础悬空,台身断裂下沉。洞口建筑物大幅移动和倾倒,甚至坍塌。急流槽断裂,但涵洞主体未倒塌,未完全丧失功能,需经过较长时间和较大工程量的修复后方可使用。
毁坏	涵洞主体倒塌损坏,洞口建筑物倒塌,或因地震地质灾害直接致主体和功能均彻底损毁,不能继续使用,需拆除清理后重建。

2.1 评价方法流程图

依据现有涵洞震害样本资料,判别其震害等级的流程如图1所示。

2.2 涵洞震害评价方法

涵洞的震害评价方法采取扣分制,依次进行如下:

- (1) 首先判别地震地质灾害对涵洞的影响,如果震后涵洞以及所在的路段遭遇崩塌、滑坡、泥石流等而被掩埋甚至垮塌,主体结构损毁导致交通中断,可直接判定为毁坏(扣100分)。
- (2) 涵洞结构未受到地震地质灾害影响或影响较轻,主体保持完好或轻微受损,但是却导致了功能丧失,如淤塞造成路基失稳,路面破坏,

无法正常排水导致路面淹没等,这直接判定为毁坏(扣 100 分)。

(3) 涵洞洞身构件震害评价:

① 涵身、拱圈、涵台有微裂缝,缝宽小于 0.2 mm,扣 5 分。

② 涵身、拱圈、涵台现轻微裂缝,缝宽介于 0.2~0.5 mm 之间,扣 10 分。

③ 涵身、拱圈、涵台及嵌口处现中度裂缝,缝宽介于 0.5~0.8 mm 之间。主体构件现空洞、保护层部分脱落致轻度露筋,涵墩裂缝、微倾变形、移位,扣 30 分。

④ 涵身、拱圈、涵台及嵌口处现贯通裂缝,缝宽介于 0.8~1.2 mm 之间,主体构件局部断裂、露筋并严重变形锈蚀。涵墩移位、断裂、下沉,扣 60 分。

⑤ 涵身主体倒塌,结构性损毁,扣 100 分。

④ 洞口建筑倒塌,附属设施损毁,扣 20 分。

(5) 地基失效(液化、边坡失稳等)^[9]震害评价:

① 没有或轻微出现,扣 5 分。

② 大多数出现,扣 10 分。

③ 失效程度加重,扣 20 分。

(6) 病害及震前加固判定(根据日常涵洞调查数据资料)

① 已有病害,扣 15 分;

② 已加固,加 10 分。

2.3 涵洞震害等级评价分值定义

涵洞样本集取自汶川 8.0 级地震后陇南公路总段所辖各线路的涵洞资料数据,样本大部分建于 20 世纪 80~90 年代,抗震能力明显不足^[9]。同样选取用于建立涵洞地震易损性分析模型的 100 道涵洞作为震害评价方法中分值等级定义的基础数据,经反复推演,得出如表 3 的标准。

表 3 涵洞震害等级和分值区间

Table 3 Culvert damage grade and score interval

震害分类	分值区间	震害等级
I	0~20 分(含 20 分)	轻微破坏
II	20~50 分(含 50 分)	中等破坏
III	50~80 分(含 80 分)	严重破坏
IV	80~100 分(含 100 分)	毁坏

3 实际震例应用

选取用于建立群体涵洞易损性分析模型之外的 64 道涵洞做震害评价,评价结果与易损性分析结果进行对比,其中评价震害即为对应的群体涵洞地震易损性分析的震害指数推演中的实际震害。震害对比结果如表 4 所示。

表 4 震害对比结果

Table 4 Result of seismic damage contrast

震害程序	评价震害	计算震害
轻微破坏	6/64	7/64
中等破坏	19/64	20/64
严重破坏	21/64	20/64
毁坏	16/64	15/64

由表 4 可见,样本涵洞的易损性分析评价方法与震害指数计算方法所得到的震害结果较为合理,显示为较好的一致性。

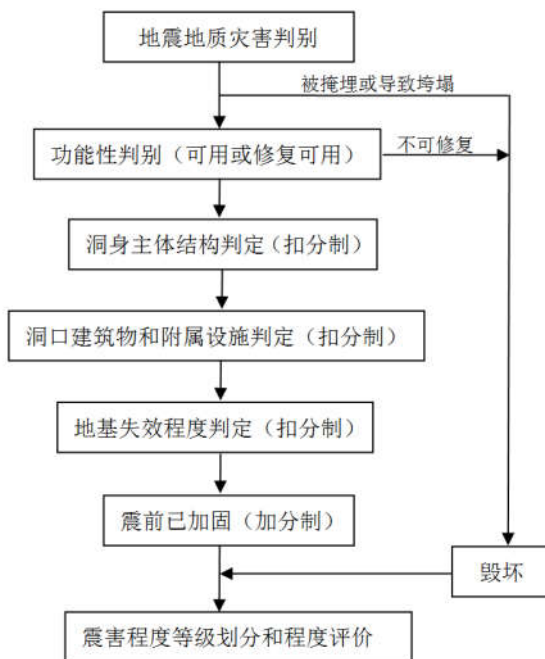


图 1 涵洞震害影响评价流程图

Fig1 Flow chart of impact assessment for seismic disaster for group culverts

(4) 涵洞附属建筑及附属设施震害评价:

① 洞口建筑物微变形,微倾;附属设施无损或微损,扣 5 分。

② 洞口建筑物现变形,移位;缘石、边块、边沟微损,扣 10 分。

③ 洞口建筑物变形严重,大幅移动甚至倾倒,急流槽断裂,缘石、边块破损,边沟损毁,扣 15 分。

4 结语

涵洞的群体地震易损性分析方法研究成果可视为一个方法体系,旨在用于地震灾害预测和防震减灾规划的编制。

首先是震害资料的基础调研和分类汇总,建立用于后续方法研究的详备数据库,该数据库包含涵洞的基本属性数据、震害表述以及现场拍摄的照片等。

第二,对涵洞震害资料做个性研究,并提取共性。涵洞震害调查资料有一定的局限性和不完整性,因此样本资料的持续补充是关键。通过综合考虑桥梁工程、道路工程和水工构筑物的震害划分,参考生命线工程震害等级划分规范^[1],给出了公路涵洞的震害等级划分。

第三,对样本集中的每一道涵洞给出其震害评价。即对该评价方法的建立进行了详细论述,震害等级划分即为震害评价结果首要依据。最后,震害评价结果也将被赋予相应的震害指数,进而建立涵洞的地震易损性分析模型,推演震害影响因素的回归值以及震害指数的区间定义。群体涵洞震害评价方法具备适用性强,易于操作的特点,针对震后资料不全,时间紧迫的状况,可现场快速震害评估,给出涵洞的震害评判,但存在一定的主观扰动性,进一步研究时可与计算方法对比以实现相辅相成。综合以上研究成果即系统性给出了公路群体涵洞的易损性分析方法。

参考文献:

- [1] 杜鹏,谭潇,王东明,等. 公路涵洞震害分析与破坏等级划分[J]. 地震工程与工程振动,2013,33(6): 128-133.
- [2] 杜鹏,谭潇,聂树明,等. 群体涵洞地震易损性分析方法研究[J]. 土木工程学报,2015,48(5): 71-75.
- [3] 刘恢先. 唐山大地震震害(三)[M]. 北京:地震出版社,1986.
- [4] 中华人民共和国交通运输部. JTJ D60-2004:公路桥涵设计通用规范[S]. 北京:人民交通出版社,2015.
- [5] 中华人民共和国交通部. JTJ D62-2004:公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2004.
- [6] 中华人民共和国交通部. JTJ D63-2007:公路桥梁地基与基础设计规范[S]. 北京:人民交通出版社,2007.
- [7] 龙永刚. 高速公路涵洞病害与防治[J]. 中国科技信息,2006(7): 148-149.
- [8] 邱加松. 混凝土圆管涵洞的损害分析及预防 [J]. 汕头科技,2004(4): 57-59.
- [9] 郭恩栋,赵钊,王再荣,等. 改进的梁式公路桥震害评估方法[J]. 2013,39(2): 193-197.
- [10] 杜鹏,姜慧,王东明,等. 陇南总段桥梁震害及易损性分析[J]. 地震工程与工程振动,2010,30(4): 107.
- [11] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局. GB/T 24336-2009:生命线工程地震破坏等级划分[S]. 北京:中国标准出版社,2009.