

基于汶川地震隧道震害特点的抗震设防标准 评价及建议^{*}

崔光耀¹, 王明年², 于丽², 林国进³

(1. 北方工业大学 建筑工程学院, 北京 100144; 2. 西南交通大学 土木工程学院, 四川 成都 610031;
3. 四川省交通厅 公路规划勘察设计研究院, 四川 成都 610041)

摘 要: 基于汶川地震公路隧道震害调查资料, 对《JTJ 004-89 公路工程抗震规范》进行抗震设防标准评价。结果表明: 现有的抗震设防是偏于安全的; 现有抗震设防对于软岩隧道仅能满足设防要求, 但硬岩隧道却可以承受更高的地震烈度而不发生较严重的震害; 应加强现有设防标准中防治断层错动的规定。对涉及隧道的 10 条文进行评价, 有 5 条合适, 5 条不合适, 并提出了具体修改建议。最后提出了断层破碎带段隧道结构、洞口结构和普通段隧道结构的抗震设防建议。研究成果对现行规范的修订以及我国公路隧道建设抗震设防都有着重要的意义。

关键词: 公路隧道; 震害特点; 抗震设防标准评价; 抗震设防建议; 汶川地震

中图分类号: U456; X43 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2013)02-0020-05

我国公路隧道抗震设防现行规范是 1989 年 10 月 4 日发布、1990 年 1 月 1 日开始实行的《JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范》隧道部分^[1], 已经实行了 20 多年, 已不适应当前我国公路隧道建设的需要, 亟待修订。

目前, 国内外专家学者对《JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范》隧道部分的修订提出了一些建议, 但均是宏观的评价, 未对具体条文的修订提出见解^[1-14]。本文依托汶川地震公路隧道震害调查资料, 对现行《JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范》隧道部分进行评价并提出抗震设防建议, 这对规范的修订以及我国公路隧道建设的抗震设防都有着重要的意义。

1 现行《JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范》隧道部分存在的问题

隧道结构抗震设计理论是随着地面建筑抗震设计理论的发展而发展起来的。《JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范》中关于隧道的抗震强度和稳定性验算条文是参照既有设计经验, 本着突出重点、区别对待的原则制定的。根据震害调查和试算, 规范将抗震验算范围, 大致定在Ⅲ级围岩以上的洞口、浅埋、偏压隧道和明洞, 地震烈度为Ⅶ~Ⅸ度。验算方法规定为附加地震力的静力法, 只验

算水平地震力对隧道强度和稳定性的影响, 不验算深埋隧道的抗震性。强震区隧道的设计思路是普遍采用加强衬砌, 增大刚度, 抵抗地震作用力的方法。实际上, 把埋在地层中的隧道结构和地面结构一样采用静力法进行计算, 往往不能反映实际, 且计算结果过于保守。同时, 一味增大刚度来抵抗地震力的设计思路值得商讨。

《JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范》隧道部分应用地震烈度作为抗震设计的依据显然不太合适, 隧道是地下建筑物, 各部位埋深及围岩级别不一致, 导致地震波由基岩传至衬砌部位围岩时其地震动参数不同。另外, 规范所采用的地震烈度是参考建筑抗震设计规范, 由于隧道埋在地下, 实际地震动参数小于建筑抗震设计规范所采用的地震动参数。

《JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范》隧道部分有关条文中对建筑材料作了规定, 而从当前看, 部分建筑材料早已不再使用。

2 汶川地震公路隧道抗震设防总体评价

在调查的汶川地震四川震区 40 座隧道中, 按Ⅵ度设防(不设防)的隧道有 10 座(表 1), 按Ⅶ度设防的隧道有 30 座(表 2)。

^{*} 收稿日期: 2012-09-06

修回日期: 2012-10-19

基金项目: 西部交通建设科技项目(200831800026, 200831800098); 中央高校基本科研业务费专项资金资助(SWJTU10XS05)

作者简介: 崔光耀(1983-), 男, 山东莒南人, 博士, 讲师, 主要从事隧道与地下工程的教学与研究. E-mail: cyao456@163.com

表 1 汶川地震四川震区Ⅵ度设防隧道震害情况

隧道名称	设计烈度	实际烈度	破坏程度
辛家沟隧道	Ⅵ	Ⅷ	轻微
官垭子隧道	Ⅵ	Ⅷ	无
分水岭隧道	Ⅵ	Ⅷ	无
石瓮子隧道	Ⅵ	Ⅷ	无
飞仙关隧道	Ⅵ	Ⅷ	轻微
明月峡隧道	Ⅵ	Ⅷ	无
青林坡隧道	Ⅵ	Ⅷ	无
棋盘关隧道	Ⅵ	Ⅷ	无
石梯沟隧道	Ⅵ	Ⅶ	无
屈家坡隧道	Ⅵ	Ⅶ	轻微

(1) 按地震烈度进行整体评价

由表 1~2 知，按Ⅵ度设防（不设防）的隧道在实际烈度Ⅶ度、Ⅷ度时无震害；按Ⅶ度设防的隧道在实际烈度Ⅵ~Ⅷ度时无震害，在实际烈度Ⅸ~Ⅹ度时出现了开裂和二衬垮塌这样较为严重的震害，在实际烈度Ⅺ度时出现了隧道垮塌这样严重的震害。由此可知，按Ⅶ度设防的隧道达到抗震设防的目的，是偏于安全的。

(2) 按岩性进行评价

按Ⅶ度设防的隧道发生较严重、严重震害的隧道（酒家垭隧道、牛角垭隧道、龙池隧道、都映高速 4 座隧道及 G213 线都映段 3 座隧道）均为软岩隧道；而发生轻微震害的隧道均为硬岩隧道（G213 线映汶路 7 座隧道和映日路 2 座隧道）。这说明按Ⅶ度设防的软岩隧道仅能满足设防要求，而按Ⅶ度设防的硬岩隧道却可以承受更高的地震烈度而不发生较严重的震害，即抗震设防标准应将场地系数考虑进去。

(3) 按断层特性进行评价

震区共有 6 座隧道穿越断层破碎带，其基本情况及最严重震害类型如表 3 所示。

由表 3 知，错动断层破碎带隧道出现了二衬垮塌、隧道垮塌等严重的震害类型，无错动断层破碎带隧道未出现二衬垮塌、隧道垮塌等严重的震害类型，仅出现了衬砌开裂、渗水、剥落等轻微震害类型。故断层破碎带造成的震害严重程度主要与断层是否错动有关，宜加强现有设防标准中防治断层错动的抗震措施。

表 2 汶川地震四川震区Ⅶ度设防隧道震害情况

隧道名称	设计烈度	实际烈度	破坏程度
鹧鸪山隧道	Ⅶ	Ⅵ	无
十字口隧道	Ⅶ	Ⅵ	无
雪区一号隧道	Ⅶ	Ⅵ	无
雪区二号隧道	Ⅶ	Ⅵ	无
白熊沟隧道	Ⅶ	Ⅵ	无
无名一隧道	Ⅶ	Ⅵ	无
无名二隧道	Ⅶ	Ⅵ	无
小丘地隧道	Ⅶ	Ⅶ	轻微
九架棚隧道	Ⅶ	Ⅶ	无
杂谷脑隧道	Ⅶ	Ⅶ	无
玺圈岩隧道	Ⅶ	Ⅶ	无
单坎梁子隧道	Ⅶ	Ⅸ	轻微
耿达隧道	Ⅶ	Ⅸ	中等
草坡隧道	Ⅶ	Ⅸ	轻微
酒家垭隧道	Ⅶ	Ⅸ	较严重
紫坪铺隧道	Ⅶ	Ⅹ	较严重
白云顶隧道	Ⅶ	Ⅹ	较严重
友谊隧道	Ⅶ	Ⅹ	较严重
马鞍石隧道	Ⅶ	Ⅹ	中等
盘龙山隧道	Ⅶ	Ⅹ	轻微
龙溪隧道	Ⅶ	Ⅺ	严重
龙洞子隧道	Ⅶ	Ⅺ	较严重
烧火坪隧道	Ⅶ	Ⅺ	较严重
皂角湾隧道	Ⅶ	Ⅺ	轻微
毛家湾隧道	Ⅶ	Ⅺ	中等
彻底关隧道	Ⅶ	Ⅺ	中等
福堂关隧道	Ⅶ	Ⅺ	中等
牛角垭隧道	Ⅶ	Ⅺ	较严重
龙池隧道	Ⅶ	Ⅺ	较严重
桃关隧道	Ⅶ	Ⅺ	中等

3 汶川地震公路隧道抗震设防标准评价

3.1 对第 5.1.1 条评价

条文内容：第 5.1.1 条 本章适用于新建和改建各级公路的山岭隧道工程的抗震设计。

表 3 过断层隧道断层破碎带基本情况及汶川地震中最严重震害类型

断层名称	设计烈度	地震烈度	断层破碎带宽/m	是否错动	埋深/m	断层倾角/(°)	围岩级别	最严重震害类型
酒家垭 F1	Ⅶ	Ⅸ	64	是	141	57	Ⅳ（破碎带）；Ⅳ（上下盘）	隧道垮塌
友谊 F1	Ⅶ	Ⅹ	0.5	是	54	66	Ⅴ（破碎带）；Ⅴ（上下盘）	二衬垮塌
白云顶 F1	Ⅶ	Ⅹ		是	25	42	Ⅴ（破碎带）；Ⅴ（上下盘）	二衬垮塌
紫坪铺 F10	Ⅶ	Ⅺ	3	否	242		Ⅴ（破碎带）；Ⅳ，Ⅴ（上下盘）	二衬开裂
龙洞子 F5	Ⅶ	Ⅺ	10	是	15		Ⅴ破碎带）；Ⅴ（上下盘）	衬砌错台
龙溪 F8	Ⅶ	Ⅺ	10	是	230	82	Ⅴ（破碎带）；Ⅳ（上下盘）	隧道垮塌

评价：合适

3.2 对第 5.1.2 条评价

条文内容：第 5.1.2 条 隧道位置应选择在边坡稳定、地质条件较好、对抗震有利地段。洞口应避免设在滑坡、岩堆、泥石流等处。

评价：合适。

白云顶隧道为傍山偏压软岩隧道，地震中衬砌结构出现了衬砌开裂、渗水、错台等较严重的震害；盘龙山隧道为傍山硬岩隧道，地震中衬砌结构无震害。

白云顶隧道由于洞门地基位于非基岩上（位于巨厚覆盖层），在此次汶川地震中出现了洞门墙开裂、断裂以及拱圈损坏的严重震害；而马鞍石隧道由于洞门地基位于基岩上，在地震中洞门结构无震害。

3.3 对第 5.2.1 条评价

条文内容：第 5.2.1 条 隧道应按表 5.2.1（表 4）的规定范围，验算其抗震强度和稳定性。

表 4 隧道抗震强度和稳定性验算范围（规范中表 5.2.1）

	公路等级		高速公路及一、二级公路		三、四级公路	
	基本烈度		7	8、9	7	8、9
	洞门墙及洞口挡土墙		不验算	验算	不验算	验算
工程 项目	洞口浅埋和偏压地段隧道衬砌	双车道Ⅴ、Ⅵ围岩	验算	验算	验算	验算
		双车道Ⅲ、Ⅳ围岩	不验算	验算	不验算	验算
		明洞	验算	验算	验算	验算
		双车道	验算	验算	验算	验算

评价：不合适。

汶川地震中硬岩隧道无震害，故建议双车道洞口浅埋和偏压地段隧道衬砌在Ⅲ级围岩情况下不需验算；汶川地震烈度Ⅶ度区隧道衬砌结构无震害（围岩为Ⅳ、Ⅴ级），仅小丘地隧道洞门帽石被落石砸坏，故建议Ⅶ度区三、四级公路双车道洞口浅埋和偏压地段隧道衬砌在Ⅴ级围岩情况下不需验算；汶川地震中明洞破坏并不严重，破坏大部分由边仰坡上部山体崩塌、滑塌以及落石等次生地质灾害造成，例如Ⅸ度区耿达隧道明洞即被落石砸穿，故建议Ⅶ度区三、四级公路双车道隧道明洞不需验算。建议规范中表 5.2.1 改为下表（表 5）。

3.4 对第 5.3.1 条评价

条文内容：第 5.3.1 条 隧道洞口应采取控制路堑边坡和仰坡的开挖高度以及其它防止坍塌震害的措施。位于悬崖陡壁下的洞口，宜采取明洞与洞口相接或其它防止落石的措施。

评价：合适。

此次汶川地震中地震烈度在Ⅸ度及以上区域的一些隧道洞口出现了边仰坡崩塌、滑塌等，一

方面由于地震烈度较大，另一方面也是由于边仰坡刷坡太大且防护不足造成的。同时也存在一些边仰坡震害较小的隧道，例如马鞍石隧道，边仰坡高度均不超过 9 m 且用 5 号砂浆砌片石护面，地震中边仰坡仅有少量碎石堆积。

表 5 隧道抗震强度和稳定性验算范围（规范中表 5.2.1）

	公路等级		高速公路及一、二级公路		三、四级公路	
	基本烈度		Ⅶ	Ⅷ、Ⅸ	Ⅶ	Ⅷ、Ⅸ
	洞门墙及洞口挡土墙		不验算	验算	不验算	验算
工程 项目	洞口浅埋和偏压地段隧道衬砌	双车道Ⅵ级围岩	验算	验算	验算	验算
		双车道Ⅴ级围岩	验算	验算	不验算	验算
		双车道Ⅳ级围岩	不验算	验算	不验算	验算
		明洞	验算	验算	不验算	验算

此次汶川地震中福堂坝隧道洞口位于悬崖陡壁下，无明洞，地震中隧道仰坡上部山体碎石滑塌、落石部分堵塞洞口；并且福堂坝隧道仰坡未做防护，使得仰坡碎石滑塌、落石更加严重，加重了洞口的震害程度。

3.5 对第 5.3.2 条评价

条文内容：第 5.3.2 条 隧道洞门形式宜采用翼墙式。洞门建筑材料可按规范中表 5.3.2（表 6）采用。

表 6 洞门建筑材料（规范中表 5.3.2）

基本烈度		8	9
洞门端墙	双车道	片石混凝土	混凝土
洞口挡土墙或翼墙	$H \leq 10\text{ m}$	不低于 10 号浆砌片石	
	$H > 10\text{ m}$	片石混凝土或混凝土	

评价：不合适。

在此次汶川地震中，隧道洞门的断裂与毁损主要发生在端墙式（桃关）和翼墙式（福堂坝隧道）洞门结构中，削竹式洞门基本未见破损现象。故建议宜优先用削竹式洞门（接长明洞）结构，当地形地质条件不利时可以采用翼墙式洞门。

此次汶川地震震害隧道洞门建筑材料未见浆砌片石和片石混凝土，现今基本采用混凝土。

3.6 对第 5.3.3 条评价

条文内容：第 5.3.3 条 隧道的洞口浅埋和偏压地段，应为抗震设防地段。其设防长度可根据地形、地质条件确定。基本烈度Ⅶ度区Ⅰ、Ⅱ类围岩的双车道隧道和基本烈度为Ⅷ度和Ⅸ度区Ⅰ～Ⅳ类围岩的双车隧道，其设防长度不宜小于 25 m；基本烈度为Ⅷ度和Ⅸ度区Ⅰ～Ⅲ类围岩的单车道隧道，设防长度不宜小于 15 m。

抗震设防地段的隧道宜采用带仰拱的曲墙式衬砌。

评价: 不合适。

在此次汶川地震中, 隧道洞口抗震设防段衬砌未出现二次衬砌垮塌这样严重的震害类型(龙溪隧道受断层影响出现了二次衬砌垮塌), 洞口段抗震设防起到了应有的作用。基本烈度为Ⅷ度及Ⅷ度以下, 洞口段无震害; 基本烈度为Ⅸ度时, 酒家垭隧道洞口过渡段出现了二次衬砌垮塌这样严重的震害, 原因主要是围岩级别低(V级), 浅埋段较长(68 m), 可能存在软硬岩交接面; 基本烈度为9度以上时, 洞口段过渡段长度较长, 约为浅埋段长度3倍以上, 25 m至3倍浅埋段长度这一段应采取构造措施(如设置抗震缝)降低震害。

此次汶川地震中未出现单车道隧道、设防段均采用带仰拱的曲墙式衬砌, 不做评价。

3.7 对第 5.3.4 条的评价

条文内容: 第 5.3.4 条 抗震设防地段的隧道衬砌和明洞的建筑材料, 可按规范中表 5.3.4(表 7)采用。

表 7 隧道衬砌和明洞建筑材料(规范中表 5.3.4)

工程项目	围岩级别	材料种类
隧道衬砌	V、VI	钢筋混凝土或加筋混凝土
	IV	混凝土或钢筋混凝土
	III	混凝土
拱形明洞	IV~VI	拱圈用钢筋混凝土, 单压明洞外边墙用 10 号浆砌片石; 其余边
	I~III	拱圈用混凝土或钢筋混凝土, 墙用片石混凝土、混凝土或钢筋混凝土

评价: 不合适。

此次汶川地震中抗震设防地段隧道衬砌未见采用素混凝土的结构, 现今基本采用钢筋混凝土结构; 此次汶川地震中拱形明洞的破坏大部分是由次生灾害导致的(耿达隧道明洞被落石砸穿), 故建议拱圈采用钢筋混凝土结构; 此次汶川地震中单压明洞边墙建筑材料未见浆砌片石和片石混凝土, 现今基本采用混凝土或钢筋混凝土。建议规范中表 5.3.4 改为下表(表 8)。

表 8 隧道衬砌和明洞建筑材料(改表 5.3.4)

工程项目	围岩级别	材料种类
隧道衬砌	IV、V、VI	钢筋混凝土
拱形明洞	I~VI	拱圈用钢筋混凝土, 单压明洞边墙用混凝土或钢筋混凝土

3.8 对第 5.3.5 条的评价

条文内容: 第 5.3.5 条 基本烈度为Ⅷ度或Ⅸ度时, 洞门端墙与衬砌环框间、端墙与洞口档土墙或翼墙间的施工接缝处, 应加设短钢筋或设置榫头等抗震连接措施, 对耳墙式明洞的耳墙与拱部结构间的空隙, 宜采用浆砌片石或混凝土回填密实。

评价: 合适。

3.9 对第 5.3.6 条的评价

条文内容: 第 5.3.6 条 棚式明洞应采取防止落梁的措施。当基本烈度为Ⅷ度或Ⅸ度时, 不宜采用悬臂式棚洞。

评价: 合适。

3.10 对第 5.3.7 条的评价

条文内容: 第 5.3.7 条 浅埋、偏压以及位于断层破碎等地质不良地段的隧道, 其衬砌背后应压注水泥砂浆。

评价: 不合适。

若衬砌背后存在空洞或出现过围岩松弛情况, 可采用压注水泥砂浆回填。

4 公路隧道抗震设防建议

4.1 断层破碎带段隧道结构抗震设防建议

(1) 隧道应尽量避免通过断层破碎带。当隧道必须穿越断层时, 宜以正交方式穿越; 当隧道直接穿越发震断裂带时, 宜布设在破碎带较窄的部位; 当隧道平行于活动性断裂布置时, 宜布设在断裂带的下盘内。

(2) 当断层破碎带不错动时, 不须设防, 仅按软弱围岩加固即可。

(3) 当断层破碎带错动时, 断层破碎带段应进行抗震设防。

4.2 洞口结构抗震设防建议

(1) 公路隧道洞口选址应避开强风化岩体所构成的高、陡、斜坡和软岩堆积体。

(2) 洞门宜建设在岩石地基上。当洞门地基处于软岩时, 应采取抗震措施。

(3) 洞门结构型式宜优先用削竹式洞门(接长明洞)结构, 当地形地质条件不利时可采用翼墙式洞门。

(4) 洞口段软硬岩交接面附近一定范围内二次衬砌宜采用钢筋混凝土结构。

(5) 地震区明洞拱圈宜采用钢筋混凝土结构, 防止落石、边仰坡崩塌、滑塌造成的震害。

4.3 普通段隧道结构抗震设防建议

(1) 隧道施工过程中出现过塌方、大变形或松弛地段, 应进行围岩加固。

(2) 二次衬砌背后存在空洞等缺陷时, 应进行回填压浆。

5 结论

(1) 按地震烈度进行整体评价: 现有的抗震设防是偏于安全的; 按岩性进行评价: 现有抗震设防对于软岩隧道仅能满足设防要求, 但硬岩隧道却可以承受更高的地震烈度而不发生较严重的震害, 抗震设防标准应将场地系数考虑进去; 按断

层特性进行评价：断层破碎带的震害严重程度主要与断层是否错动有关，故应加强现有设防标准中防治断层错动的规定。

(2)对现行《JTJ 004-89 公路工程抗震规范》隧道部分进行了抗震设防标准评价，涉及隧道共 10 条，有 5 条合适(5.1.1 条、5.1.2 条、5.3.1 条、5.3.5 条和 5.3.6 条)，5 条不合适(5.2.1 条、5.3.2 条、5.3.3 条、5.3.4 条和 5.3.7 条)，并提出了具体修改建议。

(3)提出了断层破碎带段隧道结构、洞口结构和普通段隧道结构的抗震设防建议。

参考文献：

- [1] 交通部公路规划设计院. JTJ 004-89 公路工程抗震设计规范[S]. 北京：人民交通出版社，1999.
- [2] 中国建筑科学研究院. GB 50011-2001 建筑抗震设计规范[S]. 北京：建筑工业出版社，2001.
- [3] 崔光耀，王明年，林国进，等. 汶川地震区典型公路隧道衬砌震害类型统计分析[J]. 中国地质灾害与防治学报，2011，22(1)：122-127.
- [4] 崔光耀，王明年，林国进，等. 汶川地震公路隧道洞口段震害机理及抗震对策研究[J]. 现代隧道技术，2011，48(6)：6-10，22.
- [5] 李天斌. 汶川特大地震中山岭隧道变形破坏特征及影响因素分析[J]. 工程地质学报，2008，16(6)：742-750.
- [6] 王照华，唐建华，宋宏伟. 地隧道震害特征及其影响因素[J]. 山西建筑，2007，33(11)：263-264.
- [7] 王秀英，刘维宁，张弥. 地下结构灾害类型及机理研究[J]. 中国安全科学学报，2003，13(11)：55-58.
- [8] 高波，王峥峥，袁松，等. 汶川地震公路隧道震害启示[J]. 西南交通大学学报，2009，44(3)：336-374.
- [9] 陈运泰，许力生，张勇，等. 2008 年 5 月 12 日汶川特大地震震源特性分析报告[R]. 北京：中国地震局地球物理研究所，2008.
- [10] 日本土木学会. 阪神·淡路大震灾调查报告[R]. 东京：日本土木学会，1996.
- [11] 四川省交通厅公路规划勘察设计研究院. 5.12 汶川地震灾区高速公路和国省干线公路恢复重建工程调查、检测、评估[R]. 成都：四川省交通厅公路规划勘察设计研究院，2008.
- [12] 王明年，崔光耀，林国进. 汶川地震灾区公路隧道震害调查及初步分析[J]. 中国地质灾害与防治学报，2011，22(1)：122-127.
- [13] 赵静，姚令侃，焦方辉. 汶川 8.0 级地震路堑墙震害特征及机理分析[J]. 灾害学，2011，26(1)：54-59.
- [14] 张祖武，姚令侃. 土岩界面地震波能量传递与耗能特性研究—以汶川 8.0 级地震为例[J]. 灾害学，2011，26(1)：5-9.

Evaluation and Suggestion of Anti-seismic Fortification Criterion Based on Seismic Damage Characteristic of Tunnel Structure in Wenchuan Seismic Disastrous Area

Cui Guangyao¹, Wang Mingnian², Yu Li² and Lin Guojin³

(1. College of Architecture and civil Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China;

2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China;

3. Highway Planning, Survey, Design and Research Institute, Sichuan Provincial Communications Department, Chengdu 610041, China)

Abstract: Based on the seismic damage survey data of tunnel structure in Wenchuan seismic disastrous area, the highway tunnel anti-seismic fortification criterion of *JTJ 004-89 Specifications of Earthquake Resistant Design for Highway Engineering* is evaluated. Results show that the existing anti-seismic standard is tend to safety. The existing anti-seismic standard can only meet fortification requirements to soft rock tunnel, but rock tunnel is able to withstand higher seismic intensity without the risk of more serious damage. The fortification standard should be to strengthen existing prevention and control provisions of fault dislocation. Take evaluation of 10 provisions about tunnel, five of which are suitable, the rest are unsuitable; and put forward specific proposals to modify. Finally, the anti-seismic fortification suggestion about tunnel structure of fault rupture zone, tunnel structure of entrance and regular period is proposed. The research results have important significance to the current code revision and anti-seismic fortification of highway tunnels.

Key words: highway tunnel; seismic damage characteristic; evaluation of anti-seismic fortification criterion; suggestion of anti-seismic fortification; Wenchuan earthquake