

西部交通建设科技项目

合同号：2008-318-000-51

密 级：

交通编号：

单位编号：

分 类 号： U447

西藏地区在役桥梁状态评估及管理 决策技术研究 ——研究报告简本

西藏自治区交通厅重点公路建设项目管理中心
重庆交通大学

2011年09月

目 录

1 西藏地区典型在役桥梁使用现状调查及分析	1
2 西藏地区典型在役桥梁状态评估指标体系构建	2
2.1 西藏地区在役桥梁综合状态评估指标的确定技术	2
2.2 西藏地区在役桥梁综合状态评估	5
3 基于状态评估的西藏地区典型在役桥梁处置对策分析	6
3.1 西藏地区在役钢筋混凝土桥梁处置决策指标体系构建	6
3.2 西藏地区在役钢筋混凝土桥梁加固改造方案优选	7
3.3 最佳加固时机选择	8
4 西藏地区在役桥梁处置决策系统开发	9
4.1 系统设计要点	9
4.2 系统主要功能实现	11
5 西藏地区在役桥梁状态评估及管理决策指南	13

西藏幅员辽阔，公路网密度相对较低，高原地区的桥梁是架通“天路”的咽喉，是西藏人民奔向小康的希望之桥、幸福之桥。对于地处青藏高原腹地的西藏而言，区内受强烈地壳运动影响，自然条件极为复杂，素有地质博物馆之称。特殊的地理、地质和气候等自然条件，给区内的公路桥梁建设和维护带来极大困难。尤其是高寒（年平均气温低于 0°C ，极端最低气温 $-36\sim-45^{\circ}\text{C}$ ），高温差（极端昼夜温差达 70°C 以上），高湿差（常年干旱，但时常伴有短时急风暴雨）、高盐碱（土壤中普遍存在 SO_4^{2-} 、 Cl^- 、 Mg^{2+} 等侵蚀性介质）、高紫外线照射以及高温极不稳定多年冻土。这些严酷恶劣的环境条件对公路桥梁的耐久性构成了严重威胁，致使大部分已建公路桥梁的有效使用寿命大幅度降低，其安全性已引起了公路建管部门的极大关注。然而，常规的桥梁承载力评定技术在高寒地区具有局限性，仅能评估出桥梁目前的安全状况，不能判别其今后使用情况和耐久性，不便于公路建设部门对其服役期间状态进行判别并采取科学的决策。

目前，针对服役中的桥梁通常有三种处置措施：一是桥梁状态较好，继续利用；二是加固处治后再利用；三是拆除重建。对于西藏而言，公路建设资金缺乏，建设材料欠缺，桥梁建设环境差且可建设周期短，如对在役桥梁采取拆除重建方案，非但耗资巨大，而且需要时间，中断交通，社会影响较大，因而拆除重建方案是下策。如何通过科学、合理、客观的评估后，继续利用桥梁或通过加固处治后利用桥梁，是西藏公路建设过程中桥梁处置措施中的上策，也是放在西藏公路桥梁建管者面前亟待解决的重要课题。

本项目则根据上述情况，专门针对西藏公路建设过程中高寒地区的旧桥，从承载力、耐久性、加固经济性、功能性、美观性等分级指标，提出了一套无需进行常规荷载试验和检算工作的科学、合理、全面的状态评估体系，并在此基础上开发出了处置决策系统，提供了西藏地区在役桥梁的最佳加固处治时机，同时，编制出了《西藏地区在役桥梁状态评估及管理决策指南》。

1 西藏地区典型在役桥梁使用现状调查及分析

此次共调查了1529座桥梁，根据《公路桥涵养护规范》（JTG H11-2004）和本项目采用的评定标准、评定方法，对所调查的桥梁按现阶段的使用状况进行了技术状况等级评定，评定结果如下：一类有175座，占11%；二类有713座，占47%；三类409座，占27%；四类124座，占8%；五类108座，占7%（如图1）。四、五类桥梁合计15.2%，按照相关技术标准，这类桥划分为危桥，可见，西藏地区在役桥梁的安全状况不容乐观。

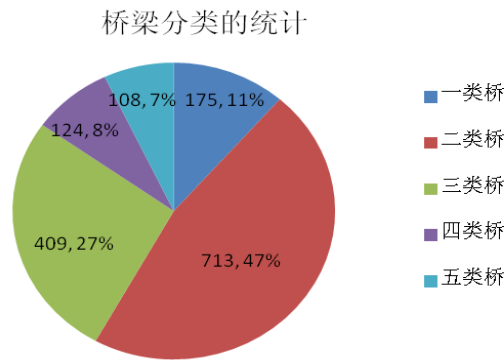


图 1 技术状况评价的不同级别的桥梁数量

西藏地区，20 世纪 70 年代以后修建的大量钢筋混凝土桥梁（服务期满 30 年），由于结构自然老化、车辆荷载增加、不利环境影响以及养护维修欠缺，桥梁结构不可避免地会出现各种病害，大部分桥梁即将进入桥梁维修的高峰期。各病害的发展状况和严重程度已引起了桥梁结构承载能力和耐久性降低，甚至导致了桥梁结构使用功能衰退、运营状况不能满足规定的要求。因此，正确分析桥梁病害成因、不同病害的特点。在病害分析的基础上，对桥梁承载能力状态进行全面、准确地评定，针对具体问题制定相应对策，具有较大的经济价值和社会效益。

经调查发现，西藏公路桥梁主要病害有：混凝土病害、钢筋锈蚀、伸缩缝损坏、桥面破损、附属构造物损坏、桥头跳车等，其中前两者是促使混凝土结构破坏的主要因素。

2 西藏地区典型在役桥梁状态评估指标体系构建

2.1 西藏地区在役桥梁综合状态评估指标的确定技术

进行西藏地区在役桥梁综合状态评估指标研究时，主要是从承载力、耐久性、功能性、加固经济性以及美观性 5 个方面来考虑。

① 承载力指标

影响承载力的主要因素有：结构完整性、变形、裂缝、混凝土强度、钢筋锈蚀、基础变位、上部结构碱—集料反应等。值得注意的是：由于影响桥梁结构承载力的指标非常复杂，当特定桥梁处在一定环境中，存在着其他指标对桥梁结构承载力影响较大时，亦可采用增指标公式对各最低层指标的权重进行修正；当某指标对桥梁结构承载力无影响或影响很小时，可采用减指标公式，去掉该指标的影响后，再重新分配各影响指标的权重。承载力层次分析模型如图 2。



图2 西藏地区在役桥梁承载力评估模型

② 耐久性指标

影响耐久性的主要因素有：碳化深度的有效保护层厚度、下部结构碱—集料反应、钢筋锈蚀、氯离子含量、硫酸盐含量、基础冲刷、混凝土冻融破坏、大气环境等。同样，当影响因素发生变化时，需对指标权重进行修正，耐久性层次分析模型如图3。

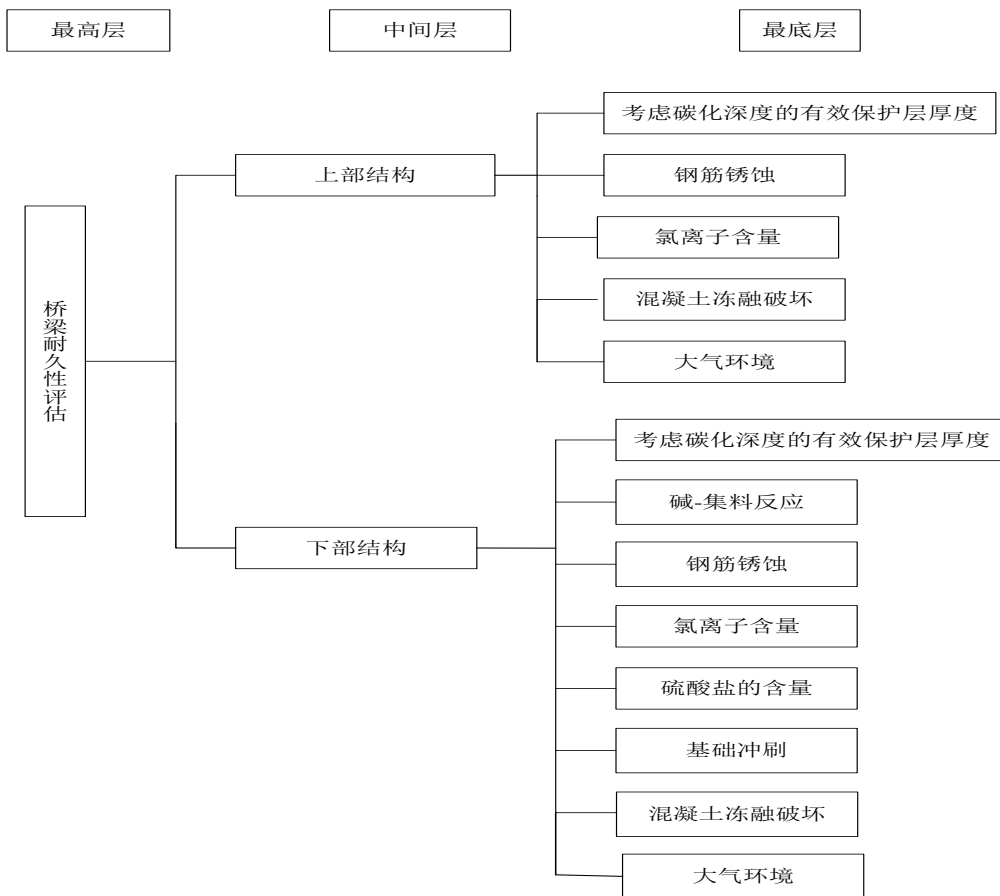


图3 西藏地区在役桥梁耐久性评估模型

③ 功能性指标

影响功能性的主要因素有：桥面结构功能性、桥下结构功能性、其它附属结构指标。当影响因素发生变化时，需对指标权重进行修正，功能性层次分析模型如图 4。

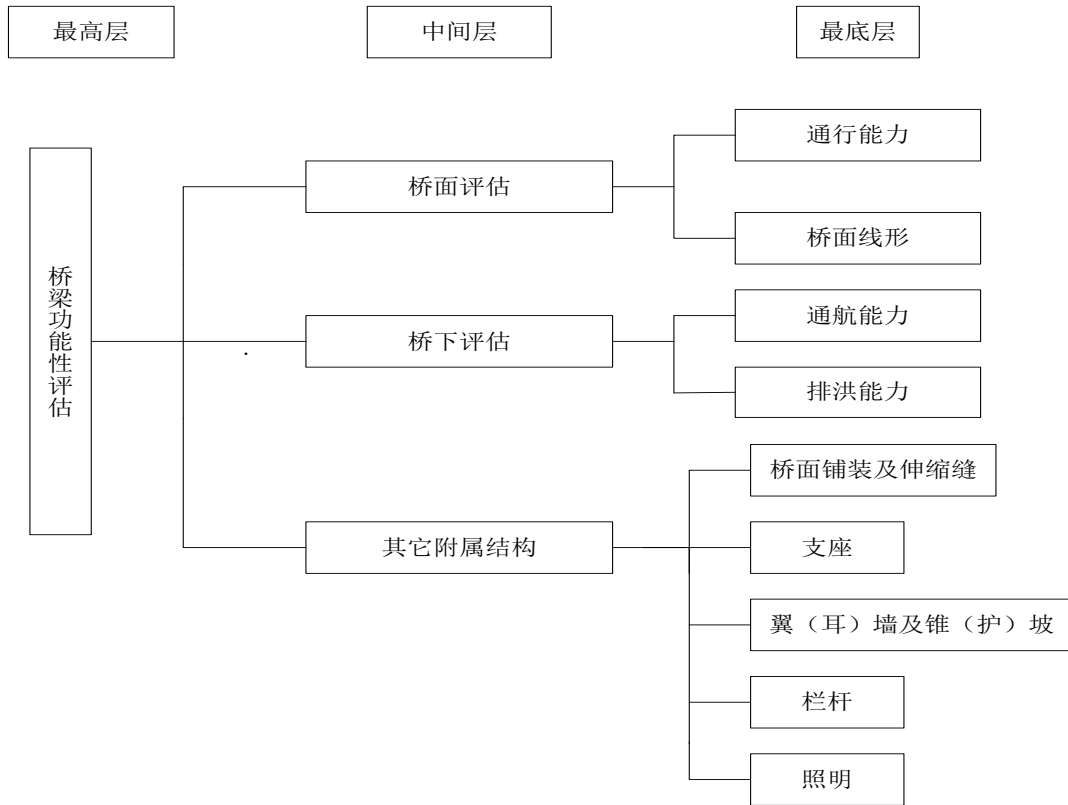


图 4 西藏地区在役桥梁功能性评估模型

④ 加固经济性指标

影响加固经济性的主要因素有：加固费用、限制或中断交通费用、检查、养护费用、维修费用、环境污染费用。当影响因素发生变化时，需对指标权重进行修正，加固经济性层次分析模型如图 5。

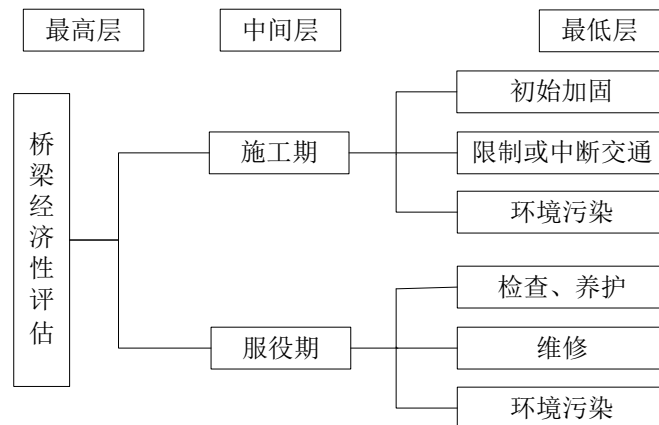


图 5 西藏地区在役桥梁加固经济性评估模型

⑤ 美观性指标

影响美观性的主要因素有：形式美、与环境协调等。当影响因素发生变化时，需对指标权重进行修正，美观性层次分析模型如图 6。

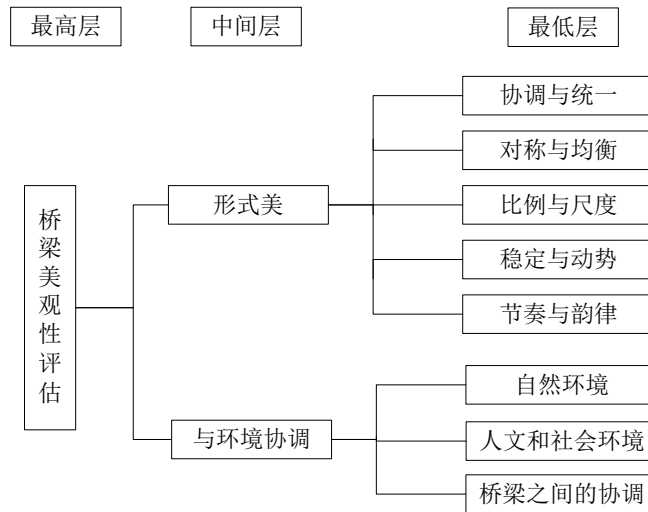


图 6 西藏地区在役桥梁美观性评估模型

2.2 西藏地区在役桥梁综合状态评估

依据部颁《公路桥涵设计通用规范》(JTG D60-2004) 1.01 条“为统一公路桥涵设计技术标准，贯彻国家有关法规和公路技术政策，使公路桥涵的设计符合技术先进、安全可靠、适用耐久、经济合理的要求，制定本规范”的内容，结合西藏地区自然环境、交通运输、经济建设以及民族文化的要求，从承载能力、耐久性、功能性、经济性、美观性五个分项指标着手，对各指标权重进行分析，再运用模糊综合评估理论的相关知识，对西藏地区在役桥梁的综合状态进行评估。综合评估模型如图 7

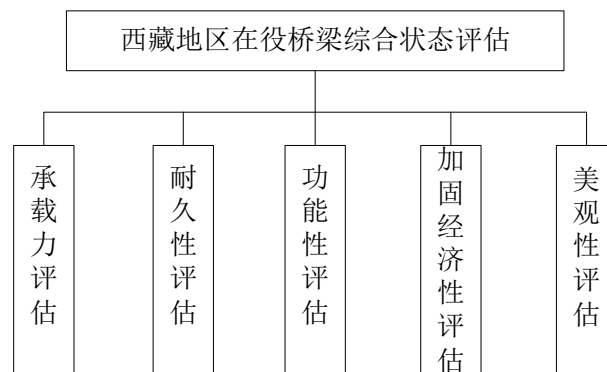


图 7 西藏地区在役桥梁综合状态评估层次分析模型

3 基于状态评估的西藏地区典型在役桥梁处置对策分析

3.1 西藏地区在役钢筋混凝土桥梁处置决策指标体系构建

主要是通过通过对在役桥梁状态的改善情况来进行决策指标体系的构建。

① 单个决策指标

1) 承载力指标

为评价加固后承载力指标的改善情况，建立承载力改善指标 $\alpha_{\beta 1}$ ：

$$\alpha_{\beta 1} = \frac{\text{加固后承载能力指标体系评价值}}{\text{加固前承载能力指标体系评价值}}$$

2) 耐久性指标

同样为评价加固后耐久性指标的改善情况，建立耐久性改善指标 $\alpha_{\beta 2}$ ：

$$\alpha_{\beta 2} = \frac{\text{加固后耐久性指标体系评价值}}{\text{加固前耐久性指标体系评价值}}$$

3) 功能性指标

为评价加固后功能性指标的改善情况，建立功能性改善指标 $\alpha_{\beta 3}$ ：

$$\alpha_{\beta 3} = \frac{\text{加固后功能性指标体系评价值}}{\text{加固前功能性指标体系评价值}}$$

4) 加固经济性指标

为评价加固后经济性指标的改善情况，建立经济改善指标 $\alpha_{\beta 4}$ ：

$$\alpha_{\beta 4} = \frac{\text{加固后经济性指标体系评价值}}{\text{加固前经济性指标体系评价值}}$$

5) 美观性指标

为评价加固后美观性指标的改善情况，建立美观性改善指标 $\alpha_{\beta 5}$ ：

$$\alpha_{\beta 5} = \frac{\text{加固后美观性指标体系评价值}}{\text{加固前美观性指标体系评价值}}$$

② 综合指标

为了确保在役桥梁能够适应公路运输载重量不断发展的需求，充分利用西藏地区现有的公路桥梁，使之能继续安全地为公路运输事业服务，必须对在役桥梁的综合状态做

出客观、真实、准确的评价。结合西藏地区自然环境、交通运输、经济建设以及民族文
化的要求，从承载能力、耐久性、功能性、经济性、美观性五个分项指标着手，对西藏
地区在役钢筋混凝土桥梁加固后的综合状态进行评估。

为评价加固后桥梁综合技术状态改善情况，建立桥梁综合技术状态改善指标 α ：

$$\alpha = \frac{\text{加固后桥梁技术状态评定等级}}{\text{加固前桥梁技术状态评定等级}}$$

3.2 西藏地区在役钢筋混凝土桥梁加固改造方案优选

通过运用层次分析法、模糊综合评估理论，以及在对常用加固方法（如：裂缝表面
封闭修补、表面缺陷处理、截面转换加固法、粘贴钢板加固法、粘贴碳纤维复合材料加
固法、增大截面加固法、体外预应力加固法、改变结构体系加固法、更换支座加固法、
高压旋喷注浆加固法、预应力框架加固法、扩大基础加固法、补桩加固法、钢筋混凝
土套箍或护套加固墩台加固法、支撑加固法、更换桥面铺装加固法、更换伸缩缝加固
法、更换人行道板加固法、更换栏杆加固法等）对桥梁指标体系的改善进行研究的基础
上，得到加固改造方案优选的技术途径。层次分析模型如图 8。

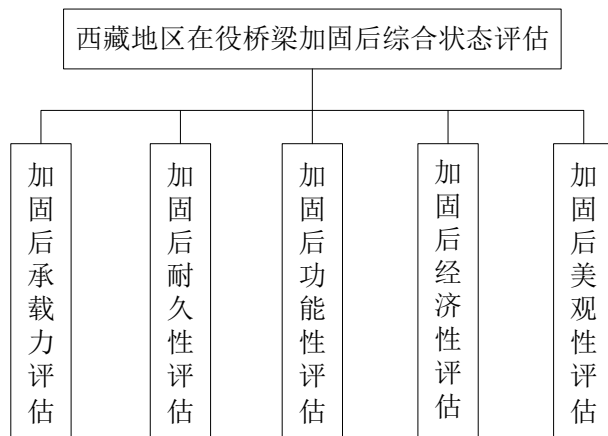


图 8 西藏地区在役桥梁加固后综合状态评估层次分析模型

桥梁加固方案集综合评估流程为：

① 加固前桥梁综合状态评估

以加固前桥梁的承载能力、耐久性、功能性、加固经济性、美观性为子指标，构建
子指标的评估等级隶属度矩阵，运用模糊运算规则通过五个子指标的权重值得出桥梁加
固前综合状态的评估等级。

② 根据加固前桥梁综合状态确定桥梁是否需要加固；

③ 如需要加固，针对不同部位、不同病害初选加固方案组合集。针对病害—加固方案—映射的病害直接选取相应的加固方案处治病害；针对病害—加固方案非—映射的病害选出相应的加固方案与—映射部分的病害处治方案形成最初加固方案组合集。

④ 主梁承载力改善指标评估

如上述初选加固方案组合集中有针对主梁承载力不足而选取的加固方法，需先对这些加固方法进行承载力指标改善评估。

⑤ 加固方案组合集综合评估

承载力是影响桥梁结构安全的主要指标但不是唯一指标，所以还需要综合考虑加固后的耐久性、功能性、经济性、美观性评价。

3.3 最佳加固时机选择

本次采用基于行驶质量指数标准以及经济性和使用性能来预估最佳加固时机，如图9、图10所示。

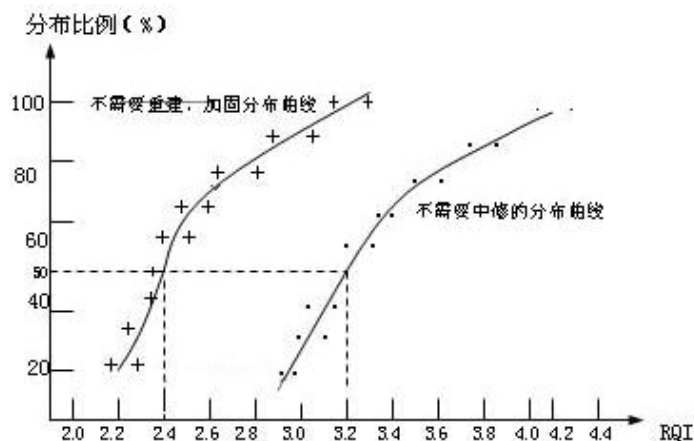


图9 行驶质量指数与梁桥改建对策的选择

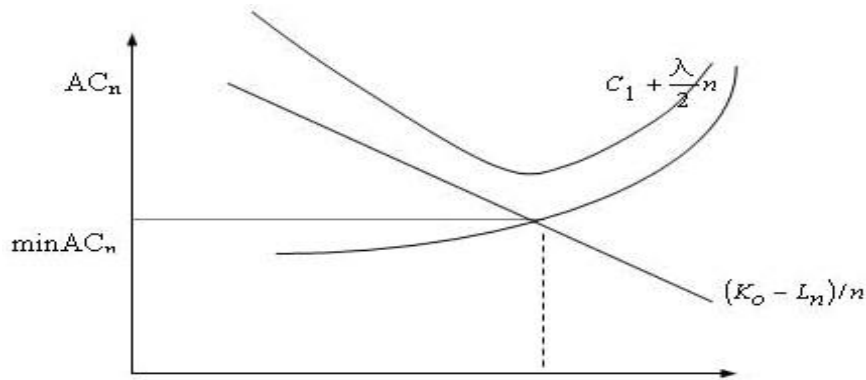


图 10 梁桥年费用与加固时机

4 西藏地区在役桥梁处置决策系统开发

4.1 系统设计要点

① 功能设计

系统主要包括基础数据设置、桥梁基本信息管理、桥梁病害调查、安全状态评价与加固维修方案生成五部分，如图11所示。

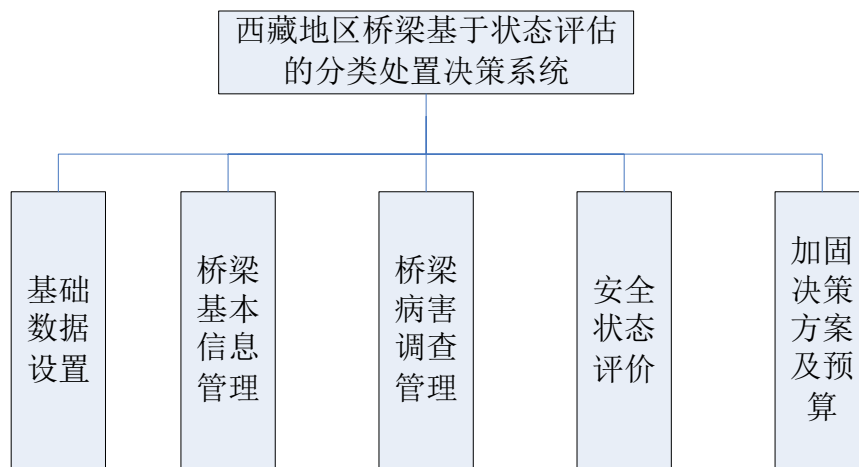


图 11 处置决策系统

② 架构设计

为了进一步实现西藏地区桥梁管养的中心化、集群化，同时，考虑西藏地区不同管养单位地域分布广，为了降低管理系统使用难度，本系统充分利用B/S模式的分布性以及“瘦”客户端的特点，采用基于B/S模式的系统架构。实现只需在管理中心对系统进行维护，客户端通过Internet网络实时访问系统，并实时产生本地报表。

③ 系统数据库设计（见图12）

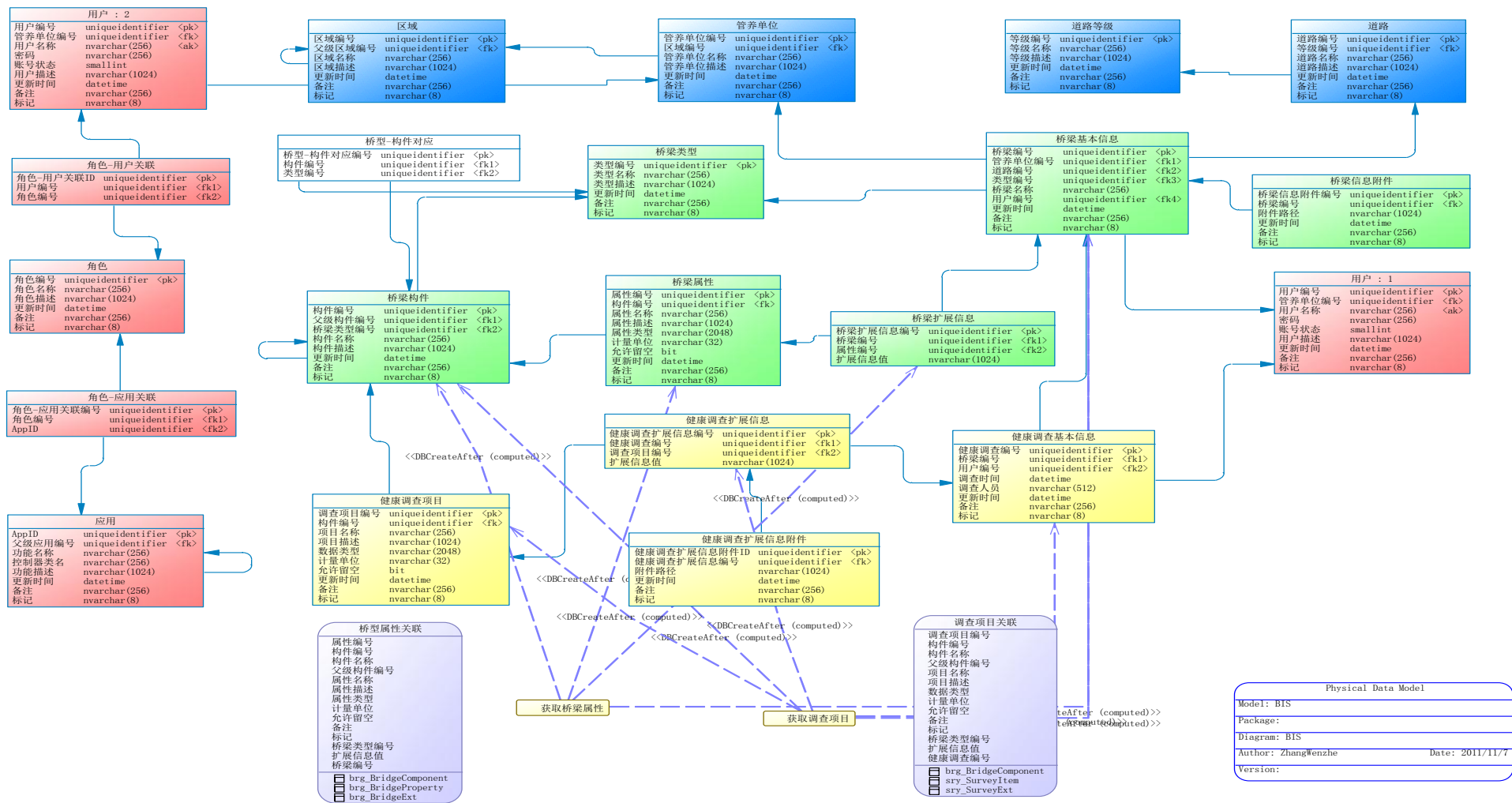


图12 数据库模型

4.2 系统主要功能实现

① 桥梁信息管理

桥梁类型繁多，不同类型桥梁拥有不同的部件及属性，故需要数据持久化方案拥有很大的弹性，要脱离具体的桥梁部件及属性，所以本系统采用了全新的 Key-Value 键值保存模式，用户交互时使用“表单引擎”动态构建表单。桥梁信息的管理本系统使用 5 张表实现：桥梁类型、桥梁构件、桥梁属性、桥梁基本信息及桥梁扩展信息，五张表关系如图 13。

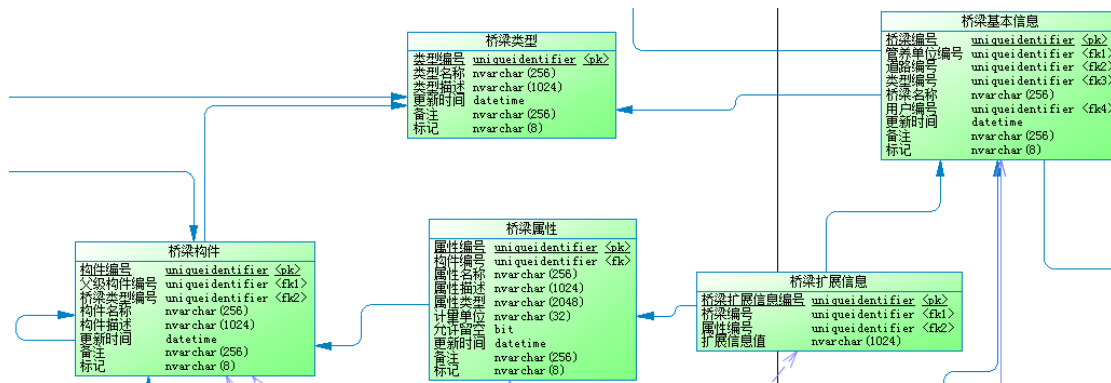


图13 结构关系图

桥梁基础数据设置及管理实现如图 14 所示。

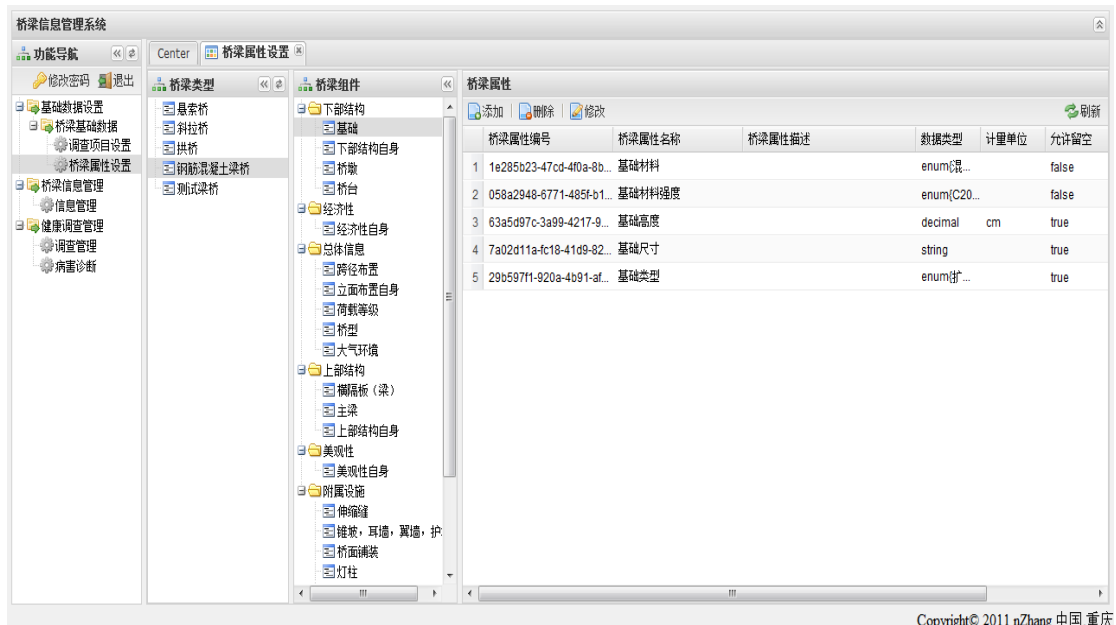


图 14 基础数据设置及管理图

② 病害调查管理

通过对桥梁整体及其构件进行病害的描述，且能够完成对同一座桥梁不同时段病害调查管理，如图15。

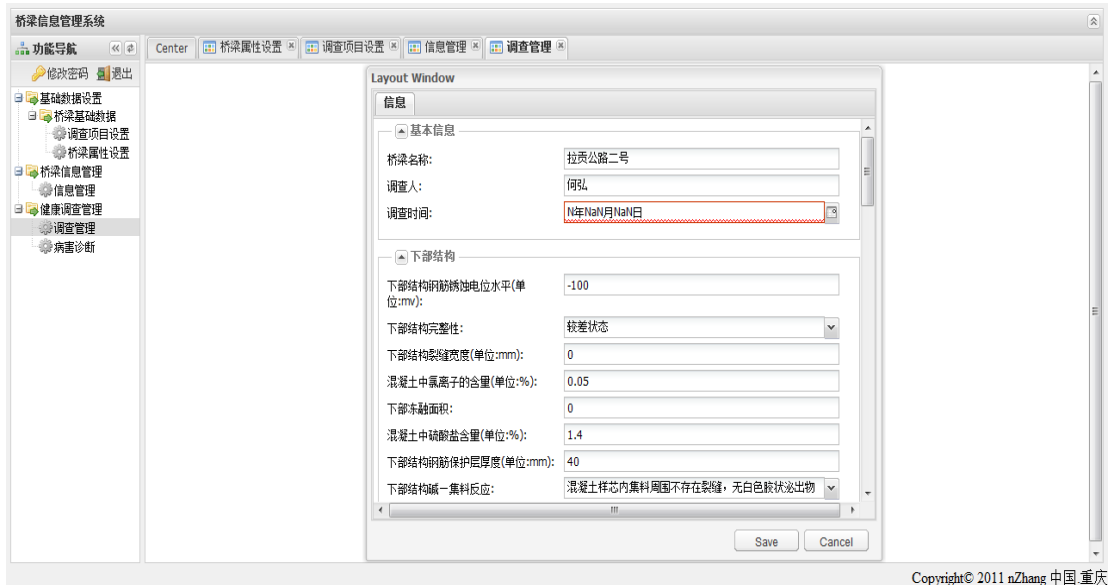


图 15 病害调查管理图

③ 处置决策实现

桥梁安全状态评价及处治报告实现如下图所示。

拉贡公路二号桥状态评估及加固处治报告

一、桥梁基本信息：

拉贡公路二号桥是一座简支梁桥，桥面形式为肋梁，主梁桥面高度为1.05m，全桥共3跨，主跨跨径设为13m，桥面宽8m。

二、加固前状态评估：

通过对该桥基本参数及病害信息的分析，系统评定拉贡公路二号桥状态评估等级为2级
期望荷载等级：汽车20级-公路级

三、加固方案集优选：

加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|4|C3|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.671112623359026,加固费用预计：148200元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|4|C1|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.659994518059026,加固费用预计：148200元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|4|C2|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.655080623359026,加固费用预计：148200元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|4|C4|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.655080623359026,加固费用预计：148200元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|3|C3|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.590029787359026,加固费用预计：171600元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|3|C1|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.578911682059026,加固费用预计：171600元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|3|C2|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.573997787359026,加固费用预计：171600元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|3|C4|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.573997787359026,加固费用预计：171600元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|5|C1|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.500057330059026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|1|C3|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.495143435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|2|C3|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.495143435359026,加固费用预计：159900元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|5|C2|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.495143435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|5|C3|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.495143435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|5|C4|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.495143435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|6|C3|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.495143435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|1|C1|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.484025330059026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|2|C1|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.484025330059026,加固费用预计：159900元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|6|C1|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.484025330059026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|1|C2|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.479111435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|1|C4|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.479111435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|2|C2|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.479111435359026,加固费用预计：159900元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|2|C4|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.479111435359026,加固费用预计：159900元
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|6|C2|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.479111435359026
 加固方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|6|C4|,加固后安全等级1,加固后安全系数0.479111435359026

四、结论：

[双击查看原图](#)

经过系统对拉贡公路二号桥输入信息的识别、诊断，该桥加固前状态评估等级为：2级
建议采用方案集：A3|A5|A4|A7|A6|A1b|A2|A1|0|B|4|C3|,对桥梁进行加固处理，加固后桥梁的状态评估等级为1级，加固后安全系数为0.671112623359026，与新建桥梁相比不仅缩短施工工期，大大减小对当地交通的影响，而且节约大量资金，对振兴当地的经济具有非常重要的意义。

5 西藏地区在役桥梁状态评估及管理决策指南

为了方便工程技术人员快速掌握研究成果，且将其推广应用，依据四个专题的研究成果，从西藏地区典型在役桥梁使用现状调查及分析、西藏地区典型在役桥梁状态评估指标体系构建、基于状态评估的西藏地区典型在役桥梁处置对策分析、西藏地区在役桥梁处置决策系统开发四个方面出发，编制了“西藏地区在役桥梁状态评估及管理决策指南”。